マイクロフィルム用資料

ISSN 0386 - 5878
土木研究所資料 第3566号

土木研究所資料

災害復旧工事における建設機械の遠隔操作技術の活用に関する調査

平成10年3月

建設省土木研究所
材料施工部機械研究室

Copyright © (1998) 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。

土木研究所資料
第3566号1998年3月

災害復旧工事における建設機械の遠隔操作技術の活用に関する調査

機械研究室　室　　長　吉田　正
研　究　員　朝倉　義博
研　究　員　三村　茂男
交流研究員　柳原　英夫*

要　旨

近年、土砂災害の復旧作業において二次災害からの安全の確保の要求が高まっている。本研究では、遠隔操作型の建設機械のより迅速な調達と安全かつ効率的な運用を行うために、遠隔操作型に改造した建設機械を土砂災害現場へ活用した最近の事例について調査し、復旧作業の施工計画および建設機械の操作上の課題を明らかにするとともに、これらの課題を克服するための今後の方策について検討を行った。本報告は、これらの検討に基づき、遠隔操作型建設機械の技術上、運用上の技術的な留意事項を体系的に取りまとめたものである。

キーワード：遠隔操作、建設機械、土砂災害、復旧作業、無人化施工

＊交流研究員在職期間（平成9年4月～平成10年3月まで）

災害復旧工事における建設機械の遠隔操作技術の活用に関する調査

1．はじめに …… 1
　1．1　我が国の土砂災害状況 …… 1
　1．2　災害復旧工事における無人化施工の採用と課題 …… 3
2．調査目的 …… 4
3．調査方法 …… 5
　3．1　調査対象 …… 5
　3．2　調査項目 …… 5
　3．3　調査方法 …… 5
4．調査結果 …… 6
　4．1　工事概要 …… 6
　4．2　工事状況 …… 8
　　Ⅰ．A工事 …… 9
　　1．災害状況 …… 11
　　2．災害復旧作業 …… 12
　　3．無人化施工の採用経緯 …… 13
　　4．無人化施工に対する準備工 …… 13
　　5．遠隔操作型機械の調達・選定状況 …… 13
　　6．遠隔操作型機械の保管・稼動状況 …… 15
　　7．遠隔操作型建設機械の運搬・整備状況 …… 15
　　8．施工方法および施工状況 …… 15
　　9．使用機械稼動状況・施工効率 …… 20
　　10．遠隔操作型建設機械の操作装置 …… 20
　　11．遠隔操作機械の安全装置 …… 21
　　12．オペレーター人員配置状況 …… 21
　　13．無線使用状況 …… 22
　　14．作業支援装置採用状況 …… 23
　　15．メンテナンス体制 …… 25
　　16．安全対策 …… 26
　　Ⅱ．B工事 …… 27
　　1．災害状況 …… 29
　　2．災害復旧作業 …… 30
　　3．無人化施工の採用経緯 …… 31
　　4．無人化施工に対する準備工 …… 31
　　5．遠隔操作型機械の調達・選定状況 …… 32
　　6．遠隔操作型機械の保管・稼動状況 …… 32
　　7．遠隔操作型機械の運搬・整備状況 …… 33
　　8．施工方法および施工状況 …… 34
　　9．使用機械稼動状況・施工効率 …… 37

10. 遠隔操作機械の操作装置 …… 38
11. 遠隔操作機械の安全装置 …… 38
12. オペレーター人員配置状況 …… 38
13. 無線使用状況 …… 39
14. 作業支援装置採用状況 …… 40
15. メンテナンス体制 …… 40
16. 安全対策 …… 40
Ⅲ. C工事 …… 43
1. 災害状況 …… 45
2. 災害復旧作業 …… 47
3. 無人化施工の採用経緯 …… 50
4. 無人化施工に対する準備工 …… 50
5. 遠隔操作型機械の調達・選定状況 …… 51
6. 遠隔操作型機械の保管・稼動状況 …… 52
7. 遠隔操作型機械の運搬・整備状況 …… 52
8. 施工方法および施工状況 …… 54
9. 使用機械稼動状況・施工効率 …… 56
10. 遠隔操作機械の操作装置 …… 59
11. 遠隔操作機械の安全装置 …… 61
12. オペレーター人員配置状況 …… 62
13. 無線使用状況 …… 63
14. 作業支援装置採用状況 …… 64
15. メンテナンス体制 …… 65
16. 安全対策 …… 65
Ⅳ. D工事 …… 67
1. 災害状況 …… 69
2. 災害復旧作業 …… 69
3. 無人化施工の採用経緯 …… 71
4. 無人化施工に対する準備工 …… 72
5. 遠隔操作型機械の調達・選定状況 …… 72
6. 遠隔操作型機械の保管・稼動状況 …… 73
7. 遠隔操作型機械の運搬・整備状況 …… 74
8. 施工方法および施工状況 …… 75
9. 使用機械稼動状況・施工効率 …… 79
10. 遠隔操作機械の操作装置 …… 86
11. 遠隔操作機械の安全装置 …… 86
12. オペレーター人員配置状況 …… 87
13. 無線使用状況 …… 90
14. 作業支援装置採用状況 …… 90
15. メンテナンス体制 …… 91

16. 安全対策 …… 92
V. E工事 …… 95
1. 災害状況 …… 97
2. 災害復旧作業 …… 97
3. 無人化施工の採用経緯 …… 98
4. 無人化施工に対する準備工 …… 98
5. 遠隔操作型機械の調達・選定状況 …… 98
6. 遠隔操作型機械の保管・稼動状況 …… 99
7. 遠隔操作型機械の運搬・整備状況 …… 99
8. 施工状況 …… 101
9. 使用機械稼動状況・施工効率 …… 108
10. 遠隔操作機械の操作装置 …… 108
11. 遠隔操作機械の安全装置 …… 113
12. オペレーター人員配置状況 …… 115
13. 無線使用状況 …… 117
14. 作業支援装置採用状況 …… 124
15. メンテナンス体制 …… 127
16. 安全対策 …… 127
4．3 オペレーターヒアリング結果 …… 131
5．現状の課題及び改善案 …… 137
5．1 無人化施工の採用 …… 137
5．2 無人化施工に対する準備工 …… 140
5．3 遠隔操作機械の選定・調達 …… 142
5．4 遠隔操作機械の保管・稼動体制 …… 145
5．5 遠隔操作機械の運搬・整備 …… 146
5．6 施工方法 …… 154
5．7 操作装置 …… 160
5．8 安全装置 …… 163
5．9 オペレーター人員配置 …… 166
5．10 無線 …… 173
5．11 作業支援装置 …… 178
5．12 メンテナンス …… 182
5．13 安全対策 …… 185
6．遠隔建設機械による復旧作業の今後の方策（案）について …… 188
7．終わりに …… 193
参考資料 …… 195
災害復旧事業の無人化施工作業手順書（案） …… 197

1．はじめに

1．1　我が国の土砂災害状況

我が国では、地形的および気象的条件のため、火砕流、土石流、地すべり、および崖崩れなどの土砂災害が、平成4年（1992年）から平成8年（1996年）の5年平均で2，113件発生している。しかし、5年間の年度毎の発生件数は大きく変化しており、昨年度（平成8年）の413件に対して平成4年は4，322件、平成5年は3，872件となっている。また、これらの土砂災害による被害も、災害箇所や発生規模によってさまざまではあるが、多数の被害を受けている。[1)] (図1－1、図1－2及び表1－1を参照)

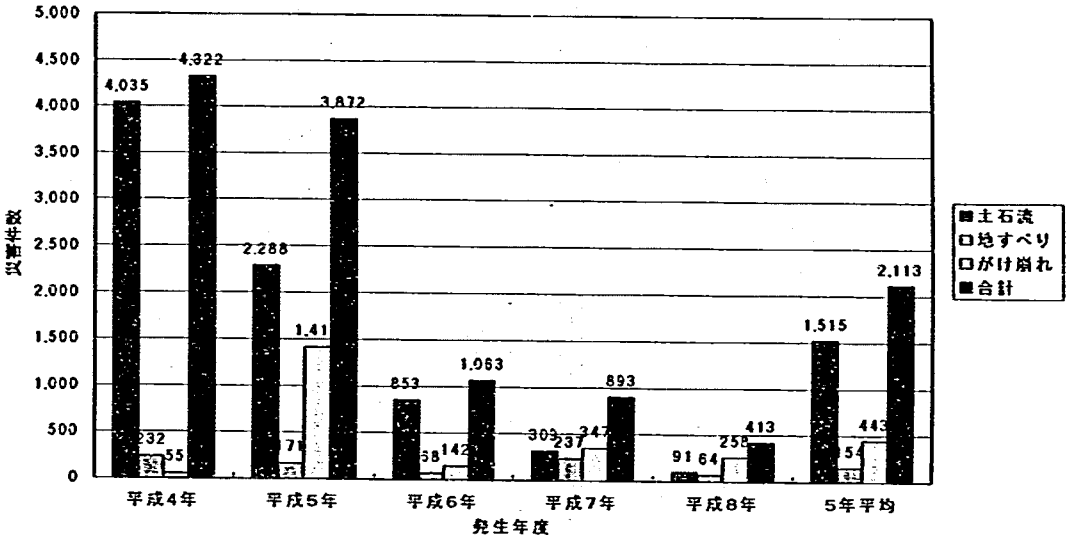


図1－1：土砂災害発生状況

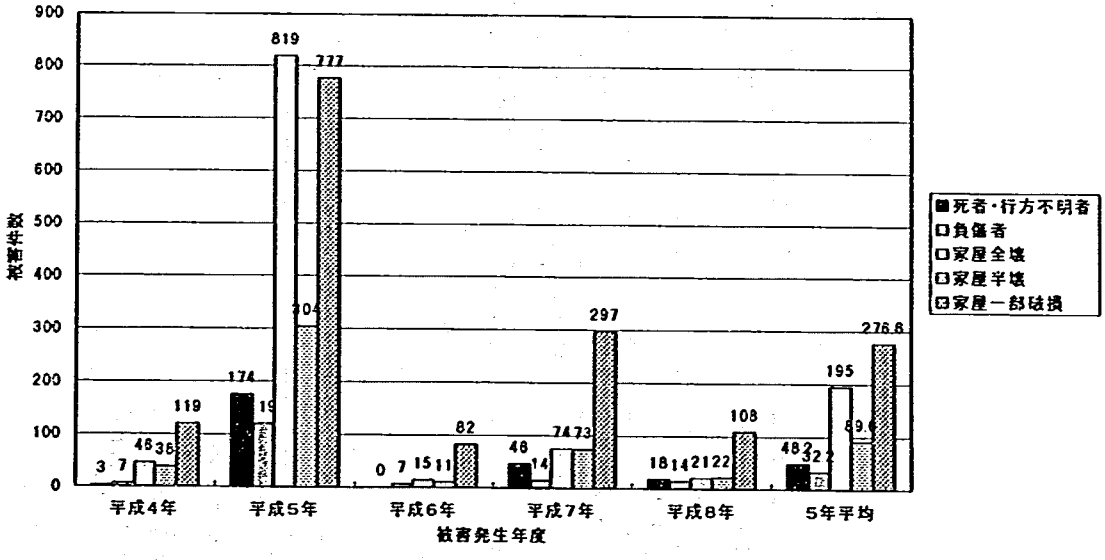


図1－2：土砂災害による被害発生状況

表１－１：土砂災害発生状況

項　　目	平成４年	平成５年	平成６年	平成７年	平成８年
土石流	4,035	2,288	853	309	91
地すべり	232	171	68	237	64
がけ崩れ	55	1,413	142	347	258
合計	4,322	3,872	1,063	893	413
主な災害	雲仙火砕流 3,919件 雲仙土石流 15件 桜島土石流 71件	雲仙火砕流 1,959件 雲仙土石流 38件 桜島土石流 82件 北海道南西沖地震	雲仙火砕流 780件 雲仙土石流 1件 桜島土石流 41件	雲仙火砕流 4件	蒲原沢土石流 山林火災
死者・行方不明者	3	174	0	46	18
負傷者	7	119	7	14	14
家屋全壊	46	819	15	74	21
家屋半壊	38	304	11	73	22
家屋一部破損	119	777	82	297	108

従来、これらの災害復旧現場では、オペレータが搭乗した油圧ショベル、ブルドーザなどの汎用建設機械を使用して作業を行っている。しかし、これらの災害復旧現場では、一般的に二次災害の発生が懸念され、大変危険をともなう作業となる。この改善対策として、近年遠隔操作型の建設機械を用いた事例も出てきている。

１．２　災害復旧工事における無人化施工の採用と課題

建設機械の無人化施工技術は、生産性の向上、危険地域や過酷な条件下での作業、労働者不足および高齢化の問題を解決していくための重要な開発課題とされ、はやくから建設業各社によって研究開発が行われてきた。この無人化施工が初めて実際に採用されたのは、長崎県島原市の雲仙普賢岳の火砕流・土石流による地域住民への被害を軽減するために、火砕流・土石流の到達する可能性のある警戒区域内にある遊砂地に堆積する土砂を緊急に排除するためであった。その経緯は、１９９３年７月に建設省が無人化施工に関して「試験フィールド制度」を利用し、民間各社から技術提案の公募を行ったのち、１９９４年に建設省として同制度を初めて適用し、現地において試験施工を実施したものである。「試験フィールド制度」とは、建設省が１９９３年度より創設したもので、将来に向けて行政ニーズが高く、現場での技術的検証を通じて完成度を高める必要のある技術を対象に、実際の現場において実大構造物を建設して、各種試験などを実施するものである。[2)]

その後雲仙普賢岳では、断続的に無人化施工が採用され、除石工事に加えて砂防ダム越流部のＲＣＣ（Roller Compacted Concrete）工法によるダム堤体の建設工事も無人化にて施工されている。また本年度は、日本各地に発生した災害に対する復旧工事において、無人化施工を採用することによって、二次災害の発生による人的被害を最小限に抑えようと試みる例が増加している。

また、現在建設省では、各地方建設局・技術事務所において遠隔操作型建設機械を用いた無人化施工の各種実験が行なわれ、迅速に安全な無人化施工を効率良く施工するための研究が行われている。

しかし、実施工現場では、遠隔機器およびオペレータの絶対数が少ないために遠隔操作型建設機械およびオペレータの調達が難しい、作業効率が通常に比べ３～６割と低い、機器の安全性の確保が難しい等さまざまな問題が発生している。しかし、今後は二次災害の危険がある災害復旧現場には、オペレータが安全な場所で操作できる遠隔操作型の建設機械による施工が望まれており、より効率的な施工の実現が期待される。

本報告は、遠隔操作機能を付加した汎用建設機械を災害復旧事業に活用した最近の事例についての調査を行い、これより遠隔操作型建設機械およびオペレータの調達の課題、遠隔操作による作業上の課題、作業効率の向上を図るための課題について整理を行い、これらの課題を解決するための今後の方策についてまとめたものである。

調査対象事例は、平成９年度に実施された遠隔型建設機械を用いた土石流および岩盤崩落災害の復旧作業５件であり、現場立ち会い調査、現場技術者およびオペレータへのアンケートおよびヒアリング調査を行うことにより、建設機械本体および遠隔操作機器の仕様、現場施工の観察方法、施工方法、オペレータ、機器の整備方法などの実態を明らかにした。

2．調査目的

近年の土石流や地すべり、崖崩れ等の災害復旧において、二次災害の防止等を目的に遠隔操作型建設機械を導入し、施工を行っている事例が見られる。しかし、遠隔操作型建設機械を使用した無人化施工を土木工事に適用し、施工を行った事例は雲仙・普賢岳の無人化施工を代表として全国で数例しかない。このため、無人化施工を採用した現場においては、施工計画の段階で施工上の問題点は何かを抽出することからはじまり、施工中には発生した問題点を現場毎にそれぞれ工夫を凝らしながら解決しているのが現状である。

よって本調査は、災害復旧作業時の無人化施工を円滑に推進するために無人化施工の施工上の問題点を現地調査を行うことにより収集整理し、その対策を検討することを目的とする。

3．調査方法

3．1　調査対象

平成９年度に実施された遠隔操作型建設機械を用いた土石流及び岩盤崩落災害の復旧作業を対象とし、調査を行った。以下に調査を行った対象と工事概要を示す。

表３－１：対象工事一覧表

番号	調査対象工事	工事種類	工事時期
Ⅰ	Ａ工事	国道災害関連岩塊除去工事	災害発生直後に施工された緊急的工事
Ⅱ	Ｂ工事	河川災害関連砂防工事	〃
Ⅲ	Ｃ工事	河川災害関連砂防工事	工事時期に制限がない復興工事
Ⅳ	Ｄ工事	河川災害関連砂防工事	〃
Ⅴ	Ｅ工事	砂防ダム建設工事	〃

3．2　調査項目

調査は、以下の項目について行った。

(1)災害状況
(2)被災復旧作業
(3)無人化施工の採用経緯
(4)無人化施工に対する準備工
(5)遠隔操作型機械の調達・選定
(6)遠隔操作型機械の保管・稼動状況
(7)遠隔操作型機械の運搬・整備
(8)施工方法および施工状況
(9)使用機械稼動状況・稼働率
(10)遠隔操作機械の操作装置
(11)遠隔操作機械の安全装置
(12)オペレーター人員配置状況
(13)無線使用状況
(14)作業支援装置採用状況
(15)メンテナンス
(16)安全対策

3．3　調査方法

調査は、対象現場の現地に赴き、主に遠隔操作型建設機械の調達の迅速化、施工の効率化、施工の安全対策に主眼を置いて、施工状況の確認、発注者の関係者および請負者の現場技術者への聞き取り調査、遠隔操作型建設機械の担当オペレータへのアンケート及び聞き取り調査、関係資料の収集を実施する事により行なった。

4．調査結果

4．1　工事概要

今回調査を実施した遠隔操作機械を使用した無人化施工の現場の工事概要を下記に示す。

Ⅰ．A工事

工事内容：トンネル巻出部で発生した岩盤崩落に対して崩落岩盤下の被災人の捜索を行うものである。作業は、崩落岩盤の除去及び除石である。

工事数量：崩土除去　V＝ １１，９００ m^3

使用機械：

表４－１－１：遠隔操作型建設機械一覧表（かっこ内は旧ＪＩＳ表示）

機械名	規格	台数	搭載機器類
バックホウ	１．４m^3(1.2m^3)	１台	
	１．４m^3(1.2m^3)	１台	
	０．４５m^3(0.4m^3)	１台	(監視カメラ専用機)
ブレーカー	０．８m^3(0.7m^3)	２台	ﾌﾞﾚｰｶｰ 1600 kg
	０．８m^3(0.7m^3)	１台	ﾌﾞﾚｰｶｰ 1600 kg
ブルドーザ	４３ｔ	１台	
	３２ｔ	１台	
クローラドリル		１台	(発破作業用)

Ⅱ．B工事

工事内容：河川の斜面の崩落によりできた湛水による土石流を防止するため、崩壊土砂の堆積部に水路を設けるものである。作業は、崩落土砂部に河川水路を設けるための土砂搬出及び排水管敷設である。

工事数量：

表４－１－２：B工事数量

工種	数量
ブルドーザ土工	１，７５３ m^3
バックホウ土工	１，４７２ m^3

使用機械：

表４－１－３：遠隔操作型建設機械一覧表（かっこ内は旧ＪＩＳ表示）

機械名	規格	台数	搭載機器類
バックホウ	１．８m^3(1.5m^3)	１台	
ブルドーザ	１６ｔ	１台	

Ⅲ．C工事

工事内容：土石流により埋設した砂防ダムを復旧するものである。作業は、砂防ダム内部の土砂搬出である。

工事数量：

表４－１－４：工事数量

工種	種目	数量
土工	掘削・排土	３０，４００ m^3
	押土	２，６００ m^3
	集積	３０，４００ m^3
仮設工		１式

使用機械：

表４－１－５：遠隔操作型建設機械一覧表（かっこ内は旧ＪＩＳ表示）

機械名	規格	台数	搭載機器類
バックホウ	５．７m^3(3.8m^3)	１台	
ブルドーザ	２１ｔ	１台	(湿地型)

Ⅳ．D工事

工事内容：河川上流で発生した土石流により埋設した河川の復旧と導流堤の構築を行うものである。作業は、河川内の堆積土砂の押土及び異型ブロックによる導流堤の構築である。

工事数量：

表４－１－６：工事数量

工種	数量
切盛土工	１３，３００ m^3
異形ブロック製作	約６００個
異形ブロック設置	２３４個

使用機械：

表４－１－７：遠隔操作型建設機械一覧表（かっこ内は旧ＪＩＳ表示）

機械名	規格	台数	搭載機器類
バックホウ	１．４m^3(1.2m^3)	１台	カメラ設備 異形ﾌﾞﾛｯｸ 設置用ｱﾀｯﾁﾒﾝﾄ
		１台	
バックホウ	４．０m^3(3.5m^3)	１台	カメラ設備
ブルドーザ	４３ｔ	２台	(水陸両用)
クローラダンプ	１１ｔ	１台	

ただし、上記遠隔操作機械を工事期間中常時使用していたわけではなく、作業内容に応じて機械の入れ替え・追加を実施している。また、隣接する無人化施工現場と遠隔操作型建設機械を入れ替え使用した実績もある。

V．E工事

工事内容：土石流による被害を最小限に抑えるため、火砕流の到達する危険性のある警戒区域内において砂防ダムを構築するものである。作業は、ダム内部の土砂搬出と土砂型枠工及びRCC工法による砂防ダム堤体構築である。

工事数量：

表4－1－8：A工事数量

工種	数量
堤体工 本ダム堤体打設	２０，７２８ m³
本ダム土砂型枠工	９９，６３９ m³
土砂型枠撤去工	１６，３７５ m³
仮設工 転流工盛土工	１，３０８ m³

使用機械：

表4－1－9：遠隔操作型建設機械一覧表（かっこ内は旧ＪＩＳ表示）

機械名	規格	台数	搭載機器類
バックホウ	３．２m³(2.8m³)	１台	ＣＣＤカメラ、機械情報伝送
	１．５m³(1.3m³)	１台	ＧＰＳ、ＧＰＳデーター伝送 ＣＣＤカメラ
ブルドーザ	６０ｔ級	１台	ＣＣＤカメラ、機械情報伝送
	１６ｔ	１台	ＧＰＳ、ＧＰＳデーター伝送 ＣＣＤカメラ ＲＣＣ敷均し厚管理システム
ダンプトラック	４５ｔ	３台	ＣＣＤカメラ、情報伝達無線
振動ローラー	１０ｔ級	１台	ＧＰＳ、ＧＰＳデーター伝送 ＲＣＣ締固め管理システム
カメラ車	ｸﾛｰﾗ型	４台	

４．２　工事状況

現地調査を行なった５つの災害復旧工事の工事状況を以下に示す。

Ⅰ．Ａ工事

１．災害状況
２．災害復旧作業
３．無人化施工の採用経緯
４．無人化施工に対する準備工
５．遠隔操作型機械の調達・選定状況
６．遠隔操作型機械の保管・稼動状況
７．遠隔操作型建設機械の運搬・整備状況
８．施工方法および施工状況
９．使用機械稼動状況・施工効率
１０．遠隔操作型建設機械の操作装置
１１．遠隔操作機械の安全装置
１２．オペレーター人員配置状況
１３．無線使用状況
１４．作業支援装置採用状況
１５．メンテナンス体制
１６．安全対策

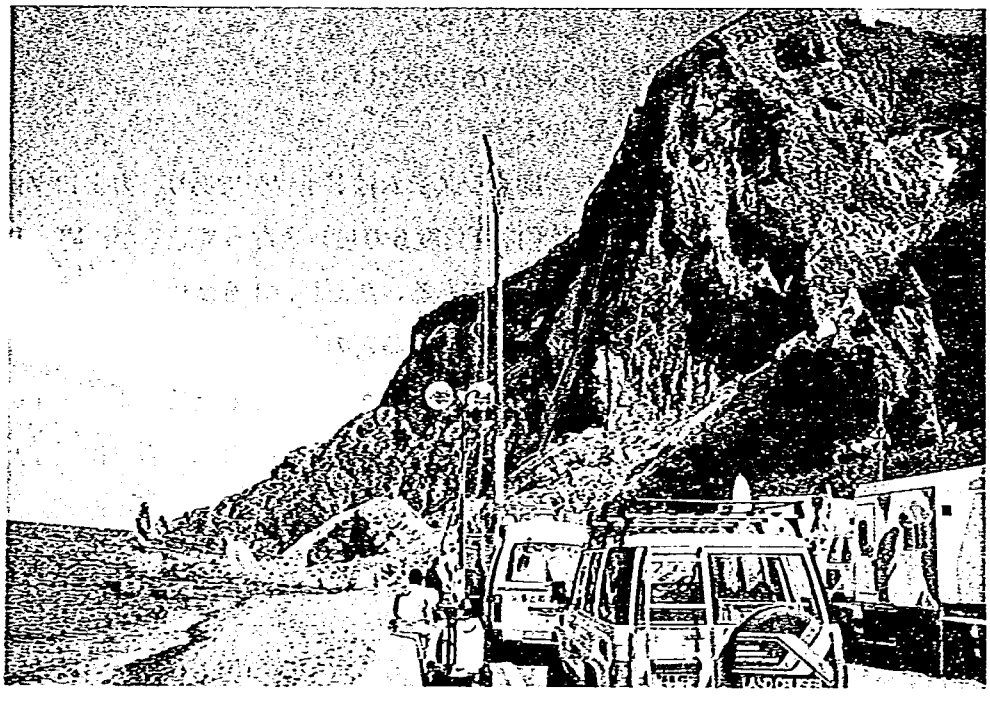
Ⅰ．A工事

1．災害状況

トンネルの巻出部で、高さ約７０m、幅約３０m、厚さ約１０mにわたり岩盤が崩落した。（土量は約２０，０００ m^3）このため、トンネル巻出部が落石によって崩壊、延長約１００mにわたり岩塊、土砂が堆積した。また、災害発生から３日後には約３，８００m^3 の規模の二次崩落が発生したが、事前に復旧作業を中断し、作業員は全員待避していたため、二次災害の発生はなかった。

被害状況は、当初落石の下に被災者がいることが懸念されたが、被災後からの、土砂の除去作業、警察や消防機関による現地調査、崩落直前の通行車両の目撃情報、安否情報の確認結果などから、被災者等がいる可能性が極めて低い物と判断された。特に警察では、崩落の前後に付近を通過していたと思われ、その後安否がわかっていない人の情報を集めるために、災害発生当日に「行方不明者相談所」を設置し、災害発生から９日後までに家族との連絡がつかないと相談が寄せられてきた３４件７５人について調査し、その後全員の無事が確認された。

また、この崩落によって道路は完全に通行止めとなり、付近住民の交通は遠く離れた迂回路を使用せざるを得なくなった。



写真－１：岩盤崩落状況（二次崩落後）

2．災害復旧作業

（1）災害対策経過

災害発生から、１１時間後に被災者などの有無を確認するため、電磁波探査を開始した。しかし、被災者の有無が確認されなかったため、災害発生から１２時間後に建設機械による崩落土砂の掘削作業を開始した。作業は、小落石の発生や専門家による崩落面の調査で二次災害の危険性が指摘されたことから、遠隔操作型建設機械を採用した。

また、遠隔操作型建設機械（ブレーカー）による土砂除去作業が容易となるように、補助的に岩塊にクラックを発生させる発破を、一度だけ実施している。（含水爆薬５ｋｇ使用）

現地では、二次災害に対する安全確保を第一とし、除去作業は遠隔操作型建設機械を主体として行ってきたが、崩落岩塊の滑落など二次災害の恐れから、これ以上の作業の継続は困難という判断から、災害発生から２２日後にその作業を終えている。

（2）遠隔作業開始前の問題点

1）２次災害について

・岩盤が丈夫だと調査する方法、機材がない。

・岩盤の亀裂を測る方法がない。

2）人命探査について

・人間や車の存在の確認が大きな問題となった。

・岩盤のために人間の探査は電磁波深査法しかない。

3）電磁波による生存者探索システムについて

・今回使用した電磁波による生存者探索システムはドイツ製であり、カタログ値で送信出力0.2W、到達距離 20m（垂直／水平探査角度６０度）となっているが、障害物の密度、水分、鉄などにより性能は変化するようである。ただし、１０cm以下の水の固まり、３cm以下のメッシュの鉄筋であれば電磁波は通過するとのことである。

・今回の調査の場合、どのくらい探査能力があるかを測定するため、１．３mの厚さの岩盤を使用して、人間の反応を測定し、このデータの反応から３mの岩盤は通すだろうという判断で施工高さを３mに指示したとのことである。

・電磁波探査は、堆積の少ないところで１７カ所探査したが反応はなかったとのことである。

（3）施工業者について

・土木工事を請け負い施工している業者で、現在２０現場程度を施工している。

・遠隔操縦の建設機械は、オーバーハング部の道路作業において、避難場所が確保できないために建設機械の遠隔化を行っている。

・所有の遠隔機械は、バックホウ及びブレーカで３台、キャリアダンプ１台、スパイダー２台である。

・遠隔操縦機は、上記機械と今回の工事に搬入しているものを合わせると、現場の施工状況しだいでは、３セット分になる機械を保有している。

・遠隔操作の施工は今までにも多数施工しているが、人間を完全に立ち入り禁止として施工する施工は、今回が初めてである。

・いままでの災害復旧工事に関しては、例外なく全て昼夜作業にて対応してきている。

・会社としては発破作業も施工しており、削孔機械も１５台程所有しているが、この機械を遠隔化しても、装薬作業が人間でしか行えないので、コストを考えて遠隔化にしていない。

３．無人化施工の採用経緯

本工事の無人化施工の採用に関しては、岩盤が崩落した直後に安否不明者がいたことから、消防や警察との協議により、土砂の除去作業を最優先に実施することが決まった。崩落後の状況から二次災害の危険性が高かったために、無人化施工を採用している。

現地の作業状況としては、災害が発生してから、３０分後には施工業者に収集がかけられ、災害発生から７時間半後には無人施工が決定している。

４．無人化施工に対する準備工

機器の配置状況などから、下記の準備工が考えられる。

(1)遠隔操作型建設機械以外の機械の調達・使用申請・設置

クレーン・照明設備・通信関連設備・監視機器の設置

(2)危険区域への入場制限にバリケードの設置

(3)発破作業用に火薬所の設置

５．遠隔操作型機械の調達・選定状況

（１）調達方法について

・機械情報の入手経路に関しては、発注者が直接行なった場合と建設会社が調査した場合に分けられる。

・発注者が直接行なった例としては、発注者が建設機械メーカーを調査し、そのメーカーからの出荷先を調査して、持ち込みを依頼しているとのことであった。

・地元の建設業界ルートによって、協力業者所有の遠隔操作機械が近くの現場で稼動している情報が入手されている。また、その後の機械調達の情報入手には、この協力会社の情報網からも情報を入手している。

・当地区の建設機械メーカーＡ社の遠隔化タイプは、バックホウで３台、ブルドーザでは１台しかなかった。

・無人化施工のための資材、機材の手配ができるデータベースが必要である。

（2）調達先

下記に調達先を明記する。

表－1：遠隔操作型機械の調達先一覧表（かっこ内は旧JIS表示）

機械名	規格	台数	調達先
バックホウ	1．4m³（1.2m³）	1台	リース会社A社
	1．4m³（1.2m³）	1台	他社のB社
	0．45m³（0.4m³）	1台	協力会社F社
ブレーカー（1600kg）	0．8m³（0.7m³）	2台	協力会社F社
	0．8m³（0.7m³）	1台	リース会社A社
ブルドーザ	43t	1台	協力会社F社
	32t	1台	他社の協力会社I社
クローラドリル		1台	建機メーカーE社

（3）無人化施工のための使用した機器について

1）クローラドリルについて

・巨大な岩塊を破砕する機械として、汎用品を遠隔化したクローラードリルを調達している。

・削孔機メーカーは日本で3社あるが、1社は操作が逆で使いにくい。

・削孔機には、コンピュータ（Dタイプ）搭載の電磁バルブ式と油圧式がある。

・今回の遠隔操縦への改造は、コンピュータ搭載のものを使用して改造している。

・遠隔化への改造内容としては、走行・フィール圧の比例電磁弁の取付・電気部品取付・プログラムのラジコン仕様への交換である。

・遠隔操作への改造期間は、部品があれば2日、部品無しで3ヶ月が必要期間として必要であるとのことであった。

・遠隔操作機械は、世界でこの1台しかなく、新たな機種を遠隔化へ改造するためには、プログラムの作成が必要である。

・操作制御方式は、比例電磁バルブ3つ（走行2つ、押付力1つ）、ON－OFF制御41個（予備1つ）である。

・現場の搬入前に使用されていた採石場では、転石による災害対策としてこれを搬入して使用していた。

・装薬作業については、山腹の状況を崩落しないか監視しながら、人力にて行うように計画されていた。

2）クレーンおよびゴンドラについて

・今回の工事に関しては、操作上の視界の確保のために、200ton クレーンと3人乗りのゴンドラを使用している。

・ゴンドラの使用に関しては、労働基準監督署に届け出が必要となってくるが、届け出が受理されるまでは、高所作業車にて対応する方法を取っている。

6．遠隔操作型機械の保管・稼動状況

施工業者である地元業者F社所有の遠隔操作機械については、他の現場との兼ね合いを考えて、持ち込む事が可能な機械を現場に即搬入している。

また、クローラージャンボに関しては、姫路の採石場にて転石の安全対策として使用していた機械を引き抜いて搬入している。

7．遠隔操作型建設機械の運搬・整備状況

下記に、遠隔操作機械の搬入、組立・解体、整備、工事施工後の搬出、工事完了後の機械整備についてを示す。

・搬入に関しては、本来分割搬入すべき総重量の機械についても、今回の工事に関しては、すべて一体型にて搬入していた。

・建設機械の搬入は一般道を、先導者をつけて行った。

・搬入に関して、通常は前回の工事の終了後に分割して保管場所に搬入しているために、必ず組み立ては必要となってくるが、今回の工事機械は現場にて稼働中の機械を持ってきたために、その組み立ては省くことができた。

・バックホウの遠隔化によるバッテリー交換はいらないとのことであった。

・他社の協力業者であるB社から搬入されたバックホウ（ブレーカ 2.5t）は、過去に建設会社D社が雲仙で使用していたものである。

・雲仙普賢岳の無人化施工から、遠隔操縦として使用していないため、断線が数カ所見られたため修理した。

・遠隔操作型建設機械は、施工完了後の整備費が、普通より必要であった。これは、ぶつかったりして破損したためであったとのこと。

8．施工方法および施工状況

（1）工事施工方法の概要

本工事は、トンネル巻出部で発生した岩盤崩落事故に対して、崩落岩盤下の被災者の捜索のための土砂の除去を行なうものである。よって、作業は崩落して堆積した岩盤の除去および除石である。なお、崩落土量としては、一次崩壊土量が約２０，０００m^3、二次崩落土量が約３，８００m^3であった。

（2）施工順序

作業手順としては、造成作業として、岩盤をブレーカで破砕し、次にバックホウで移動し、最後にブルドーザで地均しを行う工程を繰り返した。なお、崩壊土砂が切り立った状況を全体的に敷き均しまたは海に土砂を投下することで、施工していく方針であった。

（3）設備および使用機械

災害復旧作業範囲内で、建設機械が輻輳して目視で作業が見えなくならないように、現場へ投入する建設機械は最大２台とし、建設機械が重なって作業することのないよう配置した。また、崩壊土量が２０，０００m³以上と大量であり、遠隔操作型建設機械を予備の待機させた。下記に搬入した遠隔操作機械を示す。

表－２：現場搬入遠隔操作機械（かっこ内は旧ＪＩＳ表示）

機械名	建機メーカー	規格	台数
バックホウ	A社	１．４m³(1.2m³)	１台
	C社	１．４m³(1.2m³)	１台
	B社	０．４５m³(0.4m³)	１台
ブレーカー	A社	０．８m³(0.7m³)	２台
	B社	０．８m³(0.7m³)	１台
ブルドーザ	A社	４３ｔ	１台
	C社	３２ｔ	１台
クローラドリル	E社		１台

（4）施工状況の確認

測量は、自動測量システムは使用していない。そこで、測量や作業区域の現状確認では、厳重な監視体制のもとで、危険地帯とされる区域への入場者を管理しながら実施した。

（5）工事状況の概要

下記に工事状況を示す内容を列記する。

- 作業は、トンネルの両側から進められ、坑内側からは有人で、坑外からは遠隔操縦で行われた。
- 工事の対象土は、土砂の分布が巨大な岩塊が数点あり、その他に関しても岩が殆どである。
- 遠隔の建設機械は、災害発生から１６時間で到着し、作業を始めている。
- 当初遠隔機械は、ブルドーザ２台、ブレーカー３台、バックホウ１台で行っていたが、災害発生から１０日目にバックホウ１台、クローラドリル１台が新たに追加された。
- 第一に車路の確保をおこなうため、傾斜２～３％で造成を行なった。
- 作業は、夜間作業もあり、不整地運搬車に発電機とライトをのせた状態で作業範囲近くまで運搬車移動させ、作業箇所の至近距離から直接作業範囲照らしていた。また、遠方からも照明車６台が現地全体を照らしていた。
- 雨が降った場合の作業は、作業員、遠隔操作機が濡れるため、また建設機械のクローラーが岩で滑るために中止した。
- 使用する遠隔操作機械に関しては、無人化施工の経験を基にして選定しているとのことだった。

・当初、現場を見て決定した使用機械にて施工した状況が、岩の大きさや硬さ等の見解の相違から、予想していた施工状況と違っていた場合には、施工使用機械を変更・追加することは多々発生する。今回の工事についても、岩塊の多さや大きさからブレーカーの破砕能力が問題となり、０．８(旧ＪＩＳ表示0.7)m^3のブレーカー付バックホウに、１．４(旧ＪＩＳ表示1.2)m^3のブレーカー付バックホウを追加して施工した。

・現場では、建設機械同士の死角が発生するために、２台もしくは３台の遠隔操作機械しか稼動できない状況であった

・ゴンドラからの運転を行っているにもかかわらずに、巨大な岩塊の影に重機が入って、作業状況が見えなくなってしまう状況が発生した。このため、至近距離の視覚情報を得るために、協力会社Ｆ社の手配で０．４m^3のバックホウのアーム先端にテレビカメラを設置した応急カメラ車を搬入した。

（６）遠隔操作状況

遠隔操作の操作位置は、２００ｔトラッククレーンにオペレータ２人を載せたゴンドラをつり下げ、高さ３０ｍ～４０ｍ、距離６０～８０ｍの位置で、作業全体が目視できる場所で行った。なお、ゴンドラの使用は労働基準監督署に申請が必要なこと、およびクレーンの手配期間のため、施工当初は高所作業車を利用して、同様に高所からの遠隔操作を実施した。施工業者は、高所から全体状況を見て遠隔操作機械を操作することは非常に有効であると考えていた模様である。また、施工業者は今回の工事以外の遠隔化の工事でも、同等の方法にて施工することが多いとのことであった。。

（７）施工関連の特記事項

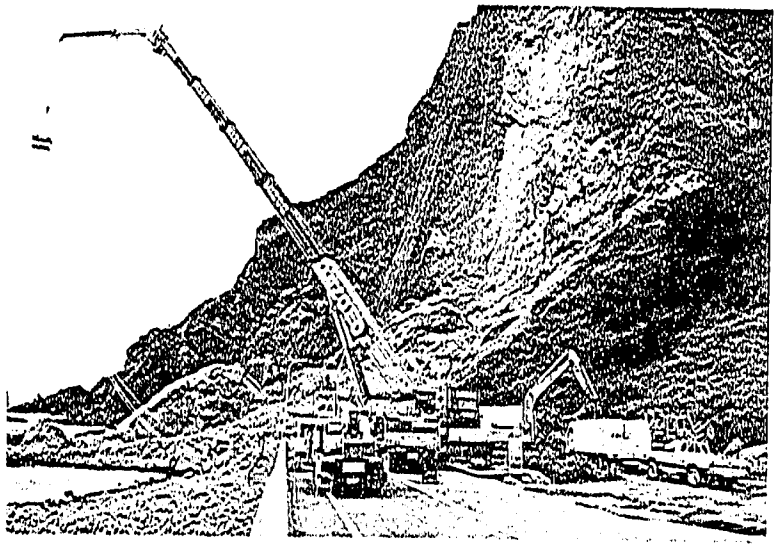
・復旧工事の計画は経験のみによるものであり、そのマニュアルはない。

・作業を行うときは、燃料の確保と作業視野が重要である。

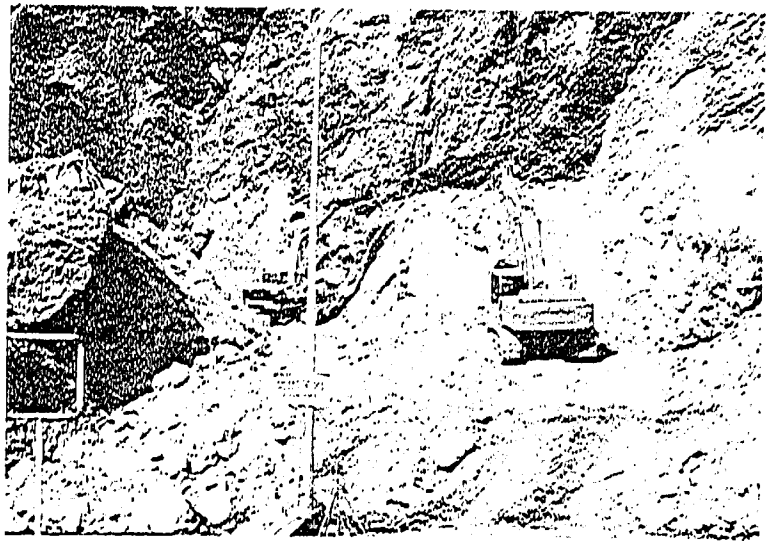
・トンネル側と海側の一部の堆積状況はまだ切り立った状況が残っており、重機の転落には充分注意して作業した。

・作業計画は、高所作業車、ゴンドラおよび航空写真から今までの経験とカンを基に効率よく作業ができるように計画した。

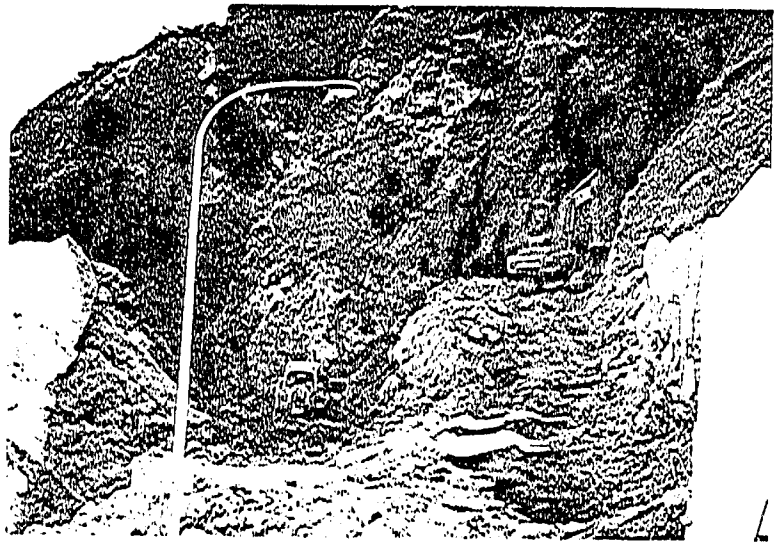
・ブルドーザは雨が降っても、作業員、操作レバーを室内に置けば作業は可能である。



写真－２：工事全体施工状況

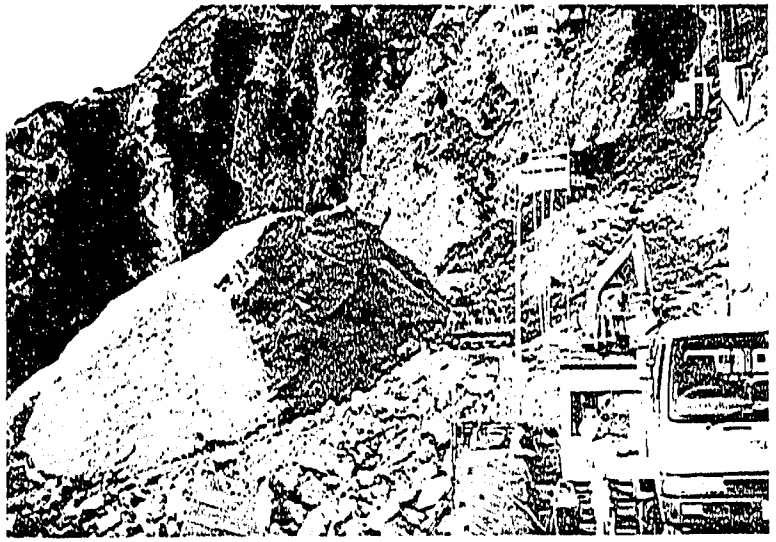


写真－３：ﾌﾞﾚｰｶｰ(0.8m³)の岩塊破砕・ﾊﾞｯｸﾎｳ(0.8m³)の破砕土均し状況

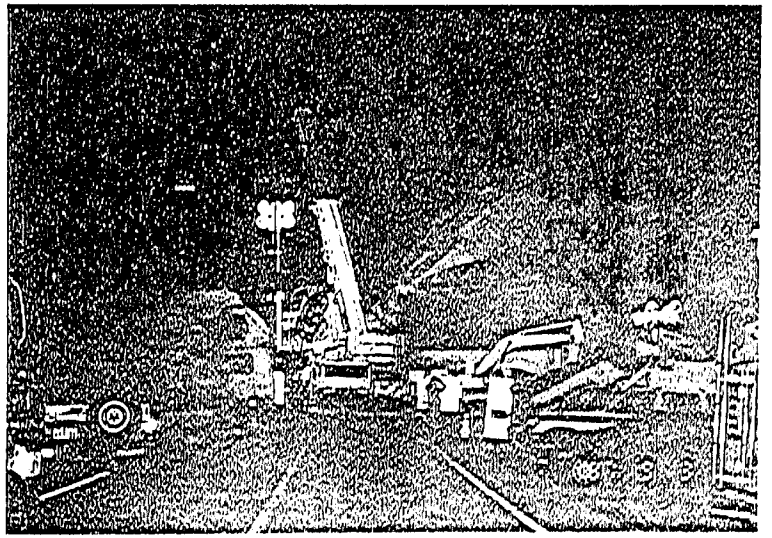


写真－４：ﾊﾞｯｸﾎｳ(0.8m³)及びブルドーザ(43t)による破砕土砂敷均し状況

写真－５：ﾌﾞﾚｰｶｰ(0.8m³、1.4m³)の岩塊破砕状況（ﾊﾞｯｸﾎｳは休止中）



写真－６：夜間作業準備状況



写真－７：夜間作業状況

９．使用機械稼動状況・施工効率

（１）遠隔操作機械の稼動状況について

下記に、遠隔操作機械の稼動状況を示す内容について列記する。

・今回投入したブレーカー（１．６ｔ　０．７m3）では、岩盤を砕くことは困難であり、４～５mの岩が砕けるくらいのもう１ランク上のブレーカが必要である。

・クローラジャンボによる削孔作業および発破作業は、崩落土砂内に大量の岩塊が存在するかもしれないといった前提にて試験的に実施されたものであったが、実施した結果からブレーカーによる作業と発破作業の全体の効率を比較した結果から、ブレーカーによる作業となった。

（２）進捗管理状況

作業の進捗のより異なるが、一日当たり１６０～１７０m3、最大１，４８０m3 の岩石が除去できた。

（３）無人化施工と有人施工との施工効率比較

現地調査にて下記事項が聞かれている。

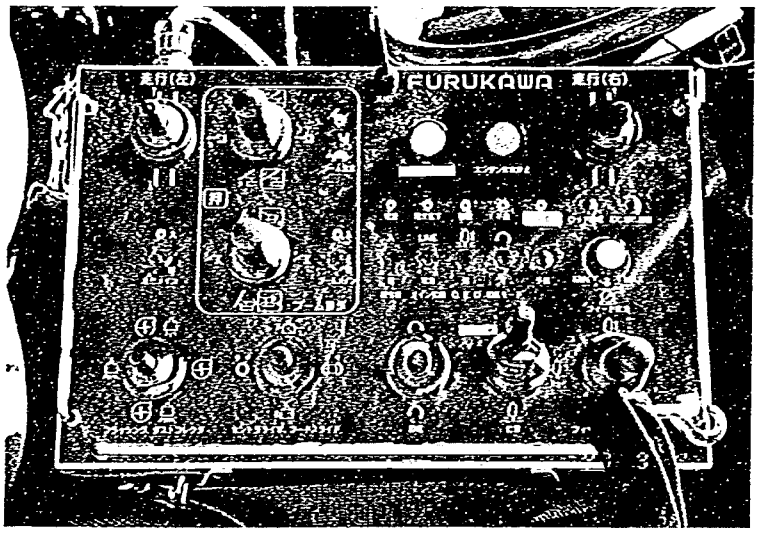
・無人化施工の能力を高めるには、今回の場合には、現場が狭いために台数を増やしても視界が悪くなり施工効率は落ちる。かえって台数より機械の能力をあげる方法がよい。

・遠隔化に伴う施工能率は、ブレーカーの場合ノミ先が見えるか見えないかで全然違い、搭乗と比較して３０～４０％の施工能力しかでない。

・バックホウの場合は搭乗型の７０～８０％、ブルドーザの場合は搭乗型とほぼ同程度の施工能力である。

１０．遠隔操作型建設機械の操作装置

クローラドリルの操作装置は操作装置を確認することはできなかった。クローラドリルの操作装置を写真－９に示す。



写真－８：クローラドリル操作装置

１１．遠隔操作機械の安全装置

この現場は、応急的復旧を緊急体制にて工事している状態であったため、オペレーターにヒアリングを実施できる状況ではなかった。しかし、電波の受信不良による非常停止では、通常の非常停止と同様に、エンジン停止となる仕様であったが、その復旧に時間や手間がかかっていたとのことであった。

１２．オペレーター人員配置状況

本工事は、緊急的な災害対策工事として、作業員は昼夜作業を実施しており、オペレーターにヒアリング調査を実施できる状態ではなかった。よって、項目毎に現場にて聞き取った内容について下記に示す。

（1）オペレーターおよび作業員配置状況

1）編成状況

昼夜２４時間体制にて施工され、ゴンドラ上のオペレータ作業は、９人が２人×4Hr 交替で作業にあたっている。また、ゴンドラにて操作していない時は、運転操作以外の雑工を行っていた。(例：火薬所の設置等)

2）編成に関する特記事項

遠隔の操作は、若い人が早く慣れると考えられており、実際に現場で従事しているオペレーターは若いオペレーターがほとんどであった。

（2）遠隔操作教育期間

建設機械の遠隔操作には練習が必要であり、方法としては、まず操作機を持ち込み搭乗してＲＣ操作の方法を覚え、その後外部に出て操作するとのことであった。通常の場合に練習は、作業のない夜間に行っているとのことであった。

しかし、具体的な教育期間については不明であった。

（3）オペレーターの経歴について

遠隔操作型建設機械を所有している地元業者のオペレーターがほとんどであった。しかし、他社の協力会社であるＢ社から搬入されたバックホウ（ブレーカ 2.5t）のオペレーターについては、雲仙普賢岳の無人化施工で施工した２人がきていた。

また、クローラドリルのオペレータは、搬入前に使用していた現場から、実際に機械を操作していた人をつれてきた。

（4）遠隔操作に慣れる期間

当工事のオペレーターの慣れに要する期間の関する内容は調査できなかったが、上記（2）の通りに遠隔操作の練習を、作業のない夜間に行っているとのことであった。

１３．無線使用状況

（1）無線局の使用状況

本工事の電波使用状況は、遠隔操作型建設機械の操作に関しては、特定小電力無線局を使用していた。また、映像伝送に関しては、現地調査時には２．４GHzのＳＳ無線を搬入して、調整中であったが、その後の状況については調査できなかった。

ＳＳ無線は、同一箇所では１波しか使用できない無線局であるが、この無線による映像伝送は、伝送速度の問題から動画の伝送は不可能であり、静止画の伝送となるため、モニターの映像と遠隔操作型建設機械の状態に差が生じていた。

（2）無線使用に関する特記事項

下記に、使用している無線についての特記事項を列記する。

- 使用する無線は、弱電タイプはすぐに混線して、遠隔操作型建設機械が止まってしまう可能性がある。
- 削孔機の操作無線は、特定小電力無線であり、通信距離は他のメーカーの特定小電力無線局と同様であり、通常の状況では約１００m、見通しがよい状況では３００mである。

（3）無線に関するトラブルの発生状況

建設機械メーカーのヒアリングにより、工事の施工効率を低下させた要因として、非常停止の停止状況も考えられるとのことであった。

これは、ゴンドラから操作していることによって、無線の発信機（操作機）とアンテナとの方向性に問題があったことが原因で、電波が受信不良と判断されて非常停止になった際に、エンジン停止となる仕様であったために、その復旧に時間や手間がかかっていたとのことであった。対策としては、まず送信機とアンテナの方向性を調整することもあるが、非常停止時の措置を、現状のエンジン停止とは違った、操作できない措置に変更することも、メーカーでは検討されている。

また今回のような災害では、多数のメーカーの遠隔操作機械が現地に投入されるため、無線はメーカー統一をしなければ、混信を起こす可能性が生じてくる。このため、無線の使用計画を立てる必要がある。

１４．作業支援装置採用状況

（1）作業支援装置の採用状況

1）映像装置

本工事当初は、２００ｔクレーンと３人乗りのゴンドラを使用して、高所から直接目視にて、機械を遠隔操作している。ゴンドラの使用に関しては、労働基準監督署に届け出が必要であり、届け出が受理されるまでは、高所作業車にて対応する方法を取っている。

また、災害発生から１０日後の現地調査時には、ＳＳ無線による映像伝送装置を搭載したブレーカー付バックホウを搬入した。さらに０．４５m^3のバックホウを改造し、アームにカメラを搭載した遠隔操作機械を搬入しているが、これらの２台の機械による施工状況は不明である。

2）施工管理装置

本工事では、施工管理システムの採用は実施されていない。

（2）特記事項

下記に、映像設備についての特記事項について列記する。

1）工事全体

・今回の現場状況の場合、外部に複数のカメラを設置した方がいいと考えられたが、どこに誰がつけるかが問題である。このような現場の場合、設置できる箇所が少なく、視野が良い場所は危険箇所である場合が多い。

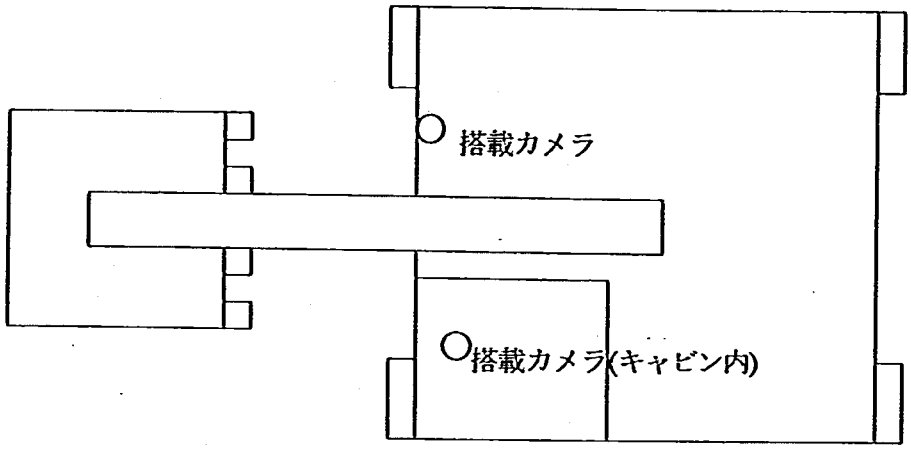
2）他社の協力業者であるＢ社から搬入されたバックホウ（ブレーカ 2.5t）の映像設備について

・後に雲仙から搬入されたバックホウはカメラを本体に２台つけて作業を行ったが、建設機械の本体に設置されたカメラでは、バックホウの現在位置や現場の遠近感（窪地や斜面）が分からず、施工に非常に苦労していた。やはり、作業には全体を見渡せるカメラが必要である。

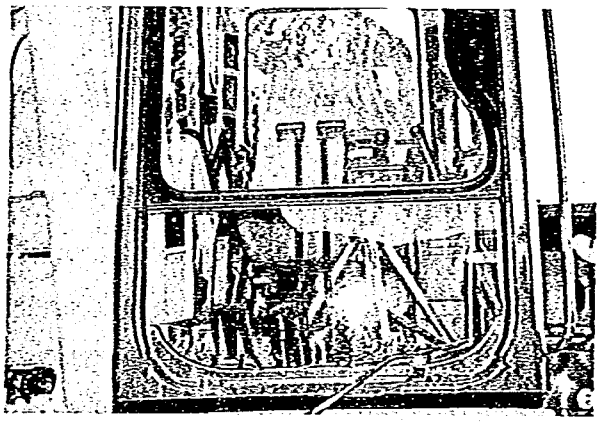
・映像は、動画ではなく静止画であったため、非常に見にくいが鮮明であった。

・本体に搭載されたカメラ２台での操作では、ユニットハウス内で操作していたために、ブレーカ作業、走行時ともに全体背景が見られないため、作業に支障をきたしていた。

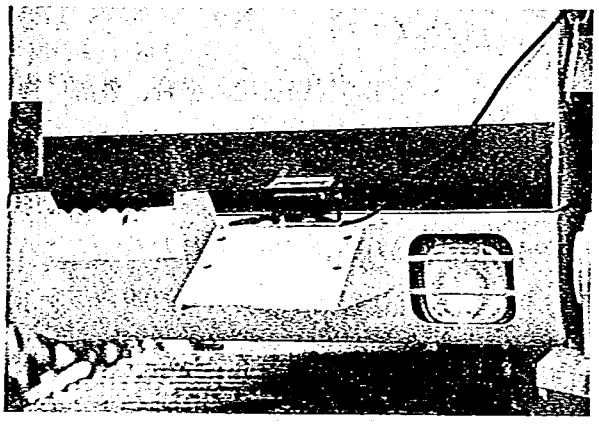
・ブレーカ作業中は、画像がみだれてみにくくなっていた。



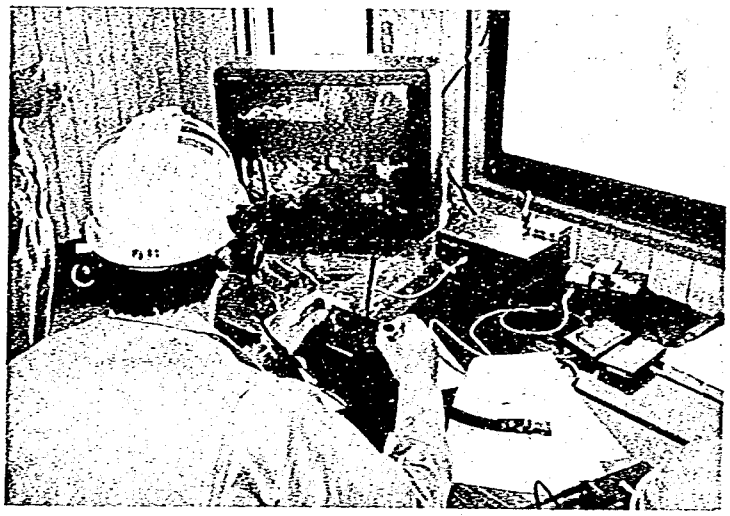
図－１：搭載カメラ設置状況



写真－９：カメラ設置状況（運転席）



写真－１０：カメラ設置状況



写真－１１：映像装置による遠隔操作実施状況

3）削孔機

クローラジャンボには、映像装置も建設機械の状態を通信する建機情報通信装置も採用されてはいなかった。映像装置は、振動でブレて使えないだろうとのことであったが、削孔作業を遠隔操作する場合には、今後両者とも必ず必要であると考えられる。

１５．メンテナンス体制

下記に項目別にメンテナンスに関する内容を列記する。

（1）メンテナンス体制

メンテナンス要員としては、建設機械Ａ社のサービスマンが災害発生から 3 日後に２人到着し９日後に無線担当が１人くる予定とのことであった。

クローラジャンボについては、搬入後に即座に使用する予定ではなかったため、現地調査時には調整中であり、使用状況やメンテナンス関連については不明である。また、その他のメーカーの建設機械のサービスマンについても不明である。

（2）メンテナンス状況

メンテナンスに関する内容について、現場で聞かされた内容を下記に列記する。

- 遠隔操作型建設機械の部品消耗率は、通常の場合の 3 倍程度であり、毎日のように油圧ホースがきれている。これは、操作している遠隔操作機械の周囲が十分に見えないために、岩等でホースを引っかけるためで、ブルドーザについても正面、側面が見えても背面が見れないためにホースを引っかけて切ってしまうことが多々発生している。
- 汎用機を遠隔化している機械は、メンテナンススペースが小さく部品交換がしにくい。
- 無線は無線機器の ID コードにより、送信機と受信機間の通信エラー管理を行っているが、サービスマンが現地で変更可能であり、修理時等には専用送信機が壊れても代替品を使用できるために有効であるが、電波管理上、むやみにＩＤコードを変更することが問題があるとおもわれる。

（3）建設機械メーカーＡ社のバックホウの故障について

現地調査時、建設機械メーカーＡ社のバックホウに故障が発生して修理中であった。この修理に関する内容を下記に列記する。

- バックホウのフレームが遠隔で下がらないが、操作レバーでは下がる故障が起きた。
- 原因は電磁バルブのコイルが動かなくなったためである。(通電はする)
- 電磁バルブの故障はよくあることということであった。(主に断線)
- 受信機の調子がわるく、コントローラと受信機を他のものに交換していた。
- ブレーカの調子がおかしく感じられ、帰還して点検すると、ブレーカの板おさえのボルトが２本とれていた。

（4）建設機械メーカーのサービスマンへのヒアリング内容

以下は、サービスマンへのメンテナンス関連のヒアリング結果である。

・電気系統の故障調査は、通電状態が分かるようにしてあり、発見は早い。

・部品は、必ず予備品が必要である。

・故障した場合の修理はマニュアルのみで行っている。

・燃料は、0.7m3 クラスでは、満タンにしておけば１日間は稼動出来る。

（5）返却時の整備について

・遠隔操作機械は、ぶつかったりして破損したため施工完了後の整備費が必要であった。

１６．安全対策

本工事では、岩体壁面の移動を監視するために、トランシット７台、光波測距儀４台を使用して定点観測を行っていた。また、映像記録装置も採用されており、二次崩落の兆候はこの記録されていた崩落斜面に発生していたクラックの進行状況から推測した。このため、二次崩落時には、作業員および遠隔操作型機械も待避しており、被害は全くなかった。

また、定期的に危険区域内の施工状況等を確認するため、危険区域内に立入っていたが、入場箇所を１箇所に限定し、入場者および出場者を厳しく管理していた。さらに、一般者やマスコミ等の報道陣の入場も別の箇所で実施されており、２箇所で入場管理されていた。

Ⅱ．Ｂ工事

１．災害状況
２．災害復旧作業
３．無人化施工の採用経緯
４．無人化施工に対する準備工
５．遠隔操作型機械の調達・選定状況
６．遠隔操作型機械の保管・稼動状況
７．遠隔操作型機械の運搬・整備状況
８．施工方法および施工状況
９．使用機械稼動状況・施工効率
１０．遠隔操作機械の操作装置
１１．遠隔操作機械の安全装置
１２．オペレーター人員配置状況
１３．無線使用状況
１４．作業支援装置採用状況
１５．メンテナンス体制
１６．安全対策

Ⅱ．Ｂ工事

１．災害状況

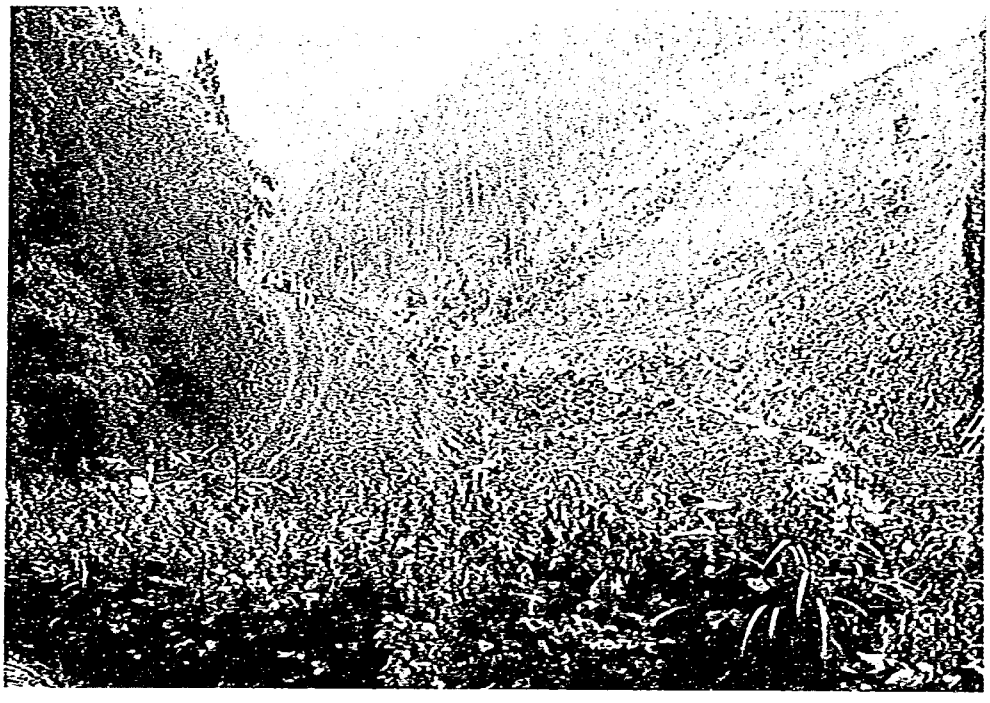
崩落場所は、３年前の台風によって杉の木が倒木した後に植林された谷間の斜面が崩落したもので、この土砂により谷底の河川がせき止められ、湛水ができた。崩壊直後の降雨によって現地の状況が変化しているため、崩壊土量は推定となるが、下記にその数量を示す。

＜崩落土砂状況＞

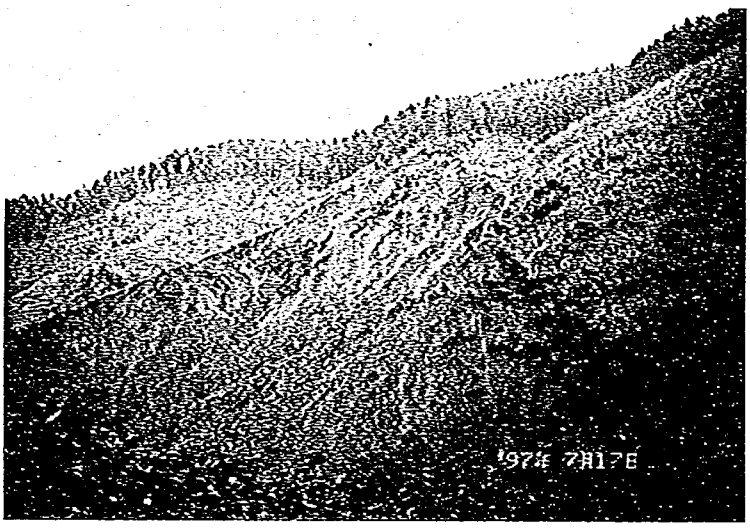
崩落幅	：	８０ m
崩落高	：	１５ ～ ２０ m
崩落長	：	１７０ m
崩落土量	：	１３０，０００ m^3
湛水量	：	４６，０００ m^3

災害の発生による被害は、人的・物的被害ともなかったが、崩落箇所の下流には川沿いに集落があり、湛水による土石流の発生に備えて、地元住民約 100 人は土石流に備えて避難していた。

崩落して堆積した土砂は、直径５cm 程度の砂利が主であり、中には直径１m の岩も含まれていた。また、土砂堆積部には、湛水から川下に自然に水道ができていた。



写真－１：崩落土砂堆積状況



写真－２：崩落斜面状況

２．災害復旧作業

（1）災害対策経過

○災害発生初日

・河川山腹斜面崩壊災害発生、川がせき止められる。

・建設省の災害対策車が派遣される。

・災害発生から１０時間後に、建設省の災害対策室より建設会社へ、出動要請がかけられる。

○２日目

・朝から復旧工事担当者による状況調査を行う。

・災害発生から３４時間後に、建設業者が、雲仙で使用した遠隔操作型のブルドーザ１台、バックホウ１台を、現地に搬入する。

・建設業者担当者およびオペレーターは、雲仙普賢岳で無人化施工の経験があり、前日の夜中に招集されたとの事である。

・建設機械搬入路の造成、および操作作業台（監視台）の構築のために、伐採等の作業を実施する。

○３日目

・雨のために、午前中は作業中止

・午後よりブルドーザによる搬入道路の造成などの復旧工事を開始する

・バックホウは、遠隔制御部の故障のために現地修理中であったが、夜中に修理を完了した。

○４日目～５日目

・工事を実施し、５日目には作業は完了した。

○８日目

・１３時に現地から遠隔操作型建設機械を搬出する。

（２）無人化施工による災害復旧工事概要

災害発生後に、崩落した土砂と塞き止められた水によって、土石流が発生する可能性があるということで、緊急的に復旧工事が実施されたが、その内容は崩落土砂の除去（運搬はなし）及び排水管の布設を遠隔操作機械を使用した無人化施工にて実施した。下記にその工事概要を示す。

発注数量　：ブルドーザ土工　１，７５３ ㎥

バックホウ土工　１，４７２ ㎥（現地測量の結果による）

出来高数量：　同上

（３）災害復旧（復興）計画

災害査定の結果により、下記の復興工事が決定している。なお、今後の施工に関しては、山腹（法面）復旧事業と調整を図りながら、効率的にかつ安全性を確保しながらの早期着工を目指している。

復旧延長：Ｌ＝ ４００ ｍ

（本工事）

本体工（鋼製床止工）	１ 基
かごマット工	１，３９５ ㎡
帯工（かごマットタイプ）	３０８ ㎡

（付帯工）

橋梁工	１ 基
取付道路	１ 基

３．無人化施工の採用経緯

本工事における無人化施工の採用に関して、発注者の事務所が把握している経緯としては、災害発生当日の２３：００に搬入に関する打合せを実施したことから始まっている。施工者であるＡ社には、災害発生当日の１８：００に機械調達の打診があったが、発注者の上層部の判断によって打診されている模様であり、無人化施工の明確な採用経緯については不明となっている。

４．無人化施工に対する準備工

本工事は、災害発生直後に計画され、緊急的に行われた工事であったが、無人化施工に対する準備工としては、遠隔操作型建設機械が搬入される前に以下の事項を実施されている。

(1)重機搬入路造成工

重機にて直接搬路を造成しながら搬入。（通常の搭乗型重機も使用）

(2)伐採工

地元消防団にて施工。

(3)遠隔操作台設置工

地元消防団によって裏山から進んで、崩壊法面対岸の山腹に設置。

なお、この操作台は全ての作業の見張り台も兼ねた。

5．遠隔操作型機械の調達・選定状況

（1）調達方法について

災害発生当日に、建設省から機械搬入の打診があった時点で、別の災害復旧工事にて使用する準備をしていた遠隔操作機械があったために、発注者の災害対策本部と搬入の打合せを実施して、翌日搬入している。なお、搬入された２台の遠隔操作機械は施工業者であるＡ社が雲仙普賢岳の無人化施工の工事で使用した機械である。

（2）調達先

ブルドーザについては、施工業者であるＡ社の所有機械であるが、バックホウはＡ社の協力会社Ｅ社の保有機械である。この２台の機械は整備予定で同一箇所にて保管されていた。

表－１：遠隔操作型建設機械の調達先一覧表（かっこ内は旧 JIS 表示）

機械名	メーカー	規格	台数	調達先
バックホウ	建設機械メーカーＡ社	１．８m^3 （1.5m^3）	１台	協力業者Ｅ社
ブルドーザ	建設機械メーカーＣ社	１６ｔ	１台	自社（Ａ社）

（3）使用遠隔操作機械の決定経緯

機種については、事態が緊急を要するために早急に用意できる条件に対して、上記状況から決定されている。

（4）今回の工事を通常施工する場合の搭乗機械と、今回使用した遠隔操作機械との比較

有人機械であっても、重量的・寸法的に、この機種が適当であったと考えられている。

6．遠隔操作型機械の保管・稼動状況

今回の工事にて使用されている遠隔操作機械は、２台共に別の災害復旧工事にて使用するため、工場にて保管され整備待ち状況の遠隔操作機械であった。

7．遠隔操作型機械の運搬・整備状況

（1）遠隔操作機械の搬入について

重機の搬入は、本来であれば、分解して一般道を使用し運搬するところであるが、事態が急であったため、道路管理者の協力を得て高速道路を通り、この高速道路の管理用道路から、分解せずに直接トレーラーで運搬車両の前後に誘導車を付けて運搬している。（自動車道での搬入では、分解せずに運搬したため軸重オーバーとなっていたが、緊急性を要していたため道路管理者と協議のうえで運搬した。）

（2）搬入時に必要となる組立・解体について

なお、今回使用した機械毎に必要とされる申請の詳細は、下記の通りである。

①バックホウ

今回使用したバックホウは、重量・寸法幅が共に運搬規格をオーバーしているため、道路許可申請が必要である。（道路許可申請は、重量・寸法を規格以内に分解する事が必要となるが、緊急の場合には組立て・解体時間が問題となる。）

②ブルドーザ

今回使用したブルドーザは、排土板を解体するだけで積載重量限度内の通常の運搬方法となり、特に道路許可は必要ない。

表－２：主要な使用遠隔操作型建設機械の組立て・解体データー

番号	機械	規格	組立		解体		運搬トレーラー
			クレーン	工数（人h）	クレーン	工数（人h）	
①	バックホウ	1.8m³	10t×３Hr	２６	10t×３Hr	１６	30t×１台 10t×１台
②	ブルドーザ	１６ｔ	10t×３Hr	6	10t×３Hr	6	30t×１台 10t×１台

（3）搬入後の整備に関して

下記に使用した機械毎に整備内容について示す。

①バックホウ

バックホウに関しては、搭乗運転機械として使用し、特に理由なく遠隔操作装置を搭載していたため、今回故障が発生して、修理が必要な状況となった。この修理について、搬入後に長時間を要している結果となっているが、その理由としては、下記事項が挙げられる。

・出張修理にメーカーから来ていた専門職の無線関連知識に、多少の問題があったようで、故障原因の解明に時間を要していた。

・ラジコン操作機の捜索のために時間を要した。

・ラジコンリレー（バックホウの本体設置分）の基盤が、ブレーカーとして使用していたため、脱落・破損しており、部品交換の必要性があった。

・東京、大阪、大分の機械から、考えられる必要部品を取り外したため、部品調達に時間がかかった。

上記の状況から、担当者としては今後、遠隔操作型建設機械を搭乗操作で使用する場合、ラジコンの部品は取り外す必要性を感じている。なお、故障修理に関する修理費は、メーカーの専門職の派遣要請と部品費用にて、約百万程度かかっている。

このような状況から考えられることは、、建設機械の遠隔化の改造は、現地での故障がないように迅速に確実に行うことが、重要であると言える。

②ブルドーザ

ブルドーザは別の災害地に出動させるために、整備を実施していた関係上で、特に修理費用は発生していない。

（4）工事施工後の搬出について

工事施工後の遠隔操作機械の搬出に関しては、特に緊急性はなかったが、バックホウは分解せずに、ブルドーザは正規の運搬方法通りに排土板を取り外して搬出している。

なお、施工現場からの一般道路は、部分的に極端に狭い箇所があったため、その区間のみは高速道路を使用して搬出を行なっている。

（5）有人機械の搬入・搬出に関して

遠隔操作式機械は災害発生の翌日に、バックホウとブルドーザの各１台が搬入されているが、それ以前に搭乗機械はすでに搬入されており、災害対策の経過資料にも記載されず資料は残っていない。災害対策の経過資料に有人操作機の内容として残っているのは、４日目の９：４５に４５ｔブルドーザが１台搬入され、同日の１３：００には作業を開始している。また、それ以外にも多数のバックホウの有人機械が搬入され使用されている。

搬出に関しては、２～３台の有人機械については、しばらくの間は不慮の事態に備えて現場にて待機したが、その他の有人機械は、搬入・搬出ともに通常通りにトレーラーにて運搬されている。

８．施工方法および施工状況

（1）工事施工方法の概要

災害は、山腹斜面が崩落したもので、この土砂により河川がせき止められた状況となった。崩落土砂量は約 10～20 万m³で、せき止められた湛水量は約 20,000ton であり、土砂の状況は直径５㎝程度の砂利が主であり、中には直径１ｍの岩も含まれていた。

この、崩壊土砂および湛水によって発生しうる土石流災害を防止するため、応急的な災害復旧として、遠隔操作機械を使用して、無人化施工を実施している。

（2）施工順序

現地調査時での、作業手順は以下で行う予定であった。

①準備工として、重機搬入路を造成した。

②伐採を実施し、監視台を兼ねて遠隔操作台を単管等にて設置した。

③崩落した土砂を下流側に押して堆積した土砂に地盤の安定を図った。

④水中ポンプでせき止められた水を掻き出した。

⑤その後、あらかじめ自然に出来ていた水道を拡幅掘削して、コルゲートパイプを埋め、再度崩落した場合に水道がせき止められないように対処する。

（3）使用機械

使用した遠隔操作型建設機械を表－３に示す。

表－３：使用機械一覧表

工種	種目	機械名	規格	台数
土工	掘削・押土	バックホウ	１．８m^3(1.5m^3)	１台
	押土	ブルドーザ	１６ｔ	１台

（4）測量

測量は、関連した自動測量システムは使用していない。そこで、危険地帯とされる区域に入って測量されている。なお、日々の出来形管理としての測量は実施されていない。

（5）工事状況の概要

オペレーターは、崩落山腹の対岸斜面に設置された作業台から、重機の遠隔操作を行っていたが、重機とオペレーターの間隔は、重機位置によって変化するが約 30m から 100m であったが、直接目視して遠隔操作を行っていた。

災害復旧の背景として、川下の住人は現在も避難中とのことであり、時が経つにつれて住民の疲労も貯まることから、災害復旧工事の作業にかかる準備態勢を素早く行う事、復旧作業は安全・迅速に行うことが重要であると考えられたが、無人化施工に関する実施工程及び災害復旧工事経過を下記に示し、別紙には工事状況写真を示している。。

①初日　８：２０災害発生

１８時建設省（災害対策室）から施工業者Ａ社へ機械調達の打診がある。

②２日目　１８時遠隔操作機械現地搬入

(ブルドーザ×１台、バックホウ×１台の計２台共)

③３日目　午前中は降雨のため、一時作業を見合わせたが、午後から作業開始。

バックホウは搬入後から故障整備を実施していたが、修理調整を夜中に完了した。

④４～５日目

工事施工。（５日目にて完了）

⑤８日目　１３時に上記２台の機械搬出。

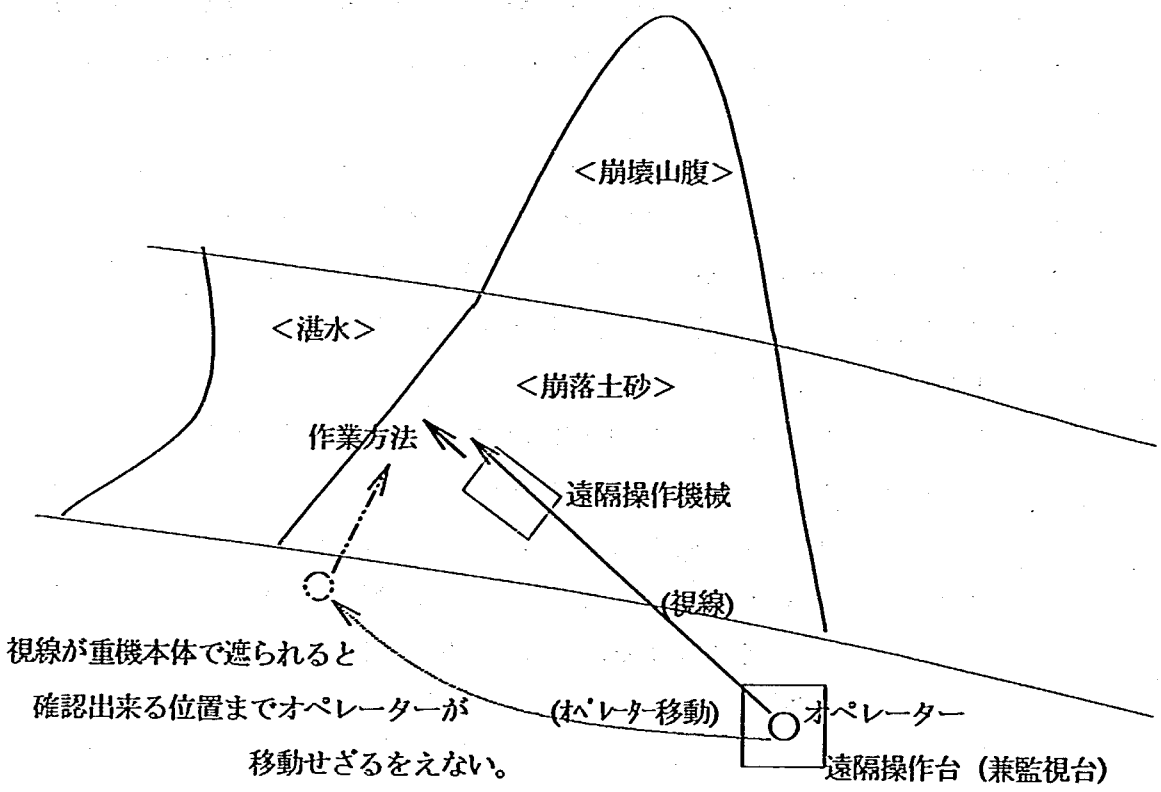
（6）遠隔操作状況

オペレーターは、崩落部の反対斜面に設置された作業台から、重機の遠隔操作を行っており、重機とオペレーターの間隔は、重機位置によって変化するが約 30m から 100m であったが、直接目視して遠隔操作を行っていた。しかし、作業状況によっては、オペレーターが操作台を離れて、重機近くに立ち寄って操作していた状況も発生していた。

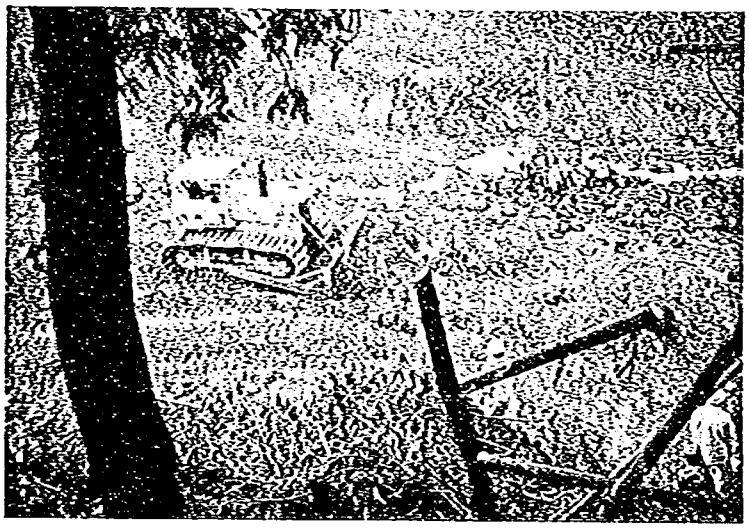
また、直接目視しての遠隔操作であったが、特定小電力無線の通信距離（最大 150m から 200m）から、通信エリヤ内の最も安全とされる崩落箇所と反対側の斜面に操作台を設置していると思われた。

（7）施工関連の特記事項

オペレーターは、崩落山腹の対岸斜面に設置された作業台から、重機を直接目視して遠隔操作を行っていたが、作業状況によっては、オペレーターが操作台を離れて、重機近くに立ち寄って操作していた状況も発生していた。この作業状況とは、作業の対象となっている土砂が、操作台から重機本体の影（死角）となって、土砂の状況が確認できない状況である。



図－１：オペレーター操作位置の変更状況



写真－３：工事施工状況

９．使用機械稼動状況・施工効率

（１）遠隔操作機械の稼動状況について

・バックホウは雲仙普賢岳での無人化施工工事から一時期遠隔操作を使わないで一般に使用されていたために、故障（遠隔用の電気配線が悪く）が発生して修理中であった。

・現地調査当日の作業は、バックホウが現地にて修理中であったために、ブルドーザのみで施工されていた。

・バックホウの修理・調整は、２日目の１８時に機械を搬入してから、３日目の夜中まで時間を要している。

・遠隔操作機器の修理を極力発生させないためには、定期的に動作確認を行うことが重要となってくる。

・遠隔操作中に民放テレビ局のカメラの無線によって、操作性が悪くなることが発生した。

・重機とオペレーターの間隔は30m から 100m であったが、約 30mが目視による操作の限界であると感じられた。

・作業対象物が押土の作業方向により見えない場合には、オペレーターが操作台を離れて操作を行っていた。

・目視による作業では、死角が多く、バックホウとダンプのような連携作業は、難しく感じられた。

（２）進捗管理状況

日々の進捗は、危険区域への立ち入りの安全性から計測できなかった。被災直後の崩壊状況についても同様であり、崩壊土が安定していると判断されるまでは、危険区域には一切立ち入っていない。

（３）遠隔操作機械の稼働率

稼働率は期間が短く作業範囲が狭いために、作業内容が常に変化することから、使用したり使用しなかったりとなっていたが、その時間的内容は不明である。

（4）無人化施工と有人施工との施工効率比較

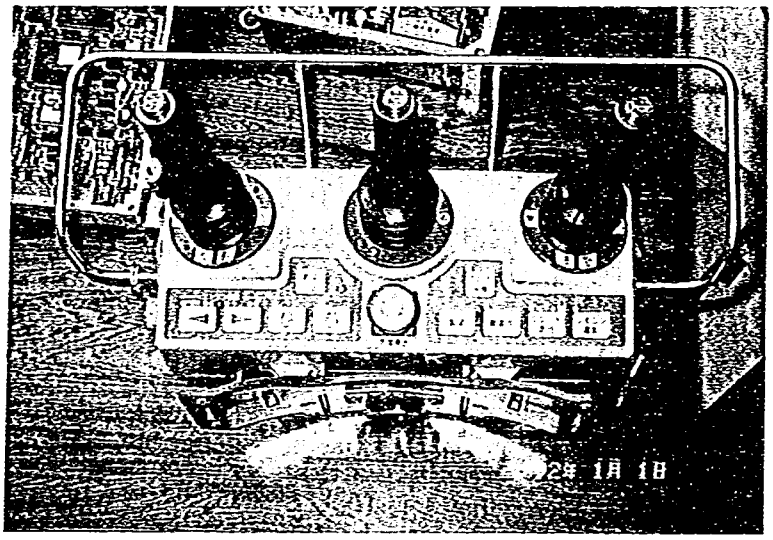
施工効率は上記（2）（3）及び、同様の施工条件での有人施工の資料が存在しないため、判定できない。

しかし、無人重機での施工は、有人重機による施工と比較すると、施工効率は低下してると考えられているが、今回の施工の場合に於いては、法面に約１０，０００m³の不安定土砂はある非常に危険な状況の中で、初期活動が実施できたことは、無人機械を使用したことに非常に意義があったと考えられている。

１０．遠隔操作機械の操作装置

現地調査時は、緊急的災害対策工事である条件から、ブルドーザ（１６ｔ級）は稼働中であり、バックホウ（１．８m³級）は修理中であったため、オペレーターの手を離れることはなかった。このために、操作装置を確認することはできなかった。

しかし、無線装置メーカーだけは記録があるため、下記にその装置の外観図を示す。



写真－４：バックホウ（１．８m³級）遠隔操作装置外観図

１１．遠隔操作機械の安全装置

この現場は、応急的復旧を緊急体制にて工事している状態であったため、オペレーターにヒアリングを実施できる状況ではなかった。よって、この安全装置の内容に関しては不明である。

１２．オペレーター人員配置状況

（1）オペレーターおよび作業員配置状況

1）編成状況

本工事には、２台の遠隔操作型機械に対して各１人の合計２人のオペレーターを選任していた。また、A建設の職員は４名が現場に常駐しており、施工管理に加えて、崩壊した山腹の監視等を実施していた。

2）編成に関する特記事項

Ａ建設の遠隔操作担当者の手配によって、２名のオペレーターは災害発生の翌日の早朝７時に大阪を出て福岡に入り、保管している遠隔操作機械を試運転後に、９～１０時に福岡を出発して、１２時頃には道路管理者の管理事務所に到着した。

また、遠隔操作担当者本人も、災害発生の当日の夜間は、建設省および発注者と携帯電話で打合せを実施しながら、翌日には災害現場に到着している。

（2）遠隔操作教育期間

オペレーターは、雲仙普賢岳での無人化施工のオペレーターを連れて来ている関係上、さらに遠隔操作機械も雲仙普賢岳で使用した機械であったため、機械遠隔操作に対する教育は、実施されていない。

（3）オペレーターの経歴について

1）遠隔操作経験

今回の工事時期にＡ建設は、雲仙普賢岳関連の試験フィールドと除石工事の２件の無人化施工の実績があったが、オペレーターは２人共に、その無人化施工を経験しているオペレーターを連れてきていた。

2）前現場従事先

災害復旧の無人化施工に従事する前の、現場は不明である。しかし、大阪の作業現場にて従事していた。

（4）遠隔操作に慣れる期間

この内容については、この現場は、応急的復旧を緊急体制にて工事している状態であったため、オペレーターにヒアリングを実施できる状況ではなかった。よって、このオペレーターの遠隔操作に慣れた期間については不明である。

１３．無線使用状況

1）無線局の使用状況

当現場は、２台の遠隔操作型機械を使用して施工したが、操作無線は特定小電力無線局を使用している。また、操作以外の建機情報などのデーター通信や映像の無線による伝送は実施されていない。

2）無線使用に関する特記事項

７．（3）・９．（1）に記載しているとおり、使用した遠隔操作型バックホウは、搬入後に無線関連の故障のため、すぐに稼動できない状態であった。遠隔操作として使用していない場合の、無線機器のメンテナンスを考慮すべきである。

3）無線に関するトラブル発生状況

今回も電波による操作妨害は発生しており、ＴＶ中継の電波によって遠隔操作機械の稼動不良が発生した。復旧作業場所の電波管理には特に注意を払う必要があると考えられる。

１４．作業支援装置採用状況

（1）作業支援装置の採用状況

本工事は、緊急対応の工事であったため、映像設備は緊急の資材調達の都合で、持ってこれなかったとのことであった。しかし、作業対象物が押土の作業方向により見えない場合には、オペレーターが操作台を離れて操作を行っていたことから、施工業者のA建設には、映像設備は遠隔操作に不可欠であると考えられている。

また、施工管理装置についても、本工事では採用されていない。

（2）特記事項

映像装置を採用せずに、直接目視によって遠隔操作を行なう場合には、使用建設機械、作業環境、復旧施工方法、操作環境に応じて、複数の遠隔操作台を設置することが有効であると考えられる。今回の状況から、約 30m程度が目視による操作の限界である条件に加えて、建設機械の稼動状況によって作業機（対象物）が本体の死角となり作業状況を確認できないことがないように、遠隔操作台を設置すべきである。しかし、直接目視のみによる作業では、死角が多く、バックホウとダンプのような連携作業は、さらに機械によって死角が生じ易いし遠近感がつかみずらいことから、困難に感じられた。

また、遠隔操作には作業状況全体が見渡せる作業台またはカメラ映像が必要であり、高所作業車やアドバルーン、ヘリコプターに設置された作業全体を見渡せるカメラが使用できれば、遠隔操作の作業効率も多少は向上されるかと考えられる。

１５．メンテナンス体制

緊急的な災害対策であったが、現在までの無人化施工の経緯から、電話のやりとりでメンテナンス体制をとった。なお、整備関連の担当者の常駐はなかったが、出張修理を依頼したのは、搬入時にバックホウの故障修理に建設機械メーカーに依頼しただけであった。これは、稼動期間が極端に短かったために、作業時に故障が発生しなかったとも考えられる。

１６．安全対策

（1）現場状況

現場は、すでに自然に水道が出来ており、また崩落した土砂が砂礫状のものであったために、現地調査前に懸念されていた下記内容については、特に問題ではなかった。

①崩壊土砂が軟弱であるため、重機が土砂上に乗れない。

②上記が崩落土砂上に乗ると、走行不能・転倒を引き起こしてしまう。

③溜まっている水の水路を掘削して水を流しだした際に重機の乗っている土砂が流され重機が転倒してしまう。

しかし、崩落した箇所からは、已然大量に伏流水が流れており、作業中は常に土砂崩落の危険性が高い状況であった。

（2）安全対策

当工事の安全対策については、発注者の担当者が、状況に応じて随時指示していたが、崩壊斜面の監視員は、A建設の提案により選任されている経緯がある。また、現場内の入場者管理を実施されていたが、多数の作業員や関係者が現場内に入場していた。

災害復旧の工事の場合、応援の職員や作業員の多数の関係者がいることから、安全担当者や監視員を明確にし、指揮系統を確立させ、危険区域への立入り管理や緊急時の対応手順や避難経路を明確にしておく必要性がある。

（3）現場での搭乗機械と遠隔操作機械の使用について

遠隔操作式機械は災害発生の翌日に、バックホウとブルドーザの各１台が搬入されているが、それ以前に搭乗機械はすでに搬入されており、災害対策の経過資料にも記載されず資料は残っていない。災害対策の経過資料に有人操作機の内容として残っているのは、災害発生後の４日目の９：４５に４５ｔブルドーザが１台搬入され、同日の１３：００には作業を開始しているデーターのみであるが、作業に急を要したために比較的安全とされる箇所での施工に関しては、監視員を配置して有人機で施工しており、主に崩壊箇所の対岸である左岸側にて、暫定河道掘削の掘削土砂の押土に使用されている。

それ以外に搬入された有人機の施工内容は、災害復旧後に搬入される重機の搬入路の造成及び埋設する排水管の吊り込み作業があげられ、排水管の吊り込み作業では、遠隔操作機械の搬入以前に搬入されていた機械以外にも、多数のバックホウの有人機械が搬入され使用されている。

発注者の担当者が、施工した感想を含めた遠隔操作機械と搭乗操作機械の比較表を下記に示しているが、遠隔操作型機械を使用することによる安全性に加えて、現場全体の安全性を確保できるような体制や規則を作成することが重要である。

表－４：遠隔操作型と搭乗操作型建設機械の長所短所

機種	長所	短所
有人機	・手配が容易 ・作業効率が高い ・通常のオペレーターにて運転可能 ・安価である	・危険な箇所での作業は不可能 （安全性の確保が困難）
無人機	・最も危険な災害の初期活動に対応できる ・運転手の安全が確保できる	・高価 ・機種に制限がある ・台数に制限がある ・オペレーターの経験によって作業効率が大きく変化する ・搬入に時間を要する場合が多い

Ⅲ. C工事

1．災害状況
2．災害復旧作業
3．無人化施工の採用経緯
4．無人化施工に対する準備工
5．遠隔操作型機械の調達・選定状況
6．遠隔操作型機械の保管・稼動状況
7．遠隔操作型機械の運搬・整備状況
8．施工方法および施工状況
9．使用機械稼動状況・施工効率
10．遠隔操作機械の操作装置
11．遠隔操作機械の安全装置
12．オペレーター人員配置状況
13．無線使用状況
14．作業支援装置採用状況
15．メンテナンス体制
16．安全対策

Ⅲ．Ｃ工事

１．災害状況

（１）災害概要

河川上流の右岸の山腹斜面が、集中豪雨の影響により、高さ約２００m、幅約１００mにわたり崩落し、崩壊部の下流にあった溜め池をまきこんだ土石流となった。土石流は、崩落箇所から約４００m下流に建設中（本堤は工事完了）の砂防ダムを乗り越え、さらに砂防ダム下流の扇状地に長さ約６００m、最大幅約１５０mにわたって土砂が氾濫した。被害状況は、人的・物的被害も含めて多大な被害を受けた。下記に概算の各推定土量および被害状況、被害状況写真を示す。

・崩壊土砂全体推定量　：約２０万m³

・建設中の砂防ダムによる補足量　：　約５万m³

・建設中の砂防ダムより下流へ流された土砂量　：約１５万m³

1）人的被害

表－１：人的被害状況

被害種類	人数
死亡	２１人　（男性　６人、女性１５人）
重傷	２人　（男性　１人、女性　１人）
中傷	５人　（男性　４人、女性　１人）
軽傷	６人　（男性　２人、女性　４人）
合計	３４人　（男性１３人、女性２１人）

2）住家・非住家被害

表－２：家屋被害状況

区分	住家	非住家
全壊	１８棟	１１棟
半壊	1	0
一部損壊	0	2
床上浸水	4	0
合計	２３棟	１３棟

（２）災害状況の補足事項

・砂防ダムの上流に、地元の人でもあまり知られていない長さ約６０m、深さが約３mの溜め池が存在した。専門家の話や調査結果では、崩壊した土砂は本来含水比が高い土砂であったが、この溜め池によって更に含水比を増して、砂防ダムに流れたと見られている。

・土石流の原因である山腹の崩壊は、過去に２～３回発生していた。

・この土石流災害以外にも、山中では別の小規模の崩落が、何ヶ所か発生していることが航空写真にて判明している。

・土石流は、山に染み込んだ雨水が、山の中腹から抜けなかったために、その重量によって山腹の土砂が崩落したと考えられている。

・砂防ダムは建設中であったが、本堤の建設は完了し副堤等の工事を引き続きおこなっている最中であった。しかし、災害当時は雨続きで夜間であったために、砂防ダム工事関連の作業員の被災はなかった。なお、工事はAクラスの業者が施工していた。

・砂防ダム下流側の土石流による汚泥は、天日干により乾燥させ処理しているところが多く、処理するのに改良材は使用していない。土砂の搬出は、水が切れれば処理できると考えている。

（3）除石土砂の特徴や状況について

・土砂は、安山岩火山砕屑岩の風化土砂と岩石の混合体で、非常に含水量（約５０％）が高く粘っており、また土砂の中に直径１ｍ～３ｍの岩石を多く含んでいる。

・当地区の土質である輝石安山岩質火砕屑岩の特徴を下記に示す。

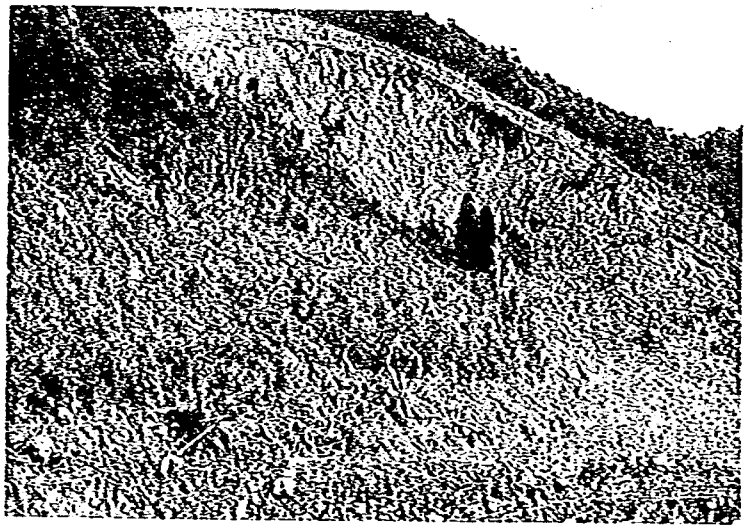
・風化しやすく、岩は玉ねぎ状態にこわれる。

・透水係数が高いため、雨が降るとぬかるんでくるが、乾きすぎて含水率が低下しすぎると、粘性が増えて機械に付着して離れなくなる。このため、作業には程良い含水率が必要である。

・工事開始前の設計の段階でも、堆積している土砂の上部には、１ｍ程度の転石があることは確認されていたが、その分布状況は下部でも同等程度であると考えていたために、転石の処分は、全く検討していなかった。しかし、集積押土しているうちに、しだいに多数の大きな転石が出てくる傾向にある。大きなものは２ｍを越えるものもあり、現地調査時はバックホウのバケットに入らないものは、ブルドーザで転がして放置しており、何らかの方法での処理（再利用または破砕等）を検討中であった。

・運搬する土砂も適切な含水率の状態でなければ、ダンプにて運搬された後の土捨て場でも、その処理に問題が発生する危険性があり、工事工程を左右する要因となっている。今回の工事では、含水率が約５０～６０％にて搬出している。

・ヘドロ状態の土質の場合には、地盤改良材などの対応も考えられるが、この場合には攪拌が必要となることが問題となる。また、地盤改良材を使用するまでもないという判断で作業を進めていた。



写真－１：災害発生山腹状況

２．災害復旧作業

（1）災害対策経過

災害発生前からの災害対策について、下記に示すが、無人化施工の工事発注までは至っていない。

○災害発生前日

１６：３０　災害対策会議

１７：００　災害対策本部設置

（１６１公民館=注意呼びかけ、自主避難勧告）

１７：３０　１７避難所の開設

避難者　合計１７名

２１：００～２３：１０

１７避難所閉鎖

○災害発生当日

０：４４　土石流発生

０：５９　同覚知（公民館長から市に電話）

１：１４　消防署（工作車）現場到着

３：００　現地災害対策本部設置

４：００～５：００

機動隊小隊到着

６：００～６：３０

自衛隊到着

１８：３０　建設省専門家の調査結果に基ずき、この日の捜索打ち切りを決定

○2日目

7：00　建設省専門家の調査結果に基ずき、捜索再開決定

10：30　周辺の交通規制を実施し、搭乗型建設機械85台を入れて捜索活動を行なう。

11：55　海上保安部から、巡視船1隻10人、ヘリコプター1機5人、陸要員2人で捜索を再開。

13：35　21人目の遺体発見（捜索終了）

（2）捜索作業経緯

捜索活動については、建設省・消防職員・消防団員・自衛隊・警察・市職員・建設業組合・市消防局他によって実施され、災害発生当日には延1，161人、2日目には1，505人が動員されている。

また、捜索に使用されていた建設機械は、下記の表の通りである。

表－3：捜索に使用された建設機械一覧表

建設機械（種類）	当日	2日目
バックホウ　0．7 m³	1	21
バックホウ　0．4 m³	5	16
バックホウ　0．2 m³	1	7
ダンプトラック　10 t	0	46
ダンプトラック　4 t	5	6
ダンプトラック　2 t	10	0
その他	1	2
合計	23	98

捜索作業の内容によっては、遠隔操作型機械を使用すべきであった可能性も十分に考えられる。

しかし、人命探査に関しては、今回の災害では人力と探査犬によるもので、遠隔操作機械はもとより、探査機等の特殊機械についても使用してはいない。

ちなみに、過去の土砂崩壊災害では、埋まってしまった人を機械で傷つけた例もあったとの事であった。

（3）無人化施工の発注について

今回の工事は、災害発生直後に施工された工事ではなく、災害発生から人命探査作業を終えて発注されている。

工事の発注に関する経過及び工事概要を、下記に示す。

＜無人化施工関連の経過＞

災害発生から１０日目　　除石工事施工が発注された

１３日（または１４日目）　遠隔操作機械搬入

＊依頼して３～４日で機械搬入した。

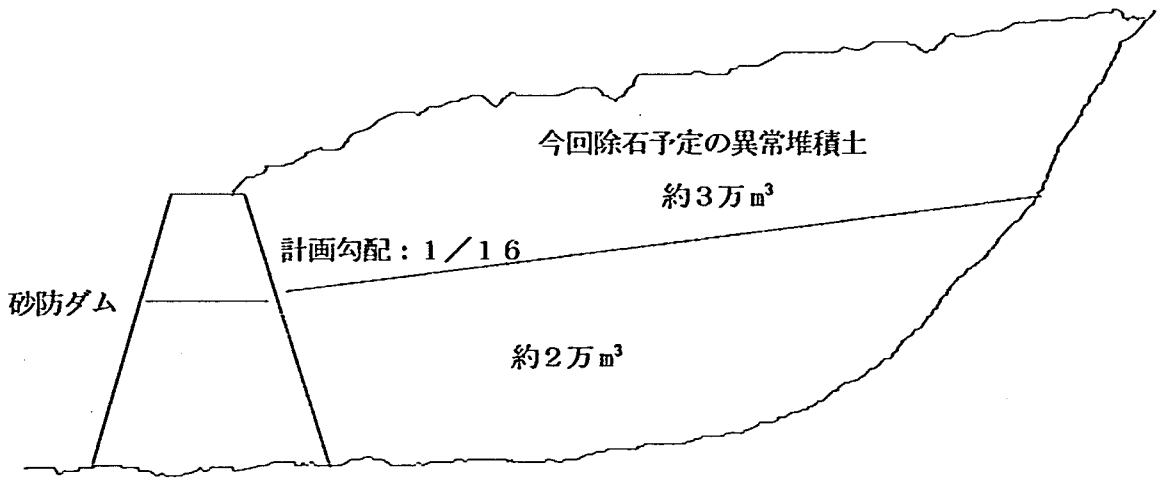
＜工事数量＞

無人化施工による除石土量：３０，４００㎥

（4）無人化施工工事の内容について

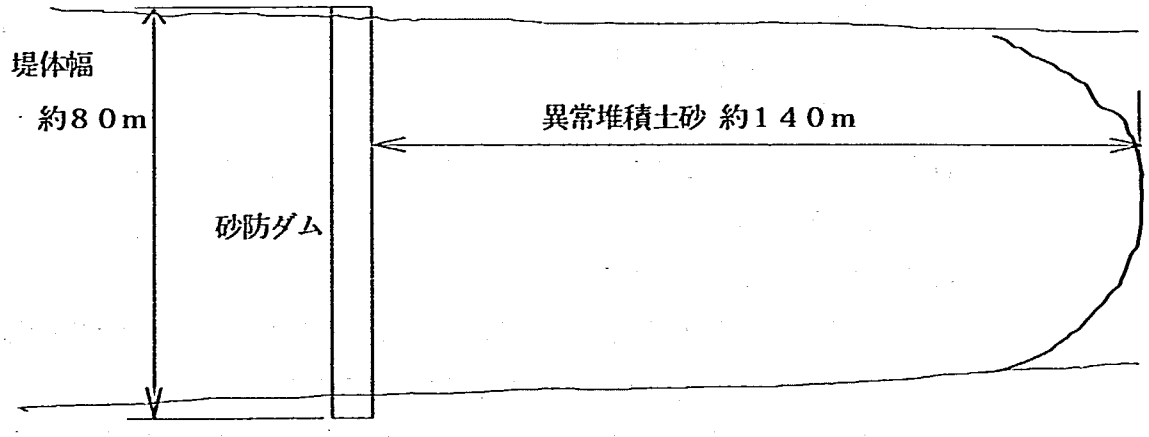
・作業は、砂防ダムに推積した約５０，０００㎥の土砂のうち、１／１６の勾配以上の異常堆積の３０，０００㎥（幅７５ｍ×長さ１４０ｍ×高さ５ｍ～１ｍ）の土砂を除去するものである。下記に断面と平面の概要図を示す。

＜除石計画断面図＞



図－１：工事計画断面図

＜除石計画平面図＞



図－２：工事計画平面図

・川下の住民は依然避難中であることや、台風による影響を受ける前に、可能な限り早く工事を完了したい方針であった。

・発注者にとって、砂防ダムの土砂搬出工事は初めてである。

・バックホウ１台とブルドーザ１台を遠隔操作して、無人化施工を行っている。

・今回の工事施工は、遠隔操作機械の保有会社であることが条件であった。しかし、採用されている施工業者は、この地方での施工実績はほとんどなく、今回の工事が初めてではないかと思われていた。

・今回の工事の下請会社は、雲仙普賢岳ではＦ建設やＨ建設の下請けで工事に従事した実績がある。

（5）今後の復旧工事について

今回の工事では、砂防ダムに対する異常堆積土砂を緊急除石するのみであるが、いずれは砂防ダムに堆積した全ての土砂を除石することになる。その際の工法については、現在検討中である。

３．無人化施工の採用経緯

無人化施工採用に関する具体的な協議先や協議内容、協議時期などについては追加調査を実施したが、不明であった。

特に工事の担当者の懸念事項としては、無人化施工の採用の根拠付けを懸念しており、特に無人化施工と有人施工の区別性を問題視していた。このため、無人化施工と有人施工の仕切りを、安全性に関し、どのような危険性であれば無人化施工とすべきであるかについて検討して欲しいと要望があった。

さらに、今回の災害発生時から、事務所内ではすぐに無人化施工の話がでており、雲仙普賢岳の施工後から危険作業には無人化作業という傾向があることは明確であるが、今後の無人化施工の方向性について、災害対策課の担当者は懸念していた。

４．無人化施工に対する準備工

本工事の準備工は、下記が挙げられる。

(1)重機搬入路の造成

(2)遠隔操作型バックホウが大型機種であるための、設置位置の地盤改善

(3)機械の搬入組立て

(4)上流からの排水路の切替え

排土の含水比を低下させるため、排水路を掘削し上流からの排水系統を変更した。

また、壷掘りを実施しポンプによる排水も実施している。

また、実際には採用されていないが、映像設備の準備を行なっていたが、使用せずに目視によって遠隔操作を実施している。

5．遠隔操作型機械の調達・選定状況

（1）調達方法について

無人化施工に関する機械については、施工業者本社の工事技術本部にて、常に自社保有機械および協力会社の保有機械の稼動状況を把握しているため、これらの機械稼動情報から、調達できる機種を選定している。

（2）調達先

下記に調達先を明記する。

表－４：遠隔操作型建設機械の調達先一覧表（かっこ内は旧 JIS 表示）

機械名	メーカー	規格	台数	調達先
バックホウ	建機ﾒｰｶｰA社	５．７m³(3.8m³)	１台	協力会社A社
ブルドーザ	〃	２１ｔ	１台	建設業者A社（施工自社）

（3）使用遠隔操作機械の決定経緯

使用機械の決定経緯を下記に示す。

①災害直後に、発注者から無人化施工の可能性があるとのことより、無人化機械の調達の調査依頼があり、資料提出を実施した。

②発注者より現地調査の実施及び施工方法の検討依頼があり、自社施工方法を提案した。

③提案内容にあった機種を調達して搬入した。

（4）今回の工事を通常施工する場合の搭乗機械と、今回使用した遠隔操作機械との比較

下記に通常に使用されると考えられる機械と今回使用している機械を比較する表を示す。

表－５：通常使用される搭乗機械と遠隔操作型機械との比較表（かっこ内は旧 JIS 表示）

	通常使用される機械仕様	今回使用している機械仕様
バックホウ	0.6～1.0m³級	５．７(3.8)m³級
ブルドーザ	１５～２１ｔ級	２１ｔ

遠隔操作機械は、その工事の適正機種を選択できる状況ではなく、業者の保有台数と稼動状況から、使用される機械が決定している状況である。今回の工事では、遠隔用の建設機械を選定出来なかったために、調達した遠隔操作機械が大型機種となったため、機械搬入に関する様々な段取り作業が増えたのは問題である。

（5）その他の機械調達・選定に関係した内容について

・今回のような土石流災害災害の復旧工事に対しては、軟弱地盤に対応した遠隔用建設機械が必要である。

・土石流災害時に遠隔型建設機械の配備を決めるためのマニュアルがないのも困った。

・またどのような条件の場合、遠隔用の機械を使用して無人化施工を実施するかも決まっていないので、指針がいるのではないかと考えていた。

・今回発注している施工業者は、現地の地盤の状況を良く確認しないで建設機械を搬入している。

・機械の調達は、災害が発生してから、１０日目には遠隔で行う建設業者をきめ、その３日後には遠隔用の建設機械を持ってきていた。

・遠隔操作の建設機械のうち、ブルドーザ（２１ｔ）×１台についての調達に関連する内容について下記に示す。

・ブルドーザの能力は、転石の大きさも考慮に入れて決める必要がある。

・今回使用しているブルドーザは、バックホウに比較すれば、かなり小さいものであるが、本来この程度の土工事では、このクラスのブルドーザが使用されている。

６．遠隔操作型機械の保管・稼動状況

バックホウは、過去に雲仙普賢岳の無人化施工工事でＤ建設が使用していたものであり、搬入前は、協力会社が他県の現場にて搭乗運転により使用していた機械であった。また、ブルドーザに関しては、新型機種の新車であり、展示品として使用していたものであった。

７．遠隔操作型機械の運搬・整備状況

（１）遠隔操作機械の搬入について

遠隔操作の建設機械は、バックホウ（５．７m^3）×１台、ブルドーザ（２１ｔ）×１台を使用しているが、この２台のどちらも積載重量限度内にて、機械を分解して搬入しているため、通行申請等は必要なかった。

バックホウは、現場にて搭乗運転で使用していた機械であったが、話があって後に、すぐリモコンのチェックをして解体を行い、搬入して組み立てを行っている。

（２）搬入時に必要となる組立・解体について

遠隔操作の建設機械は、バックホウ（５．７m^3）×１台、ブルドーザ（２１ｔ）×１台を使用しているが、この各々の機械の組立て・解体関連についてのヒアリングの特記事項を下記に示す。

①バックホウ

本体重量は１００ｔもある為に搬入に関しては、運搬の問題で組み立て・解体が必要となってくる。この組み立て・解体に掛かる日数は各３日で、組み立て時に使用する機械としては５０ｔ吊級のクレーンを３日のうち２日は２台、別の１日は１台を必要とする。運搬に使われる車両はトレーラーが３台必要となり、通常は本体、足回り、ブーム・アーム・バケット小物の三つに分けて、積み込まれる。

②ブルドーザ

今回使用したブルドーザの運搬に関する組立て・解体の必要性は、上記1）にも記述しているが、排土板を解体するだけで積載重量限度内の通常の運搬方法となる。

下記に、使用している遠隔操作機械の組立て・解体に関するデーターを示しているが、この資料は建設機械メーカーからの資料であり、上記ヒアリングの内容とは一部異なっている。特に運搬の車両が違っているが、標準と実際と考えられる。

表－6：主要な使用遠隔操作型建設機械の組立て・解体データー

機械名	規格	解体		組立て		運搬トレーラー
		必要人員×日数	必要クレーン×時間	必要人員×日数	必要クレーン×時間	
バックホウ	5.7m³	6人×5日	35t×2日 35t×5日	6人×4日	35t×2日 35t×4日	35t×1台、25t×1台 15t×2台、11t×2台
ブルドーザ	21t	3人×1日	16t×1日	3人×1日	16t×1日	20t×1台、10t×1台

（3）搬入後の整備に関して

遠隔操作の建設機械は、バックホウ（5．7m³）×1台、ブルドーザ（21t）×1台を使用しているが、この各々の機械の搬入後の整備に関する特記事項を下記に示す。

①バックホウ

・機械搬入時の無線関連の整備・調整に関しては、従来からこの機械は、切り替えスイッチ一つで搭乗運転と遠隔運転を切り替えられる機械であるために、解体・組み立ての組み立て後に点検を行って異常が発生すれば、状況に応じて対応する体制をとっている。

・バックホウは、普賢岳で使用してから余り立っていないため、配線系統には問題はなかった。

②ブルドーザ

・現地を良く調査せずに建設機械を搬入しているため、県の指導により作業が早くかかれるように、ブルドーザは湿地型に変更している。

・今回の地盤状況から、湿地タイプを使用しているが、この機種を含めて16tクラスまでの機械については、乾地と湿地のクローラーの履き替えは、乗用車と同様にして容易に可能であるとのことだった。

（4）工事施工後の搬出に関して

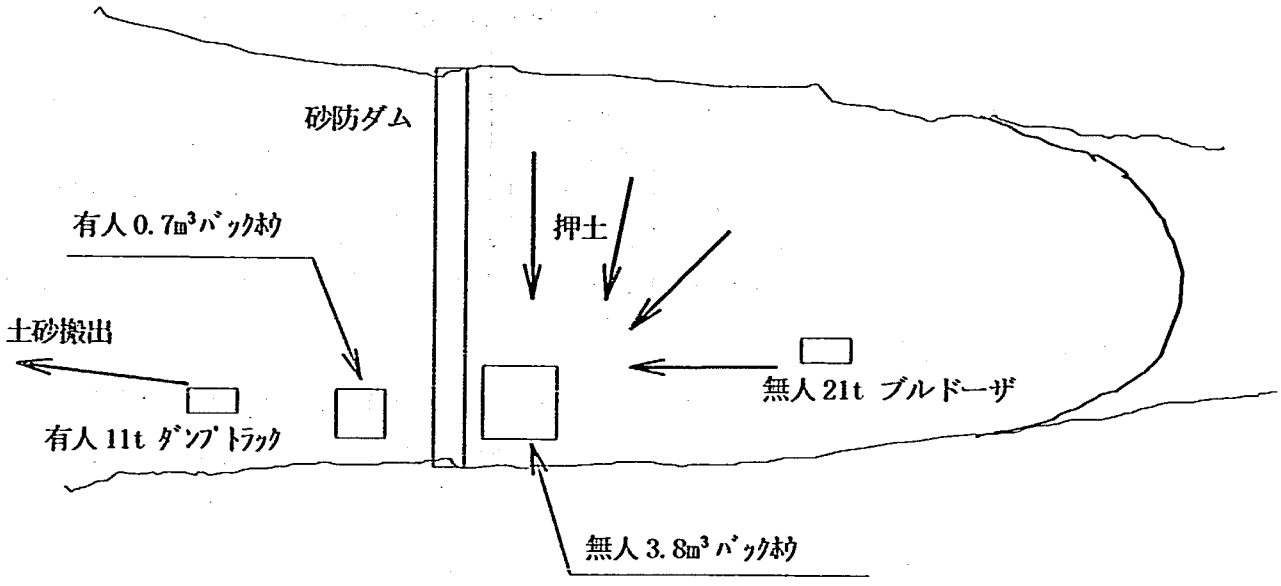
今回使用した遠隔操作の建設機械は、バックホウ（5．7m³）×1台、ブルドーザ（21t）×1台であるが、この2台のどちらの機械も搬入時と同様に、通常の積載重量限度内にて、機械を分解して搬出されている。なお、バックホウは協力会社が他県にて遠隔操作機として使用しているが、ブルドーザは保管中である。

8．施工方法および施工状況

（1）工事施工方法の概要

・作業は、遠隔操作のブルドーザで集土した土砂を、遠隔操作のバックホウでダム下流に仮置きし、これを有人のバックホウ（0．6㎥）×1 台、ダンプ（1 1 t）×1台で土捨場まで運搬するものである。下記に機械配置概要図を、別紙には機械配置図を示す。

<機械配置概要図>



図－３：遠隔操作施工状況

（2）施工順序

下記に、施工順序を示す。

①重機搬入路の造成

②機械の搬入準備として、遠隔操作式バックホウの設置する位置および走行路には、大型の転石を埋めたうえで、土を適正な地山の土（含水率の低い土砂）と入れ替え、さらに鉄板を敷いた。

③機械の搬入・組立て

④堆積土砂の含水比を下げるため、上流からの排水系統を変更するため、排水路の掘削を実施した。(無人化施工)

⑤堆積土砂を遠隔操作のブルドーザで集土する。

⑥集土した土砂を遠隔操作のバックホウで掘削して、ダム本堤の下流側に仮置きする。

⑦仮置きした土砂を有人操作のバックホウ（0．6㎥）1台にて掘削し、ダンプ（1 1 t）に積込み、土捨場まで運搬する。

（3）使用機械

下記に使用機械一覧表を示す。

表－７：使用機械一覧表

工種	種目	機械名	規格	台数
土工	掘削・排土	バックホウ	５．７m³	１台
	押土・集積	ブルドーザ	２１t級	１台

今回の工事においての遠隔操作機械の、台数に対する適応性では、２台で充分である。しかし、もし遠隔用建設機械を増やすのであれば、ブルドーザが押土に専念できるような転石除去用のバックホウ（１．０～２．０m³ クラス）を１台、および転石破砕用のブレーカを１台欲しいとのことであった。

（4）測量

測量は、関連した自動測量システムは使用していない。そこで、測量を含めて危険区域に立ち入る場合には、監視員を配置して作業を実施している。なお、日々の出来形管理としての測量は実施されていない。

（5）工事状況の概要

以下に状況を示した内容を記述する。

・遠隔操作のバックホウは定位置において動かさず、ブルドーザで集土した土砂を掘削し、砂防ダム本堤の下流側へ排土する作業のみを行っている。

・１日の平均作業量は１，１２５m³ であり、これはブルドーザの集土能力により制限されている。

（ただし、押土距離が４０～５０mの範囲での作業量である）

・対称となっている土砂は、安山岩火山砕屑岩の風化土砂と岩石の混合体で、非常に含水量（約５０％）が高く粘っており、また土砂の中に直径１m～３mの岩石を多く含んでいる。

・雨が降った日から２～３日は土砂が泥状となるため、作業は中止している。

・含水比の問題や無人バックホウの作業量の問題で、土砂の場外への搬出は、無人機械の作業状況から調整して行っている状況である。

・施工工程については、別紙の実施工程表を参照のこと。

（6）遠隔操作状況

操作位置は、施工位置から５０～１００m離れた川の右岸側に１箇所、左岸側に２箇所の監視台（操作台）を設置して、このうちの操作状況に応じた位置を選択して遠隔操作している。

また、遠隔操作の建設機械は、バックホウ（５．７m³）×１台、ブルドーザ（２１ｔ）×１台を使用しているが、この各々の機械の操作状況についての特徴を下記に示す。

①バックホウ

・オペレーターは、左岸側の機械に最も近い操作位置から遠隔操作を行う。

②ブルドーザ

・オペレーターは右岸側の１箇所と左岸側の２箇所にある操作位置の中から、その時の運転状況によって、最も見やすい位置を選択して遠隔操作を行う。

・操作時の姿勢は、立ったり、座ったり、歩いたりしている。

（7）施工関連の特記事項

以下に状況を示した内容を記述する。

・堆積土砂より上流側に貯まってしまった水の水切作業と水路造成作業は、本工事の最初に行ったが、この作業についても遠隔操作機械にて施工した。

・土石流は、施工途中であった砂防ダムを土砂が乗り越えて発生しており、災害発生から２０日間は砂防ダムは泥沼の状態となっており作業は出来なかった。

・雨の影響が大きく、１３～１４日目に機械を搬入してから殆ど仕事が出来ずに、本格的に作業を開始できたのは、その１ヶ月近く後となってしまった。さらに今後も雨の影響が心配される。しかし逆には、土砂が乾いて含水比が低くなりすぎると、機械に土砂が付着してしまう事が心配される。

・工事開始前の設計の段階でも、堆積している土砂の上部には、１m程度の転石があることは確認されていたが、その分布状況は下部でも同等程度であると考えていたために、転石の処分は、全く検討していなかった。しかし、集積押土しているうちに、しだいに多数の大きな転石が出てくる傾向にある。大きなものは２mを越えるものも有り、現場の現地調査時には、バックホウのバケットに入らないものは、ブルドーザで転がして放置していた。なお、何らかの方法での処理（再利用または破砕等）を検討しているところであるとのことであった。

・この土質は、乾きすぎて含水率が低下しすぎると、粘性が増えて機械に付着して離れなくなるので、作業が実施しやすい、程良い含水率が必要である。

・運搬する土砂も適切な状況でなければ、ダンプにて運搬された土捨て場でも、問題が発生する危険性があり、工事工程を左右する要因となってくる。今回の工事での現状は、含水比が約５０～６０％にて搬出している。

・ヘドロ状態の土質の場合には、地盤改良材などの対応も考えられるが、いずれにしても撹拌が必要となってくることが問題となる。また、地盤改良材を使用するまでもないという判断で作業を進めている。

９．使用機械稼動状況・施工効率

（1）遠隔操作機械の稼動状況について

下記に、バックホウとブルドーザの２台の遠隔操作機械についての、稼動状況を示す内容について列記する。

・作業は、AM７：００からPM６：３０まで実施している。

・作業は、ブルドーザの押土距離で行ったため、遠隔用のダンプは当初から計画には入っていなかった。
・雨で土が軟らかいときは、砂防ダム下流側に土砂を移動したとき、泥が跳ねて下の重機に当たる。ここで上流部バックホウと下流の土砂仮置き部との高さは５m位ある。
・作業は、砂防ダム下流側に土砂を移動しているときも、下のダンプ積載用重機は動いている。
・ブルドーザの集積能力次第で、バックホウの仕事量が決まってしまうが、現状でも集積にてこずり、バックホウはやや休みがちである。
・遠隔操作の建設機械は、バックホウ（５．７m^3）×１台、ブルドーザ（２１ｔ）×１台を使用しているが、この各々の機械についての特徴を下記に示す。

①バックホウ

・作業は、バックホウの自重が１００ｔと重いことで動けなくなった場合、機械を現状のまま助ける手段がない為、作業時には特に注意を払っている。
・バックホウの設置する位置および走行路には、大型の転石を埋めたうえで、土を適正な地山の土（含水率の低い土砂）と入れ替え、さらに鉄板を敷いている。
・バックホウについては、遠隔操作用機器の点検のメンテナンスは、特別行っていない。

②ブルドーザ

・ブルドーザは転石を掘り起こして、転がすのに苦労している。現在、一日で７００～８０m^3の土砂を場外に搬出しているが、その作業のうちで、押土と転石処理をしている作業時間の割合は６（押土）：４（転石除去）程度である。しかし、除石作業が深くなるにつれて転石除去作業が多くなっており、今後の状況としては、深さ５m、土砂１，５００m^3除去時には、５：５となると予想されている。
・現在のブルドーザの押土サイクルは、押土距離４０mから５０mに対して、転石がなければ約１分程度である。
・復旧工事の当初は、湿地ブルドーザでも足場の確保に３週間を要している。
・ブルドーザの施工能力は、遠隔も搭乗も変わりなく８００m^3／日である。
・この機種に関しては、故障と転石処理の内容以外には、特に問題はない。
・作業時は、常に地盤に走行体が埋まり込んでしまわないように気をつけていないと、もしも埋まって走行できなくなった場合には、機械を助けるのに非常に手間取る危険性がある。ブルドーザが一度だけ、そのような状況になったが、搭乗式のバックホウにて牽引して救出している。

・ブルドーザのオペレーターは、朝と夕方に運転状況を含めた点検を充分に行えば、破損による故障を除けば、急に故障することはないとも考えるとのことだった。

（2）進捗管理状況

日々の進捗管理としては、実際の施工範囲を測量するのではなく、有人機械のダンプトラックにて搬出した土量を出来高として計上し管理しており、施工業者から示された数値は下記の通りである。

・日々の進捗状況　…　平均　　８００m³／１日

・月毎の進捗状況　…　平均１２，０００m³／１ヶ月

（3）遠隔操作機械の稼働率

施工業者から示された数値としては、稼働率は約５０％とされている。

（4）無人化施工と有人施工との施工効率比較

施工業者から示された数値では、遠隔操作機械での施工効率は、搭乗有人操作機械に比較すると約６０％である。

また、ブルドーザのオペレーターに聞いた搭乗運転と比較した施工能率は、オペレーターの気持ちの上では５０％程度であり、実際はそれ以上であると考えているとの事であった。

（5）発注者からの今回の無人化施工の問題点

今回の災害復旧工事の無人化施工に関して、遠隔操作の下記の問題点が発注者より挙げられた。

①災害復旧工事では、無人化施工機械のトラフィカビリティー（建設機械の走行性）が良くなければ使用できない条件の工事が多々ある。今回の工事がその例であるが、この建設機械のトラフィカビリティをどう確保するかも検討すべきである。

②施工業者の担当者に地質知識が欠如している。このために、走行地盤に対する機械の選定や施工性が解っていない状況にあった。土を扱う仕事においては、地質の特性を熟知することが必要であり、現場の地質条件の現状から、作業方針や危険作業の判断をできなければ、大きな問題が発生する可能性が高くなる。地元の職員は地元の地質特性を良く知っているのは当然だが、施工業者も知っておく必要があると考えられる。

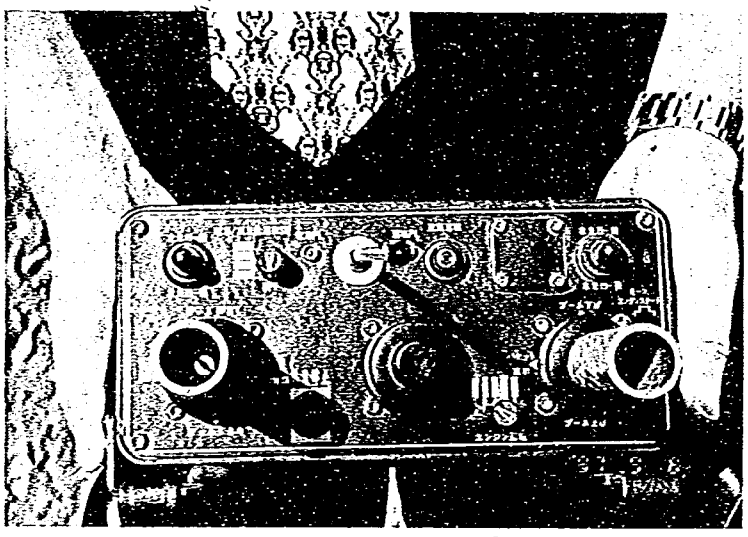
③無人化施工を採用したは良かったが、無人化施工機械の知識がなかったうえに、無人化施工の経験もなかったために、進捗が延びない傾向にある。（現場周辺は已然立ち入り禁止となっていることから、地元住民は早く工事を完了して欲しいと思っている。）土捨て場の含水率の問題から、進捗を抑えざるをえなかったことも事実であるが、マニュアル等があればスムーズに施工できると考えられる。また、現状では進捗が進まないために、進捗を進める手順を再検討する必要性を感じている。同等の通常の施工では、雲仙普賢岳を例に挙げれば、ブルドーザにて押土・集積した土砂を、バックホウにてダンプトラックに直接積み込んで搬出するであろうとのこと。

１０．遠隔操作機械の操作装置

遠隔操作型機械の操作装置に対して、災害対策課からは、現在の搭乗機械を遠隔化に改造した型から、最初から搭乗と無人の切り替え式となっている機械が、次第に出来てくるのかといった疑問を投げかけられたが、下記に今回の無人化施工工事に使用した遠隔操作型建設機械であるバックホウ（５．７m^3）×１台、ブルドーザ（２１ｔ）×１台を使用しているが、この各々の機械についての特徴を下記に示す。

（1）バックホウ（５．７m^3）

下記に操作装置の写真を示す。

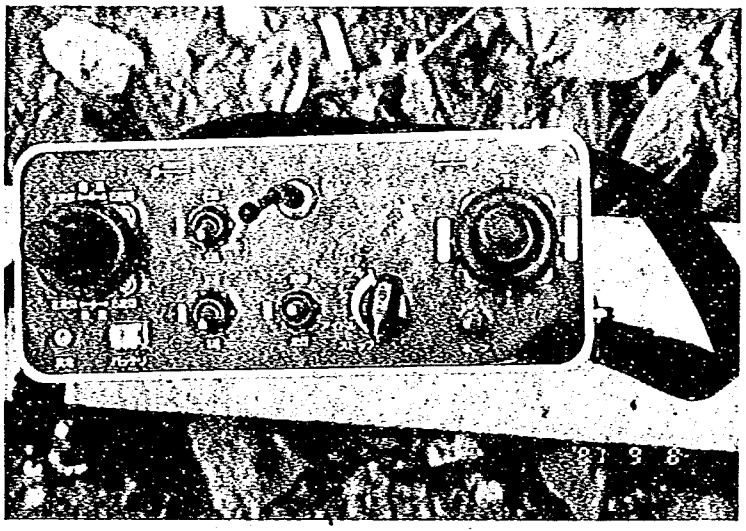


写真－２：バックホウ（５．７m^3）操作装置

- 重機本体が大きなために、本体の通常カバーの中とキャビンの内に、遠隔操作機器を設置することも容易であるように見えた。
- 遠隔に対して操作の感覚がつかめないということであった。
- 操作は、機械の後ろ側で行った方が、操作方向が同じなため間違いが少なかった。このため最初慣れるまではこの状態で操作した。
- 送信機の電池は、２つ用意しており、１つで９時間くらいはもつ。
- 今回の遠隔機械の改善点は、ブルドーザの異常検知の知らせがホーンであるため、回転灯に変更の要望を出している。
- 建設機械は、電池が常時通電状態となるため、昼休みの場合でも定位置に戻ってこなければならず面倒である。

（2）ブルドーザ（２１ｔ級）

下記に操作装置の写真を示す。



写真－３：ブルドーザ（２１ｔ級）操作装置

・今回使用している遠隔操作機械は、遠隔操作制御に圧縮空気を使用している。今までに同様の制御機構を見たことはないが、通常の運転時には特に今までの機種とタイムラグ等の変化はなかった。ただ、コントロールバルブの制御に圧縮空気を使用しているために、運転中にこのエアーホースを破損したりしてエアーが供給されなくなると、遠隔操作にて使っていた状態から起動・停止を含めて変更することができなくなってしまう。オペレーターはこの状況になると、非常停止かエンジン停止にて機械を停止させて、機械本体へ行き、搭乗運転に切り替えて操作するか、故障復旧を行った後にしか遠隔操作はできないため、機械を開発した建設機械メーカーＡ社の関連会社に現在改善対応を依頼中であるとのことであった。

・この機種は、元から遠隔と搭乗との操作を切り替えて使用する機種であり、通常の搭乗運転機械を改造したものではない。切り替え方法は運転席のスナップスイッチとエアーの切り替え弁の２つの操作で、遠隔運転が可能となる。

・オペレーターのヒアリング調査からの特記事項（ブルドーザのオペレーター）

　・今回の圧縮空気を利用した遠隔制御機械も、以前に雲仙で遠隔制御した機械も、タイムラグ等の操作状況は、ほとんど変化ない。

　・地盤の状況や、自分で操作しておいて気が付かない様な、微妙なレバーの誤操作によって、機械が思うように移動しない場合にいらいらする。

　・機械を移動させる場合の、予定位置へのずれの発生原因は、自分の位置や相手の位置、高さ等が認識できないから発生する。これはカメラ装置を増設しても、改善は不可能であるとして、特に今までに改善要望を出してはいない。

・制御用圧縮空気のエアーホースを２回破損した。重機本来の形であれば、何も存在しないところに機器が設置されているのも、破損の危険性を高めていると思う。現在は養生の鉄板を取り付けているが、オペの気持ちになって位置を検討して、できれば外部との接触の可能性が低い、重機本体の上部に設置して欲しかった。

・機械情報は必要があると考えるが、別のモニターに写すだけであれば、オペレーターは確認しないと思われる。しかし、通常の搭乗運転の際には、確認している情報であることは間違いないことから、機械のメンテナンス管理を考えると、運転状況を確認できる手段は、何らかの形で必要であるとも考える。

・今回の本体には、機械の運転状況がわかる回転灯はない。そのかわりに、運転開始時と故障時にはホーンが鳴る。しかし、今の現状としては、あまり音がうるさい為に鳴らないようにしている。

１１．遠隔操作機械の安全装置

遠隔操作型機械の安全装置の内容については、機械本体の安全装置と遠隔操作に関連した安全装置が考えられるが、現場に使用されている機械の安全装置の採用状況を調査することは、非常に困難である。ここで、遠隔操作に関連した安全装置としては、非常停止・無線の誤信防止機構・作業員保護装置（デッドマン機構・ニュートラルチェック等）が考えられるが、下記に、現場毎に実施した機械オペレーターへのヒアリング調査によって得られた内容を列記する。

（1）オペレーターへのヒアリング調査実施状況

ヒアリング調査を実施した対象者の内訳は下記の通りであった。

表－８：現場オペレーターへのヒアリング実施内容

機械名称	規格	人数	番号
バックホウ	５．７m3	１人	①
ブルドーザ	２１ｔ級	１人	②

（2）ヒアリング調査結果

上記へのヒアリング調査結果から、遠隔操作機械に対する安全装置の採用状況について、下記の内容が分かっている。

表－９：安全装置採用に関するヒアリング結果

		①	②
１．非常停止	非常停止	○	○
２．機械情報表示	エンジン回転	×	×
	燃料残量	×	×
	油温計	×	×
	本体傾斜計	×	×
	その他の表示	——	——

（3）ヒアリング結果の特記事項

特記事項として、下記事項が挙げられる。

・ブルドーザの本体異常警告装置は、回転灯による表示ではなく、ホーン（警報機）によるものであり、本体の遠隔操作での始動時に発する物と同一であった。現場の環境次第ではあるが、この警報が毎回機械始動時に鳴ると、周囲に対してうるさいため鳴らないように改造していたため、異常の警告音も鳴らなくなってしまっていた。なお、オペレーターは、警報装置は回転灯を設置してもらうように改造を希望しているとのことだった。

・バックホウのオペレーターは、建機情報として油温計だけは必要性を感じているとのことでだった。

・建機情報の必要性を感じるもう一つの原因は、機械が原因不明で停止した際に、安全地帯で原因を究明する手段がないためである。

・機械を非常停止すると、エンジン停止となるため、復旧方法は通常のエンジン始動の手順の繰り返しとなる。(バックホウ、ブルドーザ共)

・ブルドーザのオペレーターは、遠隔操作機械の建機情報の表示は、どちらかと言えば、必要であり、特に水温計が必要であると回答している。理由は、機械が新しいうちは故障頻度も少なく問題もないが、古くなった機械は突然故障することはあまりなく、計器の数値にて機械の状態を確認でき、故障を未然に対応できる場合があるためであるとのことだった。しかし、遠隔操作位置に別のモニターに表示するのみであれば、運転者は特に注意して監視しないのではないかと考えられていた。

１２．オペレーター人員配置状況

（1）オペレーターおよび作業員配置状況

1）編成状況

オペレータは、バックホウ専属で１人、ブルドーザ専属で１人、両機の交代要員で１人の合計３人によって、交代で操作している。

2）編成に関する特記事項

バックホウ（5.7m^3）のオペレーターは、年輩者であり過去に大きな重機も搭乗での操作経験はあるとのことであった。また、作業の交代に関しては、特に時間管理で交代してはいない。

（2）遠隔操作教育期間

ヒアリング調査を実施した対象者の内訳は、前記１１．（1）に示しているが、２人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果から、遠隔操作の講習（教育）期間として実施された時間は、バックホウのオペレーターは遠隔操作を未経験であった理由もあると考えられるが、操作方法や非常時の対応方法（メンテナンスに関する内容はなし）について０．５時間の教育（講習）を受けている。しかし、ブルドーザのオペレーターは、遠隔操作の経験者であった理由からか、全く教育（講習）を受けていない。

（3）オペレーターの経歴について

1）遠隔操作経験

オペレータの遠隔操作の経験は、ブルドーザは雲仙普賢岳の無人化施工で６ヶ月間の操作経験を持つオペレーターを連れてきており、バックホウは遠隔操作の経験はないが熟練オペレータであった。ブルドーザのオペレーターは、本人の希望としては、遠隔操作による無人化施工より搭乗運転を希望していた。

2）前現場従事先

バックホウのオペレーターは中国地方から、ブルドーザのオペレーターは九州内から連れてきている。

（4）遠隔操作に慣れる期間

２人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果から、遠隔操作に慣れる必要期間に対する回答は、バックホウのオペレーターは７日間、ブルドーザのオペレーターは１日とされている。なお、ブルドーザのオペレーターが１日あれば慣れると回答した理由は、遠隔操作を１日経験した作業量（仕事量）とその後の作業量（仕事量）は、ほとんど変化しないと考えられるため、慣れに必要な期間は１日と回答しているとのことだった。

１３．無線使用状況

（1）無線局の使用状況

当現場は、２台の遠隔操作型機械を使用して施工したが、操作無線は特定小電力無線局を使用している。また、操作以外の建機情報などのデーター通信や映像の無線による伝送は実施されていない。

（2）無線使用に関する特記事項

特に、調査を実施した上では聞かれなかった。

（3）無線に関するトラブル発生状況

特に、調査を行なった上では聞かれなかった。

１４．作業支援装置採用状況

（1）作業支援装置の採用状況

本工事では、映像装置および施工管理装置の採用はなく、河川の両岸の安全地帯に設置された３箇所（右岸１箇所、左岸２箇所）の遠隔操作台から、オペレーターは直接目視によって、遠隔操作している。なお、今回の工事は砂防ダム内の堆積土砂の掘削であるが、掘削がすすむに連れて作業員は遠隔操作台から離れ、施工が進んだことによって安全となった地帯から操作しているようである。

（2）特記事項

遠隔操作の建設機械は、バックホウ（５．７m^3）×１台、ブルドーザ（２１ｔ）×１台を使用しているが、この各々の機械についての映像装置や視覚情報に関するヒアリング結果を下記に示す。

①バックホウ

- 上からの映像があっても、凹凸が分からないため横からの映像がほしい。
- オペレータは、目視のみで遠隔を操作しているため、旋回体の後部やバケットをよくぶつける。

②ブルドーザ

- 直接目視の遠隔操作でのオペレーターの操作位置は、高ければ高いほど良いのではなく、高くなりすぎると地盤の起伏や障害物の大きさが認識できなくなる。理想は、対象遠隔操作機械に近く、操作位置を作業に応じて柔軟に変更できる環境がよい。
- 遠隔操作機械を移動させる場合の、移動予定位置へのずれの発生原因は、機械自体の現在位置と移動予定位置・高さ等が認識できないから発生する。これはカメラ装置を増設しても、改善は不可能であるとして、特に今までに改善要望を出してはいない。
- 今回の工事は、カメラは採用していない。実際の操作は、映像より目視での操作の方が楽であるが、重機近くの状況が解らずに気を使って、疲れてしまう。
- 目視で見られる環境での遠隔操作では、カメラは不必要である。もし、採用しても特別な場合を除いて使わないであろう。
- 仕事の内容にもよるが、目視で可能な遠隔操作距離は、今回が限度であると考えられる。

１５．メンテナンス体制

使用した遠隔操作機械は、全て建設機械メーカーＡ社の機械であったため、整備に関しては、一つのデーラーのみで実施されている。搬入時の整備に関しては７．（３）に示しているが、施工中にも多少のトラブルが発生しており、その際の修理は、全てそのデーラーにて対応している。現場にて使用している機械のメーカーを統一するか、取付け機器を標準化すれば、メンテナンスは容易になると考えられる。

１６．安全対策

（１）作業中止基準

工事にあたっての再度の土砂崩落・土石流災害（二次災害）の可能性は、崩壊山腹に多数のクラックが発生している状況であるために高く、監視機器を設置して監視下で作業を行うと共に、少量でも雨が降れば作業はすぐに中止している。

（２）遠隔操作型機械の待避について

遠隔操作の建設機械は、バックホウ（５．７m^3）×１台、ブルドーザ（２１ｔ）×１台を使用している。

これらの機械の待避状況については、バックホウの作業終了後の待避は、重機本体が高い位置にあるため、特に待避していない。また、待避しようとしても、バックホウの自重が100tと重いことで土砂に埋まって身動きできなくなる可能性が大きいため、走行路を改良していない現状では不可能である。また、ブルドーザの待避は、通常は砂防ダムの上流側の高い位置に仮置きしておく程度であり、大雨の予想等が発令されれば、砂防ダムの下流まで待避させている。

（３）監視装置について

監視装置としては、伸縮計と監視カメラ２台、雨量計で監視して、異常があればサイレントスピーカーにて現場に警報を発するようにしている。伸縮計は、崩壊した山の上部にクラックが発生している状況が、進行していないかを観測することに使用しているが、設置から今までに殆ど変化は見られていない。また、カメラ監視装置２台は、上記山腹の崩落部と砂防ダムの下流側を撮影しているが、これらの監視装置の数値や映像は、現場で確認することはできない。

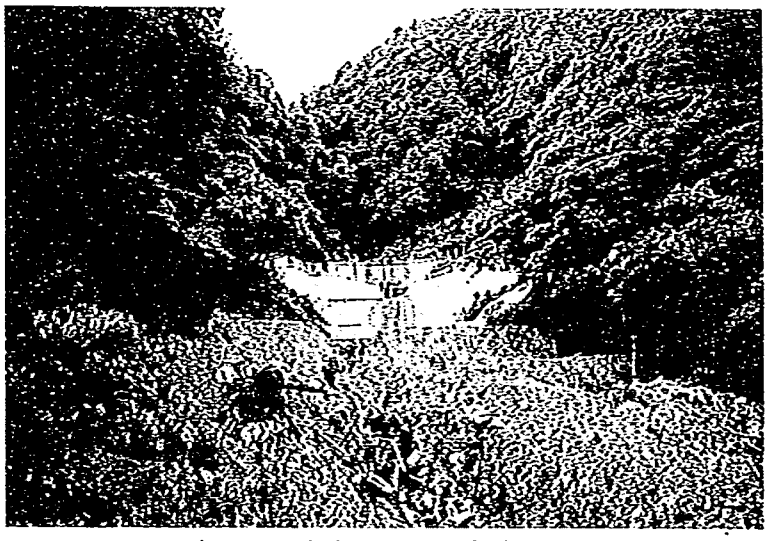
Ⅳ．Ｄ工事

１．災害状況
２．災害復旧作業
３．無人化施工の採用経緯
４．無人化施工に対する準備工
５．遠隔操作型機械の調達・選定状況
６．遠隔操作型機械の保管・稼動状況
７．遠隔操作型機械の運搬・整備状況
８．施工方法および施工状況
９．使用機械稼動状況・施工効率
１０．遠隔操作機械の操作装置
１１．遠隔操作機械の安全装置
１２．オペレーター人員配置状況
１３．無線使用状況
１４．作業支援装置採用状況
１５．メンテナンス体制
１６．安全対策

Ⅳ．Ｄ工事

１．災害状況

河川の上流が地すべりをおこし土石流となったもので、最初に土石流が発生してから、その後も梅雨前線豪雨や融雪によって幾度も土石流が発生している。このなかで、大規模なものは２回あり、一回目は最初に発生した梅雨前線豪雨による土石流で、災害範囲は１０，０００㎡、災害土量は５０，０００㎥である。被害状況は、人的被害はなかったが家屋１棟の半壊、道路の崩壊があった。また、二回目は融雪による土石流であり、災害範囲は４０，０００㎡、災害土量は４９，０００㎥であり、人的・物的被害はなかった。



写真－１：災害状況（工事着工前）

２．災害復旧作業

（1）砂防計画

災害関連緊急砂防工事は、砂防ダム等により土石流を捕捉する施設計画であり、工事に着手したが、豪雨や融雪等によって、上流域において沢筋の渓岸崩壊や崩壊地が拡大し、河道内に多量の土砂が堆積し下流に流出する危険性が高まった。現地の崩壊地調査結果によれば、河川上流域の崩壊箇所は、その末端部が住居から約４００M、近接している道路から距離約２００M、平均川床勾配約３０度（土砂の堆積域の直下流では約４０度）の急流となっている。崩壊箇所は地すべりの末端部にあり、推定約１７万㎥の崩壊土砂はまだ現地にどどまっており、極めて不安定な状況にあると思われるとともに、また崩壊地内にある岩塊（１～４M）は落石となって河川を下る可能性があった。この土砂を流域内で捕捉することは不可能であり、住居に被害を及ぼすことなく安全に本川本流に流下させるため、上記の堰堤工と流路工の当初計画から、流路工を導流堤工に変更した。工事の施工計画では、本渓流は上記の通りに上流部に不安定土砂が存在し、また、急勾配な渓床勾配なため、土砂が短時間に流下する可能性が高いため、無人化施工を基本とする施工計画となった。

（2）工事内容

下記表－１に工事内容及び工事数量を示す。

表－１：工事数量

工種	数量
切盛土工	１３，３００ m³
異形ブロック製作	約６００個
異形ブロック設置	２３４個

（3）今後の施工計画

流路部の掘削・導流堤の盛土、導流堤の異形ブロックによる被覆、道路の切り下げを予定しているが、無人化施工と有人化施工の区分について上流域の状況も調査しながら決定する予定である。

基本的には、流路部で土石流の危険が避けられない部分は無人化施工とし、導流堤の盛土、異形ブロックの据付など土石流を一定程度回避出来る部分の施工は有人化できないか検討する予定である。

（4）発注内容についての補足事項

・発注者で、無人化施工の情報を収集したが、今回の下請業者H建設を含めて無人化施工の業者は数社あると聞いていたが、今回施工可能な業者としては、１社だけであったことから採用している。

・無人化施工の施工方法については、施工業者との協議にて決定した。

・県土木事務所として決めて欲しい項目としては、下記内容が挙げられる。

①積算方法

②機械損料算定方法

③無人化施工専用機と改造機との判断基準

④無人化施工専用機の供用日数の算定条件

⑤作業効率の改善（ 機械改善、操作方法の改善 ）

⑥有人と無人施工の判断基準

⑦機種選定マニュアル

・工事契約は、土工何m³、ブロック何個といった形で行っている。

・工事数量管理は、出来形管理と出来高管理のどちらで行うかはまだ決定していない。今後協議して決定するが、通常の出来形管理とすれば無人測量の誤差が大きすぎるために、人間が危険区域（立入禁止区域）に入って測量せざるを得ない状況となるため、矛盾が生じてしまうと考えている。

・対象となる土質は、転石混じりの礫質土である。

・転石の直径は、１～２m程度である。

・異形ブロックの設置に関しては、無人化施工に際して通常の布団篭による施工と異形ブロックによる施工の、積み易さやコストの比較を行っている。異形ブロックの選定は、特に積み易さを第一に考え、コスト面で異形ブロックとした。

・異形ブロックの設置に関連する床堀り、生コン運搬は無人で、均しは人力で行う予定である。

3．無人化施工の採用経緯

本工事における無人化施工の採用は、工事の途中であったが、下記に、本工事における無人化施工の採用に関する経緯を示す。

なお、発注者で無人化施工の情報を収集したが、今回施工可能な業者としては、今回施工しているH建設だけであったことから下請けとして採用されている。

＜無人化施工の採用経緯＞

①河川の災害関連緊急砂防工事の元請者であったQ建設から工事の発注者に対して、現場状況の変化についての協議を実施。

＜協議内容＞

①河川上流域の崩壊が拡大し、土石流の発生が予想される

②有人作業での施工では、作業員の安全が確保されない

③現地調査のうえ処置の依頼

②現地調査の結果、上流部に大量の不安定土砂があり、下流の住居と本川姫川本流の捜索活動に対して、安全のための対応が必要と判断。

③発注者において検討した結果、計画していた流路工を取りやめ、左岸側に導流堤を施工する工法が適していると判断し、建設省へ同日午前中に調査結果及び対策工法について連絡。

④建設省より発注者宛てに無人化施工のパンフレットが送付される。

＜パンフレット＞　H建設の「無人化施工システム」

⑤作業現場が危険なため無人化施工を原則として、本川の左岸側に導流堤を応急施工するよう早急に検討を行なうこととする旨、建設省へ連絡。

⑥河川の崩壊状況及び今後の対策について建設省へ発注者が出向き協議を行なう。

＜協議内容＞

①工種変更の是非

②無人化施工による導流堤の施工の可能性・完了時期

③砂防ダム上流の堆砂の除去の可能性

⑦河川現地において、施工者と発注者で打合せを行ない、無人化施工が可能であると判断。

⑧工事目的物を無人化施工による導流堤の施工に変更（契約変更）。

4．無人化施工に対する準備工

本工事は、工事の途中に発生した土石流によって現場の安全環境が変化したことから、工事の途中に設計内容を変更して、無人化施工を実施しているが、この無人化施工を採用することに対する準備工としては、下記事項があり、各項目の工程は上記３．無人化施工の採用経緯を参照のこと。

(1)崩壊地の現地調査

(2)安全対策基準の作成

他の無人化施工を採用している現場にも調査を実施

(3)ヘリ搭載地形測量・システム測量

(4)計画施設の詳細設計

(5)用地の追加買収

(5)無人化施工の準備

機械手配・工程照査・施工範囲の確定

(6)関係機関との調整

また、ヒアリングでは、遠隔操作型建設機械の搬入準備としては、最初重機の搬入道路を作っているが、本川本流に重機の搬入道路を作り、重機を卸した地点から本川本流内の仮設走行路を走行して現場に搬入されている。このため、バックホウが入れるまでの期間は一ヶ月を要している。この搬入道路としては、法面に段をつけるために、斜面の計画勾配は３３％とし、その下に重機幅＋２ｍの道路を付けたとのことであった。

5．遠隔操作型機械の調達・選定状況

（1）調達方法について

無人化施工の採用から携わっていた建設機械メーカーが中心となって、関連会社の範囲における調達可能機械および施工方法の検討を実施した結果、下記の機械を調達して施工している。

（2）調達先

下記に調達先を明記する。

表－２：遠隔操作型建設機械の調達先一覧表（かっこ内は旧 JIS 表示）

機械名	メーカー	規格	台数	調達先
バックホウ	建設機械メーカーA社	１．４m³ (1.2m³)	１台	協力会社A建設
			１台	建設機械メーカーA社代理店
バックホウ	〃	４．０m³ (3.5 m³)	１台	協力会社A建設
ブルドーザ	〃	４３ｔ	２台	建設会社A社
クローラダンプ	〃	１１ｔ	１台	建設機械メーカーA社代理店

（3）使用遠隔操作機械の決定経緯

上記（1）の検討結果によって決定している。

（4）今回の工事を通常施工する場合の搭乗機械と、今回使用した遠隔操作機械との比較

下記に通常に使用されると考えられる機械と今回使用している機械を比較する表を示す。

表－３：通常使用の搭乗機械と実使用遠隔操作型機械の比較表（かっこ内は旧JIS表示）

	通常使用される機械仕様	今回使用している機械仕様
バックホウ	０．７m³級	１．４(1.2)m³及び４．０(3.8)m³
ブルドーザ	２０ｔ級	４３ｔ

・通常の有人作業では、０．７m³クラスのバックホウを使う程度の工事と考えられていたが、遠隔化を行っている機種が少ないことから使用可能な機種となり、遠隔バックホウとしては１．４m³しかなかったため、これを用いて施工している。実際に遠隔操作で施工すると、０．７m³クラスでは対象としている土質に対して、能力的に小さいと思われている。

・実際施工を行ってみると、直径２m程度の岩石が土砂の中に混じっており、作業効率が悪く、能力の大きな機械の方が転石の処理がしやすいために、近隣工事で使用している４．０(旧ＪＩＳ表示3.5)m³を状況しだいで貸与してもらい使用している。

・使用している遠隔操作型ブルドーザは、４３ton水中ブルの陸地改造品を使用している。

（5）その他の機械調達・選定に関係した内容について

・発注者から機種選定マニュアルを作成して欲しいと要望があった。

・無人化施工の機械の選定には、限られた台数しか機械がないため今後増やしてほしい。

・異形ブロック据付工事を開始すれば、埋戻し用としてバックホウを２台に増やす予定であった。

・バックホウで行うブロック積の作業は、バックホウに独自に改良したクランプを取り付け行う。この作業は、メーカーで社内試験は実施されているが、実作業は今回初めてである。

・異形ブロック積立ての作業は、１．４(旧ＪＩＳ表示 1.2)m³のバックホウにアタッチメントをつけて行う。

・異形ブロック積立ての作業のアタッチメントは、市販品を使う予定である。

6．遠隔操作型機械の保管・稼動状況

調達方法を検討することによって使用機械を決定し、下記内容の保管・稼動状況の機械を調達している。

①バックホウ（１．４m³）×１台　：新車購入改造後の使用

②バックホウ（１．４m³）×１台　：新車改造後、異形ブロック設置のデモンストレーションに使用後搬入

③バックホウ（４．０m³）×１台　：他現場で稼働中の機械を、代車搬入により引き抜き搬入

④ブルドーザ　（４３ｔ）×２台：工場にて待機中の機械を搬入

⑤クローラダンプ（１１ｔ）×１台：新車改造後、異形ブロック設置のデモンストレーションに使用後搬入

7．遠隔操作型機械の運搬・整備状況

（1）遠隔操作機械の搬入について

機械の運搬方法、現場への搬入に関しては請負者側の任意施工であったが、バックホウをいれる準備として、本川本流に重機の搬入道路を作り、重機を卸した地点から姫川の走行路を走行して現場に搬入されている。このため、バックホウが入れるまでの期間は一ヶ月を要している。また、搬入道路として法面に段をつけるために、斜面の計画勾配は３３％とし、その下に重機幅＋２ｍの道路を付けた。運搬に関しては、臨時措置等の採用はなく、機械本体の従来の運搬方法によって運搬・搬入されている。

（2）搬入時に必要となる組立・解体について

表－４：搬入時に実施された解体及び運搬車両

機械	規格	台数	解体	運搬車
バックホウ	１．４m³(1.2m³)	１台	車載カメラ、 自動追尾装置取り外し	35tﾄﾚｰﾗｰ×１台
バックホウ	１．４m³(1.2m³)	１台	特に無し	35tﾄﾚｰﾗｰ×１台
バックホウ	４．０m³(3.5m³)	１台	５分割解体 ・ﾗﾌﾀｰｸﾚｰﾝ(45t)×３台 ・高所作業車×１台 ・機械工×８人	35tﾄﾚｰﾗｰ×３台
ブルドーザ	４３ｔ	２台	排土板取り外し ・ﾗﾌﾀｰｸﾚｰﾝ(25t)×１台 ・機械工×３人	35tﾄﾚｰﾗｰ×１台 10tﾄﾗｯｸ×１台
ｸﾛｰﾗｰﾀﾞﾝﾌﾟ	１１ｔ	１台	特に無し	20tﾄﾚｰﾗｰ×１台

（3）搬入前の整備に関して

下記表に搬入前の整備内容を示す。

表－５：搬入前整備内容

機種	規格	搬入前の整備内容と整備費
バックホウ	１．４m³(1.2m³)	リモコン点検整備 出庫時本体点検整備
バックホウ	１．４m³(1.2m³)	リモコン点検整備 出庫時本体点検整備
バックホウ	４．０m³(3.5m³)	リモコン点検整備 出庫時本体点検整備
ブルドーザ	４３ｔ	リモコン点検整備 仕様変更（陸上仕様へ）
ブルドーザ	４３ｔ	リモコン点検整備 仕様変更（陸上仕様へ）
ｸﾛｰﾗﾀﾞﾝﾌﾟ	１１ｔ	リモコン点検整備 出庫時本体点検整備 荷台補強

（4）工事施工後の搬出に関して

搬出方法は上記1）および2）と同様にして、機械本体の従来の運搬方法によって運搬・搬出されている。

下記に各機械の機械運搬先および稼動予定を示す。

表－6：工事完了後の遠隔操作型機械

機種	規格	運搬先	稼動予定
バックホウ	1．4m³（1.2m³）	協力業者A建設の工場	整備実施 稼動予定無し
バックホウ	1．4m³（1.2m³）	建設機械メーカーA社の工場	整備実施 稼動予定無し
バックホウ	4．0m³（3.5m³）	協力業者A建設の工場	整備完了 雲仙にて稼動予定
ブルドーザ	43t	協力会社工場	整備実施 稼動予定無し
ブルドーザ	43t	協力会社工場	整備実施 稼動予定無し
ｸﾛｰﾗﾀﾞﾝﾌﾟ	11t	代理店ﾓｰﾀｰﾌﾟｰﾙ	稼動予定無し

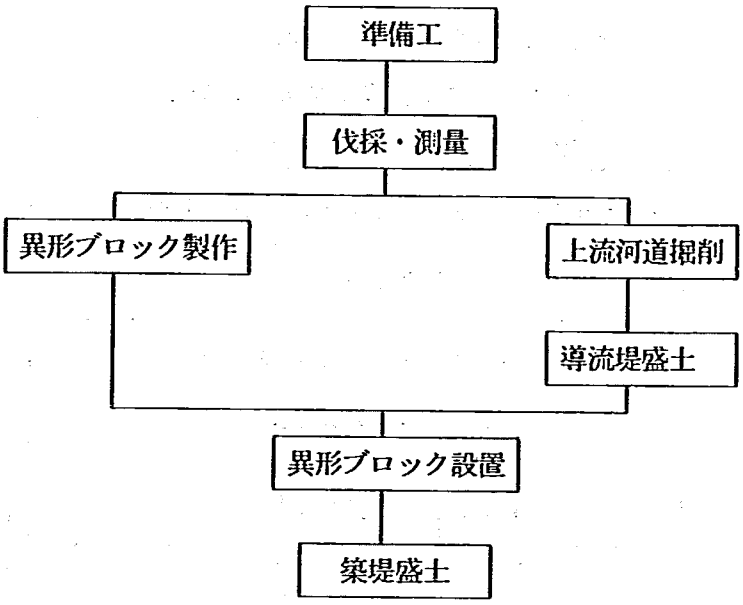
8．施工方法および施工状況

（1）工事施工方法の概要

現在施工している工事は、崩落した川の斜面に導流堤をつくるもので、バックホウで掘削した土砂をブルドーザで導流堤側に押土し、その後導流堤に2tの異形ブロックを積むもので、いずれの作業も無人化施工で行している。なお、施工方法については施工業者の無人化施工マニュアルを参考に計画している。

（2）施工順序

下記に、施工フローチャートを示す。



図－１：施工手順フロー図

①準備工としての例は、遠隔操作機械の搬入路を本川本流から造成した。

②遠隔操作機械にて、最初流木や電柱等を撤去した。

③堆積土砂を遠隔操作式ブルドーザおよび遠隔操作式バックホウで掘削押土する。

①押土した土砂の表面に、アタッチメントをセットした遠隔操作式バックホウ（１．２㎥）にて、異形ブロックを積み立てる。

⑤異形ブロックの背面を、埋め戻し転圧する。

⑥異形ブロックの背面に盛土し築堤する。

（3）設備および使用機械

下記に、使用した遠隔操作型建設機械を示す。しかし、常時これらの機械を使用してはいない。

表－７：遠隔操作型建設機械一覧表

機械名	メーカー	規格	台数	主な使用用途
バックホウ	建設機械メーカーA社	１．４m³（1.2m³）	１台	掘削・押土・異形ﾌﾞﾛｯｸ設置
			１台	掘削・盛土
バックホウ	〃	４．０m³（3.5m³）	１台	掘削・押土
ブルドーザ	〃	４３ｔ	１又は２台	掘削・押土
クローラダンプ	〃	１１ｔ	１台	異形ﾌﾞﾛｯｸ設置・盛土

（4）測量

測量は、関連した自動測量システムは使用していない。そこで、測量に関しては危険地帯とされる区域に入って測量されている。なお、その危険地帯への立ち入りを最小限に抑えるため、及び土工事が主であったため、日々の出来形管理としての測量は実施されていない。

なお、施工計画の出来形管理基準は、下記内容で挙げている。

表－８：出来高管理基準

基準高	基準値
項目	築堤　±３０cm 掘削　±３０cm
幅 B	築堤　－２０cm
法長 ５M以上	築堤　－　２％ 掘削　－　４％

（5）工事状況の概要

下記に工事状況を示す内容を列記する。

・無人化施工の施工効率が思ったより上がらないため、工事工程は遅れ気味である。

・対象となる土質は、転石混じりの礫質土であり、転石の直径は、１～２m程度である。

・朝と昼に現場に立ち入る場合には、立ち入り前に監視本部と協議打ち合わせを行う。

・当初操作にはＩＴＶカメラ２台で行っていたが、カメラ映像でも死角が出るため現在は直視でやっている。

なお、別紙に工事状況写真を示している。

（6）遠隔操作状況

施工している地形の問題から、固定カメラの設置位置が制限されているため、現地調査時の操作状況は、固定カメラにて十分な状況監視ができない状況にあった。このため、オペレーターはコントロール室からの映像情報での遠隔操作ではなく、安全地帯（河川の両岸）の中の決められた操作位置から、直視によって遠隔操作を実施していた。

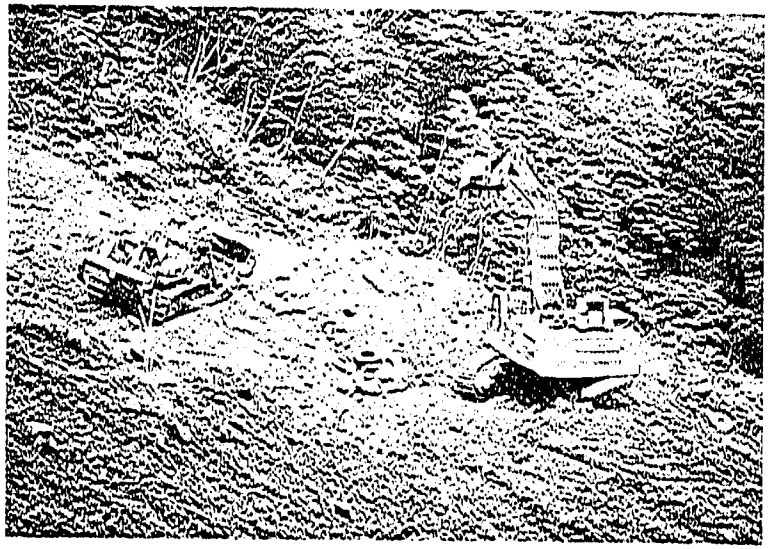
この直接目視の決められている操作位置は、作業状況に応じて変更出来るように、４箇所の操作位置が決められていたが、、河川の両岸であるために、斜面で滑ることから、オペレーターは位置を確保するのが難しい。

（7）施工関連の特記事項

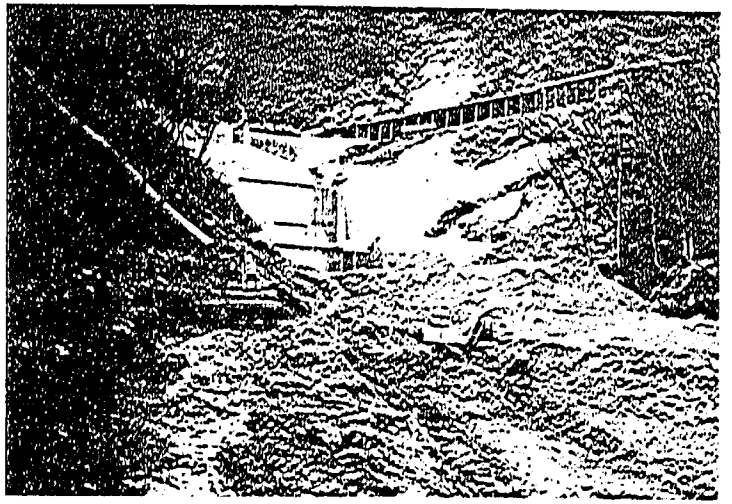
・発注者側の担当者には、作業効率が悪いために機械及び操作方式の改良が必要であると感じられていた。

・発注者からの要望として、作業効率の改善（機械改善、操作方法の改善）が検討できるマニュアルの作成がある。

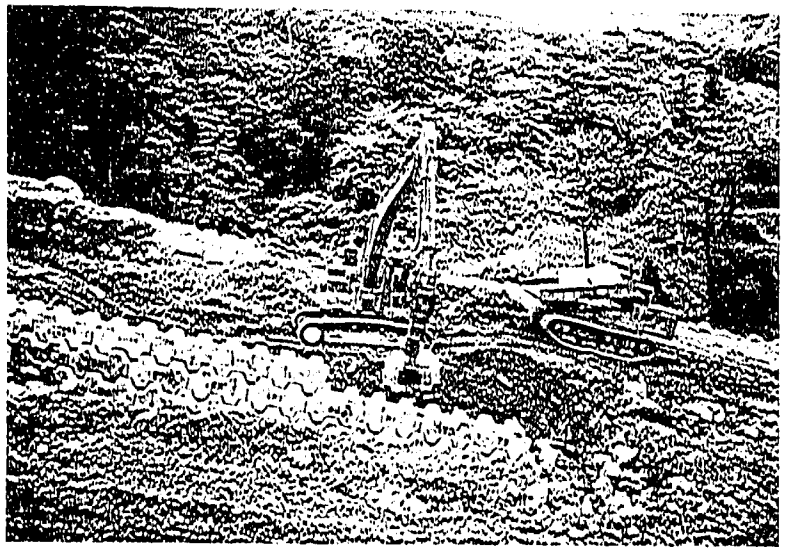
・無人化施工の施工効率が思ったより上がらないため、工事工程は遅れ気味である。



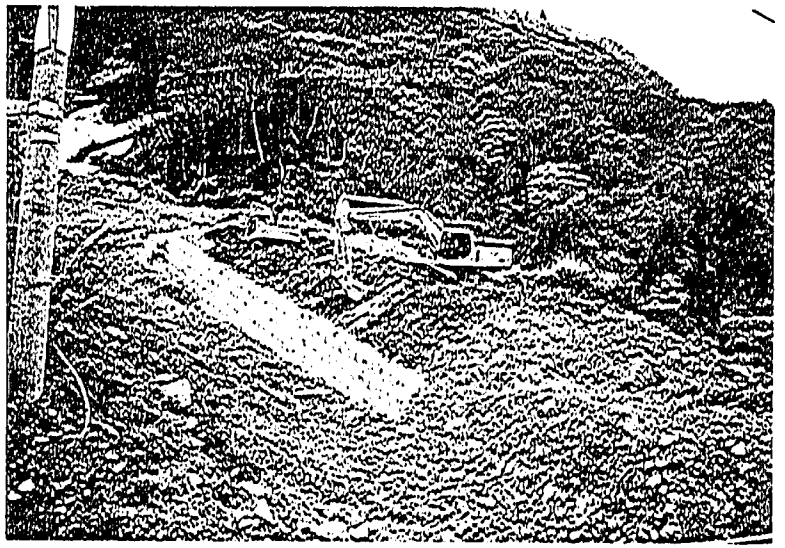
写真－２：ﾊﾞｯｸﾎｳ(4.0m³)による掘削・ブルドーザ(43t)による押土状況



写真－３：ﾊﾞｯｸﾎｳ(1.4m³×２台)による掘削状況



写真－４： ｱﾀｯﾁﾒﾝﾄ付きﾊﾞｯｸﾎｳ(1.4m³)による異形ﾌﾞﾛｯｸ積立状況



写真－５：ﾊﾞｯｸﾎｳ(1.4m³×２台)による築堤・盛土状況

9．使用機械稼動状況・施工効率

（1）遠隔操作機械の稼動状況について

1）現地調査時のヒアリング結果から

・燃料は、作業終了後避難場所でスタンドからの給油車で給油している。

・ブルドーザの故障は、油圧系統が多い。

・バックホウは、故障はない。

・重機に搭載したカメラは振動で良く壊れる。

2）搬入後の整備内容および整備費

表－9：施工中の遠隔操作機械の整備内容

機種	規格	搬入後の施工使用中の整備内容
バックホウ	1．4m³(1.2m³)	消耗部品交換（ツメ・ピン・ブッシュ等）
バックホウ	1．4m³(1.2m³)	なし
バックホウ	4．0m³(3.5m³)	消耗部品交換（ツメ・ピン等） 運転席ガラス交換
ブルドーザ	43t	油圧ホース交換 燃料系統修理
ブルドーザ	43t	本体亀裂修理
ｸﾛｰﾗﾀﾞﾝﾌﾟ	11t	荷台補強

上記表の内容からは、消耗部品交換以外の修理内容は、遠隔操作に関連していると考えられる。

3）機械返却時の整備内容

表－10：返却時の整備内容及び整備費

機種	規格	返却時の整備内容
バックホウ	1．4m³(1.2m³)	板金・塗装・点検等
バックホウ	1．4m³(1.2m³)	板金・塗装・点検等
バックホウ	4．0m³(3.5m³)	板金・塗装・点検等
ブルドーザ	43t	板金・塗装・点検、足廻り・排土板整備 仕様変更（水中仕様へ）
ブルドーザ	43t	板金・塗装・点検、足廻り整備 仕様変更（水中仕様へ）
ｸﾛｰﾗﾀﾞﾝﾌﾟ	11t	補強解体、点検等

4）遠隔操作機械の稼動状況

＜共通項目＞

・使用している遠隔操作機械は、稼動している日はすべて点検・給油を実施されている。

・待機発生は、各遠隔操作機械によってその発生日、時間ともまちまちであるため、雨等による危険性からの待機か、作業的に使用する必要性がないための待機かを、判定することは不可能である。

・作業は、日曜日のみを休日として実施されており、祝日や土曜日は作業している。

①バックホウ１．４m³の１号機（油圧クランプ装着仕様）

・下記に集計表を挙げる。

表－１１：バックホウ（１．２m³）１号機の稼動集計

	1月あたりの供用日数（日）	稼働日数（日）	可動時間（Hr）	稼動日当たり稼動時間（Hr/日）	摘要
①	３０	１８	１００	５．６	
②	３１	２７	１５６	５．８	
③	３０	２７	１６５	５．９	
合計	９１	７２	４２１	(平均) ５．８	
—	——	(１１)	(６４．５)	——	異形ブロック据付け
—	——	(0)	(１０)	——	樹木撤去

・累計稼働日は７２日間である。

・７２日間の稼働日のなかでの作業内容は、下記表の通りであった。

表－１２：バックホウ（１．４m³）１号機の施工工程

作業開始からの日数	１日目～４２日目	４３日目～４８日目	４９日目～５２日目	５３日目～５７日目	５８日目～７３日目
期間	４２日間	６日間	４日間	５日間	１６日
作業内容	掘削(樹木撤去)	ブロック据え付け	掘削・盛土	ブロック据え付け	掘削・盛土

・７２日稼動して７回の故障が発生している。

・７回の故障の修理は、全て平日に実施されている。通常、作業の工程や出来高を考えると、仮の修理を実施しておき、現場の作業を実施しない休日に完全修理を実施すると考えられるため、７回の修理は遠隔操作に絶対必要な修理であったと考えられる。

・７回の各修理時間は、下記の通りである。

表－１３：バックホウ（１．４m³）１号機の故障状況

	１回目	２回目	３回目	４回目	５回目	６回目	７回目
累計稼働日	５日目	17日目	24日目	29日目	37日目	50日目	51日目
作業内容	掘削	掘削	掘削	掘削	掘削	掘削・盛土	掘削・盛土
修理時間(Hr)	４．５	３．５	２．０	３．５	４．０	０．５	１．０

・７３日の稼働日のうちで上記７回の各修理は、全て掘削もしくは掘削・盛土工程中に発生している。逆を考えると、１１日間のブロック据え付け工程中には、故障は発生していない。

・工事終了直前の１７日間の掘削・盛土工程中と５日間のブロック据え付け工程の間は、故障は発生していない。これは、慣れによって機械破損がなくなったのかもしれない。

・工事の最初の３日目から２３日まで樹木の撤去を実施しているが、掘削工程に応じて実施している。

・９日間に於いて、待機して工事を中断しているが、終日待機して作業が中止となっているのは１日だけであり、のこりの８日間は１時間から４時間である。

・点検・給油時間は、ほとんどが０．５、１．０、１．５時間のいずれかであり、１度だけは実施時間が３．０時間の日があるがその前後の作業内容には特徴がない。

②バックホウ１．４m³の２号機（ラジコン仕様のみ）

・下記に集計表を挙げる。

表－１４：バックホウ（１．４m³）２号機の稼動集計

	１月あたりの供用日数（日）	稼働日数（日）	可動時間（Hr）	稼動日当たり稼動時間（Hr/日）	摘要
①	１５	１１	５５	５．０	
②	３０	２３	１２２	５．３	
③	２	０	０	０	
合計	４７	３４	１７７	(平均) ５．２	

・累計稼働日は３４日間である。

・１号機の稼動開始から２号機の稼動開始まで、遅れること４１日であり、稼働日では３４日稼動後から２台で作業している。

・３４日間の稼働日のなかでの作業内容は、下記表の通りであった。

表－１５：バックホウ（１．４m³）２号機の施工工程

作業開始からの日数	１日目～８日目	９日目～１４日目	１５日目～１８日目	１９日目～２２日目	２３日目～３４日目
作業内容	掘削	埋め戻し	掘削・盛土	埋め戻し	掘削・盛土

・３４日稼動して修理は全く発生していない。オペレーターの操作ミス等によって、機械本体の能力を低下させるような破損は発生しなかった。

・１１日間に於いて、待機して工事を中断しているが、終日待機して作業が中止となっているのは１日だけであり、のこりの１０日間は１時間から５時間の待機時間であり、特に日程が集中している。

・点検・給油時間は、その全てが１．０時間である。

③ブルドーザ４３ｔの１号機

・下記に集計表を挙げる。

表－１６：ブルドーザ（４３ｔ）１号機の稼動集計

	1月あたりの供用日数（日）	稼働日数（日）	可動時間（Hr）	稼動日当たり稼動時間（HR/日）	摘要
①	１２	０	０	０	８月２０日～
②	３０	２０	９２．５	４．６	
③	２５	１５	７９．０	５．３	～１０月２５日
合計	６７	３５	１７１．５	(平均) ４．９	

・累計稼働日は３５日である。

・１号機は２号機と共に押土以外の作業は実施していない。

・修理作業は７回発生しており、下記の通りであった。

表－１７：ブルドーザ（４３ｔ）１号機の故障状況

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目
累計稼働日	3日目	3～4日目	11日目	13日目	19日目	20～21日目	21日目
作業内容	押土						
修理時間	０．５	５．５(終日)	１．０	２．０	３．５	６．０(終日)	３．０

・待機は、３５日間の作業実施日に発生したものが６回であるが、それとは別に終日待機していたものが、７日間発生している。

・点検・給油時間は、ほとんどが０．５、１．０、１．５時間のいずれかであり、１度だけは実施時間が３．０時間の日があるが、その日は日曜日の翌日であった。

④ブルドーザ４３ｔの２号機

・下記に集計表を挙げる。

表－１８：ブルドーザ（４３ｔ）２号機の稼動集計

	1月あたりの供用日数（日）	稼働日数（日）	可動時間（Hr）	稼動日当たり稼動時間（Hr/日）	摘要
	２０	１３	６８	５．２	
合計	２０	１３	６８	５．２	

・累計稼働日は１３日である。

・２号機は１号機と共に押土以外の作業は実施していない。

・１３日の作業実施日の中で、修理作業は３回発生しており、下記の通りであった。

表－１９：ブルドーザ（４３ｔ）２号機の故障状況

	１回目	２回目	３回目
累計稼働日	７日目	８日目	９日目
作業内容	押土		
修理時間	０．５	１．０	４．０

・修理作業の３回は連続して発生している。

・待機の発生は、作業実施日に発生したものが、２日間で４．０、６．０時間発生しており、終日待機となっているものが、２日間発生している。

・点検・給油は、そのほとんどが１．０時間であり、作業初日のみが０．５時間である。

⑤クローラダンプ １１ｔ

・下記に集計表を挙げる。

表－２０：クローラーダンプ（１１ｔ）の稼動集計

	供用日数（日）	稼働日数（日）	可動時間（Hr）	稼動日当たり稼動時間（Hr/日）	摘要
	１４	３	１５．５	５．２	
	２８	１５	６２．５	４．２	
合計	４２	１８	７８．０	４．３	
――	――	(7)	(２２．５)	――	掘削土運搬

・累計稼働日は１８日間である。

・１８日間の稼働日のうち、最後の７日間はすでにブロック運搬作業を終了し、掘削土の運搬作業を実施した。

・１８日間の稼働日のうち、修理を実施したのは１日間だけであるが、その１日は作業開始から４日目の翌日であり、８時間かけて終日実施されている。

・待機は、全の待機が終日待機となっており、待機した時期は、作業開始前および作業中であり、合計１５日間が３回に分けて、集中して発生している。

・点検・給油は、その全てが１．０時間である。

（２）進捗管理状況

危険区域への立ち入りの安全性から測量等の現地立ち入りを最小限に抑えるため、および土工事が主であったために、日々の出来高管理は実施されていない。このため、日々の進捗については、不明である。

（３）遠隔操作機械の稼働率

前記（1）．４）および機械稼動記録表から下記数値を算出して、各機械毎に列記する。なお、累計が１００％とならないのは、稼動予定日あたり８時間と計算しているが、８時間でない日が存在している為である。

・稼動率

$$\frac{\text{稼動時間累計}}{\text{稼動予定日}\times 8\text{Hr}}$$

・点検・給油率

$$\frac{\text{点検・給油時間累計}}{\text{稼動予定日}\times 8\text{Hr}}$$

・修理率

$$\frac{\text{修理時間累計}}{\text{稼動予定日}\times 8\text{Hr}}$$

・待機率

$$\frac{\text{待機時間累計}}{\text{稼動予定日}\times 8\text{Hr}}$$

①バックホウ 1．2m³ 1号機（油圧クランプ装着仕様）

・稼働率　＝ 421／(73×8) ＝ 0．72 (72%)
・点検・給油率 ＝ 74／(73×8) ＝ 0．13 (13%)
・修理率　＝ 19／(73×8) ＝ 0．03 (3%)
・待機率　＝ 32／(73×8) ＝ 0．05 (5%)

②バックホウ 1．2m³ 2号機（ラジコン仕様のみ）

・稼働率　＝ 177／(34×8) ＝ 0．65 (65%)
・点検・給油率 ＝ 34／(34×8) ＝ 0．13 (13%)
・修理率　＝ 0／(34×8) ＝ 0 (0%)
・待機率　＝ 43．5／(34×8) ＝ 0．16 (16%)

③ブルドーザ 43t 1号機

・稼働率　＝ 171．5／(45×8) ＝ 0．48 (48%)
・点検・給油率 ＝ 36／(45×8) ＝ 0．10 (10%)
・修理率　＝ 18／(45×8) ＝ 0．05 (5%)
・待機率　＝ 81／(45×8) ＝ 0．23 (23%)

④ブルドーザ 43t 2号機

・稼働率　＝ 68／(15×8) ＝ 0．57 (57%)
・点検・給油率 ＝ 12．5／(15×8) ＝ 0．10 (10%)
・修理率　＝ 5．5／(15×8) ＝ 0．05 (5%)
・待機率　＝ 26／(15×8) ＝ 0．22 (22%)

⑤クローラダンプ 11t

・稼働率　＝ 78／(33×8) ＝ 0．30 (30%)
・点検・給油率 ＝ 18／(33×8) ＝ 0．07 (7%)

・修理率　　＝　　8／（33×8）＝0．03　（　3%）

・待機率　　＝120／（33×8）＝0．45　（45%）

（4）考察

上記の算出値を表に示す。

表－21：遠隔操作機械別の各種率一覧表

	稼働率	点検･給油率	修理率	待機率
ﾊﾞｯｸﾎｳ(1.4m3)1号機	72％	13％	3％	5％
ﾊﾞｯｸﾎｳ(1.4m3)2号機	65％	13％	0％	16％
ブルドーザ(43t)1号機	48％	10％	5％	23％
ブルドーザ(43t)2号機	57％	10％	5％	22％
ｸﾛｰﾗｰﾀﾞﾝﾌﾟ(11t)	30％	7％	3％	45％

＜稼働率＞

・クローラーダンプを除いた遠隔操作機械の稼働率は、0．48から0．72までとなっており、待機率によって大きく影響されている。

・クローラーダンプの稼働率は、他の機械と比較すると30%と低いが、これは搬入直後の8日間の待機および工事途中での4日間、3日間の待機（合計15日の待機日数）が大きく影響している。

＜点検・給油率＞

・点検・給油率は、全ての遠隔操作機械で、ほぼ同じ数値となっており、0．07から0．13である。

＜修理率＞

・修理率も0から0．05と各遠隔操作機械でほとんど変化がない。

＜待機率＞

・この待機率は、遠隔操作機械によって大きく変化しているが、これは、やはり（1）．4）に記載しているとおりに、作業的に使用する必要性がないための待機を行なっていると考えられる。

・クローラーダンプの待機率は、これは搬入直後の8日間の待機および工事途中での4日間、3日間の待機が大きく影響しており、この状況からも上記の事が考えられる。

（5）無人化施工と有人施工との施工効率比較

遠隔操作機械の施工と搭乗操作機械の施工の施工効率の比較は、施工ヤードの勾配が1／30の難条件であるため、同一条件の施工資料が存在しないため、判定できない。

１０．遠隔操作機械の操作装置

当現場は、使用機械は現場作業に応じて変化させていることに加えて、現地調査時は搬入されて使用されブルドーザ（４３ｔ級）、バックホウ（４．０m³）は共に稼働中であったため、操作装置に関する調査が実施できなかった。

なお、下記の内容は、現地調査時にオペレーターから聞いた操作装置関連の内容である。

- 有人機械と同様な体感装置があれば、もっとスムーズに施工ができるのではないかと考えられている。
- 遠隔の操作は、搭乗型の倍疲れる。
- 操作は、重機とオペレータが向き合っていると通常の反対の操作となるため慣れない。

１１．遠隔操作機械の安全装置

（1）オペレーターへのヒアリング調査実施状況

ヒアリング調査を実施した対象者の内訳は下記の通りであった。

表－２２：現場オペレーターへのヒアリング実施内容

機械名称	規格	人数	番号
バックホウ	４．０m3 １．４m3	１人	①
ブルドーザ	４３ｔ	４人	② ③ ④

（2）ヒアリング調査結果

上記へのヒアリング調査結果から、遠隔操作機械に対する安全装置の採用状況について、下記の内容が分かっている。

表－２３：安全装置採用状況のヒアリング結果一覧表

		①	② ③ ④
１．非常停止	非常停止	○	○
２．機械情報表示	エンジン回転	×	×
	燃料残量	×	×
	油温計	×	×
	本体傾斜計	×	×
	その他の表示	——	——

（3）ヒアリング結果の特記事項

特記事項として、下記事項が挙げられる。

- 非常停止は採用しているが、機械情報は採用していないため、遠隔操作中にオペレーターは、全く建機の状態を監視できない。
- 全ての遠隔操作型建設機械はの非常停止は、作動させるとエンジンが停止し、復旧は通常の起動操作を実施することによって行なう。

・建機の情報とは違うが、送信機には、送信機のバッテリー電源切れの表示ランプがついている。

・建機情報の必要性は、オペレーター４人に聞いた結果では、１人は無回答、１人は必要、１人は無線異常だけは必要、１人は不必要と回答している。

・ブルドーザの非常停止に関する事項として、ブルドーザに一度問題が発生している。内容は、非常停止を解除した際のニュートラルチェックに問題があったために、非常停止復旧時に、走行モードに入っていた建機が斜面で走行した事例があるとのことだった。

１２．オペレーター人員配置状況

現地調査を実施した時は、バックホウの４．０m³とブルドーザの４３ｔの２台が掘削・押土を施工している状況であったが、８．施工状況に挙げている工事実施工程表の通りに工事の内容に応じて、機械の入替・追加を実施しながら施工されている。

ここでは、現地調査を実施した時点での調査結果を列記している。

（1）オペレーターおよび作業員配置状況

1）編成状況

オペレーターは２台の遠隔操作機械に対して、２人が現場に常駐しており、予備員は不在であるため、１人のオペレーターが休むと作業が止まってしまう状況であるとのことであった。しかし、臨時的な運転に関しては、下請け会社であるH建設の機械施工管理を担当している職員が対応しているようであった。

2）編成に関する特記事項

オペレータの選定は、全て協力会社に任せて実施されているとのことであった。

（2）遠隔操作教育期間

ヒアリング調査を実施した対象者の内訳は、前記１１．（1）に示しているが、４人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果から、本工事にて遠隔操作型機械を操作する前に講習（教育）の実施期間に対する回答は、下記表の通りであった。

表－２４：遠隔操作実施前の講習(教育)実施期間

番号	操作機械	講習(教育)を受けた期間	講習(教育)の内容
①	バックホウ	７日	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法
②	ブルドーザ	７日	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法 4.遠隔機械関連の点検方法
③	ブルドーザ	不明	不明
④	ブルドーザ (職員の臨時操作)	３０日	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法 4.遠隔機械関連の点検方法

また、実際に遠隔操作機械を運転するにあたって、講習（教育）して欲しいと考える内容を下記表にまとめている。

表－２５：オペレーターの希望講習(教育)実施内容

番号	操作機械	講習(教育)の内容
①	バックホウ	1.非常時の対処方法
②	ブルドーザ	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法 4.遠隔機械関連の点検方法 5.遠隔操作関連の増設可能な機器について
③	ブルドーザ	1.操作方法 2.無線関連機器の点検方法
④	ブルドーザ (職員の臨時操作)	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法 4.遠隔機械関連の点検方法

この結果からは、オペレーターによっては不必要とされるが、基本的には４つの項目については、講習(教育)するべきであると考えられ、内容は下記の通りである。

１．操作方法

２．非常時の対処方法

３．無線関連機器の点検方法

４．遠隔機械関連の点検方法

（3）オペレーターの経歴について

1）遠隔操作経験

上記と同様にヒアリングの結果から、本工事に使用されている遠隔操作型建設機械のオペレーターの本工事以外の遠隔操作の経験は、下記表の通りである。

表－２６：現場従事者の遠隔操作経験年数

番号	操作機械	遠隔操作経験工事	実操作期間
①	バックホウ	なし	―――
②	ブルドーザ	除石工事	１年
③	ブルドーザ	なし	―――
④	ブルドーザ (職員の臨時操作)	水陸両用ブルドーザの遠隔操作	２ヶ月

遠隔操作の経験者を選任しようとしているが、人員が不足しているため上記状況になっていると考えられる。

2）前現場従事先

オペレーターの本工事直前の従事先は、不明となっている。しかし、下請け会社であるH建設のオペレーターが出来る職員は、上記（3）．1）の④に記載している現場から移動している。

3）遠隔操作に慣れる期間

４人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果から、遠隔操作に慣れる必要期間に対する回答は、下記表の通りであった。

表－２７：遠隔操作に必要な慣れの期間

番号	操作機械	通常の建設機械の オペレーター経験年数	遠隔操作に 慣れるための必要期間
①	バックホウ	２年	約　７日
②	ブルドーザ	１０年	約　７日
③	ブルドーザ	１５年	約１年間
④	ブルドーザ (職員の臨時操作)	５年	不明

この結果からは、慣れに要する期間は７日と回答したオペレーターが２人いた以外は、参考に成らない回答であると考えられる。

また、現地調査時に聞かれた内容では、熟練のオペレーターは、五感で操作感覚を覚えているので、遠隔操作を慣れるのが遅くなってしまい、実際に本工事で操作しているオペレーターはまだ慣れていないと言うことであった。

１３．無線使用状況

（１）無線局の使用状況

本工事では、遠隔操作型建設機械の操作には、特定小電力無線局が使用されている。また、重機に搭載されたカメラの映像伝送は、自動追尾装置を備えた 50GHz の簡易無線によって実施されている。なお、固定カメラ２台の映像は、有線によってコントロールルームまで送られているため、無線は使用されていない。

（２）無線使用に関する特記事項

特に、調査を行なった上では聞かれなかった。

（３）無線に関するトラブル発生状況

特に、調査を行なった上では聞かれなかった。

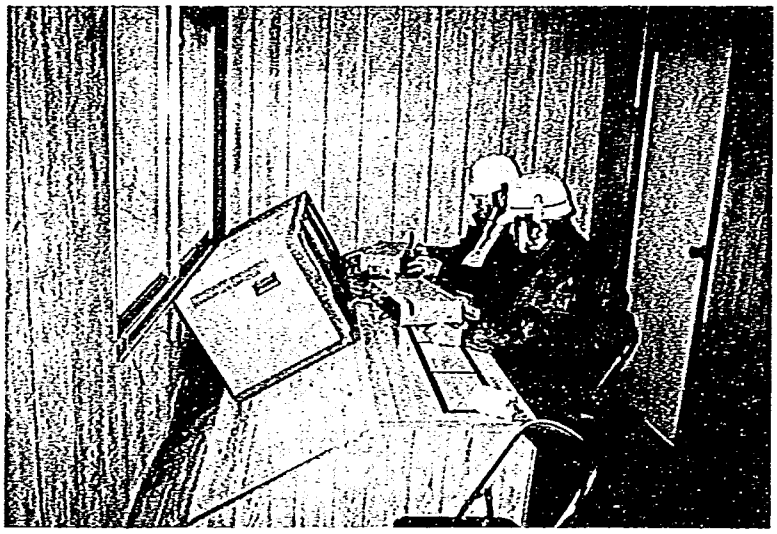
１４．作業支援装置採用状況

（１）作業支援装置の採用状況

１）映像装置

本工事では、固定カメラを２台と遠隔操作機械にカメラを搭載して、建設機械を遠隔操作している。しかし、施工している地形の問題から、固定カメラの設置位置が制限されているため、施工中の機械位置や作業内容によっては、カメラの映像だけでの遠隔操作は困難となっていた。このため、直接目視でも遠隔操作が可能であるように河川の両岸の安全な場所に４箇所の遠隔操作位置をきめ、そこで遠隔操作するようにしていた。

現地調査時にも、固定カメラおよび搭載カメラでは十分な状況監視ができない状況にあったため、オペレーターはコントロール室からの映像情報での遠隔操作ではなく、決められた操作位置から、直視によって遠隔操作を実施していた。



写真－６：コントロールルームでの映像設備による遠隔操作状況

２）施工管理装置

本工事では、施工管理システムの採用は実施されていない。

（2）特記事項

以下に、映像設備や直接目視での遠隔操作での特記事項を示している。

・搭載カメラの映像送信の周波数を 50GHz にしたのは、静止画ではなく動画の映像が見られるようにとの配慮である。また、遠隔操作型建設機械が、稼働中も送受信が可能なように自動追尾装置も採用している。

・状況監視カメラは、現場の範囲内ではあるが、極力ＸＹの対角方向で立体感が出て重機の足元が分かるように配置している。

・細かい作業は、車載カメラからの映像情報によって、遠隔操作を行なう。

・ブルドーザには車載カメラをつける予定はない。

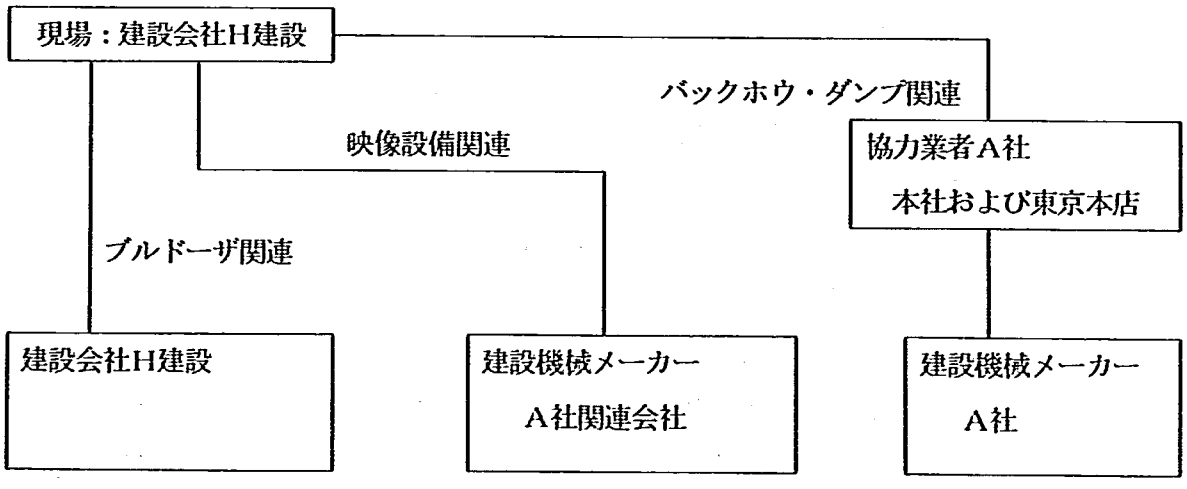
・異型ブロックの積立て作業は、新規搬入予定のバックホウにもカメラを設置して、据え付け制度を高める予定である。

・直視での遠隔操作では、重機本体の後方が見えないために、反対側に回って操作する必要がある。このため、河川の両側に直接目視する際の遠隔操作位置を設定している。

・直接目視によって遠隔操作を実施する際の操作位置は、河川の両岸であるために斜面であることから滑り易く、オペレーターは位置を確保するのが困難となっている。

１５．メンテナンス体制

メンテナンス体制として、機械的な故障の場合には現場に１人常駐している修理工（修理台車共）によって対応し、ラジコン操作不良等の電気通信系統の故障に関しては、建設機械メーカーＡ社及び外部の専門業者に依頼して修理を実施している。下記にメンテナンス体制表を示す。



図－２：メンテンス体制一覧表

１６．安全対策

（1）安全対策について

現場では、作業の安全を確保するため、下記の内容を実施している。

・一般車両の工事区域への進入は禁止している。

・安全区域や危険区域は、発注者側で特に限定しているものではないが、施工者側で限定して施工している。

・作業中は、全員がトランシーバーで連絡を取り合っている。

・作業を中止する場合（及び昼休み）は、建設機械を待避場所に待避させている。

・現在施工している導流堤の掘削には丁張が必要であるが、その設置に関しては危険区域に入って設置しているのが現状である。しかし、現状の作業では、無人化施工区域（危険区域）への入所は、基本的には測量を実施するときのみである。（ 下記参照）

・朝と昼に現場に立ち入る場合には、立ち入り前に監視本部と協議打ち合わせを行う。

（2）有人作業と無人作業の区別

施工計画書に、現場内の作業の有人作業と無人作業を明確に示して作業されており、その内容を下記に示す。

○有人作業

・測量丁張作業

・出来形管理作業

・異形ブロック設置の均しコンクリート作業

○無人作業

・立木伐採作業

・河道掘削作業

・導流堤盛土作業

・異形ブロック設置作業

（3）監視計器の設置状況

再度の災害による人的被害を防止するために、下記の監視装置を設置している。

①雨量系　　：１基

雨量基準の設定のための基礎データーとする為に、夏川地区における雨量データーを事前に収集する。

②流量計　　：１基

河川流量を計測し、降雨との関連性や水収入を検討する際のデーターとするものであるが、直接的には降雨ピークと流量ピークの時間差を把握し、警報発令後の解除の設定や工事可能日の設定などのデータとするものである。

③積雪深計　　：１基

融雪量を検討する際のデーター収集を行うものである。

④気温計　　：１基

融雪量を検討する際のデーター収集を行うものである。

⑤電気伝導度計　　：１基

土石流発生時には、電気伝導度の高い硫酸カルシウムを主成分とする地下水が多量に供給されたことが明らかになっている。本河川においても、土石流発生時には上流より平常時と異なる地下水が供給される可能性が考えられる。このため、河川水の電気伝導度データーを収集し、土石流発生予知の資料とするものである。

⑥伸縮計　　：５基

土石流発生源斜面の斜面変動をモニターするものであるが、斜面変動を生じた場合、変動量や変動時期と他の気象データーとの相関を検討する際の資料とするものである。

⑦ワイヤーセンサー　：２基

当現場の河川上流２箇所に設置しており、その間隔は約３００Mである。

⑧監視員　　：１人

監視機器にて計測できない異変（特に地鳴り等の音など）について監視するために、安全な場所に監視員を常駐させている。

⑨サイレン・回転灯　：１式

作業員や関係者に異常事態を認知させるように、サイレンおよび回転灯を設置している。

⑩監視カメラ　　：３基

現場の状況を監視する目的に加えて、遠隔操作重機がオペレーターの死角での作業となった場合に、コントロールハウスから遠隔操作するための映像情報としても使用されている。

V. E工事

1．災害状況
2．災害復旧作業
3．無人化施工の採用経緯
4．無人化施工に対する準備工
5．遠隔操作型機械の調達・選定状況
6．遠隔操作型機械の保管・稼動状況
7．遠隔操作型機械の運搬・整備状況
8．施工状況
9．使用機械稼動状況・施工効率
１０．遠隔操作機械の操作装置
１１．遠隔操作機械の安全装置
１２．オペレーター人員配置状況
１３．無線使用状況
１４．作業支援装置採用状況
１５．メンテナンス体制
１６．安全対策

V．E工事

1．災害状況

火山が噴火したことにより、火山近くの河川に火砕流が発生した。その後、降雨により土石流となって下流の扇状地に流れ出た。被害状況は、この火砕流と土石流により死者・行方不明者がでたほか、家屋損害、道路や鉄道の寸断など甚大な被害を与えた。現在は、落ち着いた状態が保たれているものの、山頂部には約１億 m^3 の溶岩ドームが不安定な形状で存在し、地震等を契機として大規模崩落が発生する可能性が依然として心配されている。

また、山麓周辺には約１億７千万 m^3 にのぼる膨大な量の火山性堆積物が不安定に存在しており、このような堆積物の一部は、風雨等の侵食により徐々に下流に押し流され、梅雨や台風による降雨により、土石流被害が発生することが予想されている。

このため、土石流災害を防止・低減するために火砕流・土石流の到達する危険性のある区域内にある遊砂地に堆積する土砂を、緊急に排除することが求められている。

2．災害復旧作業

（1）災害対策経過

本工事は、火山活動が停止状態となった噴火開始５年後から、関連工事を開始している。

（2）砂防計画の概要

火山活動および降雨によって発生が予想される土石流･火砕流･溶岩流による災害から地域の安全を確保するために、砂防ダムの構想が策定されている。

1）砂防ダムと導流堤の建設

火山活動により、河川の上流部に不安定な状態で大量の火山噴出部が堆積しており、これらの火山堆積物は、一度大雨等が生ずることで土石流が発生し、下流部に位置する人家や田畑を埋め尽くす大きな被害をもたらすと予想される。このような土石流災害から地域の安全を確保するために、各流域ごとに砂防計画を策定して、整備可能な所から構築を進めている。

河川流域では、現在、導流堤と砂防ダム群を建設中であり、本工事の諸元は高さ約１５m、長さ約８７０m、計画貯砂量約１００万立方メートルである。また、当面の災害を軽減する目的で遊砂地も建設している。この遊砂地は、砂防設備の完成後に整地され、有効利用が可能となる。

2）導流堤建設

導流堤は、砂防ダム完成までの土砂移動現象から地域の安全を図るものであり、また将来は想定規模を超える土砂移動現象が発生し、土砂が砂防ダムを乗り越えても、民家や田畑に被害が及ばないように構築します。

3．無人化施工の採用経緯

本工事内容の中で、川道内の危険区域とされる箇所での施工は、当初から無人化施工にて計画されていた。

4．無人化施工に対する準備工

準備工としての代表的項目なものを下記に列記する。

(1)測量

(2)遠隔操作室の設置

(3)コンクリート積替え設備の設置

これら以外では、本工事の特徴である多数の機械を遠隔操作していることによって、無線の使用計画を綿密に計画していると考えられる。

5．遠隔操作型機械の調達・選定状況

（1）調達方法について

機械の調達先は自社および関連会社所有機械だけではなく、過去に無人化施工を実施した建設会社の所有機械を共同利用しているということであり、保有・稼動状況は、直接問い合わせして調達している。

（2）調達先

本工事にも自社や関連会社以外から、カメラ車を４台、４５ｔダンプトラックを１台を借りて使用しており、その他の遠隔操作機械は、自社所有機械もしくは協力会社保有機械である。

下記に調達先を示した表を示す。

表－１：遠隔操作機械の調達先一覧表（かっこ内は旧 JIS 表示）

機械名	メーカー	規格	台数	調達先
バックホウ	建機ﾒｰｶｰ C社	３．２m³(2.8m³)	１台	協力業者D社
		１．５m³(1.3m³)	１台	協力業者C社
ブルドーザ	建機ﾒｰｶｰ C社	６０ｔ級	１台	協力業者D社
		１６ｔ	１台	協力業者D社
ダンプトラック	建機ﾒｰｶｰ C社	４５ｔ	２台	協力業者C社
			１台	他社の協力業者B社
振動ローラー	建機ﾒｰｶｰ D社	１０ｔ級	１台	施工者（自社機械）
カメラ車		ｸﾛｰﾗ型	４台	建設業者B社

（3）使用遠隔操作機械の決定経緯

調達が可能な、保有されている遠隔操作型建設機械を使用している。本工事も、他の無人化施工の工事と同様にして、今現在保有されている遠隔操作機械を使用している現状である。

6．遠隔操作型機械の保管・稼動状況

遠隔操作機械は、作業の内容に応じて過去の砂防ダム建設工事から継続的に使用されているが、工事施工中以外の遠隔操作機械の保管状況は、工事と工事の間で協力会社の仮置場へ運搬されて保管された。

下記表に、今回の砂防ダム建設工事に使用した遠隔操作機器一覧表を示す。

表－２：使用遠隔操作機器一覧表

品名	仕様・性能	数量
バックホウ	３．２m³	1
〃	１．５m³	1
ダンプトラック	４５ｔ	3
ブルドーザ	６０ｔ級	1
〃	新型電子制御機１６ｔ	1
振動ローラー	１０ｔ級	1
カメラ車	ラジコン車	4
遠隔操作室		2
〃	〃 (50GHz 簡易無線)	6
〃	有線	4
搭載カメラ	〃 (50GHz 簡易無線)	(2×6)＝１２
自動回転台	半自動追尾式	6
モニター		３６

7．遠隔操作型機械の運搬・整備状況

（1）遠隔操作機械の搬入について

遠隔操作機械の搬入については、協力会社の仮置場から陸路にて運搬されている機械と、新車で建設機械メーカーから陸送された機械と、他社から借り受けて使用している機械とがある。

なお、下記表に今回使用している機種毎の運搬に必要な車両を示している。(遠隔操作型機械に限らず、搬入もしくは搬出の片道台数を記載)

表－３：使用機械運搬車両

名称		単位	数量	運搬車および延台数
ブルドーザ	６０ｔ	台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台、10tﾄﾗｯｸ×６台 ＝７台
〃	１６ｔ	台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台、10tﾄﾗｯｸ×１台 ＝２台
〃	２７ｔ	台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台、10tﾄﾗｯｸ×１台 ＝２台
〃	４ｔ	台	1	10tﾄﾗｯｸ×１台 ＝１台
バックホウ	3.2m³	台	1	30tﾄﾚｰﾗｰ×３台、10tﾄﾗｯｸ×１台 ＝４台
〃	1.5m³	台	1	30tﾄﾚｰﾗｰ×１台、10tﾄﾗｯｸ×１台 ＝２台
〃	1.4m³	台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台 ＝１台
〃	0.8m³	台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台 ＝１台
大型ﾌﾞﾚｰｶｰ	0.7m³	台	2	25tﾄﾚｰﾗｰ×２台 ＝２台
大型ﾌﾞﾚｰｶｰ	0.25m³	台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台 ＝１台
重ダンプ	４５ｔ	台	3	25tﾄﾚｰﾗｰ×６台、10tﾄﾗｯｸ×３台 ＝９台
振動ローラー		台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台 ＝１台
カメラ車		台	7	10tﾄﾗｯｸ×７台 ＝７台
移動操作室		台	2	自走　２台 ＝２台
スイーパー		台	1	10tﾄﾗｯｸ×１台 ＝１台
散水車		台	1	自走　１台 ＝１台
濁水処理設備		台	1	10tﾄﾗｯｸ×１台 ＝１台
発電機		台	3	4tﾄﾗｯｸ×１台 ＝１台
合計台数				４６台

（2）搬入時に必要となる組立・解体について

大型の建設機械が運搬される場合、通常は

解体 → 搬出 → 組立て → 故障箇所点検 → 分解整備 → 分解状態保管

の工程にて運搬して保管される。よって、使用される場合の工程は、

分解状態保管 → 積込・運搬・搬入 → 組立て → 稼動

となる。

以下に、今回使用された遠隔操作機械の運搬に必要となる組立・解体に関して、必要人員・日数・揚重機に関するデーターを示す。

表－４：主要な使用遠隔操作型建設機械の組立て・解体データー

機械名	規格	解体			組立て		
		必要人員×日数	必要クレーン×時間	無線設備 必要人員×日数	必要人員×日数	必要クレーン×時間	無線設備 必要人員×日数
ﾊﾞｯｸﾎｳ	1.5m³	2人×1日	25ｔ×5Hr	2人×1日	2人×1日	25ｔ×5Hr	2人×1日
ﾊﾞｯｸﾎｳ	3.2m³	4人×1日	25ｔ×6Hr	2人×1日	5人×1日	25ｔ×9Hr	2人×1日
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ	４５ｔ	3人×1日	25ｔ×4Hr	1人×1日	3人×1日	25ｔ×4Hr	1人×1日
ブルドーザ	６０ｔ	3人×1日	25ｔ×4Hr	1人×1日	4人×1日	25ｔ×4Hr	1人×1日
ブルドーザ	１６ｔ	2人×1日	25ｔ×3Hr	1人×1日	2人×1日	25ｔ×3Hr	1人×1日

（3）搬入後の整備に関して

本工事にて使用されている機械のうち、前工事でも使用していたものに関しては、前工事終了後に定期点検整備を実施していたため、搬入前に整備は実施されずに点検のみを実施し搬入されている。機械を追加した機械については、他社から借りている機械や新車購入があるが、整備済みにて搬入されている。

（4）工事施工後の搬出について

工事完了後には、協力会社の仮置場へ、陸路及び海路にて遠隔操作機械を搬出・運搬する予定となっている。運搬方法は、運行経路上に車両総重量に制限がある橋梁などが存在する場合には、分解状況によっては航路となる。

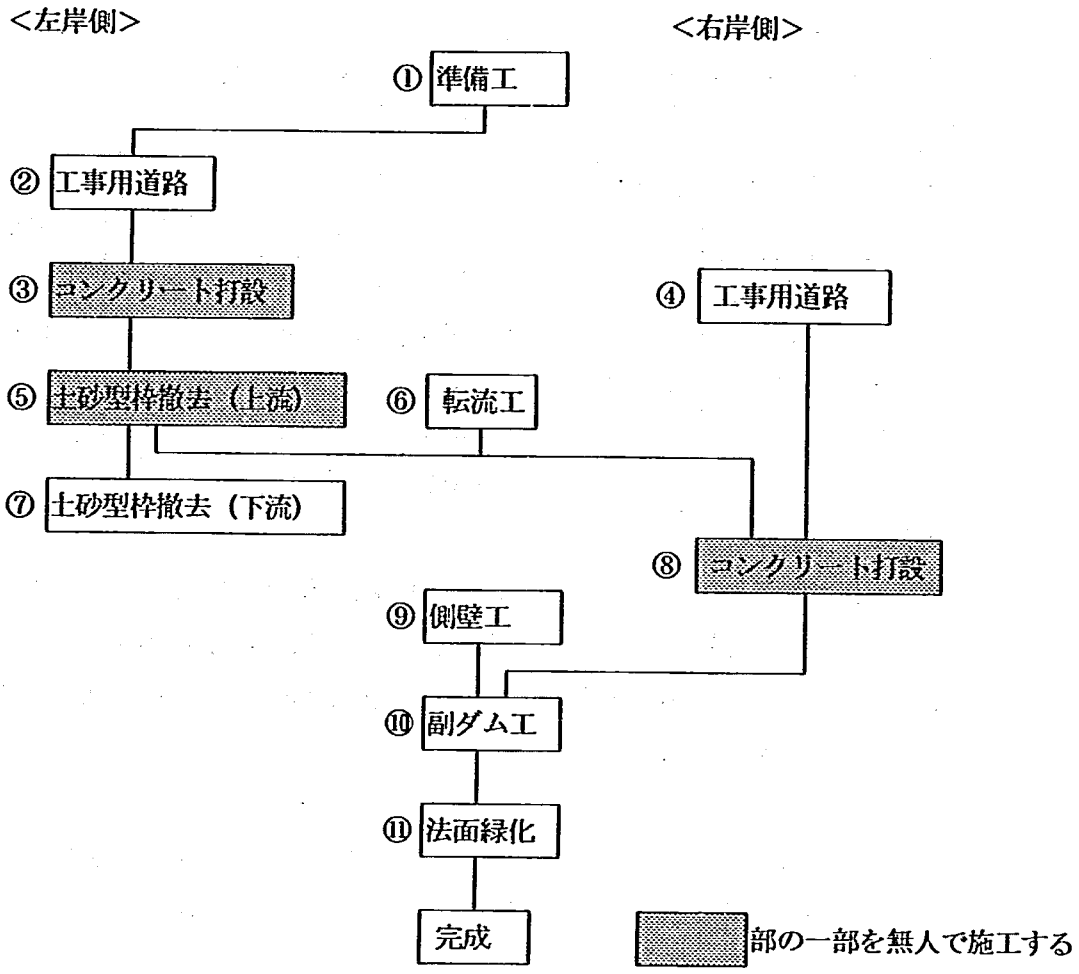
8．施工状況

（1）工事施工方法の概要

本工事は、砂防ダムを構築する工事で、ダム中央の越流部は RCC（Roller Compacted Concrete）工法を採用し、無人化にて施工中である。（袖部は CSG 工法の有人施工）

（2）施工順序

下記に、本工事全体の施工順序を示す。



図－１：施工手順フロー図

①準備工として、測量、遠隔操作室、積替え設備等の設置を行なう。

②左岸側へ工事用道路を設置する。

③左岸側の有人および無人部のＲＣＣコンクリートを打設する。

④右岸側へ工事用道路を設置する。

⑤左岸上流側の土砂型枠を無人にて撤去し、一時仮置きした後に有人で下流へ搬出する。

⑥上流右岸側へ仮設導流堤を設置し、下流右岸側の既設転流部を撤去する。

⑦下流側土砂型枠を有人にて撤去、下流へ搬出する。

⑧右岸側の有人および無人部のＲＣＣコンクリートを打設する。

⑨前庭部側壁を在来工法にて構築する。

⑩副ダム右岸側の一部を掘削・基面整正を行い、ＲＣＣ工法にて施工する。

⑪左右岸土砂型枠の下流側の法面を緑化する。

（3）コンクリート打設

本工事は、本ダム河道部の２００m区間を無人化施工で、その他の両横及び副ダムを有人施工にてコンクリートを打設している。

無人施工部の打設方法は、バッチャープラントよりダンプトラック（１０ｔ）にて運搬されたコンクリートをコンクリート受入設備にてダンプトラック（４５ｔ）に積替え、打設場へ運搬する。この時、無人工区内の走行は、遠隔操作で実施している。なお、搬入されたコンクリートは分離が生じないように、速やかに所定の位置に運搬されている。

敷均しに関しては、搬入されたコンクリートをブルドーザ（１６ｔ）にて１層２５ｃｍ程度の１リフトあたり２層５０ｃｍに、材料の分離が生じないように均等に敷均しされている。

締固めに関しては、振動ローラー（１０ｔ）により、所定のリフトで転圧する。転圧速度は、１km/Hr を標準として、振動ローラーのラップ幅は有人施工部は２０ｃｍ、無人施工部は５０ｃｍを標準としている。なお、転圧回数は次の通りとしている。

①無振動　１往復（　２回）
② 振動　３往復（　６回）
③無振動　１往復（　２回）　… 不陸整正
　合計　５往復（１０回）

養生に関しては、コンクリート打設後、散水車（有人）等により次リフトの打設開始まで、散水養生を行なっており、夜間および休日などには、養生シート等により養生を実施している。

また、本ダム有人施工部での打設方法は、使用機械・手順は本ダム無人部とほぼ同様とし、無人重機を有人で直接搭乗運転し施工するものとする。しかし、運搬に関しては、ＲＣＣコンクリートの積替えは行なわずダンプトラック（１０ｔ）直送にて打設を行なっている。

また、本工事に使用するＲＣＣコンクリートは、生コン会社より購入して使用する。

（4）コンクリート打設設備および使用機械

下記に、有人施工部と無人施工部のコンクリート打設設備および使用機械を示した表をあげる。

表－５：有人・無人施工部のコンクリート打設設備および使用機械

	有人施工部	無人施工部
運搬	ダンプトラック（１０ｔ）	ダンプトラック（１０ｔ）　[有人] コンクリートホッパー （１２～１５m³）[有人・無人] ダンプトラック（４５ｔ）　[無人]
敷均し	ブルドーザ（１６ｔ級）	ブルドーザ（１６ｔ級）　[無人]
締固め	振動ローラー（１０ｔ級）	振動ローラー（１０ｔ級）　[無人]
養生	散水車	
埋戻し	ブルドーザ（６０ｔ） バックホウ（１．５m³）	ブルドーザ（６０ｔ）　[無人] バックホウ（１．５m³）　[無人]
打設面清掃	ロードスイーパー [有人]	

（5）土砂型枠撤去工（計画）

本ダム打設時に盛立てた土砂型枠を、上流側は無人で撤去した後、一時有人区域に仮置きし、処分地へ有人で搬出する計画となっている。また、下流側は有人で撤去し、直接、同一箇所に搬出しコンクリートブレーカーにて打継ぎ目処理を行なうものである。

（6）土砂型枠撤去使用機械

以下に、土砂型枠撤去に使用する予定の機械一覧表を示す。

表－６：土砂型枠撤去使用機械一覧表

施工区分		機械名	規格	台数	用途
上流側	無人	バックホウ	3.2m³	1	掘削・積込
		〃	1.5m³	1	〃
		ブルドーザ	60t 級	1	掘削・押土
		ダンプトラック	45t	3	運搬
	有人	バックホウ	1.4m³	1	積込
		ブルドーザ	27t 級	1	仮置場均し・整形
		ダンプトラック	10t	１０	二次運搬
下流側	有人	バックホウ	1.4m³	1	積込
		ダンプトラック	10t	１０	運搬
		ブレーカー	0.8m³	2	打継ぎ目処理

（7）測量

1）着工前測量

工事着工前に測量を実施し、その結果を設計図書に記載し、監督職員に提出している。なお、設計図書と現地に著しい相違が見られた場合には、発注者と協議を行なうことになっている。

2）ＧＰＳ精密リアルタイム測位システム

無人化施工の測量は、基本的（通常作業時）にはＧＰＳ精密リアルタイム測位システムを使用し実施しているが、着工前測量やその他の測量については、光波距離計を利用して有人にて実施している。

ＧＰＳは、ブルドーザ（１６ｔ）と振動ローラーに移動局を２局搭載して、固定局の１局と共に、使用している。ここで測定精度は１～２cm であるが、計測点からクローラー下面の高さを算出している関係上で、誤差は±１５cm から局所的には±２０cm 程度であると思われる。（搭乗操作でのRCD 施工でも、この程度であると思われる。）

以下に、使用している機器およびソフトを示す。

①ＧＰＳ受信機（RTK-OTF）、アンテナ（L1、L2:2 周波仕様）
　ＧＰＳケーブル

②耐震・耐熱ボックス　大小計４個（二重構造）

③耐震・耐熱材：不燃不融シート、不燃不融ラバー、ケーブル用不燃対衝撃ホース

④データー通信機（特定小電力無線、無線モデム、パソコンモデム）、アンテナ（RS-232C 接続仕様）、ケーブル

⑤図化管理システム：ｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰ(HD-340MB)、ｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰ(HD-340MB)、ﾃﾞｨｽﾌﾟﾚｲ(21 ｲﾝﾁ)、ﾊﾞｯﾃﾘｰ(8 個)、充電機(4 個)、XY ﾌﾟﾛｯﾀｰ(A1)ﾚｰｻﾞｰﾌﾟﾘﾝﾀｰ、測量 CAD、ｺﾝﾀｰ用 CAD、三次元ﾒｯｼｭ、ﾊﾟｰｽ用 CAD、ﾃﾞｰﾀｰ表示・管理ｿﾌﾄ、軌跡表示ｿﾌﾄ、重機相互間近接警報ｿﾌﾄ他。

（8）工事状況の概要

今回の工事では、１回で高さを５０ｃｍのコンクリート量２００～２５０m³をまき出し、転圧を行っているが、作業時間にすると７：００から１８：００までかかっている。

コンクリートの打継ぎに関しては、前工事では敷きモルタルを行ったが、本工事では、散水車の水を霧状にして散水だけを行っている。

作業終了時には、コンクリート養生の為にシート養生を行い、作業開始前にシートを撤去して、スイーパーと「ほうき」にてレイタンス処理が有人にて行われる。この作業開始前の作業だけでも、０．４５～１．０時間を要する。

なお、無人区域と有人区域がエリヤ分けされているが、測量時や立会、応急時の対応では、無人区域への立ち入りを許可されている。

さらに、当初は水通し部については土砂型枠を撤去する方針であったが、全て残すか、また上流と下流を区別して残すか検討中であった。

なお、別紙に工事状況写真を示している。

（9）遠隔操作状況

無人化施工の位置と操作室の配置については、越流部の右岸側と左岸側にて違っているが、基本的には砂防ダムの施工側の袖部上に設置されている。また、操作室から施工箇所を直接目視することはできないため、完全にモニターの映像のみにて遠隔操作をおこなっている。また、操作室と遠隔操作型建設機械の距離は、左岸側の施工時では約５０ｍ～１５０ｍ、右岸側の施工時では約２００ｍ～２７０ｍの計画となっている。

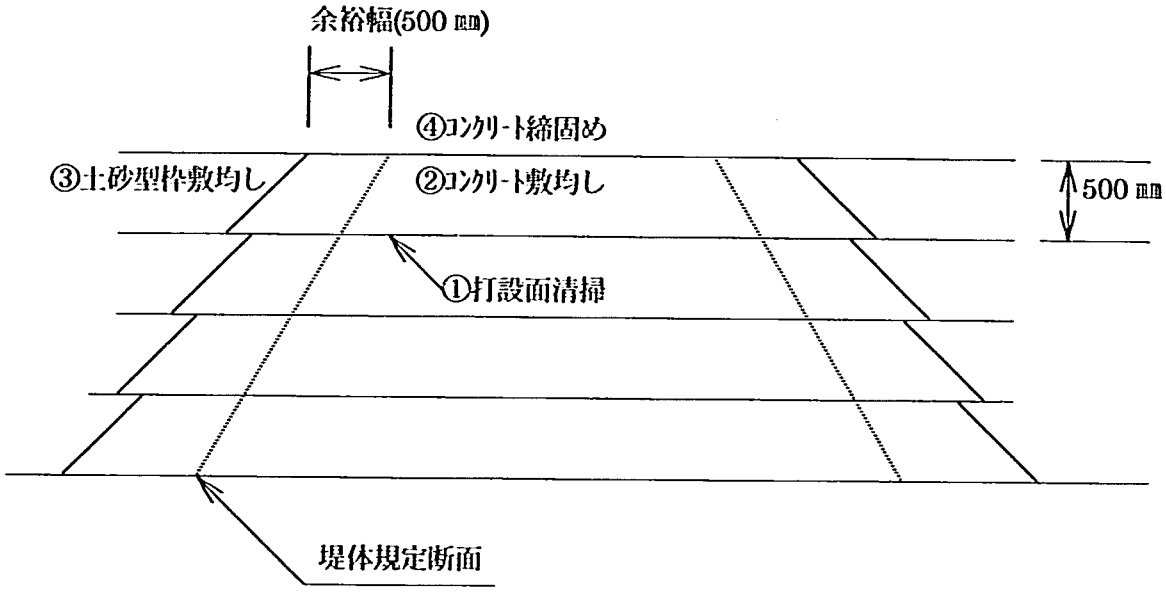
本工事では３台のダンプトラックを使用しているが、No.1 操作室にて２台を操作し、No.2 操作室にて１台を操作している。

（１０）施工関連の特記事項

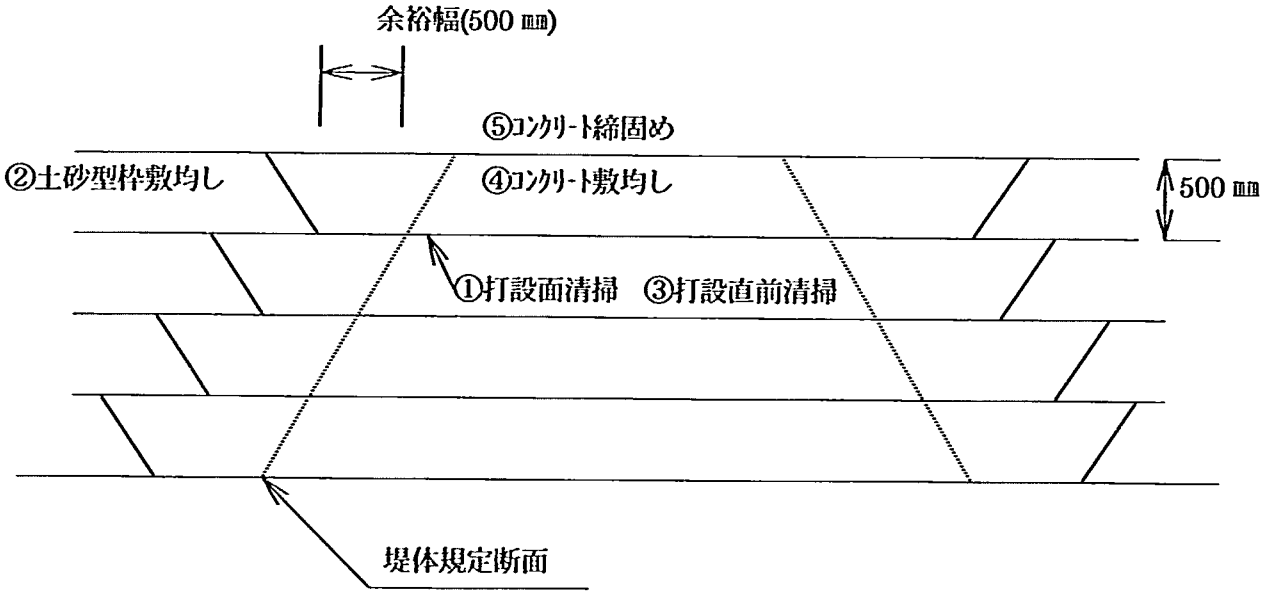
本工事の作業工程（作業手順）は、当初の設計ではコンクリート打設先行であったが、協議の結果で土砂型枠先行となった。これは、コンクリート先行工程では土砂型枠はコンクリートの打設・転圧が終わらないと次の工程の作業にかかれないため、先行作業がまったくできないが、土砂型枠先行であれば、コンクリート打設工程にあまり影響されずに先行施工できるためである。

別紙に、施工手順を示す。

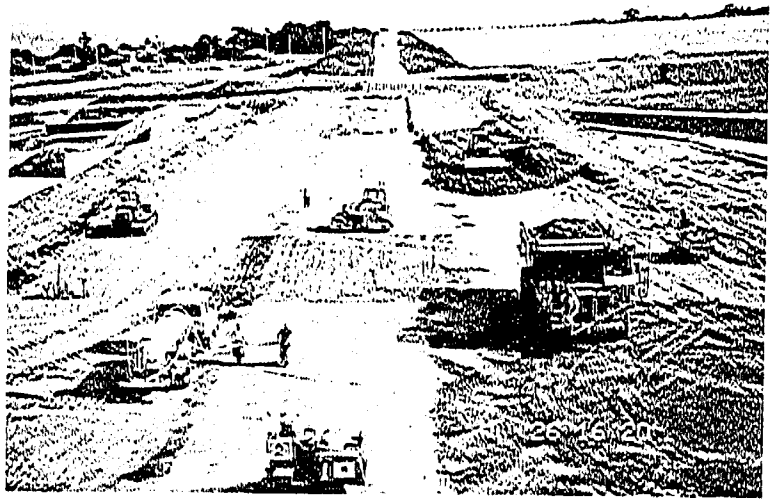
実設計手順（無人・有人施工共） … 有人施工工区は設計通りにコンクリート先行にて施工している。



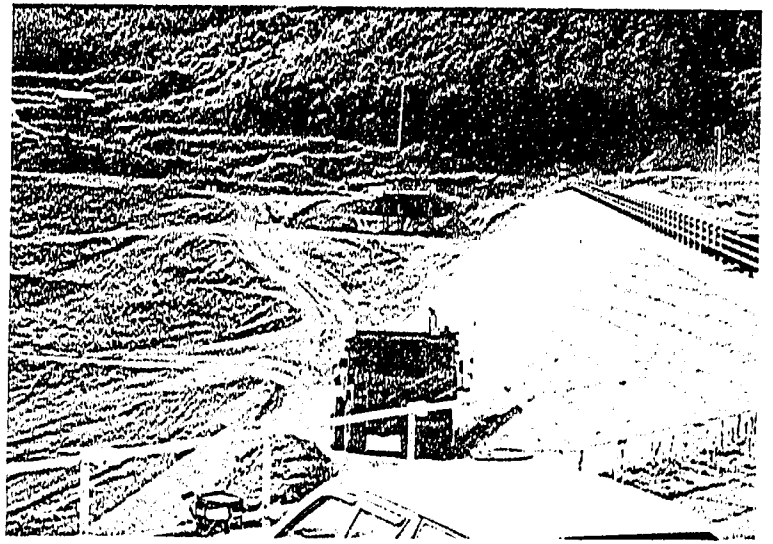
無人化施工工区の実施工



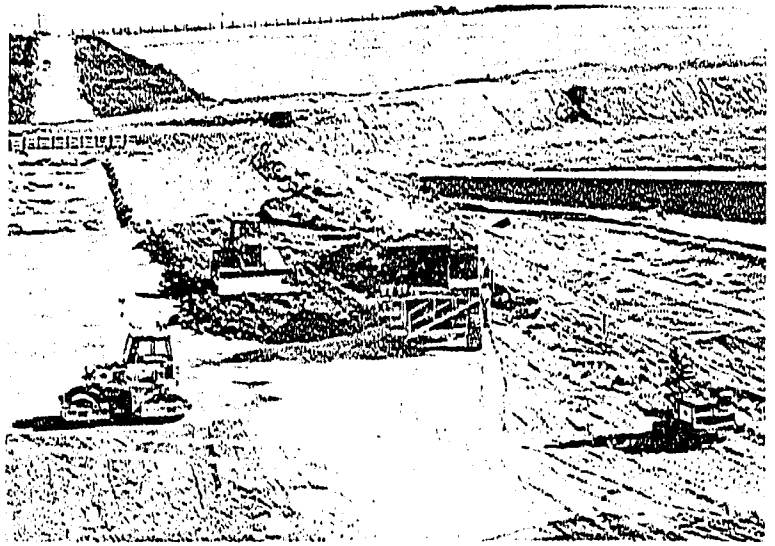
図－２：ＲＣＣコンクリート打設手順



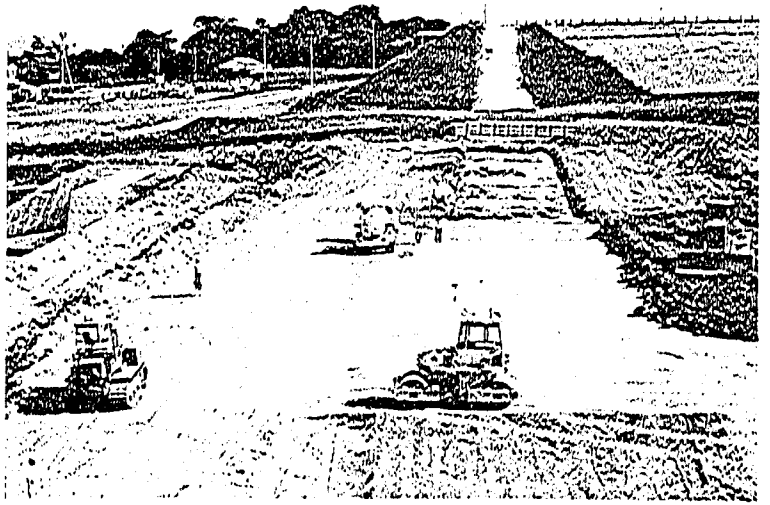
写真－１：工事施工全体状況



写真－２： 土砂型枠用土砂有人運搬状況（後方が積替桟橋）



写真－３：土砂型枠用土砂運搬・敷均し状況



写真－４：RCCコンクリート転圧・養生状況

９．使用機械稼動状況・施工効率

（１）遠隔操作機械の稼動状況について

遠隔操作式建設機械の稼動状況について、下記に列記する。

１）ブルドーザ関連

・６０ｔは土砂型枠の敷き均しを行い、１６ｔはコンクリートの敷き均しと GPS を搭載していることから高さ管理の測量も、平行して行っている。

・転石があったりすれば、エンジン回転を落としスピードを落として押土を行っている。

・遠隔操作での走行は、ほとんどの作業においてギヤを１速にて走行している。

２）ダンプトラック関連

・遠隔操作での走行速度は約 10km/h 程度である。

３）その他の機械関連

・カメラ車の履帯にはゴムシューを使用していたが、コンクリート上や砂の上では、操作良好である。

（２）稼働率管理

稼働率等の集計は、現在まだ実施されていない。

（３）無人化施工と有人施工との施工効率比較

ブルドーザの施工効率は、無人化施工は有人搭乗施工の約 50%程度だと思われている。

１０．遠隔操作機械の操作装置

使用している遠隔操作型建設機械の操作装置について、各遠隔操作機械毎に、操作装置の概形図および各操作機器の操作内容等を下記に示す。

（１）現地調査時のヒアリング内容

○ブルドーザ関連

・操作の慣れは、操作に使用している映像が重機に相対し向かい合ってしまうと、操作レバーの操作が逆になってしまうために、慣れに対する期間が約１ヶ月と長く必要となってくる。また、チルト操作は、有人搭乗操作でも操作は困難である。

・ブルドーザの操作は、左レバーで前後進と右左進、右レバーで排土板の操作を行っている。

・敷き均しの基準は、モニターの「RCC 敷き均し管理」画面を参考に操作を行う。これは、１ｍメッシュにて高さが色分けされて表示されている。

○ダンプトラック関連

・上記操作レバーの取付け間隔が狭いために、操作姿勢が窮屈となり操作性を悪くしている。ただし用途によっては、小型軽量で携帯時等に良い点もある。

・操作の慣れは、約１ヶ月を必要とする。

・走行速度は約 10km/h 程度であるが、操作していれば非常に早く感じる。

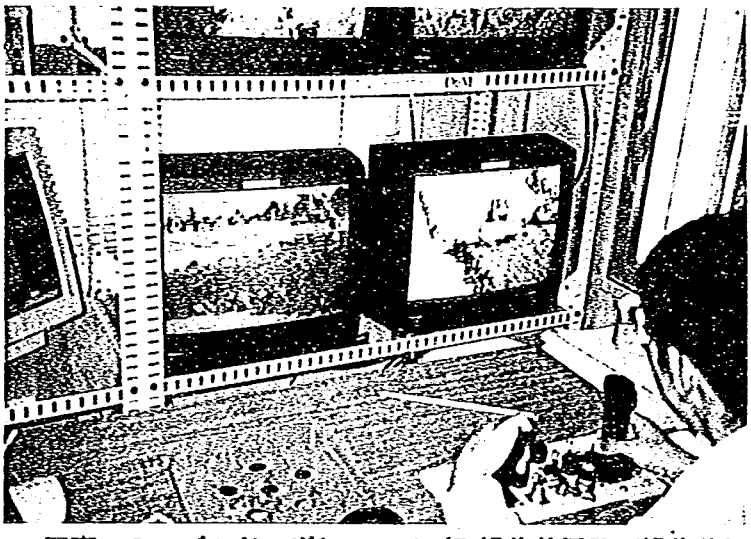
（2）遠隔操作型建設機械の操作装置

1）バックホウ（3．2m³）

現地調査時には、このバックホウ（3．2m³）は、砂防ダムの施工箇所では稼動していなく、土砂型枠用の土砂積込箇所にて、積込作業を実施していたため、操作装置を確認することができなかった。

2）ブルドーザ（16t級）

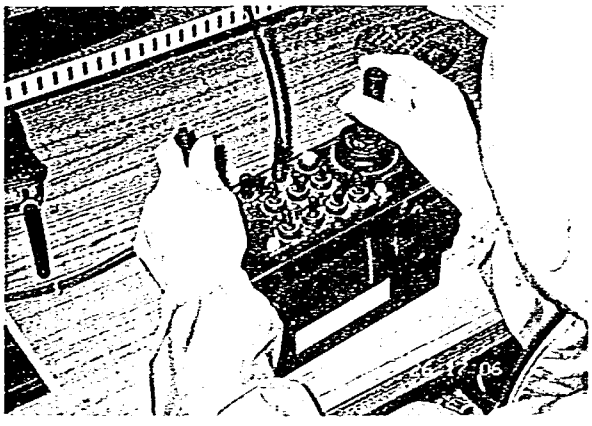
現地調査時には、このブルドーザ（16t級）は稼働中で、オペレーターの手を離れることはなかったため、操作装置を確認することはできなかった。しかし、操作状況写真は、撮影しているため、以下に掲載する。



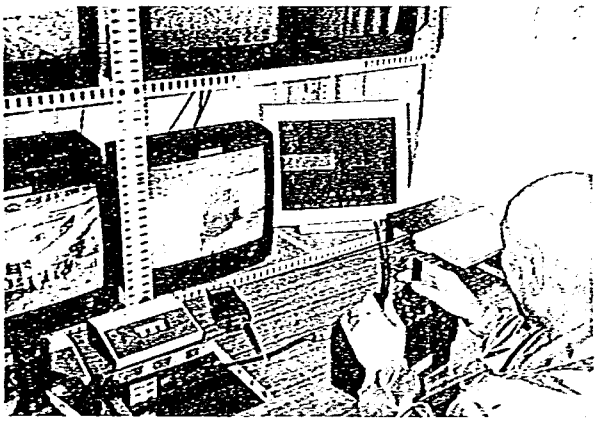
写真－5：ブルドーザ(　　:16t 級)操作装置及び操作状況

3）振動ローラー（10t）

振動ローラー（10t）についても上記2）と同様であったため、下記に写真を掲載する。



写真－6：振動ローラー(　　10t)操作装置

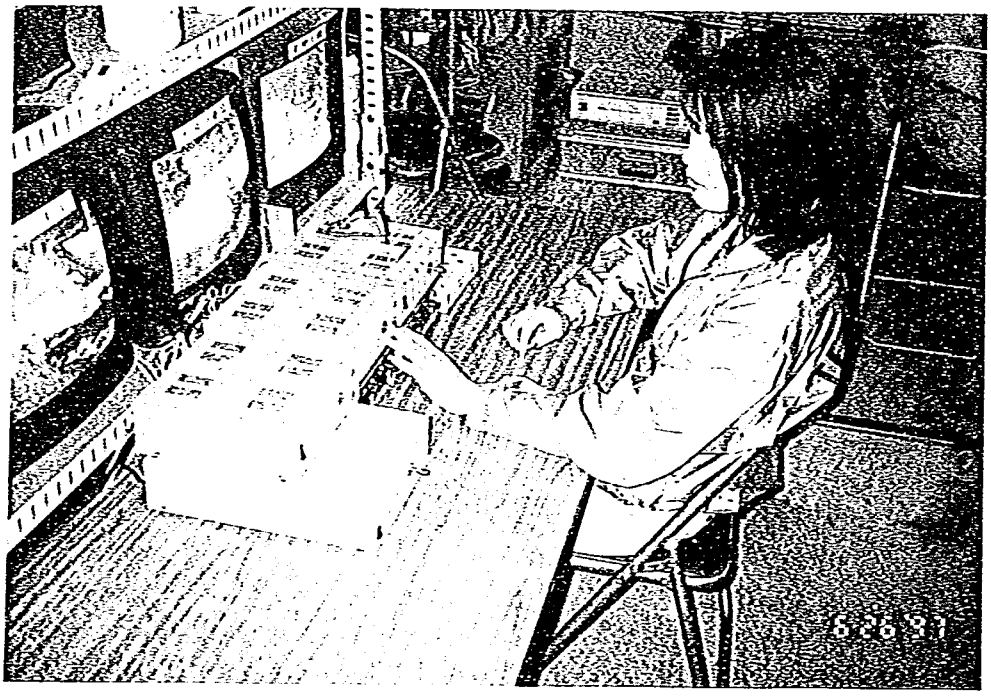


写真－7：振動ローラー遠隔操作状況

4）カメラ操作について

カメラコントロールに関しては、２台の操作室に各１人の、合計２人の女性の操作者が専属で配属されており、各建設機械のオペレーターがカメラ操作を要求する作業をしている際には、独自の判断及びオペレーターからの指示によって、カメラの撮影方向やズームを操作していた。

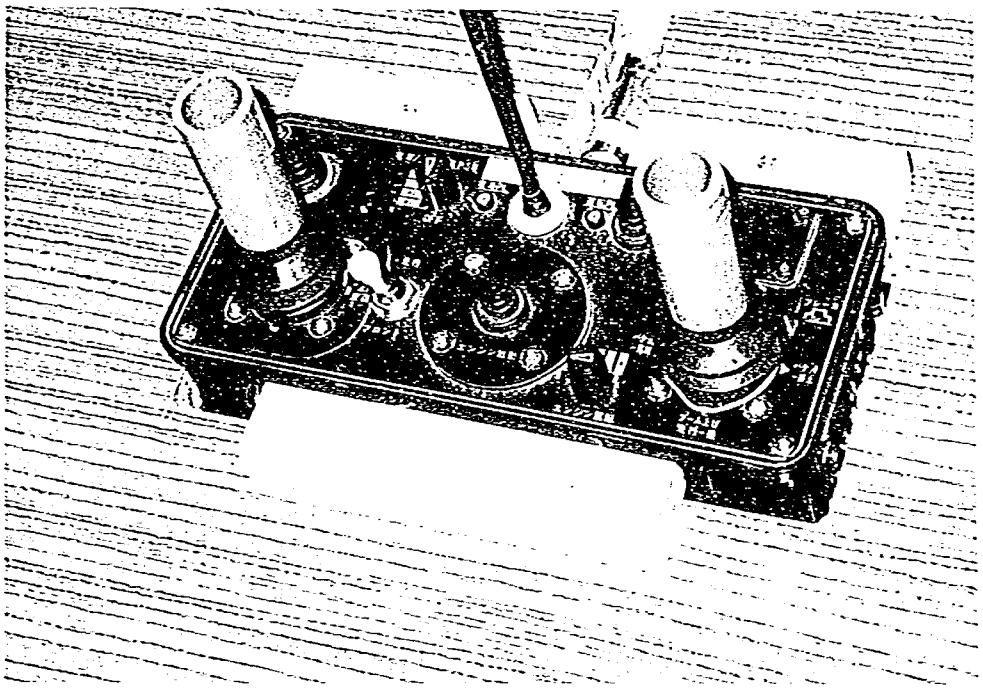
下記に、操作状況写真を示す。



写真－８：カメラコントロール状況

5）バックホウ（1．5m³）

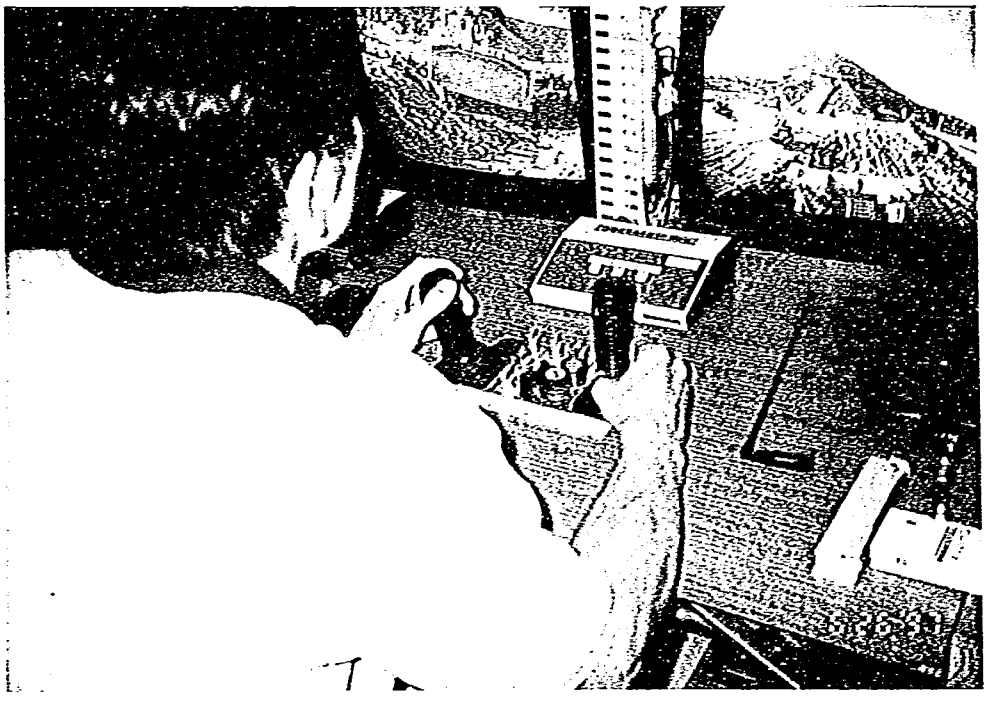
よく見られることであるが、操作レバーが短く操作がしにくい事から、２本の操作レバーには、エンビ管が差し込まれてレバーを延長していた。下記に、操作装置の写真を示す。



写真－９：バックホウ(1.5m³)操作装置

6）ブルドーザ（６０ｔ級）

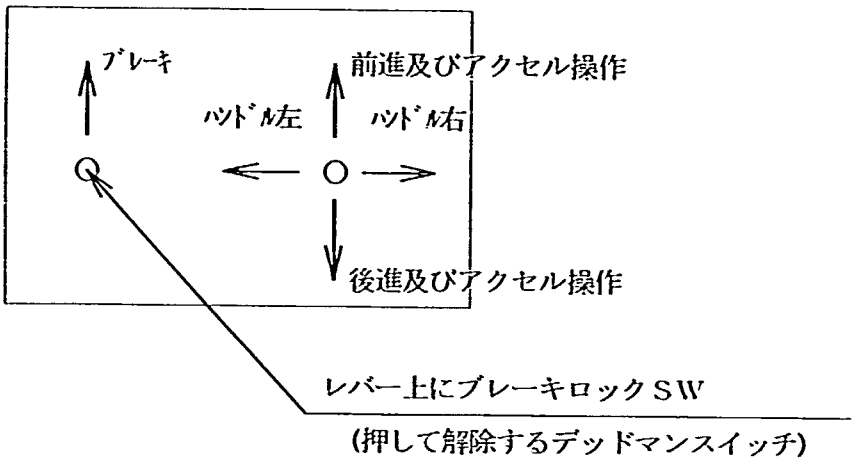
下記に、操作装置の運転状況を示す。



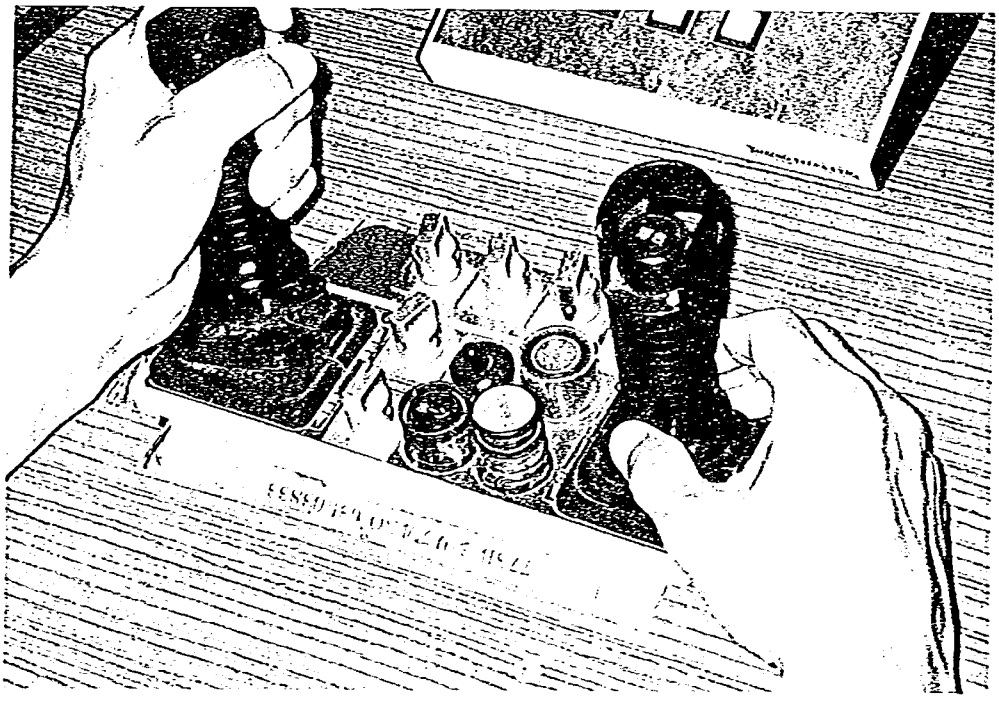
写真－１０：ブルドーザ(60t 級)操作装置及び操作状況

7）ダンプトラック（４５ｔ）

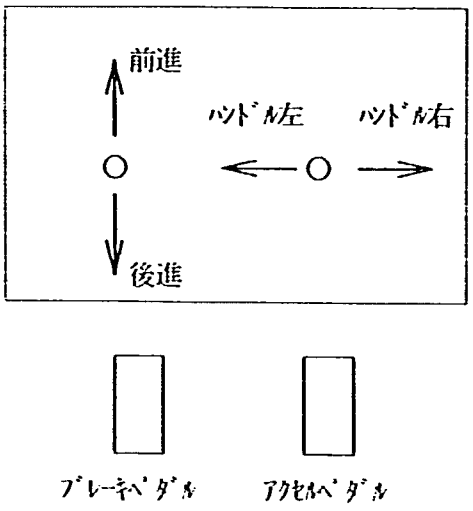
ダンプトラックの操作装置は２種類あって、新型（改良型）はブレーキ及びアクセルペダルを採用し、操作機レバーに加えてこれらのペダルによって操作する。２種類の操作機の概形を下記に示す。



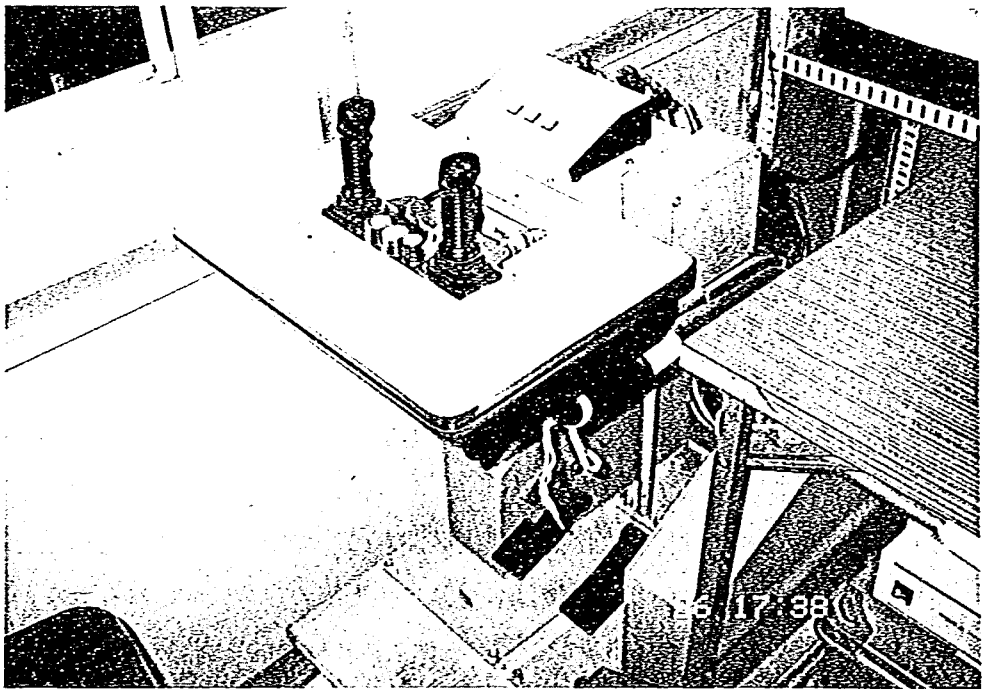
図－３：ダンプトラック従来型操作装置



写真－１１：ダンプトラック従来型操作装置



図－４：ダンプトラック改良型操作装置



写真－１２：ダンプトラック改良型操作装置

１１．遠隔操作機械の安全装置

遠隔操作型機械の安全装置の内容については、機械本体の安全装置と遠隔操作に関連した安全装置が考えられるが、現場に使用されている機械の安全装置の採用状況を調査することは、非常に困難である。ここで、遠隔操作に関連した安全装置としては、非常停止・無線の誤信防止機構・作業員保護装置（デッドマン機構・ニュートラルチェック等）が考えられるが、下記に、現場毎に実施した機械オペレーターへのヒアリング調査によって得られた内容を列記する。

（1）オペレーターへのヒアリング調査実施状況

ヒアリング調査を実施した対象者の内訳は下記の通りであった。

表－７：現場オペレーターへのヒアリング実施内容

機械名称	規格	人数	番号
バックホウ	３．２m3	１人	①
	１．５m3	１人	②
ブルドーザ	６０ｔ級	１人	③
	１６ｔ級	１人	④
ダンプトラック	４５ｔ級	２人	⑤ ⑥
振動ローラー	１０ｔ級	１人	⑦

（2）ヒアリング調査結果

上記へのヒアリング調査結果から、遠隔操作機械に対する安全装置の採用状況について、下記の内容が分かっている。

表－８：安全装置採用状況ヒアリング結果

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
１．非常停止	非常停止	○	○	○	○	○	○	○
２．機械情報表示	エンジン回転	×	×	×	×	○	×	×
	燃料残量	×	×	×	×	×	×	×
	油温計	○	×	×	×	○	×	×
	その他の表示	——	——	——	——	——	——	——

（3）ヒアリング結果の特記事項

特記事項として、下記事項が挙げられる。

・非常停止は全ての機械で採用されているが、その外の建機情報に関しては、ほとんど採用されていない。

・ダンプトラックは、有人区間と無人区間との境界で、操作方法を搭乗と遠隔に切り替えているが、この切り替えに関して暴走防止等の安全装置は存在しない。実際は、常に危険性を留意して、トランシーバーによる音声通信や画像で確認している。

１２．オペレーター人員配置状況

（1）オペレーターおよび作業員配置状況

1）編成状況

当工事に従事している作業員の標準編成表を示す。

表－９：作業員標準編成表

作業区別	操作重機及び業務内容	機械台数	オペレーター人数
総指揮者			１名
遠隔重機オペレーター	バックホウ	２台	２名
	ブルドーザ	２台	２名
	ダンプトラック	３台	２名
	振動ローラー	１台	１名
	カメラ車	４台	他機械と兼務
有人部オペレーター	ダンプトラック	３台	１名 （＋２名は兼務）
その他	カメラコントロール	（１０台）	２名
	映像設備保守管理		２名
	ＧＰＳ設備保守管理		１名
合計			１４名

2）編成に関する特記事項

下記に、特記事項を列記する。

・カメラ車の設置に関する操作は、遠隔操作機械（重機）のオペレーターが、建設機械を遠隔操作し易い位置に設置している。

・有人部のダンプトラックの運転は、3名のうち1名は専属であり、2名は兼任であるが、兼任の内容は、1名はバックホウ（３．２m^3）、もう1名は振動ローラー（１０ｔ級）のオペレーターである。

・カメラコントロールは、２台の遠隔操作室に各１名（合計２名）の女性のオペレーターを選任して実施している。

・映像設備の保守管理要員として、現場には2名が常駐している。

（2）遠隔操作教育期間

ヒアリング調査を実施した対象者の内訳は、後述の５－２に示しているが、７人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果から、遠隔操作の講習（教育）期間としては、３人が７日間、４人が１４日間の教育期間を経ている。なお、この期間は実施工までの練習期間であった。

（3）オペレーターの経歴について

1）遠隔操作経験

本工事に従事している７人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果では、下記の通りであった。

表－１０：調査時の現場従事者の遠隔操作経験年数

番号	操作機械	実操作期間
①	バックホウ	１年６ヶ月
②	バックホウ	２年２ヶ月
③	ブルドーザ	９ヶ月
④	ブルドーザ	９ヶ月
⑤	ダンプトラック	１年９ヶ月
⑥	〃	２年
⑦	振動ローラー	１年７ヶ月

2）前工事従事先

砂防ダム建設工事の前工事と、当工事の発注に長期間の間隔があったため、作業員やオペレーターはいったんは別の現場へいったと考えられるが、当工事の無人化施工に戻って従事している方が、７人中の５人を占めている。

（4）遠隔操作に慣れる期間

上記同様に、オペレーターのヒアリングとして、どのくらいの期間で遠隔操作に慣れたかの質問に対しての回答は下記表の通りであった。

表－１１：遠隔操作に必要な慣れの期間

番号	操作機械	通常の建設機械の オペレーター経験年数	遠隔操作に慣れたと 自己判断された期間
①	バックホウ	１４年	約２０日
②	バックホウ	１３年	約　５日
③	ブルドーザ	７年	約２０日
④	ブルドーザ	４年	約３０日
⑤	ダンプトラック	３年	約　７日
⑥	ダンプトラック	１５年	約　２日
⑦	振動ローラー	１０年	約１０日

この結果から、オペレーターにとって必要とされる期間は、極端に短い人が３人であり、２日から５日・７日と回答しているが、その他の４人は１０日から３０日と回答している。慣れたとされた状態での作業量（作業効率）も問題であるが、オペレーター各人で、違った感覚であると考えられる。

１３．無線使用状況

（1）無線局の使用状況

下記に、無線の種類毎に使用用途及び別紙に建設機械毎の無線使用状況を示す。

1）４２９MHz帯テレコントロール 特定小電力無線（周波数割当数：４０CH）

<操作系統>

・バックホウ　　×２台　（うち１台は自動選局）

・ブルドーザ　×２台

・振動ローラー　×１台

・カメラ車　　×４台

・ダンプトラック ×３台

<データー伝送系統>

・建設機械の車両情報伝送：重機 → 操作室（重機の種類は不明）

・ＧＰＳ基準局データー伝送

2）４２９MHz帯データー伝送 特定小電力無線（周波数割当数：　９CH）

・バックホウ　　車両情報

・ダンプトラック 車両情報

・ブルドーザ　車両情報

・ＧＰＳデーター伝送　（ ブルドーザ → 操作室パソコン ）

・ＧＰＳデーター伝送　（ 振動ローラー → 操作室パソコン ）

3）５０GHz簡易無線（自動追尾装置付）

送信先は全て操作室であるため、送信元を列記する。

・カメラ車 ×４台

・ダンプトラック ×３台

・バックホウ ×２台

・ブルドーザ ×１台

・半固定カメラ ×２台

表－１２：建設機械毎の無線使用状況（Ｎｏ．１）

機械名称	規格	種別	使用周波数	CH数	伝送方式	備考
バックホウ	１．５m3	車両				
		リモコン	自動選択		特小テレコン	
		映像	50.52 GHz 50.02 GHz		50GHz簡易無線	
		ＧＰＳデーター	429.3375 MHz	14	特小テレコン	
バックホウ	３．２m3	車両				
		リモコン	429.6750 MHz	41	特小テレコン	
		情報伝送	429.8125 MHz	1	特小データー伝送	
		映像	50.56 GHz 51.06 GHz		50GHz簡易無線	
ブルトーザー	１６ｔ	車両				
		リモコン	429.5750 MHz	33	特小テレコン	
		映像	50.48 GHz 50.98 GHz		50GHz簡易無線	
		ＧＰＳデーター	429.7000 MHz	43	特小テレコン	
ブルトーザー	６０ｔ	車両				
		リモコン	429.2625 MHz	8	特小テレコン	
		情報伝送	429.8625 MHz	5	特小データー伝送	
		映像	50.52 GHz 51.02 GHz		50GHz簡易無線	

表－１３：建設機械毎の無線使用状況（Ｎｏ．２）

機械名称	規格	種別	使用周波数	CH数	伝送方式	備考
ダンプトラック NO. 1	４５ｔ	車両				
		リモコン	429.3625 MHz	16	特小テレコン	
		情報伝送	429.8375 MHz	3	特小データー伝送	
		映像	50.44 GHz 50.94 GHz		50GHz簡易無線	
ダンプトラック NO. 2	４５ｔ	車両				
		リモコン	429.6250 MHz	37	特小テレコン	
		情報伝送	429.7250 MHz	45	特小テレコン	
		映像	50.48 GHz 50.98 GHz		50GHz簡易無線	
ダンプトラック NO. 3	４５ｔ	車両				
		リモコン			特小テレコン	
		情報伝送				
		映像			50GHz簡易無線	
振動ローラー	１０ｔ	車両				
		リモコン	429.3000 MHz	11	特小テレコン	429.(2500・2625・2750・2875・3000)の５ﾁｬﾝﾈﾙ
		ＧＰＳデーター	429.3375 MHz	14	特小テレコン	
カメラ車 NO. 1		車両				
		リモコン			特小テレコン	
		映像			50GHz簡易無線	
カメラ車 NO. 2		車両				
		リモコン			特小テレコン	
		映像			50GHz簡易無線	
カメラ車 NO. 3		車両				
		リモコン			特小テレコン	
		映像			50GHz簡易無線	
カメラ車 NO. 4		車両				
		リモコン			特小テレコン	
		映像			50GHz簡易無線	
ＧＰＳ		基準局	429.2500 MHz	7	特小テレコン	

（2）無線使用に関する特記事項

下記に特記事項を列記する。

・無線は、特定小電力無線局と簡易無線を使用している。

・ラジコン操作は重機が８台、カメラ車が４台の計１２台を操作している。

・50GHz の簡易無線は、水平偏波と垂直偏波に分割して、合計１２波を使用している。

・簡易無線は無線メーカーＥ社の旧型機種と新型機種を適宜使用しているが、指向性の特性で、パラボラアンテナを使用したり、しなかったりして使っている。

・重機・カメラ車の操作系統は、特定小電力のテレコントロールを使用しているが、40 波のうち 13～15 波の使用しかできず、20 波以上を使用すれば、混信して、機械停止になってしまう。

・有人区間と無人区間で、操作方法を搭乗と遠隔に切り替えているが、この切り替えに関して暴走防止等の安全装置は存在しない。実際は、常に危険性を留意して、トランシーバーによる音声通信や画像で確認している。

（3）無線に関するトラブル発生状況

ダンプトラックの操作装置は２種類あると１０．７）に記載しているが、旧型操作機は操作機と送信システムは一体物であり、その中に内蔵アンテナを装備していた。しかし、アンテナが内蔵しているため送信電波が弱く、電波トラブルが発生することが多かったため、新型（改良型）の操作機では、送信システムを切り離し、アンテナを外部アンテナとしている。

また、電波障害に対する対策は、重機本体では本体に設置された赤と青の２つのパトライトとクラクションにて、周囲に電波異常を知らせる事ができる。また、操作室では、無線の状況を計測するスペクトルアナライザーという計測装置が常時作動しており、操作者はいつでも無線状況を確認することができる。

（4）現場への無線関連調査内容および回答

現地調査実施後に、無線関連について現場へ問い合わせを実施した。その内容を、下記に列記する。

(1) 建設現場にて使用される無線は、主に微弱無線・特定小電力無線・ SS(スペクトラム拡散通信)無線・小電力ﾃﾞｰﾀ通信無線・簡易無線局無線があげられると思われるが、その各々の特性が示されている資料、または文献や図書。

Ａ：電気通信振興会発行 「 電波法令集 」

(2) 今回の工事では、微弱無線局は使用されていないようであったが、その理由。

Ａ：通信距離の問題があるために使用できない。

(3) 特定小電力無線について

1) 共通項目

①現場からの資料では、特定小電力無線は「トランシーバー」と「テレコントロール」と「データー電送」に分割されているが、その特徴について。

A：特定小電力無線局の用途は告示でその内容を決められており、①ラジオマイク 用、②テレコントロール用、③データー伝送用の３つしかなく以下の通りである。

①ラジオマイク用（通称トランシーバー）

ラジオマイクとは、有線式マイクロホンの代わりに使用される無線電話用送信装置をいう。

②テレコントロール用

テレコントロールとは、電波を利用して遠隔地点における装置の機能を始動・変更、または終止させることを目的とする信号の伝送をいう。

③データー伝送用

データー伝送とは、機械によって処理される情報の伝送または処理された情報の伝送をいう。

2) トランシーバーについて

①特定小電力無線の「トランシーバー」の現場使用状況。

A：当作業所では音声連絡用のみにて使用している。

②現場からの資料では、９ＣＨまでしか記載されていないが、最大使用チャンネル数について。

A：最大使用チャンネルは２０チャンネルが使用できる。

③トランシーバー無線のチャンネルは混信なく使用できるのか。

A：トランシーバー自体が数多くのメーカーから出回っているため、他社製品とのバッティングの可能性はある。

④ほかの「テレコントロール」の無線への影響。

A：テレコントロール用の無線局へのバッティングは、ないと考えられる。

⑤音声通信以外の使用の可能性について。

A：本来の目的は音声信号の通信であるが、音声信号を利用して機器の制御に使用しているケースも見られる。

3) テレコントロールについて

①40波あるCH数のうちで同一現場で使用できるCH数は13～15CHくらいしか使えず、20CH以上を使用すれば混信が発生するとお聞きしたが、CH間隔が12.5KHzピッチで分割されている40CHを、1CHとびに使用すれば良く、429.25MHzから429.725MHzまで、もしくは429.2625MHzから429.7375MHzまでの20CHが、同一現場での使用可能CH数であるのか。

A：基本的にはその通りである。

②現場からの資料では、14CHを使用しており、その内で操作系統にて12CH、データー電送系統にて2CHを使用しているが、操作系統は電波の指向性や通信距離から使用していると考えてもよいか。

A：本来「テレコントロール」（操作系統）に使用する無線局であることが要因。

③現場からの資料では、14CHを使用しており、その内で操作系統にて12CH、データー電送系統にて2CHを使用しているが、データー電送は他の特定小電力無線の「データー電送」無線局にて通信されずに、この「テレコントロール」の無線で通信されなければならない理由。

A：「テレコントロール」は連続伝送であるが、「データー伝送」は不連続伝送であることが理由である。

④この「テレコントロール」の無線では、音声信号や映像信号は通信できないとされていると思いますが、その理由は、通信速度にあるのですか？もしそうでなければ、その理由について。

A：その通りであり、通信速度が不足するためである。映像の動画伝送には、通常64kbps以上が必要とされている。

4) データー伝送について

①現場からの資料には、チャンネル数は9CHが記載されているが、このうちの使用できる最大のCH数について。

A：最大使用チャンネル数は9チャンネルである。

②現場からの資料では、9CHのうちで使用チャンネルは1CHに使用されているが、これは混信対策であり、CHを続けて使用すれば「テレコントロール」の無線と同様に混信するか。

A：その通りである。

③ほかの「テレコントロール」の無線に悪い影響を与えることはないのか。

A：特に発生しないと考えられる。

④データー電送通信以外の使用はできないのか？その理由について。

A：「データー伝送用」と決められているため。

5) 簡易無線について

まず、下記に50GHz簡易無線の概要を示す。

＊水平偏波と垂直偏波がある。

＊今回の工事では水平偏波が５波、垂直偏波が７波を使用している。

＊周波数帯は50.44～51.10GHzである。

①50GHzの簡易無線は使用可能CH数が10波しか存在しないと思っていたが、何波までが使用可能なのか。

Ａ：水平偏波と垂直偏波を最大限に利用すれば、理論的には２０波が利用可能と考えられるが、まだ実証されてはいない。水平偏波と垂直偏波の違いは、電波とは磁界と電界の波によって伝えられるが、この電界の波には方向があり、波の角度が変わってくると受信状況が変化してしまう。ちなみによく家屋の屋根で見られるテレビアンテナは水平偏波の例であり、放送局が水平偏波で発信しているからである。

②操作室の横の監視所に設置していた５０GHz簡易無線は、パラボラアンテナを使用していたり、使用していなかったりしていたが、指向性と通信距離の状況からそういった状況で使用していると考えられるが、使用か未使用かの判断内容について。

Ａ：パラボラアンテナを使用すると通信範囲が３度以内となり通信距離が伸びるが、使用しないと通信範囲が３０度以内となり通信距離が短くなる。この特性より使用する条件によって使用するか否かを決定している。

③今回の工事に使用している無線で、指向性の強いものは簡易無線だけだと思われるが、その自動追尾機構の特徴を教えていただきたい。

Ａ：ジャイロを利用して追従している。詳細は仕様書を参照のこと。

１４．作業支援装置採用状況

（１）作業支援装置の採用状況

１）映像装置

(1)カメラ機器の設置状況

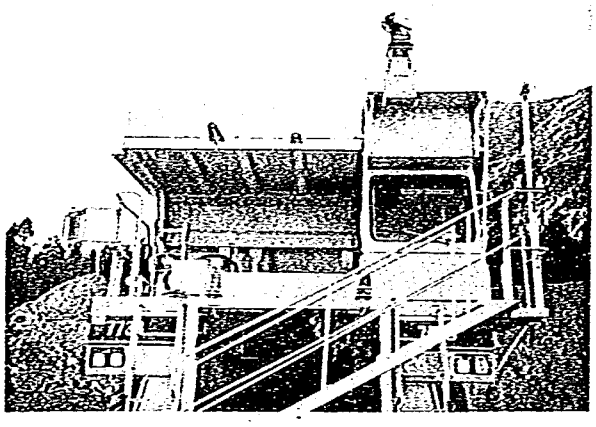
５．（１４）無線使用状況にも記載しているが、カメラの採用状況は下記の表の通りである。

表－１４：カメラ設置状況

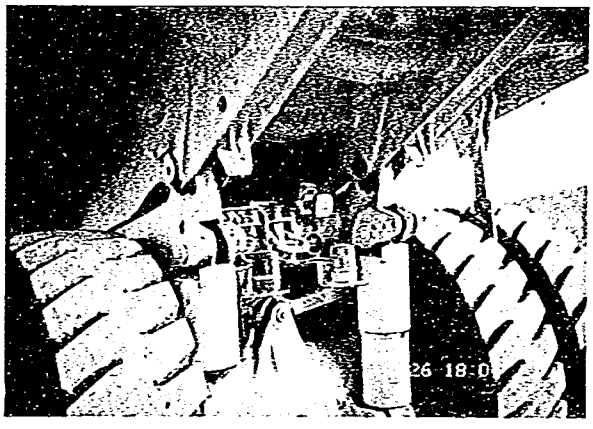
搭載機械	機械台数	機械毎の設置台数	合計設置台数
移動カメラ車	４台	１台	４台
ダンプトラック	３台	２台	６台
バックホウ	２台	3.2㎥には２台 1.5㎥には1～2台	３～４台
ブルドーザ	２台	６０ｔには１台 １６ｔにはなし	１台
振動ローラー	１台 ・	なし	なし
半固定カメラ		２台	２台
合計台数			１６～１７台

移動式カメラ車の位置決めは、重機のオペレーターが行うが、設置してからのカメラ操作（ズーム・旋回・上下動）は、２つの操作室に各１人づつ配置されている女性の操作者が、オペレーターの求める映像を考慮して操作する。なお、操作状況の写真を、１０．（２）に提示している。

また、ダンプトラックには、前方および後方にカメラを設置しているが、ＲＣＣコンクリートをダンプアップする際の位置確認およびＲＣＣコンクリートのダンプアップ状況を確認するため、後方に設置しているカメラを主に使用している。

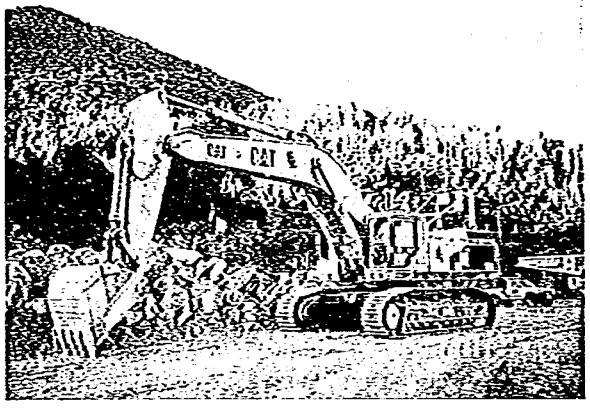


写真－１３：カメラ設置状況(ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ前方)

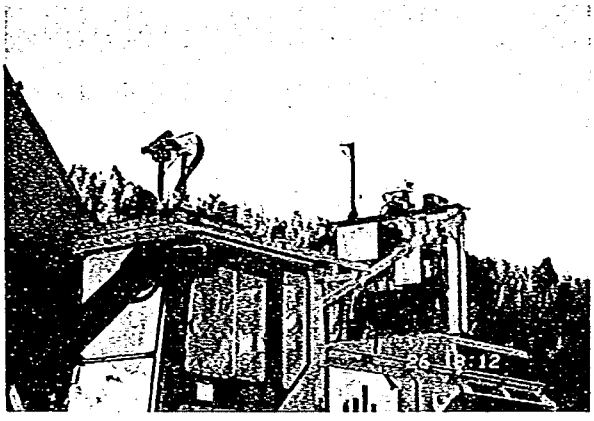


写真－１４：カメラ設置状況(ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ後方)

また、バックホウへのカメラ設置台数は、３．２㎥の機種については、機械本体の同一箇所に２台のカメラが設置されている。１台のカメラの性能では、オペレーターが求める映像は取得できないと考えられる。



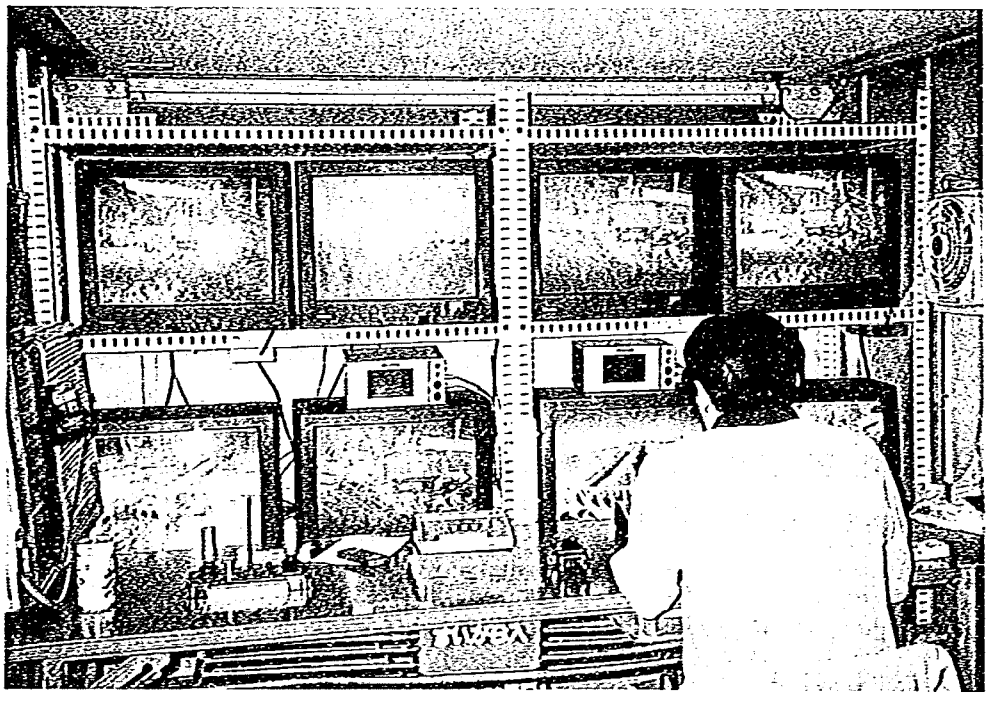
写真－１５:カメラ設置状況(ﾊﾞｯｸﾎｳ 3.2m3)



写真－１６:カメラ設置状況(ﾊﾞｯｸﾎｳ 3.2m3)

(2)モニター機器の設置状況

１台の遠隔操作型建設機械のオペレーターにつき、４台から５台のモニターを操作室に設置して、オペレーターは遠隔操作を実施している。

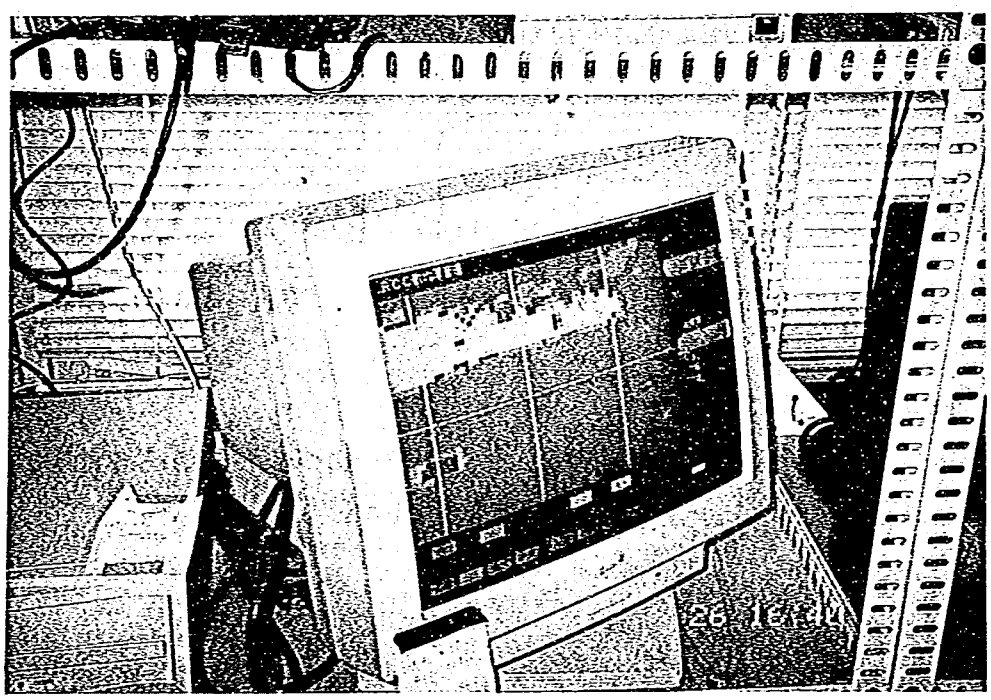


写真－１７：オペレーター遠隔操作状況

2）施工管理装置

施工管理装置としては、ブルドーザに採用しているＲＣＣコンクリート敷均し厚管理システムと振動ローラーに採用しているＲＣＣコンクリート締固め管理システムがあり、ともにＧＰＳによってＸ・Ｙ・Ｚの位置情報をリアルタイムに計測し、作業に応じて機械の施工状況を映像化し、わかり易くオペレーターに伝えるシステムである。

下の写真－１７はＲＣＣ式敷均し厚管理システムの操作画面であり、ＲＣＣ締固め管理システムの操作画面による遠隔操作状況は１０．（２）に示している。



写真－１８：ＲＣＣ敷均し厚管理画面

（２）特記事項

1）映像装置

ダンプトラックのカメラは、小型、耐震、広角性が要求されるが、良く破損してしまう。機器も新型化していっていることから、随時新型機器を採用しているが、今回は超小型、固定焦点、広角型の新製品を、新しく１台のみ使用している。この機器は距離で画角を変えて焦点距離を調整しなければならない。

2）施工管理装置

上記の２つの施工管理装置に関しては、特に問題は聞かれなかったが、今後は自動化への方向性も感じられた。

１５．メンテナンス体制

本工事のメンテナンスは、建設機械と映像機器とに分けて、体制を考えられており下記の通りである。

（1）建設機械関連

現場には、建設機械関連の修理・調整を専門とする担当者やメーカー等の専門技術者は常駐していない。従って、故障発生時には、その内容に応じて（オペレーターが対応できない状況の場合）出張修理を依頼する。

（2）映像設備関連

映像設備のメンテナンス要員として、現場に２名が常駐し対応している。その理由は、今回の工事は、カメラの台数が多いことと、旋回台の故障かたびたび発生すること、故障が発生すると専門技術者でないと簡単な修理もできないことが挙げられる。現場の意見は、同一条件の現状では、常駐が必要であるとのことである。

１６．安全対策

本工事は、砂防ダム構想に基づき、流域を土石流災害から守り、安全な生活を確保する目的の為に建設するものであり、河道内では、溶岩ドームの崩落による被害を受ける可能性があるため、無人化施工を行なっている。また、土石流及び火砕流の可能性があることから、土石流と火砕流に分けて安全対策施工計画書を作成し、工期内の安全確保に努めている。

その主な内容は、下記の通りである。

(1)緊急時の連絡体制の確立

(2)情報の収集方法や注意すべき内容について

(3)作業中止の基準や警報・警告の方法について

(4)避難方法や避難経路について

(5)避難後の対応について

(6)作業開始および再開の手順について

また、施工ヶ所での土石流や火砕流の非常時には、即座に状況を把握し、警報や警告等の対応が可能なように、警戒・避難対策およびシステムを構築されている。

４．３　オペレーターヒアリング結果

今回の調査では、前述の５現場の現地調査に加えて、過去に遠隔操作型建設機械によって無人化施工を経験したオペレーターにヒアリングを実施しているが、下記に対象としたオペレーターおよびヒアリング結果からの集計したデーターを示す。

表４－３－１：ヒアリング調査対象オペレーター

番号	年齢	性別	経験年数（建設業オペ）	遠隔操作機種	当現場での従事期間（何年何月～何年何月）	期間
1	３２歳	男	１４年	ブルドーザ	H8.10 ～ H9. 3	５ヶ月
2	３８歳	男	４～５年	ダンプ	H8.10 ～ H9. 2	４ヶ月
3	４７歳	男	２７年	ブルドーザ	H6. 3 ～ H6. 4	１ヶ月
4	５２歳	男	２８年	バックホウ	H6. 3 ～ H6. 4	１ヶ月
5	３０歳	男	１２年	ブルドーザ		
6	２４歳	男	０年	ダンプ	H6. 1 ～ H7. 3	２ヶ月
7	２２歳	男	０年	バックホウ		
8	２６歳	女	５年	移動式カメラ	H6. 1 ～ H7. 3	２ヶ月
9	２７歳	女	２年	ダンプ	H6. 7 ～ H7. 3	６ヶ月
10	５３歳	男	３５年	ブルドーザ	H6. 3 ～ H6. 3	１ヶ月
11	４１歳	男	１３年	ダンプ	H6. 3 ～ H6. 3	１ヶ月
12	４０歳	男	１５年	バックホウ	H6. 3 ～ H6. 3	１ヶ月
13	３５歳	男	１４年	バックホウ	H7. 7 ～ H9.12	１年６ヶ月
14	４２歳	男	１３年	バックホウ	H6. 3 ～ H9.12	２年２ヶ月
15	２３歳	男	４年	ブルドーザ	H9. 3 ～ H9.12	９ヶ月
16	４０歳	男	７年	ブルドーザ	H9. 4 ～ H9.12	９ヶ月
17	２２歳	男	３年	ダンプ	H7. 6 ～ H9.12	１年９ヶ月
18	４８歳	男	１５年	ダンプ	H6. 6 ～ H9.12	２年
19	５７歳	男	１０年	振動ローラー	H7. 7 ～ H9.12	１年７ヶ月
20	３２歳	男	６ヶ月	ブルドーザ	H9. 7 ～ 現在	１ヶ月
21	５４歳	男	３０年	ローダーショベル	H9. 7 ～ 現在	１年１０ヶ月
22	５０歳	男	２０年	クローラダンプ	H9 ～ H9.11	
23	２８歳	男	３年	バックホウ	H9.10 ～ H9.10	１０日
24	２７歳	男	５年	ブルドーザ	H9. 8 ～ H9.10	２ヶ月
25	３１歳	男	１０年	ブルドーザ	H9. 9 ～ H9.10	１ヶ月
26	５５歳	男	１５年	バックホウ	H9. ～ H9.10	
27	５０歳	男	２年	バックホウ	H9. 8 ～ H9.10	２ヶ月

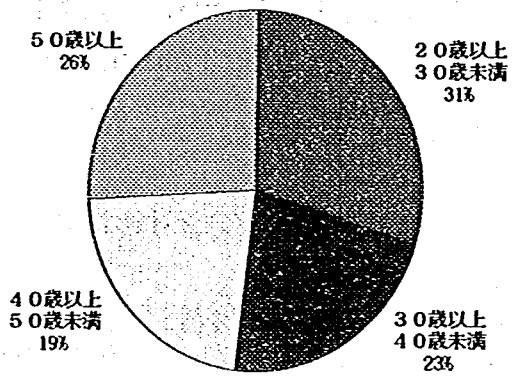


図４－３－１：年齢別構成比率

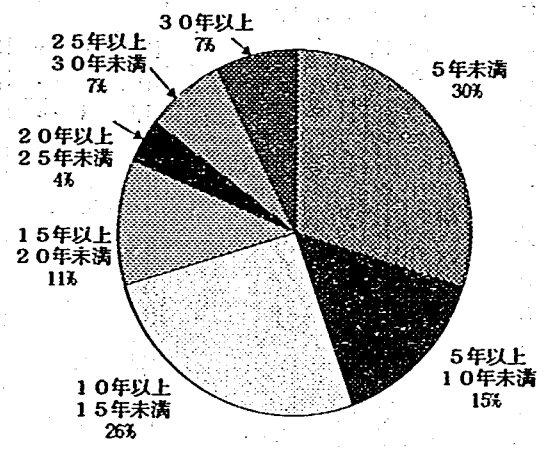


図４－３－２：建設機械運転経験別比率

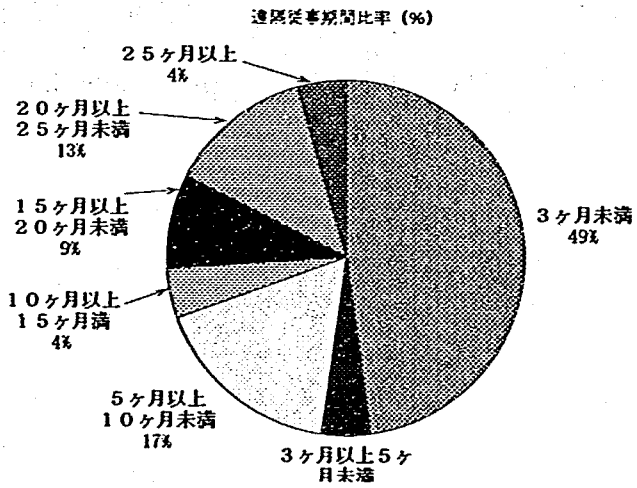


図４－３－３：無人化施工従事期間

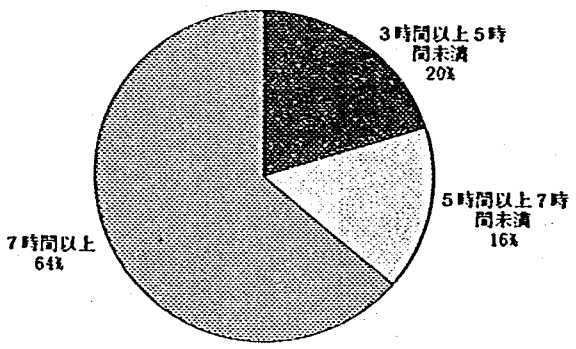


図4－3－4：一日当たりの運転時間比率

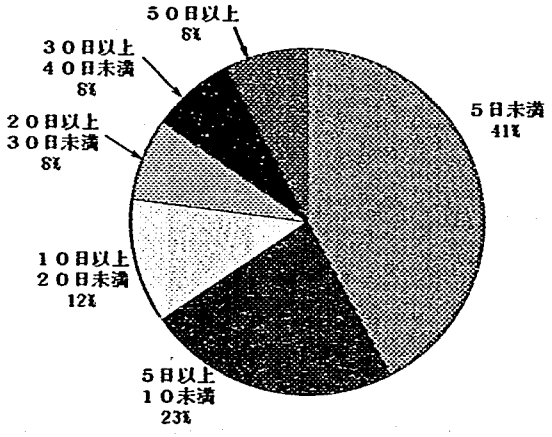


図4－3－5：遠隔操作に慣れるまでの期間

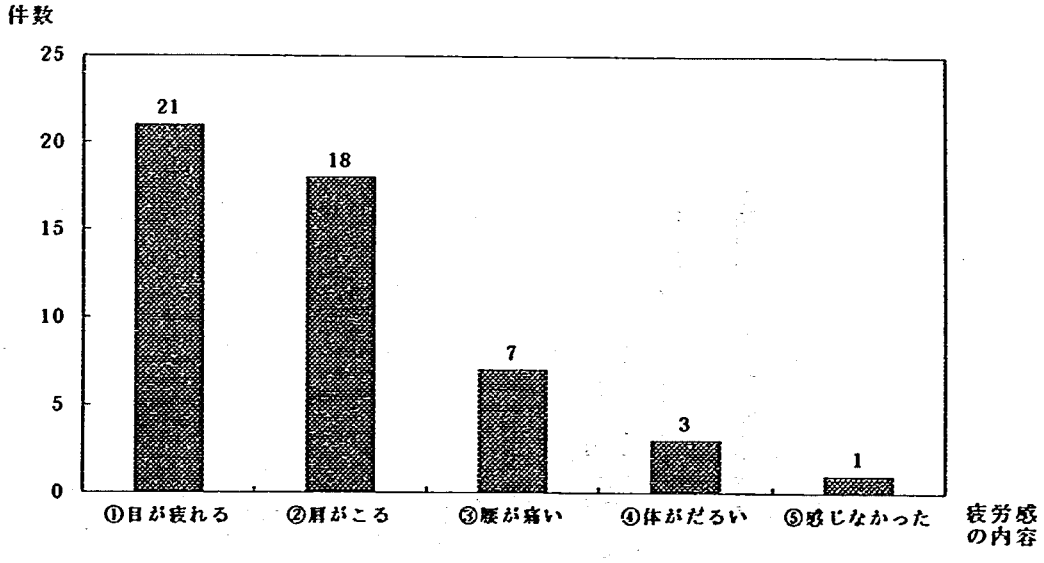


図4－3－6：肉体的疲労感の状態

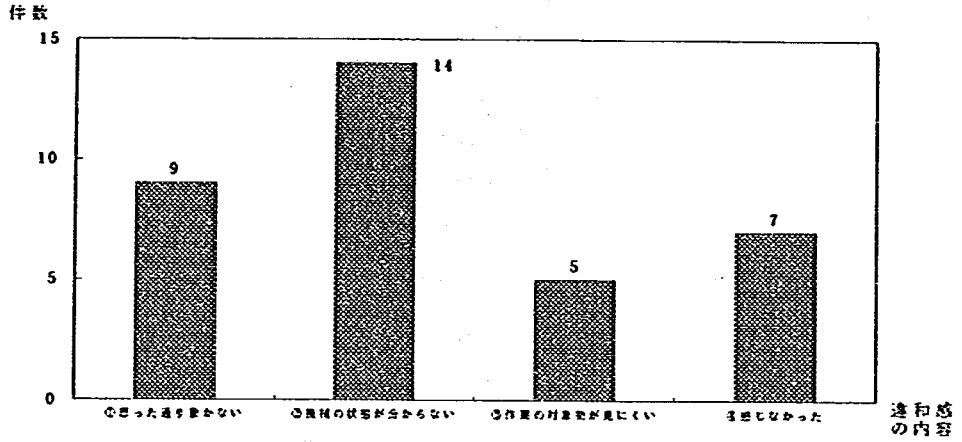


図４－３－７：操作上の違和感

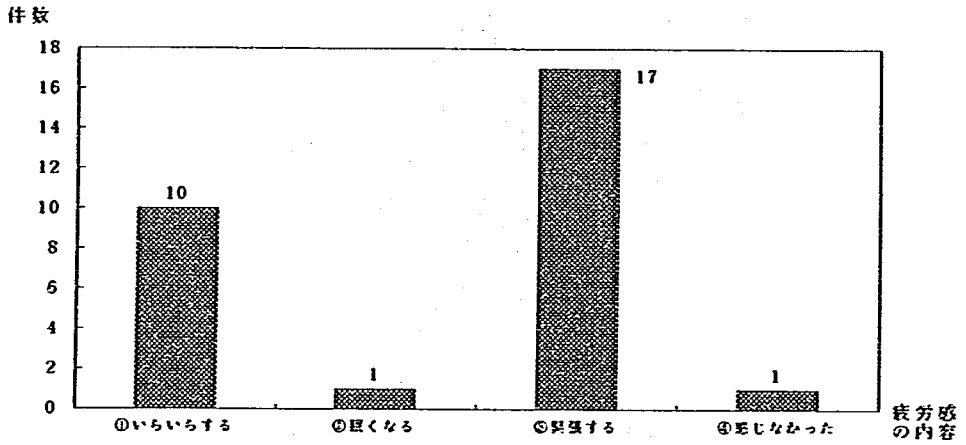


図４－３－８：精神的疲労感

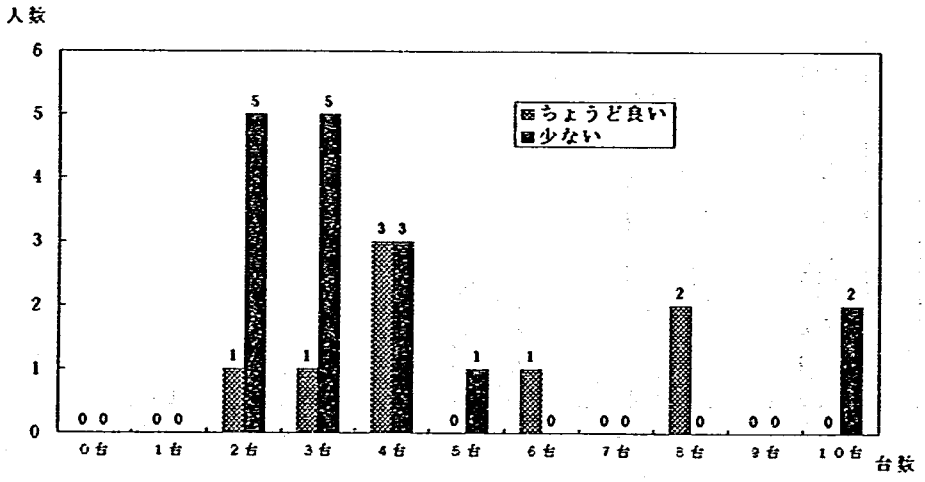


図４－３－９：モニター台数

図４－３－１：年齢別鋼製比率より

２０代、３０代、４０代、５０以上の年齢層は、１９から３１％となっており、全体を４分の１にしている。しかし、遠隔操作のオペレーターも、搭乗運転技術が熟練したオペレーターでなければ作業効率が悪いと言われている。

図４－３－２：建設機械運転経験別比率より

１０年以上の建設機械の運転経験があるオペレーターは全体の半数以上を占めているが、５年未満の割合も全体の３０％と高い。

図４－３－３：無人化施工従事期間より

遠隔操作型建設機械のオペレーターとしての従事期間は、３ヶ月未満のオペレーターが全体の半数近くを占めている。この数値は、下記図５－　の慣れに要する期間をクリヤしているので、一度遠隔操作型機械による無人化施工を体験したオペレーターは、遠隔操作に慣れているはずである。

図４－３－４：一日当たりの運転時間比率から

３時間以上５時間未満と回答したオペレーターは、２交代制かもしくは３交代制と考えられるが、全体の２０％しかない。これ以外の８０％のオペレーターは、基本的には重機を専属で運転していた物と考えられる。

図４－３－５：遠隔操作に慣れるまでの期間より

５日未満で慣れると回答しているオペレーターは、全体の４１％、５日以上１０日未満で慣れると回答しているオペレーターは全体の２３％であり、この両者で全体の６４％を占める。また、この両者以外の慣れに必要とされている期間は、１０日から５０日以上とオペレーターの感覚によって様々であり、１０％前後の割合で占めている。しかし、遠隔操作に慣れた状態での仕事量は、搭乗運転での仕事量以上にはならないと言われているため、この慣れに要する期間だけでは、慣れた状況の運転技術までは評価できないが、緊急的中小路の為に、シュミレーション等による教育を検討するべきであると考えられる。

図４－３－６：肉体的疲労感の状態より

ヒアリングを実施した２７人中で①目の疲れと②肩こりの症状を訴えるオペレーターが多い。操作装置の改善が望まれている。

図４－３－７：操作城の違和感より

違和感を感じなかったと回答しているオペレーターも２７人中で７人居るが、機械の状態が解らないや思った通りに動かないといった内容が聞かれている。支援装置や映像装置の今後の研究開発が、望まれている。

図４－３－８：精神的疲労感より

緊張すると解答したオペレーターが２７人中で１７人居るが、その原因は上記の操作上の違和感から機械を破損しない用に緊張しているとも考えられる。また、いらいらして操作しているオペレーターの数も多いが、これは、操作上の違和感が原因していると考えられる。上記同様に関連した研究開発が望まれている。

図４－３－９：モニター台数より

４台のモニター設置でちょうどよいと回答したオペレーターの３人以外は、ほとんど映像モニターの設置台数が少ないと回答している。しかし、オペレーターの見る映像は一度に複数は見れないことや、設置スペースの問題から、切替えによってモニターの映像を選択している例も見られている。今後は、施工効率の向上に役立つ映像装置の設置方法や、新技術の研究開発が望まれている。

5．現状の課題及び改善案

5．1　無人化施工の採用

（1）A工事

本工事に係る無人化施工の採用に関しては、岩盤が崩落した直後に安否不明者がいたことから、消防や警察との協議により、土砂の除去作業を最優先に実施することが決まったことに対して、崩落後の状況から二次災害の危険性が高かったために、無人化施工を採用している。しかし、具体的な経過は把握できなかった。

しかし、現地でのヒアリング結果では、１４：３０に災害が発生してから、１５：００には施工業者に招集がかけられ、２１：００には無人施工が決定したとのことであった。

（2）B工事

本工事における無人化施工の採用に関しては、上層部の判断によって打診されている模様で、無人化施工の明確な採用経緯については不明となっている。

（3）C工事

無人化施工の採用に関する協議先や協議内容、協議時期などについては追加調査を実施したが、不明であった。特に、工事を担当している災害対策課の担当者は、下記の事項を懸念していた。

①無人化施工の採用の根拠付け（無人化施工と有人施工の区別性）

⇒　このため、無人化施工と有人施工の仕切りを、現場の安全性に対して、どのような危険性であれば無人化施工とすべきであるかについて検討して欲しいと要望があった。

②危険作業には無人化作業といった傾向が出てきているが、今後の無人化施工の採用や施工手順の確立

（4）D工事

本工事は工事の途中で、計画設計を変更して無人化施工を採用しており、下記に、本工事における無人化施工の採用に関する経緯を示す。

①請負者から発注者に対して、現場状況の変化についての協議を実施。

②現地調査の結果、安全のための対応が必要と判断。

③検討した結果、計画していた流路工を取りやめ、左岸側に導流堤を施工する工法が適していると判断。

④建設省より無人化施工のパンフレット入手。

⑤作業現場が危険なため無人化施工を原則として、河川の左岸側に導流堤を応急施工するよう早急に検討を行なうこととする

⑥発注者と建設省で、河川の崩壊状況及び今後の対策についてを協議。

⑦河川現地において、発注者・元請け会社・施工業者（下請け会社）の３者で打合せを行ない、無人化施工が可能であると判断。

⑧工事目的物を無人化施工による導流堤の施工に変更（契約変更）。

（5）E工事

危険区域では無人化施工を採用して工事を発注しており、本工事は大規模な砂防ダムの建設工事であるが、砂防ダム越流部をＲＣＣ工法による無人化施工にて構築されている。

以上５つの無人化施工を実施している現場調査結果では、Ⅲ・Ⅳ・Ⅴの復旧完了時期に時間的制限がない復興的な工事では、Ⅳを事例にして下記の手順で無人化施工の採用を検討しているようである。

(1) 現地状況の調査

(2) 現地調査結果による二次災害等からの安全性の評価

(3) 現地調査結果による復旧方法の検討

(4) 無人化施工を採用する条件での復旧方法の施工性の評価
および無人化施工の作業への適合性による復旧方法の見直し

(5) 施工可能業者による現地調査

(6) 工事契約

この手順は、Ⅰ・Ⅱの災害発生直後から施工される緊急的な復旧工事では、明確にできなかったために比較検討できないが、ほぼ同様の手順であると推測される。

しかし、災害発生直後に緊急的に復旧工事を実施工する場合には、遠隔操作機械の調達出来る機種によって(4)の施工性の評価が変化する。よって、遠隔操作型建設機械を容易に調達出来る環境を整備し、なおかつ無人化施工の採用手順マニュアルを作成する必要があると考えられる。

無人化施工の採用は、安全を確保できない場合が条件と考えられるが、この安全性の評価が困難であると考えられる。実際の災害復旧工事では、管轄の所長や砂防課の意見に加えて、学識者の意見も聞いて判断しているため、今後は無人化施工の採用の判断を行なうための、学識者や経験者による地域ごとの組織を設立する案が考えられる。

5．2　無人化施工に対する準備工

（1）A工事

本工事の遠隔操作の準備工は、明確に調査できなかった。しかし、現地調査時には多数の搭乗操作型建設機械が待機しており、災害発生後に何らかの準備工を実施しているものと考えられる。

また、機器の配置状況などから考えると、下記の準備工も考えられる。

①遠隔操作型建設機械以外の機械の調達・使用申請・設置

クレーン・照明設備・通信関連設備・監視機器の設置

②危険区域への入場制限にバリケードの設置

③発破作業用に火薬所の設置

（2）B工事

本工事は、災害発生直後に計画され緊急的に行われた工事であったが、無人化施工に対する準備工は、遠隔操作型建設機械が搬入される前に以下の事項を実施されている。

①重機搬入路造成工

②伐採工

③遠隔操作台設置工

（3）C工事

本工事の準備工は、下記が挙げられる。

①重機搬入路の造成

②遠隔操作型バックホウが大型機種であるための、設置位置の地盤改善

③機械の搬入組立て

④上流からの排水路の切替え

（4）D工事

本工事は、工事の途中に発生した土石流によって現場の安全環境が変化したことから、工事の途中に設計変更した無人化施工であったが、無人化施工の設計・計画のための準備工としては下記事項が挙げられる。

①崩壊地の現地調査

②安全対策基準の作成

③ヘリ搭載地形測量・システム測量

④計画施設の詳細設計

⑤用地の追加買収

⑥無人化施工の準備　… 機械手配・工程照査・施工範囲の確定

⑦関係機関との調整

また、実際の無人化施工の準備工としては、搬入準備として仮設道路を本川内に作り、重機を卸した地点から本川内の仮設走行路を走行して現場に搬入されている。

（5）E工事

本工事（砂防ダム建設工事）の準備工としての代表的なものを下記に列記する。

①測量

②遠隔操作室の設置

③コンクリート積替え設備の設置

④無線の使用計画及び無線用固定機器の設置

以上の5つの現場調査結果から、復旧計画を立案する（無人化施工を採用するまでの）準備工と、実際に無人化施工を行なう場合の準備工とがあり、その代表的な事例としては以下の通りとなっている。

（1）復旧計画の立案のための準備工

①崩壊地の現地調査

②安全対策基準の作成

③ヘリ搭載地形測量・システム測量

④計画施設の詳細設計

⑤用地の追加買収

⑥無人化施工の準備　… 機械手配・工程照査・施工範囲の確定

⑦関係機関との調整

（2）無人化施工の為の準備工

①測量

②遠隔操作室及び遠隔操作台の設置

③施工設備の設置

④無線の使用計画及び無線用固定機器の設置

⑤重機搬入路造成工

⑥伐採工

⑦大型機種を使用する場合には設置位置や搬入路の地盤改善

⑧機械の搬入組立て

⑨施工箇所の排水路の切替え

5．3　遠隔操作機械の選定・調達

（1）調達方法の現状

表５－３－１：各現場の遠隔操作型建設機械の調達・選定状況

工事	内容
A工事	遠隔操作型機械の情報入手経路は、発注者が建設省等から調査したパターンと施工業者が他の建設会社等に調査したパターンの２種類があったが、発注者は施工業者に情報を提供したのみで、実際の搬入手配（調達）は施工業者が行なっている。また、同地区の建設業界ルートによって、類似の復旧工事に関わった建設会社所有の遠隔操作機械が近くの現場で稼動している情報が入手され、その後の機械調達にはこの建設会社からの情報もある。
B工事	機械搬入の要請があった時点で、別の災害復旧工事にて使用する準備をしていた遠隔操作機械があったために、搬入の打合せを実施して搬入している。機種については、事態が緊急を要するために早急に用意できる条件で選定されている。
C工事	現地調査の実施及び施工方法の検討依頼があったことで、施工方法を提案し提案内容にあった機種を調達して搬入している。無人化施工に関する機械については、施工会社の保有機械および協力会社の保有機械の稼動状況から、調達できる機種を選定している。
D工事	無人化施工の採用から携わっていた建設機械メーカーが中心となって、関連会社の範囲における調達可能機械および施工方法の検討を実施して機械を調達している。
E工事	工期に余裕がないために新しい機械を調達できる期間が取れないことから、現在保有されている遠隔操作機械を使用している現状であり、機械の調達先は自社および関連会社所有機械だけではなく、過去に無人化施工を実施した建設会社の所有機械を相互利用しており、保有・稼動状況は、直接問い合わせして調査されている。

機械の調達選定に関しては、Ⅲ・Ⅳ・Ⅴについては、災害発生直後に施工されたものではなく、復興的な工事であったにも関わらず、ⅠとⅡの使用機械の一部に新型機種を利用している以外は、すでに保有されていた機械を調達して使用している。また、施工当初に現場を見て決定した使用機械にて施工した状況が、岩の大きさや硬さ等の見解の相違から、予想していた施工状況と違っていた場合には、施工使用機械を変更・追加することは多々発生する。また、遠隔操作機械に限らず、Ⅳの災害復旧工事のように、大型のクレーンやゴンドラを使用した例もあるが、各種申請の手続きなどが必要となる場合がある。

（2）通常施工する場合の搭乗機械と、今回使用した遠隔操作型機械との比較

表５－３－２：通常使用の機械（または設計機械）と実際使用の遠隔操作型機械

工事	内容	搭乗機械	遠隔操作型機械
A工事	不明	不明	不明
B工事	有人機械であっても、重量的・寸法的に、この機種が適当であったと考えられている。	ﾊﾞｯｸﾎｳ 1.8m³	1.8m³
		ブルドーザ 16 t	16 t
C工事	遠隔操作機械は、その工事の適正機種を選択できる状況ではなく、業者の保有台数と稼動状況から、使用される機械が決定している状況である。今回の工事では、遠隔用の建設機械を選定出来なかったために、調達した遠隔操作機械が大型機種となったため、機械搬入に関する様々な段取り作業が増えた。	ﾊﾞｯｸﾎｳ 0.6 ～ 1.0m³	5.7(3.8)m³
		ブルドーザ 15 ～ 21 t	２１ t
D工事	遠隔機種が少ないことから使用可能な機種の調達となっているが、通常の有人作業で使用されると考えられていたバックホウでは、施工前に予想していなかった直径２m程度の岩石が土砂の中に混じっていたことから、遠隔操作での施工では、能力的に小さかったと考えられていた。さらに、大きな機械の方が転石の処理がしやすいために、バックホウは近隣の直轄工事にて使用していた大型機種を貸与してもらい使用している期間もある。	ﾊﾞｯｸﾎｳ (０．７m³)	1.4m³ 及び4.0m³
		ブルドーザ ２０ t	４３ t
E工事	発注者にて設計された施工機械は、調達期間の問題から調達できず、一部を除いて保有遠隔操作機械を使用して施工している。	——	1.5m³×１
		——	45 t

上記内容では、通常に搭乗使用される機械と、遠隔操作型機械が同じとなっている状況は、数少ない。また、施工当初に現場を見て決定した使用機械が、変更・追加することが発生している。

また、Ｖ．Ｅ工事に関しては、コンクリート運搬用仮設道路の拡幅および土砂型枠幅の拡幅を余儀なくされている。

さらに、土石流災害災害の復旧工事に対しては、軟弱地盤に対応した遠隔用建設機械が必要とされる場合が多く、さらに転石の分布状況によって使用機械の選定が大きく変化するようであるが、現地の地盤の状況を良く確認しないで建設機械を搬入している例も発生している。

（3）今後改善されるべき内容について

使用する遠隔操作型建設機械の仕様は、現場の施工条件である施工現場の範囲や地質などから決定されているが、上記の内容より、下記のような改善案が考えられる。

①遠隔操作型建設機械の選定マニュアル

②多種多様な遠隔操作型機械を、迅速に調達できる体制の確立

・遠隔操作型機械および関連機器の保有状況調査手順の確立

・遠隔操作機械の調達手順マニュアルの作成

・搭乗機から遠隔操作型への改造の標準化による機械改造調達の迅速化

③遠隔操作機械を使用する場合の必要機器および資材の選定マニュアルの作成

④遠隔操作に関連した使用機器に必要な申請一覧の作成

⑤土石流災害等に対応できる軟弱地盤用建設機械の開発

５．４　遠隔操作機械の保管・稼動体制

使用した遠隔操作機械の、調査した災害復旧工事へ搬入される前の保管・稼動状況について下記に示す。

表５－４－１：遠隔操作機械の調達前の保管・稼動状況

現場	内容
Ａ工事	施工業者（下請け）の所有遠隔操作機械については、他の現場との兼ね合いより、持ち込む事が可能な機械については、現場に即搬入している。また、発破の削孔作業に使用したクローラージャンボは、採石場にて使用されていた機械を引き抜いて搬入し、１台のバックホウ（1.5m³）は、雲仙普賢岳の無人化施工で使用された機械であり、整備完了後に長崎から運搬していた。 この他の機械の保管・稼動状況は不明である。
Ｂ工事	今回の工事にて使用されている遠隔操作機械は、別の災害復旧工事にて使用するため、工場にて保管され整備待ち状況の遠隔操作機械であった。２台の遠隔操作機械は、過去に本工事の施工者が、雲仙普賢岳の無人化施工の工事で使用した機械であった。
Ｃ工事	バックホウは協力会社が、遠方の現場で搭乗運転にて使用していた機械であった。また、ブルドーザに関しては、新型機種の新車であり、展示品として使用していたものであった。
Ｄ工事	使用している遠隔操作型建設機械の本工事への搬入前の保管稼動状況は、 ①バックホウ（１．４m³）の２台はどちらも新車購入後に改造 ②バックホウ（４．０m³）の１台は他現場で稼働中の機械を、代車納入によって引き抜き搬入 ③ブルドーザ（４３ｔ）の２台は工場にて待機中の機械を搬入 ④クローラダンプ（１１ｔ）の１台は新車購入後に改造している。
Ｅ工事	今回の砂防ダム建設工事に使用されている遠隔操作機械は、作業の内容に応じて関連砂防ダム建設工事、砂防ダムの上流除石工事を経て継続的に使用されている。 緊急的除石工事の完了後、本工事の実施までの間が長期間となっていたため、遠方の協力会社の仮置場に陸路運搬されて保管されていた。また、ブルドーザ（１６ｔ）は、本工事では初めての電子制御機である１６ｔの新型機種が使用されている。

上記の内容では、新車を購入後に改造し、搬入しているⅣ・Ⅴの一部の機械を除けば、全ての機械は保管中もしくは搭乗運転で使用中であった。

現状では、遠隔操作による無人化施工の施工が少ないため、新品を除いて調達される機械は、保管中か搭乗運転にて使用されている現状であるが、災害復旧工事に活用されている現状をふまえて、費用の問題が解消できないと困難であるが、遠隔操作での使用が常時可能となる点検・整備を定期的に実施されるべきである。

５．５ 遠隔操作機械の運搬・整備

（1）運搬の現状

下記に、調査を実施した現場の、遠隔操作機械の搬入方法を示す。

表５－５－１：遠隔操作型建設機械の搬入状況

番号	内容
Ａ工事	搬入に関しては、本来分割搬入すべき総重量の機械についても、全て一体型にて搬入しているが、高速道路の走行だけは許可してはもらえなかったとのことであった。
Ｂ工事	重機の搬入は、事態が緊急であったため、道路管理者の協力を得て高速道路である九州自動車道を通り、この自動車道の管理用道路から、機械の分解なしに直接トレーラーで運搬している。
Ｃ工事	遠隔操作の建設機械は、バックホウ（５．７m^3）とブルドーザ（１６ｔ）の２台を使用しているが、どちらの機械も積載重量限度内にて、機械を分解して搬入しているため、通行申請等は必要なかった。
Ｄ工事	機械の運搬方法及び現場への搬入に関しては、請負者側の任意施工であったが、使用された遠隔操作型建設機械の運搬に関しては、臨時措置等の採用はなく、機械本体の従来の運搬方法によって、解体・組立てを経て運搬され、搬入されている。
Ｅ工事	遠隔操作機械の搬入は、遠方の協力会社の仮置場から陸路にて運搬されている機械と、新車でメーカーから陸送された機械と、他社から借り受けて使用している機械とがある。使用している遠隔操作型機械は大型機種が多いため、運搬に必要な車両は、遠隔操作型建設機械１台につきトレーラーやトラックで最大９台を必要としている。

上記内容は、Ⅲ・Ⅳ・Ⅴについては、災害発生直後に施工されたものではなく、一定時期をおいて発注された工事であったため、遠隔操作型機械を正規の運搬方法に従って、解体した状態にて搬入されているが、Ⅰ・Ⅱについては、災害発生直後から、災害対策工事を開始している緊急工事であったため、遠隔操作型建設機械の搬入は、組立て・解体を省き、道路管理者との協議を実施したうえで搬入している。

（2）搬入時に必要となる組立・解体について

大型の建設機械が運搬される場合、通常は

解体 → 搬出 → 組立て → 故障箇所点検 → 分解整備 → 分解状態保管

の工程にて運搬して保管される。よって、使用される場合の工程は、

分解状態保管 → 積込・運搬・搬入 → 組立て → 稼動

となる。 ここでは、調査を実施した現場にて、使用した遠隔操作機械を通常に運搬する場合に必要な組立て・解体に必要な人員や日数、クレーンについて列記する。なお、Ⅰ．Ａ工事については調査できなかった。

1）B工事

表５－５－２：使用遠隔操作機械に必要な組立・解体内容

機械	規格	組立		解体	
		工数	ｸﾚｰﾝ	工数	ｸﾚｰﾝ
ﾊﾞｯｸﾎｳ	1.8m³	26人工(人h)	10t×３Hr	16人工(人h)	10t×３Hr
ブルドーザ	16t	６人工(人h)	10t×３Hr	６人工(人h)	10t×３Hr

2）C工事

表５－５－３：使用遠隔操作機械に必要な組立・解体内容

機械名	規格	解体		組立て	
		必要人員	必要ｸﾚｰﾝ	必要人員	必要ｸﾚｰﾝ
ﾊﾞｯｸﾎｳ	5.7m³	６人×５日	35ｔ×２日 35ｔ×５日	６人×４日	35ｔ×２日 35ｔ×４日
ブルドーザ	21t	３人×１日	16ｔ×１日	３人×１日	16ｔ×１日

3）D工事

表５－５－４：使用遠隔操作機械に必要な組立・解体内容

機械	規格	台数	運搬に必要な解体内容
ﾊﾞｯｸﾎｳ	1.4m³	１台	車載カメラ・自動追尾装置取り外し
ﾊﾞｯｸﾎｳ	1.4m³	１台	特に無し
ﾊﾞｯｸﾎｳ	4.0m³	１台	５分割解体 ﾗﾌﾀｰｸﾚｰﾝ(45t)×３台、高所作業車×１台、機械工×８人
ブルドーザ	43ｔ	２台	排土板取り外し ﾗﾌﾀｰｸﾚｰﾝ(25t)×１台、機械工×３人
ｸﾛｰﾗｰﾀﾞﾝﾌﾟ	11ｔ	１台	特に無し

4）E工事

表５－５－５：使用遠隔操作機械に必要な組立・解体内容

機械名	規格	解体			組立て		
		必要人員	必要ｸﾚｰﾝ	無線設備必要人員	必要人員	必要ｸﾚｰﾝ	無線設備必要人員
ﾊﾞｯｸﾎｳ	1.5m³	２人×１日	25ｔ×5Hr	２人×１日	２人×１日	25ｔ×5Hr	２人×１日
ﾊﾞｯｸﾎｳ	3.2m³	４人×１日	25ｔ×6Hr	２人×１日	５人×１日	25ｔ×9Hr	２人×１日
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ	45t	３人×１日	25ｔ×4Hr	１人×１日	３人×１日	25ｔ×4Hr	１人×１日
ブルドーザ	60t	３人×１日	25ｔ×4Hr	１人×１日	４人×１日	25ｔ×4Hr	１人×１日
ブルドーザ	16t	２人×１日	25ｔ×3Hr	１人×１日	２人×１日	25ｔ×3Hr	１人×１日

前記の表は、現場の技術者からの回答および建設機械メーカーからの情報から記載しているが、その２者の内容に違いがある場合があった。実際に運搬が可能な解体内容調査およびマニュアルの作成が求められる。

また、前記の表からは、機械が大型化すればするほど、組立て解体の日数やクレーンが長く必要とされる内容となっている。よって、緊急的な災害対策工事には、組立て解体を省いて運搬されているが、組立て解体を実施するかしないかに関わらずに、現場が要求している機種が調達できない状況で、過大な大型機種を使用せざるを得ない場合には、準備工の内容が増加して問題が発生する可能性が高い。

なお、緊急的に大型機械を調達する場合には、通常の保管状態は分解して保管している状態にあることを留意して、遠隔操作にて稼働中の機械、もしくは搭乗にて稼働中の機械の遠隔機器を点検して、調達するように考慮しなければならない。

（3）通常の搬入に必要な運搬車両について

下記に、現場にて使用された遠隔操作型建設機械運搬に必要な車両について示す。なお、Ⅰ．A工事については調査できなかった。

1）B工事

表５－５－６：使用遠隔操作機械の運搬に必要な車両内容

機械名	規格	運搬車両
バックホウ	1.5m³	15t×１台、20tﾄﾚｰﾗｰ×１台、先導車×１台
バックホウ	3.2m³	15t×２台、50tﾄﾚｰﾗｰ×２台、ﾄﾚｰﾗｰ回送×１回、先導車×２台
ダンプトラック	45t	11t×１台、50tﾄﾚｰﾗｰ×２台、ﾄﾚｰﾗｰ回送×１回、先導車×２台
ブルドーザ	60t	15t×２台、50tﾄﾚｰﾗｰ×２台、ﾄﾚｰﾗｰ回送×１回、先導車×２台
ブルドーザ	16t	4t×１台、20tﾄﾚｰﾗｰ×１台、先導車×１台

2）C工事

表５－５－７：使用遠隔操作機械の運搬に必要な車両内容

機械名	規格	運搬ﾄﾚｰﾗｰ
バックホウ	5.7m³	35t×１台、25t×１台、15t×２台、11t×２台
ブルドーザ	21t	20t×１台、10t×１台

3）D工事

表５－５－８：使用遠隔操作機械の運搬に必要な車両内容

機械	規格	台数	運搬車
バックホウ	1.4m³	２台	35tﾄﾚｰﾗｰ×１台
バックホウ	4.0m³	１台	35tﾄﾚｰﾗｰ×３台
ブルドーザ	43t	２台	35tﾄﾚｰﾗｰ×１台、10tﾄﾗｯｸ×１台
ｸﾛｰﾗｰﾀﾞﾝﾌﾟ	11t	１台	20tﾄﾚｰﾗｰ×１台

4）E工事（搭乗機械も含む）

表５－５－９：使用遠隔操作機械の運搬に必要な車両内容

名称	単位	数量	運搬車および延台数
ブルドーザ　６０ｔ	台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台、10tﾄﾗｯｸ×６台　＝７台
〃　１６ｔ	台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台、10tﾄﾗｯｸ×１台　＝２台
バックホウ　３．２m³	台	1	30tﾄﾚｰﾗｰ×３台、10tﾄﾗｯｸ×１台　＝４台
〃　１．５m³	台	1	30tﾄﾚｰﾗｰ×１台、10tﾄﾗｯｸ×１台　＝２台
重ダンプ　４５ｔ	台	3	25tﾄﾚｰﾗｰ×６台、10tﾄﾗｯｸ×３台　＝９台
振動ローラー	台	1	25tﾄﾚｰﾗｰ×１台　＝１台
カメラ車	台	7	10tﾄﾗｯｸ×７台　＝７台
移動操作室	台	2	自走　２台　＝２台
合計台数			３４台

上記の内容から、遠隔操作機械を分解運搬すれば、多数の車両が必要となり、それらを災害発生箇所に搬入する段取りは、現場の施工条件（敷地等）によっては、さらに困難・手間取りのもととなってくる。このため、緊急事態では、解体しない状態で運搬されるが、組み立てられた状態で保管している機器の保管状況や、稼動状況の機械情報を、容易に入手できる体制を確立する必要がある。

（4）搬入後の整備に関して

以下に、調査を実施した災害復旧現場における遠隔操作型機械の搬入後の整備状況について示す。

1）A工事

機械搬入後の整備に関しては、雲仙普賢岳の無人化施工に使用されていた機械は、その後には遠隔操縦として使用していないため、断線が数カ所見られたため修理している。

2）B工事

使用したバックホウに関しては、遠隔操作装置を搭載していたままの状態で、ブレーカーとして搭乗運転機械として使用していたため、今回故障が発生し修理が必要な状態にて搬入されている。このため、搬入後に修理が行われているが、長い時間を要している結果となっている。その理由としては、下記事項が挙げられる。

・メーカーのサービスマンの持っている遠隔操作機器の知識に問題があった。

・振動によって、基盤が脱落し破損しており部品交換の必要性があった。

・遠隔操作機の捜索のために時間を要した。

・各地に保管している遠隔操作機械から、考えられる必要部品を取り外したため、部品調達に時間がかかった。

なお、故障修理に関する修理費は、メーカーの専門職の派遣要請と部品費用にて、約百万程度かかっている。

また、ブルドーザは別の災害地に出動させるために、整備を実施していた関係上で特に修理費用は発生していない。

3）C工事

バックホウは、他現場で搭乗運転で使用していた機械であり、話があって後に、すぐリモコンのチェックをして解体を行い、搬入して組み立てを実施されている。また、機械搬入時の無線関連の整備・調整に関しては、従来からこの機械は、切り替えスイッチ一つで搭乗運転と遠隔運転を切り替えられる機械であるために、解体・組み立ての組み立て後に点検を行って異常が発生すれば、状況に応じて対応する体制をとっている。なお、バックホウは、普賢岳で使用してから余り立っていないため、配線系統に問題はなかった。

また、ブルドーザについては、新品の機械であったため、特に整備は必要なかったが、現地を良く調査せずに建設機械を搬入しているため、県の指導により作業が早くかかれるように、湿地型に変更した経緯があった。

4）D工事

搬入前の整備内容を下記に示す。

表５－５－１０：搬入前整備内容

機種	規格	搬入前
バックホウ	１．４m³(1.2m³)	リモコン点検整備 出庫時本体点検整備
バックホウ	１．４m³(1.2m³)	リモコン点検整備 出庫時本体点検整備
バックホウ	４．０m³(3.5m³)	リモコン点検整備 出庫時本体点検整備-
ブルドーザ	４３ｔ	リモコン点検整備 仕様変更（陸上仕様へ
ブルドーザ	４３ｔ	リモコン点検整備- 仕様変更（陸上仕様へ）-
ｸﾛｰﾗﾀﾞﾝﾌﾟ	１１ｔ	リモコン点検整備 出庫時本体点検整備 荷台補強

5）E工事

本工事にて使用されている機械のうち、前工事でも使用していたものに関しては、前工事終了後に定期点検整備を実施していたため、搬入前に点検を実施し搬入している。また、関連会社以外の他社から借りている例も見られるが、整備済みにて搬入されている。

前記のＩからＶまでの５つの現場調査の搬入後の整備状況からは、遠隔操作型建設機械を使用する場合は、緊急時は特に点検・整備体制が重要となり、遠隔操作型機械を搬入したらすぐに使用できる環境を確立させる必要がある。そのためには、点検を織り込んだ遠隔操作機器の搬入手順の作成や、遠隔操作機器のサービスマンの手配手順や機器調達手順のマニュアルを作成する必要があると考えられる。

また、故障を心配される場合に遠隔機器を撤去しておくことも手段であるが、搭乗型の建設機械を遠隔化に改造する場合は、上記マニュアル以外にも、現地での故障がないように迅速に確実に行うことが、重要とされる。

（5）工事施工後の遠隔操作型建設機械の搬出について

工事施工後の遠隔操作型建設機械の搬出について下記に示すが、Ｉ．Ａ工事については調査できなかった。

1）Ｂ工事

工事施工後の遠隔操作機械の搬出に関しては、特に緊急性はなかったが、バックホウは分解せずに、ブルドーザは正規の運搬方法通りに排土板を取り外して搬出している。

なお、施工現場から八代までの一般道路は、部分的に極端に狭い箇所があったため、その区間のみは高速道路を使用して搬出を行なっている。

また、遠隔操作型機械と有人の搭乗機械との搬出の違いは、有人機械の２～３台については、しばらくの間は不慮の事態に備えて現場にて待機したが、その他の有人機械は、搬入・搬出ともに通常通りにトレーラーにて運搬されている。

2）Ｃ工事

今回使用した遠隔操作の建設機械は、バックホウ（５．７m3）×１台、ブルドーザ（21ｔ）×１台であるが、この２台のどちらの機械も搬入時と同様に、通常の積載重量限度内にて、機械を分解して搬出している。

3）Ｄ工事

搬出方法は搬入時と同様にして、機械本体の従来の運搬方法によって運搬・搬出されている。

4）Ｅ工事

工事完了後の遠隔操作型建設機械の搬出では、積載した車両総重量に制限がある橋梁が存在するために、陸路に加えて海路も利用する予定となっている。

上記状況からは、搬入時に通常の積載制限範囲内での運搬方法にて搬入された遠隔操作型機械は、搬出時も通常の運搬方法で搬出されており、緊急的に解体を省いて搬入された機械については、災害復旧の現場条件や運行経路の通行条件、また次の使用現場の条件等から、運搬方法を決定して運搬されていると考えられる。

（6）工事完了後の遠隔操作機械の整備状況について

工事完了後の整備内容に関して、情報を入手できた情報のみを下記に列記する。

1）A工事

遠隔操作機械は、施工完了後の整備費がかなりかかっているとのこと。これは、ぶつかったりして破損したためであったとのこと。

2）D工事

下記に返却時の各整備内容を挙げる。

表５－５－１１：返却時の整備内容

機種	規格	搬入前
バックホウ	１．４m³（1.2 m³）	板金、塗装、点検等
バックホウ	１．４m³（1.2 m³）	板金、塗装、点検等
バックホウ	４．０m³（3.5 m³）	板金、塗装、点検等
ブルドーザ	４３ｔ	板金、塗装、点検、足廻り・排土板整備 仕様変更（水中仕様へ）
ブルドーザ	４３ｔ	板金、塗装、点検、足廻り整備 仕様変更（水中仕様へ）
ｸﾛｰﾗﾀﾞﾝﾌﾟ	１１ｔ	補強解体点検等

上記内容からは、遠隔操作型建設機械の使用後の整備状況は、搭乗機械よりも破損している事例が多く見られ、多大な修理費が必要とされている。よって、破損させない工夫としては、接触防止システムの採用や、建機情報のオペレーターへの通信や警報が考えられるが、現状では採用されてはいない。今後の技術開発が望まれる。

（7）運搬・整備に関する今後の改善案について

現状の遠隔操作型建設機械の運搬整備は、まだ改善されるべき点が多々あると考えられるため、下記にその内容を列記する。

①災害復旧時の機械搬入手順書および工事完了後の搬出手順書の作成

・通常の積載積載制限内での解体運搬か一体型での臨時運搬かの判断手順

・臨時措置での運搬の協議先や協議内容

・通常運搬に必要とされる遠隔操作型建設機械の
　組立て・解体の標準実施工程および必要機械の標準使用工程

・各種遠隔操作機械毎の標準運搬車両の選定および臨時運搬車両の選定

②身近な搭乗型機械を遠隔操作型に迅速に改造できる
　改造技術の開発や改造方法の標準化

③搬入前後の整備体制の確立

・機械毎の搬入前後の点検手順や点検内容

・遠隔操作型建設機械のサービスマンの手配手順

・遠隔操作関連機器の調達手順

④遠隔操作型機械の破損を防ぐ技術開発

５．６　施工方法

現状の災害復旧工事での遠隔操作型建設機械による無人化施工の方法は、経験者の意見や提案によって決められ、施工されているケースが多く見られている。下記に、調査を実施した５つの災害復旧現場での施工方法の特徴を示す。

(1) 施工方法

1) A工事

本工事は、岩盤崩落事故において、崩落岩盤下の被災者の捜索のための土砂除去を行なうものである。作業手順としては、岩盤をブレーカで破砕し、次にバックホウで移動し、最後にブルドーザで地均しを行う工程を繰り返した。なお、崩壊土砂が切り立った状況を、全体的に敷き均しまたは海に土砂を投下することで、施工していく方針であった。なお、工事の対象土は、土砂の分布が巨大な岩塊が数点あり、その他に関しても岩が殆どである。そこで、無人重機による土砂除去作業を促進させるため、補助的に発破を利用して岩塊にクラックを発生させ、ブレーカでの作業が容易となるように発破を実施した。(含水爆薬５ｋｇ使用) しかし、その効果や装薬作業が有人であったことなどの理由が考えられるが、一回のみの施工にとどまっている。

また、作業は夜間作業も実施していたが、遠方に設置した照明車６台に加えて、有人の不整地運搬車に発電機とライトをのせた状態で作業範囲近くまで機械を移動させて、至近距離から直接作業範囲を照らしていた。

2) B工事

本工事は、崩壊土砂および湛水によって発生しうる土石流災害を防止するため、応急的な災害復旧として、遠隔操作機械を使用して、無人化施工を実施しているもので、現地調査時での、作業手順は以下で行う予定であった。なお、対称とした土砂の状況は、直径５cm 程度の砂利が主であり、中には直径１ｍの岩も含まれていた。

①準備工として、重機搬入路を造成した。

②伐採を実施し、監視台を兼ねて遠隔操作台を単管等にて設置した。

③崩落した土砂を下流側に押して堆積した土砂に地盤の安定を図った。

④水中ポンプでせき止められた水を掻き出した。

⑤あらかじめ自然に出来ていた水道を拡幅掘削して、コルゲートパイプを埋め、再度崩落した場合に水道がせき止められないように対処する。

3）C工事

本工事は、土石流によって砂防ダムの上流側に堆積した土砂を、遠隔操作のブルドーザで集土し、遠隔操作のバックホウでダム下流側に掘削・捨土して、これを有人のバックホウ（0．6㎥）×1台、ダンプ（１１ｔ）×１台で土捨場まで運搬するものである。

対称となっている土砂は、安山岩火山砕屑岩の風化土砂と岩石の混合体で、非常に含水量（約５０％）が高く粘っており、また土砂の中に直径１ｍ～３ｍの岩石を多く含んでいる。

下記に、施工順序を示す。

①重機搬入路の造成

②機械の搬入準備として、遠隔操作式バックホウの設置する位置および走行路には、大型の転石を埋めたうえで、土を適正な地山の土（含水率の低い土砂）と入れ替え、さらに鉄板を敷いた。

③機械の搬入・組立て

④堆積土砂の含水比を下げるため、上流からの排水系統を変更するため、排水路の掘削を実施した。(無人化施工)

⑤堆積土砂を遠隔操作のブルドーザで集土する。

⑥集土した土砂を遠隔操作のバックホウで掘削して、ダム本堤の下流側に仮置きする。

⑦仮置きした土砂を有人操作のバックホウ（0．6㎥）１台にて掘削し、ダンプ（１１ｔ）に積込み、土捨場まで運搬する。

なお、作業が進行するに従って堆積土砂の下部から、次第に多数の大きな転石が出てくる傾向にあり、大きなものは２ｍを越えるものもあった。現場の現地調査時には、バックホウのバケットに入らないものは、ブルドーザで転がして放置していたが、何らかの方法での処理を検討しているとのことであった。また、この土質は、乾きすぎて含水率が低下しすぎると、粘性が増えて機械に付着して離れなくなるので、作業が実施しやすい含水率が条件となっている。

4）D工事

本工事は、土石流によって崩壊した川の斜面に導流堤をつくるもので、対象となる土質は、転石混じりの礫質土であり、転石の直径は、１～２ｍ程度である。作業は、バックホウで掘削した土砂をブルドーザで導流堤側に押土し、その後導流堤に２ｔの異形ブロックを積むもので、いずれの作業も無人化施工で行している。なお、施工方法については建設会社H建設の無人化施工マニュアルを参考に計画しており、下記に主な施工工程を示している。

①準備工
②伐採・測量
③上流河道掘削
④導流堤盛土
⑤異形ブロック製作
⑥異形ブロック設置
⑦異形ブロック背面埋戻し・転圧
⑧築堤盛土

なお、今年の工事に関しては、１１月末には完了する予定にしているが来年も関連工事は引き続き行なう予定となっている。

5）E工事

本工事は、無人化施工を一部採用した砂防ダムの建設工事であるが、施工範囲を有人区域と無人区域に分類し、さらに有人作業と無人作業を分類して施工している。また、無人化施工を採用していることでRCC工法を採用して、RCD工法のモルタル敷均し、目路切り、グリーンカットの工程を省いている。今回の三期工事の主な作業工程としては下記の通りであり、無人化施工の作業（内容によっては一部に限る）には下線を引いている。

(1) 準備工
(2) 工事用道路
(3) 土砂型枠工
(4) コンクリート打設
(5) 土砂型枠撤去（上流）
(6) 土砂型枠撤去（下流）
(7) 転流工
(8) 側壁工
(9) 副ダム工
(10) 法面緑化

上記5現場のうち、V．E工事は砂防ダムの建設工事で復興工事であるため、工事方法や管理方法も他の現場とは違っている。他のⅠからⅣの現場に於ける無人化施工の範囲の特徴としては、Ⅰ～Ⅳは全て掘削・押土を行なっているうえで、Ⅰは破砕作業を実施し、Ⅳは異形ブロックの設置を実施している特徴がある。Ⅳの異形ブロックの設置に関しては、今回の工事が初めての実施工との話であったが、今後採用されていく遠隔操作関連技術と考えられ、現在では砂防ダムの建設工事にも、採用されている。

災害復旧の工事において、無人化施工の適合性や使用している機械によって施工手順や施工方法を変更している例も見られるが、災害復旧工事が緊急的に行われる場合には、施工方針を即座に決定する必要性があるため、災害対策マニュアルが求められている。

（2）測量

1）A工事

測量は、関連した自動測量システムは使用していない。そこで、測量や作業区域の現状確認では、厳重な監視体制のもとで、危険地帯とされる区域への入場者を管理しながら実施した。

2）B工事

測量は、関連した自動測量システムは使用していない。そこで、危険地帯とされる区域に入って測量されており、日々の出来形管理としての測量は実施されていない。

3）C工事

測量は、関連した自動測量システムは使用していない。そこで、測量を含めて危険区域に立ち入る場合には、監視員を配置して作業を実施しており、日々の出来形管理としての測量は実施されていない。

4）D工事

測量は、関連した自動測量システムは使用していない。そこで、測量に関しては危険地帯とされる区域に入って測量されている。なお、その危険地帯への立ち入りを最小限に抑えるため、及び土工事が主であったため、日々の出来形管理としての測量は実施されていない。

なお、施工計画の出来形管理基準は、下記内容で挙げている。

基準高	基準値
項目	築堤 ±３０cm 、 掘削 ±３０cm
幅 B	築堤 －２０cm
法長（5M以上）	築堤 －２% 、 掘削 －４%

表６－６－１：D工事出来高管理基準

5）E工事

着工前測量と施工中の測量のＧＰＳ精密リアルタイム測位システムがあるが、無人化施工の測量は、基本的（通常作業時）にはＧＰＳ精密リアルタイム測位システムを使用し実施しているが、着工前測量やその他の測量については、光波距離計を利用して有人にて実施している。

ＧＰＳは、ブルドーザ（１６ｔ）と振動ローラーに移動局を２局搭載して、固定局の１局と共に、使用している。ここで測定精度は１～2cm であるが、計測点からクローラー面の高さを算出している関係上で、誤差は±１５cm から局所的には±２０cm 程度であると考えられている。(搭乗操作でのRCD施工でも、この程度であると考えられている。)

施工時の日々の測量は、Ｖの砂防ダム建設工事以外は採用されていないために、安全性の問題から実施されていない。このため、施工量や施工効率の算定が出来ず、全体的に進捗は進まない傾向はわかっているが、その日々の進捗管理は実施出来ないのが現状である。今後は施工管理や品質管理、工程管理の目的のため、自動測量の技術開発が望まれ、画像制御によるノンプリズムレーザー計測システムなどの開発事例も、実際に発表されている。

（3）遠隔操作方法

1）A工事

遠隔操作の操作位置は、２００ｔトラッククレーンにオペレータ２人を載せたゴンドラをつり下げ、高さ３０m～４０m、距離６０～８０mの位置で、作業全体が目視できる場所で行った。なお、ゴンドラの使用は申請が必要なこと、およびクレーンの手配期間のため、施工当初は高所作業車を利用して、やはり同様に高所から遠隔操作が実施されており、施工業者の担当者には、高所から全体状況を見て遠隔操作機械を操作することは非常に有効であると考えられていた。また、今回の工事以外でも、同等の方法にて施工することが多いとのことであった。

また、トンネル側と海側については、重機の転落には充分注意して作業している状況であった。

2）B工事

オペレーターは、崩落部の反対斜面に設置された１箇所の作業台から、重機の遠隔操作を行っており、重機とオペレーターの間隔は、重機位置によって変化するが約 30m から 100m で直接目視して、遠隔操作を行っていた。しかし、作業状況によっては、オペレーターが操作台を離れて、重機近くに立ち寄って操作していた状況も発生していた。

3）C工事

操作位置は、施工位置から５０～１００m離れた川の右岸側に１箇所、左岸側に２箇所の監視台（操作台）を設置して、このうちの操作状況に応じた位置を選択して遠隔操作しており、バックホウのオペレーターは、主に左岸側の機械に最も近い操作位置から遠隔操作を行っており、ブルドーザのオペレーターは右岸側の１箇所と左岸側の２箇所にある操作位置の中から、その時の運転状況によって、最も見やすい位置を選択して遠隔操作を行なっている。

4）D工事

施工している地形の問題から、固定カメラの設置位置が制限されているため、現地調査時の操作状況は、固定カメラにて十分な状況監視ができない状況にあった。このため、オペレーターはコントロール室からの映像情報での遠隔操作ではなく、安全地帯（河川の両岸）の中の決められた操作位置から、直視によって遠隔操作を実施していた。なお、この直接目視の操作位置は、作業状況に応じて変更出来るように、４箇所の操作位置が決められていた。

しかし、発注者側の担当者には、作業効率が悪いために機械及び操作方式の改良が必要であると感じられていた。

5）E工事

無人化施工の位置と操作室の配置については、越流部の右岸側と左岸側にて違っているが、基本的には砂防ダムの施工側の袖部上に設置されている。また、操作室から施工箇所を直接目視することはできないため、完全にモニターの映像のみにて遠隔操作をおこなっている。また、操作室と遠隔操作型建設機械の距離は、左岸側の施工時では約５０m～１５０m、右岸側の施工時では約２００m～２７０mの計画となっている。

上記５つの現場の遠隔操作方法は、Ｖの砂防ダム建設工事は復興工事と考えられるため、か多数のカメラを採用し、映像のみの情報から遠隔操作を実施しているが、ⅠからⅢの現場については、直接目視によって遠隔操作を実施し、その操作距離の最大距離は１００～１５０mである。なお、直接目視の操作を効率的に実施出来るように、作業台を複数設置したり、クレーンとゴンドラを利用し高所から操作を実施している。また、Ⅳはカメラ操作を基本としているが、作業の状況に応じて、直接目視して操作できるように、直接目視位置も設定している。

また、発注側の無人化施工の担当者は、施工効率や作業効率が考えているよりも上がらないため、改善を検討したいが、どのような遠隔操作型機械や支援装置が存在するか、どのような施工方法が効果的なのかも知らないため、無人化施工の施工マニュアルの作成を要望している話が多い。

（4）施工方法に関する今後の改善策

現場調査を実施した５つの災害復旧工事では、施工方法に関する問題として、施工経験者のみにしか施工計画を検討できない現状にあると考えられるが、下記内容の改善策が考えられる。

①無人化施工マニュアルの作成

・無人化施工に適した作業及び適さない作業の区別
　および無人化施工が条件の場合の復旧工事計画手順

・工種毎の無人化施工の標準施工手順

・作業支援装置の種類と使用方法

・無人化施工の標準的施工効率

・施工効率改善の手順

②無人化施工の施工管理マニュアルの作成

・現状における施工管理の手法および手順

・品質管理、出来高管理、出来形管理基準および手順

③現状の自動測量機器の使用手順書

・価格、誤差、メンテナンス、調達方法

④自動測量の技術開発

５．７　操作装置

調査を実施した５つの災害復旧現場にて使用されている遠隔操作装置の内容について、実施した主なヒアリング結果を、下記に示す。

１）Ａ工事

現地調査時には、クローラドリルの操作装置以外には、操作装置の情報を入手することができなかったが、この操作装置は操作スイッチ類が多種多様であり、他の遠隔操作型建設機械よりも、さらに操作が困難なように感じられた。

２）Ｂ工事

無線装置メーカーは、ブルドーザは無線機メーカーＣ社、バックホウは無線機メーカーＡ社を採用していたため、同社の標準操作機を使って遠隔操作されていた。

３）Ｃ工事

遠隔操作型機械の操作装置に対して、災害対策課からは、現在の搭乗機械を遠隔化に改造した型から、最初から搭乗と無人の切り替え式となっている機械が、次第に出来てくるのかといった疑問を投げかけられたが、下記に今回の無人化施工工事に使用した遠隔操作型建設機械の操作装置に関するヒアリング結果を下記に示す。

①バックホウ（５．７m^3）

・遠隔に対して操作の感覚がつかめないということであった。

・建設機械は、電池が常時通電状態となるため、昼休みの場合でも定位置に戻ってこなければならず面倒である。

②ブルドーザ（１６ｔ級）

・今回使用している遠隔操作機械は、遠隔操作制御に圧縮空気を使用している。しかし、運転中にこのエアーホースを破損すると、遠隔操作にて使っていた状態からまったく操作できなくなってしまう。

・この機種は、従来から遠隔と搭乗との操作を切り替えて使用する機種であり、通常の搭乗運転機械を改造したものではない。

・オペレーターのヒアリング調査からの特記事項（ブルドーザのオペレーター）

・制御用圧縮空気のエアーホースを２回破損した。重機本来の形であれば、何も存在しないところに機器が設置されているため、オペの気持ちになって位置を検討して欲しい。

・機械情報は必要があると考えるが、別のモニターに写すだけであれば、オペレーターは確認しない。しかし、通常の搭乗運転の際には、確認している情報であることは間違いないことから、機械のメンテナンス管理を考えると、運転状況を確認できる手段は、何らかの形で必要であるとも考える。

4）D工事

下記の内容が、現地調査時にオペレーターから聞いた操作装置関連の内容である。

・有人機械と同様な体感装置があれば、もっとスムーズに施工ができるのではないかと考えられている。

・遠隔の操作は、搭乗型の倍疲れる。

5）E工事

①ダンプトラック関連

・操作レバーの取付け間隔が狭いために、操作姿勢が窮屈となり操作性を悪くしている。ただし用途によっては、小型軽量で携帯時等に良い点もある。

・ダンプトラックの操作装置は２種類あって、新型（改良型）はブレーキ及びアクセルペダルを採用し、操作機レバーに加えてこれらのペダルによって操作する。

②バックホウ関連

・１．５m^3のバックホウの操作機は、操作レバーが短く操作が困難な事から、２本の操作レバーには、エンビ管が差し込まれてレバーを延長していた。

③ブルドーザ関連

・チルト操作は、有人搭乗操作でも熟練技術を持っていないと、操作は困難である。

上記内容から、遠隔操作型建設機械の操作装置に求められているものは、使いやすい操作装置であることだが、各社の操作装置が異なっていることから、下記事項の改善や研究が考えられる。

①遠隔操作に慣れたオペレーターが、

操作装置が変わったことで、また慣れに要する期間が必要であるかの実験

②操作装置の違いによる施工効率の実験

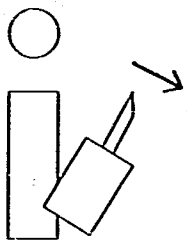
③安全性の向上および施工効率向上の為の、基本的操作方法の標準化

④操作しやすい遠隔操作装置の開発

・ブルドーザの遠隔操作用の操作機は、前記(7)の通りで搭乗運転では両手・両足操作であるものを、遠隔操作機では両手操作とするために容易ではない。

・災害復旧に使用する遠隔操作機械の操作装置は、イージーコントロールのため今後も検討されている問題であり、通常の２本の操作レバーでの操作では、全ての操作は困難であることから、操作レバーにトリガーを設置した形を考えている。

・上記操作レバーにトリガーを設置する案は、操作機を携帯型とすると問題が発生する恐れがある。



(オペは操作機を傾斜させて使用する)
トリガーを設置し操作レバーの自重が
重くなると勝手に操作レバーが倒れる

・緊急対応としての遠隔操作機械の調達方法は、増設のみで遠隔操作化できるロボットの採用が有効であるとも考えられる。しかし、ロボットの開発・採用に関しては、下記の問題を解消する必要性がある。

・耐震性

・自量が大きくなってしまう為に、搭乗操作への切換が困難になる。

・機種によっては、キャビン内の広さや操作レバーの配置が違っている。

５．８　安全装置

遠隔操作型機械の安全装置の内容については、機械本体の安全装置と遠隔操作に関連した安全装置が考えられるが、遠隔操作に関連した安全装置としては、非常停止・無線の誤信防止機構・作業員保護装置（デッドマン機構・ニュートラルチェック等）があり、機械本体の安全装置としては、建機情報表示や故障警告装置がある。

また、下記に各現場への現地調査や、オペレーターへのヒアリング調査にて聞かれた内容のうち、安全装置に関連するものについてを列記するが、今回の現場調査では非常停止および建機情報の内容についてしか、調査できなかったのが現状である。

1）Ａ工事

この現場は、応急的復旧を緊急体制にて工事している状態であったため、オペレーターにヒアリングを実施できる状況ではなかった。しかし、電波の受信不良による非常停止では、通常の非常停止と同様に、エンジン停止となる仕様であったが、その復旧に時間や手間がかかっていたとのことであった。

2）Ｂ工事

この現場は、応急的復旧を緊急体制にて工事している状態であったため、オペレーターにヒアリングを実施できる状況ではなかった。よって、この災害復旧工事に使用している遠隔操作機器に関する安全装置の内容に関しては不明である。

3）Ｃ工事

・ブルドーザの本体異常警告装置は、回転灯による表示ではなく、ホーン（警報機）によるものであり、本体の遠隔操作での始動時に発する物と同一であった。現場の環境次第ではあるが、鳴らないように改造していたため、異常時にも警告音が鳴らない状況となっていた。

・バックホウのオペレーターは、建機情報として油温計だけは必要性を感じているとのことでだった。

・建機情報の必要性を感じるもう一つの原因は、機械が原因不明で停止した際に、安全地帯では原因を究明する手段がないためである。

・機械を非常停止すると、エンジン停止となるため、復旧方法は通常のエンジン始動の手順の繰り返しとなる。(バックホウ、ブルドーザ共)

・ブルドーザのオペレーターは、遠隔操作機械の建機情報の表示は、どちらかと言えば、必要であり、特に水温計が必要であると回答している。しかし、遠隔操作位置に別のモニターに表示するのみであれば、運転者は特に注意して監視しないのではないかと考えられていた。

4）D工事

・非常停止は採用しているが、機械情報は採用していないため、遠隔操作中にオペレーターは、全く建機の状態を監視できない。

・全ての遠隔操作型建設機械の非常停止は、作動させるとエンジンが停止し、復旧は通常の起動操作を実施することによって行なう。

・建機の情報とは違うが、送信機には、送信機のバッテリー電源切れの表示ランプがついている。

・建機情報の必要性は、オペレーター４人に聞いた結果では、１人は無回答、１人は必要、１人は無線異常だけは必要、１人は不必要と回答している。

・ブルドーザの非常停止に関する事項として、ブルドーザに一度問題が発生している。内容は、非常停止を解除した際のニュートラルチェックに問題があったために、非常停止復旧時に、走行モードに入っていた建機が斜面で走行した事例があるとのことだった。

5）E工事

非常停止は全ての機械で採用されているが、その外の建機情報に関しては、ほとんど採用されていない。

また、ダンプトラックは、有人区間と無人区間との境界で、操作方法を搭乗と遠隔に切り替えているが、この切り替えに関して暴走防止等の安全装置は存在しない。実際は、常に危険性を留意して、トランシーバーによる音声通信や画像で確認している。

調査対象とした５つの災害対策工事の、１３人のオペレーターを対象として実施したヒアリング調査では、非常停止および建設機械情報の表示内容について調査を実施しているが、その結果では、非常停止の採用は全機種が採用していたが、機械情報表示についてはエンジン回転表示の採用が１名、油温計表示の採用が２名に有りの回答を得た以外は、全く採用されていない状況であった。

遠隔操作に関連した安全装置としては、非常停止・無線の誤信防止機構・作業員保護装置（デッドマン機構・ニュートラルチェック等）が考えられると前記しているが、オペレーターはその全ての採用状況を認識していない状況であり、この内容については、各メーカー（建設機械メーカーおよび無線機メーカー）に対して採用状況を確認することが必要である。

非常停止は、現在の災害復旧工事では、無人施工区域での作業条件もあり、オペレーターが非常時に作動させている事例はほとんどなく、無線の通信不良による誤信防止装置の作動によって非常停止状態になる場合が多く発生している。通常は、非常停止状態となればエンジン停止となり、復旧方法は、通常の遠隔操作開始時の操作をやり直すこととなっているが、再起動に手間がかかっている上に、無線の通信状況が悪い場合には再起動が困難となることも発生している事例が聞かれている。無線の問題は検討外としても、安全装置によって作業効率が低下することのない対応を再検討されることが必要である。

そこで、災害復旧工事に求められる遠隔操作機械の安全装置の必要内容を検討して、最低限の安全装置の標準的な装備を義務付けることが必要であり、操作者にも内容を教育する必要がある。

下記に改善案をまとめている。

①安全装置の採用状況調査

②遠隔操作に求められる安全装置の選定および標準装備の義務付け

③建設機械情報の通信・表示方法の研究開発

④非常停止の停止状況の再検討

⑤安全装置のオペレーター教育体制の確立

５．９　オペレーター人員配置

（1）編成状況

1）Ａ工事

本工事は、緊急的な災害対策工事として、昼夜２４時間体制にて施工され、ゴンドラ上のオペレーター作業は、９人が２人×4h 交替で作業にあたっている。また、ゴンドラにて操作していない時は、運転操作以外の雑工を行っていた。遠隔の操作は、若い人が早く慣れると考えられており、実際にも当現場は、若いオペレーターがほとんどであった。

2）Ｂ工事

本工事には、２台の遠隔操作型機械に対して各１人の合計２人のオペレーターを選任していた。また、元請建設会社の職員は４名が現場に常駐しており、施工管理に加えて、崩壊した山腹の監視等を実施していた。

3）Ｃ工事

オペレータは、バックホウ専属で１人、ブルドーザ専属で１人、両機の交代要員で１人の合計３人によって、交代で操作している。

4）Ｄ工事

現地調査時点では、バックホウの４．０m³とブルドーザの４３ｔの２台にて施工している状況であったが、オペレーターは２台の遠隔操作機械に対して２人が現場に常駐しており、予備員は不在であった。

5）Ｅ工事

当工事に従事している作業員の標準編成表を示す。

表５－９－１：現場標準編成表

作業区別	操作重機及び業務内容	機械台数	オペレーター人数
総指揮者			１名
遠隔重機オペレーター	バックホウ	２台	２名
	ブルドーザ	２台	２名
	ダンプトラック	３台	２名
	振動ローラー	１台	１名
	カメラ車	４台	他機械と兼務
有人部オペレーター	ダンプトラック	３台	１名 （＋２名は兼務）
その他	カメラコントロール	（１０台）	２名
	映像設備保守管理		２名
	ＧＰＳ設備保守管理		１名
合計			１４名

上記内容の現場編成からは、予備のオペレーターを用意している現場は１現場と少なく、ほぼ遠隔操作機械１台につき１人の割合で編成されている。またＶの復旧工事については、２４時間体制にて施工した関係もあり、稼動していた２台の操作機械に対して９人のオペレーターが現場に常駐する形を取っている。

（2）遠隔操作教育期間

1）Ａ工事

本工事は、緊急的な災害復旧工事であったため、オペレーターの教育期間についての調査はできなかったが、建設機械の遠隔操作には練習が必要とのことで、方法としては、まず操作機を持ち込み搭乗して遠隔操作の方法を覚え、その後外部に出て操作するとのことであった。通常の場合に練習は、作業のない夜間に行っているとのことであった。

2）Ｂ工事

オペレーターは、雲仙普賢岳での無人化施工のオペレーターを連れて来ている関係および遠隔操作機械も雲仙普賢岳で使用した機械であったため、機械遠隔操作に対する教育は、実施されていない。

3）Ｃ工事

２人のオペレーターに対して遠隔操作の講習（教育）期間として実施された時間は、バックホウのオペレーターは遠隔操作を未経験であった理由もあると考えられるが、操作方法や非常時の対応方法（メンテナンスに関する内容はなし）について０．５時間の教育（講習）を受けている。しかし、ブルドーザのオペレーターは、遠隔操作の経験者であった理由からか、全く教育（講習）を受けていない。

4）D工事

４人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果から、本工事にて遠隔操作型機械を操作する前に講習（教育）の実施期間に対する回答は、下記表の通りであった。

表５－９－２：遠隔操作実施前の講習(教育)実施期間

番号	操作機械	講習(教育)を受けた期間	講習(教育)の内容
①	バックホウ	７日	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法
②	ブルドーザ	７日	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法 4.遠隔機械関連の点検方法
③	ブルドーザ	不明	不明
④	ブルドーザ (職員の臨時操作)	３０日	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法 4.遠隔機械関連の点検方法

また、各オペレーターが講習（教育）して欲しいと考える内容を下記表にまとめている。

表５－９－３：オペレーターの希望講習(教育)実施内容

番号	操作機械	講習(教育)の内容
①	バックホウ	1.非常時の対処方法
②	ブルドーザ	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法 4.遠隔機械関連の点検方法 5.遠隔操作関連の増設可能な機器について
③	ブルドーザ	1.操作方法 2.無線関連機器の点検方法
④	ブルドーザ (職員の臨時操作)	1.操作方法 2.非常時の対処方法 3.無線関連機器の点検方法 4.遠隔機械関連の点検方法

この結果からは、オペレーターによっては不必要とされるが、基本的には４つの項目については、講習(教育)するべきであると考えられ、内容は下記の通りである。

１．操作方法

２．非常時の対処方法

３．無線関連機器の点検方法

４．遠隔機械関連の点検方法

5）E工事

7人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果では、遠隔操作の講習（教育）期間としては、3人が7日間、4人が14日間の教育期間を経ている。なお、この期間は実施工までの練習期間であった。

オペレーターに対する教育期間は、各現場で様々であるが、工事の緊急性のために教育期間が取れない状況もあり、この状況もあって、緊急工事には遠隔操作経験者を連れてきていることとなっていると考えられる。しかし、同一機械を同一オペレーターによって操作する以外は、操作機器や設置機器、安全装置に違いがあるため、教育は必要であると考えらる。

（3）経歴

1）A工事

(1)遠隔操作経験

他社の強力業者から搬入されているバックホウ（ブレーカ 2.5t）のオペレーターについては、雲仙普賢岳の無人化施工で実際に遠隔操作した2人がきていた。

(2)前現場従事先

クローラドリルのオペレータは、搬入前に稼動していた場所から実際に機械を使用していた人をつれてきた。

2）B工事

(1)遠隔操作経験

元請建設会社は、これまでの無人化施工で2件の実績があったが、オペレーターは2人共に、この中の無人化施工を経験しているオペレーターを連れてきていた。

(2)前現場従事先

災害復旧の無人化施工に従事する前の、現場は不明である。しかし、2名とも大阪の作業現場にて従事していた。

3）C工事

(1)遠隔操作経験

オペレータの遠隔操作の経験は、ブルドーザは無人化施工で6ヶ月間の操作経験を持つオペレーターを連れてきており、バックホウは遠隔操作の経験はないが熟練オペレータであった。

(2)前現場従事先

バックホウのオペレーターは岡山県から、ブルドーザのオペレーターは九州内から連れてきている。

4）D工事

(1)遠隔操作経験

遠隔操作型建設機械オペレーターの本工事以外の遠隔操作経験は、下記表の通りである。

表５－９－４：現場従事者の遠隔操作経験年数

番号	操作機械	遠隔操作経験工事	実操作期間
①	バックホウ	なし	―――
②	ブルドーザ	除石工事	１年
③	ブルドーザ	なし	―――
④	ブルドーザ (職員の臨時操作)	水陸両用ブルドーザの遠隔操作	２ヶ月

遠隔操作の経験者を選任しようとしているが、人員が不足しているため上記状況になっていると考えられる。

(2)前現場従事先

オペレーターの本工事直前の従事先は、不明となっている。

5）E工事

(1)遠隔操作経験

７人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果では、下記の通りであった。

表５－９－５：現場従事者の遠隔操作経験年数（平成９年１２月現在）

番号	操作機械	実操作期間
①	バックホウ	１年６ヶ月
②	バックホウ	２年２ヶ月
③	ブルドーザ	９ヶ月
④	ブルドーザ	９ヶ月
⑤	ダンプトラック	１年９ヶ月
⑥	〃	２年
⑦	振動ローラー	１年７ヶ月

(2)前現場従事先

砂防ダム建設工事の前工事から本工事まで無人化施工に従事している方が、７人中に５人存在していた。

無人化施工のオペレーターは、緊急工事の場合には、遠方からでも遠隔操作の経験者を連れてきて従事させている事例が見られる。これは、経験者のほうが施工効率やその他の点で有効性があるためであろうが、経験者数や従事先の都合によって、遠隔操作経験者の都合が付かない状況が考えられる。このため、施工効率のみでも効率的に作業できるオペレーターを育成するためのシュミレーションシステム等の開発等が望まれる。また、このシュミレーションシステムのためには、操作機が変化してしまうと再度多少の慣れを要する事態となることが予想されるため、操作装置の標準化が必要であると考えられる。

（4）慣れを要する期間

1）Ｉ．Ａ工事

当工事のオペレーターの慣れに要する期間の関する内容は調査できなかったが、上記2）の通りに遠隔操作の練習を、作業のない夜間に行っているとのことであった。

2）Ｂ工事

オペレーターの遠隔操作に慣れた期間については不明である。

3）Ｃ工事

２人のオペレーターに対して実施したヒアリングでは、遠隔操作に慣れる必要期間に対する回答は、バックホウのオペレーターは７日間、ブルドーザのオペレーターは１日とされている。なお、ブルドーザのオペレーターが１日あれば慣れると回答した理由は、遠隔操作を１日経験した作業量（仕事量）とその後の作業量（仕事量）は、ほとんど変化しないと考えられるために、１日と回答しているとのことだった。

4）Ｄ工事

２人のオペレーターに対して実施したヒアリング結果から、遠隔操作に慣れる必要期間に対する回答は、下記表の通りであった。

表５－９－６：遠隔操作に必要な慣れの期間

番号	操作機械	通常の建設機械の オペレーター経験年数	遠隔操作に 慣れるための必要期間
①	バックホウ	２年	約　７日
②	ブルドーザ	１０年	約　７日
③	ブルドーザ	１５年	約１年間
④	ブルドーザ (職員の臨時操作)	５年	不明

この結果からは、慣れに要する期間は７日と回答したオペレーターが２人いた以外は、かなりバラついている。

また、現地調査時に聞かれた内容では、熟練のオペレーターは、五感で操作感覚を覚えているので、遠隔操作を慣れるのが遅くなってしまい、実際に本工事で操作しているオペレーターはまだ慣れていないと言うことであった。

5）E工事

オペレーターのヒアリングで、どのくらいの期間で遠隔操作に慣れたかの質問に対しての回答は下記表の通りであった。

表５－９－７：遠隔操作に必要な慣れの期間

番号	操作機械	通常の建設機械のオペレーター経験年数	遠隔操作に慣れたと自己判断された期間
①	バックホウ	１４年	約２０日
②	バックホウ	１３年	約　５日
③	ブルドーザ	７年	約２０日
④	ブルドーザ	４年	約３０日
⑤	ダンプトラック	３年	約　７日
⑥	ダンプトラック	１５年	約　２日
⑦	振動ローラー	１０年	約１０日

慣れに関する質問に関しては、上記５つの災害復旧工事のオペレーター２４人中の１２人からの回答は下記のとおりであった。

表５－９－８：施工中のオペレーターの慣れに要する期間

慣れるために必要と考える期間	回答人数
１日	１人
２日	１人
５日	１人
７日	４人
１０日	１人
２０日	２人
３０日	１人
１年間	１人

この結果では、オペレーターによって様々な回答が帰ってきており、違った感覚であると思われるが、７日から２０日と回答しているオペレーターは全体の半数以上を超えている。

しかし、慣れたとされた人よりも慣れていないとされている人の方が、施工効率が良いことも考えられるために、オペレーターの技量毎の、実際に慣れたとされた状態での施工効率（施工量）を調査しなければ比較できないものと考えられる。

５．１０　無線

災害対策工事に使用されている無線の内容を下記に示す。

＜４２９MHZ帯特定小電力無線＞

・特定小電力無線は「ラジオマイク用」と「テレコントロール用」と「データー電送用」に分割されている。

・「ラジオマイク用」とはトランシーバーのことであり、音声連絡用の無線である。その最大使用チャンネルは２０チャンネルであるが、トランシーバー自体が数多くのメーカーから出回っているため、他社製品とのバッティングの可能性はある。また、本来の目的は音声信号の通信であるが、音声信号を利用して機器の制御に使用しているケースも見られるとのことである。

・「ラジオマイク用」は、「テレコントロール用」及び「データー伝送用」の無線へのバッティングはないと考えられている。

・「テレコントロール用」は、４０波ある CH 数のうちで同一現場で使用できる CH 数は１３～１５CH くらいしか使えず、２０CH 以上を使用すれば混信が発生すると一般的には言われているが、その実状は、無線メーカー毎の無線の発信と受信特性から決められるものであり、同一無線メーカーの製品を使用した場合の最大使用ＣＨ数は、無線メーカーによって異なり５・８・１０・２０ＣＨとさまざまな回答が返ってきている。さらに、違ったメーカーの無線機を使用した場合には、この使用チャンネルは少なくなる可能性がある。

・使用周波数を自動選局できるマルチスキャン方式と、固定の周波数しか使用できない固定方式がある。なお、両者を共に使用する場合には、固定式を先に立ち上げることが必要である。

・「テレコントロール用」の無線は、操作系統以外にデーター電送系統に使用される場合が有るが、「テレコントロール用」と「データー伝送用」の無線の大きな違いは「テレコントロール用」は連続伝送であるが、「データー伝送用」は不連続伝送であることである。

・「テレコントロール」の無線では、映像信号（動画）は通信できないが、通信速度が不足するためである。映像の動画伝送には、通常６４kbps以上が必要とされている。

・「データー伝送用」無線は、チャンネル数は９CH であり最大使用チャンネル数は９チャンネルであると言われているが、CH を続けて使用すれば「テレコントロール」の無線と同様に混信してしまう。しかし、「データー伝送用」が「テレコントロール」に影響することはないと考えられている。

<簡易無線（５０GHz）>

・５０GHz の簡易無線は使用可能 CH 数が１０波しか存在しないと考えられていたが、水平偏波と垂直偏波を最大限に利用すれば、理論的には２０波が利用可能と考えられ、今回の工事では水平偏波が５波、垂直偏波が７波を使用している。

・５０GHz の簡易無線の、パラボラアンテナの使用の有無は様々であり、指向性と通信距離の状況から採用を判断されており、パラボラアンテナを使用すると通信範囲が３度以内となり通信距離が伸びるが、使用しないと通信範囲が３０度以内となり通信距離が短くなる。

・建設機械に搭載している５０GHz 簡易無線には、建設機械の運転中に送受信が可能なように、ジャイロを利用して追従する自動追尾装置を採用している。

<２．４ＧＨｚＳＳ無線>

・ＳＳとはスペクトル拡散方式（spread spectrum）であり、変調信号を符号（拡散信号）で変調して伝送し、受信機ではその符号を識別して受信する方式である。[3)]

・使用可能周波数は、同一ヶ所では１波しかない。

・指向性が強くない。このため自動追尾装置は必要ない。

・映像をこの電波で伝送した場合、通信速度の問題から動画を伝送できない。

・通信距離は、条件が良ければ２ｋｍ、施工利用現限界距離は６００ｍである。

下記に、調査を実施した５つの災害復旧工事に使用されている無線について記述する。

（１）無線局の使用状況

１）Ａ工事

本工事の電波使用状況は、遠隔操作型建設機械の操作に関しては、特定小電力無線局を使用していた。また、映像伝送に関しては、現地調査時には２．４GHz のＳＳ無線を搬入して、調整中であったが、その後の使用状況等については調査できなかった。

ＳＳ無線は１波しかない無線局であるが、この無線による映像伝送は、伝送速度の問題から動画の伝送は不可能であり、静止画の伝送となるため、モニターの映像と実際の建設機械の状態に差が生じて、調査時の状況では使用するのは困難であると感じられた。

また、クレーンによって吊り下げられたゴンドラからの直視による遠隔操作では、現地の状況が認識できないことから、現地調査後にバックホウ（０．４５m^3）を改造してアームの先にカメラ設備を設置した機械を搬入して使用したと聞いているが、その機械に使用した無線の内容に関しては、調査することは出来なかった。しかし、考えられる無線の使用用途としては、映像伝送・建設機械本体の操作・カメラの旋回やズーム操作が考えられる。

また、以下に無線に関する特記事項を示す。

・使用する無線は、弱電タイプはすぐに混線して止まってしまうため避けた方がいい。

・削孔機の操作無線も、やはり特定小電力無線であり、大和機工(株)によって設計されている。通信距離は従来の特定小電力無線局と同様であり、通常の状況では約１００m、見通しがよい状況では３００mである。

2）B工事

当現場は、２台の遠隔操作型機械を使用して施工したが、操作無線は特定小電力無線局を使用している。また、操作以外の建機情報などのデーター通信や映像の無線伝送は実施されていない。また、使用した遠隔操作型バックホウは、搬入後に無線関連の故障のため、すぐに稼動できない状態であった。

3）C工事

当現場は、２台の遠隔操作型機械を使用して施工したが、操作無線は特定小電力無線局を使用している。また、操作以外の建機情報などのデーター通信や映像の無線による伝送は実施されていない。

4）D工事

本工事では、遠隔操作型建設機械の操作には、特定小電力無線局が使用されている。また、重機に搭載されたカメラの映像伝送は、自動追尾装置を備えた 50GHz の簡易無線によって実施されている。なお、固定カメラ２台の映像は、有線によってコントロールルームまで送られているため、無線は使用されていない。

5）E工事

下記に、無線の種類毎に使用用途を列記する。

①４２９MHz帯テレコントロール 特定小電力無線（周波数割当数：４０CH）

操作系統は建設機械及びカメラ車の操作に使用され、合計１２波を使用している。なお、そのうちの１台は自動選局型である。また、データー伝送系統では、建設機械の車両情報伝送は１波とＧＰＳ基準局データー伝送に１波を使用しており、合計２波の使用となっており、４２９MHz テレコントロール全体では、１４波を使用している。なお、４０波のうち１３～１５波の使用しかできず、２０波以上を使用すれば、混信して機械停止になってしまうと現場では聞かされた。

②４２９MHz帯データー伝送 特定小電力無線（周波数割当数：　９CH）

建設機械の車両情報に３波を使用し、ＧＰＳのデーター伝送に２波を使用しており、合計５波を使用している。

③５０GHz簡易無線（自動追尾装置付き）

建設機械の搭載カメラおよびカメラ車、半固定カメラから操作室への映像伝送に使用されており、水平偏波と垂直偏波で合計１２波を使用している。なお、その指向性の問題から、パラボラアンテナを使用したり、しなかったりして使っている。

また、上記の無線使用に関する特記事項を、下記に示す。

・微弱無線局は通信距離の問題で使用されていない。

・「ラジオマイク用」の無線は、本工事は音声連絡用のみに使用されている。

（2）無線に関するトラブルとその対策状況

1）A工事

現地調査後に実施した建設機械メーカーのヒアリングで聞いた話では、工事の施工効率を低下させた要因として、非常停止の停止状況も考えられるとのことであった。

これは、ゴンドラから操作していることによって、無線の発信機（操作機）とアンテナとの方向性が原因による通信不良から、電波が受信不良と判断されて非常停止になった際にエンジン停止となる仕様であったが、その復旧に時間や手間がかかっていたとのことであった。対策としては、まず送信機とアンテナの方向性を調整することもあるが、非常停止時の措置を、現状のエンジン停止とは違う操作ができない措置に変更することも、建設機械メーカーでは検討されている。

2）B工事

今回も電波による操作妨害は発生しており、TV中継の電波によって遠隔操作機械の稼動不良が発生した。復旧作業場所の電波管理には特に注意を払う必要があると考えられる。

3）C工事

4）D工事

この2つの現場では、無線に関するトラブルは聞かれなかった。

5）E工事

ダンプトラックの操作装置は2種類あるが、旧型操作機は操作機と送信システムは一体物であり、その中に内蔵アンテナを装備していた。しかし、アンテナが内蔵しているため送信電波が弱く、電波トラブルが発生することが多かったため、新型（改良型）の操作機では、送信システムを切り離しアンテナを外部アンテナとしている。

また、電波障害に対する対策は、重機本体では本体に設置された赤と青の2つのパトライトとクラクションにて、周囲に電波異常を知らせる事ができる。また、操作室では、無線電波の状況を計測するスペクトルアナライザーという計測装置が常時作動しており、操作者はいつでも無線状況を確認することができる。

また、50GHz の簡易無線に使用している自動追尾装置は、振動によって故障がたびたび発生している。

前記の現場での使用状況から、下記の改善案が考えられる。

(1)災害復旧工事における無線使用の計画手順書の作成

・災害復旧工事に使用されうる無線局の種類と特徴およびその使用機器

・混信を防止する無線の割り当て計画

(2)遠隔操作機械の無線点検要領の作成

・遠隔操作にて使用している状態での点検要領

・遠隔での操作を実施していない（搭乗操作）状態での点検要領

(3)通常工事での遠隔操作による工事施工

（実状は、設計積算に無人化施工を考慮しないと不可能である。）

(4)自動追尾装置の改良および開発

現在３社が自動追尾装置を開発し実用化している様であるが、振動対策や上下の追尾機構に問題がある。

(5)災害対策用としての無線局の開放

郵政省や電波管理局で調査されているようであるが、下記電波の開放が望ましい。

①操作系統に混信なく使用できる電波

②無指向性で映像情報を通信できる電波

５．１１　作業支援装置

（1）映像装置の採用状況

1）Ａ工事

本工事当初は、２００ｔクレーンと３人乗りのゴンドラおよび高所作業車を使用して、高所から直接目視にて、機械を遠隔操作している。

また、災害発生から１０日後の現地調査時には、ＳＳ無線による映像伝送装置を搭載したバックホウを搬入して調整中であり、さらには、上方からの運転を行っているにもかかわらず、巨大な岩塊の影に重機が入った場合の視覚情報や至近距離の視覚情報を得るために、０．４５m^3のバックホウのアーム先端にテレビカメラを設置した応急カメラ車を、搬入する予定で整備しているとのことであり、その後搬入しているようであるが、これらの機械による施工状況は不明である。

しかし、調整中の映像伝送装置を搭載したバックホウは、カメラを本体の運転席と右側クローラー上のフレームに２台搭載し、コンテナハウス内で直視なしにて遠隔作業を行ったが、建設機械の本体に設置されたカメラのみでは、現場内のバックホウの位置や現場の遠近感（窪地や斜面）が分からず、施工に非常に苦労していた。やはり、作業には全体を見渡せるカメラが必要である。

また、現地調査時に調整中であったクローラジャンボにも、映像装置も建機情報通信装置も採用されてはいなかった。振動でブレて使えないだろうとのことであったが、削孔作業を遠隔操作する場合には、両者とも必ず必要であると考えられる。

2）Ｂ工事

本工事は、緊急対応の工事であったため、映像設備は緊急の資材調達の都合で、持ってこれなかったとのことであった。しかし、１ヶ所の遠隔操作台からの遠隔操作では、作業対象物が押土の作業方向により見えない場合には、オペレーターが操作台を離れて操作を行っていたことから、施工業者には、映像設備は遠隔操作に不可欠であると考えられている。

3）Ｃ工事

本工事では、映像装置の採用はなく、河川の両岸の安全地帯に設置された３箇所（右岸１箇所、左岸２箇所）の遠隔操作台から、オペレーターは直接目視によって遠隔操作している。なお、今回の工事は砂防ダム内の堆積土砂の掘削であるが、掘削がすすむに連れて作業員は遠隔操作台から離れ、施工が進んだことによって安全となった地帯から操作しているようである。

バックホウとブルドーザのオペレーター２名にヒアリングを実施しているが、直接目視の遠隔操作でのオペレーターの操作位置は、高くなりすぎると地盤の起伏や障害物の大きさが認識できなくなる。理想は、対象遠隔操作機械に近く、操作位置を作業に応じて柔軟に変更できる環境がよい。また、映像のみによる遠隔操作より目視での操作の方が楽であるが、重機近くの状況が解らずに気を使って疲れてしまうとのことであった。

4）D工事

本工事では、固定カメラを２台と遠隔操作機械にカメラを搭載して、建設機械を遠隔操作している。しかし、施工している地形の問題から固定カメラの設置位置が制限されているため、機械位置や作業内容によっては、直接目視でも遠隔操作が可能であるように、河川の両岸の安全な場所に４箇所の遠隔操作位置をきめている。その設置要領は、現場の設置範囲内でＸＹ方向が認識できるように設置され、立体感が認識され重機の足元が分かるように配置しているとのことであり、細かい作業は、車載カメラからの映像情報によって遠隔操作を実施しているとのことであった。

また、今回の工事で直接目視の操作位置は、操作台等の設置がないため、斜面につき滑り易く、オペレーターは位置を確保するのが困難となっている。

5）E工事

①カメラ機器の設置状況

カメラの採用状況は下記の表の通りである。

表５－１１－１：カメラ設置状況

搭載機械	機械台数	機械毎の設置台数	合計設置台数
移動カメラ車	４台	１台	４台
ダンプトラック	３台	２台	６台
バックホウ	２台	3.2m³には２台 1.5m³には1～2台	３～４台
ブルドーザ	２台	６０ｔには１台 １６ｔにはなし	１台
振動ローラー	１台	なし	なし
半固定カメラ		２台	２台
合計台数			１６～１７台

移動式カメラ車のカメラ操作（ズーム・旋回・上下動）は、女性２名の操作者が建設機械のオペレーターの求める映像を考えて操作している。

バックホウへのカメラ搭載台数は、（３．２m³）の機種については、機械本体キャビン上の同一箇所に２台のカメラが設置されている。１台のカメラの性能では、オペレーターが求める映像は取得できないと考えられる。

ダンプトラックには、車体の前方および後方にカメラを設置しているが、位置確認および積載物のダンプアップ状況を確認するため、後方に設置しているカメラを主に使用している。

②モニター機器の設置状況

1台の遠隔操作型建設機械のオペレーターにつき、4台から5台のモニターを操作室に設置して、オペレーターは遠隔操作を実施している。

(2) 施工管理装置の採用状況

1) A工事

2) B工事

3) C工事

4) D工事

上記Ⅰ～Ⅴの災害復旧工事では、施工管理システムは採用されていない。

5) E工事

施工管理装置としては、ブルドーザに採用しているRCCコンクリート敷均し厚管理システムと振動ローラーに採用しているRCCコンクリート締固め管理システムがあり、ともにGPSによってX・Y・Zの位置情報をリアルタイムに計測し、機械に適した施工状況を映像化し、わかり易くオペレーターに伝えるシステムである。

上記の2つの施工管理装置に関しては、特に問題は聞かれなかったが、今後は自動化への方向性も感じられた。

(3) まとめ

作業支援装置で映像装置の採用状況は、5つの災害復旧工事のうち2現場は採用、2つの現場は不採用、1つの現場は当初不採用であったが途中から採用となっている。遠隔操作距離が短距離であれば、たしかに直視でも可能であるかもしれないが、障害物等を考慮してカメラは常に常備していることが望ましいと考えられる。また、耐震性の問題からカメラ関連の故障が多々発生しているとのことである。耐震性の高いカメラの開発が望まれる。

もし、映像装置を採用せずに直接目視によって遠隔操作を行なう場合には、使用建設機械、作業環境、復旧施工方法、操作環境に応じて、複数の遠隔操作台を設置することが有効であると考えられる。直接目視の遠隔操作距離は、Ⅱ．B工事の約 30m、Ⅲ．C工事の50～100mの実績があるが、そのどちらも、オペレーターは設置された遠隔操作台を離れて、別の安全な位置から操作している。目視による操作の限界条件に加えて、建設機械の稼動状況によって作業機（対象物）が本体の死角となり作業状況を確認できないことがないように、複数の遠隔操作台を設置している例も見られるが、直接目視のみによる作業では死角が多く、バックホウとダンプのような連携作業は、互いの機械によって死角が生じ易いし遠近感が認識しずらいことから、困難に感じられた。

遠隔操作には全体の作業状況が見渡せる作業台またはカメラ映像が必要であり、外部に複数のカメラを設置した方が良いが、災害復旧箇所には設置できる箇所が少なく、視野が良い場所は危険箇所であることが多いため、高所作業車や気球、ヘリコプター等に設置された作業全体を見渡せるカメラが使用できれば、遠隔操作の作業効率も多少は向上されるかと考えられる。

また、施工管理装置の現在の採用状況は、５つの災害復旧工事のうちでは、Ｖ．Ｅ工事の復興的工事のみであったが、遠隔操作機械を移動させる場合の、移動予定位置へのずれの発生原因は、機械自体の現在位置と移動予定位置・高さ等が認識できないから発生する。これはカメラ装置のみを増設しても改善されず、ＧＰＳ等を利用した位置情報システム等が必要となってくる。このため、コスト面の問題をクリヤし、施工効率の向上に効果がある作業支援装置の開発が望まれる。また、今後は自動化の方向性も考えられる。

下記に、今後作成されるべき内容を示す。

①無人化施工の施工マニュアルの作成

・災害復旧工事に映像装置を採用する判断基準

・災害復旧工事に使用されている映像装置および関連機器

・災害復旧工事での映像装置設置方法

②作業範囲全体が認識出来る映像システムの開発

③施工状況（機械の位置、作業姿勢）の認識できる低コストの作業支援システムの開発

④災害復旧工事の出来形管理に利用できる施工管理システムの開発

⑤耐震性の高いカメラの開発

5．12　メンテナンス

(1) メンテナンス体制

1) A工事

無人化施工の開始は災害発生の翌日であったが、メンテナンス要員としては、建設機械メーカーのサービスマンは災害発生後の4日目の3時に2人到着し、10日目に無線担当が1人くる予定であった。この、メンテナンスは、建設機械メーカーの遠隔操作型機械が搬入され使用されている状況がテレビ等によって報道されたことで、建設機械メーカー本社が故障等に対して迅速に対応できるよう自主的に常駐させたものである。

また、クローラジャンボについては、搬入後に即座に使用する予定ではなかったため、現地調査時には搬入後の調整中であり、使用状況やメンテナンス関連については不明である。また、その他の建設機械メーカーのサービスマンの常駐状況やメンテナンス内容についても不明である。

2) B工事

緊急的な災害対策であったが、現在までの無人化施工工事の経緯から、電話のやりとりでメンテナンス体制をとった。なお、整備関連の担当者の常駐はなく、建設機械メーカーに出張修理を依頼したのは、搬入時にバックホウの故障修理で依頼しただけであった。これは、稼動期間が3日間と極端に短かったために、作業時に故障が発生しなかったためであると考えられる。

3) C工事

使用した遠隔操作機械は、全て同一の建設機械メーカーの機械であったために、搬入時の整備以外に施工中にも多少の故障が発生しているが、その全ての修理は、一社の建設機械メーカーのみで実施されている。このことから、現場にて使用している機械のメーカーを統一するか、取付け機器を標準化すれば、メンテナンスは容易になると考えられる。

4) D工事

メンテナンス体制として、機械的な故障の場合には現場に1人常駐している修理工（修理台車共）によって対応し、ラジコン操作不良等の電気通信系統の故障に関しては、建設機械メーカー及び外部の専門業者に依頼して修理を実施している。なお、外部に修理依頼する場合には3系統あり、ブルドーザ関連、バックホウ・ダンプ関連、映像設備関連で分けて依頼しなければならない。

5）E工事

本工事のメンテナンスは、建設機械と映像機器とに分けて体制を考えられており、建設機械関連では現場には、建設機械関連の修理・調整を専門とする担当者やメーカー等の専門技術者は常駐していないため、故障発生時には、その内容に応じて（オペレーターが対応できない状況の場合）外部の専門業者に連絡して出張修理を依頼している。しかし、映像設備関連は、カメラの台数が多いことと、旋回台の故障がたびたび発生すること、故障が発生すると専門技術者でないと簡単な修理もできないことを理由に、メンテナンス要員として現場に２名が常駐し対応している。現場の意見では、映像設備に関し同一条件の工事では、現状では常駐が必要であるとのことであった。

（2）メンテナンス内容について

調査を実施した災害復旧工事にて、故障修理等のメンテナンスの内容を調査できたのはⅠ・Ⅳの現場だけであったが、下記にその内容を示す。

1）A工事

メンテナンスに関する内容について、現場で聞かれた内容を下記に列記する。

・遠隔機械の消耗率は通常の場合の３倍で毎日のように油圧ホースがきれている。これは、操作している遠隔操作機械の周囲が十分に見えないために、岩等でホースを引っかけるためである。

・汎用機を遠隔化している機械は、メンテナンススペースが小さく部品交換が非常に困難である。

・無線はIDコードにより、通信のエラー管理を行っているが、中のふたを外してコードを合わせすぐに変えられるようになっているため、修理時等には、専用送信機が壊れても代替品を使用できるために有効である。しかし、操作しようとしていない機械を誤って遠隔操作してしまう場合が発生する可能性があるため、非常に危険である。

・現地調査時に発生していたバックホウの故障について、下記に示す。

　・バックホウのフレームが遠隔で下がらないが、操作レバーでは下がる故障が起きた。原因は、電磁バルブのコイルが動かなくなったためであり、電磁バルブの故障は、主に断線であるが、よく発生するということであった。

　・受信機の調子が悪かったため、夜にコントローラと受信機を交換していた。

・ブレーカの調子がおかしく感じられ、帰還して点検すると、ブレーカの板おさえのボルトが２本とれていた故障も発生している。

・以下は、サービスマンへのメンテナンス関連のヒアリング結果である。

　・電気系統の故障調査は、通電状態が分かるようにしてあり、発見は早い。しかし、機械部品と同様に、交換部品は必ず予備品が必要である。

・0.7m3 クラスの燃料は、満タンにしておけば通常は１日間は稼動出来る。

・施工完了後の返却時の遠隔操作機械の整備費は、かなりかかっているとのこと。これは、ぶつかったりして破損したためであったとのこと。

2）D工事

下記に搬入してからの整備内容および整備費用の概算金額を挙げる。

表５－１２－１：返却時の整備内容および整備費

機種	規格	搬入後の整備内容
バックホウ	１．４m³(1.2m³)	消耗部品交換（ツメ・ピン・ブッシュ等）
バックホウ	１．４m³(1.2m³)	なし
バックホウ	４．０m³(3.5m³)	消耗部品交換（ツメ・ピン等） 運転席ガラス交換
ブルドーザ	４３ｔ	油圧ホース交換 燃料系統修理
ブルドーザ	４３ｔ	本体亀裂修理
ｸﾛｰﾗﾀﾞﾝﾌﾟ	１１ｔ	荷台補強

よって、故障原因をさらに調査し、遠隔操作が原因による故障を防ぐ対応を検討することが必要と言える。

（3）今後の改善案

遠隔操作機械の整備に関しては、機械関係の専門知識と電気・無線関連の専門知識が必要となってくるため、通常の建設機械の整備業者等では対応できない。このため、無線や映像関係の専門業者を常駐させている例も見られる。メンテナンス体制を確立させるためには、機器の故障に対して対応が可能な業者を複数選択する必要があるため手間がかかるが、使用している建設機械メーカーを一社にしたり、遠隔操作機器を標準化することで、メンテナンス体制の確立が容易になると考えられる。また、現在の搭乗機械を遠隔操作型に改造している現状から、設計から搭乗機械と遠隔操作機械の切替式の機械となっていけば、今後のメンテナンス状況も大きく変化していくこととなるであろう。

遠隔操作機械の整備内容は、搭乗機械には発生しない故障が多々発生している状況であるため、今後さらに状況調査を実施し、故障を未然に防ぐことが可能なシステムの開発が望まれる。

5．13　安全対策

1）A工事

本工事では、岩体壁面を監視するために、トランシット７台、光波測距儀４台を使用して定点観測を行っているをされているが、映像記録装置も採用されている。

また、定期的に危険区域内の施工状況等を確認するため、危険区域内に立入って現状を調査していたが、入場箇所を１箇所に限定し、入場者および出場者を厳しく管理していた。

2）B工事

崩落した箇所からは、已然大量に伏流水が流れており、作業中は常に土砂崩落の危険性が高い状況であったが、当工事の安全対策については、発注者の担当者が、状況に応じて随時指示していた。また、崩壊斜面の監視員は、施工者側からの提案により選任されている経緯がある。さらには、現場内の入場者管理を実施されていたが、多数の作業員や関係者が現場内に入場していた。

3）C工事

①作業中止基準

工事にあたっての再度の土砂崩落・土石流災害（二次災害）の可能性は、崩壊山腹に多数のクラックが発生している状況であるために高く、監視機器を設置して監視下で作業を行うと共に、少量でも雨が降れば作業はすぐに中止している。

②遠隔操作型機械の待避について

これらの機械の待避状況については、バックホウの作業終了後の待避は、重機本体が高い位置にあるため、特に待避していない。また、ブルドーザの待避は、通常は砂防ダムの上流側の高い位置に仮置きしておく程度であり、大雨の予想等が発令されれば、砂防ダムの下流まで待避させている。

③監視装置について

監視装置としては、伸縮計と監視カメラ２台、雨量計で監視して、異常があればサイレントスピーカーにて現場に警報を発するようにしている。また、カメラ監視装置２台は、上記山腹の崩落部と砂防ダムの下流側を撮影している。

4）D工事

①安全対策について

現場では、作業の安全を確保するため、下記の内容を実施している。

- 雨量計測等は、蒲原沢全体でおこなっているが、その他にワイヤーセンサーと監視員をおいて土砂崩れの警戒を行っている。
- 道路からの一般車両の工事区域への進入は禁止している。
- 安全区域や危険区域は、発注者側で特に限定しているものではないが、施工者側で限定して施工している。

・作業中は、全員がトランシーバーで連絡を取り合っており、作業を中止する場合（及び昼休み）は、建設機械を待避場所に待避させている。

・朝と昼に現場に立ち入る場合には、立ち入り前に監視本部と協議打ち合わせを行う。

・現在施工している導流堤の掘削には丁張が必要であるが、その設置に関しては危険区域に入って設置しているのが現状である。しかし、現状の作業では、無人化施工区域（危険区域）への入所は、基本的には測量を実施するときのみである。（下記参照）

②有人作業と無人作業の区別

施工計画書に、現場内の作業の有人作業と無人作業を明確に示して作業されており、その内容を下記に示す。

○有人作業	○無人作業
・測量丁張作業	・立木伐採作業
・出来形管理作業	・河道掘削作業
・異形ブロック設置の均しコンクリート作業	・導流堤盛土作業
	・異形ブロック設置作業

③監視計器の設置状況

再度の災害による人的被害を防止するために、下記の監視装置を設置している。

①雨量系	：１基	⑥伸縮計	：５基
②流量計	：１基	⑦ワイヤーセンサー	：２基
③積雪深計	：１基	⑧監視員	：１人
④気温計	：１基	⑨サイレン・回転灯	：１式
⑤電気伝導度計	：１基	⑩監視カメラ	：３基

5）Ｅ工事

本工事では、遠隔操作による無人化施工を行なっているが、土石流等の可能性があることから、安全対策施工計画書を作成し、工期内の安全確保に努めている。その主な内容は、下記の通りである。

①緊急時の連絡体制の確立

②情報の収集方法や注意すべき内容について

③作業中止の基準や警報・警告の方法について

④避難方法や避難経路について

⑤避難後の対応について

⑥作業開始および再開の手順について

また、本現場では非常時には、即座に状況を把握し、警報や警告等の対応が可能なように、警戒・避難対策およびシステムを構築されている。

災害復旧工事の場合には、応援の職員や作業員の多数の関係者がいることから、安全担当者や監視員を明確にし、指揮系統を確立させ、危険区域への立入り管理や緊急時の対応手順や避難経路を明確にしておく必要性がに加えて、無人化施工を採用する場合には、遠隔操作型機械を使用することによる安全性に加えて、現場全体の安全性を確保できるような体制や規則を作成することが重要である。また、同一現場で、遠隔操作型機械と搭乗機械の両方を使用する場合には、作業内容を明確にする必要性があり、遠隔操作型機械と搭乗操作機械の比較表を下記に示す。

表５－１３－１：遠隔操作機械と搭乗操作機械の長所・短所比較表

機種	長所	短所
有人機	・手配が容易 ・作業効率が高い ・通常のオペレーターにて運転可能 ・安価である	・危険な箇所での作業は不可能 (安全性の確保が困難)
無人機	・最も危険な災害の初期活動に対応できる ・運転手の安全が確保できる	・高価 ・機種に制限がある ・台数に制限がある ・オペレーターの経験によって作業効率が大きく変化する ・搬入に時間を要する場合が多い

よって、今後の改善案としては、下記事項を網羅した施工安全マニュアルの作成が要求される。

(1)緊急時の連絡体制の確立

(2)各種情報の収集方法や注意すべき内容について

・天候情報、計測器など

(3)危険地帯と安全地帯の判定および作業内容について

・危険地帯に立入る場合の措置や体制

・危険地帯内の作業、安全地帯内の作業

(4)搭乗機械と遠隔操作型機械の作業手順について

(5)作業中止の基準や警報・警告の方法について

(6)避難方法や避難経路について

(7)避難後の対応について

(8)作業開始および再開の手順について

6．遠隔建設機械による復旧作業の今後の方策(案)について

前記５－１から５－１３の改善内容を下記に取りまとめて、災害復旧工事に無人化施工を採用する場合において、より迅速・効率的に施工できるように今後の方策とする。

（1）マニュアルの作成

１：無人化施工の採用手順マニュアルの作成

＜現状の手順案＞

①現地状況の調査

②現地調査結果による二次災害等からの安全性の評価

③現地調査結果による復旧方法の検討

④無人化施工を採用する条件での復旧方法の施工性の評価

⑤および無人化施工の作業への適合性による復旧方法の見直し

⑥施工可能業者による現地調査

⑦工事契約

２：無人化施工施工マニュアルの作成

(1)無人化施工による復旧計画立案のための準備工

＜代表的事例＞

①崩壊地の現地調査

②安全対策基準の作成

③ヘリ搭載地形測量・システム測量

④計画施設の詳細設計

⑤用地の追加買収

⑥無人化施工の準備　… 機械手配・工程照査・施工範囲の確定

⑦関係機関との調整

(2)無人化施工の為の準備工（代表的事例）

＜代表的事例＞

①測量

②遠隔操作室及び遠隔操作台の設置

③施工設備の設置

④無線の使用計画及び無線用固定機器の設置

⑤重機搬入路造成工

⑥伐採工

⑦大型機種を使用する場合には設置位置や搬入路の地盤改善

⑧機械の搬入組立て

⑨施工箇所の排水路の切替え

(3)施工マニュアルの作成

・無人化施工に適した作業及び適さない作業の区別
　　および無人化施工が条件の場合の復旧工事計画手順

・工種毎の無人化施工の標準施工手順

(4)遠隔操作型建設機械の選定マニュアル

・使用する遠隔操作型建設機械の仕様は、現場の施工条件である施工現場の範囲や地質などから決定される。

(5)災害復旧工事における無線使用マニュアルの作成

・災害復旧工事に使用されうる無線局の種類と特徴およびその使用機器

・混信を防止する無線の割り当て計画

・点検方法

(6)無人化施工の施工管理マニュアルの作成

・現状における施工管理の手法および手順

・品質管理、出来高管理、出来形管理基準および手順

(7)遠隔操作機械の実際に運搬が可能な解体を実施するための調査
およびマニュアルの作成

緊急的に大型機械を調達する場合には、通常の保管状態は分解して保管している状態にあることを留意して、遠隔操作にて稼働中の機械、もしくは搭乗にて稼働中の機械の遠隔機器を点検して、調達するように考慮しなければならない。

しかし、機械が大型化すればするほど、準備工の内容が増加して問題が発生する可能性が高い。

(8)遠隔操作機械を使用する場合の必要機器および資材・オペレーターの
データーベース化および選定マニュアルの作成

(9)作業支援装置の選定マニュアルの作成

・作業支援装置の種類と使用方法

・災害復旧工事に映像装置を採用する判断基準

・映像装置の選定

・災害復旧工事での映像装置設置方法

・その他の作業支援装置の種類と特徴

・価格、メンテナンス、調達方法

(10)メンテナンス体制の確立手順マニュアルの作成

(11)遠隔操作に関連した使用機器に必要な申請一覧の作成

(12) 安全管理体制の確立（現場全体の安全性を確保できるような体制や規則の作成）

・安全担当者や監視員の選任

・指揮系統の確立

・危険区域への立入り管理

・緊急時の対応手順

・避難経路の確立・周知徹底

(13)無人化施工での施工効率改善マニュアルの作成

・無人化施工の標準的施工効率

・機械配置や施工方法、支援装置の使用方法の改善等

（2）環境や体制の確立

1：遠隔操作型建設機械を容易に調達出来る環境の確立

(1) 搭乗機から遠隔操作型への改造の標準化による機械改造調達の迅速化

(2) 遠隔操作型機械および関連機器の保有状況調査方法の確立

(3) 遠隔操作機械の調達手順マニュアルの作成

2：遠隔操作型機械の保管・稼働中の点検体制の確立

現状では、遠隔操作による無人化施工の事例が少ないため、新品を除いて調達される機械は、保管中か搭乗運転にて使用されている現状であるが、コストの問題を解消して、遠隔操作での常時使用が可能であるための点検・整備を定期的に実施されるべきである。

3：二次災害発生の可能性検討体制の確立

無人化施工の採用は、安全を確保できない場合が条件と考えられるが、この安全性の評価が困難であると考えられる。実際の災害復旧工事では、管轄の所長や砂防課の意見に加えて、学識者の意見も聞いて判断しているため、今後は無人化施工の採用の判断を行なうための、学識者や経験者による地域ごとの組織を設置する案が考えられる。

（3）研究開発

1：現状の災害復旧工事の施工方法調査、
および現状施工方法から無人化施工に適合した施工方法の研究

2：施工管理や品質管理、工程管理のための自動測量の研究開発

3：施工効率向上のための作業支援装置の研究開発

4：あらゆる条件においても作業範囲全体が認識できる映像システムの開発

5：施工状況（機械の位置、作業姿勢）の認識できる作業支援システムの研究開発

高所作業車やアドバルーン、ヘリコプター等に設置された作業全体を見渡せるカメラが使用できれば、遠隔操作の作業効率も多少は向上されるかと考えられる。

6：自動追尾装置の改良および開発

現在３社が自動追尾装置を開発し実用化している様であるが、振動対策や上下の追尾機構に問題がある。

7：使いやすい操作装置の研究開発

(1)遠隔操作に慣れたオペレーターが、
操作装置が変わったことで、また慣れに要する期間が必要であるかの実験

(2)操作装置の違いによる施工効率の実験

(3)安全性の向上および施工効率向上の為の、基本的操作方法の標準化

(4)操作しやすい遠隔操作装置の研究開発

8：安全装置に関する研究開発

(1)安全装置の採用状況調査

(2)遠隔操作に求められる安全装置の選定および標準装備の義務付け

・非常停止

・無線の誤信防止機構

・作業員保護装置（デッドマン機構・ニュートラルチェック等）

(3)建設機械情報の通信・表示方法の研究開発

(4)非常停止の停止状況の再検討

(5)安全装置のオペレーター教育体制の確立

9：オペレーターに関する研究開発

(1)オペレーターの技量毎の、実際に遠隔操作に慣れた状態での施工効率（施工量）の調査

(2)技量検定および登録システムの確立

(3)教育体制の確立

同一機械を同一オペレーターによって操作する以外は、操作機器や設置機器、安全装置に違いがあるため教育は必要である。

(4)効率的に作業できるオペレーターを育成するためのシュミレーションシステム等の開発

(5)操作方式の標準化

１０：遠隔操作型機械の故障・破損防止装置の開発研究

１１：軟弱地盤用建設機械の開発

１２：耐震性の高いカメラの開発

（4）その他

１：遠隔操作機械の無線点検要領の作成

(1)遠隔操作にて使用している状態での点検要領

(2)遠隔での操作を実施していない（搭乗操作）状態での点検要領

２：通常工事での遠隔操作による工事施工

（実状は、設計積算に無人化施工を考慮しないと不可能である。）

３：メーカーのサービスマンの整備知識向上

機械関係の専門知識と電気・無線関連の専門知識が必要となる。

４：適切なコスト見積り及び契約方法の確立

現状の施工者は、無人化施工の工事施工では採算がとれないとの話がある。これは、遠隔操作型建設機械の損料や緊急的な機械整備費用、運搬費用が主な原因であると考えられるが、現状では、施工者は遠隔操作関連の機械や設備に投資できない状況となっている。

災害対策に必要な体制を確保しうる合理的な調達方策が必要である。

７．終わりに

遠隔操作機能を付加した汎用建設機械を災害復旧に活用した最近の事例について調査を行い、遠隔操作型の建設機械を用いた復旧作業の現状、機器の調達の迅速化や作業の効率化を図るための課題について整理した。また、これらの課題を解決するための今後の方策についてとりまとめを実施した。本資料が今後の遠隔操作型建設機械を用いた災害復旧に役立つことを期待したい。

なお、災害現場所管の部署及び担当者をはじめ、現地調査やアンケート調査を実施するにあたってご協力いただいた関係各位に厚く御礼申し上げます。

―――――参考文献―――――――――――――

１）土砂災害の実際（１９９２～１９９６）、土砂災害年報編集委員会、(財)砂防・地すべり技術ｾﾝﾀｰ

２）松井宗広：建設機械の無人化施工技術、建設機械、‘９７．３、ｐ．３５～４０

３）藤本京平：入門電波応用、共立出版株式会社

参考資料

災害復旧事業の無人化施工作業手順書（案）

災害復旧事業の無人化施工作業手順書（案）

目　　次

第1章　総　則 …… 1
1－1．目的 …… 1
1－2．適用の範囲 …… 1
第2章　災害復旧計画 …… 2
2－1．災害復旧計画 …… 2
2－1－1．被災状況の確認 …… 2
（1）災害状況の確認 …… 2
（2）周辺状況の確認 …… 2
2－1－2．災害復旧計画の立案 …… 3
（1）無人化施工による災害対策工事の選定 …… 3
（2）工事内容の決定 …… 3
（3）主要工事数量 …… 4
（4）無人化施工と有人施工の施工区別 …… 4
（5）資機材の運搬道路の確認 …… 4
2－1－3．工事施工者の選定 …… 5
2－1－4．現場組織編成 …… 5
2－1－5．工事工程の立案 …… 6
第3章　施工手順及び方法 …… 7
3－1．施工手順及び方法 …… 7
3－1－1．崩壊土砂の撤去作業 …… 7
（1）施工手順 …… 7
（2）施工方法 …… 8
3－1－2．崩壊岩盤の破砕・撤去作業 …… 9
（1）施工手順 …… 9
（2）施工方法 …… 10
3－1－3．河川水路の構築 …… 11
（1）施工手順 …… 11
（2）施工方法 …… 12
3－1－4．導流堤の築堤 …… 13
（1）施工手順 …… 13

（2）施工方法 …… 14
3－1－5．砂防ダムの築堤 …… 16
（1）施工手順 …… 16
（2）施工方法 …… 17
3－2．施工管理方法 …… 18
（1）出来高管理方法 …… 18
（2）出来形管理方法（検測方法） …… 18

第4章　使用機械計画 …… 19
4－1．使用機械の調達・選定 …… 19
4－2．使用機械の搬入計画 …… 20
4－3．電気設備計画（照明・使用機器への給電） …… 20
4－4．使用機械メンテナンス体制 …… 21
（1）搬入前の整備について …… 21
（2）搬入後の保守管理について …… 21
4－5．使用機械メンテナンス項目 …… 21
4－6．使用機械の搬出手順および方法 …… 21
第5章　オペレーター配置計画 …… 22
5－1．オペレーター配置計画 …… 22
第6章　作業支援装置計画 …… 24
6－1．映像装置計画 …… 24
第7章　電波使用計画 …… 25
7－1．電波使用計画 …… 25
第8章　安全管理計画 …… 27
8－1．立入禁止区域の設定 …… 27
8－2．立入禁止区域への立入手順 …… 27
8－3．現場作業員（関係者）の安全確認手順 …… 27

災害復旧事業の無人化施工作業手順書（案）

第1章　総　則

1－1．目的

本マニュアルは、災害復旧工事において遠隔操作型建設機械によって無人化施工を実施する場合に、円滑な作業計画の立案に資することを目的とする。

1－2．適用の範囲

災害復旧時の遠隔操作型建設機械を用いた無人化施工に適用する。

第2章　災害復旧計画

2－1．災害復旧計画

2－1－1．被災状況の確認

（1）災害状況の確認

災害復旧工事計画の立案の目的および二次災害防止のために、被災箇所および災害状況を確認する。

下記表に災害状況の代表例を示す。

表－1：主要災害事例

災害項目	災害状況
山腹崩落	崩壊土砂によって河川水路が埋没し湛水状況となっている。
	民家・公共施設が崩壊し行方不明者の安否が不明となっている。
岩盤崩落	同上
土石流	同上
	民家や公共施設を崩壊しており、さらに二次災害によって被害が拡大する恐れがある。

（2）周辺状況の確認

工事施工の条件となる地形や被害状況、工事障害物の距離・高さ関係についての調査を実施し、平面図を作成する。

2－1－2．災害復旧計画の立案

（1）無人化施工による災害対策工事の選定

復旧計画で検討する対策工事は、無人化施工の適用性を十分検討した上で決定するものとする。

表－1に示した災害状況に対し、表－2にその代表的な対策工事と、その対策工事への無人化施工の適応性を示す。

表－2：災害復旧工事と無人化施工への適応性

災害状況	対策工事（災害対策工事）		無人化施工の適用性
崩壊土砂によって河川水路が埋没し湛水状況となっている。	土工	土砂掘削	○
民家・公共施設が崩壊し行方不明者の安否が不明となっている。		土砂集積・押土	○
		岩石・玉石破砕	○
民家や公共施設を崩壊しており、さらに二次災害によって被害が拡大する恐れがある。		土砂積込	○
		土砂運搬	○
	砂防ダム堤体工	型枠工	○
		ｺﾝｸﾘｰﾄ打設工	△
	導流堤築堤工	基礎(均し)ｺﾝｸﾘｰﾄ打設工	×
		異形ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ設置工	○
		土砂掘削・盛土	○

（2）工事内容の決定

構築する建設物や工事の施工完了形状を決定するとともに、それに基づき必要な工事の内容を明確にする。

（3）主要工事数量

工種毎の施工数量および施工区分（無人作業または有人作業）を明確にする。

表－３に検討する施工数量および工事数量の事例を示す。

表－３：施工区分および施工工事数量

工種		施工区別	単位	数量	備考
土工	土砂掘削	無人化施工	m^3	２０００	
	土砂集積・押土	無人化施工	m^3	３０００	
	土砂積込	有人施工	m^3	３０００	
	土砂運搬	有人施工	m^3	３０００	
堤体工	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ型枠工	無人化施工	個	２００	
	ｺﾝｸﾘｰﾄ打設工	無人化施工	m^3	１００	
導流堤工	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ型枠工	有人施工	個	１５０	
	土砂掘削･盛土	有人施工	m^3	５０	

（4）無人化施工と有人施工の施工区別

無人化施工と有人施工の施工区別は、「第８章 安全管理計画」にて規定した立入り禁止区域の影響にて判定するものとする。

（5）資機材の運搬道路の確認

被災箇所までの搬入可能な道路の状況を、運搬可能条件（重量・幅・高さ）を含めて確認する。

被災箇所への搬入道路がない場合には、搬入道路の造成計画の立案が必要となる。

2－1－3．工事施工者の選定

遠隔操作型建設機械による無人化施工工事は、施工可能な建設業者が少ない事を留意し、施工業者を選定する。

2－1－4．現場組織編成

通常の工事と同様に現場組織の編成を計画することとするが、無人化施工の組織編成および担当者の選任にあたっては、経験の有無等について十分留意する必要がある。

下表に、代表的な災害対策工事の無人化施工に必要な職種を下記に示す。

＜参考事例（全て無人化施工とする）＞

Ⅰ．崩壊土砂の撤去作業

施工管理者（無人化施工経験者）、安全監視員

Ⅱ．崩壊岩盤の破砕・撤去作業

施工管理者（無人化施工経験者）、安全監視員

Ⅲ．河川水路の構築

施工管理者（無人化施工経験者）、安全監視員

Ⅳ．導流堤の築堤

施工管理者（無人化施工経験者）、安全監視員

Ⅴ．砂防ダムの築堤

施工管理者（無人化施工経験者）、ＧＰＳ測量担当者、電波管理員、安全監視員、映像設備保守管理員

2－1－5．工事工程の立案

遠隔操作型建設機械による災害対策工事の工事工程を立案するにあたっては、無人化施工時の施工能力及び施工効率について、十分留意することが必要である。

表－4に、参考資料として施工能力実績を示す。

表－4：施工能力実績

工種	使用機械	施工効率	施工条件
土砂掘削	バックホウ （1.8m3×1台）	730m3／日	稼動日数＝2．5日
押土工	ブルドーザ （16t級×1台）	700m3／日	稼動日数＝3日
土砂の集積・排土工	ブルドーザ （21t×1台） バックホウ （5.7m3×1台）	平均　800m3／日 平均12,000m3／月	土砂内に転石が多い
異形ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ積立工	ｱﾀｯﾁﾒﾝﾄ付ﾊﾞｯｸﾎｳ （1.2m3×1台） ｸﾛｰﾗﾀﾞﾝﾌﾟ （10t×1台）	平均20個	異形ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ ＝2t

第3章 施工手順及び方法

前記第２章にて計画した災害復旧工事の中で、代表的な災害対策工事の施工手順および施工方法について検討を進める。なお、下記に検討する代表的な災害対策工事を示す。

３－１－１．崩壊土砂の撤去
３－１－２．崩壊岩盤の破砕・撤去
３－１－３．河川水路の構築
３－１－４．導流堤の築堤
３－１－５．砂防ダムの築堤

３－１．施工手順及び方法

３－１－１．崩壊土砂の撤去作業

（1）施工手順

現場の施工条件を把握し、下記の施工手順にて施工を進めることを検討する。

① 準備工
② 仮設工
③ 堆積土砂の掘削押土
④ 転石破砕
⑤ 土砂積込
⑥ 土砂運搬（安全地帯への仮置）
⑦ 土砂の積込・搬出（現場外）
完了

は代表的な無人化施工範囲

（2）施工方法

施工手順に示した各工程について、無人化施工の方法及び必要な機器・配置を検討する。

下記に、各施工内容の項目についての代表例を列記する。

①準備工

項目としては下記内容があり、現場条件によって施工の有無および作業量を決定する。なお、下記②も同様であるが、災害発生から復旧作業までは１５～１６時間にて遠隔操作型機械を搬入し、作業を開始しているため、迅速な対応が必要である。

・測量
・危険区域（立入り禁止区域）の設定
・遠隔操作型機械の搬入路の確認
・搬入路の造成・伐採
・遠隔操作台及び通信環境改善のための伐採
・カメラ配置に伴う造成・伐採
・使用資材用仮置場の造成・伐採
・遠隔操作機械の電波使用計画
・緊急用及び連絡用の通信設備計画

②仮設工

項目としては下記内容があり、現場条件によって施工の有無を決定する。

・遠隔操作台の設置
・定置式カメラの設置

③堆積土砂の掘削押土

使用機械は遠隔操作型バックホウとブルドーザが代表的であり、オペレーターは、安全地帯とされる指定された操作位置から遠隔操作して、掘削・押土される。押土される土砂は、積込・運搬作業を有人で実施したいため、安全地帯まで押土することが望まれ、この場合には⑤⑥の手順は省略される。

写真－１：掘削・押土状況

④転石破砕

一般的な崩落災害の場合、崩壊土砂に含まれる転石のサイズは、２m程度のものを含んでいる。このため、ブルドーザの集積・押土作業に支障をきたすため、大型の転石は遠隔操作型ブレーカーにて破砕することが望ましい。

⑤土砂積込

基本的には、安全地帯にて積込・運搬作業を実施することが、効率的には望ましいと考えられるが、安全地帯まで上記の押土作業が困難な場合には、いったん遠隔操作型バックホウにて遠隔操作型クローラダンプに積込む。

⑥土砂運搬

遠隔操作型バックホウにて、遠隔操作型クローラーダンプに積み込まれた土砂は、安全地帯まで遠隔操作にて運搬され、仮置される。

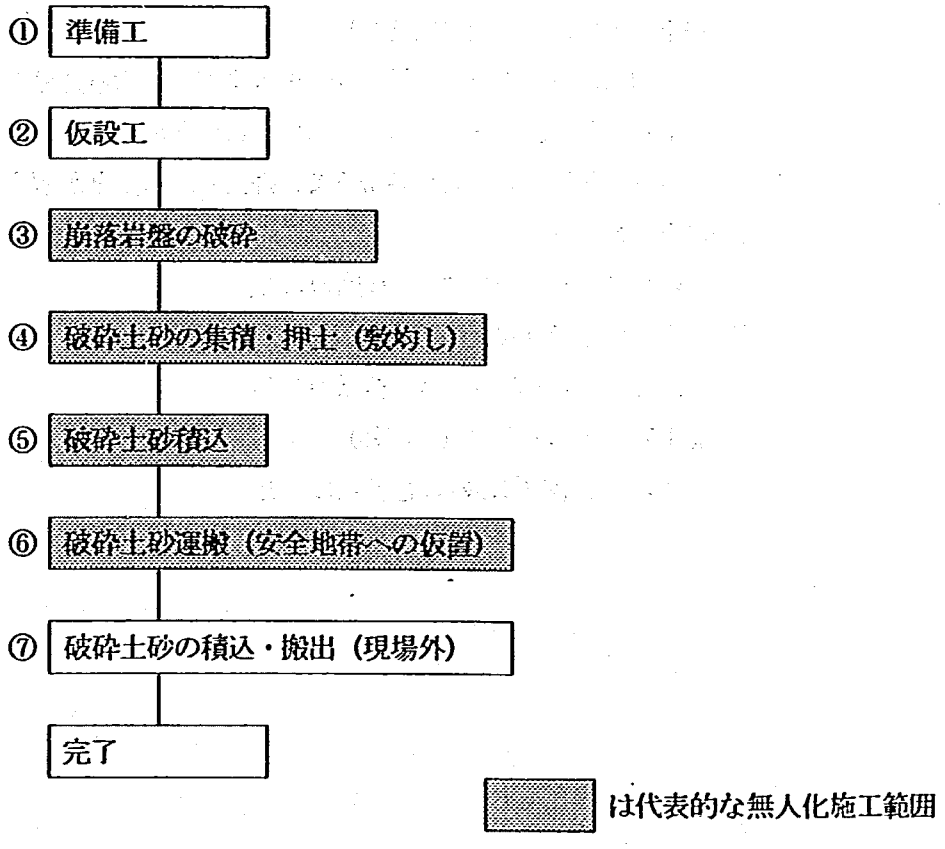
⑦土砂搬出

最終的な現場外への土砂搬出は、安全地帯での有人作業とするように計画することが望ましい。

３－１－２．崩壊岩盤の破砕・撤去作業

（１）施工手順

現場の施工条件を把握し、下記の施工手順にて施工を進めることを検討する。



（2）施工方法

施工手順に示した各工程について、無人化施工の方法及び必要な機器・配置を検討する。

下記に、各施工内容の項目についての代表例を列記する。

①準備工

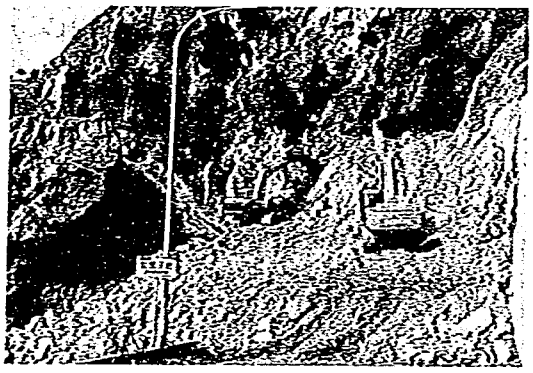
内容はⅠ.(2).①の内容を参照のこと。

②仮設工

内容はⅠ.(2).②の内容を参照のこと。

③崩落岩盤の破砕

現状では、バックホウにアタッチメントとしてブレーカーをつけた遠隔操作型機械にて、破砕することとなると考えられるが、今後はクローラジャンボによる削孔および自動装薬の技術が進歩すれば、発破作業を遠隔操作にて実施することも考えられる。



写真－２：崩落岩盤破砕状況

④破砕土砂の集積・押土（敷均し）

堆積した岩塊上を、機械が作業位置まで入場する走路を常に確保しながら作業することが、基本となる。よって、このための集積・押土を実施していくが、余分な破砕土砂は安全地帯まで、押土されることが望ましい。

⑤破砕土砂の積込

内容はⅠ.(2).⑤の内容を参照のこと。

⑥破砕土砂の運搬（安全地帯への仮置）

内容はⅠ.(2).⑥の内容を参照のこと。

⑦破砕土砂の積込・搬出（現場外）

内容はⅠ.(2).⑦の内容を参照のこと。

3－1－3．河川水路の構築

（1）施工手順

現場の施工条件を把握し、下記の施工手順にて施工を進めることを検討する。

① 準備工
↓
② 仮設工
↓
③ 堆積土砂の掘削・押土
↓
④ 排水管の設置
↓
⑤ 排水管の埋設
↓
⑥ 土砂積込
↓
⑦ 土砂運搬（安全地帯への仮置）
↓
⑧ 土砂の積込・搬出（現場外）
↓
完了

は代表的な無人化施工範囲

（2）施工方法

施工手順に示した各工程について、無人化施工の方法及び必要な機器・配置を検討する。

下記に、各施工内容の項目についての代表例を列記する。

①準備工

内容はⅠ.(2).①の内容を参照のこと。

②仮設工

内容はⅠ.(2).②の内容を参照のこと。

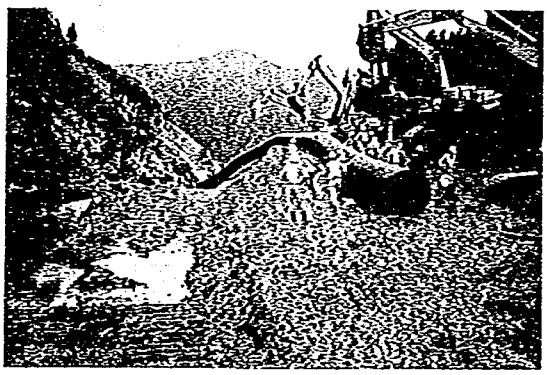
③堆積土砂の掘削押土

内容はⅠ.(2).③の内容を参照のこと。

④排水管の設置

河川水路を二次崩落でも確保するため、排水管を設置するが、使用機械はバックホウもしくはクレーンが考えられる。

しかし、無人化施工でのクレーンの使用は、クレーン単体での遠隔操作技術は発表されているが玉掛け作業をなくすクランプとの併用は実績がないため、現状では採用できない。また、機械の調達および搬入路を別途検討する必要性があるため、遠隔操作型バックホウを利用して施工する。



写真－３：排水管埋設段取状況

⑤排水管の埋設

河川水路を二次崩落の衝撃から保護するため、遠隔操作バックホウにて施工する。

⑥土砂積込

内容はⅠ.(2).⑤の内容を参照のこと。

⑦土砂運搬（安全地帯への仮置）

内容はⅠ.(2).⑥の内容を参照のこと。

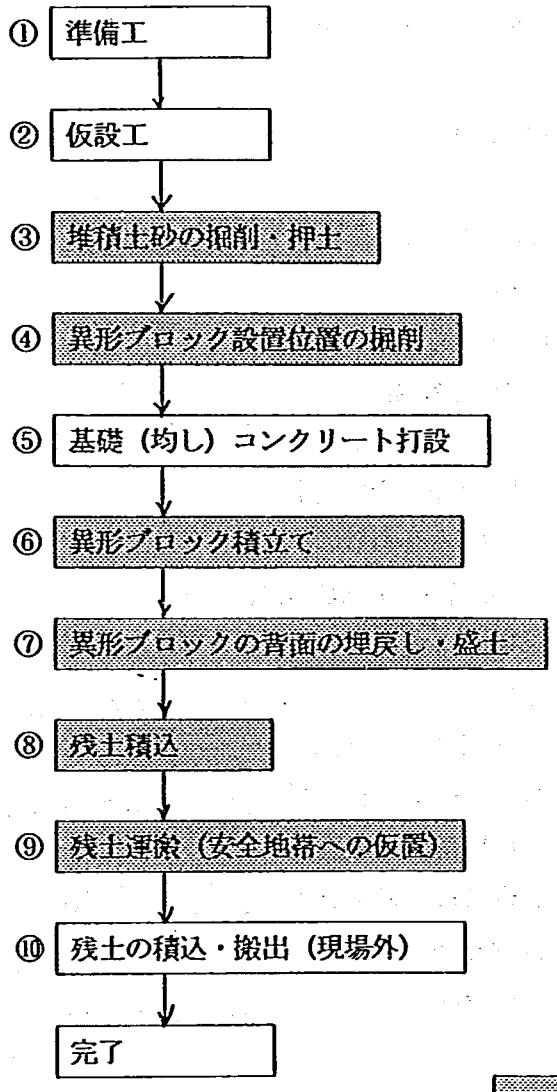
⑧土砂の積込・搬出（現場外）

内容はⅠ.(2).⑦の内容を参照のこと。

3－1－4．導流堤の築堤

（1）施工手順

現場の施工条件を把握し、下記の施工手順にて施工を進めることを検討する。



は代表的な無人化施工範囲

（2）施工方法

施工手順に示した各工程について、無人化施工の方法及び必要な機器・配置を検討する。

下記に、各施工内容の項目についての代表例を列記する。

①準備工

内容はⅠ.(2).①の内容を参照のこと。

②仮設工

内容はⅠ.(2).②の内容を参照のこと。

③堆積土砂の掘削・押土

内容はⅠ.(2).③の内容を参照のこと。

④異形ブロック設置位置の掘削

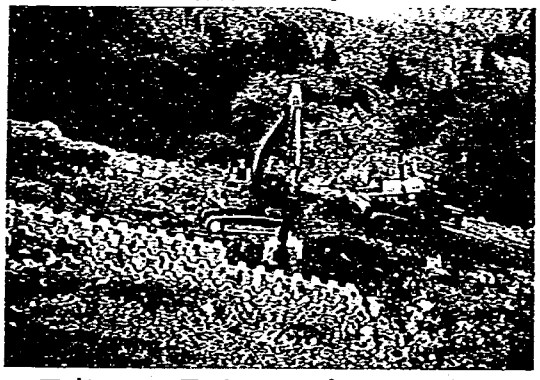
異形コンクリートブロックの設置高さを計画高さにあわせるため、遠隔操作型バックホウにて掘削を実施する。

⑤基礎（均し）コンクリート打設

異形ブロックの基礎兼不陸整形に、コンクリートを打設する。なお、この作業は、現場の条件次第では、監視員をつけた有人作業となる。

⑤異形ブロック積立て

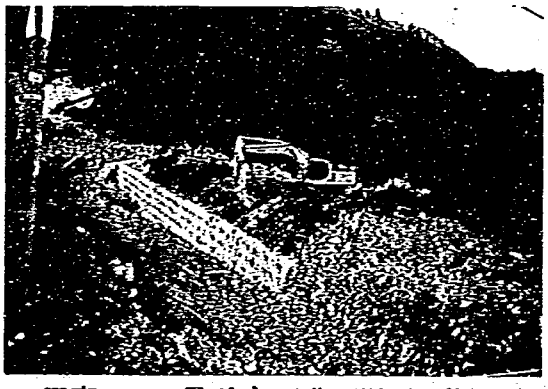
異形コンクリートブロックは、遠隔操作型クローラーダンプによって安全地帯から危険地帯へと運び込まれ、アタッチメント付きのバックホウにて、積立てを実施される。



写真－４：異形ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ設置状況

⑥異形ブロックの背面の埋戻し

土砂が、遠隔操作式バックホウの作業半径内に存在しない場合には、遠隔操作型クローラダンプにて埋め戻し用の土砂を運搬することが求められる。



写真－５：異形ﾌﾞﾛｯｸ背面埋戻し状況

⑦残土積込

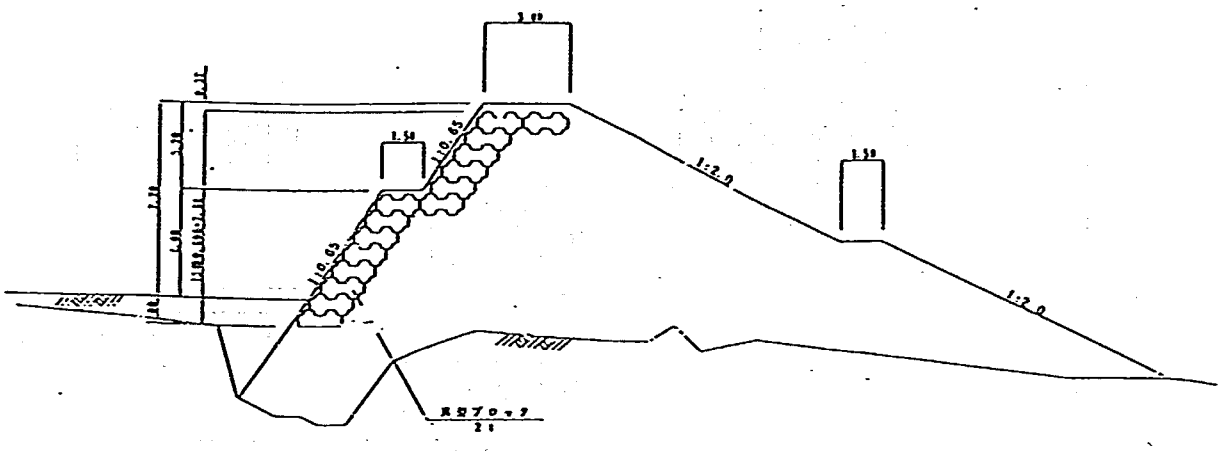
内容はⅠ.(2).⑤の内容を参照のこと。

⑧残土運搬（安全地帯への仮置）

内容はⅠ.(2).⑥の内容を参照のこと。

⑨残土積込・搬出（現場外）

内容はⅠ.(2).⑦の内容を参照のこと。

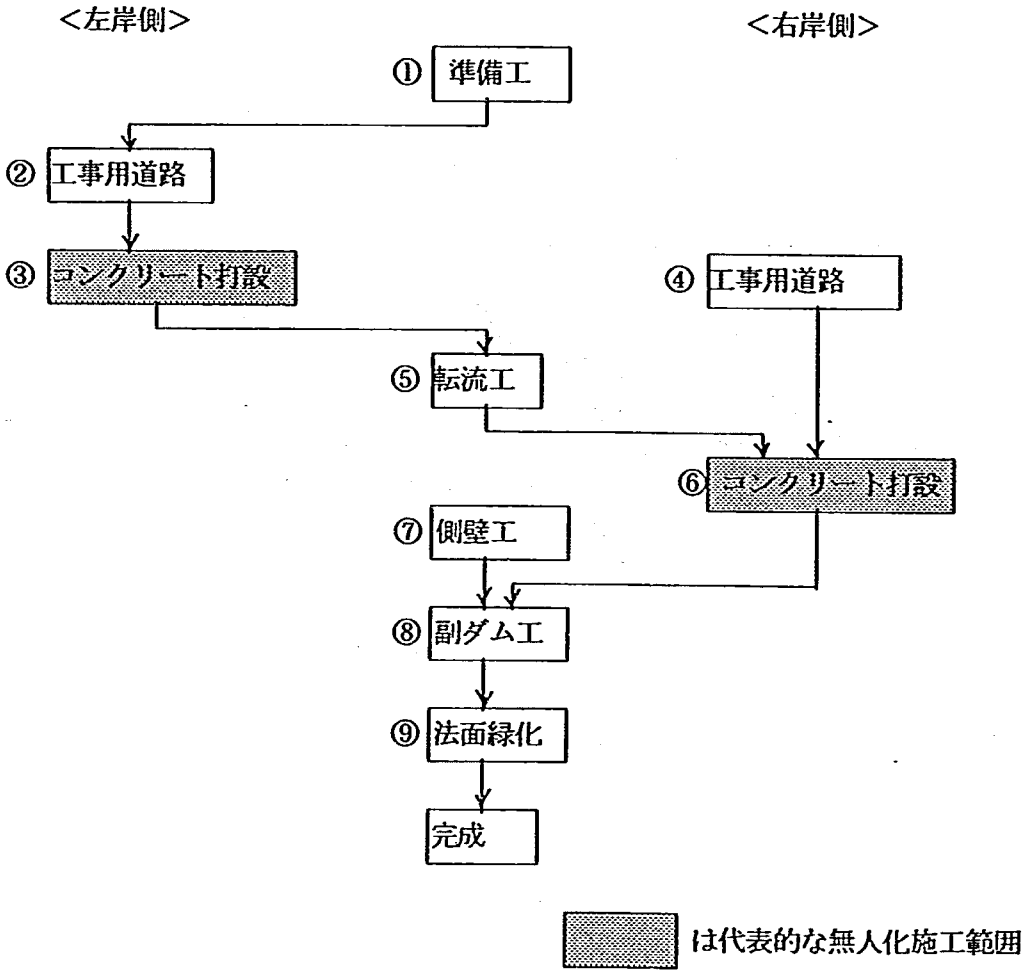


図－１：導流堤事例断面図

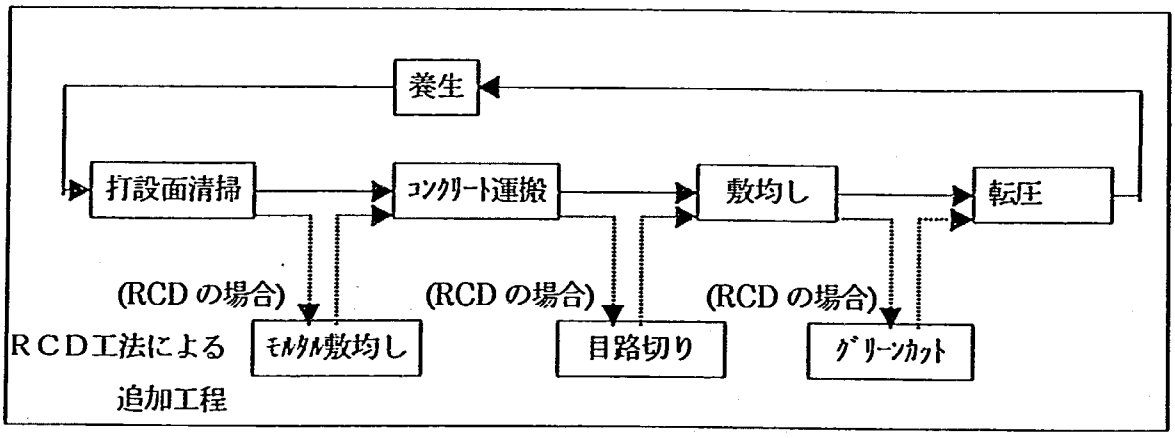
3－1－5．砂防ダムの築堤

（1）施工手順

現場の施工条件を把握し、下記に示した越流部建設工事の施工手順にて施工を進めることを検討する。



下記に、RCC 工法の工程を示す。



（2）施工方法

施工手順に示した各工程について、無人化施工の方法及び必要な機器・配置を検討する。

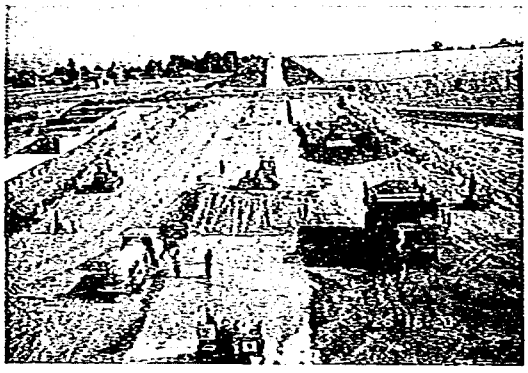
下記に、各施工内容の項目についての代表例を列記する。

①準備工として、測量、遠隔操作室、積替え設備等の設置を行なう。

②左岸側へ工事用道路を設置する。

③左岸側の有人および無人部のＲＣＣコンクリートを打設する。

コンクリート打設にはRCC工法（超硬練コンクリートをローラー転圧する工法）による施工と流動化コンクリートによる施工があり、施工条件等から選択して採用する。



写真－６：RCCｺﾝｸﾘｰﾄ打設状況

コンクリートの型枠としては、土砂による土砂型枠、トンパックの積み立てによる型枠が現在までに施工されているが、コンクリートブロックによる型枠も現在施工中の雲仙水無川２号砂防ダムにて初めて採用されている。この３つの方法の中で型枠施工方法を選択するが、従来のＲＣＣ工法の型枠は土砂を利用した土砂型枠であった。

④右岸側へ工事用道路を設置する。

⑤上流右岸側へ仮設導流堤を設置し、下流右岸側の既設転流部を撤去する。

⑥右岸側の有人および無人部のＲＣＣコンクリートを打設する。

⑦前庭部側壁を在来工法にて構築する。

⑧副ダム右岸側の一部を掘削・基面整正を行い、ＲＣＣ工法にて施工する。

⑨左右岸土砂型枠の下流側の法面を緑化する。

3－2．施工管理方法

（1）出来高管理方法

出来高数量は、危険地帯にできるだけ立入ることを避けるため、搬出される土砂量によって計測されることが望ましい。

（2）出来形管理方法（検測方法）

出来形管理の方法としては、下記方法の内から選択して実施されているが、下記表の通りに長所・短所がある為に、短所を知り得た上での選択が必要となる。

＜出来形管理手段＞

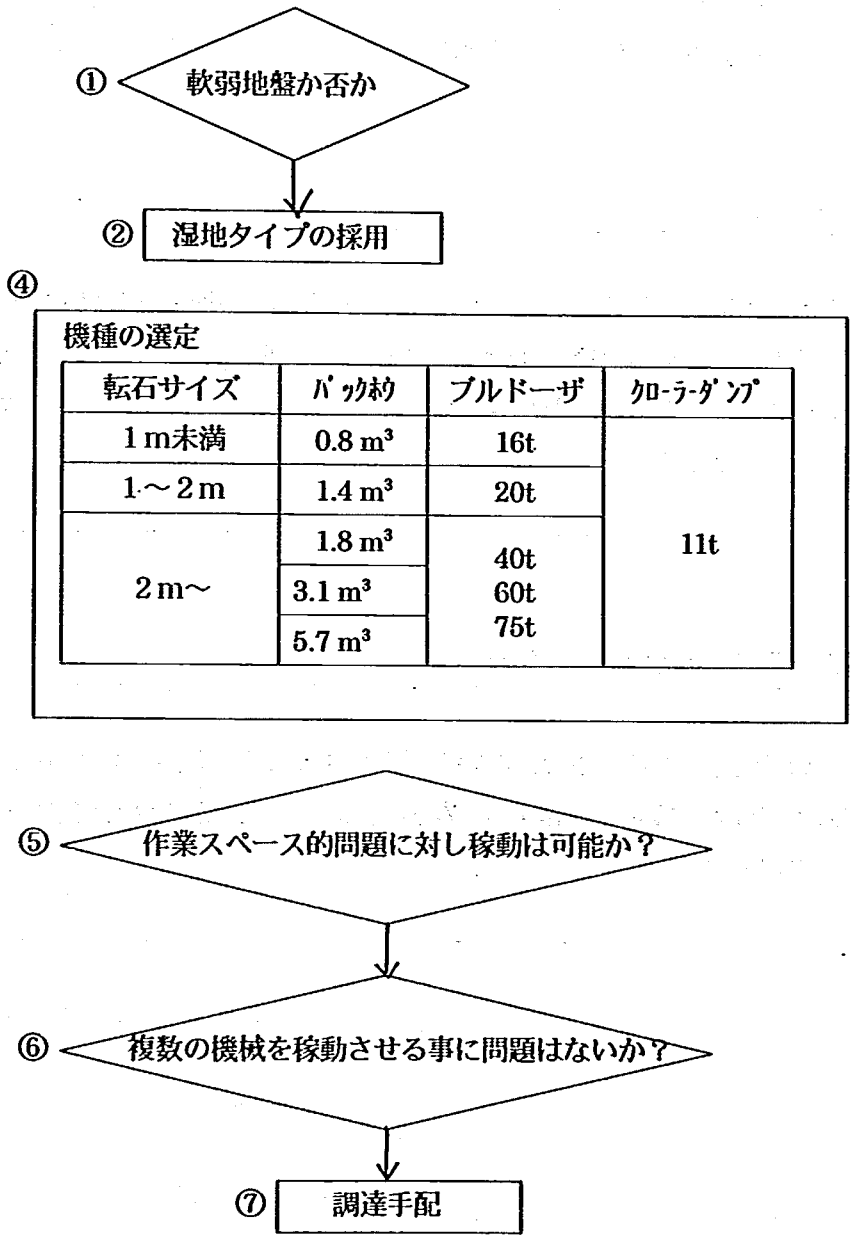
検測手法	内容	長所	短所
ＧＰＳ管理	重機に GPS を搭載しﾘｱﾙﾀｲﾑにて危険区域の形状を計測する	①遠隔操作型機械に搭載できるため、危険区域に立入る必要がなく、安全性を確保できる。	①木の影に機械が入れば衛星からの電波を受信できなくなり測定できない。 ②無線の受信不良からデーターが欠落することになり、誤差が大きくなる可能性がある。 ②RTK の測定誤差は XY 方向で 2～3cm、Z 方向は 4～5cm である。
写真測量	撮影写真からの距離等の算定を実施する。	①危険区域に立入る必要がなく安全性を確保出来る。	①誤差が不明である。 ラジコンヘリ等を利用した撮影は強風では不可能。
ﾉﾝﾌﾟﾘｽﾞﾑ ﾚｰｻﾞｰ計測	ｶﾗｰTV ｶﾒﾗとﾉﾝﾌﾟﾘｽﾞﾑﾚｰｻﾞｰ、ｺﾝﾋﾟｭｰﾀ等を使って検測するｼｽﾃﾑ。	①自動的に連続測量出来る。 ②測距・測角の誤差は±1cm 程度で、従来の測量と変化ない。	①機器の設置が必要。 ②機器の初期設定が必要。
有人測量	危険区域に監視員配置の上で立入って測量する。	①測量の誤差が少ない。	①危険地帯に立入ることで危険性が高い。

第4章 使用機械計画

4－1．使用機械の調達・選定

災害復旧工事の内容から、使用する機械の機種は選定されるため、工事対称の土質条件および現場の施工条件から使用機械の仕様を決定し、その機械または代替え機械の調達を図るたま、下記の手順に沿って機械を選定・調達することが望ましい。

＜機械機種選定例（土工）＞



下記に、各項目についての補足事項を加える。

④転石のサイズによって、使用機械を選定しているが、土砂崩壊や土石流の災害で

下記に、各項目についての補足事項を加える。

④転石のサイズによって、使用機械を選定しているが、土砂崩壊や土石流の災害では、堆積土砂に２m以上の転石が埋没していることが多々あるので留意が必要である。

⑤作業スペースに対して機械の寸法が過大であると、操作に制限が加わるため、作業効率が低下する恐れがある。

⑥複数の遠隔操作機械を、狭い現場にて稼動させれば、機械本体によって死角が生じて、作業効率の低下や機械の破損につながる恐れがあるので、注意を要する。

⑦希望機械が調達できない場合には、代替え機械が現場の稼動条件に適合するかの確認を実施し、代替機械を調達する。

４－２．使用機械の搬入計画

緊急性をもって機械を調達している場合には、遠隔操作型機械を分解・組立せずに運搬することが必要となってくるため、運搬車両の重量制限や高さ、幅の制限を超える場合には、搬入経路の道路管理者との協議が必要となる。さらに、この場合には、綿密な搬入路の計画と監視体制も必要となる。

４－３．電気設備計画（照明・使用機器への給電）

被災地は低圧受電できる環境ではないと考えられるため、必要電気量の算定を実施し発電機の仕様および台数を検討し調達する。なお、搬入路の条件から臨時措置の不必要な運搬手段が可能な選定とする。

4－4．使用機械メンテナンス体制

（1）搬入前の整備について

災害復旧に使用される遠隔操作型建設機械は、緊急的に現場に搬入されるが、搬入前に点検もしくは整備を実施して搬入する。

災害復旧に遠隔操作型建設機械を使用する場合には、搬入後すぐに使用されているが、故障等が発生すると、作業開始が遅れてしまう。また、搬入後に故障が発覚すると、装置の部品や機械の手配に手間取ってしまうため、搬入前に点検だけは必ず実施して搬入する。

（2）搬入後の保守管理について

現在は、現場に常駐でメーカーのメンテナンスが滞在することは、あまり例を見ないが、カメラ装置の自動回転台は、故障が多いためカメラ装置に作業を依存している工事においては、映像設備の保守・管理要員を常駐させることも、検討されるべきである。

4－5．使用機械メンテナンス項目

オペレーターは、建設機械の機械的技術については、点検する範囲内では熟知してると考えられるが、無線や遠隔関連の装置に関しては無知であり、ほとんど点検を実施していないのが現状である。メーカーに遠隔機器の故障を防止できる点検要綱を検討させ、点検を実施させることかできれば、故障を未然にふさぐ事例も出てくると考えられる。

4－6．使用機械の搬出手順および方法

遠隔操作型機械の搬入時には、その緊急性から解体・組立てを省き運搬する計画であったが、搬出時には、機械本体が周囲に対して問題を起こさない場合に於いては、機械本来の解体・組立てを経て搬出されることが望ましい。

第5章 オペレーター配置計画

5－1．オペレーター配置計画

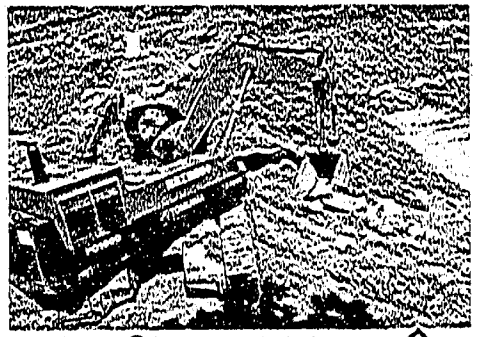
映像装置を採用しない３０m以内の至近距離での遠隔操作では、作業内容と操作機械の位置関係より最適の操作位置を選択する。

災害復旧工事に使用されている遠隔操作機械のオペレーターの操作位置は、映像装置を採用しない直視操作の条件では、作業効率に影響する。よって、現場の作業内容によっては、操作箇所を複数選択することも、作業効率の向上に対しては有効である。

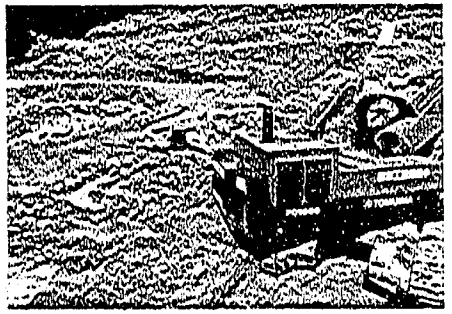
また、選択した操作位置が、対称とする土砂より低い高さにある場合や、前方に障害がある場合に於いては、操作台の設置や、高所作業車の利用、クレーン及びゴンドラの利用も検討することが望ましい。

別紙に、オペレーター配置の参考図を示す。

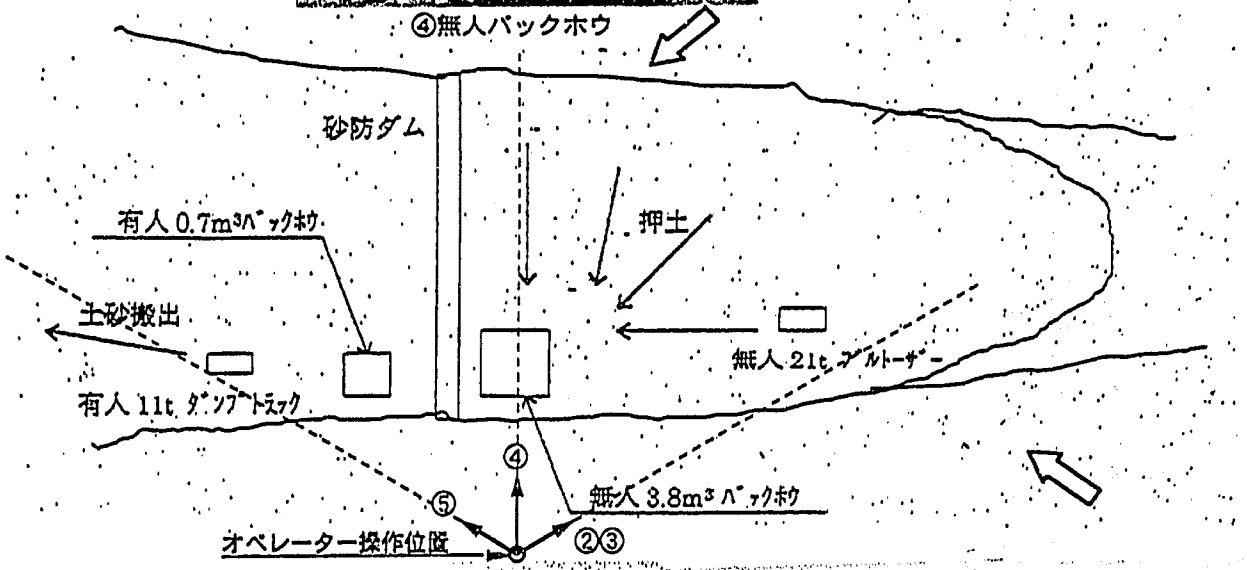
項目	施工範囲(m)		備考
扇状地における土石流災害	幅	長さ	山間部から扇状地に土石流が発生
	80	140	

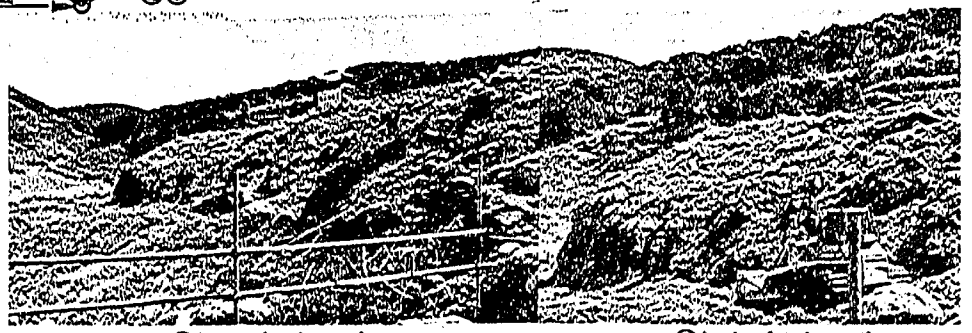


④無人バックホウ



⑤砂防ダム下方を望む





②無人ブルトーザー　③無人ブルトーザー

図－2：オペレーター配置事例

第6章 作業支援装置計画

6－1．映像装置計画

３０m以上の建設機械の遠隔操作では、映像装置を採用することが望ましい。

災害復旧工事に使用されるカメラには、定置式カメラと移動式カメラ車があるが、設置する位置は建設機械の本体に対して直角とし、建設機械の平面的なＸＹ方向の位置が認識でき、かつ建設機械の作業機の動きを監視できる位置に配置する。

第7章 電波使用計画

7－1．電波使用計画

災害復旧工事の遠隔操作型建設機械に使用される電波は、複数の機械を遠隔操作する場合には、特に混信を防止するように事前に計画しなければならない。

遠隔操作型建設機械の無人化施工システムは、建設機械制御、操作環境のための車両情報（位置情報を含む）や映像情報、施工管理にための車両・位置情報等これら３つの要素から構成されている。

現在の災害復旧工事に使用されている電波は、建設機械制御と映像情報の伝送の２つであるが、複数の建設機械が稼動する現場となれば、混信して施工できなくなる可能性がある。

よって、事前計画が必要である。

表－5：遠隔操作に使用される主要な無線

無線種別	50GHz帯簡易無線	小電力データ通信	特定小電力無線	微弱無線
周波数帯	・50.40GHz ～ 51.10GHz	・2.483.800MHz	・400MHz帯(429.2625MHz～429.7375MHz)	・特に決まった周波数帯はなく自由。
使用可能回線数	・10波（使用回線相互の通信角度を変えればこれ以上も同一箇所で使用可能）	・1波のみ。（同一箇所で同時には1波しか使用できない。）	・40波。（同一箇所からの送信は6波程度が限度だが送信機を離せばそれ以上可）	・回線数の規定はない。
法規制	・無線従事者（無線資格）不要。 ・無線局免許必要。ただし約1ヶ月で取得可 ・予備免許、落成検査が省略。 ・免許取得の際、技術基準適合証明が必要。ただし、これは無線機メーカが取得。	・無線従事者不要。 ・技術基準適合証明を取得した無線機であれば、無線局免許不要。 ・送信電力1mW／MHz ・使用場所、使用者の制限なし。	・無線従事者不要。 ・技術基準適合証明を取得した無線機であれば(空中線電力10mW以下)、無線局免許不要。 ・使用場所、使用者の制限なし。	・無線従事者不要。 ・当該無線局の無線設備から3mの距離においてその電界強度が電波法に定める値以下であれば無線局免許不要。 ・使用場所、使用者の制限なし。
最大到達可能距離	・天候、見通し等条件が良ければ、20Km	・条件がよければ、2km	・条件がよければ、400m～500m	・10～20m
施工利用限界距離	・約3km	・約600m	・約150m	・15m
特徴	・指向性がきわめて高く、送受信機の向き合わせが難しい。（ビーム幅1．5度） ・到達距離が大きい。 ・見通しがきくことが通信の条件。 ・周波数帯域が広く（40MHz）映像1チャンネル、音声2チャンネルの双方向全二重通信が可能。	・指向性が高く見通しがきくことが通信の条件となる。 ・到達距離は、特定小電力と比べると大きい ・送信電力は小さいが周波数帯域を広くとり特殊な方法で信号処理をする事により雑音に強い特性がある。	・ほとんど指向性がなく移動体の通信に適している。 ・ノイズの影響を受けやすくエラー処理には十分な配慮が必要。 ・間接地域での使用には、無線機の設置場所を十分検討等の処置が必要。	・電波法の規制範囲外の無線なので、自由に様々な用途（データ、音声、映像等）に使用できる。 ・著しく微弱な無線であるために、ノイズの影響を受けやすく、到達距離も極めて短い。
問題点・発展性	・向き合わせを自動もしくはきわめて用意にする方法の開発が必要。	・今後の制御用無線として、期待するところは大きいが、1波しか使用可能周波数がないため利用方法が限られる。 ・無線機として認定されて間もないため実績が少ない。（H5年4月23日技適取得）	・移動体の制御用無線としては実績もあるが到達距離が短いという制約がある。	・移動体の映像伝送によく用いられているが、著しく微弱な無線なので品質の良い通信は期待できない。 ・使用する場所の電波状況は、事前に十分調査する必要がある。

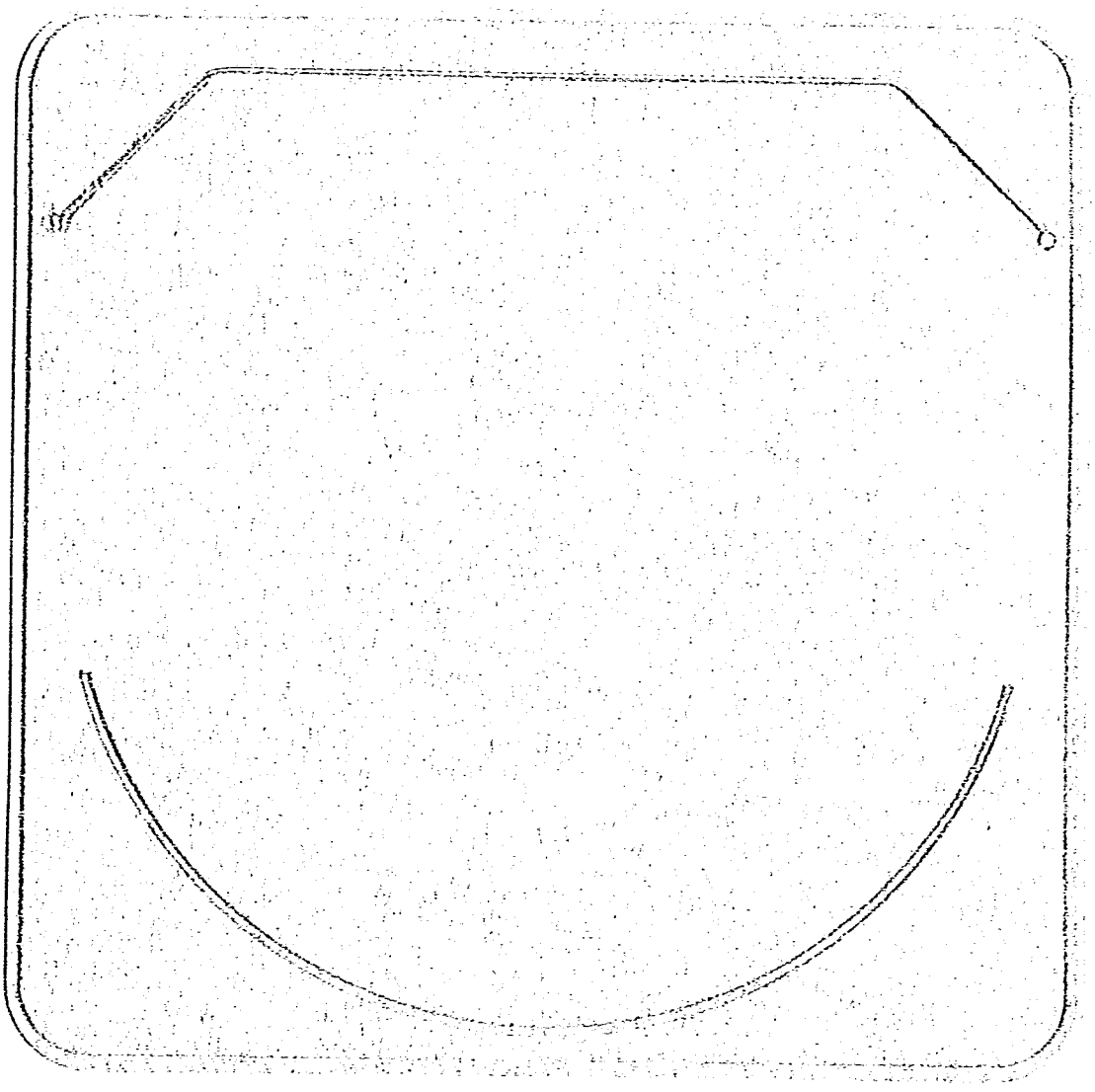
第8章 安全管理計画

8－1．立入禁止区域の設定

崩壊後の崩壊面の状況から、危険区域を算定する。

8－2．立入禁止区域への立入手順

立入り場所を１箇所に固定して、危険区域への入場を制限かつ管理することが望ましいと考えられる。

8－3．現場作業員（関係者）の安全確認手順

安全地帯も含めた現場全体へ、入場している関係者名を記載させ入場管理を実施しないと、二次災害の被害にあったかの判定が困難となるため、実施されるべきである。