

# 平成21年7月21日山口防府豪雨災害の 土石流堆積物を活用したソイルセメント 砂防堰堤について



竹崎 伸司<sup>1</sup>、藤原 寛<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国土交通省 中国地方整備局 山口河川国道事務所 河川管理課（〒747-8585 山口県防府市国衙10-20）

平成21年7月に発生した中国・九州北部豪雨災害により山口県では、大規模な土砂災害が発生した。特に山口県防府市内の佐波川流域では大規模な土石流が53の溪流で発生し、死者19名に上る被害を受けた。この災害の復旧にあたり、山口河川国道事務所が直轄砂防災害関連緊急事業として、防府市内の5溪流において砂防堰堤を建設することとなった。このうち3溪流（剣川、素川、松ヶ谷川）においては、新技術であるソイルセメント（現地発生土砂にセメントを攪拌混合して強度を持たせたもの）を堤体材料として用いることとした。今回、このソイルセメントの配合試験・試験施工の結果を中心に報告する。

キーワード 山口防府豪雨災害、ソイルセメント、砂防堰堤、土石流堆積物

## 1. はじめに

平成21年7月21日、活発な梅雨前線の影響により、山口県内では早朝から各地で非常に激しい降雨となり、防府では日雨量が275mm、1時間雨量が72.5mmの観測史上最大の雨量（気象庁）が発生した。この豪雨により、県内各地で土砂災害や浸水被害が発生した。人的被害は県内で死者22名、住宅被害として全壊33棟、さらに県中央部の基幹道路である国道262号線が一時全面通行止めとなるなど、大きな被害を与えた。特に県中央部に位置する防府市は、花崗岩の分布地帯で表層の風化が激しく地質的に脆弱な地帯であったため、53溪流で土石流が発生し、土砂災害の被害が最も甚大な地域であった。

この災害の復旧にあたり、山口県知事の要請を受けた国土交通省中国地方整備局は、「直轄砂防災害関連緊急事業」（以下「災関事業」）として着手することになった。緊急的な対策を要するため、これまで砂防事業を実施していなかった山口河川国道事務所が事業主体となり、防府市内の5溪流（剣川、神里川、上田南川、松ヶ谷川、素川）において砂防堰堤を各1基建設することとなった。

これら5溪流のうち、3溪流（剣川、松ヶ谷川、素川）については、通常のコングリート砂防堰堤ではなく、現地発生材料（土石流堆積土砂）を堤体材料に活用したソイルセメント砂防堰堤を採用した。この新技術の本格的な施工は中国地方整備局内では初めてであり、その結果をここに紹介するものである。なおこれら砂防堰堤は平成22年6月現在も建設中であるため、主に配合試験・試験施工の結果の報告を中心に行う。

## 2. 事業の概要

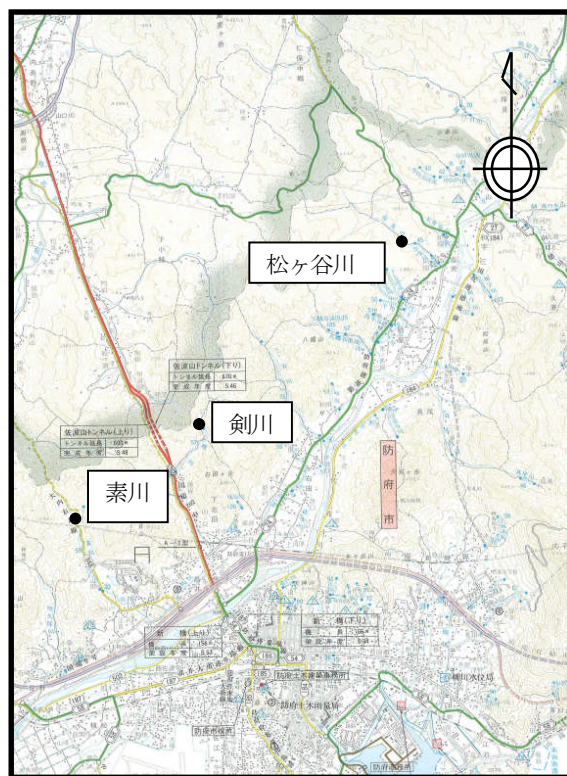


図-1 3溪流の位置図

### 2.1 溪流の概要

ソイルセメント砂防堰堤を施工する3溪流の概要を以下に示す（図-1参照）。なおこの3溪流はすべて一級河川佐波川の支川であり、災関堰堤の位置は「県の河川管理区間より上流」かつ「県管理砂防区域内」にある。

### (1) 剣川

剣川は、防府市下右田地区を流れる流域面積1.61km<sup>2</sup>、渓床勾配1/15.4の溪流である。溪流内には既設の砂防堰堤2基と治山堰堤が存在する。この溪流は基幹道路である国道262号と交差しており、災害時には交差部の橋梁が流木で閉塞し、溢れた土砂により国道は通行不能となり周囲の家屋も被災した。

### (2) 松ヶ谷川

松ヶ谷川は、防府市奈美地区を流れる流域面積2.50km<sup>2</sup>、渓床勾配1/15.8の溪流である。溪流沿いに住宅地が連続して存在し、土石流発生時には流下する土砂により被害を受けている。溪流内には、既設の砂防堰堤と治山堰堤が1基ずつ存在する。

### (3) 素川

素川は、防府市大崎地区を流れる、流域面積0.235km<sup>2</sup>、渓床勾配1/10、の溪流である。災関堰堤付近に人家はなかったが、溪流が山陽新幹線の高架橋と交差しており、災害時にはこの高架橋が土砂の直撃を受けた。また溪流内には農業用の溜め池があり、災害時に土砂・流木が大量に堆積した。

## 2.2 砂防堰堤の諸元

3 溪流における災関事業の砂防堰堤の諸元を表-1に示す。

表-1 3 溪流の砂防堰堤諸元

項目	単位	剣川	松ヶ谷川	素川
堰堤タイプ	—	不透過型	不透過型	不透過型
堰堤型式	—	SBウォール	SBウォール	SBウォール
堰堤高	m	11.0	9.0	9.5
堰堤長	m	99.0	116.0	81.0
水通し幅	m	10.0	20.0	10.0
水通し高	m	3.5	2.4	3.4
越流水深	m	2.5	1.7	2.4
余裕高	m	1.0	0.7	1.0
袖小口勾配	—	1:0.5	1:0.5	1:0.5
堰堤上流のり面勾配	—	1:0.20	1:0.15	1:0.20
堰堤下流のり面勾配	—	1:0.20	1:0.20	1:0.20
堰堤天端幅	m	3.62	3.15	3.00
水通し天端幅	m	5.50	4.9	5.00
堰堤下幅	m	9.90	8.05	8.80

## 2.3 砂防ソイルセメント工法 (INSEM工法) の特徴

砂防ソイルセメント工法 (INSEM工法) とは、現地発生土砂にセメント・水を適正な配合で混合し、振動ローラー等で転圧して固化させることで砂防堰堤等を構築する工法である。この工法の長所としては、①工期が大幅に短縮できること、②現地土砂をそのまま活用できるため、建設残土の処理やコンクリート搬送量が少なくなり、周辺環境への負荷が軽減される、③条件によりコス

ト縮減が図れる、などが挙げられる。コンクリート砂防堰堤と比較した場合の短所としては、①コンクリートのような水密性がない、②摩耗に弱い、③土砂のバラツキにより均一な品質確保が難しい、④ソイルセメント (INSEM材) の混合・敷き均し・転圧をおこなう建設機械のための広い現場が必要となる、などが挙げられる。

前述の長所を活かし、短所の②を解消するため、今回、堰堤外部に保護材を設けるSBウォール工法を採用した。この工法は、堰堤上流側に鋼製矢板、堰堤下流側にコンクリートブロック、天端にはコンクリートを打設することで、堤体内部のINSEM材を保護するものである。

## 2.4 砂防ソイルセメント工法活用の理由

砂防ソイルセメント工法を、剣川・松ヶ谷川・素川で選定した理由については、ソイルセメントに適した粒径の現地発生材が、堤体材料をまかなえる程度存在していると判断したこと、ソイルセメントの混合攪拌のできる施工ヤードが確保できる現場であること、堰堤型式の経済比較によりコンクリート砂防堰堤より安価であったこと、下流に住宅地が存在していること (松ヶ谷川) などを勘案して決定した。

## 3. ソイルセメントの試験結果について

### 3.1 配合試験

#### (1) 適用範囲

今回のINSEM材としての適用は、砂防堰堤の内部材であることから、目標強度レベルⅢ (3.0~6.0N/mm<sup>2</sup>) を適用する (砂防ソイルセメント活用ガイドラインより)。ちなみに、砂防堰堤の発生応力は、500N/m<sup>2</sup>程度であり、堤体内部の最大圧縮応力度は、下流勾配1:0.2の場合、 $\sigma_{max} = (1+0.2^2) \times 500 = 520 \text{ kN/m}^2$ であり、これに安全率4を考慮すると、2,080 kN/m<sup>2</sup> (2.08 N/mm<sup>2</sup>)となる。したがって、3.0N/mm<sup>2</sup>の強度であれば、堤体内部材としての要求性能 (圧縮応力度) は満足される。

#### (2) 材料試験結果

各溪流の材料試験結果を表-2に示す。それぞれINSEM材としての適用に問題がないことを確認した。

表-2 材料試験結果

項目	単位	剣川	松ヶ谷川	素川 (ため池)	素川 (掘削土)	適応性の目安	
最大乾燥密度	t/m <sup>3</sup>	1.845	1.890	1.883	1.937	1.8t/m <sup>3</sup> 以上	
最適含水比	%	13.90	12.46	13.50	12.05	15%以下	
自然含水比	%	7.3	10.93	7.99	—	—	
粒度分布	礫分	%	54.6	51.9	74.0	48.9	—
	砂分	%	41.5	43.9	25.9	48.0	55%以下
	シルト粘土	%	6.9	4.2	0.1	3.1	10%以下

※素川 (掘削土) は、2資料の平均値を示す。

なおINSEM材としての適用性に優れる材料の条件として

は以下が示されている。

- 1.シルト・粘土分 (0.075mm以下) の含有率が10%以下であること
- 2.砂分(2.0mm以下)の含有分が55%以下であること
- 3.腐葉土等の有機分を含まない土壌であること
- 4.最大乾燥密度が、1.8t/m3以上であること
- 5.最適含水比が、15%以下であること

一般に、対象地区の地質である広島型風化花崗岩(マサ土)は、INSEM材として適用に問題ないとされている。

なお素川については、砂防堰堤予定地に隣接する溪流に農業用の溜め池があり、災害時にその池内に堆積した土砂がINSEM材として適していた。

### (3)配合計画

剣川の配合計画は、目視により「細流土分の少ない良質な砂質土～礫質土」であったことから、経験によりセメント添加量150kg/m3程度で4.5N/m2程度の強度が得られると想定した。よって最適含水比において、セメント添加量を100, 125, 150, 175kg/m3とした4ケースで試験を行った。

松ヶ谷川は事前に実施したINSEM材適応性試験により、セメント量100kg/m3程度でレベルIIIを達成できると予測されたため、セメント添加量を100、150kg/m3の2ケースとし、含水比は最適含水比及び最適含水比±1.5%の3ケースで、計6ケースを実施した。

素川の溜め池土砂については、事前に実施したINSEM材適応性試験により、セメント量110kg/m3程度でレベルIIIが達成できると予測されたため、セメント添加量を100、150kg/m3の2ケースとし、含水比は最適含水比及び最適含水比±1.5%の3種類で、合計6ケースを実施した。素川の掘削土砂については、事前に実施された溜め池土砂の配合試験結果を踏まえ、セメント添加量を100、130、160kg/m3の3ケースとし、含水比は最適含水比及び最適含水比±1.5%の3種類の、計9ケースを実施した。なおセメント添加量50kg/m3のケースは本体ではなく袖部間詰め(埋戻し)のケースである。

表-3 溪流毎の配合ケース一覧表

場所	配合ケース	混合割合(%)		単位セメント量 (kg/m3)	設計含水比(%)			配合数 (回)
		現地土砂	改良材		wn-α	wn	wn+α	
剣川	CASE①	100	0	100	13.90			1
	CASE②	100	0	125	11.9	13.90	15.90	3
	CASE③	100	0	150	11.9	13.90	15.90	3
	CASE④	100	0	175		13.90		1
松ヶ谷川	CASE①	100	0	100	10.50	12.00	13.50	3
	CASE②	100	0	150	13.00	14.50	16.00	3
素川 (ため池)	CASE①	100	0	100	12.50	14.00	15.50	3
	CASE②	100	0	150	12.50	14.00	15.50	3
素川 (掘削土)	CASE①	100	0	100	10.50	12.50	14.50	3
	CASE②	100	0	130	11.00	13.00	15.00	3
	CASE③	100	0	160	11.50	13.50	15.50	3
	CASE④	100	0	50		12.00		1

### (4)配合試験結果

配合試験結果を以下の表-4に示す。

表-4 配合試験結果一覧表

場所	配合ケース	混合割合(%)		セメント量 (kg/m3)	含水比 (%)	圧縮強度(N/mm2)		伸び率(%)	密度 (t/m3)	
		現地土砂	改良材			7日	28日			
剣川	CASE①	100	0	100	13.9		3.36		2.130	
							11.9			
						13.9	2.51	5.18		206%
						15.9		2.83		
	CASE②	100	0	125	11.9		3.33		2.130	
						13.9	3.59	7.00		195%
						15.9		3.80		
						17.9		8.05		
松ヶ谷川	CASE①	100	0	100	10.5	0.85	1.78	209%	2.067	
						1.02	2.48	243%		
						1.30	3.04	234%		
						1.30	0.81	2.16		267%
	CASE②	100	0	150	13.0	2.13	4.98	234%	2.124	
						2.35	5.78	246%		
						2.44	6.67	273%		
						2.44	6.67	273%		
素川 (ため池)	CASE①	100	0	100	12.5	1.84	4.14	225%	2.010	
						1.30	3.04	234%		
						1.09	2.55	234%		
						1.09	2.55	234%		
	CASE②	100	0	150	12.5	3.79	8.32	220%	2.041	
						4.06	9.10	224%		
						4.06	9.10	224%		
						2.67	6.20	232%		
素川 (掘削土)	CASE①	100	0	100	10.5	3.42	4.54	133%	2.092	
						4.01	5.99	149%		
						2.69	4.56	170%		
						2.69	4.56	170%		
	CASE②	100	0	130	11.0	5.03	6.61	131%	2.130	
						5.52	8.51	154%		
						3.16	5.55	176%		
						3.16	5.55	176%		
CASE③	100	0	160	11.0	6.13	8.61	140%	2.138		
					6.78	11.80	174%			
					4.38	7.74	177%			
					4.38	7.74	177%			
CASE④	100	0	50	12.0	1.61	2.01	125%	2.134		
					1.61	2.01	125%			

### (5)示方配合

#### 1) 剣川

材料試験における締固め試験結果による最適含水比において、セメント添加量を100、125、150、175kg/m3とした4ケースにおいて、圧縮強度と単位体積重量の試験結果より、配合強度を満足するセメント添加量は125kg/m3、そのときの密度は2,130kg/m3であった。配合強度を満足する含水比の範囲は、図-2より12.8%~14.6%であった。

剣川：単位セメント量125kg/m3、  
設定含水比ω=13.7%±0.9%

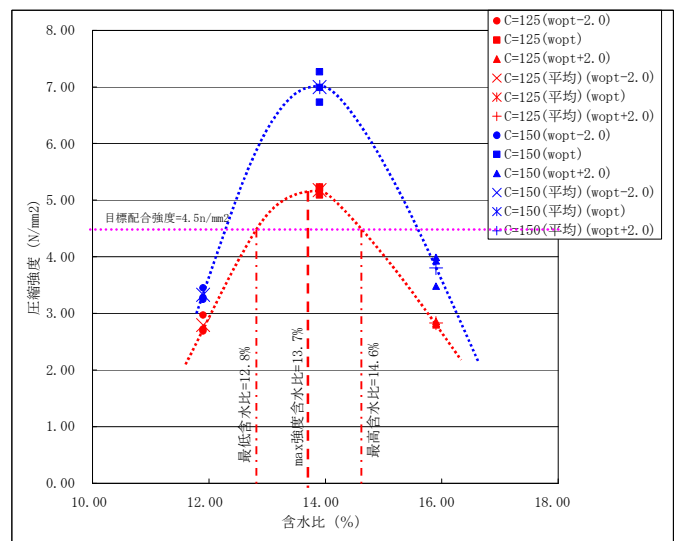


図-2 含水比-圧縮強度の関係 (剣川)

2)松ヶ谷川

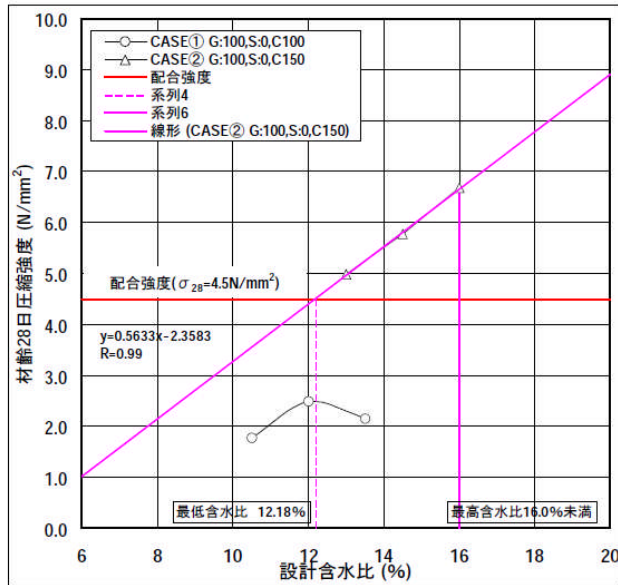


図-3 含水比-圧縮強度の関係 (松ヶ谷川)

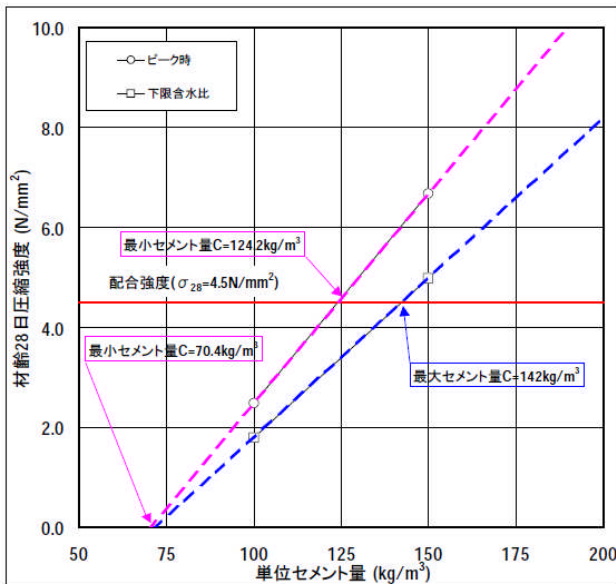


図-4 単位セメント量-圧縮強度の関係 (松ヶ谷川)

材齢28日圧縮強度と単位セメント量・設計含水比の関係 (図-4参照) より、単位セメント量124kg/m<sup>3</sup>以上で目標強度を発現すると考えられる。

ここで設定含水比を考察すれば配合試験時の確認より、設計含水比が約16%を超えるとブリージングが発生し、INSEM工法に支障をきたす恐れがある。これより示方配合の設計含水比の上限値を16%未満に設定することが望ましい。また設計含水比については、単位セメント量150kg/m<sup>3</sup>の設計含水比の近似直線より目標強度を満たす下限含水比は12.18%となる。

一方本土砂はセメント固化率が高いものの、セメント固化が発生する最小セメント量が高いと考えられる。単位セメント量と圧縮強度の関係を見ればピーク強度の直線を圧縮強度0まで延長した場合75kg/m<sup>3</sup>近辺を示している。これは、土砂のphや粒度 (細粒分の多寡) に大きく影響

を受ける。よって、現地でクラッシュなどレキ分が混合されるとこの値は低くなり、同じセメント量における強度は増加するものと考えられる。

以上より、本施工に用いる示方配合は、以下のように設定した。

松ヶ谷川 単位セメント量150kg/m<sup>3</sup>  
設定含水比ω=14.0%±1.5%

3) 素川 (溜め池の土砂)

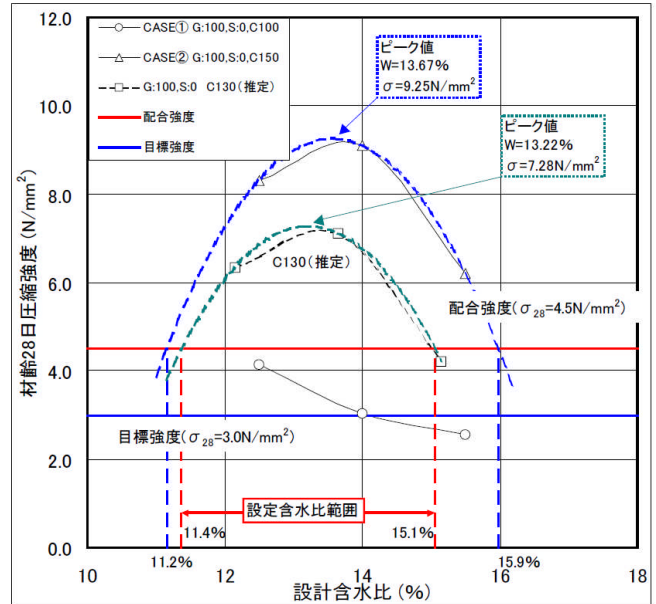


図-5 含水比-圧縮強度の関係 (素川)

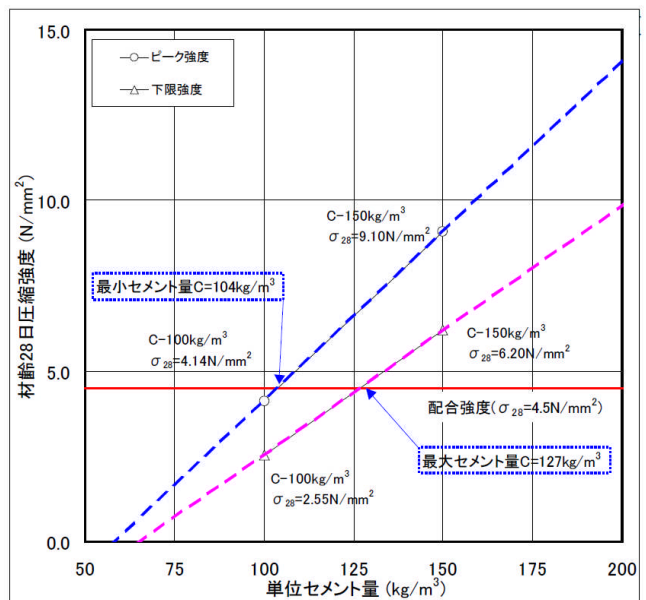


図-6 単位セメント量-圧縮強度の関係 (素川)

材齢28日強度と単位セメント量・設計含水比の関係 (図-6参照) より、ピーク強度は、単位セメント量104kg/m<sup>3</sup>以上で目標強度を発現すると思われる。しかし、現地での実施工を考慮すれば設計含水比に余裕を設ける必要があり、ピーク強度ではなく下限強度の強度伸率を

用いて推定すると配合目標強度を充足する単位セメント量は127kg/m<sup>3</sup>以上が必要であると推察される。設計含水比は、単位セメント量100kg/m<sup>3</sup>のピーク含水比と単位セメント量150kg/m<sup>3</sup>の推定ピーク含水比の比例直線から単位セメント量130kg/m<sup>3</sup>のピーク含水比を推察すると13.22%となる。これらを元に、CASE①とCASE②の圧縮強度のピーク値から同様に考え、単位セメント量130kg/m<sup>3</sup>時の圧縮強度を推察する（図-5参照）。

上述のとおり、単位セメント量130kg/m<sup>3</sup>における推定ピーク含水比は13.22%≒13%であり、設計含水比11.4%～15.1%で目標配合強度4.5N/mm<sup>2</sup>を満足するものと推察される。よって設計含水比は、13.0%±1.5%が妥当であると判断した。以上より、本施工に用いる示方配合は以下のように設定した。

素川：単位セメント量130kg/m<sup>3</sup>  
設計含水比ω=13.0%±1.5%

表-5 配合試験結果による示方配合

場所	強度レベル	混合割合(%)		セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	含水比 (%)
		現地土砂	改良材		
剣川	Ⅲ	100	0	125	13.7
松ヶ谷川	Ⅲ	100	0	150	14.0
素川 (ため池)	Ⅲ	100	0	130	13.0
素川 (掘削土)	Ⅲ	100	0	100	12.5

### 3.2 試験施工

本施工に用いるINSEM材の示方配合は、事前に室内配合試験を実施し、使用する現地発生土砂に対する適切なセメント量及び設計含水比（加水量）を示方配合として選定した。

この配合試験結果より得られた所定の品質を満足する示方配合を用い、実施工と同条件の施工方法の基で要求品質（強度発現・単位体積重量）の確認、これに対する最適な施工方法を選定することを目的に試験施工を実施した。図-7に試験施工の作業フローを示す。

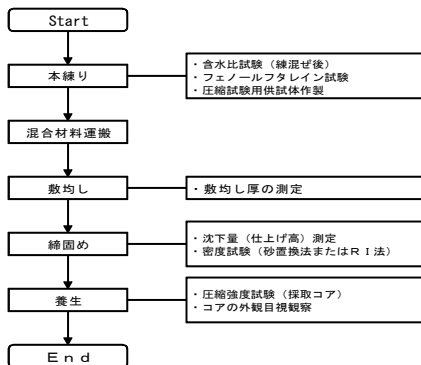


図-7 試験施工の作業フロー

なお試験施工で使用する施工機械は、原則として本施工で用いる施工機械で実施した。

試験施工結果を表-6に、決定した示方配合を表-7に示す。

表-6 試験施工結果

場所	強度レベル	混合割合(%)		セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	含水比 (%)	条件	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		伸び率(%)	密度 (t/m <sup>3</sup> )
		現地土砂	改良材				7日	28日		
剣川	Ⅲ	100	0	125	13.7	モールド	2.78	5.11	184%	2.19
						コア	2.08	4.64	223%	2.19
松ヶ谷川	Ⅲ	100	0	150	14.0	モールド	2.75	7.12	259%	1.96
						コア	0.99	4.36	440%	2.02
素川	Ⅲ	100	0	130	11.5	モールド	2.44	5.26	216%	2.00
						コア	2.27	4.06	179%	1.99
					13.0	モールド	1.68	3.91	233%	2.04
						コア	1.59	3.22	203%	1.98

表-7 示方配合（決定）

場所	強度レベル	混合割合(%)		セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	含水比 (%)
		現地土砂	改良材		
剣川	Ⅲ	100	0	125	13.7
松ヶ谷川	Ⅲ	100	0	150	14.0
素川 (ため池)	Ⅲ	100	0	130	11.5
素川 (掘削土)	Ⅲ	100	0	100	12.5

以下に試験施工時に気づいたことを記す。

#### 【松ヶ谷川】

- ① 松ヶ谷川の7日強度試験を行った際に、圧縮強度の低い値が得られた(0.990N/mm<sup>2</sup>)。これは、冬期の低い温度のためソイルセメントの強度が十分発揮されない状況で、コア抜きを行った結果、コアに含まれる粗骨材部でゆるみが生じ、そこが弱部となり、コア全体の強度に影響を与えたためと考えた（写真-1参照）
- ② ①の7日強度試験で、低い圧縮強度であったため、追加の14日強度試験を行った結果、目標強度の3.0N/mm<sup>2</sup>以上を満足する値であったため、配合や転圧は問題なしと判断した



写真-1 7日強度試験に使用したコア供試体（松ヶ谷川）

【素川】

- ① 素川では、配合試験時に最適含水比を13%と決定していたが、試験施工時に下限含水比（11.5%）まで加水したソイルセメントの様子を観察して、この下限含水比が最適だと判断した。
- ② 素川では含水比13%と11.5%の2条件で試験施工を行ったが、圧縮強度の発現は11.5%の方が高かったため、この含水比に決定した。
- ③ 配合試験時の設計含水比とピーク強度発現が得られた設計含水比の値が異なった要因は、単位セメント量に対する加水量であると考えられる。

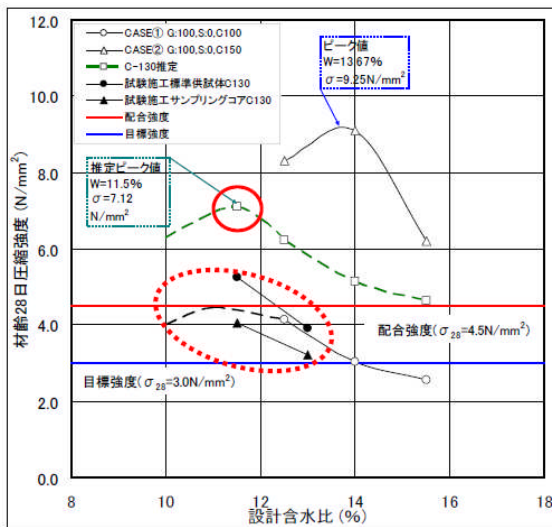


図-8 含水比-圧縮強度の関係（素川）  
（配合試験結果と試験施工結果を同一図上に記載）

4. まとめ

4.1 単位セメント量

防府山系における現地発生土砂を用いたINSEM材では、単位セメント量が100~150kg/m<sup>3</sup>の範囲でレベルⅢを満たすことができる結果であり、この地区の土砂はINSEM材としての適応性は高いと判断した

4.2 配合計画

配合計画の立案に際しては、セメント量は、最低3種類の設定を行うのが適当と考えた（セメント量2種類で実施した場合は、推定値を用いることになり不確実となるため）

4.3 コアによる強度試験

ソイルセメントのコアによる試験は、礫による影響を受けやすいことが松ヶ谷の試験結果より分かった。よってコア抜き時に著しい礫の混入が見られた場合は、再度コア抜きを行うことが望ましい。また7日強度で強度発現が低い場合は、14日強度試験を実施し判断することが有効である。

5. 参考 砂防ソイルセメントの実施工の状況

参考に現時点のソイルセメント砂防堰堤の施工状況の写真を示す。

【剣川 現況写真 H22.6.2撮影】



【松ヶ谷川 現況写真 H22.6.4撮影】



【素川現況写真 H22.6.4撮影】

