

砂防ソイルセメントの適用による 環境に配慮した砂防堰堤の施工

岩田幸雄¹・三輪勝弘¹・奥村英司²・大西孝之²・佐藤文雄³・三井健司³

1 国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所（〒507-0023 岐阜県多治見市小田町4-8-6）

2 大日本土木株式会社 名古屋支店土木工事部（〒500-8555 岐阜県岐阜市宇佐南1-6-8）

3 大日本土木株式会社 土木本部土木技術部（〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-16-6）

近年、建設工事全般において、環境負荷軽減・コスト縮減への取組が重視される中、砂防堰堤などの建設においては、基礎掘削などによって発生する現地発生土砂を有効活用し、ゼロエミッションを目指して開発された「コンクリートと土砂の中間材料」である「砂防ソイルセメント」が多くの砂防現場で活用されている。

本稿では、額付川第2砂防堰堤工事における砂防ソイルセメント適用に際し、強度発現を阻害する有機質土を含む発生土砂の活用にあたって実施した各種適用検討と経過について報告する。

キーワード：砂防ソイルセメント、有機質土、砂防堰堤、環境負荷軽減、コスト縮減

1. はじめに

砂防ソイルセメントは、コンクリートと土砂の中間的材料として、現地発生土とセメント系材料を攪拌混合して砂防施設の基礎および堰堤中詰材などへの適用により建設発生土を有効活用するために考案された工法である。現場発生土の排出土量を縮減することにより土砂運搬費・土砂処分費ならびに従来のコンクリート材料の低減により、経済性に優れることから、近年多くの砂防施設建設に活用されている。

今回、木曽川水系蘭川支流額付川(土石流発生溪流)における人家・公共施設・観光施設などの保全を目的とした砂防施設「額付川第2砂防堰堤」の左岸側袖部において環境負荷軽減・コスト縮減の観点から砂防ソイルセメント[内部材：INSEM工法]が採用され、堰堤構築に伴い発生する掘削土砂約4,000m³を活用中である。以下に、砂防ソイルセメントの概要と当工事における砂防ソイルセメントの適用概要と適用状況について報告する。

INSEM工法(In-situ Stabilized Excavated Materials)は、砂防工事における施工性・経済性向上、周辺環境への環境負荷軽減を目的として、現地発生土砂を有効活用する技術として開発され、粒径100mm程度以下の発生土砂にセメント系材料を攪拌混合して、構造物構築箇所まで運搬後、敷均し・転圧して構造物を構築する技術である。工法活用における一般的な適用フローを図-1に、施工フローを図-2に示す。

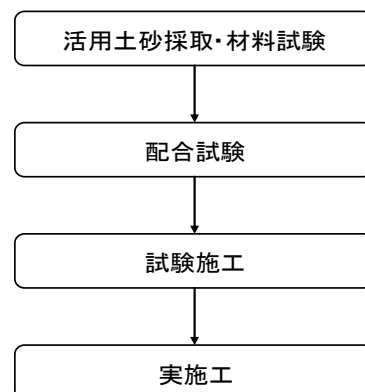


図-1 INSEM工法適用フロー

2. 砂防ソイルセメント(INSEM工法)概要

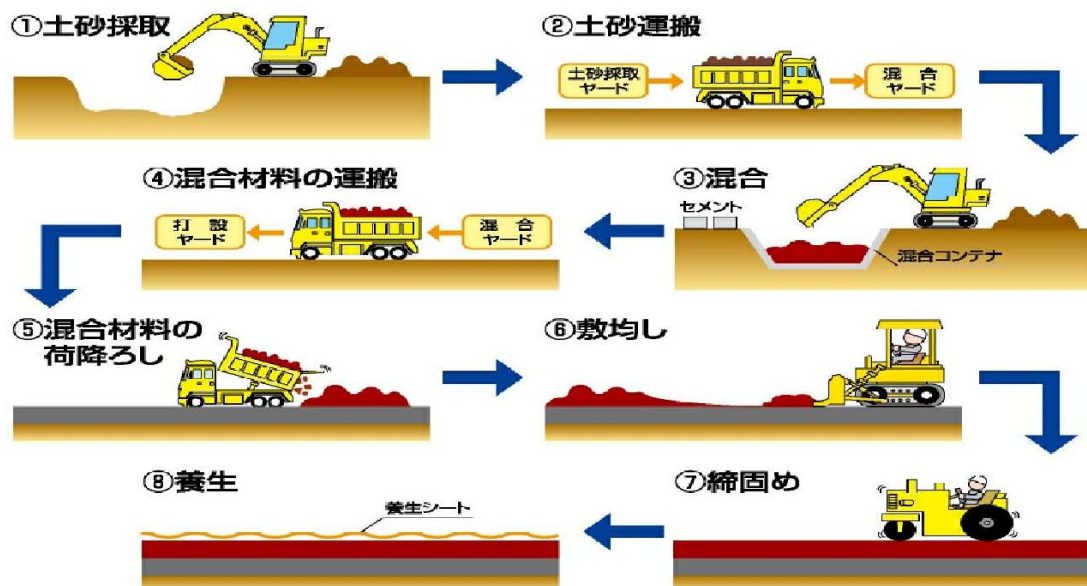


図-2 INSEM 施工フロー

表-1 現地発生土砂の性状把握試験

試験名	基準等	摘要
ふるい分け	JIS A 1102, 1104	粒度分布
密度・吸水率	JIS A 1109, 1110	材料物性値
単位容積質量	JIS A 1104	
締固め	JIS A 1210	最適含水比 締固め特性
含水比	JIS A 1125, 1203	混合時の加水量
微粒分量	JIS A 1103	

適用に際しては、活用する発生土を事前に採取し、表-1に示す試験により土砂性状を把握したのち、セメント使用量、含水比をパラメーターにした室内配合試験を実施して示方配合を設定する。示方配合は材齢28日の供試体について圧縮強度及び質量を基準として設定する。本施工着手前には、実施工における施工法を確認するため、攪拌混合方法、敷き均し厚さ・締固め回数などについて施工機械の仕様設定を含めて試験施工を実施する。

3. 額付川第2砂防堰堤工事の概要

(1) 施工場所

額付第2砂防堰堤は、長野県木曽郡南木曽町地先に位置し、木曽川直轄砂防流域である木曽川水系蘭川支流額付川(土石流発生溪流)において人家および公共施設、災害時要援護者施設、観光地等の保全を目的とした砂防施設である。額付川は南木曽岳(標高1670m)を源とし、南西に流下、尾越で蘭川に合流、その後蛇行を繰り返しながら西方に流下し橋場付近で木曽川に注いでいる。周辺環境は、一年を通じて南木曽岳への登山客も多くまた、隣接する南木曽山



写真-1 施設計画箇所

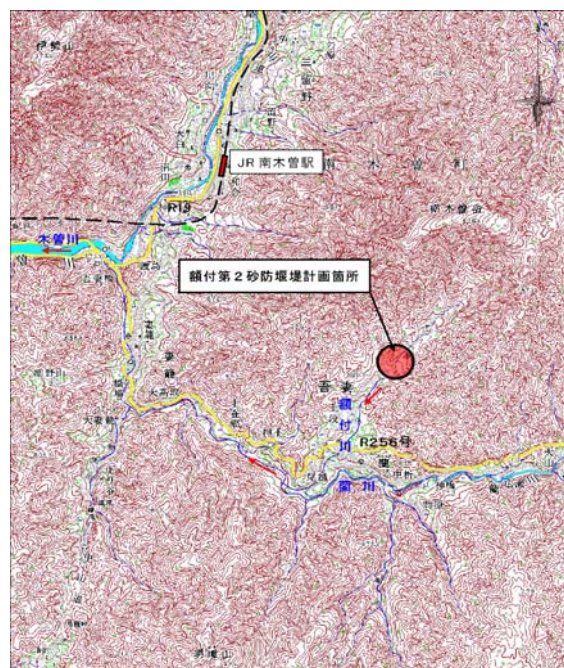


図-3 位置図

麓キャンプ場は堰堤の下流側直下に位置し、キャンプ施設営業シーズンにおける施設施工時の資機材搬入出車両を最小限にすることが本堰堤施工における大命題でもある(写真-1、図-3参照)。

(2) 地形・地質

木曽川流域には中央アルプス、恵那山地を源とする河川が急峻な渓谷を流下し、木曽川に流入している。木曽川直轄砂防流域の地質は、大半が花崗岩類の岩石で構成され、南木曽町を含む広範囲で連続して分布している。花崗岩は風化しやすく砂防流域においても多くの崩壊地が分布している。当該地の地質は領家帯相当の黒雲母花崗岩(上松型)～天竜峡花崗岩類で基盤を形成し、本施工箇所でのトレンチ調査結果からも幾多の土石流による二次堆積性の強風化花崗岩(マサ土)が厚く分布することを確認した。

(3) 工事概要と堰堤諸元

額付川第2砂防堰堤の工事概要を表-2に、堰堤諸元を表-3に示す。図-4に正面図、図-5に断面図を示す。なおINSEM施工に伴う、盛立用型枠及び外部保護材としてWメル工法(上流側)、土砂型枠(下流側)を適用している。

表-2 工事概要

工事名称	平成21年度額付川第2砂防堰堤工事
工事場所	長野県木曽郡南木曽町吾妻地先
発注者	国土交通省中部地方整備局 多治見砂防国道事務所
施工者	大日本土木(株)
工期	平成22年3月4日～平成23年12月26日
工事数量	砂防土工 1式 堰堤工 1式 コンクリート 6,100m ³ INSEM 4,000m ³ 鋼製堰堤工 1式 取付護岸工 1式 法面工 1式 仮設工 1式

表-3 堰堤諸元

主 ダ ム	形式	透過型
	堤高	11.50m
	堤長	149.00m
	天端幅	4.00m
	袖勾配	1:7
	上流法勾配	1:0.30(非越流部を示す)
	下流法勾配	1:0.55(非越流部を示す)
	INSEM適用	左岸袖部 L=78.45m, H=11.5m V=4,000m ³

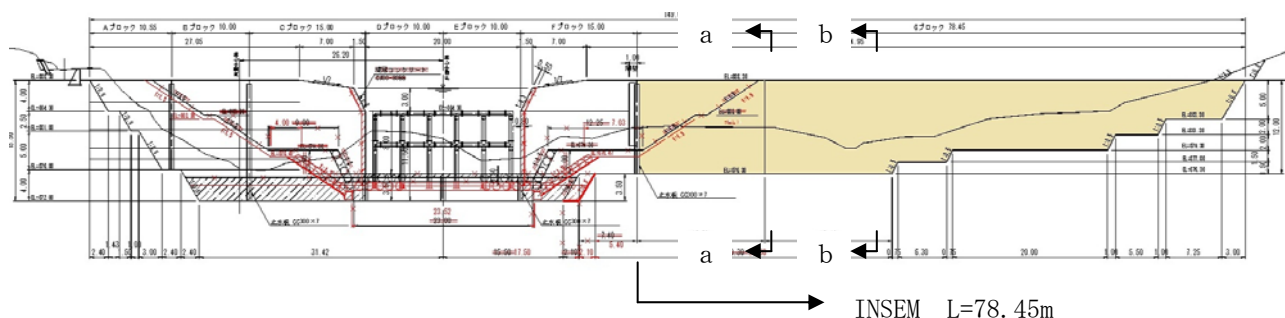


図-4 砂防ソイルセメント適用箇所正面図(左岸袖部)

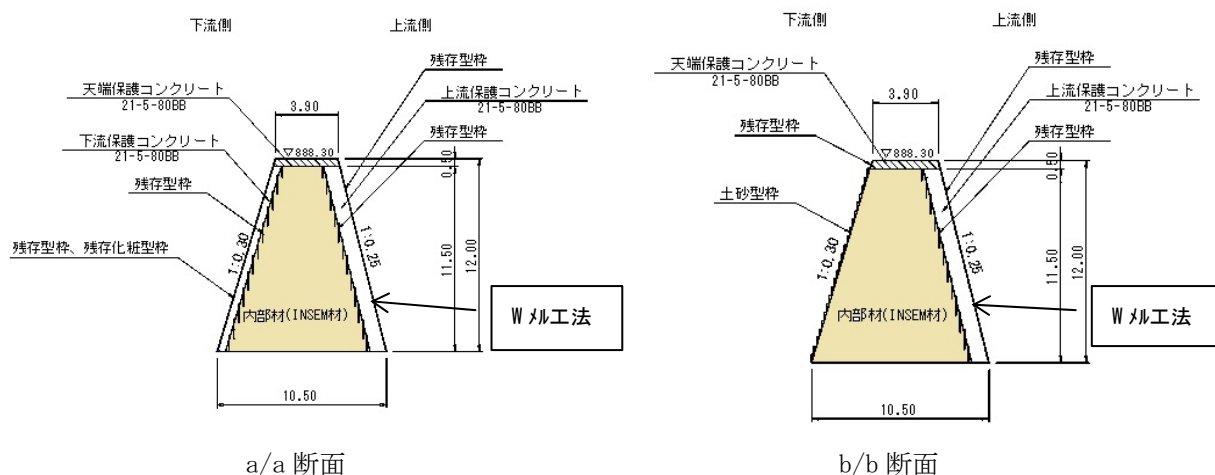


図-5 砂防ソイルセメント適用断面

4. 発生土砂の物理特性

発生土の物理特性を把握するため堰堤施工箇所の左岸・中央・右岸の3地点でトレンチ掘削し、表土及び巨石の除去を行いブレンドしたものを試料とした。試験結果を表-4に、粒度分布を図-6に示す。

表-4 土砂の物理特性

粒 度	礫分(2~75 mm) %	47.0
	砂分(0.075~2 mm) %	44.4
	シルト粘土(~0.075 mm) %	8.6
自然含水比(Wn) %		14.9
締 固	ρ_{dmax} g/cm ³	1.867
	Wopt %	9.7

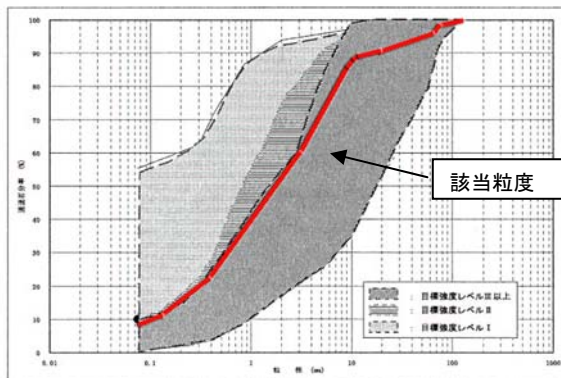


図-6 粒度分布と強度レベル適用範囲²⁾

試験結果では、自然含水比は高い値を示すものの、I N S E M目標強度レベルⅢ(3N/mm²)¹⁾への適用指標とされるシルト・粘土分は10%未満、2mm以下の含有率も55%未満であり、目標強度レベルⅢを期待することができる材料特性にあることが推定された。

5. 配合試験

(1) 配合試験その1

配合強度4.5N/mm²(目標強度3.0N/mm²×割増係数

1.5)に対して、単位セメント量(100, 150, 200kg/m³)、含水比(15.0%, 16.5%, 18.0%)をパラメーターとした9配合の試験結果を図-7に示す。圧縮強度の最大値は0.665N/mm²となり、配合強度に対して1/6程度の強度発現となった。

強度発現不良を生じた要因として、目標土砂含水比、土壌 pH、有機不純物などが考えられたため、コンシステンシー試験(VC 試験)、土懸濁液の pH 試験、有機不純物試験、強熱減量試験を行った。その結果、VC 値・pH・強熱減量に関しては一般的な値を示すが有機不純物試験の色調が「黒褐色」を示し、有機成分を吸着した土粒子の混在が推定された。

(2) 強度発現不良対策の検討

強度発現不良の要因として有機成分が考えられることから、①セメント種類を地盤改良などで類似実績を有すセメント系固化材への変更 ②土砂の部分砕石置換 ③高炉セメント B 種の増量 を対策立案し、強度発現性・経済性・施工性ならびに周辺環境保全 に対して表-5 に示す比較検討を実施した結果、セメント系固化材による対策工を選定した。

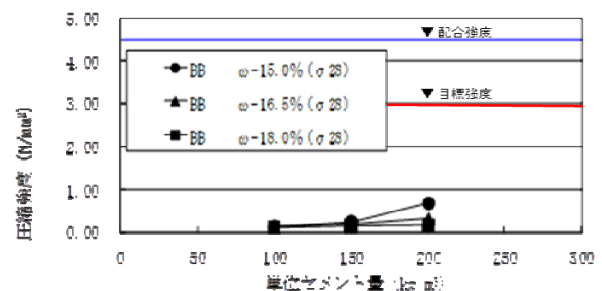


図-7 配合試験その1結果

表-5 対策案比較表

	高炉セメントB種(BB)	セメント系固化材	砕石置換+高炉セメントB種
有機成分に対する強度発現特性	主にケイ酸カルシウム、水酸化カルシウム等の水和物を生成し、漸次その増加に伴い強固な硬化体を形成する。 有害な粘土鉱物・腐植酸を含むと液相のアルカリ度が高くなりさらけ等、水和が阻害される。	ケイ酸カルシウム、水酸化カルシウム等の水和物とともにエトリンガイトを多く生成して強固な硬化体を形成する。 地盤改良材としての実績多数。	現地発生土砂の一部を砕石によって置換えることにより、粒度組成・有害成分量を改善する。 シルト粘土分比率が多い場合の土砂改質置換としての適用例は多いが、有機不純物に対する適用例は無い。
推定材料使用量	300kg/m ³	180kg/m ³	砕石 30%, BB 150kg/m ³
施工性	自然含水比が高く曝気が必要とし、目標含水比を高く設定すると単位セメント量の増量が必要となり、施工機械の走行性にも影響する。	自然含水比の増加に対して極端に強度低下することはない。土質性状を早期に改善するため、施工機械の走行性に対する影響は小さい。	母材と置換材(砕石)混合後の含水比調整及び事前混合が必要となり、攪拌作業に時間を要す。置換材(砕石)の搬入、仮置場所の確保が必要。
土壌環境への影響	六価クロムの土壌環境基準値0.05mg/L以下と考える。(溶出試験により確認)	低溶出タイプの固化材選定が可能となり、六価クロムの土壌環境基準値0.05mg/L以下への対応は容易。(溶出試験により確認)	再生砕石を使用することにより、六価クロムの土壌環境基準値0.05mg/Lを超える可能性がある。(溶出試験により確認)
選定結果	有機不純物を含む土砂に対する強度発現効果、使用材料量の軽減による経済性、土質性状の早期改善による施工性の確保、材料搬入増加などによる周辺環境保全の観点からセメント系固化材の選定が最適である。		

(3) 配合試験その2

4 種類(有機質土用：TL-4，一般軟弱土用：TL-3E，石灰・セメント複合型：TL-SR および高炉 B 種)のセメント系固化材を選定して単位添加量(100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 kg/m³)，含水比設定は仮置・放置により比較的容易に曝気効果が得られたため，「配合試験その 1」より低い目標含水比(11.0%，13.0%，15.0%)として配合試験を実施した。

圧縮強度試験結果を図-8 に示す。本結果より，配合強度 4.5N/mm²を満足する有機質土用：TL-4，添加量 150 kg/m³を示方配合として選定した。なお，六価クロム溶出試験結果については全ての配合で環境基準値 0.05mg/l をクリアした。

(4) 強度発現不良要因の調査

額付川第 2 堰堤と第 2 堰堤下流に位置する第 1 堰堤の土砂材料を使用して各種成分調査を実施した。試験結果を表-6 に示す。有機物，腐植酸(フミン酸)含有量が第 1 堰堤に比して 6 倍以上の高い値を示し，また，塩基飽和度が低いため陽イオン(Ca²⁺)の吸着能力が高く，有機物含有量，腐植酸(フミン酸)，フルボ酸に関しても第 1 堰堤より高い値を示している。

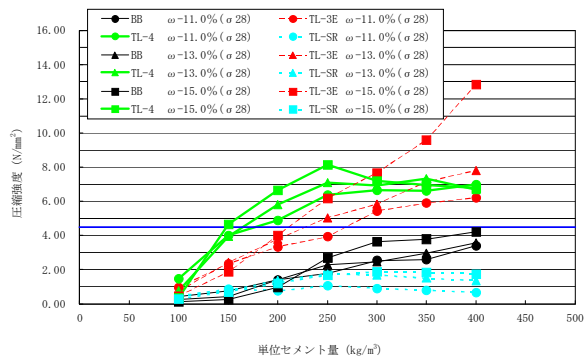


図-8 配合試験その 2 結果

表-6 強度発現不良要因分析結果

分析項目		単位	分析結果		分析方法
			第2えん堤	第1えん堤	
粒度特性	珪分	%	46.6	52.0	JIS A 1204
	砂分	%	47.3	46.3	
	細粒分	%	6.1	1.7	
圧縮強度	材齢7日	N/mm ²	0.811	5.020	JIS A 1108 ※骨材：セメント：水量は同一比率
	材齢28日	N/mm ²	1.445	9.312	
土器溶液の水素イオン濃度 (pH)		-	5.6	6.1	JGS 0211
有機物含有量		g/kg	6.2	1.0	土の有機物含有量試験方法 JSFT231
腐植酸含有量 (フミン酸)		g/kg	1.3	0.2	NaOH抽出/分画ニクロム酸比色法
フルボ酸含有量		g/kg	1.9	0.3	NaOH抽出/分画ニクロム酸比色法
陽イオン交換容量 (CEC)		cmol/kg	2.9	2.3	ジョーレン・メー法「土壌環境分析法」
塩基飽和度		%	10	61	計算による※1
三酸化硫黄		g/kg	0.7	2.2	JIS R 5202-2010 12
有機不純物試験		-	黒褐色	濃黄色	JIS A 1105

※1 塩基飽和度% = (Ca (cmol/kg) + Mg (cmol/kg) + K (cmol/kg) + Na (cmol/kg)) × 100 / CEC (cmol/kg)

6. 試験施工

試験施工は，配合試験で得た示方配合における各目標含水比(11.0%，13.0%，15.0%)に対する，

- ① 母材とセメントの混合状況把握(混合方法，混合時間の確認，設定)
- ② 現場締固め特性(密度)及び最適施工方法の設定(転圧回数，方法，機械機種確認)
- ③ 目標強度，単位重量の確認
- ④ 品質管理基準の設定

と，示方配合の妥当性確認を目的として実施した。

試験ケースは目標含水比に対応した3ケースとし，各ケース毎に転圧回数を6・8・10回に設定したレーン进行を設け，計9ケースについて25cm/層×2層の試験施工を実施した。試験施工結果を元に設定した施工管理基準を表-7に示す。

試験毎に採取した供試体での圧縮試験結果は全てのケースで配合強度をクリアした。また，コア強度についても目標強度を上回った。施工ヤード全景を写真-2に示す。

表-7 設定施工管理基準

	目標土砂含水比	ω %	11.0～13.0
混合	空練り	分/バッチ	15
	本練り	分/バッチ	10
堤体施工	敷均し機種		3tブルドーザ
	敷均し厚さcm/レイヤ	cm/レイヤ	28cm
	転圧機種	-	4t振動ローラ
	転圧回数	回	8
	レイヤ間処理	-	散水/セメント散布
確認	目標密度 ρ	g/cm ³	2.050以上
	供試体強度 σ ₂₈	N/mm ²	4.5



写真-2 試験ヤード全景

7. 本施工

現在、試験施工を経て設定した規定に基づき鋭意施工中である。施工フローを図-9に示す。施工箇所全景を写真-3、母材ふるい分け状況、Wメル施工状況、INSEM転圧状況を写真-4～写真-6に示す。



写真-3 施工箇所全景



写真-4 母材ふるい分け状況

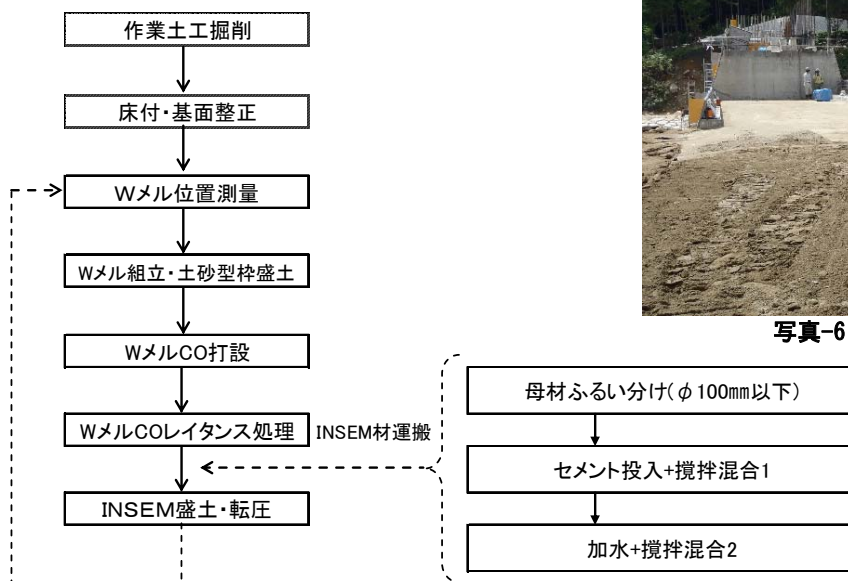


図-9 INSEM 施工フロー

8. おわりに

配合試験当初は有機質土による固化不良への対応に大変苦慮したものの、各種要因分析試験を経て選択したセメント系固化材の適用によって品質・経済性はもとより周辺環境に対しても適切な対応が図れたものと考えている。本工事での結果を踏まえ、今後の類似工法適用においては事業の計画・調査段階で「有機成分分析調査の原則実施」を提言すると共に、今後も砂防ソイルセメントの本質(環境負荷軽減・コスト縮減)に留意し、より効率的な施工技術の確立に向け日々技術研鑽を図る所存である。

参考文献

- 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，鹿島出版会
- 2) 砂防ソイルセメントの材料特性に関する調査結果，(独)土木研究所・(財)砂防・地すべり技術センター



写真-5 Wメル施工状況



写真-6 INSEM 転圧状況