

4. 2 改良土による砂防堰堤の築堤～熊本県球磨川上流圏域・小さで川砂防堰堤工～

1. はじめに

小さで川砂防堰堤工は、熊本県球磨郡錦町西地内の球磨川上流圏域に位置する砂防堰堤である。

球磨川上流圏域は、人吉（球磨）盆地の上流にあり、周りを急峻な山地が取り囲んでいる。また、球磨川上流圏域内の河川は、昭和40年から50年代に災害復旧や河川改修を実施してきたが、河川構造物の老朽化や流下能力が不足している個所がある。

小さで川砂防堰堤の施工は分割で実施されており、現在（令和6年2月末時点）：副堤（コンクリート堰堤）及び水叩きが完成、本堤（砂防ソイルセメント堰堤）の朱色部分が完成している。

2. 適性判断試験について

適性判断試験は、材料試験結果と固化効率試験結果を統計解析して強度と固化材の関係式を求めるもので、主に下記を確認する。



図1 小さで川砂防堰堤の施工

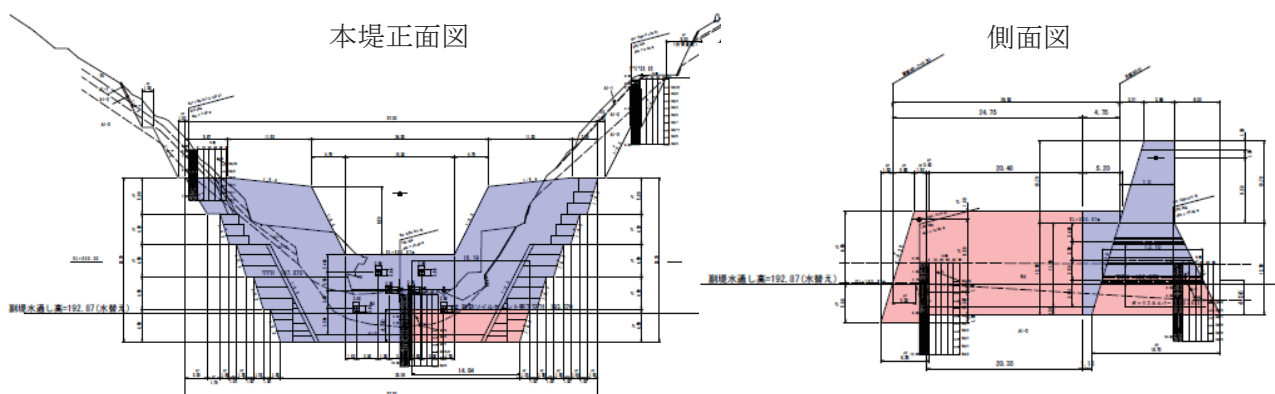


図2 砂防堰堤構造図

- ・ INSEM 工法に現地土砂の適用が可能か。
(現場での強度コントロールができ、安定した品質確保が可能な土砂か)
- ・ 現地土砂 100%で適用が困難な場合、改良等によって活用が可能か。
- ・ 目標品質を充足する単位セメント量の概量はどのくらいか、また改良の割合はどの程度か。
- ・ 構造安定計算に採用する単位体積重量はどの程度が妥当か。

小さで川の現地土砂の適性判断試験の結果は、令和3年(2021年)11月に報告した。採取された土砂は写真1、材料試験結果は表1のとおりである。現地土砂は、礫分が主体で砂分を適度に含み、シルト・粘性土が10%未満を示したので、粒径分布からは良質の土砂である。

ただし、有機不純物を多く含むことから汎用型セメント系固化材の利用が困難と判断した。これらの試験結果より、指標分類を表2に、指標チャートを図3に示す



写真1 現地土砂

表1 材料試験等結果一覧

試験項目		試験方法 JIS規格	小さで川
土の粒度試験 (%)	礫分	A1204	64.6
	砂分		28.4
	シルト・粘土		7.0
土粒子の密度試験 (Mg/m ³)		A1202	2.716
細骨材の密度および吸水率試験	絶乾密度 (Mg/m ³)	A1109	2.46
	吸水率 (%)		3.97
粗骨材の密度および吸水率試験	絶乾密度 (Mg/m ³)	A1110	2.48
	吸水率 (%)		3.19
突固めによる土の締固め試験 (E法)	最大乾燥密度 (Mg/m ³)	A1210	2.085
	最適含水比 (%)		10.6
土の自然含水比試験 (%)		A1203	7.0
細骨材の有機不純物試験		A1105	暗赤褐色

土質試験によるINSEM材適応性指標チャート

※外側にむけて、適応性が高いことを示します。
 ※要因重要（優先）度は、
 最適含水比・吸水率＞最大乾燥密度＞
 細粒分通過率です。
 ※本分類データは、SBウォール工法研究会がこれまで実施した配合試験結果を基に分類したものです。

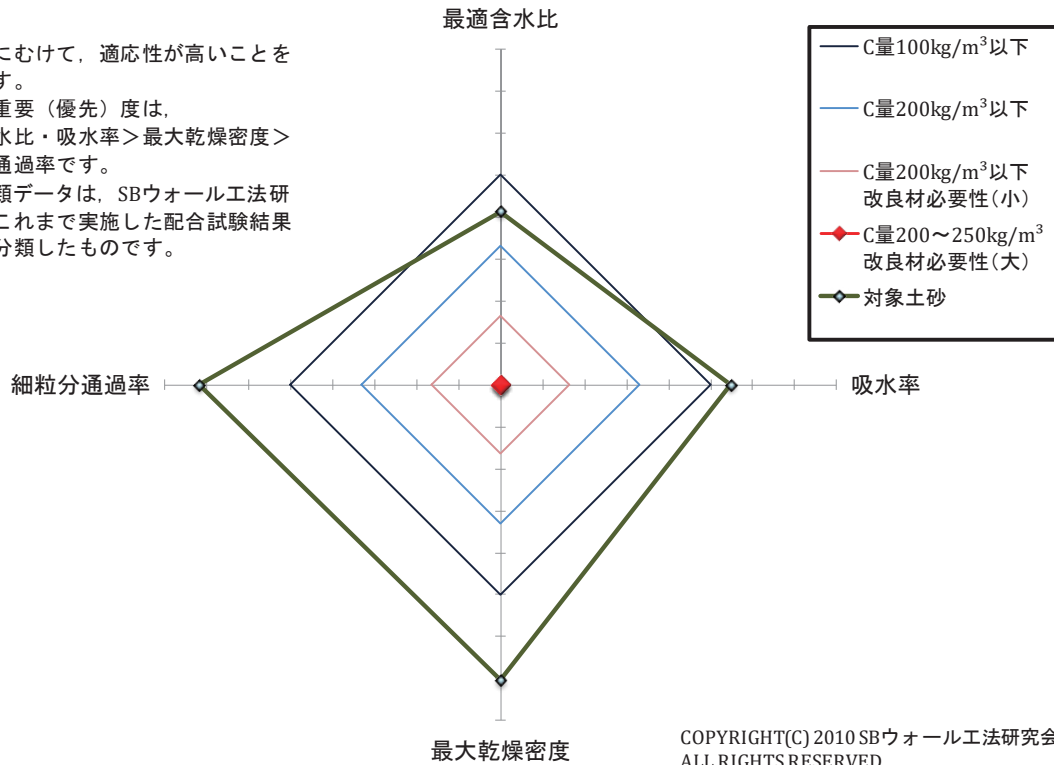


図3 INSEM材適応性指標チャート

表2 土質試験結果による指標分類

土質試験結果指標分類		※H21年3月末現在の試験実績による分類				
土質試験項目	指標分類	分類A	分類B	分類C	分類D	対象土砂
最適含水比(%)		8	13	25	50	10.6
細骨材吸水率(%)		8	10	25	50	3.97
最大乾燥密度(g/cm³)		1.8	1.7	1.4	1.1	2.085
細粒分通過率(%)		20	25	40	50	7.0
配合の目安		C量100kg/m³以下	C量200kg/m³以下	C量200kg/m³以下 改良材必要性(小)	C量200～250kg/m³ 改良材必要性(大)	

COPYRIGHT(C) 2010 SBウォール工法研究会. ALL RIGHTS RESERVED.

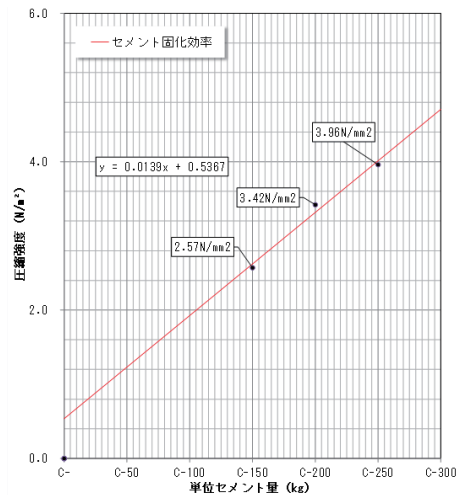


図4 固化効率試験結果

適応性分類と指標チャートから、固化材の添加量の目安は 200kg/m³ 以下となり、有機不純物を多く含むことから、高有機質土用セメント系固化材の選定が適切と判断した。

高有機質土用セメント系固化材を用いた固化効率試験 7 日圧縮強度の結果を図 4 に示す。

適性判断試験で、小さで川砂防堰堤のソイルセメントは、現地土砂 100% 利用で、高有機質土用セメント系固化材を最小添加量：100kg/m³ とし、単位体積重量：20.8kN/m³ の採用を提案した。

3. 配合試験について

小さで川砂防堰堤の INSEM 材（内部材）の配合試験結果は、令和 5 年（2023 年）3 月に報告した。適性判断試験実施後、1 年半が経過していた。配合試験での検討項目は下記の①～④に示す通りである。

INSEM 材（内部材）・本体工の要求品質を表 3 に示す。適性判断試験報告書を踏まえて、配合試験ケースを表 4 の 3 ケースとした。

配合試験 3 ケースから下記の相関を確認し、これらの関係から、現地土砂 100% を利用する場合の示方配合（案）は、表 5 となった。

また、配合試験結果で、単位体積重量は、20.3kN/m³ 以上も確認できた。

- ①：【配合試験結果：ピーク強度と含水比の関係】
- ②：【ピーク強度と単位セメント量の関係】
- ③：【ピーク強度含水比±2.0%の強度と単位セメント量】
- ④：【ピーク強度含水比と単位セメント量の関係】

表 3 本体工・要求品質一覧表

目標項目	設定値	備考
単位体積重量 (湿潤)	18.6kN/m ³ 以上	実施工によるサンプリングコア 密度試験値
室内配合試験における 単位体積重量	19.6kN/m ³ 以上	室内配合試験目標値
現場基準強度	3.0N/mm ²	実施工によるサンプリングコア
配合強度	4.5N/mm ²	室内配合試験での標準供試体
最小管理強度	2.0N/mm ²	品質管理による供試体強度

表 4 配合試験ケース

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
	現地土砂	改良材		①	②	③	
CASE-1	100	0	100(GS225)	8.00	10.0	12.0	3
CASE-2	100	0	150(GS225)	8.50	10.5	12.5	3
CASE-3	100	0	200(GS225)	9.00	11.0	13.0	3

表 5 示方配合（案）

適用部位	目標強度 (配合強度)	単位 セメント量 (kg/m ³)	使用材料混合割合		設定含水比
			現地土砂	改良材	
本体工	$\sigma_{28}=3.0\text{N/mm}^2$ (4.5N/mm ²)	100(GS225)	100%	0%	9.00%+4.0 (9.00%~13.0%)

4. 試験施工について

試験施工は、本施工前に下記の事項を確認する目的で実施する。

- ・室内試験で得られた示方配合（案）で要求品質を満足する。
- ・練混ぜ時及び固化後における INSEM 材（内部材）の性状を把握する。
- ・施工管理方法及び管理基準値を提案する。
- ・振動ローラ等による締固め回数を確認する。

INSEM 材（内部材）の敷均し・転圧（仕上げ）厚さは 25cm を目標とする。本施工時に使用する機器類と転圧試験ケースを表 6 に示す。試験施工のヤード整地計画及び各種測定・試験の予定位置を図 4 に、試験結果を表 7 に示す。

表 6 敷均し・転圧試験ケース

転圧ケース	締固め機械 (振動ローラ)	転圧(仕上げ)厚さ (cm)	層 数	転圧回数			備 考
CASE. ①	コンバインド型	25	1	6 回	8 回	10 回	標準部
				○	○	○	
CASE. ②	ハンドガイド式	25	1	6 回	8 回	-	標準部・端部
				○	○	-	
CASE. ③	振動コンパクタ	25	1	6 回	8 回	-	端部
				○	○	-	

表 7 試験施工結果一覧表

管理項目	確認方法	管理基準値	試験結果	判定	備考
自然含水比測定	フライパン法	設定含水比 $\omega=9.00\%+4.0\%$	別途計算書より 製造含水比 $\omega=10.13\%$	OK	
練混ぜ状況	フェノールフタレイン 溶液散布	赤紫色に着色	赤紫色に変化	OK	良好な混合状況を確認
撒出し厚	水準測量 転圧試験	仕上厚 25cm となる厚さ	敷均し 26cm	OK	コンバインド型
					ハンドガイド式
					振動コンパクタ
規定転圧回数	沈下量 現場密度試験 圧縮強度試験	基準値を充足	コンバインド型 6 回	OK	サンプリングコア による確認
			ハンドガイド式 6 回		
			振動コンパクタ 6 回		
圧縮強度	標準供試体	$\sigma_{28}=4.5\text{N/mm}^2$ 以上 (参考値)	11.1N/mm ²	OK	本体工
	サンプリングコア	$\sigma_{28}=3.0\text{N/mm}^2$ (最小管理強度 2.0N/mm ²) 以上	16.3N/mm ²	OK	コンバインド型
			17.4N/mm ²	OK	ハンドガイド式
			16.9N/mm ²	OK	振動コンパクタ
単位体積質量	現場密度試験 (R1 法)	湿潤密度の場合 $\gamma=1.897\text{g/cm}^3$ 以上 ($\gamma=18.6\text{kN/m}^3$ 以上)	コンバインド型(6 回) 2.147g/cm ³	OK	単位体積質量の基準値は、設計における安定計算で用いられた値を採用した。
			ハンドガイド式(6 回) 2.201g/cm ³	OK	
			振動コンパクタ(6 回) 2.215g/cm ³	OK	
	標準供試体	$\gamma=19.6\text{kN/m}^3$ 以上	22.3kN/m ³	OK	
	サンプリングコア	$\gamma=18.6\text{kN/m}^3$ 以上	コンバインド型 (6 回) 22.3kN/m ³	OK	
			ハンドガイド式 (6 回) 22.2kN/m ³	OK	
			振動コンパクタ (6 回) 21.8kN/m ³	OK	

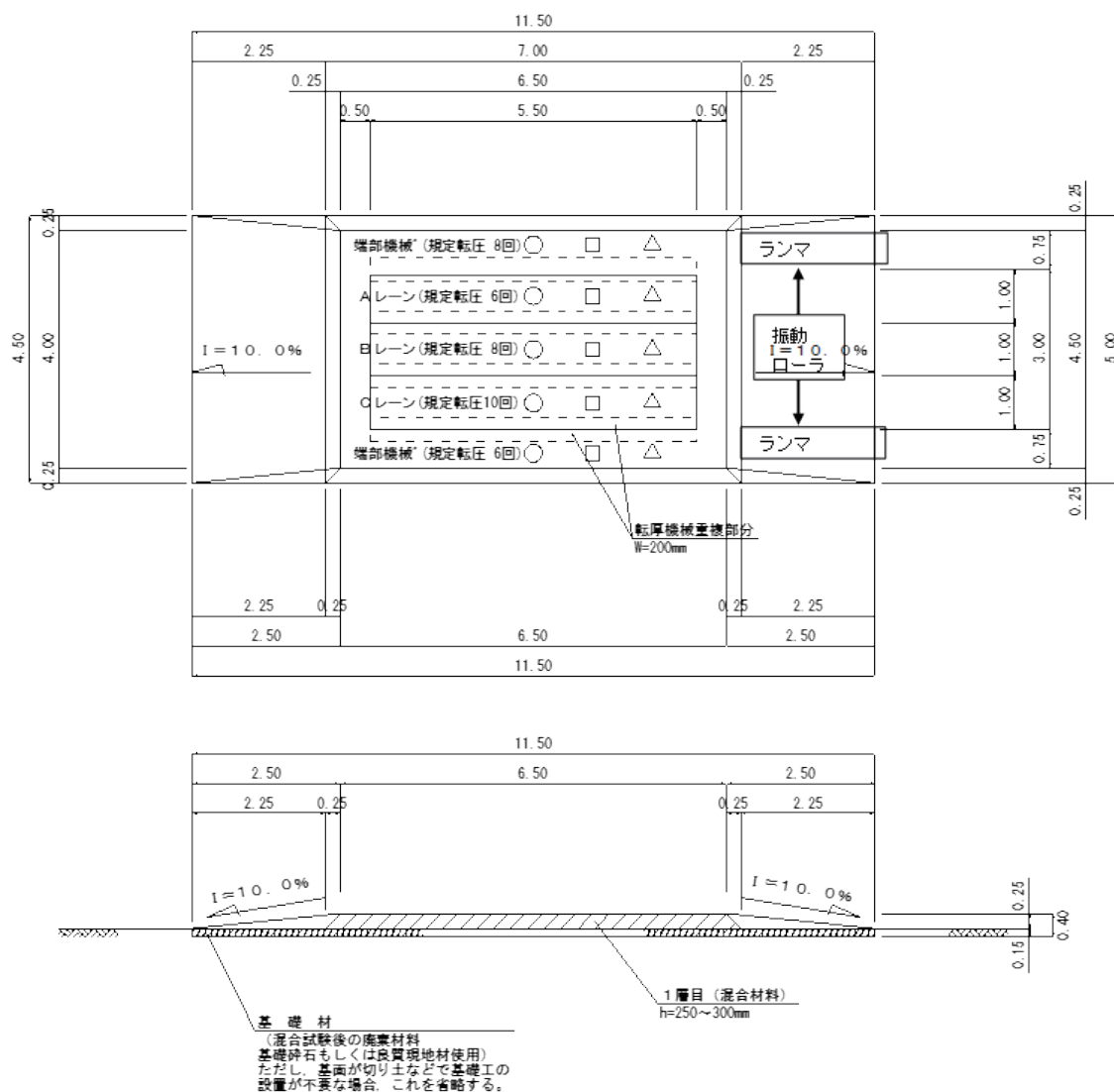


図 4 試験施工ヤード整地計画及び試験位置図

5. 施工状況（試験施工及び本施工）

小さで川砂防堰堤では、プラントを設置して INSEM 材（内部材）を製造した。試験施工では示方配合より表 8 を配合ケースに採用し、練混ぜ時の目標含水比は、10.13%とした。施工の様子を写真 2～8 に示す。

表 8 配合ケース

実施 ケース	単位セメント量 (kg/m ³)	混合割合 (%)		設計含水比 (%)		備 考
		現地土砂	改良材	ω	適用範囲	
CASE-1	100 (GS225)	100	0	9.00	+4.0	堰堤本体工



写真2 INSEM 材製造プラント・運搬状況



写真3 試験施工ヤード・敷均し完了



写真4 試験施工・転圧状況



写真5 試験施工ヤード・転圧完了



写真6 本体工・敷均し状況



写真7 本体工・転圧状況



写真8 本体工・転圧完了

6. おわりに

小さで川砂防堰堤工の現地土砂は有機不純物を多く含み、汎用型のセメント系固化材による改良は不適と判断される性状を示したが、高有機質土用セメント系固化材を採用することで、現地土砂 100%を利用して目標改良強度を確保することが出来た。

有機不純物を多く含む現地土砂でも、固化材の工夫で INSEM 材（内部材）として利用出来るため、全国各地で同様の対応が期待できる。

最後に施工状況の資料提供にご協力頂いた三和建設株式会社：上田様には感謝申し上げます。