大深度地下坑道掘削工事に適用すべきグラウト配合に関する予備的検討

清水建設株式会社　正会員　○延藤　遵　小林　伸司
日本原子力研究開発機構　正会員　見掛　信一郎　正会員　松井　裕哉
岡山大学環境理工学部　正会員　西垣　誠

１．はじめに

地下水の豊富なわが国において、放射性廃棄物処分施設等を地下深部に建設する際には、大量の湧水の発生が予想されるため、坑道内への湧水を抑制するグラウト工（特に、坑道掘削に先立ちグラウト注入を実施するプレグラウト工）が大変重要となる。トンネル工事におけるグラウト工は、切羽を占有し坑道の掘進速度を大幅に遅延させるため、微小な岩盤亀裂まで確実に止水注入できる高い施工品質に加えて、工期短縮を実現する施工の合理性が要求される。一般に、水セメント比の高い低濃度配合のグラウト材料は、微小亀裂への浸透性に優れる反面強度発現性に劣るため、ダムグラウトにおいては低濃度配合から注入を開始し、注入量に応じて高濃度配合へと切替える配合切替が実施されている。しかしながら、低濃度の初期配合から配合を多数回切り替えることは注入時間の増大に結びつく上に、注入量が少ない場合には、高濃度配合に切り替わることなく低濃度配合のみの注入で終了することになる。一方、通常のダムグラウトと異なり、大深度地下掘削工事においては掘削時に極めて高い動水勾配が作用するため、強度発現性に劣る低濃度配合は掘削時の物理的安定性が懸念される。そこで、大深度地下掘削に適用すべきグラウト配合の検討に資する基礎データを整備することを目的に、様々な配合濃度（水セメント比）を有するセメントグラウトの材料物性を室内試験により確認したので、ここに報告する。

２．試験項目及び試験方法

大深度地下掘削工事のプレグラウト工法に使用すべきグラウト材料への要求性能には明確な規定はないが、一般に以下の性能が要求されるものと考えられる。

・浸透性：スラリー中のセメント粒径が微小で、スラリーの粘性が低く、微小亀裂への浸透性が高いこと
・低透水性：透水係数が十分に低い改良体で岩盤亀裂を充填していること
・物理的安定性：数時間程度の養生時間後にある程度硬化し、かつ最終強度が高いこと

そこで、上記の性能を評価するために表１に示す試験を実施した。なお、低透水性については、岩盤亀裂内部におけるグラウト改良体の状態により大きく影響されるが、現状では直接的にグラウト材の透水性を測定できる簡易な試験方法は存在しない。そこで本研究では、ブリーディング量の少ないグラウト材料は亀裂の充填率が高く透水性が低いと考えて、ブリーディング試験により代用することとした。また、試験に用いた配合は超微粒子セメントを用いた水セメント比＝0.5（高濃度）～10.0（低濃度）までの10配合であり、分散剤としては初期の強度発現性を重視してメラミンスルホン酸系硬化促進タイプを選定し、セメント量の1%を添加した。

表１　要求性能と具体的な試験方法

要求性能	試験項目	具体的な試験方法
浸透性	粘性測定試験	回転粘度計（図１）によりせん断速度＝9.9、22.4、46.2、92.4、132、198(1/s)におけるせん断応力を2回測定し、その平均値より流動曲線を作成し、粘度を算出
	メッシュ透過試験	濾過試験装置（図２）を用いて、0.3MPaの圧力を2Lのグラウトに載荷した際に鋼製フィルター（目開き量：20μm、34μm）を透過するグラウト重量を測定し、透過率を算出
低透水性	ブリーディング試験	ブリーディング袋に高さ20cmまでグラウト材を注ぎ込み、3時間、24時間経過時のブリーディング量を測定
物理的安定性	初期せん断強度試験	6時間経過時のせん断強度をベーンせん断試験装置により測定。ベーン治具としては、直径30mm×高さ30mmの大きさのものを使用
	一軸圧縮強度試験	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ袋に高さ40cm以上ｸﾞﾗｳﾄを注ぎ込んで作成（ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞが大きい水セメント比6以上の場合は、塩化ﾋﾞﾆｰﾙﾊﾟｲﾌﾟ（高さ1,250mm）を使用。材齢1、7、28日強度を測定

３．試験結果

試験結果全体を表 2 に、このうちブリーディング試験結果を図３に、一軸圧縮試験結果を図４に、見掛粘度算

キーワード:グラウト、物性試験、配合濃度、放射性廃棄物、処分施設
連絡先:〒105-8007　東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館、TEL:03-5441-0594、FAX:03-5441-0510

定結果を図５に、メッシュ透過試験結果を図６にそれぞれ示す。図３より、24 時間経過時のブリーディング率は水セメント比に比例して増大しており、水セメント比 3.0 以上では 50%を超えていることがわかる。図４より、水セメント比 3.0 以上では強度が低く、特に初期強度が極めて低いことがわかる。図５より、水セメント比が 1.0 以下では見掛粘性が急激に増大するが、逆に 1.5 程度までは見掛粘度は大きく変わらないことがわかる。しかしながら、図６よりメッシュ浸透性に関しては、目開き量 34μm の場合には水セメント比を 1.5 から 4.0 以上に薄くすることにより透過率が上昇しており、薄いグラウト材を使用する長所を示していると言える。

図１　回転粘度計

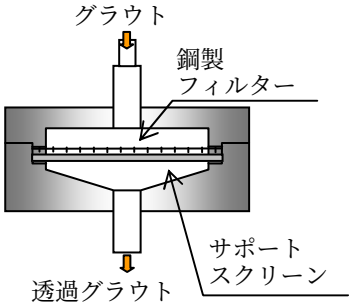

図２　濾過試験装置

表２　グラウト物性試験結果

配合名	水セメント比	ブリーディング率（%）		粘度 (mPa･s)	メッシュ透過試験				6 時間強度	一軸圧縮強度（MPa）		
					目開き量 20μm		目開き量 34μm					
		3 時間	24 時間		透過重量(g)	透過率（%）	透過重量(g)	透過率（%）	ﾍﾞｰﾝせん断強度（Pa）	材齢 1 日	材齢 7 日	材齢 28 日
F-1000	10.0	3	86	1.2	648.8	30.6	－*	100*	測定不能	－**	0.4	2.6
F-0800	8.0	2	82	1.3	356.4	16.5	－*	100*	測定不能	－**	0.9	3.2
F-0600	6.0	2	76	1.3	187.9	8.5	2185.3	100	測定不能	－**	1.3	3.9
F-0400	4.0	2	65	1.4	119.7	5.2	2279.8	99.1	0	－**	0.7	0.9
F-0300	3.0	2	57	1.7	102.6	4.3	1502.5	62.6	79	0.0	2.1	3.9
F-0200	2.0	4	45	2.1	56.7	2.2	1364.8	52.9	20	0.1	5.8	7.1
F-0150	1.5	3	32	2.5	27.4	1.0	882.5	32.4	20	0.4	11.7	12.4
F-0100	1.0	1	17	4.2	20.4	0.7	759.6	25.3	20	1.5	14.2	20.3
F-0080	0.8	0	13	6.1	12.6	0.4	511.7	16.1	79	2.0	19.6	23.9
F-0050	0.5	0	0	47.4	3.2	0.1	21.3	0.6	1,425	15.1	39.7	41.7

*F-0600 が全量透過したため、試験を実施していない。**硬化しないため、試験を実施していない。

４．まとめ

本試験において、メッシュ透過性は優れているが、ブリーディングが大きく強度発現の悪かった水セメント比 3.0 以上の薄い配合については、ダメ押し注入により岩盤亀裂内において加圧脱水され水セメント比が低下する傾向について確認することが、適用性を検討する上で重要なポイントとなるものと考えられる。今後は鋼製スリット注入試験等 [1)]によりグラウト注入孔内の岩盤亀裂入口における浸透性を詳細に把握するとともに、原位置試験を実施することにより、岩盤亀裂内における注入グラウト材の硬化状況を確認し、本試験結果をもとに最適なグラウト配合について検討していく必要があると考えている。

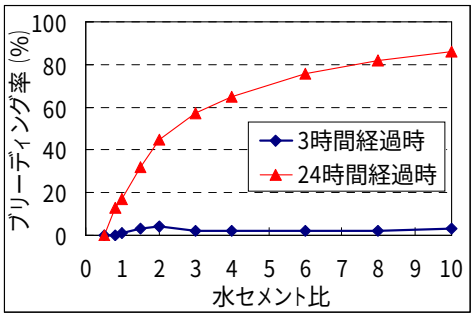

図３　ブリーディング試験結果

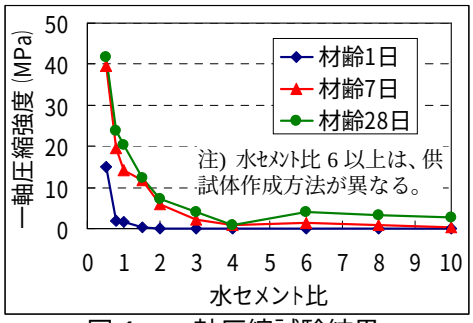

図４　一軸圧縮試験結果

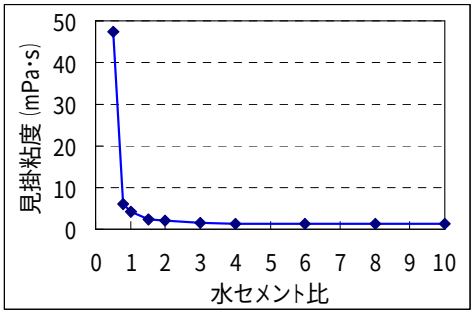

図５　見掛粘度算定結果

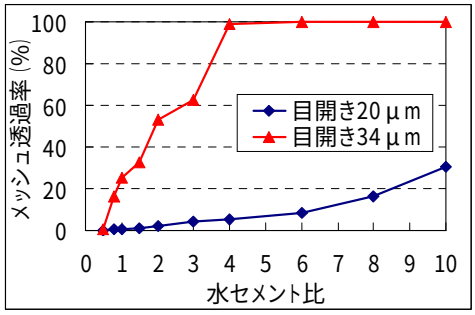

図６　メッシュ透過試験結果

参考文献　1) 延藤遵、見掛信一郎、佐藤稔紀、西垣誠、Larry Pax Chegbeleh: 懸濁型グラウト材料による目詰まり特性の検討：高圧目詰まり試験、第 62 回土木学会年次学術講演会、2007.