

地盤情報の見える化ツール (Gi-CIM) の開発と適用事例

 五洋建設 (株) 土木部門 土木本部 土木設計部

増田 雄太郎

PENTA-OCEAN CONSTRUCTION CO.,LTD.
Civil Engineering Divisions Group
Design and Engineering Division

Yutaro MASUDA

目次

Gi-CIMとは？

Ground Improvement Construction Information Modeling
地盤改良工事のためのCIMシステム¹⁾

1. 開発の背景
2. システムの適用範囲
3. 現場適用実績
4. 現場適用事例の紹介
 - 4-1.適用事例①：民間工事
 - 4-2.適用事例②：公共工事
- 5.まとめ

1) <http://www.penta-ocean.co.jp/news/2020/200520.html>

1. 開発の背景

地盤改良工事は不可視領域を施工対象とするためリスク要因が多数

✓埋設物を損傷させるリスク

従来法：試掘やレーダー探査により埋設物を確認

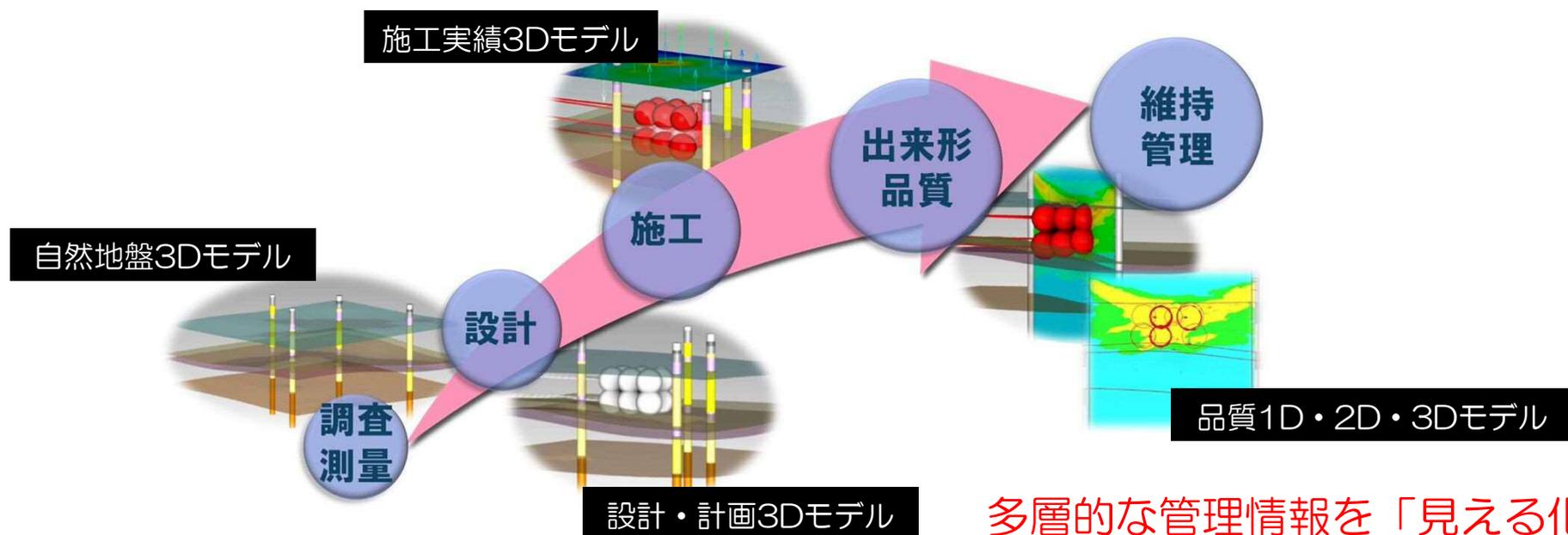
⇒ 施工オペレーターへの情報の引継方法に改善の余地有り

✓改良地盤の不均質性リスク（地盤特性由来・施工精度由来）

従来法：改良土量2,500m³ごとに1箇所²⁾の頻度で事後調査²⁾（点の評価）

⇒ 地盤全体の平均的な品質は担保されるが局所的には…

地盤改良工事に関するあらゆる情報を統合・可視化 ⇒ Gi-CIM



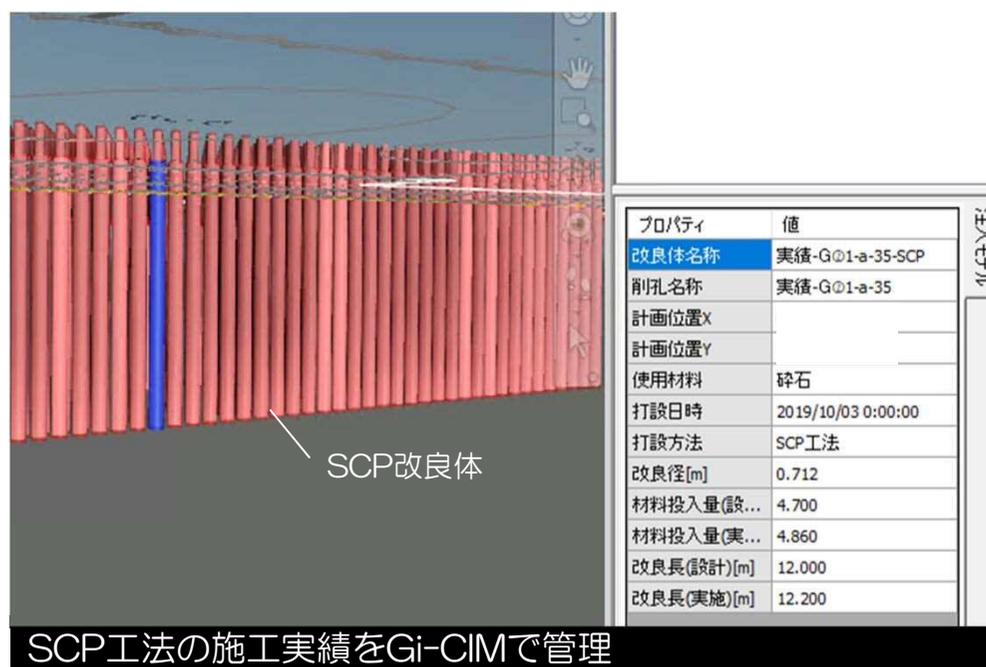
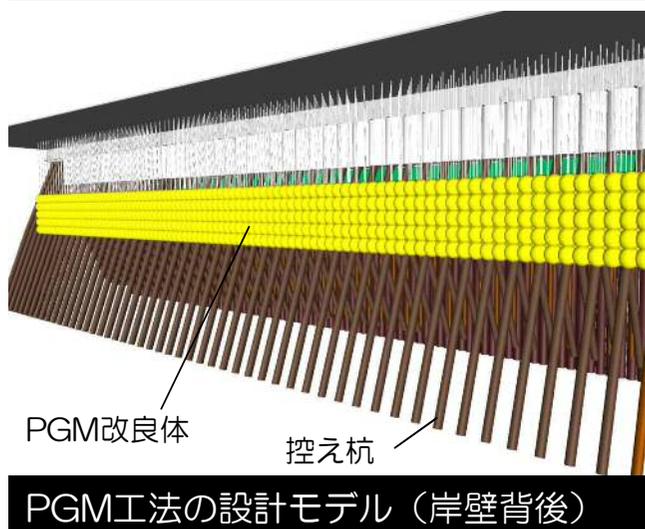
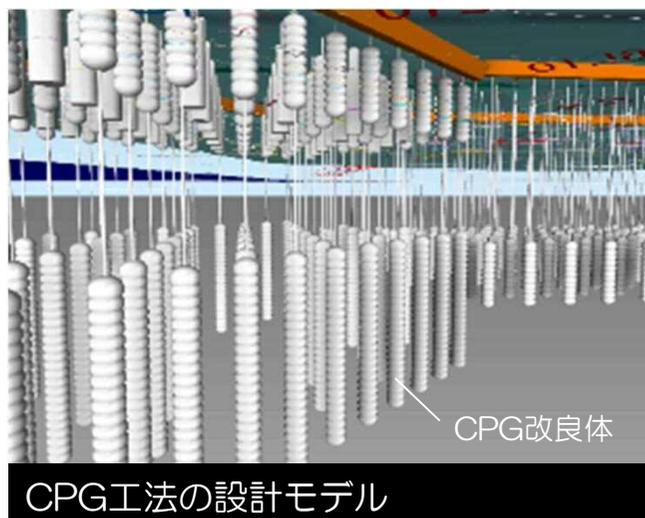
多層的な管理情報を「見える化」
施工の安全性と信頼性が向上

2) 浸透固化処理工法技術マニュアル(改定版), 2020.

2. システムの適用範囲

■ 多様な地盤改良工事へ適用可能

既存のCIMシステム³⁾と同様、サンドコンパクションパイル工法（SCP工法）、静的圧入締固め工法（CPG工法）、深層混合処理工法（CDM工法）、浸透固化処理工法（PGM工法）等の多様な地盤改良工事へ適用可能。



独自性：

曲がり削孔式浸透固化処理工法

と親和性が高い

- 3) 地盤改良工事におけるCIMの適用事例—WIT地盤改良管理システム
2020の機能の紹介—, marine voice 21 Summer 2020, vol.310, 2020.

3. 現場適用実績

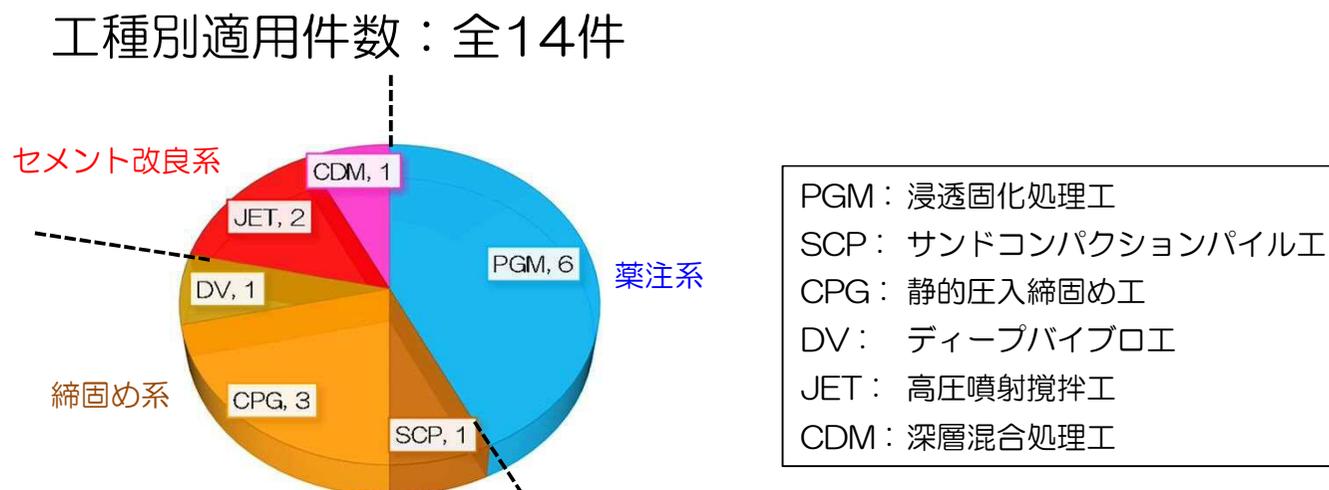
計画中の工事も含めて10件の工事適用実績を有する。
その内、以下2件の工事の実績の例を示す。

適用事例①

民間工事：曲がり削孔式浸透固化処理工法の工事
適用工種：浸透固化処理工法

適用事例②

公共工事：清田区里塚地区市街地復旧工事
適用工種：浸透固化処理工， 高圧噴射攪拌工



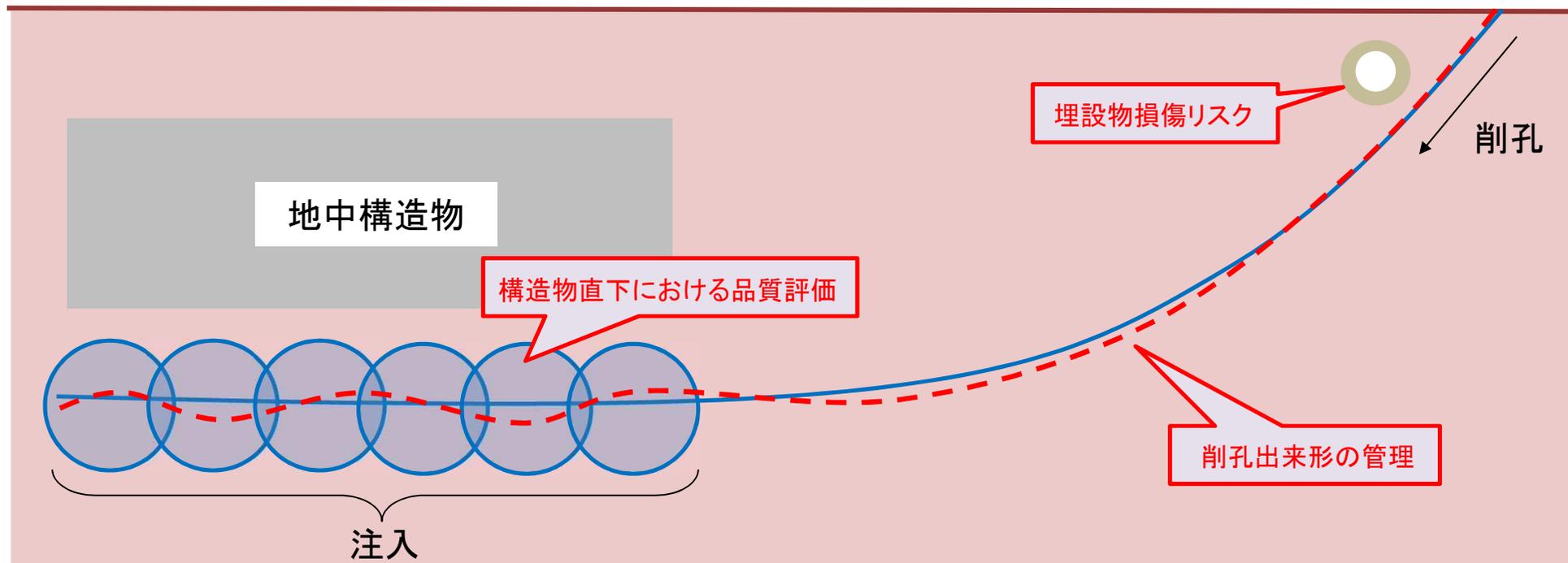
多様な地盤改良工種に対してGi-CIMを適用

4-1. 適用事例①

民間工事：曲がり削孔式浸透固化処理工法の地盤改良工事

施工管理上の課題

- A. 【埋設物損傷リスク】 削孔開始位置近傍に地下埋設物が存在し，干渉が懸念されるため、計画時の干渉チェックが必要とされる。
- B. 【削孔出来形の管理】 曲がり削孔では，削孔軌跡の高精度な管理が必要とされる。
- C. 【構造物直下における品質評価】 地中構造物直下の地盤改良となり，その品質評価が課題となる。



4-1. 適用事例①

【課題A：埋設物損傷リスク】

特徴①：Excelによる簡易な3Dモデリング

地盤改良工事の一連の工程の中でも、特に、**施工段階においてCIM**を積極的に活用することを想定し、簡易な操作による3Dモデリングシステムを開発した。現場事務所において、職員が専門的なCIMの知識を必要とせず、**日常的な施工管理と同等の作業負荷で3Dモデルを作成することが可能。**

Excelへの入力イメージ

No.	別名称	改良体名称	配置タイプ (層別)	改良体位置			形状タイプ	直径	高さ	区間長	単位	注入手法						
No.	別名称	改良体名称	配置タイプ (層別)	中心位置	中心位置	中心位置	形状タイプ	直径	高さ	区間長	単位	注入手法						
1	51	51-1	終端からオフセット															
2	52	52-1	終端からオフセット															
3	53	53-1	終端からオフセット															
4	54	54-1	終端からオフセット															
5	55	55-1	終端からオフセット	0.430			球	2.82	1									
6	55	55-2	一つ手前からオフセット															
7	56	56-1	一つ手前からオフセット															
8	56	56-2	一つ手前からオフセット															
9	57	57-1	終端からオフセット															
10	58	58-1	終端からオフセット	0.430			球	2.82	1									
11	58	58-2	一つ手前からオフセット															
12	59	59-1	終端からオフセット	0.430			球	2.82	1									
13	59	59-2	一つ手前からオフセット															
14	510	510-1	終端からオフセット	0.430			球	2.82	1									

設計・施工情報
入力

注入モデル

CLICK

改良体名称・形状
位置・大きさを指定

施工管理項目
品質管理項目

地中の改良範囲のイメージ

設計PGM改良体

設計削孔ライン

曲がり削孔式浸透固化処理工法により
地中構造物の直下を地盤改良

Gi-CIMによる3Dモデリング操作のイメージ⁴⁾

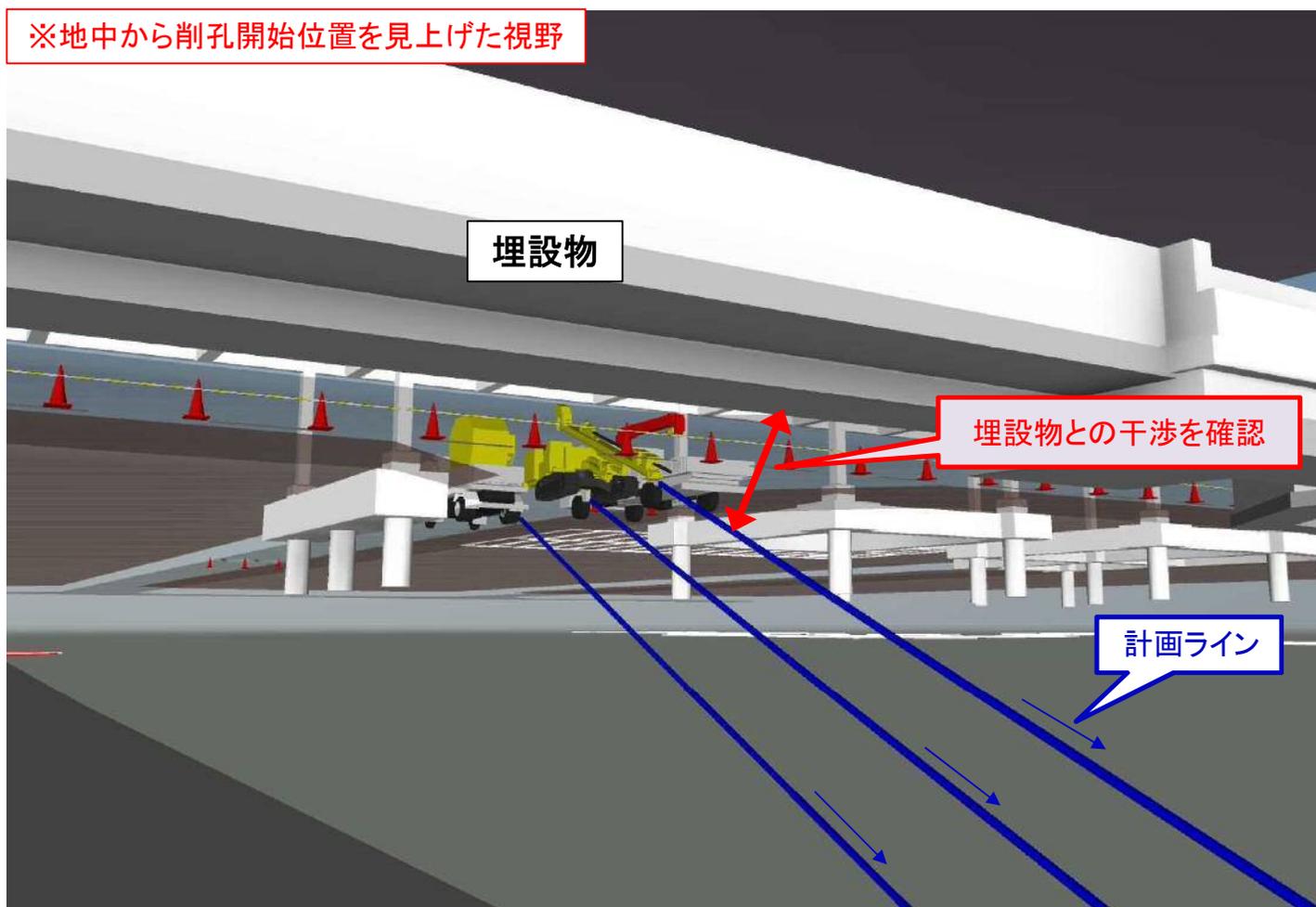
4) 曲がりボーリングを用いた地盤改良工事に対するBIM/CIMの適用事例, 第55回地盤工学研究発表会, 2020.

4-1. 適用事例①

【課題A：埋設物損傷リスク】

Solution A CIMを用いたフロントローディング

地下埋設物の情報を3Dモデルに統合し、3Dモデル上で、削孔ラインと埋設物の干渉チェックを実施した。埋設物損傷リスクが高い削孔ラインについては簡易なモデリング作業により3次元的な削孔計画を変更することで、施工前に危険個所を把握することが可能となった。



4-1. 適用事例①

【課題C：構造物直下における品質評価】

特徴③：注入実績を忠実に3Dモデリング & 事後調査結果と統合

施工実績を基に注入位置を，浸透注入の改良原理を基に改良径を高精度に3Dモデル化することが可能。1D・2D・3Dの事後調査結果を統合することで，推定した改良体出来形の適合性を立体的に評価することが可能。

改良体の体積V

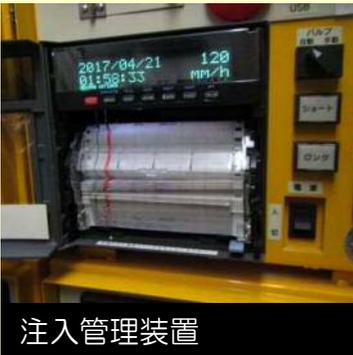
$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^3$$



薬液注入量Q

$$Q = \frac{n}{100} \frac{\alpha}{100} V$$

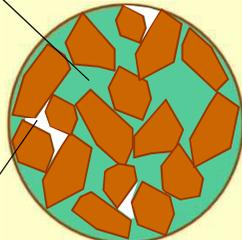
Q：実測値



注入管理装置

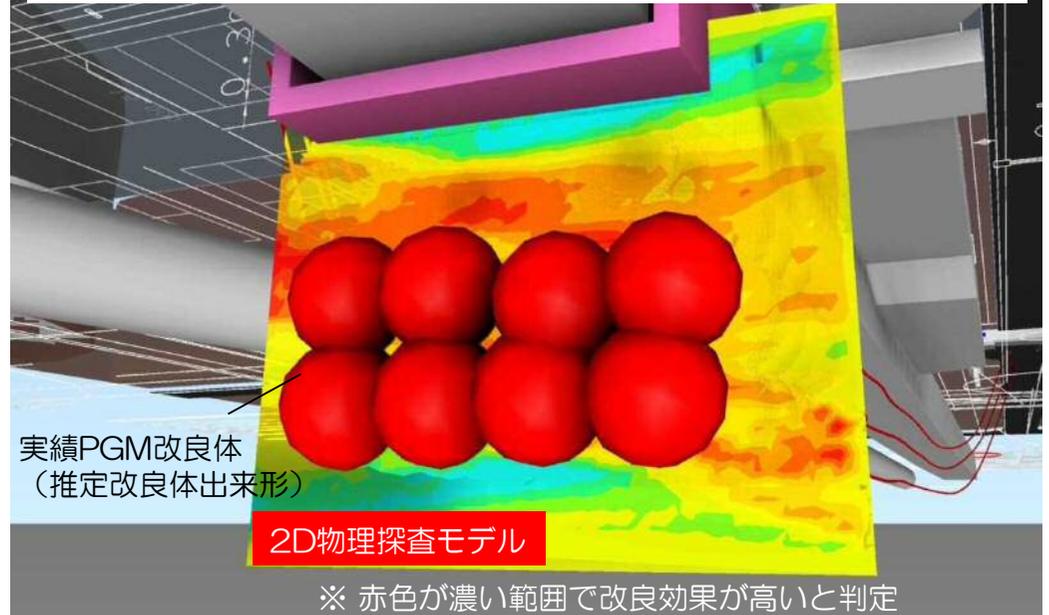
改良原理

間隙を薬液で置換
間隙率n：設計値



浸透できない間隙
充填率α：設計値

Solution C 物理探査モデルの統合による品質評価



実績PGM改良体 (推定改良体出来形)

2D物理探査モデル

※ 赤色が濃い範囲で改良効果が高いと判定

推定改良体出来形と音響トモグラフィ調査結果を統合したイメージ

Gi-CIMによる改良地盤の品質管理イメージ⁴⁾

4-2. 適用事例②

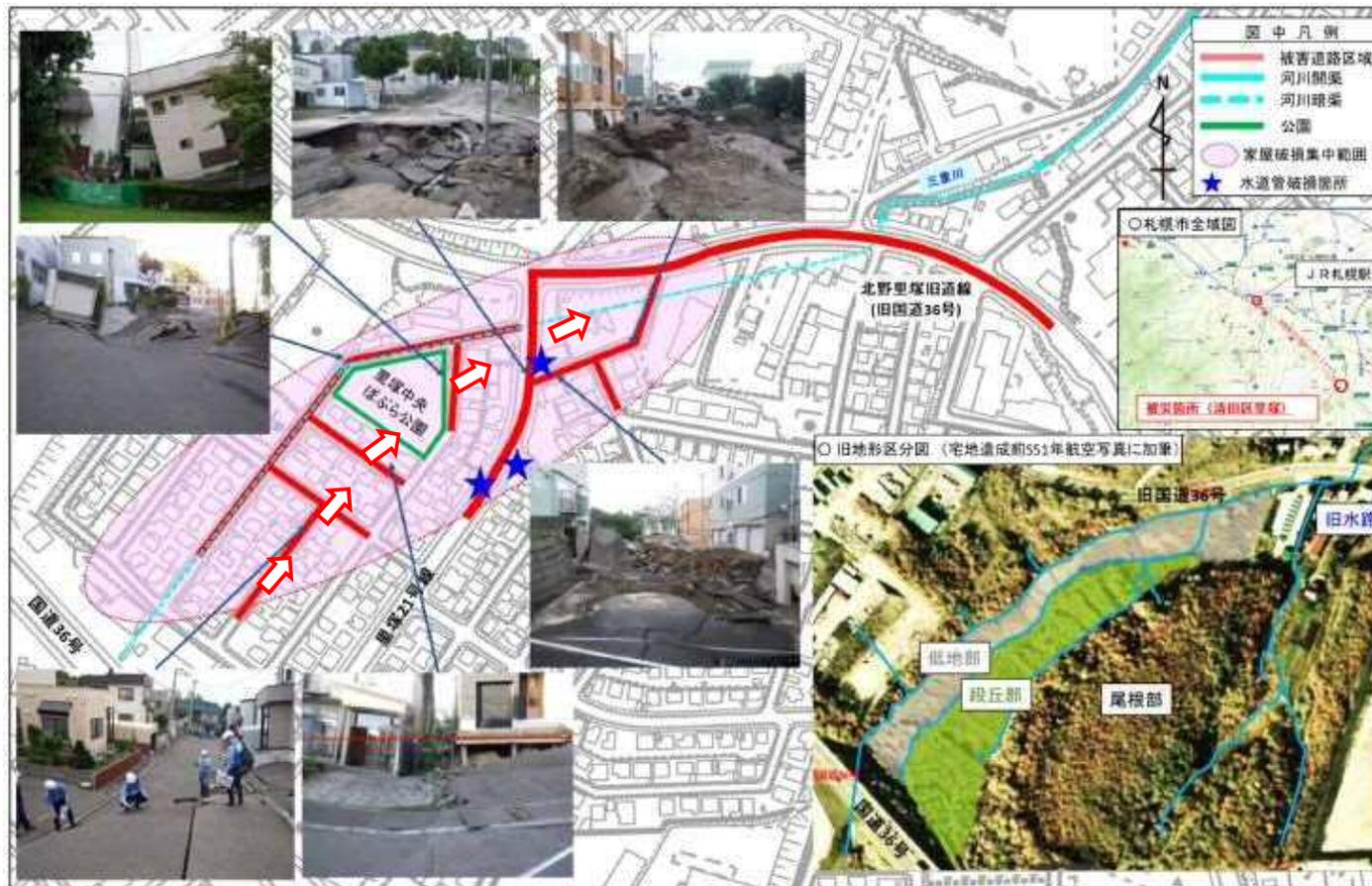
工事名：清田区里塚地区市街地復旧工事

工期：2019年4月5日～2020年11月30日

発注者：札幌市建設局土木部

目的：市街地の災害復旧のための地盤改良工事

全壊約40軒/140軒

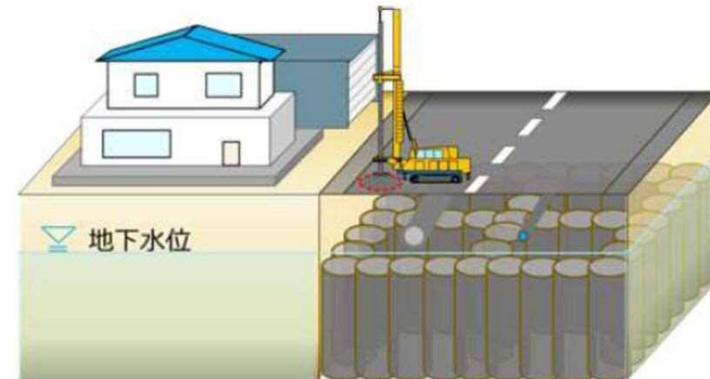


被害概要：液状化した盛土地盤が流動化し ⇨ ，インフラ施設や宅地で被害が発生⁵⁾

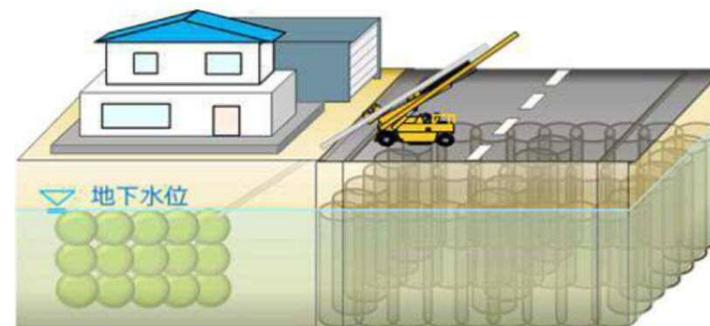
- 5) 北海道胆振東部地震における札幌市清田区里塚地区の市街地の復旧について、
地盤工学会北海道支部技術報告集 第60号, 2020.

4-2. 適用事例②

対策工法：薬液注入工（浸透固化処理工法）；改良土量 51,069 m³
 深層混合処理工（MEGAジェット工法）；改良体 963本
 排水構造物工；一式



【道路部：深層混合処理工（高圧噴射攪拌）】



【宅地部：薬液注入工】

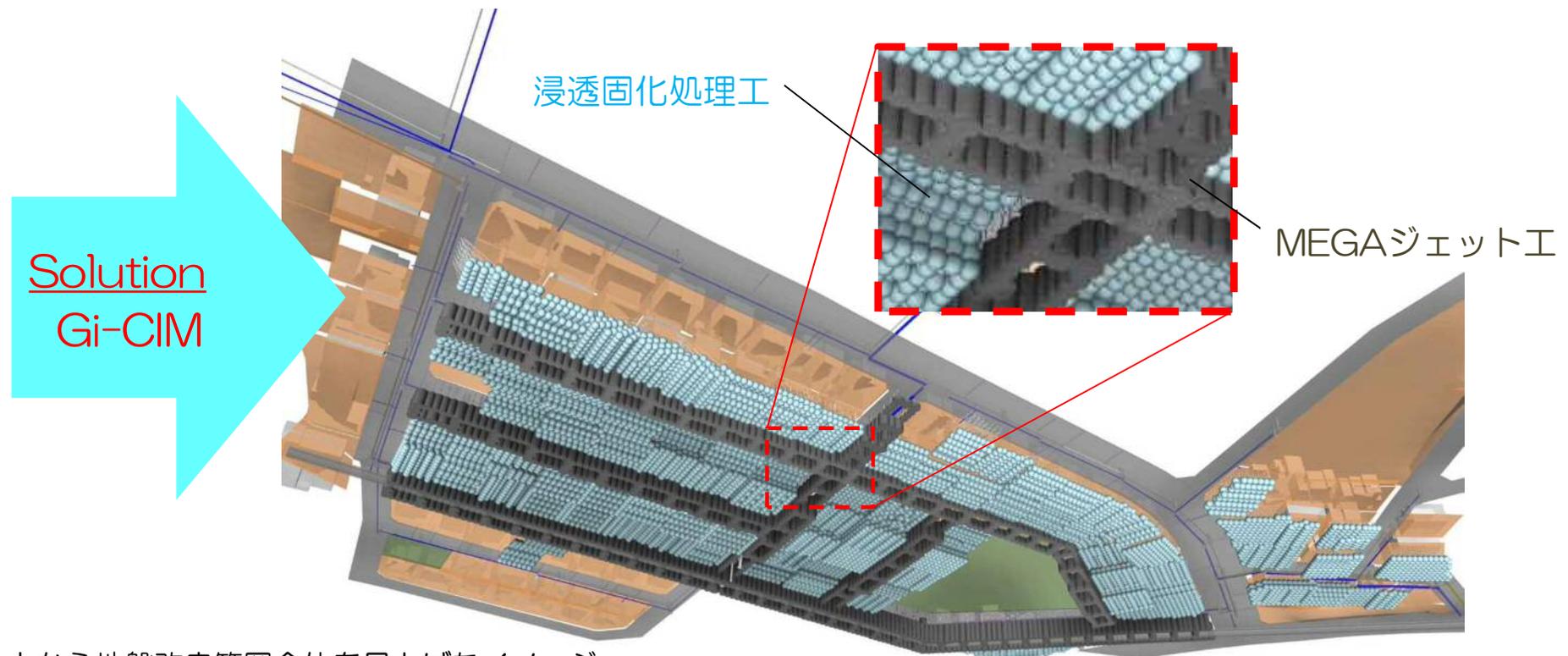
対策工法の適用箇所⁶⁾

6) 札幌市清田区里塚地区における再度災害防止対策, 第55回地盤工学研究発表会, 2020.

4-2. 適用事例②

施工管理上の課題

- A. 【埋設物損傷リスク】 地下埋設物が多い市街地における地盤改良工事のため、高精度な削孔管理が求められる。
- B. 【地下水堰上げリスク】 地盤改良による地下水位の上昇を監視するため、地区全体の大局的な地下水位の管理が求められる。
- C. 【複雑・膨大な施工管理情報】 複数の地盤改良工が混在し、改良体積も多く、施工情報が複雑かつ膨大となるため、合理的な管理方法が求められる。



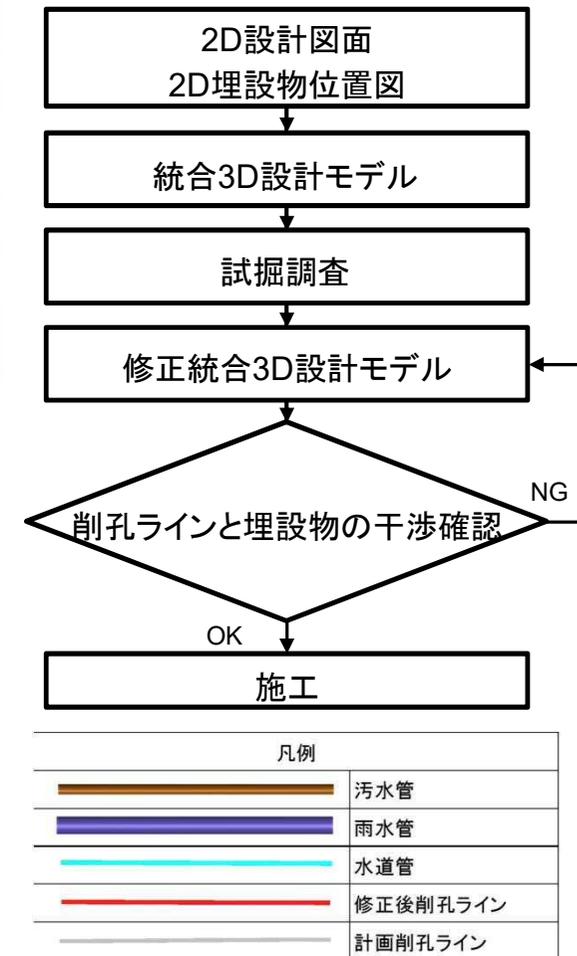
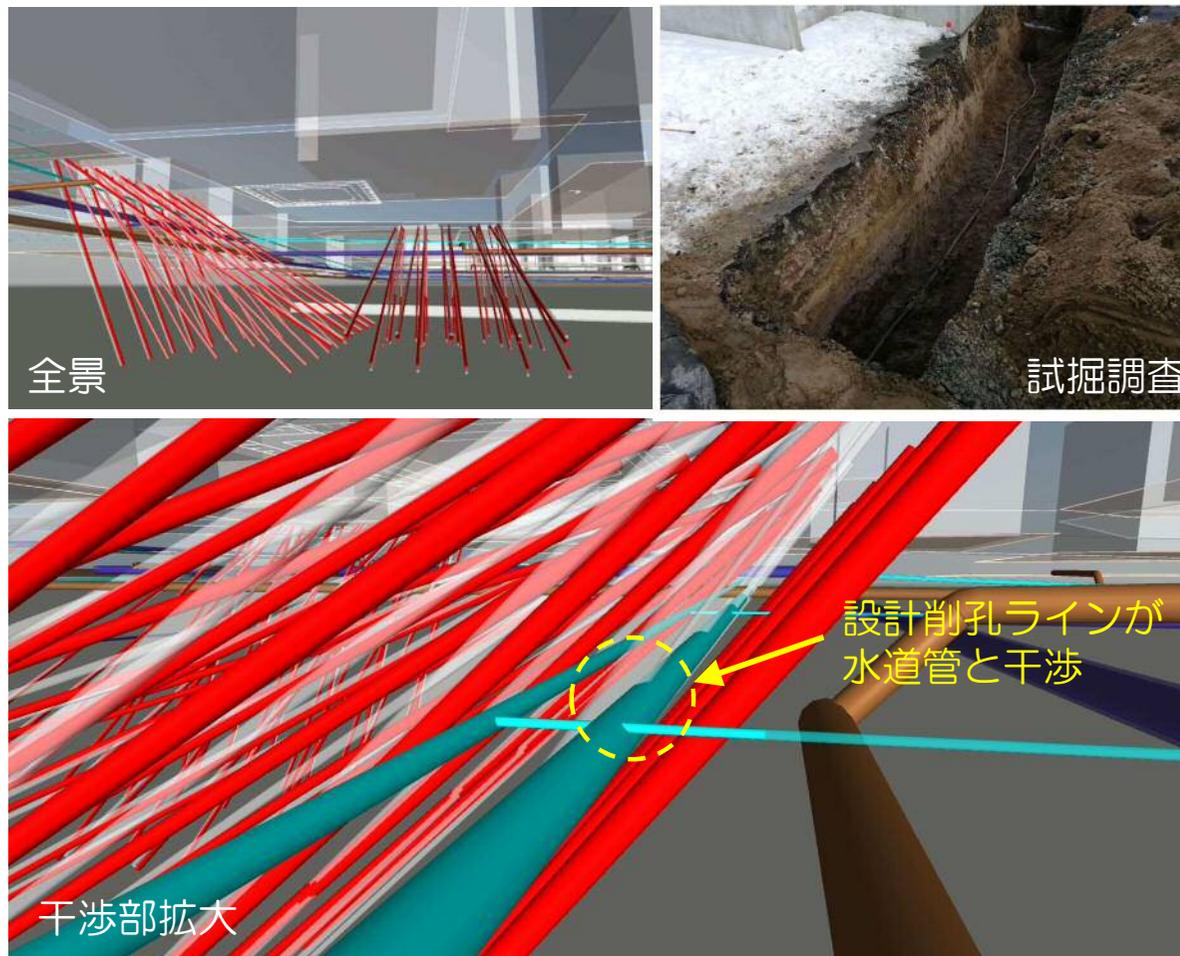
地中から地盤改良範囲全体を見上げたイメージ

4-2. 適用事例②

【課題A：埋設物損傷リスク】

Solution A-1. CIMを用いたフロントローディング

試掘調査の結果を3Dモデルに統合し、3Dモデル上で、削孔ラインと埋設物の干渉チェックを実施した。埋設物損傷リスクが高い削孔ラインについては削孔計画を変更することで、施工前に危険個所を把握することが可能となった。



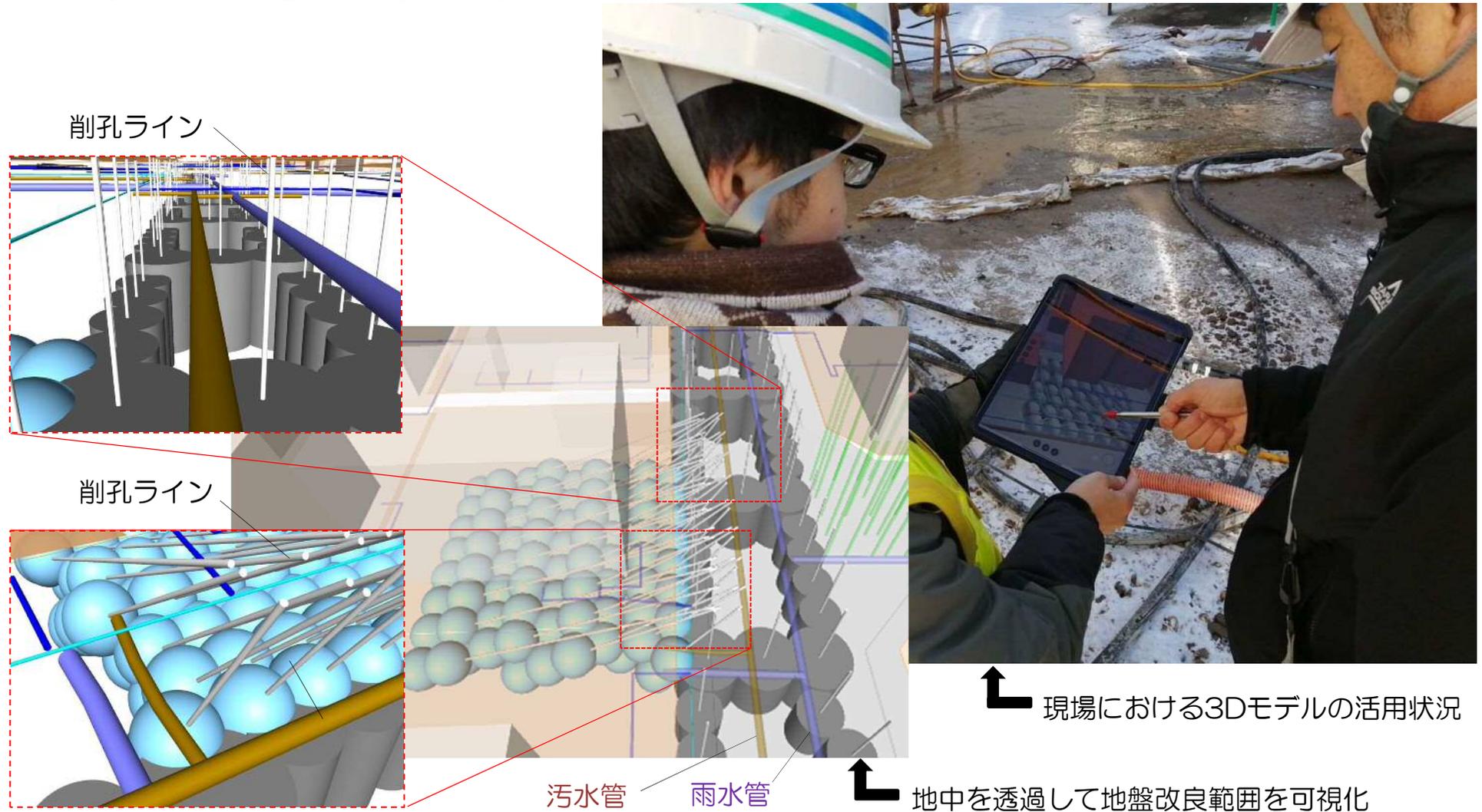
削孔ラインと埋設部との干渉チェック

4-2. 適用事例②

【課題A：埋設物損傷リスク】

Solution A-2. CIMを用いたオペレーターとの情報共有

3Dモデルをi-Padで現場に持ち出し、関係者と情報共有した。危険箇所近傍の削孔にあたっては、3Dモデルを用いてリスクをオペレータに明示・周知することで、安全性の向上に努めた。

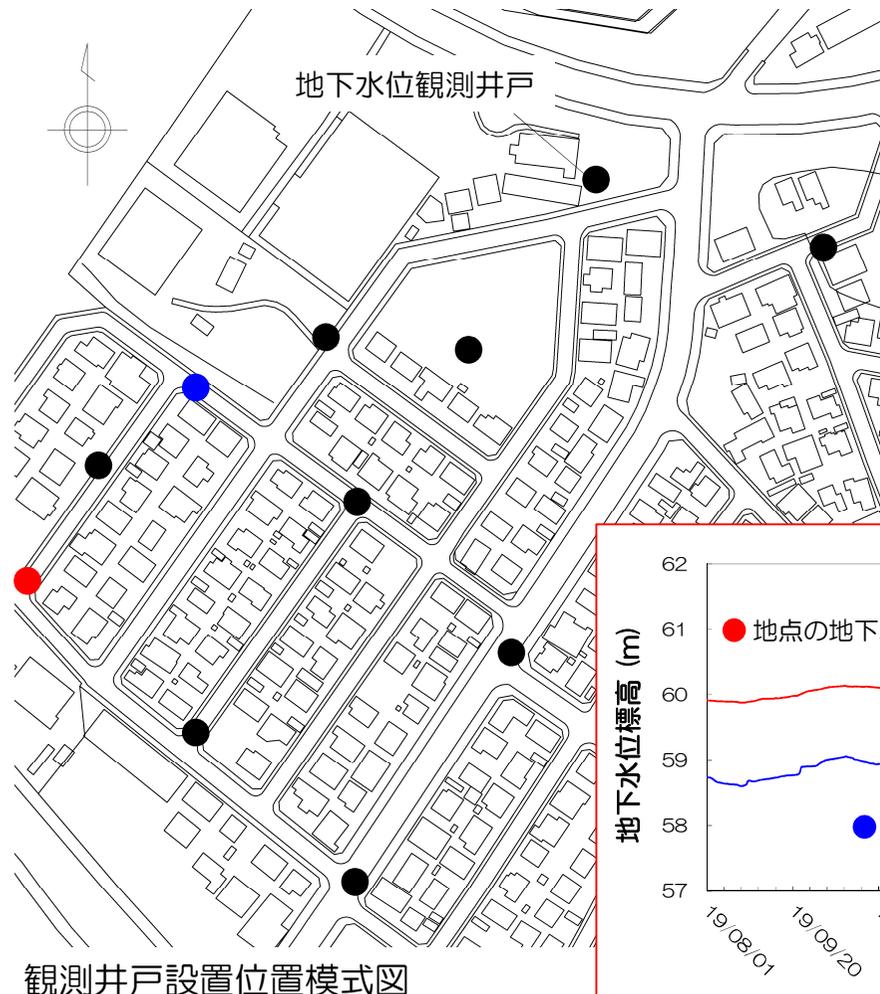


4-2. 適用事例②

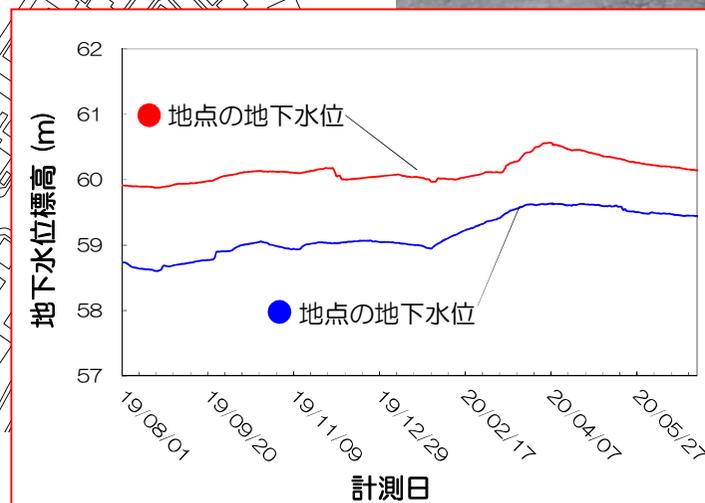
【課題B：地下水堰上げリスク】

Solution B-1. CIMを用いた大局的な地下水位動態の把握

地盤改良の進捗に伴う地下水水位の変動をCIMで管理した。観測井戸で計測したローカルな地下水水位の経時変化を3Dモデルに統合し、地区全体の大局的な地下水水位流動を可視化することで、状況の変化を迅速に把握することが可能となった。



地下水水位計測状況



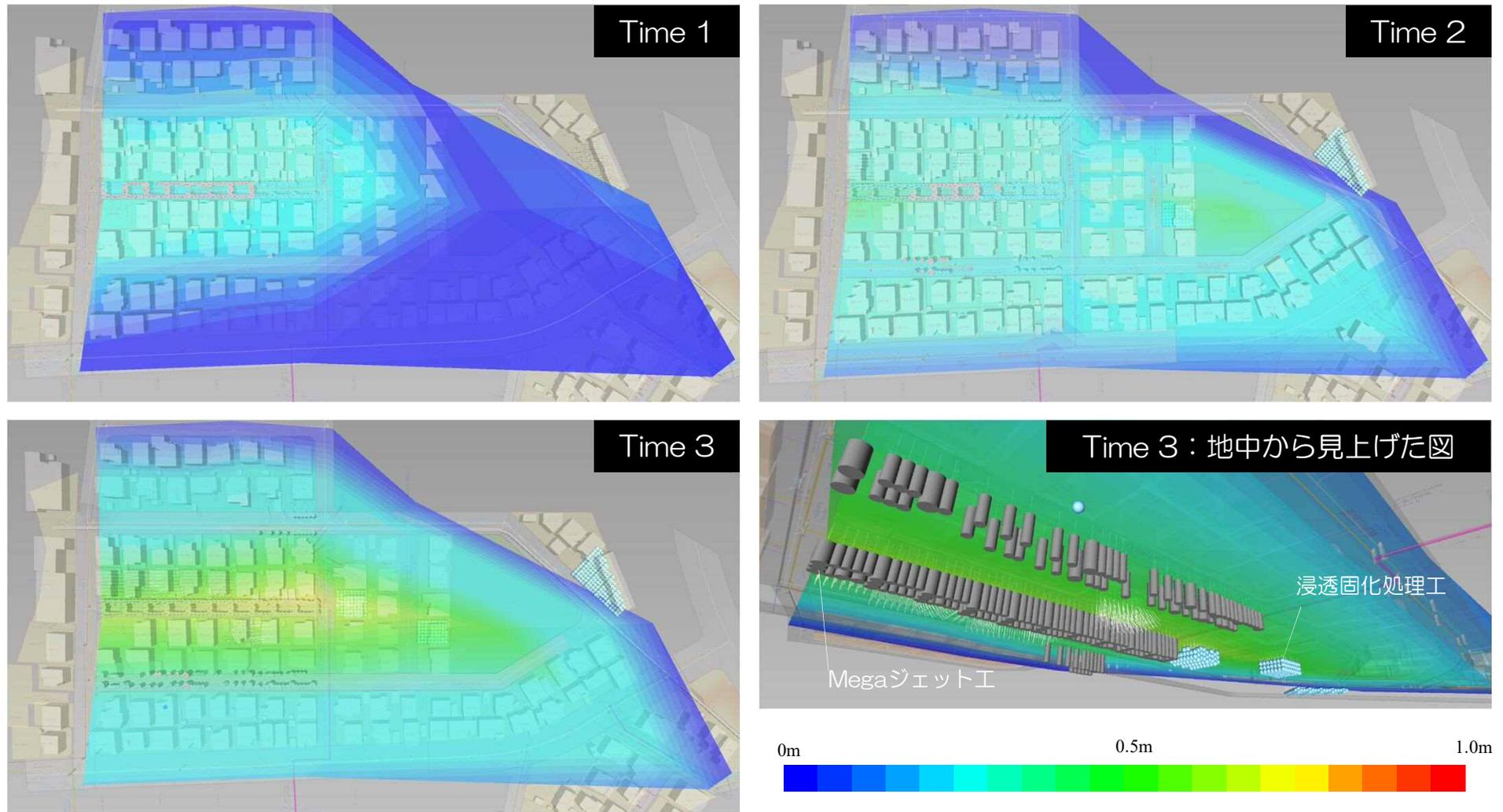
一般的な地下水水位の管理方法

4-2. 適用事例②

【課題B：地下水堰上げリスク】

Solution B-2. CIMによる合意形成の迅速化

発注者との協議において、**現況イメージの共有確度が向上**し、合意形成までの時間を短縮することが可能となった。



地区全体の地下水位の変化

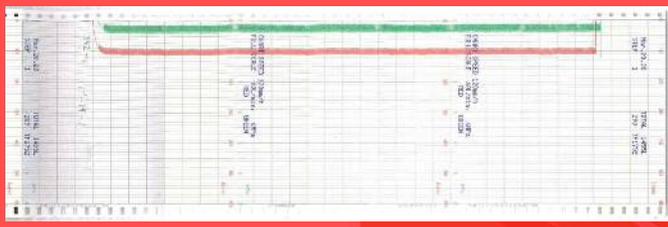
4-2. 適用事例②

【課題C：複雑・膨大な施工管理情報】

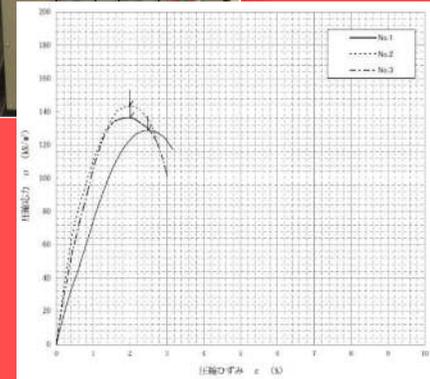
Solution C-1. CIMによる多層的な施工情報管理

複数の工種が混在し、宅地・路線毎に改良仕様が異なる複雑で膨大な量の施工管理情報を3Dモデル上でスマートに一元管理することが可能となった。

薬液注入協会認定チャート紙

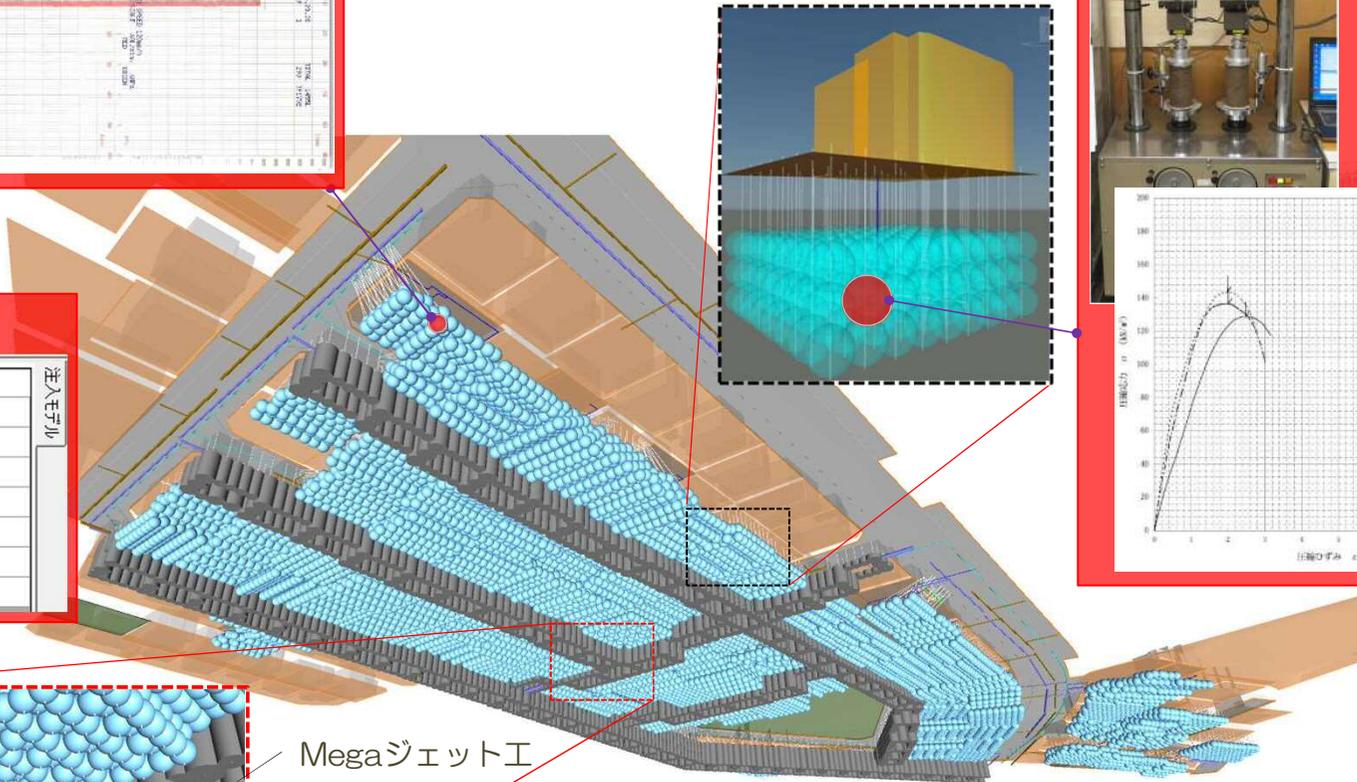


一軸圧縮試験の記録



浸透固化改良体の属性

プロパティ	値	注入モデル
改良体名称	342-293-E-7-1	
削孔名称	342-293-E-7	
実績位置X	-64801.989	
実績位置Y	-112084.063	
実績位置Z	52.237	
達成日時	2019/10/14	
注入量	1455.000	



Megaジェット工

浸透固化処理工

3Dモデルに各種施工情報を紐づけて管理
⇒ 施工管理情報へのアクセスが容易に

4. 現場適用事例の紹介【課題：複雑・膨大な施工管理情報】

Solution C-2. Gi-CIMによるCIM運用の省力化

里塚地区市街地復旧工事の施工管理において、浸透固化処理工では**5632本の削孔ライン**と**12468個の改良体**を、Megaジェット工では**963本の改良柱**をGi-CIMにより管理した。当社が独自に算出した作業工数比較によると、CIMモデラーが地盤改良モデルを手作業で3D化した場合と比較し、**Gi-CIMを使用することで90%以上の作業時間の削減**が可能となることを確認した。

施工管理においてGi-CIMで管理した主要なモデルの数量総括表

工種	浸透固化		Megaジェット	動態観測	事後調査（一軸圧縮試験）	
	直・斜削孔	改良体（球）	改良体（柱）	地下水位	浸透固化	Megaジェット
数量	5632 本	12468 個	963 本	12地点 × 13か月	21地点	12地点
入力情報	削孔起点座標	注入中心座標	改良体天端 中心座標	観測井戸 位置情報	試験位置情報	試験位置情報
	削孔角度					
	削孔長	改良径	改良径 改良長	動態観測 数値データ	帳票・写真 のリンク	帳票・写真 のリンク

CIMモデラーとGi-CIMによる作業効率の比較

作業方法	作業時間	
	浸透固化	Megaジェット
CIMモデラー	41.7 人工	3.0 人工
Gi-CIM	2.0 人工	0.5 人工
省力化率	94.4	

$$\text{省力化率} = \frac{T_{\text{CIMモデラー}} - T_{\text{Gi-CIM}}}{T_{\text{CIMモデラー}}}$$

- ※ 「座標」や「改良長」等の図化に必要な情報は設計3Dモデル作成時に取得済みという仮定。
- ※ 工数の試算は、Gi-CIMの共同開発者であるCTC社に協力を依頼。

5. まとめ

地盤改良工事に関するあらゆる情報を統合・可視化するためのシステムGi-CIMを開発した。Gi-CIMでは、実績の削孔軌跡や改良体出来形を高精度に管理することが可能で、これまでに10件（14工種）の地盤改良工事においてGi-CIMを適用した。Gi-CIM導入効果は以下のとおりである。

Gi-CIMを用いた削孔管理

- ①フロントローディングによる危険個所の把握
- ②視覚的な削孔精度管理
- ③i-Padによる3Dモデル管理と削孔オペレータとの情報共有

Gi-CIMを用いた施工実績と調査結果の統合・評価

- ④物理探査モデルとの統合による高度な品質評価
- ⑤地下水位計測などの動態観測結果の4D分析
- ⑥発注者との現況イメージの共有確度向上と合意形成の迅速化

Gi-CIMを用いた施工情報の統合管理

- ⑦複雑・膨大な施工情報を一元管理
- ⑧施工情報のモデリング作業時間を90%以上削減