セメントミルクの亀裂内、注入・流動に関する実験的検討

岡山大学環境理工学部　正会員　西垣　誠
岡山大学大学院　学生会員○山本　浩志
五洋建設　非会員　植田　直孝
東京電力　非会員　岸　祐和

1. はじめに

我が国の国土は狭くかつ既に多くのダムを良質の岩盤上に完成させてしまっている。従って、近年では、堅固で遮水性に優れた硬岩により基礎が構成されるサイトにダムを建設できることが困難になってきている。

本研究は、高透水性で、不飽和状態の亀裂性岩盤上にダム基礎を建設する際の基礎処理としてグラウト施工を効率良く、経済的に行う方法を探求することを目的とする。そのためには、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、本報では超微粒子セメントを用いた平行平板水平一次元モデルでの定流量注入試験、亀裂内のグラウト液としてのセメントミルクの注入、流動特性にどの様な影響が出るかを検討していった。特に、グラウト材の粒径や水セメント比(W/C)の関係と目詰まりについての研究を行った。

2. 超微粒子セメント・普通ポルトランドセメントの物理特性

本」試験に用いた超微粒子セメント及び、普通ポルトランドセメントの粒径加積曲線(乾式、湿式)を図-1に示す。各セメントとも試験に用いる前に74μm(0.074m)のふるいを用いてふるい分けを行った。

セメントミルク内のセメント粒子は水中で団粒化しており、超微粒子セメントは普通ポルトランドセメントよりも団粒化しやすい事が分かる。また、セメントミルクのW/Cが小さくなるとセメントミルク内のセメント粒子が増え、より団粒化しやすくなり、その結果、より目詰まりしやすくなると思われる。

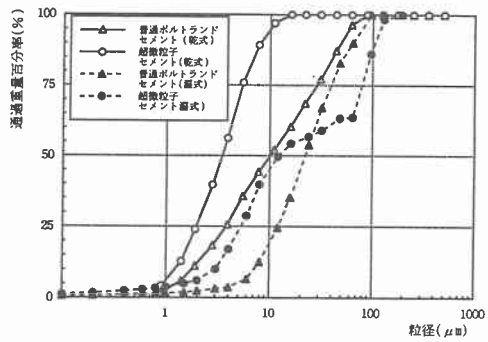

図-1　粒径加積曲線.

3. 超微粒子セメントを用いた平行平板水平一次元モデルでの定流量注入試験

普通ポルトランドセメントを用いてセメントミルク注入試験を行った結果、注入可能な限界の亀裂開口幅とW/Cの関係が既知となっている[1)]。そこで、今回の試験の目的は超微粒子セメントと分散剤を添加した超微粒子セメントを用いて、注入が可能な亀裂開口幅とセメントのW/Cの関係を調べることである。試験装置を図-2に示す。

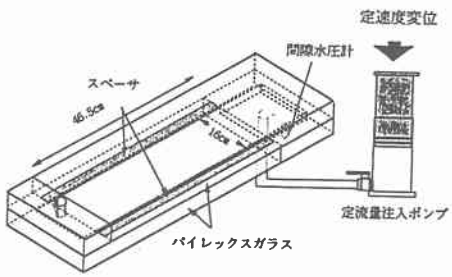

図-2　平行平板実験装置図.

試験結果とその考察

表-1に、超微粒子セメントを用いた試験の試験結果を示す。表-1より、目詰まりの生じなかった場合、提案手法より算定した透水係数(k')が理論値(k_s^T)と極めて一致していることが解る。また、超微粒子セメントの粒径は普通ポルトランドセメントよりも小さいが、目詰まりが生じやすいことが解った。これは、超微粒子セメントが普通ポルトランドセメントよりも比表面積が大きいために水和反応が普通ポルトランドセメントよりも過剰に発生し、図-1からも解るように、よりセメント粒子の団粒化が生じ、目詰まりしやすくなったからであると思われる。

表-2に、分散剤を添加した超微粒子セメントを用いた試験の試験結果を示す。表-2より、目詰まりが生じなかった場合のうち、開口幅b=0.030(cm)、W/C=0.8と開口幅b=0.015(cm)、W/C=1.4の2つの場合以外は飽和透水係数(k_s)が算出できなかった。これは、水頭が一定にならずに上昇し続けたためである。また、算定飽和透水係数(k')は理論飽和透水係数(k_s^T)の2倍～9倍の値が算出されたが、普通ポルトランドセメントを用いた同様の試験を行った際には、2～5倍の値が算出されている[1)]。この様に、今回の試験において、普通ポルトランドセメントを用いた試験よりも大きい値が算出されたのは、今回の試験における亀裂開口幅が非常に小さく(普通ポルトランドセメントでは目詰まりが生じる亀裂開口幅)、また超微粒子セメントは普通ポルトランドセメントよりも粒径が小さく、普通ポルトランドセメントと同じW/Cのセメントミルクでもセメントミルク内にある粒子数が非常に多いため、亀裂内で吸着が生じやすくなり、その結果、浸潤前線の濃度は薄くなり注入口付近の水頭の上昇が緩やかになったからであると思われる。

表-1　超微粒子セメントを用いた注入試験結果.

開口幅	水セメント比	粘性	密度	温度	流量	勾配	h	理論飽和透水係数	算定飽和透水係数	飽和透水係数		備考
cm	w/c	cp	(gf/cm³)	℃	(cm³/sec)			ks^T(cm/sec)	k'(cm/sec)	ks	ks/ks^T	
0.050	2.0	73.1	1.29	23.4	1.49	8.87	220	0.360	0.389	0.393	1.090	
0.030	2.0	72.8	1.29	24.5								目詰まり
0.015	3.0	6.4	1.20	24.8	0.73	26.33	460	0.345	0.347	0.305	0.886	
0.015	2.5	18.5	1.27	23.2								目詰まり
0.015	1.4	85	1.48	23.6								目詰まり
0.010	3.5	5.5	1.16	22.8								目詰まり
0.010	4.0	4.8	1.12	23.0								目詰まり

表-2　超微粒子セメント+分散剤を用いた注入試験結果.

開口幅	水セメント比	粘性	密度	温度	分散剤濃度	流量	流速	勾配	理論飽和透水係数	算定飽和透水係数		備考
cm	w/c	μ (cp)	(gf/cm³)	℃	%	(cm³/sec)	(cm/sec)		ks^T(cm/sec)	k'(cm/sec)	k'/ks^T	
0.050	0.7	770	1.62	16.2	2.2				0.043			目詰まり
0.030	0.8	220	1.52	23.0	2.2	0.957	1.99	36.41	0.051	0.109	2.151	
0.015	1.4	6.4	1.38	15.2	2.2	0.670	2.79	3.69	0.395	2.110	5.346	
0.015	0.8	233	1.52	22.5	2.2	0.251	1.05	81.80	0.012	0.013	1.115	
0.015	0.7	690	1.62	17.0	2.2				0.004			目詰まり
0.010	0.8	211	1.52	21.1	2.2				0.006			目詰まり
0.010	1.0	48	1.46	16.2	2.2	0.223	1.39	8.45	0.025	0.230	9.255	
0.005	1	55	1.46	16.0	2.2				0.005			目詰まり
0.005	1.4	6.5	1.38	15.2	2.2	0.156	1.95	9.53	0.043	0.399	9.205	
0.005	2.5	5.06	1.20	21.2	2.2	0.092	1.15	4.50	0.049	0.293	6.027	

図-3に表-1、表-2において注入可能な亀裂開口幅とW/Cの関係を示す。普通ポルトランドセメントの同様の関係も併記した。ある開口幅を持つ亀裂に対して、それぞれの曲線上のW/Cよりも大きい(薄い)W/Cのセメントミルクであれば、目詰まりを生じさせることなく注入することが可能である。また、超微粒子セメントは粘性が高く、目詰まりが生じやすいが、分散剤を添加することにより普通ポルトランドセメントでは注入できなかった亀裂への注入が可能になる。超微粒子セメントに分散剤を添加することにより粘性は下がっているので、目詰まりと粘性は関係があるといえる。

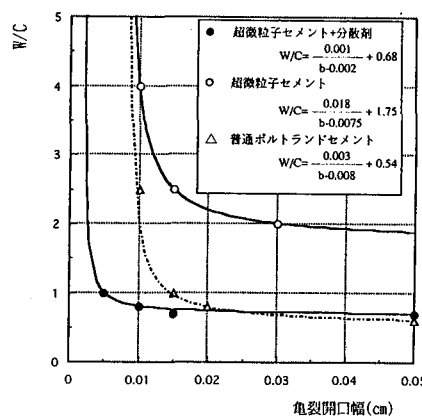

図-3　注入可能な亀裂開口幅とW/C.

4.おわりに

以上の結果より、超微粒子セメントに分散剤を添加したグラウトは非常に有効であると言える。

[参考文献]

1)西垣誠・吉岡進・山本浩志：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、土木学会第51年次学術講演会概要集、pp.642-643、1996.