

# 現地発生土砂を有効活用して砂防施設を構築する工法（SBウォール工法）

樋口 経太

全国コンクリート製品協会（共和コンクリート工業株式会社）



建設工事の現場において発生する土砂とセメント、水を攪拌混合して製造する砂防ソイルセメント工法を用いて砂防堰堤の内部を構築し、外部には施工時の型枠を兼用したコンクリートブロック及び鋼材を配置し、耐凍結融解及び耐磨耗を高めた複合工法（SBウォール工法）を開発した。現地発生土砂の活用にあたり、要求品質を確保するためのセメント混入量、加水量について、現地発生土砂の土質試験結果を用いて推定し、その結果と今後の現地発生土砂に対する配合検討について述べる。

テーマ 現地発生土，砂防ソイルセメント工法，土石流対策えん堤，砂防施設

## 1. はじめに

砂防事業は気象・地質・地形及び作業条件の極めて厳しい山間部で施工されることが多く、掘削残土の処分費の増大や、コンクリート等の資材の納入・運搬に制限されることが多い。砂防施設の構築に現地発生土砂を有効活用することは、施工効率の向上と残土運搬時の騒音・振動、土捨て場の確保などの環境問題の低減にも繋がる。一方、砂防事業を推進する溪流の現地発生土砂は様々な土質があるものの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面からも有効かつ重要である。

このような背景の中、砂防施設の構築時に発生する土砂とセメント、水を加え攪拌混合して、目標とする強度、単位体積重量を有する固化体を築造して、砂防施設とこれに伴う付帯施設を構築及び地盤改良に活用する砂防ソイルセメントを用いたSBウォール工法について紹介する。

## 2. 砂防ソイルセメントの概要

砂防ソイルセメント工法は現地発生土砂の大礫を除去するふるい分け以外粒度調整しない土砂にセメント、水を施工現場で攪拌混合し、汎用性の高い機械を用いて合理化、省人化の可能な砂防施設及びその付帯施設を構築する工法である。

### (1) INSEM工法

INSEM(IN-situ Stabilized Excavation Materials)工法は現

場から掘削土砂等を搬出しない工法として砂防CSG工法などを含めた砂防ソイルセメント工法の1つである。

施工を行うための施工ヤードはセメントと攪拌混合する混合樹や混合機械のスペースとセメントなどの資材置き場、土砂の仮置き場や重機の移動路スペースが必要である。

INSEM工法の特徴は、従来のコンクリート構築物と比べ以下となる。

現地発生土砂の活用により搬出土砂の減少  
搬出土砂が減少し、運搬費や処分費、生コン車、ダンプトラックの往来が少ない。

環境負荷の軽減

新たな建設資材の搬入が少ない、またセメント使用量が少ないことから、CO<sub>2</sub>排出量の縮減が可能である。

コンクリート堰堤と比較して表-1の規模の堰堤ではCO<sub>2</sub>排出量が41%と少ない。

表-1 CO<sub>2</sub>の排出量

	SBウォール工法堰堤	コンクリート堰堤
堰堤高、堤長	14.0m、60m	14.0m、60m
堰堤体積	5,202m <sup>3</sup>	4,295m <sup>3</sup>
上流面積	641m <sup>2</sup>	
下流面積	626m <sup>2</sup>	
単位セメント量	100kg/m <sup>3</sup>	
CO <sub>2</sub> 排出量		262kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
コンクリート		
INSEM材	63.9kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
外部保護材(上流)	80.6kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
外部保護材(下流)	84.1kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
合計	460トン-CO <sub>2</sub> (41%)	1,130トン-CO <sub>2</sub> (100%)

### 工期の短縮

現場打ちコンクリート堰堤のようにコンクリートの打設のための、リフト割り、養生期間が必要なく、連続してINSEM工法の施工ができるため工期の短縮が図れる。

日平均施工量は条件により異なるが、40～200m<sup>3</sup>程度である。

### 施工条件の緩和

工事用道路が整備されていない個所でも、掘削機械、振動ローラ等の機械の分解搬入やセメント、外部保護材を索道等で搬入し施工が可能である。(索道による実績；2箇所)



写-1 索道による施工例

### コスト縮減

現地発生土砂とセメントを現場で攪拌混合し建設材料を製造するため、材料単価の大幅な低減と工期の短縮等によるコストの縮減が図れる。

島根県でのINSEM材の工事費は表-2となり、通常のコンクリートの工事費に比べ安価である。

表-2 INSEM材の製造・施工単価 (m<sup>3</sup>当り) (島根県)

単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	100	150	200
製造・運搬費(円)	3,420	4,050	4,680
敷均・締固費(円)	800	800	800
合計(円)	4,220	4,850	5,480

( )粒径処理率85%として、現地発生土砂を100%使用できるものとした。

仮設ヤード、混合施設の整備、外部保護材、天端コンクリート等の費用を計上して比較すると、内部材料が1500m<sup>3</sup>以上の規模の堰堤であれば安価になる。

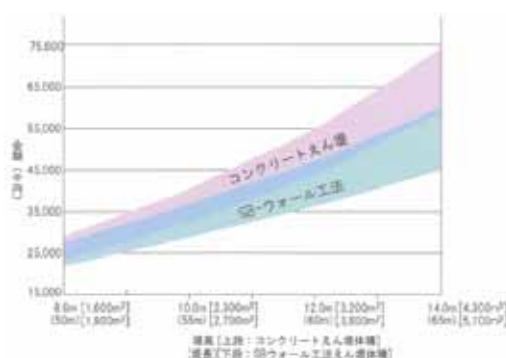


図-1 コンクリート堰堤とのコスト比較 (概算費)

### 安全性の向上

汎用性のある機械を用いて合理化、省人化施工により危険個所での作業が減少し安全性が向上する。構造面では盛土材に比べ固化して流出しないので安全性が高い。

例として導流堤の内部をINSEM材で施工し、その後前面が洗掘で空洞が生じて内部材が流失せず、崩壊しなかった。



写-2 洗掘を受けたINSEM材を用いた導流堤

### (2) 材料特性

INSEM材は耐凍結融解性や耐磨耗性が小さい。コンクリートの凍結融解試験(JIS A 1148)を行うと数十サイクルで相対動弾性係数が低下するが、屋外暴露試験では相対動弾性係数と圧縮強度とも値が伸びている。また回りを鋼製材で保護した状態であれば内部材の質量損失は小さく安定している。

耐磨耗性は低く土石流などにより侵食を受ける。よって表面を保護する外部保護材(コンクリートブロック、鋼材等)を設置して耐久性を高める必要がある。そこで4.(4)に示す外部保護材を開発し、内部材の検討を含めて設計から施工までの総合的な対応を行うSBウォール工法を開発した。

### (3) 適用上の留意点

INSEM材は適用施設に応じた設計強度の設定、現地発生土砂の性質、発生量の確認、配合試験、試験施工、品質管理に留意する。現地発生土砂を使用するため、材料は均一ではないことから、細かな指標により管理を行うとかえって管理だけで大変な作業となる。コンクリートと違い、土砂が固化した材料として、最低限の強度、単位体積重量の管理を行い土砂の粒度管理などは行わない。

## 3. 施工実績

### (1) 施工実績

INSEM-SBウォール工法は平成13年より施工実績を増やしており、平成23年度は工事中を含め全国各地に133件の実績となっている。

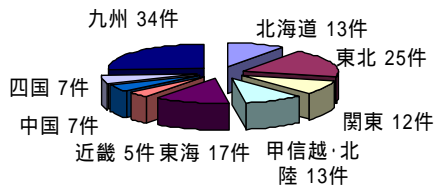


図-2 地区別施工実績

特に現地の発生材を活用し工期の短縮、コストの縮減を図ることから、砂防堰堤の規模が1,000~3,000m<sup>3</sup>の実績が多く、次に3,000~5,000m<sup>3</sup>の実績が多い。

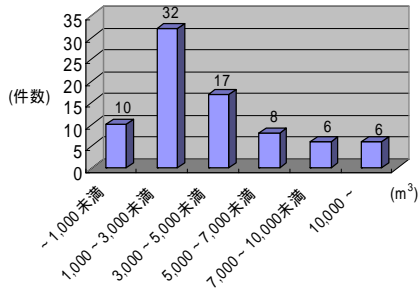


図-3 内部材体積別施工実績

また堰堤の高さについては13.0~14.5mが多く、次に9.0~10.0mと続き5m以上の堰堤に実績がある。

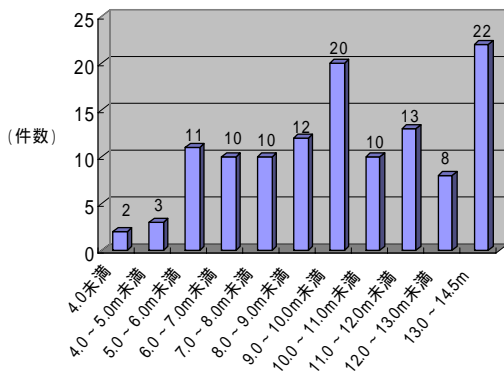


図-4 砂防堰堤高別施工実績

#### 4. 設計 配合の検討

##### (1) 目標強度

INSEM材の目標強度は砂防堰堤の内部材であることから、砂防ソイルセメント活用ガイドラインより、目標強度レベル (3.0~6.0N/mm<sup>2</sup>) とする。

尚、配合試験時の強度は安全率(=1.5)を考慮した4.5N/mm<sup>2</sup>以上を配合強度として示方配合の設定を行う。

INSEM材は同じ強度でも、写-3の供試体より、礫質土によるINSEM材はセメント量や含水比は少なく空隙が多いが強度は満たしている。一方細粒子の多い発生土は

セメント量や含水比が多く空隙率は小さい。

また長期的な強度の変化は、施工後7年を継続してコア採取、強度試験を行った結果、図-5より28日強度に比べ7年後は1.85倍と伸びている。

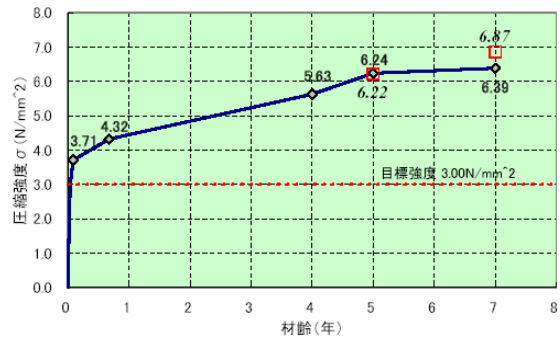


図-5 コアの深さ別 材齢 - 圧縮強度の関係



写-3 INSEM材 試供体

##### (2) 配合の設計

施工箇所の現地発生土砂の土質試験を実施し、土砂の性状を把握する。施工箇所によって性質の異なる複数の土砂が発生した場合、発生土砂の賦存量を考慮して対象とする土砂の選定を行う。

土質試験の項目は表-3について行う。

表-3 土質試験

試験名称	基準	目的
ふるい分け試験	JIS A 1204	粒度分布の把握のため。
密度および吸水率試験	JIS A 1109, 1110	材料物性値の把握のため。配合計算時に使用する場合もある。
含水比試験 (自然)	JIS A 1125	混合時の加水量決定のため。
土の締固め試験	JIS A 1210	乾燥密度と最適含水比の把握

土質試験結果より、セメント添加量の設定は、最適含水比、細骨材吸水率、最大乾燥密度、細粒分通過率を目安に設定する。配合試験はセメント添加量の設定を参考に必要量を推定するため、3種類の配合量と3種類の含水比にて添加量と含水比と強度の相関グラフを作成する。

表-4 材料試験データによる指標分類

	分類A 河床 砂礫	分類B 砂質土 砂土等	分類C 粘性土 質	分類D 有機質 土ロム	項目別 判定 影響度
最適含水比 (%)	8	13	25	50	大
細骨材吸水率 (%)	8	10	25	50	大
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.8	1.7	1.4	1.1	中
細粒分通過率 (%)	20	30	40	50	小
単位体積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	100	150~ 200	180~ 230	200~ 250	-
改良材の比率 (%)	0	0~50	50~80	50~80	-

中国地区の施工事例よりこの指標を用いて分析すると分類Bとなる。

表-5 指標分類事例

	剣川	松ヶ谷	素川(ため池)
最適含水比 (%)	13.90	12.46	13.15
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	1.89	1.88
細粒分通過率 (%)	6.9	4.2	0.1
分類結果	B	B	B
単位体積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	125	150	150
含水比 (%)	13.9	14.5	12.5
7日強度 (N/mm <sup>2</sup> )	2.51	2.35	3.79
28日強度 (N/mm <sup>2</sup> )	5.18	5.78	8.32

含水量の上限はスランプ試験で0cmとなる範囲までとする。通常の試験では最適含水比より数%高めに設定し、それから1~2%の幅で含水比を変えて行う。

### (3) 単体体積重量

単体体積重量は土質試験結果ある場合は、今までの配合試験結果より以下の推定式により算出できる。

推定単体体積重量 =  $5.39 \times \text{最大乾燥密度} + (9.0 \sim 10.322)$   
(最小~中央値)

(SBウォール工法研究会)

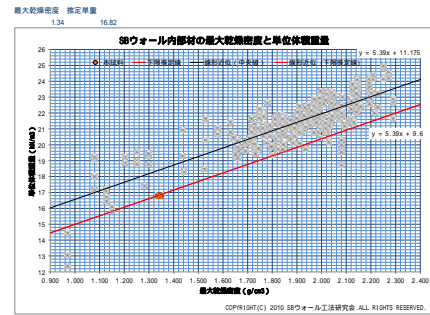


図-6 INSEM材の単体体積重量の推定値

### (4) 外部保護材

SBウォール工法は上流側に軽量鋼矢板 (t=4mm)、下流側はコンクリートブロック (t=150mm) を設置する。上流側の軽量鋼矢板は土石流に対して必要な耐衝撃性を写4実物大衝撃試験より確認している。表-6に示す衝突エネルギーまで耐衝撃性を有している。(INSEM-SBウォール工法:平成22年2月建設技術審査証明(砂防技術)技審証第0503号・財団法人砂防地すべり技術センターを取得)

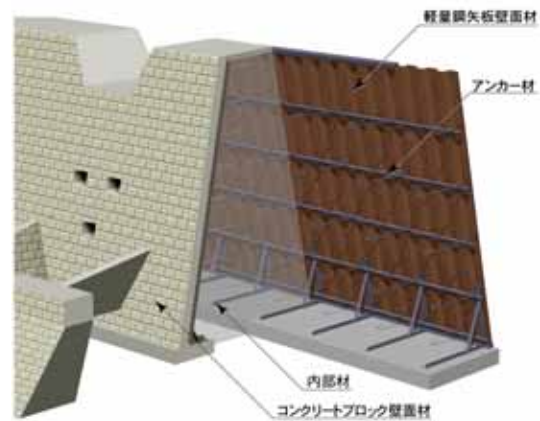


図-7 構造イメージ図



写-4 実物大衝撃試験状況

表-6 実物大衝撃試験結果

上流外部保護材厚 (軽量鋼矢板) t (mm)	土石流規模		最大衝突 エネルギー Emax (kN-m)
	礫径 (m)	流速V (m/s)	
4.0	1.0	9.0	55.17
4.0	1.5	9.0	186.10

## 5. 施工と施工管理

### (1) 試験施工

試験施工は本施工の概要を決定するための重要な判断材料となる。そこで施工計画で立案された材料、施工機械、施工準備、施工方法で適切にできるか確認するために実際の使用する機械により実施する。

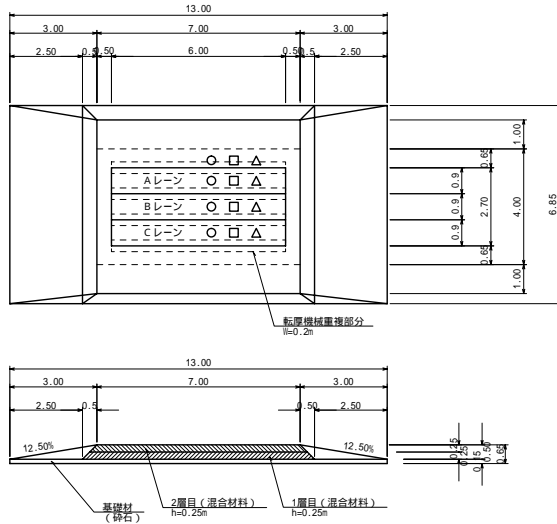


図-8 試験ヤード例

表-7 試験施工時の試験項目

試験項目	細目	試験方法
混合時	材料試験	
	ふるい分け試験	現地発生土砂 JIS A 1102「骨材のふるい分け試験方法」を実施
	含水比試験	現地発生土砂 直火法により、現地発生土砂を30分以上加熱する。
	標準供試体 (=125mm x H=250mm)	単位体積重量試験 モールド内の容積と重量から算出する。
敷均圧時	混合状態の確認	混合材料にフェノールフタレイン溶液を散布目視確認
	沈下量測定	
	砂置換による密度測定	JIS A 1214「砂置換法による土の密度試験方法」
施工後	転圧面の目視確認	写真撮影
	標準供試体 (=125mm x H=250mm)	圧縮強度試験 7, 28 JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」
	コア採取	単位体積重量試験 7, 28 JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」
	コア採取 (=125mm)	単位体積重量試験 コアの平均径と重量より算出する。



写-5 試験施工の状況

### (2) 施工方法

施工ヤードは発生土砂の仮置き、セメント、水との混合用機、混合機械（バックホウ等）が必要となる。

また砂防堰堤の施工には内部へ材料を投入する運搬用機械（ダンプトラック、ラフタレーンクレーン）、敷均し機械（ブルドーザ、ミニバックホウ）、振動締固め機械（3t型振動ローラ、ハンドガイド）などを配置する。



写-6 施工状況

### (3) 施工管理

INSEM工法は現地発生土砂を有効活用することから、使用する現地発生土砂の材料特性に大きく作用されバラツキが発生する。このため品質管理は重要である。施工中の品質管理として下記を実施する。

- ・フェノールフタレイン液散布
- ・強度管理用供試体（2材齢；7日、28日）
- ・強度確認用サンプリングコア（1材齢；28日）
- ・現場密度測定

## 6. 施工事例

### (1) 中国地区の施工事例

中国地区の施工実績では、鳥取県の真野2号堰堤をはじめとして広島県、山口県で実績がある。

山口県では平成21年7月に発生した山口防府豪雨災害において、INSEM - SBウォール工法による堰堤を構築している。

表-8 施工一覧表

	素川	松ヶ谷川	剣川	宮地川
形式	不透過型	不透過型	不透過型	不透過型
堰堤高 (m)	9.5	9.5	11.0	14.5
堰堤長 (m)	81.0	116.0	99.0	66.5
水通し天端幅 (m)	5.0	4.9	5.5	5.0
上流勾配	1 : 0.2	1 : 0.15	1 : 0.2	1 : 0.3
下流勾配	1 : 0.2	1 : 0.2	1 : 0.2	1 : 0.2
内部材量 (m <sup>3</sup> )	3,787	4,349	5,770	4,733
単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	130	150	125	250
設計含水比 (%)	11.5 ± 1.5	14.0 ± 1.5	13.7 ± 0.9	16.5 ± 1.0



写-7 中国地区の施工事例

## (2) 人工地山の施工事例

砂防堰堤の袖部の貫入ができない場合、地山を構築して安定性を図る事例である。



写-8 人工地山の施工事例

## (3) 導流堤の施工事例

砂防堰堤上流側の内部にINSEM材を用いた導流堤の施工事例である。



写-9 導流堤の施工事例

## (4) 護岸・擁壁の施工事例

護岸、擁壁の埋戻し材にINSEM材を用いて施工した事例である。流水に対する侵食に対して安全であるとともに沈下に対しても安定している。



写-10 護岸・擁壁の施工事例

## 7. おわりに

現地発生材を有効活用したSBウォール工法は、毎年実績を伸ばしている。施工現場により現地発生土砂が異なることから目標強度を得るため配合検討が課題となるが、多くの試験データの積み重ねにより、判断指標が整理しつつある。

また施工方法も事例の増加により混合機械の開発など施工技術の進歩と品質の向上がみられる。

今後も試験施工のデータを蓄積し、工法の改良、発展を行いたいと思います。

## 参考文献

- 1) 砂防ソイルセメント活用研究会編：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：INSEM-SB ウォール工法建設技術審査証明(砂防技術)報告書。
- 3) SB ウォール工法研究会：「砂防ソイルセメント製」と「コンクリート製」の環境負荷比較
- 4) 平成 21 年砂防学会研究発表会：「砂防ソイルセメントの経年変化に対する追跡調査結果の報告」(日鐵住金建材株)/堀、佐野、国領)