

流動タイプの配合試験に関する一考察

- (株) 土木管理総合試験所 八木澤 一哉
- (一財) 砂防・地すべり技術センター 嶋 丈示
- (株) オリエンタルコンサルタンツ 井川 忠
- (株) 本久 小布施 栄

1. 緒言

近年、砂防ソイルセメントを内部材とする堰堤築造にあたっては、転圧タイプの利活用が活発である。しかしながら、既往の研究^{1) 2) 3) 4)}では、転圧タイプに比べ、流動タイプが有効となる現地発生土砂の材料物性が確認されていることや、例えば現場内へ転圧重機が搬入不能、狭小部で転圧重機が走行不能、粗石の多混在等、現場条件によって流動タイプが有効活用されるケースも確認され、今後、転圧タイプ・流動タイプ双方の比較検討を行うことで、よりゼロエミッション促進に寄与するものと考えている。

既往の研究では細粒分の比較的多い土砂について有効性が示されているが、既述の通り現場条件に応じて良質材料も流動タイプの活用が期待される。そのため、本報告では細粒分の少ない現地発生土砂に対して流動タイプの配合試験を実施し、その結果と考察を行って、配合試験方法（配合ケースの設定等）、配合計画（案）を合わせ提案するものとした。

2. 現地発生土砂の物理特性

土砂産地は長野県飯田市にあたり、地域一帯に基盤を成す花崗岩の風化土砂（マサ土）の二次堆積物である。粒度分布（図-1 参照）は、中砂～粗砂を主体に細粒分（シルト・粘土分）は1.8%と非常に少なく、土砂の物理特性は表-1に示す通りとなった。

また、コンクリートの観点から考えた場合においては、5mm以上の粗骨材が16.3%と比較的少ないため、圧縮強度ピーク低下の懸念があり、有機不純物に関しても淡赤褐色と標準色より濃いことから、セメントの水和反応に対する影響が危惧された。

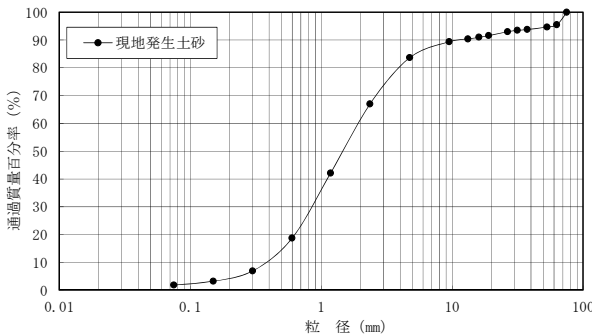


図-1 現地発生土砂の粒度分布

表-1 現地発生土砂の物理特性

試料名		現地発生土砂	
自然含水比	%	6.8	
単質実積率	単位容積質量 kg/L	1.74	
	実積率 %	69.3	
密度吸水率	材料区分	細骨材	粗骨材
	表乾密度 g/cm ³	2.55	2.62
	絶乾密度 g/cm ³	2.49	2.59
	吸水率 %	2.40	1.12
粒度	礫分 %	33.0	
	砂分 %	65.2	
	細粒分 %	1.8	
分類	工学的分類	礫質砂	
	(分類記号)	(SG)	
締固め	最大乾燥密度	1.813	
	最適含水比	8.5	
有機不純物		淡赤褐色	

3. 配合試験

本土砂のように細粒分の少ない砂は、流動性の得られる範囲で、水は極力少なく抑えた方が圧縮強度を確保しやすく、混和剤の効果も高い。よって、実施工時のスランプロス等、流動性は混和剤に負担させ検討した。なお、コンシステンシーは、実施工において打設直前に必要なスランブを“最小管理スランブ”、混練直後に管理すべきスランブを“現場管理スランブ”と定義し、セメント種類は高炉セメントB種、混和剤は高性能AE減水剤（ポリカルボン酸系）を用いた事例である。

3.1 加水量とスランブ値の関係（混和剤非添加）

図-2は最小管理スランブを5cmとした場合の単位セメント量と水セメント比（W/C）の関係である。セメント量が300kg/m³程度まではW/Cが100%を上回り、また400kg/m³程度からはW/Cが40%に収束し、セメントペーストのコンシステンシーに近付くことが分かる。

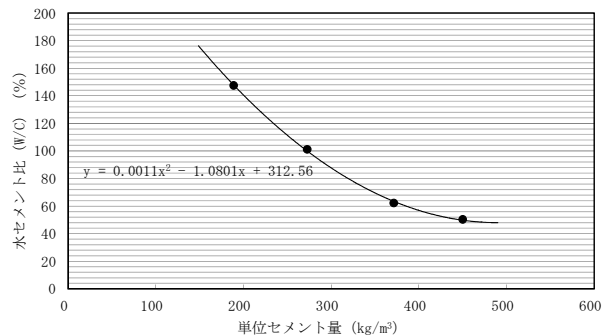


図-2 単位セメント量-水セメント比の関係

3.2 混和剤添加率と圧縮強度の関係

図-3は混和剤添加率とスランプの関係である。単位セメント量250~400kg/m³、混和剤添加率1.0%以下の範囲においてスランプ10cm以上の向上が確認された。ただし、セメント量の多いケースでは、添加率0.25%以上でスランプの向上は鈍化した。なお、配合は水の一部を混和剤で置換して添加した結果である。

図-4・5は混和剤添加率と単位体積重量、圧縮強度の関係を求めたものである。単位セメント量が少ないケースでは、非添加とほぼ同等またはそれ以上の圧縮強度、単位体積重量を示すものの、セメント量が多くなると若干の低下傾向を示すことが分かる。図-3と比較するとスランプの向上と関係があるようである。

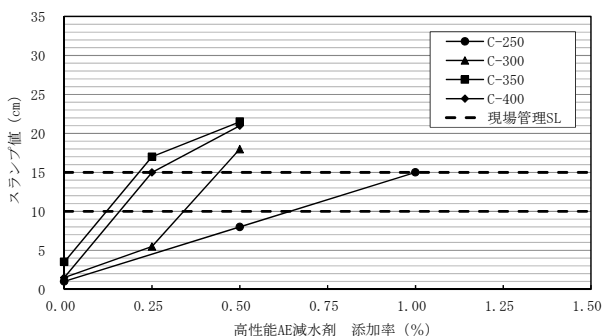


図-3 混和剤添加率-スランプの関係

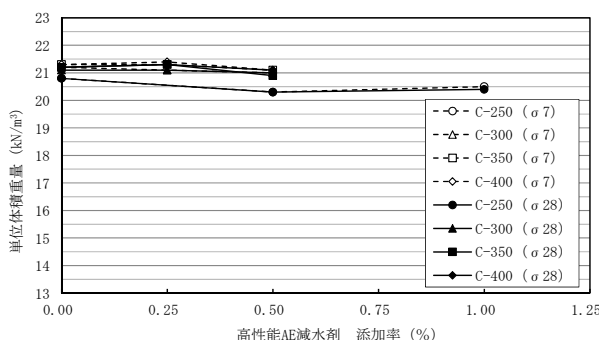


図-4 混和剤添加率-単位体積重量の関係

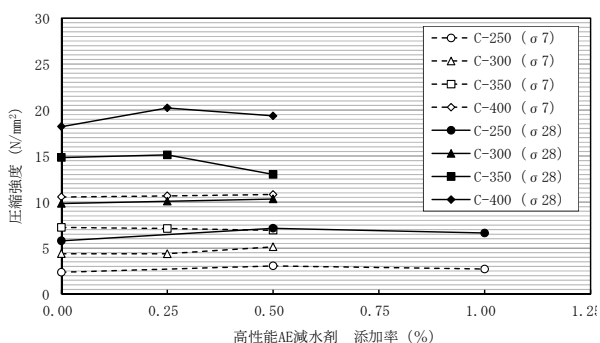


図-5 混和剤添加率-圧縮強度の関係

4. 配合計画(案)

本配合事例は細粒分が少ない砂を用いたものであり、混和剤の効果も高い材料であった。把握できた事項を次にまとめ、配合計画(案)を提案する。

1) 混和剤1.0%以下の添加でスランプ10cm以上の流動性向上が得られる。また、スランプが大きく向上する範囲では、非添加とほぼ同等またはそれ以上の圧縮強度、単位体積重量を示す。

2) 流動性向上が鈍化するほど混和剤を添加すると、圧縮強度、単位体積重量は減少する。

以上から、混和剤を過度に添加しない限り、初期に決定した水ならびに単位セメント量と同等以上の圧縮強度、単位体積重量が得られるものと考え、配合計画(案)を図-6にまとめる。なお、現地発生土砂の物性に依り、水及びセメント単体で十分なコンシステンシー、圧縮強度が得られる場合は、配合試験 phase. 2 で示方配合を決定するとよい。

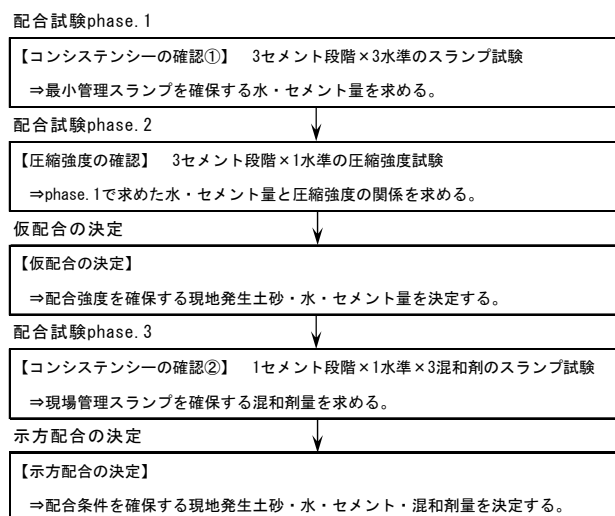


図-6 配合計画(案)

5. 今後の課題

本報告は一事例を基に配合計画(案)を示すものであり、土砂や混和剤種類について事例を重ねる必要性がある。また、最少セメント量の推定や目標スランプの設定方法等についても今後の課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 佐藤ら：ISM工法による砂防堰堤基礎の大規模急速施工(災害対策)、平成18年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 48-49
- 2) 重野ら：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, pp. 454-455
- 3) 織田ら：流動化ソイルセメントについての一考察、平成28年度砂防学会研究発表会概要集, pp. B-218-219
- 4) 山口ら：流動化ソイルセメントの特性とその活用方法についての一考察、平成28年度砂防学会研究発表会概要集, pp. B-220-221

流動タイプのソイルセメントの設計に関する一考察

(株) オリエンタルコンサルタンツ ○井川 忠、(一財) 砂防・地すべり技術センター 嶋丈示
 長野県砂防課 北原誠、丸山泰正、蒲原潤一、北信建設事務所 深澤光太、関貴幸
 (株) 本久 小布施栄、(株) 土木管理総合試験所 八木澤一哉

1. はじめに

砂防堰堤の計画位置は主要地方道から分岐する尾根沿いの林道を1時間余り走行した地点に位置する。砂防堰堤の計画位置までコンクリートを運搬する場合、生コンクリート工場から90分以上の運搬時間を要するため品質確保が困難な条件である。また、砂防堰堤の計画位置の河床は土石流堆積物で覆われており1m前後の粗石が多く、広く普及している転圧タイプのソイルセメント(以下、「転圧タイプ」)を使用する場合、堤体への活用土砂が不足する懸念がある。このことから、転圧タイプでは活用できない大きな粒径の礫を活用した流動タイプのソイルセメント(以下、「流動タイプ」)を堤体材料に活用することを目的に現地試験施工を実施した結果や設計に関する考察を発表する。

2. 活用母材の採取計画

計画位置の地形は、河床勾配1/20程度の土石流堆積区間に位置する。また、計画位置は既設堰堤の堆砂敷を予定しており、河床を構成する礫は1m前後のものが大半を占め、地表面はほぼ礫で覆われている。この河床状況において、計画砂防堰堤の堤体積である約1万m³のソイルセメント材を製造するため、無人ヘリで撮影したオルソフォトを用いて地表の礫を判読し堤体材料に活用できる母材量を推定した。図1に判読結果を示す。砂防堰堤の母材量として活用する礫の最大径は、混合機械であるバックホウで容易に混合できる大きさの0.5mを目安とし、判読する礫の閾値もそれに合わせて0.5mに設定した。計画位置の河床幅は30m程度であったが、低高度で撮影することで鮮明な河床状態を確認できるとともに、人力作業で実施する場合に比べて精度の高い礫の分布を把握できた。判読結果に基づき、堆砂敷の範囲に対して活用困難な1m以上の礫の割合を求め、その結果から活用母材の面積や掘削深の目安を算定した。

3. 配合設計における水分量に関する考察

現地試験施工の示方配合を表1に示す。単位セメント量・単位水量・混和剤等の諸条件は、現地試験施工に先立って実施された室内配合試験に基づいて決定した。現地試験施工は、本施工が夏期に実施されることから、特に練混ぜから打設までのスランプロスの想定、日々の単位水量の管理方法に着目した配合を検討した。

表1 現地試験施工の示方配合

単位セメント量	粒度	土砂採取時		高性能AE減水剤
	河床砂礫	含水比	単位水量	
180kg/m ³	礫分 44.8% 砂分 42.8% 細粒分 12.4%	18.00%	300 kg/m ³	1%

(1) スランプロスを考慮した示方配合

転圧タイプは水分量が流動タイプよりも少ないため施工効率への影響はほとんどないが、流動タイプはコンクリートと同様の性状であり製造直後はスランプを有するが時間の経過とともに硬化するのが早い。したがって、示方配合は単純に所定の強度が得られれば良いという考えではなく、施工機械による運搬や打設時間から、スランプロスを考慮した示方配合にすべきと考えた。そこで、示方配合は夏期の施工にともなう水分の蒸発や打設時間等を考慮し、30分程度のワーカビリティを維持できるスランプの確保を目標に高性能AE減水剤を含有した配合とした。その結果、練混ぜ後、30分経過した目標スランプ10cm程度を確保することができた。(図2)

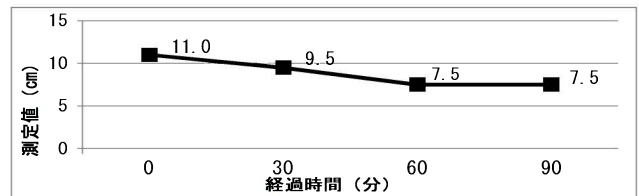


図2 経過時間毎のスランプの変化

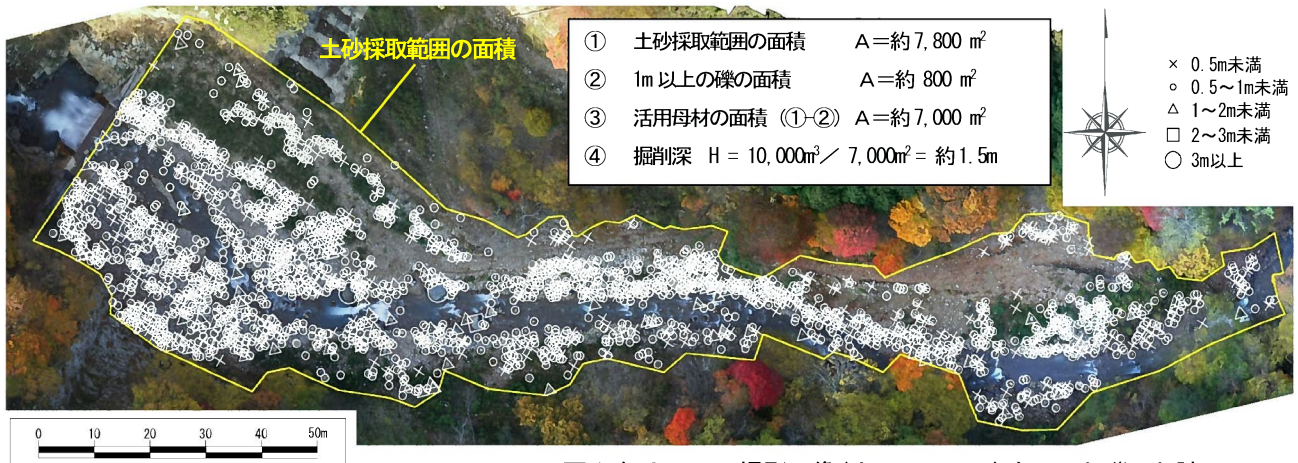


図1 無人ヘリの撮影画像(オルソフォト)を用いた礫の判読

(2) 総水量による単位水量の管理

転圧タイプは、日々の活用母材の水分量の変化に対して含水比に幅を持たせた品質・施工管理を行っている。流動タイプはスランプ値で品質管理を行うことから、できるだけW/Cを一定に保つ必要がある。しかし、母材（現地土砂）は天候などにより含水比が変動する。そこで、当日の母材の総水量が一定になるよう、母材の含水比をもとに加水量を変動させる水分量の管理方法を採用した。

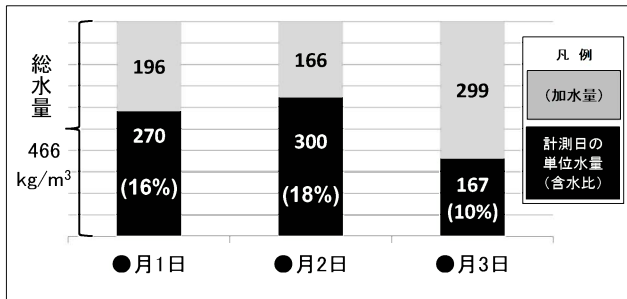


図3 総水量による管理の概念図

図3に総水量による管理の概念図を示す。日々の混合作業前に含水比を計測し、加水量を調整し、総水量は一定の値に固定した配合とする。品質管理はスランプ試験により行うが、スランプ値が日々変動する場合は、土質の変化や土粒子の表面水量の変化が影響しているものと考えられる。その場合は、加水やセメントミルクを追加投入し、微調整を行うことが適切である。

4. 大礫の活用に関する考察

転圧タイプは振動ローラで締固めるため、最大粒径は層厚の1/2程度(0.15m)に抑える必要がある。これに対して流動タイプは型枠に礫を投入できればよいので、大きさに制約はない。今回は転圧タイプの倍以上の大きさの礫(最大0.5m)を投入し施工性を検証した。打設順序のイメージを図4に示す。ソイルセメント材と礫を層状に交互打設した場合において、打設時間の短縮が図れるとともに一定の品質が確保できることが確認された。

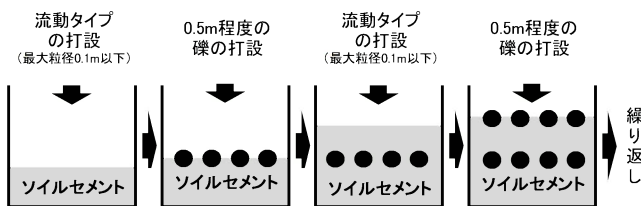


図4 大礫を活用した打設順序のイメージ

活用する0.3m以上の礫の割合は、本検討で実施した現地試験施工の結果から、打設時の締固めに用いる振動バイブレーターの挿入に0.1m程度の間隔が必要になるため、1m³当たりの製造量に対して30%程度の投入が妥当と判断した。転圧タイプでは用いることができない0.15m以上の礫の活用の適否は、砂防ソイルセメント工法で堤体に活用する母材が不足するような場合や渓床幅や施工ヤードが狭く、礫の処分が困難な場合に有効であると考えられる。

5. 練混ぜ前後の容積変化に関する考察

土砂からソイルセメント材を製造する際、容積の変化は現地土砂（地山状態）の容積⇒掘削後のほぐされた土砂の容積⇒セメント投入後のソイルセメントの容積と段階毎に変化する。転圧タイプは締固めた結果がそのまま容積として管理すればよいが、流動タイプはほぐされた土砂の空隙に水とセメントが充填されるため、事前にほぐされた土砂の空隙率を調べておくことが重要である。図5に混合前後の容積変化の概念図を示す。本施工では混合コンテナ内に計量用のラインを入れて管理する機会が多いが、この状態で投入する土砂はほぐれた状態であるため、空隙が多いことに留意が必要である。このことから、室内配合試験の段階で空隙の変化率を確認しておく必要がある。

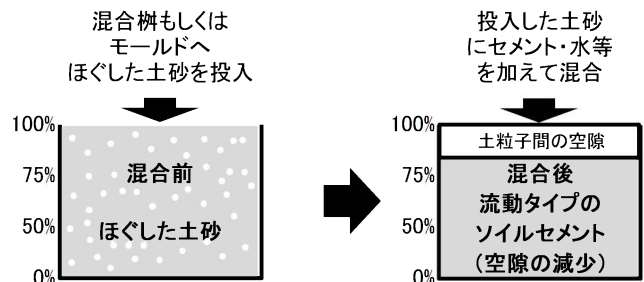


図5 混合前後の容積変化

容積変化率は、締固め試験では試験前後の重量の変化を参考にする方法、モールドを用いる場合は、軽装法により製作した供試体重量と突き棒による締固め後の供試体重量の変化率を求める方法等がある。本施工では、土粒子間の空隙が無い状態の容積になることを想定し、ほぐした土砂量に一定の変化率を乗じた土砂を準備しておくことが適切であると考える。

6. まとめ

今回実施した流動タイプの現地試験施工では、本施工で想定される課題を設計段階で確認することであった。本検討では母材の賦存量を把握する手段として、無人ヘリを活用した調査を実施した。河床幅30m程度の狭隘地形であったが上空が開けている地形条件であれば人力作業に比べて正確な情報を取得できるものと判断された。配合設計では、本現場の施工条件が6月～10月の夏期になるため、流動タイプの打設効率を念頭に置いた有効なデータが取得できたと考える。特に水分量の変動がスランプへ与える影響が大きいため、総水量による適切な配合設計が重要であると考えられる。試験施工で得られた土量変化については、室内配合試験段階で軽装法によるモールド供試体を製作することで容積変化率を推定できることがわかった。流動タイプの設計・施工事例は、ISM工法では存在するが本堤での使用例はほとんどない。従って、今後データを取得し、設計・施工技術の研鑽を図る必要がある。

【参考文献】1) 砂防ソイルセメント施工便覧 平成28年9月、2) 現位置攪拌混合固化工法(ISM工法)設計・施工マニュアル第1回改定版 平成19年3月、3) 井川ら：平成24年度砂防学会研究発表会概要集 p44-45, 2012

現地の粗石を活用した砂防ソイルセメント流動タイプの試験施工の実施事例について

株式会社 本久

(一財) 砂防・地すべり技術センター

長野県建設部砂防課

北原 誠

丸山 泰正

○小布施 栄

嶋 丈示

長野県北信建設事務所

深澤 光太

関 貴幸

株式会社オリエンタルコンサルタンツ

井川 忠

株式会社土木管理総合試験所

八木澤 一哉

1 はじめに

砂防堰堤計画にあたっては、計画位置の地形や工事道路の諸条件によって資機材の搬入が困難となり、一般的に行われているコンクリート工法では施工が難しくなる場合がある。その際に砂防ソイルセメント転圧タイプ（以下、「転圧タイプ」）が検討されることが多い。しかし、現地に150mm以上の大礫が多い場合や、内部材を投入する箇所への重機搬入が困難な場合は転圧タイプでの施工は適用できない。本報告はこのような現場条件で汎用的な機材を用いて砂防ソイルセメント流動タイプ（以下、「流動タイプ」）を検討した事例である。汎用的な機材による流動タイプはまだ施工実績が少ないため、施工性および施工品質について慎重に検討する必要がある。そこで、現地試験施工を実施し、施工性と施工品質について確認した。また、これまで活用が進まない石材に着目し、100～500mm程度までの粒径範囲にある大礫（以下、「粗石」）の活用を試みた。これにより現地発生土砂の有効活用の幅が広がり、流動タイプの現場での活用の可能性が確認できたため、その結果について報告する。

2 施工条件と現場の課題

当該計画における現場の課題は以下の通りである。

- ①生コンクリートの運搬は90分以上の時間を要し、品質が確保できないため、コンクリート以外で要求性能を満足する工法を選定する必要がある。
- ②現場へ搬入可能な機械はバックホウとクローラダンプのみで、その他の資機材はケーブルクレーンで搬入可能な3t以下のものに限定されるため、これらの条件で施工可能な方法を検討する必要がある。
- ③堰堤の計画位置は良質な河床砂礫が広く堆積するものの粗石も多く含まれており、転圧タイプでは必要な土砂の賦存量が不足するため、現地発生土砂をより多く活用する必要がある。

これらの条件と課題を検討した結果、流動タイプが施工の実現性が高く検討されるに至っている。

3 試験施工ケース

3.1 使用材料

現地試験施工に用いた流動タイプのソイルセメント材（以下、「ソイルセメント材」）の母材は堤体の掘削土砂で、φ100mm以下にふるい分けしたものである。粗石は河床に堆積するφ100～500mmの粒径範囲のものをランダムに採取し、表面洗浄したものである。土砂の物性値を表1に示す。

表1 土砂の物性値

土粒子の密度 (g/cm ³)		2.733
自然含水比 (%)		18.4
吸水率 (%)	粗骨材	3.14
	細骨材	7.96
粒度	礫分 (%)	44.8
	砂分 (%)	42.8
	細粒分 (%)	12.4

3.2 試験施工ケースと確認事項の概要

表2に現地試験施工の実施ケースを示す。現地試験施工は事前に実施された室内配合試験に基づき、粗石混入率や混入方法、単位セメント量を変えたケースで実施した。施工性の良否についてはソイルセメント材の製造と打設のそれぞれの工程における作業状況と所要時間ならびにソイルセメント材の性状変化により評価した。また、試験体の品質については、試験体の表面観察、内部充填状況の観察、一軸圧縮強度と重量により評価を行った。内部の充填状況は試験体を切断し、その切断面の観察結果より評価し、一軸圧縮強度と重量は標準供試体と抜き取りコアにより評価を行った。

表2 試験施工ケース

	CASE1	CASE2	CASE3
試験体の寸法 (mm)	B:1600×L:1600×H:1000(500×2層の打設)		
セメント量 (kg/m ³)	180	180	125
総水量 (kg/m ³)	466		
混和剤 (%)	1.0		
粗石混入率 (%)	50	25	25
粗石混入方法	混合槽に投入 (同時混合)	型枠に投入 (投下・圧入)	型枠に投入 (投下・圧入)

4 試験施工結果

4.1 施工性について

4.1.1 ソイルセメント材の攪拌混合

セメントの混合方式はスラリー混合方式とし、攪拌混合は汎用型バックホウの普通バケットで行った。ソイルセメント材の流動的な性状に加え、混和剤の利用によってスラリーの粘性が下がることでより流動性が良くなり混ざりやすいため、普通バケットによる攪拌混合でも施工性は良好である。また、転圧タイプにおける空練り混合や加水工程がなくなる分、攪拌混合に要する時間を短縮することができた。

4.1.2 CASE1における粗石混入方法

粗石の最大粒径が500mm程度で、体積比50%の混入量ともなると、普通バケットの同時混合による攪拌混合方法では粗石に未処理物が付着し、均一な攪拌混合は困難である。そこで、先ずφ100mm以下の母材でソイルセメント材を練混ぜ、その後所定量の粗石を投入することとした。礫間を充填するソイルセメント材の練り混ぜと粗石の混合を別工程とすることで、多量の粗石を混入する場合であっても粗石にソイルセメント材が表面付着することで粗石間にソイルセメント材を十分回り込ませることが可能になる。粗石を別に投入することで粗石を含むソイルセメント材全体の製造に要する時間が増えることが想定されるが、粗石投入後、更に練り込むわけではないので、時間的なデメリットはない。結果的にはソイルセメント材の製造が粗石混入量の分だけ少なくなり、施工が容易となることに加え、粗石を多量に使っても品質が安定するメリットのほうが大きい。

4.1.3 CASE1 の打設結果と打設方法の修正

打設は混合完了から 30 分経過後に行った。これは本施工時におけるソイルセメント材 1 バッチの使い終わる時間で、硬化が進む材料の性状上、不利な状態を想定している。粗石と同時打設の CASE1 ではパイプレータの締め作業時、多量の粗石が障害となり、施工時間を要したため、打設方法を修正する必要が生じた。そこで、CASE2 では先にソイルセメント材を型枠内に打設し、その後に定量の粗石を投入し、バックホウで圧入した後、パイプレータによる締めを実施することとした。その結果、CASE1 の半分程度の時間で打設が完了し、機械作業を併用する有用性を確認した。参考ではあるが、粗石を混入しない場合（参考 CASE）ではさらにその半分程度の時間で打設が完了しており、粗石の大きさや混入方法によっては打設効率がさらに改善できる可能性がある。

表 3 施工時間結果一覧表

	CASE1	CASE2	CASE3	参考CASE
セメント量 (kg/m ³)	180	180	125	180
総水量 (kg/m ³)	466	466	466	411
粗石混入率 (%)	50	25	25	0
製造量 (ソイルセメント材+粗石) (m ³)	3.2	2.3	2.3	2.6
1m ³ あたりの混合時間	4分22秒	5分00秒	5分00秒	2分18秒
1m ³ あたりの打設時間	20分37秒	11分15秒	12分42秒	4分37秒

4.2 ソイルセメント材の製造品質について

4.2.1 必要なスランプとスランプの維持について

打設に際し、ソイルセメント材は適切なワーカビリティを一定の時間確保できることが材料品質上重要である。流動タイプのソイルセメント材は一般にスランプロスが大きいため、施工・配合とも注意する必要がある。現地試験施工では、施工に必要な最低のスランプの値を 5cm とし、粗石まわりへの充填性やスランプロスを考慮し、初期スランプを 10 cm 以上として、30 分以上スランプが維持できるように計画した。今回の現地試験施工では高性能 AE 減水剤を使用することで、図 1 に示すような良好なワーカビリティを計画時間以上確保することができた。

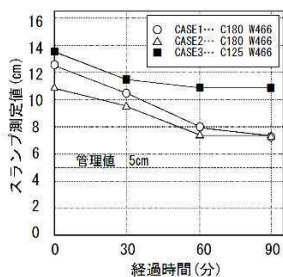


図 1 スランプの経時変化

4.2.2 施工に対する配合設計の留意点

配合設計で要求されるのは強度を満足することだけではない。①強度から決まる配合の決定、②流動性から決まる配合の決定、③材料分離の防止の他、④スラリー製造設備への負荷に対する配慮も必要である。強度発現と製造コストのみに着目すれば最小のセメント量で水セメント比を小さくすることが基本となるが、反面、流動性が得られなくなり、施工が困難になる。また、スラリーの製造にも影響が及ぶため、安易に水セメント比を小さくすることはできない。一方、流動性を考慮すると水量の総量を多くする必要が生じ、材料分離やコスト増につながる。今回の現地試験施工では高性能 AE 減水剤を用いることで、水セメント比 60% 程度のスラリーを容易に製造することができた。その結果、最小の単位セメント量で良好なワーカビリティが得られ、材料分離を生じない水量を設定することができた。また、打設後の試験体の表面状態も収縮やひび割れがなく良好であった。

4.3 試験体の品質について

4.3.1 内部の粗石周りの充填性について

内部材に粗石を用いる場合、粗石周りへの充填性が課題となる。新粗石コンクリート工法では流動性の高いコンクリートを粗石間に流し込むが、流動タイプのソイルセメント材は流し込むほどの流動性は得られない。現地試験施工では本施工時において容易かつ確実に施工ができることを念頭に、4.1.2 及び 4.1.3 で示した方法で打設をした。その結果、粗石量や投入方法にかかわらず、空隙やジャンカのない密実で良好な充填性が得られることが証明できた。



図 2 供試体切断による粗石充填状況 (CASE1)

4.3.2 標準供試体及び抜き取りコアの試験結果

標準供試体および抜き取りコアの試験結果を表 4 に示す。示方配合である CASE1,2 とともに標準供試体については室内配合試験を超える強度が確保でき、抜き取りコアについても所定の強度を満足した。施工時の外気温が -5°C の冬期環境下、シート養生での条件で、試験体に水和反応の遅延が認められたが、厳しい気温条件でも良好な結果を得ることができた。

表 4 一軸圧縮強度試験結果

	標準供試体		抜き取りコア	
	単位体積重量 (g/cm ³)	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	単位体積重量 (g/cm ³)	一軸圧縮強度 (N/mm ²)
CASE1	2.014	4.96	2.221	2.86
CASE2	-	-	2.298	2.70
CASE3	2.023	2.70	2.113	1.20

5 おわりに

現地試験施工を通じ、流動タイプにより粗石を積極的に活用できるということがわかった。粗石を用いた場合、粗石周りの充填性や端部の充填性が問題視されるが、今回の流動タイプによる試験施工の方法によれば、汎用的な機材による施工であっても良好な施工性と充填性が得られる。今後、越冬後のモニタリングを実施し、さらなる施工性の向上について知見を高め、技術研鑽を図っていきたいと考える。

参考文献

- 1) (一財) 砂防・地すべり技術センター；砂防ソイルセメント施工便覧、平成 28 年 9 月
- 2) 北陸地方整備局；設計要領（河川編）平成 19 年 3 月
- 3) 國友ら；桜島における有スランプの砂防ソイルセメントの製造方法とその特徴、平成 23 年度砂防学会研究発表概要集、平成 23 年 5 月
- 4) 井川ら；粗石 ISM の研究開発、平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集、平成 24 年 5 月