

砂防関係工事における 遠隔施工要領（案）

令和 7 年 3 月

国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 保全課

砂防関係工事における遠隔施工要領（案）

目 次

1. 総則	1
1. 1 遠隔施工要領（案）の目的	1
1. 2 検討フロー	2
1. 3 遠隔施工とは	3
1. 4 適用範囲	4
（1）遠隔施工の実績範囲と期間	4
（2）初動対応と計画的な事業実施	5
（3）遠隔施工の必要性の事前調査	6
（4）遠隔施工の適用性の検討	6
1. 5 遠隔施工の工種実績	7
1. 6 遠隔施工の実施における留意点	8
1. 7 用語の定義	10
（1）施工に関する用語	10
（2）機械および設備類に関する用語	13
（3）その他の用語	16
2. 遠隔施工の工種	17
2. 1 遠隔施工の工種	17
2. 2 除石工	17
（1）工種概要	17
（2）使用する機械群	17
（3）出来形管理等の施工管理	18
（4）転石破砕工	19
2. 3 大型土のう積工	20
（1）工種概要	20
（2）施工の留意点	21
2. 4 構造物設置工	22
（1）護床ブロック設置	22
（2）鋼製スリット設置	23
2. 5 砂防えん堤工（RCC）	23
（1）工法概要	23
（2）使用する機械群	24
（3）土砂型枠工（施工盛土）	26

3. 遠隔施工の概要	28
3. 1 遠隔施工の実施方式	28
(1) 直接目視による実施方式	28
(2) 映像視認による実施方式（非ネットワーク方式）	28
(3) 映像視認による実施方式（ネットワーク方式）	30
(4) 各方式のメリットやデメリット	31
(5) 各方式の選定	32
3. 2 遠隔操作式建設機械	33
(1) 遠隔操作式建設の種類や規格	33
(2) 遠隔操作器	34
(3) 回転灯他	35
3. 3 映像設備	36
(1) 映像設備の種類や仕様	36
(2) 映像設備の使い分け	38
3. 4 無線設備	40
(1) 無線設備の種類や仕様	40
(2) 無線設備の選定の留意点	43
(3) 無線設備の運用上の留意点	44
3. 5 その他の機器類	45
(1) 遠隔操作室	45
(2) 移動カメラ車等	46
(3) 無線基地局	46
(4) 特殊アタッチメント類	47
3. 6 ICT機器類	47
(1) マシンガイダンスシステム	47
(2) マシンコントロールシステム	48
(3) 転圧管理システム	49
(4) 敷均し管理システム	49
(5) 無人航空機（ドローン）による三次元点群測量	50
4. 事前準備や情報収集	51
4. 1 発注者における事前準備	51
(1) 遠隔施工導入基準の設定	51
(2) 地方整備局や事務所による免許を付与された無線局の保有	51
(3) 国土交通省が管理する光ケーブルおよび IP アドレスの管理	52
(4) 遠隔施工に関する災害協定の締結	52
(5) 遠隔施工講習会の実施	53
(6) 試験施工の実施	54
(7) 現場実証等の実施	55

4. 2	施工者における事前準備	57
(1)	遠隔操作式建設機械や遠隔施工設備等の手配先の把握	57
(2)	遠隔操作経験者の把握	58
(3)	情報共有と定期的な更新	58
4. 3	現地特有の情報収集	59
5.	工事計画	60
5. 1	事前調査	60
(1)	調査項目	60
(2)	対策工の内容を決定するための調査	60
(3)	有人無人の輻輳区間における危険要因の調査	61
(4)	遠隔操作場所の調査	62
(5)	遠隔操作式建設機械のモータプール場所の調査	63
(6)	工事用道路の調査	63
(7)	重機搬入路の状況調査（現地までのルート、幅員、勾配）	63
5. 2	適用性の検討	64
(1)	適用工種	64
(2)	遠隔施工の実施方式	64
(3)	遠隔操作式建設機械	65
(4)	遠隔施工設備	66
5. 3	対象工種や条件等	67
(1)	工事概要	67
(2)	施工数量	68
(3)	図面等	68
(4)	現場組織	71
(5)	主要機械	73
(6)	主要資材	73
(7)	施工方法	73
5. 4	仮設備計画（遠隔施工設備を含む）	78
(1)	映像設備	78
(2)	無線設備	79
(3)	その他設備	86
(4)	ICT 機器類	87
5. 5	工程計画	88
(1)	日作業時間の算出	88
(2)	日作業能力の算出	88
(3)	準備工および撤去工	90
(4)	工程の策定	91

6. 特記仕様書	93
(1) 特記仕様書記載事項例	93
(2) 無線設備の免許状や技術適合証明証書	95
(3) 重機等の免許所持者	95
7. 施工管理	97
7. 1 施工管理の基本的な考え方	97
(1) 施工管理計画・準備	97
(2) 施工管理	98
7. 2 工程管理	99
7. 3 出来形管理	101
(1) 遠隔施工における出来形管理	101
(2) 出来形規格値例	102
(3) 出来形計測手法例	102
(4) 簡便な出来形管理手法例（除石工）	104
7. 4 出来高管理	107
7. 5 品質管理	108
(1) 遠隔施工における品質管理	108
(2) 品質管理基準および規格値	108
(3) 遠隔施工区域内での品質管理例	108
7. 6 写真管理	110
7. 7 安全管理	111
8. 検査	113
(1) 検査・確認方法	113
(2) 詳細な計測技術	113

1. 総則

1. 1 遠隔施工要領（案）の目的

近年、日本各地で火砕流、土石流、斜面崩落または雪崩などの危険が想定される中で、人命や財産、公共施設に対する被害の防止などのために実施しなければならない工事が増加している。砂防関係工事における遠隔施工要領（案）（以後：本要領案）は、このような現状に鑑み、災害時の迅速な対策と施工時の安全確保を目的に、平成6年から技術開発が急速に進んでいる遠隔施工について、可能な工種、技術の概要、事前準備、計画、施工管理等の技術的事項を取りまとめ、砂防関係工事現場における遠隔施工の普及に努めるものである。

【解説】

「本要領案における「遠隔施工」の定義は「1. 3 遠隔施工とは」を参照のこと」遠隔施工は、災害発生後に何らかの対策が必要な箇所において、危険な状態が続く中で対策工事を行う場合に主に適用される。また、火山噴火による有害な火山性ガスが発生する箇所での工事においても適用される。具体例として、平成2年11月に発生した雲仙普賢岳噴火に起因する火砕流および土石流対策工事で平成6年1月に本格的に導入された。その後、平成12年の有珠山噴火による周辺地区の被害拡大防止対策に導入され、これ以降、全国的に普及していった。近年では、平成23年の紀伊半島豪雨や平成28年の熊本地震にも導入されている。このほか、土砂や飛石崩落の可能性のある斜面下での工事、土石流等の発見から避難までの時間が短いなど、十分な安全が確保できないときにも適用される。災害直後の応急対策やその後の恒久対策では、事前準備、計画、施工管理の手法などが変わる。

本要領案では、主に計画的な事業実施の観点から、発注までの時間短縮、工事着手までの時間短縮を図るための基本的な考え方をまとめたものである。

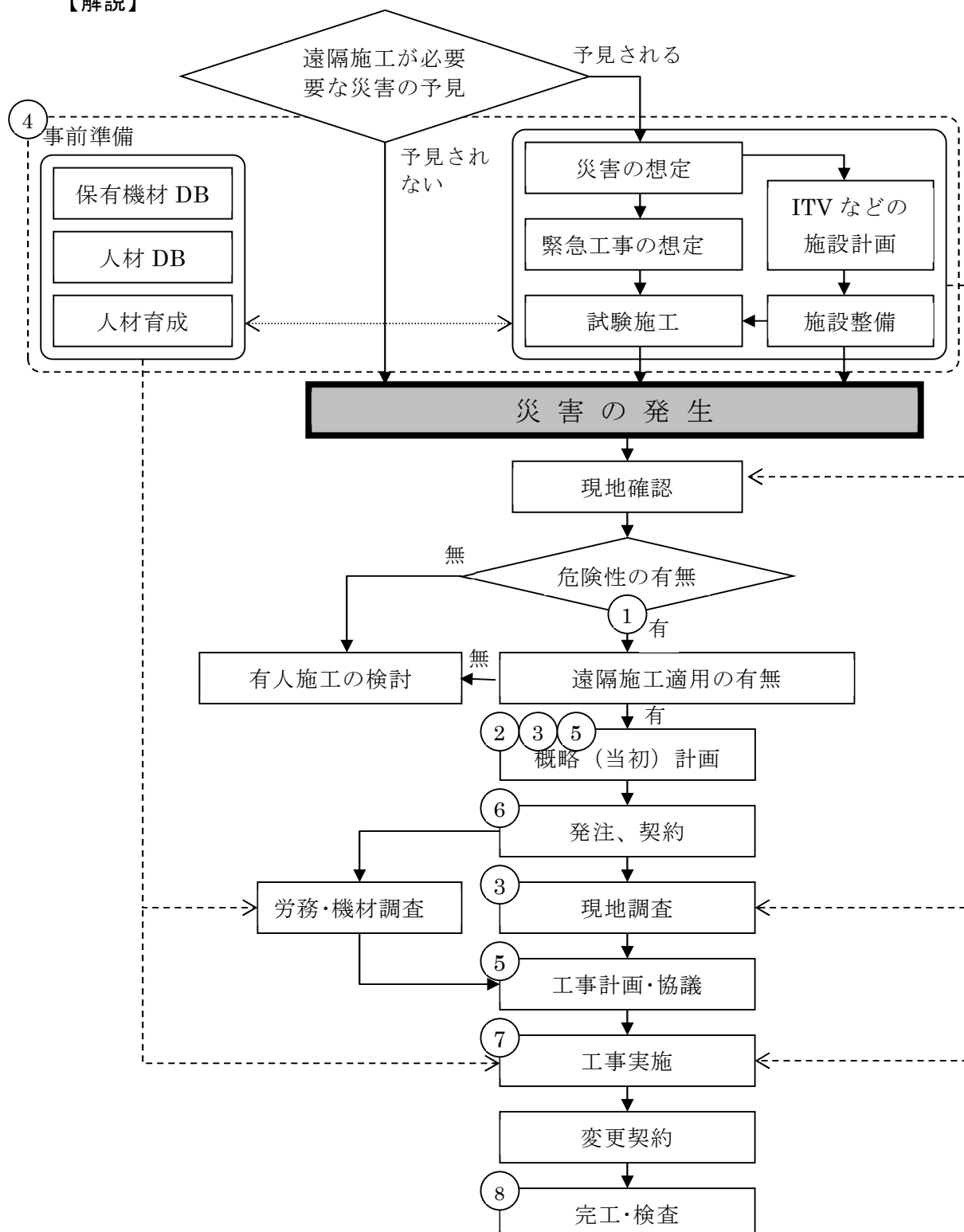


写真-1.1 遠隔施工による掘削積込運搬（雲仙普賢岳）

1. 2 検討フロー

本要領案において、主な作業等は、被災後の作業を円滑にするための事前準備を含め、下記のようになる。なお、丸数字は、本施工要領案の目次番号に該当し、破線部は、事前準備が災害対策のどの段階に生かされるものであるのかを示す。

【解説】



1. 3 遠隔施工とは

遠隔施工とは、作業者が立ち入ることができない危険な作業現場において、遠隔操作式建設機械を使用して、作業等を遠隔地より安全かつ円滑に行うものである。

【解説】

本要領案で定義する遠隔施工は、施工のすべて（ほとんど）を現場へ行かずに、遠隔地より遠隔操作式建設機械を使用して行うものとする。なお、斜面や法面等の工事で使用されるロッククライミングマシン（写真-1.2）や河川や湾岸等での工事で使用される水陸両用ブルドーザ（写真-1.3）、自動化自律化施工は、本要領案で定義する遠隔施工の対象外とする。

また、自動化・自律化とは、あらかじめ決められた作業をある手順に従って自動的（または半自動的）に行うものをいう。この際、オペレータは基本的に作業の中枢を担わず、すべての作業はルーチンワークとなる。

遠隔施工は、オペレータが作業の中枢を担い、行う作業にルーチンワークはない。また、自動化・自律化では、機械群は複雑な機構でかつ数多くの検出・計測機能を有するものの、オペレータは、機械群またはロボット群に対してごく少数である。遠隔施工は、機械そのものは遠隔操作機能以外に従来のものと変わらないものの、機械1台につき、1人のオペレータを必要とするが一般的である。遠隔施工は、オペレータの技量を生かし、安全に施工が可能な技術であると言える。

しかし、従来の（有人）施工方法と比べると、適用工種の制限、コスト高騰、施工精度の低下、効率低下等の問題が残っているのも事実である。また、施工管理経験者や遠隔操作オペレータの減少や高齢化も問題となっている。近年、施工精度や施工効率については、マシンガイダンスシステムやマシンコントロールシステム等のICT機器の採用により、向上が見られる。



写真-1.2 ロッククライミングマシン



写真-1.3 水陸両用ブルドーザ

1. 4 適用範囲

本要領案は、国土交通省管内で実施する災害対策工事のうち、遠隔施工で実施される工事に適用する。適用する工種は、除石工、大型土のう積工、構造物設置工、砂防堰堤工などを基本とする。遠隔施工の導入場面として災害直後の初動対応と計画的な事業実施があるが、本要領案では、計画的な事業実施に適用する。類似の工事または災害直後の初動対応で遠隔施工を行う場合、技術的な事項については、監督職員と協議のうえ、本要領案に準拠することができる。なお、遠隔施工を計画する場合は、火砕流、土石流、斜面崩壊、雪崩などの危険要因に対する事前調査を行い、現地の状況を把握しなければならない。

【解説】

(1) 遠隔施工の実施範囲と期間

遠隔施工は、作業の安全性確保や省人化のために導入される。導入期間は、遠隔施工の実施により、施工箇所の危険性が排除されるまで等となる。

○遠隔施工の導入場面（代表例）

- ①事前調査により危険度が高いことが確認され、有人での施工が危険と判断される場合の施工（噴火発生中における遠隔施工等）。
- ②想定する危険発生時において、緊急避難が容易でない箇所での施工（岩屑なだれにより被災の可能性がある箇所での遠隔施工等）。
- ③下流に対する安全対策上、危険が予想されても施工をしないといけない箇所での施工（下流域に飛石災害が予想される箇所での遠隔施工等）。

○遠隔施工の導入期間（役割）等（代表例）

- ①災害発生後、上記に示す導入場面に遠隔施工を実施し、施工箇所の危険性が排除されるまでの期間。
- ②遠隔施工を実施する要因となる危険要因がなくなるまでの期間（噴火活動の停止等）。
- ③遠隔施工を実施する要因となる危険範囲の縮小化までの期間（噴火活動の鎮静化による立入禁止区域の縮小）（図-1.1）。

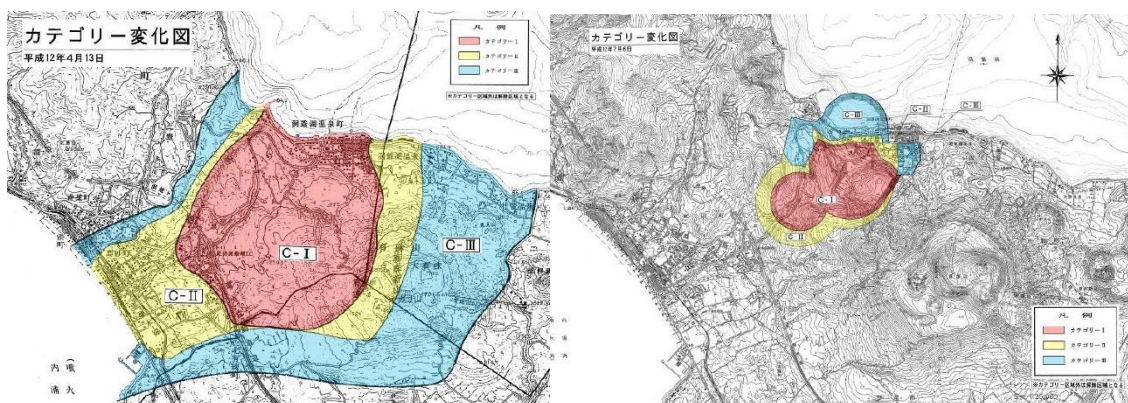


図-1.1 噴火活動の鎮静化による立入禁止区域の縮小例

（2000年有珠山噴火 洞爺湖温泉町） 出展元：「2000年有珠山噴火」

(2) 初動対応と計画的な事業実施

遠隔施工の導入場面として災害直後の初動対応（応急復旧対応）と計画的な事業実施（応急復旧後の対応）がある。本要領案では、計画的な事業実施で導入される遠隔施工について、主に記載するが、初動対応と計画的な事業実施には実施時期、実施者等、大きな違いがある。

表-1.1 初動対応と計画的な事業実施の違い

場面	初動対応（応急復旧対応）	計画的な事業実施 （応急復旧後の対応）
実施時期	災害直後	工事契約後
実施者	各地方整備局、災害協定締結業者	工事契約締結者（施工者）
実施期間	3～7 日程度（規模による）	様々（実績では2ヶ月～2年程度）
作業内容	不安定土塊の撤去、遊砂地築造等の簡易的な作業	砂防えん堤、護床工、除石工事等の計画的事業に基づいた工事
準備期間	現地到着後、迅速に準備（半日～1日）	工事工程に基づいた準備期間（～2ヶ月程度）
使用機械	主にバックホウのみ	バックホウ、ブルドーザ、重ダンプトラック、振動ローラ 他
無線設備	遠隔操作は特定小電力無線局429MHz 帯	遠隔操作、映像伝送ともに様々
映像設備	バックホウの車載カメラ、外部カメラ1台程度	バックホウ車載カメラ、外部カメラ、移動カメラ他 多数



図-1.2 九州地方整備局等による初動対応の事例

（３）遠隔施工の必要性事前調査

遠隔施工の要否については、災害履歴、施工予定地点における土砂災害等の危険性などを調査するとともに、施工条件・対策施設等（シェルター、脱硫装置など）も検討して判断する。

① 土砂災害等の発生状況、災害履歴等の把握

- ・土砂災害等の発生状況、頻度、災害発生履歴について、既往の資料による確認や現地調査により把握する。
- ・地図又は航空写真があれば、図化年次又は撮影年次を比較して、場所によっては変化を類推できるものがある。

② 施工条件および危険性の調査

- ・施工予定地点の上流に立ち入り、不安定土砂の堆砂状況、地すべりの発生状況、斜面の崩壊状況などを把握し、施工条件および対策施設を検討する。
- ・施工予定地点と土砂災害等発生地点の距離を確認し、監視体制の確保が可能な箇所を把握する。
- ・上記①②を総合的に評価し、遠隔施工の必要性を検討する。

（４）遠隔施工の適用性の検討

前述した調査結果から、遠隔施工の実施工種及び施工箇所を決定し、施工に必要な資機材を想定した上で、必要な資機材搬入のための工事用道路等、設置の調査を行い、遠隔施工の実施を検討する。

①遠隔施工対象工種又は遠隔施工部分の特定

斜面切土などのように、エリア全体を遠隔施工の対象とするか、又はコンクリート構造物の河床面以下の部分のみを対象とするかなどを検討する。

②遠隔施工実現の可能性検討

想定される危険などから遠隔施工が必要と判断された場合には、次に、遠隔施工の実現の可能性を検討しなければならない。遠隔施工実現の可能性の判断材料を下記に示す。

- ・対策工の内容（工種、施工量、施工場所、工期等）
- ・有人施工区域と遠隔施工区域の設定と有人施工区域の安全性確保
- ・有人施工区域において安全な操作拠点の確保
- ・カメラ設置予定位置と施工箇所の見通しの確保（各種カメラの位置と数量）
- ・無線設備設置予定位置と施工箇所の見通しの確保（中継の要否、実施方式）
- ・遠隔操作式建設機械のモータプールの確保と安全性の確保
- ・工事用道路（走行路）の確保
- ・遠隔操作式建設機械の搬入路の確保
（現地までのルート、幅員、勾配、重量制限など）
- ・土砂仮置き場の確保が可能か、位置の設定（遠隔→有人乗換も考慮）

- ・オペレータの乗換場所の確認（遠隔→有人乗換をする場合）
- ・施工範囲の土質や巨石の有無等
- ・施工に求める施工精度や管理・精算方法
- ・仮締切等必要な仮設計画の確認
- ・緊急時における安全確保のための避難方法、避難経路退避場所の決定。

1. 5 遠隔施工の工種実績

これまで遠隔施工の実績がある工種は、表-1.2 に記載の除石工、大型土のう積工、構造物設置工、砂防堰堤工とする。

【解説】

遠隔施工で実施されてきた工種のうち、最も多く実施されているのは、砂防土工や除石工などの土工である。しかし、この工種他、大型土のう積工（新島、神津島他）、構造物設置工（有珠山、三宅島、雲仙普賢岳他）、砂防堰堤工（雲仙普賢岳、北陸地方他）も全国で多くの実績を有する。これらの工種の解説は後述するが、これまで実施された工種と施工場所を下記に示す。

表-1.2 これまで実施された工種と施工場所

大工種	工種	施工場所
土工	砂防土工，除石工	雲仙普賢岳他 全国各地
	転石破碎工	雲仙普賢岳，南大隅町他
	盛土工，転流工	阿蘇大橋，雲仙普賢岳
	頭部排土	東横山（岐阜），阿蘇大橋
	がれき撤去	福島第一原発他
	構造物撤去	雲仙普賢岳
	種子吹付工	雲仙普賢岳
大型土のう積工	大型土のう設置工	新島・神津島，有珠山他
構造物設置工	護床ブロック積工	有珠山，三宅島，雲仙普賢岳他
	ボックスカルバート工	雲仙普賢岳
	ブルメタル設置工	雲仙普賢岳
砂防堰堤	R C C，C S G	雲仙普賢岳
	有スランプコンクリート	北陸地方各地
	I S M工法	雲仙普賢岳
	鋼製スリット工	雲仙普賢岳



写真-1.4 除石工（雲仙普賢岳）



写真-1.5 大型土のう積工（有珠山）



写真-1.6 護床ブロック積工（三宅島）



写真-1.7 砂防堰堤工（RCC）（雲仙普賢岳）

1. 6 遠隔施工の実施における留意点

搭乗運転（有人施工）と違い、遠隔操作室より遠隔操作式建設機械を運転するオペレータは、建設機械の音、振動または傾き等を把握することが難しく、稼働遅れや映像遅延が生じることを認識しておく必要がある。

【解説】

遠隔施工箇所近傍（30m程度まで）の直接操作方式では、わずかに建設機械の音は聞こえるが振動や状態等を把握することは難しい。遠隔操作式建設機械の運転は、直接操作方式以外では、CCD カメラによる映像を使用する。オペレータは、このカメラ映像のみから周囲の状況、遠近感、建設機械の傾きや負荷状態を把握する必要があり操作遅れや映像の遅延を考慮しながら運転をしている。

このため、遠隔操作オペレータは、機械の動きを予測して操作するとともに、映像に現れるわずかな動きから機械の負荷を察知するといった高い技能が求められる。近年、遠隔施工では、マシンガイダンスシステム等の ICT 機器類の普及により、建設機械の傾斜は把握できるようになり、施工の安全性向上に寄与している。

ただ、遠隔施工は、一般の搭乗操作に比べて、音や振動による機械状態の把握が難しいため、遠隔操作式建設機械は、一般の有人機械に比べて、過負荷になりがちである。

このため、車両系建設機械資格者であっても、遠隔施工の経験がないオペレータについては、直接操作や映像視認による遠隔操作訓練などの育成プログラムを修了した後に従事することが望ましい。初心者が、1 年程度の習熟で施工効率が3倍以上向上したとの報告もあり、オペレータなどの教育・訓練は、受発注者における準備として重要である。

さらに、遠隔施工における安全管理、円滑な施工の管理など、有人施工と異なる事項も多く存在する。遠隔施工における過酷な使用条件に応じた整備体制の確立のためにも、試験施工などを通じて、オペレータを始めとした作業員の総合的な教育・訓練を行うことも求められる。



写真-1.8 マシンガイダンスシステムを使用した運転

1. 7 用語の定義

本要領案で使用する用語のうち、遠隔施工において、特有かつ主要なものについて、分類ごとに示す。

【解説】

(1) 施工に関する用語

【遠隔施工区域】

火砕流、土石流、斜面崩壊の恐れがあり、退避時間が確保できないため、作業従事者等の立ち入りを禁止または制限している特定の区域。工種、気象、施工部分等の危険度に応じて設定を変化させることがある。なお、遠隔施工区域は平面方向のほか、高さ方向にも設定される場合がある。

【有人区域】

被災の可能性がない、または予知・通報等により退避が可能な工事区域。

【有人施工】

有人区域における通常の施工方法。通常施工とも言う。(オペレータが建機に搭乗するなどして直接操作しながら行う施工方法。)

【直接方式と中継方式】

直接方式とは、操作場所と遠隔操作式建設機械が直接、無線等で通信する実施方式である。中継方式とは、操作場所と遠隔操作式建設機械が中継局を介して、無線等で通信する実施方式のことである。中継方式は、使用する無線の種類により、非ネットワーク方式とネットワーク方式に区分される。

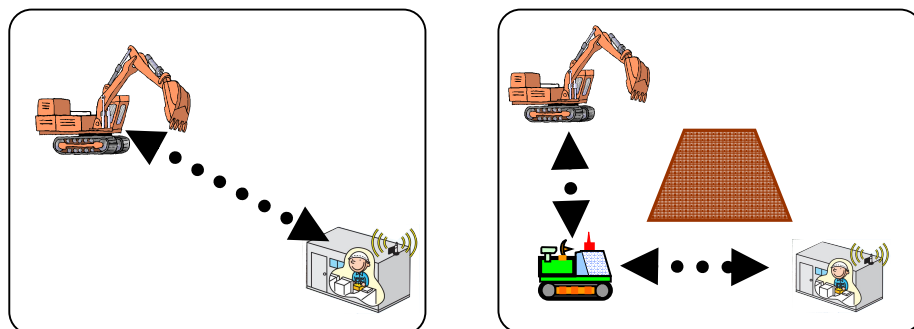


図-1.3 直接方式（左）と中継方式（右）

【無線操縦】

遠隔操作式建設機械等を有人区域から無線等により操縦すること。遠隔操作式建設機械と施工対象物を直接目視して無線操縦する「目視操作」、機械搭載または固定点設置のカメラによる映像を見ながら操縦する「映像視認による遠隔操作」、「映像視認による超遠隔操作」に分かれる。なお、建設機械の遠隔操作と映像伝送は、実施方式（3.1 遠隔施工の実施方式）により、いくつかの無線種別を使い分ける場合がある。

【目視操作】

遠隔操作オペレータが目視で遠隔操作式建設機械の操作を行うこと。操作距離は、一般的には 30m 程度までであり、かなり単純な作業でも 50m 程度が限界と言われる。なお、可搬型の車載カメラシステムの映像と目視を併用する操作も目視操作に含む。

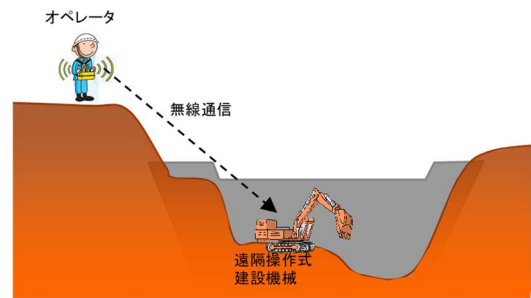


図-1.4 目視操作のイメージ

【映像視認による遠隔操作】

遠隔操作オペレータが建設機械や機械搭載または固定点設置のカメラによる映像を見ながら遠隔操作式建設機械の操作を行うこと。遠隔操作室から遠隔操作式建設機械までの操作距離が 300m 程度までの場合にこう呼ぶ。現場条件により、直接方式と中継方式（前述）を選択する。なお、固定点設置のカメラは、固定カメラや移動カメラ（（2）機械および設備類に関する用語）と言われる。

【映像視認による超遠隔操作】

映像視認による遠隔操作のうち、遠隔操作室から遠隔操作式建設機械までの操作距離が 300m を超える場合にこう呼ぶ。映像視認による遠隔操作と同様に現場条件により、直接方式と中継方式（前述）を選択する。ただし、直接方式を選択する場合、送信電力の大きい無線局となり、無線局免許や従事者免許が必要となる。

【遠隔施工係数】

遠隔施工係数は、有人施工に対して劣る割合を示す。緊急時の無人化施工ガイドブック（平成 13 年 先端建設技術センター）では、有人施工の 0.6 を標準とするとの記載がされているが、現場条件や作業内容等により上下する。

【遠隔測量】

遠隔施工区域に立ち入らないで、施工対象物の位置、出来形などを計測すること。

【LAN】

LAN (Local Area Network (ローカル・エリア・ネットワーク)) とは、企業・官庁のオフィスや工場などの事業所、学校、家庭などで使用されるコンピュータネットワークである。なお、イーサネット (Ethernet) は、有線 LAN テクノロジーの商品名である。家庭、オフィス、データセンター、企業、WAN で使用されている有線ネットワーク技術の主流となっている。

【無線 LAN】

無線通信を利用して構築される LAN である。

【メッシュ LAN】

通信機能を持った端末同士が相互に通信を行うことにより、網の目（mesh）状に形成された通信ネットワーク。特に、無線 LAN の通信機能を持った端末同士で形成されたものの。

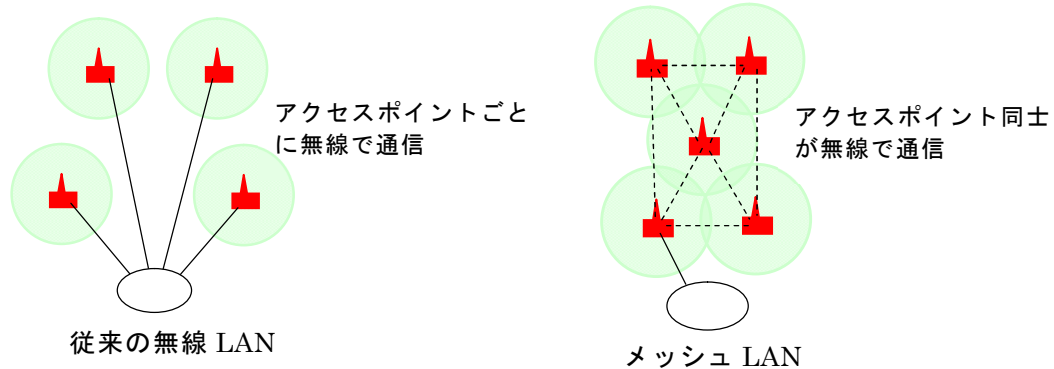


図-1.5 従来の無線 LAN（左）とメッシュ LAN（右）

【ICT 施工】

オペレータが ICT 機器を搭載したシステムを使用して行う施工。システムは、全球測位衛星システム（GNSS）、各種センサ類およびコントローラ等で構成される。ICT 施工の使用により、測量などの計測作業の合理化、建設機械の自立制御やナビゲーションによる品質・精度の向上、丁張りなしでの施工による施工効率の向上が期待できる。

【画像圧縮伸張装置】

アナログ信号の映像をデジタル信号に変換および復調する装置。アナログ信号をデジタル信号に圧縮する装置をエンコーダと呼ぶ。デジタル信号をアナログ信号に伸張する装置をデコーダと呼ぶ。

【ハイビジョン映像】

高解像度・高精細画質の映像のこと。ハイビジョンは、縦方向のピクセル数が 650 以上のすべての画質を言うが、フルハイビジョンは、最も解像度が高い 1,920×1,080 ピクセルのものを指す。

【スタンダード映像】

ハイビジョン映像が登場する前に標準的に用いられていた解像度レベルの映像のこと。一般的に、縦横比 4:3 の画像比率で、解像度は 640×480 ピクセルである。

【スループット】

コンピュータやネットワーク機器が単位時間あたりに処理できるデータ量のこと。あるいは、その数値を使ってデータ処理能力やデータ転送速度を表す。数値の単位は、「bps」「kbps」「Mbps」で 1 秒あたりのデータ量をビット数で表す。

【PING】

発信元のホストから宛先のコンピュータにメッセージを送信し、宛先がそれに対して返した応答が戻って来るまでの往復時間を測定すること。測定結果は、PING 値と呼ぶ。

【遅延時間（有負荷）】

カメラ映像がモニタに映るまでに要する遅延時間。遅延は、画像圧縮伸張装置の処理時間や無線等の伝送時間により発生する。

【IP アドレス】

IP アドレス（Internet Protocol address）とは、インターネット・プロトコル において、通信の相手先を識別するための番号である。インターネットアドレスとも呼ばれる。

【エンコードモード】

エンコーダのエンコードモードには、VBR(Variable Bit Rate)タイプや CBR (Constant Bit Rate) タイプなどがある。VBR タイプは、動画の内容によって、動きの激しいところはビットレートを高く、動きが少なければビットレートを低く変動させるモードである。CBR タイプは、常に一定のビットレートでエンコードするモードである。

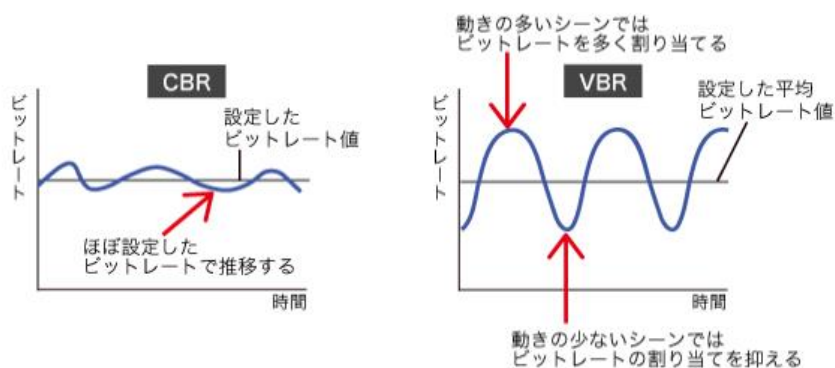


図-1.6 エンコードモード（CBR と VBR）

（２）機械および設備類に関する用語

【遠隔操作式建設機械】

無線による遠隔操作により、オペレータ等が搭乗せずに動かすことができる建設機械。

【遠隔施工設備】

遠隔操作オペレータに映像を提供する等、遠隔操作式機械を補助する一連の設備。固定カメラ、移動カメラ車、遠隔操作室、映像設備、移動中継車等がこれに該当する。

【遠隔操作装置】

建設機械を遠隔操作にするための無線設備および機械本体を遠隔操作化するための改良部分をいう。遠隔施工開始当初は、油圧バルブ等を制御する方式がほとんどであったが、近年では、電子化制御のものもある。

【遠隔操作室】

遠隔操作式建設機械を遠隔地にて操作するための操作基地。遠隔操作式建設機械の車載カメラ、固定カメラ等から伝送される映像のモニタ、遠隔操作式建設機械の遠隔操作器、無線伝送を行う無線装置などを収納する。一般には有人エリアで仮設ハウス等を固定設置するが、緊急時の避難行動を想定し、トレーラ等に車載する移動式とすることもある。

【固定カメラ】

遠隔操作室上や仮設架台等に固定して使用するカメラ。現場全体、工事用道路のカーブおよび掘削箇所などの局所、遠隔操作式建設機械の動作状況などを監視する。電動ズームレンズにより望遠・広角が可能であり、電動旋回雲台によりカメラを上下左右に動作することもできる。基本的には有線だが、距離によっては無線での送受信を行う。



写真-1.9 固定カメラ

【車載カメラ】

遠隔操作式建設機械のキャビン等に取り付けて使用するカメラ。遠隔操作式バックホウでは、掘削場所と積込場所などを監視する。単焦点レンズを装着したカメラを数台取り付け、視準対象により、足踏みスイッチなどで切り替えて使用する。



写真-1.10 車載カメラ（バックホウ搭載）

【移動カメラ車】

遠隔施工区域内に設置し、遠隔操作式建設機械の施工状況等を局所監視する車両。使用する車両は、高所作業車や小型バックホウを遠隔操作化したものが多い。搭載するカメラ類は建設機械の走行などに伴うため、耐振性が求められる。これより、耐振型のカメラハウジングと電動旋回雲台を使用する。CCDカメラは固定カメラと同様の機能を有する。

【通信中継車】

遠隔操作距離の延伸や電波の死角部を解消するために無線を中継するための設備である。使用する車両は、不整地運搬車や低床式運搬台車を遠隔操作化したものが多い。通信中継車は、一般的には遠隔操作式建設機械の遠隔操作の中継用無線、通信中継車操作無線および映像設備を搭載する。



写真-1.11 移動カメラ車（右）と通信中継車（左）

（３）その他の用語

【遠隔操作オペレータ】

遠隔操作式建設機械を操作し、作業を行うオペレータ。遠隔施工は、特殊条件下での作業であるため、一般のオペレータとは違った技能、経験が必要である。

【カメラオペレータ】

固定カメラや移動カメラ車の映像操作を専門に行うオペレータ。遠隔操作オペレータは、遠隔操作のために両手がふさがっており、建設機械の操作中にカメラ操作はできない。これより、建設機械の稼働に必要なカメラの操作（ズーム、上下左右）を行い、作業の効率化、安全性の向上を図る。

【電気通信工】

電気通信工は、遠隔施工設備（映像、無線、支援設備）の設計、設置・調整および運用を行う技術者。遠隔施工を行ううえで欠かせない存在であり、遠隔施工現場の施工期間中、遠隔操作室に常駐する。大規模または難易度の高い工事では、数人の常駐が必要となる。

2. 遠隔施工の工種

2. 1 遠隔施工の工種

遠隔施工で適用される標準的な工種を、前項（1. 5 実施可能な工種）で記載した。本項では、これらの工種の概要を解説する。

【解説】

ここでは、発注に際して理解しておく必要のある事項に限定して各工種を解説する。基本的事項のみであり、実際の工事の実施にあたっては、現場の状況により適切なシステム、手順を検討する必要がある。バックホウに装着する把持装置には特殊なものもあるため、調達可能かどうかの事前確認が必要であるとともに、吊荷重量を考慮したバックホウの規格の選定が必要である。また、具体の施工については、契約後に、発注者と受注者が、調達可能な機器の状況、現場に応じた施工方法、施工手順を協議して決定することになる。

2. 2 除石工

（1）工種概要

除石工は、雲仙普賢岳での採用時の主工種であり、また、砂防えん堤構築時においても常に実施される工種である。採用当初から現在まで、有人と同等の大型土工事対応の機械群が導入されている。掘削は、ブルドーザまたはバックホウにより行う。ここで留意する事項としてブルドーザの手配が挙げられる。現存台数が少なく、かつ規格が限られており、計画に際しては稼働状況を確認する必要がある。バックホウについては、規格、台数ともある程度そろった状況にあるが併せて確認したほうがよい。積込みは、バックホウを使用して行うのが一般的である。近年、遠隔操作式ホイールローダが開発されたが、積込みに使用された実績は少ない。運搬は、工事規模や施工条件に応じて、重ダンプトラック（リジット）や不整地運搬車（クローラダンプ）により行う。

（2）使用する機械群

除石工で使用する機械群を下記に示す。雲仙普賢岳や桜島などの含水比が低い砂質土では、大型の機械群が主に使用される。しかし、災害直後の含水比の高い軟弱地盤下での除石工では、大型の機械群は使用できない。土工事における運搬機械はリジット型の重ダンプトラックと10～11t級の不整地運搬車しか現存しない。このことにより、近年、対応例が増加している河道閉塞や深層崩壊時の軟弱地盤下での土工事は、10～11t級の不整地運搬車を使用せざるを得ず、施工能力（対処能力）に課題が残る。



写真-2.1 重ダンプトラック 45t 級



写真-2.2 不整地運搬車 11t 級

表-2.1 除石工で使用する機械群（大型）

作業内容	機械名	仕様・規格	呼称	数量
掘削・押土	ブルドーザ	60～64t 級	台	1
掘削・積込・整形	バックホウ	3.0～5.0m ³ 級	台	1
運搬	ダンプトラック	45～55t 級	台	2～3

表-2.2 除石工で使用する機械群（中型）

作業内容	機械名	仕様・規格	呼称	数量
掘削・押土	ブルドーザ※	16～21t 級	台	1
掘削・積込・整形	バックホウ	0.8～1.4m ³ 級	台	1
運搬	不整地運搬車	10～11t 級	台	2～3

※ブルドーザは使用しないケースもある。

（３）出来形管理等の施工管理

近年、出来形管理は、バックホウに搭載するマシンガイダンスシステムにより、位置や高さを把握している。また、最終成果については、無人航空機（ドローン）による UAV 写真測量を実施する事例が増加している。これらの機器が普及する以前は、雲仙普賢岳では、専用の無人測量車により測量が実施されてきた。また、砂防えん堤築造当時から導入されているブルドーザ 16～20t 級湿地の（RCC コンクリート）敷均し管理システムの出来形把握機能を併用することもあった。

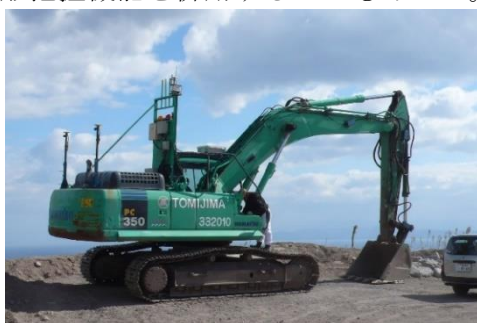


写真-2.3 マシンガイダンスシステム（左：機械 右：操作状況）

（４）転石破碎工

転石破碎工は、除石工の施工中に運搬できない転石を施工ヤード内で破碎するものである。転石破碎工は、ブレーカの先端を転石の目に正確に当てる必要があるため、転石の状況が見えにくい遠隔施工では効率が非常に低下する。これより、運搬機械には積み込めないが、バックホウで持ち出せる大きさの転石は、バックホウで持ち出すこともある。ただし、持ち出し時の遠隔操作は十分に注意が必要である。転石破碎を行う機械は、バックホウで掘削積込で使用するものを流用する。転石破碎前にバケットから大型ブレーカに付け替える。転石破碎終了後は、大型ブレーカを外し、バケットに付け替える。転石破碎を行う場合には、転石がよく見えるように、車載カメラや移動カメラ車等の配置に注意が必要である。また、転石破碎中に破碎した転石が飛散し、バックホウのフロントガラスを破損させることがある。これより、転石破碎前にベニヤ板等でフロントガラスを保護することも重要である。



写真-2.4 遠隔操作式バックホウによる転石破碎（南大隅町）



写真-2.5 遠隔操作式バックホウによる転石持ち出し（南大隅町）

表-2.3 転石破碎工で使用する機械と大型ブレーカの組合せ

バックホウ仕様・規格	大型ブレーカ仕様・規格	備考
3.0～5.0m ³ 級	4,000～5,000kg 級	
0.8～1.4m ³ 級	1,500～2,000kg 級	

2. 3 大型土のう積工

(1) 工種概要

大型土のう積工は、標準容量 1m^3 の大型土のうを遠隔施工により行うものである。有人区域で製作した大型土のうを遠隔操作式バックホウまたは運搬機械で運搬し、所定の場所に設置する。施工場所と有人区域が近く運搬距離が短い場合等には「自走運搬方式」、運搬距離が長い場合には「作業分担方式」が採用される。下記に概要を示す。なお、国土交通省土木工事標準積算基準書（共通編）第Ⅱ編共通工第5章仮設工⑩-2 大型土のう工に有人作業における製作・設置歩掛が記載されているが、遠隔施工では、大型土のうの吊り上げ等に時間を要するため、施工効率が非常に低下する。

①自走運搬方式（運搬距離が短い場合）

1 台の遠隔操作式バックホウで吊り上げ、運搬、設置を行う。遠隔操作式バックホウは、 $0.8\sim 1.4\text{m}^3$ 級を使用することが多い。吊具には図-2.1 のように遠隔施工に対応可能な自動玉外し機や遠隔施工用の吊りフックを使用する。吊り具の台数が限られているため調達には注意が必要である。

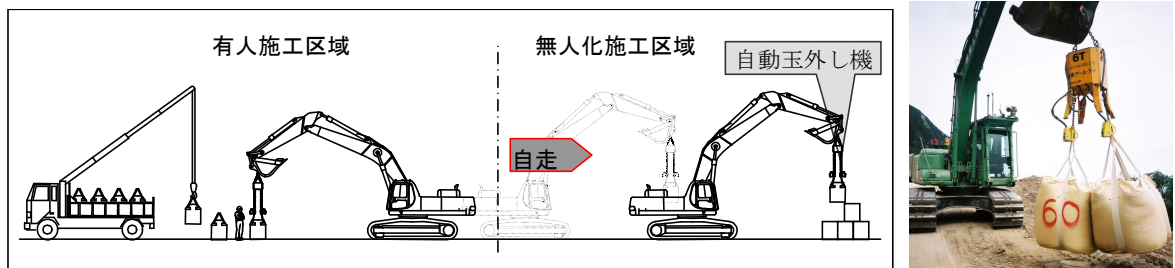


図-2.1 自走運搬方式の概要（左：作業形態 右：自動玉外し機）

②作業分担方式（運搬距離が長い場合）

異なる遠隔操作式建設機械で運搬と設置を行う。遠隔操作式バックホウは前述と同様に $0.8\sim 1.4\text{m}^3$ 級を使用することが多い。運搬機械は、遠隔操作式不整地運搬車 $10\sim 11\text{t}$ 級を使用することが多い。大型土のうの設置は玉外し機や遠隔施工用の吊フックを用いる。

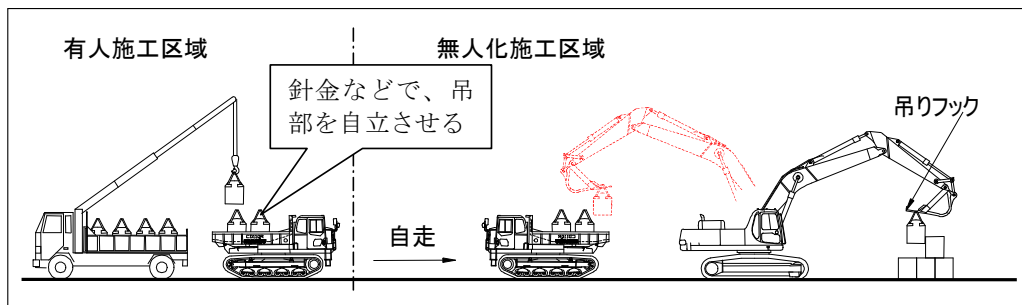


図-2.2 作業分担方式の概要（作業形態）

（２）施工の留意点

施工上の留意点を下記に示す。安全性や施工効率の向上につながる事項であるため、十分に検討されたい。

①自動玉外し機の検討

自動玉外し機は、自走運搬方式において使用する。遠隔操作式バックホウの遠隔操作とは別の遠隔操作器を使用して所定の位置で玉外しを遠隔操作で行うものである。吊フックと比べ、一度に２袋の運搬ができるため、施工効率の向上となる。

②吊フック

作業分担方式では、遠隔操作式バックホウの遠隔操作による玉掛け作業が必要であるため、遠隔施工用の吊フックを用いる必要があるため作業分担方式を採用する際は事前に検討が必要となる。

③土のう袋

作業分担方式では、土のう袋の吊紐に吊フックを引っかけて玉掛けを行う。玉掛け作業の作業効率向上のため、土のう袋の吊紐を針金などで自立させておくといよい。

④運搬機械

作業分担方式では、大型土のうの運搬に遠隔操作式不整地運搬車を使用する。一般的に遠隔操作式不整地運搬車の荷台は傾斜がついていることが多い。これより、荷台を平坦にするための「すのこ」形状のような木材を荷台に乗せ、その上に土のう袋を置くと遠隔操作式バックホウによる玉掛け作業の作業効率が向上する。これは、護床ブロックの運搬でも同様の措置が必要である。



写真-2.6 自動玉外し機（左：本体 右：リモコン）



写真-2.7 針金で自立させた吊紐



写真-2.8 加工した吊フック

2. 4 構造物設置工

(1) 護床ブロック設置

護床工は、護床ブロックを垂直壁下流部に設置し、土石流等による河床の洗掘防止の目的で施工するものである。また、遠隔施工による護床ブロック設置は、雲仙普賢岳以外では、有珠山災害復旧（平成 12 年）、三宅島災害復旧（平成 13 年）などの実績はあり、どちらも仮設えん堤または仮導流堤として施工されている。

施工は、不整地運搬車 11t 級で運搬した護床ブロックをバックホウ 0.8～1.4m³ 級で把持し、所定位置に据え付ける。護床ブロックの把持には、専用に開発された把持装置を使用するのが一般的である。

把持は、護床ブロックのセンターホールに把持部を挿入し、把持部が開くことにより、護床ブロックを把持・固定できる仕組みとなっている。

本技術に関する課題や留意点を下記に示す。

- ・把持装置は、専用に開発されたものであり、手配が難しい。
- ・センターホールには、テーパーがついている必要があり、遠隔施工で利用できる護床ブロックに限られる。
- ・使用するバックホウには、多数の油圧配管が必要となり、その配管を具備する機械数が少ない。
- ・使用するバックホウは、これまで 1.4m³ 級を一般的に使用してきたが、フロント負荷の関係もあり、重量 3t 程度までが限界である。
- ・バックホウの車載カメラを単眼レンズのものから固定カメラ等で使用するズーム等ができるものに変更するのが望ましい。



図-2.3 把持装置（左）および護床ブロック

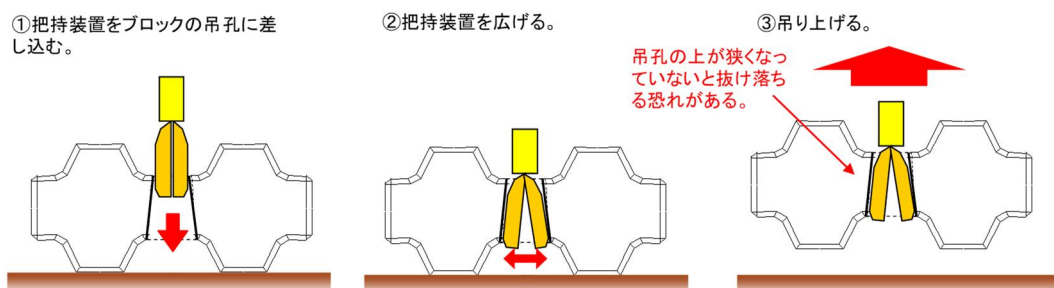


図-2.4 把持装置による護床ブロック把持の方法

(2) 鋼製スリット設置

鋼製スリット（鋼製堰堤本体工）は、通常の中小出水に含まれる比較的粒径の細かい掃流土砂を、積極的に透過させ下流に流し、土石流発生までダム上流の貯砂容量を確保するとともに、土石流発生時には、土石流中の巨礫や多量の土砂を捕捉し、下流への流出による災害を未然に防ぐ目的で設置される。遠隔施工による鋼製スリット設置は、雲仙普賢岳で開発されたものであり、他地区での実績はない。

施工は、重ダンプトラック 45～55t 級のベッセル部を改造した専用の運搬台車で現地まで、鋼製スリットを運搬する。現地では、バックホウ 3.5m³級にてスリットを把持し、所定の位置に据え付ける。スリットの把持には、専用に開発された把持装置を使用する。把持は、鋼製スリットの上部をクランプすることにより、鋼製スリットを把持・固定できる仕組みとなっている。

本技術に関する課題や留意点を下記に示す。

- ・把持装置は、専用に開発されたものであり、鋼製スリットの規格等が変更になれば、その都度、新規製作となる。
- ・使用するバックホウには、多数の油圧配管が必要となり、また、このクラスでその配管を具備する機械数はほとんど現存しないため、新規に取り付ける必要がある。
- ・使用するバックホウは、これまで 3.5m³級を使用してきたが、このクラスが現在メーカーから発売されている最大級である。フロント負荷の関係もあり、今回の重量（15t）までが限界である。
- ・施工精度を確保するため、外部からの計測とともに、設置面の出来形に応じたスリットの脚部の高さ微調整が必要である。

2. 5 砂防えん堤工（RCC）

(1) 工法概要

RCC（Roller Compacted Concrete）を使用した砂防えん堤工は、雲仙普賢岳で開発されたものである。この砂防えん堤の施工は、遠隔操作式建設機械による施工が可能で、現地に豊富に存在する火砕流堆積物を利用する土砂型枠とゼロスランプの RCC を用いて実施されている。また、背割堤と赤松谷川 3 号導流堤は、RCC の代わりに砂防ソイルセメント（CSG：Cemented Sand and Gravel）が使用されている。ダンプトラックで運搬した RCC（または CSG）をブルドーザで敷き均し、その後、振動ローラにより締め固めることで本体工を築造する。この RCC は、水無川 1 号、2 号砂防えん堤では、設計基準強度が、16（N/mm²）であったが、水無川 3 号砂防えん堤以降、18（N/mm²）となり、以後、現在まで同じ設計基準強度となっている。

表-2.4 RCC 示方配合例

設計基準 強 N/mm ²	呼び強度 N/mm ²	粗骨材の 最大寸法 mm	VC 値の 範囲 sec	空気量 の範囲 %	水セメント 比 (W/C) %	細骨材率 %	セメントの 種類
18	18	80	20±10	1.5±1	64.3	31	高炉 B 種以上

単位量 (kg/m ³)						
水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材			混和材
			5～20mm	20～40mm	40～80mm	
90	140	679	475	554	554	0.35

当初、本体工の設計にあたっては、下記に配慮されている。

- ①土砂型枠とコンクリートの接触部については、品質の確保の面から 0.5m の余裕代（余裕幅）を取る。
- ②施工目地については施工性を考慮して、高炉セメントおよび使用水量を押さえることにより、発熱を減少させ設けない。
- ③コンクリートの強度は、無筋コンクリートのため、目標強度 $\delta 28=160\text{kgf/cm}^2$ (16N/mm^2) とする。

→水無川 3 号砂防えん堤以降、 18N/mm^2

- ④遠隔施工が難しいコンクリート養生及び打継ぎ目の清掃作業にあつては作業時間も短いため、非常時を考慮して避難用車両を常時配置することにより、やむを得ず有人施工としている。

→平成 14 年以降、清掃作業も遠隔化となっている。

砂防学会誌, Vol. 52, No. 4, p. 64-68, 1999 より

RCC の打設手順は、当初、RCC 先行打設工法で検討されていたが、試験施工等の結果より、土砂型枠先行工法となった。この土砂型枠先行工法は、現在まで継続されている。この土砂型枠先行工法により、「きりしろ部」が打設されることになり、また、打設後、土砂型枠を撤去する必要がある部分（本体工が露出する部分）については、きりしろ部のはつり作業が必要となった。

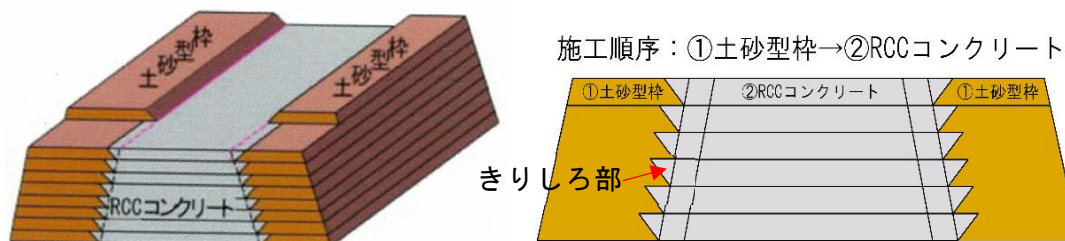


図-2.5 土砂型枠先行工法の概要ときりしろ部

(2) 使用する機械群

RCC コンクリート打設に使用される機械は、下記が一般的となっている。

表-2.5 RCC コンクリート打設時の遠隔施工機械組合せ例

作業内容	機械名	仕様・規格	呼称	数量
運搬	ダンプトラック	45～55t 級	台	2～3
敷均し	ブルドーザ	16～21t 級湿地	台	1
締固め（転圧）	振動ローラ	11t 級垂直振動型	台	11

一般（有人）の工事において、RCC 工法では、運搬機械の規格は違うものの、敷均し、締固め機械は同様である。雲仙では、施工開始当初から、この組合せであり、現在も特段の変化は見られない。また、敷均しと締固めについては、水無川 1 号えん堤工事から GPS 等を利用した管理システムが導入されてきた。平成 16 年頃から、敷均しについては、これらのシステムに加え、マシンコントロールシステム（前述）も併用され、現在に至る。締固めについても、平成 16 年頃に、加速度センサを利用した密度管理システムが導入され、その後、総合評価にて、しばしば技術提案され、導入されている。コンクリート打設に使用される機械は、これまでほとんど更新されておらず、台数も減少傾向にある。特に逼迫しているのは、振動ローラであり、現存機は 3 台と言われている。今後の状況によっては、コンクリート打設はおろか、RCC 工法そのものが施工できなくなる可能性もある。RCC 運搬時に、重ダンプトラックは、前打設面を走行するため、砂防えん堤の天端幅に限界があるのも課題である。天端幅は、5,000mm（実績）がほぼ限界である（余裕代、切しろ部含む）と考える。



写真-2.9 RCC コンクリート運搬状況

RCC 品質確保または向上については、水無川 1 号、水無川 2 号もさることながら、現在まで、様々な技術提案と技術革新がされている。まず、当初は、有人作業であった「散水作業」と「清掃作業」が平成 14 年頃から遠隔施工となった。また、きりしろ部のはつり作業も有人作業であったが、同時期から遠隔施工となり、平成 18 年頃以降、下流部の露出面の平滑化や作業そのものの効率化に関する提案がなされるようになった。



写真-2.10 無人清掃状況



写真-2.11 無人散水状況

また、前述した土砂型枠先行工法を当初設計の RCC 先行打設工法で行う VE 提案がなされ、導入された工事もある。平成 22 年の赤松谷川 3 号床固工工事において、当時、有人の台形 CSG ダムで採用され始めた特殊振動締固め機（振動目地切機ベース）を遠隔操作化し、施工がなされている。この RCC 先行打設工法は、きりしろ部の RCC コンクリート削減とはつり作業の削減によるコスト縮減を目指したものである。



図-2.6 RCC 先行打設工法の概要

（３）土砂型枠工（施工盛土）

土砂型枠工は、遠隔施工による砂防えん堤築造の開始後、現在まで下記の機械組合せにより施工が行われてきている。

表-2.6 土砂型枠工の無人化機械組合せ例

作業内容	機械名	仕様・規格	呼称	数量
土砂型枠材運搬	ダンプトラック	45～55t 級	台	2～3
土砂型枠材敷均し（打設前）	ブルドーザ	16～21t 級湿地	台	1
		60～64t 級	台	1
土砂型枠整形	バックホウ	0.8～1.4m ³ 級	台	1～2
土砂型枠締固め（打設後）	ブルドーザ	16～21t 級湿地	台	2～3

土砂型枠工は、砂防えん堤築造には欠かせない工種であり、当初から、上記の組合せで、現在も特段の変化は見られない。重ダンプトラックを使用した土砂型枠材の運搬は、土砂型枠の天端長（上下流方向）に余裕が必要である（前述）。

土砂型枠工に関する新技術としては、まず、無人測量車を使用したマーキングによるライン引きの無人化が平成 16 年頃から導入され始めた。そのほか、土砂型枠整形補助ブレードによる土砂型枠設置の出来形精度および施工効率向上、土砂型枠角度（通常 1:1.0）を変更し、RCC 打設量削減に伴うコスト縮減（フォーミングブレードを利用した土砂型枠施工）などが導入されている。



写真-2.12 土砂型枠設置（従来）



写真-2.13 補助ブレードによる施工

3. 遠隔施工の概要

3. 1 遠隔施工の実施方式

遠隔施工の実施方式は、直接目視による方式（以後：直接目視方式）と映像伝送システムを用いた方式（以後：映像視認方式）に分けられる。後者には「非ネットワーク方式」と「ネットワーク方式」がある。また、現場条件等に応じて、ICT施工技術を併用することがある。なお、ローカル5Gを使用するものは、映像視認方式のネットワーク方式に分類されるが、無線中継の方法等が異なる。

【解説】

（1）直接目視による実施方式

直接目視による実施方式は、遠隔操作オペレータが遠隔操作式建設機械を直接目視しながら遠隔操作するものである。雲仙では、「第1世代」と言われている。なお、可搬型車載カメラシステムを使用するものもこの実施方式に含む。他の実施方式と比べて、遠隔操作式建設機械と遠隔操作オペレータが揃えば直ちに施工ができるため、手配期間が最も短い。しかし、遠隔操作式建設機械が直接目視できる範囲内（操作距離が概ね50m以内）での作業に限られ、また、細かな精度を要しない単純な作業に限られる。この実施方式を適用する場合、遠隔操作式建設機械による死角を低減させるため、作業範囲より高い位置から遠隔操作をすることが重要である。

遠隔操作の無線は、特定小電力無線局429MHz帯を使用することが多い。

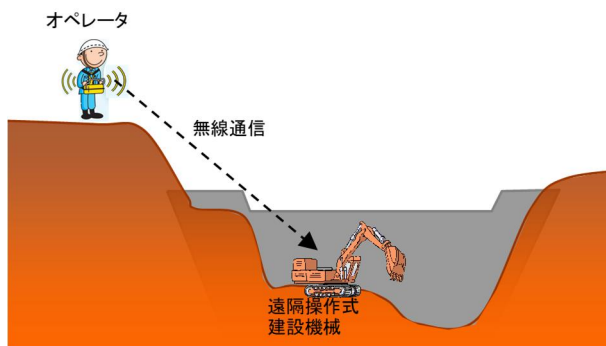


図-3.1 直接目視による実施方式概要図



写真-3.1 可搬型車載カメラシステム

（2）映像視認による実施方式（非ネットワーク方式）

映像視認による実施方式（非ネットワーク方式）は、遠隔操作オペレータが、車載カメラ、移動カメラおよび固定カメラ等の映像を視認しながら遠隔操作するものである。雲仙では、「第2世代」と言われている。使用する無線は、アナログタイプがほとんどであり、送受信は、1:1通信（送信1に対して、受信が1）となる。この実施方式の手配期間は、映像設備の数量等にもよるが、機器類の到着後、取付調整で7日程度が必要とされる。遠隔操作室から遠隔操作式建設機械までの通信距離は、1.5km程度までの実績があり、遠隔操作室から直接、遠隔操作式建設機械の遠隔操作を実施した事例（有珠山）と遠隔操作室から通信中継車を経由し、遠隔操作式建設機械の遠隔操作を実施した事例（雲仙普賢岳）がある。前者の場合、遠隔操作式建設機械の移動範囲（作業範囲）は、

1.5km 程度となるが、後者の場合は、通信中継車と遠隔操作式建設機械間で使用する無線による。特定小電力無線局 429MHz を使用した場合、概ね移動範囲（作業範囲）は、通信中継車から 300m程度となる。また、この無線中継は、この实施方式では、1 回の中継が限界である。理由は、使用する無線数と無線中継の調整時間が増大することによる。

この实施方式は、「1. 5 実施可能な工種」に記載したすべての工種への対応が可能である。ただし、近傍で複数セット（複数工区）の遠隔施工を実施する場合には、無線の混信等が発生する可能性が高くなるため、留意が必要である。また、施工時には、遠隔操作オペレータの他、電気通信工、カメラオペレータおよび無線管理者等の配置が必要となる。

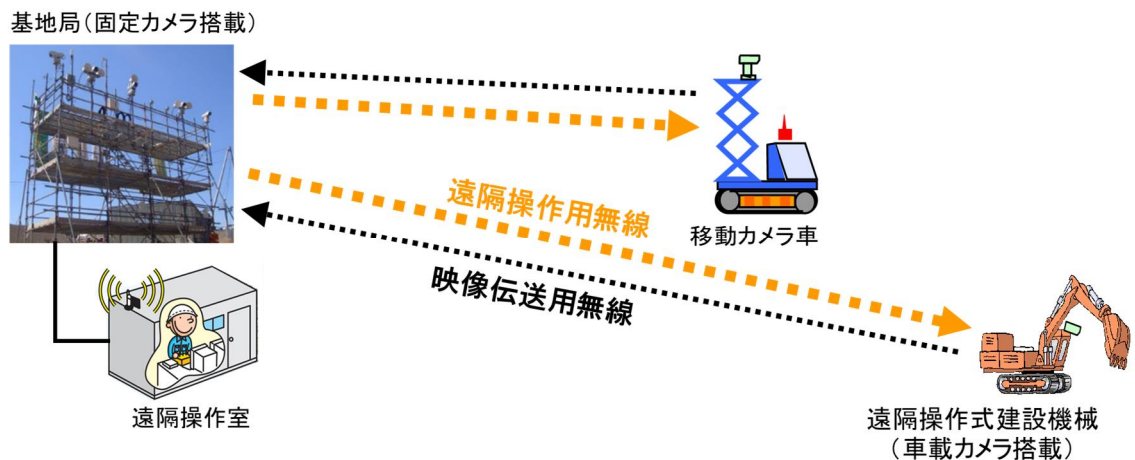


図-3.2 映像視認（非ネットワーク方式：直接）による实施方式概要図

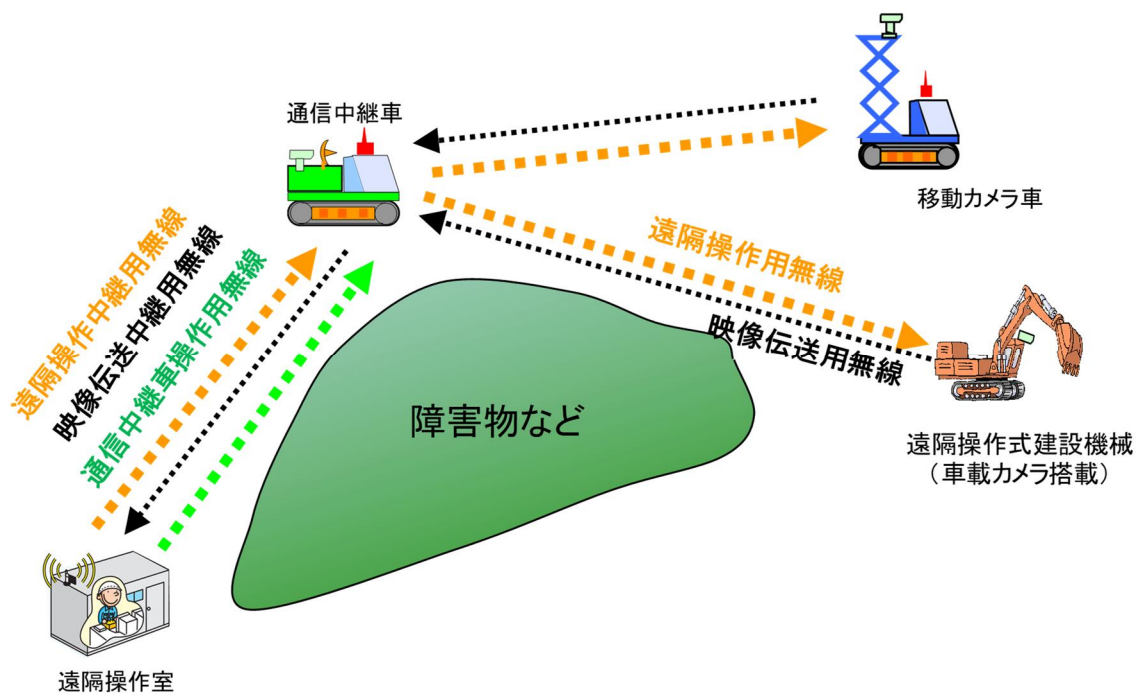


図-3.3 映像視認（非ネットワーク方式：中継）による实施方式概要図

（３）映像視認による実施方式（ネットワーク方式）

映像視認による実施方式（ネットワーク方式）は、非ネットワーク方式と同様に遠隔操作オペレータが、車載カメラ、移動カメラおよび固定カメラ等の映像を視認しながら遠隔操作するものである。雲仙では、「第４世代」と言われている。使用する無線は、Ethernet という通信規格に対応したデジタルの無線 LAN を使用し、送受信は、1:N 通信（基地局 1 に対して子機が N）となる。この実施方式の手配期間は、使用する通信機器の数量等にもよるが、機器類の到着後、取付調整で 10 日程度が必要とされる。遠隔操作室から遠隔操作式建設機械までの通信距離に制限はないが、遠隔操作室から通信中継車を経由した事例（雲仙普賢岳）では、1km 程度の実績がある。平成 23 年に雲仙普賢岳で実施された超長距離遠隔操作実験（国土交通省九州地方整備局）では、光ファイバーケーブルを併用し、直線距離で 30km の遠隔操作がなされた。また、この実施方式では、ハンドオーバー（通信中に電波の強い基地局に切り替えを行う技術）の機能を有している無線もある。この機能を使用すると通信中継車を適宜配置することにより、カバーエリアが広がり、カバーエリア内では、遠隔操作式建設機械は制限なく移動（作業）が可能である。

この実施方式は、「１．５ 実施可能な工種」に記載したすべての工種への対応が可能である。近傍で複数セット（複数工区）の遠隔施工を実施する場合には、無線の混信は発生しないが、IP アドレスが競合する可能性があるため、IP アドレスの調整が必要である。また、隣接工区で同一 ch に設定した場合、通信速度（通信量）が低下するため、事前に ch 調整をしておくといよい。また、施工時には、遠隔操作オペレータの他、電気通信工、カメラオペレータおよびネットワークの知見があるシステム通信工の配置が必要となる。

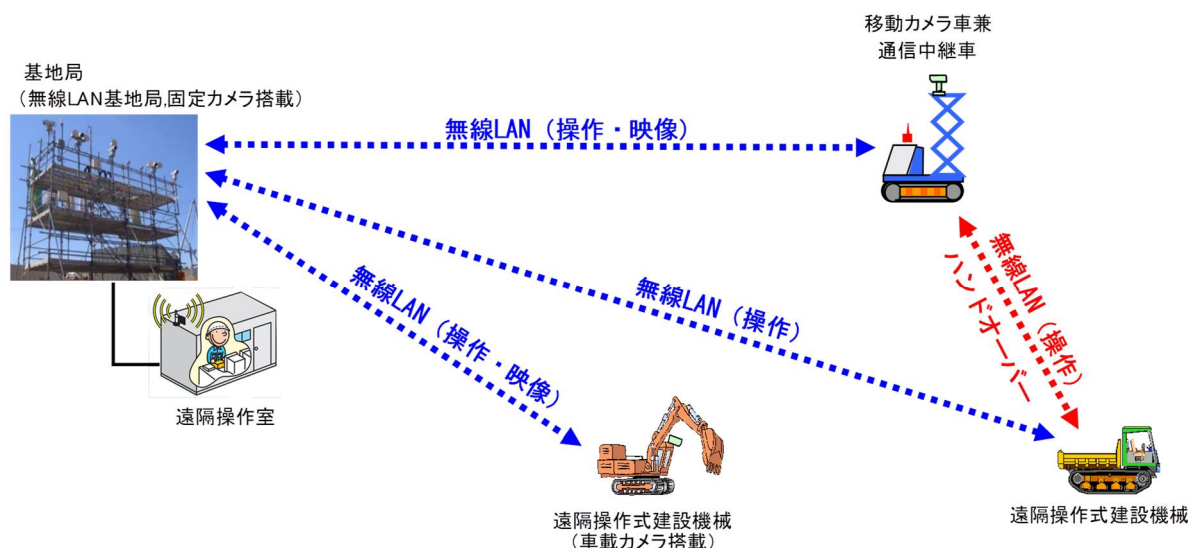
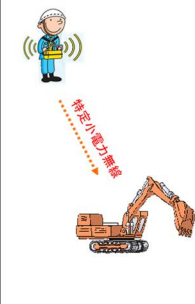
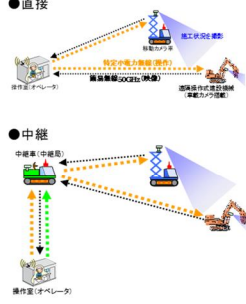
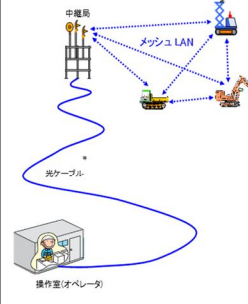
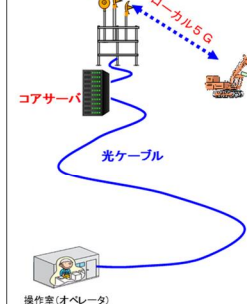


図-3.4 映像視認（ネットワーク方式）による実施方式概要図

(4) 各方式のメリットやデメリット

各方式のメリットやデメリット等を下記に示す。なお、第3世代は、第2世代または第4世代にて、ICT施工を併用するものを第3世代と称している。

表-3.1 各方式のメリットやデメリット一覧表

実施方式	直接目視方式	映像視認方式		
詳細	—	非ネットワーク方式（直接または中継）	ネットワーク方式	5Gネットワーク方式※3
世代	第1世代	第2世代	第4世代	—
概要	オペレータが遠隔操作式建設機械を直接目視しながら遠隔操作する実施方式である。	オペレータがカメラの捉えた遠隔操作式建設機械の映像をモニターで見ながら遠隔操作する実施方式である。第2世代はネットワークを使用しないため、遠隔操作と映像伝送は1:1通信である。第4世代は、すべての情報を集約し、ネットワークで伝送するため、1:n通信となる。また、第2または第4世代にてICT施工を併用するものを第3世代と称している。		
システムイメージ				
適用の目安	・操作距離が50～500m以内、かつ直接目視操作が可能であること。 ・オペレータが機械より高い位置から操作できること。 ・簡素な作業であること。	【直接方式の場合】 ・操作距離は、50～300m以内、かつ障害物がない（見通しが確保される）こと。 ・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。 【中継方式の場合】 ・操作室から中継車までの操作距離が1km以内かつ障害物がないこと。 ・中継車から機械までの操作距離が50～300m以内であること。 ・操作室から機械までの間に障害物が1箇所であること。 ・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。	・操作距離は障害物の有無を問わず600m以上が可能。 ・光ファイバケーブルを使用すると、超長距離からの操作も可能（実績：直線距離30km）。 ・見通し条件は問わない。操作距離（500m程度）が目安。 ・障害物の数に応じて、アクセスポイント（中継車）を設置する。 ・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。	・操作距離は障害物の有無を問わず〇m以上が可能。 ・光ファイバケーブルを使用すると、超長距離からの操作も可能。 ・見通しが必要。 ・映像視認ネットワーク方式では構築できないほどの大容量が必要であること。 ※技術の確立後の想定。
主な操作無線及び免許	特定小電力無線局(429MHz帯) 無線局免許:不要, 無線従事者免許:不要 簡易無線局(345MHz帯) 無線局免許:必要, 無線従事者免許:不要 業務用無線局(424MHz帯) 無線局免許:必要, 無線従事者免許:必要※2		小電力データ通信システム無線局(2.45GHz帯無線LAN, 25GHz帯無線LAN) 無線局免許:不要 無線従事者免許:不要	その他の無線局（基地局） 特定無線局（端末） 使用実績のある帯域 3.6, 4.5, 4.8GHz帯（Sub6帯） 28GHz帯 無線局免許:必要 無線従事者免許:必要※2
主な映像伝送用無線及び免許	簡易無線局(50GHz帯) 無線局免許:必要, 無線従事者免許:不要 小電力データ通信システム無線局(2.4GHz帯OFDM) 無線局免許:不要, 無線従事者免許:不要		包括無線局（5GHz帯無線LAN） 無線局免許:必要（無線登録） 無線従事者免許:必要※2	
準備に要する期間※1	・1日程度	・直接方式 7日程度 ・中継方式 10日程度	・10日程度（使用する機械台数と伝送するデータ数に影響を受ける）	・10日程度※4（使用する機械台数と伝送するデータ数に影響を受ける）※ ※5G機器を除く
メリット	・手配性は最もよい。 ・最も簡便な方法である。 ・遠隔操作式建設機械の改造等はない。 ・作業コストは、一般的に最も安い。	・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。 ・操作、映像ともにアナログ伝送であるため、伝送遅延は、ほぼない。 ・映像伝送は、専用の無線を使用するため、標準画質であるが、鮮明である。 ・全国で最も採用実績が多い。	・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。 ・ch数という概念がないため、混信や隣接工区の問題はない。 ・ハンドオーバー機能があるため、中継が簡便に構築可能である。 ・中継回数制限もない。 ・操作距離の制限もない。 ・光ケーブルの併用で超長距離からの遠隔操作が可能である（実績：直線距離30km）。 ・ハンドオーバーにより長距離の土砂運搬等が可能である。	—
デメリット	・操作距離が非常に短い。 ・死角や操作距離の影響を受け、作業効率が落ちる。 ・簡素な作業のみ対応可能。	・操作距離は操作室または中継車から300m以内となる。 ・中継方式は設備が複雑となる。 ・中継方式は、操作室～中継車と中継車～重機のそれぞれに無線を準備する必要がある。 ・使用する重機が多い場合、ch数や混信の影響を考慮する必要がある。 ・隣接工区がある場合も上記と同様の懸念が発生する。 ・中継方式の場合、一般的に最もコストが高い。	・画像をデジタル変換して伝送するため、通常より遅い画像となる。 ・画像の圧縮解凍により、伝送遅延が発生する。 ・すべてのデータをデジタル変換して、1度で伝送するため、混信があった場合、すべてがダウンする。 ・システムの故障が発生した場合、他の方式に比べると原因をつまみにくい。 ・システム運用の専門性が高く、通信工のスキルを必要とする。 ・中継を必要としない操作距離の無人化施工では最もコストが高い。	—

※1 機材の手配、運搬日数を除く。あくまでも参考値である。

※2 第三級陸上特殊無線技士以上の資格が必要である。

※3 高速通信ネットワーク方式

※4 基地局の申請に約2ヶ月の申請を必要とした事例があるため留意すること

(5) 各方式の選定

各方式の選定フローを下記に示す。

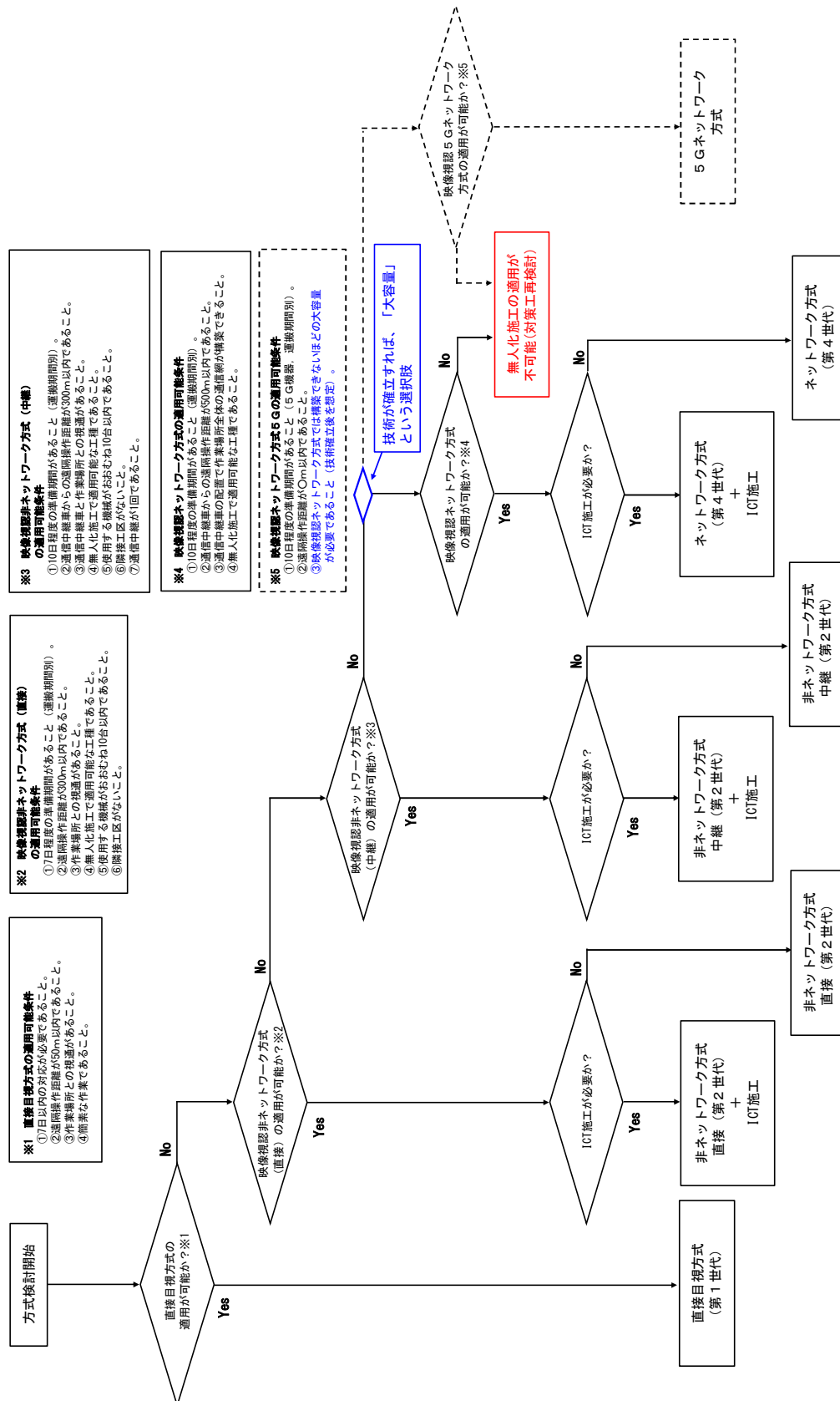


図-3.6 各方式の選定フロー

3. 2 遠隔操作式建設機械

遠隔操作式建設機械は、無線により遠隔地から操作できるものを示す。遠隔操作式建設機械には、無線の受信機、受信した信号から油圧バルブ等を動作させるためのコントロールユニットおよび動作状況等を示す回転灯が搭載されている。遠隔操作式建設機械には、専用型と外付型がある。

【解説】

(1) 遠隔操作式建設機械の機種や規格

遠隔施工は、災害復旧工事を背景に発展した技術であり、土工事が主体である。このため、遠隔操作式建設機械も土工事に関連したものが多く、機種・規格も限られている。このなかでバックホウは、比較的、規格がそろっている。これは、バックホウが工事の主機械であること、遠隔操作化のしやすさ、規格により制御方式の違いがあまりないことによる。その他の機械は、遠隔操作化や制御方式の問題と適用工事ごとに開発されてきた経緯などもあり、機種・規格が限られているのが現状である。近年、もともと遠隔操作での使用を前提として製作された専用型に加え、一般の建設機械を遠隔操作化する外付型（外付ロボット）も製作されている。この外付型は、バックホウの遠隔操作化に対応したものがほとんどである。選定に当たっては、遠隔操作式建設機械の国内保有台数が限られていること、現使用（保管）場所、搬入における大きさ・最大重量などの輸送制限を考慮する必要がある。主な遠隔操作式建設機械の機種・規格等下記に示す。

表-3.2 主な遠隔操作式建設機械の種類や規格

作業内容	機種	規格	備考
掘削・押土	ブルドーザ	60t 級 43, 32t 級 28t 級 21t 級, 16t 級	水陸両用 湿地式
掘削・積込	バックホウ	0.25～4.0m ³ 級	ブレーカ仕様あり 特殊アタッチメント仕様あり
運 搬	ダンプトラック	77t, 78t 級 45t 級 32t 級	リジットフレーム式 リジットフレーム式 アーティキュレート式
	不整地運搬車	12t 級 11t 級 10t 級 7t 級	全旋回型 全旋回型
締固め	振動ローラ	11t 級	ダム用 垂直振動型
その他	移動式カメラ車	2t, 4t 級 0.25～0.45m ³ 級	不整地運搬車ベース バックホウベース
	通信中継車	12t 級 6t 級	不整地運搬車ベース 低床式運搬台車ベース
	散水車	11t 級	不整地運搬車ベース
	清掃車	中型 0.45m ³ 級	専用車、トラクション型 バックホウベース



写真-3.2 ブルドーザ 21t 級湿地式



写真-3.3 バックホウ 1.4m³ 級



写真-3.4 重ダンプトラック 45t 級



写真-3.5 振動ローラ 11t 級ダム用



写真-3.6 外付ロボット

(2) 遠隔操作器

遠隔操作器は、遠隔操作式建設機械を遠隔地から操作するために使用されるものである。この遠隔操作器には、送信機が内蔵された可搬型と遠隔操作室からの操作を前提とした固定型がある。可搬型には、遠隔操作室内からの使用が可能な遠隔操作信号の出力端子がついたものもある。直接目視方式（第1世代）で使用する場合には、内蔵の送信機で通信し、遠隔操作室からの操作では、外付けの送信機を出力端子に接続する。この場合、内蔵の送信機からの送信はしない機構となっている。また、可搬型には前後左右

に一定程度（おおむね 45° 程度）傾けると内蔵された送信機からの発信を停止する機能がついている。これはデッドマン機構と言われる安全装置である。遠隔操作オペレータが操作している状態で転倒等をした場合に遠隔操作式建設機械を非常停止させるものである。この機構は、電車やバス等にも装備されている。



写真-3.7 遠隔操作器（可搬型）



写真-3.8 遠隔操作器（固定型）

（３）回転灯他

回転灯は、遠隔操作式建設機械の状態等を遠隔地から把握するために使用するものである。遠隔操作式建設機械のキャビン上や前方等の遠隔地から見やすい場所に設置される。回転灯の数量や表示色はメーカーにより様々であるが、2～3個が設置されている。

①遠隔地から機械のモードを把握する目的として使用。

無線オンオフ、無線可否、非常停止、エンジン稼働状態等の把握

②遠隔地から機械の状態を把握する目的として使用。

機械の異常（油圧低下等）の有無を把握（ランプの間欠点灯）

③遠隔地から機械の方向を確認する目的として使用。

旋回体があるもの。上部旋回体に対する走行体の向きを把握



写真-3.9 遠隔操作式建設機械に設置される回転灯

3. 3 映像設備

遠隔施工設備のうち、映像設備は、遠隔操作オペレータの目の代わりとなるものである。遠隔操作式建設機械の機種、作業内容および用途により、様々なカメラが使用される。各機械につき、2台以上のカメラで立体的イメージができ、かつ、死角ができない配置とすることが重要である。特に有人との輻輳作業・区域である土砂仮置場などは留意が必要である。

【解説】

(1) 映像設備の種類や仕様

1) 種類

遠隔施工で使用される映像設備の種類を下記に示す。

- ①機械に搭載され、作業を局所監視するカメラ（車載カメラ）
- ②作業を局所監視するカメラで、作業状況に応じて移動するもの（移動カメラ）
- ③作業を局所監視するカメラで、作業状況に応じて移動しないもの（固定カメラ）
- ④作業全体を映し、作業状況の把握や機械の離隔状況を確認するもの
（高所カメラ、固定カメラ）
- ⑤運搬路、登坂路、屈曲点などに設置されるもの
（移動カメラ、固定カメラ、高所カメラ）
- ⑥有人・無人の輻輳作業やその作業を監視するもの（固定カメラ、高所カメラ）
- ⑦その他の用途（無線照準、プリズム視準等）

各遠隔操作式建設機械が使用する映像設備一覧を表-3.3に示す。

表-3.3 各遠隔操作式建設機械が使用する映像設備一覧

	バックホウ	ブルドーザ	運搬機械	その他機械
作業時	車載映像 正面方向映像 側面方向映像 ヤード全体映像 他機械作業映像	正面方向映像 側面方向映像 ヤード全体映像 他機械作業映像	バックホウ車載映像 バックホウ正面方向映像 バックホウ側面方向映像 運搬路映像(150mごと) 運搬路屈折点映像 斜路映像 仮置場正面映像 仮置場側面映像 全体映像	正面方向映像 側面方向映像 ヤード全体映像 他機械作業映像
移動時	モータプール（無人化区域外）～ヤード間映像			

2) 車載カメラ

車載カメラは、遠隔操作式建設機械に搭載し、運転席からの映像を映すものである。主にバックホウに搭載され、掘削場所と足元および積込場所を視準する。使用するカメラは、バックホウの振動等に対する機器の耐久性と遠隔操作オペレータの作業形態（両手がふさがっているため、ズーム等のカメラ操作が困難）から、固定焦点のカメラを2

台使用するのが一般的である。また、これまでは、スタンダード映像と言われる 640×480dpi の画質のカメラが使用されてきたが、近年、フルハイビジョン(1,920×1,080dpi) のカメラが使用されることもある。直接目視方式でも、オペレータに死角が生じる場合に使用する場合がある(前述)。構造物設置工では、対象物の把持状況を確認するため、2台のうち、1台を移動カメラと同様のカメラ(電動ズームレンズ+電動旋回雲台)とすることもある。

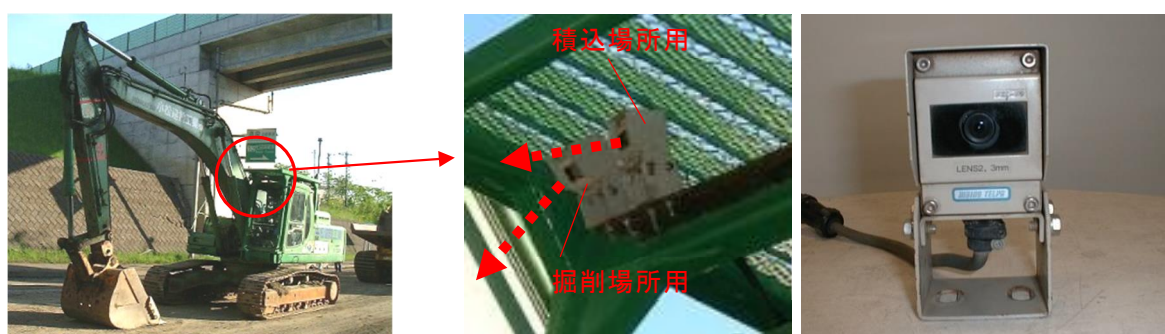


写真-3.10 車載カメラ概要

3) 移動カメラ

移動カメラは、遠隔操作式建設機械に搭載し、ヤードの任意の場所から、視準対象の遠隔操作式建設機械の映像を映すものである。移動カメラを搭載する建設機械は、移動カメラ車(後述)と言われ、専用に開発された建設機械やバックホウを使用する。日々の作業内容により、視準対象の遠隔操作式建設機械の向きに対応するためにヤード内に設置される。使用するカメラは、電動ズームレンズにより望遠・広角が可能で、電動旋回雲台によりカメラを上下左右に動作することもできる。これまでは、スタンダード映像と言われる 640×480dpi の画質のカメラが使用されてきたが、近年、フルハイビジョン(1,920×1,080dpi) のカメラが使用されることもある。

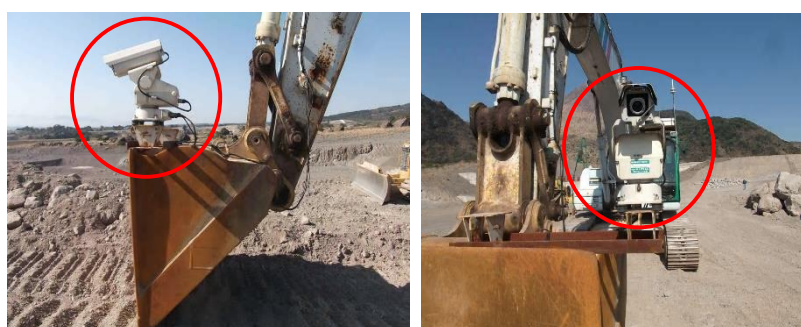


写真-3.11 移動カメラ(バックホウのバケットに搭載)

4) 固定カメラ、高所カメラ

固定カメラは、遠隔操作室上部や無線基地局(後述)に設置し、現場の全体監視や工事用道路のカーブおよび掘削箇所などを行うものである。ある一定の場所に固定して使用されるために「固定カメラ」と言われる。使用するカメラは、移動カメラと同様に電動ズームレンズにより望遠・広角が可能で、電動旋回雲台によりカメラを上下左右に動

作することもできる。また、現場の全体監視に特化したものを「高所カメラ」と呼ぶ場合もある。これまでは、スタンダード映像と言われる 640×480dpi の画質のカメラが使用されてきたが、近年、フルハイビジョン（1,920×1,080dpi）のカメラが使用されることもある。固定カメラは、設置作業やメンテナンス時に電気通信工等の安全が確保される場所に設置するのが基本である。



写真-3.12 固定カメラ外観（左）および固定カメラ映像（右）

（２）映像設備の使い分け

映像設備の使い分けの一例を遠隔操作式建設機械ごとに示す。

１）バックホウ

バックホウは、車載映像を軸とし、正面方向＋側面方向の外部からの２映像を付加するのが一般的である。それぞれの目的を下記に示す。

①車載映像

積込み作業では、掘削場所と足場（足元）を監視するものと荷積み状況（ベッセル位置）を監視するものの２つのカメラを搭載するのが一般的である。狭隘な場所での作業では、これに加えてカウンタウェイト上に取り付け、後方監視を行う場合もある。これらに使用するカメラは、一般的には固定焦点のものであるが、構造物設置工では、対象物の把持状況を確認するため、２台のうち、１台を移動カメラと同様のカメラ（電動ズームレンズ＋電動旋回雲台）とすることもある。

②正面方向＋側面方向の外部２映像

作業監視が主目的である。２方向からの映像とするのは、立体感をだすことによる作業効率の向上や運搬機械との離隔距離を保つことによる安全性の向上による。

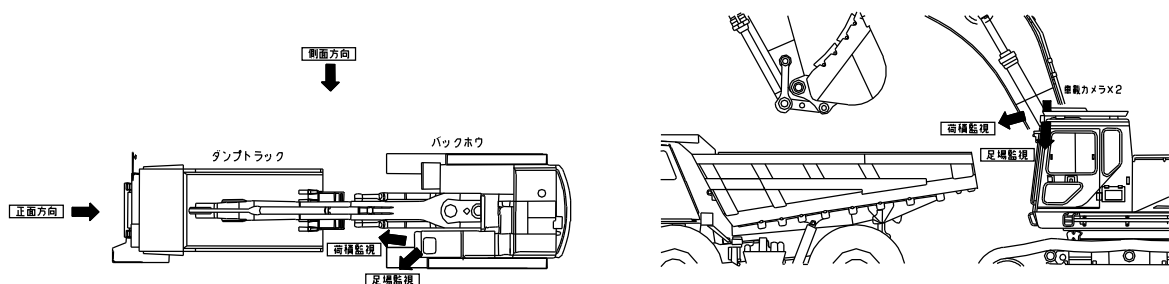


図-3.6 バックホウの映像設備配置例

2) ブルドーザ

ブルドーザに対しては、正面方向＋側面方向の2映像を軸に、加えて必要な映像を付加するのが一般的である。車載カメラが搭載されることは少ない。

3) 運搬機械

運搬機械に対しては、他機械と輻輳作業となる部分、積込み場所や荷下ろし場所については正面＋側面方向の2映像を軸として配置するのが一般的である。積込み場所の映像については、バックハウと共用となる。また、運搬路については、1方向から機械全体が映るように配置し、死角がないようにし、屈曲点や搬入斜路等には、確実にカメラを配置することが重要である。また、運搬路が長い場合には、100～150m程度に1台ずつカメラを配置することも重要である。

4) 敷均し・締固め機械

敷均し・締固め機械に対しては、正面方向＋側面方向の2映像を軸に、加えて必要な映像を付加するのが一般的である。車載カメラは搭載されることは少ない。

5) 土砂仮置場等の有人・無人輻輳作業区域

土砂仮置場等の有人・無人輻輳作業区域に対しては、機械と同様に正面方向＋側面方向の2映像を軸にするのが一般的である。土砂仮置場の場合、盛土されて死角がしやすい。このため、高所作業車上や枠組み足場等を利用し、高所から監視することが重要である。

6) その他の用途

その他の用途として、無線 LAN25GHz 帯や簡易無線局 50GHz 帯の視準用に使用するカメラ（照準カメラ）がある。無線 LAN25GHz 帯は、映像視認ネットワーク方式の中継用無線として広く使用されている。この無線局は、使用している帯域が高く指向性が非常に強い。運用については、送受信機の対向性を確保する必要がある。このために片方の無線機にカメラを併設し、そのカメラにてもう片方の無線機を視準することで対向性を保持する。

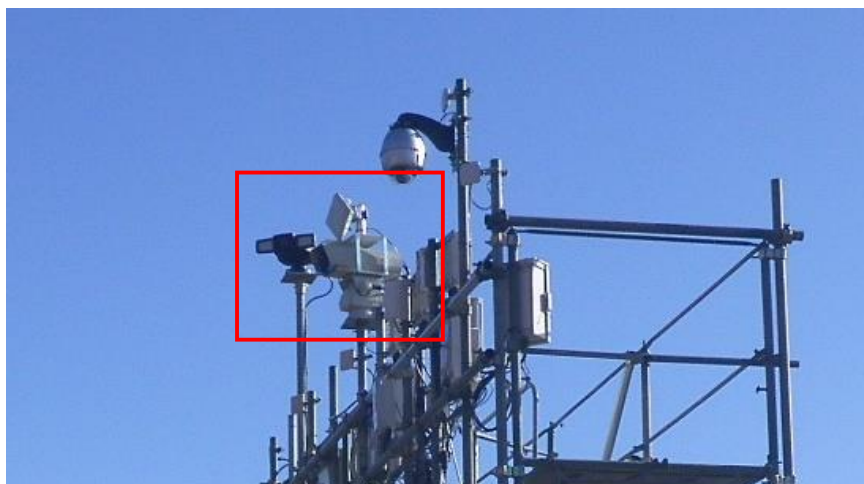


写真-3.13 照準カメラ設置状況

3. 4 無線設備

遠隔施工設備のうち、無線設備は、遠隔操作式建設機械への遠隔操作信号の伝送や現地映像の遠隔操作室への伝送を行う。使用用途や通信距離等により、選定できる無線種別が異なる場合がある。また、使用する無線によっては、無線局免許申請が必要な場合や無線従事者免許保有者の管理が必要な場合もあるため、選定には、留意が必要である。

【解説】

(1) 無線設備の種類や仕様

1) 種類

遠隔施工で使用される無線設備の種類を下記に示す。

- ①建設機械を遠隔操作するために使用する無線
- ②建設機械稼働情報を伝送する無線
- ③建設機械の車載映像を伝送する無線
- ④有線接続できない箇所に設置する映像設備の伝送用無線
- ⑤カメラの制御信号を伝送する無線
- ⑥GPS などの位置情報を伝送する無線
- ⑦その他制御情報を伝送する無線

無線設備の選定については、通信の内容、必要距離、現場条件（見通し等）、連続性の有無等を検討する必要がある。これまで使用されてきた無線設備一覧を表-3.4 に示す。また、次項以降に主に使用される無線種類の仕様や特徴を示す。

表-3.4 これまで使用されてきた無線設備一覧表

用途	無線種類	無線局 免 許	従事者 免 許	出力
操 作 用	348MHz 帯小エリア無線局(簡易無線局)	要	不要	1W
	400MHz 帯実験局(建設無線) ^{※1}	要	要	1W
	429MHz 帯特定小電力無線局	不要	不要	10mW
	2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局(LAN 方式)	不要	不要	10mW/MHz
	2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局(SS 方式)	不要	不要	10mW/MHz
	5GHz 帯無線アクセスシステム無線局(LAN 方式)	要	要	250mW
	25GHz 帯小電力データ通信システム無線局(LAN 方式)	不要	不要	1mW
映 像 伝 送 用	1.2GHz 帯携帯局(アナログ伝送)	要	要	1W
	2.45GHz 帯実験局(建設無線) ^{※2}	要	要	1W
	2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局(SS 方式)	不要	不要	10mW/MHz
	2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局(OFDM 方式)	不要	不要	10mW/MHz
	5GHz 帯無線アクセスシステム無線局(LAN 方式)	要	要	250mW
	5.7GHz 帯携帯局陸上移動局	要	要	1W
	25GHz 帯小電力データ通信システム無線局(LAN 方式)	不要	不要	1mW
	50GHz 帯簡易無線局	要	不要	30mW

※1～2 建設無線協会が許認可・運用している無線局であり、協会員のみが使用可能。

2) 429MHz 帯特定小電力無線局

429MHz 帯特定小電力無線局は、遠隔操作式建設機械の操作用無線として一般的に使用されているものである。遠隔操作距離は、条件にもよるが、300m程度とされている。これは、使用している周波数帯が比較的低いことや送信出力も 10mW 以下であるためである。併せて、指向性が低いため、移動体の通信に適しているが、安定した通信を行うためには、見通しが必要である。無線局免許、従事者免許は共に不要であり、40 チャンネルの割付がある。ただし、近傍で複数のチャンネルを使用する場合、隣接波や共振現象の影響を受け、理論上の同時使用は 8 チャンネル程度とされている。

表-3.5 429MHz 帯特定小電力無線局のチャンネル割付

チャンネル (ch)	周波数 (MHz)	チャンネル (ch)	周波数 (MHz)	チャンネル (ch)	周波数 (MHz)	チャンネル (ch)	周波数 (MHz)
1	429.2500	11	429.3750	21	429.5000	31	429.6250
2	429.2625	12	429.3875	22	429.5125	32	429.6375
3	429.2750	13	429.4000	23	429.5250	33	429.6500
4	429.2875	14	429.4125	24	429.5375	34	429.6625
5	429.3000	15	429.4250	25	429.5500	35	429.6750
6	429.3125	16	429.4375	26	429.5625	36	429.6875
7	429.3250	17	429.4500	27	429.5750	37	429.7000
8	429.3375	18	429.4625	28	429.5875	38	429.7125
9	429.3500	19	429.4750	29	429.6000	39	429.7250
10	429.3625	20	429.4875	30	429.6125	40	429.7375

3) 2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局 (OFDM 方式)

2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局 (OFDM 方式) は、遠隔操作式建設機械の車載カメラ映像伝送用無線として、映像視認非ネットワーク方式で一般的に使用されているものである。伝送距離は、条件にもよるが、500m程度とされている。使用している周波数帯は高めであり、指向性はあるが、アンテナ等の工夫により移動体の通信に適している。しかし、安定した通信を行うためには、見通しが必要である。無線局免許、従事者免許は共に不要であり、10 チャンネルの割付がある。ただし、映像視認ネットワーク方式での併用は考慮する必要がある。この方式で 2.4GHz 帯の無線 LAN を使用すると混信が発生するからである。

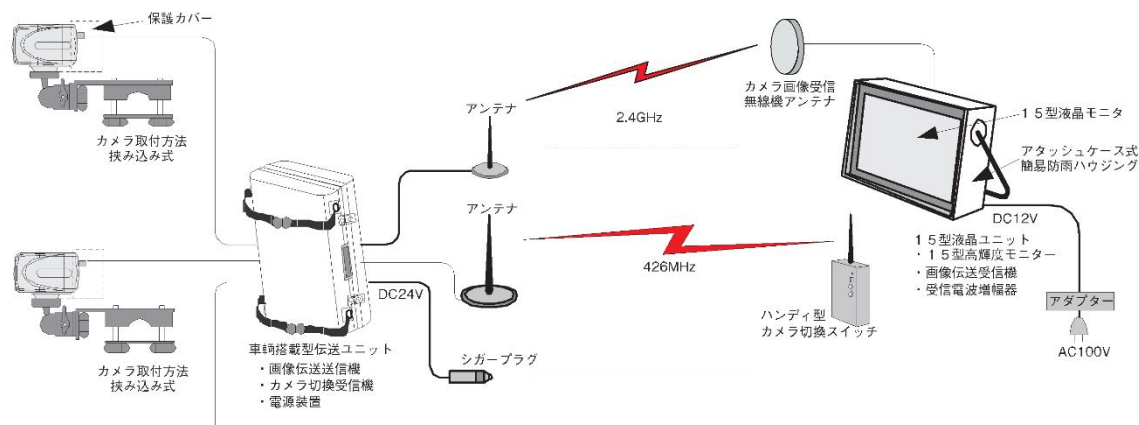


図-3.8 車載カメラシステム構成図例

4) 2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局 (LAN 方式)

2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局 (LAN 方式) は、映像視認ネットワーク方式で遠隔操作信号、映像信号等の一括送受信に一般的に使用されているものである。伝送距離は、条件にもよるが、500m程度とされる。使用している周波数帯は高めであり、指向性はあるが、アンテナ等の工夫により移動体の通信に適している。しかし、安定した通信を行うためには、見通しが必要である。無線局免許、従事者免許は共に不要であり、13 チャンネルの割付がある。ただし、前述の 2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局 (OFDM 方式) での併用は考慮する必要がある。この方式と 2.4GHz 帯の無線 LAN を近傍で使用すると混信が発生するからである。また、この無線局は、主に IEEE 802.11g を使用しており、チャンネル割は下記のとおりとなっている (表-3.6)。チャンネルは、5MHz ごとに中心周波数が割り振られている。これは、無線 LAN で使用する場合、メーカーや用途に関わらず共通である。ここで、問題になるのは、チャンネル幅 (帯域幅) が 22MHz (中心周波数から±11MHz) であるのに対して、チャンネル割が 5MHz になっていることである。例えば 6CH の 2.437GHz を使用する場合、チャンネル幅が 22MHz であるため、2.426~2.448GHz の幅で電波が発射されてしまう。要は、2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10CH に影響を及ぼす (図-3.8) ということである。これが特定小電力無線局のようなアナログ通信であれば、上記 CH は混信が発生し、使用できなくなる。しかし、無線 LAN では、IP アドレスの競合以外に混信は発生しないとされている。ただし、この場合、上記 CH の通信速度が下がるなどの影響はある。これより、2.4GHz 帯の無線 LAN を使用する場合には、「1, 6, 11」、「2, 7, 12」、「3, 8, 13」のように 5CH ずつ離して割り当てていくことが一般的である。4CH 以上使用する場合には、4CH ずつ離して割り当てれば、多少の干渉はあるものの、使用できなくはないと考える。

表-3.6 2.4~2.5GHz 帯無線 LAN のチャンネル割

CH	周波数	CH	周波数	CH	周波数
1	2.412GHz	6	2.437GHz	11	2.462GHz
2	2.417GHz	7	2.442GHz	12	2.467GHz
3	2.422GHz	8	2.447GHz	13	2.472GHz
4	2.427GHz	9	2.452GHz		
5	2.432GHz	10	2.457GHz		

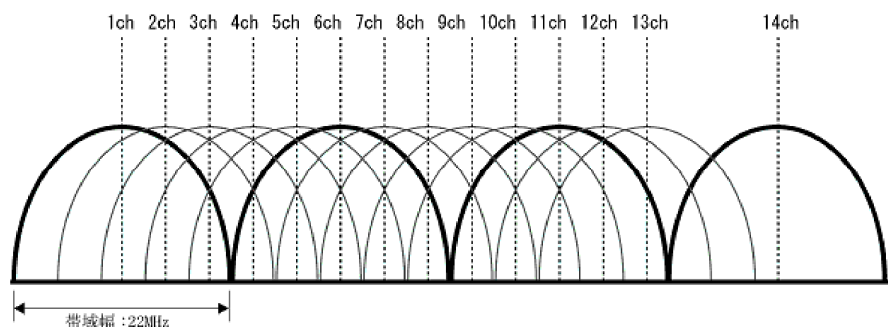


図-3.8 電波の反射と影響範囲

（２）無線設備の選定の留意点

１）概要

無線設備を選定するうえでの留意点を示す。なお、留意点は、映像視認非ネットワーク方式（第２世代）と映像視認ネットワーク方式（第４世代）では、異なる場合があるため、その旨も下記に示す。また、次項に代表的な留意点の詳細を示す。

【第２世代、第４世代共通】

- ①施工距離（通信距離）がどの程度であるか。
- ②見通し条件の有無。また、屈折箇所がどの程度あるか。
- ③同一地域内で使用する同種無線の使用数（ch数）がどの程度あるか。
- ④使用する無線の免許・許認可はどうであるか。

【第２世代のみ】

- ⑤映像伝送は、アナログかデジタルのどちらにするか、使い分けをするのか。
- ⑥通信内容は送受信か送信のみか。
- ⑦通信条件は連続発信可能が必要か休止時間ありでも問題ないか。

【第４世代のみ】

- ⑧使用する無線のデータ伝送速度（伝送量）はどの程度であるか。
- ⑨伝送する全体のデータ伝送総容量はどの程度であるか。

２）施工距離（通信距離）

施工距離は、第２世代と第４世代で観点は異なるが、非常に重要な留意点である。第２世代においては、遠隔操作は、429MHz 帯特定小電力無線局が標準であり、施工距離 300 m程度となる。これを超える場合には、違う無線を選択することとなる。見通し条件の有無も重要な留意点となるが、ここでは、見通し条件があるものとして、一覧表に示す。また、施工距離は、遠隔操作室と遠隔操作式建設機械間の距離ではなく、遠隔操作式建設機械が移動できる距離を示す。

表-3.9 無線種類別の施工距離一覧表

無線種類	施工距離※2
429MHz 帯特定小電力無線局	0～300m
348MHz 帯小エリア無線局（簡易無線局）	0～1,000m
400MHz 帯実験局（建設無線）※1	0～5,000m
2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局（SS 方式）	0～1,000m
2.4GHz 帯小電力データ通信システム無線局（LAN 方式）	0～500m
	0～1,000m（中継）
5GHz 帯無線アクセスシステム無線局（LAN 方式）	0～600m
	0～1,200m（中継）

※1 建設無線協会が許認可・運用している無線局であり、協会員のみが使用可能。

※2 施工距離は、あくまでも目安であり、現場条件により異なる場合がある。

3) 同一地域内で使用する同種無線の使用数

同一地域内で使用する同種無線の使用数も、第2世代と第4世代では観点が異なるが、非常に重要な留意点である。遠隔操作に使用する 429MHz 帯特定小電力無線局は、40 チャンネルの割付があるが、同時使用可能数は、理論上は、8 チャンネルとなる。また、近傍に他工区がある場合、その工区等も考慮した選定が必要となる。これより、どのような種類の無線を使用するのか、また、どのチャンネルに設定するのかを施工前に決定しておく必要がある。また、近傍に他工区がある場合には、他工区の無線担当者と事前調整することも重要である。運用時にも留意が必要となる（後述）。

(3) 無線設備の運用上の留意点

映像視認非ネットワーク方式での遠隔施工では、複数の無線と無線種類を使用する。これより、施工者等は、自社の使用無線一覧表を作成し、管理運用することが重要である。近傍に他工区がある場合には、他工区の無線担当者と工事開始前に使用する無線種類、無線数およびチャンネル等の調整をする必要がある。また、施工中には、定期的に自社が発射しているチャンネルのチェックをすることも重要である。このチャンネルのチェックに使用するのが、マルチバンドレシーバである。このマルチバンドレシーバで感知可能な周波数は、概ね、100KHz～1299.990MHz である。映像視認ネットワーク方式が導入され始めてからは、使用する周波数帯が 2.4GHz 帯や 5GHz 帯であり、感知できないことと混信の概念がチャンネルから IP アドレスの競合に変わったため、使われない。

映像視認ネットワーク方式での遠隔施工では、周波数帯域と混信の概念変化により、チャンネル管理はあまり必要ではない。その代わりに IP アドレス管理が重要となる。ただし、近傍に他工区があり、映像視認ネットワーク方式である場合、同様の周波数帯で隣接チャンネルであった場合、伝送速度が低下することがある（3.4(1)1)参照）。これより、PC 等にインストール可能な「WiFi Analyzer」という無料ソフトウェアをインストールして、電波の発信状況を確認することも重要である。このソフトウェアは、2.4GHz 帯と 5GHz 帯に対応しており、映像視認方式ネットワーク方式が使用する無線 LAN の周波数帯にマッチしている。

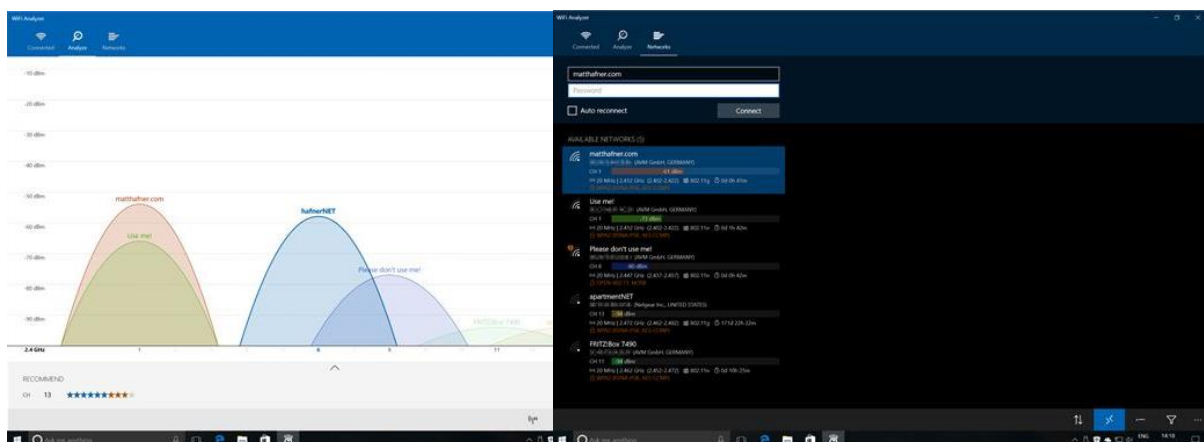


図-3.9 WiFi Analyzer による無線確認（左：CH ごとの出力 右：発信元情報）

3. 5 その他の機器類

遠隔施工設備には、無線設備と映像設備の他、遠隔操作室、移動カメラ車などがある。それぞれ適切なものを選定することが重要である。

【解説】

(1) 遠隔操作室

遠隔操作室は、遠隔操作式建設機械等を遠隔地から操作するための基地である。遠隔操作室内には、車載カメラ、移動カメラおよび固定カメラの映像を映すモニタ類やＩＣＴ機器類のコントロール画面等が配置されている。遠隔操作オペレータ１名に対して、操作卓１台とモニタ４台を設置するのが一般的である。この他、カメラオペレータや電気通信工などの操作卓や管理スペースも準備する。工事で使用するすべての映像は、遠隔操作室内のマトリクススイッチャーに入力される。また、マトリクススイッチャーから各遠隔操作オペレータが必要とする映像を出力し、モニタに映すのが一般的である。

遠隔操作室には、定置式と移動式がある。遠隔操作室を設置する場所の安全性が確保されており、ある程度の工事期間がある場合には、定置式を使用する。初動対応や設置時間の短縮や万一の場合の退避が必要な場合には移動式を使用する。定置式遠隔操作室は、現場事務所等でも使用される連棟型パネルユニットハウスを使用する。工事内容にもよるが、除石工の場合、収容人数が６～７名程度（管理者１名、遠隔操作オペレータ４名、電気通信工１名、カメラオペレータ１名）であるため、３～４連棟にすることが一般的である。また、施工管理業務や作業打合せ等も遠隔操作室で行う場合もあるため、これらも考慮に入れた広さの選定が必要である。

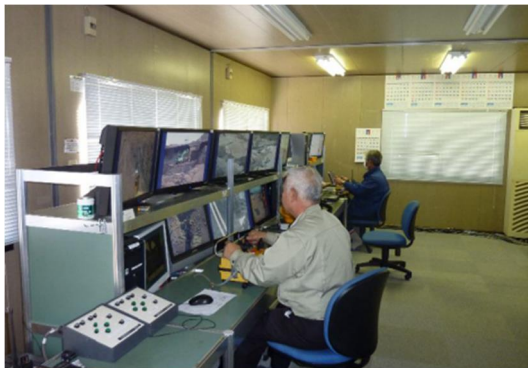


写真-3.14 遠隔操作室内部状況（左：定置式 右：移動式）



写真-3.15 遠隔操作室外観（左：定置式 右：移動式）

（２）移動カメラ車等

移動カメラ車は、施工現場の映像を映すことを目的とした専用の機械である。遠隔操作式バックホウや遠隔操作式不整地運搬車を利用したものと移動カメラ車専用開発された遠隔操作式建設機械がある。施工現場の中を遠隔操作で移動することが可能であるため、施工状況に応じて必要な映像を映すことができる。また、移動カメラ車に通信中継機能を持ったものを通信中継車と呼ぶ。映像視認ネットワーク方式で遠隔操作距離が500mを超える場合に通信中継車を併用し、無線通信を確保する。工事内容にもよるが、除石工の場合、3台程度配置される。



写真-3.16 移動カメラ車（左：バックホウベース 右：専用車両）

（３）無線基地局

無線基地局は、遠隔操作用送信機、映像無線受信機および固定カメラ等を設置するための設備である。無線基地局は、枠組み足場を使用するのが一般的である。通信対象となる遠隔操作式建設機械や移動カメラ車等のアンテナが見通せることや固定カメラの視線などを考慮して、枠組足場の高さや幅を決定する。工事内容にもよるが、除石工の場合、3～4段×3～4スパン程度である。通常、遠隔操作室の近くに設置し、有線で接続されている。無線基地局を設置する場合には、通常の枠組み足場と同様に手すりや幅木等を施設し、電気通信工の安全の確保を講じる必要がある。また、風対策の養生も講じる必要もある。



写真-3.17 無線基地局

（４）特殊アタッチメント類

遠隔操作式バックホウに各種の特殊アタッチメントを装着し、作業をする場合がある。一般的なものとしては、大型ブレーカ（油圧式）を装着した転石破碎工（前述）である。その他、大型土のう積工（前述）では、特殊な吊具を使用することもある。また、護床ブロックや鋼製スリット設置では、専用に開発された特殊アタッチメントを使用して作業を行う。

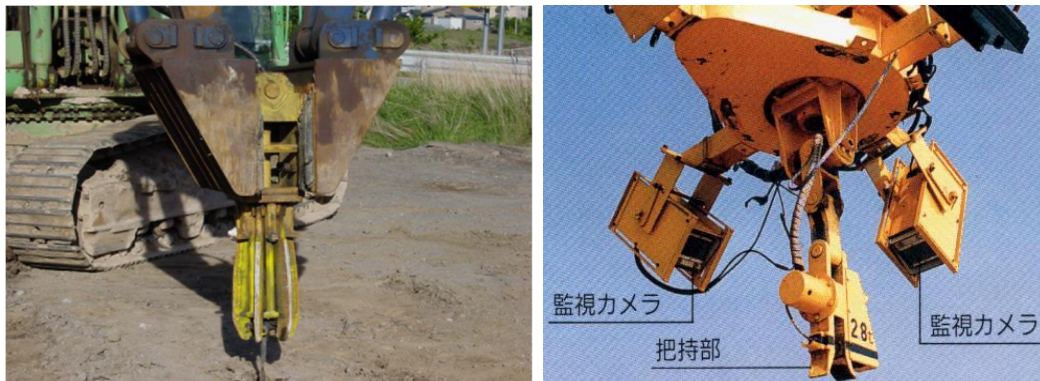


写真-3.18 特殊アタッチメント（左：護床ブロック用 右：PCa ブロック用）

3. 6 ICT機器類

遠隔施工では、マシンガイダンスシステム等のICT機器類を使用し、施工効率や施工精度等の向上を図っている。工種に応じて適切なものを選定することが重要である。

【解説】

（１）マシンガイダンスシステム

マシンガイダンスシステムは、設計データをもとに建設機械を3Dでガイダンスするものである。対象となる建設機械は、主にバックホウである。バックホウ本体にGNSS受信機やTSターゲットを装着する。また、ブーム・アーム・バケットに装着した角度センサを装着し、これらの情報をもとにバケットの高さと傾きをコントローラに表示する。バックホウオペレータは、このコントローラを見ながら作業することで、より高精度な施工が可能となる。有人作業において、マシンガイダンスシステムのコントローラはキャビン内に装着されている。しかし、遠隔施工の場合、遠隔操作であるため、キャビン内のコントローラの画面を見ることができない。これより、このシステムを無人化施工で適用する場合、コントローラを遠隔操作室に設置し、そこから操作できるようにする改造が必要となる。

マシンガイダンスシステムに関連する要領等を下記に示す。参照されたい。

- ・TS（ノンプリズム方式）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）
平成30年3月 国土交通省
- ・施工履歴データによる土工の出来高算出要領（案）
平成31年3月 国土交通省
- ・施工履歴データを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）
令和3年3月 国土交通省



写真-3.19 マシンガイダンスシステム（左：機械 右：操作状況）

（２）マシンコントロールシステム

マシンコントロールシステムは、設計データをもとに建設機械の作業を 3D で自動制御するものである。対象となる建設機械は、主にブルドーザである。ブルドーザの排土板中心または両端に GNSS 受信機と加速度センサ等の各種センサを装着する。また、それらの情報をもとに排土板の自動制御を行うための油圧バルブ等を装着し、コントローラからの指示で排土板の自動制御が行われる。ブルドーザオペレータは、敷均し状況に応じて、コントローラから自動制御の指示を行い、敷均し面の仕上げ作業を行うことで、より高精度な施工が可能となる。有人作業において、マシンコントロールシステムのコントローラは、キャビン内に装着されている。しかし、遠隔施工の場合、遠隔操作であるため、キャビン内のコントローラの操作をすることができない。これより、このシステムを遠隔施工で適用する場合、コントローラを遠隔操作室に設置し、そこから操作できるようにする改造が必要となる。なお、雲仙普賢岳における遠隔施工による砂防えん堤工（RCC）の RCC の敷均しでは、施工精度確保のため、欠かせないシステムとなっている。

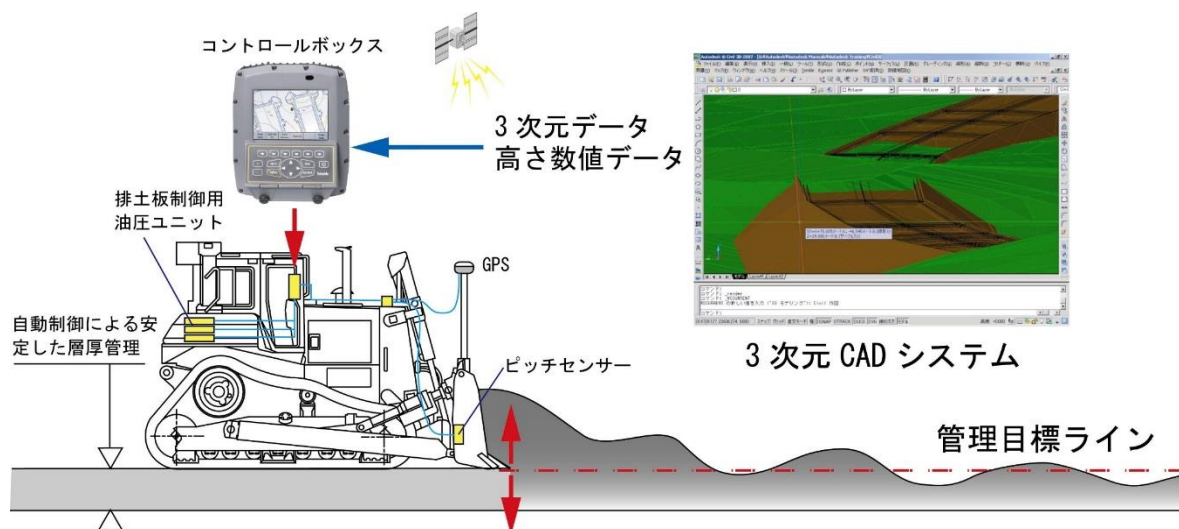


図-3.10 ブルドーザマシンコントロール概要図

（３）転圧管理システム

転圧管理システムは、建設機械の転圧箇所の回数を管理するものである。対象となる建設機械は、主に振動ローラである。振動ローラのキャビン上に GNSS 受信を装着する。また、その情報と初期値情報をもとにコントローラが演算し、転圧箇所ごとの位置と転圧回数が記録されていく。振動ローラオペレータは、転圧箇所の転圧開始と同時にコントローラへ記録をするとともに画面を見ながら指定回数になるまで転圧作業を行う。このシステムの使用により、転圧回数カウント等の人為的なミスがなくなり、転圧面の均一な品質管理が可能となる。有人作業において、転圧管理システムのコントローラは、キャビン内に装着されている。しかし、遠隔施工の場合、遠隔操作であるため、キャビン内のコントローラの操作や画面を見ることができない。これより、このシステムを遠隔施工で適用する場合、コントローラを遠隔操作室に設置し、そこから操作できるようにする改造が必要となる。なお、雲仙普賢岳における遠隔施工による砂防えん堤工（RCC）の RCC の転圧では、品質確保のため、欠かせないシステムとなっている。

転圧管理システムに関連する要領等を下記に示す。参照されたい。

・ T S ・ G N S S を用いた盛土の締固め管理要領 令和 2 年 3 月 国土交通省



写真-3.20 転圧管理システムを搭載した振動ローラおよび管理画面

（４）敷均し管理システム

敷均し管理システムは、建設機械の敷均し高さの分布を管理するものである。対象となる建設機械は、主にブルドーザである。ブルドーザのキャビン上に GNSS 受信機を装着する。また、その情報と初期値情報をもとにコントローラが演算し、敷均し箇所の位置と標高が記録されていく。ブルドーザオペレータは、敷均し箇所の敷均し開始と同時にコントローラへ記録するとともに目標の標高になるまで敷均し作業を行う。このシステムの使用により、敷均し施工精度が向上し、敷均し面の均一な品質管理が可能となる。有人作業において、敷均し管理システムのコントローラは、キャビン内に装着されている。しかし、遠隔施工の場合、遠隔操作であるため、キャビン内のコントローラの操作や画面を見ることができない。これより、このシステムを遠隔施工で適用する場合、コントローラを遠隔操作室に設置し、そこから操作できるようにする改造が必要となる。

なお、雲仙普賢岳における遠隔施工による砂防えん堤工（RCC）のRCCの敷均しでは、品質確保のため、欠かせないシステムとなっている。

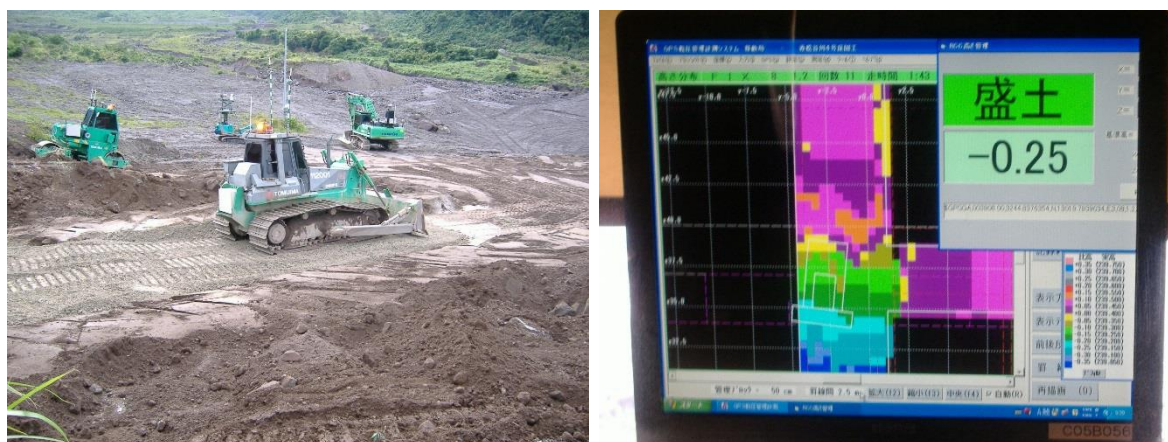


写真-3.21 敷均し管理システムを搭載したブルドーザおよび管理画面

（５）無人航空機（ドローン）による三次元点群測量

無人航空機（ドローン）による三次元点群測量は、上空から地形情報を取得する測量技術である。地形情報の取得方法は、カメラによる写真撮影と3次元レーザスキャナによるレーザ測量がある。カメラによる写真撮影は、無人航空機（ドローン）に取り付けたカメラで垂直写真を撮影し、撮影した写真から3次元地形データを復元する測量であり、ICT土工でも最も多く実施されている方法である。計測データの精度を確保するため、施工範囲に複数の標定点の設置が必要となる。3次元レーザスキャナによるレーザ測量は、無人航空機（ドローン）に搭載した3次元レーザスキャナにより上空から測量を行う方法である。カメラによる写真撮影との最大の違いは、写真測量では計測できない伐採前の地形を計測できることである。一部のレーザ光が草木の隙間を通り抜けその下の地面にあたることで、伐採前でも地形を測量することができる。これらの測量の結果は、ヒートマップ（標高データを色で可視化する方法）を含む出来形管理図表や土量数量表等に取りまとめる。

表-3.8 出来形管理図表例

測定項目		規格値	判定
平場 標高較差	平均値	-19.1mm	±50mm
	最大値(差)	175mm	±150mm 異常値有
	最小値(差)	-174mm	±150mm 異常値有
	データ数	810	1点/m2以上 (750点以上)
	評価面積	750.0m2	
	棄却点数	9	0.3%以内 (2点以下) 異常値有
法面 標高較差	平均値	-38.2mm	±70mm
	最大値(差)	651mm	±160mm 異常値有
	最小値(差)	-920mm	±160mm 異常値有
	データ数	944	1点/m2以上 (786点以上)
	評価面積	785.3m2	
	棄却点数	152	0.3%以内 (2点以下) 異常値有

平場の ばらつき	規格値の±80% 以内のデータ数	772 (95.3%)	法面の ばらつき	規格値の±80% 以内のデータ数	720 (76.3%)
	規格値の±50% 以内のデータ数	666 (82.2%)		規格値の±50% 以内のデータ数	556 (68.9%)

4. 事前準備や情報収集

4. 1 発注者における事前準備

遠隔施工の実施を決めてから工事着工までに、遠隔施工特有の機材の調達・現地への輸送期間が必要となる。また、特殊な無線を使用する場合は、無線の許可申請等、一定の準備期間が必要となる。迅速な遠隔施工の導入のためには、地方整備局や事務所で無線局を保有することや光ファイバーケーブルおよび IP アドレス等の管理を行うことは重要である。ただし、無線局には、無線従事者資格が必要なものや移動範囲の制限があるものがあり、注意が必要である。

【解説】

(1) 遠隔施工導入基準の設定

災害対策基本法に基づく危険要因、危険の影響範囲が明らかとなっている場合は、立入禁止区域に対する遠隔施工導入基準について、事前に検討しておくことが重要である。雲仙普賢岳では、災害対策基本法第 63 条第 1 項に基づいて警戒区域が設定され、遠隔施工の実施が行われている。災害対策基本法に基づく危険要因、危険の影響範囲が明らかとなっていない場合は、まず、危険が想定される立入危険区域の範囲を迅速に設定することが重要である。平成 23 年 5 月に「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律の一部を改正する法律」が施行された事に伴い、河道閉塞、火山噴火、地すべりを原因とする土砂災害により被害が予想される範囲を推定する手法（土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き）が国土交通省より示された。しかし、現時点では、災害発生時における発注者の遠隔施工の実施に関する明確な導入基準が整備されていない。このため、災害発生時における発注者の遠隔施工の実施に関する導入基準の検討が現場条件に応じて必要となっている。

(2) 地方整備局や事務所による免許を付与された無線局の保有

平常時には地方整備局等が保有しておき発災後に施工者（運用者）に使用させることで、無線局免許の取得に要する時間を短縮することが可能である。この場合、無線局の免許人は地方整備局等であるため、施工者にそれを運用させるための手続き（無線局運用証明書）が必要となる。その際には以下の条件が必要である。

- ・免許人と運用者との間において、その無線局を開設する目的に係る免許人の事業又は業務を運用者が行うことについての契約関係があること。（工事契約があること）
- ・その無線局が移動局の場合にあっては、免許人が当該無線局の無線設備を実際に操作するものに対して、免許人が別に発給する「無線局運用証明書」を携帯させていること。
- ・免許人から運用者に対して、電波法及びこれに基づく命令の定めるところにより無線局の適正な運用の確保について、適切な監督が行われているものであること。

無線局免許を取得すると無線局免許状が発行される。無線局免許状には、無線設備の設置場所又は移動範囲が記載される。この移動範囲外では無線局は使用できないため、事前に無線局免許状を確認しておくことが重要である。

無線局免許状

免許人の氏名又は名称			
免許人の住所			
無線局の種類	簡易無線局	免許の番号	海K第 号 海K第 号
免許の年月日	平 27. 6. 22	免許の有効期間	平 32. 6. 21 まで
無線局の目的	簡易無線業務用	運用許容時間 常 時	
通信事項	簡易な事項		
通信の相手方	免許人所属の簡易無線局 免許人所属の受信設備		
識別信号	1～2		
無線設備の設置場所又は移動範囲			
常置場所 style="background-color: black;">			
移動範囲 全国			

図-4.1 無線局免許状（抜粋）

（３）国土交通省が管理する光ケーブルおよび IP アドレスの管理

光ケーブルを使用した遠隔施工を行う場合には、国土交通省が管理する光ケーブル網を活用することが対応の迅速化に有効である。そのためには、遠隔施工に光ケーブル網を使用する内部手続きの標準化、通信容量の確保、IP アドレスの管理が重要である。

（４）遠隔施工に関する災害協定の締結

一般的な災害協定に加えて、遠隔施工に関する災害協定を締結しておくことが有効である。現在、災害発生時における迅速な応急・復旧を目的とした人的・物的支援について、発注者と民間事業者や関係機関と災害協定が締結されている。これらの災害協定に加えて、遠隔施工に関する災害協定をあらかじめ結んでおくことにより、遠隔施工を実施する際の迅速な対応が可能となる。なお、熊本地震（2016 年）では、遠隔施工に関する災害協定に基づき、災害協定締結業者が阿蘇大橋地区の土砂崩落現場の対応を迅速に実施した実績がある。

【災害協定例（九州地方整備局九州技術事務所）】

協定概要

（協定1）災害時における災害対策用機械の出動等に関する基本協定

災害等が発生し、緊急的な応急対策を実施する必要がある場合、災害内容に応じて排水ポンプ車や照明車などの災害対策機械を出動させます。

（協定2）災害時における応急対策業務に関する基本協定

火山が噴火した場合に、降灰等の堆積状況等の確認を行い、火山噴火に起因する土石流による危険性判断のため、自動降灰量計等を用いて基礎資料を収集します。

（協定3）災害時における無人化施工の現場マネジメントに関する基本協定

土砂災害が発生した場合、緊急的に応急対策を実施しますが、対策中に更に土砂災害が発生する恐れがある場合等においては、遠隔操作等による無人化施工を実施します。
無人化施工を安全・効率的に実施するために遠隔操縦式重機を用いた工事について施工計画の検討を行います。

出動フロー

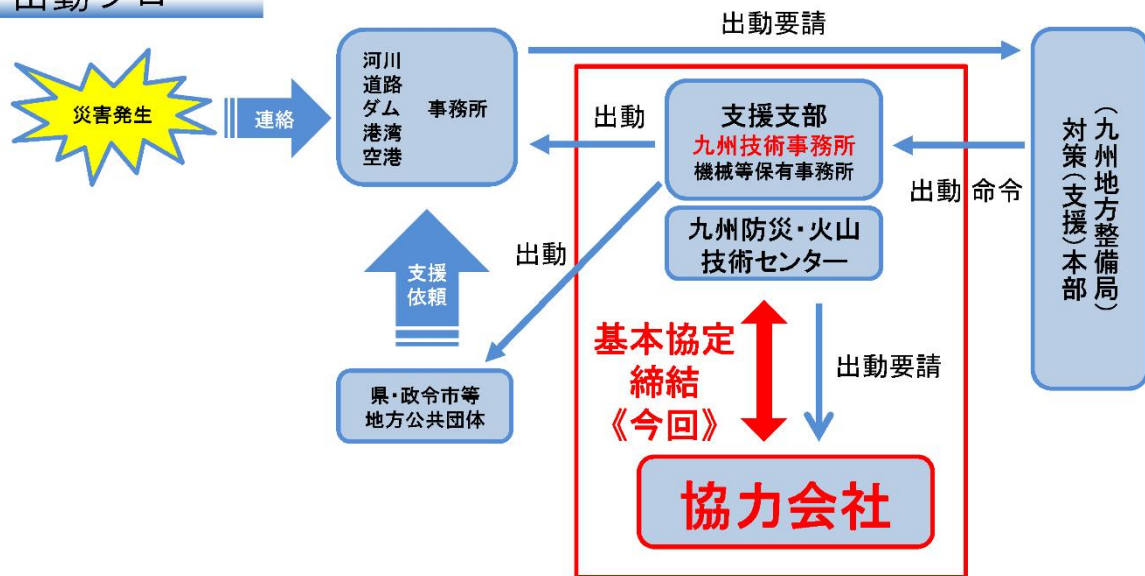


図-4.2 出動フロー例（九州地方整備局九州技術事務所）

（5）遠隔施工講習会の実施

近年、全国各地で各種の災害が発生している。この災害に迅速に対応するため、定期的に遠隔施工講習会を実施し、平素より、災害協定締結業者等が遠隔操作式建設の取扱いや操作等に慣れておくことが重要である。遠隔施工に関する講習会は、民間では開催されることはほぼなく、国土交通省各地方整備局において、毎年1回程度実施されている状況である。九州地方や北陸地方では、遠隔施工講習会の受講者が、迅速に遠隔操作式建設機械を操作し、迅速な対応を実施した実績がある。



図-4.3 遠隔施工講習会例（九州地方整備局九州技術事務所 平成 30 年）

（6）試験施工の実施

遠隔施工による工事を円滑に実施するためには、発注者においては、計画から発注に至る過程を習熟する必要がある、かつ、想定される災害に対して迅速に対応することも求められる。また、施工者においても、発注された工事に対する計画および施工に対する経験が必要である。そこで、事前に想定される災害等に対応する工種について、事前に試験施工を実施することで、工事に習熟し、災害時に必要となる対応等について、準備することが可能になる。また、今後の災害形態によっては、過去に実績のない工種が要求されることも想定され、現場に即した工種の遠隔化に必要な技術開発を進めるためにも、試験施工は重要な事前準備と言える。

試験施工においては、ICT 機器搭載の遠隔操作付建設機械の使用をすることで、出来形管理が効率化するとともに、有人作業においても、ICT 施工の普及が促進し、必要な基盤の整備を促進できる。また、遠隔施工に適した各種測量機器、技術に習熟することも可能になる。

雲仙普賢岳では、平成 28 年より地元企業による遠隔化除石試験施工を開始し、現在は、本工事として除石工事が定期的に発注されている。



写真-4.1 地元企業による無人化除石試験施工（目視操作）



写真-4.2 地元企業による無人化除石試験施工（映像視認）

（7）現場実証等の実施

近年の ICT 技術等の進化は目覚ましく、遠隔施工もその新たな技術の採用や導入は欠かせない。しかし、この新技術の導入においては、機能・仕様等の特性や運用性等を事前に確認することが必要である。このため、事前に想定される災害等に対応する新技術について、事前に現場実証等を実施することで、災害が発生した場合に迅速な採用につながる。今後の遠隔施工に必要な技術開発を進めるためにも現場実証等は重要な事前準備と言える。

国土交通省では、これまで、様々な現場実証等を実施している。平成 23 年には、雲仙普賢岳において、「大規模災害を想定した超長距離からの遠隔操作実証実験」を実施し、映像視認による実施方式（ネットワーク方式）の適用性や実用性について確認した。この実証実験にて実用性が確認された映像視認による実施方式（ネットワーク方式）は、その後の雲仙普賢岳の遠隔施工工事で一般的な実施方式となった。令和 3 年に同じく雲仙普賢岳で実施した「5 G を活用した除石遠隔施工現場実証」では、ローカル 5 G の機能・性能とその効果を確認した。今後、これらの成果が普及につながることを期待している。

表-4.1 国土交通省で実施された現場実証または実験一覧表

No	現場実証等名称	実施時期	実施主体
1	大規模災害を想定した超長距離からの遠隔操作実証実験	平成 23 年 4 月	雲仙復興事務所
2	次世代社会インフラ用ロボット現場検証（応急復旧）	平成 26 年 12 月	国土交通本省
3	次世代社会インフラ用ロボット現場検証（応急復旧）	平成 27 年 11 月	国土交通本省
4	遠隔施工機械の運用システム実用性検証	平成 30 年 1 月	関東技術事務所
5	遠隔施工機械の運用システム実用性検証	平成 31 年 1 月	関東技術事務所
6	遠隔操縦の新技术試行実証評価（NETIS テーマ設定）	令和元年 10 月	九州技術事務所
7	5 G を活用した除石遠隔施工現場実証	令和 3 年 12 月	九州地方整備局



写真-4.3 No. 1 実証実験状況（H23）



写真-4.4 No. 6 現場実証状況（R1）

4. 2 施工者における事前準備

遠隔施工の工事入手後、工事着工までに、遠隔施工特有の機材の調達・現地への輸送等が必要となる。遠隔施工の迅速な着工のためには、遠隔操作式建設機械や無人化施工設備等の調達先や調達期間を事前に把握しておくことが重要である。また、特殊技能である遠隔操作オペレータの所属先や人数等を把握しておくことも重要である。

【解説】

(1) 遠隔操作式建設機械や遠隔施工設備等の手配先の把握

遠隔施工を実施するためには、現場条件に応じた適切な遠隔操作式建設機械や無人化施工設備の選定が必要となる。遠隔操作式建設機械は、雲仙普賢岳の噴火災害対策から発展した経緯があるため、大型土工機械が多く、機種・規格が限られている。その中でも、遠隔操作式バックホウについては、比較的、規格が揃っている。それ以外の機種については、規格が限られているのが現状である（3. 2 遠隔操作式建設機械 参照）また、手配性についても、遠隔操作式バックホウについては、比較的容易であるが、それ以外の機種については、困難なものも多い。特に運搬機械は、重ダンプトラックか不整地運搬車に限られる。遠隔施工設備や ICT 機器類（マシンガイダンスシステム他）についても実施方式（3. 1 遠隔施工の実施方式 参照）により、手配性が大きく変わる。また、これらの機器類の取扱いをしている会社も限られている。これより、遠隔操作式建設機械や遠隔施工設備等の手配先や手配できる機種・規格等を把握しておくことは非常に重要である。

なお、遠隔施工に関する業界団体として、建設遠隔施工協会が 2000 年に設立されている。この協会では、遠隔施工に関する情報提供や技術支援もしている。

建設遠隔施工協会 <http://www.kenmukyou.gr.jp/>

協会の概要		
建設無人化施工協会		
所在地	〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 電話 080-2568-9802 FAX 03-5326-0185	
会員数	22社（通常会員：ゼネコン11社、賛助会員：メーカー他11社）	
設立年月	2000年11月24日	
設立目的	無人化施工法の技術開発を図り、もって建設作業の安全性の確保と生産性の向上に資することを目的とする。	
事業内容	(1) 無人化施工法の技術開発及び施工システムの標準化 (2) 災害復旧工事に対応可能な実施体制の構築と維持管理及び技術支援 (3) 会員相互の情報交換と技術力の向上 (4) その他無人化施工に関わる全ての業務	
総会と委員会	定時総会	年一回
	運営委員会	必要に応じて開催
	技術委員会	同上
役員	会長	金 浩昭（大成建設株式会社）
	運営委員長	納多 勝（株式会社大林組）
	技術委員長	坂下 誠（前田建設工業株式会社）
	会計監事	藤内 隆（清水建設株式会社）

（２）遠隔操作経験者の把握

遠隔操作経験者は、全国的にも人数が限られており、高齢化も進んでいる状況にある。これより、平素より雲仙普賢岳、有珠山、三宅島等で遠隔施工を経験したオペレータのデータベースの整理やオペレータの育成（例 国土交通省主催の遠隔施工機械の講習会への参加等）をしておくことが望ましい。ただし、施工者単独で遠隔操作経験者を把握することは困難である。よって、工事での遠隔操作経験者の把握については、上述した団体からの情報も有効である。また、遠隔操作経験者は機械土工工事施工業者に所属している者も多い。これより、この業者が設立している団体からの情報も有効である。遠隔施工講習会は、国土交通省各地方整備局が実施しているものがほとんどである。これより、講習会参加者の把握については、各地方整備局において進めていくこととする。

（一社）日本機械土工協会 <http://www.jemca.jp/index.php>

（３）情報共有と定期的な更新

上記の（１）、（２）については、情報共有を図るとともに、定期的に情報を更新していくことに留意が必要である。

4. 3 現地特有の情報収集

遠隔施工を円滑に進めるためには、現地特有の情報収集や現地調査が欠かせない。また、これらの情報は、適切な時期に工事実施者へ提供することが重要である。工事実施者も提供された情報をもとに現地調査を行い、適切な施工計画を立案することが重要である。

【解説】

遠隔施工を迅速に進めるための工事計画（遠隔施工計画）を立案するためには、施工箇所の現場状況を正確に把握する事が重要である。また、現地特集の条件などの情報収集や現地調査が必要である。そのためには、下記の項目について、可能な限りの確な情報を入手・整理し、工事実施者に迅速に提供できるように準備しておく事が望まれる。また、工事実施者も提供された情報をもとに現地調査を行い、適切な施工計画を立案することが重要である。

- ・ 施工箇所の危険度の把握（火砕流、土石流、噴石、崩落、崩壊等）
- ・ 安全区域の設定
- ・ 施工現場周辺で使用されている無線の種類・周波数
- ・ 電力供給の確保
- ・ 地形図（航空レーザ測量など）
- ・ 航空写真
- ・ 施工重機の組立・解体場所の有無
- ・ 操作室設置場所の有無
- ・ 重機進入路の状況（施工場所の幅、勾配等）
- ・ 気象情報
- ・ 携帯電話の通信状況

下記に施工箇所周辺までの重機運搬路が狭く、重機組立後、自走した事例を下記に示す。



写真-4.5 重機組立後、自走した事例

5. 工事計画

5. 1 事前調査

遠隔施工工事の実施に際し、事前調査は重要である。施工の導入場面として災害直後の初動対応と計画的な事業実施があり、それぞれで調査する内容が異なる場合があり、それぞれに応じた適切な調査を行うことがより良い工事計画の策定となる。

【解説】

(1) 調査項目

遠隔施工工事の実施に際し、具体的な施工計画のため、事前調査を行う。事前調査の項目を初動対応のみと計画的な事業実施との共通項目に分けて示す。また、代表的な調査項目を次項に示す。

[初動対応のみ]

- ・ 対策工の内容（工種、施工量、施工場所、工期等）に対して実現が可能か。
- ・ 遠隔施工区域で想定される危険要因に対して施工が可能か。
- ・ 遠隔操作式建設機械のモータプールの確保と安全性の確保が可能か。
- ・ 工事用道路（無人走行路）の確保が可能か、状況はどうか。
- ・ 遠隔操作式建設機械の搬入路の確保が可能か、状況はどうか。

（現地までのルート、幅員、勾配、重量制限など）

- ・ 土砂仮置き場の確保が可能か、位置や広さはどうか（遠隔→有人乗換も考慮）。
- ・ 施工範囲の土質や巨石の有無等はどうか。
- ・ 施工に求める施工精度や管理・精算方法をどうするか。

[共通]

- ・ 有人区域と遠隔施工区域の設定と有人区域の安全性確保が可能か。
- ・ 安全な有人区域に操作拠点の確保が可能か。
- ・ 工事用道路が確保可能か。
- ・ 遠隔操作式建設機械のモータプールの確保が可能か。
- ・ カメラ設置予定位置と施工箇所の見通しの確保（各種カメラの位置と数量）
- ・ 無線設備設置予定位置と施工箇所の見通しの確保（中継の要否、実施方式）
- ・ オペレータの乗換場所はどうか（遠隔→有人乗換をする場合）。
- ・ 仮締切等必要な仮設は必要かどうか。
- ・ 緊急時における安全確保のための作業員の避難方法、避難経路をどうするか、また、退避場所の決定。

(2) 対策工の内容を決定するための調査

災害直後の初動対応では、迅速な対応を行う必要があるため、現地状況の調査が不可欠となる。まず、災害の内容や状況により、実現可能な対策工を抽出する。対策工は一つではなく、複数を抽出しておく、選択肢が広がる。土砂崩落現場などでは、下流域

への影響軽減のための遊砂地築造、盛土堰堤、大型土のう工などが挙げられる。対策工の抽出後、どの程度の施工量になるのかを図面や航空写真等から算出する。この施工量の算出後、およそその工程を策定、対策期間に問題がないかどうかを確認する。これらの確認後、最終的な対策工を決定し、前項の調査項目について調査を行う。これらの調査後、遠隔施工による初動対応の実現性について判断し、対策工に応じた遠隔施工の準備を実施する。



写真-5.1 現地調査状況（左：有珠山 右：令和2年7月豪雨）

（3）有人遠隔の輻輳区間における危険要因の調査

遠隔施工では、有人区域に遠隔操作式建設機械が遠隔操作の状態で進入することがある。その代表例としては、有人区域の土砂仮置場への遠隔操作での土砂運搬である。土砂仮置場を映す映像設備が整っている場合、遠隔操作式建設機械は、遠隔施工区域から有人区域に進入しても、遠隔操作の状態で土砂仮置場まで運搬し、そのまま荷卸しをする。荷卸し後は、遠隔操作にて、遠隔施工区域へ戻る。土砂仮置場では、有人のバックホウやダンプトラックが併行して作業していることも多い。この有人と遠隔の輻輳区間における危険要因を調査することが重要である。土砂仮置場では、有人のダンプトラックと遠隔操作式運搬機械の運搬路が交差や輻輳する可能性も考えられる。このような場合には、有人区域であっても、遠隔施工区域とし、有人の機械が進入しないような措置が必要である。このように運搬機械等の動線や土砂仮置場の設置位置等を現地調査にて把握することが重要となる。

施工計画時には、有人区域と遠隔施工区域についての検討後、区域の設定をしておく必要がある。また、施工時には、遠隔施工区域の明示をし、安全対策等も実施する必要がある。下記に土砂仮置場での有人無人輻輳作業の写真を示す。不整地運搬車は遠隔操作の状態で土砂仮置場に進入している。バックホウは搭乗作業（有人）となっている。作業区域を段上にするすることで、バックホウは安全を確保した状態となっている。また、この土砂仮置場は有人域内であり、近傍で有人作業が行われているが、カラーコーンにより、有人機械が進入しないような措置をすることで、安全を確保している。



写真-5.2 土砂仮置場での有人遠隔輻輳作業

（４）遠隔操作場所の調査

遠隔操作場所の調査は、災害地において想定される危険に対して、遠隔操作オペレータの安全が確保される場所のなかで、下記を考慮して実施する。

- ・遠隔操作場所から施工場所を直接視認しながら建設機械の操作ができるか。
- ・直接視認できない場合にはできる場所にカメラを設置することができ、その映像を遠隔操作場所まで送信（有線または無線）できるか。
- ・遠隔操作場所から施工場所に直接電波を送信できるか（見通しがあるか、途中で障害物がないか）。
- ・見通しや障害物により、直接電波を送信できない場合には、送信できる場所にアンテナを設置してそのアンテナから遠隔操作場所に情報が送受信できるか。

この遠隔操作場所をどこにするかはとても重要である。遠隔操作場所から施工場所までの現場状況（距離や見通し）は、遠隔施工を導入するうえで実施方式やその方式に必要なオペレータや技術者、資機材と使用する無線の種類が異なることになるため、早急に決定する必要がある。遠隔操作場所は、下記の優先順位で決定するのが望ましい。

優先順位①：直接目視による実施方式で施工ができる安全な場所

→すべての実施方式が選択可能

優先順位②：映像視認方式（直接）で施工ができる安全な場所

→すべての映像視認方式が選択可能

優先順位③：映像視認方式（中継）で施工ができる安全な場所

→映像視認方式（非ネットワーク（中継）方式、ネットワーク方式）が選択可能

優先順位④：映像視認方式（ネットワーク方式）で施工ができる安全な場所

→映像視認方式（ネットワーク方式）のみ選択可能

（５）遠隔操作式建設機械のモータプール場所の調査

遠隔操作式建設機械は、モータプールで始業点検後に遠隔施工待機場所（有人区域）に移動し、機械側の遠隔操作準備（Key-ON, 安全レバー他）を行った後、エンジンを始動させ、遠隔操作状態に問題がないことを確認後、遠隔施工区域へ向かう。また、作業終了後も、有人区域で機械側の操作（Key-OFF, 安全レバー他）を行った後にモータプールに移動し、終業点検後に稼働終了となる。また、燃料給油も有人区域で行う必要がある。これより、遠隔操作式建設機械のモータプールは、安全が確保され、必要の広さが確保でき、かつ、給油車両の進入が可能な場所であることが前提となる。なお、モータプールは、遠隔操作オペレータ自身が、自分が遠隔操作を行う遠隔操作式建設機械の整備を行うことが多いため、遠隔操作場所の近傍に配置するのが望ましい。

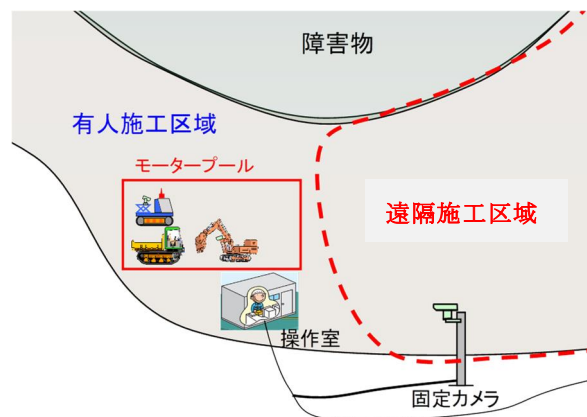


図-5.1 遠隔操作式建設機械のモータプール配置イメージ図

（６）工事用道路の調査

遠隔施工による対策工にて運搬を伴う場合には、工事用道路の調査が必要である。市場に現存する遠隔操作式運搬機械は、重ダンプトラック（45t 他）と不整地運搬車（10t 他）のみである。遠隔施工での道路幅員（一車線）は、使用する運搬機械幅の2倍程度が必要となる。重ダンプトラックの機械幅はおおむね5m程度であるため、一車線の道路幅は10m程度となる。不整地運搬車の機械幅はおおむね3m程度であるため、一車線の道路幅は6m程度となる。遠隔操作による運搬機械の運転を行うためには、工事用道路全経路が直接目視できるか、もしくは全経路の映像を撮影できるようにカメラを要所に配置する必要がある。工事用道路の調査を実施する際には、固定カメラや移動カメラ車の配置の可否を併せて行うことが必要である。

（７）重機搬入路の状況調査（現場までのルート、幅員、勾配）

遠隔施工による対策工で使用が想定される遠隔操作式建設機械の重機搬入路の調査が必要である。災害が発生する場所は急峻で狭隘であることも多いため、遠隔操作式建設機械の保管場所から災害場所近傍までの運搬ルートの確保とトレーラの進入可否を確認することが必要となる。トレーラが進入できない場合、一般道近傍で荷卸しし、建設機械を自走させた事例もある（写真-4.4 参照）。

5. 2 適用性の検討

調査結果等をふまえ、対策工の適用性を検討した後、適用が可能な場合には、施工計画を立案する（初動対応）。事前に対策工の計画が立案されている場合には、現地状況を踏まえてその計画の妥当性を確認し、必要に応じて計画の修正を行う（計画的実施）。

【解説】

（１）適用工種

遠隔施工で適用できる工種は、初動対応と計画的な事業実施では違いがある。下記にそれぞれの対応で適用できる工種の一覧を示す。

表-5.1 初動対応と計画的な事業実施で適用できる工種一覧

大工種	工種	適用可否
土工	砂防土工，除石工	初動，計画的実施どちらも可
	転石破碎工	初動，計画的実施どちらも可
	盛土工，転流工	計画的実施のみ可
	頭部排土	計画的実施のみ可
	がれき撤去	初動，計画的実施どちらも可
	構造物撤去	計画的実施のみ可
	種子吹付工	計画的実施のみ可
大型土のう積工	大型土のう設置工	初動，計画的実施どちらも可
構造物設置工	護床ブロック積工	計画的実施のみ可
	ボックスカルバート工	計画的実施のみ可
	ブルメタル設置工	計画的実施のみ可
砂防堰堤	R C C，C S G	計画的実施のみ可
	有スランプコンクリート	計画的実施のみ可
	I S M工法	計画的実施のみ可
	鋼製スリット工	計画的実施のみ可

（２）遠隔施工の実施方式

遠隔施工の実施方式も初動対応と計画的な事業実施では違いがある。下記にそれぞれの対応で適用できる実施方式の一覧を示す。

表-5.2 初動対応と計画的な事業実施で適用できる実施方式

実施方式名	世代	適用可否
直接目視による実施方式	第1世代	初動，計画的実施どちらも可
映像視認による実施方式（非NW方式）	第2世代	基本的には計画的実施のみ。ただし、直接目視から移行したケースがある。
映像視認による実施方式（NW方式）	第4世代	計画的実施のみ可

NW：ネットワーク

(3) 遠隔操作式建設機械

遠隔施工で使用する遠隔操作式建設機械も初動対応と計画的実施では違いがある。初動対応においては、国土交通省が所有する遠隔操作式建設機械を主に使用する。計画的な事業実施においては、工事の受注者が市場から手配するのが一般的である。

国土交通省が全国に配置している遠隔操作式建設機械は、すべてバックホウである。初動対応で運搬機械を必要とする場合には、市場から手配するしか方法がない。市場から手配する場合、手配期間が必要となり、対応に遅延が生じることがあるため、留意が必要である。市場に現存する遠隔操作式建設機械の一覧を参考資料に示す。ただし、手配の可否については、別途、所有者に相談する必要がある。レンタル業を本業としていない所有者は、遠隔操作式建設機械のみのレンタルはしないのが一般的である。

各地方整備局に1台以上配置されている分解組立型バックホウ(北陸地方整備局配置)の仕様および装備品を下記に示す。この分解組立型バックホウは、分解質量2.8t以下の14ピースに分割可能である。この機械が開発された経緯であるが、災害発生により、道路が寸断された災害地へ空輸で運搬し、災害地近傍で組立を行い、災害対応を実施できるようにするためである。分解質量については、民間の空輸会社が保有するヘリコプターの最大積載量と現地で組立を行うカニクレーンの能力に基づき、決定されている。この機械を災害地で使用する場合、分解後、7日間程度必要となる。

表-5.3 国土交通省が全国に配置している遠隔操作式建設機械 (H26.9 現在)

機械名	台数	備考
分解組立型バックホウ (遠隔操作式)	11 台	各整備局 1 台以上配置
遠隔操作式バックホウ	5 台	
簡易遠隔操縦装置 (バックホウ)	9 基	ロボQ

【主要諸元】

- ◆バケット容量 : 標準(山積) 1.0m³
- ◆車両総重量 : 26,200kg
- ◆全長(輸送時): 10,120mm
- ◆全幅 : 2,990mm
- ◆全高(輸送時): 3,280mm

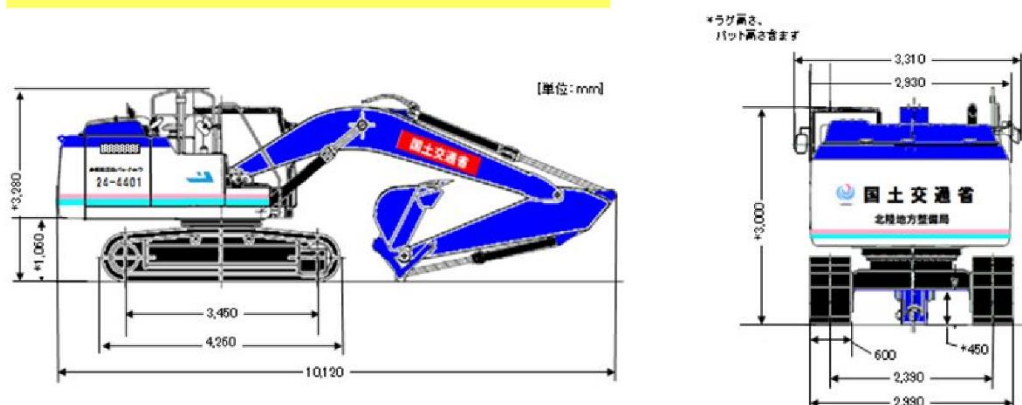


図-5.2 分解組立型バックホウ（北陸地方整備局配置）の仕様



【主な特別仕様(装備品)】

- ◆分解組立対応型
- ◆遠隔操縦装置(ラジコン)
- ◆遠隔モニタリングシステム
- ◆アタッチメント用配管
- ◆パットシュー

- ◆マシンガイダンス
 - ・GNSS(基地局)
 - ・GNSS(移動局)※バックホウ本体に装着
 - ・GNSS(測量側)
 - ・マシンガイダンス用コントロールBOX
 - 遠隔操作用無線装置

図-5.3 分解組立型バックホウ（北陸地方整備局配置）の装備品

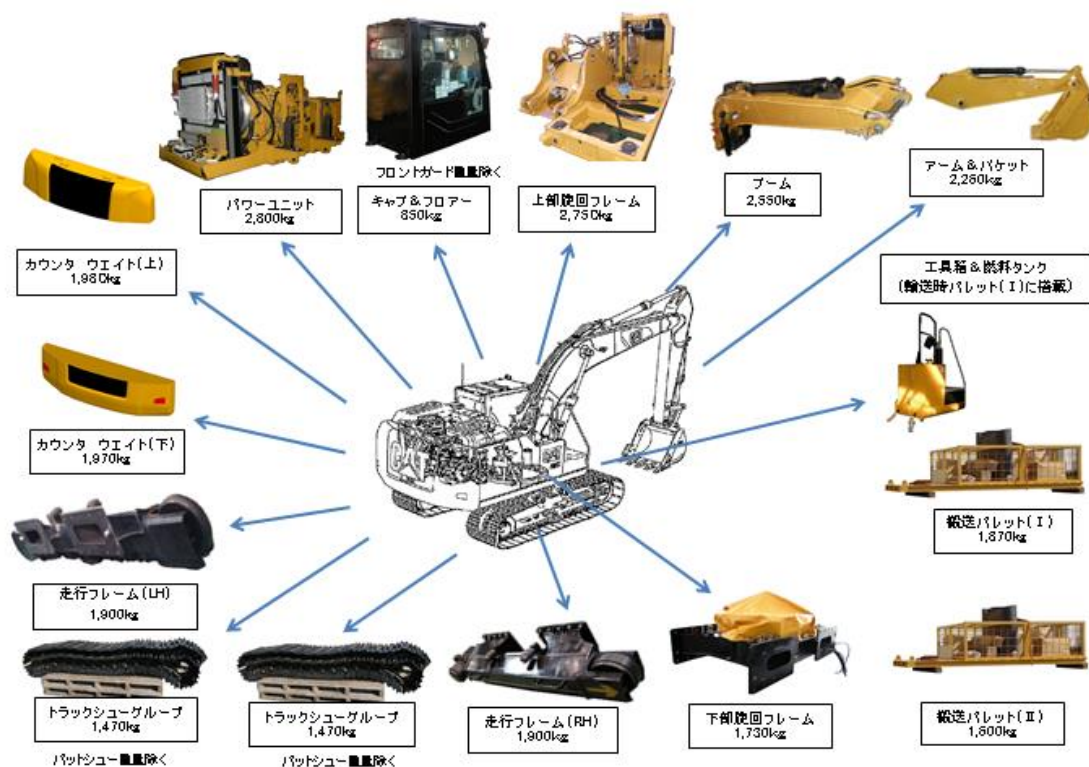


図-5.4 分解組立型バックホウ（北陸地方整備局）の分解ピース
(14 ピース 2.8t 以下に分解可能)

(4) 遠隔施工設備

遠隔施工で使用する遠隔施工設備も初動対応と計画的実施では違いがある。初動対応においては、国土交通省が所有する遠隔操作式建設機械に搭載された車載カメラのみ、また、高所作業車等に搭載された外部カメラを併用する。計画的な事業実施においては、工事の受注者が市場から手配するのが一般的である。しかし、遠隔施工設備の取扱いがある企業は非常に限られるため、手配をする場合には、建設遠隔施工協会（4.2 施工者における事前準備 参照）の情報も参考とする。

5. 3 対象工種や条件等

遠隔施工の施工計画の立案について具体例を挙げて解説する。対象とする工種は、除石工とする。施工箇所は、これまで施工実績の多い雲仙普賢岳管内とする。施工計画に使用する数値等は、高速通信技術を活用した除石遠隔施工現場実証時の現場条件を用いる。

【解説】

(1) 工事概要

赤松谷川 9 号床固工上流除石工事（仮称）（以後：本工事）は、雲仙・普賢岳火山砂防計画（平成 28 年 3 月 国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所）に基づき、流域を土石流被害から守り、安全な生活を確保することを目的に、施工を行うものである。

工事箇所は、赤松谷川 9 号床固工の上流に位置し、土石流や溶岩ドーム崩落等の被害を受ける可能性があるため、一連の工事を遠隔施工により行う。下記に概要を示す。

工事名称：赤松谷川 9 号床固工上流除石工事（仮称）

工事場所：長崎県南島原市深江町上大野木場地先

請負金額： 円（税抜き）

契約年月日：令和 年 月 日

工 期：自 令和 年 月 日 ～ 至 令和 年 月 日

発注者：国土交通省九州地方整備局長崎河川国道事務所

雲仙砂防管理センター TEL：0957-64-4171

請負者：株式会社〇〇 TEL：

所在地 長崎県島原市〇〇

〇〇作業所 TEL：



図-5.5 工事位置概要図

(2) 施工数量

本工事の施工数量を下記に示す。なお、工事区分等の記載内容については、発注者等と協議されたい。

表-5.4 施工数量一覧表例

工事区分・工種・種別・細別	規格	単位	数量	備考
砂防土工		式	1	
掘削工		m ³	5,200	
土砂掘削（無人施工）BH0.8m ³ （山積）	礫質土	m ³	5,200	
残土処理工		m ³	5,200	
土砂運搬（無人施工）CD11t	L=380m	m ³	5,200	
無人化設備工		式	1	
無人化設備		式	1	
操作室損料		式	1	
整備工		人	28	
無人化設備（土工）		式	1	
仮設工		式	1	
工事用道路工		式	1	
共通仮設費		式	1	
共通仮設費		式	1	
運搬費		式	1	
重建設機械輸送費	無線調整費含む	式	1	
バックホウ	0.8m ³	台	1	
不整地運搬車	11t	台	3	
技術管理費	GNSS 施工	式	1	
現場環境改善費（率計上）		式	1	
共通仮設費（率計上）		式	1	
純工事費		式	1	
現場管理費		式	1	
工事原価		式	1	
一般管理費等		式	1	
工事価格		式	1	

(3) 図面等

本工事の図面を下記に示す。

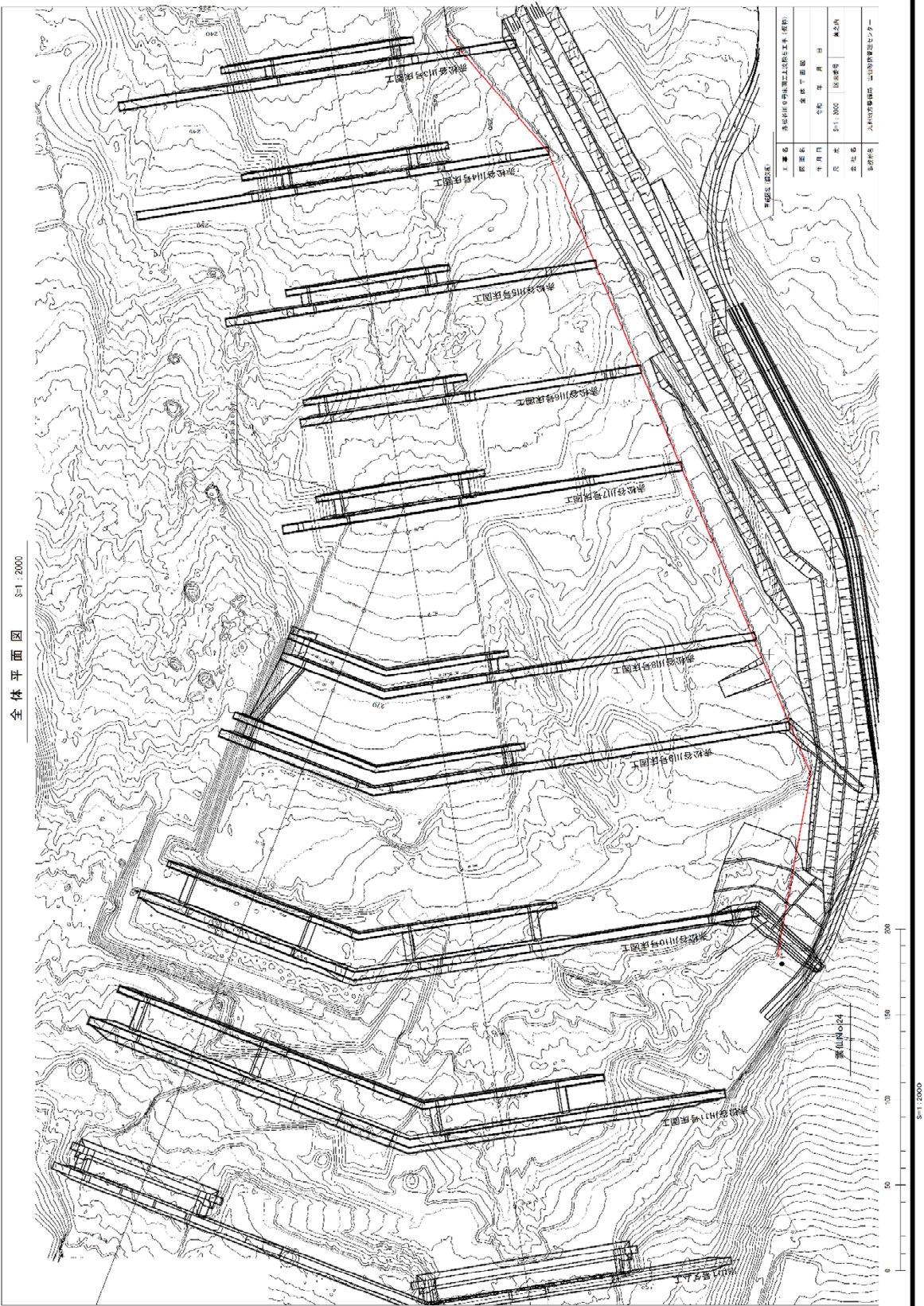


図-5.6 全体平面図

(4) 現場組織

1) 現場組織

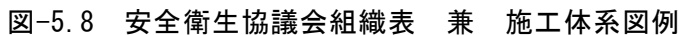
本工事の現場組織表例を下記に示す。

表-5.5 現場組織表例

現場代理人 〇〇〇〇	監理技術者 〇〇〇〇	施工管理	氏名	TEL															
現場事務所 TEL 夜間緊急連絡先 TEL TEL		<table border="1"> <tr><td>工程管理</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>品質管理</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>出来形管理</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td rowspan="2">写真管理</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>産廃管理</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> </table>	工程管理	〇〇〇〇		品質管理	〇〇〇〇		出来形管理	〇〇〇〇		写真管理	〇〇〇〇		〇〇〇〇		産廃管理	〇〇〇〇	
工程管理	〇〇〇〇																		
品質管理	〇〇〇〇																		
出来形管理	〇〇〇〇																		
写真管理	〇〇〇〇																		
	〇〇〇〇																		
産廃管理	〇〇〇〇																		
		機械管理																	
		<table border="1"> <tr><td rowspan="2">機械器具管理</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>重機管理</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>無線管理</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> </table>	機械器具管理	〇〇〇〇		〇〇〇〇		重機管理	〇〇〇〇		無線管理	〇〇〇〇							
機械器具管理	〇〇〇〇																		
	〇〇〇〇																		
重機管理	〇〇〇〇																		
無線管理	〇〇〇〇																		
		安全管理																	
		<table border="1"> <tr><td>統括安全衛生責任者</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>元方安全衛生管理者</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td rowspan="2">安全衛生責任者</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> <tr><td>安全巡視員</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> </table>	統括安全衛生責任者	〇〇〇〇		元方安全衛生管理者	〇〇〇〇		安全衛生責任者	〇〇〇〇		〇〇〇〇		安全巡視員	〇〇〇〇				
統括安全衛生責任者	〇〇〇〇																		
元方安全衛生管理者	〇〇〇〇																		
安全衛生責任者	〇〇〇〇																		
	〇〇〇〇																		
安全巡視員	〇〇〇〇																		
		事務・労務管理																	
		<table border="1"> <tr><td>現場事務・労務管理</td><td>〇〇〇〇</td><td></td></tr> </table>	現場事務・労務管理	〇〇〇〇															
現場事務・労務管理	〇〇〇〇																		

本工事の施工体系図例を下記に示す。

発注者	九州地方整備局長崎河川国道事務所雲仙砂防管理センター		
工事名	赤松谷川9号床固工 上流除石工事（仮称）	工期	自 2022年 月 日 至 2022年 月 日



（５）主要機械

本工事で使用する主要機械一覧表を下記に示す。なお、この他、移動カメラ車や遠隔操作室、無線基地局等も配置するが、後述する。

表-5.6 主要機械一覧表

機械名	機能・型式	台数	摘要
遠隔操作式バックホウ	0.8m ³ 級	1	車載カメラ搭載
遠隔操作式クローラダンプ	10～11t 級	3	



写真-5.3 遠隔操作式バックホウ



写真-5.4 遠隔操作式クローラダンプ

（６）主要資材

本工事で使用する指定材料および主要資材は、特にない。

（７）施工方法

１）概要

本工事は、赤松谷川 9 号床固工の上流に堆積した土砂の掘削・運搬等の作業を遠隔施工にて行うものである。作業は、ラジコン遠隔操縦装置等を搭載したバックホウ、不整地運搬車等の機械群を移動カメラ車、固定カメラ等の映像にて操作して行うものである。

２）施工フロー

施工フロー例を下記に示す。なお、本工事は、除石工のみであるため、このようなフローとなる。遠隔施工の他工種がある場合や、有人区域での作業が関連する場合には、それらも含めて、フローを作成されたい。

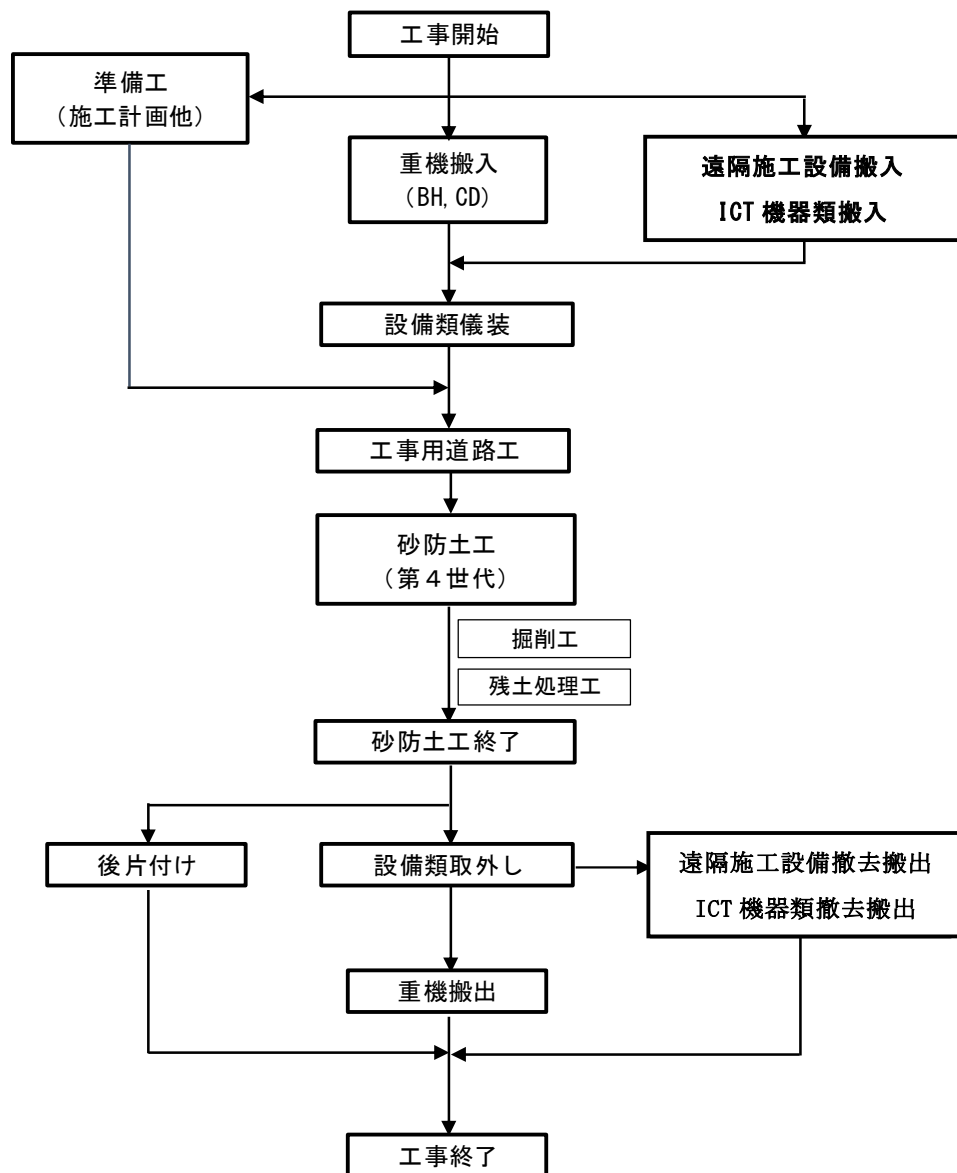


図-5.9 施工フロー例

3) 工事用道路工

遠隔施工設備等の儀装完了後、まず、工事用道路工を実施する。工事用道路工は、遠隔操作式バックホウを使用して行う。有人区域での作業は、有人とし、遠隔施工区域内での作業は、遠隔操作室からの遠隔操作で行う。工事用道路幅（一車線）は、不整地運搬車の車幅（約3m）の2倍の6mとする。また、途中の離合を考慮し、二車線分の12mとする。縦断勾配は、使用機械の登坂能力と切盛土量を考慮し、15%以内で取り付けるものとする。一般的に、工事用道路は、なるべく直線で計画する。屈曲点がある場合、そこに映像設備が必要となるからである。しかし、今回は、既往工事で設置した道路跡が残っていることと工事用道路工の工程短縮を考慮し、屈折点が2箇所ある工事用道路とする。計画時には、図面や上空写真等を参考に工事用道路を検討されたい。今回の工事用道路延長は、施工ヤードと土捨場の重心位置を含み、380mになる。工事用道路は、短いほうがサイクルタイム等も有利であるため、考慮されたい。

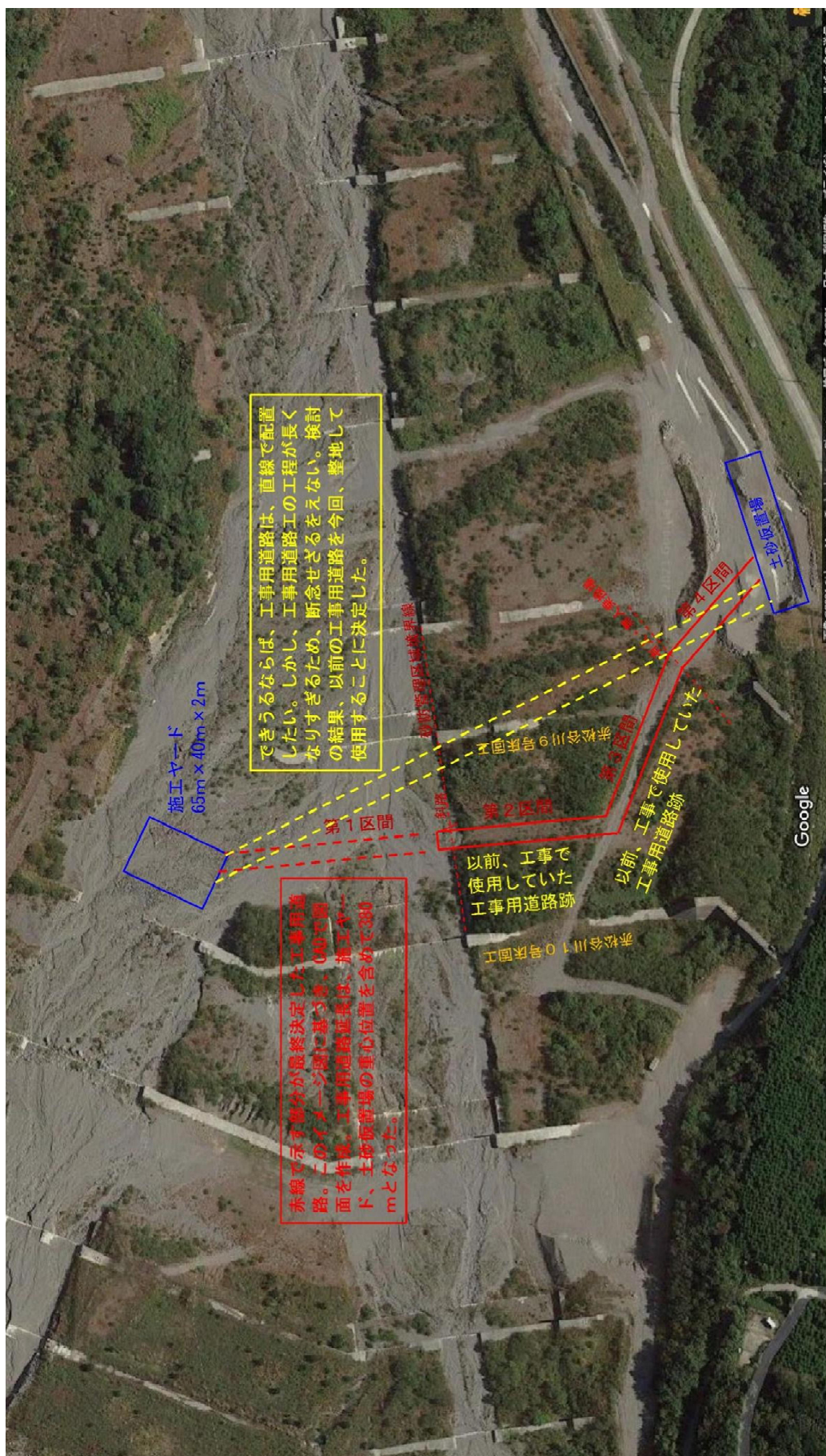


図-5.11 上空写真を利用した工事用道路計画例

4) 砂防土工

工事用道路工の完了後、砂防土工を行う。作業は、右岸下流部から開始し、上流方向に向かって施工箇所を広げていくものとする。右岸下流部から作業を開始するのは、映像設備の配置の関係からである。映像設備のうち、移動カメラ車を除く映像設備は、土砂仮置場がある右岸側の有人区域に設置する。これより、映像設備が重機等を死角なく映すことができる右岸下流部から開始するのが妥当であるからである。

今回の遠隔操作距離および運搬距離は、直線距離で 300m を超過する。これより、映像視認による実施方式（ネットワーク方式）を採用することとする（**3. 1 遠隔施工の実施方式** 参照）。また、通信中継車も配置し、無線伝送品質を確保することとする。映像視認による実施方式（非ネットワーク方式）は、中継方式を採用しても、運搬距離は、300m 程度までであるため、この方式は採用できない。これより、映像視認方式（ネットワーク方式）の選択となる。この方式は、運搬距離が 500m 程度までであり、中継をしなくても問題がないと思われるが、遠距離部での施工では、近距離と比べて無線の通信伝送総容量が減少していく。5G を活用した除石遠隔施工現場実証では、400m 離れた場所での通信伝送総容量は、近距離と比べて、0.9 程度（18Mbps 程度）であった。施工終盤は、遠距離部からの施工となり、無線伝送品質の低下による施工効率の低下を防止する観点から通信中継車を 1 台配置するのが妥当と考える。

掘削・積込は、遠隔操作式バックホウ 0.8m³ 級×1 台にて行う。遠隔操作式バックホウで掘削した土砂は、遠隔操作式クローラダンプ 11t 級×3 台で土砂仮置場まで運搬する。遠隔操作式クローラダンプの運搬は、遠隔施工区域は、遠隔操作で行う。土砂仮置場近傍の有人域に有人無人乗換場を設置し、そこから土砂仮置場までの運搬は、有人搭乗で行う。土砂仮置場で土砂の荷卸し後、有人無人乗換場まで戻る。そこで、遠隔操作に切り替えて遠隔操作で施工ヤードに戻る。**5. 1** で前述したが、土砂仮置場は、有人無人の輻輳作業区間となる。この区間において、有人無人運搬機の導線、有人バックホウとの接触防止対策および有人機械が進入しないような措置等の安全確保ができない場合には、有人乗換えを基本とする。

本作業時の作業能力や日サイクル等は、**5. 5 工程計画**で後述する。



写真-5.5 遠隔操作による運搬状況



写真-5.6 有人乗換え状況

5. 4 仮設備計画（遠隔施工設備を含む）

遠隔施工における仮設備計画において、最も重要なものは、遠隔施工設備計画である。遠隔施工設備の代表として映像設備と無線設備があり、これらの設備計画が施工効率や安全確保に大きな影響を及ぼすため、留意が必要である。

【解説】

（１）映像設備

映像設備は、死角の防止および立体的イメージの提供を観点として設置する。具体的には、遠隔操作式バックホウに対しては、正面方向＋側面方向の２映像を軸とし、設置する。遠隔操作式クローラダンプに関しては、積込場所では、正面方向＋側面方向の２映像設備を配置し、工事用道路については、死角にならない方向からの映像設備等を配置する。表-3.3に基づき、それぞれの機械で必要とする映像設備を示す。

[遠隔操作式バックホウ]

- ①車載カメラ映像（掘削面、積込面２箇所 切替使用）
- ②正面方向の外部カメラ映像
- ③側面方向の外部カメラ映像

[遠隔操作式クローラダンプ]

- ④積込場所でのバックホウの車載カメラ映像
- ⑤積込場所での正面方向の外部カメラ映像
- ⑥積込場所での側面方向からの外部カメラ映像
- ⑦工事用道路（第１区間）を正面から映す外部カメラ映像
- ⑧工事用道路（第２区間）を正面から映す外部カメラ映像
- ⑨工事用道路（第３区間）を正面から映す外部カメラ映像
- ⑩土砂仮置場を正面から映す外部カメラ映像

①車載カメラ映像は、遠隔操作式バックホウに搭載することとする。④については、この①映像を共有することができるため、専用の設備は不要となる。②，③の外部カメラ映像についても設備として配置する。外部カメラ映像は、望遠広角の機能を有するが、望遠距離 100m程度である。それ以上のものもあるが、望遠した際に映像にブレが生じて見づらくなるため、あまり使われない。また、②，③は固定カメラと移動カメラ車で組み合わせることが一般的である。しかし、今回の工事では、固定カメラが配置できる有人域から 200m以上離れた場所に配置する必要がある、固定カメラは使用できない。これより、②，③は、移動カメラ車を配置することとする。⑤，⑥については、②，③と映像を共有することができるため、専用の設備は不要となる。⑦の外部カメラ映像については、砂防管理区域境界線付近から工事用道路（第１区間）を映すものであるが、有人域から 200m程度離れているため、前述の理由により、固定カメラは使用できない。これより、移動カメラ車を配置することとする。⑧の外部カメラ映像については、工事用道路（第２区間）を映すものであるが、映す対象（工事用道路）の垂線上に固定カメラの配置ができない。これより、通信中継車にカメラを搭載し、配置することとする。⑨の外部カメラ映像については、工事用道路（第３区間）を映すものであり、映す対象（工事用道路）の垂線上の有人域にカメラの配置が可能であり、距離も 200m以内であ

る。これより、垂線上の有人域に固定カメラを配置することとする。⑩の外部カメラ映像については、土砂仮置場を映すものであり、映す対象（土砂仮置場）の正面方向の有人域にカメラの配置が可能であり、距離も 100m以内である。これより、土砂仮置場近傍に配置する無線基地局上に固定カメラを配置することとする。下記に配置するカメラ一覧および配置図を示す。

表-5.7 映像設備一覧表

No	映像設備名	映す対象	備考
1	車載カメラ	BH 掘削・積込映像	カメラ 2 台
2	移動カメラ車 No. 1	BH, CD 正面映像	
3	移動カメラ車 No. 2	BH, CD 横映像	
4	移動カメラ車 No. 3	工事用道路（第 1 区間）	
5	通信中継車カメラ	工事用道路（第 2 区間）	
6	固定カメラ No. 1	工事用道路（第 3 区間）	
7	固定カメラ No. 2	土砂仮置場	

BH:遠隔操作式バックホウ CD:遠隔操作式クローラダンプ

(2) 無線設備

1) 設備の選定

無線設備は、遠隔操作距離、運搬距離、視通（見通し）の有無等を検討後、表-3.4 に示した無線より適切なものを選択する。本工事で無線伝送する必要がある信号を下記に示す。

[遠隔操作室→機械類へ送信]

- ①遠隔操作式建設機械，移動カメラ車，通信中継車の遠隔操作信号
- ②車載映像の切替操作信号
- ③移動カメラ車，通信中継車の映像操作信号
- ④GNSS 基準局信号

[機械類→遠隔操作室へ送信]

- ⑤遠隔操作式バックホウの車載映像信号
- ⑥移動カメラ車，通信中継車の映像信号
- ⑦マシンガイダンスシステムの信号

今回の遠隔操作距離および運搬距離は、直線距離で 300mを超過する。これより、映像視認方式（ネットワーク方式）を採用することとする。使用する無線は、通信中継車を配置することから、5GHz 帯無線アクセスシステム無線局 (LAN 方式)を使用する。なお、映像視認方式（非ネットワーク方式）は、運搬距離の関係があり、採用できない。今回使用する無線局は、信号をすべて Ethernet 化し、まとめて送受信する。送受信可能な伝送容量は、400m程度の地点で 18Mbps 程度であるため、今回の信号を 1ch で送受信することは難しい。これより、複数の ch を使用してシステムを構築する。これについては、次項に示す。無線機械構成図を下記に示す。

図-5.12 映像設備配置図

2) 回線計画

映像視認方式（ネットワーク方式）に使用する 2.4GHz 帯や 5GHz 帯の伝送容量（伝送速度）は、機器仕様では、帯域幅 20MHz で 6～54Mbps（IEEE802.11a/g）となっている。後述するが、遠隔操作距離によって、この伝送容量は減少する。本工事で想定される 400 m 程度であれば、18Mbps（実験実績値）である。この回線で上記に示す 7 種類の信号を伝送する必要がある。遠隔操作系の信号の容量は微小であるが、映像信号の容量は、画角、解像度、用途（車載 or 外部）にもよるが、非常に大きい。これより、回線計画をする場合には、それらの容量を考慮する必要がある。下記に計画例を示す。

表-5.8 画角、解像度、用途等による伝送容量一覧表（実験実績値含む）

信号名	画角	解像度 (dpi)	用途	伝送容量 (kbps)	備考
映像	スタンダード	640×480	車載映像	3,800	
映像	スタンダード	640×480	外部映像	2,000	
映像	ハイビジョン	1,280×720	車載映像	10,000	
映像	ハイビジョン	1,280×720	外部映像	5,000	
遠隔操作	—	—	—	4.8	
カメラ操作	—	—	—	2.4	
GNSS 基準局	—	—	—	2.4	
ガイダンス	—	—	—	9.6	メーカーによる

本工事において、無線伝送する映像は、5 映像（車載×1, 移動×3, 通信中継×1）である。この映像すべてをハイビジョンにした場合、下記となる。無線 LAN1ch 当たりの伝送容量は、18Mbps であるため、1ch では対応できず、2ch が必要となる。また、2ch を使い分けると 1ch 当たり 15Mbps となる。一般的に、無線の伝送容量は、無線機器の伝送可能容量に対して余裕を持つ必要がある。これは、伝送する信号に変動があるためである。映像信号の場合、映す映像の内容、色調、変化で伝送容量の変動が発生する。これより、車載映像のように映像自体の変化が大きいものは、伝送容量および変動が大きい。一方で外部映像のように映像の一部が変化するものは、伝送容量がある程度抑えられ、変動はあまりない。この容量変動を考慮し、無線機器の伝送可能容量に対してある程度の余裕を持った回線計画を行う必要がある。今回は、余裕率を 0.7 として計画を進める。

[伝送容量の算出]

$$\begin{aligned} \text{伝送容量} &= 10,000 \times 1 \text{ (車載)} + 5,000 \times 4 \text{ (移動} \times 3, \text{通信中継} \times 1) \\ &= 30,000 \text{ (kbps)} = 30 \text{ (Mbps)} \end{aligned}$$

[ch の使い分け例]

$$\begin{aligned} 1\text{ch 目} &= 10,000 \times \text{(車載)} + 5,000 \times 1 \text{ (通信中継} \times 1) = 15,000 \text{ (kbps)} = 15 \text{ (Mbps)} \\ 2\text{ch 目} &= 5,000 \times 3 \text{ (移動)} = 15,000 \text{ (kbps)} = 15 \text{ (Mbps)} \end{aligned}$$

本工事で使用する無線 LAN の 1ch 当たりの伝送可能容量は、余裕率を見込むと下記のとおりとなる。これより、ある ch は、車載映像をハイビジョンにした場合、車載映像のみしか伝送できないこととなる。また、外部映像をハイビジョンにした場合、さらに 2ch が必要となる。遠隔施工において、車載カメラ映像の良し悪しは、施工効率に大きな影響を及ぼすとともに、遠隔操作オペレータの目の負担の軽減にもつながる。これより、車載映像は、ハイビジョンとし、外部映像は、スタンダードとして伝送容量を算出する。また、無線中継の有無も考慮し、伝送容量を算出する。算出の結果、2ch となり、いずれの ch も 11.9Mbps を下回る結果となった。これより、5GHz 帯無線 LAN を 2ch 配置し、それぞれの ch には下記表の信号を入力することとする。無線システム構成図および無線機器一覧表を下記に示す。

[余裕率を見込んだ伝送可能容量の算出]

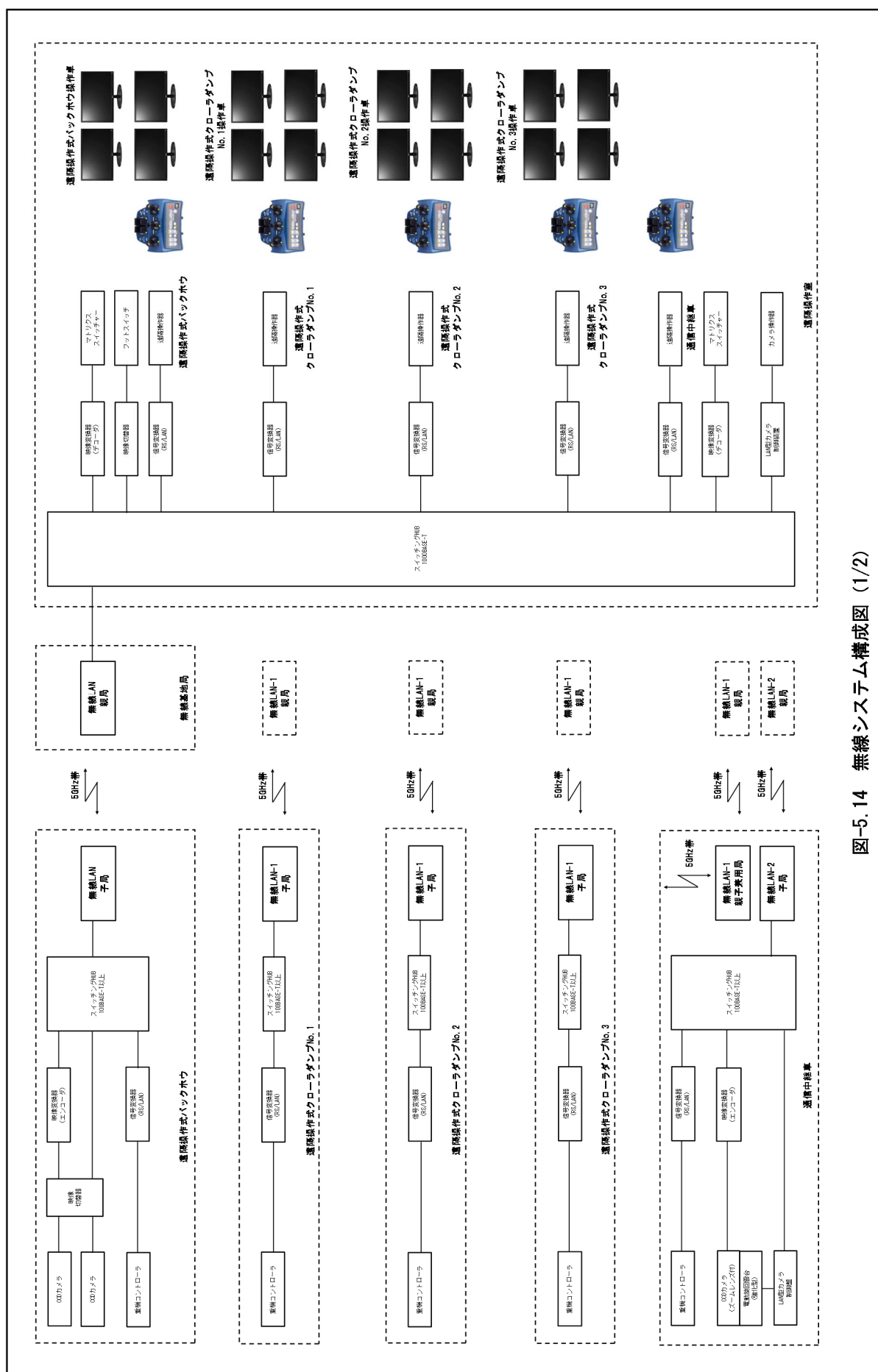
$$\text{伝送可能容量} = 18,000 \times 0.7 = 12,600 \text{ (kbps)} = 12.6 \text{ (Mbps)}$$

表-5.9 無線 LAN 1ch 目の伝送内容と容量一覧表

信号名	単体容量 (kbps)	数量	合計容量 (kbps)	備考
BH 車載映像	10,000	1	10,000	
建設機械遠隔操作	4.8	4	19.2	
GNSS 基準局	2.4	1	2.4	
ガイダンス	9.6	1	9.6	
計			10,031.2	< 12,600

表-5.10 無線 LAN 2ch 目の伝送内容と容量一覧表

信号名	単体容量 (kbps)	数量	合計容量 (kbps)	備考
移動カメラ車映像	2,000	3	6,000	
中継車映像	2,000	1	2,000	
移動カメラ車遠隔操作	4.8	3	14.4	
通信中継車遠隔操作	4.8	1	4.8	
移動カメラ操作	2.4	3	7.2	
中継車カメラ操作	2.4	1	2.4	
計			8,028.8	< 12,600



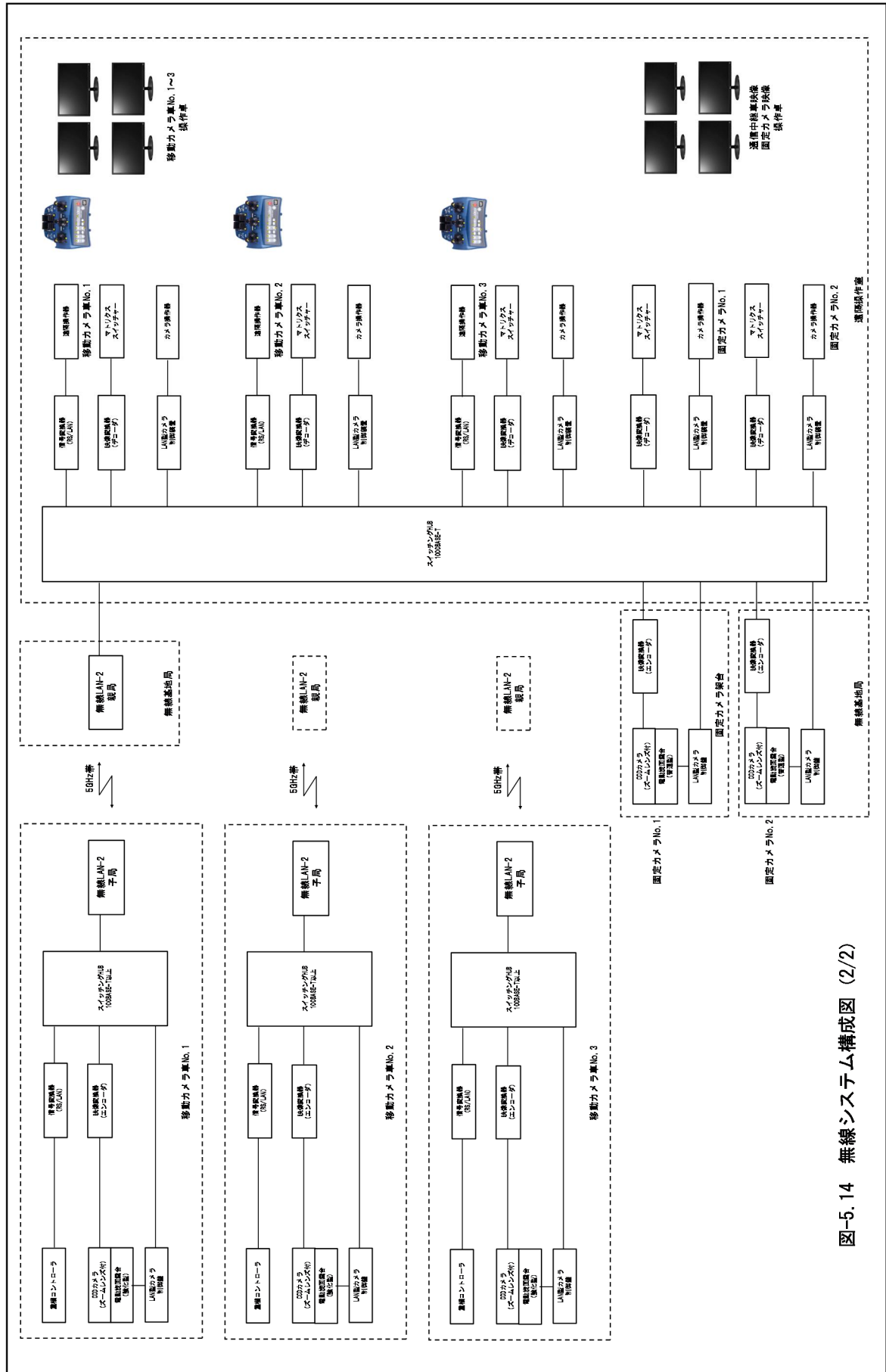


図-5.14 無線システム構成図 (2/2)

表-5.11 無線機器一覧表

機器名	仕様	呼称	数量	備考
無線 LAN (親局)	5GHz 帯メッシュ LAN	台	2	
無線 LAN (親子兼用)	5GHz 帯メッシュ LAN	台	1	
無線 LAN (子局)	5GHz 帯メッシュ LAN	台	8	

(3) その他設備

本工事における遠隔施工設備のその他設備としては、遠隔操作室、無線基地局、移動カメラ車等が挙げられる。移動カメラ車および通信中継車の選定理由や配置数量等は前述したため、割愛する。

遠隔操作室は、設置場所の安全の確保が可能であるため、定置式とする。本工事では、遠隔操作オペレータ 4 名とカメラオペレータ 1 名の操作卓を収納し、その他必要機器も収納する。操作卓は、1,200mm 程度であり、5 名を横並びとすると 6,000mm の幅が必要となる。これより、3 連棟型の仮設ハウスを設置することとする。

無線基地局に搭載する機器は、無線 LAN (親局) × 2 台と固定カメラ × 1 台である。これより、大規模な設備は不要と考え、3 段 2 スパンとする。また、工事用道路 (第 3 区間) を映す固定カメラ No. 1 用の架台は、ある程度の高さを確保する必要がある。これより、無線基地局で使用する枠組足場とする。こちらは、2 段 1 スパンとする。

移動カメラ車は、前述の検討に基づき、3 台配置し、通信中継車は 1 台配置する。通信中継車には外部カメラ × 1 台を搭載する。下記にその他設備一覧表を示す。

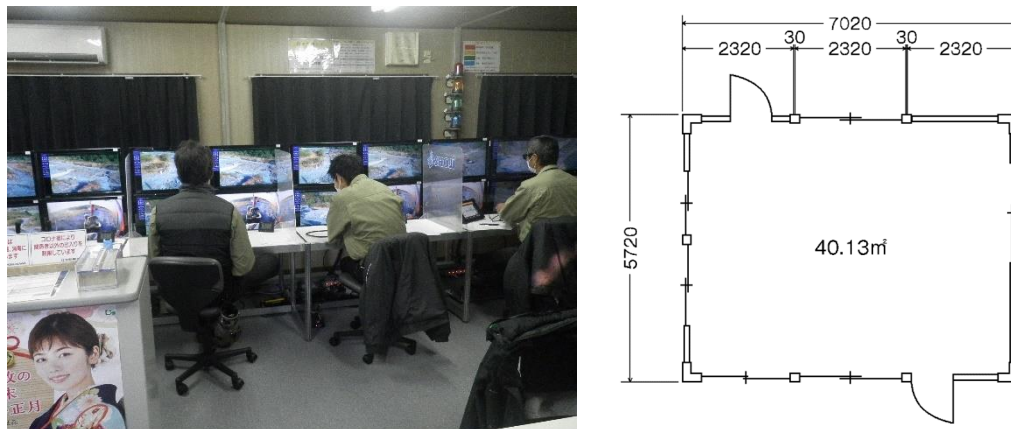


図-5.15 操作卓 (左) および仮設ハウス寸法 (右)

表-5.12 その他設備一覧表

設備名	仕様	呼称	数量	備考
遠隔操作室	7,020×5,720 3 連棟	基	1	
無線基地局	枠組足場 3 段 2 スパン	基	1	
固定カメラ架台	枠組足場 2 段 1 スパン	基	1	
移動カメラ車	0.45m3 級 遠隔操作式	台	1	
通信中継車	0.45m3 級 遠隔操作式	台	1	

(4) ICT 機器類

本工事の施工効率および出来形精度向上のため、ICT 機器類を使用する。具体的には、バックホウマシンガイダンスシステムを使用する。システムは、バックホウ本体に GNSS 受信機または TS ターゲットを装着する。また、ブーム・アーム・バケットに装着した角度センサを装着し、これらの情報をもとにバケットの高さと傾きをコントローラに表示する。バックホウオペレータは、このコントローラを見ながら作業することで、より高精度な施工が可能となるものである。このシステムを遠隔施工で使用する場合には、キャビン内に搭載しているコントローラを遠隔操作室に移動し、機械側の機器との通信手段を構築する改造を行う。また、運用時には、日々の GNSS の座標のずれ等を管理するための仮 BM 等の設置し、座標管理を行うものとする。

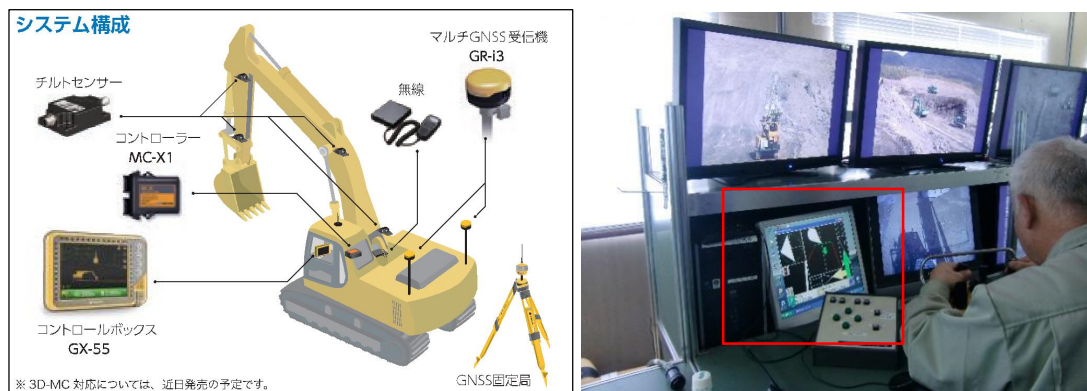


図-5.16 有人のガイダンスシステム（左）とコントローラ移設（右）



写真-5.7 GNSS 基準局（左）および GNSS 精度確認状況（右）

5. 5 工程計画

工程計画は、遠隔施工による効率低下（遠隔施工効率）を考慮する必要がある。また、VDT (Visual Display Terminals) 作業に該当するため、作業時間も考慮する必要がある。その他、災害復旧工事で採用されることが多いため、この災害特有の作業中止基準も考慮した工程計画を行う必要がある。

【解説】

(1) 日作業時間の算出

標準的な日作業時間の算出を行う。日作業時間は、8:00～17:00 の 8h としており、10 時、15 時の小休憩や VDT (Visual Display Terminals) 作業による小休憩は考慮していない。算出の結果、実作業時間は、6h10min (370 分) となる。

一方、VDT 作業における労働衛生環境管理のためのガイドラインでは、具体的にディスプレイ・入力機器・いす・机等の物理的な環境整備のほか、「一連続作業時間が 1 時間を超えないようにし、次の連続作業までの間に 10 分～15 分の作業休止時間を設け、かつ、一連続作業時間内において 1 回～2 回程度の小休止を設けること」などを求めている。これより、50 分の作業後、10 分の休憩を考慮し、10 分×6 回＝60 分を減じた時間を標準的な日作業時間とし、日作業時間は、5h10min (310 分)となる。

朝礼・KYK	8:00 ～ 8:10	
始業点検	8:10 ～ 8:30	
作業準備（ヤード移動等、調整）	8:30 ～ 9:00	
作業（午前）	9:00 ～ 12:00	<u>3h (180 分)</u>
昼休み	12:00 ～ 13:00	
作業（午後）	13:00 ～ 16:10	<u>3h10min (190 分)</u>
撤去（移動準備、ヤード移動等）	16:10 ～ 16:40	
終業点検・給油	16:40 ～ 17:00	
実作業時間計	6h10min (370 分)	
VDT 作業に基づく休憩時間	-60min	
標準的な日作業時間	<u>5h10min (310 分)</u>	

(2) 日作業能力の算出

1) 前提条件等

砂防土工の作業能力を算出する。作業能力は、一般的に積込機械（バックホウ等）と運搬機械（不整地運搬車）の作業能力を算出し、劣る能力を合成能力として決定する。また、本工事は、遠隔施工であるため、作業によっては、遠隔施工効率を乗じる。この遠隔施工効率は、「緊急時の遠隔施工ガイドブック（先端建設技術センター編）」では、0.6 とされている。しかし、これは、日作業における無人化によるロス時間等も含む。この効率については、各現場の状況に応じて設定する必要がある。前提条件等を下記に示す。

[前提条件等]

バックホウ 0.8m³級作業能力（有人）：290（m³/日）（レキ質土，障害なし）

国土交通省土木工事標準積算基準書 土工（ICT）I-14-①-15

遠隔施工効率：0.8（現場状況に応じて要設定 今回は 0.8 と設定）

無人運搬距離：300m（除石範囲重心距離 30m＋無人運搬距離 270m）

有人運搬距離：80m（有人運搬距離 60m＋土砂仮置場重心距離 20m）

運搬速度：4（km/h）（平均速度）

回あたり運搬量：4.5（m³/回）

運搬機械台当たり積込時間：4（分）（40（秒/回）×6（回））

日作業時間：5h10min（310 分）（前述）

2）遠隔操作式バックホウの日作業能力

遠隔操作式バックホウの日作業能力（m³/日）は、前提条件等から下記のとおりとなる。

$$\begin{aligned}\text{バックホウ作業能力} &= 290 \text{ (m}^3\text{/日)} \times 0.8 \text{ (遠隔施工効率)} \\ &= \underline{232 \text{ (m}^3\text{/日) }}\end{aligned}$$

3）遠隔操作式クローラダンプの日作業能力

遠隔操作式の日作業能力（m³/日）は、前提条件等と下記のサイクルタイム算出結果から下記のとおりとなる。なお、遠隔操作式クローラダンプは、遠隔操作式バックホウの積込能力や故障等に対する冗長性を考慮し、3 台使用する。

$$\begin{aligned}\text{不整地運搬車作業能力} &= 4.5 \text{ (m}^3\text{/回)} \times 3.3 \text{ (回/h)} \times 5.17 \text{ (h)} \times 3 \text{ (台)} \\ &= \underline{230.3 \text{ (m}^3\text{/日) }}\end{aligned}$$

・サイクルタイム：18 分/回	⇒	3.3（回/h）
荷積み時間	=	4 分
運搬時間（無人実車）	=	4.5 分（(300/4,000）×60）
乗換え時間（無人→有人）	=	1 分
運搬時間（有人実車）	=	1 分
荷卸時間	=	1 分
運搬時間（有人空車）	=	1 分
乗換え時間（有人→無人）	=	1 分
運搬時間（空車）	=	4.5 分（(300/4,000）×60）

4）合成能力

これまでの算出結果より、日作業能力は、230（m³/日）とする。

(3) 準備工および撤去工

遠隔施工における準備工は、一般的な工事としての準備工と遠隔施工特有の準備工がある。また、撤去工も同様である。遠隔施工特有の準備工には、遠隔操作式建設機械、遠隔施工設備および ICT 機器類の手配・整備・搬入などである。これらの一般的な手配期間等を下記に示す。ただし、遠隔操作式建設機械は、市場の現存台数が少ないため手配先が遠方になることもある。実手配の際は、留意されたい。なお、撤去工は、準備工の半分の日数を見込めばよい。

表-5.13 遠隔操作式建設機械の手配期間等一覧表

機械または設備名	手配期間※ ¹	搬出※ ²	備考
遠隔操作式バックホウ 0.8m ³ 級	12 日	1 日	
遠隔操作式クローラダンプ 11t 級	14 日	1 日	
遠隔操作式ブルドーザ 16～21t 級	21 日	1 日	

※1: 手配期間は実調査結果に基づく。また、手配期間には、出荷前点検、出荷前検査、一般的な運搬距離における運搬期間等を含む。

※2: 搬出は、建設機械の搬出に要する日数のみを計上している。遠隔操作式バックホウの場合、車載カメラ等の設備や ICT 機器類の取外し後の搬出となる。

表-5.14 遠隔施工設備（非ネットワーク方式）の手配期間等一覧表

項目	日数	人員数	備考
調達期間（出荷元）	13 日	—	
取付調整期間（現地）	6 日	20 人	
計	19 日	—	
撤去（現地）	3 日	20 人	

表-5.15 遠隔施工設備（ネットワーク方式）の手配期間等一覧表

項目	日数	人員数	備考
調達期間（出荷元）	13 日	—	
取付調整期間（現地）	7 日	21 人	
計	20 日	—	
撤去（現地）	4 日	21 人	

表-5.16 マシンガイダンスシステムの手配期間等一覧表

項目	日数	備考
調達期間（出荷元）	10 日	
取付調整期間（現地）	3 日	
計	13 日	
撤去（現地）	2 日	

(4) 工程の策定

これまでの検討および算出結果をもとに工程を策定する。工程のうち、実作業期間（砂防土工）は、下記となる。実作業期間は、休日等を見込むものとする。また、工事用道路工は、作業量が見込めないが、1週間（作業日5日）の作業量とする。その他の工程も下記として工程表を作成する。工事工程表を表-5.17に示す。

[実作業期間]

$$\text{実作業期間} = 5,200 \text{ (m}^3\text{)} \div 230 \text{ (m}^3\text{/日)} \times (30 \text{ 日} / 22 \text{ 日}) = 31 \text{ (日)}$$

[その他の工程]

$$\text{遠隔施工設備 現地調整期間} = 7 \text{ (日)} \times (30 \text{ 日} / 22 \text{ 日}) = 10 \text{ (日)}$$

$$\text{遠隔施工設備 撤去期間} = 4 \text{ (日)} \times (30 \text{ 日} / 22 \text{ 日}) = 6 \text{ (日)}$$

$$\text{マシンガイダンスシステム 現地調整期間} = 3 \text{ (日)} \times (30 \text{ 日} / 22 \text{ 日}) = 4 \text{ (日)}$$

$$\text{マシンガイダンスシステム 撤去期間} = 2 \text{ (日)} \times (30 \text{ 日} / 22 \text{ 日}) = 3 \text{ (日)}$$

※遠隔施工設備とマシンガイダンスシステムは併行作業とする。

表-5.17 工事工程表

[illegible]

6. 特記仕様書

特記仕様書は、通常の施工を想定した記述により作成することを基本とする。加えて、遠隔施工ですべき工種を特定し、遠隔施工区域を指定するとともに、遠隔施工の計画および実施において、受注者が留意すべき事項を記述する。併せて、遠隔施工特有の事項も記述する。なお、施工管理、出来形確認、検査方法については、想定している内容を記載するが、別途監督職員と協議することとする。

【解説】

(1) 特記仕様書記載事項例

遠隔施工工事において、通常の施工を想定した記述に加えて記載する事項例を下記に示す。

表-6.1 特記仕様書記載事項例 (1/2)

1. 使用機械の機種、規格、性能、数量、施工法等について、あらかじめ施工計画を作成し、監督職員と協議するものとする。なお、施工計画を変更する場合も同様とする。 (緊急工事の場合)
2. 本工事における数量は、概略計算により算出したため、数量変更により精算することとする。(緊急工事の場合)
3. 本工事は、重点的な監督業務の実施を行うものとし、適用工種については下記のとおりとする。 適用工種： <u>遠隔施工関連</u>
4. 本工事は、「発注者指定型」により下記新技術を活用する工事である。 技 術 名： <u>遠隔施工関連^{※1}</u> 現地の条件等により当該技術に係わる変更が生じる場合には、監督職員と協議のうえ設計変更の対象とする。
5. RCC 工法におけるコンクリート運搬打設に使用する主要設備および機械は、原則として次のとおりとする。(RCC 工法による工事の場合)
6. 土砂型枠の締固め度は、「JIS A 1210」に定める突固め試験で得た最大乾燥密度の 85% 以上とするものとし、盛土方法については監督職員と協議するものとする。 (RCC 工法による工事の場合)
7. 本工事箇所は、火砕流・土石流の危険性を有する河道内施工であることから、遠隔操作付建設機械を原則とする。なお、実施にあたっては、遠隔操作建設機械の仕様等について監督職員へ計画書を提出するものとする。
8. 工事着手前に無線設備等については、免許状・技術基準適合証明証書または、試験成績書等を提出し、監督職員の承諾を得るものとする。
9. 遠隔操作の重機及び移動カメラの操作については、重機等の免許所持者が従事するものとし、その証明書を監督職員へ提出するものとする。

※1：開発会社ごとに技術名称が異なり、技術名の指定はできないため、総称を記載する。

表-6.1 特記仕様書記載事項例 (2/2)

10. 遠隔施工の範囲については下記の項目とする。 適用工種： <u>遠隔施工関連</u> 、施工範囲： <u>遠隔施工エリア</u>
11. 遠隔操作付建設機械および遠隔操作設備は、標準地点からの運搬を想定しているが、これによりがたい場合には、監督職員と協議する。
12. 本工事の着手に先立ち行う着工前測量においては、無人測量システムによる測量を行うことを原則とする。
13. 請負者は、盛土施工をする場合の締固め品質管理においては「TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領（案）」により実施してもよい。なお、構造物周辺や法肩など盛土締固め管理ができない場所、および土質条件、天候等によりこの要領（案）での盛土締固め管理ができない場合には、監督職員に承諾を得るものとする。
14. 工事中の土石流により断面形状等の変化（埋設、流失等）を生じた場合は、甲乙協議のうえ、契約変更の対象とする。
15. 本工事で使用する機械は、毎日工事終了後、土石流・火砕流に対し安全な場所に移動させることとし、保管場所は監督職員と協議のうえ、決定するものとする。
16. 本工事箇所は、土石流および火砕流による災害が予想されることから、工事期間中は気象条件ならびに火山情報に関して十分な情報収集を行うこと。
17. 工事施工中の現場作業員の安全を確保するために工事内容を踏まえた安全対策を立案し、土石流に対する「安全対策施工計画書」および火砕流に対する「安全対策施工計画書」を作成し、監督職員へ提出すること。また、安全対策費用については、必要と認められるものについて別途契約変更の対象とすることができるものとする。
18. 工事中の水防は、監督職員と連絡を密にし、早急にその対策を講じるとともに事後遅滞なく書面により監督職員に報告すること。
19. 土石流および火砕流に対する避難を行ったときは、遅滞なく監督職員に報告を行うこと。
20. 本工事の内容に応じた安全・訓練等の具体的な計画等を作成し、監督職員に提出するものとする。
21. 安全・訓練等の実施状況を写真等または工事報告に記録し報告するものとする。
22. 本工事における品質管理は、「土木工事施工管理基準」に基づき、本工事に該当する部分を選定し、件数及び基準値については別途協議する。
23. 本工事は、遠隔操作付建設機械を用いた遠隔施工であるため、出来形管理方法については、以下のものを予定しているが、実施に当っては、監督職員と協議のうえ、決定するものとする。 (例) 除石工事については、搬出された土量計測により出来高確認検査を行う。

(2) 無線設備の免許状や技術基準適合証明証書

無線局免許の申請が必要な無線局については、免許申請後に認可された後に免許状が交付される。無線局免許の申請が不要な無線局については、無線局ごとに技術基準適合証明証書が発行されている。工事開始前に施工者からこれらの書類の提出を求め、当該地区での使用が可能であることを確認することが重要である。

無線局免許状については、免許人が施工会社（下請業者を含む）であるかどうかをまず、確認する。また、無線局の種別は、無線従事者が必要であるか、不要であることを確認する。無線従事者が必要な無線局については、従事者免許を添付させる必要がある。無線設備の移動範囲が、当該地区での使用が可能であることも確認する必要がある。技術基準適合証明証書は、無線局ごとに定められた技術基準に対して適合していることの証明を受けた書類である。この書類に記載された製造番号および証明番号が実機と適合していることを確認することが重要である。

無線局免許状		技術基準適合証明証書	
免許人の氏名又は名称		特定無線設備の種類	証明規則第8条第12号の無線設備 特定小電力機器
免許人の住所		証明に係る電波の型式・周波数及び空中線電力	P2D 429.2500~429.7375MHz 0.01W (12.5kHz間隔 40波)
無線局の種別	簡易無線局	型式又は名称	特定小電力送受信機 YC2218A4
免許の年月日	平 27. 6. 22	製造者名	東京電子工業株式会社
無線局の有効期間	平 32. 6. 21 まで	製造番号	3127365 3127368 3127370 ~ 3127441 3127443 ~ 3127465
無線局の目的	簡易無線業務用	証明番号	YAA0090212 ~ YAA0090308
通信事項	簡易な事項	証明をした年月日	平成 6 年 2 月 4 日
通信の相手方	免許人所属の簡易無線局 免許人所属の受信設備		
識別信号	1~1		
無線設備の設置場所又は移動範囲			
移動範囲	全国		
電波の型式、周波数及び空中線電力			
F2D 154.45MHzから 154.61MHzまで 20kHz 間隔の周波数 9 波	5 W		
F3E 154.45MHzから 154.61MHzまで 20kHz 間隔の周波数 9 波	5 W		
備考			
法律に別段の定めがある場合を除くほか、この無線局の無線設備を使用し、特定の相手方に対して行われる無線通信を傍受してその存在若しくは内容を漏らし、又はこれを窃用してはならない。 平成 27 年 6 月 22 日 東海総合通信局長		上記の無線設備は、電波法第38条の2第4項の規定に基づく技術基準適合証明を行ったものであることを証する。 平成 6 年 2 月 4 日 財団法人 無線設備検査協定	

図-6.1 無線局免許状（左）と技術基準適合証明証書

(3) 重機等の免許所持者

重機等を運転するためには、労働安全衛生法で定められた免許資格が必要である。具体的には、バックホウで掘削・積込みを行う場合、機体質量が3t以上のものについては、車両系建設機械（整地・運搬・積込み用及び掘削用）運転技能講習を修了している必要がある。転石破碎工を行う場合には、車両系建設機械運転技能講習（解体）も修了して車両系建設機械（解体用）運転技能講習いる必要がある。この免許資格は、重機等に搭乗して作業することを前提に定められたものである。遠隔施工の場合、作業時には、搭乗しない。これにより、労働安全衛生法に基づく免許資格の要否が問題

になることがある。労働安全衛生法第 88 条に基づく労働基準監督署への建設工事計画届においても、各労働基準監督署によって見解が分かれる。遠隔施工では、遠隔施工区域内での作業時は搭乗しないが、有人区域での始業・就業点検や遠隔施工区域近傍までの搭乗運転は、一般的に遠隔操作オペレータが行う。これにより、特記仕様書で重機等の資格について記載し、有資格者が、遠隔施工での作業を行う旨を定めている。



図-6.2 労働安全衛生法による技能講習修了証明書例

7. 施工管理

7. 1 施工管理の基本的な考え方

施工管理は、その対策の目的（初動対応、計画的実施）や目的物に適した内容や方法を選択することが重要である。実施にあたっては、現場の状況を調査し、安全を確保するとともに、効率的な施工に留意した上で、所要の出来形および品質を確保するよう施工管理を行うことが重要である。

【解説】

（1）施工管理計画・準備

遠隔施工（初動対応）では、安全性の確認や、緊急の工事の要否と内容の検討に必要な範囲で、限定的な調査が行われ、工事实施の観点からは、必ずしも十分な調査ができていないことも多い。このため、工事着手前には、現場情報の収集、測量などを必要に応じて実施することで、効果的な設備、機器の手配、施工管理計画の立案ができる。調査は現地へ立ち入ることなく、遠隔で可能な調査方法もあるが、被災前の測量、構造物施工時の完成図書、過去及び作業対象となる災害の記録などから、現地の状況を把握することも考えられる。

遠隔施工（計画的実施）については、当該地区または他地区での工事实績をもとに施工管理計画・準備を進めることが可能である。施工管理のうち、出来形管理手法については、施工区域内に入らないで実施するという前提のもと、手法を検討することが重要である。下記に施工管理の代表例を示す。

表-7.1 施工管理内容代表例

施工管理名	管理内容
工程管理	日土工量に基づく進捗管理
	日土工量に基づく週間および月間工程管理
出来形管理	出来形測量（施工ヤード内、土砂仮置場）
	完了測量（施工ヤード、土砂仮置場）
	ICT 機器用 BM 精度確認および補正
出来高管理	日土工量管理（ダンプ台数表等）
	出来高測量（施工ヤード内、土砂仮置き場）
安全管理	日常の安全管理（朝礼、KY、巡視等）
	災害防止協議会（毎月月末）
	安全訓練（毎月1回）
	安全大会（毎月月初め）
	避難訓練
	安全パトロール
写真管理	一般写真管理
	出来形管理関係
全体	施工管理日報作成提出

（２）施工管理

施工管理については、その対策の目的や目的物に適した範囲で、工程管理、出来形管理、出来高管理、品質管理等を行うよう努めることが重要である。また、安全管理については、対象とする災害（噴火災害、土砂災害他）によって、項目や内容を検討し、適切に行うことが重要である。近年の技術進歩によって、ノンプリズム型トータルステーション、３次元スキャナによる地盤計測または無人航空機（ドローン）による三次元点群測量、マシンガイダンスシステム等を利用した出来形管理および管理支援が可能になっている。しかし、このような検測や管理を遠隔施工に導入することは、工事の中断等によって、迅速な施工を阻害することがある。対策の目的などを十分勘案し、発注者と受注者が十分協議を行い、現場状況に合わせた適切な施工管理が求められるところである。これまでの各地での実績では、緊急対策工の除石工などは、施工前、施工後の上記機器を使用した安全区域からの検測と土砂仮置場での出来高検測がされており、計画的な事業実施では、一般工事と同様の施工管理が実施されている。ただし、施工管理基準は、遠隔施工に応じた規格値となっていることが多い。

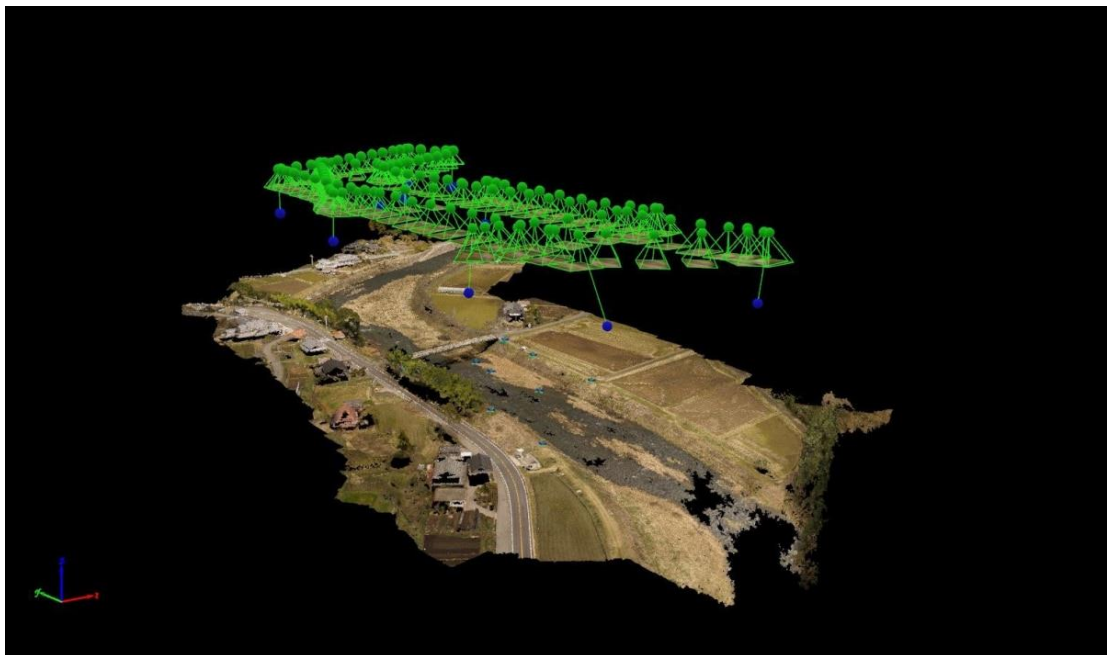


写真-7.1 無人航空機（ドローン）による三次元点群測量例

7. 2 工程管理

工程の策定については、災害状況によって生じる作業中止期間や制約条件を十分考慮することが重要である。工程管理は、全体・中期・短期に分けて実施し、各期における進捗状況を確認し、遅れまたは不具合が生じた場合には、発注者と施工者が協議し、見直しを図ることが重要である。

【解説】

工程計画は、下記に示す事項を考慮して、策定するのが望ましい。

- ①準備工日数および後片づけ日数
- ②工種別作業日数および全体のクリティカルパス等
- ③雨天・休日その他条件
- ④災害状況による作業中止期間や制約条件等

工程管理は、一般工事と同様に、全体・中期・短期に分けて行う。各期において、各工程の進捗状況を確認し、遅れまたは不具合が生じた場合には、その都度、見直しを図る。災害等の状況変化により、工程の遅れまたは不具合が生じた場合には、発注者と施工者が十分に協議を行い、工程の見直しを図ることが望ましい。

災害復旧工事は、一般工事と比べて雨天等に対する作業中止基準を高く設定することがある。この作業中止基準についても発注者と施工者が協議を行い、工程計画に反映することが重要である。下記に雨天等の作業中止基準例を示す。

[作業中止基準例（雨天）]

天候不良による作業中止は、下記の場合による。

- ①大雨洪水警報が発令された場合。
- ②時間雨量が 20mm 以上に達した場合。
- ③大雨注意報が発令され、基準値(24 時間雨量 150mm 以上)に達した場合。
- ④監視所の監視人による避難勧告が出された場合。

[作業中止基準例（有毒ガス）]

- ①監督員の指示による場合。
- ②気象庁より緊急火山情報が発令された場合。
- ③大雨警報が発令された場合（山間部の場合）。
- ④時間雨量 5mm 以上を観測した場合。
- ⑤ガス濃度が下記を超過した場合。
 - a) SO_2 : 2ppm H_2S : 10ppm O_2 : 18%(許容濃度基準超過警報) 発生時
現場代理人に連絡をし、現場代理人から現地災害対策本部へ指示を請う。
 - b) SO_2 : 20ppm H_2S : 10ppm を超過した場合
直ちに作業を中止し、濃度を測定後、現場代理人から現地災害対策本部へ連絡を行い、避難する。

〇〇建設株式会社
2022.〇.〇時点

工事名:○○除石工事

100

7. 3 出来形管理

出来形管理は、その対策の目的（初動対応、計画的実施）や目的物に適した管理内容や管理方法を選択することが重要である。出来形管理基準および規格値を定める場合には、遠隔施工に応じたものとするのが重要である。

【解説】

（1）遠隔施工における出来形管理

遠隔施工は、1996年に雲仙普賢岳で初めて適用されて約30年弱の技術であり、目的とする土木施設または構造物等の全部または一部を遠隔操作等により行うものである。全国での施工実績は、約300件ほどであり、国土交通省が定める「土木工事施工管理基準及び規格値」の管理項目及び方法と規格値の適用性が問題となる。緊急対策工などで実施する除石工などに求める性能は、今後、予想される土石流等に対する土砂捕捉量であり、規格値を求めるものではない。これより、精算のために、着工前および完了測量を安全区域からノンプリズム型トータルステーション、3次元スキャナまたは無人航空機（ドローン）による三次元点群測量で検測し、規格値を定めない方法も多く実施されている。また、計画的に実施されている土木施設または構造物等については、遠隔施工に応じた施工管理基準および規格値が定められ、実施されているものもある。これより、遠隔施工の出来形管理を策定する場合には、その対策の目的（初動対応、計画的実施）や目的物に適した管理内容や管理方法を選択することが重要である。

なお、近年、上記に示す手法に関する要領等が国土交通省より示されているので参照されたい。

- ・ 地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）
令和5年3月 国土交通省
- ・ 空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）
令和5年3月 国土交通省
- ・ 無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案） 令和5年3月 国土交通省
- ・ T S等光波方式を用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）
令和5年3月 国土交通省
- ・ T S（ノンプリズム方式）を用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）
令和5年3月 国土交通省
- ・ 地上移動体搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案） 令和5年3月 国土交通省
- ・ R T K-G N S Sを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）
令和5年3月 国土交通省

(2) 出来形規格値例

遠隔施工であっても、時間と費用をかければ一般施工と変わらない出来形で施工ができる場合がある。また、マシンガイダンスシステムやマシンコントロールシステムなどの ICT 機器類の導入により、出来形精度が向上する場合もある。出来形と工程・コストは、相反する関係にあるため、構造物の安全性を損なわない範囲で、出来形規格値を定めることが重要である。下記に雲仙普賢岳の砂防えん堤工事における出来形管理基準および規格値例と地元企業による除石工の出来形管理目標値案を示す。

表-7.3 出来形管理基準および規格値例（雲仙普賢岳 砂防えん堤）

工種	細別	管理項目	規格値 (mm)	管理方法	測定基準 箇所	摘要
河道 整形 工	掘削	基準高 ∇H 幅 W	+100 -200	出来形 管理図表	別途指示	
	盛土	基準高 ∇H 幅 W	-100 +200			
堰 堤 工	床堀	基準高 ∇H	± 100	出来形 管理図表	別途指示	
		堤延長 L 幅 W	-300 -200			
R C C	コンクリート 堰堤 本体工	天端高 ∇H	± 100	出来形 管理図表	別途指示	
		堤延長 L	-300			
		幅 W	-200			
	コンクリート 側壁工	天端高 ∇H 堤延長 L 幅 W	± 100 -300 -200	出来形 管理図表	別途指示	

表-7.4 出来形管理目標値案

工種	細 別	管理項目	管理目標値		管理方法
除 石 工	掘 削	基準高▽H	個々の計測値	+200mm 以下	出来形管理図 表
			平均値	0mm 以下	
		幅W	-200mm 以上		

(3) 出来形計測手法例

出来形管理は、目的物の主として高さ、幅、長さなどを数値管理するものである。遠隔施工エリアにおける出来形の計測は、安全な場所、高所等からヤード全体を見通すことができれば、ノンプリズム型トータルステーションや3次元スキャナ等により計測できる。雲仙普賢岳では、自動追尾型トータルステーションやGNSSと組み合わせた無人測量機が開発され、出来形計測を実施している例もある。また、二次製品の据付位置の出来形計測では、ターゲットシールと自動追尾型トータルステーションにより

実施している例もある。



写真-7.2 無人測量車（左），3Dスキャナ（右）による出来形計測

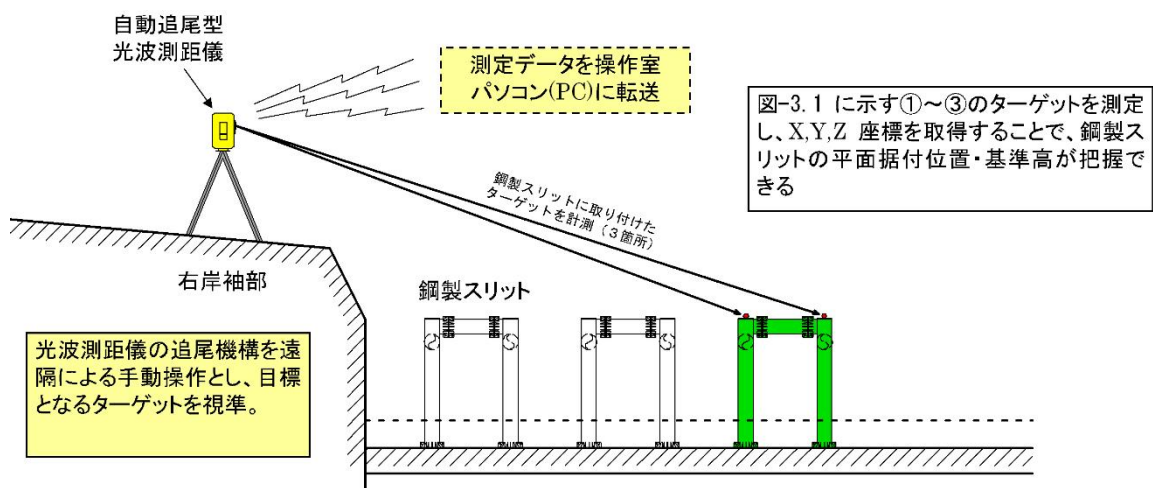
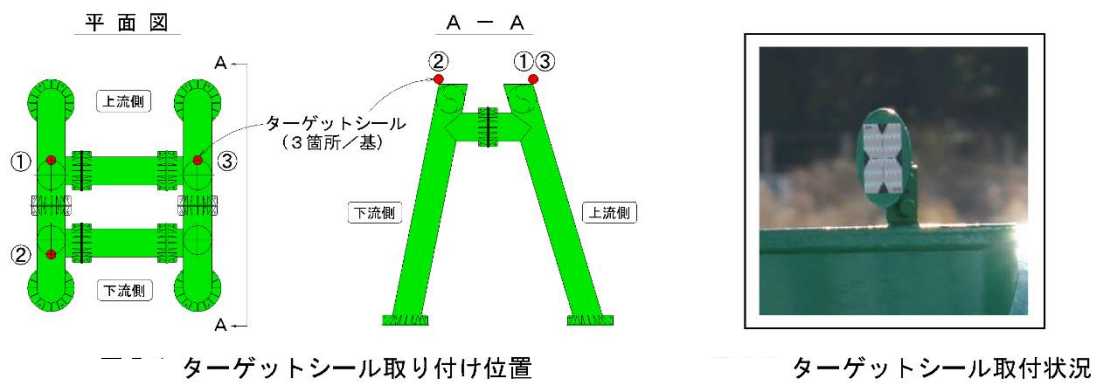


図-7.1 二次製品（スリット）の据付位置の出来形計測例

(4) 簡便な出来形管理手法例（除石工）

1) 出来形管理フロー案

無人航空機（ドローン）による三次元点群測量とマシンガイダンスシステムを利用した簡便な出来形管理手法例（除石工）を示す。出来形管理フロー案を示す。

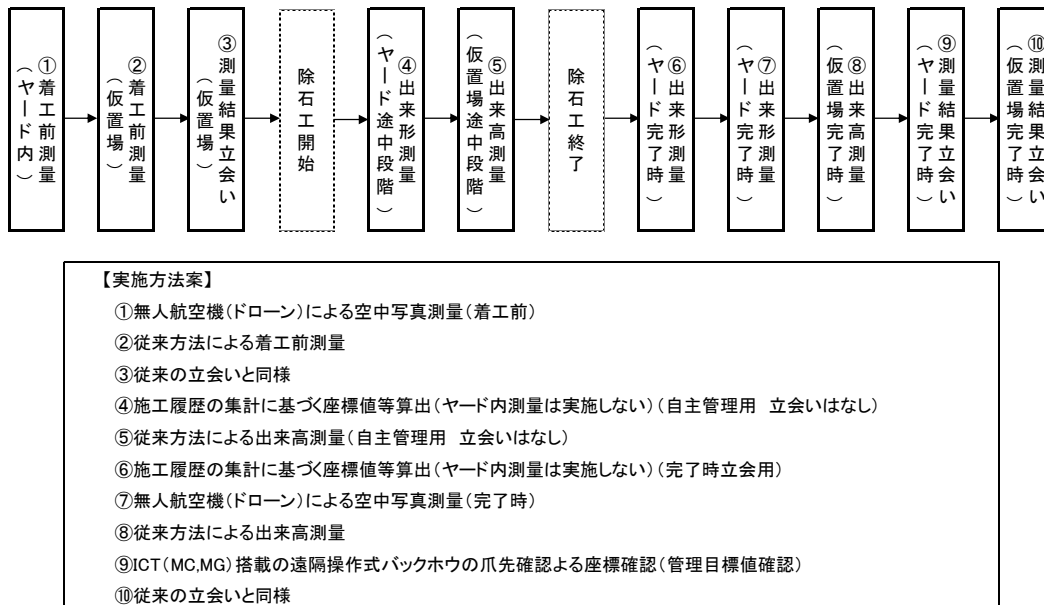


図-7.2 出来形管理フロー案

2) 着工前測量（ヤード内）

着工前測量（ヤード内）は、無人航空機（ドローン）による空中写真測量を行う。この測量結果をもとに設計図面の精査等を行う。

3) 着工前測量（仮置場）

着工前測量（仮置場）は、TS 等を使用した従来の測量を実施し、その結果について、発注者の立会を受けるものとする。

4) 施工完了測量

施工完了時には、施工完了測量を行う。まず、施工完了後、バックホウマシンガンダンスシステムの施工履歴の集計に基づく座標値を算出する。その結果が、出来形管理目標値（後述）を満足していることを確認し、無人航空機（ドローン）による空中写真測量を実施する。測量の結果は、出来形管理図表や土量計算表に取りまとめ、発注者に提出する。

5) 測量結果立会（ヤード内）

施工完了測量は、無人航空機（ドローン）による空中写真測量を行う。この測量結果の取りまとめには数日間を要し、この結果の立会は別途の手法の検討が必要なる。また、資機材類の撤去にも影響を及ぼすことになる。これより、バックホウマシンガイダンスシステムの爪先位置把握機能により、施工基面の確認を行う。具体的には、予め決定し

た9点ほどの座標にバックホウの爪先をあわせ、出来形管理目標値を満足することを確認する。確認したのち、その結果を取りまとめ、発注者に提出する。

表-7.5 出来形管理図表例

工種 河川・海岸・砂防土工		測点	
種別 掘削工		合否判定結果 不合格	

測定項目		規格値	判定
平場 標高較差	平均値	-19.1mm ±50mm	
	最大値(差)	175mm ±150mm	異常値有
	最小値(差)	-174mm ±150mm	異常値有
	データ数	810 1点/m2以上 (750点以上)	
	評価面積	750.0m2	
	棄却点数	9 0.3%以内 (2点以下)	異常値有
法面 標高較差	平均値	-38.2mm ±70mm	
	最大値(差)	651mm ±160mm	異常値有
	最小値(差)	-920mm ±160mm	異常値有
	データ数	944 1点/m2以上 (786点以上)	
	評価面積	786.3m2	
	棄却点数	152 0.3%以内 (2点以下)	異常値有

平場の ばらつき	規格値の±80% 以内のデータ数	772 (95.3%)	法面の ばらつき	規格値の±80% 以内のデータ数	720 (76.3%)
	規格値の±50% 以内のデータ数	666 (82.2%)		規格値の±50% 以内のデータ数	556 (58.9%)

土量計算図

盛土量≒3,121m³

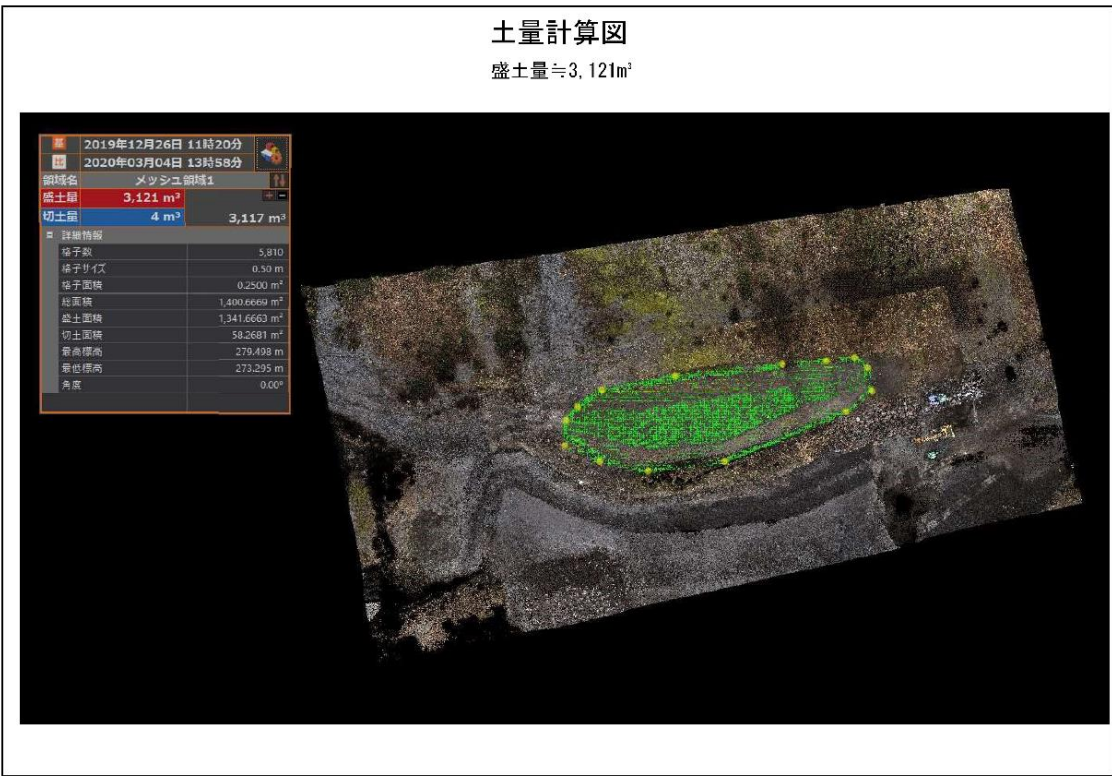


図-7.3 土量計算図例

表-7.6 出来形確認表例

砂防土工 掘削(無人化施工)出来形確認表

No.	北緯	東経	標高	時間
1	-27807.705	77555.287	261.962	2020/2/27 13:12
2	-27807.007	77562.147	261.963	2020/2/27 13:13
3	-27782.556	77551.595	262.010	2020/2/27 13:15
4	-27782.196	77558.126	261.868	2020/2/27 13:18
5	-27760.322	77547.858	262.046	2020/2/27 13:21
6	-27758.917	77555.014	261.979	2020/2/27 13:22
7	-27758.05	77561.206	262.035	2020/2/27 13:30
8	-27779.898	77564.705	261.928	2020/2/27 13:32
9	-27805.659	77568.637	262.017	2020/2/27 13:33

No.	設計高	実測高	差
1	262.000	261.962	-0.038
2	262.000	261.963	-0.037
3	262.000	262.010	0.010
4	262.000	261.868	-0.132
5	262.000	262.046	0.046
6	262.000	261.979	-0.021
7	262.000	262.035	0.035
8	262.000	261.928	-0.072
9	262.000	262.017	0.017



7. 4 出来高管理

出来高管理は、その対策の目的（初動対応、計画的実施）や目的物に適した管理内容や管理方法を選択することが重要である。管理は、日々の台数管理と全体の数量管理に大別される。

【解説】

出来高管理は、現在、国土交通省発注の工事では管理項目から除外されている。しかし、日々および定期的な工程管理の観点から出来高管理を実施するのが一般的である。また、緊急対応における遠隔施工などは、出来形管理基準および規格値が定められていない事例もあり、契約数量の確認のために出来高管理を行う場合もある。

管理は、日々の台数管理と全体の数量管理に大別される。除石工や作業土工などの場合、日々の管理については、運搬機械の日当たり台数から日当たり数量を把握する方法がとられる。この日当たり数量の換算に際しては、事前に運搬機械の台当たり数量を計測し、換算値とする方法や施工ヤードの測量が可能である場合には、ノンプリズム型トータルステーションや3次元スキャナ等を使用した測量により得られた数量をその時点の総運搬台数で除して換算値とする方法などがある。全体数量管理については、施工ヤードの測量が可能である場合には、前述の測量機器による測量により得られた数量により算出する。施工ヤードの測量が不可能である場合には、有人区域に設置する土砂仮置場で測量を実施し、数量を把握するのが一般的である。

遠隔施工の出来高管理で問題になるのが、転石の取扱いである。施工ヤード内での検測が不可能であるため、転石数量を事前に数量を把握することができない。このため、発注時には暫定的な数量とし、施工段階にて、発注者と施工者で破碎方法、数量確認方法などについて協議し、決定するのが望ましい。

表-7.7 サイクルタイム・土量確認表例（日々の台数管理）

工事名：〇〇〇除石工事								
作業日： 6月21日 （月）								
台数	車体 番号	時間				土砂搬出数量		備 考
		積込開始	荷卸し	到着	所要時間	1台 (m3)	累計 (m3)	
					(分)			
1	1	14時12分	14時21分	14時29分	17分	4.5	4.5	
2	2	14時24分	14時29分	14時36分	12分	4.5	9	
3	3	14時28分	14時32分	14時34分	06分	4.5	13.5	
4	1	14時31分	14時40分	14時55分	24分	4.5	18	
5	2	14時41分	14時48分	15時04分	23分	4.5	22.5	
6	3	14時43分	15時00分	15時03分	20分	4.5	27	
7	1	14時59分	15時08分	15時51分	52分	4.5	31.5	
8	2	15時10分	15時42分			4.5	36	
9	3	15時36分	15時46分	15時56分	20分	4.5	40.5	
10	1	15時51分	16時00分	16時15分	24分	4.5	45	
11	3	15時57分	16時10分	16時15分	18分	4.5	49.5	
12	1	16時17分	16時30分	16時32分	15分	4.5	54	
13	3	16時20分	16時33分			4.5	58.5	
14	1	16時36分	16時46分			4.5	63	
計		:	:	:	231分		63	
累計		:	:	:	3時51分		63	
		:	:	平均	21分			

7. 5 品質管理

品質管理は、その対策の目的（初動対応、計画的実施）や目的物に適した管理内容や管理方法を選択することが重要である。また、品質管理基準及び規格値を定める場合には、遠隔施工に応じたものとするも重要である。

【解説】

（１）遠隔施工における品質管理

遠隔施工における品質管理は、出来形管理と同様に、その対策の目的（初動対応、計画的実施）や目的物に適した管理内容や管理方法を選択することが重要である。近年の技術進歩によって、自動追尾型トータルステーションやGNSSを使用した締固め管理や有人計測と同様の方法を無線遠隔化した地盤反力計測などが実施されている。しかし、このような管理や計測を遠隔施工に導入することは、工事の中断等によって、迅速な施工を阻害することがある。対策の目的などを十分勘案し、発注者と受注者が十分協議を行い、現場状況に合わせた適切な品質管理が求められるところである。

（２）品質管理基準および規格値

遠隔施工であっても、時間と費用をかければ、締固めにおける転圧回数の測定などシステム類の導入により、一般施工と変わらない品質管理を実施できる場合がある。すなわち、出来形管理と同様に品質管理も工程・コストは、相反する関係にあるため、構造物の安全性を損なわない範囲で、遠隔施工に適した品質管理基準および規格値を定めることが重要である。下記に品質管理基準および規格値例を示す。

（３）遠隔施工区域内での品質管理例

雲仙普賢岳において実施されている砂防堰堤築造工事では、RCC コンクリートの品質管理手法として、GNSS 等を使用した振動ローラの転圧管理システムやブルドーザの敷均し管理システム（3. 6 ICT 機器類 参照）などが採用されている。構造物の支持地盤の確認には、簡易支持力測定や平板載荷試験の遠隔システムが採用されている。盛土の締固め度管理は、有人域にて試験施工を実施し、遠隔施工で可能な管理方法の決定がされている。



写真-7.3 簡易支持力測定（左）および平板載荷試験の遠隔システム
表-7.8 品質管理基準および規格値例（雲仙普賢岳 砂防えん堤工事）

試 験 項 目		試 験 方 式	試 験 基 準	管 理 方 式	試 料 採 取 箇 所	管 理 基 準	
材 料	セメント	ダム用セメント試験及びセメント単位試験	JIS R 5201 セメントの物理試験方法 JIS R 5202 セメントの化学分析方法 JIS R 5203 セメントの水和熱測定方法	1月1回以上。	結果表（ミルシート）	セメント工場	
		混和剤の品質試験	土木学会「AE剤規格（案）」あるいは「減水剤規定（案）」による	3月1回以上。			
		混和剤の濃度試験				生産工場	
	粗骨	比重及び吸水量試験	JIS A 1110比重及び吸水量試験方法	1月2回。	結果表、×管理図	骨材ストックヤード又はコンクリート製造設備	
		単位容積重量及び実績率試験	JIS A 1104単位容積重量及び実績率試験方法	施工中、材質及び配合に変動が生じた場合はその都度1回			
		ふるい分け試験	JIS A 1102ふるい分け試験方法	1週間1回及び骨材に変化が生じた場合。	結果表		
	骨材	有害物含有量試験	JIS A 1103洗い試験方法 JIS A 1126軽石量試験方法	1月1回。 施工中、材質及び配合に変動が生じた場合はその都度1回	結果表（ミルシート）	生産工場	
		安定性試験	JIS A 1122安定性試験方法				
		すりへり試験	JIS A 1121すりへり試験方法				
	表面水率試験	JIS A 1125表面水率試験方法	1日1回。変動が生じた場合はその都度1回。	結果表	コンクリート製造設備		
		細骨	比重及び吸水量試験	JIS A 1109比重及び吸水量試験方法	1月2回。	結果表、×管理図	骨材ストックヤード又はコンクリート製造設備
			単位容積重量及び実績率試験	JIS A 1104単位容積重量及び実績率試験方法	施工中、材質及び配合に変動が生じた場合はその都度1回		
	ふるい分け試験		JIS A 1102ふるい分け試験方法	1週間1回及び骨材に変化が生じた場合。（各ロットミル）	結果表		
	材料	有機不純物試験	JIS A 1105有機不純物試験方法	1月1回。	結果表（ミルシート）	生産工場	
		洗い試験	JIS A 1103洗い試験方法	施工中、材質及び配合に変動が生じた場合はその都度1回			
		安定性試験	JIS A 1122安定性試験方法				
		表面水率試験	JIS A 1111表面水率試験方法	1日2回。変動が生じた場合はその都度1回。	結果表	コンクリート製造設備	
	コンクリート	コンシステンシー試験（V C試験）	標準容器による 振 動 数 3,000rpm 振 巾 1mm モールド寸法 D24cmH20cm 載 荷 20kg	2時間1回。	結果表、×-R管理図及び度数表	コンクリート製造設備での採取を原則とする運搬途上におけるコンクリートの変化等を把握するため打設現場での採取を指示することもある。	R C D工法技術指針（案）
空気量試験			JIS A 1128空気量試験方法	供試体作成時			
単位容積重量		V C試験供試体を使用	V C試験時				
圧縮強度試験		JIS A 1108圧縮強度試験方法 供試体作成方法 ①モールド寸法 φ150mm×300 ②供試体用タンパーを使用し、3層に分けて各層を締固める	①打設初期段階での基準は監督職員の指示によるものとする。 ②供試体は1回当たり、 $\sigma_{\text{上}}$ 、 $\sigma_{\text{中}}$ の各3本とする。 ③1リフトのコンクリート量500m ³ 以上の場合、1リフト当たり2回。500m ³ 未満の場合、1リフト当たり1回。ただし、150m ³ 以下の場合には監督員と協議する。	結果表、 $\sigma - R_s - R_m$ 管理図及び度数表	コンクリート製造設備	コンクリート標準示方書	
		洗い分析試験	JIS A 1112洗い分析試験方法				1月1回。
コンクリート中のモルタルの差及び粗骨材の差の試験		JIS A 1119コンクリート中のモルタルの差及び粗骨材の差の試験方法	当初及び品質に異常が認められた場合	結果表			
		気温及びコンクリートの温度測定		1時間1回。	×管理表		
転圧回数		1. 転圧回数の測定	1日1回。	結果表	打設現場		
		打設記録	各層各位置毎の打設時間を記録する 1. 練混ぜ開始時刻 2. 敷均し開始及び完了時刻 3. 締固め開始及び完了時刻 4. その他の必要事項				施工時常時

7. 6 写真管理

写真管理は、一般の工事と同様の管理を行う。しかしながら、施工ヤードへの入場ができない遠隔施工特有の事情を加味した管理方法を事前に決定しておくことが重要である。

【解説】

写真管理は、「デジタル写真管理情報基準（令和5年3月）」に基づき行うものとする。遠隔除石工事の一般写真管理一覧表例を表-7.9に、出来形管理写真一覧表例を表-7.10にそれぞれ示す。

表-7.9 一般写真管理一覧表例

番号	区分	工種	写真管理項目		
			撮影項目	撮影時期	撮影頻度
1	着手前 完 成	着工前	着手前全景写真	着手前	着手前1回
		完成	完成時全景写真	完成後	施工完了後1回
2	施工状況	工事施工中	工事進捗状況	毎日	毎日1回
			施工中の写真	施工中毎日	工種, 種別ごとに1回
		仮設 (指定仮設)	使用材料・仮設状況 ・形状寸法	施工前後	1施工箇所につき1回
		図面との不一致	図面と現地との不一致の 写真	発生時	必要時適宜
3	安全管理	安全管理	各種標識類の設置状況	設置後	各種類で1回
			各種保安施設の設置状況	設置後	各種類で1回
			監視員交通整理状況	作業中	各1回
			安全訓練等の実施状況	実施時	実施ごとに1回
4	災害	被災状況	被災状況および被災規模 等	発生前 発生直後 発生後	適宜
5	事故	事故報告	事故の状況	発生前 発生直後 発生後	適宜
6	その他	補償関係	被害または損害状況等	発生前 発生直後 発生後	適宜
		共通仮設	仮設物	設置後	各種類で1回
		環境対策	各施設設置状況	設置後	各種類で1回
		現場環境改善	各施設設置状況	設置後	各種類で1回

表-7.10 出来形管理写真一覧表例

番号	工種	写真管理項目		
		撮影項目	撮影時期	撮影頻度
1	砂防土工	掘削幅・高さ 等	施工完了時	測線ごとに1回
2	工事用道路工	幅 等	施工完了時	測線ごとに1回

7. 7 安全管理

遠隔施工における安全管理は、一般の工事と同様の安全対策に加え、想定される災害に対する安全対策も併せて行うことが重要である。安全管理の内容や方法および被災時の取扱い等については、特記仕様書等に明記することが望ましい。また、想定される災害に対する安全対策を工程や積算に反映し、安全確保に努めることが重要である。

【解説】

安全管理の基本的な考え方は、一般の工事と同様であるが、想定される災害に対し、十分な対策を取ることである。土石流のセンサを設置したり、常に斜面等を観測して、異常を未然に発見するよう努めるほか、気象庁等の予報に対応して、工事の中断を含めた適切な対応を行うことが重要である。

遠隔施工においては、遠隔操作室に定置式を使用することがあるが、この遠隔操作室の位置については、有人区域内で、かつ、想定される災害に対して、必ず安全が確保されるように配置することが必要である。

雲仙普賢岳の遠隔施工においては、施工計画書に安全管理を記載するが、加えて、個別の災害に対する安全対策計画書を作成し、提出している。目次例を下記に示す。参考にされたい。



写真-7.4 避難訓練状況（車両による避難および点呼）

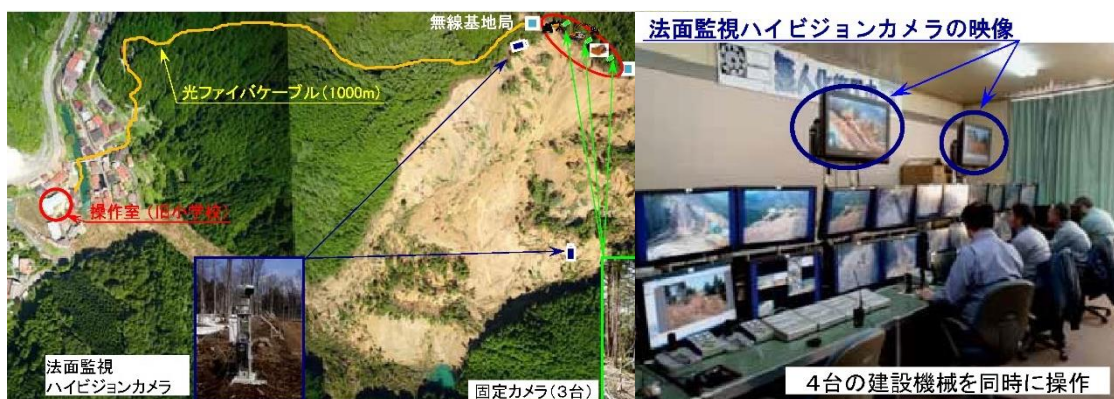


写真-7.5 法面監視用ハイビジョンカメラ映像（特別な安全監視設備）

1. 背景・目的及び対象範囲

2. 安全対策の方針と対応

2. 1 安全対策の対象

2. 2 基本的安全管理

(1) 安全管理体制の運営, (2) 責任体制の明確化, (3) 安全施工計画の設定と作業標準等の遵守, (4) 協力業者に対する作業、安全指示と確認の徹底, (5) 安全朝礼の実施, (6) 安全パトロールの強化, (7) 協力業者に対する労務管理の指導援助の強化, (8) 安全衛生教育の実施, (9) 全員参加による危険予知活動の推進と定着 (10) 安全施工サイクルの実施, (11) 安全諸行事の実施

2. 3 安全・訓練等の実施

2. 4 安全衛生管理計画表

2. 5 具体的安全管理

※各工種の一般的安全管理事項を記載

3. 溶岩ドーム崩落に対する安全対策

3. 1 目的

3. 2 新規入場者教育

3. 3 入場者の確認 (遠隔施工工事従事者)

3. 4 工事着手前安全確認

3. 5 避難車両の配置

3. 6 避難場所、避難経路の整備等

3. 7 火砕流または岩屑なだれ対策

(1) 情報の収集, (2) 情報の内容, (3) 避難方法, (4) 作業開始・再開
(5) 作業の中止, (6) 被災時の対応, (7) 緊急時の対応, (8) 避難訓練

4. 土石流に対する安全対策

4. 1 目的

4. 2 新規入場者教育

4. 3 入場者の確認 (遠隔施工工事従事者)

4. 4 工事着手前安全確認

4. 5 避難車両の配置

4. 6 避難場所、避難経路

4. 7 土石流対策

(1) 概要, (2) 情報の収集, (3) 作業の中止, (4) 作業開始・再開
(5) 被災時の対応, (6) 避難訓練

5. 地震発生時

6. 緊急時の連絡体制

7. 緊急体制組織表

8. 検査

遠隔施工における検査は、その対策の目的（初動対応、計画的実施）や目的物に適した内容や確認方法を選択することが重要である。また、検査・確認の基準は、遠隔施工に適したものにする 것도重要である。

【解説】

（1）検査・確認方法

遠隔施工による初動対応では、土砂の崩落を止める、土砂の流下を妨げるものを取り除く、導流堤を構築するなどを最優先としているため、永久構造物を目的として設定された基準にとらわれることなく、適切に管理基準を定めることが必要である。検査は、遠隔施工ヤードに立ち入ることなく、安全を確保した中で実施する必要がある。これにより、安全確保を最優先とした適切な方法を協議しておく必要がある。計画的実施による遠隔施工では、初動対応と同様に安全確保を最優先とした方法を協議しておく必要がある。なお、完成検査時には、無人測量システムなどの遠隔施工設備は撤去されている可能性が高いため、検査前の最終立会と検査では確認方法が変わる可能性があり、留意する必要がある。また、計画的実施による遠隔施工では、一般工事と同様の段階確認を実施する場合がある。



写真-8.1 3D スキャナを使用した完了検査

（2）詳細な計測技術

施工ヤードの詳細な計測技術として、雲仙普賢岳の遠隔施工で開発された無人測量システムがある。本システムは、バックホウなどのベースマシンの先端に GNSS や TS 用プリズム、レーザ距離計などを使用した位置計測機能とスプレー等を使用したマーキング機能を有するユニットを搭載したものである。遠隔操作室からの操作により、測量、マーキングを行い、また、その位置を遠隔操作室の PC に伝送する。一般の工事で行う出来形測量や出来形管理と同様のことが、遠隔地から実施することができ、また、発注者の出来形検測も本システムを使用して実施する。下記に概要を示す。

