

令和4年度 先端建設技術セミナー

# 5Gを活用した現場実証と 無人化施工設備計画の考え方



一般財団法人 先端建設技術センター  
先端建設技術研究所 研究部  
吉田 貴

# 本日説明する内容

## 5Gを活用した現場実証と無人化施工設備計画の考え方

- 昨年度発表の復習
- 5Gを活用した除石無人化施工現場実証
  - ・全体工程表とタイムスケジュール
  - ・無人化施工設備、遠隔操作室、現場実証ヤード
  - ・現場実証結果（無線LANに関するもの）
- 無人化施工設備
  - ・設備の選定
  - ・映像設備、無線設備
- 無人化施工設備計画
  - ・工事計画
  - ・仮設備計画

# 5Gの主要性能

## <5Gの主要性能>

超高速  
超低遅延  
多数同時接続



最高伝送速度 10Gbps  
1ミリ秒程度の遅延  
100万台/km<sup>2</sup>の接続機器数

- 最高伝送速度は、現行LTEの100倍  
下り：20Gbps  
上り：10Gbps
- 遅延時間は、現行LTEの1/10
- 同時接続数は、現行LTEの100倍

## 5Gは、AI/BI時代のICT基盤

低遅延

移動体無線技術の  
高速・大容量化路線

2G 3G LTE/4G 5G  
1993年 2001年 2010年 2020年

同時接続

### 超高速

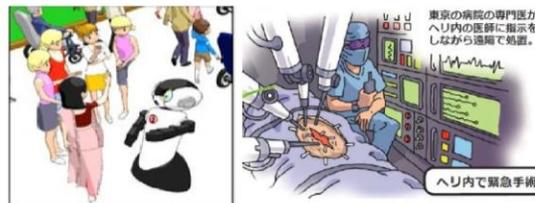
現在の移動通信システムより  
100倍速いブロードバンドサー  
ビスを提供



⇒ 2時間の映画を3秒でダウンロード (LTEは5分)

### 超低遅延

利用者が遅延(タイムラグ)を  
意識することなく、リアルタイム  
に遠隔地のロボット等を操作・  
制御



ロボットを遠隔制御

東京の病院の専門医が  
ヘリ内の医師に指示を  
しながら遠隔で処置。  
ヘリ内で緊急手術

⇒ ロボット等の精緻な操作 (LTEの10倍の精度) をリア  
ルタイム通信で実現

### 多数同時接続

スマホ、PCをはじめ、身の回り  
のあらゆる機器がネットに接続



⇒ 自宅部屋内の約100個の端末・センサーがネットに接続  
(LTEではスマホ、PCなど数個)

社会的なインパクト大

令和2年1月 総務省資料より

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 5Gで確認すべき事項

### ① 5Gの性能・機能面の確認

- 5Gを適用して、正常に動作が可能であるか。
- 超高速通信は可能か。どの程度通信能力があるのか。
- 超低遅延通信は可能か。無負荷での遅延はあるのか。有負荷での遅延はどの程度か。
- 多数同時接続は可能か。
- 通信到達距離はどの程度か。距離によって能力等が変わるのか。
- 通信の安定性はどうか。移動や旋回等をした時に問題はないか。

### ② 5Gに付随する機器類の確認

- 標準的なカメラ・画像圧縮伸張装置の解像度別の通信容量はどの程度か。
- フルHDカメラ・画像圧縮伸張装置の解像度別の通信容量はどの程度か。

### ③ 5Gを適用したことによる効果の確認

- 掘削能力は向上するのか（カメラ種別ごと）。
- 移動能力は向上するのか（カメラ種別ごと）。
- 施工精度は向上するのか（カメラ種別ごと）。

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 5Gの現場検証内容（案）

### 現場検証内容（案）（性能・機能）

No	目的	試験内容	備考
1	基本構成の確認	5G動作確認試験	
2	超高速の確認	スループット（単位時間処理速度）計測	
3	超低遅延の確認	遅延時間計測（有負荷：映像信号）	後述
		遅延時間計測（無負荷）	
4	多数同時接続の可否	1（親機）：n（子機数台）接続の可否	
5	到達距離の確認	5G通信距離確認試験	
6	映像の安定性の確認	5G通信の安定性確認試験	
7	映像の解像度の確認	5G映像の解像度確認試験	
8	画像伝送能力の確認	5G画像伝送能力確認試験	
9	適用可能な重機種別	重機ごとの5G動作確認試験	
10	施工精度向上の確認	爪先位置精度確認試験	後述

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 5Gの現場検証内容（案）

### 現場検証内容（案）（効果）

No	目的	試験内容	備考
1	超高速の効果確認	5Gでの掘削・運搬試験	
2	超低遅延の効果確認	5Gでの従来・高画質カメラによる走行試験	
3		5Gでの従来・高画質カメラによる掘削・運搬試験	
4		5Gでの汎用・高性能画像圧縮伸張装置による走行試験	2と同時
5		5Gでの汎用・高性能画像圧縮伸張装置による掘削・運搬試験	3と同時
6		LANでの性能・機能試験（前述の表の試験）	
7	ネットワーク型無人化施工からの施工性向上（比較検証）	LANでの従来・高画質カメラによる走行試験	
8		LANでの従来・高画質カメラによる掘削・運搬試験	
9		LANでの汎用・高性能画像圧縮伸張装置による走行試験	7と同時
10		LANでの汎用・高性能画像圧縮伸張装置による掘削・運搬試験	8と同時

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 5Gを活用した現場検証の効果

### ① 施工計画への反映

- 現場検証の結果、従来映像、フルHD映像のそれぞれについて、作業能力が明らかになる。これにより、施工計画のうち、工程計画等へ反映できる。
- 現場検証の結果、5Gの回線安定性等が明らかになる。これにより、施工計画のうち、機器類の配置計画等へ反映できる。

### ② 無人化施工設備計画への反映

- 現場検証の結果、従来映像、フルHD映像のそれぞれについて、必要な伝送容量がわかる。また、5Gが伝送可能な容量（総量）もわかる。これより、伝送可能なカメラ台数が容易に把握できる。
- また、カメラ画質（従来、フルHD）を伝送可能容量に応じて、使い分けや取捨選択ができるようになり、回線設計に寄与できる。

### ③ 施工精度の向上

- 現場検証の結果、施工精度の向上があった場合、より精度の高い施工が可能となる。

※しかし、5Gには下記の課題が残っている。

- 5G機器の手配性の悪さ（入手困難）と高価な機器費用。
- 免許取得に6ヶ月程度を要するのが現状。

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 5Gを活用した現場実証の予定

今年度、九州地方整備局（河川部主体）が5Gを活用した現場実証の実施を予定。概要は下記。

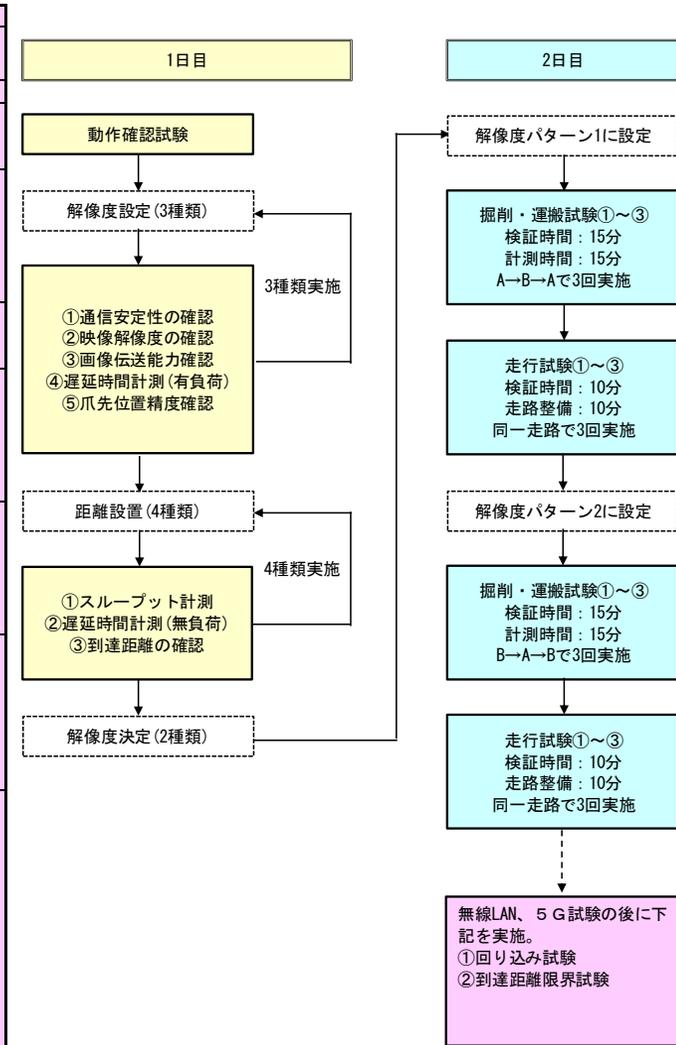
- 時期：令和3年11月初旬～12月下旬（準備・撤去含む） 約2ヶ月間
- 検証場所：長崎県島原市および南島原市 水無川1号砂防えん堤遊砂地内
- 検証内容：前述した内容





# 現場実証 タイムスケジュール(無線LAN)

日付	12月6日(月)		12月7日(火)		12月8日(水)		12月9日(木)		12月10日(金)			
検証内容等	無線LAN性能確認試験① 映像:従来 エンコーダ:汎用		無線LAN性能確認試験① 映像:従来 エンコーダ:汎用		無線LAN性能確認試験② 映像:フルHD エンコーダ:高性能		無線LAN性能確認試験② 映像:フルHD エンコーダ:高性能		無線LAN性能確認試験② 映像取替(無線LAN→5G)			
時間	検証内容	計測班(事務局)	検証内容	計測班(事務局)	検証内容	計測班(事務局)	検証内容	計測班(事務局)	検証内容	計測班(事務局)		
8	0~9	朝礼、KYK	朝礼、KYK	朝礼、KYK	朝礼、KYK	朝礼、KYK	朝礼、KYK	朝礼、KYK	朝礼、KYK	朝礼、KYK		
	10~19	重機等始業点検	計測機器等始業点検	重機等始業点検	計測機器等始業点検	重機等始業点検	計測機器等始業点検	重機等始業点検	計測機器等始業点検	重機等始業点検		
	20~29	設備等始業点検		設備等始業点検		設備等始業点検		設備等始業点検		設備等始業点検		
	30~39											
	40~49	検証準備 移動・調整等	計測準備 機器準備他	検証準備 移動・調整等	計測準備 機器準備他	検証準備 移動・調整等	計測準備 機器準備他	検証準備 移動・調整等	計測準備 機器準備他	検証準備 移動・調整等	計測準備 機器準備他	
50~59												
9	0~9											
	10~19											
	20~29			解像度パターン1		解像度パターン1		解像度パターン1				
	30~39	動作確認試験	動作状況記録	掘削・運搬試験①30分	掘削15分、計測15分	動作確認試験	動作状況記録	掘削・運搬試験①30分	掘削15分、計測15分	通信の回り込み試験	位置測定	
	40~49	BH, CD, カメラ車等		A掘削精進 Bへ運搬	掘削時間測定	BH, CD, カメラ車等		A掘削精進 Bへ運搬	掘削時間測定			
10	0~9	①通信安定性の確認 BHの旋回、移動等	映像等の記録	掘削・運搬試験②30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験②30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験②30分	掘削15分、計測15分	無線LAN機器取外し 積替え(車両)		
	10~19											B掘削精進 Aへ運搬
	20~29	②映像の解像度の確認 解像度チャート	画面の写真撮影 チャートより判断	掘削・運搬試験③30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験③30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験③30分	掘削15分、計測15分			
	30~39											A掘削精進 Bへ運搬
	40~49	③画像伝送能力試験 ④遅延時間計測(有負荷)	伝送容量確認 遅延時間計測	掘削時間測定	掘削時間測定	伝送容量確認 遅延時間計測	掘削時間測定	掘削時間測定	伝送容量確認 遅延時間計測	掘削時間測定		
50~59	A掘削精進 Bへ運搬											
11	0~9	⑤爪先位置精度確認 解像度3種類	爪先位置計測	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	到達距離限界試験	到達距離の測定	
	10~19											掘削時間測定
	20~29	160×120~640×480		掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定		
	30~39											
	40~49	1セット30分×3種類		掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定	掘削時間測定		
50~59	掘削時間測定											
12	0~9	屋食	屋食	屋食	屋食	屋食	屋食	屋食	屋食	屋食	屋食	
	10~19											
	20~29											
	30~39											
	40~49											
13	0~9	作業打合せ (午後、翌日作業)	作業打合せ (午後、翌日作業)	作業打合せ (午後、翌日作業)	作業打合せ (午後、翌日作業)	作業打合せ (午後、翌日作業)	作業打合せ (午後、翌日作業)	作業打合せ (午後、翌日作業)	作業打合せ (午後、翌日作業)	作業打合せ (午後、翌日作業)	作業打合せ (午後、翌日作業)	
	10~19											
	20~29	①スループット計測	スループット計測	掘削・運搬試験①30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験①30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験①30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験①30分	掘削15分、計測15分	
	30~39											掘削時間測定
	40~49	②遅延時間計測(無負荷)	時間測定	掘削・運搬試験②30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験②30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験②30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験②30分	掘削15分、計測15分	掘削・運搬試験②30分
50~59	掘削時間測定											
15	0~9	有人走行試験①	機器類終業時点検 翌日検証準備	有人走行試験①	走行時間計測	有人走行試験①	走行時間計測	有人走行試験①	走行時間計測	有人走行試験①	走行時間計測	
	10~19											有人走行試験②
	20~29	有人走行試験③	白線引き 解像度2種類決定	有人走行試験③	走行時間計測	有人走行試験③	走行時間計測	有人走行試験③	走行時間計測	有人走行試験③	走行時間計測	
	30~39											有人走行試験③
	40~49	終了	終了	有人走行試験③	走行時間計測	有人走行試験③	走行時間計測	有人走行試験③	走行時間計測	有人走行試験③	走行時間計測	
50~59	有人走行試験③											有人走行試験③
16	0~9	重機等終業時点検	翌日検証準備	掘削場所整地	機器類終業時点検	重機等終業時点検	機器類終業時点検	掘削場所整地	機器類終業時点検	重機等終業時点検	機器類終業時点検	
	10~19											掘削場所整地
	20~29	終了	終了	掘削場所整地	機器類終業時点検	重機等終業時点検	機器類終業時点検	掘削場所整地	機器類終業時点検	重機等終業時点検	機器類終業時点検	
	30~39											掘削場所整地
	40~49	終了	終了	掘削場所整地	機器類終業時点検	重機等終業時点検	機器類終業時点検	掘削場所整地	機器類終業時点検	重機等終業時点検	機器類終業時点検	
50~59	掘削場所整地											掘削場所整地



現場実証の順番と流れ (パターン化)

# 現場実証ヤード

水無川1号砂防えん堤

400m地点

300m地点

200m地点

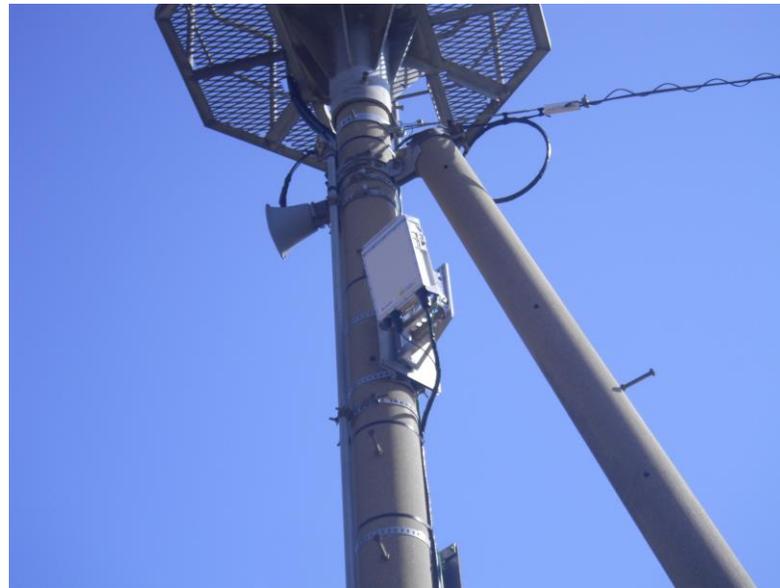
爪先精度確認ヤード

走行ヤード

掘削・運搬ヤード

100m地点

# 現場実証 無人化施工設備類

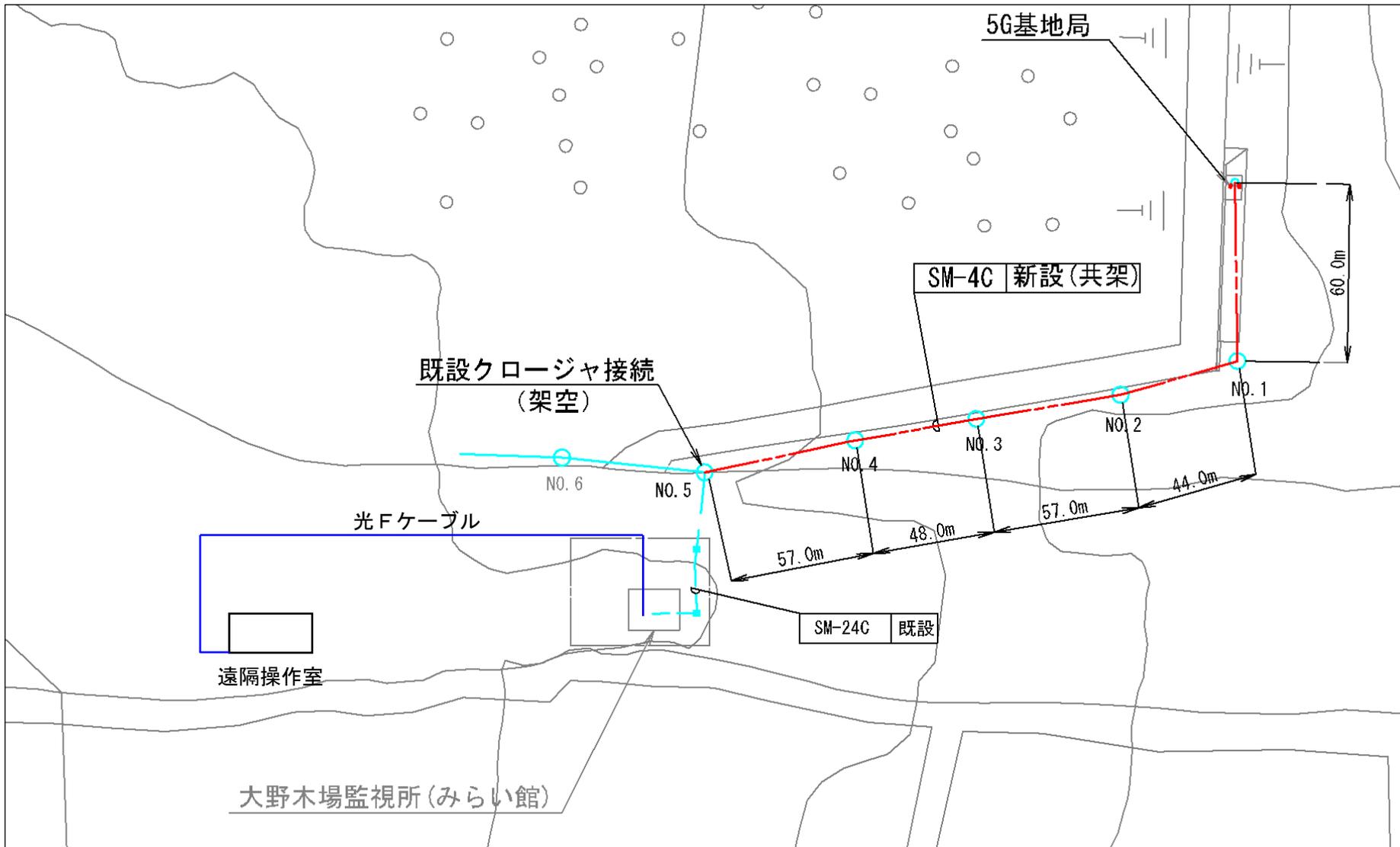


無線基地局（水無川2号えん堤上）

ローカル5G（上：基地局，下：子機）

遠隔操作室

# ローカル5G 信号の取り回し



光成端箱（監視所側）



遠隔操作室側取込口

# 性能試験および効果試験の概要

## 【スループット計測試験】

目的：回線速度（回線容量）を計測。

方法：iperf（無料ソフト）を使用し、重機側から遠隔操作室にコマンドを送信。計測画面の表示を記録。

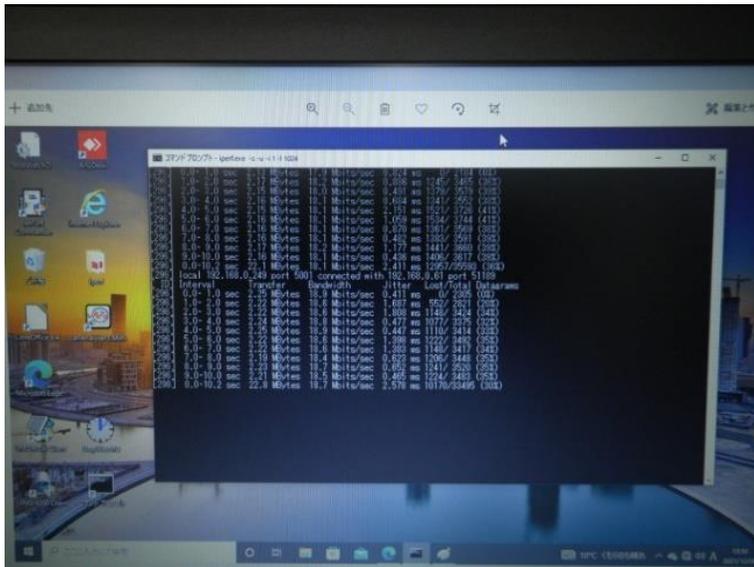
距離：100, 200, 300, 400mごとに計測。

計測状態：

- 静止 0°, 90°, 180°, 270° 10秒間
- 15秒/1旋回の旋回動作中 50秒間



掘削・運搬試験状況



計測画面（静止状態）



計測状況（静止90°）



試験後の計測状況（3Dスキャナ）

# 画像伝送能力試験結果

## 画像伝送能力（伝送容量）試験結果

映像種別	画像圧縮伸張装置種別	解像度 (dpi)	高負荷作業	最大伝送量 (kbps)
従来映像 (4:3)	汎用エンコーダ 汎用デコーダ	640×480	旋回	3,726
		320×240	旋回	3,585
		160×120	旋回	3,746
	高性能エンコーダ 高性能デコーダ	640×480	掘削	11,938
		320×240	掘削	9,169
		640×360	掘削	9,502
フルHD映像※ (16:9)	高性能エンコーダ 高性能デコーダ	1,280×720	掘削	10,202
		960×540	掘削	9,734
		640×360	掘削	9,502

- フルHD (1,280×720) の最大伝送量は、従来映像 (640×480) の [最大伝送量の約3倍](#)。
- フルHD (1,280×720) の画素数は、921,600pxで、従来 (640×480) の画素数307,200pxの [3倍](#)。
- 解像度を変えても最大伝送量はあまり変わらない。
- 最大伝送量は、画像圧縮伸張装置の [種別に支配](#)される。
- 今回使用したエンコーダのモードは、[VBR \(Variable Bitrate\)](#)。
- 高性能エンコーダのほとんどは、[CBR \(constant bitrate\)](#) でVBRのモードはない。

※フルHD：フルハイビジョン

# 遅延時間計測(有負荷)試験結果(無線LAN)

## 遅延時間計測(有負荷)試験結果

映像種別	画像圧縮伸張装置種別	解像度(dpi)	平均遅延時間(msec)	遅延時間1回目(msec)	遅延時間2回目(msec)	遅延時間3回目(msec)
従来映像(4:3)	汎用エンコーダ 汎用デコーダ	640×480	392	478	359	338
		320×240	341	384	370	269
		160×120	308	335	313	276
フルHD映像※(16:9)	高性能エンコーダ 高性能デコーダ	1,280×720	289	299	292	276
		960×540	319	321	318	318
		640×360	275	292	270	263

※フルHD：フルハイビジョン

- 従来映像の遅延時間(有負荷)は、269~478ms。
- 高解像度ほど遅延時間が大きくなる傾向。
- フルHD映像の遅延時間(有負荷)は、263~321ms。
- 遅延時間と解像度の相関は見られない。
- 高性能エンコーダのほうが、汎用エンコーダより遅延時間が平均で50ms程度小さい。



# スループット計測試験結果(無線LAN)

## スループット計測試験結果(無線LAN)

試験日	状態	測定距離 (m)	スループット 平均値(Mbps)	スループット			
				最大値(Mbps)	角度(°)	最小値(Mbps)	角度(°)
1日目	静止	100	18.5	18.5	0	18.3	90
		200	18.1	18.2	180, 270	17.9	90
		300	18.5	18.5	—*	18.5	—*
		400	21.2	21.2	—*	21.2	—*
2日目	静止	100	18.5	18.7	180	18.3	90
		200	18.4	18.6	90	18.3	0, 270
		300	18.4	18.8	0	18.1	270
		400	18.4	18.7	0	18.2	90
1日目	旋回	100	18.2	18.6	240	17.9	96
		200	17.6	18.4	144	12.4	72, 312
		300	17.6	18.6	48, 144	15.0	216
		400	20.9	22.5	168	14.4	72
2日目	旋回	100	18.3	18.8	0, 192, 240	17.9	96
		200	17.5	18.8	120	12.4	144
		300	17.7	18.9	96, 120, 144	17.9	96
		400	17.8	18.9	192, 240	16.9	96

※—：常に一定の計測値であったため、角度の記載なし

# 爪先位置精度確認試験結果（無線LAN）

## 爪先位置精度確認試験結果（無線LAN）

映像種別	画像圧縮伸張装置種別	解像度 (dpi)	平均値 (絶対値) (cm)	計測1回目 (cm)	計測2回目 (cm)	計測3回目 (cm)	計測4回目 (cm)	計測5回目 (cm)	計測6回目 (cm)
従来映像 (4:3)	汎用エンコーダ 汎用デコーダ	640×480	17.1	3.0	23.5	38.0	-4.0	26.0	-8.0
		320×240	11.5	14.0	-28.5	3.0	21.5	1.0	1.0
		160×120	25.4	11.0	-4.0	30.5	23.5	20.5	-63.0
フルHD映像※ (16:9)	高性能エンコーダ 高性能デコーダ	1,280×720	32.1	29.5	0.0	-26.0	-77.5	23.0	133.5
		960×540	17.0	27.5	3.0	22.0	17.0	15.5	11.0
		640×360	10.0	20.5	1.0	-2.5	-25.0	3.0	8.0

映像種別	画像圧縮伸張装置種別	遠距離平均値 (cm)	中距離平均値 (cm)	近距離平均値 (cm)	遠距離最大値 (cm)	中距離最大値 (cm)	近距離最大値 (cm)
従来映像	汎用エンコーダ	27.4	13.8	14.0	63.0	38.0	28.5
フルHD映像	高性能エンコーダ	25.6	23.6	8.8	77.5	29.5	26.0

- 従来映像の爪先位置精度の平均値は11.5～25.4cm。
- 解像度と爪先位置精度の相関はなし。
- フルHD映像の爪先位置精度の平均値は10.0～31.2cm。
- 解像度と爪先位置精度の相関はなし。
- 車載カメラは焦点距離が短い（4～6mm）ため、視野は広がるが、奥行き距離感にずれが生じる。



# 掘削・運搬試験結果（無線LAN）

## 掘削・運搬試験結果（無線LAN）

映像種別	画像圧縮伸張装置種別	解像度 (dpi)	作業時間 (分秒)	掘削量 (m <sup>3</sup> )	時間能力 (m <sup>3</sup> /h)	有負荷遅延時間平均 (msec)	有人比
有人操作	—	—	7:14	16.68	139	—	参考値
従来映像 (4:3)	汎用エンコーダ 汎用デコーダ	640×480	10:01	15.07	90	392	0.65
		160×120	11:49	14.73	75	308	0.54
フルHD映像 (16:9)	高性能エンコーダ 高性能デコーダ	1,280×720	11:45	16.40	84	289	0.60
		640×360	10:39	16.19	91	276	0.65

- 従来映像の時間能力は、75, 90m<sup>3</sup>/h。
- 有人比は0.54, 0.65（あくまでも参考値）。
- 160×120の解像度は、細かな部分が見えていないのではと考える。
- フルHD映像の時間能力は、84, 91m<sup>3</sup>/h。
- 有人比は0.6, 0.65（あくまでも参考値）。
- 解像度と時間能力の相関は確認できず。
- 有負荷遅延時間との相関もなし。遅延時間の揺れが問題になると考える。



# 走行試験結果(無線LAN)

## 走行試験結果(無線LAN)

映像種別	画像圧縮伸張装置種別	解像度(dpi)	走行時間(分秒)	有負荷遅延時間平均(msec)	有人比
有人操作	—	—	2:40	—	参考値
従来映像(4:3)	汎用エンコーダ 汎用デコーダ	640×480	2:41	392	1.01
		160×120	2:43	308	1.02
フルHD映像(16:9)	高性能エンコーダ 高性能デコーダ	1,280×720	2:43	289	1.02
		640×360	2:45	276	1.04

- 従来映像の走行時間は、02:41, 02:43(sec)。
- 有人比は1.01, 1.02(参考値)。解像度との相関は確認できず。
- HD映像の走行時間は、02:43, 02:45(sec)。
- 有人比は1.02, 1.04(参考値)。解像度との相関は確認できず。
- 有負荷遅延時間との相関もなし。遅延時間の揺れが問題になると考える。
- 走行は、有人作業とほぼ同等の作業効率(参考値)。
- 運搬作業(運搬のみ)、締固め作業などは、有人と同等である可能性あり。



# 無人化施工 実施方式(1/2)

大別	直接目視による無人化施工	映像伝送システムを用いた無人化施工	
実施方式	直接操作方式	非ネットワーク型直接および中継操作方式	ネットワーク型操作方式
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世代にて情報化施工をするものを第3世代と称している。	
システムイメージ	<p>オペレータ ← 特定小電力無線 → 遠隔操作式建設機械</p>	<p>●直接方式</p> <p>●中継方式</p>	<p>メッシュ LAN</p> <p>光ケーブル</p>
適用の目安	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操作距離が0~50m以内、かつ直接目視操作が可能であること。</li> <li>・オペレータが機械より高い位置から操作できること。</li> <li>・簡素な作業であること。</li> </ul>	<p>【直接方式の場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> </ul> <p>【中継方式の場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・中継車から機械までの操作距離が50~300m以内であること。</li> <li>・操作室から機械までの間に障害物が1箇所であること。</li> <li>・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操作距離は障害物の有無を問わず600m以上が可能。</li> <li>・光ファイバー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)。</li> <li>・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。</li> <li>・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> </ul>

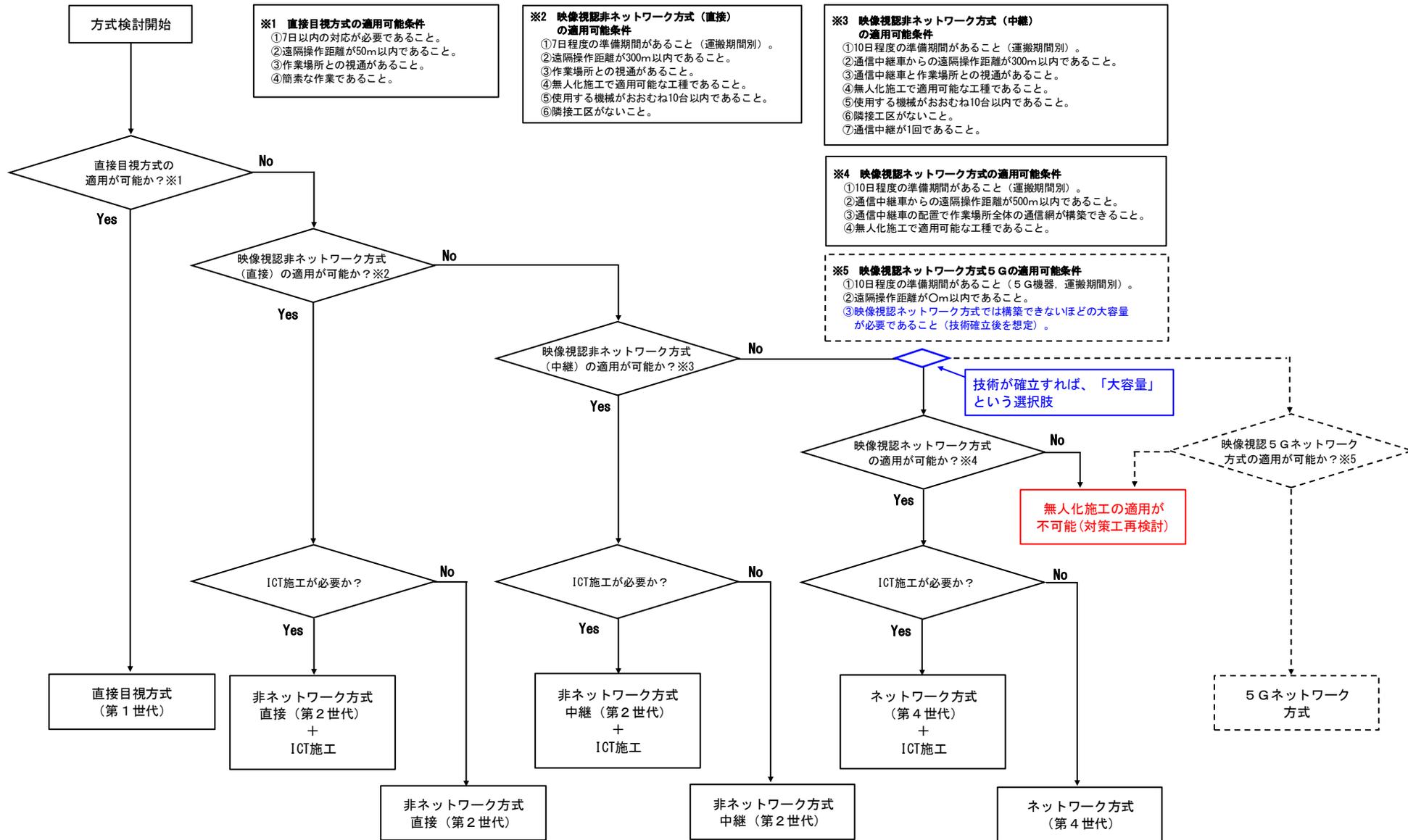
# 無人化施工 実施方式(2/2)

大別	直接目視による無人化施工		映像伝送システムを用いた無人化施工	
実施方式	直接操作方式		非ネットワーク型直接および中継操作方式	ネットワーク型操作方式
世代	第1世代		第2世代	第4世代
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(348MHz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 (2.48GHz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
主な映像伝送無線及び免許	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1日程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直接方式 7日程度</li> <li>・中継方式 10日程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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)</li> </ul>	
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手配性は最もよい。</li> <li>・最も簡便な方法である。</li> <li>・遠隔操作式建設機械の改造等はない。</li> <li>・作業コストは、一般的に最も安い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・全国で最も採用実績が多い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・中継回数の制限もない。</li> <li>・操作距離の制限もない。</li> <li>・光F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)</li> <li>・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。</li> </ul>	
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操作距離が非常に短い。</li> <li>・死角や操作距離の影響を受け、作業効率が落ちる。</li> <li>・簡素な作業のみ対応可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操作距離は操作室または中継車から300m以内となる。</li> <li>・中継方式は設備が複雑となる。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・隣接工区がある場合も上記と同様の懸念が発生する。</li> <li>・中継方式の場合、一般的に最もコストが高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像をデジタル変換して伝送するため、通常より荒い画像となる。</li> <li>・画像の圧縮解凍により、伝送遅延が発生する。</li> <li>・すべてのデータをデジタル変換して、1波で伝送するため、混信があった場合、すべてがダウンする。</li> <li>・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かみにくい。</li> <li>・システム運用の専門性が高く、通信工のスキルを必要である。</li> <li>・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。</li> </ul>	

※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。

# 無人化施工 実施方式の選定フロー



# 無人化施工設備 映像設備

## 種類

- 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（例）

	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（共用） 他機械作業映像（共用）	正面方向映像 側面方向映像 ヤード全体映像（共用） 他機械作業映像（共用）	バックホウ車載映像（共用） バックホウ正面方向映像（共用） バックホウ側面方向映像（共用） 運搬路映像（150mごと） 運搬路屈曲点映像 斜路映像 土砂仮置場正面映像 土砂仮置場側面映像 ヤード全体映像	正面方向映像 側面方向映像 ヤード全体映像（共用） 他機械作業映像（共用）
移動時	モータプール（無人化区域外）～ヤード間映像（運搬機械用映像を視認）			

# 無人化施工設備 映像設備 カメラ概要

## 映像設備



## ➤ 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。
- 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。
- 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
- これまでは、スタンダード映像と言われる640×480dpiの画質のカメラを使用。
- 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り。
- 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り（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）とすることもあり。



# 無人化施工設備 映像設備

## ▶ 移動カメラ（移動カメラ車）

- 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。
- 移動カメラを搭載する建設機械は、移動カメラ車と言われ、専用に開発された建設機械やバックホウを使用。
- 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。
- 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可能。
- 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。
- 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り。



## ➤ 固定カメラ

- 固定カメラは、遠隔操作室上部や無線基地局に設置。
- 現場の全体視準や工事用道路のカーブおよび掘削箇所の視準などを行う。
- 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可能。
- これまでは、スタンダード映像と言われる640×480dpiの画質のカメラを使用。
- 近年、ハイビジョン（1,920×1,080dpi）のカメラが使用されることもあり。
- 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。



# 無人化施工設備 映像設備

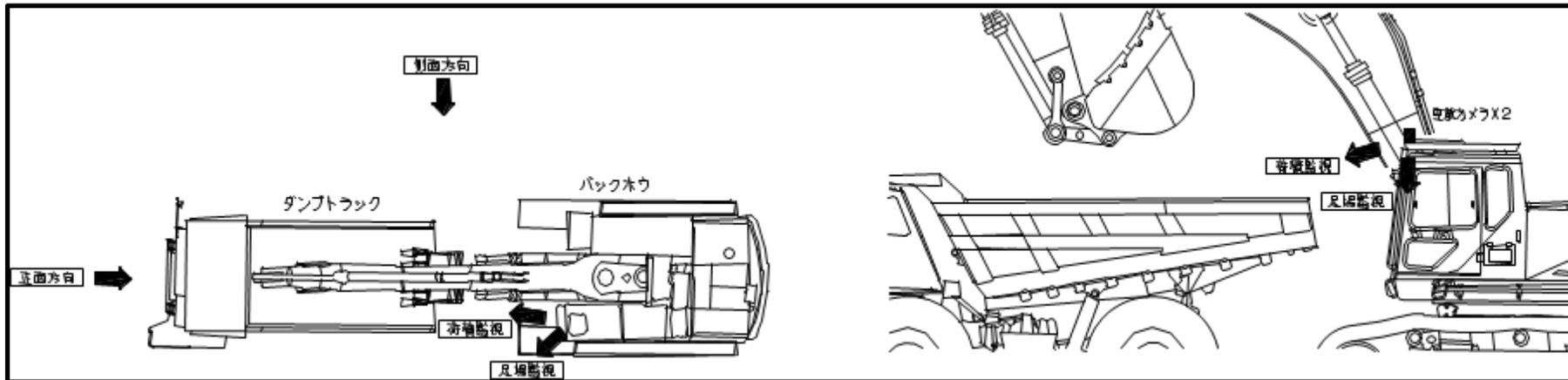
## ▶映像設備の使い分け（遠隔操作式バックホウ）

### ①車載映像

- 積み込み作業では、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。
- 狭隘な場所での作業では、これに加えて後方監視を行う場合もあり。
- これらに使用するカメラは、一般的には固定焦点のもの。

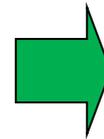
### ②正面方向＋側面方向の外部2映像

- 作業監視が主目的。
- 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が理由。



## ➤ 無人化施工で使用する無線設備

- ①建設機械の遠隔操作用無線  
→建設機械全般
- ②建設機械稼働情報伝送用無線  
→建設機械全般
- ③建設機械の車載映像伝送用無線  
→バックホウ, (ダンプトラック)
- ④有線接続ができない箇所に設置する  
映像設備の伝送用無線  
→固定カメラ, 移動カメラ車
- ⑤カメラの制御信号伝送用無線  
→固定カメラ, 移動カメラ車, 高所カメラ  
車載カメラなど
- ⑥GPSなどの位置情報を伝送する無線  
→ガイダンス系システム類
- ⑦その他制御情報を伝送する無線  
→施工管理システム類



### 【選定の留意点】

- 施工距離（通信距離）がどの程度であるか。
- 見通し条件の有無。また、屈折箇所がどの程度あるか。
- 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  
（同一地域内使用可能台数）  
→無線LANの場合は若干異なる。
- 使用する無線の免許・許認可はどうであるか。
- 映像伝送は、アナログかデジタルにするか、使い分けは。
- 使用する無線のデータ伝送速度はどの程度であるか。
- 通信内容は送受信か送信のみか
- 通信条件は連続発信可能が必要か休止時間ありでも大丈夫か

# 無人化施工設備 無線設備

## ▶ 無線設備の種別（無線局名や帯域）

種別	無線局名	無線局 免 許	従事者 免 許	資格名※4	到達距離※5	出力
遠隔操作・データ通信用	348MHz帯 小エリア無線局（簡易無線局）	要	不要	—	1,000m	1W以下
	400MHz帯 実験局（建設無線）※1	要	要	三級陸特	5,000m	1W以下
	429MHz帯 特定小電力無線局	不要	不要	—	300m	10mW以下
	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	—	1,000m	10mW/MHz以下
	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	—	1,000m	10mW/MHz以下
	5GHz帯 無線アクセスシステム無線局（LAN方式）	要	要	三級陸特	600m	250mW以下
	5.6GHz帯 小電力データ通信システム無線局（LAN方式）	不要	不要	—	1,000m	10mW/MHz以下
25GHz帯 小電力データ通信システム無線局（LAN方式）	不要	不要	—	10km	1mW以下	
映像伝送用	1.2GHz帯 携帯局（アナログ伝送）	要	要	三級陸特	2,000m	1W以下
	2.45GHz帯 実験局（建設無線）※2	要	要	一級陸特	2,000m	1W以下
	2.4GHz帯 実験局（デジタル建設無線）※3	要	要	一級陸特	2,000m	500mW以下
	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	—	1,000m	10mW/MHz以下
	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	—	500m	10mW/MHz以下
	5GHz帯 無線アクセスシステム無線局（LAN方式）	要	要	三級陸特	600m	250mW以下
	5.7GHz帯 携帯局陸上移動局	要	要	三級陸特	1,000m	1W以下
	25GHz帯 小電力データ通信システム無線局（LAN方式）	不要	不要	—	10km	1mW以下
	50GHz帯 簡易無線局	要	不要	—	10km	30mW以下

※1～3 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である。

※4 三級陸特：第三級陸上特殊無線技士 一級陸特：第一級陸上特殊無線技士

※5 到達距離はあくまでも目安であり、現地状況やアンテナ等により変わる。

# 無人化施工設備 無線設備

## ➤ 429MHz帯 特定小電力無線局

- 遠隔操作式建設機械の遠隔操作用無線として一般的に使用。
- 遠隔操作距離は、条件にもよるが、300m程度。
- 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。
- 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。
- 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。
- 近傍で複数のチャンネルを使用する場合、隣接波の影響や共振現象により、理論上の同時使用は8チャンネル程度とされている。

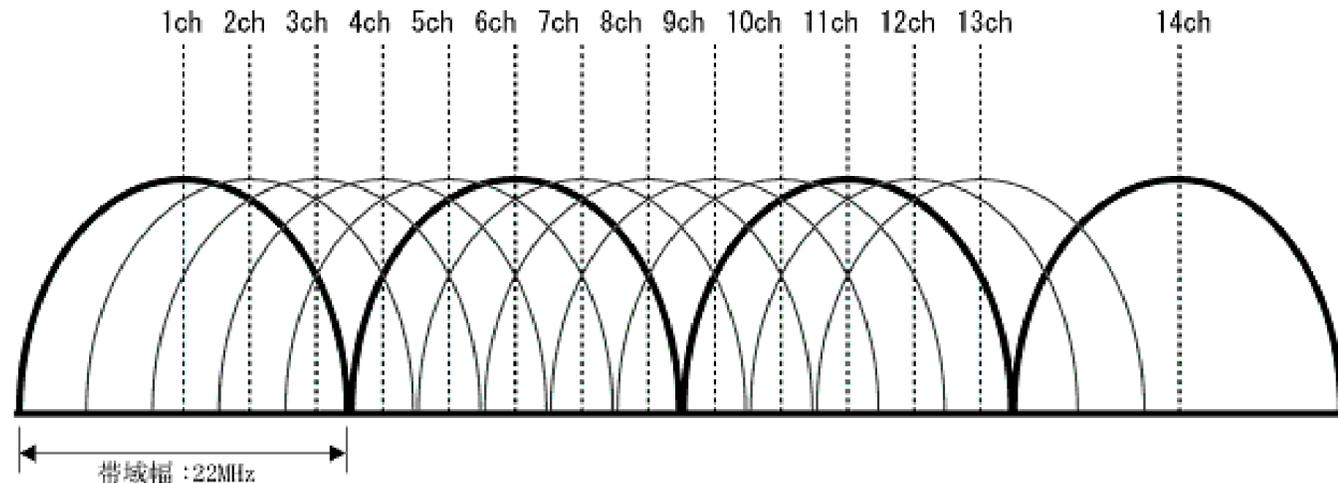
429MHz帯特定小電力無線局 チャンネル割付

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

# 無人化施工設備 無線設備

## ➤ 2.4GHz帯 小電力データ通信システム無線局（LAN方式）

- 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。
- 伝送距離は、条件にもよるが、500m程度。
- 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する。
- 安定した通信を行うためには、見通しが必要。
- 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。
- チャンネルは、5MHzごとに中心周波数が割り振られている。
- 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になっているため、近傍のCHを使用すると通信速度が下がる可能性あり。



電波の発射と影響範囲

# 無人化施工 工事計画

## ➤ 無人化施工を実施するための調査項目

### [初動対応のみ]

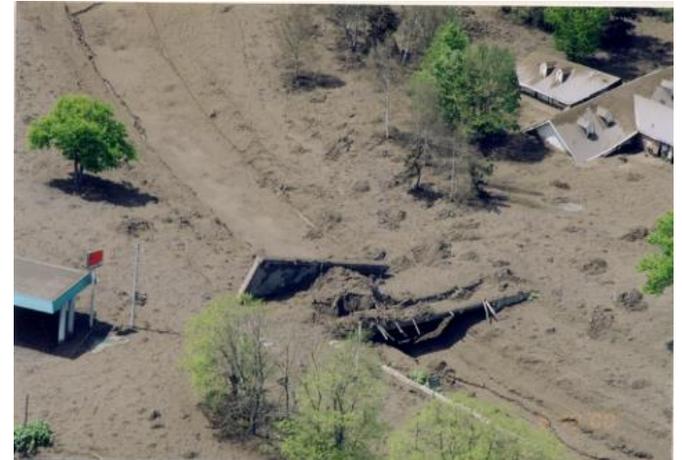
- 対策工の内容（工種、施工量、施工場所、工期等）に対して実現が可能か。
- 無人化施工区域で想定される危険要因に対して施工が可能か。
- 遠隔操作式建設機械のモータプールの確保と安全性の確保が可能か。
- 遠隔操作式建設機械の搬入路の確保が可能か、状況はどうか。  
（現地までのルート、幅員、勾配、重量制限など）
- 土砂仮置場の確保が可能か、位置の設定（無人→有人乗換も考慮）。
- 施工範囲の土質や巨石の有無等はどうか。
- 施工に求める施工精度や管理・精算方法をどうするか。

### [初動対応と計画的実施 共通]

- 有人施工区域と無人化施工区域の設定と有人施工区域の安全性確保が可能か。
- 安全な有人施工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（無人→有人乗換をする場合）。
- 仮締切等の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。



自走運搬（南大隅町）



ヘリコプターによる調査（有珠山）

# 無人化施工 工事計画

## ➤ 有人無人の輻輳区間における危険要因の調査

無人化施工では、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。

【代表例】有人区域の土砂仮置場への遠隔操作での土砂運搬

- 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、無人化施工区域から有人域に進入し、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。
- 荷卸し後は、遠隔操作にて、無人化施工区域へ戻る。
- 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。  
→この有人と無人の輻輳区間における危険要因を調査することが重要

- 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あり。
- このような場合には、有人域であっても、無人化施工区域とし、有人の機械が進入しないような措置が必要。  
→運搬機械等の導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

- 施工計画時には、有人と無人化施工区域についての検討後、区域の設定をしておく必要あり。
- 施工時には、無人化施工区域の明示をし、安全対策等も実施する必要あり。



有人無人輻輳作業（土砂仮置場）

## ➤ 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、下記を考慮して調査。

- 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。
- 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**アンテナから操作場所に情報が送受信**できるか。

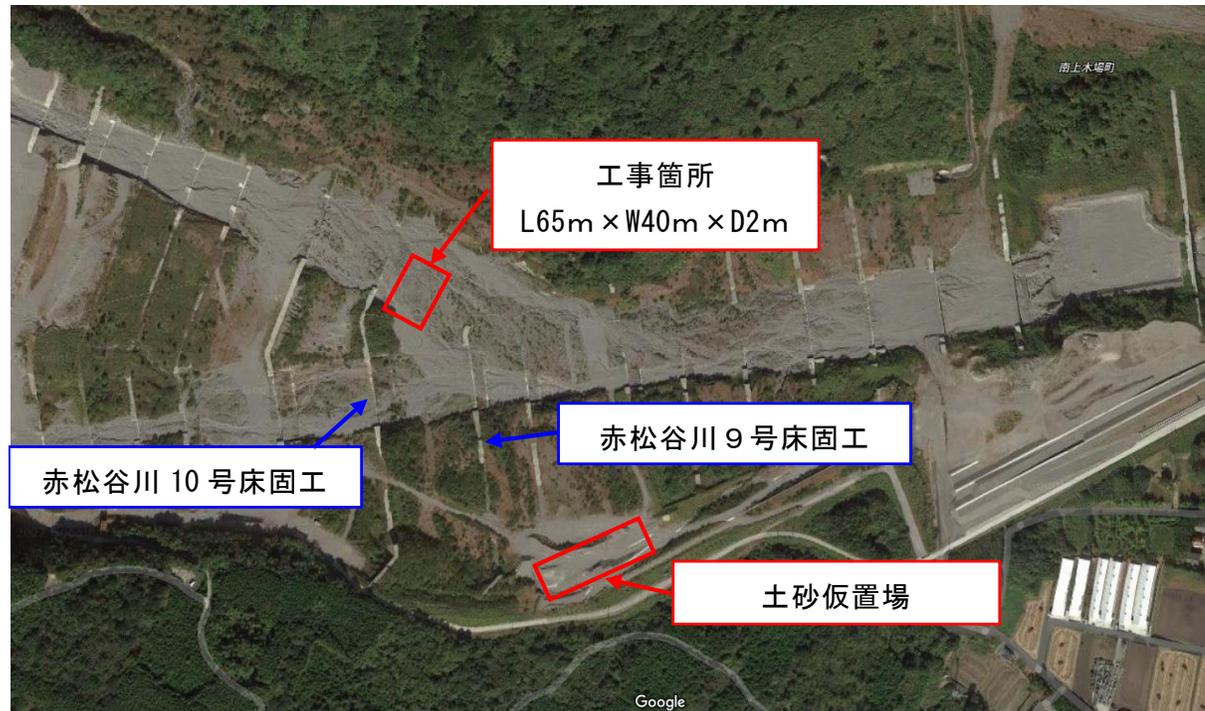
遠隔操作場所をどこにするかはとても重要。遠隔操作場所から施工場所までの現場状況（距離や見通し）は、**実施方式**やその方式に必要な**オペレータや技術者、資機材と使用する無線の種類**が異なることになるため、早急に決定する必要がある。

# 無人化施工 工事計画

## ▶モデル工事の設定と工事数量

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。

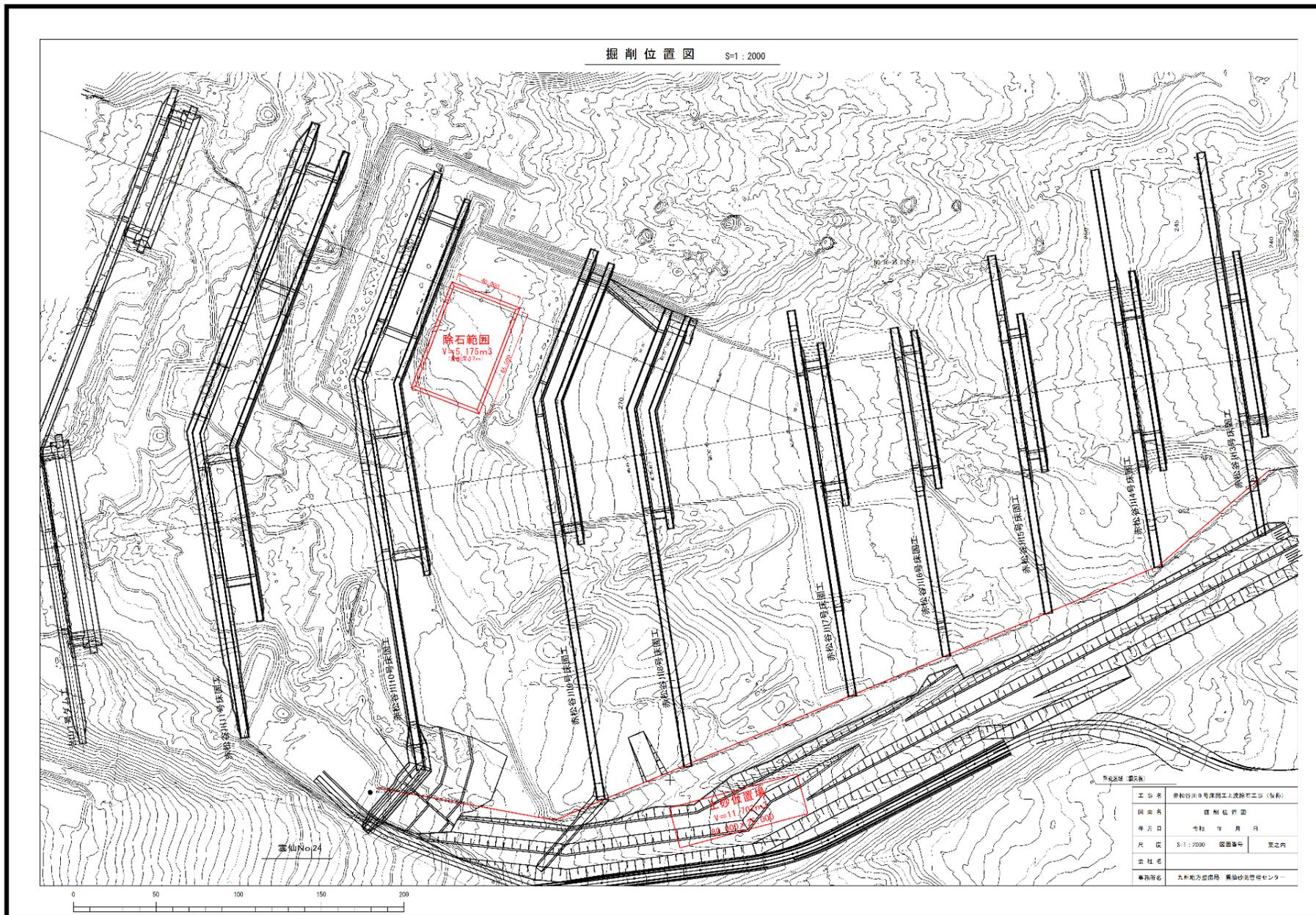
工事箇所は、赤松谷川9号床固工の上流に位置し、土石流や溶岩ドーム崩落等の被害を受ける可能性があるため、一連の工事を無人化施工により行う。



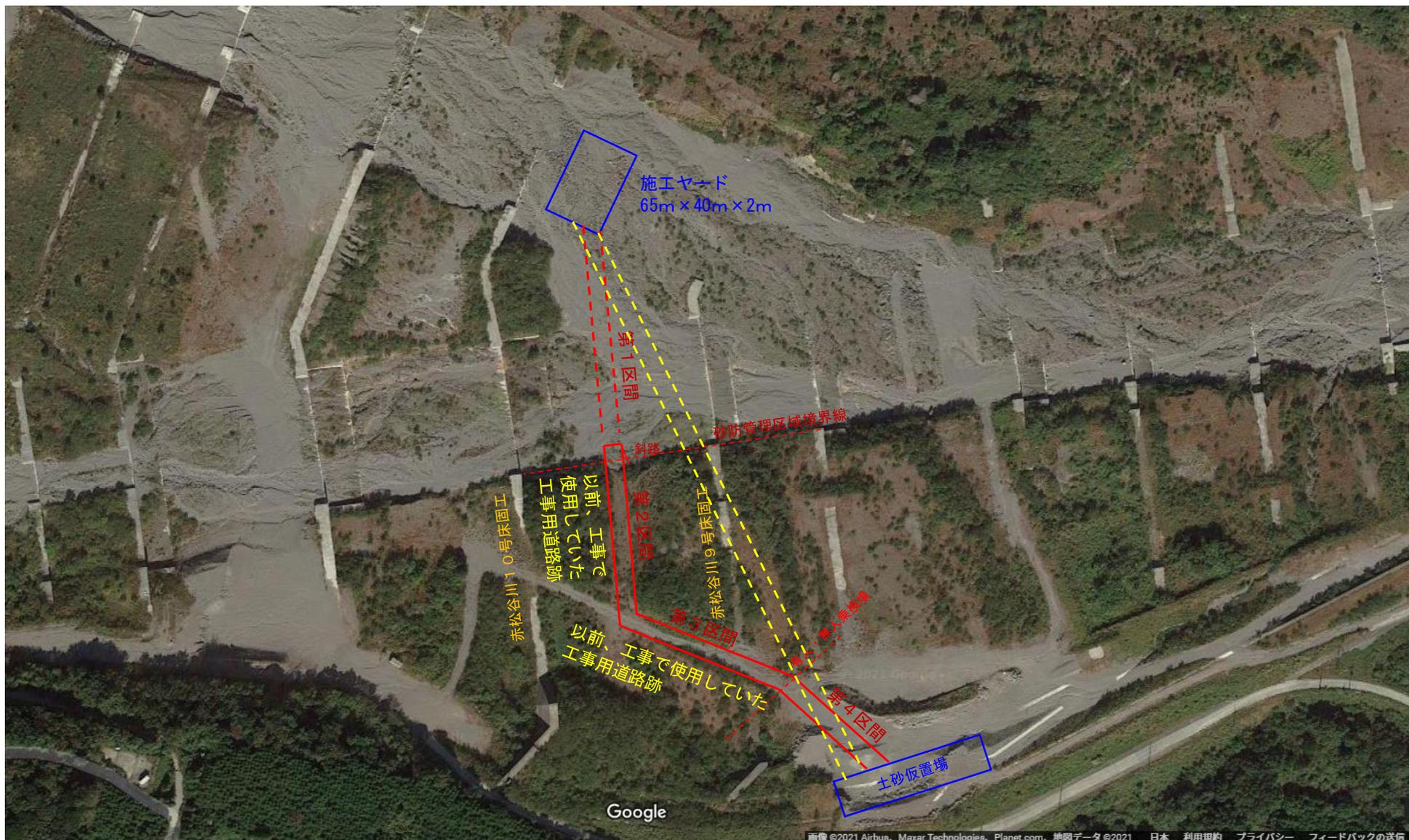
工事数量一覧表

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 <sup>3</sup>	5,200	
土砂掘削（無人施工）BH0.8m <sup>3</sup> （山積）	礫質土	m <sup>3</sup>	5,200	
残土処理工		m <sup>3</sup>	5,200	
土砂運搬（無人施工）CD11t	L=380m	m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	台	1	
不整地運搬車	11t	台	3	
技術管理費	GNSS施工	式	1	

# 無人化施工 工事計画 掘削平面図



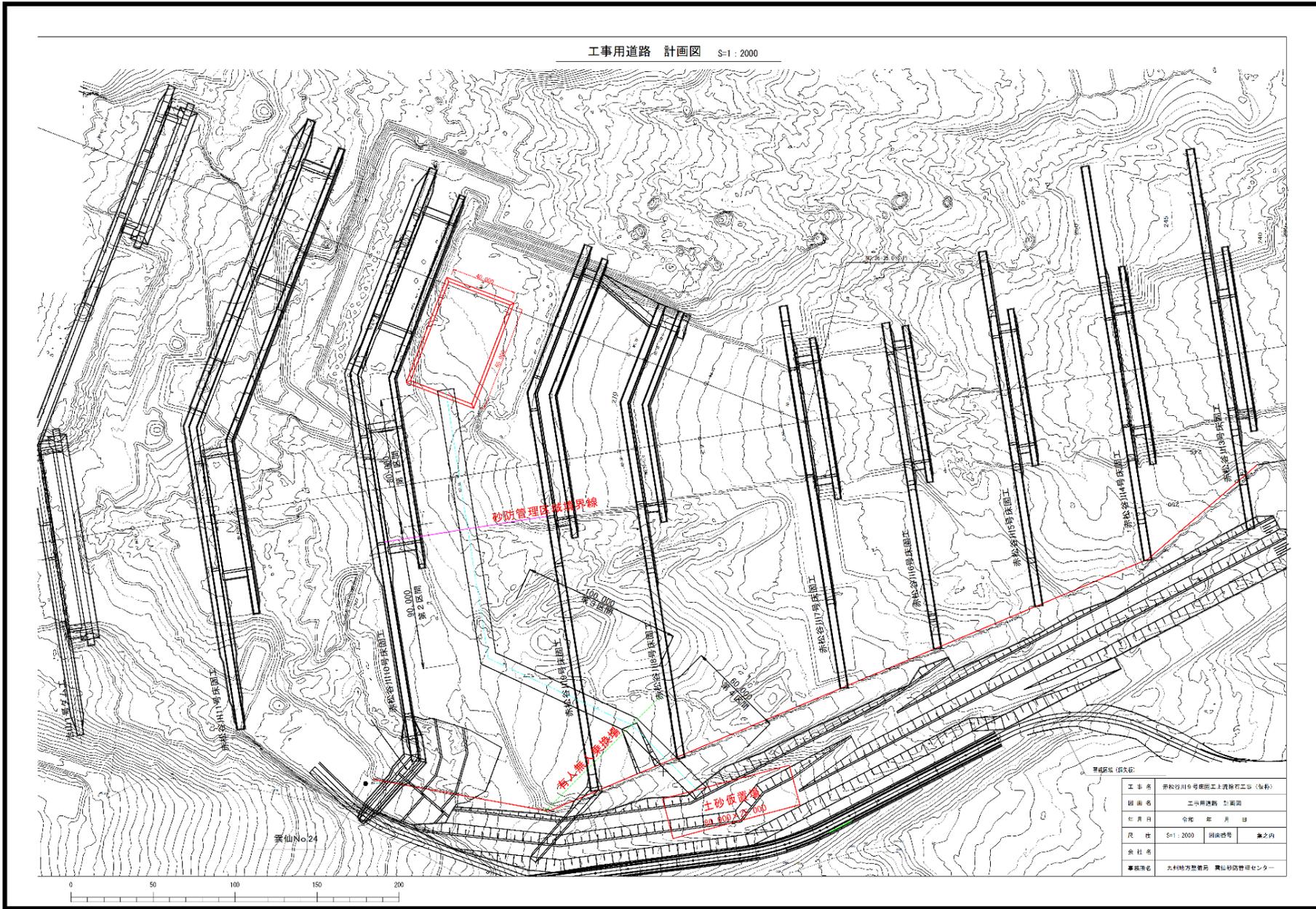
# 無人化施工 工事計画 工事用道路計画



できうるならば、工事用道路は、直線で配置したい。しかし、工事用道路工の工程が長くなりすぎるため、断念せざるをえない。検討の結果、以前の工事用道路を今回、整地して使用することに決定した。

赤線で示す部分が最終決定した工事用道路。このイメージ図に基づき、CADで図面を作成。工事用道路延長は、施工ヤード、土砂仮置場の重心位置を含めて380mとなった。

# 無人化施工 工事計画 工事用道路計画



# 無人化施工 映像設備計画

## [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。④については、この①映像を共有。

②，③の外部カメラ映像についても[設備として配置](#)。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。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。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り、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。⑤，⑥については、[②，③と映像を共有](#)。

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、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。

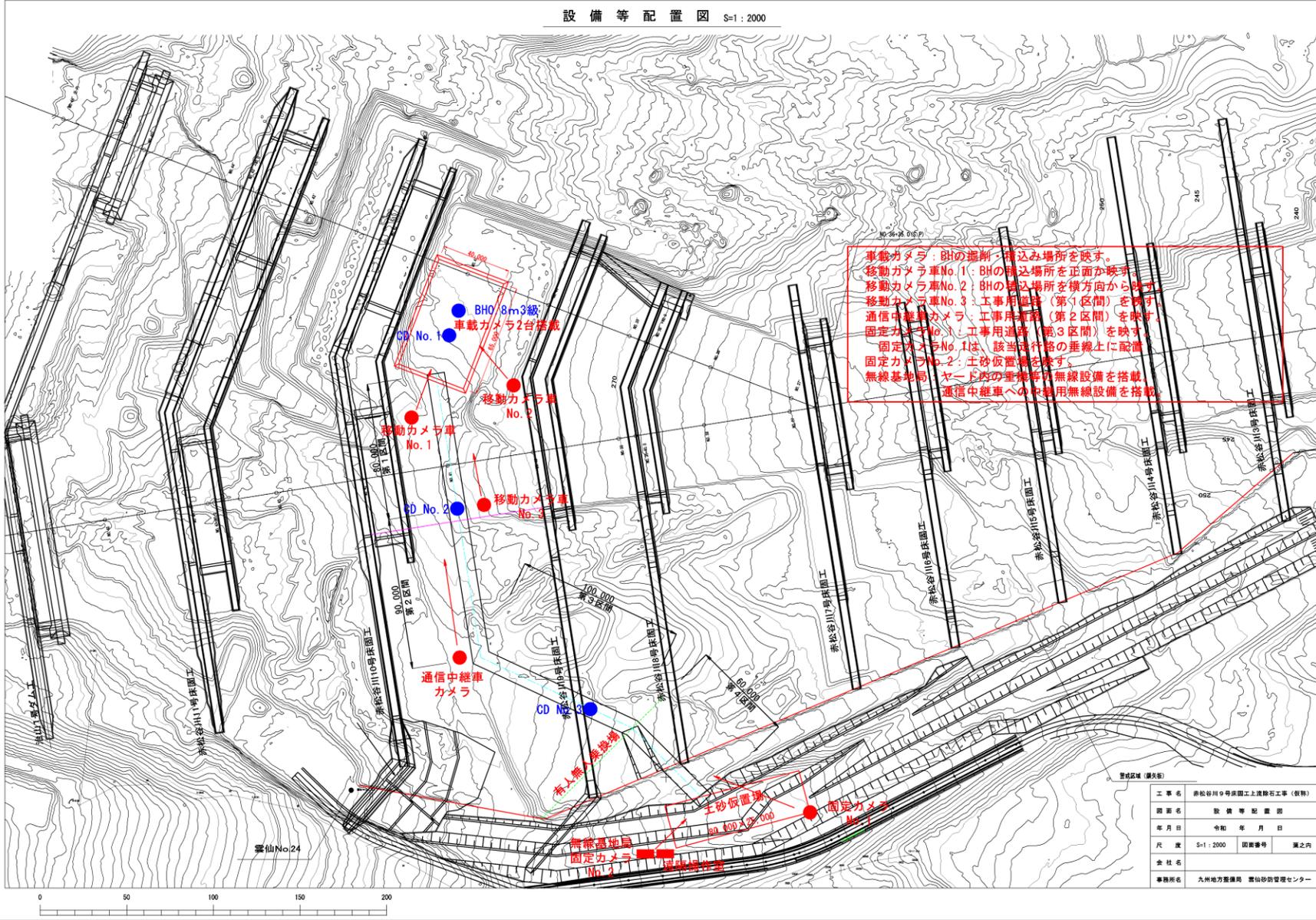
⑧の外部カメラ映像については、工事用道路（第2区間）を映すものであるが、映す対象（工事用道路）の垂線上に固定カメラの配置ができない。これより、[通信中継車](#)にカメラを搭載し、配置。

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。これより、[垂線上の有人域に固定カメラを配置](#)。

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。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](#)。

# 無人化施工 映像設備計画

設備等配置図 S=1:2000



## 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 側面映像	
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: バックホウ  
 CD: クローラダンプ

# 無人化施工 無線設備計画

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、前述に示した無線より適切なものを選択。

## [遠隔操作室→機械類へ送信]

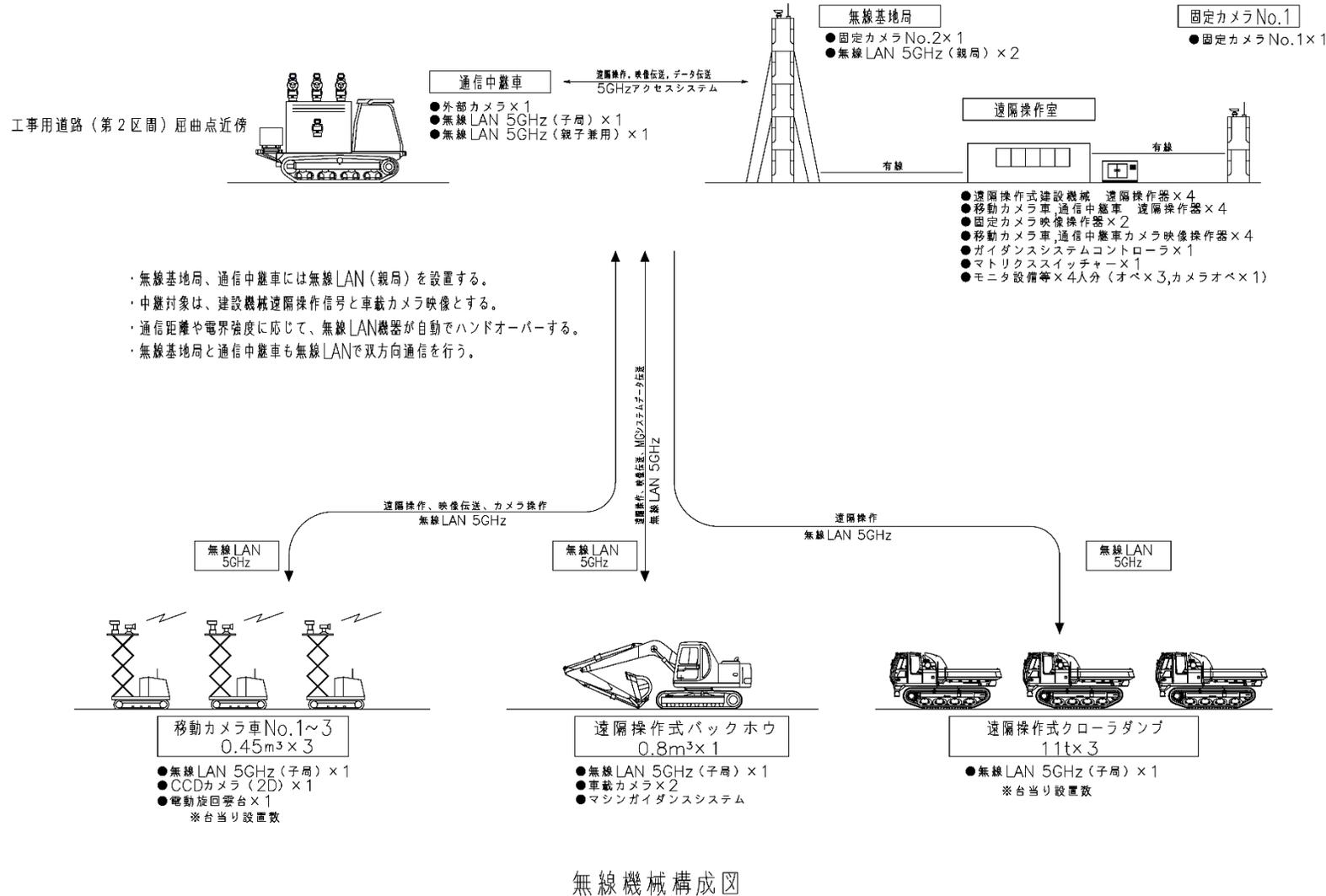
- ①遠隔操作式建設機械，移動カメラ車，通信中継車の遠隔操作信号
- ②車載映像の切替操作信号
- ③移動カメラ車，通信中継車の映像操作信号
- ④GNSS基準局信号

## [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。これより、映像視認方式（ネットワーク方式）を採用。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。
- 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。
- 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。

# 無人化施工 無線設備計画



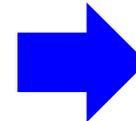
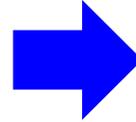
## 無人化施工設備一覧表 (映像設備除く)

No	設備名	使用・規格	呼称	台数	備考
1	移動カメラ車	0.45m <sup>3</sup> 級	台	3	
2	通信中継車		台	1	
3	5G帯無線LAN	親機	台	2	
4	5G帯無線LAN	親子兼用	台	1	
5	5G帯無線LAN	子機	台	8	
6	遠隔操作室		基	1	
7	無線基地局		基	1	
8	固定カメラ架台		基	1	
9	発動発電機	25kVA	台	1	
	遠隔操作式バックホウ	0.8m <sup>3</sup> 級	台	1	
	遠隔操作式クローラダンプ	11t級全旋回型	台	3	

# 無人化施工 無線設備 回線計画

## 工事で必要とするデータ伝送量

信号名	単体容量 (kbps)	数量	合計容量 (kbps)	備考
BH車載映像 (HD)	10,000	1	10,000	実証結果より
移動カメラ車映像 (SD)	2,000	3	6,000	外部映像のため
通信中継車映像 (SD)	2,000	1	2,000	外部映像のため
建設機械遠隔操作	4.8	4	19.2	
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	
通信中継車カメラ操作	2.4	1	2.4	
GNSS基準局データ	2.4	1	2.4	
ガイダンスデータ	9.6	1	9.6	
計			18,060.0	
無線LAN1波の伝送可能容量				
伝送容量 (実証結果より) (kbps)	余裕率	数量	伝送可能容量 (kbps)	備考
18,000	0.7	1	12,600	< 18,060.0



## 無線LAN 1ch目

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

## 無線LAN 2ch目

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 (SD)	2,000	3	6,000	
通信中継車映像 (SD)	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	
通信中継車カメラ操作	2.4	1	2.4	
計			8,028.8	< 12,600

無線LANを2ch使用することで、工事で必要とするデータの伝送が可能となる。