

亀裂性岩盤内へのグラウトの浸入特性に関する研究

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
 山口県庁 正会員 吉岡 進
 岡山大学大学院 学生員 山本 浩志

1. はじめに

ダム基礎岩盤のグラウチングは岩盤内の亀裂等の間隙をセメントミルクで充填し、岩盤の遮水性を改良する工事である。しかし、グラウチングの施工技術は多くの施工実績に基づいて経験的に得られたものであり、各種岩盤に対するグラウチングの手法は、それぞれの現場において試行錯誤的に決定されている。このような現状から、対象とする岩盤に最も適したグラウチングの注入仕様を合理的に決定する手法の確立が強く望まれている。そのためには、まず、岩盤内に注入されたセメントミルクがどのような特性を持って注入・流動しているのかを知ることが必要である。そこで、本報において単一亀裂モデルを用いてセメントミルクの注入・流動特性を明らかにした。

2. セメントミルクの物理特性

今回用いた普通ポルトランドセメントの水セメント比(W/C)と粘性(100cp=1poise)・密度の関係を図-1に示す。セメントは0.074mm(74μm)のふるいを通過した物を用いた。それぞれのW/Cによる粘性の時間的変化を図-2に示す。図-2より、セメントミルク作成時に計測した粘性は、約4時間ほど変化しないことが解る。粘性は、回転粘度計により計測した。

3. 実験内容

水のようなニュートン流体が開口幅(b)一定の亀裂内を流動する際の飽和透水係数は、式(1)で表される¹⁾。

$$k_s^T = \frac{\rho g b^2}{12\mu} \quad (1)$$

ここで、 k_s^T ：理論飽和透水係数(cm/sec)、 ρ ：流体の密度(g/cm³)

b ：亀裂開口幅(cm)、 g ：重力加速度(cm²/sec)、

μ ：流体の粘性係数(poise)。

セメントミルクの流動が、理論と一致するかどうかを確認するために水平一次元定流量注入試験を行った。実験装置を図-3に示す。亀裂モデルは2枚のパイレックスガラスの間にステンレス製のスペーサを挟むことにより作成した。また、間隙水圧計により注入口の水頭を計測した。水平一次元定流量試験では連続の式、運動の式より注入口の水頭の時間的変化は式(2)のように表される。

$$h_0 = \frac{Q_0^2}{b^2 B^2 k'} t \quad (2)$$

ここで、 $h(t)$ ：注入口の水頭、 Q_0 ：定流量注入流量(cm³/sec)

B ：亀裂幅(cm)、 b ：亀裂開口幅(cm)、 t ：時間(sec)。

式(2)より、算定される透水係数を k' とした。また、理論の確認のため高粘性流体と水に対しても同様の実験を行った。さらに定常状態になるまで注入を続け定水位透水試験を行い、飽和透水係数(k_s)を求めた。

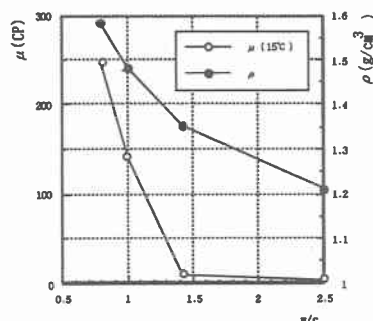


図-1 W/Cによる粘度と密度

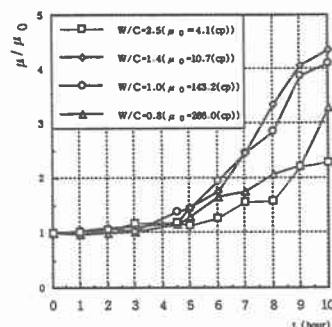


図-2 粘性の時間的変化

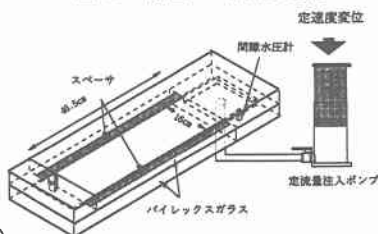


図-3 水平一次元定流量試験装置

4.実験結果と考察

種々のW/Cのセメントミルク、高粘性流体、水の実験結果を表-1に示す。結果よりW/C=2.5、1.4の薄いセメントミルクや、高粘性流体、水はほぼ理論どおりの透水係数が得られた。しかし、狭い開口幅にW/C=1.4を注入したときと、濃いセメントミルクを注入したときの透水係数(k')は、理論飽和透水係数(k_s)よりも大きい値が得られた。この現象は、セメントミルクの独特の性質である。これはセメントミルクが混合流体であり、流動中に粘性が一樣でないためであると考えられる。

k' と k_s を比較した結果を図-4に示す。図より k' と k_s は、ほぼ等しいといえる。これより、定流量注入試験で注入口の水頭上昇より得られた結果より透水係数を算定する方法は、水、高粘性流体、セメントミルクに対しても妥当であることが解る。

濃度の濃いセメントミルクを狭い開口幅の亀裂に注入した場合、注入直後は普通に浸潤していくが、注入を継続すると注入口の付近で目詰まりが起り、水とセメントミルクが分離する現象が生じた。さらに、開口幅が狭くなると、注入口で完全に目詰まりが生じ、セメントは亀裂内に注入されず、水だけが浸透した。

種々のW/Cに対して目詰まりが生じた開口幅の関係を図-5に示す。この図よりある開口幅にセメントミルクを注入するには、図中の曲線より薄いセメントミルクを使用する必要がある。曲線は式(3)のように表される。

$$W/C = \frac{0.003}{b-0.008} + 0.54 \quad (3)$$

4.おわりに

上記の結果、BTVにより、岩盤内の亀裂幅が計測されると、セメントミルクのW/Cより、セメントミルクの注入半径が予測でき、また、目詰まりが生じるW/Cがわかる。

ここで示した結果は、単一亀裂の平行平板に対するものであり、実際の岩盤内の複数亀裂についても検討する必要がある。

[参考文献]

1)松本徳久他：ルジオンテストの各種境界条件下での精度と結果の解釈、土木研究所資料第2518号、pp.220-222、1987。

表-1 水平一次元定流量試験結果

開口幅 b(cm)	水セメント比 w/c	温度 ℃	粘性 μ (cp)	密度 ρ (g/cm ³)	理論飽和透水係数 k_s (cm/sec)	算定飽和透水試験 k' (cm/sec)	k'/k_s	備考
0.05	0.7	14.7	375.0	1.61				目詰まり
0.05	0.6	15.7	564.0	1.67				
0.04	2.5	8.2	4.6	1.21	3.44	3.31	0.96	
0.04	1.4	8.5	11.0	1.38	1.64	1.58	0.96	
0.04	1.0	10.5	152.3	1.48	0.13	0.61	4.80	
0.04	0.8	12.2	239.5	1.58	0.09	0.25	2.87	
0.04	0.7	14.7	365.0	1.61				目詰まり
0.03	2.5	11.0	3.7	1.21	2.40	3.59	1.49	
0.03	1.4	10.2	9.3	1.38	1.09	1.41	1.30	
0.03	1.0	10.0	151.0	1.48	0.07	0.30	4.11	
0.03	0.8	8.2	252.0	1.58	0.05	0.13	2.83	
0.03	0.7	14.0	372.0	1.61				目詰まり
0.02	2.5	8.7	4.1	1.21	0.98	1.02	1.05	
0.02	1.4	8.8	10.1	1.38	0.45	0.69	1.53	
0.02	1.0	8.0	158.3	1.48	0.03	0.15	4.92	
0.02	0.7	11.0	252.5	1.58	0.02			分離
0.015	2.5	9.5	4.2	1.21	0.53	0.77	1.46	
0.015	1.4	9.3	11.5	1.38	0.22	0.47	2.14	
0.015	1.0	9.0	153.7	1.48	0.02			分離
0.015	0.8	9.5	244.0	1.58	0.01			目詰まり
0.01	2.5	9.8	3.8	1.21	0.26	1.47	0.96	分離
0.01	1.4	9.0	11.0	1.38	0.10	0.20	1.94	目詰まり
0.01	1.0	9.9	147.0	1.48	0.01			目詰まり
0.03	0.50%	11.0	7.7	0.97	0.92	0.84	0.91	高粘性流体
0.03	1.50%	11.5	57.1	0.97	0.12	0.18	1.40	高粘性流体
0.02	水	11.0	1.4	0.98	2.22	2.16	0.943	

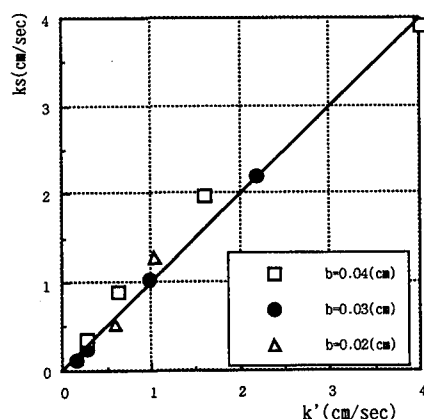
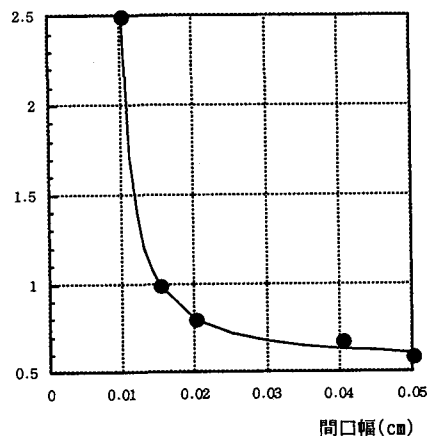
図-4 k' と k_s の比較

図-5 亀裂開口幅と目詰まりが生じるW/C