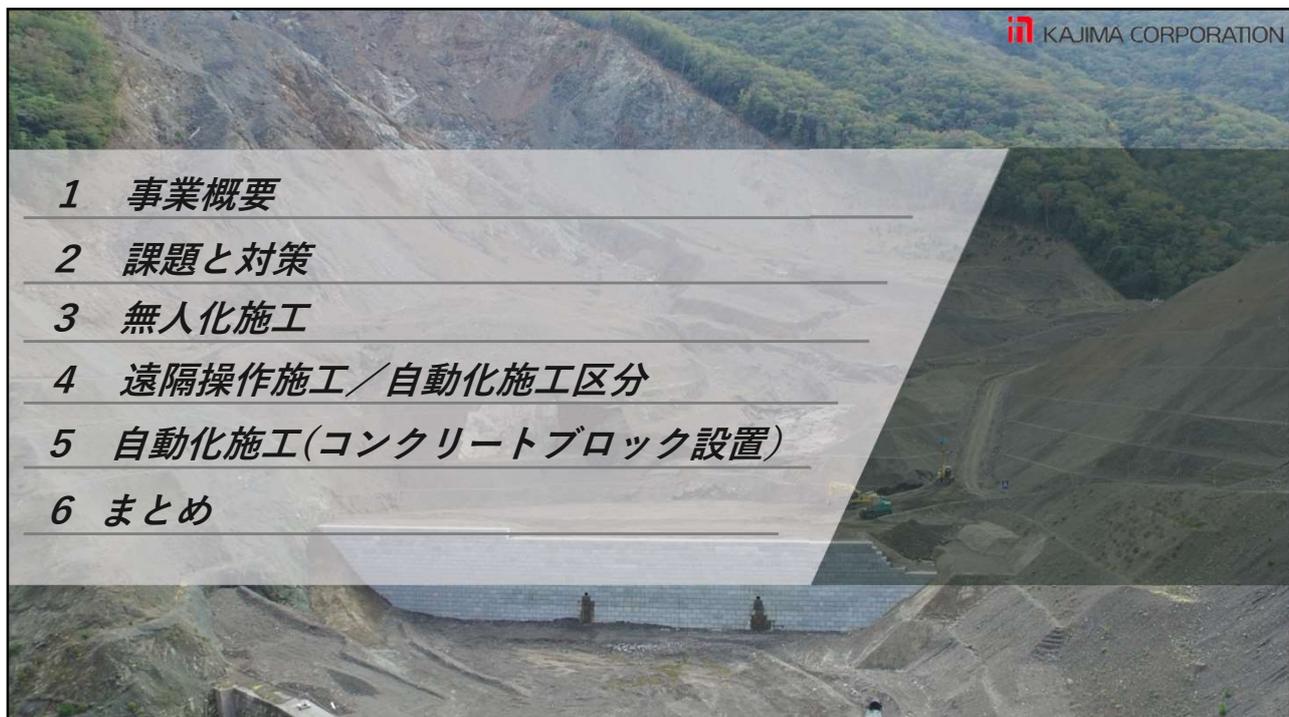
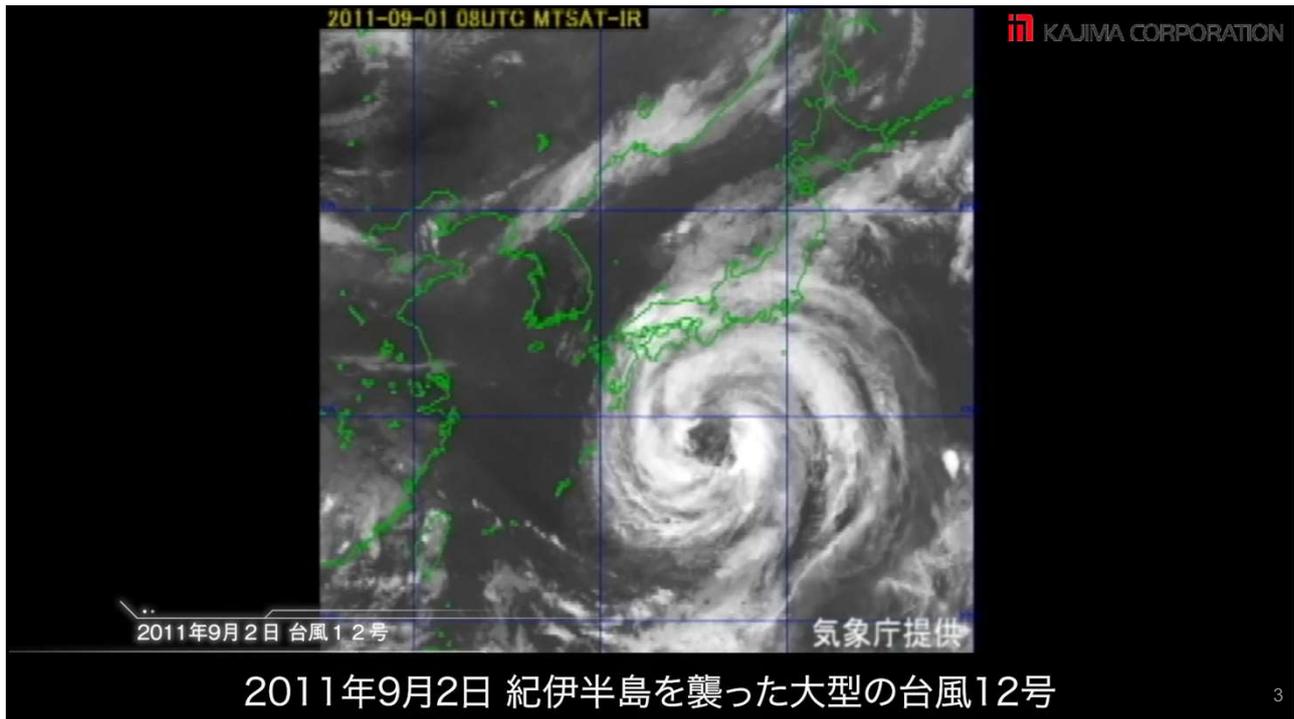




1



2



3

1 事業概要

崩落斜面

3号砂防堰堤 (遠隔操作・自動化施工)

河道閉塞

2号砂防堰堤

1号砂防堰堤

6号床固工

川原樋川

1号床固工

1号帯工

床固工群

河道閉塞と崩落斜面に最も近い

時期	再崩壊土砂量
平成24年6月	約10万m ³
平成25年9月	約40万m ³
平成26年8月	約76万m ³

KAJIMA CORPORATION

4



過去に類をみないリスクを
内包する難工事

5



2 課題と対策

課題 1

災害リスクの高い工事



五條市赤谷 河道閉塞状況（下流）

繰り返す斜面再崩壊



上流からの大出水

出水期は立入禁止区域内で
3号砂防堰堤を築造

- ▶ 大出水による工事手戻り
- ▶ 再崩落による災害リスク大

6

6

2 課題と対策

課題2 遠隔操作施工の効率の向上と出来形精度確保



7

7

2 課題と対策

課題2 遠隔操作施工の効率の向上と出来形精度確保



8

8

2 課題と対策

課題1 災害リスクの高い工事



- ▶ 大出水による工事遅延
- ▶ 再崩落による災害リスク大

安全性確保

課題2 遠隔操作施工の効率の向上と出来形精度確保



遠隔操作施工の効率向上
雲仙・普賢岳での遠隔操作施工



有人施工と同等の
施工精度が必要

施工の効率化と精度確保

自動化施工を導入し課題を克服

9

9

3 無人化施工

【無人化施工の歴史】

✦ 雲仙普賢岳 試験フィールド工事から開始



雲仙普賢岳



遠隔操作室



10

10

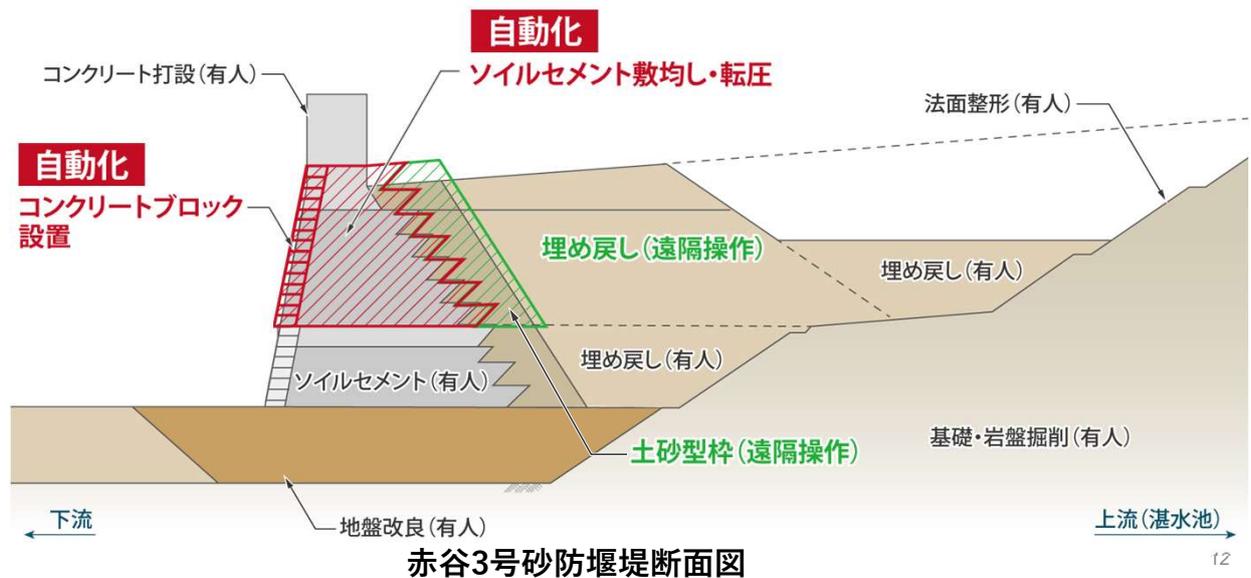
3 無人化施工

【無人化施工技術の歴史と発展】



4 遠隔操作施工／自動化施工

【赤谷3号砂防堰堤】



4 遠隔操作施工／自動化施工

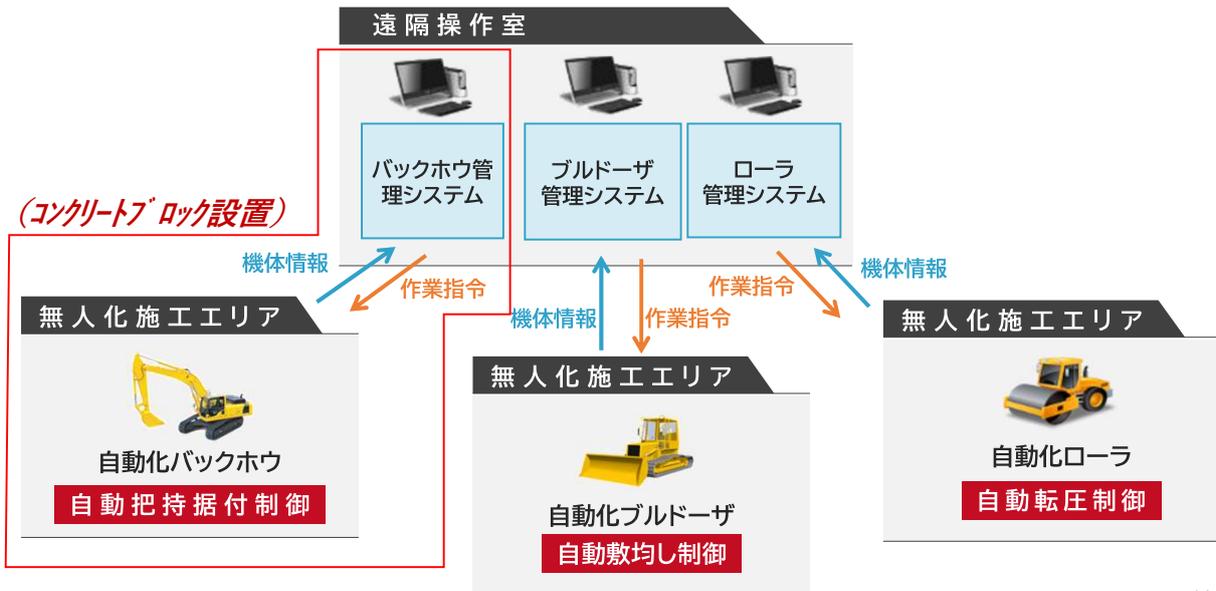
【使用機械一覧・配置平面図】



13

13

4 遠隔操作施工／自動化施工

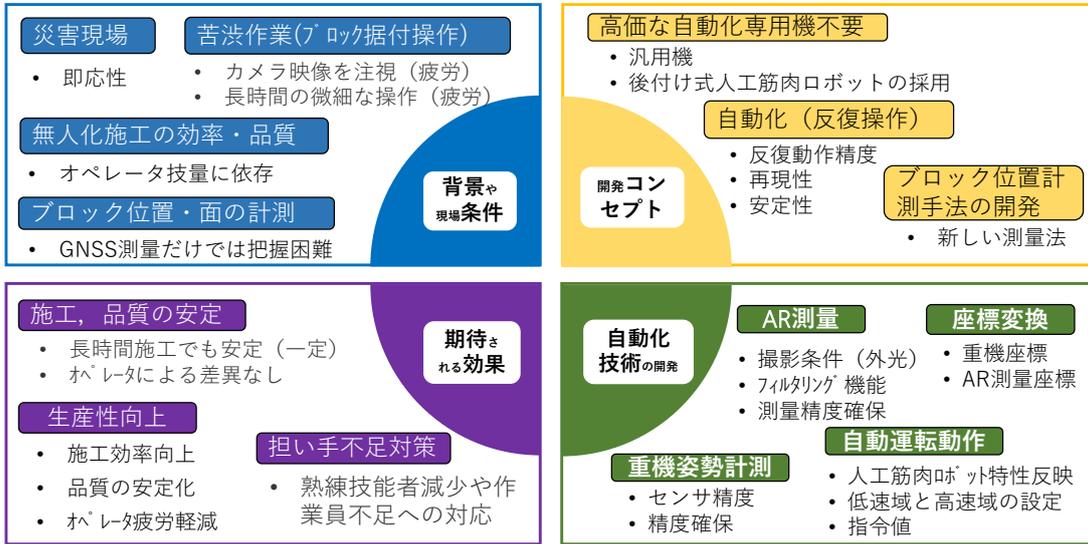


14

14

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

【自動化システム開発概要】

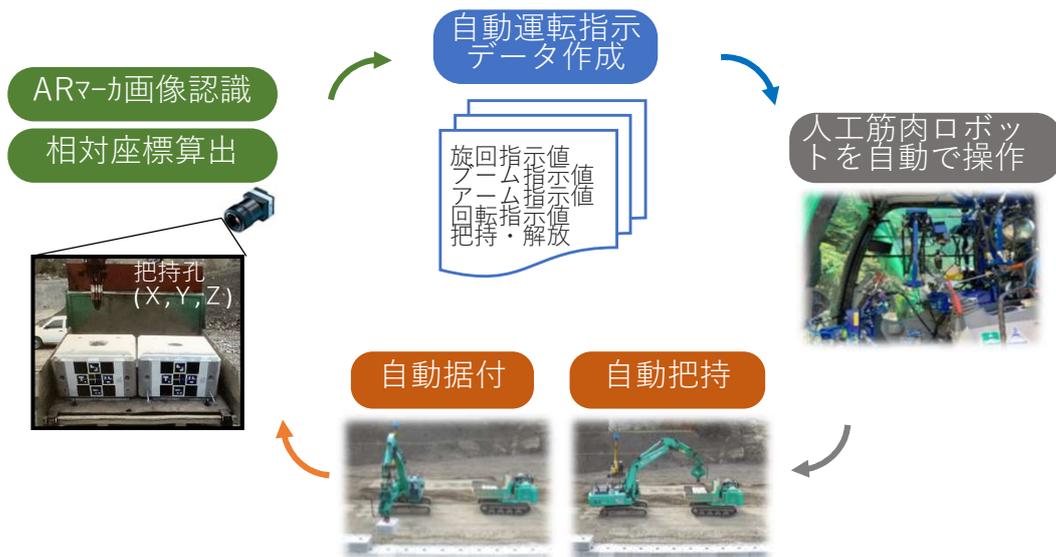


15

15

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

【自動化システムのイメージ】



16

16

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

【自動運転ステップ】 挿入・把持



17

17

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

【自動運転ステップ】 起伏・旋回



18

18

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

【自動運転ステップ】 面合せ・据付け



19

19

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

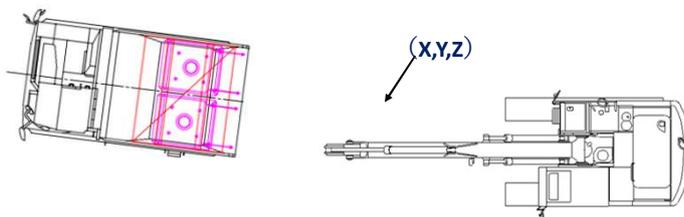
【把持作業】

ブロック把持作業

ブロック孔位置測量

把持OK

<ブロック運搬・把持>



クローラダンプは任意の場所に運搬

- GNSS装置搭載
- 搬送車両の位置,方位角計測
- 把持孔の座標 (X,Y,Z) 計算

把持：OK

20

20

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

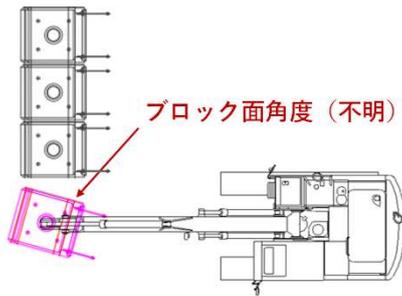
【据付時の課題】

ブロック面合せの課題

角度不明

据付不可

<据 付>



- 据付時に隣接ブロックと衝突
- ブロック面合せ必須

据付：✗

- GNSS測位ではブロック面角度の把握が困難
- 角度を把握要

21

21

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

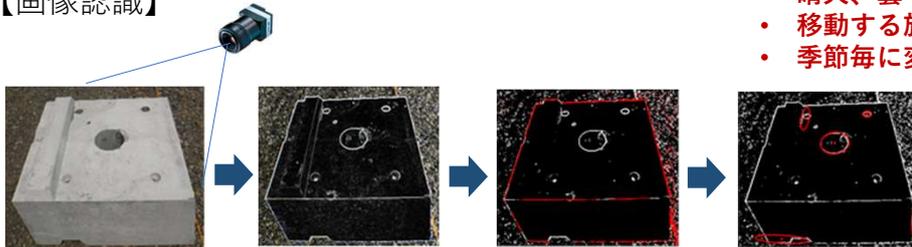
【ブロック据付時のブロック面角度把握の課題】

カメラによる画像認識の課題

良好な結果得られず。。。

屋外使用の限界

【画像認識】



ブロック画像

エッジ抽出

二値化,輪郭抽出

ノイズ除去,円認識

- カメラと孔の相対位置算出
- ブロック前面の角度算出

- 外光の影響に左右される
- 晴天、曇り、降雨時の施工
- 移動する施工箇所
- 季節毎に変化する太陽の位置

22

22

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

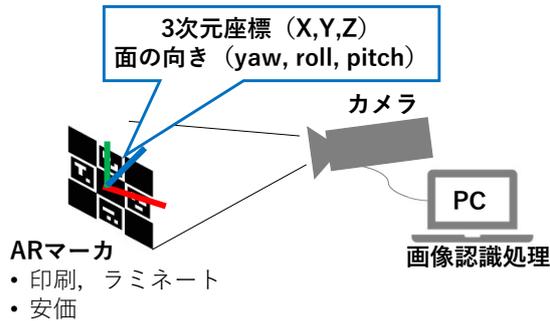
自動運転の位置計測には「AR測量」を導入 **特徴**

AR測量

- ◆ AR = 拡張現実技術（ARマーカとカメラを用いた画像解析）
- ◆ 屋外でも安定して認識、解析可
- ◆ 多点の測量が安価に可能



ARマーカ



AR測量の特徴

- ◆ カメラを起点として、三次元座標を取得
- ◆ ブロック面の向き(yaw, roll, pitch)を取得
- ◆ 屋外でもARマーカ画像認識可
- ◆ 短時間で相対座標算出
- ◆ 補正処理等により高精度

23

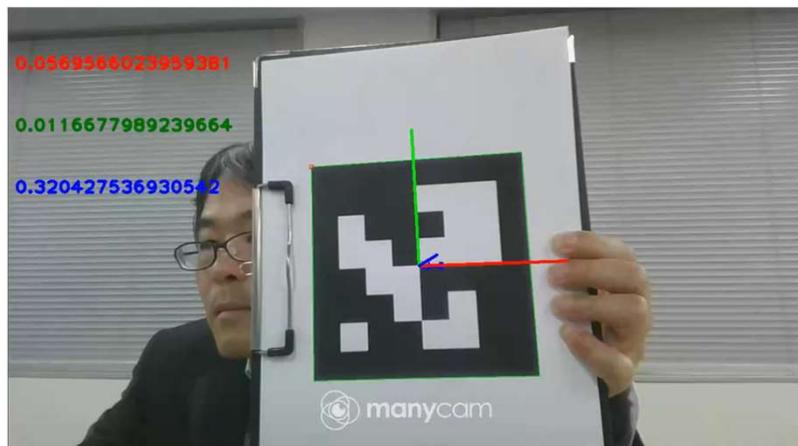
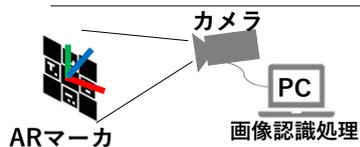
23

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

自動運転の位置計測には「AR測量」を導入 **要素実験**

AR測量



24

24

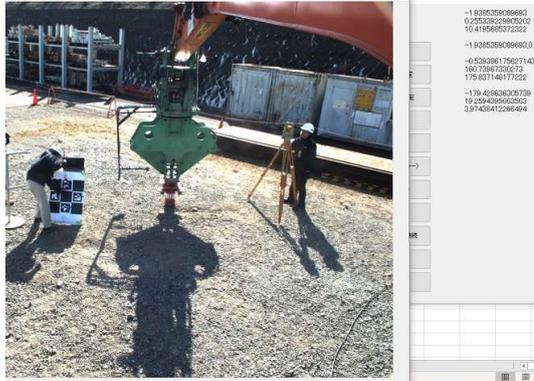
5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

自動運転の位置計測に「AR測量」を導入

要素実験



複数ARマーカで実験



AR測量精度検証

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

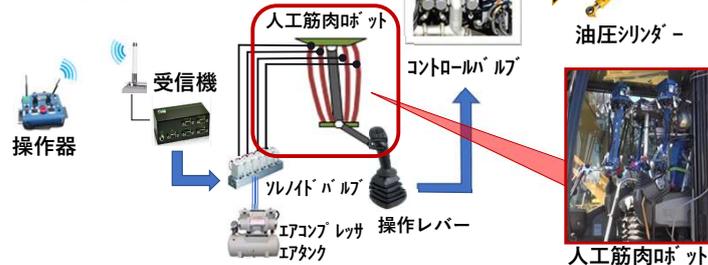
「人工筋肉ロボット」で汎用機を自由自在に操作

人工筋肉ロボットを用いた操作とは

【リモコン式】



【人工筋肉ロボット式】



人工筋肉ロボットの特徴

- ◆ ゴムチューブ内のエア圧を制御
- ◆ ゴムチューブ膨張による長さの縮みを利用した機構
- ◆ ギヤ等の機械構造と比べ振動などの外乱影響が少ない
- ◆ レンタルなど汎用機に搭載し簡単に遠隔操作できる
- ◆ 短所は、運転椅子に搭載するためオペレータの搭乗不可

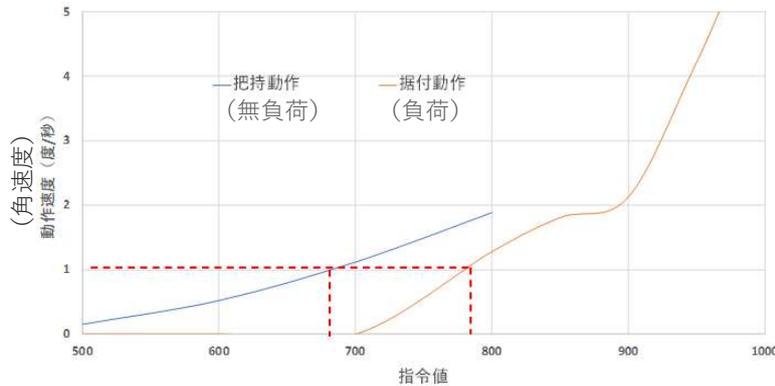
5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

「人工筋肉ロボット」で汎用機を自動運転

要素実験

人工筋肉ロボットによる動作



指令値と角速度の関係（ブーム上げ）

人工筋肉ロボットの特徴

- ◆ 無負荷、負荷時の違い
- ◆ 指令値－角速度の関係が一律でない
- ◆ 自動動作で適切な角速度（低速・高速）と指令値を把握
- ◆ 自動運転時のパラメータに反映

27

27

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION

「人工筋肉ロボット」で汎用機を自動運転

再現性実験

【把持動作（無負荷時）】

人工筋肉ロボットの自動運転動作__精度 単位(mm)			
	X方向(奥行き)	Y方向(左右)	Z方向(高さ)
把持動作	23.2	7.2	—
据付動作	13.1	10.3	25.8

28

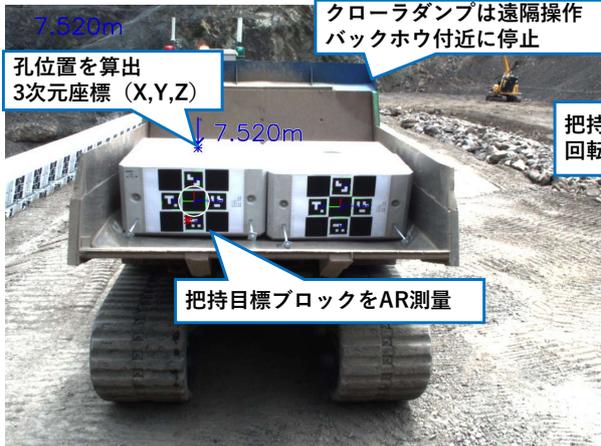
28

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

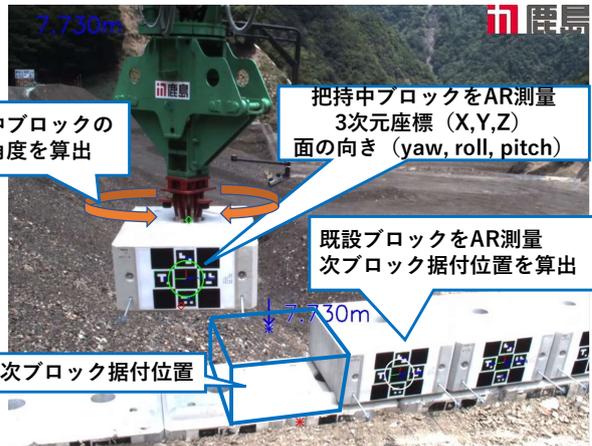
自動運転のブロック位置計測に「AR測量」を導入

目標達成

【把持】



【据付】



29

29

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

ブロック把持孔へアタッチメント自動挿入

実験状況

【自動把持】



30

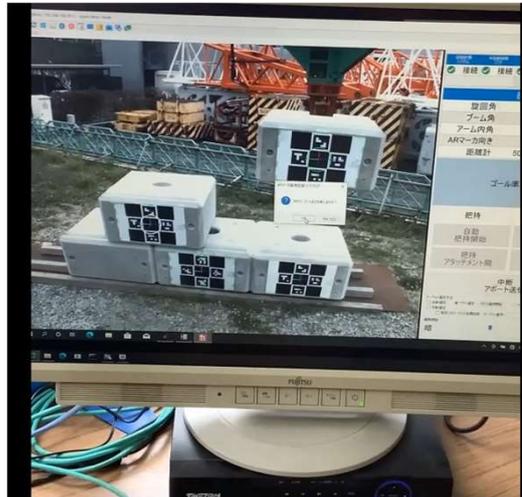
30

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

把持ブロックを既設ブロックの隣へ自動据付け

実験状況

【自動据付】



31

31

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

自動運転の位置計測には「AR測量」を導入

施工中の課題克服

【AR測量の課題と対策】

- ARマーカ認識エラー発生
- 薄暮時の認識が不安定

- 画像の輝度等調整
- 入力画像の加工

薄暮時もAR測量可能

対策前



認識不可：円マークなし

対策後



認識：円マークあり

32

32

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

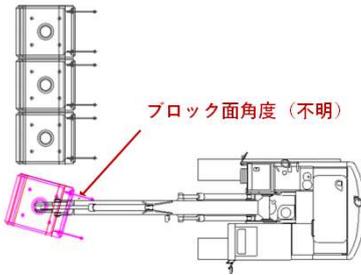
【据付時の課題】

ブロック面角度も「AR測量」導入により

AR測量で角度把握

据付OK

<据付>

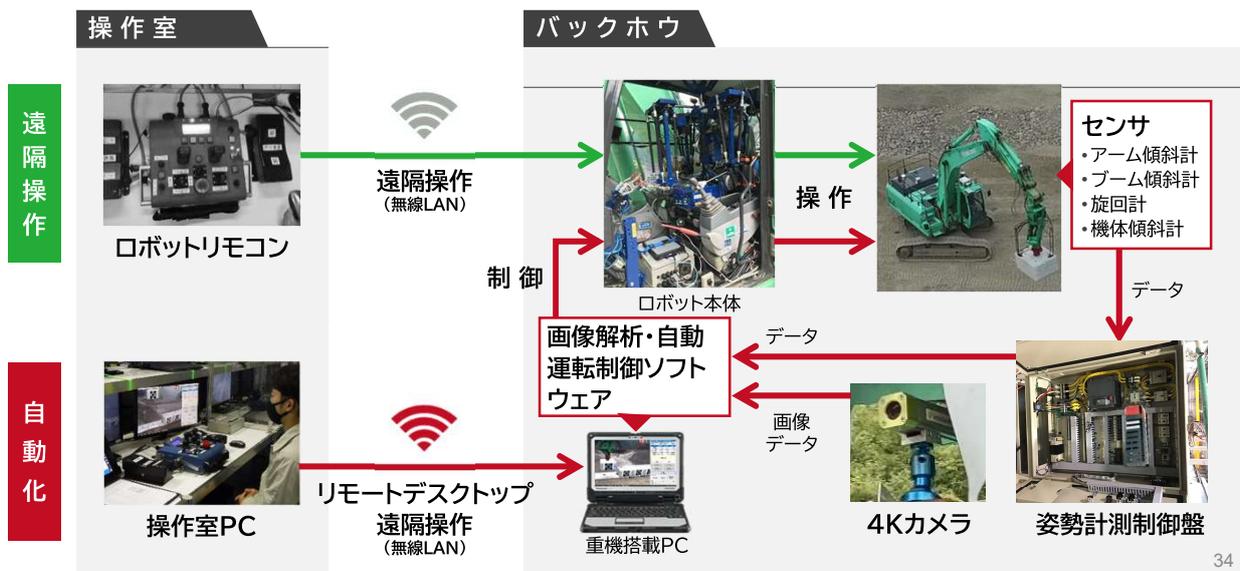


33

33

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

【自動化システム構成】



34

34

5 自動化施工（コンクリートブロック設置）

 KAJIMA CORPORATION


35

6 まとめ

 KAJIMA CORPORATION

AR測量

次世代の建設生産システムの実現を目指して

◆ ARマーカの画像認識技術を**建設機械に適用**

- 4 Kカメラを用いてARマーカを**画像認識**
- 自動運転のための**目標座標**を瞬時に計算
- φ270mmの把持孔への挿入に十分な**測量精度**
- ブロック面の向き（yaw, roll, pitch）も**認識**
- GNSS測量**不要**
- 据付に十分な**測量精度**
- 薄暮**でも認識
- 10mm/時間以上の雨**でも認識

AR測量 精度

軸方向	精度（mm）	離隔距離に対する精度（%）
X軸方向（奥行方向）	15.0	0.20
Y軸方向（左右方向）	6.0	0.08
Z軸方向（上下方向）	3.8	0.05

※カメラとブロック間の離隔距離7.5m時における精度

36

36

6 まとめ

据付実績

次世代の建設生産システムの実現を目指して

◆ 汎用バックホウ+人工筋肉ロボット__自動運転

- 高価な自動化専用の建設機械の**必要なし**
- 重機姿勢は**汎用のセンサ**（後付け式）で計測
- 建設機械が得意である**繰返し,反復作業**を自動化

コンクリートブロック据付実績

サイクルタイム	
自動運転	7分18秒
遠隔操作	9分20秒

 生産性30%向上

※クローラダンプ1車(ブロック2個積載)当りのサイクルタイム

37

37

6 まとめ

成果&将来

次世代の建設生産システムの実現を目指して

【成 果】

- 反復作業の自動化で**生産性向上**
- 自動化で施工品質の**安定化**（一定）
- 自動化でオペレータの**負担軽減**
- 自動化建設機械へのAR測定の**実用性確認**

【将 来】

- 多様な**汎用機械**の自動化施工へ展開
- AR測量技術の**応用**（施工ロボット等）

38

38

