

砂防ソイルセメントを使用した砂防堰堤の開発

JSウォール堰堤工法

飯塚 幸司

毎年多くの土砂災害が発生する中、その防止のために砂防堰堤の整備が推進されている。限られた予算の中で砂防堰堤の整備率向上のためにはできるだけ効率的に施設を整備する必要がある。効率化の手段として、砂防堰堤の建設時には建設残土が多量に発生し、この残土の有効利用が考えられ、現地発生土にセメントを混合する砂防ソイルセメントの活用が注目されている。近年では建設工事における現地発生土の利用の観点およびコスト削減効果もあることから施工実績が増えている。

本報では、砂防ソイルセメントを使用した砂防堰堤であるJSウォール堰堤工法（以下「本工法」という）について紹介する。

キーワード：砂防堰堤、現地発生土、砂防ソイルセメント、土石流

1. はじめに

1990年代に入り、砂防事業へのソイルセメントの活用が進み、各地で砂防ソイルセメント工法による地盤改良や床固工などの砂防施設が建設されてきた¹⁾。これは、現地発生土を活用することであり、現場からの搬出する土砂を少なくできるため、コスト縮減、環境への負荷低減、さらには施工の簡略化、工期の短縮が図れるようになった。その結果、砂防ソイルセメント工法を使用する施工実績が増えてきている。この間に、平成14年に「砂防ソイルセメント活用ガイドライン」、平成23年に「砂防ソイルセメント設計・施工便覧」が発刊され、全国各地で砂防ソイルセメント工法がコンクリートに代替えられる材料として砂防施設の一般的な工法として施工されるようになってきた。

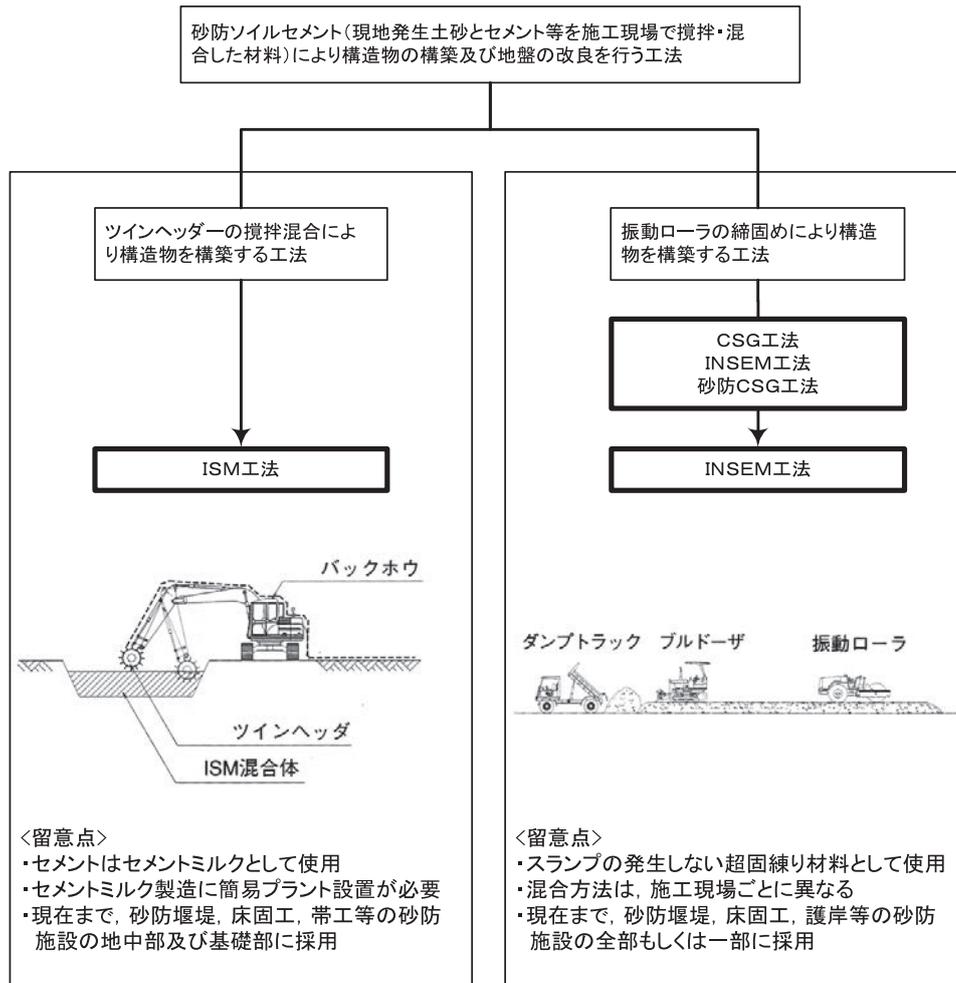
現地発生土を活用する砂防堰堤は鋼矢板を用いたダブルウォール堰堤（二重壁構造）があり、内部材に現地発生土を利用している。しかし、流水があるような溪流では内部材の流出の恐れがあることから同堰堤は現場条件に制限がある。そこで、近年では砂防堰堤にも内部材の流出の恐れのない砂防ソイルセメントが利用され（砂防ソイルセメントを使用した砂防堰堤を砂防ソイルセメント堰堤と呼ぶ）実績を増やしている。その砂防ソイルセメントを使用し、土石流対策用の本工法は既存技術に対して改良を加えることで施工性を向上させ、現地発生土の適用範囲を広げ、さらに新しい砂防ソイルセメント堰堤の構造を提案している。

2. 砂防ソイルセメントの概要

本報では、砂防ソイルセメント堰堤に関連する砂防ソイルセメント工法を中心に記述する。砂防ソイルセメント工法は、施工現場において現地発生土とセメント又はセメントミルクを攪拌混合して製造し、砂防施設などを構築する工法の総称とされている²⁾。現地発生土を有効活用する工法として、「INSEM工法」、「ISM工法」が開発されている（図—1）。

INSEM (IN-situ Stabilized Excavated Material) 工法は、現地発生土とセメントをバックホウや自走式土質改良機等で攪拌混合し、振動ローラで締固め、所定の強度を有する混合体を形成する工法で、材料性状は超硬練り状態であり、ゼロスランプである（写真—1）。養生が不要であるため連続施工が可能で、製造機械を複数台設置できる広い施工ヤードが確保できる現場条件では、日施工量50～120 m³/日（最大1100 m³/日）と多い。ただし、狭窄地形の現場では、製造機械の規模が小さくなる傾向があるため、広い施工ヤードに比べて日施工量は多く期待できない。

ISM (In Situ Mixing) 工法は、構造物を構築する現位置において、現地発生土や玉石とセメント・セメントミルクをバックホウに装着したツインヘッドを用いて攪拌混合し、所定の強度を有する混合体を形成する工法で、材料性状は軟練り状態であり、有スランプである。バックホウにツインヘッドを装着するため施工範囲はバックホウの可動範囲であるため、バックホ



図一 砂防ソイルセメントを活用した工法



写真一 1 INSEM 工法の施工状況

ウの設置位置から下側の施工に向いている。養生はコンクリートより短い養生期間を確保するため、日施工量は50～90 m³/日とINSEMより少ない。

3. 砂防ソイルセメント工法の課題

前述の特長に示すように、INSEM工法はISM工法と比較してコストや日施工量の優位性が高く、砂防ソイルセメント堰堤の内部材の主流となっている。しか

しながら、近年では砂防ソイルセメント堰堤の普及により、計画・施工される現場条件や現地発生土が多様化し、各現場において試行しているところがある。例えば、INSEM工法では現地発生土に細粒分が多く含まれる場合は混合体の強度発現が期待できない。また、施工場所が狭い場合は重機による転圧は施工効率が低下することがINSEM工法の課題である。

ISM工法は主に堰堤下部の地盤改良などに利用されており、バックホウの設置位置から下側の施工に向いていることから、外部保護材を用いた砂防ソイルセメント堰堤では活用事例がない。つまり、砂防ソイルセメント堰堤に関連した検討がされていない。

このようにINSEM工法とISM工法ともに現場条件や現地発生土の多様性に対して検討課題が残っている。

4. 流動化ソイルセメント工法

既存の砂防ソイルセメント堰堤では対応できなかった課題を解決するために流動化ソイルセメント工法に着目した。具体的には、現地発生土に含まれる細粒分

が多く含まれる土砂に対しても適用を可能とすることで現地発生土の適用範囲が広げ、狭い施工空間でも内部材の施工ができるように本工法の外部保護材を改良した。その効果として施工の効率化と新しい砂防ソイルセメント堰堤の構造を提案できるようになった。

この流動化ソイルセメント工法は、ISM工法をベースに汎用建設機械を用いてソイルセメントを製造する方法で、現地発生土とセメント・セメントミルクをバックホウ等（ツインヘッドを使用しない）により攪拌混合し、所定の強度を有する混合体を形成する。材料性状は有スランプである（写真—2）。

流動化ソイルセメント工法は、INSEM工法とほぼ同様の設備で、広い施工ヤードの場合はセメントプラントを設置できる。なお、INSEM工法とは異なり、流動性のあるソイルセメントであるためコンクリートバケットを用いて打設できるなど応用施工が可能である。

流動化ソイルセメント材（流動化ソイルセメント工法にて製造する砂防ソイルセメントを流動化ソイルセメント材と呼ぶ）はフレッシュコンクリートのように流動性のある施工方法であるため、活用する現地発生土の含水比が高い場合においても単位水量・セメント量を調整することにより、所定の強度の確保が可能である。このため、現地発生土が砂防ソイルセメントに活用できる適用範囲が広がる。ただし、既存の外部保護材はこの流動性ソイルセメントに対応できていないため、流動性のある材料は外部保護材から漏れでる可能性がある。



写真—2 流動化ソイルセメントの施工状況

5. 本工法の特長

INSEM材（INSEM工法にて製造する砂防ソイルセメントをINSEM材と呼ぶ）、流動化ソイルセメント材の両方を内部材として活用できる外部保護材とした。

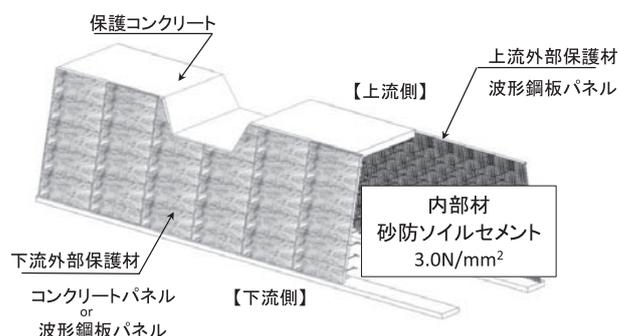
構造の特長を次に示す。上流外部保護材は土石流荷重に対する耐衝撃性と高い被覆性を兼ねた鋼材の波形鋼板パネルとしている（写真—3）。上下流の外面に外部保護材を設け、内部材に砂防ソイルセメントを使用した重力式堰堤である³⁾。概要図を図—2に示す。下流外部保護材は、修景機能を兼ねた模様付コンクリートパネル（鉄筋コンクリート製）とし、内部材は重力式構造物としての重量と堰堤の内部応力に抵抗できる強度として「砂防ソイルセメント設計・施工便覧」（（一財）砂防・地すべり技術センター）が求める目標強度レベルⅢ（ 3.0 N/mm^2 以上）としている。本工法の特長を以下に示す。

(1) 2つの砂防ソイルセメントが適用可能

内部材がINSEM材、流動化ソイルセメント材のどちらの場合でも外部保護材は波形鋼板パネルを使用し、流動化ソイルセメントの場合、波形鋼板パネルの上下左右をボルト連結している部分にパッキン材を利用することで、流動性がある材料でも外部保護材からの漏れを防止している。

(2) 施工性の向上

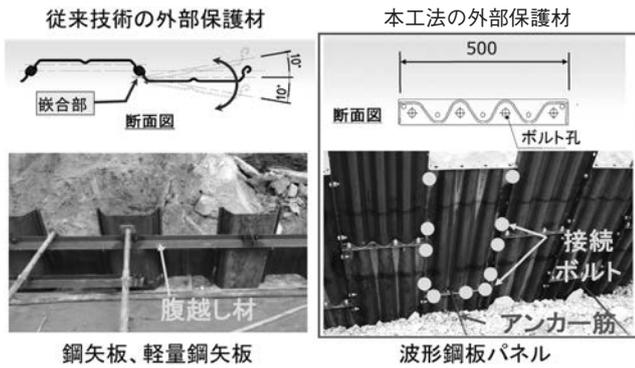
波形鋼板パネルで、上下左右をボルト連結しているため、組立時にパネルの移動・回転がなく、パネルの



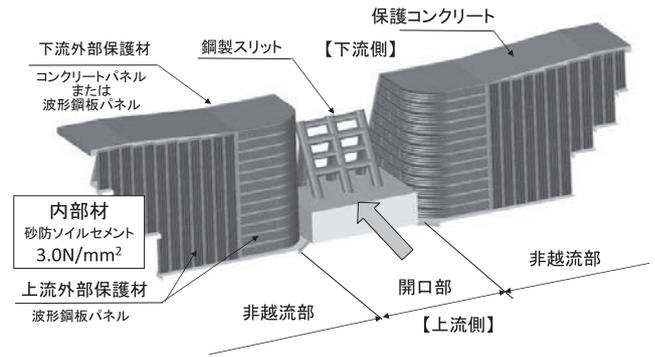
図—2 本工法の概要図



写真—3 波形鋼板パネルの实物大衝撃実験の状況



図一三 従来技術と本工法の外部保護材



図一四 透過型砂防堰堤の非越流部に適用した本工法

みで構築が可能である。従来の砂防ソイルセメント堰堤に必要としていた外部保護材を固定する腹越し材が不要であるため、内部材の転圧に障害となる部材が無くなるため、内部材の転圧作業が効率よく行える（図一三）。

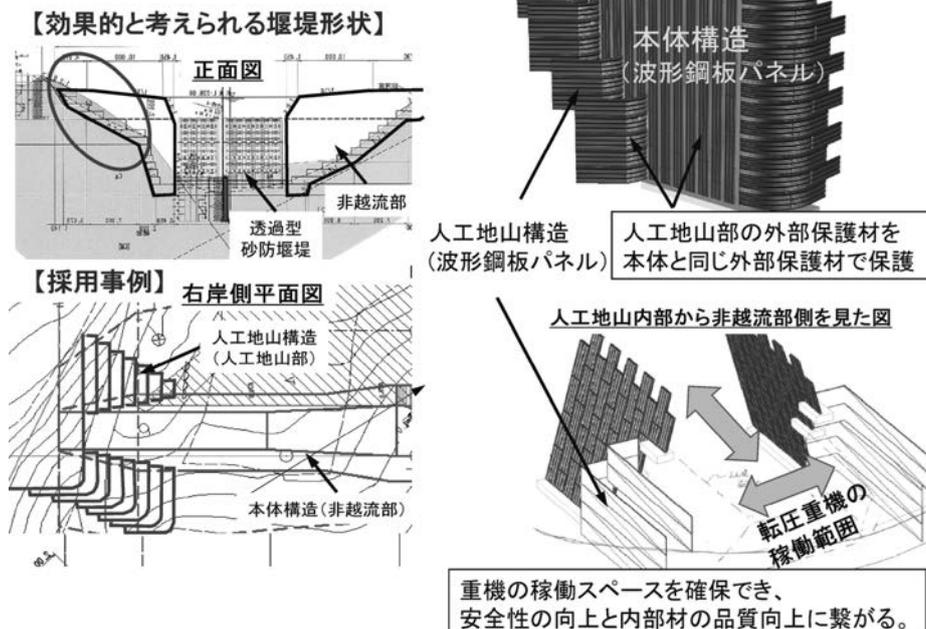
(3) 形状の自由が高い外部保護材

波形鋼板パネルは、従来技術と比較して形状の自由度が高いため、透過型砂防堰堤の非越流部や人工地山構造に適用できる。非越流部本体構造では主たる部位でコンクリートを使用しない構造とすることができる。その結果、施工日数の2～3割短縮が図れるようになる（図一四）。砂防堰堤の地山根入れ部に人工地山構造を適用することで、急斜面の切土に伴う工事の安全性確保や掘削に伴う斜面安定工事は不要となり、自然環境や景観保全が図れるようになる（図一五）。

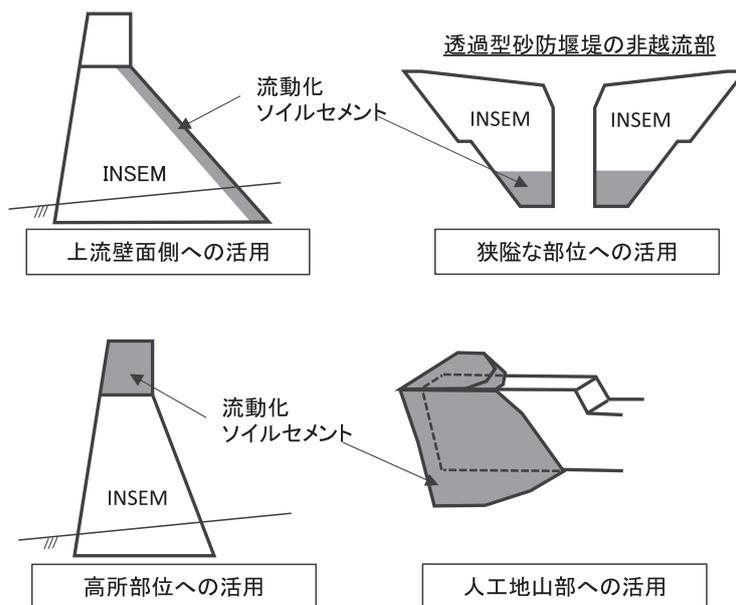
6. 流動性ソイルセメントの活用方法

これまでに現地発生土の質について、現地発生土が多量に存在しかつ細粒土砂の比率が低い場合はINSEM工法が適していることを述べた。砂防ソイルセメント工法のもう一つの重要なポイントは施工条件である。施工場所の広さや砂防堰堤の形状によっても施工効率が大きく影響する。施工場所が広ければ日施工量の多いINSEM工法が優位であり、狭ければ重機転圧が不要で施工効率が低下しにくい流動化ソイルセメント工法が優位となる。

本工法の内部材にINSEM材と流動化ソイルセメント材の両方が適用できるため、施工性を考慮した新しい砂防ソイルセメント堰堤を提供することが可能となる。



図一五 本工法の人工地山構造



図一六 流動化ソイルセメントの活用方法

(1) 上流壁面側への活用

必要な支持力が確保できない場合、堰堤の上流勾配を緩くすることで堰堤の支持力が低減できる。しかし、上流壁面材の勾配が緩いと壁面材の近傍では重機による転圧が困難であるため INSEM 工法は適用できない。そこで、上流壁面側に転圧が不要な流動化ソイルセメントを活用することで上流法勾配が緩い堰堤の構築が可能となる (図一六)。

(2) 高所部位への活用

砂防堰堤袖部の内部材を INSEM 工法で施工すると、転圧重機の施工は高所のため危険作業となる。これに対して、流動化ソイルセメントの施工方法はクレーン打設となるため、転圧重機の高所作業が無くなり安全性の向上が図れる。

(3) 狭隘な部位への活用

堰堤幅が狭い空間を INSEM 工法で施工すると、転圧重機の作業や移動が困難である。これに対して、流動化ソイルセメントの施工方法はクレーン打設となるため、転圧作業を無くし施工効率を低下せずに堰堤を構築できる。

7. おわりに

本工法 JS ウォール堰堤は、開発から5年が経過し、様々な改良や提案を重ね採用実績を増やしている。2014年にはJSウォール工法研究会を設立し、施工の効率化や砂防ソイルセメントの配合に関する研究を進めている。最近では流動化ソイルセメントの配合研究成果を発表し、流動化ソイルセメントの利用向上に努めている。今後も施工実績や配合試験データを蓄積し、現地発生土の性状や施工条件を考慮した砂防ソイルセメント堰堤を提案し、砂防事業における砂防ソイルセメントの普及に貢献したい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 砂防ソイルセメント活用研究会. 砂防ソイルセメント活用ガイドライン
- 2) 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年度版) 2011年
- 3) (一財) 砂防・地すべり技術センター. 建設技術審査証明 (砂防技術) 報告書 JSウォール堰堤工法

[筆者紹介]

飯塚 幸司 (いづか こうじ)
 JFE 建材㈱
 防災技術部 防災技術室
 担当課長

