

能登半島のスレーキング土砂におけるソイルセメント適用性評価と改良材混合の効果

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○上葛 健太・飛岡 啓之・伊藤 力生・今井 健太郎・前田 憲紀  
 株式会社インバックス 秋山 剛志  
 国土交通省 北陸地方整備局 能登復興事務所 江渕 直嗣・山根 恭子・富田 楓真※  
 ※現 国土交通省 北陸地方整備局 信濃川河川事務所

1. はじめに

現地発生土砂を有効活用可能な構造材料として、砂防ソイルセメントが広く活用されてきた。砂防ソイルセメントは、現地で発生した土砂にセメント系固化材を混合し、転圧によって所要の強度および単位体積重量を確保する工法であり、材料調達性、施工性、環境負荷低減の観点から有効な技術とされている。一方で、その性能は母材となる土砂の粒度特性、含水比、有機不純物含有量などに依存するため、すべての現地土砂が無条件に適用可能であるわけではない。

本研究対象地域である町野川水系鈴屋川右支川・牛尾川流域では、地震に起因する多数の斜面崩壊が発生したが、同流域の土砂は自然含水比が高く低密度で、吸水により崩壊しやすいスレーキング特性を有することから、単独では砂防ソイルセメントの要求性能（強度発現性および単位体積重量）を満足することが困難であった。一方、若干離れた塚田川流域の土砂は、比較的良質で、ソイルセメント材料としての適用性が高いことが確認されている。このような対照的な土砂特性を有する二つの流域に着目し、品質の劣る現地発生土砂を良質土との混合により砂防ソイルセメント材料として再評価することは、災害時の砂防事業における資源循環や施工の合理化の観点から有効である。

そこで本研究では、牛尾川土砂を主材料とし、塚田川土砂を良質土として混合した砂防ソイルセメントを対象に、混合割合、単位セメント量および含水比を主要なパラメータとして設定し、材料試験および配合試験を通じて、強度発現特性並びに適用性について評価を行った。

2. ソイルセメントへの適用性評価

2.1 土質材料特性

配合設計の実施にあたり、双方の土砂について材料特性の把握を行った。土質試験は、砂防ソイルセメント施工便覧平成 28 年版<sup>1)</sup> に準じて、配合設計に必要な試験項目を選定し実施した。表-1 に試験結果を示す。塚田川土砂では、粒度組成や含水特性が安定しており、一般的な砂質土に相当する値が確認された。

一方、牛尾川土砂は、自然含水比および最適含水比が高く、最大乾燥密度も低いことから、粘性土相当の材料特性を示す結果となった。また、牛尾川土砂は礫分が50%以上を占めているものの、指圧やハンマーによって容易に崩れるスレーキングを起こしやすい特徴を有している。このような礫は吸水に伴って膨張しやすく、

セメントの固化作用が十分に発現しにくい傾向にあることから、ソイルセメント材料としての取り扱いには留意が必要であることがわかった。

表-1 材料試験結果

試験項目			試験結果	
			塚田川 仮置土砂	牛尾川 土砂
ふるい分け試験	礫 分	(%)	50.9	50.6
	砂 分	(%)	32.9	35.6
	シルト・粘土分	(%)	16.2	13.8
土粒子の密度試験	密度 Gs	(Mg/m <sup>3</sup> )	2.78	2.57
締固め試験	最大乾燥密度dmax	(Mg/m <sup>3</sup> )	1.93	1.24
	最適含水比wopt	(%)	13.0	31.7
含水比試験	自然含水比wn	(%)	17.4	45.7
有機不純物試験	色彩判定		淡黄色	赤黄色

2.2 ソイルセメントの適用性指標分類による評価

材料試験の結果を用いて、適応性指標分類により、ソイルセメントへの適用性を評価した。適応性指標分類は、既存の多数存在するソイルセメントの配合試験結果を土質試験結果（自然含水比・最適含水比・最大乾燥密度・細粒分含有率）の材料特性から分類し、適応性の指標とするものである。

表-2 に結果を示す。塚田川土砂は、全ての項目において分類Bとなり、現地土砂 100%での使用が可能であることがわかった。一方、牛尾川土砂は、細粒分含有率のみ分類Bで、その他の項目については分類Dとなり、現地土砂そのままでは適用できず、改良混合が必要であることがわかった。

表-2 材料試験結果指標分類結果  
 (上:塚田川土砂、下:牛尾川土砂)

要求強度 4.5 N					
土質試験項目 / 分類	分類A	分類B	分類C	分類D	対象土料
自然含水比 (%)					17.4
最大乾燥密度 (Mg/m <sup>3</sup> )					1.93
最適含水比 (%)					13.0
細粒分含有率 (%)					16.2
土砂単独活用の場合	固化材量100kg以下	固化材量100~200kg	固化材量200~300kg	固化材量300kg超	-
改良材混合による土砂活用の場合			改良材30~50%混合 固化材量150~250kg	改良材50~70%混合 固化材量150~250kg	-

要求強度 4.5 N					
土質試験項目 / 分類	分類A	分類B	分類C	分類D	対象土料
自然含水比 (%)					45.7
最大乾燥密度 (Mg/m <sup>3</sup> )					1.24
最適含水比 (%)					31.7
細粒分含有率 (%)					13.8
土砂単独活用の場合	固化材量100kg以下	固化材量100~200kg	固化材量200~300kg	固化材量300kg超	-
改良材混合による土砂活用の場合			改良材30~50%混合 固化材量150~250kg	改良材50~70%混合 固化材量150~250kg	-

### 3. 改良混合による配合試験

#### 3.1 目標設定

配合試験の目標値は、砂防堰堤本體工として配合強度 4.5N/mm<sup>2</sup>とした。単位体積重量は試験結果をもとに堤体断面を設計するため、目標設定は行っていない。

#### 3.2 配合試験ケース

塚田川土砂および牛尾川土砂を用いて配合試験を実施した。単位セメント量は材料特性を考慮し、200kg/m<sup>3</sup>、250kg/m<sup>3</sup>の2ケースとした。試験含水比は配合試験当日の練り混ぜ状況により、3ケースで設定した。

表-3 配合試験ケース一覧表

配合 ケース	混合割合 (%)		単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	試験含水比 (%)			配合数
	牛尾川土砂	塚田川仮置土砂		①	②	③	
CASE-1	70	30	200 (GS225)	30.0	33.5	37.0	3
CASE-2	70	30	250 (GS225)	30.5	34.0	37.5	3
CASE-3	50	50	200 (GS225)	25.0	28.5	32.0	3
CASE-4	50	50	250 (GS225)	25.5	29.0	32.5	3

### 3.3 配合試験結果と考察

#### 3.3.1 混合割合の影響

牛尾川土砂と塚田川土砂の混合割合を変化させた配合試験の結果を表-4に示す。混合割合は強度発現性および単位体積重量の双方に顕著な影響を与えることが明らかとなった。「牛尾川土砂70%/塚田川土砂30%」の配合では、牛尾川土砂の特性が強くなり、含水比が高い条件下で泥化が生じやすい傾向が確認された。一方、「牛尾川土砂50%/塚田川土砂50%」の配合では、良質土である塚田川土砂の影響により安定した強度発現が得られた。

単位体積重量についても、混合割合の影響は顕著であり、塚田川土砂の混合割合が高いケースほど単位体積重量が増加する傾向が確認された。これは、最大乾燥密度の高い塚田川土砂が混合されることで、締め固めの密実性が向上したためと考えられる。

これらの結果から、牛尾川土砂は単独では砂防ソイルセメント材料としての適用が困難であるものの、良質土との混合によって力学的性能および重量特性が大きく改善されることが示された。

表-4 配合試験結果 (材齢 28 日)

試験ケース	混合割合		セメント種類	単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	試験含水比 (%)	28日強度試験結果							
	牛尾川土砂 (%)	塚田川仮置土砂 (%)				番号	質量 (kg)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	平均値 (kN/m <sup>2</sup> )	最大荷重 (kN)	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	強度伸び率 (%)
CASE 1-1	70	30	GS225	200	30.0	4	5.563	17.8	17.7	27.6	2.25	2.09	124%
						5	5.603	17.9	28.9	2.36			
						6	5.454	17.4	20.3	1.66			
CASE 1-2	70	30	GS225	200	33.5	4	5.615	18.6	18.5	69.3	5.65	4.64	125%
						5	5.765	18.4	55.1	4.49			
						6	5.606	18.6	53.6	4.37			
CASE 1-3	70	30	GS225	200	37.0	4	5.642	18.0	18.1	68.7	5.60	5.76	137%
						5	5.679	18.2	73.9	6.02			
						6	5.674	18.2	69.5	5.67			
CASE 2-1	70	30	GS225	250	30.5	4	5.635	18.0	18.2	30.7	2.50	2.76	157%
						5	5.715	18.3	39.7	3.24			
						6	5.696	18.2	31.3	2.55			
CASE 2-2	70	30	GS225	250	34.0	4	5.852	18.7	18.7	63.7	5.19	4.61	126%
						5	5.853	18.7	52.6	4.29			
						6	5.793	18.5	53.3	4.35			
CASE 2-3	70	30	GS225	250	37.5	4	5.691	18.2	18.1	68.2	5.56	5.99	124%
						5	5.671	18.1	80.3	6.55			
						6	5.656	18.1	71.7	5.85			
CASE 3-1	50	50	GS225	200	25.0	4	5.681	19.1	19.3	42.2	3.52	4.03	131%
						5	6.077	19.4	51.6	4.21			
						6	6.019	19.3	53.5	4.36			
CASE 3-2	50	50	GS225	200	28.5	4	6.030	19.3	19.3	71.3	5.81	6.26	132%
						5	6.043	19.3	79.8	6.51			
						6	6.010	19.2	79.3	6.47			
CASE 3-3	50	50	GS225	200	32.0	4	5.848	18.7	18.7	60.7	4.95	5.78	139%
						5	5.851	18.7	76.0	6.20			
						6	5.860	18.7	76.1	6.20			
CASE 4-1	50	50	GS225	250	25.5	4	5.976	19.1	19.1	52.4	4.27	3.88	111%
						5	5.857	19.1	43.1	3.53			
						6	6.002	19.2	47.2	3.85			
CASE 4-2	50	50	GS225	250	29.0	4	6.016	19.2	19.3	68.0	5.54	5.43	130%
						5	6.060	19.4	64.3	5.24			
						6	6.012	19.2	67.4	5.50			
CASE 4-3	50	50	GS225	250	32.5	4	5.863	18.8	18.8	96.7	7.88	7.72	141%
						5	5.883	18.8	93.4	7.61			
						6	5.930	19.0	94.0	7.66			

#### 3.3.2 単位セメント量による影響

単位セメント量を変化させた配合試験の結果、セメント量の増加に伴う強度増加は必ずしも線形ではなく、一定量を超えると強度増加が鈍化する傾向が確認された。特に、単位セメント量 250 kg/m<sup>3</sup>のケースでは、含水比条件によってはピーク強度を十分に捉えられず、強度が収束する状況が観察された。すなわち、単位セメント量は単に多ければ良いのではなく、土砂特性および含水比条件と整合した最適範囲を設定することが重要であり、セメント添加量に対する含水比のコントロールが重要であることが確認できた。

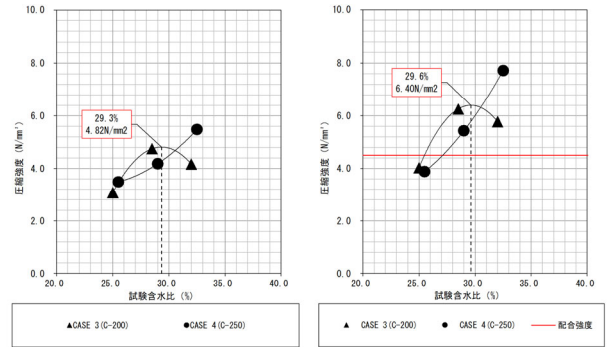


図 4-2 牛尾川土砂：50% 塚田川仮置土砂：50%配合試験結果とピーク強度含水比 (左：材齢 7 日、右：材齢 28 日)

図-1 ピーク強度含水比

#### 3.3.3 単位体積重量

供試体の単位体積重量は、混合割合および含水比条件に応じて変動したが、適切な配合条件下では砂防堰堤内部材として要求される単位体積重量を満足する値が得られた。特に、「牛尾川土砂50%/塚田川土砂50%」の配合では、材齢 7 日の段階で安定した単位体積重量が確保されており、施工初期段階における品質管理の観点からも有効な配合であると評価できる。

一方、牛尾川土砂 70%の配合では、含水比条件によって単位体積重量のばらつきが大きく、施工管理上のリスクが高いことがわかった。

### 4. おわりに

本研究の成果は、単独では利用が困難と評価される現地発生土砂であっても、適切な混合設計および配合条件を設定することで、活用範囲を拡張できることを示したものである。これにより、能登半島地域における廃棄土砂の削減に加え、砂防、河川、道路など幅広い分野の復旧事業において、工事費削減、資材不足の解消、CO<sub>2</sub> 排出量削減に寄与する有効な手法となる。また、砂防ソイルセメントは道路盛土等にも利用可能であることから、現地発生土を集積し、ソイルセメントの一括製造プラントを設置する集中プラント方式<sup>2)</sup>を導入することで、用途に応じた製造の一元管理が可能となり、復旧事業の効率化に寄与することが期待される。

**参考資料** 1) 一般財団法人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  
2) 崎田ほか、熊本震災関連工事における集中プラント方式を用いた工期短縮実績の紹介、2019 年度砂防学会研究発表会 概要集 P643-644, 2019