

高含水比かつスレーキング性のある骨材を含有する現地発生土砂を対象とした 砂防ソイルセメントの配合試験

○ 株式会社 本久 小布施 栄

株式会社エイト日本技術開発 山中 久幸 海原 荘一

国土交通省 北陸地方整備局 能登復興事務所 桃井 裕史 大崎 恵慎 本田 正和

1. はじめに

近年、砂防事業における残土処理が課題となる中、災害の激甚化・頻発化も重なり、土砂の利活用への期待が高まっている。能登地域では令和6年の地震災害により多量の土砂が流出しており、その活用が期待されている。こうした状況の中、砂防ソイルセメント工法は、現地発生土砂を活用できる技術として注目されている。また、早期復興への貢献も期待されるが、土砂の品質が施設の品質に大きく影響を与えるため、適用には慎重な検討が必要である。しかしながら、今後の社会的課題を見据えれば、適用が困難とされる土砂の利活用の可能性を探り、技術の向上を図ることは不可欠である。そこで本研究では、適用困難と判断された現地発生土砂の特性を明らかにし、その利活用の可能性について検討した。

2. 配合試験

2.1 現地発生土砂の物性値

本研究の対象は、令和6年の地震により大規模崩壊が発生した輪島市市ノ瀬地区である（図-1）。試料は、砂防堰堤建設予定地の土流に堆積した崩壊土砂（以下、当該土砂と称す）から採取した。当該土砂の物性値を表-1に示す。当該土砂は、細粒分質砂質礫（GFS）に分類される。自然含水比が43.4%と高く、塑性指数は50.6であり粘性を有する。含有礫は砂岩・凝灰岩・泥岩が混在し、点載荷試験（JGS3421）による平均一軸圧縮強さは22.3MN/m²と非常に弱い。さらに、密度が小さく吸水率が高い点も特徴である。現地では岩塊のスレーキングが多く観察され、岩の破碎率試験（JHS109）および岩石の促進スレーキング試験（JHS110）の結果、当該土砂は適用に注意が必要な土砂と判定された。有機不純物試験による試料液の色調は淡黄色で有機不純物の影響による固化阻害の影響は少ないと考えられる。



図-1 現地状況

表-1 現地発生土砂の物性値

土粒子の密度	g/cm ³	2.741	
自然含水比	%	43.4	
粒度	礫分	%	38.1
	砂分	%	17.4
	細粒分	%	44.5
表乾密度	細骨材	g/cm ³	1.99
密度	粗骨材	g/cm ³	1.70
吸水率	細骨材	%	26.7
	粗骨材	%	47.3
液性限界	%	102.3	
塑性限界	%	51.7	
塑性指数		50.6	
礫の一軸圧縮強さ	MN/m ²	22.3	
有機不純物試験		濃黄色	
岩の破碎率	%	23.3	
スレーキング率	%	60.4	

2.2 配合試験

配合試験は、発現強度の確認を目的にφ50×100mmの小径供試体で実施した。試験結果を図-2に示す。当初は転圧タイプ（Case1～6）を検討対象としたが、試験結果を踏まえ流動タイプを追加し（Case7～10）、さらに詳細の利活用検討のためCase11・12を実施した。Case1～10では、多量の岩塊が存在する現地状況やスレーキング試験の結果を踏まえ、ソイルセメントに含有する礫の乾湿劣化の影響を把握することを目的に、土砂を19mmふるいでスクリーニングし、改質材は最大粒径を13.2mm以下にふるったクラッシャーランを使用した。Case11・12は、含有礫が強度に与える影響を小さくする目的で、10mmふるいでスクリーニングした土砂を用いた。硬化材は主として強度発現に優れる有機質土用セメント系硬化材（以下、硬化材と称す）を用いた。転圧タイプの供試体は、「セメント系硬化材による改良体強さ試験方法（JSASL-01）」に準拠して作製し、流動タイプはコンクリートと同様の内割り法で配合後、ジグギングによって作製した。供試体はそれぞれ20℃の養生庫で封かん養生を行った。

2.3 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験は、材齢7日（Case1～10）と28日で実施した。なお、促進スレーキング後の圧縮強度試験結果については後

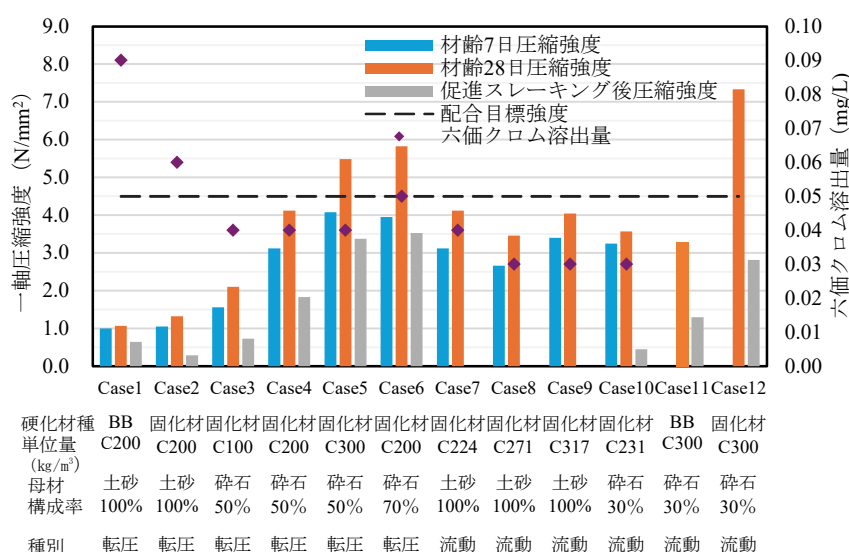


図-2 圧縮強度試験結果

述する。材齢 28 日で配合目標強度 (4.5N/mm²) を上回ったのは、転圧タイプの Case5 (砕石 50%置換, 単位セメント量 300 kg/m³) および Case6 (砕石 70%置換, 単位セメント量 200 kg/m³) である。また、土砂の最大粒径を調整した流動タイプの Case12 (砕石 30%置換, 単位セメント量 300 kg/m³) も配合目標強度を上回った。六価クロムの溶出量は転圧タイプのほうが多い傾向を示した。

材齢 7 日から 28 日の強度の伸びに着目すると、砕石 70%置換の Case7 は伸び率 1.47 と一般的な値に近いが、他のケースの平均伸び率は 1.25 と低い。この要因として、含有礫の影響や水和不良が考えられる。そこで、圧縮強度試験後の供試体を使用して針貫入試験を実施し、モルタル部の一軸圧縮強さを推定した (図-3)。その結果、Case1~10 では供試体の圧縮強度に対してモルタル部の強度が約 1.5 倍大きい。一方、最大粒径を小さくした Case11・12 ではこの強度差が小さくなった。この試験結果および供試体の内部観察の結果、内部に含有する礫の質や含有量が供試体の強度発現に影響を及ぼしていることが示唆される。

2.4 供試体の促進スレーキング試験

スレーキング試験後に 3 本の供試体すべてが形状保持したのは、砕石置換を行った Case4, 5, 6, 11, 12 の 5 ケースであった。これら 5 つのケースはスレーキングに対する抵抗性を示したものの、残留強度は 38~61% (平均 49%) であり、乾湿による顕著な強度低下が確認された。さらに、内部の含有礫はスレーキングによる土砂化が認められた。

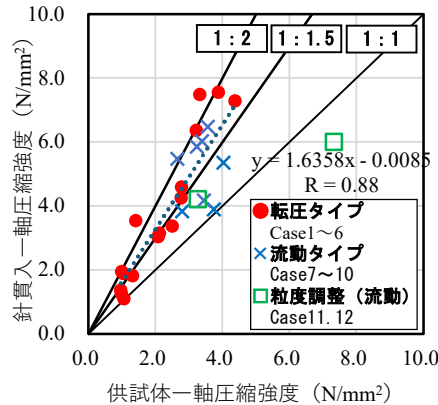
スレーキングで崩壊した供試体の観察結果 (図-4) として、転圧タイプでは乾燥により礫周辺にひび割れや剥離が生じる。その後、水浸によって礫の膨張と土砂化が進行し、最終的に崩壊に至る様子が確認された。また、水平方向のクラックや上下の分断も見られた。流動タイプでは、乾燥による不規則なひび割れが発生し、乾燥と水浸によってひびが拡大し崩壊に至った。以上の結果から、当該土砂を砂防ソイルセメントに適用するには、礫の小粒径化と砕石による母材の改質が必要であり、かつ、スレーキングに抵抗する強度として 3N/mm²以上の圧縮強度を確保することが前提となる。併せて、ソイルセメントの強度低下要因となる著しい乾湿変化を生じさせない措置が必要であると考えられる。

3. 養生方法の違いによる発現強度の比較

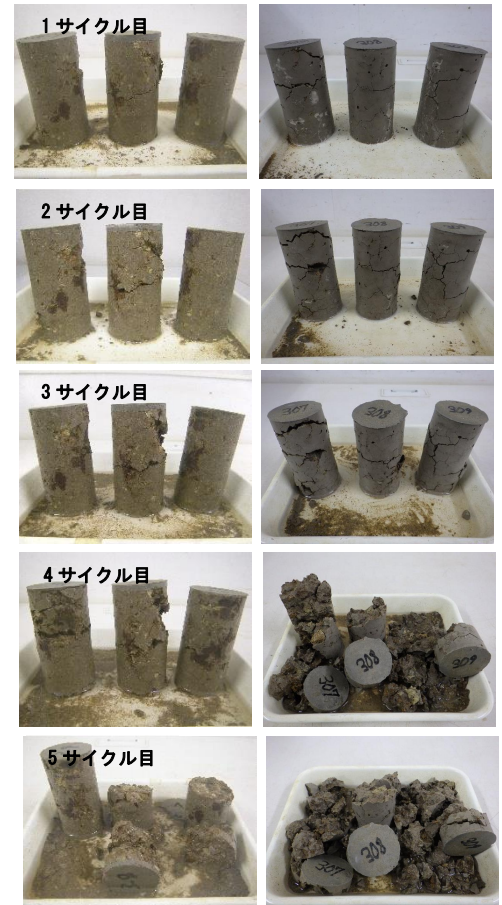
ここまでの試験結果を踏まえ、Case11, 12 の試験では、材齢 28 日で確実に強度発現をした供試体の養生環境の違いによる強度比較を行った。使用したセメントは BB 材と固化材の 2 材種で単位セメント量は 300kg/m³ である。供試体は材齢 28 日の供試体を用い、20℃の水中、寒中暴露、ゴム素材で被覆した状態での寒中暴露、50 cmの深さに土中埋設した 4 つの養生条件で 28 日後の圧縮強度を比較した。養生期間中の氷点下日数は 19 日である。この試験結果を図-5 に示す。標準的な養生環境である水中養生では材齢 28 日の強度と同程度であった。次に、暴露した供試体は促進スレーキング試験結果と同様のひび割れが発生し、43~60%の残留強度となった。これに対し、ビニール被覆した暴露供試体および土中環境で養生した供試体にひび割れは生じず、材齢 28 日供試体と同程度の強度となった。この試験結果より、乾湿繰返しが劣化の大きな影響要因であり、この抑制対策が効果的と考えられる。具体的には土砂型枠を含む外部保護層の増厚や水の遮断層の設置、あるいは土中利用を条件とした地盤改良への適用の可能性が考えられる。

4. おわりに

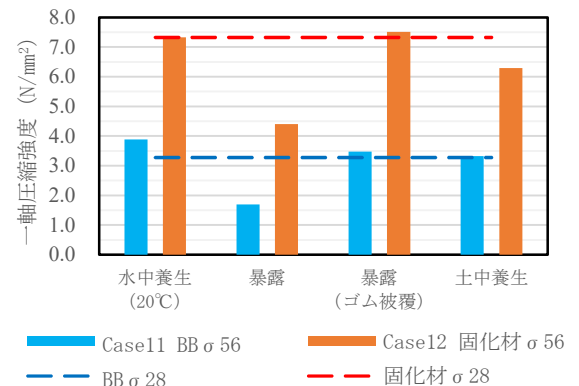
本検討では、活用困難とされるスレーキング性材料を母材とした砂防ソイルセメントの適用可能性を検討し、劣化の実態を明らかにした。また、水の遮断など劣化を抑制する構造環境を整えることで活用困難な土砂の利活用を推進できる可能性が示された。今後は、劣化低減を目的とした配合知見の蓄積や施設構造の検討が求められる。



図—3 供試体の一軸圧縮強度と針貫入による換算圧縮強度



図—4 促進スレーキング状況
(左: 転圧 Case2 右: 流動 Case9)



図—5 養生環境を変えた
材齢 56 日における圧縮強度試験結果