

III-A 321

開口亀裂におけるグラウトの浸入・流動特性に関する研究

岡山大学大学院 学生員 山本 浩志
 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
 東京電力 非会員 岸 祐和

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、本報においてセメントミルクの注入・流動特性を明らかにした。

2.単一亀裂水平一次元モデル定流量注入実験

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-1に示す。亀裂モデルは2枚のバ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。セメントミルク浸潤中の水頭上昇により算定される透水係数を k' とした。定常状態になるまで注入を続け、透水試験を行い飽和透水係数(k_s)を求めた。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のセメントミルク、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を注入した時と、W/C=1.0、0.8といった濃いセメントミルク

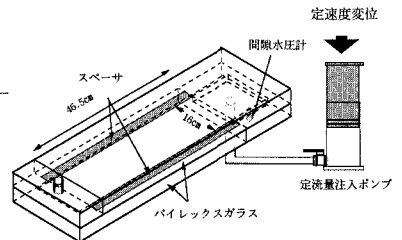


図-1 水平一次元定流量試験装置図

表-1 水平一次元定流量試験結果

を注入した時の k' は k_s^T より大きい値が得られた。この現象はセメントミルク独特の性質である。これは、セメントミルクが懸濁液であり、流動中に粘性が一様でないためであると考えられる。表より、 k_s は k' とほぼ等しいこれより、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孔の付近で目詰まりが起り、水とセメントミルクが

開口幅 b(cm)	セメント比 w/c	温度 T(°C)	粘性 μ (poise)	密度 ρ (g/cm ³)	理論飽和透水係数 k_s^T (cm/sec)	算定飽和透水係数 k' (cm/sec)	k'/k_s^T	飽和透水係数 k_s	備考
0.05	0.7	14.7	375.0	1.61	0.09				
0.05	0.6	15.7	564.0	1.67	0.06				目詰まり
0.04	2.5	8.2	4.6	1.21	3.44	3.31	0.96	3.94	
0.04	1.4	8.5	11.0	1.38	1.64	1.58	0.96	2.00	
0.04	1.0	10.5	152.3	1.48	0.13	0.61	4.80	0.70	
0.04	0.8	12.2	239.5	1.58	0.09	0.25	2.87	0.37	
0.04	0.7	14.7	375.0	1.61	0.09				目詰まり
0.03	2.5	11.0	3.7	1.21	2.40	3.59	1.49	2.22	
0.03	1.4	10.2	9.3	1.38	1.09	1.41	1.30	1.05	
0.03	1.0	10.0	151.0	1.48	0.07	0.30	4.11	0.26	
0.03	0.8	8.2	252.0	1.58	0.05	0.13	2.83	0.13	
0.03	0.7	14.0	372.0	1.61	0.03				目詰まり
0.02	2.5	8.7	4.1	1.21	0.98	1.02	1.05	1.26	
0.02	1.4	8.8	10.1	1.38	0.45	0.69	1.53	0.55	
0.02	1.0	8.0	158.3	1.48	0.03	0.15	4.92	0.14	
0.02	0.8	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	0.49	
0.015	1.4	9.3	11.5	1.38	0.22	0.47	2.14	0.40	
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				分離
0.01	1.4	9.0	11.0	1.38	0.10				目詰まり
0.01	1.0	9.9	147.0	1.48	0.01				目詰まり
0.03	0.5%	11.0	8.7	0.97	0.82	0.70	0.86	0.73	高粘性流体
0.03	1.5%	11.5	64.4	0.97	0.11	0.08	0.73	0.07	高粘性流体
0.02	水	13.0	1.4	0.98	2.23	2.16	0.943		

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-2に示す。ある開口幅にセメントミルクを注入するには図中に示す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(2)のように表される。

$$W/C = \frac{0.003}{b - 0.008} + 0.54 \quad (2)$$

3. 選択注入特性

セメントミルクを2種類の開口幅の亀裂に注入した時の挙動をモデル実験によって検討した。実験装置を図-3に注入孔詳細図を図-4に示す。2種類の亀裂は、開口幅は0.04cmと0.02cmとし、高粘性流体(2.0%)、W/C=1.4、1.0、0.8のセメントミルクにて行った。

種々の浸潤半径の時間的変化を図-5に示す。W/C=0.8では、狭い開口幅の亀裂で目詰まりが生じ、太い開口幅の亀裂に多くの流量が注入された。高粘性流体では太い開口幅の亀裂に多くの流量が注入されたのに対し、W/C=1.4、W/C=1.0のセメントミルクでは、狭い開口幅の亀裂中に広く注入されるという結果を得た。

この現象が生じた原因としては、高粘性流体とは異なり、セメントミルクは懸濁液であるので、亀裂内を流入する間にそれぞれの亀裂中に異なる濃度のセメントミルクが浸透していると考えられる。W/C=1.4~1.0の間では粘性が10倍以上変化するので濃度が少し異なると顕著に流動に影響する。

4. おわりに

以上の結果より、効率的なグラウチング設計を行うためには、セメントミルクの流動特性とともに、亀裂開口幅に対する目詰まり等の注入特性を考慮する必要があることが解る。

[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。

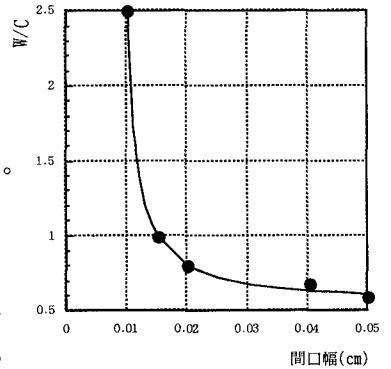


図-2 亀裂開口幅と目詰まりが生じるW/C

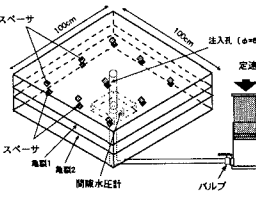


図-3 選択注入特性試験装置

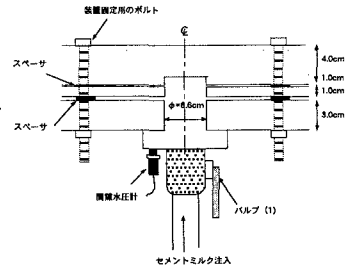
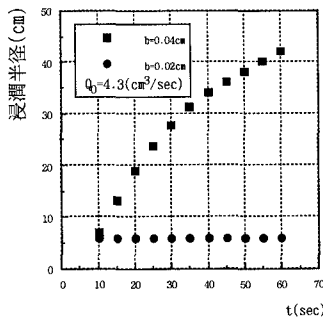
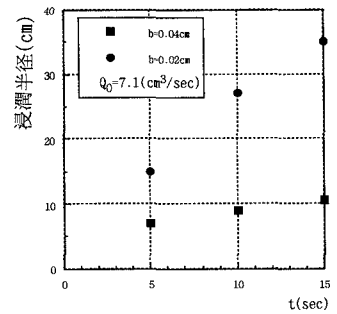


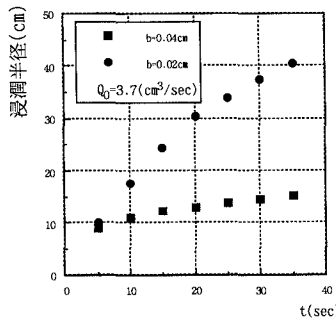
図-4 注入孔詳細図



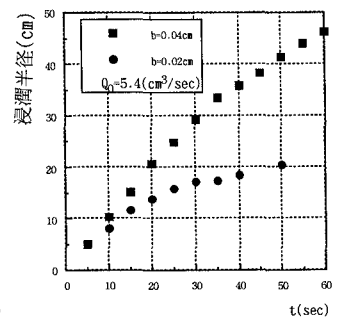
(a) 高粘性流体



(b) W/C=1.4



(c) W/C=1.0



(d) W/C=0.8

図-5 選択注入特性浸潤半径時間的変化