第7章　土槽規模試験の実施

7.1　施工品質（密度差）が再冠水時に発生する現象に及ぼす影響の調査のための試験

7.1.1　概要

これまでの検討では、小規模試験と称して理想的な系と考えられる条件下で実験を行ってきた。これは、試験条件を極力簡単にして、再冠水中に緩衝材に発生する事象の理解を容易にするためである。表 1.3.2-2 に示す小規模試験項目として、(a)膨潤による密度の均一化、(c)Ca 型化が均一化に及ぼす影響、(d)浸潤速度、(e)緩衝材表面近傍の止水性、などを評価してきた。一部の試験を除いて、継続中であるが、傾向は概ね把握できてきた。

そこで本検討では、試験計画の基本概念である“スケールアップ”の方針に従って土槽規模試験を行う。すなわち、本検討で実施する土槽規模試験は、表 1.3.2-2 に示す小規模試験項目のうち、(a)膨潤による密度の均一化をスケールアップした試験という位置付けである。よって、土槽内に施工に伴う密度分布を考慮して緩衝材を設置し、膨潤による密度の均一化状況を調べる。この際、(d)浸潤速度や(e)緩衝材表面近傍の止水性などの事象も複合的に発生することが予想されるため、土槽試験結果の解釈には、(a)膨潤による密度の均一化の試験結果だけでなく、(d)浸潤速度や(e)緩衝材表面近傍の止水性の試験結果の反映も不可欠となる。

土槽規模試験では、実現象に近い複雑な境界条件もある程度考慮できる試験規模において、再冠水時に緩衝材に発生する事象を評価できる。しかしながら、その一方で、土槽試験から得られる事象は、様々な事象が複合的に発生するものと考えられ、その理解は小規模試験に比べ難しくなることが予想される。そのため、これまでに実施した小規模の試験結果を踏まえて実験結果を解釈することが重要となる。

7.1.2　試験条件

本試験では、試験(a)をスケールアップしたものであり、緩衝材の施工法を緩衝材の密度分布、隙間の有無、間隙の大きさなどで代表させ、緩衝材の施工方法に起因する密度分布などが再冠水時の膨潤挙動、膨潤による均質化挙動に及ぼす影響を土槽試験によって調べた。

試験ケースを表 7.1.2-1 に示す。本検討で考慮する施工方法としては、原位置締固め、吹付け、ブロック定置、ペレット充填、さらにブロック定置とペレット充填の併用である。給水は土槽の底面から一次元的に行うこととした。このため、表 7.1.2-1 に示す施工方法のうち、原位置締固め、吹付けに関しては、図 7.1.2-1 に示すように、前述の試験(a)と試験条件がほぼ同等となる。そこで試験は、ペレット充填工法とブロック定置工法、さらにブロック定置とペレット充填の併用を対象として再冠水時の挙動を比抵抗計測、膨潤圧分布の計測などで調査した。

図 7.1.2-2 に、使用する土槽に施した測定装置を示す。今回使用する土槽は、幅 700mm、奥行き 150mm、高さ 200mm の緩衝材を設置できる大きさである。また、緩衝材の膨潤圧でも歪むことのない十分な剛性を有している。上蓋は図 7.1.2-2(a)に示すように、穴が開けてあり、そこから

図 7.1.2-2(b)に示した上蓋と一体化したロードセルの配線をしている。また、図 7.1.2-2(b)に示した上蓋と一体化したロードセルは、緩衝材に直接接することがないように、非常に剛性の高いジュラコン樹脂で覆っている。これは、緩衝材が金属に接するとその接触面が腐食する可能性があり、腐食が計測に及ぼす影響を排除するための工夫である。さらに、図 7.1.2-2(c)に示すように、土槽の背面には 147 個の電極が設置してあり、電極も緩衝材との接触点以外、樹脂で絶縁してある。この電極は、第 5 章　緩衝材への地下水浸潤状況の評価で使用しているものと同様のものである。緩衝材の飽和度が進むにつれて電気抵抗が小さくなることから、その電気抵抗を測定することによって、飽和度を測定できる。また電極の配置は、ブロックを設置した際にブロックの中心や界面に電極が位置するように配慮した。給水は図 7.1.2-2(d)に示すようにマリオット管で行い、供試体の水位が供試体上面に至るまで給水した。

表 7.1.2-1　土槽規模試験の試験ケース

ケース	施工方法	密度/間隙/隙間の分布	乾燥密度	注入液	備考
1	原位置締固め	高密度/低密度の互層	ケイ砂 30wt%含有 クニゲル V1： 1.6 Mg/m^3	蒸留水	実施済み 要素試験から推定
2	吹付け	均一な密度分布			
3	ブロック定置	界面や隙間を有する			解体 【計測項目】 密度分布 飽和度（含水比）分布 ブロック間の界面状況観察 ブロックと土槽の界面状況観察
4	ペレット充填	大間隙を有する	ベントナイト単体： 1.1Mg/m^3程度		実施済み
5	ブロック定置・ ペレット充填 併用	ブロック部： 界面や隙間を有する ペレット部： 大間隙を有する	ケイ砂 30wt%含有 クニゲル V1： 1.6 Mg/m^3 ベントナイト単体： 1.1Mg/m^3程度		新規 【試験中計測項目】 比抵抗分布 膨潤圧分布 給水量 目視観察 【試験後計測項目】 密度分布 飽和度（含水比）分布 ブロック間の界面状況観察

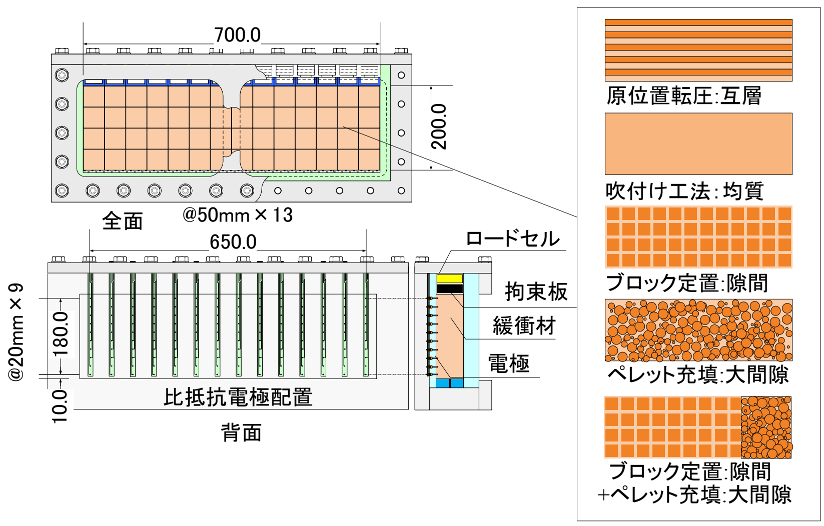
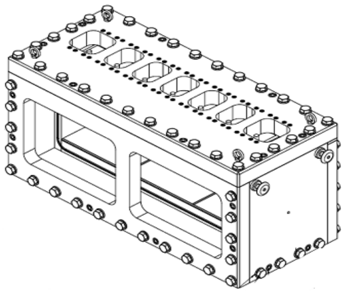
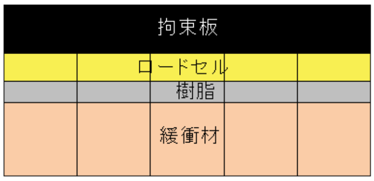


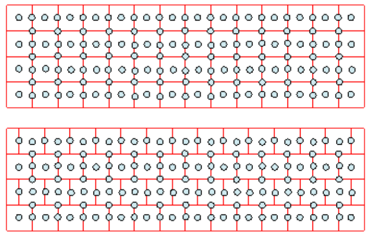
図 7.1.2-1　土槽試験による施工に伴う密度分布を有する緩衝材の均一化試験イメージ図



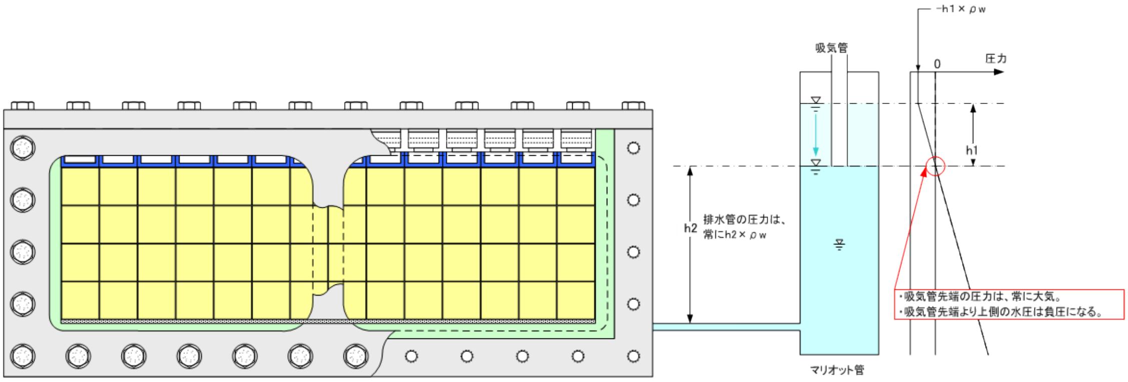
(a)拘束板の形状



(b)上蓋の構成



(c)背面の電極配置



(d)マリオット管

図 7.1.2-2　土槽試験による工夫

7.1.3　試験結果(ペレット充填ケース)

表 7.1.3-1 にペレット充填による模擬緩衝材の初期状態を示す。ペレットの乾燥質量を土槽の容積で除して取得した初期乾燥密度は 1.156Mg/m³ である。また、ペレット充填による模擬緩衝材の空隙体積は 10054cm³ であった。なお、空隙体積はペレット内の空隙も含んでいる。

ペレット充填ケースの土槽試験手順を図 7.1.3-1 に示す。

表 7.1.3-1　ペレット充填による模擬緩衝材の初期状態

湿潤質量	乾燥質量	嵩体積	湿潤密度	乾燥密度	間隙比	空隙体積	含水比
(g)	(g)	(cm³)	(Mg/m³)	(Mg/m³)		(cm³)	(%)
26339	24276	21000	1.254	1.156	1.364	10054	8.5

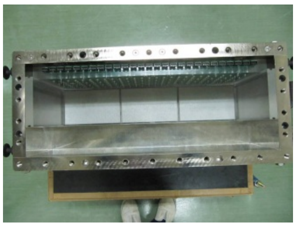
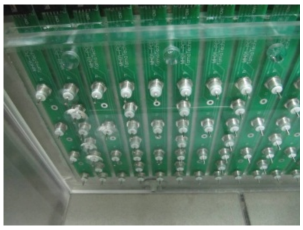
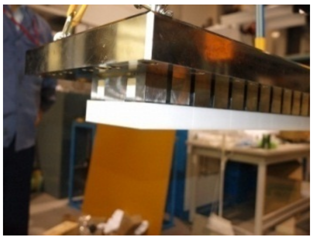
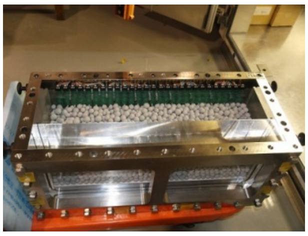
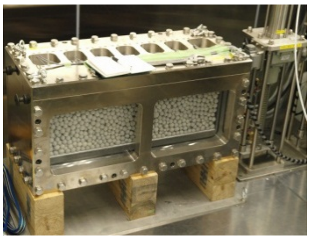
		
土槽全景	底部の多孔質板(給水箇所)	背面の電極と絶縁樹脂
		
ロードセル一体型上蓋	ペレット充填時の状況	電極とペレットの接触状況
		
土槽左窓	土槽ペレット充填後の全景	土槽右窓

図 7.1.3-1　ペレット充填ケースの土槽試験手順

ペレットは初期高さ 205mm まで充填し、ロードセル一体型の上蓋をボルト締めすることで 200mm の高さまで圧縮した。この間に発生した圧縮力を初期値として、通水中の圧力変化を観察した。

給水は水位差だけで行い、水が一次元的にペレットの間隙を満たしていく状況を観察した。ペレット充填ケースの給水開始 20 時間後の状況を図 7.1.3-2 に示す。図から、ペレットは下から序々に浸潤していく様子が観察された。

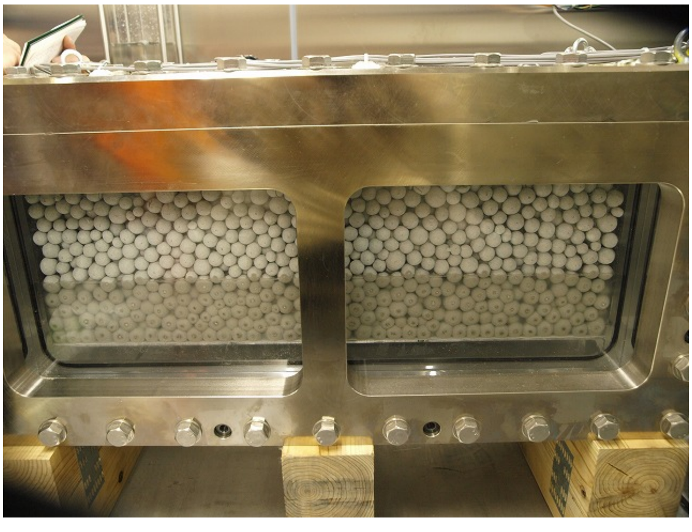


図 7.1.3-2　再冠水状況／ペレット充填ケース／給水開始 20 分後

ペレット充填ケースの給水開始 12 時間後の状況を図 7.1.3-3 に示す。図から、給水箇所付近の底部においてはペレットが膨潤しその境が曖昧となり、一体化しているように見える。水位は供試体上面から 1cm 程度を下がった位置であり、それよりも上側は乾燥していた。給水箇所付近の底部におけるペレットの膨潤により、給水量も徐々に低下した。

一部の間隙は、一旦、供給水に満たされたものの、その後の供給量が低下したため、周囲のペレットの膨潤に消費され、再び空隙になっている。さらに、各ペレットには、中心部に芯があり、その芯は乾燥していることが分かる。

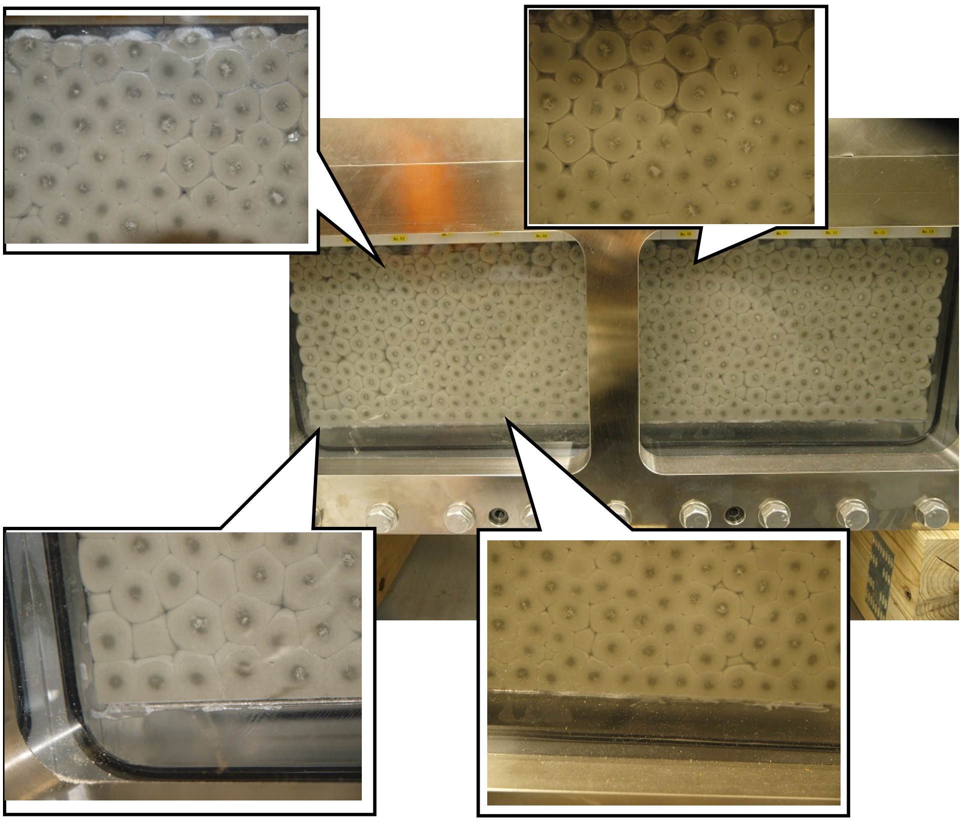


図 7.1.3-3　再冠水状況／ペレット充填ケース／給水開始後 12 時間

ペレット充填ケースの給水開始 3 日後の状況を図 7.1.3-4 に示す。図から、給水箇所付近から 5cm 程度まではペレットが膨潤して、その境が曖昧となり一体化しているように見える。間隙水は観察されず、全てペレットの膨潤に消費されたものと考えられる。これに伴い、空隙が供試体上面から供試体底部に向かって進展し、5cm 程度の深さとなっていた。

これは、一旦、供給水に満たされたものの、その後の供給量が低下したため、供給よりもペレットの膨潤に消費さる水の量が多くなり、再び空隙になったものと考えられる。さらに、各ペレットには依然中心部に芯があるが、その芯は大きくなり、乾燥している状況は観察されなかった。

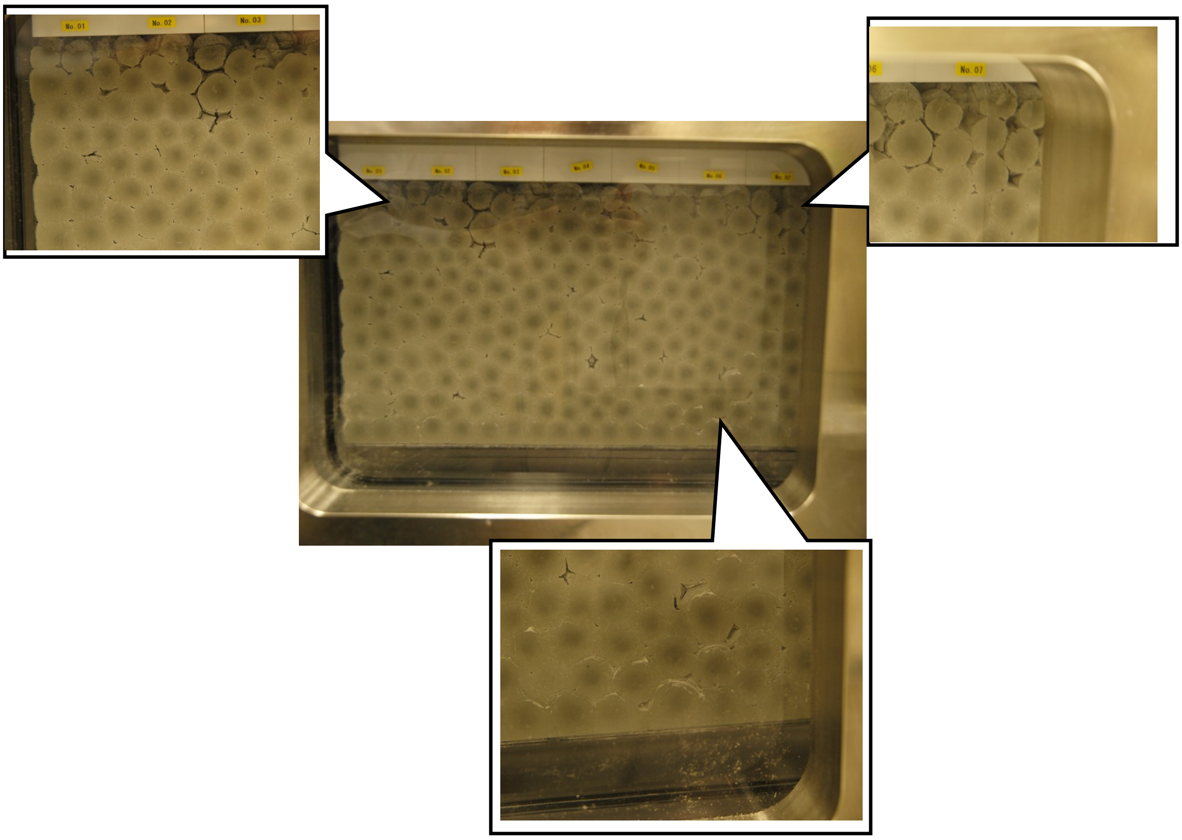


図 7.1.3-4　再冠水状況／ペレット充填ケース／給水開始後 3 日

ペレット充填ケースの給水開始 30 日後の状況を図 7.1.3-5 に示す。図から、ペレットが膨潤しその境が曖昧となっている領域は、給水箇所付近から 5cm 程度のままである。間隙水は観察されず、全てペレットの膨潤に消費されたものと考えられる。これに伴い、空隙が供試体上面から供試体底部に向かって進展し、10cm 程度の深さとなっていた。さらに、多くの箇所で空隙が発生している。

これは、一旦、供給水に満たされたものの、その後の供給量が低下したため、周囲のペレットの膨潤に消費され、再び空隙になっているためである。さらに、各ペレットには、依然中心部に芯があるが、その芯はさらに大きくなり、乾燥している状況は観察されなかった。

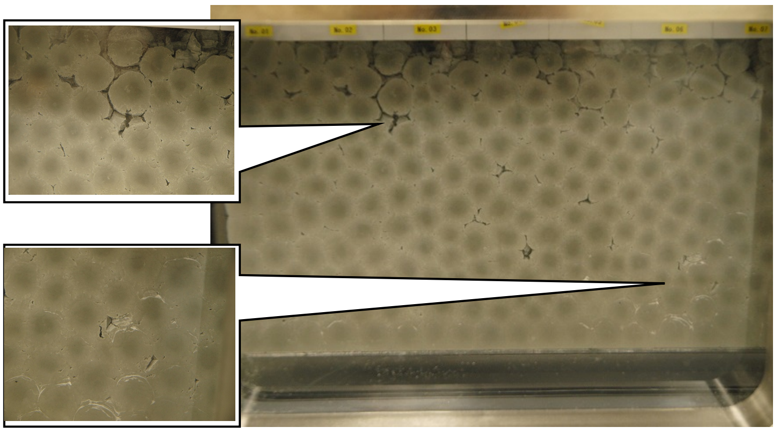


図 7.1.3-5　再冠水状況／ペレット充填ケース／給水開始後 30 日

ペレット充填ケースの給水状況を図 7.1.3-6 に示す。土槽底部のペレットが膨潤し、一体化するため、供給量が徐々に低下していることが分かる。本試験ではマリオット管による水位差で給水しているため、十分に飽和させるためには、加圧する必要があると考えられる。

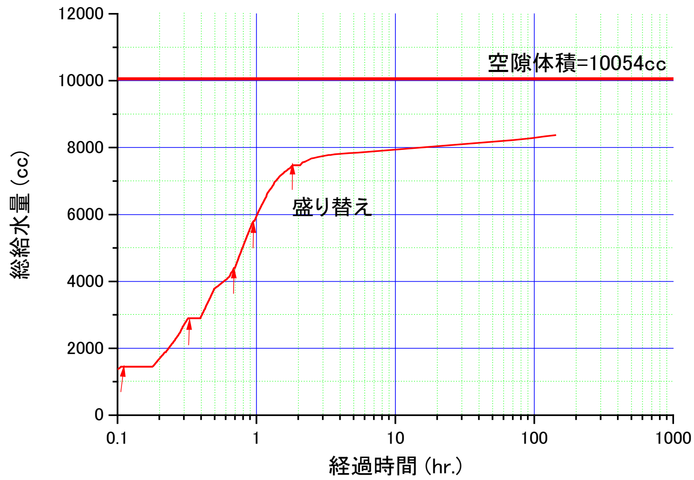


図 7.1.3-6　ペレット充填ケースの給水状況

図 7.1.3-7 にペレット充填ケースの膨潤圧の経時変化を示す。図から、供試体作製時に 205mm の高さまでペレットを充填し、200mm の高さまで上蓋で圧縮させたため、上蓋に付いているロードセルの初期値は 150～300kPa 程度の値を示している。また、この初期応力の分布は中心部が高い。給水を開始すると、この応力は急激に減少し、一旦、50kPa 程度まで低下した。これ以降の応力分布は、均一化する傾向を示したことから、給水によってペレット間の接触力などが弱まり、さらにペレットが膨潤して均一化しているものと思われる。

また、一旦、50kPa 程度まで低下した膨潤圧は、右側のみ 75kPa まで再度増加する傾向を示した。

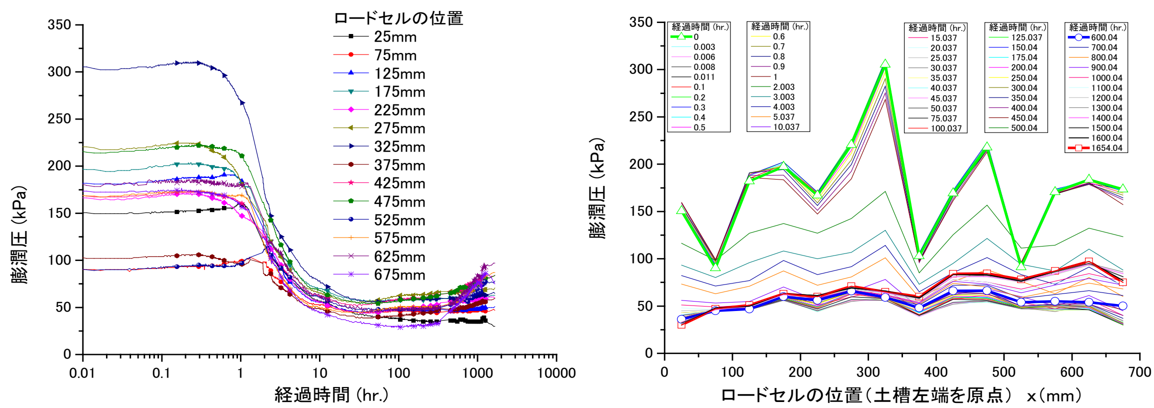


図 7.1.3-7　ペレット充填ケースの膨潤圧の経時変化

図 7.1.3-8 にペレット充填ケースの比抵抗分布の変遷を示す。図から、給水開始から 1 カ月程度までは底部の方が比抵抗は小さく、含水比が高い傾向を示していることが分かる。ただし、前述

のように、底部のペレットが膨潤し、一体化してからは、間隙水を消費して膨潤する傾向を示したため、比抵抗分布の傾向は変化して、所々に比抵抗が非常に大きなエリアがランダムに発生している。これは、ペレットと電極が点接触しているため、間隙の水分がペレットの膨潤に消費されて空隙になった箇所に電極が位置したものと考えられる。

さらに、1271 時間（53 日）以降は、全体的に比抵抗分布が小さくなっている。この原因として、供試体と土槽背面に隙間が生じて、局所的に浸潤が生じたなどが想像されるが、解体時の観察などでは、供試体と土槽背面の界面でも高含水比領域は観察されなかった。

図 7.1.3-9 に解体時のペレット土槽の含水比と乾燥密度の分布を示す。図から、底部の方が含水比は高く、乾燥密度は低い傾向にあることが分かる。また逆に、上部ほど含水比は低く、乾燥密度は高い傾向にある。さらに、奥行き方向には含水比と乾燥密度に分布は無いことが分かった。このことから、ペレット地盤では、給水側が膨潤して高含水比低密度になり、他の領域を押し上げているものと考えられる。

さらに、全体的に土槽右側の方が、含水比は高く、乾燥密度は低い傾向を示していることから、特に右側のペレットの方が、膨潤挙動が激しかったものと考えられる。この傾向は、前述の土槽上蓋のロードセルによる膨潤圧分布とも合致している。

以上から、ペレット充填工法では、施工時に均等にペレットを充填し浸潤初期に大間隙を介して均等に水が全体に供給されたとしても、その後は湧水近傍のみが膨潤し、他の領域が圧縮されるため、浸潤後に密度分布が発生する可能性があることが分かった。

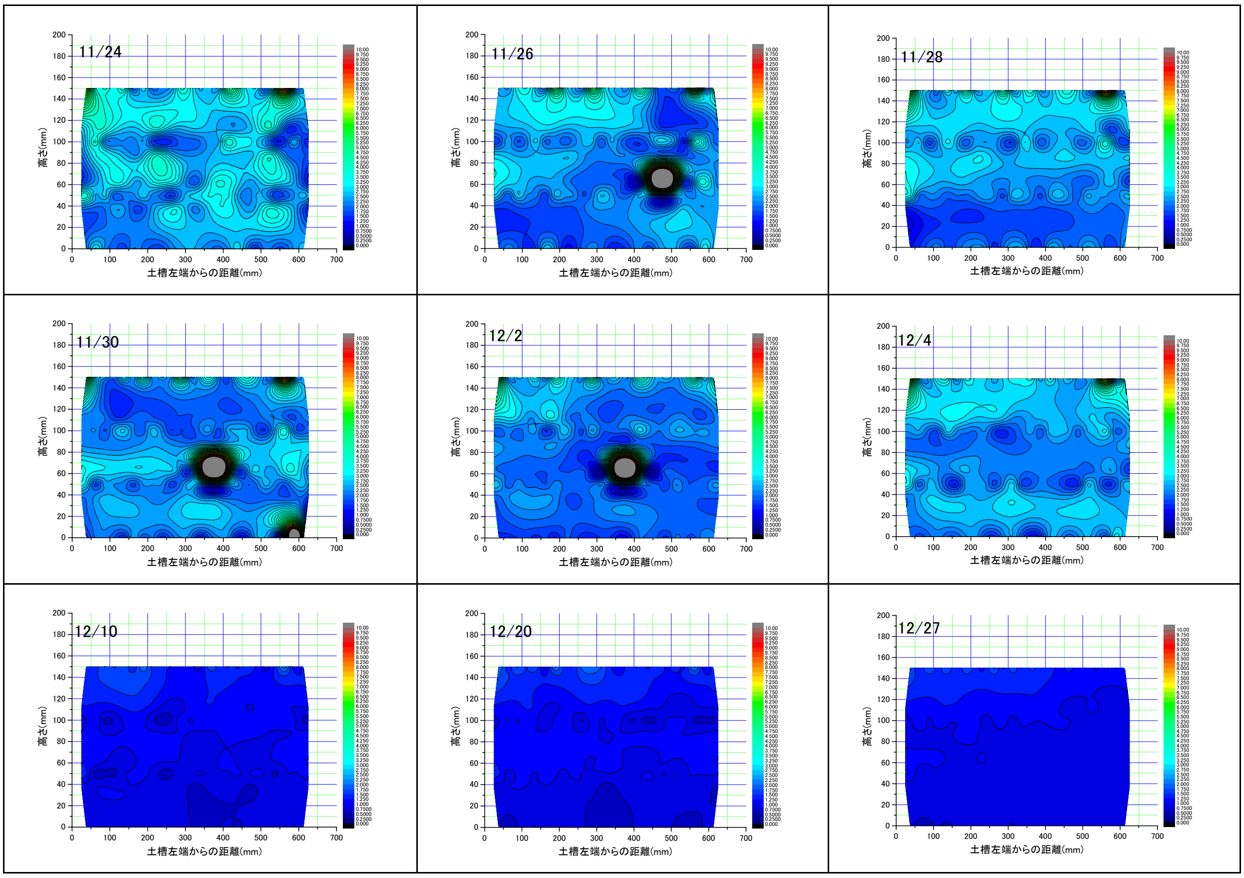


図 7.1.3-8　ペレット充填ケースの比抵抗分布の変遷

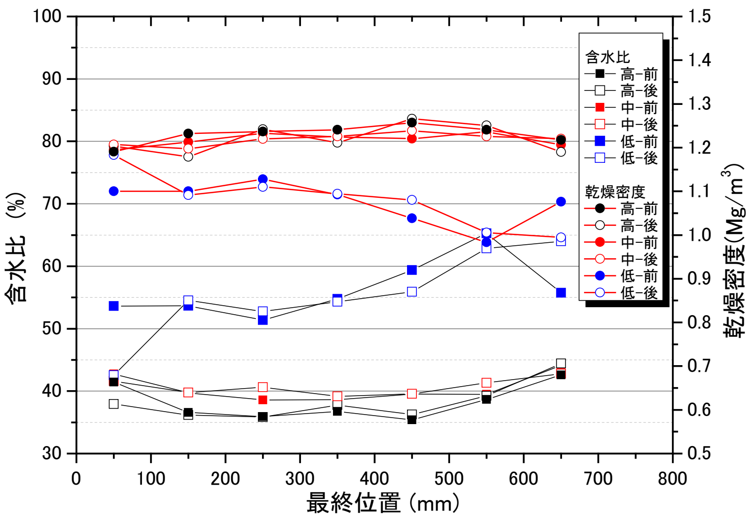


図 7.1.3-9　解体時のペレット土槽の含水比と乾燥密度の分布

7.1.4　試験結果(ブロック定置ケース)

表 7.1.4-1 にブロック定置を模擬した緩衝材の初期状態を示す。ブロックの総乾燥質量を土槽の容積で除して取得した初期乾燥密度は 1.556Mg/m^3 である。また、模擬緩衝材の空隙体積は 5714.05cm^3 であった。なお、空隙体積はブロック内の空隙も含んでいる。

ブロック定置ケースの土槽試験手順を図 7.1.3-1 に示す。ブロックは合計で 168 個（= W14 個×H4 個×D3 個）であり、各ブロックの諸元を図 7.1.4-2～図 7.1.4-7 に示す。

表 7.1.4-1　ブロック定置による模擬緩衝材の初期状態

土槽面	作成ブロック合計質量 (g)	寸法調整切削質量 (g)	充填試料質量 (g)	平均含水比 (%)	概算試料乾燥質量 (g)	土槽体積 (cm^3)	初期乾燥密度 (Mg/m^3)	初期空隙体積 (cm^3)
裏面	12537.80	537.50	12000.30	9.85	10924.25	21000	1.556	5714.05
中面	12319.46	251.43	12068.03	9.55	11015.83			
表面	12319.77	538.86	11780.91	9.83	10726.71			

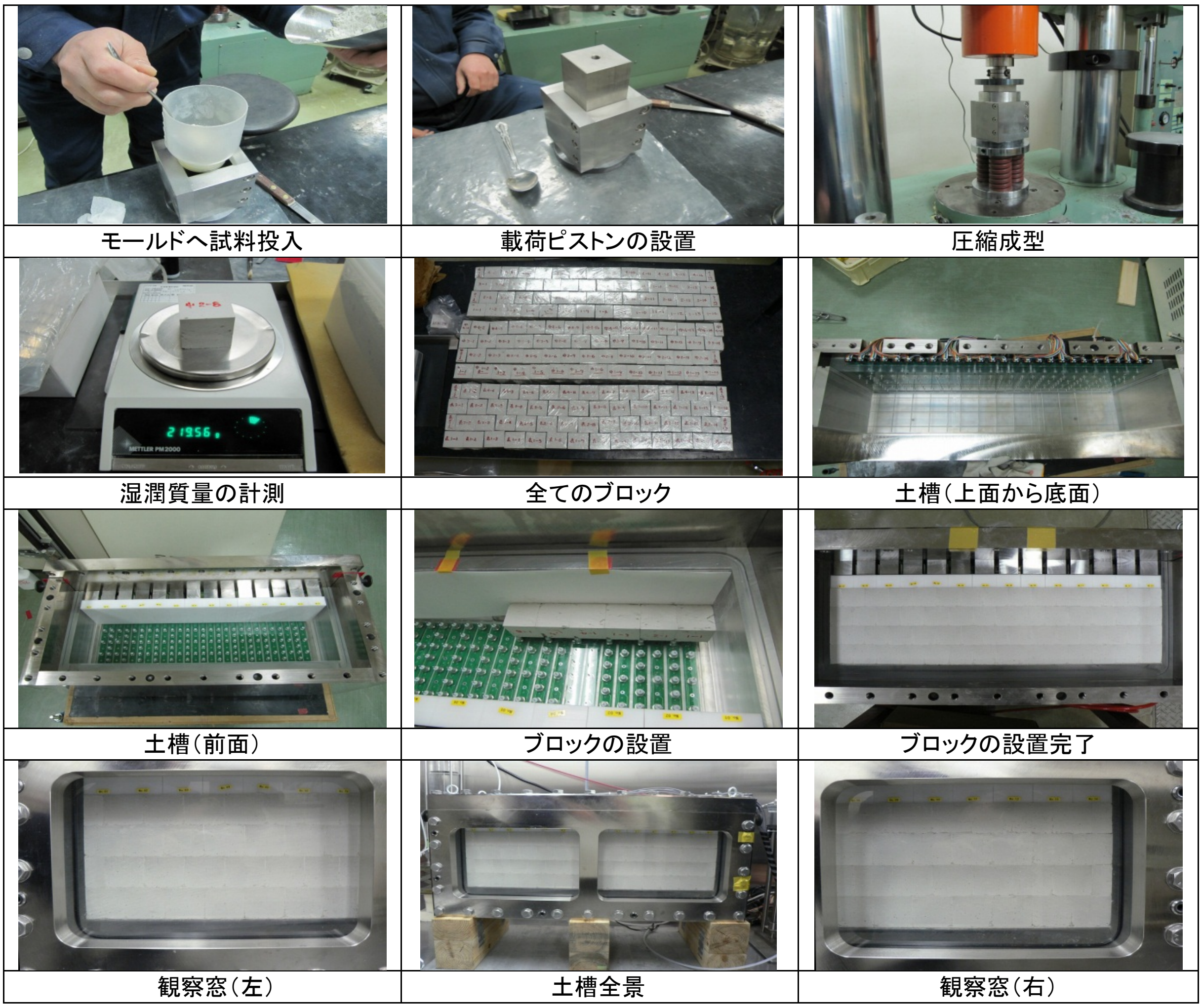


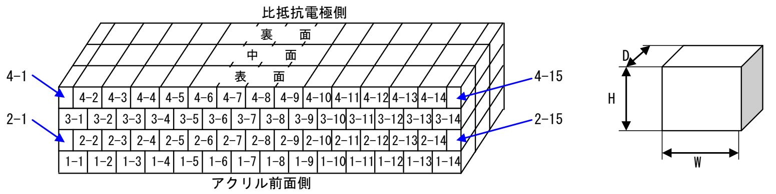
図 7.1.4-1　ブロック定置ケースの土槽試験手順

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

裏面　１段目

ブロック作成年月日		2012/2/8	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	21	容器番号	40
ma (g)	130.57	ma (g)	145.98
mb (g)	128.44	mb (g)	142.97
mc (g)	108.24	mc (g)	109.90
w (%)	10.54	w (%)	9.10
平均含水比 (%)		9.82	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量 (g)	H (cm)			W (cm)			D (cm)			平均寸法 (cm)			体積 (cm^3)	湿潤密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)
		左	中	右	上	中	下	前	中	奥	H	W	D				
裏面　1 － 1	219.85	5.163	5.166	5.179	5.066	5.060	5.068	5.068	5.067	5.060	5.169	5.065	5.065	132.607	1.658	9.82	1.510
裏面　1 － 2	219.74	5.159	5.140	5.142	5.051	5.064	5.075	5.057	5.073	5.069	5.147	5.063	5.066	132.034	1.664	9.82	1.515
裏面　1 － 3	219.88	5.151	5.126	5.123	5.042	5.052	5.052	5.041	5.056	5.057	5.133	5.049	5.051	130.913	1.680	9.82	1.529
裏面　1 － 4	219.96	5.116	5.120	5.117	5.038	5.032	5.032	5.036	5.033	5.035	5.118	5.034	5.035	129.705	1.696	9.82	1.544
裏面　1 － 5	219.92	5.097	5.098	5.101	5.037	5.035	5.032	5.038	5.039	5.035	5.099	5.035	5.037	129.309	1.701	9.82	1.549
裏面　1 － 6	219.98	5.040	5.042	5.039	5.036	5.035	5.030	5.040	5.043	5.048	5.040	5.034	5.044	127.965	1.719	9.82	1.565
裏面　1 － 7	219.97	5.100	5.100	5.099	5.031	5.034	5.033	5.030	5.035	5.032	5.100	5.033	5.032	129.154	1.703	9.82	1.551
裏面　1 － 8	219.90	5.113	5.111	5.113	5.032	5.035	5.034	5.046	5.047	5.041	5.112	5.034	5.045	129.818	1.694	9.82	1.542
裏面　1 － 9	219.93	5.101	5.100	5.101	5.029	5.036	5.038	5.029	5.037	5.038	5.101	5.034	5.035	129.282	1.701	9.82	1.549
裏面　1 － 10	219.92	5.101	5.098	5.101	5.032	5.032	5.033	5.030	5.032	5.033	5.100	5.032	5.032	129.137	1.703	9.82	1.551
裏面　1 － 11	220.03	5.094	5.097	5.098	5.034	5.031	5.033	5.037	5.036	5.037	5.096	5.033	5.037	129.181	1.703	9.82	1.551
裏面　1 － 12	220.02	5.091	5.095	5.099	5.033	5.032	5.036	5.027	5.030	5.034	5.095	5.034	5.030	129.011	1.705	9.82	1.553
裏面　1 － 13	219.98	5.095	5.095	5.095	5.031	5.030	5.031	5.030	5.031	5.033	5.095	5.031	5.031	128.959	1.706	9.82	1.553
裏面　1 － 14	220.03	5.095	5.097	5.100	5.032	5.034	5.033	5.027	5.034	5.037	5.097	5.033	5.033	129.112	1.704	9.82	1.552
														129.728	1.696	9.82	1.544

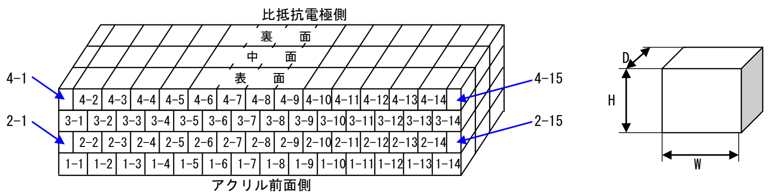
ブロック作成総重量 (g)	湿潤	3079.11
	乾燥	2803.70

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

裏面　２段目

ブロック作成年月日		2012/2/9	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	22	容器番号	23
ma (g)	155.08	ma (g)	147.31
mb (g)	150.94	mb (g)	143.88
mc (g)	110.11	mc (g)	109.38
w (%)	10.14	w (%)	9.94
平均含水比 (%)		10.04	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量 (g)	H (cm)			W (cm)			D (cm)			平均寸法 (cm)			体積 (cm^3)	湿潤密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)
		左	中	右	上	中	下	前	中	奥	H	W	D				
裏面　2 － 1	110.02	5.028	5.030	5.030	2.560	2.559	2.559	5.031	5.031	5.030	5.029	2.559	5.031	64.7534	1.699	10.04	1.544
裏面　2 － 2	219.66	4.987	4.989	4.989	5.027	5.034	5.037	5.034	5.043	5.045	4.988	5.033	5.041	126.544	1.736	10.04	1.577
裏面　2 － 3	220.02	4.991	4.995	4.992	5.038	5.035	5.033	4.998	4.997	5.000	4.993	5.035	4.998	125.657	1.751	10.04	1.591
裏面　2 － 4	219.86	4.987	4.992	4.993	5.027	5.030	5.031	5.001	4.998	4.985	4.991	5.029	4.995	125.365	1.754	10.04	1.594
裏面　2 － 5	219.92	4.998	4.995	4.998	5.027	5.036	5.034	5.026	5.030	5.031	4.997	5.032	5.029	126.462	1.739	10.04	1.580
裏面　2 － 6	219.96	4.995	4.987	4.989	5.026	5.029	5.027	5.032	5.029	5.031	4.990	5.027	5.031	126.21	1.743	10.04	1.584
裏面　2 － 7	219.95	4.997	4.996	4.995	5.029	5.032	5.031	5.029	5.028	5.027	4.996	5.031	5.028	126.37	1.741	10.04	1.582
裏面　2 － 8	219.97	4.996	4.993	4.993	5.028	5.032	5.029	5.032	5.031	5.030	4.994	5.030	5.031	126.369	1.741	10.04	1.582
裏面　2 － 9	219.99	4.993	4.988	4.984	5.024	5.031	5.029	5.032	5.031	5.032	4.988	5.028	5.032	126.201	1.743	10.04	1.584
裏面　2 － 10	219.99	4.998	4.991	4.990	5.027	5.031	5.032	5.031	5.031	5.030	4.993	5.030	5.031	126.344	1.741	10.04	1.582
裏面　2 － 11	219.99	4.990	4.992	4.993	5.028	5.033	5.038	5.035	5.034	5.032	4.992	5.033	5.034	126.461	1.740	10.04	1.581
裏面　2 － 12	220.03	4.987	4.991	4.987	5.032	5.036	5.032	5.034	5.030	5.030	4.988	5.033	5.031	126.326	1.742	10.04	1.583
裏面　2 － 13	220.00	4.995	4.993	4.989	5.027	5.030	5.032	5.034	5.035	5.033	4.992	5.030	5.034	126.403	1.740	10.04	1.582
裏面　2 － 14	220.00	4.983	4.995	4.996	5.030	5.031	5.030	5.040	5.034	5.031	4.991	5.030	5.035	126.419	1.740	10.04	1.581
裏面　2 － 15	110.00	5.027	5.028	5.027	2.566	2.564	2.562	5.038	5.032	5.030	5.027	2.564	5.033	64.8801	1.695	10.04	1.541

2-1,2-15を除きH寸法調整板（厚さ1mm）を使用。

ブロック作成総重量 (g)	湿潤	2969.36
	乾燥	2698.42

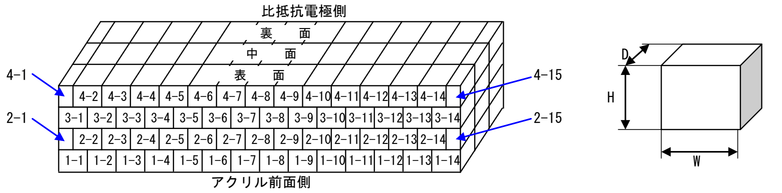
図 7.1.4-2　各ブロックの制作諸元（裏面１段目～２段目）

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

裏面　３段目

ブロック作成年月日		2012/2/9	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	25	容器番号	27
ma (g)	139.87	ma (g)	148.21
mb (g)	137.30	mb (g)	144.92
mc (g)	108.65	mc (g)	108.27
w (%)	8.97	w (%)	8.98
平均含水比　(%)		8.97	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量 (g)	H (cm)			W (cm)			D (cm)			平均寸法 (cm)			体積	湿潤密度	含水比	乾燥密度
		左	中	右	上	中	下	前	中	奥	H	W	D	(cm^3)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)
裏面　3 － 1	220.00	4.996	4.997	4.995	5.033	5.036	5.032	5.039	5.034	5.038	4.996	5.034	5.037	126.671	1.737	8.97	1.594
裏面　3 － 2	219.92	4.987	4.995	4.996	5.026	5.035	5.030	5.032	5.035	5.037	4.993	5.030	5.035	126.445	1.739	8.97	1.596
裏面　3 － 3	219.94	4.986	4.985	4.985	5.030	5.032	5.035	5.039	5.032	5.032	4.985	5.032	5.034	126.301	1.741	8.97	1.598
裏面　3 － 4	219.98	4.989	4.991	4.991	5.034	5.031	5.030	5.031	5.031	5.032	4.990	5.032	5.031	126.335	1.741	8.97	1.598
裏面　3 － 5	220.00	5.006	4.998	4.999	5.024	5.030	5.033	5.025	5.026	5.028	5.001	5.029	5.026	126.412	1.740	8.97	1.597
裏面　3 － 6	219.93	4.993	4.993	4.989	5.029	5.030	5.031	5.033	5.032	5.031	4.992	5.030	5.032	126.344	1.741	8.97	1.597
裏面　3 － 7	219.94	4.980	4.981	4.985	5.025	5.031	5.029	5.032	5.034	5.032	4.982	5.028	5.033	126.074	1.745	8.97	1.601
裏面　3 － 8	220.00	4.989	4.987	4.989	5.030	5.036	5.036	5.032	5.035	5.032	4.988	5.034	5.033	126.385	1.741	8.97	1.597
裏面　3 － 9	220.00	4.992	4.995	4.997	5.026	5.033	5.034	5.034	5.034	5.033	4.995	5.031	5.034	126.487	1.739	8.97	1.596
裏面　3 － 10	220.00	5.019	5.020	5.021	5.027	5.029	5.034	5.032	5.031	5.030	5.020	5.030	5.031	127.036	1.732	8.97	1.589
裏面　3 － 11	220.01	5.001	5.000	5.005	5.028	5.031	5.033	5.031	5.034	5.037	5.002	5.031	5.034	126.673	1.737	8.97	1.594
裏面　3 － 12	220.00	4.994	4.995	4.998	5.025	5.028	5.030	5.035	5.031	5.035	4.996	5.028	5.034	126.428	1.740	8.97	1.597
裏面　3 － 13	220.01	5.010	5.010	5.011	5.035	5.037	5.038	5.035	5.035	5.040	5.010	5.037	5.037	127.102	1.731	8.97	1.588
裏面　3 － 14	220.01	5.026	5.029	5.027	5.035	5.035	5.037	5.034	5.039	5.037	5.027	5.036	5.037	127.508	1.725	8.97	1.583

H寸法調整板（厚さ1mm）を使用。

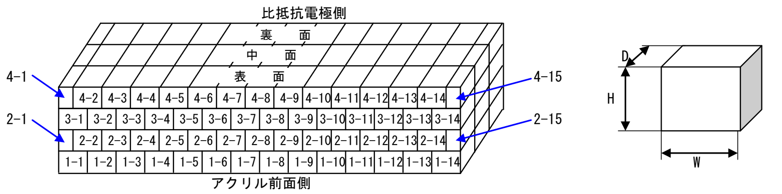
ブロック作成総重量 (g)	湿潤	3079.74
	乾燥	2826.13

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

裏面　４段目

ブロック作成年月日		2012/2/10	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	28	容器番号	29
ma (g)	132.80	ma (g)	141.76
mb (g)	130.47	mb (g)	138.79
mc (g)	109.36	mc (g)	109.35
w (%)	11.04	w (%)	10.09
平均含水比　(%)		10.56	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量 (g)	H (cm)			W (cm)			D (cm)			平均寸法 (cm)			体積	湿潤密度	含水比	乾燥密度
		左	中	右	上	中	下	前	中	奥	H	W	D	(cm^3)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)
裏面　4 － 1	110.00	5.032	5.027	5.030	2.565	2.562	2.562	5.031	5.030	5.034	5.030	2.563	5.032	64.8634	1.696	10.56	1.534
裏面　4 － 2	220.00	4.976	4.981	4.983	5.024	5.027	5.026	5.032	5.029	5.033	4.980	5.026	5.031	125.923	1.747	10.56	1.580
裏面　4 － 3	219.93	4.987	4.983	4.979	5.024	5.029	5.027	5.029	5.034	5.034	4.983	5.027	5.032	126.049	1.745	10.56	1.578
裏面　4 － 4	220.00	4.987	4.989	4.987	5.032	5.038	5.037	5.033	5.035	5.037	4.988	5.036	5.035	126.46	1.740	10.56	1.573
裏面　4 － 5	219.95	4.988	4.982	4.988	5.026	5.030	5.030	5.029	5.032	5.030	4.986	5.029	5.030	126.125	1.744	10.56	1.577
裏面　4 － 6	219.85	4.982	4.982	4.982	5.029	5.030	5.029	5.028	5.028	5.030	4.982	5.029	5.029	125.999	1.745	10.56	1.578
裏面　4 － 7	219.95	4.998	4.999	4.998	5.035	5.032	5.028	5.035	5.038	5.038	4.998	5.032	5.037	126.68	1.736	10.56	1.570
裏面　4 － 8	219.98	4.988	4.988	4.989	5.027	5.032	5.032	5.030	5.032	5.036	4.988	5.030	5.033	126.285	1.742	10.56	1.576
裏面　4 － 9	219.98	4.985	4.986	4.986	5.033	5.035	5.036	5.030	5.031	5.026	4.986	5.035	5.029	126.234	1.743	10.56	1.576
裏面　4 － 10	219.95	4.992	4.991	4.990	5.029	5.032	5.032	5.030	5.031	5.032	4.991	5.031	5.031	126.327	1.741	10.56	1.575
裏面　4 － 11	219.98	4.989	4.990	4.991	5.024	5.027	5.025	5.028	5.029	5.028	4.990	5.025	5.028	126.093	1.745	10.56	1.578
裏面　4 － 12	219.96	4.986	4.992	4.985	5.029	5.032	5.029	5.037	5.035	5.036	4.988	5.030	5.036	126.343	1.741	10.56	1.575
裏面　4 － 13	220.01	4.996	4.994	4.991	5.028	5.030	5.030	5.028	5.030	5.029	4.994	5.029	5.029	126.302	1.742	10.56	1.576
裏面　4 － 14	220.02	4.995	4.995	4.995	5.023	5.026	5.024	5.034	5.033	5.024	4.995	5.024	5.030	126.244	1.743	10.56	1.576
裏面　4 － 15	110.03	5.035	5.034	5.033	2.559	2.560	2.561	5.032	5.031	5.030	5.034	2.560	5.031	64.8347	1.697	10.56	1.535

4-1,4-15を除きH寸法調整板（厚さ1mm）を使用。

ブロック作成総重量 (g)	湿潤	2969.56
	乾燥	2685.86

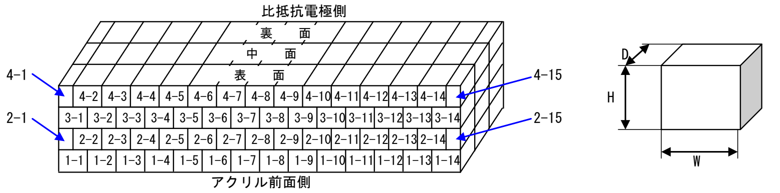
図 7.1.4-3　各ブロックの制作諸元（裏面３段目～４段目）

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

中面　１段目

ブロック作成年月日		2012/2/10	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	30	容器番号	1
ma (g)	135.43	ma (g)	144.96
mb (g)	133.20	mb (g)	141.15
mc (g)	109.89	mc (g)	101.99
w (%)	9.57	w (%)	9.73
平均含水比 (%)		9.65	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量 (g)	H (cm) 左	H 中	H 右	W (cm) 上	W 中	W 下	D (cm) 前	D 中	D 奥	平均寸法 (cm) H	W	D	体積 (cm^3)	湿潤密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)
中面 1 － 1	220.03	5.100	5.100	5.098	5.027	5.033	5.031	5.036	5.037	5.035	5.099	5.030	5.036	129.18	1.703	9.65	1.553
中面 1 － 2	220.00	5.095	5.098	5.099	5.028	5.033	5.033	5.033	5.036	5.035	5.097	5.031	5.035	129.121	1.704	9.65	1.554
中面 1 － 3	219.98	5.096	5.102	5.102	5.035	5.032	5.032	5.035	5.034	5.039	5.100	5.033	5.036	129.266	1.702	9.65	1.552
中面 1 － 4	219.98	5.099	5.096	5.099	5.031	5.033	5.031	5.058	5.034	5.033	5.098	5.032	5.042	129.326	1.701	9.65	1.551
中面 1 － 5	219.90	5.093	5.094	5.100	5.029	5.030	5.029	5.031	5.032	5.033	5.096	5.029	5.032	128.959	1.705	9.65	1.555
中面 1 － 6	219.93	5.099	5.096	5.094	5.026	5.032	5.033	5.028	5.033	5.034	5.096	5.030	5.032	128.993	1.705	9.65	1.555
中面 1 － 7	219.96	5.099	5.096	5.094	5.031	5.032	5.033	5.032	5.034	5.031	5.096	5.032	5.032	129.053	1.704	9.65	1.554
中面 1 － 8	219.93	5.095	5.093	5.098	5.030	5.032	5.026	5.028	5.031	5.027	5.095	5.029	5.029	128.865	1.707	9.65	1.556
中面 1 － 9	219.87	5.098	5.096	5.086	5.027	5.033	5.028	5.032	5.031	5.032	5.093	5.029	5.032	128.892	1.706	9.65	1.556
中面 1 － 10	219.94	5.100	5.098	5.100	5.029	5.030	5.030	5.025	5.029	5.032	5.099	5.030	5.029	128.975	1.705	9.65	1.555
中面 1 － 11	219.96	5.094	5.094	5.087	5.030	5.033	5.033	5.027	5.037	5.039	5.092	5.032	5.034	128.986	1.705	9.65	1.555
中面 1 － 12	219.98	5.093	5.095	5.092	5.030	5.031	5.033	5.032	5.034	5.029	5.093	5.031	5.032	128.943	1.706	9.65	1.556
中面 1 － 13	219.89	5.092	5.099	5.092	5.032	5.033	5.033	5.032	5.032	5.029	5.094	5.033	5.031	128.985	1.705	9.65	1.555
中面 1 － 14	220.00	5.093	5.096	5.094	5.033	5.032	5.031	5.032	5.035	5.035	5.094	5.032	5.034	129.045	1.705	9.65	1.555
														129.042	1.705	9.65	1.555

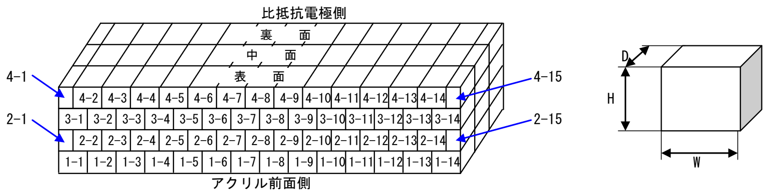
ブロック作成総重量 (g)	湿潤	3079.35
	乾燥	2808.40

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

中面　２段目

ブロック作成年月日		2012/2/13	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	2	容器番号	3
ma (g)	133.63	ma (g)	132.76
mb (g)	130.99	mb (g)	130.11
mc (g)	103.36	mc (g)	102.45
w (%)	9.55	w (%)	9.58
平均含水比 (%)		9.57	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量 (g)	H (cm) 左	H 中	H 右	W (cm) 上	W 中	W 下	D (cm) 前	D 中	D 奥	平均寸法 (cm) H	W	D	体積 (cm^3)	湿潤密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)
中面 2 － 1	109.98	5.033	5.031	5.033	2.568	2.567	2.562	5.042	5.044	5.048	5.032	2.566	5.045	65.1332	1.689	9.57	1.541
中面 2 － 2	219.98	4.985	4.985	4.985	5.028	5.031	5.029	5.029	5.033	5.033	4.985	5.029	5.032	126.15	1.744	9.57	1.592
中面 2 － 3	219.97	4.984	4.983	4.983	5.025	5.029	5.029	5.033	5.037	5.035	4.983	5.028	5.035	126.15	1.744	9.57	1.591
中面 2 － 4	220.01	4.989	4.988	4.985	5.035	5.038	5.025	5.028	5.032	5.032	4.987	5.033	5.031	126.268	1.742	9.57	1.590
中面 2 － 5	219.98	4.997	4.997	4.992	5.030	5.033	5.029	5.027	5.037	5.031	4.995	5.031	5.032	126.445	1.740	9.57	1.588
中面 2 － 6	219.97	4.996	4.995	4.995	5.029	5.031	5.027	5.033	5.031	5.029	4.995	5.029	5.031	126.386	1.740	9.57	1.588
中面 2 － 7	220.02	5.019	5.014	5.012	5.032	5.031	5.026	5.035	5.035	5.042	5.015	5.030	5.037	127.061	1.732	9.57	1.580
中面 2 － 8	219.55	4.997	4.982	4.981	5.029	5.030	5.030	5.030	5.037	5.033	4.987	5.030	5.033	126.242	1.739	9.57	1.587
中面 2 － 9	219.97	4.990	4.990	4.990	5.029	5.030	5.027	5.036	5.038	5.033	4.990	5.029	5.036	126.36	1.741	9.57	1.589
中面 2 － 10	220.03	4.990	4.991	4.991	5.028	5.029	5.026	5.028	5.032	5.031	4.991	5.028	5.030	126.218	1.743	9.57	1.591
中面 2 － 11	219.95	4.996	4.993	4.987	5.029	5.030	5.031	5.033	5.034	5.031	4.992	5.030	5.033	126.369	1.741	9.57	1.589
中面 2 － 12	219.99	4.991	4.996	4.993	5.028	5.033	5.032	5.028	5.032	5.032	4.993	5.031	5.031	126.378	1.741	9.57	1.589
中面 2 － 13	220.05	4.997	4.994	4.992	5.029	5.031	5.030	5.029	5.034	5.031	4.994	5.030	5.031	126.395	1.741	9.57	1.589
中面 2 － 14	220.03	4.983	4.986	4.986	5.030	5.029	5.026	5.028	5.031	5.033	4.985	5.028	5.031	126.1	1.745	9.57	1.593
中面 2 － 15	110.06	5.027	5.023	5.024	2.553	2.551	2.551	5.025	5.027	5.024	5.025	2.552	5.025	64.4312	1.708	9.57	1.559

2-1,2-15を除きH寸法調整板（厚さ1mm）を使用。

ブロック作成総重量 (g)	湿潤	2969.48
	乾燥	2710.18

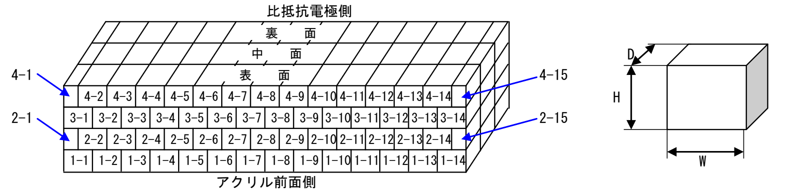
図 7.1.4-4　各ブロックの制作諸元（中面１段目～２段目）

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

中面　３段目

ブロック作成年月日		2012/2/13	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	4	容器番号	7
ma (g)	139.04	ma (g)	141.18
mb (g)	136.18	mb (g)	138.19
mc (g)	105.57	mc (g)	106.28
w (%)	9.34	w (%)	9.37
平均含水比 (%)		9.36	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量 (g)	H (cm) 左	H 中	H 右	W (cm) 上	W 中	W 下	D (cm) 前	D 中	D 奥	平均寸法 (cm) H	W	D	体積 (cm^3)	湿潤密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)
中面 3 - 1	220.09	5.000	4.999	5.000	5.031	5.031	5.027	5.033	5.034	5.033	5.000	5.030	5.033	126.572	1.739	9.36	1.590
中面 3 - 2	220.05	4.994	4.994	4.993	5.029	5.029	5.027	5.027	5.031	5.032	4.994	5.028	5.030	126.302	1.742	9.36	1.593
中面 3 - 3	219.98	4.990	4.993	4.991	5.028	5.029	5.025	5.030	5.029	5.030	4.991	5.027	5.030	126.21	1.743	9.36	1.594
中面 3 - 4	219.98	4.993	4.994	4.996	5.026	5.031	5.033	5.031	5.035	5.033	4.994	5.030	5.033	126.436	1.740	9.36	1.591
中面 3 - 5	220.03	4.998	4.995	4.994	5.029	5.030	5.026	5.030	5.033	5.033	4.996	5.028	5.032	126.403	1.741	9.36	1.592
中面 3 - 6	220.00	5.011	5.001	5.015	5.029	5.032	5.027	5.029	5.032	5.032	5.009	5.029	5.031	126.741	1.736	9.36	1.587
中面 3 - 7	220.04	5.007	5.005	5.006	5.028	5.032	5.026	5.029	5.036	5.035	5.006	5.029	5.033	126.707	1.737	9.36	1.588
中面 3 - 8	220.00	4.984	4.984	4.979	5.029	5.030	5.025	5.028	5.030	5.035	4.982	5.028	5.031	126.032	1.746	9.36	1.596
中面 3 - 9	220.01	4.989	4.989	4.982	5.028	5.028	5.033	5.055	5.030	5.030	4.987	5.030	5.038	126.368	1.741	9.36	1.592
中面 3 - 10	219.95	5.015	4.986	4.984	5.029	5.032	5.026	5.027	5.032	5.030	4.995	5.029	5.030	126.344	1.741	9.36	1.592
中面 3 - 11	220.00	4.995	4.992	4.986	5.028	5.029	5.025	5.026	5.032	5.032	4.991	5.027	5.030	126.21	1.743	9.36	1.594
中面 3 - 12	220.06	4.988	4.987	4.988	5.031	5.031	5.027	5.028	5.032	5.030	4.988	5.030	5.030	126.184	1.744	9.36	1.595
中面 3 - 13	220.00	4.989	4.987	4.982	5.029	5.031	5.026	5.031	5.033	5.034	4.986	5.029	5.033	126.184	1.743	9.36	1.594
中面 3 - 14	220.03	4.993	4.997	4.995	5.032	5.036	5.029	5.034	5.034	5.033	4.995	5.032	5.034	126.529	1.739	9.36	1.590

H寸法調整板（厚さ1mm）を使用。

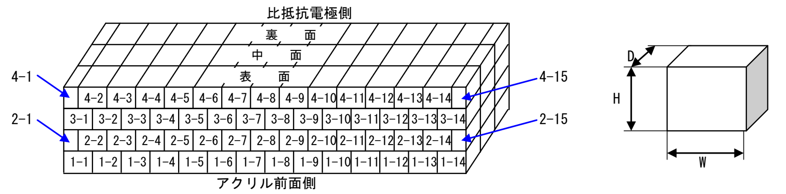
ブロック作成総重量 (g)	湿潤	3080.22
	乾燥	2816.67

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

中面　４段目

ブロック作成年月日		2012/2/13	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	5	容器番号	6
ma (g)	134.62	ma (g)	146.13
mb (g)	132.15	mb (g)	142.30
mc (g)	104.53	mc (g)	105.21
w (%)	8.94	w (%)	10.33
平均含水比 (%)		9.63	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量 (g)	H (cm) 左	H 中	H 右	W (cm) 上	W 中	W 下	D (cm) 前	D 中	D 奥	平均寸法 (cm) H	W	D	体積 (cm^3)	湿潤密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)
中面 4 - 1	109.96	5.032	5.031	5.032	2.559	2.557	2.557	5.032	5.031	5.032	5.032	2.558	5.032	64.7542	1.698	9.63	1.549
中面 4 - 2	219.95	4.989	4.986	4.989	5.030	5.032	5.024	5.034	5.033	5.030	4.988	5.029	5.032	126.226	1.743	9.63	1.589
中面 4 - 3	220.05	4.989	4.991	4.991	5.028	5.026	5.024	5.030	5.028	5.030	4.990	5.026	5.029	126.143	1.744	9.63	1.591
中面 4 - 4	220.06	4.997	4.993	5.000	5.036	5.031	5.026	5.029	5.034	5.039	4.997	5.031	5.034	126.546	1.739	9.63	1.586
中面 4 - 5	220.04	4.998	4.998	4.998	5.031	5.032	5.031	5.033	5.031	5.029	4.998	5.031	5.031	126.513	1.739	9.63	1.586
中面 4 - 6	220.02	5.009	5.013	5.015	5.033	5.035	5.031	5.031	5.035	5.032	5.012	5.033	5.033	126.959	1.733	9.63	1.581
中面 4 - 7	220.01	4.991	4.991	4.991	5.033	5.033	5.032	5.033	5.034	5.028	4.991	5.033	5.032	126.386	1.741	9.63	1.588
中面 4 - 8	220.03	4.988	4.983	4.984	5.038	5.037	5.032	4.985	4.986	4.987	4.985	5.036	4.986	125.163	1.758	9.63	1.603
中面 4 - 9	220.03	4.984	4.985	4.984	5.034	5.030	5.035	5.035	5.032	5.034	4.984	5.033	5.034	126.275	1.742	9.63	1.589
中面 4 - 10	220.02	4.989	4.988	4.989	5.037	5.040	5.037	4.988	4.991	4.992	4.989	5.038	4.990	125.422	1.754	9.63	1.600
中面 4 - 11	220.04	4.991	4.991	4.992	5.026	5.037	5.032	4.990	4.991	4.990	4.991	5.032	4.990	125.331	1.756	9.63	1.601
中面 4 - 12	220.04	4.987	4.986	4.984	5.032	5.030	5.033	5.030	5.032	5.031	4.986	5.032	5.031	126.209	1.743	9.63	1.590
中面 4 - 13	220.04	4.992	4.993	4.990	5.032	5.033	5.030	5.026	5.032	5.033	4.992	5.032	5.030	126.344	1.742	9.63	1.589
中面 4 - 14	220.06	4.993	4.993	4.990	5.034	5.033	5.034	5.034	5.035	5.031	4.992	5.034	5.033	126.478	1.740	9.63	1.587
中面 4 - 15	110.00	5.029	5.027	5.030	2.558	2.560	2.561	5.035	5.032	5.032	5.029	2.560	5.033	64.7833	1.698	9.63	1.549

4-1,4-15を除きH寸法調整板（厚さ1mm）を使用。

ブロック作成総重量 (g)	湿潤	2970.35
	乾燥	2709.32

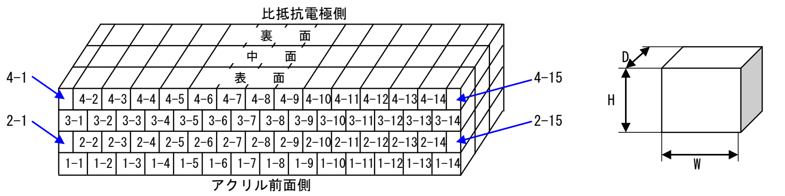
図 7.1.4-5　各ブロックの制作諸元（中面３段目～４段目）

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

表面　１段目

ブロック作成年月日		2012/2/14	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	9	容器番号	8
ma (g)	147.56	ma (g)	149.21
mb (g)	143.74	mb (g)	145.28
mc (g)	105.61	mc (g)	106.01
w (%)	10.02	w (%)	10.01
平均含水比 (%)		10.01	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量	H (cm)			W (cm)			D (cm)			平均寸法 (cm)			体積	湿潤密度	含水比	乾燥密度
	(g)	左	中	右	上	中	下	前	中	奥	H	W	D	(cm^3)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)
表面 1 － 1	219.87	5.080	5.032	5.083	5.025	5.031	5.033	5.027	5.027	5.027	5.065	5.030	5.027	128.064	1.717	10.01	1.561
表面 1 － 2	220.00	5.080	5.080	5.080	5.024	5.027	5.025	5.024	5.028	5.028	5.080	5.025	5.027	128.324	1.714	10.01	1.558
表面 1 － 3	219.98	5.092	5.092	5.096	5.029	5.029	5.024	5.027	5.027	5.037	5.093	5.027	5.030	128.806	1.708	10.01	1.552
表面 1 － 4	220.01	5.089	5.086	5.085	5.028	5.027	5.024	5.031	5.032	5.032	5.087	5.026	5.032	128.646	1.710	10.01	1.555
表面 1 － 5	219.92	5.090	5.093	5.090	5.029	5.032	5.025	5.030	5.032	5.034	5.091	5.029	5.032	128.824	1.707	10.01	1.552
表面 1 － 6	219.95	5.080	5.093	5.079	5.025	5.027	5.024	5.026	5.029	5.026	5.084	5.025	5.027	128.434	1.713	10.01	1.557
表面 1 － 7	220.04	5.099	5.086	5.091	5.028	5.031	5.025	5.026	5.031	5.029	5.092	5.028	5.029	128.747	1.709	10.01	1.554
表面 1 － 8	220.03	5.090	5.091	5.090	5.030	5.030	5.026	5.026	5.030	5.030	5.090	5.029	5.029	128.722	1.709	10.01	1.554
表面 1 － 9	220.00	5.096	5.095	5.088	5.032	5.033	5.027	5.028	5.029	5.027	5.093	5.031	5.028	128.823	1.708	10.01	1.552
表面 1 － 10	219.97	5.099	5.090	5.096	5.034	5.033	5.026	5.030	5.031	5.031	5.095	5.031	5.031	128.951	1.706	10.01	1.551
表面 1 － 11	220.01	5.092	5.094	5.092	5.032	5.032	5.026	5.028	5.032	5.027	5.093	5.030	5.029	128.823	1.708	10.01	1.552
表面 1 － 12	220.04	5.080	5.081	5.075	5.027	5.027	5.021	5.023	5.026	5.028	5.079	5.025	5.026	128.257	1.716	10.01	1.559
表面 1 － 13	220.04	5.098	5.097	5.099	5.031	5.035	5.029	5.028	5.032	5.036	5.098	5.032	5.032	129.078	1.705	10.01	1.550
表面 1 － 14	220.05	5.102	5.110	5.115	5.036	5.036	5.033	5.029	5.033	5.031	5.109	5.035	5.031	129.417	1.700	10.01	1.546
														128.708	1.709	10.01	1.554

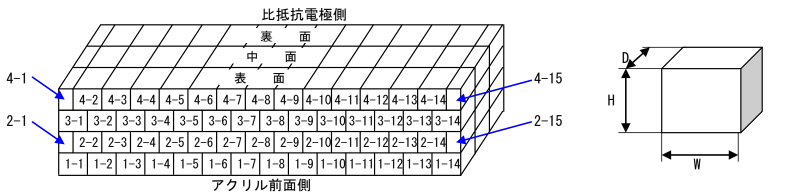
ブロック作成総重量 (g)	湿潤	3079.91
	乾燥	2799.59

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

表 面　２段目

ブロック作成年月日		2012/2/14	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	10	容器番号	11
ma (g)	148.25	ma (g)	145.43
mb (g)	144.38	mb (g)	141.70
mc (g)	105.90	mc (g)	105.32
w (%)	10.06	w (%)	10.25
平均含水比 (%)		10.16	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量	H (cm)			W (cm)			D (cm)			平均寸法 (cm)			体積	湿潤密度	含水比	乾燥密度
	(g)	左	中	右	上	中	下	前	中	奥	H	W	D	(cm^3)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)
表面 2 － 1	110.02	5.041	5.033	5.030	2.561	2.565	2.556	5.032	5.033	5.029	5.035	2.561	5.031	64.8645	1.696	10.16	1.540
表面 2 － 2	220.03	4.992	4.994	4.996	5.032	5.031	5.030	5.032	5.029	5.032	4.994	5.031	5.031	126.403	1.741	10.16	1.580
表面 2 － 3	220.07	4.987	4.990	4.993	5.033	5.037	5.027	5.030	5.031	5.029	4.990	5.032	5.030	126.31	1.742	10.16	1.582
表面 2 － 4	220.06	4.989	4.988	4.989	5.034	5.034	5.026	5.029	5.030	5.032	4.989	5.031	5.030	126.26	1.743	10.16	1.582
表面 2 － 5	220.05	4.997	4.997	4.994	5.031	5.035	5.027	5.034	5.034	5.032	4.996	5.031	5.033	126.512	1.739	10.16	1.579
表面 2 － 6	219.99	4.988	4.988	4.990	5.032	5.035	5.031	5.026	5.031	5.032	4.989	5.033	5.030	126.276	1.742	10.16	1.582
表面 2 － 7	220.01	4.986	4.987	4.982	5.031	5.033	5.027	5.029	5.031	5.039	4.985	5.030	5.033	126.209	1.743	10.16	1.583
表面 2 － 8	220.03	4.987	4.989	4.987	5.033	5.034	5.026	5.030	5.030	5.031	4.988	5.031	5.030	126.226	1.743	10.16	1.582
表面 2 － 9	220.00	4.991	4.991	4.989	5.031	5.033	5.029	5.029	5.030	5.029	4.990	5.031	5.029	126.268	1.742	10.16	1.582
表面 2 － 10	219.97	4.985	4.989	4.982	5.030	5.033	5.026	5.032	5.032	5.032	4.985	5.030	5.032	126.175	1.743	10.16	1.583
表面 2 － 11	219.96	4.992	4.987	4.987	5.032	5.032	5.030	5.026	5.032	5.030	4.989	5.031	5.029	126.234	1.742	10.16	1.582
表面 2 － 12	219.97	4.993	4.997	4.997	5.033	5.033	5.028	5.037	5.037	5.038	4.996	5.031	5.037	126.613	1.737	10.16	1.577
表面 2 － 13	219.92	4.990	4.990	4.989	5.032	5.035	5.027	5.029	5.031	5.033	4.990	5.031	5.031	126.302	1.741	10.16	1.581
表面 2 － 14	220.02	4.993	4.994	4.986	5.033	5.033	5.028	5.029	5.032	5.033	4.991	5.031	5.031	126.344	1.741	10.16	1.581
表面 2 － 15	110.05	5.030	5.030	5.029	2.557	2.558	2.558	5.027	5.034	5.033	5.030	2.558	5.031	64.7241	1.700	10.16	1.544

2-1,2-15を除きH寸法調整板（厚さ1mm）を使用。

ブロック作成総重量 (g)	湿潤	2970.10
	乾燥	2696.29

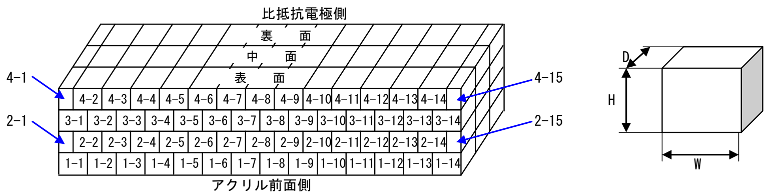
図 7.1.4-6　各ブロックの制作諸元（表面１段目～２段目）

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

表面　３段目

ブロック作成年月日		2012/2/14	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	12	容器番号	13
ma (g)	148.52	ma (g)	143.99
mb (g)	144.86	mb (g)	140.64
mc (g)	106.06	mc (g)	105.59
w (%)	9.43	w (%)	9.56
平均含水比　(%)		9.50	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量	H　(cm)			W　(cm)			D　(cm)			平均寸法　(cm)			体積	湿潤密度	含水比	乾燥密度
	(g)	左	中	右	上	中	下	前	中	奥	H	W	D	(cm^3)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)
表面　3 － 1	219.99	4.996	4.991	4.993	5.032	5.035	5.027	5.031	5.035	5.028	4.993	5.031	5.031	126.403	1.740	9.50	1.589
表面　3 － 2	219.99	4.990	4.998	4.991	5.033	5.034	5.026	5.028	5.030	5.033	4.993	5.031	5.030	126.361	1.741	9.50	1.590
表面　3 － 3	220.02	4.991	4.991	4.979	5.031	5.031	5.027	5.026	5.032	5.031	4.987	5.030	5.030	126.159	1.744	9.50	1.593
表面　3 － 4	219.94	4.996	5.000	4.995	5.032	5.035	5.028	5.029	5.034	5.031	4.997	5.032	5.031	126.504	1.739	9.50	1.588
表面　3 － 5	219.94	4.995	4.995	4.987	5.034	5.034	5.026	5.036	5.034	5.029	4.992	5.031	5.033	126.419	1.740	9.50	1.589
表面　3 － 6	219.96	4.999	5.000	4.987	5.032	5.031	5.027	5.028	5.031	5.030	4.995	5.030	5.030	126.378	1.740	9.50	1.590
表面　3 － 7	219.96	4.992	4.994	4.994	5.035	5.037	5.028	5.028	5.032	5.031	4.993	5.033	5.030	126.428	1.740	9.50	1.589
表面　3 － 8	219.97	5.000	5.006	4.996	5.035	5.034	5.031	5.031	5.033	5.040	5.001	5.033	5.035	126.723	1.736	9.50	1.585
表面　3 － 9	219.99	5.004	5.005	5.004	5.035	5.037	5.028	5.029	5.033	5.031	5.004	5.033	5.031	126.723	1.736	9.50	1.585
表面　3 － 10	219.95	4.993	4.994	4.993	5.031	5.031	5.027	5.027	5.033	5.035	4.993	5.030	5.032	126.369	1.741	9.50	1.590
表面　3 － 11	219.95	4.993	4.993	4.984	5.031	5.031	5.025	5.025	5.030	5.027	4.990	5.029	5.027	126.159	1.743	9.50	1.592
表面　3 － 12	219.92	5.004	5.005	5.002	5.035	5.034	5.027	5.026	5.031	5.029	5.004	5.032	5.029	126.614	1.737	9.50	1.586
表面　3 － 13	219.97	4.997	4.996	4.997	5.034	5.034	5.027	5.032	5.033	5.034	4.997	5.032	5.033	126.537	1.738	9.50	1.588
表面　3 － 14	220.01	4.987	4.993	4.993	5.033	5.033	5.028	5.027	5.034	5.030	4.991	5.031	5.030	126.319	1.742	9.50	1.591

H寸法調整板（厚さ1mm）を使用。

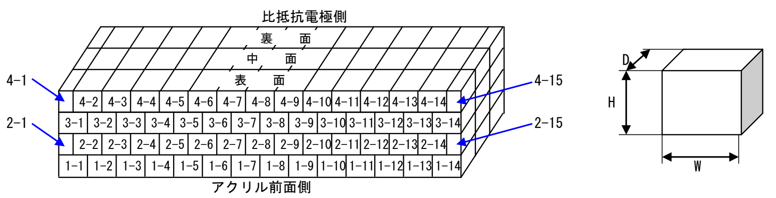
ブロック作成総重量	湿潤	3079.56
(g)	乾燥	2812.50

均一化土槽（ブロック）供試体作成記録

表面　４段目

ブロック作成年月日		2012/2/15	
調整後試料含水比		作成後残試料含水比	
容器番号	14	容器番号	15
ma (g)	136.73	ma (g)	134.97
mb (g)	134.05	mb (g)	132.29
mc (g)	105.38	mc (g)	105.35
w (%)	9.35	w (%)	9.95
平均含水比　(%)		9.65	

ブロック番号・寸法記号　凡例



ブロック番号	湿潤重量	H　(cm)			W　(cm)			D　(cm)			平均寸法　(cm)			体積	湿潤密度	含水比	乾燥密度
	(g)	左	中	右	上	中	下	前	中	奥	H	W	D	(cm^3)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)
表面　4 － 1	110.01	5.031	5.028	5.037	2.557	2.555	2.557	5.046	5.037		5.032	2.556	5.042	64.8512	1.696	9.65	1.547
表面　4 － 2	220.02	5.003	5.000	4.998	5.029	5.031	5.033	5.035	5.034		5.000	5.031	5.035	126.651	1.737	9.65	1.584
表面　4 － 3	220.06	5.015	5.014	5.011	5.035	5.033	5.026	5.030	5.035		5.013	5.031	5.033	126.939	1.734	9.65	1.581
表面　4 － 4	220.02	4.985	4.990	4.986	5.028	5.032	5.027	5.033	5.034		4.987	5.029	5.034	126.238	1.743	9.65	1.590
表面　4 － 5	220.00	4.985	4.990	4.985	5.031	5.037	5.036	5.028	5.031		4.987	5.035	5.030	126.272	1.742	9.65	1.589
表面　4 － 6	219.98	4.985	4.994	4.989	5.031	5.031	5.025	5.034	5.033		4.989	5.029	5.034	126.297	1.742	9.65	1.589
表面　4 － 7	219.99	4.988	4.988	4.986	5.028	5.030	5.028	5.027	5.031		4.987	5.029	5.029	126.125	1.744	9.65	1.591
表面　4 － 8	220.01	4.985	4.989	4.990	5.035	5.032	5.026	5.028	5.035		4.988	5.031	5.032	126.264	1.742	9.65	1.589
表面　4 － 9	219.99	4.989	4.982	4.983	5.029	5.030	5.025	5.028	5.032		4.985	5.028	5.030	126.066	1.745	9.65	1.591
表面　4 － 10	220.00	4.993	4.993	4.985	5.030	5.032	5.027	5.028	5.033		4.990	5.030	5.031	126.264	1.742	9.65	1.589
表面　4 － 11	220.05	4.987	4.989	4.983	5.036	5.035	5.024	5.030	5.035		4.986	5.032	5.033	126.263	1.743	9.65	1.589
表面　4 － 12	219.96	4.977	4.973	4.968	5.024	5.031	5.023	5.025	5.029		4.973	5.026	5.027	125.638	1.751	9.65	1.597
表面　4 － 13	220.02	4.993	4.994	4.983	5.031	5.027	5.025	5.026	5.029		4.990	5.028	5.028	126.13	1.744	9.65	1.591
表面　4 － 14	220.00	4.987	4.984	4.980	5.029	5.032	5.023	5.035	5.037		4.984	5.028	5.036	126.191	1.743	9.65	1.590
表面　4 － 15	110.04	5.030	5.028	5.031	2.559	2.561	2.559	5.036	5.031		5.030	2.560	5.034	64.8026	1.698	9.65	1.549

4-1, 4-15を除きH寸法調整板（厚さ1mm）を使用。

ブロック作成総重量	湿潤	2970.11
(g)	乾燥	2708.77

図 7.1.4-7　各ブロックの制作諸元（表面３段目～４段目）

ブロックは初期高さ 201mm 程度であり、ロードセル一体型の上蓋をボルト締めすることで 200mm の高さまで圧縮した。この間に発生した圧縮力を初期値として、通水中の圧力変化を観察した。

ブロック定置ケースの給水開始から 1 時間後までの状況を図 7.1.4-8 に示す。図から、供給された水がブロックと土槽の界面、ブロックとブロックの間に選択的に浸潤していることが分かる。なお、給水はペレットのケースと同様にマリオット管による水位差のみで行い、水面高さはブロック上面と同じ高さである。

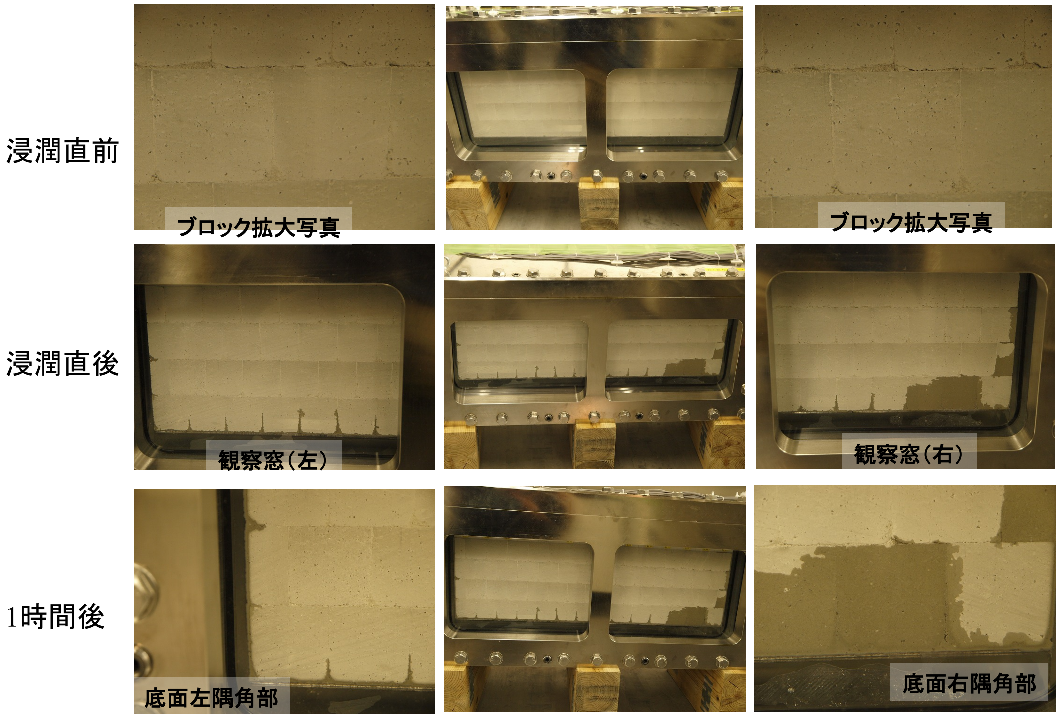


図 7.1.4-8　再冠水状況／ブロック定置ケース／給水開始 1 時間までの状況

ブロック定置ケースの給水開始 17 時間後の状況を図 7.1.4-9 に示す。図から、ブロックとブロックの間への浸潤は進展していないが、ブロックと土槽の界面では、ブロックの上面（ブロックとロードセルの界面）にまで達している。

さらにブロック定置ケースの給水開始 4 日後の状況を図 7.1.4-10 に示す。図から、ブロックとブロックの間やブロックと土槽の界面への浸潤はあまり進展していないが、ブロック内部への浸潤が僅かではあるが進行している。

写真 7.1.4-1 には給水開始から 300 日目の状況を示している。底部と両端のブロック間の隙間は目視ではほとんど判別できないほど一体化していることが分かる。このことから、水がブロックと土槽の界面を選択的に浸潤していることが推察できる。また、写真からは判別しにくいが、底部から側部の界面を浸潤した水は上部のロードセルとの界面まで達しており、上面のブロック間の隙間も判別し難くなっている。このことから、非膨潤性材料に囲まれた緩衝材では、地下水が先行して非膨潤性材料との界面に浸潤するため、緩衝材内部に間隙空気がトラップされる可能性が高い。実際に本試験でもブロックの中央付近は依然としてブロックの色目が明るく、隙間が明確であることから、浸潤が進行していないものと考えられる。

写真 7.1.4-2 には、給水開始から 587 日目（解体直前）の状況を示している。底部と両端のブロックの一体化が進み、底部から 1 段目と 2 段目のブロックの界面まで一体化が進んでいることが分かる。その他にも、各段のブロックの上側の隙間も一体化している。このことから、底部から供給された水は、底部からブロック間の隙間だけでなく、土槽との界面に沿って土槽上部まで浸潤するが、土槽上部まで浸潤した水の一部は、ブロックの各段の間の界面に横から浸潤しブロックの上部を膨潤させるものと考えられる。底部からブロック間の隙間を浸潤する水の速度よりも、土槽との界面に沿って土槽上部まで浸潤する水が、ブロックの各段の間の界面に横から浸潤する速度の方が速いため、各段のブロックの上側が一体化し、ブロックの下側には隙間が残るものと考えられる(図 7.1.4-11 参照)。

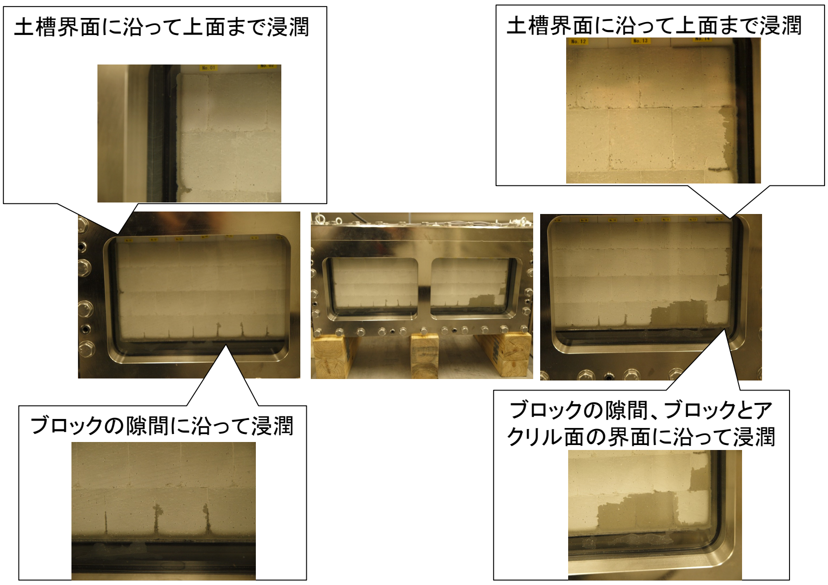


図 7.1.4-9　再冠水状況／ブロック定置ケース／給水開始 17 時間後

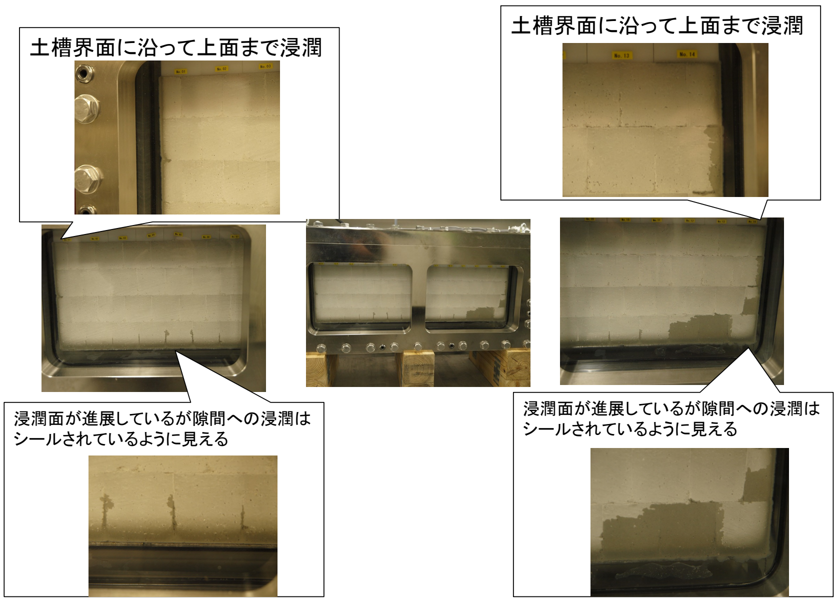


図 7.1.4-10　再冠水状況／ブロック定置ケース／給水開始 4 日後

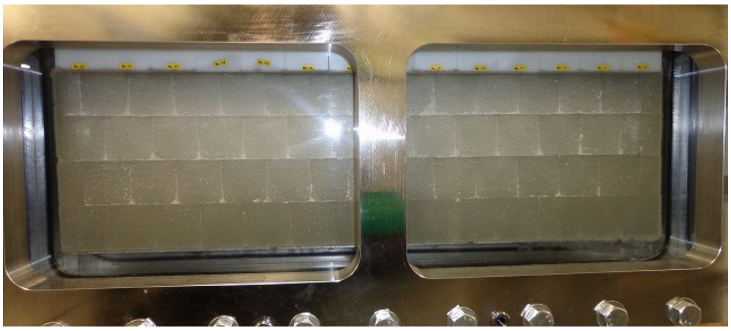


写真 7.1.4-1 再冠水状況／ブロック定置ケース／給水開始 300 日後

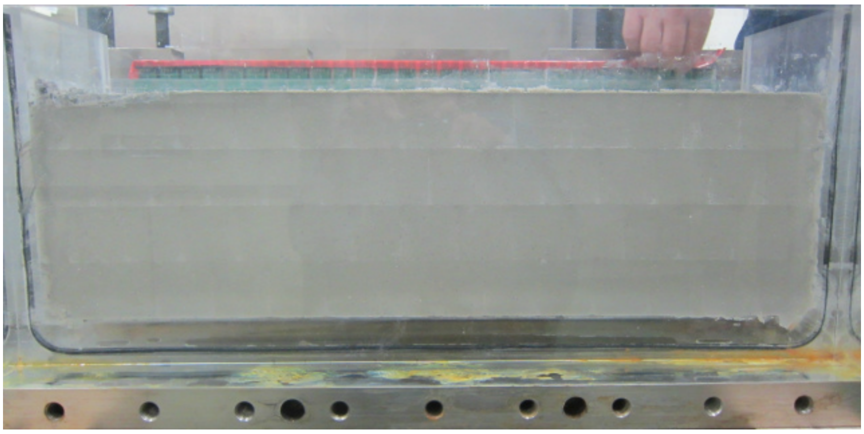


写真 7.1.4-2　再冠水状況／ブロック定置ケース／給水開始 587 日後（解体直前）

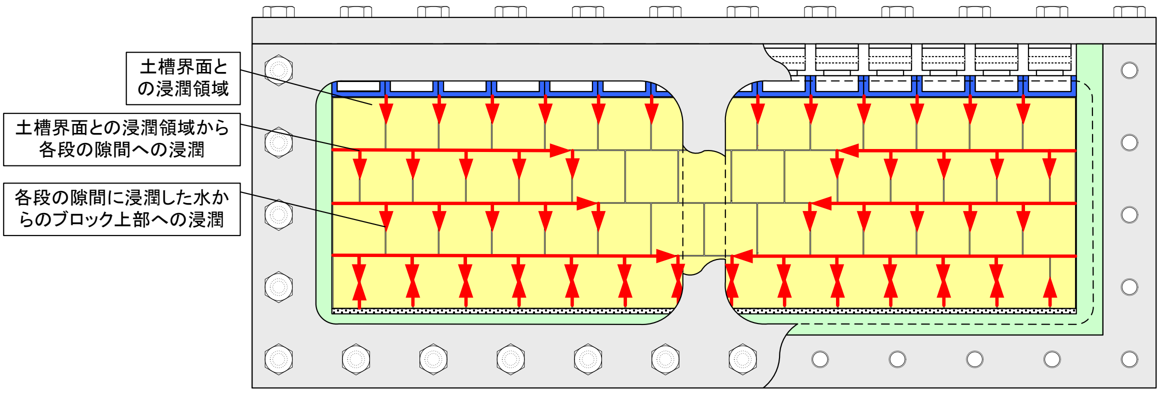


図 7.1.4-11　ブロック定置ケースの浸潤イメージ

ブロック定置ケースの給水状況を図 7.1.4-12 に示す。図には時間軸を対数軸と線形軸の両方で示している。図から、土槽底部のブロックが膨潤し、一体化するため、供給速度が徐々に低下している。しかしながら、マリオット管による水位差で給水したのにも関わらず、順調に給水され、試験開始から 8000 時間(333 日)程度で飽和注水量に達している。

飽和注水量に到達した後も給水量が増加し続けている理由としては、土槽の上蓋がロードセルの配線を引き出すために密閉構造となっておらず、隙間から間隙水が蒸発散しているためだと考えられる。

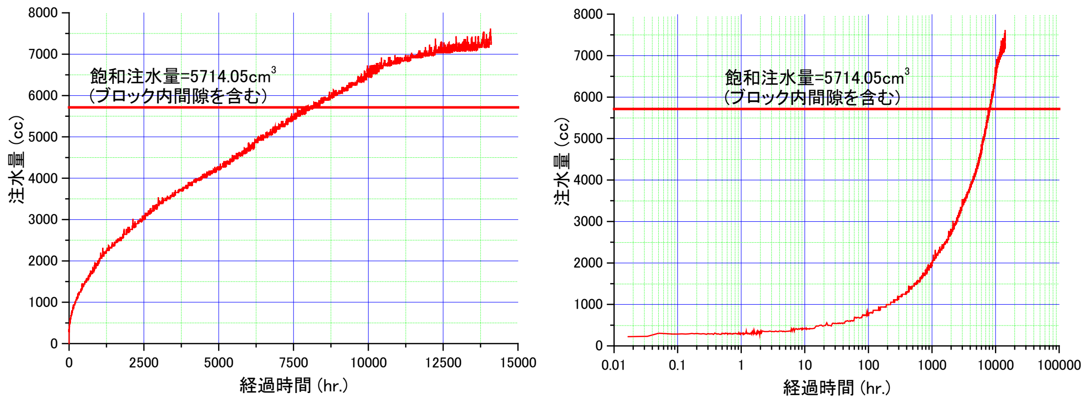


図 7.1.4-12　ブロック定置ケースの給水状況

図 7.1.4-13 にブロック定置ケースの膨潤圧の経時変化を示す。図から、供試体作製時に 201mm の高さまでペレットを充填し、200mm の高さまで上蓋で圧縮させたため、上蓋に付いているロードセルの初期値は 100～200kPa 程度の値を示している。また、この初期応力の分布は中心部と両端が比較的高い値を示している。給水を開始すると、この応力は徐々に増加した。増加傾向は給水開始から 3000 時間(約 125 日)まで続いて、その後ゆっくりと減少傾向を示している。

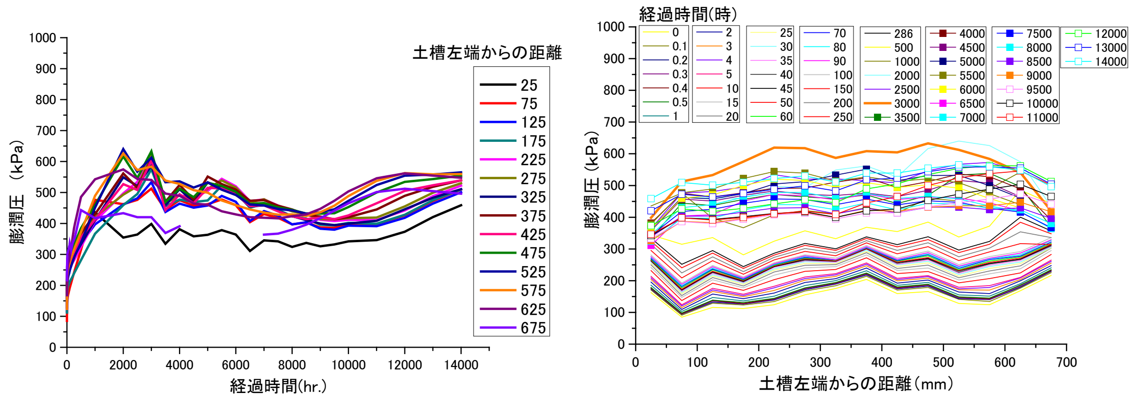
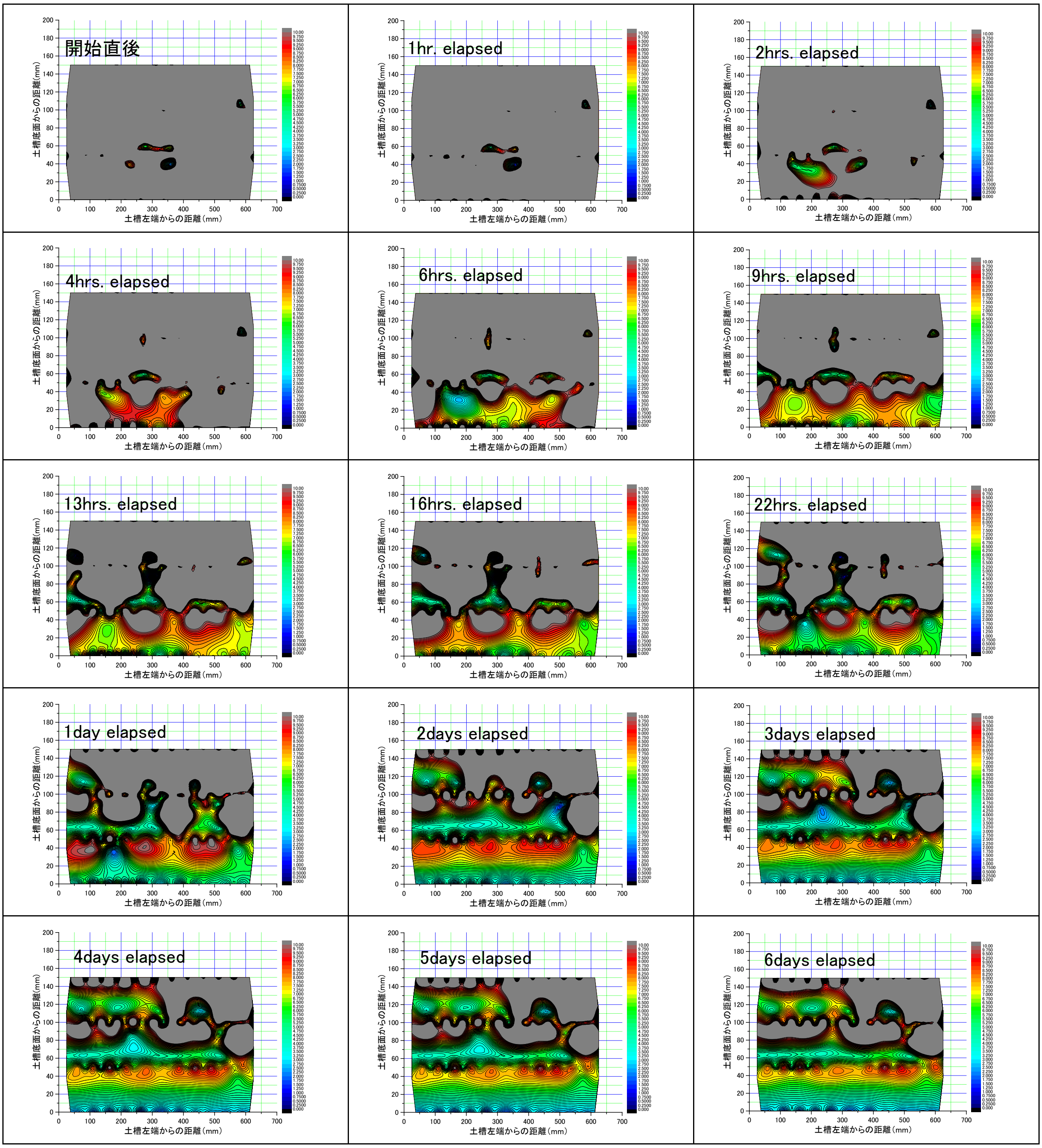


図 7.1.4-13　ブロック定置ケースの膨潤圧の経時変化

図 7.1.4-14 にブロック定置ケースの比抵抗分布の変遷を示す。なお、図中のグレーの部分はまだ水が浸潤していない領域を示しており、色は赤から青に近い程、比抵抗値が低いことを意味している。よって青に近い程、飽和度が高いことを意味している。

図から、水の浸潤がブロックとブロックの間から選択的に生じている状況を比抵抗値の変化として概ね計測できていることが分かる。給水開始日の 2/16 直後に、局所的ではあるが、土槽の上部にまで水が浸潤している。浸潤領域が飛び石のように発生しているのは、比抵抗を背面だけで計測しているためであると考えられる。また、給水開始日から約半日で、底部から 1 段分のブロックに水が浸潤している。その浸潤領域は、ブロックとブロックの間を底面から上面に向かって水が浸潤して、その後、そのブロックの周辺の隙間に浸潤し、最後にブロック全面が浸潤するという順番で広がっている。同様に、土層側面とブロックの界面に浸潤した水が各段の隙間に浸潤している状況も分かる。この状況は、前面の目視観察による考察と整合している。

給水量が土槽の飽和注水量に達する約 8000 時間（333 日）以降では、浸潤状況は、ほぼ定常状態になり、比抵抗値の分布も概ね解消され、ほぼ均一な状態になっている。このことから、給水中の土槽上面からの蒸発散の影響は小さく、比抵抗値による浸潤状況の計測結果と吸水量の関係も整合することが分かった。



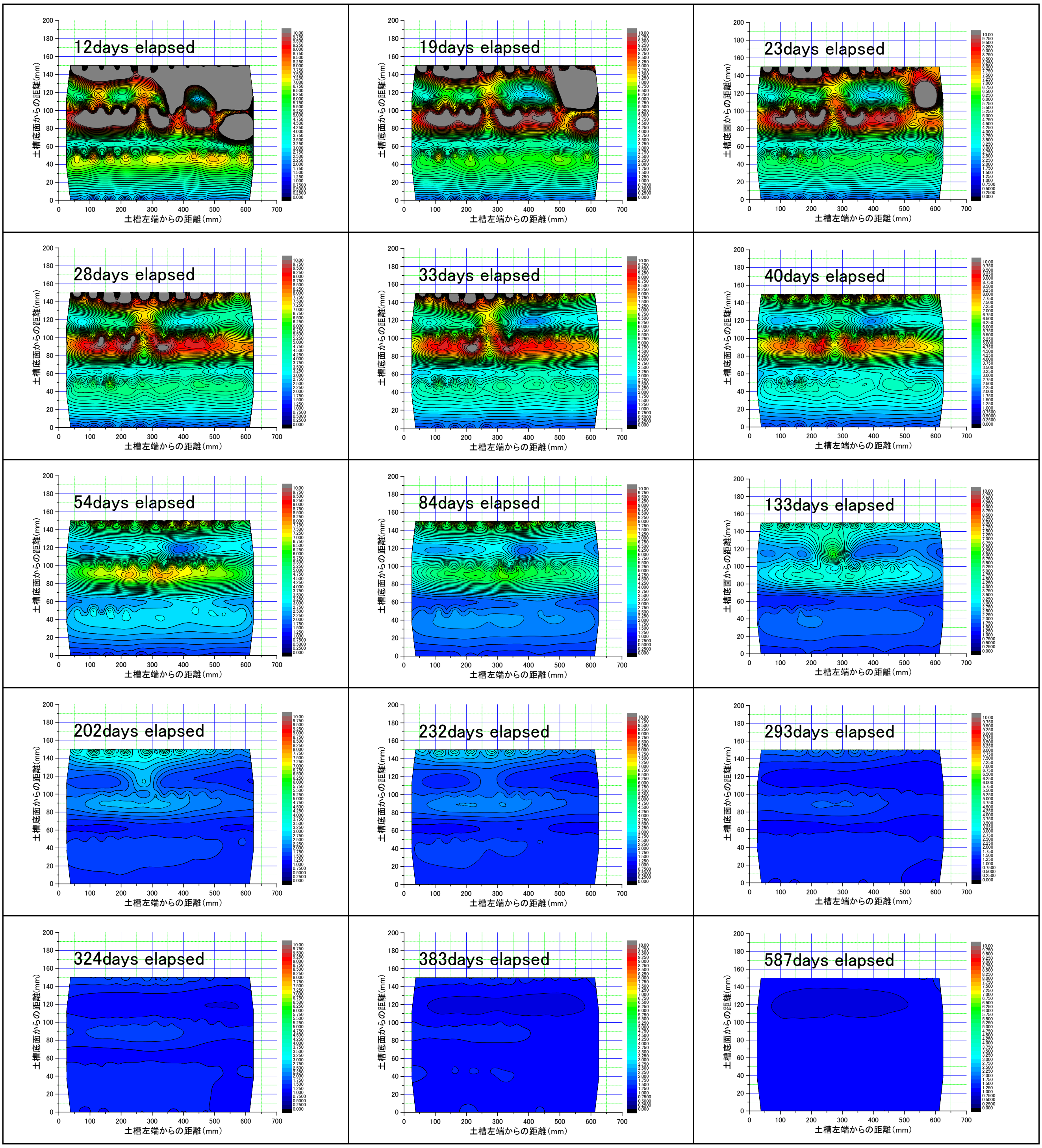
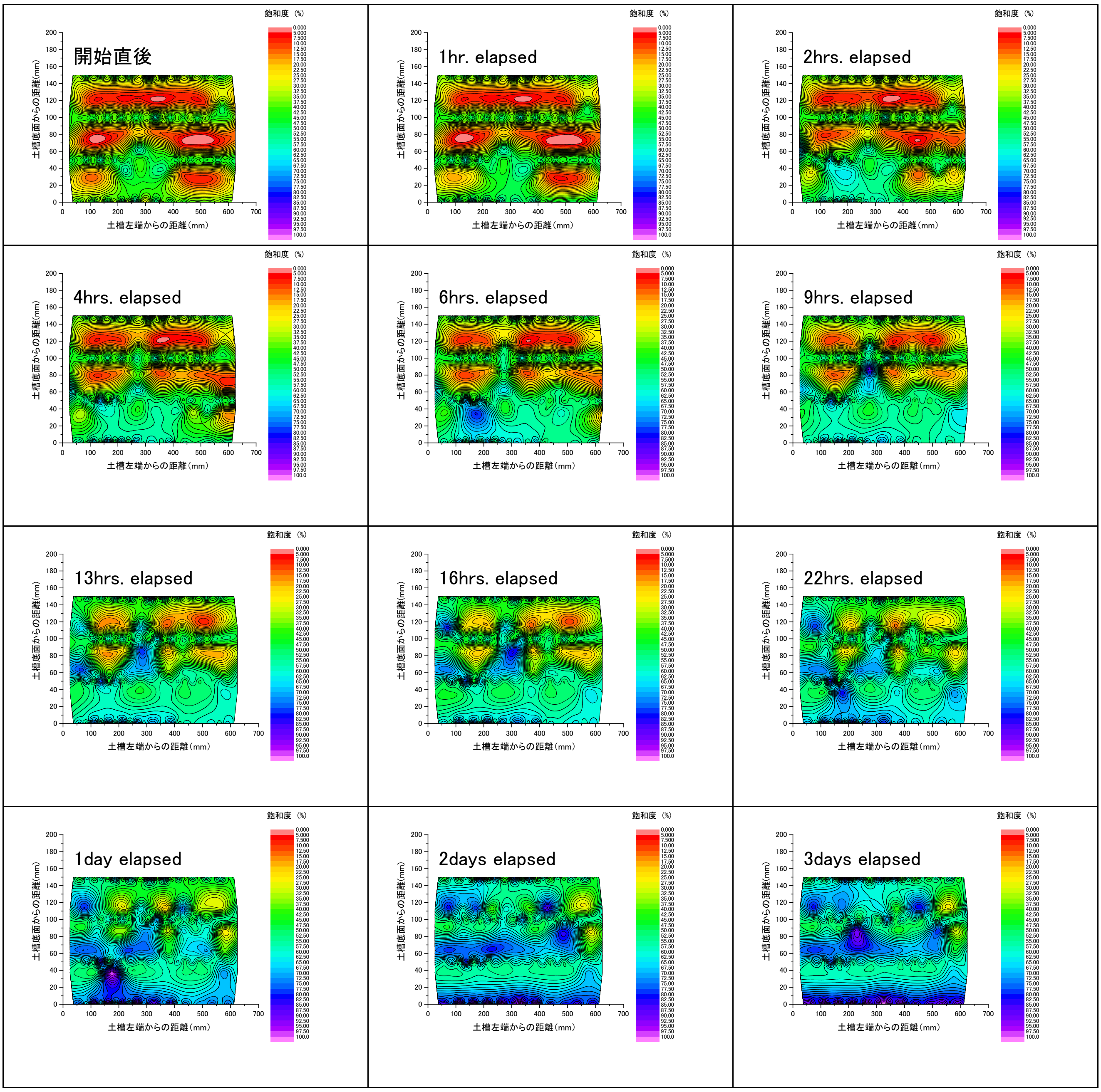


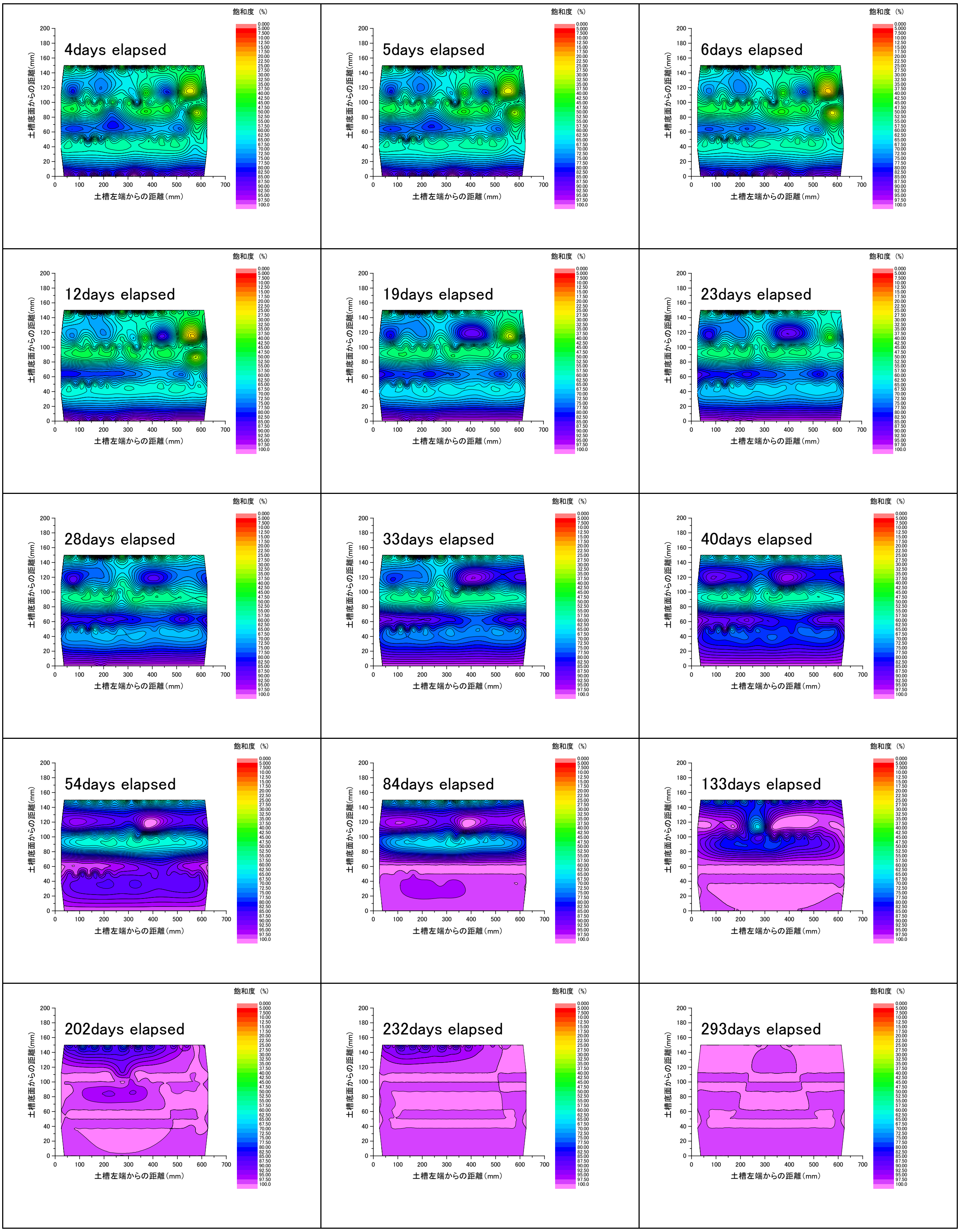
図 7.1.4-14　ブロック定置ケースの比抵抗分布の変遷

図 7.1.4-15 にブロック定置ケースの飽和度分布の変遷を示す。赤から紫向かって、飽和度が高いことを意味している。飽和度の分布図と比抵抗値の分布図が完全に一致しないのは、5.1.4 に示した比抵抗値と飽和度の関係が線形ではないためである。低飽和度領域では飽和度の変化に対して比抵抗値の変化が大きく、高飽和度領域では飽和度の変化に対して比抵抗値の変化が小さいため、ブロックの飽和度が低い試験初期には、比抵抗値の変化が大きく、飽和度が高い試験終盤で

は比抵抗値の変化が小さくなる。また、比抵抗値を飽和度に換算するためにはその電極のある地点の乾燥密度が必要であるが、後述する供試体解体時の上段、中段、下段の乾燥密度（1.518、1.512、1.465Mg/m^3）の平均値で代用した。

図から、5.1.4 に示した比抵抗値と飽和度の関係を用いることで、比抵抗値の計測により緩衝材ブロックへの不飽和浸潤過程が飽和度変化として取得できた。給水量が土槽の飽和注水量に達する約 8000 時間（333 日）以降では、飽和度は、ほぼ 100%で均一になっており、給水量の計測内容と整合する結果となった。




4days elapsed
5days elapsed
6days elapsed
12days elapsed
19days elapsed
23days elapsed
28days elapsed
33days elapsed
40days elapsed
54days elapsed
84days elapsed
133days elapsed
202days elapsed
232days elapsed
293days elapsed
土槽底面からの距離(mm)
土槽左端からの距離(mm)
飽和度 (%)

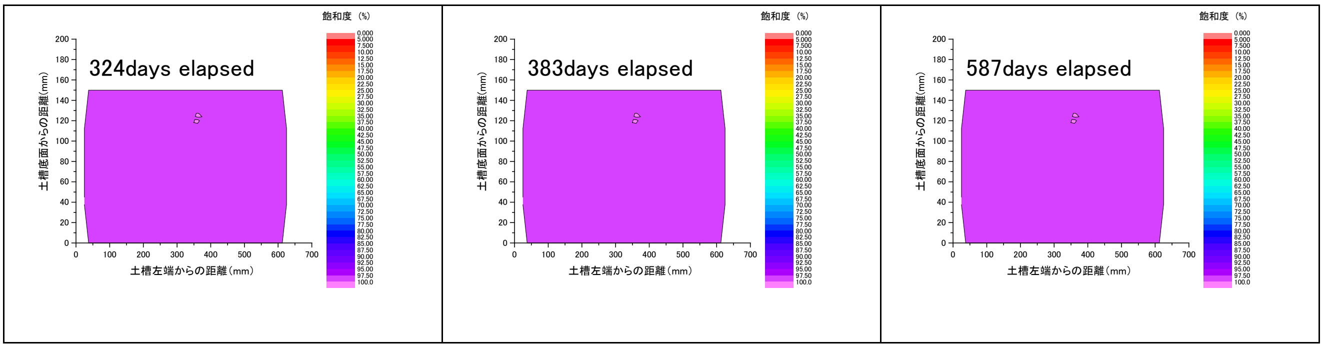


図 7.1.4-15　ブロック定置ケースの飽和度分布の変遷

写真 7.1.4-3 には解体時の状況写真を示す。供試体上面は一体化しており、目視では界面の位置は判断できなかった。そこで、供試体作製時のブロックの寸法を基に界面位置に線を引き、界面を横断するようにコアを抜いて、コアの含水比と乾燥密度を調べるとともに、界面の一体化の状況を観察した。

写真 7.1.4-4 には界面を含むコアの写真を示す。写真に示すように、界面は目視では判別できず、一体化して引き剥がすことも困難な状況であった。

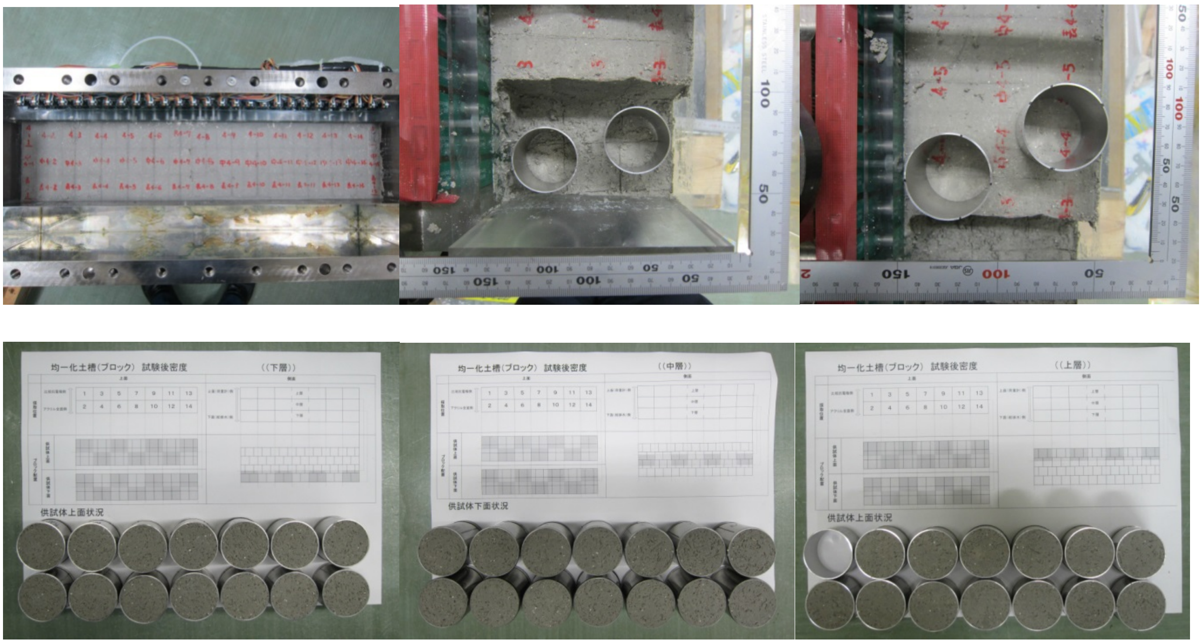


写真 7.1.4-3　解体時の状況写真（ブロック定置ケース）

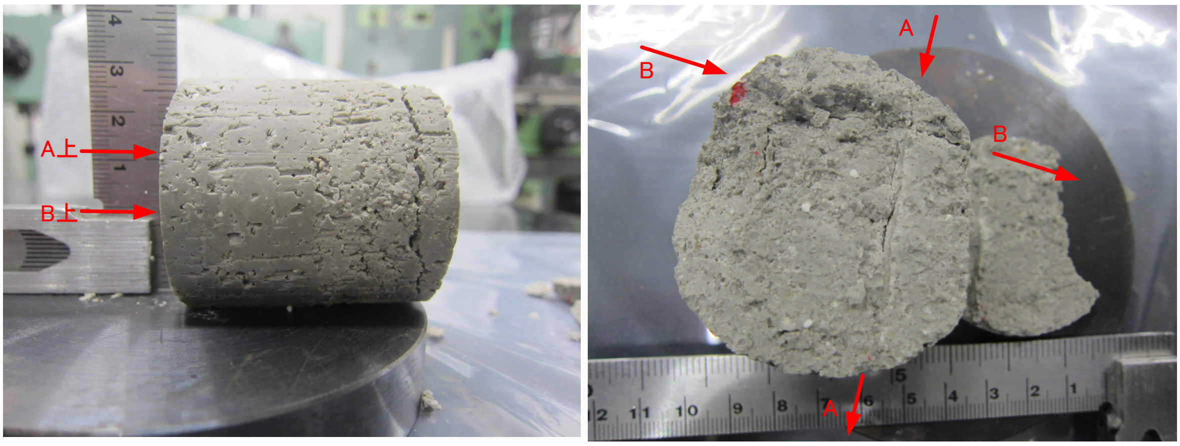
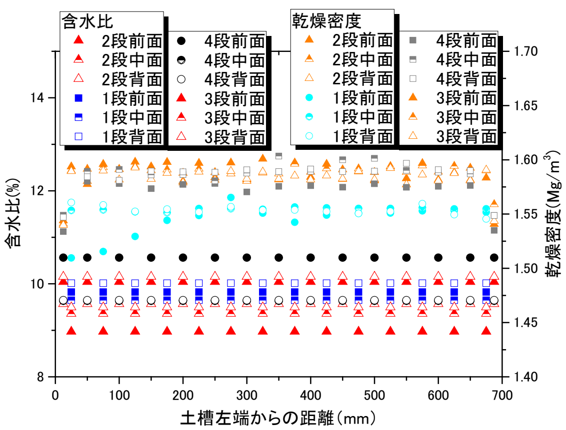


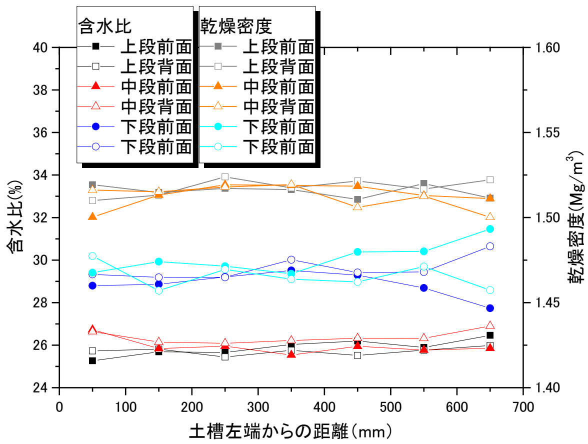
写真 7.1.4-4　解体時のブロック界面の状況

図 7.1.4-16 には、供試体作製時(図 7.1.4-16a)と解体時(図 7.1.4-16b)のブロック定置ケースの含水比分布と乾燥密度分布を示す。供試体作製時は各ブロックの値を示しており、解体時はブロックが一体化して引き剥がすことが困難だったため、コアサンプルの値を示す。図から、解体時の含水比は底部程高く、中段と上段は概ね同等の値であった。これは、給水が底面からなされていたことに加え、供試体作製時から 1 段目の乾燥密度が低かったためであると考えられる。また、解体時の密度分布は、底部の密度は低いが、中段と上段の密度は概ね同等である。これも、供試体作製時の密度分布がそのまま反映されている。また、乾燥密度は全体的に 0.1 程度低下している。これは、ブロックの隙間の分だけ膨潤したことにより、一体化が進むとともに乾燥密度が低下したものと考えられる。

さらに、図 7.1.4-17 には、飽和度分布を示す。図から、飽和度は 85%～95%程度であり、高密度の領域は飽和度が低く、低密度の領域の飽和度が高くなっていることが分かった。これらの結果は、比抵抗値から計測した飽和度分布の傾向とも整合している。ただし、全体的に解体時に計測した結果は、比抵抗値から換算した飽和度に比べて小さい。これは、解体時やコアリングの際の除荷や乱れ、さらに乾燥によるものと考えられる。



(a) 供試体作製時



(b)供試体解体時

図 7.1.4-16　ブロック定置ケースの含水比分布と乾燥密度分布

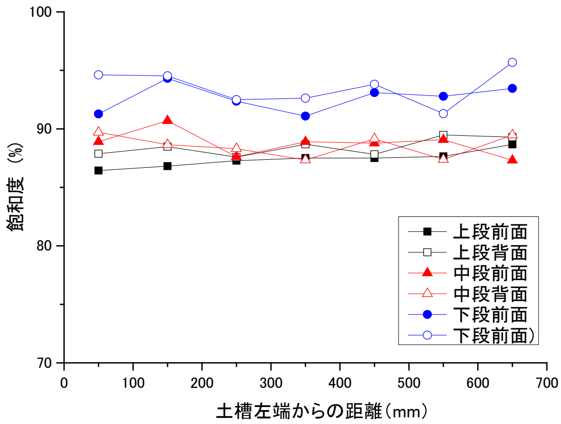


図 7.1.4-17　ブロック定置ケースの飽和度分布

7.1.5　試験結果(ブロック定置とペレット充填併用ケース)

表 7.1.5-1 にブロック定置とペレット充填併用ケースの供試体諸元を示す。表より、概ね計画通りの供試体が作製できていることが分かる。この供試体の間隙体積は、ブロックやペレットの間隙部部分の体積も含めて 6907.57cm³ である。よって、給水量が 6907.57cm³ となればマクロ的には供試体は飽和したことになる。

表 7.1.5-1　ブロック定置とペレット充填併用ケースの供試体諸元

高さ　(cm)	供試体ブロック部	20.0	供試体ペレット部	20.0	供試体全体	20.0
幅　(cm)		52.5		17.5		70.0
奥行　(cm)		15.0		15.0		15.0
体積　(cm³)		15750.0		5250.0		21000.0
湿潤質量　(g)		27126.27		6012.64		33138.91
湿潤密度　(g/cm³)		1.722		1.145		1.578
含水比　(%)		9.94		8.57		7.86
乾燥密度　(g/cm³)		1.567		1.055		1.463
乾燥質量　(g)		24672.93		5538.02		30210.95
土粒子密度　(g/cm³)		2.700		2.733		
間隙水体積　(cm³)		2453.34		474.62		2927.96
空隙体積　(cm³)		4158.54		2749.03		6907.57

写真 7.1.5-1 に浸潤状況写真を示す。写真は、土槽のペレット側半分の観察窓の経時変化を示している。図から、底面から一次元的に給水したところ、ペレット側に選択的に水が浸潤している状況が分かる。土槽上部までは 30 分程度で到達している。また、ペレットは間隙にある水を吸水して比較的速く膨潤し、一日程度でその間隙をシールしていることが分かる。また、ペレットの大間隙を満たした水が、ブロックに対して側方からの水の供給源となっている状況も観察された。

しかしながら、1 日目以降では、底部のペレットが一体化し、底面からの水の供給量が低下するため、膨潤してシールされた緩い密度の領域が再び空隙に戻っている。これは、ペレットの中心部分には、まだ乾燥領域が残されており、給水が滞ったために含水比が高い緩い密度の領域からペレットの中心部に間隙水が移動したためだと考えられる。

同様の現象はブロックとペレットの間でも発生しており、一旦、ペレットが膨潤してブロックとペレットの界面はほぼ一体化したが、1 日目以降には、底面からの給水が滞ったために、再び界面に隙間が発生している。また、それに伴って、界面近傍のブロックが膨潤してひび割れが発生している。

ペレットとブロックの間の隙間やペレットの空隙、さらにはブロック間の隙間は、給水時間が経過するに従って次第にシールされ、給水開始から 259 日で底面から 10 ㎝程度の位置まで、空隙はほとんどなくなっている。

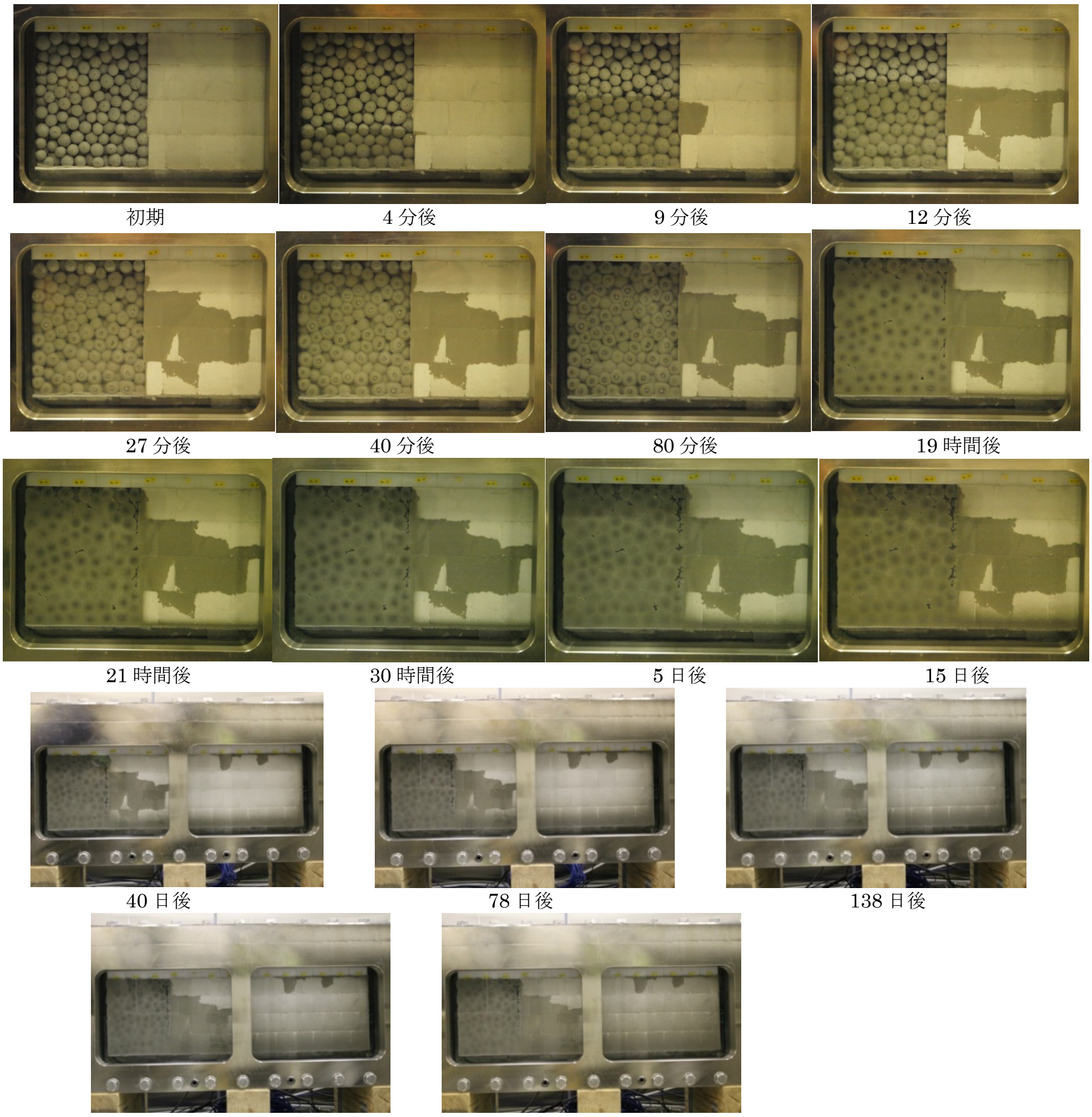


写真 7.1.5-1　土槽規模試験による 2 次元浸潤試験（ブロック・ペレット併用ケース）

図 7.1.5-1 にはブロックとペレット併用ケースの比抵抗分布の変遷を、さらに図 7.1.5-2 にはブロックとペレット併用ケースの飽和度分布の変遷を示す。なお、図 7.1.5-1、図 7.1.5-2 では、土槽背面に設置されている電極の範囲（土槽左端から 25mm～625 ㎜）が示されている。

図から、試験開始直後にペレットが冠水し、給水面である底盤とペレット側からブロックに向かって水が浸潤している様子が分かる。ブロックでは、底盤とペレットから水が浸潤するため、飽和度は右上が最も小さく、左下が最も大きい傾向にある。これらの傾向は、写真 7.1.5-1 に示した浸潤状況と整合している。しかしながら、比抵抗から推定した飽和度はほとんど 100%に近いのに対して、浸潤状況の目視観察からは土槽に向かって右上付近に乾燥している領域が存在している。比抵抗計測から得られる値は、背面側の供試体表面の値であるため、前面と背面が必ずしも一致しているとは限らない。今後、解体時の飽和度分布と比較して計測結果の妥当性を検討する必要がある。

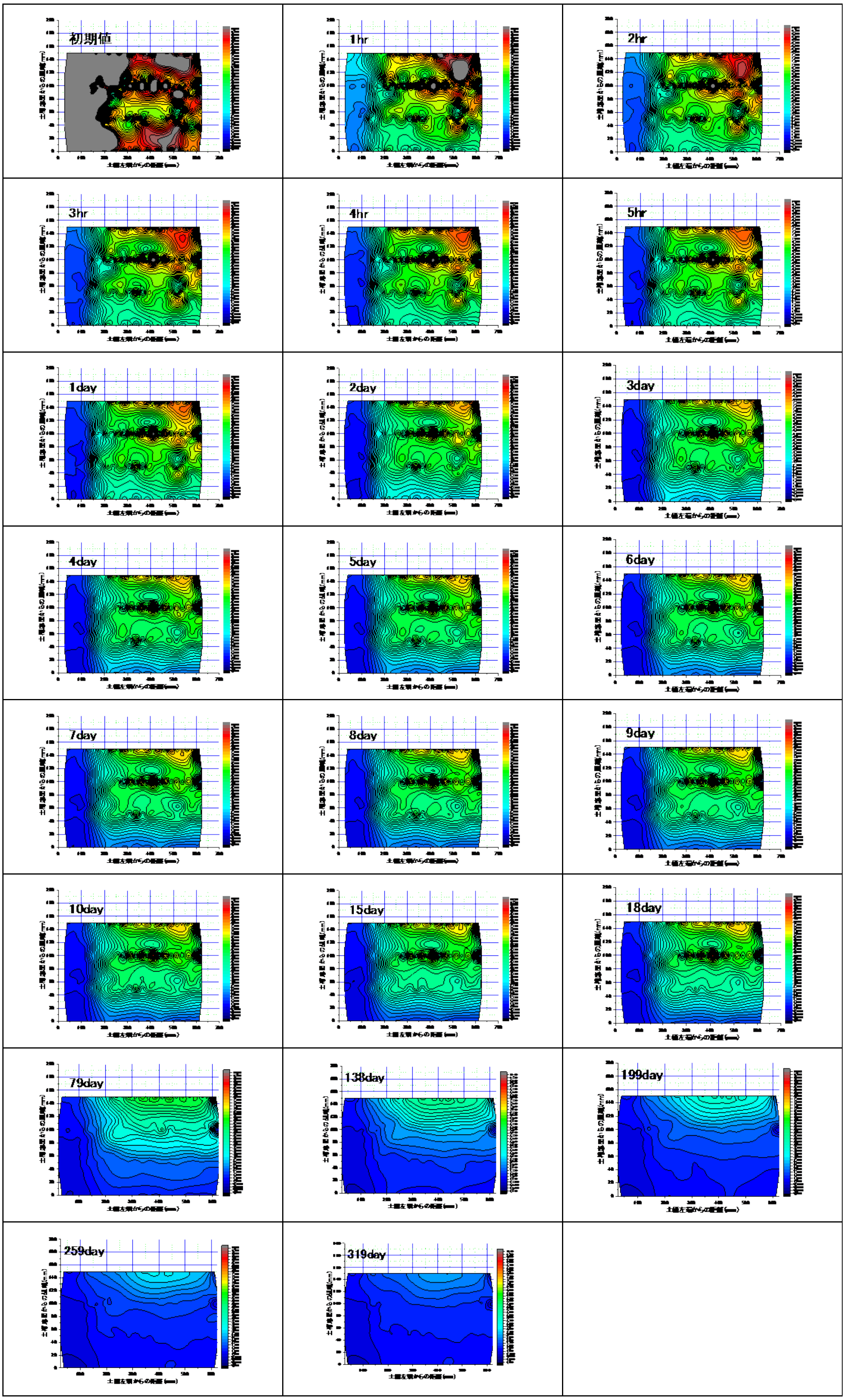


図 7.1.5-1　ブロックとペレット併用ケースの比抵抗分布の変遷

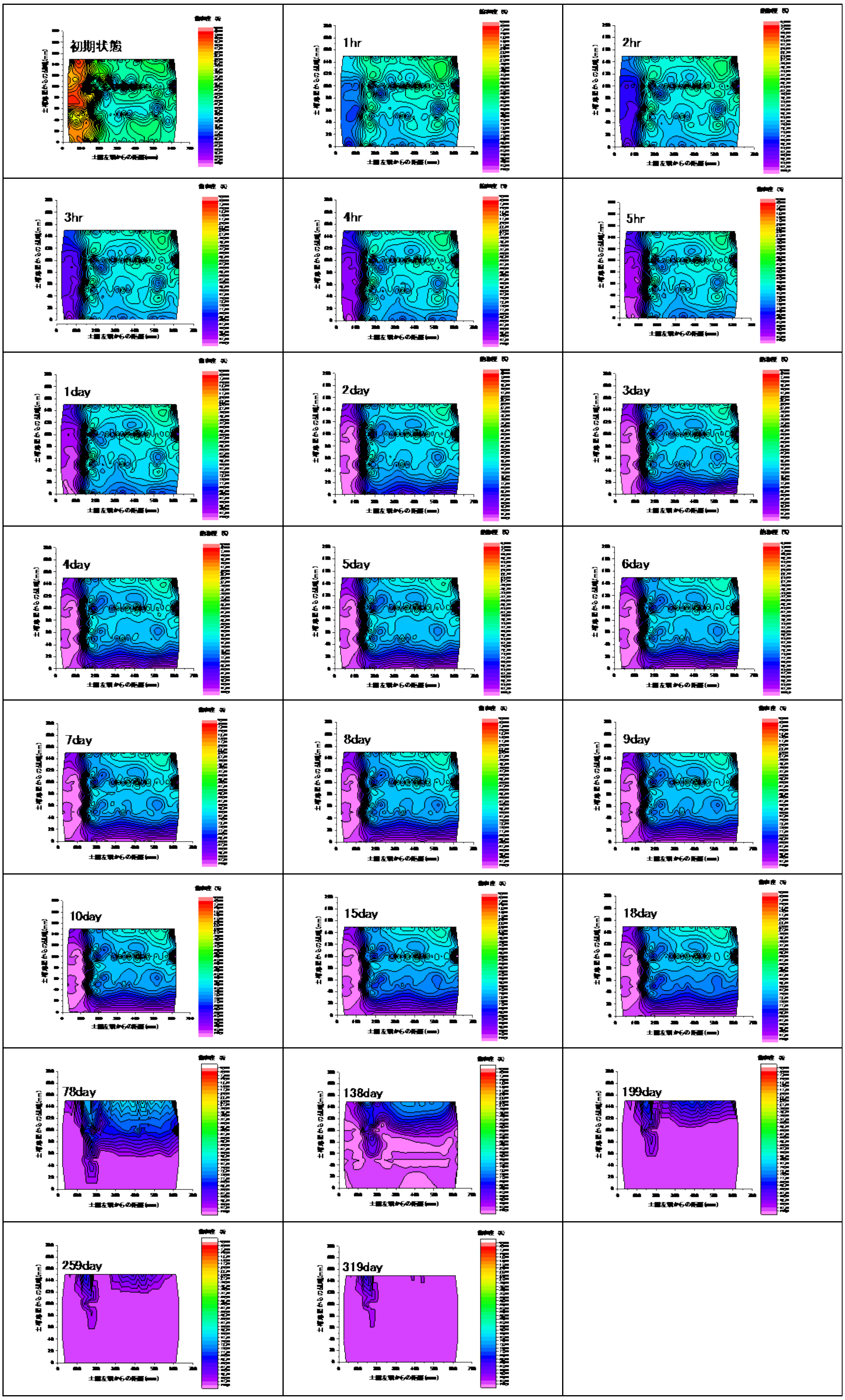


図 7.1.5-2　ブロックとペレット併用ケースの飽和度分布の変遷

図 7.1.5-3 には、ブロックとペレット併用ケースの給水量の経時変化を示す。給水初期の状況を分かりやすくするために時間の対数軸に対して給水量の経時変化を示している。図から、給水開始から 0.8 時間は給水量が急激に増加するが、0.8 時間以降は、流量は急激に小さくなり、給水量は微増傾向となっている。これは、一旦、ペレット部分の大間隙を満たした水がベントナイトの膨潤に消費され、土槽低部のペレットとブロックが隙間をシールしたため、給水量が低下したものと考えられる。これは、目視観察結果と一致している。

さらに時間が経過すると、給水量が漸増している。飽和度分布の変遷に照らして考えると、上部のブロックの方に水が浸潤して飽和度が増加しており、この給水量の増加は、上部ブロックへの浸透によるものだと考えられる。

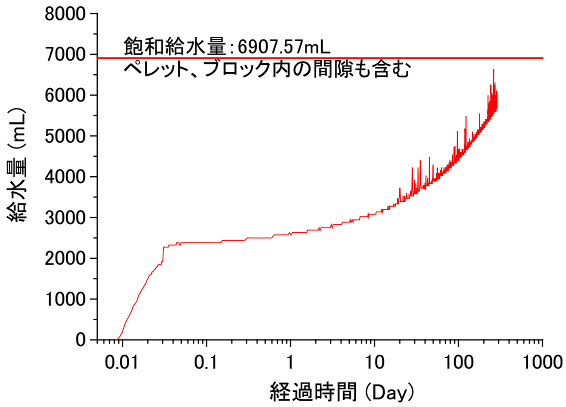


図 7.1.5-3　ブロックとペレット併用ケースの給水量の経時変化

図 7.1.5-4 には、土槽上面に配置した 14 個のロードセルで計測した膨潤圧の経時変化を示す。ロードセルの初期値は、ロードセルを反力盤の役割も兼ねている土槽の上蓋と供試体との間に挟み込んだ際の設置圧である。

図から、ペレットが充填されている範囲が土槽左端から 175mm であるため、それよりも左側のロードセルに関しては給水後、ロードセルの値が急激に低下している。これは給水に伴うコラプスが発生したためだと考えられる。一方、ブロック側のロードセルは、給水に伴って膨潤圧が増加傾向を示している。さらに給水が進むと、ブロック側の膨潤圧が低下し、逆にペレット側の膨潤圧が増加している。これは、ブロックが相対的に密度の低いペレット側に膨潤し、ペレット部を圧縮したためだと考えられる。

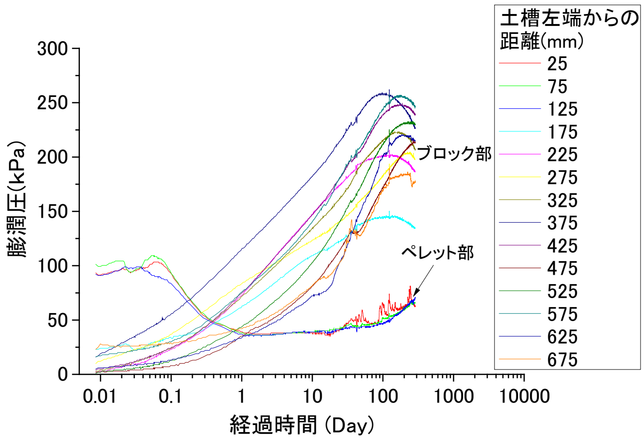


図 7.1.5-4　ブロックとペレット併用ケースの膨潤圧の経時変化

図 7.1.5-5 には、ロードセルで計測した膨潤圧分布の変遷を示す。図から、ペレット領域の膨潤圧は給水開始から 1.5 時間を最大として、それ以降は低下傾向を示している。またその分布はほぼ一定値である。一方、ブロック側の膨潤圧分布は、初期設置圧の影響により、凹凸が激しいことが分かる。この傾向は給水が進んでも未だに解消されていないが、最も膨潤圧の高い箇所（土槽左端から 375mm、575mm 付近）の圧力が低下傾向にある。このため、今後、給水を続ければ、図 7.1.4-13 に示したブロック定置ケースのように、均等な膨潤圧分布に移行していくものと予想される。

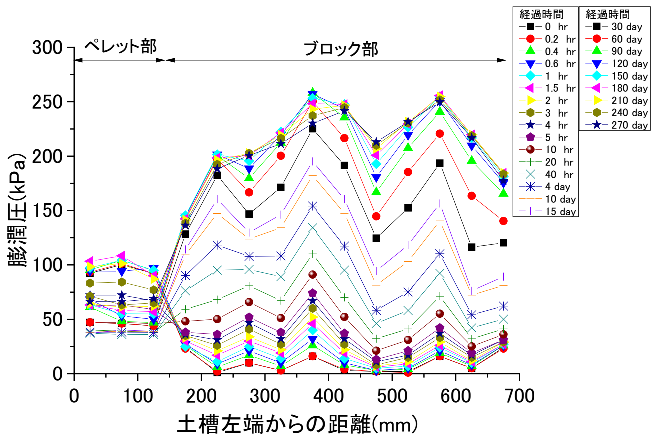


図 7.1.5-5　ブロックとペレット併用ケースの膨潤圧分布の変遷

第8章　浸潤による間隙空気の移行調査

8.1　検討の目的と手段

8.1.1　試験概要

前述の土槽試験によるブロック定置工法を模擬した緩衝材の浸潤試験において、地下水は緩衝材と非膨潤性材料の界面を選択的に浸潤して、その後に緩衝材の深部へ浸潤するという傾向が分かった。この際、ブロックの内部には飽和した緩衝材に囲まれて行き場がなくなった間隙空気が存在し、浸潤した地下水に溶存するか、水圧の分布によっては浮力によって上方向に移動し、その際に緩衝材を破過する可能性も否定できない。

そこで本試験では、図 8.1.1-1 に示す緩衝材の一次元浸潤速度試験において、地下水が緩衝材に下から上に向かって一次元的に浸潤する現象を精度良く評価することができた試験装置を用いて、トラップされた空気が地下水の浸潤挙動に及ぼす影響を調べる。前述の一次元浸潤速度試験では、地下水浸潤に伴う間隙空気圧の増加が地下水浸潤速度に影響を及ぼさないように供試体上端を大気圧解放条件としていた。しかしながら、実際の処分場における地下水の浸潤状況を想定すると、浸潤に伴って間隙空気が緩衝材内部にトラップされ、緩衝材の均一な飽和を阻害する可能性が考えられる。そこで、本試験では、間隙空気が緩衝材内部にトラップされた場合を想定し、上下から給水して地下水浸潤を模擬し、セル中央で間隙空気圧変動を制御・計測する。さらに地下水浸潤挙動は一次元浸潤速度試験と同様に比抵抗変化で計測する。これにより、緩衝材の浸潤挙動へ与える影響を室内試験によって定量的に評価する。

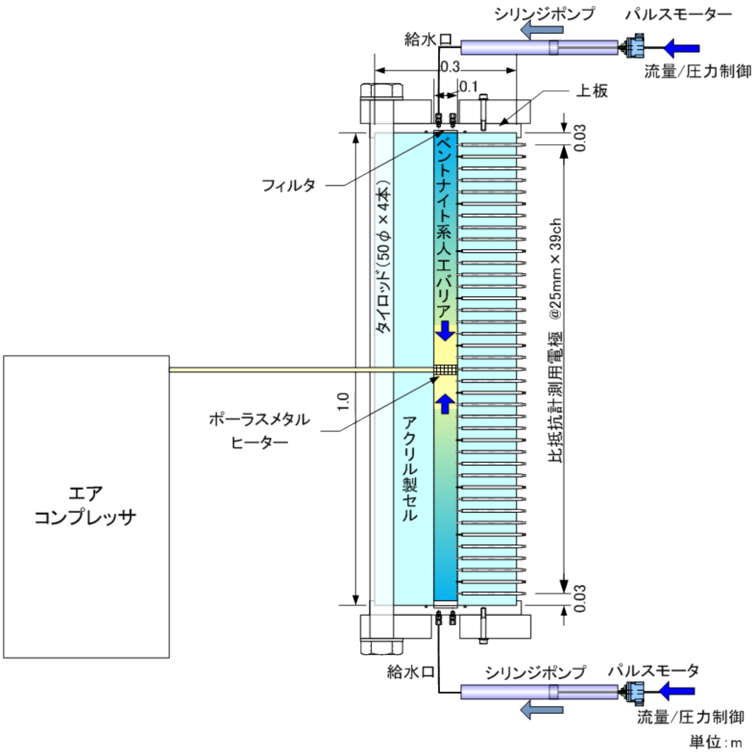


図 8.1.1-1　浸潤による間隙空気の移行試験（イメージ図）

8.2　緩衝材の製作方法

試験に用いる緩衝材の製作には、緩衝材の含水比のばらつきによる不均一な密度分布が試験に影響しないように、平成21年から継続して実施している凍結混合法を採用し、表8.3-1に示す材料仕様を満足するように供試体を作成する。

供試体の作製においては、仕上がり層圧が 5mm となるように撒き出して、200 回程度静的に締固める。乾燥密度が均質になるように実施する。但し、供試体中央付近には間隙空気計測・制御用のポーラスメタルを配置するため、その分だけ緩衝材部分の高さは短くなる。

8.3　浸潤による間隙空気の移行調査手順

試験方法は、緩衝材の一次元浸潤状況を精度よく評価できた実績がある既往の研究[1]と同様に、浸潤状況を比抵抗値の変化として計測する。間隙空気が試験器内部にトラップされたり、供試体内を移行したりする現象も飽和度の変化を伴うため、比抵抗値の変化として計測される。

さらに、一定時間毎に、給水量、比抵抗分布、空気圧を測定する。表 8.3-1 に浸潤による間隙空気の移行試験のケースを示す。

表 8.3-1　浸潤による間隙空気の移行試験のケース

ベントナイト乾燥密度	初期含水比	液種	計測項目	備考
$1.6Mg/m^3$ (Na 型ケイ砂 30wt%混合)	10%	蒸留水	間隙空気圧 比抵抗値 流量 給水圧 空気圧	継続中

図 8.3-1 に浸潤による間隙空気の移行試験手順を示す。試験は、①先ず、初期状態の比抵抗分布を計測する。次に、上下から蒸留水を0.0001cc/minの流量一定で給水する。この間、適宜、比抵抗分布、間隙空気圧を計測する。ある程度の期間、給水圧の上昇や比抵抗分布から湿潤領域の形成がみられない場合には、流速を5倍にして再度試験を継続する。

②次に、給水圧が 100kPa 程度になった、若しくは比抵抗分布から膨潤領域が確認された時点で圧力制御に切り替えて浸潤速度を計測する。初期の通水圧は、流量制御時の通水圧の半分以下を基本とする。この際に、間隙空気に対して大気圧変動幅が有意にならないように50kPaの背圧を付与した後にコックを閉じて封圧して間隙空気圧の変化を計測する。

③最後に、ある程度の浸潤領域が得られた時点で、間隙空気を高めて浸潤領域の変化を取得する。なお、この①～③の手順は、必ずしも単年度で全て実施するのではなく、各試験段階で計測結果を受けて次の試験段階へ移行する。図8.3-2、図8.3-3には、浸潤による間隙空気の移行試験セルと浸潤による間隙空気の移行試験用シリンジポンプユニットを示す。

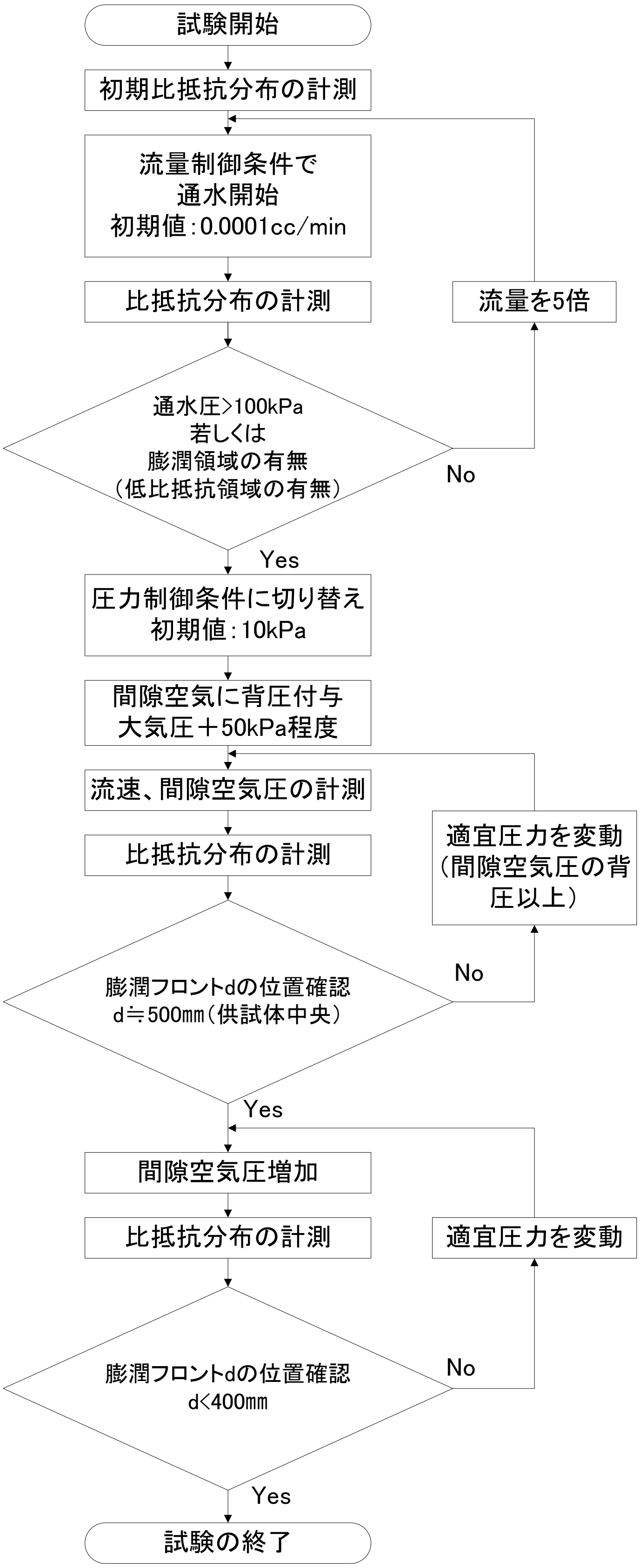


図 8.3-1 浸潤による間隙空気の移行試験手順

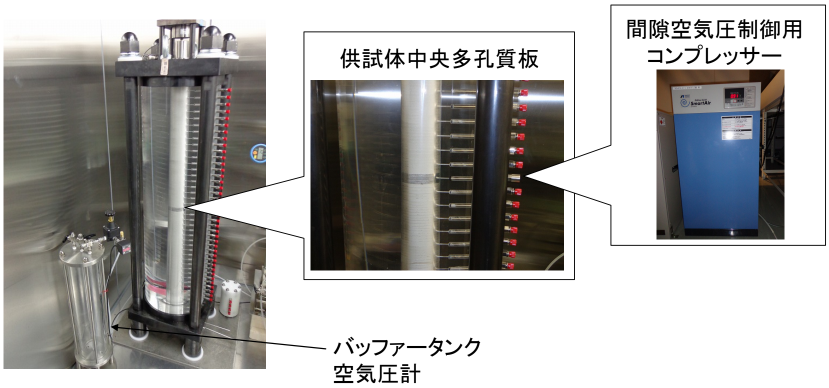


図 8.3-2　浸潤による間隙空気の移行試験セル

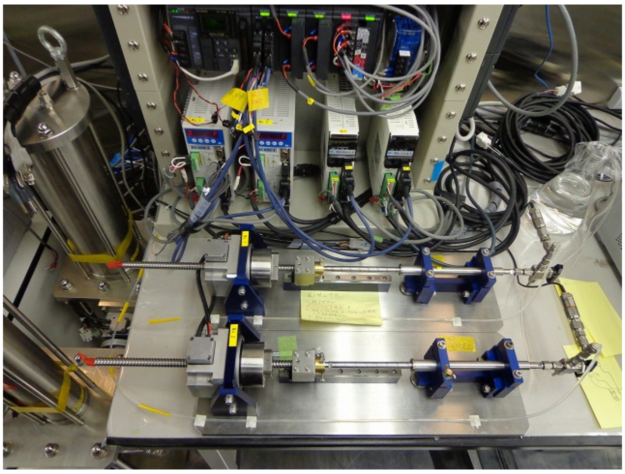


図 8.3-3　浸潤による間隙空気の移行試験用シリンジポンプユニット

8.4　試験結果

8.4.1　流量制御過程

図 8.4.1-1 に給水圧の経時変化を示す。初期の給水流量 0.0001cc/min に比べ自己拡散による吸水速度の方が速かったため、初期段階では給水圧がゼロ～負圧となっている。このため、給水流量を 0.0005cc/min として流量制御で給水を継続した。この結果、供試体下部への給水圧は漸増傾向を示した。一方、供試体上部は、給水流量を 0.0005cc/min に増加させても、依然として給水圧が負圧であった。これは、図 8.4.1-2 に示すように、供試体上部と下部での浸潤状況の差異があるためと考えられる。すなわち、供試体の下部では、供給水の水面が上昇して、その水面が供試体と接して初めての給水が開始される。一旦、給水が始まると、常に一次元的に給水がなされる。一方、供試体の上部では、給水速度が非常に小さいために滴水として供試体に給水がなされる。供試体に到達した水は三次元的に供試体の深部に拡散するために供試体端面で常に不飽和状態となっていると考えられる。

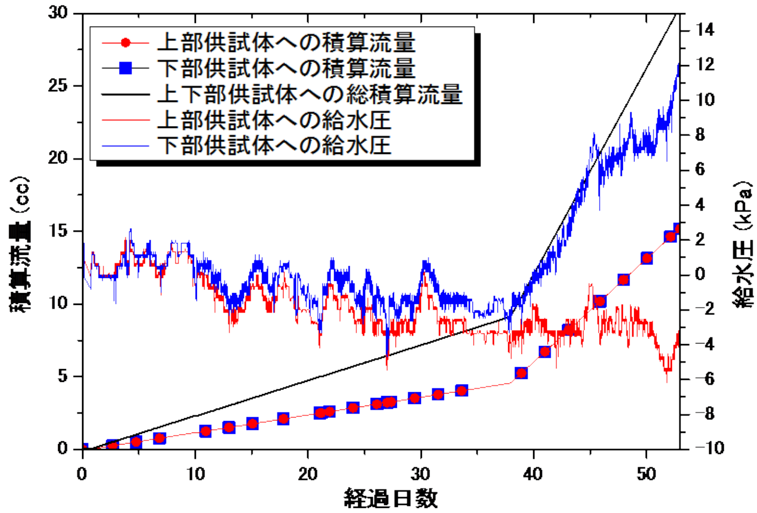


図 8.4.1-1　浸潤による間隙空気の移行試験における給水量と給水圧の経時変化

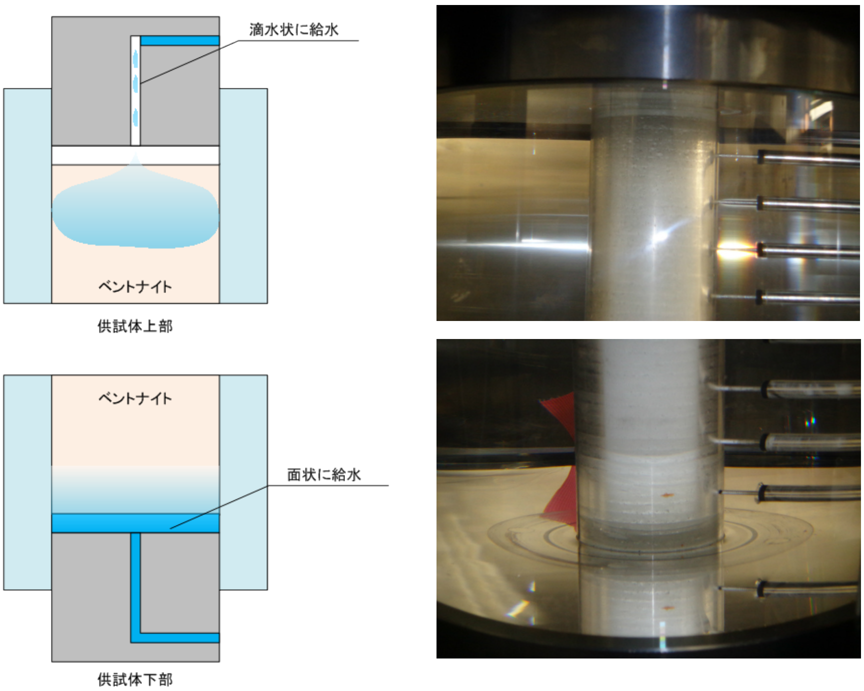


図 8.4.1-2　供試体上部と下部での給水状況の差異

図 8.4.1-3 には給水に伴う間隙空気圧の変化を示している。図には、大気圧変動も併せて示している。図から、間隙空気圧の変動と大気圧の変動が同期しており、変動要因が大気圧変動であることが分かる。よって、試験の初期段階では、給水による空隙体積の減少に伴う間隙空気圧の増加、間隙水への間隙空気の溶解による間隙空気圧の減少などの現象はほとんど発生していないものと考えられる。

また、本試験結果より、浸潤による間隙空気圧の変化量に対して大気圧変動の大きさが有意であると試験結果の傾向を判断する際に差し障る可能性があることが分かった。このため、後述す

る圧力制御過程では、大気圧変動に影響されない圧力計として絶対圧計を採用した。

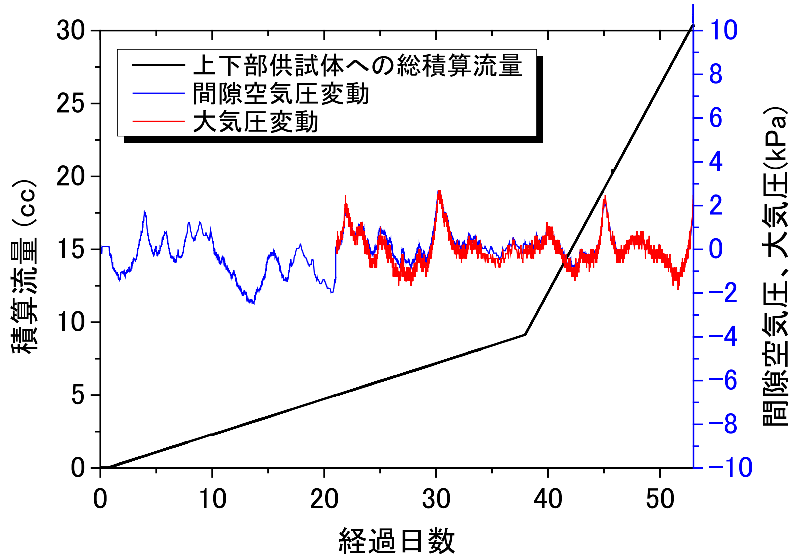


図 8.4.1-3　浸潤による間隙空気の移行試験における間隙空気圧と大気圧の経時変化

図 8.4.1-4 には給水に伴う膨潤圧の変化を示している。図から、膨潤圧は、0.6MPa 程度の値で収束傾向にあることが分かる。この値は、既往の研究[1]における同じベントナイト系人工バリア材料の同密度での膨潤圧試験結果の平衡膨潤圧と同等である。

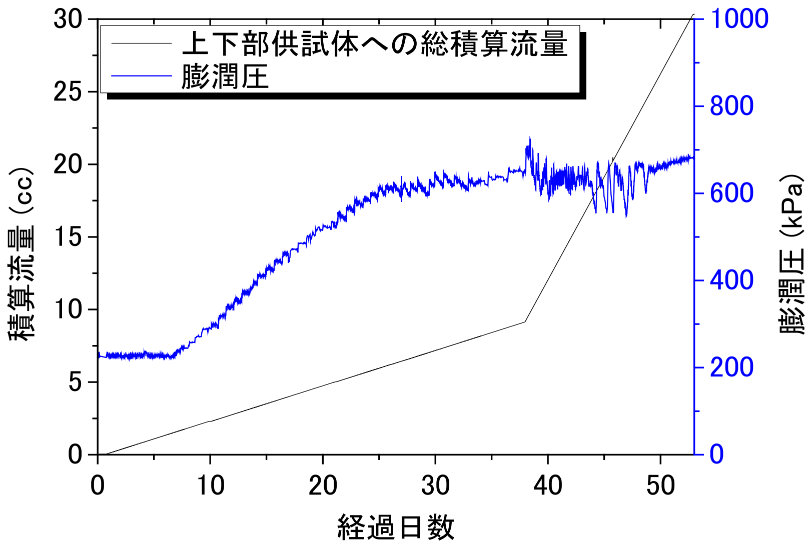


図 8.4.1-4　浸潤による間隙空気の移行試験における流量と膨潤圧の経時変化

図 8.4.1-5 には、給水に伴う比抵抗変化を示している。給水開始から 1 か月程度経過した時点で供試体上部において比抵抗値の低下が発生し、50 日後には、比抵抗値の低下領域が供試体上端から 250mm 程度まで進展しているのに対して、供試体下部では、比抵抗値の低下が給水開始から 50 日程度まで発生しておらず、53 日経過後にようやく比抵抗値の低下が確認できた。これらの違いも、前述の給水状況の差異によるものと考えられる。すなわち、供試体上部では滴水状に給

水されるため、浸潤領域が半径方向に狭く、深度方向に深くなる傾向が予想されるのに対して、供試体下部では、半径方向に広く深度方向に浅くなる傾向が予想される。

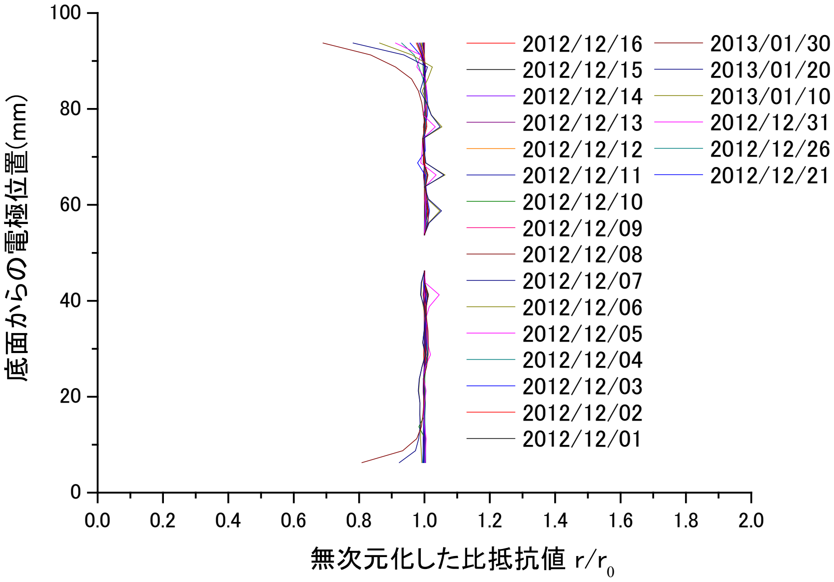


図 8.4.1-5　浸潤による間隙空気の移行試験における比抵抗分布（流量制御過程）

8.4.2　圧力制御過程

前述のように、下部供試体に関しては給水に伴って給水圧が増加傾向を示しており、圧力制御への切り替えることが可能な段階と判断された。一方、上部供試体に関しては、下部供試体と同じ流量を供給したのにも拘らず、一向に給水圧が増加する傾向がみられなかった。これは前述のように、供試体上部と下部での浸潤状況が異なることに起因すると考えられる。よって、供試体上下部で同じ供給量で制御しても、両方でそれぞれ適切な通水圧が発生する流量を決定することは難しいものと考えられる。一方、比抵抗分布に着目すると、50 日目以降では供試体の上下端に比抵抗の低下領域が形成されており、供給水の浸潤に伴う膨潤領域の存在が予想された。そこで、通水開始から 53 日目に圧力制御試験に切り替えた。上部供試体の給水圧が十分に増加していなかったことから、初期の給水圧を 10kPa として段階的に給水圧を増加させ、550 日目に 876kPa まで増加させた。この圧力制御過程では、前述のように圧力計として絶対圧計を採用している。この絶対圧計は、真空状態をゼロとした圧力計である、一般的な大気圧をゼロとしたゲージ圧計よりも 1 気圧（約 101.3kPa）分だけ低く表示される。876kPa はゲージ圧計では約 1MPa に相当する。

図 8.4.2-1 に圧力制御に変更した後の給水圧と給水量の経時変化を示している。図から、流量制御から圧力制御に変更しても給水速度は大きく変化していないことが分かる。このことから、破過などの現象が発生しておらず、供試体の上下面には飽和領域が形成されていることが予想される。また、図には膨潤圧を全応力表示と有効応力表示の両方で示している。図から、全応力の膨潤圧は、給水圧の増加に伴って、増加する傾向を示している。全応力の膨潤圧から、給水圧を減じた有効応力表示の膨潤圧に着目すると、給水圧を増加させると有効応力表示の膨潤圧は減少傾向を示している。これは、給水圧の増加分の全てが全応力の増加に寄与しているのではなく、そ

のうちの幾らかは供試体内部への浸潤や摩擦などによって消費されているものと考えられる。

図 8.4.2-2 には、試験初期段階における大気圧と間隙空気圧の経時変化を示している。間隙空気圧が大気圧変動と同期しており、その変動幅が非常に大きいため浸潤に伴う間隙空気の変動傾向を読み取ることができない。そこで、圧力制御に移行時に、間隙空気圧に 50kPa の背圧を空気圧として与え、さらに圧力計を絶対圧計に変更した。これにより、大気圧変動による間隙空気圧の変動を抑制できていることが分かる。

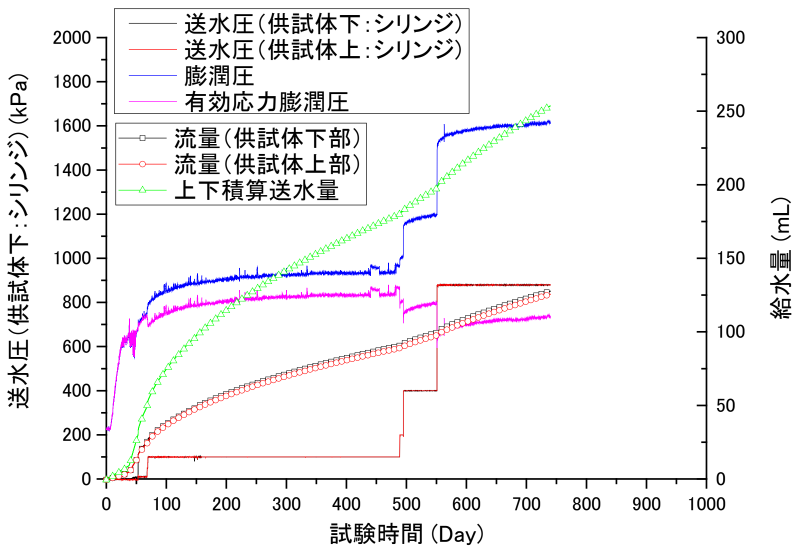


図 8.4.2-1　給水圧と給水量の経時変化（圧力制御過程）

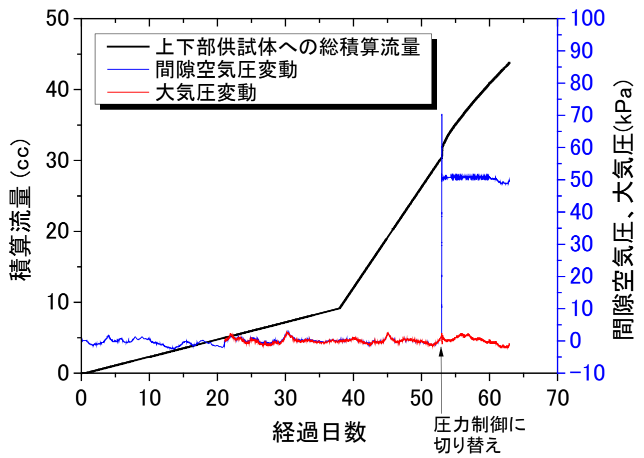


図 8.4.2-2　間隙空気圧と大気圧の経時変化（試験初期段階）

図 8.4.2-3 には、背圧適用後の間隙空気圧と大気圧の経時変化を示している。図から、給水圧が低い段階では、背圧を維持することができずに、背圧が減少傾向を示している。これは、間隙の空気が間隙水に溶存したためだと考えられる。しかしながら、給水圧を 876kPa まで増加させると、減少傾向であった間隙空気圧が増加に転じていることが分かる。この傾向は、今後も継続するものと考えられる。

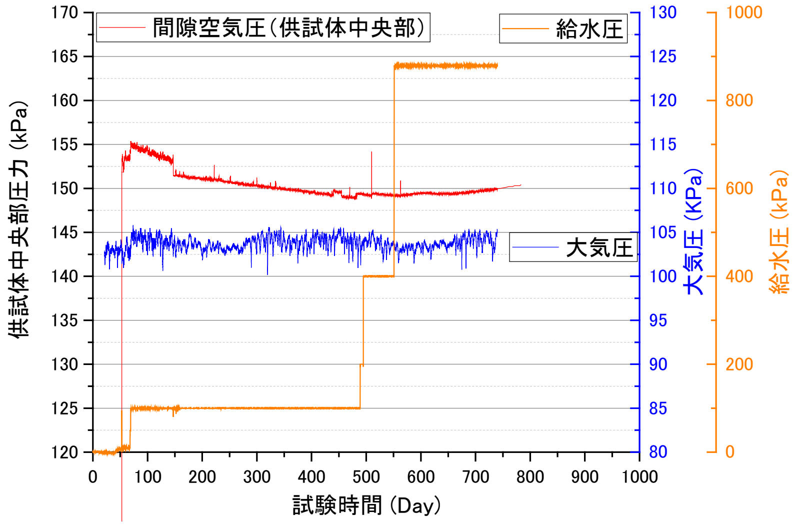


図 8.4.2-3　間隙空気圧と大気圧の経時変化（背圧適用後、圧力制御過程）

図 8.4.2-4 には、圧力制御に変更したのちの浸潤による間隙空気の移行試験における比抵抗分布を示している。10 日程度で比抵抗の低下領域が深部まで進行している傾向がみられるが、給水量の急激な増加などがみられないことから、破過現象などによるものではなく、浸潤フロントの進展によるものと考えられる。図 8.4.2-5 には、比抵抗値から換算した飽和度分布を示す。図から、上部と下部はどちらも供試体の中心に向かってなだらかに飽和度が低下しており、最上下部の電極付近でも飽和度が 90%程度である。仮に飽和領域が供試体内にしないとすると、給水を続けても間隙空気が供試体内から廃棄されてしまうため、通水圧を増加して明確な飽和領域を形成する必要がある。

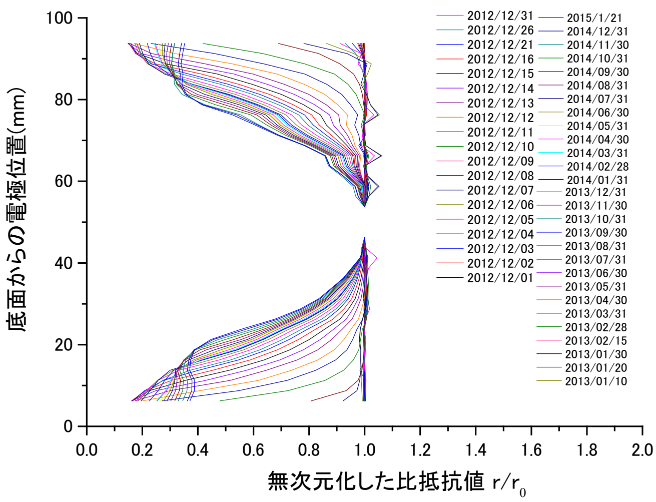


図 8.4.2-4　浸潤による間隙空気の移行試験における比抵抗分布（圧力制御過程）

2014 年に入ってからは、上下面の比抵抗値が低下する傾向を示している。比抵抗値の低下は、乾燥密度が一定の場合、飽和度の低下を意味している。そのため、図 8.4.2-5 に示すように飽和度が低下する傾向として算出されている。しかしながら、仮に浸潤の進行に伴う供試体中央部の膨潤により、供試体の上下端面が圧縮され、乾燥密度が増加したという可能性も否定できない。こ

の場合、飽和度が 100%で一定であったとすると、乾燥密度は比抵抗値と乾燥密度の関係から、1.76～1.79Mg/m³まで増加したことになる。乾燥密度 1.8Mg/m³のクニゲル V1 単体の膨潤圧が、小林ら(2007)[2]に示された完全飽和線から 1.42MPa 程度であり、上下端面に作用している圧力が全応力の膨潤圧として 1.6MPa 程度であることから、圧密による乾燥密度増加が発生する可能性がある。

今後、供試体の解体時に飽和度や乾燥密度分布を計測することによって、現象の解明を行う必要がある。

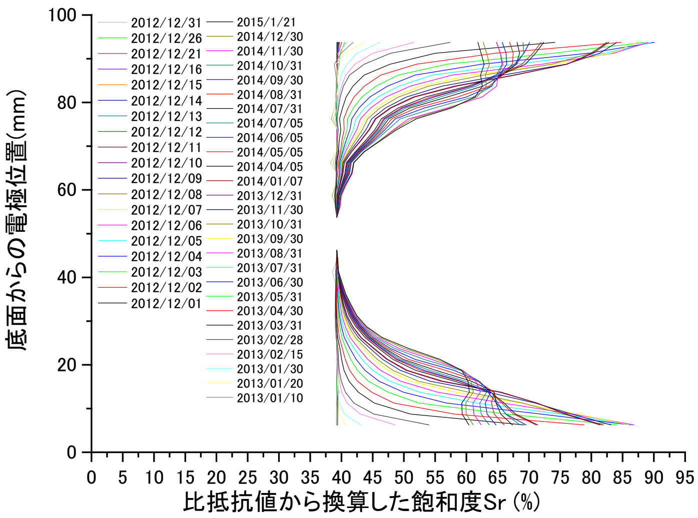


図 8.4.2-5　浸潤による間隙空気の移行試験における飽和度分布（圧力制御過程）

8.4.3　工学技術への反映

本検討では、緩衝材への地下水浸潤の過程で緩衝材内部にトラップされた間隙空気が、その後の地下水浸潤及ぼす影響を実験によって定量的に評価し、その成果を工学技術に反映することを目的としている。図 8.4.3-1 には浸潤による間隙空気の移行試験と同じ状態の竪置き処分施設のイメージを示す。既往の研究[3]における土槽内に設置したブロック緩衝材の 2 次元浸潤挙動評価試験では、供給水は土槽と緩衝材の界面を選択的に浸潤し、浸潤領域が緩衝材を取り囲み、その後ブロック間の隙間に浸潤していくという結果となった。この試験ではブロック施工を模擬しているが、実際のブロック施工では天然バリアとの界面には大きな隙間、若しくはペレットが充填されている可能性が高く、選択的に地下水が浸潤するとは考え難い。本試験条件は、むしろ原位置締固め工法に近いものと考えられる。また、竪置き処分概念では、緩衝材の膨出やパイピングを防ぐ目的で処分孔の上部に蓋を設置する方法が提案されている。このような場合も、蓋と緩衝材の界面には選択的に地下水が浸潤するものと思われる。

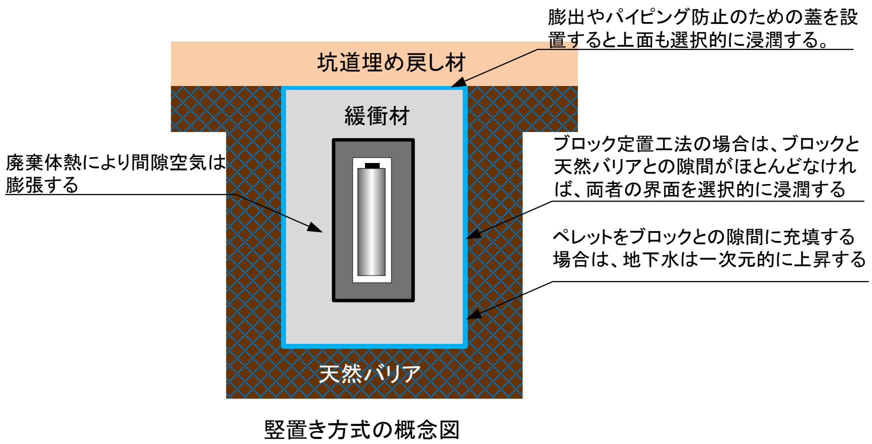


図 8.4.3-1　浸潤による間隙空気の移行のイメージ

本試験の結果、トラップされた空気が地下水に溶け込む速度が浸潤速度よりも遅く、地下水の緩衝材深部への浸潤が妨げられるという結果になれば、地下水浸潤と廃棄体熱で膨張によって加圧された間隙空気が破過する場合が懸念される。さらにトラップされた空気によって浸潤状況が変化するなどの影響があれば、浸潤のさせ方について検討する必要が生じる。すなわち、底部から一次元的に間隙空気が排気されやすいように浸潤させるなどの検討が必要となってくる。

一方、トラップされた空気が地下水に溶け込む速度が浸潤速度よりも速ければ、地下水が緩衝材深部へ浸潤するのと並行して間隙空気が溶解するため、間隙空気圧の上昇が抑制され、上記のような懸念は比較的小さいと考えられる。ただし、水への気体の溶解度は温度が高くなるにつれて小さくなるため、廃棄体熱で浸潤した地下水の温度が上昇すれば再度、間隙空気として析出する可能性があることに注意が必要である。以上をまとめると図 8.4.3-2 のようになる。

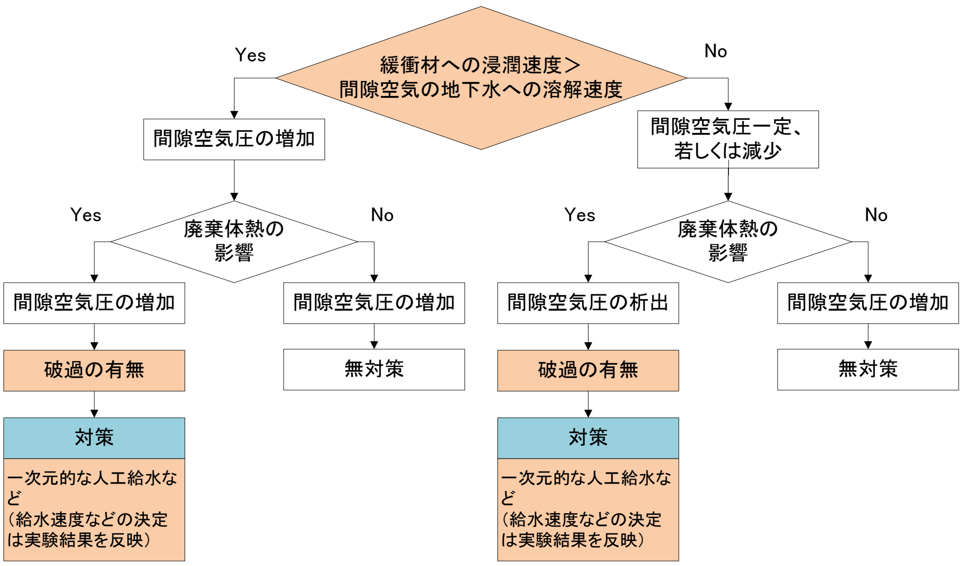


図 8.4.3-2　浸潤による間隙空気の移行試験の工学技術への反映フロー

8.4.4　解析技術への反映

前述のように、緩衝材に地下水が浸潤する場合の間隙空気圧の増加の有無は緩衝材への浸潤速度と間隙空気の地下水への溶解速度の大小関係と廃棄体熱の大きさに依存する。これらの現象は、長期性能評価のためにも重要であり、THMC 解析によって評価されるべき現象である。

緩衝材への浸潤速度や間隙空気の地下水への溶解速度、さらに、これらに対する廃棄体熱の影響を解析するための方法は既に存在しており、本試験結果はこれらのベンチマークとなる試験である。さらに、解析上必要な諸物性を与えるのにも有効である。

第 8 章参考文献

[1] (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 23 年度地層処分技術調査等事業高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第２分冊）－人工バリア品質評価技術の開発－（２／２）(2011).

[2] 小林一三，戸井田克，笹倉剛，太田秀樹：等含水比線と等飽和度線を用いた締固めベントナイトの圧縮･膨潤挙動の解釈，土木学会論文集 C，Vol. 63，No.4，pp.1065-1078 (2007).

[3] (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度地層処分技術調査等事業高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第２分冊）－人工バリア品質評価技術の開発－（２／２）、pp.4-10-4-20 (2012).