

砂防ソイルセメントに含まれる細粒分が与える影響についての一考察

防衛大学校 ○黒田一郎 堀口俊行
株式会社 本久 小布施栄

1. 緒言

昨今、集中豪雨の増加に伴い大規模な土砂災害や洪水が頻発していることから、砂防堰堤の建設の重要性が一段と高まっている。従来、砂防堰堤はコンクリート構造物として構築されるケースが多かったが、環境負荷低減の観点から現地発生土砂を有効活用可能な砂防ソイルセメント工法への注目が集まっている。この工法では、建設残土や土砂災害発生時に流出した土砂を再利用可能であり、適切な利活用が実現できれば、環境負荷低減に加え、経済性向上や残土処分コスト削減といった利点も期待できる。さらに、地域の持続可能性を追求する観点からも、生産技術の多様化は合理的な選択である。

しかしながら、この工法には課題も存在する。特に、使用土砂の性状のばらつきが主要な課題の一つである。砂防構造物の計画箇所の地質や土石流発生溪流は、脆弱かつ不安定な地質である場合が多く、こうした地盤から得られる土砂は必ずしも良質な材料とは言えない。セメント混合土の硬化によって要求性能を満たす必要がある砂防構造物において、実際の土砂には細粒分や有機不純物が含まれており、これらが材料品質を低下させる要因となる¹⁾。これらの不純物は、硬化体の剛性や強度特性に影響を及ぼす可能性が指摘されている。

砂防ソイルセメント工法は、転圧タイプと流動タイプに分類される²⁾。なかでも、流動タイプは、施工実績や研究成果が限られているものの、今後の適用範囲拡大が期待される工法である。ただし、流動タイプの場合、単に現場で要求される強度だけで配合が決定されるわけではないため、単位セメント量が過剰になるケースも報告されている。これまで、強度特性や剛性に特化した詳細な研究は十分になされておらず、これらの基礎的特性を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、流動タイプの砂防ソイルセメントを対象に、現地発生土砂の粒度分布を模擬した試験用土を用いて配合試験を実施した。単位セメント量および細粒分含有率の違いが強度特性に及ぼす影響について一軸圧縮強度に加え、ひずみやポアソン比の測定結果に基づいて考察した。

2. 実験の概要

2.1 実験要領

写真-1 に示すように、供試体は細粒分含有率および単位セメント量を変化させた母材からなる流動タイプで直径 $\phi=100$ mm、高さ $h=200$ mm の円柱形状を作製した。圧縮強度試験では、レーザー変位計により垂直方向変位を計測するとともに、供試体側面に設置したマーカーを渦電流式変位計で追跡することで水平方向変位を取得した。これらの計測データから応力-ひずみ関係およびポアソン比を算出した。さらに、供試体の破壊モードを観察・記録し、破壊形態と材料特性の関係について分析した。

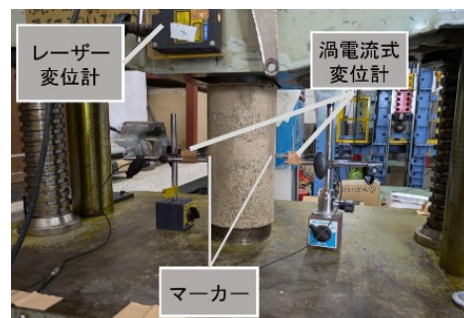


写真-1 実験装置

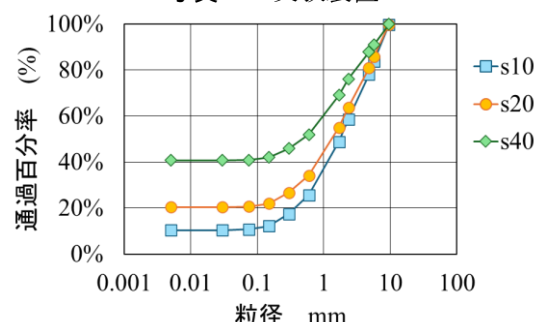


図-1 粒径加積曲線

表-1 実験ケース

供試体	単位セメント量 [kg/m ³]		
S10 (細粒分含有率 10%)	80	130	180
S20 (細粒分含有率 20%)	80	130	180
S40 (細粒分含有率 40%)	80	130	180

2.2 実験供試体とケース

実験に用いた母材は、JIS コンクリート規格に準拠した粗骨材と細骨材をベースとし、細粒分として土木用乾燥粘土（トチクレ）を混合することで、図-1 に示す粒度分布を有する合成母材を調整した。細粒分含有率を $S=10\%$ 、 20% 、 40% （以下、それぞれ S10、S20、S40 と表記）の3条件とし、これに単位セメント量を $C=80$ 、 130 、 180 kg/m³（以下、それぞれ C80、C130、C180 と表記）を組み合わせた9種類の配合を設定した。表-1 に示すように、各配合条件につき3本の供試体を作成し、合計27本の供試体を用いて実験を行った。

3. 実験結果

3.1 圧縮強度

図-2 に単位セメント量と圧縮強度の関係、図-3 に細粒分含有率と圧縮強度の関係を示す。S10 の条件では、単位セメント量の増加に伴い圧縮強度がほぼ線形増加を示した。一方で、S20 および S40 の条件では、C80 から C130 への増量の伴い圧縮強度の増加が認められたものの、C130 から C180 は強度上昇が頭打ちとなる傾向が観察された。特に、C80 の条件では、細粒分含有率に関わらず、全ての供試体での発現強度は1N/mm²を下回り、配合の差異による強度差がほとんど認められなかった。写真-2 に、発現強度が最も大きな S10-C180 供試体

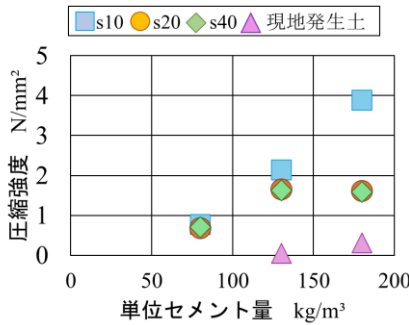


図-2 単位セメント量と強度関係

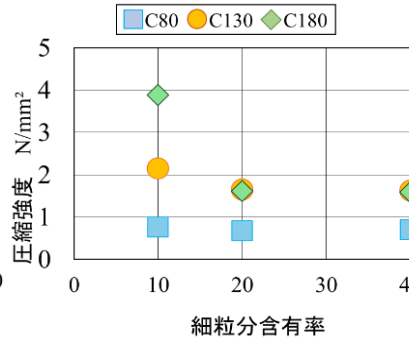


図-3 細粒分含有率と圧縮強度関係

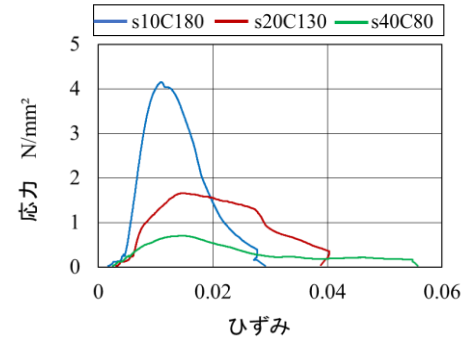


図-4 応力とひずみ関係



(a) S10-C180

(b) S40-C80

写真-2 破壊性状

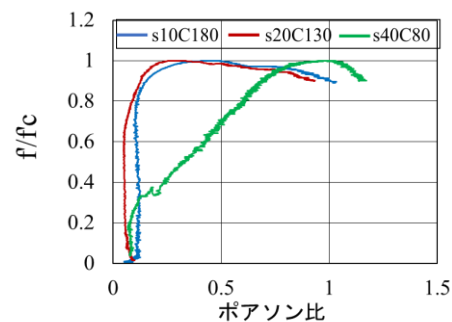


図-5 応力とポアソン比関係

と、発現強度が最も小さな S40-C80 の供試体の破壊形状を比較した。両ケースとも、せん断破壊モードを示した。この結果から、C80 条件ではセメント水和反応が不十分で固化状態に留まり、特に S20 および S40 条件では細粒分の比表面積増大によりセメント粒子の分散が阻害され、有効な結合が形成されなかったと推察される。

3. 2 ひずみとポアソン比

前項までに検討した細粒分量や単位セメント量の違いによる圧縮強度の値やその伸び、そして供試体の破壊形態の観察だけでは強度特性を捉えにくく、同じ発現強度でも破壊特性は異なる可能性がある。そこで、S10-C180, S20-C130, S40-C80 を検討ケースとして応力-ひずみ関係およびポアソン比変化による弾性領域の範囲を比較した。図-4, 5 に、応力-ひずみ関係およびポアソン比関係を整理した図を示す。

応力-ひずみ関係では、すべてのケースでピーク強度時の破壊ひずみは 1.5 % 程度であり、ピーク強度時の曲線形状は発現強度により異なる。S10-C180 のケースではコンクリートのような凸型の破壊形状であった。一方、S40-C80 の形状は明瞭なピークがなく土質改良的な曲線形状である。それに対し S20-C130 のケースはこの中間的な形状で 1N/mm² を超えてからのひずみが大きくなりピークに至っている。

応力-ポアソン比関係では、S20-C130 および S10-C180 のケースでは、ピーク強度の 70~80 % まではポアソン比がほぼ一定であり、弾性挙動の範囲が広い。降伏後の変異が急激であり破壊していることがわかる。応力ひずみの関係において S20-C130 のケースは S10-C180 のケースと比較して異なる曲線形状を示していたが、ポアソン比と弾性領域の範囲は同じ傾向であり、S20-C130 のケースもコンクリート的な強度特性を有しているものと考えられる。一方、S40-C80 では弾性領域はピーク強度の 20~30 % 程度と範囲が小さく、ピーク強度に至るまで徐々にポアソン比が大きくなっている。これは、応

力ひずみの関係でみられた傾向と同様、破壊に至るまで徐々に変形していることを示す。ここで、先に見た破壊形状の観察ではせん断の破壊形態であったことから、S40-C80 のケースは硬化ではなく固化の状態を示していたものと考えられる。これは、土の変形状態とは異なり、硬化不良あるいは未硬化の領域で、水和反応による内部性状ではないものと考えられる。

4. 結 論

以下に、本実験により得られた成果を示す。

- (1) 流動タイプの砂防ソイルセメントにおいて、細粒分含有率の増加に伴い、圧縮強度の単位セメント量に対する感度が低下する特性を明らかにした。具体的には、細粒分含有率 20 % 以上において、単位セメント量 130 kg/m³ 以下の領域では強度増加率が著しく低下する。
- (2) 応力ひずみ曲線とポアソン比から、材料の力学特性を 3 つの領域に分類可能であることを示した。
- (3) このような結果からコンクリート的な強度特性や土質改良的な強度特性に加えて、硬化不十分という領域を示すことができる可能性がある。

今後の課題として、現地発生土の有効活用を進めるため、有機分を含む材料や細粒分含有量の多い土砂等実際に用いる土砂を対象に、発現強度と強度特性の関係について検証してゆくことが求められる。

参考文献

- 1)堀口俊行, 嶋丈示, 八木澤一哉, 黒田一郎: セメント量と細粒分含有率が砂防ソイルセメントの強度特性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.245-250, 2020.
- 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), 2016.
- 3) 山野隆康: 締固め度の変形とポアソン比測定に関する一考察, 土木学会論文報告集, Vol.291, pp.107-118, 1979.