

ソイルセメントを用いた治山ダムの構築

岐阜森林管理署 治山第二課 治山第二係 かわもと じゆん ○川本 淳
やまだ よしお
板取川治山事業所主任 山田 好男

要 旨

治山ダムの多くはコンクリートを構築材料としています。これは、構造上の信頼性や耐久性が大きいといったほかに、材料の品質が均一であり、形、強度を自由に選択できる、などといった利点が多くあるためです。

当事業地においても重力式コンクリートダムを基本とした整備計画を立てていますが、生コンプラントが1箇所という条件下で事業地全体の生コン使用量を考えると、安定的な供給を確保できないことが懸念されましたので、ソイルセメントを構築材料とした治山ダム施工を計画し、その成果と課題について纏めましたので報告します。

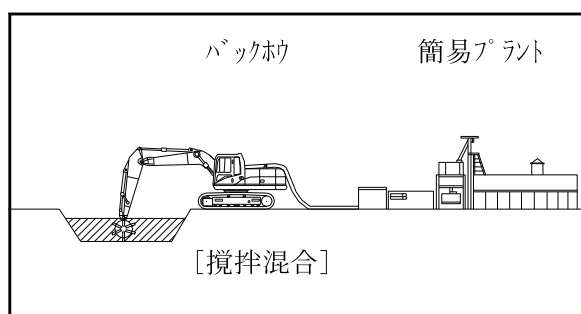
はじめに

施工場所は、長良川支流板取川の上流に位置する流量の多い本流筋であり、河床には平成 14 年の豪雨災害で発生した多量の土砂が堆積していることから、土砂活用型の治山ダムを検討し、コンクリートの使用量を極力抑えることとしました。現地土砂だけでは内部材が沈下するため、セメントを加えて現地製造する「ソイルセメント」を活用することとしました。このソイルセメントとは、土にセメント等を添加し、混合・攪拌してその性状を改良した材料で、以前は地盤改良材に用いられてきましたが、近年、現地発生材の活用等から構造物の構築材料にも用いられるようになってきており、ダムへの適用については、主として砂防事業で試験的な施工が行われ、平成 14 年に「砂防ソイルセメント活用ガイドライン（以下「ガイドライン」という。）」として取り纏められています。

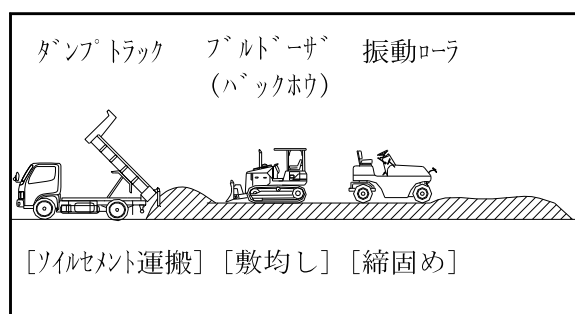
これらを参考に現地施工が可能かどうかを検証し、実際の構造物の施工へと取りかかりました。

1 ソイルセメントを活用した工法

ガイドラインでは、ソイルセメントを活用して構造物を構築する工法を、① ISM 工法：現地発生土とセメントミルクをツインヘッドにより攪拌混合して構造物を構築する工法（図－1）、② INSEM 工法：現地発生土とセメント等を混合し、振動ローラ等により締め固めて構造物を構築する工法（図－2）に大別しており、土砂のストックヤードや混合ヤード、施工部位等を考慮して工法を選択していきます。今回の施工では、セメントミルクを製造する簡易プラントの設置が困難であったことや構造物の内部材として活用するなどの点から「INSEM 工法」を採用しています。



図－1 ISM (イスマ) 工法



図－2 INSEM (インセム) 工法

2 土砂の特性把握

ソイルセメントは、土とコンクリートの中間的な材料として語られることが多くありますが、INSEM 工法においては土として認識を持っておく必要があります。材料の強度発現は、圧密によって得られる土の強度に、セメントによる固化の強度を加えて得られますので、土砂の特性がソイルセメントの品質等を大きく左右します。したがって、自然材料である現地土砂を使ってソイルセメントを製造する際には、事前に土砂の特性を十分に把握しておく必要があります。

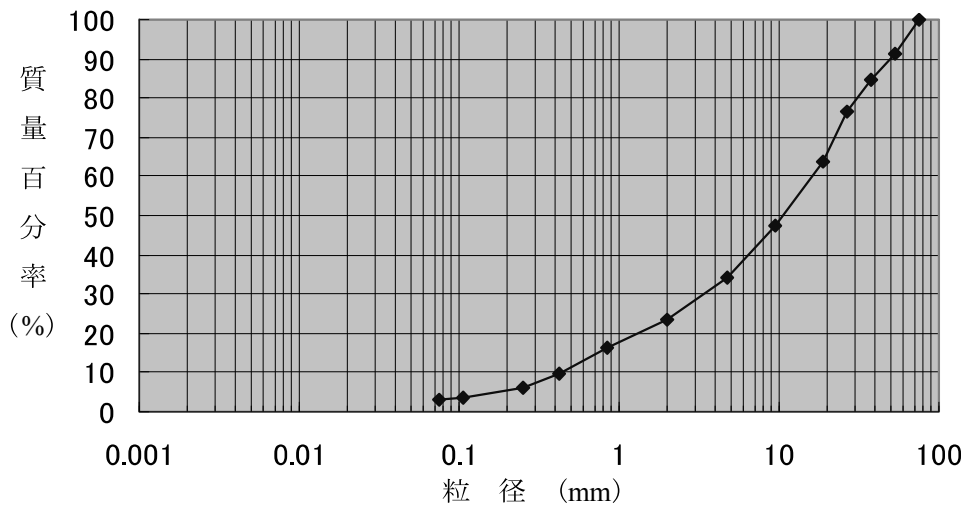
土質試験の結果は、以下のとおりです。

(1) 土の含水量試験

$$\text{土の含水比 (W)} = 6.6 \%$$

(2) 粒度試験

ふるい分析を行い、粒度（各種粒径の土粒子がどんな割合で混じり合っているか）を粒径加積曲線（図－3）を用いて表します。



図－3 粒径加積曲線

粒径加積曲線は、なだらかな勾配を示し、粒度分布の特徴を数値的に表した指数では、均等係数が 29.6、曲率係数が 1.5 となり、粒径幅が広く、粒度のよい土であることが分かります。また、試験から得られる礫分、砂分の含有率から判断した土質区分は「礫質土」、土の分類としては「細粒分まじり礫」となりました。

(3) 締固め試験

$$\text{最大乾燥密度 } (\rho_{dmax}) = 2.081 \text{ t/m}^3$$

$$\text{最適含水比 } (W_{opt}) = 5.7 \%$$

3 配合試験

土砂の特性を把握したうえで、次に、実際にセメントを加えて配合試験を行います。

最初に目標強度を設定しますが、治山事業での実績がないため、砂防事業で使用されるガイドラインを参考としました。ガイドラインでは、要求性能に応じて目標強度レベル（表－1）を区分しており、治山ダム of 内部材として活用する場合にはレベルⅢ以上を必要とします。

表－1 目標強度レベル毎の性能

目標強度		要求性能
目標強度レベルⅠ	0.5 ～ 1.5N/mm ²	盛土材、安定処理材としての品質
目標強度レベルⅡ	1.5 ～ 3.0N/mm ²	改良材、基礎工としての品質
目標強度レベルⅢ	3.0 ～ 6.0N/mm ²	内部応力に対する抵抗性
目標強度レベルⅣ	6.0 ～ 18.0N/mm ²	数回程度の凍結融解に対する抵抗性
目標強度レベルⅤ	18.0 ～ 21.0N/mm ²	耐凍結融解
目標強度レベルⅥ	21.0N/mm ² 以上	耐摩耗性

実際の構造物に必要な強度は 3.0N/mm² 以上となりますが、自然材料である土砂は品質にバラツキがあるほか、構造物内部の圧縮強度（コア強度）と標準供試体の強度（供試体強度）との強度比を考慮する必要があります。また、施工経験値がない中、現地で材料を生産しますので、強度不足が生じないように独自の割増を加えた強度設定を行いました。

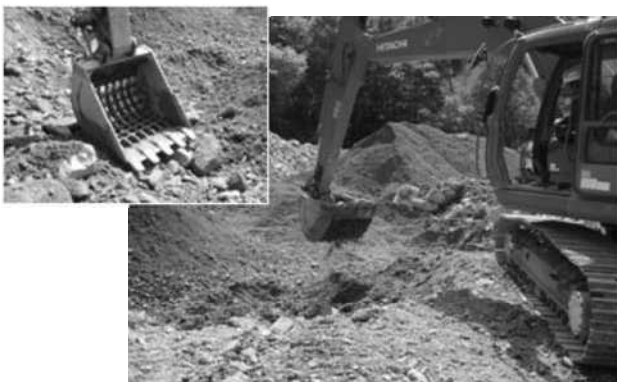
$$\begin{aligned} \text{配合強度} &\geq \text{目標強度 (3.0N/mm}^2\text{)} \times \text{割増係数 (1.5)} \times \text{独自割増 (1.5)} \\ &\geq 6.75\text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

配合試験は、セメントの添加量を変えながら繰り返し行い、配合強度を満足する添加量を決定していきます。今回の現場ではソイルセメント 1.0m³ 当たり 140kg のセメント量となりました。

4 ソイルセメントの製作（現地製造）

適正な粒径を持つ土砂を確保するため、スケルトンバケットを装着させたバックホウを使ってふるい分けを行います（写真－1）。ストックヤードに卸された土砂の含水比を測定し（写真－2）、適正な範囲の含水比であればセメントと混ぜ合わせてソイルセメントを製作します（写真－3、4、5）。

含水比が高い場合、土砂を乾燥させる必要がありますが、多量の土砂を現地で自然乾燥させることは難しく、作業効率も低下しますので、配合設計を見直すなどして対応することが好ましいと考えます。



写真－1 ふるい分け



写真－2 含水比測定



写真-3 土砂投入



写真-4 セメント投入



写真-5 攪拌・混合

材料の攪拌・混合は、バックホウで行うこともできますが、本施工地においては自走式土質改良機を用いています。攪拌・混合が機械制御で行われるため、混合ムラを少なくすることができ、品質のバラツキを抑えた効率的な生産が行えます。

5 ソイルセメントの品質管理

製造直後のソイルセメントはまだ硬化しておらず、見た目は灰色をおびた土に見えます（写真-6）。ソイルセメントの含水比を測定した後、供試体を製作していきませんが、硬化前のソイルセメントは土としての性質を持っていますので「地盤工学会基準（JGS）」に準拠して製作します（写真-7）。ソイルセメントは天候等によって品質にバラツキが生じますので、製造日毎に一連の作業を繰り返し行う必要があり、バックデータを蓄積させながら傾向を確認することも重要です。



写真-6 製造直後のソイルセメント



写真-7 供試体製作

6 治山ダムの構築

ソイルセメントを打設する前に、型枠の代わりともなる外部保護材（以下「外壁材」という。）を設置していきます（写真-8）。

外壁材設置後、ソイルセメントを投入し、ミニバックホウで巻きだしを行います（写真-9）。この時の巻きだし厚は25cmとしており、転圧を行う振動ローラの規格によって変わってきますが、堤冠厚の狭い構造物の中で作業しますので、必然と制限されます。

ソイルセメントを敷均した後は、中央部の転圧に3t級の振動ローラを用い、外壁材に面した端部は60kg級のコンパクターを使って人力転圧します（写真-10）。

途中、アンカーを設置しながら4層（1リフト高は1.0m）に分けて転圧し、これを繰り返し行っていきます（写真-11）。



写真－8 外部保護材の設置



写真－9 敷均し作業



写真－10 転圧作業



写真－11 アンカー設置

※ 構造物の堤冠部については、摩耗に抵抗性のあるコンクリートを用いており、ソイルセメント（内部材）、コンクリートブロック（外壁材）を併用した複合構造形式の治山ダムを施工

7 治山ダムの完成

ベースコンクリートを打設してから約3ヶ月で3,000m³級のダムが完成しました（写真12、13、14）。今回の治山ダムをコンクリートで施工した場合、当地区では最低でも2カ年を必要としますが、ソイルセメントダムの導入によってコンクリート量が抑えられ、工期も大幅に短縮されたことにより単年度施工が可能となりました。

まだ作業性等に改善の余地もありますが、現地発生土を活用しながら治山施設機能の発揮を早期に期待する工法としては有効であると考えます。

（1）施工経費について

ソイルセメントの単価（製作・施工費含む）はコンクリートの約30%となりますので、構造規模が大きくなるほどに経済的な効果が顕著に表れます。反面、外壁材の施工費（材料費含む）はコンクリート型枠に比べると2倍以上掛かりますので、構造規模が小さくなる（内部材に対する外壁材の比率が大きくなる）と不経済となります。

全体の工事費を含めて比較計算したところ、経済的となる構造規模の目安は1,000m³以上となりました。

（2）工期縮減について

INSEM工法におけるソイルセメントは、スランプの発生しない超硬練りの材料となりますので、連続打設が可能となり、大幅な工期短縮を図れるのもこの工法の特徴と言えます。



写真-12 型枠のベースコンクリート



写真-13 施工中の状況



写真-14 治山ダムの完成

8 品質管理データの整理

日々の品質管理で行った試験データ（圧縮強度、見掛密度、含水比）は以下のとおりとなり、傾向を整理してみました。

(1) 一軸圧縮強度試験（ σ_{28} ）

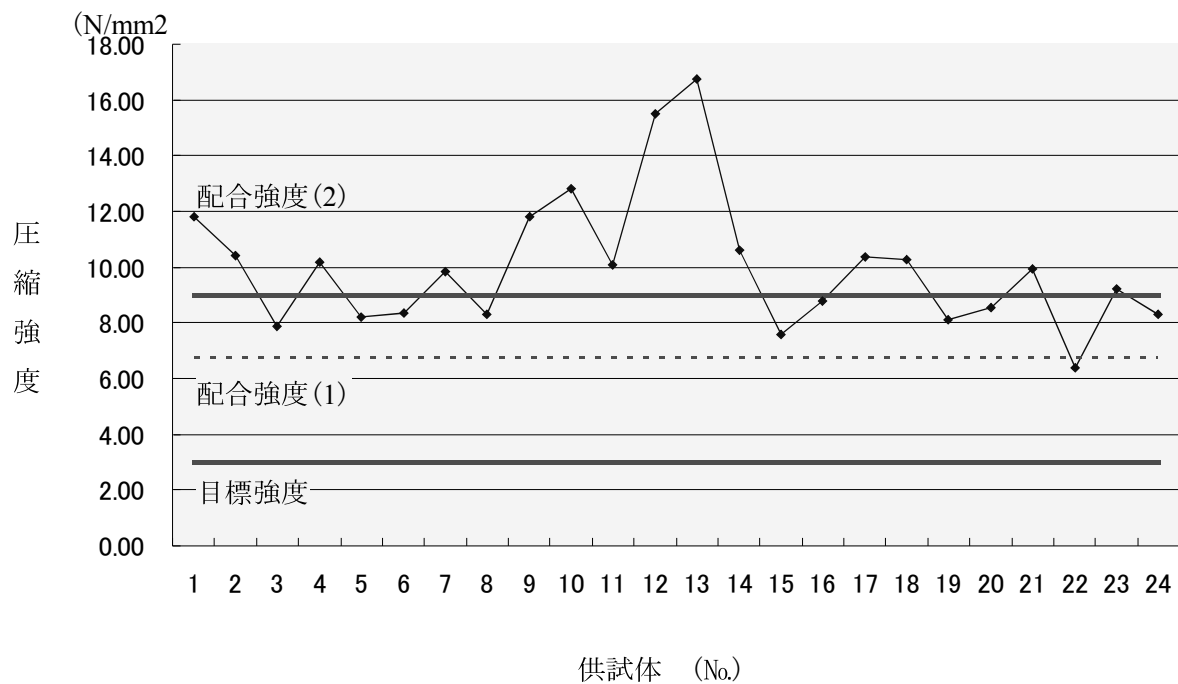


図-4 一軸圧縮強度試験

目標強度は、コンクリートで言うところの設計基準強度であり、実際の構造物に必要な強度値です。品質のバラツキや施工条件の違い等による割増を加えたのが配合強度ですが、ここでは(1)と(2)で標記しています。本来であれば、配合強度(1)のライン（当初設定した強度値「6.76N/mm²」）に沿って折れ線が描かれるものと考えますが、配合強度の捉え方を安全側で考えすぎていたことにより、実際には 9N/mm²（配合強度(2)）の材料を作っていました。今回のデータは、配合強度(2)に対する変動係数を確認することとし、結果は 24 % となりました。バラツキが認められるものの、当初見込んでいた変動係数「1.5」の範囲内に収まる結果となっています。

(2) 見掛密度

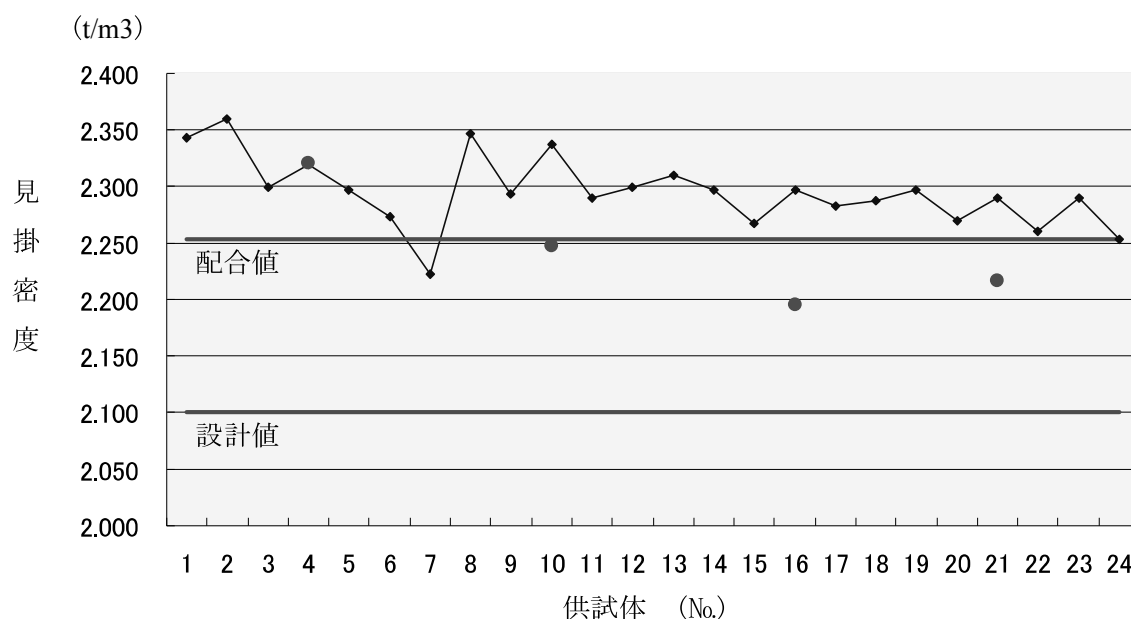


図-5 見掛密度試験

見掛密度は、重力式構造物の安定性に関わる重要な項目です。安定計算の因子となる設計値は、配合試験での供試体単位体積重量の 90 ~ 95 % に設定し、今回の現場では「2.1t/m³」としています。実際の構造物内における見掛密度は、赤い点で示されるように設計値を満足しています。供試体の単位体積重量に対する構造物内の見掛密度は、約 5 % の低下率となりましたが、強度試験と同様に試験個体数が少ない中での結果ですので、調査を繰り返し行いながら精度を上げていくことが必要と考えます。

(3) 土砂とソイルセメントの含水比

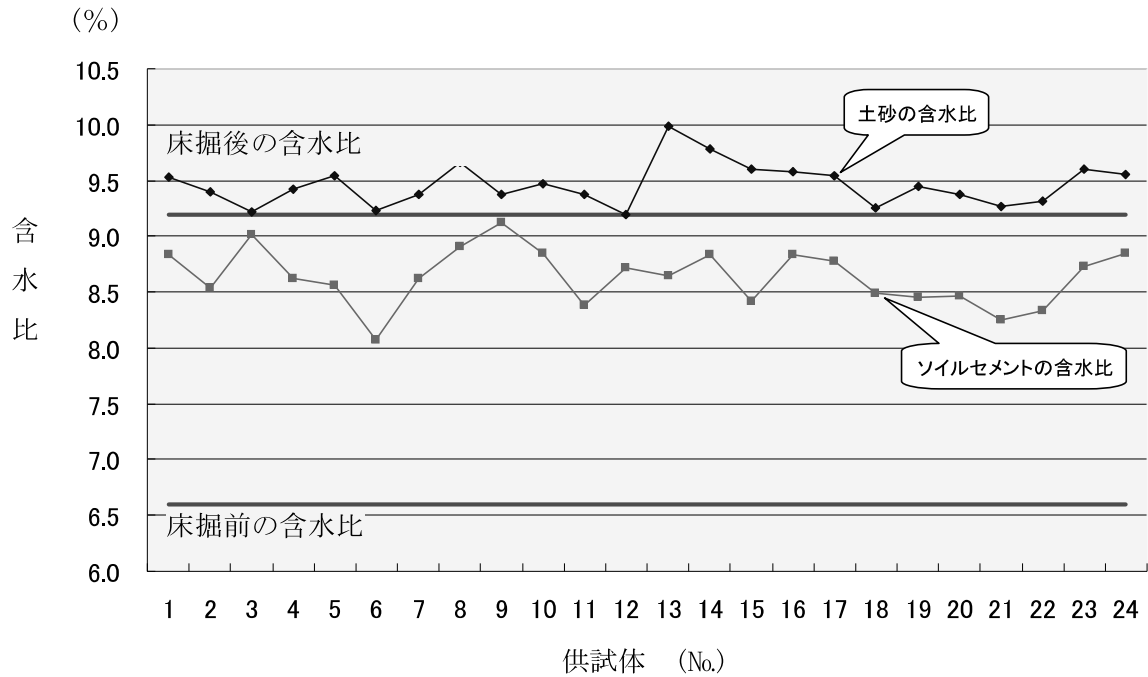


図-6 含水量試験

配合試験の前段で行った土質試験では、土砂の含水比は「6.6%」となっていました。床掘土砂を確認したところ水気が多く感じられましたので、含水比を再確認したところ「9.2%」となりました。土砂の含水比が目標とすべき含水比（試験により求めた最適含水比）を上回るということは、土砂の乾燥を待ち含水比を調整することとなりますので、再度配合試験を行ったうえで目標値を変更しました。管理データを見るとバラツキは少なく、土砂の場合で0.3%程度、ソイルセメントでは0.5%程度となりました。

10 考察

ソイルセメントを活用した治山ダム施工により、大きく4点の効果が得られたと考えます。

(1) コンクリート使用量を約 2,400m³ 削減でき、事業地全体における生コンの安定的な供給を確保できた。これに付随して、生コン車両を含めた資材搬入車両が約70%減少しました。(図-7)

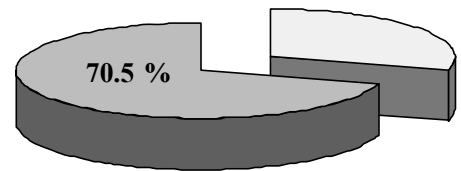


図-7 車両台数縮減率

(2) 床掘土砂の約40%を活用できたほか、溪床にある堆積土砂も活用することで建設残土が削減された。

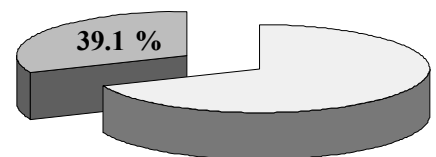


図-8 経費コスト縮減率

(3) 施工経費で約40%、工期日数で約30%の縮減が図られた。(図-8、9)

(4) 比較的大きい規模となる構造物を単年度で完成させられたことにより、治山施設機能を早期に発現させることができた。

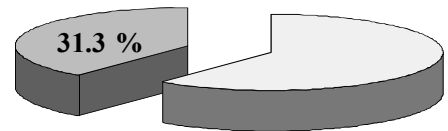


図-9 工期コスト縮減率

今後の取り組みに向けた課題として、ソイルセメントの活用工法は現時点での施工例が少なく、特に、①乾湿の繰り返し・凍結融解などによる劣化、②六価クロム溶出の可能性などについての知見が少なく、今後の課題となります。また、作業性に関わる外壁材の統一化や各種歩掛の調査など、ソイルセメントを活用した工法の洗練を図ることは重要な課題であるとともに、長期的なモニタリングを行いながら妥当性について検証する必要があります。

おわりに

当現場では、様々な現地条件が相まってソイルセメントダムの導入を図ることができましたが、技術的課題も多く、引き続き調査を進めながら新しい工法の完成度を上げていきたいと考えています。

最後に、この報告の取り纏めにあたり指導、助言を頂きました山地防災研究所の櫻井正明先生をはじめ、関係者の皆様に感謝申し上げます。

<参考資料>

- 1) 砂防ソイルセメント活用ガイドライン 砂防ソイルセメント活用研究会編
監修 水山高久 京都大学大学院農学研究科教授・農学博士
- 2) 建設技術審査証明書(砂防技術)報告書(INSEMーダブルウォール工法)
(財)砂防・地すべり技術センター
- 3) 環境保全に配慮した切取土砂有効利用のための歩道整備手法の開発に関する調査研究報告書
(財)林業土木コンサルタンツ

<品質管理に関わる助言・指導>

山地防災研究所 代表取締役 櫻井正明