



CI-CMC工法におけるi-Construction2.0への取り組み

—遠隔操縦技術と自動化施工—

株式会社不動テトラ

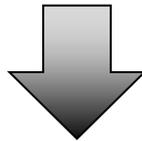
発表内容

1. はじめに
2. 深層混合処理工法 CI-CMC工法
3. 自動打設システム GeoPilot[®]-AutoPile
4. 遠隔操縦システム
5. 現場実装

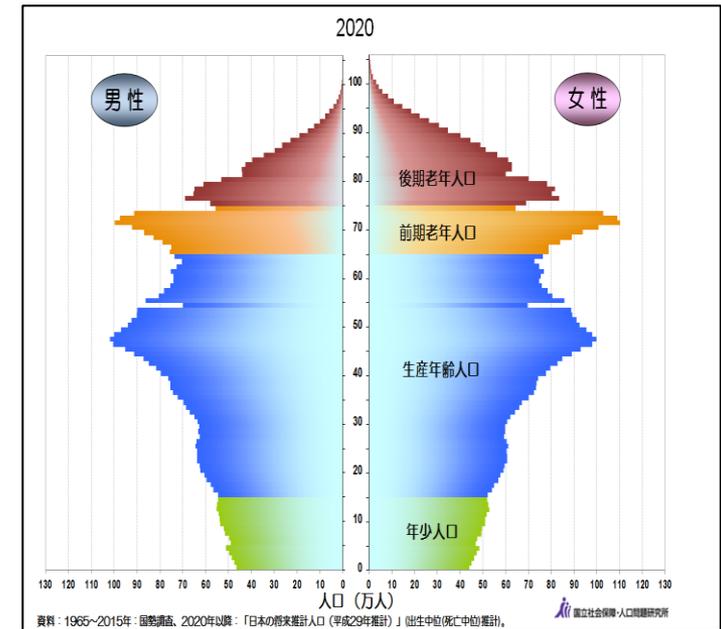
1. はじめに

建設業が抱えている問題

- ・ 少子高齢化による生産年齢人口の減少
- ・ 人手不足、高齢化
- ・ 技術継承の難しさ
- ・ デジタル化の遅れ



**インフラ整備の担い手確保
建設現場における生産性向上** が急務である



出典：国立社会保障・人口問題研究所HP
「人口ピラミッド画像」

1. はじめに

i-Constructionの推進と自動化の歩み

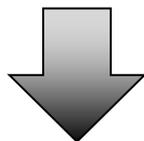
- 2016年
国交省がi-ConstructionというDX推進の枠組みを提唱
ICTの全面的な活用、全体最適の導入、施工時期の平準化など
- 2022年
建設機械施工の自動化・自律化協議会発足
- 2024年
i-Construction2.0を策定
施工、データ連携、施工管理をそれぞれオートメーション化することで、2040年度までに**建設現場の生産性1.5倍向上を目指す**

1. はじめに

地盤改良現場が抱える問題と取り組み

- 地盤改良現場における課題

高い技能を持つ熟練オペレーターの引退が相次いでおり
複雑な操作技術の継承が困難である



- 技術継承・担い手確保

自動打設システムにより操作方法を簡素化して
習熟期間を短縮する

- 生産性の向上

自動打設システムと**遠隔操縦システム**を組み合わせ
省人化による生産性向上を目指す

2. 深層混合処理工法 CI-CMC工法

工法概要と施工サイクル

CI-CMC工法は機械攪拌の深層混合処理工法で、攪拌翼からセメントスラリーを吐出しながら地中に貫入し、原地盤の土と混ぜ合わせることで地盤中に硬質な改良体を造成する工法。

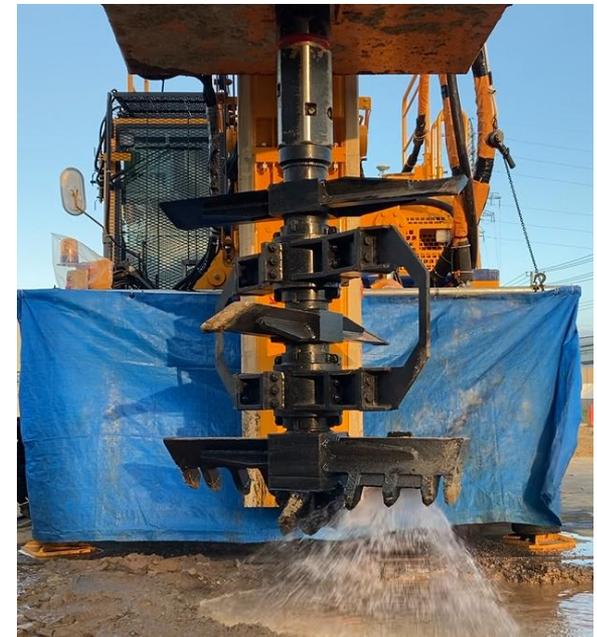
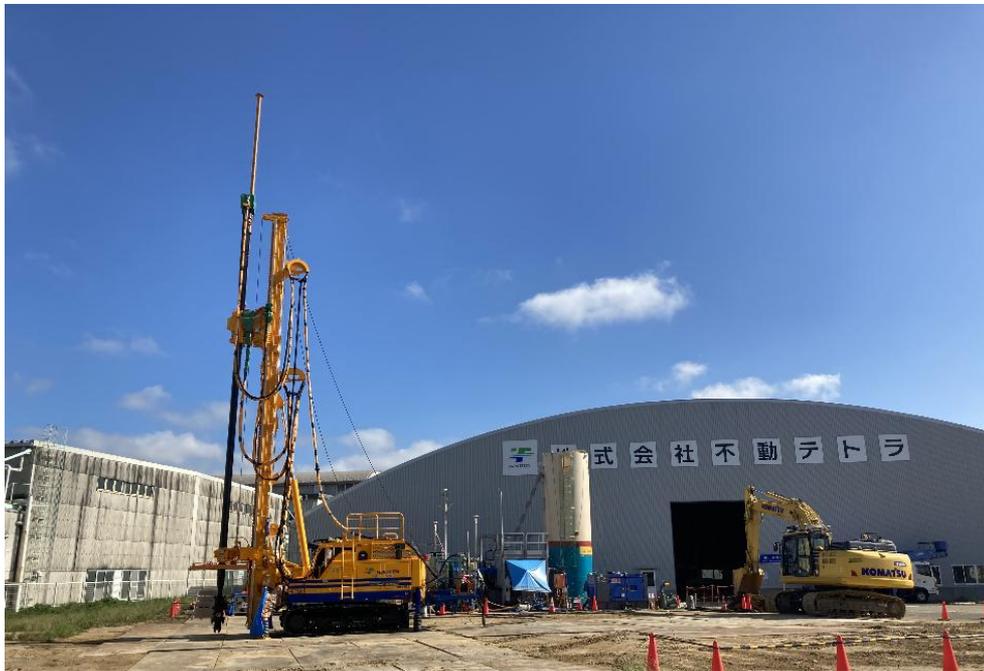


3. 自動打設システム GeoPilot-AutoPile

自動打設システムの開発のこれまで

2020年 大型地盤改良機で自動打設システムの開発・実用化

2022年 小型施工機への展開・実用化。以降、多数の現場で導入



CI-CMC工法

3. 自動打設システム GeoPilot-AutoPile

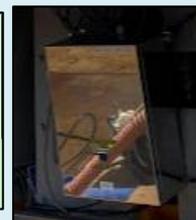
システム構成



施工機とプラントは
無線で通信



スラリープラント



プラントモニター リモートユニット 通信アンテナ

地盤改良施工機



オペレーションモニター



コントロールユニット



通信アンテナ

3. 自動打設システム GeoPilot-AutoPile

手動運転との操作比較

項目	内容	操作	
		手動運転	GeoPilot-AutoPile
貫入開始	貫入開始指示	貫入開始ボタンタッチ	貫入開始ボタンタッチ
	オーガーマーター回転	制御ボタンON	
	攪拌翼の貫入	速度を確認しながらレバー操作	
セメントスラリー吐出	流量調整	規定量になるようダイヤル調整	自動
貫入終了	攪拌軸の貫入停止	レバー中立操作	
	グラウトポンプの停止	制御ボタンOFF	
	貫入終了指示	貫入終了ボタンタッチ	貫入終了ボタンタッチ
先端処理	攪拌軸の引上げ	速度を確認しながらレバー操作	自動
	攪拌軸の再貫入	速度を確認しながらレバー操作	
引抜開始	引抜開始指示	引抜開始ボタンタッチ	引抜開始ボタンタッチ
	オーガーマータの停止	制御ボタンOFF	
	攪拌軸の引上げ	速度を確認しながらレバー操作	
引抜終了	攪拌軸の引上げ停止	レバー中立操作	自動
	オーガーマータの停止	制御ボタンOFF	
施工終了	施工終了指示	施工終了ボタンタッチ	施工終了ボタンタッチ

3. 自動打設システム GeoPilot-AutoPile

自動打設のメリット

オペレータは連続的なレバー操作がなくなり、**作業負担の低減**。
現場周辺状況の確認が可能になり、**安全性の向上**が図れる。
施工ができるまでに三年かかっていた**習熟期間を約3分の1に短縮**。



手動運転



自動運転

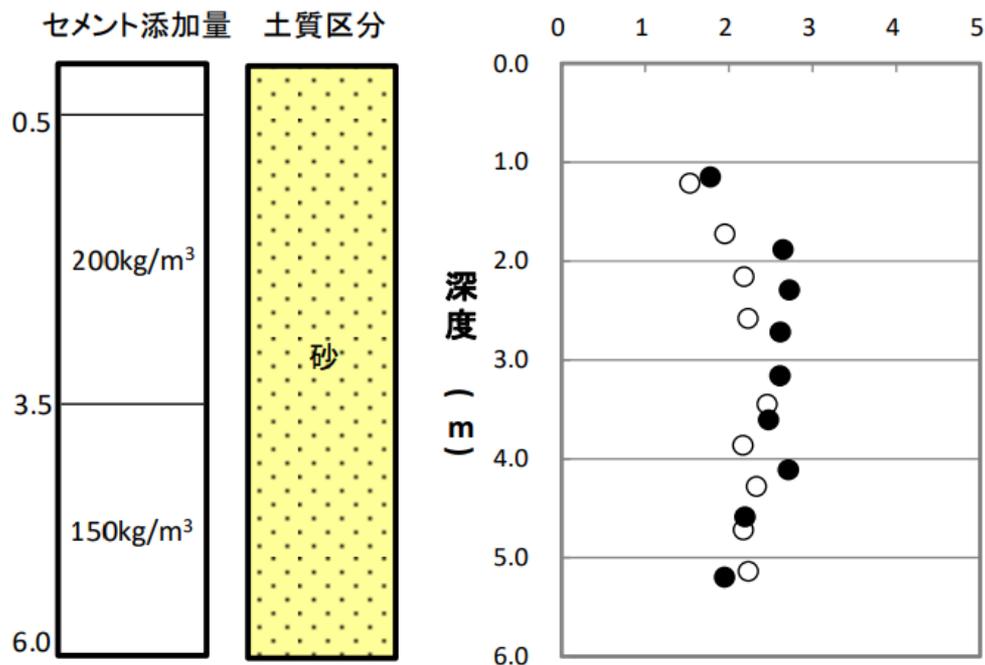
※動画は20倍速です。

3. 自動打設システム GeoPilot-AutoPile

自動打設の品質確認結果

改良体の一軸圧縮強さやコア写真を比較すると、自動運転では熟練技術者による**手動運転と同程度の品質を確保**できる。

一軸圧縮強さ



○ 手動運転 ● 自動運転

コア写真



手動運転



自動運転

3. 自動打設システム GeoPilot-AutoPile

国土技術開発賞にて優秀賞を受賞

国土技術開発賞 優秀賞

	受賞者	受賞技術名称	ものづくり日本大賞		受賞者	受賞技術名称	ものづくり日本大賞
第26回 (令和6年)	(株)横河ブリッジ	後方回転・ 自走式手延機解体装置		第13回 (平成23年)	(株)古垣建設 ウエダ産業(株)	バケットクラッシャー(FU-70)	
	(株)不動テトラ	地盤改良工法の 自動打設システム			(独)港湾空港技術研究所	赤外線による空港アスファルト 舗装の層間剥離現象検知	
	首都高速道路(株) ニテレキ(株)	高耐久超低騒音舗装			(株)フジタ	連続SSRT	
第25回 (令和5年)	ジャパンパイル(株) 新日本空調(株)	既製杭を用いた地中熱利用技術		第12回 (平成22年)	大石 東急 川田		
	(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 戸田建設(株)	地下水対応型継手を用いた 外殻先行型トンネル構築工法			新日 JFE		
第24回 (令和4年)	東日本高速道路(株) (株)大林組	防水層にUFCを用いた プレキャストPC床版		第11回 (平成21年)	(独)		
	五洋建設(株)	人工知能を用いた栈橋の 残存耐力評価技術			(株) グリ		
第23回 (令和3年)	五洋建設(株) ジャイワット(株)	吸水性泥土改質材と改質土の 活用技術		第10回 (平成20年)	新日 東亜		
	清水建設(株)	化学的手法を用いた 基礎ぐい工事の施工品質検査技術			(財) (独)		
第22回 (令和2年)	前田建設工業(株)	鋼製支保工建込みロボット		第10回 (平成20年)	(株)		
	首都高速道路(株) (一財)首都高速道路技術センター	鋼橋の疲労き裂に関する 近接目視点検教育システム			池淵 周一		



表彰式の様子

出典: 国土技術研究センターウェブサイト「国土技術開発賞」より一部抜粋
(URL <https://www.jice.or.jp/review/awards>)

4. 遠隔操縦システム

技術概要

地盤改良施工機本体と同一の操作環境を備えた**遠隔操縦室**から**レバー操作**等を行うことで、遠隔地から施工機を操作可能とする技術。
自動式杭打機タイプの**地盤改良施工機**では**国内初**の試み。



遠隔操縦室

4. 遠隔操縦システム

KanaTouchについて

既存の建設機械を遠隔操作、自動化するための後付けシステム



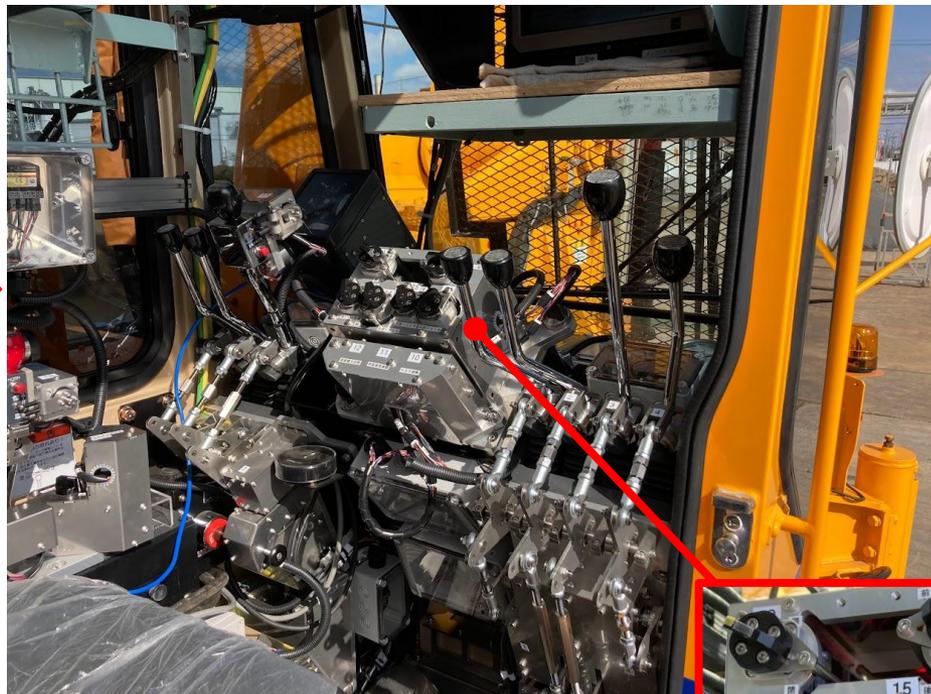
4. 遠隔操縦システム

KanaTouchの後付型操作装置

運転席の各操作レバー、ダイヤル、スイッチにアクチュエータを取り付け



通常の運転席



アクチュエータ取り付け後の
運転席



4. 遠隔操縦システム

遠隔操縦席

施工機本体に設置したジャイロセンサーの信号から、リアルな感覚を再現



- 走行中の感触
- 施工機の傾斜
- 削孔中の振動など

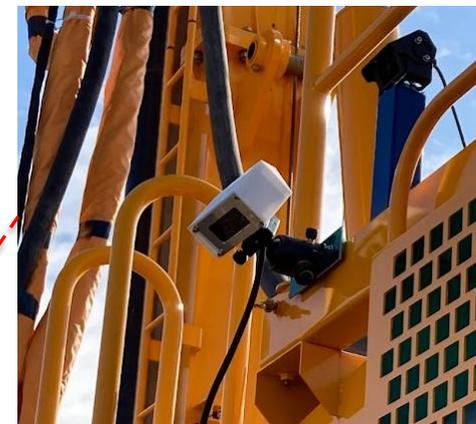
4. 遠隔操縦システム

施工機本体設置のカメラ

施工機の周辺状況を遠隔操縦者に伝えるために9か所に設置



アウトリガー監視（4カ所）



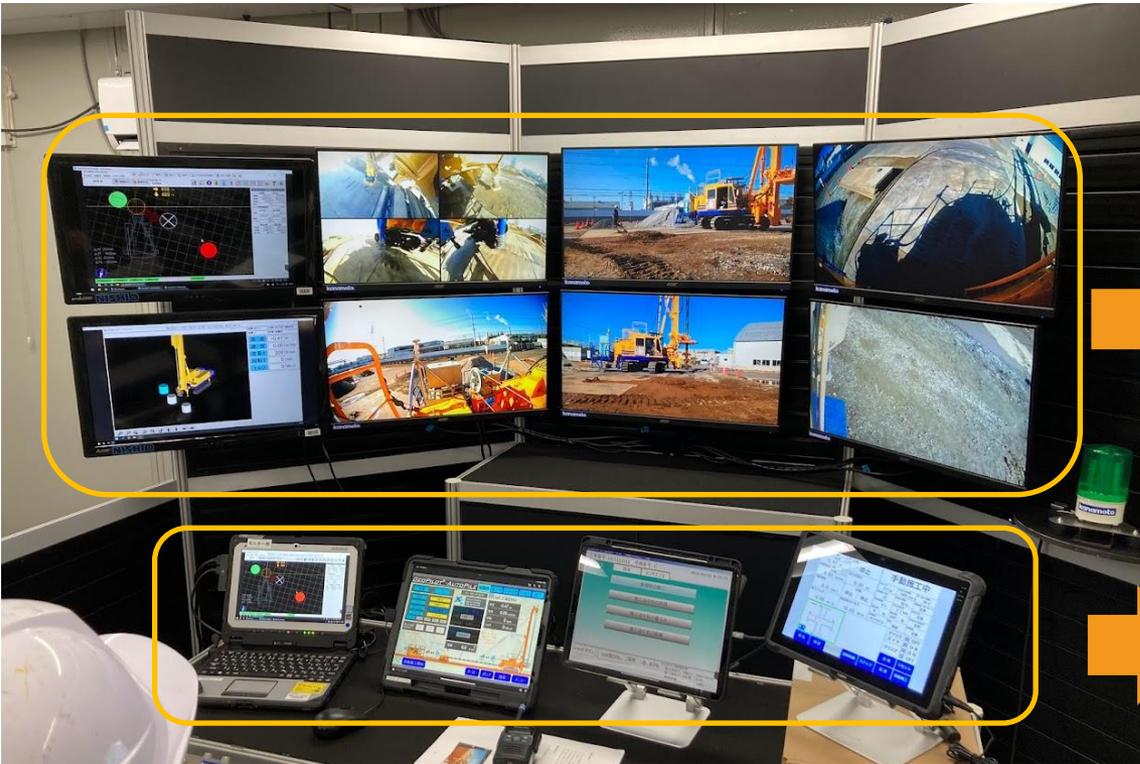
施工機周辺監視（3カ所）



俯瞰カメラ（2カ所）

4. 遠隔操縦システム

遠隔操縦室からの状況確認



施工管理モニタ

遠隔カメラモニタ(6台)



施工管理タブレットパソコン

4. 遠隔操縦システム 通信仕様

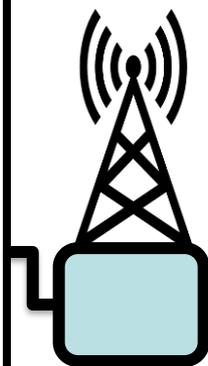
LTEや5Gを使用しているため距離は無制限
電波の不安定な場所では衛星通信（スターリンク）の併用も可能

遠隔操縦室



光インターネット回線

2軸フィードバック操作席



LTEルーター



4. 遠隔操縦システム

遠隔操縦状況



4. 遠隔操縦システム 誘導状況

ファイル(F) 編集(D) 設定(O) メンテナンス(M)

377_378 誘導完了 誘導中止 キャッチホーク 0.194m

計測値		
位置用	方向用	
X座標	104010.825	104004.873
Y座標	108943.655	108941.741
Z座標	8.761	8.729
フラグ	4	4
アンテナ間距離誤差	0.005	
ジャイロ	GPS計算	
方向	----	152.84
ピッチング	ローリング	
車両	-0.38	0.04
リーダー	0.00	0.00
現在位置		目標位置
X座標	104003.429	104003.434
Y座標	108956.351	108956.330
進入角	107.84	107.88
左軸X	104004.096	104004.100
左軸Y	108956.566	108956.575
右軸X	104002.783	104002.787
右軸Y	108956.137	108956.145

△X1 -4mm
△Y1 -9mm
△X2 -4mm
△Y2 -8mm

GPS-1 GPS-2 車両ピッチ 車両ロール

キャッチホーク VR1

TeamViewer

抗誘導システム Ver2.27

4. 遠隔操縦システム

期待される効果

- 無人化による対応現場の拡大
災害復旧地域や汚染された環境下、海外での施工が可能になる
- 省人化
オペレータは打設中に他の施工機の操作が可能となり
一人のオペレータが複数台の施工機を操作することが可能になる
- 安全性向上
オペレータは直接現場に出向く必要がなくなり
建設現場での重機と人との接触災害を防止できる
- 働き方改革の推進
快適な作業環境の提供が可能になり高齢者や障がいを抱えたオペレータの活躍が見込める

4. 遠隔操縦システム

国土交通省主催の現場検証に参画

「建設機械施工の自動化・遠隔化技術に係る現場検証」の実施者に選定

【①-a)、b)】安全ルール・機能要件の現場検証



- 今年度、安全ルールver2.0及び機械機能要件の策定を目的に、検証フィールドにおける自動施工機械の現場検証を実施。
- 本年7月に公募を開始し、21者からの応募を受付(昨年度は17者)
- 各フィールドにおいて現場検証を実施した。

公募結果一覧

実施者 (◎は代表者)	現場検証の内容
◎ハイテクインター、ジツク中国、中電工、土木研究所	建機の自動化・自律化運用に向けた超低遅延映像伝送技術およびレジリエントな無線通信技術
◎不動テトラ、かむ	地盤改良現場の無人化施工システム
◎アス・プランテック	ハイブリッドラジコン草刈機RJ705 「神刈」

出典: 国土交通省ウェブサイト「建設機械施工の自動化・遠隔化」より一部抜粋
(URL https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000049.html)

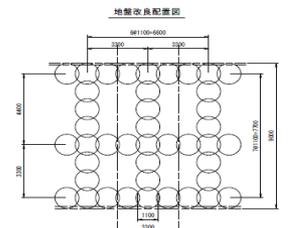
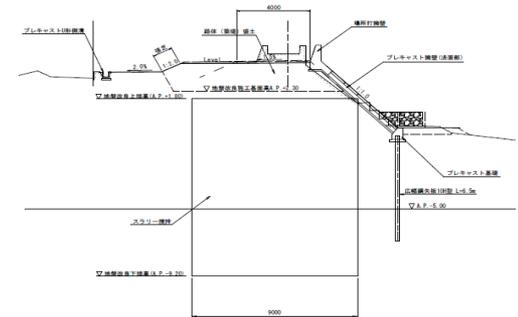
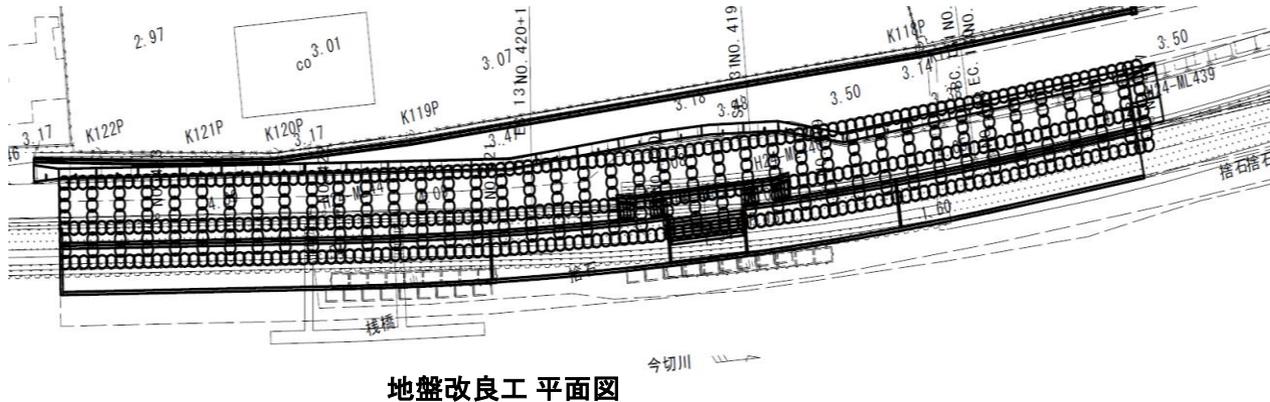


現場検証会の様子 (2024年12月)

5. 現場実装

現場概要 -小型機-

- 工事名称 令和5-7年度中島上流堤防耐震対策工事
- 発注者 四国地方整備局 徳島河川国道事務所
- 受注者 兼子建設 株式会社
- 工法 CI-CMC-HA工法 $\Phi 1300\text{mm}$ 数量565本 打設長11.5m 改良長10.5m
- 改良目的 河川堤防の液状化対策
- 工期 2025年2月～2025年5月（地盤改良）
- 適用技術 **自動打設システム (GeoPilot-AutoPile)**
遠隔操縦システム



5. 現場実装

現場の状況



現場掲示板



施工状況



運転席(遠隔操縦システム搭載時)

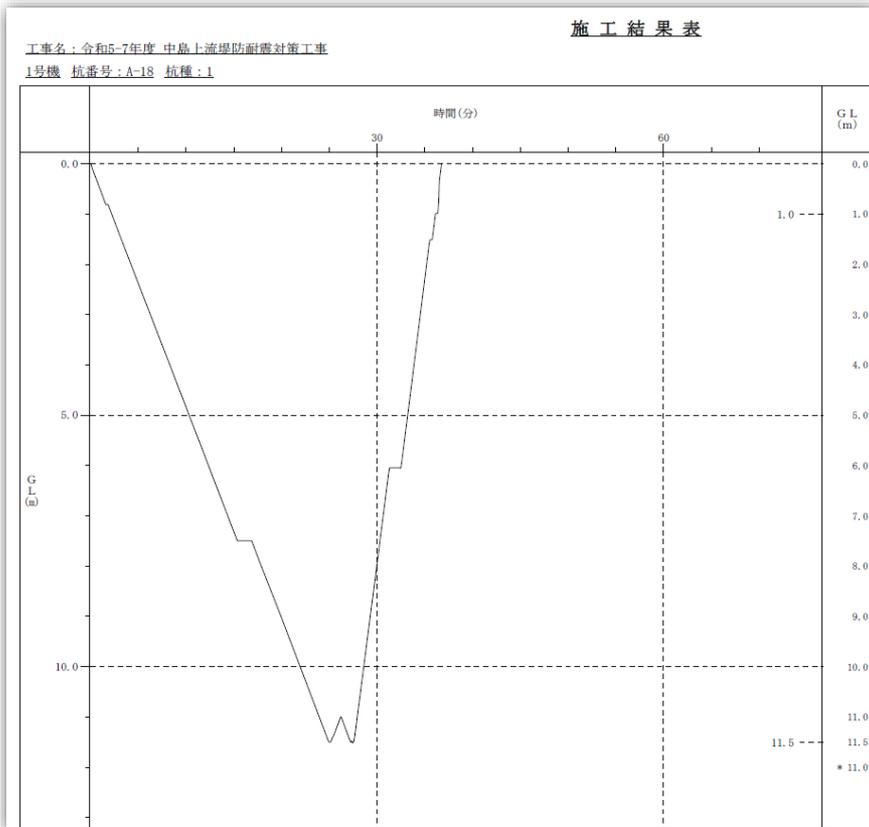


遠隔操縦室

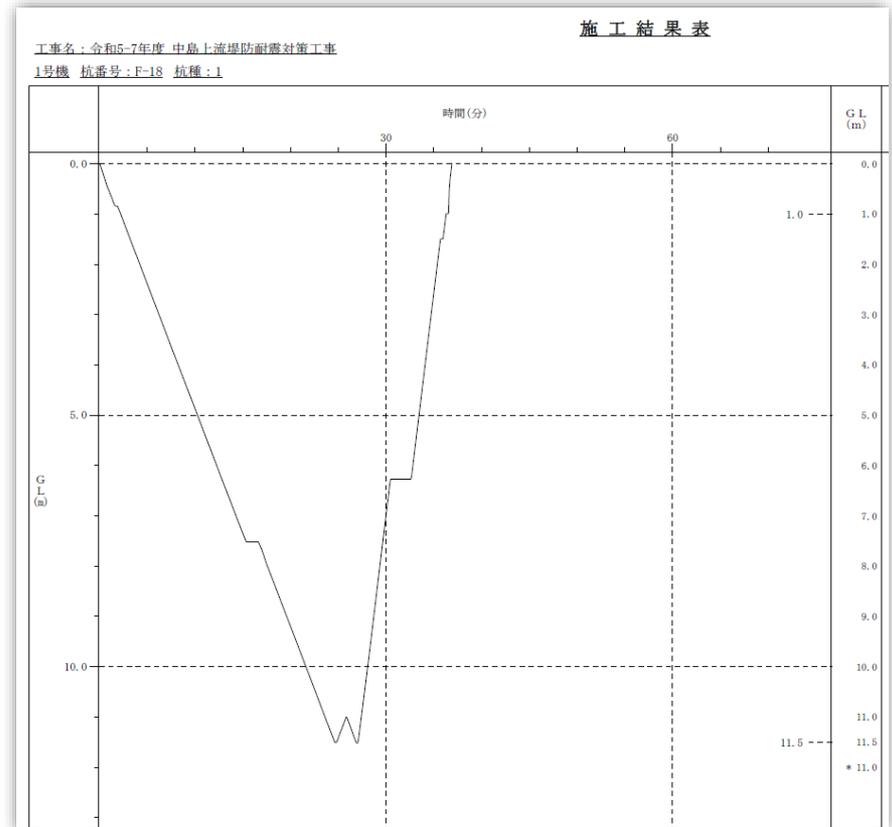
5. 現場実装

施工サイクルの比較

施工時間や材料使用量など、通常施工と同等の結果であることを確認



通常施工(搭乗して手動打設)



遠隔操縦&自動打設

5. 現場実装

現場見学会を開催

国土交通省四国地方整備局のYouTubeチャンネルにて見学会の様子を公開中

【現場へ行こう!】日本初! 「現場まで...」

後で見る 共有

兼子建設(株)さん
主催の見学会へ
行って来ました!

見学会に参加されたみなさんと一緒に

“現場までゼロ距離”
—すべての人に活躍のチャンス—

見る YouTube

世界初!! 「現場までゼロ距離」を可能にする超最先端DX技術を現場で!
令和5-7年度中島上流堤防耐震対策工事

【現場へ行こう!】日本初! 「現場までゼロ距離」を可能にした河川堤防耐震工事を行っている現場の見学会に潜入!
(<https://www.youtube.com/watch?v=KJEk6VHjLg>)

5. 現場実装

現場概要 -標準機-

- 工事名称 R6荒川第二調節池地盤改良その1工事
- 発注者 関東地方整備局 荒川調整池工事事務所
- 受注者 株式会社 植木組
- 工法 CI-CMC工法 $\Phi 1600\text{mm}$ 二軸 数量804本（うち68本が遠隔操縦）
打設長11.2~24.2m 施工土量37,341m³
- 工期 2025年11月~2026年2月（地盤改良）
- 適用技術 **自動打設システム（GeoPilot-AutoPile）**
遠隔操縦システム



5. 現場実装

現場の状況



現場見学会の様子



遠隔操縦室



施工状況

本日のまとめ

- 技術の概要

「GeoPilot-AutoPile」により操作を簡素化し、
「KanaTouch」と組み合わせることにより遠隔操縦を可能に

- 期待される効果

習熟期間の短縮、安全性の向上、省人化
無人化による対応現場の拡大、働き方改革の推進

- 現場実装

徳島 河川堤防における小型機の事例
埼玉 荒川調整池における大型機の事例

- 今後の展望

i-Construction 2.0 の目標である「生産性1.5倍」の達成に向け
現場実装を加速させていきます。