

地層処分におけるグラウト技術の高度化開発(その3)

—溶液型グラウト材料の長期耐久性試験—

清水建設 正会員 ○杉山博一, 延藤 遵

日本原子力研究開発機構 正会員 福岡奈緒美, 新貝文昭

強化土エンジニアリング フェロー会員 島田俊介, 正会員 小山忠雄, 木嶋正, 寺島麗

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設の長期性能に及ぼす影響や許容湧水量の抑制の観点から適切なグラウト材料の研究を行っている(シリーズその2, 4参照). 筆者らは開口幅 50 μm 未満を目安とする微小な亀裂への浸透性や耐久性に優れている溶液型グラウト材料(コロイダルシリカ, 以下 CS と記す)に着目し, 基礎的な物性試験を行ってきた. 本報では前報¹⁾に引き続き, 溶液型グラウト材料の作業中の長期間耐久性に着目した試験結果について報告する.

2. 実験方法

前報では既往文献²⁾に倣った「標準試験」の結果について報告した. 今回は, 標準試験に加えて「促進試験」を追加して行った. なお, 対象とする CS は, 前報の結果を総合的に判断し3種類に絞った(表-1).

(1) 標準試験: 栓付 200mL メスフラスコに溶液型グラウト 100mL, 養生水としてイオン交換水を 100mL 投入して 20 $^{\circ}\text{C}$ の恒温室で養生した(図-1, 左). 1ヶ月ごとに養生水を全量採取し, その化学組成を後述する分析方法にて測定した.

(2) 促進試験: 「標準試験」に比べてゲルの比表面積を増加させてシリカの溶出を促進させ, さらにゲル体積に対する養生水量を増やして養生水中のシリカ濃度が飽和に達する期間を延ばすことでシリカの溶出速度を確認可能となる試験条件とした. 具体的には, シャーレ($\phi 70\text{mm}$)に 40mL の溶液型グラウトを作製し, 3,000mL の養生水で1ヶ月間養生した(図-1, 右). 1ヶ月後, 養生水の半分(1,500mL)を取り出して水の分析を行い, 同時に, 同量のイオン交換水を追加し, 水中養生を継続した. また, CS の1年以上の長期安定性を評価するため, 55 $^{\circ}\text{C}$, 100%RH の条件で養生する方法(以後, 加温促進養生と記す)で1年相当養生した供試体を作製し, さらに配合 1-2 については加賀³⁾による加温促進養生に伴う促進倍率(30倍)に従い, 3年及び10年間相当養生した供試体を作製した(表-2).

(3) 養生水の分析方法: 養生水に含まれる全シリカ, および硬化促進剤の溶出状況は誘導結合プラズマ発光分光分析(ICP-AES), およびイオンクロマトグラフィー法により測定した. 特に, ICP-AES では 0.45 μm のフィルターを用いて, 粒径が 0.45 μm 以下の全シリカ濃度を測定した.

3. 実験結果

(1) 標準試験: 全シリカの1ヶ月ごとの溶出率(シリカ配合

表-1 CSの種類, 特徴と配合

配合番号	1-2	2-1	3-1	
CS種類	Hi30	20AL	30S	
SiO ₂ 濃度(%)	30	20	30	
平均粒径(nm)	10-20	10-20	7-10	
特徴	汎用品	CS表面をAl改質	粒径小	
配合				
CS	容積(mL)	32.00	32.00	32.00
	質量(g)	38.82	36.22	38.78
	SiO ₂ 重量(g)	11.65	7.24	11.63
硬化促進剤	容積(mL)	0.294	0.243	0.247
	質量(g)	0.588	0.486	0.494
水	容積(mL)	7.71	7.76	7.75
	質量(g)	7.71	7.76	7.75



図-1 養生状況(左; 標準試験, 右; 促進試験)

表-2 「促進試験」の養生条件

養生条件	標準養生	加温促進養生		
	(20 $^{\circ}\text{C}$)	(55 $^{\circ}\text{C}$, 100%RH)		
実養生時間	1日	12日	36日	120日
促進養生相当期間	0年	1年	3年*	10年**
配合番号 1-2	●	●	●	●**
配合番号 2-1	●	●	—	—
配合番号 3-1	●	●	—	—

*参考文献²⁾より促進倍率を30と仮定

**現在分析中

量に対する溶出シリカ量の比率) と、その累積値の変化を図-2 に示す。また、養生水の pH と養生水中の全シリカ濃度の関係を図-3 に示す。なお、図-3 中には既往研究³⁾における pH とアモルファスシリカの飽和濃度との関係(養生温度 25℃)を重ねて示す。図-2 において、1ヶ月ごとの溶出率は 5~6ヶ月後にピークが見られ、その後多少低下しているが、図-3 に示すように pH との関係で整理して養生温度の違いを考慮すると、養生水中の全シリカ量はほぼアモルファスシリカの飽和濃度となっており、CS からの全シリカの溶出量はアモルファスシリカの溶解量が支配的であることが示唆された。次に、硬化促進剤の累積溶出率の状況を図-4 に示す。毎月全量の養生水(イオン交換水)が交換されるため、溶出率は概ね1ヶ月ごとに半減をくり返しながら平衡状態に達し、この15ヶ月間ではほぼ全量が溶出している状況が観察された。

(2) 促進試験：表-3 は促進試験でのシリカの累積溶出率を示す。なお、表中の経過期間は、それぞれの促進養生相当期間に試験期間を加算した値を示す。促進養生なしの場合、配合番号 2-1 についてはゲルの溶出率が大きい。これは、配合番号 2-1 は CS 粒子の表面を改質しているため、他に比較してシロキサン結合が進んでいないことが理由と考えられる。一方、他の配合については、加温促進養生した場合と促進養生無しの場合においてシリカ溶出率はほぼ同程度であり、少なくとも 38ヶ月間程度はシリカの溶出速度は変化しないものと言える。

4. まとめ

CS の耐久性を評価するため、シリカの溶出試験を実施した。その結果、CS からの全シリカの溶出量は、アモルファスシリカの溶解量が支配的であることが示唆され、さらに溶解速度に関しては3年間程度では変化しないことが判明した。一方、硬化促進剤は短期間に養生水中に溶出する結果となった。今後 CS の耐久性を最終的に評価するためには、CS と接触する地下水量や地下水と CS の接触面積等を適切に評価する必要があると言える。

なお、本研究は経済産業省資源エネルギー庁の「平成21年度地層処分技術調査等委託費(高レベル放射性廃棄物処分関連：地下坑道施工技術高度化開発)」の一部として実施したものである。

参考文献：1) 新貝文昭, 杉山博一, 延藤遵：地層処分におけるグラウト技術の高度化開発(その5)ー溶液型グラウト材料の適用性に関する試験ー, 土木学会第64回年次学術講演会, CS5-005, 2009年9月, 2) 加賀宗彦：水ガラス系注入材の安定性と注入固結砂の長期強度の予測, 土木学会論文集, No.652/III-51, 195-205, 2000.6, 3) Iler K. R. : The Chemistry of Silica, John Wiley & Sons, Inc., 1979

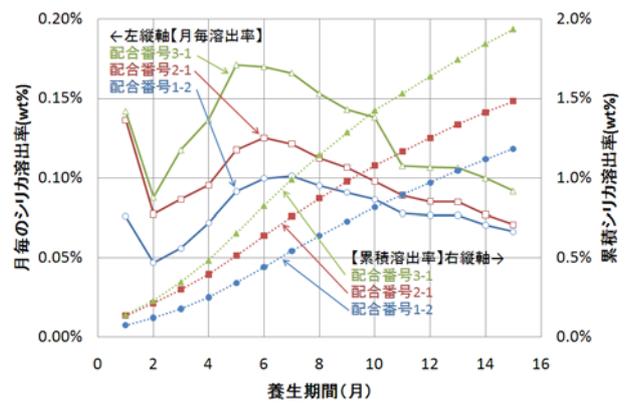


図-2 シリカの溶出濃度の変化(標準試験)

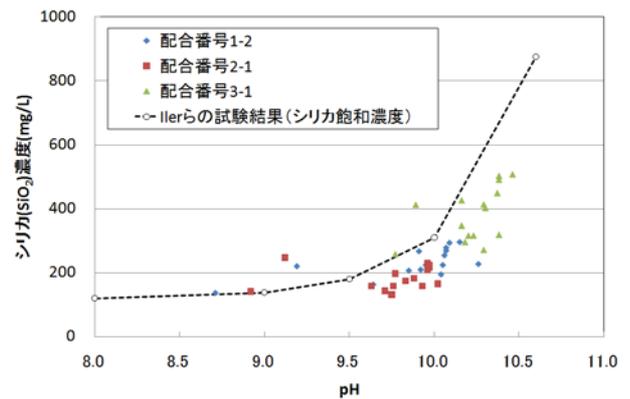


図-3 pH とシリカ濃度の関係(標準試験)

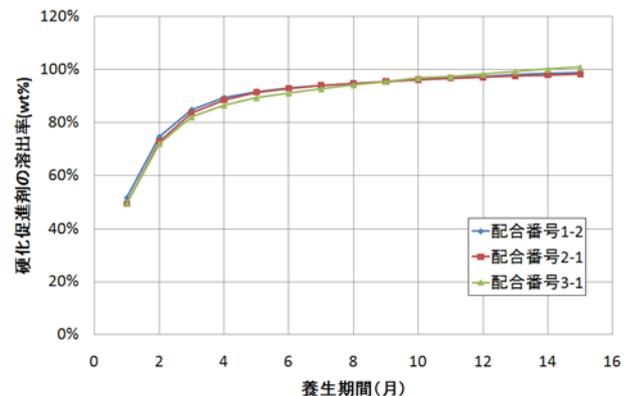


図-4 硬化促進剤の溶出状況(標準試験)

表-3 シリカの累積溶出率(促進試験)

促進養生相当期間	配合番号	試験期間		
		1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後
促進養生無し(0年)	経過期間	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後
	1-2	1.26%	2.91%	(分析中)
	2-1	9.02%	17.84%	(分析中)
	3-1	2.43%	5.02%	(分析中)
1年相当*	経過期間	13ヶ月後	14ヶ月後	15ヶ月後
	1-2	1.08%	1.91%	2.82%
	2-1	1.26%	1.84%	2.59%
	3-1	1.46%	2.47%	3.72%
3年相当*	経過期間	37ヶ月後	38ヶ月後	39ヶ月後
	1-2	1.25%	1.99%	(分析中)

*参考文献²⁾より促進倍率を30と仮定