

平成 25 年度

地層処分技術調査等事業
(岩盤中地下水移行評価確証技術開発)
ーボーリング調査技術の確証ー

成果報告書

平成 26 年 3 月

一般財団法人 電力中央研究所

目 次

I 編：概要、経緯、開発目標

1. 目的	
2. 研究開発の経緯	
3. 平成 24 年度の成果の概要	
4. 本年度の開発目標	
1. 目的.....	1
2. 研究開発の経緯.....	2
2.1 フェーズ 1 の研究成果の概要.....	2
2.1.1 フェーズ 1(5 ヶ年)の研究開発概要.....	2
2.1.2 フェーズ 1(5 ヶ年)の研究成果.....	5
2.1.2.1 掘削・調査システムの概念構築における研究成果.....	5
2.1.2.2 システムを構成する要素技術に必要な主要装置に関する研究成果.....	6
2.1.2.3 試験サイトにおける適用評価.....	9
2.1.2.4 システム化に向けた調査技術の開発における研究成果.....	10
2.2 フェーズ 2(5 ヶ年)における課題.....	11
2.2.1 掘削・調査システムの概念構築における課題.....	11
2.2.2 システム構成に必要な主要装置開発における課題.....	12
2.2.2.1 コントロール掘削技術の課題.....	12
2.2.2.2 先端探知技術の課題.....	12
2.2.2.3 コア採取技術の課題.....	12
2.2.2.4 掘削システム統合化に必要な共通技術の課題.....	13
2.2.2.5 検層技術の課題(WL-LWD).....	13
2.2.2.6 透水・採水技術の課題.....	13
2.2.2.7 力学測定技術の課題.....	14
2.2.2.8 応力測定技術の課題.....	14
2.2.2.9 孔内モニタリング技術の課題.....	14
2.2.3 適用試験における課題.....	16
2.2.4 調査技術の開発における課題.....	16

2.3	フェーズ2(3カ年)の研究成果の概要	17
2.3.1	フェーズ2(3カ年)の研究開発概要	17
2.3.2	フェーズ2(3カ年)の研究成果	19
2.3.2.1	掘削調査システムの構築における研究成果	19
2.3.2.2	システム化に必要な主要装置に関する研究成果	22
2.3.2.3	断層破碎帯における適用試験評価断層破碎帯における適用試験評価	24
2.4	フェーズ2(3カ年)における課題	27
2.4.1	フェーズ2で得られた掘削調査システムの概念構築における課題	27
2.4.2	フェーズ2で得られたシステム構成に必要な主要装置開発における課題	28
2.4.2.1	フェーズ2で得られたコントロール掘削技術の課題	28
2.4.2.2	フェーズ2で得られた先端探知技術の課題	29
2.4.2.3	フェーズ2で得られたコア採取技術の課題	29
2.4.2.4	フェーズ2で得られた掘削システム統合化に必要な共通技術の課題	29
2.4.2.5	フェーズ2で得られた検層技術の課題	29
2.4.2.6	フェーズ2で得られた透水・採水技術の課題	30
2.4.2.7	フェーズ2で得られた孔内力学特性・孔内応力測定技術の課題	30
2.4.2.8	フェーズ2で得られた孔内モニタリング技術の課題	31
2.4.3	フェーズ2で得られた適用試験における課題	32
2.4.4	フェーズ2で得られた総合システム化に向けた課題	32
2.4.4.1	フェーズ2で得られた掘削管理システムの検討に関する課題	32
2.4.4.2	フェーズ2で得られた総合システム構築に関する課題	33
2.5	フェーズ3(6カ年)の目標と全体計画	34
3.	平成24年度の成果の概要	37
3.1	コントロール掘削技術の改良	37
3.1.1	孔井曲げ掘削技術	37
3.1.1.1	ホイップストックを用いたサイドトラック掘削技術の検討	37
3.1.1.2	既存の資材を用いたサイドトラック掘削手法の検討	37
3.2	孔内計測技術の開発	40
3.2.1	孔内応力試験装置	40
3.2.1.1	孔内応力試験装置の改良設計と試作	40
3.2.1.2	孔内応力試験装置の送水と計測機能向上のための改良設計・試作	41

3.2.2	孔内力学試験装置.....	42
3.3	孔内モニタリングシステムの開発.....	43
3.3.1	拡管回路をアーマードケーブルから分岐する治具の設計・試作.....	43
3.3.2	深海用電気雷管および補助母線の適用検討.....	43
3.4	現地適用性評価試験.....	45
3.4.1	孔内状況の確認.....	45
3.4.2	孔内応力試験の現地適用試験.....	46
3.4.2.1	我孫子における送り込み機能検証試験.....	46
3.4.2.2	幌延における孔内降下挿入試験.....	46
3.4.2.3	横須賀における機能検証試験.....	46
3.5	総合システムの検討.....	47
3.5.1	掘削・調査データ統合化システムの改良.....	47
3.5.1.1	通年運用に向けた外部レンタルサーバの選定.....	47
3.5.1.2	データベース仕様検討および外部レンタルサーバへのシステム構築.....	47
3.5.1.3	掘削・調査データ統合化システムの運用.....	47
3.5.1.4	運用中における不具合.....	48
3.5.2	掘削・調査支援システムの構築.....	48
3.5.2.1	掘削・調査データの分析.....	48
3.5.2.2	掘削技術者へのヒアリング.....	49
3.5.2.3	透水・採水試験に関わる調査・掘削データ活用方法の検討.....	50
3.5.3	掘削・調査手順書の作成.....	51
4.	本年度の開発目標.....	52
4.1	概論.....	52
4.1.1	コントロール掘削技術の開発概要.....	53
4.1.2	孔内計測技術の開発概要.....	53
4.1.3	物理探査技術の開発概要.....	54
4.1.4	現地適用性評価試験の概要.....	54
4.1.5	総合システムの検討概要.....	55
4.1.6	開発の審議・検討.....	55
4.2	コントロール掘削技術の改良.....	57
4.2.1	サイドトラック掘削手法の検討.....	57

4.3	コントロール掘削における孔内計測技術の開発	58
4.3.1	透水試験・採水・イメージング技術	58
4.3.2	孔内応力測定技術	58
4.3.2.1	孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための地上試験	58
4.3.2.2	孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための我孫子地区鋼管試験	59
4.4	物理探査技術の開発	60
4.5	現地適用性評価試験	62
4.5.1	孔内状況の確認	62
4.5.2	サイドトラック掘削	63
4.5.3	透水試験・採水・イメージング装置の現地適用性評価試験	63
4.5.4	孔内応力試験装置の幌延現地適用性評価試験	63
4.5.4.1	孔内応力試験装置の地上での通信機能検証	63
4.5.4.2	水圧破碎試験位置の試験前孔壁確認	64
4.5.4.3	孔内応力試験装置の機能検証試験	64
4.5.4.4	水圧破碎試験位置の試験後孔壁確認	64
4.5.5	孔内モニタリングシステムの設置	66
4.5.5.1	火薬による拡管試験	67
4.5.5.2	NL140 ロッド切断試験	67
4.5.5.3	BHTV による拡管部の管径計測	67
4.5.5.4	孔内モニタリングシステムの設置と観測データ取得	67
4.6	総合システムの検討	68
4.6.1	掘削・調査データ統合化システムの運用	68
4.6.1.1	システムの概要	68
4.6.1.2	システム運用に向けた準備作業とシステム運用	68
4.6.2	掘削・調査支援システムの構築	69
4.6.2.1	HCD-3 孔井の掘削データの分析	69
4.6.2.2	HCD-1・2 孔井の掘削データの分析	69
4.6.2.3	掘削関連情報の活用可能性評価	69
4.6.3	掘削・調査手順書の構築	70

Ⅱ編：本年度の研究内容

5. コントロール掘削技術の改良	
6. 孔内計測技術の開発	
7. 物理探査技術の開発・改良	
8. 現地適用試験	
9. 総合システムの検討	
5. コントロール掘削技術の改良.....	71
5.1 サイドトラック掘削手法の検討.....	71
5.1.1 セメント充填方法の検討.....	71
5.1.1.1 平成24年度のセメント充填方法の検討結果概要.....	71
5.1.1.2 セメント充填方法の再検討.....	73
5.1.2 セメント材料の検討.....	76
5.1.2.1 充填材の性能および品質の設定.....	76
5.1.2.2 充填材の配合選定.....	77
5.1.2.3 流動性の確認試験.....	83
5.1.3 サイドトラック掘削による計画孔跡の検討.....	100
5.1.3.1 サイドトラック掘削作業計画.....	100
5.1.3.2 サイドトラック掘削の孔跡軌跡計画.....	101
5.1.4 サイドトラック掘削手順の検討.....	107
5.1.4.1 孔内閉塞用パッカプラグの設置作業.....	108
5.1.4.2 セメントミルク充填材注入による埋め戻し作業.....	110
5.1.4.3 サイドトラック掘削作業.....	117
5.1.5 サイドトラック掘削に使用する治具の試作.....	120
5.1.5.1 孔内閉塞用パッカプラグの試作.....	120
5.1.5.2 切り離し治具の試作.....	124
5.1.5.3 孔内閉塞用パッカプラグと同切り離し治具の地上動作確認.....	127
6. 孔内計測技術の開発.....	133
6.1 透水試験・採水・イメージング装置.....	133
6.1.1 ダブルパッカの改良.....	133
6.1.1.1 ダブルパッカの改良製作.....	133

6.1.1.2	室内試験によるパッカの拡張性の確認.....	135
6.1.1.3	ケミカルユニットの室内機能検証試験.....	138
6.1.1.4	共用部の改良.....	139
6.2	孔内応力試験装置.....	141
6.2.1	孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための地上試験.....	141
6.2.1.1	ウインチケーブルスリップリングケーブルヘッドの接続と通信確認.....	141
6.2.1.2	型どりパッカの機能検証.....	151
6.2.1.4	ウイークポイント分離箇所の耐圧検証.....	157
6.2.1.5	ラッチシステムの通水機能検証.....	159
6.2.2	孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための我孫子地区鋼管試験.....	161
6.2.2.1	試験装置の組立、解体検証.....	162
6.2.2.2	送り込み装置の機能検証.....	164
6.2.2.3	ラッチシステムの機能検証.....	168
6.2.2.4	型どりパッカの機能検証.....	171
7.	物理探査技術の開発・改良.....	173
7.1	屈折法地震探査.....	173
7.1.1	バイプロサイズ震源を用いた屈折法地震探査データ取得作業.....	173
7.1.2	発振パラメータテスト.....	177
7.1.3	本観測.....	177
7.2	トモグラフィデータの解析.....	179
7.2.1	解析対象データ.....	179
7.2.2	地表-孔井間初動走時トモグラフィ解析.....	184
7.2.3	屈折法地震探査データの前処理.....	189
7.2.3.1	振幅補償.....	189
7.2.3.2	エディット.....	189
7.2.3.3	ミュート.....	189
7.2.4	地表発振-地表受振屈折波トモグラフィ解析.....	190
7.2.5	ゼロオフセットVSP解析.....	194
7.2.5.1	回転.....	194
7.2.5.2	初動走時読み取り.....	194
7.2.5.3	区間速度の算出.....	194

7.2.5.4	トレース振幅の調整.....	194
7.2.5.5	トレースの内挿.....	194
7.2.5.6	上方進行波と下方進行波の分離.....	194
7.2.5.7	デコンボリューション.....	195
7.2.5.8	往復走時への変換.....	195
7.2.5.9	コリドーミュート.....	195
7.2.5.10	コリドースタック.....	195
7.2.5.11	深度変換.....	195
7.2.6	トモグラフィ解析の評価.....	198
7.3	反射法データ再解析.....	199
7.3.1	再解析対象データ.....	199
7.3.2	既存処理概要.....	200
7.3.2.1	測線情報テーブルの作成.....	200
7.3.2.2	最小位相変換.....	200
7.3.2.3	共通反射点編集.....	201
7.3.2.4	初動ミュート.....	201
7.3.2.5	振幅補償.....	201
7.3.2.6	デコンボリューション.....	201
7.3.2.7	浮動基準面に対する静補正.....	201
7.3.2.8	NMO 補正.....	201
7.3.2.9	残差静補正.....	202
7.3.2.10	DMO 補正.....	202
7.3.2.11	ミュート.....	202
7.3.2.12	共通反射点重合.....	202
7.3.2.13	周波数空間領域予測フィルター.....	202
7.3.2.14	帯域通過フィルター.....	202
7.3.2.15	マイグレーション.....	203
7.3.2.16	深度変換.....	203
7.3.3	MDRS 法の概要.....	205
7.3.4	MDRS 処理.....	208
7.3.4.1	スーパーギャザーの作成.....	208
7.3.4.2	定速度スキャン.....	208

7.3.4.3	パラメータスキャン.....	208
7.3.4.4	MDRS ピッキング.....	209
7.3.4.5	MDRS 重合.....	209
7.3.4.6	重合後処理.....	209
7.3.5	処理結果の評価.....	213
8.	現地適用試験.....	218
8.1	孔内状況の確認.....	220
8.1.1	掘削開始前の孔内状況の確認.....	220
8.1.2	孔内試験開始前の孔内状況の確認(孔径検層).....	225
8.2	サイドトラック掘削.....	239
8.2.1	孔内閉塞用バックプラグの設置.....	239
8.2.2	セメントミルク充填材の注入.....	246
8.2.3	サイドトラック掘削作業.....	261
8.2.4	サイドトラック掘削時の WL-MWD 計測作業.....	276
8.2.5	孔内応力測定のための試験区間拡孔.....	294
8.3	孔内透水試験・採水.....	299
8.3.1	試験区間の設定.....	299
8.3.2	透水試験結果.....	302
8.3.3	採水結果.....	307
8.4	孔内応力測定.....	310
8.4.1	幌延現地試験.....	310
8.4.2	横須賀現地試験.....	321
8.5	孔内モニタリングシステムの設置.....	341
8.5.1	試験概要.....	341
8.5.2	観測区間の設定.....	343
8.5.3	火薬による拡管試験.....	344
8.5.4	ケーシング(NL140 ロッド)切断試験.....	354
8.5.5	BHTV による拡管部の管径計測.....	364
8.5.6	モニタリング区間の構築.....	384
8.5.7	孔内モニタリングシステムの設置および計測データ取得.....	386

9.	総合システムの検討.....	405
9.1	掘削・調査データ統合化システムの運用.....	405
9.1.1	システムの概要.....	405
9.1.2	システムの運用準備.....	407
9.1.2.1	外部レンタルサーバの運用状況確認.....	408
9.1.2.2	データ登録用 PC の設置.....	410
9.1.2.3	データ登録用 PC とシステムとの接続確認.....	413
9.1.3	システムの運用.....	413
9.1.3.1	システムの運用.....	414
9.1.3.2	システム運用時におけるメンテナンス作業.....	415
9.1.3.3	システム運用時に発生した動作不良.....	422
9.1.3.4	システムの撤去.....	425
9.2	掘削・調査支援システムの構築.....	426
9.2.1	HCD-3 孔井の掘削データの分析.....	426
9.2.1.1	使用データ.....	426
9.2.1.2	データ処理.....	429
9.2.1.3	HCD-3 孔井の逸水状況.....	435
9.2.1.4	逸水と掘削データの対応性.....	435
9.2.2	HCD-1・2 孔井の掘削データの分析.....	439
9.2.2.1	使用データ.....	439
9.2.2.2	データ処理.....	439
9.2.2.3	HCD-1 および HCD-2 孔井の逸水状況.....	444
9.2.2.4	逸水と掘削データの対応性.....	444
9.2.3	掘削データの活用可能性評価.....	449
9.2.3.1	逸水の判断に有用な掘削データ.....	449
9.2.3.2	掘削データを活用した逸水予測のための要件.....	450
9.3	掘削・調査手順書.....	452

Ⅲ編：成果のまとめと課題、今後の計画

10.	本年度研究成果のまとめ	454
10.1.	今後の課題	
10.2.	次年度の研究計画	
10.	本年度研究成果のまとめ	454
10.1.	コントロール掘削技術の改良	454
10.1.1.	サイドトラック掘削手法の検討	454
10.1.1.1.	セメントミルク充填方法の検討	454
10.1.1.2.	セメント材料の検討	454
10.1.1.3.	サイドトラック掘削による計画孔跡の検討	455
10.1.1.4.	サイドトラック掘削手順の検討	456
10.1.1.5.	サイドトラック掘削に使用する治具の試作	457
10.2.	孔内計測技術の改良	458
10.2.1.	透水試験・採水・イメージング装置	458
10.2.2.	孔内応力試験装置	458
10.2.2.1.	孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための地上試験	458
10.2.2.2.	現地適用性評価試験のための我孫子地区における鋼管試験	460
10.2.2.3.	孔内応力試験装置の成果	461
10.3.	物理探査技術の開発	463
10.4.	現地適用性評価	464
10.4.1.	孔内状況の確認	464
10.4.1.1.	現地適用性評価試験開始前の孔内状況確認	464
10.4.1.2.	孔径検層(キャリパ検層)	465
10.4.2.	サイドトラック掘削	466
10.4.2.1.	既存孔閉塞用パッカプラグの設置	466
10.4.2.2.	セメントミルク充填材注入	467
10.4.2.3.	サイドトラック掘削作業	468
10.4.2.4.	孔内応力試験装置による水圧破碎試験実施のための試験区間拡孔	469
10.4.3.	孔内透水試験・採水	471
10.4.4.	孔内応力測定	471

10.4.4.1	幌延における孔内応力試験装置の地上での通信機能検証	471
10.4.4.2	横須賀地区での孔内応力試験装置の現地適用性試験	471
10.4.4.3	孔内応力試験装置の現地適用性試験の成果	474
10.4.5	孔内モニタリングシステムの設置	476
10.4.5.1	観測区間の設定	476
10.4.5.2	火薬による拡管試験	477
10.4.5.3	ケーシング(NL140 ロッド)切断試験	477
10.4.5.4	BHTVによる拡管部の管径計測	477
10.4.5.5	孔内モニタリングシステムの設置およびデータ取得	478
10.5	総合システムの検討	479
10.5.1	掘削・調査データ統合化システムの運用	479
10.5.1.1	掘削・調査データ統合化システムの運用	479
10.5.1.2	運用中における不具合	479
10.5.2	掘削・調査支援システムの構築	480
10.5.3	掘削・調査手順書の構築	481
11.	今後の課題	482
11.1	コントロール掘削技術	482
11.1.1	孔井曲げ掘削技術	482
11.1.2	先端探知技術	482
11.1.3	コア採取技術	483
11.1.4	掘削システム統合化に必要な共通技術	483
11.2	孔内計測技術	484
11.2.1	掘削時検層技術(WL-LWD)技術	484
11.2.2	透水試験・採水・イメージング技術	484
11.2.3	孔内力学特性・孔内応力測定技術	484
11.2.3.1	孔内応力測定技術	484
11.3	物理探査技術	486
11.4	モニタリングシステムの開発	487

12. 次年度の研究計画.....	488
12.1 次年度計画の概要.....	488
12.2 孔内長期モニタリング.....	488
12.2.1 無人観測システムの概念設計.....	488
12.2.2 観測データの取得・回収.....	488
12.2.3 計測データの検討.....	489
12.3 現地地上施設の撤去.....	489
12.3.1 組立式プレハブハウス(現場事務所)の解体.....	489
12.3.2 防寒施設の外装シートの取外し.....	489
12.3.3 防寒施設鋼材の解体.....	489
12.3.4 試錐機と設置機械の解体.....	489
12.3.5 孔口養生等.....	490

図一覧

図 2.1.1-1	フェーズ1年次別実施フロー	4
図 2.3.1-1	フェーズ2年次別実施フロー	18
図 2.3.1-2	システム構築に向けた調査年次フロー(フェーズ2)	21
図 2.5.1-1	フェーズ2からフェーズ3へかけた調査年次フロー	36
図 4.4.1-1	物理探査技術の開発概要(平成25年度作業のフロー)	61
図 4.5.4-1	HCD-3孔井における孔内応力試験装置の試験フロー	65
図 4.5.5-1	モニタリングシステムの設置概念図(3区間設置)	66
図 5.1.1-1	高傾斜区間と緩傾斜区間におけるセメントミルク置換時の水平面状況図	72
図 5.1.1-2	平成24年度に検討した既存孔セメンチング方法概略	73
図 5.1.1-3	サイドトラック実施箇所下部のセメンチング概略手順	75
図 5.1.2-1	セメンチング区間の孔井断面模式図	76
図 5.1.2-2	充填材配合検討フロー	77
図 5.1.2-3	各プレミックス材の試験体状況	79
図 5.1.2-4	流動性事前確認試験で使用したホッパ	83
図 5.1.2-5	充填材の練混ぜ状況	84
図 5.1.2-6	ホッパからの流下状況	84
図 5.1.2-7	塩ビ配管を用いた流下状況(垂直のみ)	84
図 5.1.2-8	塩ビ配管を用いた流下状況(垂直と水平)	85
図 5.1.2-9	流動性事前確認試験での5分フローの経時変化	86
図 5.1.2-10	流下状況確認試験の機材配置状況	88
図 5.1.2-11	流動状況および硬化性状確認試験の機材配置状況	89
図 5.1.2-12	スクイズ式モルタルポンプ仕様	89
図 5.1.2-13	充填状況確認の機材配置状況	90
図 5.1.2-14	流動性確認試験での試験体作製状況	91
図 5.1.2-15	ホッパからの流下状況確認作業状況	92
図 5.1.2-16	ベントナイト水溶液中への打設状況	94
図 5.1.2-17	打設翌日のベントナイト水溶液接触面の状況	94
図 5.1.2-18	ベントナイト水溶液中打設翌日の脱型後状況	94
図 5.1.2-19	モルタルポンプを用いた水平方向への圧送性の確認作業状況	95
図 5.1.2-20	φ75塩ビ管での水中打設充填状況	97
図 5.1.2-21	φ125mm塩ビ管の曲がり管上部切断状況	97
図 5.1.2-22	φ125mm塩ビ管垂直方向の充填状況	97
図 5.1.2-23	φ125mm塩ビ管水平方向の充填状況	98
図 5.1.3-1	掘削長648m～700m間の孔跡軌跡断面図(平成23年度ジャイロ計測結果)	102
図 5.1.3-2	掘削長648m～700m間の孔跡軌跡平面図(平成23年度ジャイロ計測結果)	103
図 5.1.3-3	サイドトラック掘削の計画軌跡断面図	106
図 5.1.3-4	サイドトラック掘削の計画軌跡平面図	106
図 5.1.4-1	パッカプラグ設置作業フロー	110
図 5.1.4-2	傾斜角度によるスクイズセメンチング状況模式図	113
図 5.1.4-3	セメントミルク充填材による埋め戻し作業フロー	117
図 5.1.4-4	コア径と拡径孔の関係図	119
図 5.1.4-5	サイドトラック掘削手順概略	119
図 5.1.5-1	孔内閉塞用パッカプラグ設計図	123
図 5.1.5-2	試作したパッカプラグ	124
図 5.1.5-3	孔内閉塞用パッカプラグ切り離し治具の設計図	126
図 5.1.5-4	試作したパッカプラグ切り離し治具	127
図 5.1.5-5	孔内閉塞用パッカプラグの拡張試験実施状況	128

図一覧

図 5.1.5-6	地上試験における拡張圧力と拡張外径の関係図	129
図 5.1.5-7	地上試験における拡張圧力と注水量の関係図	129
図 5.1.5-8	鋼管内における孔内閉塞用パッカプラグの拡張試験状況	130
図 5.1.5-9	鋼管内における拡張圧力と注水量の関係図	130
図 5.1.5-10	切り離し治具の作動状況確認試験の概要図	131
図 6.1.1-1	改良前ダブルパッカシステム	134
図 6.1.1-2	改良後ダブルパッカシステム	134
図 6.1.1-3	先端圧力センサ(下部パッカ内)	134
図 6.1.1-4	ボーリング孔径相当までのパッカ拡張の確認状況	135
図 6.1.1-5	孔径 $\phi 160\text{mm}$ を想定したパッカの拡張状況	135
図 6.1.1-6	パッカ密着箇所の長さの確認状況	136
図 6.1.1-7	パッカ拡張に伴うスライド部分の長さの変化状況	136
図 6.1.1-8	パッカスライド長さの改良設計図	136
図 6.1.1-9	木枠を用いたパッカ拡張試験状況	137
図 6.1.1-10	圧力チャンバーを用いたパッカの耐圧試験状況	137
図 6.1.1-11	ケミカルユニットの室内における動作確認状況	138
図 6.1.1-12	水質センサ動作確認状況	138
図 6.1.1-13	分光光度計キャリブレーション結果	139
図 6.1.1-14	改良後の操作パネルの全体図	140
図 6.1.1-15	(操作パネル内)ダブルパッカ制御画面拡大図	140
図 6.2.1-1	ケーブルヘッド部組立前状況	142
図 6.2.1-2	応力専用ケーブル被覆剥がし状況	142
図 6.2.1-3	電源ケーブルと光ファイバケーブルの分離	143
図 6.2.1-4	光ファイバケーブルコネクタ取付のための融着作業状況	143
図 6.2.1-5	ウィンチドラムへの光ファイバ中継ボックス取付状況	144
図 6.2.1-6	ウィンチドラムへの光変換ボックス取付状況	144
図 6.2.1-7	ウィンチドラムパネル配線作業状況	145
図 6.2.1-8	ケーブルウィンチ内光変換器ボックス(上)・光ファイバ中継ボックス(下)取付状況	145
図 6.2.1-9	通信確認作業状況	146
図 6.2.1-10	孔内応力専用ケーブルを使った通電確認試験概要	147
図 6.2.1-11	通電確認電圧測定状況	147
図 6.2.1-12	孔内応力専用ケーブルを使った通信確認試験概要	148
図 6.2.1-13	地上部計測 PC の計測画面	149
図 6.2.1-14	孔内応力専用ケーブルを使った AE およびカメラ映像確認試験概要	149
図 6.2.1-15	孔内応力専用ケーブルを介して観測した AE 波形	150
図 6.2.1-16	孔内応力専用ケーブルを介してモニターしたカメラの映像	151
図 6.2.1-17	岩石供試体の試験孔の亀裂位置	152
図 6.2.1-18	室内試験用型どりパッカの概要図	152
図 6.2.1-19	2 軸載荷試験装置での型どりパッカの加圧状況	153
図 6.2.1-20	熱収縮ゴムチューブの亀裂痕	154
図 6.2.1-21	ボルト切断荷重検証試験概要	155
図 6.2.1-22	ボルト切断荷重検証試験状況	155
図 6.2.1-23	ボルト切断荷重検証試験結果(荷重-変位曲線)	156
図 6.2.1-24	ウィークポイント分離箇所の耐圧性確認試験概要	157
図 6.2.1-25	ウィークポイント分離箇所の耐圧性確認試験状況	158
図 6.2.1-26	ウィークポイント耐圧検証試験の圧力-時間曲線	158
図 6.2.1-27	ラッチシステム改良図	159
図 6.2.1-28	NL ロッド先端シュー(左)と孔内応力試験装置のラッチシステム(右)	160

図一覧

図 6.2.1-29	通水機能確認試験の実施状況	160
図 6.2.2-1	試験用鋼管架台概要	162
図 6.2.2-2	試験装置の架台上での組立状況	163
図 6.2.2-3	試験装置のケーブル連結状況	163
図 6.2.2-4	孔内応力試験装置の概要	164
図 6.2.2-5	鋼管試験の各機能検証試験作業範囲	164
図 6.2.2-6	送り込み試験システム概要	166
図 6.2.2-7	試験装置の送り込み試験結果例	167
図 6.2.2-8	送り込みでのラッチ固定による圧力上昇イメージ	168
図 6.2.2-10	ラッチ固定確認結果	169
図 6.2.2-11	ラッチ解除荷重計測概要	169
図 6.2.2-12	ラッチ解除荷重計測結果	170
図 6.2.2-13	改良した型どりパッカ	171
図 6.2.2-14	送り込み試験前の型どりパッカ	172
図 6.2.2-15	送り込み試験後の型どりパッカ	172
図 6.2.2-16	送り込み試験後の型どりチューブの展開	172
図 7.1.1-1	屈折法地震探査受発振点位置図	173
図 7.1.1-2	バイプロサイズ震源の路上発振作業(1)	175
図 7.1.1-3	GDAPS-4A による観測作業	175
図 7.1.1-4	バイプロサイズ震源の路上発振(2)	175
図 7.1.1-5	大型バイプロサイズ震源の路上発振(3)	176
図 7.1.1-6	受振器設置および測量作業	176
図 7.1.1-7	GPS による大型バイプロサイズ震源の発振点への誘導	176
図 7.1.2-1	スweep周波数テスト	177
図 7.1.3-1	VP. 49 および VP. 99 の取得データ	178
図 7.2.1-1	地表-孔井間トモグラフィデータ取得範囲	180
図 7.2.1-2	地表-孔井間トモグラフィ地表発振点、孔内受振点位置	181
図 7.2.1-3	地表-孔井間トモグラフィ記録例	182
図 7.2.1-4	ゼロオフセット VSP データ取得範囲	183
図 7.2.1-5	孔内ジオフォン記録	184
図 7.2.2-1	P 波初動読みとり例 (VP. 49)	185
図 7.2.2-2	速度モデルの設定位置	186
図 7.2.2-3	初期速度構造	186
図 7.2.2-4	直線波線インバージョン結果	187
図 7.2.2-5	直線波線インバージョン結果に対する屈折波線	187
図 7.2.2-6	最終速度構造	188
図 7.2.2-7	最終速度構造に対する屈折波線	188
図 7.2.3-1	前処理記録例	190
図 7.2.4-1	フルウェーブインバージョンの流れ	191
図 7.2.4-2	初期モデル(地表-孔井間初動走時トモグラフィ解析結果)	192
図 7.2.4-3	インバージョンで更新された速度構造	192
図 7.2.4-4	初期モデルからの更新量	192
図 7.2.4-5	HCD-3 孔跡に沿って抽出した P 波速度値	193
図 7.2.5-1	ジンバルフォン 2 成分の回転	195
図 7.2.5-2	回転後の孔内ジオフォン記録	196
図 7.2.5-3	VSP から求めた P 波、S 波区間速度	196
図 7.2.5-4	ゼロオフセット VSP 処理過程	197
図 7.2.6-1	コアから求めた P 波、S 波区間速度	198

図一覧

図 7.3.1-1	反射法地震探査受発振点位置	200
図 7.3.2-1	既存処理データ処理フロー	204
図 7.3.2-2	既存処理のマイグレーション深度断面	205
図 7.3.3-1	CRS 法の概念	206
図 7.3.3-2	NIP 波と N 波	207
図 7.3.3-3	CRS 法でのスーパーギャザーの重合	207
図 7.3.3-4	CRS 法の問題点	207
図 7.3.3-5	MDRS 法の概念	208
図 7.3.4-1	MDRS 処理フロー	210
図 7.3.4-2	第 1 CRS 断面	211
図 7.3.4-3	第 1 CRS 断面+第 2 CRS 断面	211
図 7.3.4-4	第 1 CRS 断面+第 2 CRS 断面+第 3 CRS 断面	212
図 7.3.4-5	MDRS 処理のマイグレーション深度断面	212
図 7.3.5-1	既存処理のマイグレーション深度断面(孔跡、地表地質記入)	214
図 7.3.5-2	MDRS 処理のマイグレーション深度断面(孔跡、地表地質記入)	214
図 7.3.5-3	HCD-3 孔井コアから推定される大曲断層の地質構造	215
図 7.3.5-4	マイグレーション深度断面の地質構造解釈	216
図 7.3.5-5	MDRS 断面とゼロオフセット VSP 結果の比較	216
図 8.1.1-1	マッドロギングによる取得パラメータ	223
図 8.1.1-2	NL140 ロッド先端に取り付けたシュービット(降下時・回収時)	224
図 8.1.1-3	初動フィード圧力および初動回転圧力確認状況	224
図 8.1.2-1	使用するキャリパ検層器概要	227
図 8.1.2-2	NL140 ロッドガイド管先端のキャリパ用アウトパイプの寸法図	228
図 8.1.2-3	製作した NL140 ロッドガイド管先端のキャリパ用アウトパイプ	229
図 8.1.2-4	キャリパ計測区間毎のガイド管挿入残尺検尺	229
図 8.1.2-5	キャリパ検層準備作業で配置した検層ラインレイアウト概要	230
図 8.1.2-6	キャリパ検層準備作業状況	231
図 8.1.2-7	キャリパ検層計測作業状況	233
図 8.1.2-8	キャリパ検層結果(区間①)	234
図 8.1.2-9	キャリパ検層結果(区間②)	235
図 8.1.2-10	キャリパ検層結果(区間③)	236
図 8.1.2-11	キャリパ検層結果(追加区間 A)	237
図 8.1.2-12	キャリパ検層結果(追加区間 B)	238
図 8.2.1-1	使用した保護管(NL140 ロッド)の落下防止治具	240
図 8.2.1-2	口元立ち上がり管改良の模式図	240
図 8.2.1-3	口元立ち上がり管交換状況	240
図 8.2.1-4	保護管(NL140 ロッド)の降管作業状況	241
図 8.2.1-5	保護管(NL140 ロッド)の設置状況	241
図 8.2.1-6	孔内閉塞用パッカプラグの降管作業状況	242
図 8.2.1-7	孔内閉塞用パッカプラグ設置位置の残尺検尺状況	242
図 8.1.2-8	孔内閉塞用パッカプラグ加圧用配管の取り付け状況	243
図 8.2.1-9	テンションピン切断後の同プラグ位置確認作業状況	244
図 8.2.1-10	孔内閉塞用パッカプラグ設置位置状況模式図	245
図 8.2.2-1	プレミックス材の搬入状況	246
図 8.2.2-2	揚水ポンプ(MP-1)の取り付け降下作業	247
図 8.2.2-3	先行水の送水実施状況	247
図 8.2.2-4	練上げ作業状況	248
図 8.2.2-5	セメントミルク充填材の注入進捗図	249

図一覧

図 8.2.2-6	セメントミルク充填材のモルタルポンプでの注入作業状況	250
図 8.2.2-7	硬化セメント頂部位置確認時の断面模式図	251
図 8.2.2-8	頂部深度位置確認時の検尺状況	252
図 8.2.2-9	小口径ロッド(BQ ロッド)の揚管作業状況	253
図 8.2.2-10	BQ ロッド管内に残留していたセメントミルク充填材の状況	253
図 8.2.2-11	保護管(NL140 ロッド)の揚管作業状況	254
図 8.2.2-12	製作した φ152mm 端面成形用コンポジットシュービット	256
図 8.2.2-13	φ152mm コンポジットシュービット降下開始状況	256
図 8.2.2-14	端面成形直前の洗浄降管時マッドログパラメータ	257
図 8.2.2-15	故障したダウマックスモータの取り外し作業状況	258
図 8.2.2-16	ダウマックスモータの取り付け状況	258
図 8.2.2-17	端面成形作業時のマッドログパラメータ	259
図 8.2.2-18	回収した端面成形用 φ152mm コンポジットシュービット	260
図 8.2.3-1	コア採取状況(掘削長 648.00m~653.80m 間)	263
図 8.2.3-2	サイドトラック掘削時 WL-MWD パラメータ状況(掘削長 648.00m~653.80m 間)	263
図 8.2.3-3	製作したノンコアリングビット	264
図 8.2.3-4	サイドトラック掘削時 WL-MWD パラメータ状況(掘削長 653.80m~656.00m 間)	265
図 8.2.3-5	コア採取状況(掘削長 656.00m~663.65m 間)	266
図 8.2.3-6	サイドトラック掘削時 WL-MWD パラメータ状況(掘削長 656.00m~663.65m 間)	267
図 8.2.3-7	サイドトラック掘削終了による孔井仕上げ状況	268
図 8.2.3-8	サイドトラック掘削終了時検尺写真	269
図 8.2.3-9	掘削ロッド地上検尺(2列+アウトパイプ)	269
図 8.2.3-10	検尺詳細(黒板)	269
図 8.2.3-11	掘削ツールズ地上検尺	270
図 8.2.3-12	サイドトラック掘削の跡軌跡断面	274
図 8.2.3-13	サイドトラック掘削の軌跡平面図	275
図 8.2.4-1	HCD-3 号における WL-MWD 地上装置配置図	277
図 8.2.4-2	WL-MWD 計測用システムラック	278
図 8.2.4-3	WL-MWD 計測結果(掘削長 648.00m~663.65m)	280
図 8.2.4-4	WL-MWD 計測結果出力 LOG 形式	281
図 8.2.4-5	WL-MWD 計測結果 D&I LOG (WL-MWD 深度 640.0m~655.65m)	284
図 8.2.4-6	平成 25 年度掘削と平成 19 年度掘削との計測結果比較 D&I LOG	286
図 8.2.4-7	ジャイロツールキャリブレーション概念図	287
図 8.2.4-8	ジャイロシステム用押込み補助装置の編成図	288
図 8.2.4-9	ジャイロシステムの計測準備作業状況	289
図 8.2.4-10	平成 25 年度ジャイロシステム計測結果 LOG	290
図 8.2.4-11	ジャイロ計測結果と平成 19 年度掘削区間との比較	292
図 8.2.4-12	平成 25 年度ジャイロ計測結果 孔跡図(VERTICAL VIEW)	292
図 8.2.4-13	平成 25 年度ジャイロ計測結果 孔跡図(HORIZONTAL VIEW)	293
図 8.2.5-1	孔内応力試験装置のコアリング孔内での配置状況模式図	295
図 8.2.5-2	孔内応力試験装置の試験実施時設置状況	296
図 8.2.5-3	製作した φ100mm 拡孔ビット	297
図 8.2.5-4	φ100mm 拡孔ビット装着時のコアチューブ	297
図 8.2.5-5	拡孔後に回収した φ100mm 拡孔ビット	298
図 8.2.5-6	拡孔作業による試験区間とコアリング孔の状況図	298
図 8.3.1-1	試験個所のコアおよび試験区間	300
図 8.3.1-2	室内試験によるパッカ拡張圧とパッカ径・スライド長の関係	300
図 8.3.1-3	上部パッカ設置区間におけるイメージング結果	301
図 8.3.1-4	試験区間におけるイメージング結果	301

図一覧

図 8.3.1-5	下部パッカ設置区間におけるイメージング結果	302
図 8.3.2-1	水圧試験結果：圧力の時間変化	303
図 8.3.2-2	間隙水圧測定結果	303
図 8.3.2-3	揚水時における区間圧力の変動	304
図 8.3.2-4	スラグ試験(1回目)時における区間圧力変化	305
図 8.3.2-5	スラグ試験(2回目)時における区間圧力変化	306
図 8.3.2-6	スラグ試験解析図(試験開始からの経過時間と圧力の自然対数値の関係)	306
図 8.3.3-1	採水時における原位置水質測定結果	308
図 8.3.3-2	採水時における原位置トレーサ濃度測定結果	308
図 8.4.1-1	孔内応力試験装置の搬入時の状態	310
図 8.4.1-2	孔内応力試験装置の組立状況	311
図 8.4.1-3	孔内応力試験装置の組立(ケーブル連結)状況	311
図 8.4.1-4	型どりパッカの作成(熱収縮ゴムチューブ装着)	311
図 8.4.1-5	幌延現地試験の試験装置の構成	312
図 8.4.1-6	通信試験実施状況	313
図 8.4.1-7	計測画面	313
図 8.4.1-8	AE 計測(左)とカメラ映像モニタ(右)状況	314
図 8.4.1-9	カメラ用照明点灯状況	314
図 8.4.1-10	孔内応力試験装置内への浸水状況	316
図 8.4.1-11	孔内応力試験装置の計測制御部浸水状況(左側が孔底側)	316
図 8.4.1-12	試験装置の浸水箇所の調査概要	318
図 8.4.1-13	ラッチシステムの概要	319
図 8.4.1-14	Oリングの切断	319
図 8.4.1-15	Oリングの切断原因	320
図 8.4.1-16	止水機能検証試験概要	320
図 8.4.1-17	止水機能検証試験実施状況	321
図 8.4.2-1	165mm 鋼管挿入状況	322
図 8.4.2-2	試験孔の作成手順	323
図 8.4.2-3	試験孔概要	324
図 8.4.2-4	試験装置の架台	325
図 8.4.2-5	試験装置の組立と孔内挿入手順	326
図 8.4.2-6	試験孔孔口安全対策状況	327
図 8.4.2-7	試験深度と試験装置到達深度の関係	327
図 8.4.2-8	熱収縮ゴムチューブの装着概要	331
図 8.4.2-9	水圧破碎試験前孔壁確認のための型どり実施状況	331
図 8.4.2-10	水圧破碎試験前型どりの圧力-時間曲線	332
図 8.4.2-11	水圧破碎試験前型どり結果	332
図 8.4.2-12	水圧破碎試験実施状況	334
図 8.4.2-13	水圧破碎試験地上部 PC 計測状況	334
図 8.4.2-14	孔内低水圧(0.5MPa)下での水圧破碎試験結果	335
図 8.4.2-15	孔内高水圧(4.5MPa)下での水圧破碎試験結果	337
図 8.4.2-16	AE(左)とカメラ(右)の計測状況	338
図 8.4.2-17	試験中の孔口周辺からの漏水状況	338
図 8.4.2-18	水圧破碎試験後型どりの圧力-時間曲線	340
図 8.4.2-19	水圧破碎試験後型どり結果(孔口から孔底側を見た)	340
図 8.5.1-1	HCD-3 孔における現地適用性評価試験の流れ	342
図 8.5.2-1	現地適用性評価試験実施深度(計画)	343
図 8.5.3-1	火工品組み立て図	345
図 8.5.3-2	装薬治具編成図	345

図一覧

図 8.5.3-3	火工品組み立て状況	346
図 8.5.3-4	装薬状況	346
図 8.5.3-5	発破後の装薬治具状況	347
図 8.5.3-6	カプセルの残滓状況	347
図 8.5.3-7	発破後の装薬治具状況	348
図 8.5.3-8	押し込み耐力試験状況	349
図 8.5.3-9	発破後の装薬治具状況	349
図 8.5.3-10	発破後の装薬治具状況	350
図 8.5.3-11	火工品組み立て状況	351
図 8.5.3-12	装薬状況	352
図 8.5.3-13	発破後の装薬治具状況	352
図 8.5.3-14	発破後の装薬治具状況	353
図 8.5.4-1	電動カッター編成図	355
図 8.5.4-2	NL140 ロッド切断試験時のシステムモニタ画面の模式図	356
図 8.5.4-3	NL140 ロッド切断試験 CCL 計測結果(切断位置：掘削長 259.5m)	357
図 8.5.4-4	電動カッター組み立て状況(1 回目)	358
図 8.5.4-5	電動カッター設置状況(1 回目)	358
図 8.5.4-6	電動カッター切断状況(1 回目)	359
図 8.5.4-7	切断試験後の電動カッター状況(1 回目)	359
図 8.5.4-8	NL140 ロッド切断試験 CCL 計測結果(切断位置：掘削長 218.0m)	360
図 8.5.4-9	電動カッター組み立て状況(2 回目)	361
図 8.5.4-10	電動カッター設置状況(2 回目)	361
図 8.5.4-11	電動カッター切断状況(2 回目)	362
図 8.5.4-12	切断試験後の電動カッター状況(2 回目)	362
図 8.5.4-13	BHTV 検層(2 回目切断部)結果	363
図 8.5.5-1	BHTV 検層測定概念図	366
図 8.5.5-2	反射波概念図	366
図 8.5.5-3	キャリブレーター(FLUID VELOCITY ADAPTER)	367
図 8.5.5-4	BHTV ツール編成図	367
図 8.5.5-5	ケーシングにおける音波の反射	368
図 8.5.5-6	BHTV 検層(1 回目拡管部)結果(その 1)	369
図 8.5.5-7	BHTV 検層(1 回目拡管部)結果(その 2)	370
図 8.5.5-8	BHTV 検層(1 回目拡管部)結果(その 3)	371
図 8.5.5-9	BHTV 検層(2 回目拡管部)結果(その 1)	372
図 8.5.5-10	BHTV 検層(2 回目拡管部)結果(その 2)	373
図 8.5.5-11	BHTV 検層(2 回目拡管部)結果(その 3)	374
図 8.5.5-12	BHTV 検層(3 回目拡管部)結果(その 1)	375
図 8.5.5-13	BHTV 検層(3 回目拡管部)結果(その 2)	376
図 8.5.5-14	BHTV 検層(3 回目拡管部)結果(その 3)	377
図 8.5.5-15	BHTV 検層(4 回目拡管部)結果(その 1)	378
図 8.5.5-16	BHTV 検層(4 回目拡管部)結果(その 2)	379
図 8.5.5-17	BHTV 検層(4 回目拡管部)結果(その 3)	380
図 8.5.5-18	BHTV 検層(6 回目拡管部)結果(その 1)	381
図 8.5.5-19	BHTV 検層(6 回目拡管部)結果(その 2)	382
図 8.5.5-20	BHTV 検層(6 回目拡管部)結果(その 3)	383
図 8.5.6-1	現地適用性試験実施深度(実績)	384
図 8.5.7-1	実孔井(HCD-3 孔)模式図(適用性試験後)	386
図 8.5.7-2	孔内モニタリングシステム設置位置図	387
図 8.5.7-3	清水置換作業状況(1)	388

図一覧

図 8.5.7-4	清水置換作業状況(2)	388
図 8.5.7-5	資材準備状況(1)	389
図 8.5.7-6	資材準備状況(2)	390
図 8.5.7-7	資材準備状況(3)	390
図 8.5.7-8	資材準備状況(4)	390
図 8.5.7-9	設置前孔井状況	394
図 8.5.7-10	設置作業状況(1)	395
図 8.5.7-11	設置作業状況(2)	395
図 8.5.7-12	設置作業状況(3)	395
図 8.5.7-13	孔内モニタリングシステム設置完了	396
図 8.5.7-14	孔口から見たスタンドパイプの配置	396
図 8.5.7-15	パッカおよびパッカラインの接続	398
図 8.5.7-16	パッカ拡張に伴いパイプ(GL+0.795m)の口まで達した孔内水	399
図 8.5.7-17	ミニパッカおよび重錐を接続したスタンドパイプ内圧力センサ	401
図 8.5.7-18	スタンドパイプ内圧力センサ設置作業	401
図 8.5.7-19	地表付近の凍結防止作業	401
図 8.5.7-20	孔内モニタリングシステム観測値(間隙水圧)H26.2.22~H26.3.11.	403
図 8.5.7-21	孔内モニタリングシステム観測値(パッカ圧力値)H26.2.22~H26.3.11.	403
図 8.5.7-22	孔内モニタリングシステム観測値(大気圧・気温)H26.2.22~H26.3.11.	404
図 9.1.1-1	「掘削・調査データ統合化システム」の構成	407
図 9.1.2-1	登録済みデータ閲覧・表示機能確認状況(HCD-3 孔跡図)	409
図 9.1.2-2	新規データベース(平成 25 年度用)作成状況	409
図 9.1.2-3	メール配信(「工事進捗状況報告」)確認画面状況	410
図 9.1.2-4	システムの設置前状況	411
図 9.1.2-5	システムの設置作業状況	411
図 9.1.2-6	システムの設置後状況	411
図 9.1.2-7	システム運用状況(全景)	412
図 9.1.2-8	システム運用状況(外付け HDD と UPS)	412
図 9.1.2-9	システムの動作確認状況(コア写真登録画面)	413
図 9.1.3-1	我孫子地区”管理用 PC”設置状況	415
図 9.1.3-2	管理用 PC を用いたメンテナンス作業実施状況	416
図 9.1.3-3	平成 24 年度に同様の動作不良が発生した際の表示画面	422
図 9.1.3-4	システムの撤去後状況	425
図 9.2.1-1	サンプリング処理の影響(ビット荷重)	427
図 9.2.1-2	サンプリング処理の影響(排水量)	428
図 9.2.1-3	ノイズ除去処理前後のデータの比較	430
図 9.2.1-4	HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ(ビット荷重)	431
図 9.2.1-5	HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ(トルク)	431
図 9.2.1-6	HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ(外圧)	431
図 9.2.1-7	HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ(内圧)	431
図 9.2.1-8	HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ(孔内温度)	432
図 9.2.1-9	HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ(ツール内温度)	432
図 9.2.1-10	HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ(圧力差)	432
図 9.2.1-11	HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ(温度差)	432
図 9.2.1-12	HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(トルク)	433
図 9.2.1-13	HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(掘進率)	433
図 9.2.1-14	HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(ポンプ圧)	433
図 9.2.1-15	HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(排水量)	433

図一覧

図 9. 2. 1-16	HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(送水温度)	434
図 9. 2. 1-17	HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(排水温度)	434
図 9. 2. 1-18	HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(温度差)	434
図 9. 2. 1-19	逸水区間 1・2 における外圧	436
図 9. 2. 1-20	逸水区間 1・2 におけるビット荷重	436
図 9. 2. 1-21	逸水区間 1・2 におけるトルク	436
図 9. 2. 1-22	逸水区間 1・2 における圧力差	436
図 9. 2. 1-23	逸水区間 1・2 における排水量	438
図 9. 2. 1-24	逸水区間 1・2 における排水温度	438
図 9. 2. 1-25	逸水区間 1・2 におけるポンプ圧力	438
図 9. 2. 1-26	送水量で基準化した排水量の逸水箇所での挙動	438
図 9. 2. 2-1	HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ(ビット荷重)	440
図 9. 2. 2-2	HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ(トルク)	440
図 9. 2. 2-3	HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ(外圧)	440
図 9. 2. 2-4	HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ(内圧)	440
図 9. 2. 2-5	HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ(孔内温度)	441
図 9. 2. 2-6	HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ(ツール内温度)	441
図 9. 2. 2-7	HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ(圧力差)	441
図 9. 2. 2-8	HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ(温度差)	441
図 9. 2. 2-9	HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(掘進率)	442
図 9. 2. 2-10	HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(ポンプ圧)	442
図 9. 2. 2-11	HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(排水量)	442
図 9. 2. 2-12	HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(送水温度)	442
図 9. 2. 2-13	HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(排水温度)	443
図 9. 2. 2-14	HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(温度差)	443
図 9. 2. 2-15	逸水箇所周辺での WL-MWD 外圧データの挙動(HCD-1 孔井)	445
図 9. 2. 2-16	掘削長 205m 付近での孔内温度の低下(HCD-1 孔井)	446
図 9. 2. 2-17	逸水箇所周辺での泥水検層排水量データの挙動(HCD-1 孔井)	447
図 9. 2. 2-18	逸水箇所でのポンプ圧力の低下の例(HCD-1 孔井)	448
図 9. 2. 2-19	逸水箇所での泥水温度の挙動(掘削長 300m~350m)	448
図 9. 2. 3-1	静水圧の影響を除いた WL-MWD 外圧データ(HCD-1・2 孔井 掘削長 200m~547m)	451
図 10. 4. 5-1	適用性試験実施計画位置(左)と実施位置(右)	477

表一覧

表 4.1.6-1	「ボーリング調査技術の確証」検討委員会委員一覧	56
表 4.5.5-1	HCD-3 孔モニタリング対象区間(計画区間)	66
表 5.1.2-1	セメント充填材使用材料の性能と要求品質	76
表 5.1.2-2	分離抵抗性確認時のベントナイト水溶液の配合	78
表 5.1.2-3	各プレミックス材の圧縮強度試験結果	80
表 5.1.2-4	マックス AZ の配合選定試験結果	82
表 5.1.2-5	流動性事前確認試験での充填材の経時変化	86
表 5.1.2-6	圧送性の検討に用いた水中ポンプ仕様	88
表 5.1.2-7	流動性確認試験でのフレッシュ性状と圧縮強度	91
表 5.1.2-8	流下状況確認時のホoppaからの吐出量	92
表 5.1.2-9	流動状況および硬化状況の確認時の型枠内打設高さ	93
表 5.1.2-10	モルタルポンプを用いた水平方向へ吐出量計測結果	95
表 5.1.2-11	流動性と硬化状況確認結果	99
表 5.1.3-1	平成 23 年度ジャイロ計測結果(掘削長 648m~700m 間:2m 毎)	102
表 5.1.3-2	サイドトラック掘削の計画軌跡座標	104
表 5.1.3-3	サイドトラック掘削計画と既存孔との乖離距離	105
表 5.1.4-1	埋め戻しに使用するプレミックス材の配合	111
表 5.1.4-2	準備する充填材容量	111
表 5.1.4-3	注入対象区間 10m 毎の充填材吐出量の推定値	113
表 5.1.4-4	注入対象区間から掘削長 650m 地点までの注入管の揚管時間	114
表 5.1.4-5	吐出先端位置毎のセメンチング作業必要時間	114
表 5.1.5-1	実測したテンションピンの破断荷重	132
表 6.1.1-1	改良したダブルパッカシステム仕様	134
表 6.2.1-1	通信機能確認試験内容一覧	146
表 6.2.1-2	ウィークポイント切断荷重検証のためのボルト組み合わせ	155
表 6.2.1-3	切断荷重検証結果一覧	156
表 6.2.2-1	試験内容一覧	161
表 7.1.1-1	屈折法地震探査観測仕様一覧	174
表 7.2.1-1	トモグラフィ解析対象データ	179
表 7.2.1-2	地表-孔井間トモグラフィ観測仕様一覧	180
表 7.2.1-3	ゼロオフセット VSP 観測仕様一覧	183
表 7.2.2-1	速度モデルの作成範囲(GRS80, TM12)	185
表 7.2.4-1	インバージョン対象周波数	192
表 7.3.1-1	反射法地震探査 Line1 観測仕様一覧	199
表 7.3.2-1	F-X 予測フィルター処理	202
表 7.3.2-2	時間により可変の零位相帯域通過フィルター	203
表 7.3.2-3	CMP 測線の端点・折れ曲がり点(GRS80, TM12)	203
表 8.1.1-1	HCD-3 孔における現地適用試験の工程表	219
表 8.1.1-2	孔内洗浄実施区間	221
表 8.1.1-3	取得データによる初動フィードおよび初動回転圧力一覧	221
表 8.1.2-1	孔内モニタリング対象位置区間(計画)	225
表 8.1.2-2	キャリバ検層の実施区間を示す。	226
表 8.1.2-3	NL140 ガイド管の挿入長	228
表 8.2.2-1	セメントミルク充填材を用いたセメンチング作業実施記録	248
表 8.2.3-1	WL-MWD で計測したサイドトラック掘削実績軌跡座標	272

表一覧

表 8.2.3-2	サイドトラック掘削後に計測したジャイロ測定軌跡座標	272
表 8.2.3-3	既存孔とサイドトラック掘削による乖離距離	273
表 8.2.4-1	WL-MWD 計測工程一覧	276
表 8.2.4-2	サイドトラック掘削編成と深度 (WL-MWD LOG)	279
表 8.2.4-3	WL-MWD 計測データ出力 LOG のデータ項目一覧	281
表 8.2.4-4	掘削編成と孔井傾斜・孔井方位および増角率・変位率 (D&I LOG)	283
表 8.2.4-5	本年度サイドトラック掘削区間と平成 19 年度掘削区間との比較	285
表 8.2.4-6	平成 25 年度ジャイロシステム計測結果	289
表 8.2.4-7	ジャイロ計測結果と平成 19 年度掘削区間との比較	291
表 8.3.3-1	採水試料の水質分析結果	309
表 8.4.1-1	地上通信機能検証項目	313
表 8.4.1-2	孔内応力試験装置の現地適用性検証項目一覧(2012 年度と 2013 年度)	321
表 8.4.2-2	読みとり結果一覧	336
表 8.5.4-1	電動カッターの仕様一覧	354
表 8.5.5-1	使用機材一覧	364
表 8.5.7-1	孔内モニタリングシステムケーシングログ(1)	391
表 8.5.7-2	孔内モニタリングシステムケーシングログ(2)	392
表 8.5.7-3	孔内モニタリングシステムケーシングログ(3)	393
表 8.5.7-4	設置区間-深度一覧表	397
表 8.5.7-5	パッカ圧力の時間変化	397
表 8.5.7-6	パッカ拡張後のスタンドパイプ内水位の変化	400
表 8.5.7-7	孔内モニタリングシステムによるデータ取得項目	402
表 9.1.3-1	マッドログ登録データの項目一覧	414
表 9.1.3-2	外部レンタルサーバ作業内容と DBSERV 作業内容	417
表 9.1.3-3	ソフトウェアアップデートによるインストールファイルの一覧(1)	418
表 9.1.3-4	ソフトウェアアップデートによるインストールファイルの一覧(2)	419
表 9.1.3-5	システムに対する不正アクセス記録一覧(1)	420
表 9.1.3-6	システムに対する不正アクセス記録一覧(2)	421
表 9.1.3-7	システム不具合の内容と原因・対策	424
表 10.2.2-1	通信確認結果一覧	459
表 10.2.2-2	鋼管試験検証結果一覧	460
表 10.4.4-1	地上通信機能検証項目	471
表 10.4.4-2	水圧破碎試験結果一覧	472
表 10.4.4-3	現地適用性試験の検証結果一覧	475

巻 末 資 料

コントロールボーリング掘削・調査技術の体系化

ーコントロールボーリングによる掘削・調査の基本的考え方ー(案)

1. 目的

高レベル放射性廃棄物処分などの地下空間利用に際しては、対象とする岩盤の地質、物理、力学、水理、地化学特性を評価することが必要不可欠であり、地下深部のこれらの特性を評価するためには、調査初期にボーリングによる調査を計画地になっている。ボーリング掘削に際しては、地形や地質条件によってはボーリングの孔跡、すなわち方位や傾斜を自由に制御する必要が生じる。

数少ないボーリング調査による、効率的な調査を実施するために必要な、方位・傾斜を自由に制御する手法は、既存の掘削では一般にコアを採取することは行われていない。特に小口径孔におけるコントロールコアリング技術には既存技術がないため、堆積性軟岩を掘削調査するための重要な要素である「フルコア採取」技術と、孔心制御(コントロール)を両立したボーリング技術の確立は不可欠である。また、硬岩と比較して軟岩を地表から低角度で掘削する場合には、孔壁崩壊などの地質要因から発生するトラブルを防ぐために、掘削と同時に孔壁保護のための保護管(ケーシングパイプ)を挿入する必要がある。しかし、ケーシングパイプ挿入後には、孔内検層や孔内における地化学特性などの物性値を測定することが困難となる。このため、コア採取ができるコントロールドリリング掘削技術、および掘削中の裸孔部を用いた検層や孔内測定技術の開発が急務となっている。また、ボーリングによる調査においては、断層破砕帯のような崩壊層や破砕帯、さらには逸泥層に遭遇する可能性を想定して、対応可能な技術を開発することで、ターゲットとする対象地域の選択の幅を広げることができると考えられる。そのためにも、掘削が困難な地質条件にも対応可能な工法の検討を進めるとともに、掘削装置、治具、調査危機の高度化を進めることは重要な要素と位置づけられる。

本研究は、高レベル放射性廃棄物処分場の概要調査地区選定、および精密調査地区選定段階でのボーリング掘削技術、および孔内における各種調査技術の開発に主眼をおいて実施するものである。すなわち、各段階において地質・地下水調査を行うための効率的なボーリング掘削技術や、掘削した孔井内での地質・地下水調査技術を開発する。特に、①ボーリングの方位・斜を自由に制御する技術、②ボーリング先端の3次元位置を探知する技術、③原位置雰囲気のコアを採取する技術、④掘削とあわせて検層や測定を可能にする技術、⑤掘削後の地下水環境のモニタリング技術、⑥掘削後の孔井内を利用した物理探査技術などを開発、もしくは高度化し、それらの適用性を検討するとともに、水理地質構造調査手法として体系化するものである。

2. 研究開発の経緯

本年度は、フェーズ3として設定した6カ年のうち6年目として、各種要素技術の研究開発が実施される計画である。

ここでは、本研究の開発経緯として、フェーズ1とフェーズ2の研究開発における成果概要、課題、およびフェーズ3の目標と全体計画を取りまとめ報告する。

2.1 フェーズ1の研究成果の概要

フェーズ1として、平成12年度～平成16年度の期間に実施した研究開発の概要、実施した各要素技術の開発成果と、工場試験および現地試験で得られた研究成果について取りまとめる。

2.1.1 フェーズ1(5カ年)の研究開発概要

本研究開発は、高レベル放射性廃棄物処分場の予定地選定、および処分地選定でのボーリング掘削技術と孔内での各種調査技術の開発を主眼としている。これらの技術を開発または試作し、総合システム化することにより、水理地質構造調査手法としての体系化を目標としている。本研究で開発または試作した装置を用いて実施する現地適用性評価の最終目標は、堆積性軟岩地域において垂直深度500m、掘削長1,000mの孔井を掘削することと、さらに、その孔井内において各種調査試験を実施することである。

フェーズ1で実施した研究は、総合システムを構成する4つの要素技術(①孔井曲げ掘削技術、②先端探知技術、③コア採取技術、④孔内計測技術)に必要な主要装置の開発を実施すること、さらに、①～③で構成する掘削システム(コントロール掘削技術)で模擬孔井掘削および堆積性軟岩地域の現地適用試験を実施することであった。④の孔内計測技術は、キー技術として分類される検層技術、水理・モニタリング技術、力学・応力技術のうち、検層技術および水理・モニタリング技術の一部を現地適用試験サイトにおいて適用し、評価・確認を実施することを目標とした。

以下、フェーズ1の5カ年間で実施した概要を年度別に取りまとめる。

研究開発は平成12年度を初年度としてスタートした。初年度は、目標とするシステム概念に対して類似した既存技術の有無を国内外の技術から探索し、①～④の要素技術を構築するために必要な主要装置の抽出、開発計画の立案、開発の可能性の検討および一部装置の設計・試作・試験を実施した。

2年目(平成13年度)には、掘削・調査システム構築に必要な要素技術を構成する主要な装置(キー技術)について、設計・試作・工場試験を実施し、3年目以降に計画されている実掘削適用に向けて各要素技術の構成に必要な装置の開発を実施した。

3年目(平成14年度)からは、現地試験サイトでの掘削システム適用に向けた準備として、模擬孔井の掘削を実施した。堆積性軟岩を模した模擬孔井を掘削することで、①+③の要素技術で構成したサブシステムの適用性評価を実施した。また、現地適用試験を実行するために必要となる掘削管理システムおよび掘削マニュアルの原案作成のための検討を開始した。②および④の要素技術については、キー技術を構成する主要装置の設計・試作を継続して行い、適用試験サイトにおける孔内計測の準備を進めた。

4年目(平成15年度)は、堆積性軟岩地域における現地適用試験実施を目標に研究開発を行った。掘削システムの開発として、平成14年度に適用したサブシステムの評価を実施し、模擬孔井に①+②+③の要素技術で構成する掘削サブシステムを適用させた試験を行い、実岩盤掘削に対する有効性を確認した。また、現地適用試験サイトとして選定した幌延町(北進地区)でコントロールボーリング掘削の現地適用試験を開始した。現地適用試験では、調査システムを構成するキー技術のうち、試作が終了した掘削時検層装置(WL-LWD)、透水試験・採水・イメージング装置の孔内での動作確認を実施した。

フェーズ1の最終年度(平成16年度)は、平成15年度に引き続き①+②+③で構成される掘削サブシステムでの現地適用性評価を実施した。また、平成15年度孔内にて動作確認した④のキー技術からは、検層技術の主要装置であるWL-LWDを統合した掘削システムを部分的に適用し、透水試験・採水・イメージング装置は3箇所孔内計測作業を実施した。その他キー技術は、フェーズ2以降の適用に向けた工場試験・高度化を進めた。

平成14年度以降では新たに検層測定技術のキー技術として「モニタリング技術」を加えた調査システムを検討し、掘削されたボーリング孔を用いた地下水水質・地盤透水性の長期的に観測のための技術開発と位置付け追加した。

図2.1.1-1にフェーズ1の年次別実施フローを示す。

		H12	H13	H14	H15	H16
コントロール掘削技術の実用化						
掘削システム	孔曲げ掘削技術	サブシステムの開発構築			総合システム構築	現地適用試験掘削 (HCD-1) (HCD-2)
	コア採取技術	サブシステムの開発構築				
	先端探知技術	サブシステムの開発構築				
検層・測定技術の実用化						
検層	WL-LWD検層技術	システムの開発構築			現地適用性確認	
	透水・採水技術	システムの開発構築			現地適用性確認	
モニタリング	孔内モニタリング技術	孔内パッカーシステムの基本設計				
力学・応力	力学測定技術	成立性の検討および開発				
	応力測定技術	成立性の検討および開発				
掘削・調査技術体系化						
	掘削管理システム				マニュアル作成	
	掘削・調査データ統合化				データベース構築	

図 2.1.1-1 フェーズ1年次別実施フロー

2.1.2 フェーズ1(5ヵ年)の研究成果

研究開発は、総合システムを構成する4つの要素技術(①孔井曲げ掘削技術、②先端探知技術、③コア採取技術、④孔内計測技術)について国内文献調査および海外技術動向調査を行い、必要となるキー技術の探索からスタートした。探索した技術の中から、開発が可能であると考えられるキー技術を抽出し、要素技術により構成するコントロール掘削・調査技術の概念を構築することで、必要となる技術の開発を行った。

フェーズ1では、キー技術を確立するために必要となる主要装置を試作した後に、工場試験により高度化することで、掘削技術および調査技術の検層技術と透水・採水技術について、現地適用試験サイトで適用性の評価を実施できた。また、その他の調査技術であるモニタリング技術、力学測定技術、応力測定技術については、フェーズ2での主要装置の適用性評価を目標とした基本設計および成立性の検討を実施できた。

以下に、フェーズ1における研究成果について、①掘削・調査システムの概念構築、②システムを構成する要素技術に必要な主要装置、③試験サイトにおける適用評価、および④システム化に向けた調査技術の開発に大別し取りまとめる。

2.1.2.1 掘削・調査システムの概念構築における研究成果

研究開発は、①文献調査、②コントロール掘削・調査の概念構築、③システム化のための要素技術を構成する主要装置の開発・試験、④適用性の確認の4つの流れで実施した。

文献調査として、構成する4つの要素技術の現状をレビューするために国内における石油および金属鉱床分野での文献調査、海外技術の動向を認識するための動向調査を実施し、本研究で適用させるために必要なキー技術の探索を実施した。

また、探索したキー技術を開発・高度化することで実現可能と考えられる「コントロール掘削・調査技術」の概念を構築することで、システム化に向けた2つのシステム編成の概念設計ができた。

構築した2つのシステム編成は”コントロール掘削を実施するために必要な機能を集めたもの”と”調査を実施するために必要な機能を集めたもの”に分けた。

前者に該当するものは、先端駆動方式のモータと掘削時計測装置(WL-MWD)を併用するリアルタイムコントロール機能に連続コアリングを加えたものである。一方、後者に該当するものは、ワイヤライン方式で原位置測定が可能となる機能を有したものである。

この2つを統合化することで完成するコントロールボーリングシステムの体系化を目指すことを決定した。

次ページに2つのシステム編成を示す。

① ワイヤライン式ケーシング追従型コントロールコアリング検層(掘削システム)

構成システム：コントロールコアリング工法

ワイヤライン式ケーシング追従工法

ワイヤライン式掘削検層システム

主な機能：堆積性軟岩掘削に必要な孔壁保護機能

ボーリングの孔跡を自由に制御する機能

コア掘削機能

掘削中の裸孔検層機能

② ワイヤライン式孔内原位置測定(孔内計測システム)

構成システム：ケーシング追従

ワイヤライン式原位置測定システム

主な機能：裸孔部測定機能

ワイヤライン機能

ケーシング内の装置昇降機能

2.1.2.2 システムを構成する要素技術に必要な主要装置に関する研究成果

フェーズ1では、これらのシステム体系化のために必要な主要装置の開発を主体とした。また、原位置測定実現のためには、コントロール掘削技術の確立が必要不可欠であることから、掘削に関連するキー技術は現地試験による適用性評価を求められた。

コントロール掘削技術に必要な要素技術には、「孔井曲げ掘削技術」・「先端探知技術」・「コア採取技術」があり、それぞれを構成するために必要な主要装置の開発を実施した。さらに、掘削技術を統合するために必要な「掘削に必要な共通技術」についての開発も行った。

また、孔内計測技術に必要なキー技術としては、「検層技術」・「透水・採水技術」・「孔内モニタリング技術」・「力学測定技術」・「応力測定技術」がある。

以下に、各要素技術およびキー技術で試作した主要装置の開発概要をまとめる。

「孔井曲げ掘削技術」として開発・高度化した主要装置は、ダウンホールモータ(以降DHM)、水圧式拵径装置、ケーシング(NL140 ロッド)追従装置、ケーシング(NL140 ロッド)、試錐機である。

DHMは先端駆動方式の掘削には必要不可欠な装置であるとともに、コントロール掘削のために必要な方向を決定させるツールである。

開発においては短尺化を前提として、全長が2.0mの長さでの改良を目標として実施された。短尺化による掘削中のトルク不足を補うための補助装置として減速装置も開発している。

水圧式拡張装置は、コア採取により形成されたコアリング孔径(φ89mm)を追従ケーシング(NL140 ロッド)が通過可能な孔径(φ152mm)に拡張するツールである。また、ケーシング(NL140 ロッド)の揚降管作業を行わずに水圧式拡張装置の拡張ビットの交換が行える拡張可能な構造となっている。さらに、セットビスによる分水機構を設けることでコアチューブ側への送水量の調整を可能としている。

ケーシング追従装置は、内アップセット構造で試作された追従ケーシングと掘削に使用される掘削ツールを接続するための装置として試作された。追従装置とケーシングはラッチ機構により接続される。この機構は透水試験・採水・イメージング装置にも採用され、現地適用試験での動作確認が行われた。また、その他の補助装置も開発され、ケーシングパイプを自動で着脱することが可能なロッドハンドリング装置、機械の起倒を試錐機の油圧ユニットを利用することで実施可能にした油圧起倒装置、リボリング時に装置の方向傾斜の暫定的な計測を行うリボリング用掘削装置などを開発した。

「先端探知技術」として開発された WL-MWD は、傾斜・方位センサにより、装置の傾斜および方位の計測が可能である。また、計測データの連続的な軌跡により垂直深度および水平距離を算出できる。また、掘削中の荷重、トルク、温度、圧力をリアルタイムモニタリングすることで、掘削状況や地質状況の変化を初期段階で確認することができる。これらのパラメータは地上装置により集積され、掘削毎にファイル化されて、掘削計画を行う際に大きな指針とすることが可能である。また、掘削データの深度同期を実施するために試錐機にエンコーダを取り付けた。

「コア採取技術」として開発・高度化された主要装置は、コアチューブと掘削用泥水である。コアチューブは3重管構造で構成され、掘削用泥水がボーリングコアに接触することを極力抑える。さらに、採取したボーリングコアはインナーチューブ内側に収納されるアクリルパイプ内に採取される。

掘削用泥水に関しては、基本泥水となる泥剤を選定し基本組成を選定できた。泥水組成の配合比を増減することで地質に合わせた状態を維持しながら使用した。

また、上記要素技術を統合化するために必要となる掘削に必要な共通技術として、アーマードケーブルおよびGFRP ロッドケーブルを試作した。これらのケーブルは、取得情報を地上に伝達する”通信ケーブル”と”巻き上げ/巻き下げ作業”のためのワイヤラインに使用する。また、それぞれに専用のウインチを試作開発した。ウインチには巻き上げ/巻き下げ作業にあわせて概略深度を地上に伝達するエンコーダ、データの変換基盤および乱捲き防止のケーブルトラバーサを取り付けた。さらに、各ケーブルと各種装置をジョイントするためのケーブルヘッドについても試作した。

「検層技術」として開発された WL-LWD には、プローブ内に4種類の検層を可能にするセンサ類が組み込まれている。これらセンサにより掘削中の裸孔部において”音波検層”・”電磁波検層”・”マイクロ電気検層”・”自然ガンマ検層”の実施を可能とした。掘削中に使用する検層装置として開発を進めるため、音波検層では発振器、受振器および電気回路基板などを小型化した。電磁波検層に関しては、インパルス電磁波が使用可能な広帯域アンテナにより、板状ダイポールアンテナを応用した

薄型ユニットを試作した。電気検層においては、薄層などの細かい地層変化を捉えるため、マイクロ電気検層を採用して、泥水浸透領域の測定のため泥水電極も試作した。自然ガンマ線検層では、小型な測定回路部と、放射線検出部の製作のため、振動や衝撃に耐えうる放射線検出器部の実装方法を検討した結果、ヨウ化セシウム結晶と光電子増倍管を用いたセンサの試作を行った。

「透水・採水技術」は、泥水環境の傾斜～水平孔裸孔区間で使用可能な装置として開発が行われた。本装置はユニット別に開発し、イメージングユニット、透水試験ユニット、採水ユニット、コントロールユニット、地上制御ユニットを統合することで「透水試験・採水・イメージング装置」となる。

イメージングユニットでは、光学系のカメラにより前方映像および360°の側面映像を観察することができ、先端部はショックアブソーバにより2tまでの応力に耐えることができる。

透水試験ユニットは、掘削用泥水により拡張し、遠隔操作により拡張制御可能なインテリジェントパッカ、試験区間内からの湧水流量、水理試験および採水時の揚水流量を把握できるフローメータ、流路の変更を実現するバルブ、パッカ拡張・水理試験・採水作業を実施する際に流量調整可能なモノポンプ、試験装置をパイプに固定するラッチの各サブユニットにより構成される。

採水ユニットは、水質モニタリングにより採水タイミングを図るケミカルセンサ、希ガス分析用チャンバ、3Lの採水容器を搭載する水質分析用チャンバを有している。

コントロールユニットは、装置の制御および通信を行うための機能が搭載されている。地上制御ユニットはプローブに電源を供給し、プローブの各センサ情報を表示取得するロガーで構成される。

「孔内モニタリング技術」では、パッカシステムのため基本設計を行い、孔内パッカの開発および技術の適用に必要な各要素技術の検討を実施した。孔内パッカの開発においては”インフレーターパッカ”と”ピース式パッカ”の2種類を選定して、それぞれに関する比較検討により、パッカシステムの適用には、インフレーターパッカの採用が有利と判断した。さらに必要な要素技術として、ケーシング荷重保持のための火薬による拡張、拡張後のケーシングとパッカの接続方法、ケーシングの切断方法についての検討を実施した。

「力学測定技術」に必要な主要装置として、孔内せん断試験装置および孔内載荷試験装置の開発を実施している。

孔内せん断試験装置では、模型実験、数値解析、室内要素試験の実施により提案した新しい試験方法が、せん断試験としての成立性が高いと確認できた。

孔内載荷試験装置は、既存試験装置を参考にしたシステムに適用可能な掘削環境・試験条件を満たす試験装置の開発を行った。精度の高い計測のため、渦電流方式の非接触型変位計を選定して、小型化・耐圧加工することにより載荷装置を試作した。さらに、モルタルによる人工岩盤を用いた実証試験、掘削実験の実施により、室内要素試験と同程度の値を得ることが可能であると判断できた。

「応力測定技術」の応力測定装置は、水圧破碎を行う水圧破碎サブユニット、亀裂の力学的な開口特性を計測する亀裂計測サブユニット、および高圧ポンプの制御パーツ、計測・通信・制御サブユニット、および水タンクより構成される。

亀裂計測サブユニットの亀裂挙動の計測のため、主パーツである電極パッカの試作・性能試験を実施し、孔壁面の電極間抵抗変化から、孔壁亀裂の力学的な開口特性を連続計測する方法を開発した。

また、水圧破碎サブユニットでは水圧破碎パッカの概略設計を、計測・通信・制御サブユニットでは、最大圧力 30MPa のプランジャー型ポンプを設計・試作した。

2.1.2.3 試験サイトにおける適用評価

適用試験は、システム化のための要素技術を構成する主要装置評価を目的として行われた。フェーズ1における適用試験は、平成14年度と平成15年度に模擬孔井で実施し、平成15年度と平成16年度は、比較的均質な泥質岩が卓越する北海道の幌延町北進地区において実岩盤掘削を行った。

模擬孔井は、泥岩を模擬するため砂・粘土・セメント系固化剤を配合した人工模擬岩盤であり、傾斜角 60° で掘削長 80m の孔井に掘削長 50m までケーシングを挿入して作成した。

模擬孔井では孔井曲げ掘削技術、コア採取技術、および先端探知技術の要素技術による掘削サブシステムでの掘削を行い、掘削とコアの採取状況、方位・傾斜計測状況などの適用性を評価した。掘削においては DHM の回転トルク不足、コア詰まり発生が確認されたが、改良による解消を図ることができた。また、先端探知技術である WL-MWD でのコントロール制御による掘削により、方向制御のためのハンドリング手順を整理した。ボーリングコア採取に関しては、ほぼ 100% のコア採取率を達成することができた。

平成15年度の現地適用試験では、WL-MWD を含む掘削サブシステム(編成: コアチューブ+水圧式拵径装置+DHM+WL-MWD+ラッチ+ケーシング)で掘削作業を実施した。掘削は、掘削長 150m~200m 間の沿角(非コントロール)コアリング掘削と、小径(2-7/8")の DHM を使用したベント作用がない環境での沿角コアリング掘削を行い、それぞれの環境下での掘削状況を確認した。ベントが作用しない状態での掘削は、掘削方位が計画から大きく逸脱することを確認した。これ以降の掘削は、コントロール掘削により掘削長 290.30m までの掘削を行った。掘削区間においては DHM のベント角度とコアチューブの長さを変更することで、掘削ツール別のコントロール指向性を確認した。試験ではコアチューブの長さに因らず、ベント角度が 0.39° の場合、満足な増角率を得ることができなかった。また、0.78° のベント角度により実施した結果では、全長が 1.55m のコアチューブで 1.52° /10m、全長が 3.55m のコアチューブで 0.75° /10m の増角率を得ることができた。

掘削終了後は、仮ケーシングの引き抜き後、セメンチングにより 8"ケーシングパイプ底部まで埋め戻しを行った。

平成 16 年度の適用試験は、リボリング用掘削装置を使用して平成 15 年度注入したセメンチング区間の浚渫、油井用鋼管(7" ケーシング)の挿入、ケーシングセメンチングおよびリボリングを実施してコントロールコアリングを再開した。コアリングは掘削長 290.0m～547.0m まで行った。本試験区間の掘削長 317m 付近で発生した大量逸泥に対する逸泥防止対策として、ベラーセメンチングとノンコアリング掘削を行ったが、完全な逸泥防止を完了することは不可能と判断し、逸泥環境下でのコアリングを継続した。コントロール実施区間での増角率は $0.7\sim 1.1^{\circ}/\text{m}$ の範囲で推移した。使用したコアチューブは全長 2.55m の使用が 80%以上を占めた。ベント角度は 0.39° であった。

2.1.2.4 システム化に向けた調査技術の開発における研究成果

孔内計測技術のシステム化のため、現地適用試験では透水試験・採水・イメージング装置と WL-LWD の孔内試験を実施した。

透水試験・採水・イメージング装置の現地試験は、異なる深度で 3 回実施した。

第 1 回目の試験では、透水試験・採水装置と別途開発したコントロールボーリングシステムとの整合性確認のため、パッカ拡張、ポンプ耐久性、掘削泥水排除を確認した。

第 2 回目の試験では、透水試験機能確認とバルブ耐久性を確認した。計測した透水試験は 10^{-9}cm/s オーダーの低いものであった。バルブは試験を通して機能し、耐久性を有していると確認できた。

第 3 回目の試験では、採水装置の機能の確認を目的とし、適切な掘削用泥水の排除と地下水採取の可否を確認した。その結果、掘削用泥水の影響の少ない採水が達成できた。装置の試験手順に関し、孔内の湧水状況、掘削用泥水の残存状況、透水性によって試験の流れを検討し、圧力回復試験、段階揚水試験を透水性に応じて適用できた。また、採水は透水試験後に実施することで合理的に進めることができると示すことができた。

WL-LWD の現地試験は 2 度実施した。

第 1 回目の試験では装置の動作確認を行い、不具合箇所の抽出により問題点を改良した。

第 2 回目の試験では、全長 5m の区間において掘削作業と同時に検層作業も実施した。この際には、プローブ内部の水密コネクタ部の配線が掘削中の振動で断線し、マイクロ電気検層の測定値が異常値を示した。さらに、掘削時のノイズにより音波検層受振器入力信号波形の飽和により信号 S/N 比が低下した。さらに可動部の固定ピンが振動で緩む現象を確認した。

2.2 フェーズ2(5ヵ年)における課題

フェーズ1で実施した研究開発で得られた成果から、フェーズ2以降において開発・改良・高度化を必要とする課題を取りまとめた。

2.2.1 掘削・調査システムの概念構築における課題

フェーズ1における概念設計で2つのシステム編成を構築した結果、2つのシステム編成は”コントロール掘削を実施するために必要な機能を集めたもの”と”調査を実施するために必要な機能を集めたもの”に分けることができた。

フェーズ2では、構築した2つのシステム編成(掘削システム・調査計測システム)を統合化していくことが課題となる。しかし、そのためには現状では統合化のためのキー技術の高度化が必要不可欠であったことから、以下に示す課題の解決を行った。

掘削システムに関しては、フェーズ1では安定した堆積岩を対象に実施したコア採取(採取率100%)と先端位置の計測(掘削パラメータの計測)については成果を得られたが、掘削中の大量の逸泥により大幅な掘削効率低下が生じ、回避法を検討することが課題となった。また、方位計測値は周辺磁性体の磁気影響を受けることが確認され、取得データの精度向上が課題となった。さらに、検層技術である掘削時検層装置(WL-LWD)を統合した掘削時検層の適用性評価を実施し、耐久性および取得データ精度に関する検討が必要であった。

これらの課題を解決するため、フェーズ2の研究開発では、装置の適用性評価を継続的に実施していくことに重点を置いた。さらに、現地適用性評価試験サイトでの評価検討実施にあたり、より断層帯などの難易度の高い地質をターゲットにした検証の実施、想定される危険・危機の回避方法に関する高度化を目指した改良・開発を目標とした。

調査計測システムに関しては、フェーズ1で「透水・採水技術」の透水試験・採水・イメージング装置の現地適用性評価試験が実施された。しかし、選定した試験箇所は低透水性区間のみであり、適用目標である、比較的透水性が高い区間における試験実施にはいたっていない。そのため、割れ目帯・逸泥層などの透水性が高い区間での試験評価が課題となった。

「孔内モニタリング技術、力学測定技術、応力測定技術」として開発されている装置については、フェーズ1終了段階で、主要装置単体での開発・改良を実施した状態であることから、フェーズ2において、工場試験等の評価・検討による現地適用性評価試験に向けた改良・高度化を課題とした。

フェーズ1では、これら掘削・調査システム体系化の概念システム構築に必要な主要装置の開発でキー技術の実現性を評価したが、フェーズ2では、主要装置により構成される統合化したキー技術を統合したシステムの現地適用性評価試験を行うことで、その取得データを基にした評価・改良で高度化したシステムを構築することを課題とした。

2.2.2 システム構成に必要な主要装置開発における課題

フェーズ1では、システムを構成するために必要な要素技術の開発を実施した。要素技術はキー技術となる主要装置で構成される。掘削システムでは現地適用性評価試験で得られた主要装置が抱える課題を、計測システムでは今後の試験適用に必要な課題が得られている。

以下に、各技術に関する課題を示す。

2.2.2.1 コントロール掘削技術の課題

適用試験で得られたコントロール掘削技術の課題は、構成する各主要装置毎に抽出を行った。

先端駆動装置に関しては、現場への消耗品常備に関する検討が必要となった。

水圧式拡張装置は、回収時に縮径しないトラブルの回避が課題で、その要因の一つと考えられる孔内残留スライムの効率的な排出方法についての検討を要した。

ケーシング追従装置では、低角度以降での押し込み動作検討が課題となった。

試錐機は、フィード能力について1,000m級孔井掘削に対して油圧性能を再評価する必要性が生じた。

また、新たに開発が必要とされる技術として、大量逸泥に対して有効な治具開発、安定した孔内圧力環境の確保が必要と考えられた。

2.2.2.2 先端探知技術の課題

先端探知技術については現地適用性評価試験結果から、主要装置となる掘削時計測装置(WL-MWD)の評価を行い、その結果、磁力センサへ与える磁気影響への対策が課題となった。

フェーズ1の最中に実施したコンベンショナルなジャイロによる計測値と、WL-MWDの方位計測結果において、地上での磁気影響試験で補正できない磁気干渉の存在が確認された。そのため、ジャイロを利用する計測システムに向けた調査と概念設計をフェーズ2の課題とした。

また、別途ソフトウェア改良によってデータハンドリング効率的に行なう方法やデータ表示方法などを調査・開発する事が必要と考えられた。

さらに、データ統合化に向けた共有インターフェースの開発で、他の技術との共用可能にするシステム化が重要と考えた。

2.2.2.3 コア採取技術の課題

開発した装置の課題として、コアチューブの長さの違いで生じるコントロールの指向性確認が課題である。そのためには、現地適用性評価試験でより多くのデータ取得する事が必要であった。

一方、掘削用泥水に関して、カッティングスベット排除に適した調泥剤の選定・試験、ケーシング抵抗低減のための調泥剤選定、滞留スライム排除のための泥剤選定が必要となった。

また、使用する WL-MWD で取得可能な孔内圧力データを基に、孔内における圧力環境の確認によりスライムの滞留状況適正に判断するための検討を課題とした。

2.2.2.4 掘削システム統合化に必要な共通技術の課題

掘削システム統合化に必要な共通技術の主要装置の課題として、GFRP ロッドは現地適用性評価試験による適用性評価と水平時の押込み能力の分析・検討を要した。GFRP ロッドホイストに関しても同様に適用試験で使用していないため、実証試験が必要となった。また、新たに逸泥防止による安定した孔内環境確保のため、スライム排除装置の開発が必要となった。

2.2.2.5 検層技術の課題(WL-LWD)

検層技術としての WL-LWD 装置に関しては、適用試験での装置評価が課題である。また、装置各部に関して、フェーズ 2 以降の課題としては以下の課題が考えられた。

音波検層では、受振器のケーシング端部で破損、高圧環境での受振器感度低下、取得データ整理に時間短縮、効率的な速度解析手法の確立が課題となった。

電磁波検層では、耐久性の向上および破損部品交換の簡便化、受信波形読み取り方法の確立、比誘電率の計算精度向上の検討、データ通信量の減少による通信負荷の軽減が課題となった。

マイクロ電気検層では掘削用泥水の影響の確認とその対策を必要とし、自然ガンマ検層では適用試験での長期的な測定での信頼性の確認および向上が必要となった。

また、全体的機構に関しては、長期的な試験の実施によって信頼性・耐久性の評価をしなければならない。さらに地上装置の改良による解析時間の短縮を考慮することも重要な課題と考えられた。

2.2.2.6 透水・採水技術の課題

透水試験装置の課題は、流量測定に関し湧水箇所における透水試験を考慮した場合に、プレッシャービルドアップ法の適用も想定されることから、より精度の高い流量の測定が望まれた。また、より現実に近い透水性を算出するためには、回復法および定常揚水法による透水係数算出方法の定式化を行い、異方性をも考慮できるようにする必要性が生じた。

採水装置では、掘削用泥水に恒常的に一定濃度のトレーサが混入していること、チャンバや採水管にはあらかじめ純水等が搭載されていることから、トレーサ濃度の原位置測定で採水終了のタイミングが決定できるようにすることを新たに目標とした。

また、ケミカルセンサのドリフト防止のため、メンテナンス回数が少なく済む半導体電極やファイバ計測機器の適用を検討する必要性が生じた。

イメージング装置の課題としては、光学カメラでは掘削用泥水のため孔壁の映像を得ることができ

ず、試験区間が透水試験に適切な形状をしているかを確認する方法がないため、音響による孔内映像の取得が新たに開発項目となった。また、映像取得センサの孔軸方向の移動+装置自体の上下動を組み合わせた映像取得についても考慮が必要となった。

共用部における課題は、ポンプのクリーンアップ時のメンテナンス性の向上、ポンプ前方のバルブ・アニュラス部に通じる水圧計によるモーノポンプの微弱な漏出や温度変化による圧力変化の防止が抽出され、水圧計はアニュラス部の圧力モニタリングで、アニュラス水頭を得ることが必要となった。

2.2.2.7 力学測定技術の課題

載荷試験で得られる孔径変位の測定精度向上のために、孔径変位の測定精度に影響を与えると考えられる要因(温度やターゲットの形状など)に関する詳細な検討が課題となった。

さらに、載荷試験時の計測および解析の作業効率の向上が必要となった。

2.2.2.8 応力測定技術の課題

応力測定ユニットの開発では、これまで計測・通信・制御サブユニットの高圧ポンプ、亀裂計測サブユニットの電極パッカと抵抗測定器について重点的に開発を行った。

その結果、水圧破碎サブユニットの課題として、孔径φ90mmに対応した最大圧力30MPaの水圧破碎パッカを詳細設計・試作することが必要となった。亀裂計測サブユニットの課題は、電極パッカの亀裂検出精度と能力を向上させることが挙げられた。また、電極パッカ用の抵抗測定器についてもノイズ低減と精度向上のため改良が必要となった。計測・通信・制御サブユニットの課題は、高深度における水圧破碎試験能力を左右する高圧ポンプの最大圧力30MPaでの連続運転能力および孔径φ90mmの孔内用高圧ポンプ開発となった。

2.2.2.9 孔内モニタリング技術の課題

インフレータブルパッカの採用を前提に考えた課題として、注水孔へのフィルターの装着がサイズ的に困難であること、逆止弁の性能確認等が考えられた。また、パッカの有効ラバー長と併せて掘削孔に降下可能なシステム長の検討、計測システムとの取り合いの検討を必要とした。

さらに、火薬による拡管でのケーシング(NL140 ロッド)荷重保持のため、各種適用条件下での適正薬量の決定、大深度での装薬、点火方法(残滓を残さない容器、発破母線の接続方法等)についての検討、計測ツールの通過に支障をきたす場合の補修方法や計測ツール側での養生方法の検討を必要とした。

パッカとケーシング(NL140)の接続のためには、より最適なチップサイズ選定のための試験、確実性向上のためのスリップの形状や動作機構の改良、コンポジットの盛りの品質確保のための設計が必要

で、ケーシングの切断に関しては、水平部での模擬的な実験などを通してより技術的な検討が課題となった。また、深部での作業の确实性の確認、その他想定される危機回避の検討も必要となった。

2.2.3 適用試験における課題

主要装置の開発で、要素技術をシステム化するためには、実岩盤掘削による適用試験での実証評価により高度化することが求められた。

適用試験での評価に向けて試作した掘削システムに係わる主要装置は、模擬孔掘削で評価した結果を基に改良・開発した。現地適用性評価試験サイトの選定では、開発した掘削システムの実岩盤掘削における機能評価のために、軟岩系の比較的均質な泥質岩が卓越する地域を第一に考え選定を行った。また、用地の取得などの理由も考慮して核燃料サイクル開発機構(JNC、現 JAEA)が深地層研究所建設を計画している北海道幌延地区の泥質岩を選定した。幌延地区は道北日本海沿岸部に広く分布する新第三系が分布し、このうち、掘削対象としたのは声間層の珪藻質泥岩シルト岩と稚内層の“硬質頁岩”である。さらに、今後の掘削システムを高度化するためには、堆積岩のみならず断層破碎帯や礫岩などの硬軟入り混じった岩盤においても実証評価する必要性があり、平成 16 年度に遭遇した大量逸泥はその必要性を問われたものである。そのため、断層破碎帯掘削を対象としたシステムの改良による適用性を評価可能な試験サイトの選定が必要となった。

また、現地適用性評価試験でのシステム化評価に対する課題として、コントロール掘削中の方位傾斜管理による効率的なデータハンドリングのマニュアル化、大量逸泥に対応する逸泥防止方法の検討、孔内計測システムと掘削システムの統合化に向けたキー技術の適応性が考えられた。さらに、断層帯などの困難な地層に対応したシステムとして、各技術を運用するために必要な危機回避を的確に実施できる管理システムの構築が求められ、想定危機に対応した回避策の検討、各種装置のメンテナンスの必要性に関する検討により、掘削システム運用のための必要な対応策をマニュアル化することも課題と考えられた。

2.2.4 調査技術の開発における課題

調査技術は、キー技術の主要装置の開発によって高度化を進めている。透水・採水技術に関しては現地適用性評価試験の実証評価を基に高度化が進められている。フェーズ 2 においても、主要装置の試作が進行している検層技術と透水・採水技術を現地適用させて、システム化に対する評価を実施することが課題となる。

また、フェーズ 2 の適用試験では、取得データを利用した掘削・計測データの管理システムを高度化するため、掘削データと地質性状および掘削環境との関係をより明確にし、掘削管理を行う上での指標値となり得るパラメータを整理するとともに、それらを管理システムの想定危機と関連付け、地質状況の確認や危機回避に反映させる方法の検討が必要となった。

2.3 フェーズ2(3ヵ年)の研究成果の概要

フェーズ2として設定した平成17年度～平成19年度の期間に実施した研究開発概要、および実施した各要素技術の開発成果、工場試験および現地試験で得られた研究成果について、以下に取りまとめる。

2.3.1 フェーズ2(3ヵ年)の研究開発概要

フェーズ2も、フェーズ1同様、高レベル放射性廃棄物処分場の予定地選定、および処分地選定におけるボーリング掘削技術と孔内での各種調査技術の開発を主眼において実施した。開発に関しても引き続き、堆積性軟岩地域での垂直深度500m、掘削長1,000m級の孔井を掘削することと、その孔井内において各種調査試験を実施することを最終目標とした。

フェーズ2では現地適用性評価試験サイトを幌延町内で移動した。掘削中においては、断層帯などの脆弱層に遭遇することが十分考えられ、掘削システムとして十分それに耐え得るものでなくてはならない。また、このような困難な環境下でも、掘削システムを運用し、孔内計測システムとの統合化を実現しなければ実用化が困難であるため、フェーズ2は、安定した堆積岩を対象とした現地適用性評価試験から、より困難な地質事象となる断層破碎帯区間への適用によるシステムの実用化を目指した。

そのために、コントロールボーリング掘削技術の実用化として、断層破碎帯掘削のためのケーシングプログラムの最適化と、対応する掘削治具の開発、およびWL-MWDシステムを高度化するためのジャイロセンサの適用性検討を行った。次に、検層・測定技術の実用化として、WL-LWDの耐久性向上・データの検証と、透水試験・採水・イメージング装置の構築と解析方法の評価、孔内モニタリング計測システムの選定と開発、孔内載荷・応力測定システムの統合を実施した。また、掘削・調査技術の体系化として、掘削管理システム・マニュアルを高度化するための改良と、掘削データによる掘削の最適化を検討した。

なお、対象とする断層破碎帯の分布や性状を把握するため、地表調査や物理探査から最適な現地適用性評価試験サイトの選定を行った。

以下、フェーズ2の3ヵ年で実施した概要を年度別に取りまとめる。

平成17年度は、幌延コントロールドリリング2孔(HCD-2孔)の大量逸泥層を断層に伴う逸泥と仮想し、断層破碎帯に向けた掘削と調査機器の開発や検討を行った。さらに、最終目標である孔長1,000m級の孔井掘削に対する試錐機的能力評価を実施した。また、断層帯掘削の実施が可能な地点選定のため物理探査を実施し新規対象地点を選定した。

平成18年度は、HCD-3孔となる現地適用性評価試験サイトを幌延町内の北進地区から上幌延地区へ移動した。現地適用性評価試験では、掘削長200mからコントロールコアリング掘削を実施し、大曲断

層の主断層部への到達を確認した。また孔内調査技術として断層対区間に対応した大口径パッカによる水理試験や、検層装置である WL-LWD の現地適用を行った。また、開発中の孔内応力・力学試験装置や孔内モニタリングシステム装置などについても現地適用性評価試験を想定した工場試験を実施して改良を進めた。

フェーズ 2 の最終年度の平成 19 年度は、コントロールボーリングシステムとして大曲断層下盤側への掘削孔到達と、同区間における水理試験の実施、および緩傾斜区間における掘削・孔内試験を実施した。また、傾斜コントロールとして、傾斜増角率を増加させた掘削により適用性を評価した。WL-LWD については、試験装置の耐久性評価のために長い掘削区間における掘削時検層、非掘削時の環境下における長さ 50m 程度の検層を行った。また、孔内モニタリングシステムでは幌延モニタリングドリリング 1 孔 (HMD-1 孔) として現地模擬孔井を掘削し、長期孔内モニタリングに対する装置の評価を実施した。孔内応力・力学試験装置は工場試験により統合化を含めた高度化を進めた。

図 2.3.1-1 にフェーズ 2 の年次別実施フローを示す。

		H17	H18	H19
コントロール掘削技術の実用化				
掘削システム	孔曲げ掘削技術	現地適用試験掘削		
	コア採取技術			
	先端探知技術	(HCD-2)	(HCD-3)	(HCD-3)
		断層調査	↑	
検層・測定技術の実用化				
検層	WL-LWD 検層技術	現地適用性確認		
水理・モニタリング	透水・採水技術	現地適用性確認		
	孔内モニタリング技術	要素試験	改良・模擬孔試験	
力学・応力	力学測定技術	概念設計 統合装置	統合化に向けた装置・パーツの試作・改良	
	応力測定技術			
掘削・調査技術体系化				
掘削管理システム		マニュアル改良		
掘削・調査データ統合化		システム改良・掘削最適化		
				総合マニュアル構築

図 2.3.1-1 フェーズ 2 年次別実施フロー

2.3.2 フェーズ2(3カ年)の研究成果

フェーズ2では、これまでの「ボーリング技術高度化調査(フェーズ1)」において、開発を進めてきたコントロールボーリング掘削技術、コントロールボーリング孔内での各種調査技術の実用化、掘削・調査技術の体系化による高度化を目指した。平成17年度～平成19年度の3カ年で、コントロールボーリングの実用化に向けた高度化目標として、ボーリング掘削に際して困難が予想される事象である断層破砕帯での掘削を行った。また、各種計測装置も困難な環境に対応可能となるように検討を進め、フェーズ3における体系化を目標とし開発を行った。

以下に、フェーズ2における研究成果を「掘削調査システムの構築」、「システム化に必要な主要装置」、および「断層破砕帯における適用試験評価」に大別し取りまとめる。

2.3.2.1 掘削調査システムの構築における研究成果

フェーズ1では、比較的安定した堆積岩を対象としたシステム概念の構築を行った。その結果、掘削システムと孔内計測システムの2つの基本システムが構築され、一部については体系化した現地適用性評価試験を実施できた。

フェーズ2では、掘削調査システムの体系化を目的として、さらなる改良を加え高度化を図ると共に、より困難な地質環境においてこれら2つのシステムを適用させることを目指した。

以下にシステム化に向け実施した項目を示す。

(1) 対象となる大曲断層の性状把握調査と掘削箇所の選定

平成17年に幌延地域に分布する大曲断層を対象として反射法地震探査による地質環境調査を行い、結果を取りまとめて大曲断層の分布性状を把握した。この結果は平成18年以降の断層破砕帯を対象としたコントロールボーリング掘削箇所の選定のための情報とし、その検証データとしても活用した。

(2) 断層破砕帯に必要な掘削治具の開発

フェーズ1で適用性検討を実施した北進サイト(HCD-1孔、HCD-2孔)では、掘削実績により逸泥が認められたことから、フェーズ2での断層破砕帯の掘削に用いる治具の開発や掘削工法を検討するに適した地質特性を有していると考えられた。このため、北進サイトで孔井の延長掘削を行いつつ、断層破砕帯掘削に必要な掘削治具を開発した。

(3) 調査技術の高度化および開発

概要調査において必要となる調査項目をコントロールボーリング孔内において実施するために、WL-LWD検層技術、透水・採水・イメージング測定技術、孔内応力測定技術、孔内力学測定技術、孔内モニタリング技術をコントロールボーリングに適用可能な技術として、フェーズ1に引き続き高度化と開発を行った。また、掘削・調査データ統合化システムの信頼性の向上を行った。

各技術に関する概要を以下に記す。

① WL-LWD 検層技術

フェーズ1で試作したWL-LWDプローブは、測定パットの交換などに時間を要するため、構造を再検討しメンテナンス性能の向上を図るとともに、現地における適用の信頼性を高めるための改良を実施した。さらに、計測データを検証し、システムの高度化・実用化を実施した。

② 透水・採水・イメージング技術

透水試験・採水装置に、要素技術として開発してきたイメージング装置を追加するとともに、大口径パッカの適用、ポンプの改良、ケミカル、流速センサの高精度化を行った。さらに透水試験の解析法について検討をした。

③ 孔内応力測定技術・孔内力学測定技術

応力測定ユニットと力学試験ユニットとの統合化を目指して総合装置の概念設計を構築し、統合に向けた装置・パーツの試作・改良を行った。

④ 孔内モニタリング技術

フェーズ1におけるパッカシステムの基本設計の成果、既往実績および各技術の適用性試験を踏まえ、長期計測システム(ツールズ)を含めたモニタリングシステムを構築し、模擬孔等で性能を確認した。

(4) コントロールボーリングによる大曲断層の現地掘削および調査

前述(1)で選定した地点で大曲断層を対象としたコントロールボーリング孔を掘削し、(2)で開発した治具・技術の適用性を確認して、検証、改良した。

さらに(3)のうちWL-LWD、透水試験・採水・イメージング装置については、現地孔井にて適用性を確認し、実用化に向けた検討を行った。

(5) 断層破碎帯に適用できるコントロール掘削・調査技術の体系化

(4)を通して得られる掘削・調査データや課題を基に、掘削管理システム/マニュアルを高度化し、統計的手法を用いて掘削データによる掘削の最適化検討した。最終的には両者を統合してマニュアルを構築した。

図 2.3.1-2 にフェーズ2でシステム構築に向け検討した項目の調査年次フローを示す。



図 2.3.1-2 システム構築に向けた調査年次フロー(フェーズ 2)

2.3.2.2 システム化に必要な主要装置に関する研究成果

フェーズ2におけるボーリング技術の体系化および高度化に必要な、各技術においてさまざまな機器開発および性能試験を実施した。

コントロール掘削技術の高度化に必要な要素技術は、「孔井曲げ掘削技術」、「先端探知技術」、「コア採取技術」、「掘削に必要な共通技術」であり、これらと「検層技術」を組み合わせることで概念システムの1つである「ワイヤライン式ケーシング追従型コントロールコアリング検層(掘削システム)」が構築される。

また、孔内計測技術の高度化に必要な要素技術は「検層技術」、「透水・採水技術」、「孔内モニタリング技術」、「力学測定技術」、「応力測定技術」であり、これらはもう一つ概念システム「ワイヤライン式孔内原位置測定(孔内計測システム)」として構築される。

フェーズ2では、2つのシステムを体系化するために、構成するこれら要素技術に関する改良を開発・高度化を実施した。以下に、各要素技術に必要となる主要装置の開発概要をまとめる。

「孔井曲げ掘削技術」では、主に断層帯掘削に必要な技術と水平孔を掘削するために必要な技術を中心として開発・試験を実施した。断層帯掘削を実施するために必要な掘削治具として、部分セメンチングを実施するためのセメントプラグの開発、孔壁の崩壊・押し出し、および掘削屑(スライム)の沈降に対して、安定した圧力環境を維持するための孔壁整形装置の開発を行った。また、フェーズ1に試作を行い、現地適用性評価試験で使用している試錐機の能力が、実際に掘削長1,000m級の孔井掘削を行うことが可能であるかの検証を実施した。水平孔掘削のために必要な装置として、共通装置として検討したGFRPロッドの性能評価を基に必要なとなると確認されたツールス押込み補助装置の開発を行った。さらに、検証した試錐機の能力を断層帯の実掘削により再検証し、水平孔掘削までの能力に関する評価を実施した。

「先端探知技術」では、現地適用性評価試験における計測とジャイロセンサの調査が主体となった。現地適用性評価試験における計測では、HCD-2孔、HCD-3孔共に掘削時のリアルタイム計測として傾斜・方位や掘削情報の提供をデータの欠損を発生することなく継続的に実施した。孔井方位計測に関しては、依然として周囲の磁気干渉が懸念される状況であり、磁気影響を受けないジャイロシステムの開発に関する市場調査から、適用可能なセンサを抽出できた。

「コア採取技術」は、コアリング時に発生する圧力環境を改善するための改良と、採取コアから得られるパラメータと掘削パラメータの比較を主とし実施した。コアリング時に発生する圧力環境を改善するために、掘削時における先端付近の掘削装置と孔壁間のクリアランスの圧力低減をウォーターウェイの改良により行った。また、ウォーターウェイの調整により、掘削した結果について採取コアから評価を行った。現地計測で得られるL値と掘削能率を比較した関連性の調査を平成18年と平成19年に実施した。さらに計測する掘削泥水のパラメータを利用し、スライムの排除効率についての検

討も実施した。

「掘削に必要な共通技術」では、掘削技術と孔内計測技術の両方に必要となる項目について開発・試験し、孔内スライムの排除のための装置開発、低角度における押込み動作を行う作業の検討、通信時に発生したトラブルへの対応、ケーブルに関する検討を行い開発した。孔内スライムの排除のための装置として、スライムを採取するベアラを試作し、掘削中のスライム回収および水理試験開始前のスライム排除を目的として試作を行った。低角度における押込み動作を行う作業の検討では、フェーズ1で試作したGFRPロッドの性能を再評価し、地上試験時に発生した座屈に対応する対策を実施した。掘削中と孔内計測中に発生した通信エラーへの対応では、問題点を究明しエラー発生環境を改善する改良を行った。アーマードケーブルに関する検討では、消耗したアーマードケーブルの巻き替え作業と、消耗頻度の違いによる仕様を検討し、押込み補助装置を使用するために必要となるケーブルおよびケーブルウインチの試作を行った。

「検層技術」では、現地適用性評価試験を通じた掘削時検層装置(WL-LWD)の動作確認と、同装置の試作改良、取得データソフトウェアを検討した。

現地適用性評価試験では、3ヵ年で全長43.4m区間の掘削環境下における検層作業を実施し、非掘削区間を含め、合計で94.8m区間分のデータを取得できた。装置の試作改良では、電気回路の一部小型化、地上装置の処理能力向上を行った。また、不具合発生の危険性が高いパット部分の改良を検討した。ソフトウェアの検討では、取得する4つの検層種目に対応するデータ処理ソフトウェアと電磁は検層の解析ソフトウェアの試作を行った。

「透水・採水技術」は、フェーズ1で開発した機器に、断層破碎帯や低透水区間などでの適用性を高めるための改良・高度化を実施した。透水試験装置では、コアリング孔(孔径φ89mm)のみで実施可能であった透水試験を拡張孔(孔径φ152mm)でも可能とするため、掘削用泥水により拡張可能で、かつ大孔径(φ152mm)対応のスライドパッカを製作した。採水試験装置では、採水タイミングをより直接的に判断可能とするため、掘削用泥水に含有されているトレーサを直接、原位置に設置されている試験装置内で計測することとした。イメージング装置では、拡張孔(φ152mm)での試験に対応させるため、水平区間において孔壁からの距離が離れた環境でも孔壁状況が確認できる音響イメージング装置を開発した。

「孔内モニタリング技術」では、モニタリングシステムの開発と各要素技術の掘削孔への適用性評価のため、開発中のパッカシステム内に既存のマルチパッカシステムを設置する新たな孔内モニタリングシステム概念を構築し、その概念に沿った設計・試作、模擬孔井内での適用性評価、オペレーション技術および設置作業における検証方法の検討を実施した。設計・試作した孔内モニタリングシステムを模擬孔井内に設置し、地下水サンプリング(計4回実施)および水圧データの取得(約2ヶ月分)を実施した。模擬孔井における適用性評価の際には、火薬による拡張管、メカニカルカッターによる

NL140 ロッドの切断、BHTV による拡管状況、CCL(Casing Coller Locater)による深度位置の施工および測定方法の有効性について確認できた。オペレーション技術の検討では、トラブル発生時におけるバックアップ技術について、作業手順から予想されるトラブル事項を抽出するとともに、発生原因の予測、対策等を検討した。さらに、掘削技術・設備との共有化に関して、今後、必要となるオペレーションツールの抽出を行った。システムの検証方法としては、設置深度、遮水性、測定する圧力値に関して検討した。

「力学測定技術」と「応力測定技術」では、各技術の開発および統合化に関する検討により、各技術別の装置設計・試作、両技術の統合化仕様、工場試験が行われ、統合化ツールとしてコントロールドリリングシステムにおける「ワイヤライン式孔内原位置測定(孔内計測システム)」への適用が可能であることを確認できた。孔内力学特性測定技術では、応力測定技術との統合化仕様に対応する孔内载荷試験ユニットの設計・試作と実証試験を行い、システムへの適用性を評価できた。応力測定技術では、統合化に向けた設計・試作としサブユニットごとに評価をした。水圧破碎サブユニットは、外径の変更と力学ユニットとの連結機構を設計・試作を行った。また、パッカの耐圧性の検討を行い、最大 30MPa の加圧能力への改良を行った。亀裂計測サブユニットは、水圧破碎により造成される亀裂の開口閉口状態を計測する計測部を開発した。併せて、電極パッカを中心に、計測データを補完するボアホールカメラを試作した。計測・制御・通信サブユニットは、構成するパーツおよびソフトウェアの設計試作を行い、試験孔にて動作確認可能なサブユニットを開発した。

2.3.2.3 断層破碎帯における適用試験評価断層破碎帯における適用試験評価

断層帯掘削のための検討は、HCD-2 孔と HCD-3 孔の現地適用性評価試験で実施した。HCD-2 孔での確認は、断層帯掘削に向けた試験サイトの位置づけで、大量逸泥対策の評価を得ることに主体をおいた。HCD-3 孔は、大曲断層を対象とした断層帯区間の実掘削による掘削システムの適用性を検討した。

フェーズ 2 の初年度となる平成 17 年度の現地適用性評価試験は、HCD-2 孔の延長掘削(平成 16 年終了:掘削長 547m)により掘削長 700m を目指した。HCD-2 孔は掘削長 350m 付近で発生した逸泥により、掘削が困難な状況となっているため、掘削前には逸泥対策の実施を必要としていた。そのため、断層破碎帯に適用させる開発装置の実証フィールドと位置付け、掘削に先立ち逸泥対策の実施を行った。その結果、既存の逸泥箇所の特定制と逸泥量軽減対策として、掘削長 482.5m~488.5m 間に大きな逸泥層を有している可能性を確認し、セメントプラグによるセメンチングを実施した。コントロール掘削では、逸泥対策後より増角率を $0.5^{\circ}/10\text{m}$ の計画軌跡により掘削し、掘削長 706m での計画との距離が掘削断面で 0.04m、平面で 15.51m となり、20m 範囲内に収めることができた。

2 年目以降の平成 18 年度と平成 19 年度の現地適用性評価試験は、HCD-3 孔で水平孔を含む掘削長 800m を目指すコントロール掘削を行った。平成 18 年度は掘削に先立ち、敷地の造成・試錐基礎の作

成・防寒設備の組立を行った。HCD-3 孔は断層破碎帯における適用性評価を目的としていることから、稚内層の比較的安定した区間については、掘削効率の高いノンコアリング掘削を行った。コントロール掘削は、ノンコアリング掘削終了後 200m より開始し、10m あたりの増角率を 1.0° に設定した計画軌跡により掘削し、先端位置および掘削パラメータの収集を実施した。平成 18 年度の現地適用性評価試験では、掘削方位を $SW40^{\circ}$ （真北基準、時計回り）、傾斜を 35° （水平面 0° 基準、下向き）として、地表より掘削長 200m までをノンコアリング、それ以深をコアリング区間とした。ノンコアリング区間のうち掘削長 195m まではケーシング掘削を 4 段（ $14'' \Rightarrow 12'' \Rightarrow 10'' \Rightarrow 8''$ ケーシングパイプ掘削）に分け実施し、各段にてセメンチングを行った。ノンコアリング区間の孔芯傾斜測定結果により、測定誤差が発生したため、掘削長 200m 地点での傾斜角度が目標とした 35° に対して 30.2° となった。コアリング区間はコントロール掘削を行い、掘削長 200.0m～400.0m の合計 200m 間を掘削した。コア採取率は 99.8%を達成し、WL-MWD で全区間のパラメータを計測した。また、掘削長 329.5m～346.9m 間は WL-LWD を接続した状態での掘削作業（同時検層）を実施した。その間、増角率が $1.43^{\circ}/10m$ と急激に増加し、掘削編成を変更したことに起因する傾斜角度の制御方法に課題が残った。

傾斜コントロールによる計画線との距離を掘削断面で見た場合、393.0m(WL-MWD 深度)となり、計画案との距離が 25.48m という結果となった。掘削長 200m から孔底までの平均増角率が $0.97^{\circ}/10m$ （計画は $1.0^{\circ}/10m$ ）であることから、ノンコア掘削時の減角により、計画範囲の 20m から大きく離れた。平面での誤差を見た場合、 $SW40^{\circ}$ 方向に掘削する予定に対し、計画案との距離が 26.79m という結果となった。しかし、その後のジャイロ計測や地上試験の実施により、WL-MWD 方位計測データには磁気影響が与えられていたと確認された。ジャイロ計測最深部（掘削長 388.3m）における方位は $SW40.82^{\circ}$ という結果であったことから、次年度開始時に磁気影響を補正する必要について検討を実施することとした。HCD-3 孔の 2 年目となる平成 19 年度は、平成 18 年度に掘削長 400m まで掘削した孔井を継続して掘削した。掘削長 400m における開始方位は $SW40.8^{\circ}$ 、傾斜は 48.5° である。掘削目標を掘削長 800m、目標方位を $SW40.8^{\circ}$ 、傾斜制御を $1.27^{\circ}/10m$ の増角率に設定し、平成 18 年度当初に設計した目標値に対し、20m 範囲に収まるように軌跡計画を作成した。現地掘削作業時には、掘削長 693.5m に到達後、小規模な孔壁崩壊に遭遇し、この崩壊対策（セメンチング）の実施中に NL140 ロッドの切断、掘削用アーマードケーブルの損傷が発生したため、現地適用性評価試験を終了させた経緯がある。

傾斜コントロールによる計画線との距離を掘削断面で見た場合、平成 19 年度の軌跡計画に対して 686.5m(WL-MWD 深度)となり、計画案との距離が 10.01m という結果を得た。また、平面での誤差を見た場合、 $SW40.8^{\circ}$ 方向に掘削する予定に対し、計画案より若干東方向へ逸脱して計画案との距離は 4.27m という結果を得た。

また、フェーズ2において実施した掘削データやボーリングコアを用いた各種室内試験データに関する統合化システムの開発では、本システムを現地適用性評価試験を通じて、所定の要件を満たして動作することが確認された。これにより、コントロールボーリングで取得される一連の掘削・調査データをデータベース上で統合化することができた。また、システム内で動作するデータ管理ソフトウェアおよびデータ閲覧用 web ページの機能を強化し、システムの安定性と実用性を向上させた。

さらに、統合化データベースに蓄積される掘削・調査データを掘削管理や調査地点周辺の地質環境特性評価に活用する方法について検討し、平成17年度には掘削中に取得されるデータから地質脆弱部の検出や性状把握を行うことを目的として、WL-MWDの掘削パラメータから掘削指標値を求め、コアの物性データとの比較により適用性を検証した。その結果、掘削指標値は岩石強度との間に相関がみられ、指標値となる見通しが得られた。平成18年度は地球統計学的手法により掘削・調査データを空間的に統合化し、地質モデルを作成した。事前調査データから作成した初期地質モデルに、原位置で得られる掘削データを反映し、ボーリング孔周辺部の詳細な地質物性分布を与える概要地質モデルの作成方法を提案した。フェーズ2の最終年度には、平成18年度の調査データの空間的統合化で考慮すべき課題と、地質モデルの不確実性について情報を整理した。

2.4 フェーズ2(3ヵ年)における課題

フェーズ2で実施した研究開発で得られた成果から、フェーズ3において開発・改良・高度化を必要とする課題を以下に取りまとめる。

2.4.1 フェーズ2で得られた掘削調査システムの概念構築における課題

フェーズ1では概念設計で2つのシステム編成を構築した。

フェーズ2では、この2つのシステム編成(掘削システム・調査計測システム)を統合化することを目標としたが、調査計測システムのうち、透水試験・採水・イメージング装置と掘削時検層装置であるWL-LWDを現地適用性評価試験に供することができた。

掘削システムに関しては、フェーズ2の目標である大曲断層の断層破碎帯を貫く形で掘削を行い、コア採取率ではほぼ100%を達成した。また、WL-MWDによる方位・傾斜計測では、磁気影響の範囲を大きくとった補正式の使用により、正確な方位計測を実施することができた。しかし、孔壁崩壊やNL140ロッドトラブルにより目標掘削長800mまでの掘削を完遂できなかったことから、長区間におけるケーシング(NL140ロッド)の追従性や、水平孔井の掘削といった適用性については、フェーズ2内で検証することができなかった。

掘削技術のシステム化に必要なWL-LWDに関しては、掘削長で20m区間にわたる掘削環境下での試験を実施し、非掘削環境下でも長さ50m程度の検層作業を行えたことから、システム化に向けた概念構築に向けた高度化が実現できた。しかし、試験時のツールズ接続方法、メンテナンスを要する待機時間、ツールフェイスを含めたハンドリング作業に関しては計測技術であるWL-MWDに対し実績が少ないため、統合化システムの完成度を向上させるために長区間の計測を実施することが必要となった。加えて、マニュアル等の整備を進める必要が生じた。

また、未実施の水平区間掘削時の方位傾斜コントロールに関しては、ジャイロ計測を含め、より高精度な管理を要することが予想され、掘削長の延長や比較的固結度の低い地盤を対象とした掘削時における、追従ケーシングの孔壁との摩擦抵抗対策などに関する検討を進め、危機回避対策としての検討を進めていくことも必要と考えた。

水平孔掘削時における掘削ツールズの押込み動作に関しては、NL140ロッドの管動(回転、上下動)を伴うラッチへの固定作業が必要となっており、NL140ロッドの磨耗を進行させる危険性が高いため、より確実性が高く安定した押込み動作が実施可能な装置、およびシステムへの改良検討が大きな課題となった。

調査計測システムに関しては、コントロールボーリング孔井におけるシステム統合化について、フェーズ2も「透水・採水技術」の透水試験・採水・イメージング装置のみ、現地適用性評価試験を行った。しかし、フェーズ2においても試験箇所は低透水性を呈し、装置開発時の適用目標範囲となる

透水性区間での試験実施が難しい状況となった。実用化後の掘削時にも低透水性区間での試験の可能性は否定できないことから、本孔井のような低透水性区間でも試験評価が可能な装置を準備しておく必要が考えられた。

また、「孔内モニタリング技術」に関してはHMD-1孔をHCD-3孔脇に設置し、模擬孔井として一連の設置動作を確認した。しかし、長孔区間における設置作業に関してのハンドリングに関して作業手法が確立していないため、システム化に向けた検討が課題となった。

「孔内力学測定技術、孔内応力測定技術」として開発される装置についても、調査計測システムとして適用性評価が必要となっているが、現時点では主要装置単体での開発・高度化が実施され、模擬孔井を使用した工場試験を実施している段階であることから、フェーズ3では工場試験での評価・検討を進め、現地適用性評価試験において実用性を評価することが必要となった。

2.4.2 フェーズ2で得られたシステム構成に必要な主要装置開発における課題

フェーズ2では、コントロールボーリング掘削技術、コントロールボーリング孔内での各種調査技術の実用化、掘削および調査技術の体系化による高度化を目指し、困難が予想される事象である断層破碎帯での現地適用性評価試験を行った。また、各種計測装置も困難な環境に対応可能となるように検討を進めた。

以降にシステム統合に向けた課題について取りまとめる。

2.4.2.1 フェーズ2で得られたコントロール掘削技術の課題

これまでの開発により、主要な装置によるコントロールボーリング掘削は概ね順調に推移していると言える。

昨年の課題として、低角度から水平までの掘削を実施する予定の最終年度へ向けた能力向上の必要性を再評価することが課題とされた。また、低角度の押し込み動作を必要とする環境を模擬した試験により、掘削ツールをラッチに固定させるために押し込みの作業を必要とする状況の確認ができた。共通装置の開発の評価では、GFRP ロッドによる押し込みが困難であるとの結論を得ていることから、押し込み補助装置の開発を進める必要がある状況であった。

平成19年度は、平成18年度の課題に対し、フィード能力を再検討することで現在の試錐機の能力により十分なフィード力を得ることを確認できた。次年度以降は、これまで経験していない水平孔掘削を実施することで、その評価に対する確認を行うことが必要と考えられた。

さらに、開発した押し込み補助装置がNL140 ロッド管内の抵抗により、押し込み動作が不能となる事象が発生したため、押し込み補助装置が受ける静止摩擦力を低減させる対策、押し込みの能力を向上させるための改良を実施することが課題となった。

2.4.2.2 フェーズ2で得られた先端探知技術の課題

平成19年度におけるWL-MWDシステムの開発における課題として継続しているジャイロセンサの適用性調査が挙げられる。平成17年度～平成18年度において実施した文献・動向調査より、オペレーションに関してはコストパフォーマンスや技術的な難易度の点から、ジャイロセンサを現行のWL-MWDツールに組み込んでリアルタイム計測を実施することは断念し、必要な時期に掘削システムに適用することを検討した。このため課題として、コストパフォーマンスに優れ、コントロールボーリングシステムに適合したジャイロツールス導入に関する検討が必要となった。

2.4.2.3 フェーズ2で得られたコア採取技術の課題

コア採取技術に関する残された課題として、今後の水平孔掘削時などの掘削屑(スライム)の排除が困難と予想される環境において、掘削中においても適正な孔内状況を維持することが求められた。平成19年度の現地適用性評価試験では、スライムの排除に関して、孔内洗浄による圧力環境維持が可能であると確認できたが、完全な水平孔内における検証は実施できていない。また、掘削ツールの押し込み動作に伴う、定常的な送水によるスライム排出効果については、最終的な評価が実施できていないことから、継続した評価が必要と考えられた。

2.4.2.4 フェーズ2で得られた掘削システム統合化に必要な共通技術の課題

システム統合化の共通技術として、ワイヤラインセメンチングシステムの高度化を実施した。高度化は目標とする、①コアリング孔を含む孔底部分へのセメンチングが可能であること、②セメンチング実施後の加圧養生が可能であること、の2項目を満足するものとして実施した。

本システムは断層帯掘削時の孔壁崩壊対策が主目的として開発され、現地適用性評価試験サイトにて対象となる地質事象の発生に備えていた。今後の現地適用性評価試験で崩壊・大量逸泥発生時に本システムを実際に評価することが課題となった。

2.4.2.5 フェーズ2で得られた検層技術の課題

フェーズ2の現地適用性評価試験で得られた課題として、4つの検討項目が得られた。

4つの項目は、①パッド部構造の改良、②センサ取り付け位置の改良、③音波検層ツール、④音波データ処理ソフトウェアであった。

①については、掘削屑がプローブ内に侵入しやすい構造であるため、内部回路に損傷を与える危険性が考えられ改良が必要とされた。

②については、泥水比抵抗センサと泥水温度センサがパッド部の内部に格納されているため、掘削用泥水の詰まりや、アニュラス部より離れた位置での計測となることから、正確な測定ができない可

能性が高く、設置位置の変更を検討する必要が生じた。

③については、Tx、Rx 間および各 Rx 間の長さがコンベンショナルな音波検層装置と比較して短く、初動の読み取りが困難となっていることから、ツール仕様とあわせた改良に関する検討が急務となった。

④については、手動により P 波、S 波速度の解析を行うが、リアルタイム測定結果を参照するためには必要不可欠であるため、音波検層ツールの検討と併せたデータ処理ソフトウェアの開発が必要となった。

2.4.2.6 フェーズ 2 で得られた透水・採水技術の課題

透水試験装置は、掘削時の逸水箇所などを短時間に試験することを目的としていることから、シングルパッカの構成となっている。そのため、既掘削の箇所を試験する場合は、試験区間が孔底までとなり、長区間の計測となってしまふ。試験区間を限定するためにはダブルパッカの適用が効果的となる。また、スラグ試験を主体としていることから、低透水性の試験箇所では区間を短くすると試験自体が困難となる場合が想定され、低透水性に対応した試験装置および試験法の開発が必要となった。採水装置は、平成 19 年度の第 3 回目の試験において孔内でのトレーサ濃度計測値と室内試験装置での計測値が異なる値を示した。原因として採水後装置内の石英セルへの土粒子付着が考えられたことから、装置内濁度計で濁度低下の確認を図り、濁度がある程度まで低下した段階で水質測定が可能なケミカルセンサの開発が必要となった。イメージング装置では、1 回の計測で計測可能な区間が 10m 程度に限られるため、試験適用の際の手順に検討が課題となった。

2.4.2.7 フェーズ 2 で得られた孔内力学特性・孔内応力測定技術の課題

孔内力学特性技術と孔内応力測定技術は、いずれも岩盤力学に関する測定技術ではあるが、対象とする現象と測定対象が異なり、統合化するに当たり共有できる部分が少ない。このため、限られたスペースで、個々のユニットをどのように効率良く統合するか、試験のためのコントロールをどのように効率良く行うか、試験で得られたデータをどのように効率良く伝送するかという課題が残った。さらに、現地適用性評価試験に向けて、孔内力学特性測定技術と孔内応力測定技術それぞれに以下の解決すべき課題が残った。

孔内力学特性測定技術では、セルフボーリングのための掘削性能の向上と载荷試験時の変位計測精度の向上が課題となった。掘削性能の向上に関しては、使用できる電力量が限られるため、ビット形状や給排水の経路等を最適化し、少ない電力量で効率的な動作を行うシステムが必要となった。また、掘削により生じた掘削屑がパッカ部に回り込むと、変位計測の精度が低下する原因となるため、排水ラインの検討が必要となった。変位計測精度の向上に関しては、変位計測にギャップセンサを用いて

いるが、磁束を用いた計測のため樹脂製とした取り付けシリンダーが、高い水頭圧変形し、計測精度が低下することが懸念されているため、ギャップセンサの取り付け位置の検討と変形防止対策が必要となった。

孔内応力測定技術では、各サブユニットに関して耐久・耐圧性の向上や測定精度の向上、測定対象とする地質に対応した電極部の材質検討、通信ケーブルの検討やコントロールボーリングの掘削装置と連結する際の部品の設計開発が課題となった。水圧破碎サブユニットでは、現地適用性評価試験に向けた耐久性、耐圧性の向上と亀裂計測部を連結した際の注水区間を短くする検討が課題となった。亀裂計測サブユニットは、亀裂方位特定の分解能が 20° 程度となっているため、測定精度を向上が急務となった。計測・制御・通信サブユニットに関しては、水圧破碎用の高圧ポンプの孔内用モータ電源のバッテリー化と孔外ポンプとの併用について検討や、地上からの計測制御装置と孔内計測器をつなぐ通信ケーブルを光ケーブルに変更することが課題となった。孔内力学特性測定技術との統合化に関しては、連結パーツの設計開発が必要で、結作業性を向上するための治具の検討が求められた。また、パッカ加圧用の孔内ポンプと水タンク的设计・試作と給水切り替え治具の検討を進める必要が生じた。

2.4.2.8 フェーズ2で得られた孔内モニタリング技術の課題

システム化に向けた課題として、設置するパッカの遮水性評価のためアニュラス部の水圧を測定する手法の検討が必要となった。また、緩傾斜部分で設置されるシステム内部にサンプラーを挿入する装置の設計・試作、室内試験が必要となった。

平成19年度の現地適用性評価試験(HMD-1孔)で実施した、①火薬による拡管試験、②ケーシング(NL140)切断試験、③BHTV(ボアホールテレビュアー)による拡管部の管径計測、④CCLによる深度測定、⑤孔内モニタリングシステムの設置といった一連の現地作業から、①に対する課題として、火薬の点火とケーシング切断作業に必要な専用ケーブルおよびケーブルヘッドの選定が残された。また、装薬カプセルとホルダー接続部の残滓の回収にばらつきがあるため、形状や構造の改良が必要となった。②では、切断時の切りくずを回収することができなかったため、カッターの先端にマグネット等を設置することが可能であるかの検討が必要となった。③では、NL140 ロッド管内で計測装置をセンタライズする治具を必要とした。④では、深度補正を実施可能なマーキングの検討および深度読取りのクロスチェックとなるケーブルマーキングの実現性を検討する必要が残された。⑤では、水平区間を含む緩傾斜部分に確実に目標位置にシステムを設置するオペレーション技術を確立する必要があり、トラブル発生時のバックアップ手法に関する検討も必要となった。

2.4.3 フェーズ2で得られた適用試験における課題

コントロール掘削システムを実現するための課題として、各技術により掘削された孔井に開発中の孔内計測技術と孔内モニタリング技術を適用させて高度化していくことが挙げられていた。そこで、適用試験におけるコアリング掘削中に、孔内計測技術の適用としてWL-LWDと透水試験・採水・イメージング装置について実施した。さらに、システムを構成する各技術について、掘削中に遭遇する困難な地層を想定した改良・開発を加えていくことで、大曲断層を対象とした断層破碎帯掘削に向けた開発適用を実施した。それにより平成19年度は大曲断層区間の掘削通過を実施できた。しかし、当初計画した水平区間までの掘削を行うことができず、その区間を対象とした掘削技術と調査技術の評価を実施することが課題として残された。

掘削中に適用させる孔内計測システムを断層調査に対応させるための地点選定手順を作成して透水試験・採水・イメージング装置を適用させた。結果として、WL-LWDによる計測データの取得を実施し、透水試験・採水・イメージング装置の実施箇所の選定を実現できた。しかし、水平掘削に必要な装置として開発した押し込み補助装置の動作では、増角率の変動によるNL140ロッド管内抵抗の影響で、NL140ロッドの管動を実施しなければ掘削ツールのラッチへの固定動作をできない状態となった。また、孔底部分に発生した崩壊層に対する対応が時間的な制約から未実施となった。これらの結果を踏まえ、”押し込み補助装置を水平孔で適用させる評価”と、”水平区間の掘削前にワイヤラインセメンチングシステムの現地適用を含めたセメンチング作業による崩壊層対策の完了”が課題となった。

フェーズ3でコントロール掘削技術を高度化するためには、水平孔掘削は必要不可欠であり、長大な裸孔区間を有した低角度～水平孔の掘削を対象にした適用試験で掘削システムを評価することが適用試験における大きな課題となった。

2.4.4 フェーズ2で得られた総合システム化に向けた課題

総合システム化に向けた課題として、掘削管理システムとマニュアルを含めた総合システム構築に関する課題、さらに適用試験から得られるデータ等具丘に関する課題をまとめる。

2.4.4.1 フェーズ2で得られた掘削管理システムの検討に関する課題

掘削管理システムとして作業上想定される危機と開発装置のメンテナンスに関して、検討をおこなった。作業上想定される危機に関して、主要装置について点検結果に基づくメンテナンスを再検討した。また、断層帯掘削時の対応フローにより危機発生時に備えた対策を整備し、平成19年度の掘削中において発生した対象となる危機の事象に照らし合わせた。これらの対応フローに関し、水平掘削時においても想定される崩壊対策として、応用・改良する必要があるが、平成19年度は崩壊対策の実施までは実行することが困難であった。そのため、フェーズ3では、崩壊対策を含め水平孔掘削時の危機回

避フローの充実が課題となった。

開発装置のメンテナンスは、試錐機の油漏れのような点検・メンテナンスを実施しておくことで掘削中断を回避できる事象に対し、事前に部品の交換を行うことで回避を可能にすることを目的として行ってきた。各装置のメンテナンス時期を再検討し、掘削長 1,000m を掘削する場合に発生する部品交換を取りまとめ、各種消耗部品について現場に準備しておく必要性を評価した。課題として、想定とは異なる消耗・交換を要している項目について、水平掘削においても同様の想定で対応可能であるか検討をしていくことが必要となった。

2.4.4.2 フェーズ2 で得られた総合システム構築に関する課題

総合システムの検討においては、改良・開発された装置をもとに総合システム化に対する現地適用性評価試験時の問題点・改良点を抽出し、各技術をシステム化するために必要となる要素を各構成技術別に取りまとめた。

総合システム構築における課題も、掘削システムと計測システムを統合するために、構成する技術の要素となる装置の改良・高度化を受けた修正を行うこと、現地適用性評価試験による装置の適用結果から発生する問題点・改良点を抽出することで、必要に応じた改良が必要となった。

掘削マニュアルは、平成 14 年度と平成 15 年度に作成したマニュアル原案をもとに、平成 16 年度は適用試験から得られた実績を加味したマニュアルを作成した。平成 18 年度は、断層帯掘削時の計測項目の適用について検討を行い、掘削マニュアルのフローに追加・修正を行った。平成 19 年度は水平孔を掘削することを前提にした検討を行い、押込み補助装置を適用するために必要なマニュアルフローを作成した。しかし、最終的な水平孔掘削による結果が得られていない。また、機械操作においてオペレータが実行する操作を関係者が周知することは重要であると考え、機械操作に関するマニュアルを作成した。今後は操作マニュアルの拡充とともに、さまざまな操作に関するマニュアルを構築していくことが必要であると考えられた。

掘削・調査データの統合化に関する課題は、現地適用性評価試験サイトでは低速な通信インフラしか選択肢がなく、データ閲覧用 web ページによる情報の共有化が十分に機能することができないことであった。今後、掘削・調査データ統合化システムが取り扱う調査データの種類と量は増加することが想定されるため、高速通信環境の整備と同システムの運用方法について再検討する必要性が生じた。また、現地適用性評価試験で得られる調査データに基づいて、調査地点周辺の地質環境特性の 3 次元空間分布推定や不確実性評価を行うためには、現状では情報が不足する。これには、調査対象領域全体をカバーするリモートセンシングデータや既存のボーリング調査結果、地質・地形情報を取り込むことで、補足できると考えられるが、そのためにはより多くの情報を取り込んだ統合化データベースを構築していくことが必要であると考えられた。

2.5 フェーズ3(6ヵ年)の目標と全体計画

フェーズ3では、断層帯区間を通過後の水平孔掘削におけるコントロールボーリングシステムの実用化が目標となる。また、掘削システムは十分それに耐えるものでなくてはならない。また、検層・測定技術も掘削システムと統合させなければ実用化とはならない。

当初、フェーズ3は4ヵ年の計画で予定されたが、その後6ヵ年の実施計画に再編成している。実施計画における掘削システムの計画は、緩傾斜区間～水平孔井の適用評価と、水平掘削時の傾斜維持、方位制御などの技術確立が主体となる。また、計測システムでは試験が最も困難となる水平傾斜区間に適用させることで、その実用性や有効性を導くことが主な課題となっている。

現地適用性評価試験では、水平孔井における各技術適用のために、既存のHCD-3孔を有効に活用し、調査システムを含めた高度化を行う。そして、平成19年度までに開発した各技術を現地適用させ、評価・体系化することを最終目標とする。

フェーズ3において実施を計画する技術の概要を以下に記す。

- ① 孔井曲げ掘削技術
鉛直深度500m、掘削長1,000mに対応可能な信頼性の高い掘削技術
- ② 先端探知技術
既存WL-MWDシステムによる掘削中の計測とデータハンドリング高度化、適用可能なジャイロシステムの開発とテンポラルな計測
- ③ コア採取技術
水平傾斜区間におけるコア採取実績、取得情報ハンドリングの高度化
- ④ 検層技術
耐久性のあるシステムの構築、水平孔井区間における測定
- ⑤ 孔内測定技術
統合試験機のコントロールボーリング孔井への組み込み、水平孔井掘削時の測定
- ⑥ モニタリング技術
HCD-3孔でのハンドリング技術向上、孔井傾斜部への装着およびモニタリング
- ⑦ 物理探査技術
既存装置によるシステム構築と孔内適用
- ⑧ 現地適用性検討
水平孔井掘削技術の確立、方位制御技術の確立・検証
- ⑨ 掘削、調査技術の体系化
各種マニュアルの作成、概要調査における掘削・調査計画手法の提案

図 2.5.1-1 にフェーズ 2 からフェーズ 3 へかけた調査年次フローを示す。

	第2フェーズ			第3フェーズ					
	2005 (平成17年)	2006 (平成18年)	2007 (平成19年)	2008 (平成20年)	2009 (平成21年)	2010 (平成22年)	2011 (平成23年)	2012 (平成24年)	2013 (平成25年)
(1) 孔曲げ掘削技術	システムの改良（高度化）			水平掘削の実績・システムの実用化 (水平曲げ・掘削困難箇所回避含む)					
	大曲断層の掘削								
(2) 先端探知技術	システムの改良・ジャイロの導入			システム構築・導入		現地適用 (ジャイロ、適宜併用)			
(3) コア採取技術	システムの改良（高度化）			現地適用により採取実績の蓄積					
(4) 測定・検層技術 (WL-LWD)	システムの現地掘削への適用			改良 (耐久性向上)		現地適用			
(5) 測定・検層技術 (透水・採水)	現地掘削への適用			改良 (低透水)		現地適用 (低透水)			
(6) 測定・検層技術 (透水・採水)	孔内応力装置の開発			改良・模擬孔試験		装置の開発		孔内応力測定装置 現地適用	
	孔内力学装置の開発			改良・模擬孔試験		装置の開発			
	装置の統合化			統合化に向けての提案					
(7) モニタリング技術	孔内パッカシステムの開発			改良・模擬孔試験					傾斜部適用
(8) 物理探査技術 (弾性波トモグラフィー)				システム構築					現地適用 (計測・解析)
(9) 掘削、調査技術体系化	マニュアルの作成			総合化システム運用					掘削・調査の体系化

図 2.5.1-1 フェーズ2からフェーズ3へかけた調査年次フロー

3. 平成 24 年度の成果の概要

3.1 コントロール掘削技術の改良

平成 24 年度のコントロール掘削技術の改良の成果について、検討を行なったサイドトラック掘削手法に関する成果を以下にまとめる。

3.1.1 孔井曲げ掘削技術

ホイップストックを用いた場合のコントロールボーリングへの適用性と、コントロールボーリングで使用している既存装置を用いたサイドトラック掘削手法について検討した。

以下にその検討概要をまとめる。

3.1.1.1 ホイップストックを用いたサイドトラック掘削技術の検討

海外の技術等も含めて検討を行った結果、以下の知見を得ることができた。

- ① コントロールボーリングで使用する場合には、孔井の裸孔区間の任意位置に設置可能なタイプである、“オープンホール式”のホイップストックが適用可能であるが、専用治具を用いた作業が必要となるため、システム化のためには専用治具の開発が必要となる。
- ② 油ガス井などで用いられている既存のホイップストックは、コントロールボーリング孔井と比較して、大孔径の孔井で使用されることが多く、適用可能なサイズは限定される可能性が高いため、開発要素が多く残されていると考えられる。
- ③ 既存のホイップストックを用いた場合の利点としては以下が挙げられる。
 - ・ 適用条件の制約
 - ・ 孔底部にホイップストックを残置可能
- ④ 既存のホイップストックを用いた場合の欠点としては以下が挙げられる。
 - ・ セメンチングによる埋め戻しが不要
 - ・ 治具の試作が必要

3.1.1.2 既存の資材を用いたサイドトラック掘削手法の検討

コントロール掘削技術の既存資材(ロッド・コアチューブ等)を用いたサイドトラック掘削手法について検討を行い、次ページに述べる順序で現地適用性評価試験を実施する計画を立てた。

(1) サイドトラック掘削実施箇所下部の埋め戻し

セメント打設対象区間の下部に、事前に比較的濃い濃度の掘削用泥水を置換しておき、その上部へは“捨て”セメントを注入することで、濃泥水との境界部のセメントミルクをゲル化させた状態にする。この上部に、必要量のセメントミルクを打設して、サイドトラック掘削実施箇所下部を硬化させる。

(2) 埋め戻し部の浚渫・整形

セメント頂部深度の確認と同部分の整形のため、 $\phi 152\text{mm}$ に加工したコンポジットシュービットを NL140 ロッドに接続し降管する。降下時にはセメント頂部手前より回転洗浄を行ないながら浚渫し、サイドトラック掘削実施箇所までの整形を行なう。

(3) 孔跡軌跡計画

サイドトラック掘削作業による新規孔井と既存孔井との離隔距離を算定し、各種孔内試験装置の適用や修正する軌跡に必要な条件に満たせる孔跡軌跡計画を実施する必要があることを確認した。なお、掘削長 650m 地点より孔井断面下方へ修正する場合について、離隔距離が最大となる場合と最小となる場合の軌跡についての確認を行った。

(4) サイドトラック掘削時における掘削管理方法

試作したコアチューブによる掘削時の方位変位状況を確認するために地上試験を実施した。地上試験で得た成果を以下に示す。

- ① サイドトラック掘削の実施区間においては、既存孔井の掘削時にボーリングコアを取得していることから、コアリングを実施する必要性は小さい。
- ② ノンコアリング掘削を実施した場合には、コアリング掘削に比べワイヤライン回収を削減できることから、掘削期間と掘削に係るコストを低減させることができる。
- ③ サイドトラック掘削の開始初期段階では、セメントによる埋め戻し区間から岩盤部に偏心していることを採取コアにより確認することで、より正確な分岐掘削作業が実施できる。
- ④ コアリングを実施するコアチューブでの採取コア径は $\phi 52\text{mm}$ であることから、掘削断面 $\phi 152\text{mm}$ の孔井断面をセメンチングした場合、既存孔井より 102mm の離隔距離が得られた時点で、取得するコアが完全にセメントから岩盤に切り替わることを確認できる。
- ⑤ 掘削長 650m 地点から、サイドトラック掘削作業を実施した場合の軌跡計画では、掘削長 655m の地点で約 10cm の離隔距離が確保できることから、サイドトラック掘削開始後の 5m 区間についてはコアリング掘削を行い、それ以降はノンコアリングで掘削を行なうことが最も効率的であると考えられる。
- ⑥ 掘削中のサイドトラック掘削孔井の掘削軌跡は、掘削編成内に接続する WL-MWD でリアル

タイムに計測を行い、この他に一定間隔でジャイロ測定を実施して確認を行なう必要がある。

3.2 孔内計測技術の開発

3.2.1 孔内応力試験装置

当研究所の横須賀地区における機能検証試験では、改良試作した、孔内応力試験装置を用いて実施した水圧破碎試験を実施し、亀裂を作成することが可能であることが分かった。また、亀裂の再開口試験を3回実施し圧力、流量データの取得をした。亀裂センサでは、孔壁面の観察および孔壁面からのAEをとらえることが出来た。試験データの解析より、水圧破碎法による地圧測定機器として機能することを確認した。

ラッチシステムについても、改良により固定、解除が有効に機能することを確認した。

3.2.1.1 孔内応力試験装置の改良設計と試作

(1) ケーブルヘッドの改良設計と改良試作

コントロールボーリングに適用したケーブルヘッドの改良設計・改良試作を行い、光変換器を内蔵した装置が十分機能することを確認した。

(2) 送り込み装置とラッチシステムの改良設計・改良試作

改良試作した送り込み装置を当研究所の我孫子地区においてNL140 ロッドを使用した鋼管試験を行い、以下に示す知見を得ることができた。

- ・鋼管試験時には、試験装置は送水量 200L/分で送水圧 0.1MPa を越えると、鋼管内を移動し始めることを確認した。
- ・試験装置が鋼管内で移動を始めると、送水量は 140L/分以上で移動を続けることが分かった。

我孫子地区における鋼管試験の実施後、孔内応力試験装置を幌延の現地適用性評価試験サイトに搬入し、実孔井内へ降下挿入することで以下の知見を得た。

- ・試験装置の送り込み開始後、掘削長 600m 位置になると速度低下が発生することが分かった。
- ・送水量は掘削長 150m 程度までは 100L/分程度で降下することが分かった。
- ・孔井の水平部分では 200L/分以上の送水量が必要であることが分かった。
- ・送り込み装置が正しく機能することを確認した。
- ・装置の耐圧性能が確認できた。

ラッチシステムについては、我孫子地区での鋼管試験ではその機能に課題は認められなかったが、幌延の現地適用性評価試験において、挿入試験に適用するためには十分な機能を有していないことが判明した。

そのため、さらに改良を加えた上で、横須賀地区における試験では、NL140 ロッドを用いて、試験装置に連結したラッチシステムの機能検証試験を実施した。

その結果、ラッチの固定・解除機能を確認した。また、幌延における現地適用性評価試験時に課題となった、試験装置の先端部分に荷重が加わった場合にラッチが解除されてしまう現象は確認できず、ケーブルヘッド側の装置を引っ張ることでラッチが解除されることを確認した。

(3) 孔内送水システムの改良設計と改良試作

孔内応力試験装置のダブルパッカを拡張させる十分な機能を有することを確認した。

3.2.1.2 孔内応力試験装置の送水と計測機能向上のための改良設計・試作

(1) 配管系の送水機能の向上と小型化のための改良設計・改良試作

ステンレスパイプを使うことで送水機能が上昇し、小型化を行った。

(2) 亀裂計測センサの精度向上のための改良設計・改良試作

亀裂センサの AE 測定では、アンプを改良することで S/N 比が向上し、精度の良い AE 計測が可能となった。

また、カメラについては、照明の写り込みが解消され、より明瞭な映像を得ることが可能となった。

(3) 送水系制御の改良設計と試作

試験用ポンプへ水を供給する孔内水タンクを改良試作した。孔内水タンクを使い現地で水圧破碎試験時にポンプへ水を供給し亀裂を作成することができた。注水機能孔内計測機器を使ってパッカ加圧ポンプを作動させるためのパッカポンプコントローラーの改良試作を実施し、コントロールが可能となった。

(4) 計測データの通信機能改良設計と試作

計測データ通信のための光変換器を増設し、電源供給部の小型化と安定化を行った。

3.2.2 孔内力学試験装置

平成22年度まで開発を進めていた「孔内応力試験装置」と「孔内力学試験装置」が連結した「統合化ユニット」は、コントロールボーリング全体計画における開発工期や費用の制約、代替手法による岩盤の力学特性の取得が可能であると判断したことから、孔内応力試験装置に傾注して開発を進めることとなった。

一方、孔内力学試験装置を用いることなく、岩盤の変形特性を評価する手法として、①②の2つについて検討をおこなった。

- ① 軟岩の場合、孔内検層のうち速度検層(PS検層)を実施し、ヤング率を算出する。必要ならば三軸圧縮試験を追加する。
- ② 不連続性岩盤の場合、各種岩盤分類法から岩盤のランク付けをおこない、力学特性を推定する。

ただし、上述の代替手法では、岩盤中に発達する割れ目の影響が考慮されていないことや、分類法の対象が硬岩となっており、そのまま岩盤評価手法として利用することは難しいと言える。

3.3 孔内モニタリングシステムの開発

平成 24 年度の試験と検討から得られた成果について示す。

3.3.1 拡管回路をアーマードケーブルから分岐する治具の設計・試作

平成 23 年度までの研究開発においては、拡管作業に伴う発破について、アーマードケーブルと専用の発破母線を利用して、機器開発ならびに機能確認を実施してきた。

本年度の設置試験においては、実施深度が深いことから、これらのケーブルを 3 芯のアーマードケーブルに統合して利用する計画となっているため、平成 24 年度に必要な治具として、発破用母線(2 芯)をアーマードケーブルから分岐させるための治具と、分岐したアーマードケーブル専用の拡管治具を設計・試作した。

(1) 拡管回路をアーマードケーブルから分岐する治具の機能確認

設計・試作した治具の機能確認を行うため、実際に使用する拡管治具編成とケーブルを使用し、耐圧試験を行った。なお、試験結果から電氣的に問題ないことを確認できた。また、2 回目の耐圧試験後の拡管治具解体により、漏水が生じていないことも確認できた。

耐圧試験は以下の条件で 2 回実施した。

- ・ 試験圧力 10MPa で 15 分圧力保持後、模擬発破(電流計測)を行う。
- ・ 試験圧力 5MPa で 18 時間圧力保持後、模擬発破(電流計測)を行う。

(2) ケーブルヘッドの破断試験

平成 24 年度は、アーマードケーブルヘッドの破断強度を決定するために、破断試験を実施し、本年度の設置試験において、外側ケーブル 13 本を固定(破断荷重 2.34 t)して実施することを決定した。

3.3.2 深海用電気雷管および補助母線の適用検討

本年度に予定しているモニタリングシステムの拡管では、拡管深度が深くなり、拡管治具に掛かる水圧も大きくなる。その際には、使用電気雷管やアーマードケーブル分岐後の補助母線も仕様変更が必要となるため、平成 24 年度は国内外の深海用電気雷管や耐水圧ケーブルの使用実績等の調査を行い、国内で唯一受注生産しているカヤク・ジャパン(株)製の深海用電気雷管(耐水圧性能:4.9MPa×24 時間、その他の性能:地震探鉱用電気雷管と同等)の使用を決定した。

また、補助母線として使用する耐水圧ケーブルは、発破作業の観点とアーマードケーブル分岐治具

の観点で、2種類のケーブルを比較・検討し、平成25年度の拡張試験に使用する補助母線には、外径が小さく、専用のフィールドスルーコネクタを使用して接続ができる日星電気(株)製のハイフロンふっ素樹脂(PTFE絶縁)電線を使用することに決定した。

3.4 現地適用性評価試験

平成 24 年度の現地適用性評価試験は、孔内応力試験装置をポンプによる送泥により、水平傾斜区間まで送り込みを行い、NL140 ロッド先端部のアウトパイプへのセットまでの一連の動作を確認するとともに、水平傾斜区間への送り込み動作確認中と送り込み完了後における同試験装置のセンサ類の動作を確認することを目標として実施した。

また、孔内応力試験装置の現地適用性評価試験に先立ち、試錐機などの地上設備のメンテナンスと点検を実施し、現地作業に対する準備を行なった。さらに、平成 23 年度の現地適用性評価試験終了後から養生期間としていた孔井内の状況確認のために、NL140 ロッドを降下させて、試験の実施に対して問題が無いことを確認した。

3.4.1 孔内状況の確認

現地適用性評価試験開始に向けた現地乗込み後、機器関連のメンテナンスなどを実施して、試運転による動作確認を行い、準備作業として孔内状況確認作業を実施した。孔井内状況確認は、NL140 ロッド降下中の 30m 毎に試錐機で停止状態の NL140 ロッドを引揚げるために必要な初動フィード力を計測することで、孔壁との摩擦抵抗の有無を判断して行なった。孔内状況確認時は、NL140 ロッド先端に $\phi 152\text{mm}$ に加工したコンジットシュービットを取り付けた。

孔内状況確認作業により、以下の状況を確認した。

- ① 泥水比重計測において、リターン泥水比重の最大値 1.02 に対し、孔井内へ送泥する泥水比重も概ね 1.01~1.02 で維持できており、リターン泥水に含まれる掘削屑(スライム)分については適切に排除されていた。
- ② 平成 24 年度の孔内状況確認作業においてビット荷重が減少傾向を示し、送泥作業を要した地点は 20 箇所確認され、それら区間に対して孔内洗浄を実施することで、抵抗の原因は排除できた。
- ③ 送泥による洗浄作業中はマッドロギングシステムでの測定を行い、取得したパラメータにより、それぞれの区間でトルクおよび回転数が改善し、孔井内状況を改善できたことを確認できた。
- ④ 孔内洗浄は、掘削長 349m~950m までの区間で孔内抵抗を確認した 20 箇所に加え、平成 23 年度の掘削区間となる掘削長 950m~1,000m 間において実施した。
- ⑤ 孔内状況確認作業の結果、孔内洗浄の実施により発生した孔内抵抗は排除できたことから、リーミングを必要とする箇所は確認されず、孔内応力試験装置による現地適用性評価試験の実施に問題がないことを確認し孔内状況確認を終了した。

3.4.2 孔内応力試験の現地適用試験

3.4.2.1 我孫子における送り込み機能検証試験

NL140 ロッドを使った地上部での送り込み試験結果より、試験装置は送水量 200L/分で送水圧 0.1MPa を越えると装置が推進を開始することを確認した。また、装置が推進を開始すると送水流量は 140L/分以上で移動を続けることが分かった。

3.4.2.2 幌延における孔内降下挿入試験

幌延挿入試験結果より以下のことが成果として挙げられる。

- ・掘削長 600m 位置になると速度低下が発生することが分かった。
- ・送水量は掘削長 150m 程度までは 100L/分程度で降下することが分かった。
- ・孔井の水平部分では 200L/分以上の送水量が必要であることが分かった。
- ・装置の耐圧性能が確認できた。

3.4.2.3 横須賀における機能検証試験

改良試作した、孔内応力試験装置を用いて実施した水圧破碎試験を実施し、亀裂を作成することが可能であることが分かった。また、亀裂の再開口試験を 3 回実施し圧力、流量データの取得をした。亀裂センサでは、孔壁面の観察および孔壁面からの AE をとらえることができた。試験データの解析より、水圧破碎法による地圧測定機器として機能することを確認した。

ラッチシステムについても、改良により固定、解除が有効に機能することを確認した。

3.5 総合システムの検討

3.5.1 掘削・調査データ統合化システムの改良

幌延町の現地適用性評価試験サイトにおける掘削作業・孔内試験実施時には様々なデータが取得される。また、採取されたボーリングコアを用いた室内試験からは岩盤の物性値や地化学データが取得される。これらの多種多様な取得データを一元的に管理、提供することを目的として「掘削・調査データ統合化システム」を過年度まで開発、運用してきたが、同システムを構成するデスクトップ PC を幌延町の現場事務所から撤去した後は、同システムの運用が全て停止する弊害を生じていたため、「掘削・調査データ統合化システム」の通年運用を目標として改良を加えて上で、現地適用性評価試験を通じて同システムの適用性評価をおこなった。

3.5.1.1 通年運用に向けた外部レンタルサーバの選定

取得した様々なデータを保存する“DB サーバ”と、保存したデータを表示、閲覧するための“web サーバ”を外部レンタル会社が提供するレンタルサーバ内に移設するために、「掘削・調査データ統合化システム」を運用するための諸条件を抽出した上で、セキュリティ面や運用コスト面も考慮して外部レンタルサーバ業者として“TSUKAERU.NET”を選定した。

3.5.1.2 データベース仕様検討および外部レンタルサーバへのシステム構築

「掘削・調査データ統合化システム」を利用して外部から保存されているデータを閲覧する際には、セキュリティの観点から“オリジナルデータベース”ではなく“公開用データベース”にアクセスする方式をとっているが、“オリジナルDB”と“公開用DB”間のデータ差違をなくす方式として、両DBへ同時に取得データを保存する方式を採用した。その上で、外部レンタルサーバ内にシステムを移設し、過年度までの取得データの表示、閲覧やダミー用のメール配信機能(“作業進捗速報”の配信)のテストをおこない問題が発生しないことを確認した。

3.5.1.3 掘削・調査データ統合化システムの運用

幌延町の現地適用性評価試験サイトにおける現地作業開始に合わせて、「掘削・調査データ統合化システム」を構成している“データ登録用 PC”を新たに現場事務所内に設置してシステムの運用をおこなった。なお、今回はシステムの重大なトラブルによる運用中断に備えて平成 23 年度までの旧システムも併設、運用し不具合の発生に備えた。

現地作業の実施期間中において「掘削・調査データ統合化システム」は大きなトラブルもなく稼働し、全ての現地作業が終了した時点で現場事務所内に設置されていた“データ登録用 PC”と旧システ

ムを構成する2台のデスクトップPCを含む全ての機器の撤去をおこなった。なお、「掘削・調査データ統合化システム」は継続して稼働中である。

3.5.1.4 運用中における不具合

「掘削・調査データ統合化システム」の運用期間中に発生した不具合としては以下の3例である。

- ・“作業進捗速報”の配信エラー(平成24年10月21日に発生)
- ・“作業進捗速報”の配信エラー(平成24年10月25日に発生)
- ・新システムの“データ登録用PC”の遠隔接続エラー

このうち、“作業進捗速報”の配信エラーに関しては、外部レンタルサーバ業者でシステムメンテナンスの実施直後に不具合が発生しており、原因究明をおこなった上で対策も実施済みである。

一方、“データ登録用PC”の我孫子地区管理用PCからの遠隔接続エラーに関しては、いくつか原因が推定されているが、幌延町の現場事務所が閉鎖状態で不具合発生時のシステム状態の再現が不可能である事から原因の特定と対策は未実施である。

3.5.2 掘削・調査支援システムの構築

掘削データから透水・採水試験の実施区間を合理的に選定するための手法構築に向け、掘削・調査データの分析、ならびに掘削技術者へのヒアリングを実施した結果、以下の結果が得られた。

3.5.2.1 掘削・調査データの分析

HCD-3孔で取得された掘削・調査データの整理を行い、透水・採水試験の候補箇所となる逸水区間または断層破碎帯において、掘削データが他区間と異なる特徴的な挙動を示すかどうか分析した。その結果、以下のことが分かった。

(1) 掘削時計測装置(WL-MWD)

- ① 透水・採水試験適用位置選定手順において監視項目となるWL-MWDの外圧に関しては、2カ所の逸水区間でわずかに低下を示すものの、通常時の変動と同程度であり、これから逸水と判断するのはきわめて困難である。また、比較的明瞭な外圧低下が見られる逸水区間もあるが、逸水のない区間でも同程度の外圧低下が認められ、逸水に伴うものと断定するのは難しい。
- ② トルクやビット荷重は掘削環境の変化による影響を受けやすいパラメータであると考え

られるが、HCD-3 孔の逸水区間や亀裂発達区間において明瞭な特異変動は認められなかった。

- ③ WL-MWD データには掘削中断時にデータにギャップが生じることがあり、これにより掘削中のパラメータの変動把握や適切なデータ分析が難しくなる。今回、簡易な方法を用いてデータからギャップを除去した結果、全体的な傾向が明瞭になったが、一方でこの方法では正しく補正できない箇所もあり、精緻な考察を行うためにはより厳密なデータ処理が必要である。

(2) 泥水検層 (Mud logging)

いくつかの泥水検層データには計測方法や仕様が原因と思われるデータの質の変化や本来の掘削状況と関係のないデータ変動が含まれおり、これらを直接用いて単純なデータ分析を実施することは困難であった。また、逸水区間または断層帯とそれ以外の区間とを区別できるような明瞭な特異変動は泥水検層のデータ上には認められなかった。

3.5.2.2 掘削技術者へのヒアリング

掘削データの計測方法や仕様ならびに実際の掘削状況に関して掘削技術者にヒアリングを実施した結果、以下のことが分かった。

- ① WL-MWD の圧力センサの仕様から HCD-3 孔で生じた微小な逸水を外圧データから検出するのは困難である。しかし、北進地区で生じた比較的規模の大きな逸水では外圧データの低下が確認されている。
- ② 外圧の計測値は水理地質環境の変化以外にも、ツールの方向・傾斜や掘削編成、アニュラス部におけるスライムの存在状況、泥水比重等によっても値が変化する。
- ③ 小規模なものも含めて逸水の検出に有効な監視項目は泥水総量もしくはフローアウトであるが、泥水量の変化を把握するにはより信頼性の高いフローアウトが適している。コントロールボーリングシステムでは掘削オペレータは WL-MWD の外圧に加え、これらのデータも常時モニタリングできるようになっている。ただし、モニタリングされるのは深度ごとに記録されたデータであり、本検討で用いた深度ごとに記録されたデータとは異なる。
- ④ HCD-3 孔では循環泥水のタンクに直接補水を行っているため、泥水総量データから正確な循環泥水量の変化を捉えることは難しい。

3.5.2.3 透水・採水試験に関わる調査・掘削データ活用方法の検討

現状の透水・採水試験適用位置選定手順をより合理的なものとするための掘削データの活用方法とその課題について整理した。

データ分析において HCD-3 孔の逸水区間での WL-MWD パラメータの挙動に着目したが、逸水検出の監視対象となっている外圧を含め、逸水に伴う変動特性の明確な変化は確認できなかった。また、ヒアリングからも微小な逸水による圧力低下を外圧データから検出するのは難しいことが分かった。本孔で発生した逸水は量が少なく、掘削への影響がほとんどなかったが、HCD-1 孔では逸水に伴う WL-MWD の外圧低下が確認されており、大規模な逸水が生じた際の WL-MWD データの挙動についても確認を行い、透水・採水試験における WL-MWD データ活用の適用性を見極める必要があると思われる。また、外圧データは逸水等の地質・水理地質環境だけでなくツールの設置状況や孔内環境等の多くの要因によって変化するため、逸水と関連のない変動が含まれたデータから逸水を判断できる可能性があるのかについても確認が必要である。一例として、ツール内部と孔内の圧力差に着目することで逸水の影響をよりの確に評価できる可能性が考えられる。

泥水検層に関しては、逸水の検知にフローアウトの監視が最も有効であることがヒアリングから分かった。計測データの挙動を確認したところ、一部の逸水区間ではともに明確に減少しており、その有効性を裏付ける結果となった。しかしながら、逸水のない区間でも泥水総量またはフローアウトが減少する箇所も認められ、これのみで逸水と判断するのは難しいのが現状である。よって、データの変動要因を明確にすることが必要である。また、元々時間ごとに記録されている生データから深度間隔のデータに再サンプリングする際、本来着目すべき逸水に関係するデータ変動が失われている可能性も考えられることから、時間サンプリングの掘削データを用いた分析も必要であることが分かった。

将来的には WL-LWD によるデータ計測が可能になれば、透水・採水試験の実施判断フローにおいてこれらのデータを有効に活用できる可能性が高いと考えられる。

3.5.3 掘削・調査手順書の作成

実運用段階で必要となる掘削・調査手順書を構築するため、掘削・調査計画の立案に必要なコントロールボーリングのキー技術に関して、それぞれの手順を構成する項目について検討した。本年度は、キーとなる技術として以下の6つの技術について掘削・調査手順書の項目および記載内容を抽出できた。

- ① コントロール掘削技術
- ② 掘削時検層技術
- ③ 透水試験・採水・イメージング技術
- ④ 孔内応力測定技術
- ⑤ モニタリング技術
- ⑥ 孔井内トモグラフィ技術

4. 本年度の開発目標

平成 23 年度までの「ボーリング技術高度化開発」において、掘削長 1,000m までのコントロールボーリングを掘削し、垂直深度で約 440m の位置において水平傾斜延長約 260m 区間の孔跡軌跡を達成できた。孔芯制御では先端探知技術を用いて、1° /10m の傾斜制御、水平傾斜の維持および水平傾斜区間における方位制御の技術を適用した。孔内計測技術の透水・採水技術については、断層帯区間を含む幌延コントロールドリリング 3 号孔 (HCD-3 孔) の透水性、間隙圧力計測などにおけるの水理地質構造評価への有効性を確認できた。

また、検層技術と物理探査技術ではコントロールボーリングへの適用性を確認した。

一方、モニタリング技術については HMD-1 孔や地上試験における評価でコントロールボーリングへの適用性を確認した。

本年度の「ボーリング調査技術の確証」は、HCD-3 孔を利用した現地適用性評価試験として、サイドトラック掘削、孔内応力試験装置、透水試験・採水・イメージング装置、孔内モニタリングシステムの設置を主として実施する。

以下に、各技術の開発目標と現地適用性評価試験の実施目標をまとめる。

4.1 概論

フェーズ 1 とフェーズ 2 の合計 8 年間では、要素技術となる①孔井曲げ掘削技術、②先端探知技術、③コアリング技術、④孔内計測技術の 4 項目で構成された各技術のシステム化を目標としてきた。

フェーズ 3 では、技術統合化に向け各技術の開発進捗と作業特性で区分を編集し、既開発技術の掘削時における有効性確認を主体とした「コントロール掘削技術」、開発技術の適用性評価と非掘削時に適用させる孔内計測技術を中心とした「コントロール掘削技術における孔内計測技術」、掘削終了後の孔井において評価を行う「孔内モニタリング技術」と「物理探査技術」に分け開発を継続している。

本年度は、「コントロール掘削技術」の高度化検討として、既存孔から新規孔井を分岐掘削するサイドトラック掘削手法について、実孔井である HCD-3 孔への適用評価を行う。

「コントロール掘削技術における孔内計測技術」では、孔内応力試験装置の実用化に向けた装置開発と、孔井内での水圧破碎試験により各センサの適用性を評価する。また、透水試験・採水・イメージング装置では、ダブルパッカを試作し、HCD-3 孔井内の高透水と考えられる区間において、同装置の適用性を評価する。

「孔内モニタリング技術」では、平成 24 年度までに設計、試作を行ったプロトタイプの孔内モニタリングシステムを HCD-3 孔井へ設置する。また、物理探査技術では、本 HCD-3 孔井で取得した地表-

孔井間トモグラフィデータ、平成 22 年度に取得したジオフォンデータ、および平成 17 年度に取得した反射法データを用いた再解析を行う。

掘削・調査支援システム構築では、掘削パラメータを用いて蓄積されたデータを有効に活用する手法を開発する。

以下、4.1.1～4.1.5 項に各技術を構成する要素技術の開発概要をまとめる。

4.1.1 コントロール掘削技術の開発概要

コントロール掘削技術は、「孔井曲げ掘削技術」、「先端探知技術」、「コア採取技術」、「掘削システムに必要な共通技術」で構成される。

本年度は、「孔井曲げ掘削技術」として、既存孔井から新規孔井を分岐掘削させるサイドトラック掘削技術の現地適用性評価試験を行う。

サイドトラック掘削では、既存孔井の一部区間の埋め戻しを行ってからサイドトラック掘削手法の現地適用を行う。そこで、サイドトラック掘削作業の手法を検討し、既存孔井の埋め戻し作業に向けて、パッカプラグの検討および充填材の選定を行う。

4.1.2 孔内計測技術の開発概要

孔内計測技術は、フェーズ 1 の開始当初から各装置単位での開発を継続的に実施している。その中で掘削作業と同時に孔内検層を行う、掘削時検層技術である WL-LWD と、水理試験を行う透水試験・採水・イメージング装置については、コントロール掘削技術と合わせた現地適用性評価試験を実施している。

その他、孔内応力測定ユニットと孔内力学ユニットを併せた孔内力学測定・孔内応力測定技術が現地適用性評価試験に向けて開発を進めていたが、フェーズ 3 の平成 22 年度以降、孔内応力測定技術のみを単独で行う、孔内応力試験装置として装置の試作、改良を行い現地適用性評価試験を実視している。

以下に、本年度の各技術毎の開発概要をまとめる。

「透水・採水技術」は、透水性評価や透水性割れ目を選択しやすく、かつ試験区間内の掘削水の排除を短時間で行うことを可能とするために、ダブルパッカシステムを試作する。試作したダブルパッカシステムは室内機能検証試験により耐圧性と遮水性の確認を行う。また、ダブルパッカシステムを制御するためのプログラムと電子回路に関しても新たに検討試作する。

「孔内力学測定・孔内応力測定技術」では、平成 24 年度までに開発した孔内応力試験装置を現地適用するために、孔内応力試験装置専用のアーマードケーブルへのケーブルヘッド接続と通信確認を行う。また、ケーブルヘッド内に組み込んだ危機回避用のウィークポイント切断荷重の検証を行う。

さらに、水圧破碎試験の評価を行うために既存の型どりパッカーを用いて孔壁状況を確認するため、装置に組み込む型どりパッカーの機能検証、装置のセットによる鋼管内の水頭を減ずるためのラッチシステムの通水機能検証を行う。

4.1.3 物理探査技術の開発概要

「物理探査技術」に関しては、地表発振-地表受振による屈折波トモグラフィデータ取得を行い、平成24年度までに取得した孔内ハイドロフォンアレイセンサとバイブロサイズ震源の組み合わせによる、地表-孔井間トモグラフィデータを用いてP波トモグラフィ解析を行う。また、平成22年度に取得した孔井近傍発振点におけるジオフォンデータを用いてP波とS波によるゼロオフセットVSP処理を行い孔井近傍のP波とS波の区間速度構造を求める。さらに、コリドースタック断面より孔井近傍の反射イベントの高精度解析を行う。

4.1.4 現地適用性評価試験の概要

本年度も北海道の幌延町上幌延地区のHCD-3孔において現地適用性評価試験を実施する。本試験を行うHCD-3孔は、平成23年度に掘削長1,000mまでの掘削を完了し、このうち掘削長740.1m以降は水平傾斜角度を維持し、掘削長800m以降は掘削方位の制御を目的に水平傾斜を維持した方位曲げ掘削が実施されている。

本年度実施するHCD-3孔における現地適用性評価試験は、平成24年度の掘削終了時より約10ヶ月の養生期間が経過していることから、孔底部付近は孔壁崩壊などが想定される。そのため、試験開始の際には孔内状況の確認作業を実施し、必要に応じて孔内状況改善作業を実施する。さらに、状況確認の際には、ロッド初動フィード力の計測を行う。孔内状況確認作業で孔内洗浄のため送泥を実施する際には、マッドロギングから得られるパラメータを取得する。

孔内状況改善作業終了後、孔井内の一部区間の埋め戻し作業を行い、掘削ツールを用いて既存孔井からのサイドトラック掘削を行う。サイドトラック掘削区間においては、沿角掘削による分岐掘削から開始するため、WL-MWDを用いて方位傾斜管理を行い、また、WL-MWDとマッドロギングから得られる掘削パラメータの取得を行う。サイドトラック掘削中のコアリング区間においては、「孔内応力試験装置」の現地適用性評価試験の一環として実施する、水圧破碎試験の実施箇所選定を目的として採取したコアにおける亀裂発達状況の確認を行う。また、サイドトラック掘削の実施前後には、同掘削の評価を目的として、ジャイロシステムによる孔心方位傾斜測定を実施する。

透水試験・採水・イメージング装置については、試作したダブルパッカシステムを用いた透水試験による効率化を評価するため、平成24年度までの適用試験で透水性が高いと判断されている区間に適用させる。また、透水試験に伴い試験区間に残存するトレーサ濃度を装置内の分光光度計を用い

て解析する。

孔内応力試験装置については、装置を専用のアーマードケーブルに接続した状態で、孔井内への降下前に事前通信テストを行う。通信テスト実施後、試験孔内において型どりパッカーを適用させ孔壁状況を確認する。その後、水圧破碎試験を行い、再度型どりパッカーを用いて試験前後の孔壁状況を確認評価する。

孔内モニタリングシステムの設置作業としては、開発したシステムの現地適用性評価試験として、火薬による拡管、ケーシング(NL140 ロッド)切断、観測区間確保、孔内モニタリングシステムの設置、モニタリングデータの収集と言った一連の設置試験を行う。

4.1.5 総合システムの検討概要

コントロールボーリングで得られる様々なデータを一元管理・閲覧することを目的とした掘削・調査データデータ統合化システムの運用を通じて課題・問題点の抽出を行う。また、蓄積したデータに関して、得られる掘削データと地質性状、および掘削環境との関係をより明確にし、掘削管理上の指標となるパラメータについて整理する。

また、各種システムを運用するための掘削・調査支援システムとして、これまで蓄積してきた掘削技術及び各種調査技術を総括し、総合システムを構築するための体系化に向けた検討を行なう。

4.1.6 開発の審議・検討

本研究実施にあたっては、学識経験者からなる「ボーリング調査技術の確証」検討委員会を設けて、研究計画や研究内容について審議・検討を行った上で、意見等をその都度、反映させて研究を遂行させる計画である。

本年度は検討委員会を以下の3回開催する計画である。

- ・ 第1回検討委員会 平成25年10月上旬 本年度研究計画審議
- ・ 第2回検討委員会 平成25年12月上旬 中間成果の審議
- ・ 第3回検討委員会 平成26年2月下旬 最終成果の審議

次ページ表4.1.6-1に検討委員会の委員一覧を示す

表 4.1.6-1 「ボーリング調査技術の確証」検討委員会委員一覧

	委員区分	委員名	所 属
1	委員長	青木 謙治	一般財団法人地球システム総合研究所 理事長 兼 京都大学名誉教授
2	委員	嶋田 純	熊本大学大学院 自然科学研究科 複合新領域科学専攻 教授
3	委員	松岡 俊文	京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 教授
4	委員	増田 昌敬	東京大学大学院 工学系研究科 エネルギー・資源フロンティアセンター 准教授
5	委員	徳永 朋祥	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 教授
6	委員	武村 貢	石油資源開発株式会社 技術本部 坑井技術部 部長

4.2 コントロール掘削技術の改良

コントロール掘削技術は、「孔井曲げ掘削技術」、「先端探知技術」、「コアリング技術」で構成され、さらに「共通技術」を介して統合される。

平成 23 年度までの現地適用性評価試験で、傾斜 35° から水平傾斜までの掘削長 1,000m におよぶコントロール掘削を実施し、WL-MWD とジャイロシステムによる方位・傾斜データの取得、ほぼ 100% のボーリングコアの取得が実現できたことから、掘削技術の適用性に関する成果が得られている。

しかし、HCD-3 孔では掘削が困難となる大規模逸泥や孔壁崩壊などの危機は発生していないため、実用化に向け、危機回避に関する評価の検討を行なうことが重要な項目として考えられている。

そこで、平成 24 年度にコントロール掘削技術の改良項目として、既存孔井から分岐掘削(以降、サイドトラック掘削とする)を行なう技術を掘削困難な事象が生じた際の危機回避策として検討した。

本年度のコントロール掘削技術の改良では、このサイドトラック掘削手法を現地適用するための手順を検討し、現地適用試験で必要となる材料・治具に関する準備を行う。

4.2.1 サイドトラック掘削手法の検討

本年度は、サイドトラック掘削技術の現地適用性評価試験として、既存の掘削装置や地上設備を使用して、昨年度までに掘削済みの HCD-3 孔井の一部区間を埋め戻した後に、実際に分岐した新規孔井を掘削するため、サイドトラック掘削を実施するために必要な埋め戻し作業に関する検討と、掘削手順の検討を行う。また、これら検討によって作業に必要な治具に関して試作を行う。

孔井の一部区間の埋め戻し時に使用するセメントの充填手法として、より確実に閉塞対象区間へセメントを置換できる方法と、セメント充填材を注入する場合の注入管の効率的な設置位置を検討する。また、セメンチング用の充填材として、性能と要求される品質から使用可能な材料を用いた施工性検討から選定を行う。

現地適用性評価試験で実施するサイドトラック掘削の計画孔跡として、掘削作業計画を設定し、平成 23 年度に実施したジャイロ測定結果を基に、サイドトラック掘削の目標とする計画軌跡座標を算出する。また、サイドトラック掘削手順として、現地適用性評価試験での作業に必要な施工方法を、既存孔井の埋め戻し作業からサイドトラック掘削を開始するまでの手順に関して検討する。さらに、サイドトラック掘削に使用する治具として、既存孔の埋め戻しに使用するセメンチング用閉塞パッカプラグとパッカプラグの切り離し治具の試作を行う。

4.3 コントロール掘削における孔内計測技術の開発

コントロール掘削時における計測技術は、透水試験・採水・イメージング技術と孔内応力測定技術に関する開発を実施する。

以下に実施する開発目標を示す。

4.3.1 透水試験・採水・イメージング技術

既存のシングルパッカと比較して、より試験対象の絞り込みが可能となり、かつ採水区間を限定することで効率的な採水が期待できる、ダブルパッカの試作・改良を行うことを目標とする。また、HCD-3 孔井を対象としてダブルパッカを用いた透水試験・採水を行うことを目標とする。

これまで、透水試験実施時において試験区間長を短縮することで、透水性の評価や透水性割れ目を選択しやすくし、かつ試験区間内に存在する不要な掘削水を短時間で排除することを目的として、シングルパッカに加えてダブルパッカシステムの開発を行ってきた。

本年度は、これまで開発したダブルパッカをスライド方式に改良する。この改良によって孔径の拡大部を対象とした場合でも、より柔軟にパッカーの設置が可能となる。

採水に際しては、トレーサ濃度を測定するための分光光度計の校正を行い、現地適用性評価試験に供する。また、各種水質センサ(水素イオン濃度(pH)、電気伝導度(EC)、溶存酸素濃度(DO)、酸化還元電位(Redox))の動作確認を行う。

4.3.2 孔内応力測定技術

4.3.2.1 孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための地上試験

(1) ウインチケーブルスリップリングケーブルヘッドの接続と通信確認

平成 24 年度に試作した孔内応力試験装置専用ケーブルは幌延用ケーブルウインチに巻取りが完了している。このケーブルの孔内側端末には孔内応力試験装置のケーブルヘッドを接続する。また、もう一端の地上部側はウインチに装着されているスリップリングから延長された信号線との結線を行い、地上部計測機器と接続して通信機能の検証を行う。

(2) 型どりパッカーの機能検証

2 軸載荷試験装置を用いた水圧破碎試験で岩石供試体に発生した試験孔孔壁亀裂の型どりをを行い、型どりチューブに残る孔壁の亀裂痕の保存性を検証する。

(3) ケーブルヘッド・ウィークポイント切断荷重検証

ケーブルヘッド・ウィークポイントの切断荷重を検証するための破断試験を行い、コントロ

ールボーリングの切断荷重に対応した孔内応力試験装置のウィークポイントとなっていることを確認する。

(4) ウィークポイント分離箇所耐圧検証

ケーブルヘッド・ウィークポイント分離箇所の防水機能を確認するため、鋼管内でウィークポイント分離箇所に注水加圧して、耐圧機能を確認する。

(5) ラッチシステムの通水機能検証

孔内応力試験装置のラッチシュー接触部に、ラッチ作動後もケーシング内外で水が通る機構に改良を加え、通水機能を有することを検証する。

4.3.2.2 孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための我孫子地区鋼管試験

幌延現地での適用性評価試験に先立ち、当所我孫子地区において、試験孔を模擬した鋼管を用いて泥水により、送り込み装置、ラッチシステム、型どりパッカーについての機能検証試験を行う。

(1) 送り込み装置の機能検証

送り込み装置を連結した孔内応力試験装置が鋼管内を推進する際の泥水の送水量および送水圧力、送り込み速度を測定し、送り込み時の送泥流量、送泥圧力、送り込み速度の関係を確認する。

(2) ラッチシステムの機能検証

泥水環境下でラッチの固定および解除の作動機能検証を行う。

(3) 型どりパッカーの機能検証

孔内応力試験装置の水圧破碎サブユニットの下部パッカーを型どりパッカーとして、型どり用チューブを被せた状態で鋼管内で送り込みを行い、型どりチューブの摩耗状態を確認する。

4.4 物理探査技術の開発

平成 22 年度と平成 23 年度、現地適用性評価試験サイト内の HCD-3 孔井において、ハイドロフォンアレイケーブルとバイプロサイズ震源との組み合わせによるデータ取得試験を実施し、データ品質についての検証、評価を行った。

孔内ジオフォンの記録から、ハイドロフォン記録に顕著な見かけ速度 1.4 km/s の強振幅な波群は、孔内流体を伝播するチューブ波であることを確認した。ノイズ除去処理の適用によって、ハイドロフォンでも初動走時トモグラフィが実施できる程度の品質のデータを確保できる目処がついた。一方で反射波等の後続波については、ノイズ除去処理を適用しても利用が困難であることを確認した。

発振に起因するチューブ波のほかに、孔内から上昇するメタンガスが空気中に放出される時に発生する音が、孔内流体を伝播してハイドロフォン記録のノイズとなっていることがわかった。このノイズの影響をできるだけ回避するためには、待機時間およびデータ転送時間を試験計画に多めに見込んでおく必要があることを確認した。

平成 23 年度には専用の押し込み補助装置を用いて、ハイドロフォンアレイケーブルを HCD-3 孔内の水平区間に敷設し、水平孔井においてもハイドロフォンアレイツールを安全に運用できることを確認した。

平成 23 年度までにデータ取得システムの開発に目途をつけ、本年度は以下の作業項目を実施した。

- ① 地表発振-地表受振の屈折法地震探査を実施し、過年度に実施の地表-孔井間トモグラフィ調査でカバーしきれない地表近辺の補完データを取得する。
- ② 過年度に取得したデータを①のデータと合わせてトモグラフィ解析を行い、HCD-3 孔井周辺の速度構造を求める。
- ③ ②で求められた速度構造を用いて、反射法データの再解析を行い、本研究課題の最終目標である反射断面の高精度化を図る。

データ解析結果について検証を行うと共に、解析の過程で生じた問題点や課題を整理し、今後の弾性波トモグラフィ調査の計画策定に資する技術的資料と得ることを目標に作業を行った。

図 4.4.1-1 に物理探査技術の開発概要(平成 25 年度作業のフロー)を示す。

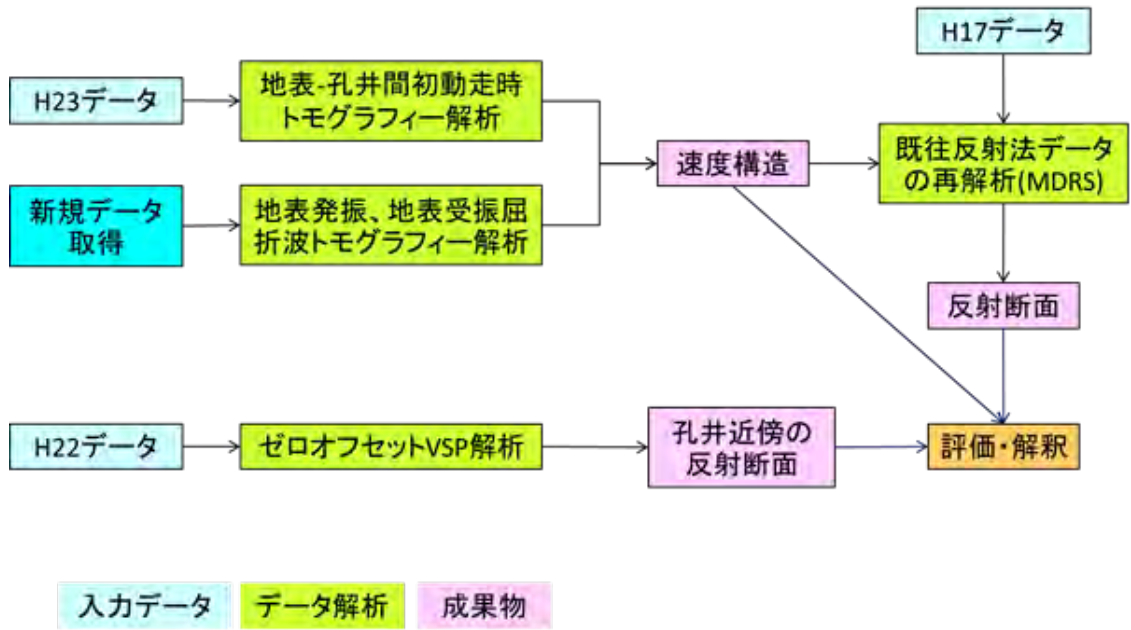


図 4. 4. 1-1 物理探査技術の開発概要(平成 25 年度作業のフロー)

4.5 現地適用性評価試験

本年度の現地適用性評価試験は、検討を行ったサイドトラック掘削により、既存孔井から新規孔井を分岐掘削し、新規孔井で取得したボーリングコア情報(亀裂発達状況)に基づき、孔内応力試験装置を用いた水圧破碎試験実施の可否を判断する。

また、ダブルパッカを新たに開発した透水試験・採水・イメージング装置をHCD-3孔井内の透水性が比較的高い区間に適用させて、透水試験と採水作業を通じて、ダブルパッカやケミカルセンサ等の性能評価を行う。

サイドトラック掘削と各種孔内試験の終了後には、孔内モニタリングシステムの現地適用性評価試験として、NL140 ロッド拡張～切断・NL140 ロッド一部引き上げ～裸孔区間作成の一連の手順からなる、マルチパッカ設置作業と、同システムを用いたモニタリングデータの計測・収集を行う。

4.5.1 孔内状況の確認

現地適用性評価試験の開始前に、NL140 ロッドをサイドトラック実施区間である掘削長750m付近まで降下させ、孔内作業時の障害となる、孔壁崩壊等の有無を確認するための孔内状況確認作業を実施する。孔内状況の確認作業は、NL140 ロッド降管時における洗浄の際に、フィード計測を実施して、想定した摩擦抵抗に対して適正な値が得られるかどうかを確認する。適正フィードであることの判断は、平成24年度に計測したフィード力と比較して行う。本計測によって、孔壁とのフィード抵抗が大きいと確認された場合には、孔内洗浄による状況確認終了後、NL140 ロッドの先端部に取り付けられた”コンポジットシュービット”によるリーミング作業を行う計画である。万が一、孔壁崩壊やフィード抵抗の改善が見られない場合には、セメンチングによる保孔作業を実施する予定である。

孔内状況確認作業時には、取得可能なパラメータを得るためのマッドロギング(mud logging)装置を設置した上で、ポンプ送排水量/送排水温度・掘削用泥水比重・NL140 ロッド回転数/回転時トルク等を計測する。洗浄に使用する掘削用泥水に関しては、比重と粘速の計測とタンクレベル計測による孔内水の逸水・湧水の有無を計測する。孔内状況確認の終了後には、孔内応力試験装置の現地適用性評価試験を実施する計画である。

また、透水試験・採水・イメージング装置に装着されているダブルパッカと、孔内モニタリングシステムのマルチパッカ(多連式ダブルパッカ)の設置位置を判断するための情報を資する目的で、孔径検層(キャリパ検層)を行い、孔径状況を把握する。

孔径検層では、ダブルパッカの設置計画箇所付近を対象として計測を行い、計測の結果、パッカ設置に対して適していないと判断した場合には、設置計画箇所付近以外の区間についても計測の追加を行う予定である。

4.5.2 サイドトラック掘削

本年度はサイドトラック掘削技術の現地適用性評価試験として、既存の掘削装置や地上設備を使用して、昨年度までに掘削済みの既存孔井の一部区間を埋め戻した後に、実際に分岐した新規孔井を掘削する計画である。なお、サイドトラック掘削作業を行う際には、マッドログ装置や試錐機等から取得される各種パラメータの取得作業を行う。

既存孔井の埋め戻し作業においては、まず最初に、埋め戻し予定区間の孔底側にパッカプラグの設置作業を行い、その後に、事前に選定を行い配合したセメント充填材を用いて、注入置換作業を行い孔井の一部区間の閉塞を実施する計画である。その後、閉塞区間のセメントが十分に硬化した段階で、セメント頭部位置の確認と頭部端面の形成を行い、その後のコアリング掘削開始に備える予定である。

既存孔井の一部区間の埋め戻しが終了した段階で、コントロールボーリング掘削時の掘削編成を用いてコアリング掘削を行い、新規孔井の分岐掘削を行うことでサイドトラック掘削の成果を評価する。

サイドトラック掘削では、採取したボーリングコア状況によって、既存孔井から十分に分岐したことを確認した後に、ノンコアリングビットを使用したノンコア掘削を行い、新たに掘削した孔井が既存の孔井より、十分離れた段階で通常のコアリング掘削に戻し、孔内応力試験装置の現地適用性評価試験の実施箇所選定のためのボーリングコア取得を行う計画である。

4.5.3 透水試験・採水・イメージング装置の現地適用性評価試験

本年度に改良を加えたダブルパッカの適用性を確認するため、平成 18 年度に同試験装置のシングルパッカで試験を実施した、HCD-3 孔の掘削長 210m 付近にて試験を行う計画である。本試験では透水試験と採水作業を行い、平成 18 年度当時の水理特性や水質の比較を通して、改良した試験装置の評価を行う予定である。

4.5.4 孔内応力試験装置の幌延現地適用性評価試験

平成 24 年度までに改良・試作を行った「孔内応力試験装置」に関して、図 4.5.4-1 に示す幌延 HCD-3 孔における孔内応力試験装置の試験フローに沿って試験を実施し、孔内応力試験装置のコントロールボーリング孔への適用性の評価を行う。

4.5.4.1 孔内応力試験装置の地上での通信機能検証

孔内応力試験装置を応力測定用アーマードケーブルに接続し、孔井内へ降下挿入する前に地上にて事前に通信テストを行う。

4.5.4.2 水圧破碎試験位置の試験前孔壁確認

試験前に孔壁の亀裂状況をボーリングコアで確認し、型どりパッカーをボーリング孔に挿入して孔壁の型取りを行い、その後、装置を地上に引き上げて孔壁状況を確認する。

4.5.4.3 孔内応力試験装置の機能検証試験

孔壁亀裂状況の確認後、同装置を挿入し、試験可能な孔壁と判断される試験位置（地中）において、水圧破碎試験を実施する。

4.5.4.4 水圧破碎試験位置の試験後孔壁確認

上述の4.5.4.3の機能検証試験の後に型どりパッカーをボーリング孔内に挿入して孔壁の型取りを行い、再度装置を引上げ、孔壁状況を確認する。

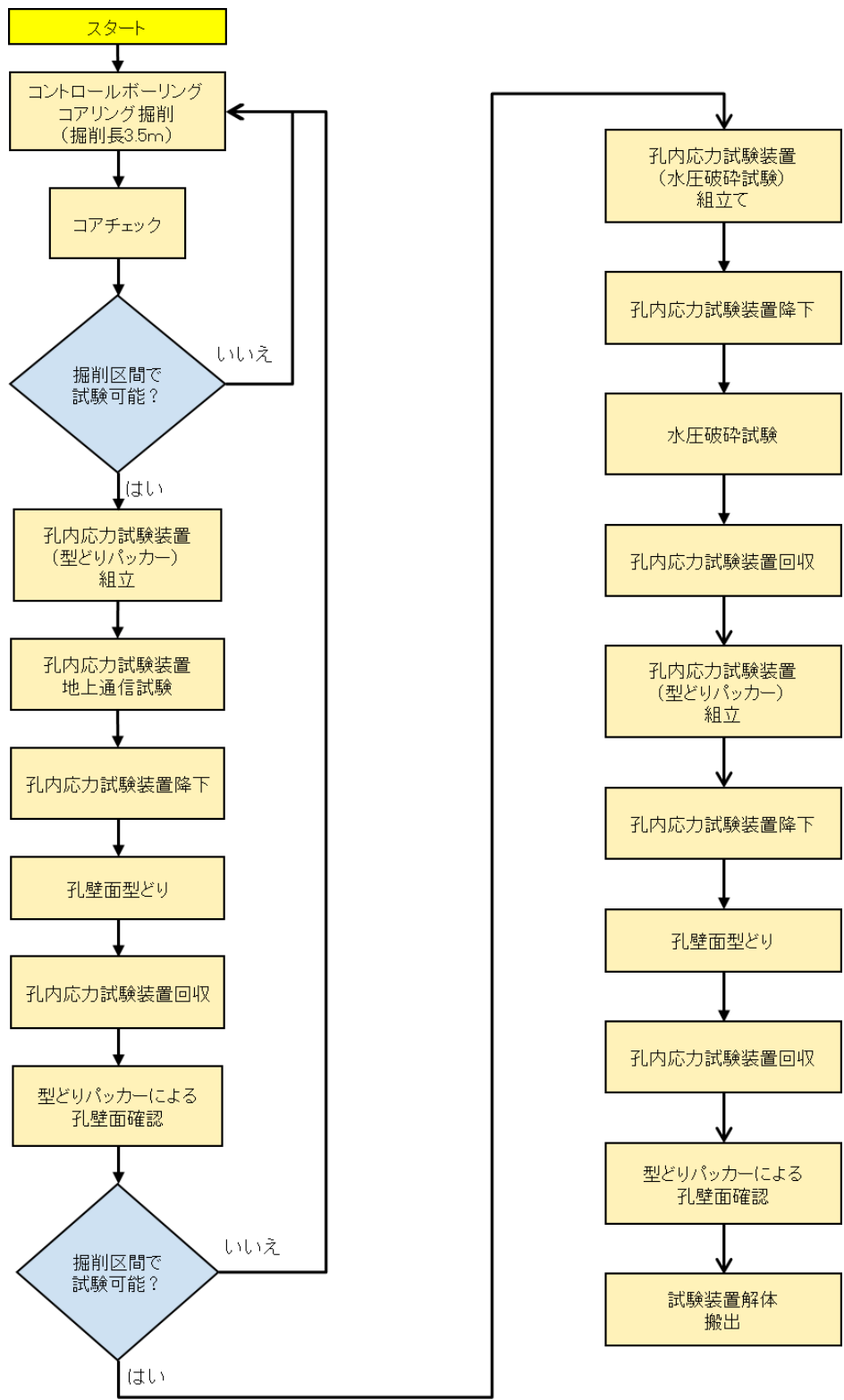


図 4.5.4-1 HCD-3 孔井における孔内応力試験装置の試験フロー

4.5.5 孔内モニタリングシステムの設置

コントロールボーリング孔(HCD-3孔)にて実施予定の孔内モニタリングシステムの現地適用性評価試験に際し、その設置作業を行う。

図4.5.5-1に示すコントロールボーリング孔における孔内モニタリングシステムの設置概念図にしたがって、3区間について以下に示す試験を実施し、孔内モニタリングシステムを設置する。

試験位置は、表4.5.5-1に示す区間とする。なお、最終的な試験位置は、事前に実施する孔径検層結果とボーリングコア観察結果を基に決定する。

表 4.5.5-1 HCD-3 孔モニタリング対象区間(計画区間)

区間名	上部パッカ位置	裸孔区間 (モニタリング区間)	下部パッカ位置
区間①	204.6m～206.9m	206.9m～213.0m	213.0m～215.0m
区間②	310.8m～313.4m	313.4m～320.0m	320.0m～323.0m
区間③	430.1m～432.0m	432.0m～442.0m	442.0m～444.5m

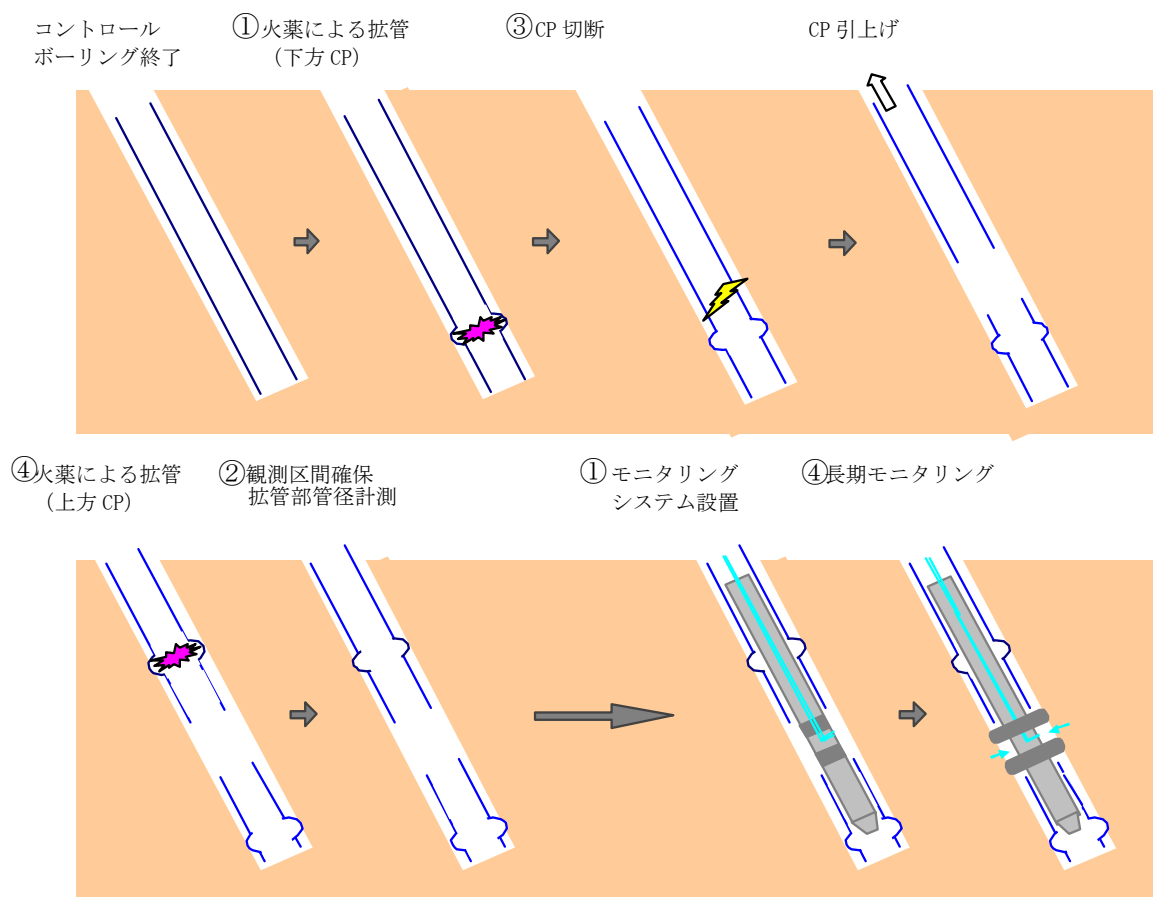


図 4.5.5-1 モニタリングシステムの設置概念図(3区間設置)

4.5.5.1 火薬による拡管試験

平成24年度までの検討・試験でNL140 ロッド(ケーシング)荷重の保持方法は、NL140 ロッド内に設置した火薬を起爆させてNL140 ロッドを局部的に拡管し、孔壁に密着もしくは食い込ませる方法が有効であるとの結論を得た。

本年度は、この技術を実孔井(HCD-3 孔)に適用し、拡管試験を実施する。拡管ごとに拡管後のNL140 ロッドの引き抜き耐力を確認し、NL140 ロッドが保持されていることを確認する。

4.5.5.2 NL140 ロッド切断試験

平成24年度までの試験で電動カッターはNL140 ロッドの切断ツールとして有効であることが確認された。

本年度は、この切断方法を実孔井(HCD-3 孔)に適用し、電動カッターを用いたNL140 ロッドの切断試験を実施して孔内モニタリングに必要な裸孔を設ける。

4.5.5.3 BHTVによる拡管部の管径計測

平成24年度までの試験でBHTV 検層は拡管部の内径を確認するツールとして有効であることが確認された。

本年度は実孔井(HCD-3 孔)を用いて、拡管部の管径計測を実施して孔径確認を行う。

4.5.5.4 孔内モニタリングシステムの設置と観測データ取得

平成24年度までに試作した孔内モニタリングシステムを実孔井(HCD-3 孔)に設置し、地下水の水圧データを継続的に取得できることを確認する。

4.6 総合システムの検討

開発された各技術を構成する装置を組み合わせることにより総合システムの構築を実施する。これまで、掘削に関する作業をスムーズに実施するための掘削マニュアルの作成を実施している。

本年度は、データ統合化研究計画として、外部レンタルサーバを利用して昨年度から本格的に運用を開始した「掘削・調査データ統合化システム」の運用を引き続き行い、課題・問題点の抽出を行う計画である。また、コントロールボーリング技術の体系化を目指した基本的な考え方と推奨する手順について、過年度迄の現地適用性評価試験の実施結果から検討を進める。

4.6.1 掘削・調査データ統合化システムの運用

コントロールボーリング掘削においては、地質環境特性に関する各種の調査が実施され、多種多様なデータが取得される。例えば掘削作業を行う試錐機からは、掘削管理を目的として各種の掘削に関するデータが取得される。また、採取されたボーリングコアを用いて行われる室内試験からは、物性値や抽出した間隙水分析による地化学特性データが提供される。

HCD-3 孔では、調査の際の危機管理や調査結果に基づいたサイト評価に資する情報の提供を目的として、掘削から各種調査に至るまでに取得される多種多様な情報の一元管理と共有化を実現する「掘削・調査データ統合化システム」（以降システム）を構築し、試験的に運用している。

今年度の実施計画概要を以降に記す。

4.6.1.1 システムの概要

過年度までのシステムは、取得・登録済みデータを保存する①「データベース用のサーバ」、登録データを表示・閲覧するための②「ウェブサーバ」、および取得データを①へ登録するための③「データ登録用 PC」を、現地適用性評価試験サイト内に設営した現場事務所内に設置していた。

全ての現地作業が終了して防寒施設・現場事務所を閉鎖した後は、システムを構成しているこれらの PC 機材が撤去されることに伴い、システム全体の運用が休止状態となる弊害を生じていた。

このため、システムの通年運用を目的として、平成 24 年度に外部レンタルサーバを選定の上、同サーバ内にデータベース用サーバとウェブ用サーバを新たに構築した上で、現地適用性評価試験サイトにおける現地作業の終了後においても、登録済みの取得データの表示・閲覧が可能な新たなシステムを構築して、通年運用を行っている。

4.6.1.2 システム運用に向けた準備作業とシステム運用

今年度の試験サイトにおける、コントロールボーリング孔井を使用した各種現地作業の開始に先立ち、運用を継続しているシステムの各種機能について、動作確認とメンテナンス作業を行った後に、

システムを構成する機材の一部を試験サイト内の現場事務所に設置した上で、本格的な運用を開始する。

なお、システム運用時には、昨年度使用不能であった、遠隔操作によるデータ登録用 PC の管理・運用が行えるように、システムの改修を行った上で、通年運用を通じて課題点・問題点の抽出を行う計画である。

試験サイトにおける全ての現地作業が終了し、現場事務所・防寒施設を閉鎖する際には、システムを構成する機材の撤去を行うが、外部レンタルサーバを使用してシステム自体の運用は継続する予定である。

4.6.2 掘削・調査支援システムの構築

コントロール掘削システムでは、先端探知を目的として孔内で WL-MWD によるビット荷重、トルク、孔内圧力等の計測がされており、また、地表部では泥水検層（マッドログ）により主に掘削用泥水に関するデータが記録されている。このように、本掘削システムでは一般的なボーリング掘削と比較して、格段に精度の高い掘削情報を用いた情報化施工がなされている。これらの掘削情報をさらに有効に活用するために、掘削や調査にもフィードバックすることが考えられる。そこで、透水・採水試験実施区間の合理的選定や逸水による掘削トラブルの回避を想定した、掘削情報の活用方法について検討を行う。

4.6.2.1 HCD-3 孔井の掘削データの分析

HCD-3 孔井を対象として、掘削深度を基準としたサンプリングが行われていない元来の掘削データを用い、掘削関連情報と高透水箇所とのデータの連動性について分析を行う。また、データに含まれる地質環境特性とは明らかに関連のないノイズを除去し、高品質な掘削関連情報とするためのデータ処理法について検討を実施する。

4.6.2.2 HCD-1・2 孔井の掘削データの分析

HCD-3 孔井よりも逸泥状況が顕著な HCD-1・2 孔井を対象に、上述の 4.6.1.1 と同様の分析および検討を実施する。

4.6.2.3 掘削関連情報の活用可能性評価

上記 2 項目の結果に基づき、透水、採水試験実施の合理的判断や逸水による掘削トラブル回避に向けた掘削関連情報の活用可能性を評価する。併せて、掘削データの変動要因について整理し、逸水の判断をより容易にするためのデータ処理法及び評価法について検討を行う。

4.6.3 掘削・調査手順書の構築

コントロール掘削・調査技術については、経済産業省の受託研究として平成12年度から開発を進めてきており、各年度の開発状況や現地での適用事例について研究報告書として取りまとめている。これらは各年度のそれぞれの開発項目の詳細な開発状況を中心に取りまとめたものであるが、これまでの個々の開発項目の開発経緯や、全体システムの開発進展状況を概観することは容易でない。

本技術開発に際しては、開発過程を考慮して開発年度を3つのフェーズに分割し、それぞれに短期的な目標を定め、これらの目標に到達したか、またその際にどのような課題が抽出されたかを確認している。これらのフェーズ毎には、機器開発状況や現地での検討製検討の結果を取りまとめている。

これらの技術的な報告書に対して、掘削・調査手順を今後完成するであろうコントロール掘削、調査技術を実際の処分地選定に際して実運用する際の手引書としてまとめ、概要調査などの掘削、調査計画の立案に資するものとしていくことが必要である。このような観点から、掘削・調査手順書の対象を実際にサイト選定調査を実施する技術者や管理者であると想定し、技術の詳細よりも本掘削、調査技術がどのような体系のもとに運用されるかを中心に取りまとめる。

5. コントロール掘削技術の改良

作業中の孔井内において、掘削装置や孔内試験装置が回収不能となった場合を想定して、既存孔井の途中で新たに分岐箇所を設けて、分岐箇所から新規孔井を掘削する手法として、サイドトラック掘削技術に関する現地適用性評価試験の手法について検討を行った結果を以下に記す。

5.1 サイドトラック掘削手法の検討

サイドトラック掘削技術は、既存孔井の途中で新たに分岐箇所を設けて、分岐箇所から新規孔井を掘削する手法として主に石油産出業界で採用されている実績がある。

本年度は、平成 24 年度に机上にて検討を行ったサイドトラック掘削技術に関して、実際のコントロールボーリング孔井(HCD-3 孔)を利用した、同掘削技術の現地適用性評価試験として、実際の掘削作業で使用してきている掘削装置や、既存の地上設備を使用して、昨年度までに掘削済みの HCD-3 孔井の一部区間を埋め戻した後に、この埋め戻し区間の近傍付近から分岐した新規孔井を掘削する計画である。

このため、実際にサイドトラック掘削を実施するに当たって、まず最初に必要となる既存孔井の埋め戻し作業に関する検討と作業手順の検討を行った。また、同時にこれらの検討を行うことで作業に必要な治具に関しても試作を行った。

結果について以下に記す。

5.1.1 セメント充填方法の検討

セメントミルクを対象区間に置換充填する場合、掘削長が比較的浅い段階の高傾斜区間などでは、孔底付近にセメントミルクを置換させて閉塞することが容易であるが、本孔井のような緩傾斜や水平傾斜区間の掘削中などの場合には、図 5.1.1-1 に示すように対象区間において、セメント水平面が長大になってしまうために、セメントミルクによる置換が困難となる。

そのため、平成 24 年度に行った机上検討結果をもとに、本年度の現地適用性評価試験で実施するセメント充填方法について再検討を行った。

5.1.1.1 平成 24 年度のセメント充填方法の検討結果概要

平成 24 年度には、セメント対象区間下部に事前に濃泥水を置換しておき、その上部へは”捨て”セメントを注入することで、濃泥水との境界部のセメントミルクをゲル化した状態として、その後に必要な量のセメントミルクを置換して硬化させると言った、次ページ以下の概略手順を検討した。

- ① サイドトラック掘削実施箇所下部へのチュービングパイプの降管・挿入
- ② サイドトラック掘削実施箇所下部への濃泥水送泥・置き換え
- ③ 濃泥水上部へのセメントミルク注入
- ④ サイドトラック掘削実施箇所下部 50m 区間のセメンチング
- ⑤ チュービングパイプの揚管・回収

図 5.1.1-1 に高傾斜区間と緩傾斜区間におけるセメントミルク置換時の水平面状況を示す。

図 5.1.1-2 にサイドトラック実施箇所下部のセメンチング方法概略を示す。

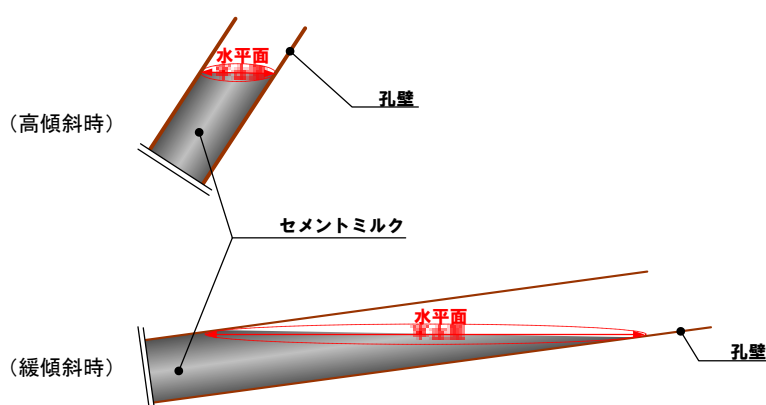
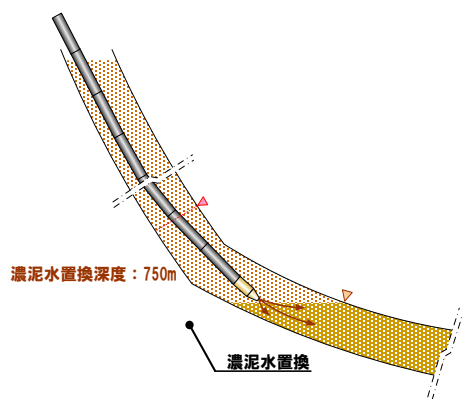
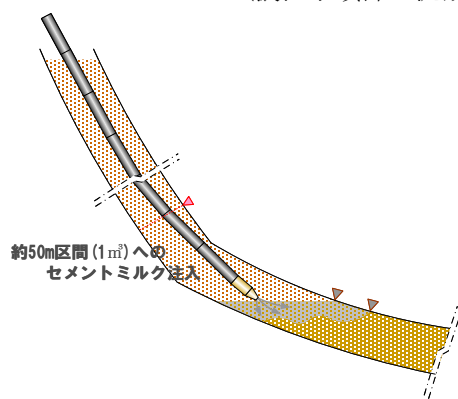


図 5.1.1-1 高傾斜区間と緩傾斜区間におけるセメントミルク置換時の水平面状況図

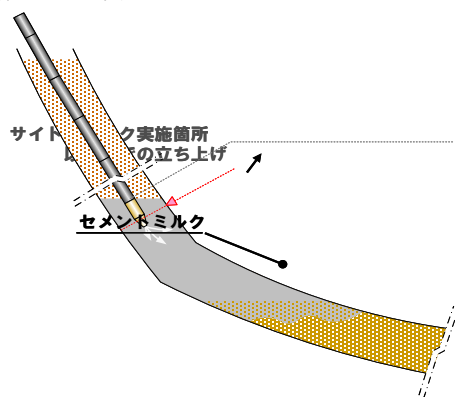
①サイドトラック掘削実施箇所下部への濃泥水置換



②濃泥水上部へのセメントミルク置換
(濃泥水頭部の流動性低減)



③既存孔埋め戻し用セメントミルク注入



④サイドトラック掘削実施箇所下部埋め戻し完了

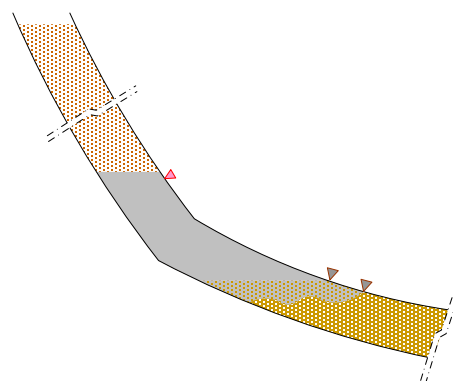


図 5.1.1-2 平成 24 年度に検討した既存孔セメンチング方法概略

5.1.1.2 セメント充填方法の再検討

平成 24 年度に検討したセメントの充填手法を用いた場合、セメントと泥水の境界部分におけるゲル状の硬化生成による流動性の低減を期待しているが、掘削長 650m 地点での攪拌作業が困難であることから、一回の注入により十分な成果を得ることは難しく、その成否の確認をすることができない。

そのため、境界部の流動性が高い状態のままであった場合、充填用のセメントが埋め戻しの対象区間より孔底側に流下してしまい、セメンチング回数を増加させてしまうなど工程延長のリスクが発生する可能性が考えられる。

そこで、今年度はセメントの充填手法として、より確実に閉塞対象区間へセメントを置換できる方法を検討した。また、セメントミルクを注入する場合の注入管の設置位置に関しても、より効率的に実施可能な手法を検討した。

(1) セメント埋め戻し対象区間下部の閉塞方法

セメント充填材の埋め戻し作業を行う上で、対象区間下部の閉塞状況がセメンチングの成否に大きく影響する。そのため、濃泥水を用いた手法よりも、より効率的な方法を検討した。セメント充填材を閉塞箇所上部に注入するため、閉塞する材料は充填材の注入作業や置換した重量により動くことがないように固定されている必要がある。また、効率的に作業を進めるためには簡易に閉塞動作ができることが望ましい。濃泥水など流動性が低い材料を用いた場合、閉塞の成果が得られにくいと考えられ、逆に流動性が低い場合には孔底への注入置換の実施が困難となってしまう。

現地適用性評価試験では透水試験や水圧破碎試験などを行う際に、試験区間の閉塞はパッカを用いて実施している。パッカの拡張は主に掘削用泥水を用いて行い、高い閉塞性能が得られている。これらのパッカの様に孔井内の任意箇所でも拡張可能な機械的構造の閉塞材料を用いることで、埋め戻し区間下部の閉塞作業を確実に実施することが可能になると考えられる。

そこで、本年度のサイドトラック掘削作業における既存孔の埋め戻し方法として、埋め戻し区間下部まで降下させたプラグを、地上から送水して拡張させるプラグを用いることにした。

なお、拡張したプラグは埋め戻し区間下部に残置させることが必要となるため、送水を行う注入管と切り離しができるようにする必要がある。また、切り離した注入管を用いてセメント充填材を挿入することで効率的に作業を進めることが可能となる。

なお、セメント埋め戻し対象区間下部の閉塞に用いるプラグについては、5.1.5項において検討・試作した。

(2) セメント充填方法手順

セメント充填方法の手順として、図 5.1.1-2 に示した平成 24 年度の検討に対し、上記(1)で述べているように、プラグ方式の既存孔閉塞用のパッカプラグを用いることにした。

そこで、濃泥水の置換から閉塞用パッカプラグの設置に変更する場合の作業手順を再検討した。

なお、パッカプラグの設置作業に関する手順は 5.1.5 項で検討した。

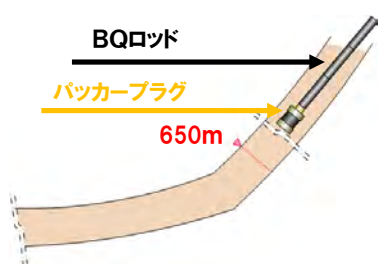
セメント充填作業では、セメント注入用の注入管先端にパッカプラグを接続して孔井内閉塞箇所まで降下させる。降下後、パッカプラグを拡張させ、固定状況を確認した後に注入管(チュービングパイプ)を切り離す。切り離した後、パッカプラグの降下に用いた注入管を用いて充填材を注入し埋め戻し区間に置換する。その後、注入管内に残留するセメント充填材を後押し送水により放出して注入を完了させる。注入完了後、セメント頭頂部より注入管は 50m 程度後退させておき、充填材の硬化状況確認のため 12 時間程度経過後に再度硬化させて硬化セメント頭部位置を確認し、予定深度に達していることを確認してから引き上げを行う。

なお、セメント頭部が予定深度よりも深部にあった場合には、セメント充填材を追加打設する。

図 5.1.1-3 にサイドトラック実施箇所下部のセメンチング概略手順を示す。

①パッカープラグ挿入

BQロッド先端部に
パッカープラグを接続し降下



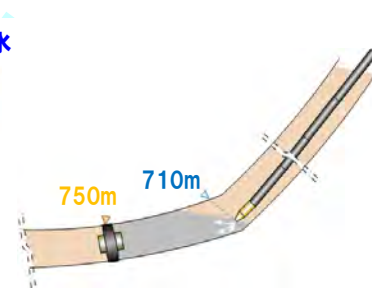
②パッカープラグ設置

750m地点で送水しプラグを
拡張させ固定しBQロッドと
パッカープラグを切離し



③充填材の注入

BQロッドを710m地点まで
引上げ、既定容量分の充填材
をモルタルポンプで注入



④試錐ポンプでの後押し

BQロッドを650m地点まで
引き上げ、BQ管内の充填材
を、試錐ポンプで後押し



⑤セメント頭部位置確認

12H経過後、セメント頭部
の立上り位置をBQロッドで
確認

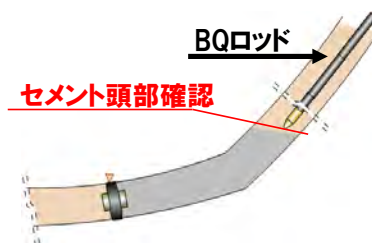


図 5.1.1-3 サイドトラック実施箇所下部のセメンチング概略手順

5.1.2 セメント材料の検討

セメンチング用充填材の選定にあたり、性能と要求される品質を設定し、実際に使用可能な材料を用いて施工性に関する検討を実施した。

5.1.2.1 充填材の性能および品質の設定

要求される充填材の性能と品質に関しては、①圧送性、②強度、③打設可能環境の3つについて条件設定を行い検討を進めた。

表 5.1.2-1 にセメント充填材使用材料の性能と要求品質を示す。

図 2.1-21 にセメンチング区間の孔井断面模式図を示す。

表 5.1.2-1 セメント充填材使用材料の性能と要求品質

性能	要求品質
圧送性	孔長650mをBQロッド(内径φ46mm)で圧送可能
強度	材齢3日で 20N/mm ² 以上
水中不分離性	ベントナイト水溶液中で強度発現 (材齢3日で 20N/mm ² 以上)

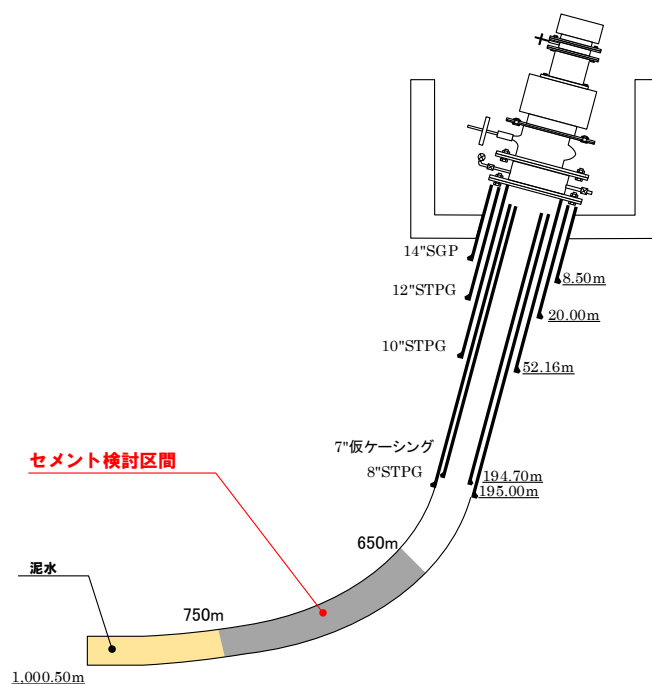


図 5.1.2-1 セメンチング区間の孔井断面模式図

5.1.2.2 充填材の配合選定

配合選定にあたり、既存のプレミックス材を用いた事前検討でベースとなる配合を決め、その後、配合比やSP量などの配合選定を行った。

配合選定は、図 5.1.2-2 に示す充填材配合検討フローに従い実施した。

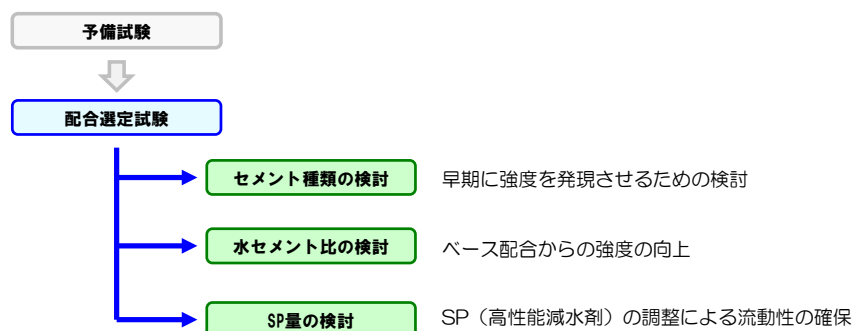


図 5.1.2-2 充填材配合検討フロー

(1) 予備試験

充填材のベース配合を判断するため、プレミックス材を2種類準備し、練混ぜ後の流動性、気中および、ベントナイト溶液中作製の試験体を用いた分離抵抗性と強度発現性について事前検討を行った。

プレミックス材は、以下の3項目に適合する材料として、①マックスAZ(TypeM)、②エッセイバーGの2種類を選定して、「練混ぜ後の流動性」、「分離抵抗性」、「強度発現性」について比較した。

- ① 3日強度で「20N/mm²」程度以上の強度を確保できる
- ② 泥水中に置換する(水中不分離性を有する)ことが可能であること
- ③ 作業時間内において流動性(5分フローで300mm以上)が確保できること

a. 流動性の確認

プレミックス材を練り上げたモルタルの流動性確認は、練混ぜ後に塩ビ管とサニーホース中にモルタルを通した状況で確認した。

なお、練上げ時の使用水量は、マックスAZにおいては1袋(20kg)あたり12kgの水とし、エッセイバーGは1袋(25kg)あたり5.6kgとした。

各モルタルの流動性は、エッセイバーGが水と同様な流動性であったのに対し、マックスAZにおいては、粘性が高く管内の抵抗により流下時間が長くなった。

b. ベントナイト水溶液中で打設した試験体の分離の確認

分離抵抗性確認のため表 2.1-3 に示す配合でベントナイト主体の水溶液を作泥し、その水溶液中で強度試験用試験体(φ5mm×10cm)を作製した。確認は、材齢 3 日に型枠内の状況と脱型後の状況を目視で行った。また、比較用に気中で作製した試験体についても同様に確認した。

その結果、マックス AZ はベントナイト水溶液中において、型枠に接している部分に、白色の変色が認められたが、気中打設の試験体と比べて、強度に違いは認められなかった。一方、エッセイバーG は型枠に接している部分で、砂縞等の分離が発生しているとともに、試験体上面(打ち込み面)において 5mm 程度の脆弱層が認められた。

マックス AZ においては、当初予測したベントナイトとの反応による分離が発生したが、その部分は、充填材打設時にベントナイトと接触した、ごく表層部分に限られ、比較的健全であった。

表 5.1.2-2 に分離抵抗性確認で使用したベントナイト水溶液の配合を示す。

図 5.1.2-3 に各プレミックス材の試験体状況を示す。

表 5.1.2-2 分離抵抗性確認時のベントナイト水溶液の配合

項目	配合量	備考
清水	500ℓ	水道水
ベントナイト	20kg	クニゲルV1
テルポリマーLG	1kg	脱水減少剤
テルポリマーHG	1kg	増粘剤
テルフレックス	2ℓ	潤滑剤



図 5.1.2-3 各ブレミックス材の試験体状況

c. 圧縮強度と水中気中強度比

圧縮強度試験は、上述の条件 b. で作製した試験体を用いて行った。圧縮強度は材齢 3 日に JIS A 1107 に準じて実施した。水中気中強度比は、ベントナイト水溶液中作製の試験体の圧縮強度を気中作製の圧縮強度で割り算出した。

試験の結果、密度に関してマックスAZでは、気中とベントナイト中ともに密度は $1.63\text{g}/\text{cm}^3$ と変化がなかったのに対し、エッセイバーGでは気中打設時には $2.19\text{g}/\text{cm}^3$ 、ベントナイト水溶液中で $2.15\text{g}/\text{cm}^3$ と若干低下した。

材齢 3 日の圧縮強度は、マックスAZの気中打設時が $12.8\text{N}/\text{mm}^2$ 、ベントナイト溶液中打設時が $8.9\text{N}/\text{mm}^2$ で水中気中強度比が 69.5%となったが、エッセイバーGでは気中打設時が $27.9\text{N}/\text{mm}^2$ 、ベントナイト溶液中打設時が $9.5\text{N}/\text{mm}^2$ で水中気中強度比が 34.1%と小さくなった。

通常の水におけるマックスAZの水中気中強度比は 90%以上得られているため、70%程度と小さくなった要因はベントナイトとの接触によるものと考えられる。エッセイバーGではさらにベントナイト中において強度が得られにくい結果が得られた。

実際にベントナイト溶液中に打設することを想定した場合、マックス AZ に関しての配合検討が必要であると考えられる。

表 5.1.2-3 に各プレミックス材の圧縮強度試験結果を示す。

表 5.1.2-3 各プレミックス材の圧縮強度試験結果

マックスAZ	高さ (mm)			直径 (mm)			質量 (g)	密度 (g/cm ³)		圧縮強度 (N/mm ²)		水中気中強度比 (%)
	1	2	平均	1	2	平均			平均		平均	
気中①	99.17	99.46	99.32	50	50	50	316.75	1.63		12.6		69.5
気中②	99.65	97.95	98.80	50	50	50	312.55	1.63	1.63	12.7	12.8	
気中③	98.63	99.15	98.89	50	50	50	314.32	1.62		13.0		
ベントナイト①	96.99	96.74	96.87	50	50	50	309.04	1.63		8.8		
ベントナイト②	96.21	96.40	96.31	50	50	50	306.91	1.62	1.63	8.8	8.9	
ベントナイト③	97.09	97.06	97.08	50	50	50	314.32	1.65		9.0		
エッセイバー-G	高さ (mm)			直径 (mm)			質量 (g)	密度 (g/cm ³)		圧縮強度 (N/mm ²)		水中気中強度比 (%)
	1	2	平均	1	2	平均			平均		平均	
気中①	98.08	98.36	98.22	50	50	50	420.08	2.18		28.4		34.1
気中②	97.92	97.83	97.88	50	50	50	419.81	2.19	2.19	27.8	27.9	
気中③	97.92	97.84	97.88	50	50	50	419.83	2.19		27.5		
ベントナイト①	87.23	87.50	87.37	50	50	50	367.05	2.14		8.1		
ベントナイト②	89.74	90.12	89.93	50	50	50	380.86	2.16	2.15	9.3	9.5	
ベントナイト③	89.61	90.18	89.90	50	50	50	378.06	2.14		11.2		

d. 予備試験結果のまとめ

予備試験の実施結果から以下が得られた。

- ① 充填材の流動性はマックス AZ で粘性が高く流下時間が長くなったが、エッセイバー-G では良好であった。
- ② ベントナイト水溶液中で作製した試験体の分離状況は、マックス AZ では表面は白色化した。沈降は認められず硬度に影響は生じなかった。しかし、エッセイバー-G では 5mm 程度の沈降が認められるとともに、表面上に砂縞が生じ、試験体上部に脆弱層が生成された。
- ③ 材齢 3 日の圧縮強度の結果から算出した水中気中強度比で、マックス AZ に比較しエッセイバー-G が低い結果となった。

予備試験の結果から、マックス AZ を用いて流動性を改善するほうが、エッセイバーの分離抵抗性を改善するよりも孔内充填を成功させる可能性が高いと判断し、配合選定試験において以下に示す項目を改善・確認することにした。

- ① 水セメント比を低くすることによる強度の向上
- ② 早強セメントの使用による初期強度の向上
- ③ 増粘剤による水中分離度の調整
- ④ 減水剤による流動性の調整

(2) 配合選定試験

現地適用性評価試験時において使用する充填材料を選定するため、マックス AZ Type M を改良して配合選定試験を行った。配合選定では、図 5.1.2-2 に示したフローに従い、事前検討で使用したプレミックスの配合から強度を増加させる目的で、セメントの種類、水セメント比を変化させて前述の a. における検討と同様に、試験体による確認を行った。また、水セメント比による流動性変化に対して SP (高性能減水剤) 量の調整を併せて実施した。

配合選定試験では、流動性を評価するためのフロー試験、密度を評価するための密度試験、強度を評価するための圧縮強度試験を行った。密度試験と圧縮試験では試験体の作製方法を変化させ、気中・空中・ベントナイト溶液中の 3 種類で作製した。

表 5.1.2-4 に示す試験結果から、流動性(5分フロー)は水セメント比が小さくなるほど小さくなるが、SP 量の増加によって 300mm 以上の流動性の確保は可能であった。

密度は、水セメント比を小さくするほど大きくなり、試験体作成方法の違いでは、気中と水中の試験体に比べてベントナイト溶液中の試験体では $0.01 \sim 0.03 / \text{cm}^3$ 低下した。この要因はベントナイトとの接触による材料分離が生じたためと考えられる。

材齢 3 日の圧縮強度に関しては、セメント種類で早強ポルトランドセメント (HPC) を用いることで、普通ポルトランドセメント (OPC) を用いるよりも、早期に強度が得られることが確認できた。また、水セメント比が小さくなるのに従い、圧縮強度が大きくなり、SP 量が多くなるに従い、圧縮強度が小さくなる結果が得られた。

圧縮強度結果を全体的に見ると、水中で作製した試験体の圧縮強度は、気中で作製した試験体の圧縮強度と比べ 60~90% 程度であった。気中に対して圧縮強度が小さくなった配合は、水セメント比が小さいものであり、水セメント比の低下によりフローが小さくなったため打設時間が長く、水中での分離が生じたためと考えられる。

なお、SP 量の増加により流動性を向上したものについては、水セメント比が小さくなった場

合にも気中作製の試験体に対して90%程度の強度が確保できた。一方、ベントナイト水溶液中で作製した試験体の圧縮強度は、気中で作製した試験体の40~60%程度であった。ベントナイト水溶液中で作製した試験体で強度が小さいものは、水中のものと同様に流動性が悪く、打設に時間がかかったものであり、流動性の良いものについては60%程度と安定していた。

以上の結果から、5分フローで300mm以上の流動性を確保し、ベントナイト水溶液中で20N/mm²以上の強度を確保可能な配合は、表2.1-5に示す配合⑧が適していると考えられる。

そこで、配合⑧をプレミックス材として準備し、流動性の確認試験の結果から現地使用の可否を判断することにした。

表5.1.2-4にマックスAZの配合選定試験結果を示す。

表5.1.2-4 マックスAZの配合選定試験結果

配合	W/C (%)	セメント種類	Vt W×%	SP C×%	フロー(mm)		温度(°C)	密度(g/cm ³)			圧縮強度(3日 : N/mm ²)			水中気中強度比	
					1分	5分		気中	水中	ベントナイト	気中	水中	ベントナイト	水中	ベントナイト
①	60	OPC	1.2	0.10	295	323	25.5	1.72	1.71	1.71	12.9	10.9	9.0	84.5	69.8
②	60	HPC			275	295	27.5	1.72	1.72	1.69	21.1	18.7	12.7	88.6	60.2
③	55				260	280	27.6	1.77	1.76	1.75	27.2	21.8	16.9	80.1	62.1
④	50			250	265	28.3	1.81	1.81	1.78	35.9	27.9	18.0	77.7	50.1	
⑤	45			243	250	29.1	1.86	1.86	1.82	47.0	31.0	20.5	66.0	43.6	
⑥	45			0.15	260	280	29.3	1.86	1.86	1.83	46.1	41.4	28.4	89.8	61.6
⑦	45			0.20	268	290	29.0	1.86	1.85	1.83	43.5	40.4	27.8	92.9	63.9
⑧	45	0.30		280	308	30.3	1.86	1.86	1.82	41.2	37.0	25.3	89.8	61.4	
⑨	50	0.40		280	303	28.8	1.81	1.81	1.78	33.7	29.6	17.9	87.8	53.1	

5.1.2.3 流動性の確認試験

流動性の確認試験では、事前試験を行った後に本試験を行った。

(1) 流動性事前確認試験

配合選定試験で選定した配合⑧の材料を用いて、流動性確認事前試験を行い、以下の4項目を測定した。

- ① ホッパからの鉛直方向への流下の可否および流量
- ② 塩ビ配管(内径 40mm)を用いた鉛直方向への流下の可否および流量
- ③ 鉛直および水平方向への流下の可否および流量
- ④ 1時間経過毎のフローによる材料の可使時間

試験では、図 5.1.2-4 に示す円柱部φ570mm、高さ770mm、テーパ部高さ400mm(容量約200L)、排出口は1.5インチのボールバルブが接続可能なように加工したものを使用したホッパを用いて行った。

図 5.1.2-4 に流動性事前確認試験で使用したホッパを示す。

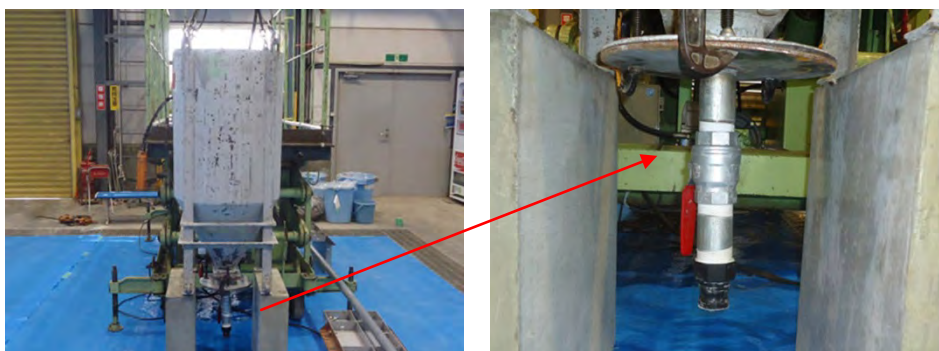


図 5.1.2-4 流動性事前確認試験で使用したホッパ

a. ホッパからの鉛直方向への流下の可否および流量の測定

ホッパからの垂直方向への流下は、練混ぜた材料をホッパに移し、ボールバルブを開いた後の流下状況で確認した。

その結果、図 5.1.2-6 に示すように流下が可能であり、流下量は約 16L/min と測定した。

図 5.1.2-5 に充填材の練混ぜ状況を示す。

図 5.1.2-6 にホッパからの流下状況を示す。



図 5.1.2-5 充填材の練混ぜ状況



図 5.1.2-6 ホッパからの流下状況

b. 塩ビ配管を用いた鉛直方向への流下の可否と流量の測定

塩ビ配管は、ホッパの高さと天井クレーンの高さを考慮して、2,300mmのものを使用した。確認の結果、塩ビ配管を用いた場合においても、十分に流下が可能であることを確認した。なお、試験での流下量は約13L/minであった。

図 5.1.2-7 に塩ビ配管からの打設状況(鉛直)を示す。



図 5.1.2-7 塩ビ配管を用いた流下状況(垂直のみ)

c. 塩ビ配管を用いた垂直と水平方向への流下の可否と流量の測定

垂直の状態を試験した装置に水平方向に8mの塩ビ管を追加して、自然流下による施工可否を検討した結果、打設の実施は可能であり、このときの流量は約15L/minとなった。

図5.1.2-8に塩ビ配管からの打設状況(鉛直および水平)を示す。



図 5. 1. 2-8 塩ビ配管を用いた流下状況(垂直と水平)

d. 充填材の可使時間

プレミックスで作製した材料は、練混ぜ直後の5分フローが325mmと良好な流動性であった。5分フローの経時変化を確認すると、時間の経過とともにフローは小さくなるものの、3時間で5分フローが250mmあり、目視と試験の状況からしても十分打設可能であると判断した。

一方、4時間経過したものに関しては、フローが173mmと小さく、使用が不可能であることから、本充填材の可使時間は3時間であり、その時間の範囲で充填材を孔井内へ注入する必要がある。

これらの予備試験の結果から、ホップによる自然流下での打設が可能であると判断できるが、ベントナイト水溶液への打設とポンプを用いた圧送についても追加検討する必要があると言える。

表5.1.2-5に流動性事前確認試験での充填材の経時変化を示す。

図5.1.2-9に流動性事前確認試験での5分フローの経時変化を示す。

表 5.1.2-5 流動性事前確認試験での充填材の経時変化

経過時間 (min)	時刻	水温 (°C)	充填材温度 (°C)	フロー (mm)	
				1分	5分
0	10:47	14.3	23.2	293	325
60	11:47		24.3	283	310
120	12:47		23.6	265	290
180	13:47		23.9	240	253
240	14:47		24.3	173	173

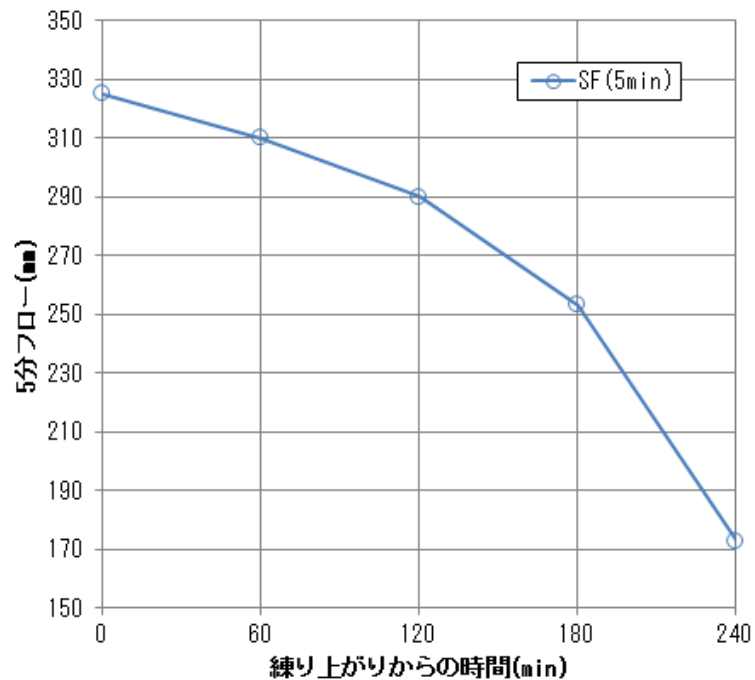


図 5.1.2-9 流動性事前確認試験での 5 分フローの経時変化

(2) 流動性確認試験

流動性確認試験は、(1)の流動性確認予備試験の結果を踏まえて、次ページに示す 6 項目について実施した上で検討を行った。使用する充填材は、配合選定試験で選定した配合⑧をプレミックスしたものを用いた。

- ① フレッシュ性状と圧縮強度の確認
- ② 水中ポンプによる圧送性の確認
- ③ ホッパ+塩ビ配管(垂直+水平)による流下状況の確認
- ④ ベントナイト水溶液中での流下性状と硬化性状の確認
- ⑤ ポンプを用いた水平方向への圧送性の確認
- ⑥ 塩ビ配管を水またはベントナイト水溶液で満たした状態での充填状況の確認

a. 試験概要

実施する各試験の概要を以下に示す。

(a) フレッシュ性状と圧縮強度の確認

フレッシュ性状の確認では、フロー試験と練り上がり温度の確認を行い、圧縮強度の確認では、材齢3日の圧縮強度試験を行う。圧縮強度試験体の作製は気中、水中、およびベントナイト水溶液中の3種類で行う。

なお、ベントナイト水溶液中における充填材の打設方法として、分割して打設する方法(一般的な通常の打設方法)と、連続して打設する方法の2種類により試験体を作製する。

(b) 水中ポンプによる圧送性の確認

現地適用性評価試験におけるセメンチング方法として、ホッパによる打設を計画している。使用するホッパは、図5.1.2-4に示すように高さが1m以上となる。このような施工方法では、足場等のステージを設けて、充填材を練混ぜてからホッパに投入する必要が生じるため、施工の段取りが大掛かりなものとなってしまう。さらに、高所における作業となるため、材料の運搬(充填材のプレミックス材：1袋20kgで必要量2t近くになるとともに、水も1袋あたり9L必要)も困難となる可能性が高い。

そこで、作業を簡素化するための検討として、水中ポンプで圧送に関する可否を確認する。圧送が可能であれば、ホッパへの投入が容易になるとともに、水中ポンプによる打設も検討できる。本確認では、容量70Lのバケツでプレミックス材を3袋練混ぜ後、水中ポンプで材料の移動が可能かを確認する。確認事項としては、水中ポンプでの圧送の可否、圧送高さ、および圧総量等について行う。

表5.1.2-6に水中ポンプによる圧送性の検討に用いた水中ポンプ仕様を示す。

表 5. 1. 2-6 圧送性の検討に用いた水中ポンプ仕様

項目	水中ポンプ①	水中ポンプ②
口径 (mm)	50	32
全揚程 (m)	8	4
吐出量 (m ³ /min)	0.12	0.08
出力 (kW)	0.48	0.15
電圧 (V)	100	100
電流 (A)	9.0	4.7

(c) ホッパ+塩ビ配管(垂直+水平)による流下状況の確認

流下状況の確認は、予備試験と同様にホッパから自然流下により充填材を流下させて行う。ホッパの高さは、吐出口下部からの距離が 2,300mm、水平移動距離を 6,000mm とした。確認の内容は、当該配管による充填材の打設の可否と吐出量とする。

なお、流下状況の比較として前述の a. の事前確認と同様に、ホッパから直接流下させた場合と、垂直方向に 2m の塩ビ管を通して流下させた場合の状況についても再確認する。

吐出量の測定方法は、容量 3L の容器に充填材が満たされる時間の計測で行う。

図 5. 1. 2-10 に流下状況確認試験の機材配置状況を示す。



図 5. 1. 2-10 流下状況確認試験の機材配置状況

(d) ベントナイト水溶液中での流動状況と硬化性状の確認

ベントナイト水溶液中での流動性状と硬化性状は、図 5. 1. 2-11 に示す型枠中にベントナイト水溶液を入れ、その中に充填材を打設することで行う。充填材の供給は、上記(c)の流下試験のものを使用する。試験体の型枠寸法は、4,800×300×300mm とし、型枠の端部に 15° の傾斜を設け打設位置とした。ベントナイト水溶液は、高さ 300mm の 1/3 の部分まで(約 100mm)入れてお

き、そこに高さ 125mm まで充填材(180L)を打設する。確認の内容は、打設時に適切に流動するかの確認と打設後にベントナイト水溶液を除去した表面状態の確認、および硬化後の状況を確認する。

図 5.1.2-11 にベントナイト水溶液中での流動状況および硬化性状確認機材配置を示す。

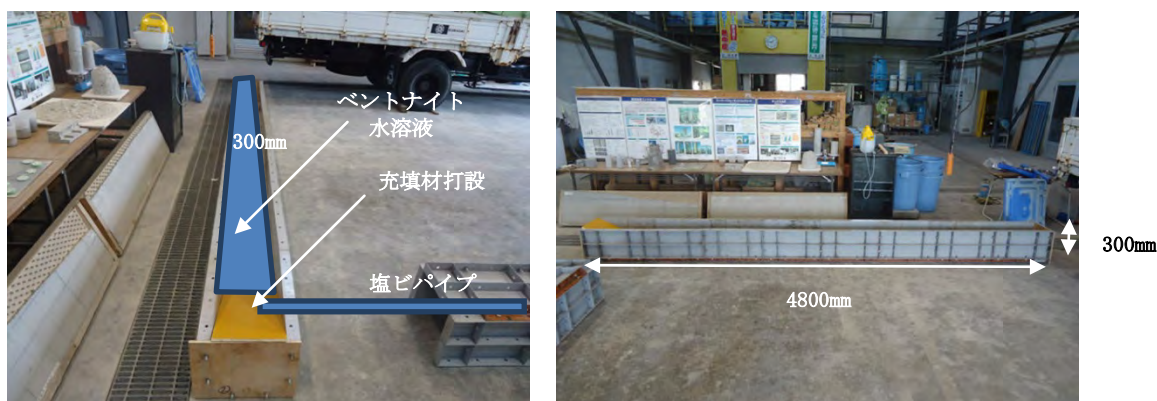


図 5.1.2-11 流動状況および硬化性状確認試験の機材配置状況

(e) ポンプを用いた水平方向への圧送性の確認

ポンプを用いた水平方向の圧送性の確認は、実打設時に十分に充填材の流下速度が得られない場合に補助としてポンプでの圧送が可能であるか検討する。試験は、図 5.1.2-12 に示す仕様のスクイズ式モルタルポンプと BQ ロッドを水平に配置しポンプでの圧送を行う。現地適用性評価試験での施工は、長さ 600m 程度を打設するが、総延長を模擬することは困難であるため、水平方向へ 30m~60m の距離での圧送試験を行う。圧送試験では、充填材の圧送可否と、可能な場合にはその流量を確認し、清水による充填材の後押しが可能かについても確認する。

図 5.1.2-12 に使用するスクイズ式モルタルポンプを示す。

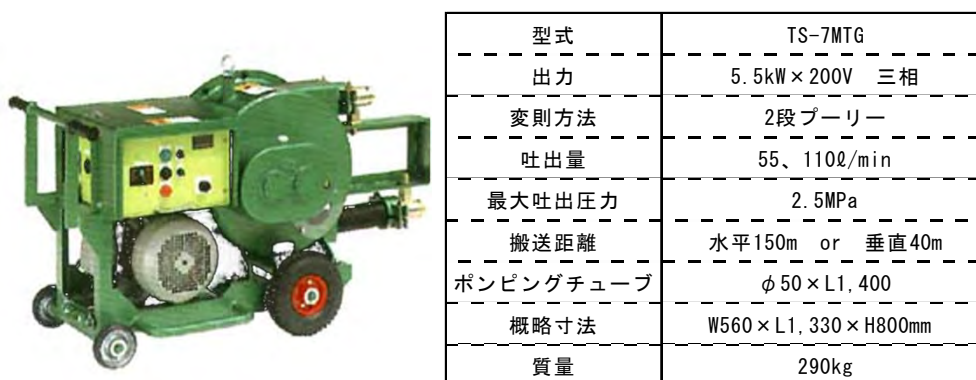


図 5.1.2-12 スクイズ式モルタルポンプ仕様

(f) 塩ビ管を水とベントナイト水溶液で満たした状態での充填状況の確認

本確認では、 $\phi 125\text{mm}$ の塩ビ管を垂直方向 200mm、水平方向 200mm で配置(水平と垂直は直角の曲がり管を仕様：配管約 50L、充填部 25L)し、その中をベントナイト水溶液で満たした状態で充填材を打設し、硬化後に塩ビ管を切断して充填状況を確認する。この試験により、比重差による材料の置換が可能であるかを確認するとともに、浮力のある状態での打設が可能であるかを検討する。また、 $\phi 75\text{mm}$ の配管(水平方向 1,000mm とし、透明の塩ビ管を仕様：配管約 14L、充填部約 4L)を水で満たした状態で打設することにより、充填状況が実際にどのようなようになるかの確認を行う。

図 5.1.2-13 に充填状況確認の機材配置状況を示す。

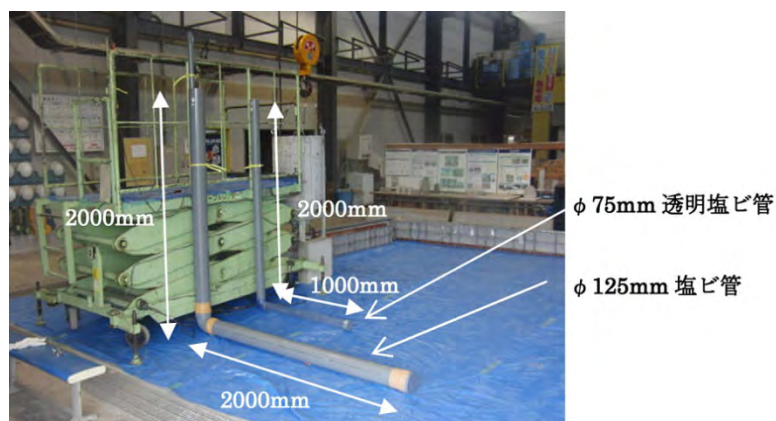


図 5.1.2-13 充填状況確認の機材配置状況

b. 試験結果

実施した各試験の結果を以下に示す。

(a) フレッシュ性状と圧縮強度の確認

フレッシュ性状の確認結果は、表 5.1.2-7 に示すように、5分フローで 303mm であった。この結果は、(1)の事前確認の 308mm とほぼ同じ結果であった。

圧縮強度は、表 5.1.2-7 に示すように、気中強度で $36.5\text{N}/\text{mm}^2$ と(1)の事前試験の $41.2\text{N}/\text{mm}^2$ より小さく、水中とベントナイト水溶液中も若干小さく計測された。水中気中強度比は、気中強度が小さくなったこともあり、若干大きくなった。

なお、ベントナイト水溶液中で通常打設したものは、試験体間におけるばらつきが認められたが、連続投入したのものについては試験体でのばらつきも少なくなる結果となった。

表 5.1.2-7 にフレッシュ性状と圧縮強度の確認結果を示す。

図 5.1.2-14 に試験体作製状況を示す。

表 5.1.2-7 流動性確認試験でのフレッシュ性状と圧縮強度

練り上がり 時間	フロー (mm)		充填材温度 (°C)	圧縮強度 (3日 : N/mm ²)				水中気中強度比		
				気中	水中	ベントナイト		水中	ベントナイト	
	1分	5分		通常	通常	通常	連続	通常	通常	連続
13:21	273	303	24.8	36.5	33.5	24.7	27.3	91.8	67.7	74.8
配合選定 試験時	280	308	30.3	41.2	37.0	25.3	—	89.8	61.4	—



(左：水中への打設、右：ベントナイト水溶液中への打設)

図 5.1.2-14 流動性確認試験での試験体作製状況

(b) 水中ポンプによる圧送性の確認

水中ポンプによる圧送性の確認では、表 5.1.2-6 に示した水中ポンプ①で、ある程度の圧送が可能であることを確認したが、長時間圧送した場合には閉塞する可能性が想定されることから、同方法は実用的ではないと判断した。水中ポンプ②に関しても同様な結果となり、性能に比例し流量は小さくなった。

以上から、水中ポンプによる充填材の移動は困難であり、圧送する場合にはモルタルポンプやサンドポンプなどの出力のより高い機材を使用する必要があるとの結論に至った。

(c) ホッパ+塩ビ配管による流下状況の確認

ホッパからの充填材の流下状況は、①ホッパのみ、②ホッパ+垂直 2.3m 配管、③ホッパ+垂直 2.3m 配管+水平 6m 配管の 3 通りの条件で確認を行い、いずれの条件においても自然流下による打設が可能であった。このときのホッパ打設による吐出量は表 5.1.2-8 に示すようになり、配管の長さが長くなるにつれ流量が少なくなるとともに、水平に配した場合には大幅に流量が減少する結果となった。

実際の孔井は、緩傾斜から水平傾斜区間を有していることから単純に比較はできないが、ホ

ツパを用いた自然流下による打設でも、時間をかけることにより可能であると判断できる。

一方で、長さ 600m の区間を自然流下させることは、実績として乏しいため、流量が少なくなる等のトラブルに備え、吐出量の増加可能な機材を準備しておくこと必要との結論に至った。

表 5. 1. 2-8 に流下状況確認時のホツパからの吐出量を示す。

図 5. 1. 2-15 にホツパからの流下状況確認作業状況を示す。

表 5. 1. 2-8 流下状況確認時のホツパからの吐出量

充填材流下測定方法	3ℓ容器流入時間(sec)				吐出量	
	1回目	2回目	3回目	平均	ℓ/min	m ³ /h
ホツパのみ	2.75	2.05	2.37	2.39	75.3	4.52
ホツパ+垂直2.3m配管	2.97	4.35	4.25	3.86	46.7	2.80
ホツパ+垂直2.3m配管+水平6m配管	30.69	32.91	34.37	32.66	5.5	0.33



(ホツパからの流下状況)



(垂直 2.3m 配管からの流下状況)



(垂直 2.3m+水平 6m 配管からの流下状況)



図 5. 1. 2-15 ホツパからの流下状況確認作業状況

(d) ベントナイト水溶液中での流動状況と硬化状況の確認

ベントナイト水溶液中への打設には、3)の6m水平配管から吐出した充填材が図5.1.2-11に示す塩ビ管出口から流下するように機材を設置して行った。打設時の状況は、図5.1.2-16に示すように自然流下による打設が可能であり、打設部付近で充填材が閉塞することなく流下していることを確認した。

打設を行った翌日にベントナイト水溶液を除去し確認した結果、図5.1.2-17に示すように、ベントナイト水溶液との接触表面は5mm程度の脆弱層が生成されていたが、その下部は硬質な状態であった。ただし、ベントナイト水溶液除去時にはゲル化したベントナイトとの反応性生物が数cm堆積していた。硬質化部分の打設高さを計測した表5.1.2-9の結果から、端部からの流下にもかかわらず、打設高さに勾配は認められず水平な状態で打設されており、優れたセルフレベルリング性を有していることが確認できた。

型枠からの脱型時の状況は、図5.1.2-18に示すように、上部5mm程度の脆弱層が認められたが、それ以下の部分は硬質であった。ベントナイト水溶液との接触が強度低下を招くが、短時間の接触で抑えることができれば強度低下の発生が少なくなると考えられた。

実際の現地適用性評価試験においては、ベントナイト水溶液と置換させるために、充填材を一回で全て充填させてしまう方法が、脆弱層を生成しないためには望ましいと思われる。また、分割で施工する場合においても、充填材が流動性を保つことができる3時間程度の範囲での打ち重ね施工や、孔内水を清水に置き換えるなどの対策が必要と考えられる。

表5.1.2-9に流動状況と硬化状況の確認時の型枠内打設高さを示す。

図5.1.2-16にベントナイト水溶液中への打設状況を示す。

図5.1.2-17に打設翌日のベントナイト水溶液接触面の状況を示す。

図5.1.2-18に脱型後の状況を示す。

表 5.1.2-9 流動状況および硬化状況の確認時の型枠内打設高さ

打設位置からの距離	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
型枠上端からの距離	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
打設高さ	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140

単位 (mm)



図 5.1.2-16 ベントナイト水溶液中への打設状況



図 5.1.2-17 打設翌日のベントナイト水溶液接触面の状況

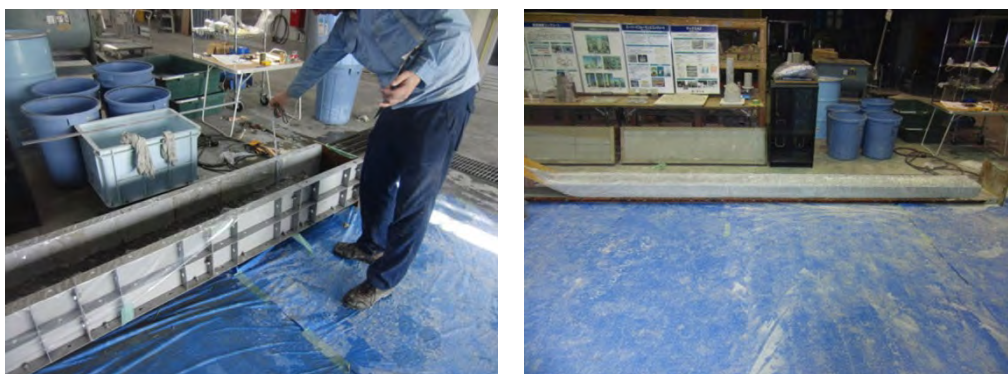


図 5.1.2-18 ベントナイト水溶液中打設翌日の脱型後状況

(e) ポンプを用いた水平方向への圧送性の確認

モルタルポンプを用いた圧送は、27m 配管と 54m 配管の両者とも十分に可能であることが確認された。吐出量は表 5.1.2-10 に示すように 27m 配管で 32.0L/min、54m 配管で 30.8L/min と配管が 2 倍に増えても吐出量の低下は 1.2L/min 程度と少なく、配管抵抗よりも吐出時の圧力損失が大きいと考えられる。また、水により吐出量は 44L/min であることから、水と充填材の圧送比は

72%程度であり、粘性が高くても吐出量の低下は抑えられることが確認できた。

なお、水による圧送の確認では、材料の消費後に配管にスポンジを入れ、水での後押しを確認した。

配管長による吐出量の低下が比例すると考えると、1時間当たり 1m^3 の (16.7L/min) となる場合の配管長は 324m となり、比較的長距離の圧送が可能であると考えられる。また、現地適用性評価試験では、高角度の傾斜区間を含んでいることを考えると、吐出量はさらに多くなることが想定できることから、ポンプによる吐出が現地における施工の際には適していると考えられる。

表 5.1.2-10 にモルタルポンプを用いた水平方向へ吐出量計測結果を示す。

図 5.1.2-19 にモルタルポンプを用いた水平方向への圧送性の確認作業状況を示す。

表 5.1.2-10 モルタルポンプを用いた水平方向へ吐出量計測結果

流下測定方法	流体	3ℓ容器流入時間 (sec)				吐出量	
		1回目	2回目	3回目	平均	ℓ/min	m^3/h
ポンプ27m圧送	水	13.66	13.25	13.65	13.52	44.4	2.66
ポンプ27m圧送	充填材	19.4	18.72	18.07	18.73	32.0	1.92
ポンプ54m圧送		19.91	19.47	18.97	19.45	30.8	1.85



図 5.1.2-19 モルタルポンプを用いた水平方向への圧送性の確認作業状況

(f) 塩ビ管を水とベントナイト水溶液で満たした状態での充填状況確認

φ75mm 塩ビ管を水で満たした状態で充填材を打設した状況は、打設初期に水中への落下による濁りが認められたが、打設が進むにつれ、管の下部より概ね水平に充填されることを確認した。充填後の状況は、上部に若干の気泡を残す程度で、ほぼ水と置換した状態であった。

φ125mm 塩ビ管のベントナイト水溶液への打設状況は、ベントナイト水溶液上部からの漏出状況から判断し、水中に比べ若干遅い速度で置換されていると想定される状態であった。

翌日に塩ビ管より脱型した状況では、図 5. 1. 2-21 に示す曲がり管上部での切断状況では十分に充填され、垂直方向の硬化状況は図 5. 1. 2-22 に示すように、上部 10cm 程度にベントナイト水溶液との反応物による脆弱部が生成されたが、それ以外は硬化充填された。水平部の充填状況は、図 5. 1. 2-23 に示すように、打設部側の充填率に比べ流動端部側は半分程度で、その上側は脆弱層となっていた。この脆弱層を取り除いた際の表面は(d)の打設状況と同じ状態でありベントナイトとの接触部分には脆弱層が生成されてしまうことが確認された。

本試験により、十分なセルフレベリング性を有しているにも関わらず、充填不足が生じる原因はベントナイト水溶液の粘性が高いために充填材の流動性が遅くなったことと、それに対する打設速度が速かったことが考えられる。また、試験装置に直角の曲がり管を使用したため、曲部で閉塞が生じやすい条件であったことや、水平区間の勾配が若干の逆勾配であったことも要因として考えられた。

実際の現地作業の際には、ベントナイト水溶液中での打設となり、また水圧を被圧した状態での置換となるため、通常よりも打設速度が遅くなることが予測される。このことから、作業効率を向上させるためにも、孔井内のベントナイト水溶液を可能な限り清水置換し、また、水位の低下により水頭圧力を減少させるなどの対応が必要と考えられる。

図 5. 1. 2-20 に φ75 塩ビ管での水中打設充填状況を示す。

図 5. 1. 2-21 に φ125mm 塩ビ管の曲がり管上部切断状況を示す。

図 5. 1. 2-22 に φ125mm 塩ビ管垂直方向の充填状況を示す。

図 5. 1. 2-23 に φ125mm 塩ビ管水平方向の充填状況を示す。

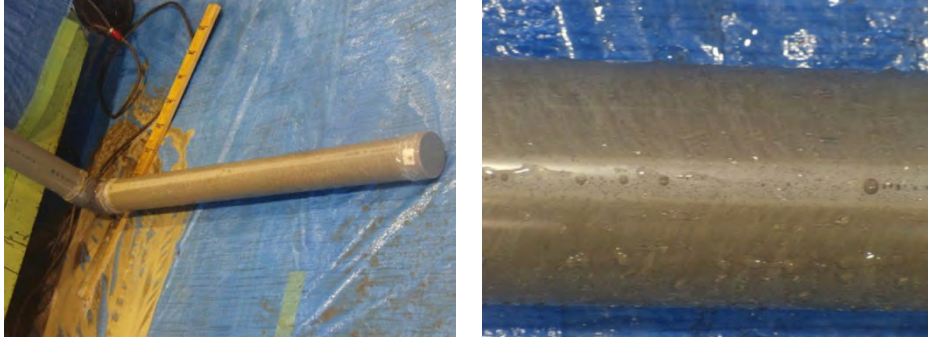


図 5. 1. 2-20 ϕ 75 塩ビ管での水中打設充填状況

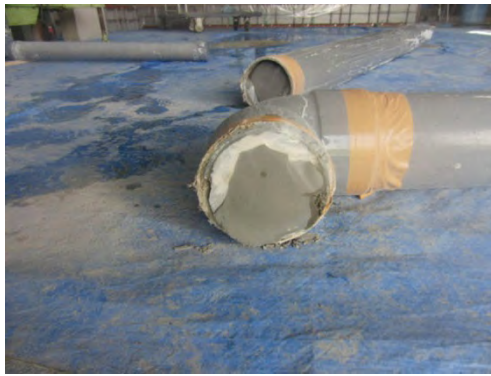


図 5. 1. 2-21 ϕ 125mm 塩ビ管の曲がり管上部切断状況



図 5. 1. 2-22 ϕ 125mm 塩ビ管垂直方向の充填状況

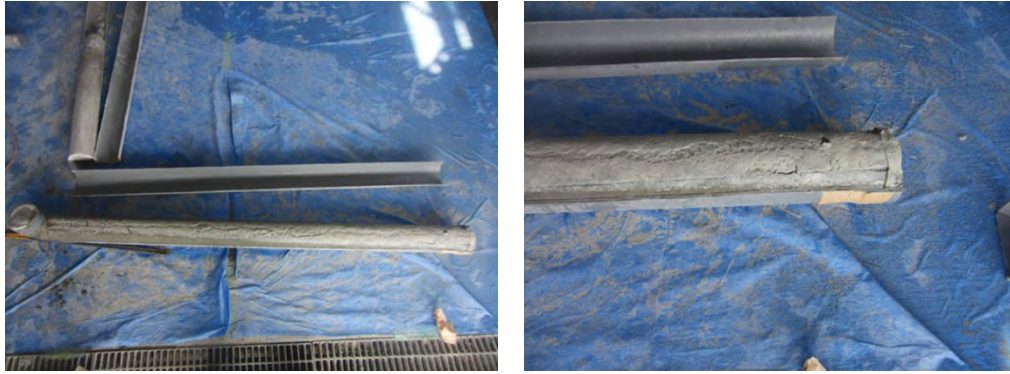


図 5.1.2-23 ϕ 125mm 塩ビ管水平方向の充填状況

(4) 各試験結果のまとめ

現地適用性評価試験で用いる充填材選定のため行った各試験の結果、以下に示す知見を得ることができた。

- ① 配合選定試験の結果、ベントナイト水溶液中での材齢 3 日で $20\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の強度で流動性の高い配合 (表 5.1.2-4 中の配合⑧) を選定できた。
- ② 流動性確認事前試験では、選定した配合の充填材を約 200L のホップより内径 ϕ 40mm の塩ビ管を通し、流下可能であることを確認できた。
- ③ 5 分フローの経時変化を測定した結果、練り上がり後、3 時間までは 250mm 以上であり、3 時間の可使用時間を有していることが確認できた。
- ④ 流動性確認試験におけるフレッシュ性状と圧縮強度試験の結果、配合選定試験と同様に目標とする品質を満たす材料であることを確認できた。
- ⑤ 水中ポンプによる圧送性を確認した結果、圧送は困難であるとの判断を得た。
- ⑥ ホップによる打設では、自然流下による作業が可能であるが、配管長が長くなるにつれて流動性が低下するため、流動性向上のための補助機材の使用が望ましい結果となった。
- ⑦ ベントナイト水溶液中への打設では、自然流下により約 140mm の打設が可能であった。また、打設後の状況ではセルフレベルリング性を有していた。しかし、ベントナイト水溶液に接している部分に関しては、5mm 程度の堆積物および脆弱層が生じた。
- ⑧ ポンプを用いた水平方向の圧送では、配管長 54m でも十分圧送が可能であった。また、圧送量低下を比例計算した場合、約水平 300m を $1\text{m}^3/\text{h}$ で圧送可能であると確認できた。
- ⑨ ϕ 75mm 塩ビ管を水で満たした状態の打設では、初期に濁りが認められたが、打設の進行に伴い十分に打設可能であることが確認できた。

- ⑩ φ125mm 塩ビ管をベントナイト水溶液で満たした状態での打設は、水中打設と比べ流動速度が遅くなるとともに、充填不足の仮称が発生した。充填不足に関しては打設速度や機材配置の影響が考えられ、現地施工法により改善できると思われる。

表 5.1.2-11 に流動性および硬化状況確認結果のまとめを示す。

表 5.1.2-11 流動性と硬化状況確認結果

試験状況	吐出量 m ³ /h	硬化状況	考察
水中ポンプ	—	—	水中ポンプによる施工は困難であった。出力の高い機材の使用を検討する必要がある。
ホッパ直	4.52	—	自然流下による施工では、配管長が長くなるほど、水平配管となることにより吐出量は低下した。 自然流下による施工も可能であるが、吐出量が低下した場合等を考慮して吐出量を増加させる補助装置が必要であると考える。
ホッパ+垂直 2m 配管	2.80	—	
ホッパ+垂直 2.3m, 水平 6m 配管	0.33	—	
ベントナイト水溶液中打設	0.33	自然流下により打設可能であったが、上部に脆弱層が発生した。セルフレベリング性を有している。	ベントナイト水溶液と接し続けている箇所については、脆弱層の発生が認められたが、短時間ベントナイト水溶液と接した箇所に関しては硬化不具合は認められない。
ポンプ 27m 圧送	1.92	—	配管長による吐出量の低下が比例であると仮定すると、吐出量が 16.7L/min (1.00m ³ /h) となる時の配管長を考えると 324m となり、比較的長距離まで 1.67L/min(1.00m ³ /h) 程度の吐出量で圧送が可能と考える。
ポンプ 25m 圧送	1.85	—	
φ75mm 塩ビ管水中打設	—	上部に若干の気泡を残す程度で打設可能	打設速度は水中打設と比較して若干遅くなった *充填不足は、流動性の低下および施工状況に起因した。実施工ではこの状況は改善されると考える。 打設速度の管理や水中ポンプによるベントナイト水溶液の水位管理など打設方法を検討する必要がある。
φ125mm 塩ビ管ベントナイト水溶液中打設	—	充填不足の箇所が発生した*。その部分ではベントナイト水溶液と接している部分で上部に脆弱層が発生した。曲がり管付近および垂直部では密に充填されていた。	

5.1.3 サイドトラック掘削による計画孔跡の検討

本年度実施予定の現地適用性評価試験においては、サイドトラック掘削の開始位置は掘削長 648m 地点を計画している。そこで、計画孔跡の検討として、掘削長 648m 地点からの掘削作業計画を設定した。掘削作業計画としては、掘削方法についての条件整理を行い、孔跡軌跡計画としては、平成 23 年度に実施したジャイロ測定結果を基にして、サイドトラック掘削の目標とする計画軌跡座標を算出した。

5.1.3.1 サイドトラック掘削作業計画

サイドトラック掘削作業では、既存孔掘削時にコアリングを実施した区間から分岐掘削をするため、必ずしもボーリングコア取得を優先しない。コントロールボーリングシステムでは、コアリングを 1 回行う毎に、地上まで取得したボーリングコアを回収する必要があるため、1 回の掘削長 3m(3m 採取用のコアチューブを使用した場合)毎に、付帯作業としてワイヤライン作業が生じる。掘削長 650m 程度のワイヤライン作業は 3 時間程度を要することから、3m 分の掘削時間を 5 時間(0.33m/h の掘削能率)とすると、最大掘削能力は 3m/日となる。そこで、掘削ツール先端に装着するコアビットをボーリングコア採取用(コアリング用)から、非採取用(ノンコアリング用)の全断面ビットに変更した場合の掘削能率増加を検討した。

ノンコアリングビットの場合、掘削パイプを接続するまでワイヤライン作業を実施する必要がなくなるため、1 日の作業時間を有効に使用することができる。1 日 12 時間のうちワイヤライン作業を除いた 9 時間を掘削時間に充てることのできるため、コアリング時と同等の掘削能率であれば、5.5m/日程度の掘削能率が可能となる。このことより、既存孔井から新規分岐孔井が完全に乖離するまでは、コアリング掘削によるサイドトラック掘削作業を採用することが効率的であると考えられる。

一方、既存孔井の一部区間については、充填材によるセメンチングを予定していることから、サイドトラック掘削の掘削初期段階はセメンチング実施区間を掘削することになる。そのため、既存孔井からの分岐状況を確認する場合には、コアリング掘削により採取されたコアを確認することが、実際の孔井の状況(既存孔から逸れたか否か)を把握しやすいと考えられる。

これらの検討結果から、実際のサイドトラック掘削実施の際には、以下の作業手順を基本として作業計画を立案した。

- ① サイドトラック掘削開始時は、埋め戻し区間が掘削対象となるため、コアリング掘削を実施する。
- ② (上述①の実施後)埋め戻し区間から、通常の地山(声間層珪質泥岩)に到達した時点(ボーリングコアで判断)で、ノンコアリング掘削を実施する。

- ③ ノンコアリング掘削を掘削長 660m まで実施する。
- ④ 掘削長 660m 以降は、「孔内応力試験装置」現地適用性評価試験(水圧破碎試験)実施のため、コアリング掘削を実施する(回収したボーリングコア観察による亀裂発達状況把握のため)。

なお、この条件を満たすように、後述の 5.1.3.2(2)において軌跡計画を作成した上で、実際の現地適用性評価試験を行った。

5.1.3.2 サイドトラック掘削の孔跡軌跡計画

サイドトラック掘削時における分岐掘削時の軌跡計画は、平成 23 年度に実施したジャイロ測定結果の軌跡座標を用いて設定を行った。サイドトラック掘削は掘削長 648m 地点から、既存孔井の下方に分岐する計画を作成した。

(1) ジャイロ計測結果に基づく既存孔井の方位と傾斜

既存孔井で実施した最新のジャイロ計測は、平成 23 年度の現地適用性評価試験時において、掘削長 1,000m 到達後に実施したものである。そのジャイロ計測結果から、掘削長 648m 以降の座標の抽出を行い、サイドトラック掘削の実施予定区間である掘削長 700m までの区間の孔跡軌跡を再検討した。

表 5.1.3-1 に掘削長 648m～700m 間における 2m 毎の平成 23 年度ジャイロ計測結果を示す。

図 5.1.3-1 に平成 23 年度ジャイロ計測結果の掘削長 648m～700m 間における孔跡軌跡断面図を示す。

図 5.1.3-2 に平成 23 年度ジャイロ計測結果の掘削長 648m～700m 間における孔跡軌跡平面図を示す。

表 5.1.3-1 平成 23 年度ジャイロ計測結果(掘削長 648m~700m 間:2m 毎)

孔長 (m)	方位 (度)	傾斜 (度)	Easting (m)	Northing (m)	垂直深度 (m)	水平距離 (m)
648	220.55	80.84	-298.92	-346.83	427.35	457.87
650	220.57	81.23	-300.20	-348.33	427.66	459.85
652	220.60	81.50	-301.49	-349.84	427.96	461.82
654	220.60	81.71	-302.78	-351.34	428.25	463.80
656	220.62	81.97	-304.07	-352.84	428.54	465.78
658	220.68	82.16	-305.36	-354.34	428.81	467.76
660	220.70	82.32	-306.65	-355.85	429.08	469.74
662	220.73	82.54	-307.94	-357.35	429.35	471.73
664	220.76	82.71	-309.24	-358.85	429.61	473.71
666	220.78	82.84	-310.53	-360.35	429.86	475.69
668	220.80	83.08	-311.83	-361.86	430.10	477.68
670	220.82	83.28	-313.13	-363.36	430.34	479.67
672	220.84	83.48	-314.43	-364.86	430.57	481.65
674	220.88	83.80	-315.73	-366.37	430.79	483.64
676	220.89	84.04	-317.03	-367.87	431.00	485.63
678	220.90	84.22	-318.33	-369.37	431.21	487.62
680	220.90	84.51	-319.63	-370.88	431.40	489.61
682	220.94	84.66	-320.94	-372.38	431.59	491.60
684	220.95	84.77	-322.24	-373.89	431.78	493.59
686	220.93	84.95	-323.55	-375.39	431.96	495.58
688	220.98	85.06	-324.85	-376.90	432.13	497.58
690	220.99	85.19	-326.16	-378.40	432.30	499.57
692	220.95	85.44	-327.47	-379.91	432.46	501.56
694	220.99	85.62	-328.78	-381.41	432.62	503.55
696	221.00	85.81	-330.08	-382.92	432.77	505.55
698	221.02	86.09	-331.39	-384.42	432.91	507.54
700	221.02	86.28	-332.70	-385.93	433.04	509.54

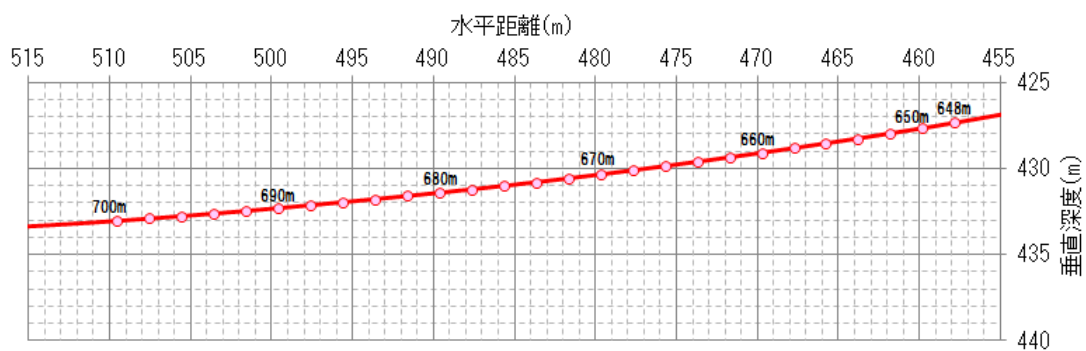


図 5.1.3-1 掘削長 648m~700m 間の孔跡軌跡断面図(平成 23 年度ジャイロ計測結果)

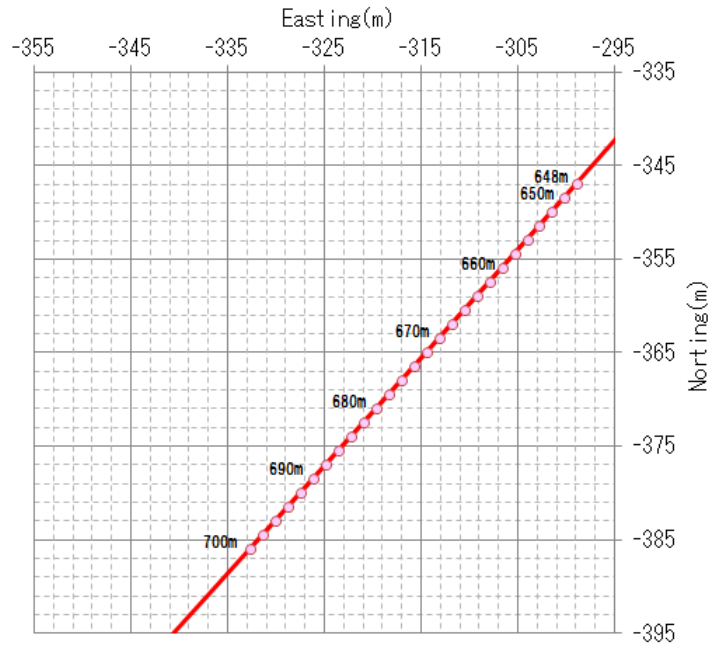


図 5. 1. 3-2 掘削長 648m～700m 間の孔跡軌跡平面図(平成 23 年度ジャイロ計測結果)

(2) サイドトラック掘削における軌跡計画

既存孔井では $1^\circ / 10\text{m}$ の増角率で掘削を行っていたことから、サイドトラック掘削による分岐掘削では、増角率を 0° に設定した沿角掘削での孔井軌跡の計画を立案する。その後、既存孔井と垂直位置において乖離距離が十分に得られることが想定される掘削長 675m 以降は、 $1^\circ / 10\text{m}$ の増角率でサイドトラック掘削を行う計画とする。

この計画において、掘削長 648m 地点からの孔跡軌跡を算出すると、サイドトラック掘削開始後、掘削長 671.7m 地点で、掘削孔径(= $\phi 152\text{mm}$) の約 4 倍の 60cm の乖離距離が垂直方向で得られる算出結果となった。また、サイドトラック掘削時の掘削方位を掘削長 648m における $\text{SW}220.55^\circ$ (真北基準・時計回り) から、沿角掘削で直進した場合を含めて既存孔井と新規孔井の 2 点間の乖離距離を算出した場合には、サイドトラック掘削における掘削長 671m の地点で 2 点間の乖離距離が 60cm となる計算結果となった。また、埋め戻し区間から地山への新規掘削孔の分岐を確認するためには、既存孔から 100mm 程度乖離した段階で採取するボーリングコアの全てがセメントから地山である声問層の珪質泥岩となる予定である。この時点における、新規掘削孔の掘削長は、650.2m 地点と算出される。

以上の検討結果から、サイドトラック掘削計画を次ページに示す通りとした。

- ① サイドトラック掘削区間 掘削長 648.0m～651.0m：沿角コアリング掘削
- ② サイドトラック掘削区間 掘削長 651.0m～660.0m：沿角ノンコアリング掘削
- ③ サイドトラック掘削区間 掘削長 660.0m～675.0m：沿角コアリング掘削
- ④ サイドトラック掘削区間 掘削長 675.0m～700.0m：増角(1° /10m)コアリング掘削

表 5.1.3-2 にサイドトラック掘削の計画軌跡座標を示す。

表 5.1.3-3 にサイドトラック掘削計画と既存孔との乖離距離を示す。

図 5.1.3-3 にサイドトラック掘削の計画軌跡断面図を示す。

図 5.1.3-4 にサイドトラック掘削の計画軌跡平面図を示す。

表 5.1.3-2 サイドトラック掘削の計画軌跡座標

孔長 (m)	方位 (度)	傾斜 (度)	Easting (m)	Northing (m)	垂直深度 (m)	水平距離 (m)
648	220.55	80.84	-298.92	-346.83	427.35	457.87
650	220.55	80.84	-300.20	-348.33	427.67	459.84
652	220.55	80.84	-301.42	-349.76	427.97	461.72
654	220.55	80.84	-302.70	-351.26	428.29	463.69
656	220.55	80.84	-303.99	-352.76	428.61	465.67
658	220.55	80.84	-305.27	-354.26	428.93	467.64
660	220.55	80.84	-306.56	-355.76	429.25	469.62
662	220.55	80.84	-307.84	-357.26	429.56	471.59
664	220.55	80.84	-309.12	-358.76	429.88	473.57
666	220.55	80.84	-310.41	-360.26	430.20	475.54
668	220.55	80.84	-311.69	-361.76	430.52	477.52
670	220.55	80.84	-312.97	-363.26	430.84	479.49
672	220.55	80.84	-314.26	-364.76	431.16	481.46
674	220.55	80.84	-315.54	-366.26	431.47	483.44
676	220.55	80.93	-316.82	-367.76	431.79	485.41
678	220.55	81.13	-318.11	-369.26	432.10	487.39
680	220.55	81.33	-319.39	-370.77	432.41	489.37
682	220.55	81.53	-320.68	-372.27	432.71	491.34
684	220.55	81.73	-321.97	-373.77	433.00	493.32
686	220.55	81.93	-323.25	-375.28	433.28	495.30
688	220.55	82.13	-324.54	-376.78	433.56	497.28
690	220.55	82.33	-325.83	-378.29	433.83	499.26
692	220.55	82.53	-327.12	-379.79	434.09	501.25
694	220.55	82.73	-328.41	-381.30	434.35	503.23
696	220.55	82.93	-329.70	-382.81	434.60	505.21
698	220.55	83.13	-330.99	-384.32	434.84	507.20
700	220.55	83.33	-332.28	-385.83	435.08	509.18

表 5.1.3-3 サイドトラック掘削計画と既存孔との乖離距離

孔長 (m)	既存孔井		分岐孔井		断面差 (m)	平面差 (m)	2点間差 (m)
	方位 (度)	傾斜 (度)	方位 (度)	傾斜 (度)			
648	220.55	80.84	220.55	80.84	0.00	0.00	0.00
650	220.57	81.23	220.55	80.84	0.01	0.00	0.01
652	220.60	81.50	220.55	80.84	0.10	0.10	0.15
654	220.60	81.71	220.55	80.84	0.11	0.11	0.16
656	220.62	81.97	220.55	80.84	0.13	0.11	0.17
658	220.68	82.16	220.55	80.84	0.16	0.12	0.20
660	220.70	82.32	220.55	80.84	0.20	0.13	0.24
662	220.73	82.54	220.55	80.84	0.25	0.13	0.29
664	220.76	82.71	220.55	80.84	0.31	0.14	0.34
666	220.78	82.84	220.55	80.84	0.38	0.16	0.41
668	220.80	83.08	220.55	80.84	0.45	0.17	0.48
670	220.82	83.28	220.55	80.84	0.53	0.18	0.56
672	220.84	83.48	220.55	80.84	0.62	0.20	0.65
674	220.88	83.80	220.55	80.84	0.71	0.21	0.74
676	220.89	84.04	220.55	80.93	0.82	0.23	0.85
678	220.90	84.22	220.55	81.13	0.93	0.25	0.96
680	220.90	84.51	220.55	81.33	1.03	0.26	1.07
682	220.94	84.66	220.55	81.53	1.14	0.28	1.18
684	220.95	84.77	220.55	81.73	1.25	0.30	1.29
686	220.93	84.95	220.55	81.93	1.36	0.32	1.39
688	220.98	85.06	220.55	82.13	1.46	0.33	1.50
690	220.99	85.19	220.55	82.33	1.56	0.35	1.60
692	220.95	85.44	220.55	82.53	1.66	0.37	1.70
694	220.99	85.62	220.55	82.73	1.76	0.38	1.80
696	221.00	85.81	220.55	82.93	1.86	0.40	1.90
698	221.02	86.09	220.55	83.13	1.96	0.42	2.01
700	221.02	86.28	220.55	83.33	2.07	0.44	2.11

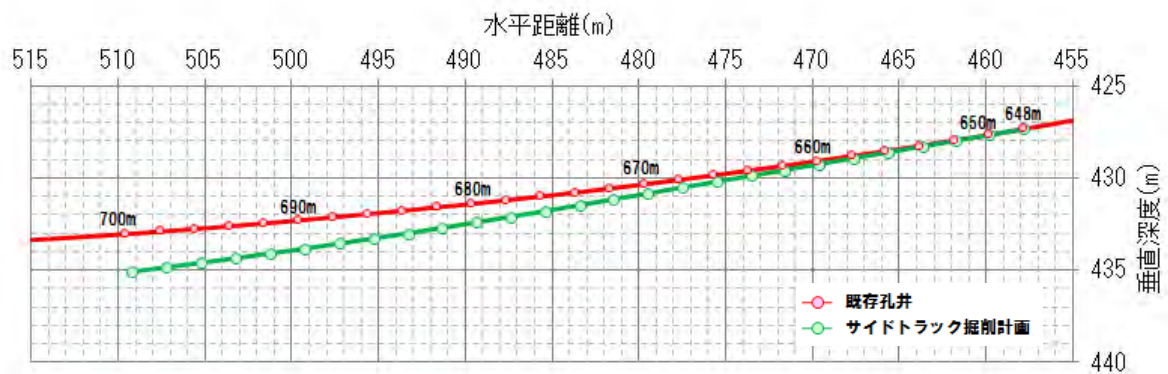


図 5.1.3-3 サイドトラック掘削の計画軌跡断面図

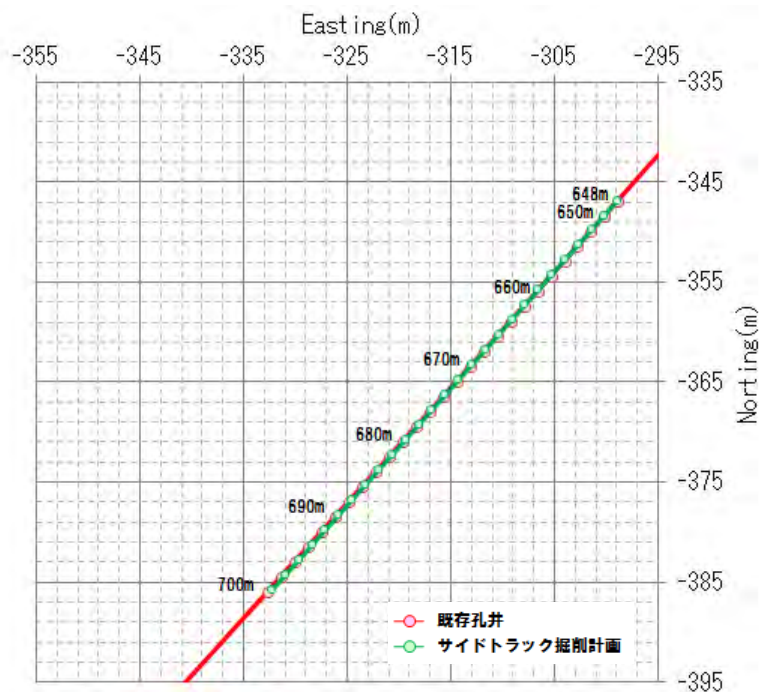


図 5.1.3-4 サイドトラック掘削の計画軌跡平面図

(3) 掘削時の孔跡軌跡管理計画

本年度のサイドトラック掘削時には、掘削時計測装置(WL-MWD)を併用した掘削作業を行う計画であるが、掘削長 648m 地点において方位と傾斜が同じ値を示す可能性は小さい。サイドトラック掘削終了後にはジャイロ計測を実施して軌跡の最終的な評価が実施可能であるが、掘削時の軌跡管理は WL-MWD で実施しなければならない。そこで、既存孔井からの乖離状況と孔跡軌跡をリアルタイムで把握するために、掘削開始時の軌跡座標を表 5.1.3-1 に示す掘削長 648m 地点の座標から掘削を開始したと仮定して管理することにした。

5.1.4 サイドトラック掘削手順の検討

サイドトラック掘削手順の検討として、幌延町の現地適用性評価試験サイトにおいて実際に現地作業を行う際に必要な施工方法の検討を行った。

検討項目は、既存孔井の一部区間の埋め戻し作業から、サイドトラック掘削を開始するまでの手順とした。

既存孔井からのサイドトラック掘削による孔井曲げ掘削を行うため、主に以下の2点に関して対策を講じる必要がある。

- ・ 既存孔井から新規孔井に分岐掘削を行う際に、掘削ツールの反力に耐えうる強度(支持力)を確保すること。
- ・ 新規孔井の掘削中に、掘削ツールが既存孔井側へ戻されないようにすること。

これらの対策として、サイドトラック掘削の開始前に既存孔井の孔底部(掘削長 1,000m)から、サイドトラック掘削の開始予定位置(掘削長 650m 付近)まで既存孔井部分の一部区間を埋め戻すこととした。この埋め戻し作業では、セメントミルクの打設後、セメントが硬化した後に頂部位置を確認し、頂部位置が計画位置に対して低すぎる場合には、追加の埋め戻し作業を実施計画とした。

埋め戻し作業の終了後、掘削ツール(コアチューブ-水圧式拡張装置-ダウンホールモーター-WL-MWD-押し込み補助装置)を組み立てて、通常のコントロールコアリング掘削時と同様にコアリングを開始する。このコアリングの実施により、埋め戻し区間のセメントコアを確認することで、既存孔井から新規孔井へ分岐する状況をセメントと岩盤の割合から確認できる。また、既存孔からの分岐掘削が確認された場合には5.1.3(2)で述べたように、コアチューブ先端のコアビットをノンコアリング用のビットに交換して掘削作業を継続する計画である。ノンコアリングビットへの変更理由としては、採取コア回収のためのワイヤライン作業回数を低減させ、掘削速度の効率化を図るためである。

なお、サイドトラック掘削により、孔内応力試験装置の現地適用性評価試験として実施予定の、水圧破碎試験を行うために必要な既存孔井との乖離距離を得られた時点で、ノンコアリング掘削から再びコアリング掘削に切り替え、採取コアによる試験区間の選定作業を開始する予定である。

次ページに、既存孔井の埋め戻し作業からサイドトラック掘削までの概略手順を示す。

- ① 孔内閉塞用パッカプラグ(栓)設置のための保護管(NL140 ロッド)降管
- ② 孔内閉塞用パッカプラグ・セメントミルク打設用小口径ロッド(BQ ロッド)降管
- ③ (掘削用泥水送泥による)パッカプラグ拡張・切り離し・所定位置への設置
- ③ セメントミルク充填材注入による既存孔井一部区間の埋め戻し
- ④ 小口径ロッド降管によるセメント頂部位置の確認
- ⑤ 小口径ロッド(BQ ロッド)全揚管
- ⑥ 保護管(NL140 ロッド)全揚管
- ⑦ セメント頂部成形のため、シュービット・NL140 ロッド降管、セメント頂部成形
- ⑧ シュービット・NL140 ロッド全揚管
- ⑨ 掘削用アウトパイプ・NL140 ロッド降管
- ⑩ 掘削ツールズ組み立て、アーマードケーブル・ケーブルヘッド接続、ワイヤライン作業
- ⑪ コアリング掘削による分岐孔井掘削(サイドトラック掘削)、採取コアによる既存孔井からの乖離状況確認
- ⑫ ノンコアリング掘削による分岐孔井掘削(サイドトラック掘削)、ワイヤライン作業未実施による掘削作業効率向上
- ⑬ コアリング掘削による分岐孔井掘削(サイドトラック掘削)、採取コアの亀裂発達状況基づく「孔内応力試験装置」現地適用性評価試験実施可否判断(水圧破碎試験)

5.1.4.1 孔内閉塞用パッカプラグの設置作業

埋め戻し作業が必要となる孔底部(掘削長 1,000m)から、サイドトラック掘削開始予定位置(掘削長 650m 付近)までの全区間にセメントミルク充填材を注入する場合には、区間長が 350m に及ぶことから、相当量のセメントミルク充填材を準備する必要がある。また、1 回の注入作業で全区間を埋め戻すことは困難であることから、複数回に渡る注入作業を行う必要が発生する。

サイドトラック掘削は、トラブル回避の意味においても、孔井内の任意の深度で実施可能とする必要があるため、孔井の一部区間のみを埋め戻す手法として検討する必要がある。

なお、本年度の現地適用性評価試験では、最大の掘削区間長に相当する 50m 区間を完全に埋め戻すため、当該区間の 2 倍となる 100m 区間(掘削長 650m～750m 間)をセメンチングする計画とした。そこで、既存孔井の一部区間を埋め戻すため、セメントミルク充填材の孔底部側への漏洩を防止する目的で、孔内閉塞用パッカプラグとして、5.1.5 項で示すパッカ式のゴムプラグ(以降、パッカプラグとする)を検討した上で実際に試作した。

このパッカプラグを孔井内に降下させる際には、セメントミルク充填材の打設時にも使用できる様に、小口径のチュービングパイプ(BQ ロッド)に接続して降下させる計画である。

孔井内の所定位置までパッカプラグを降下させた後、5.1.5項で示す地上試験で確認した拡張圧力を参考に閉塞計画位置でパッカプラグの拡張を行い、固定状況を確認した後、パッカプラグの切り離しを行う。

パッカプラグの固定状況の確認は、地上の試錐機を使用してチュービングパイプの降下作業を行いながら、試錐機の荷重変化を確認することで行う。仮に荷重の値が減少していくことが確認できれば、パッカプラグが固定されていると判断できる。

パッカプラグの固定状況確認後に行うチュービングパイプとの切り離し作業は、テンションピンの切断にて行い、テンションピンの設定以上の荷重を必要とする場合には、左ねじ部分を回転動作で戻して行う計画である。パッカプラグとチュービングパイプとの切り離し確認は、チュービングパイプ内にパッカプラグ拡張用の掘削用泥水を注水した後に、この水位変化の観察で行う計画である。仮にチュービングパイプとパッカプラグの切り離しが完了していない状態では、拡張に用いた管内水の出口がないことから水位変動が生じないことになる。

なお、パッカプラグの材質はゴムであることから、孔井内の埋め戻し開始位置まで降下させる際に、孔壁と接触することでパッカプラグが破損することを防止する目的で、NL140 ロッドを保護管として掘削長 600m 付近まで降管する。

パッカプラグの設置が完了した後は、5.1.4.2 で検討したセメンチング作業でのセメントミルク充填材の注入位置まで、チュービングパイプを引き上げてセメンチング準備に移行する。

図 5.1.4-1 にパッカプラグ設置作業フローを示す。

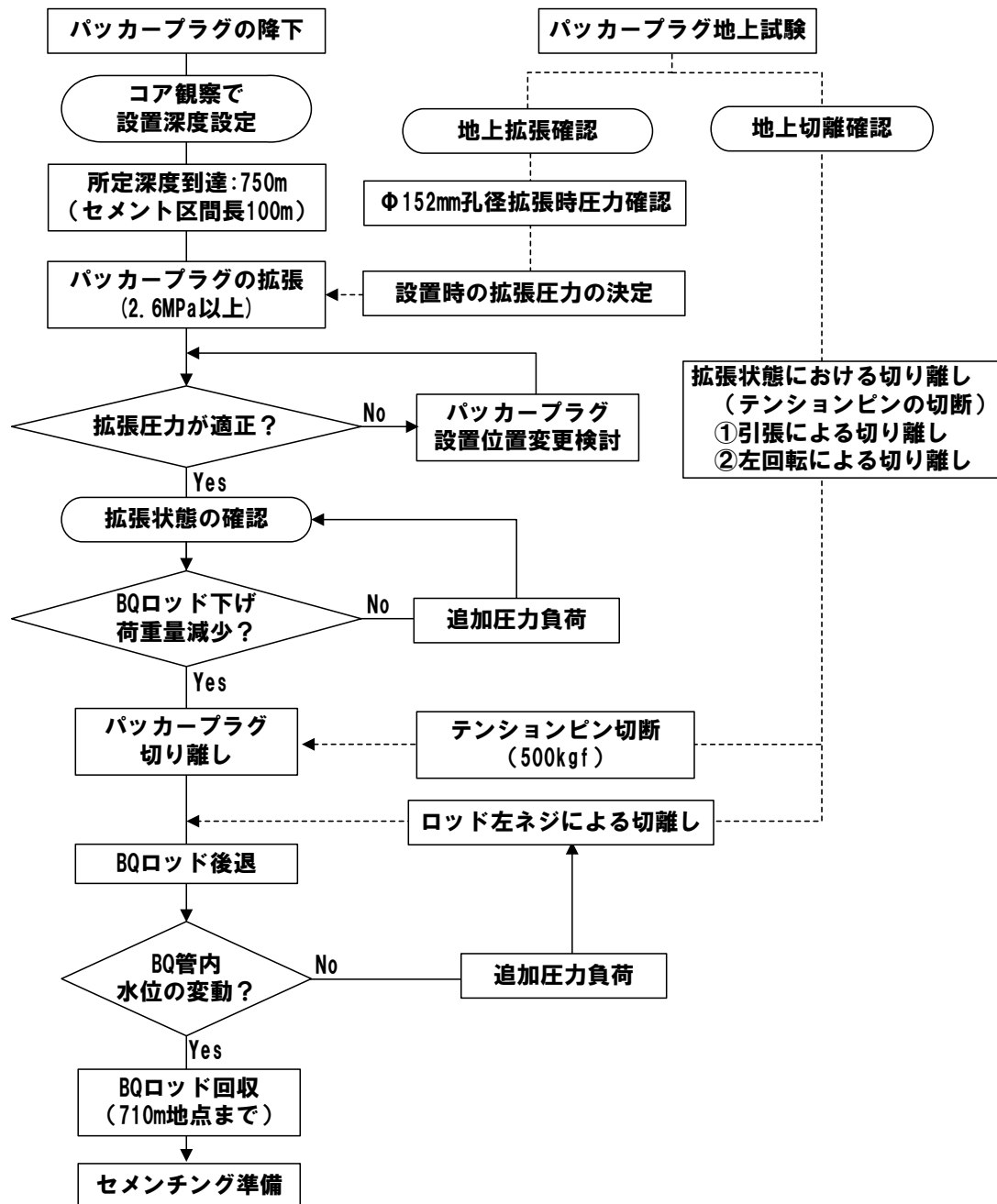


図 5. 1. 4-1 パッカプラグ設置作業フロー

5. 1. 4. 2 セメントミルク充填材注入による埋め戻し作業

サイドトラック掘削を行うため、既存孔井に対して、充填材を練り上げたセメントミルクを注入する。注入区間は、掘削長 650m からパッカプラグ上部位置である掘削長 749. 983m までの約 100m 区間を対象に行う計画である。

使用するセメントミルク充填材は、5. 1. 2 項で選定した配合(表 5. 1. 4-1)に調整したプレミックス材を使用する。

セメントミルク充填材の注入は、パッカプラグの設置にも用いるチュービングパイプ(BQ ロッド)を

使用する。また、練り上げたセメントミルク充填材を孔内へ注入する機材として、図 5.1.2-12 に示したモルタルポンプと同性能の機材を準備する計画である。

表 5.1.4-1 に埋め戻しに使用するプレミックス材の配合を示す。

表 5.1.4-1 埋め戻しに使用するプレミックス材の配合

W/C (%)	セメント種類	Vt (W×%)	SP (C×%)	風袋 (kg)	水量 (kg/袋)	練上量 (ℓ/袋)
45	HPC	1.2	0.3	20.0	9.0	15.3

(1) セメントミルク充填材容量

パッカプラグ上部から掘削長 650m までの区間の既存孔井を埋め戻す場合、当該区間の孔内容量は孔径 $\phi 152\text{mm} \times 99.983\text{m}$ であることから、約 1,814L (1.8 m^3) と算出される。表 5.1.4-1 に示した配合によりセメントミルク充填材を練り上げた場合、プレミックス材は 119 袋必要となる。

セメントミルク充填材の練上げはハンドミキサーを用いて行う計画であるため、練上げ量を多くしすぎると攪拌状態を均一にすることが困難となると考えられる。このため、セメントミルク充填材の品質を均質なものとするために、1 回当りの練上げに用いるプレミックス材を 3 袋とすることにした。結果的に、プレミックス材の準備数量も 3 の倍数となることから、合計 120 袋を用意、使用してセメントミルク充填材の作成を行い孔井内に注入する計画とした。この結果、埋め戻しに必要な孔内容量 1,814L に対して、準備充填材料は 1,836L となる予定である。

表 5.1.4-2 に孔井内注入時に準備する充填材容量を示す。

表 5.1.4-2 準備する充填材容量

項目	数量
プレミックス材	120 袋
同上 重量	2,400 kg
溶解水量	1,080 kg
練上げ容量	1,836 ℓ

(2) 埋め戻し作業手順の検討

埋め戻し作業を実施するための手順を検討するに当たり、セメントミルク充填材の注入開始から注入終了に至るまでの主要な作業項目について検討を行い、作業手順のフローを作成した。検討項目は、以下の5項目について行った。

- ① セメントミルク充填材を注入する際のチュービングパイプ(BQ ロッド)先端の位置
- ② 注入したセメントミルク充填材と孔内の掘削用泥水との接触による脆弱化の低減
- ③ 練上げ時間と注入時間の想定
- ④ 流下速度に対する練上げ作業の対応
- ⑤ 注入後のセメントミルク充填状況の確認

a. 注入管(チュービングパイプ)先端位置の検討

垂直孔井や緩傾斜孔井における一般的なスクイズセメンチングでは、注入管の先端位置を充填区間の下部まで挿入しておき、セメントミルクの注入終了後に引き抜くことで、孔内の掘削用泥水とセメントミルクとの接触を抑える工法が用いられることが多い。しかしながら、本孔井のセメンチング対象区間は、掘削長 650m 地点が開始位置となり、この位置における孔井の傾斜角度は約 79°、掘削長 700m 地点では同様に 85° と、ほぼ水平傾斜に近い状態となっている。

そのため、図 5.1.4-2 に示すように、掘削長 750m 付近へ注入管の先端を設置しても、注入管先端付近の孔井内を充填するためには、相当量のセメントミルク充填材を充填しない限り、掘削用泥水と接触した状態となることが考えられる。また、通常の垂直孔井などの場合には、ワイヤウインチなどの設備を使用することで、注入管を一度に10数m分、揚管することが可能であるが、コントロールボーリングで使用している試錐機では、長さ 3m ごとに、使用する注入管をねじ接続部から切り離す動作を行うために、大幅に時間を必要とすることから、注入管の引き上げ時間がセメントミルク充填材の可使時間を越えてしまうことが懸念される。

一方、可使時間に対する対応を想定した場合には、図 5.1.2-12 に示すようなモルタルポンプを使用することが有効と考えられる。そこで、表 5.1.2-10 より注入対象区間での吐出量を推定し、可使時間範囲内でセメントミルク充填材を注入可能な位置に注入管先端を設置するように検討を行った。

図 5.1.4-2 に傾斜角度の相違によるスクイズセメンチング状況模式図を示す。

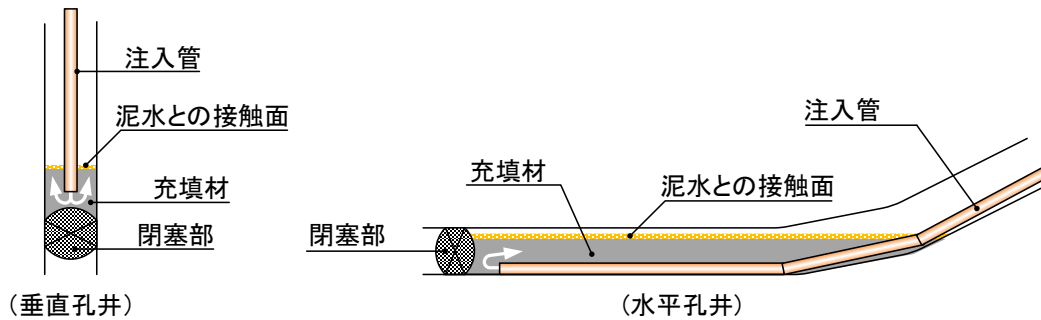


図 5.1.4-2 傾斜角度によるスクイズセメンチング状況模式図

(a) 注入対象区間での吐出量の推定

表 5.1.2-10 で測定した 27m あたりのセメントミルク充填材の吐出量の減少は、1.2L/min であった。なお、事前試験ではモルタルポンプの出力を最大能力の約 80%程度で行っていたため、無負荷時のセメントミルク充填材の吐出量は 40L/min と推定される。

モルタルポンプでの吐出量 40L/min から 27m あたり 1.2L/min 減少率で推定した場合、注入管長さ 750m 分を圧送した場合の吐出量は 6.7L/min となり、同じく長さ 700m の場合では 8.9 L/min、同様に長さ 650m の場合では 11.1L/min と算出される。

表 5.1.4-3 に注入対象区間における 10m 毎の充填材吐出量の推定値を示す。

表 5.1.4-3 注入対象区間 10m 毎の充填材吐出量の推定値

吐出位置 (m)	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750
推定吐出量 (ℓ/min)	11.1	10.7	10.2	9.8	9.3	8.9	8.4	8.0	7.6	7.1	6.7
推定吐出量 (m ³ /h)	0.667	0.640	0.613	0.587	0.560	0.533	0.507	0.480	0.453	0.427	0.400

(b) 注入管引き上げに要する時間

注入管(チュービングパイプ)をセメンチング対象区間に設置する場合、セメントミルク充填材の注入終了までに、注入管の先端部分を埋め戻し対象区間よりも上方まで引き上げなければならない。セメントミルク充填材の可使時間を越えた状況で注入が終了していない場合には、注入管内にてセメントミルク充填材の硬化が始まり、以後の注入が困難となってしまう事態が考えられる。

そのため、注入管である BQ ロッドの 1 本あたりの着脱時間から、注入対象区間 10m 毎に設置した場合の引き上げ時間の算出を行った。

幌延の現地適用性評価試験サイトにおける過去の作業時間から算出して、注入管(BQ ロッド

ド)1本あたりの揚管と着脱時間は約2分程度必要である。また、注入管1本の長さは3.0mであることから、掘削長750mの位置から掘削長650mの位置まで長さ100m分の注入管を揚管する場合には、おおよそ67分間を要することになる。

表5.1.4-4に注入対象区間から掘削長650m地点までの注入管の揚管時間を示す。

表5.1.4-4 注入対象区間から掘削長650m地点までの注入管の揚管時間

吐出位置 (m)	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750
注入管揚管時間(分)	0.0	6.7	13.3	20.0	26.7	33.3	40.0	46.7	53.3	60.0	66.7

(c) 注入管設置位置の設定

埋め戻し対象区間に注入するセメントミルク充填材の容量は、表5.1.4-2に示したように1,836Lである。このセメントミルク充填材を全て埋め戻し区間に注入して、その後、埋め戻し対象区間の上面である掘削長650m地点まで、注入管を揚管するのに必要とする時間から、可使時間3時間以内で施工可能な注入管の設置位置を算出することとした。

なお、注入管(BQロッド)内の容量は1.66L/mであることから、注入管内の容量分のセメントミルク充填材を打設するために要する時間と、揚管に必要とする時間を合計した時間が、セメントミルク充填材の可使時間を越えない孔井内の位置まで注入管先端を降下挿入することとした。

掘削長650m地点以深の作業時間を算出した結果、表5.1.4-5に示すように、掘削長710m地点において可使時間3時間以内での注入作業が可能であると確認できた。

以上より、注入管の先端位置は掘削長710m地点に設置して、埋め戻し作業を実施する計画とした。

表5.1.4-5に吐出先端位置毎のセメンチング作業必要時間を示す。

表5.1.4-5 吐出先端位置毎のセメンチング作業必要時間

吐出位置 (m)	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750
推定吐出量 (ℓ/min)	11.1	10.7	10.2	9.8	9.3	8.9	8.4	8.0	7.6	7.1	6.7
注入管内容量 (ℓ)	1040	1096	1112	1129	1145	1162	1179	1195	1212	1228	1245
注入管内容量分の注入に要する時間 (分)	93.6	102.7	108.8	115.4	122.7	130.7	139.6	149.4	160.4	172.7	186.8
注入管の揚管に要する時間(分)	0.0	6.7	13.3	20.0	26.7	33.3	40.0	46.7	53.3	60.0	66.7
必要な作業時間(a+b)(時間)	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2

b. 掘削用泥水との接触による脆弱化防止の検討

コントロールボーリング孔井における埋め戻し作業においては、図 5.1.4-2 の模式図に示すように本孔井は水平傾斜区間を多く含むため、掘削用泥水とセメントミルク充填材との接触面積が多くなることが考えられる。セメントミルク充填材の選定時において行った試験結果では、掘削用泥水との接触部分に脆弱層が形成される可能性が非常に高いことが確認されている。

そこで、掘削用泥水との接触によるセメントミルク充填材の脆弱化を抑制するために、埋め戻し対象区間を清水置換することとした。

今回の埋め戻し対象区間は水平傾斜部分を多く含む区間であることから、セメンチング実施前の時点で、対象区間の孔内容量に相当する清水を送水して、区間内に存在する掘削用泥水から清水へと置き換えてしまうことで、掘削用泥水内に含有されるベントナイト成分の沈降による、セメントミルク充填材の脆弱化は極力抑えられると考えられる。

c. 練上げ時間の確認

セメントミルク充填材の作成方法は、水にプレミックス材を投入し、ハンドミキサーにて練上げを行い作成する。練上げ 1 回にプレミックス材 3 袋を溶解することから、1 回あたりの作成量は 49.5L となる。また、1 回あたりの練上げに要する時間は、事前試験の実績から約 3 分間と想定している。この練上げ時間に、水の計量、プレミックス材の投入時間と練上げ後にホップ内へ投入を完了するまでの時間を合計して、1 回当たり 10 分と想定される。

一方、準備したホップの容量が 200L 程度であるため、ハンドミキサーを 4 台準備した場合、1 回あたりの練り上がり量は $45.9\text{L} \times 4 = 183.6\text{L}$ 準備できることになる。

以上のことから、セメントミルク充填材の練上げ能力を算出すると、 $183.6\text{L}/10\text{分} = 18.36\text{L}/\text{min}$ と算出される。また、充填材全容量を作成するために必要な練上げ時間は、 $120\text{袋}/(3\text{袋} \times 4) \times 10\text{分} = 100\text{分}$ と算出される。

d. 流下速度への対応

表 2.1-15 に示すように、注入管(チュービングパイプ、BQ ロッド)の先端位置を掘削長 710m とした場合、先端部での吐出量は $8.4\text{L}/\text{min}$ と算出される。しかしながら、注入の初期段階では圧送距離が短くなることから、注入速度は先端部の吐出量よりも速くなることが想定できる。そのため、充填材の総容量 1,836L を練上げ時間で除した練上げ能力 $18.36\text{L}/\text{min}$ を、モルタルポンプでの注入速度が超えてしまう場合には流量調整を行う必要が生じる。

一方、モルタルポンプでの流量調整が困難となった場合の対応策として、ホップによる自然流下での注入方法に切り替える判断を下し、このような状態になることを想定して、必要機材の準備等を行うこととした。

また、モルタルポンプの流量低下や注入圧力の上昇によって圧送が困難となった場合には、速やかにセメントミルク充填材の注入作業を一度中止して、注入管内を送水洗浄して残留するセメントミルク充填材の管内における硬化を防いだ後に、再度、セメントミルク充填材の重ね打ちによる施工へと変更する判断も考慮することとした。

e. セメントミルク充填材の充填状況確認

セメントミルク充填材の注入が終了した後、セメント硬化による注入管の抑留を回避するために、掘削長 600m 地点の保護管 (NL140 ロッド) 付近まで注入管の揚管作業を行う。その後、試錐ポンプで注入管内へ清水を送り込み、注入管内に残留するセメントミルク充填材の洗浄を行う。セメントミルク充填材の注入終了後、12 時間程度経過した時点で、注入管の降管作業を行い硬化したセメントの頂部位置確認を行う。この確認作業により、セメント頂部位置が計画である掘削長 650m 地点より下方に存在する場合には、必要な孔内容量を再計算して、追加のセメントミルク充填材の追加打設を行う計画とした。

f. 作業手順の作成

上記の a. ～e. で検討した結果を基に、セメントミルク充填材による埋め戻し作業手順を作成してフロー図としてまとめた。

- ① 注入管(チュービングパイプ)への先行水(清水)の送水
- ② セメントミルク充填材の練上げ
- ③ 1 回目のセメントミルク充填材練上げ完了後、モルタルポンプによる注入
- ④ モルタルポンプによる注入量の計測
- ⑤ 注入量が 18L/min 以下に制御できない場合、ホップ使用による打設へ切り替え
- ⑥ 注入量が低下し、可使時間を越える場合には打設作業を中止し、注入管内洗浄を実施
- ⑦ 練上げ全量を注入後、注入管内へプラグ(ゴム栓)を挿入して試錐ポンプで後押し
- ⑧ セメントミルク充填材の打設完了後、注入管を掘削長 600m まで揚管
- ⑨ セメント硬化待ち後(12 時間経過後)、セメント頂部位置の確認(注入管降管による)
- ⑩ セメント頂部位置が掘削長 650m 地点より深い場合、セメントミルク充填材再打設
- ⑪ 注入管の全揚管後、保護管(NL140 ロッド)の全揚管

図 5.1.4-3 にセメントミルク充填材による埋め戻し作業フローを示す。

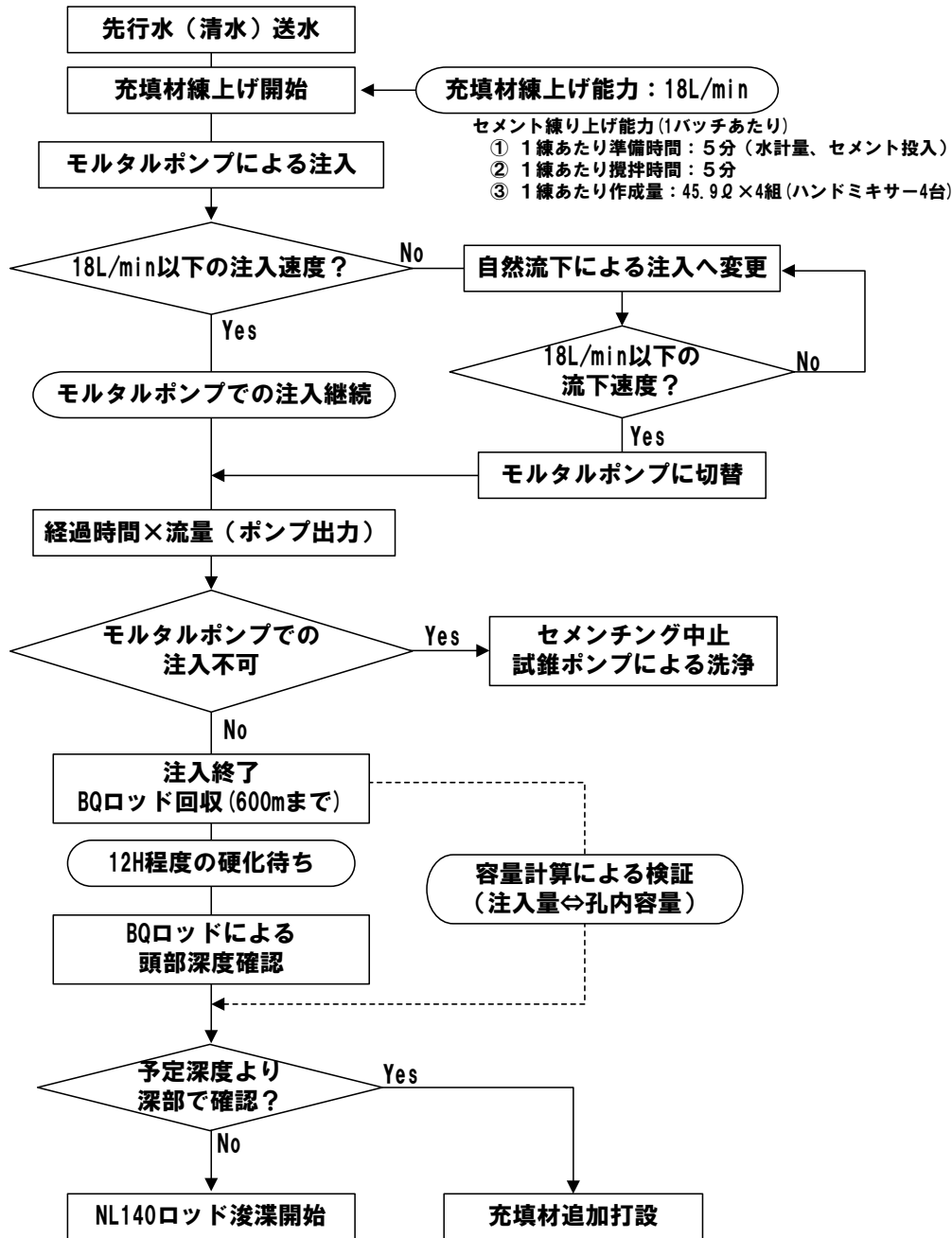


図 5.1.4-3 セメントミルク充填材による埋め戻し作業フロー

5.1.4.3 サイドトラック掘削作業

サイドトラック掘削実施箇所へのセメンチング終了後、セメント頂部位置の確認と頂部成形のため、NL140 ロッドの先端部にφ152mmに加工したコンポジットシュービットを取り付けて降管する。降下時にはセメント頂部手前より回転洗浄を行ないながら浚渫し、サイドトラック掘削実施箇所までの整形を行なう。作業終了後はNL140 ロッド・コンポジットシュービットの全揚管作業を行う。

セメント頂部端面の成形終了後に行うサイドトラック掘削は、セメントミルク充填材による埋め戻

し箇所から、5.1.3項で設定した軌跡計画を基に掘削を開始する計画である。

サイドトラック掘削の実施区間においては、既存孔井の掘削時において既にボーリングコアの採取を行っていることから、再度、ボーリングコアの採取を行う必要性は低いと考えられる。また、ノンコアリング掘削を実施した場合には、コアリング掘削実施時と比較してコアチューブを含む掘削ツールの揚管・降管作業などのワイヤライン作業を省くことができ、掘削に要する時間と掘削に関わるコストを削減することが可能である。

しかし、サイドトラック掘削の開始直後の地点では、埋め戻しを行ったセメント部から地山部分の珪質泥岩に掘削対象が切り替わることを、採取するボーリングコアによって直接、確認することが可能となるため、当該区間においてはコアリング掘削実施することで、より正確なサイドトラック掘削作業が実施できると考えられる。

コントロールボーリング掘削における採取コア径は $\phi 52\text{mm}$ であり、図5.1.4-4に示す様に既存孔井より102mmの離隔距離が得られた時点で、採取されるボーリングコアがセメントから岩盤に切り替わる計画である。表5.1.3-3に示す軌跡計画では、掘削長652mの地点で約10cmの離隔距離が確保できるため、サイドトラック掘削開始後の5m区間についてはコアリング掘削を行い、それ以降はノンコアリングで掘削を行なうことが、サイドトラック掘削の効果確認や作業効率も考慮した場合、最も効率的であると考えられる。

また、サイドトラック掘削作業中における新たな分岐孔井の軌跡は、掘削ツール内に接続する掘削時計測装置(WL-MWD)によってリアルタイムにモニタリングを行い、計画軌跡との差違を把握する計画である。加えて、サイドトラック掘削の開始前と掘削終了後にジャイロシステムを用いたジャイロ計測を行い、新たに掘削した分岐孔井の状況確認を行う予定である。

図5.1.4-4にコア径と拡径孔の関係図を示す。

図5.1.4-5にサイドトラック掘削手順の概略を示す。

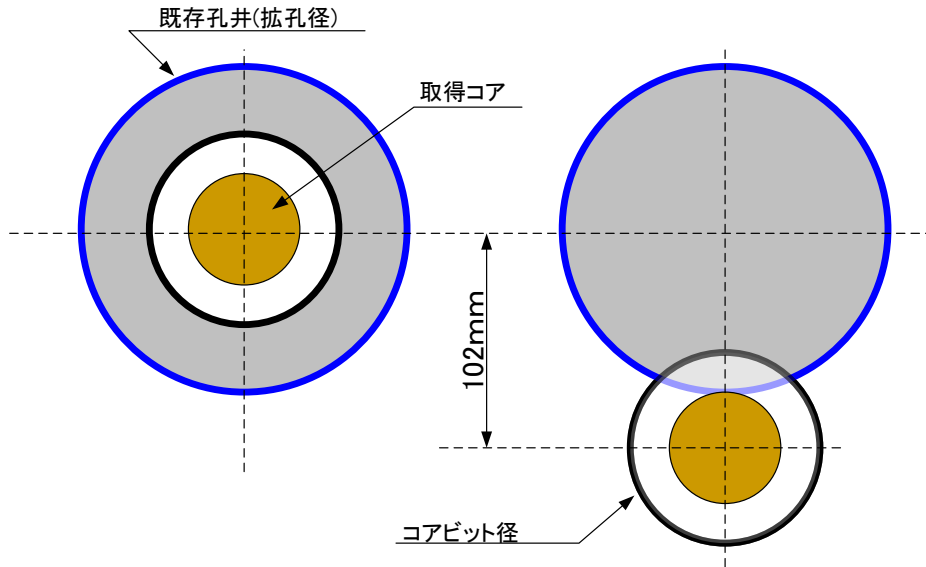


図 5. 1. 4-4 コア径と拡径孔の関係図

①硬化セメント上端面整形

硬化セメント脆弱部を含め、コンポシュービットにて端面を整形



②ジャイロ測定

NL140アウトパイプを降下しジャイロ測定により孔井の軌跡を確認



③サイドトラック開始

掘削編成を降下し、サイドトラック掘削を開始
採取コア・孔井の偏心状況を確認

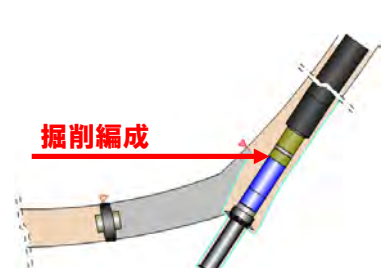


図 5. 1. 4-5 サイドトラック掘削手順概略

5.1.5 サイドトラック掘削に使用する治具の試作

サイドトラック掘削に使用する治具として、既存孔の埋め戻しに使用する孔内閉塞用パッカプラグと同パッカプラグの切り離し治具の試作を行った。

今回試作した孔内閉塞用パッカプラグを実際のコントロールボーリング孔井内に設置する前に、地上における動作確認試験を通じて、パッカプラグの拡張状況の確認と、孔内に拡張・固定させるための切り離し治具の作動状況確認を行った。

孔内閉塞用パッカプラグの拡張状況確認は、以下の2点について計測を行い、この2つの関係から拡張径と拡張圧力の相関を確認し、実際の設置作業時の判断材料に用いた。パッカプラグ拡張の際にはテストポンプを用いて行った。

- ① 孔内閉塞用パッカプラグの拡張時圧力と拡張部外径の計測
- ② 内径φ157.8mmの管内に設置状態での拡張圧力と注水量の計測

切り離し治具の作動状況確認は、準備した2種類の切り離し方法について確認した。孔内閉塞用パッカプラグの切り離し方法として、以下の2種類の方法を準備した。

- ① テンションピンの切断による切り離し(通常時)
- ② 左ねじ部の回転による切り離し(通常時以外)

5.1.5.1 孔内閉塞用パッカプラグの試作

孔内閉塞用パッカプラグは以下の条件で本体や素材の選定を行い、設計・試作を行った。

- ① 長さ750m分の降管作業時において、パッカのゴムラバー部分が磨耗による損傷を受けないこと
- ② 保護管であるNL140ロッド管内(内径φ125mm)を通過可能で、裸孔部孔径であるφ152mmまで拡張可能であること
- ③ セメントミルク充填材の打設に使用する小口径ロッドとの切り離しを実施した際に、拡張圧力の減圧により外径が縮小しないこと
- ④ 小口径ロッドとの切り離し部分を”左ねじ”接続可能なねじ形状とすること

(1) 孔内閉塞用パッカプラグの設計

前述の選定条件に従い、孔内閉塞用パッカプラグの設計を行った。

a. ゴムラバー構造の検討

孔内閉塞用パッカプラグの設置箇所は掘削長 750m 地点となる。孔内閉塞用パッカプラグを設置する際には、降管作業によって保護管(NL140 ロッド)の内壁に接触した状態で移動し、掘削長 600m 以深では保護管先端から突出し、孔井の裸孔区間を長さ 150m 程度の間、孔壁と接触しながら設置計画位置まで移動することとなる。この場合、保護管内部と裸孔部孔壁との接触により、パッカ自体が損傷する可能性も想定される。

そのため、孔内閉塞用パッカプラグの外装部に当たる”ゴムラバー”の肉厚を、可能な限り厚く確保できるように設計を行うことにした。また、万が一、損傷した場合においてもパッカ本体が拡張可能なように、拡張するゴム部分は2重構造とし、内側のパッカの拡張によって外装部のゴムラバーが押し上げられるような構造を検討した上で、設計を行った。

b. 外径の検討

孔内閉塞用パッカプラグ降管の際には、摩擦による損傷の可能性が高い裸孔部との接触を極力低減させるため、保護管としてNL140 ロッドを挿入する。そのため、孔内閉塞用パッカプラグの外径はNL140 ロッドの最小内径である $\phi 125\text{mm}$ 以下である必要がある。さらに、降管時のクリアランスとして片側 5mm を確保した結果、最終的に孔内閉塞用パッカプラグの外径を $\phi 115\text{mm}$ で設計を行った。

また、試錐ポンプを使用して地上からの送水作業によってパッカの拡張を行い、裸孔部へ設置することから、孔内閉塞用パッカプラグの拡張設置位置における孔径である $\phi 152\text{mm}$ 以上の $\phi 160\text{mm}$ まで拡張可能なものとして設計を行った。

c. 逆流防止弁の設置

孔内閉塞用パッカプラグを降管・設置する際には、小口径ロッド(BQ ロッド)を用いて行うが、パッカを拡張・固定した後は、セメントミルク充填材を注入するためにパッカと小口径ロッドとの切り離し動作が必要である。その際に危惧されるのが、切り離し後に拡張した孔内閉塞用パッカプラグの圧力が低下することで、パッカ外径が収縮してしまう現象である。これを防ぐためには、拡張させた圧力が減少しないようにパッカ内への逆流防止弁の設置が必要となる。そのため、孔内閉塞用パッカプラグの注水加圧口の部分にボール式の逆流防止弁を設置できるように設計を行った。

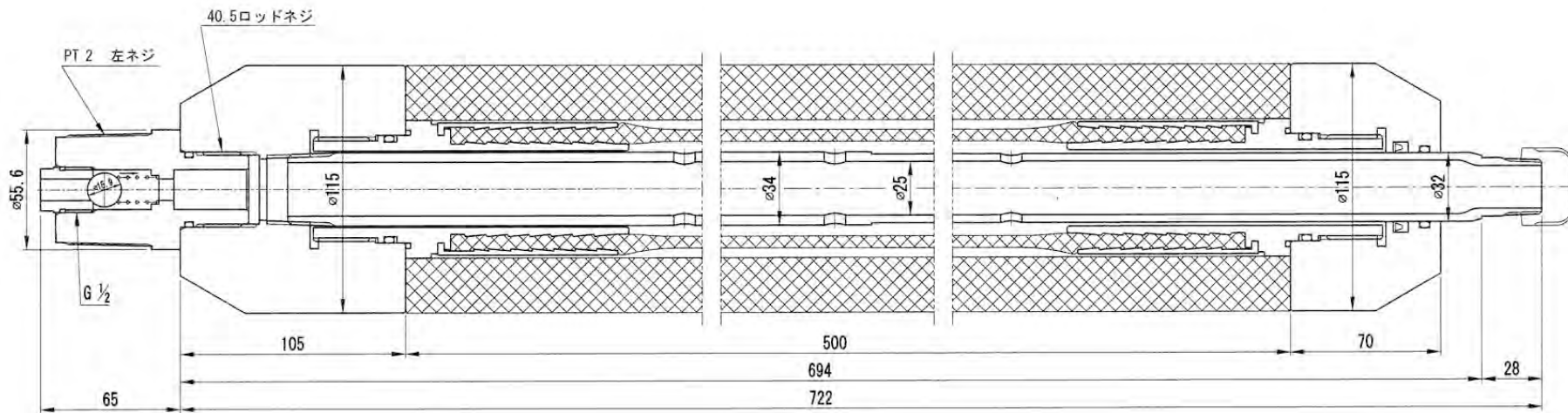
d. 切り離し部の設計

孔内閉塞用パッカプラグと小口径ロッド(BQ ロッド)との切り離し部は、5.1.5.2 に示す治具との接続部となるが、通常作業であるテンションピンによる切り離しが不可能となった場合の対

応措置として、小口径ロッドを回転させることで、パッカとロッドを接続しているねじ部を切り離せる構造を設ける設計とした。なお、小口径ロッドは右ねじであるため、同じ右ねじ同士で接続する構造の場合、切り離し動作を行う際に小口径ロッドの接続部分が外れてしまう可能性が考えられることから、今回この部分の構造は左ねじで仕上げて接続するように設計を行った。

さらに、掘削作業などに使用する通常のロッドの様に、トルクを掛けてねじ部同士を締め付ける必要がある構造の場合、ねじ部から切り離す際に逆に大きいトルクを必要としてしまうことから、ねじ部の構造はねじ部の奥まで締めこまなくても、緩みを少なくできる”PTねじ”を採用して設計を行った。

図 5.1.5-1 に孔内閉塞用パッカプラグの設計図を示す。



(左側が口元、右側が孔底)

図 5.1.5-1 孔内閉塞用パッカプラグ設計図

(2) 孔内閉塞用パッカプラグの試作

(1) で実施した孔内閉塞用パッカプラグの設計図に基づき、実際に試作を行った。

図 5.1.5-2 に試作した孔内閉塞用パッカプラグを示す。



(左端が孔底側)

図 5.1.5-2 試作したパッカプラグ

5.1.5.2 切り離し治具の試作

孔内閉塞用パッカプラグの設計後に、小口径ロッドとの切り離し治具を試作した。切り離し治具は、以下の条件で設計を行った上で試作した。

- ① 孔内閉塞用パッカプラグとの切り離しがテンションピンの切断により可能
- ② 孔内閉塞用パッカプラグと”左ねじ”による接続が可能

(1) 切り離し治具の設計

a. テンションピンによる切り離し部の検討

テンションピンによる切り離し動作は、孔内閉塞用パッカプラグを所定の位置に降管し、同パッカを拡張させて孔内で固定させた後に、小口径ロッドを引き上げることで行う計画である。パッカプラグ設置箇所における切り離し作業では、切り離し治具の摩擦抵抗により、理論値で算出したテンションピンの破断強度とは実測値が相違する可能性が危惧されるため、地上試験の実

測値でテンションピンの破断強度を求めることとし、最終的に取り付けるテンションピンの本数の設定を行うこととした。

そのため、今回試作する切り離し治具には、複数本のテンションピンを取り付けられるように設計を行った。

なお、地上試験で選定するテンションピンの耐荷重は、500kgf 程度を目標値とした。

切り離し治具の構造は、孔内閉塞用パッカプラグと小口径ロッド(BQ ロッド)にそれぞれ接続する2つのブロックをテンションピンによって接続する構造となっている。しかし、このテンションピンの取り付け箇所を治具の内側まで貫通するような構造としてしまうと、孔内閉塞用パッカプラグを拡張させる際の清水が漏れ出してしまう可能性があるため、接続部を貫通しないような構造で設計を行った。

b. ねじ接続方法の検討

左ねじ接続部では、5.1.5.1で示した孔内閉塞用パッカプラグと接続する構造となっている。前述の5.1.5.1の(1)のd.において述べている通り、テンションピンでの切り離し動作が困難な場合に、小口径ロッド(BQ ロッド)を逆回転させることで、確実に切り離し動作を行うために設置するものである。一般的なボーリングロッドは右ねじによって接続するため、正回転を行うことで、左ねじ接続部だけがねじを戻す方向に回転して、孔内閉塞用パッカプラグと小口径ロッドの接続部が確実に切り離される仕組みとなっている。

切り離し治具の左ねじ部分は、図5.1.5-1に示す孔内閉塞用パッカプラグの2"PT オスねじと接続できるように設計を行った。

図5.1.5-3に孔内閉塞用パッカプラグ切り離し治具の設計図を示す。

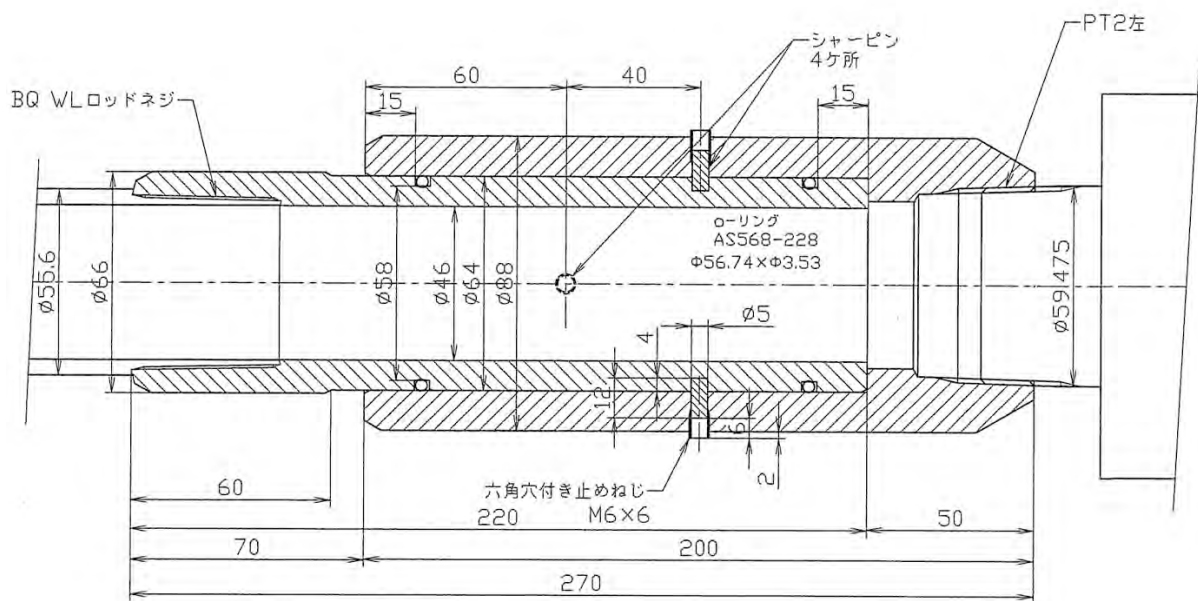


図 5.1.5-3 孔内閉塞用パッカプラグ切り離し治具の設計図

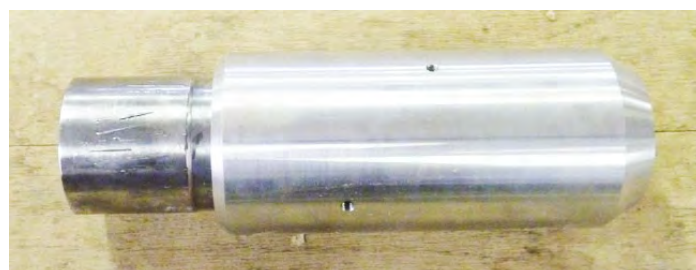
(2) 切り離し治具の試作

孔内閉塞用パッカプラグ切り離し治具の設計に基づき、同治具を実際に試作した。

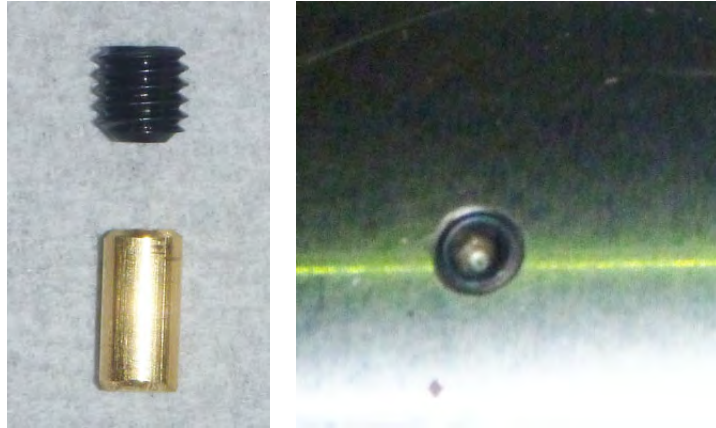
図 5.1.5-4 に試作した孔内閉塞用パッカプラグ切り離し治具を示す。



(テンションピン固定前)



(テンションピン固定後)



(左：テンションピンと止めねじ、右：テンションピン固定状況)

図 5.1.5-4 試作したパッカプラグ切り離し治具

5.1.5.3 孔内閉塞用パッカプラグと同切り離し治具の地上動作確認

試作した孔内閉塞用パッカプラグを用いて、地上試験による動作確認を実施した。動作確認は、同パッカプラグの拡張状況と切り離し動作時の実測値計測を行った。

(1) 孔内閉塞用パッカプラグの拡張状況確認

孔内閉塞用パッカプラグを実孔井内に設置する場合には、地上において同パッカプラグが拡張して孔壁に確実に密着することで固定できたことを確認できることが必要である。同パッカプラグの固定には、同パッカプラグの拡張固定位置における孔径、すなわち孔径 $\phi 152\text{mm}$ 以上に拡張することが必要であり、その拡張状況を判断するための指標として地上で確認可能なものは、注水時の拡張圧力のみである。

このことから、試作を行った孔内閉塞用パッカプラグを用いて、地上で拡張状況を確認することで、実際の孔井内における孔内閉塞用パッカプラグ設置作業における判断材料とする。そこで、拡張状況の判断を行うため、孔内閉塞用パッカプラグへの注水時の拡張圧力に対するパッカ外径を測定してその関係を求めることとした。また、実際の孔井内における作業時には、孔内閉塞用パッカプラグの拡張径が孔径 $\phi 152\text{mm}$ に到達した時点で、孔壁にパッカが密着状態となるため、圧力の急上昇が生じると想定される。

そのため、内径が $\phi 157.8\text{mm}$ の鋼管内に孔内閉塞用パッカプラグを設置した状況で注水量と拡張圧力を計測し、鋼管外で実施した際と同量の注水量における拡張圧力の確認で、拡張外径が鋼管内径に到達した段階で圧力勾配が上昇することを確認する計画とした。

a. 孔内閉塞用パッカプラグの拡張部外径の計測

試作した孔内閉塞用パッカプラグの拡張圧力と拡張部外径の関係を求めるため、手動式のテストポンプを用いて注水量、拡張圧力、および拡張径を計測した。

その結果、注水量 1,312mL に達した段階で拡張圧力が 1.59MPa となり、孔内閉塞用パッカプラグの外径が $\phi 152\text{mm}$ に達したことを目視にて確認した。

図 5.1.5-5 に地上での孔内閉塞用パッカプラグの拡張試験実施状況を示す。

図 5.1.5-6 に地上試験における拡張圧力と拡張外径の関係図を示す。

図 5.1.5-7 に地上試験における拡張圧力と注水量の関係図を示す。



図 5.1.5-5 孔内閉塞用パッカプラグの拡張試験実施状況

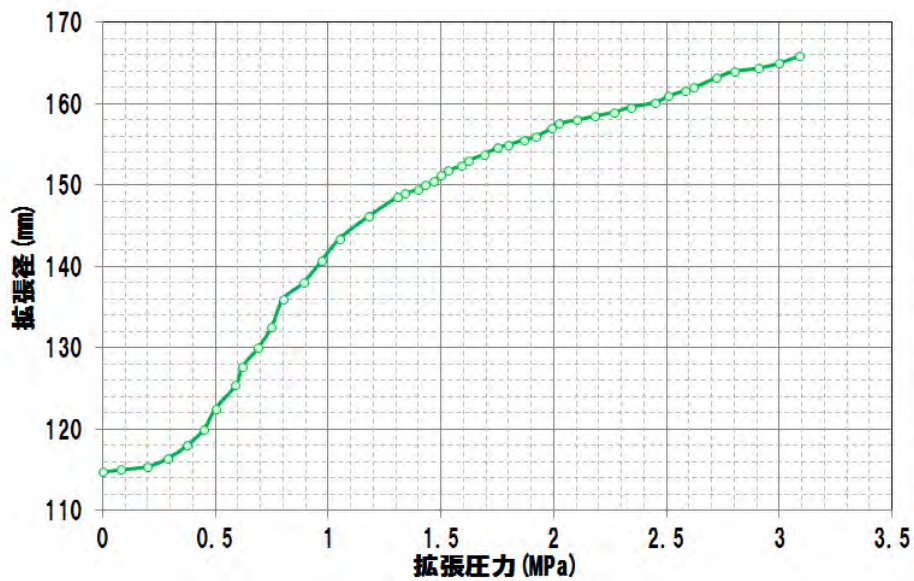


図 5.1.5-6 地上試験における拡張圧力と拡張外径の関係図

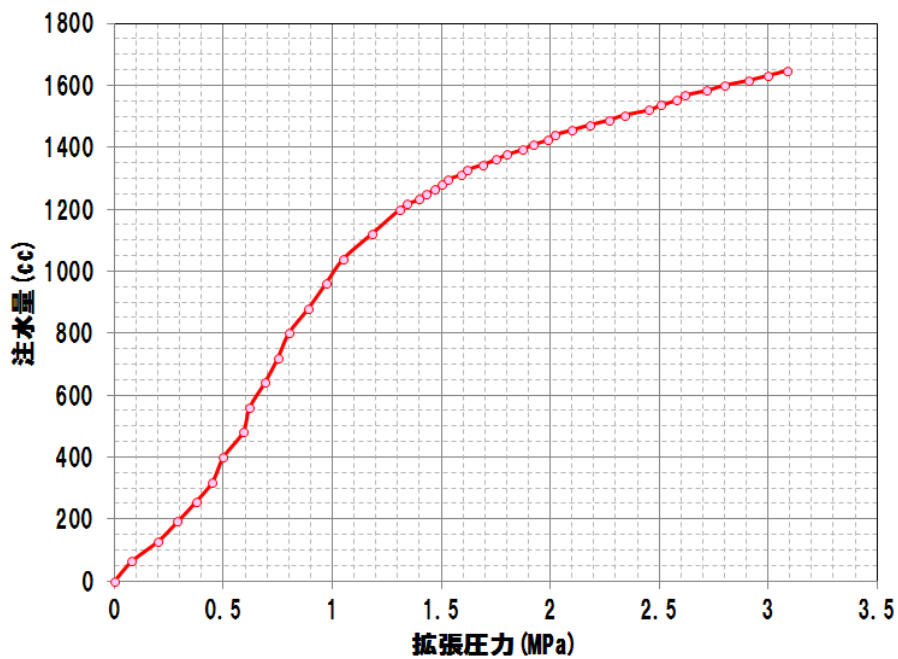


図 5.1.5-7 地上試験における拡張圧力と注水量の関係図

b. 鋼管内における拡張圧力の計測

孔内閉塞用パッカプラグが孔内で拡張し、孔壁に密着した状態での拡張圧力の挙動変化を確認するために、内径φ157.8mmの鋼管内に同パッカプラグを設置して注水加圧による拡張試験を行った。試験時には、孔内閉塞用パッカプラグを長さ1m程度の鋼管内に挿入して、テストポンプを用いて加圧を行い、注水量と拡張圧力を確認した。

注水加圧により、注水量 1,440ml の段階で拡張圧力が 1.87MPa に達し、図 5.1.5-6 の結果と比較してφ157.8mm に拡張した状態であることを確認できた。また、注水を継続して行った結果、以降の圧力の上昇勾配が注水量に対して急激に増加していくことも確認できた。

この結果から、実際の孔井内における拡張状況は、地上での圧力値により判断可能であることが確認できた。

図 5.1.5-8 に鋼管内における孔内閉塞用パッカプラグの拡張試験状況を示す。

図 5.1.5-9 に鋼管内における拡張圧力と注水量の関係図を示す。



図 5.1.5-8 鋼管内における孔内閉塞用パッカプラグの拡張試験状況

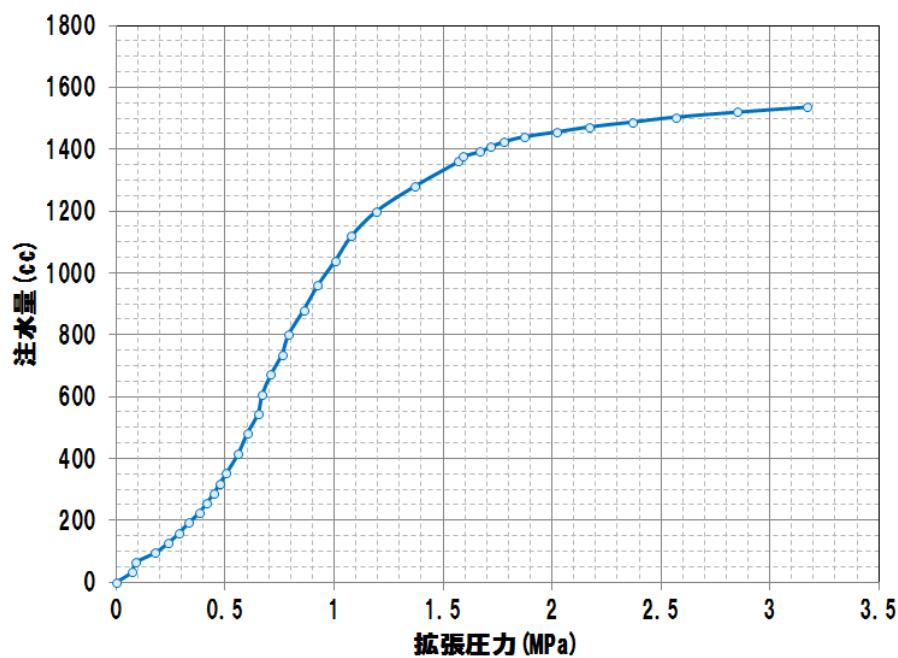


図 5.1.5-9 鋼管内における拡張圧力と注水量の関係図

(2) 切り離し治具の作動状況確認

孔内閉塞用パッカプラグを孔内に確実に切り離すための、切り離し治具の作動状況を確認するため、図 5.1.5-10 に示すように試錐機を用いてテンションピンの破断荷重の計測と、接続ねじ部における左ねじ戻しトルクの計測を行った。

図 5.1.5-10 切り離し治具の作動状況確認試験の概要図を示す。



図 5.1.5-10 切り離し治具の作動状況確認試験の概要図

a. テンションピンの破断荷重の確認

製作した切り離し治具には、 $\phi 5\text{mm}$ のテンションピン(図 5.1.5-4 参照)を 4 箇所まで取り付け可能である。

そこで、図 5.1.5-10 に示すように孔内閉塞用パッカプラグを試錐機に固定して、固定状態から試錐機の油圧を利用して、テンションピンの取り付け本数を変化させて、取り付け本数毎の破断荷重を試錐機のフィード力を用いて計測した。

その結果、テンションピンを 3 箇所取り付けけた状態で、目標の耐荷重 500kgf を得ることができた。

表 5.1.5-1 に実測したテンションピンの破断荷重を示す。

表 5.1.5-1 実測したテンションピンの破断荷重

セット本数	破断荷重 (kgf)	
	実測値	計算値
1	200	393
2	350	785
3	500	1178
4	700	1571

※テンションピン：真鍮製φ5mm(せん断強度20kgf/mm²として算出)

b. 接続ねじ部における左ねじ戻しトルクの確認

前述 a. の確認作業終了後、テンションピンを 3 個取り付けられた状態で、図 5.1.5-10 に示すように試錐機のスピンドル回転を用いて左ねじを戻す際のトルクを計測した。

計測は、スピンドル回転圧力が 0MPa の状態から徐々に圧力を負荷し、ねじが戻り始めた際のトルク値を確認した。

その結果、1.95MPa の圧力でねじが戻り始めたことを確認した。

なお、この油圧能力 1.95MPa をトルク値に換算すると、約 18kgf-m となる。

6. 孔内計測技術の開発

6.1 透水試験・採水・イメージング装置

6.1.1 ダブルパッカの改良

6.1.1.1 ダブルパッカの改良製作

これまでのダブルパッカはスライド長を大きくした場合、掘削スライムを⁺0リングなどの止水部位へ巻き込むことでパッカの漏水を招く可能性があるとして、ノンスライド方式で製作した(図 6.1.1-1)。しかしながら、平成 23 年度に実施した透水試験では、孔断面形が扁平に拡大した箇所ではパッカが孔壁に密着せず、区間を水密にできない現象が認められた。一方、孔井がほぼ水平な深度での試験であり、掘削屑(スライム)も巻き込み易いにも環境にも関わらず、0リング箇所などの止水部や他の可動部へのスライムの流入はほとんど認められなかった。

これらのことから、本年度はスライムの巻き込むリスクは小さいと考えて、パッカを孔径の拡大に対応することが可能にするために、スライド方式のダブルパッカを製作した。また、スライド方式とした場合、パッカの周径方向の拡張に伴い、長手方向には短縮し、孔壁面への密着面積が減少するため、上下パッカのパッカゴム長を従前の 615mm から 1,000mm とする改良も合わせて実施した。

一方で、パッカユニットの全長が長くなり、重量増加に伴う重力方向へのツールの湾曲が生じ、センタリングの低下に伴うイメージングの映像の取得率の低下や、ツール昇降時のパッカの摩耗が懸念された。このため、上下パッカユニットに個別に搭載していたパッカ拡張バルブとパッカリリースバルブを廃止し、給水ユニットに搭載されていたバルブ等を上部パッカに搭載し、給水ユニットは廃止した。これにより、ダブルパッカシステムの全長は 4,251mm から 3,787mm と短縮し、ツールの総重量の増加を軽減した。一方、上下パッカの給水やバルブを統一することで、上・下パッカ毎の圧力の計測することが不可能になり、パッカの効きを確認する手段がなくなった。この対策として、新たに下部パッカの下に圧力計を設置し、先端圧の測定を計測することを可能とした。この圧力計の設置により、上部パッカはその前後のアニュラス圧と区間圧の差圧で、下部パッカは区間圧と先端圧の差圧でそれぞれパッカの効きを確認することが可能となった。

図 6.1.1-1 に改良前のダブルパッカシステムを示す。

図 6.1.1-2 に改良後のダブルパッカシステムを示す。

図 6.1.1-3 に先端圧力センサを示す。

表 6.1.1-1 に改良したダブルパッカシステム仕様の使用を示す。

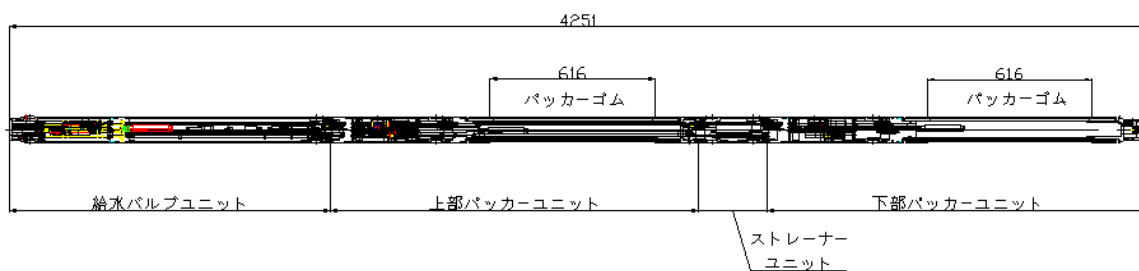


図 6.1.1-1 改良前ダブルパッカシステム

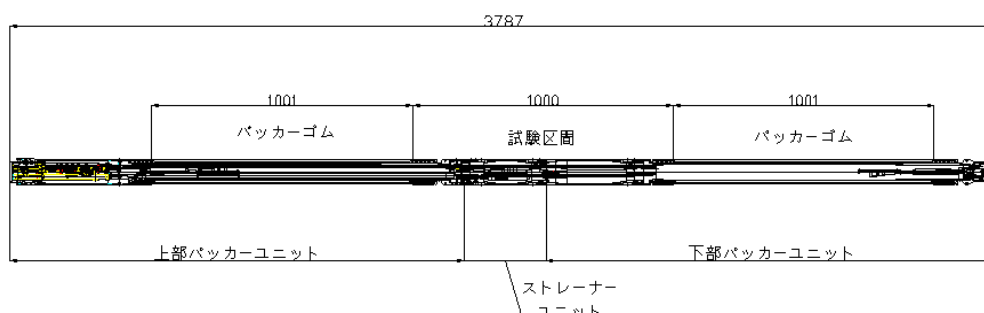


図 6.1.1-2 改良後ダブルパッカシステム



図 6.1.1-3 先端圧力センサ(下部パッカ内)

表 6.1.1-1 改良したダブルパッカシステム仕様

項目	仕様/計測目的(設置箇所)
パッカゴム長(上下パッカ)	1000mm
パッカゴム径(上下パッカ)	φ 95mm
試験区間長(ストレーナーユニット)	1000mm
圧力センサ	<ul style="list-style-type: none"> ・先端圧計測(下部パッカ内設置) ・試験区間圧計測(ストレーナー内設置) ・アニュラス圧計測(上部パッカ内設置) ・上下パッカ圧計測(上部パッカ内設置)
パッカ適用孔径	φ 110mm～φ 180mm
パッカ拡張圧力	最大 1MPa
耐水圧	6MPa

6.1.1.2 室内試験によるパッカの拡張性の確認

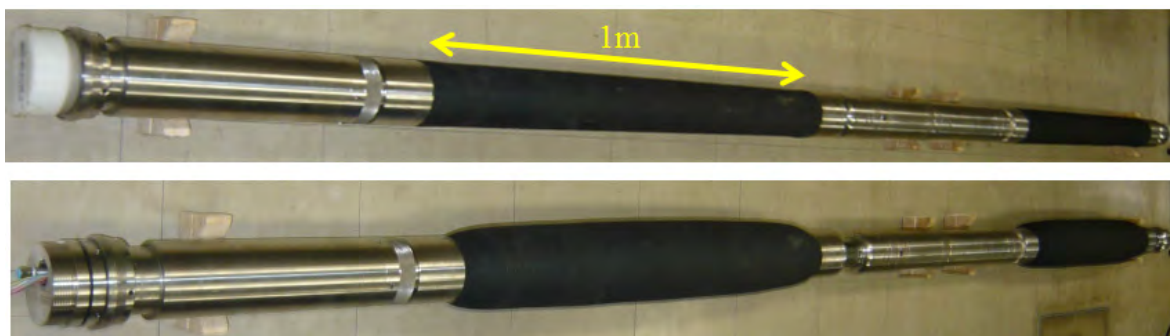
本年度改良したスライド方式のダブルパッカについて、設計時に期待した性能を有するかを確認するため、室内で拡張試験を行った。

試験はダブルパッカを 0.25MPa まで加圧して、拡張前の径 ($\phi 95\text{mm}$) からボーリング孔の内径 ($\phi 152\text{mm}$) まで拡張することを確認した。また、孔径が 8mm 拡大したことを想定し、内径 $\phi 160\text{mm}$ のアクリル管内においてパッカを拡張した。この際、パッカは 500mm 程度の長さでアクリル管に密着することを確認した。

図 6.1.1-4 にボーリング孔径相当までのパッカ拡張の確認状況を示す。

図 6.1.1-5 に孔径 $\phi 160\text{mm}$ を想定したパッカの拡張状況を示す。

図 6.1.1-6 にパッカ密着箇所の長さの確認状況を示す。



(上：拡張前のダブルパッカ、下：拡張後のダブルパッカ)

図 6.1.1-4 ボーリング孔径相当までのパッカ拡張の確認状況



(上：パッカ拡張前、下：拡張後)

図 6.1.1-5 孔径 $\phi 160\text{mm}$ を想定したパッカの拡張状況



図 6.1.1-6 パッカ密着箇所長の確認状況

一方、内径がφ165mm以上となった場合は、パッカ径の拡大に伴いスライド部分の長さが設計値のφ122mmを超えてしまい、止水用のOリングがマンドレルから外れることでパッカから漏水することが判明した。このため、孔径に対する追随性により裕度を持たせるためにパッカのスライド長さを122mmから202mmへ再改良した。

この結果、孔径が180mmまで拡大してもパッカが追随することが可能であることを確認した。

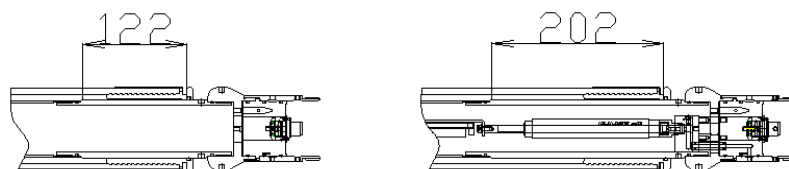
図 6.1.1-7 にパッカ拡張に伴うスライド部分の長さの変化状況を示す。

図 6.1.1-8 にパッカスライド長さの改良設計図を示す。



(左図：拡張前(スライド前) 右図：拡張後(スライド118mm))

図 6.1.1-7 パッカ拡張に伴うスライド部分の長さの変化状況



(左図：改良前(最大122mmスライド) 右図：改良後(最大202mmスライド))

図 6.1.1-8 パッカスライド長さの改良設計図

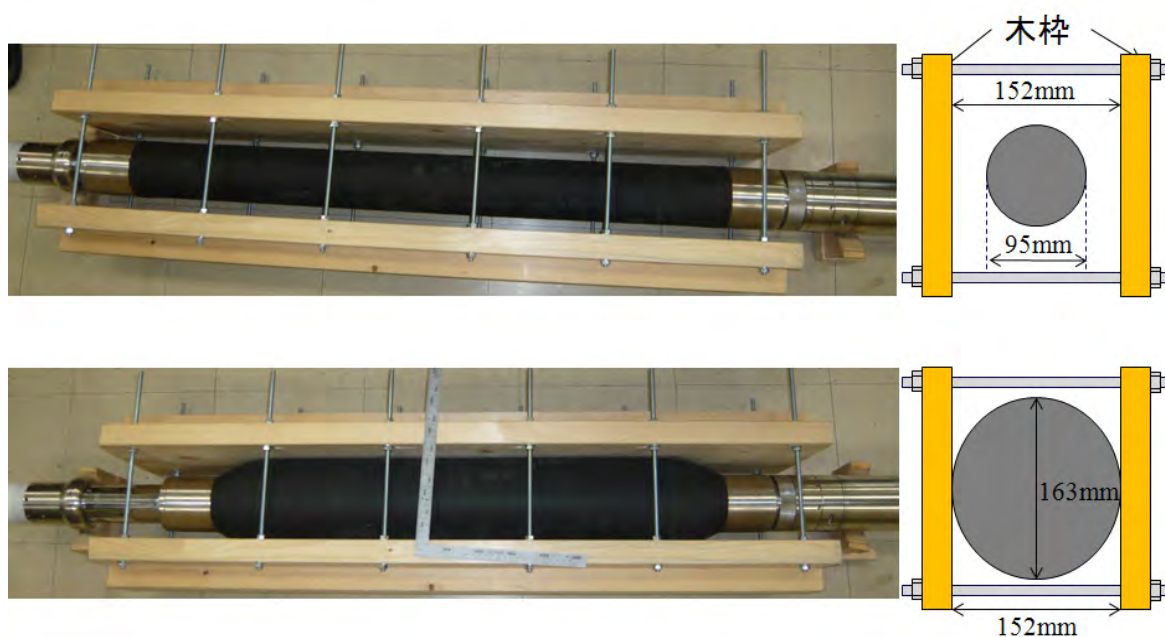
さらに孔断面形が扁平に拡大した個所を想定したパッカの拡張試験を実施した。この試験は、パッカの両側を2枚の木板で挟み、ボルトで152mmの幅で固定した状態でパッカを拡張した。

この結果、0.3MPaの加圧状態で、固定され横幅152mmに対して、縦幅が163mmまで拡張し、10mm程度の偏差の孔断面形をもつボーリング孔に追従することを確認した。

また、パッカの耐圧性を確認するために6MPa程度の環境下において、バルブ・センサが正常に動作することを確認した。

図6.1.1-9に木枠を用いたパッカ拡張試験状況を示す。

図6.1.1-10に圧力チャンバーを用いたパッカの耐圧試験状況を示す。



(上図：パッカ拡張前 下図パッカ拡張後)

図6.1.1-9 木枠を用いたパッカ拡張試験状況



図6.1.1-10 圧力チャンバーを用いたパッカの耐圧試験状況

6.1.1.3 ケミカルユニットの室内機能検証試験

ケミカルユニットには、採水を行う時点における原位置の水質を測定するためのセンサ (pH、EC、DO、Redox)、採取した地下水が掘削水と置き換わっていることを確認するため、掘削水に添加したトレーサ溶液の濃度を測定する分光光度計を搭載している。

これらの計測機器の室内における動作確認、ならびにトレーサの濃度を变化させて分光光度計のキャリブレーションを行なった。

図 6.1.1-11 にケミカルユニットの室内における動作確認状況を、図 6.1.1-12 に水質センサ動作確認状況を、図 6.1.1-13 に分光光度計キャリブレーション結果をそれぞれ示す。



図 6.1.1-11 ケミカルユニットの室内における動作確認状況



図 6.1.1-12 水質センサ動作確認状況

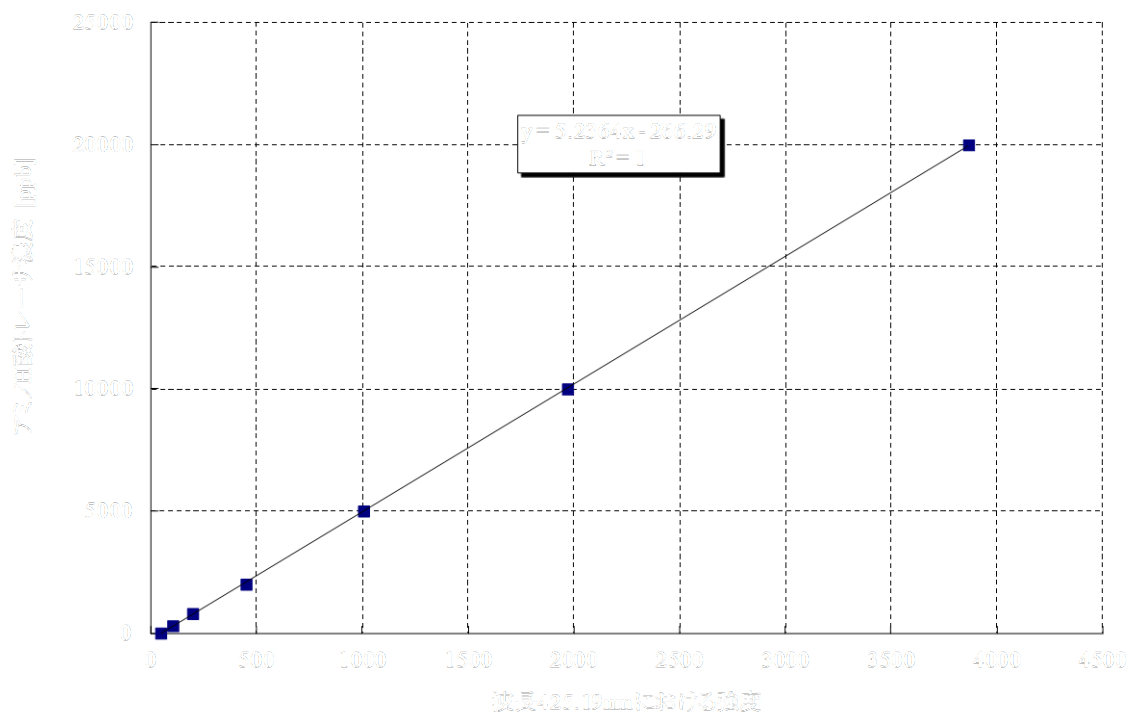


図 6.1.1-13 分光光度計キャリブレーション結果

上図は装置内に内蔵される分光光度計のキャリブレーション結果を示したものであり、トレーサとして用いたアミノ H 酸の濃度を 7 段階変化させ、それぞれに対して波長 425.19nm における強度を測定した結果である。

この結果から、アミノ H 酸濃度と強度には直線関係があることが分かった。このキャリブレーションカーブを用いて、現地におけるトレーサ濃度測定を行なった。

6.1.1.4 共用部の改良

透水試験・採水・イメージング装置の制御ソフトウェアに、ダブルパッカシステムへの改良と、新たに取り付け先端部、すなわち下部パッカよりも下方の区間における圧力測定のための先端圧力センサをモニタする部分を加えた。

図 6.1.1-14 に改良後の操作パネルの全体図を示す。

図 6.1.1-15 に(操作パネル内)ダブルパッカ制御画面拡大図を示す。

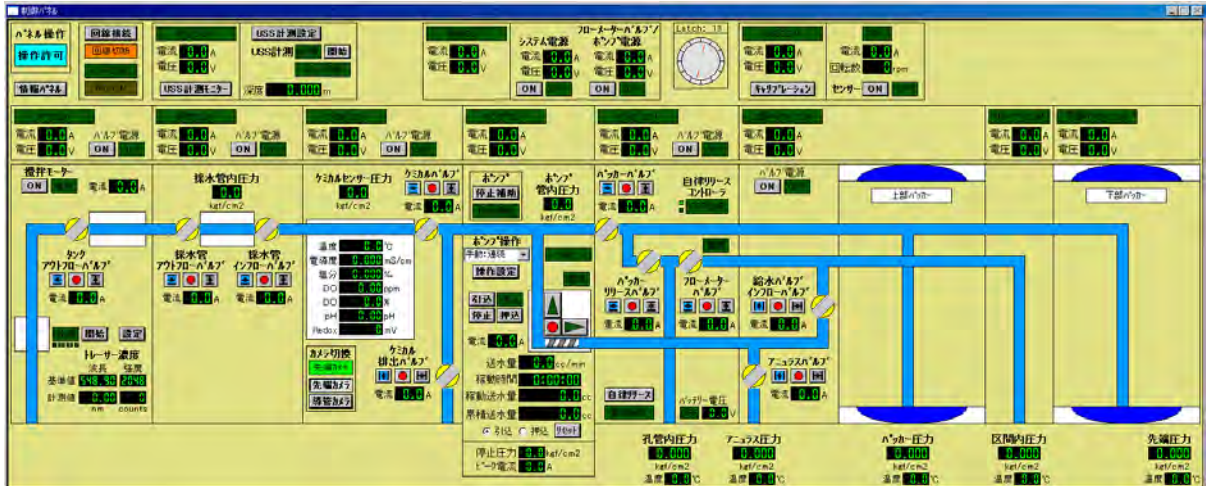


図 6.1.1-14 改良後の操作パネルの全体図

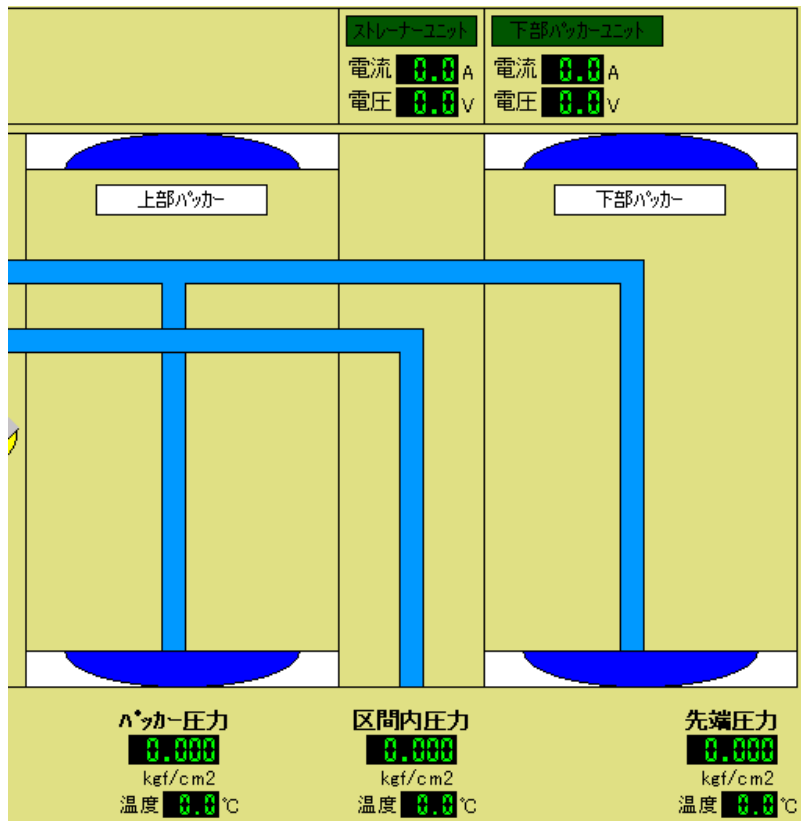


図 6.1.1-15 (操作パネル内)ダブルハッパ制御画面拡大図

6.2 孔内応力試験装置

6.2.1 孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための地上試験

6.2.1.1 ウインチケーブルスリップリンガーケーブルヘッドの接続と通信確認

(1) ウインチケーブルスリップリンガーケーブルヘッドの接続

平成 24 年度に試作した孔内応力試験装置ケーブルヘッドを孔内応力試験装置専用ケーブル内の孔内側端末に接続した。また、専用ケーブルの地上部側は、孔内計測装置の各計測機器の光ファイバーの信号を電気変換するための通信光変換器をケーブルドラムに設置した。また、RS485 通信および孔内計測機器駆動のための AC100V については、ドラム回転中にも使用できるようにスリップリングを介した接続とした。

ウインチケーブルの孔内側接続は、平成 24 年度に試作した孔内側のケーブル端末水密加工処理をした接続金具に、今年度試作した孔内応力試験装置のケーブルヘッドを連結した。

図 6.2.1-1 は、水密加工処理された金具と組み立て前のケーブルヘッドを示す。この写真の右奥に示すものが水密加工ケーブル端末である。写真中央はケーブルヘッドの鋼管で手前がこの鋼管内設置する光変換器とその電源機器である。ケーブルヘッドを組み立てるために、ケーブルヘッド内機器に配線するためにケーブルの被覆を剥がしてバラ線にした。

図 6.2.1-2 にはケーブルヘッド内に配置する光変換器および電源機器に配線するための光ファイバーおよび電源線をむき出すために、被覆を剥がす作業を行っている状況を示す。被覆を剥がして、電源線と信号線である光ファイバーケーブルとに分離した。

図 6.2.1-3 は被覆を剥がした電源線と光ファイバーケーブルの状態を示したものである。

光ファイバーケーブルには、ケーブルヘッド内の光変換器に接続するための光ファイバー端末に SC コネクタと FC コネクタを取り付けた。

図 6.2.1-4 はアーマードケーブル側の光ファイバーケーブルにコネクタ付き光ファイバーケーブルをつなげるための融着機器を使用してケーブルをつなげている状況で有る。

図 6.2.1-1 にケーブルヘッド部組立前状況を示す。

図 6.2.1-2 に応力専用ケーブル被覆剥がし状況を示す。

図 6.2.1-3 に電源ケーブルと光ファイバーケーブルの分離を示す。

図 6.2.1-4 に光ファイバーケーブルコネクタ取付のための融着作業状況を示す。



図 6.2.1-1 ケーブルヘッド部組立前状況



図 6.2.1-2 応力専用ケーブル被覆剥がし状況



図 6.2.1-3 電源ケーブルと光ファイバーケーブルの分離



図 6.2.1-4 光ファイバーケーブルコネクタ取付のための融着作業状況

ウィンチケーブルの地上部側接続はウィンチケーブル端末から直接地上部へ接続する線とスリッピングを介してパネルコネクタで接続する 2 系統とした。直接接続するケーブルは孔内応力試験装置のポンプモーターへ電源を供給するための AC200V 用の電源線 (AWG#20 12 本) と AE 信号およびカメラ映像信号線のための光ファイバーケーブル (MMF GI 62.5/125 14 本 予備 2 本含む) である。光ファイバーケーブルは、光ファイバー中継ボックス内のコネクタに接続する。図 6.2.1-5 にケーブルウィンチのスポークに取り付けた光ファイバー中継ボックスを示す。実際の計測の際は地上部側計測器の光変換器から延長した光ファイバーケーブルをこの中継ボックスのコネクタに接続して行う。スリッピングを介して地上部側と接続するケーブルは、AC100V 電源線 (AWG#20 14 本) と通信用の光ファイバーケーブル (MMF GI 62.5/125 4 本) である。図 6.2.1-6 には AC100V 電源線および通信用光ファイバー線を光変換器に接続しスリッピングに接続する

ための光変換器ボックスを示す。また、図 6.2.1-7 にスリプリングを介してパネルコネクタにケーブルを接続している作業状況を示す。

図 6.2.1-5 にウィンチドラムへの光ファイバー中継ボックス取付状況を示す。

図 6.2.1-6 にウィンチドラムへの光変換ボックス取付状況を示す。

図 6.2.1-7 にウィンチドラムパネル配線作業状況を示す。

図 6.2.1-8 にケーブルウィンチ内光変換器ボックス(上)・光ファイバー中継ボックス(下)取付状況を示す。



図 6.2.1-5 ウィンチドラムへの光ファイバー中継ボックス取付状況

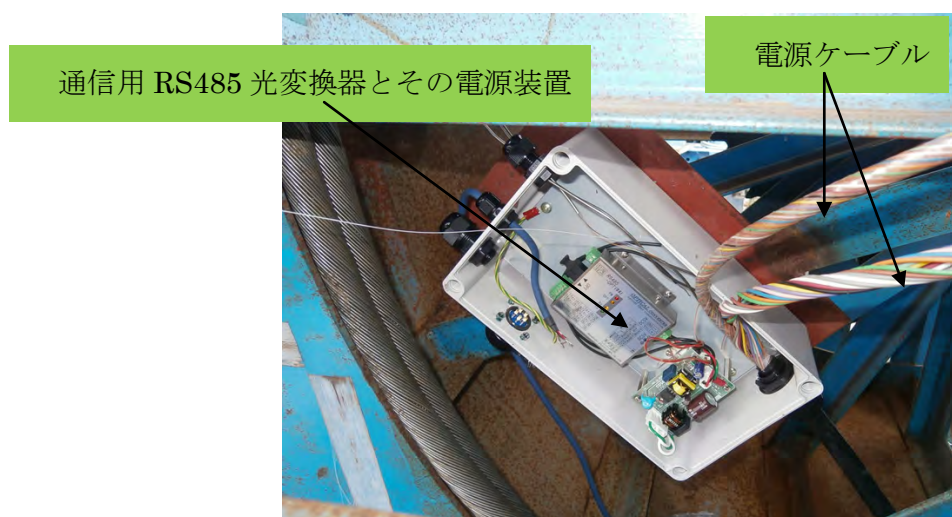


図 6.2.1-6 ウィンチドラムへの光変換ボックス取付状況



図 6.2.1-7 ウィンチドラムパネル配線作業状況



図 6.2.1-8 ケーブルウィンチ内光変換器ボックス(上)・光ファイバー中継ボックス(下)取付状況

(2) 通信確認

孔内応力試験装置専用アーマードケーブルの端末配線接続処理後に、ケーブルウィンチ地上部に地上部計測器を接続し、ケーブルヘッドを接続したケーブルウィンチ孔内部に孔内応力試験装置を接続して、通電、通信確認作業を実施した。

図 9.2.1-9 に通信確認作業状況を示す。

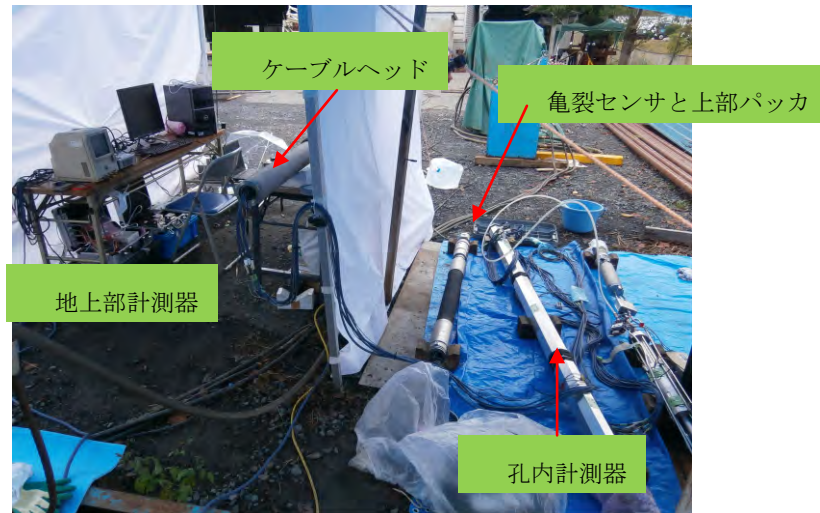


図 6. 2. 1-9 通信確認作業状況

通信機能の確認項目は以下の通りである。

- ① 通電
- ② 孔内計測器と地上部計測 PC 間での通信確認
- ③ AE
- ④ カメラ

試験内容を表 6. 2. 1-1 に示す。

表 6. 2. 1-1 通信機能確認試験内容一覧

	項目	検証方法	測定項目
①	通電	AC100V および AC200V を送電し孔内側で電圧確認	電圧
②	孔内計測機器と地上部計測機器との通信	孔内計測器と地上部計測 PC 間で通信	方位、傾斜
③	AE 測定	AE センサを打撃して受信波形を確認	AE 波形
④	カメラ	孔内カメラ映像を地上部モニタで確認	カメラ映像

孔内応力試験装置専用アーマードケーブルのケーブルヘッドに孔内応力試験装置を連結して計測通信が可能な状態に組み立てた。孔内応力試験装置専用アーマードケーブルを介した通信試験は次ページ以降に述べる方法で実施した。

a. 通電

孔内側はアーマードケーブルを通して孔内側の電圧が測定できるように孔内応力試験装置のケーブルヘッドから送り込み装置部分までを接続した。地上部側はケーブルウインチのパネルコネクタに AC100V 電源線およびケーブルウインチ側 AC200V 用の電源線に地上部側からの電源線を接続した。電線接続を確認したら、電圧調整器を介して電源に接続した。孔内応力試験装置の送り込み装置内を通る電源線のコネクタ部分にテスターを使い孔内側での電圧を測定し、地上部分との電圧を比較した。

図 6.2.1-10 に孔内応力専用ケーブルを使った通電確認試験概要を示す。

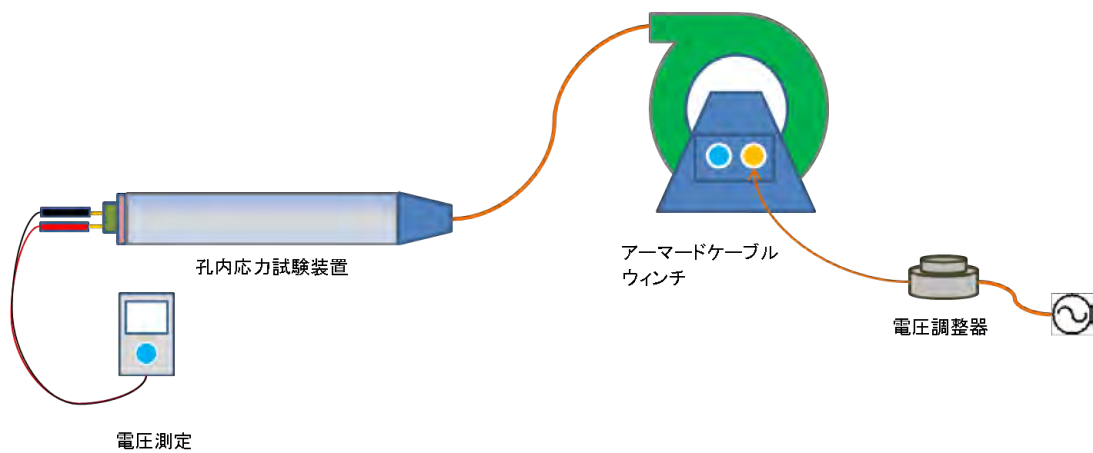


図 6.2.1-10 孔内応力専用ケーブルを使った通電確認試験概要

その結果、地上部で 100V の電圧は孔内側では約 98V で約 2V の電圧降下であった。また、地上部で 205V の電圧は、孔内側で約 201V であった。したがって、地上部から供給した電源は問題なく孔内側へ通電されていることを確認した。

図 6.2.1-11 に通電確認電圧測定状況を示す。

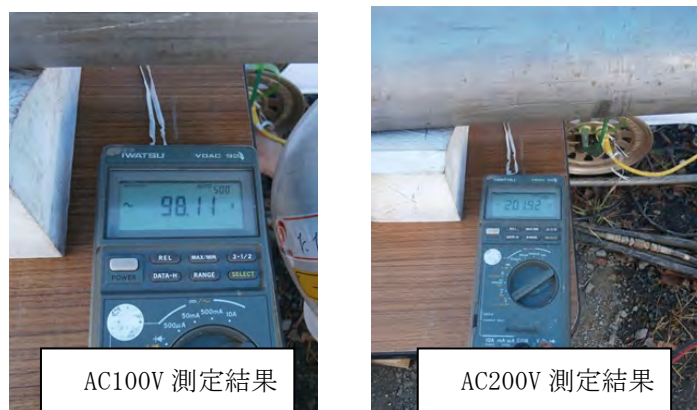


図 6.2.1-11 通電確認電圧測定状況

b. 孔内計測機器と地上部計測機器との通信

前述 a. の通電試験で通電確認後、一度地上部電源を切断し、孔内応力試験装置の計測機器を連結した。アーマードケーブルウインチのパネルに通信用ケーブルの一端を接続し、もう一端を地上部計測 PC につなげた。

孔内応力試験装置に地上部側から AC100V の電気を供給し、地上部計測 PC の計測ソフトを起動させて、孔内応力試験装置内の計測制御部と通信を実施した。通信確認のための計測項目は、方位・傾斜データで行った。データ取得間隔を変化させて(データ量が多くなった場合)も、通信データの品質に変化がないことを確認した。

図 6. 2. 1-12 に孔内応力専用ケーブルを使った通信確認試験概要を示す。

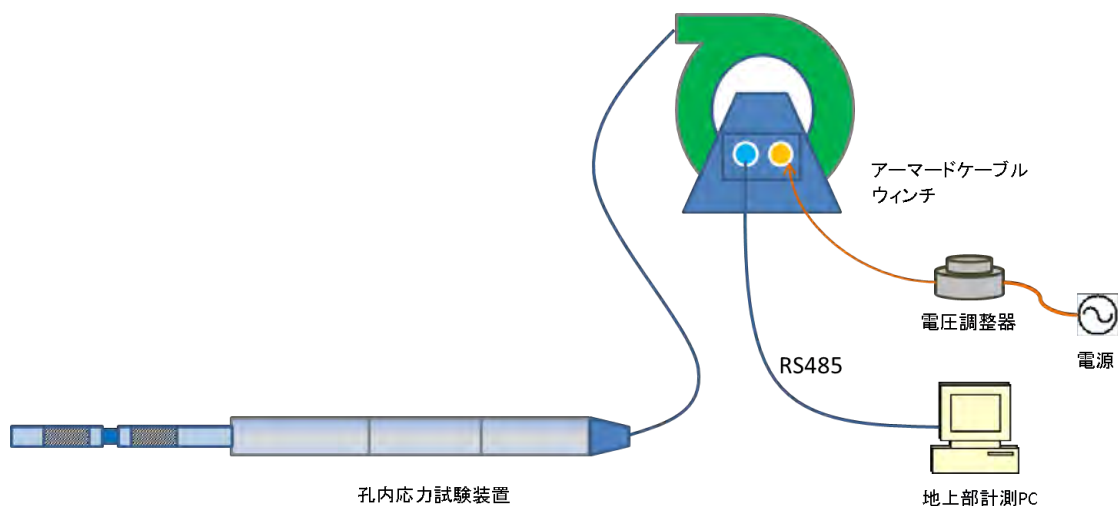


図 6. 2. 1-12 孔内応力専用ケーブルを使った通信確認試験概要

通信試験の結果、孔内応力試験装置の孔内計測制御機器と地上部計測 PC との間でケーブルウインチまで RS485 で通信行い、光変換してアーマードケーブル内は光ファイバーケーブルを使い、孔内応力試験装置のケーブルヘッド内での光ファイバーケーブルから RS485 へ変換して、孔内機器と通信できることを確認した。

図 6. 2. 1-13 に地上部計測 PC の計測画面を示す。



図 6. 2. 1-13 地上部計測 PC の計測画面

c. AE測定

AE 信号は、孔内応力試験装置の亀裂計測サブユニットの AE センサからの信号を装置内の同軸ケーブルを伝いケーブルヘッド内の光変換器で光変換してアーマードケーブル内の光ファイバーケーブルへ信号を伝送した。そして地上部側はアーマードケーブルウィンチに設置した光ファイバ中継ボックスから光ファイバーケーブルを延長して光変換器に接続し、この変換器と AE 計測器を同軸ケーブルで接続して AE 波形を確認した。図 6. 2. 1-15 に AE センサを打撃して、受信した波形を示す。1ch から 4ch までの 4 つの AE センサの波形にノイズは見られずきれいな波形が観測できた。したがって、応力専用ケーブルを使って AE が計測できることを確認できた。

図 6. 2. 1-14 に孔内応力専用ケーブルを使った AE およびカメラ映像確認試験概要を示す。

図 6. 2. 1-15 に孔内応力専用ケーブルを介して観測した AE 波形を示す。

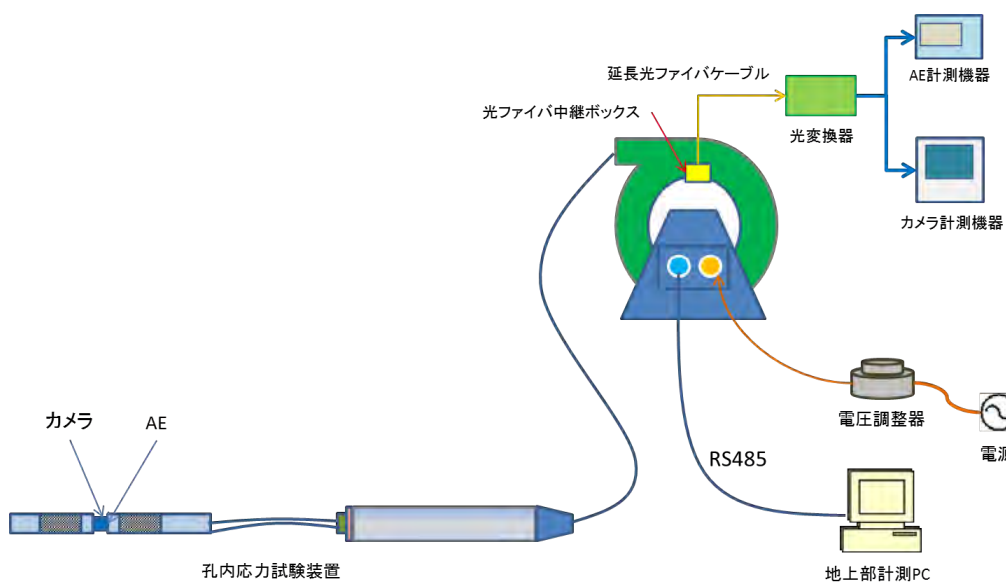


図 6. 2. 1-14 孔内応力専用ケーブルを使った AE およびカメラ映像確認試験概要



図 6.2.1-15 孔内応力専用ケーブルを介して観測した AE 波形

d. カメラ映像

カメラ映像の確認試験概要は AE 同様で図 6.2.1-14 に示す通りである。

前述の AE 測定同様に、孔内応力試験装置の亀裂計測サブユニットのカメラからの信号を装置内の同軸ケーブルを伝いケーブルヘッド内の光変換器で光変換してアーマードケーブル内の光ファイバーケーブルへ信号を伝送した。アーマードケーブルウィンチ内の光中継ボックスより光ファイバーケーブルを延長して光変換器に接続し、この変換器とカメラ計測器を同軸ケーブルで接続した。亀裂計測サブユニットのカメラ映像を地上部モニターで確認した結果を図 6.2.1-16 に示す。

1ch から 8ch までの 8 つのカメラからの映像にノイズは無く、色彩、色調もアーマードケーブルを介さない場合と変わりなく、はっきりとした映像を観ることが出来た。したがって、応力専用ケーブルを使ってカメラの撮影映像がモニターできることを確認できた。

図 6.2.1-16 に孔内応力専用ケーブルを介してモニターしたカメラの映像を示す。



図 6.2.1-16 孔内応力専用ケーブルを介してモニターしたカメラの映像

6.2.1.2 型どりパッカの機能検証

(1) 目的

幌延現地試験では、型どり試験の際に試験装置を孔内に挿入して、型どりを実施してから装置を回収するまでに作業の流れによっては1日以上時間を要する場合も想定される。そのため、長時間試験孔内に留置された状態が続いた場合に孔壁面の型どり結果が時間の経過とともに見えにくくなってしまふことが懸念される。そこで、幌延現地試験前に、時間の経過とともに型どり結果がどの程度確認することができるのか検証することが目的である。

(2) 検証方法

平成24年度に2軸載荷試験装置を使った水圧破碎試験で亀裂を造成した供試体は、1辺が30cmの立方体で、供試体の中央に幌延現地試験孔の裸孔と同径の孔径100mmの試験孔がある。岩種は花崗岩である。

図 6.2.1-17 に岩石供試体の試験孔の亀裂位置を示す。



図 6.2.1-17 岩石供試体の試験孔の亀裂位置

孔壁面の型どりに使う熱収縮ゴムチューブは信越化学工業製のシリコンゴムチューブである。チューブの肉厚は熱収縮後で約 3mm 程度となる。熱収縮ゴムチューブをパッカ長より数 cm 程度長く切って、パッカに被せガスバーナーを使い、熱収縮ゴムチューブを収縮させて、パッカに密着させた。型どりパッカには基線を記し亀裂痕の方向が分かるようにした。

図 6.2.1-18 に室内試験用型どりパッカの概要図を示す。

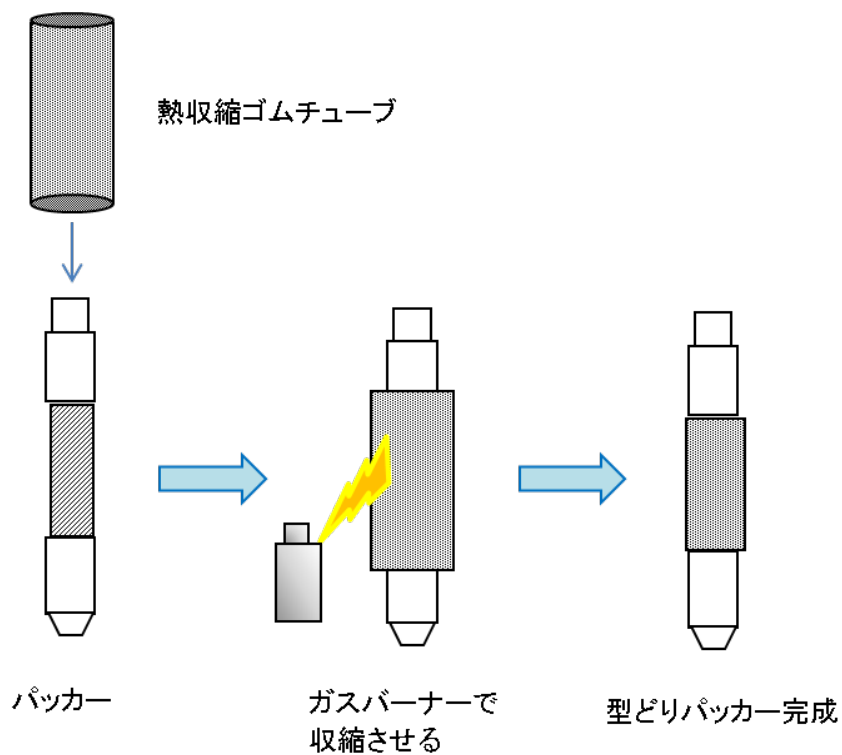


図 6.2.1-18 室内試験用型どりパッカの概要図

2軸載荷装置にセットされた岩石供試体への載荷圧を最大載荷圧(SH)方向に6MPa、最小載荷圧(Sh)方向に2MPaまでそれぞれ載荷した。そして、室内試験用型どりパッカを試験孔に挿入し、パッカを拡張させて試験孔に固定した。このとき、基線方向を確認した。基線確認後パッカ圧を上昇させて6MPaまで加圧した。ここから10分間圧力を保持し圧力を抜いた場合と30分間圧力を保持した後に圧力を抜いた場合で比較した。これらの熱収縮ゴムチューブについて暗所に保管しパッカ圧力を抜いてから経過した1時間後、3時間後、1日後、2日後の亀裂痕の状態をそれぞれ確認した。さらに、型どりパッカ圧を8MPaの場合、10MPaの場合、の各パターンで型どり試験後の1時間経過後、3時間経過後、1日経過後、2日経過後の場合の熱収縮ゴムチューブに残る亀裂痕の状態を確認した。

図6.2.1-19に2軸載荷試験装置での型どりパッカの加圧状況を示す。



図6.2.1-19 2軸載荷試験装置での型どりパッカの加圧状況

(3) 検証結果

型どりパッカの亀裂は、型どり実施後2日経過しても亀裂痕を確認することが出来た。したがって、1日程度の孔内留置では亀裂痕が消えることなく回収時に亀裂痕を確認することが可能であり、現地適用性があることが分かった。

図6.2.1-20に熱収縮ゴムチューブの亀裂痕を示す。

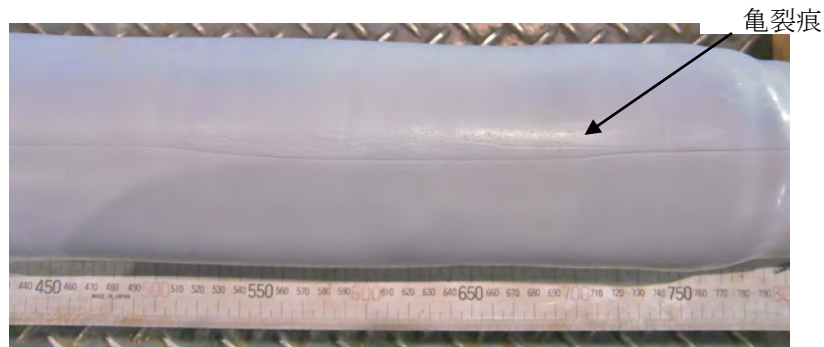


図 6. 2. 1-20 熱収縮ゴムチューブの亀裂痕

6. 2. 1. 3 ケーブルヘッド・ウィークポイント切断荷重検証

(1) 目的

試験装置の試験孔内抑留時にはケーブルヘッド部のウィークポイントで装置との切り離しをおこない、アーマードケーブルのみを回収するので、ケーブルの強度よりウィークポイントの切断荷重が小さくなければならない。ウィークポイントの切断荷重を既存の掘削用ケーブルヘッド部の設定荷重と同等の 30kN と設定した。ウィークポイント部分の連結はボルトを使い、抑留時にはこのボルト切断でケーブル回収する。したがって、使用するボルトが最適な設定荷重になっていることを検証することが目的である。

(2) 検証方法

アーマードケーブルの引っ張り強度よりも弱い破断力となるウィークポイントを試作し、試験装置が試験孔内から回収困難となった場合に、この部分で破断してアーマードケーブルおよび装置が回収できるようにするために、ウィークポイント部分に最適なボルトの仕様を検証した。

ウィークポイントの切断荷重は掘削用ケーブルヘッド部の設定荷重と同等の 30kN と設定し、この切断荷重条件に合うボルトを検証するために各種のボルトを使ってボルト切断試験を実施した。ウィークポイントに使用を検討したボルトは表 6. 2. 1-2 に示す 6 通りである。

表 6. 2. 1-2 にウィークポイント切断荷重検証のためのボルト組み合わせを示す。

図 6. 2. 1-21 にボルト切断荷重検証試験概要を示す。

図 6. 2. 1-22 にボルト切断荷重検証試験状況を示す。

表 6. 2. 1-2 ウィークポイント切断荷重検証のためのボルト組み合わせ

No.	ボルト種類	本数
1	M4 10mm	1
2	M4 10mm	2
3	M4 10mm	3
4	M4 10mm	4
5	M5 10mm	1
6	M5 10mm	2

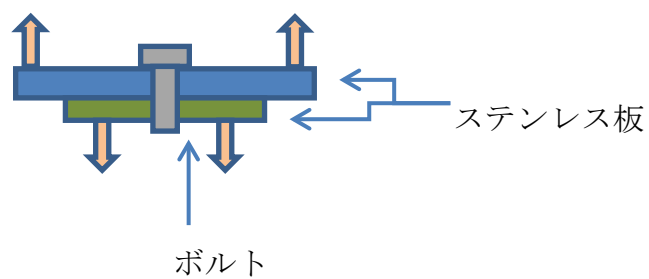


図 6. 2. 1-21 ボルト切断荷重検証試験概要



図 6. 2. 1-22 ボルト切断荷重検証試験状況

(3) 検証結果

ボルト切断加重検証試験結果を図 6. 2. 1-23 に示す。この試験結果より表 6. 2. 1-2 に示す No. 4 のボルト組み合わせ (M4 ボルト長さ 10mm 4 本使用) が設定切断荷重に最も近い値である 30. 3kN を示したことを確認した。

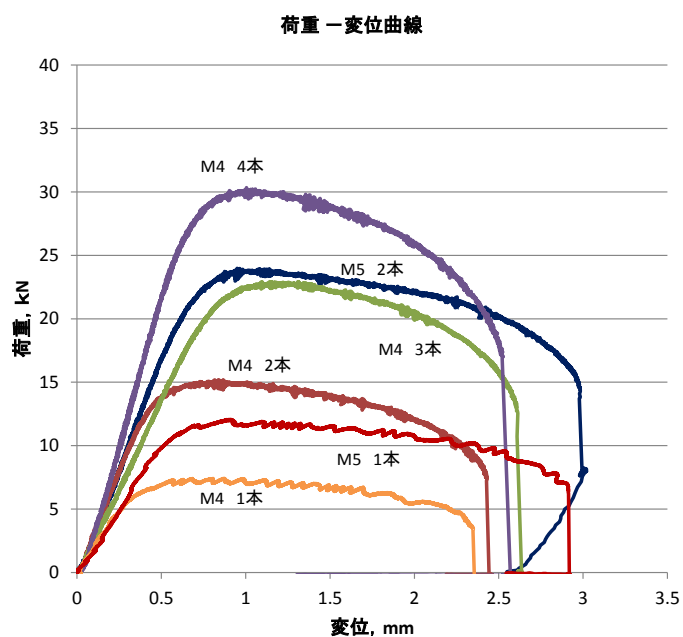


図 6. 2. 1-23 ボルト切断荷重検証試験結果 (荷重-変位曲線)

各ボルト組み合わせの試験結果より得られた切断荷重について、表 6. 2. 1-3 に結果一覧を示す。

表 6. 2. 1-3 切断荷重検証結果一覧

No.	ボルト種類	本数	最大荷重 (kN)
1	M4 10mm	1	7.4
2	M4 10mm	2	15.2
3	M4 10mm	3	22.9
4	M4 10mm	4	30.3
5	M5 10mm	1	12.1
6	M5 10mm	2	24.0

6.2.1.4 ウィークポイント分離箇所の耐圧検証

(1) 目的

幌延現地試験において、孔内応力試験装置が試験孔内で抑留時にはケーブルヘッドのウィークポイントで装置との切り離しをおこない、アーマードケーブルのみを回収する。そのため、ウィークポイント部に耐圧性が必要であるため、その耐圧性を確認することが目的である。

(2) 検証方法

ウィークポイントで切断した場合のコネクタ部の耐圧性を確認するため、鋼管を用いてウィークポイントコネクタの耐圧性の検証を実施した。試験では、試験用鋼管(外径φ140mm)内にケーブルヘッド鋼管(外径φ114mm)を挿入し試験用鋼管内を水で満たしポンプで加圧した。圧力は5MPaとし、この圧力を1時間保持した。その後水圧を抜いてφ114mmケーブルヘッド鋼管内への浸水の有無を確認した。

図 6.2.1-24 にウィークポイント分離箇所の耐圧性確認試験概要を示す。

図 6.2.1-25 にウィークポイント分離箇所の耐圧性確認試験状況を示す。

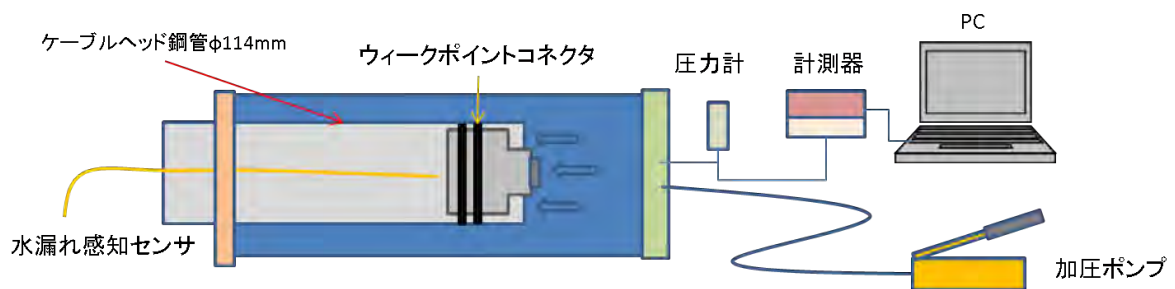


図 6.2.1-24 ウィークポイント分離箇所の耐圧性確認試験概要



図 6. 2. 1-25 ウィークポイント分離箇所への耐圧性確認試験状況

(3) 検証結果

耐圧試験用鋼管内水圧の圧力-時間曲線を図 6. 2. 1-26 に示す。

試験時間中に、水漏れ感知センサーが反応を示すことはなく、試験後のケーブルヘッド回収で内部を確認したが、水漏れは認められなかった。したがって、ウィークポイントの耐圧性は十分機能し現地適用性があることを確認した。

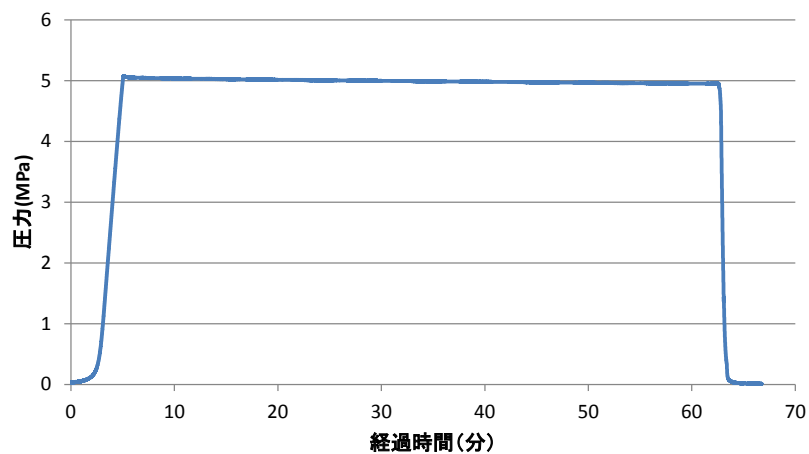


図 6. 2. 1-26 ウィークポイント耐圧検証試験の圧力-時間曲線

6.2.1.5 ラッチシステムの通水機能検証

(1) 目的

孔内応力試験装置のラッチシステムが NL140 ロッド先端シューに接触して、装置を裸孔部に押し込みに試験を実施した後、試験後に装置を回収する際に NL140 ロッド先端シューとラッチシステムが水頭圧で密着した状態で切り離しが出来ないことを避けるためにラッチシステムの先端に通水溝を設けたが、この通水溝が有効に機能することを確認することが目的である。

(2) 検証方法

孔内応力試験装置のラッチシステムが NL140 ロッドの先端シューケースと接触する部分に通水機能を有するためのラッチシステムの改良を実施した。

図 6.2.1-27 にラッチシステム改良図を示す。

図 6.2.1-28 に NL ロッド先端シュー(左)と孔内応力試験装置のラッチシステム(右)を示す。

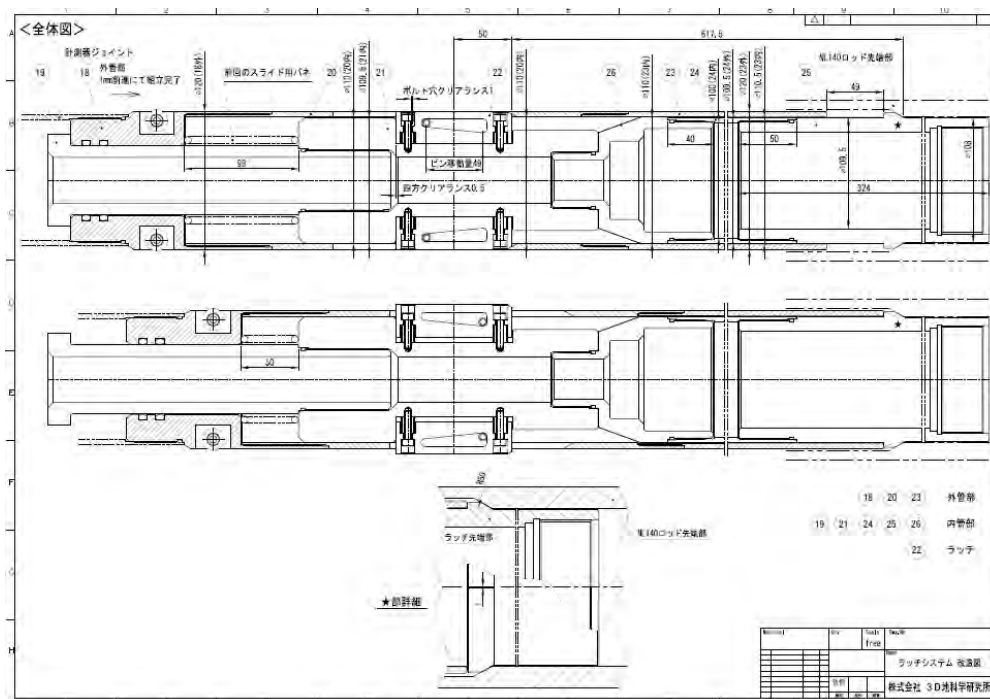


図 6.2.1-27 ラッチシステム改良図

この改良試作したラッチシステムの通水機能を検証した。検証試験は NL ロッド先端シューを用いて、これに改良ラッチを挿入しラッチシステムの先端接触部分と NL ロッド先端シューの間に注水しロッド先端シューから水が通って来ることを確認した。



図 6.2.1-28 NL ロッド先端シュー(左)と孔内応力試験装置のラッチシステム(右)

(3) 検証結果

図 6.2.1-29 に左から順に通水機能確認試験の経過状況を示したものである。図の左は NL ロッド先端シューにラッチシステムの先端部分を挿入している状況を示す。中央の写真は、NL ロッド先端シューとラッチシステムの中に注水している状況を示す。右は先端シューの下部から水が流れ落ちてきている状況である。したがって、ラッチ先端部から通水する機能を有することを確認した。したがって現地適用性があることを確認した。



図 6.2.1-29 通水機能確認試験の実施状況

6.2.2 孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための我孫子地区鋼管試験

今年度改良試作した孔内応力試験装置を幌延HCD-3孔で試験を実施する前に以下の機能を確認することを目的とした。

- ① 試験装置の組立、解体検証
- ② 送り込み装置の機能検証
- ③ ラッチシステムの機能検証
- ④ 型どりパッカの機能検証

表 6.2.2-1 に試験内容一覧を示す。

表 6.2.2-1 試験内容一覧

	項目	検証方法	測定項目	鋼管長
①	試験装置の組立・解体	鋼管試験の際に分割した装置を架台に搭載して連結組立を行い手順確認		
②	送り込み試験	NL140 ロッド内において送り込み装置を用いた試験装置の推進	推進速度 送水圧 送水流量	NL140 ロッドの 鋼管等 52.5m
③	ラッチ作動試験	アウターケース内ラッチ溝への試験装置ラッチ機構による固定と解除の動作確認	ラッチ解除 荷重	同上
④	型どりパッカ	型どりパッカを連結した試験装置を使い、鋼管内を泥水で推進させる。	推進速度 送水圧 送水流量	同上

6.2.2.1 試験装置の組立、解体検証

(1) 目的

幌延現地試験を実施する前に、現地作業場所を想定して試験装置の組立および解体を行い、試験装置の組立、解体の作業手順を確認する。

(2) 組立、解体検証作業

試験用鋼管は幌延現地試験孔のケーシングロッドであるNL140 ロッドを用いる。NL140 ロッドは1本の長さは、3mである。これを15本つまり45mと、アウターケース1本 2.5m、これに孔径100mmの裸孔部を模擬した鋼管を5m連結して52.5mの模擬孔を組み立てた。

試験用鋼管の連結時は、作業性を考慮して架台に載せて行った。

図6.2.2-1に試験用鋼管架台概要を示す。

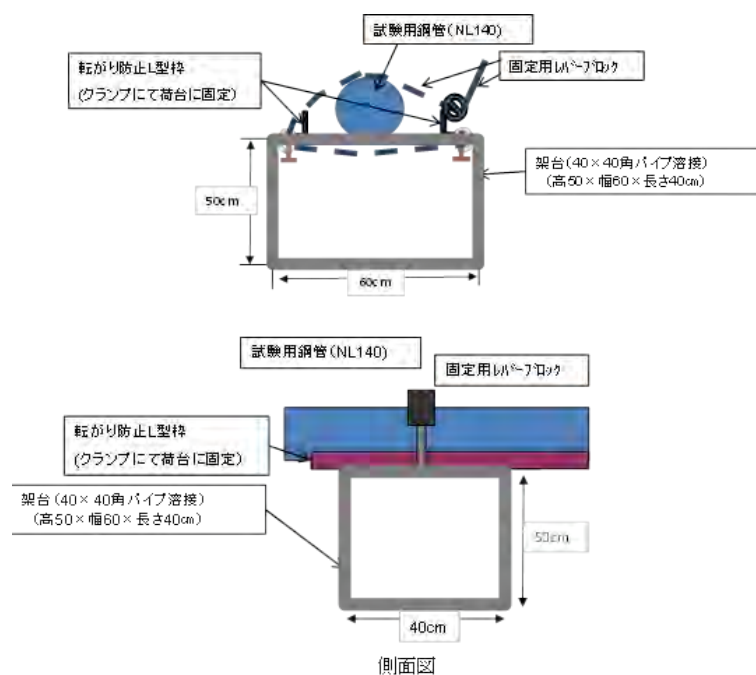


図 6.2.2-1 試験用鋼管架台概要

試験用鋼管を組立後、孔内応力試験装置を組み立てた。孔内応力試験装置は、鋼管口元手前約20mの試験装置架台上で組立を実施した。幌延現地組立を想定して、試験装置架台に搭載する際は各ユニット、パーツに分割した状態から架台上で組立を行った。孔内応力試験装置は、孔底側装置から順に①下部パッカ、②亀裂計測部+上部パッカ+圧力流量計測部、③ラッチシステム、④計測制御ユニット、⑤注水ポンプユニット、⑥パッカ加圧ポンプユニット、⑦孔内水タンク+送り込み装置の7つのパーツに分割した状態から①から順に架台に搭載して連結し組立を行った。

図 6. 2. 2-2 に試験装置の架台上での組立状況を示す。



図 6. 2. 2-2 試験装置の架台上での組立状況

図 6. 2. 2-3 は試験装置内を通るケーブル、配管連結状況である。各パーツ、ユニットの連結部分のケーブル類は電源線、通信線についてはプラスチックコネクタを用い、AE、カメラの信号線には同軸ケーブルおよび同軸コネクタを使った。パッカおよび注水配管は外径 4mm および 6mm のステンレス製の高圧パイプを食い込み金具を使って連結するようにした。

図 9. 2. 2-3 に試験装置のケーブル連結状況を示す。



図 6. 2. 2-3 試験装置のケーブル連結状況

(3) 結果

試験装置の組立、解体作業を実施した結果、装置の孔底側からケーブルヘッド側へと順に装置を連結していくことに問題がないことを確認した。また、ケーブルコネクタの改良、連結ジョイント金具の改良により昨年度より作業性は向上し、作業時間は半分程度になった。したがって現地適用性に問題がないことを確認した。

6.2.2.2 送り込み装置の機能検証

(1) 目的

幌延現地試験を実施する前に、現地使用のNL140 ロッド鋼管内を現地で使用している掘削用泥水とほぼ同じ配合の掘削用泥水を用いて送泥して、孔内応力試験装置を推進させる。その際の送泥量、圧力、推進速度を計測し、幌延現地試験で送り込みを行う際の送り込みパラメータの確認を行う。

(2) 検証方法

ケーブルヘッドの上部側は 40.5 ロッドに接続するために、鋼管試験用の仮ヘッドを連結する。40.5 ロッドは孔内応力試験装置を鋼管に送り込む際の送り込み速度を測定するもので、孔内応力試験装置が試験用鋼管の先端に達した場合でも外に出る長さを確保した。

図 6.2.2-4 に孔内応力試験装置の概要を示す。

図 6.2.2-5 に鋼管試験の各機能検証試験作業範囲を示す。

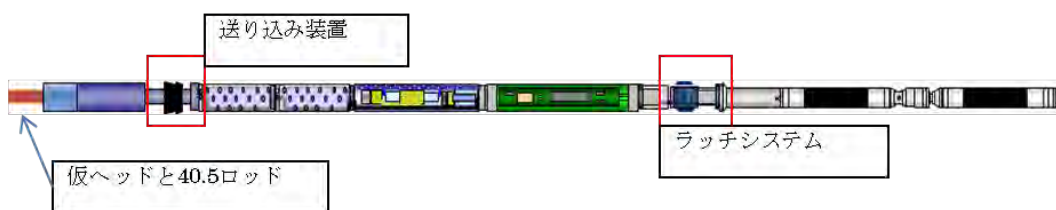
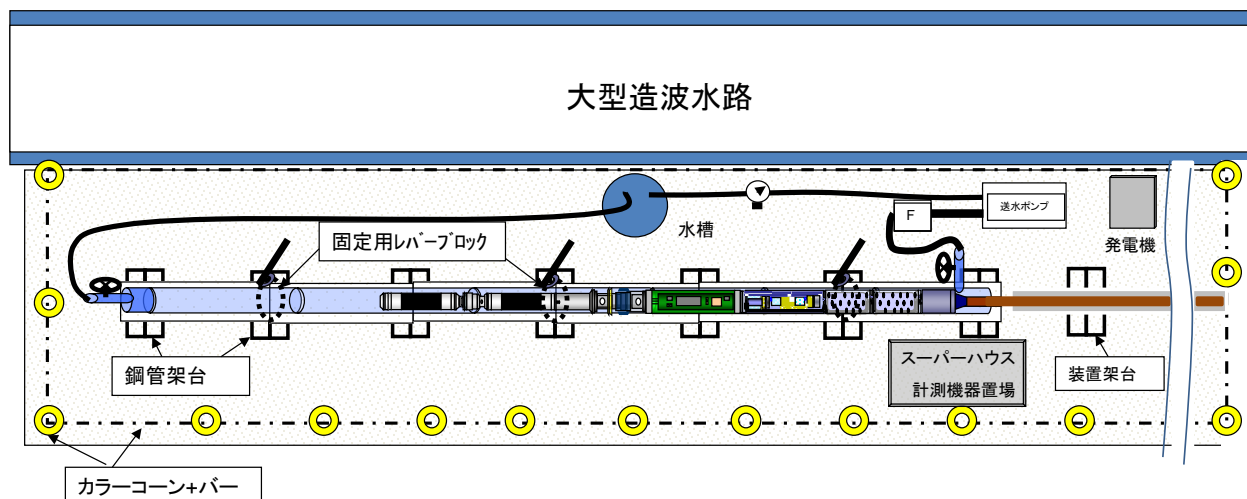


図 6.2.2-4 孔内応力試験装置の概要



< 試験作業範囲(一点鎖線内)長さ約 85m×幅約 3m >

図 6.2.2-5 鋼管試験の各機能検証試験作業範囲

架台に水平に試験用鋼管 NL140 ロッドを連結し、NL140 管内に試験装置を挿入後、口元に 40.5mm ロッド用プリペンダーを接続する。試験装置のケーブルヘッド側から接続されている 40.5mm ロッドを試験装置架台上で連結して、長さ 30m 程度にした。このロッドは送り込み試験時は試験装置架台上を推進させる。NL140 ロッドには送り込み時の送り込み速度を計測するために 1m 毎にマーキングした。装置の推進速度は、推進開始からラッチ固定までの所要時間と推進距離から求めた。鋼管の送水口元には、圧力変換器と流量計を接続して、送水圧および送水流量の測定を行った。鋼管内への送泥は、最大吐出流量 120L/min の性能を有するポンプを 2 台並列で使用した。試験装置の推進速度は送水ポンプの吐出流量および送水口元のリターンバルブの開け閉めによる送水流量の増減で調整した。

なお、送り込み用の泥水は、幌延現地試験孔で使っている掘削用泥水性状である比重 1.02～1.04、粘速(ファンネル粘性：500/500)で 25sec～35sec を目標にミキサーを用いて作成した。スライムは幌延現地岩盤性状と同等の泥岩を使用した。作成した泥水は 1000L の水槽に貯めた。

昨年度の送り込み試験の実績では、送水流量 200L/min で送水圧 0.1MPa に達すると装置が推進し始めた。装置の推進後は、流量は 150L/min、送水圧は 0.06～0.1MPa 程度で推進し続けた。したがって、今回の試験では送水量 200L/min、送水圧 0.1MPa を装置推進開始の目安として、ポンプ送水流量の調整を行った。

図 6.2.2-6 に送り込み試験システム概要を示す。

次に試験手順を記す。

- ① 鋼管先端部分のバルブを開放する。
- ② プリペンダーリターンバルブを開放する。
- ③ 圧力、流量の計測開始
- ④ ポンプを作動させて泥水を送る。
- ⑤ プリペンダーリターンバルブを徐々に閉じる。
- ⑥ 試験装置が移動開始したら、時刻、始動圧力確認。
- ⑦ 装置移動速度を計測する。
- ⑧ 送水流量を変化させて送り込み速度を計測する。
- ⑨ 装置が NL140 ロッド先端に達したら(ラッチに固定されたら)送水を停止する。
- ⑩ 装置が先端に達した際の圧力を確認する(装置先端に達したら圧力が上昇すると
思われる)。
- ⑪ プリペンダーバルブを開放する。
- ⑫ 次の送り込み試験のためにウィンチで装置を管内から引き出す。

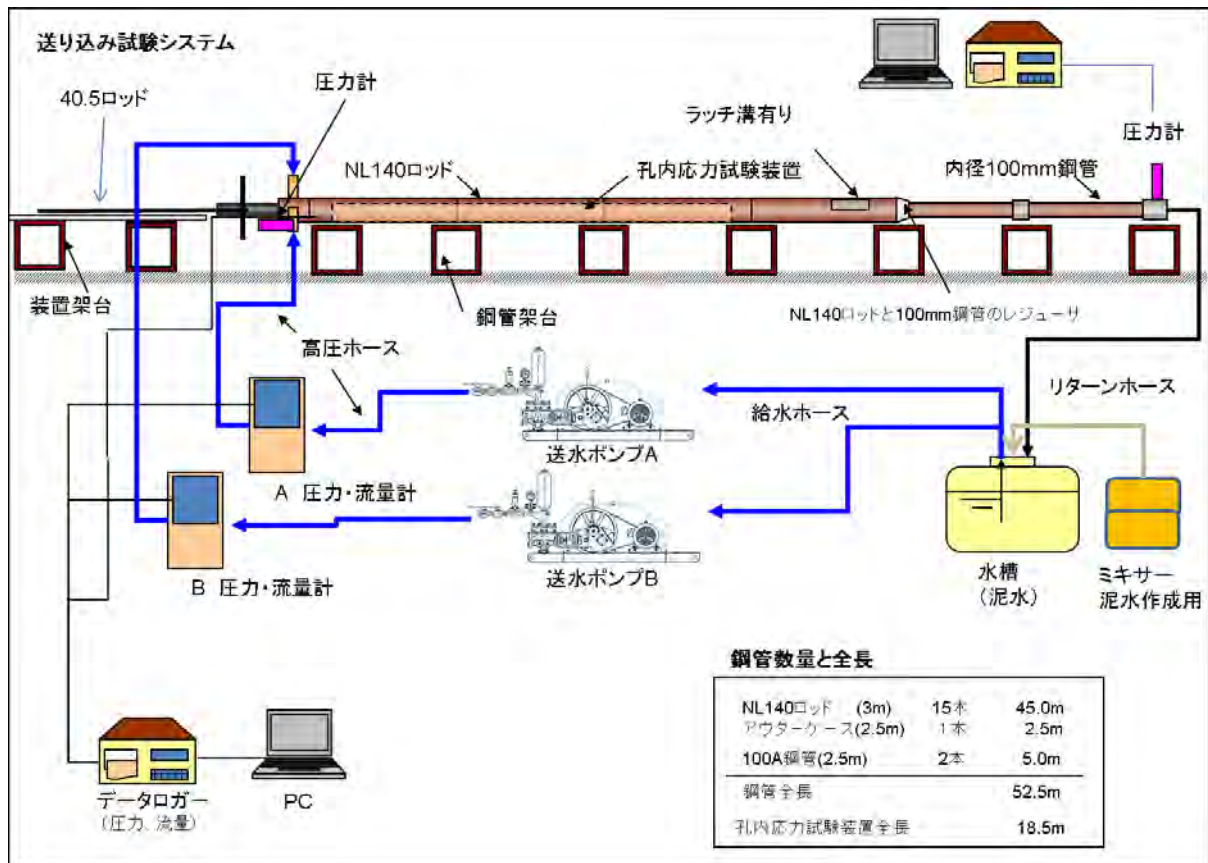


図 6.2.2-6 送り込み試験システム概要

(3) 検証結果

孔内応力試験装置が水平孔で推進のための送水流量は約 200L/分であり、送水圧は約 0.2～0.4MP。装置の推進速度は 5～6m/分であった。送水流量は昨年と同程度であったが、送水圧は約 2 倍、推進速度は今年の半分程度であった。送水圧が 2 倍で推進速度が減少したのは、今年度の試験装置の編成で、送り込み装置が昨年度の位置と異なり孔内タンクユニット位置よりケーブルヘッド側に配置したことと、NL140 ロッドの鋼管設置の状態に若干の高低差が見られたことに起因すると考えられる。これらの送泥パラメータから、送り込み装置が現地適用性を有することを確認した。

図 6.2.2-7 に試験装置の送り込み試験結果例を示す。

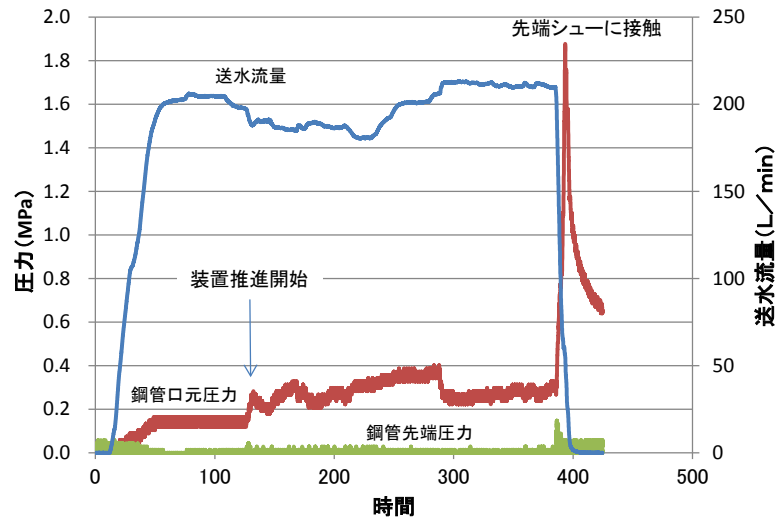


図 6.2.2-7 試験装置の送り込み試験結果例

6.2.2.3 ラッチシステムの機能検証

(1) 目的

幌延現地試験実施前に、現地と同じNL140 ロッド鋼管内で孔内応力試験装置を推進させてラッチシステムが機能(固定および解除)することを確認する。その際にラッチ固定およびラッチ解除に必要な荷重を計測して、現地で適用可能であることを確認する。

(2) ラッチの固定検証方法

試験装置を送り込んで、NL140 ロッド先端シューに接触しラッチが固定されていること確認するために、前述 6.2.2.2 の(1)に記載した試験手順⑩に記したように、装置が鋼管先端まで達した時に鋼管内の圧力が上昇することを確認した。

次に、送り込みが終了した後、装置先端側の試験用鋼管である 100A 鋼管を外して、試験装置のパッカ部分を露出させ、NL140 ロッド側を反力にして装置のパッカ側を鋼管内へ押し込むようにレバーブロックを巻き上げ、ラッチが解除されないことを確認した。

図 6.2.2-8 に送り込みでのラッチ固定による圧力上昇イメージを示す。

図 6.2.2-9 にラッチ固定確認作業概要を示す。

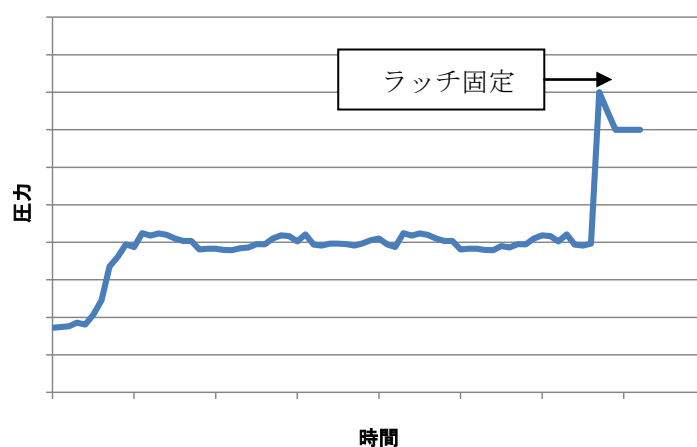


図 6.2.2-8 送り込みでのラッチ固定による圧力上昇イメージ

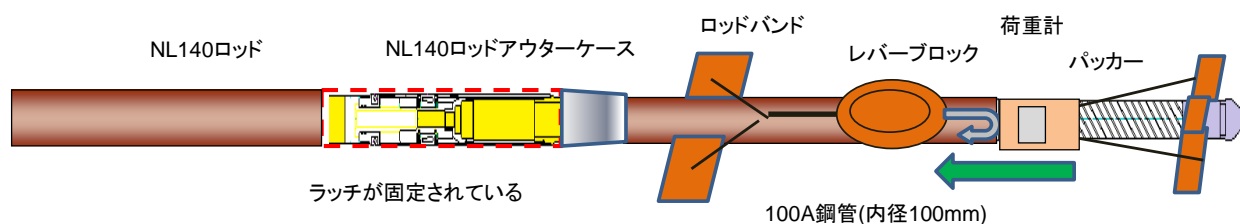


図 6.2.2-9 ラッチ固定確認作業概要

(3) ラッチの固定検証結果

アウターケース内ラッチ溝への孔内応力試験装置ラッチシステムによるラッチ固定確認試験の結果、試験装置がラッチ先端シューに接触すると前述6.2.2.2の(2)で示した図6.2.2-7 試験装置の送り込み試験結果例のように、先端部の圧力が上昇することが確認できた。また、ラッチ固定後は、図6.2.2-10に示すように荷重712kgfでパッカ部分から装置を押し込んでもラッチは固定された状態を保っていた。装置全重量(およそ400kgf)がラッチ部分に掛かってもラッチが解除されることは無いことを確認し、ラッチ固定機能は現地適用性を有することを確認した。

図6.2.2-10にラッチ固定確認結果を示す。



図 6.2.2-10 ラッチ固定確認結果

(4) ラッチの解除検証方法

アーマードケーブルを巻きあげること、装置が引っ張られてラッチシステム外管が移動してラッチキーが沈み込むことでラッチが解除されて、装置が回収できることを確認するために実施する。幌延現地試験を行うために、どの程度の引っ張り荷重でラッチが解除されるのか把握する必要がある。そこで、ラッチ解除時の解除荷重を計測した。ラッチが固定されたことが確認できたら、ケーブルヘッド側に連結した40.5ロッドにバンドを固定し、このバンドにレバーブロックおよび荷重計を連結して荷重計のもう一端を固定させた。図6.2.2-11に示すようにレバーブロックを巻き上げて、ラッチを解除させて装置を引き寄せた。この際の荷重を計測した。

図6.2.2-11にラッチ解除荷重計測概要を示す。

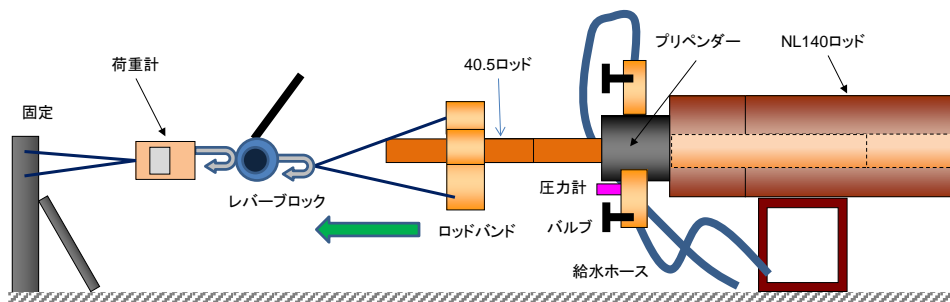


図 6.2.2-11 ラッチ解除荷重計測概要

(5) ラッチの解除検証結果

アウターケース内ラッチ溝への孔内応力試験装置ラッチシステムによる解除動作確認試験の結果、装置をケーブルヘッド側から引っ張るラッチ解除では、荷重 442kgf でラッチが解除された。したがって、解除動作は有効に機能していることを確認し、現地適用性を有することが分かった。

図 6.2.2-12 にラッチ解除荷重計測結果を示す。



図 6.2.2-12 ラッチ解除荷重計測結果

6.2.2.4 型どりパッカの機能検証

(1) 目的

幌延現地試験で熱収縮ゴムチューブを被せた型どりパッカが試験孔内を推進した際に、熱収縮ゴムチューブの損傷が心配されるため、鋼管試験で送り込みを行い損傷の有無を確認することが目的である。

(2) パッカの改良

型どりパッカを兼務する下部パッカは、試験孔内推進時の型どり部分の擦れを防止するためと連結作業が簡易になるように改良を実施した。改良内容は先端金具部分の最大外径を98mmとし、型どり部分(パッカ部外径90mmでこれに被せる熱収縮ゴムチューブは肉厚3mmしたがって外径96mm)より大きい外径とした。

図6.2.2-13に改良した型どりパッカを示す。

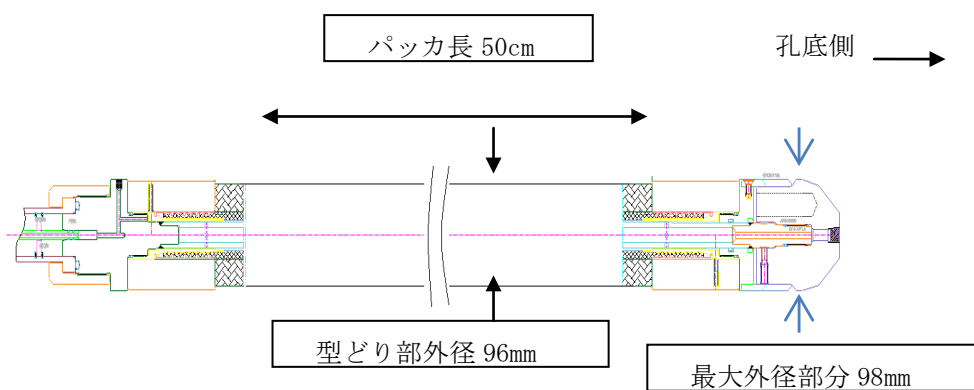


図 6.2.2-13 改良した型どりパッカ

(3) 検証方法

試験装置先端部のパッカに熱収縮ゴムチューブを被せて、型どりパッカ機能を持たせ状態で鋼管内に2日間挿入した状態でその間に送り込みを実施して、鋼管内推進時の熱収縮ゴムチューブの摩耗状態を確認した。鋼管内の推進は前述の6.2.2.2に記述したように、幌延現地掘削泥水と類似した泥水を用い、送水流量は200L/min、送水圧0.2~0.4MPの範囲で行った。その際の推進速度は5~6m/minであった。

(4) 検証結果

送り込み試験後に試験装置から型どりパッカを取り外して、熱収縮ゴムチューブを観察した。送り込み試験後の型どり熱収縮ゴムチューブには鋼管内の泥水や油が付着した状態であり、一見かなり損傷しているように見えた。そこで、状態を詳細に確認するために、型どりパッカを装置

から取り外し、熱収縮ゴムチューブをパッカから回収した。そして、清水、アルコール等を用いてこれらの泥や油を落としたところ、ほぼきれいな状態に回復した。この洗浄後の熱収縮ゴムチューブを観察した結果特に目立った傷はみあたらなかった。したがって、型どりパッカは現地適用性を有することを確認した。

図 6.2.2-14 に送り込み試験前の型どりパッカを示す。

図 6.2.2-15 に送り込み試験後の型どりパッカを示す。

図 6.2.2-16 に送り込み試験後の型どりチューブの展開を示す。



図 6.2.2-14 送り込み試験前の型どりパッカ



図 6.2.2-15 送り込み試験後の型どりパッカ

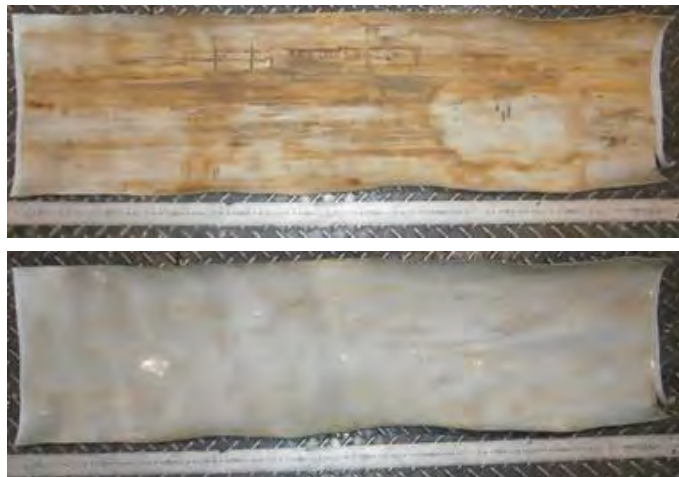


図 6.2.2-16 送り込み試験後の型どりチューブの展開

7. 物理探査技術の開発・改良

7.1 屈折法地震探査

7.1.1 バイブロサイス震源を用いた屈折法地震探査データ取得作業

平成 23 年度実施の地表-孔井間トモグラフィ調査でデータ取得密度が低い地表近辺を補完するために、地表発振-地表受振の屈折法地震探査を実施した。HCD-3 孔井南側の北海道道 645 号線路肩にジオフォンを設置し、道道 645 号線上において大型バイブロサイス震源「Y-2400」により発生させた弾性波を観測した。また、同時に道道 645 号線上に 10 m 間隔で発振点、受振点を設定した。過年度の調査のように作業の目印となる木杭は設置せず、作業車およびバイブロサイス震源に GPS を搭載して、受振点および発振点への誘導と測量を行った。受振点、発振点を図 7.1.1-1 に示す。図 7.1.1-2～図 7.1.1-7 は本探査に係る作業風景である。

データ取得の仕様を表 7.1.1-1 に示す。バイブロサイス震源のスイープ回数については、現地で得られた記録を確認しながら適宜変更した。スイープ周波数については、現地でテストを実施し、4～40 Hz に決定した(7.1.2 項参照)。データレコーダーに実装されているノイズエディットのパラメータについては、現地で得られた記録を確認しながら適宜変更した。

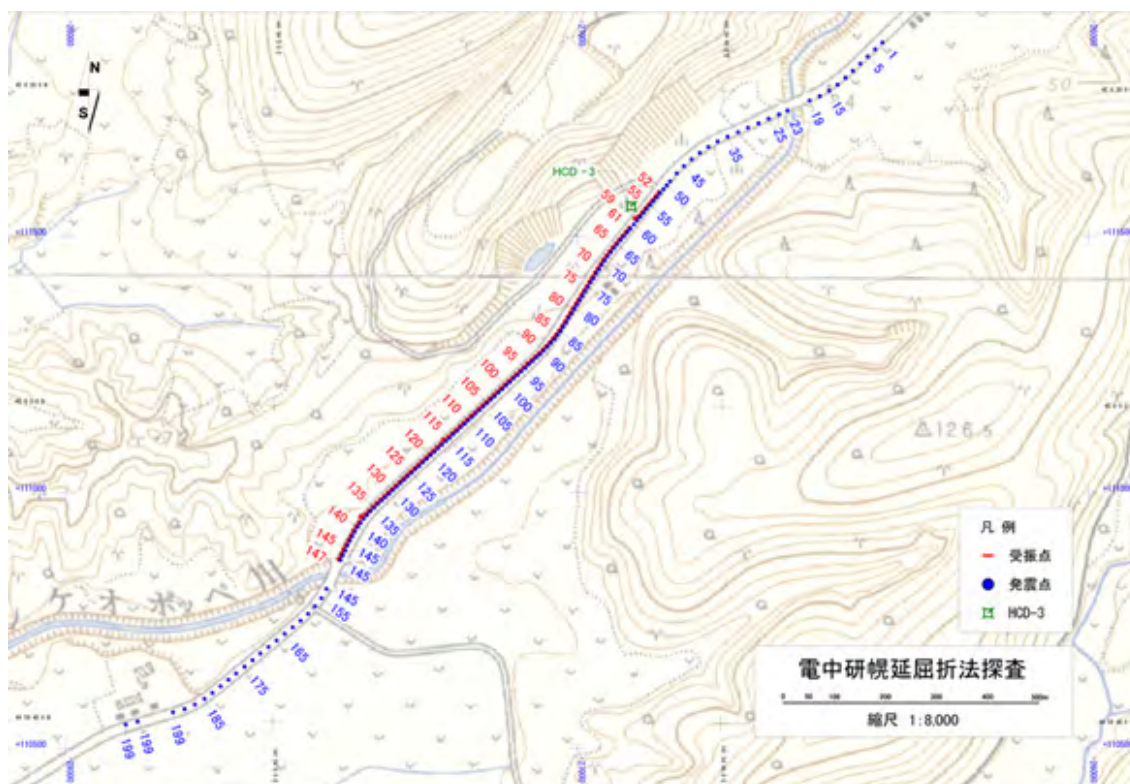


図 7.1.1-1 屈折法地震探査受発振点位置図

表 7.1.1-1 屈折法地震探査観測仕様一覧

発振系仕様	
震源	大型バイブロサイス車(Y-2400) 1台
発振点数	200点(うち143点を解析に使用)
発振点間隔	標準10m
スイープ周波数	4~40 Hz
スイープ長	16秒
スイープタイプ	MD(Maximum Displacement)スイープ
スイープ回数	2~5回
受振系仕様	
受振器	4.5 Hz
受振器数/受振点	3個組をバンチング配置 (受振点51と52は1個)
有効受振点数	95点
受振点間隔	10m(直線の仮想測線に沿って)
展開長	1.0 km
展開パターン	固定展開
記録系仕様	
記録器	GDAPS-4A(有線テレメトリー方式)
サンプル間隔	2ミリ秒
記録長	3秒(相互相関後)
チャンネル数	96(1チャンネルはdead)
プリアンプゲイン	30 dB
ノイズエディット	ウィンドウ長=19秒 冪乗係数=1.0



図 7.1.1-2 バイブロサイス震源の路上発振作業(1)



図 7.1.1-3 GDAPS-4A による観測作業



図 7.1.1-4 バイブロサイス震源の路上発振(2)



図 7.1.1-5 大型バイブロサイス震源の路上発振(3)



図 7.1.1-6 受振器設置および測量作業



図 7.1.1-7 GPS による大型バイブロサイス震源の発振点への誘導

7.1.2 発振パラメータテスト

本観測開始前にバイブロサイス震源の発振パラメータテストを実施した。バイブロサイス震源の発振位置はVP. 132、133、135とし、スイープ周波数についてテストを行った。図7.1.2-1に示すように、テストしたスイープ周波数帯域は「4~40 Hz」、「4~50 Hz」、「4~60 Hz」の3つである。3つの発振記録の中で、もっとも遠方まで屈折波初動の伝播が確認できた「4~40 Hz」を本観測のスイープ周波数に決定した。

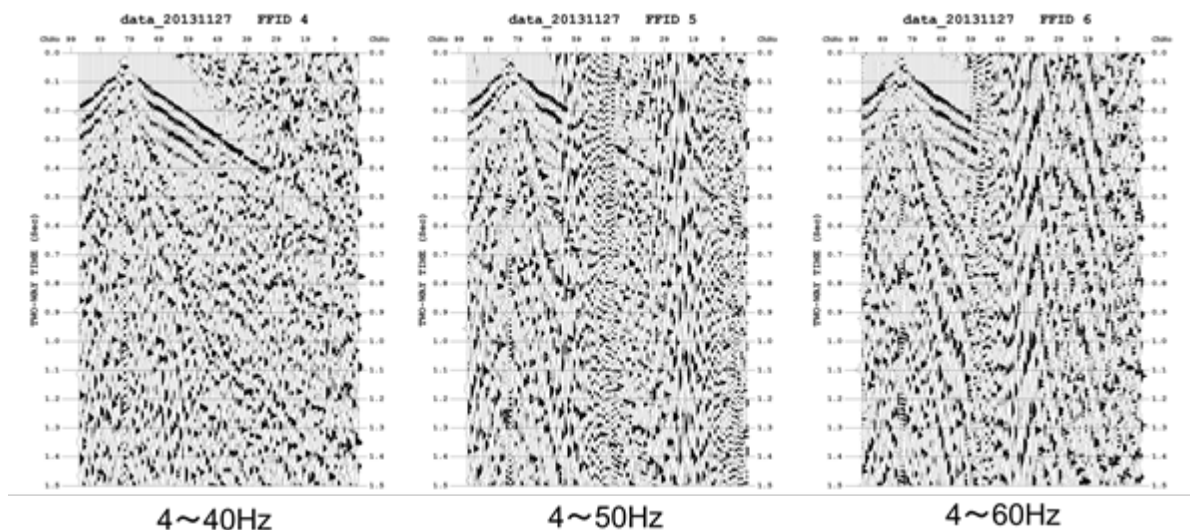


図 7.1.2-1 スイープ周波数テスト

7.1.3 本観測

発振パラメータテスト終了後、本観測を開始した。本観測初日に発振点 200 から 51 まで標準 10 m 間隔の発振を実施したものの、暴風のためノイズレベルが高い状況であった。そこで天候が落ち着いた翌日に既に発振した点も含め発振点 1 から 199 まで標準 20 m 間隔で発振を実施した。両日で発振したデータを品質チェックし、取捨選択してデータ解析に用いた。図 7.1.3-1 に共通発振点記録例を示す。表示には 300 ミリ秒の AGC(Automatic Gain Control)を適用している。

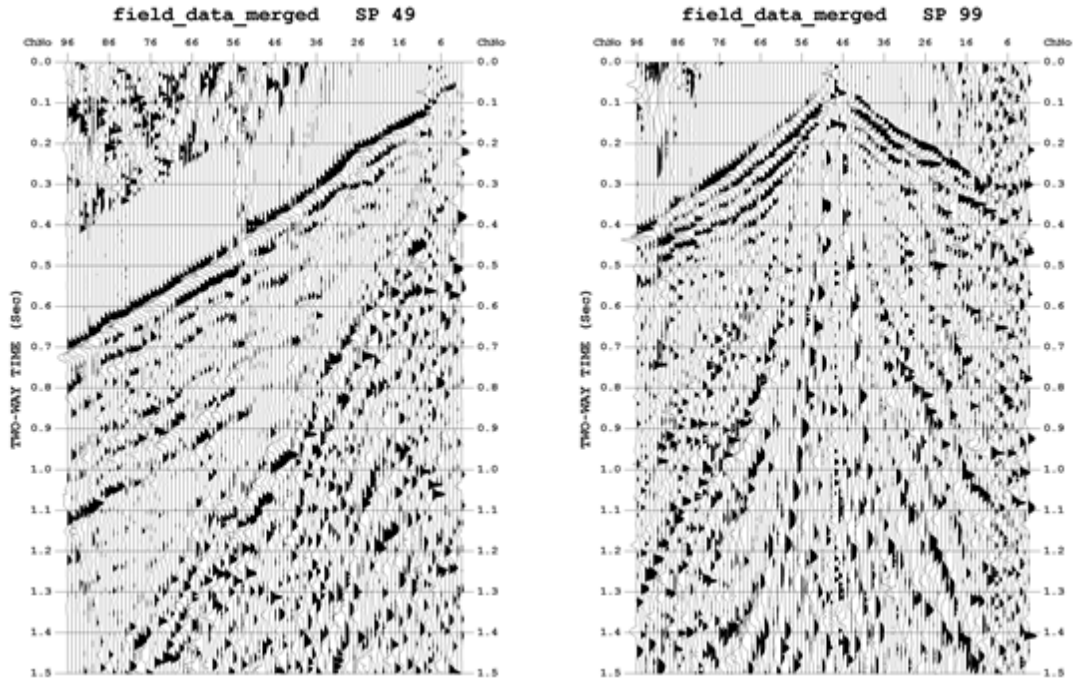


図 7.1.3-1 VP.49 および VP.99 の取得データ

7.2 トモグラフィデータの解析

7.2.1 解析対象データ

トモグラフィ解析には、7.1 で説明した本年度取得の屈折法地震探査データに加え、平成 22 年度と平成 23 年度に HCD-3 孔井で取得したデータも使用した。

表 7.2.1-1 にトモグラフィ解析対象データを示す。

表 7.2.1-1 トモグラフィ解析対象データ

	調査形態	使用受振器	受振器深度	仕様震源	発振点	特記事項
①	屈折法 地震探査	ジオフォン (4.5 Hz)	地表面 / 10 m 間隔	大型 バイブロサイス	10 m もしくは 20 m 間隔で、143 点	平成 25 年度 取得
②	地表-孔井間 トモグラフィ	ハイドロ フォンアレイ	100~785 m (10 m 間隔)	中型 バイブロサイス	20 m 間隔で、50 点	平成 23 年度 取得
③	ゼロ オフセット VSP	孔内三成分 ジオフォン	50~560 m (15 m 間隔)	大型 バイブロサイス	ゼロオフセット 発振点(孔井近傍)、 1 点	平成 22 年度 取得

以下、過年度に取得した、②地表-孔井間トモグラフィと、③ゼロオフセット VSP のデータの概要を述べる。

②で使用したハイドロフォンアレイは、平成 21 年度から始まった HCD-3 孔井でのトモグラフィ調査の基幹となる受振器である。10 m 間隔で 24 個のハイドロフォンがケーブルに装備されている。本調査時は NL140 ロッドが孔口から 832.4 m までセットされており、HCD-3 の掘削長 100m から掘削長 785 m までを 3 つの計測区間に分割し(図 7.2.1-1)、中型バイブロサイス車 1 台を震源としたデータ取得を行った。データ取得の主な仕様を表 7.2.1-2 に示す。地表発振点および孔内受振点を地表面に投影した点を図 7.2.1-2 に、取得記録例を図 7.2.1-3 に示す。

表 7.2.1-2 地表-孔井間トモグラフィ観測仕様一覧

震源	中型バイプロサイズ車 1台
スイープ長	12秒
周波数	8~80 Hz
垂直重合	10回(標準)
スイープタイプ	リニアアップスイープ
サンプル間隔	1ミリ秒
記録長	3秒
チャンネル数	24
プリアンプゲイン	18 dB
ノイズエディット	ウィンドウ長=15秒、冪乗係数=2

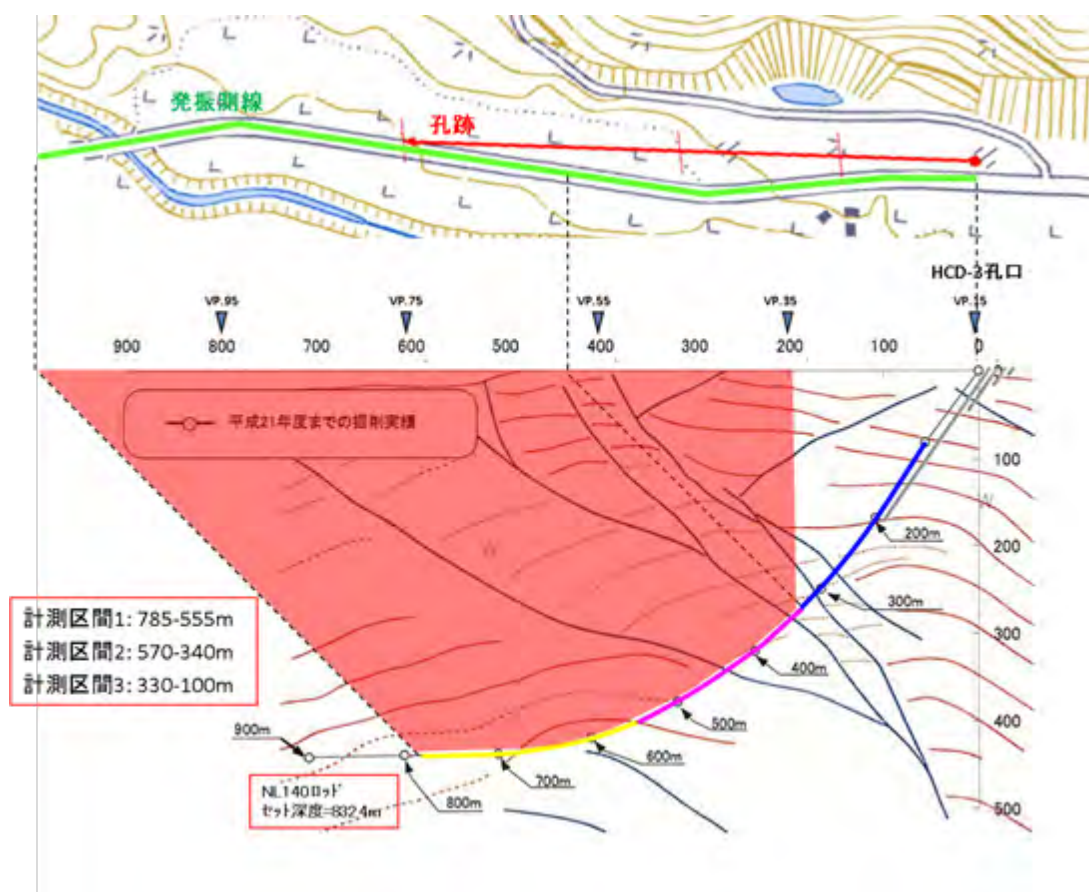


図 7.2.1-1 地表-孔井間トモグラフィデータ取得範囲

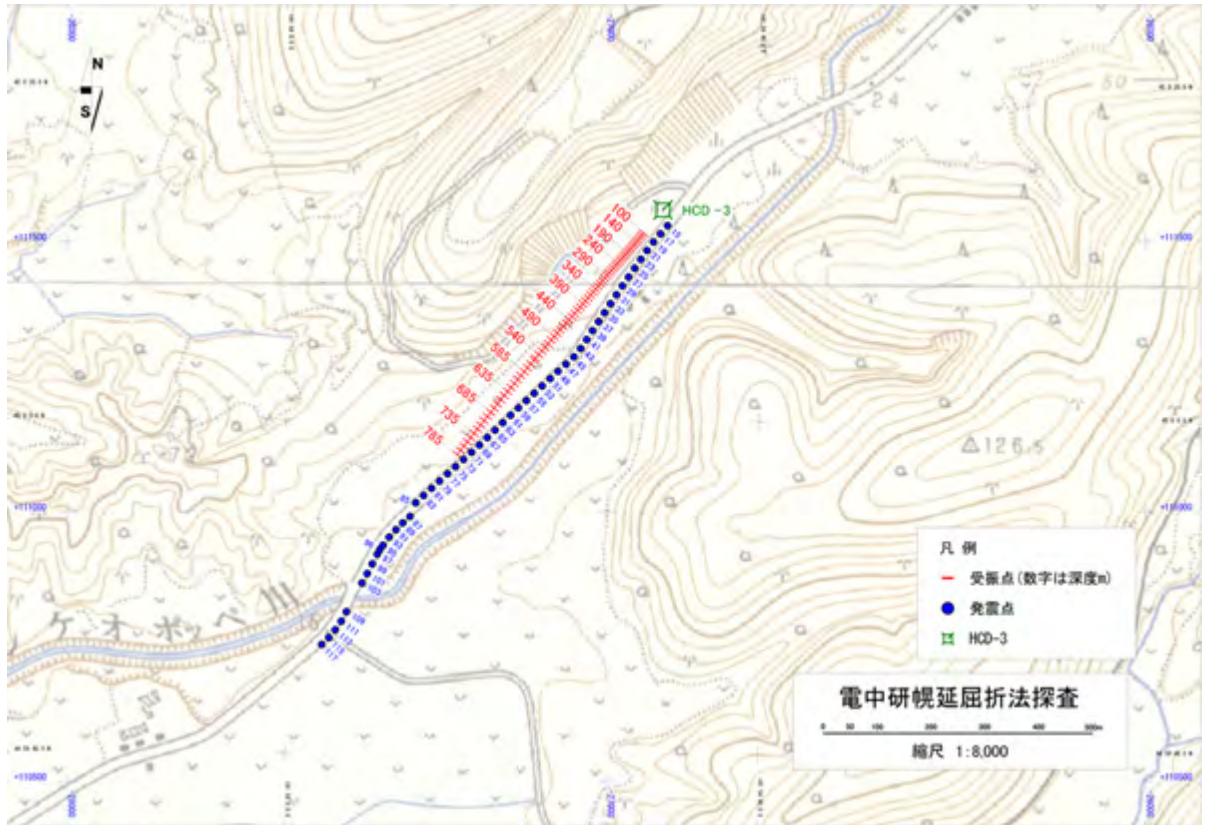
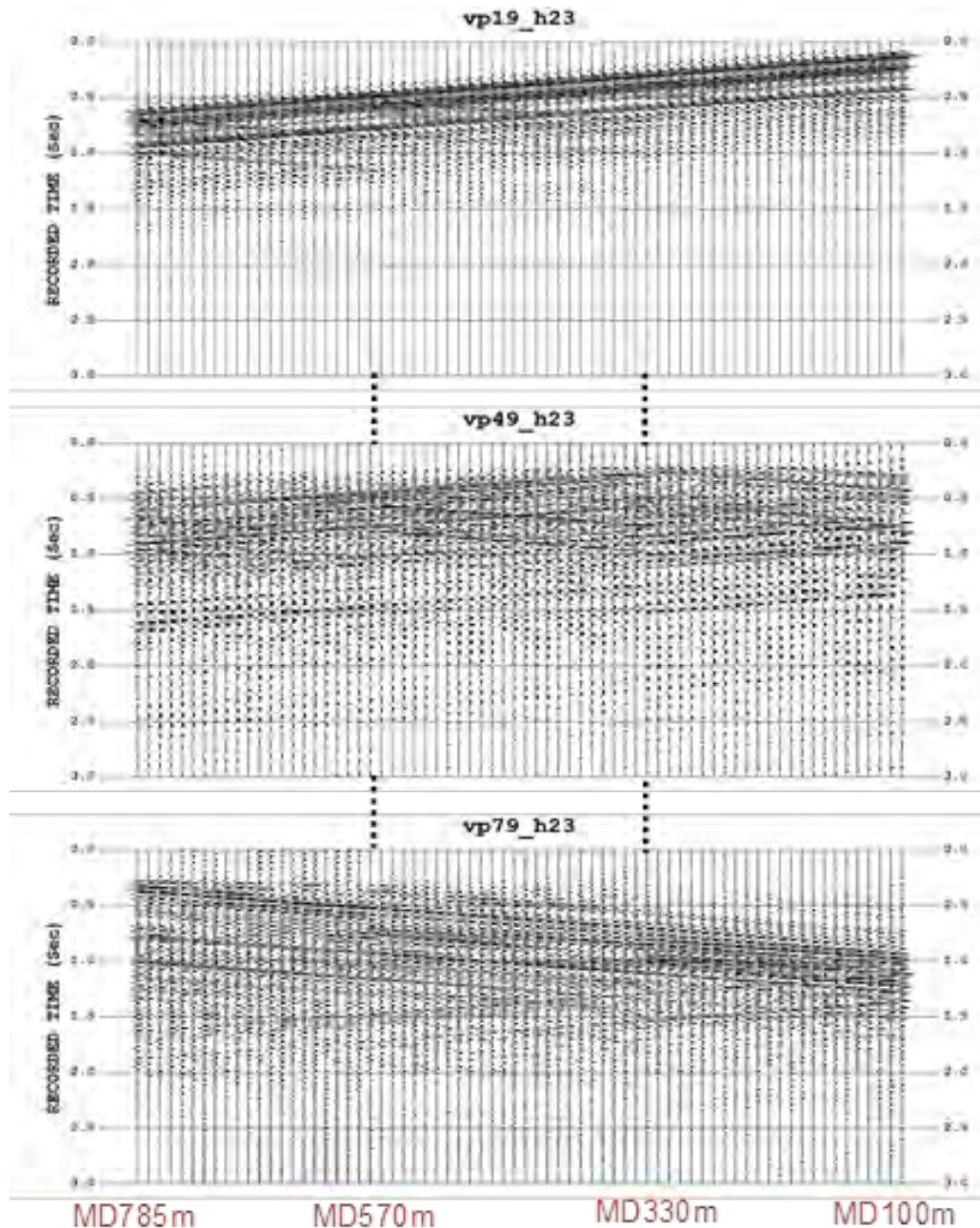


図 7.2.1-2 地表-孔井間トモグラフィ地表発振点、孔内受振点位置



(上から VP. 19、49、79 のショット記録)

図 7. 2. 1-3 地表-孔井間トモグラフィ記録例

表 7. 2. 1-1 の③は、孔内三成分ジオフォンを使って取得された。孔内三成分ジオフォンは、孔内ノイズの評価を目的として、 hidroフォンアレイとあわせて平成 22 年度調査で受振器として使用されたものである。ツールの傾きによらずに回転して三成分が常に鉛直方向と水平方向を指すジンバルフォンを、孔内ツールにセットして使用した。HCD-3 孔井近傍にバイプロサイス震源の発振点を設定し、ゼロオフセット VSP のジオメトリでデータを取得した(図 7. 2. 1-4)。取得された 3 成分の記録を図 7. 2. 1-5 に示す。

表 7.2.1-3 ゼロオフセット VSP 観測仕様一覧

震源	大型バイブロサイス車 1台
スイープ長	12秒
周波数	200 m 以浅では 10~120 Hz 215 m 以深では 30~180 Hz
垂直重合	標準 3回 受振器深度 500~560 m では 5回
スイープタイプ	リニアアップスイープ
サンプル間隔	1 ミリ秒
記録長	3秒
チャンネル数	6
プリアンプゲイン	6 dB

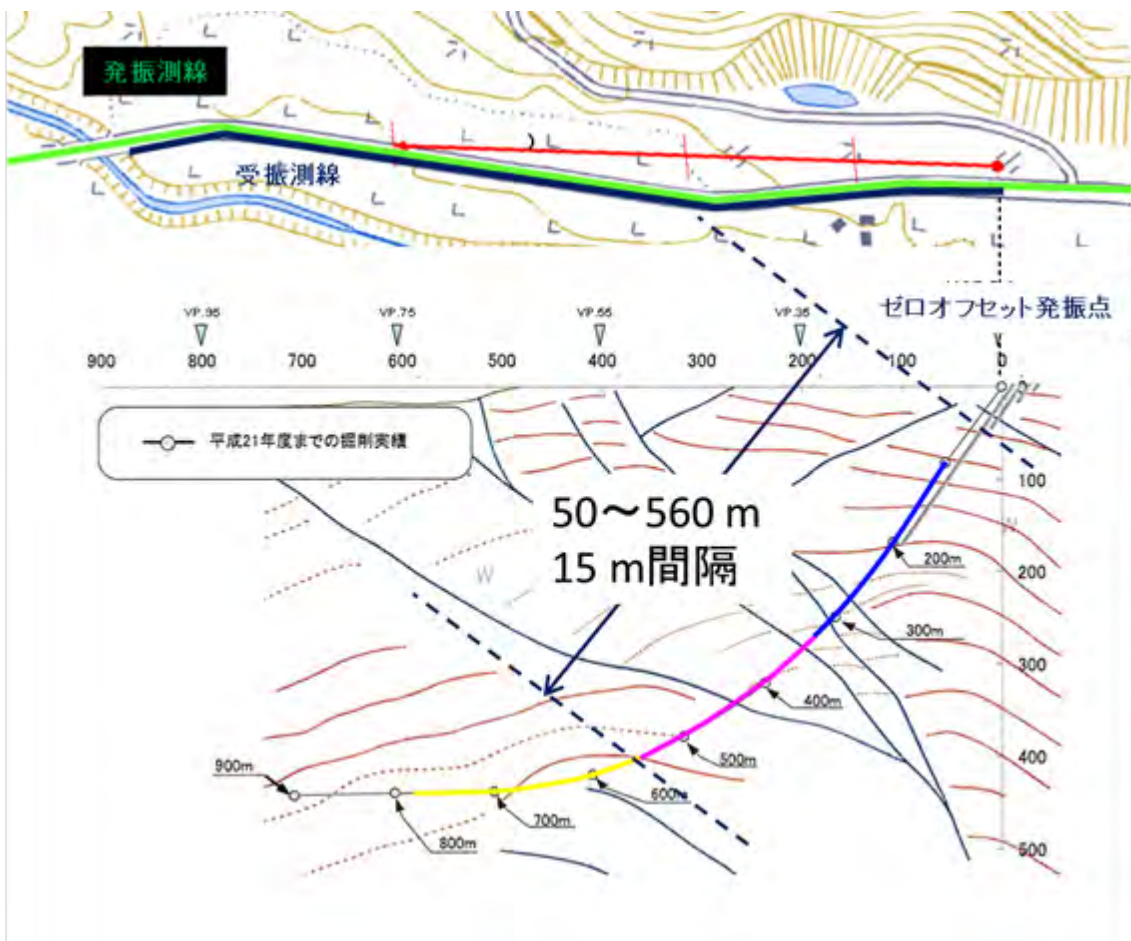
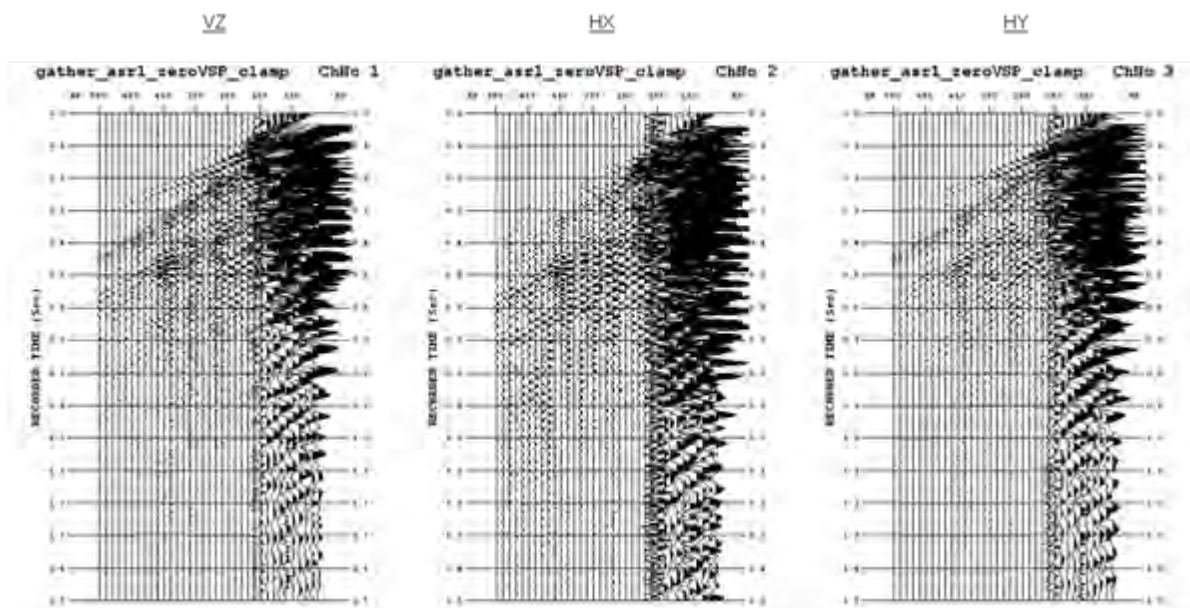


図 7.2.1-4 ゼロオフセット VSP データ取得範囲

ジオフォン記録(ゼロオフセットVSP, スイープ周波数=30~180Hz(深部) or 10~120 Hz(浅部),
スイープ数=3~5, クランプあり, 相対振幅保存表示)



(左が鉛直成分、中央が発振測線と直行する方向の水平成分、右は発振測線方向の水平成分)

図 7.2.1-5 孔内ジオフォン記録

7.2.2 地表-孔井間初動走時トモグラフィ解析

地表-孔井間トモグラフィのP波初動走時データを用いて、地表-孔井間のP波速度構造の更新を行った。走時読みとりトレース数は1,753である。P波初動読みとり例を図7.2.2-1に示す。既存の反射法地震探査(Line1測線)の速度解析結果を、P波速度構造の初期モデルとした(図7.2.2-3)。モデルサイズは2,210 m(水平)×600 m(鉛直)でグリッドサイズは10 m×10 mの正方形である。

なお速度モデルの作成範囲であるが、後で反射法地震探査データの再解析にそのまま利用できるように、CMP測線(表7.3.2-1)と一致するように設定した(表7.2.2-1)。南西端点はCMP.200と同一(CMP.200の座標がモデルの南西端になっている)、北東端点の座標はCMP.642に近いが、モデルの北東端と一致するように微調整している(図7.2.2-2)。地表-孔井間トモグラフィ、および後述の地表発振-地表受振屈折波トモグラフィの発震点、受振点は、このモデル断面上に投影して使用した。

走時トモグラフィには(株)地球科学総合研究所が開発した「TOMOGRAPH 1.1」を使用し、以下の計算を行った。

- ① 読みとり走時データを用いて、直線波線を使ったバックプロジェクション法によるトモグラフィバージョンにより初期速度構造を更新した(図7.2.2-4)。
- ② ①で更新された速度構造に対して波線追跡法を行い、初動の屈折波線を計算する(図7.2.2-5)。波線追跡法として、LTI(Linear Travel time Interpolation)法を用いた。

- ③ ②で求めた屈折波線を使い、共役勾配(CG, Conjugate Gradient)法を用いたインバージョンを実施し、速度構造を更新した。

最終速度構造を図 7. 2. 2-6、その速度構造に対する屈折波線を図 7. 2. 2-7 に示す。

表 7. 2. 2-1 速度モデルの作成範囲 (GRS80, TM12)

	X (m)	Y (m)
南西端点	-27, 818. 2	110, 558. 3
北東端点	-26, 235. 5	112, 100. 8

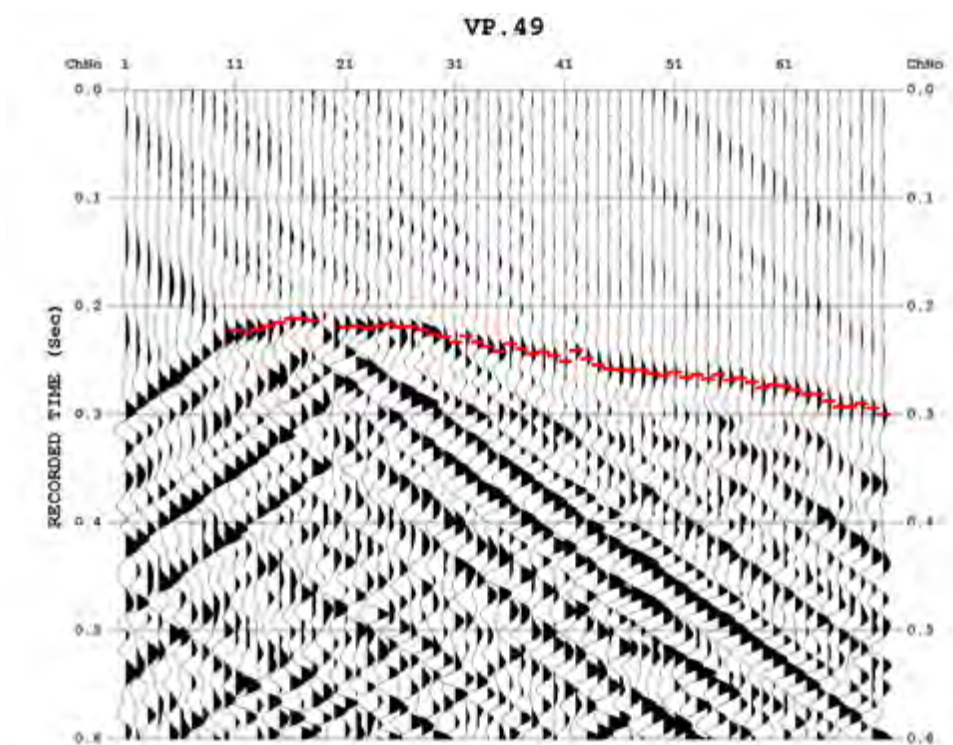


図 7. 2. 2-1 P波初動読みとり例 (VP. 49)

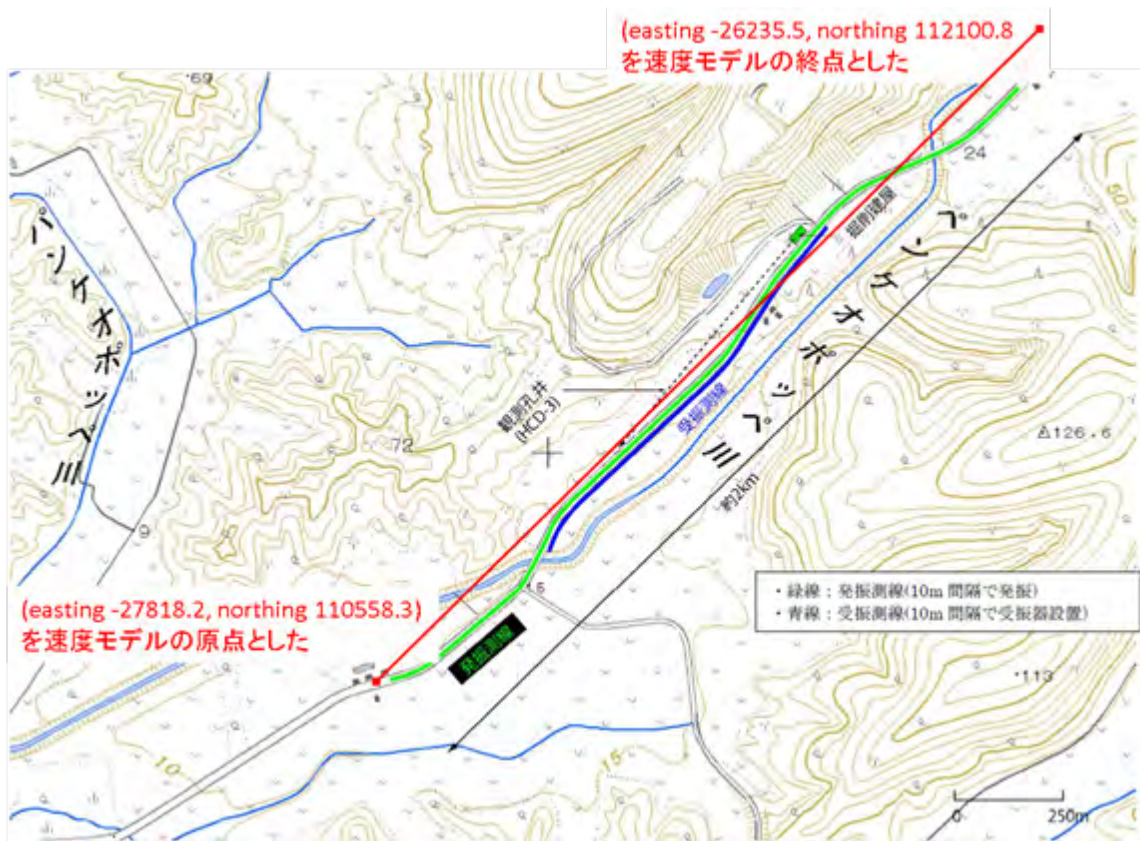


図 7. 2. 2-2 速度モデルの設定位置

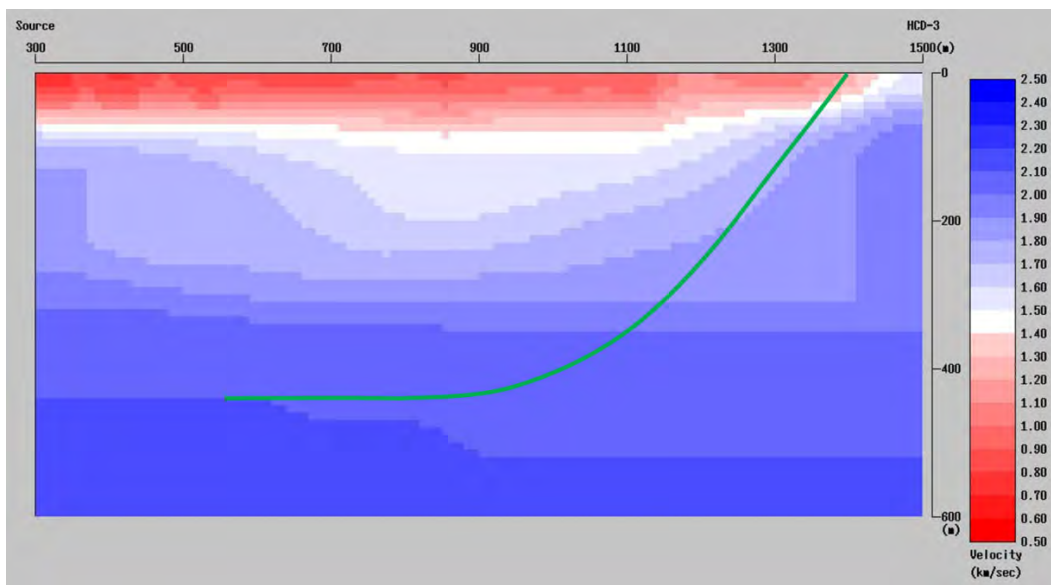


図 7. 2. 2-3 初期速度構造

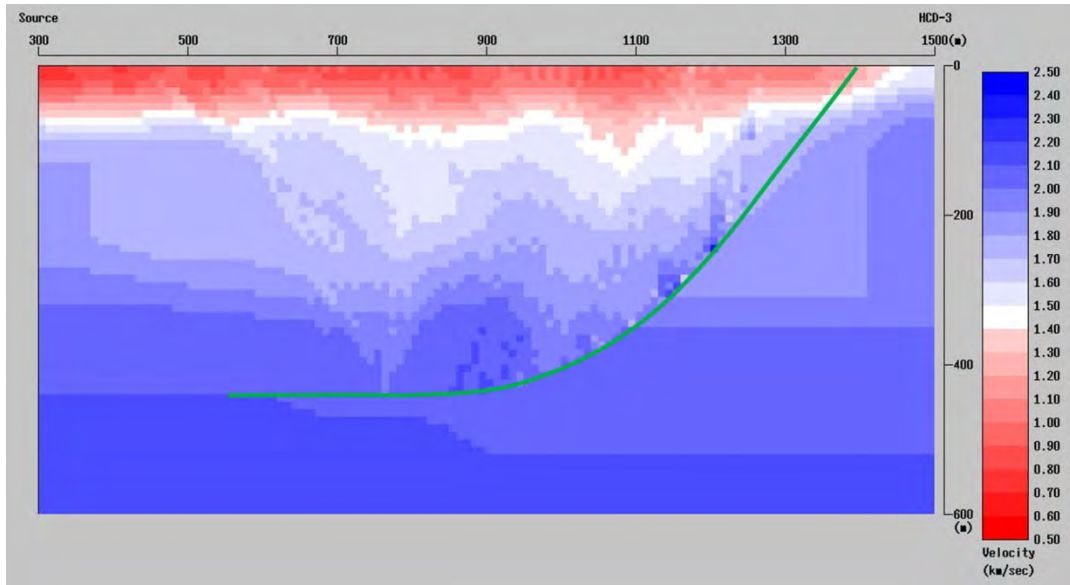


図 7.2.2-4 直線波線インバージョン結果

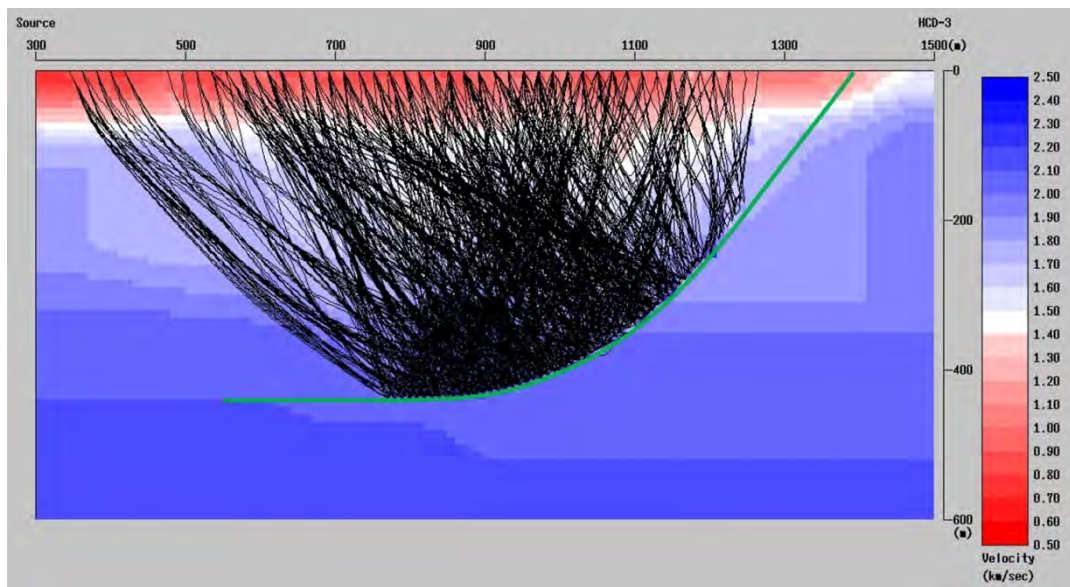


図 7.2.2-5 直線波線インバージョン結果に対する屈折波線

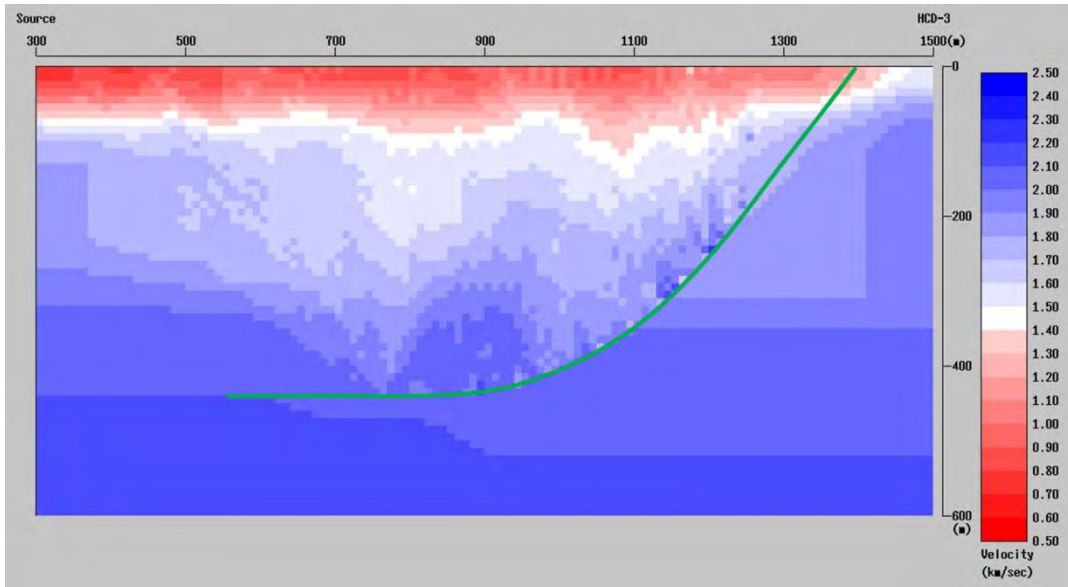


図 7.2.2-6 最終速度構造

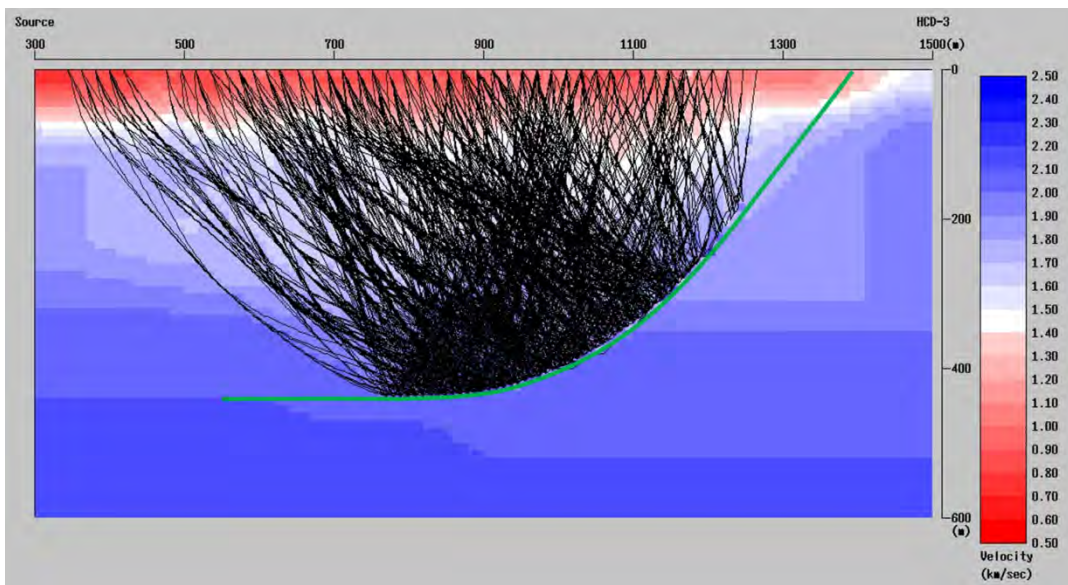


図 7.2.2-7 最終速度構造に対する屈折波線

7.2.3 屈折法地震探査データの前処理

地表発振-地表受振の屈折波フルウェーブトモグラフィ解析を実施するにあたり、取得データの前処理を実施した。

7.2.3.1 振幅補償

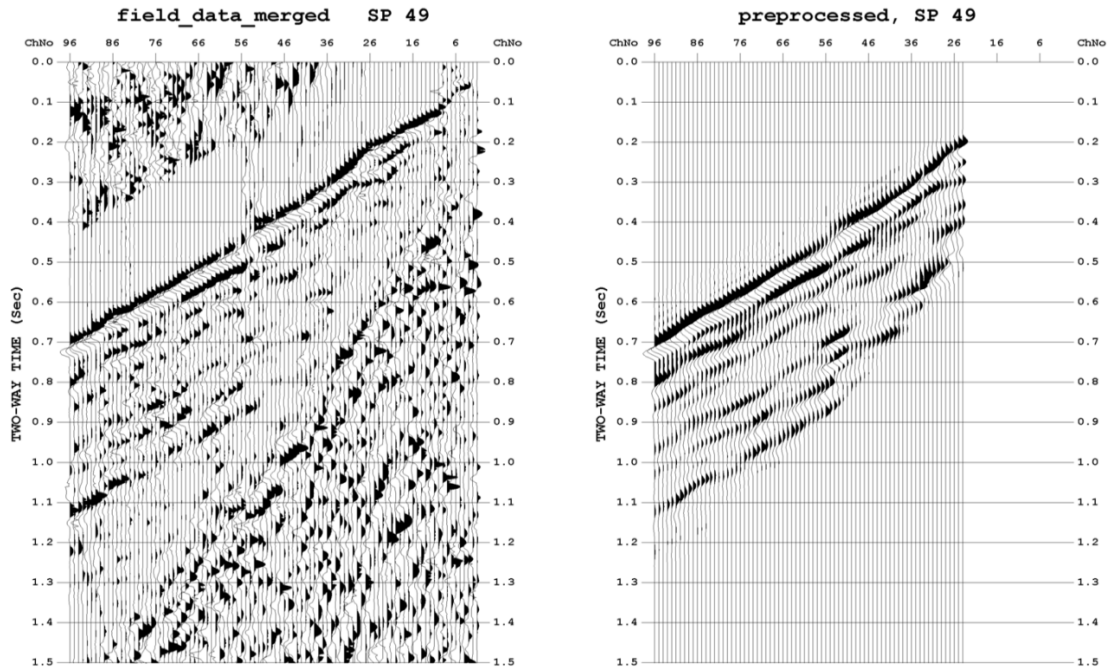
震源から発した地震波は、地中を伝播する過程で、球面発散効果、媒質の非弾性的性質、散乱などにより振幅が減少する。個々の効果を定量的に見積もることは困難であるが、球面発散効果はある程度定量的に捉えることができるため、振幅補償処理として適用されることが一般的である。ある屈折波線を考えた場合、球面発散効果によりエネルギー密度が伝播距離の2乗に反比例すること、すなわち振幅値が伝播距離に反比例することを考慮し、トレースの震央距離に対応するスケールファクターを、そのトレースのすべてのサンプルに共通に乗ずる処理を適用した。

7.2.3.2 エディット

孔井での作業、暴風に起因すると思われるノイズが卓越するトレースに関しては、データ解析対象から除いた。

7.2.3.3 ミュート

今回の解析ではP波の速度構造を求めることを目標とした。そこでP波以外の波群、S波や表面波の含まれる部分をミュートで落とし、P波初動から500ミリ秒程度のデータを残すミュートを設計し、適用した。



(VP. 49 左は処理前、右は処理後 表示用に振幅はトレースごとに調整されている)

図 7.2.3-1 前処理記録例

7.2.4 地表発振-地表受振屈折波トモグラフィ解析

P 波の屈折波初動部分を使い、フルウェーブインバージョンによるトモグラフィ解析を実施し、P 波速度構造を更新した。フルウェーブインバージョンは、与えられた速度モデルを用いて波動場シミュレーションを行い、その結果と実際の観測波形との残差に基づき速度モデルを修正するインバージョン手法である。この操作を残差が十分に小さくなるまで繰り返すことで、観測データをよく説明し得る速度モデルを出力する(図 7.2.4-1)。走時トモグラフィのように地震波の持つ情報のごく一部を用いるのではなく、波形全体のフィッティングによることから、用いられる情報量が多く、高精度、高分解能の速度構造推定が可能となる。また、直接波と反射波が区別なくフィッティングに用いられるため、透過波が観測されないような位置の解析も可能である。用いられる波動モードによって音響波/弾性波、計算を行う領域により時間領域/周波数領域といった種類が存在するが、ここでは周波数領域において音響波を取り扱う手法を用いた。

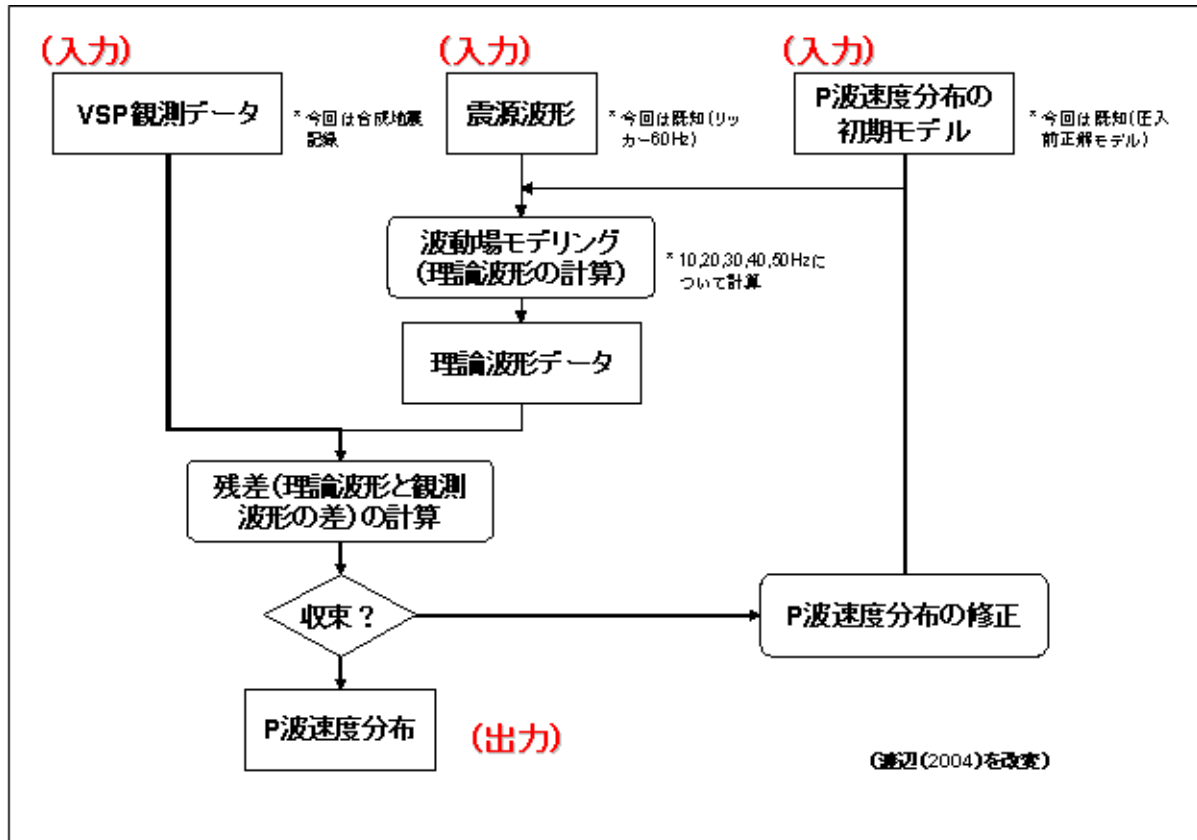


図 7.2.4-1 フルウェーブインバージョンの流れ

2次元フルウェーブインバージョン解析ソフトとしては、フランスの国立研究機関である GeoScience AZURの主催する SEISCOPE コンソーシアムで開発された周波数領域のフルウェーブインバージョン解析ソフトウェア TOY2DAC を用いた。

ここでは、地表-孔井間トモグラフィで得られた速度構造(モデルサイズは2,210 m(水平)×600 m(鉛直)、グリッドサイズは10 m×10 mの正方形)を初期モデル(図7.2.4-2)として、周波数領域のフルウェーブインバージョンを適用し、速度を更新した。解析使用トレース数は7,163である。一回のインバージョンで使った周波数は5で、順次高周波数帯域側にずらしてインバージョンを繰り返した(表7.2.4-1)。

最終的に得られた速度構造を図7.2.4-3に示す。また初期速度構造と最終速度構造の差を図7.2.4-4に示す。屈折波のフルウェーブインバージョンにより、地表からおおよそ150 mの浅部速度構造が更新されたことがわかる。図7.2.4-5はHCD-3孔跡にそって抽出したP波速度値である。

表 7.2.4-1 インバージョン対象周波数

周波数	第1段階 6, 8, 10, 12, 14 Hz
	第2段階 10, 12, 14, 16, 18 Hz
	第3段階 16, 18, 20, 22, 24 Hz

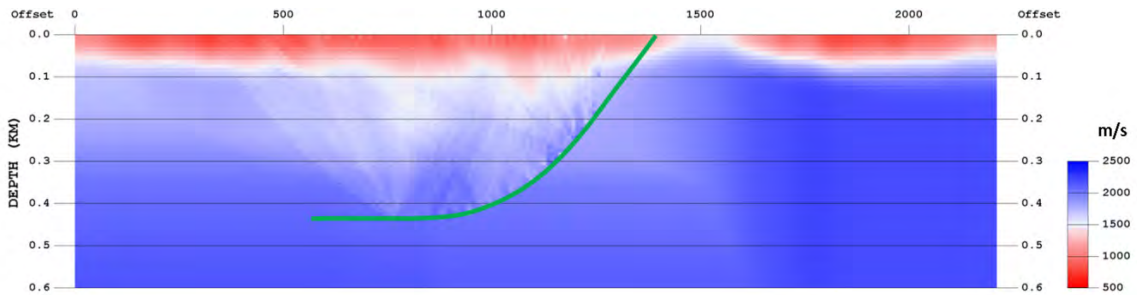


図 7.2.4-2 初期モデル(地表-孔井間初動走時トモグラフィ解析結果)

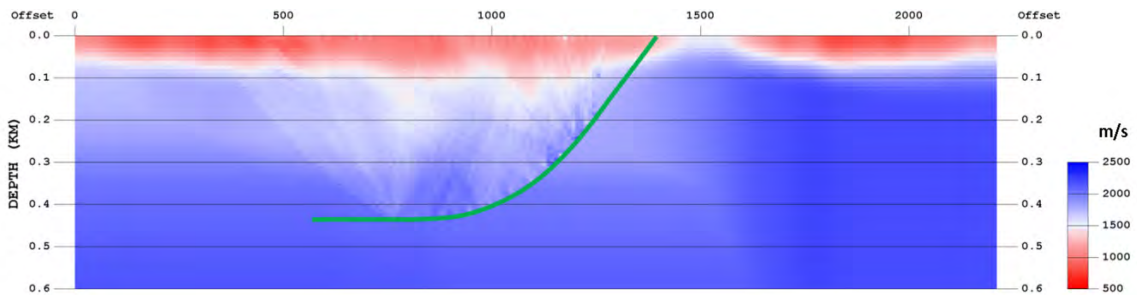


図 7.2.4-3 インバージョンで更新された速度構造

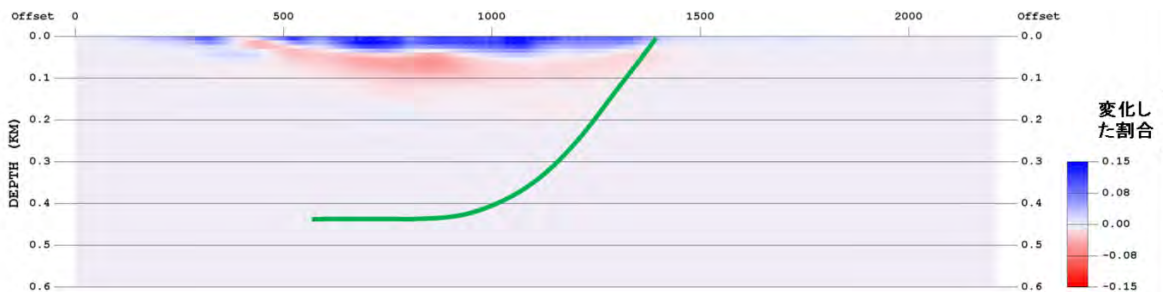


図 7.2.4-4 初期モデルからの更新量

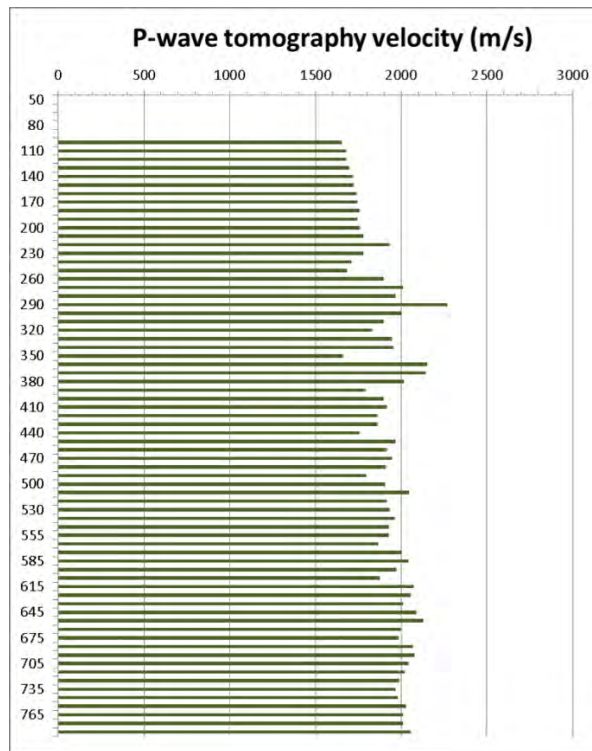


図 7.2.4-5 HCD-3 孔跡に沿って抽出した P 波速度値

7.2.5 ゼロオフセットVSP解析

ここでは、ゼロオフセット発振点で発振されたデータを用いた VSP 処理について記述する。

7.2.5.1 回転

本調査では孔内ツールにジンバルフォンを使用したので、記録された 3 成分は(a)鉛直成分、(b)発振測線に直行する水平成分、(c)発振測線に平行な水平成分となっていた。そこで傾斜井を垂直孔井とみなして処理できるように、(a)と(c)の 2 成分を、データ取得区間の平均的な孔井の傾斜である 33° で回転させた(図 7.2.5-1)。図 7.2.5-2(1)の記録は孔跡に沿った成分であり、以降の波形処理はこの成分に対して行った。

7.2.5.2 初動走時読み取り

鉛直成分を用いて P 波初動走時の読み取りを行なった。

7.2.5.3 区間速度の算出

P 波および S 波の初動走時から、区間速度を算出した。S 波初動に関しては不明瞭であったため、3 成分をすべて参照し、掘削長 200~560 m の区間で読みとりを行った。3 点の移動平均をとった初動走時と孔跡データから求めた各受振器の座標値および発振点の座標値を用いて計算した結果を、図 7.2.5-3 に示す。

7.2.5.4 トレース振幅の調整

深度によって異なるトレースの振幅をそろえるため、各トレースの振幅値の標準偏差を合わせる調整を施した。

7.2.5.5 トレースの内挿

後述 7.2.5.6 で適用するフィルターの効果を上げるため、周波数-空間予測フィルター理論に基づいたトレース内挿を実施した。15 m 間隔であった受振器間隔は、内挿により 7.5 m 間隔となった(解析トレース数は 35 から 69 となった)。

7.2.5.6 上方進行波と下方進行波の分離

時間-空間領域の速度フィルターにより、上方進行波と下方進行波を分離した。上方進行波の抽出には $-500 \sim -6,000$ m/s、下方進行波の抽出には $2,000 \sim 500$ m/s の範囲の反射イベントを透過させる速度フィルターを用いた。

7.2.5.7 デコンボリューション

上述 7.2.5.6 で得られた下方進行波のエネルギーをスパイク状とするデコンボリューションオペレーター(ゲート長 250 ms、オペレーター長 80 ms)を設計し、上方進行波に適用した(図 7.2.5-4(1))。このオペレーターを適用することによって、下方進行波のエネルギーを初動付近に集中させること、また上方進行波に含まれる繰り返しパターンを抑制することができる。

7.2.5.8 往復走時への変換

P 波読みとり走時分のタイムシフトを適用することにより、片道走時から往復走時への変換を行った。

7.2.5.9 コリドーミュート

上方進行波に含まれる反射波は、反射面から遠ざかるほど S/N 比の低下や波形変形の影響を受けるため、反射面近傍の記録のみを抜き出すコリドーミュートを適用した(図 7.2.5-4(2))。

7.2.5.10 コリドースタック

等時間方向に重合を行った(図 7.2.5-4(3))。

7.2.5.11 深度変換

前述 7.2.5.3 で求めた P 波の速度情報を用いて、深度変換を行った(図 7.2.5-4(4))。

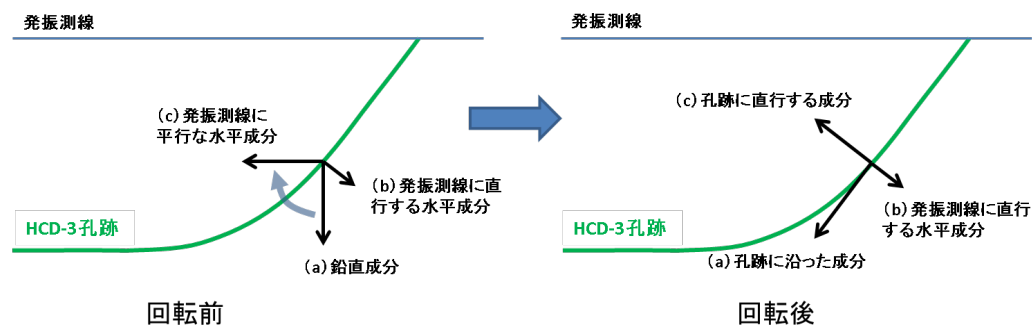
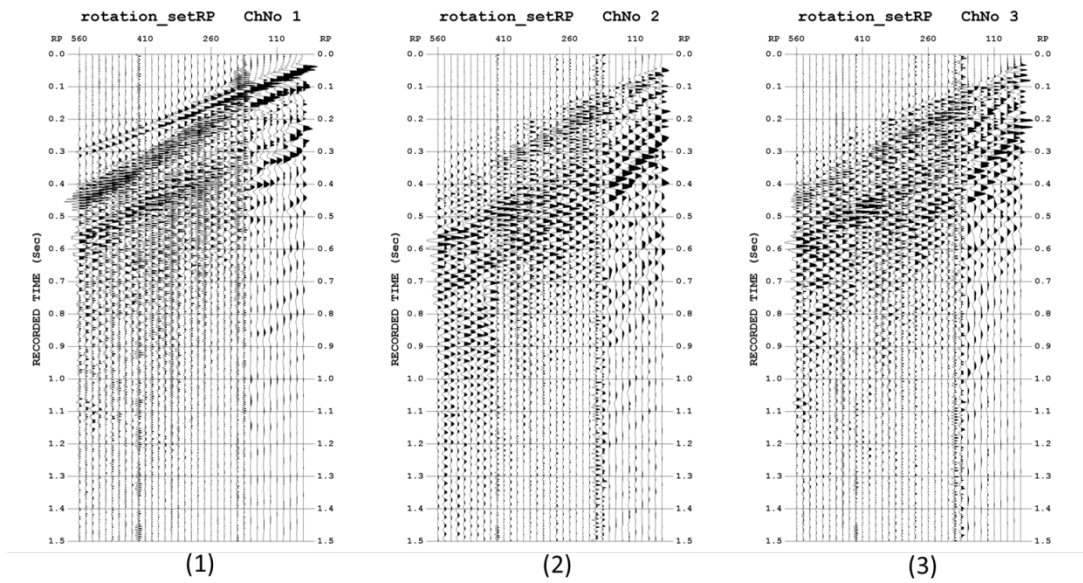


図 7.2.5-1 ジンバルフォン 2 成分の回転



(1) 孔跡方向成分 (2) 孔跡・発振測線と直交する水平成分 (3) 孔跡と直行する発振測線方向の水平成分

図 7.2.5-2 回転後の孔内ジオフォン記録

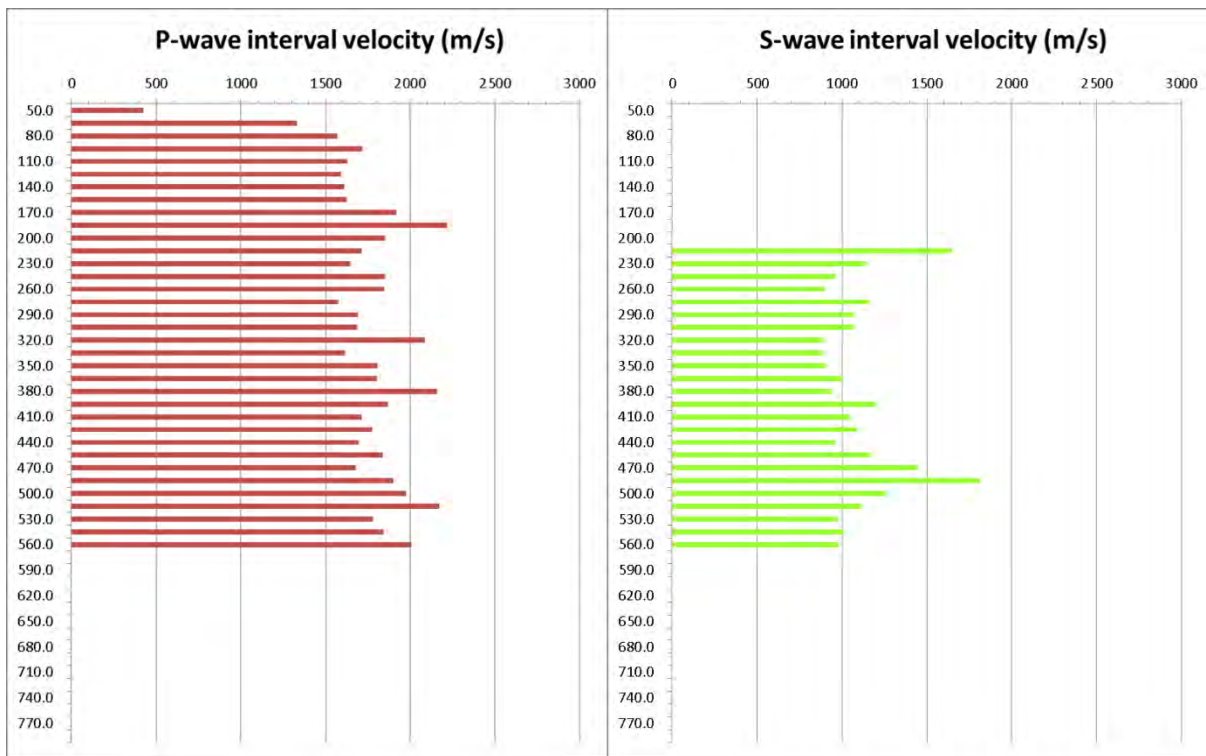
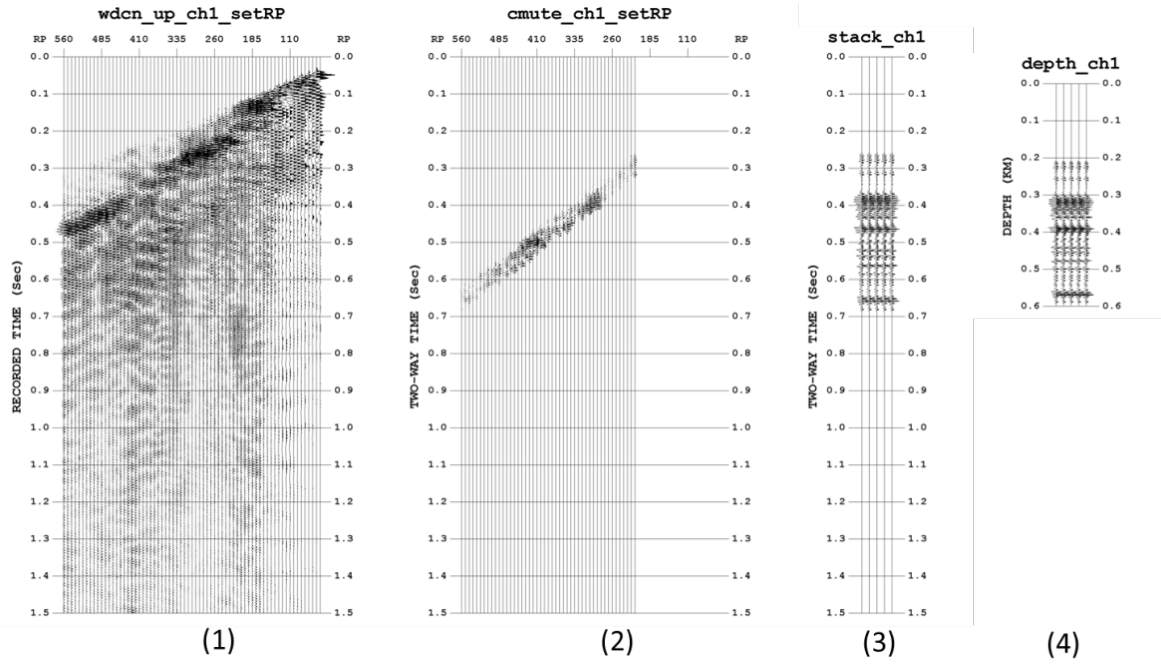


図 7.2.5-3 VSP から求めた P 波、S 波区間速度



(1) 上方進行波 (2) 往復走時変換後のコリドーミュート (3) コリドースタック (4) 深度変換

図 7.2.5-4 ゼロオフセット VSP 処理過程

7.2.6 トモグラフィ解析の評価

屈折波フルウェーブインバージョンは浅部の速度構造の更新のために実施し、その点については目的を達することができた。一方、屈折波フルウェーブインバージョンで速度が更新されなかった 150 m 以深では、地表-孔井間トモグラフィで更新された領域と、孔井下で地震波が通らないため速度が更新されない領域との間に速度の不連続ができてしまった。今回約 1 km であった受振器展開長をもう少し長くすることにより、屈折波フルウェーブインバージョンでより深部の速度構造を更新することで速度の不連続を解消できた可能性がある。これは今後のデータ取得で注意すべき点である。

トモグラフィ解析および VSP から求めた区間速度との比較のために、コアから求めた P 波区間速度と S 波区間速度を図 7.2.6-1 に示す。P 波に関してはトモグラフィ解析、VSP により共におおよそ 1,600 ~ 1,700 m/s を示すのに対して、コアは 2,000 m/s を越えており、差が認められる。S 波に関してはコアの方が VSP より若干速い傾向を示している。コア試料を用いた室内試験では破碎されていない健岩部を選択しているのに対して、トモグラフィおよび VSP に関しては、掘削長 300~400 m の区間に存在する断層帯が解析区間に含まれている。破碎に伴う速度の低下により、コアの速度に比べてトモグラフィおよび VSP の速度が遅く求められたことが考えられる。

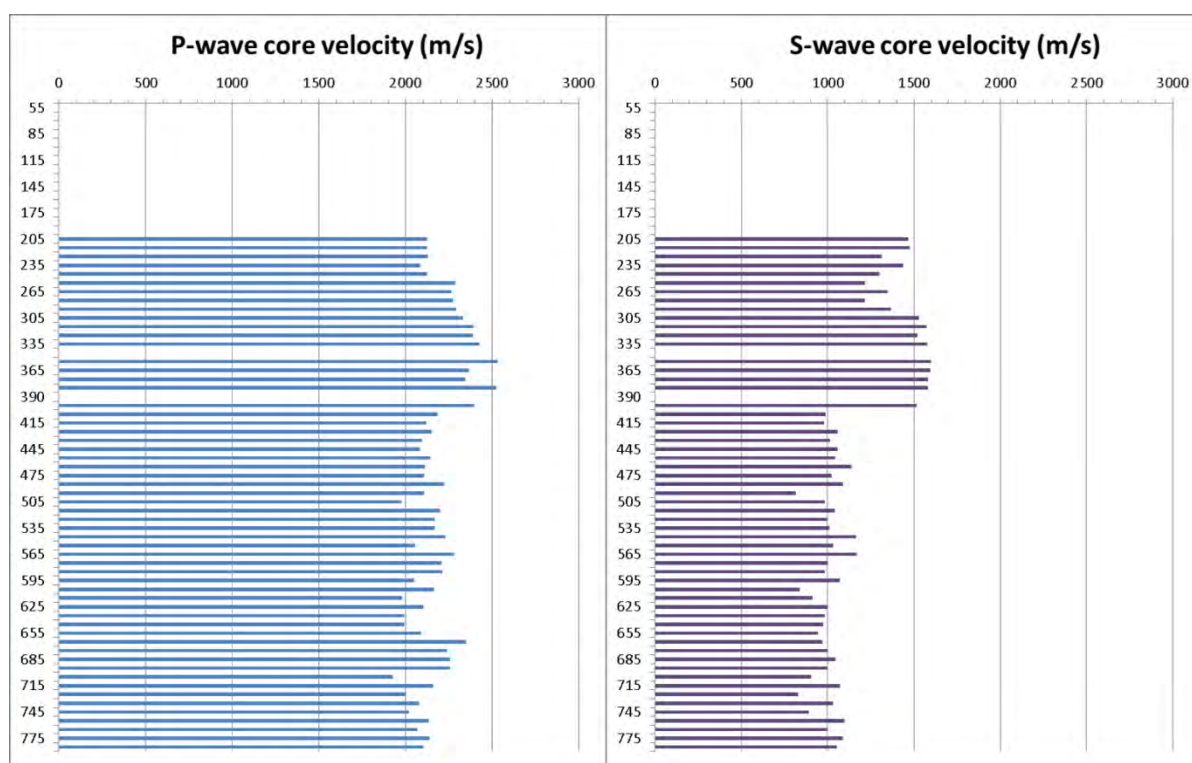


図 7.2.6-1 コアから求めた P 波、S 波区間速度

7.3 反射法データ再解析

7.3.1 再解析対象データ

平成 17 年度に、JR 上幌延駅・南幌延駅からそれぞれ北東方向に延びる 2 本の林道(一部道道)およびそれら 2 本を結ぶ 1 km 程の林道に沿って 3 本の測線を設定し、大型バイブロサイス車 1 台を震源とする反射法地震探査が実施された(図 7.3.1-1)。この調査の目的は幌延地点に分布する大曲断層の分布性状を把握することと、コントロールボーリング掘削箇所を選定のための情報を得ることであった。3 つの測線のうち、今回の再解析対象とした Line1 の調査仕様を、表 7.3.1-1 に示す。

表 7.3.1-1 反射法地震探査 Line1 観測仕様一覧

発振系仕様	
震源	大型バイブロサイス車(Y-2400) 1台
発振点数	189点
発振点間隔	標準 20 m
スイープ周波数	標準 10~100 Hz リニアアップスイープ テーパ300 ミリ秒
スイープ長	16 秒
スイープ回数	標準 5 回
受振系仕様	
受振器	SM-7(10 Hz)
受振器数/受振点	9 個(3S×3P) 1 m 間隔
受振点数	300 点
受振点間隔	10 m(測線に沿って)
展開長	4.3 km
展開パターン	振り分け展開
記録系仕様	
記録器	GDAPS-4A(有線テレメトリー方式)
サンプル間隔	2 ミリ秒
記録長	5 秒(相互相関後)
チャンネル数	300
ノイズエディット	ウィンドウ長=21.0 秒 冪乗係数=2.0

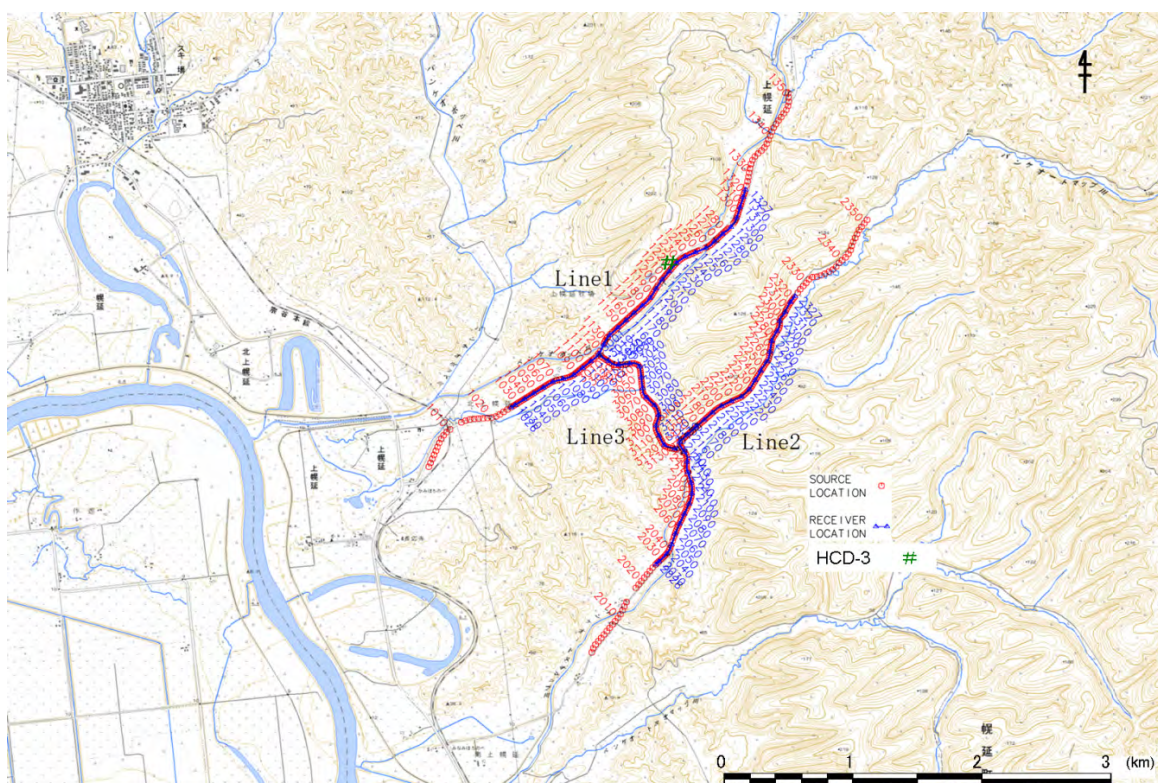


図 7.3.1-1 反射法地震探査受発振点位置

7.3.2 既存処理概要

今回の再解析では、既存処理で前処理した CMP ギャザーを入力として使用した。既存処理のフローを図 7.3.2-1 に示す。Line1 既存処理の概要を以下に記述する。(9)までの処理を適用した CMP ギャザー(ただし NMO 補正は適用していない)を「7.3.4 MDRS 処理」の入力データとして使っている。

7.3.2.1 測線情報テーブルの作成

発振点及び受振点のインデックス、座標、標高値、オフセット距離等の測線情報を集約し、テーブルを作成した。座標系は GRS80 楕円体に準拠した TM12 系を用いた。データ解析における基準標高面は平均海水面に設定した。CMP 測線が反射点分布のなるべく中央を通るように、表 7.3.2-3 のように 2 つの端点と 2 つの折れ曲がり点を設定した。なお点 2 と点 3 の座標を使って、地表-孔井間トモグラフィ解析および地表発振-地表受振屈折波トモグラフィ解析の投影測線が定義されている。

7.3.2.2 最小位相変換

バイプロサイスの相互相関処理後の震源波形は、中心部にピークがある時間的に対称な波形(=ゼロ位相波形)である。デコンボリューション処理に先立ち、この震源波形をゼロ位相型から最小位相型の

波形に変換するオペレーターを設計し、それを原記録に適用した。

7.3.2.3 共通反射点編集

CMP 測線を用いて、共通反射点の編集を実施した。CMP 間隔は 5 m とし、CMP 範囲は 1~780 となった。

7.3.2.4 初動ミュート

強振幅の屈折波初動部分を抑制する目的で、テーパー長 200 ミリ秒の初動抑制処理を実施した。テーパーは初動の 50 ミリ秒手前から適用した。

7.3.2.5 振幅補償

弾性波の震源からの伝播に伴う幾何減衰、多層構造内を透過、多重反射することによる伝播損失及び非弾性効果による減衰、さらには受振点、発振点毎のカップリングの相異に起因する振幅特性の変化を補償することを目的として、ウィンドウ長 1000 ミリ秒の AGC (Automatic Gain Control) による振幅補償を行った。

7.3.2.6 デコンボリューション

地震波形から、多重反射、地層の吸収効果などによる変形の影響を除去し、分解能を高めるため、デコンボリューションを適用した。Line1 の処理では浅層の解像度向上のため、反射波を発振点、受振点、CMP、オフセットの四成分に分解して平均スペクトルと平均スペクトルからのずれを求め、それらをパラメータにしてデコンボリューションのオペレーターを設計、適用するサーフェイスコンシステント型デコンボリューションを適用している。予測距離 2 ミリ秒、オペレーター長 160 ミリ秒とし、1600 ミリ秒の設計ゲートでオペレーターを設計した(時間により可変)。

7.3.2.7 浮動基準面に対する静補正

浮動基準面に対する静補正を実施した。静補正は、標高補正量(観測面を一定基準面へ補正する)及び表層補正量(低速度の表層構造変化による影響を除去する)の和として各発振点、受振点について与えられる。表層補正值は、屈折波初動解析による結果を内挿して決定した。

7.3.2.8 NMO補正

定速度重合法による速度解析を行った。速度解析によって求められた重合速度-時間の関数を時間-空間方向に内挿し、その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。NMO 補正により 1.8 倍以上伸びた部分をミュートした。

7.3.2.9 残差静補正

より重合効果を向上させることを目的に、共通反射点アンサンブルに対して、受振点・発振点毎に固有な残差静補正量をもとめ、適用した。Line1 では最大計算シフト量を 8 m とし、計算範囲 50～6,700 ミリ秒の範囲のデータを用いて、静補正量を計算した。

7.3.2.10 DMO補正

傾斜層の重合効果を高め、最適な重合速度を得るために、DMO 補正を行った。

7.3.2.11 ミュート

表面波等を除去するため、インナーミュートを行った。

7.3.2.12 共通反射点重合

共通反射点アンサンブルに関して、水平重合処理を実施した。重合処理前にはウィンドウ長 40 ミリ秒の AGC を適用した。全オフセット距離範囲のトレースを重合に使用した。

7.3.2.13 周波数空間領域予測フィルター

周波数-空間領域において複素型予測フィルターを設計し、適用して、ランダムノイズを抑制し、相対的に S/N を向上させる表 7.3.2-1 に示す F-X 予測フィルター処理を実施した。

表 7.3.2-1 F-X 予測フィルター処理

オペレーター長	3 CMP
空間ウィンドウ長	15 CMP
時間ウィンドウ長	1000 ミリ秒
時間ウィンドウオーバーラップ長	250 ミリ秒

7.3.2.14 帯域通過フィルター

反射波重合断面の有効周波数帯域を周波数成分解析によって確認し、表 7.3.2-2 に示す時間により可変の零位相帯域通過フィルターを適用した。

表 7.3.2-2 時間により可変の零位相帯域通過フィルター

時間ゲートの設定(オペレーター長 120 ミリ秒、ゲートオーバーラップは 60 ミリ秒)				
時間ゲート	T1	T2	T3	T4
往復走時	～100 ミリ秒	100～500 ミリ秒	500～1400 ミリ秒	1400 ミリ秒～
周波数通過帯域	16/18～100/120 Hz	14/16～60/70 Hz	8/12～45/55 Hz	6/8～35/40 Hz

7.3.2.15 マイグレーション

重合断面図上では、反射波は CMP 位置直下に表現されており、傾斜した反射面に対しては反射面の傾斜/位置が真の構造からずれる。これを補正し、各 CMP 直下の構造形態を表す処理がマイグレーション処理である。本解析では差分マイグレーション処理を適用した。マイグレーション速度は重合速度を測線方向に平滑化した速度関数(マイグレーションノイズを抑制するため、値を 90%にスケールリング)を使用した。

7.3.2.16 深度変換

平滑化した速度関数を用いて、時間断面を深度断面に変換した。既存処理の最終断面を図 7.3.2-2 に示す。

表 7.3.2-3 CMP 測線の端点・折れ曲がり点(GRS80, TM12)

点番号	X (m)	Y (m)
1	-28657.75	110022.70
2	-27818.20	110558.30
3	-26235.70	112100.60
4	-25983.30	112744.50

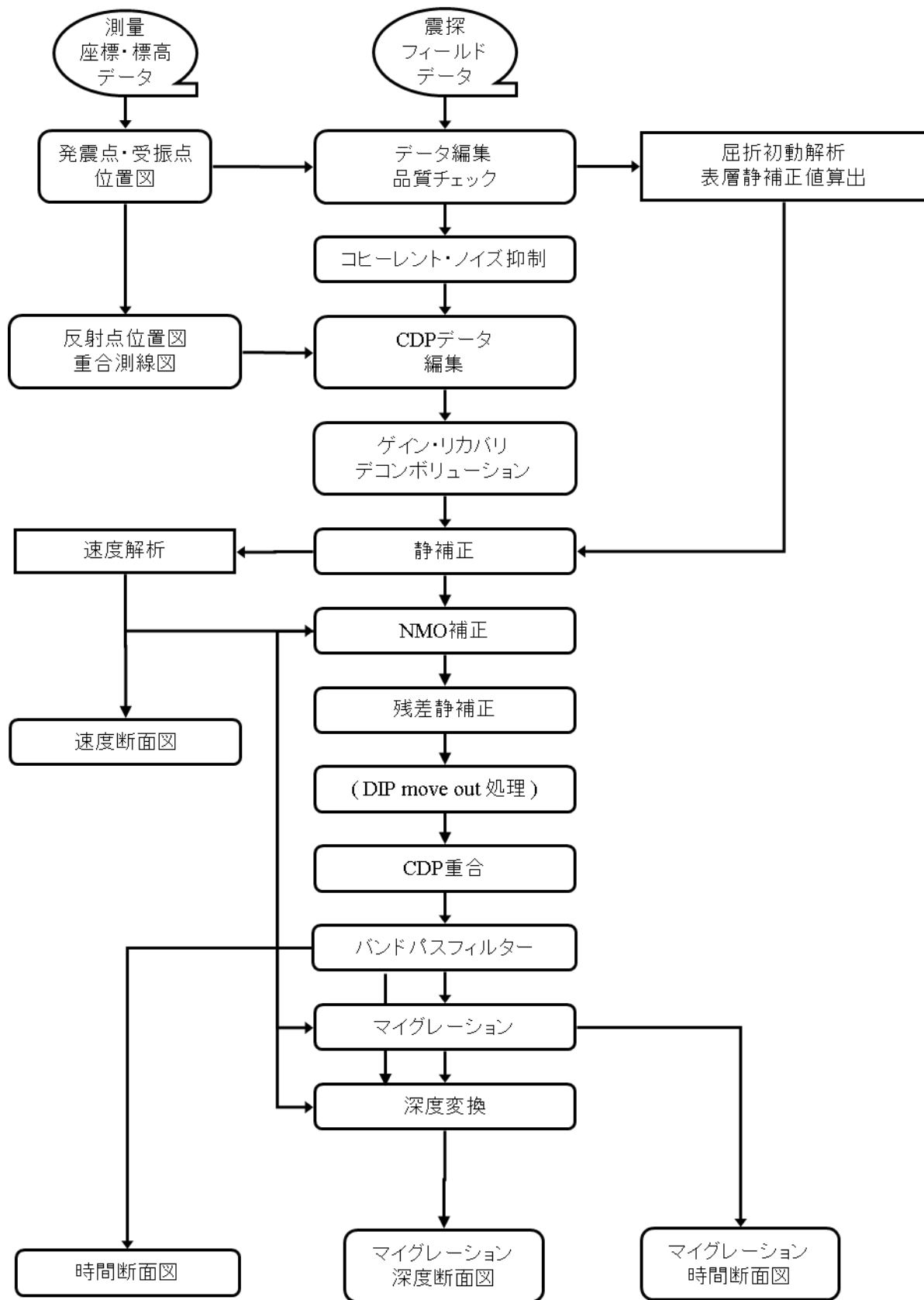


図 7.3.2-1 既存処理データ処理フロー

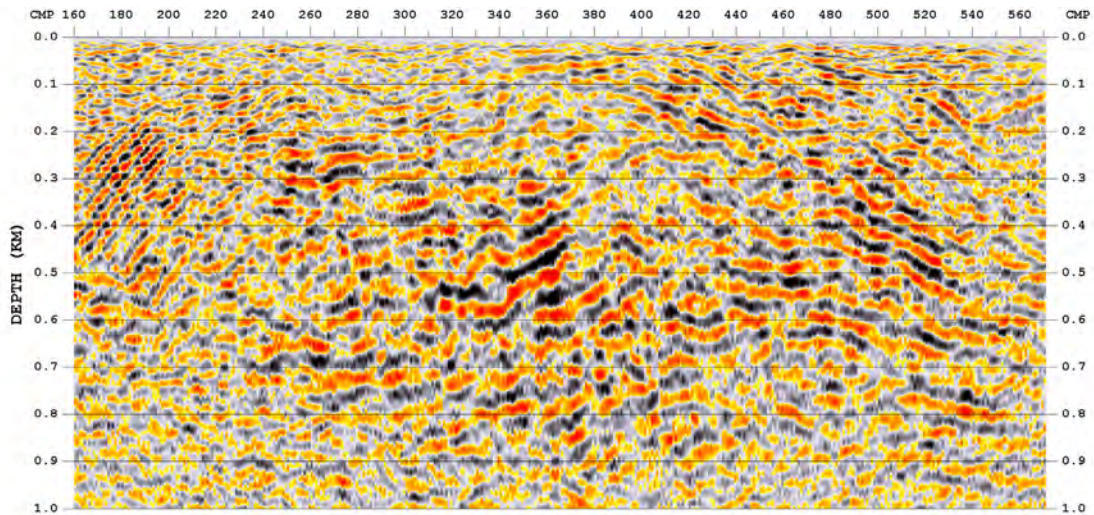


図 7.3.2-2 既存処理のマイグレーション深度断面

7.3.3 MDRS法の概要

再解析の中心手法となる MDRS 法について、本章にて説明する。

CRS 法 (= Common Reflection Surface stack; Jager ほか, 2001; Mann ほか, 2007; Schleicher ほか, 1993) は CMP に属するトレースだけではなく、その近傍の CMP を併せたスーパーギャザーを重合処理することで従来の CMP 重合法と比べて飛躍的に高い重合数を得ることができる手法である (図 7.3.3-1)。以下に直線状の 2 次元測線における CRS 法の走時近似式を示す。

$$T^2(x_m, h) = \left(T_0 + \frac{2 \sin \alpha}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2T_0 \cos^2 \alpha}{v_0} (K_N (x_m - x_0)^2 + K_{NIP} h^2)$$

x_m	CMP座標
x_0	CMP座標の原点(スーパーギャザーの中心となるCMP)
h	ハーフオフセット座標
$T(x_m, h)$	CMP-ハーフオフセット座標上の近軸波線の往復走時
T_0	CMP-ハーフオフセット座標上のゼロオフセット反射波線の往復走時
v_0	地表付近の媒質の速度
K_N	N波の地表付近での曲率(N波の波面が円弧であると仮定した場合)
K_{NIP}	NIP波の地表付近での曲率(NIP波の波面が円弧であると仮定した場合)
α	地表へのNIP波の入射角

ここでN波(Normal waveの略)は、反射面上の各点から同時に発する波で、地表の観測面に向けて進行する仮想の波、NIP波(Normal Incident Point waveの略)は、ゼロオフセット反射波線の反射点からの点震源波動である(図7.3.3-2)。CRS法におけるムーブアウト補正では、ゼロオフセットセクション上での反射波走時の傾きと曲がりといったCMP間の挙動を考慮することから、反射点の異なるスーパーギャザー内のトレース重合を適切に行える(図7.3.3-3)。

複雑な地質構造を有する地域では、ゼロオフセット断面上で反射波が交差する状況(コンフリクティング・ディップ)が予想される。このような場合CRS法で強調できる反射波は1枚の反射面のみで、その他の傾斜を有する反射波は消失してしまう問題が生じる(図7.3.3-4)。MDRS法(= Multi-Dip Reflection Surface method; 青木他, 2010)では、反射波の出現角度の範囲を予測して、いくつかの領域に分割し(本報告の解析では61分割)、それぞれの傾斜領域でCRS法を適用したCRS重合記録(MDRSサブセクション)を作成する。CRSのパラメータ解析によって求まるセンブルランス・アトリビュートを用いて、傾斜領域ごとに作成されたMDRSサブセクションの並べ替えをサンプルごとに行う(センブルランス・ソート)。最大のセンブルランスピーク値を有するものが第1CRS重合断面であり、それ以降第2、第3CRS重合断面と続く。このようにして求めたCRS重合断面を上位から数枚加算することで、波の重なり合いが表現されたMDRS重合記録が得られる(図7.3.3-5)。

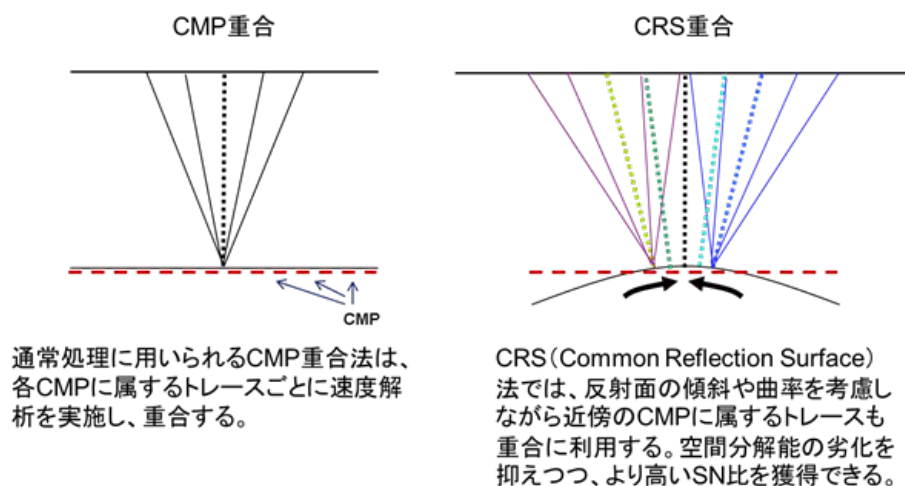


図7.3.3-1 CRS法の概念

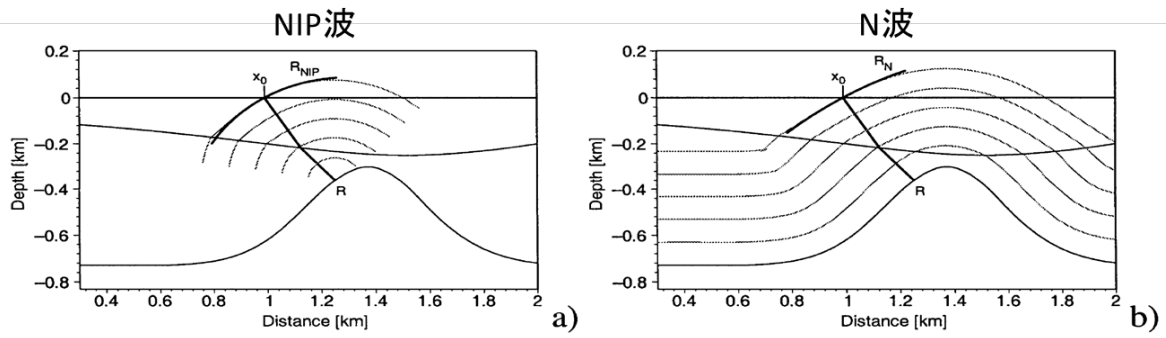


図 7.3.3-2 NIP 波と N 波 Jaeger et al., 2001 より引用、加筆)

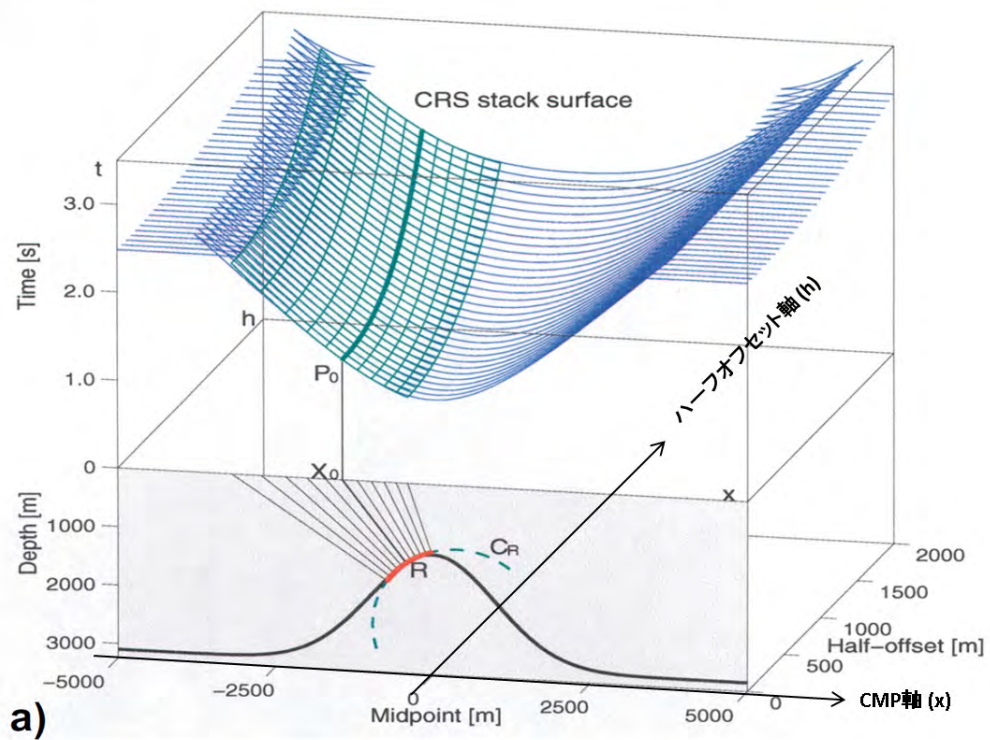


図 7.3.3-3 CRS 法でのスーパーギャザーの重合 (Hubral et al., 1999 より引用、加筆)

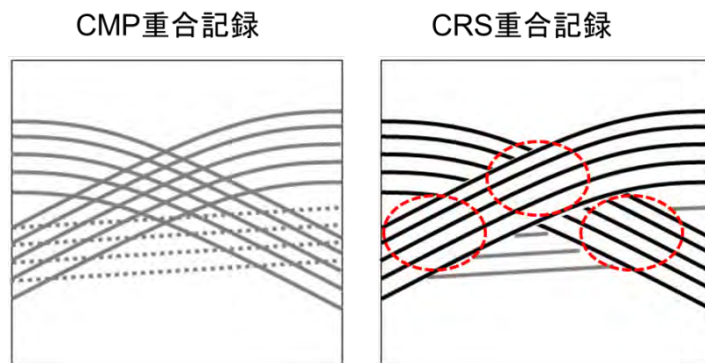


図 7.3.3-4 CRS 法の問題点

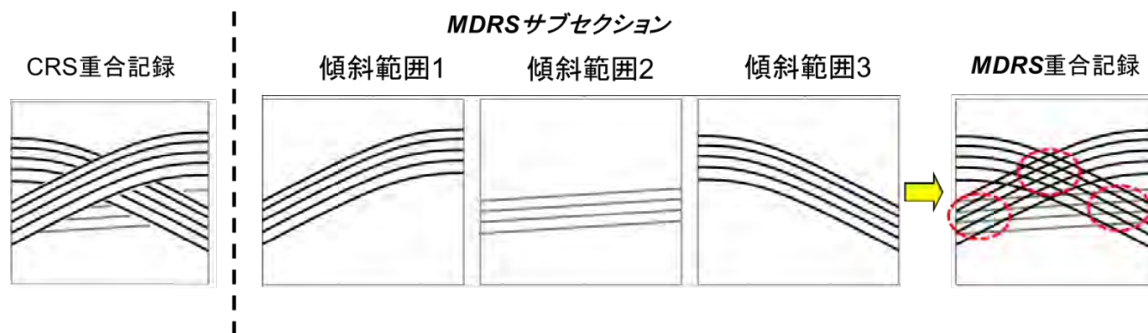


図 7.3.3-5 MDRS 法の概念

7.3.4 MDRS処理

7.3.2(9)までの処理結果を入力として、MDRS法を中心とした以下の再処理を実施した。処理フローを図7.3.4-1に示す。

7.3.4.1 スーパーギャザーの作成

以降のMDRS処理のために、各CMPにつき前後41CMP分のCMPギャザーを併合したスーパーギャザーを作成した。

7.3.4.2 定速度スキャン

後述の「MDRSスキャン」に先立ち、定速度重合パネルと関連する各アトリビュート(センブリランス、傾斜、正規化後反射波曲率、NIP波曲率)のパネルを作成した。

7.3.4.3 パラメータスキャン

以下の手順で、マルチディップ型のCRSパラメータスキャンを実施した。

- ① 解析対象とする傾斜の範囲を-400ミリ秒/kmから+400ミリ秒/kmとした。これを61分割し(13ミリ秒/km刻み)、それぞれにおいてCRSスキャンを実施した。
- ② 求めたCRSアトリビュートを用いてスーパーギャザーへの走時補正を行った。
- ③ それぞれの傾斜範囲において、重合処理を行った。

この結果、傾斜範囲毎に1枚ずつ、61の重合断面を作成された。ここでパラメータの検索範囲の上限下限を与えるために、参照速度をRMS速度形式で与えている。この参照速度は、7.2項で求めた速度である。

最適な CRS パラメータの選択のためには、ここでより精度の高い参照速度を与えることが望ましい。

7.3.4.4 MDRSピッキング

重合結果および関連する各アトリビュートに対してサンプル毎にセンブランス値の高い順に並べ替えを行った。この際、並べ替えに用いる傾斜範囲に制限を設けることで、不要な傾斜ノイズを抑制しているが、この時にも(3)で用いた参照速度を使用している。

7.3.4.5 MDRS重合

センブランス値の高い方から何番目までの断面を重合するかを検討した。第1 CRS 断面(図 7.3.4-2)は、MDRS ではない一般的な CRS 断面である。第3 CRS 断面まで足す(図 7.3.4-4)と細かい傾斜イベントが強調されすぎるため、第2 CRS 断面までを重合した(図 7.3.4-3)。

7.3.4.6 重合後処理

MDRS 重合後の処理は、7.3.2 で記した既存処理の(12)共通反射点重合以降と同じである。

図 7.3.4-5 に、マイグレーション、深度変換適用済みの最終的な MDRS 重合断面を示す。

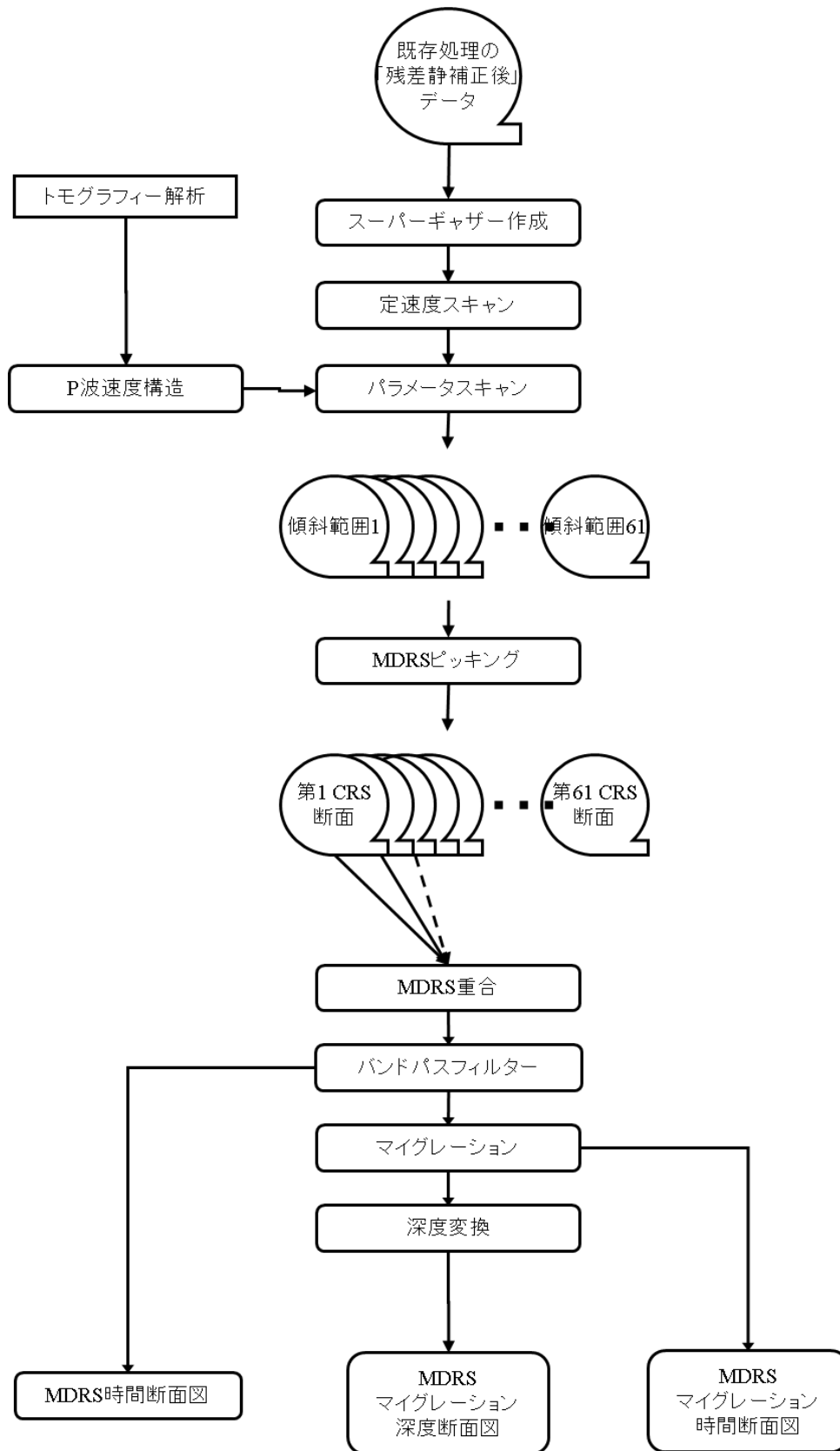


図 7.3.4-1 MDRS 処理フロー

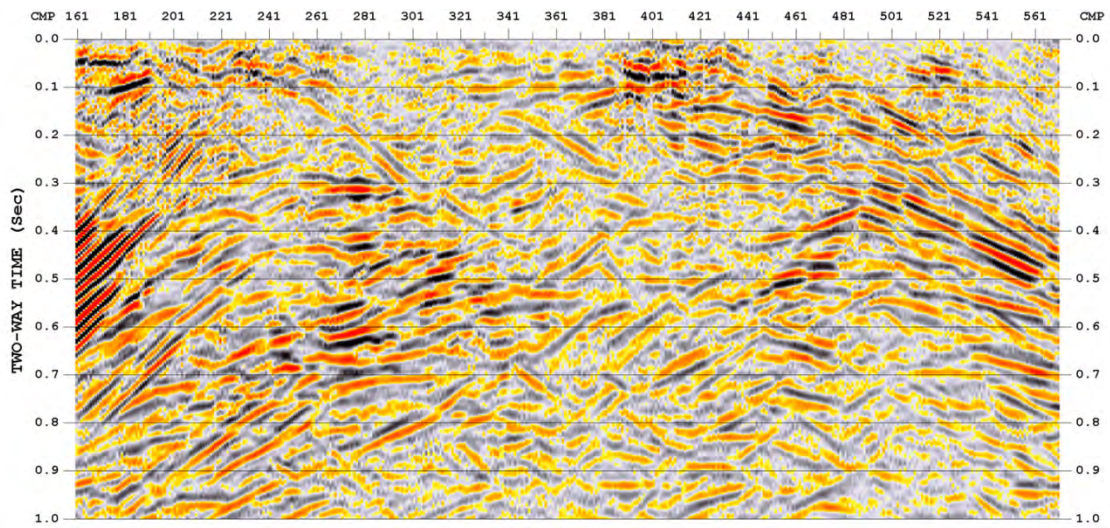


图 7.3.4-2 第 1 CRS 断面

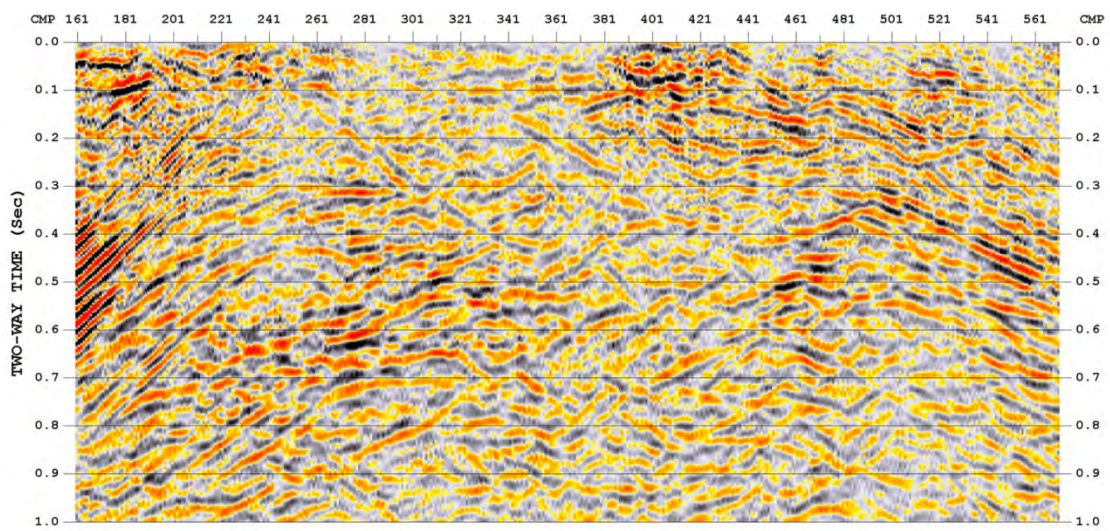


图 7.3.4-3 第 1 CRS 断面+第 2 CRS 断面

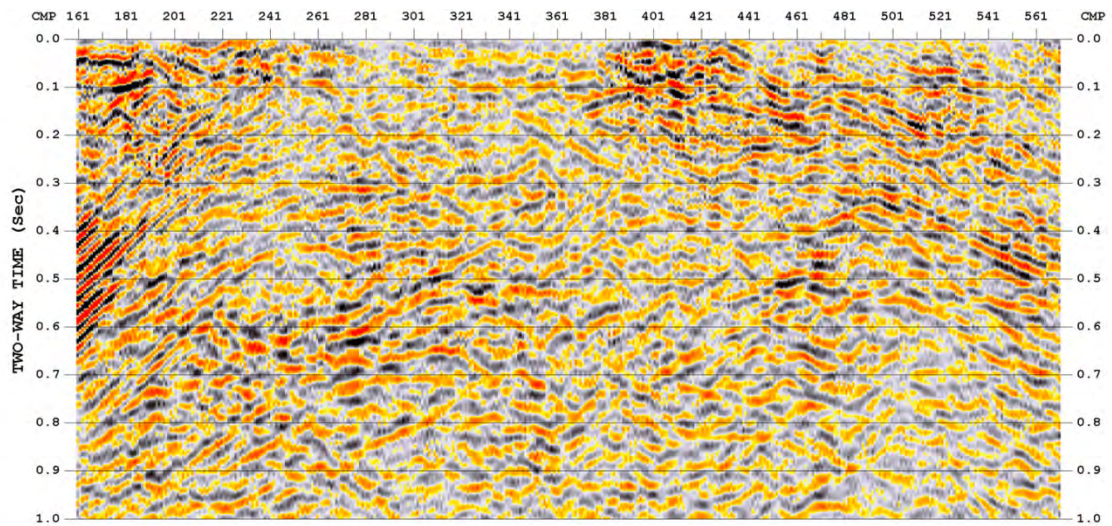


図 7.3.4-4 第 1 CRS 断面+第 2 CRS 断面+第 3 CRS 断面

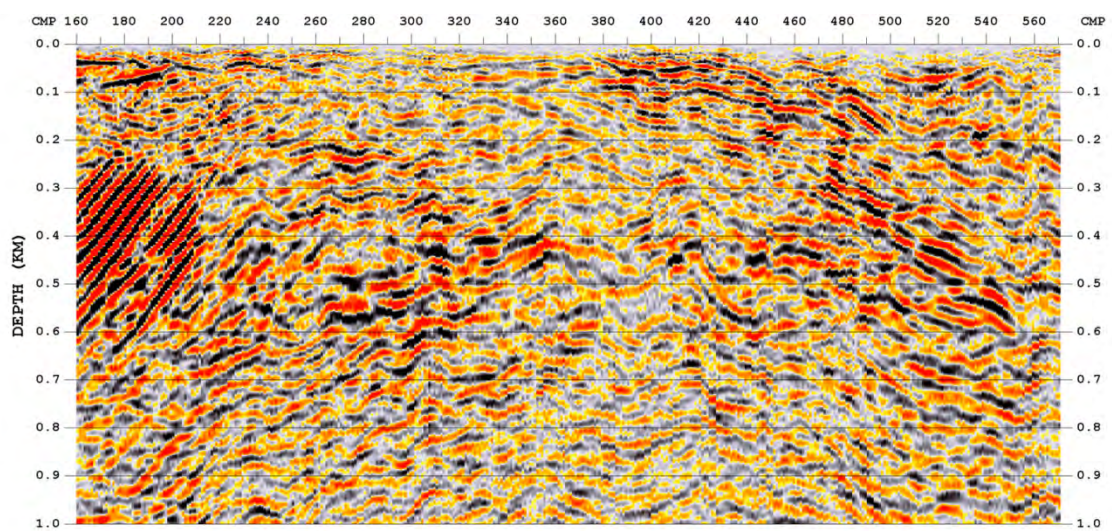


図 7.3.4-5 MDRS 処理のマイグレーション深度断面

7.3.5 処理結果の評価

反射断面に、HCD-3 孔井孔跡と地表地質を重ねたものを図 7.3.5-1 と図 7.3.5-2 に示す。反射法測線は地表地質図では河川堆積物に被覆されているが、この地域で地層境界が北北西－南南東の走向を示していることから、声問層、稚内層の地層境界と反射断面上の反射イベントとのおおよその対比は可能である。図 7.3.5-1 と比べると、図 7.3.5-2 は反射イベントの連続性が浅部、深部とも向上しており、振幅の強弱により地質境界の判別がしやすくなっている。図 7.3.5-3 に HCD-3 孔井コアから推定される大曲断層の地質構造図(平成 23 年度地層処分技術調査等委託費(ボーリング技術高度化開発)報告書より引用)を示す。大曲断層の主断層は、おおよそ掘削長 330～450 m の深度区間で孔井を横断していると考えられている。図 7.3.5-2 の MDRS 処理断面では、掘削長 270 m 以深の孔井が主断層に突入する区間において、反射イベントの振幅、連続性が低下していることがわかる。一つの要因として、断層による破砕が反射波の散乱をもたらしたと考えられる。また CMP280～400、掘削長 300～500 m 付近に強い振幅の反射イベントが認められるが、地質構造図の潜在背斜構造に対応している。

図 7.3.5-4 に、マイグレーション深度断面や図 7.3.5-3 をもとにした地質構造解釈図を示す。断層構造に大きな解釈の違いは見いだせなかったものの、MDRS 法を用いた再処理により、層理面の構造がより明瞭に解釈できるようになり、既存処理断面と比較してより高精度の地質解釈が可能となった。

図 7.3.5-5 に地表発振地表受振反射法結果(MDRS 深度断面)上にゼロオフセット VSP 結果を重ねて示す。ゼロオフセット VSP の反射イベントに関しては、掘削長 300～400 m に集中しており、断層による破砕によって同区間の反射イベントが乏しいと解釈した反射法結果と異なる傾向を示している。ゼロオフセット VSP のデータ解析は、孔井掘削方向に対して直交している反射面を処理により抽出する。地表発振地表受振の反射法だと断層帯からの散乱した波を重合するのは難しいが、ゼロオフセット VSP は孔井に沿った方向から到来する反射波に焦点をあてているため、散乱波であっても一連の波群としてうまく捉えられたものと考えられる。またゼロオフセット VSP データの卓越周波数は 120～200 Hz で、卓越周波数が 0～40 Hz であった地表発振地表受振の反射法より高周波数帯域であったことも、散乱波の捕捉に貢献した可能性がある。

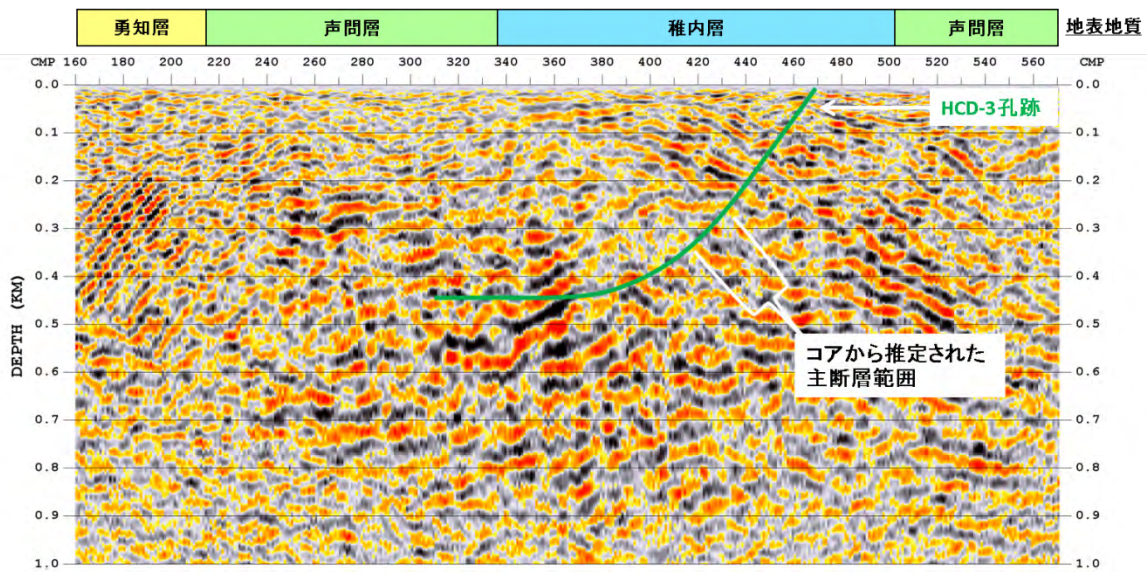


図 7.3.5-1 既存処理のマイグレーション深度断面(孔跡、地表地質記入)

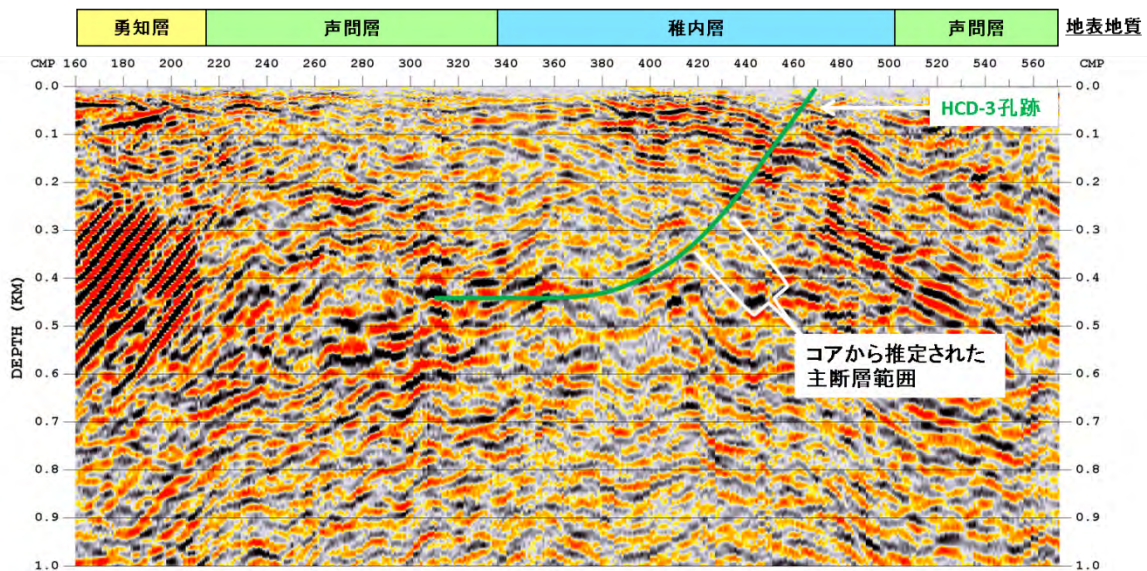


図 7.3.5-2 MDRS 処理のマイグレーション深度断面(孔跡、地表地質記入)

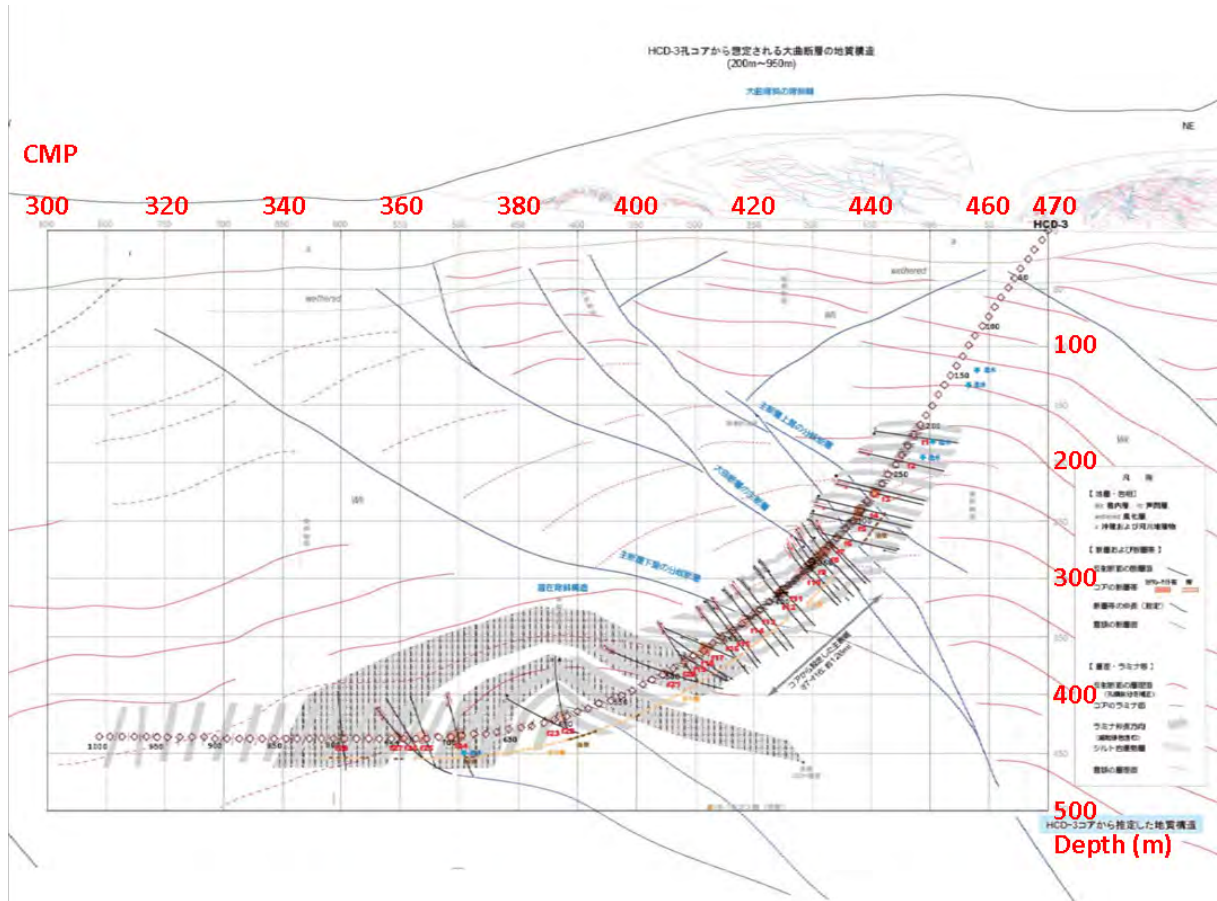


図 7.3.5-3 HCD-3 孔井コアから推定される大曲断層の地質構造

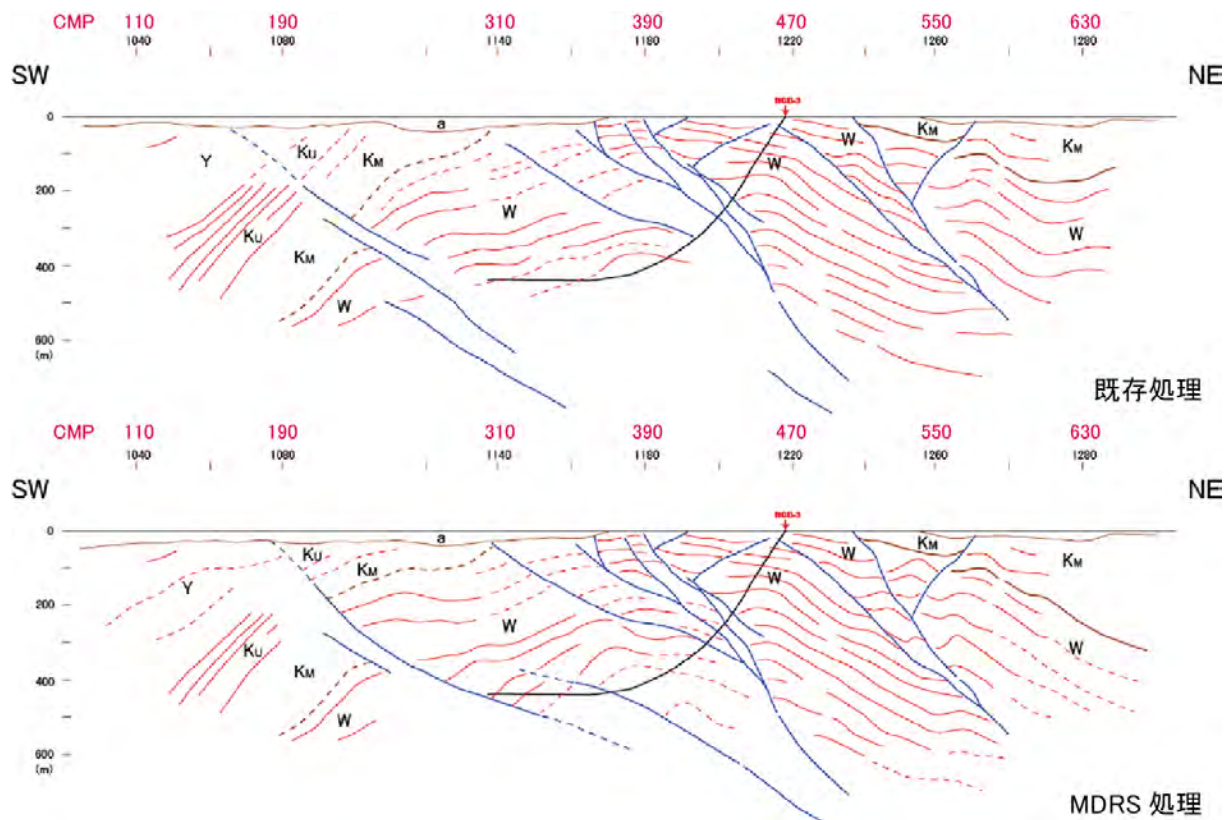


図 7.3.5-4 マイグレーション深度断面の地質構造解釈

(上：既存処理結果を利用した解釈図；下：今回実施した MDRS による処理結果を利用した解釈図)

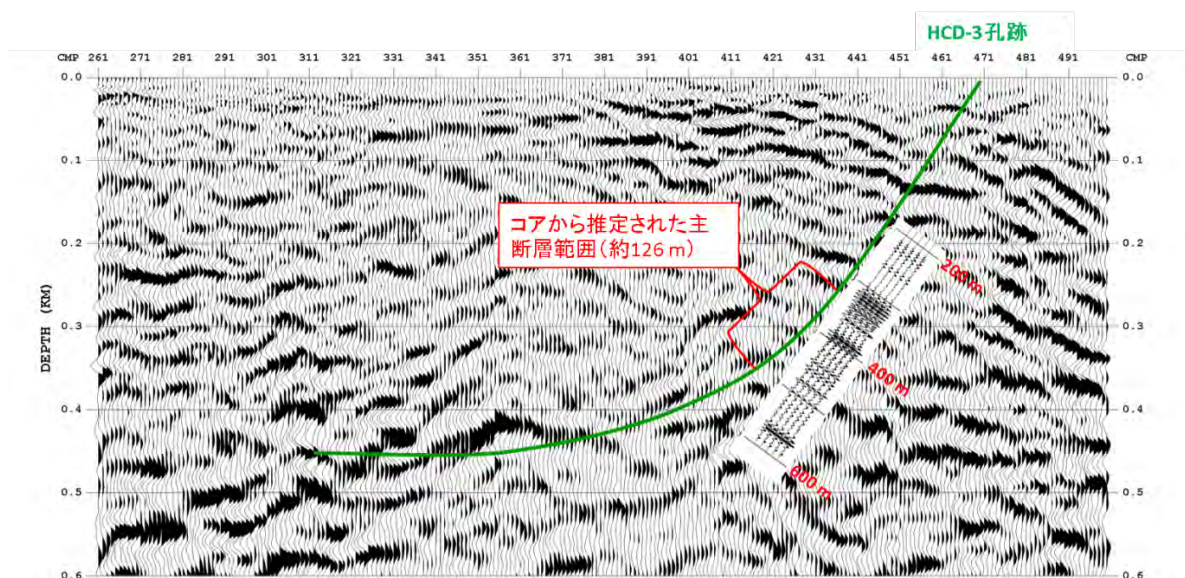


図 7.3.5-5 MDRS 断面とゼロオフセット VSP 結果の比較

参考文献

Jager, R., Mann, J., Hocht, G. & Hubral, P. 2001, Common-reflection-surface stack: Image and attributes, *Geophysics*, Vol. 66(1), pp. 97-109

Mann, J., Schleicher, J., & Hertweck, T., 2007, CRS Stacking - A Simplified Explanation, In *Extended abstracts, 69th Conf. Eur. Assn. Geosci. Eng.* B044

Schleicher, J., Tygel, M., Dan Hubral, P., 1993, Parabolic and hyperbolic paraxial twopoint traveltimes in 3d media, *Geophysical Prospecting*, (41):495-5

青木直史, 檜原省吾, 高橋明久, 西木司, 2010, MDRS 法によるコンフリクティング・デ
ィップのイメージング. *物理探査学会講演会論文集*, 60-63.

8. 現地適用試験

ボーリング技術高度化開発は平成12年度より始まり、フェーズ1期間の平成15年度から幌延地域において現地適用性評価試験を開始した。ボーリング技術高度化開発において開発と評価を行っている技術は、①孔曲げ掘削技術、②先端探知技術、③コア採取技術、④測定・検層技術、⑤モニタリング技術、⑥物理探査技術で、うち測定・検層技術はWL-LWDによる検層技術、透水・採水技術、応力・力学測定技術により構成され、8項目の各技術の開発を総合してシステム化することを目標に現地適用性評価試験が行われている。

フェーズ1期間である平成16年度までの現地適用性評価試験では、主に掘削に使用される技術として、孔曲げ掘削技術、先端探知技術、コア採取技術で開発した装置と透水・採水技術の動作確認を主体にシステムへの適用性評価を行った。

フェーズ2は平成17年度から平成19年度の3ヵ年で実施し、平成18年度からは断層帯における評価を実施するために掘削地点を移動した適用試験が行われた。試験では主に、掘削関連技術に検層技術を組み込んだ適用性評価と透水・採水技術の適用性確認が実施された。また、地点を移動した断層帯での評価は、大曲断層推定域を対象として実施され、断層帯下盤側までのコントロール掘削と透水・採水技術による評価を行った。検層技術についても掘削時および非掘削時の環境で一定区間の適用を行い、掘削環境に対しての適用性を評価した。

フェーズ3が開始された平成20年度からは、緩傾斜から水平傾斜区間における適用性評価を実施し、傾斜コントロール掘削から水平コントロール掘削の適用性評価を実施している。応力・力学技術および物理探査技術では適用試験で孔内での動作およびシステムへの適用性を確認し、検層技術については、水平傾斜区間の適用で一定区間の掘削併用時計測を行い、掘削システムとの適用性を確認した。平成22年度は、より高精度な方位コントロール掘削を実現するために、“偏心カラー”による、水平傾斜の維持と方位曲げ掘削を拡張を併用した制御手法により実施し、平成23年度に水平傾斜を維持した状態で掘削長1000mへ到達した。透水・採水技術では、特に水平傾斜区間における有効性の評価を、物理探査技術ではハイドロフォンケーブルの適用性確認を行っている。平成24年度は、応力・力学技術を構成する孔内応力測定装置を水平傾斜区間で適用させ、原位置の圧力環境化における装置の動作・通信の確認および水平傾斜まで装置を送り込むシステムの適用性を確認した。

本年度は、掘削開始前の孔内状況の確認と孔径検層による試験装置のパッカ拡張位置の確認を行い、サイドトラック掘削による新規孔井の分岐掘削を行う。また、透水試験・採水・イメージング装置および孔内応力試験装置を用いた原位置試験、孔内モニタリングシステムの設置を行う。

表8.1.1-1にHCD-3孔における現地適用試験の工程表を示す。

表 8. 1. 1-1 HCD-3 孔における現地適用試験の工程表

項目	10月												11月												12月											
	10 11				20 21				31 1				10 11				20 21				30 1				10 11				20							
	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金				
乗り込み移動																																				
資材・機材の搬入・荷下し																																				
防寒設備の損傷箇所補修																																				
機械機器メンテナンス・動作確認																																				
マットロギング設置																																				
適用性試験準備（配線、配管、作泥）																																				
シュービット降管孔内状況確認（初動フィード力計測：750mまで）																																				
シュービット・ロッド揚管（初動フィード計測）																																				
セメンチング用アウトバィブ取付降管（600m付近）																																				
サイドトラック作業のためのセメンチング																																				
セメンチング用アウトバィブ回収 リーミングビット降下、端面整形、引き上げ																																				
掘削用アウトバィブ降管																																				
サイドトラック掘削																																				
ジャイロ測定																																				
応力試験装置適用試験（補助作業）																																				

項目	12月				1月												2月												3月									
	21		31		10 11				20 21				31 1				10 11				20 21				28 1		10											
	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金			
応力試験装置適用試験（補助作業）																																						
ジャイロ測定																																						
掘削用アウトバィブ揚管（200m管内まで） および中間養生																																						
年末年始休業期間																																						
養生解除・水理試験準備 →養生解除・キャリアバ検層準備																																						
透水装置・採水・イメージング適用試験（補助作業）																																						
キャリアバ検層																																						
モニタリング設置作業における試錐機操作等 （※孔内作業～揚水完了まで）																																						
冬期対策 撤収、養生、不要機材搬出																																						

8.1 孔内状況の確認

孔内状況の確認として、現地適用性評価試験開始前の孔内状況の確認として、NL140 ロッドをサイドトラック実施区間まで降下させ、障害となる孔壁崩壊等が生じていないことを確認した。また、透水試験・採水・イメージング装置と孔内モニタリングシステムのマルチパッカの設置位置を判断するため、孔井の孔径拡大状況を確認する目的で孔径検層(キャリパ検層)を実施した。

以下に孔内状況の確認結果を示す。

8.1.1 掘削開始前の孔内状況の確認

現地適用性評価試験の再開に向けた現地乗込み後、機器関連のメンテナンスなどを実施して、試運転による動作確認を行い、準備作業として孔内状況確認作業を実施した。

孔内状況確認は、NL140 ロッド降下中の 30m 毎に試錐機で停止状態の NL140 ロッドを引揚げるために必要な初動フィード力を計測することで、孔壁との摩擦抵抗の有無を判断して行なった。また、掘削長 200m の裸孔部分到達以降は、マッドロギング地上画面モニタで NL140 ロッド降下時のビット荷重の値の増減を確認しながら実施し、ビット荷重が減少傾向を示すような場合には、掘削用泥水の送泥による孔内洗浄を実施した。

なお、速やかにリーミング作業を実施できるように、NL140 ロッド先端にはφ152mm に加工したコンポジットシュービットを取り付けた。また、掘削用泥水の送泥時にはマッドロギングデータの中で、ビット荷重、トルク、ロッド回転数に注視した。

なお、本年度の現地適用性評価試験ではサイドトラック掘削を実施するため、既存孔井を閉塞用のパッカプラグを設置する予定の掘削長 750m 地点まで孔内状況確認作業を実施した。

孔内状況確認作業において、NL140 ロッド降下中にマッドロギング画面上でビット荷重が減少傾向を示し、掘削用泥水の送泥による孔内洗浄を要した箇所は 4 地点確認された。ビット荷重が減少傾向を示す要因としては、冬期養生期間に沈降し孔壁に密着した掘削屑(スライム)などが考えられたが、それぞれ孔内洗浄によって改善できた。送泥での洗浄中はマッドロギングシステムでの測定を行い、取得したパラメータから、それぞれの区間でトルクおよび回転数が改善し、孔井内状況を良好に保つことができたことを確認した。

孔内洗浄は、掘削長 430m～掘削長 751m までの 5 地点で実施した。

孔内状況確認作業の結果、リーミングを必要とする箇所は確認されず、引き続き行う現地適用性評価試験の実施に問題がないことを確認した。

表 8.1.1-2 に孔内洗浄の実施区間を示す。

表 8.1.1-3 に取得した初動フィード力および回転力のデータを示す。

図 8.1.1-1 にマッドロギングによる取得パラメータを示す。

図 8.1.1-2 に NL140 ロッド先端に取り付けたシュービット(降下時・回収時)を示す。

図 8.1.1-3 に初動フィード圧力および初動回転圧力の確認状況を示す。

表 8.1.1-2 孔内洗浄実施区間

No.	孔内洗浄区間 (m)			区間長 (m)
	開始	～	終了	
1	430.0	～	433.0	3.0
2	505.0	～	508.0	3.0
3	616.0	～	619.0	3.0
4	700.0	～	703.0	3.0
5	748.0	～	751.0	3.0

表 8.1.1-3 取得データによる初動フィードおよび初動回転圧力一覧

先端深度 (m)	フィード・回転テスト					
	孔井内 ロッド本数	自重 (kgf)	フィード		増減 (kg/m)	回転 初動 (Mpa)
			圧力値 (Mpa)	力 (kgf)		
27.99	10	2549.0	1.1	2108.7	—	1.5
42.99	15	2823.5	1.4	2683.9	38.3	1.3
72.99	25	3372.5	1.6	3067.3	12.8	1.4
102.99	35	3921.5	1.8	3450.7	12.8	1.4
132.99	45	4470.5	2.4	4600.9	38.3	1.5
162.99	55	5019.5	2.6	4984.3	12.8	1.5
192.99	65	5568.5	2.9	5559.4	19.2	2.0
222.99	75	6117.5	3.2	6134.5	19.2	2.1
252.99	85	6666.5	3.6	6901.3	25.6	2.8
282.99	95	7215.5	3.8	7284.7	12.8	3.0
312.99	105	7764.5	4.1	7859.8	19.2	2.9
342.99	115	8313.5	4.4	8435.0	19.2	3.1
372.99	125	8862.5	4.7	9010.1	19.2	3.1
402.99	135	9411.5	5.0	9585.2	19.2	3.0
432.99	145	9960.5	5.3	10160.3	19.2	3.0
462.99	155	10509.5	5.5	10543.7	12.8	3.4
492.99	165	11058.5	5.8	11118.8	19.2	3.1
522.99	175	11607.5	6.0	11502.2	12.8	4.1
552.99	185	12156.5	6.2	11885.6	12.8	4.1
582.99	195	12705.5	6.3	12077.3	6.4	3.6
612.99	205	13254.5	6.5	12460.7	12.8	3.5
642.99	215	13803.5	6.5	12460.7	0.0	4.2
672.99	225	14352.5	6.7	12844.1	12.8	3.6
702.99	235	14901.5	6.8	13035.8	6.4	4.0
732.99	245	15450.5	6.9	13227.5	6.4	4.4
750.99	251	15779.9	7.0	13419.3	10.7	4.5

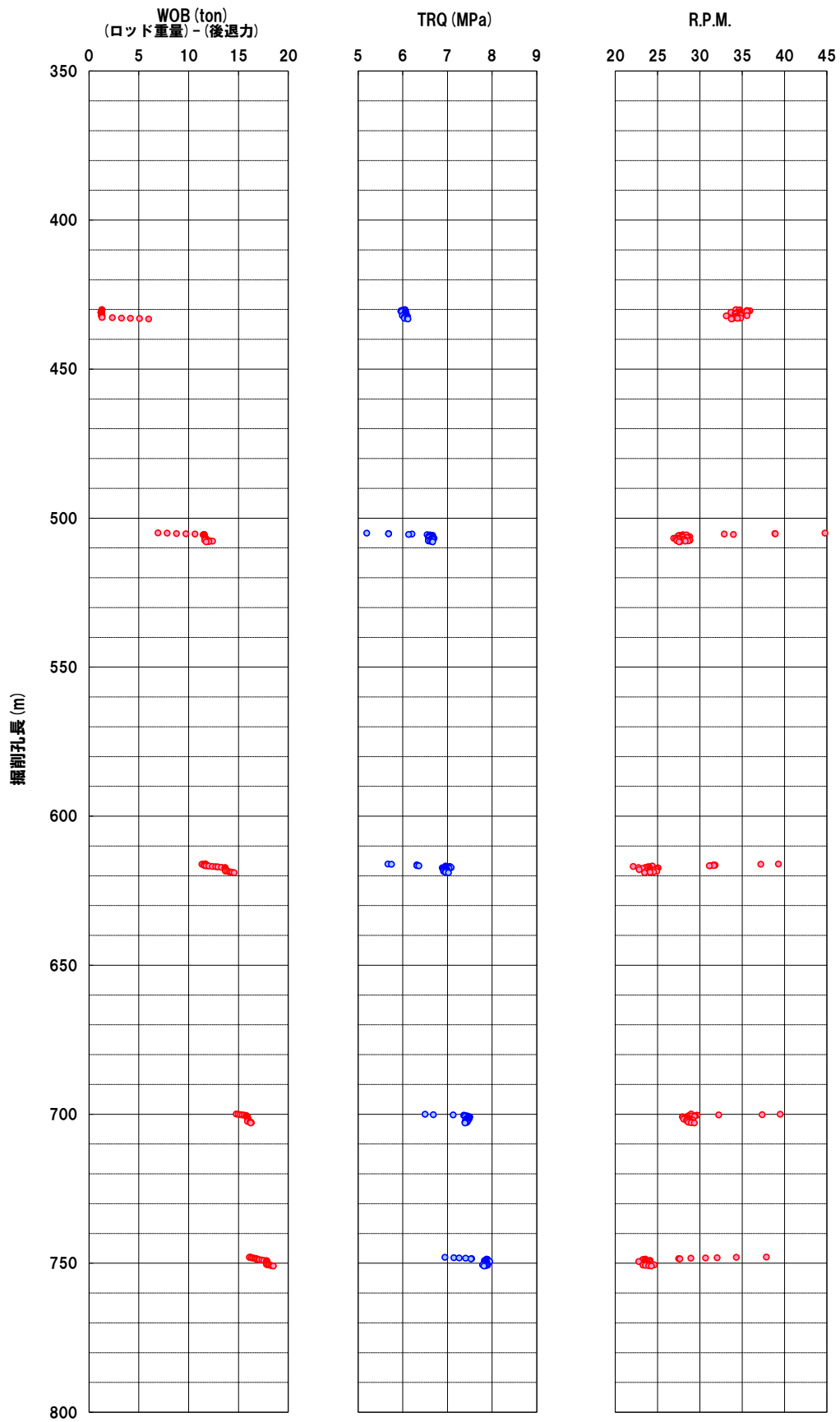
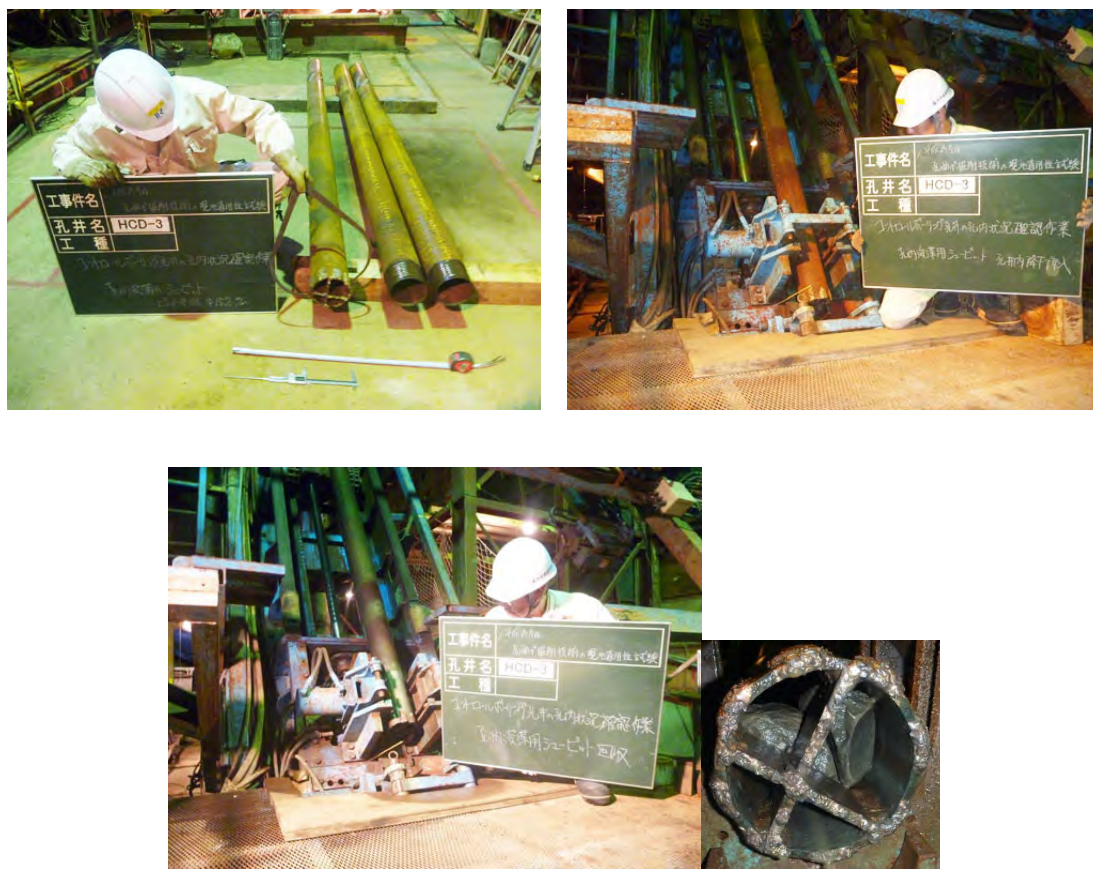


図 8. 1. 1-1 マッドロギングによる取得パラメータ



(上左：検測時、上右：降下開始時、下：回収時)

図 8.1.1-2 NL140 ロッド先端に取り付けたシュービット(降下時・回収時)



(左：初動圧力計測状況、右：ゲージによる圧力値確認)

図 8.1.1-3 初動フィード圧力および初動回転圧力確認状況

8.1.2 孔内試験開始前の孔内状況の確認(孔径検層)

孔内モニタリングシステムを構成する部材のうち、ダブルパッカから構成される合計3箇所のモニタリング区間がコントロールボーリング孔井内に設けられる計画であるため、ダブルパッカ拡張区間の孔壁状況(孔径)を把握する事を目的として、孔径検層(キャリパ検層)を行った。

孔内モニタリング対象位置は、表 8.1.2-1 に示す上部パッカ拡張位置と下部パッカ拡張付近を含めた区間となることから、各区間を含むように検層した。

以降に計測作業状況および孔径の計測結果を示す。

表 8.1.2-1 に孔内モニタリング対象位置区間を示す。

表 8.1.2-1 孔内モニタリング対象位置区間(計画)

区間名	上部パッカ位置	裸孔区間 (モニタリング区間)	下部パッカ位置
区間①	204.6m～206.9m	206.9m～213.0m	213.0m～215.0m
区間②	310.8m～313.4m	313.4m～320.0m	320.0m～323.0m
区間③	430.1m～432.0m	432.0m～442.0m	442.0m～444.5m

8.1.2.1 孔径検層(キャリパ検層)計測作業

キャリパ検層器はワイヤライン作業で降下して裸孔部を計測することから、ワイヤライン作業による降下では、検層器が裸孔壁の凹凸などへ引っ掛かることにより、所定の計測区間まで到達しない可能性がある。そのため、計測予定区間の上方近傍までNL140 ロッドを挿入しておくことで、検層器の裸孔区間における降下時間を極力抑えることにした。

なお、キャリパ検層器の計測時に孔径計測の補正を行いやすくする目的で、NL140 ロッド先端部には内径が段階的に変化するアウトパイプを試作した上で、取り付けた。

表 8.1.2-2 および図 8.1.2-1 に示したキャリパ検層器の重量は 15kg 程度と軽量であり、今回の計測区間の最深部である掘削長 450m 付近における傾斜角度が約 55° の区間までは、自重では降下しない可能性が想定されたことから、検層器の降下作業においては、着脱可能なシンカー(おもり)を取り付けて重量の調整を行った。また、検層器本体がφ45mm であるのに対して、計測対象の裸孔部分はφ152mm 程度の孔径を有していることから、検層器本体にはNL140 ロッドの最小内径φ125mm からφ210mm 程度まで伸縮可能なセントライザを取り付けた。

表 8.1.2-1 に示した計測区間の計測では、区間①、区間③、区間②の順番で実施し、区間③と区間

②の間に区間 A を、区間①と区間②の間に区間 B を追加した。

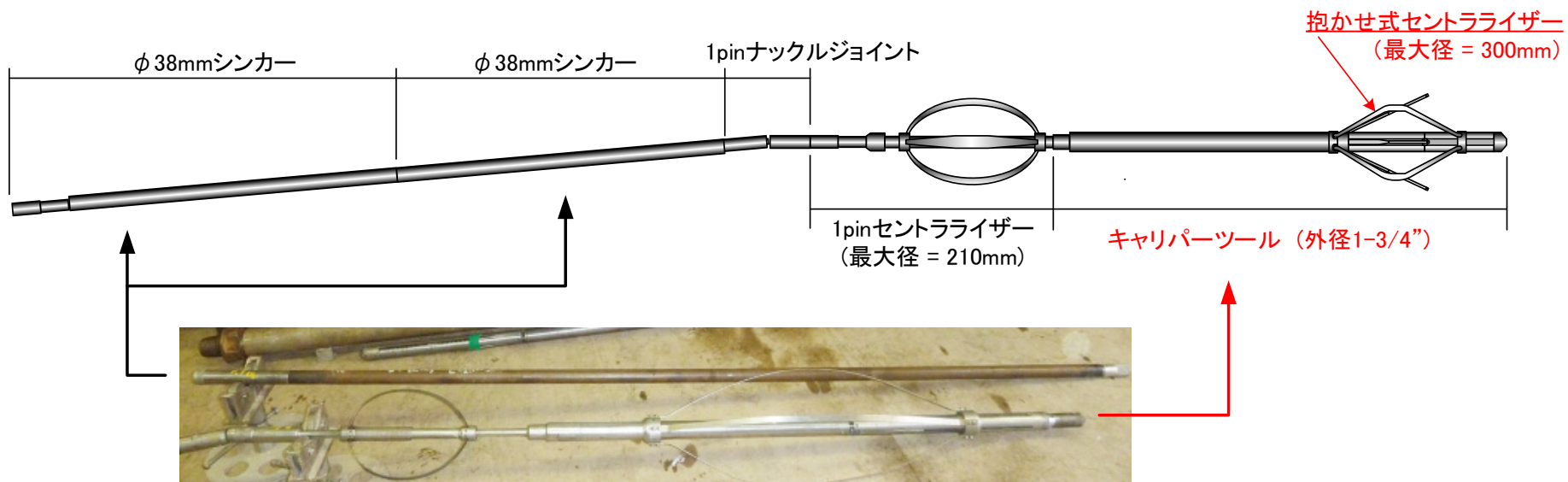
区間①はケーシング直下で傾斜角度も 35° 程度であることから自重降下しやすいため、検層器の降下状況を確認する目的で最初に実施した。区間③は計測最深部となるが、傾斜角度が 55° 程度であるため、崩壊物等が残存している場合に検層器を降下させることが困難となる。そのため、NL140 ロッドの挿入を一度計測区間の孔底側深度まで行ってから孔口側まで引き上げることで崩壊物の有無を確認することにした。区間②は、区間③から NL140 ロッドを引き上げて計測を行うことから裸孔区間に崩壊物等が残存していないことが確認できる。なお、追加区間 A および区間 B は次項 8.1.2.2 で示すように、区間①および区間③の計測終了段階で裸孔径が φ160mm 以上まで拡大していることが確認されたことから、後に控える「孔内モニタリングシステム」の現地適用性評価試験の実施可否を判断するために追加実施した。

表 8.1.2-2 にキャリパ検層の実施区間を示す。

図 8.1.2-1 に使用するキャリパ検層器概要を示す。

表 8.1.2-2 キャリパ検層の実施区間を示す。

区間	トップ側深度 (m)	ボトム側深度 (m)	計測区間長 (m)
区間①	203.80	232.76	28.96
区間②	299.80	341.62	41.82
区間③	413.80	450.08	36.28
追加区間A	353.95	391.80	37.85
追加区間B	230.80	300.00	69.20



- 1-3/4"XYC 長さ=1.30m、重量=9kg (MP-BTM=0.42m)
- 1pinセントライザー 長さ=0.68m、重量=3.5kg
- 1pinナックルジョイント 長さ=0.17m、重量=1.3kg
- $\phi 38\text{mm}$ シンカー 長さ=2.13m、重量=25.5kg
- $\phi 38\text{mm}$ シンカー 長さ=1.52m、重量=17.5kg
- 7pin/1pinクロスオーバーサブ 長さ=0.21m、重量=1.7kg
- ツール編成長 = 6.01m
- ツール総重量 = 58.5kg

図 8. 1. 2-1 使用するキャリパ検層器概要

(1) NL140 ガイド管の挿入

表 8.1.2-2 に示したキャリパ検層の各実施区間の計測作業前に、NL140 ロッドをワイヤライン作業用のガイド管として挿入した。なお、挿入位置は、計測区間の上方側(孔口側)に位置するように設置した。

ワイヤライン作業にて検層器を昇降させるため、引き上げ開始から NL140 ロッド管内に収納されるまでが計測区間となるが、測定区間の深度情報を正確に補正するため、NL140 ロッド先端には内径を変化させたキャリパ用アウトパイプを接続し、巻き上げ計測時にガイド管に収納された際に規定の内径をキャリパ検層器センサで計測することにした。

各区間の検層時のロッドセット深度は、NL140 ロッドの地上残尺が 1.20m となるようにし、NL140 ロッドは油圧ホルダおよびセーフティクランプで保持した。

表 8.1.2-3 に NL140 ガイド管の挿入長を示す。

図 8.1.2-2 に NL140 ロッドガイド管先端のキャリパ用アウトパイプの寸法図を示す。

図 8.1.2-3 に製作した NL140 ロッドガイド管先端のキャリパ用アウトパイプを示す。

図 8.1.2-4 にキャリパ計測区間毎のガイド管挿入残尺検尺状況を示す。

表 8.1.2-3 NL140 ガイド管の挿入長

区間	NL140ガイド管挿入位置 (m)
区間①	203.80
区間②	299.80
区間③	413.80
追加区間A	350.80
追加区間B	230.80

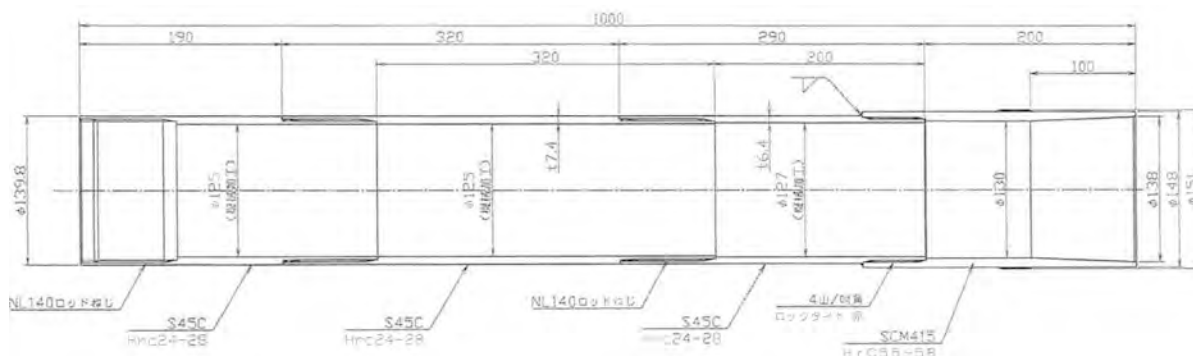


図 8.1.2-2 NL140 ロッドガイド管先端のキャリパ用アウトパイプの寸法図

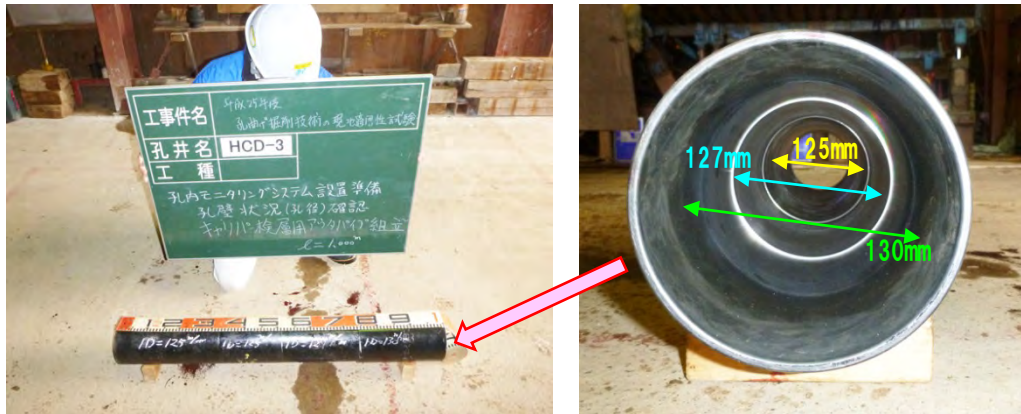


図 8.1.2-3 製作した NL140 ロッドガイド管先端のキャリパ用アウトパイプ



図 8.1.2-4 キャリパ計測区間毎のガイド管挿入残尺検尺

(2) 検層準備作業

検層準備は、NL140 ロッドガイド管の挿入および引き上げをおこなうことから、ガイド管の設置が終了してから行った。準備として、防寒施設の正面シャッター側の入り口に検層車を配置し、検層用のアーマードケーブルワイヤを施設場内に引き込んだ。引き込んだケーブルは、地上にアンカーとワイヤを介して固定した滑車を通し、天井クレーンにより吊下げたエンコーダ付滑車を通して口元のキャリパ検層器と固定する。この検層用アーマードケーブルの配線終了後、キャリパ検層器の組立を行い、地上にて事前キャリブレーションを行った後、孔井内へ降下した。

図 8.1.2-5 にキャリパ検層準備作業で配置した検層ラインレイアウトの概要を示す。

図 8.1.2-6 にキャリパ検層準備作業状況を示す。

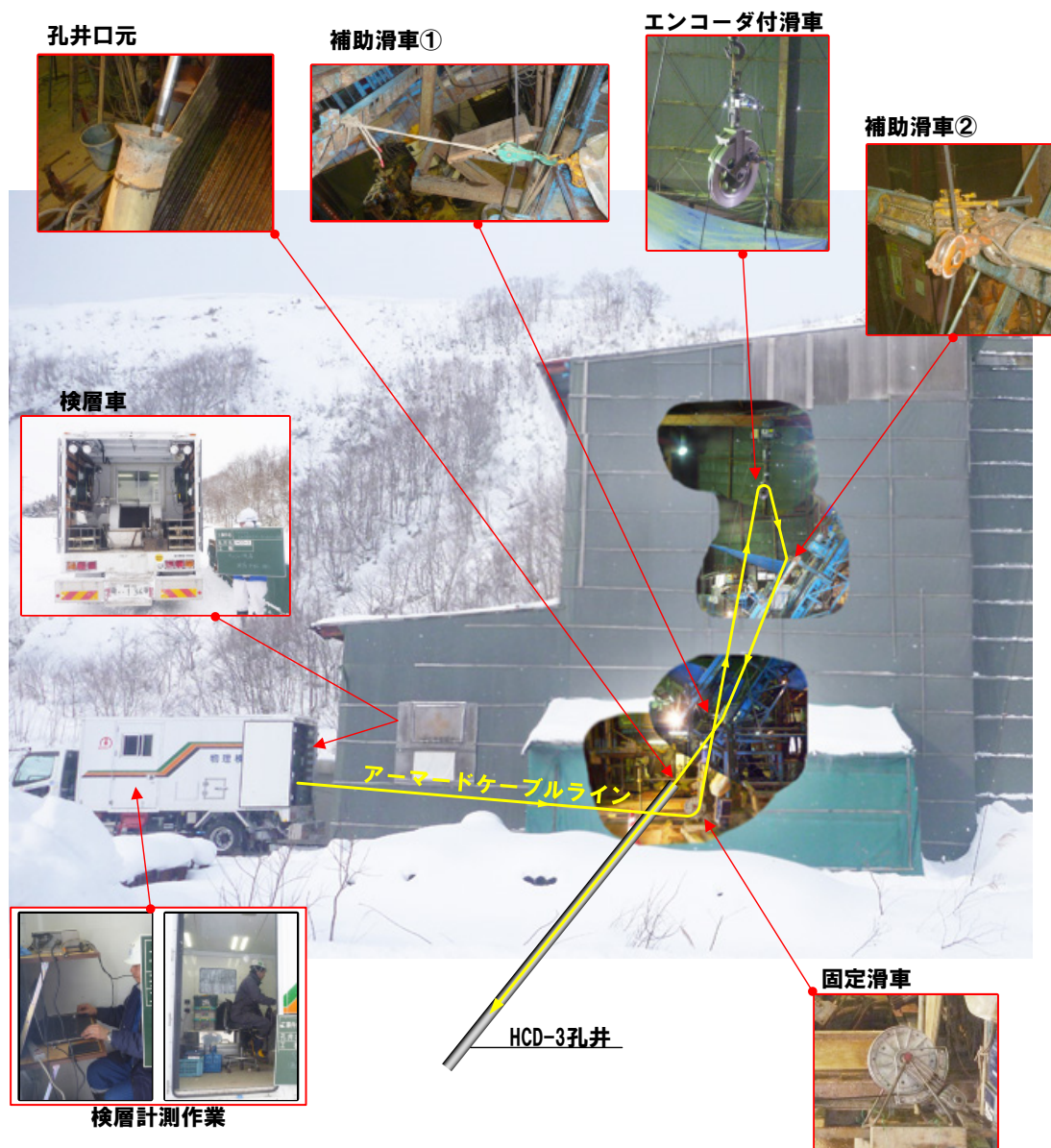


図 8.1.2-5 キャリパ検層準備作業で配置した検層ラインレイアウト概要



(検層車搬入)



(機材荷下し)



(キャリパツール組立)



(アーマードケーブル準備)



(滑車取り付け)



(キャリパ動作確認)



(降下準備完了)



(口元降管入り口養生)

図 8.1.2-6 キャリパ検層準備作業状況

(3) 検層作業

検層準備の終了後、キャリパ検層器のマーキング位置でゼロ深度補正を行い降下開始した。キャリパ検層の計測は、測定区間下部まで検層器を降下させた後の巻き上げ時に行なう。巻き上げは、裸孔区間において2～3m/minの速度で計測した。

以下に各区間の測定状況概要を示す。

図 8.1.2-7 にキャリパ検層計測作業状況を示す。

a. 区間①の測定概要

区間①では、NL140 ロッドガイド管を掘削長 203.8m にセットし、掘削長 203.80m～232.76m の 28.96m 間を計測した。キャリパ検層器の降下および巻き上げ計測中に特にテンションが生じるような状況は確認されなかった。

b. 区間②の測定概要

区間②では、NL140 ロッドガイド管を掘削長 299.8m にセットし、掘削長 299.80m～341.62m の 41.82m 間を計測した。キャリパ検層器の降下および巻き上げ計測中に特にテンションが生じるような状況は確認されなかった。

c. 区間③の測定概要

区間③では、NL140 ロッドガイド管を掘削長 413.8m にセットし、掘削長 413.80m～450.08m の 36.28m 間を計測した。キャリパ検層器がガイド管から突出して裸孔区間を降下させる際に数度装置が停止する状況となったが、数回の上下動を繰り返すことで、掘削長 450.08m 地点まで降下させることができた。巻き上げ計測時にはガイド管内に収納されるまで特にテンションが生じるような状況は生じなかった。

d. 区間Aの測定概要

追加計測した区間 A では、NL140 ロッドガイド管を掘削長 350.8m にセットし、掘削長 353.95m～391.80m の 37.85m 間を計測した。キャリパ検層器がガイド管から突出して裸孔区間を降下させる際に掘削長 390m 付近での抵抗が大きく数度装置が停止し、掘削長 391.80m で降下を停止した。また、巻き上げ計測直後はケーブルに 200～300kgf 程度のテンションが生じるような状況であった。掘削長 382.88m 以降はテンションが低減し大きな負荷なく計測を行えたが、NL140 ロッドガイド管付近の掘削長 353.95m 地点で 400kgf を超える抵抗が生じたため、計測作業を中止し、ケーブルを上下動させながらガイド管内までキャリパ検層器を回収した。

e. 区間Bの測定概要

追加計測した区間 B では、NL140 ロッドガイド管を掘削長 230.8m にセットし、掘削長 230.80m～300.00m の 69.20m 間を計測した。キャリパ検層器の降下および巻き上げ計測中に特にテンションが生じるような状況は確認されなかった。



(区間①計測作業：モニタ画面)



(区間②計測作業：ワイヤライン状況)



(区間③計測作業：キャリパツール回収)



(追加区間 A 計測作業：ウインチ操作)



(追加区間 B 計測作業：キャリパツール降下開始)

図 8.1.2-7 キャリパ検層計測作業状況

8.1.2.2 キャリパ検層計測結果

キャリパ検層の各区間の計測結果を以下に示す。

(1) 区間①の計測結果

区間①(掘削長 203.80m~232.76m 間)の検層結果から、キャリパ-Xは 156.12mm~202.20mm、キャリパ-Yは 157.63mm~193.17mm の範囲であり、掘削孔径 ϕ 152mm に対して 1.03~1.33 倍まで孔径拡大していた。また、キャリパ XY から断面積を算出し、区間の等価孔径を逆算(図 8.1.2-8 右)した場合には、掘削長 203.84m 地点が ϕ 156.87mm と最小となり、掘削長 232.06m 地点で ϕ 192.83mm と最大となった。キャリパ-X、キャリパ-Y および等価孔径の計測区間全体の平均値はそれぞれ、キャリパ-X が 164.13mm、キャリパ-Y が 164.58mm、等価孔径が 164.32mm となった。

図に示す検層結果では、掘削長 216m 付近からキャリパ-X の値が増加し、キャリパ-Y の値が減少している。検層作業は孔底から浅深側へ引き上げながら計測を行うが、この区間では検層器自体が引き上げに伴い徐々に回転しながら計測を行っていたと考えられる。

図 8.1.2-8 に区間①のキャリパ検層結果を示す。

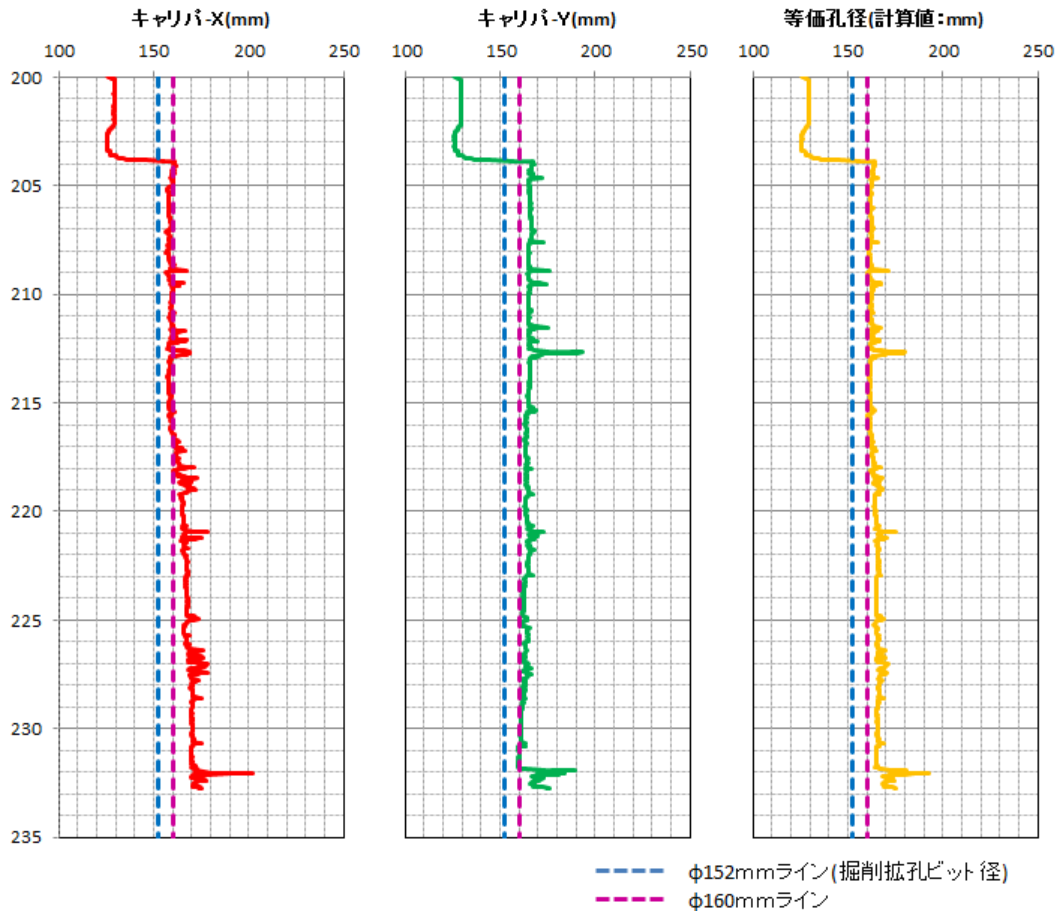


図 8.1.2-8 キャリパ検層結果(区間①)

(2) 区間②の計測結果

区間②(299.80m～341.62m間)の検層結果から、キャリパ-Xは148.28mm～227.16mm、キャリパ-Yは156.84mm～252.76mmの範囲であり、掘削孔径φ152mmに対して最大1.66倍まで孔径が拡大していた。また、キャリパXYから各区間の等価孔径を算出(図8.1.2-9右)した場合には、掘削長337.18m地点がφ160.98mmと最小となり、掘削長336.96m地点でφ226.49mmと最大となった。キャリパ-X、キャリパ-Yおよび等価孔径の計測区間全体の平均値はそれぞれ、キャリパ-Xが171.19mm、キャリパ-Yが179.89mm、等価孔径が175.31mmとなった。

図に示す検層結果では、掘削長318m、337m付近で計測中の検層器に回転が生じていると考えられる。

図8.1.2-9に区間②のキャリパ検層結果を示す。

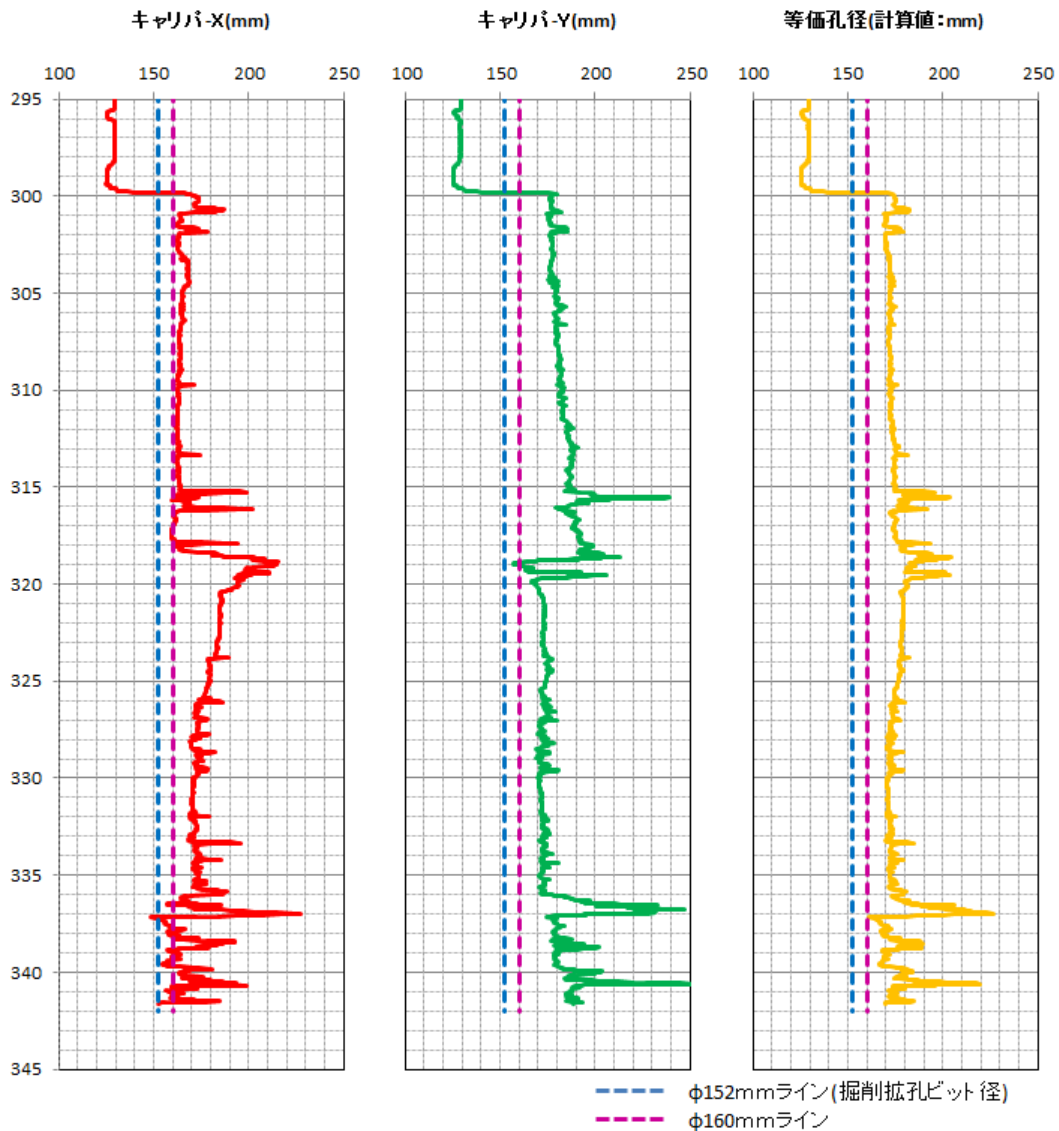


図8.1.2-9 キャリパ検層結果(区間②)

(3) 区間③の計測結果

区間③(413.80m～450.08m間)の検層結果から、キャリパ-Xは149.84mm～206.56mm、キャリパ-Yは164.78mm～229.47mmの範囲であり、掘削孔径 ϕ 152mmに対して最大1.51倍まで孔径が拡大していた。また、キャリパXYから各区間の等価孔径を算出(図8.1.2-10右)した場合には、掘削長413.84m地点が ϕ 157.76mmと最小となり、掘削長429.24m地点で ϕ 207.26mmと最大となった。キャリパ-X、キャリパ-Yおよび等価孔径の計測区間全体の平均値はそれぞれ、キャリパ-Xが163.76mm、キャリパ-Yが187.34mm、等価孔径が175.03mmとなった。

図に示す検層結果では、掘削長434m～450m付近における計測中に検層器が回転していたと考えられる。

図8.1.2-10に区間③のキャリパ検層結果を示す。

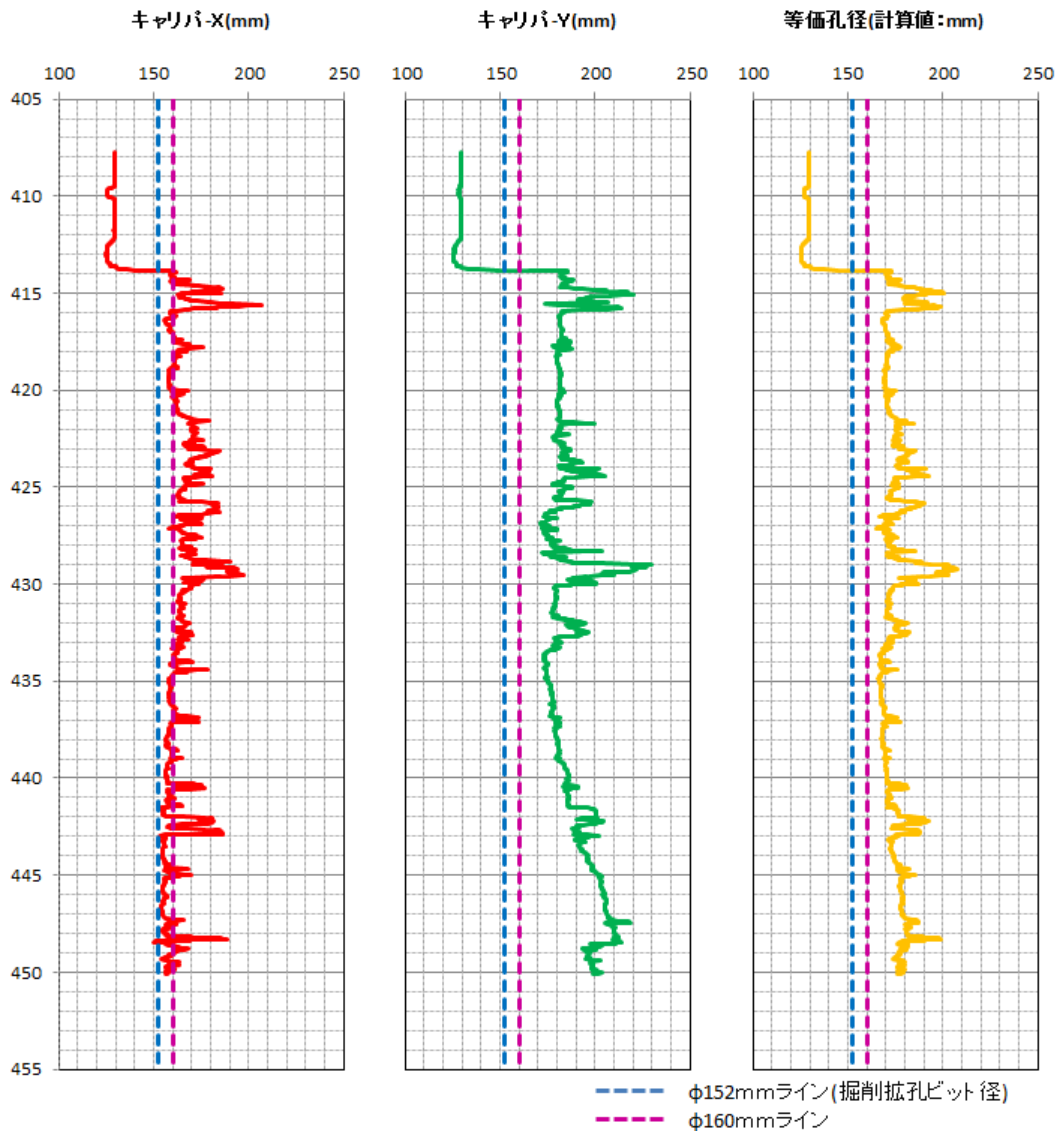


図8.1.2-10 キャリパ検層結果(区間③)

(4) 追加区間Aの計測結果

追加区間 A(掘削長 353.95m～391.80m 間) 検層結果から、キャリパ-X は 164.09mm～256.54mm、キャリパ-Y は 144.04mm～257.88mm の範囲であり、掘削孔径 ϕ 152mm に対して最大 1.70 倍まで孔径が拡大していた。また、キャリパ XY から各区間の等価孔径を算出(図 8.1.2-11 右)した場合には、掘削長 364.20m 地点が ϕ 166.42mm と最小となり、掘削長 385.38m 地点で ϕ 256.29mm と最大となった。キャリパ-X、キャリパ-Y および等価孔径の計測区間全体の平均値はそれぞれ、キャリパ-X が 204.86mm、キャリパ-Y が 173.59mm、等価孔径が 188.31mm となった。

図に示す検層結果では、キャリパ-Y に対してキャリパ-X の値が 1.2 倍程度大きく計測されていることから、掘削孔径が楕円形の形状をしていることが考えられる。

図 8.1.2-11 に追加区間 A のキャリパ検層結果を示す。

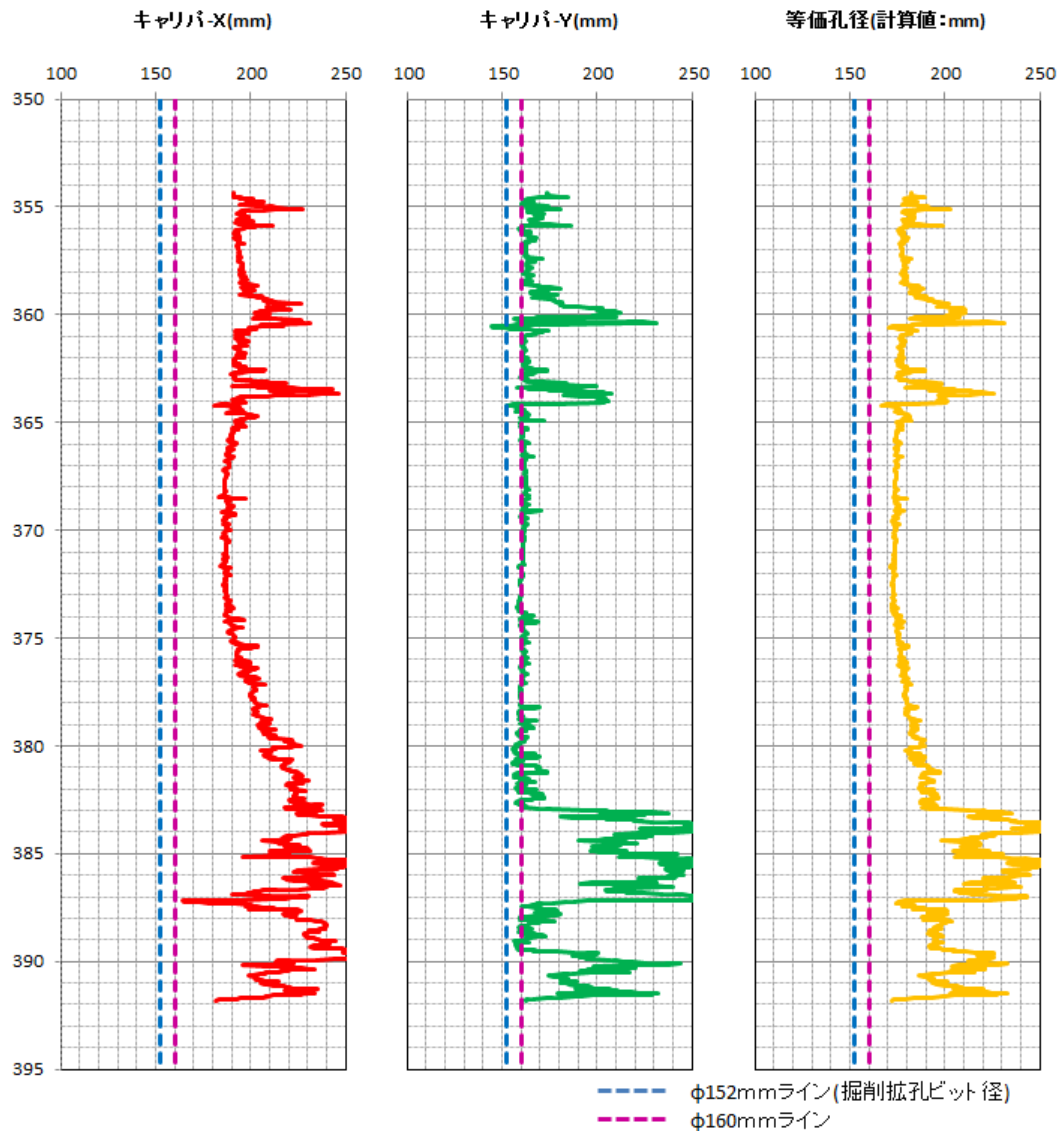


図 8.1.2-11 キャリパ検層結果(追加区間 A)

(5) 追加区間Bの計測結果

追加区間B(掘削長 230.80m~300.00m 間)検層結果から、キャリパ-Xは 159.63mm~291.20mm、キャリパ-Yは 155.70mm~309.18mm の範囲であり、掘削孔径 ϕ 152mm に対して最大 2.03 倍まで孔径が拡大していた。また、キャリパ XY から各区間の等価孔径を算出(図 8.1.2-12 右)した場合には、掘削長 230.84m 地点が ϕ 157.95mm と最小となり、掘削長 299.53m 地点で ϕ 270.14mm と最大となった。キャリパ-X、キャリパ-Y および等価孔径の計測区間全体の平均値はそれぞれ、キャリパ-Xが 168.75mm、キャリパ-Yが 180.18mm、等価孔径が 174.29mm となった。

図に示す検層結果では、掘削長 254m 以深でキャリパ-Yの孔径が大きくなった。

図 8.1.2-12 に追加区間 B のキャリパ検層結果を示す。

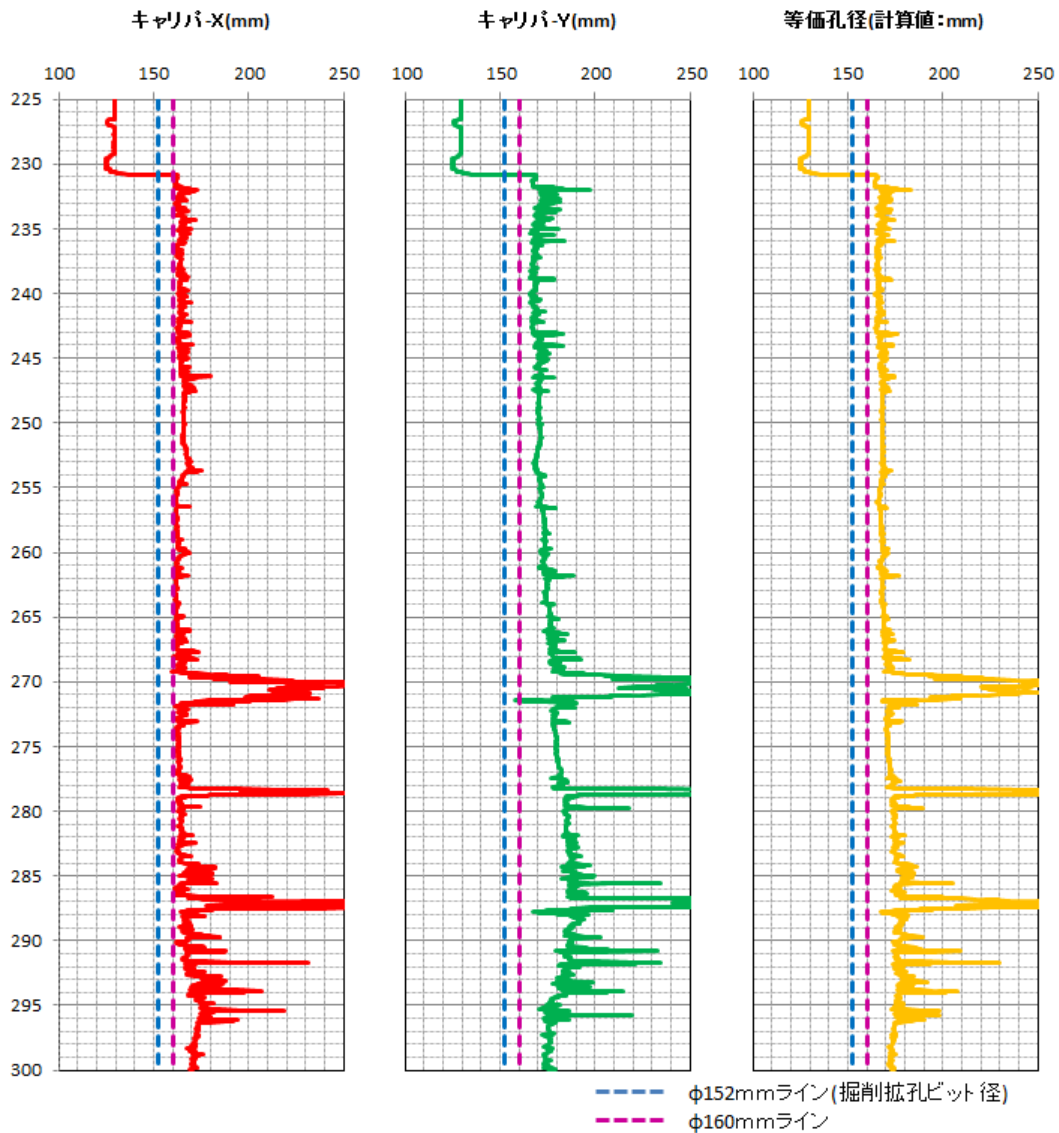


図 8.1.2-12 キャリパ検層結果(追加区間 B)

8.2 サイドトラック掘削

本年度の現地適用性評価試験では、サイドトラック掘削技術の適用性評価として、既存の掘削装置や地上設備を使用して、昨年度までに掘削済みの既存孔井の一部区間を埋め戻した後に、実際に分岐した新規孔井を掘削した。また、サイドトラック掘削作業を行う際には、マッドログ装置や試錐機等から取得される各種パラメータの取得作業を行った。

8.2.1 孔内閉塞用パッカプラグの設置

孔内閉塞用パッカプラグの設置作業では、同パッカの損傷防止のためのガイド管を設置した後に同パッカの降管・設置を行った。また、降管に使用した小口径ロッドはセメンチング作業での充填材の注入管として使用し、セメンチング終了後に回収した。

以下に孔内閉塞用パッカプラグ設置作業について示す。

8.2.1.1 孔内閉塞用パッカプラグ設置のための保護管(NL140 ロッド)降管

孔内閉塞用パッカプラグは掘削長 750m 地点に設置するため、孔井内の降下中は掘削長 200m 以降の孔壁と接触した状態となってしまう。そこで、同パッカ降下時に孔壁と接触して損傷することを避けるため、掘削長 600.80m 地点まで NL140 を保護管として挿入することにした。NL140 ロッドの最先端には NL140 ロッドのブランクシュー(長さ 0.30m)を取り付け、先端周縁部にはコンポジットを溶着し、降下時における崩壊物等の浚渫を行えるようにした。

また、孔内閉塞用パッカプラグ設置時に使用する小口径ロッド(BQ ロッド)の保持の際に、既設の口元ホルダを用いるため、保護管である NL140 ロッドを口元で保持しておく構造が別途必要となったことから、口元立ち上がり管を改良した。改良した口元立ち上がり管は既設の 8"管から 16"管へサイズを変更しており、ガイド管に装着する保持具セーフティーブロックを収納して固定する。さらに、ガイド管頭部には NL140 ロッド外テーパ管・スタビライザ管を接続して落下防止を施した。

図 8.2.1-1 に使用したガイド管の落下防止治具を示す。

図 8.2.1-2 に口元立ち上がり管の改良の模式図を示す。

図 8.2.1-3 に口元立ち上がり管交換状況を示す。

図 8.2.1-4 に NL140 ロッドガイド管の降管作業状況を示す。

図 8.2.1-5 に NL140 ロッドガイド管の設置状況を示す。



図 8.2.1-1 使用した保護管(NL140 ロッド)の落下防止治具

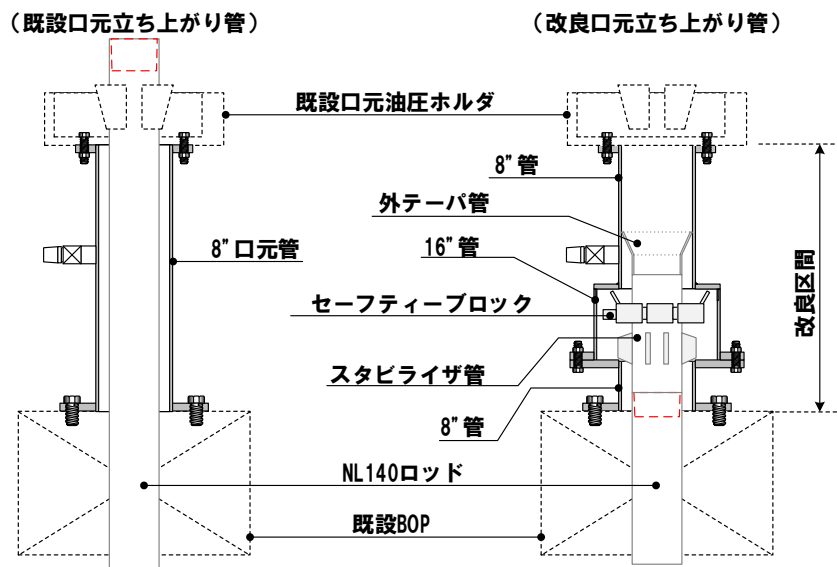


図 8.2.1-2 口元立ち上がり管改良の模式図



(左：既存口元立ち上がり管、右：改良口元立ち上がり管)

図 8.2.1-3 口元立ち上がり管交換状況



図 8.2.1-4 保護管(NL140 ロッド)の降管作業状況



図 8.2.1-5 保護管(NL140 ロッド)の設置状況

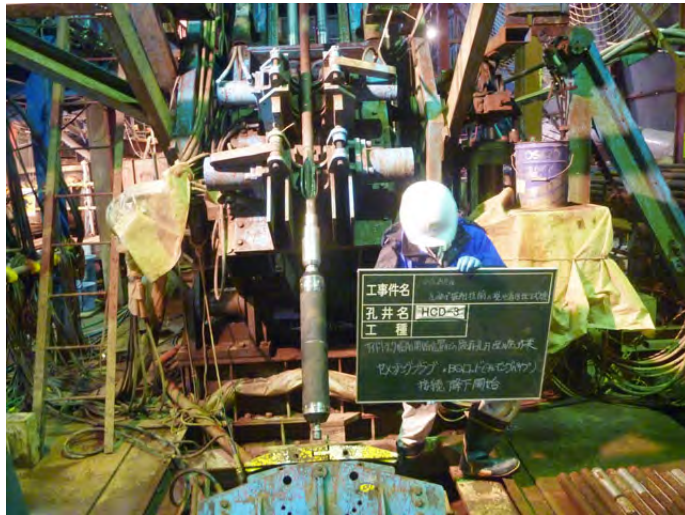
8.2.1.2 孔内閉塞用パッカプラグとセメンチング用ロッド降管

保護管であるNL140 ロッドの設置完了後、孔内閉塞用パッカプラグをセメンチング用の小口径ロッド(BQ ロッド)に接続して降管を開始した。降管に際しては試錐機の油圧により抵抗が生じないことに留意して行った。なお、BQ ロッドと同パッカの接続部には、降下中における切り離し治具への負荷防止のためセントライザ管を取り付けた。

降管作業ではBQ ロッドを250本接続し、接続10本毎にBQ ロッド管内へ清水を補水し浮力を抑えるように対処した。降管作業は、孔内閉塞用パッカプラグの先端位置が掘削長750.60m地点であることを残尺検尺により確認して終了した。

図 8.2.1-6 に孔内閉塞用パッカプラグの降管作業状況を示す。

図 8.2.1-7 に孔内閉塞用パッカプラグ設置位置の残尺検尺状況を示す。

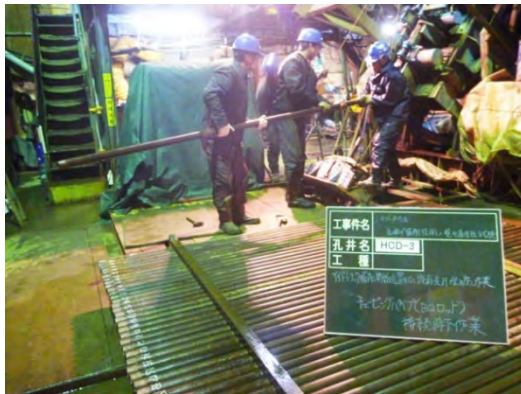


セントライザ管

切り離し治具

パッカープラグ

(パッカープラグ降管開始)



(左：ロッド接続降管作業、右：管内への補水状況)

図 8.2.1-6 孔内閉塞用パッカープラグの降管作業状況



工事件名	身取山地区 孔内掘削技術、受動掘削性試験
孔井名	HCD-3
工種	
パイプ掘削開始位置までの既存孔内埋戻し作業	
パッカープラグ 設置残尺検尺	
	1.05m 0.50m 3.00x250=750.00
全長	751.55m
残尺	△ 0.81m
設置位置	750.60m

図 8.2.1-7 孔内閉塞用パッカープラグ設置位置の残尺検尺状況

8.2.1.3 孔内閉塞用パッカプラグの設置と切り離し

降管した小口径ロッド(BQ ロッド)頭部に孔内閉塞用パッカプラグ加圧用の配管を取り付け、同パッカの拡張作業を開始した。注水加圧は、地上試験で用いた手動式テストポンプで実施したが、注入量が少ないため加圧状況を保持することが困難であったことから、試錐ポンプを用いて行うことにした。試錐ポンプによって 3.0MPa まで加圧した段階で注水を停止し、BQ ロッドの降下により孔内閉塞用パッカプラグが孔壁に密着固定されていることを確認した。BQ ロッドの降下により荷重量が 200kgf 程度減少していくことが確認できたことから、同パッカの固定が完了していると判断し、テンションピンの切り離し作業へ移行した。

切り離し作業では、試錐機のフィードを用いて BQ ロッドを引き上げ、荷重量の計測から約 550kgf の引っ張り力でテンションピンが切断されたことを確認した。テンションピン切断後の状況確認として、BQ ロッド先端の開放によって管内水位が低下することを確認した。また、切り離した BQ ロッドの先端部を孔内閉塞用パッカプラグ上へ押し下げ、同パッカの頭部位置の確認を行うとともに、保持力が十分であることを再確認し切り離し作業を終了した。

BQ ロッドは引き続き行うセメンチング作業に備え、掘削長 710m 地点まで引き上げた。

図 8.2.1-8 に孔内閉塞用パッカプラグ加圧用配管の取り付け状況を示す。

図 8.2.1-9 にテンションピン切断後の同プラグ位置確認作業状況を示す。

図 8.2.1-10 に孔内閉塞用パッカプラグ設置位置状況模式図を示す。



(手動テストポンプ使用時配管)



(試錐ポンプ使用時配管)

図 8.1.2-8 孔内閉塞用パッカプラグ加圧用配管の取り付け状況



図 8.2.1-9 テンションピン切断後の同プラグ位置確認作業状況

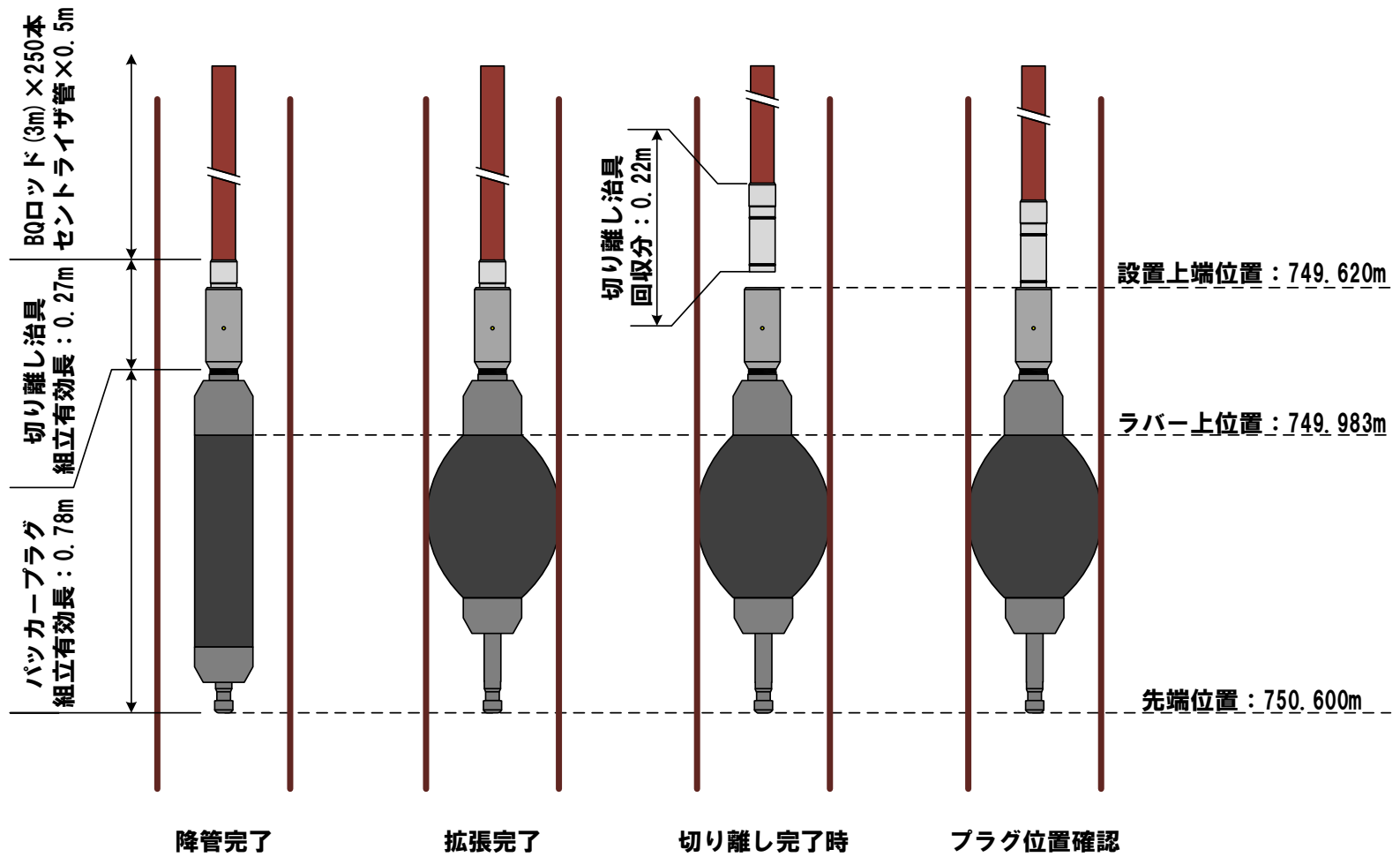


図 8. 2. 1-10 孔内閉塞用パッカープラグ設置位置状況模式図

8.2.2 セメントミルク充填材の注入

8.2.2.1 セメント充填作業

(1) セメントミルク充填材の搬入

セメントミルク充填材を用いたセメンチング作業に先立ち、プレミックス材の搬入を実施した。プレミックス材はセメンチング区間容量分の 120 袋に加え、追加打設分を想定し、合計 150 袋を搬入した。

図 8.2.2-1 にプレミックス材の搬入状況を示す。



図 8.2.2-1 プレミックス材の搬入状況

(2) 先行水の送水

セメンチング対象区間の掘削用泥水を清水に置換するため、先行水を試錐ポンプにより送水した。なお、先行水送水に先立ち、孔内水位を低下させるため、小口径ロッド(BQ ロッド)と保護管(NL140 ロッド)のクリアランス部に揚水ポンプ(MP-1)を取り付け、掘削長 30m 地点まで降下させた。セメントミルク充填材の注入管である BQ ロッド外側の水頭を下げることにより、注入時に生じる圧力を若干量でも低下させることを目的に実施した。

図 8.2.2-2 に揚水ポンプ(MP-1)の取り付け降下作業を示す。

図 8.2.2-3 に先行水の送水実施状況を示す。



図 8.2.2-2 揚水ポンプ (MP-1) の取り付け降下作業



図 8.2.2-3 先行水の送水実施状況

(3) セメントミルク充填材の練上げ作業

先行水の送水終了後、セメントミルク充填材の練上げを実施した。セメントミルク充填材は 70L のポリバケツに計量した水を投入し、その後 3 袋分のプレミックス材を攪拌しながら投入し、全量投入後 3 分間連続で攪拌して作成した。作成したセメントミルク充填材は、モルタルポンプのサクションホースへ直結したホッパに投入した。1 回目の練上げ量約 183.6L 分をホッパに投入した段階でモルタルポンプによる圧入を開始した。また、圧入中も順次充填材の練上げを行った。

図 8.2.2-4 に練上げ作業状況を示す。





図 8.2.2-4 練上げ作業状況

(4) モルタルポンプでの注入作業

練上げ開始 6 分経過後、モルタルポンプによるセメントミルク充填材の注入を開始した。なお、開始直後の注入速度を計測したところ、15.0L/min で安定し、練上げ速度 18.3L/min 以下であったことから、モルタルポンプでの注入を継続して実施した。その後、注入速度は 57 分後に 14.4L/min、78 分後に 13.8L/min、93 分後に 13.2L/min まで低下した。これらの速度から、練上げ開始 93 分後に注入管先端からセメントミルク充填材が吐出したと算出された。注入速度はその後も低下し、108 分後に 12.0L/min、120 分後に 10.5 L/min、135 分後に 9.0 L/min まで低下し、150 分後に全量を注入管内へ圧送した。

注入管内への圧送終了後、後押しプラグを投入し、198 分後に試錐ポンプを用いた後押し水の送水を開始した。しかし、送水直後にポンプ圧力が上昇し送水ができない状況となってしまったことから、セメントミルク充填材の硬化による小口径ロッドの抑留危機を回避するため、BQ ロッドを掘削長 650m 地点まで揚管し 275 分後に後押し送水を開始した。後押し送水では時間経過とともに送水圧力が上昇する状況となったため、送水量を徐々に低下させながら 10~20ksc の送水圧力を維持した。最終的には 2.0 L/min まで送水量が低下した。

練上げ開始から 396 分後、後押し水量 614L 分を送水した段階で送水圧力が 60ksc まで増加したため、BQ ロッド管内に約 580L のセメントミルク充填材が残留した段階で後押し送水を中止し、BQ ロッドを掘削長 600m 地点まで引き上げてセメンチング作業を終了した。

表 8.2.2-1 にセメントミルク充填材を用いたセメンチング作業実施記録を示す。

図 8.2.2-5 にセメントミルク充填材の注入進捗図を示す。

図 8.2.2-6 にセメントミルク充填材のモルタルポンプでの注入作業状況を示す。

表 8.2.2-1 セメントミルク充填材を用いたセメンチング作業実施記録

時刻 (時:分)	作業	経過時間 (分)	充填材 作成量 (ℓ)	注水速度 (ℓ/min)	充填材 注入量 (ℓ)	先端部 突出量 (ℓ)	後押し 水量 (ℓ)
15:20	練上げ開始	0	0	0	0	0	0
15:29	ホッパ内投入	9	183.6	0	0	0	0
15:32	注入開始	12	229.5	15	45	0	0
16:14	(注入中)	54	872.1	15	675	0	0
16:17		57	918	14.4	718.2	0	0
16:35		75	1147.5	14.4	977.4	0	0
16:38		78	1193.4	13.8	1018.8	0	0
16:50		90	1377	13.8	1184.4	0	0
16:53		93	1377	13.2	1224	24	0
17:05		105	1560.6	13.2	1382.4	182.4	0
17:08		108	1606.5	12	1418.4	218.4	0
17:17		117	1698.3	12	1526.4	326.4	0
17:20		120	1744.2	10.5	1557.9	357.9	0
17:32		132	1836	10.5	1683.9	483.9	0
17:35		135	1836	9	1710.9	510.9	0
17:50	注入終了	150	1836	9	1836	636	0
18:38	後押し不可	198	1836	0	1836	636	0
19:55	BQ揚管(650m)	275	1836	0	1836	736	0
20:00	後押し開始	280	1836	0	1836	786	50
21:56	後押し終了	396	1836	0	1836	1250	614

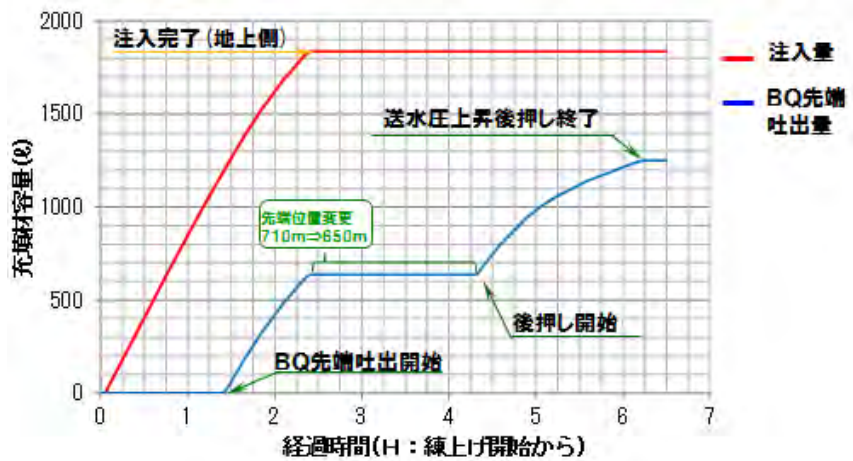
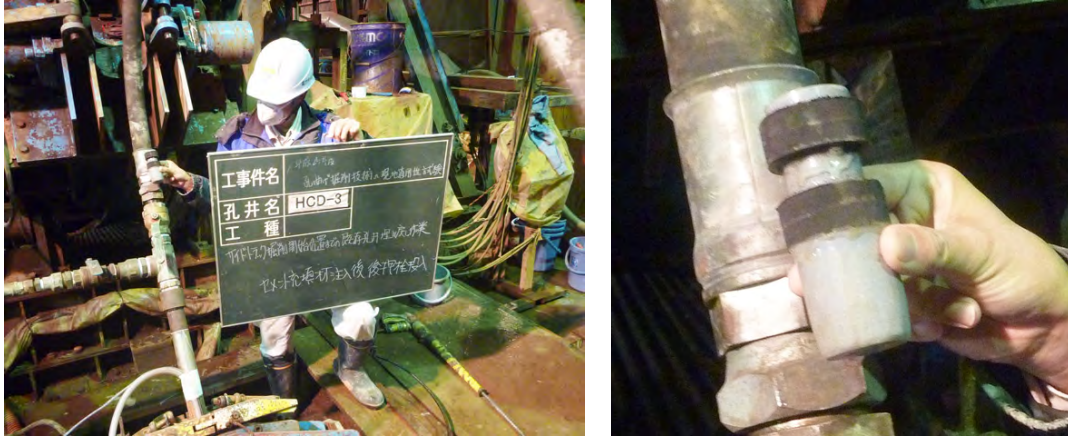


図 8.2.2-5 セメントミルク充填材の注入進捗図



(グラウトポンプによる圧送状況)



(後押しプラグの投入)

図 8.2.2-6 セメントミルク充填材のモルタルポンプでの注入作業状況

8.2.2.2 硬化セメント頂部位置の確認

セメントミルク充填材の注入が終了し、硬化したセメント頂部位置を確認するため、セメント注入翌日に小口径ロッド(BQ ロッド)を降管した。降管作業時においてはBQ ロッドのロッド重量が軽くなった時点で、BQ ロッドの先端部分が硬化したセメント頂部に接触したと判断して、口元のBQ ロッド残尺で深度確認を行った。残尺確認により、セメント頂部の位置は掘削長 645.29mであることを確認した。

また、セメンチング用のBQ ロッドを全揚管したあと、保護管であるNL140 ロッドも降管して、硬化セメント頂部の位置の再確認を実施した。その結果、NL140 ロッドで確認したセメント頂部位置は掘削長 644.68mとなった。

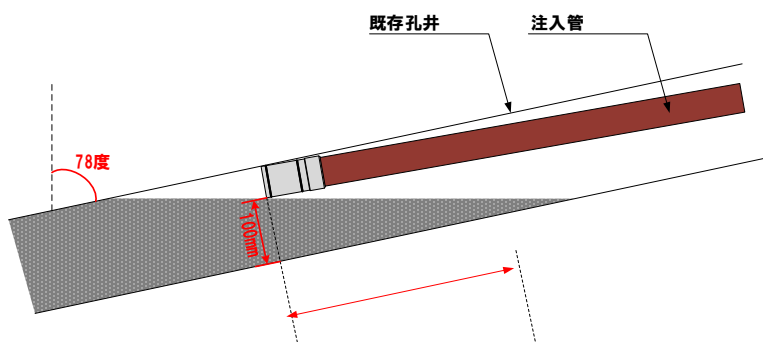
BQ ロッドとNL140 ロッドによるセメント頂部位置の相違は、パイプ外径の違いから生じたものと考えられる。図 8.2.2-7 に示すように、掘削長 645m 付近の孔井傾斜は約 78° であるため、小径のBQ ロッドでは図中上側の位置で確認を行い、NL140 ロッドでは図中下側の位置を確認していたと考えられる。このときに生じる深度位置の誤差は 0.47m 程度と算出され、その他、ロッドクリアランスの違いなどでBQ ロッド注入管のほうはクリアランスが大きいことから、より深い位置で計測される可能性が高い。これらから、実際の計測値の差 0.61m は妥当な値であると考えた。

この結果、当初目標とした掘削長 650m 地点より、安全側である浅い位置まで硬化セメントが立ち上がっていることが確認できたことから、セメントミルク充填材によるセメンチング作業を終了し、頭部端面の成形作業を行うことにした。

図 8.2.2-7 に硬化セメント頂部位置確認時の断面模式図を示す。

図 8.2.2-8 に頂部深度位置確認時の検尺状況を示す。

◇BQロッド注入管で硬化セメント頭部を確認した推定状況



◇NL140で硬化セメント頭部を確認した推定状況

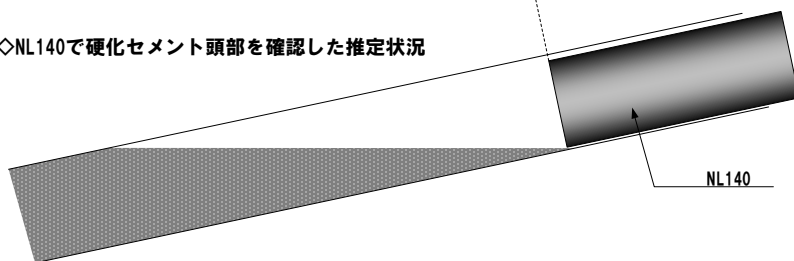


図 8.2.2-7 硬化セメント頂部位置確認時の断面模式図



工事件名	平成24年度 孔曲げ振削技術の現地適用性試験
孔井名	HCD-3
工種	
下ドレーク振削開始位置までの既存孔埋戻し作業 穴ノ頭確認 (BQ) BQロッド 3.00×216 = 648.00 セメント 0.50 切替後 0.22 全長 648.22m 穴ノ頭部深さ 648.22m	

(BQ ロッド注入管による硬化セメント頂部位置検尺)



工事件名	平成24年度 孔曲げ振削技術の現地適用性試験								
孔井名	HCD-3								
工種									
下ドレーク振削開始位置までの既存孔埋戻し作業 NL140シールド セメント頭部位置確認 (BQロッド切替後) <table style="float: right; margin-left: 20px;"> <tr> <td>NL140シールド</td> <td>0.20×140 = 28.00</td> </tr> <tr> <td>NL140ロッド</td> <td>2.00×216 = 432.00</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td>460.00</td> </tr> <tr> <td>穴ノ頭部深さ</td> <td>460.00</td> </tr> </table>		NL140シールド	0.20×140 = 28.00	NL140ロッド	2.00×216 = 432.00	全長	460.00	穴ノ頭部深さ	460.00
NL140シールド	0.20×140 = 28.00								
NL140ロッド	2.00×216 = 432.00								
全長	460.00								
穴ノ頭部深さ	460.00								

(NL140 ロッドガイド管による硬化セメント頂部位置検尺)

図 8. 2. 2-8 頂部深度位置確認時の検尺状況

8. 2. 2. 3 BQロッドとNL140 ロッドの全揚管

硬化セメント頂部の位置確認により、目標位置まで硬化したセメント頂部の立ち上がりが見られていたことから、セメントミルク充填材の注入に使用した小口径ロッド(BQ ロッド)と同ロッドを使用して孔内閉塞用パッカプラグを降管する際の保護管である NL140 ロッドの全揚管作業を行った。

BQ ロッドは、セメントミルク充填材の注入作業時に残留した充填材が管内に残留していることから、揚管作業において管内状況を確認しながら作業を行った。その結果、BQ ロッドの揚管数量 216 本のうち、117 本分の管内に硬化した充填材の残留を確認した。BQ ロッド 117 本分の管内容量は 582L に相当し、後押しできなかったセメントミルク充填材の容量とほぼ一致していることを確認した。

図 8. 2. 2-9 に小口径ロッド(BQ ロッド)の揚管作業状況を示す。

図 8.2.2-10 に BQ ロッド管内に残留していたセメントミルク充填材の状況を示す。

図 8.2.2-11 に保護管(NL140 ロッド)の揚管作業状況を示す。



図 8.2.2-9 小口径ロッド(BQ ロッド)の揚管作業状況



図 8.2.2-10 BQ ロッド管内に残留していたセメントミルク充填材の状況



図 8.2.2-11 保護管(NL140 ロッド)の揚管作業状況

8.2.2.4 端面成形作業

セメントミルク充填材によるセメンチング作業が終了し、サイドトラック掘削を実施するために、硬化セメント頂部の成形作業として、 $\phi 152\text{mm}$ コンポジットシュービットを孔井内に降下して、リーミング作業を実施した。

リーミングによる成形を実施する区間は、硬化セメント頂部位置である掘削長 644.68m からサイドトラック開始予定位置の掘削長 650.00m までの長さ 5.32m 区間と設定し作業を開始した。

しかし、掘削長 648m 地点までリーミングを実施した時点で、試錐機のスピンドル回転を行う油圧機器である”ダウマックスモータ”の損傷が生じたことから、成形作業を中止してサイドトラック掘削を実施することに切り替えた。

以下に端面成形作業の経過状況を示す。

- ・ 11月18日： $\phi 152\text{mm}$ コンポジットシュービット降下開始
- ・ 11月19日：掘削長 397m～641m 間を随時洗浄、降管
- ・ 11月20日：掘削長 640m～648m リーミング掘削端面成形作業
- ・ 11月21日：回転モータ(ダウマックスモータ)故障、リーミング掘削中止
- ・ 11月22日： $\phi 152\text{mm}$ コンポジットシュービット引上開始
- ・ 11月23日： $\phi 152\text{mm}$ コンポジットシュービット回収

(1) $\phi 152\text{mm}$ コンポジットシュービット降下開始

セメント頭部端面を孔井断面と直行する形状に成形を行うため、掘削孔径 $\phi 152\text{m}$ と同じ外径のコンポジットシュービットを準備し降下した。コンポジットシュービットはNL140 ロッド先端に接続して降管を行った。

図 8.2.2-12 に製作した $\phi 152\text{mm}$ 端面成形用コンポジットシュービットを示す。

図 8.2.2-13 に $\phi 152\text{mm}$ コンポジットシュービット降下開始状況を示す。



図 8.2.2-12 製作したφ152mm 端面成形用コンポジットシュービット



図 8.2.2-13 φ152mm コンポジットシュービット降下開始状況

(2) φ152mmコンポジットシュービット洗浄降管

コンポジットシュービットの降管作業時に、掘削長 400m 付近にてフィード抵抗が若干大きくなったことから、掘削長 397.0m～410.5m 間において孔内洗浄を行った。その後、掘削長 637.5m 付近よりセメントミルク充填材によるセメンチング後の孔内状況の確認のため、洗浄しながら掘削長 641m 地点まで洗浄降管を実施した。その結果、掘削長 637.5m～641m 間に大きな抵抗や残留物等は確認されなかった。

また、洗浄終了後にコンポジットシュービットを孔底まで降下させ、硬化セメント頭部位置の再確認を行い、8.2.2.2 で確認した位置と同じ掘削長 644.68m との結果を得た。

図 8.2.2-14 に端面成形直前の洗浄降管時マッドログパラメータを示す。

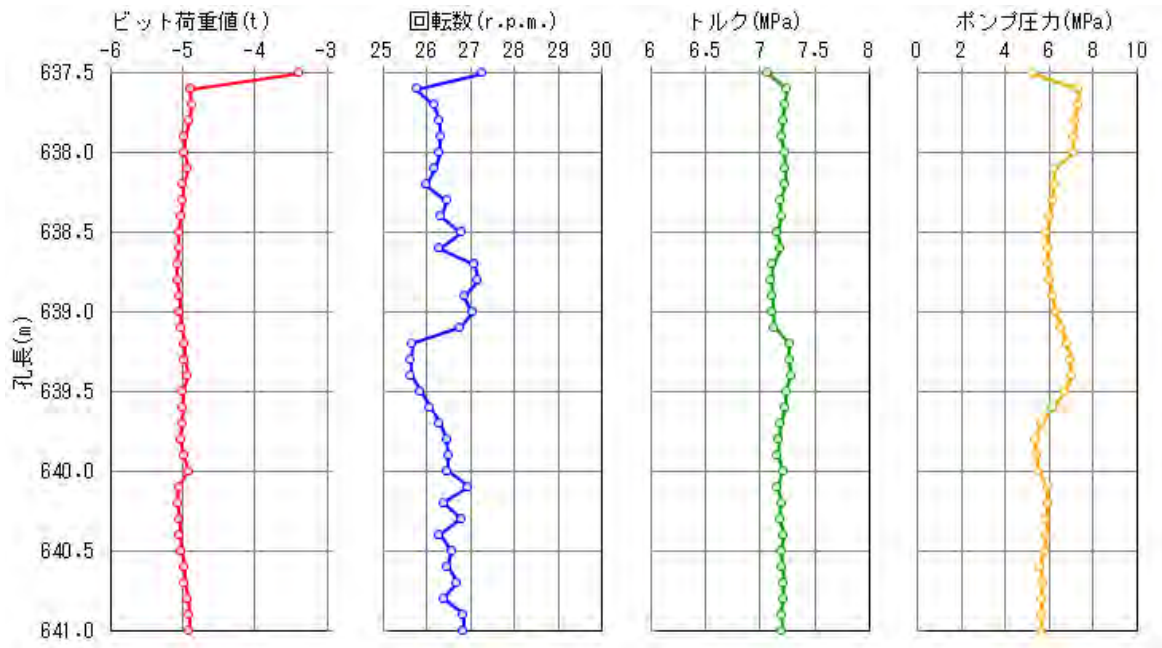


図 8.2.2-14 端面成形直前の洗浄降管時マッドログパラメータ

(3) 端面成形リーミング作業

端面成形のためのリーミング作業は掘削長 640m 地点より開始した。マッドロギングパラメータによりビット荷重、回転数、トルクおよびポンプ送水圧力の値を監視しながらリーミングを継続し、掘削長 644.7m 付近からビット荷重が増加し始めたことから、シュービットが硬化セメント頭部位置に到達したと判断した。切削面は、図 8.2.2-7 に示すように、傾斜孔井断面に対してセメント頭部は水平方向に広がりを持っていると考えられるため、全断面の掘削に到達するまでは徐々にビット荷重が増加していくと想定していた。マッドロギングのパラメータでは図 8.2.2-17 に示すように、掘削長 644.7m でビット荷重が大きくなり始めた。その他のパラメータでは、同じく掘削長 644.7m からトルクの増加に伴い回転数が減少し始めた。また、ポンプ圧力が掘削長 645.3m 付近で上昇し始めたことが確認でき、全断面の掘削になることで、先端吐出口の流路が狭くなったことが考えられる。

全断面に到達したと考えられる掘削長 645.3m 地点は、硬化したセメント頂部位置である掘削長 644.7m から 0.6m 分下方の位置であるが、当該区間における孔井の傾斜角度が 78° を有していることから推測すると、硬化した状態のセメント水平面の長さが約 0.7m 程度と算出されるため、ほぼ一致する結果であると判断できる。

その後、リーミング掘削を一定の速度を維持しながら継続し掘削長 648m まで端面形成を終了した段階で、試錐機のスピンドル回転を行うダウマックスモータが損傷した。復旧までには数日を要することから、NL140 ロッドの抑留等の危機回避のためリーミング作業を中止し、サイドト

ラック掘削準備のためコンポジットシューを回収することにした。

なお、故障したダウマックスモータは、サイドトラック掘削のためのアウトパイプ降管中に代替品が手配できたため、その際に部品交換した。

図 8.2.2-15 に故障したダウマックスモータの取り外し作業状況を示す。

図 8.2.2-16 にダウマックスモータの取り付け状況を示す。

図 8.2.2-17 に端面成形作業時のマッドログパラメータを示す。



図 8.2.2-15 故障したダウマックスモータの取り外し作業状況

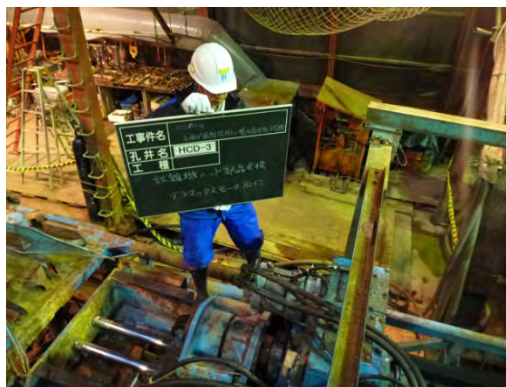


図 8.2.2-16 ダウマックスモータの取り付け状況

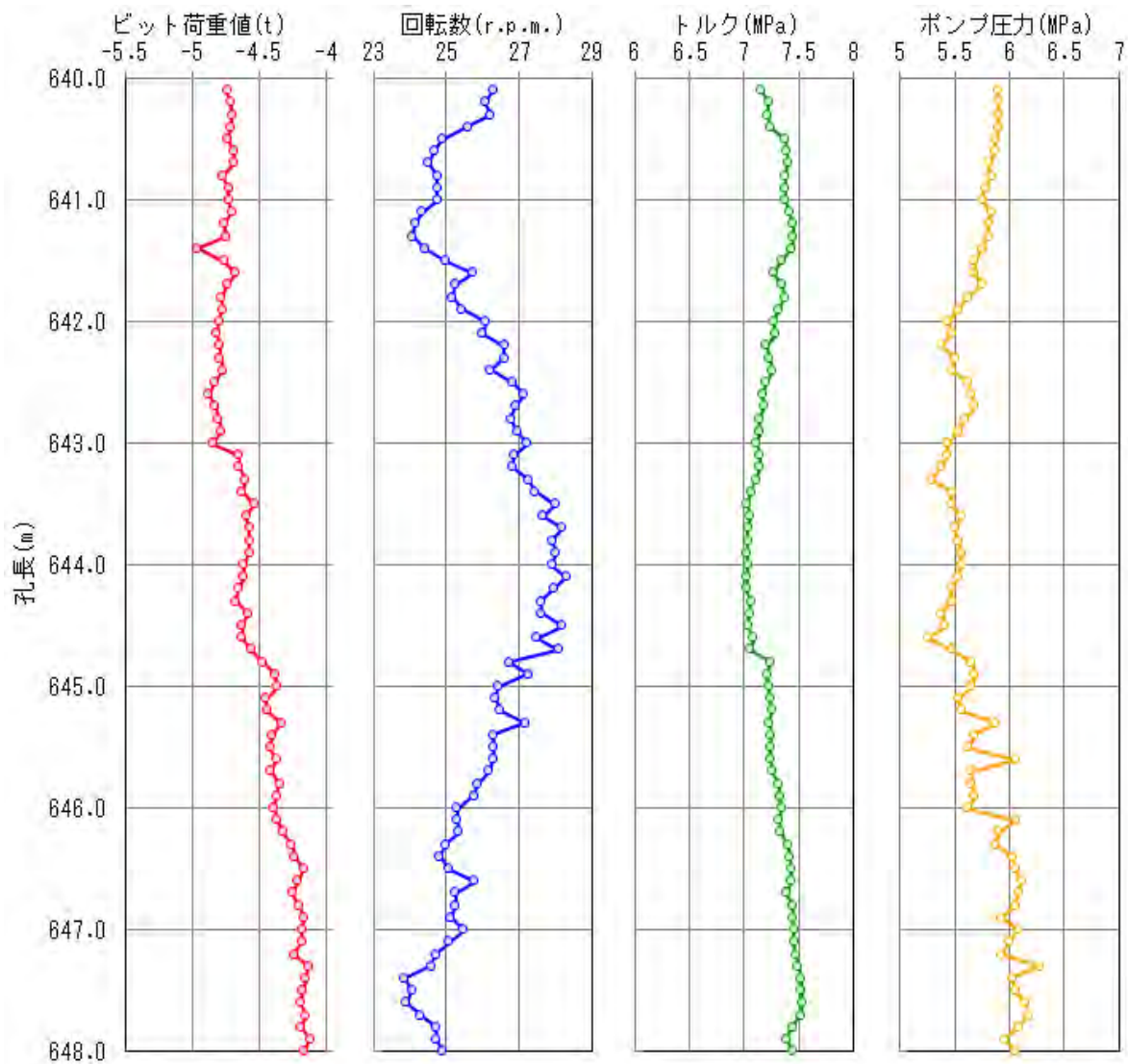


図 8.2.2-17 端面成形作業時のマッドログパラメータ

(4) φ152mmコンポジットシュービット回収

端面成形作業の終了後、NL140 ロッドの揚管を行い、φ152mm コンポジットシュービットを回収した。回収後の点検で、ビットに損傷、変形および外径部の磨耗等は見られなかった。

本作業によりサイドトラック掘削開始位置までの既存孔井埋め戻し作業を終了した。

図 8.2.2-18 に回収した端面成形用 φ152mm コンポジットシュービットを示す。



図 8.2.2-18 回収した端面成形用φ152mm コンポジットシュービット

8.2.3 サイドトラック掘削作業

サイドトラック掘削作業は、掘削長 700m までの区間で、分岐孔井の掘削と孔内応力試験装置の水圧破碎実施の試験区間を選定する目的で実施した。

実施の結果、掘削長 662.00m まで掘削した段階で、採取コアから孔内応力試験装置の適用可能な岩盤区間を確認した。その後、試験装置を用いた水圧破碎実施区間をパッカ間に収めるため、掘削長 663.65m までコアリングを行い作業終了した。

サイドトラック掘削作業においては、WL-MWD やマッドロギングパラメータを注視して作業を行い、掘削の軌跡が計画にほぼ沿う形で分岐掘削が実施できたことを確認した。

以下に作業についての実施概要を示す。

8.2.3.1 掘削作業実績

サイドトラック掘削は平成 25 年 12 月 1 日～12 月 6 日の期間で実施し、掘削長 648.00m～663.65m 間で実施した。掘削区間別のコアリングおよびノンコアリング掘削別の内訳は、以下のとおりとなった。

区間①：掘削長 648.00m～653.80m コア採取区間

区間②：掘削長 653.80m～656.00m コア非採取区間

区間③：掘削長 656.00m～663.65m コア採取区間

区間①はセメントミルク充填材によるセメンチング区間からの離脱状況の確認、区間②では掘削能率の向上、区間③では孔内応力試験装置の適用区間の選定を目標に実施した。

(1) 区間①におけるセメンチング区間からの離脱状況の確認

掘削長 648m 地点からコアリング掘削を行い、採取したコアの硬化セメントを確認することでセメンチング区間からの離脱状況を確認することを目的とした。

しかし、最初のコアリング実施区間である掘削長 648.00m～651.00m で採取したコアには硬化セメントはなく、全て岩盤コアが回収された。また、採取コア長も掘削長 3.0m に対して 2.55m であったことから、採取コアの流出(コアロス)もしくは残コアが生じている可能性が考えられた。また、図 8.2.3-1 に示すように、コア頭部には破碎した崩壊物状のコアの一部が回収されていたことから、既存孔からの離脱時のコアチューブ内への収納時に、コアを破碎させコアロスを生じさせたことも想定された。

区間①は掘削長 651.00m までの計画としたが、孔底部に残コアが残っている可能性があるこ

とから、コアリングによりサイドトラック掘削を継続して行うことにした。掘削長 651.00m からのコアリング掘削では、掘削長 653.80m までコアリングを行った段階でコア詰まりが生じたような状況となったことから、ワイヤラインによるコア回収を行った。その結果、掘削長 648.00m～651.00m 間の残コアとして約 25cm 分が回収されたことを確認した。その結果、掘削長 648.20m 地点から岩盤コアが回収されており、また、掘削長 648.00m～648.20m 間はコアロスしていたことになる。このコアロスは既存孔からの離脱時に破砕して流失したものと考えられる。

サイドトラック掘削時における掘削状況は、掘削ツールスを構成しているダウンホールモータ(以降DHM)のベント角度は 0° に編成し、掘削時のツールフェイス(以降TF)角度を 350° ～ 360° の範囲となるようにしてサイドトラック掘削を開始した。掘削作業では掘削時計測装置(WL-MWD)による掘削パラメータにより掘削状況を把握しながら作業した。

WL-MWDのパラメータでは、図 8.2.3-2 に示すように、掘削長 648.00m から 20cm の区間を経過した段階でTFが 353° から 320° に大きく回転した。これは、反動トルクにより掘削ツールス全体が逆回転されたために生じたと考えられる。掘削長 648.00m から 648.20m 間はコアロスが生じている区間であることから、セメント部分の掘削から岩盤掘削に到達した段階で発生したものと想定できる。

また、傾斜の値については掘削延長に従い一定の割合で増加する結果となっているが、これはWL-MWDがコアビット先端より約 8m 後方で方位・傾斜を取得しているため、既存孔井内での計測となってしまうためであると考えられる。

全体的にコアビットのみで掘削を行っている区間となる掘削長 648.00m～651.60m 間までと比べ、掘削長 651.60m 以降ではビット荷重(WOB)およびトルク(TRQ)の値が大きくなっていることが確認できる。また、同じく方位および傾斜の値のバラツキ具合も、掘削長 651.60m 以降は安定した状況となっていることから、サイドトラック掘削により既存孔井からの分岐掘削が実施できているものと判断した。

図 8.2.3-1 にコア採取状況を示す。

図 8.2.3-2 に区間①でのサイドトラック掘削時 WL-MWD パラメータ状況を示す。



図 8. 2. 3-1 コア採取状況(掘削長 648.00m~653.80m 間)

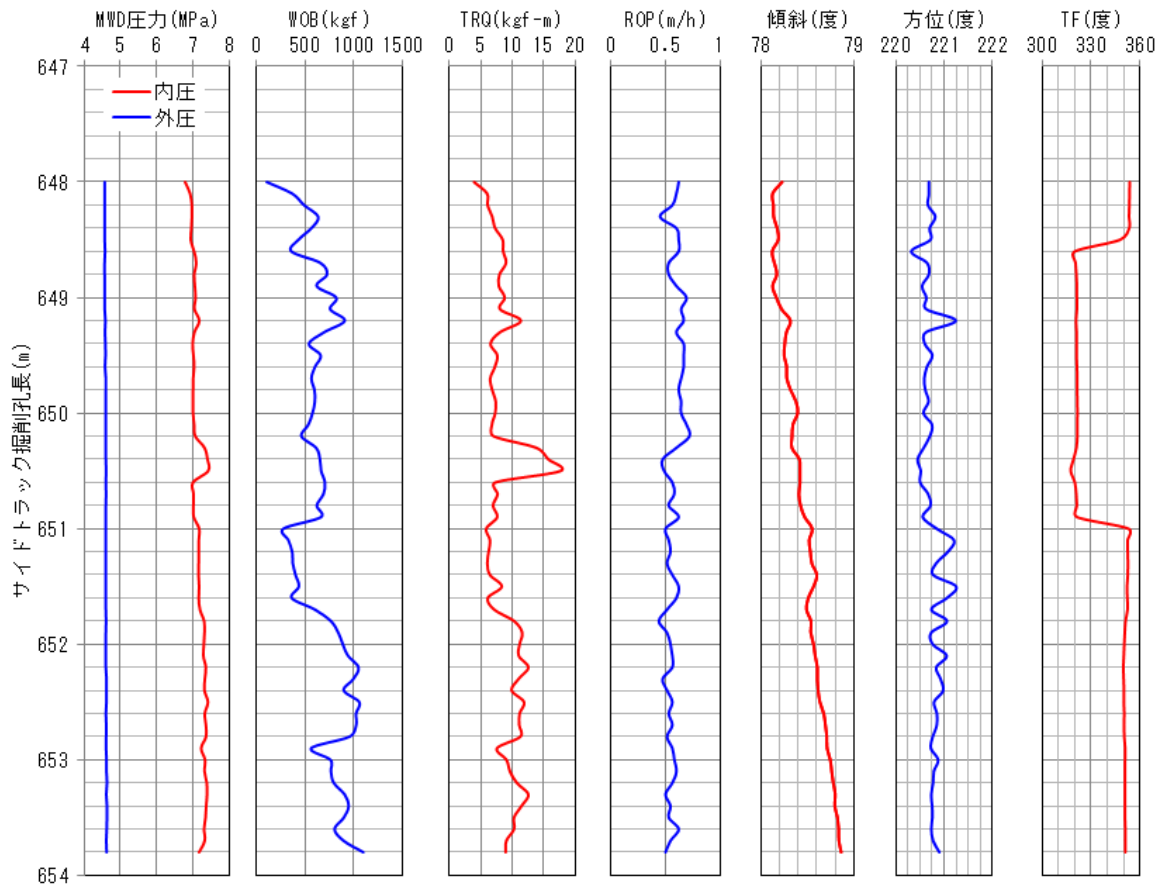


図 8. 2. 3-2 サイドトラック掘削時 WL-MWD パラメータ状況(掘削長 648.00m~653.80m 間)

(2) 区間②におけるノンコアリング掘削

掘削長 653.8m 地点からノンコアリング掘削を行い、ワイヤライン作業を未実施とすることで掘削効率の向上を目指した。また、傾斜角度に一定の増角が生じていることから、DHM のベント

角度設定を 0.39° に設定し、TF 角度を 190° 方向に向けることで、より既存孔井の下側に新規分岐孔井を掘削できるような掘削ツールズ状態に変更した。

掘削状況では、想定した掘削能率を得ることができず、掘削速度 (ROP) がコアリング掘削で得られた $0.5\sim 0.6\text{m/h}$ より減少し、 $0.3\sim 0.4\text{m/h}$ となってしまった。そのため、ワイヤライン作業を実施しない状況であっても、1日あたりの掘削長がコアリング掘削よりも劣る結果となってしまった。そのため、ノンコアリング掘削作業はサイドトラック掘削長 656.00m 地点まで実施して中止することにした。

WL-MWD のパラメータでは、図 8.2.3-4 に示すように、コアリング掘削時に比べビット荷重が 500kgf 程度増加し、トルクの値も数 kgf-m 程度増加する結果となった。また、傾斜の値については、WL-MWD が新規掘削した分岐孔井に近づいた掘削長 655.4m 付近より 78.8° 前後を維持しており、サイドトラック掘削が沿角で掘削されていると判断できた。

図 8.2.3-3 に使用したノンコアリングビットを示す。

図 8.2.3-4 に区間②でのサイドトラック掘削時 WL-MWD パラメータ状況を示す。



図 8.2.3-3 製作したノンコアリングビット

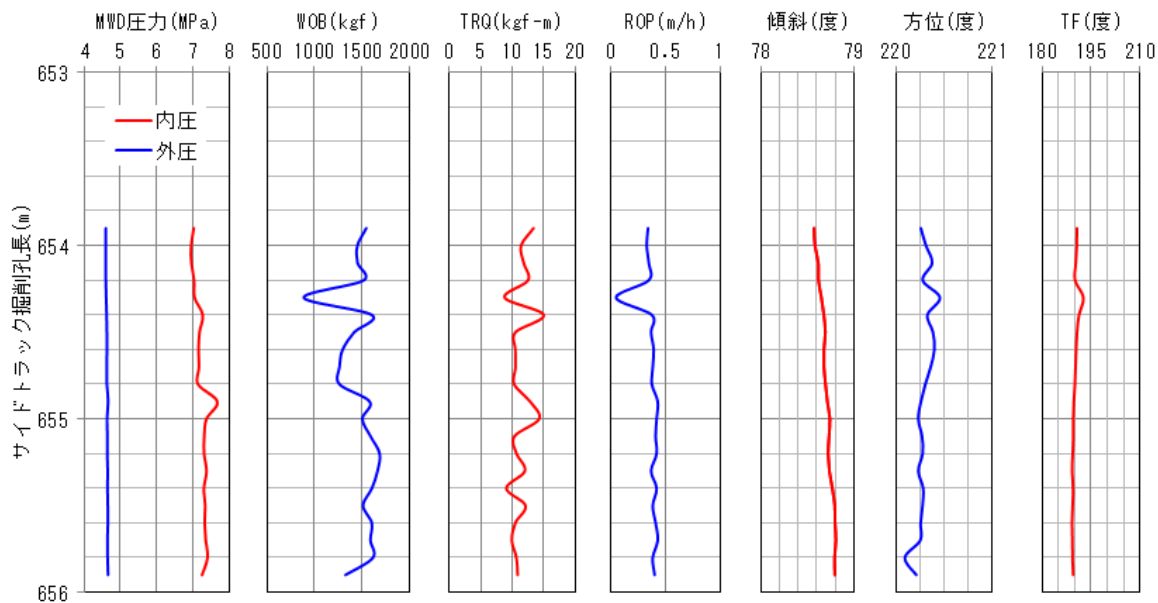


図 8.2.3-4 サイドトラック掘削時 WL-MWD パラメータ状況 (掘削長 653.80m～656.00m 間)

(3) 区間③におけるコアリング掘削

掘削長 656m 地点からコアリング掘削を行い、採取したコアの割れ目の確認を通じて、孔内応力試験装置の適用箇所 (=水圧破碎試験) を確認することを目的とした。なお、孔内応力試験装置の適用箇所は、水圧破碎の可否を確認することを第 1 目標とするため、掘削長 660m 以降の取得コアより試験実施対象区間の判断を行うこととなった。

区間③のコアリング掘削では、ワイヤライン作業によるボーリングコア採取を 4 回実施した。各作業の区分を以下に示す。

区間 A : 掘削長 656.00m～659.00m 間

区間 B : 掘削長 659.00m～662.00m 間

区間 C : 掘削長 662.00m～663.55m 間

区間 D : 掘削長 663.55m～663.65m 間

区間 A と区間 B は、コアリング掘削でのコア採取によって孔内応力試験装置の試験区間の選定を行う掘削長 660m へ到達させるためのサイドトラック掘削作業となった。区間 B で、試験区間の選定位置に到達し、採取コアを確認した結果、掘削長 661.65m を試験区間中心とした場合に水圧破碎の実施可能な箇所が確認できた。そこで、区間 C では孔内応力試験装置のパッカ編成長に合わせたコア孔状況へ調整するため、掘削長 663.55m まで掘削を行い、同 662.0m 以降に設置する前パッカ設置箇所付近の割れ目状況を確認した。

その結果、更に 10cm 掘削長を延長することで、前後パッカの拡張箇所から試験に影響が生じそうな割れ目を排除できることが確認された。最終的に区間Dで掘削長 663.65m まで掘削を行い、孔内応力試験装置の試験区間の選定を終了するとともにサイドトラック掘削の適用試験を終了した。

区間Cでのサイドトラック掘削状況では、掘削ツールス内の DHM のベント角度は 0.39° とし、掘削時ツールフェイス (TF) 角度を $180^\circ \sim 195^\circ$ の範囲となるようにした。

WL-MWD のパラメータでは、図 8.2.3-6 に示すように、掘削長 659.00m から 662.0m 間において、WOB の値が高い値を示しているが、掘削トルクには前後区間と大きな変化が生じていない。また、この区間では ROP も前後に比べ $0.1 \sim 0.2\text{m/h}$ 程度遅くなっていることから、コアビットに問題が生じている可能性が考えられた。回収後のビット点検を行った結果、先端ダイヤのうち外周部のチップが欠けている箇所を複数確認し、ビットを交換して改善した。

また、傾斜角度と方位角の値については、ほぼ同じ値を維持して掘削することができていたことから、サイドトラック掘削による沿角掘削が得られていたと判断した。

図 8.2.3-5 にコア採取状況を示す。

図 8.2.3-6 に区間Cでのサイドトラック掘削時 WL-MWD パラメータ状況を示す。



図 8.2.3-5 コア採取状況(掘削長 656.00m~663.65m 間)

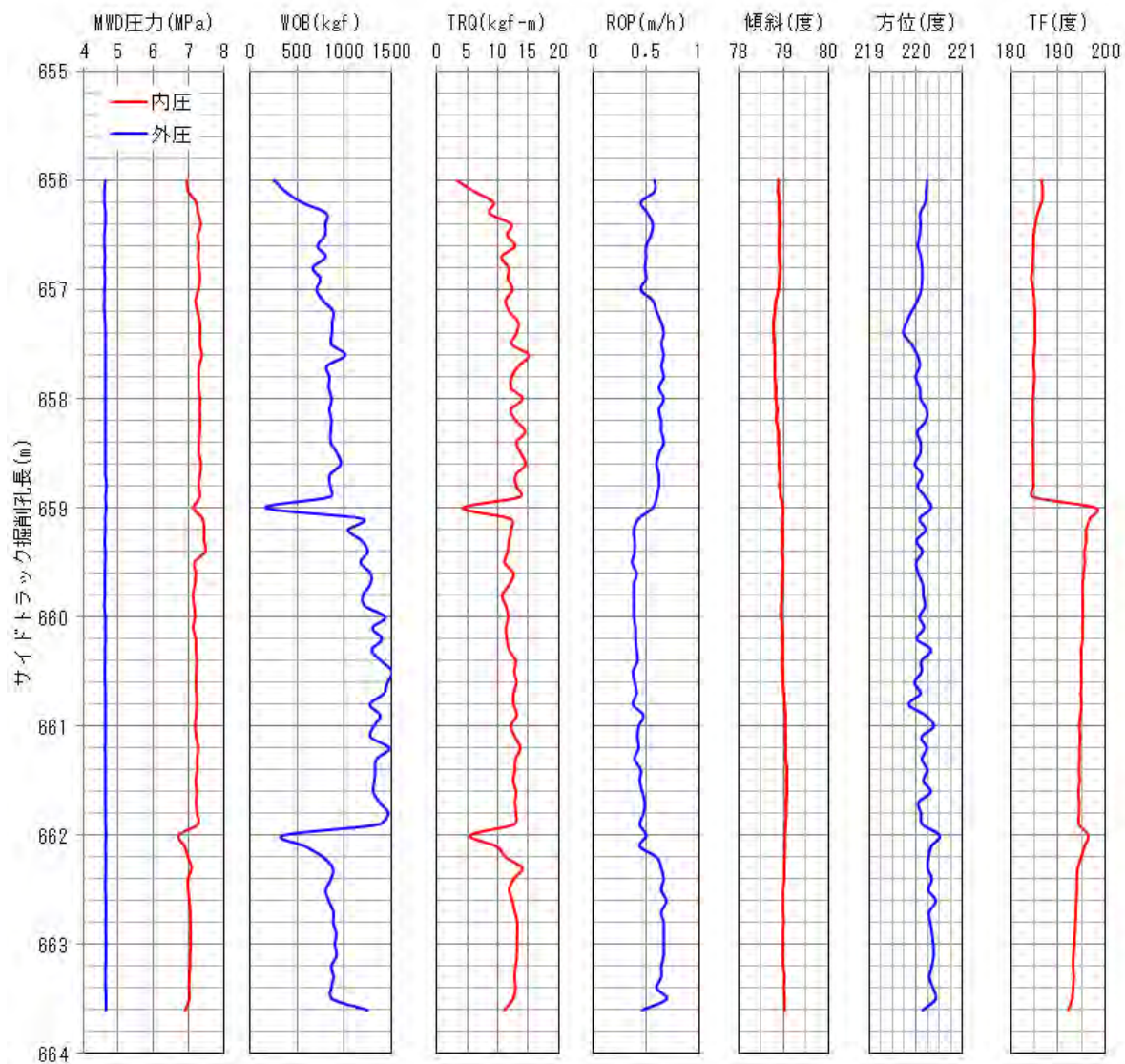


図 8.2.3-6 サイドトラック掘削時 WL-MWD パラメータ状況 (掘削長 656.00m~663.65m 間)

(4) サイドトラック掘削孔井状況

サイドトラック掘削により掘削長 648.00m~663.65m までの掘削を終了し、分岐孔井の掘削を終了した。なお、孔内応力試験の実施のため、掘削長 663.10m まではφ100mm でコア孔の拡孔を実施した。

図 8.2.3-7 にサイドトラック掘削終了による孔井仕上げ状況を示す。

図 8.2.3-8 にサイドトラック掘削終了時検尺写真を示す。

図 8.2.3-9 に掘削ロッド地上検尺を示す

図 8.2.3-10 に検尺詳細(黒板)を示す。

図 8.2.3-11 に掘削ツールス地上検尺を示す

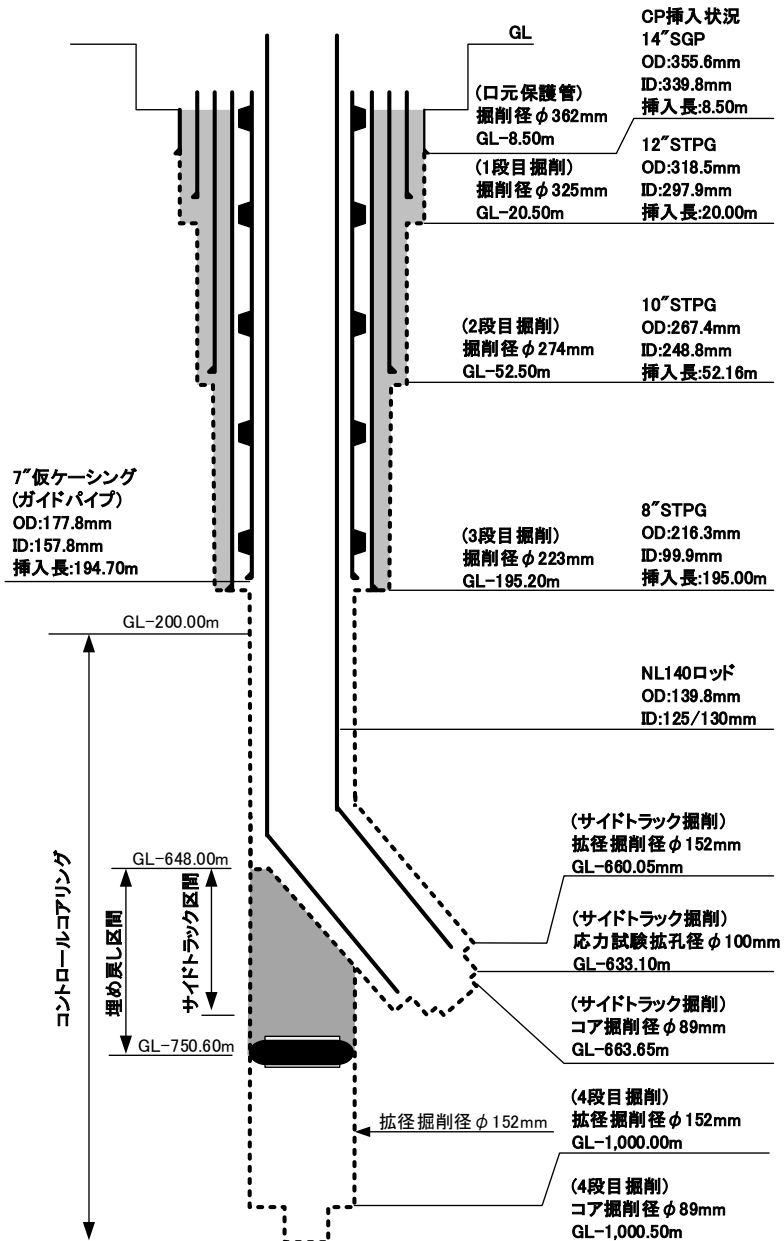


図 8.2.3-7 サイドトラック掘削終了による孔井仕上げ状況



図 8.2.3-8 サイトラック掘削終了時検尺写真



(左：NL140 ロッド、右：アウトパイプ)

図 8.2.3-9 掘削ロッド地上検尺(2列+アウトパイプ)

工事件名	耳取 25 身長 孔曲げ掘削技術の現地適用性試験	
孔井名	HCD-3	
工種	サイトラック掘削検尺	
	ツール長(別検)	= 9.70 ^m
	アウトパイプ	= 2.50 ^m
	NL140D 3.00x218	= 654.00 ^m
	全長	= 666.20 ^m
	サイトラック掘削長	= 663.65 ^m
	地上残尺	= 2.55 ^m

(掘削検尺)

工事件名	耳取 25 身長 孔曲げ掘削技術の現地適用性試験	
孔井名	HCD-3	
工種	サイトラック掘削 掘削ツール 地上検尺 掘削長(648.00-663.65)	
	コアバレル	= 3.55 ^m
	抜径装置	= 0.74 ^m
	ガンホーモタ	= 3.25 ^m
	WL-MWD	= 1.85 ^m
	サブ	= 0.20 ^m
	送り込み装置超過	= 0.11 ^m
	ツール全長	= 9.70 ^m

(掘削装置検尺)

図 8.2.3-10 検尺詳細(黒板)



(掘削ツールズ全体)



(押込み補助装置)



(WL-MWD)



(DHM)



(水圧式拵経装置)



(コアチューブ)

図 8.2.3-11 掘削ツールズ地上検尺

8.2.3.2 孔跡軌跡実績

掘削作業開始前に計画軌跡として算出した表 5.1.3-2 の座標値に対して、サイドトラック掘削時に得られた WL-MWD とジャイロ測定軌跡データとの比較を行った。

サイドトラック掘削時の座標算出には WL-MWD データを用いるが、掘削ツールズや NL140 ロッドなどの鋼製部材からの磁気影響や、掘削ツールズの編成変化に起因して、年度毎の掘削開始時点で必ずしも同じ方位・傾斜の値を得ることは難しいため、WL-MWD とジャイロ測定の結果との比較に際しては、平成 23 年度のジャイロ測定で得た掘削長 648m 地点の計測データを基準として、それぞれの変位量で比較を行った。

WL-MWD の計測結果では、サイドトラック掘削を実施した掘削長 648.0m～663.6m の区間で、ほぼ沿角傾斜で分岐孔井を掘削できた。既存孔井との乖離距離は、表 8.2.3-3 に示すように掘削長 651.0m 地点で掘削孔径(φ 152mm)程度の乖離距離(=0.22m)となり、掘削長 663.6m 地点で 0.90m と孔径の約 6 倍の乖離距離となった。

ジャイロ測定は、掘削長 654.6m までを測定し、WL-MWD で得た傾斜角度同様に、ほぼ沿角での掘削ができていたことが確認できた。乖離距離は 654.6m 地点で 0.28m であった。

これら計測の結果、サイドトラック掘削による新規孔井の分岐掘削が実施できたことが確認できた。

表 8.2.3-1 に本年度の WL-MWD で計測したサイドトラック掘削実績軌跡座標を示す。

表 8.2.3-2 に本年度のサイドトラック掘削後に計測したジャイロ測定軌跡座標を示す。

表 8.2.3-3 に既存孔とサイドトラック掘削との乖離距離の算出結果を示す。

図 8.2.3-12 にサイドトラック掘削での軌跡断面図を示す。

図 8.2.3-13 にサイドトラック掘削での軌跡平面図を示す。

表 8.2.3-1 WL-MWD で計測したサイドトラック掘削実績軌跡座標

孔長 (m)	方位 (度)	傾斜 (度)	Easting (m)	Northing (m)	垂直深度 (m)	水平距離 (m)
648.0	220.69	78.23	-298.92	-346.83	427.35	457.87
649.0	220.63	78.17	-299.56	-347.58	427.56	458.85
650.0	220.58	78.40	-300.19	-348.32	427.76	459.83
651.0	220.56	78.47	-300.77	-348.99	427.94	460.71
652.0	220.73	78.54	-301.41	-349.73	428.14	461.69
653.0	220.73	78.71	-302.05	-350.47	428.34	462.67
654.0	220.26	78.57	-302.69	-351.21	428.53	463.65
655.0	220.26	78.72	-303.33	-351.96	428.73	464.63
656.0	220.21	78.80	-303.96	-352.71	428.92	465.61
657.0	220.13	78.91	-304.59	-353.46	429.12	466.59
658.0	220.08	78.83	-305.22	-354.21	429.31	467.57
659.0	220.20	78.94	-305.86	-354.96	429.50	468.56
660.0	220.20	78.95	-306.49	-355.71	429.69	469.54
661.0	220.20	79.04	-307.12	-356.46	429.88	470.52
662.0	220.14	79.05	-307.75	-357.21	430.07	471.50
663.0	220.34	78.99	-308.39	-357.96	430.26	472.48
663.6	220.42	79.03	-308.77	-358.41	430.38	473.07

表 8.2.3-2 サイドトラック掘削後に計測したジャイロ測定軌跡座標

孔長 (m)	方位 (度)	傾斜 (度)	Easting (m)	Northing (m)	垂直深度 (m)	水平距離 (m)
648.0	221.05	79.29	-298.92	-346.83	427.35	457.87
649.0	221.03	79.35	-299.56	-347.57	427.54	458.85
650.0	221.03	79.38	-300.21	-348.32	427.72	459.84
651.0	221.03	79.44	-300.79	-348.98	427.89	460.72
652.0	221.06	79.46	-301.44	-349.72	428.07	461.70
653.0	221.10	79.47	-302.08	-350.47	428.25	462.69
654.0	221.10	79.50	-302.73	-351.21	428.43	463.67
654.6	221.12	79.50	-303.12	-351.65	428.54	464.26

表 8.2.3-3 既存孔とサイドトラック掘削による乖離距離

孔長 (m)	既存孔井		サイドトラック掘削実績 WL-MWD計測結果					サイドトラック掘削実績 ジャイロ計測結果				
	方位 (度)	傾斜 (度)	方位 (度)	傾斜 (度)	断面差 (m)	平面差 (m)	2点間差 (m)	方位 (度)	傾斜 (度)	断面差 (m)	平面差 (m)	2点間差 (m)
	648	220.55	80.84	220.69	78.23	0.00	0.00	0.00	221.05	79.29	0.00	0.00
649	220.57	81.23	220.63	78.17	0.05	0.01	0.05	221.03	79.35	0.03	0.01	0.03
650	220.60	81.50	220.58	78.40	0.10	0.02	0.10	221.03	79.38	0.06	0.02	0.06
651	220.60	81.71	220.56	78.47	0.18	0.12	0.22	221.03	79.44	0.13	0.12	0.18
652	220.62	81.97	220.73	78.54	0.22	0.13	0.26	221.06	79.46	0.16	0.12	0.20
653	220.68	82.16	220.73	78.71	0.27	0.14	0.30	221.10	79.47	0.19	0.13	0.23
654	220.70	82.32	220.26	78.57	0.32	0.15	0.35	221.10	79.50	0.22	0.14	0.26
654.6	220.73	82.54	220.39	78.69	0.35	0.16	0.38	221.12	79.50	0.24	0.15	0.28
655	220.76	82.71	220.26	78.72	0.37	0.16	0.40					
656	220.78	82.84	220.21	78.80	0.42	0.17	0.45					
657	220.80	83.08	220.13	78.91	0.47	0.18	0.51					
658	220.82	83.28	220.08	78.83	0.53	0.19	0.56					
659	220.84	83.48	220.20	78.94	0.59	0.20	0.62					
660	220.88	83.80	220.20	78.95	0.64	0.21	0.68					
661	220.89	84.04	220.20	79.04	0.70	0.22	0.74					
662	220.90	84.22	220.14	79.05	0.76	0.23	0.80					
663	220.90	84.51	220.34	78.99	0.82	0.24	0.86					
663.6	220.94	84.66	220.42	79.03	0.86	0.25	0.90					

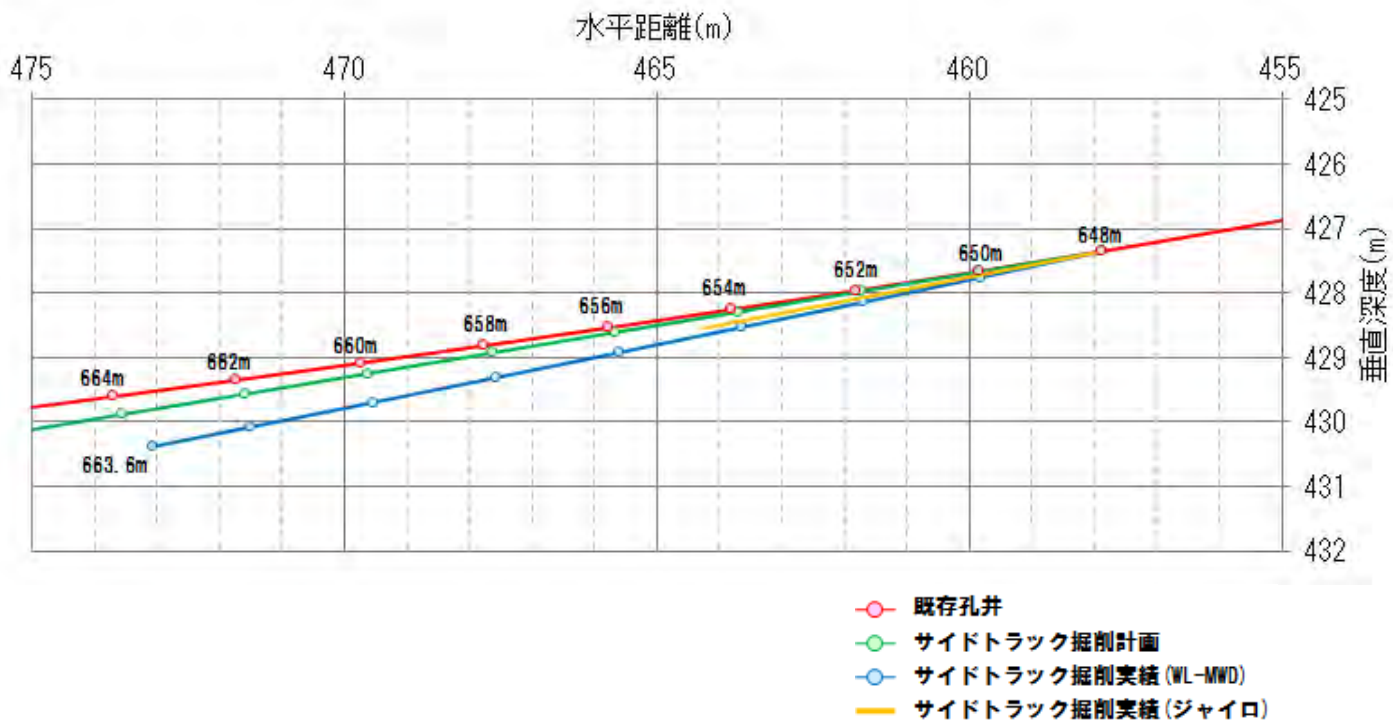


図 8. 2. 3-12 サイドトラック掘削の跡軌跡断面

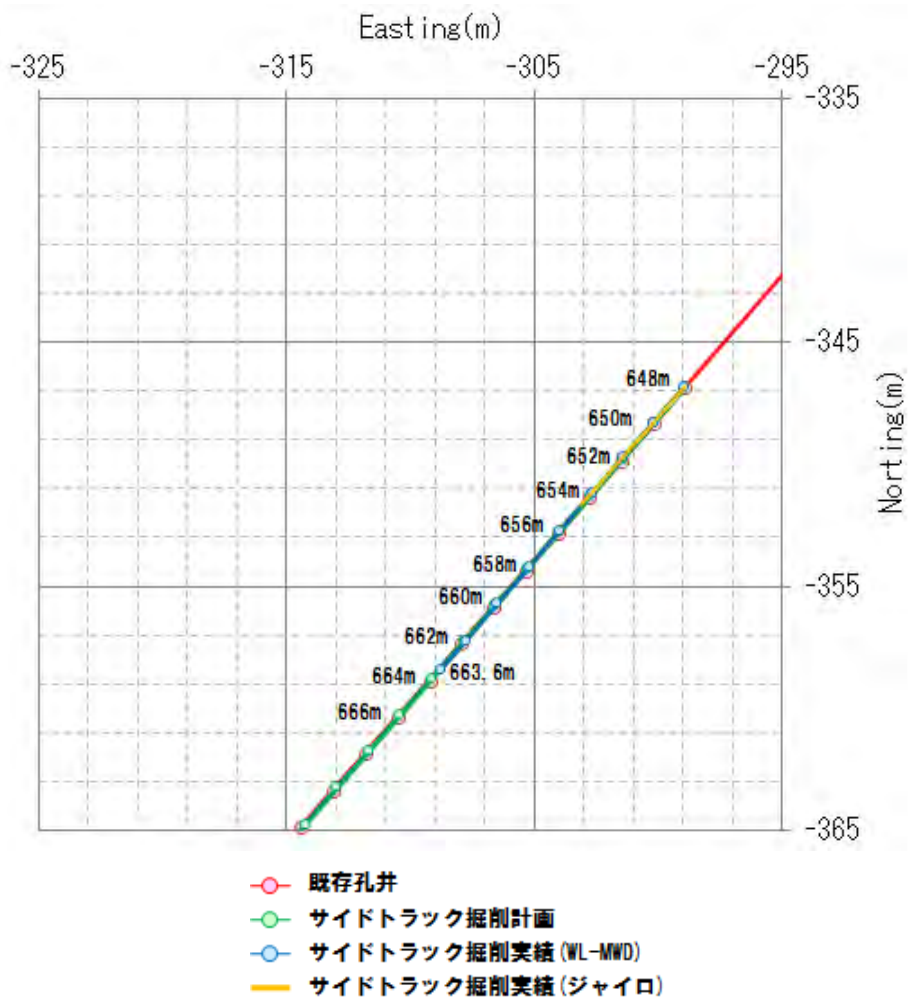


図 8.2.3-13 サイドトラック掘削の軌跡平面図

8.2.4 サイドトラック掘削時のWL-MWD計測作業

8.2.4.1 WL-MWD計測工程の実績

WL-MWD 計測結果から記録した作業工程結果について作業日別で整理した。

表 8.2.4-1 に WL-MWD 計測工程一覧を示す。

表 8.2.4-1 WL-MWD 計測工程一覧

		内容	掘削 継続	毎 トレン	開始深度 掘削/MWD (m)		終了深度 掘削/MWD (m)		区間 (m)
11/25	Mon	移動			-	-	-	-	-
11/26	Tue	移動			-	-	-	-	-
11/27	Wed	ジャイロ準備、MWD準備			-	-	-	-	-
11/28	Thu	ジャイロ測定			-	-	-	-	-
11/29	Fri	ジャイロ測定			-	-	-	-	-
11/30	Sat	ジャイロ測定、MWD準備			-	-	-	-	-
12/1	Sun	コアリング掘削	C3	0	648.00	640.00	651.00	643.00	3.00
12/2	Mon	コアリング掘削	C3	0	651.00	643.00	653.80	645.80	2.80
12/3	Tue	ノンコア掘削	C3	0.39	653.80	645.80	656.00	648.00	2.20
12/4	Wed	コアリング掘削	C3	0.39	656.00	648.00	659.00	651.00	3.00
12/5	Thu	コアリング掘削	C3	0.39	659.00	651.00	662.00	654.00	3.00
12/6	Fri	コアリング掘削	C3	0.39	662.00	654.00	663.65	655.65	1.65
12/7	Sat	拡孔掘削、100mm	C3	0.39	660.05	652.05	663.25	655.25	3.20
12/8	Sun	MWDツール整備			-	-	-	-	-
12/9	Mon	移動			-	-	-	-	-
12/16	Mon	移動			-	-	-	-	-
12/17	Tue	移動			-	-	-	-	-
12/18	Wed	ジャイロ測定			-	-	-	-	-
12/19	Thu	ジャイロ測定			-	-	-	-	-
12/20	Fri	ジャイロ測定			-	-	-	-	-
12/21	Sat	ジャイロ測定			-	-	-	-	-
12/22	Sun	ジャイロ機材撤収作業			-	-	-	-	-
12/23	Mon	移動			-	-	-	-	-
12/24	Tue	移動			-	-	-	-	-
1/7	Tue	移動			-	-	-	-	-
1/8	Wed	移動			-	-	-	-	-
1/9	Thu	キャリパー検層、区間①			-	-	-	-	-
1/10	Fri	区間③までロッド降下			-	-	-	-	-
1/11	Sat	キャリパー検層、区間③			-	-	-	-	-
1/12	Sun	キャリパー検層、追加区間A、区間②			-	-	-	-	-
1/13	Mon	現地検討会			-	-	-	-	-
1/14	Tue	キャリパー検層、追加区間B			-	-	-	-	-
1/15	Wed	移動			-	-	-	-	-
1/16	Thu	移動			-	-	-	-	-

8.2.4.2 計測方法

(1) HCD-3 孔における機器配置

本年度実施したサイドトラック掘削作業時における WL-MWD の計測は、平成 23 年度までと同様に、アーマードケーブルからの信号をスリップリングから受信し、掘削深度情報は試錐機スライダヘッドスライダに取り付けたエンコーダからの信号を深度情報に変換して実施した。

また、ウインチにもエンコーダを取り付け、掘削ツールの降下時、巻き上げ時にも深度計測を実施した。ウインチエンコーダと試錐機に取り付けたエンコーダを併用するにあたって、エンコーダシグナルユニットを使用し、揚降時と掘削時との 2 種類のエンコーダを切り替えて、深度対応の測定を実施した。

図 8.2.4-1 に HCD-3 号における WL-MWD 地上装置配置図を示す。

図 8.2.4-2 に WL-MWD 計測用システムラックを示す。

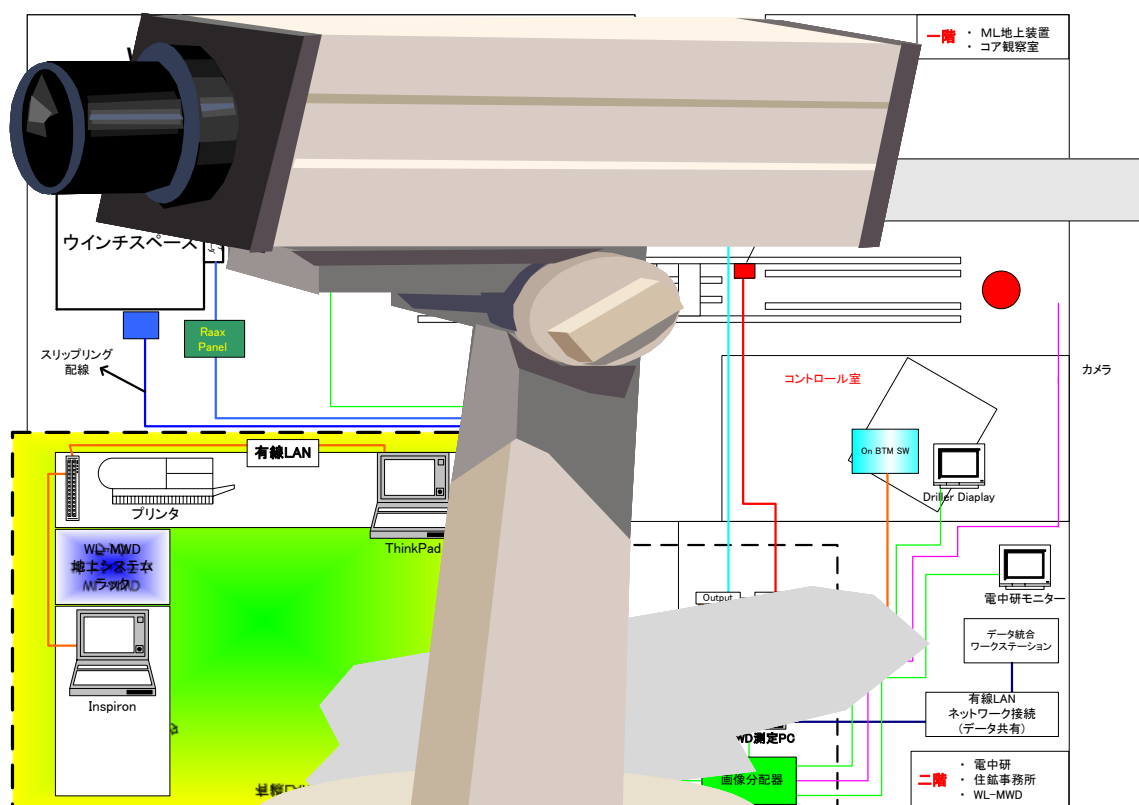


図 8.2.4-1 HCD-3 号における WL-MWD 地上装置配置図



図 8. 2. 4-2 WL-MWD 計測用システムラック

(2) データ計測と管理方法

計測方法は基本的に平成 23 年度と同様である。

以下に掘削適用性試験における計測手順を示す。

- ① ラッチ機構を接続した編成でアーマードケーブルヘッドと WL-MWD を接続する。電流・電圧を供給し動作確認をする。
- ② ダウンホールモータ (以降 DHM)、水圧式拡張装置、コアチューブを接続する。
- ③ DHM 接続後に WL-MWD のツールフェイス (以降 TF) と DHM のハイサイド (ベント角) の差を計測する。
- ④ (ワイヤライン作業による掘削ツールの降管後) 掘削ツールをアウトパイプにラッチさせる。WL-MWD の管内降下中もウインチエンコーダにより深度対応で計測を実施し、確実にラッチされたことをツールフェイスや WOB 値で確認する。
- ⑤ 試錐ポンプによる送水を開始し、ウインチエンコーダから試錐機に取り付けたエンコーダに切り替えてサイドトラック掘削 (WL-MWD 計測) を開始する。
- ⑥ 所定の掘削長の掘削終了後、ワイヤラインにより掘削ツールを回収する際にもウインチエンコーダにより深度対応で計測を実施し、ラッチリリースや巻き上げ中の負荷などをモニタする。
- ⑦ WL-MWD システムにより計測されたデータを補正 (孔井方位など) し、データベースへ転送する。

8.2.4.3 計測結果

(1) 総合計測結果

HCD-3 孔においては、平成 23 年度までに掘削長 200.0m～1000.0m 間で WL-MWD による計測作業が行われた。

本年度はサイドトラック掘削の準備作業として、掘削長 648.0m～1000.0m 間の一部孔井をセメントにて埋め戻しを行った後に、掘削長 648.0m からのサイドトラック掘削を開始した。取得したパラメータデータは、WL-MWD 収録ソフトウェアから ASCII データで出力される仕組みとなっており、出力されたデータをテキストファイルに変換して” WellCAD プログラム Version4.3” で算出した結果を出力 Log として記録している。

WL-MWD は掘削ツールス内において DHM 直上に接続されており、全長 3.0m のコアチューブを用いた掘削編成の場合、コアビットから約 8m の位置に WL-MWD の傾斜・方位センサがあることから、測定の結果はコアビットから約 8m 上方(孔口側)におけるデータとなる。このオフセット距離は使用するコアチューブや DHM の長さにより変化する。出力 Log では、基本的にコアビット深度をトラック 1 に、WL-MWD センサの深度を Log のほぼ中央に示している。

表 8.2.4-2 に本年度のサイドトラック掘削を掘削編成に分類した表を示す。

図 8.2.4-3 に本年度のサイドトラック掘削時に計測した WL-MWD データ Log を示す。

図 8.2.4-4 に WL-MWD 計測結果出力 Log 形式概要図を示す。

表 8.2.4-3 に WL-MWD 計測データ出力 Log のデータ項目一覧を示す。

表 8.2.4-2 サイドトラック掘削編成と深度 (WL-MWD Log)

ビット深度(m)		MWD深度(m)		ビット径 (mm)	DHM	ベント角 (度)	TF平均 (度)
開始	終了	開始	終了				
648.0	653.8	640.0	645.8	89	3-1/2"	0.00	-21.06
653.8	656.0	645.8	648.0	ノコア89	3-1/2"	0.39	-169.94
656.0	663.65	648.0	655.65	89	3-1/2"	0.39	-169.12

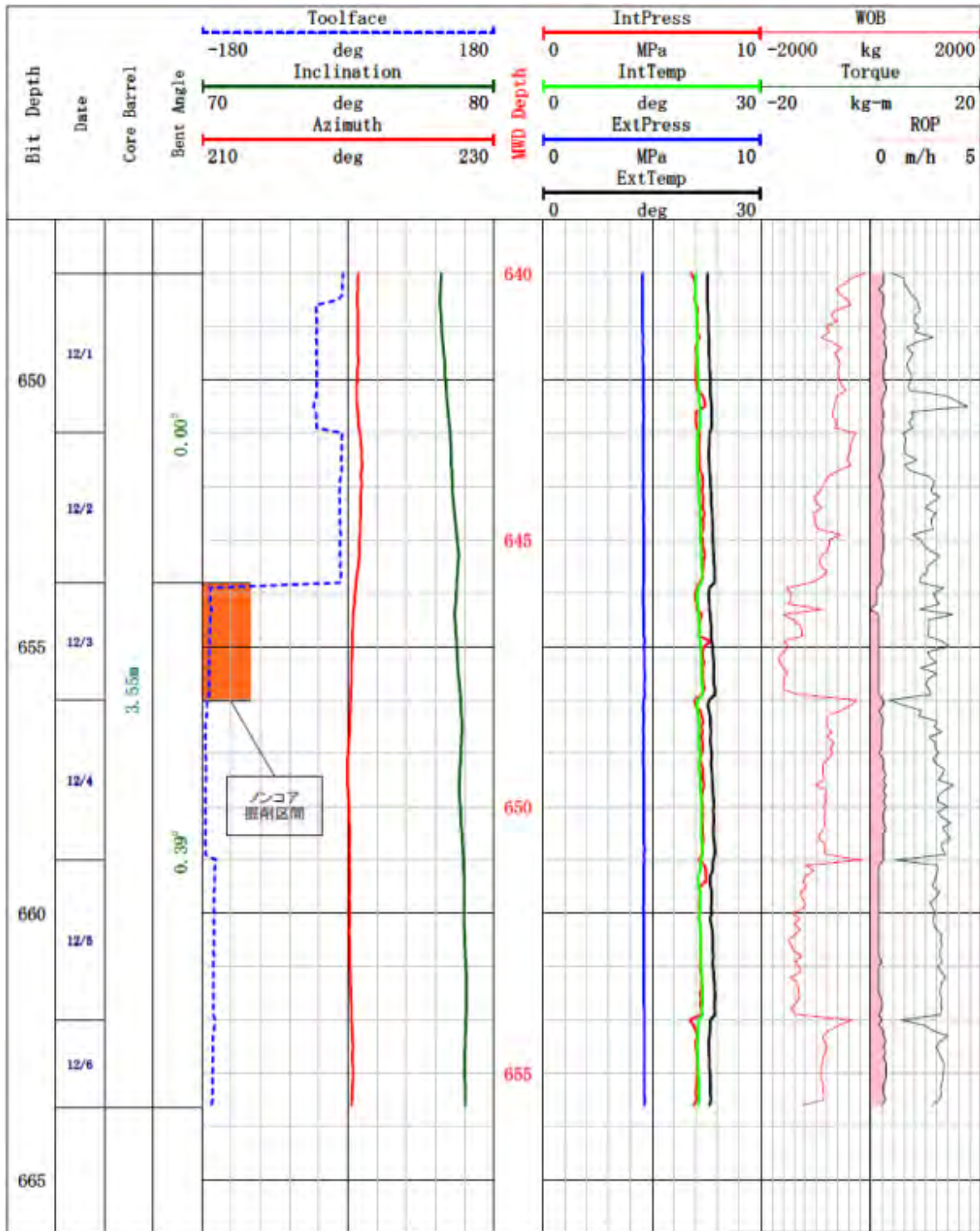


図 8. 2. 4-3 WL-MWD 計測結果 (掘削長 648. 00m~663. 65m)



図 8. 2. 4-4 WL-MWD 計測結果出力 Log 形式

表 8. 2. 4-3 WL-MWD 計測データ出力 Log のデータ項目一覧

トラック位置	カーブ名	測定種目	単位
1	ToolFace	BHA重カツールフェイス (ダウンホールモーターキックオフサブの孔芯に対する角度)	deg (度)
1	Inclination	孔井傾斜角	deg (度)
1	Azimuth	孔井方位角 (真北からみた孔井方位)	deg (度)
2	IntPress	WL-MWDツール内圧力値	MPa
2	IntTemp	WL-MWDツール内温度値	℃
2	ExtPress	WL-MWDツール外部圧力値 (孔内圧力値)	MPa
2	ExtTemp	WL-MWDツール外部温度値 (孔内温度値)	℃
3	WOB	ダウンホールビット荷重 (マイナス表示：圧縮、プラス表示：引張)	kg
3	Torque	ダウンホールトルク値 (マイナス：左トルク、プラス：右トルク)	kg・m
3	ROP	掘進率	m/h

(2) 出力Logの判読

(1)で示した出力 Log 各パラメータについて以下に示す。

方位を変更せずに傾斜角を沿角あるいは増角に維持する場合、ツールフェイス(以降 TF)は孔芯の向きを計測するため、基本的にはハイサイド(TF 角度 0°)にセットして掘削する。そのため Log では中心を 0° とし、左方向を” マイナス角度”、右方向を” プラス角度” に表示している。孔井方位は偏差および自差を補正した真北からの方位角度を表示し、孔井傾斜角度は孔井の傾斜角度を垂直時の傾斜 0° を基準として表示している。

ツール内圧力値は送泥水状況によって変化し、掘削終了時に送泥を停止したりすることがあ

るため、Log 上では掘削毎に起伏のあるカーブで表示される。孔内圧力はアニュラス部の静水圧力で停止状態では孔内圧力と同等となる、送泥中に圧力が減少する場合には透水性の高い地層に遭遇した可能性が考えられるため、逸泥・湧水などの挙動が検知できる。

温度値は孔内外ともに送水する泥水温度や孔内温度によって変化する。掘削用泥水の入れ替えや外気温の変化などに影響を受けることから、ツール内圧力と同様に掘削毎にデータは増減を繰り返す。ただし、孔内外のデータの差分を算出するとこの変動はなくなるため、差分を監視することで泥水以外の地下水などの影響が生じた場合に出力から確認することができる。

ビット荷重(WOB)およびトルク値(Torque)は掘削状況をモニタする種目であるが、得られたデータを用いて算出した結果から、地層の硬さやDHMの反動トルクなどの情報を提供する。これらのデータと掘進率、ツール内圧力値、傾斜および方位角度との相関関係を考察することにより効率的な掘削方法を判断することが可能となる。

Log から判別できるように測定値からコア回収に対し順調に掘削が実施された区間、孔内応力試験などの孔内計測のために事前作業として拡孔実施した区間、コアビット周囲に泥岩が付着して掘進率が低下した様子など、様々な掘削情報の情報が可能となる。

(3) WL-MWD出力LOG

(1)で示したWL-MWDの出力Log結果から、本年度のサイドトラック掘削区間である掘削長648.00m～663.65mの掘削状況を整理する。なお、傾斜・方位に関するLogは(4)にて示す。

サイドトラック掘削開始直後の掘削長648.0m～651.6m付近までの3.6m区間においてWOB、Torque、IntPeressが低い値を示している。これは、コアビットのみのコアリング掘削の影響であり、掘削時の抵抗が低いためであると考えられる。

掘削長651.6m付近から同653.8m付近までの区間においてWOB、Torque、IntPressが高い値を示している。これは、コアビット先端から水圧式拡径装置に取り付けられた拡径ビットまでの距離が約3.6mであることに起因する。具体的には、コアビット先端位置が掘削長651.6mに達した時に3.6m上部の拡径ビット位置が648.0mに達したことにより、コアビットと拡径ビット両者による掘削が始まることで、掘削時の抵抗が増加しWOB、Torque、IntPressが高い値を示したと考えられる。

掘削長653.8m付近から同656.0m付近までの区間においてWOBが高い値を示している。

これは、ノンコアビットによる掘削時の抵抗が増加した影響と思われる。また、掘削長653.8mより孔井の傾斜角度を減角方向へ修正を行うために、DHMのベント角度を 0.0° から 0.39° へ更し、TFを 0° 付近から 180° 付近へ回転して掘削を開始したことに起因すると考えられる。

掘削長656.0m付近から本年度の掘削終了位置である掘削長663.65mまでの区間においては、DHMのベント角度を 0.39° 、TFを 180° 付近に維持したコアリング掘削を行った。孔井傾斜に関

しては、増角傾向が抑制されて減角傾向へ転換され、WOB、Torque 共に安定した掘削が行われた。

トラック位置 3 には掘進率情報 (ROP) を表示してある。掘進率情報は 1 時間あたりの掘削長をグラフに表したものであり、本年度掘削区間の平均掘進率 (ROP) は 0.52m/h となった。

(4) D&I LOG (Direction & Inclination : 孔井傾斜・方位計測結果)

WL-MWD の D&I の出力 LOG 結果から本年度掘削区間の傾斜・方位状況を整理する。D&I 出力 Log はすべて WL-MWD のセンサ深度で表示する。WL-MWD のセンサ深度は、コアビット位置から WL-MWD 基準点までの長さに相当するオフセット長 8m を引いた値となる。

D&I 出力 Log は、WL-MWD で計測した傾斜・方位角度とそれらから算出するドッグレグシビリティ (DLS) を示したものである。孔井方位算出に関しては偏差と自差を計測値に補正して真方位が出力される。DLS は 30m 区間の傾斜・方位変化率の平均値を示している。ボーリング掘削における一般的な DLS は、「3° /30m 以内」が許容範囲と言われており、それ以上の値を示した場合には掘削作業においてトラブルが発生する可能性が高くなる。HCD-3 孔で実施しているコントロールボーリングでは通常のドリルストリングスを使用して掘削する場合と異なり、追従ケーシングとして NL140 ロッドを用い、アーマードケーブルを掘削ツールに接続して掘削を行うため、必ずしも上記の許容範囲が適用されるとは断定できないが、一般的な参考値として示した。

孔井方位に関しては WL-MWD ツールより孔底側に接続される DHM、水圧式撚経装置、コアチューブや、孔口側に接続される押込み補助装置、NL140 ロッドからの磁気影響を受けているため、事前に実施した磁気影響試験により導かれた磁気影響補正式を代入して算出している。

表 8.2.4-4 に各掘削編成時の孔井傾斜・方位および増角率・変位率を示す。

図 8.2.4-5 に本年度のサイドトラック掘削時に計測した D&I 出力 Log を示す。

表 8.2.4-4 掘削編成と孔井傾斜・孔井方位および増角率・変位率 (D&I Log)

MWD深度(m)		傾斜(度)		方位(度)		ビット径 (mm)	ベント角 (度)	TF平均 (度)	平均増角率 (度/10m)	平均変位率 (度/10m)
開始	終了	開始	終了	開始	終了					
640.0	645.8	78.23	78.86	220.69	220.90	89	0.00	-21.06	1.09	0.36
645.9	647.9	78.57	78.80	220.26	220.21	ノコ789	0.39	-169.94	1.15	-0.25
648.0	655.6	78.88	79.03	220.24	220.14	89	0.39	-169.12	0.20	-0.13

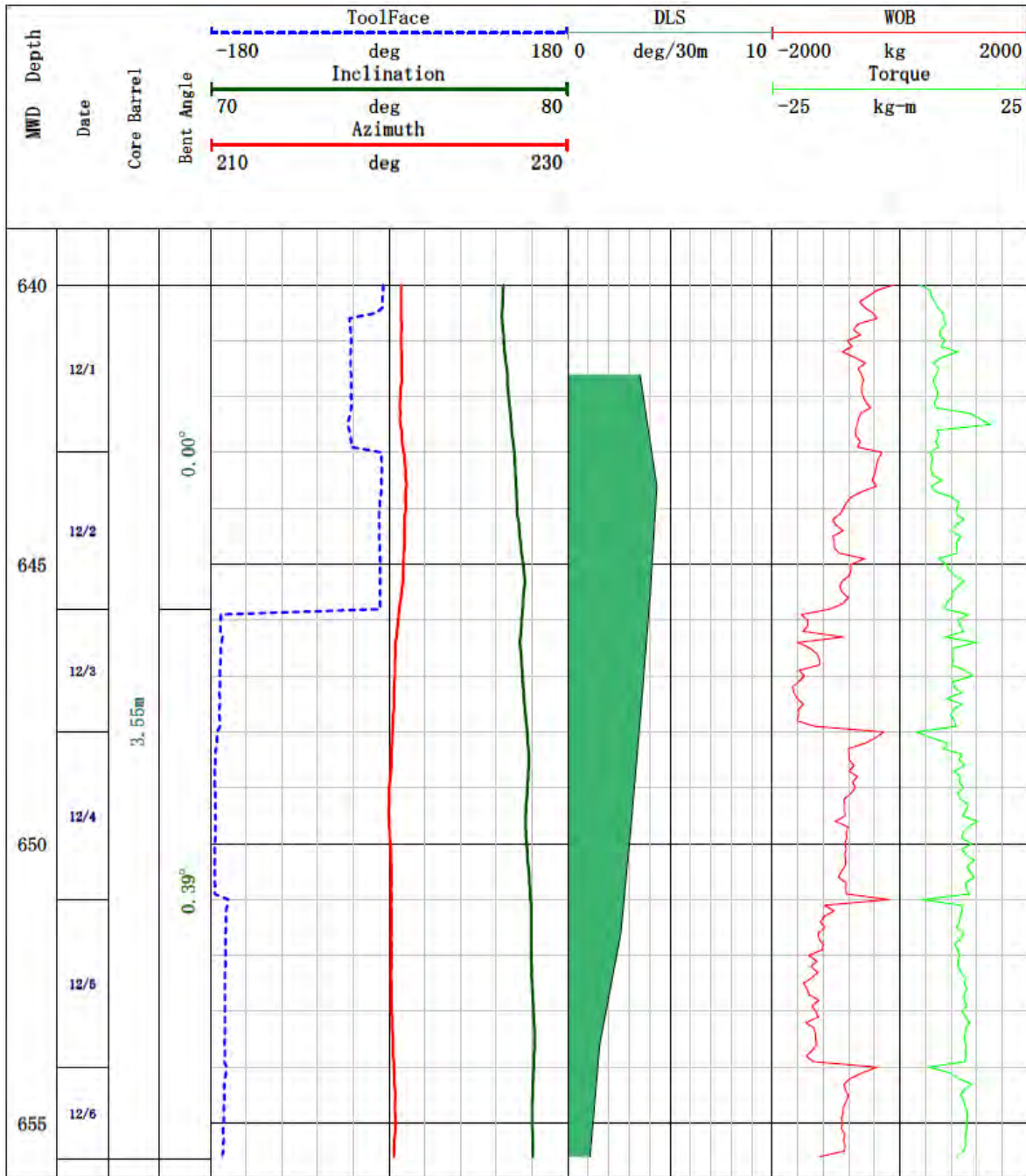


図 8. 2. 4-5 WL-MWD 計測結果 D&I Log (WL-MWD 深度 640.0m~655.65m)

前項で示した Log および増角率・変位率の表より傾斜、方位について本年度のサイドトラック掘削区間(WL-MWD 深度 640.0m~655.65m)における考察を述べる。

掘削開始の WL-MWD 深度 640m~645.8m 間は、φ89mm コアビット、3-1/2” DHM(: ベント角 0.00°)、コアチューブ長 3.55m、TF 平均-21.06° で掘削が行われ、区間平均の孔井傾斜増角率は 1.09° /10m、孔井方位変位率は 0.36° と算出された。

WL-MWD 深度 645.8m~648.0m 間は、ノンコアビット(φ89mm)、ベント角を 0.39° へ掘削編成

の変更を行い、増角率を抑制したサイドトラック掘削のため、TFを平均-169.94°へ転換しノンコアでの掘削を行った。区間平均の増角率は1.15°/10mと前区間の増角率と比較すると変化は見られない。変位率は-0.25°/10mと前区間では西方向へ変位していたが、本区間ではTFの変更により東方向へ変位した。

WL-MWD深度648.0m～655.65m間は、φ89mmコアビットへ掘削編成を変更し、ベント角0.39°、TF平均-169.12°での掘削を行った。区間平均の増角率は0.2°/10mという数値を示し、前区間からのベント角0.39°とTFの転換による掘削を継続したことにより増角率は抑制された。変位率は-0.13°/10mと低い変位を示し一定の方位での掘削が行われ、本年度掘削区間の傾斜・方位の実測値は、WL-MWD深度640.0mで傾斜78.23°、方位220.69°であり、WL-MWD深度655.65mで傾斜79.03°、方位220.14°という結果となった。

(5) D&I LOG (本年度サイドトラック掘削区間と平成19年度掘削区間との比較)

本年度サイドトラック掘削区間と平成19年度に掘削された同深度との孔井傾斜・方位および増角率、変位率について比較を行う。

表8.2.4-5に本年度サイドトラック掘削区間と平成19年度掘削区間との孔井傾斜・方位および増角率・変位率の比較一覧表示す。

図8.2.4-6に本年度サイドトラック掘削区間と平成19年度掘削区間との比較したD&I出力Logを示す。

表8.2.4-5 本年度サイドトラック掘削区間と平成19年度掘削区間との比較

掘削年度	MWD深度(m)		傾斜(度)		方位(度)		CB長(m)	ベント角(度)	TF平均(度)	平均増角率(度/10m)	平均変位率(度/10m)
	開始	終了	開始	終了	開始	終了					
H25	640.0	655.6	78.23	79.03	220.69	220.14	3.55	0.00 ↓ 0.39	-21.06 ↓ -169.3	0.51	-0.35
H19	640.0	655.6	78.70	81.08	219.31	219.39	2.55	0.39	-2.41	1.53	0.05

※H25年度掘削時、MWD深度645.8m以深からベント角を0.00度→0.39度、TFを約-21度→約-169度への変更を行った。

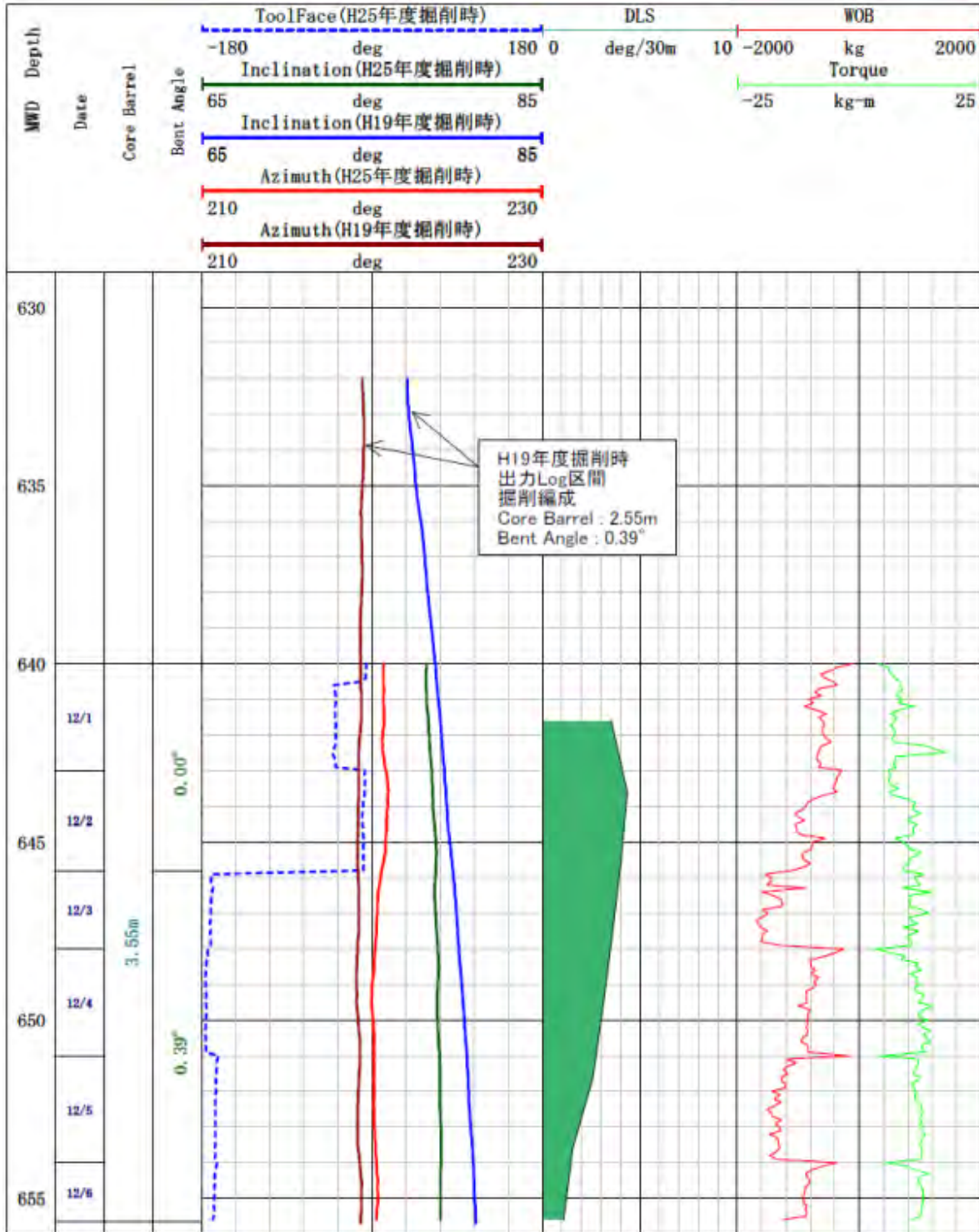


図 8. 2. 4-6 平成 25 年度掘削と平成 19 年度掘削との計測結果比較 D&I Log

前項で示したLogおよび表より本年度サイドトラック掘削区間と平成19年度に掘削された同深度区間(WL-MWD 深度 640.0m~655.65m)との孔井傾斜・方位および増角率、変位率について考察を述べる。

本年度サイドトラック掘削区間では、(4)で述べたようにベント角を 0.39°、TF を-180° 方

向へ転換して掘削を行ったことにより、増角率が抑制され全区間平均の増角率は $0.51^{\circ} / 10\text{m}$ を示し、方位の全区間平均変位率は $-0.35^{\circ} / 10\text{m}$ と東へ変位した。

平成 19 年度に掘削された同深度の区間平均の増角率は $1.53^{\circ} / 10\text{m}$ と高い値を示している。これは本年度の掘削がコアチューブ長さ 3.55m の掘削編成で行われたのに対して、平成 19 年度掘削ではベント角 0.39° 、TF は区間平均 -2.41° (ハイサイド)、コアチューブ長さ 2.55m という編成で掘削が行われたことによると考えられる。コアチューブ長が本年度掘削編成より短く、先端が軽くなり、掘削編成の支点が変動しコアチューブの先端が持ち上がる方向に働いたためと思われる。方位の区間平均変位率は $0.05^{\circ} / 10\text{m}$ と低い変位を示し一定の方位での掘削が行われた。

本年度の WL-MWD で計測されたサイドトラック掘削は、平成 19 年度掘削区間と比較すると、全区間平均で $-1.02^{\circ} / 10\text{m}$ の増角率、 $-0.4^{\circ} / 10\text{m}$ の変位率でサイドトラック掘削が実施された。

(6) ジャイロ計測(キャリブレーション)

ジャイロシステムを用いた計測を行う前には、約 1 時間半程度ジャイロツールを水平に置いた状態でのキャリブレーション(4 回に分けてツールを一定方向ロールさせる)を実施する必要がある。

ウォームアップキャリブレーションを 5 分毎に 4 回、合計 20 分程度を行う。次にメインキャリブレーションを 15 分毎に 4 回、合計 60 分程度行いキャリブレーションを終了する。

図 8.2.4-7 にキャリブレーション概念図を示す。

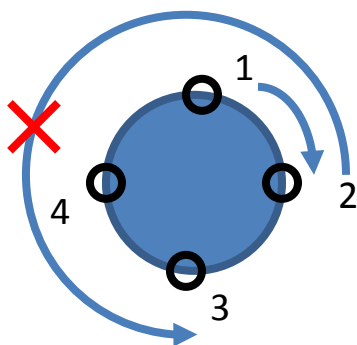


図 8.2.4-7 ジャイロツールキャリブレーション概念図

(7) ジャイロ計測(計測準備作業)

ジャイロシステムは、ジャイロプローブを収納した上部ツールと押込み補助装置機能を有している下部ツールで構成される。

前述(6)で記載したキャリブレーションは上部ツールのみで実施する。

ジャイロプローブは上部ツールの SUS 製保護パイプ(ジャイロハウジング)内に収納される。ケーブルヘッドと上部ツールウオーターウェイおよび保護パイプの 3 点に固定治具を取り付け、

回転や衝撃が与えられないように吊り上げて、試錐機まで天井クレーンを用いて引き上げる。その後、試錐機上部より NL140 ロッド管内に挿入し、孔井口元にて下部ツールと接続する。接続時には、上部ツールを固定し下部ツール側を回転させ接続する。上部ツールへ衝撃や回転を与えた場合には通信エラーが発生し、再度キャリブレーションを行う必要がある。

なお、計測作業はキャリブレーションの完了後、計測精度を保つためには、ジャイロシステムの吊り上げ～試錐機上部から NL140 ロッド内を孔井口元まで降下～押込み補助装置との接続～ワイヤラインによるシステム降下までの一連の作業を、吊り上げ開始から 15 分以内に降下測定を開始する (In Run Survey) 必要がある。

図 8.2.4-8 にジャイロシステム用押込み補助装置の編成図を示す。

図 8.2.4-9 にジャイロシステムの計測準備作業状況を示す。

Gyro送込み装置編成図

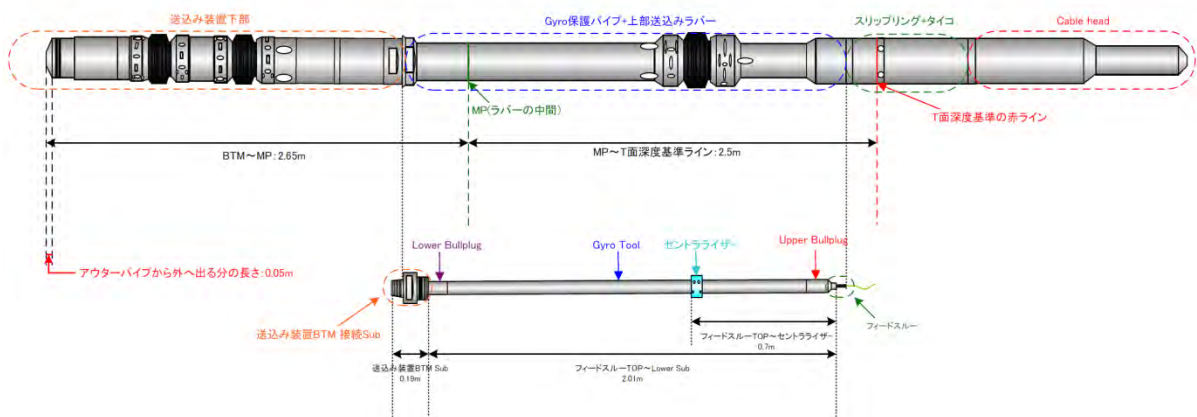


図 8.2.4-8 ジャイロシステム用押込み補助装置の編成図



図 8. 2. 4-9 ジャイロシステムの計測準備作業状況

(8) ジャイロ計測(計測結果)

本年度のサイドトラック掘削におけるジャイロシステムを用いた計測は、サイドトラック掘削前の掘削長 648.0m までの区間と、サイドトラック掘削終了後の掘削長 663.65m までの 2 区間において計測を実施した。図 8. 2. 4-10 に示した 2 回の計測結果の比較では、データの整合性が認められ、精度の高いデータが取得されていることが確認できた。

取得された方位データに若干の差がみられるが、適切なキャリブレーションを実施した状態であっても、ジャイロシステムを降下する際に押込み補助装置の受圧ラバーの影響等により、ワイヤライン作業によるジャイロシステムの揚降を繰り返したため発生する場合や、押込み作業時の掘削用泥水圧による振動等に起因する場合などがデータドリフトの原因であると推測される。

表 8. 2. 4-6 に平成 25 年度ジャイロシステム計測時の計測結果一覧表を示す。

図 8. 2. 4-10 に平成 25 年度ジャイロシステム計測結果の出力 Log を示す。

表 8. 2. 4-6 平成 25 年度ジャイロシステム計測結果

掘削孔底深度(m)	ジャイロ計測 最深深度(m)	計測最深深度 傾斜(度)	計測最深深度 方位(度)
648.00	642.6	78.85	220.66
663.65	654.6	79.5	221.12

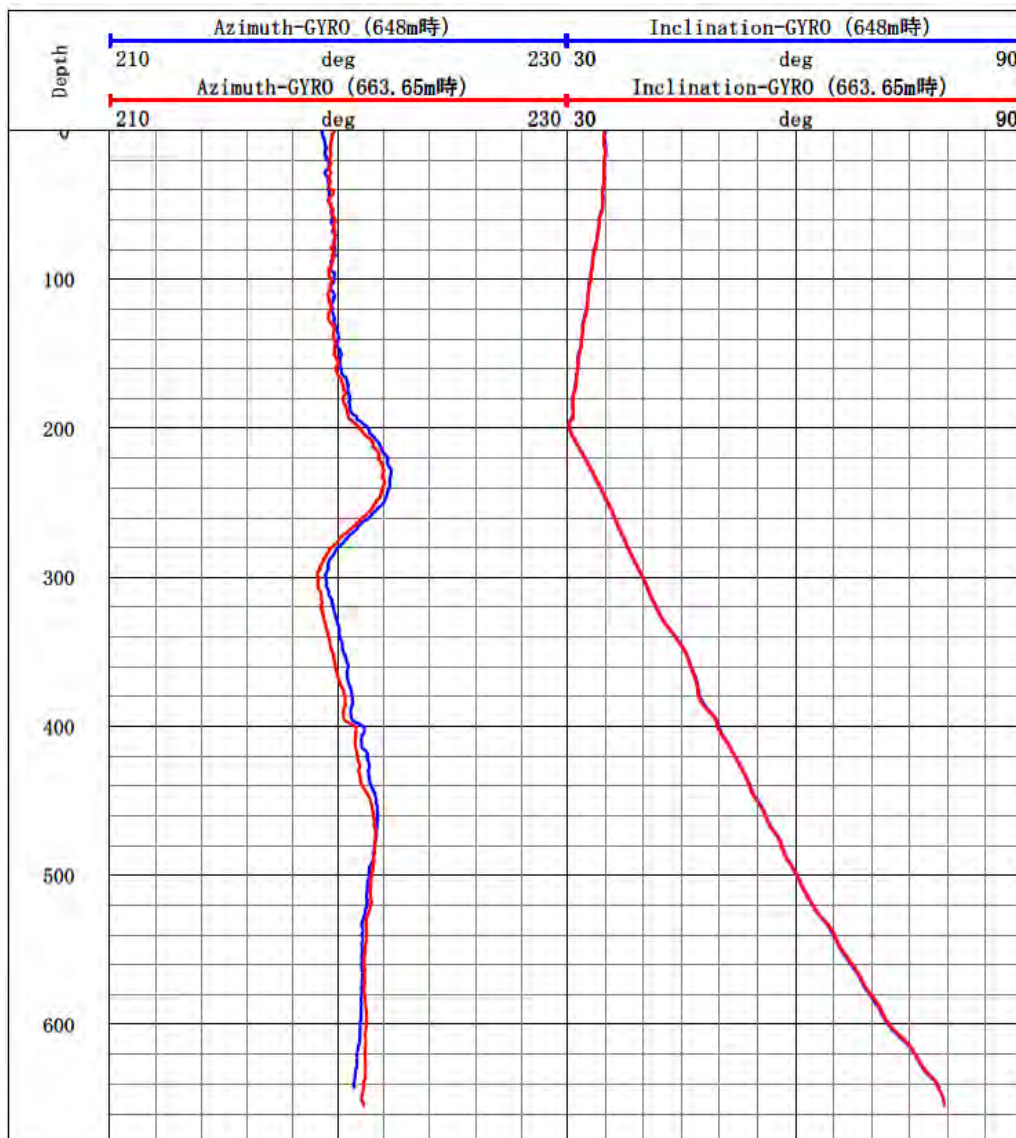


図 8.2.4-10 平成 25 年度ジャイロシステム計測結果 Log

(9) ジャイロ計測結果と平成 19 年度掘削区間WL-MWDデータとの比較

サイドトラック掘削終了後のジャイロ計測結果と平成 19 年度掘削時の WL-MWD データを WL-MWD 深度 640.0m～655.6m 間について比較を行った。

サイドトラック掘削終了後のジャイロ計測区間の平均増角率は $0.64^{\circ} / 10\text{m}$ を示し、平成 19 年度に掘削された同深度の区間平均増角率 $1.56^{\circ} / 10\text{m}$ と比較すると増角率が抑制された値を示し、前述(5)で述べたサイドトラック掘削時の WL-MWD 計測データと同様な増角率が抑制された傾向を示した。方位の区間変位率は $0.02^{\circ} / 10\text{m}$ と低い変位を示した。

表 8.2.4-7 に WL-MWD 深度 640.0m～655.6m 間について、ジャイロ計測結果と平成 19 年度掘削区間との孔井傾斜・方位および増角率、変位率の比較一覧表を示す。

図 8.2.4-11 に本年度サイドトラック区間についてのジャイロ計測結果と平成 19 年度掘削区
間との比較を行った出力 Log を示す。

表 8.2.4-7 ジャイロ計測結果と平成 19 年度掘削区間との比較

	深度(m)		傾斜(度)		方位(度)		平均増角率 (度/10m)	平均変位率 (度/10m)
	開始	終了	開始	終了	開始	終了		
ジャイロ	640.0	654.6	78.56	79.50	221.09	221.12	0.64	0.02
H19 MWD	640.0	654.6	78.70	80.98	219.31	219.38	1.56	0.05

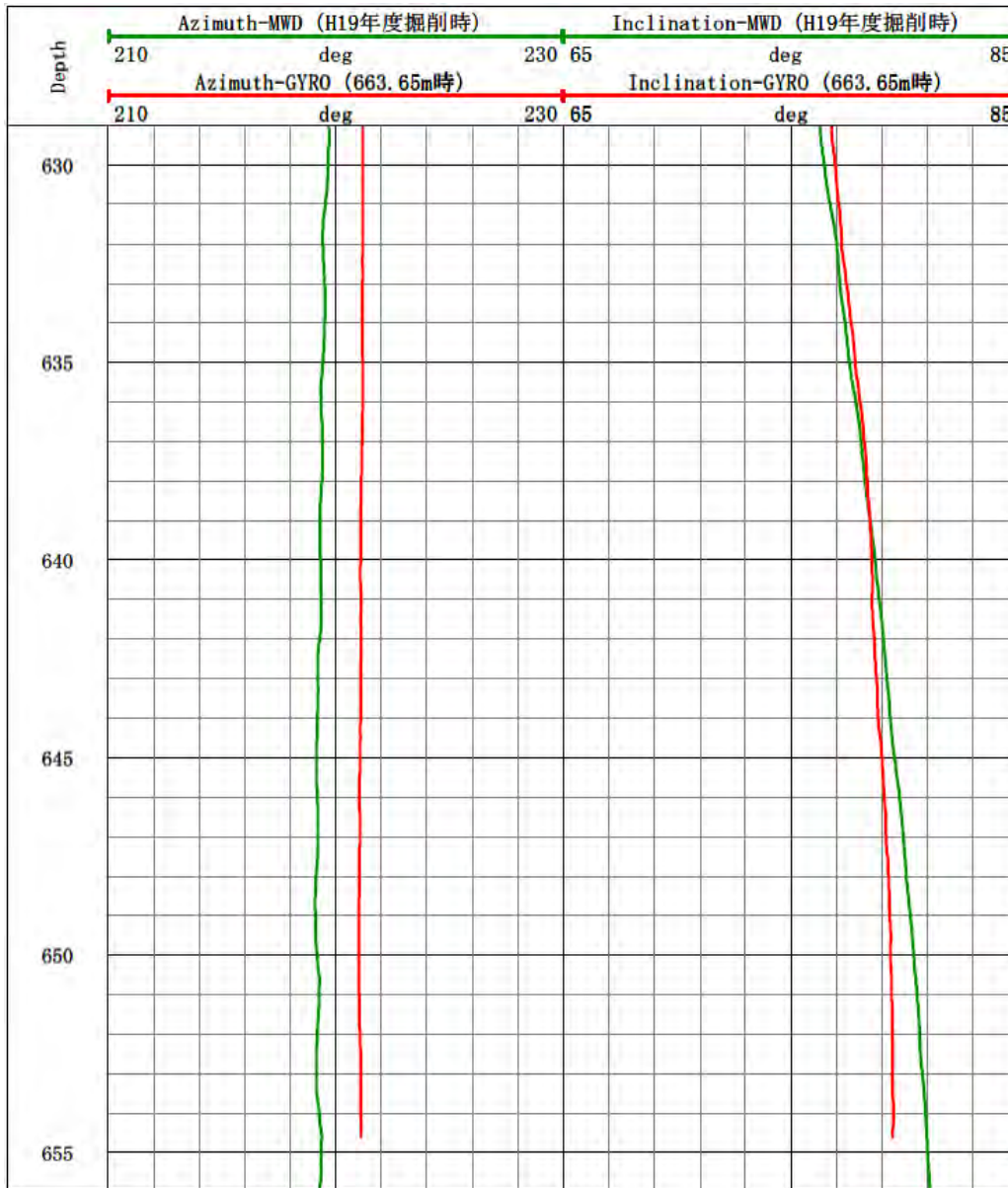


図 8. 2. 4-11 ジャイロ計測結果と平成 19 年度掘削区間との比較

(10) 孔跡(サイドトラック掘削後のジャイロ測定結果)

本年度サイドトラック掘削終了後のジャイロ計測結果を WellCAD プログラムにて孔跡データとして算出し、軌跡図を作成した。

その結果より、ジャイロ計測最深深度 654.6m での水平距離は 463.14m、垂直距離は 430.30m という結果となった。

図 8. 2. 4-12 に本年度サイドトラック掘削後のジャイロ計測結果 孔跡図(Vertical View)を示す。

図 8. 2. 4-13 に本年度サイドトラック掘削後のジャイロ計測結果 孔跡図(Horizontal View)を示す。

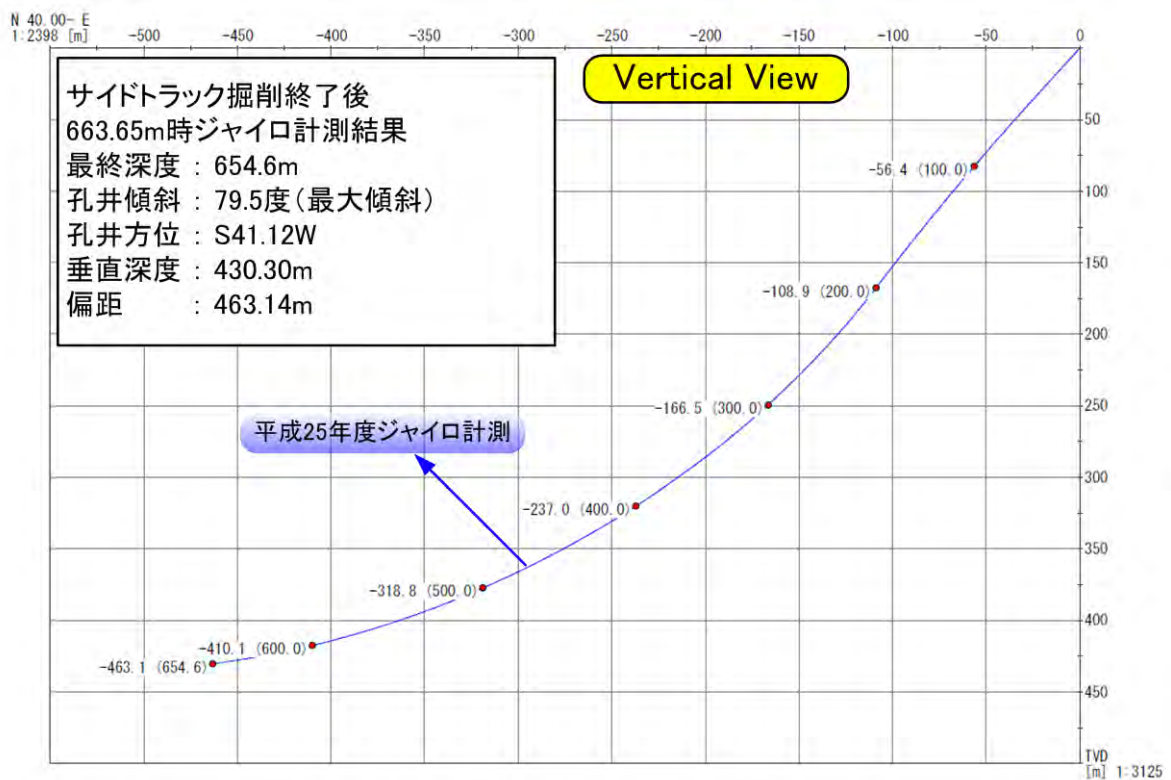


図 8. 2. 4-12 平成 25 年度ジャイロ計測結果 孔跡図(Vertical View)

Horizontal View

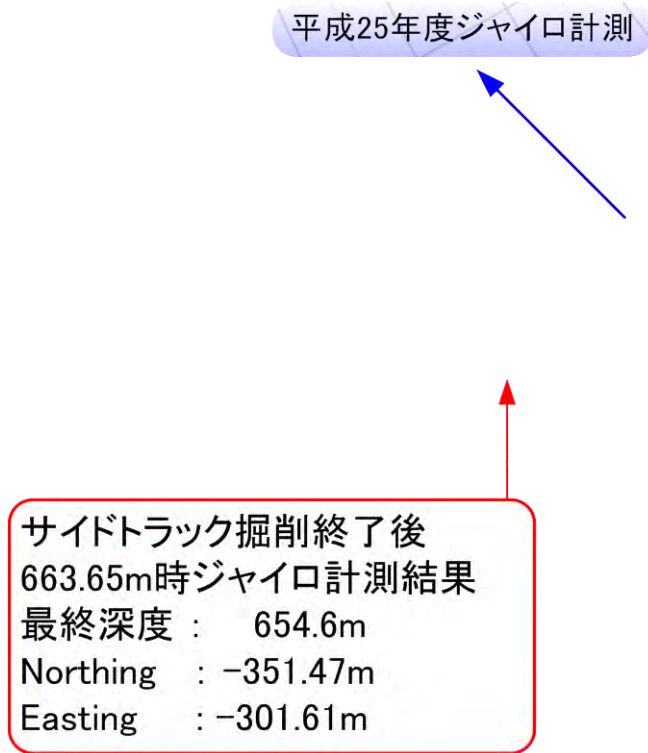


図 8.2.4-13 平成 25 年度ジャイロ計測結果 孔跡図(Horizontal View)

8.2.5 孔内応力測定のための試験区間拡孔

サイドトラック掘削によって採取されたボーリングコアから、孔内応力試験装置による水圧破碎試験実施が可能とであると判断された時点で、同試験装置による現地適用性評価試験の準備作業として、コアリング孔(φ89mm)を水圧破碎試験実施可能な孔径(φ100mm)への拡孔作業を行った。

8.2.5.1 孔内応力試験装置の水圧破碎試験実施可能区間の確認

孔内応力試験装置の現地適用性評価試験実施時において、実際に同試験装置を用いた水圧破碎試験を行う際に必要となる試験区間長を把握するために、実際の孔内応力試験装置の試験実施部分(上部パッカ～注水・加圧バルブ～光学カメラ～下部パッカ)の寸法と、水圧破碎試験実施時に要求される健岩部(亀裂が存在しない部分)の長さを事前に確認、検討した。

試験区間の選定を行う上で、孔内応力試験装置と亀裂の位置関係は重要であり、試験区間は上部・下部パッカに挟まれる区間となるが、その範囲内に亀裂が存在していないことが最低限の必要条件となる。また、パッカ設置位置の試験区間側30cmの範囲にも亀裂が存在しないように試験装置を配置する必要がある。

さらに、孔内応力試験装置による水圧破碎試験の実施前には、型どりパッカによる亀裂状態の確認作業を行うことから、下部パッカが試験区間に配置された状況で、上部パッカはコアリング孔内に挿入された状態が必要となる。加えて、型どりパッカの中心は、上部・下部パッカに挟まれる試験区間中心へ設置する必要がある。

以上の条件から、コアリング孔内における孔内応力試験装置の配置状況を検討した。

図8.2.5-1に孔内応力試験装置のコア孔内での配置状況模式図を示す。

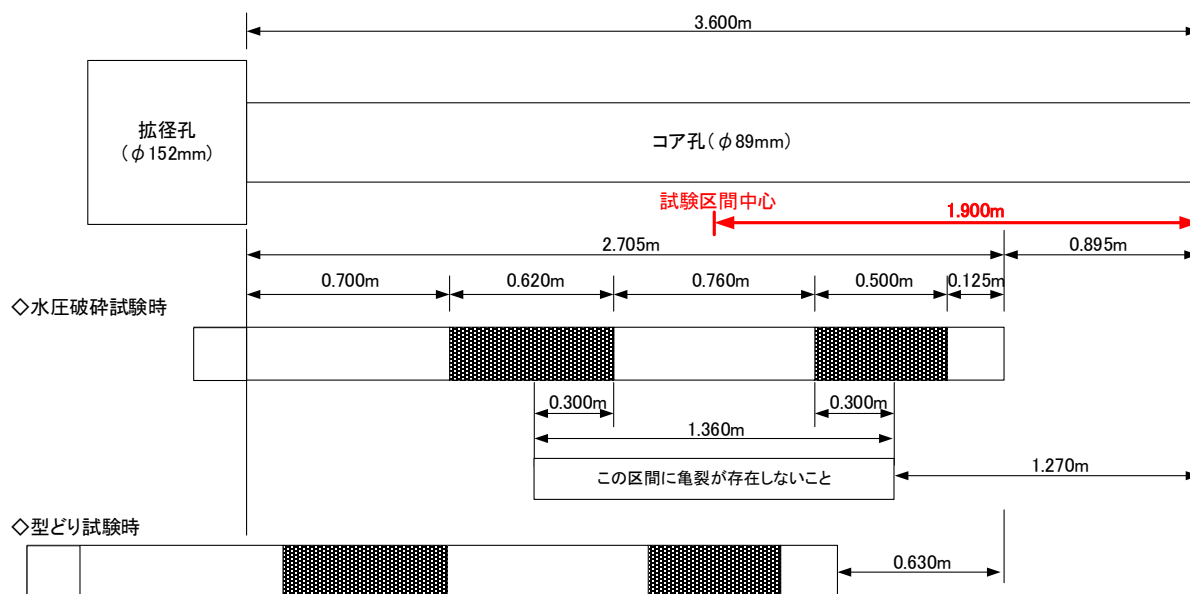


図 8. 2. 5-1 孔内応力試験装置のコアリング孔内での配置状況模式図

8. 2. 5. 2 試験区間の選定状況

試験区間の選定は、サイドトラック掘削による掘削長 660m 以降で実施することから、同掘削長以深の採取コアにおいて亀裂状況の確認を行った。図 8. 2. 3-5 に示した採取コアの状況から、掘削長 660. 95m 以降において亀裂の発達が疎らな棒状のコアを確認することができた。

その結果、図 8. 2. 5-1 に示す装置の配置で、孔内応力試験装置による試験区間中心位置を掘削長 661. 65m とした場合、水圧破碎試験の実施が可能であることを確認した。

しかし、試験実施のためには、下部パッカを拡張するために掘削長 662. 33m までのボーリングコアに亀裂がないことを確認する必要がある、コアリング孔の入り口を掘削長 659. 95m まで掘削しなければ、同試験装置を試験区間まで挿入することができない。

そこで、試験装置の配置に必要な掘削長に調整するため、掘削長 663. 55m まで延長掘削を行い、ボーリングコアにおける亀裂発達状況の確認を行った。

この延長掘削の結果、掘削長 662. 40m 地点に潜在的な亀裂が確認されたが、試験区間の確保には問題ないと判断した。しかしながら、掘削長 662. 40m 地点以深は棒状のコアが取得できていることから、上部パッカ位置を更に 10cm 孔底側に設置するため、掘削長 663. 65m まで 10cm 分の追加掘削を行って孔内応力試験を実施するための試験区間の条件が満たされた。最終的な試験区間の中心位置は掘削長 661. 750m とした。

図 8. 2. 5-2 に孔内応力試験装置の試験実施時設置状況を示す。

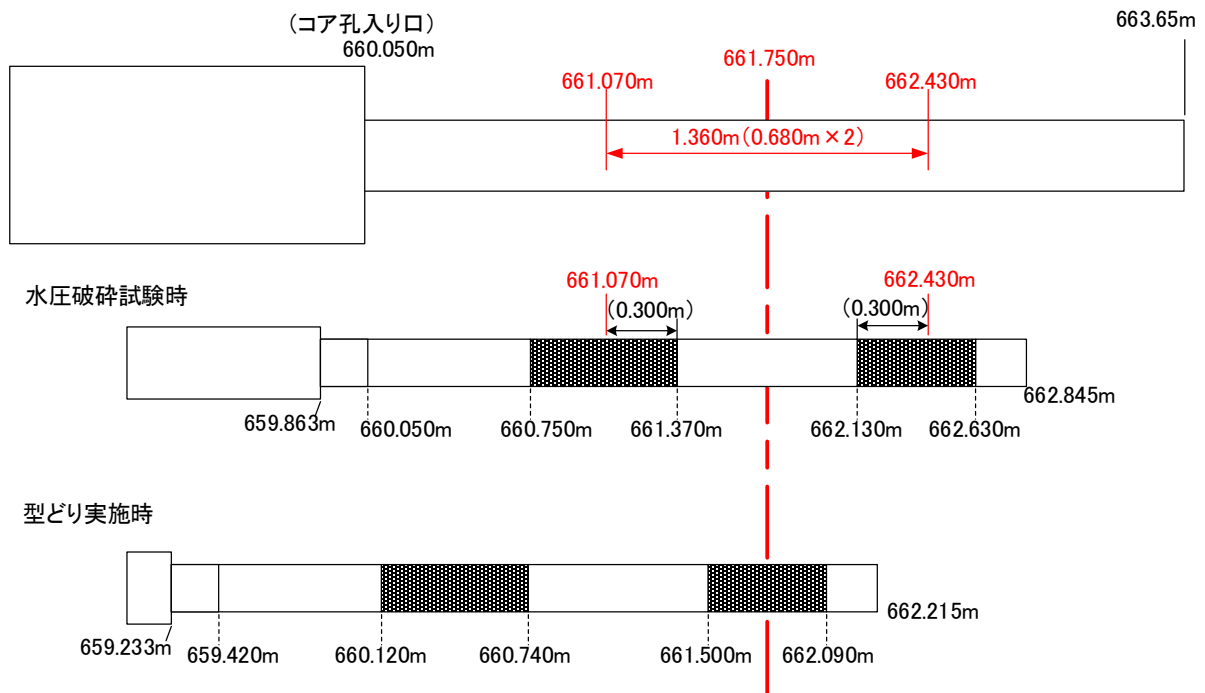


図 8. 2. 5-2 孔内応力試験装置の試験実施時設置状況

8. 2. 5. 3 試験区間の拡孔形成作業

孔内応力試験装置による試験区間の選定が終了した後に、 $\phi 89\text{mm}$ のコアリング孔を $\phi 100\text{mm}$ まで拡げる拡孔作業を行った。拡孔作業はコアリング孔の入口である掘削長 660. 05m から、孔内応力試験装置による水圧破碎試験実施時の装置先端位置となる掘削長 662. 845m より 25cm 程度孔底側となる掘削長 663. 100m まで $\phi 100\text{mm}$ への拡孔掘削を行った。

拡孔掘削では、既存のコアリング孔に追従する”パイロッドガイド”を取り付けた専用のビットを新規に製作して本作業に使用した。

図 8. 2. 5-3 に製作した $\phi 100\text{mm}$ 拡孔ビットを示す。

図 8. 2. 5-4 に $\phi 100\text{mm}$ 拡孔ビット装着時のコアチューブを示す。

図 8. 2. 5-5 に拡孔後に回収した $\phi 100\text{mm}$ 拡孔ビットを示す。

図 8. 2. 5-6 に拡孔作業による試験区間とコアリング孔の状況図を示す。



図 8.2.5-3 製作した φ100mm 拡孔ビット

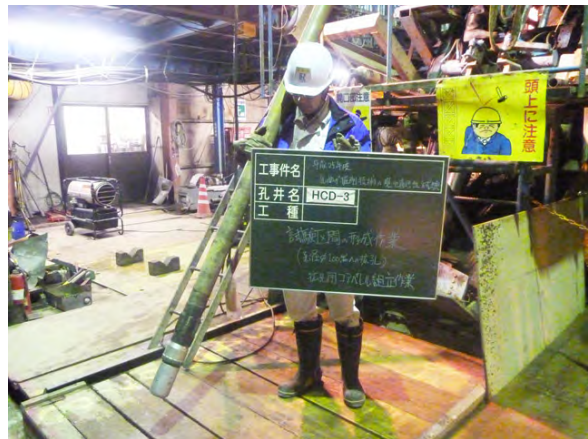


図 8.2.5-4 φ100mm 拡孔ビット装着時のコアチューブ



図 8.2.5-5 拡孔後に回収したφ100mm 拡孔ビット

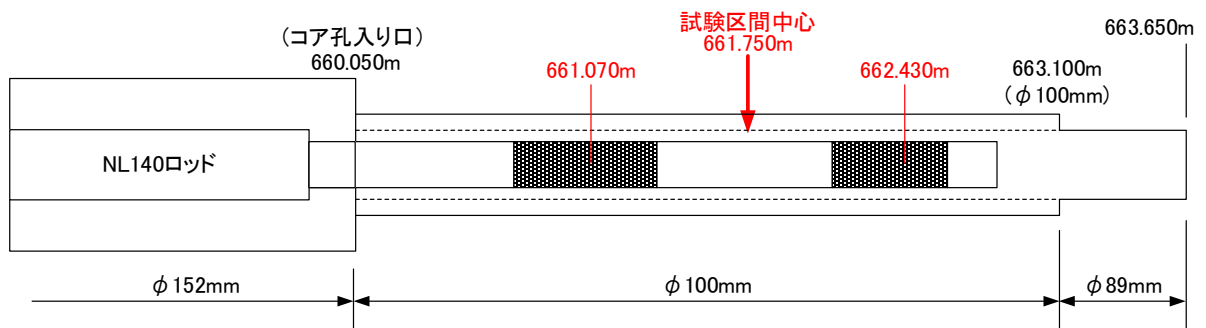


図 8.2.5-6 拡孔作業による試験区間とコアリング孔の状況図

8.3 孔内透水試験・採水

ダブルパッカおよび採水のためのケミカルユニットの現地適用性評価試験は平成18年にHCD-3孔を掘削した際に、逸水が生じた掘削長209.5mの割れ目を対象として実施した。この試験では、水理試験とともに採水も実施し、ダブルパッカの有効性を確認することを目的としている。採水については、HCD-3孔は孔井全体にわたって透水性が低く、これまで1回しか実施されていない。

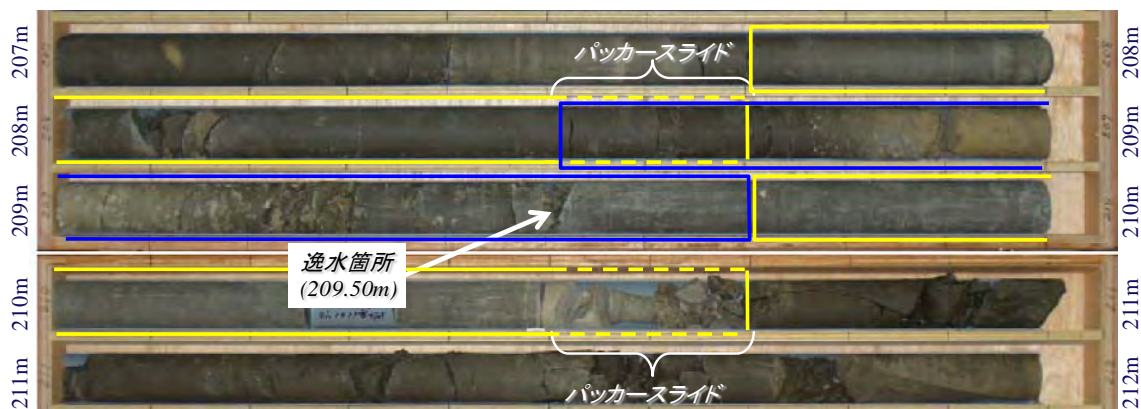
このため、これまで開発してきた採水深度の地下水を揚水しながら水質をモニタリングし、採水のタイミングを計ることが可能な水質センサ、分光光度計、濁度計の適用性が十分に確認されたとは言い難い。

以上から、透水性の高い掘削長209.5m箇所でも水理試験とともに採水も併せて行い、採水のためのケミカルユニットについても適用性の確認を行う。

8.3.1 試験区間の設定

試験個所の地質は珪藻質泥岩であり、割れ目が存在するものの、HCD-3孔でしばしば認められる破碎帯やカタクラサイトを有する小規模の破碎帯(大曲断層の分岐断層など)は存在せず、HCD-3孔の全体でも割れ目の密度が低い箇所である。しかしながら、平成18年に掘削した際には掘削長209.5mで逸水が生じたため、水理試験および採水を実施している。この際の水理試験においては、コア孔においてシングルパッカで行われ、 10^{-6} m/sオーダーの透水係数が得られている。また、採水では塩分が高く、油臭が強い地下水が採取されている。

今回の試験では、拡張された孔で行うため、孔壁面に出現する割れ目の位置やパッカのスライドを考慮して、試験区間を掘削長208.70m~209.70mとした(図8.3.1-1)。図8.3.1-2に事前に室内で測定した、パッカに加える圧力とパッカ径ならびにスライド長さの関係を示す。パッカは空中において確認した。この図から、キャリパ検層の結果により得られた孔径(平均φ160mm、最大φ165mm)に対応するパッカのスライド長は140mm~160mm程度であり、15cm~20cm以内に確実に収まると推定した。



黄：パッカー区間，青：試験区間

図 8.3.1-1 試験個所のコアおよび試験区間

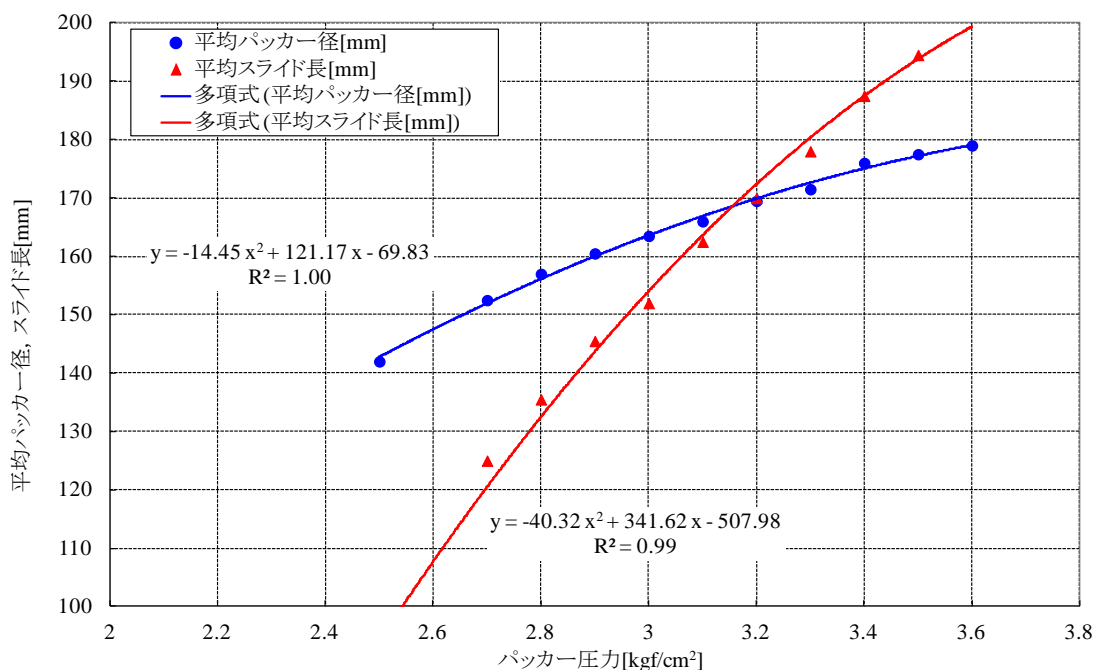


図 8.3.1-2 室内試験によるパッカ拡張圧とパッカ径・スライド長の関係

図 8.3.1-3～5 に上部パッカ設置区間、試験区間、および下部パッカ設置区間においてイメージング装置を用いて実施したイメージングの結果を示す。この結果、イメージング映像として良好な画像が得られ、上下部パッカ設置区間には、顕著な割れ目やスライムの堆積、孔径の拡大は認められなかった(図 8.3.1-3、5)。また、試験区間である掘進長 209.5m 付近には、割れ目に起因する孔壁の不良所が見られた(図 8.3.1-4)。

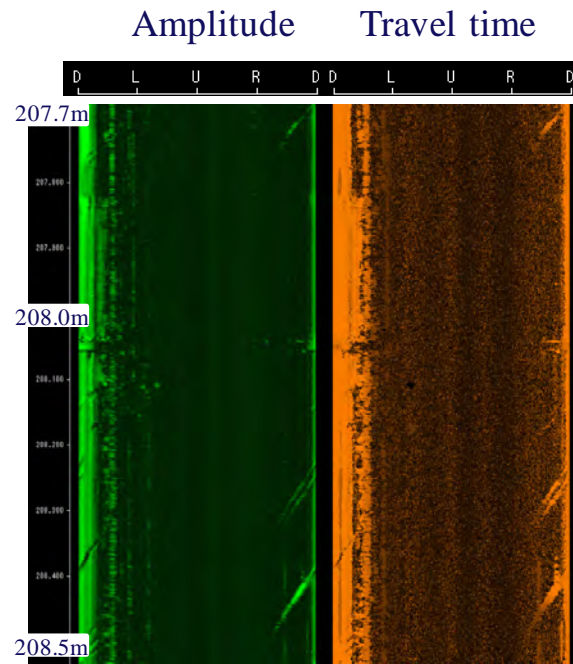


図 8.3.1-3 上部パッカ設置区間におけるイメージング結果

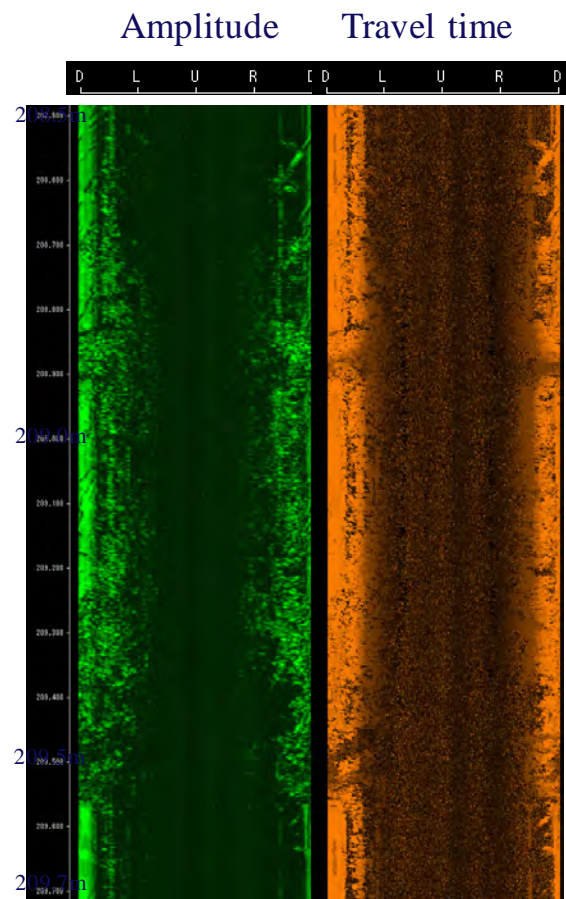


図 8.3.1-4 試験区間におけるイメージング結果

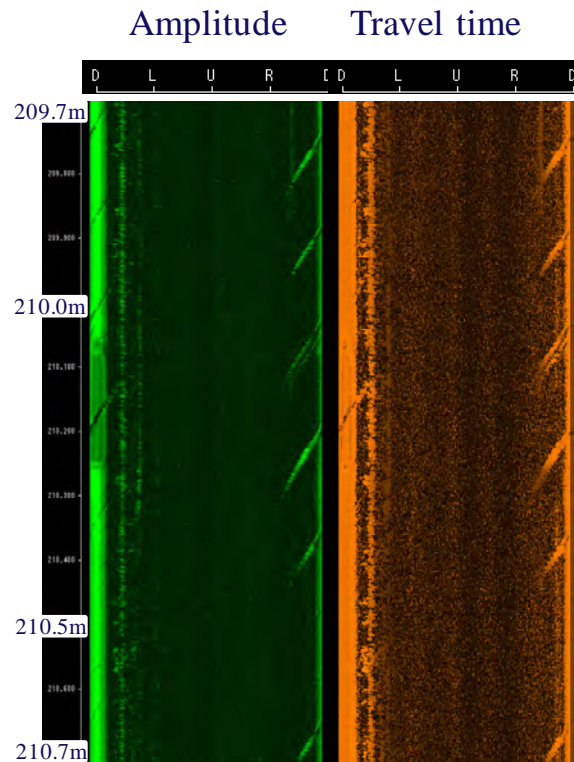


図 8.3.1-5 下部パッカ設置区間におけるイメージング結果

8.3.2 透水試験結果

透水試験では、間隙水圧測定に引き続き、揚水試験、スラグ試験による透水係数の推定を実施した。図 8.3.2-1 に間隙水圧測定、透水試験時における圧力測定結果を示す。間隙水圧測定は平成 26 年 1 月 21 日～1 月 22 日にかけて、透水試験は 1 月 22 日～1 月 27 日にかけて実施した。

間隙水圧は、概ね安定した 1 月 22 日 9:00～9:50 の 50 分の平均を当該区間の安定間隙水圧とした。この結果、間隙水圧は 1.83MPa であり、孔口からの静水圧と比較すると約 0.4m の被圧であった(図 8.3.2-2)。平成 18 年度に実施した水理試験時における間隙水圧は静水圧に対して 4.9m の負圧であったことから、当該深度において、透水性の変化により周辺間隙水圧が変化した可能性がある。

また、図 8.3.2-1 から、下部パッカよりも下方の圧力を測定するセンサー(「先端圧力」と表記)の測定値と試験区間の圧力の測定値、および上部パッカよりも上方の圧力を測定するセンサー(「アニュラス」と表記)の測定値と試験区間の圧力の測定値を比較すると、先端圧力、アニュラスのいずれも試験区間の圧力と同時に変動する現象は見られない。このことから、ダブルパッカによって試験区間が上下のボーリング孔から止水されたものと考えられる。

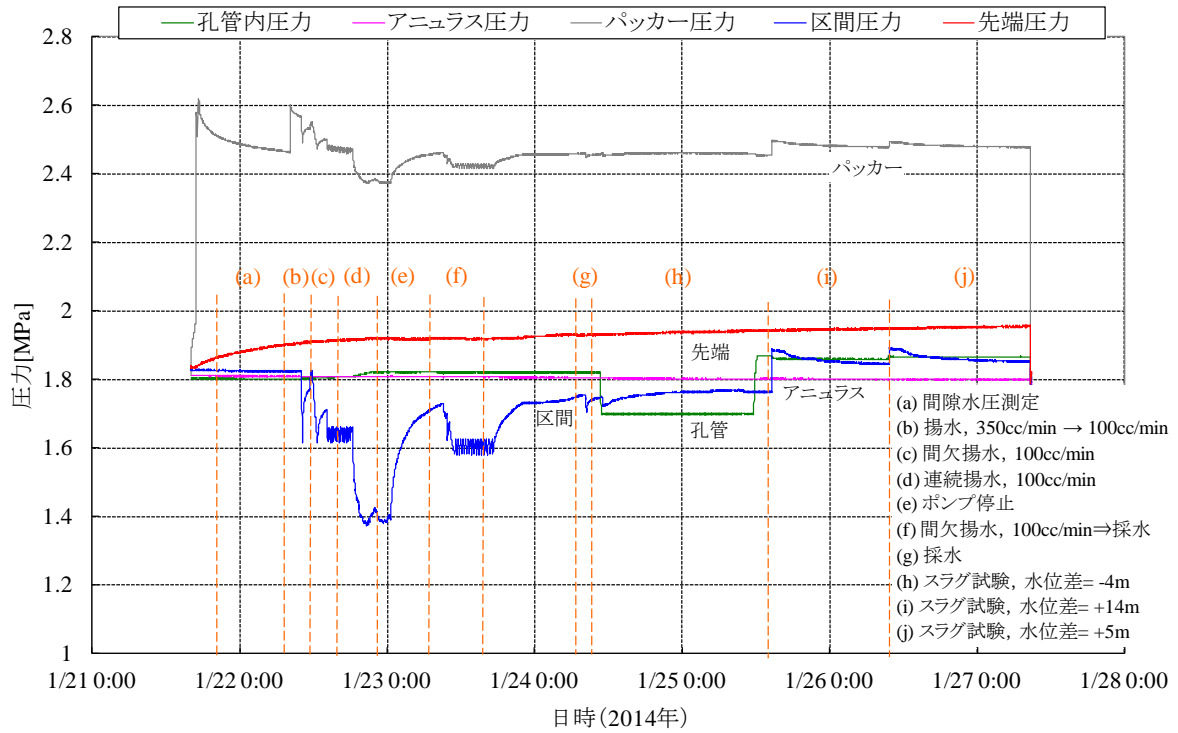


図 8.3.2-1 水理試験結果：圧力の時間変化

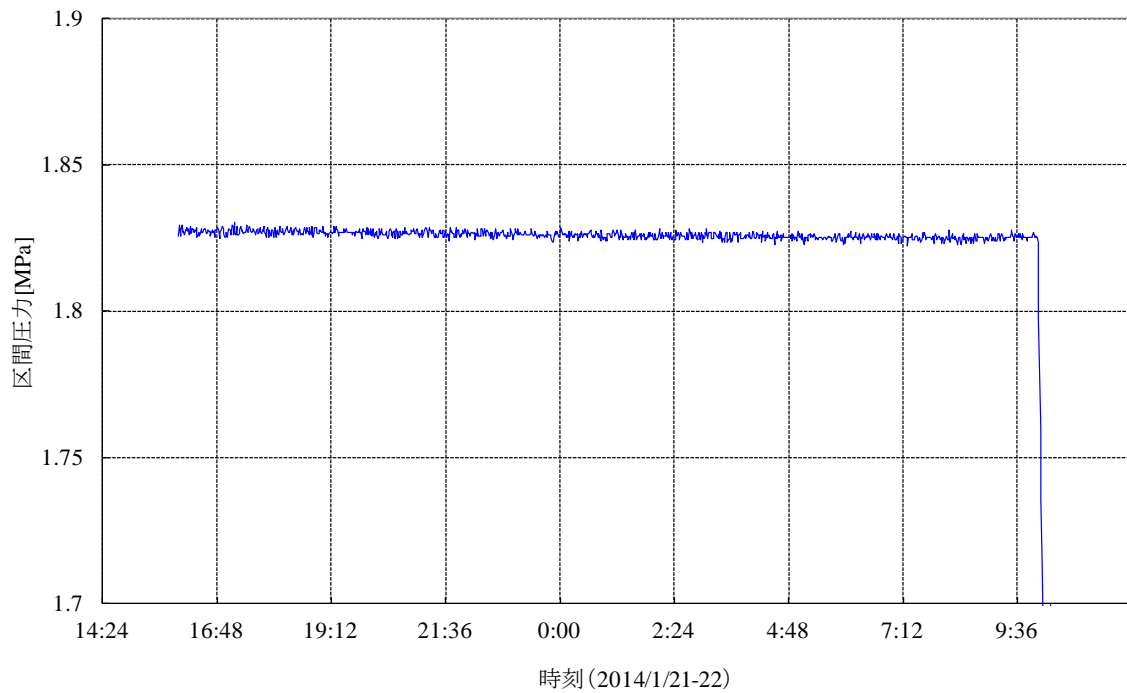


図 8.3.2-2 間隙水圧測定結果

間隙水圧測定後、1月22日から揚水を開始した。本年度はケミカルユニット、すなわち採水のための水質測定センサ、分光光度計、採水容器のシステムの現場への適用性検証を優先させるため、透水試験に先立ち採水のための予備揚水を実施した。間隙水圧測定時において、平成18年度に実施した時と水理場が変化している可能性があることが判明していたことから、ポンプ(モノポンプ)を用いて最適な揚水量の推定を行なった。この結果、ポンプの最小揚水量である100mL/minで揚水した場合でも圧力の低下が大きく、平成18年度の透水係数よりも低下していることが予測された。そこで、100mL/minで圧力が1kgf/cm²(約0.1MPa)低下するまで揚水し、低下後には区間圧力が回復するまでポンプの運転を停止する間欠的な揚水を実施することとした。しかしながら、1月22日18:20ごろから間欠的な揚水の運転が停止し、連続的に揚水する結果となった。区間圧力の概ね安定した1月22日20:11～1月23日0:34のデータ(図8.3.2-3)を用いて、以下のHvorslevの式により透水係数kを算出したところ、 1.3×10^{-8} m/sとなった。

$$k = \frac{Q}{2\pi LH} \ln\left(\frac{L}{r}\right) \quad (9.4.1-1)$$

ここに、Q, L, rは揚水量[m³/s]、試験区間長[m]、孔半径[m]である。

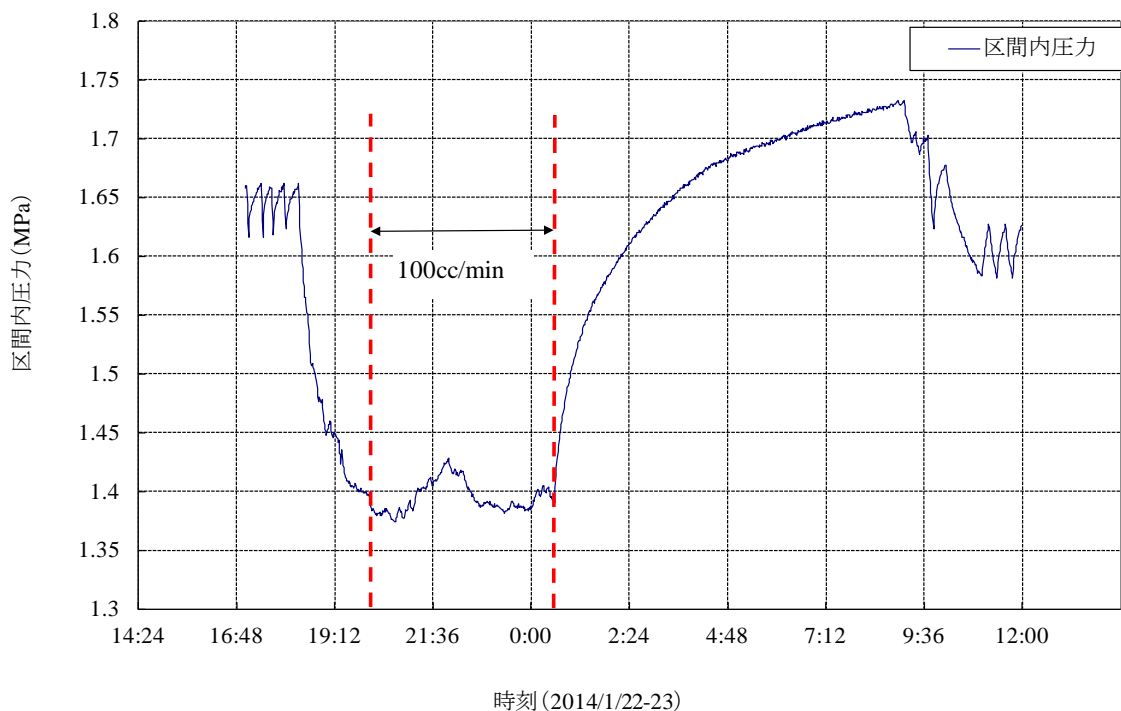


図 8. 3. 2-3 揚水時における区間圧力の変動

次に1月25日～27日にかけてスラグ試験を実施した。スラグ試験は2回実施した。1回目の試験では孔管内の水位を試験区間水位よりも14m程度、2回目の試験では5m程度上昇させた。次にこの状態で試験区間に通じる配管のバルブを解放し、試験区間圧力の低下を測定した。この結果を図8.3.2-4、8.3.2-5に示す。この圧力低下の時間変化データから、以下のHvorslevの式により透水係数kを算出したところ、1回目は $2.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 、2回目は $2.2 \times 10^{-8} \text{m/s}$ となった。

$$k = \frac{d^2 \ln \left[\frac{L}{2r} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{2r} \right)^2} \right]}{8L(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (9.4.1-2)$$

ここにd, L, r, t, hは孔管(スタンドパイプ)の水面が存在する部分の内径[m]、試験区間長[m]、孔半径[m]、時刻[s]、スタンドパイプ内の水位[m]を表し、tおよびhの添字は任意の2点である。2回目のスラグ試験における圧力変化の解析結果を図8.3.2-6に示す。

平成18年度に行った同様の箇所における透水係数は $2 \sim 3 \times 10^{-6} \text{m/s}$ であり、今回の測定結果は100分の1程度となっている。このことから、平成18年度掘削中に逸水した割れ目(掘進長209.5m付近)は時間の経過とともに目詰まりを生じ、その結果透水性が変化したものと考えられる。

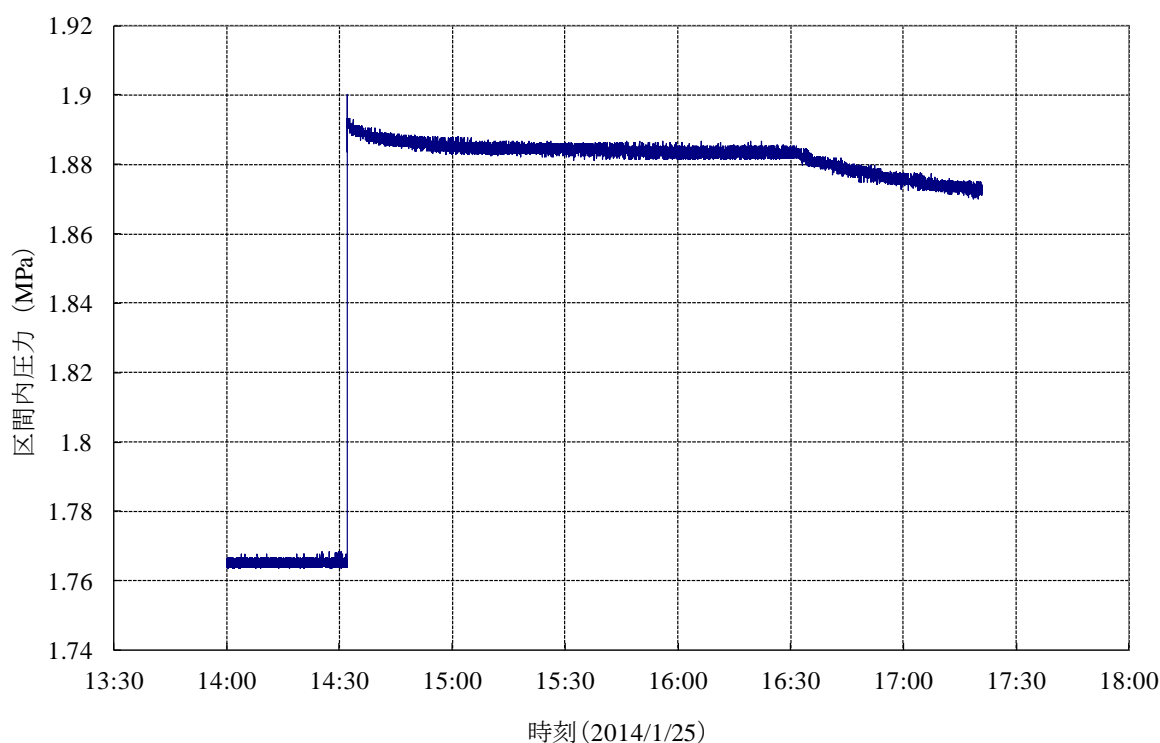


図 8.3.2-4 スラグ試験(1回目)時における区間圧力変化

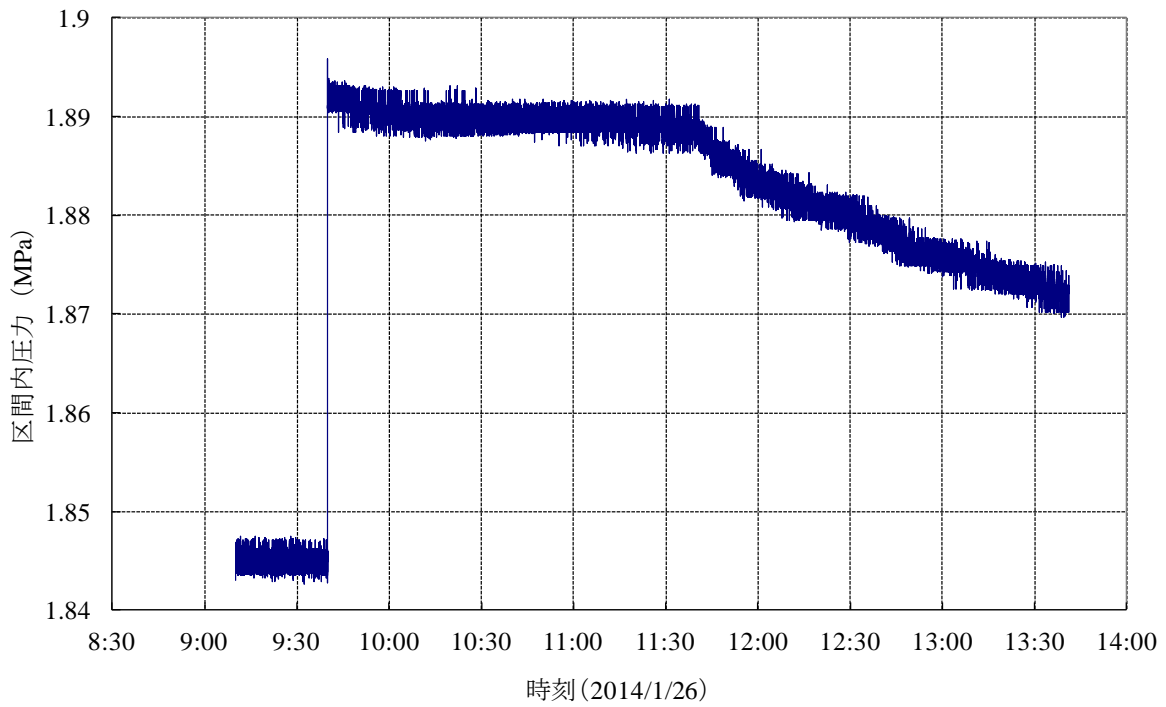


図 8.3.2-5 スラッグ試験(2回目)時における区間圧力変化

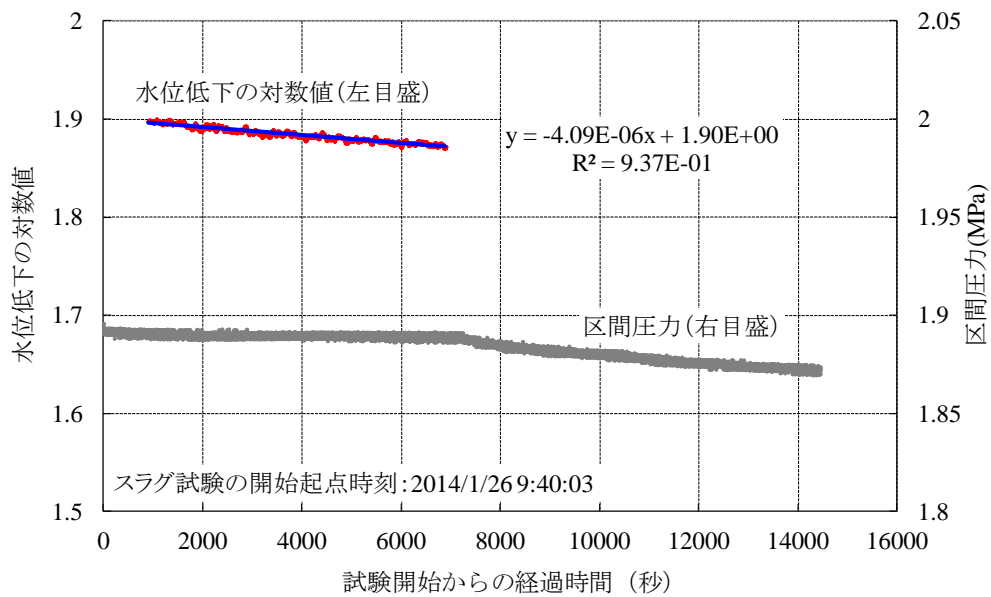


図 8.3.2-6 スラッグ試験解析図(試験開始からの経過時間と圧力の自然対数値の関係)

8.3.3 採水結果

1月23日～24日にかけて、採水を行った。あらかじめ実施した揚水により60L程度の地下水を汲み上げた後、13L程度を採水容器に流入させた。このうち、1Lを採水容器により、75ccを銅管により、それぞれ採取した。キャリパ検層の結果から、ボーリング孔径を $\phi 162.5\text{mm}$ 、試験区間の長さをパッカのスライド長を考慮して1,150mm、試験区間内の装置の外径を $\phi 950\text{mm}$ (スライド部分は $\phi 600\text{mm}$)とした場合に、デッドボリュームは16.3Lとなる。このことから、採水前に揚水した量はデッドボリュームの約4倍程度であったと推定される。

図8.3.3-1、8.3.3-2に採水を実施している間における水質の時間変化、ならびに分光光度計を用いたトレーサ濃度の時間変化をそれぞれ示す。1月23日12:00頃～17:00頃と1月24日8:00頃～9:00頃に採水を実施しており、図8.3.3-1を見ると、採水時における水質は概ね安定していると判断することができる。EC(電気伝導度)は9.93～9.95mS/cm、pHは6.97～6.99、Redox(酸化還元電位)は-152～-125mV、D0(溶存酸素濃度)は0～3.8%であった。これらの値は、平成18年度の測定値と比較して概ね同程度の値を示しており、地下水の水質に大きな変動はなかったものと考えられる。図8.3.3-2を見ると、トレーサ濃度は低い値の場合には1,800ppb程度であるものの、高くなると8,000ppb程度まで上昇していることが分かる。ボーリング孔内に循環させた水に添加したトレーサ濃度は20ppm(20,000ppb)である。採取した地下水のトレーサ濃度を後日室内で測定した結果、600ppb程度であったことから、現場で測定したトレーサ濃度の測定値は実際よりも大きいことが分かった。この原因としては、現場での測定時には分光光度計の測定箇所土粒子や気泡が混入したことが考えられる。

表8.3.3-1に採水した試料の分析結果として、一般水質(陽イオン:ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウムイオン、陰イオン:塩化物、硫酸、臭化物、炭酸水素、ヨウ化物イオン)、トリチウム、水素・酸素同位体組成を示す。ナトリウムイオンや塩化物イオンは海水の十分の一程度であり、平成18年度の測定結果と整合的である。ただし、トリチウムが0.09Bq/L検出されており、掘削水に用いた井戸水のトリチウム濃度が0.49Bq/Lであることから、ある程度の掘削水の混入があると考えられる。

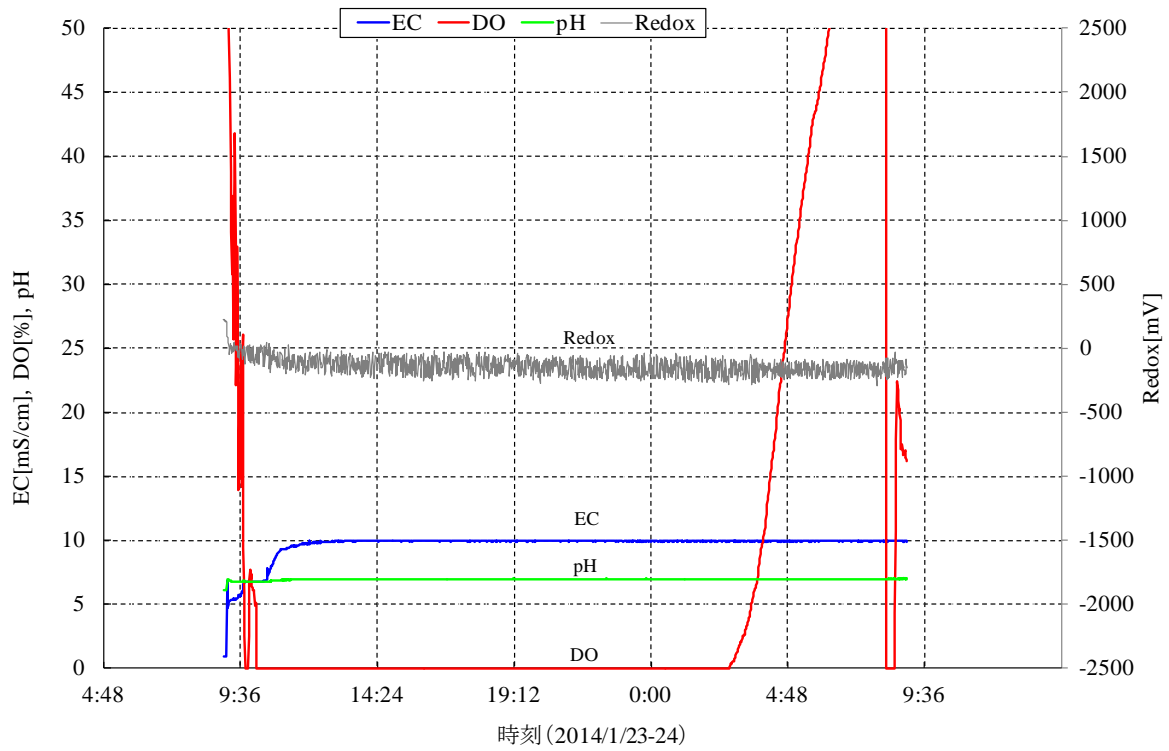


図 8.3.3-1 採水時における原位置水質測定結果

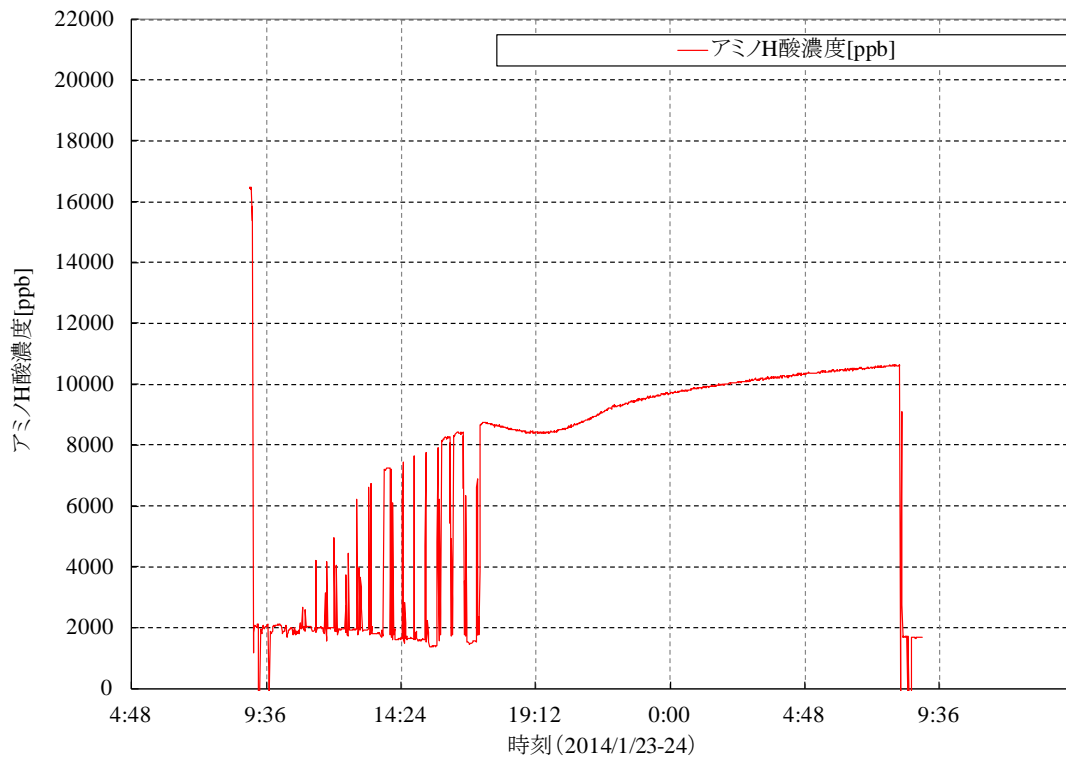


図 8.3.3-2 採水時における原位置トレーサ濃度測定結果

表 8.3.3-1 採水試料の水質分析結果

項目 \ 試料番号	モニタリング孔 サンプル①	モニタリング孔 サンプル②	単位	分析方法
ナトリウムイオン	1800		mg/L	JIS K 0101 -1998- 47.4 イオンクロマトグラフ法
カリウムイオン	23		mg/L	JIS K 0101 -1998- 48.3 イオンクロマトグラフ法
カルシウムイオン	37		mg/L	JIS K 0101 -1998- 47.4 イオンクロマトグラフ法に基づく
マグネシウムイオン	13		mg/L	JIS K 0101 -1998- 47.4 イオンクロマトグラフ法に基づく
塩化物イオン	1900		mg/L	JIS K 0101 -1998- 32.5 イオンクロマトグラフ法
硫酸イオン	1未満		mg/L	JIS K 0101 -1998- 42.4 イオンクロマトグラフ法
臭化物イオン	9.4		mg/L	JIS K 0101 -1998- 34.2 イオンクロマトグラフ法
炭酸水素イオン	1800		mg/L	河川水質試験方法(案)-1997- 57 標準法2 赤外線分析法
ヨウ化物イオン	5.9		mg/L	JIS K 0101 -1998- 33.1 よう素抽出吸光度法
トリチウム	0.09±0.01 (DL: 0.03)		Bq/L	文部科学省放射能測定法(平成14年) トリチウム分析法(電解濃縮法)
トリチウム	0.7±0.1 (DL: 0.3)		TU	文部科学省放射能測定法(平成14年) トリチウム分析法(電解濃縮法)
水素同位体組成	-42	-42	‰	新実験化学講座(1975) 第10巻 4.6 安定同位体比の測定方法
酸素同位体組成	-4.1	-4.0	‰	新実験化学講座(1975) 第10巻 4.6 安定同位体比の測定方法

8.4 孔内応力測定

8.4.1 幌延現地試験

幌延現地での試験装置の組立は槽を倒した状態で実施した。図 8.4.1-1 は孔内応力試験装置の搬入時の状態である。写真右から下部パッカ、上部パッカ、孔内計測機器、注水ポンプ、パッカポンプ、一番左が孔内水タンクと送り込み装置である。手前側が各ユニットの孔底側である。各ユニットの長さは 1m～3m 程度である。

図 9.4.1-1 に孔内応力試験装置の搬入時の状態を示す。



図 8.4.1-1 孔内応力試験装置の搬入時の状態

組立はヘッド側から順次槽に搭載して連結して、孔底側の上部パッカまでを連結したところで、槽を立ち上げ、最後に下部パッカを連結して装置の組立を完了させた。

図 8.4.1-2 は孔内応力試験装置のパーツをテント内のクレーンで吊りあげて、順次連結し槽に搭載していく作業状況を示す。また、図 8.4.1-3 は、計測機器の信号ケーブルおよび電源ケーブルの連結作業を示す。

図 8.4.1-4 は下部パッカに型どり用の熱収縮ゴムチューブを被せている状況である。熱収縮ゴムをパッカに被せてバーナーで熱してパッカに装着し、型どりパッカを作成した。

図 8.4.1-2 に孔内応力試験装置の組立状況を示す。

図 8.4.1-3 に孔内応力試験装置の組立(ケーブル連結)状況を示す。

図 8.4.1-4 に型どりパッカの作成(熱収縮ゴムチューブ装着)を示す。



図 8.4.1-2 孔内応力試験装置の組立状況



図 8.4.1-3 孔内応力試験装置の組立(ケーブル連結)状況



図 8.4.1-4 型どりパッカの作成(熱収縮ゴムチューブ装着)

試験装置組立は、電源線、信号線のコネクタを改良した結果、昨年度より作業性が向上し、櫓を倒してから組み立て作業を開始してからほぼ1日で完了した。孔底側の下部パッカからケーブルヘッドまでの全長は約19.1mである。昨年度の装置編成に比べて水圧破碎試験のための加圧区間長が下部パッカの改良により75cmとなり加圧区間長が15cm短くなった。また、送り込み装置をケーブルヘッドの直下に組み込み送泥を受けやすい編成に変更した。

図8.4.1-5に幌延現地試験の試験装置の構成を示す。

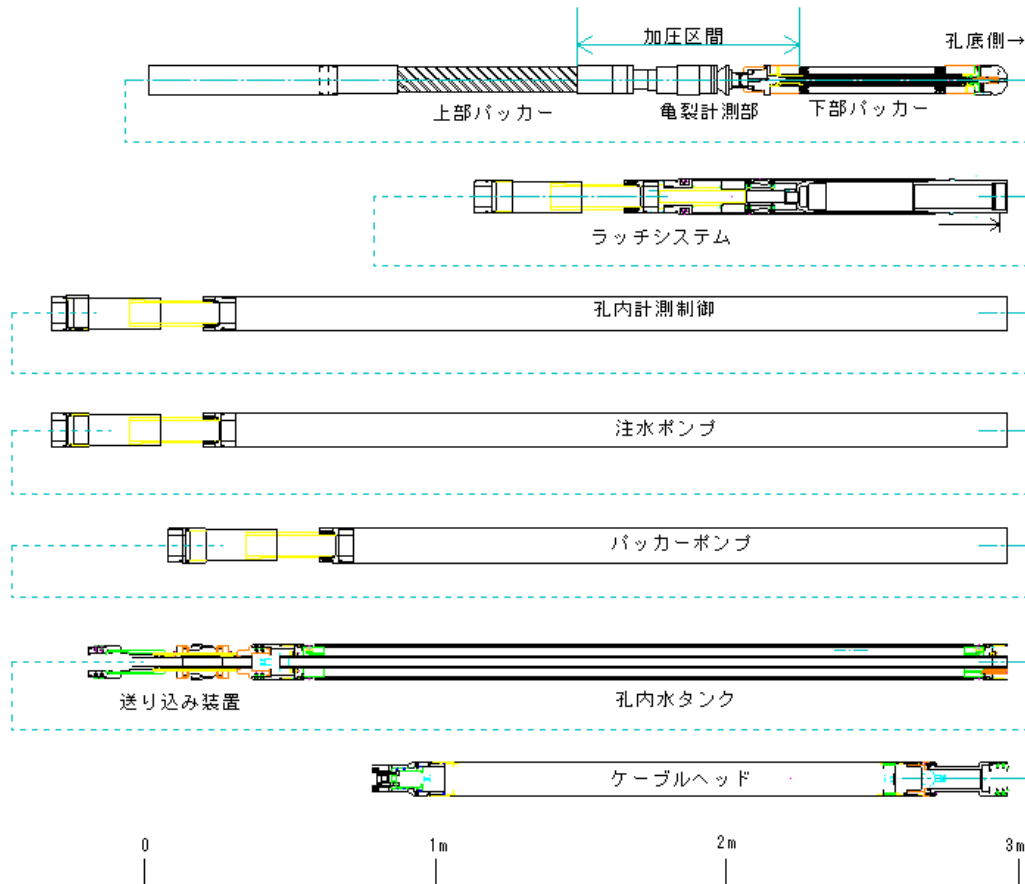


図8.4.1-5 幌延現地試験の試験装置の構成

8.4.1.1 孔内応力試験装置の地上での通信機能検証

孔内応力専用アーマードケーブルに接続して、地上部計測装置と孔内計測装置間での通信確認を行った。

表8.4.1-1に地上通信機能検証項目を示す。

図8.4.1-6に通信試験実施状況を示す。

図8.4.1-7に計測画面を示す。

図8.4.1-8にAE計測(左)とカメラ映像モニタ(右)状況を示す。

表 8. 4. 1-1 地上通信機能検証項目

	確認項目	内容
①	通信	地上部 PC から孔内計測機器の制御 RS485-光ファイバー- RS485 通信、圧力、方位、傾斜、ポンプモータの作動
②	カメラ	孔内カメラの画像、LED 点灯
③	AE	AE センサ波形



図 8. 4. 1-6 通信試験実施状況

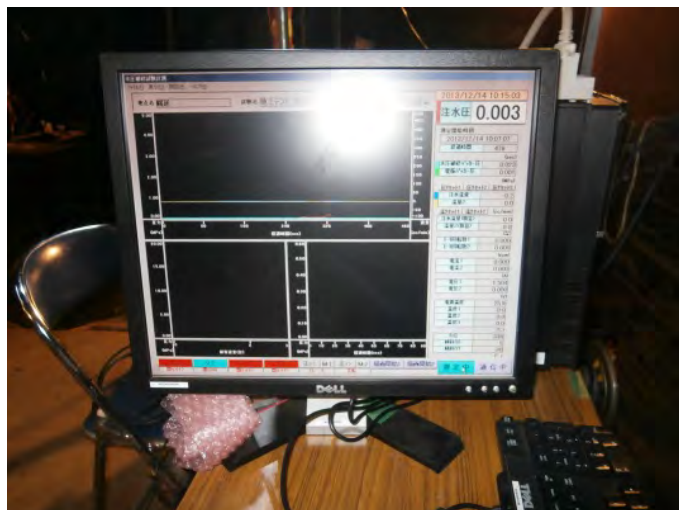


図 8. 4. 1-7 計測画面

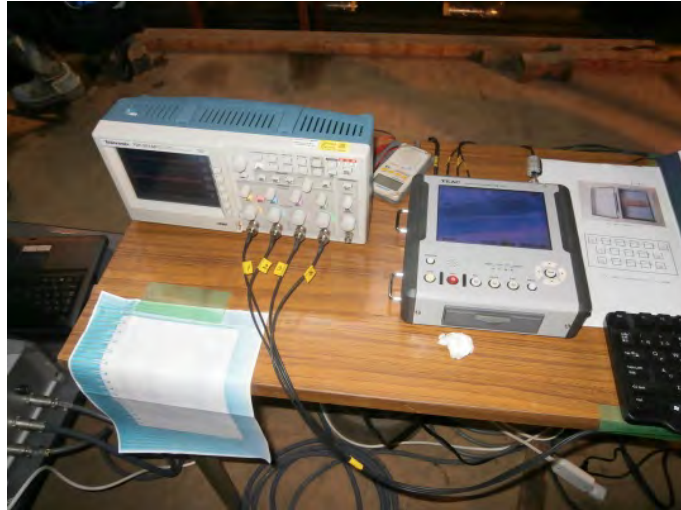


図 8. 4. 1-8 AE 計測(左)とカメラ映像モニタ(右)状況

装置組立後の槽上での孔内応力専用ケーブルを使った地上通信確認試験は問題なく実施できた。コントロールボーリングに適用出来ていることを確認した。

図 8. 4. 1-9 にカメラ用照明点灯状況を示す。

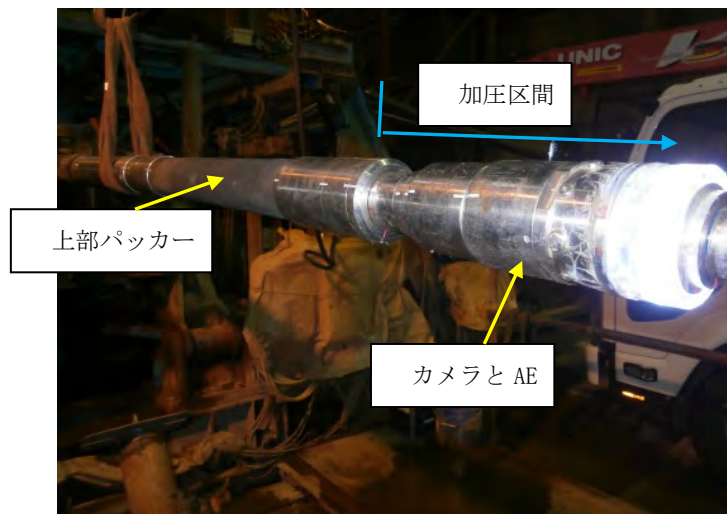


図 8. 4. 1-9 カメラ用照明点灯状況

8.4.1.2 水圧破碎試験位置の試験前孔壁確認

後述する 8.4.1.5 に記したように、試験装置が浸水したため、幌延現地での試験を中断し、横須賀現地試験で代替した。

8.4.1.3 孔内応力試験装置の機能検証試験

後述する 8.4.1.5 に記したように、試験装置が浸水したため、幌延現地での試験を中断し、横須賀現地試験で代替した。

8.4.1.4 水圧破碎試験位置の試験後孔壁確認

後述する 8.4.1.5 に記したように、試験装置が浸水したため、幌延現地での試験を中断し、横須賀現地試験で代替した。

8.4.1.5 幌延現地試験の中断とその対応

(1) 浸水確認

上述の 8.4.1.1 に記した地上での通信機能検証試験後、孔内応力試験装置を櫓から試験孔口元まで装置を挿入したのち翌日の型どり試験に備えて孔内に留置した。翌日、孔内計測器の電源を入れたが、電源が入らず、通信が確認できなかった。

そこで、櫓を起立した状態で、試験装置を孔内から引き上げて各ジョイント部分でのコネクタの外れがないか孔底側のジョイント部分(ラッチシステムと孔内計測制御部)からチェックを行った。この孔底側のジョイント部分の金具を外したところ、装置内部から孔内水が漏れ出てきて装置内部への浸水を確認した。

全装置を分割して全てを回収し、各ユニット、パーツの内部の浸水有無を確認した結果、孔底側の下部パッカから孔内計測制御ユニットまで浸水していることが分かった。

図 8.4.1-10 に孔内応力試験装置内への浸水状況を示す。

図 8.4.1-11 に孔内応力試験装置の計測制御部浸水状況を示す。



図 8.4.1-10 孔内応力試験装置内への浸水状況

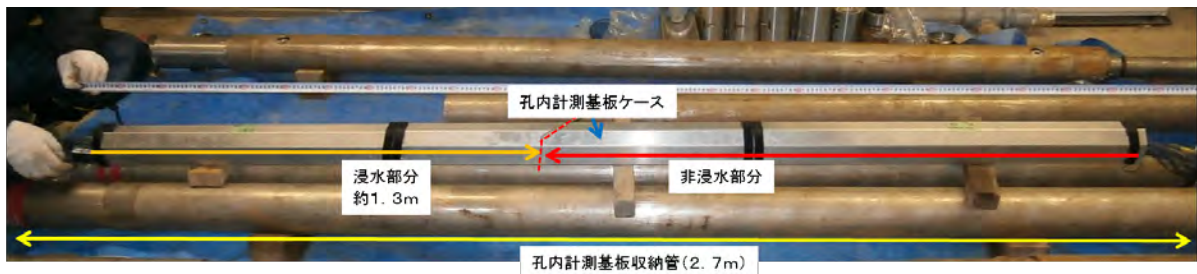


図 8.4.1-11 孔内応力試験装置の計測制御部浸水状況(左側が孔底側)

この計測制御部は地上部計測 PC との通信を行う装置であり孔内ポンプ(注水ポンプ、パッカ加圧ポンプ)を制御する装置でもある。この装置が動作しないと孔壁確認(圧力、方位傾斜、パッカポンプ作動が必須)および水圧破碎試験(圧力、流量、方位傾斜、注水ポンプ作動、パッカポンプ作動)は実施できない。回収後の装置検査の結果、計測制御基板に掘削用泥水が付着し、DC 電源供給部分が腐食していた。装置を解体して分割し、計測制御部の浸水部分については、純水を用いて基板洗浄を実施し泥水汚れを落とした。洗浄によって濡れている基板を乾燥させることで機能回復が見込めるが、DC 電源供給部分は腐食してしまっているため、目視確認でも機能回復困難であることが分かった。この DC 電源供給部分の交換には、基板上の各回路との接続も必要であり、部品調達にも時間を要するため現地作業で対応することが困難であった。また、DC 電源供給部分の交換後の作動チェックにも時間を要するため、このまま現地作業を継続して行うことは困難となったため、幌延現地試験を一旦中断し、今後の試験について検討を行った。

(2) 対応検討

試験を再開するためには、次の2点について調査検討を行った。

- ① 水没した計測機器の復旧が可能かどうか。可能な場合、復旧に要する日数について。
- ② 試験実施場所について。

調査検討の結果①については、DC電源供給部分の交換および基板およびケーブルのコネクタ交換をし、計測機器の連続動作確認テストの終了までに約3週間程度が必要であった。したがって、計測機器は動作確認で異常が無ければ約3週間後には試験に使用できることが分かった。②については、幌延現地試験は他の作業スケジュールが既に決まっており、工程を調整して孔内応力試験装置の試験を工程に組み入れることは不可能であることが分かった。そこで、他の試験候補地を検討した結果、昨年度孔内応力試験装置を使って試験を実施した当所横須賀地区の横坑内で実施するのが最も適当であるとの結論に達した。

その理由は、以下の3点である。

- ① 地質的に類似性がある。幌延同様の堆積岩である。
- ② 試験孔が既に存在し、新たにボーリングする必要がない。
- ③ 過去に試験実施済みのため、作業段取りがしやすく、安全面の配慮に十分対応できる。

ただし、横須賀での試験を昨年度と同様に実施しただけでは、今年度予定の幌延現地試験を再現することにはならないため、後述する2つの課題を達成することが不可欠であった。ひとつ目の課題は、幌延での試験実施予定箇所相当程度の水圧(4.5MPa程度または試験区間に亀裂を生じない水圧)環境で試験を行うこと、ふたつ目は横須賀地区の岩盤は透水性が高く注水した水が浸透してしまうので、試験孔にはグラウトを実施して透水性を低減することが必要であった。

以上の調査検討結果を踏まえて、浸水原因を特定して、その対策を行ったうえで、幌延現地試験の代替試験として、昨年度実施した横須賀地区で水圧破碎試験を実施することとした。

8.4.1.6 孔内応力試験装置の浸水原因

試験装置の外観からは浸水を特定できるような損傷は見られなかった。また装置分解時のジョイント部分にも浸水するような箇所は確認できなかった。幌延現地ではこれ以上の原因究明は出来ないため、試験装置を工場へ持ち込み入念なチェックを実施した。

浸水していた下部パッカから計測制御ユニットまでを連結し、計測制御ユニットのヘッド側に、キャップを付けて、このキャップとガスボンベを配管して装置内へ窒素ガスを圧入しガス漏れ箇所を見つけることにした。窒素ガスを約0.3MPaで送り、試験装置の各ジョイント部分を中心にガス漏れ検知剤をスプレーして、エアールれ箇所を探した。その結果、ラッチシステムの内管ねじ部分からエアールれを確認した。ラッチシステム内管から浸水したことが分かった。

図8.4.1-12に試験装置の浸水箇所の調査概要を示す。

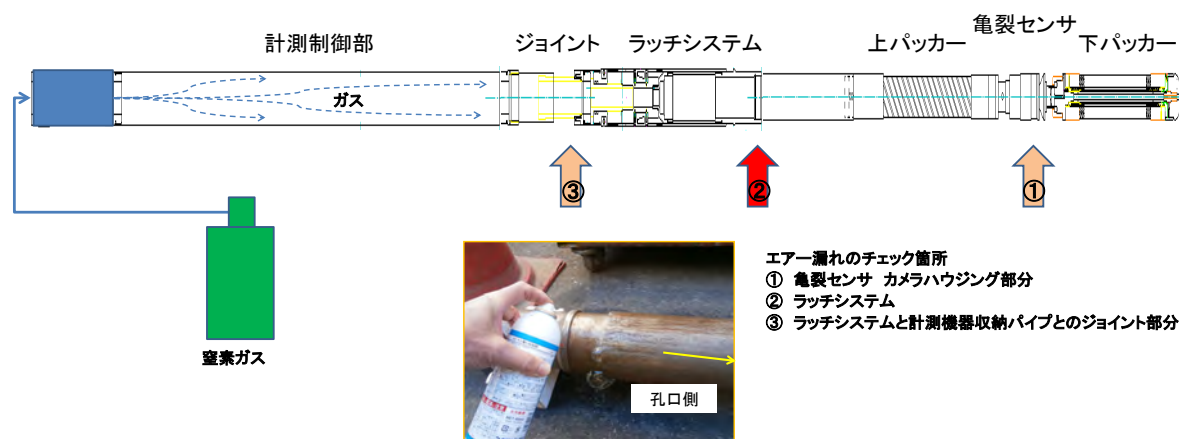


図 8.4.1-12 試験装置の浸水箇所の調査概要

ラッチシステムは、外管と内管から構成され、NL140 ロッドの先端シューと接触するパーツは内管と接続する(図8.4.1-11の①)。この先端シューと接触するパーツのOリングが切れていたため、ここから水が浸入したと判断した。Oリングが切れていたのに気づかなかった原因は、内管部分は外管を接続した後に接続する構造となっている。そのために、内管のOリングがきちんとはめ込まれていなかった状態で、ねじ込んでしまうとOリングが今回のように切れてしまうが、外からは確認できない状態であったためである。このようなことが原因で浸水することが無いように、試験装置を組立てた後に、装置内に窒素ガスを封入して、装置からのガス漏れ箇所が無いことを確認した上で試験孔に挿入することとした。

図8.4.1-13にラッチシステムの概要を示す。

図8.4.1-14にOリングの切断を示す。

図8.4.1-15にOリングの切断原因を示す。

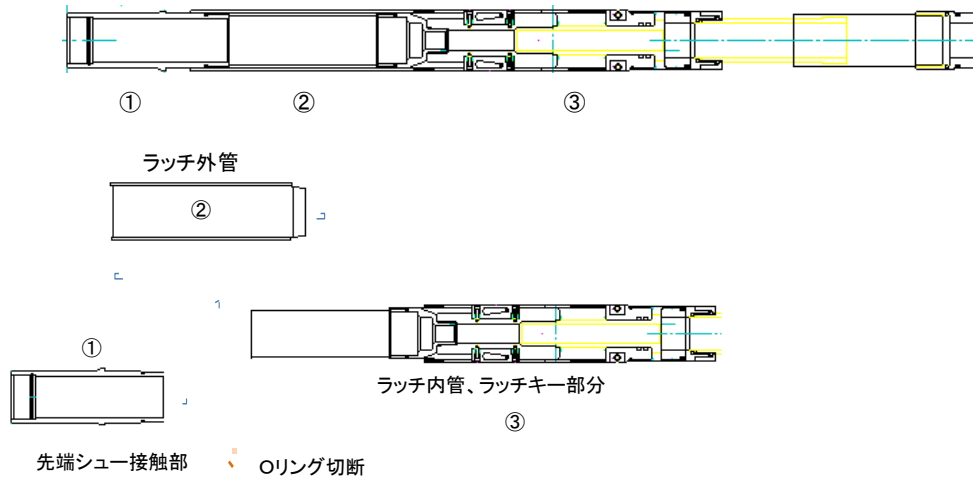
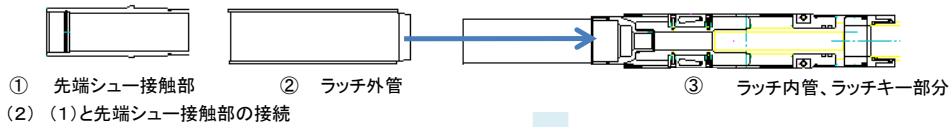


図 8.4.1-13 ラッチシステムの概要

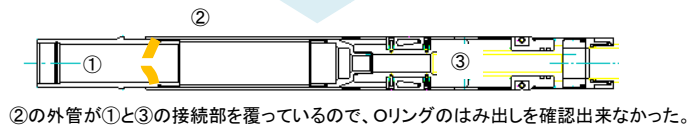
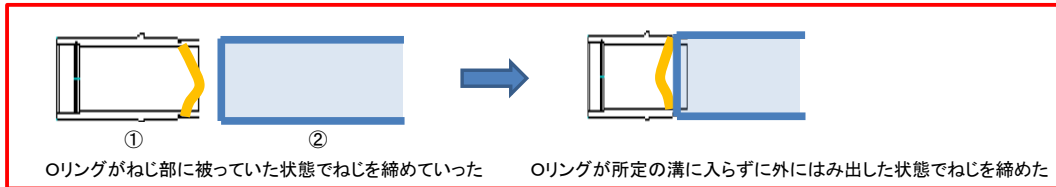
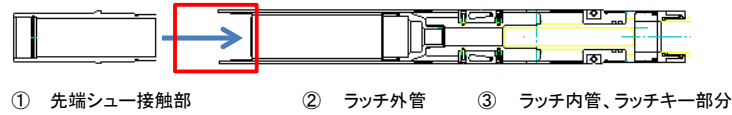


図 8.4.1-14 Oリングの切断

(1) ラッチ内管と外管の接続



(2) (1)と先端シュー接触部の接続



2

図 8. 4. 1-15 Oリングの切断原因

8. 4. 1. 7 孔内応力試験装置の止水機能検証

試験装置のラッチシステムについては、現地へ搬入前に工場です止水機能の確認を行い現地に持ち込んだ。横須賀現地試験では、試験実施前に試験装置を組み立てた後に試験装置全体の止水性の確認を実施した。止水性の確認は、試験措置内に窒素ガスを送って装置内を加圧し、内部からのガス漏れが無いことを確認して止水性の機能が有効であると判断した。確認作業は、装置組立後に装置ヘッドにガス注入用ヘッドを接続し、ガスボンベから 0.5kgf/cm²の圧力でガスを送り装置内で圧力を保持させた。レギュレータで圧力管理して圧力が低下しないことを確認した。

図 8. 4. 1-16 に止水機能検証試験概要を示す。

図 8. 4. 1-17 に止水機能検証試験実施状況を示す。

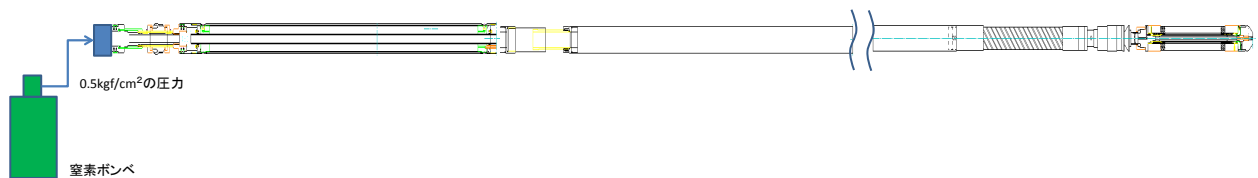


図 8. 4. 1-16 止水機能検証試験概要



図 8.4.1-17 止水機能検証試験実施状況

8.4.2 横須賀現地試験

8.4.2.1 試験目的

横須賀現地適用試験では幌延現地試験で実施できなかった前述の 8.4.1.2～8.4.1.4 について実施した。水圧破碎試験は 1 回実施した。なお、試験の外的条件として、幌延現地適用試験で実施予定であった鉛直深度 450m 相当 (4.5MPa の水圧) の環境を試験孔内に作りこの条件で試験を実施し試験装置の耐圧性の検証を実施した。表 8.4.1-2 に昨年度および今年度の孔内応力試験装置の現地適用性試験検証項目一覧表を示す。今回の横須賀現地試験は、幌延現地試験で確認できなかった表の右端列に示した□の項目について検証した。

表 8.4.1-2 孔内応力試験装置の現地適用性検証項目一覧(2012 年度と 2013 年度)

現地適用性試験の検証項目	2012年度 我孫子 (地上)	幌延 約500m	横須賀 (浅部)	2013年度 我孫子等 (地上)	幌延 約400m	横須賀 水圧下
■コントロールボーリングシステムへの適用						
槽での組立～立上げ～降下開始		○			○	
鋼管曲率への適用性		○		○		
水平孔での送込み機能	○	○		○		
ラッチ機能	△		○	○		□
■計測と通信						
孔内応力試験装置～地上間の通信・制御		○	○		○ 地上	□
傾斜と軸回転の計測機能		○	○		○ 地上	□
水圧破碎の圧力計測機能		○	○		○ 地上	□
水圧破碎の流量計測機能			○		○ 地上	□
パッカーの圧力計測機能			○		○ 地上	□
亀裂計測機能-AE			○		○ 地上	□
亀裂計測機能-テレビカメラ			○		○ 地上	□
■耐圧機能						
耐圧機能-各ユニット間		○	○	○		□
耐圧機能-パッカー部		○	○	○		□
耐圧機能-ラッチユニット部			○	○	× (破壊箇所)	□
■水圧破碎試験						
パッカー加圧・除圧			○			□
加圧送水			○			□
亀裂型どり			○	○		□
水圧破碎データの評価(Pb,Pr,Ps)			○			□

8.4.2.2 試験孔井の作成

(1) 概要

平成24年度の試験により試験孔は20m削孔されている試験孔を利用した。全長20mのうち孔口から深度12.3mまでは孔径145mm、深度12.3mから20mまでは孔径100mmである。昨年度実施した試験経験より、現地の岩盤は非常に高透水性(透水係数は 1×10^{-7} m/s程度)であるため、現状のままでは目的とした試験が実施出来ない。そのため、試験孔をグラウトしてセメントミルクで充填し、リボーリングしてセメントで被覆した試験孔を作成した。

(2) 手作成順

試験孔の作成手順は、まず既存の試験孔の12.3mから13.3mまで孔径145mmで拡張して孔内洗浄を行った。その後孔口から深度5.2mまでの区間を孔径165mmに拡張し、孔口に外径165mm、内径147mm、長さ4.5mの鋼管を4.2mの深度まで挿入し(孔口から0.3m飛び出した状態)、セメントでこの鋼管と地山岩盤を固定させた。この外径165mmの鋼管は孔内に水圧を加える際に試験孔とNL140ロッドの間を止水するためのプリペンダーを連結するものである。次に既存試験孔を深度4m(外径165mm鋼管内)から試験孔孔底の深度20mまでセメントミルクで充填(セメントグラウト)した。グラウトは、孔径145mm区間の試験孔の深度13m、11m、8.5m、6m、4mの各深度で順次パッカ(パッカ長70cm)を加圧して栓をしてグラウトを実施した。

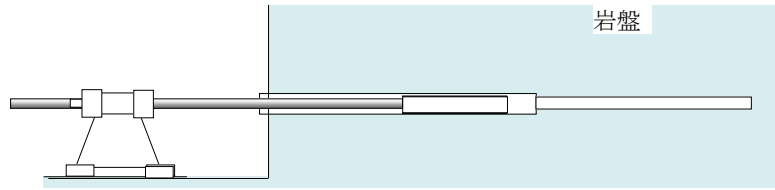
図8.4.2-1に165mm鋼管挿入状況を示す。

図8.4.2-2に試験孔の作成手順を示す。

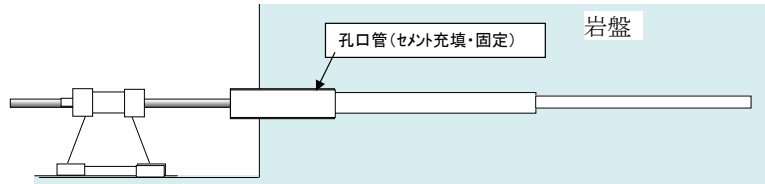
図8.4.2-3に試験孔概要を示す。



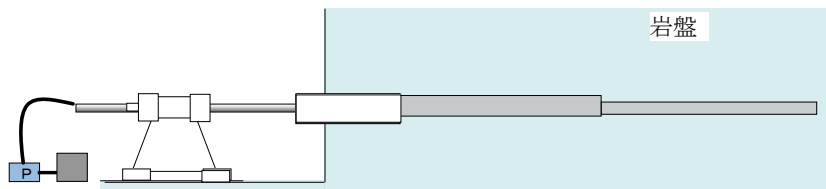
図8.4.2-1 165mm鋼管挿入状況



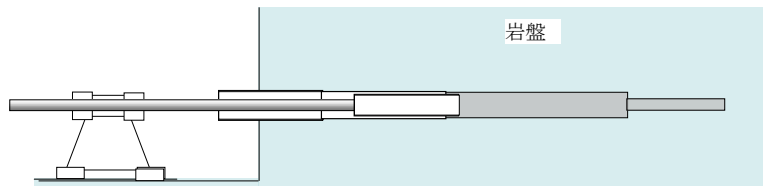
(1) 既存試験孔(孔径145mm・孔径100mm)の孔内洗浄・清掃(孔ざらえ)



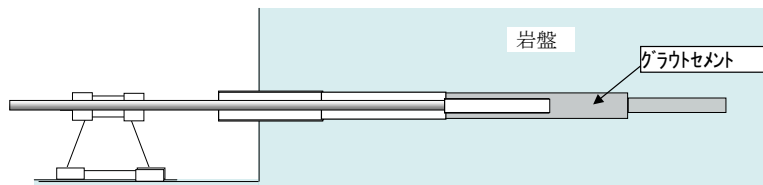
(2) 既存試験孔(孔径145mm)の口元を深度5.2mまで孔径165mmに拡孔、孔口に外径165mm、内径147mm、長さ4.5mの鋼管を設置、セメントで地山岩盤と固定。鋼管は4.2mまで挿入、0.3mが孔外。



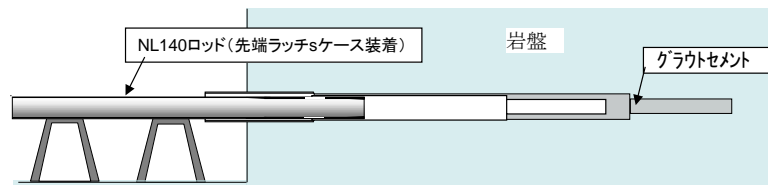
(3) 既存試験孔を深度4mから試験孔孔底までセメントで充填(セメントグラウト)



(4) グラウトしたボーリング孔(孔径165mm)を4.5mまで孔径145mmでリボーリング(NL140 ロッド挿入孔の形成)



(5) 深度4.5mから奥のセメントグラウト孔(4.5~5.2は孔径165mm、5.2~孔径145mm)を孔径100mmで深度8mまでリボーリング(水圧破碎試験孔形成)



(6) 先端シューラッチケースつきNL140ロッドをリボーリング孔(孔径145mm)に1mまで挿入(NL140 ロッド設置)

図 8. 4. 2-2 試験孔の作成手順

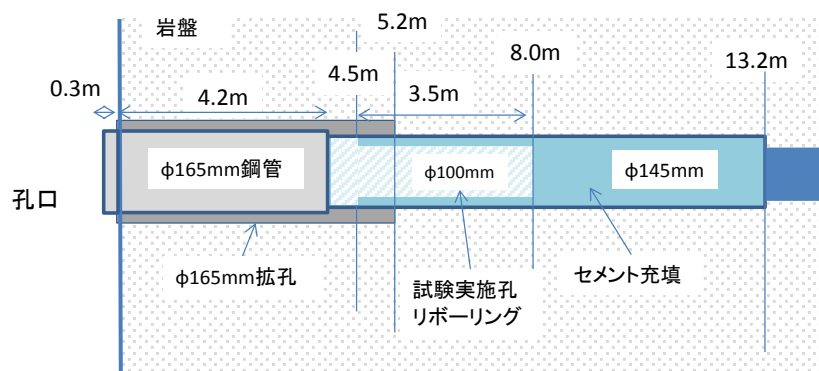


図 8. 4. 2-3 試験孔概要

(3) グラウト

今回実施したグラウト注入はセメントによる試験位置の遮水壁成形を目的としており、注入したセメントミルクはグラウトポンプの注入能力限界のセメント水比が 1:0.6 の高濃度のものを注入した。なお、図 8. 4. 2-2 の手順で試験孔を作成したが、孔径 145 mm 孔への注入後、固化したセメントをリボーリングしたところ、セメントのブリージングでボーリング孔の上部にわずかな隙間が生じていたことが分かった。隙間を再度セメントで充填するため再度グラウト注入を実施したがボーリング孔上部の隙間を完全に充填することができなかった。そのため孔径 145 mm 孔を 8m まで再度リボーリングし、セメント水比 1:0.2 のほとんど流動性のないセメント塊づくり、この塊をボーリングマシンを使って孔底へ押し込み突き固めをして試験孔内をセメントで充填した。突き固めによるセメント充填はボーリング孔の孔底 8m から約 20 cm 毎に深度 4m まで連続して実施した。この充填したセメントの固化後、深度 4m から 4.5m までを孔径 145mm で削孔し 4.5m から 8m まで孔径 100 mm のボーリングを行った。削孔完了後に、カメラを使って孔壁面の観察を行った結果、孔壁面がセメントで被覆され水圧破碎試験が実施可能な試験孔であると判断した。

なお、今回試験孔には、水圧 4.5MPa をかけて水圧破碎試験を実施するが、セメント水比が 1:0.2 の配合によるセメント強度は 80MPa 以上あり、引っ張り強度も 4.5MPa を十分上回り試験に必要な強度条件を十分満足すると判断した。

8. 4. 2. 3 装置組立と挿入

孔内応力試験装置の組立方法は、観測トンネル内に試験装置を連結するための専用架台を試験孔井の延長線上に直列に並べて孔底側の水圧破碎試験パッカから順番にケーブルヘッド側の装置へと連結組立を行った。ボーリングマシンを孔軸延長線上から外して、孔内応力試験装置を孔内に挿入するための装置架台を孔口から孔軸延長線上に並べて組み立てた。装置架台の装置を直接載せる部分にはローラーコンベヤーを使用し、試験装置の孔内への挿入作業の利便性を図った。

図 8. 4. 2-4 に試験装置の架台を示す。



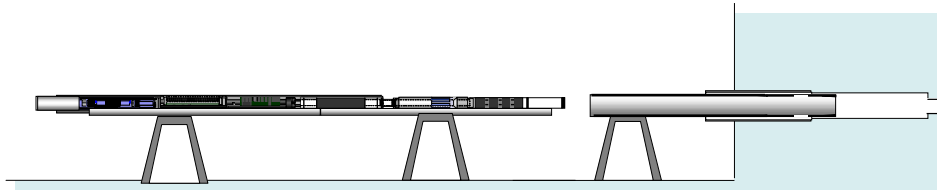
図 8. 4. 2-4 試験装置の架台

架台組立後、NL140 ロッドを試験孔内に 1m 挿入し、次に装置架台に孔底側の下部パッカから順次搭載し、組立作業を行った。試験装置組立完了後、孔内応力試験装置にバンドを付けて、ウィンチを使い NL140 ロッド内に挿入してラッチ固定させた。そして、今度は NL140 ロッドにバンドを付けてウィンチを使い試験装置が試験深度に達するまでロッドで送り込みを行った。装置が試験深度に達したら、試験孔岩盤と固定した 165mm 鋼管と NL140 ロッド間を止水するためのプリペンダーを取り付けた。さらに、NL140 ロッドと試験装置の間を止水するための 2 つ目のプリペンダーを取り付けた。試験孔孔口止水が完了したら、孔外に設置している送水ポンプで孔内へ注水して孔内を加圧した。

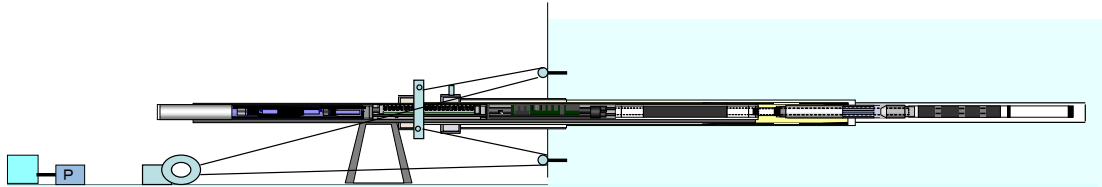
亀裂作成のための水圧破碎試験では充填したセメント被覆を破壊しないために孔内圧は 0.5MPa とした。水圧破碎試験による亀裂作成、亀裂再開口を確認後は、幌延現地試験で実施予定深度相当の水頭圧(4.5MPa)に加圧し、再度試験装置を作動させて試験を行った。

なお、試験条件の孔内水圧が 4.5MPa の状態では、NL140 ロッド断面にかかる水圧は約 6.9tf、坑内応力試験装置の断面 $\phi 120$ mmには約 5.1tf の力がかかることになる。そのため試験孔孔口の周りに 25 cm 離して 4 本のアンカーを設置して NL140 ロッドの押し込み、また孔内の水圧で試験装置が飛び出すのを防止するために固定した。なお孔内応力試験装置はラッチにより NL140 ロッドに固定されているが、安全のために応力試験装置にも飛び出し防止のワイヤを緩く連結し孔内からの飛び出し防止策を取った。

図 8. 4. 2-5 に試験装置の組立と孔内挿入手順を示す。

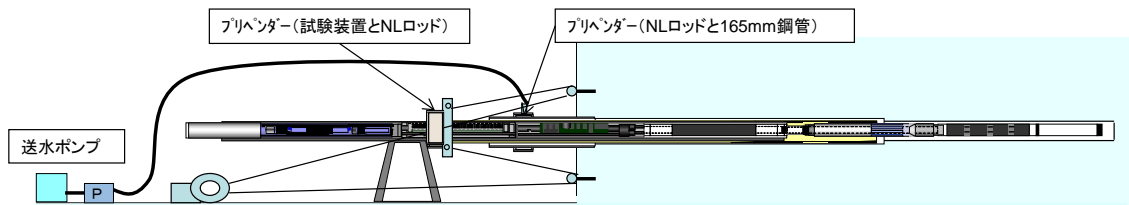


(1) 架台の上で孔内応力試験装置の組立て



(2) NL140ロッドを165mm孔口管に固定し、孔内応力試験装置にバンドをかけNL140ロッド内へウインチで装置を挿入、装置をNL140ロッド先端のラッチケースに固定する。

NL140ロッドにバンドをかけ、165mm鋼管内へウインチで挿入、ラッチで固定された孔内応力試験装置を先端の孔径100mm試験孔にセットする。



(3) NL140ロッドと孔内応力試験装置をそれぞれプリバンダーを付けて孔内をシールする。孔外の送水ポンプで孔内へ注水してボーリング孔へ水圧をかける(孔壁破砕圧以下の水圧で加圧)

図 8. 4. 2-5 試験装置の組立と孔内挿入手順

8. 4. 2. 4 切り羽の安全対策

孔口周りに4本設置したアンカーは上述した、約6.9tfの荷重に耐えられるように、以下の検討より決定した。設置したアンカーはφ20mmシャフトのナットねじの締め付けによりφ40.5mmの外管が広がり孔壁に食い込む構造のアンカーである。このアンカー一本のシャフトの許容応力(引張強度)は約9.5tであるが、アンカーの耐荷力は試験位置の岩盤(凝灰質頁岩質砂岩)の圧縮強度(約50~100kgf)からせん断強度を約1/10と安全側に推定してアンカー力を次式から計算した。

$$T_d = \sigma_r \cdot \pi \cdot d_s \cdot \ell_s$$

ここに T_d : アンカー力

σ_r : 試験位置岩盤のせん断強度 $\approx 0.5 \sim 1 \text{ MPa}$

d_s : アンカー孔直径 $= 4.05 \text{ cm}$

ℓ_s : アンカー拘束長 $= 40 \text{ cm}$

上式から計算の結果、アンカー力は一本 2.5t から 5.1t の耐荷力がある。この耐荷力が最小値として 4 本で 10t の耐荷力があり、NL140 ロッドの飛び出し防止に十分なアンカー力である。

図 8.4.2-6 に試験孔孔口安全対策状況を示す。

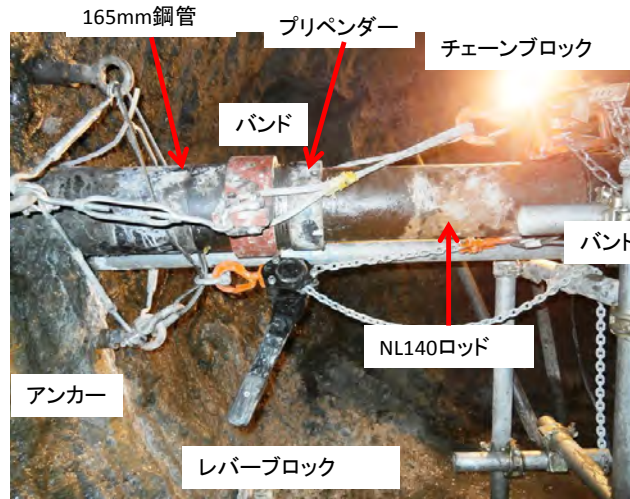


図 8.4.2-6 試験孔孔口安全対策状況

8.4.2.5 試験深度

孔内応力試験装置の加圧注水区間は、昨年度は 90cm であった。今年度下部パッカを改良したことにより加圧区間は 75cm と 15cm 短くなった。型どりパッカのパッカ長は 50cm である。

横須賀現地試験での試験深度は、型どり試験深度は 6.0～6.5m 位置で実施した。また水圧破碎は加圧区間深度 5.75m～6.5m で実施した。

図 8.4.2-7 に試験深度と試験装置の配置関係を示す。

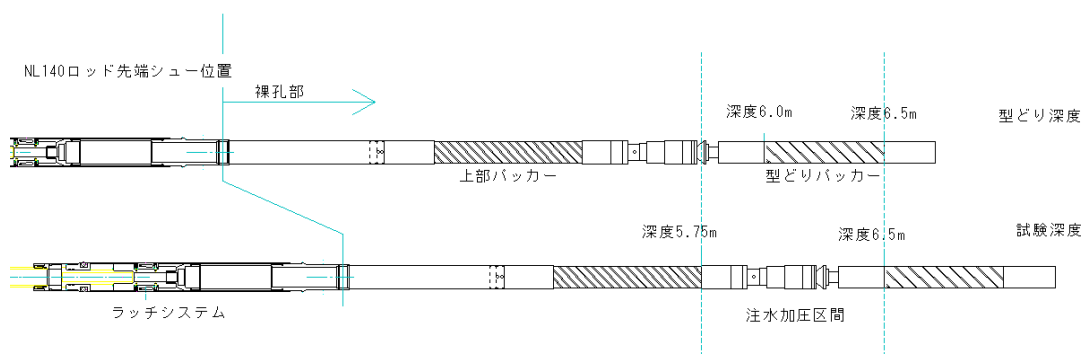


図 8.4.2-7 試験深度と試験装置到達深度の関係

8.4.2.6 試験検証項目

横須賀現地試験は、「8.4.2.1 試験目的」で記述したように、幌延現地試験で検証できなかった表 8.4.2-1 の「横須賀水圧下」の列の「□」で示した各項目について検証するために、試験孔内に水圧を掛けて試験を実施した。孔内水圧は低水圧(0.5MPa)と幌延 450m 深度相当(4.5MPa)の2つの異なる水圧を作用させた。低水圧 0.5MPa では、典型的な水圧破碎データの取得を行い、幌延深度相当の 4.5MPa では高圧下での装置動作の検証を実施した。試験は最初に低圧下で試験を行い、その後高圧下で試験を実施した。最初に低水圧化したのは、高圧下で実施すると孔内被膜のセメントを破壊してしまうことが懸念されたためである。以下に試験検証項目を示す。

(1) ラッチ機能

試験孔の作成後に先端シューを付けた NL140 ロッドを試験孔に挿入した。そして、試験孔の孔軸延長線上に配置した試験装置架台上で試験装置を組み立てて、試験装置を NL140 ロッド内に挿入してラッチを固定させた。その後 NL140 ロッドで試験深度まで試験装置を押し込んだ。そして、孔内水圧を 4.5MPa まで加圧した。ラッチの固定が機能していなければ NL140 ロッドを押し込んでも試験装置は残したままになることが考えられる。また、試験深度に達した後でも孔内水圧を加えることで NL140 ロッドから試験装置が孔口側へ動き出すので、孔内水圧を加えた際に試験装置が静止した状態を保っていることを確認することで、ラッチ固定が機能していると判断した。ラッチ解除については、孔内圧を加えた状態で、試験装置を引き出すことが可能であれば解除が機能していると判断する。

(2) 孔内応力試験装置～地上間の通信・制御

試験孔内への加圧前から試験装置と地上部 PC との間で通信を開始して、装置を試験深度まで押し込み、孔内水圧を 4.5MPa まで加圧した後、通信遮断やデータの欠如など無く妥当な値を表示していることを確認する。その後、試験前型どり試験、水圧破碎試験、試験後型どり試験で各パラメータ(圧力、流量、方位、傾斜等)が正常に計測できていることで機能検証とする。

(3) 傾斜と軸回転の計測機能

前述(2)同様に孔内加圧後まで傾斜、軸回転が正常に計測出来ていて、試験前型どり試験、水圧破碎試験、試験後型どり試験で計測値が妥当(試験孔が水平なので傾斜計の計測値は0度)であると判断することで機能検証とする。

(4) 水圧破碎の圧力計測機能

孔内加圧後に注水区間計測の圧力センサが加圧した孔内圧と同様の値を示すことで機能検証する。そして、試験前型どり試験、水圧破碎試験、試験後型どり試験で計測値が妥当(孔内水圧未満の値にならない)であると判断することで機能検証とする。

(5) 水圧破碎の流量計測機能

事前にポンプモータ用電源電圧の設定電圧でポンプモータを駆動させて吐出した流量の計測値と、試験時の同電圧での流量値との計測値が同様の値を示していることを確認することで機能検証する。

(6) パッカの圧力計測機能

事前に内径 100mm 鋼管内でのパッカ加圧試験でパッカを加圧して機能を確認した後、試験装置を試験深度に送り込み、孔内加圧することで、パッカ圧も同様に上昇することを確認する。そして、水圧破碎試験では、注水区間の圧力上昇に伴いパッカ圧も上昇すること、そしてブレードダウンを起こして亀裂が作成できたことでパッカの機能検証とする。

(7) 亀裂計測機能-AE

試験装置を試験深度に送り込んだ後に、孔内加圧した状態で試験を実施し、AE を計測する。現地岩盤は AE の発生が非常に少ないことが予測される。試験装置回収後に AE センサ部を打撃して AE 波形が計測できることを確認することで、岩盤からの AE 発生が見られない場合の AE の検証とする。

(8) 亀裂計測機能-孔内カメラ

試験装置を試験深度に送り込んだ後に、孔内加圧した状態で試験を実施し、カメラによる孔壁面観察を実施する。カメラ映像の確認をすることで検証とする。

(9) 耐圧機能(各ユニット間、パッカ部、ラッチユニット)

試験孔内に試験装置を挿入し試験深度に送り込んだ後に、孔内加圧 4.5MPa の状況で試験を実施して、通信の遮断無く計測出来て、試験装置回収後に装置内に水漏れが無いことを確認することで耐圧機能の検証とする。

(10) パッカ加圧・除圧

試験孔内に試験装置を挿入し試験深度に送り込んだ後に、孔内加圧の状況でパッカを加圧し、パッカ圧の初期値が孔内圧相当であることを確認する。それから、パッカポンプを作動させてパッカ圧が上昇することを確認する。また、型どり試験で加圧した型どり熱収縮ゴムチューブの孔壁面状況の痕および除圧後に装置が回収できることで除圧が機能していることの確認。以上のことを確認することで検証とする。

(11) 加圧送水

試験孔内加圧状況下で注水圧の値が孔内加圧未満の値にならずに、注水ポンプを作動させると圧力が上昇することで検証とする。

(12) 亀裂型どり

試験孔内加圧状況下で水圧破碎試験前および水圧破碎試験後の亀裂型どり結果を比較して、

試験後の型どり熱収縮ゴムチューブに亀裂痕が読みとれることを検証とする。

(13) 水圧破碎データの評価 (Pb, Pr, Ps)

試験孔内加圧状況下で、水圧破碎を行い、圧力-時間曲線から、ブレイクダウンプレッシャー (Pb)、リオープニングプレッシャー (Pr)、シャットインプレッシャー (Ps) が読みとることが出来て、これらの値を使って、平面応力を求めることで検証とする。

8.4.2.7 水圧破碎試験位置の試験前孔壁確認

(1) 方法

型どりパッカ内を事前に水で充填してエア抜きを実施した。型どりは、孔内応力試験装置の下部パッカに熱収縮ゴムチューブを被せた型どりパッカを使って実施した。型どりパッカのパッカ長 (= 孔壁面の型どり区間長) は 0.5m である。ボアホールは水平であるので、挿入の際パッカの上下が分かるようにパッカおよび試験装置に目印を付け装置の傾斜角が確認できるようにした。

型どり手順を以下に記す。

- ① 孔内応力試験装置を既に試験孔に挿入している NL140 ロッド内に挿入してラッチで固定
- ② NL140 ロッドを押し込んで試験区間深度に型どりパッカを到達 (型どり区間の深度は、6.0m~6.5m)
- ③ 試験孔内口元に挿入している $\phi 165\text{mm}$ の鋼管と NL140 ロッドの間を止水するためのプリペンダーを設置し
- ④ NL140 ロッドと試験装置の間の止水のためのプリペンダーを設置
- ⑤ 試験孔内の水圧計測開始、孔内応力試験装置の計測開始
- ⑥ 試験孔内へ送水し孔内の加圧開始
- ⑦ 孔内加圧を 0.5MPa で保持
- ⑧ 孔内応力試験装置のパッカ加圧ポンプを作動させてパッカを加圧 (パッカ圧は約 0.8MPa、保持時間は 15 分以上)
- ⑨ パッカ加圧保持時間が 15 分経過後、パッカ圧を減圧
- ⑩ 孔内加圧を停止
- ⑪ 2カ所のプリペンダーを取り外し
- ⑫ NL140 ロッドを試験孔から引き抜いて、孔内応力試験装置を回収
- ⑬ 型どりパッカの回収と型どり観察

図 8.4.2-8 に熱収縮ゴムチューブの装着概要を示す。

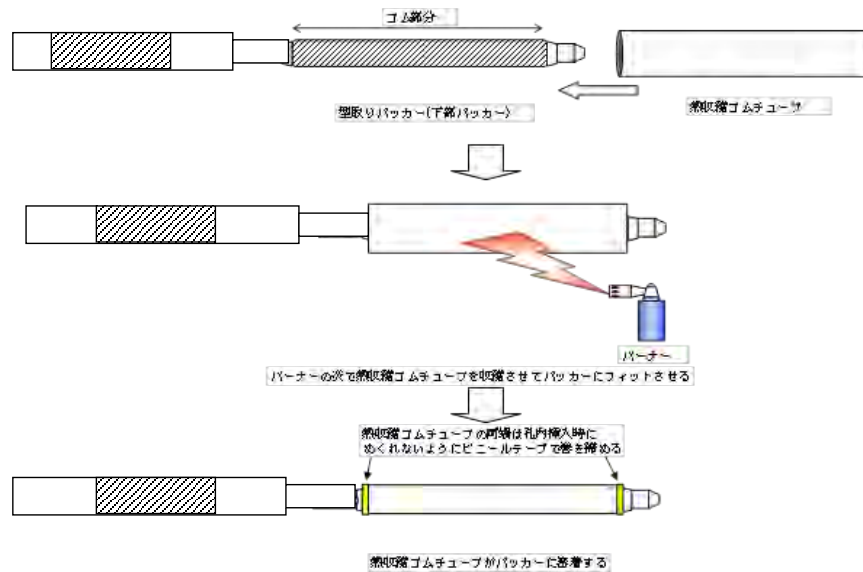


図 8.4.2-8 熱収縮ゴムチューブの装着概要

(2) 試験前孔壁確認結果

試験前孔壁面確認のための型どりは、別途用意したポンプで孔内へ送水して試験孔内圧を継続して 0.5MPa に維持した状況下で実施した。パッカー圧は 0.75MPa で約 18 分間保持した。図の右側が孔口側で左が孔底側である。型どり熱収縮ゴムの横に一本線が引いているのは、試験孔の真上を示す。

図 8.4.2-9 に水圧破碎試験前孔壁確認のための型どり実施状況を示す。

図 8.4.2-10 に水圧破碎試験前型どりの圧力-時間曲線を示す。

図 8.4.2-11 に水圧破碎試験前型どり結果を示す。

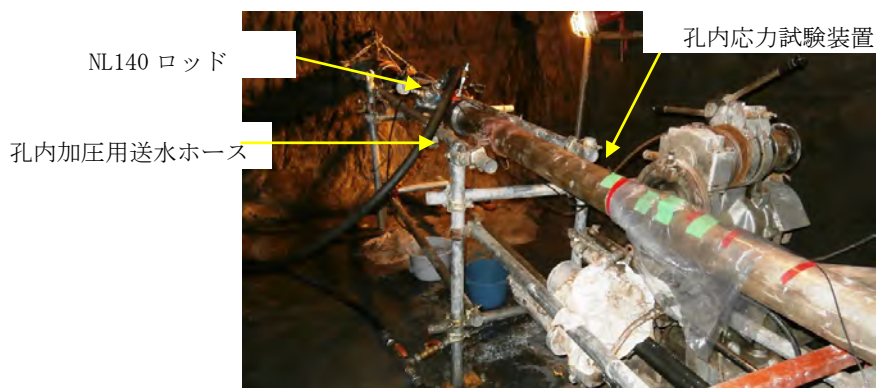


図 8.4.2-9 水圧破碎試験前孔壁確認のための型どり実施状況

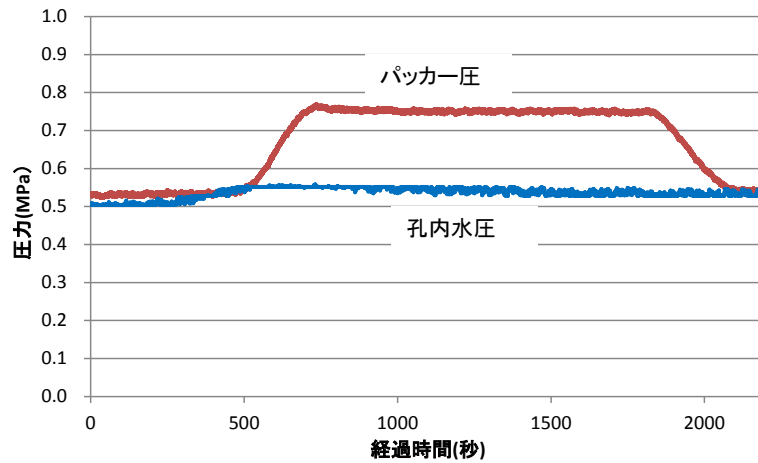


図 8.4.2-10 水圧破碎試験前型どりの圧力-時間曲線



図 8.4.2-11 水圧破碎試験前型どり結果

型どり結果の熱収縮ゴムには、既存の亀裂痕は見られなかった。

8.4.2.8 孔内応力試験装置の機能検証

(1) 方法

型どり試験後に型どり熱収縮ゴムチューブを回収するために試験装置を一度孔外まで取り出した。そこで、水圧破碎試験を実施するために、再度試験装置をNL140 ロッド内へ挿入し、ラッチで固定を行った。試験は、試験孔内の低水圧状態で、水圧破碎試験を実施し、その後孔内水圧を幌延現地試験深度相当(4.5MPa)まで加圧しこの圧力下で注水加圧を行った。

試験手順を次ページに記す。

- ① 孔内応力試験装置を既に試験孔に挿入している NL140 ロッド内に挿入してラッチで固定
 - ② NL140 ロッドを押し込んで試験区間深度に装置の加圧区間を到達(注水加圧区間の深度は、5.75m～6.5m)
 - ③ 試験孔内口元に挿入している $\phi 165\text{mm}$ の鋼管と NL140 ロッドの間を止水するためのプリペンダーを設置
 - ④ NL140 ロッドと試験装置の間の止水のためのプリペンダーを設置
 - ⑤ 試験孔内の水圧計測開始、孔内応力試験装置計測開始
 - ⑥ 試験孔内へ送水し孔内の加圧開始
 - ⑦ 孔内加圧を 0.5MPa で保持
 - ⑧ 孔内応力試験装置のパッカ加圧ポンプを作動させてパッカを 0.8MPa まで加圧し保持
- ◇ブレイクダウン
- ⑨ 注水ポンプ作動開始、加圧区間に注水。注水流量は 350cc/min(亀裂再開口も同様)
 - ⑩ ブレイクダウン確認後、ポンプ注水停止
- ◇亀裂再開口 2回実施
- ⑪ 圧力曲線が十分に低下したことを確認したら再度注水ポンプを作動させて圧力上昇させる
 - ⑫ 圧力がピークに達して下降始めたら、注水を停止
 - ⑬ ⑪、⑫の繰り返し
- ◇幌延現地深度相当で試験
- ⑭ 孔内圧を 4.5MPa まで上昇させて保持
 - ⑮ パッカポンプを作動させて圧力上昇させる。5.5MPa で保持
 - ⑯ 注水ポンプを作動させて加圧区間の圧力を上昇させる注水流量は最大 750cc/min
 - ⑰ 圧力がピークに達して下降始めたら、注水を停止。⑪、⑫実施
- ◇試験終了
- ⑱ 孔内加圧停止
 - ⑲ パッカ圧力の減圧
 - ⑳ 2カ所のプリペンダー取り外し、NL140 ロッドの引き抜き、孔内応力試験装置の回収

なお、実際の試験では、手順⑰を実施したが、十分な圧力上昇が見られなかった。

図 8.4.2-12 に水圧破碎試験実施状況を示す。

図 8.4.2-13 に水圧破碎試験地上部 PC 計測状況を示す。



試験時の孔口状況



試験時の装置全景

図 8.4.2-12 水圧破碎試験実施状況



図 8.4.2-13 水圧破碎試験地上部 PC 計測状況

水圧破碎試験結果から得られた値を使って以下に記す式を用いて孔内応力を評価した。

水圧破碎試験で求める最大主応力値(S_H)および最小主応力値(S_h)と試験結果より得られる圧力値の間には以下の関係式が成り立つ。

$$P_b = 3S_h - S_H + T - P_p \quad \dots \dots \dots \text{①式}$$

$$P_r = \frac{1}{2}(3S_h - S_H) \quad \dots \dots \dots \text{②式}$$

$$S_h = P_s \quad \dots \dots \dots \text{③式}$$

ここで、

T : 岩石の引っ張り強度

P_p : 試験深度の間隙水圧

P_r : 再開口圧

ここでは、②、③式を使い、読みとった各平均値を代入して平面内応力を算出した。

(2) 結果

a. 低水圧

水圧破碎試験結果である圧力-時間曲線のグラフ(図 8. 4. 2-14)よりブレークダウン圧力、亀裂再開口圧、亀裂閉口圧をそれぞれ読みとった。グラフより読みとった値から平均値を算出し、 $P_r=0.85\text{MPa}$ 、 $P_s=0.95\text{MPa}$ の値を使い、前述の②、③の式に代入して応力値を算出した。

その結果、最大主応力値(S_H)は 1.3MPa 、最小主応力値(S_h)は 1.0MPa と評価した。

図 8. 4. 2-14 に孔内低水圧 (0.5MPa) 下での水圧破碎試験結果を示す。

表 8. 4. 2-2 に読みとり結果一覧を示す。

読みとった値の一覧を表 8. 4. 2-2 に示す。

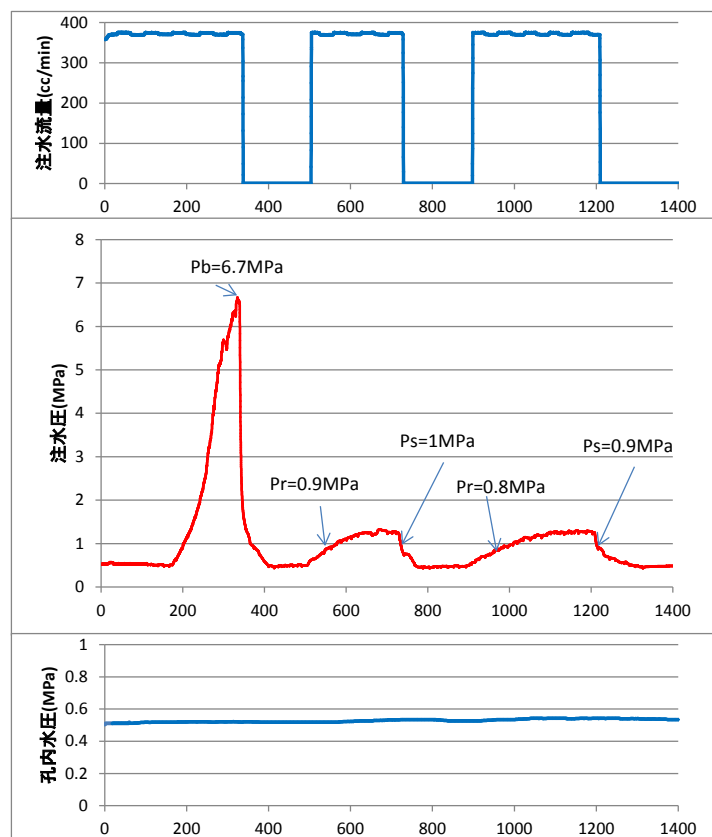


図 8. 4. 2-14 孔内低水圧 (0.5MPa) 下での水圧破碎試験結果

表 8.4.2-2 読みとり結果一覧

試験 深度	中心 深度	破碎圧	亀裂再開口	亀裂閉口圧
		Pb(MPa)	Pr(MPa)	Ps(MPa)
5.75~6.5m	6.12m	6.7		
			0.9	1
			0.8	0.9
平均値		6.7	0.85	0.95

b. 幌延現地相当圧

次に、試験孔内を 4.5MPa に加圧した状況での結果について記す。

孔内に孔外ポンプから注水して、孔内水圧を 4.5MPa まで上昇させた後、上下パッカを 5.5MPa まで加圧した。なお、低水圧での水圧破碎試験で、亀裂開口圧が 1MPa であることを考慮すると、高水圧にした環境では、亀裂が進展して注水流量は亀裂から水が逃げてしまい、圧力が上昇しないことが見込まれた。まず、注水ポンプで最初は 400cc/min で約 1 分間送水を行ったが、注水圧の上昇が見られなかった。そこで、流量を 450cc/min まで増やした。しかし同様に注水圧の上昇が見られないため、600cc/min に増やした。これも圧力の上昇が見られなかった。そして、注水開始から約 200 秒後、送水流量を 750cc/min まで増やした。その結果、注水圧は 0.3MPa 程度の微小な圧力上昇が観測できたが、これ以上の圧力上昇は無かった。また、孔内タンクの水がほぼ無くなったので、試験を終了した。

図 8.4.2-15 に孔内高水圧(4.5MPa)下での水圧破碎試験結果を示す。

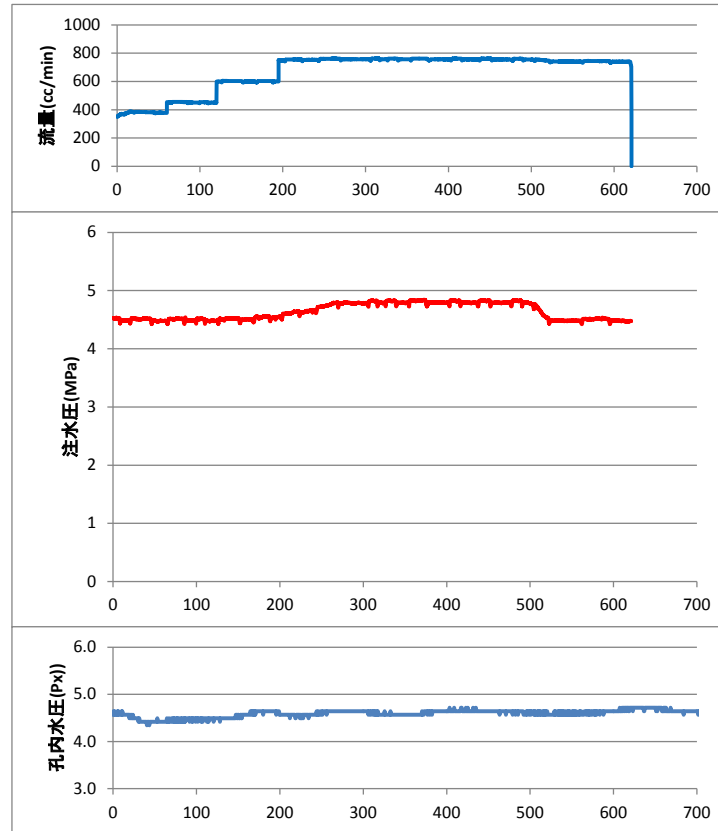


図 8. 4. 2-15 孔内高水圧 (4. 5MPa) 下での水圧破碎試験結果

幌延現地試験相当の水圧環境下 (4. 5MPa) で試験を行い、パッカポンプと注水ポンプの制御と作動を行い、圧力、流量の測定と地上計測機器でこれらのデータ取得が出来ることを確認した。

亀裂計測センサである、AE およびカメラ映像の計測状況を図に示す。AE は岩盤から発生した有意な波形は観測されなかった。また、カメラは孔壁面の亀裂位置を精度良く特定することが困難であった。これは、孔壁面のセメントが均質で想定した岩盤で発生する亀裂幅より小さかったためであると思われる。

なお、この試験中試験孔への注水による影響で切り羽の孔口周辺岩盤から水がしみ出してくる漏水が見られた。ただし、切り羽に変状を起こすような状態は見られず、安定した状態であった。

図 8. 4. 2-16 に AE (左) とカメラ (右) の計測状況を示す。

図 8. 4. 2-17 に試験中の孔口周辺からの漏水状況を示す。



図 8.4.2-16 AE(左)とカメラ(右)の計測状況



図 8.4.2-17 試験中の孔口周辺からの漏水状況

8.4.2.9 水圧破碎試験位置の試験後孔壁面確認

(1) 方法

試験後の孔壁面確認のための型どりでは、孔内圧を幌延試験深度相当の 4.5MPa の環境下で実施した。型どり時のパッカ圧力は、ブレイクダウン圧より高めの約 9MPa とした。

試験手順を以下に記す。

- ① 孔内応力試験装置を既に試験孔に挿入している NL140 ロッド内に挿入してラッチで固定
- ② NL140 ロッドを押し込んで試験区間深度に型どりパッカを到達(型どり区間の深度は、6.0m~6.5m)
- ③ 試験孔内口元に挿入している $\phi 165\text{mm}$ の鋼管と NL140 ロッドの間を止水するためのプリ

ペンダーを設置し

- ④ NL140 ロッドと試験装置の間の止水のためのプリペンダーを設置
- ⑤ 試験孔内の水圧計測開始、孔内応力試験装置の計測開始
- ⑥ 試験孔内へ送水し孔内の加圧開始
- ⑦ 孔内加圧を 4.5MPa で保持
- ⑧ 孔内応力試験装置のパッカ加圧ポンプを作動させてパッカを加圧(パッカ圧は約 9MPa、保持時間は 15 分)
- ⑨ パッカ加圧保持時間が 15 分経過後、パッカ圧を減圧
- ⑩ 孔内加圧を停止
- ⑪ 2 カ所のプリペンダーを取り外し
- ⑫ NL140 ロッドを試験孔から引き抜いて、孔内応力試験装置を回収
- ⑬ 型どりパッカの回収と型どり観察

型どりパッカを回収したら、被せていた熱収縮ゴムチューブを清水で洗浄し乾いた布できれいに拭いてパッカから外した。亀裂痕を確認し、ボールペンで亀裂痕をなぞった。

(2) 試験後孔壁確認結果

試験後孔壁面確認のための型どりは、ポンプで孔内へ送水して試験孔内圧を継続して 4.5MPa に維持した状況下で実施した。パッカ圧は約 9MPa で約 15 分間保持した。水圧破碎試験後の亀裂の型どり結果は図 8.4.2-19 に示すように、最大主応力の方向は孔口側から見て左側に約 52° 傾いていた。

図 8.4.2-18 に水圧破碎試験後型どりの圧力-時間曲線を示す。

図 8.4.2-19 に水圧破碎試験後型どり結果を示す。

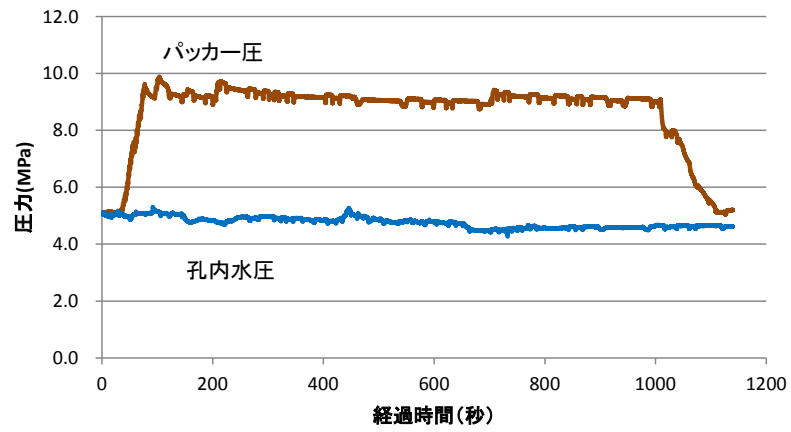


図 8.4.2-18 水圧破碎試験後型どりの圧力-時間曲線

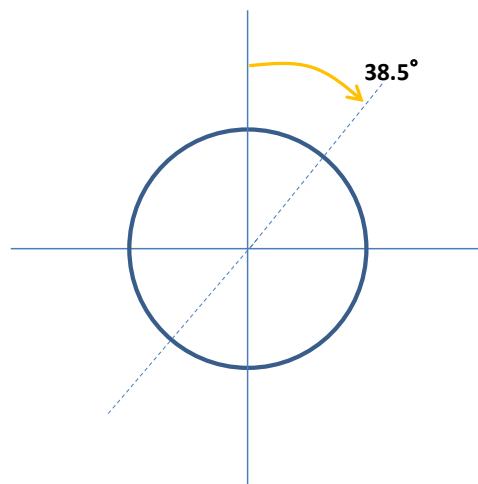
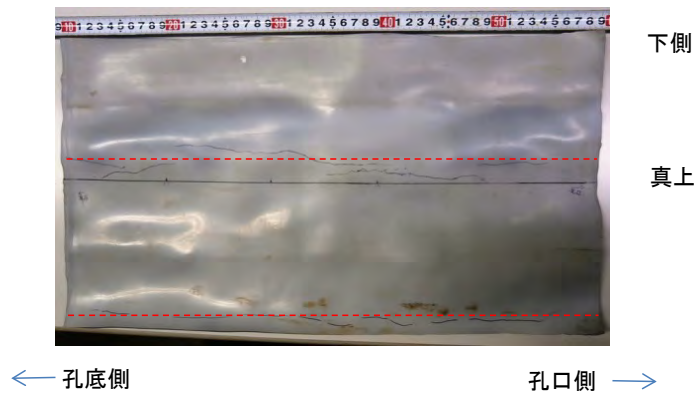


図 8.4.2-19 水圧破碎試験後型どり結果(孔口から孔底側を見た)

8.5 孔内モニタリングシステムの設置

平成 24 年度までに確立された技術および既存技術の適用性評価や各作業手法を構築するために、北海道幌延町のコントロールボーリング孔井(HCD-3 孔)にて「火薬による拡管～ケーシング(NL140 ロッド)切断～観測区間確保～孔内モニタリングシステムの設置、試験運用」までの一連の孔内モニタリングシステム適用に際し、その設置作業を実施した。

実施した適用性試験項目を以下に示す。

- ① 火薬による NL140 ロッド拡管試験
- ② ケーシング(NL140 ロッド)切断試験
- ③ BHTV による NL140 ロッド拡管部の管径計測
- ④ モニタリングシステムの設置、データ取得

8.5.1 試験概要

各作業段階でボアホールテレビュアー(以降 BHTV)などを用いて孔内状況を観察する。また、拡管試験終了後に NL140 ロッドの押し引き試験を実施して拡管の抵抗値を確認する。

図 8.5.1-1 に HCD-3 孔における現地適用性評価試験の流れを示す。



図 8.5. 1-1 HCD-3 孔における現地適用性評価試験の流れ

8.5.2 観測区間の設定

北海道幌延町のコントロールボーリング孔井(HCD-3 孔)のどの深度に観測区間を設定するかを採取したコア状況および孔径検層(キャリパ検層)結果を基に検討した結果、下記に示す3観測区間を決定した。

観測区間①：掘削長 208.7m～掘削長 209.7m(透水割れ目を対象)

観測区間②：掘削長 211.2m～掘削長 215.7m(断層帯を対象)

観測区間③：掘削長 249.7m～掘削長 257.2m(主断層の上盤側の健全な稚内層を対象)

図 8.5.1-2 に現地適用性評価試験実施深度(計画)を示す。

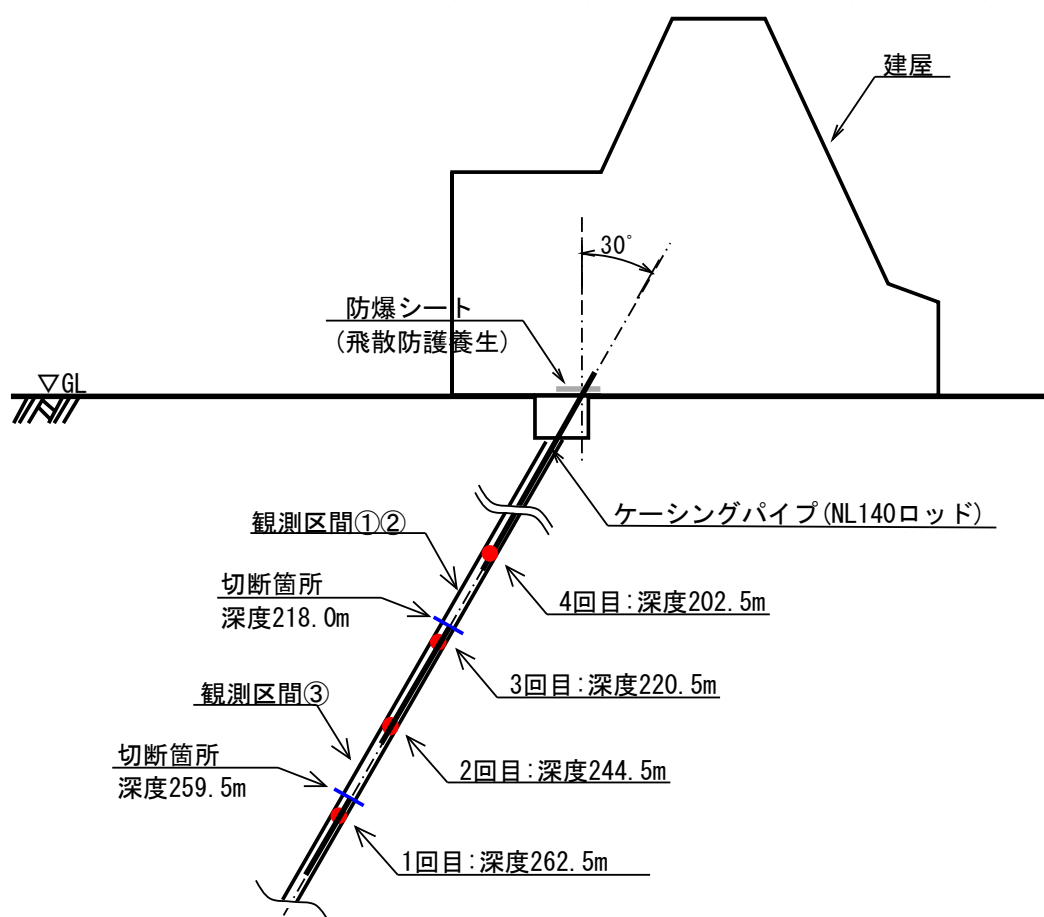


図 8.5.2-1 現地適用性評価試験実施深度(計画)

8.5.3 火薬による拡管試験

平成 24 年度までの検討・試験でケーシング(NL140 ロッド)荷重の保持方法は、ケーシング内に設置した 100 g 程度の火薬を起爆させてケーシングを局部的に拡管し、孔壁に密着もしくは食い込ませる方法が有効であるとの結論を得た。

今年度は、この技術の実岩盤への適用性評価に資するため、HCD-3 孔にて拡管試験を実施した。

8.5.3.1 拡管試験

(1) 薬量と装薬方法

使用した火薬と薬量は以下のとおりである。

- ・使用火薬：PBX6201
- ・使用薬量：100 g
- ・使用雷管：深海用電気雷管(8号)

火薬を装薬治具(ボディ外径：φ70 mm、カプセル外径：φ60 mm)に固定し、HCD-3 孔内へ降下させた。この時、セントライザーにより、NL140 ロッドに対し中心装薬となるようにした。発破時には HCD-3 孔内を掘削用泥水にて満水状態にした。

なお、装薬カプセルとホルダー接続部は、過年度の試験と同様に埋め込みタイプとした。また、発破システムについてはアーマードケーブル、アーマードケーブルから分岐した補助母線(日星電気(株)製のハイフロンふっ素樹脂(PTFE 絶縁)電線)および発破器を使用して試験を行うこととした。

図 8.5.3-1 に火工品組み立て図を示す。

図 8.5.3-2 に装薬治具編成図を示す。

図 8.5.3-3 に火工品組み立て状況を示す。

図 8.5.3-4 に装薬状況を示す。

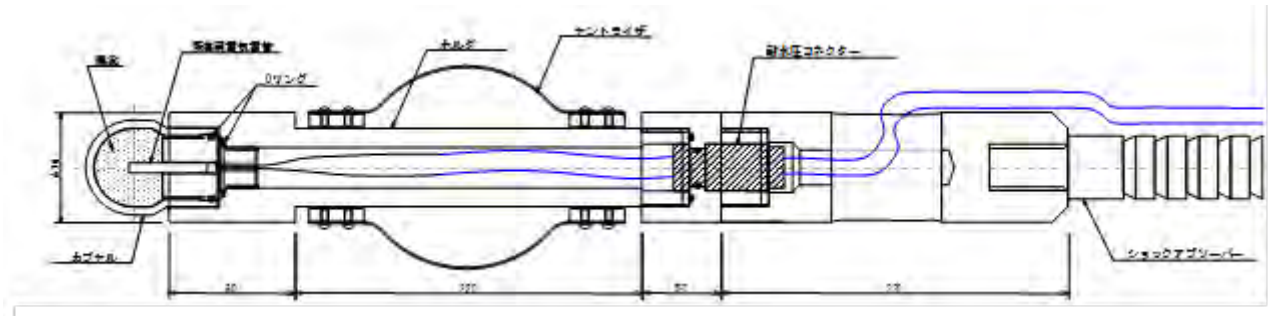


図 8.5.3-1 火工品組み立て図

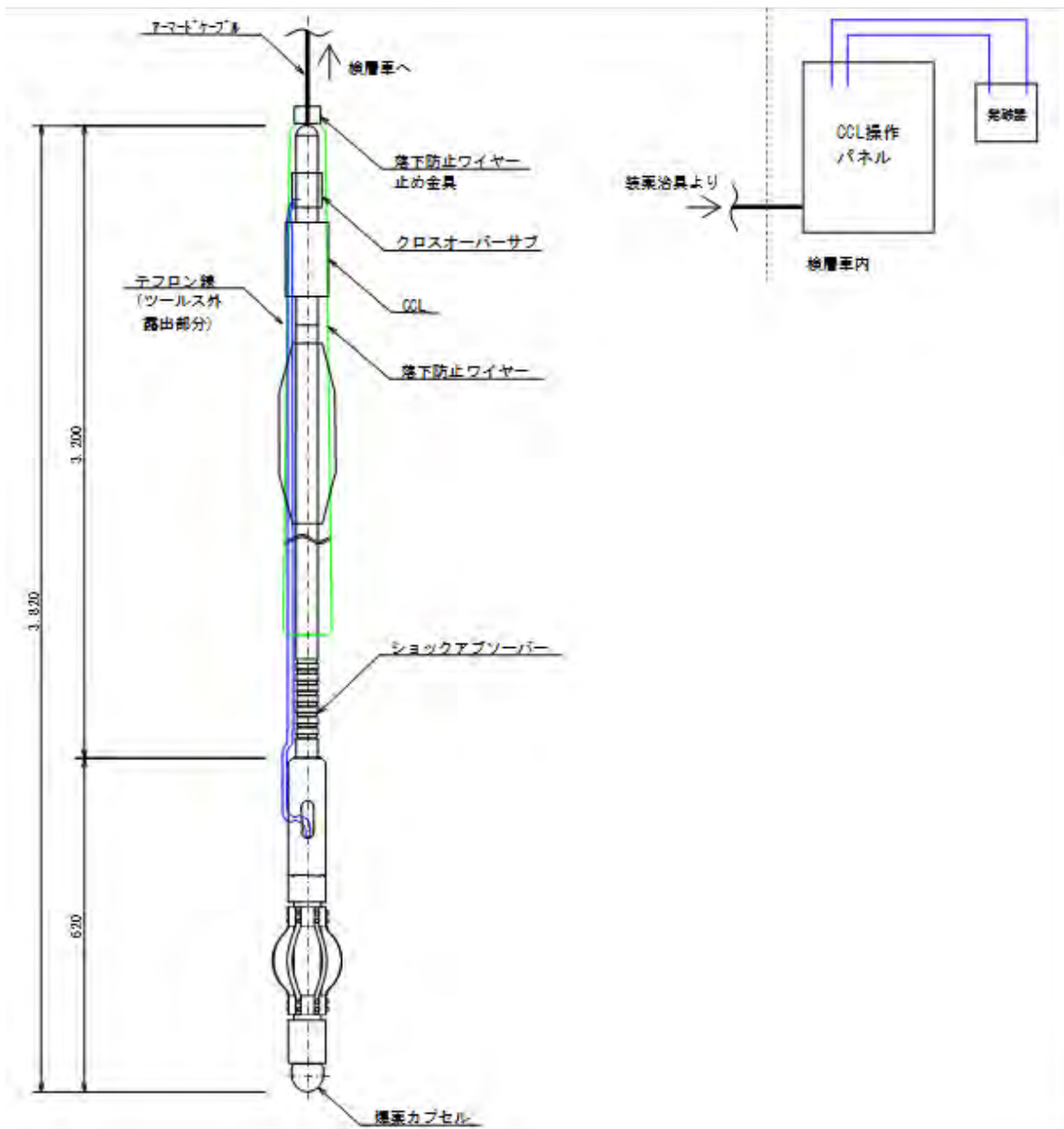


図 8.5.3-2 装薬治具編成図



図 8.5.3-3 火工品組み立て状況

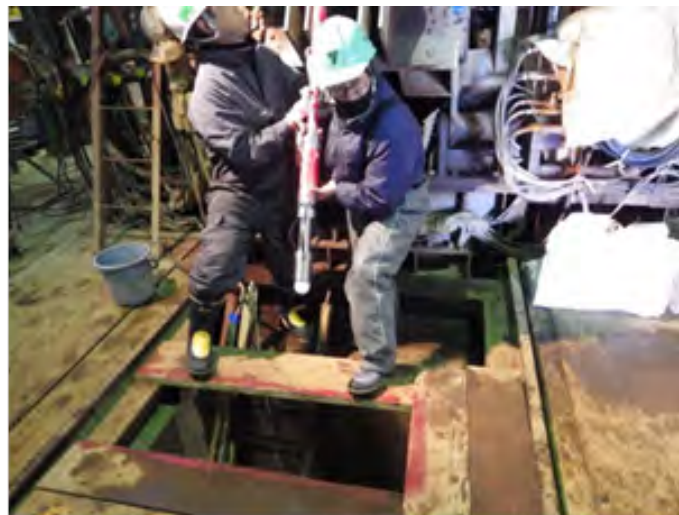


図 8.5.3-4 装薬状況

(2) 試験結果

a. 1回目(拡管深度：掘削長 262.5m)

発破終了後、装薬治具を引き上げたところ、装薬治具に損傷等は認められなかったが、ショックアブソーバーの全長が2mm(357.5mm→355.5mm)縮んでいた。また、装薬治具の先端部が拡大していたのは過年度と同様であるが、火薬を入れているカプセルの残滓が残っており、全て回収できた。また、装薬治具爆薬側端部の広がり、過年度試験結果と同様に外径が $\phi 75\text{mm}$ (発破前： $\phi 70\text{mm}$)に広がっていた。

図 8.5.3-5 に発破後の装薬治具状況を示す。

図 3.5.3-6 にカプセルの残滓状況を示す。



図 8.5.3-5 発破後の装薬治具状況



図 8.5.3-6 カプセルの残滓状況

発破作業の終了後、引張り耐力試験を実施した。耐力試験は、掘削機のスピンドルの油圧機構を用いて行った。

計測は掘削機のゲージによる荷重管理とした。以下に試験結果を示す。

・正味引張力 1.3 t ⇒ 変位：大

引き抜き荷重 1 t までは、変位は数 mm であったが、荷重が 1.3 t に達した時、NL140 ロッドが大きく動き、NL140 ロッドを保持できなくなった。この原因として掘削径が各種試験等を数年にわたって実施したために設計径(φ 152mm)より拡大(孔径検層結果：φ 162～175mm)したため、保持耐力が不足したと考えられた。

このため、NL140 ロッドを1本追加して、拡管したNL140 ロッドを孔底側に3m押し込んで、再度拡管試験(拡管深度：掘削長 263.0m)を実施することにした。

b. 2回目(拡管深度：掘削長 263.0m)

発破終了後、装薬治具を引き上げたところ、1回目と同様に装薬治具に損傷等は認められなかったが、ショックアブソーバーの全長が3mm(357.5mm→354.5mm)縮んでいた。また、装薬治具の先端部が拡大していたのは1回目と同様であるが、火薬を入れているカプセルの残滓が残っており、全て回収できた。また、装薬治具爆薬側端部の広がりは、1回目と同様に外径がφ75mm(発破前：φ70mm)に広がっていた。

図 8.5.3-7 に発破後の装薬治具状況を示す。



図 8.5.3-7 発破後の装薬治具状況

発破作業の終了後、引張り耐力試験を実施した。今回は1回目と違い、押し込みおよび引張り耐力試験を実施した。1回目と同様に耐力試験は、掘削機のスピンドルの油圧機構を用いて行った。計測は掘削機のゲージによる荷重管理とした。以下に試験結果を示す。

- ・ 正味押し込み力 0.56 t ⇒ 変位：8 mm
- ・ 正味引張り力 0.53 t ⇒ 変位：1 mm

上記の結果より今回の試験では、所用耐力を満たす結果が得られた。

図 8.5.3-8 に押し込み耐力試験状況を示す。



図 8.5.3-8 押し込み耐力試験状況

c. 3回目(拡管深度：掘削長 244.5m)

発破終了後、装薬治具を引き上げたところ、前回と同様に装薬治具に損傷等は認められなかったが、ショックアブソーバーの全長が2mm(357.5mm→355.5mm)縮んでいた。また、装薬治具の先端部が拡大していたのは前回と同様であるが、火薬を入れているカプセルの残滓が残っており、全て回収できた。また、装薬治具爆薬側端部の広がり、前回と同様に外径がφ75mm(発破前：φ70mm)に広がっていた。

図 8.5.3-9 に発破後の装薬治具状況を示す。



図 8.5.3-9 発破後の装薬治具状況

発破作業の終了後、引張り耐力試験を実施した。今回の拡管試験は、裸孔区間①(観測区間③)と裸孔区間②(観測区間①、②)との間のNL140 ロッド(区間長：29.5m)の保持耐力確保のために実施した。保持する区間長が短いため、耐力試験は、4回目の拡管試験(拡管深度：掘削長 220.5m)実施後、行うこととした。

d. 4回目(拡管深度：掘削長 220.5m)

発破終了後、装薬治具を引き上げたところ、1回目と同様に装薬治具に損傷等は認められなかったが、ショックアブソーバーの全長が2mm(357.5mm→355.5mm)縮んでいた。また、装薬治具の先端部が拡大していたのは前回と同様であるが、火薬を入れているカプセルの残滓が残っており、全て回収できた。また、装薬治具爆薬側端部の広がり、前回と同様に外径がφ75mm(発破前：φ70mm)に広がっていた。

図 8.5.3-10 に発破後の装薬治具状況を示す。



図 8.5.3-10 発破後の装薬治具状況

今回は2回目と同様に、押し込みおよび引張り耐力試験を実施した。前回と同様に耐力試験は、掘削機のスピンドルの油圧機構を用いて行った。計測は掘削機のゲージによる荷重管理とした。以下に試験結果を示す。

- ・ 正味押し込み力 0.80 t ⇒ 変位：大
- ・ 正味引張り力 0.70 t ⇒ 変位：大

押し込み荷重が0.8tに達した時、NL140 ロッドが大きく動き、NL140 ロッドを保持できなくなった。また、引張り荷重が0.7tに達した時、NL140 ロッドが大きく動き、NL140 ロッドを保持で

きなくなった。この原因として掘削径が各種試験等を数年にわたって実施したために設計径(φ152mm)より拡大(孔径検層結果：φ165～166mm)したため、保持耐力が不足したと考えられた。このため、保持耐力を増加させるために再度拡管試験(拡管深度：掘削長 223.0m)を実施することにした。

e. 5回目(拡管深度：掘削長 263.0m)

今回は、前回拡管した箇所より下部を拡管するため、装薬治具の編成を変更した。管体に亀裂の入っている拡管箇所を通過させるため、亀裂に引っかかる危険のある先端のセントライザーを外し、治具の角張った部分をビニールテープとテフロンテープで肉盛り、保護した。また、治具後方のセントライザーを1個追加し、NL140 ロッドに対し中心装薬となるようにした。

図 8.5.3-11 に火工品組み立て状況を示す。

図 8.5.3-12 に装薬状況を示す。



図 8.5.3-11 火工品組み立て状況



図 8.5.3-12 装薬状況

発破終了後、装薬治具を引き上げたところ、前回と同様に装薬治具に損傷等は認められなかったが、ショックアブソーバーの全長が3mm(357.5mm→354.5mm)縮んでいた。また、装薬治具の先端部が拡大していたのは1回目と同様であるが、火薬を入れているカプセルの残滓が残っており、全て回収できた。また、装薬治具爆薬側端部の広がり、前回と同様に外径がφ75mm(発破前：φ70mm)に広がっていた。

図 8.5.3-13 に発破後の装薬治具状況を示す。



図 8.5.3-13 発破後の装薬治具状況

今回は、押込み耐力試験を実施した。前回と同様に耐力試験は、掘削機のスピンドルの油圧機構を用いて行った。

計測は掘削機のゲージによる荷重管理とした。以下に試験結果を示す。

・ 正味押込み力 0.50 t ⇒ 変位：18 mm

上記の結果より今回の試験では、所用耐力を満たす結果が得られた。

f. 6回目(拡管深度：掘削長 202.5m)

発破終了後、装薬治具を引き上げたところ、前回と同様に装薬治具に損傷等は認められなかったが、ショックアブソーバーの全長が3mm(357.5mm→354.5mm)縮んでいた。また、装薬治具の先端部が拡大していたのは前回と同様であるが、火薬を入れているカプセルの残滓が残っており、全て回収できた。また、装薬治具爆薬側端部の広がり、前回と同様に外径がφ75mm(発破前：φ70mm)に広がっていた。

図 8.5.3-14 に発破後の装薬治具状況を示す。



図 8.5.3-14 発破後の装薬治具状況

今回の拡管試験は、孔口でNL140 ロッドを保持した後に実施したため、耐力試験は実施しないこととした。

8.5.4 ケーシング(NL140 ロッド)切断試験

8.5.4.1 試験目的

過年度の試験において、電動式カッターは、ケーシング(NL140 ロッド)切断ツールとして有効であることが確認された。

今年度は、この電動式カッターを用い、この技術の実岩盤への適用性評価に資するため、実際のコントロールボーリング孔井内においてケーシング切断試験を実施した。

8.5.4.2 使用機材概要

使用した電動カッターはGE Oil & Gas 社(米国)の DECT(Downhole Electric Cutting Tool)である。地上から遠隔操作によりワイヤラインケーブルを介して電流電圧を供給し、ツールのアンカーがツールに対して垂直方向に開き、約1tの荷重でNL140 ロッドの内壁に張付き、ツール全体をNL140 ロッド内に保持し、NL140 ロッドの切断によってツール全体が回転しないようにする。その後ツールボトムモータによりブレード(刃)を回転させることによりNL140 ロッドを切断する。一般に5インチのパイプの切断に約7分を要する。切断面は凹凸がなく、切断箇所周辺も拡大しないため、切断後の作業に障害を与えないという長所がある(火薬あるいは薬品による切断では切断面の修正が必要となるケースが想定される)。

NL140 ロッドの切断状況を地上で把握するために、ツール内に内蔵されたマイクロフォンによって切断時に発生する音をモニタすると共に、アンカーおよびカッターの伸縮距離と回転数、ツールに載荷される引張張力をモニタする。

なお、NL140 ロッドの切断を行なったことによってツールのカッターがNL140 ロッドの荷重によって切断面に挟まり抑留されないように、また地上でNL140 ロッドの切断確認が行なうために、NL140 ロッドを自重以上の荷重で強引しながら切断作業を行なう。

また、電動カッターは、切断箇所の深度を正確に行なうため、後述のCCLを内蔵している。

表8.5.4-1に電動カッターの仕様一覧を示す。

表 8.5.4-1 電動カッターの仕様一覧

機器	型式	仕様
地上機器		電源：AC 100V-200V 50/60 Hz 作業電源 650VDC/1,500mA
孔内機器	Downhole Electric Cutting Tool DECT001	外径：82.55 mm 全長：594 cm 耐温：149℃ 耐圧：105Mpa 切断口径：76-130 mm アンカー対応孔径：134 mm

8.5.4.3 試験概要

本年度実施したモニタリングシステムの設置試験における NL140 ロッド切断試験作業は、検層車のウインチドラムに巻かれた外径 0.375inch(9.5mm)、信号線 3 芯のアーマードケーブルを用いて、電動カッターを CCL(ケーシングジョイント検出装置)により NL140 ロッドの挿入位置を確認しながら、所定の深度まで降下し、NL140 ロッドの切断試験を実施した。

アーマードケーブル信号線 3 芯の内、1 本を CCL 信号線、切断時のカッター駆動ラインとして使用した。

ツール編成図は、孔井口元側からケーブルヘッド、スィベルジョイント、深度基準の CCL、ヘッドテンション、エレクトロニクス、アンカーセクション、カッターヘッドである。なお、ツールを管内で中心保持させるアンカーの最大張り出し径は、NL140 ロッドの最大内径 $\phi 130\text{mm}$ に対し、 $\phi 134\text{mm}$ まで張り出す。

図 8.5.4-1 に電動カッター編成図を示す。

図 8.5.4-2 に NL140 ロッド切断試験時のシステムモニタ画面の模式図を示す。

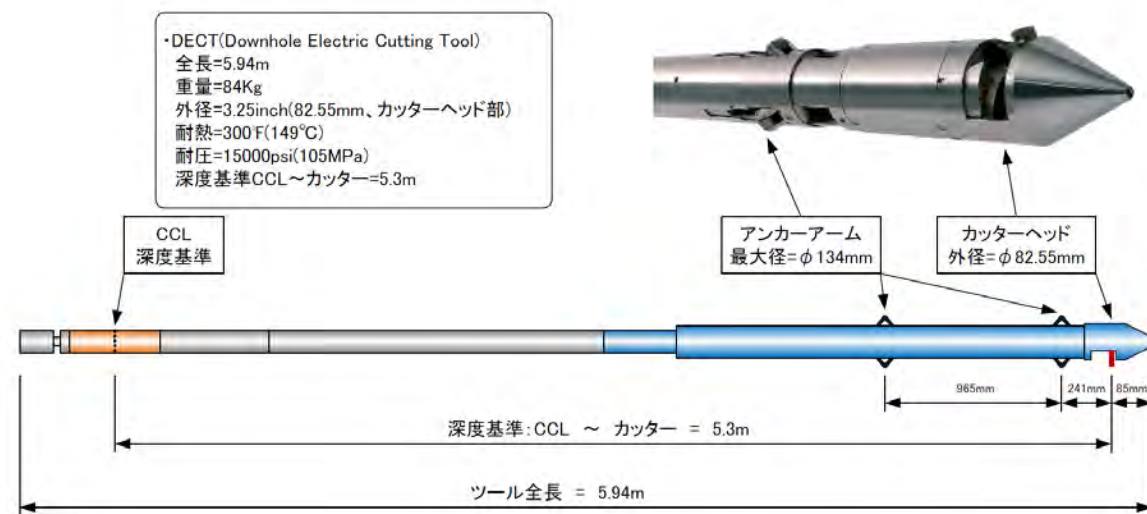


図 8.5.4-1 電動カッター編成図

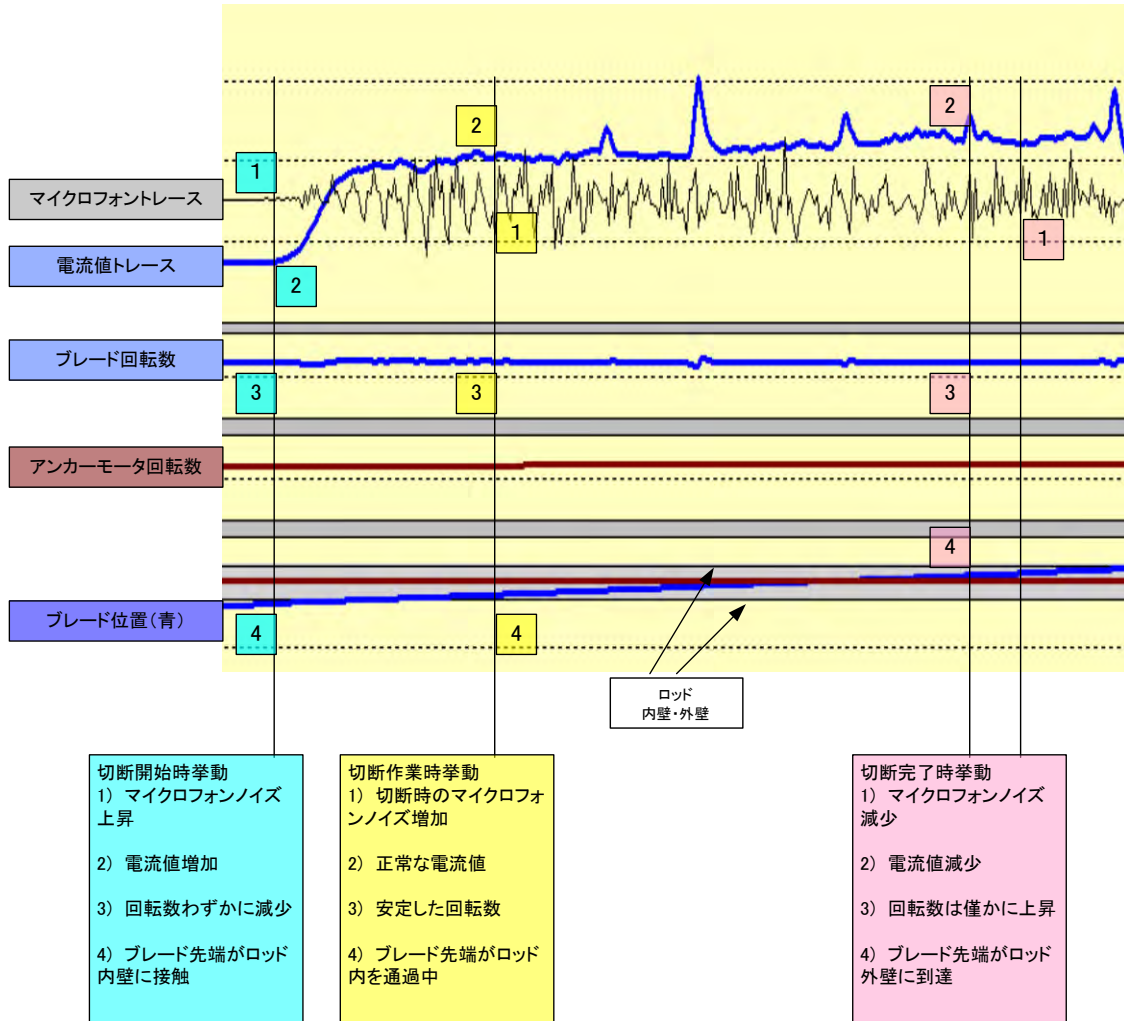


図 8.5.4-2 NL140 ロッド切断試験時のシステムモニタ画面の模式図

8.5.4.4 試験結果

(1) 1回目(切断位置：掘削長 259.5m)

1回目のNL140ロッド切断作業では、深度基準であるCCLによりNL140ロッドの接続部(ねじ部)深度を確認、深度補正しながら、掘削長259.5mにて切断試験を行った(CCL停止深度は掘削長254.2m、CCLからカッター部は5.3mであるので、切断深度は掘削長259.5mである)。

切断試験時にはNL140ロッドを自重より500kg程引張り荷重を加えた状態にて、アンカーアームを張り出し、ツールを管内で中心保持し、カッティングブレードを回転させた。

切断完了時の地上システムモニタ画面には、マイクロフォンノイズ・供給電流の減少、微小なブレード回転数の増加など確認され、良好な切断状況が確認された。

なお、切断試験終了後に行われたNL140ロッド揚管時のロッド荷重は、切断部下部のNL140ロッド荷重を除いたロッド荷重にて12m揚管できたことから、切断されたことが確認された。

図 8.5.4-3 に NL140 ロッド切断試験 CCL 計測結果(切断位置：掘削長 259.5m)を示す。

図 8.5.4-4 に電動カッター組み立て状況(1回目)を示す。

図 8.5.4-5 に電動カッター設置状況(1回目)を示す。

図 8.5.4-6 に電動カッター切断状況(1回目)を示す。

図 8.5.4-7 に切断試験後の電動カッター状況(1回目)を示す。

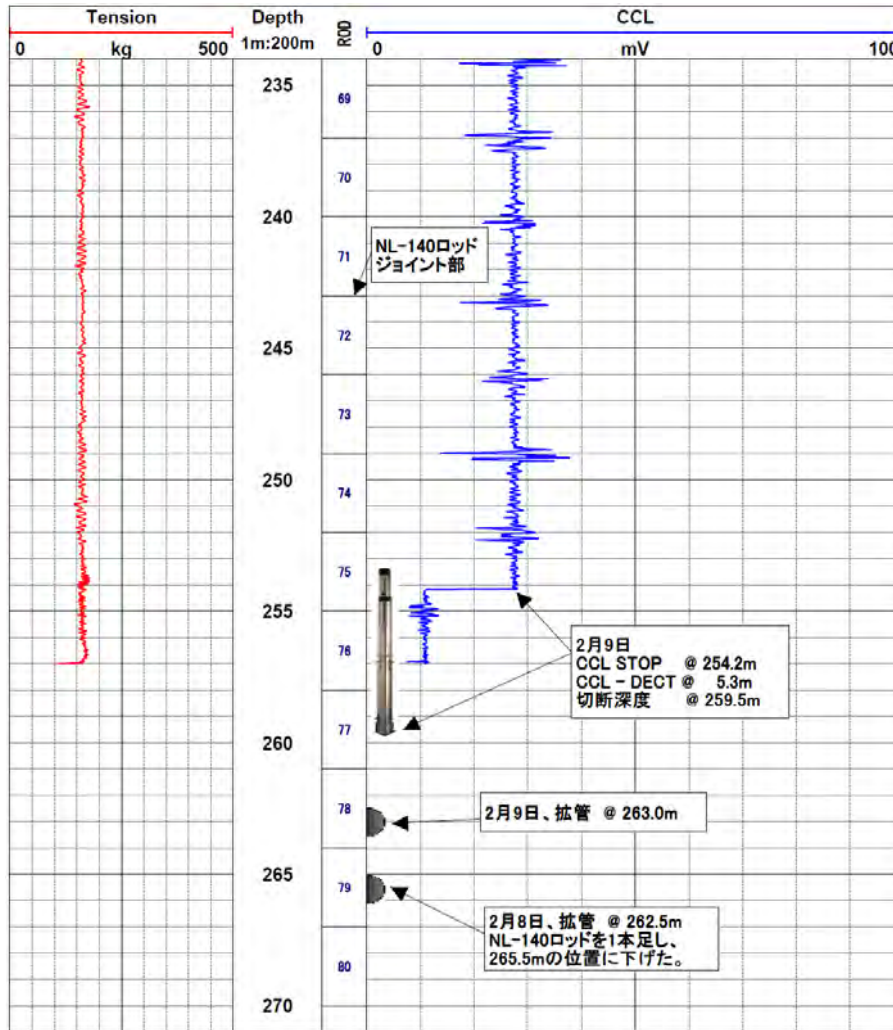


図 8.5.4-3 NL140 ロッド切断試験 CCL 計測結果(切断位置：掘削長 259.5m)



図 8.5.4-4 電動カッター組み立て状況(1回目)



図 8.5.4-5 電動カッター設置状況(1回目)



図 8.5.4-6 電動カッター切断状況(1回目)



図 8.5.4-7 切断試験後の電動カッター状況(1回目)

(2) 2回目(切断位置：掘削長 218.0m)

2回のNL140 ロッド切断作業は、掘削長 218.0mにて切断試験を行った(CCL 停止位置は掘削長 212.7m、CCL からカッター部は 5.3m であるので、切断深度は掘削長 218.0m である)。

切断試験時にはNL140 ロッドを自重より 500kg 程引張り荷重を加えた状態にて、アンカーアームを張り出しツールを管内で中心保持し、カッティングブレードを回転させた。

切断完了時の地上システムモニタ画面には、マイクロフォンノイズ・供給電流の減少、微小なブレード回転数の増加など確認され良好な切断状況が確認された。

なお、切断試験終了後に行われたNL140 ロッド揚管時のロッド荷重は、切断部下部のNL140 ロッド荷重を除いたロッド荷重にて 12m 揚管できたことから、切断されたことが確認された。

図 8.5.4-8 にNL140 ロッド切断試験 CCL 計測結果(切断位置：掘削長 218.0m)を示す。

図 8.5.4-9 に電動カッター組み立て状況(2回目)を示す。

図 8.5.4-10 に電動カッター設置状況(2回目)を示す。

図 8.5.4-11 に電動カッター切断状況(2回目)を示す。

図 8.5.4-12 に切断試験後の電動カッター状況(2回目)を示す。

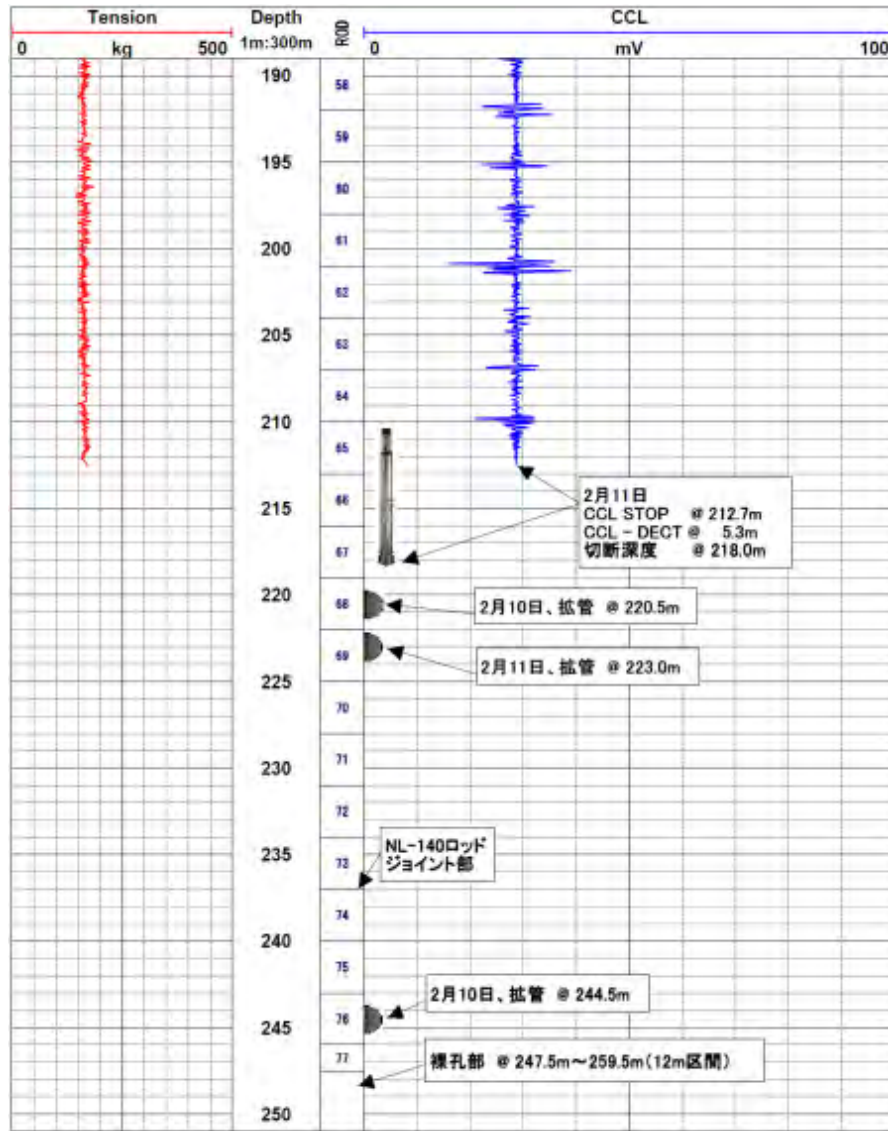


図 8.5.4-8 NL140 ロッド切断試験 CCL 計測結果(切断位置：掘削長 218.0m)



図 8.5.4-9 電動カッター組み立て状況(2回目)



図 8.5.4-10 電動カッター設置状況(2回目)



図 8.5.4-11 電動カッター切断状況(2回目)



図 8.5.4-12 切断試験後の電動カッター状況(2回目)

また、NL140 ロッドの切断試験終了後、NL140 ロッドを 2cm 引き上げ、切断深度と下部に位置する NL140 ロッドが裸孔に対して保持されていることを確認するために BHTV 検層を実施した。

計測結果より掘削長 218.06m で切断され、下位の NL140 ロッドは裸孔に保持されていることが確認できた。上位の NL140 ロッドの下端位置は掘削長 218.03m、下位の NL140 ロッドの上端位置は掘削長 218.06m で、差は 3cm であった。NL140 ロッドの切断試験の際にロッドを 1cm 引っ張った状態で切断し、その後 2cmNL140 ロッドを引き上げているので差が 3cm となっている。

図 8.5.4-13 に BHTV 検層(2回目切断部)結果を示す。

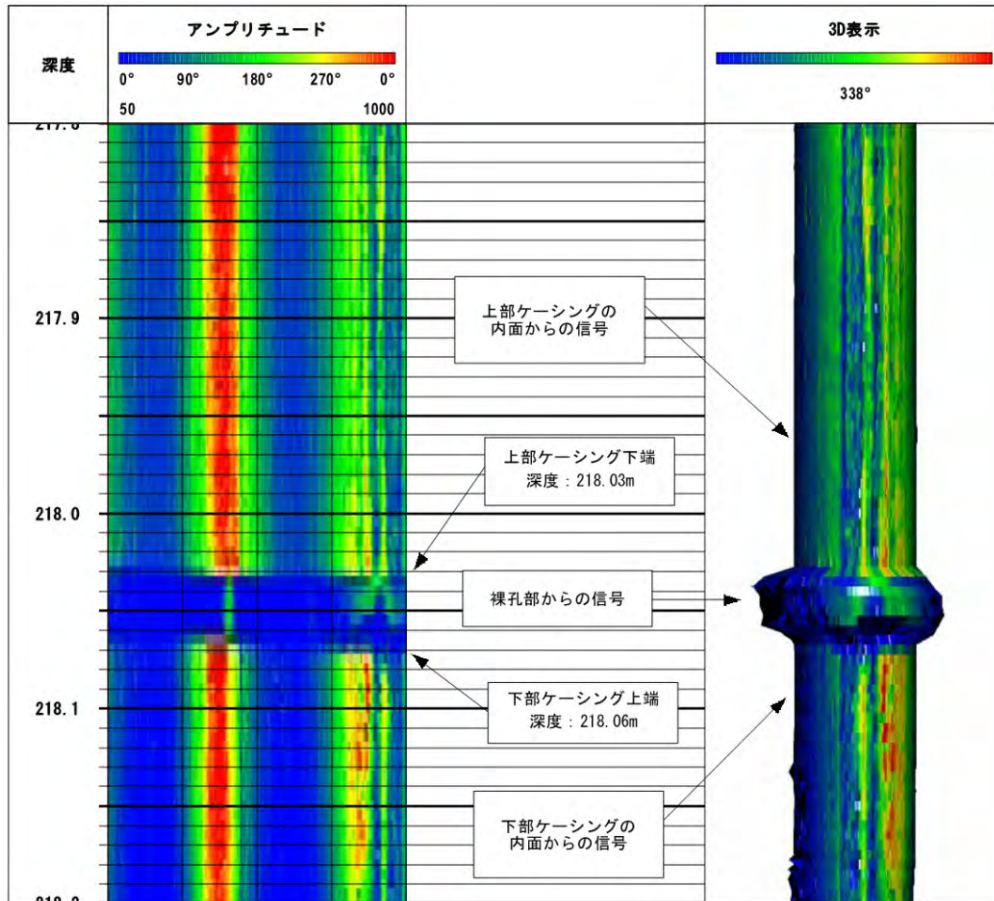


図 8.5.4-13 BHTV 検層(2回目切断部)結果

8.5.5 BHTVによる拡管部の管径計測

8.5.5.1 目的

過年度までの試験でボアホールテレビュアー検層(以降 BHTV 検層)は、火薬による拡管試験により拡管されたケーシング(NL140 ロッド)内の内径を確認するツールとして有効であることが確認された。今年度は、この技術の実岩盤への適用性評価に資するため、実際のコントロールボーリング孔井を使用して拡管部の管径を計測した。

8.5.5.2 使用機材概要

表 8.5.5-1 に使用機材一覧を示す。

表 8.5.5-1 使用機材一覧

機 器	型 式	仕 様
地上機器	MATRIX Logger	ツール制御インターフェース 使用 OS : Windows 2000/XP/Vista/7 電源 : AC100-240V 50/60 Hz
孔内機器	ABI40-GR	外径 : 40 mm 全長 : 2.37m 耐圧 : 20Mpa 耐温 : 70°C 音響センサ : ピエゾ型圧電トランスデューサー 基本周波数 : 1200kHz 方位分解能 : 1.25° , 2.5° , 5.0° (任意) 最小深度サンプリング深度 : 3mm (方位分解能 2.5° , 測定速度 2m/min 時) 方位センサ 3 軸加速度センサ, 3 軸地磁気センサ 精度 : 傾斜 ±0.5° , 方位 ±1.0°
解析処理	コンピュータ 解析ソフト	Endevor 990 (Intel (R) Core(TM) i3-2100 @ 3.30GHz, RAM 4.00GB) WellCAD Ver4.3

8.5.5.3 BHTV検層の概要

BHTV は、流体で満たされた孔井の孔壁を音波で走査することにより、孔壁の状態を画像として表す測定器である。BHTV ツールは、音波の送受信を行うことによって孔壁の状態を調べる”圧電形トランスデューサー”と地磁気および重力加速度を検出することによってツールの方位・傾斜を調べる”3 軸加速度・地磁気センサ”により構成される。受信した孔壁からの反射波はツールの内蔵エレクトロニクスにより波形処理した後、地上装置に伝送され画像化される。

ツール内のミラーは毎秒 1～10 回転の速度で高速回転しながら、トランスデューサーから発振した

音波エネルギーを非常に細いビーム状(3 mm)に収束して孔壁に向けて発射する。そして、音波エネルギーの一部が孔壁から反射し、ミラーを経由してトランスデューサーに受信される。

孔壁から反射される音波エネルギーの大きさは、孔壁表面の物理的性質によって左右され、滑らかな表面は粗い表面よりもよく反射し、硬い表面は柔らかい表面よりもよく反射する。更にトランスデューサーに対して反射面が斜めの場合は、反射エネルギーは著しく減少する。一般に表面のどのような不規則さも反射信号の振幅を減少させる。

波形処理した反射波は、アンプリチュード(反射波強度)とトラベルタイム(反射波到達時間)に分けられ、トラベルタイムはゾンデから孔壁までの距離に変換され、孔径(キャリパー)が算出される。

また BHTV ツールにキャリブレーター(図 8.5.5-3 参照)を装着し孔内水に入れ、孔内水の超音波伝播速度を計測して、取得したトラベルタイムから孔径を算出した。

今回の各測定区間は傾斜が約 30° あり、また BHTV ツールにセントライザーが装着されているため、ツールが降下しづらい。そのためツールの降下を容易にするためにシンカー(錘)を使用し重量を増やしている。また傾斜およびツール重量によるツールの偏芯を軽減するために、BHTV ツールとシンカーの間にナックルジョイントを接続した編成とした。

図 8.5.5-1 に BHTV 検層測定概念図を示す。

図 8.5.5-2 に反射波概念図を示す。

図 8.5.5-3 にキャリブレーター(Fluid Velocity Adapter)を示す。

図 8.5.5-4 に BHTV ツール編成図を示す。

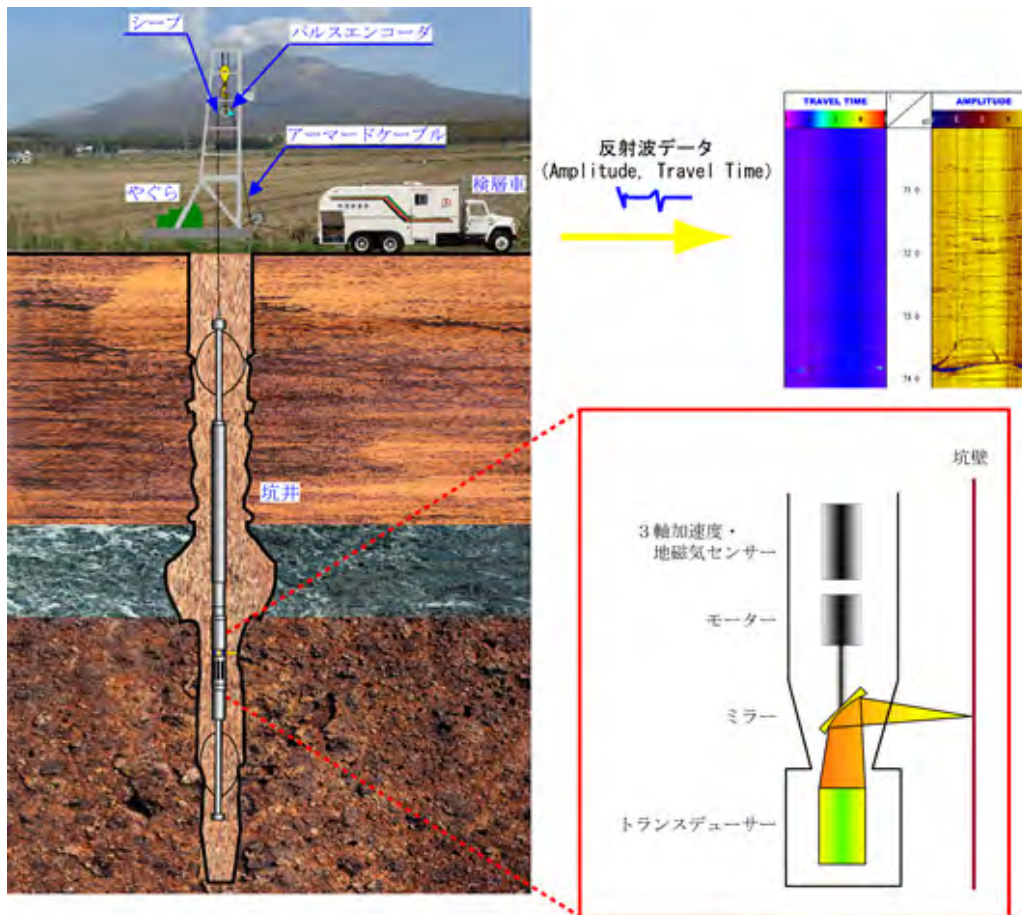


図 8.5.5-1 BHTV 検層測定概念図

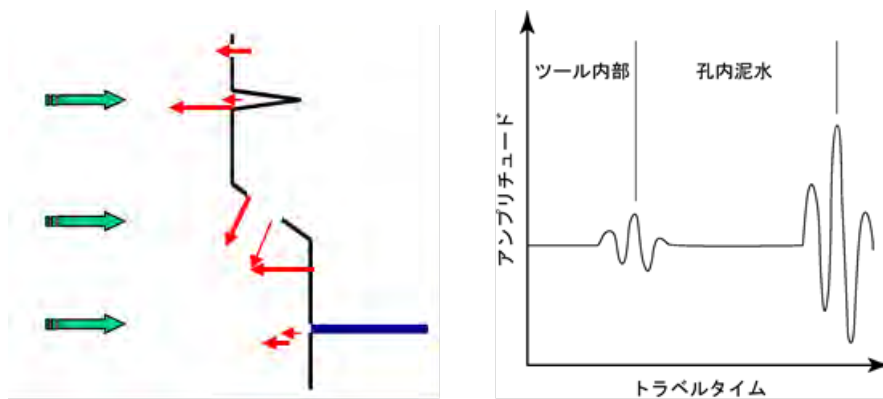


図 8.5.5-2 反射波概念図



図 8.5.5-3 キャリブレーター (Fluid Velocity Adapter)

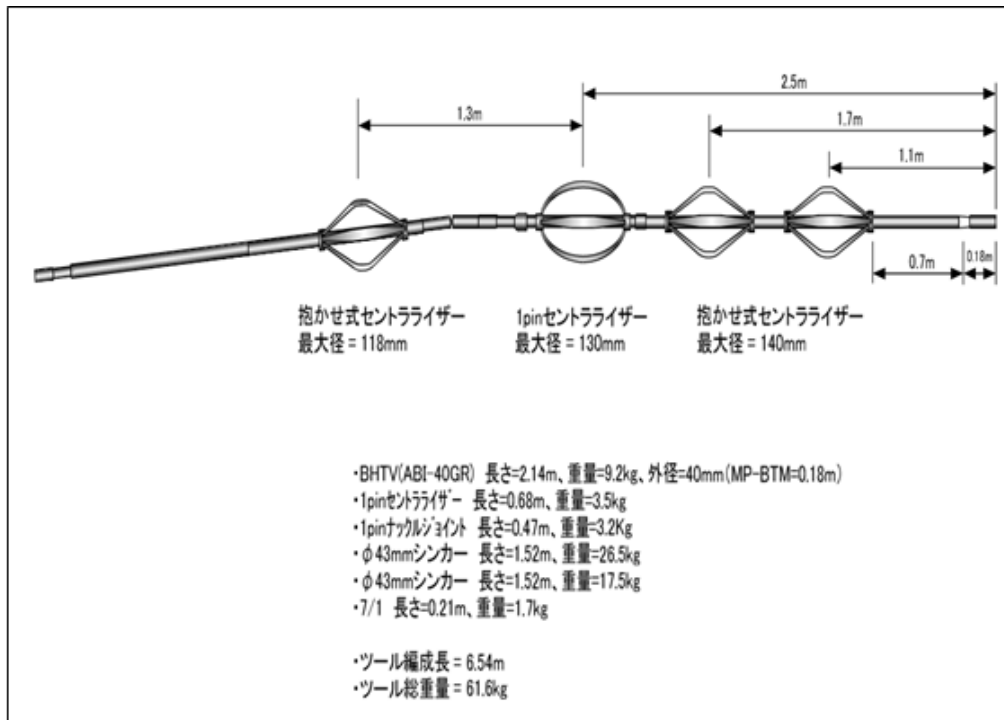


図 8.5.5-4 BHTV ツール編成図

今回測定に用いた BHTV ツールでは、ツールから NL140 ロッドに照射された音波エネルギーのほとんどは、NL140 ロッド内面で反射する。そして残りの約 10～15%の音波エネルギーが NL140 ロッド内に入射する (J. Deltombe, etc, 2004)。

NL140 ロッド内に入射する音波エネルギーの反射波を計測することによって、NL140 の管材の厚さを計測することができる。NL140 ロッド内面からの反射波 (図 8.5.5-5(a) の①の経路) とロッド内に入射してロッド外面からの反射波 (図 8.5.5-5(a) の②の経路) を利用する。すなわち、NL140 ロッド内面からの反射波よりロッド内面の状況とロッドの内径が算出される。一方、NL140 ロッド外面からの反射波を利用することにより、ロッド外面の状況と NL140 ロッド管材の厚さが算出される。

算出された NL140 ロッドの厚さは、ロッド内面や外面の状況によって計算値の信頼度が異なる。

図 8.5.5-5(a)の②の経路をたどる反射波のアンプリチュードから算出値の信頼度(以下「ケーシング・スコア値」と呼ぶ)を判断する必要がある。

一般にケーシング・スコア値が低い箇所は、BHTV ツールが NL140 ロッドに対して偏芯した箇所、ロッドの欠陥部(ピンホール、亀裂、NL140 ロッドの外側へのめくれなど)や接続部分、NL140 ロッドの内面が腐食している箇所などである。

図 8.5.5-5 にケーシングにおける音波の反射(J. Deltombe, etc, 2004 に加筆)を示す。

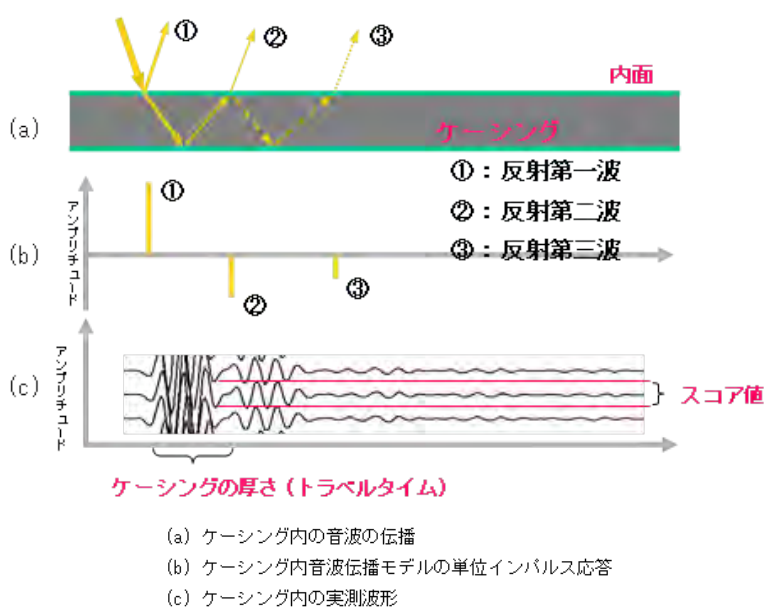


図 8.5.5-5 ケーシングにおける音波の反射(J. Deltombe, etc, 2004 に加筆)

8.5.5.4 試験結果

(1) 1 回目拡管部(拡管位置：掘削長 262.5m)

方位角 $0^{\circ} \sim 90^{\circ} \sim 180^{\circ} \sim 270^{\circ} \sim 0^{\circ}$ は、孔口から孔底方向に対して、NL140 ロッドの上側～右側～下側～左側～上側に対応する。

BHTV ツールにキャリブレーターを装着し孔内水(掘削用泥水)に入れ、孔内水の超音波伝播速度を計測して、取得したトラベルタイムから孔径を算出する。亀裂がある場合は、亀裂部より裸孔の反射波が取得されるので、亀裂部のデータを削除し孔径を算出している。

また NL140 ロッド内の超音波伝播速度を $5,850\text{m/sec}$ として、NL140 ロッドの肉厚を算出した。最大外径は算出された肉厚の平均値を最大内径に加えている。

全体的に 90° 方向(右側方向)および 270° 方向(左側方向)のアンプリチュードが著しく減衰している。拡管部以外の孔径のデータには大きな変化が見られないことから、傾斜の影響でツ-

ルがわずかに偏芯したことにより、アンプリチュードが減衰したものと考えられる。

拡管部の最大内径はφ153.5mm(掘削長262.57m地点)、最大外径はφ163.8mm(掘削長262.56m地点)と算出された。

方位角30°付近には幅は狭いが長い比較的大きな亀裂が確認され、3D表示からは上側方向に大きく膨らみ、下側方向および左右側方向の膨らみが小さいことが確認できる。これは傾斜井であるためNL140ロッドの下部は裸孔部に接しているが、上部と裸孔部の間には隙間ができるため、上側方向がより膨らみやすかったと考えられる。

図8.5.5-6にBHTV検層(1回目拡管部)結果(その1)を示す。

図8.5.5-7にBHTV検層(1回目拡管部)結果(その2)を示す。

図8.5.5-8にBHTV検層(1回目拡管部)結果(その3)を示す。

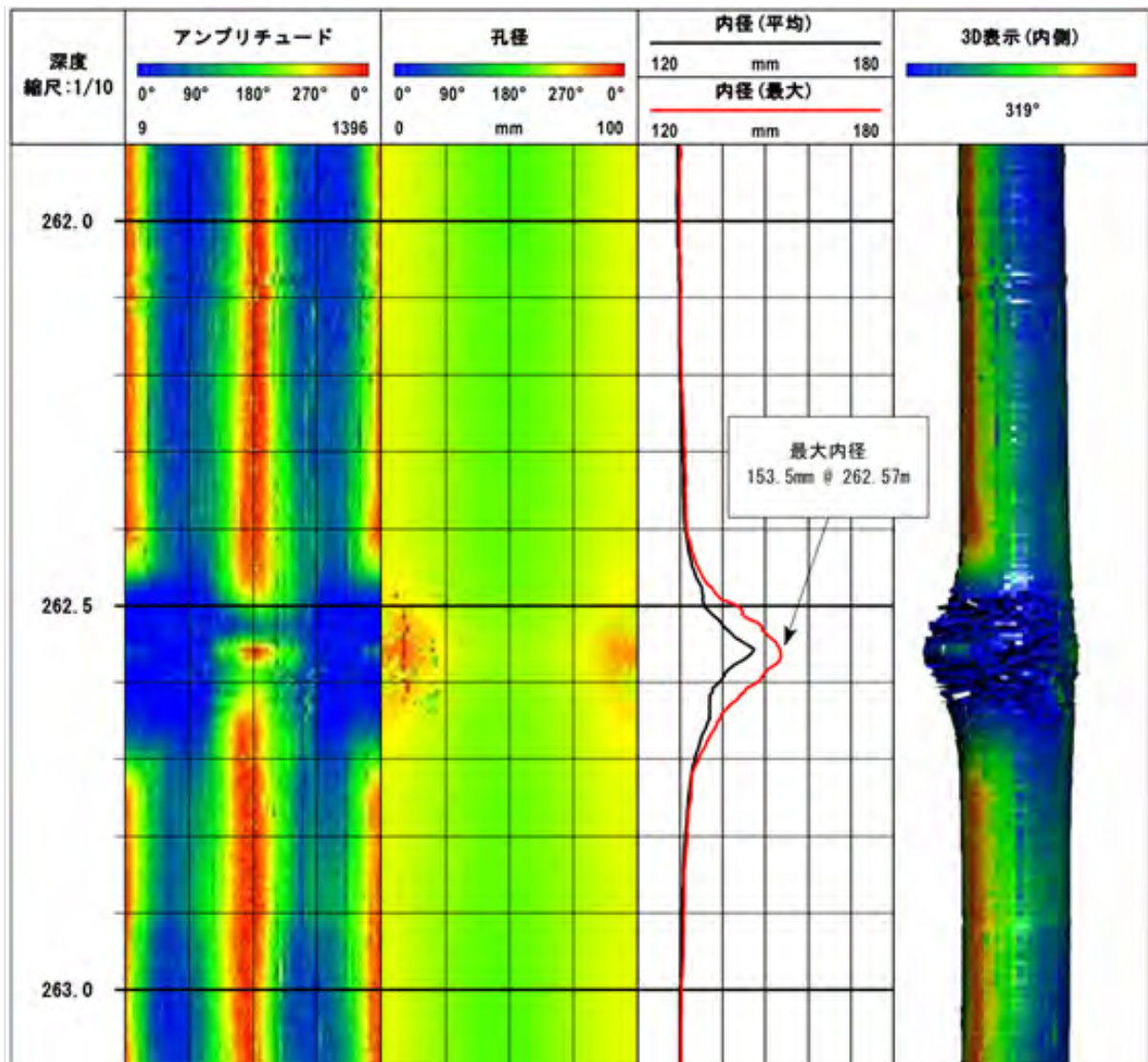


図8.5.5-6 BHTV検層(1回目拡管部)結果(その1)

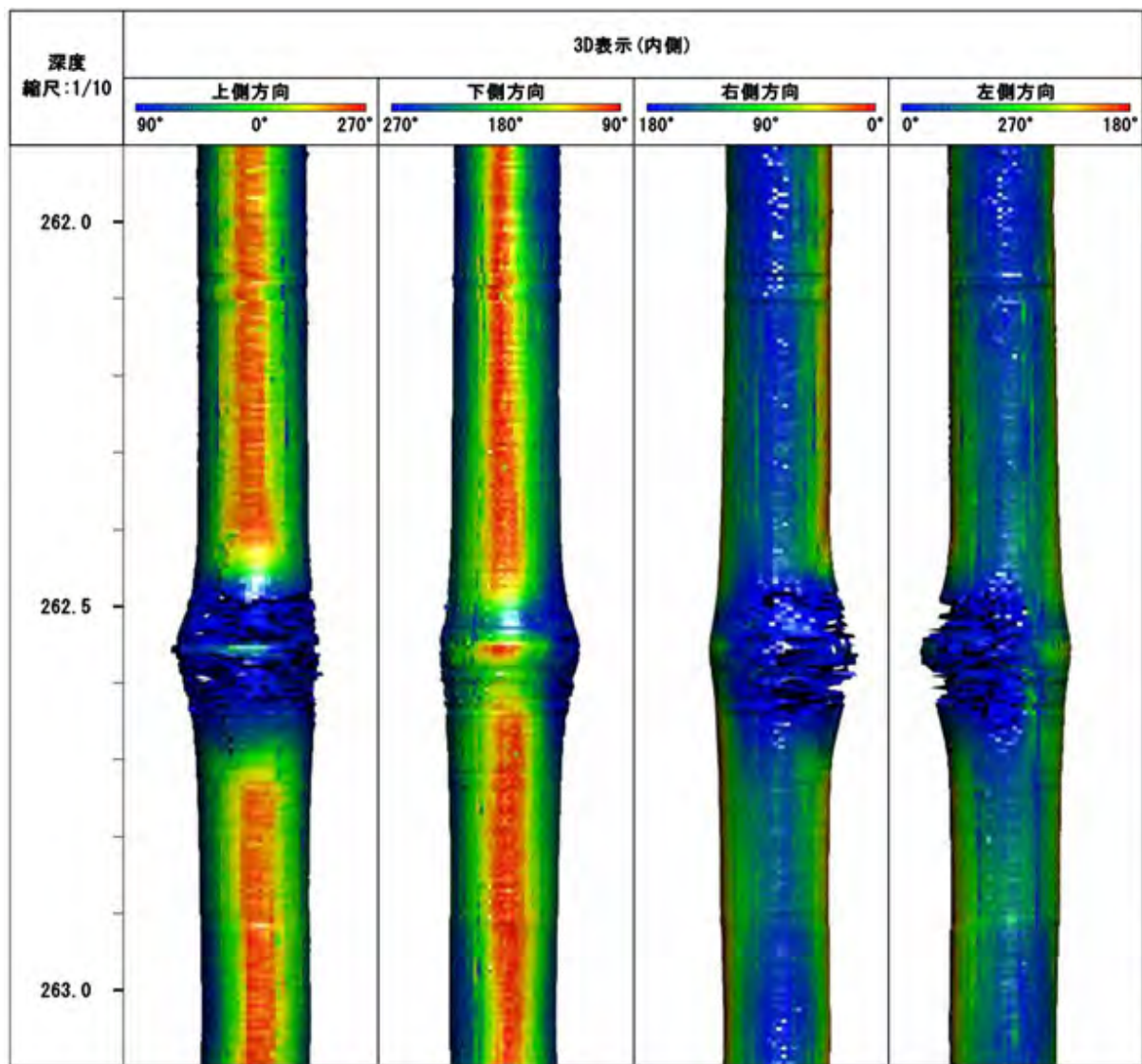


図 8.5.5-7 BTV 検層(1回目拡管部)結果(その2)

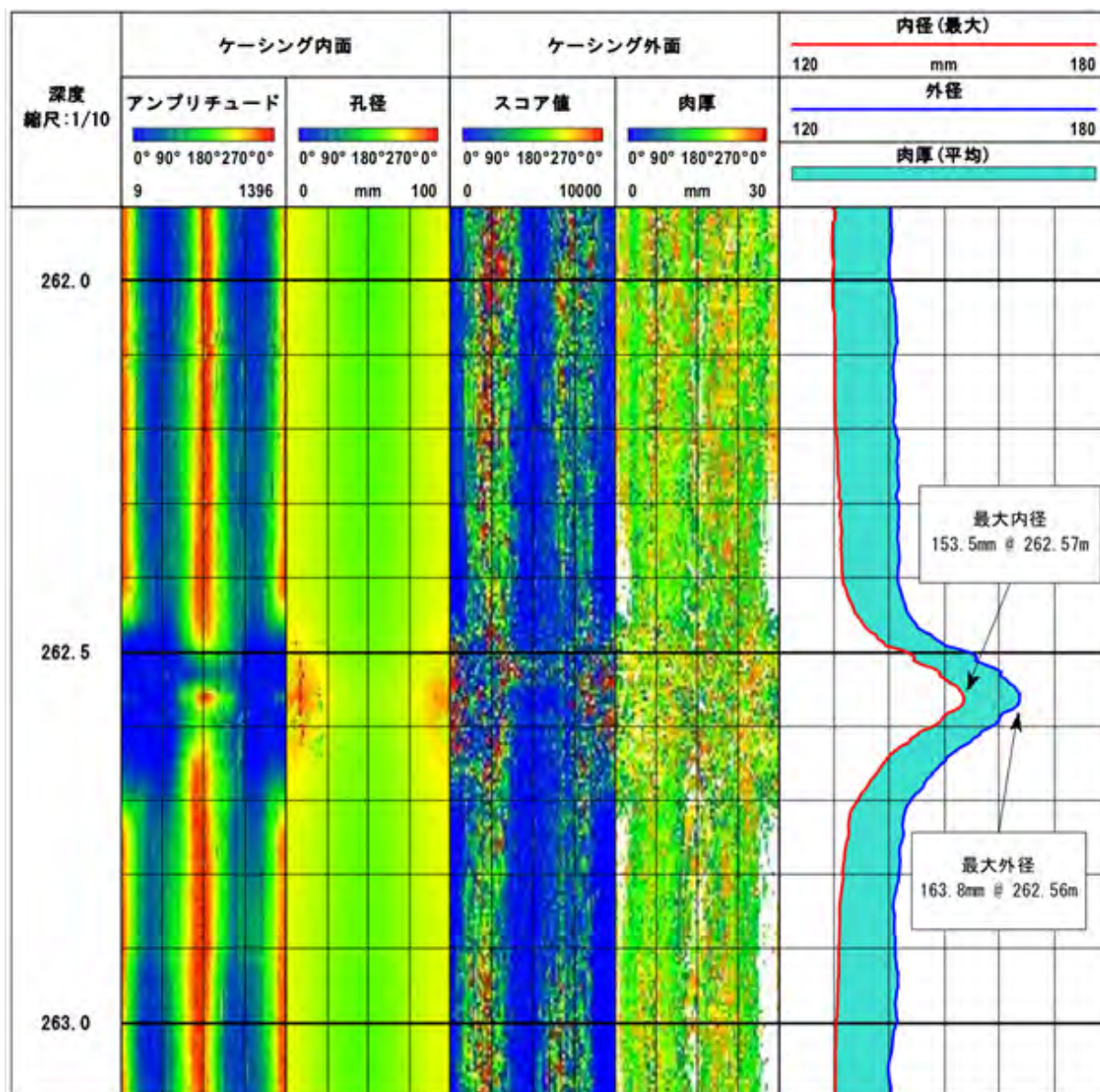


図 8.5.5-8 BHTV 検層(1 回目拡管部)結果(その 3)

(2) 2 回目拡管部(拡管位置:掘削長 263.0m)

拡管部の最大内径はφ154.9mm(掘削長 262.75m 地点)、最大外径はφ164.7mm(掘削長 262.75m 地点)と算出された。方位角 20° 付近に小さな亀裂が確認される。3D 表示より、上側方向に大きく膨らみ、左右側方向はあまり膨らんでいないのが確認できる。

図 8.5.5-9 に BHTV 検層(2 回目拡管部)結果(その 1)を示す。

図 8.5.5-10 に BHTV 検層(2 回目拡管部)結果(その 2)を示す。

図 8.5.5-11 に BHTV 検層(2 回目拡管部)結果(その 3)を示す。

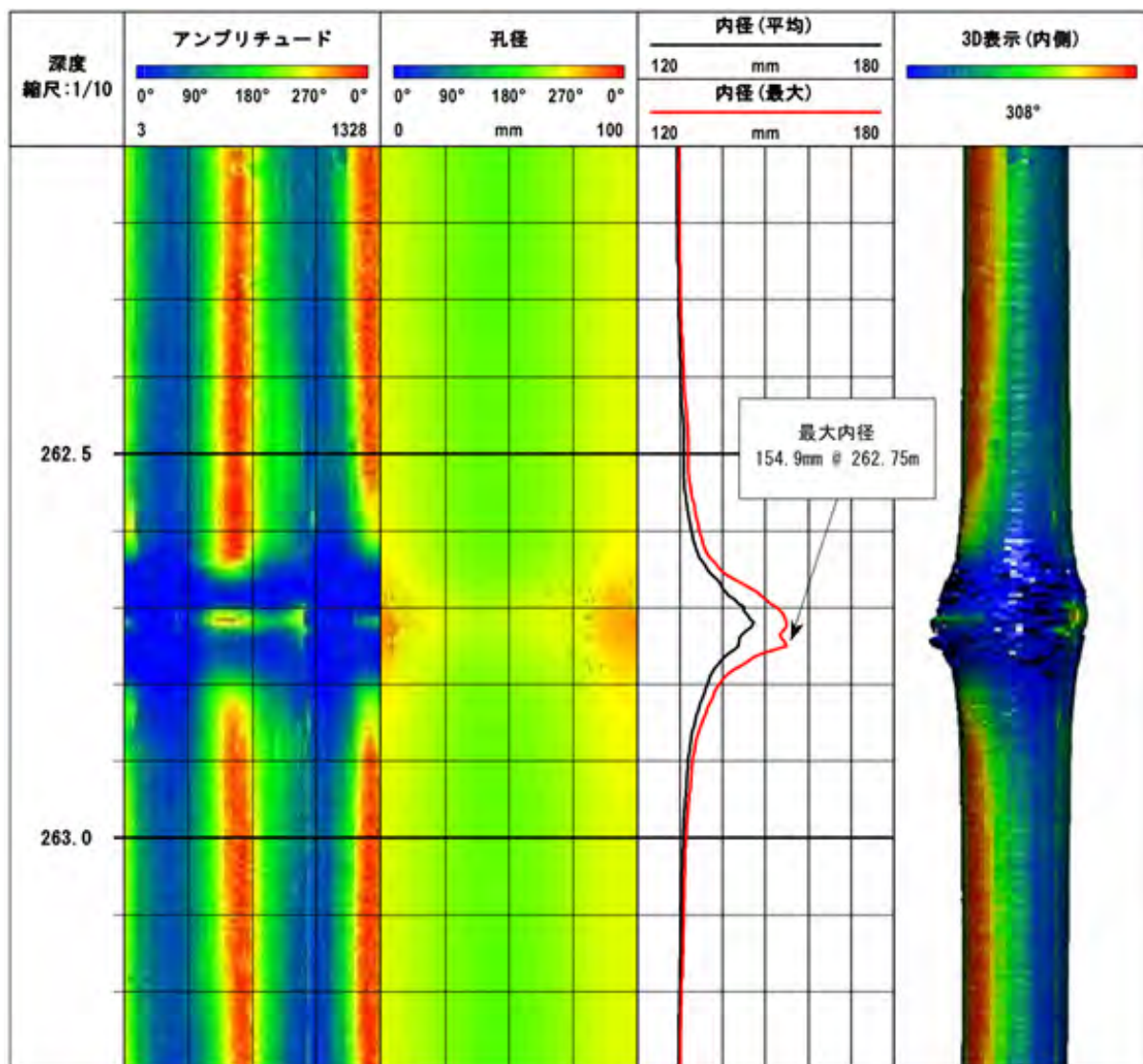


図 8.5.5-9 BHTV 検層(2 回目拡管部)結果(その 1)

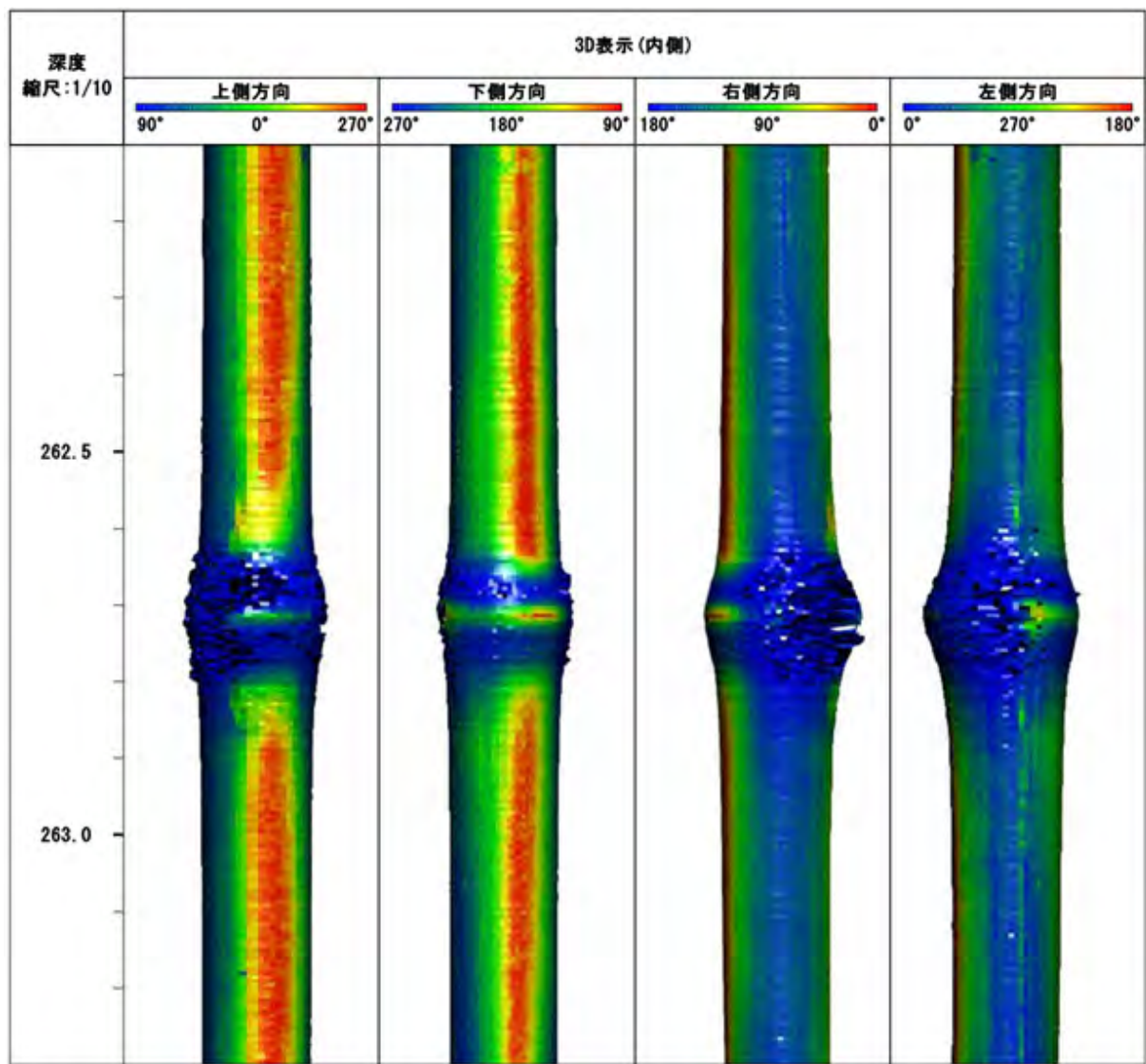


図 8.5.5-10 BHTV 検層(2回目拡管部)結果(その2)

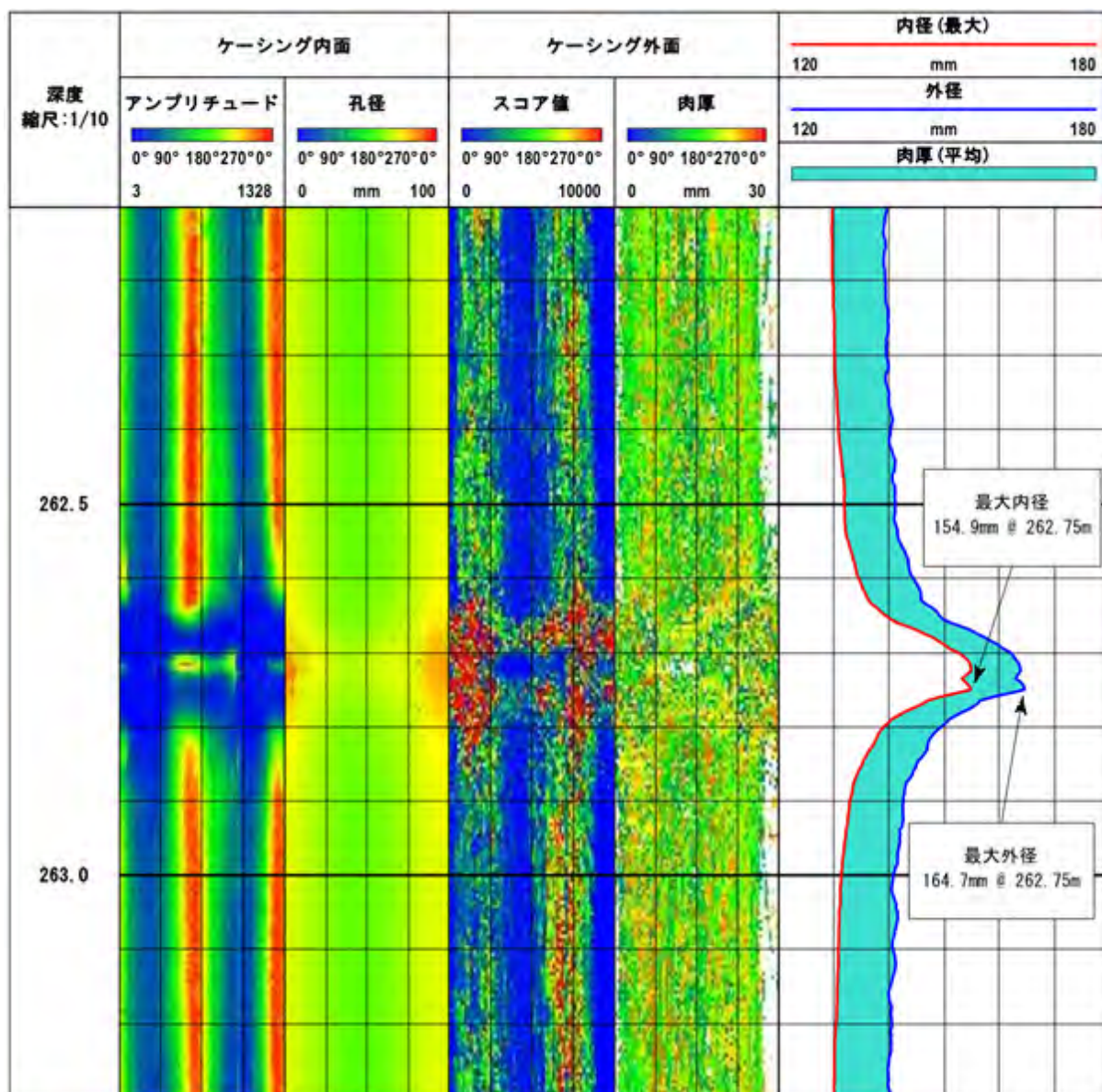


図 8.5.5-11 BHTV 検層(2回目拡管部)結果(その3)

(3) 3回目拡管部(拡管位置:掘削長 244.5m)

拡管部の最大内径はφ159.3mm(掘削長 244.56m 地点)、最大外径はφ169.7mm(掘削長 244.56m 地点)と算出された。方位角 0° 付近に幅が広い比較的大きな亀裂が確認される。3D 表示より、上側方向に大きく膨らんでいることが確認できる。

図 8.5.5-12 に BHTV 検層(3回目拡管部)結果(その1)を示す。

図 8.5.5-13 に BHTV 検層(3回目拡管部)結果(その2)を示す。

図 8.5.5-14 に BHTV 検層(3回目拡管部)結果(その3)を示す。

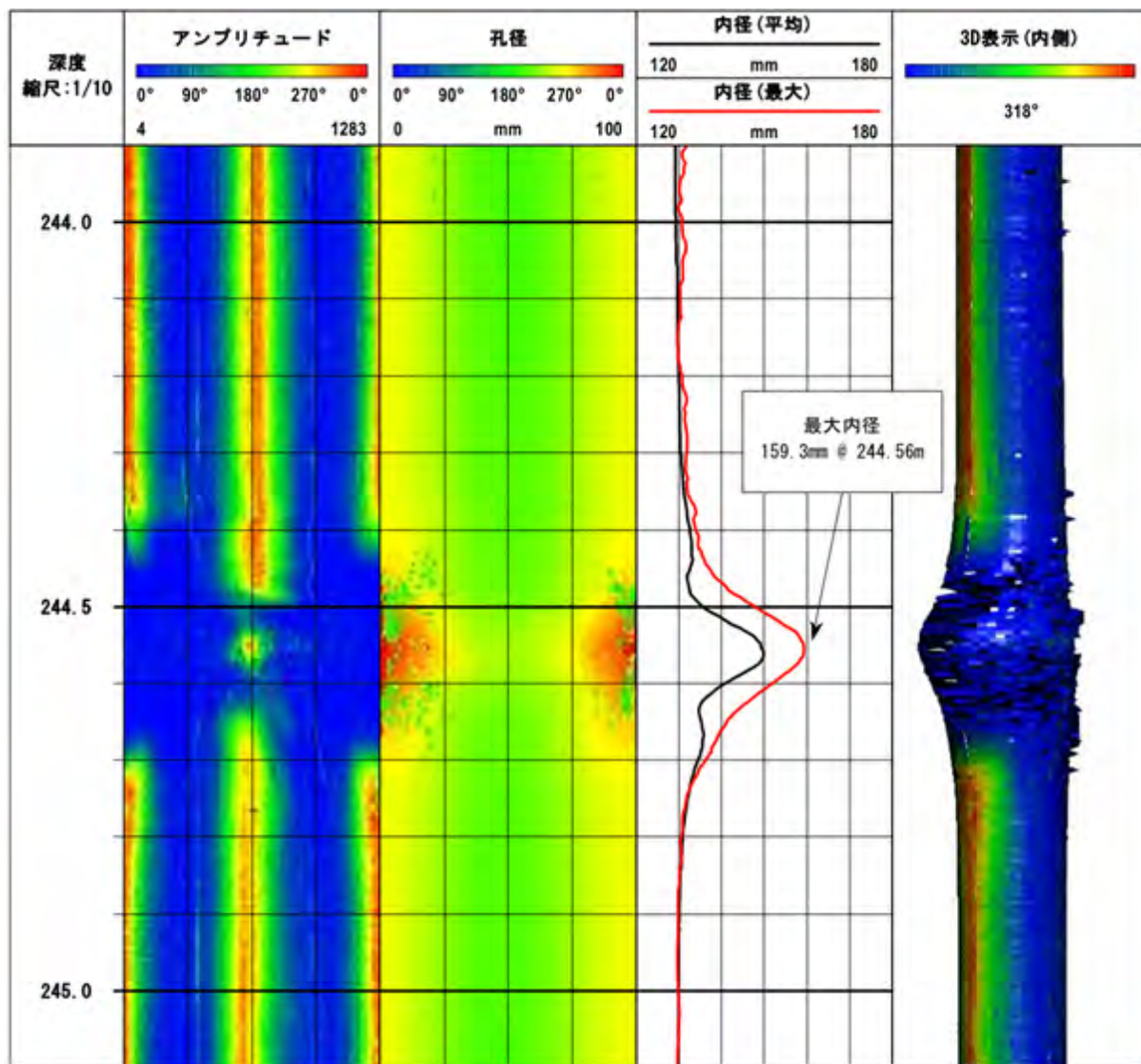


図 8.5.5-12 BHTV 検層(3回目拡管部)結果(その1)

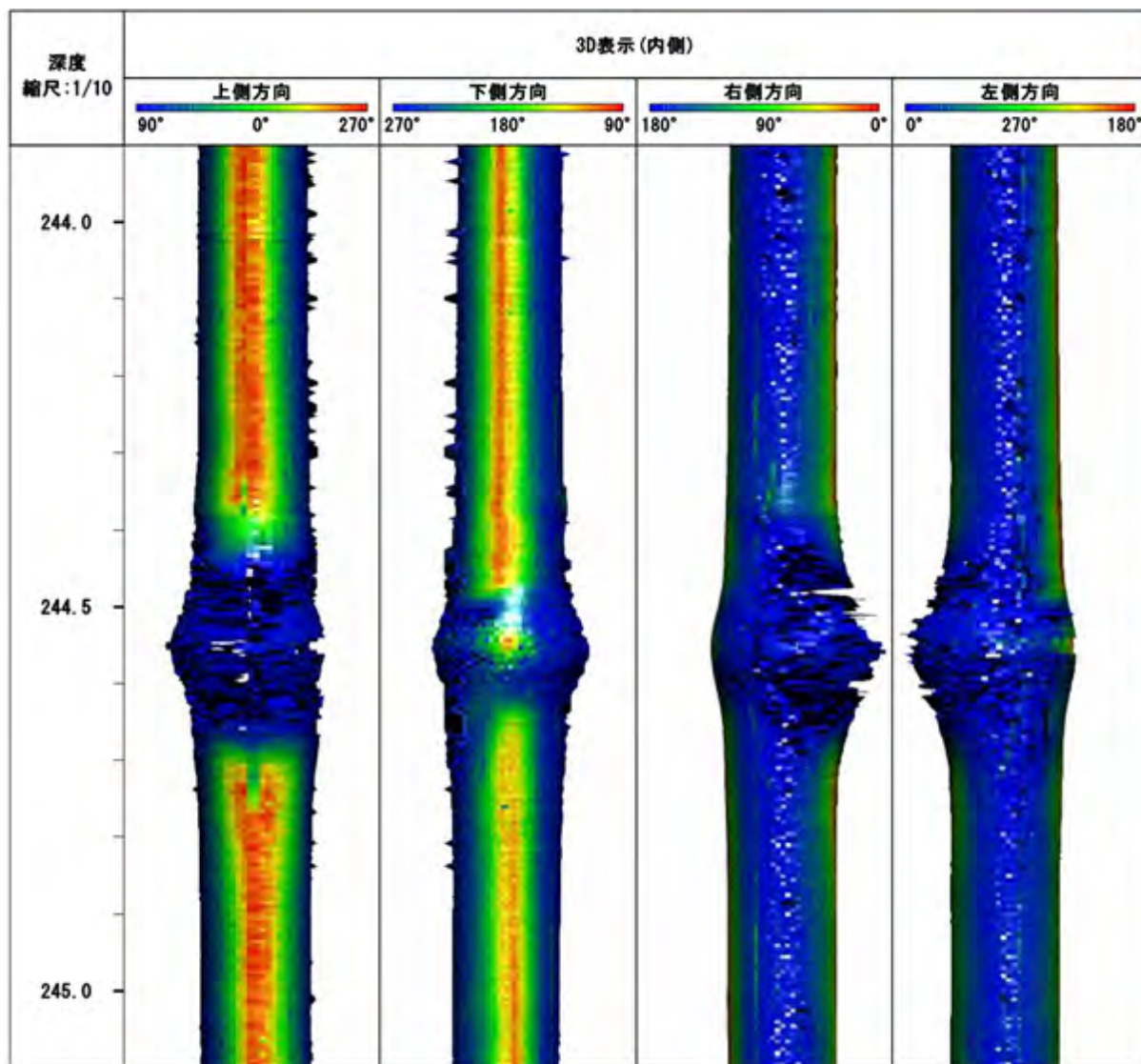


図 8.5.5-13 BHTV 検層(3回目拡管部)結果(その2)

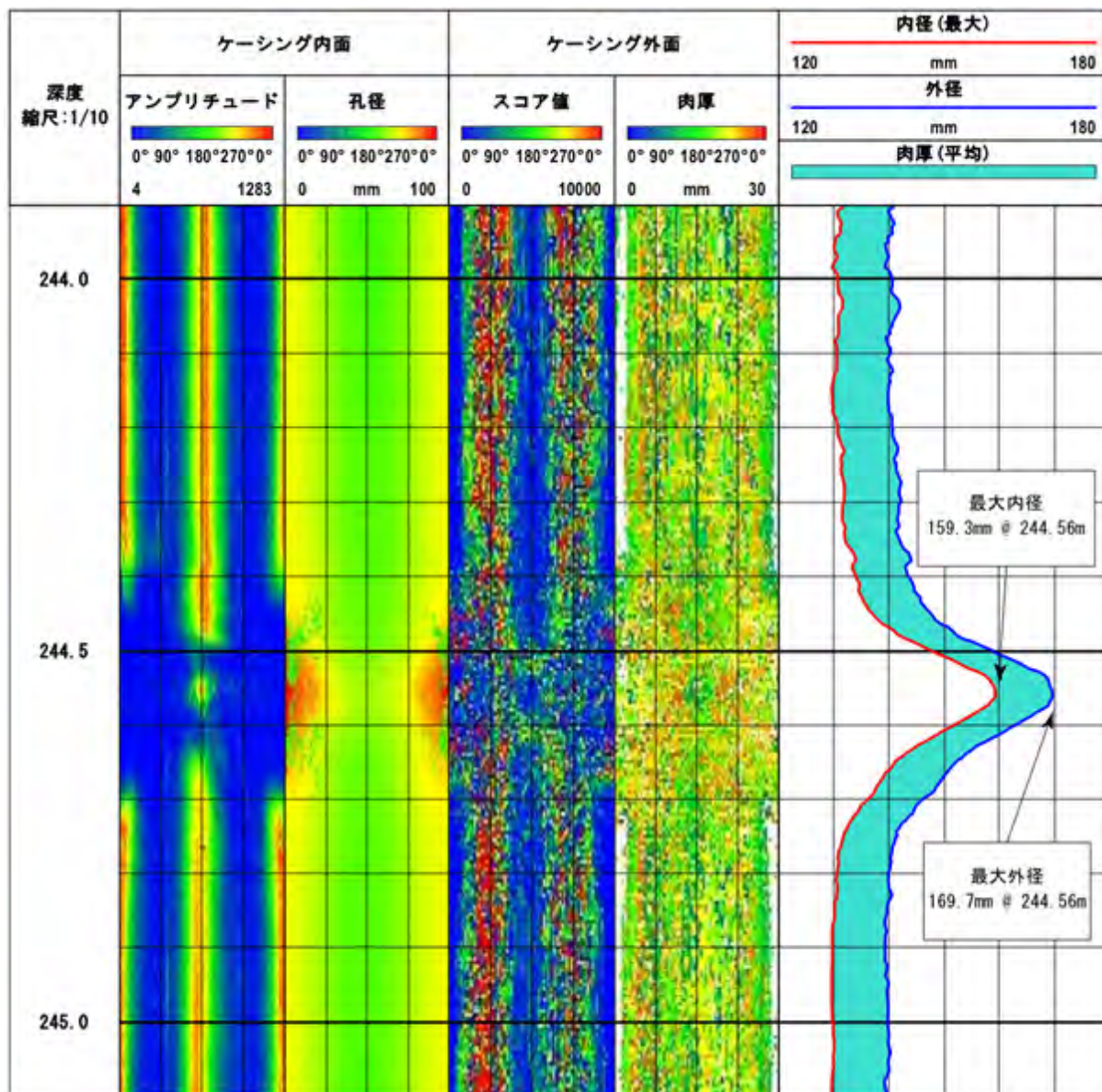


図 8.5.5-14 BHTV 検層(3回目拡管部)結果(その3)

(4) 4回目拡管部(拡管位置:掘削長 220.5m)

拡管部の最大内径はφ161.9mm(掘削長 220.72m 地点)、最大外径はφ171.7mm(掘削長 220.72m 地点)と算出された。方位角 340° 付近に幅が広く長い非常に大きな亀裂が確認される。3D 表示より、上側方向に大きく膨らんでいることが確認できる。

図 8.5.5-15 に BHTV 検層(4回目拡管部)結果(その1)を示す。

図 8.5.5-16 に BHTV 検層(4回目拡管部)結果(その2)を示す。

図 8.5.5-17 に BHTV 検層(4回目拡管部)結果(その3)を示す。

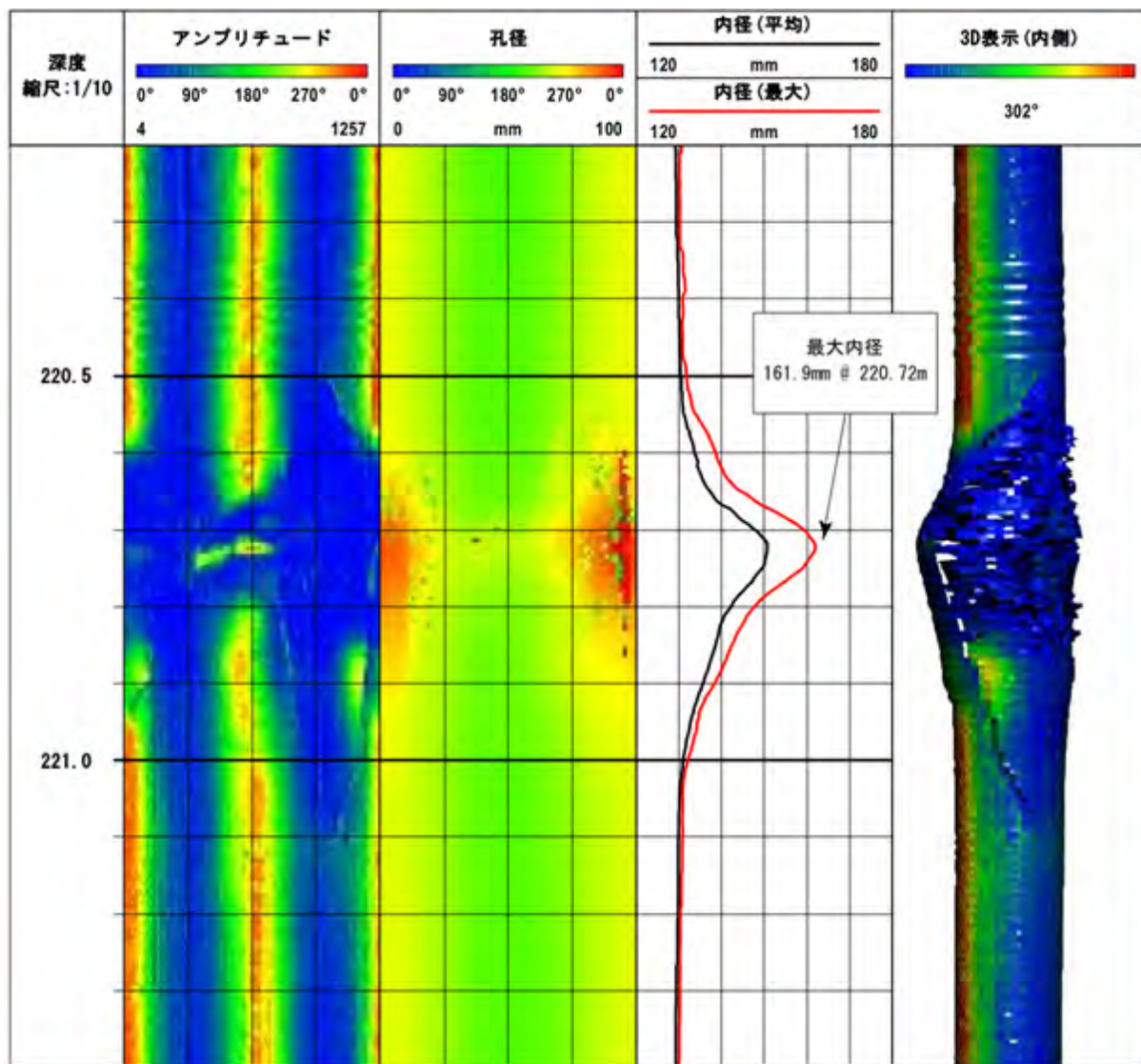


図 8.5.5-15 BHTV 検層(4回目拡管部)結果(その1)

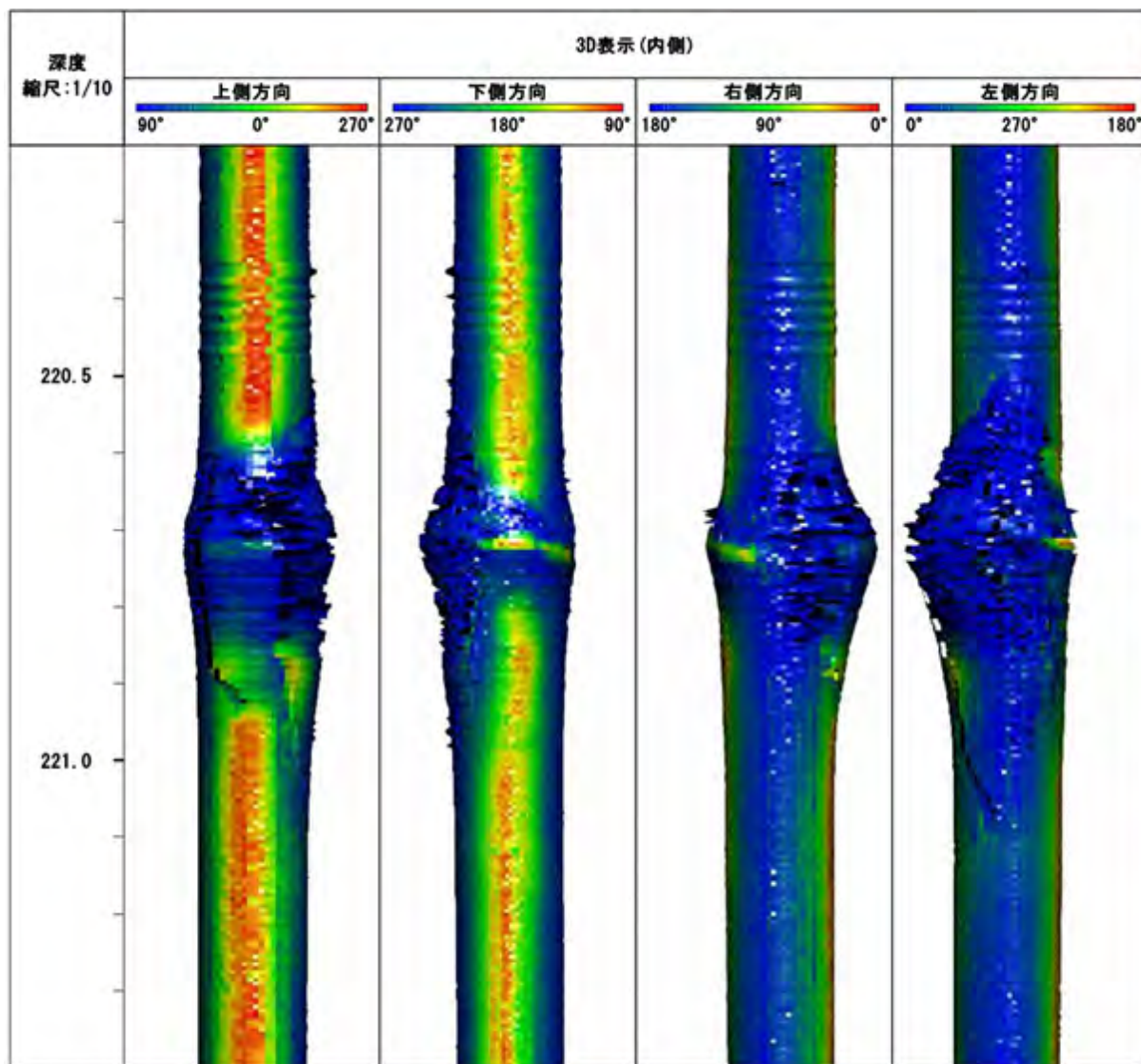


図 8.5.5-16 BHTV 検層(4回目拡管部)結果(その2)

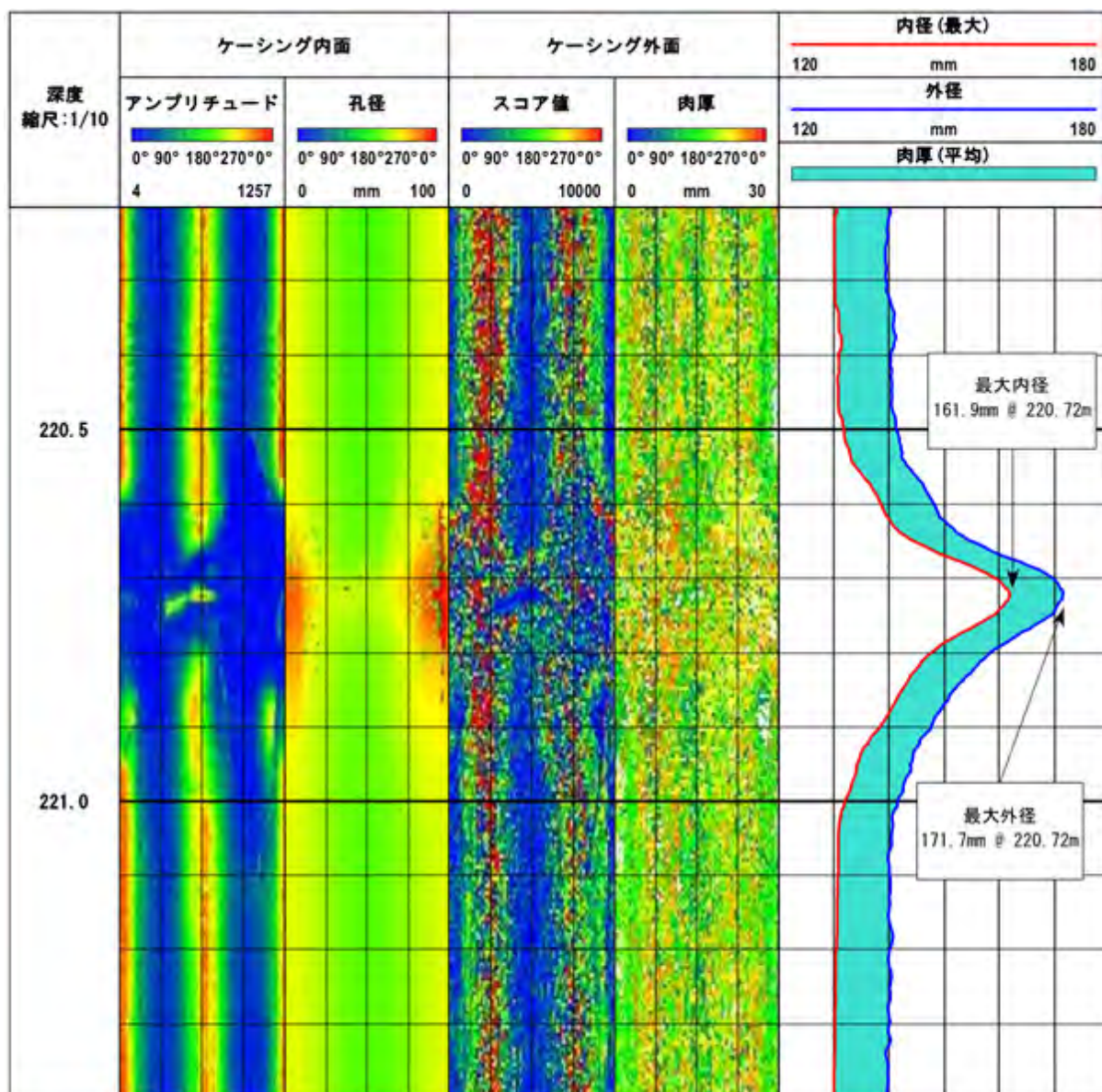


図 8.5.5-17 BHTV 検層(4回目拡管部)結果(その3)

(5) 6回目拡管部(拡管位置:掘削長 202.5m)

拡管部の最大内径はφ156.3mm(掘削長 202.61m 地点)、最大外径はφ166.0mm(掘削長 202.62m 地点)と算出された。方位角 20° 付近に小さな亀裂が確認される。3D 表示より、上下側方向、左右側方向ともに同程度膨らんでいることが確認できる。なお、5回目拡管部については、4回目の拡管部(管体に亀裂の入っている拡管箇所)を通過して計測するため、検層器が亀裂に引っかかる危険性があるので BHTV の計測を行わないこととした。

図 8.5.5-18 に BHTV 検層(6回目拡管部)結果(その1)を示す。

図 8.5.5-19 に BHTV 検層(6回目拡管部)結果(その2)を示す。

図 8.5.5-20 に BHTV 検層(6回目拡管部)結果(その3)を示す。

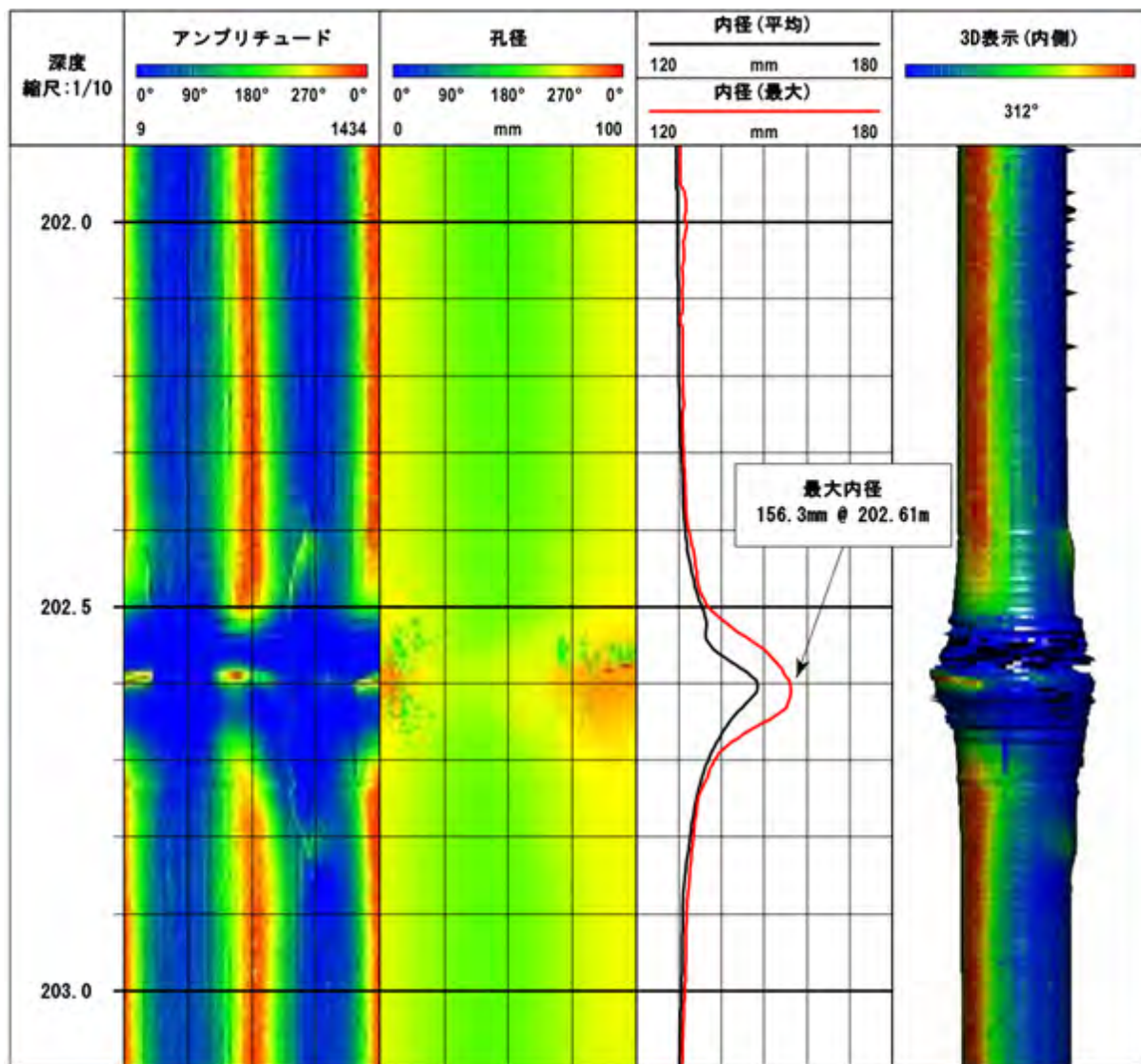


図 8.5.5-18 BHTV 検層(6回目拡管部)結果(その1)

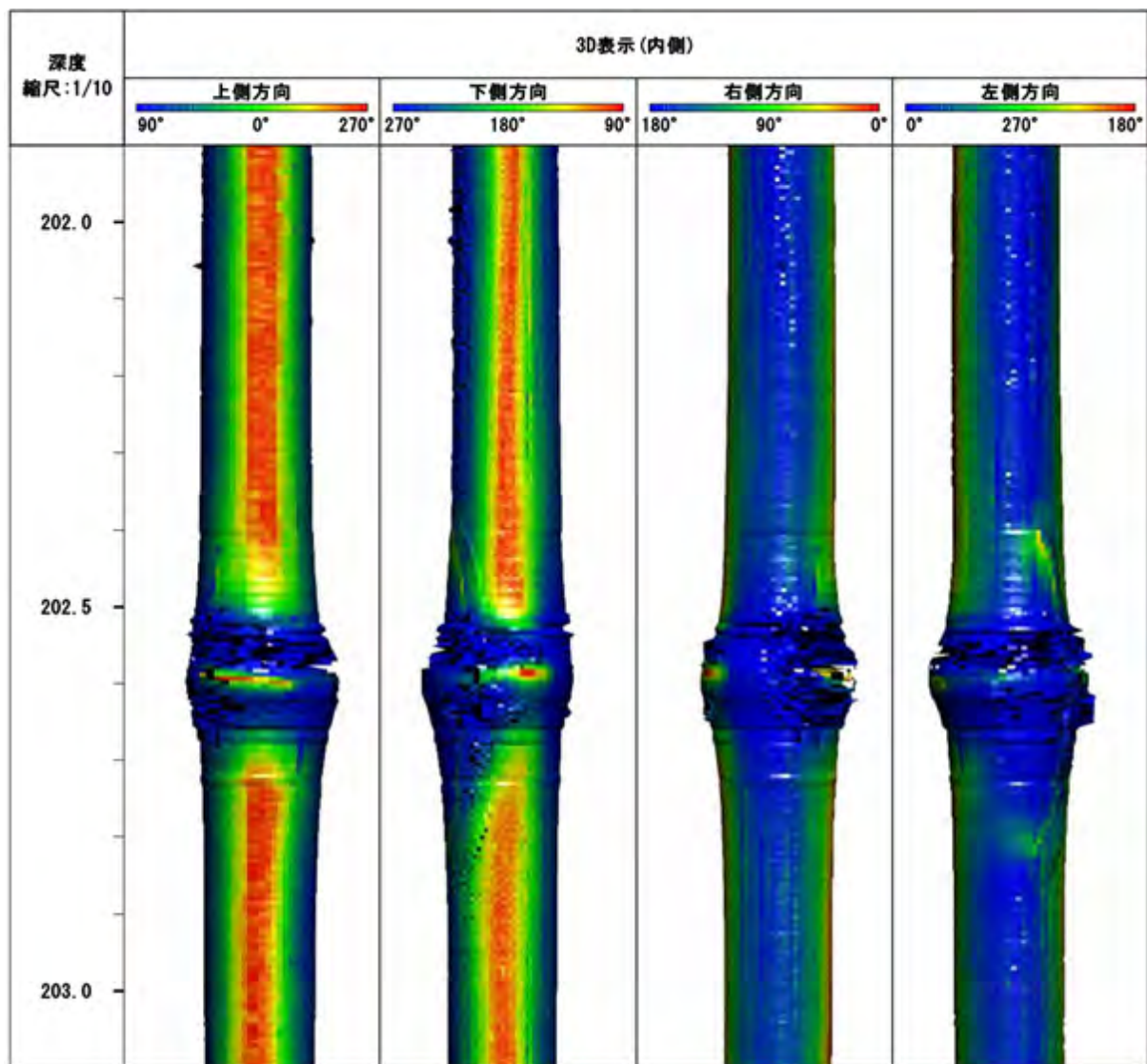


図 8.5.5-19 BHTV 検層(6回目拡管部)結果(その2)

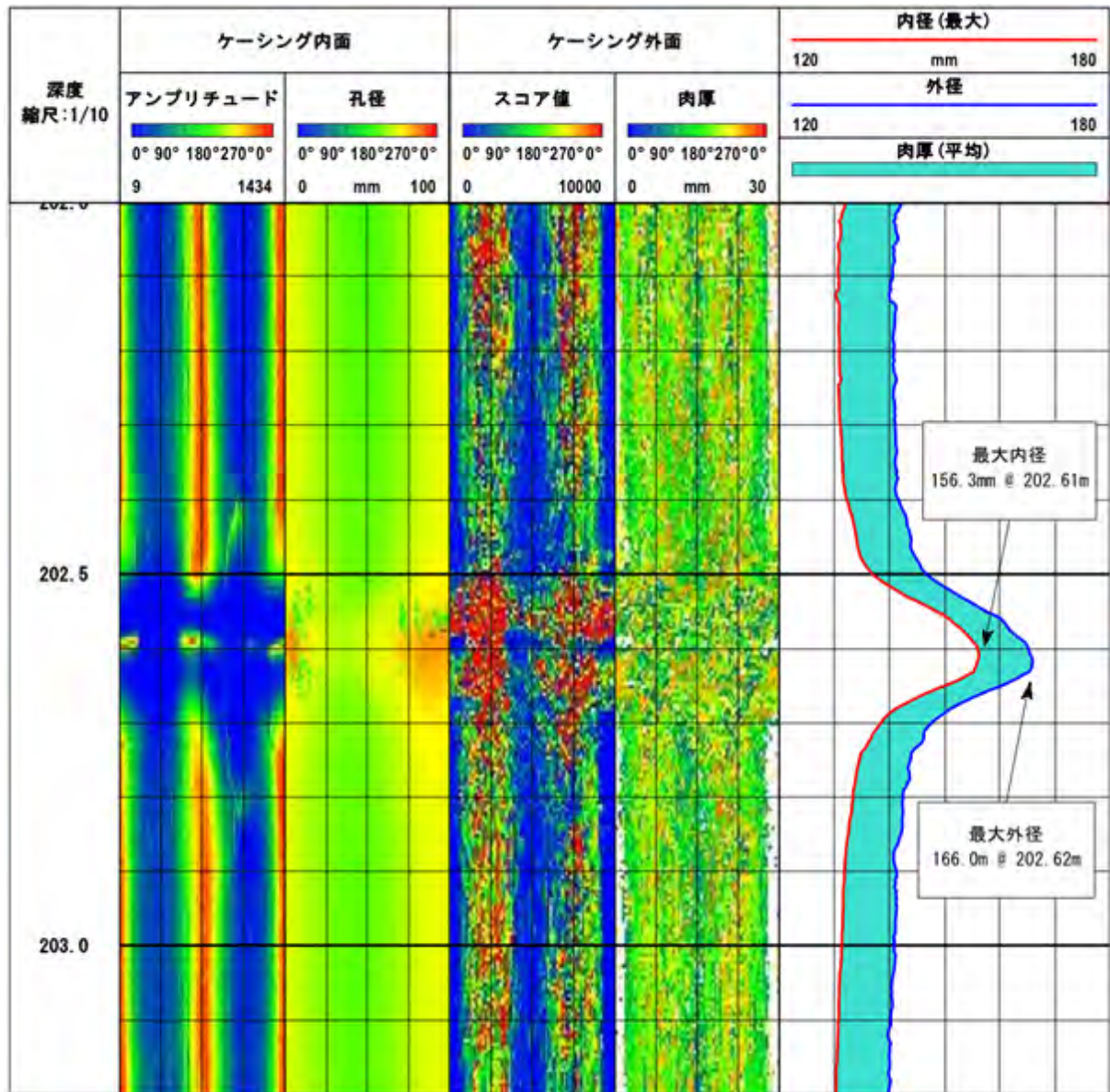


図 8.5.5-20 BHTV 検層(6回目拡管部)結果(その3)

8.5.6 モニタリング区間の構築

火薬による拡管試験およびメカニカルカッターによる切断試験により、孔内モニタリングシステムを設置する 2 つの観測区間(観測区間③:掘削長 247.5m~259.5m、観測区間①②:掘削長 206.0m~218.0m)を構築した。

当初は、拡管試験は 4 箇所予定であったが、掘削径が設計値($\phi 152\text{mm}$)より拡大していたため、ケーシング(NL140 ロッド)保持耐力の不足が起こり、最終的に 6 箇所で拡管試験を実施した。

図 8.5.6-1 に現地適用性試験実施深度(実績)を示す。

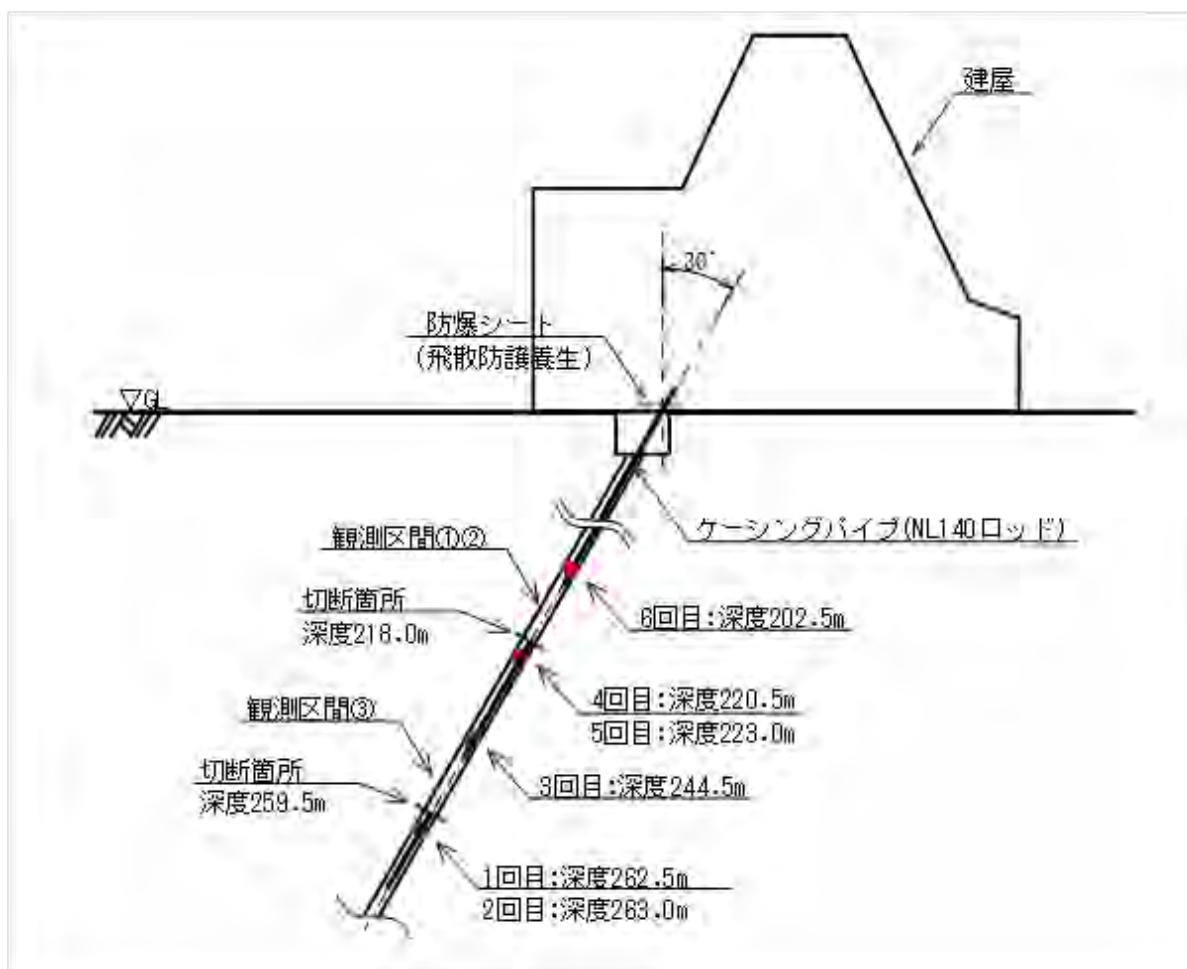


図 8.5.6-1 現地適用性試験実施深度(実績)

8.5.6.1 今後の課題

今回の拡管試験において、ケーシング(NL140 ロッド)保持耐力の不足が見受けられた。

この原因として、掘削径が各種試験等を数年に亘って実施したために設計径($\phi 152\text{mm}$)より拡大(キャリパ検層結果: $\phi 160\sim 175\text{mm}$)したため、拡管した NL140 ロッド(BHTV 試験結果から拡管率は過年度までの値と同等であることを確認)がうまく孔壁に食い込まず、保持耐力が不足したと考えられた。

これらの対策として、下記に示す項目を考慮して孔内モニタリングシステムを設置する必要があると考えられる。

- ・ 孔井掘削後、余り時間を置かずにモニタリングシステムを設置する工程とする。
- ・ 孔井掘削後、孔井内で試験等を実施する場合は、なるべく孔壁にダメージを与えない方法を採用する。

また、拡管位置およびパッカ設置位置を決定する際には、事前に音響キャリパ等で掘削径を把握する必要があると考えられる。

8.5.7 孔内モニタリングシステムの設置および計測データ取得

8.5.7.1 目的

過年度までに設計、試作した孔内モニタリングシステムのプロトタイプを北海道幌延町のコントロールボーリング孔井(HCD-3 孔)に設置し、間隙水圧等のデータを取得することを目的とする。

8.5.7.2 孔内モニタリングシステムの設置位置の選定

前述の 8.5.2 節で観測区間を下記のとおり決定しており、この観測区間を確保するように各種現地適用性試験を実施した。実孔井(HCD-3 孔)の出来形およびモニタリングシステムの編成等を基に図 8.5.7-2 に示すモニタリングシステムの設置位置を決定した。

- ・ 観測区間①：掘削長 208.7m～掘削長 209.7m(区間長 1.0m)
- ・ 観測区間②：掘削長 211.2m～掘削長 215.7m(区間長 4.5m)
- ・ 観測区間③：掘削長 249.7m～掘削長 257.2m(区間長 7.5m)

図 8.5.7-1 に実孔井(HCD-3 孔)模式図(適用性試験後)を示す。

図 8.5.7-2 に孔内モニタリングシステム設置位置図を示す。

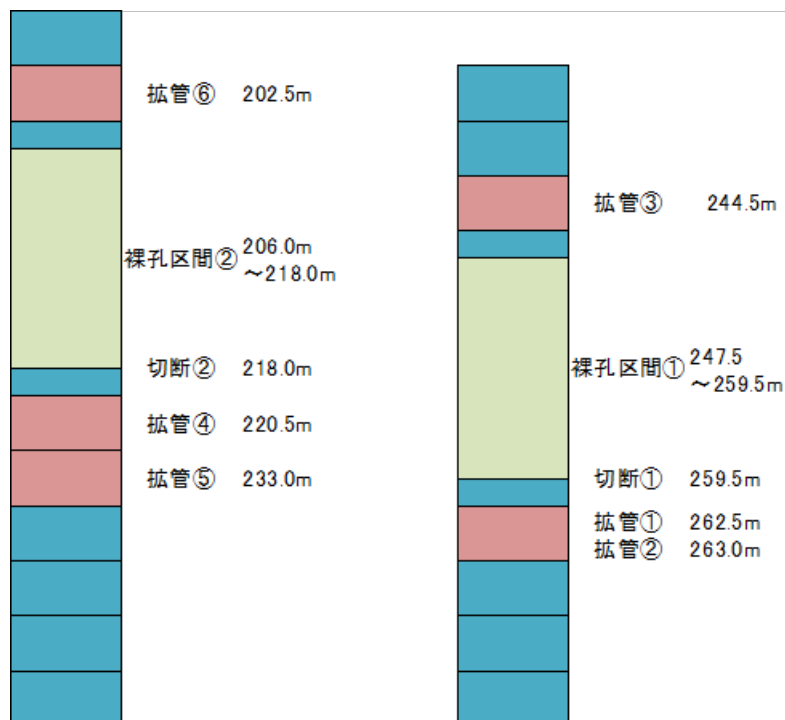


図 8.5.7-1 実孔井(HCD-3 孔)模式図(適用性試験後)

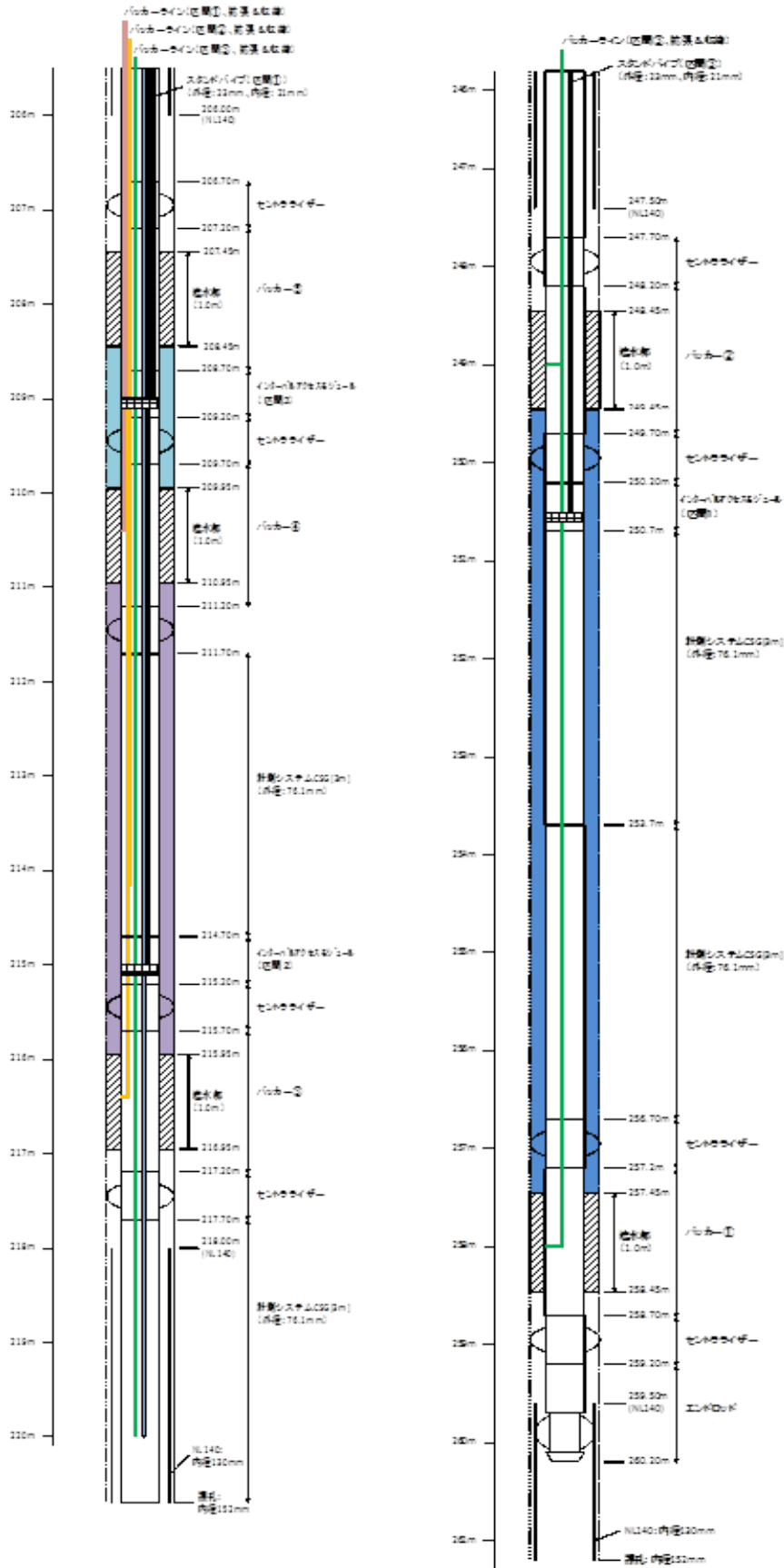


図 8.5.7-2 孔内モニタリングシステム設置位置図

8.5.7.3 孔内モニタリングシステムの設置

(1) 設置準備

孔内モニタリングシステムの設置に先立ち、コントロールボーリング孔井内を満たしている掘削用泥水を清水に置換する作業を実施した。

清水置換は、ゲージ通しを兼ねてBQ ロッドを掘削長 270m まで降下させ、実施した。

置換した清水量は、15.8m³ である。

図 8.5.7-3 に清水置換作業状況(1)を示す。

図 8.5.7-4 に清水置換作業状況(2)を示す。



図 8.5.7-3 清水置換作業状況(1)



図 8.5.7-4 清水置換作業状況(2)

前節で作成したケーシングログを基に、現地にて設置する孔内モニタリングシステムの資材の数量を確認した。ケーシングログに合わせて使用資材に番号を記入し挿入順序に誤りが生じないようにした。また、使用資材の状態を確認し、必要な場合、清掃、⁺Oリング交換、およびポリアミドラインを通す作業を効率的に行えるようにガイド部の加工などを併せて実施した。

図 8.5.7-5 に資材準備状況(1)を示す。

図 8.5.7-6 に資材準備状況(2)を示す。

図 8.5.7-7 に資材準備状況(3)を示す。

図 8.5.7-8 に資材準備状況(4)を示す。

表 8.5.7-1 に孔内モニタリングシステムケーシングログ(1)を示す。

表 8.5.7-2 に孔内モニタリングシステムケーシングログ(2)を示す。

表 8.5.7-3 に孔内モニタリングシステムケーシングログ(3)を示す。



図 8.5.7-5 資材準備状況(1)



図 8. 5. 7-6 資材準備状況(2)



図 8. 5. 7-7 資材準備状況(3)



図 8. 5. 7-8 資材準備状況(4)

表 8.5.7-1 孔内モニタリングシステムケーシングログ(1)

No.	Item	Calc. Depth(m)		Length (m)	SPMP Casing				PKR	INT	E.R.	Stand Pipe				Pipes
		TOP	BOTTOM		3	1	0.5	0.5CR				1.5	0.5	1	3	
1	End Rod w/CR	259.2	260.2	1							1					0
2	CSG(0.5m)+CR	258.7	259.2	0.5				1								0
3	Packer 1	257.2	258.7	1.5					1							0
4	CSG(0.5m)+CR	256.7	257.2	0.5				1								0
5	CSG(3m)	253.7	256.7	3	1											0
6	CSG(3m)	250.7	253.7	3	1											0
7	Interval 1	250.2	250.7	0.5						1						0
8	CSG(0.5m)+CR	249.7	250.2	0.5				1							1	1
9	Packer 2	248.2	249.7	1.5					1				1			1
10	CSG(0.5m)+CR	247.7	248.2	0.5				1							1	1
11	CSG(3m)	244.7	247.7	3	1								1			1
12	CSG(3m)	241.7	244.7	3	1								1			1
13	CSG(3m)	238.7	241.7	3	1								1			1
14	CSG(3m)	235.7	238.7	3	1								1			1
15	CSG(3m)	232.7	235.7	3	1								1			1
16	CSG(3m)	229.7	232.7	3	1								1			1
17	CSG(3m)	226.7	229.7	3	1								1			1
18	CSG(3m)	223.7	226.7	3	1								1			1
19	CSG(3m)	220.7	223.7	3	1								1			1
20	CSG(3m)	217.7	220.7	3	1								1			1
21	CSG(0.5m)+CR	217.2	217.7	0.5				1							1	1
22	Packer 3	215.7	217.2	1.5					1				1			1
23	CSG(0.5m)+CR	215.2	215.7	0.5				1							1	1
24	Interval 2	214.7	215.2	0.5						1					1	1
25	CSG(3m)	211.7	214.7	3	1								2			2
26	CSG(0.5m)+CR	211.2	211.7	0.5				1							2	2
27	Packer 4	209.7	211.2	1.5					1				2			2
28	CSG(0.5m)+CR	209.2	209.7	0.5				1							2	2
29	Interval 3	208.7	209.2	0.5						1					2	2
30	Packer 5	207.2	208.7	1.5					1				3			3
31	CSG(0.5m)+CR	206.7	207.2	0.5				1							3	3
32	CSG(3m)	203.7	206.7	3	1								3			3
33	CSG(3m)	200.7	203.7	3	1								3			3
34	CSG(3m)	197.7	200.7	3	1								3			3

※上記ケーシングログでは、設置作業時の混乱を防ぐために、挿入する順番に、孔底から番号を割り当てている。

表 8.5.7-2 孔内モニタリングシステムケーシングログ(2)

No.	Item	Calc. Depth(m)		Length (m)	SPMP Casing				PKR	INT	E.R.	Stand Pipe				Pipes
		TOP	BOTTOM		3	1	0.5	0.5CF	1.5	0.5	1	3	1.5	1	0.5	
35	CSG(3m)	194.7	197.7	3	1							3				3
36	CSG(3m)	191.7	194.7	3	1							3				3
37	CSG(3m)	188.7	191.7	3	1							3				3
38	CSG(3m)	185.7	188.7	3	1							3				3
39	CSG(3m)	182.7	185.7	3	1							3				3
40	CSG(3m)	179.7	182.7	3	1							3				3
41	CSG(3m)	176.7	179.7	3	1							3				3
42	CSG(3m)	173.7	176.7	3	1							3				3
43	CSG(3m)	170.7	173.7	3	1							3				3
44	CSG(3m)	167.7	170.7	3	1							3				3
45	CSG(3m)	164.7	167.7	3	1							3				3
46	CSG(3m)	161.7	164.7	3	1							3				3
47	CSG(3m)	158.7	161.7	3	1							3				3
48	CSG(3m)	155.7	158.7	3	1							3				3
49	CSG(3m)	152.7	155.7	3	1							3				3
50	CSG(3m)	149.7	152.7	3	1							3				3
51	CSG(3m)	146.7	149.7	3	1							3				3
52	CSG(3m)	143.7	146.7	3	1							3				3
53	CSG(3m)	140.7	143.7	3	1							3				3
54	CSG(3m)	137.7	140.7	3	1							3				3
55	CSG(3m)	134.7	137.7	3	1							3				3
56	CSG(3m)	131.7	134.7	3	1							3				3
57	CSG(3m)	128.7	131.7	3	1							3				3
58	CSG(3m)	125.7	128.7	3	1							3				3
59	CSG(3m)	122.7	125.7	3	1							3				3
60	CSG(3m)	119.7	122.7	3	1							3				3
61	CSG(3m)	116.7	119.7	3	1							3				3
62	CSG(3m)	113.7	116.7	3	1							3				3
63	CSG(3m)	110.7	113.7	3	1							3				3
64	CSG(3m)	107.7	110.7	3	1							3				3
65	CSG(3m)	104.7	107.7	3	1							3				3
66	CSG(3m)	101.7	104.7	3	1							3				3
67	CSG(3m)	98.7	101.7	3	1							3				3
68	CSG(3m)	95.7	98.7	3	1							3				3

※上記ケーシングログでは、設置作業時の混乱を防ぐために、挿入する順番に、孔底から番号を割り当てている。

表 8.5.7-3 孔内モニタリングシステムケーシングログ(3)

No.	Item	Calc. Depth(m)		Length (m)	SPMP Casing				PKR	INT	E. R.	Stand Pipe				Pipes
		TOP	BOTTOM		3	1	0.5	0.5CF	1.5	0.5	1	3	1.5	1	0.5	
69	CSG(3m)	92.7	95.7	3	1							3				3
70	CSG(3m)	89.7	92.7	3	1							3				3
71	CSG(3m)	86.7	89.7	3	1							3				3
72	CSG(3m)	83.7	86.7	3	1							3				3
73	CSG(3m)	80.7	83.7	3	1							3				3
74	CSG(3m)	77.7	80.7	3	1							3				3
75	CSG(3m)	74.7	77.7	3	1							3				3
76	CSG(3m)	71.7	74.7	3	1							3				3
77	CSG(3m)	68.7	71.7	3	1							3				3
78	CSG(3m)	65.7	68.7	3	1							3				3
79	CSG(3m)	62.7	65.7	3	1							3				3
80	CSG(3m)	59.7	62.7	3	1							3				3
81	CSG(3m)	56.7	59.7	3	1							3				3
82	CSG(3m)	53.7	56.7	3	1							3				3
83	CSG(3m)	50.7	53.7	3	1							3				3
84	CSG(3m)	47.7	50.7	3	1							3				3
85	CSG(3m)	44.7	47.7	3	1							3				3
86	CSG(3m)	41.7	44.7	3	1							3				3
87	CSG(3m)	38.7	41.7	3	1							3				3
88	CSG(3m)	35.7	38.7	3	1							3				3
89	CSG(3m)	32.7	35.7	3	1							3				3
90	CSG(3m)	29.7	32.7	3	1							3				3
91	CSG(3m)	26.7	29.7	3	1							3				3
92	CSG(3m)	23.7	26.7	3	1							3				3
93	CSG(3m)	20.7	23.7	3	1							3				3
94	CSG(3m)	17.7	20.7	3	1							3				3
95	CSG(3m)	14.7	17.7	3	1							3				3
96	CSG(3m)	11.7	14.7	3	1							3				3
97	CSG(3m)	8.7	11.7	3	1							3				3
98	CSG(3m)	5.7	8.7	3	1							3				3
99	CSG(3m)	2.7	5.7	3	1							3				3
100	CSG(3m)	-0.3	2.7	3	1							3				3

※上記ケーシングログでは、設置作業時の混乱を防ぐために、挿入する順番に、孔底から番号を割り当てている。

(2) 孔内モニタリングシステムの設置

孔内モニタリングシステムの設置前には、袖バルブから孔内水の湧出が確認された(0.1～0.15L/分程度)。また、孔口位置が GL-30cm の状態でも孔口から水が湧出する状態であった。

図 8.5.7-9 に設置前孔井状況を示す。



図 8.5.7-9 設置前孔井状況

2月17日9時45分に設置を開始し、2月19日14時00分に設置を完了した。設置完了時のスタンドパイプ孔口位置は、GL+0.295mであった。設置に際しては、ケーシングログに従い順番に間違いのないように注意しながら作業を行った。装置ケーシング・各水圧計測部等の接続部において接続不良による漏洩が生じないことを確認した。

当初、孔内モニタリングシステムは自重で降下せず、注水および人力での押し込みが必要であった。これは、内径の小さいNL140ロッド(ケーシング)内へ同システムを降下挿入する際に、裸孔用セントライザーの摩擦の影響によるものと考えられた。

一方、観測区間への同システムの挿入はスムーズであった。

図 8.5.7-10 に設置作業状況(1)を示す。

図 8.5.7-11 に設置作業状況(2)を示す。

図 8.5.7-12 に設置作業状況(3)を示す。

図 8.5.7-13 に孔内モニタリングシステム設置完了を示す。

図 8.5.7-14 に孔口から見たスタンドパイプの配置を示す。

表 8.5.7-4 に設置区間-深度一覧表を示す。



図 8.5.7-10 設置作業状況(1)



図 8.5.7-11 設置作業状況(2)



図 8.5.7-12 設置作業状況(3)



図 8.5.7-13 孔内モニタリングシステム設置完了

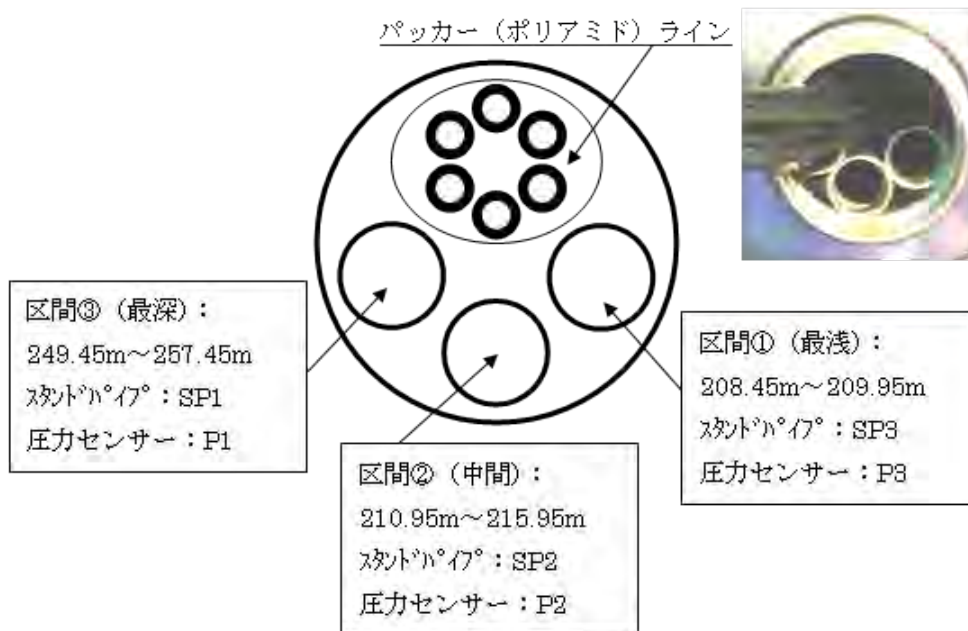


図 8.5.7-14 孔口から見たスタンドパイプの配置

表 8.5.7-4 設置区間-深度一覧表

区間名	位置	深度	区間長 (m)	スタンドパイプ	圧力センサー	ケーシング プログラム	上端(m)	下端(m)
区間①	最浅	208.45 ~ 209.95	1.5	SP3	P3 (GL-9.705m)	Packer 5	207.2	208.7
						Interval 3		
区間②	中間	210.95 ~ 215.95	5	SP2	P2 (GL-9.705m)	Packer 4	209.7	211.2
						Interval 2		
						Packer 3	215.7	217.2
区間③	最深	249.45 ~ 257.45	8	SP1	P1 (GL-9.705m)	Packer 2	248.2	249.7
						Interval 1		
						Packer 1	257.2	258.7

(3) パッカ拡張

パッカ拡張に際しては、孔底側から(パッカ 1 および 2、パッカ 3、パッカ 4 および 5 の順番に)ハンドポンプで水を圧入した。

パッカ拡張に要した水の量は、パッカ 1 および 2 が約 34L、パッカ 3 が 14L、パッカ 4 および 5 が 22L であった(総量：70L)。

表 8.5.7-5 にパッカ圧力の時間変化を示す。

表 8.5.7-5 パッカ圧力の時間変化

時刻	パッカ圧力			圧力コントロール ユニット	備考
	1&2	3	4&5		
	(最深)	(中間)	(最浅)		
2/19 17:45	24bar	25bar	24bar		パッカ拡張終了時
2/20 8:15	19bar	20bar	18bar		この後、不凍液注入および再加圧した。
2/20 10:15	23bar	23bar	23bar	23bar	3本の DEF ラインを合流し圧力コントロールユニットに接続
2/20 17:00	23.5bar	23.5bar	23.5bar	23.5bar	
2/21 8:15	23bar	23bar	23bar	23bar	
2/22 10:45	23bar	23bar	23bar	23bar	モニタリング開始

地表および地表付近のパッカライン内の水の凍結防止のために、各パッカの INF ライン側、DEF ライン側それぞれの地表および地表付近のパッカライン 30m 内に入っている水を不凍液に置き換え、3 本の DEF ラインを合流し、5L の不凍液の入った圧力コントロールユニット容器に接続した。

図 8.5.7-15 にパッカおよびパッカラインの接続を示す。

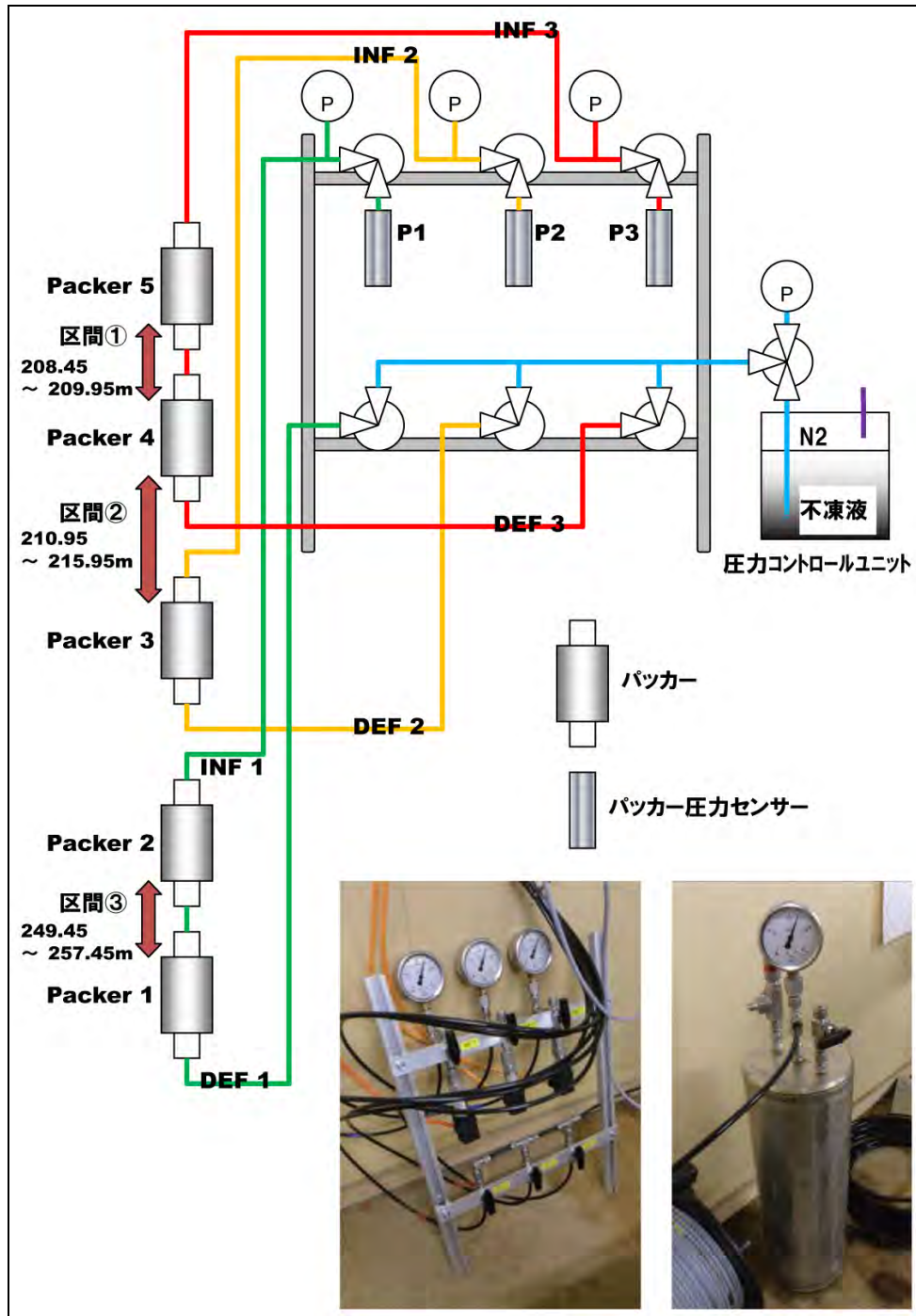


図 8.5.7-15 パッカおよびパッカラインの接続

次に、圧力コントロールユニット内の不凍液を窒素ガスで 23bar (2.3MPa) に加圧した。その後、パッカ圧力は約 23bar で安定しており、大幅な変動は見られなかった(表 8.5.7-5 参照)。

パッカ拡張に伴い、スタンドパイプ内水位は 3 区間とも、スタンドパイプ孔口(パイプを 50cm 接続)まで達した。これは、パッカ拡張に伴って孔内水がインターバルアクセスモジュールを通じてスタンドパイプ内に流入しているものと考えられた。また、最浅部のパッカ 4 および 5 の拡張後は、袖バルブからの湧水は停止した。孔内モニタリングシステムの設置前には、袖バルブから孔内水の湧出が認められた(0.1~0.15L/分程度)。また、孔口位置が GL-30cm の状態でも孔口から水が湧出する状態であった。

パッカ拡張に伴い、パッカの体積増加に伴いスタンドパイプ内の水位は 3 区間とも、スタンドパイプ孔口まで達した。3 本のスタンドパイプから溢れ出た水が装置ケーシングへ流入するのを防ぐため、スタンドパイプ孔口 (GL+0.295m) に 50cm のパイプを継ぎ足した。継ぎ足されたパイプ (GL+0.795m) の口まで孔内水が達していることが確認されている(図 8.5.7-16 参照)。

図 8.5.7-16 にパッカ拡張に伴いパイプ (GL+0.795m) の口まで達した孔内水を示す。



図 8.5.7-16 パッカ拡張に伴いパイプ (GL+0.795m) の口まで達した孔内水

水によるパッカ拡張の終了後、各スタンドパイプ内の水位変化を観察した。

なお、水位はスタンドパイプ孔口 (GL+0.295m) に 50cm のパイプを継ぎ足した状態で、ロープ式水位計で測定した(表 8.5.7-6 参照)。

パッカ拡張時点では全てのスタンドパイプ内水位は GL+0.795m にあったが、その後、各スタンドパイプで異なった水位および異なった変動を示している。このことから、パッカにより各観測区間は遮水されたものと判断した。また、各観測区間はそれぞれ異なる水理特性を示していると考えられる。

表 8.5.7-6 にパッカ拡張後のスタンドパイプ内水位の変化を示す。

表 8.5.7-6 パッカ拡張後のスタンドパイプ内水位の変化

時刻	区間 1	区間 2	区間 3
	208.45n~209.95m	210.95n~215.95m	249.45n~257.45m
	(SP3)	(SP2)	(SP1)
	水位 (GL 換算)		
10:53	64cm (GL+15.5cm)	82cm (GL-2.5cm)	153cm (GL-73.5cm)
11:40	63cm (GL+16.5cm)	82cm (GL-2.5cm)	148cm (GL-68.5cm)
13:48	61cm (GL+18.5cm)	84cm (GL-4.5cm)	146cm (GL-66.5cm)
14:47	60cm (GL+19.5cm)	85cm (GL-5.5cm)	146cm (GL-66.5cm)
15:35	58cm (GL+21.5cm)	86cm (GL-6.5cm)	147cm (GL-67.5cm)

※水位は、スタンドパイプ孔口 (GL+0.295m) に 50cm のパイプを継ぎ足し、ロープ式水位計で測定した。

(4) センサ設置

スタンドパイプ内への圧力センサの設置に際して、地表付近は凍結が予想されるため、ミニパッカを接続し、さらにミニパッカ以浅の地表付近のスタンドパイプ内の水を取り除くことで凍結防止を図った。

スタンドパイプ内圧力センサをミニパッカに接続し(図 8.5.7-17 参照)、スタンドパイプ孔口から 10m の位置 (GL-9.705m) まで挿入した(図 8.5.7-18 参照)。ミニパッカに接続されているポリアミドラインを地表まで配管し、地表から窒素ガスで加圧(8bar)することでミニパッカを拡張し、バルブを閉じた。次いで、ミニパッカより浅部のスタンドパイプ内の水を、窒素ガスによるエアリフトで排水し(図 8.5.7-19 参照)、スタンドパイプ内圧力センサの設置を完了した。翌日の朝まで数時間試験的にデータ取得を行った。その後、データロガーの調整を再度行い、サンプリング間隔 30 分で、データ取得を開始した。

図 8.5.7-17 にミニパッカおよび重錐を接続したスタンドパイプ内圧力センサを示す。

図 8.5.7-18 にスタンドパイプ内圧力センサ設置作業を示す。

図 8.5.7-19 に地表付近の凍結防止作業を示す。

表 8.5.7-7 に孔内モニタリングシステムによるデータ取得項目を示す。

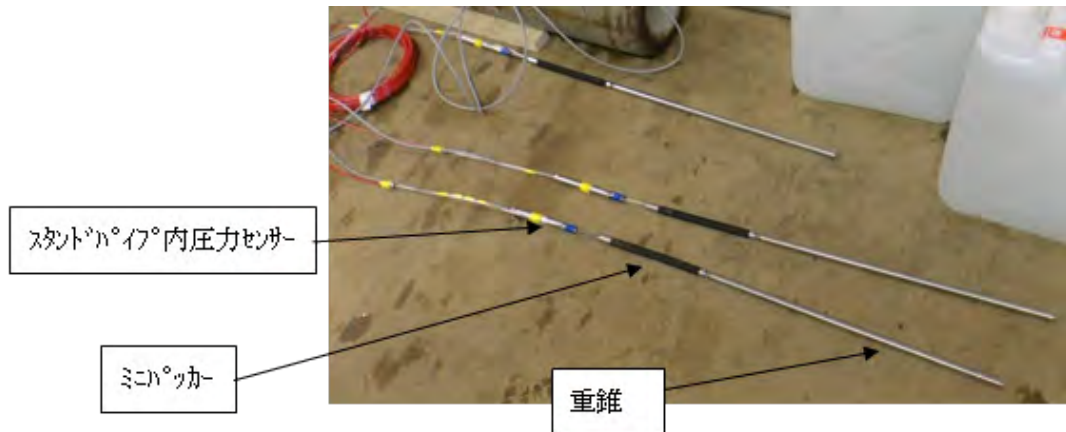


図 8.5.7-17 ミニパッカおよび重錐を接続したスタンドパイプ内圧力センサ



図 8.5.7-18 スタンドパイプ内圧力センサ設置作業

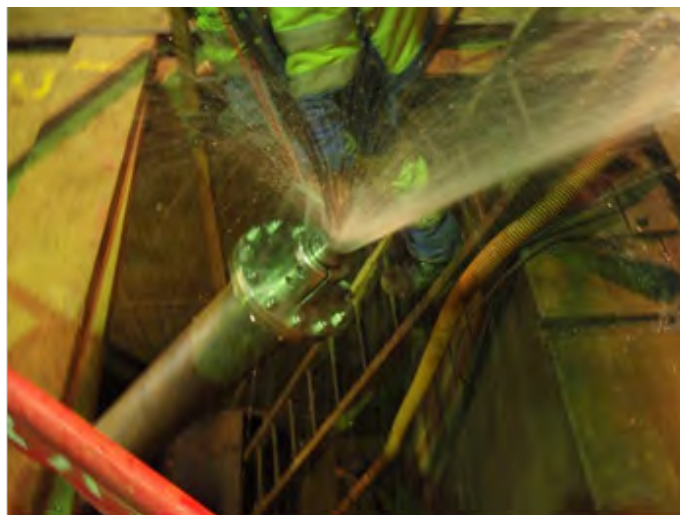


図 8.5.7-19 地表付近の凍結防止作業

表 8.5.7-7 孔内モニタリングシステムによるデータ取得項目

Ch.	観測項目	センサ名称	型式	単位	備考
1	コア室気圧	P Baro in		kPa	データ安定せず
2	区間②(中間)圧力, P2	P Intervall 2		Bar	
3	区間①(最浅)圧力, P3	P Intervall 3		Bar	
4	パッカ 1&2(最深)圧力	P Packer 1+2		Bar	
5	パッカ 3(中間)圧力	P Packer 3		Bar	
6	パッカ 1&2(最浅)圧力	P Packer 4+5		Bar	
7	データロガー内部温度	Temp In		degC	
8	データロガーバッテリー電圧	Batt		mV	
10	リグ気圧	P Baro rig		kPa	
11	区間③(最深)圧力, P3	P Intervall 1		Bar	
15	コア室気温	Temp Out		degC	

(5) 観測データ取得

平成 26 年 2 月 22 日から自動で取得されているデータを回収し、データを確認した結果、データ欠損等は確認されなかった。このことからモニタリングシステムは問題なく稼動していることが確認された。

図 8.5.7-20 に孔内モニタリングシステム観測値(間隙水圧)H26.2.22～H26.3.11 を示す。

図 8.5.7-21 に孔内モニタリングシステム観測値(パッカ圧力値)H26.2.22～H26.3.11 を示す。

図 8.5.7-22 に孔内モニタリングシステム観測値(大気圧・気温)H26.2.22～H26.3.11 を示す。

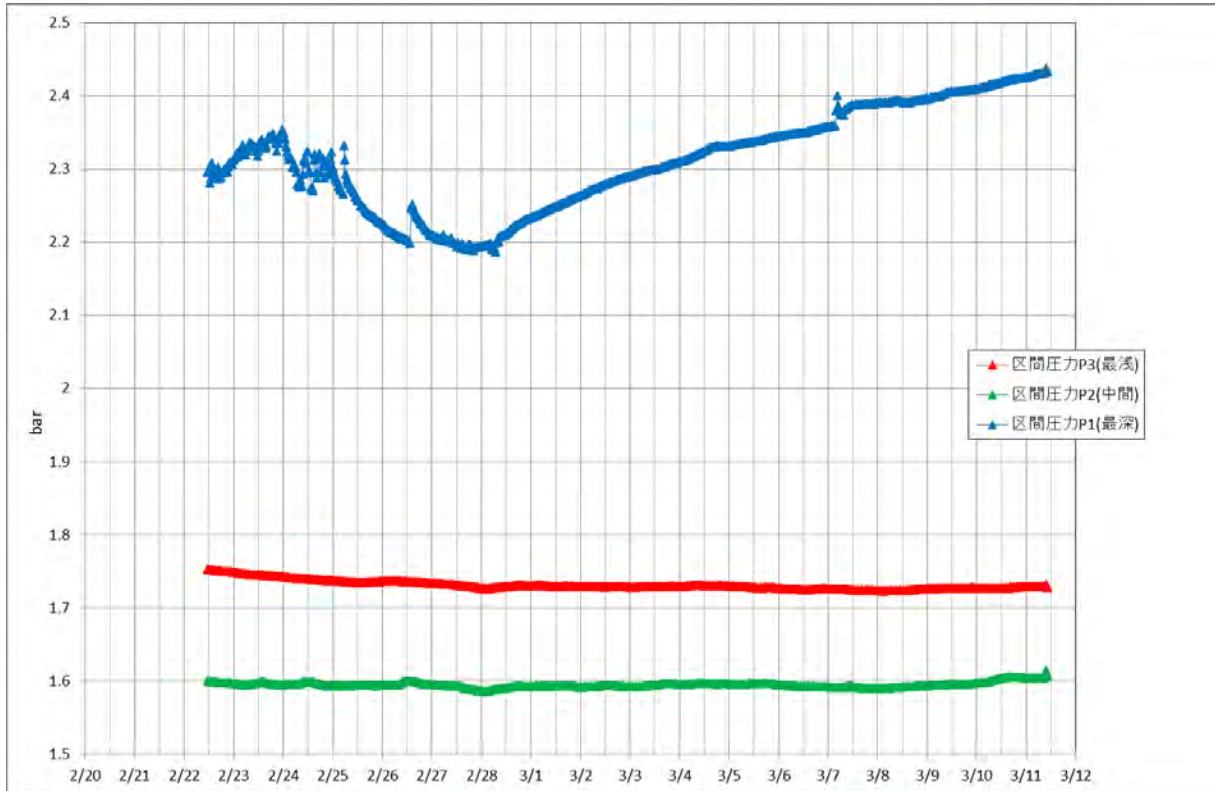


図 8.5.7-20 孔内モニタリングシステム観測値(間隙水圧)H26.2.22~H26.3.11

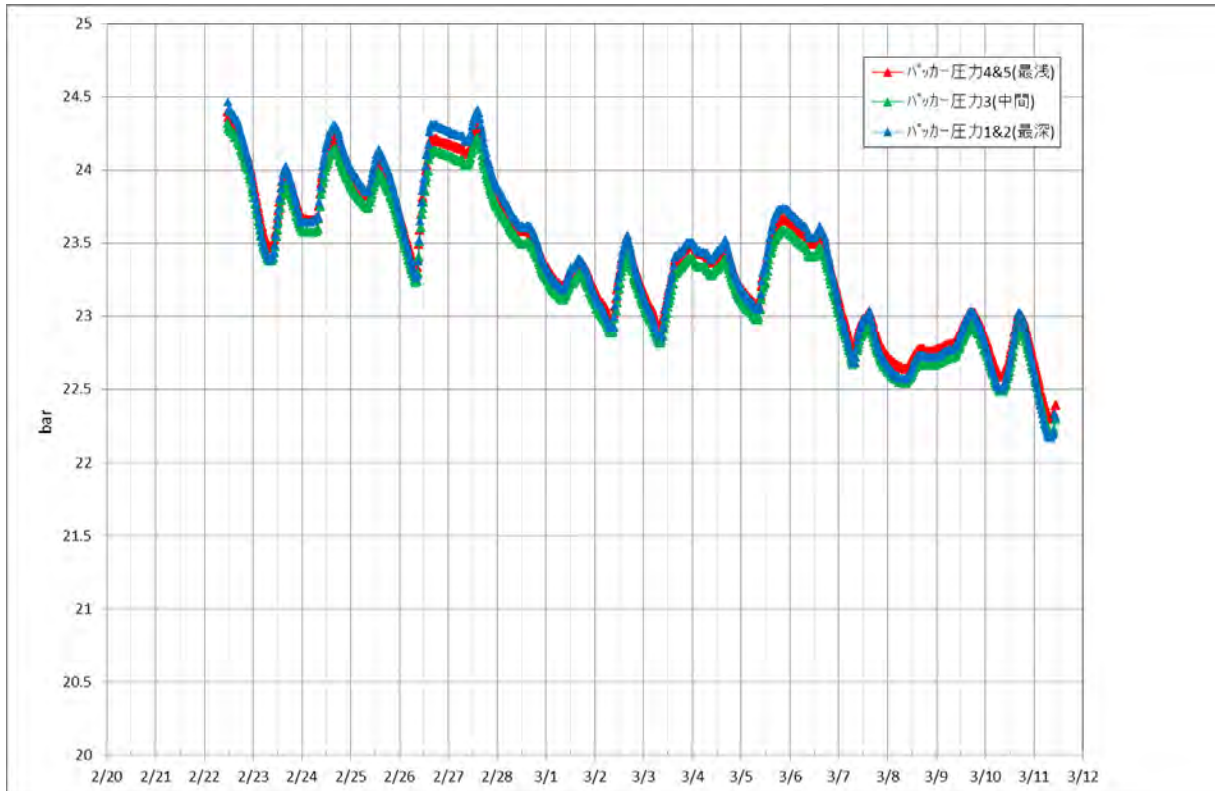


図 8.5.7-21 孔内モニタリングシステム観測値(パッカ圧力値)H26.2.22~H26.3.11

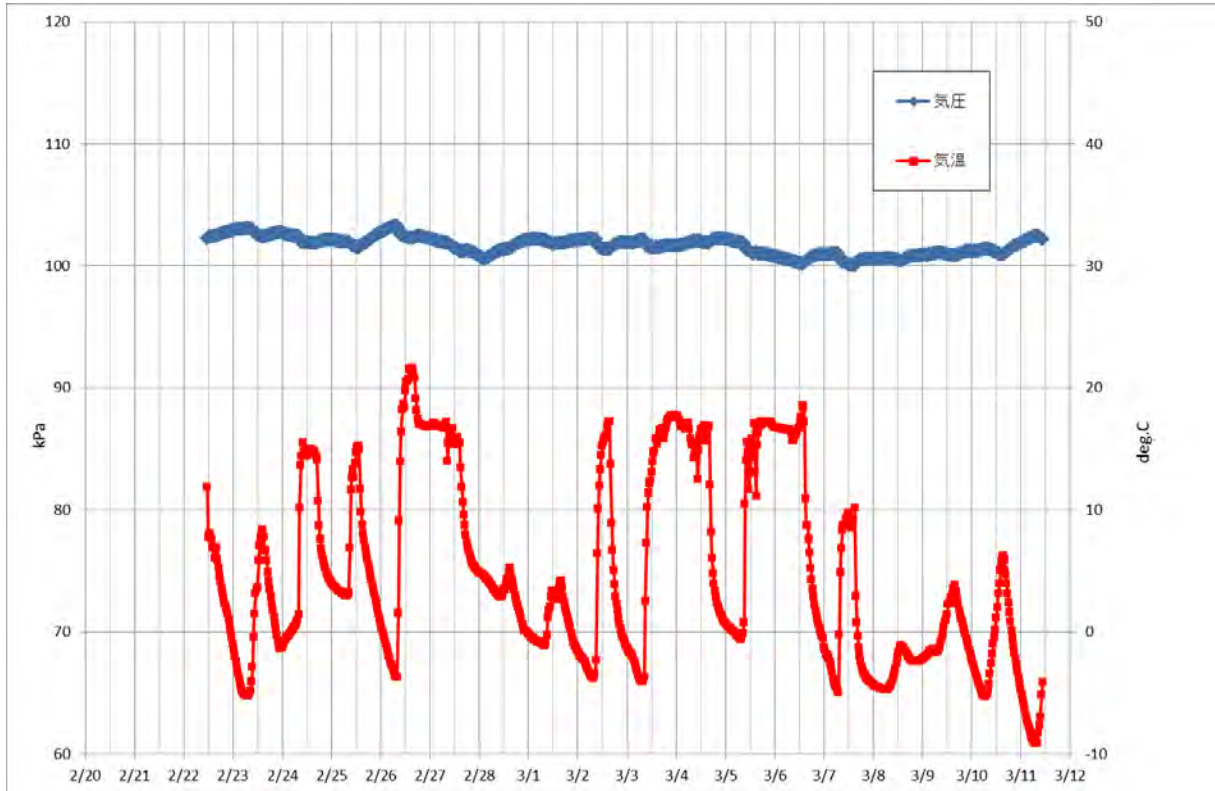


図 8.5.7-22 孔内モニタリングシステム観測値(大気圧・気温)H26.2.22~H26.3.11

9. 総合システムの検討

9.1 掘削・調査データ統合化システムの運用

掘削作業中の試錐機や掘削用ツールズ(WL-MWD・WL-LWD)、孔内を循環する泥水管理用機器(マッドログ:mud logging)からは、掘削する孔井の孔内状況や地質情報など様々な情報が取得される。また、掘削作業終了後に孔井内で行われる原位置試験や、採取されたボーリングコアを用いて実施される室内試験からも、物性値や地化学特性を含む種々の情報が取得される。

これらの多種多様な取得データを一元的に管理、閲覧する事を目的として、過年度より「掘削・調査データ統合化システム」(以降システム)を開発し、幌延町における現地適用性評価試験を通じて評価、改良を行っている。

平成23年度までの同システムは、幌延町における現地作業終了後にシステムの一部が撤去される事に伴い、運用期間が制約を受けていたことから、平成24年度より同システムの通年運用を目的として外部レンタルサーバ方式を採用した改良を加えた上で、現地作業時における運用を通じて適用性評価を行っている。

今年度も引き続き同システムの運用を通じて、課題点・問題点の抽出を行う。

以下にシステムの概要について述べる。

9.1.1 システムの概要

現状のシステムは、大きく分けて以下の4要素から構成されている。

【幌延 現地適用性評価試験サイト】

- ① 計測システム
- ② データ登録用PC

【外部レンタルサーバ内】

- ③ データベースサーバ(DBサーバ)
- ③ ウェブサーバ(webサーバ)

【電中研 我孫子地区】

- ④ 管理用パーソナルコンピュータ(以降管理用PC)

①の計測システムは、主として掘削作業時に取得される掘削データの計測と、調査データの処理を行うシステムである。計測項目は複数にわたり、項目毎にそれぞれ端末が準備され、各々の計測担当者は、取得されたデータ指定フォーマット形式のデータファイルに変換を行い、幌延の現場事務所内に設置されているネットワークシステム(Local Area Network)を通じて、②データ登録用 PC 内部のデータ登録用共有ディレクトリに定期的に保存するようになっている。

②のデータ登録用 PC は、①による取得データに加えて、幌延の現地適用性評価試験サイトにて取得したデータ(ボーリングコア写真や現地室内試験結果)を登録するための PC である。掘削と調査によって取得された様々なデータを、保存するための③DB サーバと自動的に通信を行い、データを登録する機能を有している。

以上の①～②の要素に関しては、幌延町の現地適用性評価試験サイト内に設営される現場事務所内に設置されている。

平成 24 年度より運用されている外部レンタルサーバ内には、③DB サーバと web サーバが構築されている。

このうち DB サーバは、掘削作業と各種孔内調査・室内試験で得られた各種データを保存するためのサーバである。取り扱うデータは数値、または文字列からなるデータの他に、撮影したボーリングコア写真などの画像データや地質柱状図などの一般的なファイルも対象となる。

このサーバでは、管理者がデータ管理ソフトウェアを使用してデータの登録、編集、および削除等の一連の作業を実行できる。さらに無人状態でも計測システムから送られてくるデータファイルを自動的にデータベースに登録する自動登録機能を有している。

また web サーバは、外部ネットワークからの閲覧者にデータベースを公開するための機能を有している。この web サーバはアプリケーションサーバとしても機能しており、閲覧者からの要求に応じて DB サーバにクエリを送信し、その結果から動的に web ページを作成して表示を行うことが可能である。

現場事務所に構築されているネットワーク内にはルータが設置され、ADSL 回線により外部ネットワークと接続される。ただし、ルータにはファイアウォール機能を設けてあり、外部ネットワークからのアクセスを遮断している。

④の管理用 PC は当所我孫子地区内に設置され、VPN 接続によって幌延の現地適用性評価試験サイト内に設置されている②データ登録用 PC の遠隔操作を行うことができ、システムの実運用時には、この遠隔操作機能を用いることで、更新プログラムのインストールや不具合が発生した際の対応を取ることが可能である。また、③の外部レンタルサーバ内の DB サーバ・web サーバのメンテナンス作業時や動作不具合発生時において、“remote desktop 機能”を用いることで遠隔操作による作業実施が可能である。

過年度より運用を行っているシステムの概要を次ページ図 9.1.1-1 に示す。

【新】掘削・調査データ統合化システム

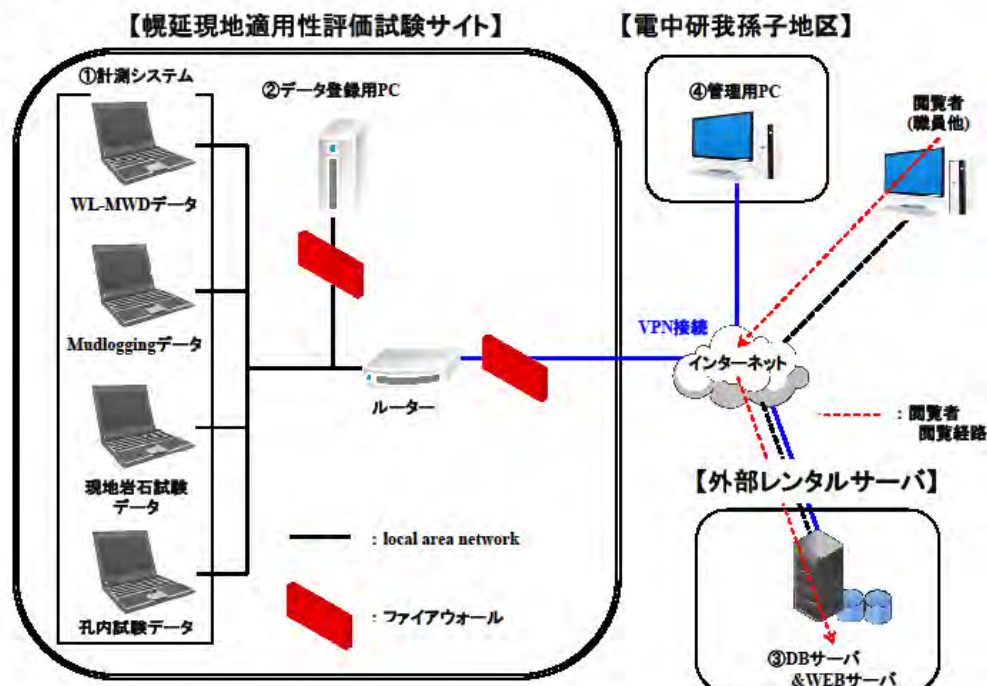


図 9. 1. 1-1 「掘削・調査データ統合化システム」の構成

9. 1. 2 システムの運用準備

平成 23 年度までのシステムは、取得したデータを保存する” DB サーバ” と、データを閲覧するための” web サーバ” が幌延町の現地適用性評価試験サイト内に設置されていたために、全ての現地調査作業が終了し、DB サーバと web サーバを撤去した後は、システム自体の運用が行えない状態となっていた。

このため平成 24 年度より、システムの通年運用を目的として、DB サーバと web サーバを外部サーバ内に移設した上で、新たなシステムを構築して運用を通じて適用性評価を行っている。

この新たなシステムでは、幌延町の現地適用性評価試験サイト、当所我孫子地区のいずれでもない場所にサーバ(=外部サーバ)を新たに立ち上げ、このサーバ内に DB サーバと web サーバの移設を行い、運用を継続する仕組みとなっている。外部サーバ自体の運用は外部レンタル会社が行うことから、通常の(サーバ自体の)メンテナンス作業や運用コストが削減できる利点がある。また、サーバ自体を幌延町の現地適用性試験サイト内に設置しなくて済むことから、現地作業の終了後においても外部サーバ内の DB サーバ・web サーバを利用したシステムの通年運用が可能となっている。

なお、今年度の全ての現地作業が終了した際には“データ登録用 PC”は撤去されるが、取得データの追加分は、当所我孫子地区内に設置された“管理用 PC”から登録可能であり、外部サーバの運用に

より、前述のとおりシステムの通年運用が可能となっている。

今年度も現地適用性評価試験サイトのコントロールボーリング孔井を利用した各種孔内作業、孔内試験が行われることから、作業開始の時期に合わせて、同システムを構成する一部の機材を試験サイトに搬入、設置した後に運用を開始した。

なお、試験サイトにおけるシステムの設置・運用に先立ち、外部レンタルサーバにおける DB サーバと web サーバの稼働状況に関して、我孫子地区から確認を行った上で、本格的な運用開始に向けた準備を行った。

9.1.2.1 外部レンタルサーバの運用状況確認

今年度の現地適用性評価試験サイトにおけるシステムの運用開始に先立ち、外部レンタルサーバ内で継続運用中である DB サーバと web サーバに関して、運用状況の確認を目的として、過年度までに登録済みのデータの閲覧機能と表示機能の確認作業を行った。また、今年度の新たなデータ取得に向けて、取得した様々なデータの保存先となる”平成 25 年度用”データベースの作成を行った。さらに、幌延における現地適用性評価試験実施の際には、本システムを使用して試験サイトにおける日々の作業内容を関係者に配信する「作業進捗速報の配信機能」を使用していることから、同機能の確認を目的として、ダミーデータを使用した「作業進捗速報」の配信確認テストを実施した。

外部レンタルサーバ運用状況の確認作業における、実施事項は以下の通りである。

- ① 登録済みデータの閲覧と表示
- ② 新規データベース作成(平成 25 年度用)
- ③ 日報(「作業進捗速報」)配信テスト

図 9.1.2-1 に登録済みデータ閲覧・表示機能確認状況(HCD-3 孔跡図)を示す。

図 9.1.2-2 に新規データベース(平成 25 年度用)作成状況を示す。

図 9.1.2-3 にメール配信(「工事進捗状況報告」)確認画面状況を示す。

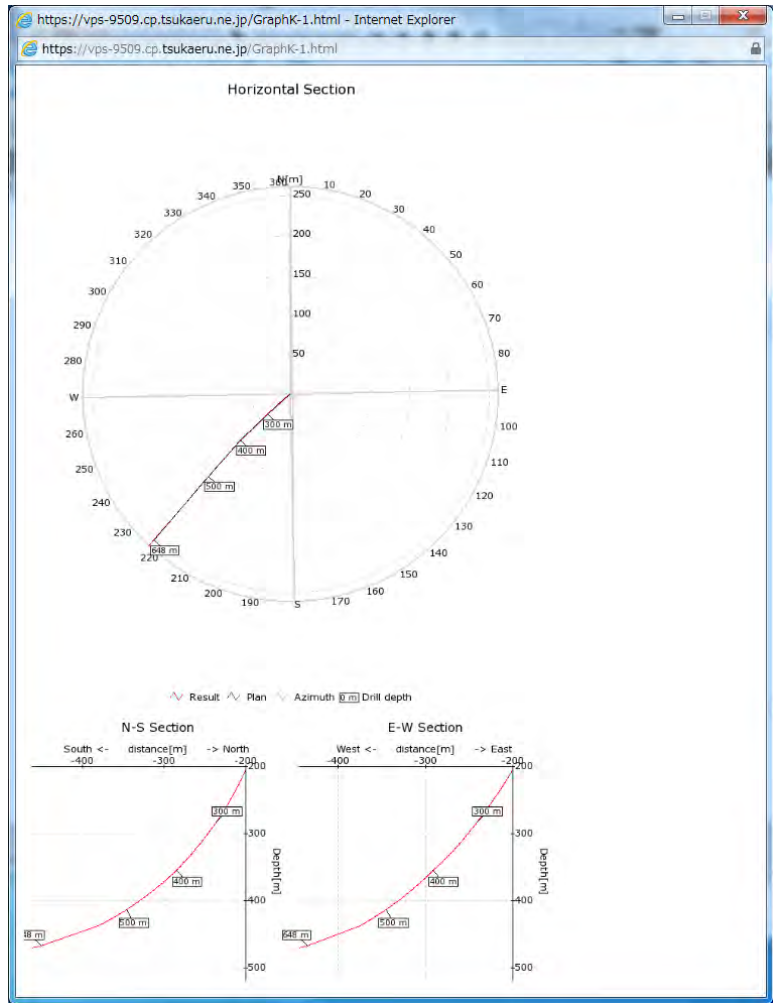


図 9.1.2-1 登録済みデータ閲覧・表示機能確認状況(HCD-3 孔跡図)

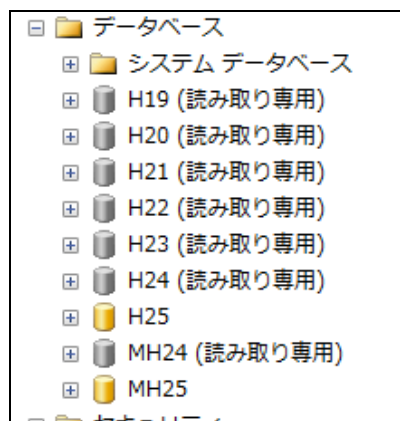


図 9.1.2-2 新規データベース(平成 25 年度用)作成状況

https://nps-9808.cb.tsukaeru.ne.jp/DailyReportL.html?year=2014&month=10&day=24&hour=7&reportno=20130136

※4 作業内容、孔内状況、記事の最新の日報データを引き継ぎます。

件名:平成25年度「岩盤中地下水移行評価確認技術開発」のうちボーリング調査技術の確認
 孔井名:幌延コントロールボーリング-3号孔(HCD-3)

日報入力日時 2014年 10月 24日 7:30 日報番号 20130136

作業日時	2013年10月19日 <input checked="" type="checkbox"/> 1方 <input type="checkbox"/> 2方		天候 <input checked="" type="checkbox"/> 晴	その他 <input type="checkbox"/>	晴れ	気温	(度)
掘進長	本日計	(m)	岩芯	本日計	(m)	孔芯	方位
	累計	1000.5	(m)	採取長	累計	798.93	(m)
						傾斜	224.04 (度)
						傾斜	90.03 (度)
累計計算 <input checked="" type="checkbox"/>							
送水量	揚水量	逸水量	洗水率	ベント角	コアノズル		
(L/min)	(L/min)	(L/min)	(%)	(度)	(m)		
逸水計算 <input checked="" type="checkbox"/>							
最新日報データの引継ぎ <input checked="" type="checkbox"/>							
作業内容							
孔内状況							

図 9.1.2-3 メール配信(「工事進捗状況報告」)確認画面状況

9.1.2.2 データ登録用PCの設置

今年度のコントロールボーリング孔(HCD-3孔)を用いた各種孔内作業の開始時期に合わせて、システムを構成する各種機器を試験サイト内にある現場事務所内に設置を行った。現場事務所内に設置した主要な機器は以下に列挙したとおりである。

【掘削・調査データ統合化システム】

- ・データ登録用PC(デスクトップタイプ) : 1台

図 9.1.2-4 にシステムの設置前状況を示す。

図 9.1.2-5 にシステムの設置作業状況を示す。

図 9.1.2-6 にシステムの設置後状況を示す。



図 9.1.2-4 システムの設置前状況



図 9.1.2-5 システムの設置作業状況



図 9.1.2-6 システムの設置後状況

システムの設置作業終了後、システムで取得データのバックアップ先として使用している外付けのハードディスク (HDD)、無停電電源装置 (UPS)、モニター、マウス、キーボード等を接続した後にこれらの接続機器の動作確認を行った。その後、データ登録用 PC を使用したシステムの動作確認作業として、コア写真の登録作業のテストを行うことで、データ登録用 PC の動作に問題がないことを確認した。

図 9. 1. 2-7 にシステム運用状況(全景)を示す。

図 9. 1. 2-8 にシステム運用状況(外付け HDD と UPS)を示す。

図 9. 1. 2-9 にシステムの動作確認状況(コア写真登録画面)を示す。



図 9. 1. 2-7 システム運用状況(全景)



図 9. 1. 2-8 システム運用状況(外付け HDD と UPS)

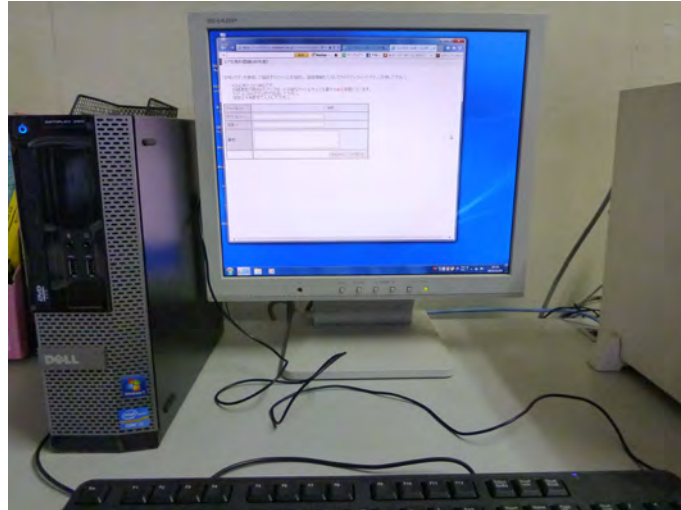


図 9.1.2-9 システムの動作確認状況(コア写真登録画面)

9.1.2.3 データ登録用PCとシステムとの接続確認

平成 24 年度の本システムの現地適用性評価試験実施時には、運用開始直後(動作確認時)に” remote desktop 機能”を使用した、我孫子地区に設置されている管理用 PC からデータ登録用 PC への接続(遠隔操作)を試みたところ、接続機能に関する設定不良により、接続ができない状況となり、結果的に旧システムの一部を利用して運用を行った経緯がある。

接続不能となった原因は想定されていたが、現地作業の時間的な制約により原因の特定には至らず、また、現地作業終了後にはシステムを構成する機器を試験サイトから撤去していたために、不具合の再現も不可能で問題解決ができていない状況であった。

このため、今年度は、システムの動作確認時において未解決であった” remote desktop 機能”を使用した、管理用 PC からの遠隔操作について不具合の解決を試みた。

想定された原因としては、VPS 接続によるユーザアカウント許可の設定内容に不備があったと考えられていたことから、試験サイトに設置したデータ登録用 PC において、ユーザアカウント許可の設定を正しく行った上で、我孫子地区の管理用 PC から遠隔操作を行ったところ、不具合が生じることなく、” remote desktop 機能”を使用した遠隔操作が行えることを確認した。

9.1.3 システムの運用

前述の 9.1.2 の完了後、幌延町の現地適用性評価試験サイトに設置した”データ登録用 PC”と当所我孫子地区に設置した”管理用 PC”、外部レンタルサーバを使用して、システムの運用を通じて現地適用性評価試験を行った。

また、システムの運用時には定期的にメンテナンスを行うことで、システムの不具合発生等のトラブル予防とした。

なお、システム運用時において軽微な不具合が発生したが、その都度対処することで、システムの運用は全期間を通じて行うことができた。

現地適用性評価試験サイトにおける、データ取得を伴う現地作業が完了した時点で、試験サイトからシステムの撤去作業を行った。

9.1.3.1 システムの運用

今年度の試験サイトにおける現地適用性評価試験時には、コントロールボーリング掘削を始めとする各種孔内作業が行われる。掘削に関しては、掘削長は短いもののサイドトラック掘削による、ボーリングコアの採取を伴う掘削作業を行う計画である。

このため、孔内洗浄時やサイドトラック掘削作業時における、試錐機や試錐ポンプ、掘削ツールズである掘削時計測装置(WL-MWD)から取得される孔内環境データや循環泥水データ(マッドログ : mud log)、掘削データ、採取されたボーリングコアのコア写真などの様々なデータを、同システムへの登録を行った。

表 9.1.3-1 にマッドログ登録データの項目一覧を示す。

表 9.1.3-1 マッドログ登録データの項目一覧

登録データ項目		
ID	孔井名	データタイプ
計測日時	ビット深度	深度
垂直深度	スライム深度	フック高さ
ビット荷重	ビット回転総数	ビット回転
トルク	トルク最小	トルク最大
トルク平均	掘進率 10cm	掘進率
掘進率 MHR	ポンプ 1 カウント	ポンプ 1 ストローク数
ポンプ流量計算値	タンク 1 泥水量	タンク 2 泥水量
タンク 3 泥水量	タンク 4 泥水量	フィード後退圧
フィード前進圧	ポンプ流量磁力	泥水比重 in
泥水温度 in	泥水温度 out	トータルガス
掘進長	掘進時間	トータル泥水量変化
掘削編成重量変化	フローアウト	ポンプトータルカウント
スライムリターン	スライムリターン時間	泥水総量 1
泥水総量 2	登録日時	

登録したコア写真データは「透水試験・採水・イメージング装置」による現地適用性評価試験(水理試験)実施時や、「孔内モニタリングシステム」の現地適用性評価試験の実施時において、本システムが有する表示・閲覧機能が試験区間の選定の際に有効に活用された。

また、これらの取得データとは別に、当該研究従事者や関連協力会社の担当者宛に現場作業内容や連絡事項をまとめた「作業進捗速報」が E-mail を利用して毎朝、配信される仕組みとなっている。

このため、現地作業が行われている期間において、同システムを通じて作業進捗速報の配信も行い、データ登録・閲覧機能と合わせて、関係各者との情報共有を行った。

9.1.3.2 システム運用時におけるメンテナンス作業

システムの運用時には、システムプログラムの稼働状況の確認や、システムを稼働させるためのオペレーションシステム (OS) の更新、取得データのバックアップ状況の確認など、様々なメンテナンス作業を行う必要がある。

このため、システムの運用中期間には、以下に示す種々のメンテナンス作業を行った。

- ① 取得データのバックアップ作業実施の有無確認
- ② ソフトウェアのアップデート(更新プログラムの適用)
- ③ 不正アクセスの監視・記録

なお、現在もシステムは運用中であることから、必要最低限のメンテナンス作業(②)は継続して行っている。

図 9.1.3-1 に我孫子地区”管理用 PC” 設置状況を示す。

図 9.1.3-2 に管理用 PC を用いたメンテナンス作業実施状況を示す。



図 9.1.3-1 我孫子地区”管理用 PC” 設置状況



図 9.1.3-2 管理用 PC を用いたメンテナンス作業実施状況

(1) バックアップ作業の実施確認

システムの運用期間中において、我孫子地区に設置した管理用 PC から、外部レンタルサーバ内に設置されている DB サーバと、現地適用性評価試験サイト内の事務所に設置したデータ登録用 PC に対して、“remote desktop” 機能を用いた遠隔接続操作をおこない、取得したデータのバックアップ作業が確実に行われたかどうかの確認作業と、バックアップ内容の確認を行った。

表 9.1.3-2 に外部レンタルサーバ作業内容と DBServ 作業内容を示す。

表 9.1.3-2 外部レンタルサーバ作業内容と DBServ 作業内容

日付	外部レンタルサーバ作業内容	DBServ 作業内容
2013/10/21	外部レンタルサーバ確認	—
2013/10/23	外部レンタルサーバ確認	—
2013/10/28		システム現地適応性評価サイトに設置
2013/10/29		システム運用開始
2013/10/30		接続テスト バックアップファイル確認
2013/10/31	不具合対応①	
2013/11/05	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	動作確認 バックアップファイルの確認
2013/11/11	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	動作確認 バックアップファイルの確認
2013/11/16	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	動作確認 バックアップファイルの確認
2013/11/26	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	動作確認 バックアップファイルの確認
2013/12/02	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	動作確認 バックアップファイルの確認
2013/12/11	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	動作確認 バックアップファイルの確認
2013/12/16	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	動作確認 バックアップファイルの確認
2013/12/26	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	システム運用終了
2014/01/07	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	—
2014/01/14	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	—
2014/01/28	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	—
2014/02/05	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	—
2014/02/12	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	—
2014/02/17	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	—
2014/02/24	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	—
2014/03/04	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	—
2014/03/10	アクセスログ確認&バックアップ確認 バックアップデータの転送	—

(2) ソフトウェアのアップデート確認

システムの運用中には、マイクロソフト社から不定期に更新される更新プログラムをその都度、システム内にインストールした上で、ソフトウェアを最新の状態に保ちながら運用を行った。

表 9.1.3-3 にソフトウェアアップデートによるインストールファイルの一覧(1)を示す。

表 9.1.3-4 にソフトウェアアップデートによるインストールファイルの一覧(2)を示す。

表 9.1.3-3 ソフトウェアアップデートによるインストールファイルの一覧(1)

日付	更新内容
2013/10	Windows 7 for x64-Based Systems 用更新プログラム (KB2852386) Windows 7 for x64-Based Systems 用セキュリティ更新プログラム (KB3876284) Windows 7 Service Pack 1 および Windows Server 2008 R2 Service Pack 1 用 Microsoft .NET Framework 3.5.1 セキュリティ更新プログラム (KB2861191) Windows XP、Windows Server 2003、Windows Vista、Windows Server 2008、Windows 7、および Windows 2008 R2 用 Microsoft .NET Framework 4 更新プログラム (KB2836939) 悪意のあるソフトウェアの削除ツール (KB890830) Windows 7 Service Pack 1 および Windows Server 2008 R2 Service Pack 1 用 Microsoft .NET Framework 3.5.1 セキュリティ更新プログラム (KB2861698) Windows 7 Service Pack 1 および Windows Server 2008 R2 Service Pack 1 用 Microsoft .NET Framework 3.5.1 セキュリティ更新プログラム (KB2863240) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2882822) Windows XP、Windows Server 2003、Windows Vista、Windows Server 2008、Windows 7、および Windows 2008 R2 用 Microsoft .NET Framework 4 セキュリティ更新プログラム (KB2858302) Windows Server 2008 for Itanium-based Systems 用セキュリティ更新プログラム (KB2883150) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2888049) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2846960) Windows Server 2008 for Itanium-based Systems 用セキュリティ更新プログラム (KB2862335) Windows Server 2008 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2868038) Microsoft Silverlight のセキュリティ更新プログラム (KB2890788) Windows Server 2008 for Itanium-based Systems 用セキュリティ更新プログラム (KB2864202) Windows Server 2008 64-bit Itanium Edition 用 Internet Explorer 7 のセキュリティ更新プログラム (KB2879017) Windows Server 2008 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2847311) Windows Server 2008 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2884256) Windows Server 2008 for Itanium-based Systems 用セキュリティ更新プログラム (KB2864058)
2013/11	Windows Server 2008 for Itanium-based Systems 用セキュリティ更新プログラム (KB2862152) Windows Server 2008 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2876331) 悪意のあるソフトウェアの削除ツール (KB890830) Windows Server 2008 R2 for Itanium-based Systems 用セキュリティ更新プログラム (KB2868725) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2893519) Windows Server 2008 の ActiveX Killbits に対するセキュリティ更新プログラム (KB2900986) Windows Server 2008 R2 for Itanium-based Systems 用セキュリティ更新プログラム (KB2875783) Windows Server 2008 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2868626) Windows Server 2008 64-bit Itanium Edition 用 Internet Explorer 7 のセキュリティ更新プログラム (KB2888505)

Windows Server 2008 R2 for Itanium-based Systems 用セキュリティ更新プログラム (KB2862330)
Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2892074)

表 9.1.3-4 ソフトウェアアップデートによるインストールファイルの一覧(2)

日付	更新内容
2013/12	Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2892074) 悪意のあるソフトウェアの削除ツール (KB890830) Windows Server 2008 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2887069) Windows Server 2008 x64 Edition 用更新プログラム (KB2904266) Windows Server 2008 64-bit Itanium Edition 用 Internet Explorer 7 のセキュリティ更新プログラム (KB2898785) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2893294) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2913152) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2893984) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2891804) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2847077)
2014/01	悪意のあるソフトウェアの削除ツール x64 (KB890830) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2913431) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2913602) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2574819) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2862330) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2592687)
2014/02	Microsoft .NET Framework 4 KB2468871 Microsoft .NET Framework 4 セキュリティ更新プログラム Microsoft .NET Framework 4 信頼性更新プログラム 1 (KB2533523) Microsoft .NET Framework 4 信頼性更新プログラム 2 (KB2600217) Microsoft .NET Framework 4 セキュリティ更新プログラム Windows XP、Windows Server 2003、Windows Vista、Windows Server 2008、Windows 7、 および Windows 2008 R2 用 Microsoft .NET Framework 4 セキュリティ更新プログラム Windows XP、Windows Server 2003、Windows Vista、Windows Server 2008、Windows 7、 および Windows 2008 R2 用 Microsoft .NET Framework 4 セキュリティ更新プログラム Windows XP、Windows Server 2003、Windows Vista、Windows Server 2008、Windows 7、 および Windows 2008 R2 用 Microsoft .NET Framework 4 更新プログラム - KB2836939 Windows Server 2008 R2 用セキュリティ更新プログラム (KB2862973) Windows Server 2012 R2 用セキュリティ更新プログラム (KB2909210) Windows Server 2008 R2 64-bit Itanium Edition 用 Internet Explorer 8 のセキュリティ 更新プログラム (KB290921) Windows 7 Service Pack 1 および Windows Server 2008 R2 Service Pack1 用 Microsoft .NET Framework 3.5.1 セキュリティ更新プログラム Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2912390) Windows 7 Service Pack 1 および Windows Server 2008 R2 Service Pack1 用 Microsoft .NET Framework 3.5.1 セキュリティ更新プログラム Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用セキュリティ更新プログラム (KB2916036) Windows Server 2008 R2 x64 Edition 用更新プログラム (KB2919469) Windows 7 Service Pack 1 および Windows Server 2008 R2 Service Pack1 用 Microsoft .NET Framework 3.5.1 セキュリティ更新プログラム

(3) システムに対する不正アクセス記録

システムの運用期間中には、外部レンタルサーバ内に設置されている“web サーバ”のアクセス記録に不正なアクセスログが記録されていたが、“/admin フォルダ”や実際には当システム内に存在しないフォルダやファイルに対するアクセスのため、“not found”ページが表示されることで、実害的な被害は生じないような仕組みとなっている。

不正アクセスを防ぐためのアクセス禁止処置の検討もおこなったが、IPアドレスを調査すると海外の様々な国・場所からのアクセスとなっているため、対応が困難であり、実害は被っていないことから積極的な対応は行っていない。

表 9.1.3-5 にシステムに対する不正アクセス記録一覧(1)を示す。

表 9.1.3-6 にシステムに対する不正アクセス記録一覧(2)を示す。

表 9.1.3-5 システムに対する不正アクセス記録一覧(1)

日付	IP アドレス	URL
2013/10/21 4:17	72.55.176.173	/admin/module-builtin.xml
2013/10/21 12:25	199.16.185.5	/admin/module-builtin.xml
2013/10/21 13:28	213.132.75.90	/admin/config.php
2013/10/21 16:39	218.45.182.199	/
2013/10/25 22:52	111.73.45.118	/
2013/10/29 2:42	198.20.69.74	/
2013/10/29 22:58	172.246.131.82	/
2013/10/29 22:59	172.246.131.82	/epgrec/LICENSE.txt
2013/11/2 0:18	192.157.201.10	/
2013/11/2 0:18	192.157.201.10	/epgrec/LICENSE.txt
2013/11/3 9:56	198.20.69.74	/
2013/11/6 14:21	67.135.156.78	/
2013/11/6 14:21	67.135.156.78	/doesnotexist9743.asp
2013/11/6 14:22	67.135.156.78	/CFIDE/scripts/ajax/FCKeditor/editor/filemanager/connectors/cfm/cf5_upload.cfm
2013/11/6 14:22	67.135.156.78	/jmx-console/
2013/11/6 14:22	67.135.156.78	/jmx-console/HtmlAdaptor
2013/11/6 14:22	67.135.156.78	/CFIDE/administrator/enter.cfm
2013/11/6 14:22	67.135.156.78	/console/login/LoginForm.jsp
2013/11/6 14:22	67.135.156.78	/ctc/servlet/ConfigServlet
2013/11/6 14:22	67.135.156.78	index.action
2013/11/6 14:23	67.135.156.78	/
2013/11/7 21:43	130.0.237.17	/
2013/11/13 10:41	210.254.96.227	/
2013/11/13 10:41	210.254.96.227	/favicon.ico
2013/11/17 7:10	217.219.98.122	/vtigercrm/graph.php

表 9. 1. 3-6 システムに対する不正アクセス記録一覧(2)

日付	IP アドレス	URL
2013/11/18 16:59	210.254.96.227	/
2013/11/18 16:59	210.254.96.227	/favicon.ico
2013/11/20 23:57	192.241.163.42	/
2013/11/21 19:59	111.68.38.135	/
2013/12/9 13:03	91.188.124.225	/
2013/12/14 21:20	27.251.165.238	/
2013/12/17 3:41	206.251.241.80	/admin/config.php
2013/12/30 14:53	74.3.163.52	/admin/config.php
2014/1/1 0:48	74.3.163.52	/admin/config.php
2014/1/12 22:27	74.3.163.52	/admin/config.php
2014/1/12 22:27	74.3.163.52	/admin/config.php
2014/1/17 12:04	54.254.218.93	/
2014/1/17 12:04	54.254.218.93	/
2014/1/17 12:04	54.254.218.93	/Robots.txt
2014/1/17 12:04	54.254.218.93	/SiteMap.xml
2014/1/17 12:04	54.254.218.93	/
2014/1/18 12:29	186.90.208.26	/
2014/1/18 12:30	186.90.208.26	/epgrec/LICENSE.txt
2014/1/20 17:16	210.254.96.227	/
2014/1/20 17:16	210.254.96.227	/favicon.ico
2014/1/22 18:41	174.139.163.202	/
2014/1/27 7:56	24.11.248.140	/admin/config.php
2014/1/22 7:56	24.11.249.140	/admin/config.php
2014/2/2 19:41	115.127.19.90	/admin/common/ie.css
2014/2/7 17:46	200.251.248.2	/admin/common/ie.css
2014/2/11 0:7	200.251.249.2	/admin/common/ie.css
2014/2/14 19:16	199.116.118.206	/
2014/2/14 19:16	199.116.118.206	/epgrec/LICENSE.txt
2014/2/15 17:56	83.12.49.238	/vtigercrm/
2014/2/22 4:9	80.82.70.118	/
2014/2/25 4:33	200.251.249.2	/admin/common/ie.css
2014/2/26 6:11	212.83.188.217	/
2014/2/26 6:11	212.83.188.217	/epgrec/LICENSE.txt
2014/3/4 18:35	94.24.40.58	/
2014/3/6 20:47	89.212.47.70	/vtigercrm/

9.1.3.3 システム運用時に発生した動作不良

システム運用期間中に発生した不具合としては、以下に示す3件であった。

- ① 「作業進捗速報」の配信不能(平成25年10月30日発生)
- ② 「作業進捗速報」の配信不能(平成25年12月11日発生)
- ③ 深度プロファイルのコア室内試験のグラフ表示エラー

①②の内容としては、前日の作業内容を記載した「作業進捗速報」をシステムの日報配信機能を使用して、当所関係者他に配信する際に発生したものである。作業内容の入力後、「作業進捗速報」を配信するためのボタンをクリックすると、「メールの送信に失敗しました」と表示される状態となった。

①②のどちらの事例も、平成24年度のシステム運用時においても2件発生している。

図9.1.3-3に平成24年度に同様の動作不良が発生した際の表示画面を示す。

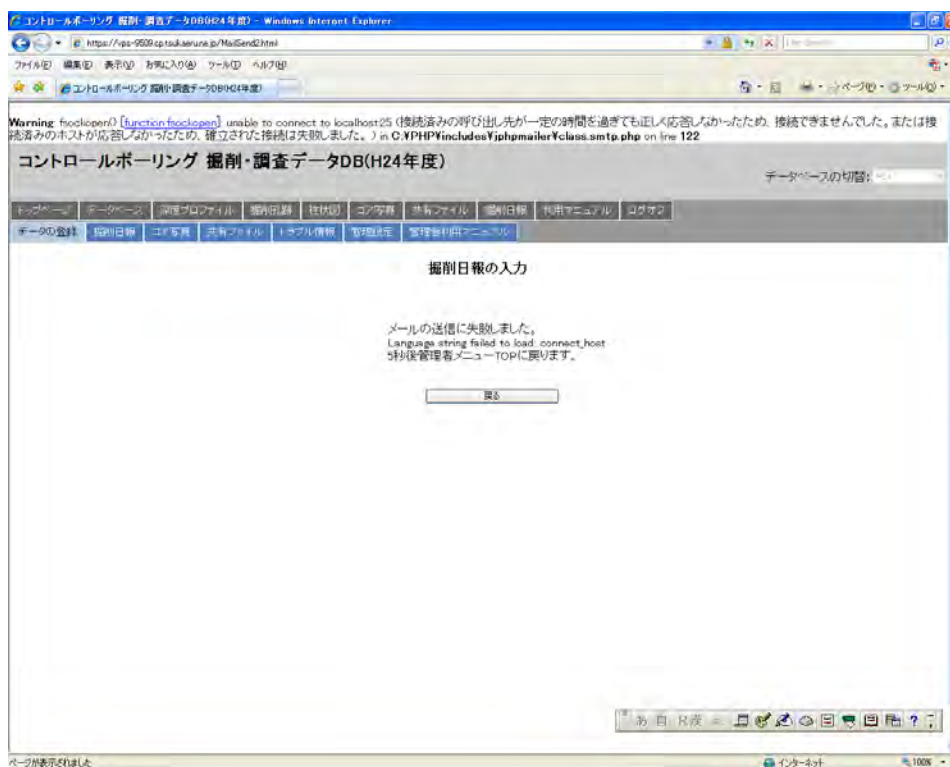


図9.1.3-3 平成24年度に同様の動作不良が発生した際の表示画面

原因としては、昨年度同様、外部レンタルサーバを運営している” TSUKAERU.NET”において、サーバのメンテナンス実施直後に、日報配信エラーの不具合が発生していると想定していたが、システム内のログチェックを行ったところ、今年度の場合はサーバのメンテナンスは未実施のため、両者に因果関係がないことが判明した。

その後も、不具合発生の原因を調査したが、原因は特定できず、また、サーバのメンテナンス直後や、その後の日報配信時においても同様の不具合は発生しなかった。

このため、対策としては、日報の配信エラーが発生した時点で、メールサーバ用のソフトウェアの再起動を行うこととした。

③の不具合に関しては、登録済みデータを使用した表示機能(グラフ作成・表示機能)に不具合が発生したものである。ポーリングコアを用いた室内試験結果(一軸圧縮強度試験)から、強度と深度(コア採取位置)の関係図をグラフ作成しようと試みたが、「エラー」表示されてしまう不具合である。

原因としては、データベース内の「深度」を参照する際の” カラム名” が異なっていたことに起因すると特定できたため、対策として作図機能の表示プログラムの修正を行うことで、同様の不具合は発生しないことを確認した。

表 9.1.3-7 にシステム不具合の内容と原因・対策を示す。

表 9.1.3-7 システム不具合の内容と原因・対策

番号	内容・原因・対策
①	<p>【不具合内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・試験サイトからの「作業進捗速報」配信が配信不能(H25.10.30)。「作業進捗速報」→作成画面において必要事項の入力後、「送信」ボタンを押してもエラーが表示されて、日報の配信が行えない。同様の事例は平成24年度にも発生している。 <p>【原因】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Windowsのlog等を調査したが、原因を特定できるエラー出力がなく、原因の特定はできていない。平成24年度の場合は、外部レンタルサーバのメンテナンス実施後(TSUKAERU.NETにおいて実施)に不具合が発生しており、メンテナンス完了後のサーバ再起動時に、本システムのメール配信プログラムが再起動しないことが原因と特定した。 <p>【対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・不具合報告後、メールサーバ用のソフトウェアの再起動を手動で行い、日報の配信が行えることを確認した。その後、②の発生までは同様の不具合は発生していない。
②	<p>【不具合内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・試験サイトからの「作業進捗速報」配信が配信不能(H25.12.11) <p>【原因】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Windowsのlog等を調査したが、原因を特定できるエラー出力がなく、原因の特定はできていない。 <p>【対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・不具合報告後、メールサーバ用のソフトウェアの再起動を手動で行い、日報の配信が行えることを確認した。その後、システムの撤去まで同様の不具合は発生していない。
③	<p>【不具合内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・深度プロファイルのコア室内試験のグラフ表示が表示不能(H26.2.18)。「深度プロファイル」→「コア室内試験」でグラフ作成において、エラーが表示されて、グラフ表示が行えない。 <p>【原因】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「コア室内試験」データベースの深度を参照する際の”カラム名”が間違っていた。 <p>【対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・グラフ表示プログラムの修正を行った。その後同様の不具合は発生していない。

9.1.3.4 システムの撤去

現地適用性評価試験サイトにおいて、データ取得を伴う全ての現地作業が終了した時点で、現場事務所内に設置していた”データ登録用PC”や外付けHDD、無停電装置(UPS)、モニターを含む関連機器の撤去作業を行った。

なお、現場事務所から配信している「作業進捗速報」の作成と配信に関しては、試験サイトにおける全ての現地作業(現場事務所・防寒施設閉鎖)が完了するまで行い、登録済みデータの表示と閲覧については、同システムが稼働中であるため現在も可能である。

図 9.1.3-4 にシステムの撤去後状況を示す。



図 9.1.3-4 システムの撤去後状況

9.2 掘削・調査支援システムの構築

9.2.1 HCD-3 孔井の掘削データの分析

昨年度は一定深度毎に記録された掘削データ(WL-MWD：1cm 間隔、泥水検層：10cm)を用いて、掘削情報の基づく逸水の検出可能性について分析を行った。しかしながら、サンプリング処理に伴って本来着目すべき逸水等に係わる変動がデータから失われている可能性が考えられたため、本年度はサンプリング処理を行う前の生データを対象に分析を行い、逸水現象と各種データの変動との対応関係を確認した。

また、本検討は掘削データから逸水を検知することが目的であるが、掘削データはオペレーションや掘削状況によっても変動し、さらには異常値やノイズも含まれる。したがって、逸水に伴う特徴的な挙動を的確に把握するためには、これと関係のないデータ変動を可能な限り取り除くことが必要であり、このデータ処理方法についても検討する。

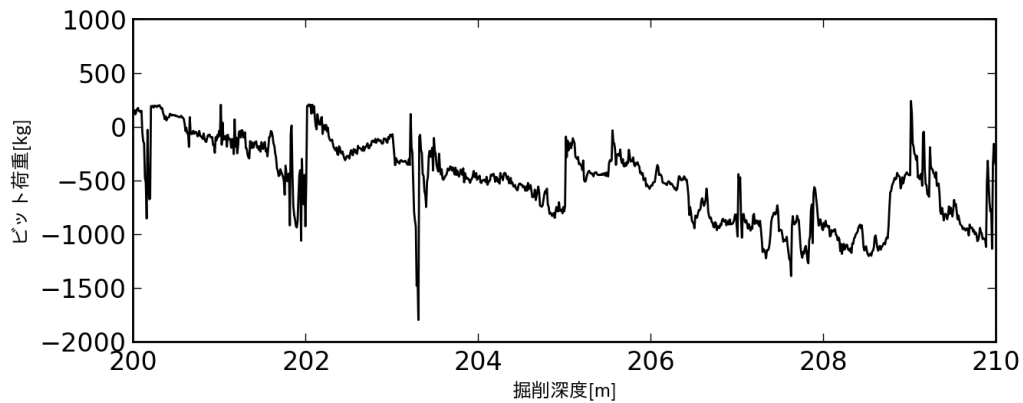
9.2.1.1 使用データ

(1) WL-MWD

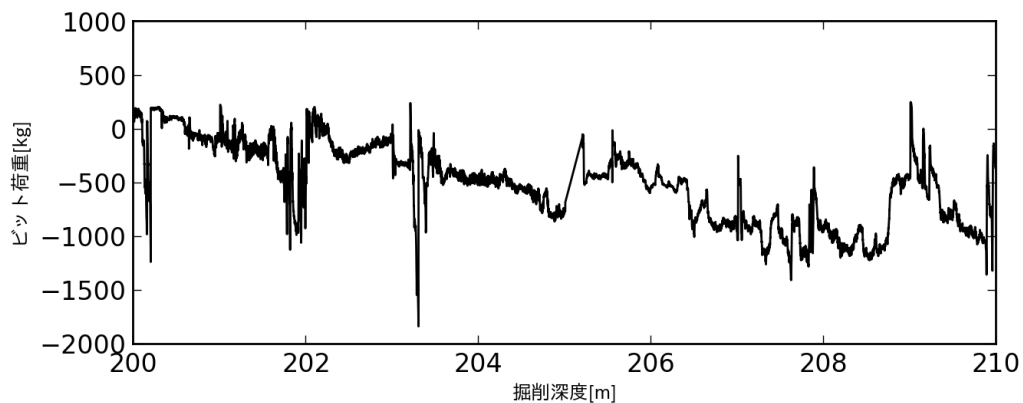
掘削時計測装置(WL-MWD)に関して、地質環境特性の変化の影響が想定される以下の計測項目を分析の対象とした。また、圧力と温度に関しては、ツール内部と孔内との差についても着目した。

- ① ビット荷重
- ② トルク
- ③ 外圧(孔内圧力)
- ④ 内圧(ツール内圧力)
- ⑤ 孔内温度
- ⑥ ツール内温度
- ⑦ 圧力差(内圧－外圧)
- ⑧ 温度差(孔内温度－ツール内温度)

WL-MWD の計測システムでは元来 1 秒または 2 秒間隔でデータが記録されており、深度データの分解能は 1mm となっている。掘削長 925m~950m の区間では WL-MWD の生データが存在しないことから欠測とした。図 9.2.1-1 は昨年度の検討で用いた深度 1cm 間隔でサンプリングされた掘削データと生データを比較した例であるが、生データには若干微小な変動が含まれるが、全体的な変動特性に関して両者に大きな違いは認められない。



(a) サンプリング済データ(1cm 間隔)



(b) 生データ

図 9.2.1-1 サンプリング処理の影響(ビット荷重)

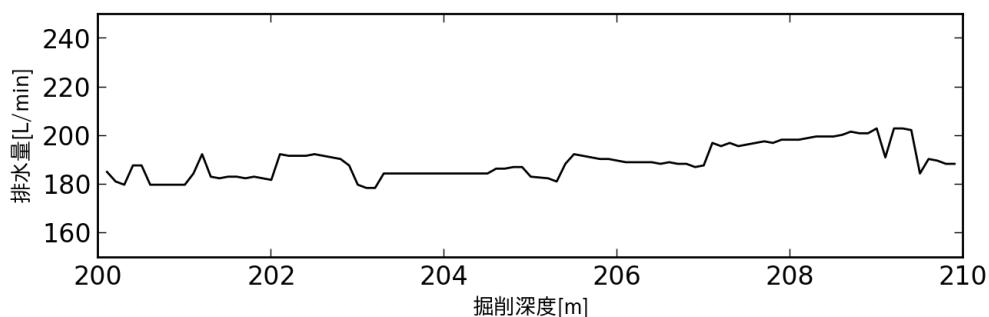
(2) 泥水検層 (mud log)

泥水検層の計測システムは多数の計測項目が存在するが、昨年度の分析結果より、特に逸水と関連があると想定される以下の計測項目に着目した。また、送水時と排水時の泥水温度の差も対象とした。

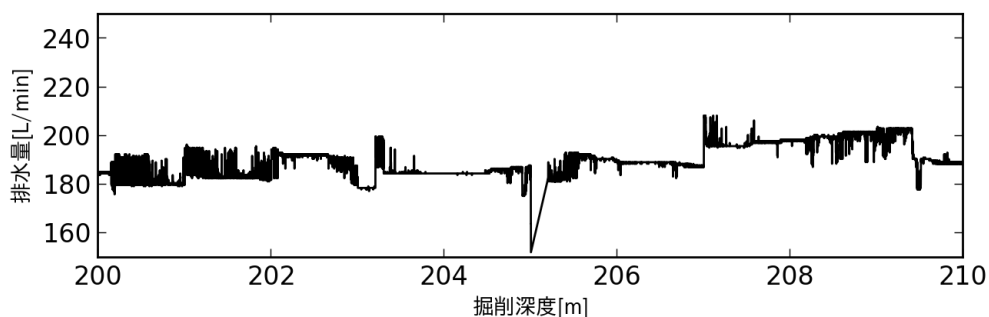
- ① トルク
- ② 掘進率
- ③ ポンプ圧
- ④ 排水量
- ⑤ 泥水温度(送水)
- ⑥ 泥水温度(排水)
- ⑦ 温度差(排水温度-送水温度)

泥水検層の計測システムでは4秒間隔でデータが記録されており、深度の分解能は0.1mmとなっている。なお、掘削長400m~762mの間では泥水検層の生データが存在しないため欠測とした。

図9.2.1-2は深度10cm間隔でサンプリングされた泥水検層データと生データを比較したものであり、これより、サンプリング済みデータでは多くの情報が失われていることが分かる。特に、急激なデータ変動を十分表現できていないことから、データの傾向変化の検出には適さないと考えられる。



(a) サンプリング済データ(1cm間隔)



(b) 生データ

図9.2.1-2 サンプリング処理の影響(排水量)

9.2.1.2 データ処理

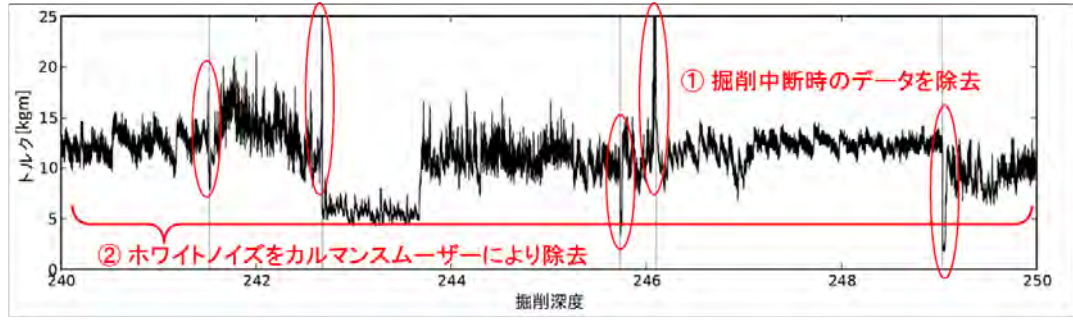
WL-MWD および泥水検層ともに、生データ内にはコアリング掘削時以外(例えば、コア引き揚げ時や拡径時など)のデータも収録されていることから、孔底が進行した際(ビット深度の最深値が更新された際)の最初の記録だけを抽出することで、掘削とは関係の無いデータを除去した。また、計測の問題等により明らかに異常と判断できる値についてもデータから取り除いた。さらに、WL-MWD および泥水検層の複数の計測項目においては掘削中断時に掘削区間とは大きく異なる値を示すことから、データの傾向把握を容易にするため、レコードの記録時刻の前後の間隔が大きくなる深度を掘削が中断されたとみなし、この深度を中心に前後 50cm の区間に含まれるデータを除去した。

分析対象とした掘削データ中にはランダムな細かい変動成分を含んでいるものがあり、これらは本来着目すべきデータの変動傾向を確認する妨げとなる。そこで、掘削データから地質環境特性の変化をよりの確に見極められるようにするため、細かなデータ変動をノイズ成分と見なして除去を試みた。

ノイズ除去にあたっては、時系列解析で広く応用されているカルマンフィルタ理論に基づいた平滑化(カルマンスムーザー)を行い、大局的な変動傾向(トレンド成分)と確率論的にランダムと見なせるノイズ(ホワイトノイズ成分)との分離を行った。トレンド成分の表現には一般的に1階のモデル(ランダムウォークモデル)を仮定することが多いが、ここでは、ランダムウォークモデルよりも滑らかなトレンド成分が得られる、2階のモデルを用いることとした。図 9.2.1-3 はノイズ除去の効果を見るため、WL-MWD データの一部の区間を抜粋したものである。これから、ホワイトノイズ等が適切に取り除かれ、データ本来のトレンドを明確に把握することができることが確認できる。

WL-MWD データについて、異常値を除去した後、カルマンスムーザーにより分離したトレンド成分を図 9.2.1-4～図 9.2.1-11 に示す。また、泥水検層データ(掘削長 200m～400m)について同様の処理を行ったものを図 9.2.1-12～図 9.2.1-18 に示す。

生データ



ノイズ除去後

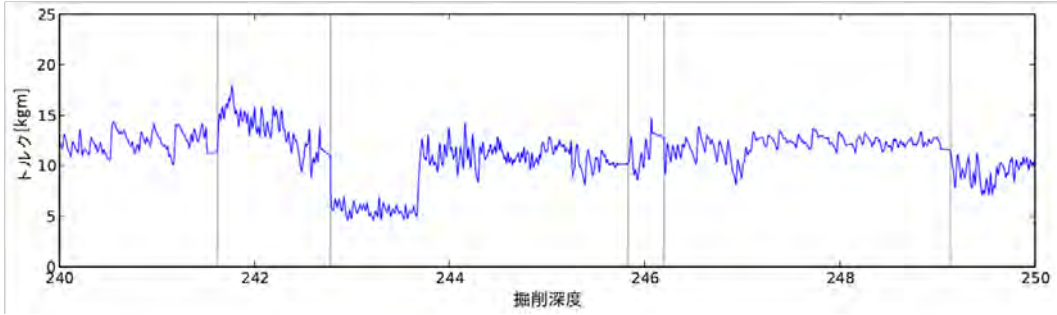


図 9. 2. 1-3 ノイズ除去処理前後のデータの比較

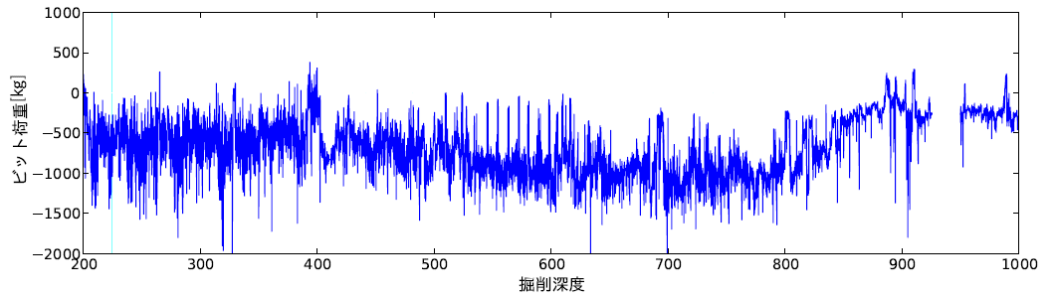


図 9.2.1-4 HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ (ビット荷重)

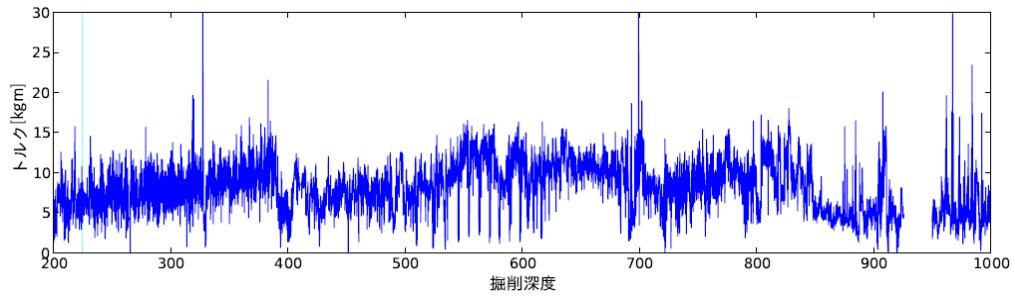


図 9.2.1-5 HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ (トルク)

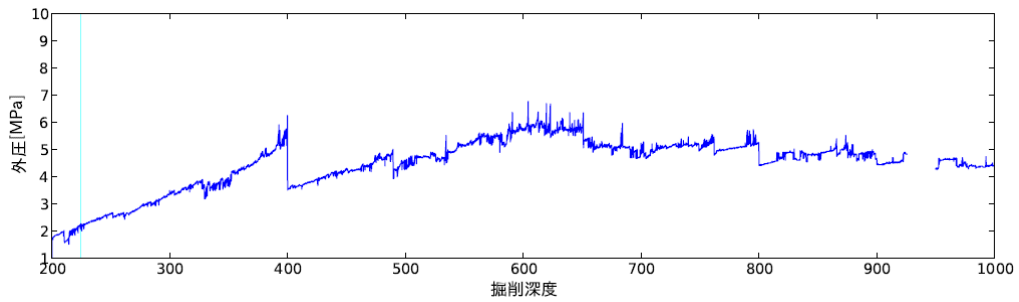


図 9.2.1-6 HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ (外圧)

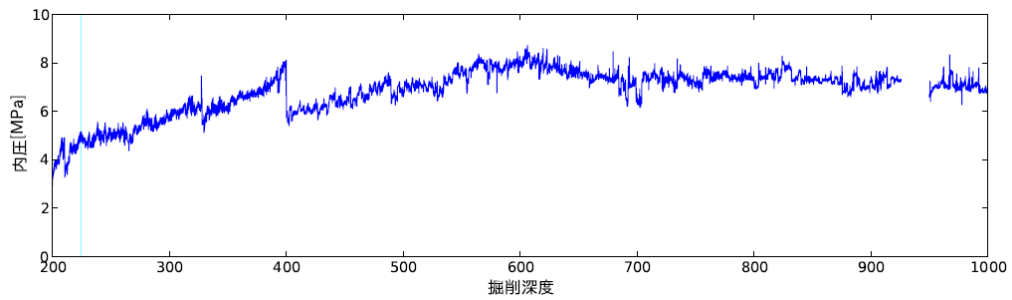


図 9.2.1-7 HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ (内圧)

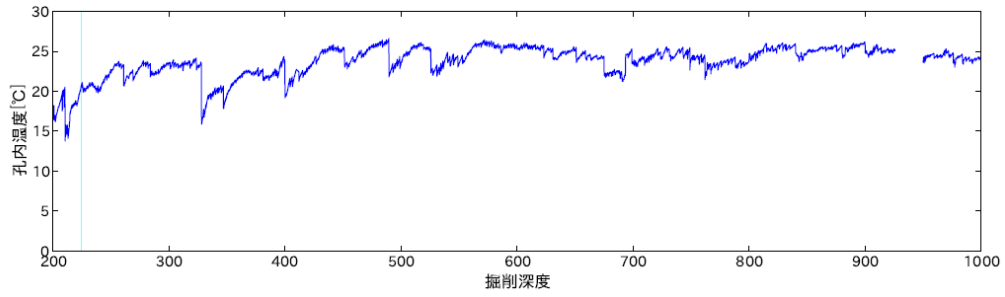


図 9. 2. 1-8 HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ (孔内温度)

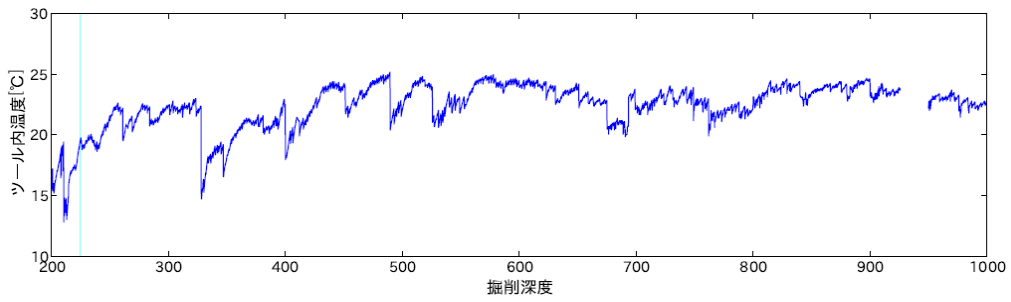


図 9. 2. 1-9 HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ (ツール内温度)

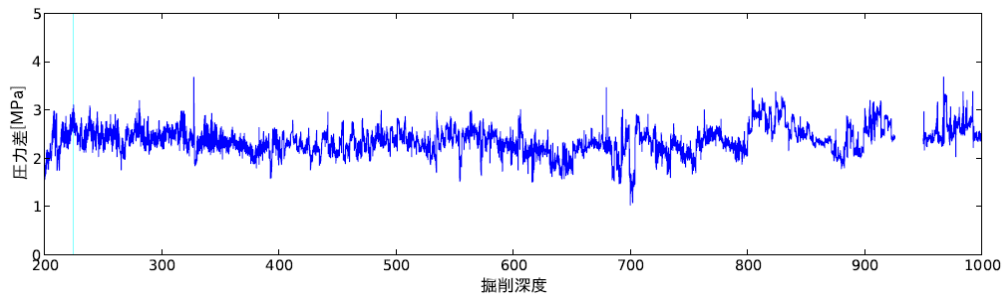


図 9. 2. 1-10 HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ (圧力差)

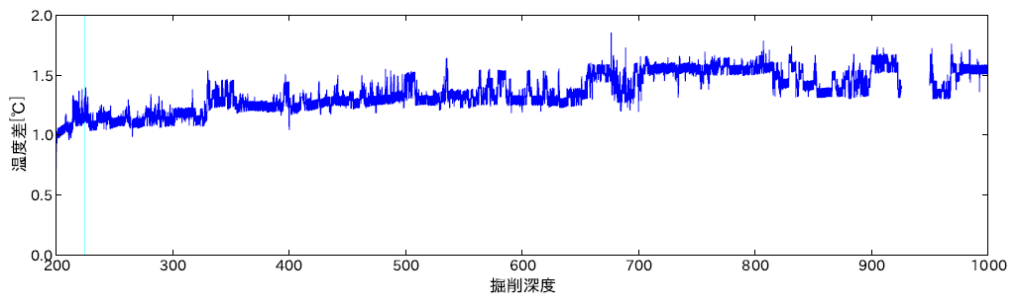


図 9. 2. 1-11 HCD-3 孔井のノイズ除去済み MWD データ (温度差)

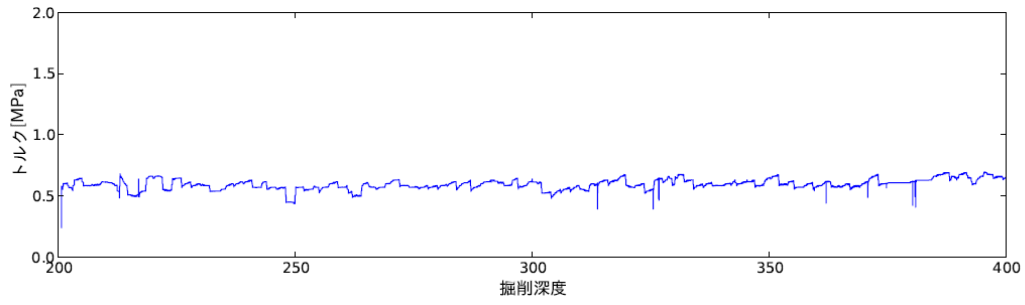


図 9. 2. 1-12 HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(トルク)

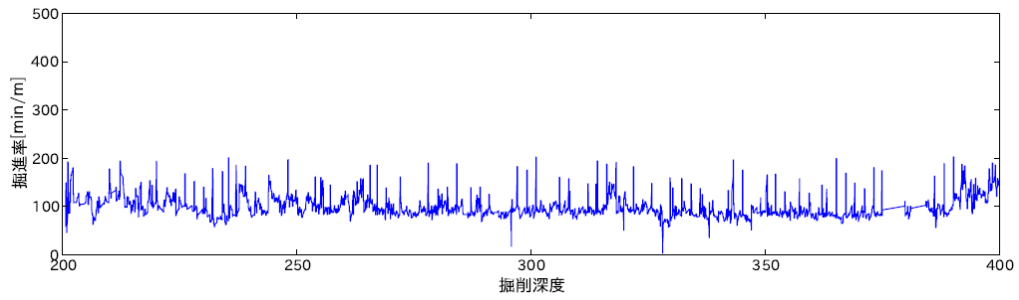


図 9. 2. 1-13 HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(掘進率)

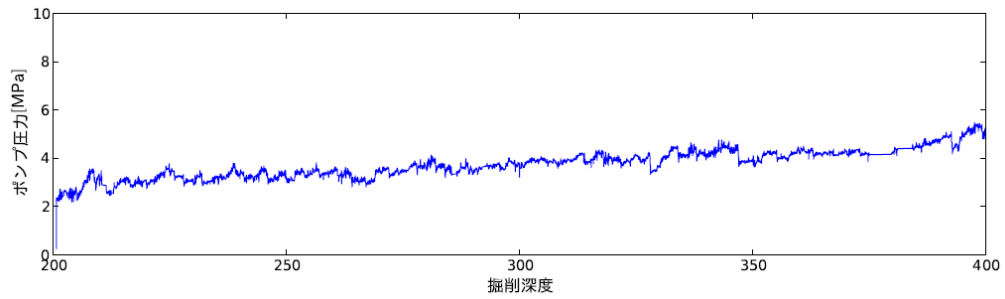


図 9. 2. 1-14 HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(ポンプ圧)

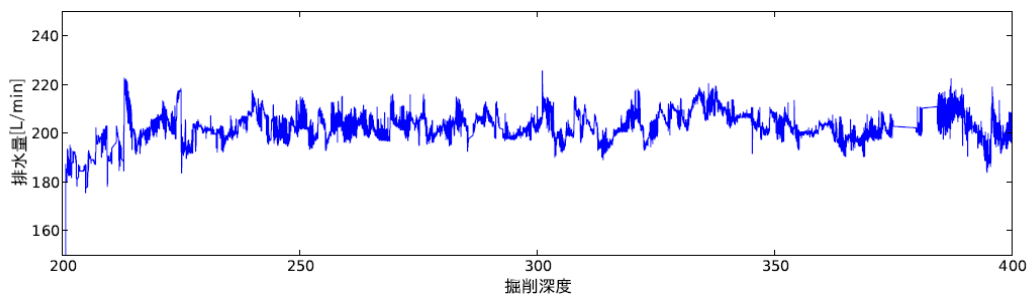


図 9. 2. 1-15 HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(排水量)

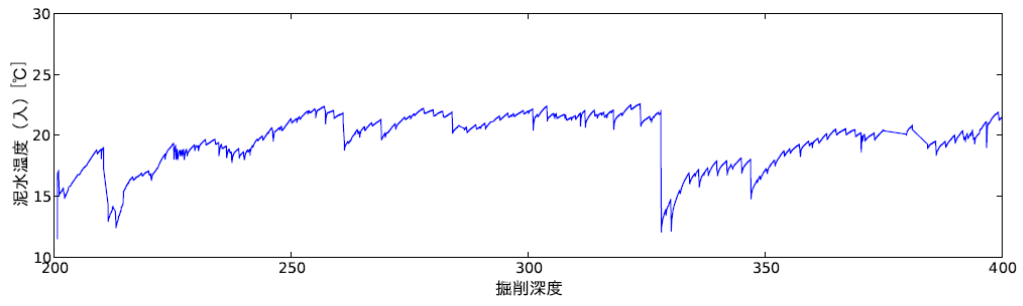


図 9.2.1-16 HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ (送水温度)

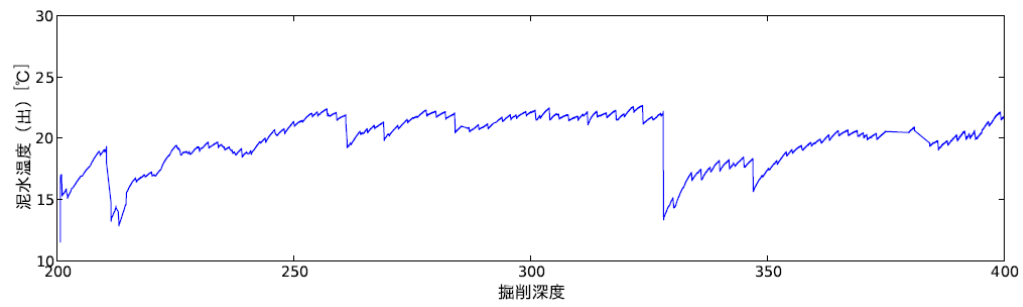


図 9.2.1-17 HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ (排水温度)

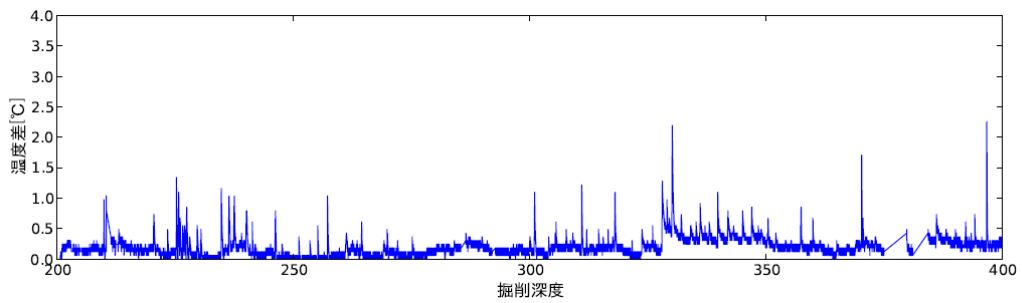


図 9.2.1-18 HCD-3 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ (温度差)

9.2.1.3 HCD-3 孔井の逸水状況

HCD-3 孔において確認された主な逸水区間を以下に示す。

- ① 逸水区間 1：掘削長 208.4m～210.5m
- ② 逸水区間 2：掘削長 224.2m～226.2m
- ③ 逸水区間 3：掘削長 690.2m～693.5m

逸水区間 1 では 24L/min の逸水率を記録している。また、透水試験の結果、当該区間の透水係数は 2.5×10^{-6} m/s となっており、他の逸水区間と比べて透水性が高いことが確認されている。逸水区間 2 の逸水量は 48L/min で、HCD-3 孔井では最大となる。逸水区間 3 は逸水量が 7L/min でやや少ない。

9.2.1.4 逸水と掘削データの対応性

ノイズとなる変動を除去した掘削データに基づいて逸水区間における特徴的な挙動に着目し、その連動性について分析した結果を以下に示す。

(1) WL-MWD

図 9.2.1-19～図 9.2.1-22 は逸水区間 1 および逸水区間 2 を含む掘削長 200m～250m の区間における、WL-MWD のノイズ除去済みデータを示したものである。これらの図中の灰色の縦線は、レコード間の記録時刻の差が 1 時間以上ある箇所を示しており、コアの引き揚げ等により掘削が中断された深度の目安となる。一部の計測項目では掘削中断時を境としてデータが階段状に大きく変化することがあるが、これは、時間経過による孔内環境の変化や何らかのオペレーションによる掘削条件の変更が要因となっている可能性が考えられ、その深度が水理地質環境の変化境界となっている可能性は低い。

外圧は逸水区間 1 では掘削中に大きな低下は認められない。その後、掘削長 210.5m 付近で掘削が中断された直後から外圧はそれまでよりも低い値を示しているが、ここでは掘削が再開されるまで 10 日間要していることから、時間が経過したことにより、このようなギャップが生じている可能性が高い。逸水区間 2 では掘削長 225m 付近でやや低下が見られるが、同様の低下は周辺の非逸水区間でもいくつか認められており、掘削長 225m の低下要因が逸水と断定するのは難しい。

他の WL-MWD データについても、逸水区間と非逸水区間とで明らかに異なる特徴的な挙動は確認できない。

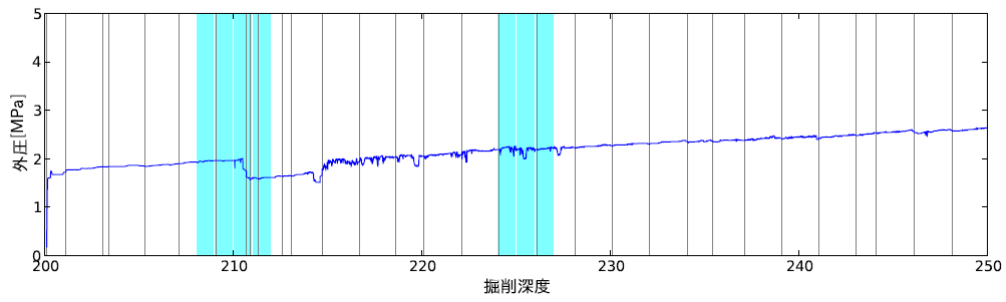


図 9.2.1-19 逸水区間 1・2 における外圧

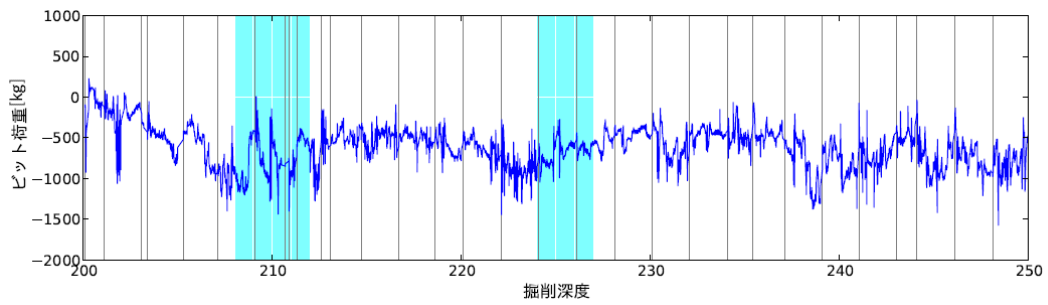


図 9.2.1-20 逸水区間 1・2 におけるビット荷重

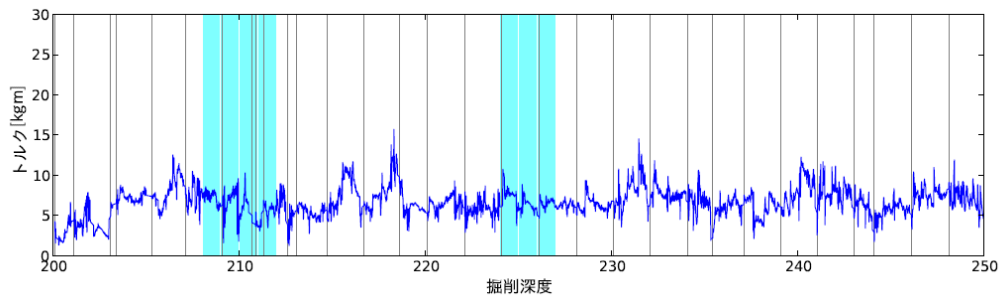


図 9.2.1-21 逸水区間 1・2 におけるトルク

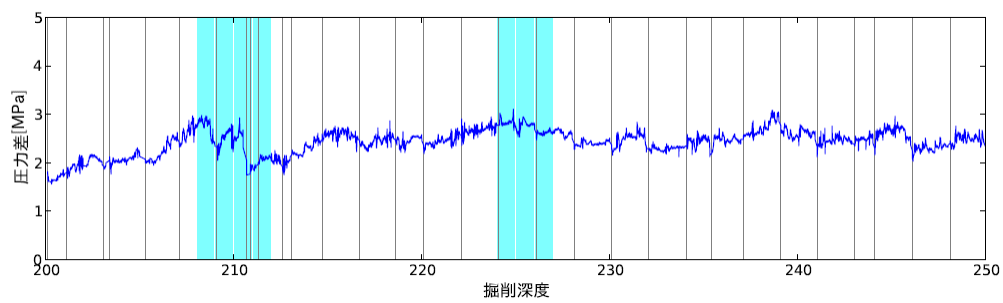


図 9.2.1-22 逸水区間 1・2 における圧力差

(2) 泥水検層

図 9.2.1-23～図 9.2.1-25 は逸水区間 1 および 2 を含む区間における泥水検層のノイズ除去済みデータを示したものである。

ここで、逸水検出のモニタリングに有効とされる排水量に着目すると、2つの逸水区間内の掘削長 209m および同 225m 付近で急激に低下しているのが分かる。さらに低下した直後もしばらく低い値を維持している。排水量の低下は泥水量が減少していることを表しており、逸水を反映している可能性が考えられる。ただし、排水量の低下は非逸水区間でも認められることから、排水量の低下のみで逸水と判断するのは難しい。排水量は 1 分あたりの水量で表されるため、送水量の増減により排水量も変動する。そこで、ポンプ流量の値で排水量を除することで送水量による基準化を試みた。なお、ここでは同時刻のポンプ流量と排水量を用いて基準化を行っているが、実際には送水から排水に至るまではラグが生じるため、厳密なものではないことを記しておく。図 9.2.1-26 は送水量で基準化した排水量である。これを通常の排水量のデータと比較すると、基準化を行うことで全体的に階段状の変動がなくなり、連続的なデータになるのが確認できる。特に掘削長 225m 付近の逸水に関しては、その箇所から明確に低下していることが分かる。よって、このような基準化は、逸水に伴う泥水量の増減を把握するには有効な評価方法であると言える。生データが欠損となっている逸水区間 3 については深度サンプリング済みのデータを昨年度に評価したが、上述したような特徴は確認できなかった。

また、逸水区間において泥水温度の低下が認められるが、これは泥水の追加に伴うものと推察され、逸水と直接連動しているとは考えにくい。ポンプ圧については、逸水区間 2 でわずかに低下しているようにも見えるが、変動の大きさが常時とあまり変わらないため、逸水との関連性は明確ではない。その他の項目に関しては逸水との関連性は明確ではない。

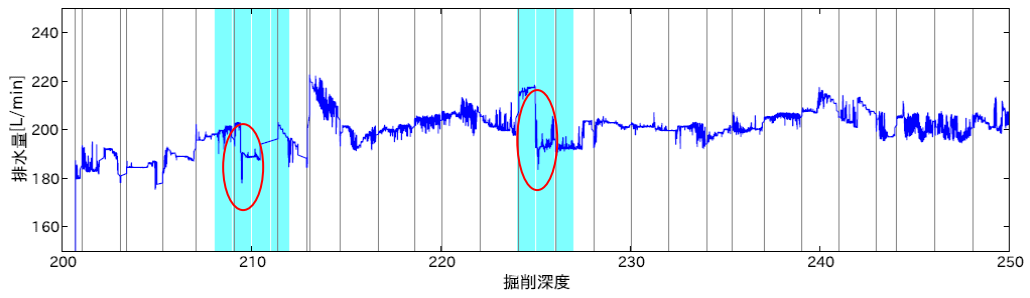


図 9.2.1-23 逸水区間 1・2 における排水量

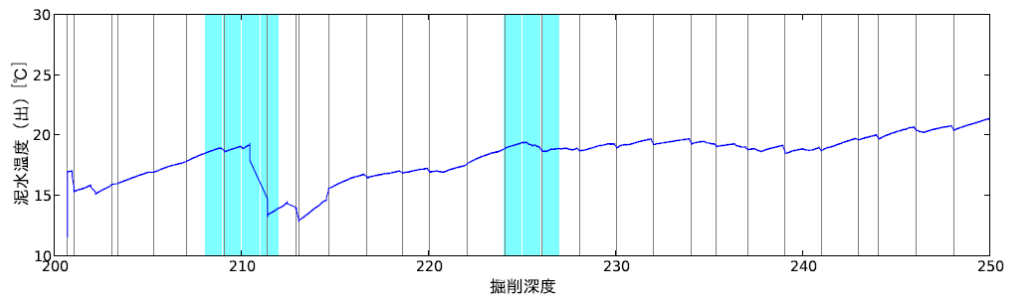


図 9.2.1-24 逸水区間 1・2 における排水温度

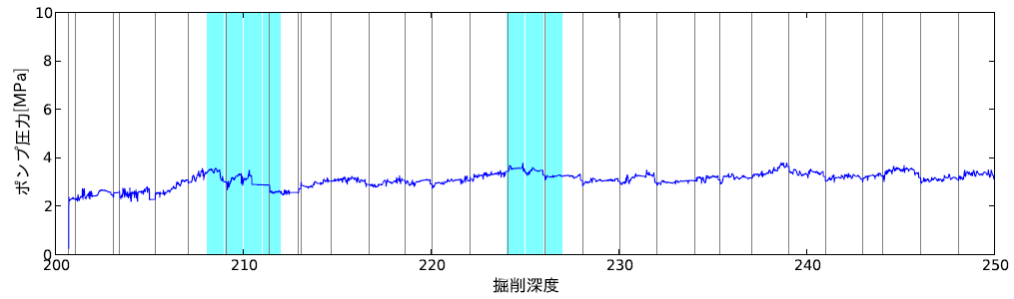


図 9.2.1-25 逸水区間 1・2 におけるポンプ圧力

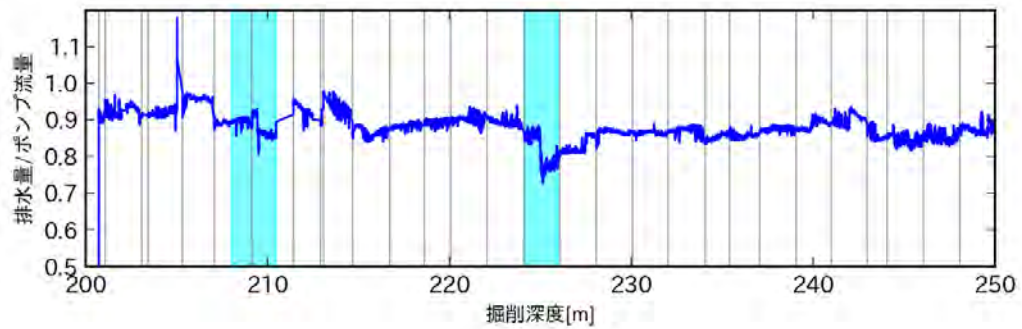


図 9.2.1-26 送水量で基準化した排水量の逸水箇所での挙動

9.2.2 HCD-1・2 孔井の掘削データの分析

平成 15 年度から平成 17 年度の間にかけて幌延町の北進地区で実施された幌延コントロールドリリング孔井 1・2 (HCD-1・2 孔井) の掘削では複数の区間で逸水を経験しており、HCD-3 孔で確認されたものと比べて逸水量も多い。そこで、これらの顕著な逸水区間を対象として、HCD-3 孔と同様の手順で掘削データの変動との関連性を分析した。

9.2.2.1 使用データ

分析に使用した計測項目は、WL-MWD、泥水検層ともに HCD-3 孔のケースと同一である。データの欠損状況に関しては、WL-MWD は掘削長 290m～302m の区間でツールの不具合のため、また、掘削長 350m～390m ではノンコアリング掘削区間のため、それぞれ未計測となっている。

泥水検層は掘削長 200m～547m の区間にわたって生データが存在しないことから、代わりに掘削長 10cm 間隔でリサンプリングされたデータを用いて分析を行い、その結果を参考とすることにした。また、トルクの生データも得られていない。

9.2.2.2 データ処理

ノイズ除去等のデータ処理法は HCD-3 孔井の方法に準ずる。図 9.2.2-1～図 9.2.2-14 に HCD-1 孔 (掘削長 290m～547m) および HCD-2 孔 (掘削長 290m～547m) に関する元データとノイズ除去済みのトレンド成分を示す。

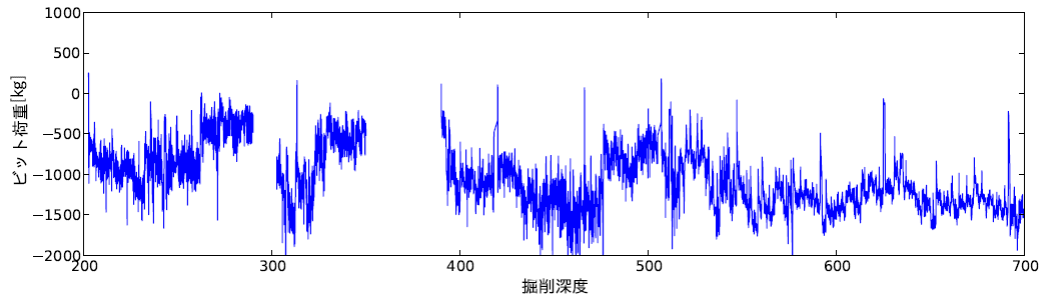


図 9.2.2-1 HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ (ビット荷重)

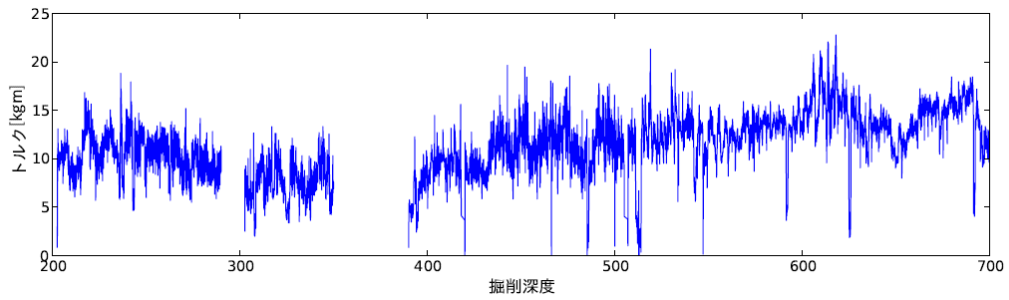


図 9.2.2-2 HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ (トルク)

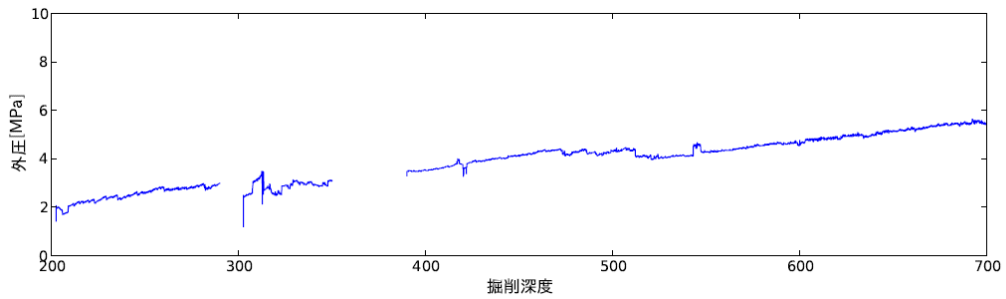


図 9.2.2-3 HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ (外圧)

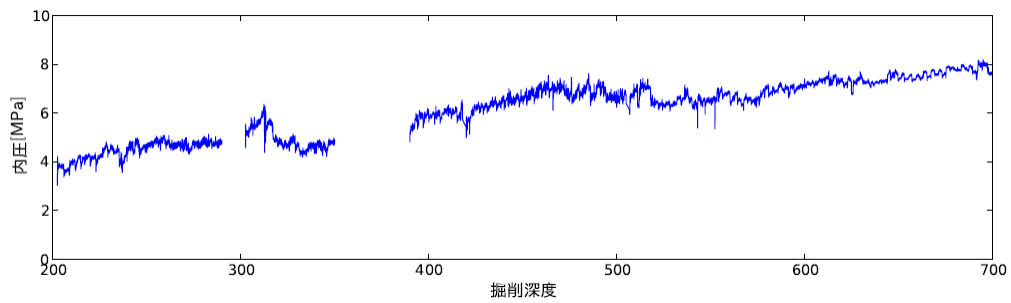


図 9.2.2-4 HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ (内圧)

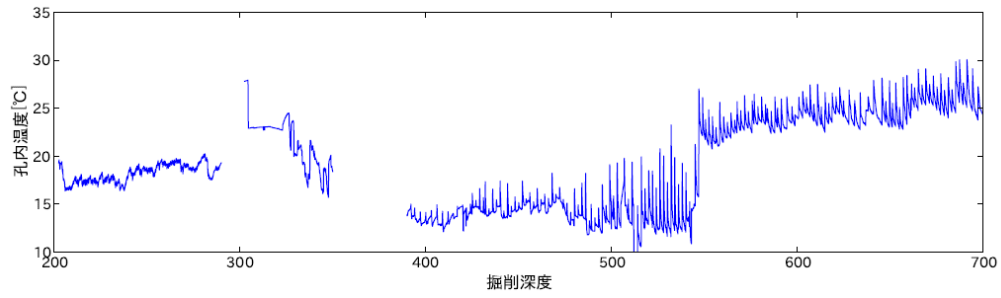


図 9.2.2-5 HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ (孔内温度)

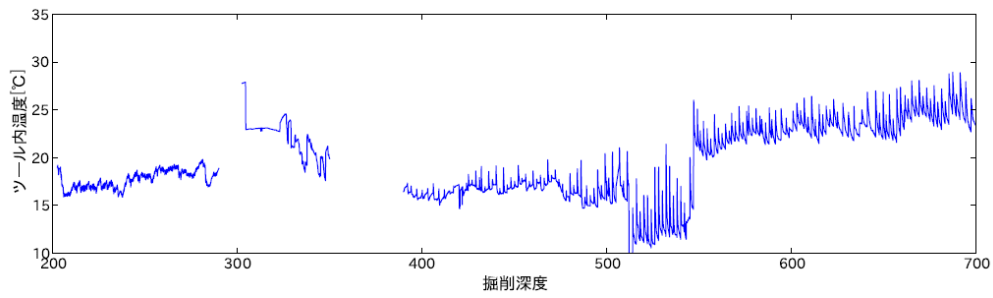


図 9.2.2-6 HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ (ツール内温度)

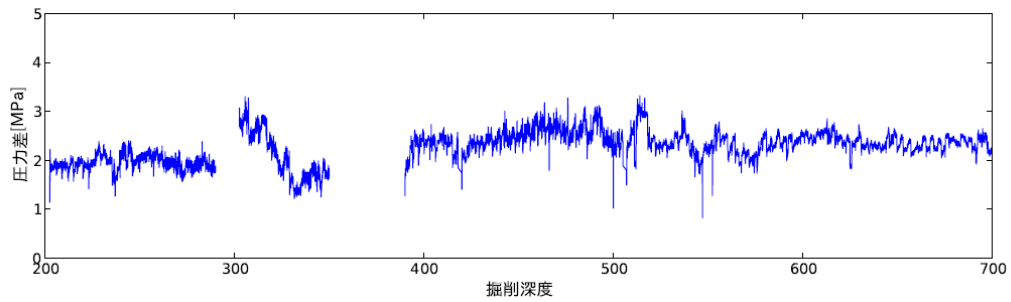


図 9.2.2-7 HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ (圧力差)

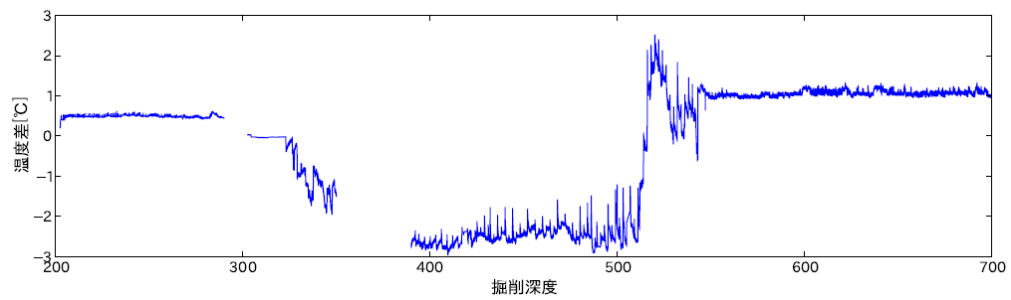


図 9.2.2-8 HCD-1・2 孔井のノイズ除去済み WL-MWD データ (温度差)

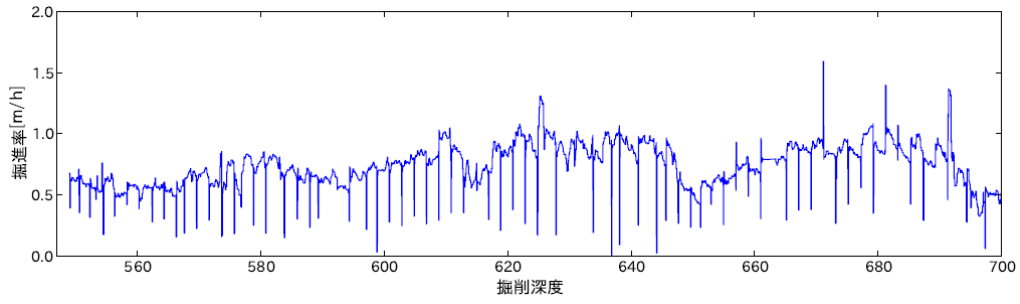


図 9.2.2-9 HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(掘進率)

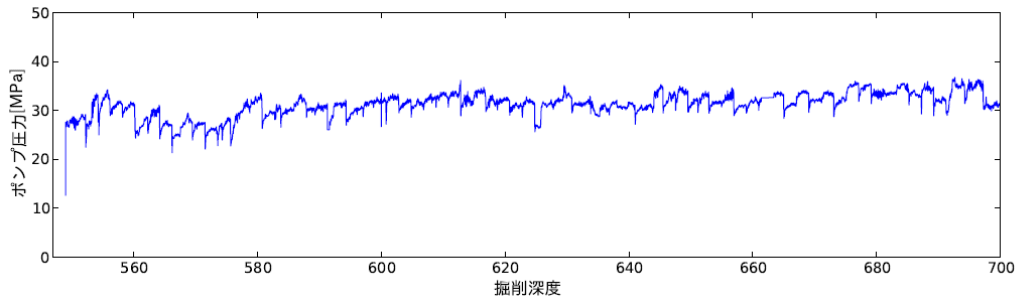


図 9.2.2-10 HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(ポンプ圧)

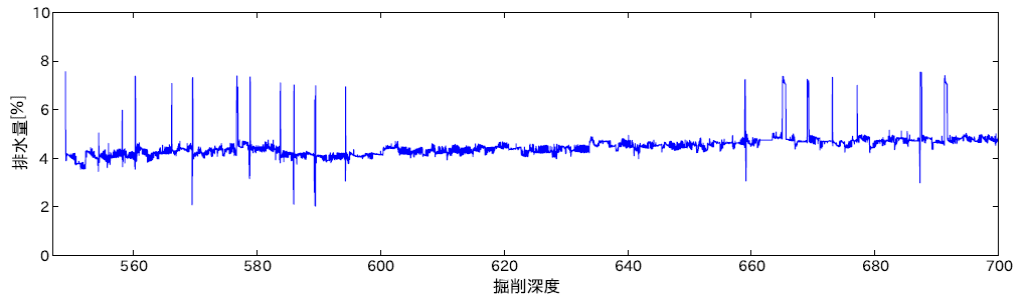


図 9.2.2-11 HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(排水量)

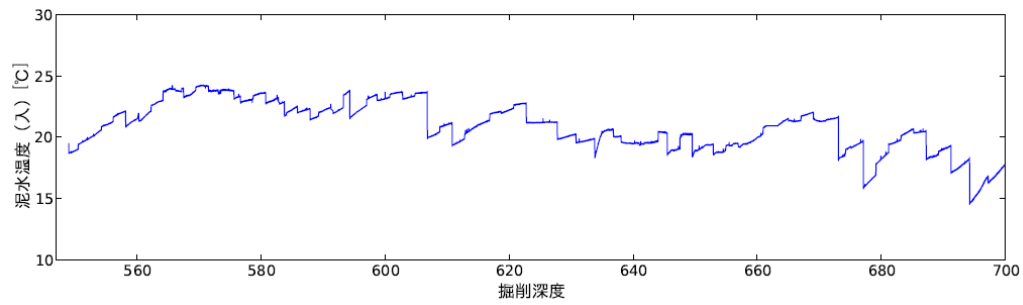


図 9.2.2-12 HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ(送水温度)

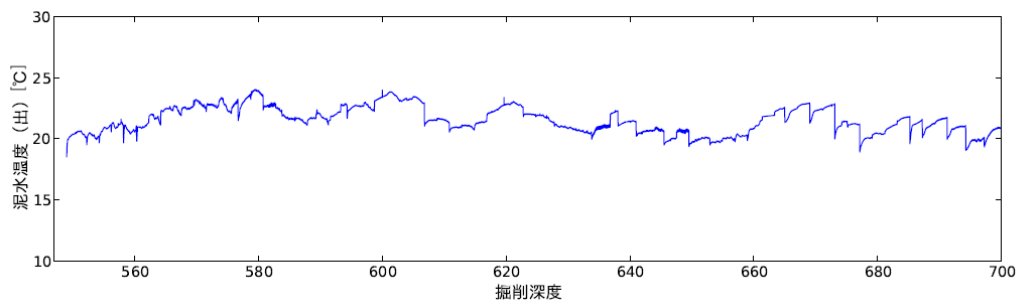


図 9.2.2-13 HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ (排水温度)

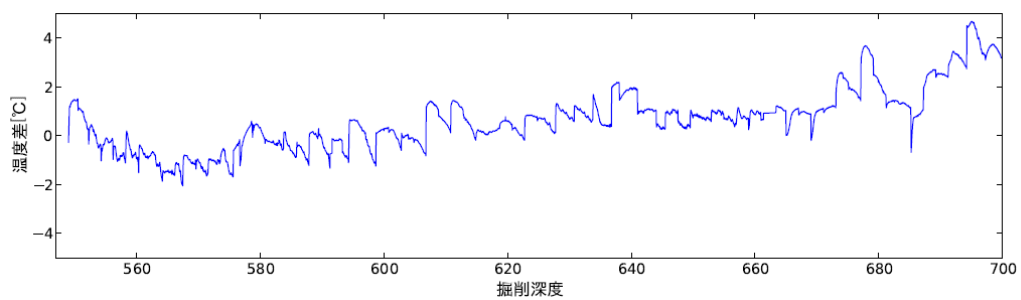


図 9.2.2-14 HCD-2 孔井のノイズ除去済み泥水検層データ (温度差)

9.2.2.3 HCD-1 およびHCD-2 孔井の逸水状況

HCD-1・2 孔では掘削長 200m よりコントロール掘削が開始されたが、掘削長 205m 以降から 5%程度の逸水が継続的に記録されている。翌年度の掘削では、掘削長 317m 付近で逸泥が発生し、その後掘削長 323m で逸泥量が 100L/min を超えたため、掘削長 323m～352m の区間ではセメンチングによる逸泥対策を実施しながらコントロール掘削を行っている。しかし、逸泥量はさらに増加し、掘削長 351.83m では最大 142L/min を記録しており、以降の掘削長 352～390m はノンコアリング掘削に切り替えられている。その後、掘削長 390m～547m の区間は再度コントロール掘削が行っており、この区間でも逸泥は継続して発生しているが、対策は実施されていない。また、平成 17 年度には逸泥対策が未実施だった掘削長 390m～547m 区間の逸泥量低減を実施しており、この際、逸泥箇所の特が試みられ、これによれば、掘削長 482.5m～488.5m の区間において大きな逸泥層が存在している可能性が高いことが分かったため、この区間を対象に部分セメンチングが実施された。

その後は掘削長 547m～700m の全区間でコントロール掘削が実施されているが、新たな逸泥は確認されていない。しかしながら、上部の逸泥区間の影響により逸水率は常に 40%前後を記録している。

9.2.2.4 逸水と掘削データの対応性

(1) WL-MWD

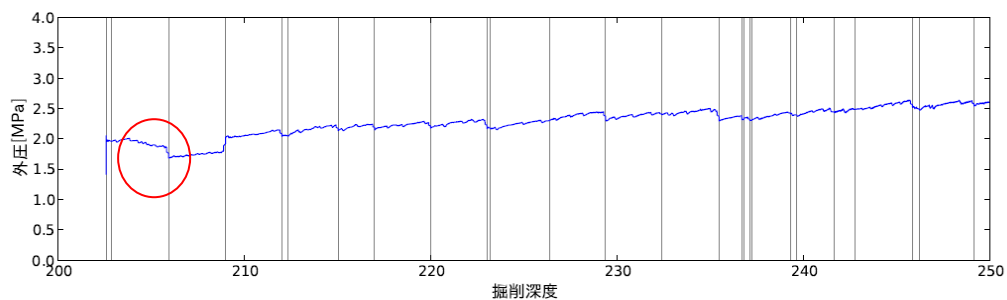
図 9.2.2-15 は HCD-1・2 孔で逸水が確認された箇所を含む区間での WL-MWD のノイズ除去済みの外圧データを示したものである。全体的な傾向として外圧は静水圧の増加に対応して、単調的に増加しているが、掘削長 204m 付近では逆に減少傾向を示しており、これは掘削長 205m で生じた逸水と概ね一致することから、逸水に伴う圧力低下の可能性が高い。また、掘削長 317m で生じた逸水と対応して圧力低下を示しており、以降の掘削長 350m まで継続する逸水区間では、度々圧力が減少する箇所が見られ、掘削長 323m で確認された大きな逸水とも連動しているように見える。さらに、逸泥が始まる掘削長 317m までは静水圧の増加に伴い、外圧は単調的に上昇する傾向にあったが、逸水区間ではほぼ横ばいに転じており、掘削長 317m を境界として傾向変化が生じていることが分かる。外圧は掘削長 486m でも顕著な低下が認められ、これも調査により特定されている逸泥層の位置と対応していることが明らかとなった。

逸水の発生が記録されていない区間では、外圧の変動は小さく、ごく局所的に低下することはあっても、逸水箇所を確認されている明瞭な減少を示すことはほとんどなかった。

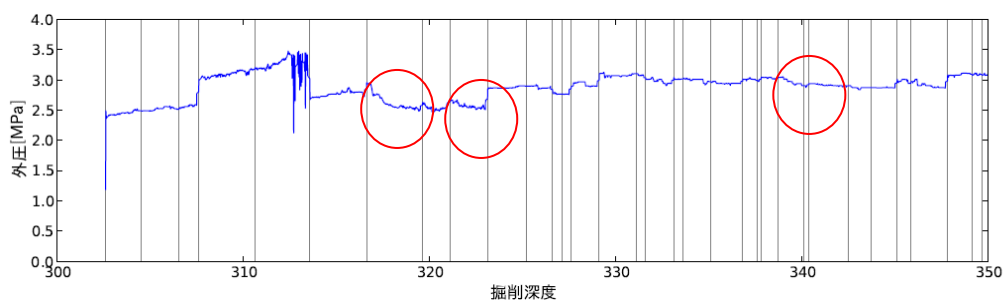
一方、内圧について見ると、外圧と同様に逸水箇所でも低下しているように見える。しかし、外圧と比較して常時の変動が大きく、逸水箇所の圧力低下を特定するのは困難である。また、同様の理由により、圧力差のデータからも逸水を判断するのは難しい。

以上を踏まえると、外圧データは逸水時に明瞭に低下し、かつ、常時変動が小さいことから、HCD-1・2孔で生じた規模の逸水の発生を判断するための監視項目として有効であると考えられる。

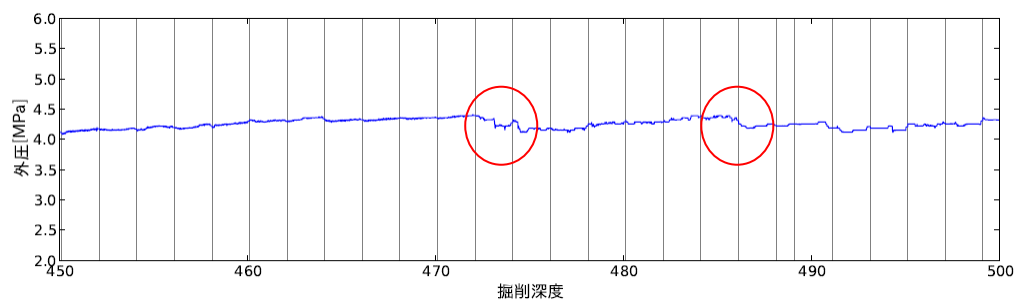
ツール内温度と孔内温度に関しては、例えば、逸水があった掘削長 205m 付近で値が減少しているが(図 9.2.2-16)、これは逸水に伴う泥水追加による影響の可能性があり、逸水との直接の関連性は不明である。またビット荷重トルクのデータ変動と逸水との間には明瞭な関連性は見られなかった。その他の計測データには逸水との明瞭な関連性は認められなかった。



(a) 掘削長 200m～250m



(b) 掘削長 310m～350m



(c) 掘削長 450m～500m

図 9.2.2-15 逸水箇所周辺での WL-MWD 外圧データの挙動(HCD-1 孔井)

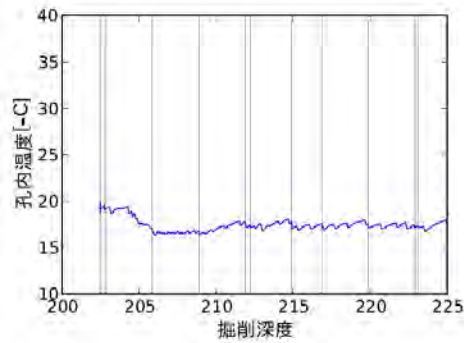


図 9.2.2-16 掘削長 205m 付近での孔内温度の低下(HCD-1 孔井)

(2) 泥水検層

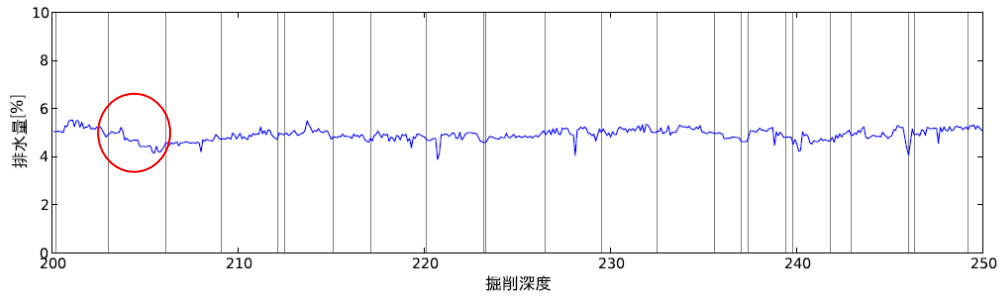
図 9.2.2-17 は HCD-1 孔の逸水箇所を含む区間の泥水検層データを示したものである。ただし、HCD-1 孔では泥水検層の生データが得られないため、これらは掘削長 10cm 間隔で深度サンプリングが行われたデータであり、異常値やノイズの除去処理は実施していない。なお、排水量に関しては、HCD-3 孔と表現方法が異なっていることに注意が必要である。具体的には、泥水の変化を HCD-3 孔では量(L/min)で表されているのに対し HCD-1・2 孔では割合(%)で表されている。

HCD-3 孔で逸水との連動性が示唆された排水量について見ると、HCD-1 では掘削長 317m で発生した逸水に連動する排水量の減少が明瞭に認められ、逸水により泥水がロスしたことが表れている。それ以降の掘削長 350m までの区間では、掘削長 317m より前の区間と比較して大きな変動を繰り返しており、WL-MWD の外圧と同様に逸水の影響によって変動傾向が変化しているものと考えられる。他に、外圧で対応関係が見られた掘削長 205m や同 486m 付近の逸水に関しても、同様に排水量が低下していることが分かった。一方、逸水していない区間における排水量は変動が比較的小さく、排水量も逸水の検知に適した計測項目であると言える。

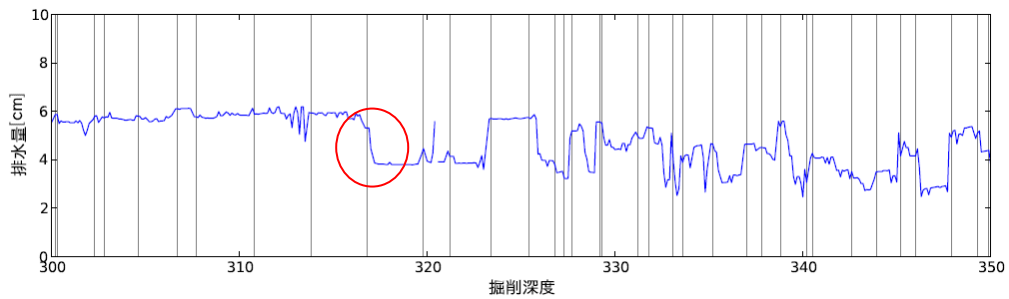
排水量以外の計測項目では、ポンプ圧力は掘削長 317m および同 486m で急激な減少を示しており(図 9.2.2-18)、逸水現象と連動した変動を示している可能性が高いが、他の要因によっても変動しており、逸水の判断指標としては排水量のほうが適していると考えられる。

泥水温度(図 9.2.2-19)に関しては、送水温度は掘削区間によって上昇したり、下降したりするため、傾向の変化を評価するのが難しい。それに対し、排水温度は送水温度に比べて温度変化が小さく、送水温度が上昇している区間で排水温度は低下している箇所も見られる。よって、HCD-1・2 孔井では排水温度に対する送水温度の影響が小さいことが分かる。また、逸水箇所である掘削長 317m 付近では排水温度が低下しており、逸水に関連した変動と考えられる。通常は逸水に伴い、泥水を追加したことで排水温度が低下につながったと考えることができるが、同深度で送水温度はそれほど低下していないため、泥水の追加による温度低下では説明ができない。

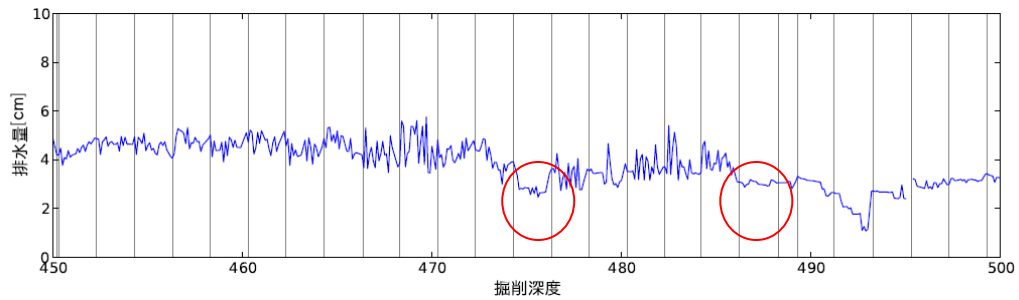
これを踏まえると、逸水箇所での排水温度の低下は逸水による直接的な影響を示している可能性がある。



(a) 掘削長 200m～250m



(b) 掘削長 300m～350m



(c) 掘削長 450m～500m

図 9.2.2-17 逸水箇所周辺での泥水検層排水量データの挙動(HCD-1 孔井)

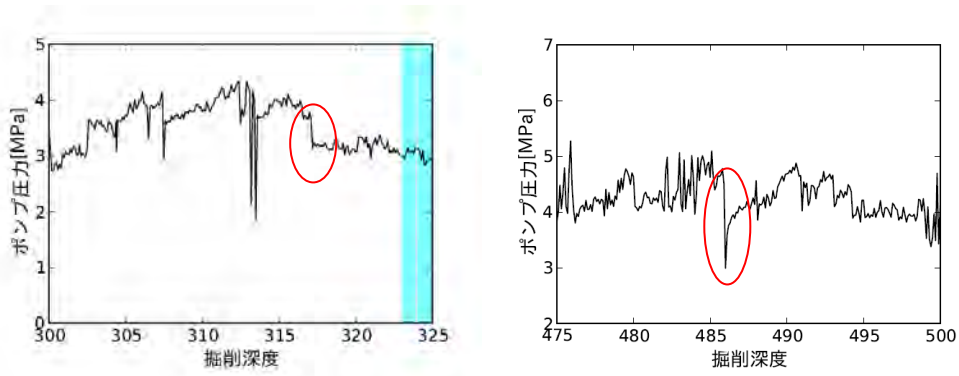
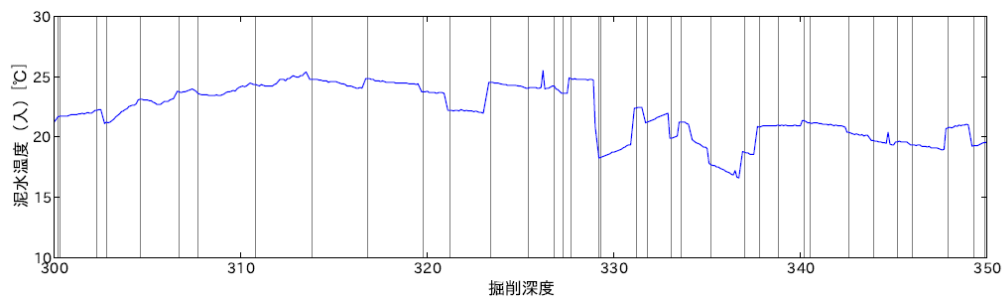
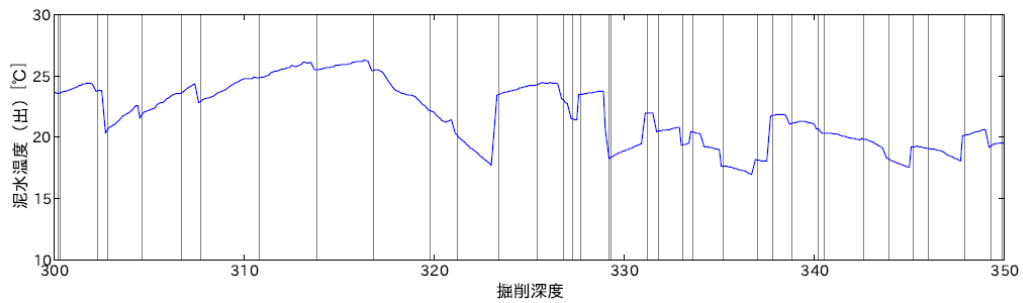


図 9.2.2-18 逸水箇所でのポンプ圧力の低下の例 (HCD-1 孔井)



(a) 送水温度



(b) 排水温度

図 9.2.2-19 逸水箇所での泥水温度の挙動(掘削長 300m~350m)

9.2.3 掘削データの活用可能性評価

9.2.3.1 逸水の判断に有用な掘削データ

ここでは、掘削データに基づいて逸水発生を判断する際に、有効な計測項目について述べる。

(1) 外圧

WL-MWDの外圧データは、HCD-1・2孔井で確認されている複数の逸水箇所では明瞭に低下していることが確認された。また、逸水のない区間では外圧の変動は小さく、逸水に伴う圧力低下を容易に把握することができた。したがって、WL-MWDの外圧は逸水を判断するための指標として有効である。一方、HCD-3孔井については、生データからも顕著な外圧低下は確認できず、規模の小さい逸水については外圧から検出するのは難しい。また、HCD-3孔全体で外圧挙動を見ると、掘削長600m付近では変動が大きくなっていることが分かる。要因としてはオペレーションにより掘削条件が変化したためと考えられるが、このような条件下では、仮にHCD-1・2孔と同規模の逸水が生じた場合でも、その検出が困難になる可能性がある。現状の透水採水試験の適用位置選定手順では、WL-MWDの外圧が逸水箇所検出の一つの指標となっているが、今回実施した掘削データの分析でも概ねこれを支持する結果が得られたこととなる。

(2) 排水量

泥水の増減を表す泥水検層の排水量もHCD-1・2孔井の逸水箇所では明瞭な低下傾向を示しており、かつ、非逸水区間では比較的安定した挙動を示すことから、逸水の判断指標として有効であることが確認された。透水採水試験の適用位置選定手順では、外圧に加え、泥水量の増減によっても逸水・湧水を判断することになっているが、計測されるデータとしては排水量がこれに相当し、その有効性が示されたことになる。

HCD-3孔井の一部の逸水区間でも排水量の低下が見られたが、HCD-1・2孔井のデータとは異なり、HCD-3孔井の排水量は絶対量で表されるため、送水量によって値が増減し、逸水の判断が難しくなる。HCD-1・2孔井と同様に泥水の増減を割合で評価できれば、HCD-3孔井でも逸水の判断は容易になると考えられるが、ポンプ流量データを用いて送水量による基準化を行うことでも評価が可能と思われる。また、排水量はWL-MWDの外圧では検知が難しかったHCD-3孔井の逸水を捉えることができたことから、外圧よりも高い検出精度を有していると思われる。

HCD-1・2孔井の逸水区間では今回泥水検層の生データが得られなかったため、深度サンプリング済みデータを分析したが、10cm間隔のサンプリング処理では失われる情報が多く、逸水が生じた際の変動を詳細には分析できていない。したがって、今後、掘削実績を蓄積していく過程で、改めてデータ分析を行い、排水量の挙動を評価することが必要である。

(3) 掘進率

掘進率が逸水の間接的な影響により低下する可能性はあるが、これ以外にも様々な要因(地質条件や掘削条件)により変化するため、掘進率から逸水を判断するのは困難である。しかし、掘進率は掘削が正常に行われているかどうかの指標となることから、補助情報として利用できると考えられる。

(4) 温度

泥水検層で計測される泥水温度はHCD-1・2孔井の逸水箇所では排水温度が低下していることが確認された。これは泥水の追加によるものと考えられたが、排水温度の低下は送水温度の変化の程度よりも大きく、泥水の追加による温度低下では説明ができない。また、排水温度の変動はWL-MWDの外圧データの挙動と類似していることから、排水温度は孔内圧力環境を反映している可能性がある。

一方、HCD-3孔井では送水温度と排水温度とは概ね同じ挙動を示している。また、HCD-3孔井の逸水箇所においても排水温度は低下しているが、同深度で送水温度も低下していることから、こちらは泥水の追加の影響と考えるのが妥当である。

以上から、HCD-1・2孔井とHCD-3孔井では泥水温度の傾向が大きく異なり、逸泥の判断指標としての有効性を一概に議論することはできないが、排水温度がHCD-1・2孔井のような傾向を示すケースでは、WL-MWDの外圧データと同様に有用な監視項目となり得る。

また、WL-MWDの孔内温度とツール内温度は逸水区間において泥水が追加されたことによる温度低下が認められた。これは逸水検知の観点では有用な情報とはならないが、逆に湧水が生じた際には、これを検出するための有効な指標となる。

9.2.3.2 掘削データを活用した逸水予測のための要件

掘削中に外圧や排水量等の掘削データをモニタリングし、掘削トラブルの原因や水理試験の対象となる逸水を予測するためには以下のような要件が挙げられる。

- ① できるだけ早い段階で逸水を予測できること
- ② 逸水、またはその前兆現象をデータから容易に判断できること
- ③ リアルタイムにモニタリングできること

①は逸水対策を早期に実施する上で重要な要件となる。HCD-1・2孔を対象としたデータ分析の結果、外圧、排水量とも逸水が発生した際には、急激に低下するのではなく、徐々に低下していることが確認された。このことから、逸水発生時の即時判断は難しいことが分かった。

したがって、これらのデータに減少傾向が認められた時点で逸水の可能性を想定するのが監視の基本となる。それには可視化された掘削データに基づいてデータ変動の傾向を把握しておくことが必要となるが、加えて、データの傾向変化を何らかの方法により定量的に表現できれば、逸水予測をより高度化できるものと思われる。

②を実現するためには、様々な変動が含まれる掘削データから着目すべき情報のみを抽出し、理解しやすい形式とすることが求められる。したがって、データ解析技術を用いて生データからノイズを取り除き、本来の変動傾向を可視化することが非常に重要となる。今回の検討で実施したカルマンフィルタに基づくノイズ除去法は適切に機能することが確認されたことから、有効な手法と考えられる。

また、掘削データの可視化方法も重要な要素となる。掘削中は一定時間ごとに取得される生データがモニタリング対象となるが、これに加え、深度を基準として可視化することで、データの変動傾向が明確になり、逸水に伴う傾向変化の検出が容易になると考えられる。また、図 9.2.3-1 は、WL-MWD の外圧データについて、コントロール掘削を開始した深度を基準として、垂直深度の増分に伴う圧力を差し引いたものであり、静水圧の影響分を除いた外圧の変化を表現したものである(なお、通常は掘削長とともに圧力損失が増加するため、静水圧の影響を除いても増加傾向は存在する)。このような表現により、HCD-1・2 孔では、逸水による外圧低下を生データから直接評価するよりも明確に確認することができる。

③については、掘削中に逸水の発生を判断する必要があるため、掘削データに対してノイズ除去などのデータ処理を行う場合にはその処理時間が問題となる。今回用いたデータ解析では短時間で計算結果が得られるため、リアルタイム性は維持できると考えられる。ただし、このようなデータ処理を WL-MWD や泥水検層の計測システム内で行うことが不可能な場合には、別途、データ処理のシステムを設置すると共に、計測システムとの間にデータ転送等の仕組みを用意する必要がある。

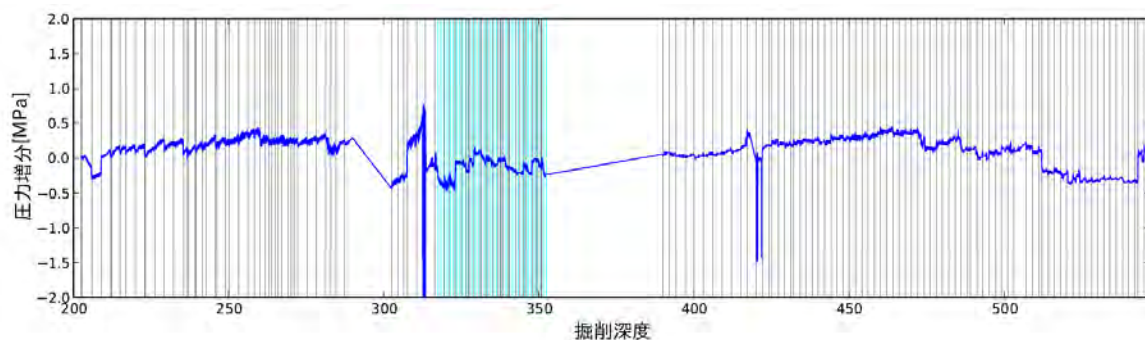


図 9.2.3-1 静水圧の影響を除いた WL-MWD 外圧データ (HCD-1・2 孔井 掘削長 200m~547m)

9.3 掘削・調査手順書

本事業では平成12年度よりコントロール掘削、調査技術に関する技術開発を実施してきており、機器開発とその適用性を検討するための現地での掘削・試験内容について、各年度の受託報告書として取りまとめてきている。これらは各年度のそれぞれの開発項目の詳細な開発状況を中心に取りまとめたものであるが、これまでの個々の開発項目の開発の経緯や、全体システムの開発進展状況を概観することは容易でない。そのために、平成25年度にはこれまでの成果の概要を受託報告書の一部として取りまとめた。

本技術開発に際しては、開発過程を考慮して開発年度を短期間に区切り(3つのフェーズに分割)、それぞれに短期的な目標を定め、これらの目標に到達したか、またその際にどのような課題が抽出されたかを確認している。これらのフェーズ毎には、電中研の総合報告書として、機器開発状況や現地での適用性検討の結果を取りまとめている。

これらの報告書は、技術開発に焦点を当てて記述されており、実際にこれらの技術を運用する際にはこれらの報告書では不十分である。そのため、開発技術の現地適用性検討として実施してきた掘削、調査によって得られた知見に基づき、実運用する際の手順などの基本的な考え方を手順書としてまとめた(巻末資料を参照のこと)。

本手順書は、以下の五つの章より構成される。

- ・第Ⅰ章 はじめに
- ・第Ⅱ章 精密調査地区選定段階の概要調査
- ・第Ⅲ章 概要調査におけるコントロール掘削、調査
- ・第Ⅳ章 掘削・調査の手順
- ・第Ⅴ章 掘削・調査結果の評価

第Ⅰ章では、コントロール掘削・調査の技術開発の目的、目標や本技術の特徴を記述した。第Ⅱ章では、本技術の適用先となる、高レベル放射性廃棄物の処分地選定の第2段階であり、最初の現地調査となる概要調査について記述した。第Ⅲ章では、コントロール掘削、調査技術がその特性を活かして、以下に概要調査に貢献できるかについて記述した。第Ⅳ章は本書の主体となる章で、掘削計画の立案や、掘削や調査を実運用する際の手順について記述した。最終章である第Ⅴ章では、それぞれ取得されたデータの品質評価について記述した。

本事業は高レベル放射性廃棄物の処分地選定を念頭に開発を進めてきたが、掘削・調査のパーツは他の分野における掘削、調査にも適用できる。本書は基本的には概要調査などの掘削、調査計画の立案に資するものであり、このような観点から、本書は対象読者として、実際にサイト選定調査を実施

する技術者や管理者を想定しているものの、他の分野での適用を視野に入れて記述した。

10. 本年度研究成果のまとめ

10.1 コントロール掘削技術の改良

本年度実施したコントロール掘削技術の改良について、検討したサイドトラック掘削手法に関する成果を以下にまとめる。

10.1.1 サイドトラック掘削手法の検討

サイドトラック掘削手法について、セメント充填方法、セメント材料、サイドトラック掘削時の計画孔跡、およびサイドトラック掘削手順を検討し、必要な試作治具として孔内閉塞用パッカプラグを挙げて、実際に試作した。

以下に各検討で得られた成果を述べる。

10.1.1.1 セメントミルク充填方法の検討

緩傾斜～水平傾斜区間を対象として、セメントミルクを任意の対象区間に充填する方法の検討を行い、以下の手作業手順を考案した。

(1) セメントミルク充填による埋め戻し対象区間下部の閉塞方法

- ① 埋め戻し区間下部の閉塞にパッカプラグ(栓)を用いる。
- ② 埋め戻し区間下部まで降下させた閉塞用パッカプラグを地上から送水して拡張させる。
- ③ 閉塞用パッカプラグの設置に用いた小口径ロッド(注入管)と切り離し可能な構造とする。
- ④ 切り離れた注入管を用いてセメントミルク充填材を注入し、作業効率を向上させる。

(2) セメントミルク充填方法

- ① 注入管を用いてセメントミルク充填材を埋め戻し区間に充填する。
- ② 注入管内に残留するセメントミルク充填材を後押し送水により放出する。
- ③ 注入完了後、セメント頂部より注入管を50m程度揚管して、充填材の硬化を待つ。
- ④ 充填材の硬化後、注入管を使用してセメント頂部の位置を確認する。
- ⑤ セメント頂部位置が予定位置に達していることを確認して注入管を引き上げる。

10.1.1.2 セメント材料の検討

セメンチング用充填材として、性能、要求される品質および施工性を検討し、次ページに述べる結果を得た。

- ① 配合選定試験の結果、ベントナイト水溶液中での材齢3日で20N/mm²以上の強度で流動性の高い配合を選定した。
- ② 流動性確認事前試験では、選定した配合の充填材を約200Lのホッパより内径φ40mmの塩ビ管を通し、流下可能であることを確認した。
- ③ 5分フローの経時変化を測定した結果、練り上がり後、3時間までは250mm以上であり、3時間の可使用時間を有していることを確認した。
- ④ 流動性確認試験におけるフレッシュ性状および圧縮強度試験の結果、配合選定試験と同様、かつ目標とする品質を満たす材料であることを確認した。
- ⑤ 水中ポンプによる圧送性を確認した結果、圧送は困難との結論を得た。
- ⑥ ホッパによる打設では、自然流下による作業が可能であるが、配管長が長くなるにつれて流動性が低下するため、流動性向上のための補助機材の使用が不可避との結果を得た。
- ⑦ ベントナイト水溶液中への打設では、自然流下により約140mmの打設が可能であった。また、打設後の状況ではセルフレベルリング性を有していた。しかし、ベントナイト水溶液に接している部分に関しては、5mm程度の堆積物および脆弱層が生じた。
- ⑧ ポンプを用いた水平方向の圧送では、長さ54mの配管長でも十分圧送が可能であった。また、圧送量低下を比例計算した場合、長さ300m程度の水平配管長を1m³/hで圧送可能であると確認できた。
- ⑨ φ75mm塩ビ管を水で満たした状態の打設では、初期に濁りが認められたが、打設の進行に伴い十分に打設可能であることが確認できた。
- ⑩ φ125mm塩ビ管をベントナイト水溶液で満たした状態での打設は、水中打設と比べ流動速度が遅くなるとともに、充填不足となる部位が認められた。充填不足に関しては打設速度や機材配置の影響が考えられ、現地施工法により改善できると思われる。

10.1.1.3 サイドトラック掘削による計画孔跡の検討

本年度のサイドトラック掘削技術の現地適用性評価試験においては、埋め戻し方法の検討結果などから、開始位置を掘削長648m地点と仮定して、計画孔跡の検討を行った。本検討では、掘削方法についての条件整理、平成23年度に実施したジャイロ測定結果を基にした計画軌跡座標の算出を行った。

(1) サイドトラック掘削作業計画

掘削に用いるコアチューブ先端のコアビット種類をコアリング用からノンコアリング用の全断面ビットに変更した場合の掘削能率増加を検討し、掘削作業手順として次ページに述べる作業計画を立案した。

- ① サイドトラック掘削開始直後は埋め戻し効果確認のためコアリング掘削を実施
- ② セメンチング区間から地山に孔心が逸れた段階でノンコアリング掘削を実施
- ③ 掘削長 660m 以深は孔内応力試験装置による水圧破碎試験実施可否判断のためコアリング掘削を実施

(2) サイドトラック掘削の孔跡軌跡計画

軌跡計画は、平成 23 年度に実施したジャイロ測定結果の軌跡座標を用いて設定を行い、掘削長 648m 地点から既存孔井の下方に分岐する計画を作成し、以下の掘削軌跡計画を立案した。

- ① サイドトラック掘削長 648.0m～651.0m：沿角コアリング掘削
- ② サイドトラック掘削長 651.0m～660.0m：沿角ノンコアリング掘削
- ③ サイドトラック掘削長 660.0m～675.0m：沿角コアリング掘削
- ④ サイドトラック掘削長 675.0m～700.0m：1° /10m 増角コアリング掘削

10.1.1.4 サイドトラック掘削手順の検討

サイドトラック掘削手順の検討として、現地適用性評価試験における実作業時における必要な施工方法を検討し、以下の作業手順を計画した。

- ① 孔内閉塞用パッカプラグ(栓)設置のための保護管(NL140 ロッド)降管
- ② 孔内閉塞用パッカプラグ・セメンチング用小口径ロッド(BQ ロッド)降管
- ③ パッカプラグの設置、小口径ロッドとの切り離し
- ③ セメントミルク充填材注入、既存孔井の一部区間埋め戻し
- ④ 埋め戻し頂部位置の確認
- ⑤ セメンチング用小口径ロッド(BQ ロッド)全揚管
- ⑥ 保護管(NL140 ロッド)全揚管
- ⑦ セメント端面成形のため、シュービット・NL140 ロッド降管
- ⑧ 埋め戻し区間上部端面成形
- ⑨ シュービット・NL140 ロッド全揚管
- ⑩ 掘削用アウトパイプ・NL140 ロッド降管
- ⑪ 掘削ツールズ組立、ワイヤライン作業(ツールズ降管)
- ⑫ サイドトラック掘削(コアリング掘削)による埋め戻し区間からの偏心状況の確認
- ⑬ サイドトラック掘削(ノンコアリング掘削)による掘削効率の向上(WL 作業の省略)
- ⑭ サイドトラック掘削(コアリング掘削)による試験実施区間の選定

10.1.1.5 サイドトラック掘削に使用する治具の試作

サイドトラック掘削に使用する治具として、孔内閉塞用パッカプラグと同パッカプラグの切り離し用治具を試作し、事前の地上試験を通じて以下の知見を得た。

- ① 注水加圧 1.6MPa で ϕ 152mm の外径に拡張することを確認した
- ② ”テンションピン” による切り離し荷重が 500kgf であることを確認した
- ③ ”左ネジ” 構造により、非常時に切り離しを行う際に必要なトルクは約 18kgf-m であることを確認した。

10.2 孔内計測技術の改良

10.2.1 透水試験・採水・イメージング装置

試験対象の絞り込みを可能にし、効率的な採水を実現するため、従来のシングルパッカーに替ってダブルパッカを改良製作し、室内においてその拡張性能を確認した。ケミカルユニットのうち分光光度計のキャリブレーションカーブを作成し、分光光度計およびケミカルセンサの動作を室内において確認した。また、ダブルパッカの改良製作に伴い、透水試験・採水・イメージング装置の制御に用いるソフトウェアの改良を行なった。

10.2.2 孔内応力試験装置

10.2.2.1 孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための地上試験

(1) ウインチケーブルスリップリング-ケーブルヘッドの接続と通信確認

孔内応力試験装置専用のアーマードケーブルの孔内側となる端末にはケーブルヘッドを接続し、地上部側となる端末には、中継ボックスおよびスリップリングの配線を行い、孔内応力試験装置と地上部計測機器との間で通信が可能になるように結線、接続作業を行い、その後に通信試験を実施した。

その結果、結線、接続作業は順調に実施することが出来、孔内応力試験装置と地上部計測機器との通信も問題なく行えることが確認できた。

表 10.2.2-1 に通信確認結果一覧を示す。

表 10.2.2-1 通信確認結果一覧

項目	作業・試験内容	結果
ウインチケーブル・スリッピングケーブルヘッドの接続	孔内側ケーブル 端末処理	専用アーマードケーブルの孔内側端末に ケーブルヘッドを取付た。
	地上部 側中継ボックス取付	専用アーマードケーブルのウインチドラムに 地上装置へ配線するための光変換器収納ボックス および光ファイバケーブルの中継ボックスを設置した。
	地上部側 ケーブル端末処理	専用アーマードケーブルの地上部側端末に スリッピング経由で結線を行い、地上部装置と パネルコネクタで連結できるようにした。
通信確認	通電試験	専用アーマードケーブルの地上部側と孔内側の端末処理 実施後に AC100V および AC200V の通電試験を地上部側と 孔内側が通電していることを確認した。
	通信試験	地上部側計測 PC と孔内計測機器の間で RS485 を使った 通信が出来たことを確認した。
	カメラ映像試験	地上部側計測機器で孔内カメラ (8 台) の映像が モニター出来ることを確認した。
	AE 信号試験	地上部側計測機器で AE センサ周辺を打撃すると波形が モニター出来ることを確認した。

(2) 型どりパッカの機能検証

型どりパッカの亀裂痕は、型どり実施後 2 日経過しても亀裂痕を確認することが出来た。ただし、型どり試験後出来るだけ早くパッカを回収できるようにしたほうが、亀裂痕の確認にはより有利である。

したがって、試験後に出来るだけ早く型どりパッカが回収できる現場作業スケジュールを組むようにすることが望ましい。

(3) ケーブルヘッド・ウィークポイント切断荷重検証

ウィークポイント切断荷重として設定した 30kN となる、最適なボルト仕様を検証するために、ボルト破断試験を実施した。

その結果、破断荷重 30kN にもっとも近い値を示したボルトの組み合わせは、M4 10mm 長ボルトを 4 本使用した場合で、最大荷重は 30.3kN であった。従って、ウィークポイント部分には M4 の 10mm 長ボルトを 4 本使用することとした。

(4) ウィークポイント分離箇所耐圧検証

ケーブルヘッド用の鋼管 (外径 φ 114mm) を耐圧試験用鋼管 (内径 φ 125mm) 内に挿入し、ウィークポイント部の耐圧性検証を実施した。耐圧試験用鋼管内を水圧で 5MPa まで手動ポンプを用いて加圧し、その後約 1 時間程度子の圧力を保持した。耐圧試験時にはケーブルヘッド鋼管内に漏水感知センサを設置し、水漏れ発生の有無を監視した。

試験時間の間にセンサが反応することは無かった。また、5MPa の圧力を 1 時間保持した後、ケーブルヘッド鋼管内を目視で観察したが、水滴等を検出することは無かった。

以上のことよりウィークポイント分離箇所は耐圧性を有することを確認した。

(5) ラッチシステムの通水機能検証

NL140 ロッドのラッチケース先端シューに接触する孔内応力試験装置のラッチシステム先端部に通水用の溝を加工した。

その結果、ラッチシュー先端に接触した際にこの溝を通して鋼管内の水が、裸孔部分へ通水することを確認した。

10.2.2.2 現地適用性評価試験のための我孫子地区における鋼管試験

検証試験の結果全ての項目で機能が満足するものであることが確認し、幌延現地試験の適用性があると判断した。

表 10.2.2-2 に鋼管試験検証結果一覧を示す。

表 10.2.2-2 鋼管試験検証結果一覧

項目	検証結果
試験装置の組立・解体	分割した装置を架台に搭載して孔底側から装置を順に組立および解体を行う手順を確認できた
送り込み装置の機能検証	NL140 ロッド内において泥水による送り込みで、装置が鋼管内を推進することを確認した。
型どりパッカの機能検証	鋼管内を泥水で推進した試験装置から回収した型どりパッカに損傷が無いことを確認した。
ラッチシステム機能検証	アウターパイプ内ラッチ溝への試験装置ラッチシステムによる固定と解除の動作を確認した。

(1) 試験装置の組立・解体

試験装置の組立は、幌延の試験サイトにおける現地適用性評価試験を想定して、孔底側からケーブルヘッド側へ順次連結することに問題が無いことを確認できた。配線については各機能毎に通信線、電源線にそれぞれ異なる形状のプラスチックコネクタを取付、カメラおよび AE 信号線にも異なる同軸ケーブルと同軸コネクタを使い連結時の配線ミスを起こさないように工夫するとともに簡単に接続出来るように改良を行った。また、試験装置を収納する鋼管のジョイント金具改良を行ったことで昨年度より作業性が向上した。

装置解体は、組立手順とは反対に、装置のヘッド側から孔底側の装置へと順に行い、問題ないことを確認した。解体作業も同様に昨年度より作業性が向上した。

(2) 送り込み装置の機能検証

NL140 ロッド、ラッチ溝付きのアウタパイプを地上の架台の上に水平に連結し、その先端部には孔径φ100mmの試験孔を模擬した鋼管を5m連結した。鋼管の全長は52.5mとした。試験装置の送り込みには実際に幌延の試験サイトにて使用している掘削用泥水と同様の泥水を作成して、これを使用した。

水平孔で推進のための送水流量は約200L/分、送水圧は約0.2~0.4MPa、装置の推進速度は5~6m/分であった。

(3) 型どりパッカの機能検証

型どりパッカを連結した試験装置を、NL140 ロッド鋼管内に挿入して掘削用泥水を使った送り込み試験を実施した。

その結果、型どりパッカ回収時には、熱収縮ゴムチューブ表面には鋼管内の掘削用泥水や油が付着した状態であったが、清水やアルコール等を用いて洗浄することで、汚れは消えて、ほぼ試験前の状態近くまで回復することが分かった。

また、懸念された損傷も見あらず、型どりパッカが有効に機能することを確認出来た。

(4) ラッチシステムの機能検証

試験装置がNL140 ロッド内を推進して、ラッチが固定されることを確認した。固定された装置は、先端部から約700kgfの荷重で押し込んでも解除されなかったことを確認した。

また、ラッチの解除は最大442kgfの荷重を要した。

10.2.2.3 孔内応力試験装置の成果

孔内応力試験装置専用のアーマードケーブルのケーブルウィンチに対して、孔底側のケーブル端末には光変換器、電源供給装置を内蔵した試作したケーブルヘッドを連結し、地上部側のケーブル端末には、スリプリングを介した常時計測可能な配線とウィンチドラムの側面に光変換器および光ファイバークーブル中継ボックスを設置して、地上部計測機器との接続を行った。そして、これらの接続確認のために孔内応力試験装置を接続して、通信確認を行った。

その結果、アーマードケーブルを介した孔内応力試験装置と地上部計測機器との通信は特に問題はなかった。

したがって、孔内応力試験装置の専用アーマードケーブルを接続して計測制御が実施できることを確認することが出来た。

幌延試験サイトにおける現地適用性評価試験前に、我孫子地区における鋼管試験で、試験装置の組立、解体手順の角に、送り込み装置の機能検証、型どりパッカの機能検証、ラッチシステムの機能検証を実施した。

鋼管試験時には幌延での試験装置の組立、解体の手順を想定して作業を実施した。電源線、信号線の接続にはプラスチックコネクタや同軸コネクタを使用して作業性の向上を図った。また、試験装置鋼管の連結にもジョイント金具を改良した。

その結果、昨年度より連結作業の効率が向上したことを確認した。

送り込み試験では、幌延現地試験で使用している掘削用泥水と同様の泥水を作成し、現地使用のNL140 ロッドと同ロッド先端部に当たるアウトパイプを地上で水平に 52.5m の長さまで連結して、この鋼管内に試験装置を挿入して作成した掘削用泥水で送り込みを行った。

その結果、試験装置は約 200L/min の送泥量で送泥圧 0.2～0.4MPa で鋼管内を推進し、現地適用性があることを確認した。その際の推進速度は約 5m/min であった。幌延現地送り込みの際の送泥パラメータを得ることが出来た。

型どりパッカは、水圧破碎試験前と試験後の孔壁面を確認するもので、試験装置の下部パッカに熱収縮ゴムチューブを被せて使用する。試験装置が試験孔の鋼管内および裸孔部を推進して試験深度に達するまでにこの熱収縮ゴムを被せた型どりパッカ部分が擦れて摩耗することが懸念された。そこで、パッカの改良を行い、パッカ先端金具部の外径を $\phi 98\text{mm}$ と大きくし、パッカ部分の外径を $\phi 90\text{mm}$ 、パッカ長は 50cm の長さに改良した。この改良パッカを装置に連結して、送り込み試験時に摩耗状況の確認も実施した。その結果、2 日間鋼管内の泥水に留置した状況で、送り込み試験を実施した状況から回収した型どりパッカ部分は、泥水、油による汚れは見られたが、洗浄後の熱収縮ゴムには損傷や目立った擦れは見られなかった。これより型どりパッカを現地で使用しても問題ないことを確認することが出来た。

ラッチシステムの機能検証では、送り込み試験で NL140 ロッドのラッチ先端シューに装置を接触させてラッチの固定、解除を繰り返し実施した。固定確認は装置先端のパッカー部をケーブルヘッド側に押し込みラッチが解除されないことを確認した。また、その際の荷重を計測し、装置の重量以上の荷重で押し込んでも解除されないことを確認した。ラッチの解除確認は、ラッチ固定確認後にケーブルヘッド側から装置を引っ張り、装置が引き抜かれることを確認した。その際の引き抜き荷重は、ケーブルヘッドウィークポイント切断荷重より十分に小さく現地適用性に問題ないことを確認した。

10.3 物理探査技術の開発

平成 22 年度、23 年度および今年度取得されたトモグラフィデータを用いて、HCD-3 孔井周辺の P 波速度構造を求めた。またその速度構造を用いて、平成 17 年度に取得した反射法データ Line1 の再解析を行った。MDRS 処理の適用により、既存処理とくらべて、高精度でより地質解釈が容易な反射断面を得ることができた。本年度の作業により、今後のコントロールボーリング孔井にて実施する弾性波トモグラフィ調査の一連の実施フローを示すことができたと考える。

- ① コントロールボーリング孔井に多連の受振器を設置し、地表での発振により地表－孔井間トモグラフィデータを取得する。
- ② 現地の制約により、十分な密度で地表－孔井間トモグラフィデータが取得できなかった場合、地表発振－地表受振の屈折法地震探査のような補完データの取得も検討する。
- ③ トモグラフィデータの解析により、反射法地震探査で得られている速度情報を更新し、より精度の高い速度プロファイルを作成する。
- ④ より精度の高い速度プロファイルを参照速度とし、MDRS 法を採用した反射法地震探査データの再解析を実施する。

10.4 現地適用性評価

本年度のHCD-3孔で実施する現地適用性評価試験は、サイドトラック掘削による既存孔井からの分岐掘削を主な対象とした。サイドトラック掘削による分岐掘削した新規孔井においては、孔内応力試験装置による水圧破碎試験を実施するための試験区間の選定および試験孔井の拡孔作業を行った。

孔内試験装置の現地適用については、透水試験・採水・イメージング装置と孔内応力試験装置について行い、孔内応力試験装置は選定した試験区間での水圧破碎を目指した。透水試験・採水・イメージング装置は、平成18年度に測定して透水性が高い区間と判断されている箇所へ、新規に開発したダブルパッカを用いて適用性を評価することを目標とした。

孔内モニタリングシステムの設置作業は、これまでに検討した一連の設置作業をHCD-3孔に適用させて、来年度以降の長期モニタリングを実施することを目標とした。

各作業に先立ち、試錐機などの地上設備のメンテナンスおよび点検を実施し、現地作業に対する準備を行なった。さらに、平成24年度の現地適用性評価試験の終了後より、養生期間としていた孔井内の状況確認のために、NL140ロッドを降下させ試験の実施に対して問題がないことを確認した。

10.4.1 孔内状況の確認

10.4.1.1 現地適用性評価試験開始前の孔内状況確認

幌延試験サイトへの乗込み後、機器関連のメンテナンスなどを実施して、試運転による動作確認を行い、準備作業として孔内状況確認作業を実施した。孔井内状況確認は、NL140ロッド降下中の30m毎に試錐機で停止状態のNL140ロッドを引揚げるために必要な初動フィード力を計測することで、孔壁との摩擦抵抗の有無を判断して行なった。孔内状況確認時は、NL140ロッド先端にφ152mmに加工したコンポジットシュービットを取り付けた。

孔内状況確認作業により、以下の状況を確認した。

- ① 本年度の孔内状況確認作業においてビット荷重が減少傾向を示し、送泥作業を要した地点は4箇所確認され、それら区間に対して孔内洗浄を実施することで、抵抗の原因は排除できた。
- ② 送泥による洗浄作業中はマッドロギングシステムでの測定を行い、取得したパラメータにより、それぞれの区間でトルクおよび回転数が改善し、孔井内状況を改善できたことを確認できた。
- ③ 孔内洗浄は、掘削長430m～700mまでの区間で孔内抵抗を確認した4箇所に加え、孔内閉塞用パッカプラグの設置箇所となる掘削長751m付近においても実施した。

- ④ 孔内状況確認作業の結果、孔内洗浄の実施により孔内抵抗は排除できたことから、リーミングを必要とする箇所は確認されず、孔内応力試験装置による現地適用試験の実施に問題がないことを確認し孔内状況確認を終了した。

10.4.1.2 孔径検層(キャリパ検層)

孔内モニタリングシステムを構成する部材のうち、ダブルパッカから構成される合計3箇所のモニタリング区間がコントロールボーリング孔井内に設けられる計画であるため、ダブルパッカ拡張区間の孔壁状況(孔径)を把握する事を目的として、孔径(キャリパ)検層を行った。

- (1) 区間①：掘削長 204.80m～掘削長 232.76m間

キャリパ-X は 156.12mm～202.20mm、キャリパ-Y は 157.63mm～193.17mm の範囲であり、掘削孔径φ152mm に対して 1.03～1.33 倍まで孔径拡大していた。

- (2) 区間②：掘削長 299.80m～掘削長 341.62m間

キャリパ-X は 148.28mm～227.16mm、キャリパ-Y は 156.84mm～252.76mm の範囲であり、掘削孔径φ152mm に対して最大 1.66 倍まで孔径が拡大していた。

- (3) 区間③：掘削長 413.80m～掘削長 450.08m間

キャリパ-X は 149.84mm～206.56mm、キャリパ-Y は 164.78mm～229.47mm の範囲であり、掘削孔径φ152mm に対して最大 1.51 倍まで孔径が拡大していた。

- (4) 追加区間A：掘削長 353.95m～掘削長 391.80m間

キャリパ-X は 164.09mm～256.54mm、キャリパ-Y は 144.04mm～257.88mm の範囲であり、掘削孔径φ152mm に対して最大 1.70 倍まで孔径が拡大していた。検層結果では、キャリパ-Y に対してキャリパ-X の値が 1.2 倍程度大きく計測されていることから、掘削孔径が楕円形の形状をしていることが考えられた。

- (5) 追加区間B：掘削長 230.80m～掘削長 300.00m間

キャリパ-X は 159.63mm～291.20mm、キャリパ-Y は 155.70mm～309.18mm の範囲であり、掘削孔径φ152mm に対して最大 2.03 倍まで孔径が拡大していた。

10.4.2 サイドトラック掘削

サイドトラック掘削技術の現地適用性評価試験として、既存の掘削装置や地上設備を使用して、昨年度までに掘削済みの既存孔井の一部区間を埋め戻した後に、実際に分岐した新規孔井を掘削した。

10.4.2.1 既存孔閉塞用パッカプラグの設置

以下にパッカプラグ設置作業の成果を示す。

- (1) 孔内閉塞用パッカプラグ設置のための保護管(NL140 ロッド)降管
 - ① 孔内閉塞用パッカプラグの降管時に孔壁と接触して損傷することを避けるため、掘削長 600.80m 地点まで NL140 ロッドを保護管として降管挿入した。
 - ② 保護管の先端には NL140 ロッドのブランクシュー(長さ 0.30m)を取り付け、先端周縁部にはコンポジットを溶着し、降下時における崩壊物等の浚渫を可能とした。
 - ③ 孔内閉塞用パッカプラグの設置に用いる BQ ロッドの保持のため、口元立上り管を 8"管から 16"管へサイズ変更した。
 - ④ 保護管頭部に NL140 ロッドの外テーパ管・スタビライザ管を接続し、落下防止を施した。
- (2) 孔内閉塞用パッカプラグとセメントミルク打設用BQロッド降管
 - ① 孔内閉塞用パッカプラグをセメントミルク打設用の BQ ロッドに接続して降管した。
 - ② 降管作業は BQ ロッドを 250 本接続し、接続 10 本毎に BQ ロッド管内へ清水を補水することで浮力を抑えるように対処した。
 - ③ 降管作業は、孔内閉塞用パッカプラグの先端位置が掘削長 750.60m 地点であることを残尺検尺により確認して終了した。
- (3) 孔内閉塞用パッカプラグの設置と切り離し
 - ① 降管した BQ ロッド頭部に孔内閉塞用パッカプラグ加圧用の配管を取り付け、同パッカプラグの拡張作業を開始した。
 - ② 注水加圧は試錐ポンプを用いて行い、3.0MPa まで加圧した段階で注水を停止し、BQ ロッドを上下動させることで、パッカプラグが孔壁に密着固定されていることを確認した。
 - ③ 孔内閉塞用パッカプラグと BQ ロッドの切り離し作業では、試錐機のフィードを用いて BQ ロッドを引き上げることで、荷重量の計測から約 550kgf の引っ張り力によってテンションピンが切断されたことを確認した。
 - ④ テンションピン切断後の状況確認として、BQ ロッド先端の開放によって BQ ロッド管内の水位が低下することを確認した。

10.4.2.2 セメントミルク充填材注入

以下にセメントミルク充填材の注入作業による知見を述べる。

(1) モルタルポンプでの注入作業

- ① セメントミルク充填材の練上げ開始 6 分経過後にモルタルポンプによる注入を開始した。
- ② 注入開始直後の注入速度は 15.0L/分で安定し、練上げ速度 18.3L/分以下であったことから、モルタルポンプでの注入を継続して実施した。
- ③ 注入速度は 57 分後に 14.4L/分、78 分後に 13.8L/分、93 分後に 13.2L/分に低下し、練上げ開始 93 分後に注入管(BQ ロッド)の先端から充填材が埋め戻し区間へ吐出したと判断した。
- ④ 注入速度は経過時間により低下したが、108 分後に 12.0L/分、120 分後に 10.5 L/分、135 分後に 9.0 L/分まで低下し、150 分後に全量を BQ ロッド管内へ圧送完了した。
- ⑤ BQ ロッド管内への圧送終了後、後押しプラグを投入し、198 分後に試錐ポンプを用いた後押し水の送水を開始したが、送水直後にポンプ圧力が上昇し、送水不能な状態となった。
- ⑥ 練上げ開始から 396 分後、後押し水を 614L 分を送水した段階で、送水圧力が 60ksc まで増加したため、BQ ロッド管内に約 580L の充填材が残留した段階で後押し送水を中止し、BQ ロッド先端を掘削長 600m 地点まで引き上げて、埋め戻し作業を終了した。

(2) 硬化したセメント頂部位置の確認

- ① セメントミルク充填材の注入が終了し、硬化したセメント頂部位置を確認するため、注入翌日に BQ ロッドの降管作業を行い、BQ ロッドの残尺確認により、セメント頂部位置は掘削長 645.29m と確認した。
- ② 上記①によるセメント頂部確認後、NL140 ロッドの降管作業により硬化したセメント頂部位置の再確認を実施した結果、掘削長 644.68m にてセメント頂部を確認した。
- ③ 当初計画であった掘削長 650m 地点より浅所まで硬化セメントが立ち上がっていることを確認したためセメントミルク充填材による埋め戻し作業を終了した。

(3) BQロッドとNL140 ロッドの全揚管

- ① セメントミルク充填材の注入に使用した BQ ロッドの揚管作業において、BQ ロッド管内状況を確認しながら揚管作業を行った結果、BQ ロッド総数 216 本中 117 本分の管内に硬化したセメントミルク充填材の残留を確認した。
- ② BQ ロッド管内容量 117 本分はセメントミルク充填材の 582L 分に相当し、試錐ポンプに

よる後押し送水によって後押しできなかった数量と一致することが判明した。

(4) 端面成形作業

サイドトラック掘削を実施するために、硬化したセメント頂部の成形作業として、φ152mm コンポジットシュービットを孔井内に降下して、リーミング作業を実施した。

- ① φ152mm コンポジットシュービットを用いた孔内洗浄時には、掘削長 637.5m～掘削長 641.0m 間に大きな抵抗や残留物等は確認されなかった。
- ② 洗浄終了後、引き続きコンポジットシュービットを降下させ、硬化したセメント頂部位置の再確認を行った結果、掘削長 644.68m にて頂部を確認した。
- ③ 端面成形のためのリーミング作業は掘削長 640m 地点より開始し、マッドロギングパラメータにより掘削長 644.7m 付近からビット荷重が増加し始めたことから、シュービットが硬化セメント頂部位置に到達したと判断した。
- ④ 端面成形のためのリーミング作業で、コンポジットシュービットが全断面に到達したと考えられる掘削長 645.3m 地点は硬化セメント頂部位置である掘削長 644.7m から 0.6m 下方であるが、当該位置における孔井の傾斜角度が 78° であり、推定されるセメント頂部の水平方向の長さが約 0.7cm 程度と算出されるため、セメント頂部位置とほぼ一致する結果と考えられる。

10.4.2.3 サイドトラック掘削作業

サイドトラック掘削は平成 25 年 12 月 1 日～12 月 6 日の期間に、掘削長 648.00m～掘削長 663.65m の間で実施した。掘削区間別のコアリング、ノンコアリング掘削別の内訳は、以下のとおりとなった。

- ・ 区間 1(コアリング掘削) : 掘削長 648.00m～掘削長 653.80m
- ・ 区間 2(ノンコアリング掘削) : 掘削長 653.80m～掘削長 656.00m
- ・ 区間 3(コアリング掘削) : 掘削長 656.00m～掘削長 663.65m

以下に各区間の掘削作業状況により得られた成果を示す。

(1) 区間 1

- ① 最初のコアリング実施区間である掘削長 648.00m～掘削長 651.00m で採取したボーリングコアではセメントは確認できず、全て稚内層の泥岩コアが回収された。
- ② コアビットのみで掘削を行っている掘削長 648.00m～掘削長 651.60m 間までと比べ、掘削長 651.60m 以降ではビット荷重とトルクの値が大きくなり、方位と傾斜のばらつき具合

も、同掘削長以深では安定したため、既存孔井からの分岐掘削が行えていると判断した。

(2) 区間 2

- ① 掘削状況では、想定した掘削能率を得ることができず、掘削速度がコアリング掘削で得られた 0.5~0.6m/h より悪化したため、ノンコアリング掘削作業は掘削長 656.00m 地点で中止とした。
- ② 当該区間の掘削では、ビット荷重が 500kgf 程度増加し、孔井の傾斜は WL-MWD が新規掘削した分岐孔井に近づいた掘削長 655.4m 付近より 78.8° 前後を維持したことから、サイドトラック掘削が沿角で掘削されていると判断した。

(3) 区間 3

- ① 掘削長 656.0m 地点からコアリング掘削を再開し、採取したボーリングコアの割れ目の確認を通じて、孔内応力試験装置による水圧破碎試験実施に資する情報提供を行った。
- ② 掘削状況は、ダウンホールモータのベント角度は 0.39° とし、掘削時のツールフェイス角度を 180° ~195° の範囲となるように設定した。
- ③ 掘削長 659.00m~掘削長 662.0m 間において、ビット荷重が高い値を示し、掘進速度も前後区間と比較して 0.1~0.2m/h 程度低下したことから、コアビットに問題が生じている可能性が想定された。このため、掘削ツールスを回収してコアビットの点検を行った結果、ビットを構成するダイヤモンドのうち、外周部のチップが欠けている箇所を複数箇所確認したため、コアビットを交換した結果、掘削状況は改善した。
- ④ 孔井傾斜と方位の値については、ほぼ同じ値を維持して掘削できたことから、サイドトラック掘削による沿角掘削が得られていると判断した。

(4) 孔跡軌跡実績

- ① WL-MWD の計測結果では、サイドトラック掘削を実施した掘削長 648.0m~掘削長 663.6m の区間で、ほぼ沿角の傾斜角度で分岐孔井を掘削した。
- ② 既存孔井との乖離距離は、掘削長 651.0m 地点で掘削孔径程度 ($\phi 152\text{mm}$) の乖離距離となり、掘削長 663.6m 地点で 0.90m と孔径の約 6 倍の乖離距離となった。
- ③ ジャイロ計測は掘削長 654.6m までを測定し、WL-MWD で得た傾斜角度同様に、ほぼ沿角での掘削ができていたことが確認できた。乖離距離は掘削長 654.6m 地点で 0.28m であった。

10.4.2.4 孔内応力試験装置による水圧破碎試験実施のための試験区間拡孔

サイドトラック掘削により採取されたボーリングコアの亀裂状況を把握した上で、孔内応力試験装置による水圧破碎試験の実施可否判断を行い、試験実施が可能と判断された時点で、試験区間の形成

作業としてφ89mmのコアリング孔をφ100mmへと拡孔作業を行った。

- ① 試験区間の選定が終了した時点で、コアリング孔(φ89mm)の拡孔作業(φ100mm)を行った。
- ② 拡孔作業はコア孔入り口から、水圧破碎試験実施時の先端位置となる掘削長662.845mよりも25cm程度孔底側となる掘削長663.100mまで行った。
- ③ 拡孔作業では、既存のコア孔に沿う形で拡孔掘削を行える”パイロッドガイド”を取り付けた専用ビットを新たに製作、用いることで試験孔を形成することができた。

10.4.3 孔内透水試験・採水

上幌延現地適用サイトのHCD-3において透水試験・採水・イメージング装置を用いた原位置試験を実施し、適用性の検討を行った。試験区間として、掘進長 208.5～209.7m を対象とした。改良製作したダブルパッカを適用して水理試験を行なった結果、圧力測定データからパッカによる止水性を確認し、ダブルパッカの適用性を確認した。

水理試験の結果、間隙水圧は平成 18 年度測定時よりも 5m 程度高く、ほぼ静水圧であった。また、透水試験の結果、平成 18 年度測定時よりも透水係数が 100 分の 1 程度となっていた。これらのことから、7 年間で割れ目の透水性が低下していることが明らかとなった。

総揚水量 73L の揚水を実施し、デッドボリュームの約 4 倍揚水した後採水を行なった。採水中の水質モニタリングの結果から、平成 18 年度測定時と同等の水質であると判断された。これにより、ケミカルユニットの適用性を確認した。

10.4.4 孔内応力測定

10.4.4.1 幌延における孔内応力試験装置の地上での通信機能検証

孔内応力試験装置と同試験装置専用のアーマードケーブルとを接続して、地上部計測装置と孔内計測装置間での通信確認を行った。

表 10.4.4-1 に地上通信機能検証項目を示す。

表 10.4.4-1 地上通信機能検証項目

確認項目	内容	結果
通信	地上部 PC から孔内計測機器の制御、RS485-光ファイバー-RS485 通信、圧力、方位、傾斜、ポンプモータの作動	通信、動作 OK
カメラ	孔内カメラの画像、LED 点灯	確認 OK
AE	AE センサ波形	確認 OK

10.4.4.2 横須賀地区での孔内応力試験装置の現地適用性試験

横須賀現地試験は、試験孔内に水圧を掛けて実施した。現地適用性試験の各検証項目についてはこのように孔内水圧は2つの異なる条件(低水圧(0.5MPa)と幌延450m深度相当(4.5MPa))でそれぞれ試験を実施した。低水圧0.5MPaでは、典型的な水圧破碎データの取得を行い、幌延深度相当の4.5MPaでは高圧下での装置動作の検証を実施した。水圧破碎試験の試験深度は、注水区間深度が5.75m～6.5mで、試験前後の型どり区間深度は6.0m～6.5mである。

(1) 水圧破砕試験位置の試験前孔壁確認

試験前型どり試験は、試験孔内圧 0.5MPa の状況下で実施した。型どり熱収縮ゴムチューブを展開して観察した結果、既存の亀裂痕は見られなかった。

(2) 孔内応力試験装置の機能検証試験

孔内低水圧条件 (0.5MPa) での水圧破砕試験結果の圧力時間曲線から読みとった値の各平均値を用いて平面内応力を算出した結果、最大主応力値 (SH) は 1.3MPa、最小主応力値 (Sh) は 1.0MPa と評価した。

孔内高水圧状況下での試験は、低水圧条件下で作成した亀裂を進展させた可能性が高く、注水による圧力上昇は孔内水圧 4.5MPa にプラス 0.3MPa の上昇が観測された。幌延現地試験相当の高圧条件下で試験装置は作動し圧力、流量データを取得することが出来た。

(3) 水圧破砕試験位置の試験後孔壁確認

水圧破砕試験後の亀裂の型どり結果より、最大主応力の方向は孔口側から見て左側に約 52° 傾いていた。

(4) 平面内応力値の評価

最大主応力値は 1.3MPa で、最小主応力値は 1.0MPa で最大主応力の方向は孔口から見て約 52° 左に落ちる方向であった。

表 10.4.4-2 に水圧破砕試験結果一覧を示す。

表 10.4.4-2 水圧破砕試験結果一覧

試験深度	中心深度	破砕圧	亀裂再開口	亀裂閉口圧	最大主応力	最小主応力	SH 方向 (孔口から見て)
		Pb (MPa)	Pr (MPa)	Ps (MPa)	SH (MPa)	Sh (MPa)	
5.75m~6.5m	6.12m	6.7					
			0.9	1			
			0.8	0.9			
平均値		6.7	0.85	0.95	1.3	1.0	52° 左落ち

(5) 検証結果のまとめ

横須賀地区で実施した現地適用性試験の検証結果を以下に記す。

a. ラッチ機能

先端シューを付けた NL140 ロッドを試験孔に挿入し、試験装置を NL140 ロッドのラッチ溝に固定させて、試験深度まで送り込んだ。そして、孔内に送水して水圧をかけた。孔内加圧したが、試験装置は動かずに静止した状態を保持した。この結果より高圧下でもラッチ固定が機能していることを確認した。ラッチ解除については、各試験後に、試験装置にバンドを掛けてこのバンド

を引っ張り装置が引き出されたことでラッチ解除が機能していることを確認した。

b. 孔内応力試験装置～地上間の通信・制御

試験孔内への加圧前から試験装置と地上部 PC との間で通信を開始して、装置を試験深度まで押し込み、孔内水圧を 4.5MPa まで加圧した後、通信遮断やデータの欠如など無く計測できた。試験前型どり試験、水圧破碎試験、試験後型どり試験で各パラメータ(圧力、流量、方位、傾斜等)の計測とポンプの制御が可能であり試験を実施できたことから高圧下でも通信・制御が機能していることを確認した。

c. 傾斜と軸回転の計測機能

試験深度到達から継続して孔内加圧後まで傾斜、軸回転が正常に計測出来ていて、試験前型どり、水圧破碎試験、試験後型どりでも傾斜計の計測値は 0° を示していることで高圧下でも正常に機能していることを確認した。

d. 水圧破碎の圧力計測機能

孔内加圧後に注水区間計測の圧力センサが加圧した孔内圧と同様の値を示した。また、水圧破碎試験では、注水圧は常に孔内水圧以上の値を示し、注水開始で注水圧が上昇し、亀裂を作成することができた。注水圧はブレイクダウン時に約 7MPa と妥当な値を示し、圧力低下時も孔内圧を下回る値は示さなかったので圧力計測機能は高圧下でも機能していることを確認した。

e. 水圧破碎の流量計測機能

事前にポンプモータ用電源電圧の設定電圧でポンプモータを駆動させて吐出した流量の計測値と、試験時の同電圧での流量値との計測値が同様の値を示しているので高圧下で機能することを確認した。

f. パッカの圧力計測機能

試験装置を試験深度に送り込み、孔内加圧することで、パッカ圧も同様に上昇することを確認した。そして、水圧破碎試験では、注水区間の圧力上昇に伴いパッカ圧も上昇すること、そしてブレイクダウンを起こして亀裂が作成できたので高圧下でパッカの圧力を計測する機能があることを確認した。

g. 亀裂計測機能-AE

水圧破碎試験時に岩盤からの有意な AE は観測されなかったが、注水時の水の流れに伴うと思われる波形を計測した。試験後の試験装置回収後に AE センサ部を打撃して AE 波形が計測できることから、AE 計測は正常に機能していたので、高圧下で機能していることを確認した。

h. 亀裂計測機能-孔内カメラ

セメント被覆孔での水圧破碎試験では、岩盤と比較して亀裂開口幅が小さかったためか、モニター画面で亀裂が観察されなかった。

試験後の試験装置回収後に、孔外でカメラの映像を確認できたので高圧下でもカメラ機能自体は有効に機能していることを確認した。

i. 耐圧機能(各ユニット間、パッカ部、ラッチユニット)

孔内加圧 4.5MPa の状況で試験を実施し、その際通信の遮断無く計測が可能であった。試験装置回収後に装置内に水漏れが無いことを確認し、高圧下で耐圧性を有することを確認した。

j. パッカ加圧・除圧

試験孔内に試験装置を挿入し試験深度に送り込んだ後に、孔内加圧の状況でパッカを加圧し、パッカ圧の初期値が孔内圧相当であることを確認した。それから、パッカポンプを作動させてパッカ圧が上昇することを確認した。また、型どり試験で型どり熱収縮ゴムチューブの孔壁面状況の痕および除圧後に装置が回収できることで除圧が機能していることを確認した。以上のことから高圧下でパッカの加圧・除圧が可能であることを確認した。

k. 加圧送水

試験孔内加圧状況下で注水圧の値が孔内加圧未満の値にならずに、注水ポンプを作動させると圧力が上昇することから、高圧下で加圧送水が可能であることを確認した。

l. 亀裂型どり

試験孔内加圧状況下で水圧破碎試験後の亀裂型どりを実施して、型どり熱収縮ゴムチューブに亀裂痕が読みとれたので、高圧下で亀裂型どりが可能であることを確認した。

m. 水圧破碎データの評価(Pb、Pr、Ps)

試験孔内加圧状況下で、水圧破碎を行い、圧力-時間曲線から、ブレイクダウンプレッシャー(Pb)、リオープニングプレッシャー(Pr)、シャットインプレッシャー(Ps)が読みとることが出来た。なお、この読みとりデータを用いて模擬的に2次元応力を評価した。

10.4.4.3 孔内応力試験装置の現地適用性試験の成果

試作した孔内応力試験装置を昨年度(2012年度)は幌延現地 HCD-3 孔において、櫓で組立を行い、掘削用アーマードケーブルを使って、掘削長約 500m まで送り込みを行い、回収することができた。送り込みでは、地上部計測機器と通信して方位傾斜測定および圧力測定しながら地上部でモニタリングして試験孔内の推進状況を把握することができた。その後実施した横須賀現地試験では、ラッチシステムの機能検証と計測と通信および耐圧機能検証と水圧破碎試験を実施し有効に機能することを確認した。

今年度は、幌延現地の地上部で試験装置を組み立て、応力専用アーマードケーブルに接続して、通信の確認を行い、地上部計測機器と通信と計測制御が可能であることを確認した。

幌延現地試験の代替として横須賀現地で試験を実施した。

横須賀現地試験では、幌延現地試験で実施予定であった表中の各検証項目について水圧を加圧した状態で試験を行った。

その結果、水圧の掛かった状態で、孔内応力試験装置はポンプを作動させて、注水加圧し圧力、流量を計測することが出来、水圧破碎試験装置として有効に機能することを確認した。

表 10. 4. 4-3 に現地適用性試験の検証結果一覧を示す。

表 10. 4. 4-3 現地適用性試験の検証結果一覧

現地適用性試験の検証項目	2012年度 我孫子 (地上)	幌延 約500m	横須賀 (浅部)	2013年度 我孫子等 (地上)	幌延 約400m	横須賀 水圧下
■コントロールボーリングシステムへの適用						
槽での組立～立上げ～降下開始		○			○	
鋼管曲率への適用性		○		○		
水平孔での送込み機能	○	○		○		
ラッチ機能	△		○	○		○
■計測と通信						
孔内応力試験装置～地上間の通信・制御		○	○		○ 地上	○
傾斜と軸回転の計測機能		○	○		○ 地上	○
水圧破碎の圧力計測機能		○	○		○ 地上	○
水圧破碎の流量計測機能			○		○ 地上	○
パッカーの圧力計測機能			○		○ 地上	○
亀裂計測機能-AE			○		○ 地上	○
亀裂計測機能-孔内カメラ			○		○ 地上	○
■耐圧機能						
耐圧機能-各ユニット間		○	○	○		○
耐圧機能-パッカー部		○	○	○		○
耐圧機能-ラッチユニット部			○	○	× (破損箇所)	○
■水圧破碎試験						
パッカー加圧・除圧			○			○
加圧送水			○			○
亀裂型どり			○	○		○
水圧破碎データの評価(Pb,Pr,Ps)			○			○

10.4.5 孔内モニタリングシステムの設置

昨年度までに確立された技術および既存技術の適用性評価や各作業手法を構築するために、北海道幌延町のコントロールボーリング孔井(HCD-3 孔)にて「火薬による拡管～ケーシング(NL140 ロッド)切断～観測区間確保～孔内モニタリングシステムの設置、試験運用」までの一連の孔内モニタリングシステム適用に際し、その設置作業を実施した。

実施した適用性試験項目を以下に示す。

- ① 火薬による拡管試験
- ② ケーシング(NL140 ロッド)切断試験
- ③ BHTV による拡管部の管径計測
- ④ 孔内モニタリングシステムの設置、データ取得

10.4.5.1 観測区間の設定

北海道幌延町のコントロールボーリング孔井(HCD-3 孔)のどの位置に観測区間を設定するかを採取したコア状況および孔径検層結果を基に検討した結果、下記に示す 3 観測区間を決定した。

- ・ 観測区間①：掘削長 208.7m～掘削長 209.7m(透水割れ目を対象)
- ・ 観測区間②：掘削長 211.2m～掘削長 215.7m(断層帯を対象)
- ・ 観測区間③：掘削長 249.7m～掘削長 257.2m(主断層の上盤側の健全な稚内層を対象)

観測区間が、上記のように決定したため、各適用試験実施深度を決定したが、掘削径が設計値(ϕ 152mm)より拡大していたため、NL140 ロッド保持耐力の不足が起り、最終的に 6 箇所での拡管試験を実施した。

図 10.4.5-1 に適用性試験実施計画位置(左)と実施位置(右)を示す。

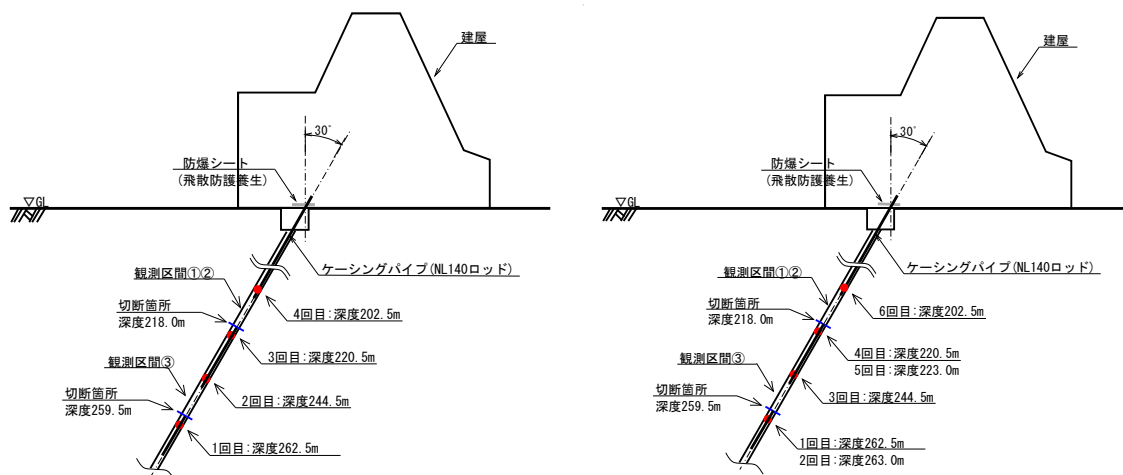


図 10.4.5-1 適用性試験実施計画位置(左)と実施位置(右)

10.4.5.2 火薬による拡管試験

本年度の研究成果を以下にまとめる。

- ① PBX6201 を使用した場合、薬量 100 g 程度で目標とする拡管径が得られることを確認した。
- ② 装薬治具はショックアブソーバーを装着することで、損傷等は認められなかった。
- ③ 拡管時の耐力として、掘削径が設計値($\phi 152\text{mm}$)より拡大していたため、耐力の不足が見受けられた。
- ④ 装薬カプセルとホルダー接続部の残滓については、全て回収された。

10.4.5.3 ケーシング(NL140 ロッド)切断試験

本年度の研究成果を以下にまとめる。

- ① 電動式カッターによる NL140 ロッド切断は、切断時間(カッターを所定深度設置から切断終了まで約 20 分)の短さ、切断面のきれいさから非常に有効であることを確認した。
- ② 切断作業時の情報を地上のモニター画面で確認でき、切断状況の把握が容易であることを確認した。

10.4.5.4 BHTVによる拡管部の管径計測

本年度の研究成果を以下にまとめる。

- ① BHTV 検層データから NL140 ロッド拡管部の内径および外径の把握が精度良くできることを確認した。
- ② 拡管部の形状を 3 次元表示することで、視覚的に判り易くなることを確認した。

10.4.5.5 孔内モニタリングシステムの設置およびデータ取得

本年度の研究成果を以下にまとめる。

- ① 北海道幌延町に掘削した実孔井(HCD-3 孔)に 3 区間設置および試験運用し、水圧データの取得(約 2 週間分)を通じて、その仕様、性能等を確認した。

10.5 総合システムの検討

10.5.1 掘削・調査データ統合化システムの運用

幌延町の現地適用性評価試験サイトにおける掘削作業・孔内試験実施時には様々なデータが取得される。また、採取されたボーリングコアを用いた室内試験からは岩盤の物性値や地化学データが取得される。これらの多種多様な取得データを一元的に管理、提供することを目的として「掘削・調査データ統合化システム」を過年度までに開発、運用してきた。

今年度も「掘削・調査データ統合化システム」の通年運用を目標として同システムの現地適用性試験を通じて同システムの適用性評価をおこなった。

以下にその結果の概要を記す。

10.5.1.1 掘削・調査データ統合化システムの運用

幌延町の現地適用性評価試験サイトにおける現地作業開始に合わせて、「掘削・調査データ統合化システム」を構成している“データ登録用PC”を新たに現場事務所内に設置してシステムの運用をおこなった。

現地作業の実施期間中において「掘削・調査データ統合化システム」は大きなトラブルもなく稼働し、全ての現地作業が終了した時点で現場事務所内に設置されていた“データ登録用PC”を含む全ての機器の撤去をおこなった。

なお、「掘削・調査データ統合化システム」は継続して稼働中である。

10.5.1.2 運用中における不具合

「掘削・調査データ統合化システム」の運用期間中に発生した不具合としては以下の3例である。

- ・ “作業進捗速報”の配信エラー(平成25年10月30日に発生)
- ・ “作業進捗速報”の配信エラー(平成25年12月11日に発生)
- ・ 深度プロファイルのコア室内試験のグラフ表示エラー

このうち、“作業進捗速報”の配信エラーに関しては、外部レンタルサーバ業者でシステムメンテナンスの実施直後に不具合が発生しており、原因究明をおこなった上で対策も実施済みである。

10.5.2 掘削・調査支援システムの構築

掘削情報の活用による透水・採水試験の実施区間の合理的選定や掘削中のトラブル回避を目的として、掘削データから逸水現象を検出する方法について検討した結果、以下の知見が得られた。

- ① 生の掘削データと深度サンプリングされたデータを比較した結果、1cm 毎のサンプリングによる影響はほとんどみられないが、10cm 毎のサンプリングでは失われる情報量が多く、急激なデータ変動を十分表現できていないことから、逸水の検知には不利であることが分かった。
- ② 掘削データには様々な要因による変動が含まれていることから、データ解析技術を用いて、逸水の判断の妨げとなるノイズの変動を取り除く方法について検討した。その結果、掘削中断時に多く見られる極大・極小値の除去や、ホワイトノイズの除去を行うことで、データ本来の変動が明確になり、逸水に伴うデータの傾向変化の検出に有効であることが分かった。
- ③ WL-MWD の外圧データは、HCD-1・2 孔の複数の逸水箇所でも明確に減少していることが確認され、WL-MWD の外圧データから逸水による孔内圧力の低下を判断することが可能であることが分かった。一方、HCD-3 孔で生じた少量の逸水については顕著な外圧低下は確認できなかったことから、小規模な逸水を外圧から検知するのは難しいと考えられる。
- ④ HCD-1・2 孔の逸水箇所では泥水検層の排水量は明瞭な低下傾向を示し、逸水に伴う泥水の減少に対応していることから、逸水の有力な判断指標となることが分かった。また、HCD-3 孔でも逸水区間で排水量の低下が確認されたが、排水量の表現方法がHCD-1・2 孔と異なるため、逸水の評価が難しくなることが分かった。
- ⑤ HCD-1・2 孔では逸水に伴い、泥水の温度低下がみられたことから、逸水の監視項目となり得る可能性がある。
- ⑥ これ以外の計測項目に関しては、逸水との関連性がない、もしくは、逸水との対応は一部みられるものの、逸水のない場合の変動が大きく、逸水の判断指標としては適さないことが確認された。
- ⑦ 掘削中に外圧や排水量等の掘削データをモニタリングし、掘削トラブルの原因や水理試験の対象となる逸水を予測するためには、
a. できるだけ早い段階で逸水を予測できること
b. 逸水、またはその前兆現象をデータから容易に判断できること
c. リアルタイムにモニタリングできること
が要件となる。今回の検討で用いたデータ解析技術は、これらの要件を満たすと考えられるが、逸水の判断基準の定量化や可視化方法については高度化の余地がある。

10.5.3 掘削・調査手順書の構築

本事業における平成12年度から平成25年度まで行ってきたコントロール掘削、調査技術に関する技術開発に関して、各年度の受託報告書やフェーズ毎の総合報告書とは異なり、開発技術の現地適用性検討として実施してきた掘削、調査によって得られた知見に基づき、実運用する際の手順などの基本的な考え方を「掘削・調査手順書」としてとりまとめを行った。

本手順書は、大きく以下に示す5つの章立てから構成されている。

- ・第Ⅰ章 はじめに
- ・第Ⅱ章 精密調査地区選定段階の概要調査
- ・第Ⅲ章 概要調査におけるコントロール掘削、調査
- ・第Ⅳ章 掘削・調査の手順
- ・第Ⅴ章 掘削・調査結果の評価

本事業で開発を進めてきた掘削・調査の各技術については、他分野における掘削、調査にも適用可能であり、本手順書は基本的には概要調査などの掘削、調査計画の立案に資するものであり、このような観点から、本書は対象読者として、実際にサイト選定調査を実施する技術者や管理者を想定しているものの、他の分野での適用を視野に入れて記述した。

11. 今後の課題

11.1 コントロール掘削技術

11.1.1 孔井曲げ掘削技術

平成 23 年度まで実施してきた孔井曲げ掘削では、傾斜制御、方位方向への孔曲げ制御を行い、最終的に掘削長 1,000m までの掘削を行った。しかし、掘削速度は一般的なボーリングに比べ低く、また方位曲げにおいてはコアリング掘削作業に加え別途、拡孔作業を併用する必要があり、掘削作業に対する効率化が課題となっていた。

本年度はサイドトラック掘削作業時における効率化向上を目的として、ワイヤライン作業を省略できる”ノンコアリングビット”を用いて掘削速度の向上を目指したが、コアリング掘削作業に比べ掘削スピードがより低下する結果となった。そのため、将来的な課題として、掘削に用いる試錐機の能力改善によるビット荷重増加や、ダウンホールモータや試錐ポンプの変更による掘削時の回転数、送水量の増加などで作業効率を向上させることが考えられる。

サイドトラック掘削作業時の孔井埋め戻しに関しては、セメンチング作業時に充填材の流動性が低下する状況が生じたことから、充填材の注入方法や注入管の設置深度の検討に改善が必要となった。

11.1.2 先端探知技術

掘削時計測装置(WL-MWD)を用いた傾斜方位制御掘削では、本年度実施したサイドトラック掘削作業においても十分に効果が得られた。しかし、WL-MWD は磁気方位センサを用いるため、ジャイロシステムを用いた方位補正手法を開発した。

ジャイロシステムのオペレーション手法に関しては WL-MWD とジャイロセンサによる方位値に差が生じてしまう問題が生じたが、継続的な使用を行うことで補正を行うことが可能であると考えられる。しかし、ジャイロセンサの弱点であるツールの過敏性や時間ドリフトに対しての対応策は課題として残っており、平成 23 年度と平成 24 年度の計測値においても精度範囲内ではあったが、それぞれには多少の誤差が生じている。この原因として、測定時のケーブル速度、キャリブレーションから降下までの時間差による微小なドリフトや、孔内における NL140 ロッド内のツール位置の変化などが要因と考えられ、次の①～④が課題として挙げられる。

- ① 孔井への降下前に実施するキャリブレーションの方法や実施時間
- ② 孔口へのジャイロツールを含めた送込み装置のピックアップ方法
- ③ 降下時あるいは計測時に想定されるツールへの衝撃や振動対策

④ ケーブルスピードが計測に与える影響調査(時間ドリフトの有無の調査・確認)

11.1.3 コア採取技術

コントロールボーリング掘削においては、ほぼ 100%のボーリングコア採取率を達成できたことから、技術開発に関しては目標を達成できたと考えられる。

今後の課題は、ビットの形状や追従する水圧式拡径装置との組み合わせを考慮した改良や、より掘削屑(スライム)の排出性を向上させることで掘削時の負荷を軽減して掘削能率を向上させていくことが考えられる。

11.1.4 掘削システム統合化に必要な共通技術

平成 24 年度までに開発と現地適用性評価試験が終了していることから、大きな課題は残っていない。しかし、本年度は、平成 24 年度に試作した孔内応力試験装置専用のアーマードケーブルを用いた孔内応力試験(水圧破碎試験)が計画されていたが、装置のトラブルによりワイヤライン作業を実施できなかった。

11.2 孔内計測技術

11.2.1 掘削時検層技術(WL-LWD)技術

平成23年度に実施したWL-LWDの開発では、センサ部およびパッド部を中心に改良を行ってきたが、浅部孔井試験時に不具合を生じた音波発信部およびエレクトロニクス部は長期にわたって使用を続けてきた部分である。特にエレクトロニクス部は旧型のICチップを使用しており、現在では入手困難となっているものもある。また、各検層部のエレクトロニクスには予備基盤が用意されているが、メインコミュニケーション用基板については予備基盤が用意されていない。したがって、この部分が不具合を生じた場合は新規製作する必要があるが、現在流通しているチップ類を使用する場合は、他の基盤との互換性の問題もあり、その動作は不確実性がある。そのため、将来的にセンサ交換等を要する場合には、すべての基盤を新規製作する必要がある。

11.2.2 透水試験・採水・イメージング技術

本年度の現地適用性試験によりケミカルユニットの適用性を確認した。しかしながら、分光光度計に関しては原位置におけるトレーサ濃度測定結果は採水した試料のトレーサ濃度と整合していない。このことから、原位置におけるトレーサ濃度の測定技術を向上していく必要があるものと考えられる。

11.2.3 孔内力学特性・孔内応力測定技術

11.2.3.1 孔内応力測定技術

孔内応力試験装置の今後の課題について以下に記す。

(1) 寸法について

現在の試験装置は下部パッカからケーブルヘッドまでの長さが19.1m程度で長大であり、幌延現地の櫓を倒した状態で搭載し組み立てることになる。平成24年度、平成25年度と各ユニットで分割して櫓に搭載したが、分割した各ユニットも約3m程度で長く、重いため取り扱いに労力を要した。したがって、各ユニットをコンパクトにするような改良をして、全長を短くすることが課題である。

(2) 連結組立作業について

全長が長いと、試験装置のユニット数およびパーツ数が多いために各々を連結する作業数が多くなっている。現在ユニットの間の電源線、信号線の連結は、線の使用目的毎にコネクタを取り付けて行っている。

これらコネクタの形状は全て異なるもので、接続の際に間違いを起こさないようにしている。ただ、コネクタの数が多いため、連結作業では労力を要するとともに、連結部分にコネクタが集中してしまい、これらを収納する際に手間取ることがあった。また、計測機器等を収納している鋼管の連結では、試験装置を水平な場所に設置して連結する場合は、簡単に連結作業が終了するが、水平が取りにくい場所では、鋼管ねじがうまくかみ合わず何度かやり直しを行うことになった。

今後の改良としては、多芯防水コネクタを用いて、接続時の結線作業回数を減らすことが重要であるが、本試験装置はケーブルの他に注水パイプとパッカ加圧パイプがあるため、これらの連結部にも止水機能を持たせることが重要である。そして、鋼管連結部分をより簡単にしかも高い耐圧止水性を併せ持つものに改良することが望ましい。また、分割した試験装置を現地で組み立てる際には、横須賀現地試験で使用したような装置の専用架台が準備できると連結作業効率を上昇する。

(3) 止水性について

今年度の幌延現地試験で試験装置が浸水してしまった。試験装置の各ユニットに止水機能を持たせた防水コネクタを連結部分に配置してユニット毎に止水機能を持たせることで、他のユニットへの浸水を防ぐことが可能であったと考える。したがって、装置の分画の際にユニット毎に止水機能併せ持つことが重要である。

(4) 亀裂計測について

現在使用しているカメラは、試験装置の限られた空間に内蔵できるものであるが、カメラが小さい分だけ撮像素子が小さいために、暗部を撮影することが不得手である。そのため、LEDを多数用いて明るさを増したが、泥水中では光の拡散により観察したい場所に光が十分供給できなかった。今は年々に撮像素子が高機能化しており暗部撮影が得意な超小型カメラが出現し、少ない照明でも孔壁面を撮影することが可能になることが期待できる。

11.3 物理探査技術

平成 20 年度から開始された「物理探査技術」の研究業務の中で、コントロールボーリング孔井において、水平区間も含めて初動走時トモグラフィ解析に耐えられるデータの取得システムを開発することができた。またトモグラフィ解析により更新した速度構造を MDRS 処理の参照速度として用い、より高精度の反射断面を得るといふ解析フローを確立できた。

一方で、当初予定していた地表-孔井間トモグラフィデータの後続波を使った解析(反射波イメージング、フルウェーブトモグラフィ等)は、孔内で発生するノイズのために、本研究業務内での実施を見送ることとなった。平成 22 年度業務では、孔内ジオフォンを受振器として使用することによって、孔内ノイズの影響を受けにくくなることを確認できた。またこの時、ジオフォンを採用したアレイケーブルを水平孔井で使用することの障害になると考えていた孔壁へのクランプが、傾斜区間、水平区間では必須でないことを確認できた。コントロールボーリング孔井を用いた弾性波トモグラフィ技術のさらなる高度化には、以下の 2 点が取り組むべき課題となると考える。

- ① ジオフォンを受振器として採用した、廉価なアレイケーブルの開発
- ② トモグラフィデータのうちの後続波をつかった解析(反射波イメージング、フルウェーブトモグラフィ)の実施

11.4 モニタリングシステムの開発

今回の拡管試験において、ケーシング(NL140 ロッド)保持耐力の不足が見受けられた。この原因として、掘削径が各種試験等を数年に亘って実施したために設計径($\phi 152\text{mm}$)より拡大(孔径検層結果： $\phi 160\sim 175\text{mm}$)したため、拡管した NL140 ロッド(BHTV 試験結果から拡管率は過年度までの値と同等であることを確認)がうまく孔壁に食い込まず、保持耐力が不足したと考えられた。

これらの対策として、下記に示す項目を考慮して孔内モニタリングシステムを設置する必要があると考えられる。

- ① 調査孔の掘削後、余り時間を置かずに孔内モニタリングシステムを設置する工程とする。
- ② 調査孔の掘削後、孔井内で試験等を実施する場合は、なるべく孔壁にダメージを与えない方法を採用する。

また、拡管位置およびパッカ設置位置を決定する際には、事前に音響キャリパ等で掘削径を把握する必要があると考えられる。

12. 次年度の研究計画

12.1 次年度計画の概要

平成26年度には、HCD-3孔井に設置した孔内モニタリングシステムの取得データを長期間にわたり、継続的に取得するための検討を行う。現在は定期的に取得データの回収作業を必要としていることから、無人観測システムに関する概念設計を行い、遠隔操作によって取得データを回収可能なシステムの開発を目標とする。

また、開発を行ってきた各要素技術に関して、現地適用性評価試験を行うために設置した試験サイト内の現場事務所と防寒施設の解体・撤去を行う。

12.2 孔内長期モニタリング

12.2.1 無人観測システムの概念設計

孔内モニタリングシステムは、今後どのような環境下に設置されるか不明であるため、どのような環境下であってもデータ回収が可能であるシステムについて検討する。具体的には電源、通信システムの検討を行い、観測データを遠隔で回収するシステムの概念設計を行う。

下記に検討項目を示す。

- ① 電源装置：太陽光&風力ハイブリット型+寒冷地仕様バッテリー
- ② 通信装置：衛星回線通信機
- ③ データ出入力装置

12.2.2 観測データの取得・回収

次年度、コントロールボーリング地上設備は撤去される予定である。地上設備が撤去されると、孔内モニタリングシステムが設置されているコンクリートピットは、開口部(長辺:3.87m、短辺:2.0m、深さ:3.0m)となるため、第三者の落下防止の観点から鋼製の蓋(出入口付)で覆い、ピットを底面から1mの高さまで碎石で埋め戻し、メンテナンス等の作業床とする。

また、コンクリートピット脇に市販の収納小屋(鋼製、幅1.5~1.8m、奥行き1.0m、高さ2.0m)を設置し、その中に観測機器(データローガ、圧力ゲージ等)を収納して、モニタリングを継続する。

なお、データの回収は年4回を予定(バッテリー及びデータローガの容量より安全側に設定)し、下記の項目を実施する。

- ① データ回収(間隙水圧：3 区間、パッカ圧：3 組、大気圧、外気温)
- ② バッテリー交換
- ③ パッカ圧力の確認および必要な場合には調整
- ④ データを確認し、問題があった場合にはセンサの動作チェック
- ⑤ 再計測開始

12.2.3 計測データの検討

取得した計測データの解析方法の検討に向けて、次年度は取得した観測データを最終的にどのような目的に利用するかを決定し、その目的に合致するノイズ(地球潮汐、大気圧等)の除去方法の検討を行うものとする。

12.3 現地地上施設の撤去

コントロールボーリング掘削作業で使用した試錐機と、その他機材の解体・撤去、および防寒施設の解体撤去を実施する。

以下に作業の実施順に作業項目を示す。

12.3.1 組立式プレハブハウス(現場事務所)の解体

掘削機材、各調査機材の組立や現場事務所として使用した組立式のプレハブハウスの解体を行う。

12.3.2 防寒施設の外装シートの取外し

試錐機などの掘削設備の冬期防寒対策として鋼材を覆っている外装シートの取外しを行い、施設内資材等の搬出を行う。

12.3.3 防寒施設鋼材の解体

防寒施設として組立てある鋼材をクレーン等により解体し、解体した鋼材の廃棄処理および防寒施設内に設置してある試錐ポンプなどの機材を搬出する。

12.3.4 試錐機と設置機械の解体

防寒施設鋼材解体後に、アンカーボルトに固定してある試錐機、傾斜槽およびハンドリング装置(NL140 ロッド保持装置)、アーマードケーブルウインチ類の撤去・廃棄を行い、各機材のベースとして敷設してある H 型鋼材を撤去する。

12.3.5 孔口養生等

機材類撤去後のセラコンクリート柵開口部の転落防止措置を行い、鋼材・機材類固定用アンカーの突起部除去を行った後、敷地内の片付けを行う。

以上

コントロールボーリング掘削・調査技術の体系化
ーコントロールボーリングによる掘削・調査の基本的考え方ー

目 次

本書について

I. はじめに

1. 背景
2. 目的
3. 開発目標
4. 掘削・調査技術の特長

II. 精密調査地区選定段階の概要調査

1. 概要調査の概要
 - 1-1 概要調査の位置づけ、目的
 - 1-2 調査項目、調査の流れ
 - 1-3 ボーリング調査
2. 概要調査における考慮すべき事項（要件）
 - 2-1 考慮すべき事項
 - 2-2 検討項目

III. 概要調査におけるコントロール掘削、調査

1. 概要調査における掘削、調査の位置づけ
2. 掘削、調査による地質環境特性の評価

IV. 掘削・調査の手順

1. 掘削、調査計画の立案

2. コントロール掘削

- 2-1 コントロール掘削の構成と概要
- 2-2 ダウンホールモーター
- 2-3 コアビット・コアバレル
- 2-4 拡径ビット
- 2-5 ケーシング
- 2-6 ケーシング追従装置
- 2-7 押込み補助装置
- 2-8 試錐機
- 2-9 コントロール掘削手順
- 2-10 掘削時のトラブル対策

3. 掘削時検層

- 3-1 掘削時検層 (MWD) の概要
- 3-2 掘削時検層装置 (MWD) の構成
- 3-3 掘削時検層 (MWD) データ取得
- 3-4 位置・方位情報の補正
- 3-5 掘削時検層 (MWD) データの活用
- 3-6 掘削時検層 (LWD) の概要
- 3-7 掘削時検層装置 (LWD) の構成
- 3-8 音波検層モジュール
- 3-9 電磁波検層モジュール
- 3-10 マイクロ電気検層モジュール
- 3-11 自然 γ 線検層モジュール
- 3-12 掘削時検層 (LWD) の手順
- 3-13 掘削時検層 (LWD) データの分析・評価

4. 透水試験・採水・イメージング

- 4-1 透水試験・採水・イメージングの概要
- 4-2 透水試験・採水・イメージング装置の構成
- 4-3 透水試験ツール
- 4-4 採水ツール
- 4-5 イメージングツール
- 4-6 パッカーシステム

- 4-7 透水試験実施手順
- 4-8 透水試験区間の設定
- 4-9 採水実施手順
- 4-10 採水区間の選定
- 5. 孔内応力・力学測定
 - 5-1 孔内応力・力学測定の概要
 - 5-2 孔内応力測定構成
 - 5-3 亀裂計測システム
 - 5-4 孔内送水システム
 - 5-5 送り込み装置・ラッチシステム
 - 5-6 孔内応力測定手順
 - 5-7 孔内力学測定
- 6. 孔井内トモグラフィ
 - 6-1 孔井内トモグラフィの概要
 - 6-2 孔井内トモグラフィの構成
 - 6-3 孔井内トモグラフィの実施手順
- 7. モニタリング
 - 7-1 モニタリングシステムの概要
 - 7-2 モニタリングシステムの構成
 - 7-3 モニタリングシステムの実施手順
 - 7-4 観測区間（裸孔区間）の選定
 - 7-5 ケーシングロッド拡張
 - 7-6 ケーシングロッド切断
 - 7-7 ケーシングロッド引上げ
 - 7-8 モニタリング装置の設置と計測の開始
 - 7-9 計測データの整理

V. 掘削・調査結果の評価

- 1. コントロール掘削の評価
 - 1-1 孔跡の正確性
 - 1-2 コア採取率及び品質

- 1-3 孔壁の保持
- 2. 調査結果の評価
 - 2-1 掘削時検層 (LWD) データの分析・評価
 - 2-2 透水試験結果の評価
 - 2-3 採水試料の分析・評価
 - 2-4 孔内応力測定の評価
 - 2-5 孔井内トモグラフィ測定結果の評価
 - 2-6 モニタリングデータの評価
 - 2-7 コアによる測定結果の評価

本書について

電中研が開発を進めてきている、コントロール掘削、調査技術については、経産省受託研究として2000年度より開発を進めてきており、各年度の開発状況や現地での適用事例について受託研究報告書として取りまとめている。これらは各年度のそれぞれの開発項目の詳細な開発状況を中心に取りまとめたものであるが、これまでの個々の開発項目の開発の経緯や、全体システムの開発進展状況を概観することは容易でない。

本技術開発に際しては、開発過程を考慮して開発年度を短期間に区切り（3つのフェーズに分割）、それぞれに短期的な目標を定め、これらの目標に到達したか、またその際にどのような課題が抽出されたかを確認している。これらのフェーズ毎には、電中研の総合報告書として、機器開発状況や現地での適用性検討の結果を取りまとめている。

これらの技術的な報告書に対して、本書はこれまでに開発したコントロール掘削、調査技術を実際の処分地選定に際して実運用する際の手引書としてまとめたものであり、概要調査などの掘削、調査計画の立案に資するものである。このような観点から、本書は対象読者として、実際にサイト選定調査を実施する技術者や管理者を想定しており、技術の詳細よりは本掘削、調査技術がどのような体系のもとに運用されるかを中心にまとめた。

I. はじめに

I.1 背景

- (1) 概要調査は地表調査、物理探査と数少ないボーリングにより実施される。
- (2) 堆積軟岩、沿岸域における調査技術の開発が必要とされている。

(1) 処分場選定の第2段階での精密調査地区選定段階では、前段階の文献調査の結果を受けて、設定された概要調査地区において地表地質踏査、物理探査、トレンチ調査および数少ないボーリングにより地点の処分場としての適正を評価する必要があり、特に地下の情報を直接取得できるボーリング調査が重要となる。数キロ程度の敷地内で効率的なボーリング掘削、調査が求められる。

(2) 日本における処分場の対象岩体として新第三紀の堆積岩は、細粒の碎屑物からなる泥岩などが低透水（水密性）であること、造構造的な変形が少ないことから、好ましい岩体と考えられている。また日本においてはこのような地層は海岸沿いに分布することが多い。処分の観点からは、沿岸域は廃棄体の輸送、フラットな動水勾配、人間浸入の困難さから有望な地形条件である。このような地質、地形条件における調査技術の開発が急務となっている。

I.2 目的

堆積軟岩にも適用できる、効率的（方向性をコントロールできる）ボーリング掘削技術および調査技術を開発する。

ボーリング掘削に際して軟岩は硬岩に比べて孔壁が不安定で崩れやすいことから、掘削が困難な岩体である。さらに、方向性をコントロールしながらの掘削に際しては、直進性の掘削に比べて孔壁をより痛めやすく、保孔がより困難になる。このような条件下で、安定した掘削を可能とする掘削技術を確立する。

孔内における調査技術は、主として鉛直孔井を対象として開発が進められてきており、コントロール掘削特有の掘削方法や孔跡を含むケーシングプログラムに対応した調査技術の開発が必要となる。また、堆積軟岩の特性を評価するためには、採取したコアを用いた調査、測定、分析などが有効となるために、コアを用いた効率的かつ合理的な調査システムを構築する。

I.3 開発目標

- (1) 対象岩体：新第三紀堆積岩
- (2) 孔曲げ掘削：孔長1000m、深さ500mのコントロール掘削
- (3) コアによる調査の重要性：フルコア掘削
- (4) 効率性と安全性：スリムホール掘削
- (5) 各種特性調査：孔内での掘削時調査およびモニタリングが可能

(1) コントロール掘削の困難な地質として、さらに処分の対象岩体となりうる地質として、一軸圧縮強度 100kg/cm² 程度の新第三紀堆積岩を掘削対象岩体とする。

(2) 堆積岩地域での処分深度が 300m~500m と想定されていることから、掘削深さを 500m に設定する。また地上のリグの能力の観点から掘削孔長を 1000m と設定する。

(3) 堆積性軟岩では、地下水の一般水質や岩盤の物理特性はコアを用いた試験により評価が可能と考えられる。このために、フルコアによる掘削を行う。なお、コア採取時の各特性に関する乱れを極力少なくするための手法を採用する。

(4) 石油業界では同様の掘削技術が既に確立されているが、孔井の口径が 8~10 インチである。本開発では、土木調査用に開発されている技術を転用することから、よりスリムな口径 (6 インチ程度) を採用する。

(5) 本技術開発は高レベル放射性廃棄物の処分地選定の第 2 段階である概要調査に供することから、その際に必要な地質環境特性を評価できる調査機器の開発を行う。

I.4 掘削・調査技術の特長

- (1) 主に堆積軟岩を対象として、方位および傾斜（鉛直～水平）を制御した掘削が可能である。
- (2) 回転系がコアバレルの直上にあり、従来の掘削に比べ軸のブレが少なく、かつ地下における掘削情報をMWDにより取得することが出来る。

(1)回転系と孔曲げ用のサブストラクチャー、さらに方位・傾斜情報をリアルタイムで取得できる MWD を掘削先端に取り付け、ケーシングがこれらを追随することで、正確な方位コントロールおよび安定した保孔を可能とする。なお、孔曲げ曲率はダウンホールツールの直径と長さおよびケーシングの内径の関係から約 $1.5^{\circ} / 10\text{m}$ である。

(2)地上での回転力を鋼管ロッドで地下に伝える従来の工法に比べると、回転系であるモーターがコアバレルの直上にあることから、軸のぶれが少ない。また、MWDにより掘削箇所での孔内圧力、掘削荷重、トルクなどの掘削情報をリアルタイムに取得ができ、情報化施工が可能である。コアバレルの軸のぶれが少ないことと孔内情報により掘削を最適化することにより、コア採取が飛躍的に向上する。

II.1 概要調査

II.1-1 概要調査の位置づけ、目的

高レベル放射性廃棄物処分のサイト選定は①概要調査地区の選定、②精密調査地区の選定、③最終処分施設建設地の選定の三段階の過程を経て、処分施設建設地が決定される。概要調査はこのうち②精密調査地区を選定するための調査である。

概要調査の目的は、地層処分を行おうとする地層において「地質環境の長期安定性」と、「多重バリアシステムの成立性」の確保が可能であることを確認することである。

サイト選定のための三段階の選定プロセスを以下に示す。

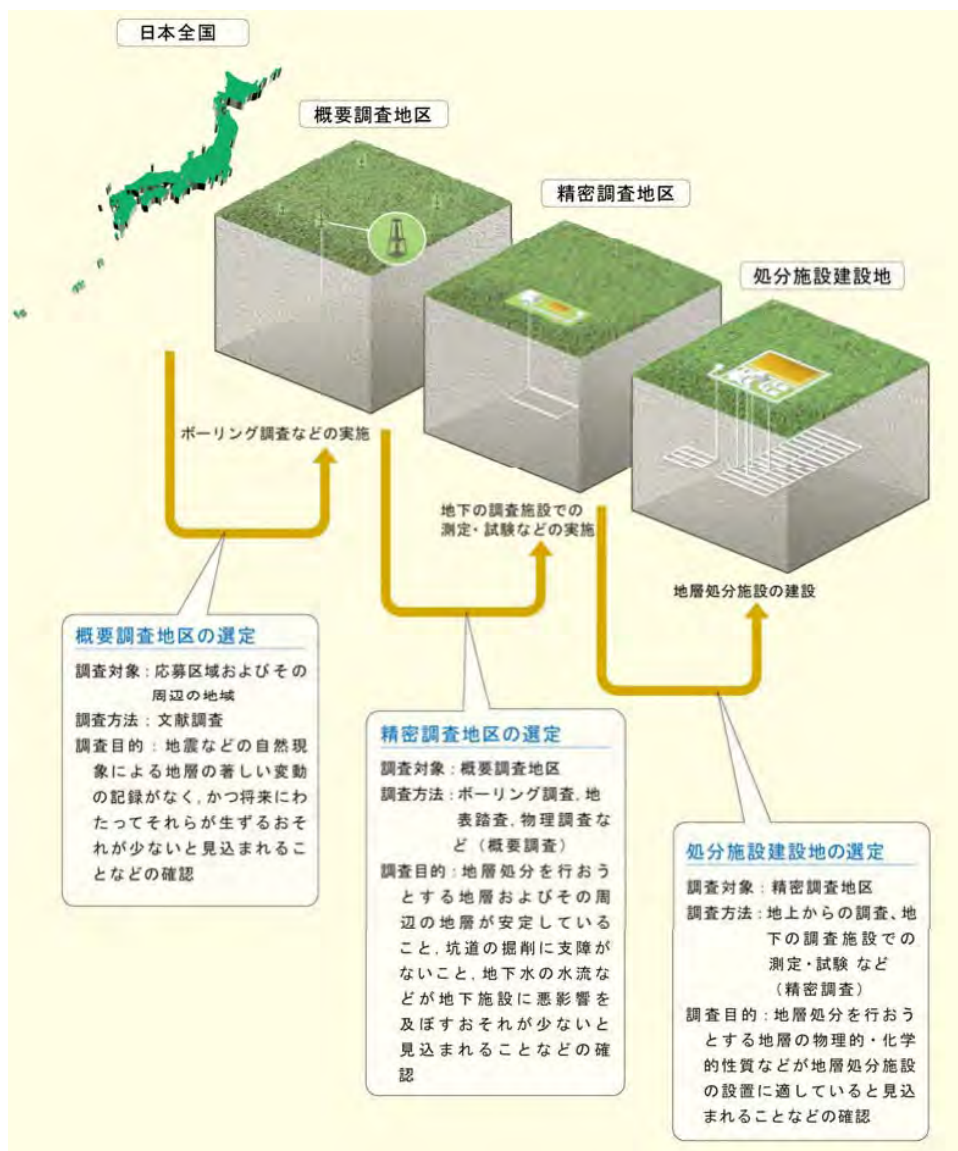


図 II.1-1 三段階のサイト選定プロセス (NUMO,2009 より)

概要調査は、地点選定の中間段階であり、その後に実施される精密調査によって2つの特性に関する最終確認がなされ、最終処分場候補地が選定される。

「地質環境の長期安定性」については、文献調査段階でその可能性についてほぼ解決できると考えられるため、本段階では現地において文献調査結果を補完、確認することが主体となる。

「多重バリアシステムの成立性」のうち「施設の成立性」については、文献調査の予察に引き続き、本段階でその可能性を確認することとする。「処分システムが期待性能を発揮できる事」については、地下の詳細情報が取得できる精密調査段階にその確認を待つことになり、本段階では予備的な確認を行うこととなる。

調査対象地域	調査手法	選定段階	調査目的		
			地質環境の長期安定性の確認	施設の成立性の確認	処分システムが期待性能を発揮できる事の確認
全国	文献調査	概要調査地区選定段階	ほぼ解決	予察	予察
概要調査地区		精密調査地区選定段階	補完・確認	ほぼ解決	概略の確認
精密調査地区	ボーリング調査等	最終処分施設建設地選定段階	補完・確認	補完・確認	解決
処分地	地下特性調査施設での調査等				

図 II.1-2 処分地選定プロセス各段階の目的

II.1-2 調査項目、調査の流れ

- (1) 実施される調査は、地表踏査、物理探査、トレンチ調査、ボーリング調査である。
- (2) 段階的に広域から狭域(応募区域内)に地区を絞り込む調査を基本とする。

概要調査においては、予備的な設計、性能評価を実施する。このために概要調査地区やそれより広域な調査範囲から、最終的には処分候補箇所を選定する必要がある。このためには、広域での地表調査や物理探査から、狭域でのトレンチ調査、ボーリング調査と地点を効率的かつ合理的に順を追って絞り込む調査を実施する必要がある。また、このような調査手順により、調査結果を用いた地質特性モデルの精度を順を追って高めることができる。

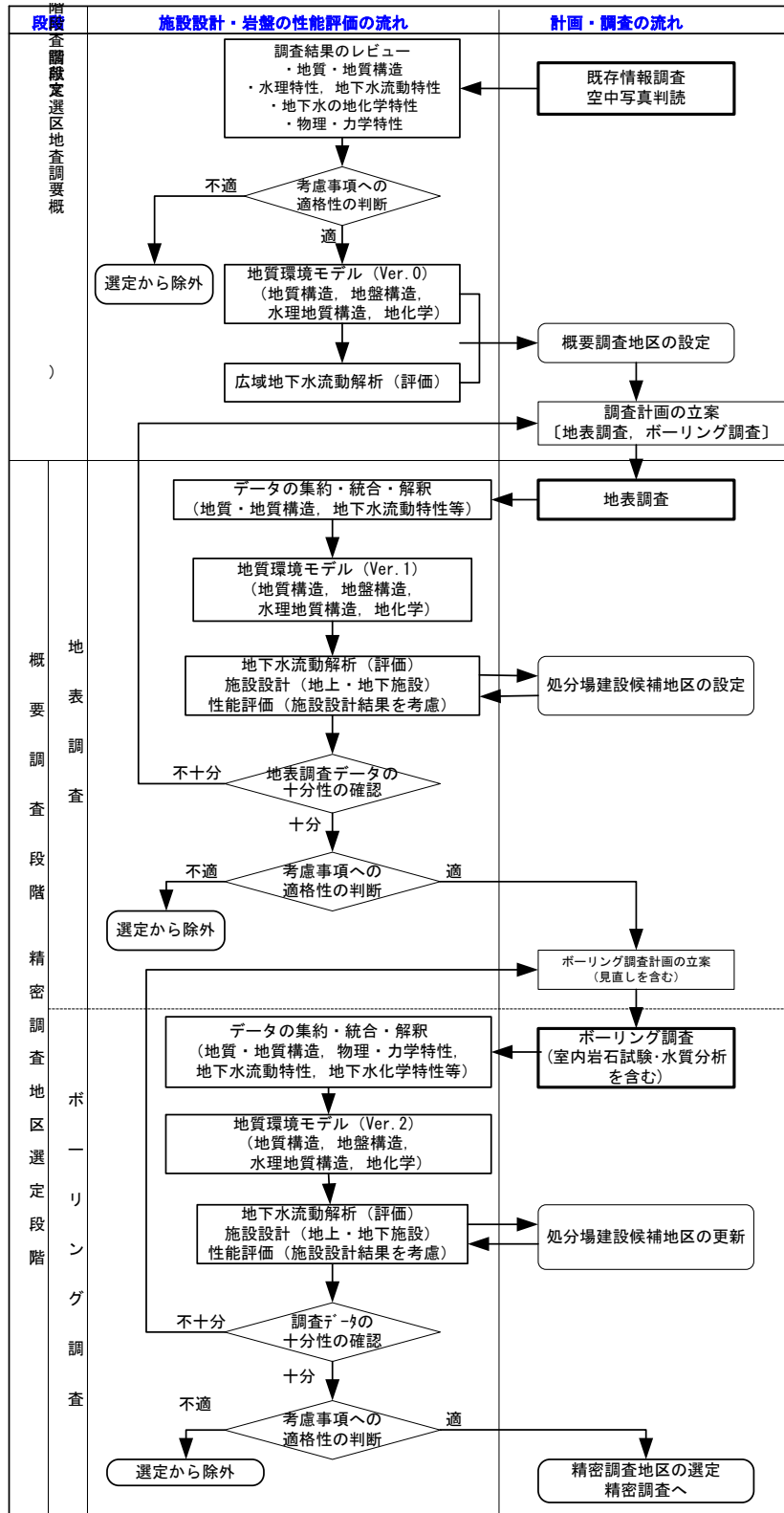


図 II.1-3 概要調査における調査・評価フロー (工学特性)

II.1-3 ボーリング調査

概要調査において、ボーリング調査は地下の地質環境特性に関わる情報を直接取得できる手段として重要である。時間的、予算的な制約を考慮すると、効率的な掘削・調査が望まれる。

ボーリング調査では地質環境特性に関わる以下の情報を取得する。

- ・堆積物、地層の分布・性状
- ・不連続面(断層破碎帯、割れ目)や弱層の分布・性状
- ・水理特性、地下水化学特性
- ・物理・力学特性、初期地圧

ボーリング掘削は以下のように2段階に分けて実施するのが望ましい。

1次：物理探査の結果を踏まえて、これまでの結果の確認と地質および処分場候補個所の概略を把握する。一方、物理探査、特に反射法地震探査の結果を参照するために、事前に孔井掘削することが効率的調査につながる場合がある。

2次：1次調査の結果を踏まえ、処分場候補個所における概念設計や予備的な評価に必要な情報を取得する。

効率的な掘削のため、一箇所の掘削で多くの目的を満足させため、掘削個所は、物理探査測線の交点を基本とする。鉛直掘削を基本とするが、沿岸域、山岳地などの地形的な制約がある場所や地質情報を取得するためには傾斜掘削やコントロール掘削を実施するのが望ましい。

II.2 概要調査における考慮すべき事項（要件）

II.2-1 考慮すべき事項

概要調査に当たっては、「考慮すべき事項」および「好ましい条件」を設定し、これに基づき調査、評価を行う。

明らかに処分場として適さない地域が適切に除外されているか確認し、追加して除外すべき地域がないか検討するための条件を「考慮すべき事項」と呼ぶ。また、処分施設の建設や、閉鎖後の安全性を考える上で好ましいと思われる諸条件を「好ましい条件」と呼ぶ。

II.2-2 検討項目

処分場に関連する施設のうち、地下施設に関する検討項目は「火山・火成活動」、「地震活動」、「断層活動」、「隆起・沈降、侵食」、「地下水流動」、「地化学特性」、「岩体の形状・規模と岩盤の力学特性」、「膨張性地山」、「山はね」、「有毒ガス湧出」、「泥火山」などである。

各検討項目について、除外すべき事項に関わる調査項目を優先し、これを評価するための調査手法を主体として調査を実施する。

III. 概要調査におけるコントロール掘削、調査

III.1 概要調査におけるコントロール掘削・調査の位置づけ

本掘削・調査システムは堆積性の軟岩を対象に開発されたもので、このような地質を対象とした地域での概要調査に適用する。

本システムは、①地形的な制約のある箇所、②効率的な地質情報の取得、③調査坑道に先立つ事前情報の取得などに有効な掘削・調査手法である。

概要調査においては、文献情報収集や地表地質踏査、さらには物理探査を実施し、当該地域の対象岩体の概略地質構造モデルから概略水理地質構造モデルを構築した後に、ボーリング掘削と孔内での各種調査により、詳細な水理地質構造モデルを構築し、さらにこれを基に地下水流動モデルや地下空洞安定性評価を実施することとしている。特に堆積性軟岩である新第三紀堆積岩を対象岩盤としたボーリング掘削および調査では、孔内調査はもとよりコアを用いた調査・分析により、地質分布、透水分布、水質分布、岩盤物性、応力のそれぞれの分布を調査、評価する（図 III. 1-1）。

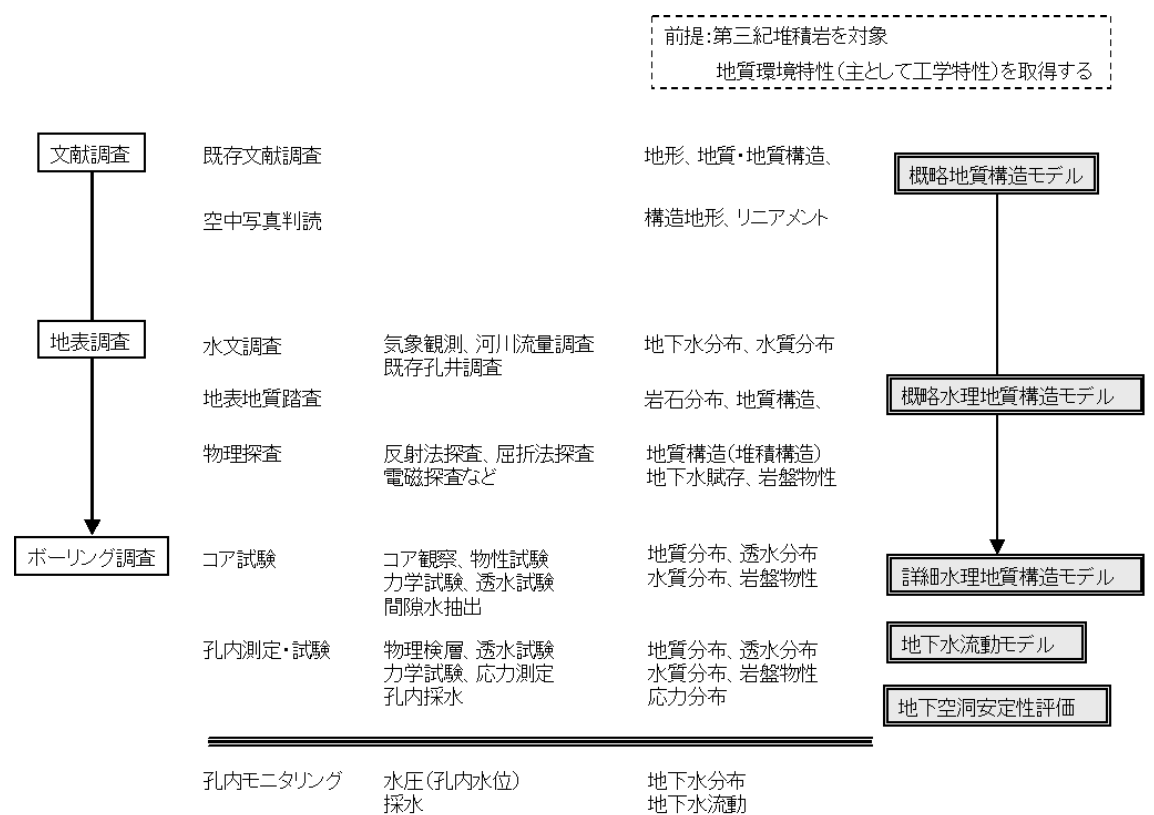


図 III. 1-1 堆積軟岩を対象とした概要調査

コントロール掘削は鉛直掘削に比べて、その方位や傾斜をある程度の尤度をもって変化させることが出来る。このため、

①地形の制約を受けない掘削が可能となる。すなわち、沿岸地域において海底下での調査を行う際に、陸域から海底下の調査が可能となる。また山岳地において、大型の試錐機などの運搬が困難な場合、可搬可能箇所から調査箇所への指向性掘削が可能である（図 III. 1-2）。

②地質状況に依存するが、高角傾斜の断層破碎帯が多数分布する場合などでは、鉛直掘削の調査に比べて地質の不確実性をより低減できる（図 III. 1-3）。

③概要調査終盤に処分場候補箇所において概念設計などのためのボーリング調査を実施することとなった場合、コントロール掘削により、将来に想定される調査坑道の事前調査として水平掘削をすることにより、より高精度の地質環境特性を評価することが可能となり、調査坑道の設計に資することができる（図 III. 1-4）。

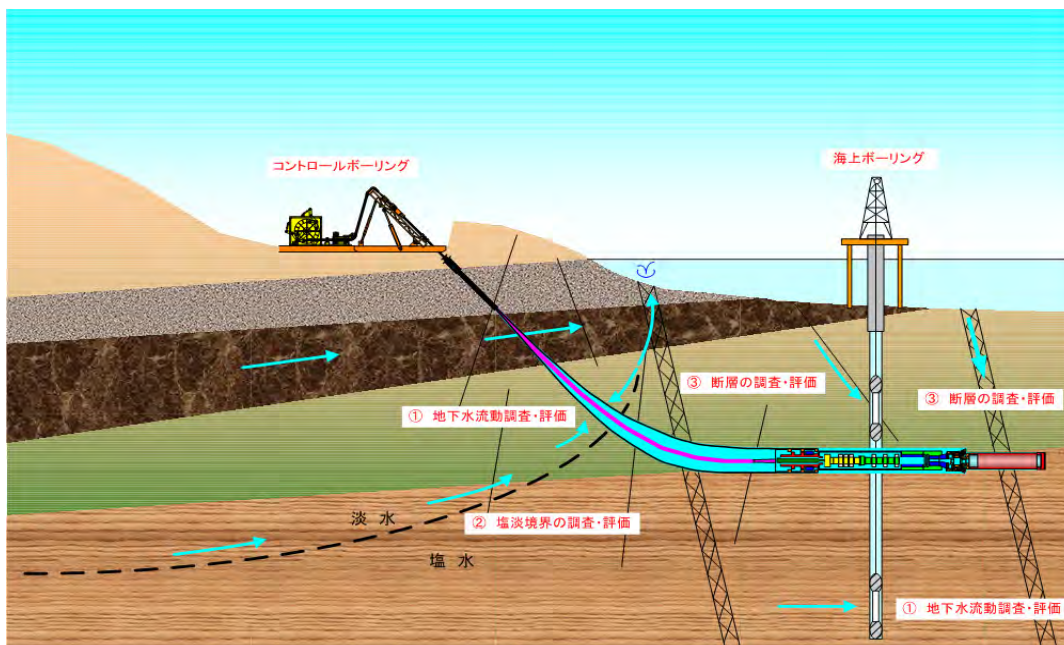


図 III. 1-2 地形の制約下でのボーリング調査（沿岸域）

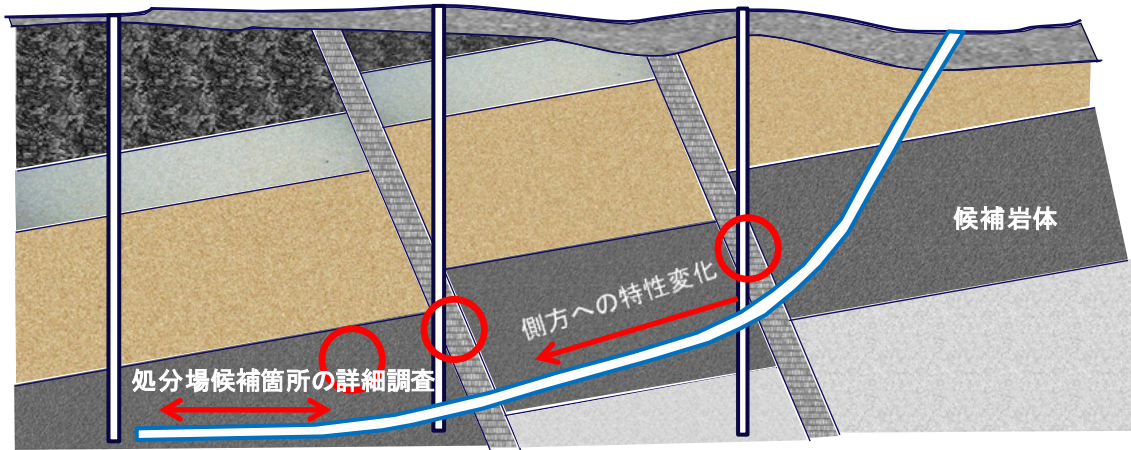


図 III. 1-3 効率的な地質情報取得のためのボーリング調査

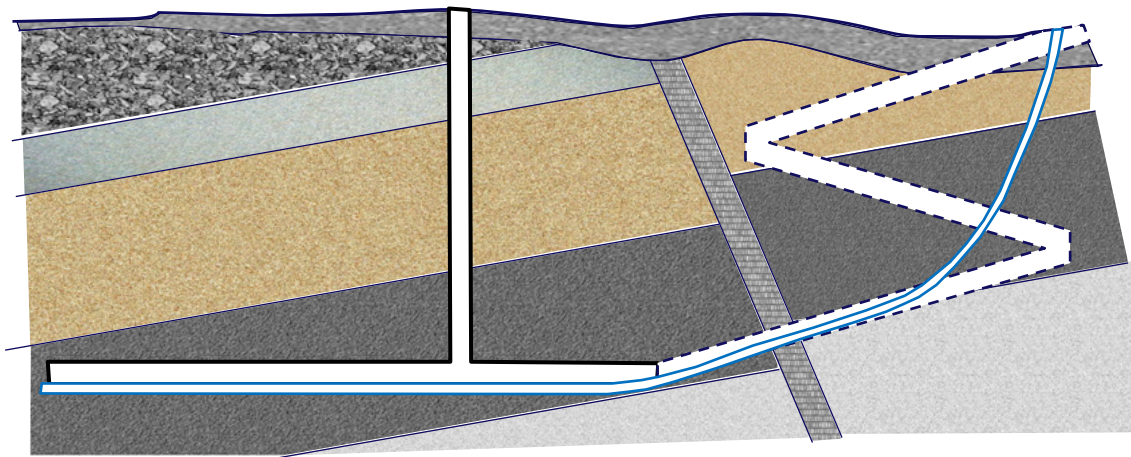


図 III. 1-4 坑道調査に先立つボーリング調査

III. 2 コントロール掘削・調査による地質環境特性の評価

コントロール掘削・調査により、概要調査において設定された検討項目をほぼ評価するに足る情報を取得する。

コントロール掘削・調査では、掘削時検層、掘削後の孔内における検層、測定、取得したコアを用いた測定、分析などにより、地下の地質環境特性に関する情報を取得する。

コントロールボーリングによる掘削時に常時取得できる情報としては、マッドログ（泥水の送、排水量、泥水中のガス量、地上のロッド回転数など）、WL-LWD（孔内検層：音波、電磁波など）およびWL-MWD（先端位置、ビット加重、トルク、孔内圧力など）である。

これらの情報、さらには取得されるコアの地質情報を基に、スポット調査をする必要のある深度が決定される。孔内でのスポット調査としては、①透水試験、②地下水採取、③孔内観察、④孔内応力測定および⑤孔内載荷である。このうち①～③、④～⑤は同一の装置により実施が可能な装置を開発している。また、②により採取された地下水や溶存ガスは室内で分析される。

コントロールボーリングはコア掘削を基本としており、連続したコアが採取できる。このコアを用いて、①コア観察（写真撮影を含む）、②現地計測、測定および③室内測定、分析を実施する。測定項目としては①色彩、帯磁率および硬度、②透水係数、間隙水抽出および水質分析、岩石物性（弾性波伝播速度、密度など）、岩石強度（一軸圧縮強度など）、鉱物分析などである。

掘削終了時には、孔井の形状を利用して、地表と孔井に取り囲まれた範囲において、弾性波トモグラフィを実施し、範囲内の速度構造を詳細に決定し、地点選定や孔跡決定のために実施された反射法地震探査の結果を再評価する。

これらの測定、分析などの調査を通して、地点の地質構造、水理構造、岩盤物性および応力場を評価することが可能となる。また、これらの結果を踏まえ、孔内でのモニタリング深度が決定される。モニタリング項目としては、孔内における水圧および地下水採取であり、長期間のモニタリングにより水圧の長期的な変動や掘削直後には取得できない初生的な地下水を取得する（図 III. 2-1）。

コントロール掘削に伴い実施される調査項目と、それにより取得されるデータ、これらのデータにより評価できる特性項目をデータフロー（図 III. 2-2）として示した。

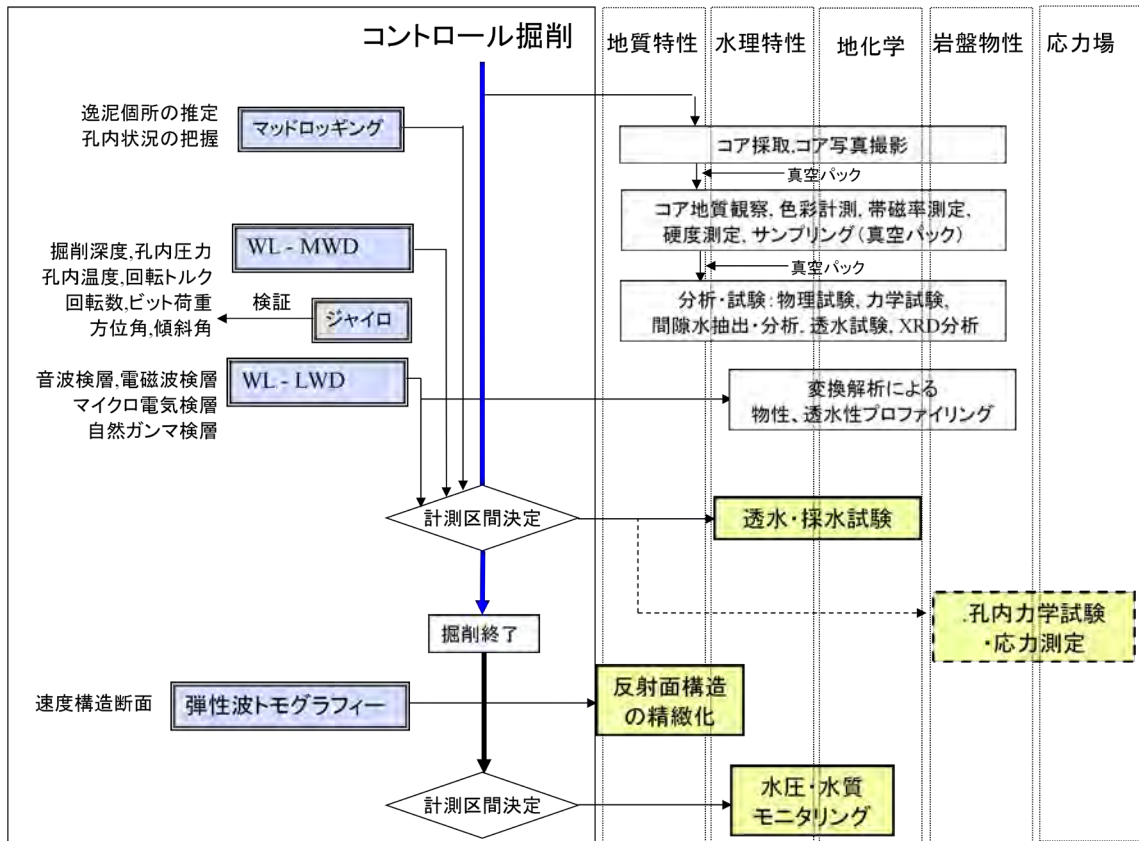


図 III. 2-1 コントロール掘削・調査と地質環境特性情報の取得

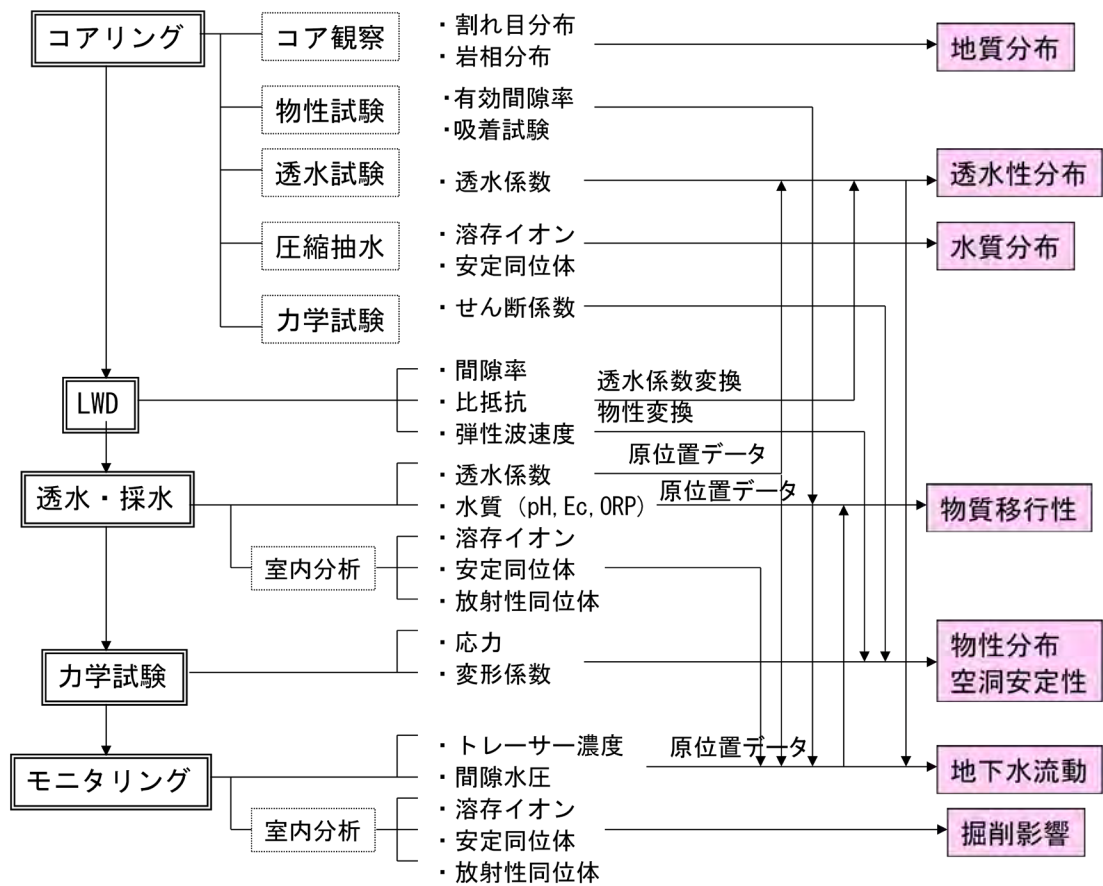


図 III. 2-2 コントロール掘削・調査におけるデータフローダイアグラム

IV. 掘削・調査の手順

IV.1 掘削・調査計画の立案

地表からの調査、さらには他のボーリング調査の結果から構築された初期地質モデルの不確実性を効率よく低減できる孔跡を設定し、これに沿った掘削、調査計画を立案する。

掘削・調査は時系列的に、準備作業、ノンコア掘削、コアリングコントロール掘削および孔内調査、孔内長期モニタリングに区分される。

(1) 準備作業

準備作業としては、①それまでに実施される地表地質踏査や物理探査などの調査結果で構築された地質モデルに基づき不確実性を効率よく低減するための孔跡の設定、②浅層の堆積物や風化状況、基盤の断層破碎帯などの劣化部の分布などを考慮したケーシングプログラムの策定、③敷地の造成、地上設備の設営などがある。特に①については、敷地の確保を踏まえた孔跡決定の必要がある。

(2) ノンコア沿角掘削

ケーシングプログラムに沿って、地表の浅層で、地盤の状態の悪い箇所の孔壁崩壊を防ぐために、NL140 ロッドが通過できるケーシングパイプを挿入するための孔井を掘削し、フルホールセメンチングを行う。当該区間は掘削孔径が大きくなるために、コントロール掘削のためのダウンホールツールズが適用できないため、

(3) コアリングコントロール掘削およびコア・孔内調査

予め設定された孔跡に沿って掘削編成のワイヤラインダウンホールツールズによりコントロール掘削を行う。孔内透水試験・採水および孔内応力測定は、事前に作成した試験区間設定マニュアルに沿って試験を実施する。なお、掘削中に想定外の地質事象に遭遇し、情報収集の必要性が認められた場合は、適宜試験、測定を追加する。

採取されたコアは急速な劣化を防ぐために、真空パックにより保存し、必要に応じて真空パックから取り出し、コア観察、コア写真撮影、現地測定、室内分析用のコア採取を行い、その後は再度真空パックにより保存する。

掘削が終了した時点で、孔井と地表間での速度構造を決定するための弾性波トモグラフィを行うため、ケーシングで保孔された孔内に多連のハイドロフォンを降下させる。得られたデータにより速度構造を高精度化し、これにより予め実施された反射断面を再解析する。

(4) 孔内長期モニタリング

孔内調査、コア調査の結果に基づきモニタリング区間を仮設定し、キャリパー検層により孔内状況を確認したうえで計測区間を設定する。孔内において裸孔を構築した上で、モニタリングシステムを

設置する。

その後掘削用の地上設備を撤去した上で、無人モニタリング観測システムを設営し、長期のモニタリングを開始する。

設定された期間が終了したのちに、廃孔作業を行い、敷地を原形復旧する。

IV.2 コントロール掘削

IV.2-1 コントロール掘削の構成と概要

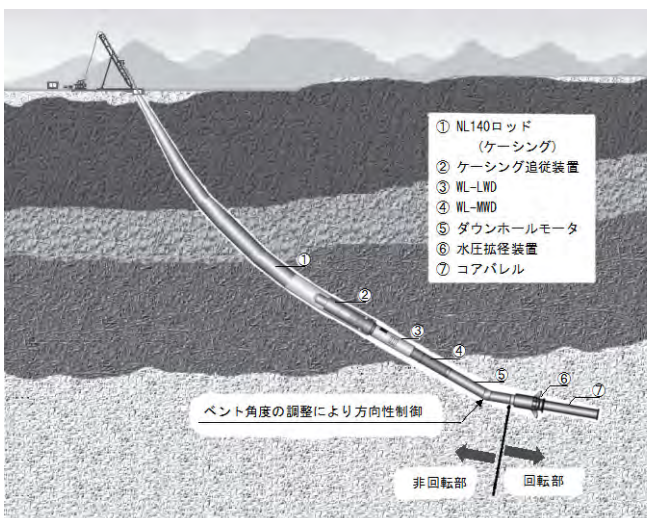
(1) コントロール掘削の構成

本システムは、①ケーシングパイプ、②ダウンホールツールズ、③ワイヤラインおよび地上での④掘削リグより構成される。

(2) 掘削概要

回転力を有し、方向性を制御できるワイヤラインダウンホールツールズをケーシングパイプの先端に取り付け、孔壁を保護しながら方向性を変化させる掘削工法である。

コントロールボーリングシステムは概略①掘削した孔壁を保孔するためのケーシングパイプ(以下CP)、②掘削や先端探知を行うためのダウンホールツールズ、③ダウンホールツールズを上げ下げするためのワイヤラインおよび地上の④掘削リグから構成される(図IV.2-1)。



図IV.2-1 コントロールボーリングによる掘削概念

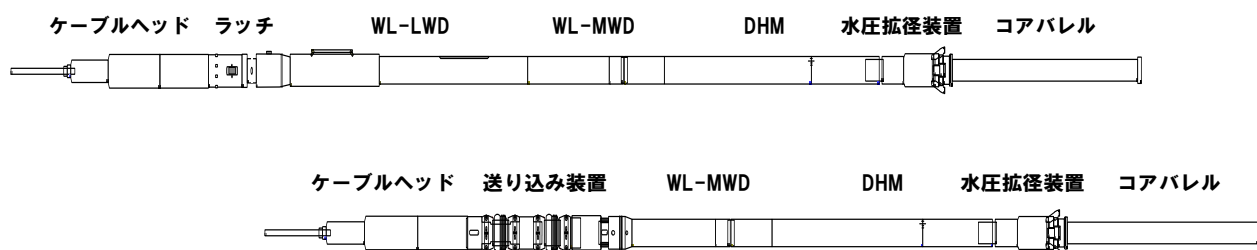
ケーシング先端)に固定される。CP内に圧入された泥水はWL-LWDおよびWL-MWDの内部を通過しDHMに回転力を与え、さらに一部がコアビットに供給される。これらの泥水は孔壁とCPの隙間(アニュラス)から地表に戻る。

DHMには0~3°程度軸を傾斜させることのできるベントサブが併設されており、この組み合わせによってビットをある方向に傾斜させたまま掘削することが可能となる。常時WL-MWDにより傾斜角と方位角を計測し、座標位置を継続して計算することにより孔跡を把握することができ、方位のコントロールが可能となる。

ダウンホールツールズは下部よりコア採取のためのコアビットおよびコアバレル、拡径のためのアンダーリーマ、掘削の動力のためのダウンホールモーター(DHM)、先端の位置や掘削情報を得るためのWL-MWD(Wire Line - Measurement While Drilling)、孔底における地質情報を得るためのWL-LWD(Wire Line - Logging While Drilling)より構成される(図IV.2-2)。

掘削時のダウンホールツールズはラッチシステムによりケーシングシュー(ケ

コアバレルにコアが充填した時点で、コアを回収するためにダウンホールツールをワイヤラインにより引き上げる。孔井が最終的に水平孔になるため、押し込み力を伝達することが可能になるように泥水の圧入によりダウンホールツールを押し込むことが出来る送り込み装置(ポンプ-インシステム)を開発・採用した。またダウンホールツールからの情報の伝送、ダウンホールツールへの電力の供給のために、ワイヤライン(アーマードケーブル)内部に電源線や光ファイバーなどが内蔵される。



図IV.2-2 掘削用ダウンホールツール

(上：急傾斜掘削時編成 (WL-LWD を含む) 下：緩傾斜掘削時編成)

表 IV.2-1 掘削システムの仕様

編成	コアビット・バレル、水圧拡張装置、ダウンホールモーター、WL-MWD、WL-LWD (必要に応じて)、ラッチ、送り込み補助装置 (緩傾斜~水平)、ケーブルヘッド
装置寸法	長さ：16m (最大)、外径：φ 89~104mm
掘削径	コアリング：φ 89mm 拡張径：152mm
コアリング	コア径：φ 52mm (HQ) コアバレル長さ：1m、2m、3m (コア採取長に応じ)
ケーシング	NL140 ロッド 外径：φ 140mm 内径：φ 125~130mm (内アップセット) 長さ：3m
材質	スチール、MWD 外郭は非磁性材料(Nibron)
その他特記事項	拡張装置は水圧により拡張が可能

IV.2-2 ダウンホールモーター

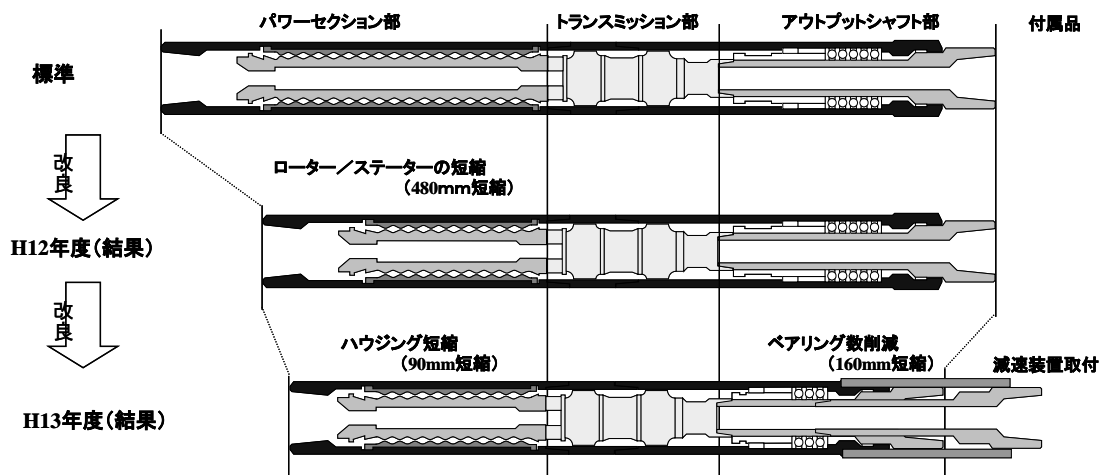
孔内で回転力を得るために、泥水の送水圧で回転が可能なダウンホールモーター（DHM）を採用し、本体に偏角用のベントハウジングを設けた。

通常のボーリング掘削のように地上での回転動力および推力をケーシングロッドにより地下に伝達する手法をコントロール掘削に適用すると、特に軟岩では孔壁をロッドにより打撃し、孔壁崩壊の原因となる。このために、掘削先端部で回転力を得るために、ダウンホールアセンブリーの一部としてダウンホールモーターを採用した。

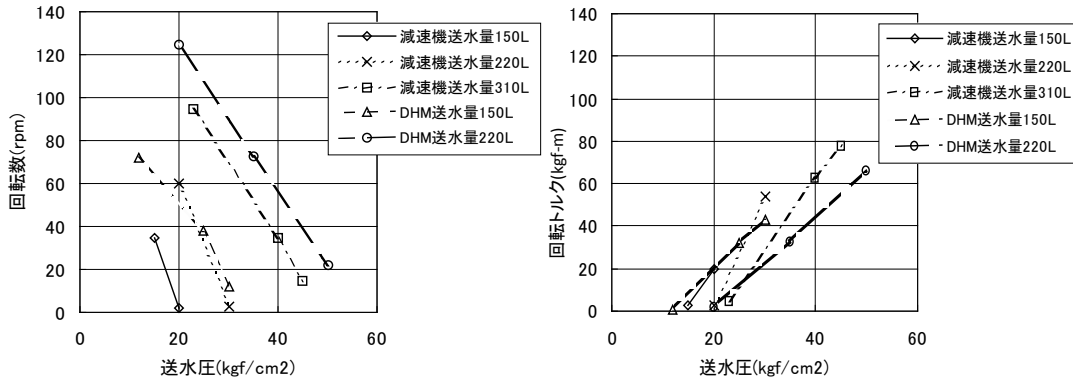
DHM は既存製品を以下の条件に合うように改良すること前提として開発を進めた。

①本体長さは、2.5m以内とする、②本体外径は他の装置にあわせ 88.9mm とする、③送水量は分水装置により減衰できる範囲内で 400L/min 以下を目標とする、④回転トルクは最大値で 40kgf・m 以上とする、⑤回転数は 300r.p.m.以下で送水量により調節可能であること。

以上の条件を踏まえて、装置の短縮および改良を実施し、地上および模擬孔井出の試験を行い、最適な使用条件を確認した（図IV.2-4）。



図IV.2-3 ダウンホールモーターの短尺経過



図IV.2-4 ダウンホールモーター性能試験結果
(左：送水圧-回転数 右：送水圧-回転トルク)

ベントハウジングのベント角を $0.39^\circ \sim 0.78^\circ$ にすることで、掘削の偏角を $1^\circ / 10\text{m}$ とすることが可能である。なお、対象地質、コアバレルの長さや掘進スピードにより偏角は変化し、特に掘進スピードを上げること、またコアバレルを短くすることにより偏角が増す傾向が確認できた。

IV.2-3 コアビット・コアバレル

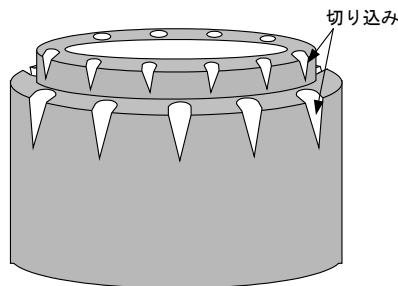
採取された堆積軟岩のコアは様々な地質環境情報を有していることから、コア採取率を向上し掘削泥水の影響を排除した不攪乱試料を採取するために、コアビットおよびコアバレルの改良を行う。

コアビット・コアバレルの概念設計時の条件は、①本体の長さが 3.6m 以内であること、②本体の外径が 86mm 以内であること、③採取コア径が 50mm 以上であること、④採取コア長が 1m 以上であること、⑤不攪乱コアの採取ができること、⑥掘削中にできるだけ泥水にコアが触れないこととして、開発を進めた。

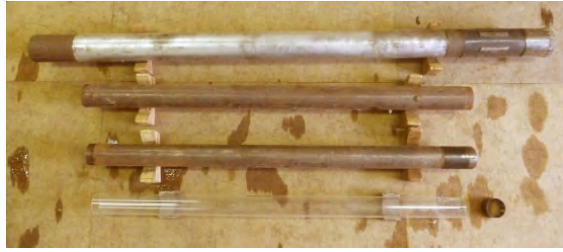
掘削泥水がコアに触れないこと、ノズルの目詰まりによる水圧上昇を防止する観点から、ウォーターウェイの切れ込みをビットの外側まで伸ばし（図IV.2-5）、かつ掘削泥水によるコアの流出防止のため、3重管式のコアバレルを用いて泥水が採取コアへ接触しない構造にした（図IV.2-6）。

さらに、未固結層に対応するビットとして、ビット先端部からリフターが飛び出したリフターケースシューの開発も行った。リフターケースシューにあわせビットの内径を大きくし、コアバレル内側にはコアを収納するアクリル管を配置した。また、掘削中にコアバレル管体が孔壁に接することで回転抵抗が生じたため、ビット外周のゲージサイズを拡大したオーバーサイズビット（外径 89mm）を採用した。これにより、コア流出の防止、1回あたりの掘進長、コアの回収率に改善が認められた。

コア回収率を向上させるために、コア収納部のインナチューブを回転させないための機構として堆積軟岩に不向きなクラッチ機構に変わりオイルレスドライベアリングを採用した。また、不攪乱のコアを採取するために、シリンダー機構によりコア頭部に一定の圧力をかけて、コアの膨潤を防止した。



図IV.2-5 ウォーターウェイの変更状況



アウトチューブ(ビット含)

ミドルチューブ

インナチューブ

アクリル管

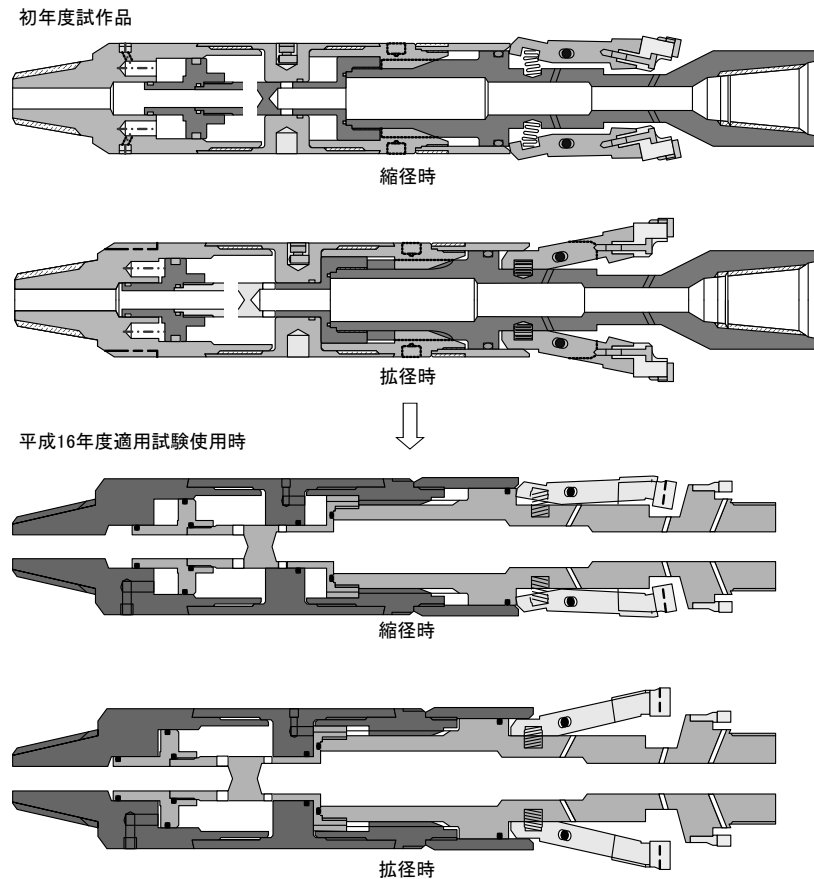
図IV.2-6 3重管コアバレル

IV.2-4 拡径装置（アンダーリーマ）

コアリング掘削した孔井をその径より大きなケーシングが追降するため、水圧により拡縮が可能な拡径装置によりコアリング径をケーシング径より大きく拡孔する。

本プロジェクトでは、住友金属鉱山(株)が保有していた特許である“ウェルマン”を基に拡径装置を開発することとした。ウェルマンではコントロールボーリングにそのまま適用させることは難しい。そのため、全体システムに適用するために以下のような改良を2004年度までに行った。

- ①圧力（水圧）のON/OFFにより拡径ビットが拡縮する機構
- ②ケーシングがスムーズに通過できるよう、拡径装置による掘削孔内を真円に保つこと
- ③泥水の分水装置を拡径装置に組み込み、全体の長さを短縮すること
- ④ビット収納箇所でのスライム排除を容易にすること



図IV.2-7 水圧拡径装置改良と現状

IV.2-5 ケーシング

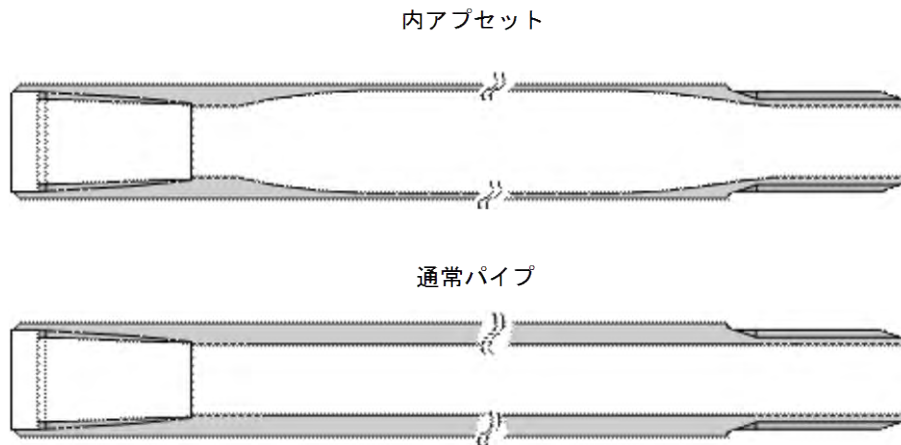
本システムの掘削孔跡が曲線を描くため、これに追従するよう、曲がりやすいケーシングを採用する。

本掘削システムでは、ケーシングは掘削機器を追降し、孔壁を保孔すると共に、ケーシングロッド内に圧入された泥水をダウンホールモーターへと導入する役割を担っている。また、孔跡が曲線を描くため、これに追従するよう、曲がりやすくする必要がある。

上記を踏まえ、以下のような開発目標を設定した。

- ①ケーシングが曲がることの負担がジョイント部に集中し、それによるジョイント部からの漏水を防止する。
- ②想定される掘削時の引っ張り、撓みなどの強度特性を確保する。

開発目標に沿って、コントロール掘削の曲げに対する柔軟性・長尺掘削に対する重量・強度などの取扱性を考慮し、TR140 および NL140 の 2 種類のパイプを選択し（図IV.2-8）、工場内において比較検討した。その結果、NL140 ロッドが TR140 ロッドに比べ直進性に優れ、かつ荷重に対する柔軟性を持っていることが判明し、模擬孔井での試験で掘削ロッドとしての能力を有することを確認した。また、ピンネジエンドに O-ring の装着ができるようにし漏水防止を行った。



図IV.2-8 ケーシングロッドの比較
(上：NL140 ロッド、下 TR140 ロッド)

IV.2-6 ケーシング追従装置

ケーシング追従装置はケーシング先端部とダウンホールツールスを掘削時に固定し、ケーシング内を圧入され流下する泥水をダウンホールツールスへ導入するための装置で、ラッチ機構を持つインナーヘッドアセンブリおよびラッチを固定するアウターチューブアセンブリより構成される。

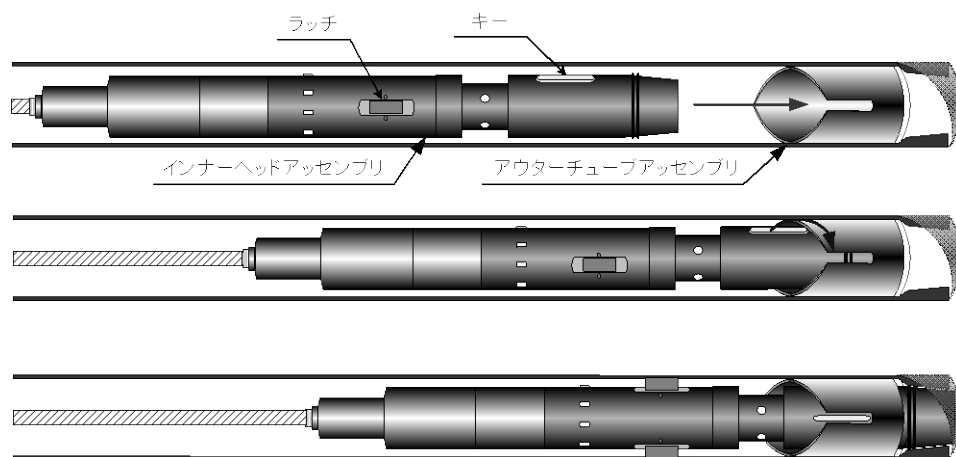
本装置によりケーシングとダウンホールアセンブリーを確実に固定することにより、

- ①本装置接続部の泥水の漏出を防止する。
- ②ケーシングを介して地上からの推力をダウンホールツールスに伝える。
- ③ダウンホールツールスのツールフェースを制御する。

ことが可能となる。

本装置の開発に当たっては、ラッチの確実な固定はもとより、ラッチが確実に分離しないことは孔内での大きなトラブルとなることから、ワイヤラインの牽引でラッチが確実に分離する機構を目指した。

当初に開発した追従装置はラッチの枚数が1枚であるために水平な状態で使用した場合に安定性に欠ける懸念があること、また、ラッチを複数枚にすることにより強度を高めることができることから、ラッチの枚数を2枚にした追従装置に改良した。改良の結果、伝送ケーブルの通り道を装置の中央に配置することが可能となり、現地での適用試験によりその性能を確認することができた。



図IV.2-9 ケーシング追従装置模式図

IV.2-7 押し込み補助装置

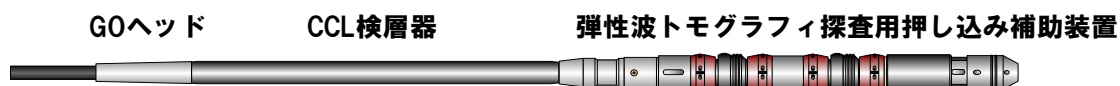
押し込み補助装置は、自重でダウンホールツールが降下しない緩傾斜～水平孔において、ツールを降下させるもので、泥水圧入により生じる水圧をツールに設置されたラバーにより受圧して押し込みを可能にする装置である。

押し込み補助装置は泥水圧入により生じる水圧をツールに設置されたラバーにより受圧して押し込みを可能にする装置である。受圧用のラバーの受圧効率強化を検討するために、ラバー形状の異なる2種類の押し込み装置（羽根式タイプとリング式タイプ）を試作し、2回の地上試験の結果を考慮して、羽根式タイプを用いて現地適用を行った。しかし、孔内（ロッド管内）での摩擦抵抗により、ツールがロッド管内で停止してしまう現象が認められたため、水圧を受ける力を強化するため、ラバー装着箇所を1箇所から2箇所へ増設し、さらに形状をテーパ状ラバーへ改良した。（図IV. 2-10）。改良した装置を用いて、水平孔井部分を含めた孔長 1000m までの運用が可能となった。



図IV. 2-10 押し込み補助装置（上：当初試作、下：改良（白い部分がテーパ状ラバー））

本押し込み補助装置と同様のシステムをジャイロ検層装置（図IV. 3-1）および弾性波トモグラフィ用のハンドリングツール（図IV. 2-11）などにも適用している。



図IV. 2-11 弾性波トモグラフィハンドリングツール

IV.2-8 試錐機

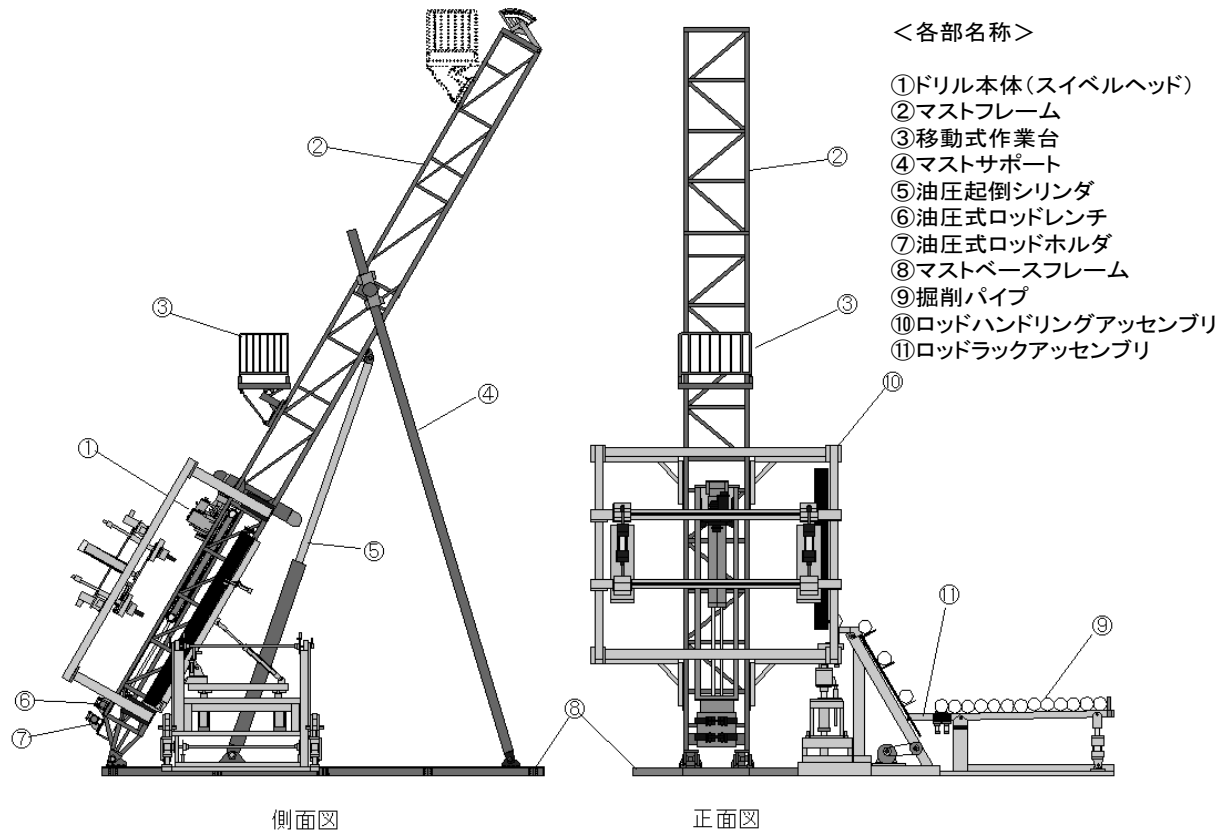
試錐機は、地上においてケーシングロッドの挿入、回収およびダウンホールツールスの上昇、下降や泥水の圧入などを行うための装置である。従来の試錐機と比較して、孔口の角度を可変にすること、孔内に動力があるため地上では大きな回転動力を持たないことが特徴である。

試錐機に関しては、従来の鉛直掘削用の試錐機を適用することも可能であるが、比較的短い孔長で水平に到達することを考慮して、孔口で傾斜掘削ができるスラントリグを開発することとした。試錐機は、①1000mの傾斜および水平掘削に対応可能であること、②コントロールボーリング専用の試錐機であることを前提とし、掘削技術を構成する装置の組み合わせや操作性を考慮し設計・開発を行なった。

掘削のためのダウンホールツールスはコアバレル、水圧拡張装置、ダウンホールモーター、WL-MWD、WL-LWD およびケーシング追従装置であり、これらの編成による全長が16m程度となるため、試錐機のマストの長さはフィード部分を含め18mとした。掘削に使用するケーシングをNL140としたため、スピンドル内径は140mm以上のものとした。さらに、適用試験における敷地面積および搬入路等が制限されるサイトにおいても運搬・搬入が可能となるように可能な限りコンパクトかつ細分化できる構造を持てるように設計した（図IV.2-12）。

試錐機の特徴を以下に示す。

- ①掘削ドリルと一体型マストにより掘削装置の組立が容易に行なえる。
- ②垂直から水平までの傾斜角度の変更が容易に行なえる。
- ③掘削ロッドのフィード能力が245kNである。
- ④フィードストロークが3、700mmである。
- ⑤最大トルクは19.6kN・mである。
- ⑥油圧ロッドレンチ・油圧ロッドホルダによりネジの切離しが容易に行なえる。
- ⑦ロッドハンドリング装置などのオプションが装着可能である。



図IV.2-12 試錐機概要と名称

IV.2-9 コントロール掘削手順

地質状況に応じて予め策定した掘削予定孔跡、それを考慮した掘削手順に沿ってコントロール掘削を実施する。

概要調査段階の地表からの地質調査により想定される地質状況に基づき計画された効率的な掘削孔跡およびケーシングプログラムに沿って、掘削手順を策定する。

【掘削準備】

(1) 掘削孔跡

調査個所で想定される地質分布および地質構造（特に断層破碎帯）、処分場の設置深度、さらには孔口位置などを考慮して、効率的な掘削孔跡を計画する。

(2) ケーシングプログラム

地表の被覆層や表層基盤の風化状況、さらには最終孔径を考慮して、ケーシングプログラムを計画する。孔内状況が安定する深度までは沿角、ノンコア掘削とし、その後 NL140 ロッドが通過可能なロッドを挿入しセメンチングで固定した後に、コントロール掘削による掘削を開始する。

(3) 泥水の選択および作泥

対象となる地質が堆積性の軟岩であること、傾斜掘りであることから、孔壁が崩壊しやすいため、孔壁崩壊防止の観点からの泥水を選択する必要がある。また、孔壁やコアへの泥水の侵入を防ぐため、また泥水の孔壁への侵入による孔内の脱水を防ぐ観点から低脱水の泥水を選択する必要がある。さらに、水質の評価を乱すような化学成分が少ないことが望ましい。

作成された泥水には、その後の各種調査の際に泥水の影響を評価するために、一定濃度のトレーサ物質を投入し、常時一定濃度範囲になるように管理する。

【コントロール掘削：傾斜～水平】

(1) NL140 ロッドの降下

NL140 ロッドの単管（3m）を繋ぎながら所定の深度（孔底より 10～13m 手前：ダウンホールツールの編成長に依存）まで降下する。

(2) ベント角の調整

掘削の偏角は地質状況、掘削スピード、先端のコアバレル長により変化するため、その時点での状況に応じてダウンホールモーターに設置されたベント角を調整する。

(3) ダウンホールツールの降下、ラッチによる固定

掘削用のワイヤラインダウンホールツールを降下させ、ケーシングシューにおいてラッチにより

ダウンホールツールズとケーシングを固定させる。自重で降下しない（低傾斜）場合は、ダウンホールツールズに押し込み用補助装置を設置し、泥水を送水して水圧により降下させ、ラッチにより固定させる。ラッチの固定確認は、送水圧（1500/min 送水時に 10ksc 以上の圧力上昇が得られれば固定したと判断できる）、により行う。

（4） ツールフェースの調整

ケーシングに固定されたダウンホールツールズのツールフェースを地上のロッドを回転することにより調整する。

（5） コントロール掘削

ドリラーディスプレイにリアルタイムに表示される MWD の情報をモニタリングすることにより、最適な条件で掘削を行う。特に掘進能率（以下 「ROP」という）を高くするためには適正なビット荷重（以下「WOB」という）を与えることが必要となる。特に拵径ビットに岩盤強度に応じた適正な WOB を与えることが重要であり、このため先進掘削されたコアの強度を反映させながら掘削管理を行う。また、掘削中には、WOB の調整のほか MWD の情報から得られるトルクの増減および水圧の変動に注視し、コア詰まりの発生や逸湧水の兆候が確認できるように管理する。

掘削中には MWD の方位、傾斜情報により適正な指向性掘削が行われているかをチェックする。

（6） アンラッチ、ダウンホールツールズのつり上げ

当該長さの掘削が終了した時点、何らかのトラブルが生じた時点において泥水の送水を停止させ、ロッドの後退によりコアバレルをコア孔から引き抜いた後、拵径ビットを閉じ、地上のウィンチによりワイヤラインを引き上げ、ダウンホールツールズをケーシングのラッチから外し地上まで吊り上げ、コアバレルから採取されたコアを回収する。

回収したコアの状況や、その他の情報を基に、掘削区間で他の調査が必要と判断された場合は、掘削用の編成から調査用の編成に交換し調査を行う。

さらにコアリングが必要な場合には（1）へ戻り、同様の作業を実施する。

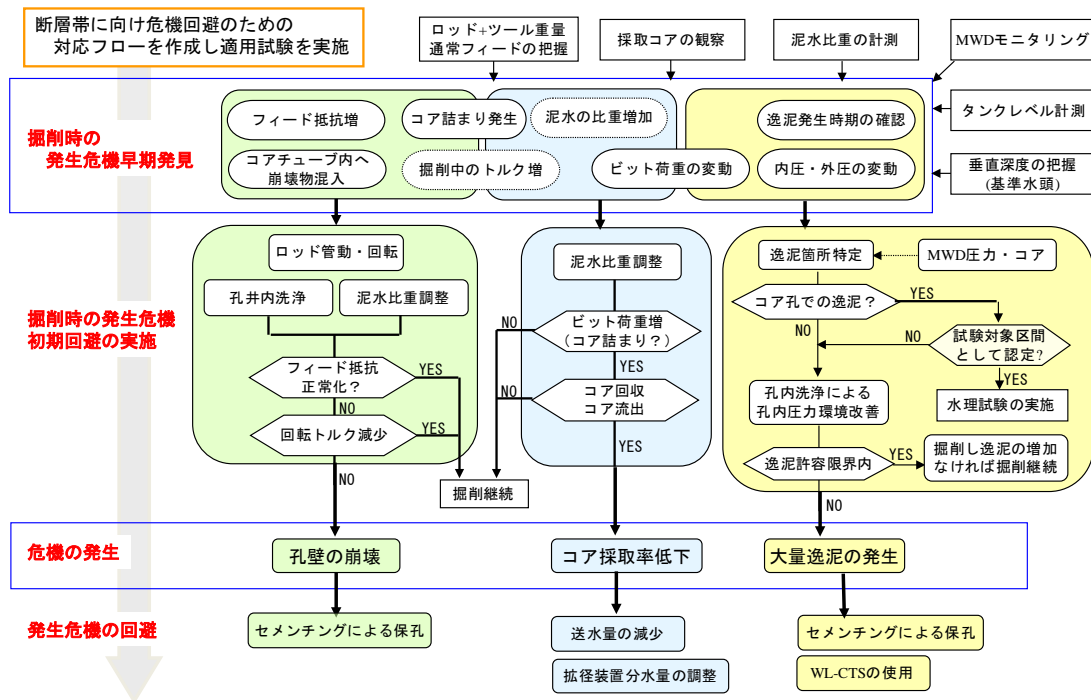
IV.2-10 掘削時の危機対策

掘削時の危機対策は、危機の予知とその回避策の検討、回避できない危機発生時の対応に区分して、それぞれ実施する。

(1) 危機の予知と回避策

孔内掘削においては、地質状況や掘削状況に応じて様々な危機（トラブル）の発生が想定される。このため、特に地質状況に起因する危機のうち、最も遭遇の可能性の高い断層破砕帯を想定し、その事前予知方法とその回避策、さらには危機発生時の対策に関して検討し（図IV. 2-1）、これに基づき現地での掘削を実施した。

また、極力孔内でのトラブルを回避するために、掘削に先立つ準備作業の一環として実施する孔内状況確認のためのロッド降下時に洗浄を行ったり、安定した孔内圧力環境の確保を目標に掘削時に孔内洗浄・孔壁整形を実施することで逸泥の発生を防止した。



図IV. 2-14 断層掘削における危機回避、対応図

(2) サイドトラック

孔内において地質状況に起因する大量な逸泥が生じた場合、泥水によるスライム排除が困難となり、

そのため掘削が困難となる。このような場合、一般的にはセメンチングにより逸泥を防止した上で、再掘削を実施する。再掘削に際してもさらに逸泥する場合は、逸泥上部より新たな孔井を掘削（サイドトラック）することとなる。

IV.3 掘削時検層

IV.3-1 掘削時検層（MWD）の概要

掘削時検層（MWD）はコントロール掘削中に搭載した各種センサーにより掘削状況をリアルタイムに連続的に計測することを可能とするサブシステムである

(1) 目的

掘削時検層（MWD）は、コントロール掘削中に、孔内状況すなわち先端位置および掘削状況に関する情報を連続的に計測し、測定データをリアルタイムに表示することを目的とする。

(2) 適用

掘削時検層（MWD）システムは、コントロール掘削システムにより掘削された内径 150mm 前後のボーリング孔内において常時適用することを基本とする。

掘削時検層（MWD）装置は、掘削システムの中ではダウンホールモーターの上部に位置しており、ダウンホールモーターを回転させるための泥水を供給するための流路（泥水パス）が検層装置の中心部に設けられており、センサー類は装置外郭と流路の間の円周部に配置される。

孔内で取得された各種データは、ワイヤラインに内装された電気信号用ケーブルにより地上へと伝送され、地上において情報化掘削のためにリアルタイムでドリラーディスプレイに表示される。

表IV.3-1 掘削時検層（MWD）システムの概要

構成概要	孔内に下す「プローブ部」と計測・制御する「地上部」より構成
測定項目	方位、傾斜、トルク、ビット荷重、孔内圧力、孔内温度
測定範囲・精度	方位：360°（範囲）、±0.3°（精度） 傾斜：120°（範囲）、0.1°（精度） トルク：±2000N・m（範囲）、1%F.S.（精度） ビット荷重：1000kg（範囲）、1%F.S.（精度） 孔内圧力：0~30MPa（範囲）、0.75%F.S.（精度） 孔内温度：-20~100℃（範囲）、0.5%F.S.（精度）
耐圧・耐熱	耐圧：30MPa 耐熱：100℃
装置寸法・形状	プローブ長 1875mm、外径φ90mm(非磁性カラー) 中心部に内径17mmの泥水パス
データ伝送	ワイヤラインに内装されたケーブルを介して伝送
その他	地上制御部(制御用PCおよびデータ処理用PC)ではリアルタイムに測定データをドリラーディスプレイとして表示

IV.3-2 掘削時検層装置 (MWD) の構成

掘削時検層 (MWD) システムは次の諸装置により構成される

(1) 孔内部

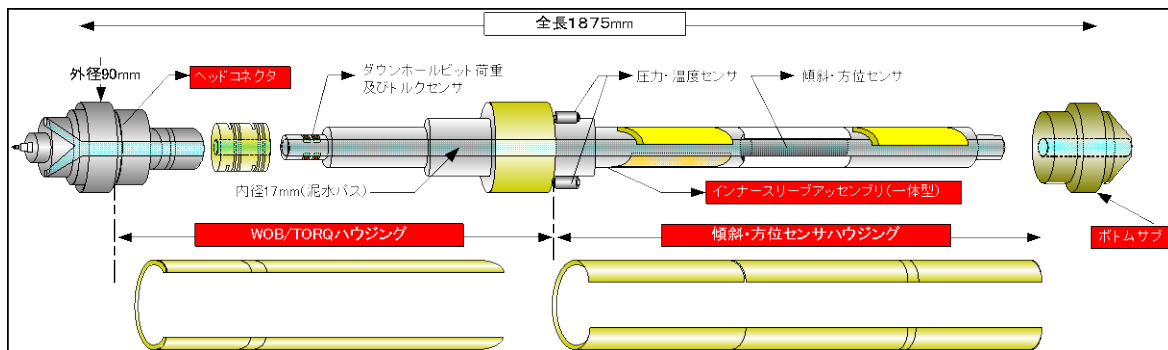
- ① 方位計 (方位磁針) ② 傾斜計
- ③ トルクセンサー ④ 荷重計 (WOB :Weight On Bit)
- ⑤ 圧力センサー ⑥ 温度センサー

(2) 地上部

- ① データ処理用 PC ② ドリラーディスプレイ

MWD 装置(プローブ部)の概念図および写真を図IV.3-1 に示す。後述する LWD とダウンホールモーターとの間に本システムを連結できる構造としている。本システムは、5 種類の測定 (方位、傾斜、トルク、ビット荷重、孔内圧力) の小型化を図った各モジュールが組み込まれたプローブ部とデータ収録・表示を行う地上制御部より構成される (表IV.3-1)。

プローブ部には、ボーリング掘削の先端位置を探知するための、方位・傾斜計が設置されており、常時計測により孔席と現在位置を確認することができる。また、トルク、ビット荷重、圧力をリアルタイムに計測、表示し、孔内状況の変化に対応することで地上での情報化掘削に援用されている。



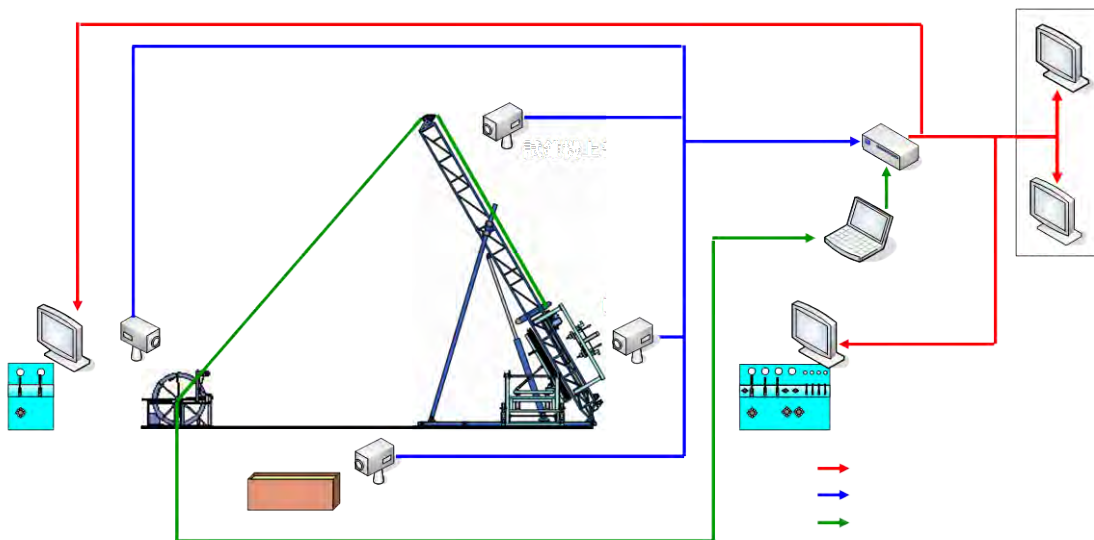
図IV3-1 MWD ツール全体図

IV.3-3 掘削時検層（MWD）のデータ取得

プローブ内の各種センサーにより取得されたデータは、ワイヤラインに内装されたケーブルにより伝送され、地上でPCによりリアルタイムに解析され、その結果がドリラーディスプレイにより表示される。

プローブ内の各センサーにより取得されたデータは 50kbps の伝送速度でワイヤライン内のケーブルにより地上に伝送される。伝送されたデータは PC により ASCII フォーマットのデータとして取り込まれる。各センサーの生データはそれぞれ取得された時間と関連付けられ、さらにその時間での孔内深度情報を取り込むことにより深度と関連付けられる。データの取り込みレートはおおよそ 2 秒毎である。

PC に取り込まれた深度と関連付けられた生データは PC により解析された上で、ドリラーディスプレイに表示され、掘削管理に用いられる。



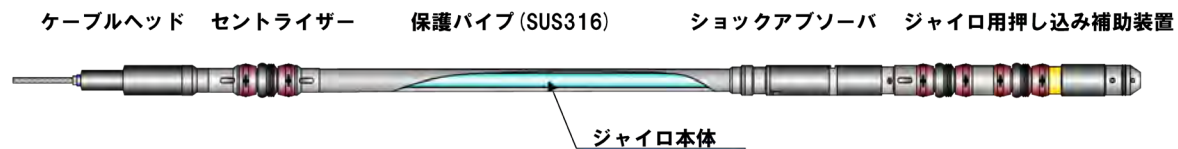
図IV.3-2 ドリラーディスプレイの配置

IV.3-4 位置情報の補正

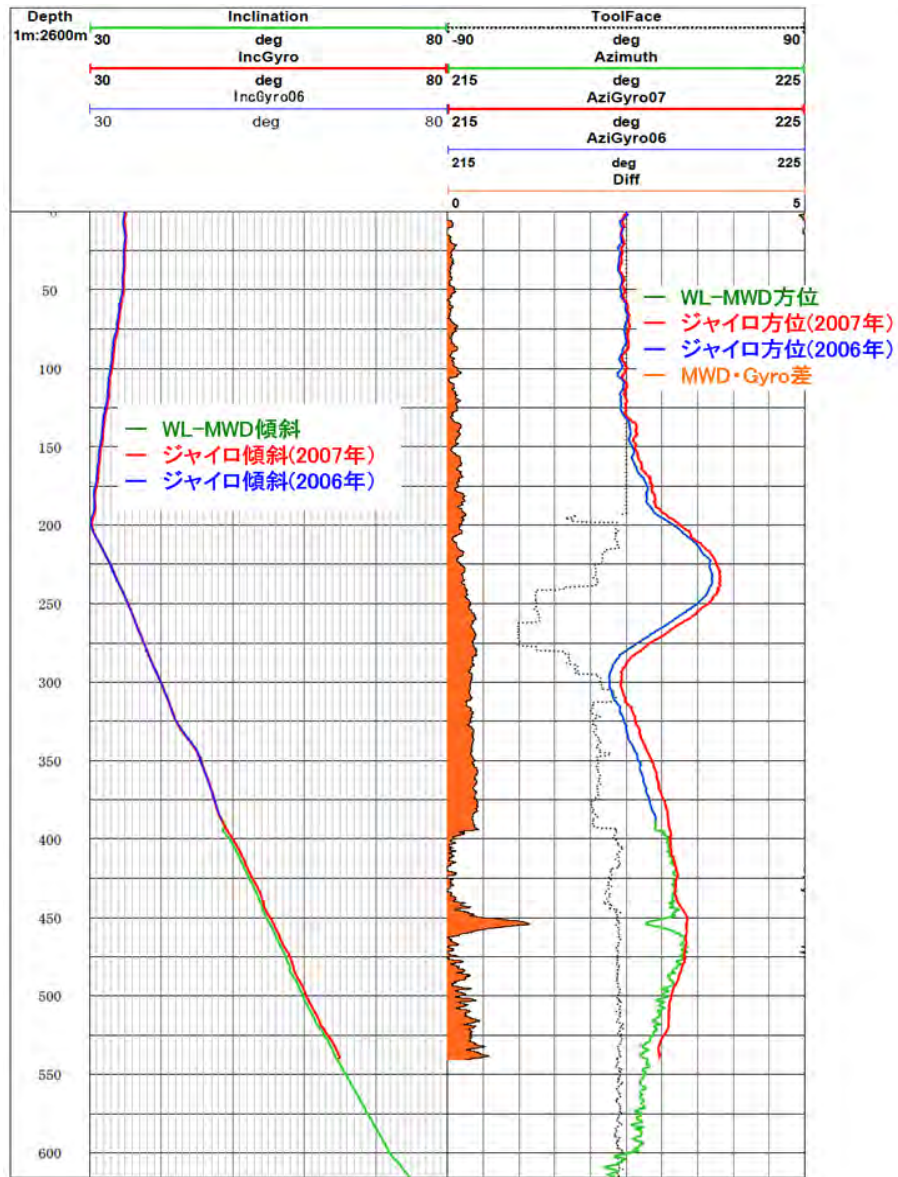
掘削先端位置情報の基となる方位情報は磁気影響を受けるために、事前に磁気影響を補正し計測を実施する。さらに高精度の位置探知を行うために、適宜ジャイロ検層装置により方位、傾斜を計測し、これにより位置補正を行う。

本装置では方位磁針の周辺のダウンホールモーターなどの機器に磁性体が多く存在することから磁気影響が懸念された。このために、計測前に地上において磁気影響を補正することにより、信頼性の高い計測を目指した。一方、ジャイロによる方位測定は磁気の影響を受けないことから方位磁針による測定に比べて高精度であるが、ドリフトにより常時計測が不可能である。

このため、MWDでの掘削時の計測後にジャイロ検層システム（図IV.3-3）による計測を実施し、ジャイロでの計測結果に基づき補正を行うことにより、MWDでの計測値がジャイロ計測値とほぼ同様の値を示す結果を得た。このように、MWD装置の常時運用とジャイロ検層システムの特定深度での計測との併用によりMWDデータを補正する手順を構築し、これにより掘削時の精度の高い先端位置情報を取得することが可能である。



図IV.3-3 方位・傾斜計測のためのジャイロ検層システム



図IV.3-4 MWDによる方位計測値の補正とジャイロによる検証

IV.3-5 掘削時検層（MWD）のデータ活用

掘削時検層（MWD）により通常の掘削では期待できない以下のような観点での情報活用が可能となる。

- (1) 先端位置の探知
- (2) 情報化掘削

本検層装置の所期の目的は、孔曲げ掘削のための先端位置の探知であり、これに関する方位・傾斜に関する情報はIV.3-4において述べたとおり高精度化しており、これら情報を活用することにより精度の高い指向性掘削を可能としている。

一方、情報化掘削に関するデータとしてはトルク、ビット荷重、孔内圧力などである。従来の掘削工法では、これらはドリルビットを介して地上において取得するため品質に課題があったが、本工法では孔内の掘削箇所近傍で取得するため高品質なデータを取得することが可能となる。これらの情報をリアルタイムでモニタリングし、総合的に解釈することにより、掘削障害（DHMのストール、ビットの目詰まり、水圧拡張装置アームの縮径不良の発生など）や逸泥・溢泥などの早期検知が可能となる。これにより効率的かつ安全な掘削作業を継続することを可能にするとともに、逸泥の検知により高透水箇所を認識することができ水理試験やモニタリング区間の決定に寄与することもできる。

IV.3-6 掘削時検層装置（LWD）の概要

掘削時検層（LWD）はコントロール掘削中にツールフェースに搭載した各種センサーにより孔内壁面の岩盤物性値をリアルタイムに連続的に計測することを可能とするサブシステムである。本システムは、①コントロールボーリング掘削時の連続計測、②長さ 3m 前後の限られたスペースにできるだけ多くの物理検層項目を組み込み基本的な地盤の物理特性を計測、③リアルタイムに計測データを表示、の各作業を実施する。

(1) 目的

掘削時検層（LWD）は、コントロール掘削中に、孔内壁面の各種岩盤物性値を連続的に計測し、測定データをリアルタイムに表示することを目的とする。

(2) 適用

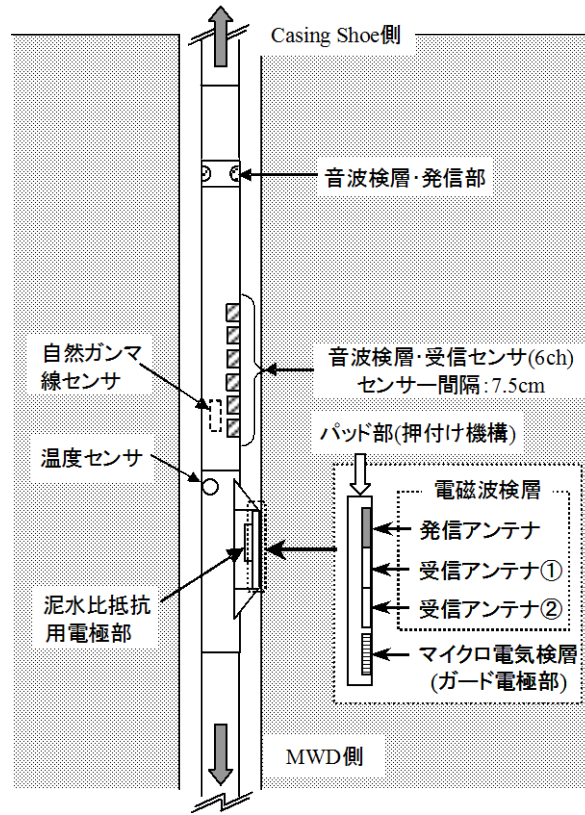
掘削時検層（LWD）システムは、長さ 1000m、深度 500mまでの内径 120mm以上のボーリング孔内に適用する。

掘削時検層（LWD）を実施するために、ボーリング孔内の裸孔部に各種センサーを押し付ける必要がある。このため、①各種センサー類を搭載したパッド部を作成し、非計測時はそのパッドは閉じられ、計測時にだけパッド部が開き孔壁に押し付ける機構、②パッド部に泥水中に含まれる掘削ずりが混入してパッドが閉じないトラブルを回避する機構を実用化した。

本システムの概要は表IV.3-2 および図IV.3-5 のとおりである。

表IV.3-2 掘削時検層（LWD）システムの概要

構成概要	孔内に下す「プローブ部」と計測・制御する「地上部」より構成
検層項目	音波、電磁波、マイクロ電気、自然γ線、泥水比抵抗・温度
パッド部	開閉・押し付け機構（電磁波、マイクロ電気センサー搭載）
装置寸法・強度	プローブ長 3080mm、外径 φ 100mm 孔内水圧：10MPa（102kgf/cm ² ） 圧縮強度：78.4kN（8000kgf）、引張強度：78.4kN（8000kgf） ねじり強度：1764N・m（180kgf・m）
泥水水圧	15MPa（153kgf/cm ² ）＜経路 φ 17mm＞
その他	地上制御部(制御用PCおよびデータ処理用PC)ではリアルタイムに測定データを表示



図IV.3-5 掘削時検層（LWD）システム概要図

IV.3-7 掘削時検層（LWD）システムの構成

掘削時検層（LWD）システムは次の諸装置により構成される

(1) 孔内部

- ② 音波検層
- ③ 電磁波検層（パッド部にセンサー搭載）
- ④ マイクロ電気検層（パッド部にセンサー搭載）
- ⑤ 自然γ線検層
- ⑥ 泥水比抵抗・温度検層

(2) 地上部

- ① 計測制御用 PC
- ② データ処理用 PC

本システムの写真をIV.3-1に示す。前述したMWDとケーシングシューの間に本システムを連結できる構造としている。本システムは、4種類の検層（音波、電磁波、マイクロ電気、自然ガンマ線）の小型化を図った各モジュールが組み込まれたプローブ部とデータ収録・制御を行う地上制御部より構成される（表IV.3-2）。以下に各モジュールの仕様を述べる。

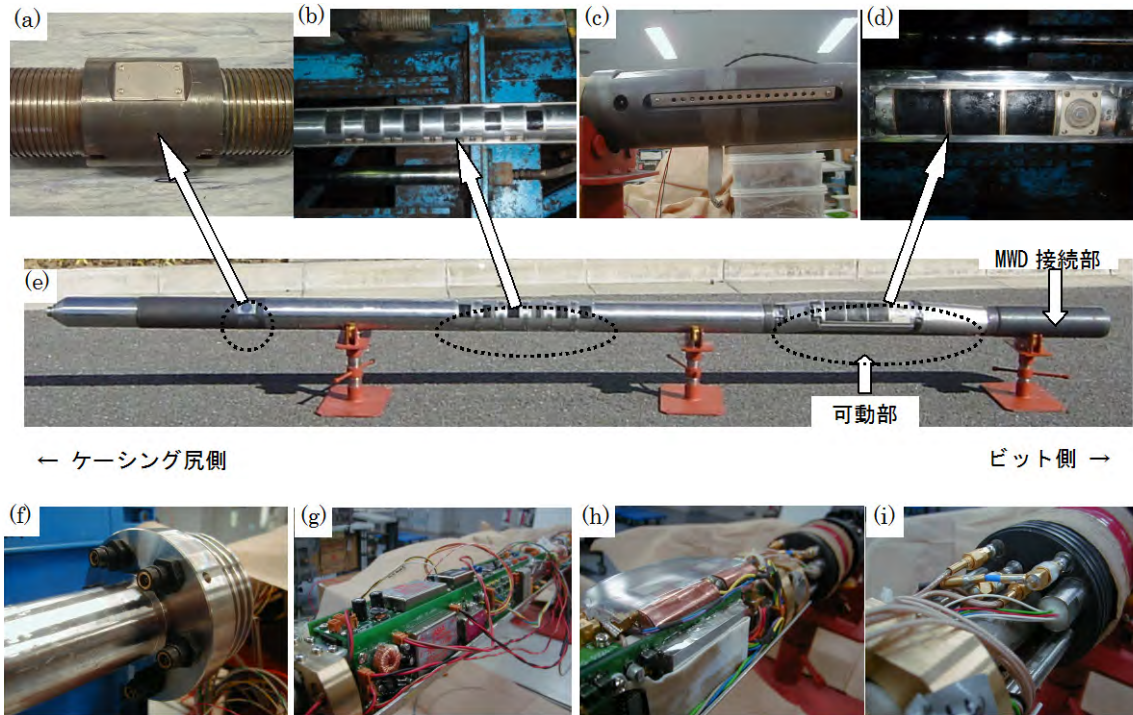


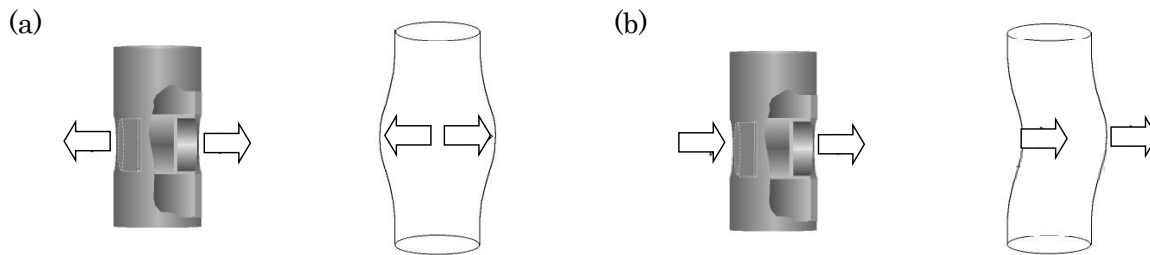
写真 IV.3-1 計測システム構成

(a) 音波検層送信部、(b) 音波検層受信部、(c) 泥水比抵抗センサー部、(d) 電磁波アンテナおよび電極部 (パッド部)、(e) プローブ全体、(f) 音波検層同軸防水コネクタ、(g) 音波検層基盤部、(h) 電磁波検層基盤部、(i) コネクター部

IV.3-8 音波検層モジュール

発信部として 2 組のコンポジット振源を使用する。P 波発振時は 1 組のモノポールソース、S 波発振時は 2 組のダイポールソースとして発振する。
受信センサーを 6 個装備。各センサー間隔は 10cm とする。

発信部として 2 組のコンポジット振源を使用した。P 波発振時は 1 組のモノポールソースとし、S 波発振時は 2 組のダイポールソースとして発振を行う (図IV.3-6)。発振器のバックキング材としてプローブと発振器の間に弾性体を挟み、プローブへ伝わる振動や反射を抑えた。さらに、発振エネルギーをロスしないよう発振器を薄い金属板で押さえる固定方法とした。受信センサーとして PVDF (ポリフッ化ビニリデン) フィルムを使用した。6 個の受信センサーを装備し、各センサー間隔は 10cm である。また、掘削時のビット先端からのノイズや泥水循環に伴うノイズなどの対策として、ハイパスフィルタおよび積算平均化機能を持たせた。



図IV. 3-6 音波検層の発振概念. (a) P 波用モノポール震源、(b) S 波用ダイポール震源

IV.3-9 電磁波検層モジュール

電磁波の減衰が激しい塩分濃度が大きい地層環境下でのインパルス波の計測を可能とするため、広帯域特性をもつ板状ダイポール型アンテナとする。

アンテナ部は1個の発信アンテナおよび2個の受信アンテナより構成され、開閉可能なパッド上に装備される。

電磁波の減衰が激しい塩分濃度が大きい地層環境下でのインパルス波の計測を可能とするため、広帯域特性をもつ板状ダイポール型アンテナ(中心周波数 1.0~1.5GHz)を製作した。耐水圧性能を持たせるため、アンテナと電波吸収体の外周をエポキシ接着材でモールド処理し、十分な耐水圧性能(120kg/cm²)を持たせた。表面は孔壁に密着させるため円弧型とする。また、アンテナ背面へ電波吸収体(金属磁性材配合樹脂およびソフトフェライト樹脂)を装着することで、アンテナ前面の放射特性への影響を極力抑制することができる。

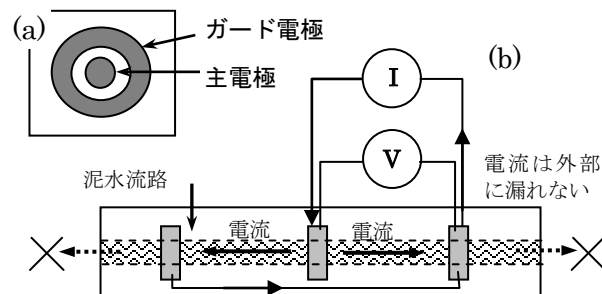
アンテナ部は1個の発信アンテナおよび2個の受信アンテナより構成され、開閉可能なパッド(押し付け機構)上に装備されている。このパッドは計測時のみ孔壁面に押し付け、センサー部を地盤に接触させながら計測する。

IV.3-10 マイクロ電気検層モジュール

孔内水（泥水）比抵抗の影響を受けにくい電流収束型電極配置を採用する。
地層の比抵抗と同時に泥水の比抵抗を計測する。
比抵抗の温度補正用として泥水の温度測定を行う。

図IV.3-7 に電極部の概念図を示す。孔内水（泥水）比抵抗の影響を受けにくい電流収束型電極配置を採用し、主電極からの電流密度とガード電流密度の比が一定になるようにフィードバック回路を入れた自動制御方法とする。また、電位測定回路、ガード電位測定回路およびガード電流制御回路にアイソレーションアンプを組み込んだ。ガード電極部は電磁波検層と同様、パッド部に装備されており、計測時は孔壁に接触しながら計測できる。

地層の比抵抗と同時に泥水の比抵抗を計測するため、円筒型 3 極電極を製作した。3 極電極では円筒内の閉じた領域で電流を流すため、電流が円筒外部にほとんど漏れず、正確な泥水比抵抗の測定が可能となる。ノイズ対策として、通電電流の周波数となる 1KHz を通す帯域のバンドパスフィルタと整流後の直流整形用に 200Hz のローパスフィルタを組み込む。比抵抗の温度補正用として 3 線式白金測温抵抗体を用いた温度測定回路を組み込む。



図IV.3-7 マイクロ電気検層の概念図 (a)ガード電極部、(b)泥水比抵抗センサー部

IV.3-11 自然 γ 線検層モジュール

粘土鉱物に多く含まれるカリウムや放射性物質であるウラン、トリウム等から出るガンマ線が検出の対象とする。

粘土鉱物に多く含まれるカリウムや放射性物質であるウラン、トリウム等から出るガンマ線が検出の対象となる。掘削時に大きな振動や衝撃を受けるため、衝撃に強い放射線検出器部の実装方法を開発する必要がある。そこで、ヨウ化セシウム結晶と光電子増倍管を組み合わせた小型検出部を製作した。振動対策としてウレタン材で検出部を固定し、温度 70°C までの正常に動作する。

IV.3-12 地上制御部

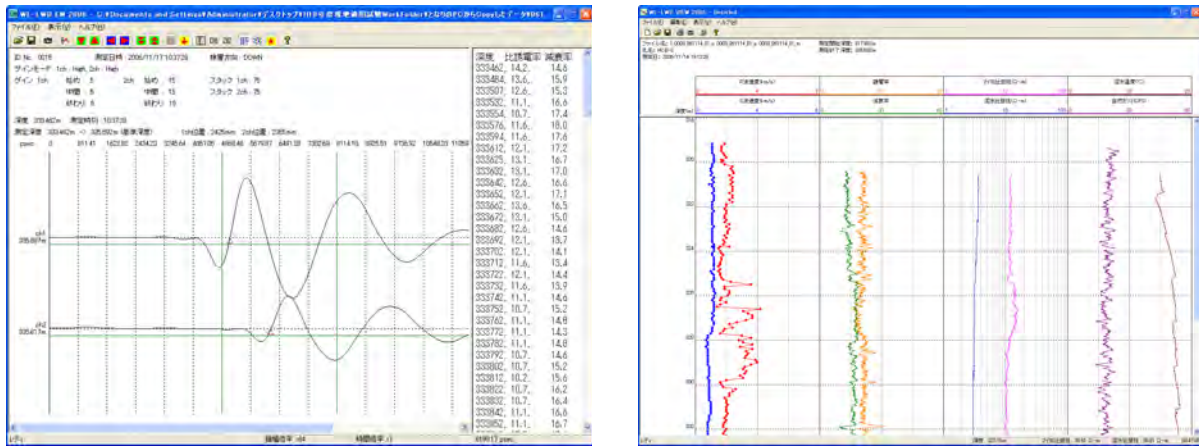
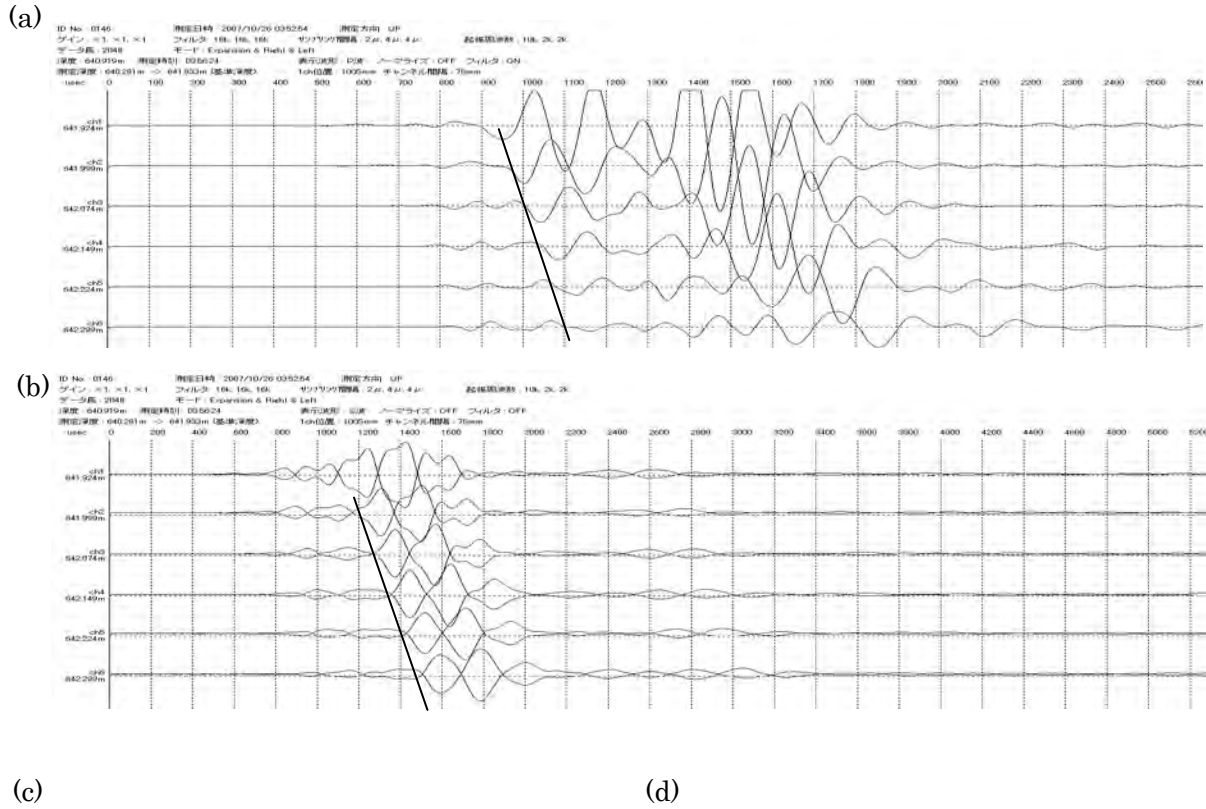
地上制御部はプローブ制御用 PC とデータ処理専用 PC より構成される。

孔内プローブとの通信は RS-485 方式を使用し、通信ボードを介して各検層モジュールと通信を行う。通信ボードは各モジュールとの通信の他、パッドの制御を行う。

現場でリアルタイムに測定データを確認するためのデータ処理ソフトウェアと処理した全検層データの深度プロファイル表示用のソフトウェアより構成される。

孔内プローブとの通信は RS-485 方式を使用し、通信ボードを介して各検層モジュールと通信を行う仕様とした。通信ボードは各モジュールとの通信の他、パッドの制御を行う。なお、自然ガンマ検層モジュールは、直接通信ボードとは接続せずに、マイクロ電気検層モジュールによって制御し、プローブ全体の小型化を図った。プローブでの計測データは、ノート PC にインストールした制御ソフトウェアによりリアルタイム表示、及びハードディスクへの保存 (ASCII 形式) が行なわれる。

現場において測定データを確認するためのデータ処理ソフトウェアと処理した全検層データの深度プロファイル表示用のソフトウェアを作成した。また、地上装置でデータ処理ソフトウェアを動作させると負荷過剰状態になるため、データ処理専用の PC を導入した。音波速度では、画面上で P 波、S 波と考えられる個所をマウスで線を引くことにより算出することができる (図IV.3-8(a))。電磁波速度では自動的に初動を読み取ることができる (図IV.3-8(b))。データ表示ソフトウェアでは、各検層項目の深度プロファイルを表示することができる (図IV.3-8(c))。



図IV.3-8 測定した音波・電磁波の受信波形および深度プロファイル

(a) P波受信波形例、(b) S波受信波形例

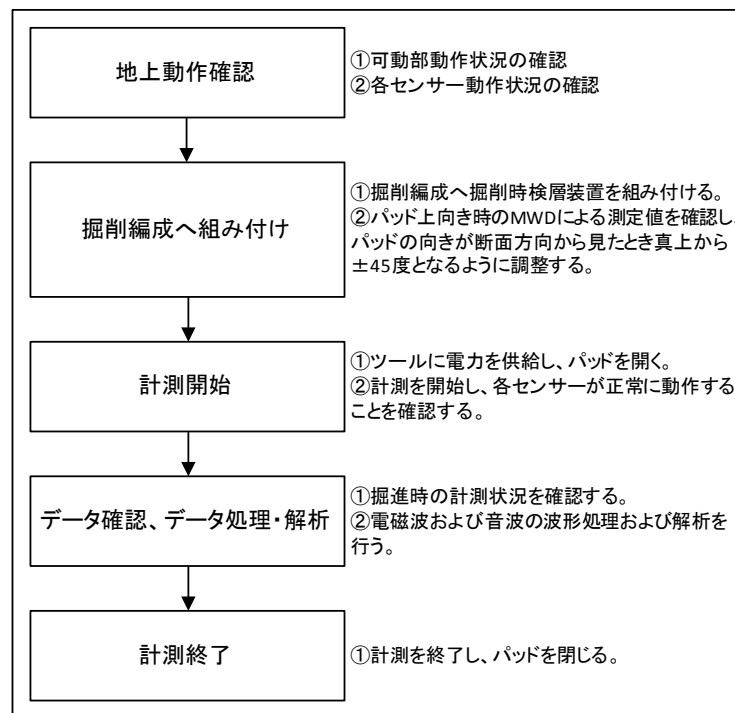
(c) 電磁波受信波形例、(d) 深度プロファイル例

IV.3-13 掘削時検層（LWD）システムの手順

掘削時検層（LWD）システムは次の手順で設置する。

- ① 地上動作確認
- ② 掘削編成への組み付け
- ③ 計測の開始
- ④ データ確認、データ処理・解析
- ⑤ 計測の終了

掘削時検層（LWD）システムの設置手順は図IV.3-9を標準とする。



図IV.3-9 掘削時検層（LWD）システム設置手順

掘削時検層システムを掘削編成に組み付ける前に、地上で動作確認を行う。動作確認内容は、可動部の動作状況および各センサーによる取得データの確認である。正常に動作することを確認した後、掘削編成に組み付ける。このとき、パッドが上向きになる場合のMWD ツールフェースを確認し、パッドの向きが断面方向から見たとき真上から±45度となるように調整する。つぎに、LWD を含めた掘削編成を降下させ、掘削用ロッドにラッチされたことを確認する。その後、MWD のツールフェースを調整し、LWD に電力を供給する。供給電圧に問題がないことを確認したら、パッドを開くとと

もに、計測を開始する。計測中は、各センサーの出力値を確認するとともに、電磁波および音波の波形処理および解析を行う。掘進終了時は計測を停止し、パッドを閉じてから掘削編成を回収する。

IV.4 透水試験・採水・イメージング

IV.4-1 透水試験・採水・イメージングの概要

透水試験・採水・イメージングはコントロール掘削中または掘削後のボーリング孔において、逸水箇所などの孔内壁のイメージングを行い、その箇所の透水性評価を行なうとともに、採水を可能とするシステムである。

透水試験・採水・イメージングは①試験区間のイメージング、②パッカーの設置、③透水試験、④採水の各作業を実施する。

(1) 目的

透水試験・採水・イメージングは、コントロールボーリングにより掘削されたボーリング孔を利用して、透水試験を行なうこと、また、採水を行なうこと目的とする。

(2) 適用

透水試験・採水・イメージングシステムは、孔径 80mm～175mm の掘進長 1000m、深度 500m までのボーリング孔内に適用する。

透水試験および採水を実施するためには、ボーリング孔内の試験箇所にパッカーを設置し、試験区間を設ける必要がある。このため、①ボーリング孔のパッカー設置箇所の孔壁状態の確認する技術（イメージング技術）、②パッカーを拡張し、水理的に隔離した試験区間を形成する技術（パッカー止水技術）、③掘削時の逸水、湧水箇所の透水性を計測する技術（透水試験技術）、④湧水箇所などにおいて地下水を採取する技術（採水技術）を実用化した。

したがって、透水試験・採水・イメージングは、試験区間を決定し、パッカーをかけて試験区間を密閉し、原位置での透水性を把握し、地下水の採水を可能としたものである。

システムの概要は表IV.4-1 および図IV.4-1 のとおりである。

表 IV.4-1 透水試験・採水・イメージング装置の概要

形式	透水試験・採水・イメージング装置
イメージングツール	計測区間長：10m 対象孔径：φ 80mm～φ 175mm 計測精度：1mm 計測項目：泥水使用時は音響映像（travel time、amplitude） 清水掘削時は光学映像

透水試験ツール	計測区間長：0.5m～2.0m（コア孔用シングルパッカー） 2.0m～（拡径孔用シングルパッカー） 1.0m（拡径孔用ダブルパッカー） 対象孔径：φ80mm～φ175mm、 試験方法：スラグ試験、揚水・注水試験、回復試験
採水ツール	採水区間長、対象孔径：透水試験ツールと同様 採水量：希ガスサンプラー25cc×3本、採水サンプラー2.7L×1本 水質計測項目：濁度、水質、トレーサ濃度

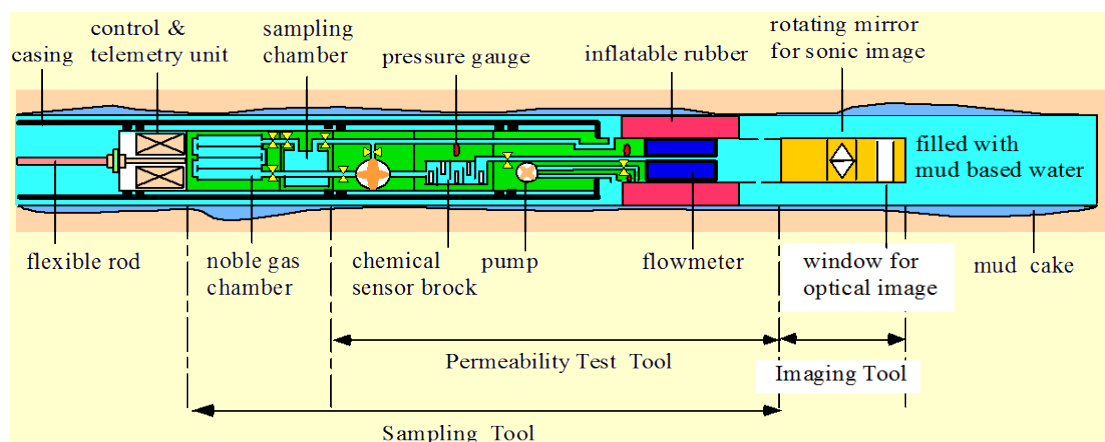


図 IV.4-1 透水試験・採水・イメージング装置の概要

（拡径孔用シングルパッカー装着、光学カメラ搭載の場合）

イメージングツール（Imaging tool）は装置先端に装着されている。

透水試験ツール（Permeability Test Tool）および
採水ツール（Sampling Tool）はパッカー、ポンプなどを共用する。

IV.4-2 透水試験・採水・イメージング装置の構成

透水試験・採水・イメージング装置は次の諸装置により構成される。

- (1) 透水試験ツール
 - ① ポンプ
 - ② 圧力計
- (2) 採水ツール
 - ① ケミカルセンサー
 - ② 採水チャンバー
 - ③ 希ガス用チャンバー
- (3) イメージングツール
 - ① 音響映像ユニット
 - ② 光学カメラユニット
- (4) パッカーシステム
 - ① パッカーシステム（シングルパッカーまたはダブルパッカー）
- (5) 制御・通信ユニット
 - ① コントロールおよびテレメトリーユニット
 - ② 地表データロガー

透水試験・採水・イメージング装置は、機能で分類した場合、透水試験ツール、採水ツール、イメージングツールのほかパッカーシステムと制御・通信ユニットによって構成される。透水試験と採水ツールは同一試験区間で行なうため、パッカーシステムや、透水試験ツールにあるポンプなどは採水と共用となっている。実際の使用に際しては、ハンドリングと組み立てを容易にするため、さらに細分割されている（図IV.4-2）。



図IV.4-2 透水試験・採水・イメージング装置の全体写真

IV.4-3 透水試験ツール

透水試験ツールは以下のポンプと圧力計で構成される。

- (1)ポンプ（中流量用モノポンプ、小流量用シリンジポンプ）
- (2)圧力計（パッカー圧用、区間圧用、先端圧用、アニュラス圧用、孔管内圧用）

(1) ポンプ

透水試験は試験区間で想定される透水性によって使用するポンプを使い分ける。モノポンプは流量をローターの回転数で制御できるもので、孔内の泥水を利用してパッカーを拡張する際も使用する。流量 100cc/min～350cc/min、吐出圧は最大 2.5MPa である。シリンジポンプはステッピングモーターの回転数により流量を制御するもので、流量 0.136cc/min～150cc/min、吐出圧は最大 0.1MPa である。

(2) 圧力計

圧力計はパッカー圧用、区間圧用、先端圧用（ダブルパッカーの場合）、アニュラス圧用、孔管内圧用が設置されている。計測範囲は 10MPa で精度は 0.015%FS である。

IV.4-4 採水ツール

採水ツールは以下のケミカルセンサー、採水チャンバー、希ガス用チャンバーで構成される。

- (1) ケミカルセンサー（濁度計、水質センサー、トレーサ濃度計）
- (2) 採水チャンバー
- (3) 希ガス用チャンバー

(1) ケミカルセンサー

ケミカルセンサーでは濁度、水質、トレーサ濃度を計測することが可能である。濁度は光学式で区間内の地下水をアニユラス側へ排出する管路に設置され、掘削泥水の残存による濁りを小型カメラで計測する。水質は pH、EC（電気伝導度）、ORP（酸化還元電位）、DO（溶存酸素）、温度を採水チャンバーの入口で計測する。また、分光光度計を内蔵し、掘削水にドーブされているアミノ H 酸などのトレーサ濃度を計測する。

(2) 採水チャンバー

水質分析用のタンクで、容量は 2.7L である。

(3) 希ガス用チャンバー

採水タンクの後に設置され容量 25cc の銅管が 3 本設置され、原位置圧力が保持したまま採水が可能である。

IV.4-5 イメージングツール

イメージングツールは光学カメラユニットまたは音響映像ユニットで構成される。

- (1) 光学カメラユニット
- (2) 音響映像ユニット

(1) 光学カメラユニット

光学カメラユニットは清水掘削などがされた場合に使用する。孔底方向を監視する固定カメラと孔壁方向に任意の画角画像を地上からのコントロールで得るカメラと2台装着されている。コア孔への適用の場合の計測精度は0.1mmである。

(2) 音響映像ユニット

超音波によって孔の側壁方向の音響映像を得るもので、主に泥水掘削の場合に使用する。音響映像は反射の大きさで映像を得るアンプリチュードの映像と、トラベルタイム（音波を反射して帰ってくるまでの時間）による映像の2通りを得ることができる。また、このトラベルタイムを用いて音響キャリパーとして用いることも可能である。コア孔への適用の場合の計測精度は1mmである。

IV.4-6 パッカーシステム

パッカーシステムは以下の3つのパッカー種のいずれかを用いて試験を行なう。

- (1) コア孔用シングルパッカー
- (2) 拡径孔用シングルパッカー
- (3) 拡径孔用ダブルパッカー

(1) コア孔用シングルパッカー

コア孔(89mm)用のシングルパッカーである。パッカー長は970mmのノンスライドで孔径80mm～100mmまで対応可能である。

(2) 拡径孔用シングルパッカー

拡径孔(152mm)用のシングルパッカーである。パッカー長は670mmのスライドタイプで孔径100mm～170mmまで対応可能である。

(3) 拡径孔用ダブルパッカー

拡径孔(152mm)用のダブルパッカーである。パッカー長は1000m、区間長は1000mmのスライドタイプで、孔径100mm～175mmまで対応可能である。

IV.4-7 透水試験実施手順

透水試験の標準的な手順は以下の通りである。

- (1) パッカーの設置
- (2) スラグ試験
- (3) 揚水試験

透水試験・採水・イメージング装置を適用する際の実施手順は一連の作業によって行なわれる（図 IV.4-3）。

(1) パッカーの設置

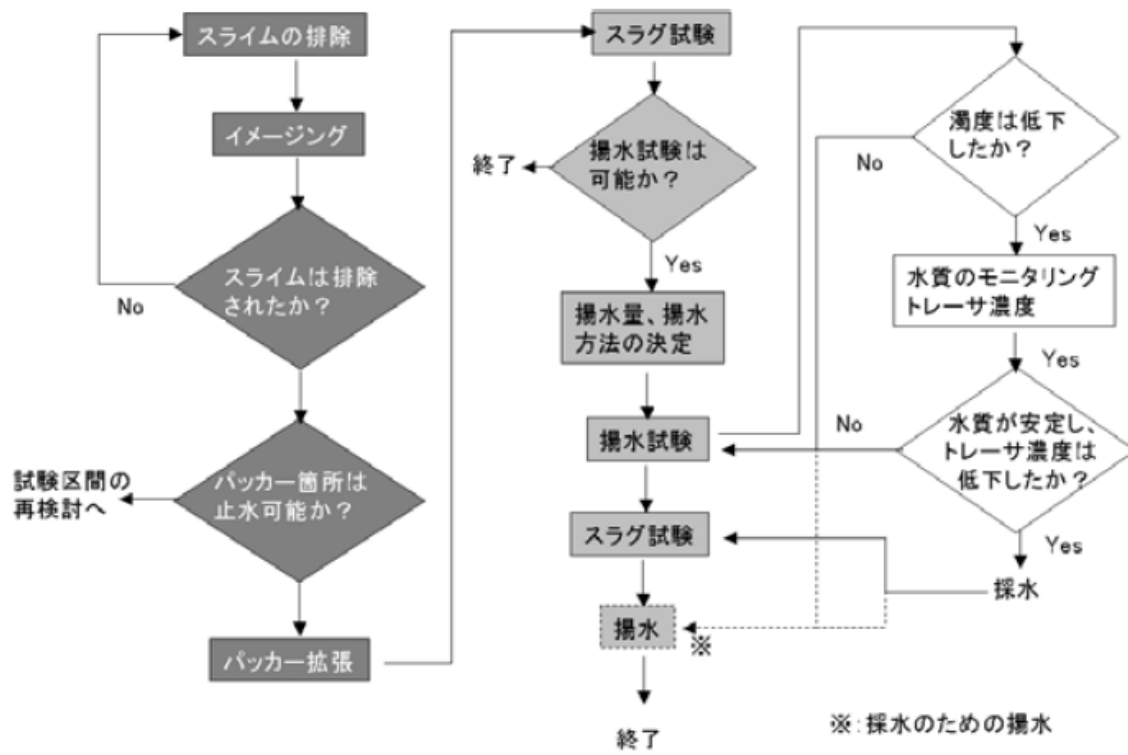
試験位置が決定し、イメージングによってパッカーの設置が可能であることを判断した上で、パッカーの拡張を行なう。使用するパッカーの選択は、ボーリング掘削中での逸水や湧水が認められた場合は、コア孔での試験、あるいは拡張孔内の試験を行なうこととなり、コア孔用ノンスライドシングルパッカー、拡張孔用スライドシングルパッカーをそれぞれ用いる。また、ボーリング掘削終了後に透水試験を行なう場合は、任意の試験箇所を選択し、拡張孔用スライドダブルパッカーを適用する。パッカーの拡張は孔内水（泥水）を用いて、標準的には区間圧プラス 1MPa を目安に行なう。パッカーの拡張後、試験区間をシャットイン（試験区間に通じる配管のバルブをすべて閉塞）し、間隙水圧の測定を行なう。

(2) スラグ試験

間隙水圧の測定終了後、透水試験を実施する。透水試験は基本的にスラグ試験、揚水試験の順に行なう。スラグ試験は孔管の水位を下げ、これをスラグとする。地下水からガスの湧出の恐れがある場合は、逆に孔管の水位を上げることでスラグとする。また、時間的な余裕があれば、次に行なう揚水試験の後にもスラグ試験を行い、対象区間の透水性が変化していないことを確認する。

(3) 揚水試験

揚水試験はスラグ試験よりも孔から遠方の透水性状を把握するために行なう。揚水試験に利用するポンプは、スラグ試験より予測される透水性の大きさから決定する。透水性が小さい場合（目安として揚水流量が 100cc/min 以下の場合）はシリンジポンプを用いる。また、100cc/min～300cc/min の場合はモーノポンプを用いる。



図IV. 4-3 透水試験・採水・イメージングの標準的な作業手順

IV.4-8 透水試験区間の設定

透水試験区間の設定は以下の手順で行なう。

- (1) コア観察
- (2) イメージング
- (3) スライムの除去

透水試験の実施は、掘削中の逸水・湧水、代表的な地質および水理区分における透水性状の把握など、様々な要求によって行なわれる（図IV.4-4）。透水試験区間の設定はコア観察、スライムの排除、イメージングによるパッカー設置箇所および試験区間の確認の手順で行なう。

(1) コア観察

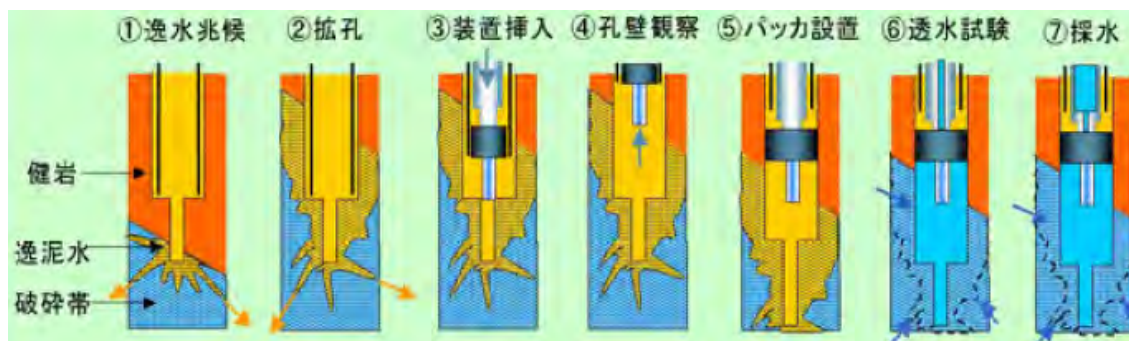
コア観察は掘削に伴い定常的に行なわれるが、透水試験区間の設定の際は、対象箇所を確認後、想定されるパッカー位置に、止水を妨げる割れ目や断層が存在しないことを確認する。

(2) イメージング

透水試験・採水・イメージング装置を編成し、試験深度に降下させ、イメージングを行なう。この際、孔内水が清水の際は光学式のイメージングツールを用い、泥水の場合は音響式のイメージングツールを用いる。孔が水平～緩傾斜の際は、ラッチによる装置の固定を行わず、パッカーを孔管内で拡張することで固定する。このことにより、イメージングツール付近で装置を固定することが可能になり、イメージングツールのセンタリングが容易となる。イメージングの結果、パッカー箇所に障害物や割れ目がなければ、パッカーの設置・拡張を行なう。

(3) スライムの除去

イメージングの結果、スライム等の障害物があれば、洗浄によって除く。また割れ目などのパッカーによる止水を妨げるものがある場合は、試験位置の再検討を行なう。



図IV.4-4 断層による逸水の場合のパッカー設置から透水試験・採水までの手順例

IV.4-9 採水実施手順

採水は揚水試験の過程とオーバーラップしながら、以下の手順で行なう。

- (1) 濁度計測
- (2) 水質計測
- (3) トレーサ濃度計測

(1) 濁度計測

濁度の計測は揚水試験の過程と並行して行なう。揚水試験中の区間内から排水する水の濁度をモニタリングする。濁度計測の際には泥水中の土粒子の減少と共に、地下水からのガス湧出による気泡が存在しないか留意する。これは、気泡が希ガス用サンプラーに入った場合、分析に支障が生じるためである。

(2) 水質計測

濁度が低下したら、バルブを切り替えて区間内水を採水チャンバーへのラインに通水する。この際、区間内の水の排出先は孔管となる。採水チャンバーの入口にはケミカルセンサーがあり、pH、EC、ORP、DO、温度が計測できる。採水に際してはこれらのデータが安定し、トレーサ濃度が低下してから採水する。

(3) トレーサ濃度計測

トレーサ濃度センサーは掘削水にドープされているアミノ H 酸などの蛍光染料の濃度を分光光度計で計測する。分光光度計はケミカルセンサーと同様に採水チャンバーの入口に設置されている。トレーサ濃度が高い間は、揚水された区間内の水を孔管に排出させ、トレーサ濃度および水質が安定した後、バルブを切り替え採水チャンバーへの採水を行なう。

IV.4-10 採水区間の選定

採水区間の選定は、透水試験と同様の手順の中で実施する。

採水区間の選定は、図IV.4-3 に示した透水試験と同じ一連の手順の中で実施する。採水の実施には、ボーリング掘削中の逸水・湧水時にはシングルパッカーを、ボーリング掘削後にはダブルパッカーをそれぞれ用いる。

IV.5 孔内応力・力学

IV.5-1 孔内応力・力学測定の概要

孔内応力・力学測定とは、岩盤内の初期応力（初期地圧）の測定ならびに岩盤の力学特性（変形など）の測定を、ボーリング孔内で行うものである。既往技術としては、ボーリング孔内での初期応力の測定のための水圧破碎法があり、また、ボーリング孔内での力学特性（変形）の測定のための孔内載荷試験法がある。コントロールボーリングによる掘削・調査技術の開発においては、これらの既往技術をコントロールボーリングのシステムに適用できるようにするとともに、初期応力測定と力学特性の測定をひとつのユニットで行えるようなシステム概念を検討した。その上で、まず初期応力測定のためのユニットの開発を行った。そこで、主に孔内応力測定について記述し、孔内力学測定についてはIV.5-9に検討した概念を記す。

孔内応力測定の目的、ならびに適用は以下である。

(3) 目的

孔内応力測定は、コントロールボーリングにより掘削されたボーリング孔の先端部のパイロット孔において、水圧破碎法による地圧測定を行う。

(4) 適用

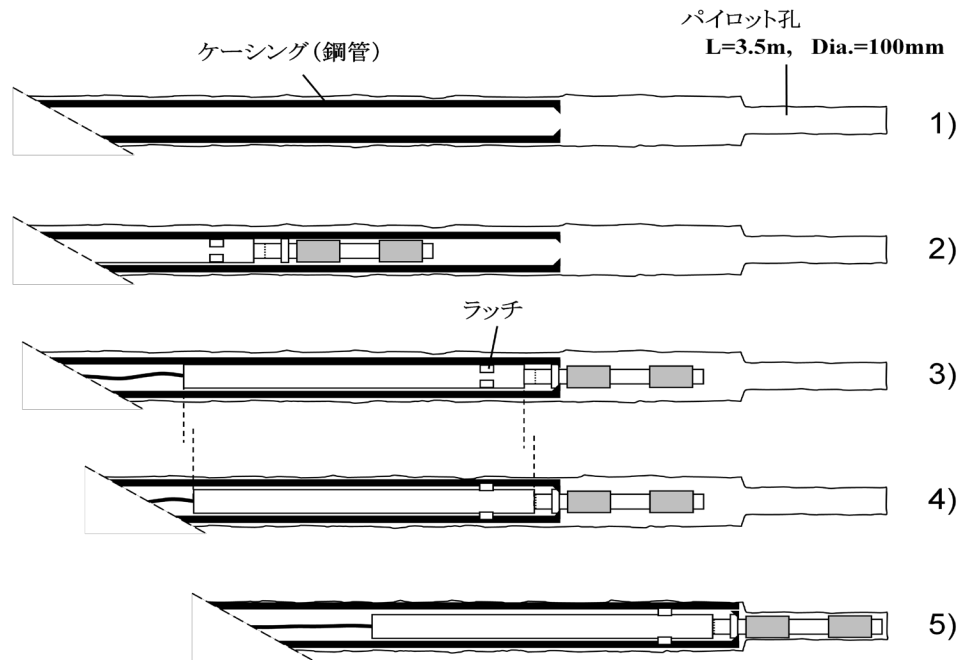
孔内応力測定は、長さ 1000m、深度 500mまでの径 120mmのボーリング孔の先端の、径 100mmのパイロット孔に適用する。

開発したユニットは初期応力測定を水圧破碎法に基づいて行う。この方法ではボーリング孔に加圧区間を設けて、加圧することにより岩盤に亀裂が発生するときの圧力、再度加圧することにより亀裂が再度開口するときの圧力、また開口している亀裂が閉じるとききの圧力、などの圧力を測定する。岩盤内の応力とこれらの圧力が力学的に関連付けられることから、岩盤内応力を求める。

図IV.5-1は、この孔内応力ユニットの挿入手順を示している。

- (1)は、コアリングツールを用いてパイロット孔をコアリングしたあとの状態である。パイロット孔は径 100mm、長さは 3.5m である。コアリングツールは既に引き揚げてある。
- (2)は、水圧破碎ユニットをケーシング内に挿入しているところである。
- (3)は、ユニットがケーシングの底に到達し、ユニットの先端部/ダブルパッカーがケーシング外に出たところ。
- (4)は、ユニットが 5cm スライドして縮み、ラッチがラッチキーにセットされたところである。すなわち、ケーシングと水圧破碎ユニットがメカニカルに一体になった。

(5)は、ケーシングを挿入することにより、ダブルパッカーをパイロット孔に挿入したところである。



図IV.5-1 孔内応力ユニットの挿入手順

このように孔内応力ユニットを挿入したら、パイロット孔内でダブルパッカーを拡張して加圧区間をつくり、水圧破碎試験を行う。水圧破碎試験は一般的な手順に従うことを基本とし、ここでは詳述しない。

IV.5-2 孔内応力測定構成

孔内応力ユニットは次の構成である。

(1) パートA

- ① ダブルパッカー ② 亀裂計測部 ③ 圧力・流量計

(2) パートB

- ① ラッチシステム ② 通信計測制御部 ③ 送水ポンプ（水圧破碎用）
- ④ 送水ポンプ（パッカー用）

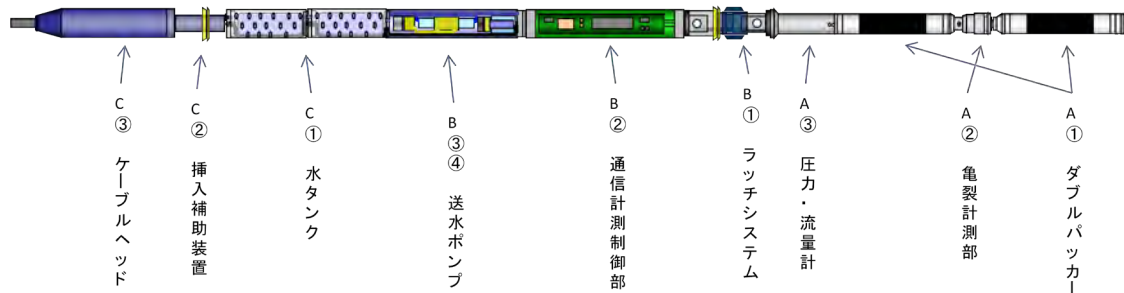
(3) パートC

- ① 水タンク ② 送り込み装置 ③ ケーブルヘッド

(4) 地上機器

- ① 制御部 ② データロギング部

孔内応力測定ユニットの全体構成の概念を図IV.5-2に示す。



図IV.5-2 孔内応力測定ユニットの全体構成の概念

以下に各部位ごとに主要な諸元などを示す。

(1) パートA

① ダブルパッカー

上下の各パッカーの有効長は約 50cm、最大圧 20PMa である。どちらかのパッカーに孔壁亀裂の型どりのためのスリーブを被覆して型どりパッカーとして使うこともできる。加圧区間長は 90cm である。

② 亀裂計測部

孔壁の亀裂だけでなく、孔壁状況や測定ユニットを挿入操作中などの状況を確認することを目的として、カメラと AE センサーを設置している。なお、亀裂計測のためには、上記のパッカー部に型

どり用の被覆材（スリーブ）を巻いて型どりパッカーとして用いることを標準とする。

カメラは、1/7 インチ CCD 34 万画素、8 台が、孔底方向に設置されており、8 面のミラーで孔壁を観察する。画角はおよそ 51°（水平）、39°（垂直）である。

AE センサーは、富士セラミックス製：AE144AU 共振周波数 140kHz、4 個である。

③ 圧力・流量計

圧力センサは、圧力範囲：0～50MPa であり、測定対象は加圧区間圧、パッカー圧、ケーシング鋼管内圧力の 3 つである。

流量センサは、流量範囲 0～19L/min または 0～3L/min のどちらかを選択して取付て使用する。水圧破碎送水流量を測定する。

(2) パート B

① ラッチシステム

NL140 鋼管の先端に孔内応力測定ユニットを設置固定する。

② 通信計測制御部

各種計測や通信を制御を行う。計測項目は、A③も含め、方位・傾斜（分解能 1°、精度±3°）、圧力 3 チャンネル、流量、試験ポンプモーターの電圧、電流、パッカーポンプモーターの電圧、電流値、ポンプモーター回転数 2 チャンネル、孔内基板温度である。

③ 送水ポンプ（水圧破碎用）

駆動モーター、一次油圧ポンプ、および複動送水ポンプからなる。駆動モーターは、直流希土類磁石モーターである（DC220V、定格 750W、トルク 31.8N.m）。一次油圧ポンプは定格出力 20.6MPa、複動送水ポンプは、圧力 30MPa(約 200cc/min)、圧力 10MPa(約 600cc/min)の複動式であり、片側有効容量約 100cc である。

④ 送水ポンプ（パッカー用）

駆動モーターは、送水ポンプの仕様と同様である。

(3) パート C

① 水タンク

これは水圧破碎に用いる水を貯蔵する。複数台を連結することができる。長さ 2.5m/1 体、有効容量 15L/1 体である。

② 送り込み装置

これは、孔内応力ユニットが自重で降下・挿入できないほどボーリング孔の傾斜が小さくなった際に、地上から鋼管内へ送水しその圧力を受けて挿入させるものである。

③ ケーブルヘッド

これは、孔内応力ユニットと地上機器とをつなぐケーブルを、孔内応力ユニットに接続するものである。アーマードケーブルグリップ、電源線の孔内機器への配線、光変換器およびその DC 電源装置等が収納されている。

また、ウィークポイントの設定箇所でもある。ウィークポイントは、孔内応力ユニットが鋼管内から回収できない事態になったときに、そこで設定荷重 3 トンで切断することにより、ケーブルの破断もしくはユニット内への浸水を防ぐ。

(4) 地上機器

ケーブルのデータ通信は、光ファイバー(MMF)で行う。RS485 信号は光ファイバー2 本、 AE 信号（周波数特性 DC～200kHz、±5Vp-p）は光ファイバー4 本、カメラ映像（NTSC、1Vp-p、75 Ω）は光ファイバー8 本で行う。光ファイバー2 本の予備を含めて 16 本ある。光ファイバー以外に電力線がある。これらの信号を地上機器（①制御部、②データロギング部）で制御する。

IV.5-3 亀裂計測システム

亀裂計測システムは、次から構成される。

- (1) カメラ (パートA②亀裂計測部)
- (2) AEセンサー (パートA②亀裂計測部)
- (3) 型どりパッカー (パートA①ダブルパッカー)

上記各要素の目的は次の通りである。

カメラ：ユニット挿入等の操作時の状況確認、孔壁状況の確認、孔壁の亀裂状況の確認。

AEセンサー：ユニット挿入等の操作時の状況確認、孔壁の亀裂挙動の確認。

型どりパッカー：孔壁の亀裂の有無、位置、トレースの確認。

水圧破碎方式による岩盤応力の測定においては、水圧破碎で発生させた亀裂の方向を知ることが必要である。これにより地圧の方向が決定される。そのため、水圧破碎試験の前後に型どりパッカーに亀裂の形を写し取ることが行われる。孔内応力ユニットにおいても、確実な方法として型どりパッカーを用いる。それ以外に、カメラとAEセンサーを搭載している。

(1) カメラ

コントロール掘削調査システムでは、応力測定ユニットを鋼管中に挿入・降下させ、鋼管の先端部にラッチして、鋼管と応力測定ユニットをメカニカルに一体とし、次に鋼管を移動させることによって応力測定ユニットをボーリング孔先端のパイロット孔に挿入する手順になる。通常の水圧破碎試験の場合より、試験実施までの手順が複雑である。また、ボーリング孔は傾斜～水平であるので、降下・挿入が順調であるかどうかの確認が重要である。その確認の一助としてカメラを用いることができる。

また、水圧破碎試験箇所において既存亀裂の有無の確認や、水圧破碎で発生した亀裂の確認などに用いることができる。室内試験においては、花崗岩試料に発生させた水圧破碎亀裂を確認できている。ただ、コントロール掘削調査システムでは泥水を用いること、その他、岩の特性などから亀裂確認が難しい場合も考えられる。

(2) AEセンサー

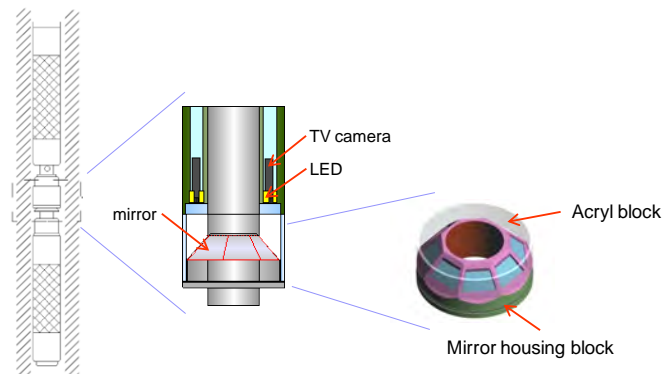
AEセンサーの目的も基本的にはカメラと同じであり、応力測定ユニットの降下・挿入が順調であるかどうかの確認の一助として用いることができる。AEセンサーでは装置挿入・動作時などの発生音を検出することになる。

また水圧破碎時においては、亀裂発生時、亀裂進展時、亀裂の閉合時に岩から発生するAE、また

亀裂中を水が流れる時に発生するAEを検出することにより、岩盤挙動を確認することも期待する。通常、水圧破碎による地圧評価では、亀裂発生(Pb)、亀裂閉合(Ps)、亀裂再開時(Pr)の水圧を測定して、岩盤応力を算出する。しかし、観測される Pb、Ps、Pr の水圧特徴点が、想定している岩盤挙動に対応しているかについては、議論されている段階である。例えば、亀裂初生と亀裂の不安定成長の開始とは同じでないこと、亀裂閉合過程には亀裂先端閉合と亀裂口元閉合があること、亀裂再開口の基準式の問題点や再開口を圧力変化で検出することの難しさ、などが挙げられる。よって、圧力の測定だけでなく、岩盤挙動に関するできるだけの情報を得ることが重要である。

(3) 型どりパッカー

孔内応力ユニットは、上述したようにカメラとAEセンサーを亀裂の開口や閉合などの挙動を確認することを目的として搭載しているが、亀裂を確認するためのより確実な方法として型どりパッカーを用いる。型どりパッカーは、ダブルパッカーのうちの片側のパッカーに熱可塑性のスリーブを装着したものであり、その使用方法は、通常の水圧破碎における型どりと同様である。



図IV.5-3 カメラの構造概念

IV.5-4 送水システム

送水システムは次の2系統ある。

- (1) 水圧破碎用送水システム
- (2) パッカー用送水システム

通常の水圧破碎では、水圧破碎用の水はロッド若しくは送水用ホースを用いて地上から試験箇所へ送水される。水圧破碎では比較的大きな流量と圧力が必要であるが、地上にポンプを設置するので、必要な能力を持つ大きなポンプを用いることができる。一方、コントロール掘削調査システムでは、ロッドでなく可撓性のケーブルを用いる。ケーブルには各種の信号用光ファイバー線や信号線・電力線などを通す必要がある。水圧破碎には大きな水量が必要なことから送水管を通すことは困難である。また、ボーリング孔内には泥水があるので孔内水を水圧破碎に用いることも適切でない。このことから、応力測定ユニットでは、水圧破碎用の清水を水タンクに収納してその水を自ら搭載する送水システムにより送水するシステムを開発している。

(1) 水圧破碎用送水システム

水圧破碎に必要な水圧と水量を次のように設定している。

コントロール掘削調査システムは、沿岸域の堆積軟岩地域の深度 500m 程度での適用を想定している。深度 500m での被り地圧 σ_v はおよそ 10MPa となる。軟岩の引張強度を 1MPa と仮定すると、例えば等方的な地圧状態のときには、ブレイクダウン圧力は 16MPa と算出される ($P_b = 3\sigma_h - \sigma_H + T - p_0$)。地圧やその他の条件で変化するが、送水ポンプの能力として 30MPa あれば、深度 500m 程度の堆積軟岩で想定される多くの場合をカバーできると考えられる。

必要な流量は岩の透水性によって大きく変わる。試算として、岩の透水係数を 10^{-9} m/s とし、ボーリング孔内の水圧によって孔壁に逸散する定常水量を算出する。孔径と加圧区間を応力測定ユニットに合わせて設定すると、有効水圧として 30MPa 作用させたとき、毎分 0.35 リットルが逸散することになる。応力測定ユニットの送水システムは、最大送水量が 0.8 リットル毎分であるので、送水流量としても堆積軟岩の多くの場合をカバーできると考えられる。

(2) パッカー用送水システム

パッカー用の送水では、水はパッカー拡張に用いられ、閉区間にあるので、特に大きな流量は必要ではない。しかし、圧力は水圧破碎圧力と同等ないしそれ以上が必要である。このため基本的に同様の能力を持つ駆動モーターでパッカー用のポンプを作動させている。

IV.5-5 送り込み装置・ラッチシステム

応力測定ユニットを、コントロール掘削調査システムに適用するための機器として、送り込み装置とラッチシステムを搭載している。

- (1) 送り込み装置
- (2) ラッチシステム

(1) 送り込み装置

ボーリング孔の傾斜が小さく水平に近くなると、応力測定ユニットは自重で降下できなくなる。そのため、鋼管内に泥水を送水しその送水圧により挿入を促す。送り込み装置は、送水圧を受けるための環状のウィングである。

幌延のHCD-3孔や、地上での鋼管試験での実績において、泥水を毎分200リットル程度送水すれば、水平部でも応力測定ユニットを挿入できることを確認している。

(2) ラッチシステム

ラッチシステムは、NL140鋼管の先端に孔内応力測定ユニットを設置固定する。

この動作については、IV.5-1 孔内応力・力学測定の概要で、図を用いて説明している。同図の(3)は、送り込みによりユニットがケーシングの底に到達し、ユニットの先端部／ダブルパッカーがケーシング外に出たところである。孔口側パッカーのすぐ左にあるユニットのラッチシューが、鋼管先端のラッチシューマウントに丁度当たった時点の模式図である。(4)では、ユニットが5cmスライドして縮み、ユニットからラッチが飛び出して、鋼管のラッチキーに嵌ったところである。これにより、ケーシングと水圧破碎ユニットがメカニカルに一体になる。(5)は、ケーシングを挿入することにより、ダブルパッカーをパイロット孔に挿入したところである。

ラッチは上述のように機能するので、次のような脱着特性を持つ。

- ① 鋼管を挿入することによりユニットのダブルパッカー部分をボーリング孔先端のパイロット孔に挿入するので、そのときの摩擦などによりラッチが解除しないこと。
- ② 試験終了後はケーブルを引き上げることにより、ラッチが解除し、ユニットが鋼管から分離・解放されること。



図IV.5-4 ラッチシステム図面

IV.5-6 孔内応力測定手順

孔内応力ユニットによる岩盤応力の測定のための手順は次からなる。

- (1) 試験区間の選定
- (2) 水圧破碎試験
 - ①泥水置換とパッカー拡張
 - ②ブレークダウン圧力の検出
 - ③リオープニング圧力の検出
 - ④シャットイン圧力の検出
- (3) 破碎亀裂の型どり

(1) 試験区間の選定

水圧破碎では孔壁に亀裂のない区間を試験区間として選ぶ。

コントロール掘削調査システムにおいては、先端パイロット孔をコア掘りするので試験候補箇所の岩を直接観察することができる。既存の節理などが存在する箇所や、破碎帯などの箇所は水圧破碎試験に適さないのを避ける。

さらに、コアを通らずとも孔壁部に節理等のある場合があるので型どりパッカーやカメラで水圧破碎試験前に孔壁に亀裂がないことを確認することが望ましい。標準的には型どりパッカーの使用を必須とする。また、孔壁に節理などの亀裂がない場合でも、前後区間に観察された地質的弱面の延長が試験候補区間の孔壁奥に出てこないようにして選ぶことが必要である。

なお、特殊な水圧破碎として既存の亀裂を開口・閉合させる試験(Hydraulic Test at Preexisting Fracture: HTPF)があり、その場合には試験区間に1つの既存亀裂を含むようにする。ここでは特にHTPFは想定しないが、HTPFを採用することも可能である。

(2) 水圧破碎試験

①泥水置換とパッカー拡張

試験区間を選定したらダブルパッカーを挿入する。試験区間内の泥水をできるだけ排出するためにパッカーを拡張しないまま、水圧破碎用の清水を送水する。泥水置換の状況を確認するためにカメラをもちいることができる。

次にダブルパッカーを拡張する。圧力は深度相当の水圧を考慮しそれより少し大きい程度の圧力とする。水圧破碎の加圧区間の圧力を上昇すれば、パッカー圧力は追隨して上昇する。なお、最初にパッカー圧を深度相当の水圧よりどれだけ大きく設定すべきかは、岩の孔壁状況により漏水状況なども変化するので一概には決められない。本試験の前の事前の予備試験により確認する。

②ブレイクダウン圧力の検出

パッカーを拡張したら、加圧区間に送水する。送水に伴い加圧区間の水圧が上昇する。水圧が十分に大きくなるとボーリング孔壁には円周接線方向に生じる引張応力により亀裂が発生する。この亀裂は一般的に孔軸と平行であり、その発生位置は最大地圧の方向になる。亀裂が発生すると圧力が低下する。亀裂の発生を認めたら送水を停止する。圧力-時間曲線上において、一般的に最大圧力をブレイクダウン圧力とする。1つの試験区間で1つのブレイクダウン圧力が測定される。

③リオープニング圧力の検出

水圧破碎亀裂が作成された後は、圧力除荷の状態から送水し圧力を上昇していくことによって、リオープニング圧力を複数回測定することができる。リオープニング圧力の検出は、亀裂がない場合の圧力曲線と亀裂が発生した後の圧力曲線を重ねたときに、2つの曲線のかい離が始まる点として読み取ることが1つの方法である。

④シャットイン圧力の検出

大別して2つのシャットイン圧力の評価方法がある。シャットイン試験とステップ流量試験である。

(a) シャットイン試験

これは、亀裂開口状態の圧力で送水系を閉鎖（シャット）して、水が亀裂等を通じて逸散する過程の圧力変化を観察する方法である。このため、上述した②ブレイクダウンの検出後、若しくは、③リオープニング圧力の検出後で、水圧が十分に大きい段階から送水系を閉鎖することにより行われる。シャットイン試験で得られる圧力曲線から、亀裂の閉合圧力を読み取る。この読み取り方法には複数の方法が提案されているので、それぞれの特徴を考慮して複数を併用することが望ましい。

(b) ステップ流量試験

この試験は、ごく小さい流量から十分大きな流量を複数個（例えば5～6点）を設定して行う。まず最小の流量で送水してそのときの定常圧力を求める。順次に流量を増加してそれぞれの定常圧力を求める。このようにして定常圧力-流量の関係図を描き、その折れ曲がり点の圧力をシャットイン圧力とする。この方法では大きな流量の送水により亀裂が拡大するので、一連の水圧破碎試験の最後に行うのが一般的である。

(3) 破碎亀裂の型どり

一連の水圧破碎試験が終了したら、一旦応力測定ユニットを地上に回収し、型どりパッカーの準備をして再挿入し、破碎亀裂の型どりをを行う。水圧破碎後の型どりではパッカーの拡張圧力を十分に大きくして型どりを確実にするのが良い。

IV.5-7 孔内力学測定

孔内力学測定の目的、ならびに適用は以下である。

(1) 目的

孔内力学測定は、コントロールボーリングにより掘削されたボーリング孔の先端部のパイロット孔において、孔内载荷試験法による岩盤の変形特性評価を行う。

(2) 適用

孔内力学測定は、長さ 1000m、深度 500mまでの径 120mmのボーリング孔の先端の径 100mmのパイロット孔に適用する。

(3) 測定手順および評価

試験の手順および評価については、一般的なセルフボーリング方式のプレッシャーメータ試験に概ね等しい。

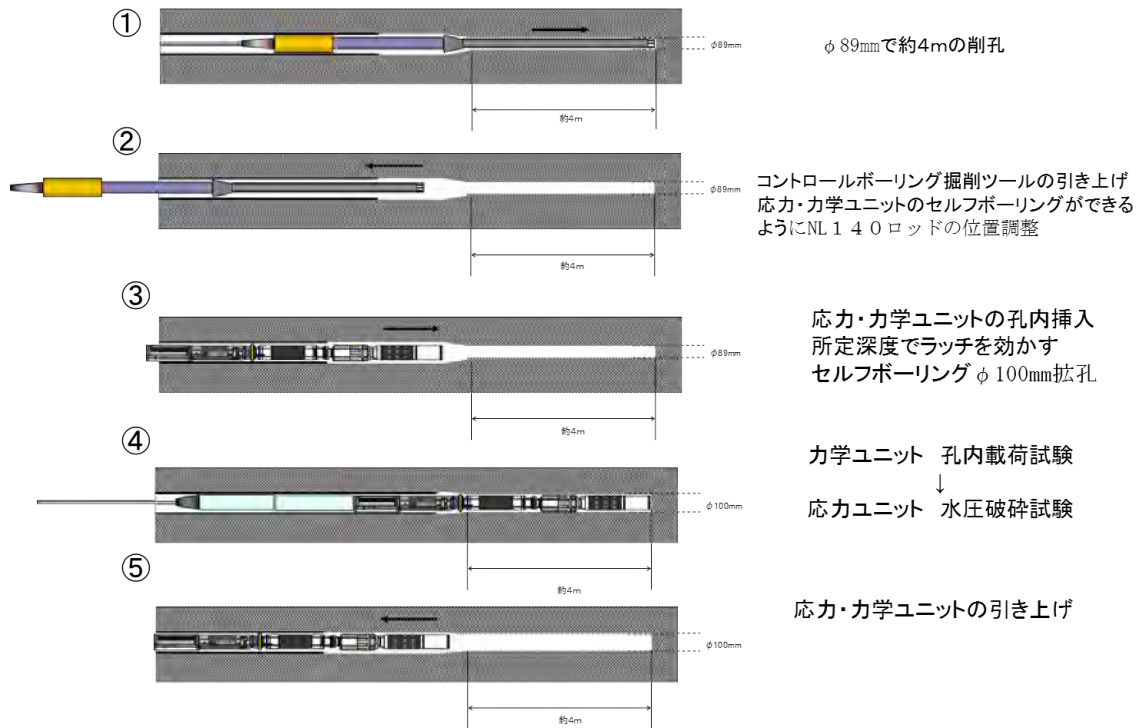
前述 (IV.5-1 孔内応力・力学測定の概要) に記載のとおり、ダブルパッカーの孔の先端側のパッカーに孔内力学測定用ツール (力学ユニット) を取り付けて使用する。ただし、力学ユニットについては、コントロールボーリングでの適用は実施されておらず、力学ユニットの単体室内試験および応力ユニットと統合化ユニットによる地表付近における現地適用試験のみ実施した。ただし、力学ユニットは、ほぼ実用的な段階に到達したと考えられる。その一方、現地適用については堆積軟岩 1 岩種のみ適用に限られるため、コントロールボーリングでの使用に際しては、原位置の地質や地下環境に合ったビットやウォーターウェイの最適な配置や数量等の検討は今後も必要になるであろう。

上記の前提の元で測定手順を以下に示す (図IV.5-5)。

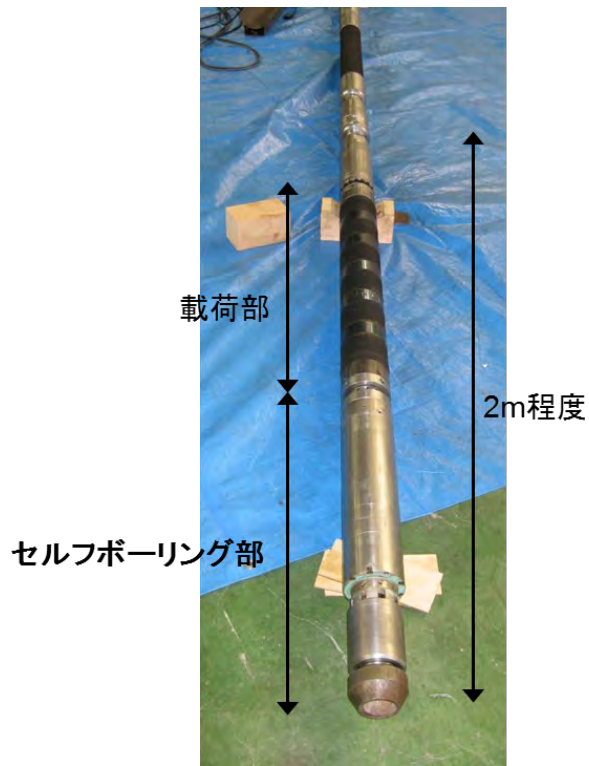
- ①コントロールボーリングの掘削ツールにより、孔内力学測定を実施する径 100mm よりやや径の小さい (例えば径 89mm の) ボーリングにより予め掘削を行う。
- ②一旦、コントロールボーリングの掘削ツールを引き上げる。
- ③応力と力学の統合化ユニットの先端に付属するセルフボーリング機構により、径 100mm に拡孔しながら力学ユニットを孔内に挿入する。この際、孔壁のマッドケーキの付着を防ぐため、掘削水には泥水でなく清水を利用することが望ましい。
- ④孔内力学測定のための孔内载荷試験を実施する。(その後、応力ユニットによる水圧破碎試験を実施する)
- ⑤応力と力学の統合化ユニットに引き上げを行う。

上記②、③の孔内力学測定の詳細な手順については、基本的には一般的なセルフボーリング方式のプレッシャーメータ試験とほぼ等しい。異なる点は変位の計測方法のみである。一般的なレッシ

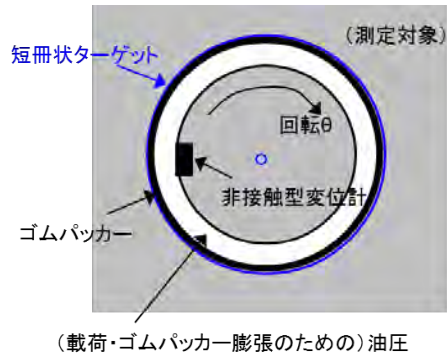
ヤーメータ試験では変位計は固定しているのに対して、本力学ユニットは変位計が回転する仕組みになっている（写真IV.5-1；図IV.5-6）。よって、パッカー内の内圧を段階的の上げていく過程で内蔵された非接触型変位計を回転させる。これにより回転角度と孔径の関係が得られる（図IV.5-7）。この結果をもとに解析的に岩盤の変形特性の評価を行う。



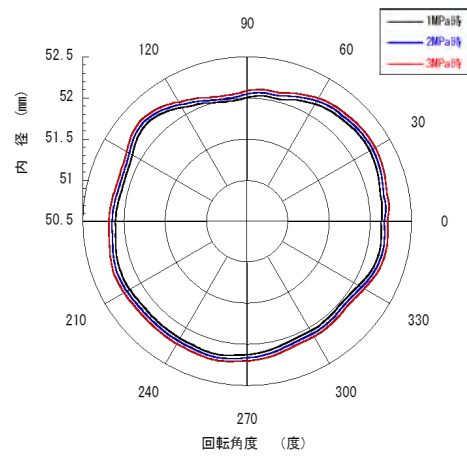
図IV.5-5 統合化ツールの測定手順



写真IV. 5-1 孔内力学測定装置



図IV. 5-6 変位計測の仕組み



図IV. 5-7 計測結果の一例

IV.6 孔井内トモグラフィ

IV.6-1 孔井内トモグラフィの概要

目的

- (1) 孔井周辺における詳細な地質構造を把握する。
- (2) 反射法地震探査の解析精度を向上させるための速度構造情報を取得する。

適用範囲

地表に発振器（パイブレータ震源）、孔井内に受振器（ハイドロフォンアレイ）を展開したデータ取得を行い、地表－孔井間でのP波速度構造を取得する。

(1) 地質構造の把握や、効率的なボーリング孔跡の計画を目的として、調査の初期段階に反射法地震探査が行われる。一方、コントロールボーリング孔井の掘削後においては、孔井内にセンサーを設置して探査を行うことにより、孔井周辺における詳細な地質構造を得ることが可能となる。そこで、地表とコントロールボーリング孔井間における詳細なP波速度構造を得ることを目的に、孔井に降下させたハイドロフォンアレイ（受振）と地表からの発振を利用した弾性波トモグラフィを実施する。

(2) 反射法地震探査の解析には、P波速度分布が必要であるが、孔井内トモグラフィにより詳細なP波速度分布を得ることにより、より高精度な反射断面を求めることが可能となる。

地表に発振源、孔井内にハイドロフォンアレイを設置して計測を行う。また、押し込み補助装置を利用することにより、水平孔井区間での適用も可能である。トモグラフィ計測を行う観点から、できるだけ孔跡上の地表部に発振点を展開できるような配置とする。

IV.6-2 孔井内トモグラフィの構成

- (1) 発振源として、バイブレータ震源を用いる。
- (2) 受振器として、ハイドロフォンアレイを用いる。
- (3) 水平区間へのハイドロフォンアレイの展開を可能とさせるため、押し込み補助装置を利用する。
- (4) データ収録装置として、ダイナミックレンジの大きいデジタル探鉱機を利用する。

(1) 地表からの発振機構に関しては、バイブレータ震源を用いる。一方、計測レイアウトや実施地点の地質状況等に応じては、P波油圧インパクト等の震源を適用できる可能性もある。

HCD-3孔を用いて実施した試験においては、まず平成21年度のデータ取得試験においてP波油圧インパクトを用いた。その結果、チューブ波に起因すると見られるノイズの振幅が非常に大きく、フィルター処理を施しても初動を捉えられない例が多く見られた。そこで、高出力であり、かつ出力周波数帯を制御できるバイブレータ震源を用いることとし、平成23年度にデータ取得試験を実施した。その結果、初動を明瞭に捉えるデータを取得することが可能となった。図IV.6-1に平成23年度に実施したデータ取得試験において使用した使用した中型バイブレータ震源の写真、表IV.6-1にバイブレータ震源の技術仕様を示す。

(2) 一般に孔井内受振器は、孔壁に圧着して計測を行うもの（例えばジオフォン）と、孔壁圧着を要さないもの（例えばハイドロフォン）に大別される。坑壁圧着を要さない機構のほうが多連構成を取りやすく、計測時間の短縮につながるため、受振器としてハイドロフォンアレイを用いる。図IV.6-2に孔内における受振システム（ハイドロフォンアレイツール）の編成図、表IV.6-2にハイドロフォンセンサの技術仕様を示す。ハイドロフォンの個数は24個、ハイドロフォン同士の間隔は10mであり、1回の発振で同時に受振できる区間長は230mである。

一方、多重ケーシングの挿入区間で振動の減衰が大きい場合や、孔内流体によるノイズ（チューブ波）が大きく、ノイズ抑制処理を施しても初動の識別が困難となる場合には、ジオフォンを用いたデータ取得が必要となる。ジオフォンの場合、チューブ波によるノイズの影響をほとんど受けなくなることから、初動をより明瞭に捉えられるとともに、初動に続いて到来する地層境界や断層帯からの微弱な反射波も捉えられることで、後続波を利用した解析が可能となる。一方、圧着のための機構が必要となるため、多連構成を取りにくく、計測に多くの時間を要する。ただし、緩傾斜区間、あるいは水平区間の場合、ジオフォンが自重により孔壁に押しつけられるため、圧着のための機構を有しなくてもデータ取得が可能となり、多連構成を取ることができると考えられる。

(3) ハイドロフォンアレイツールは、急傾斜区間であれば自重により孔井に挿入することができる

(図IV.6-2 (a))。一方、緩傾斜区間、あるいは水平区間の場合は駆動力を利用した押し込みが必要となる。そこで、ハイドロフォンアレイの下端部に押し込み補助装置を取り付けることにより、水平区間まで挿入させることを可能とさせる(図IV.6-2 (b))。なお、自重で降下できる区間においても、図IV.6-2 (b) の編成によるツールを用いた計測は可能である。

データ取得試験において、押し込み補助装置を取り付けた場合、押し込み補助装置の微小な動作を検出しながら送泥量や圧力を制御しなければ、安全に水平区間まで押し込むことが困難であることが判明した。そこで、CCL の代わりに掘削時に用いる WL-MWD を取り付けた。また、押し込み補助装置により励起されるチューブ波ノイズの影響で初動を把握できない可能性も考えられたことから、押し込み補助装置等とハイドロフォンアレイを 40m 離れた。

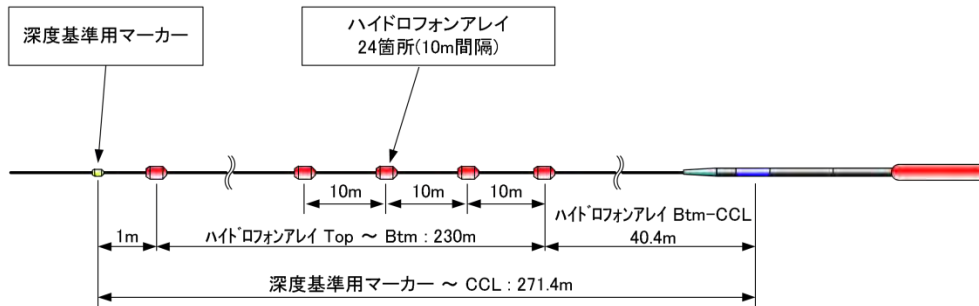
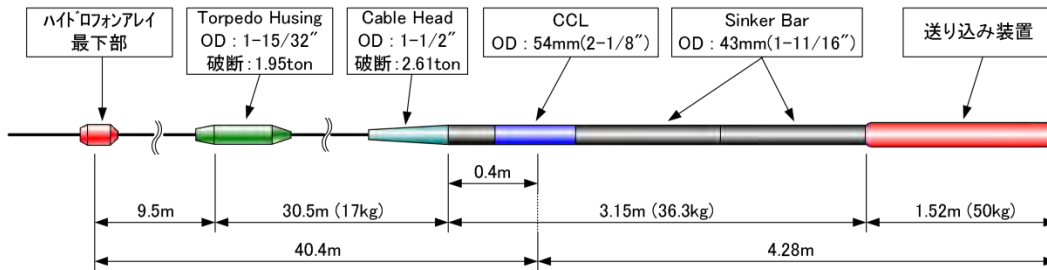
(4) HCD-3 孔を用いて実施した試験においては、データ収録装置として GDAPS-4A 探鉱機を利用した。データ収録装置の技術仕様を表IV.6-3 に、データ取得機器の接続概要図を図IV.6-3 に示す。GDAPS-4A 探鉱機は、24 ビットデルタシグマ型の高ダイナミックレンジ AD 変換器と細かいステップでゲイン調整可能なアンプを組み合わせた精度の高いデータ収録装置で、起振波形と受振波形との相互相関処理及び処理波形の表示を準リアルタイムに行うなどの機能を有する。



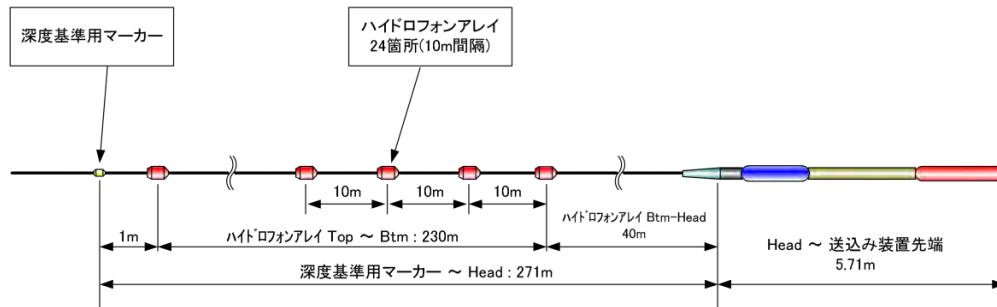
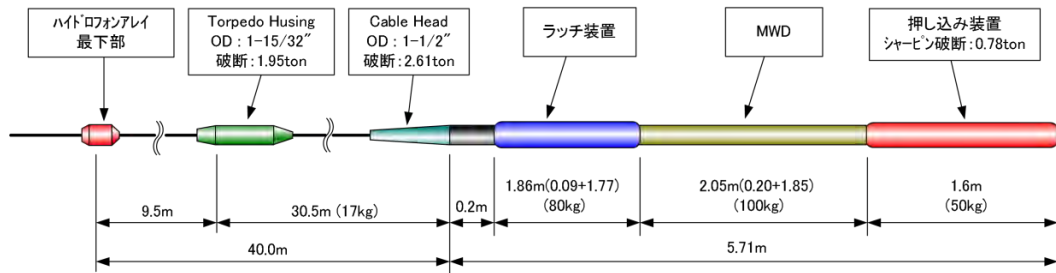
図IV.6-1 中型バイブレータ震源

表IV.6-1 バイブレータ震源の仕様

項目	設定値
モデル	IVI 社 EnviroVIB/Minibuggy
起振力	ピークフォース 約 15,000lbs-f
発振周波数帯域	5Hz から 250Hz (カタログ値)
スイープ長	最大 255 秒
スイープタイプ	リニアアップ/ダウンスイープ、ノリニアスイープ など
全長、全幅、全高、重量	6.1m、1.83m、2.59m、8.1ton



(a) 押し込み補助装置を取り付けない場合 (自重で降下できる区間)



(b) 押し込み補助装置を取り付けた場合（水平区間）

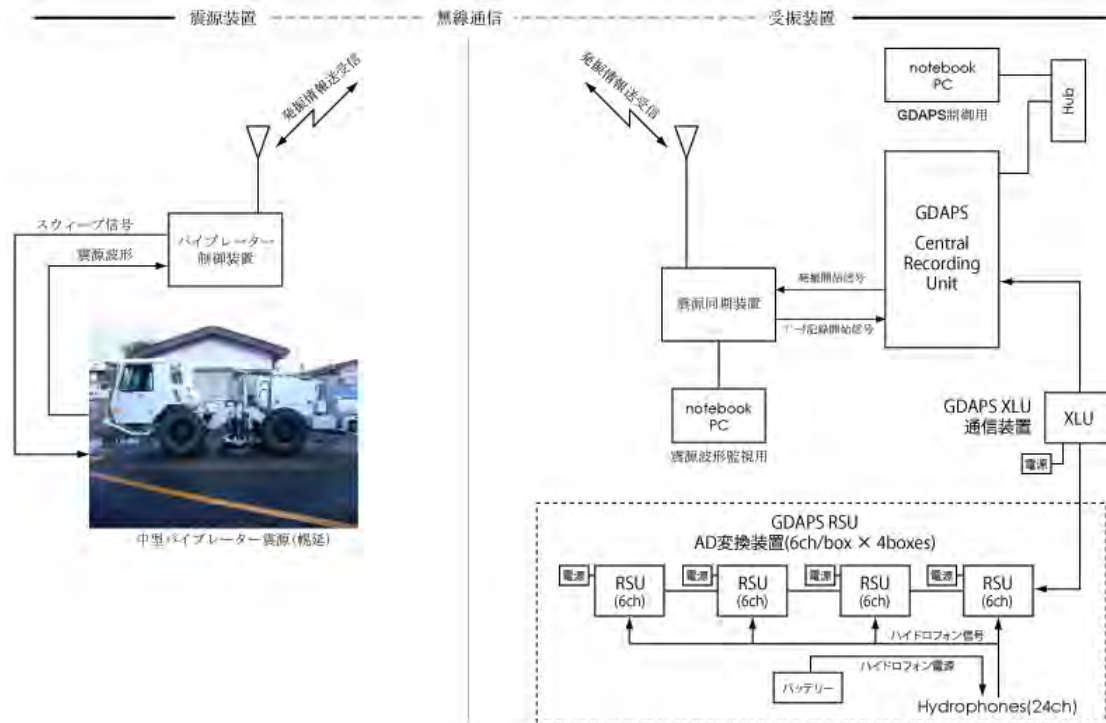
図IV.6-2 ハイドロフォンアレイツールの構成図

表IV.6-2 ハイドロフォンセンサの仕様

項目	設定値
Model	HTI-96-MIN/V 5/8
Frequency Response	5Hz から 2kHz
Operating Depth	3,000m
Sensitivity	-170dB re 1V/uPa
Number of Array ch	24ch
Array Interval	10m
Power Requirement	12VDC-30VDC
Size	5/8" diameter, 1.625" long

表IV.6-3 データ収録装置の仕様

項目	設定値
Model	GDAPS-4A Digital Telemetry System
AD Conversion	24bit delta-sigma converter
Dynamic Range	better than 120dB @2ms/4ms sampling interval
Bandwidth	83% of Nyquist Frequency
Crossfeed Isolation	better than -95dB
Max. Input Level	±2.25V @6dB pre-amplifier
Preamp Gain	6dB/18dB/30dB
Sampling Interval	0.5/1/2/4ms
Record Length	およそ 16,000points



図IV.6-3 データ取得機器の接続概要図

IV.6-3 孔井内トモグラフィの実施手順

以下の手順で作業を実施する。

- (1) ハイドロフォンアレイツールとロガーの接続
- (2) ハイドロフォンアレイツールの孔内挿入
- (3) ハイドロフォンアレイとバイブレータ震源の組み合わせによるデータ取得

(1) 図IV.6-4 にハイドロフォンアレイツールとデータロガーとの接続の概要図を示す。ハイドロフォンアレイケーブルはウインチドラムに巻かれ、ウインチシステムの動力により巻き出し、巻き取りを行う。押し込み補助装置等の孔内ツールは、接続ジョイントを介してハイドロフォンアレイケーブルに接続される。CCL 及び WL-MWD は、ハイドロフォンアレイケーブルのスルー線 7 本のうち各 2 本を利用して、ウインチドラムのスリップリングを介してデータロガーに取り込むことで、アーマードケーブル昇降時のリアルタイムモニタを行う。

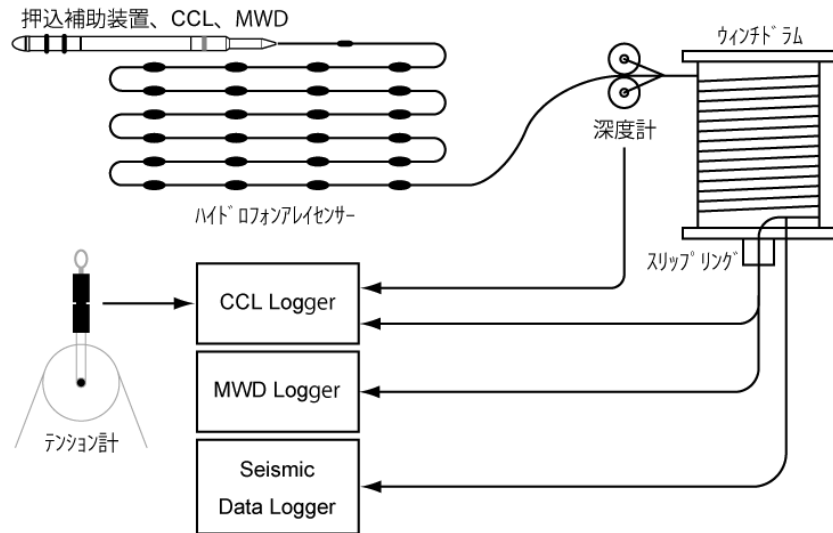
(2) 1 回の発振で同時に受振できる区間長は 230m であることから、計画する区間長に応じて複数区間にハイドロフォンアレイケーブルを設置して計測する。

図IV.6-5 に HCD-3 孔を用いて実施した試験時におけるリグアップ装置の配置概要図を示す。ハイドロフォンアレイケーブルの先端は、上下滑車を通して孔口付近まで導かれる。孔内ツールは長尺物のため一気に吊り上げて孔内に挿入することができないことから、構成に応じて適宜孔口部で接続して孔内に送り込む。ハイドロフォンアレイツールを安定して降下させるため、ツール先端部の挙動を CCL (図IV.6-2 (a) に示す編成の場合) あるいは WL-MWD (図IV.6-2 (b) に示す編成の場合) で確認しながら孔内へ挿入する。

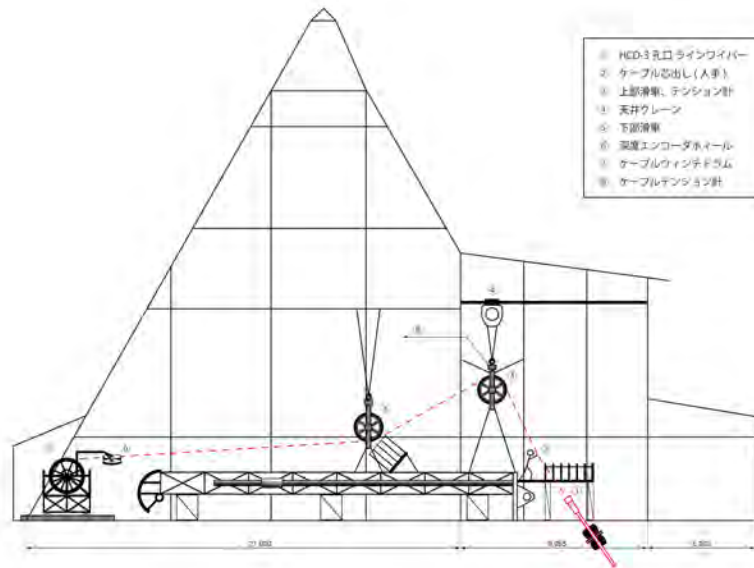
(3) (2) においてハイドロフォンアレイツールを孔内に設置した後、地上部からバイブレータ震源を用いて地震波を発生させて、孔内に設置したハイドロフォンを用いてその地震波を受振する。発振間隔や発振させるスイープ波の周波数の範囲は、探査レイアウトや地質状況、現地で実施するパラメータテストの結果を踏まえて決定する。起振により得られた受振記録は都度現地で確認し、初動が読み取れるデータを確実に取得できるように品質管理を行う。例えば、孔内からのガスの発生に伴うチューブ波に起因するノイズや、地上部において発生するノイズ (トラックの通行など) 等により取得データの質が良くないことが明らかな場合には、ノイズの少ない時間帯を見ながら発振するなど、データ処理作業が複雑になることを可能な限り低減させるよう工夫する。

平成 23 年度に実施したデータ取得試験における地表発振点及び受振点の位置図を図IV.6-6 に示す。ハイドロフォンアレイを、掘削長 785m~555m の 10m 間隔 (区間 1)、掘削長 570m~340m の 10m 間隔 (区間 2)、掘削長 330m~100m の 10m 間隔 (区間 3) の 3 区間に設置し、各設置時点において、

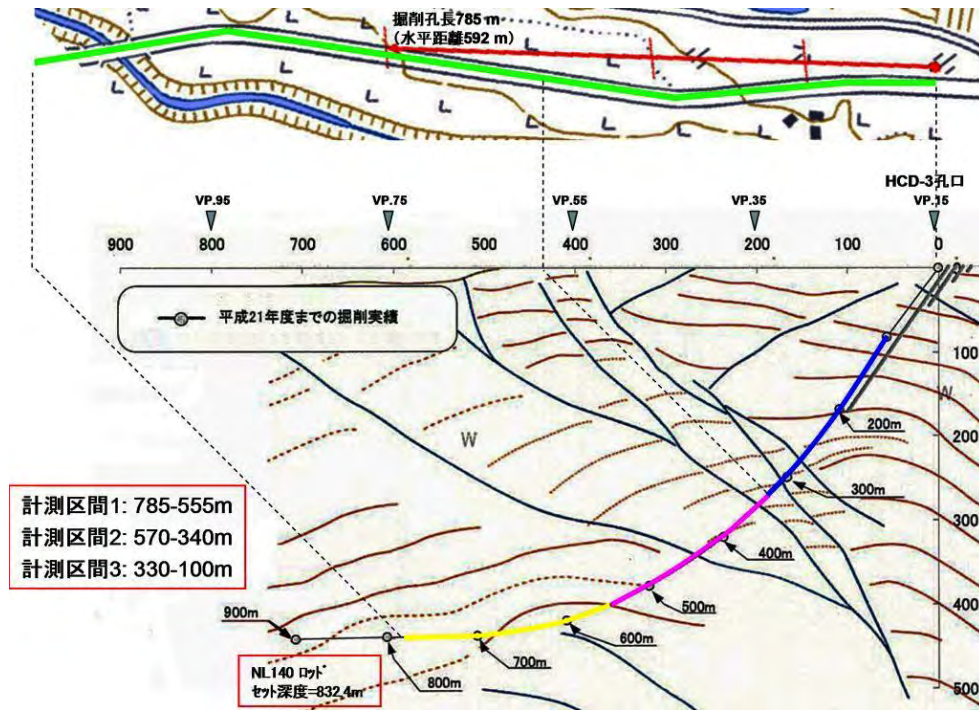
VP.15 (HCD-3 孔口付近) から VP.117 (孔口から約 1km の位置) のうち奇数番号で起振した (起振間隔は 20m)。区間 1 及び区間 2 では押し込み補助装置を接続した状態 (図IV.6-2 (b))、区間 3 は CCL を接続した状態 (図IV.6-2 (a)) でそれぞれ計測した。表IV.6-4 に発振パラメータ、表IV.6-5 に記録パラメータを示す。



図IV.6-4 ハイドロフォンアレイツールとデータロガーとの接続図



図IV.6-5 リグアップ装置の配置概要図



図IV.6-6 平成23年度データ取得試験における地表発振点及び受振点の配置図

表IV.6-4 平成23年度データ取得試験における発振パラメーター一覧

項目名	設定値
スイープ長	12 秒
周波数	8Hz～80Hz
垂直重合	10 回(標準)
スイープタイプ	リニアアッブスイープ

表IV.6-5 平成23年度データ取得試験における記録パラメーター一覧

項目名	設定値
サンプル間隔	1 ミリ秒
記録長	3 秒
チャンネル数	24
プリアンプゲイン	18 dB
ノイズエディット	ファクター2、ゲート 15 秒

IV.6-4 孔井内トモグラフィデータの解析

取得したデータの評価、波形処理を行い、初動走時トモグラフィ解析を実施する。そして、得られたP波速度構造もとに既往反射法データの再解析を行い、反射断面を導出する。データ解析の手順は以下の通りである。

- (1) データの評価及び波形処理作業
- (2) 地表－孔井間初動走時トモグラフィ解析
- (3) 得られたP波速度構造を用いた反射法データの再解析

図IV.6-7にデータ解析の流れを示す。実施した孔井内トモグラフィの取得データを用いて、初動走時トモグラフィ解析を行う。ここで、浅層における低速度層を正確に把握することで、解析精度が高まると考えられることから、反射法データ取得時に屈折波データも同時に取得しておき、屈折法トモグラフィ解析により求めた浅層部の速度構造も組み込むことで、詳細なP波速度構造を求める。そして、求めた速度構造を用いて反射法データの再解析を行い、より詳細な反射断面を求め、地質構造を評価する。

(1) 孔井内トモグラフィにより取得したデータを確認し、初動走時トモグラフィ解析に適用できるデータであるか検討し、必要に応じてノイズの除去などといったデータ処理作業を行う。後続波形の利用も可能であれば、フルウェーブインバージョンの実施も検討する。また、地表発振－地表受振による屈折法データも組み込んだ解析を行う。

平成23年度に実施したデータ取得試験において取得した共通発震点記録の例を図IV.6-8に示す。発震点が孔口に近い記録（VP19）においては、初動近傍で強振幅のチューブ波（見かけ速度約1.4 km/sec）が覆っており、P波初動を識別することが困難であることが分かる。そこで、強振幅のチューブ波に対応するイベントをF-Kパネルから抽出して、これを遮断するフィルターを作成することを試みたが、チューブ波の速度とP波初動の速度が近接しており、これらを十分に差別化して分離することができなかった（図IV.6-9）。これは、F-Kフィルターにより実際の初動部分もフィルターの影響を受けてしまうため、フィルター処理を施してもP波初動を識別することは困難と結論づけた。また、 hidroフォンアレイツールが宙吊り状態になる浅部区間のデータは、ケーブルが固定されていないこと、孔内で発生したガスが地下水面に達した際に空気中に放出される音の影響などによるノイズの影響を受けやすく、初動の識別が困難となる例が多く見られた。このように、チューブ波の影響等によるノイズ環境が大きい場合には、ジオフォンを用いたデータ取得を組み合わせる実施することが望ましい。一方、孔口から200m以上離れた発震点（VP49、VP79）では、チューブ波の振幅が比較的

小さくなること、チューブ波の傾きと初動の傾きが異なることにより、初動を認識することが可能であったことから、トモグラフィ解析に利用した。

屈折波データに関して、平成 25 年度に地表発振－地表受振によるデータ取得試験を実施し、解析に用いた。発受振点の位置を図IV.6-10 に、得られた取得波形の例を図IV.6-11 に示す。初動が明瞭に捉えられているとともに、後続波の波形も明瞭であることから、屈折法データの解析は、フルウェーブインバージョンによる解析を行うこととした。解析の実施にあたり、波形の前処理（振幅補償、エディット、ミュート）を行った。前処理を行った記録の例を図IV.6-12 に示す。

(2) 得られた地表発振－孔井受振トモグラフィデータ及び地表発振－地表受振屈折法データを用いて、P 波速度構造を求める解析を行う。得られたデータの品質に応じて、初動走時のみを用いた解析、あるいは後続波形も利用したフルウェーブインバージョンのいずれかを行う。また、トモグラフィデータ及び屈折法データの両者を用いて同時解析するジョイントインバージョンが適用できる可能性がある。

今回取得したデータに関しては、地表－孔井間初動走時トモグラフィ解析を実施した後、得られた速度構造を初期値として屈折波トモグラフィ解析を行うことで、P 波速度構造を求めた。

まず、地表－孔井間初動走時トモグラフィ解析を実施した。(1) において示したように、ハイドロフォンアレイツールが宙吊り状態になる浅部区間のデータは初動の識別がほぼ困難であったことから、図IV.6-6における計測区間 1 及び 2(受振器深度 340m から 785m)のデータを解析に用いた。図IV.6-13 に解析に用いたデータ取得範囲を示す。解析手順は以下の通りである。

- a) 読みとり走時データを用いて、直線波線を使ったバックプロジェクション法によるトモグラフィインバージョンにより初期速度構造を更新する。今回は、初期モデルとして、既往の反射法地震探査により得られた速度構造（図IV.6-14）を用いた。
- b) (a) で更新された速度構造に対して、波線追跡法（LTI ; Linear Travel time Interpolation）を用いて初動の屈折波線を計算する。
- c) (b) で求めた屈折波線を使い、共役勾配法（CG ; Conjugate Gradient）を用いたインバージョンを実施し、速度構造を更新する。

解析により得られた速度構造を図IV.6-15 に示す。

次に、地表－孔井間トモグラフィ解析により得られた速度構造を初期値として、フルウェーブインバージョンによる屈折法トモグラフィ解析を実施し、P 波速度構造を更新した。解析の流れを図IV.6-16 に示す。与えられた速度モデルを用いて波動場シミュレーションを行い、その結果と実際の観測波形との残差に基づき速度モデルを修正した。残差が十分に小さくなるまでこの操作を繰り返すことで、観測データをよく説明できる速度モデルを求めた。解析には、フランスの国立研究機関である GeoScience AZUR の主催する SEISCOPE コンソーシアムで開発された周波数領域のフルウェーブ

ブインバージョン解析ソフトウェア (TOY2DAC) を用いた。1 回のインバージョンで使用した周波数は 5 個で、順次高周波数帯域側にずらしてインバージョンを繰り返した。インバージョンは計 3 回実施し、対象とする周波数の範囲は 6Hz から 24Hz とした。解析により得られた速度構造を図IV.6-17 に、初期値 (地表-孔井間トモグラフィ解析により得られた速度構造; 図IV.6-16) に対する更新量 (変化した割合) を図IV.6-18 に示す。図より、屈折波トモグラフィ解析により、地表から約 150m までの速度構造が最大約 15%更新された。

(3) (2) において求めた速度構造を利用して反射法地震探査の再解析を行い、より高精度な反射断面を求める。また、データ処理において、CRS 法 (Common Reflection Surface stack ; Jager et al., 2001 ; Mann et al., 2007 ; Schleicher et al., 1993) を改良した手法である MDRS 法 (Multi-Dip Reflection Surface method ; 青木ほか, 2010) を適用することにより、複雑な反射面の傾斜や曲率を考慮した解析を行うことで、さらなる高精度な反射断面を導出する。

CRS 法では、反射面の傾斜や曲率を考慮しながら、近傍の CMP に属するトレースも重合に利用する。従って、空間分解能の劣化を抑えつつ、より高い SN 比を得ることができる。一方、異なる傾斜の反射波が交差する箇所では、優勢でない反射イベントが消失してしまう可能性がある (図IV.6-19)。MDRS 法では、反射波の出現角度の範囲を予測していくつかの領域に分割し、それぞれの傾斜領域で CRS 法を適用した CRS 重合記録 (MDRS サブセクション) を作成し、それらの重合断面を加算することで、波の重なり合いが表現された MDRS 重合記録を得ることができ、優勢でない反射イベントの消失を防ぎ、より高精度な反射断面を得ることが可能となる。ここで、傾斜範囲を設定するための検索範囲を決定する際、速度値を RMS 速度形式として与えることになるが、最適な CRS 重合記録を得るためには、ここでより精度の高い速度値を与えることが重要となる。

平成 17 年度における反射法データの取得時に実施したデータ処理 (以下、既存処理)、及び今回実施したデータ処理の流れを図IV.6-20 に示す。今回実施した処理では、既往処理における残差静補正までの処理結果を入力として、MDRS 法を中心とした再処理を実施した。また、速度構造は屈折法トモグラフィ解析により更新した P 波速度構造 (図IV.6-17) を用いた。MDRS 法において解析対象とする傾斜範囲を-400msec/km から+400msec/km とし、これを 61 分割して MDRS サブセクションを作成した。

既存処理により得られたマイグレーション深度断面を図IV.6-21 に、今回実施したデータ処理により得られたマイグレーション深度断面を図IV.6-22 に示す。既存処理による断面 (図IV.6-21) に対して、今回実施した処理による断面 (図IV.6-22) は、反射イベントの連続性が浅部、深部ともに向上しており、振幅の強弱により地質境界の判別がしやすくなっていることが分かる。このように、高精度な P 波速度構造を取り込むとともに、MDRS 法を用いた処理を行うことにより、高精度かつより地質解釈が容易な反射断面を得ることが可能となった。

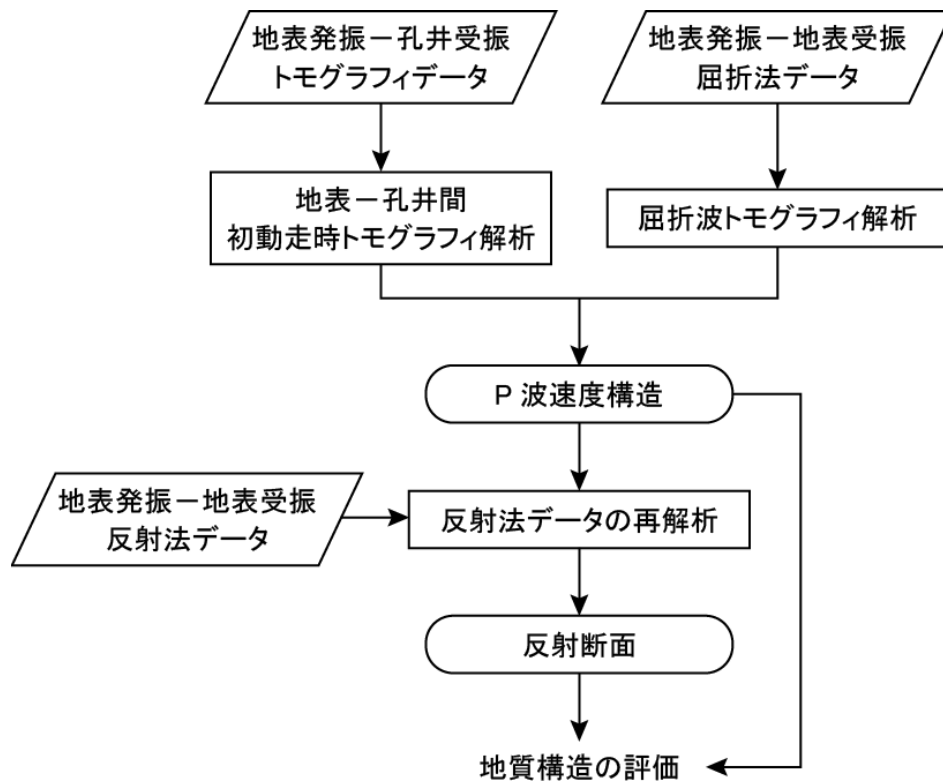
参考文献

青木直史・檜原省吾・高橋明久・西木司（2010）：MDRS法によるコンフリクティング・ディップのイメージング、物理探査学会講演会論文集、60-63.

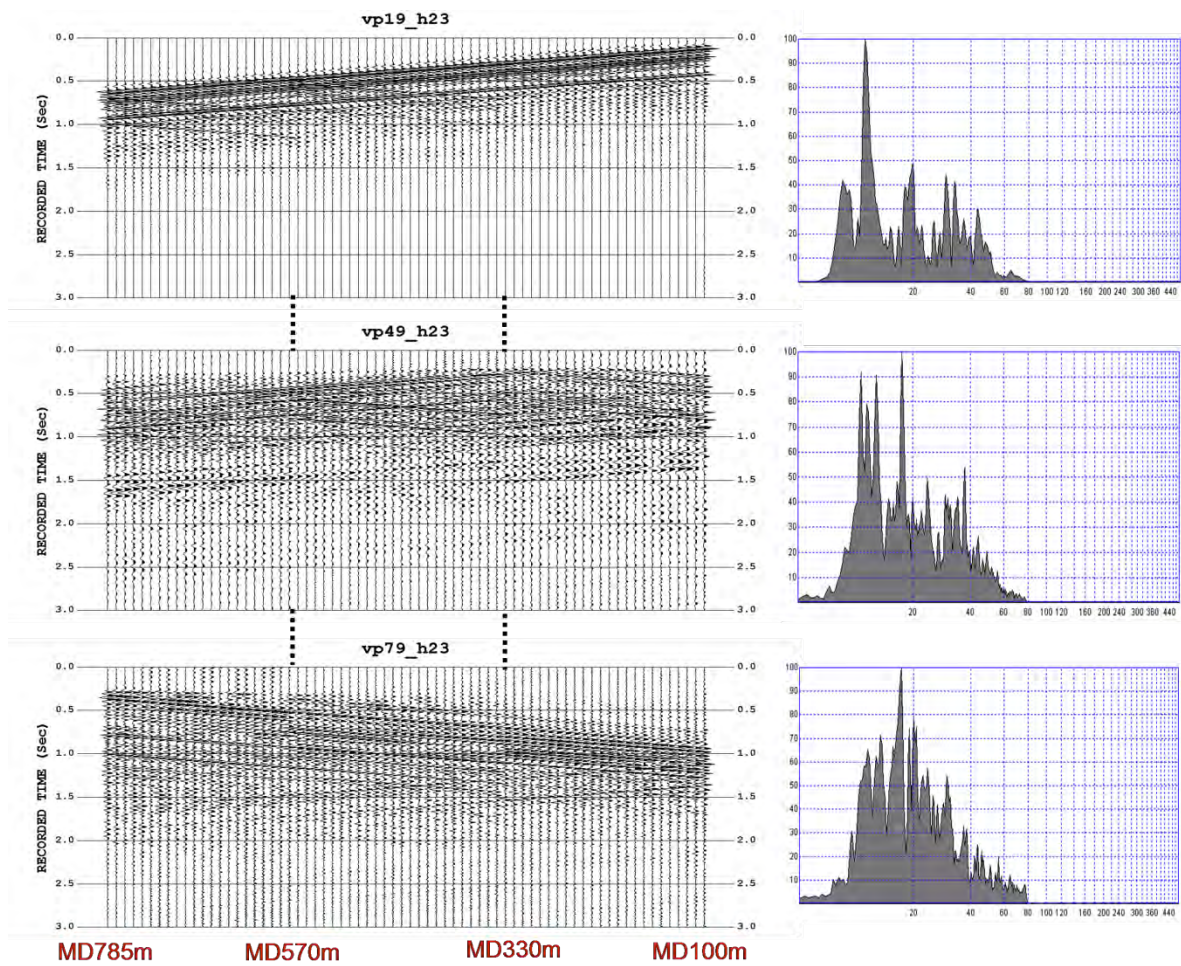
Jager, R., Mann, J., Hocht, G. and Hubral, P. (2001) : Common-reflection-surface stack: Image and attributes, Geophysics, 66, 97-109.

Mann, J., Schleicher, J. and Hertweck, T. (2007) : CRS Stacking -A Simplified Explanation, Extended abstracts of 69th EAGE Conference & Exhibition, B044.

Schleicher, J., Tygel, M. and dan Hubral, P. (1993) : Parabolic and hyperbolic paraxial twopoint traveltimes in 3d media, Geophysical Prospecting, 41, 495-5.

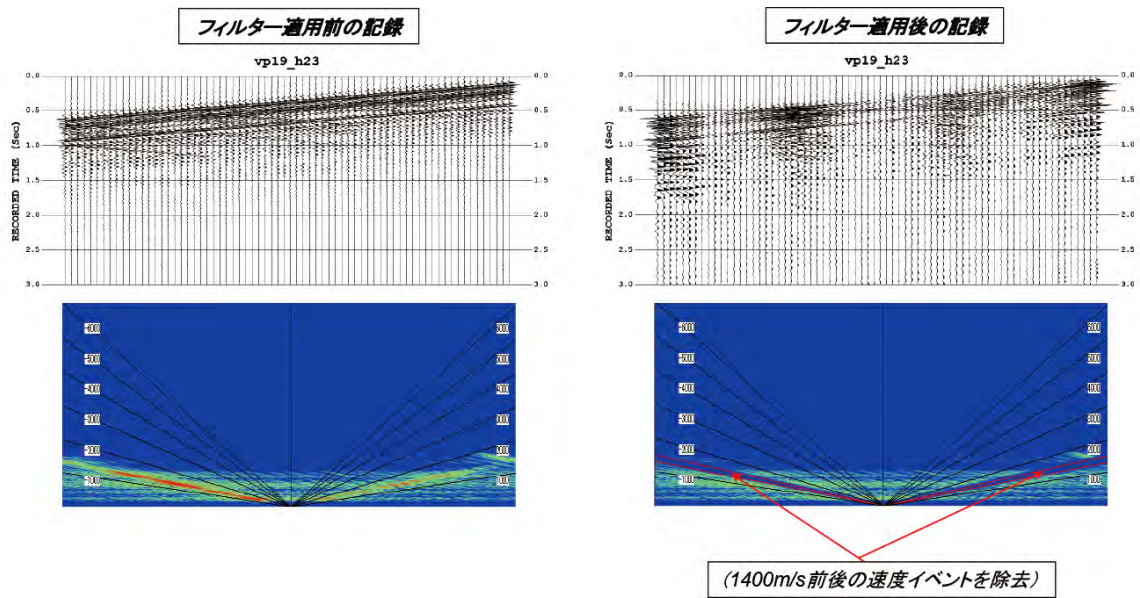


図IV. 6-7 データ解析の流れ



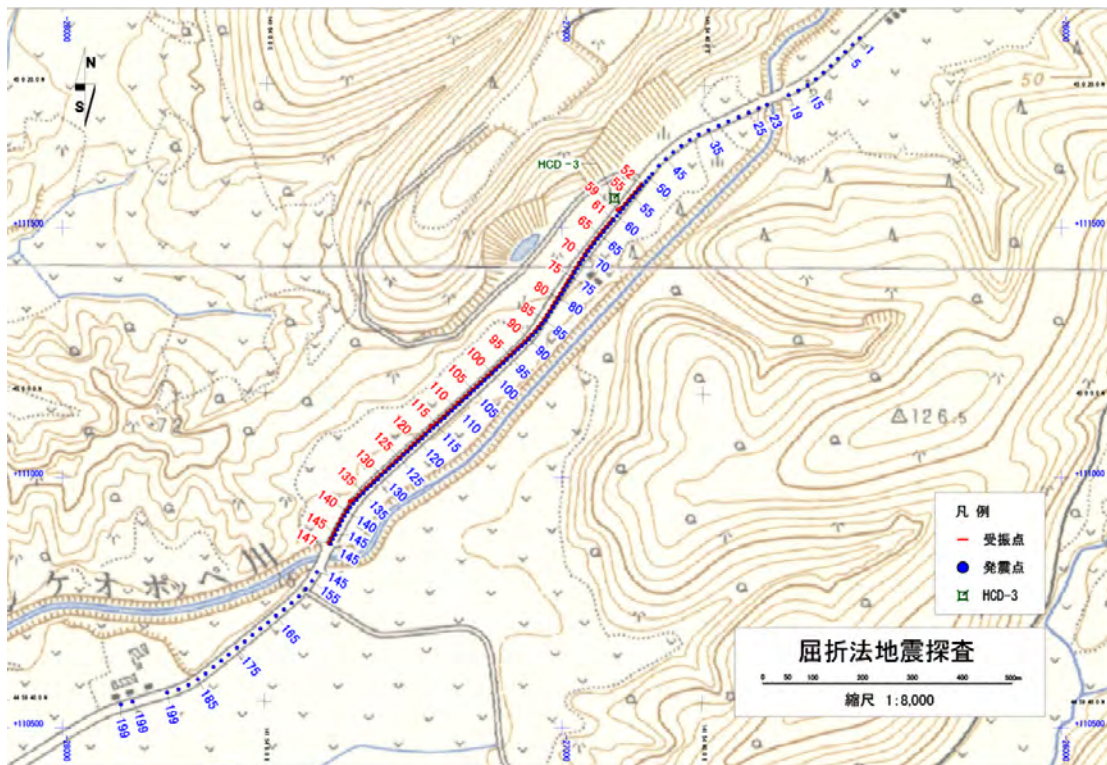
図IV.6-8 平成23年度データ取得試験における共通発振点記録の例

(上: VP19、中: VP49、下: VP79 からの発振点における記録例。左: 受振波形。右: 振幅スペクトル。
発振点の位置は図IV.6-6 に示している)

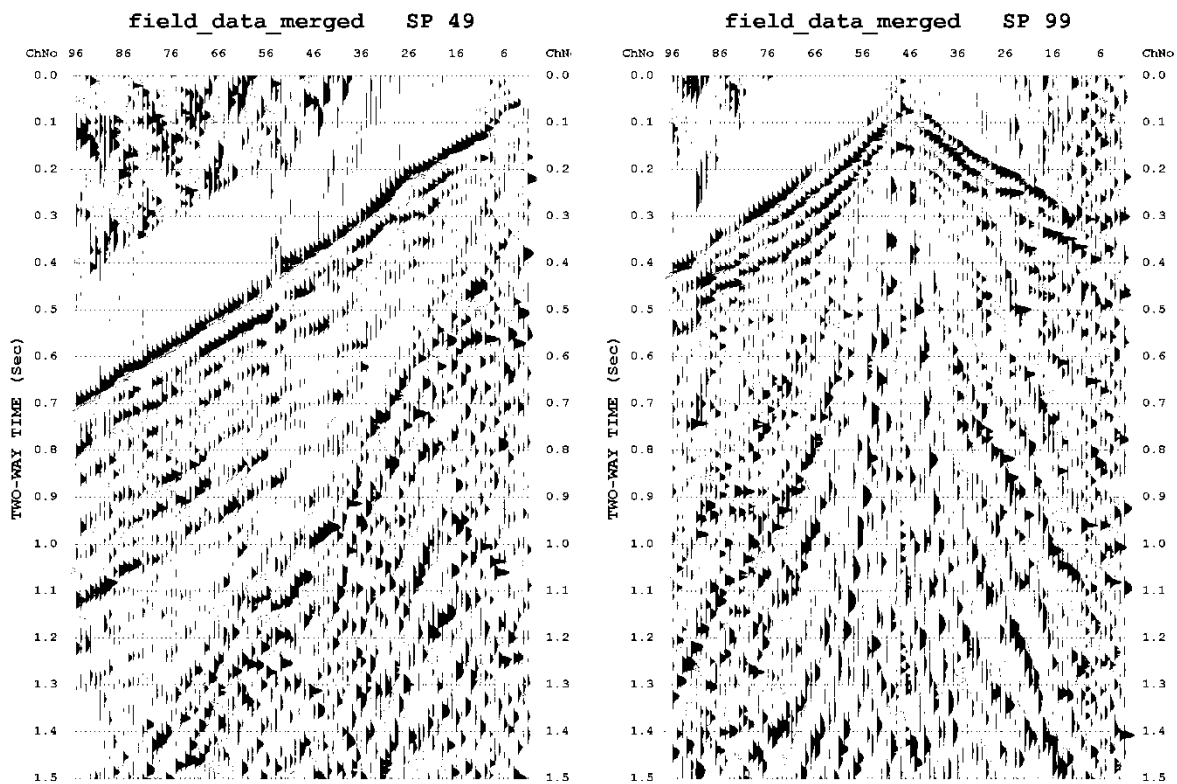


図IV.6-9 F-K フィルター適用前後の発振記録例

(左：フィルター適用前の記録。右：フィルター適用後の記録。上：オフセット VSP 記録。下：F-K スペクトル。VP19 による発振記録を用いた記録例)

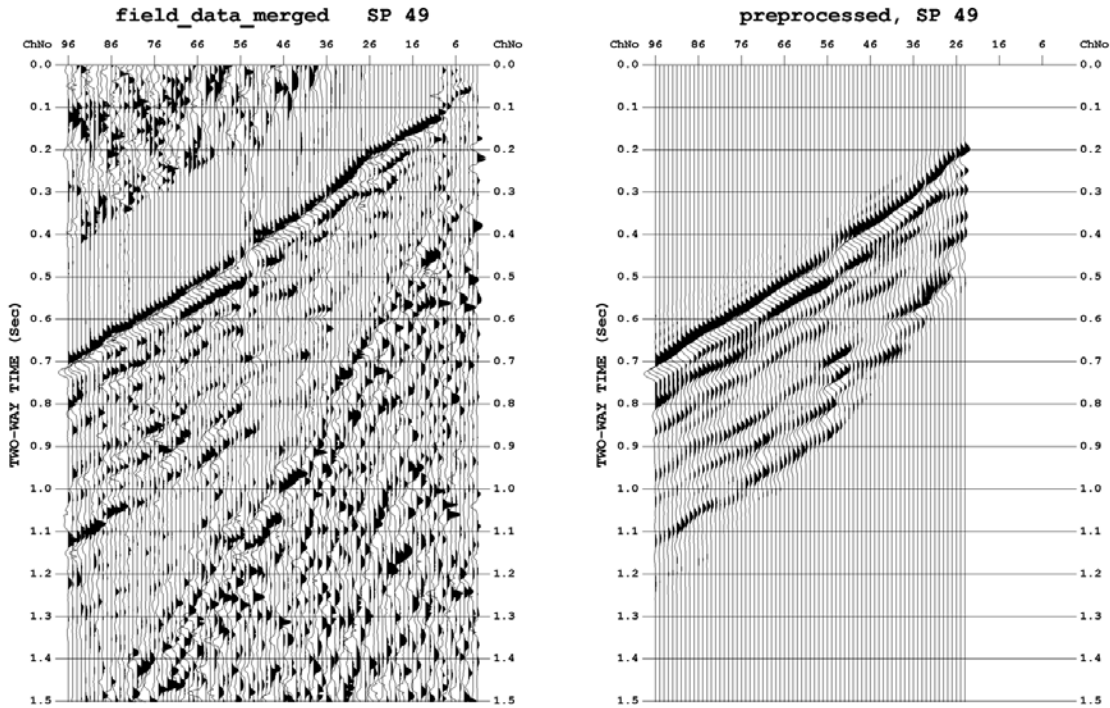


図IV.6-10 屈折波データ取得試験における発受振点の位置図

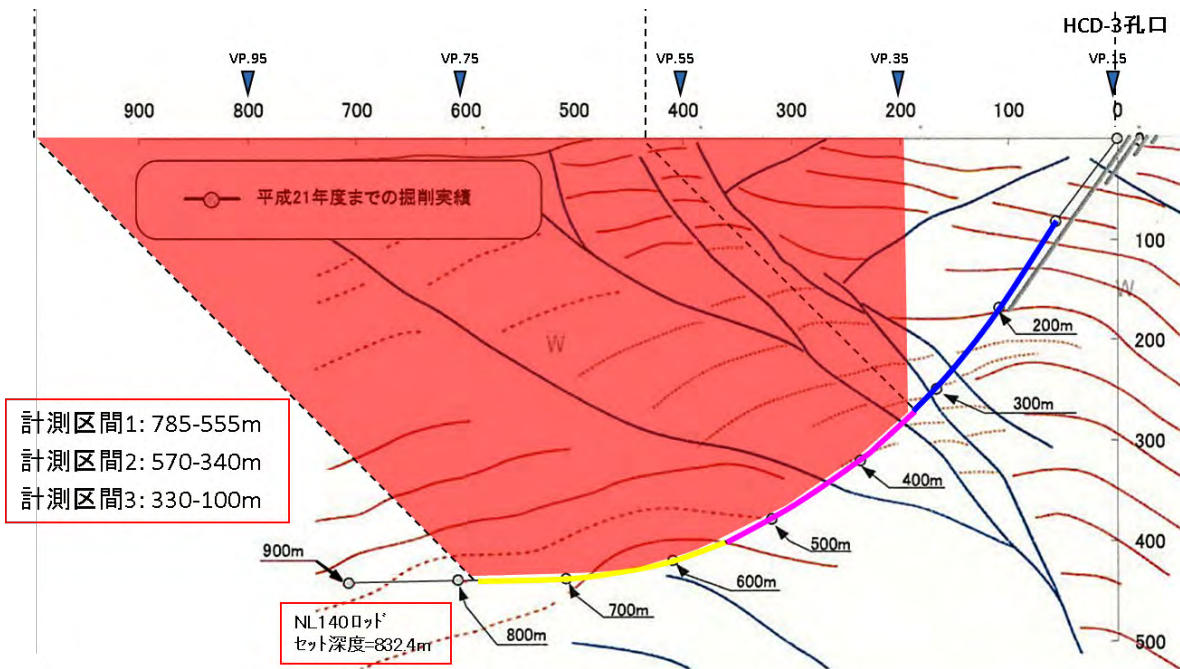


図IV. 6-11 屈折波データ取得試験における取得波形の例

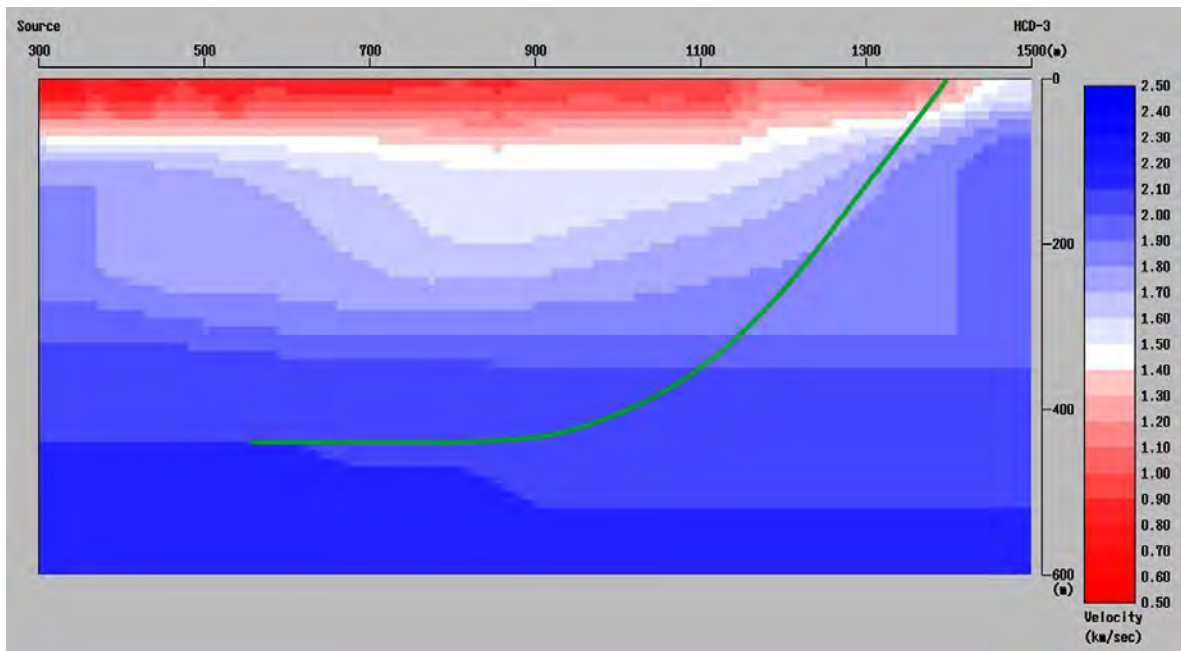
(SP49、SP99 における共通発振点記録。300msec の AGC (Automatic Gain Control) 適用後の波形。
発振点の位置は図IV. 6-10 に示している)



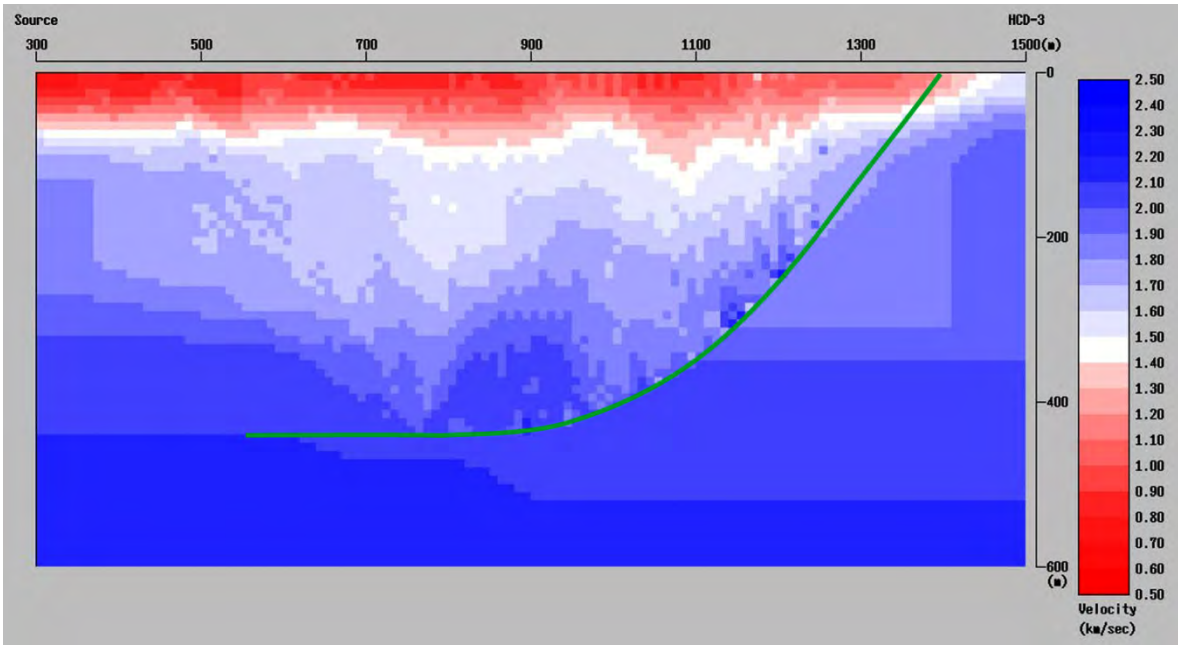
図IV. 6-12 屈折波データ取得波形に対する前処理後の記録例
 (SP49における処理記録。左：処理前。右：処理後。振幅は表示用にトレースごとに調整している)



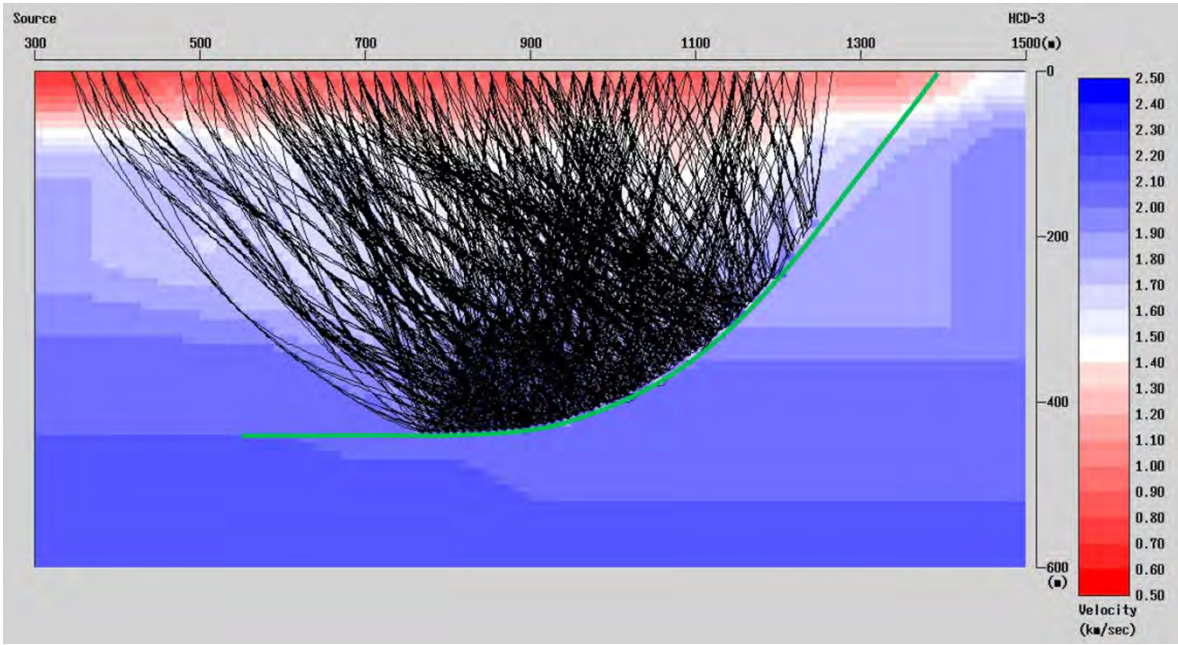
図IV. 6-13 P波初動走時トモグラフィ解析に用いたデータ取得範囲



図IV.6-14 P波初動走時トモグラフィ解析における初期速度構造

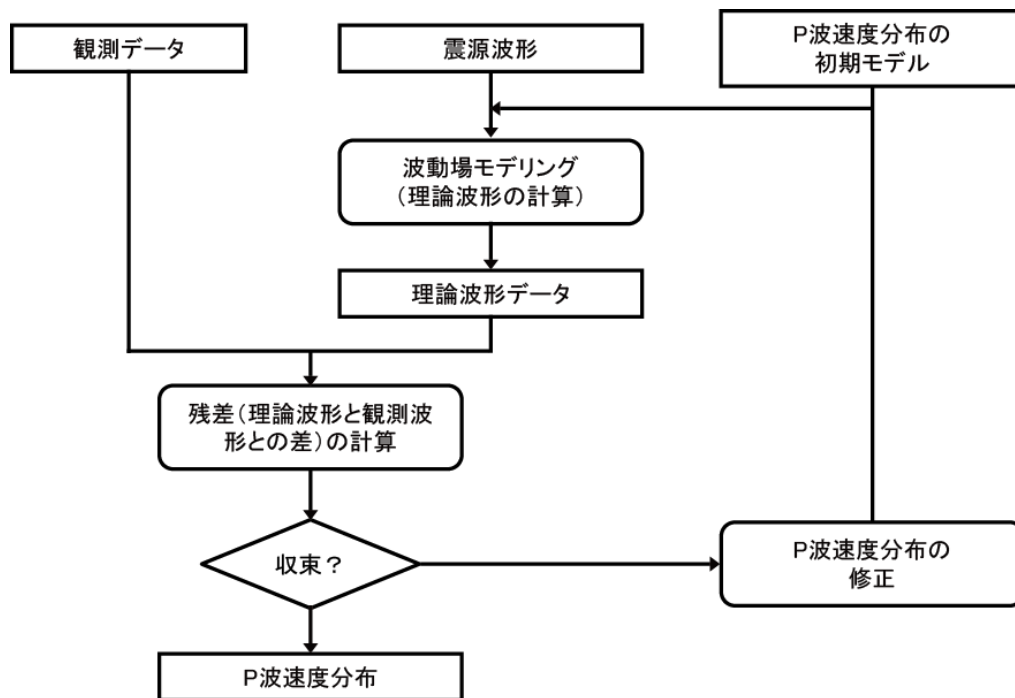


(a) 解析により得られたP波速度構造

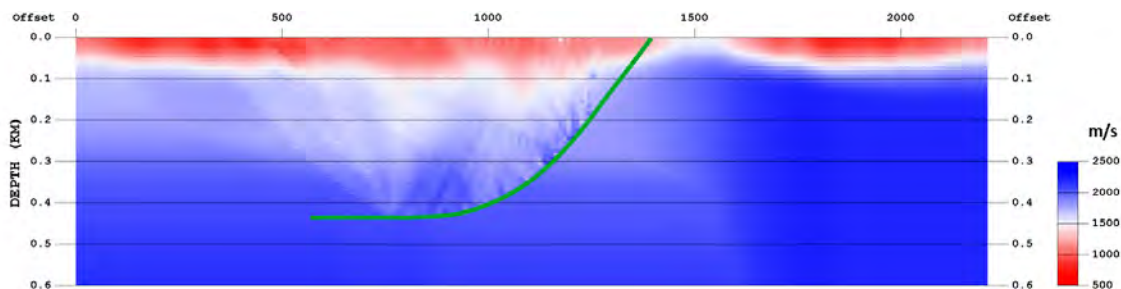


(b) 得られたP波速度構造に対する屈折波線

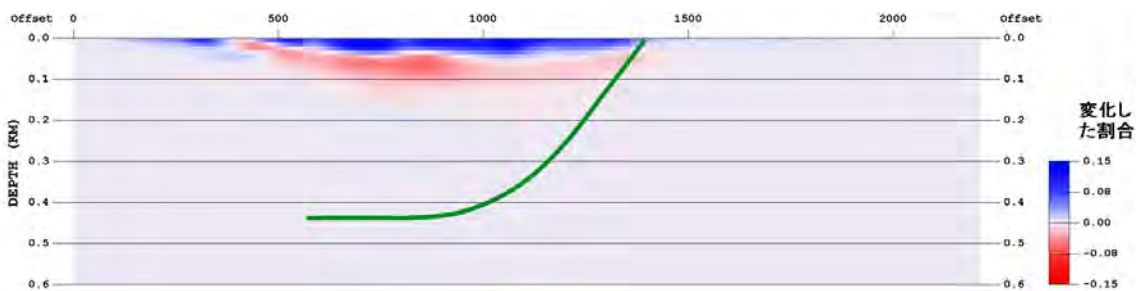
図IV. 6-15 P波初動走時トモグラフィ解析の結果



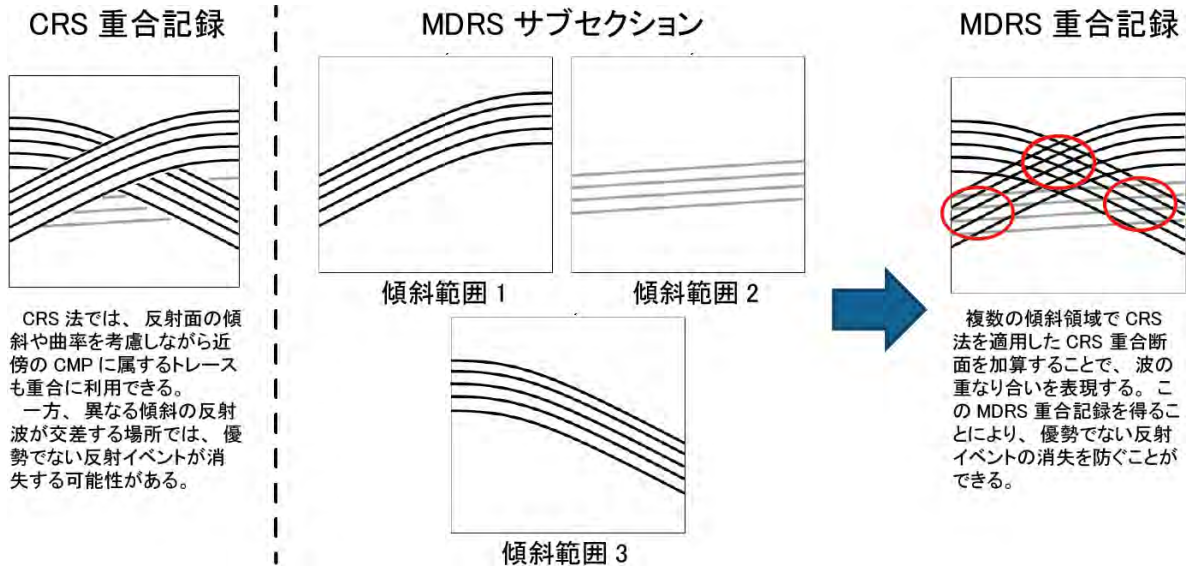
図IV.6-16 フルウェーブインバージョンの流れ



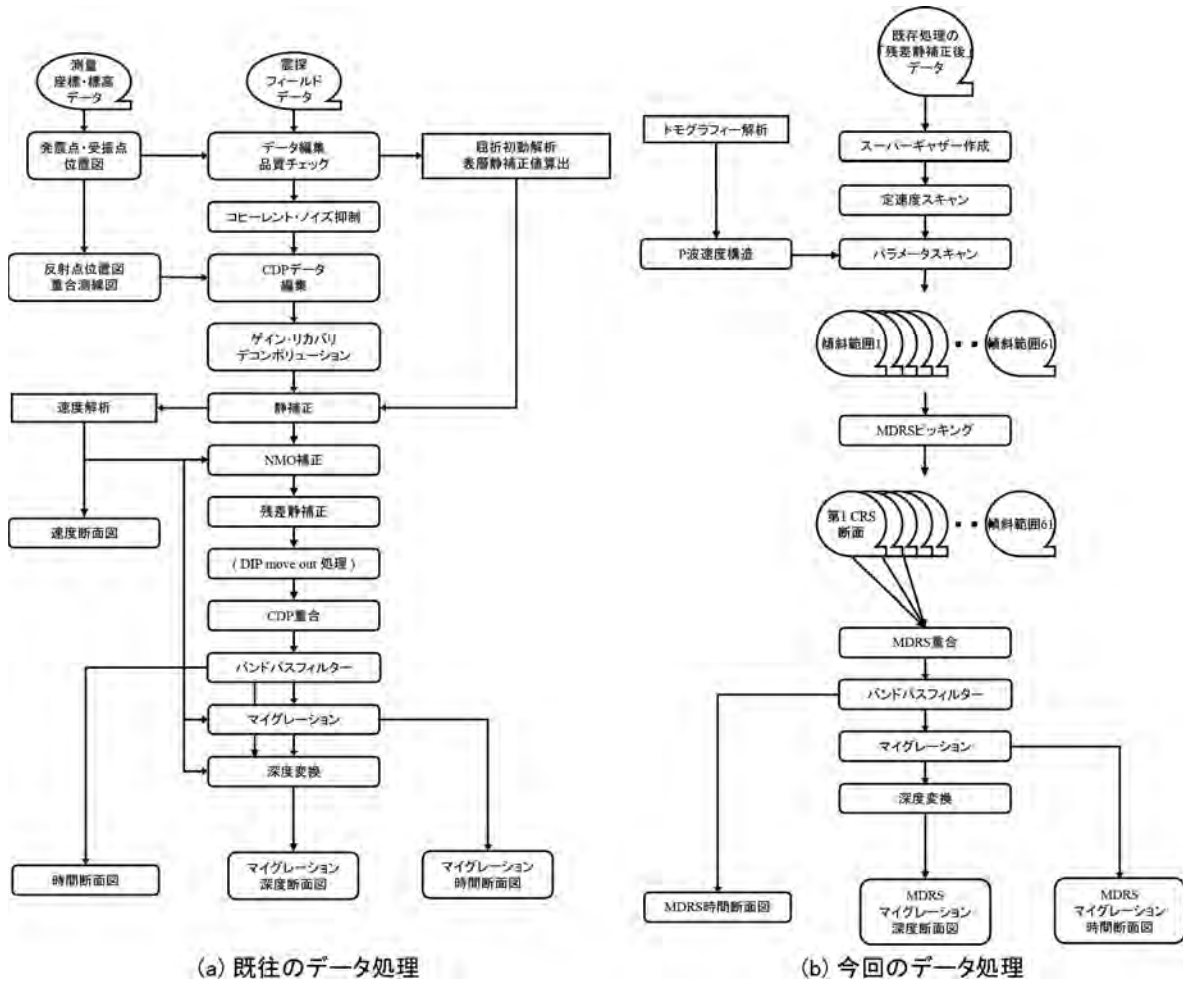
図IV.6-17 屈折波トモグラフィ解析により更新されたP波速度構造



図IV.6-18 屈折波トモグラフィ解析における初期値に対する更新量 (変化した割合)

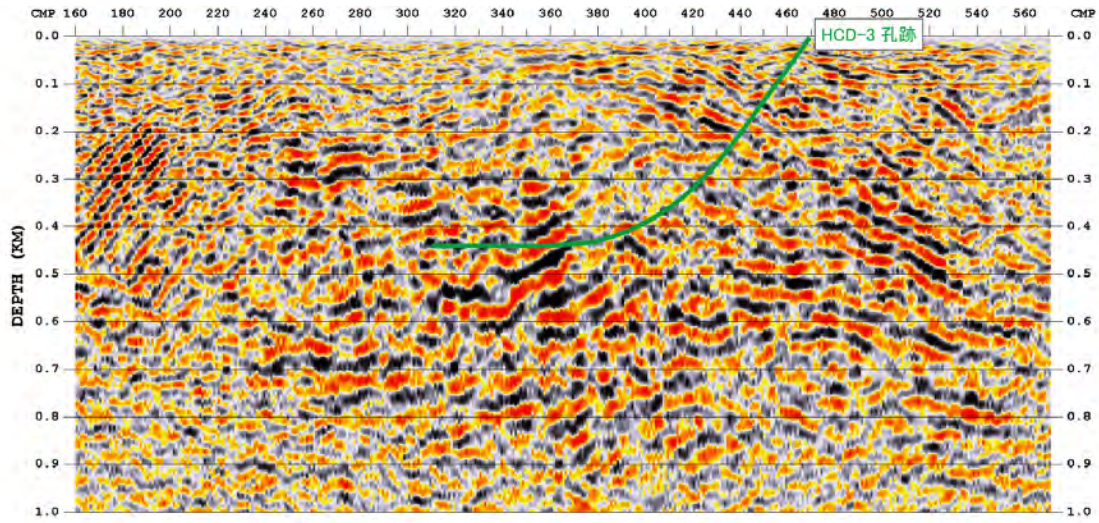


図IV.6-19 CRS 法、MDRS 法の概要

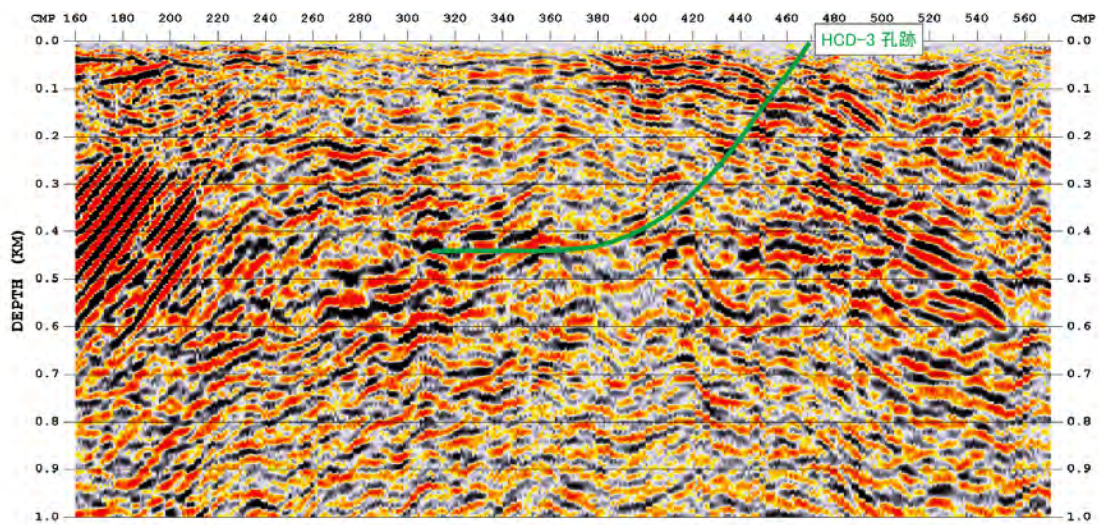


図IV. 6-20 反射法データ処理の流れ

(左：平成 17 年度における反射法データの取得時に実施したデータ処理（既存処理）。右：今回実施したデータ処理)



図IV. 6-21 既存処理により得られたマイグレーション深度断面



図IV. 6-22 今回の処理により得られたマイグレーション深度断面

IV.7 モニタリング

IV.7-1 モニタリングシステムの概要

モニタリングはコントロール掘削完了後のボーリング孔を利用し、孔内圧力を連続計測すること、および孔内にサンプラーを挿入し、原位置で原位置圧力を保持したまま採水を可能とするシステムである。

モニタリングは①ボーリング孔内への観測区間の設置、②モニタリングシステムの設置、および③連続計測の各作業を実施する。

(1) 目的

孔内モニタリングは、コントロールボーリングにより掘削されたボーリング孔を利用して、孔内水の採水および孔内圧力の連続計測を行うことを目的とする。

(2) 適用

モニタリングシステムは、長さ 1000m、深度 500mまでの内径 120mm以上のボーリング孔内に適用する。

モニタリングを実施するためにボーリング孔内に観測区間となる裸孔部分を設ける必要がある。このため、①ボーリング孔に設置されているケーシングパイプを孔内で切断する技術②残存ケーシングパイプの自重を保持するためアンカー部を作成するケーシングパイプ拡張する技術もあわせて実用化した。

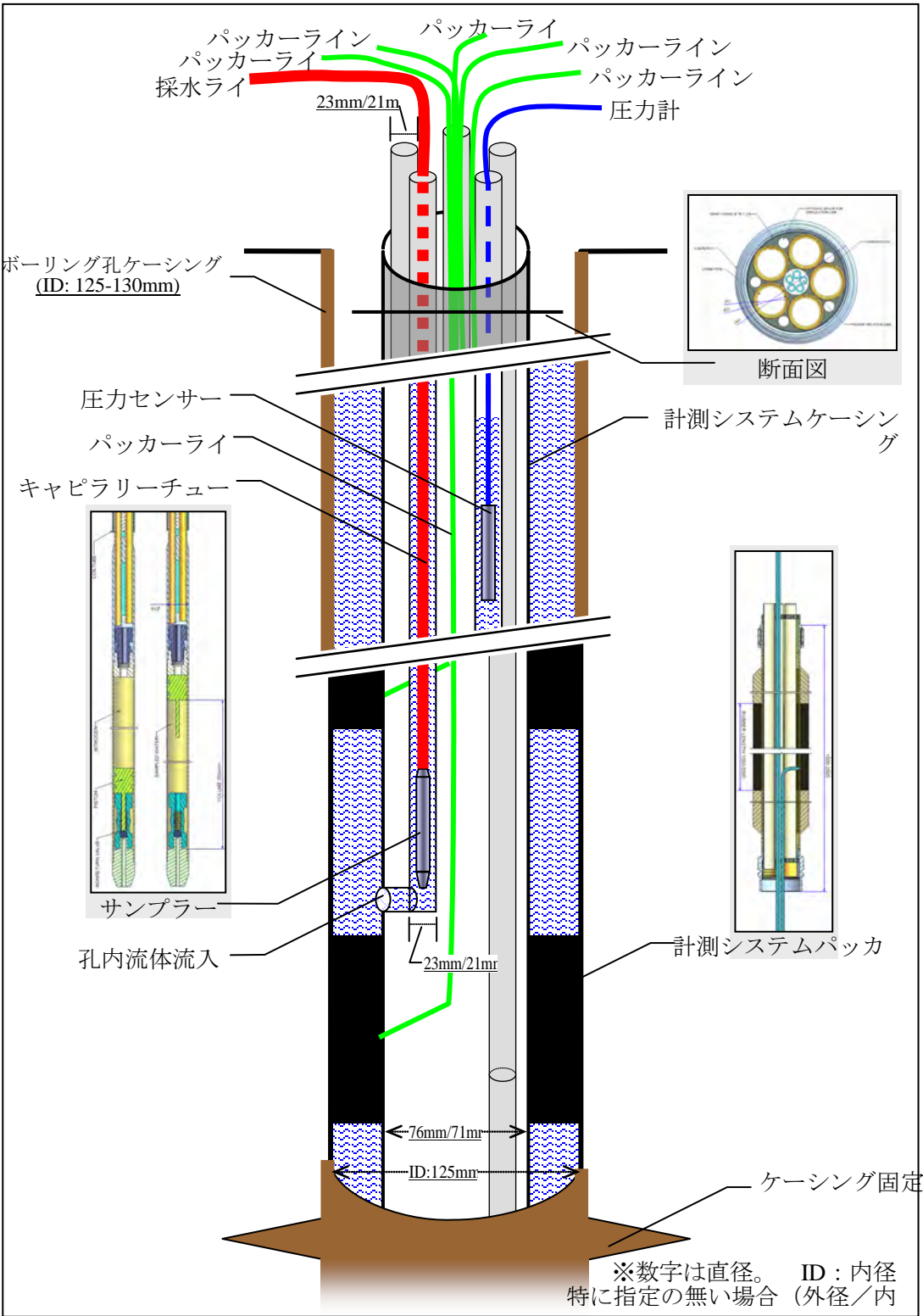
モニタリングはこのように作成した観測区間（裸孔区間）の上下端にパッカーをかけて孔内水と観測区間を遮断し、原位置の圧力測定ならびに採水を可能としたものである。

システムの概要は表IV.7-1 および図IV.7-1 のとおりである。

表IV.7-1 モニタリングシステムの概要

形式	SPMP (Stand-Pipe Multi-Packer system)
観測（採水）区間数	最大5点
観測項目	孔内圧力（温度）測定、孔内流体の採水、透水試験（揚水・注水）
装置寸法	ケーシング：外径φ76.1mm、内径φ70.9mm、標準長3m/本 パッカー：収縮時外径φ110mm、内径φ70.9mm スタンドパイプ：外径φ23mm、内径φ21mm、標準長3m/本
遮水方法	観測区間の上下に配置されたゴム製パッカー
材質	ケーシング、スタンドパイプ：SUS304

その他特記事項 センサー、サンプラー等は容易に地上への引上げ可能



図IV. 7-1 モニタリングシステム概要図

IV.7-2 モニタリングシステムの構成

モニタリングシステムは次の諸装置により構成される

- (1) スタンドパイプ内に設置機器
 - ① スタンドパイプ本体 ② スタンドパイプ内圧力センサー
 - ③ スタンドパイプ内ミニパッカー ④ サンプラー（採水時に使用）
- (2) 計測システム用ケーシング
 - ① ケーシング本体 ② エンドロッド
 - ③ インターバルアクセスモジュール
 - ④ パッカー ⑤ セントラライザー
- (3) 地上機器
 - ① データロガー
 - ② パッカーコントロールユニット（パッカー圧力計含む）
 - ③ ダブルバルブポンプ ④ その他設備

モニタリングシステムを設置する場合の機器の接続状況の一例を写真IV.7-1、図IV.7-2に示す。

モニタリングシステムは孔口部にて計測システム用ケーシング内にスタンドパイプを配置し、それぞれを連結しながら孔内の所定位置まで挿入する。ケーシングならびにスタンドパイプの接合部は2重のOリングにより外部との遮水を図るとともに、接続および着脱が容易にできる構造としている。

使用材料は、塩分や溶存ガスなどによる腐食の影響を極力少なくするよう、金属材料にはSUS304を、パッカーについては天然ゴムをそれぞれ主要材料としている。

(1) スタンドパイプ設置機器

計測システム用ケーシング内にはスタンドパイプ設置用の孔が5孔円周状に配置され、中心部にはパッカーライン用の孔が設置されている。スタンドパイプは、計測箇所数分この孔内に配置される。スタンドパイプは標準長3.0mであり、調整が可能なように1.5m、1.0m、0.5mの長さを用意してある。

スタンドパイプ内に設置する圧力センサーはPAA方式の絶対圧計測用の圧力センサーで、測定レンジは0-1MPa、分解能0.002%FSであり、主要寸法は外形φ16mm、長さ0.12m、重量4.5kg（ケーブル90m含む）である。

圧力センサーの上には、スタンドパイプ内の空気・孔内水と遮断するためにミニパッカーを設置する。ミニパッカーは窒素ガスにより拡張するフィックスエンド方式のゴム製パッカーであり、収縮時外形φ16.5mm、全長0.22m、有効遮水長0.1mである。

サンプラーはフロースルータイプのサンプラーで、外径φ10mm、長さ0.5m、容積22mlであり、採水深度までスタンドパイプ内を降下させ、原位置水圧のまま流体を採水し、その後サンプラーを地上まで引き上げて回収する。

(2) 計測システム用ケーシング

計測システム用ケーシングは外径φ76.1mm、長さ3m（1m、0.5m用もある）重量15.5kg/3mの鋼管でスタンドパイプ5本設置できるようになっている。ケーシングの接合はスイベル・ナットにより簡単かつ確実に接合・分離が行えるものである。

計測システムを孔内に設置する際には、図IV.7-1に例示したように、先端側からエンドロッド（外径φ76.1mm、長さ1m）、セントラライザー（長さ0.5m）、下部パッカー（長さ1.5m）、セントラライザー、インターバルアクセスモジュール（長さ0.5m）、上部パッカー、セントラライザーの順で各装置を連結し計測部を構成する。

インターバルアクセスモジュールに設けた流体流入孔（φ15mm）を通して流体がスタンドパイプ内に流入することにより採水・圧力計測ができる。

パッカーは裸孔区間において地山孔壁に密着し、所要の水密性を確保する必要があることから、有効遮水長1.0mのフィックスエンド型のパッカーとした。パッカーの拡張にあたっては、水・不凍液・窒素ガスに対応しており、スタンドパイプ中央部にパッカー拡張・収縮ライン（外径φ6mm、ポリアミド製）を配置し地上のパッカーコントロールユニットにて拡張・収縮およびパッカー圧力の監視が可能である。

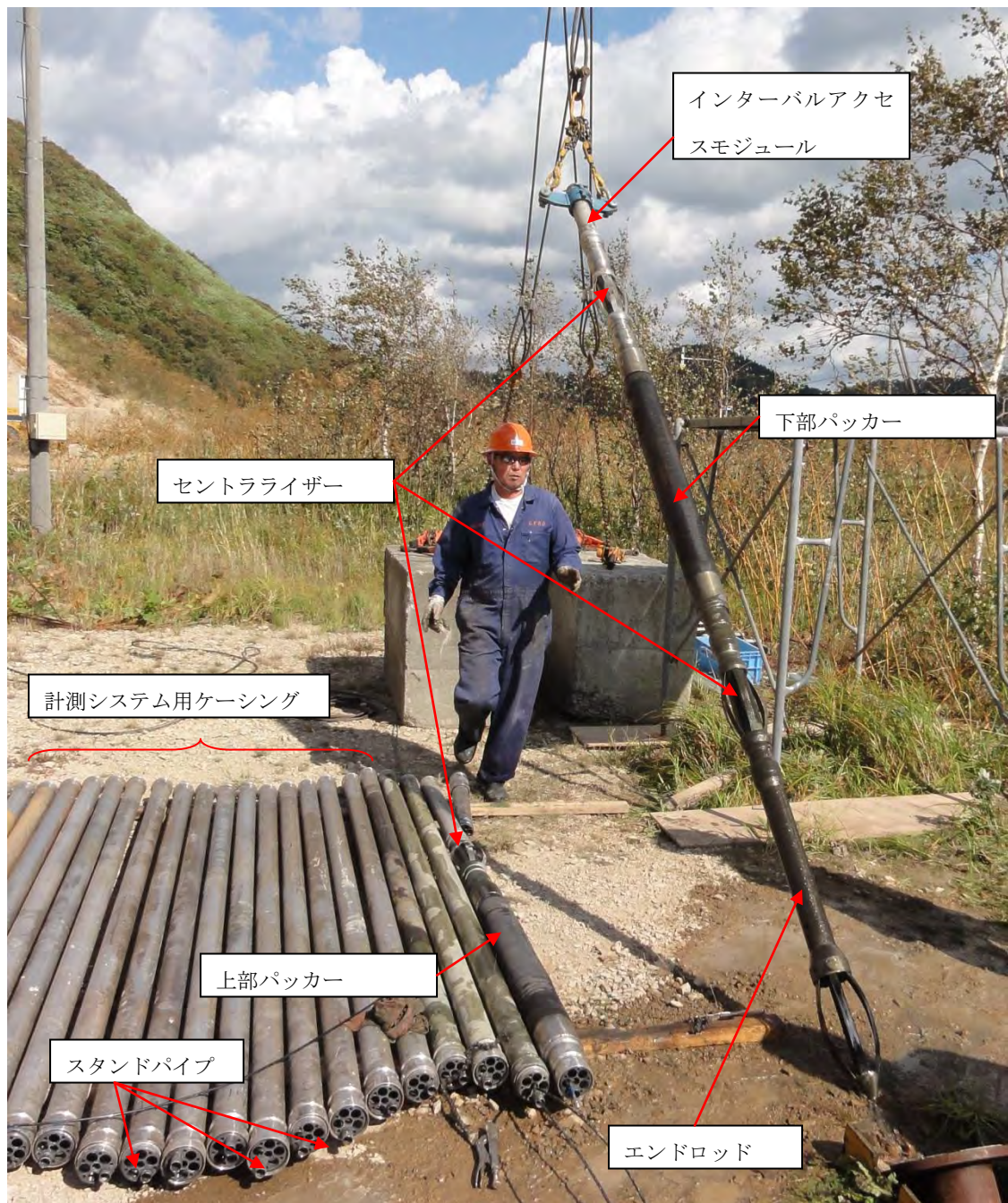
なお、パッカーは拡張後にも地上に引き揚げて点検が可能なように収縮できる構造となっている。また、収縮ラインによる収縮が不可能な場合にも収縮・回収が可能となるようバーストディスクを装備している。

(3) 地上機器

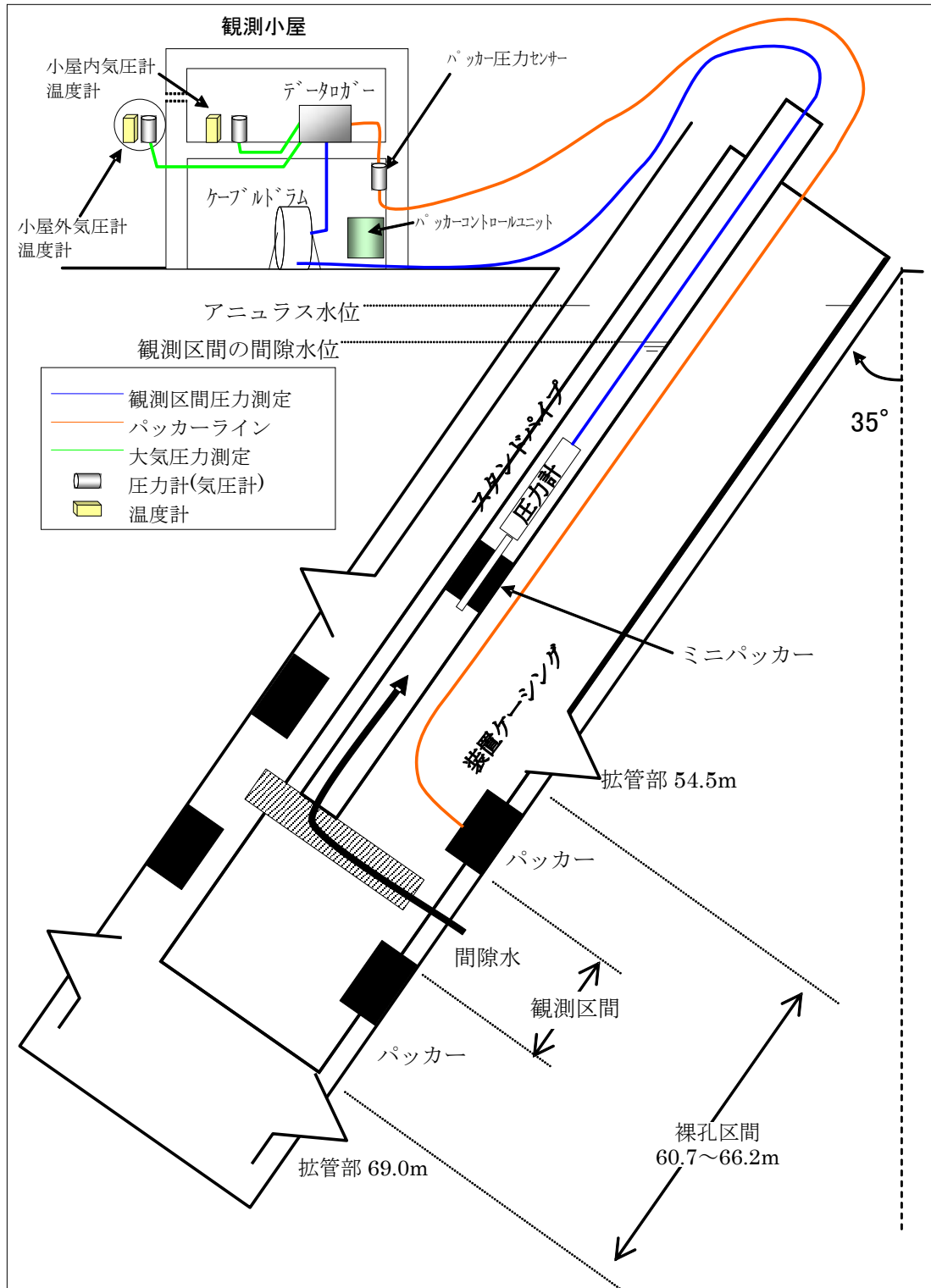
観測データ収録のためのデータログ、パッカーの圧力制御・監視のためのパッカーコントロールユニット、採水・透水試験用各種機器を地上に設置する。

データロガーはサンプリング間隔を1分単位で任意に変更可変である。商用電源が無い場合でも使用できるよう乾電池による使用も可能である。

また、観測データの解析に供するよう、地上にも気温・気圧が測定できるようセンサーを配置することが望ましい。



写真IV. 7-1 計測システム構成例



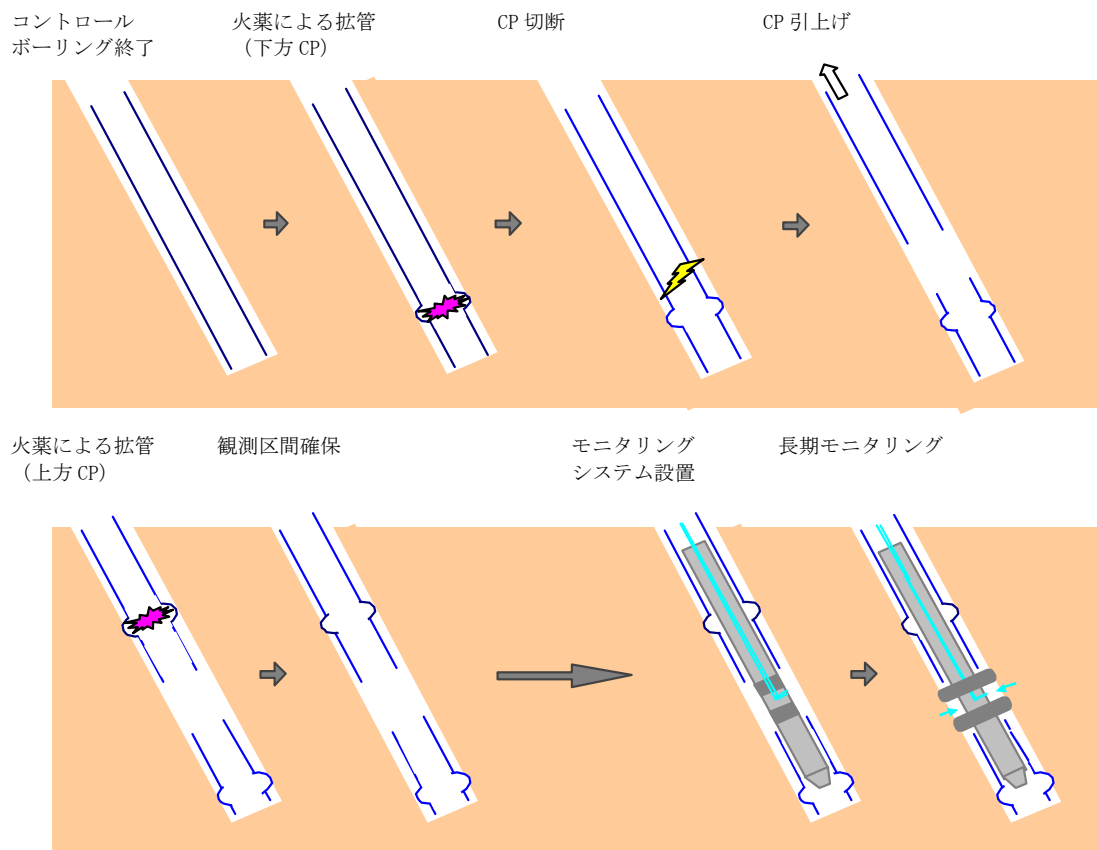
図IV. 7-2 計測システム構成例

IV.7-3 モニタリングシステムの実施手順

モニタリングシステムは次の手順で設置する。

- ① 観測区間（裸孔区間）の決定
- ② 観測区間下部拡管
- ③ ケーシングロッド切断
- ④ ケーシングロッド引き上げ
- ⑤ 観測区間上部拡管
- ⑥ 計測システム挿入・計測の実施

モニタリングシステムの設置手順は図IV.6-3を標準とする。



図IV.6-3 モニタリングシステム設置手順

ボーリング孔壁を保持するために設置されているケーシングロッドを切断し観測区間（裸孔区間）を作成するために、ケーシングロッドの自重を支える必要がある。このため、観測区間の下方および上方にケーシングロッドの自重を保持するためのアンカー部を設置する。アンカー部は火薬によりケーシングロッドを局部的に拡径し周辺地盤に食い込ませることにより作成する（拡管作業）。

拡管作業が終了した後、拡管状況を BHTV（ボアホールテレビュアー）装置等により確認するとともに、ケーシングロッドの引き抜き試験を実施し、自重相当荷重にて変位が観測されないことを確認する。

下方の拡管に引き続き電動カッターによりケーシングロッドを切断する。切断箇所は、電動カッターの次位に CCL を接続し、正確な位置計測を行い確定する。

切断後観測区間長分ケーシングロッドを引き抜き裸孔区間を作成する。

その後、観測区間上方の拡管作業、拡管の状況確認を行う。

作成した観測区間に計測システムを設置する際には、計測用ケーシングの接続ログを作成し慎重に設置する。エンドロッドを観測区間下部の残存ケーシングロッド内まで降下させ、所定の位置に計測システムが配置された状態で、パッカーを拡張し観測区間の作成を完了させる。

なお、計測用ケーシング挿入時には計測用スタンドパイプを同時に設置する。

計測システム設置後、スタンドパイプ内に窒素ガス・清水を循環させ孔壁維持のための泥水等を地山地下水に置換する。水位回復を待ち、各種実験・長期計測を開始する。

IV.7-4 観測区間（裸孔区間）の選定

モニタリング設置にあたっては、計測目的・計測期間を十分検討したうえで、掘削時に得られたデータ、コア情報および孔内で実施した他の試験データを参考に、長期計測に適した安定した地質部を選定する。

モニタリングシステムは孔内に設置されたケーシングロッドを切断し裸孔区間を設け、その区間にパッカーをかけて観測区間を設けるものである。したがって、長期連続観測期間中に孔壁崩壊のおそれがある箇所はモニタリングシステムの設置を避けることが望ましい。

このため、ボーリング掘削時に得られた掘削データやコア観察から得られる地質状況、孔内透水試験をはじめとする孔井を利用した各種試験結果を参考に、計測計画に一番適合する箇所を選定する。

また長期的に安定した計測を行うためには観測区間に設置するパッカーについても、観測期間中その性能を十分発揮する必要がある。このためには上記地質特性の把握の他に、パッカー設置位置の地質の安定性および孔壁の仕上がり状況も勘案する必要がある。

パッカー設置位置の孔壁の仕上がり状況は裸孔区間設置した後にボアホールテレビジョン、音響キャリパーなどで確認することとなるため、実際の裸孔区間の設定にあたっては当該箇所がパッカー設置に不相当となる場合も含めて、多少余裕をもって設定することが望ましい。

IV.7-5 ケーシングロッド拡張

ケーシングロッドは、プラスチック爆薬 PBX を使用した発破をケーシングロッド内で行うことにより拡張する。

発破完了後、BHTV（ボアホールテレビュアー）等により拡張寸法、拡張長さを計測し拡張状況を確認する。

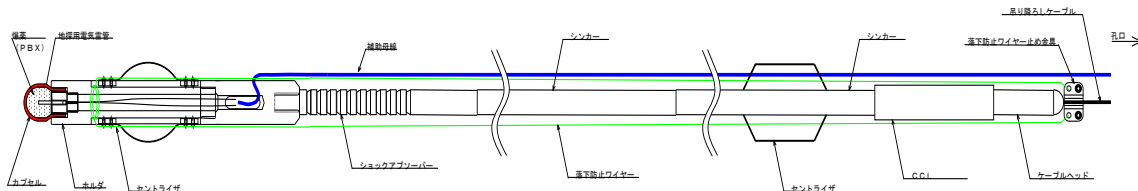
また、拡張部分がケーシングロッドの自重を保持できるかどうか確認するために自重相当の荷重によりケーシングロッドを引き抜き、その変位に異常ないことを確認する。

(1) 発破に用いる火工品ツール

拡張に使用する火工品ツールの編成を図IV.7-4 に示す。

ツールは先端に発破用火薬を設置し、その上方にセントラライザー、衝撃吸収用のショックアブソーバー（アルミニウム製）、シンカー、セントラライザー、CCLにより編成が構成されている。火工品ツールは CCL 上方でアーマードケーブルに接続され孔内所定位置まで吊下ろされる。

発破用火薬は爆速が速く（8000m/秒以上）取り扱いが容易な PBX を 100 g 使用する。



図IV.7-4 火工品ツール

(2) 拡張の状況確認

拡張箇所はケーシングパイプの自重を確実に保持する必要があるため、拡張後にテレビュアー（BHTV）による形状・寸法の確認、ケーシング引き抜き試験による変位計測により、拡張の状況を確認する。

BHTV はダウンホールツールズに圧電トランスデューサーを搭載したものを孔内に降ろし、トランスデューサーから音波ビームを孔壁に向けて照射し、その反射波強度や音波の伝播時間から孔壁の状況や孔内寸法を計測するものである。

計測により孔径の変化（孔径が掘削径以上かどうか、形状は同心円状かどうか）および拡張

長さ（目標長さ 30 c m程度）を把握する。

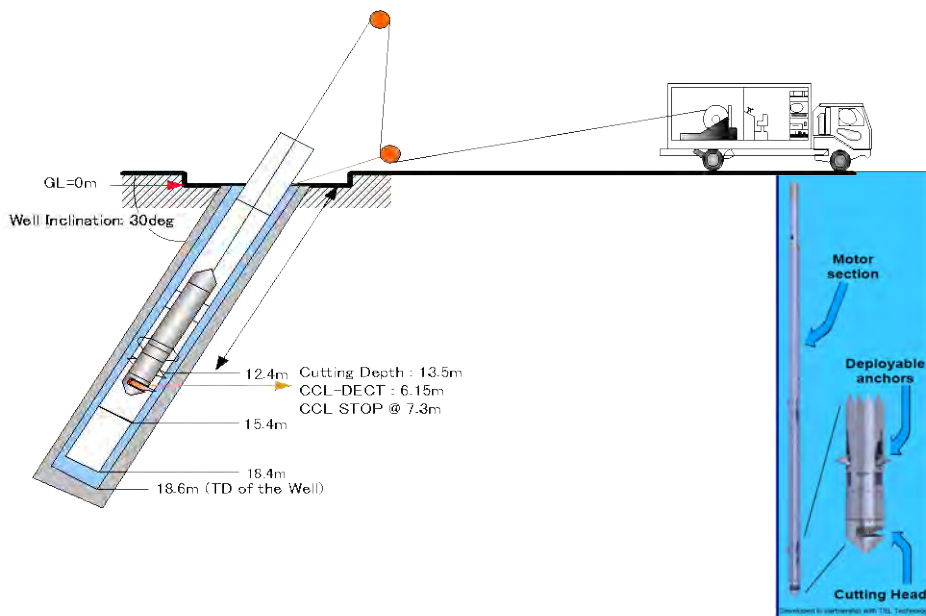
ケーシング引き抜き試験は孔口に設置してあるボーリングマシン等引き抜き荷重が計測できる装置を使用してケーシングを引き抜き、その際のケーシングの孔口の変位を計測することにより、荷重～変位曲線を求め、ケーシングロッドの弾性変形以降に異常な変位が発生していないことを確認するものである。

IV.7-6 ケーシングロッド切断

ケーシングロッドの切断は電動カッターにより行う。

ケーシングロッドの切断には、切断時に使用する劇薬などによる周辺環境への影響がないこと、切断面がパッカーの設置など切断後の作業に悪影響が無いことを確認した電動カッター（Sondex社製 DECT : Downhole Electric Cutting Tool）を使用する。

DECT を使用した切断作業の状況は図IV.7-5 に、また仕様は表IV.7-2 のとおりである。



図IV.7-5 電動カッターによる切断作業

表IV.7-2 DECT ツールの仕様

Current	2A Max (typical 900mA)	
Supply voltage	650V	
アンカリング最小径	2.867"(7.3cm)	
アンカリング最大径	15.2cm	
切断範囲	7.3-12.9cm	
最大肉厚	1.91cm	
耐圧	103MPa	
耐熱	150°C	
最大孔井傾斜	水平孔(セントライザ ² 式使用)	
ツール長	6.8m(セントライザ含む)	
ツール径	6.83cm	
ツール重量	108kg	
Current rating of feedthrough	2	Amps
Voltage rating of feedthrough	500	Volt

IV.7-7 ケーシングロッド引上げ

観測区間下部のケーシングロッド拡管・切断が終了した後、ケーシングロッドを所定の深度まで引き上げ、裸孔区間を作成する。

ケーシングロッド引上げ時には、常に引上げ荷重を監視するなど、無理な引上げによるケーシングロッド破断を避けるよう作業手順を定めることが望ましい。

ケーシングロッドを所定の深度まで引上げた後、観測区間上部の拡管作業を行う。

観測区間下部のケーシングロッド拡管、切断が終了した後、裸孔区間を作成するためにケーシングロッドを所定の深度まで引上げる。

引上げには、掘削で使用した掘削機やクレーンなどを利用する。

ケーシングロッド引上げにあたっては、孔壁とケーシングロッドとの付着・摩擦等によりスムーズな引上げが行えない場合も想定される。このような時に無理な荷重をかけることによるケーシングロッドの孔内での破断や重機の転倒等を防止する必要がある。このため引上げ時には引上げ荷重を常時監視し、ケーシングロッド破断荷重以下での作業を徹底することが必要である。

IV.7-8 モニタリング装置の設置と計測の開始

モニタリング装置は次の手順で設置を行い、計測を開始する。

- ①裸孔区間の孔壁の確認
- ②装置ケーシング、スタンドパイプ用ログの作成
- ③装置ケーシング、スタンドパイプ等計測機器の孔内挿入
- ④パッカー拡張
- ⑤スタンドパイプ内水質確認
- ⑥ミニパッカー拡張
- ⑦計測の開始

長期安定した計測を実施するために、特にパッカー設置位置の孔壁の仕上がり状況を調査し、孔壁の凹凸等がパッカー設置に問題が無いことを確認する必要がある。このためボアホールテレビュアー、音響キャリパー等で裸孔区間の孔壁の仕上がり状況を確認することが望ましい。

システムの設置にあたっては、設置位置を検知するためのCCL等の装置が使用できないため、装置ケーシングやスタンドパイプの長さから設置位置を判断することとなる。このため、設置位置から孔口までの装置ケーシングやスタンドパイプのログを作成し、装置の設置位置を正確に把握することが必要である。観測機器の挿入はこのログに従って慎重に実施する。

パッカー拡張にあたっては定格圧力までパッカーを拡張した後、1日程度パッカー内の圧力監視を行い、パッカーの損傷等の有無を確認する。

装置設置後観測区間内を地山地下水に置き換える必要がある。このためスタンドパイプ内に窒素ガスを送り込み既存の孔内水の排水を促進する等の方策を実施する。孔内水が地山地下水に置き換わったかどうかはサンプラーを使用した採水・水質試験を行い適時確認する。

なお計測機器については、孔内測定前に校正試験を行い性能を確認するとともに、計測装置設置後に絶縁抵抗測定等の検査により、機器が正常に動作することを確認する。

IV.7-9 計測データの整理

計測された圧力データは、必要な補正を施す。

連続計測される流体の圧力データには、潮汐の影響等が混在している。このため、これらのデータに一次処理を施し、工学データに変換する。

データ一次処理の代表的な手法として潮汐解析プログラム (BAYTAP-G) による潮汐の影響の除去がある。

また、パッカー、ミニパッカー、パッカーライン等が気温や気圧によって影響を受ける場合があり、それらの影響が計測値に含まれる場合もありうる。このため観測データの評価をきちんと行う観点から、計測機器の設置場所における温度、気圧のデータも合わせて記録し、上記潮汐解析後にこれらの影響を取り除く。

特に地表近くの観測を行う場合などは、大気圧の変動の他に降雨や融雪による地下水の変動も考えられるので、計測計画を立案するうえで、これらの影響が評価できるよう予め検討することが望ましい。

V. 掘削・調査結果の評価

V.1 コントロール掘削の評価

V.1-1 孔跡の正確性

コントロール掘削している孔井の計画孔跡との離間が極力小さいことを確認することにより、孔井の正確性を評価する。

通常の鉛直掘削における孔跡は、任意の深度（孔長）における水平2次元座標により決定し、スポット位置での離間を評価することが一般的である。これに対してコントロール掘削では、継続した孔跡を計画することが可能であり、継続して計画孔跡との離間を確認した評価が可能となる。

なお、方向性制御の精度を勘案すると、計画孔跡からの離間が5m以内に収まることが望ましい。

V.1-2 採取コアの評価

採取されたコアにより、掘削（コアリング）の妥当性について評価する。

堆積性の軟岩のコアは地下の地質環境特性に関する情報を多く含んでおり、このためコアリングは非常に重要な要素となる。

このため、採取されたコアの形状や孔内水混入状況から、採取されたコアの品質を評価したり、コア採取の妥当性について評価する。

(1) コアの形状

本掘削工法では、孔井を曲げるためにコアの軸方向と掘進方向が若干ずれる。このため孔井の曲げ角が大きくなるとコリングの際にコアバレル内でコアへの摩擦抵抗が増大し、人工的な割れ目（連続的なねじり割れ目）が発生することがある。このような割れ目が確認された時点で、MWDの位置情報などと照合のうえ、曲げ角が大きくなっている場合は、曲げ角を減少させて掘削する。

(2) 掘削水の影響

堆積軟岩のコアは、コアの空隙中に地下水を含有することから、一般的に地下水化学を評価する上で掘削水の影響を評価することが重要である。掘削水には予め既知のトレーサを一定濃度添加しており、コアの周囲をトリミングして、その中の地下水のトレーサ濃度を測定することにより、掘削水の影響範囲を評価することが可能となる。このような観点で地化学的な側面からの品質を評価する。

V.1-3 孔壁の保持

孔壁の保持に関しては、孔壁の崩壊と孔径の拡大の有無の観点から評価を行う。

孔壁の保持に関しては、孔内での作業危機管理の観点から孔内崩壊の有無を評価することが必要となり、孔内試験、特にパッカーによる区間閉塞を伴う試験の区間設定の観点から孔径を計測し、孔径拡大の有無を評価することが必要となる。

(1) 孔壁崩壊

一般的に、コントロール掘削による孔井は傾斜～水平となるため、鉛直孔井に比較して孔壁が崩壊し易く、また孔壁が崩壊した場合岩片がその場にとどまり、その後の孔内調査に対して著しい障害となる。そのために、掘削の準備段階や孔内調査に先立ちロッドの揚管、降管に伴うフィード力を地上においてモニタリングし、孔内での孔壁崩壊状況进行评估する。

(2) 孔径拡大

傾斜～水平区間での掘削に際しては、ロッドの降管、揚管により孔壁の下部が削剥されやすい。このため、孔内調査、特にパッカー拡張により区間を隔離して実施する試験に際しては、事前に孔内キャリパー検層やBHTVにより孔内状況を確認することにより孔径拡大の有無を評価する。

V.2 調査結果の評価

V.2-1 掘削時検層（LWD）データの分析評価

掘削時検層（LWD）データは、別途採取したコア試料で計測した各種物理特性と対比することにより、その妥当性を評価する。

掘削時検層（LWD）データは、音波検層によるP波速度、S波速度、電磁波検層による電磁波速度（→間隙率に換算）、マイクロ電気検層による比抵抗、泥水の比抵抗・温度センサーによる泥水比抵抗と温度、自然γ線検層によるγ線強度の各深度プロファイルとして表示される。

計測した電磁波速度 v より以下の近似式で比誘電率 ϵ_r に換算できる。

$$\epsilon_r = (c/v)^2 \quad (\text{ここで、} c \text{ は真空中の電磁波速度}) \quad (1)$$

間隙率と比誘電率には図で示す正の相関性が認められる。よって、次式（回帰式）に基づき電磁波速度より求めた比誘電率 ϵ_r から間隙率 ϕ に換算することができる。

$$\epsilon_r = a\phi + b \quad (a=0.6938, b=1.007) \quad (2)$$

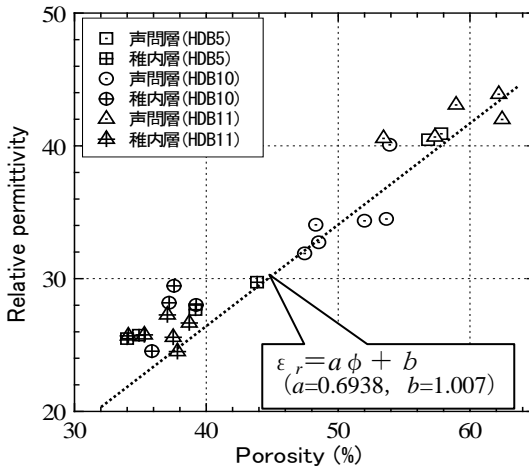


図 V.2-1 堆積軟岩試料による間隙率と比誘電率との関係

掘削時検層（LWD）により得られた深度プロファイルの妥当性は、別途採取したボーリングコア試料を使った室内試験結果（P波・S波速度、間隙率、比抵抗）と対比することにより、その妥当性を評価することができる（図IV.3-11 参照）。

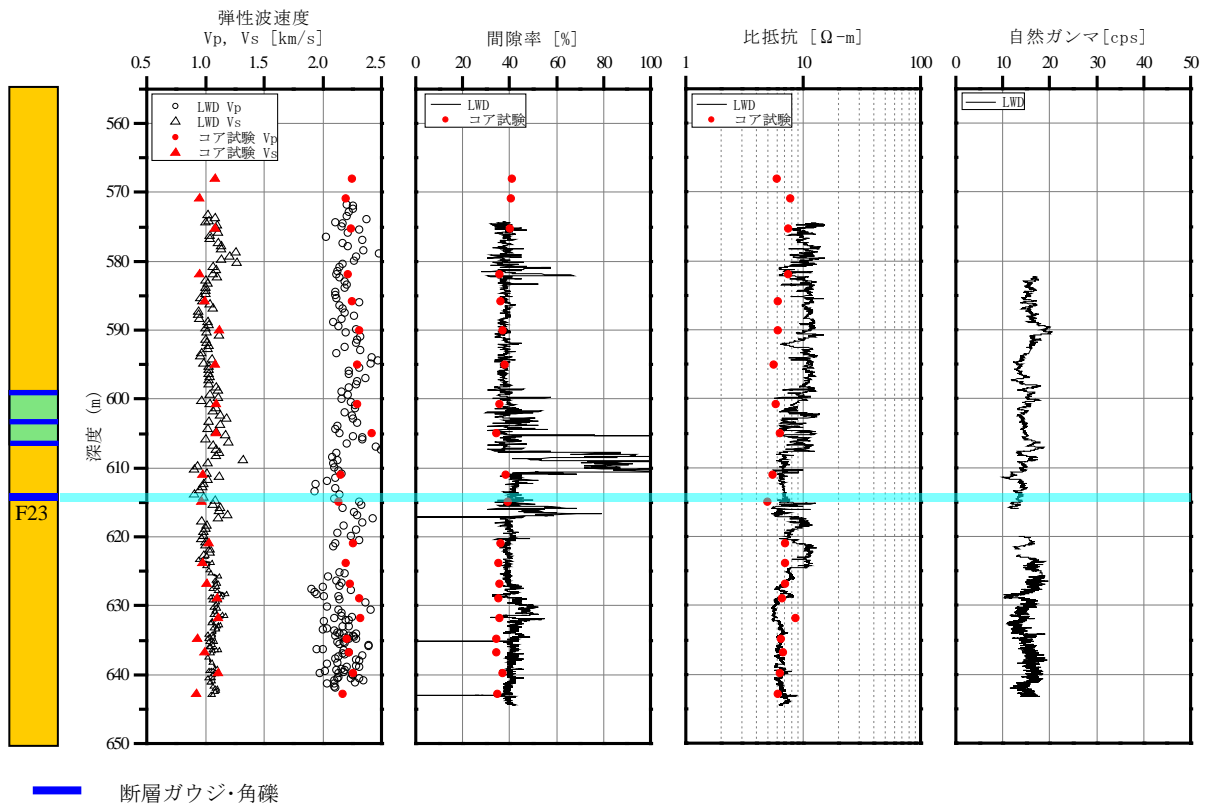


図 V.2-2 掘削時検層による深度プロフィールと岩石コア試料による試験結果との対比例

V.2-2 試験区間における透水性の評価方法

試験区間では異なる試験方法、異なる解析方法によりそれぞれ解析を行い、相互のデータ比較により相補的にデータの信頼性を得る。

標準的な透水試験ではスラグ試験と揚水試験を行なう。スラグ試験では Hvorslev の方法、揚水試験では、揚水過程では Jacob の方法、回復過程では Agarwal の方法を用いて、それぞれ解析的に透水性の評価を行なう。それぞれの解析方法で得られた透水性評価結果を比較し、相補的にデータの信頼性を担保する。

V.2-3 採水試料の分析・評価

採取された地下水は標準的に以下の分析がされる。

- (1) 採水チャンバー内サンプル
- (2) 希ガスチャンバー内サンプル

これらの結果、特に(1)の結果に基づき、現位置地下水であること、すなわち掘削泥水の影響や浅層地下水の混入の状況について評価する。

(1) 採水チャンバー内サンプル

一般水質を評価するためにイオン分析を行なう。また、表層地下水や掘削水の混入を評価するためにトリチウム分析、地下水が降水起源の場合、涵養環境を評価するために酸素水素同位体比を分析する。イオンおよび同位体の分析項目および手法を表 V.2-1 に示す。また、掘削水にドープされたトレーサの濃度分析を室内の分光光度計で計測し、孔内で計測したトレーサ濃度を確認する。

(2) 希ガスチャンバー内サンプル

分析する希ガスは蓄積法による地下水年代や地表水の混入などを評価するために He-3、4、Ne-20、21、22、Ar-36、38、40 を質量分析計で分析する。

表 V. 2-1 一般水質分析は分析項目および分析方法

	分析項目	分析精度	単位	分析方法
溶存イオン	ナトリウムイオン	0.3	mg/L	JIS K 0101 -1998- 47.4 イオンクロマトグラフ法
	カリウムイオン	0.4	mg/L	JIS K 0101 -1998- 48.3 イオンクロマトグラフ法
	カルシウムイオン	0.2	mg/L	JIS K 0101 -1998- 47.4 イオンクロマトグラフ法
	マグネシウムイオン	0.02	mg/L	JIS K 0101 -1998- 47.4 イオンクロマトグラフ法
	塩化物イオン	2	mg/L	鉱泉分析法指針 -2002- 7-36(1) イオンクロマトグラフ法
	硫酸イオン	1	mg/L	JIS K 0101 -1998- 42.4 イオンクロマトグラフ法
	炭酸水素イオン	2	mg/L	河川水質試験方法(案)-1997- 57 標準法2 赤外線分析法
	臭化物イオン	0.5	mg/L	鉱泉分析法指針 -2002- 7-36(1) イオンクロマトグラフ法
	ヨウ化物イオン	0.2	mg/L	JIS K 0101 -1998- 33.1 よう素抽出吸光光度法
同位体	トリチウム	0.04	Bq/L	文部科学省放射能測定法(平成14年)トリチウム分析法(電解濃縮法)
	水素同位体組成	精度±1	%	新実験化学講座(1975) 第10巻 4.6 安定同位体比の測定方法
	酸素同位体組成	精度±0.1	%	新実験化学講座(1975) 第10巻 4.6 安定同位体比の測定方法

V.2-4 孔内応力測定の評価

- (1) 岩盤応力の大きさの評価
- (2) 岩盤応力の最大方向の評価

水圧破碎法による岩盤応力の評価は、1957年にHubbertらが初めて試行して以来、ボーリング孔さえあれば大深度で、かつ簡易に実施できることから、世界中で最も適用実績の多い方法とって間違いないだろう。一方、その後の研究により、前節で述べたブレイクダウン圧力 P_b 、リオープンング圧力 P_r 、シャットイン圧力 P_s と、地圧との関連づけに関する見直しの必要性なども指摘されている。その課題の一部に対しては、地盤工学会で基準化に関する検討が進められているところである。

ここでは、従来のエンジニアリングの実務で多く適用されている方法について簡単に記す。

(1) 岩盤応力の大きさの評価

ボーリング孔軸に垂直な面内の2次元応力場において、最大地圧を σ_H 、最小地圧 σ_h とする。

P_b 、 P_r 、 P_s と、 σ_H 、 σ_h の関係は次式で与えられる。

$$P_b = 3\sigma_h - \sigma_H + T - p_0 \quad (1)$$

$$P_r = 3\sigma_h - \sigma_H - p_0 \quad (2)$$

$$P_s = \sigma_h \quad (3)$$

ここで、 T は岩の引張強度、 p_0 は間隙水圧である。式(1)は送水による加圧により孔壁面の円周接線方向に生じる引張応力の最大値が、岩の引張強度と等しくなる条件である。式(2)は、一旦亀裂が発生しているの式(1)で $T=0$ として得られる式である。式(1)と(2)のみに σ_H が含まれており、 σ_H の評価のためにどちらかを用いる必要がある。一般的には、 T を用いる必要のない式(2)が用いられる。

式(3)は、水圧により開口している亀裂は、水圧がその亀裂に垂直方向の地圧以下になると閉合するであろう、ということから得られている。なお、水圧破碎亀裂は力学的に σ_H 方向の孔壁で発生するので、亀裂に垂直方向の地圧は σ_h となる。

なお式(2)においては、一旦亀裂ができたあとは再開口直前の亀裂内の水圧は p_0 でなく、 P_r と等しいと考える方が合理的であり、その場合には式(2)は次式(2')になる。

$$P_r = (3\sigma_h - \sigma_H)/2 \quad (2')$$

(2) 岩盤応力の最大方向の評価

ボーリング孔軸に垂直な面内の2次元応力場において、最大地圧を σ_H 、最小地圧 σ_h としたとき、前項でのべたように、水圧破碎亀裂は最大地圧 σ_H の側の孔壁に発生することから、 σ_H と σ_h の方向を知る。

もし、方向の異なる複数のボーリング孔があってそれぞれで2次元応力場（大きさと方向）を評価していれば、3次元での応力評価を行うことも可能である。

V.2-5 孔井内トモグラフィ測定結果の評価

孔井内トモグラフィにより得られたP波速度断面及び反射断面をもとに、地質構造を評価する。

解析により得られたP波速度断面、反射断面を用いて、地質構造の評価を行う。

地表一孔井間初動走時トモグラフィ解析で得られたP波速度断面においては、掘削時検層(LWD)により得られた速度値や、採取したコア試料を用いて計測した速度値との比較を行うことで、妥当性の評価を行う。また、コントロールボーリング孔井を利用したゼロオフセットVSPを実施した場合、解析により孔井近傍のP波速度が得られることから、解析結果の評価に用いることが可能である。また、地層に応じてP波速度が異なる場合や、断層破碎帯において周囲との速度が異なる場合には、P波速度の分布から地層境界や断層破碎帯を評価できる。

IV.6-4節において示したように、反射法データの再解析により、地表測線のみを用いた解析結果に対して、より高精度かつ地質解釈が容易な反射断面を得ることが可能となる。そこで、調査領域近傍における表層からの地質調査、ボーリング調査の結果や、コントロールボーリング孔井から得られたコア試料などから推定した地質構造分布との比較を行い、反射断面から詳細な地質構造を評価する。また、ゼロオフセットVSPを実施した場合には、解析により得られる孔井近傍の反射面との比較を行い、結果の妥当性の検討や地質構造の評価に用いることができる。

以下、IV.6-4節において示したデータ取得試験に対する解析結果を用いて実施した、妥当性の検証及び地質構造の評価の結果について述べる。

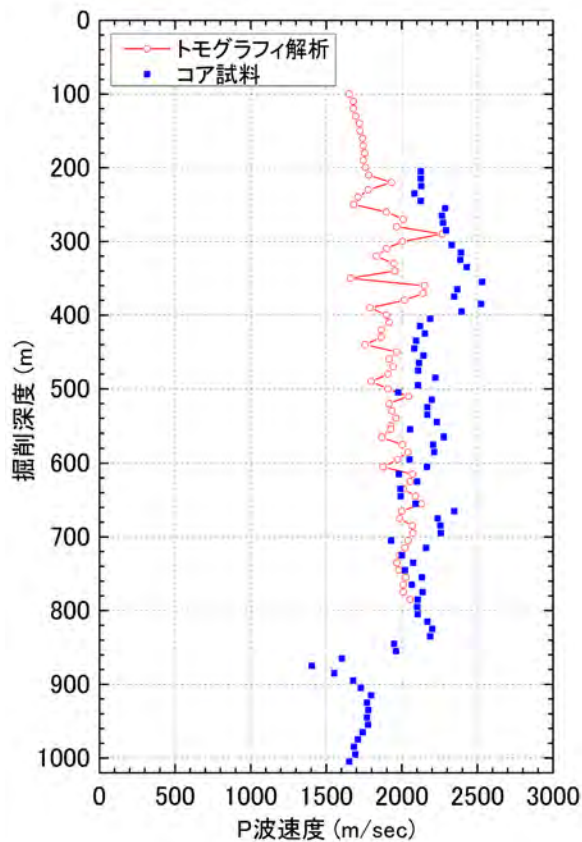
a) P波速度断面を用いた評価

トモグラフィ解析により得られた速度値の妥当性を検討するため、HCD-3孔の孔跡に沿って抽出したP波速度の解析値と、採取したコア試料を用いて求めたP波速度との比較を行った。比較した結果を図V.2-5-1に示す。図より、浅部、特に掘削深度約300mから400m付近を除き、両者の値は概ね整合していることが分かる。後述のように、掘削深度約300mから400m付近にかけては断層帯が分布しており、破碎に伴う速度の低下が予想される一方、コア試料を用いた室内試験では破碎されていない健岩部を選択して計測していることから、破碎による速度の低下は見られず、トモグラフィによる解析値に対して高速度であったと考えられる。また、掘削深度約850mにおいて、約500m/secの急激な速度低下が見られる。これは、コア試料の分析から地質境界(稚内層から声間層)であることが明らかになっているが、トモグラフィにおける受振器の設置深度が最深部でも785mと地質境界に達していないことから、速度分布ではこの境界は判別できていない。

b) 反射断面を用いた評価

図V.2-5-2に、得られたコア試料や地表地質等から推定した地質構造断面図を示す。大曲断層の主

断層は、掘削深度約 330m から 450m の区間で孔井を横断していると考えられている。得られた反射断面（図IV.6-22）では、掘削深度 270m 以深の孔井が主断層に差し掛かる区間において、反射イベントの振幅、連続性が低下していることが分かる。振幅や連続性が低下した要因としては、断層による破砕が反射波の散乱をもたらしたことが考えられる。再解析により得られた反射断面は、既存処理で得られた断面に対して、反射イベントの連続性が向上しているとともに、振幅の強弱による判別がしやすくなっていることから、この反射イベントの振幅や連続性が低下している区間も以前より認識しやすくなっていることが分かる。また、CMP280 から 400、深度 300m から 500m 付近の区間において強振幅の反射イベントが認められるが、これは地質構造断面図における潜在背斜構造に対応している。一方、この反射イベントは既存処理による反射断面（図IV.6-21）では判別が困難である。このように、再解析により、個別の断層面の判別まではできていないと考えられるものの、既存の処理断面に対してより高精度な地質解釈が可能になったといえる。反射断面（図IV.6-22）に地表地質及びコア試料等から推定した破砕帯の位置などを追記した解釈図を図V.2-5-3 に示す。



図V.2-5-1 トモグラフィ解析により得られたP波速度とコア試料のP波速度との比較

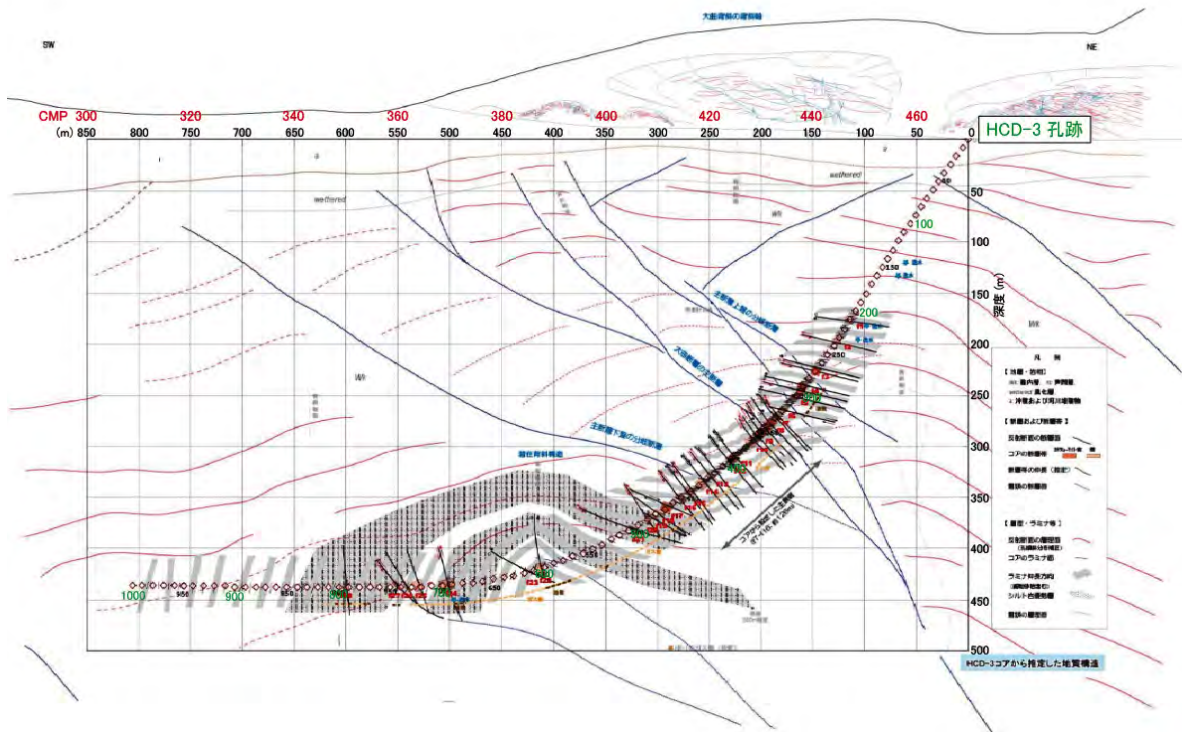
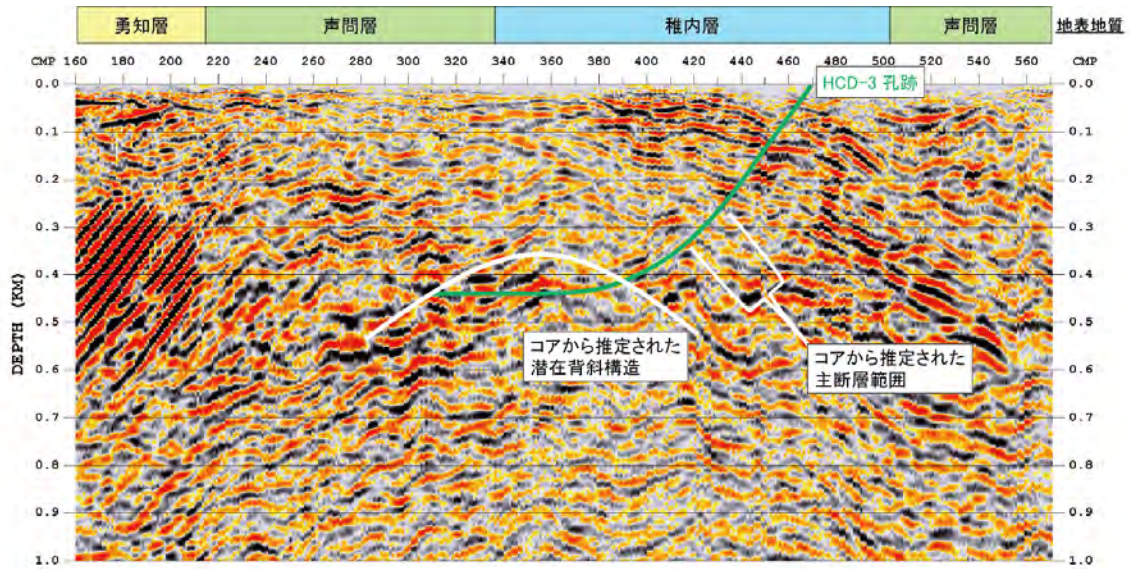


図 V.2-5-2 得られたコア試料、地表地質等から推定した地質構造断面図

(マイグレーション深度断面 (図IV.6-22、図V.2-5-3) における水平方向の CMP 値を、水平距離の上に併記している)



図V.2-5-3 反射断面と地質構造との比較

(今回の処理により得られたマイグレーション深度断面(図IV.6-22)に、地表地質及びコア試料等から推定した破碎帯の位置などを追記している)

V.2-6 モニタリングデータの評価

孔内長期モニタリングではパッカーにより閉塞された区間において、間隙水圧および水質の長期変化をモニタリングするために、(1)パッカーによる区間閉塞の確認、(2)間隙水圧データの信頼性および(3)地下水水質の信頼性に関して評価する。

(1) パッカーシステムによる区間閉塞の確認

パッカーの区間閉塞については、閉塞区間から立ち上げたスタンドパイプに設置された圧力センサーによる圧力測定により評価する。予め透水性が測定されている区間についてはスタンドパイプ内の水位を強制的に変動させその回復状況を計測することにより簡易的に透水性を確認し、既知の透水性との比較により区間閉塞の信頼性を評価する。

区間の透水性が未知の場合は、任意の測定区間のスタンドパイプにおける水位を強制的に変動させ、他の計測区間のスタンドパイプ内の水位変動の有無を確認することで区間を跨いだパッカーの閉塞性を評価する。

(2) 間隙水圧データの信頼性

IV.7-9 計測データの整理の項で述べたように、間隙水圧データには様々なノイズの影響を受けている。このため、これらの影響を除去したうえでデータ解析に供する。

(3) 地下水水質の信頼性

孔井掘削に際しては、掘削泥水に既知濃度のトレーサ物質を添加してあり、区間から採水した地下水のトレーサ濃度を測定することにより、掘削水の影響を把握することが可能であり、このような観点から地下水水質の信頼性を評価する。

V.2-7 コアによる測定結果の評価

コアにより測定された結果は、孔内において計測された各種データと相互比較することにより、その品質を評価する。

コアを用いた測定、分析としては、物性、力学および地化学的な特性に関する情報を取得する。このうち物性に関しては、孔内検層により取得された各種データと相互比較することによりコア調査データの品質を評価する。力学データに関しては、今後実施される孔内力学測定結果と比較検討することにより、コア試験結果の品質を評価する。

地化学的な情報はコア間隙水の抽出による水試料の水質分析により取得される。この際に間隙水に対する掘削泥水の影響を確認する必要がある、このために掘削泥水中にあらかじめ投入されているトレーサ物質の濃度を測定し、影響が小さくなることを確認したうえで水質分析を実施する。また、分析されたデータと同一区間の孔内で採取された地下水の水質分析結果を相互比較することにより、その品質を評価する。