

## 有機質土壌における砂防ソイルセメントの適用性について

国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所 岩田幸雄, 三輪勝弘  
大日本土木(株) ○佐藤文雄, 奥村英司, 大西孝之  
(株)土木管理総合試験所 山谷良登, 八木澤一哉

### 1. はじめに

現在、長野県木曾郡南木曾町に位置する木曾川水系蘭川支流額付川(土石流発生溪流)において人家および公共施設、災害時要援護者施設、観光地等の保全を目的に砂防施設(額付川第2砂防堰堤)を整備施工中である。(写真-1) 堰堤の左岸側袖部(高さ5~12m, 延長約80m)について環境負荷軽減, コスト縮減の観点から砂防ソイルセメント工法〔内部材: INSEM工法〕を採用している。

当該地の地質は領家帯相当の黒雲母花崗岩(上松型)~天竜峡花崗岩類で基盤を形成し, 本施工箇所でのトレンチ調査結果から幾多の土石流による二次堆積性の強風化花崗岩(マサ土)が厚く分布することが確認された。

実施工に先立ち現地発生土砂の物性試験を行い, 砂防ソイルセメント活用ガイドライン<sup>1)</sup>, および既往研究データを基に単位セメント量を設定して配合試験を実施した。その結果, 目標強度レベルⅢ(3.0N/mm<sup>2</sup>)に対して著しい強度不足が確認された。本報は, これら一連の調査・試験結果について報告するものである。



写真-1 施設位置



写真-2 左岸側トレンチ面状況

### 2. 母材(現地発生土)の特性

土砂採取はえん堤施工箇所の左岸側・中央側・右岸側の3地点においてトレンチ調査を行い, 土砂の堆積状況・賦存量を確認した。(写真-2) 掘削面は左岸・右岸: 表土~砂質土(マサ土)※薄層粘性土を挟む, 中央: 表土~巨石混じり砂質土(マサ土)の地層構成が確認され, 3地点の表土を除くGL-3.00~5.00m付近の現地発生土砂を巨石除去したのちブレンドしたものを試料として土質試験・配合試験を行った。マサ土は黄褐色の色調を帯び, 当該地一帯に分布している。

現地発生土砂の物理特性を表-1, 粒度特性を図-1に示す。自然含水比は高い値を示すものの, レベルⅢへの適用指標とされるシルト・粘土分は10%未満, 2mm以下の含有率も55%未満であり, 目標強度レベルⅢを期待することができる材料特性にあることが推定された。なお, 類似の粒度特性を示す本えん堤下流側500mに位置する額付川第1砂防えん堤の堆積土砂で実施された既存配合試験結果では, 単位セメント量: 150kg/m<sup>3</sup>で目標強度レベルⅢを満足する結果が得られている。

表-1 土砂の物理特性

粒度	礫分(2~75mm) %	47.0
		砂分(0.075~2mm) %
	シルト粘土(~0.075mm) %	8.6
	自然含水比(Wn) %	14.9
縮固	$\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	1.867
	Wopt %	9.7

### 3. 配合試験

#### 3.1 配合試験その1

配合強度4.5N/mm<sup>2</sup>(目標強度3.0N/mm<sup>2</sup>×割増係数1.5)に対する高炉セメントB種を用いた配合試験の結果を図-2に示す。目標含水比は自然含水比(14.9%)を下限とし, 15.0%, 16.5%, 18.0%とした。含水比が16.5%および18.0%では, 含水比の増加に伴い強度低下を生じており単位水量「過多」の状態が想定された。圧縮強度の最大値は0.665N/mm<sup>2</sup>となり, 配合強度( $\sigma_{28}$ ): 4.5N/mm<sup>2</sup>に対して1/7程度の強度発現となった。

強度発現不良を生じた原因として, 目標土砂含水比, 土壌pH, 有機不純物などが考えられたため, コンシステンシー試験(VC試験), 土懸濁液のpH試験, 有機不純物試験, 強熱減量試験を行った。その結果, VC値・pH・強熱減量に関しては一般的な値を示すが有機不純物試験の色調が「黒褐色」を示し, 有機成分を吸着した土粒子が混在していることが推定された。

以上より, 強度発現不良の原因として有機成分が考えられることから, セメント種類の絞込みを目的として表-2に示す対策案について比較検討し, 強度発現効果・経済性・施工性ならびに周辺環境保全の観点からセメント系固材を

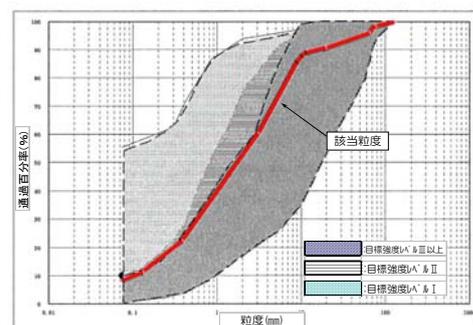


図-1 粒度分布と強度レベル適用範囲

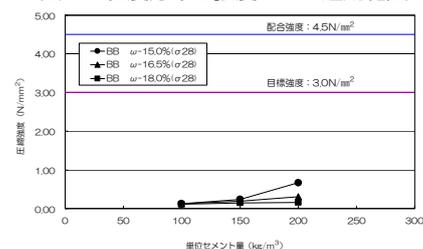


図-2 配合試験結果

選定した。

表-2 強度発現不良に関する対策案比較表

	高炉セメントB種(BB)	セメント系固化材(TL-3E, TL-4, TL-SR)	砕石置換+高炉セメントB種
有機成分に対する強度発現特性	主にケイ酸カルシウム、水酸化カルシウム等の水和物を生成し、漸次その増加に伴い強固な硬化体を形成する。有害な粘土鉱物・腐植酸を含むと液相のアルカリ度が高くなりきらない等、水和が阻害される。	ケイ酸カルシウム、水酸化カルシウム等の水和物とともにエトリンガイトを多く生成して強固な硬化体を形成する。有害物質を含む土壌に対して、一般セメントより強度発現効果が大きい。地盤改良としての実績多数	現地発生土砂の一部を砕石によって置換えることにより、粒度組成・有害成分量を改善する。シルト粘土比率が多い場合の改質置換としての適用は多いが、有機不純物に対する適用例は無い。
推定材料使用量	300kg/m <sup>3</sup>	180kg/m <sup>3</sup>	砕石 30%、BB 150kg/m <sup>3</sup>
施工性	自然含水比が高く曝気が必要とし、目標含水比を高く設定すると単位セメント量の増量が必要となり、施工機械の走行性にも影響する。	自然含水比の増加に対して極端に強度低下することはない。土質性状を早期に改善するため、施工機械の走行性に対する影響は小さい。	母材と置換材(砕石)混合後の含水比調整及び事前混合が必要となり、機材作業に時間を要す。置換材(砕石)の搬入、仮置場所の確保が必要。
土壌環境への影響	六価クロムの土壌濃度基準値0.05mg/L以下と考える。(溶出試験により確認)	低溶出タイプの固化材が選定が可能となり、六価クロムの土壌濃度基準値0.05mg/L以下への対応は容易。(溶出試験により確認)	再生砕石を使用することにより、六価クロムの土壌濃度基準値0.05mg/Lを超える可能性はある。(溶出試験により確認)
選定結果	有機不純物を含む土砂に対する強度発現効果、使用材料量の軽減による経節性、土質性状の早期改善による施工性の確保。	セメント系固化材の選定が最適である。	材料搬入増加などによる周辺環境保全の観点からセメント系固化材の選定が最適である。

### 3.2 配合試験その2

4種類(有機質土用:TL-4, 一般軟弱土用:TL-3E, 石灰・セメント複合型:TL-SR および高炉B種)のセメントを選定して配合試験を計画した。なお、目標土砂含水比は仮置・放置することで曝気効果が認められたため、「配合試験その1」より低く設定した。また、多数の強度試験を要するため、セメント種類の選定段階は小径(φ50×100mm)供試体の配合試験を実施し、セメント種類の選定の後に標準(φ150×300mm)供試体での配合試験に移行するものとした。

小径供試体の圧縮強度試験結果を図-3に示す。TL-3E, TL-4の圧縮強度が高く発現していることがわかる。これは水和反応に伴う硬化作用にエトリンガイトによる粒子間の架橋が付加されたセメント系固化材の特性と考えられる。また、含水比の増加に対しても固化効果が高く、圧縮強度は増加する傾向を示している。TL-4は単位セメント量250kg/m<sup>3</sup>以降ほぼ一定に推移する。これは対象土砂が比表面積の小さい砂質土であることから、全ての粒子間がエトリンガイトで飽和したことが要因と考えられる。

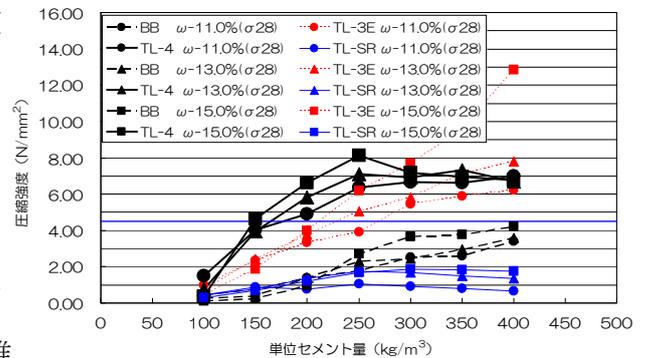


図-3 配合試験結果その2

### 3.3 強度発現不良原因の詳細調査

額付川第2えん堤および既存の配合試験データの確認も含め第1えん堤の材料を用いて各種特性値を比較し、高炉セメントB種における強度発現不良の原因把握のために詳細調査を実施した。

試験結果を表-3に示す。第2えん堤は塩基飽和度が低いため陽イオン(Ca<sup>2+</sup>)の吸着能力が高く、有機物含有量、腐植酸(フミン酸)、フルボ酸に関しても第1えん堤より高い値を示している。腐植酸はカルシウムと反応してフミン酸カルシウムを生成し、セメントの水和硬化反応を阻害するとされている。以上より、第2えん堤の土砂材料は塩基飽和度、腐植酸ならびにフルボ酸が強度発現の阻害原因と考えられる。

表-3 強度発現不良原因分析結果

分析項目	単位	分析結果		分析方法	
		第2えん堤	第1えん堤		
粒度特性	標分	%	46.6	52.0	JIS A 1204
	砂分	%	47.3	46.3	
	細粒分	%	6.1	1.7	
圧縮強度	材齢7日	N/mm <sup>2</sup>	0.811	5.020	JIS A 1108 ※骨材:セメント:水量は同一比率
	材齢28日	N/mm <sup>2</sup>	1.445	9.312	
土懸濁液の水素イオン濃度(pH)	-		5.6	6.1	JGS 0211
有機物含有量	g/kg		6.2	1.0	土の有機物含有量試験方法 JSFT231
腐植酸含有量(フミン酸)	g/kg		1.3	0.2	NaOH抽出/分画-ニクロム酸比色法
フルボ酸含有量	g/kg		1.9	0.3	NaOH抽出/分画-ニクロム酸比色法
陽イオン交換容量(CEC)	cmol/kg		2.9	2.3	「陽イオン交換容量」法「土壌環境分析法」
塩基飽和度	%		10	61	計算による※1
三酸化硫黄	g/kg		0.7	2.2	JIS R 5202-2010 12
有機不純物試験	-		黒褐色	濃黄色	JIS A 1105

※1 塩基飽和度% = (Ca[cmol/kg] + Mg[cmol/kg] + K[cmol/kg] + Na[cmol/kg]) × 100 / CEC [cmol/kg]

### 4. まとめ

本工事における砂防ソイルセメントの適用検討を通じ、細粒分の少ない良好な粒度分布を示す土砂でも「有機不純物などの影響により極端な強度低下が発生する」ことが確認された。また、セメント系固化材は、自然含水比が高く、有機不純物などが含有する土砂にも有効な手段の一つで有ることが確認できた。

また、INSEM工法の適用に際して実施する標準的な土砂性状把握試験の項目として「有機不純物試験」の必要性を痛感した次第である。

#### 【参考文献】

- 1) 砂防ソイルセメント活用ガイドライン, 砂防ソイルセメント活用研究会編, 鹿島出版会
- 2) 砂防ソイルセメントの材料特性に関する調査結果, (独)土木研究所・(財)砂防・地すべり技術センター