

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

清水建設 正会員 ○延藤 遵, 沖原光信, 小林伸司

日本原子力研究開発機構 正会員 新貝文昭

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分施設は、坑道の空洞安定性など従来の土木構造物に求められる機能に加え、施設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。代表的なグラウト材料であるセメント系材料は、高アルカリ影響などによりバリアを変質させることが懸念される。このため、グラウト注入時にはグラウト浸透距離を予測して湧水抑制として本来必要とされる範囲にのみグラウト注入を実施することが、経済性だけではなく長期安全性の観点からも望ましい。これまでに、グラウト浸透距離を推定するための理論的、或いは解析的研究が実施されているが、本報告では、特に Gustafson と Stille による理論的研究¹⁾(以下「グラウト浸透モデル」という)を取り上げて、1次元平行平板による室内実験の再現によりその適用性を考察する。

2. グラウト浸透モデル

グラウト浸透モデルは、グラウト注入時の圧力・流量データを利用してグラウトの浸透距離 I (亀裂内におけるグラウト浸透フロントの平均的距離、図1参照)を理論的に算出するものである。グラウト材料は、降伏値を有するビンガム流体としてモデル化し、最大浸透距離 $I_{\max}$, 相対注入時間 t_D , 相対浸透距離 I_D という概念を導入することで、1次元流れと2次元流れに対してグラウトの浸透距離 I , 総注入量 V , 単位流量 Q の経時変化を算出するものである。以下に1次元の理論式を示す。また、 t_D と I_D の関係を図2に示す。

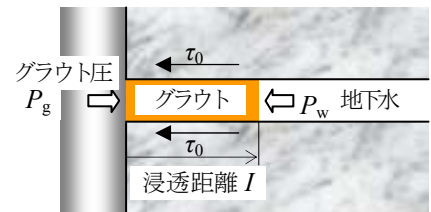


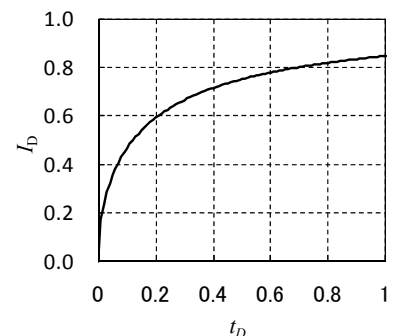
図1 亀裂内でのグラウト流れ

$$I = I_D \times I_{\max}, \quad I_{\max} = \left(\frac{\Delta p}{2\tau_0} \right) \cdot b, \quad I_D = \sqrt{\theta^2 + 4\theta} - \theta$$

$$\theta = \frac{t_D}{2(0.6 + t_D)}, \quad t_D = \frac{t}{t_0}, \quad t_0 = \frac{6\Delta p \cdot \mu_g}{\tau_0^2}$$

$$V = I_D \cdot \left(\frac{\Delta p}{2\tau_0} \right) \cdot w \cdot b^2, \quad Q = \frac{dI_D}{dt_D} \cdot \frac{1}{t_0} \cdot \left(\frac{\Delta p}{2\tau_0} \right) \cdot w \cdot b^2$$

ここに、 Δp : 差圧 (グラウト圧 P_g - 地下水圧 P_w), b : 亀裂開口幅
 τ_0 : グラウトの降伏強度, μ_g : グラウトの粘度

図2 t_D と I_D の関係(1次元流れ)

3. 室内試験との比較

室内試験では、呼び寸法で 100 μ m と 200 μ m の亀裂開口幅を有する2種類の1次元平行平板(幅 46mm, 長さ 975mm。材質は上面アクリル板, 下面鋼板)にビンガム流体 (Ca 型ベントナイトスラリーを使用) を浸透させた。平行平板には、注入孔入口より、62.5, 362.5, 587.5, 887.5mm 離れた4箇所に圧力計を、137.5, 212.5, 287.5, 437.5, 512.5, 662.5, 737.5, 812.5mm 離れた8箇所に目視確認用の窓を設けて、グラウト浸透フロントの経時変化を測定した。試験ケースを表1に示す。表中のスリット開口幅は平行平板に水を注入した場合の透過流量より3乗則

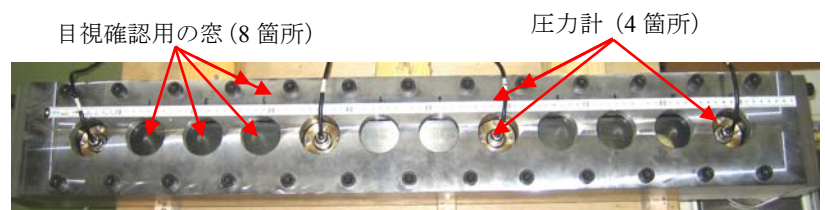


図3 平行平板試験装置(上方から撮影)

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, TEL:03-5441-0594, FAX:03-5441-0512

を仮定して算出した。また、ビンガム流体の粘性は、平行平板を流れるビンガム流体が定常流に達した際の透過流量を用いてレオメーターによる測定結果を補正して算定した。

浸透フロントの経時変化を、グラウト浸透モデル

による算定結果と室内試験による実験結果を比較して図4に示す。同図より、グラウト浸透モデルによる算定結果は、室内試験における2種類（目視と圧力計）の測定結果の中間的な値となっていることがわかる。ビンガム流体を含めて粘性流体の流速は同一断面内においてスリット壁面近傍の流速が小さいため（図5参照）、流体の浸透距離の進展に違いが生じる。同図に示す目視による観察結果が断面内の中心位置（最速点、図5中のA点）の浸透フロントを、圧力計（スリット上端面に設置）による計測結果が断面内の上端面（最遅点、図5中のB点）における値を計測していると考えられる。グラウト浸透モデルが亀裂断面内の平均的浸透距離を算定していることを考慮すると、グラウト浸透モデルの算定結果と室内試験における2種類の測定結果は整合的であると言える。

表1 検討ケース一覧表

検討 ケース	スリット 開口幅	ビンガム流体の粘性		注入圧力
		粘度	降伏値	
CASE-1	206 μm	19.6 mPas	0.28Pa	0.15MPa
CASE-2	104 μm	71.9 mPas	1.88Pa	0.50MPa
CASE-3	197 μm	36.6 mPas	0.93Pa	0.15MPa
CASE-4	94 μm	21.0 mPas	0.27Pa	0.15MPa

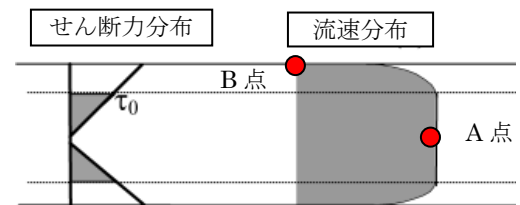


図5 ビンガム流体の亀裂内での流速分布

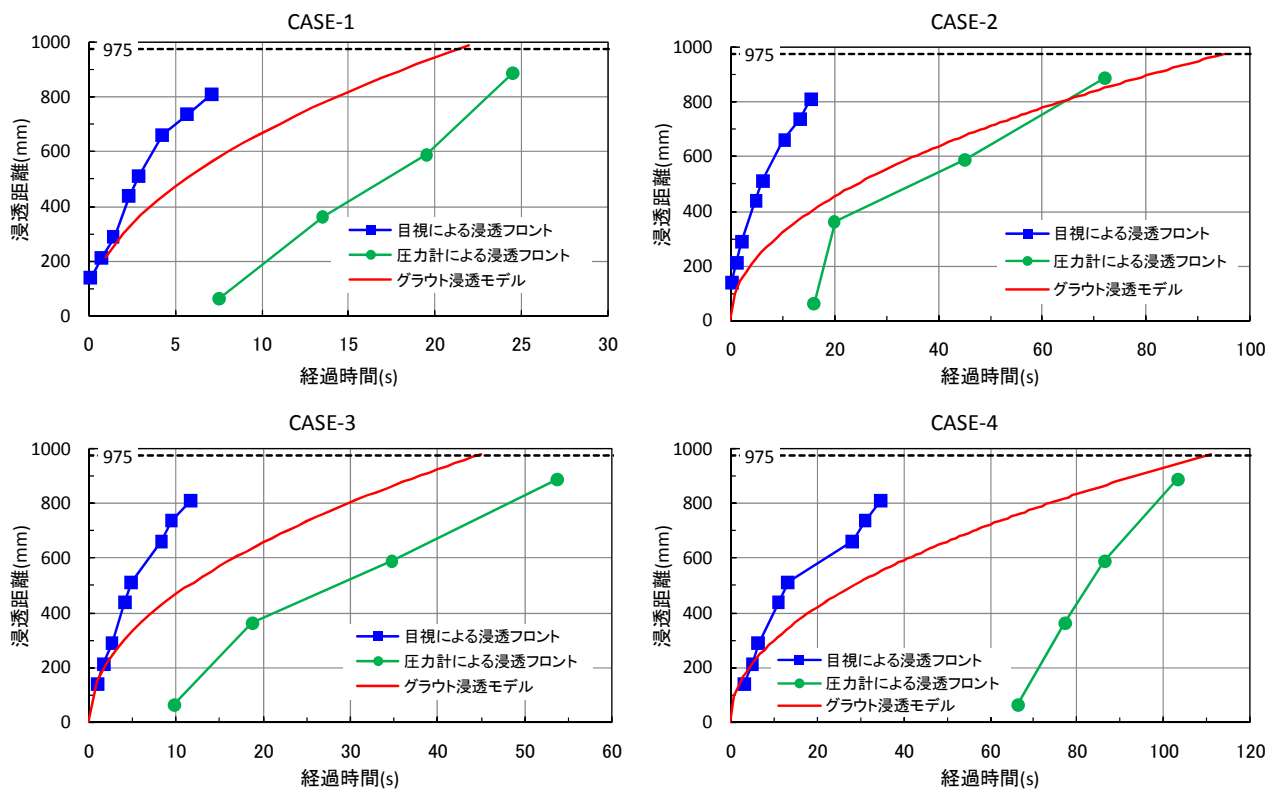


図4 理論式と室内試験による浸透距離の経時変化の比較

4. まとめ

1次元平行平板による室内実験結果をグラウト浸透モデルにより再現した結果は整合的であり、ビンガム流体の浸透距離の予測に対するグラウト浸透モデルの適用可能性が確認された。今後は、原位置試験などによりグラウト浸透モデルの適用性について検討する予定である（シリーズその10参照）。なお、本研究は経済産業省資源エネルギー庁の「平成20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)