

◆特集：土砂災害対策◆

# 砂防事業における砂防ソイルセメントの活用に向けた技術的検討

栗原淳一\* 武澤永純\*\*

## 1. はじめに

砂防ソイルセメントは、施工現場において現地発生土砂とセメント、セメントミルク等を攪拌・混合して製造するもので、砂防施設とこれに伴う附帯施設の構築及び地盤改良に活用する材料の総称である<sup>1)</sup>。砂防工事では、掘削に伴い大量の残土を生じ、その処分費に建設コストを要するとともに、掘削残土運搬時の騒音・振動や土捨て場構築等の環境問題を生じさせる場合がある。一方で、工事現場周辺の砂礫は、良質であることが多く、これらを活用することは環境面だけでなく、コスト縮減の面からも有効かつ重要であると考えられる。

砂防ソイルセメントは、このような背景のもと、平成に入ってから各地の直轄の砂防関係事務所で用いられるようになり、今日に至っている。その後都道府県の実施する砂防事業でも用いられるようになってきたが、後述するように都道府県における活用はあまり進んでいないのが実態である。国土交通省、(独)土木研究所及び(財)砂防・地すべり技術センターは、各地方整備局とともにこの数年間砂防ソイルセメントの活用に向け、技術的な課題について検討を進めてきたが、そのテーマは直轄の現場から提案された技術的課題に関するものがほとんどであった。しかしながら、都道府県の砂防事業での活用を考えた場合、直轄の現場に対して比較的小規模な場合の多い都道府県の現場で生じている課題を幅広く吸い上げ、対応することが必要と考え、平成17年秋に全国各地で都道府県の砂防事業担当者と意見交換会を開催した。本報文ではそこで明らかになった課題を提示し、現在の検討状況や、今後の砂防ソイルセメントに関する研究の方向性について述べることにする。

## 2. 砂防ソイルセメントとは

砂防ソイルセメント（以下、本稿では「ソイルセメント」という。）は、ツインヘッダーによる

施工と振動ローラ転圧による施工方法の違いから、図-1に示すように2つに分類される。このうち、「CSG工法」、「INSEM工法」及び「砂防CSG工法」の3工法は、建設材料の性状や施工方法に大きな差はないので、ガイドライン<sup>1)</sup>ならびに本稿では「INSEM工法」に統一している。

## 3. ソイルセメントの活用実態

砂防事業においてソイルセメントが使用された施設数の内訳を表-1に示す。調査対象期間が異なるが、砂防事業は直轄による事業実施箇所数に比べ都道府県による事業箇所数の割合が多い点を考えると、都道府県の事業における活用が十分に図られていないことが分かる。

工法別の内訳を見ると、INSEMが全体の7割を占めるが、事業主体別で見ると直轄の砂防関係事業ではISMが全体の4割ほど占めるのに対し、都道府県の砂防事業ではほとんどがINSEMとなっている。

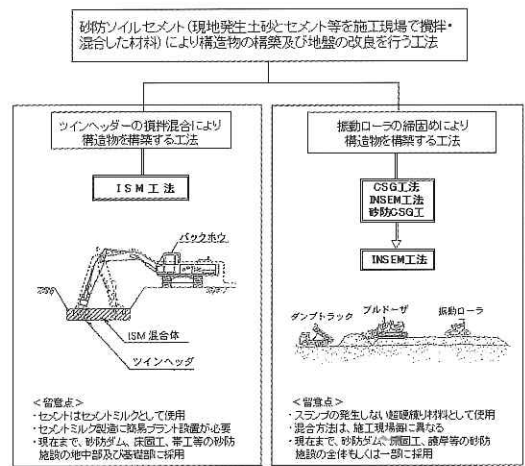


図-1 ソイルセメントを活用した工法の分類

表-1 INSEMとISMの施工実績数（単位：施設数）

事業主体	INSEM	ISM
直轄の砂防事業（H7～H16）	38	24
都道府県の砂防事業（H15～H16）	14	1

Technical Study on use of Sabo Soil Cement in Sabo Works

また、ソイルセメントが砂防施設のどの部位で使われているかを見ると、砂防えん堤の基礎部で使われているものが最も多く、次いで本堤となっている(図-2)。一方、高さ5m以上の砂防えん堤で、本堤全体にわたりソイルセメントを活用したというケースは、まだ少ないようである。これらは、技術開発の途上にあるので、まずは土石流や洪水流の直撃等を受けない部分に活用してみるといふ発注者の意図の他に、土砂の賦存量や施工性の問題もあるためと推測される。したがって、今後普及が進んだ場合でも、えん堤本体の下部がソイルセメントで上部がコンクリートという構造の砂防えん堤の増加が予想される。

なお、最近、ソイルセメントの表面を鋼材やコンクリートブロックで被覆する工法が民間で開発されてきている。ソイルセメントの開発当初は、通常のコンクリート等で被覆した程度のもが多かったが、近年は前述のような材料で表面を被覆して土石流の衝撃等に対し確実に対応しようとする工法が施工されるようになってきている。

#### 4. 砂防ソイルセメントに関する意見交換会の結果

平成17年秋に地方整備局単位に都道府県の砂防

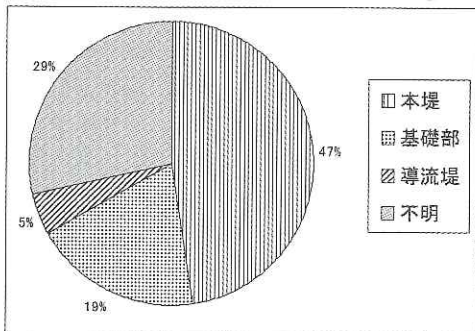
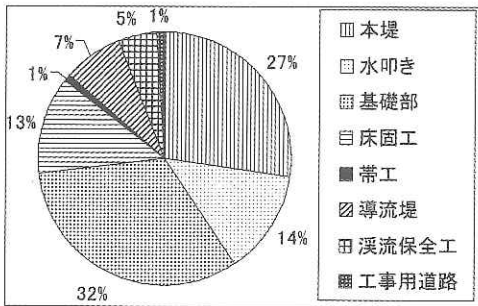


図-2 ソイルセメントの適用部位  
(上：直轄事業 下：都道府県の砂防事業)

事業担当者との意見交換会を行い、ソイルセメントに対する課題、意見、要望等を取りまとめた。このうち、主なものを紹介する。

#### 4.1 強度発現に対する不安

意見交換会を通じて最も多かったのが強度発現に対する不安であった。

ソイルセメントは、コンクリートと異なり現場で攪拌、混合して製造するために、コンクリートのように一定の強度を安定的に確保することが難しい技術であることは否定できない。土砂の粒度分布や含水率によって強度に差が出ることも当然ある。都道府県の担当者は、強度が確保できない危険性について大きな不安を抱き、その結果ソイルセメントの採用に対し慎重になっている。直轄事業でも初期の段階ではこの不安があり、結果としてセメント量を多く入れることで必要以上に大きな強度を出した事例が見受けられた。

この課題については、工事着手前に配合試験を行い、発現強度の確認をすることになっており、事前試験が適切に行われれば発現強度に幅はあっても強度が確保できないというケースはほとんどないと思われる。ソイルセメントはコンクリートのように、工場から均一な品質のものが生産されるような安定した建設材料ではないことを認識する必要がある。

ただし、実際には細粒分が多い土砂では強度が出にくいことがあるので、このような現場では無理にソイルセメントを使用するべきではない。土砂の粒度分布と圧縮強度の関係について検討を行っているが、その成果のイメージを示す(図-3)。なお、目標強度レベルとは対象とする施設、部位について必要となる強度の下限値であり、レベル

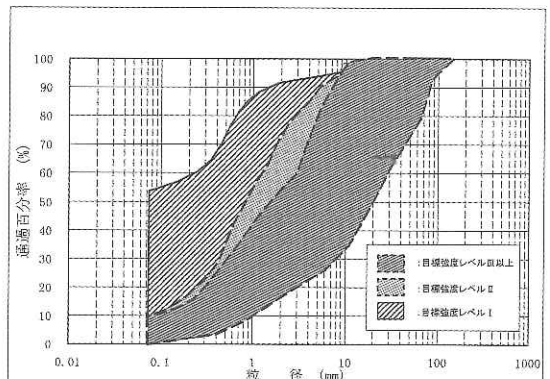


図-3 目標強度レベルに応じた粒度適用範囲 (イメージ)



Iは盛土材、IIは基礎部、IIIは砂防えん堤の内部材に適用可能な強度レベルである。

また、現地発生土砂の具体的な含水比管理方法等品質管理の基準がないことが課題として挙げられている。現在のガイドラインでは管理項目と試験頻度しか記載していないので、具体的な基準を記載する方向で検討しているところである。

#### 4.2 ソイルセメントの優位性発揮の条件

どの程度の工事スケールならソイルセメントの優位性が発揮されるのか明らかになっていないという意見があった。ソイルセメントは、攪拌、敷均し、転圧等を機械施工によって行うので、一定の規模以上の工事に適する性格のものである。このため直轄の砂防関係事業に比べ溪流及び施設の規模が小さい都道府県の砂防事業では、スケールメリットが生じないのではないかという疑問が大きいことが明らかとなった。これについては、仮想積算をしながら砂防ソイルセメントの優位性が発揮できる規模の条件を明示する方向で作業している。

#### 4.3 施工条件

ソイルセメントで必要な作業ヤードの広さについて意見があった。ソイルセメントにおいては、谷幅とともに河床勾配が大きく影響するようである。作業ヤードは、既往の事例によると数百m<sup>2</sup>程度のスペースで施工されているケースがあり、比較的小規模の箇所でも施工可能と考えられる。一方、河床勾配については1/8まで施工実績がある。河床勾配が急な場合、重機による施工効率が低下するなどによりソイルセメントの適用が難しくなるようである。

#### 4.4 大粒径の礫の活用

現在のガイドライン<sup>1)</sup>では、INSEM工法に用いる骨材の最大寸法を150mmもしくは80mmと規定している。このため、これより大きな骨材の礫は工事に活用せず処分している。これは、転圧の関係から規定しているものである。しかしながら、砂防工事を行う現場では150mm以上の礫は多数あるので、残土処理費用を抑えるためにも大径礫を活用できるINSEM工法の開発が望ましい。これに関連して、九州地整雲仙復興事務所では大径礫を活用したINSEM工法による敷きならしの試験施工を行っており、また、北陸地整湯沢砂防事務所では大径礫だけを用いて高流動コンクリートを投入して施工する独自の新工法を開発し実績

をあげている<sup>2)</sup>。

#### 4.5 工事及び設計の歩掛

上記で述べた技術課題と性格が異なるものであるが、歩掛の設定を求める意見が数多く出された。これについては、現在ソイルセメントの積算基準を作るための作業を実施している。

#### 4.6 六価クロムについて

一般に、セメントの原料中にある三価クロムは、セメントの製造過程においてその一部が六価クロムに酸化されセメント中に存在する。セメントは、水と接触することにより水和反応を起こし、セメント中の六価クロムは液相中に溶出するが、同時に析出する水和物に固定されるので液相中の六価クロムの濃度(量)は増加し続けることはなく、硬化後のモルタルやコンクリートから基準を超える溶出は認められない。一方、セメント改良土の場合、改良の対象となる土の粘土鉱物や有機成分の影響により水和物の生成が阻害され、水和物により固定されなかった六価クロムが溶出することがあり<sup>3)</sup>、ソイルセメントの施工においても六価クロムの溶出の可能性がある。

当チームがこれまでに収集した範囲では、工事施工前の試験で六価クロムの値が基準値を超えたため、クラッシャーランの混合等で基準値以下に処理して施工したものが1件、事前試験で六価クロムの値が基準値を超えたため、工法を変更したものが2件あった。このように事前の試験で確認され、適切に処理されている。六価クロムに対しては試験方法<sup>4)</sup>が技術的に確立されているので、これに基づいて試験を行い、試験結果によっては適切な処理を行うことになる。なお、設計の手戻りの危険性を回避するためにも、ソイルセメントの検討の初期段階に六価クロムの溶出試験を行うことが、合理的と考える。

#### 4.7 寒冷地における品質

寒冷地では気温の低下により、ソイルセメント中の水分が凍結融解することで、品質が低下するのではないかという不安がある。ガイドラインでは、外部保護材としてコンクリートで覆う場合には構造物の大きさによって厚さ50cm～100cmを目安にすることが記してあるが、外気温との関係については明示されていない。そのため、既設の重力式コンクリート砂防えん堤内に温度計を設置して、外気温と内部の温度を計測した。図-4に計測結果の例を示す。観測期間の最低気温は-8.5°

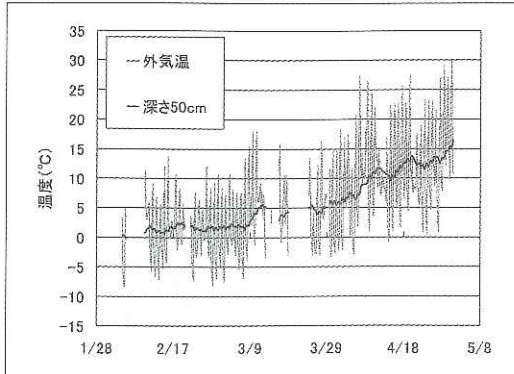


図-4 温度モニタリングの例  
(天竜川上流河川事務所中田切砂防林3号帯工  
平成17年1月28日～平成17年5月8日)

を記録しているが、コンクリート表面から深さ50cmに設置した温度計では0℃を下回らなかった。

現在、こうした温度モニタリングを継続実施しており、凍結融解に対する対処法について明らかにしていく予定である。

## 5. ソイルセメントの今後の研究の方向性

以上を踏まえ、ソイルセメントの今後の研究課題をいくつか述べる。

### 5.1 強度の予測手法の開発と品質管理

上述のとおり粒径分布とセメント量から圧縮強度を予測する手法を検討しているが、精度の更なる向上が必要である。精緻な予測を目的とするために煩雑な調査・試験を課すのは得策ではないが、現在以上の信頼性を得る予測手法の確立が、ソイルセメントの積極的活用につながると考えられる。なお、施工中のソイルセメントの品質管理手法についても、簡素で的確な手法の開発が望まれる。

### 5.2 設計手法とコスト縮減

ソイルセメントは、コンクリートと土の中間的性質を有しており、コンクリート構造の砂防えん堤を前提とした従来の設計基準を準用するのではなく、この特性を踏まえた設計手法の研究開発が必要である。これにより更なるコスト縮減が可能となると考えられる。

### 5.3 大径礫の活用

大粒径の礫が多く存在する溪流で砂防工事をを行う場合、ソイルセメントによる工事であっても依然として大径礫は処分せざるを得ない状況にある。これらを有効活用できる工法の開発が望まれる。

## 6. まとめ

本報文ではソイルセメントの意見交換会で明らかとなった課題を列挙した上で、それらに対する対応状況や検討状況、今後の研究の方向性について示した。

本検討はソイルセメントとコンクリートの優劣をつけるためのものではなく、多種多様化する新工法の中でソイルセメントがどのように位置づけられるのかを明らかにし、技術者が現場で選定する工法の候補の中に、常にソイルセメントが加えられるようにすることが目的である。

今後もソイルセメントに適した条件の検討や活用を可能とする技術や手法を検討していくことにしている。

## 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、鹿島出版会、平成14年
- 2) 西井洋史、右近則男：新粗石コンクリート工法—湯沢砂防事務所の試み一、土木施工、vol.45, no.6, p.52-56, 2004.
- 3) セメント系固化処理土に関する検討最終報告書(案)、セメント系固化処理土検討委員会 平成15年6月
- 4) 環境庁：土壌の汚染に係る環境基準について(抜粋)、平成3年8月23日環境庁告示第46号

栗原淳一\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所土砂管理  
研究グループ火山・土  
石流チーム 土砂研究員  
Junichi KURIHARA

武澤永純\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所土砂管理  
研究グループ火山・土  
石流チーム 研究員  
Nagazumi TAKEZAWA