

細粒分・砂分を多く含む現地発生土砂の I N S E M工法への適用時の留意点

国土交通省 大隅河川国道事務所
砂防エンジニアリング株式会社
独立行政法人 土木研究所

國友 優, 高橋 英一, 大木 鉄夫, 時任 勝宏
松井 宗廣, 中濃 耕司, ○岡村 祐介
武澤 永純

1. はじめに

砂防ソイルセメント (I N S E M工法) の普及に伴い、開発当初は活用対象としなかった細粒分・砂分を多く含む良質でない現地発生土砂の活用要望が高まっている。このような現地発生土砂を活用した I N S E M材では発現強度の小さいことが問題となることが多い。

大隅河川国道事務所が計画する長谷川遊砂地土工事では、掘削土量が 60 万 m³ を超えることから、掘削残土の低減のため、床固工へ適用する I N S E M材の母材を 100%掘削土砂でまかなうことを目標としている。しかしながら、活用対象である掘削土は古い時代の土石流堆積物のため細粒分・砂分を多く含むことが確認された。

良質でない現地発生土砂の砂防ソイルセメントの適用性に関する過去の研究^{1) 2)}では、加水や固化材の重要性を指摘・示唆しているが、良質材との粒度調整による強度発現効果に主眼がおかれ、良質材と混合せずに所定の強度を発現するための I N S E M材の単位セメント量や単位水量等の配合条件や留意点の検討が十分になされていない。

本研究では、長谷川遊砂地工の床固工における I N S E M工法の適用検討を事例に、細粒分・砂分を多く含む現地発生土砂を活用する I N S E M材の強度発現特性や施工上の留意点に着目して検討を実施した。

2. 課題及び検討方針

2.1 検討条件

材料試験の結果を表-1 に示す。検討対象の現地発生土砂は、細粒分が 8. 7%、砂分が 70. 2%を占め、細粒分・砂分の含有量が多い材料である。

ここで、長谷川遊砂地工の床固工における I N S E M材の目標強度は、「砂防ソイルセメント設計・施工便覧」³⁾を参考に構造物で $\sigma_{28}=3.0\text{N/mm}^2$ 、供試体で $\sigma_{28}=4.5\text{N/mm}^2$ に設定した。

表-1 材料試験の結果

土質分類	試験値等
細粒分 (0. 075mm以下) 含有率	8. 7%
砂分 (2mm以下) 含有率	70. 2%
飽和密度	1. 931g/cm ³
吸水率	11. 6%
自然含水比	17. 0%
最適含水比	15. 0%
最大乾燥密度	1. 732g/cm ³

2.2 課題及び検討方針

細粒分・砂分を多く含む現地発生土砂を I N S E M材へ適用する際の課題と課題解決のための検討方針を以下に示す。

- ①発現強度が小さいことやばらつきが大きくなることが懸念される。そのため複数の単位セメント量及び高炉セメント B 種・有機質土用固化材を使用した配合試験を実施する。
- ②各要因が強度発現に及ぼす影響が不明である。そのため単位セメント量、単位水量といった配合条件や施工条件に着目し、配合試験・試験施工結果を整理する。
- ③所定のコンシステンシー発現のための単位水量の増量が予想され、振動ローラの転圧不能が懸念される。そのため I N S E M工法の施工に影響する要因を試験施工で確認する。

表-2 配合試験の条件

固 化 材	配 合 名	配 合 条 件					V C 値 (秒)
		単 位 セメント量 C (kg/m ³)	単 位 水 量 W (kg/m ³)	単 位 土 砂 G (kg/m ³)	空 気 量 (%)	配 合 密 度 (kg/m ³)	
高炉セメント B 種	C250W180	250	180	1, 560	1. 50	1, 990	12. 46
	C250W190	250	190	1, 538	1. 50	1, 978	5. 94
	C250W200	250	200	1, 517	1. 50	1, 967	5. 14
	C250W210	250	210	1, 495	1. 50	1, 955	3. 30
	C250W220	250	220	1, 474	1. 50	1, 944	2. 20
	C150W210	150	210	1, 566	1. 50	1, 926	1. 93
	C175W210	175	210	1, 548	1. 50	1, 933	2. 18
	C200W210	200	210	1, 531	1. 50	1, 941	2. 82
	C225W210	225	210	1, 513	1. 50	1, 948	1. 45
	C275W210	275	210	1, 477	1. 50	1, 962	2. 50
	C300W210	300	210	1, 460	1. 50	1, 970	5. 51
	C150W210	150	210	1, 565	1. 50	1, 925	2. 02
有機質土用固化材	C175W210	175	210	1, 548	1. 50	1, 933	3. 14
	C200W210	200	210	1, 530	1. 50	1, 940	3. 65
	C225W210	225	210	1, 512	1. 50	1, 947	3. 25
	C250W210	250	210	1, 494	1. 50	1, 954	2. 91
	C275W210	275	210	1, 476	1. 50	1, 961	4. 06
	C300W210	300	210	1, 458	1. 50	1, 968	4. 14

3. 試験結果と考察

3.1 配合試験の結果と考察

3.1.1 配合試験の手順

以下の手順で配合試験を実施した。

- 1) 高炉セメント B 種 (単位セメント量=250kg/m³) を用いて単位水量を変化させて混合を行い、締固めやすい V C 値 5 秒程度以下となる水量を単位水量に設定する。なお、本配合試験では V C 値の測定結果から 210kg/m³ を基本単位水量に設定した。
- 2) 基本単位水量 210kg/m³ の条件で、単位セメント量を変化させて混合を行い、所定の強度を発現する単位セメント量を設定した。

3.1.2 強度特性

配合試験に基づくセメント水比 C/W と圧縮強度の関係を図-1 及び図-2 に示す。いずれの固化材を使用した場合でも、単位セメント量を多く設定することで、目標供試体強度 4. 5N/mm² 以上を発現することが確認できた。この結果を考慮し、試験施工における固化材には高炉セメント B 種を選定した。

3.1.3 ばらつきを考慮した配合条件

図-1 にはセメント水比と圧縮強度の関係から最小二乗法で算出した強度推定式 (1) 式と、この推定式に平行で

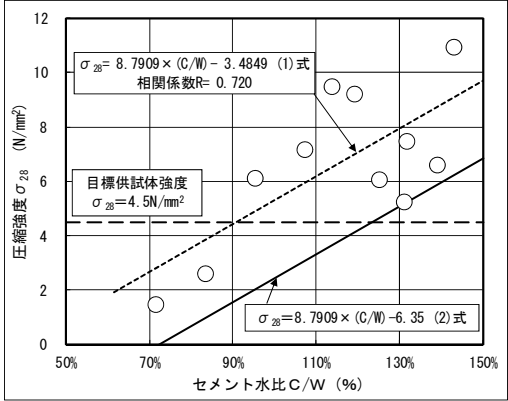


図-1 C/W と圧縮強度：高炉セメント B 種

下限値を包括する強度推定式(2)式を示した。

I N S E M材の発現強度はばらつきを有する。そのため、(1)式を用いて配合決定を行った場合、目標供試体強度を発現できないケースの発生が懸念される。確実に目標強度を発現させるためには、I N S E M材の発現強度のばらつきを考慮した(2)式から配合条件(単位セメント量)を設定とすることが有効と考えられる。

3.2 試験施工の結果と考察

3.2.1 発現強度に影響する配合要因

試験施工における単位セメント量は、図-1中の2つの強度推定式(1)・(2)式と、配合試験で設定した基本単位水量 210 kg/m³から、260kg/m³、200kg/m³に設定した。また、試験施工における単位水量は、前述した基本単位水量 210kg/m³を中央値とし、施工中の自然含水比のばらつきとそれに伴う現場での単位水量の変動を想定し、190kg/m³、230kg/m³の3種類に設定した。ここで、転圧層厚は仕上り厚で1層 30cm 程度とし、上下の2層(約 60cm)とした。試験施工条件を表-3に示す。

図-3に試験施工により採取したコアの圧縮強度と単位水量の関係を示す。図-3より、ばらつきを考慮して設定した単位セメント量 260kg/m³の配合では全てのコアで目標強度以上が確認された。また、上層に比べ下層のコアの発現強度が大きいこと、下層のコアでは単位水量の増加するほど圧縮強度が大きくなる傾向を有することが確認された。

ここで、下層で最も発現強度の大きい単位水量 230kg/m³の配合の上層コアの圧縮強度は相対的に小さいことから、単位水量の多い配合では、上載荷重が強度発現に影響していることが推察される。単位水量 210kg/m³、230kg/m³の上層と下層でV C値に大きな違いが見られないことから、V C値=1.80~2.26秒と軟質で締固め易い配合のI N S E M材では、直上層の打設時に振動ローラ転圧等の施工荷重が深部まで伝達されやすく、完全に固化していない下層のI N S E M材に鉛直荷重として作用するため、下層で強度が大きくなりやすいものと推察される。

以上の結果から、細粒分・砂分を多く含む現地発生土砂を活用するI N S E M材の発現強度に影響を及ぼす配合要因として、単位セメント量だけでなく、締固め易いコンシステンシー(V C値)をあげることができる。

3.2.2 施工性に影響する要因

試験施工では、単位水量 190 及び 210kg/m³の配合において良好な施工性が確認されたが、単位セメント量に関わらず、単位水量を 230kg/m³とした配合で、振動ローラのスリップ・スタックが発生した。ただし、試験施工では単位水量 230kg/m³のケースにおいても敷均し後に 30 分程度時間をあけることで打設面上の固化が進行し、転圧が可能となることを確認した。

以上の結果より、3.1の配合で設定した基本単位水量は、施工性の面においても適切であったことが確認された。また、3.1で設定した配合より単位水量が仮にばらついても単位セメント量が適切であれば、目標強度の発現を期待できると考えられる。ただし、単位水量が大きくなると、施工性の面では留意する必要があることがわかった。

4. まとめ及び今後の課題

本検討結果より得た知見や課題を以下にまとめる。

- (1)長谷川遊砂地工事における現地発生土砂のように細粒分・砂分が多くとも、単位セメント量を増量することで、良質材と粒度調整なくとも目標強度を確保できる場合があることを確認できた。
- (2)発現強度のばらつきを考慮した場合、(2)式のような下限値を通る強度推定式を採用することで、目標強度達成の確実性を向上できる。
- (3)今回の試験施工では、単位セメント量だけでなく、単位水量とこれに起因するコンシステンシーが強度発現に影響を及ぼすことが推察された。ただし、現場での単位水量の変動により、振動ローラ転圧が困難な状況となっても転圧開始を遅らせることで、施工実施と初期の品質確保が可能となることを確認された。
- (4)今回整理したデータ数は少ないことから、今後もデータを蓄積して、細粒分・砂分を多く含む現地発生土砂活用時の砂防ソイルセメントの特性把握と適用条件の検討を継続的に実施する必要がある。

[参考文献] 1) 森川ら：低品質の現地発生土砂を活用した砂防ソイルセメントの検討，平成 15 年度砂防学会研究発表会概要集，pp140-141

2) 山口ら：細粒土を使用した砂防ソイルセメントの発現強度について，平成 18 年度砂防学会研究発表会概要集，pp454-455

3) (財)砂防・地すべり技術センター：砂防ソイルセメント設計・施工便覧，平成 23 年，pp42-44

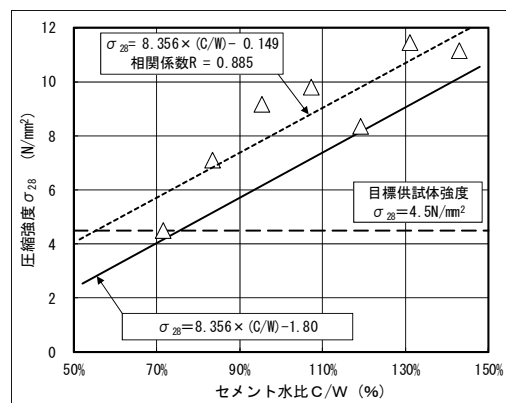


図-2 C/Wと圧縮強度：有機質土用固化材

表-3 試験施工条件

固化材	配合名	単位セメント量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	セメント水比 C/W	V C値(秒)		施工ヤード
					下層	上層	
高炉セメント B種	C260W190	260	190	137%	7.25	23.60	仕上り厚 30cm
	C260W210	260	210	124%	3.85	3.91	2層
	C260W230	260	230	113%	1.50	2.26	(上層・下層)
	C200W190	200	190	105%	9.94	10.72	仕上り厚 30cm
	C200W210	200	210	95%	4.41	2.94	2層
	C200W230	200	230	87%	0.60	1.80	(上層・下層)

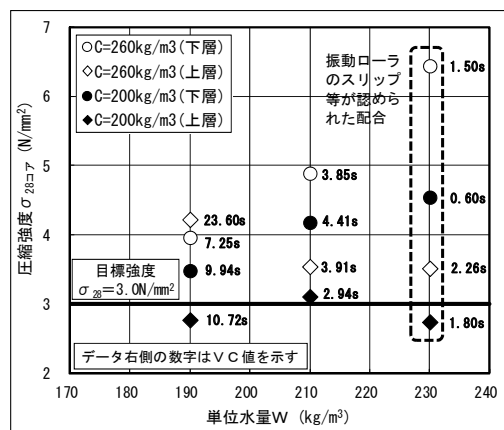


図-3 単位水量とコア 28 日強度の関係