

細粒分含有率に着目した砂防ソイルセメントの品質に関する基礎的研究

一般財団法人 砂防・地すべりセンター 嶋 丈示
防衛大学校 堀口俊行 黒田一郎
株式会社本久 ○小布施栄 飯島 遼

1 はじめに

大規模な土砂災害が頻発し、現地発生土砂の有効活用、早期復旧の観点から砂防ソイルセメント堰堤の建設が多くみられるようになってきた。また、災害での発生土砂や除石を含む残土の処分は重要な事業課題となり、発生土砂の有効活用に向けて更なる知見の蓄積が求められている。これまで、最小管理強度¹⁾以上の砂防ソイルセメント堰堤は、施工技術が確立し、設置数も多く見られる²⁾。しかし、基礎的な段階として、土砂の物性のバラツキに伴う影響を排除した砂防ソイルセメントの強度評価や土石流における衝撃力に対する性能評価について未解明な部分が多くある。さらに、最小管理強度未満(2.0N/mm^2 未満)の低強度の砂防ソイルセメントに着目した研究事例はあまり見当たらない。そこで本研究は、細粒分含有率に着目し、圧縮強度試験で細粒分が砂防ソイルセメントの強度に与える影響について整理し、さらに、重錘落下実験を用いて衝撃荷重に与える影響について検討するものである。

2 試験概要

2.1 実施試験

細粒分含有率を 5~25 %とした 5 種類の母材を作製し、転圧タイプと流動タイプの砂防ソイルセメントについて供試体を作製した。本試験は、Stage I として $\phi 125 \times 250\text{mm}$ の標準供試体を用いた一軸圧縮強度試験と、Stage II として一辺が 420mm の立方体供試体への重錘落下による衝撃荷重実験である。

2.2 母材

セメントによる改良効果に対する影響要因は、単に細粒分の多少が規定要因となるのではなく、粗粒分の質や粒度構成、細粒分に含まれる有機不純物、粘土鉱物の成分、イオン交換の大小、粘性といった物性要因に加え、水和反応に必要な水の量の適否、練混ぜや締固めの良否など施工要因によるものが複雑に影響しあう。本研究では、全体を構成する母材の粒度のうち礫混入による強度への影響、細粒分の質や細粒分の粘性に起因する品質影響を排除するために、JIS コンクリート規格に適合する洗砂と、粘土鉱物を工業処理したシルト分を主体とする土木用乾燥粘土を混合した合成母材を用いた。

2.3 配合方法

配合方法は、従来実施されている転圧タイプと流動タイプの配合方法に準じた。表-1 に、配合条件を示す。一軸圧縮強度試験では、砂防ソイルセメントにおける低強度から配合強度程度の強度領域が得られるように、細粒分含有率を変えた 5 ケースの母材に対し高炉セメントを 3 水準で添加した。重錘落下試験の供試体は、転圧タイプと流動タイプについて、配

表-1 配合条件

CASE	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
細粒分含有率 (%)	5	10	15	20	25
転圧タイプ	50・100・150				
流動タイプ					
単位セメント量 (kg/m^3)	80・130・180				

合試験によって得られた材齢 28 日強度から 1.0N/mm^2 程度の最小管理強度未満でセメント水和反応が明瞭でない低強度となるよう配合量を求めた。

2.3 一軸圧縮強度試験

一軸圧縮強度試験は、JIS A 1216 に準じ 28 日材齢にて実施し、強度特性および圧縮ひずみの測定による変形特性を調べた。

2.4 重錘落下試験

重錘の質量は 287kg で、重錘の供試体に接触する先端部は球面 ($R=90\text{mm}$) に加工され、貼付されたひずみゲージを用いて衝撃荷重を計測した。載荷方法は、最初に重錘速度 1.0m/s で落下衝突させた後で重錘速度を 0.5m/s ずつ漸増させながら破壊に至るまで繰り返し載荷した。

3 試験結果

3.1 一軸圧縮強度試験

図-1~4 に一軸圧縮強度試験の結果を示す。転圧タイプ、流動タイプとも細粒分含有率 15 %まで圧縮強度は増加し、細粒分含有率 15 %をピークに圧縮強度は減少する傾向がみられる。細粒分含有率 15%までは密度も増加していることから、圧縮強度と密度に相関関係があることを示唆している。一方、細粒分含有率が 20%を超える領域では、同じ細粒分含有率であっても流動タイプの方が強度低下の傾向は小さい。さらに、細粒分が多くなることに伴う、セメント添加量の増量に対する強度の伸びが転圧タイプに比べて大きく、水和反応による効果が確認できる。図-5 に、それぞれの細粒分含有率の応力-ひずみ曲線を示す。最小管理強度以上の領域では、細粒分含有率に関わらず明瞭なピークが認められる。また、圧縮強度および密度が最大となる細粒分含有率 15 %のケースにおいて、ピーク時の曲線の形状が転圧タイプと流動タイプで異なり、流動タイプに粘り強さが窺える。細粒分含有率 25 %になるとピーク付近の曲線の形状が不規則で脆弱的な形状を示すものも現れることから、均質性に影響が生じている可能性がある。最小管理強度未満の低強度の領域では、転圧タイプにおいて、細粒分含有率 10~20 %のケースでピークが認められるのに対し、流動タイプは明瞭なピークがなく、細粒分含有率に関わらず比較的柔らかい性状であると考えられる。

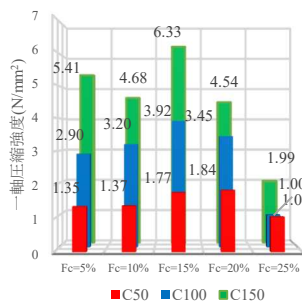


図-1 一軸圧縮強度試験
(転圧タイプ)

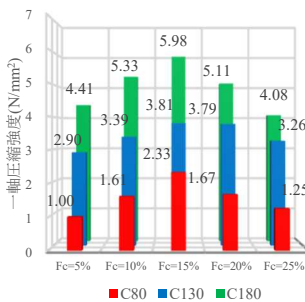


図-2 一軸圧縮強度試験
(流動タイプ)

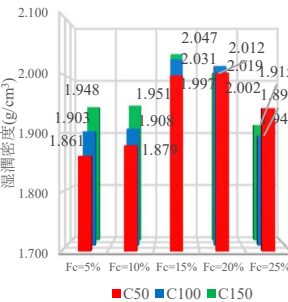


図-3 湿潤密度
(転圧タイプ)

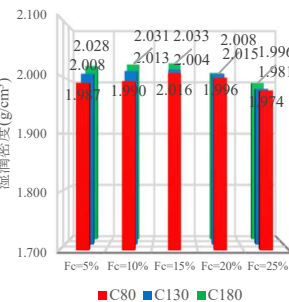


図-4 湿潤密度
(流動タイプ)

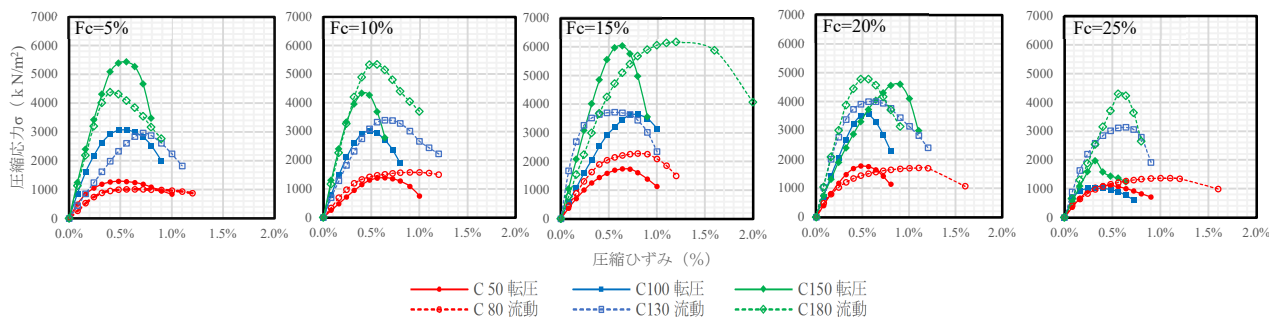


図 5 応力-圧縮ひずみ曲線

表-2 最大衝撃荷重

供試体		細粒分含有率 %	単位セメント量 kg/m³	圧縮強度 N/mm²	湿潤密度 g/cm³	落下速度		
						1.0m/s	1.5m/s	2.0m/s
						kN		
転圧	CASE1	5	51	1.4	1.943	56.3	96.3	131.5
	CASE2	10	45	1.3	1.933	50.4	100.2	142.4
	CASE3	15	40	1.1	2.026	49.7	89.8	129.6
	CASE4	20	32	1.0	2.056	48.1	83.9	102.2
	CASE5	25	118	2.6	1.957	54.8	107.9	147.2
流動	CASE1	5	85	0.8	1.952	39.2	62.9	計測不可
	CASE2	10	71	0.6	1.974	35.1	53.3	
	CASE3	15	54	0.4	1.979	25.7	39.0	
	CASE4	20	64	0.7	1.977	28.2	45.7	
	CASE5	25	73	0.9	1.963	26.5	42.2	

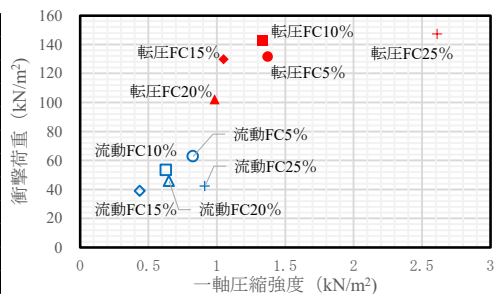


図-6 圧縮強度と最大衝撃荷重の関係

3.2 重錘落下実験

表-2 に、各供試体への重錘落下荷重と圧縮強度の関係について実験結果を示す。供試体は、低強度となるようセメント量を調整している。図-5 は、供試体の圧縮強度と最大衝撃荷重の関係を示したものである。低強度（ここでは 1.5N/mm² 以下）においては、流動タイプの方が転圧タイプより衝撃荷重が小さいことがわかる。密度は、概ね一軸圧縮強度試験と同じ傾向を示し、細粒分 15～20 % のケースの密度が大きいものの、密度の違いによる衝撃荷重への影響は認められない。細粒分含有率の違いによる差異については、同程度の強度で比較すると、細粒分含有率の多い方が、衝撃荷重が小さい傾向があるものの、細粒分含有率との関連は少なく、衝撃荷重の大きさは細粒分含有率や密度よりも圧縮強度に依存している傾向が認められる。

4 まとめ

本研究は、細粒分含有率に着目し、圧縮強度試験と重錘落下試験を行い、それぞれの強度特性について検討したものである。以下に、その成果を示す。

- (1) 細粒分含有率が増加すると強度や密度が小さくなるとされるが、細粒分含有率 15 % までは圧縮強度や密度が増加し、細粒分含有率 15 % をピークに圧縮強度や密度が減少する傾向がみられる。
- (2) 低強度の領域では、転圧タイプと流動タイプで圧縮ひずみの曲線の形態が異なり、流動タイプのほうが柔らかい性状であり、衝撃荷重実験においても衝撃荷重が小さく抑えられる傾向がみられる。
- (3) 衝撃荷重の大きさは、細粒分含有率や密度よりも圧縮強度との関連が大きいと考えられる。

おわりに、低強度に着目した衝撃効果や破壊形態について検討した例は少なく今後の課題が多く残されている。今後は、実験数を重ねて衝撃緩衝効果や更なる品質特性の把握について検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 嶋丈示, 秋山祥克, 水山高久: INSEM 材の水和反応を保証する最小管理強度の導入, 砂防学会誌, Vol.68, No.2, pp.14-22, 2015.
- 2) (一財) 砂防・地すべり技術センター: 砂防ソイルセメント施工便覧 (平成 28 年版), 2018.