

地層処分におけるグラウト技術の高度化開発(その6)
 —グラウト浸透モデルによる原位置注入試験結果の事後分析—

清水建設 正会員 ○辻正邦, 延藤遵, 沖原光信
 日本原子力研究開発機構 正会員 杉田裕, 藤田朝雄, 新貝文昭

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分では、処分場閉鎖後の長期にわたりバリアシステムの機能を確保することが要求される。一方、処分坑道掘削時の湧水抑制のために必要となるグラウトの代表的材料であるセメント材料の使用は、高アルカリの影響により岩盤の変質や空隙率の変化などの悪影響を与えることが懸念される。このため、湧水抑制対策としては予め要求される範囲に限定してグラウトを注入することが、経済性だけではなく長期安全性の観点からも望ましい。筆者らはこれまでもグラウト浸透距離を推定するための Gustafson と Stille による理論¹⁾(以下「G&Sモデル」と称す)を取り上げて、室内実験による適用性研究²⁾を実施している。本報告では、日本原子力研究開発機構の幌延深地層研究センターの250m換気側第1ボーリング横坑(換気立坑大型試験錐座, GL-250m)で実施された原位置適用性試験(シリーズその5参照)の結果をG&Sモデルを用いて分析することにより、同モデルの適用性を考察した。

2. 検討方法

(1) 検討条件

原位置試験では2孔(注入孔①, 注入孔②)においてグラウト注入を実施しているが、本書では水セメント比125%の高濃度グラウト(ビンガム流体)を注入した注入孔②の分析結果を報告する。地質条件とグラウト特性を表-1に、グラウト注入結果を図-1に示す。

(2) 検討手順

G&Sモデルでは、次元判定パラメータ $R_D = (\text{流量 } Q) \times (\text{時間 } t) / (\text{注入量 } V)$ を用いてグラウト浸透次元の推定が可能である¹⁾(2次元: $R_D \approx 1.0$, 1次元: $R_D \approx 0.5$)。そこで、図-2に示すように最初にグラウト注入結果からグラウト浸透次元を推定し、次にグラウトが浸透した割れ目特性をパラメータスタディにより推定する。上記の結果を用いてG&Sモデルによりグラウト浸透距離 I (グラウト浸透フロントの移動距離) を算定し、最後に別途ボーリング調査により確認されたグラウト浸透範囲と比較することにより、G&Sモデルの適用性について評価する(図-2)。

3. 検討結果

(1) 浸透次元の推定結果

注入結果より当初は $R_D = 1.0$ 程度であったが、注入が進むに従い R_D が低下していくことが判明した(図-3)。そこで、 $R_D = 0.75$ を閾値として0.75以上の範囲を2次元浸透状態と判定した。その結果、相対注入時間 $t_D = 0.0031$ (注入時間 $t = 8.2$ 分に相当) から1次元に変化する

表-1 地質条件およびグラウト特性

項目		設定値	
グラウト注入孔		注入孔②	
地質条件	区間長	5.2m	
	区間湧水量 Q	4.6L/分	
	湧水圧 P_w	1.40MPa	
	ルジオン値	3.55Lu	
	透水係数 k	4.0×10^{-7} m/s	
	亀裂本数(推定値)	17本	
グラウト特性	水セメント比	125%	
	粘性	塑性粘度 μ_g	30.4mPa·s
		降伏値 τ_0	1.1Pa

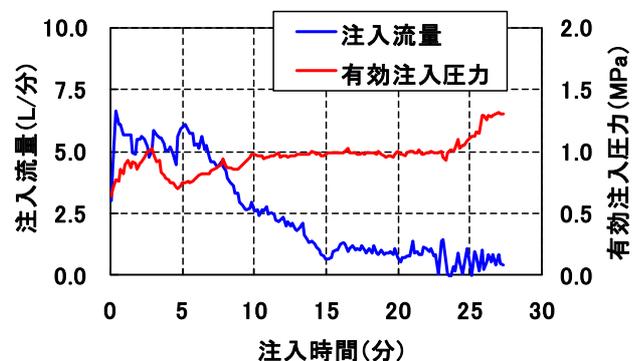


図-1 注入孔②注入結果(総注入量: 67.7L)

*有効注入圧力=グラウト注入圧-湧水圧

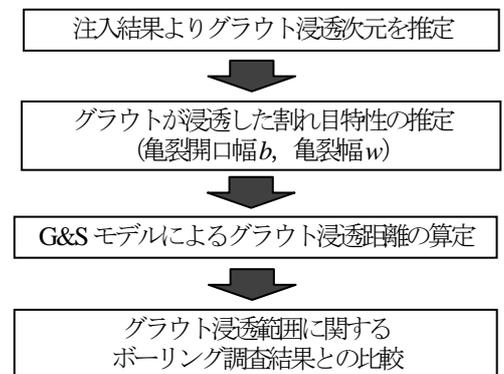


図-2 検討の手順

キーワード: 高レベル放射性廃棄物処分, グラウト, 浸透モデル, グラウト浸透距離

連絡先: 〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館 清水建設株, TEL:03-5441-0594, FAX:03-5441-0512

ると判断し、以降の分析では、8.2分以前を2次元、8.2分以降を1次元の浸透挙動と設定した。なお、相対注入時間 t_D の定義は以下の通りである。

$$t_D = \frac{t}{t_0}, \quad t_0 = \frac{6\Delta p \cdot \mu_g}{\tau_0^2}$$

Δp : 有効注入圧力 (Pa)
 t_0 : 特性注入時間 (s)
 τ_0 : グラウトの降伏強度 (Pa)
 μ_g : グラウトの粘度 (Pa·s)

(2) グラウトが浸透した割れ目特性の推定

2次元浸透挙動については、全周 360 度のうち浸透可能な角度 X 度の比率を示す浸透比率 α ($=X/360$) というパラメータを導入した。1次元浸透挙動については亀裂幅 w の1枚の亀裂として浸透するモデルとした。本分析では、浸透次元が2次元から1次元に変化するため、図-4に示すとおりモデル化した。

(3) グラウト浸透距離の算定結果

亀裂開口幅 b をパラメータとしたパラメータスタディを実施した。そのうち、浸透比率 $\alpha=1$ となり、全数 (17本) の亀裂に均等に浸透すると仮定した場合の解析結果を表-2および図-5に示す。図-5において、注入量に関するG&Sモデルによる推定値は、次元の変更点で大きく変化しているが、全体的には実績値と整合的であると言える。

4. ボーリング調査結果との比較

図-6に示すように、BTVおよびコア観察では、注入孔②から1.5mの距離(亀裂の傾斜を考慮)に位置する確認孔②においてグラウトの充填が確認されたが、4.5mの距離に位置する確認孔①ではグラウトの充填は確認されていない。G&Sモデルによる浸透距離の推定結果では、確認孔②は2次元浸透距離(=2.5m)の内側に位置するが、確認孔①はその外側に位置するため、1次元状に浸透したグラウト経路が確認孔①と交差しなかったものと推定される。

5. まとめ

今回の原位置注入試験の結果は、G&Sモデルを用いた事後分析により説明可能であった。しかし、今回のように亀裂特性に関するデータが不足している場合には浸透経路のモデル化が恣意的となる。限定的な調査結果から浸透モデルを推定する手法については、今後さらなる研究が必要であると考えている。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) Gustafson, G. and Stille, H.: Stop criteria for cement grouting, Felsbau 23 (3), pp.62-68 (2005)
- 2) 延藤 遵, 沖原光信, 小林伸司, 新貝文昭: 地層処分におけるグラウト技術の高度化開発(その9)ーグラウト浸透モデルの適用性に関する検討ー, 第64回土木学会年次学術講演会(2009)

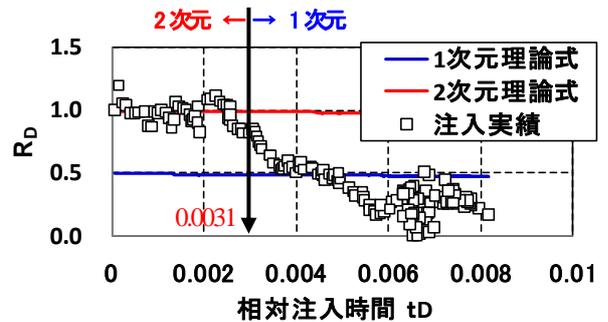


図-3 浸透次元の判定

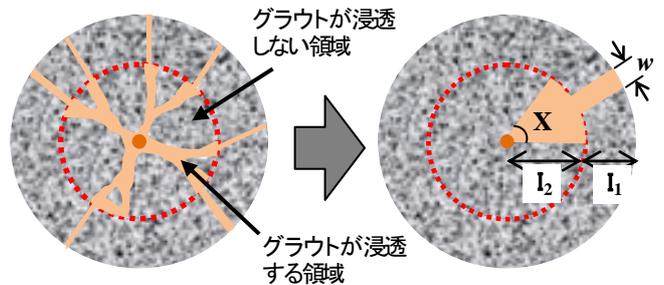


図-4 グラウト浸透経路のモデル化

表-2 グラウト浸透距離の算定結果例

$\alpha=1$ となる亀裂開口幅	亀裂幅 w	浸透距離の算定結果(m)		
		2次元範囲	1次元範囲	合計
124 μ m	1.38m	2.5	8.6	11.1

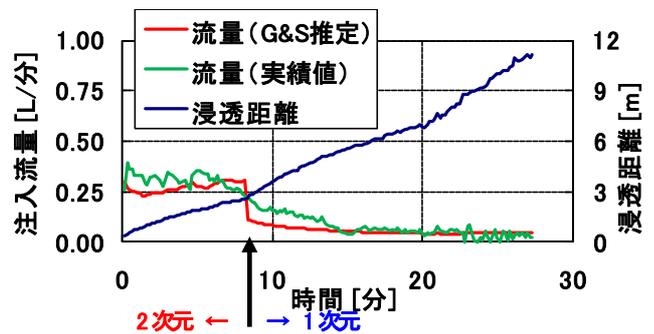


図-5 注入実績と解析結果の比較 ($\alpha=1$)

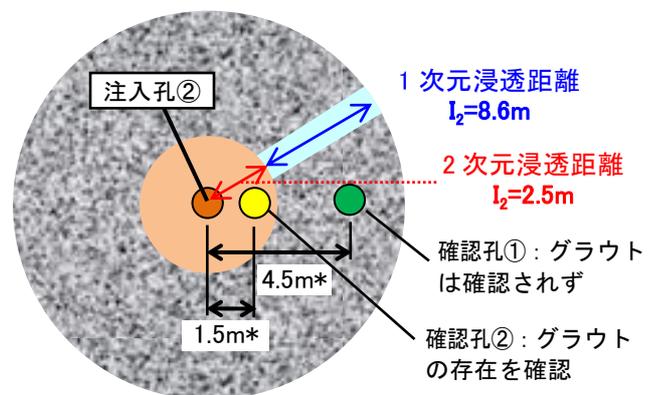


図-6 推定浸透距離と調査結果の関係

*亀裂の傾斜を考慮した斜距離