

岩盤グラウト注入材の沈降速度の測定

電力中央研究所 正会員 ○小早川博亮, 伊藤洋

1. はじめに

亀裂性岩盤の改良のためのグラウチングを合理的に行うためには、岩盤内の割れ目分布を適切に把握し、合理的な注入仕様を設定することが重要である。しかし、グラウト注入材として多く利用されるセメントミルクは、水と異なり、粘性抵抗が大きいこと、懸濁液であるために流路を閉塞させることがあることなどから、それらの特性を十分に把握する必要がある。

著者らは、グラウト材として使用されるセメントミルクの粘性特性を把握する目的で、ミルクを層流状態で10時間流動させつづけ、見かけ粘性を一定時間ごとに計測した¹⁾。その結果、流動時間が180分を超えるまで、見かけ粘性の増加が認められなかった。このことから、ダム基礎で実施されているグラウチングの場合、通常の範囲(時間)では、見かけ粘性は一定のものとして取り扱ってよいものと考えられた。

一方、セメントミルクを懸濁液として取り扱い、割れ目が閉塞する現象をモデル化したものとして、米田ら²⁾の報告がある。米田らは、セメント粒子が割れ目に付着・拘留されることによって起きる流量低下を、閉塞係数を用いてモデル化し、注入特性の時間的変化の機構を説明した上で、閉塞の主たる原因が懸濁物質の分離沈降と密接な関係があることを指摘している。

本報では、亀裂性岩盤におけるグラウチングの閉塞の主な原因のひとつと考えられる、懸濁物質の分離沈降特性の把握を目的として、密度測定に使用する「浮ひょう」を用いてセメントの沈降速度を測定した結果について報告する。

2. 実験方法

沈降速度の測定には高炉セメントB種を使用し、セメントミルクの配合は、通常の実施工で用いられている範囲($w/c=1\sim10$)を考慮し、 $w/c=1, 2, 4, 6, 8, 10$ とし、各配合2回ずつ測定した。それぞれの配合における密度を、測定に用いたセメントの密度($\rho_s=3.04\text{g/cm}^3$)から計算し、表1に示す。また、図1に実験手順を示す。

各浮ひょうは、比重の測定範囲が1.000から0.060毎の範囲(1.000~1.060, 1.060~1.120, ...)で、最小目盛りが0.001のものを用いた。

密度浮ひょう理論に基づき、各時刻において測定した浮ひょうの読み r から、沈降速度 v お

表1 それぞれの配合における密度

配合	密度 (g/cm ³)
1	1.505
2	1.288
4	1.155
6	1.106
8	1.081
10	1.065

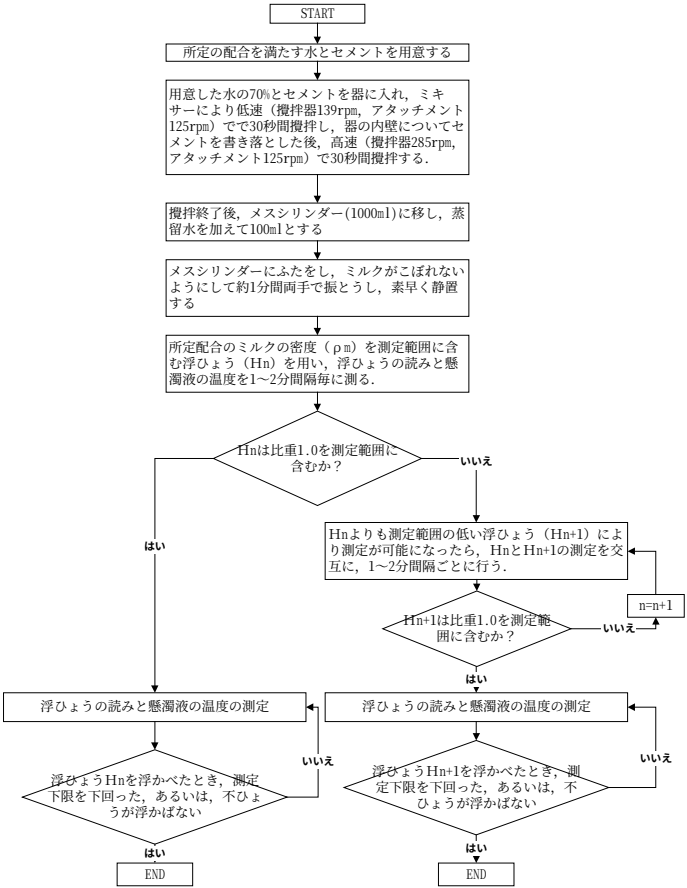


図1 実験手順

よびある粒径 d に対する通過質量百分率 $P(d)\%$ をそれぞれ(1), (2)式によって算定した.

$$v = L/t, \quad L = L_1 + \frac{1}{2}(L_B - \frac{V_B}{A} \times 10), \quad L_1 = l_1 - (r + Cm) \frac{l_1 - l_2}{M_u - M_L} \quad (1)$$

$$P(d) = \frac{V}{m_s} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \cdot (\rho_t - \rho_w) \times 100 \quad (2)$$

3. 実験結果と考察

図2に測定結果から得た通過質量百分率と沈降速度の関係を示す. $w/c=1$ の結果については, メスシリンダー静置後まもなく, 堆積したセメント粒子によって浮ひょうを浮かべることが困難で計測不可能となったため, 今回の検討からは除いた.

例えば $w/c=2$ の場合, 通過百分率が 100~90%, 85~70%, 65~55%, 45~35%, 25~15% の 5 つの領域に分けられ, それぞれ上に凸の分布形状を示している. これは, 各領域において通過質量百分率が小さくなると, メスシリンダー下部に堆積したセメント粒子の影響により本来の浮ひょうのつりあう位置よりも上部でつりあい, 見かけ上沈降速度が小さく算定されているものと考えられる. すなわち, 堆積したセメント粒子の影響を除いて沈降速度の分布を概念的に示せば, 点線 ($w/c=2$ の場合) や実線 ($w/c=10$ の場合) に近いものと考えられる. よって, 配合が小さく (濃度が高く) なるに従い, 沈降速度が全体的に小さくなると考えられる. さらに, 沈降速度曲線の形状は, 配合毎に殆ど変化が認められない. セメントの濃度が高くなることによって, 干渉の影響が大きくなり, 影響の程度は粒径によらないことを示しているものと考えられる.

図3に, 図2の沈降速度を示す粒子について stokes の法則が成り立つものと仮定して求めた, 各配合の粒径-通過質量百分率の関係と, レーザー回折/散乱法による粒径-通過質量百分率の関係を示す. 図示する実線と点線は, 図2と同じ考え方で概念的に示したものである. いずれの配合の粒度分布も, レーザー回折/散乱法によるものよりも立っている. また, 粒子間の干渉の影響が少ない $w/c=10$ とレーザー回折/散乱式を比較すると, 粒径分布は 0.02mm 以下で右側にシフトしている. セメント粒子は水と触れ合うと直ちに水和反応し, 相互に作用しあって凝集構造を形成する³⁾ことから, 凝集した結果, 見かけ上粒径が大きくなっている (右側にシフトしている) と考えられる.

4. まとめ

密度浮ひょう理論に基づき, セメント粒子の沈降速度を浮ひょうによって測定した. その結果, (1)セメント粒子は水と混じることにより特に粒径の小さな粒子が凝集し, 沈降速度が大きくなること, (2)配合の変化による干渉の影響は粒径によらず, 配合 (濃度) にのみ依存することの2点がわかった. 今後は, これらの知見を基に, グラウト材の流動モデルを構築していく予定である.

参考文献 1) 小早川博亮, 伊藤洋 (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回年次学術講演会講演概要集第3部(A), pp.556-557 2) 米田俊一他 (1993): 岩盤注入セメント系グラウトの浸透挙動に関する検討, 土木学会論文集 No.480/VI-21, pp.63-66 3) 社団法人セメント協会: わかりやすいセメント科学, 1993

- L : 浮ひょう球部中心の有効深さ
- L_1 : 浮ひょう球部の上端から読み r までの長さ
- l_1 : 浮ひょう球部の上端から目盛線上端までの長さ
- l_2 : 浮ひょう球部の下端から目盛線下端までの長さ
- L_B : 浮ひょう球部の長さ,
- V_B : 浮ひょう球部の体積
- A : メスシリンダーの断面積
- Cm : メニスカス補正值
- M_u : 比重測定上限値
- M_L : 比重測定下限値
- V : 初期懸濁液の全体積
- m_s : 沈降試料の乾燥質量
- ρ_s : 試料の密度
- ρ_w : 水の密度
- ρ_t : 有効深さにおける密度 (補正した浮ひょうの読み値)

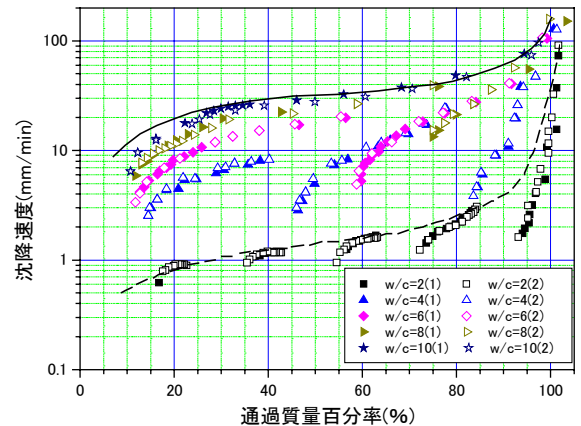


図2 通過質量百分率と沈降速度の関係

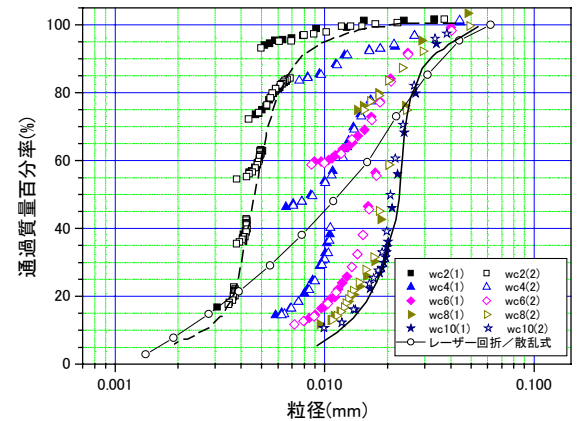


図3 粒径と通過質量百分率の関係