地層処分におけるグラウト技術の高度化開発(その9) -壁面凹凸を考慮したグラウト浸透モデルの理論的考察-

京都大学工学研究科 正会員 〇岸田 潔,小林賢一郎,細田 尚 (独)日本原子力研究開発機構 正会員 葛葉有史,岸 裕和 清水建設(株) 正会員 延藤 遵

1. はじめに

グラウトは、ダム基礎地盤での止水性の改良を主体として開発された技術で、ダム基礎やトンネル掘削など の分野で数々の実績を残してきている。その一方で、グラウトの設計・施工は実績や経験に基づいて行われて きたことから、そのメカニズムや理論は十分に確立されておらず、注入仕様や改良効果の定量的評価が曖昧と なっている。特に、亀裂性岩盤においてはグラウト止水効果の評価にあたり、フラクチャー内に注入されたグ ラウトの浸透範囲を把握することが重要視されるが、グラウト材の特性を十分に考慮した評価とはなっていな いのが現状である。この課題を検討するのに、原位置での評価は難しく、モデル実験を行うのが適切であるが、 ラフネスを有するフラクチャーに対して様々な実験を行うことは、多大な時間と費用を要する。そこで本研究 では、フラクチャーの壁面凹凸がグラウト流動にどのような影響を及ぼすかについて理論的考察を行った。

2. 最大浸透距離

小林ら¹⁾は、フラクチャーの凹凸を単純に三角関数で仮定し、フラクチャー内のビンガム流体の最大浸透距離を **Fig.1** に対して以下のように算出している.

①**Fig.1** で上下面の壁面振幅が同じ ($a_s = a_b = a$) で逆位相 ($\phi = \pi$) の場合

$$l_1 = \frac{P_g \frac{D_o}{2\tau_Y}}{\left\{1 + 2\left(\frac{a}{D_o}\right)^2\right\}} = \frac{l_o}{\left\{1 + 2\left(\frac{a}{D_o}\right)^2\right\}}$$

 $P_g: 注入圧力, D_o: 平均開口幅, <math>\tau_y: 降伏値, l_o: 平行平板モデル(開$ $口幅 <math>D_o)$ の最大浸透距離

②**Fig.1** で上下面の壁面振幅が同じ ($a_s = a_b = a$) で同位相 (ϕ = 0) の場合は、平行平板モデルの最大浸透距離に等しい.

$$l_2 = P_g \frac{D_o}{2\tau_Y} = l_o \tag{2}$$



Fig.1 Grout injection model for sinusoidal single fracture

Table 1 Material parameters, injection pressure, p_g , mean aperture, D_0 , maximum flow length at parallel plate model, l_0 , amplitude, a, wave length, λ and phase, ϕ

Case	Plastic viscosity [mPa•s]	Yield stress [Pa]	Density [kg/m3]	p _g [MPa]	D_0 [mm]	<i>l</i> ₀ [mm]	<i>a</i> [mm]	λ [mm]	φ
1-1	86.7	4.0	1250	0.136	0.197	3.35	0 ~ 0.05	1.0	π
1-2							0.05	$10 \sim 10^6$	π
1-3							0.05	1.0	$0 \sim 2\pi$
2-1					0.05	0.85	0~0.0125	0.25	π
2-2							0.0125	$10 \sim 10^{6}$	π
2-3							0.0125	0.25	$0 \sim 2\pi$
3-1	41.1	1.5	1230	0.142	0.206	9.75	0~0.05	1.0	π
3-2							0.05	$10 \sim 10^{6}$	π
3-3							0.05	1.0	$0 \sim 2\pi$
4-1					0.05	2.37	0~0.0125	0.25	π
4-2							0.0125	$10 \sim 10^{6}$	π
4-3							0.0125	0.25	$0 \sim 2\pi$

キーワード グラウト, ビンガム流体, フラクチャー, ラフネス

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-3-266 TEL.075-383-3267 FAX.075-383-3271

-81-

2 種類の材料に対して, **Table 1** に示す注入圧と平均開口 幅 *D*₀で上記モデルを用いて, 壁面凹凸がグラウト最大浸透 距離に及ぼす影響についての検討を行う. なお, **Table 1**に は,開口幅 *D*₀の平行平板モデルでの最大浸透距離 *l*₀も示す. また, **Table 1** には,検討する変数となる壁面振幅 *a*, 波長λ, 位相差φを示す.

3. 壁面凹凸が最大浸透距離に及ぼす影響

3.1 壁面振幅の影響 Fig.2に逆位相で壁面振幅が変化する 場合の最大浸透距離を示す. Fig.2 では,縦軸は平行平板で の最大浸透距離で無次元化し,横軸は,壁面振幅を平均開 ロ幅で除した値である.いずれケースにおいても,平行平 板での最大浸透距離と比較して 88%まで減少し,一致する 結果となった.すなわち,材料物性,圧力,平均開口幅に よらず,同じ割合で浸透距離は減少する.また,上下壁面 の振幅*a*と平均開口幅*D*0の比は,*a*/*D*0=0.5が最大でとなり, 式(1)より最大浸透距離は平行平板での最大浸透距離の 67% まで低下することになる.

3.2 波長の影響 Fig.3 に Case1-2, 2-2 での最大浸透距離の 波長により変化率を示す.非常に短い波長では,Fig.2 の結 果と同様最大浸透距離は平行平板と比較して 88 %まで減 少する.波長が,平行平板での最大浸透距離の 1/10 以上に なると (Fig.3 の Region 2),波長の影響により最大浸透距 離が振動する.波長が平行平板の最大浸透距離より大きく なれば,最大浸透距離は平行平板での最大浸透距離に収束 することが確認できる.Fig.4 に壁面反力の総和と波長の関 係および最大浸透距離と波長の関係を示す.反力は,流下 方向を正とする.壁面反力と最大浸透距離が連動している ことが確認できる.壁面反力の総和は,開口が閉じるとこ ろで大きくなり,最大浸透距離を低下させていることにな る.波長が平行平板より大きくなれば,壁面反力の総和は 0に近づき,結果として平行平板の最大浸透距離となる.

4. まとめ

本研究では、フラクチャーの凹凸を三角関数で単純に仮 定し、Navier-Stokes の運動方程式から導出された最大浸透



Fig.2 Amplitude variation in the maximum penetration distance through the simulations for the sinusoidal fracture model







Fig.4 The wall resistance force and wave length relation and the maximum penetration distance and wave length relation through the simulations for the sinusoidal fracture model

距離に関するパラメトリックスタディーを行い,最大浸透距離に対する凹凸および波長の影響について検討を 行った.壁面振幅の存在によりグラウト最大浸透距離は,88%に減少し,さらに,波長により最大65%程度 最大浸透距離が平行平板状態より減少することを確認した.これは,壁面からの反力によって生じるもので, 流下方向と反対に作用する壁面反力が,グラウト流体の浸透挙動に影響することが確認できた.

なお、本研究は経済産業省資源エネルギー庁「平成22年度地層処分技術調査等委託費(高レベル放射性廃 棄物関連: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) 小林賢一郎他: グラウト浸透長に及ぼすフラクチャー壁面凹凸の影響, 第45回地盤工学研究発表会講演集, pp. 905 - 906, 2010.