

能登復興 砂防事業の取組み ー砂防ソイルセメントの活用検討についてー

今村 福¹・江渕 直嗣¹・山根 恭子¹

¹北陸地方整備局 能登復興事務所 調査課（〒926-0046 石川県七尾市神明町口12番地2）

令和6年能登半島地震及び奥能登豪雨により、能登地域では大量の土砂が発生し、土砂処理場の不足が課題となっていることから、発生土砂の有効活用が求められている。本稿では、能登復興事務所が実施する砂防事業を対象として、発生土砂の砂防ソイルセメント材料としての適用性を検討した。3水系4地区で採取した土砂について土質試験を実施した結果、塚田川土砂は活用可能である一方、市ノ瀬町地区、鈴屋川地区及び牛尾川地区の土砂は単独での活用が困難であることを確認した。そこで、牛尾川土砂と塚田川土砂の混合土による配合試験を実施した結果、単独では活用が困難な土砂についても、混合利用により活用できる可能性が示された。

キーワード 令和6年能登半島地震、奥能登豪雨、土砂災害、砂防事業、砂防ソイルセメント

1. はじめに

2024年1月1日に発生した能登半島地震では、石川県能登地方を中心に大規模な斜面崩壊や地すべり、河道閉塞等が多数発生し、河川・道路・砂防施設などの社会基盤施設に甚大な被害をもたらした。特に奥能登地域では、山地斜面から流出した大量の土砂が河道内に堆積し、二次災害の危険性が高まったことから、石川県知事からの要望等を踏まえ、国土交通省が直轄砂防事業等を実施することとなった。

さらに同年9月には、奥能登地域において記録的な豪雨が発生し、輪島市や珠洲市を中心に河川氾濫、土石流および斜面崩壊が多発するなど、復旧途上にあった地域は再び大きな被害を受けた。このため、河道内に堆積した土砂の除去や応急砂防施設の整備など、暫定的な安全性を確保するために対策を早急に実施した後、砂防堰堤などの恒久対策の整備を進めている。

一方で、これらの復旧対策では大量の土砂が生じることから、処分地の確保や運搬コストの増大が課題となる。そのため、発生土砂を有効活用できる技術の導入が求められた。

本稿では、能登復興事務所が実施する砂防事業において、能登半島地震および奥能登豪雨に伴う復旧事業で発生した土砂に着目し、砂防ソイルセメント材料としての適用性を確認することを目的として実施した土質試験および配合試験結果、単独では活用が困難な牛尾川土砂について、塚田川土砂との混合による有効活用の可能性について検討した結果を報告する。

2. 砂防事業における発生土砂の状況

(1) 砂防事業の概要

能登復興事務所では、2024年1月に発生した令和6年能登半島地震及び同年9月の奥能登豪雨により被災した地域において、石川県知事からの要請等を踏まえ直轄砂防事業を実施している。対象地区は、河原田川水系紅葉川（市ノ瀬町地区）、河原田川水系河原田川（熊野町地区）、町野川水系鈴屋川、牛尾川、寺地川、塚田川水系塚田川の3水系4地区である（図-1）。

各地区では、地震及び豪雨により大規模な斜面崩壊や土石流が発生し、多量の土砂が溪流や谷底へ流出・堆積した。また、各地区に残存する不安定土砂の量は膨大であり、全ての土砂を除去することは現実的ではないことから、砂防堰堤や溪流保全工等による土砂処理方針の下砂防施設の設計・施工を進めている。



図-1 砂防事業の位置

(2) 発生土砂の状況及び課題

能登半島地震及び奥能登豪雨により、各地区において斜面崩壊や土石流が発生し、大量の土砂が河道内に堆積した。また、復旧事業に伴う河道掘削や不安定土砂の除去により、多量の土砂が生じている。

能登半島では現在、国土交通省が実施する砂防事業に加え、権限代行による道路事業、河川事業及び地すべり事業が進められているほか、石川県及び市町村においても多数の復旧・復興事業が同時並行で実施されている。このため、各事業から発生する土砂の受入需要が高まっており、土砂処理場の確保が課題となっている。

また、今後予定されている砂防堰堤や流路工等の整備に伴い、更なる発生土砂が見込まれていることから、発生土砂を処分するだけでなく、資源として有効活用することが求められている。

このような背景から、発生土砂の有効活用方策の一つとして砂防ソイルセメントに着目し、その適用性について検討を行った。

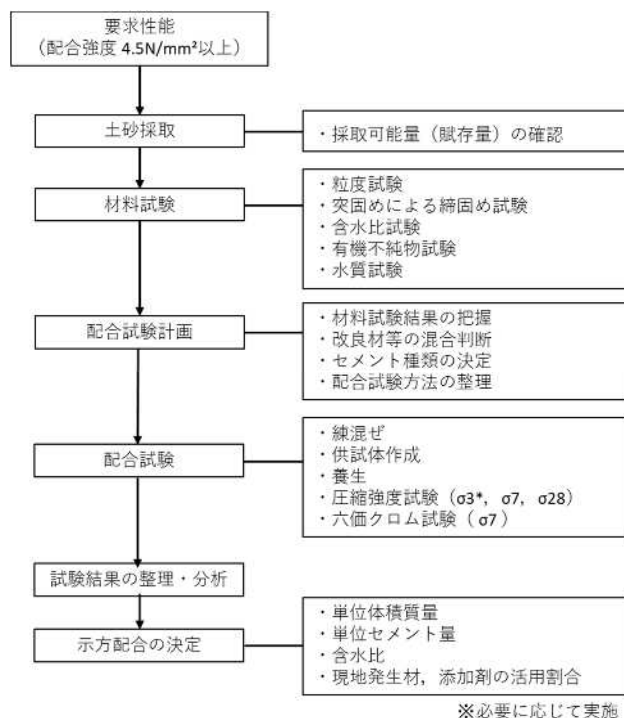


図-2 砂防ソイルセメントの適用性検討フロー

3. 砂防ソイルセメントの適用性検討

(1) 砂防ソイルセメントの概要

砂防ソイルセメントは、現地で発生した土砂にセメント及び水を混合して製造する建設材料であり、砂防事業において砂防堰堤等の構造物に利用されている。

通常、砂防堰堤などの砂防施設を施工する際には、生コンクリートを場外から搬入する必要がある。一方、砂防ソイルセメントは現地で発生した土砂を材料として利用する工法であり、発生土砂の有効活用が可能となる。また、発生土砂の搬出量や新たに搬入する建設資材の量を低減できることから、運搬に伴うコストの縮減や環境負荷の低減が期待できる。

ただし、発生土砂の性状によって品質や強度特性が異なるため、適用にあたっては事前に土質試験や配合試験を実施し、必要な性能を満足することを確認する必要がある。

そのため、今後整備される砂防施設への活用可能性を検討するため、各溪流より発生土砂を採取し、土質試験を実施した。また、その結果を踏まえて配合試験を実施した。

なお、本検討における適用性検討は、「砂防ソイルセメント施工便覧（平成28年版）」に示される検討フローを参考に実施した（図-2）。

(2) 試料の採取

試験に使用する試料は、対象とした3水系6地区のうち、河原田川水系紅葉川（市ノ瀬町地区）、町野川水系牛尾川、鈴屋川及び塚田川水系塚田川の4地区において採取した。採取した試料は、地震及び豪雨により溪流内に堆積した土砂である。各地区における土砂採取状況を写真-1に示す。



写真-1 各地区における土砂採取状況

表-1 転圧タイプ(=INSEM)で実施されている一般的な材料試験項目のデータ

試験項目	基準	単位セメント量200kg以下で適用可能な土砂の平均的なデータ	目的
ふるい分け試験	JIS A 1204	細粒分:20%	材料の物理特性値の把握
密度・吸水率試験	JIS A 1110	細骨材吸収率:10% 粗骨材吸収率:5%	
含水率(比)試験	JIS A 1203	自然含水比:15%	
締固め試験	JIS A 1210	最大乾燥密度:1.75g/cm ³ 最適含水比:12%	単位体積質量および最適含水比の把握

表-2 土質試験結果

試験項目			試験結果			
			市ノ瀬地区	鈴屋川	牛尾川	塚田川
ふるい分け試験	礫 分	(%)	38.1	93.5	50.6	50.9
	砂 分	(%)	17.4	4.8	35.6	32.9
	シルト・粘土分	(%)	44.5	1.7	13.8	16.2
土粒子の密度試験	密度 Gs	(t/m ³)	2.74	2.49	2.57	2.78
締固め試験	最大乾燥密度 dmax	(t/m ³)	—	1.09	1.24	1.93
	最適含水比 wopt	(%)	—	48.1	31.7	13
含水比試験	自然含水比 wn	(%)	43.4	47.8	45.7	17.4
有機不純物試験	色彩判定		濃黄色	赤黄色	赤黄色	淡黄色



写真-2 スレーキングを生じた礫（牛尾川）

(3) 土質試験の内容及び結果

a) 試験内容

発生土砂の基本的な土質特性を把握し、砂防ソイルセメント材料としての適用性を確認するため、採取した試料について土質試験を実施した。土質試験は、砂防ソイルセメント施工便覧（平成28年版）に準じて、粒度試験、締固め試験、含水比試験、有機不純物試験を実施した。

b) 評価基準

粒度特性、細粒分含有率及び締固め特性等を踏まえて砂防ソイルセメント材料としての適用性を評価する。一般的に、細粒分（シルト・粘土）が含まれず、吸水率・含水比が低く、締固め試験の最大乾燥密度が高く、最適含水比が低いといった物理的性状を有する土砂がソイルセメントの母材としての適用性が高い。また、材料試験は、砂防ソイルセメント施工便覧（平成28年版）の表-1.6転圧タイプ(=INSEM)で実施されている一般的な材料試験項目データを参考とする。なお、表-1に示す基準値は、単位セメント量200kg/m³以下で適用可能な土砂の平

均的な試験結果を参考に設定したものであり、適用性を判断する際の目安である。

c) 試験結果及び評価

表-2に試験結果を示す。試験の結果、各地区で土質特性に違いが確認された。塚田川土砂について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ことから、砂防ソイルセメント材料として活用可能であると判断した。

一方、市ノ瀬町地区、鈴屋川地区及び牛尾川地区の土砂について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、鈴屋川土砂及び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（写真-2）。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から、単独での砂防ソイルセメント材料としての活用は困難であると判断した。

そこで、単独では活用が困難な土砂のうち、牛尾川土砂について、塚田川土砂と混合させることで活用範囲を拡大できないか検討することとした。

4. 混合土による配合試験

(1) 配合試験の内容

土質試験結果を踏まえ、塚田川土砂と牛尾川土砂の混合土を対象として配合試験を実施した。配合試験は、砂防ソイルセメント施工便覧（平成28年版）に準じて実施し、混合割合及びセメント添加量を変化させた供試体を作製した。供試体は所定期間養生した後、圧縮強度試験を実施した（写真-3）。砂防ソイルセメント材料としての適用性を評価した。

単位セメント量は、材料特性を考慮し、200kg/m³、250kg/m³の2ケースを設定した。また、牛尾川土砂と塚田川土砂の混合割合についても2ケースを設定した。試験含水比は配合試験の当日の練り混ぜ状況により、3ケースで設定した。配合試験ケースを表-3に示す。

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 ³)	試験含水比(%)			配合数
	牛尾川土砂	塚田川土砂		①	②	③	
ケース1	70	30	200(GS225)	30.0	33.5	37.0	3
ケース2	70	30	250(GS225)	30.5	34.0	37.5	3
ケース3	50	50	200(GS225)	25.0	28.5	32.0	3
ケース4	50	50	250(GS225)	25.5	29.0	32.5	3



スランブ試験 一軸圧縮試験
写真-3 配合試験の状況

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 ³	試験 含水比 %	番号	28日強度試験結果								強度 係数R _{0.95}
	牛尾川土砂 %	能登半島土砂 %					実量		平均値	最大実量		平均値	強度		
							kg	kN/m ²		kN/m ²	N/mm ²		N/mm ²		
ケース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				
						4	5,815	18.6		69.3	5.65				
ケース1-2	70	30	GS225	200	33.5	5	5,765	18.4	18.5	55.1	4.48	4.84	125%		
						6	5,808	18.6		53.6	4.37				
						4	5,642	18		68.7	5.60				
						5	5,678	18.2		73.9	5.92				
ケース1-3	70	30	GS225	200	37.0	6	5,674	18.2	18.1	69.5	5.67	5.76	137%		
						4	5,635	18		30.7	2.50				
						5	5,713	18.3		39.7	3.24				
						6	5,695	18.2		31.3	2.55				
ケース2-1	70	30	GS225	250	34.0	5	5,852	18.7	18.7	63.7	5.19	4.61	126%		
						6	5,853	18.7		52.0	4.29				
						4	5,783	18.5		53.3	4.35				
						5	5,691	18.2		68.2	5.56				
ケース2-2	70	30	GS225	250	37.5	6	5,671	18.1	18.1	80.3	6.55	5.89	124%		
						4	5,658	18.1		71.7	5.85				
						4	5,681	18.1		43.2	3.52				
						5	6,072	19.4		51.6	4.21				
ケース3-1	50	50	GS225	200	25.0	6	6,013	19.3	19.3	53.5	4.36	4.03	131%		
						4	6,030	19.3		71.3	5.81				
						5	6,043	19.3		79.8	6.51				
						6	6,010	19.2		79.3	6.47				
ケース3-2	50	50	GS225	200	28.5	4	5,848	18.7	18.7	60.7	4.85	5.26	132%		
						5	5,851	18.7		76.0	6.20				
						6	5,869	18.7		76.1	6.20				
						4	5,978	19.1		52.4	4.27				
ケース4-1	50	50	GS225	250	25.5	5	5,957	19.1	19.1	43.3	3.53	3.88	111%		
						6	6,002	19.2		47.2	3.85				
						4	6,015	19.2		68.0	5.54				
						5	6,060	19.4		64.3	5.24				
ケース4-2	50	50	GS225	250	29.0	6	6,012	19.2	19.3	67.4	5.50	5.43	130%		
						4	5,863	18.8		36.7	2.93				
						5	5,883	18.8		34.4	2.81				
						6	5,930	19.0		24.0	1.96				
ケース4-3	50	50	GS225	250	32.5	5	5,883	18.8	18.8	33.4	2.81	7.72	141%		
						6	5,930	19.0		24.0	1.96				

(2) 配合試験結果と考察

配合試験結果を表-4に示す。試験の結果、混合割合の違いが強度発現性及び単位体積重量の双方に大きく影響することが確認された。ケース1及びケース2の配合では、牛尾川土砂の特性が強く反映され、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。その結果、圧縮強度のばらつきが大きく、安定した強度発現が得られにくい結果となった。一方、ケース3及び4の配合では、良質土である塚田川土砂の影響により泥化が抑制され、安定した強度発現が確認された。また、強度発現率についても良好な結果が得られており、砂防ソイルセメント材料として必要な品質を確保できる可能性が高いことが確認された。

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、締固め後の密実性が向上したためと考えられる。また、密実性の向上は強度発現にも寄与しているものと推察される。

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、塚田川土砂との混合によって力学的性能及び重量特性が大きく

改善されることが確認された。特に、塚田川土砂を一定割合以上混合することで安定した強度発現が得られることから、牛尾川土砂についても砂防ソイルセメント材料として有効活用できる可能性が示された。

5. おわりに

(1) まとめ

本検討では、能登半島地震及び奥能登豪雨により発生した河道内堆積土砂を対象として、砂防ソイルセメント材料としての適用性について検討を行った。その結果、対象とした4地区のうち、塚田川土砂については粒度組成や含水特性が安定しており、砂防ソイルセメント材料として活用可能であることを確認した。一方、市ノ瀬町地区、鈴屋川地区及び牛尾川地区の土砂については、自然含水比及び最適含水比が高く、最大乾燥密度も低いことから、単独での活用は困難であることを確認した。

しかしながら、牛尾川土砂については塚田川土砂との混合により強度特性及び重量特性が改善され、砂防ソイルセメント材料として活用できる可能性が示された。

このことから、発生土砂の性状に応じて適切な混合利用を行うことで、単独では活用が困難な土砂についても活用範囲を拡大できる可能性があると考えられる。ただし、その際は混合する土砂の運搬距離や賦存量を考慮し適切に判断する必要がある。

(2) 今後の施工に向けた検討状況

砂防ソイルセメント材料として活用可能であると判断した塚田川土砂については、今後施工を予定している塚田川地区の砂防堰堤及び塚田川地区に近接する市ノ瀬町地区での活用を予定している。

また、今後は砂防堰堤本体に求められる配合強度を満足しなかった土砂についても、工事用道路の盛土や施工ヤードの造成材などへの活用方法の検討を進めていく予定である。

発生土砂のさらなる有効活用を図ることで、課題となっている土砂処理場の確保や土砂搬出量の低減に寄与するとともに、効率的な復旧・復興事業の推進につなげていきたい。

謝辞：本稿の執筆にあたり、ご協力いただいた関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) パシフィックコンサルタンツ株式会社（2025）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
- 2) 砂防ソイルセメント施工便覧（平成28年版）