

再冠水過程における地下環境を考慮した緩衝材流出試験 ー室内試験による検討ー

石井智子¹, 川久保政洋¹, 小林一三²

1: (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター, 2: 鹿島建設(株)

1. 目的

地層処分概念は多重バリア構造を基本としており、ベントナイト系人工バリア、オーバーパック、天然バリアなどで囲まれた構造になっている。この異種材料界面は地層処分においては地下水の水みちとなることが懸念されている。特に緩衝材と天然バリアの界面では、岩盤からの地下水の湧水が想定されるため、緩衝材が再冠水する際には、岩盤との隙間、充填するペレット部分に水みちが生じることにより、緩衝材が流出し、緩衝材ブロックの膨潤過程において、あるいはペレットのような低密度部で自己シール出来ない状態となった場合、一旦、流出現象が生じると、緩衝材がその性能を損ねる程の量が流出することも考えられる。

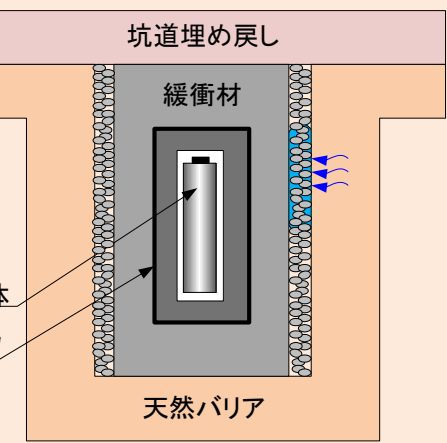
本研究では、緩衝材の施工方法、および地下環境条件を考慮して、緩衝材流出挙動に関して小型セルによる試験を行い、緩衝材流出を防ぐために現象理解を深め、現実的な工学的対策をたてることを目的としている。

2. これまでの研究経緯

これまでの研究で、竖置き概念を対象に、施工方法、緩衝材の形状、密度、通水方向、通水液の液種等をパラメータとして流出試験を行った。

表-1 緩衝材流出試験のパラメータ (小型セル使用)

供試体サイズ：φ110mm×50mm					
施工方法の対象	原位置締固め (隙間なし)	ブロック (隙間あり)	ペレット	ブロック+ペレット	
緩衝材材料	クニゲルV1 100% (主にペレット)	クニゲルV1 70%+ケイ砂 30% (ブロック)	クニピアF (ブロック)		
緩衝材乾燥密度 (Mg/m ³)	1.6 (原位置締固め)	1.6 (ブロック)	1.5程度 (大小ペレット)	ペレット部：1 ブロック部：1.6	ペレット部：1.5 ブロック部：1.6
緩衝材との界面	界面なし (アクリルセル)	緩衝材+緩衝材 (ブロック同士)	セメント	岩 (花崗岩)	
通水量 (L/min)	0.1 (基準)	0.01	0.005	0.001	0.0001
通水方向	底部から上部	上部から上部			
通水液の液種	蒸留水	イオン強度0.5NaCl	イオン強度0.5CaCl ₂	模擬幌延地下水	
人為的な水みちの収斂現象の確認	水みちの位置：界面&界面	水みちの位置：内部のみ	大間隙 (ペレット大小)	ブロック+大間隙1 (ペレット大)	ブロック+大間隙2 (ペレット大小)
流出抑制方法の検討	人工注水による事前の緩衝材膨潤による水みち形成の防止				



竖置き処分孔のイメージ

試験セルと緩衝材の間に隙間がある場合、ペレットを充填した場合に比べて流出量や緩衝材全体に対する流出割合が大きい傾向にある。これは、バルクの流路面積がブロックの方が小さく、流量一定条件下では、間隙を流れる水の速さはブロックの方が速くなるためであると考えられる。また、ペレットの方が、流れが複雑となるために流出を抑制する作用があるものと考えられる。さらに、ペレット部の見かけの乾燥密度を高くしても間隙の体積が小さくなるため、間隙における流速が速くなり緩衝材の流出を防ぐことは出来なかった。

通水液が蒸留水の場合とNaCl水溶液の場合を比較すると、NaCl水溶液の方が流出し難いという結果となった。これは、NaCl水溶液の場合、ベントナイトの凝集・沈殿の方が流出よりも卓越しているため、試験セルから流出する量が少なくなったためであると考えられる。

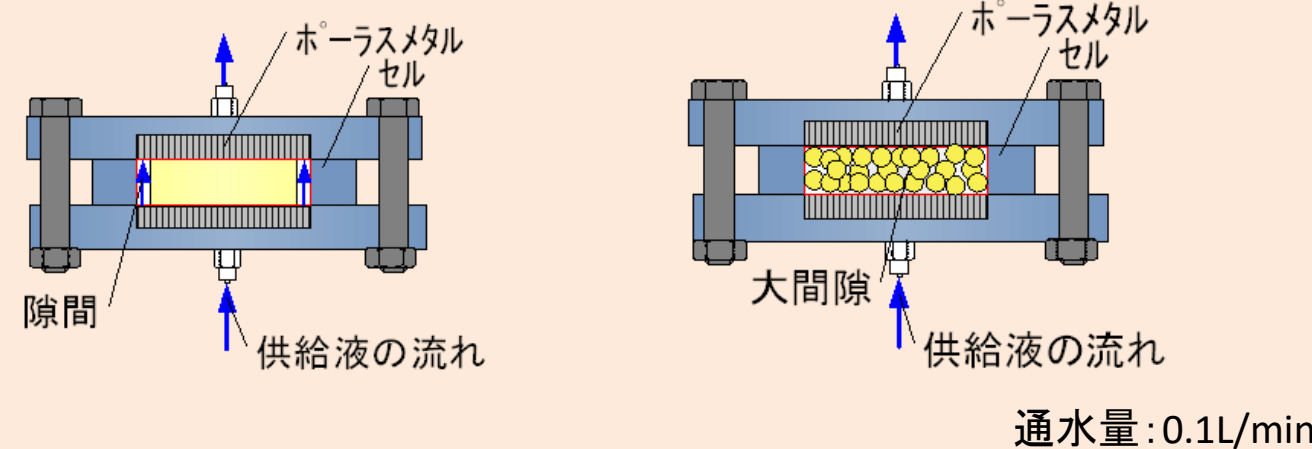


図-1 流出試験用セル

表-2 緩衝材流出状況一覧

	通水液	緩衝材形状	乾燥密度 (Mg/m ³)	緩衝材流出率 (%)	流出速度 (%/hr)
1	蒸留水	ブロック (隙間あり)	1.593	1.593	0.66
2	NaCl (0.5)	ブロック (隙間あり)	1.595	4.87	0.39
3	蒸留水	ペレット	1.105	5.34	0.38
4	蒸留水	ペレット	1.500	9.60	0.42
5	蒸留水	ペレット	1.570	5.75	0.30
6	NaCl (0.5)	ペレット	1.106	0.77	0.21

3. 幌延地下水を模擬した通水液での試験

本試験は、これまでの結果をより現実的な地下水組成での緩衝材の流出現象や水みちの収斂状況を観察するものである。流出試験の通水液を幌延深地層研究センターの350mの坑道で採取された地下水の組成をもとに主要イオン濃度を決定した模擬幌延地下水を調製し、試験に用いた。緩衝材として大小ペレット充填し、乾燥密度は約1.5Mg/m³とした。

① 水みち試験

通水初期段階で供試体の大間隙を連ねた水みちが、供試体とセルとの界面に複数形成され、そのうちの1本の水みち形成に収斂し、次第に成長した。写真から、通水開始から12時間で大きな水みちが形成された。この水みちは、その後も太さや位置が変化することなく一定であった。模擬幌延地下水のイオン強度が0.18程度であるため、イオン強度が0.5のNaCl水溶液やCaCl₂水溶液のように、流出したベントナイトが塊状であったり、沈殿物が水みち内で上下動するような現象は見られなかった。

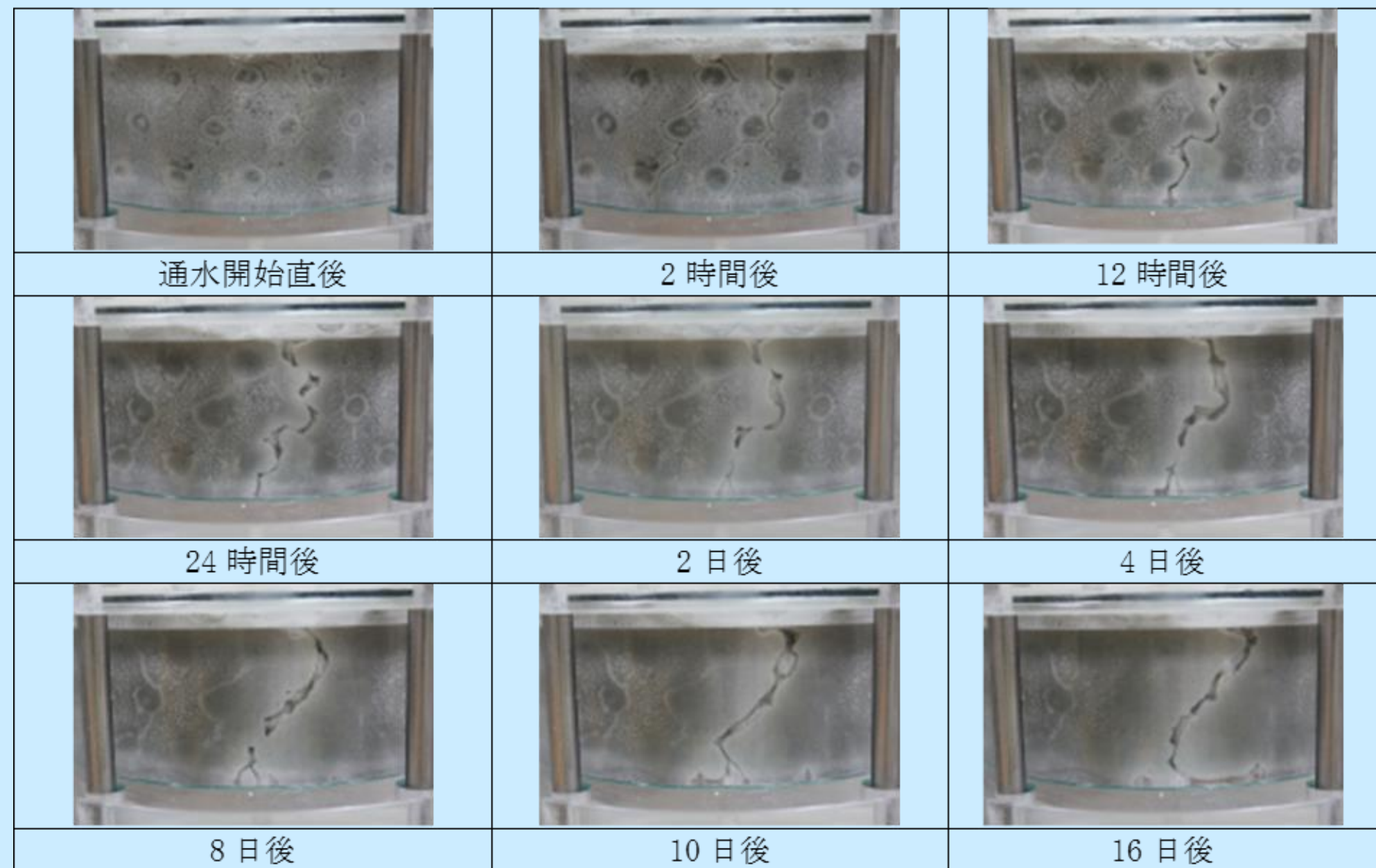


図-2 水みちの形成状況 (模擬幌延地下水・0.1L/min, ペレット)

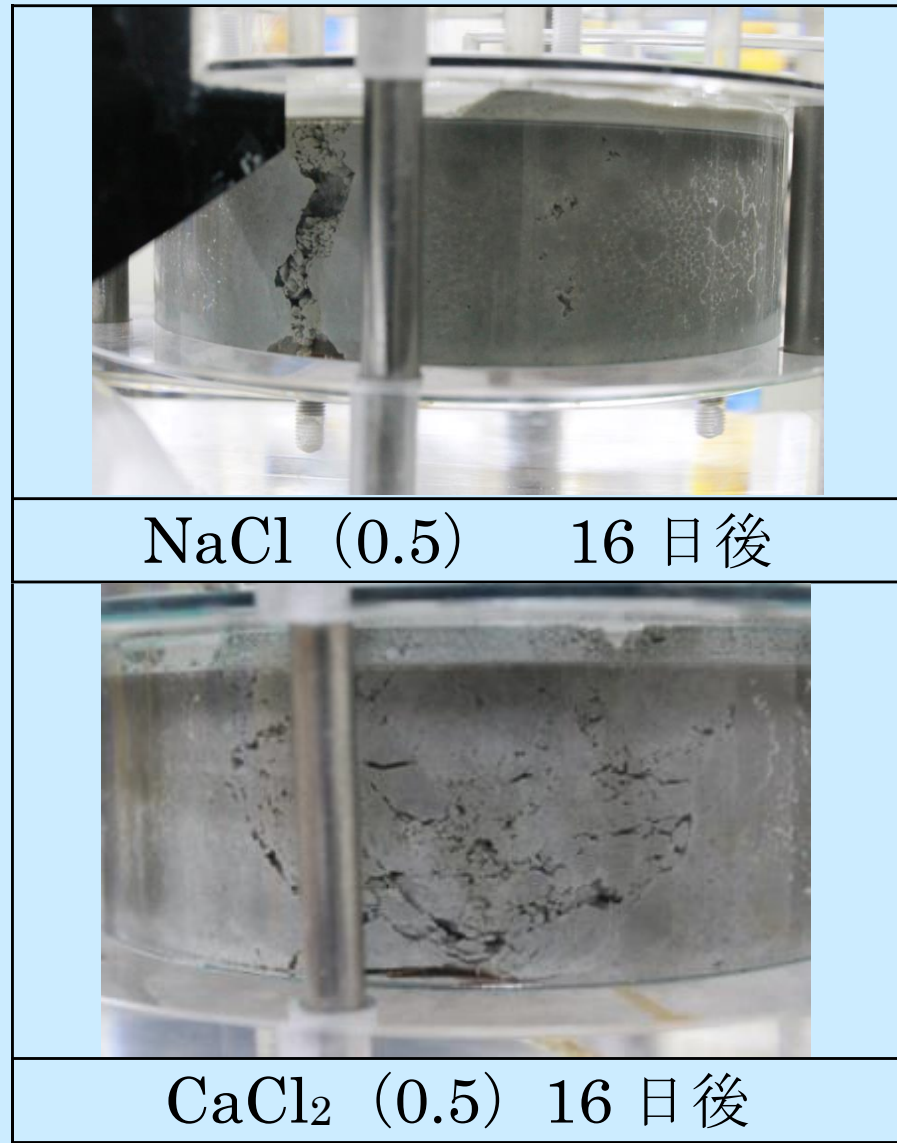


図-3 イオン強度0.5での試験状況

表-3 模擬幌延地下水の組成

試薬	ppm	Mol/L
NaCl	5200	8.9E-02
NaHCO ₃	3000	3.6E-02
CaCl ₂	180	1.6E-03
KCl	230	3.1E-03
MgCl ₂	190	2.0E-03
H ₃ BO ₃	410	6.6E-03

② 人工給水試験

緩衝材に水みちが形成されないように流量等を制御しながら給水して、緩衝材が十分に膨潤すれば、界面には間隙がなくなり、その後に地下水が浸潤しようとしても緩衝材内には拡散でしか浸潤できず、水みちが形成され難いものと考えられる(プレハイドレーション効果)。そのため、ブロックと大小ペレットを併用したケースに対して、人工給水の効果について検討を行った。

人工給水は、①供試体作成後、0.1L/minで模擬幌延地下水を通水、②供試体上面まで水が到達したら通水停止、③供試体下部通水口にビューレットを接続して自然給水、という手順で実施した。

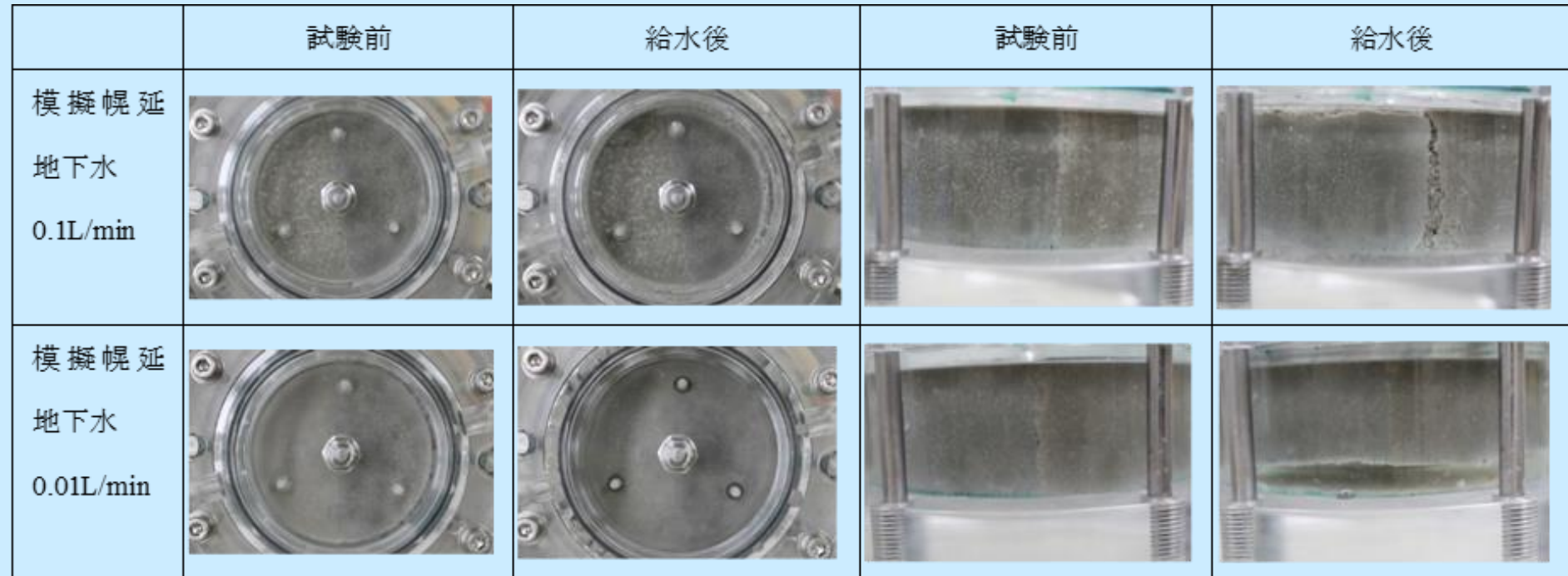


図-4 人工給水後の流出試験の状況

破過は膨潤圧と通水圧だけでは決まらず、地下水組成や給水と排水の位置関係(境界条件)や流速(供試体に浸潤する割合)などによる複合的な作用によって決まることが分かった。

4. 花崗岩セルを用いた試験

実際の処分環境に近い透水性のあるセルを用いても水みち形成状況に変化がないことを確認する目的で実施した。(花崗岩: 稲田花崗岩, 透水係数 5×10^{-12} m/s程度)

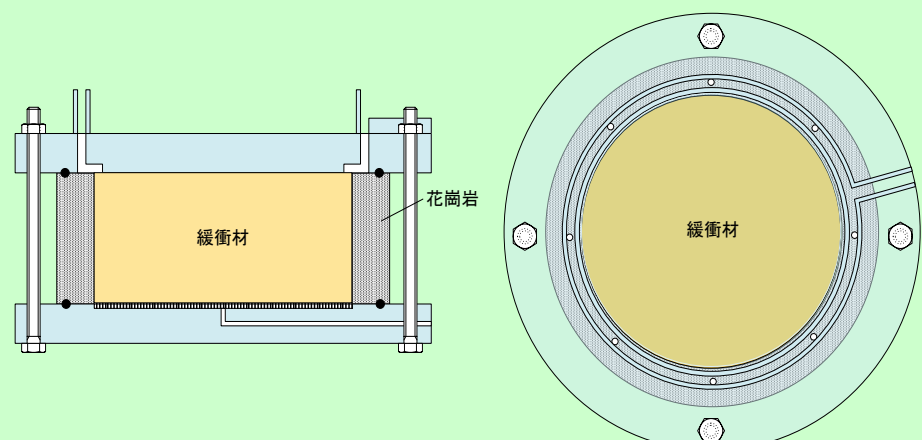


図-5 花崗岩を側面にしたセル (上面はアクリル)

通水初期段階では水みちが、供試体とセルとの界面だけでなく、供試体内部にも複数形成されたが、最終的には供試体とセルとの界面の1本の水みちに収斂し、次第に成長した。通水開始から4日目には大きな水みちとなり、通水を継続する過程で大きな隙間となった。

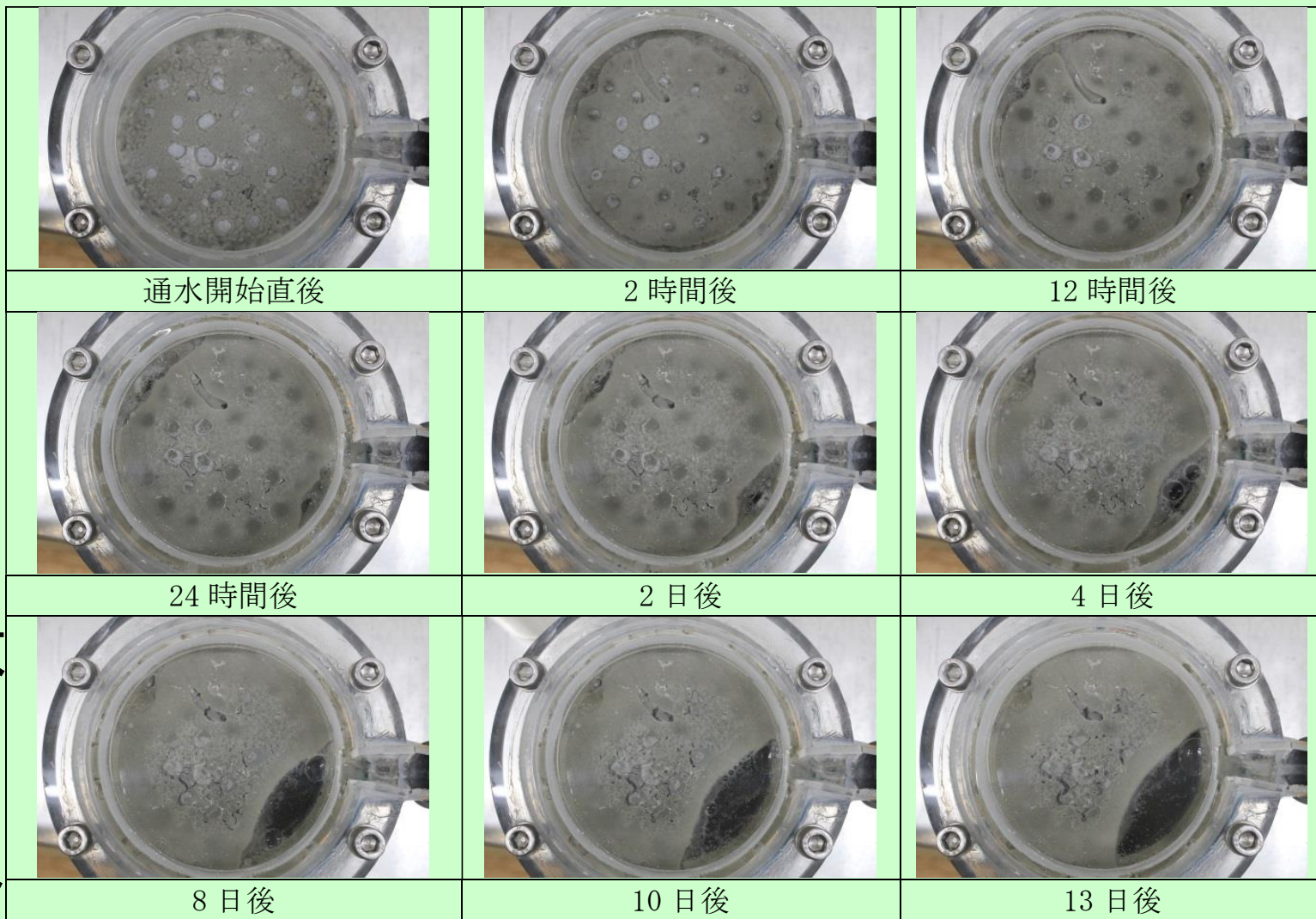


図-6 花崗岩セルでの水みち形成状況

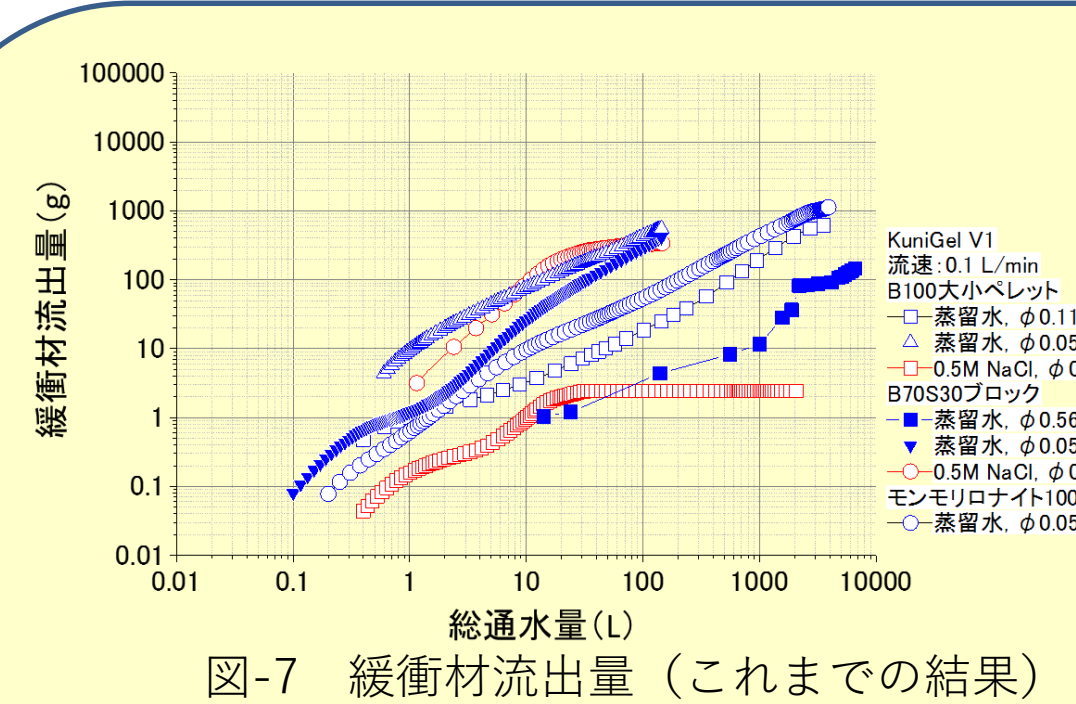


図-7 緩衝材流出量 (これまでの結果)

- 模擬幌延地下水での緩衝材流出は、海水程度のイオン強度の溶液よりも蒸留水の結果に近かった。
- 透水性のあるセルを使っても界面に水みちが形成され、流出量も蒸留水の場合と同等であった。

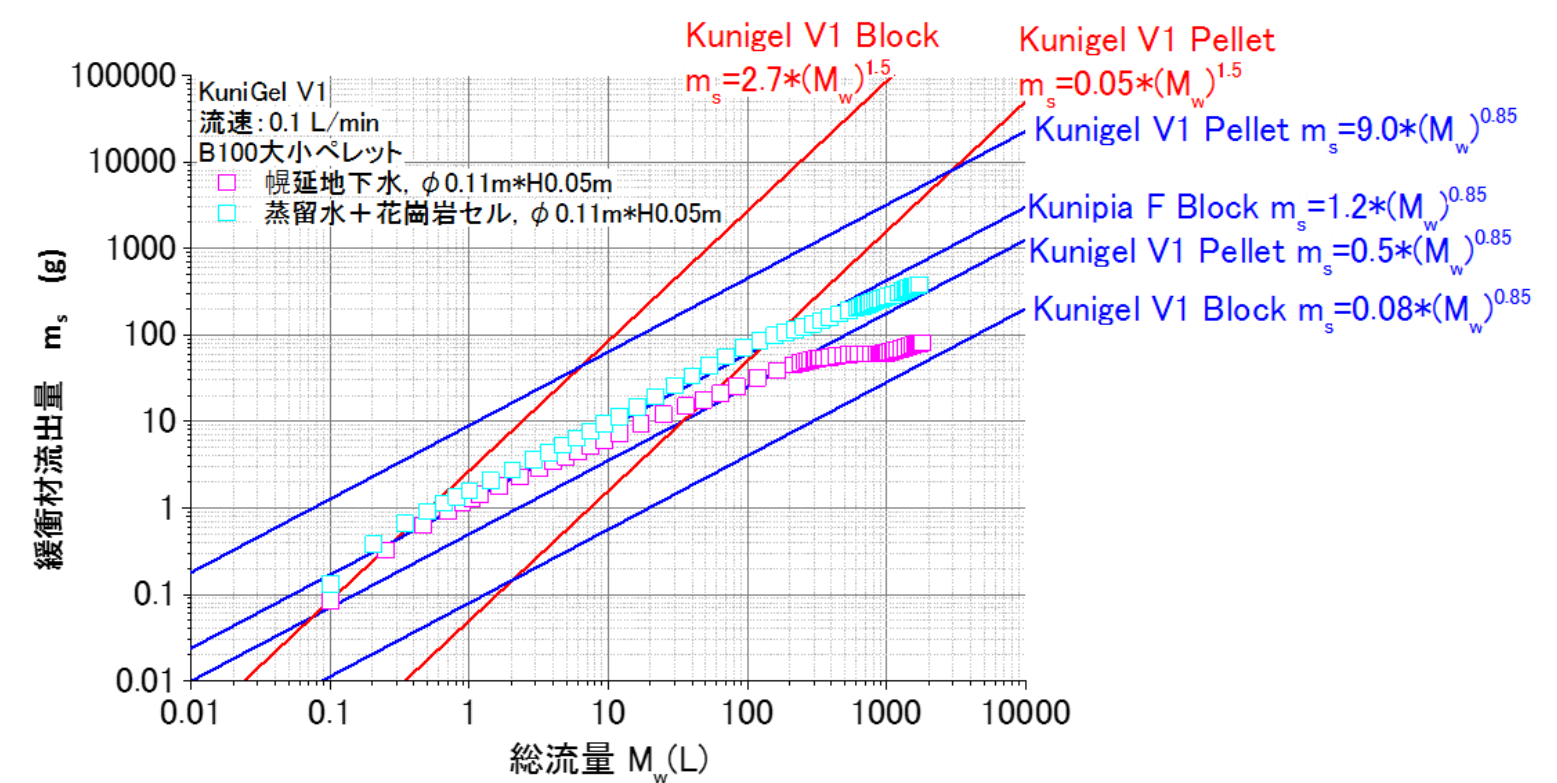


図-8 総流量と緩衝材流出量の関係 (本発表の結果)

工学規模試験、および幌延地下環境での試験

土木学会平成28年度全国大会で発表予定

5. まとめ

- 実環境を考慮した試験として、幌延の地下水を模擬した緩衝材流出試験および、透水性のある境界面がある場合の流出試験を小型規模で行った。その結果、イオン濃度が海水の1/3程度であれば、蒸留水と同等の結果が得られた。そのため、幌延地下環境での緩衝材流出を評価する際には、地下水組成、岩盤の透水性の影響は大きくないと考えることができる。
- 緩衝材流出を防ぐ方法として人工給水を考えた場合、模擬幌延地下水程度のイオン強度を有する地下水で人工給水してもプレハイドレーション効果が十分に得られない可能性がある。実際の処分場の規模やインフラ整備などに鑑みると、蒸留水や水道水などで人工給水することが必ずしも現実的ではない可能性もあるため、どの程度のイオン強度であれば十分な効果が得られるかということに対する知見を得ておくことは重要である。人工給水に用いる水溶液のイオン強度をパラメータとした検討を実施し、人工給水を緩衝材流出の対策として採用できるかを含め、検討する必要がある。