

# 砂防ソイルセメント (INSEM) の 水平打ち継ぎ目におけるせん断強度特性

CHARACTERISTIC OF SHEAR STRENGTH AT HORIZONTAL JOINT

OF SABO SOIL CEMENT (INSEM)

松井 宗廣<sup>1</sup>・瀧口茂隆<sup>2</sup>・國光謙二<sup>3</sup>・福井 健太郎<sup>4</sup>・原田 哲夫<sup>5</sup>

Munehiro MATSUI, Shigetaka TAKIGUTI, Kenji KUNIMITSU, Kentaro FUKUI, and Tetsuo HARADA

<sup>1</sup>朝日航洋株式会社 (〒350-1165 川越市南台 3-1-1)

E-mail: munehiro-matsui@aeroasahi.co.jp

<sup>2</sup>国土交通省総合政策局政策課 (〒100-8918 千代田区霞が関 2-1-3)

E-mail: takiguchi-s2hg@mlit.go.jp

<sup>3</sup>国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 (〒730-0013 広島市中区八丁堀 3-20)

E-mail: kunimitsu-k87dm@mlit.go.jp

<sup>4</sup>砂防エンジニアリング株式会社 (〒350-0033 川越市富士見町 31-9)

E-mail: k\_fukui@saboeng.co.jp

<sup>5</sup>長崎大学大学院工学研究科 (〒852-8521 長崎市文教町 1-14)

E-mail: tharada@nagasaki-u.ac.jp

**Key Words:** INSEM, Horizontal joint, Shear strength, field work, indoor test

## 1. はじめに

近年, 砂防分野ではコスト縮減, 環境への負荷軽減等の理由により現地発生土砂を用いた砂防ソイルセメント工法が積極的に活用されている. この工法にはセメント粉体と現地発生土砂を攪拌混合する工法 (以下, INSEM) とセメントミルクと現地発生土砂を攪拌混合する工法 (以下, ISM) がある<sup>1)</sup>. 前者は現地発生土砂とセメント粉体を混合したスランプゼロの材料を用いて層状に敷均し転圧して構築する. 砂防においては INSEM 材を上層に向けて日々連続して打設できる場合が多いことから, 各層の一体性が確保できる構造体とみなされ, 各層間の水平打ち継ぎ目のせん断強度について十分に評価されてこなかった. しかし, コンクリート構造の砂防堰堤の被災実態においても袖部や本体上部の水平打ち継ぎ目における被災事例が多いこと<sup>2), 3)</sup>, また構造物の規模が大きい場合は日々連続打設とならず数日間放置さ

れた後に上層を打ち継ぐ場合があり INSEM の材料特性 (スランプゼロ) を考慮すると構造体としての一体性の確保, 特に水平外力に対する水平打ち継ぎ目のせん断抵抗性について適切な評価が必要である. 砂防分野における INSEM の水平打ち継ぎ目せん断強度は一部報告<sup>1), 4), 5)</sup>されているもののデータ数が少なく十分に評価されているとは言いがたい. そのため本研究では水平打ち継ぎ目の処理方法, 打設間隔を変化させて INSEM を現地施工し, コア (以下, 現地施工から得られた供試体をコアと言う) を採取しせん断試験により水平打ち継ぎ目のせん断強度を評価した. 一般に現地施工では気象条件の変化等に起因する強度のバラつきが室内試験に比べて大きくなると考えられることからコアによる試験結果を補うため, 室内において供試体 (以下, 室内で作成した試験体を単に供試体と言う) を作成し, コアと同じ方法で継ぎ目を処理しせん断試験を行い, その結果に基づき水平打ち継ぎ目のせん断強度を評価した.

また、この結果を用いて鋼材などの外部保護材を用いず INSEM のみで構築した砂防堰堤の水平外力に対する安定性について考察した。

## 2. 試験方法

### (1) 試験条件

INSEM の水平打ち継ぎ目におけるせん断強度（以下、打ち継ぎ目せん断強度）は打ち継ぎ目面の処理方法や上層を打設するまでの期間（以下、打設間隔）に大きく影響を受けると考えられる。そこで本研究ではこの2要素に着目して試験条件を設定した。まず水平打ち継ぎ目処理方法については、文献1)に示されている①清掃散水、②清掃散水後セメント散布、③モルタル敷均しの3条件とし、打設間隔については構造物の規模が比較的小さい場合に多く実施されている、①翌日に上層の INSEM を打設する場合（以下、1日）と、構造物の規模が比較的大きい場合に見られる一定期間後に上層を施工する場合として、②1週間後（以下、7日）に打設する場合の2条件とした。以上の組み合わせである6ケースについて INSEM の現地施工及び室内試験を実施した。

### (2) 使用材料

現地発生土砂は広島西部山系砂防管内の廿日市四季が丘地区（5号）で得られたマサ土を用いた。粒度分布を管内の他地区におけるマサ土の粒度分布とあわせて図-1、土質試験結果を表-1に示す。セメントは高炉B種（JIS R 5211）を用い、INSEM 1m<sup>3</sup>に対して150kgとした。含水比調整には水道水を用い、現地発生土砂の自然含水比を参考に土砂の含水比で10.5%とした。INSEM の配合を表-2に示す。

### (3) 現地施工によるコア作成

現地施工では現地発生土砂の性状のバラつきや施工精度を考慮して各ケースにつきコアを以下の手順により採取・整形し6本ずつ作成した。

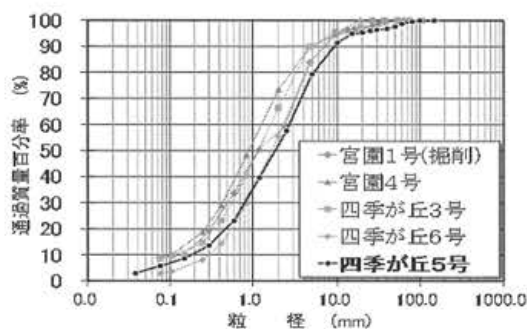


図-1 試験対象土砂の粒度分布

表-1 土質試験結果

項目	四季が丘（5号）
礫分（2～80mm）	42.5 %
砂分（0.075～2mm）	51.8 %
細粒分（<0.075mm）	5.7 %
土質区分	細粒分まじり礫砂質砂（SG-F）
自然含水比	9～11 %
最適含水比（Bc法）	12.6 %
最大乾燥密度（g/cm <sup>3</sup> ）	1.933

表-2 INSEM の配合（1m<sup>3</sup>当り）

セメント（kg）	土砂の乾燥重量（kg）	現地発生土砂の含水比（%）
150	1,838	10.5

まず、バックホウ（0.7m<sup>3</sup>級）により転圧後30cmとなるよう1層35cm厚で敷き均した。敷均しは練混ぜ作業完了後30分以内に完了させた。

次に振動ローラ（3t級）により1層あたり8回（無振動2回+有振動6回、合計4往復）転圧した。

振動ローラの走行速度は1km/hで管理した。

以上を繰り返し、INSEM を3層打設した。

ここで、1層目は基礎と位置づけ、2層目と3層目の間を表-3に示す無処理、セメント散布、モルタル敷均しにより打設レーン毎に区分して打ち継ぎ目を処理した。3層目の打設は1日後と7日後に打設間隔を分けて施工し、施工後はシート掛けにより養生した。INSEM の打設日から15日後にコアカッターにより2層目と3層目の打ち継ぎ目を挟んで各試験レーンからコアを20cm以上採取した（図-2.写真-1）。採取したコアは封緘後、打ち継ぎ目を挟んで上下5cm、高さ10cmに整形した。

表-3 水平打ち継ぎ目の処理方法

無処理	清掃、散水のみ
セメント散布	清掃、散水、粉体セメント(25 kg/7.5m <sup>2</sup> )散布
モルタル敷均	清掃、散水後にモルタル(セメント比 1:3)を厚さ2cm塗布

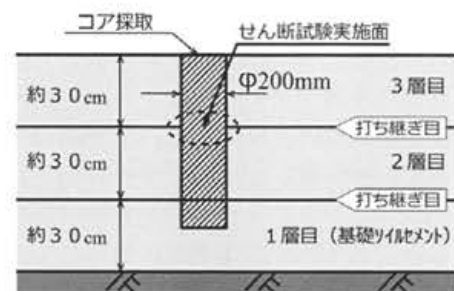


図-2 コア採取位置



写真-1 コア(左)及び供試体(右)の状況

#### (4) 室内における供試体作成

現地施工で得られたコアによる試験値と比較検証するため室内において供試体を作成した。室内での供試体作成は現地発生土砂に比べ性状のバラつきが少ないこと等からより精度よく品質管理できると考えられるため、各ケースにつき以下の手順により 3 供試体ずつ作成した。

まず、一面せん断試験機の上下のせん断箱の内径寸法にあわせて内径 20cm の塩化ビニール管(送水用、厚さ 1cm) を高さ 5cm に加工して上下の円形型枠を複数作製した。次に、表-2 の配合により攪拌混合機を用いて INSEM 材を練り混ぜた。

作成した二つの円形型枠を金属製の金具で一体化し練り混ぜた INSEM 材を 6cm 程度投入しパイププレートがタバで高さ 5cm(1 層目)となるよう締固めた。

1 日後及び 7 日後に霧状態で万遍なく打ち継ぎ目に散水した上で、表-3 に示す打ち継ぎ目処理後、上層(2 層目)の INSEM 材を 1 層目と同じ方法により高さが 10cm となるよう締固めた。(写真-1)

作成した供試体は室温 15 度の室内でシート掛け養生した。

#### (5) せん断試験

せん断試験機は INSEM の打ち継ぎ目のせん断強度を計測する目的で開発された一面せん断試験機<sup>6)</sup>(図-3)を用いた。試験機の概要を以下に示す。

上下のせん断箱には径 20cm、高さ 5cm の内空が設けられておりこの内空(高さ 10cm)に供試体をセットする。この際、打ち継ぎ目面を正確に下せん断箱の内空の高さ(5cm)に一致させるよう、必要があれば金属板により高さを調整する。

水平方向の荷重(せん断力)はせん断力載荷装置から荷重計を介して上せん断箱に伝える。

初期荷重は架台の下に設置された加圧装置により荷重計を介して載荷する。

上せん断箱上面とせん断箱ガイド装置の間に設置した荷重計により、せん断過程におけるコアまたは供試体の垂直応力を計測する。

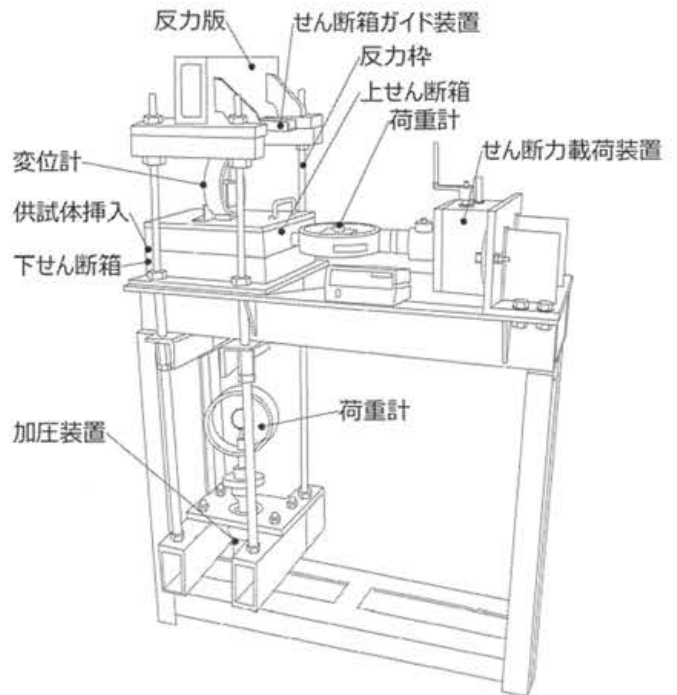


図-3 使用した一面せん断試験

処理方法	せん断面の写真
無処理の例 (打設間隔 7 日)	
セメント散布の例 (打設間隔 1 日)	
モルタル敷均しの例 (打設間隔 7 日)	

写真-2 試験後のせん断面の状態

### 3. 試験結果と考察

せん断試験によって得られた各ケースのせん断変位とせん断応力の関係を初期垂直応力 (50, 100, 150kN/m<sup>2</sup>) 毎に整理し各ケースの最大のせん断応力と最大のせん断応力となった時の垂直応力との関係をプロットし最小二乗法により回帰直線を求めた。

この直線はモール・クーロンの破壊基準線を表すこととなり、この直線から粘着力 (以下, C) とせん断抵抗角 (以下, φ) を求めた。

試験結果を表-4 および表-5 に示す。

処理方法に着目すると、一般的に打ち継ぎ目の粘着力は無処理、セメント散布、モルタル敷均しの順に大きくなると考えられる。本試験結果も一部を除き C, φとも全体的傾向として同様の結果が得られた。これは試験結果の妥当性を示すものと考えられる。

室内試験と現地施工との違いに着目すると、一般的に C, φとも供試体>コアと考えられるが、Cについてはこのような傾向が見られるのに対して、φについては逆の傾向となった。このような傾向が一般的な傾向かどうかについては、今後、試験数を増やす等による更なる検証が必要と考えられる。なお、モルタル敷均しのケースは他の2ケースに比べて C, φとも室内試験と現地施工の値の差が小さい。これはモルタル敷均しがより安定した強度が得られる処理方法であることを示していると考えられる。

打設間隔の違いがCに与える影響については一般に1日>7日と考えられ、無処理とセメント散布では想定と一致する試験結果となった。一方、モルタル敷均しの場合は7日>1日と逆の結果が得られた。このような傾向が一般的な傾向かどうかについては上記と同様に試験数を増やす等による更なる検証が必要と考えられる。また、打設間隔の違いがφに与える影響については一定の傾向が明確でない。φは打設間隔の違いに影響を受けにくい性質を持つ可能性が考えられるが、この点に関しても今後更なる検証が必要と考えられる。

本試験によるCの値は無処理で90~190kN/m<sup>2</sup>、セメント散布で140~460kN/m<sup>2</sup>、モルタル敷均しで210~500kN/m<sup>2</sup>となった。また、φの値は無処理とセメント散布の場合で42~59°、モルタル敷均しで52~62°となった。

雲仙での打ち継ぎ目のせん断試験結果<sup>9)</sup>及び多目的ダムの仮締切等に用いられたソイルセメント(CSG)の試験結果を表-6に示す。これらの試験におけるC, φの値は施工方法、供試体作成方法、せ

表-4 C: 粘着力 [kN/m<sup>2</sup>]

打設間隔	試験区分	無処理 (kN/m <sup>2</sup> )	セメント散布 (kN/m <sup>2</sup> )	モルタル敷均 (kN/m <sup>2</sup> )
1日	現地試験	149.6	169.2	260.3
	室内試験	186.6	461.5	263.1
7日	現地試験	94.2	142.0	502.8
	室内試験	147.8	210.1	466.0

表-5 φ: せん断抵抗角 [°]

打設間隔	試験区分	無処理	セメント散布	モルタル敷均
1日	現地試験	42.6	59.3	60.4
	室内試験	42.5	45.9	60.7
7日	現地試験	54.0	55.9	52.5
	室内試験	48.9	48.8	52.8

表-6 CSGの水平打ち継ぎ目の粘着力

区分	打ち継ぎ目処理方法	C (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)
現地試験 <sup>5)</sup> (雲仙)	無処理	110.1	53
	セメント散布	203.3	58
	モルタル敷均し	210.6	62
室内試験 <sup>7)</sup>	無処理	90~390	40~47
現地試験 <sup>8)</sup>	無処理	70	46.60
		90	49.30
室内試験 <sup>9)</sup>	無処理	90	48.50
	セメントペースト①	800	40.40
	セメントペースト②	730	45.60
	モルタル塗布	630	45.60

ん断試験方法等が異なっており本試験結果と単純に比較できないが、無処理の場合のCの下限値は70~90kN/m<sup>2</sup>であり本試験結果の無処理の場合の下限値(94.2kN/m<sup>2</sup>)と同程度の値である。また、φも40~53°に分布し、本試験結果で得られた無処理の場合のφ(42~54°)と調和的である。

### 4 砂防堰堤のせん断抵抗性

試験結果から得られた値を用いて外部保護材を用いずINSEMのみで構築された砂防堰堤について(1)式<sup>10), 11)</sup>により砂防堰堤の高さ毎に土石流等による水平外力に対するせん断抵抗性を評価した。

$$n = \frac{fV + C1}{H} \geq 4 \quad (1)$$

ここに

- n : 安全率 (≥4.0)
- f : 内部摩擦係数 (tanφ)
- φ : せん断抵抗角 (°)
- V : 単位幅当たりの鉛直力 (KN/m)
- l : せん断抵抗強度が作用する長さ (m)
- H : 単位幅当たりの水平力 (KN/m)
- C : 粘着力 (KN/m<sup>2</sup>)

である。

ここで C, φ の値は構造物にとって安全側の値とした場合 (以下, 安全側の場合) と全体的傾向として室内試験より小さい値を示した現地試験の値を用いた場合 (以下, 現地試験の場合) について評価した。安全側の場合については打ち継ぎ目処理方法が無処理の場合は C の値を 90KN/m<sup>2</sup>, セメント散布の場合で 140KN/m<sup>2</sup>, モルタル敷均しの場合で 210KN/m<sup>2</sup>, φ の値は打ち継ぎ目処理方法にかかわらず一定 (42°) とし, 現地試験の場合については表-4 および表-5 の現地試験の値とした。

土石流による礫の衝撃力は最大礫径 1.0m, 流速 5.0m/s の場合の衝撃力とした。また, 参考文献 1) おける平均長さについては, 砂防現場の INSEM の打設長さが 5m 程度の事例が多いことから 5m とした。これらの計算条件を表-8 に, 1m 毎に打ち継ぎ目がある場合の計算結果を図-4 に示す。

図-4 から, 本事例における砂防堰堤諸元と土石流流速等の計算条件の場合では,

安全側の場合, 無処理で堤高 6.5m 以上, セメント散布で堤高 7m 以上, モルタル敷均しで堤高 7.5m 以上で安全率 (4.0) を下まわる。

現地試験の場合, 無処理で堤高 7m 以上, セメン

表-8 計算条件

項目	値
ダム高(m)	10
水通し天端幅(m)	3.0
堤体幅(m)	9.5
単位長さ(m)	5.0
上流のり勾配	1 : 0.4
下流のり勾配	1 : 0.25
土石流流速(m/sec)	5.0
土石流水深(m)	1.11
土石流の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	17.4
土石流中の砂礫の泥水中単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	5.63
INSEM の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	21.50
泥水の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	11.77
礫の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	25.51
土石流流体力係数	1
ダム堤体と基礎地盤との摩擦係数	0.7
最大礫径(m)	1.0
礫の密度(kg/m <sup>3</sup> )	2600.0
重力加速度(9.8m/sec <sup>2</sup> )	9.8
円周率	3.14
INSEM のポアソン比 <sup>11)</sup>	0.29
礫のポアソン比	0.23
INSEM の終局強度割線弾性係数(N/m <sup>2</sup> ) <sup>12)</sup>	5.8*10 <sup>9</sup>

ト散布で堤高 8m 以上, モルタル敷均しで堤高 8.5m 以上で安全率 (4.0) を下まわる。したがって, 断面の増厚, 衝撃力の緩和や外部保護材等による補強が必要となる。

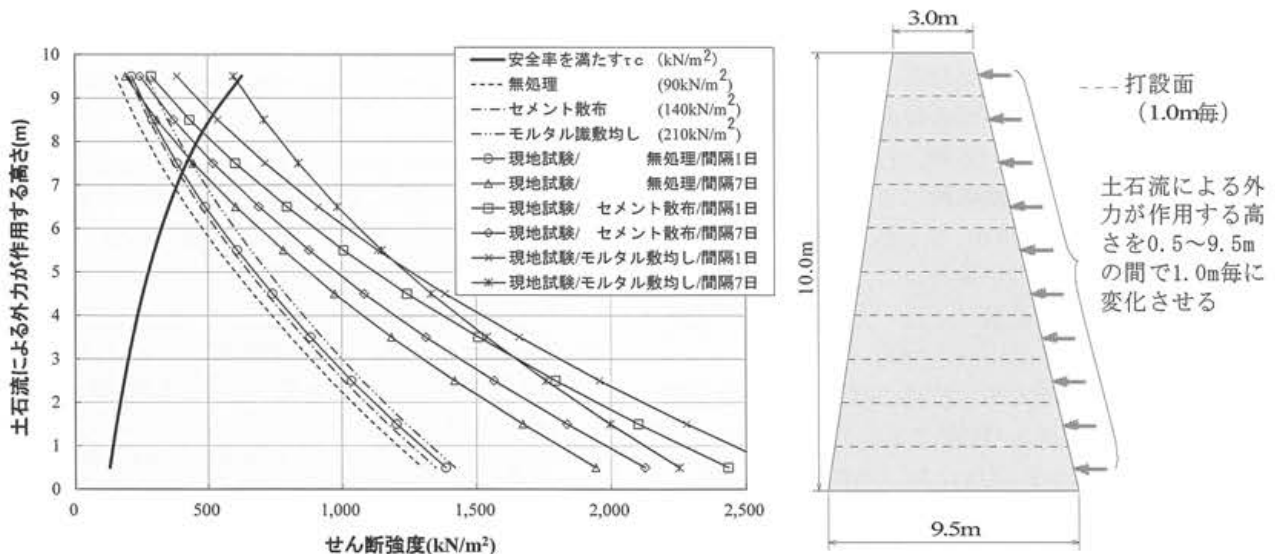


図-4 砂防堰堤の作用高さ毎の土石流による外力に対するせん断抵抗性評価

## 5 結論

砂防ソイルセメント (INSEM) の打ち継ぎ目の処理方法毎に、現地試験施工、室内試験により得られたコア、供試体のせん断抵抗性 ( $C$ ,  $\phi$ ) をせん断試験結果から評価した。この結果、一般に考えられる傾向と同様に  $C$ ,  $\phi$  とも、無処理くセメント散布くモルタル敷均しの順に大きくなる結果が得られた。

打ち継ぎ目の処理方法が無処理のケースは雲仙における無処理のケースや多目的ダムの CSG での下限値と概ね同程度の値が得られた。

この値を用いて砂防堰堤の 1 事例について水平外力に対する安定性を評価した結果、INSEM のみで構築した砂防堰堤の場合、本体上部付近においては土石流による礫の衝撃力等に対して安全率 (4.0) を下まわり補強が必要な結果となった。

今後の課題として、現地施工は気象等の影響を受けること、また室内試験も人為誤差の影響が全く排除されていない可能性がある。また、水平外力に対する安定性評価においては砂防現場における INSEM 材の敷均し長さを参考に単位長さ 5m としてせん断抵抗性を評価した。実構造物は堤長方向に一定の構造的連続性を有すると考えられるが、これについては評価していない。

INSEM の施工仕様 (敷均し厚さ、転圧機械の規格、転圧回数等) や打ち継ぎ目処理方法の仕様 (セメント散布量、モルタル敷き均し厚) が異なる場合は本研究結果と一致しない可能性がある。これらの点については 3. に既述したように今後さらに検討が必要であると考えられる。

INSEM 工法はスランプゼロの材料を用いて、層状に材料を敷均・転圧して施工するため、各層間の打ち継ぎ目が水平ジョイントとなり土石流等の水平外力に対して構造的な弱部となる。

しかしながら、砂防堰堤の堤底に近い部位では上載荷重 (自重) が大きいいため、打ち継ぎ目を無処理とした場合でも内部摩擦係数によるせん断抵抗力が十分に大きく安全率 (4.0) を上回るため、水平外力に対して十分に安定性が保たれる。一方、本体上部付近や袖部では上載荷重が小さいため、安全率 (4.0) を下まわり安定性が不十分となる。

本研究におけるせん断抵抗性の評価事例では水平方向の外力が  $740\text{kN/m}^2$  程度であるが、1997 年 7 月 10 日熊本県出水市針原川における深層崩壊によりコンクリート砂防堰堤の袖部が被災した事例における水平外力は  $2,200\text{kN/m}^2$  程度と推定されている<sup>13)</sup>。

INSEM 工法は施工性が良いことから現地発生土

砂が多量に存在する土砂災害現場などでの早急な対策工法としても有効である。本研究が INSEM のみで構築される構造物における水平外力に対する安定性評価の一助となれば幸いである。

謝辞：試料採取や現地試験ヤードの確保並びに試験データを提供して頂いた国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所の関係各位に記して深甚の感謝を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 一般社団法人砂防・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，2011
- 2) 建設省土木研究所砂防研究室：砂防ダムの被害実態調査，土木技術資料第 1514 号，1979
- 3) 建設省土木研究所砂防研究室：砂防ダムの被害実態調査(2)，土木技術資料第 2491 号，1987
- 4) 加藤仁志，笹原克夫，武澤永純，井川 忠，松井宗広：砂防ソイルセメント構造物の発現強度についての一考察，砂防学会研究発表概要集，pp.190-191，2005
- 5) 独立行政法人土木研究所，財団法人砂防・地すべり技術センター：砂防ソイルセメントの材料特性に関する調査，pp.6-46，2006
- 6) 山本明男，梅田幸成，橋本芳夫：ソイルセメント対応型大型一面せん断試験機の開発と実施例，全地連技術フォーラム講演集，78，2006
- 7) 寺本哲治，石黒昌信，林 良樹：ソイルセメント打設継ぎ目のせん断強度特性，第 34 回地盤工学研究発表会，pp.817-818，1999
- 8) 寺本哲治，石黒昌信，林 良樹：ソイルセメント施工継ぎ目の原位置せん断特性，土木学会第 54 回年次学術講演会，pp.558-559，1999
- 9) 佐藤耕治，三澤輝芳，服部 敦，安田成夫：台形 CSG における打継ぎ目処理材の効果，土木学会第 60 回年次学術講演会，pp.441-442，2005
- 10) 建設省河川局監修：建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説設計編 [II]，pp.11，1997
- 11) 財団法人砂防・地すべり技術センター：土石流・流木対策の技術指針に関する講習会テキスト-砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) および土石流・流木対策設計技術指針に基づく計画・設計事例の解説，pp.107-116，2007
- 12) 豊田光雄，今井裕一：弾性波探査などによる CSG 構造物の工学特性，土木学会第 55 回年次学術講演会，III-B255，2000
- 13) 山田 孝，南 哲行，小山内信智，水野秀明：1997 年 7 月 10 日に鹿児島県針原川で深層崩壊に起因して発生した土石流の流下・堆積実態，砂防学会誌 (新砂防)，Vol.51, No.1, pp.46-54，1998

(2016.5.31 受付)