

岩盤グラウト材の粘性特性のモデル化が到達距離算定に及ぼす影響

電力中央研究所 正会員 ○小早川博亮, 伊藤洋

0. はじめに

ダム基礎岩盤の改良を目的としたグラウチングにおいては、合理的かつ経済的な設計・施工が望まれている。グラウチングは割れ目を充填することで岩盤の水理的・力学的な特性を改良するため、割れ目の分布とグラウト材の浸透過程の把握が重要である。しかしながら、その分布の正確な把握は困難な場合が多く、グラウト材による透水性や力学特性の改良機構も未解明な点が多い。特に、グラウト材の流動特性については種々の検討がなされているものの、到達距離に及ぼす影響を検討したものはほとんどない。

本報告では、セメントグラウトの粘性特性に関する既往のデータ^{1)~3)}から粘性流体モデルのパラメータを算定し、粘性特性のモデル化がグラウト材の到達距離に与える影響について検討する。

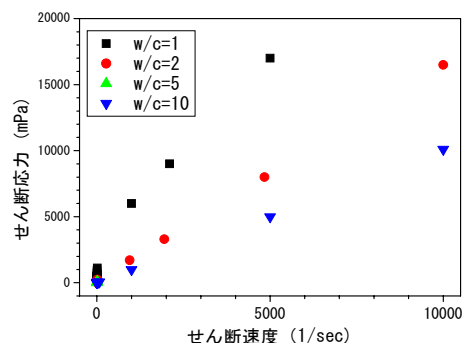
1. グラウト材のせん断応力-せん断速度関係のモデル化

ダム基礎グラウチングでは普通ポルトランドセメントや高炉セメント B 種などが用いられているが、既存の粘性特性データが多く適用事例も多い高炉セメント B 種を対象とした。

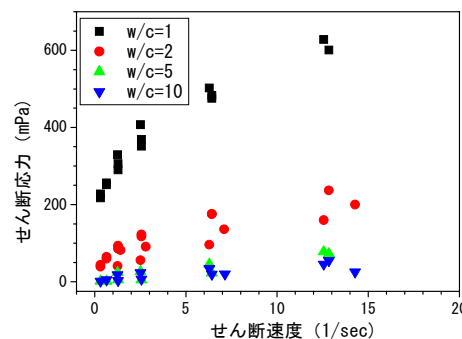
既往^{1)~3)}のせん断応力-せん断速度関係（以下、 $\tau-D$ 関係）を収集してまとめたものを図 1 (1), (2)に示す。水セメント比（以下、 w/c ）が小さくなるほどせん断速度に対するせん断応力が大きくなり、濃いミルクほど粘性抵抗が大きいことがわかる。また、濃いミルクは低速度域では上に凸の関係を示すが、全速度域ではほぼ直線関係となっている。また、 w/c の大きなミルクはいずれの速度域でも直線関係を示す。

図 1 で示した各配合での $\tau-D$ 関係に対し、図 2 に示す 4 つの粘性流体のモデル⁴⁾を適用し、最小二乗法により各モデルのパラメータを求めた。一例として $w/c=1$ の場合の計算結果を図 3(1), (2)に示す。高せん断速度領域では、いずれのモデルにおいても実測値の $\tau-D$ 関係をほぼ表現できているが、Newton や Miyata のような原点を通るモデルの場合、低せん断速度域で実測値と整合しない箇所が認められる。

到達距離を評価するためには粘性特性を精度よく表現することが必要で、せん断速度に応じた見かけ粘性を表現できるモデルであることが重要となる。図 4(1), (2)に示すせん断速度-見かけ粘性関係から、Bingham および Herschel-Bulkley のモデルが全速度域において実



(1) (全速度域)



(2) 低速度域

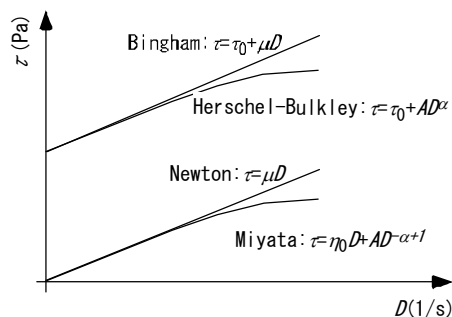
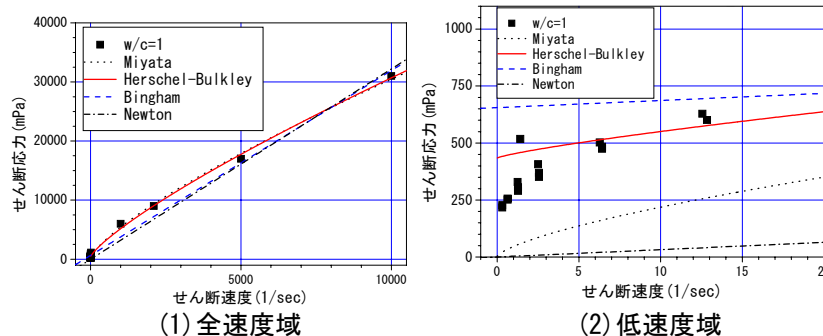
図 1 $\tau-D$ 関係図

図 2 粘性流体モデルの模式図



(1) 全速度域

(2) 低速度域

図 3 $\tau-D$ 関係 ($w/c=1$)

キーワード：岩盤，グラウト，粘性，到達距離

〒270-1194 我孫子市我孫子 1646, TEL:04-7182-1181, FAX:04-7183-8700, E-mail:h-koba@criepi.denken.or.jp

測値と良く整合していることがわかる。

3. 到達距離算定式の導出

岩盤の割れ目は粗度と起伏を有し有限の広がりをもったものであるが、ここでは計算を簡単にするために無限に広がる平行平板を仮定した。到達距離 R は、平行平板の中央の注入孔から圧力 P でグラウト材が注入される場合の流体に

働く力のつり合いを考え、注入孔からの距離 R に関する式を導出し、数値解析的に解くことで求めた。その際、それぞれのモデルで粘性特性が異なるためにつりあい式から得られる P と R の関係式もモデル毎で異なる。紙面の都合上すべては示さないが、例えば、Bingham のモデルの場合には P と R の間に以下の関係式が導かれる。

$$AR^2 + BR^{\frac{7}{4}} + C = 0$$

$$A = 0.3164\rho^{\frac{3}{4}}\left(\frac{a}{\eta}\right)^{\frac{1}{4}}\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 v_c^{-\frac{1}{4}} + \tau_0 \left[1 - \left(\frac{1}{v_c} \frac{dR}{dt}\right)^2\right] + \frac{12\mu}{a} \frac{dR}{dt} \left(1 - \frac{1}{v_c} \frac{dR}{dt}\right) + \frac{1}{2} a \rho g \sin \theta \sin \phi, \quad (2)$$

$$B = 0.3164\rho^{\frac{3}{4}}\left(\frac{a}{\eta}\right)^{\frac{1}{4}}\left(\frac{dR}{dt}\right)^{\frac{7}{4}} \cdot r_0^{\frac{1}{4}}, \quad C = -r_0^2 a \rho g \sin \theta \sin \phi$$

ここに ρ : 流体の密度, v_c : 乱層流境界での流速, τ_0, μ : Bingham モデルのパラメータ, a : 節理幅, g : 重力加速度, θ : 割れ目の傾斜角, ϕ : 計算対象の流動方向が水平面との交線となす角度, η : 乱流域での平均的な見かけ粘性, r_0 : 注入孔の半径を示す。

4. モデル化の影響

粘性流体モデル毎に得られるつりあい式から、注入圧力ー到達距離の関係を計算し、図 5(1), (2)に示す。図より、見かけ粘性のせん断速度依存性が強い $w/c=1$ の場合、Newton ではモデル上その依存性を表現できずに粘性を小さく評価するために、到達距離を大きく評価する結果となっている。また、Miyata のモデルも、図 4(1)に示したように低せん断速度域で見かけ粘性を小さく算定する傾向があるため、図 5(2)に示した開口幅が広くせん断速度の低い領域が多い場合には到達距離を大きく評価する結果を示している。一方、Bingham と Herschel-Bulkley のモデルでは、図 4(1), (2)に示す見かけ粘性の評価においてほぼ同様な見かけ粘性ーせん断速度関係を示すことから、到達距離も同程度の結果を示している。見かけ粘性を良く再現できている Herschel-Bulkley 又は Bingham を基準に考えると、Miyata のモデルでは到達距離を約 2 倍、Newton では 5 倍程度大きく評価する場合があることがわかる。

5. まとめ

グラウト材の粘性特性に関する既存のデータを基に、既往の 4 つの粘性モデルを用いて τ - D 関係をモデル化した結果、Bingham と Herschel-Bulkley のモデルにおいて見かけ粘性ーせん断速度関係の実測値と良く一致することがわかった。また、つりあい式による到達距離の計算の結果、Newton や Miyata のモデルでは到達距離を 2~5 倍大きく評価することが明らかになった。

参考文献 1)岸ら(1999):ダム基礎岩盤におけるセメントミルクの注入特性に関する基礎的検討, 電力土木, No.281, pp14-18
2)小早川ら(1999):流動状態における岩盤グラウト注入材の粘性の時間依存性に関する実験, 土木学会第 54 回年次学術講演概要集, pp.556-557 3)宮田(1985):フィルダム基礎岩盤における止水工の設計と施工に関する研究, 京都大学学位論文
4)たとえば, 中村喜代次(1997):非ニュートン流体力学, コロナ社

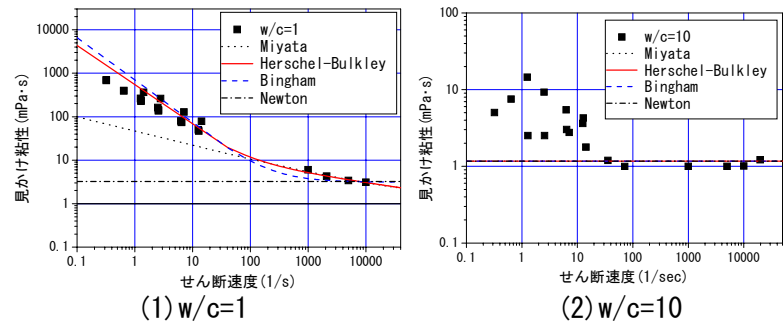
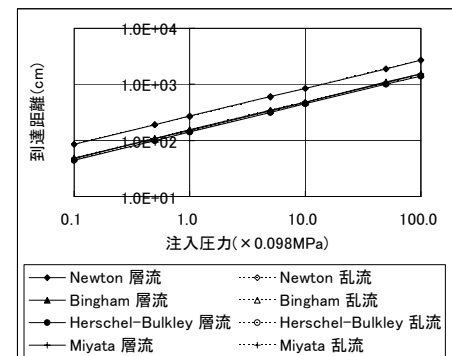
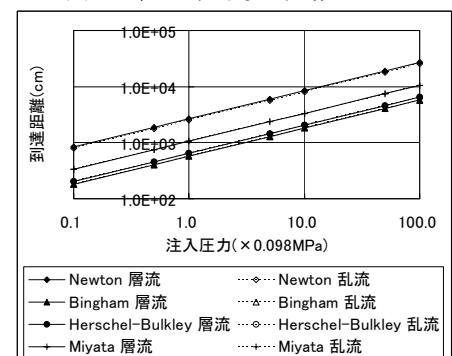


図4 せん断速度ー見かけ粘性関係



(1) $w/c=1$, 割れ目幅 0.1 cm



(2) $w/c=1$, 割れ目幅 1 cm

図5 注入圧力と到達距離の関係