

# 桜島における土石流土砂等を活用した 現位置攪拌混合固化工法

酒谷幸彦・末吉正志・坂梨仁宏

桜島は我が国における活火山の中で、最も活発な火山の一つである。1970年代から小規模噴火が頻発して山腹斜面に火山灰が堆積し、少量の降雨においても土石流が発生している状況にある。このため対策として砂防事業を実施しているが、恒常的に流下する土砂、工事の残土などその処理が大きな問題となっているため、発生土砂のリサイクル化（ゼロエミッション）に取り組んでおり、その一つとして現位置攪拌混合固化工法（ISM（In-Situ Mixing）工法）を採用した。ISM工法とは現地発生土砂とセメントミルクを攪拌混合し、所定の強度を有する混合体を形成する工法で、建設残土の軽減や工期短縮などが期待できる。

本報文では、桜島地域砂防工事におけるISM工法の施工実績について報告を行う。

キーワード：桜島，土石流，リサイクル，ゼロエミッション，現位置攪拌混合固化工法

## 1. はじめに

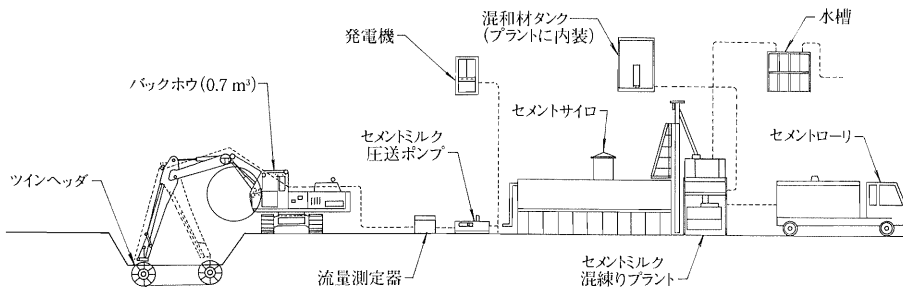
鹿児島県錦江湾中央部に位置する桜島は、有史以来30余回大噴火を起こしている成層火山であり、現在もなお活発に活動を続けている。火山活動の活発化による降灰、裸地化などの荒廃化にとともに、少量の降雨によっても土石流が頻発している。

このため、昭和51年度に直轄砂防事業を着手し、現在10河川において実施している。平成元年から平成11年の資料によると、桜島での土石流は年平均約50回発生し、多量の土砂が流出する。特に土石流発生回数の多い野尻川については流出土砂により河道が閉塞するので除石を行っているが、掘削量は10万～40万 $\text{m}^3$ /年となっている。

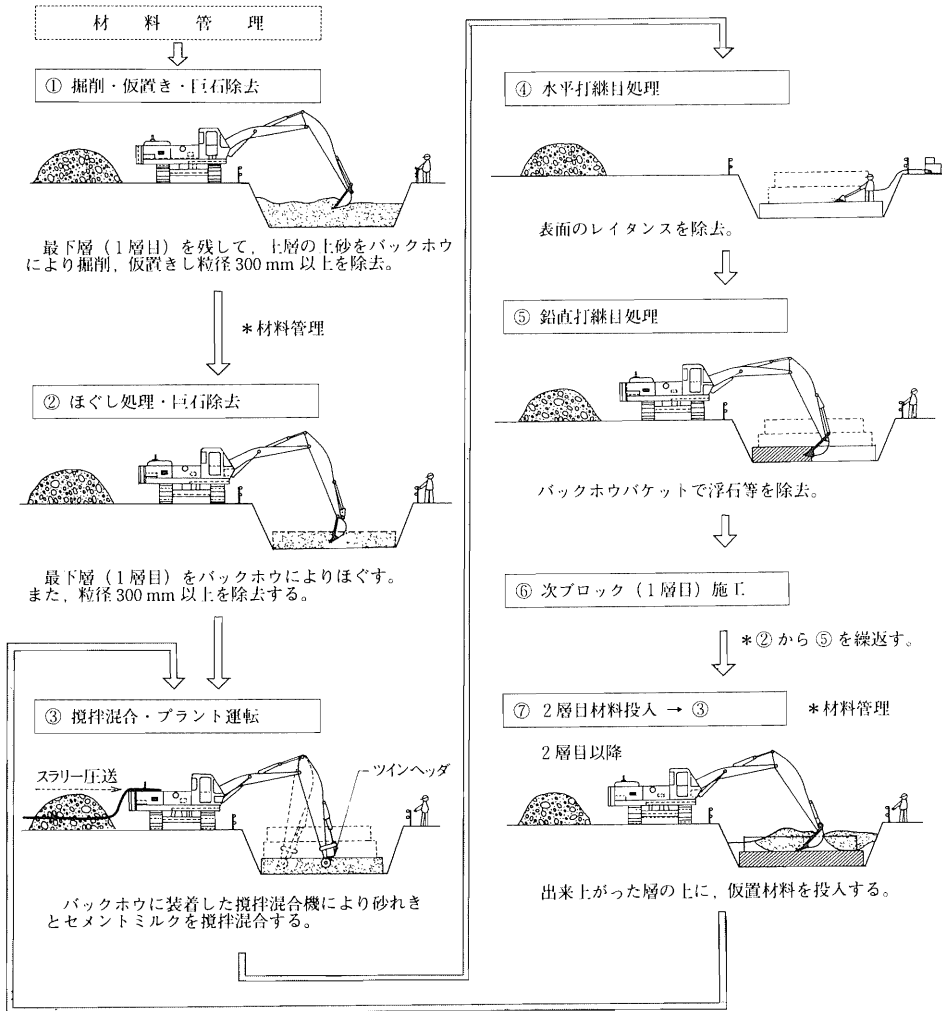
る。

掘削した土砂は従来野尻川河口部右岸の仮置き場、熔岩採石跡地、指定内海域、錦江湾内の埋立て地に運搬していたが、近年は、土捨場用地の確保の困難性や環境問題等により、処理が困難となっている。このような状況から現地発生土砂のリサイクル化（ゼロエミッション）を検討しており、一方法として流出土砂等を活用して砂防施設を構築する方法（ソイルセメント工法）の試験施工を実施した。

現在は様々な砂防ソイルメント工法が開発されているが、桜島では砂防堰堤の内部コンクリート、基礎コンクリート更に、試験的に谷止工の本体コンクリートとして高強度の改良体を求めていること、施工ヤードが狭く、施工量が比較的少ないことから現位置攪拌混合固化工法（In-Situ Mix-



図一1 ISM工法の概要



※ 2層目からは③～⑦の工程を繰り返す。

図-2 ISM工法の施工手順

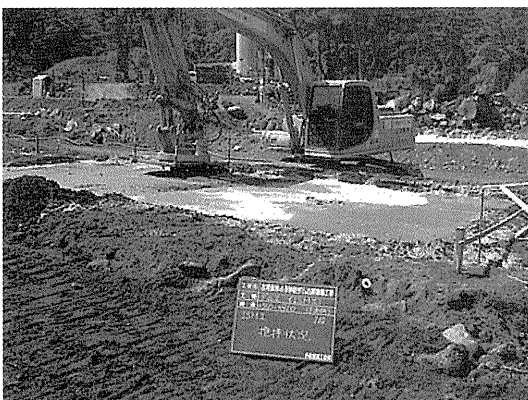


写真-1 ISM 施工状況



写真-2 攪拌混合状況

ing, 以下 ISM 工法と略記) を採用したところである。

## 2. ISM 工法の概要

ISM 工法は、構造物を築造する「現位置, in-situ」において、現地の玉石や砂礫等とプラントから圧送されるセメントミルクを汎用的な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(mixing)、所定の強度を有する混合体を形成する工法である。ISM 工法の概要、手順、状況を図一1、図一2、写真一1、写真一2 に示す。

## 3. ISM 工法の有利性

一般的に従来工法と比較すると以下の有利性が挙げられている。

### ① 施工の省力化

最下層の掘削を省略する事で掘削量を減らすことができる。また、型枠、足場の組立て解体やコンクリート打設等の人力作業がなくなり、少人数の作業員で汎用的な機械による施工が可能である。

### ② 建設副産物の軽減

現地発生の玉石や砂礫を骨材として有効利用するため、建設残土の発生量を大幅に減少させる。

### ③ 周辺環境への緩和

建設残土の運搬やコンクリートの搬入等、工事車両が周辺に与える影響が緩和されるだけでなく、残土処分地を設ける必要がなくなる。

### ④ 安全性の向上

危険を伴う掘削法面下の狭い空間や足場上での作業およびクレーンによる型枠移動やコンクリート打設作業等の危険作業がなくなる。また、急速施工により掘削法面の放置期間が短縮されるなど、安全性の向上が図れる。

### ⑤ 工期の短縮

人力作業部分の省略等により作業工種の簡素化が図れるとともに、機械作業による急速施工が実現し、工期短縮が図れる。

### ⑥ 建設コストの縮減

施工の省力化、工期の短縮、建設副産物の軽

減等が達成されることにより、建設コストの縮減が実現する。

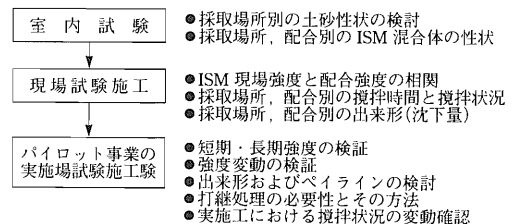
## 4. 施工実績

### (1) ISM 工法の適用フロー

ISM 工法は現位置での土砂材料を用いることが特徴であるため、築造された構造物の品質は使用する現位置材料の影響を大きく受ける。桜島島内で活用が期待される現地発生土砂には、近年の火山噴出物である安山岩質の砂や礫、ボラ等と、古い時代の火山噴出物で腐植した有機物を多く含む有機質土がある。

新しい火山噴出物はボラなどの軽石分を除けば硬質で、少ないセメント量でも大きな強度を発現でき、砂防施設への適用が可能な材料と考えられる。

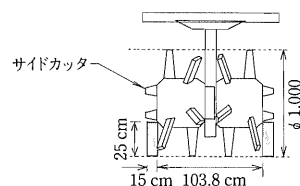
一方、有機質土では、砂防施設としての所要の強度を発現させるための単位セメント量が多くなり、経済性を損ない、品質にばらつきが大きくなるうえ、場合によっては所要の品質を満足できないこともありうる。また、たとえ所要の品質を満足できても、硬化後の収縮等により多くのひび割れが発生することが予想される。そのため、図一3 に示すフローにより適用性の検討を行った。



図一3 ISM 工法の適用フロー

### (2) 使用機械の詳細

セメントミルクと現地土砂を攪拌混合する攪拌



図一4 ツインヘッド構造図

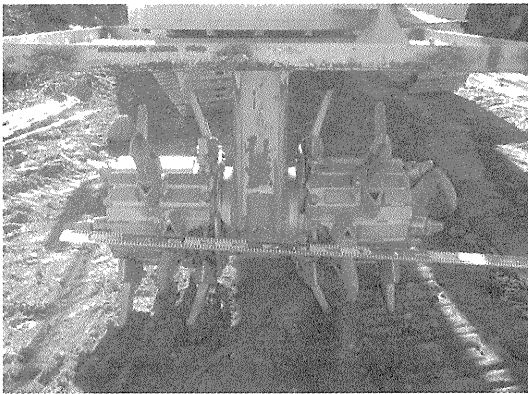


写真-3 ツインヘッダ近景

翼であるツインヘッダの構造図を図-4、写真-3に示す。ドラムの両サイドには土砂をかき分けるためのサイドカッタと呼ばれるものがついている。なお攪拌むらが出来ないようにツインヘッダ部は90°回転できるようにになっている。ただし、カッタの下部(斜線部)に十分に攪拌されない部分が生じるので、未攪拌部分ができないよう15cmほど攪拌余長をとる必要がある。

表-1 標準的プラント設備一覧

機械名称	仕様	数量	摘要
セメントミルクプラント	24 m <sup>3</sup> /h	1 台	セメントミルク製造
高圧ポンプ	ピストン2連式 (100~300 L/min)	1 台	セメントミルク圧送
流量計	200 L/min	1 台	電磁式一体型
高圧ホース	40 kgf/cm <sup>2</sup> , φ=38 mm	150 m	セメントミルク圧送
セメントサイロ	30 t, 移動用	1 台	セメント貯蔵
水中ポンプ	φ=80 mm	3 台	水供給・排水
水槽	5.0 m <sup>3</sup>	1 台	混和剤用
水槽	10.0 m <sup>3</sup>	1 台	混練用
発動発電機	150 kVA	1 台	プラント運転



写真-4 プラント全景

標準的な攪拌混合時間を攪拌材料 1 m<sup>3</sup> 当たり 3 分程度としており、この攪拌混合時間内に攪拌材料に対して必要なセメントミルク量を製造し、圧送できる能力を備えるセメントミルクプラント設備を設置した。標準的プラントの一覧表を表-1 に、プラントの全景を写真-4 に示す。

### (3) ISM 工法の施工実績

#### (a) 適用箇所および施工数量

桜島砂防工事における ISM 工法の適用箇所および施工数量一覧を表-2 に示す。表-2 に示すように、本事業では 18 N/mm<sup>2</sup> の改良体以外に、古河良川砂防堰堤左岸、右岸袖部において構造上必要な最低の強度を有するものとして低強度 ISM 改良体 (3 N/mm<sup>2</sup>) を使用した。

表-2 施工箇所及び施工数量一覧表

工事名	適用箇所	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	数量 (m <sup>3</sup> )
古河良川 4 号砂防ダム本体	堰堤本体	18	250	2,860
古河良川 4 号砂防ダム右岸袖部	堰堤本体	川表 18 川裏 3	250	5,653
引ノ平川 2 号床固工	堰堤基礎部	18	250	891
引ノ平川上流左岸導流堤	導流堤	18	250	2,651
黒神川導流堤拡幅	導流堤	18	300	340
引ノ平川上流左岸導流堤 (1 工区)	導流堤	18	250	2,450
引ノ平川上流左岸導流堤 (2 工区)	導流堤	18	375	2,687
古河良川 4 号砂防ダム左岸袖部	堰堤本体	川表 18 川裏 3	250	1,985
鍋山谷山腹谷止工	堰堤本体	18	350	7,008

#### (b) 圧縮強度特性

ISM コンクリートの品質管理結果の一例として、古河良川砂防堰堤袖部における圧縮強度試験結果を図-5 および図-6 に示す。

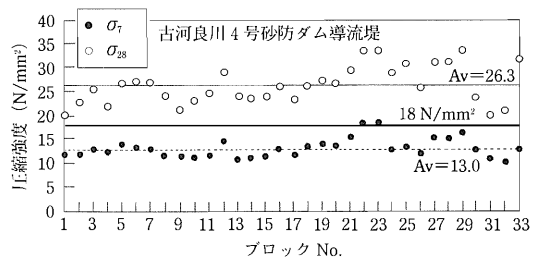


図-5 コンクリートの品質管理結果 (18 N/mm<sup>2</sup>)

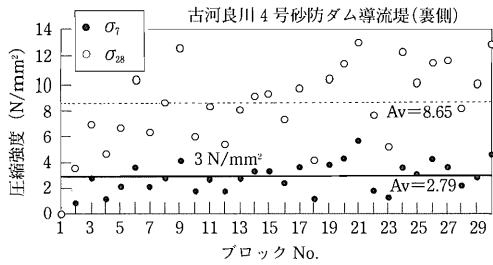


図-6 コンクリートの品質管理結果 (3 N/mm<sup>2</sup>)

これらの図に示されるように、ISM改良体の圧縮強度はいずれもばらつきはあるものの、養生28日後の強度、 $\sigma_{28}$  設計基準強度 (18 N/mm<sup>2</sup> および 3 N/mm<sup>2</sup>) を満足していることがわかった。

図-7は、ISMコンクリートの水/セメント比、W/Cと圧縮強度との関係の一例として、引ノ平川導流堤における結果を示したものであるが、同図に示されるように両者間には明確な関係は認められず、実施工におけるW/Cの変動範囲では、ISMコンクリートの圧縮強度に与える影響は少ないことがわかる。

また、図-8はISM改良体の $\sigma_7$ と $\sigma_{28}$ との関係を示したものであるが、同図から、 $\sigma_{28}$ に対する $\sigma_7$ の比率は18 N/mm<sup>2</sup>のISM改良体で約0.5、3 N/mm<sup>2</sup>のISM改良体で約0.33となり、強度

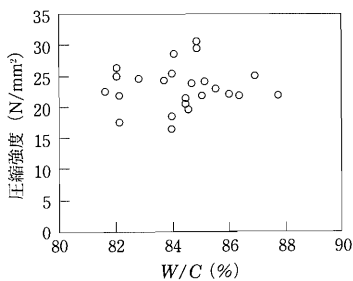


図-7 圧縮強度とW/Cとの関係

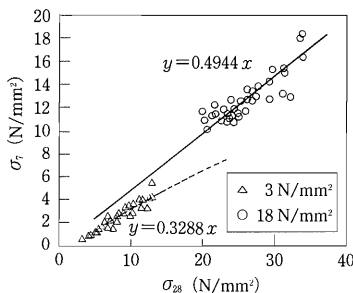


図-8  $\sigma_7$ と $\sigma_{28}$ との関係

種別の違いによって強度発現性状が異なることがわかった。

(c) 出来形

コンクリート構造物は型枠に生コンクリートを打設するため、出来形については通常過不足なく仕上がるが、ISM改良体は土砂型枠であり本体部分と施工余長部分との境界が不明確で、出来形は構造物の安定に影響するため、適切な管理手段が求められる。ISM改良体の厚さと平面的寸法を把握するために、次のような管理を行う。

- ① 改良体の厚さは施工基面まで床掘りし、スタッフ等により攪拌混合厚さを確認し写真撮影する。
- ② 改良長・幅は攪拌余長を含めた寸法で計測を行う。

これにより検討を行った結果、改良幅および改良長は全ての工事において設計値どおりの値が得られた。改良体の厚さに関しては-47~+22の

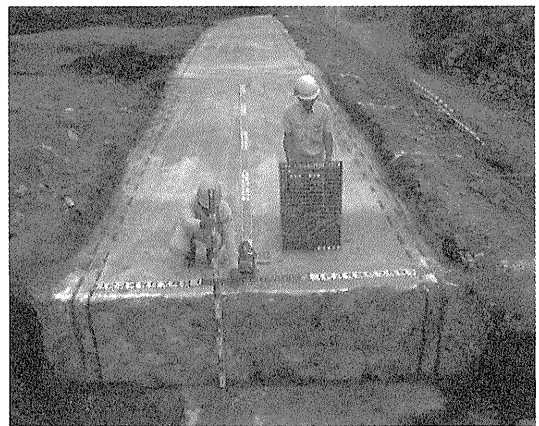


写真-5 出来形確認状況

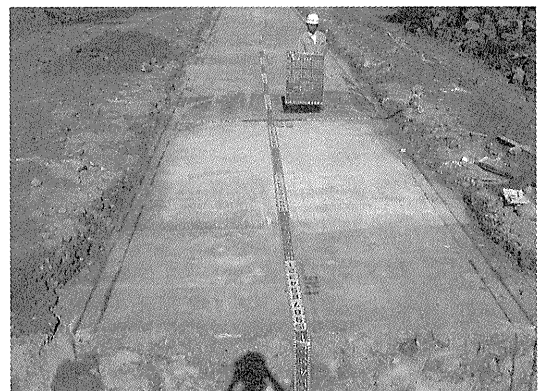


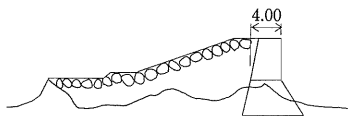
写真-6 出来形確認状況

範囲になっており、規格値（±100 mm，参考：ISM 工法設計施工マニュアル<sup>1)</sup>）の範囲にあることが確認できた（写真—5，写真—6 参照）。

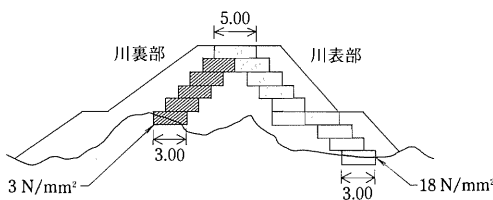
#### (d) コスト

ISM 工法の適用に対するコスト削減効果については、施設の構造が大幅に異なることから直接的な比較は困難であるが、同じ機能をもつ構造物として比較した場合、例えば古河良川砂防堰堤袖部構造を重力式コンクリートタイプ（図—9 参照）と土堤タイプ（図—10）でそれぞれ施工した場合の工事費では約 10% 程度のコスト縮減が図れた。また、各工事全体では概ね 10%～20% の縮減となった。

なお、古河良川の重力式コンクリート工法の場合は、施工場所が国立公園内であるのと、掘削した土砂を現場より持ち出すには多額の費用を要するため、堰堤袖部前面に盛土し表面に転石を配置し景観に配慮した、図—9 のような構造となっている。



図—9 コンクリート工法（従来型）



図—10 土堤タイプ (ISM 工法)

図—10 の土堤タイプは、堰堤袖部に直接掘削土砂を用いることとなり、掘削土砂の搬出の必要がない。

#### (e) 工期

従来工法と比較すると型枠の必要が無く汎用機械による合理化施工であることから、工期を約 25% 程度短縮する事ができた。また、桜島における砂防工事は、常に土石流や噴石等の危険と隣

り合わせにある施工状況であることから、工期の短縮が図られることは非常に有用である。

## 5. おわりに

桜島地域の砂防工事において、土石流土砂等を有効活用する目的で ISM 工法による施工を行った結果、品質、工期、安全性、コストともに良好な結果が得られた。特に、ボラや有機質土のような低品質材料を用いた ISM 工法については、土砂の再利用という観点からも貴重なデータが得られた。しかし、現地においてはボラや有機質土は様々な状態で混ざり合っており、その配分により ISM 混合体は、さらに適用範囲を広げるためにもセメント量、設計基準強度を変化させ構造物の様々な部位や地盤改良等への適用のための検討も必要であろう。本施工実績で得られたデータを今後の施工に活用していきたい。

J C M A

#### 《参考文献》

- 1) 「現位置攪拌混合固化工法 (ISM 工法) 設計施工マニュアル」, (財)先端建設技術センター・ISM 工法研究会, 平成 13 年 5 月

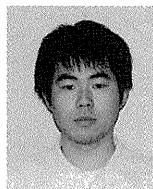
#### 【筆者紹介】



酒谷 幸彦 (さかたに ゆきひこ)  
国土交通省九州地方整備局  
大隈工事事務所  
事務所長



末吉 正志 (すえよし まさし)  
国土交通省九州地方整備局  
大隈工事事務所  
工務第二課  
工務第二課長



坂梨 仁宏 (さかなし まさひろ)  
国土交通省九州地方整備局  
大隈工事事務所  
工務第二課  
技官