複数亀裂におけるグラウト浸透挙動に関する基礎的研究

清水建設 正会員 〇延藤遵, 杉山博一, 沖原光信, 辻正邦

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分施設建設工事においてセメント系グラウト材料を使用する場合は、セメントの 高アルカリ影響等により周辺岩盤やベントナイト材料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、湧水抑制の観点から必要となる範囲のみを極力限定して注入することが、経済性だけではなく

長期安全性の観点からも望ましい. Gustafson らは, グラウト浸透距離を推定する理論式(以下,G&S モ デル)を導入して,グラウト浸透距離を考慮したグ ラウト終了基準による合理的なグラウト注入方法を 提案している¹⁾.このモデルでは,1本の注入れか ら様々な亀裂開口幅を有する亀裂を同時に注入する 場合には,グラウト浸透距離は各亀裂の亀裂開口幅 に比例すると仮定している(図1).筆者らは,単一 な1次元亀裂におけるグラウト浸透挙動に関して,



図1 複数の亀裂へのグラウト浸透挙動上の仮定

室内試験により G&S モデルの適用性を確認している²⁾. そこで、本研究では複数亀裂に関する G&S モデル における上記の仮定を、2 次元状のグラウト浸透挙動を対象とした軸対称 FEM 粘性流体解析により確認する こととした.以下に、G&S モデルにおける 2 次元グラウト浸透挙動におけるグラウト浸透距離 *I* を算定する 理論式を示す.

$$I = I_D \times I_{\text{max}}, \quad I_{\text{max}} = \left(\frac{\Delta P}{2\tau_0}\right) \cdot b, \quad I_D = \sqrt{\theta^2 + 4\theta} - \theta$$
$$\theta = \frac{t_D}{2(3.0 + t_D)}, \quad t_D = \frac{t}{t_0}, \quad t_0 = \frac{6\Delta p \cdot \mu_g}{\tau_0^2}$$

2. FEM 粘性流体解析

(1) 解析方法

1本のグラウト孔から亀裂開口幅の異なる2本(300µm, 150µm)の2次元状に広がる岩盤亀裂(上部亀裂と下部亀裂) にグラウト注入する場合を想定し(図2),グラウト材料を粘性 流体と見なした FEM 解析により,グラウト浸透距離を算定し た.解析ケースは表1に示す4ケースであり,CASE-1と-2は ニュートン流体を,CASE-3と-4はビンガム流体を対象とし, 全ケースにおいてグラウト注入圧(差圧)は1MPaの定圧とし た.なお,重力は無視しており,グラウト材の浸透距離の算定 に関しては,VOF(Volume of Fluid)法を適用して,グラウト が浸透した要素では体積占有率 F=1,浸透していな

い要素では F=0 と設定し, F=0.5 となる要素をグラ ウトの浸透フロントと判断した.

(2) 解析結果

CASE-1 における注入後 0.2 分における浸透フロ ントの状態を図 3 (軸対称解析結果を 3 次元に展開 I_{max} :最大浸透距離, I_D :相対浸透距離 Δp :差圧(グラウト圧 P_g -地下水圧 P_w) b:亀裂開口幅, t_D :相対注入時間 t_0 :特性注入時間, τ_0 :グラウトの降伏強度 μ_g :グラウトの粘度



表1 検討ケース一覧表

検討	亀裂閉	1月1日 日日 日 日 日 日 日 日	グラウト材の粘性		
ケース	上部亀裂	下部亀裂	粘度	降伏値	
CASE-1	300 µm	150 μm	5 mPas	0.0 Pa	
CASE-2	150 μm	300 µm	5 mPas	0.0 Pa	
CASE-3	300 µm	150 μm	15 mPas	1.5 Pa	
CASE-4	150 µm	300 µm	15 mPas	1.5 Pa	

キーワード: グラウト,複数亀裂,浸透挙動,粘性流体解析 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

して表示)に例示する.また、2本の岩盤亀裂中におけるグラウト浸透距離 の経時変化を FEM 解析結果と G&S モデルによる理論解と比較して図 4~図 -7 に示す.なお、図中の A 点とは亀裂断面内の中心点(グラウト浸透の最速 点)であり、B点とは断面内の壁面(最遅点)である.同図より、理論解は FEM 解析における A 点と B 点の間の中間的な値となっており、G&S モデル が亀裂断面内の平均的な浸透距離を算定していることを考慮すると、両者は 整合的であると言える. また, FEM 解析において $t=t_c$ (最速点における浸透 距離が 3m となる時刻)における浸透距離の比率(=300µm 亀裂における浸透 距離/150µm 亀裂における浸透距離)は 1.8~2.0 となっており, 亀裂開口幅の 比率 2.0 (=300µm/150µm) とほぼ等しい結果となった(表 2).



浸透状況(CASE-1) 図 3 *3 次元に展開して表示

上部150 u B点

下部300μA点

0.20

0.25

0.30

0.35

下部300 *u* 理論解



時間(分)								
	3	図 5	浸透距離の	経時	変化	の比	較(CAS	E-2)
	4.0	Г —	上部150μA点	_	— 上部	150 µ B 🛱	÷	
	3.5	H -	─ 上部150 µ 理論解	i	下部:	300 µ A 🛱		
	3.0		<u>- 下部300 μ B点</u>	-	下部	300 <i>μ</i> 理	<u>論解</u>	
Ì	2.5				• • • • • • • • • • • • • • • • • • •			
	2.0							
X	1.5							
	1.0							
	0.5	1						
	0.0	<u>/</u>						
	C	0.00	0.20	0.40	0.	.60	0.80	1.00
				時	間(分)			
	5	<u>v</u> –	ごがすらます	4 √ π+	ㅠ ㅠ //~	の LL は		

表 2	300um 亀裂の亀裂断面中心点	(最速点)	が 3m に到達する時刻 t	における浸透距離の比率

検討	最速点での 3m	<i>t</i> _C での上部亀	での上部亀裂浸透距離 tcで		亀裂到達距離	300µm 亀裂/150µm 亀裂の比率	
ケース	到達時間 t _C	A 点	B 点	A 点	B 点	A 点	B 点
CASE-1	0.206 分	3.00m	1.90m	1.54m	0.97m	1.9	2.0
CASE-2	0.217 分	1.63m	1.03m	3.00m	1.90m	1.8	1.8
CASE-3	0.628 分	3.00m	2.29m	1.60m	1.21m	1.9	1.9
CASE-4	0.639 分	1.63m	1.23m	3.00m	2.29m	1.8	1.9

3. まとめ

限られた解析ケースではあるが, FEM 粘性流体解析の結果では、複数亀裂におけるグラウト浸透距離は各 亀裂の亀裂開口幅にほぼ比例しており、G&Sモデルにおける仮定と整合的であった.なお、研究の実施に あたっては日本原子力研究開発機構の藤田氏と新貝氏に貴重なアドバイスを頂きました.粘性流体解析に関 してはサイバネットシステム株式会社の中原氏に多大な協力を頂きました. ここに記して謝意を表します.

参考文献

- 1) Gustafson, G and Stille, H.: Stop criteria for cement grouting, Felsbau 23 (3), pp.62-68 (2005),
- 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 2) 浸透モデルの適用性に関する検討-,第64回土木学会年次学術講演会(2009)