

土木研究所資料

現地発生土砂の砂防設備への活用状況

平成12年4月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室
砂防部地すべり研究室

Copyright© (2000) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

現地発生土砂の砂防設備への活用状況

砂防研究室 室長 南 哲行*
地すべり研究室 主任研究員 富田 陽子**

要 旨

現場発生土砂を砂防設備の築造に活用した試験施工事例を、活用の考え方を含めて整理した。活用の考え方には、「床掘省力化（神通川水系砂防工事事務所）」「掘削残土を廃棄物にしない（六甲砂防工事事務所）」「流出・堆積土砂の処理（雲仙復興工事事務所）」など、地域の実情に応じた工夫が見られる。

キーワード：現地発生土砂の活用，活用の背景，活用の条件

* 現：建設省河川局砂防部砂防課砂防事業調整官

**現：急傾斜地崩壊研究室主任研究員

目 次

1.はじめに	1
1.1 現地発生土砂利用の意義・優位性	1
1.1.1 現地発生土砂利用の意義	1
1.1.2 現地発生土砂の定義	1
1.1.3 現地発生土砂利用の優位性	1
1.2 現地発生土砂の特性、及び活用工法	2
1.2.1 現地発生土砂の特性	2
1.2.2 現地発生土砂活用工法の概要	2
2.現地発生土砂を利用した砂防設備事例	4
2.1 施工事例	4
2.1.1 近畿地方建設局六甲砂防工事事務所の事例	6
2.1.2 九州地方建設局雲仙復興工事事務所の事例	14
2.1.3 北陸地方建設局神通川水系砂防工事事務所の事例	20
2.2 事例からみた現地発生土砂活用工法の特性	27
3.現地発生土砂利用の基本的考え方	29
3.1 現地発生土砂利用に際しての留意事項	29
3.2 現地発生土砂利用の基本方針	30
3.3 現地発生土砂利用に際して必要な検討項目	31
3.3.1 計画条件に関する検討項目	33
3.3.2 材料条件に関する検討項目	34
3.3.3 施工性に関する検討項目	34

資料編

1. はじめに

1.1 現地発生土砂利用の意義・優位性

1.1.1 現地発生土砂利用の意義

人間による環境破壊が進み、人類の存続の危機に瀕している中、地球環境保全のため、生産活動や消費活動の過程の中で、廃棄物を出さないシステムを含む社会システムを目指すゼロ・エミッションが進行中である。これは単なる廃棄物削減計画、環境改善計画ではなく、地球資源を有効に活用し生産性を高め、社会的、経済的発展を進め、持続可能な社会を形成することである。

建設産業においては、そこから発生する資源の再利用や副産物の発生抑制、さらには無害化等を実施するとともに、ローカルエネルギー等の活用による省資源・省エネルギー化を図ることにより、外部環境への影響を極力抑制することを行動目的としている。

砂防事業においてゼロ・エミッションを推進するにあたっては、対象となる建設廃棄物や残土の発生をなくすることが重要である。つまり砂防事業の実施箇所の多くは山間部であるため、砂防設備施工の際には掘削が必要となり建設残土が発生する。これを抑制するためには建設残土が生じない工事のあり方を検討しなければならない。そのためには施工段階での取り組みだけでは限界があり、計画・設計段階から取り組む必要がある。また、発生したものについては、極力再利用を図るべきである。このような検討がゼロ・エミッションの実現につながるものと考えられる。

1.1.2 現地発生土砂の定義

ここで、「現地発生土砂」という語を、「建設発生土のみを意味するものではなく、構造物計画地点周辺の溪床、溪岸にある利用可能な堆積土砂を含むものとして定義する」こととする。

1.1.3 現地発生土砂利用の優位性

砂防設備に現地発生土砂を利用することの意義は以上に述べたとおりであるが、通常これまで実施されている工法と比較した場合の優位性としては、一般に以下があげられる。

①建設残土の発生減少

現地にある河床砂礫を骨材として使用するため、建設残土の発生が減少する。

②運搬・搬入に伴う工事車両の影響低減

現地発生土砂を構造物の主材料とすることで、建設残土の運搬やコンクリートの搬入が軽減され、工事車両による環境への影響を緩和できる。

③構造物の自然との調和

現地発生土砂を構造物の建築材料として、セメントなどの固化材と混合し安定化させる場合には、材料の有する特性がコンクリートに比して自然に調和している。

④施工の簡易化

施工方法によっては、小型の建設機械で材料の混合から施工まで狭小な施工現場内でも一貫してできるので、施工の簡易化を図ることができる。

⑤施工の安全性向上と省力化

現地発生土砂をセメントなどの固化材と混合し安定化させる場合には、型枠を使用せずに打設を行う場合もあり、クレーンによる型枠移動やコンクリート打設作業が必要ない、もしくは軽減されるため、施工の安全性が向上し、省力化が可能である。

⑥コストの縮減

骨材等の材料費が不要となり、低コスト化が実現できる。

⑦工期の短縮

連続打設が可能であるためコンクリートよりも養生期間が短くなり、工期の短縮が可能となる。

1.2 現地発生土砂の特性、及び活用工法

1.2.1 現地発生土砂の特性

現地発生土砂は、山間部における溪床土砂、溪岸の崩積土砂及び山腹風化岩が掘削時に破碎され形成された土砂であるので、粒径からみると粗粒分が卓越する。

一般的な砂防工事現場からの発生土砂を、その質に焦点をあててみた場合の特性は以下のとおりである。

①ダムや土構造物の建設材料としては良質である

現地発生土砂の多くは砂、礫として分類されるので、ダムをはじめとして盛土あるいは護岸の裏込めなど、ダムや土構造物の建設材料としては力学面からも施工面からも良質な材料である。

②構造体により補強や強度の改良が必要である

土砂だけではのり面を急勾配にした構造体を形成することは困難である。急勾配の構造体をつくる場合には鋼材で補強するか、セメントなどの固化材によって強度の改良を行う必要がある。

③再生資源としては上級である

コンクリート塊や建設汚泥など、他の建設副産物と比較して、現地発生土はそのまま建設材料の良質な原材料となるので、再生資源としては上級のものに分類できる。

1.2.2 現地発生土砂活用工法の概要

現地発生土砂を活用する工法としては、大きく分けて発生土砂の「直接利用」と「改良利用」の2つに分けられ、さらに「改良利用」は、発生土砂の改良方法により、「補強工法」と「固結工法」に分けられる。(図1.1)

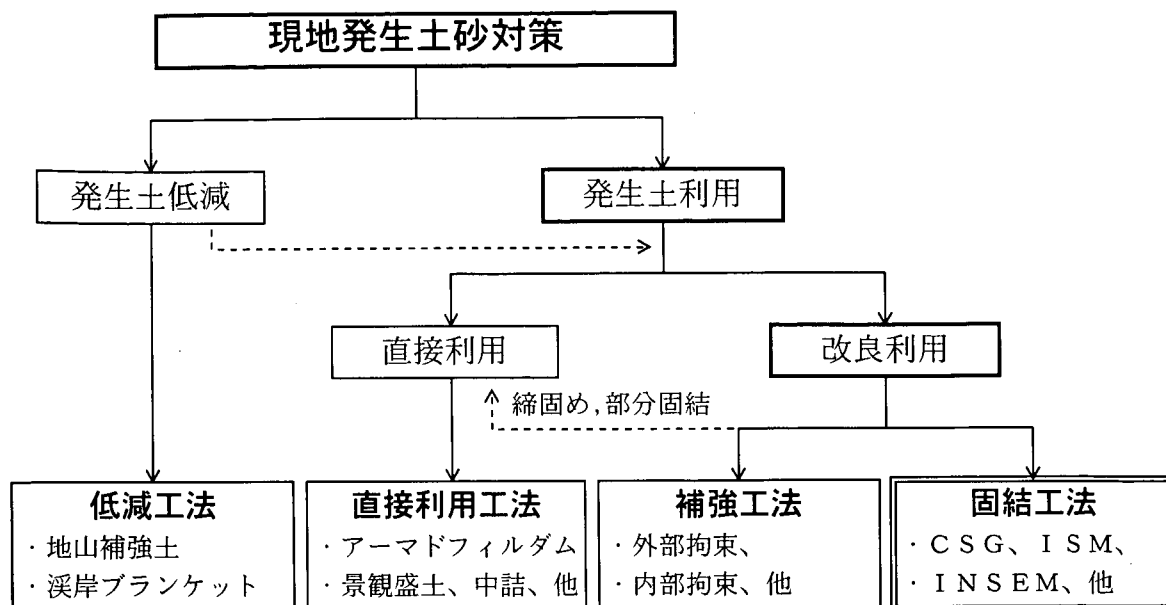


図1.1 現地発生土砂活用工法の分類(「砂防事業における現場発生土の有効利用その2」大野宏之 砂防と治水No.126を改変)

現地発生土の直接利用は、発生土砂をそのまま主な堤体の構築材料に使用するか、またはコンクリートダムの下流側や上流側に接して盛土したり、その内部に中詰したりすることをいう。堤体の構築材料として土砂が利用される場合、流水に接する恐れのある箇所には保護材の設置を考える。

改良利用は、いわば発生土砂に土質改良を施して、言い換えれば、発生土砂を何らかの方法で強化して堤体の構築材料として使用することを意味する。

発生土砂の改良利用には、土砂の補強と固結が考えられる。土砂の補強については「セル」などの構造物で代表される、土砂を外部から拘束して補強するやり方と、「テールアルメ」で代表される土砂を内部から拘束して補強するやり方の2つがある。土砂の固結とは、セメントなどの固化材を土砂に混合して結合させ一体化したマスを形成するものである。改良して作られた砂礫マスは、砂防構造物の構造体の一部あるいは全部として使用できる機能を持つ。

以上のように、現地発生土砂の活用工法としては多くの工法が存在するが、ここでは、セメントなどの固化材を混合して安定化を図った上で使用する、いわゆる「固結工法」を対象として取り扱うこととする。

なお、本書ではこの「現地発生土砂とセメントなどの固化材を混合して安定化を図った材料」を「混合材料」と称することとする。

2. 現地発生土砂を利用した砂防施設事例

2.1 施工事例

施工事例としては、以下に示す近畿地方建設局六甲砂防工事事務所、九州地方建設局雲仙復興工事事務所、及び北陸地方建設局神通川水系砂防工事事務所における3事例について整理した。

表 2.1 収集施工事例一覧表

事務所名	実施工種	施設名	工法呼称
近畿地方建設局 六甲砂防工事事務所	床固工本体	西滝ヶ谷低ダム群	I N S E M工法
九州地方建設局 雲仙復興工事事務所	砂防ダム袖部	水無川1号砂防ダム	C S G工法
北陸地方建設局 神通川水系砂防工事事務所	砂防ダム基礎地盤改良	餌掛谷上流第3号砂防ダム	I S M工法

表 2.2 各施工事例の概要

施工事務所名			六甲砂防工事事務所の事例			雲仙復興工事事務所の事例			神通川水系砂防工事事務所の事例		
施工箇所			西滝ヶ谷低ダム群(第5号床固工)			水無川1号砂防ダム			餌掛谷上流砂防ダム群		
形式	堤高	天端幅	重力式コンクリートダム	5.0m	約3.0m	重力式コンクリートダム	14.9m	約4.0m	重力式コンクリートダム	11.5m	3.0m
採用部位	堤長	堤体積	本堤全体	約43m	3,383m ³	砂防ダム袖部	約870m	235,500m ³	砂防ダム基礎部	72.0m	1,549m ³ (攪拌混合数量)
現地発生土砂利用の目的 及び背景			・六甲山系の砂防工事では近年残土処理が困難になる傾向にあり、現地発生土砂を利用することにより、各種の砂防工事で発生する比較的小規模な現地発生土砂の運搬をなくし、発生土処理問題の解決、及び運搬処分費の削減を目指した			・九州地方建設局雲仙復興工事事務所では、水無川砂防ダム群の施工に際し、土石流に対する安全性の確保に加え、土石流に対するダム効果の早期発現、作業員の安全確保のための無人化施工技術の活用を含む省人力施工、雲仙・普賢岳の火山抛出物(現地発生材)の有効利用等の問題を総合的に解決可能な工法を採用することが望まれた ・そこで、河床砂礫や廃棄岩等の現地発生材にセメントを添加混合することにより、強度増加を図り、改良盛立材として有効利用する工法を採用した			・砂防施設等は、厳しい条件下での施工が必要となることが多い。また砂防施設等は、概ね2～3m程度の最小根入れ深さを確保するように設計されているため、河床面下での掘削、型枠組立などの一連の作業は危険を伴うものとなっており、これらの作業を軽減するための省力化工法が求められていた。 ・一方で、砂防施設等が建設される地点での河床砂礫は、多くの場合はコンクリート用骨材と同程度の物性を有すると考えられる。 ・これらを背景に、施設の基礎として河床の掘削を低減する工法が求められた		
各現場におけるメリット			①搬出残土をなくすことができる ②工期の短縮が可能 ③コスト削減が可能 ④建設残土の運搬やコンクリートの搬入が軽減する ⑤狭小な場所でも施工可能 ⑥施工の省力化と安全性の確保 ⑦自然と共生しやすい条件整備ができる			①土石流に対するダム効果の早期発現が可能(工期の短縮) ②作業員の安全確保が可能(無人化施工技術の活用を含む省人力施工) ③雲仙・普賢岳の火山抛出物(現地発生材)の有効利用が可能 ④コスト削減及び効率的な施工が可能			①施工の省略化が可能 ②工期の短縮が可能 ③建設副産物が軽減する ④コストの削減が可能 ⑤施工の安全性が向上する ⑥周辺環境に与える影響の緩和が可能		
配合設計			・単位セメント量=160kg/m ³ (普通ポルトランドセメント) ・単位水量=130kg/m ³ ・母材の含水比=8～13% ・骨材寸法=80mm程度以下 ・乾燥密度=1.95t/m ³ 以上 ・転圧回数=8回以上			・単位セメント量=80kg/m ³ ・単位水量=194kg/m ³ ・母材の含水比=10±2% ・骨材寸法=150mm以下 ・骨材量=1,770kg/m ³ ・セメント種類=高炉B種以上			・単位セメント量=300kg/m ³ (高炉セメントB種) ・単位水量=115.8kg/m ³ ・水セメント比=60%以下(攪拌混合後) ・骨材寸法=300mm程度以下 ・セメントミルクの水セメント比=40% ・攪拌混合時間=3分/m ³		
主要材料特性			・目標強度= 4 N/mm ² (材令28日) ・透水係数=10 ⁻³ ～10 ⁻⁴ cm/sec台			・目標強度= 3 N/mm ² (材令28日) ・透水係数=10 ⁻⁵ ～10 ⁻⁶ cm/sec台			・目標強度= 18 N/mm ² (高強度コンクリート)		
施工手順			①母材の採取→径が80mm以上の大礫をスケルトンバケット(標準0.35m ³)によって取り除いておく ②混合→混合時間は、標準的な容量のバックホウで15分間程度とする ③敷均し→敷均し厚は締固め後の仕上がり厚が約15cmになるように決める(ブルドーザ 標準0.3t級) ④転圧→3t級の振動ローラを使用して、仕上がり厚約15cmの場合で8回(4往復)とする(振動コンパクタ) ⑤打継目の処理→清掃・吸水をおこない、表面水を完全に排除した後、敷均しをおこなう ⑥法面整形→法面整形の方法としては、転圧後2層分整形による方法が適している(土羽バケット使用 バックホウ 0.35m ³) ⑦養生→温度管理と湿潤状態を保つために、シートや土砂で覆って養生する。			①母材の採取→スケルトンバケットで粒径150mm以下にふるい分ける ②混合→パッチャープラントにより母材(現地発生材)とセメントを混合し混合材料を作成する ③運搬→製造した混合材料を敷均しゾーンまで運搬する(ダンプトラック 10t級) ④敷均し→運搬された混合材料を一定の厚さに敷均すこととし、撒き出し厚は26cmとする(ブルドーザ 2.1t級) ⑤転圧→敷均された混合材料を10t級の振動ローラを使用して仕上がり厚約50cmの場合で4回(2往復)とする(散水車 2.5m ³) ⑥法面整形→法面整形の方法としては転圧後2層分整形による方法が適している(土羽バケット使用バックホウ 0.35m ³) ⑦養生→転圧された混合材料を一定期間養生する			①表土処理→腐植土等は、すき取りを行い排出する ②粒径処理(巨石除去)→ツインヘッド(90°回転型)の能力等から粒径300mm程度以下のものに粒径処理する ③ほぐし処理→攪拌混合を容易にするため、河床砂礫をバックホウでほぐす ④攪拌土埋戻→埋戻し前に含水量の確認を行い、攪拌混合する位置に埋戻す ⑤攪拌混合→ツインヘッドによって攪拌土とセメントミルクを均一かつ十分に混合する(バックホウ 0.7m ³ 油圧配管付) ⑥水平打継目処理→上・下層間に生じる水平打継目は、一体化のための継手処理を行う ⑦鉛直打継目処理→一体化が必要な混合材料は鉛直打継目処理を行う ⑧表面処理→天端高は、各層ごとに所定の高さとなるよう平坦に仕上げる ⑨養生→施工後の一定期間(7日間)、適切に養生しなければならない。		
施工上の留意点			・法面の仕上げの際、表面をアイオン等で削ると、ある程度の強度が出るため予想以上に割れる。 ・土砂に粘性土が混じると混合、転圧が難しい。			・混合された材料は、速やかに所定の位置に分離が生じないように運搬する ・敷き均された混合材料は、できるだけ速やかに締め固める。 ・打設時に時間雨量2mm以上の降雨があった場合は、所定のリフト高に達しなくても、適切な処理を行い打設を中断する			・W/Cの維持のために、適切な水分管理が必要である ・粒径300mm以上の巨石・大径礫を多く含む箇所では、排除した量に相当する砂礫が不足するので、最寄りの河床砂礫の使用計画をたてておく ・機械(バックホウ)の作業位置に対する施工基面の高さ、施工可能幅など、ツインヘッドの施工範囲(作業可能範囲)を理解する必要がある ・降雨等によりW/Cに影響する恐れがある際は、適切な処置を講じる		
課題・問題点			①仮置き・ふるい分けが必要となり、施工性が落ちた。広い作業ヤードが必要となった。 ②セメントと土砂の均一化は使用する機械により施工能力が決定される。 ③湧水・流水対策は充分行う必要がある。 ④大出水時には、土砂が堆積し施工できなく、何度か被災した。 ⑤定規断面(1:1.0～1.5)では法肩部の転圧が機械施工できない。 ⑥転石の多い現場では、混合材料を心材としたロックフィルダムがよいのではないか。 ⑦流量の多い河川では、湧水があるので1～2リフト分(0.15～0.3m)は均しコンクリートでの施工がよいのではないか。 ⑧セメント分の流失による生態系への影響が考えられ、水質汚濁防止策が必要である。 ⑨コスト面では従来ダムと較べ若干安くなった。			①設計強度が3.0N/mm ² と小さく単位セメント量が80kg/m ³ と少ないため、長期的な耐久性及び耐侵食性については、現状では不明である ②打設面の乾燥が急速なため、割れ目が発生する ③転圧回数が適切でなく、過多となると振動ローラーが跳ねてしまう ④目地が無いことから、クラックが発生する			①床掘の省力化を拡大する方法を検証する(検証中) ②単位セメント量の減少について検証する(検証中)		
その他			・INSEM(インセム)工法と称している			・CSG工法と称している			・ISM工法と称している		

2.1.1 近畿地方建設局六甲砂防工事事務所の事例

(1) 現地発生土砂利用の目的及び背景

六甲山系の砂防工事においては、近年残土処理が困難になる傾向があり、砂防工事現場での発生土砂全量をその場で処理し、搬出土砂を無くすことが必要となった。

本施工事例においては、低ダム群の施工において、直上流・直下流の砂防工事で発生した現地発生土砂材料を、セメントと混合し安定化を図り、低ダム群の一つである床固工（ $h = 5\text{ m}$ ）の本体に利用している。搬出残土を無くすことで経済的で環境に配慮した構造物の構築が可能となった。

この工法は、INSEM（IN-situ Stabilized Excavated Materials：インセム）工法と称されており、このような目的を持たせて安定化した構築材料（混合材料）はINSEM（インセム）と呼ばれている。

六甲砂防工事事務所での施工事例からは、以下のメリットがあげられる。

① 搬出残土をなくすることができる

現地発生土砂をセメントなどの固化材料と混合し構造物に利用することにより、搬出残土をなくすることができる。

② 工期の短縮が可能となる

六甲山系の砂防工事の場合、索道利用によるコンクリート打設（ $60\text{ m}^3/\text{日}$ ）に比べ、 $80\text{ m}^3/\text{日}$ 程度の打設が可能となった。

③ コスト縮減が可能となる

工期の短縮に伴うコスト縮減に加え、現地発生土砂を築堤材料に利用するために、残土処分費の節減ができる。

④ 建設残土の運搬やコンクリートの搬入が軽減する

工事用道路の確保が問題となっている六甲山系においては、建設残土の運搬、ならびにコンクリートの搬入が軽減されたことがメリットの一つと考えられる。

⑤ 狭小な現場でも施工可能である

プラントは必要ない。 5 m^3 程度の土砂材料に対して $3 \times 3 \times 1\text{ m}$ 程度の平面寸法と深さを持つ混合ヤードが必要であるが、現地発生土に少量のセメント材料を混入するだけで済み、しかも通常の小型の建設機械で材料の混合から施工まで狭小な施工現場内でも一貫してできる。

⑥ 施工の省力化と安全性の確保を図ることができる

構築材料を盛り立てる方法のため、型枠が必要なく施工の省力化が可能である。また型枠設置～コンクリート打設等の手間がかからないため、作業員の安全性を確保することができる。

⑦ 自然と共生しやすい条件整備ができる工法である

床固工（ $h=5\text{m}$ ）を築造するにあたり、堤体を太らせることにより安定性や耐久性を確保することとした。そのため、ダムの下流面が緩傾斜となり、溪流縦断的にバリアフリーとなる。

（２）物理・力学特性

西滝ヶ谷低ダム群５号低ダムの施工にあたっては、試験施工を実施し以下の試験値が得られている。

表 2.3 西滝ヶ谷低ダム群５号低ダムの試験強度

項 目	試験施工で得られた試験値
単位セメント量	160 kg/m ³
堤体内部応力に対する抵抗性	0.5 N/mm ²
巨礫衝突に対するせん断抵抗性	0.5 N/mm ²
土砂混じりの流水に対する侵食抵抗性	3.9 N/mm ²
凍結、融解及び乾湿繰り返しに対する耐久性	3.9～5.9 N/mm ²
粗骨材の最大寸法	80 mm

また、材料としての強度特性は室内での一軸圧縮試験等により以下の試験値が得られている。

表 2.4 西滝ヶ谷低ダム群５号低ダムの強度特性

項 目	概 要
土砂と混合材料の 突き固め特性 (図 2.1 参照)	・土砂のみに対する最大乾燥密度は平均粒度の場合で2.03t/m^3、細粒度の場合で1.95t/m^3であった。 ・それに対する最適含水比は、約8%、12%である。細粒になるほど密度は小さくなり、かつ最大密度を得るための最適含水比は大きくなる。
単位水量 (図 2.2 参照)	・単位セメント量Cが同じでも単位水量Wの違いにより圧縮強度は異なり、その関係は凸型の傾向となる。 ・ただし、単位水量が$150\sim 250\text{kg/m}^3$の範囲内であれば強度の違いは小さく、ほぼ最大強度を与える。
乾燥密度 (図 2.3 参照)	・乾燥密度が大きいほど圧縮強度が大きくなる傾向が見られる。 ・単位セメント量160kg/m^3のデータで見られるように、単位水量が少なくなると締固まって密度が高い場合でも混合材料の強度は低くなることが分かる。つまり、セメントが固化するにもそれなりの水量が必要になるといえる。
単位セメント量 (図 2.4 参照)	・単位セメント量が増えるほど強度も大きくなることが分かる。 ・単位水量が適当であれば、単位セメント量が160kg/m^3の場合で圧縮強度は3.4N/mm^2程度、300kg/m^3で6.9N/mm^2程度となる。

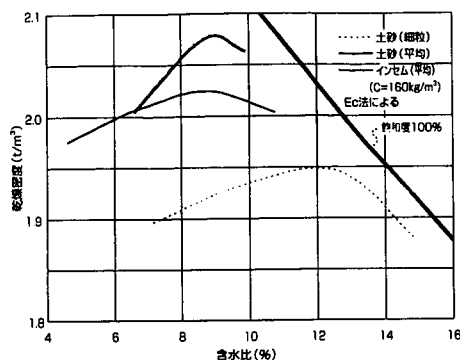


図 2.1

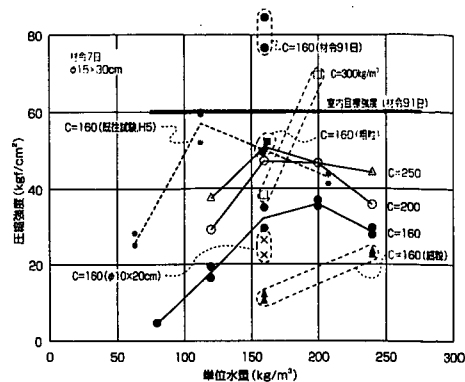


図 2.2

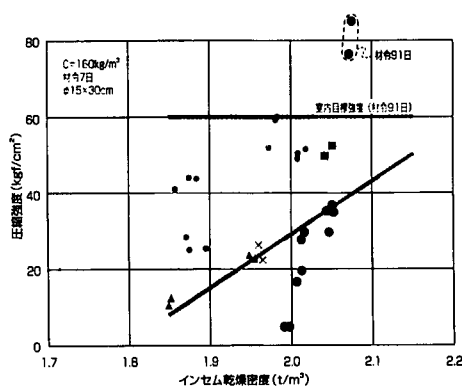


図 2.3

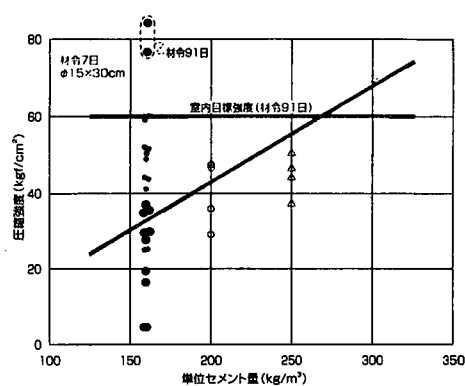


図 2.4

資料：建設省近畿地建六甲砂防工事事務所：パンフレット「インセム工法（現場発生材料の有効利用）」

(3) 使用材料

使用材料については、以下の基準が示されている。

表 2.5 使用材料についての基準

項 目	概 要
セメント	- ダム本体の一部として使用される場合には、通常のダムコンクリートへの使用に適したものである - それ以外の箇所に使用する場合には、JISに適合したセメントを用途に応じて選定する
土砂	- 砂礫材料であれば、特に岩質によらず使用して良い - ただし材料のおよその粒度特性を把握し、極端に礫材料が多く含まれる場合、あるいは、細粒土や有機質土が多く含まれる場合など、これまでの事例の粒度特性とはかなり異なるようであれば、試験等により材料特性を調査し、所要の特性値が得られるかどうか確認する
水	- 通常の河川水を使用して良い 酸、塩類、有機不純物等が特に大量に含んでおり、明らかに悪影響を与えられられる場合には使用しないようにする

(4)設計・配合

今回の施工における目標強度、単位セメント量等は以下のようにになっている。

表 2. 6 西滝ヶ谷低ダム群 5 号低ダムの設計・配合

目標強度	4 N/mm ²
単位セメント量	1 6 0 kg/m ³
単位水量	1 3 0 kg/m ³ 程度

(5)施工法の概要

施工手順は以下のとおりである。

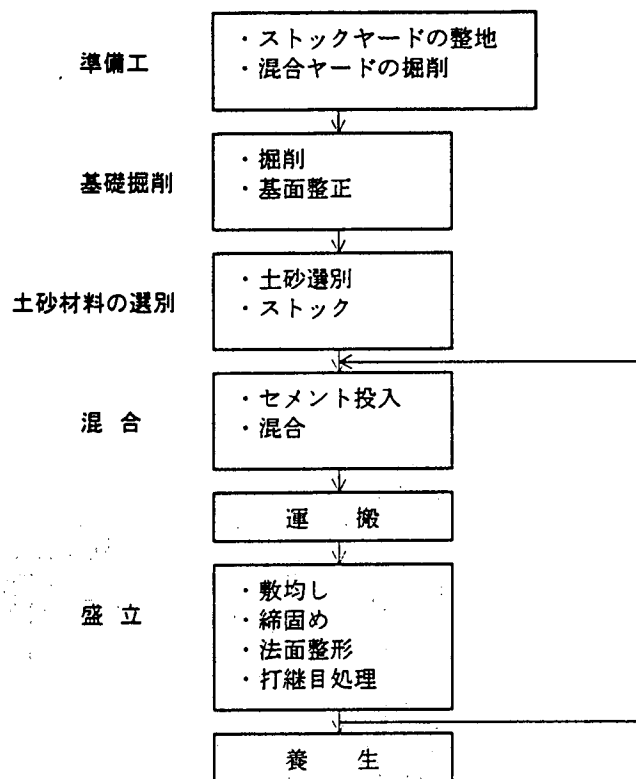


図 2. 5 施工フロー

資料：建設省近畿地建六甲砂防工事事務所：パンフレット「インセム工法（現場発生材料の有効利用）」

また、施工上の留意点を以下に示す。

- ・法面の仕上げ方法として、表面をアイオン等で削ると、ある程度の強度が出るため予想以上に割れる。
- ・土砂に粘性土が混じると混合、転圧が難しい。

表 2. 7 六甲砂防工事事務所管内の INSEM ダムの施工に使用された施工機械及び設備

種 別	項 目	機 械	設 備
土砂選別	選別	バックホウ (0.6m ³)	鋼製スクリーン
	運搬	クローラダンプ (2.5t)	—
混 合 ^{*1)}	投入	スケルトンバックホウ (0.4m ³)	—
	混合	スケルトンバックホウ (0.4m ³)	[鋼製コンテナ]
運 搬 ^{*2)}	—	[クローラダンプ (2.5t)]	—
盛 立	敷均し	スケルトンバックホウ (0.4m ³)	—
	締固め	ブルドーザ (D20)	—
		振動ローラ (3t)	—
		タンパ (80kg)	—
	打継目処理	—	—
養 生	—	—	シート, 土砂
法面整形	—	ブレーカー付バックホウ (0.1m ³)	—

*1) 水通し天端の盛立まで盛立ヤードで混合し、袖部の盛立には上流右岸側溪床上に鋼製混合コンテナを移動して、その中で混合した。

*2) 左岸袖部の施工においてのみ、クローラダンプを使用した。その他の箇所では、混合ヤードがそのまま盛立ヤードになるので INSEM の運搬は必要ない。

資料：建設省近畿地建六甲砂防工事事務所：パンフレット「インセム工法（現場発生材料の有効利用）」

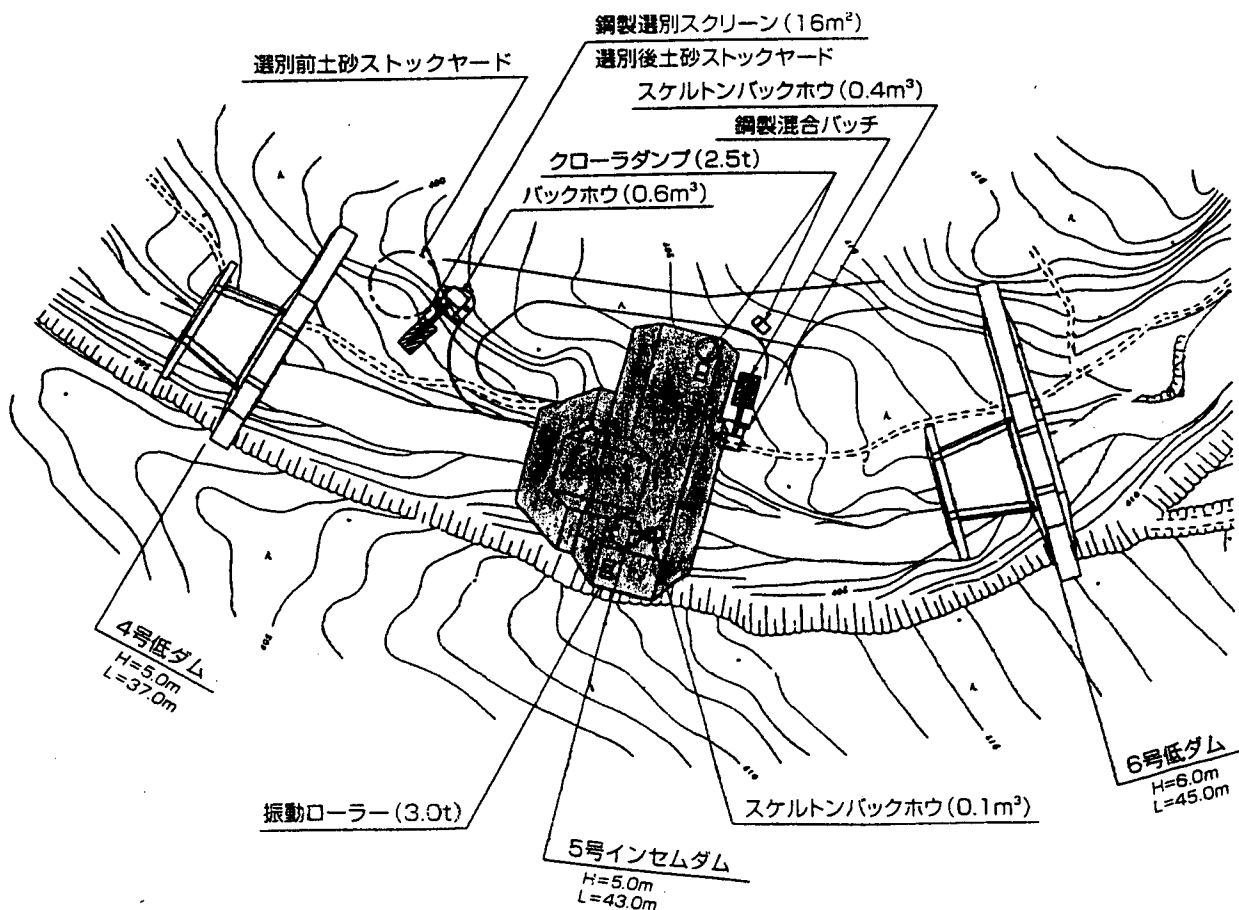


図 2. 6 施工機械の配置(六甲砂防工事事務所管内の INSEM ダムの事例)

資料：建設省近畿地建六甲砂防工事事務所：パンフレット「インセム工法（現場発生材料の有効利用）」

(6)品質管理

品質管理の項目と内容を以下に示す。

表 2.8 施工管理の項目と内容

種別	項目	規格値	解 説
土砂の ストック	粒度 ^{*1}	80mm未満 (径1mm以下50%以内 径0.074mm以下15%以内)	・土砂材料は、その含水比について、できるだけ適切に管理する必要がある。 ・使用日以前の約5日間に大雨が降っていなければ、通常特に含水比の調整をしなくても使用できる場合が多い。 ・またその間に大雨が予想される場合には、土砂にシートをかぶせたりして適切に対処する。 ・現場では含水比をチェックし、所要の値よりもかなり大きい (W/Cで+20%以上) のであれば、数日間その材料の使用を待ったり、乾いた土砂材料を加えたりして調整する。
	含水比 ^{*2}	8～13%	
混合・敷均し管理	材料投入量	土砂7.3・ セメント1.0 t	・混合時に付加する水量をできるだけ適切に管理する必要がある。 ・土砂材料とセメントの混合は、時間で管理する。・本施工の前に予備的に混合してみて、所要の時間で均質な混合が可能かどうかを検証しておく。 ・この時、視覚的に均質の度合いを把握することが主となるが、フェノール等を使用してセメントに反応した色の変化が均一になっているかどうかで調べても良い。
	時間	15分以上	
	混合度合 ^{*2}	目視による一様変色	
	セメント量 ^{*1}	160kg/㎡以上	
	厚さ	20cm以下 (仕上り厚15cm)	
	時間	混合後～敷均し後まで30分以内	
締固め管理	回数	8回以上	・締固めは、転圧回数によって管理する。 ・標準の振動ローラを使用しない場合には、締固め エネルギーなどを参考にしてその転圧回数を決める。
	時間	混合前～締固め後まで2時間以内	
	乾燥密度 ^{*1}	1.95t/㎡以上	
養生	露出面	湿潤養生を7日間以上または 次層打設まで	・施工後の表面は、温度条件を緩和し、かつ湿潤状態に保つために、シートで覆って養生する。
その他	法面整形	余盛り30cm以上 削取り30cm(水通し部) 10cm(それ以外)	・法面整形はタンバにより締め固め整形を行う。
	打継目処理	セメント0.5kg/㎡程度散布	・長時間放置した面、土砂が載っているような面は、その部分を清掃し、十分に吸水させると共に、表面の水を完全に除いた後に上層の敷均しを行う。

*1：原則として施工の初期、中期及び後期の3回実施する。ただし、土砂状態が変化すると予想される場合には必要に応じて実施する。

*2：原則として毎日1回実施する。

資料：建設省近畿地建六甲砂防工事事務所：パンフレット「インセム工法（現場発生材料の有効利用）」

(7)施工後の材料試験

表2. 8で整理した施工管理時の試験以外に、養生後に表2. 9に示すような試験を行い、必要強度を満たしているかどうかのチェックを行う。なお、本事例は、水通し部及び水叩き部にINSEMが露出する構造となっているため、これらの個所で射水侵食試験(図2. 7 参照:射水圧力0.5N/cm²、射水角度30°、射水時間60分)が行われた。

表2. 9 INSEM 養生後における試験項目

区 分	試 験 内 容	試 験 項 目
養生後	標準供試体強度	一軸圧縮試験
	コアサンプリング	コア外観観察
	及びコア強度	コア一軸圧縮試験
	現場透水試験	変水位法

資料：建設省近畿地方建設局六甲砂防工事事務所

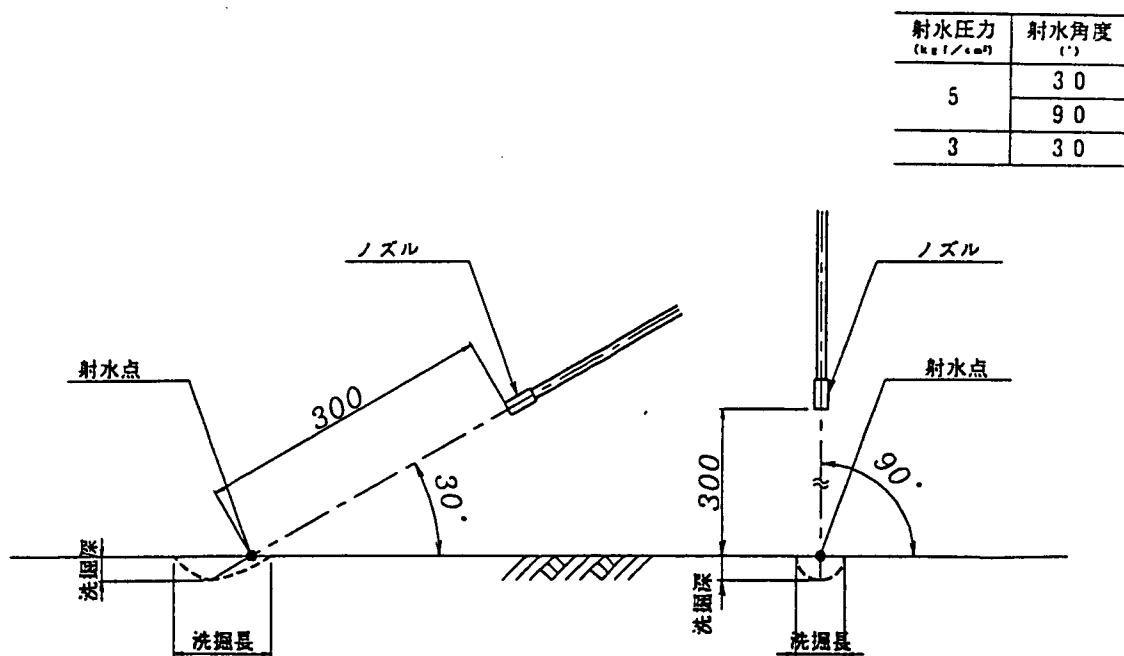


図2. 7 射水侵食試験

資料：建設省近畿地方建設局六甲砂防工事事務所

(8)課題等(主に現場担当者の声)

本事例で現地発生土砂を利用するにあたっての課題・問題点を整理すると以下ようになる。

- ①事例地の場合、当初の計画より転石・巨石が多かったことから、仮置き・ふるい分けが必要となり、施工性が落ちた。当初の計画より広い作業ヤードが必要となった。
- ②セメントと土砂の均一化は使用する機械により施工能力が決定される。混合作業は全体に占める割合が大きい。
- ③湧水・流水対策は充分行う必要がある。不十分な場合、セメント分の流出や転圧不可能となり、再施工となる。事例地では、堤体外の下部約50cmのところに2箇所排水管(φ150塩ビ管)を布設、及び袖部の湧水箇所にも同様の排水管を布設した。
- ④大出水時には、土砂が堆積し施工できなくなった。何度か被災した。
- ⑤本ダムの水通し勾配及び縦断勾配が、それぞれ1:1.0、1:1.5となっているため、法肩部の転圧が機械施工できない。機械施工可能な勾配(1:3.0程度)に変更するか、30~50cm程度の余盛りで対応するか等の断面にする必要がある。今回は余盛りとして約30cm程度広く施工し、最終的に削り取り仕上げとしたが、切り口面の仕上がりを滑らかに整形することはできなかった。結果的に、むしろ強度が劣ることを前提に余盛りとして残置する方が有利であると考えられる。
- ⑥転石の多い現場では、今回使用した混合材料を心材として、上下流に転石を利用したロックフィルダムがよいのではないか。
- ⑦流量の多い河川では、半川締切りと暗渠管2箇所の設置により、施工することとなるが、湧水があるので1~2リフト分(0.15~0.3m)は均しコンクリートでの施工がよいのではないか。また、暗渠として発生礫、転石を利用すると効果的である。
- ⑧土砂が反応定着されるまでの間、セメント分の流失が考えられ、生態系に影響を与える恐れがある。水質汚濁防止策が必要である。
- ⑨コスト面では従来ダムと較べ若干安くなった。今回の施工では埋戻しとして間詰めにも混合材料を使用したことと、ダム本体の計画断面が大きいため、掘削量が従来ダムの約2倍となった。

2.1.2 九州地方建設局雲仙復興工事事務所の事例

(1) 現地発生土砂利用の目的及び背景

九州地方建設局雲仙復興工事事務所では、水無川砂防ダム群の施工に際し、土石流に対する安全性の確保に加え、土石流に対するダム効果の早期発現、作業員の安全確保のための無人化施工技術の活用を含む省人力施工、雲仙・普賢岳の火山抛出处(現地発生材)の処理等の問題を総合的に解決可能な工法を採用することが望まれた。

そこで採用された工法は、河床砂礫や廃棄岩等の現地発生材にセメントを添加混合することにより、強度増加を図り、改良盛立材として有効利用しようというものである。これは一般に、CSG (Cemented Sand and Gravel) 工法と呼ばれ、その施工は粗粒材料とセメントを現場で混合後、ダンプトラック等で運搬、ブルドーザで敷均し、振動ローラで転圧し、構造物等を築造するものである。

この工法は、仮締切堤の合理化施工(経済性、工期短縮等)を、当面の技術開発の目標とされ、平成4年度に建設省中部地方建設局の長島ダム上流仮締切堤において初めて実施された。

九州地方建設局雲仙復興工事事務所での施工においては、以下の①～③に示す課題を解決する工法として採用された。これらに加え本事例におけるメリットとしては④が考えられる。

①土石流に対するダム効果の早期発現が可能(工期の短縮)

施工法は、フィルダムの施工とほとんど変わらず、土質コア型構造物に比べ、降雨による規制の緩和が図られ、工期の短縮が期待できる。

②作業員の安全確保が可能(無人化施工技術の活用を含む省人力施工)

打設面は面状となるため、事例地においては作業員の安全確保という観点から有利な工法となる。また、今回は有人施工となったが、事例地で無人化施工で併用されたRCC (Roller Compacted Concrete) 工法と根本的には同種の工法であるため、無人化施工も十分に可能となる。

③雲仙・普賢岳の火山抛出处(現地発生材)の現場内処理が可能

流域内には火山抛出处が膨大に存在し、これら現地発生材の有効利用が可能な工法である。

特に今回の施工において母材となった土石流(火砕流)堆積物は、締め固めやすい材料であり、試験施工の結果では圧縮強度・密度ともに期待値を大きく上回る結果となっている。

④コスト縮減及び効率的な施工が可能

流域内の除石工事等で発生した土砂(火山抛出处)を利用することにより、土砂の運搬及び処分費の縮減が図れる。

特にダム計画地点周辺に多く存在する土石流(火砕流)堆積物を利用するため、通常コンクリート工法に比べ材料費を縮減可能である。

通常コンクリート工法に比べ、工期短縮及び省人化を図ることが可能であり、人件費及び機械経費等の縮減が図れる。

(2) 物理・力学特性

混合材料の物理・力学特性としては、試験施工時の室内試験により以下の数値が得られている。

表 2. 10 水無川砂防ダム群の物理・力学特性

試験名		結果の概要																													
母材試験	土粒子の密度試験	密度＝2.568g/cm ³																													
	比重・吸水率試験	合成比重＝2.555(採取時)～2.554(26.5mm以下) 吸水率＝4.48％（53.0～26.5mm） 5.22％（26.5～9.5mm） 6.41％（9.5～4.75mm） 粒径が大きくなるほど低い値を示す																													
	含水比試験	含水比＝4.7％（採取時） 4.5％（26.5mm以下） 細粒分が多い試料ほど高い値を示す																													
	粒度試験	<table><tr><th rowspan="2">材料状態</th><th colspan="4">粒度分布(％)</th><th rowspan="2">日本統一土質分類</th></tr><tr><th>礫 分</th><th>砂 分</th><th>シルト分</th><th>粘土分</th></tr><tr><td>採取時</td><td>52.2</td><td>41.1</td><td>3.8</td><td>2.9</td><td rowspan="3">シルト混じり礫(G－M)</td></tr><tr><td rowspan="2">26.5mm以下</td><td>54.4</td><td>38.2</td><td>4.5</td><td>2.9</td></tr><tr><td>52.9</td><td>39.7</td><td>4.4</td><td>3.0</td></tr></table>				材料状態	粒度分布(％)				日本統一土質分類	礫 分	砂 分	シルト分	粘土分	採取時	52.2	41.1	3.8	2.9	シルト混じり礫(G－M)	26.5mm以下	54.4	38.2	4.5	2.9	52.9	39.7	4.4	3.0	
	材料状態	粒度分布(％)					日本統一土質分類																								
礫 分		砂 分	シルト分	粘土分																											
採取時	52.2	41.1	3.8	2.9	シルト混じり礫(G－M)																										
26.5mm以下	54.4	38.2	4.5	2.9																											
	52.9	39.7	4.4	3.0																											
締固め試験	最大乾燥密度＝約1,820kg/m ³																														
一軸圧縮試験	一軸圧縮強度＝約0.04N/mm ²																														
三軸圧縮試験	粘着力＝0.034N/mm ² 内部摩擦角＝42.8度																														
CSG配合	一軸圧縮試験	一軸圧縮強度＝12.1N/mm ² （含水比12％のとき） 乾燥密度＝1,850kg/m ³ 以上																													
	透水試験	透水係数 練り混ぜ後含水比＝4～11％の範囲 : 10 ⁻³ ～10 ⁻⁴ cm/sec 練り混ぜ後含水比＝11％以上 : 10 ⁻⁷ ～10 ⁻⁸ cm/sec 乾燥密度＝1,800～1,950kg/m ³ の範囲 : 10 ⁻³ ～10 ⁻⁴ cm/sec 乾燥密度＝上記以上 : 10 ⁻⁷ ～10 ⁻⁸ cm/sec																													
合試験	耐久性試験	損失重量百分率＝概ね1％未満 なお、耐久性試験の仕様は以下のとおり																													
	<table><tr><th colspan="2">項 目</th><th>試験仕様</th><th>試験規格</th></tr><tr><td rowspan="5">供試体の条件</td><td>供試体の寸法</td><td>直径10cm、高さ20.0cm</td><td rowspan="5">ASTM D 559</td></tr><tr><td>試験材令</td><td>7日、28日</td></tr><tr><td>供試体の作製方法</td><td>1Ecで動的締固め</td></tr><tr><td>セメント添加量</td><td>140kg/m³</td></tr><tr><td>含水比</td><td>2種</td></tr><tr><td rowspan="5">耐久性</td><td>試験期間</td><td>12サイクル</td><td rowspan="5"></td></tr><tr><td>1サイクル</td><td>48時間</td></tr><tr><td colspan="2">浸水 : 5時間 乾燥（温度：71°） : 42時間 室温まで放置 : 1時間</td></tr><tr><td>浸水乾燥後の測定</td><td>損失分の重量 一軸圧縮強度（JSFT511）</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>				項 目		試験仕様	試験規格	供試体の条件	供試体の寸法	直径10cm、高さ20.0cm	ASTM D 559	試験材令	7日、28日	供試体の作製方法	1Ecで動的締固め	セメント添加量	140kg/m ³	含水比	2種	耐久性	試験期間	12サイクル		1サイクル	48時間	浸水 : 5時間 乾燥（温度：71°） : 42時間 室温まで放置 : 1時間		浸水乾燥後の測定	損失分の重量 一軸圧縮強度（JSFT511）	
項 目		試験仕様	試験規格																												
供試体の条件	供試体の寸法	直径10cm、高さ20.0cm	ASTM D 559																												
	試験材令	7日、28日																													
	供試体の作製方法	1Ecで動的締固め																													
	セメント添加量	140kg/m ³																													
	含水比	2種																													
耐久性	試験期間	12サイクル																													
	1サイクル	48時間																													
	浸水 : 5時間 乾燥（温度：71°） : 42時間 室温まで放置 : 1時間																														
	浸水乾燥後の測定	損失分の重量 一軸圧縮強度（JSFT511）																													

(3)設計・配合

本工事での混合材料の設計・配合は、以下に示すとおりである。

表2. 1 1 水無川砂防ダム群の設計・配合

設計強度	3 N/mm ²
粗骨材の最大寸法	1 5 0 mm
単位セメント量	8 0 kg/m ³
単位水量	1 9 4 kg/m ³
骨材量	1 , 7 7 0 kg/m ³
含水比	1 0 ± 2 %
セメントの種類	高炉B種以上

(4)施工手順及び施工上の留意点

施工手順は以下のようになる。

表2. 1 2 水無川砂防ダム群の施工手順

区 分	施 工 内 容
準備 仮設工事	①運搬路等造成→資機材及び混合材料の搬入・搬出のための工事用道路、運搬路を設置する ②バッチャープラント・セメントサイロ・ベルトコンベアの設置→混合材料練り混ぜ用のバッチャープラント、及びストックヤード等を設置する ③母材の採取→スケルトンバケットで粒径150mm以下に篩い分ける ④母材の貯蔵→排水勾配を十分に確保し、表層部を密な状態にしておくことに留意して水分管理を実施する。
本工事	①混合→バッチャープラントで母材(現地発生材)とセメントを混合し混合材料を作成する ②運搬→製造した混合材料を敷均しゾーンまで運搬する (ダンプトラック 10t級) ③敷均し→運搬された混合材料を一定の厚さに敷均すこととし、撒き出し厚は26cmとする (ブルドーザ 2.1t級) ④転圧→敷均された混合材料を10t級の振動ローラを使用して仕上がり厚約50cmの場合で4回(2往復)とする(散水車 2.5m ³) ⑤法面整形→法面整形の方法としては転圧後2層分整形による方法が適している(土羽バケット 使用バックホウ 0.35m ³) ⑥養生→転圧された混合材料を一定期間養生する
後片づけ	①プラント撤去

また、施工上の留意点を以下に示す。

- ・混合された材料は、速やかに所定の位置に分離が生じないように運搬する。
- ・敷き均された混合材料は、できるだけ速やかに締め固めるものとする。やむを得ず長時間放置する場合は、シート等により表面を覆うなどの措置を講じる。
- ・打設時に、時間雨量2mm以上の降雨があった場合は、所定のリフト高に達しなくても、適切な処理を行い打設を中断しなければならない。

(5)品質管理

品質管理の試験項目と試験方法等は表2.13に示すとおりである。また、管理方法及び管理基準値等を表2.13に示す。

表2.13 品質管理項目

	試験項目	試験方法	試験基準	管理方法	試料採取	管理基準
材 料	突固め試験	JIS A 1210土の締固め試験	施工開始前1回 施工中、材料及び 配合に変動が生じ た場合はその都度 1回	結果表	試料採取位置 又は骨材ストック ヤード	土質工学会基準 及び コンクリート 標準示方書
	ふるい分け試験	JIS A 1204土の粒度試験 JIS A 1102骨材のふるい分け試験	1日1回			
	比重及び 吸水量試験	JIS A 1109細骨材の比重吸水量試験 JIS A 1110粗骨材の比重吸水量試験				
	三軸圧縮試験	土質工学会基準	施工開始前1回 施工中、材料及び 配合に変動が生じ た場合はその都度 1回			
	含水量試験 (自然含水比)	乾燥前後の重量差の計測により実施 (直火法)	2時間1回及び降雨 等の気象変化時に は逐次実施	結果表、 X-R管理図 及び度数表	骨材ストックヤード	－
練 り 混 ぜ 後	含水量試験 (練り混ぜ後)	乾燥前後の重量差の計測により実施 (直火法)	2時間1回	結果表、 X-R管理図 及び度数表	混合材料製造 設備	－
	フェノールフタレイン溶液 散布による目視 確認		1日1回			目視
	圧縮強度試験	JIS A 1108圧縮強度試験方法 供試体作成	500m³に1回 または1日1回 1回あたりσ ₇ , σ ₂₈ , σ ₉₁ 各3本	結果表、 X-Rs-R _m 管理図 及び度数表	混合材料製造 設備	コンクリート 標準示方書
	単位セメント量 試験	滴定法	1日1回			結果表、 X管理図 及び度数表
現 場	現場密度測定	R I による測定	1日2回	結果表、 X-R管理図 及び度数表	打設現場	－
	転圧回数と 沈下量の測定	1.撒き出し厚の測定(転圧前) 2.転圧終了後の厚さの測定 3.沈下量の測定 4.転圧回数の測定	1日1回			
	打設記録	各層各位置毎の打設時間を記録する 1.練混ぜ開始時刻 2.敷均し開始及び完了時刻 3.締固め開始及び完了時刻	施工時常時			

表 2. 14 品質管理項目と内容

項 目	目 的	管理方法	管理基準値
①母材の 自然含水比の管理	・ 所定の練混ぜ後含水比を確保するために必要な加水量を決定することを目的に実施する	・ フライパン法により測定 （直火法）	$W_n \leq 12.0\%$
②練混ぜ後 含水比の管理	・ 強度は含水比により大きく変化することが室内試験及び試験施工により確認されており、所定の強度及び品質を確保するために練り混ぜ後含水比を管理する	・ フライパン法により測定 （直火法）	$W' \leq 10 \pm 2\%$
③R I 法による密度 及び含水比の管理	・ 打設直後の密度及び含水比により品質を管理することを目的とする	・ R I 法	乾燥密度 $\rho_d = 1.85 \text{ t/m}^3$ 以上とする （参考値） $\rho_{dR1} = 1.875 \text{ t/m}^3$ $\rho_{tR1} = 2.050 \text{ t/m}^3$ $W_{R1} = 6.5 \sim 13.0\%$
④圧縮強度及び 乾燥密度の管理	・ 混合材料の品質管理を目的に実施する	・ 打設時に作製した標準供試体をもって管理する 【圧縮強度】 通常のコンクリートと同程度の管理とする 「同時に造った3本の供試体の平均値は、基準強度(q_u)の80%を1/20以上の確率で下回ってはならない」 【乾燥密度】 セメント安定処理路盤と同程度の管理とする 「目標乾燥密度(ρ_d)の93%を20回に1回以上の確率で下回ってはならない」	$q_u = \sigma_{28}$ $= 3.0 \text{ N/mm}^2$ $\rho_d = 1.85 \text{ t/m}^3$

(6)課題・問題点

本事例で現地発生土砂を利用するにあたっての課題・問題点を整理すると以下のようになる。

- ①本事例での混合材料は、設計強度が 3.0N/mm^2 と小さく単位セメント量が 80kg/ と少ないため、長期的な耐久性及び耐侵食性については、現状では不明である。従って、定期的な強度測定、及び法面状態観測を行うことが望ましい。また予想以上に侵食が進行したり、耐久性に欠け堤体に支障をきたす場合には、補修するとともに、表面に耐久性及び耐侵食性に優れる材料等で被覆する等の対応が必要となる。
- ②打設面に目地がなく、乾燥が早いためクラックが発生しやすくなる。(養生に注意が必要)
- ③転圧回転数が適切でないと振動ローラーが跳ねる場合がある。(施工管理)

2.1.3 北陸地方建設局神通川水系砂防工事事務所の事例

(1) 現地発生土砂利用の目的及び背景

砂防設備は、機能的に最も効果的な位置と、地形的・地質的にも良好な施工位置を選定することが理想であるが、現実的には厳しい条件下での施工が必要となることが多い。

また砂防設備は、概ね2～3m程度の最小根入れ深さを確保するように設計するため、ダムサイトの地形が急峻で砂礫層が深い場所では、河床面下での掘削、型枠組立、コンクリート打設などの一連の作業は危険を伴うものとなっており、人力による危険な環境下での作業を軽減するための省力化工法が求められていた。

一方で、砂防設備が建設される地点での河床砂礫は、巨石が混在するものの、多くの場合はコンクリート用骨材と同程度の物性を有すると考えられる。

これらを背景に、北陸地方建設局では、平成4年度から河床地盤内に砂防設備の基礎として所用の強度を期待でき、河床の掘削を極力低減できる工法の開発を進めていた。

本事例で採用された工法は、ISM (In Situ Mixing) 工法と称されているが、その内容は、構造物を築造する現位置において、現地の河床砂礫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ダを用いて攪拌、混合し、所定の強度を有する混合体を現位置に形成するものである。

神通川水系砂防工事事務所での施工事例からは、以下のメリットがあげられている。

① 施工の省略化が可能

型枠及び足場の組立・解体、コンクリート打設等の人力重作業がなくなり、少人数の作業員で汎用的な機械設備を使用して施工できる。本事例においては、湧水が発生しない場所では、1層目の掘削が省略され、掘削土量が15～20%減少した。

② 工期の短縮が可能

事例地は標高1,500mの高所に位置し、11月以降は降雪・積雪が予想される地区である。そこで早期の工事完了は重要な課題になると考えられる。当該工法の採用により、掘削数量の減少、型枠と足場の組立・解体作業工程の省略、機械化による急速施工等により、10～20%程度の工期短縮が可能となった。

③ 建設副産物が軽減する

事例地は活火山焼岳の直下に位置し、度重なる焼岳の噴火により生じた噴出土砂が、巨石を含めて広く堆積している地区である。本工法では、これら現地にある河床砂礫を骨材としてコンクリート体を形成するため、本事例においては掘削土＝攪拌土＋埋戻しとなり建設残土はほとんど発生していない。

④ コスト縮減が可能

施工の省力化、工期の短縮、建設副産物処理の軽減等が図られ、本事例では10～20%のコスト縮減が図られた。

⑤ 施工の安全性が向上する

地表掘削面下の狭い空間や足場上での人力作業がなくなると同時に、急速施工により床掘法面の放置

期間が短縮される。本事例においては掘削法面の放置期間は1～2日となり、安全性の向上効果は大きい。

また、クレーンによる型枠移動やコンクリート打設作業の減少による安全性も考えられる。

⑥周辺環境に与える影響の緩和

事例地は自然環境に恵まれ、動植物が多数生育していると考えられる。このような地区においては、建設残土の運搬やコンクリートの搬入を軽減することにより、工事車両が環境に与える影響を緩和することが考えられる。

(2)物理・力学特性

事例地の試験施工として、設計と同じ配合で行われた強度試験の結果より以下の数値が得られている。

表 2. 1 5 餌掛谷上流砂防ダム群の物理・力学特性

項 目	試験施工で得られた試験値	備 考
単位セメント量	300 kg/m ³	
圧縮強度	7.17～5.68 N/mm ² 19.6～18.9 N/mm ²	7 日 28 日
曲げ強度	2.20 N/mm ²	28 日
せん断強度	2.11 N/mm ²	28 日
曲げ/圧縮	1/8.9	28 日
せん断/圧縮	1/9.3	28 日

また、骨材の比重・吸水率試験の結果は、以下に示すとおりである。

表 2. 1 6 餌掛谷上流砂防ダム群の骨材の比重・吸水率試験結果

位 置	砂			砂 利			混合 吸水率 S:G=3:7	洗い試験 %
	表乾比重	絶乾比重	吸水率%	表乾比重	絶乾比重	吸水率%		
2号本ダム	2.46	2.35	4.60	2.24	2.04	9.94	8.34	10.2
2号副ダム	2.44	2.38	2.50	2.40	2.30	4.35	3.80	8.8
3号副ダム	2.26	2.12	6.56	2.40	2.30	4.33	5.00	20.8
4号副ダム	2.20	1.97	11.35	2.42	2.32	4.16	6.32	17.5

(3)使用材料

使用材料については、以下が示されている。

表 2. 1 7 使用材料の処理作業

項 目	概 要
河床砂礫	①表土処理 落葉等を含む腐植土や流木、朽ち木等は、混合材料の品質に大きな影響を与えるため、攪拌混合に使用する河床砂礫と混合しないように事前に取り除く。 ②巨石撤去・粒径処理 河床砂礫の粒径は、大径礫の混入によりツインヘッドの回転が停止したり、機械に損傷を与えることが考えられる。また大径礫が多量に混入すると攪拌土の単位容積重量、含水率等が変化するため、得られる混合材料の品質に影響を与えることとなる。 そこで、基本的に使用する河床砂礫の適用粒径はφ300mm以下を標準とし、事前に巨石撤去・粒径処理の作業を行う。 ③含水率管理 河床砂礫は、攪拌混合後の水セメント比が60%を超えないように含水率の調整を行った上で使用する。

(4)設計・配合

本工事での混合材料の設計・配合は、以下に示すとおりである。

表 2. 1 8 餌掛谷上流砂防ダム群の設計・配合

設計強度	18 N/mm ²
粗骨材の最大寸法	300 mm
単位セメント量	300 kg/m ³
単位水量	115.8 kg/m ³
減水剤	4.50 kg/m ³
A E 剤	0.48 kg/m ³
攪拌に使用するセメントミルクの水セメント比	40 %
攪拌混合後の水セメント比	60 %以下
攪拌混合時間	3 分/m ³
セメントの種類	高炉 B 種

(5) 施工手順及び施工上の留意点

施工手順は以下のようになる。

表 2. 1 9 餌掛谷上流砂防ダム群の施工手順

区分	
仮設工事	①工事用道路・プラントヤード造成→資機材の搬入・搬出のための工事用道路、及びプラントヤード、作業ヤード、粒径処理ヤード等の仮設ヤードを作業効率を考慮して配置する ②プラント設備及び工事用資機材搬入、プラント組立、水源確保→セメントミルク製造プラントは、所要の品質のセメントミルクを製造し圧送できる能力を備える ③表土処理、外水処理（必要に応じ）→腐植土等は、すき取りを行い排出する。浸透水や伏流水は、W/Cの維持のために排除する
本工事	①粒径処理（巨石除去）→ツインヘッダ（90°回転型）の能力等から、粒径300mm程度以下のものに粒径処理する ②ほぐし処理→攪拌混合を容易にするため、河床砂礫をバックホウで緩くほぐす ③攪拌土埋戻→埋戻し前に含水量の確認を行った後、攪拌混合する位置に埋戻す ④攪拌混合→ツインヘッダによって攪拌土とセメントミルクを均一かつ十分に混合する（バックホウ 0.7m³油圧配管付） ⑤水平打継目処理→上・下層間に生じる水平打継目は、一体化のための継目処理を行う ⑥鉛直打継目処理→一体化が必要な混合体は鉛直打継目処理を行う ⑦表面処理→混合体の天端高は、各層ごとに所定の高さとなるよう平坦に仕上げる ⑧養生→施工後の一定期間、適切に養生しなければならない。期間は7日間とする。
後片づけ	①プラント撤去

また、施工上の留意点を以下に示す。

- ・ W/Cの維持のために、浸透水や伏流水の影響を受ける場合には、速やかに排除するために適切な排水を行う。
- ・ 粒径300mm以上の巨石・大径礫を多く含む箇所では、排除した量に相当する砂礫が不足するので、最寄りの河床砂礫の使用計画をたてておく。
- ・ 攪拌混合計画を立てるには、機械（バックホウ）の作業位置に対する施工基面の高さ、施工可能幅など、ツインヘッダの施工範囲（作業可能範囲）を理解する。
- ・ 降雨等によりW/Cに影響する恐れがあるときには施工を中止し、適切な処置を講じなければならない。すなわち、攪拌混合前においては、攪拌混合箇所と仮置き材料にはシート等で覆いをし、雨水が当たらないような処置を講ずる。また、攪拌混合中においては、施工を中止し、再開に当たっては水平・鉛直打継目処理を確実にを行い一体化を図る。

(6)品質管理

品質管理の項目と内容を以下に示す。

表 2. 20 品質管理の項目と内容

管理項目	内 容
含水率測定	・ 攪拌土の表面水は、混合材料の品質に与える影響が大きいため、含水率の管理は特に留意して行うものとし、攪拌混合後の水セメント比60％を確保して所要の強度が得られるように、攪拌混合前に攪拌土の含水率を測定し、材料の適否を判断する。 ・ 含水率の測定は短時間で行う必要があり、簡便な測定法として電子レンジ法（地盤工学会基準案 JSF T 122-1994）を採用する。 ・ 含水率の測定頻度は、1日2回（午前・午後）を標準とし、攪拌混合に利用する河床砂礫の土質変化が大きいと判断される場合や降雨等の気象変化時には、逐次測定を実施して材料の適否を判断する。 ・ 含水率の管理は、セメントミルクの水セメント比を40％とし、攪拌混合後の水セメント比を60％以下とするために必要な攪拌土の含水率の最大値を求め、使用する攪拌土の含水率がこの値以下となるように管理する。
攪拌土の 単位容積重量測定	・ 現地より採取した$0 < D < 300$の骨材について、500ℓ程度の容器で単位容積重量を計測し、実施工における表面水管理や空隙率を把握する。
セメントミルク 濃度測定	・ 混合材料の強度は、混合されるセメントミルクの単位セメント量と単位水量に影響される。これらはプラント設備で自動計量されるが、計量・練り混ぜ時に所要のセメントミルク濃度が得られないことも考えられるため、実際に混合されたセメントミルクの濃度を比重計で測定し管理する。 ・ 測定試料は、ツインヘッダのセメントミルク吐出口、またはプラントのアジテーターから採取し、マッドバランサーにより測定する。 ・ 測定の頻度は2回/日（午前・午後）とするが、計量器のキャリブレーションミスや、ミキサー内壁へのセメントの付着等により、濃度に変動があると認められる場合には、その都度測定し、原因を明らかにするとともに適切な処置を講ずる。
空気量試験	・ 空気量の測定は、圧縮強度試験の供試体採取時に行うものとし、測定の頻度は1日1回とする。
圧縮強度試験	・ 混合材料の強度は、攪拌混合直後に採取した供試体の圧縮強度試験により確認する。
混合材料の 単位容積重量測定	・ 混合材料は河床砂礫を材料として使用することから、骨材の比重の変化によって、所要の単位容積重量が得られない場合も考えられるため、現地で採取した圧縮強度試験供試体の寸法と重量を測定して、単位容積重量を求めるものとする。測定は圧縮強度試験の直前に行う。

(7)課題等(主に現場担当者の声)

本事例で現地発生土砂を利用するにあたっては、本工法の改良による「省力化の拡大」「単位セメント量の減少」を目指して試験施工が実施されている。それらの内容と結果を以下に示す。

①床掘省力化の拡大

【試験施工の目的】

・本工法は床掘省力化を目的に開発されたものであり、その拡大のために、河川砂防技術基準(案)による根入れを地盤の補強に置き換えると考え、水通し部以外の場所において根入部分を本工法で施工するものとし、ツインヘッドによりできるだけ深く($h=1.4\text{m}$ 程度)1層施工を行い床掘を極力少なくすることを検証する。

【試験施工の結果】

- ・攪拌混合深度 $h=1.2\text{m}$ までの施工性は良好である。
- ・攪拌混合深度 $h=1.2\text{m}$ 以上になると、ツインヘッドの回転が停止することが多く、ツインヘッドを上下方向に動かしながら攪拌混合を行わなければならない、施工能率が低下する。
- ・骨材の分離は発生しない。
- ・ブリーディング水は発生しない。
- ・上層部は均一な攪拌混合状態となるが、ややミルク過多になる。
- ・下層部、特に深度 $h=1.2\text{m}$ 以下については、攪拌混合状態が不均一になり、ミルク不足になる箇所が発生すると思われる。
- ・攪拌混合時間は $4\text{分}/\text{m}^3$ は必要と考えられる。通常施工 ($3\text{分}/\text{m}^3$) と比較すると、施工能率が25%低下することになる。

【今後の対応策】

- ・攪拌混合機械ツインヘッドを1ランク上位の機種とすれば、ツインヘッド径が $\phi 1,160\text{mm}$ となり(現在 $\phi 1,000\text{mm}$)、攪拌混合深度 $h=1.4\text{m}$ までの施工が可能となる。
- ・今後、大型工事の施工や急速施工が要求され、経済性を向上するために日施工量の増大を図ることが急務となっていることへの対応も可能となる。

②単位セメント量の減少

【試験施工の目的】

設計基準強度 ($18\text{N}/\text{mm}^2$) の概念を取り外し、単位セメント量を減少した改良を数ケース ($200\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $150\text{kg}/\text{m}^3$) 行い、施工の妥当性と砂防ダム基礎として必要な強度を検証する。

【試験施工の結果】

- ・表2.21のとおり

表 2. 21 単位セメント量減少試験結果一覧表

試験施工仕様	・全ミルク量 280ℓ/㎡ ・攪拌混合時間 3分/㎡ ・ツインヘッダの直径 $\phi = 1.0\text{ m}$ ・攪拌混合深度 $h = 1.0\text{ m}$	
単位セメント量	200 kg/㎡	150 kg/㎡
攪拌混合後の水セメント比	107%	154%
攪拌の施工性	攪拌混合の施工性は良好である	攪拌混合の施工性は良好である
攪拌混合状態	骨材の分離は発生しない ブリーディング水は発生しない 均一な攪拌混合状態となる	骨材の分離は発生しない 若干のブリーディング水が発生する 均一な攪拌混合状態となるが、セメントミルクの粘性が少なく、ややミルク過多の状態となる
練り上がり状態	凹凸がなく良好である	凹凸がなく良好である
攪拌混合時間	3分/㎡で十分である	3分/㎡で十分である
圧縮強度	$\sigma_7 = 3.04\text{ N/mm}^2$ $\sigma_{28} = 8.28\text{ N/mm}^2$	$\sigma_7 = 1.85\text{ N/mm}^2$ $\sigma_{28} = 3.78\text{ N/mm}^2$

【今後の方向性】

- ・今回の試験施工により、単位セメント量を減じてでも本工法により改良体が形成されることが検証されたため、今後は以下の定義と適用により開発を進めていく。

○工法の定義

本工法（ISM工法）は、構造物を築造する現位置において、現地発生 of 河床砂礫とプラントで混練りして圧送されるセメントミルクを、0.7㎡級バックホウに搭載したツインヘッダを用いて攪拌混合し、ISMコンクリートまたはISM改良体を現位置に形成する。

○工法の適用

表 2. 22 ISMコンクリートとISM改良体との比較

ISM工法		
ISMコンクリート		ISM改良体
高強度（ $\sigma_{28} : 18 \sim 24\text{ N/mm}^2$ ）	低強度（ $\sigma_{28} : 10 \sim 18\text{ N/mm}^2$ ）	地盤改良（ $\sigma_{28} : 5 \sim 10\text{ N/mm}^2$ ）
水セメント比を60%以下に管理し、 σ_{28} 圧縮強度18～24N/mm ² に改良	水セメント比は管理項目とせず、 σ_{28} 圧縮強度10～18N/mm ² に改良	単位セメント量のみを管理し、 σ_{28} 圧縮強度5～10N/mm ² に改良

2.2 事例からみた現地発生土砂活用工法の特性

前述の3事例をもとに、現地発生土砂活用工法の特性、留意事項等を整理すると表2.23のようになる。

表2.23 事例からみた現地発生土砂活用工法の特性

事 例		西滝ヶ谷低ダム群(5号床固)	水無川1号砂防ダム	餌掛谷上流砂防ダム群
事例地での 施工内容		・ 本堤全体に利用 ・ 単位セメント量=160kg/m ³ ・ 目標強度=4N/mm ²	・ 砂防ダム袖部に利用 ・ 単位セメント量=80kg/m ³ ・ 目標強度=3N/mm ²	・ 砂防ダム基礎部に利用 ・ 単位セメント量=300kg/m ³ ・ 目標強度=18N/mm ²
工 法 名		I N S E M工法	C S G工法	I S M工法
各 工 法 の 一 般 的 な 特 性	利用可能部位 の考え方	・ 砂防構造物の全体や部分あ るいは補助部材など	・ 施工法はフィルダムの施工 とほとんど変わらない	・ 特殊コンクリートと位置付 け、基礎部等、外気と直接 接触しない部位(無筋コン クリート構造物の地中部及 び内部コンクリート)に利 用可能
	基準等での 強度の 考え方	・ 「堤体水通し部」、「それ以外 の堤体部」、「盛土の押さえ 等」の3区分別に目標強度が 設定されている	・ 特に基準等が設定されてい ない	・ 「高強度」、「低強度」、「地盤 改良」の3区分別に目標強度 が設定されている
	主要材料特性	・ 目標強度 4N/mm ² ～2N/mm ² ～1N/mm ² (堤体水通し～それ以外堤体～盛土押さえ) ・ 透水係数 10 ⁻³ ～10 ⁻⁴ cm/sec台	・ 目標強度 3N/mm ² ・ 透水係数 10 ⁻⁵ ～10 ⁻⁶ cm/sec台	・ 目標強度 24N/mm ² ～10N/mm ² ～5N/mm ² (高強度 ～ 低強度 ～ 地盤改良)
	母材の条件	・ 粒径80mm程度以下 ・ 粒径の大きい地区では粒径 処理が必要となる ・ 水分条件等の管理が必要	・ 粒径150mm以下 ・ 粒径の大きい地区では粒径 処理が必要となる ・ 水分条件等の管理が必要	・ 粒径300mm程度以下 ・ 機械の能力上、40cm以上の 石は混合できず、除去する ・ 水分条件等の管理が必要
	作業ヤード の条件	・ プラントは必要なし ・ 3*3*1m程度の混合ヤードが 確保できること	・ バッチャープラント、スト ックヤードなどの用地が確 保できること	・ セメントミルク製造のプラ ントヤード(15*14m)が確保 できること
	資・機材 ・ 用水等 の条件	・ 小型の建設機械で施工可能 ・ 施工箇所河川水が利用で きること	・ 大型車両が進入できること ・ プラント用水が確保でき ること	・ 大型車両が進入できること ・ プラント用水を付近の流水 より確保できること
	計画上の 留意事項	・ 通常のコンクリート構造物 に比べ、のり勾配を緩傾斜 にすることから、施設敷の 面積が拡大する	・ 通常のコンクリート構造物 に比べ、のり勾配を緩傾斜 にすることから、施設敷の 面積が拡大する	・ ツインヘッドによる施工が 可能であれば、通常のコン クリート構造物の基礎に準 じた構造が可能(必要に応 じ攪拌余長を見込む)
	施工時の 留意事項	・ 降雨に対する配慮が必要 ・ 打継目の処理を確実に行う	・ 降雨に対する配慮が必要 ・ 打継目の処理を確実に行う	・ 降雨に対する配慮が必要 ・ 打継目の処理を確実に行う
	設置後の 留意事項	・ 耐久性の点検 ・ 必要に応じて補修	・ 耐久性の点検 ・ 必要に応じて補修	・ 特になし(コンクリート構 造物の基礎に準じる)

表2. 23からも分かるように、各工法はそれぞれの開発経緯、考え方により適用範囲や目標強度を設定している。その内容は、それぞれ異なるものも多いが、共通する事項も少なくない。

北陸地方建設局神通川水系砂防工事事務所 餌掛谷上流砂防ダム群で実施されているISM工法は、その開発目的が当初「床掘省力化」にあったことから、構造物基礎部における利用に重点が置かれ、混合材料により構造物を築立することは想定されていない可能性がある。また、通常のコンクリートと同程度の強度を発現するよう考えられていることから単位セメント量も多く、目標強度も他の2事例よりも高いにも関わらず地中部や内部コンクリートとして用いるよう限定的な適用となっている。

対して近畿地方建設局六甲砂防工事事務所 西滝ヶ谷低ダム群5号床固工で実施されたINSEM工法は、現地発生土砂を、土砂の特性を有したまま現場内利用を図るために考えられた工法である。そのため、混合材料の適用範囲が広く設定されており、現場技術者の自由な発想による応用を期待している。しかし自由度が高い反面、適用場所毎に、条件に応じた力学特性の再設定や、土砂材料に対する粒度の検討が求められている。

九州地方建設局雲仙復興工事事務所 水無川1号砂防ダムで実施されたCSG工法は、当初フィル材料の改良による強度増加を図るために考えられたものであるが、水無川においては、機械化等による合理化施工が可能である点などにより採用されたと推定される。現在では、このCSG工法を改良した工法として、「現地攪拌CSG工法」の試験施工が実施されている。これは、「CSG工法のさらなるコスト削減の可能性を探るため、バックホウを用いた現地攪拌によるCSG工法」であり、「現行CSG工法に比べて、バッチャープラントの建設・解体費用が縮減」されるものである。この現地攪拌CSG工法は、混合材料運搬の過程が含まれるものの、かなりINSEM工法に近いものと考えられる。

以上みてきたように、事例となった3工法は、それぞれ個別の名称を与えられ区別されているが、いずれの工法も、現地発生土砂にセメント等の固化材を混合した混合材料を、構造物に利用するという点では共通している。また、現地攪拌CSG工法のように、工法の発展改良にともない、各工法の区分が不明瞭になってきていることが実態であるといえる。

今後現地発生土砂の利用を考えるにあたっては、既存の工法名や基準等にとらわれすぎることなく、各々の現場状況に応じた利用方法を検討することが重要である。

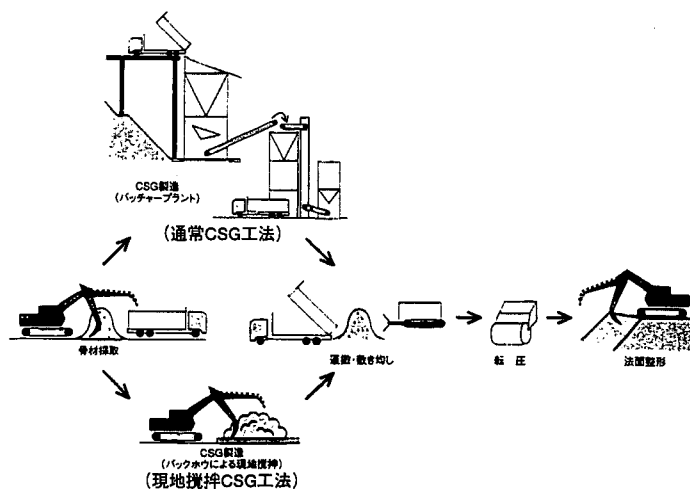


図2.8 通常CSG工法と現地攪拌CSG工法

3. 現地発生土砂利用の基本的考え方

3.1 現地発生土砂利用に際しての留意事項

以上みてきたように、現地発生土砂活用工法は、砂防構造物の全体や部分、あるいは補助部材など多用途に適用可能である。ただし現地発生土砂に固化材を混合した混合材料の特性から、採用にあたっては次の点に留意する必要がある。

①構造物の必要強度に応じた配合設計が必要

現地発生土砂を活用した工法は、河床砂礫の特性や、適用する構造物及びその一部の機能に合った必要強度に応じて配合設計しなければならない。

②通常のコンクリートに比して均一性で劣る

一般に、現地混合の場合には工場製品に比して均一性で劣る。

③通常のコンクリートに比して耐久性で劣る

一般に、自然環境の影響による劣化が通常のコンクリートより著しく、耐久性が低い。

④通常のコンクリートに比して透水性が高い

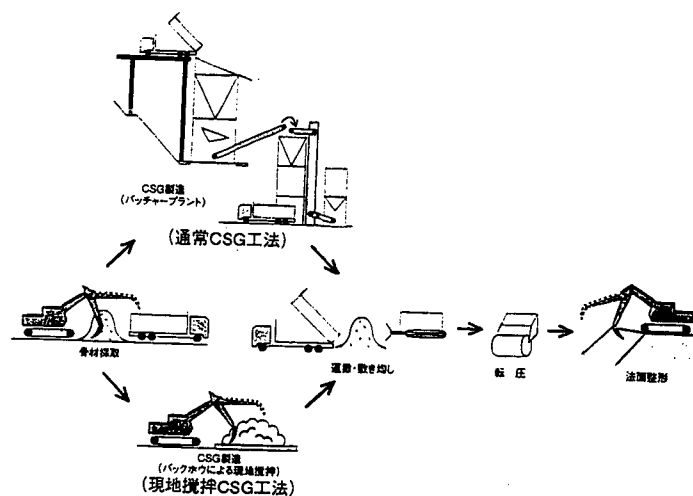


図2.8 通常CSG工法と現地攪拌CSG工法

3.2 現地発生土砂利用の基本方針

現地発生土砂の利用は、砂防事業の実施場所が多くは山間地域であるということから、自然環境の保全、施工の簡易化・安全性の向上などの面から有効であり、現場においては、治水上の安全性、用地の制約などの社会的条件、土地の適正利用との調整などの検討を経たうえで積極的に行うことが望まれる。

以下に現地発生土砂利用の基本方針を示す。

①通常のコンクリートの品質を確保する必要がある場所での使用は避ける。

現地発生土砂を利用した工法は、先の留意事項に示したとおり、均一性・耐久性等において通常のコンクリートに劣る場合が多い。そのため、構造物の機能の確保・維持のために通常のコンクリートの品質を確保する必要がある場所での使用は避けなければならない。

ただし、常時はあまり流水がなく、まれに小規模の土石流や洪水流が発生するような箇所では、構造物の一部分に若干の摩耗が生じたとしても砂防機能が極度に低下するとは考えられない。つまり、外力に対して十分な安定を確保することにより砂防機能が発揮される構造物の場合や、砂防設備の中詰等内部に用いる場合には、現地発生土砂の利用を積極的に考える。

②現地発生土砂量に応じた利用方針を立案する。

掘削土砂量、及び河床・溪岸から採取可能な土砂量には限界がある。現地発生土砂利用のために新たな土地の改変が生じることのないように留意し、利用方針を立案する。

③作業スペースの確保等、施工性において無理のない計画を立案する。

現地発生土砂利用のメリットの一つに施工性の向上がある。しかしながら、作業スペースや運搬経路の設定等において、周辺環境の改変が必要となることは避けなければならない。良好な施工性を確保できる施工計画を立案しなければならず、作業スペース等に問題のある場合には、再検討する必要がある。

④今後の工法普及へ向けてデータを蓄積する

先に述べたとおり、現地発生土砂利用工法のメリットとしては、コスト縮減、工期短縮、施工の省力化などがあげられるが、現時点では計画・施工に際しての既存データが乏しく、必ずしも相応の成果をあげているとは限らない。そこで、今後の工法普及への基礎資料として計画・施工データの蓄積が重要である。

3.3 現地発生土砂利用に際して必要な検討項目

砂防設備の築造に現地発生土砂を利用する場合の一般的な検討項目について表3.1に示す。それぞれの検討項目の詳細は次項で述べる。

表3.1 現地発生土砂利用に際して必要な検討項目

適用工種	適用箇所	適用部位	計画条件に関する項目					材料条件に関する項目			施工性に関する項目			備考	
			耐久性	耐摩耗性	透水性	遮水性	耐衝撃性	現地条件	粒度分布	発現強度	現存土砂量	作業ヤード	混合用水		その他
砂防ダム工・床固工	堤体本体	表出部	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△	必要に応じて、捨型枠、石張り、コンクリート等により混合材料の外側を保護する
		内 部	○	×	△	×	×	△	○	○	○	○	○	△	
	間詰工	表出部	○	○	○	△	×	○	○	○	○	○	○	△	堤体本体と併せて、間詰工を混合材料で同時施工することも可能である
	基礎置き換え	内 部	○	×	△	△	×	△	○	○	○	○	○	△	
	鋼製ダブルウォールの中詰材	内 部	○	×	×	×	×	△	△	△	○	○	○	△	中詰土砂のうち、外壁の破損によってこぼれ出す恐れのある部分を混合材料で強化する
護岸工	護岸工本体	表出部	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	△	摩耗を考慮し、必要に応じてコンクリート捨型枠等で表面を被覆する
		内 部	○	×	△	×	×	△	○	○	○	○	○	△	
水制工	水制工本体	表出部	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△	必要に応じて、捨型枠、石張り、コンクリート等により混合材料の外側を保護する
		内 部	○	×	△	×	×	△	○	○	○	○	○	△	
山腹工	谷止工等	表出部	○	○	△	×	○	○	○	○	○	○	○	△	必要に応じて、石材、コンクリート等で水通し部を保護する
		内 部	○	×	△	×	×	△	○	○	○	○	○	△	
	土留工	表出部	○	×	△	×	○	○	○	○	○	○	○	△	表面の摩耗は考慮する必要はない
		内 部	○	×	△	×	×	△	○	○	○	○	○	△	
仮設構造物	工事用道路	問わない	△	○	×	×	×	△	○	○	○	○	○	△	
	仮締切工	問わない	△	△	○	○	×	△	○	○	○	○	○	△	上流側に遮水シートを張り、遮水性を確保する

凡例：表出部＝流水の作用や気象条件等の影響を受ける部位

内 部＝直接流水の作用や気象条件等の影響を受けることがない部位

○＝必ず検討、△＝必要に応じ検討、×＝検討不要

注)ここに表示してある検討項目の要・不要の判断は、適用場所の条件によって異なるものであり、ここに示したものが絶対ではない。

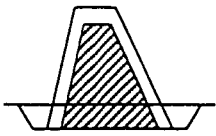
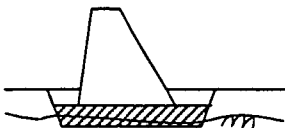
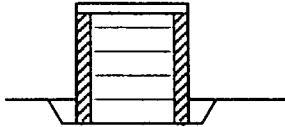
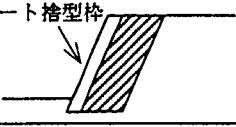
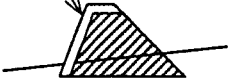
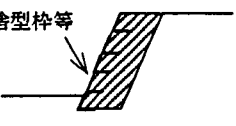
適用工種	適用箇所	模式図 (斜線部は混合材料適用箇所)	備考
砂防ダム工 (床固工)	堤体本体		必要に応じて、捨型枠、石張り、コンクリート等により混合材料の外側を保護する。
	間詰め工		堤体本体と併せて、間詰め工を混合材料で同時施工することも可能である。
	基礎置き換え		
	鋼製ダブルウォールダムの中詰め材		中詰め土砂のうち、外壁の破損によってこぼれ出す恐れのある部分を混合材料で強化する。
護岸工	護岸工本体	コンクリート捨型枠 	摩耗を考慮し、必要に応じてコンクリート捨型枠等で護岸工表面を被覆する。
山腹工	谷止工, 等	石張等による保護 	必要に応じて、石材、コンクリート等で水通し部を保護する。
	土留工	鋼製捨型枠等 	表面の摩耗は考慮する必要はない。
仮設構造物	工事用道路		
	仮締切工	遮水シート 	上流側に遮水シートを張り、遮水性を確保する。

図-1 混合材料の適用箇所 (例)

資料：大野宏之 (1999): 砂防事業における現場発生土の有効利用, 砂防と治水, No.130, pp.59-60 をもとに作成

3.3.1 計画条件に関する検討項目

(1) 耐久性

耐久性は、耐摩耗性や耐衝撃性も含まれるが、ここでは施設全体の耐用年数といった意味合いで使用する。

施設自体の耐久性に関しては、仮設構造物を除くすべての砂防設備に関して検討しなければならない。混合材料は通常コンクリートに比べ耐久性に劣ることは先に述べたとおりであるが、設備の設置目的、及び位置付けによって要求される耐久性のレベルは異なる。混合材料は、転石・巨石に対しては強度が劣る分破壊されやすい。全体計画や将来計画の中で、当該設備に要求される機能と耐久性を満足するレベルで計画の検討を行う必要がある。

(2) 耐摩耗性

耐摩耗性に関しては、砂防ダムや護岸工といった流水と接触する可能性のある工種に関しては重要な検討項目となる。特に常時流水が存在し土砂の流出が頻繁な溪流において、表出部に現地発生土を利用する場合には、高いレベルでの耐摩耗性が要求される。しかし、谷止工等に現地発生土を利用する場合でも、混合材料を中詰材や芯材、基礎部などの内部コンクリートとして利用する場合においては、摩耗に対する検討は不要となる。そこで、流水と接触する箇所への混合材料の利用を考える場合には、必要に応じて混合材料の外側を捨型枠やコンクリート等で被覆し保護する（事例：東北地方建設局岩手工事事務所 葛根田川第1砂防ダム）ことを検討する。

また、表出部に利用する場合においても、重力式ダムのように、堤体全体で安定を確保するような構造物にあっては、若干のすり減りが施設の機能を大幅に損なうとは考えがたい。このような場合には設備の機能を確保・維持できる範囲での摩耗は許容し、状況によって補修を行うことを前提にした検討を行う。

(3) 透水性

現地発生土砂を利用した混合材料は、通常のコンクリートより透水性が高い場合が多い。そのため、溪流内の構造物などに利用する場合には、透水性の影響は構造物全体の安定性に対して、自重の他、浮力、揚圧力などの外力といった形で作用する。さらに、浸透水の増大によってはパイピングによる破壊も考えられる。そこで、このような透水性の影響が考えられる箇所での利用にあたっては、構造物の安定条件などについて検討する必要がある。また、「基礎置き換え」などのように水セメント比の施工管理等に直接浸透水の影響を受けると考えられる場合には、必要に応じて対応方法を検討する必要がある。

(4) 遮水性

現地発生土砂を利用した混合材料は、一般に遮水性に欠ける。そのため遮水性が必要な場合には堤体内に遮水ゾーンを設けたり、防水シートを設置する（事例：東北地方建設局岩手工事事務所 葛根田川第1砂防ダム）などの方法により対応することとなる。特に水溜を目的としたダム、仮締切工などにおいては遮水性に対する検討を行い、必要に応じて対策を講じる必要がある。ただし、混合材料の外側をコンクリート等で被覆する場合には、混合材料の遮水性以上に外周の被覆材料の遮水性の影響を強く受けると考えられる。そこで混合材料を内部に使用する場合には検討項目とする必要はないものと思われる。

(5)耐衝撃性

混合材料を砂防設備の表出部に使用した場合には、必要に応じて耐衝撃性の検討を行う。特に礫径の大きな溪流に計画する砂防設備については重要な検討項目となる。

ただし、耐摩耗性と同じように、表面の損傷が施設の機能を大幅に損なうと考えられない場合には、混合材料の利用を積極的に考え、少々の損傷は許容し、補修により対応することを検討する。

(6)現地条件

検討すべき現地条件としては、気象条件、土砂の流出状況、土砂災害の発生頻度、周辺の土地利用条件などがあげられる。

気象条件は特に凍結融解の作用により混合材料の耐久性に影響する因子である。土砂の流出状況は施設の構造や強度の設定の基礎となる。また土砂災害の発生頻度によっては省力化・無人化等の施工方法と組み合わせた検討が必要になることもある。さらに周辺の土地利用状況などによっては、景観性や自然生態系に対する配慮も必要となる。これらは主に表出部に利用した場合に問題となる検討項目である。

3.3.2 材料条件に関する検討項目

(1)粒度分布

現地発生土砂に固化材を混入する混合工法は、多くの場合、母材となる土砂の粒径、特に最大礫径の影響を受ける。礫径が適切でない場合には、選別・ふるい分け等の手間がかかることとなり経済的ではない。計画にあたっては現地に存在する利用可能土砂の粒度分布を的確に把握し、現地の土砂の特性に合った方法を選択することが重要である。

(2)発現強度

計画箇所が存在する砂礫や転石等には、混合材料として要求される必要な強度がなければならない。事前に強度試験を実施し、発現が期待される強度を把握した上で配合設計をおこなうことが望ましい。

(3)現存土砂量

現地に現存する土砂量に応じた現地発生土砂の利用計画を立てなければならない。掘削土砂量、河床・溪岸からの採取可能な土砂量には限界がある場合が多い。そこで、事前に現地調査により利用可能な現存土砂量を把握することが重要である。現地発生土砂利用のために新たに土地を改変することがないように留意する。

3.3.3 施工性に関する検討項目

(1)作業ヤードの確保

本書に掲載したすべての事例、工法において作業用仮設ヤードが必要となっている。計画にあたっては、計画箇所の周辺で適切な施工用作業ヤード用地が確保できるか否かについて確認しなければならない。作業

おわりに

本資料で扱った施工事例は試験施工段階のものであり、ここに挙げた工法・強度は絶対的なものではない。現在ではこのほかにも現地発生土砂を使用して砂防設備を築造した事例があり、今後これらデータの蓄積と実証が必要である。

なお、本資料をまとめるにあたりまして、北陸地方建設局神通川水系砂防工事事務所、近畿地方建設局六甲砂防工事事務所、九州地方建設局雲仙復興工事事務所の担当の方々には資料の提供、現地調査などご配慮いただきました。ここに御礼申し上げます。

ヤードに必要な面積は、事例からみるとそれぞれ異なっている。

(2)混合水の確保

混合材料の練り混ぜに際しては、混合水の確保が重要である。混合水は通常、付近の流水が利用可能であり、溪流からポンプで補給しながら供給することが一般的である。工事用水を給水車で補給しなければならないような箇所では、給水車の進入、コスト面からも用水の確保方法に対する検討が重要である。

(3)その他

施工性に関するその他の検討項目としては、表流水や湧水の状況、工事用道路の造成などがあげられる。

混合材料は水分条件の影響を強く受けるため、当該箇所の表流水や地下水の状況により、流水の迂回や水替え、排水が確実にできることの確認が必要である。

また事例によっては、重機械や仮設資材などの運搬に大型車両を必要とする場合がある。そのような場合には、工事用道路の造成が可能かどうか重要な検討項目となる。

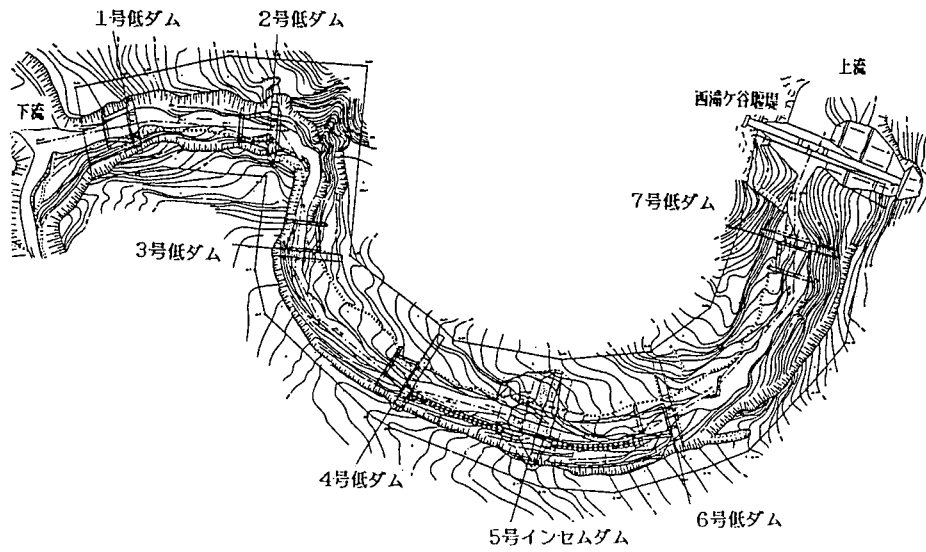
参考文献

- 1) 友松靖夫・大野宏之・田畑茂清・牧田一男・山下勝・富田陽子・坂場義雄：現場発生土をその場に固化し、定着させるINSEM工法の考案とその力学的特性、砂防学会誌、Vol.50, No.6, p.17-24, 1998
- 2) 大野宏之：砂防事業における現場発生土の有効利用その1、砂防と治水 第125号, p.65-72, 1998
- 3) 大野宏之：砂防事業における現場発生土の有効利用その2、砂防と治水 第126号, p.68-71, 1999
- 4) 大野宏之：砂防事業における現場発生土の有効利用その3、砂防と治水 第127号, p.77-81, 1999
- 5) 大野宏之：砂防事業における現場発生土の有効利用その6、砂防と治水 第130号, p.56-60, 1999
- 6) 大野宏之：砂防事業における現場発生土の有効利用その7、砂防と治水 第131号, p.57-62, 1999
- 7) 大野宏之：砂防事業における現場発生土の有効利用その8、砂防と治水 第132号, p.67-68, 2000
- 8) 建設省六甲砂防工事事務所：パンフレット「インセム工法（現場発生材料の有効利用）」
- 9) 角 茂：西滝ヶ谷低ダム群で「インセム工法」試験施工、砂防と治水 第127号, p.97-100, 1999
- 10) 村田行雄：新しい砂防への挑戦 インセム工法、月刊メイト砂防、No.182, p.14-15, 1999
- 11) 建設省雲仙復興工事事務所：パンフレット「水無川1号砂防ダムRCC工法とCSG工法の概要」
- 12) 中村 昭・豊田光雄・佐藤小次郎：CSGの工学的性質に関する実験的検討、ダム技術 No.96, p.35-46, 1994
- 13) 中村 昭・豊田光雄・山本裕之・川口昌尚：CSGの工学的性質と施工、土木技術資料36-10, p.40-45, 1994
- 14) 豊田光雄・吉田 等・山本裕之：CSGの締固めとせん断強度、土木技術資料39-10, p.38-43, 1997
- 15) 砂防広報センター：砂防最前線 水無川1号砂防ダム一期工事、月刊メイト砂防、No.144, p.4-11, 1996
- 16) 石川 晃・安達忠浩：新しい砂防への挑戦 床掘省力化工法、月刊メイト砂防、No.171, p.12-13, 1998
- 17) 細田徳夫：餌掛谷上流砂防ダム群でISM工法、砂防と治水 第128号, pp.69-73, 1999
- 18) 渡部文人・福本健治・堀口哲夫：ISM（現位置攪拌混合固化）工法による砂防ダムの施工一床掘省力化によるコスト縮減一、土木施工、Vol.40 No.6, p.9-15, 1999

資料編

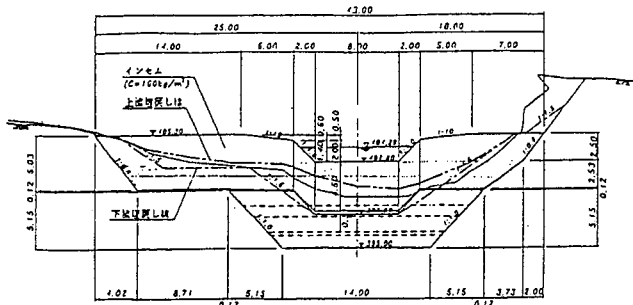
No. 1	西滝ヶ谷低ダム群 (INSEM工法)	実施工種・部位	床固工本体
実施機関名	建設省近畿地方建設局 六甲砂防工事事務所		
施工箇所	兵庫県神戸市灘区六甲山地先	施工年度(工期)	H10, 3,27 ~ H11, 3,21
施設概要	形式：重力式コンクリートダム（インセムダム） 堤高：5.0m, 堤頂長：約43m, 堤頂幅：約3.0m, 堤体積：約3,383m ³ (2,792m ³) 上流法勾配：1:1.0, 下流法勾配：1:1.5		
配合設計	単位セメント量：160kg/m ³ , 最大粒径：80mm未満, 含水比：8～13%, 乾燥密度：1.95t/m ³ , 湿潤密度：2.1t/m ³ 混合時間：バックホウにより15分間, 敷均し厚：20cm撒き出し15cm仕上げ, 転圧回数：8回以上		
主要材料特性	目標強度：3.9N/mm ² (σ28)		
使用数量	3,383m ³		
施工手順・留意点	①水替工：作業ヤードを乾いた状態にするためにインセム基面より下部に暗渠を設置 ②巨石処理工：インセム施工範囲内に存在する巨石に対し、巨石の周囲を転圧可能な状態とするためにコンクリートで固める ③土砂の選別：当初はスケルトンバケットを選別用に使用していたが、施工能率が悪いために、H鋼材を組み立てたふるい(簡易スリット)により粒径の選別を行う ④混合：スケルトンバケット装着のバックホウにより土砂とセメントの混合を実施 ⑤転圧：振動ローラ(3t)により8回転圧実施 ⑥のり面整形：バックホウ(0.45m ³)とアイオン(0.1m ³)によりのり面整形実施		
主な施工機械	選別・混合…バックホウ(スケルトンバケット)：0.45m ³ 運搬……………クローラードンプ：2.5t 敷均し…………ブルドーザ：2.5t 転圧……………振動ローラ：3.0t		
現場の声(コメント)	・のり面の表面にある程度強度があるため、仕上げのためにアイオン等で削る割れて剥がれてしまう ・粘性土を多く含む場合や、含水比が高くなるような場合には、十分な転圧がかかりにくくなる ・雨が少なければ、半日ぐらいで十分な強度を発生する ・1層ごとが一体化しないため、打継ぎ面は接着を良好にするため、セメントを散布し処理した ・現地発生土に転石が多く含まれたため、ふるい分けが必要となり施工性が低下した。また、仮置きヤードに面積を要した ・セメント分の流出、及び転圧不可能な事態を避けるために、湧水・流水対策を十分に行う必要がある ・本堤ののり面勾配は、1:1.5では機械施工による転圧は困難である。1:3.0程度の緩勾配とすることが望ましい		

平面図

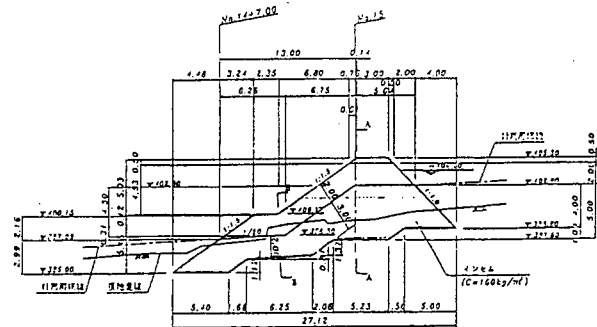


構造図

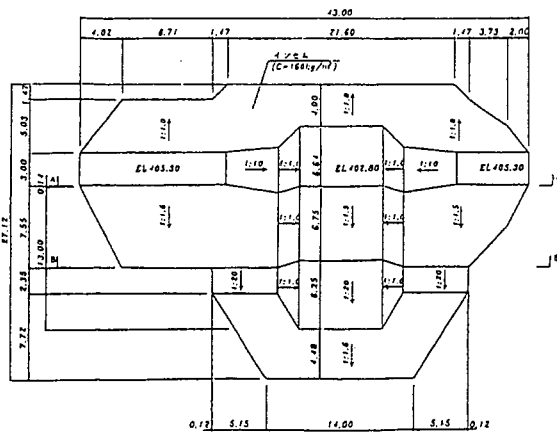
下流面



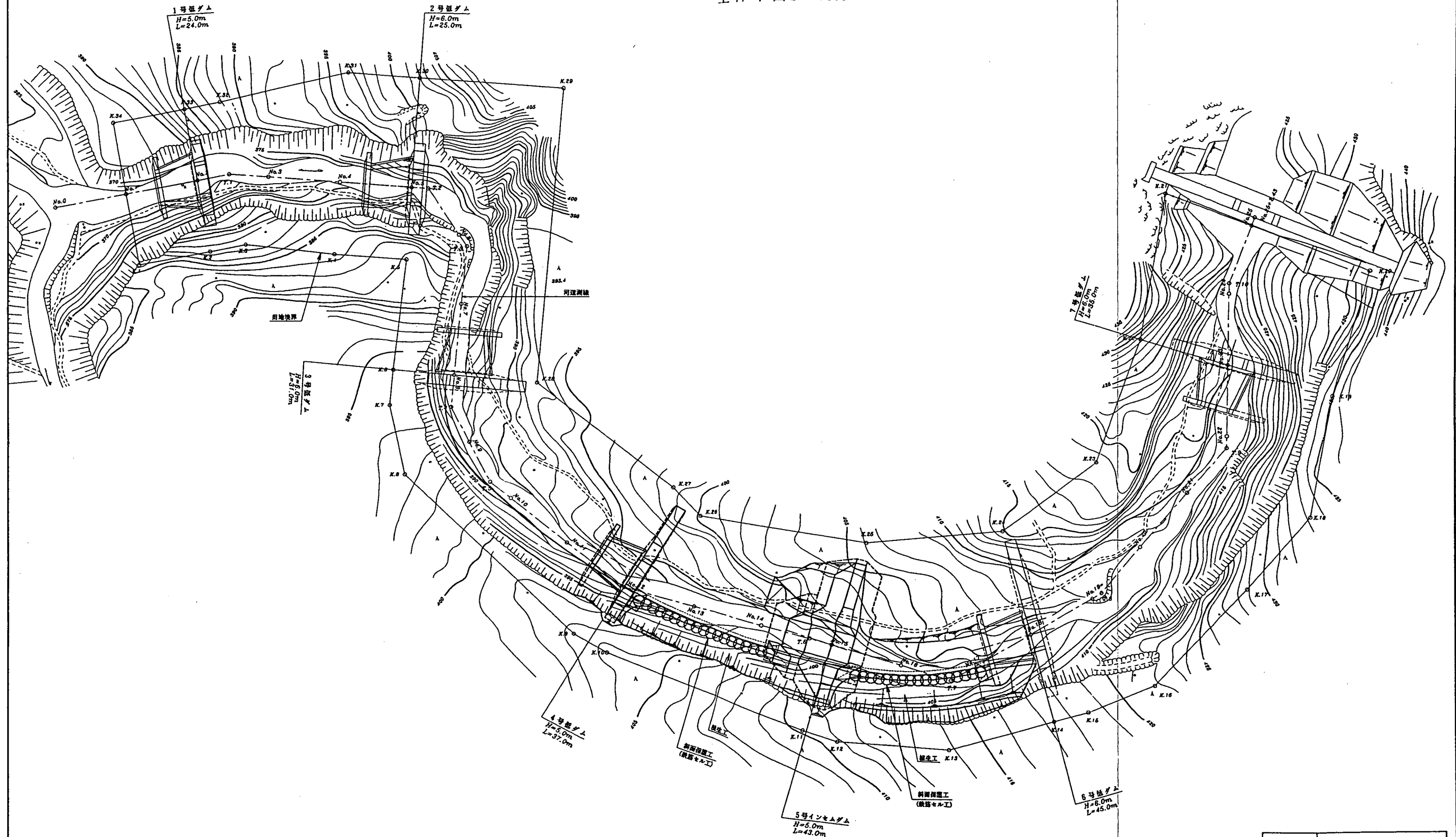
標準断面



平面



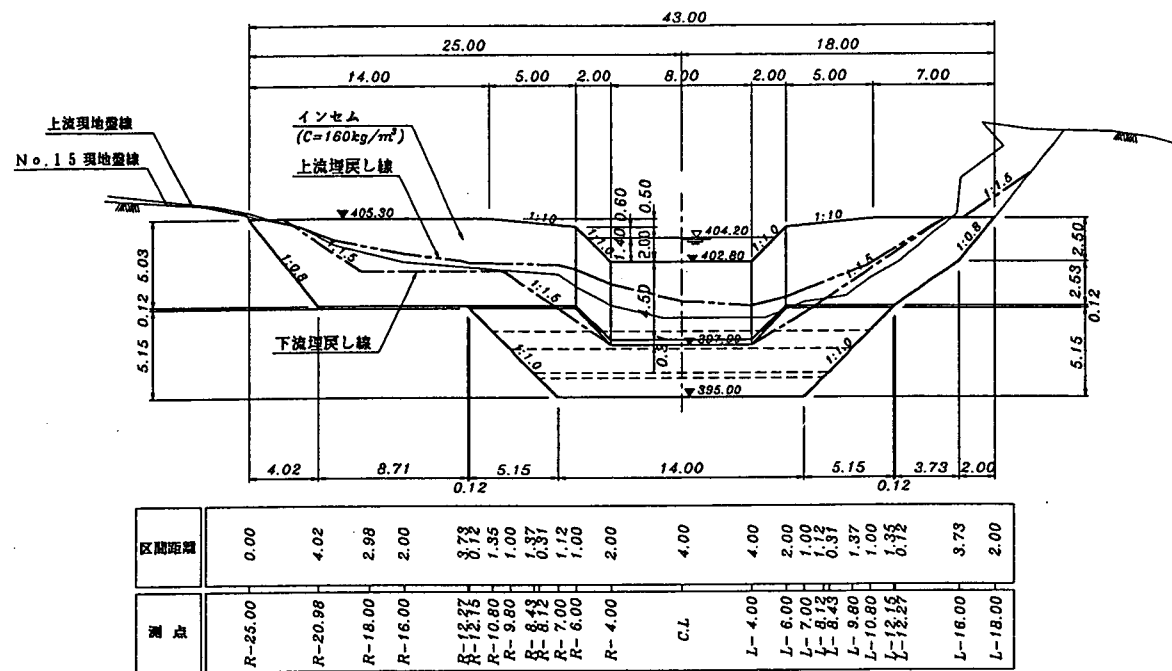
全体平面 $S=1:500$



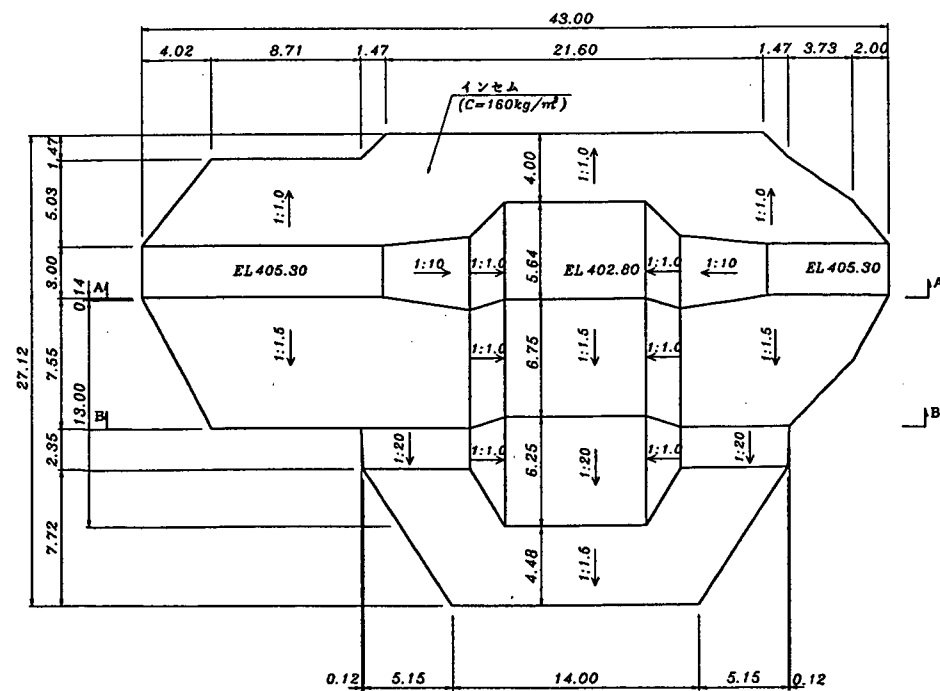
工事名	河川防衛工事の計画 (その1) 計画		
図面名	全体平面		
縮尺	1/500	図面番号	2/100
設計年月	平成	年	月
近畿地方建設局			
六甲砂防工事事務所			

5号インセムダム：構造 $S=1:200$

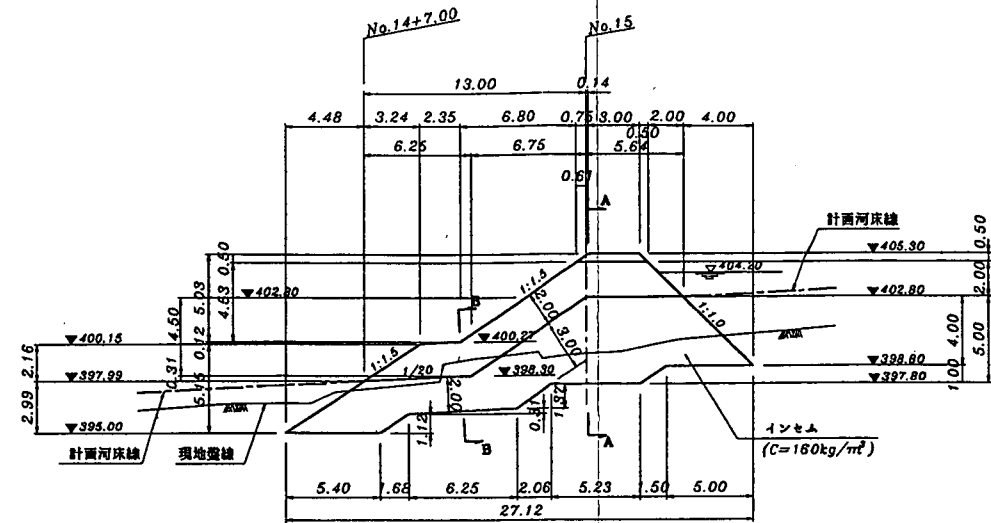
下 流 面



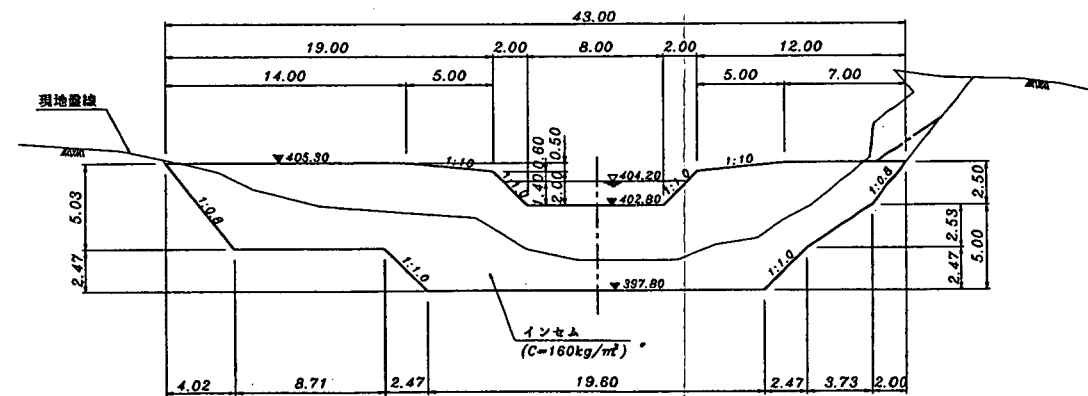
平面



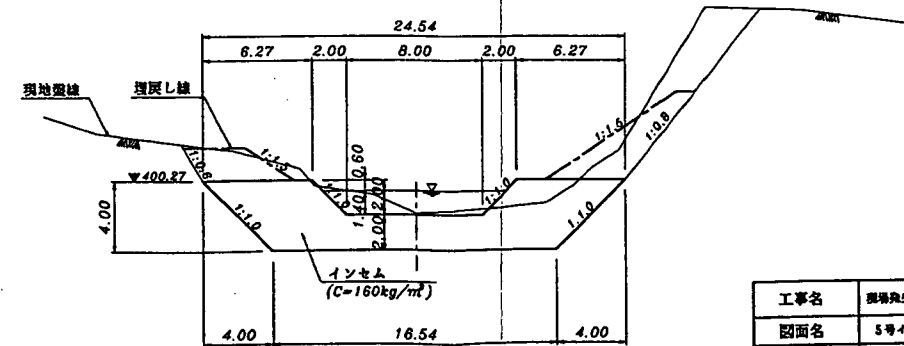
標準断面



A - A 断面



B - B 断面



工事名	環境発生材料の有効利用検討 (その1) 実習		
図面名	5号インセムダム：断面		
縮尺	1/200	図面番号	2/面/内03
設計年月	平成	年	月
近畿地方建設局			
六甲砂防工事事務所			

施工手順①水潜工：作業ヤードを乾いた状態にするためにインセム基面より下部に暗渠を設置



施工手順②巨石処理工：インセム施工範囲内に存在する巨石に対し、巨石の周囲を転圧可能な状態とするためにコンクリートで固める



施工手順③土砂の選別：当初はスケルトンバケットを選別用に使用していたが、施工能率が悪いために、H鋼材を組み立てたふるい(簡易スリット)により粒径の選別を行う



施工手順④混合：スケルトンバケット装着のバックホウにより土砂とセメントの混合を実施



施工手順⑤転圧：振動ローラ(3 t)により8回転圧実施



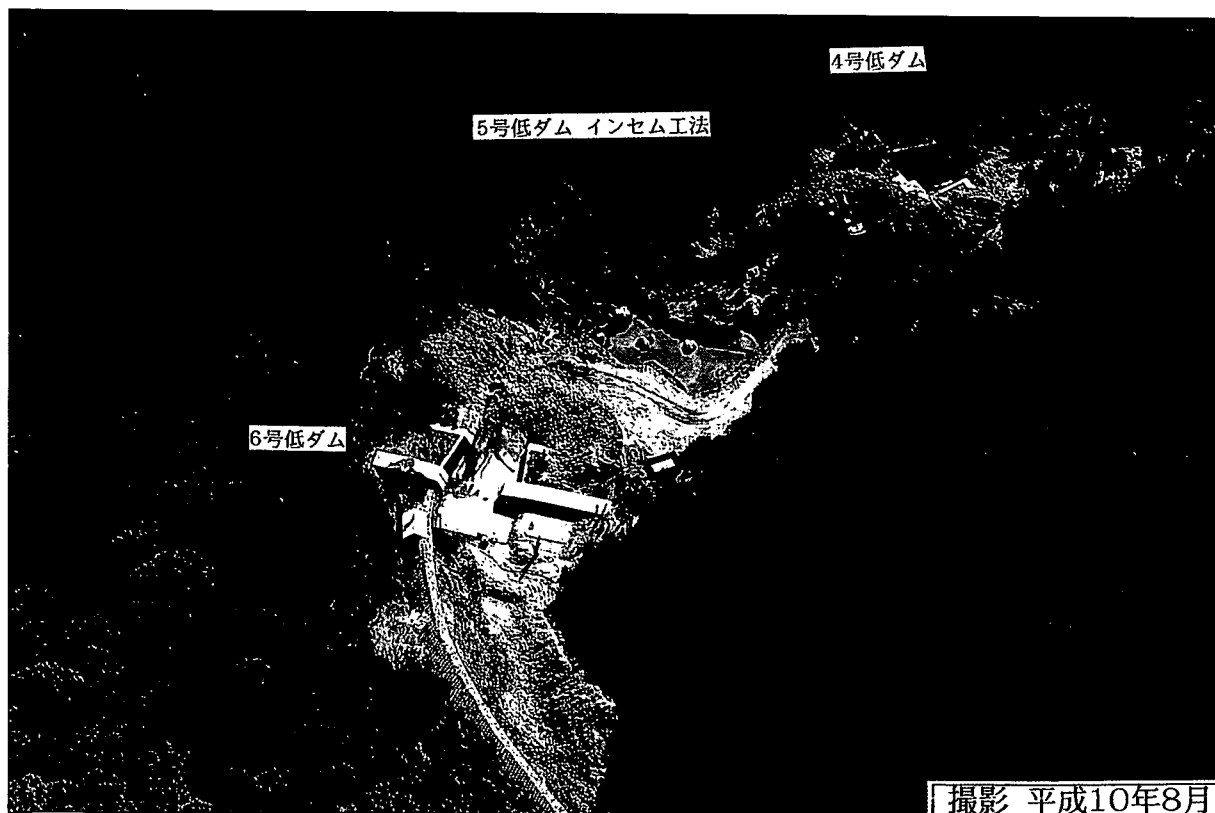
施工手順⑥のり面整形：バックホウ(0.45m³)とアイオン(0.1m³)によりのり面整形実施



完成状況



施工中全景

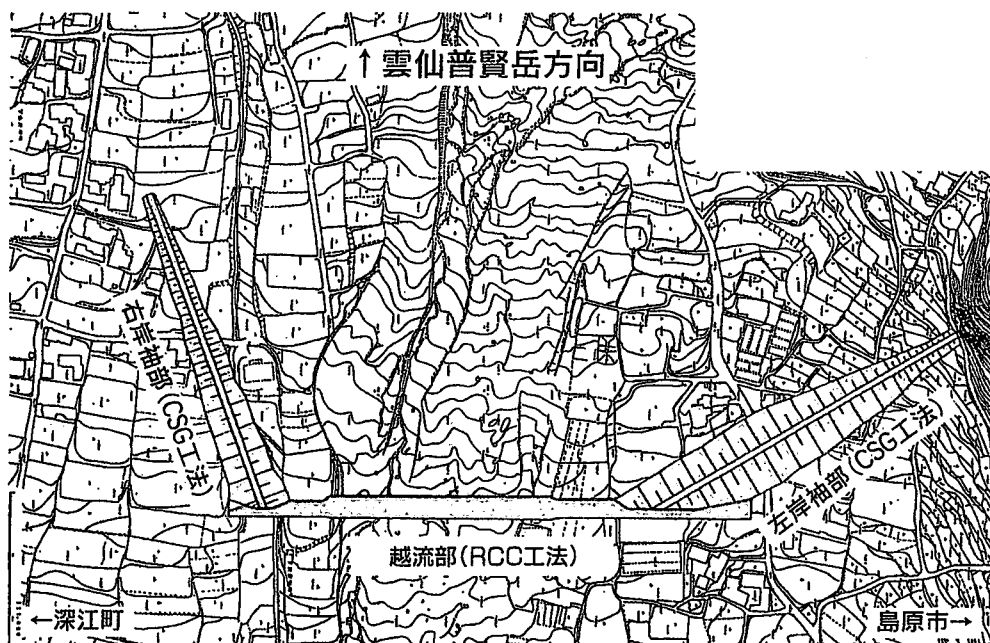


撮影 平成10年8月

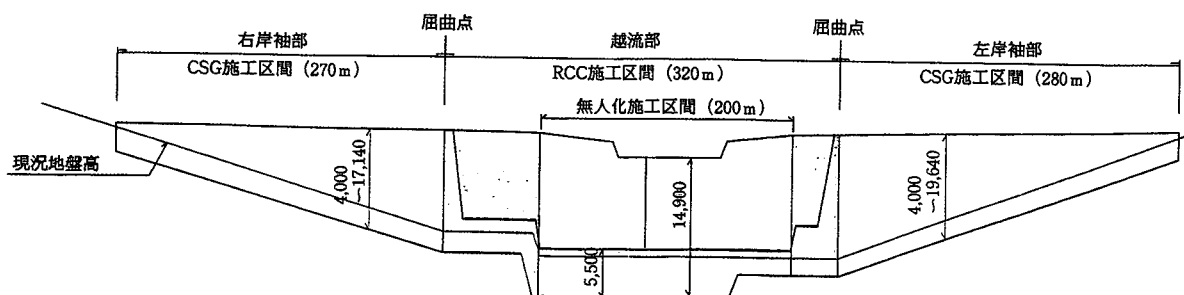
(以上：六甲砂防工事事務所提供)

No. 2	水無川1号砂防ダム (CSG工法)	実施工種・部位	砂防ダム袖部
実施機関名	建設省九州地方建設局 雲仙復興工事事務所		
施工箇所	長崎県島原市～深江町	施工年度(工期)	H 7, 9, 30 ～ H10, 3, 20
施設概要	形式：重力式コンクリートダム 堤高：14.9m, 堤頂長：約870m, 堤頂幅：約4.0m, 堤体積：約235,500m ³ 上流法勾配：1:1.2, 下流法勾配：1:1.2		
配合設計	単位セメント量：80kg/m ³ , 単位水量：194kg/m ³ 骨材：1,770kg/m ³ , 母材の含水比：11% 骨材寸法：150mm以下		
主要材料特性	目標強度：3N/mm ²		
使用数量	165,000m ³		
施工手順・留意点	①母材の採取：バックホウ＋スケルトンバケットで粒径150mm以下に篩い分ける ②混合：バッチャープラントにより母材とセメントを混合しCSGを製造する ③運搬：バッチャープラントで製造されたCSGを打設地点まで運搬する ④敷均し：運搬されたCSGをブルドーザにより、ダム軸方向を原則に敷均しを行う 撒き出し厚は26.0cmとする ⑤転圧：10t級の振動ローラを使用して仕上がり厚約50cmの場合で4回(2往復)とする ⑥法面整形：土羽バケット使用バックホウによりのり面整形実施 ⑦養生：CSGの表面は状況によりシート養生あるいは噴霧養生を行う		
主な施工機械	選別……スケルトンバケット使用バックホウ：0.7m ³ 混合……バッチャープラント, セメントサイロ, ベルトコンベア, 他プラント施設一式 運搬……ダンプトラック：10t級 敷均し…ブルドーザ：21t級 転圧……振動ローラ：10t級 整形……土羽バケット使用バックホウ：0.7m ³ 養生……散水車：2.5m ³		
コメント・その他	・土石流に対する安全性、早期効果の発現、作業員の安全確保、火山堆積物の有効利用等を総合的に検討し、一部無人化施工の適用及び越流部はRCC工法、袖部はCSG工法を採用した ・特に普賢岳山麓に存在する火山堆積物を有効に利用でき、経済的、効率的な施工が可能であり、または、作業員の安全確保という点からも有利であった ・掘削残土を型枠としており、堤体表面は自然材料のテクスチャーである		

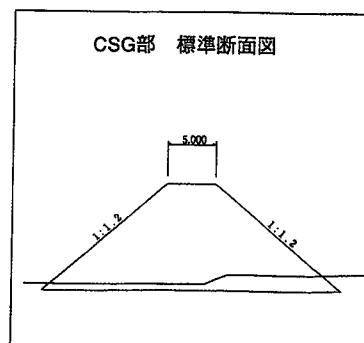
平面図



構造図



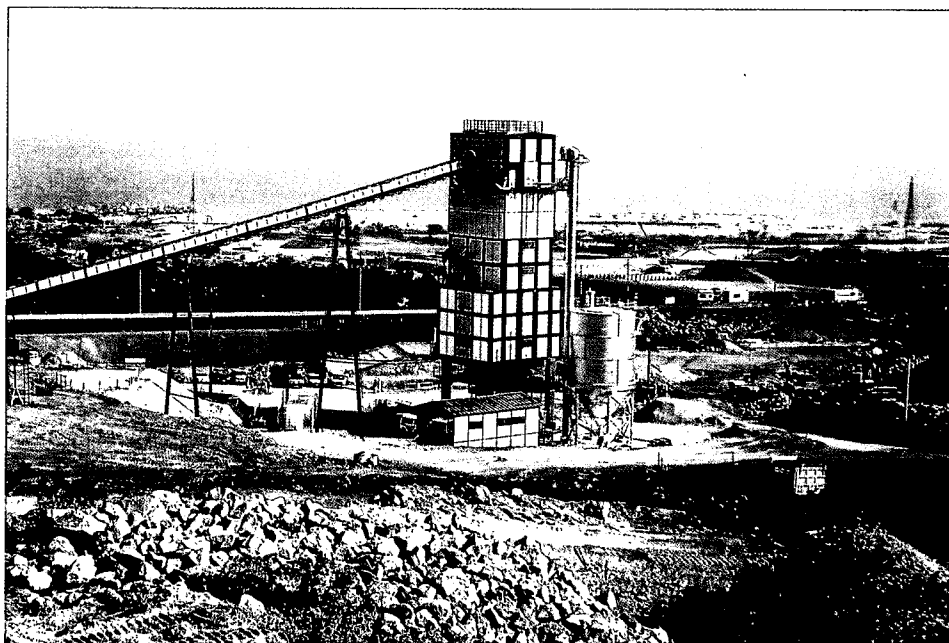
CSG部 標準断面図



施工手順①母材の採取：バックホウ＋スケルトンバケットで粒径150mm以下に篩い分ける



施工手順②混合：パッチャープラントにより母材とセメントを混合し混合材料を製造する



施工手順③運搬：バッチャープラントで製造された混合材料を打設地点まで運搬する



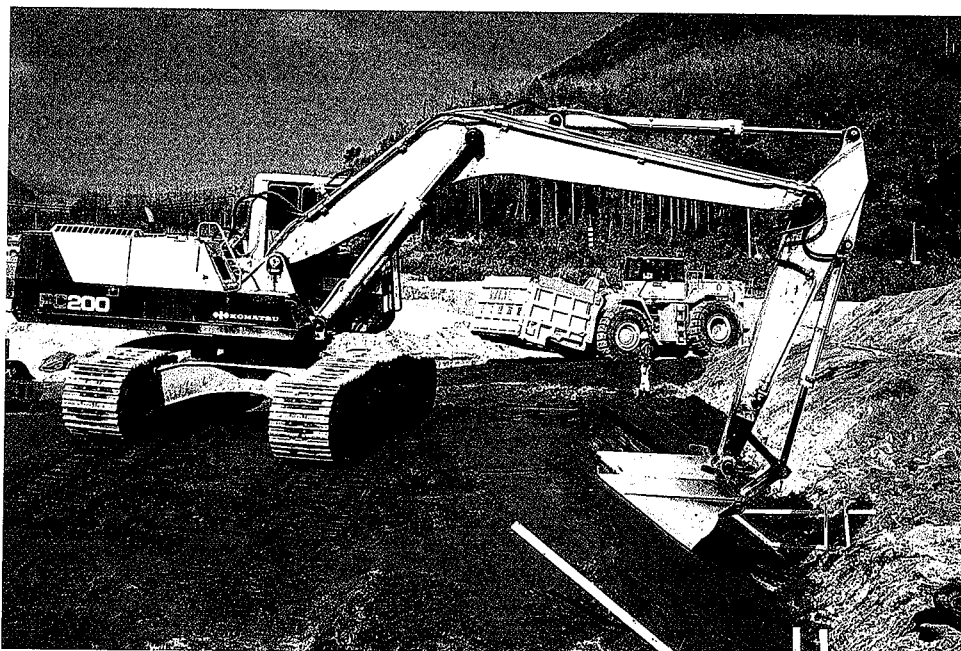
施工手順④敷均し：運搬された混合材料をブルドーザにより、ダム軸方向を原則に敷均しを行う



施工手順⑤転圧：10t級の振動ローラを使用して仕上がり厚約50cmの場合で4回(2往復)とする



施工手順⑥法面整形：土羽バケット使用バックホウによりのり面整形実施



施工手順⑦養生：表面は状況によりシート養生あるいは噴霧養生を行う



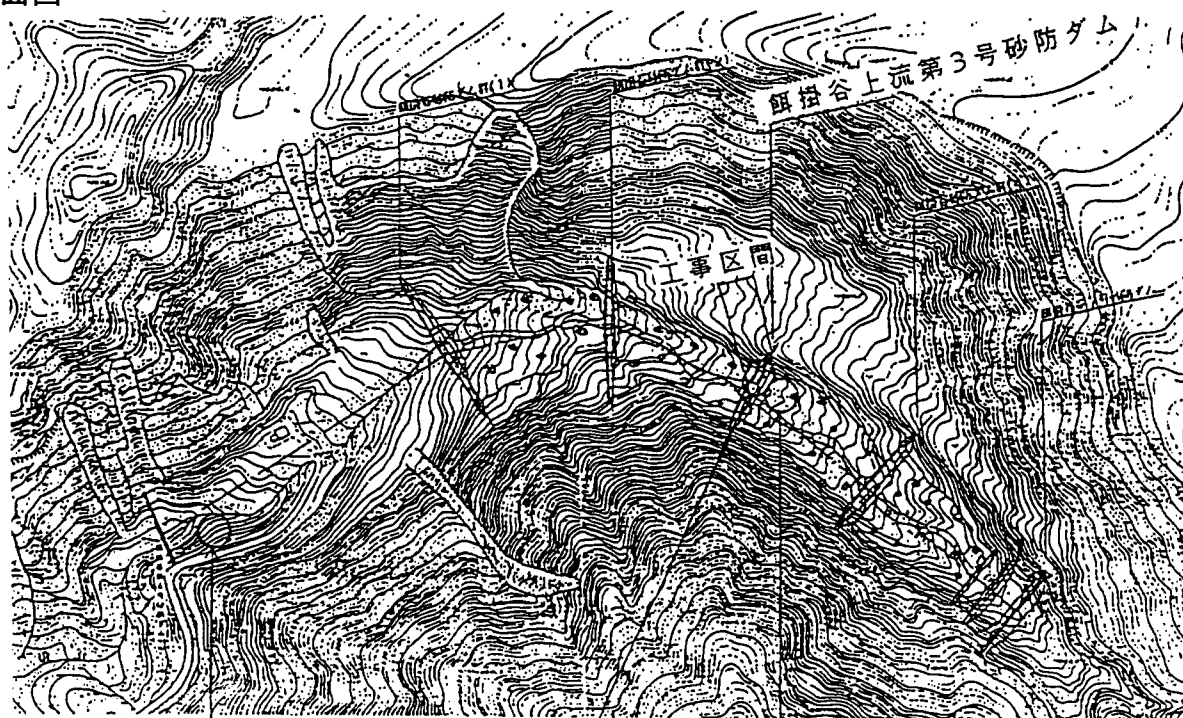
完成状況



(以上：雲仙復興工事事務所提供)

No.3	餌掛谷上流第3号砂防ダム (ISM工法)	実施工種・部位	砂防ダム基礎地盤改良
実施機関名	建設省北陸地方建設局 神通川水系砂防工事事務所		
施工箇所	岐阜県古城郡上宝村一重ヶ根地先	施工年度(工期)	
施設概要	形式：重力式コンクリートダム 堤高：11.5m, 堤長：72.0m, 天端幅：3.0m, 堤体積：1,549m ³ (攪拌混合数量) 上流法勾配：1:0.45, 下流法勾配：1:0.2		
配合設計	単位セメント量：300kg/m ³ (高強度コンクリート) 水セメント比：60%程度以下(高強度のISMコンクリート) 骨材寸法：300mm程度以下		
主要材料特性	目標強度：18N/mm ² (高強度コンクリート)		
使用数量	1,549m ³		
施工手順・留意点	①表土処理及びほぐし処理：腐植土等は、すき取りを行い排出する。攪拌混合を容易にするため、河床砂礫をバックホウで緩くほぐす ②粒径処理(巨石除去)：ツインヘッド(90°回転型)の能力等から、粒径300mm程度以下となるようにバックホウを用い粒径処理する ③攪拌土埋戻：埋戻し前に含水量の確認を行った後、攪拌混合する位置に埋戻す ④攪拌混合：ツインヘッドによって攪拌土とセメントミルクを均一かつ十分に混合する(バックホウ 0.7m ³ 油圧配管付) ⑤水平打継目処理：上下層間に生じる水平打継目は、一体化のための継手処理を行う ⑥鉛直打継目処理：一体化が必要な混合材料は鉛直打継目処理を行う ⑦表面処理：天端高は、各層ごとに所定の高さとなるよう平坦に仕上げる		
主な施工機械	セメントミルク製造…モルタルプラント, 高圧ポンプ, セメントサイロ, 水中ポンプ, 他 表土処理・粒径処理…バックホウ(スリット加工(300×300)スケルトンバケット) 掘削・積込・埋戻…バックホウ(0.7m ³ 油圧配管付) 攪拌混合……………ツインヘッド(90°回転型), バックホウ(0.7m ³ 油圧配管付)		
コメント・その他			

平面図



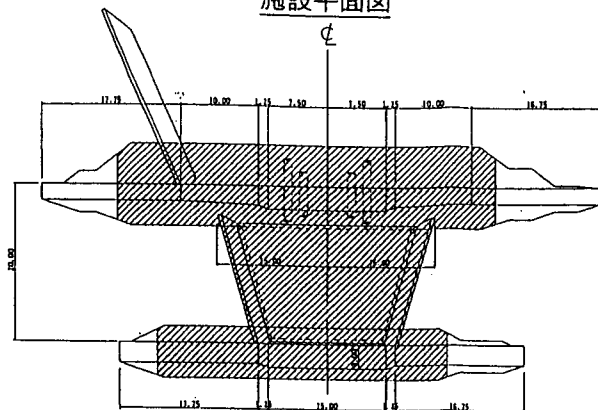
残土置場

作業ヤード

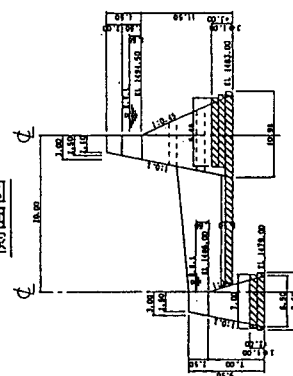
ブランチヤード

構造図

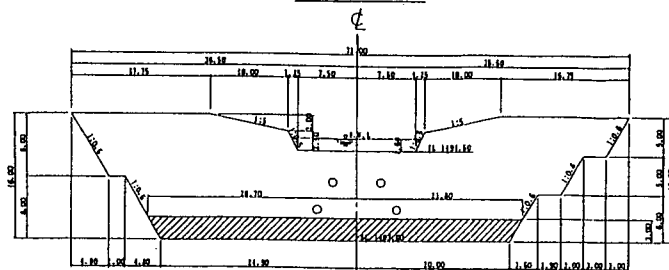
施設平面図



側面図



本堤正面図



ISM工法適用範囲

施工手順①表土処理及びほぐし処理：腐植土等は、すき取りを行い排出する。攪拌混合を容易にするため、河床砂礫をバックホウで緩くほぐす



施工手順②粒径処理(巨石除去)：ツインヘッド(90°回転型)の能力等から、粒径300mm程度以下となるようにバックホウを用い粒径処理する



施工手順③攪拌土埋戻：埋戻し前に含水量の確認を行った後、攪拌混合する位置に埋戻す

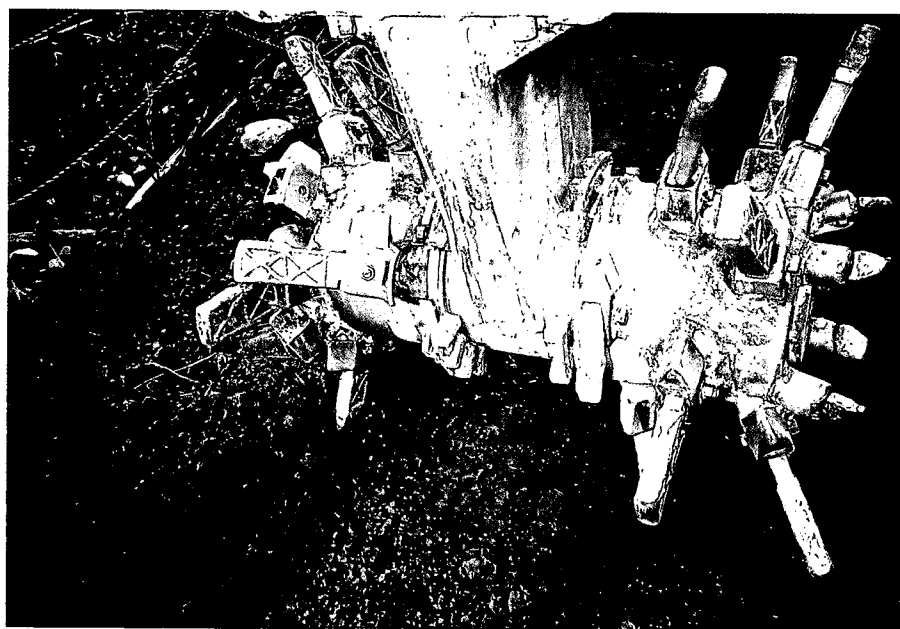


施工手順④攪拌混合：ツインヘッドによって攪拌土とセメントミルクを均一かつ十分に混合する(バックホウ0.7m³油圧配管付)

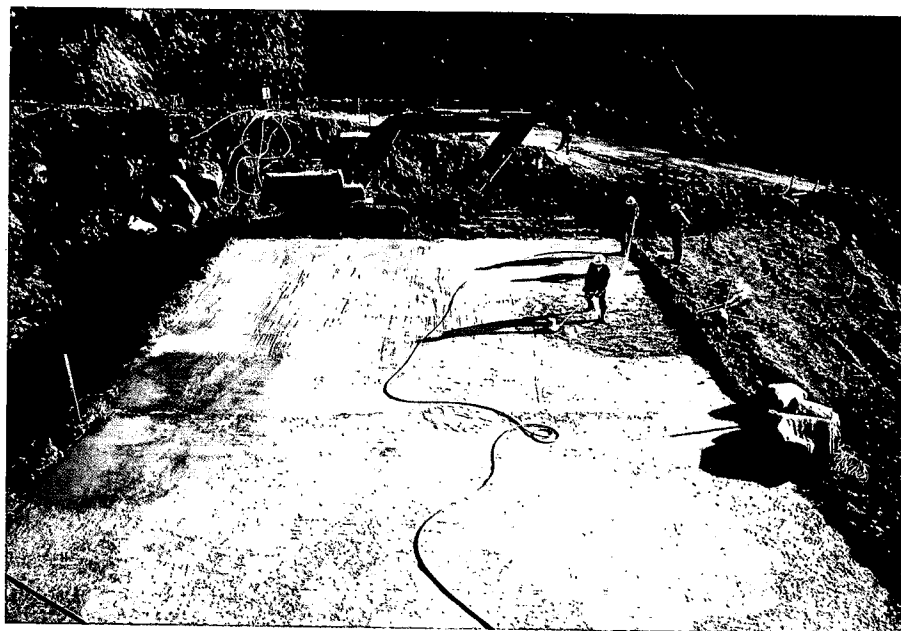


(資料)

ツインヘッド



施工手順⑤水平打継目処理：上下層間に生じる水平打継目は、一体化のための継目処理を行う



施工手順⑥鉛直打継目処理：一体化が必要な混合材料は鉛直打継目処理を行う



施工手順⑦表面処理：天端高は、各層ごとに所定の高さとなるよう平坦に仕上げる



(以上：神通川水系砂防工事事務所提供)