

# 戸田建設の進める シールド技術



- 令和6年度 トンネル技術委員会技術講演会
  - 戸田建設株式会社土木工事部 和田洋一
- [youichi.wada@toda.co.jp](mailto:youichi.wada@toda.co.jp)

# CONTENTS

1. シールド機の自動測量
2. シールド機の姿勢制御
3. シールド掘進の自動化
4. 掘削土量のリアルタイム計測
5. 掘進停止中の裏込め圧の保持
6. 掘進状況の見える化
7. 大断面・自由断面形状の地下空間の構築
8. 今後の取り組み

# 1. シールド機の自動測量

～MWMSマームシステム<sup>®</sup>～

# シールド機の自動連続測量システム ～MWMSマームシステム<sup>®</sup>～

小口径シールドに対応

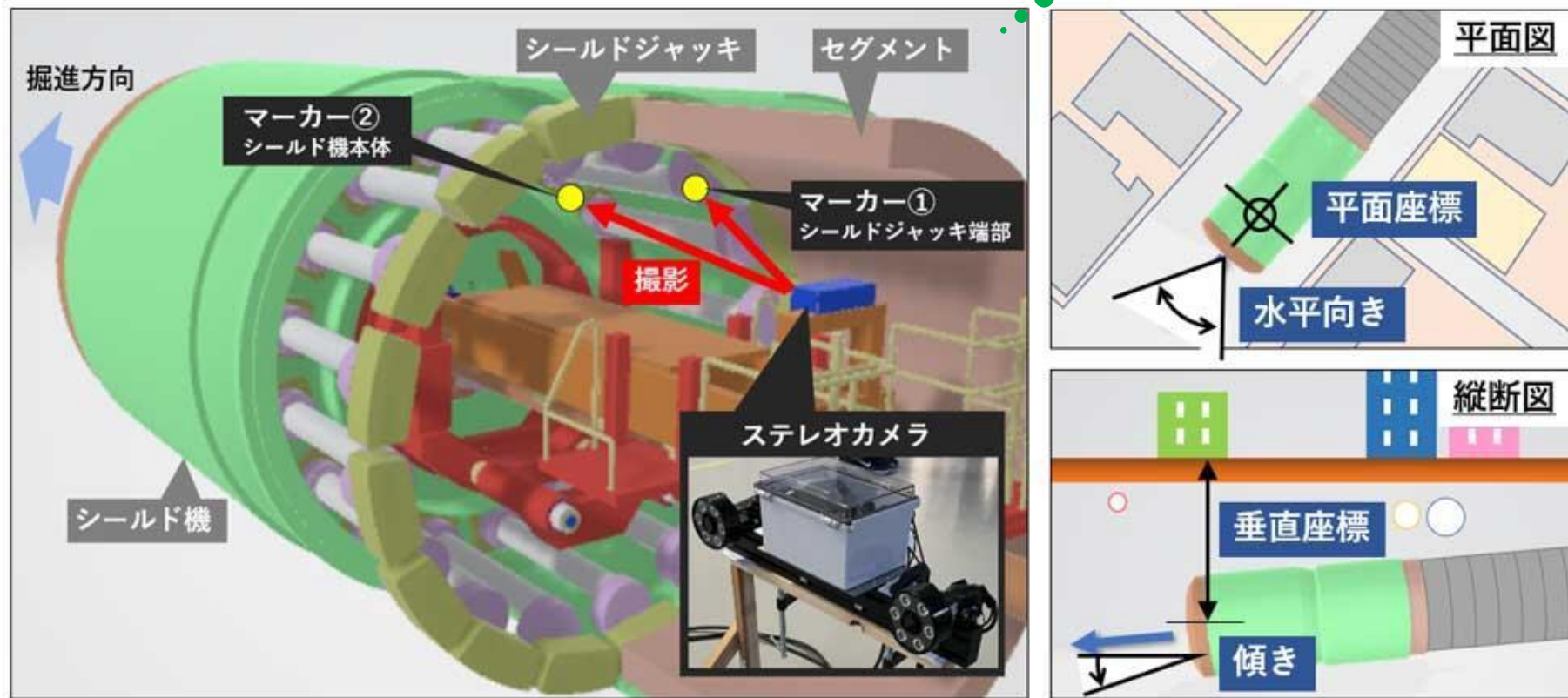


図1-1 本システムの概要

(左：機内計測イメージ、右：シールド機の位置と姿勢の情報)

## 自動測量の手順 (1)

マーカー①を掘進中の仮の不動点とみなして  
測量の基準点とし、掘進とともに測量を開始

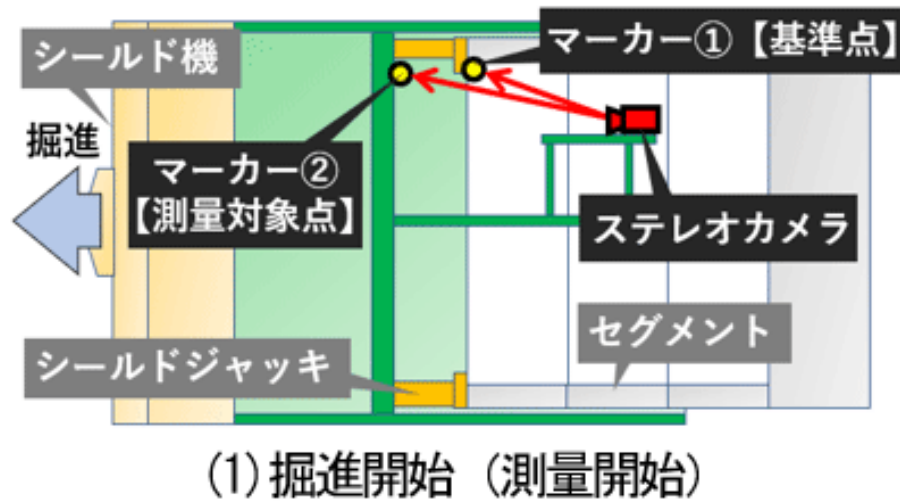


図1-2 自動測量の手順 (1)

カメラ撮影と画像処理により移動するマーカー②の位置を連続的に捕捉

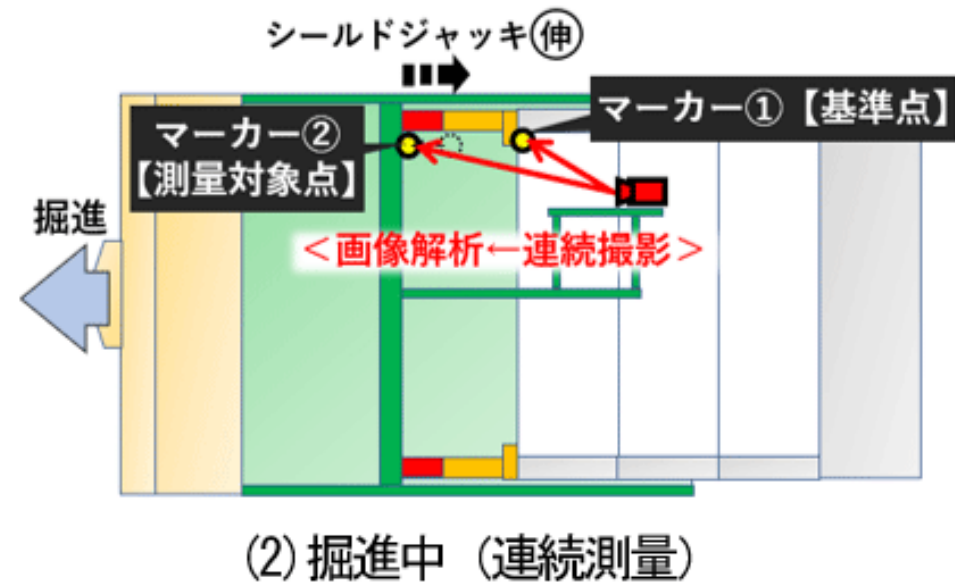
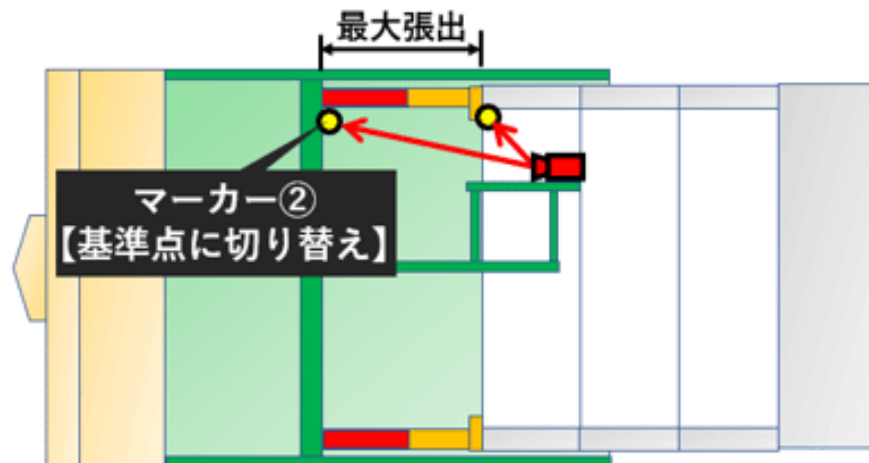


図1-3 自動測量の手順 (2)

## 自動測量の手順（2）

マーカー②をセグメント組立中の不動点とみなしシールドジャッキを縮める前に基準点をマーカー②に切り替え

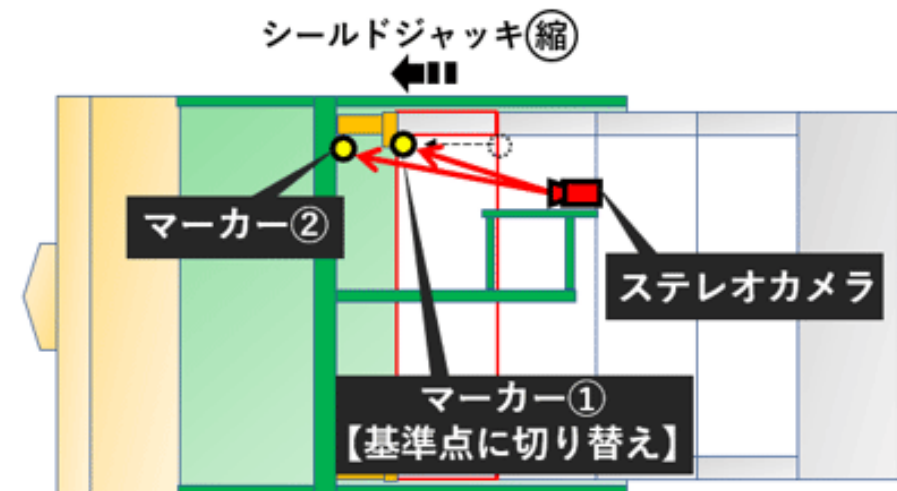


(3) 掘進終了（測量完了）

図1-4 自動測量の手順（3）

ジャッキ縮小とセグメント組立後、シールドジャッキをセグメントに密着

掘進準備が整ったら、測量してマーカー①の位置を確認し、基準点を再び①に切り替え



(4) セグメント組立（ジャッキ縮小時）

図1-5 自動測量の手順（4）

## 2. シールド機の姿勢制御

～Best Fit Jack<sup>®</sup>～

## シールド機の自動姿勢制御システム ～BEST FIT JACK®～

Best Fit Jack



シールドジャッキの圧力を個々に自動調節してシールド機の方  
向を制御するシステム

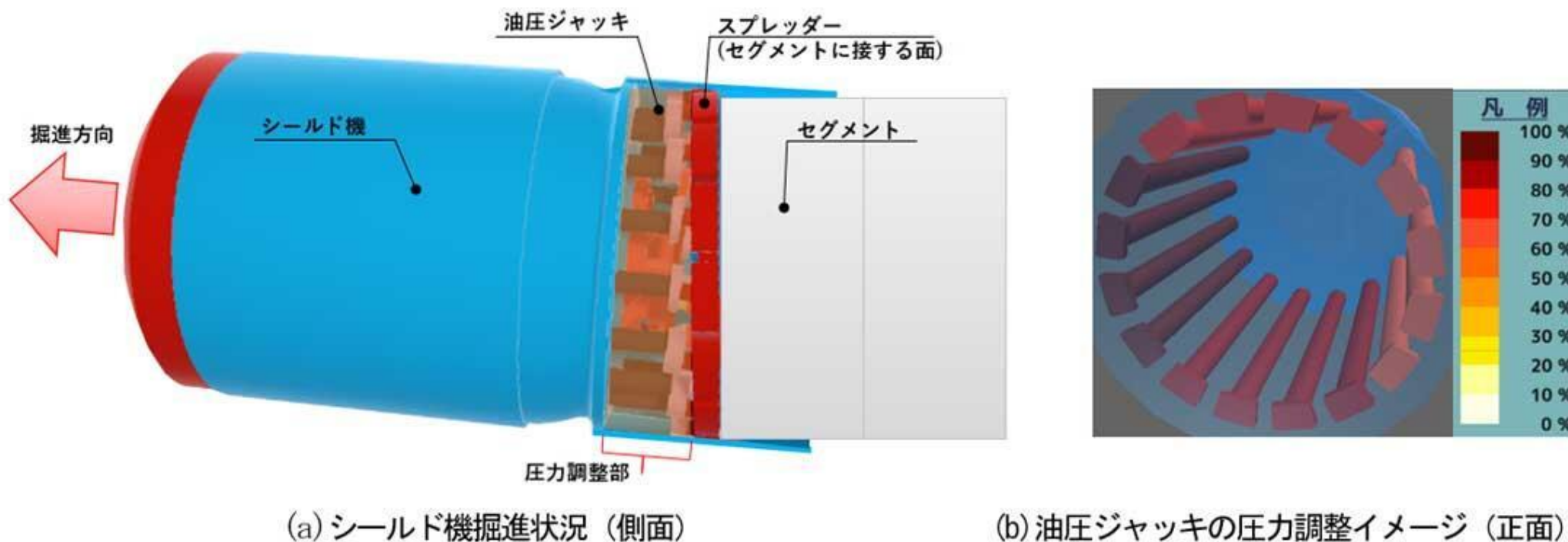


図2-1 圧力調整によるシールド機方向・姿勢制御イメージ



## 本システムの概要

- 全ジャッキを使用した圧力制御でセグメントへの負荷を分散
- AIによるジャッキ操作の自動運転で安定した線形管理が可能
- AIによりシールド機を計画路線に近付けるよう自動調節
- 油圧ジャッキの圧力を1本単位や複数本のブロックで調節



- ◆ トンネルの品質向上
- ◆ 人為的なミス防止
- ◆ 地盤やセグメントへの影響を軽減
- ◆ 導入コストの低減

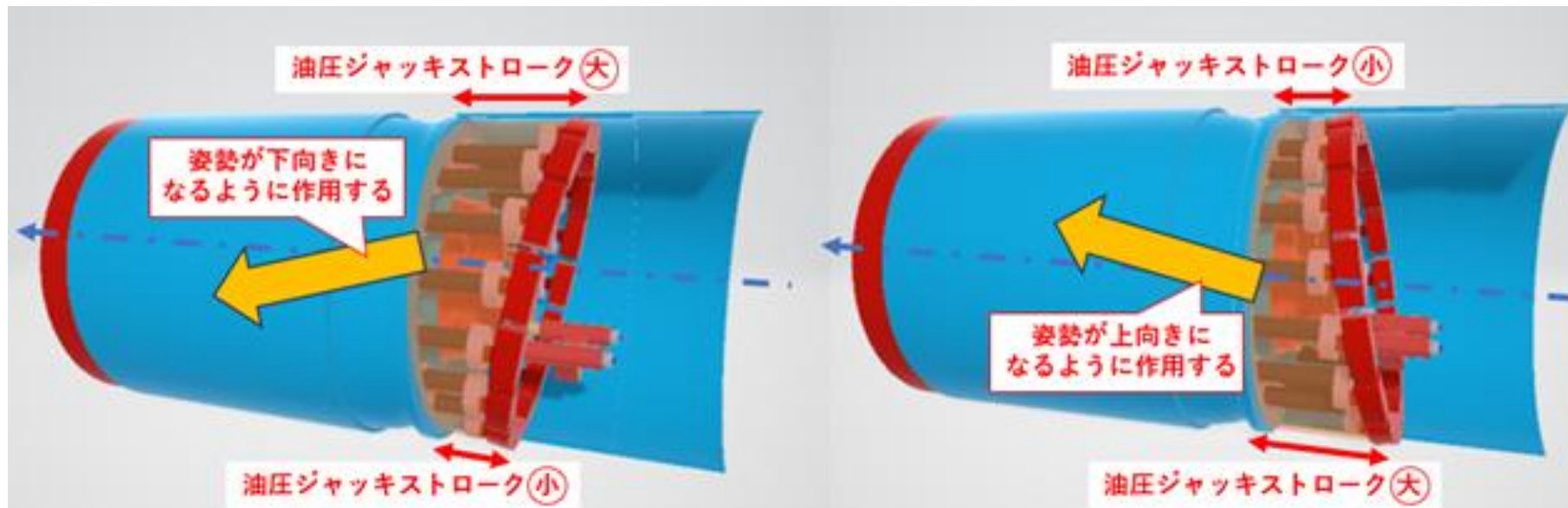


図2-2 油圧ジャッキによるシールド機の姿勢制御概要

## 現場での実証試験

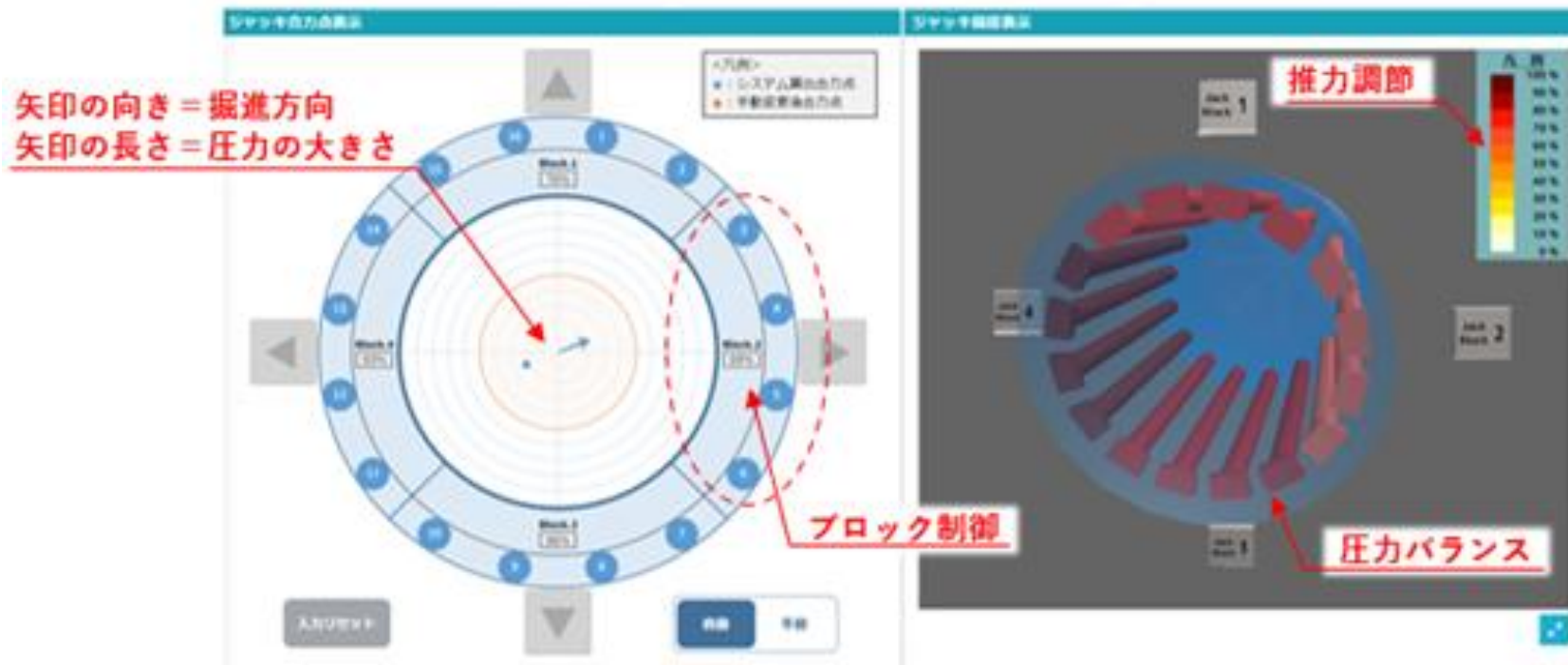


図2-3 本システムによるシールド機方向・姿勢制御イメージ

自動姿勢制御システムの実用性を確認

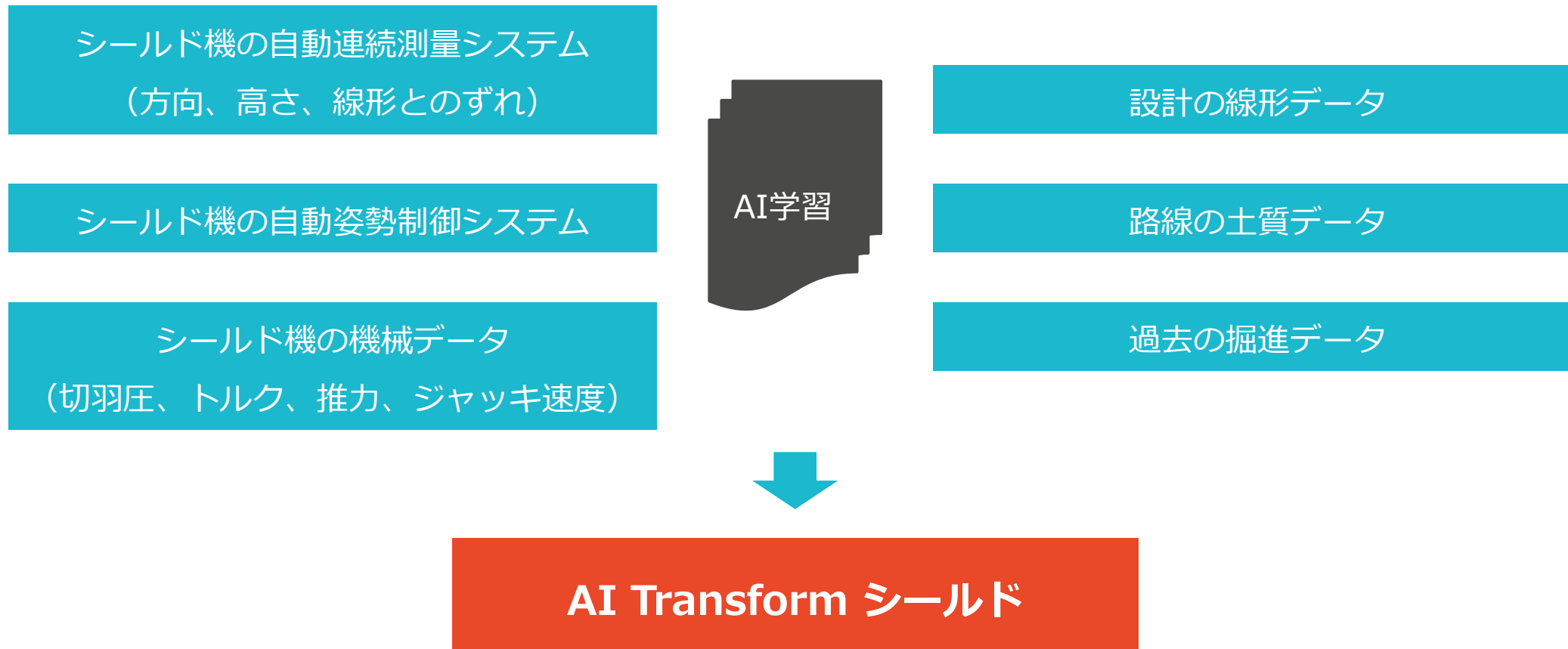


シールド機の自動運転に向けて展開

# 3. シールド掘進の自動化

～AI Transform シールド®～

## シールド自動運転システム ～AI TRANSFORM シールド®～



## 本システムの概要

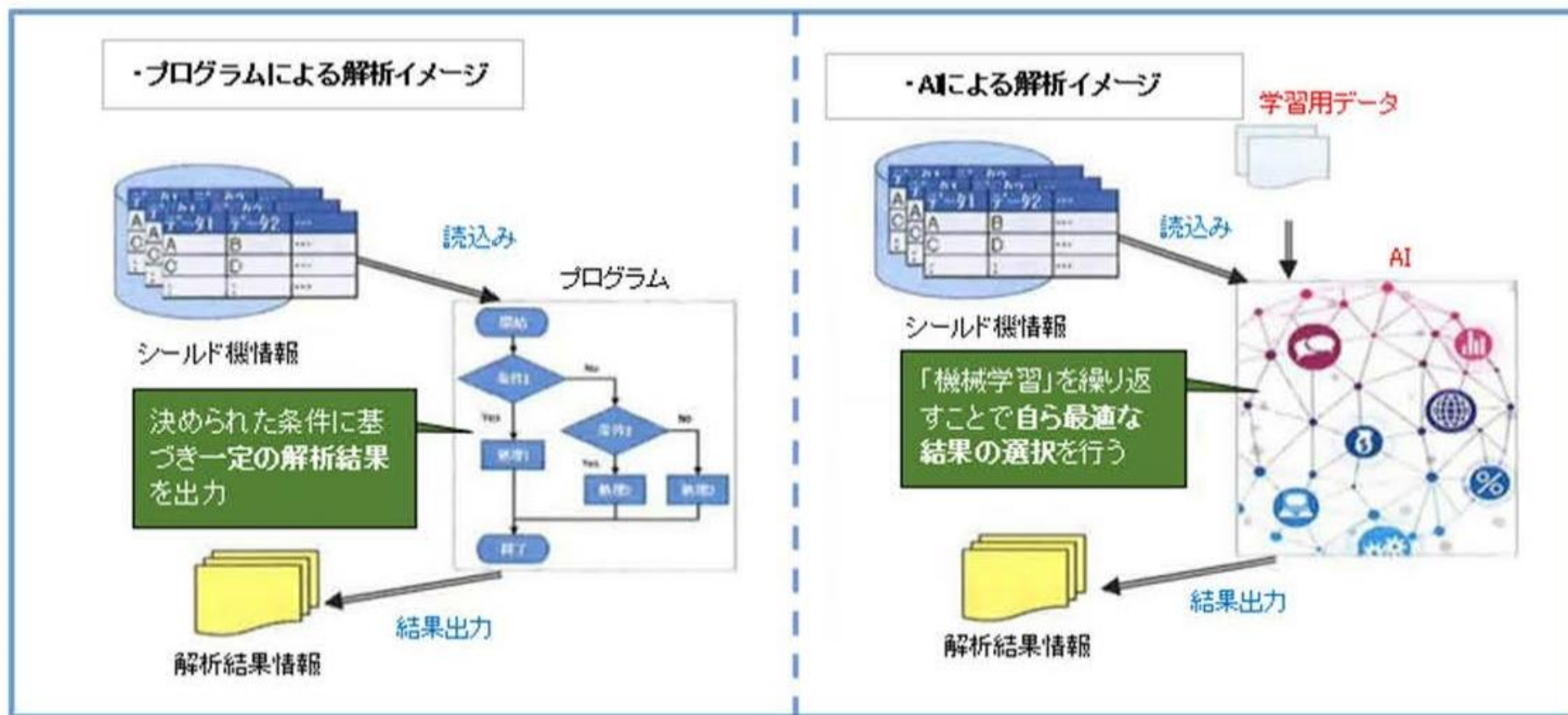


図3-1 シールド機データの解析イメージ

## 本システムの特徴

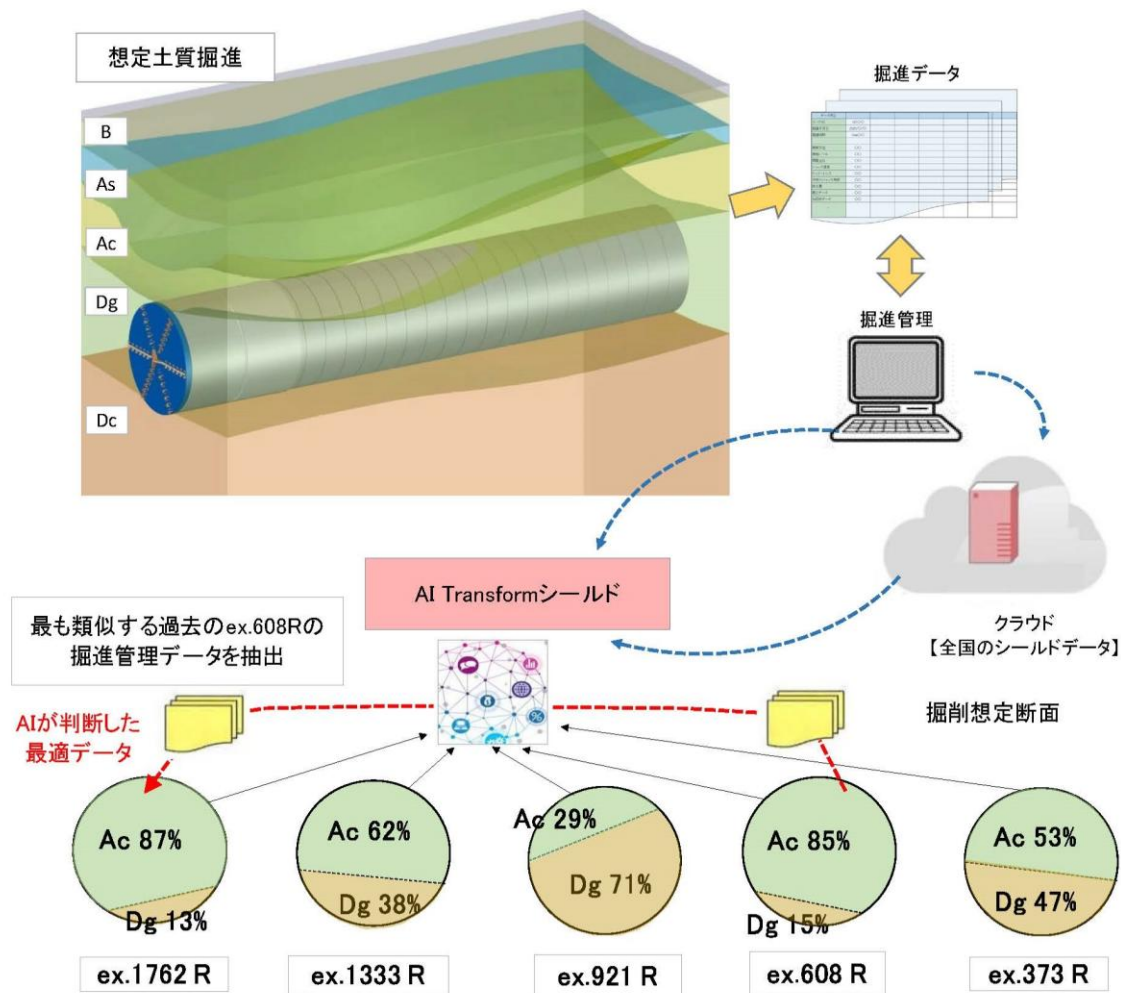


図3-2 土質を基にしたAI Transformシールド

① 想定地質断面をAIが判断して、距離、測量データ、機械データ等を教師データとして蓄積。

② 掘進とデータ集積を続け、掘削断面が過去の事例と同じとAIが判断すると、過去のデータを検索し、順調に掘進していた時の切羽圧、トルク、ジャッキ速度等のデータを抽出。

③ 坑内自動測量データ、土質データ、および①のデータをもとにAIが判断し、基線に近づけるジャッキパターンを提示。

④ 施工中のシールド掘進データを一元管理し、これらを教師データとすることで更にAIが進化。

# 4. 掘削土量の リアルタイム計測

## 掘削土量リアルタイム計測システム

《泥土圧シールド》

計画掘削土量と実掘削土量に差が生じると  
埋設物に影響、地表面の沈下・隆起が発生



陥没事故を誘発

掘削土量の正確な計測・管理が極めて重要

《従来の方法》

掘削完了後にズリ鋼車の表面をレーザースキャナ  
で計測すると、掘削時と計測時との時間差が発生



3Dレーザースキャナでベルコン上の3D画像を作成



掘削土砂量を連続的、リアルタイムに計測管理が可能

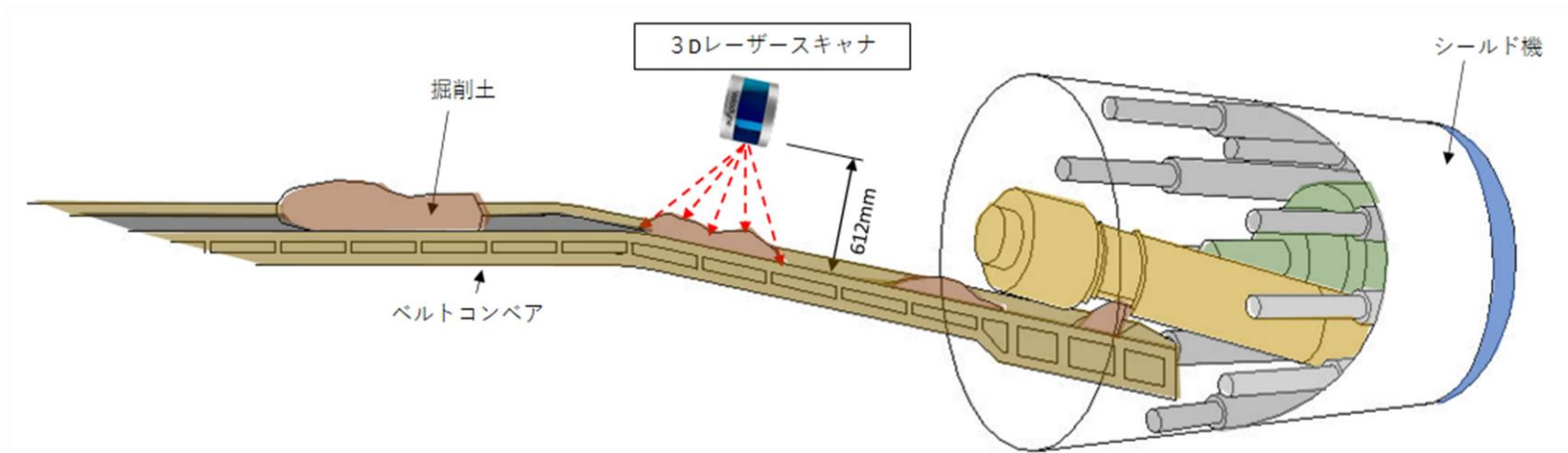
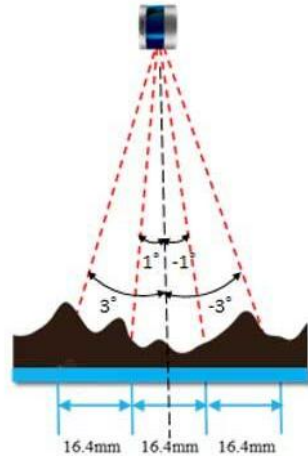


図4-1 3Dレーザースキャナを用いた掘削土量リアルタイム計測システム概要



## 本システムの特徴



[参考]

- ベルトコンベア速度  
約77m/min  $\div$  1.283m/sec
- 3Dレーザースキャナ  
回転数:20 回転/sec
- スキャナーと  
ベルトコンベアの距離 :612mm

図4-2 レーザーセンサー計測状況図

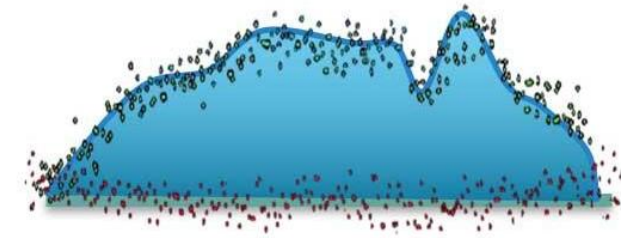


図4-3 一つのセンサー断面図



図4-4 室内実験状況

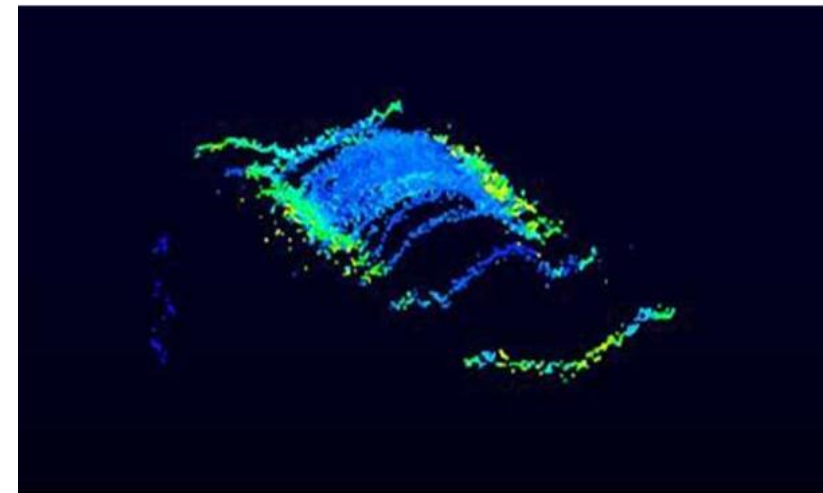


図4-5 3Dレーザースキャナ画像

## 現場での実証実験

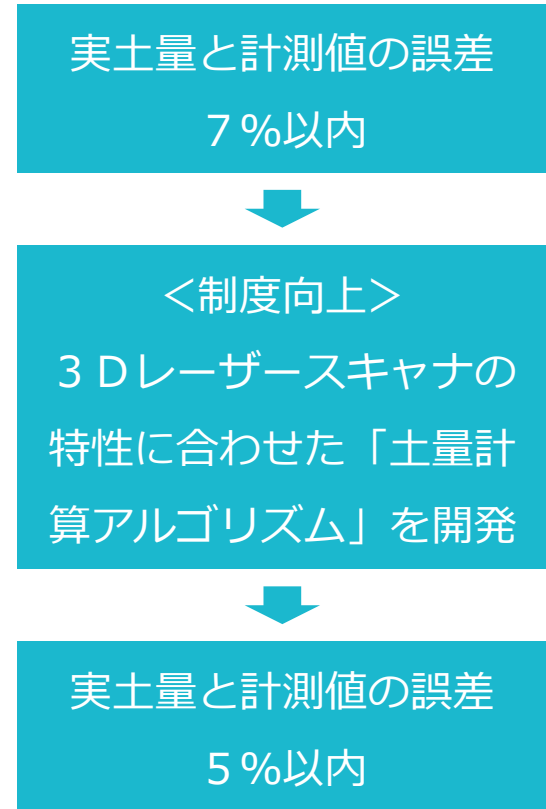


図4-6 3Dレーザースキャナを用いた掘削土量リアルタイム計測管理画面

# 5. 掘進停止中の 裏込め圧の保持

～ReBackシステム<sup>®</sup>～

## 掘進停止時裏込め圧保持システム ～ReBack システム®～

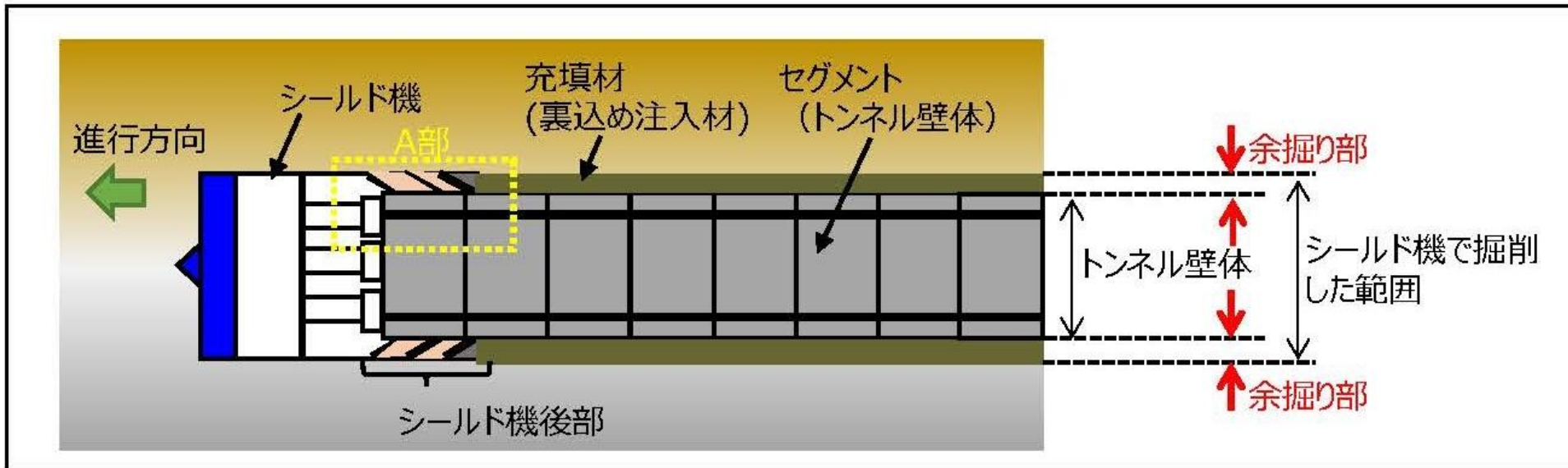


図5-1 シールドトンネル断面図

## 本システムの特徴

- ◆ 加圧保持装置と複数の同時裏込め注入管から構成
- ◆ 複数の注入管により加圧注入と洗浄を交互に実施
- ◆ 余掘り部の裏込め注入材の圧力を自動注入により適正な範囲内で調整
- ◆ 既に注入された余掘り部の裏込め注入材は追加注入により加圧保持
- ◆ 裏込め注入材が十分な強度を発現するまで裏込め層を保持
- ◆ 地盤の変状や周辺構造物への影響を最小限に
- ◆ 併設トンネルの場合、後行トンネルの裏込め圧を保持することで、先行トンネルへの影響を減少

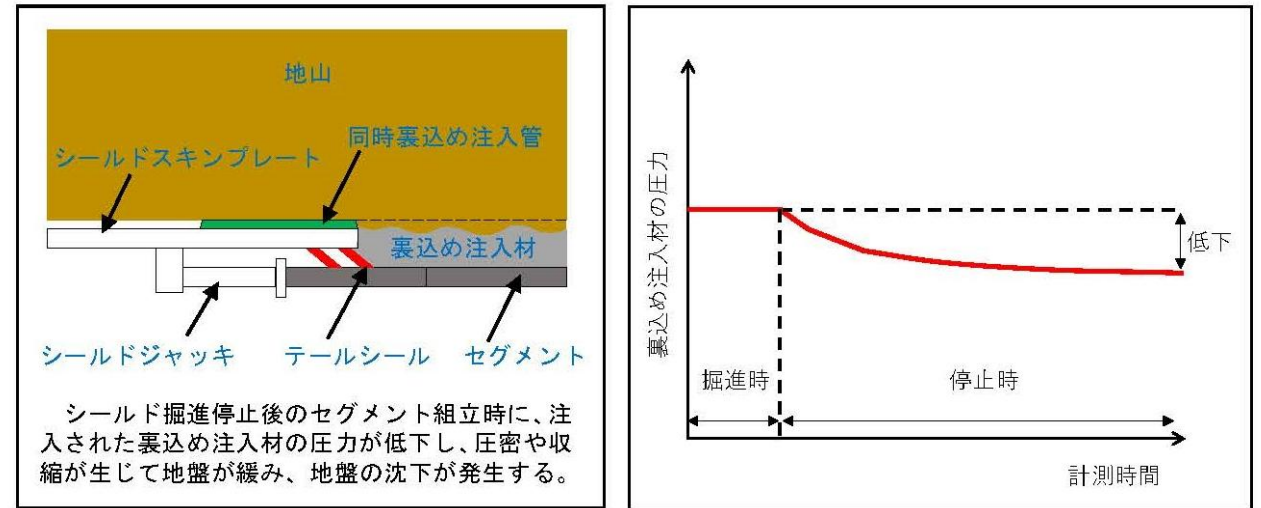


図5-2 従来の裏込め注入と裏込め圧低下のイメージ

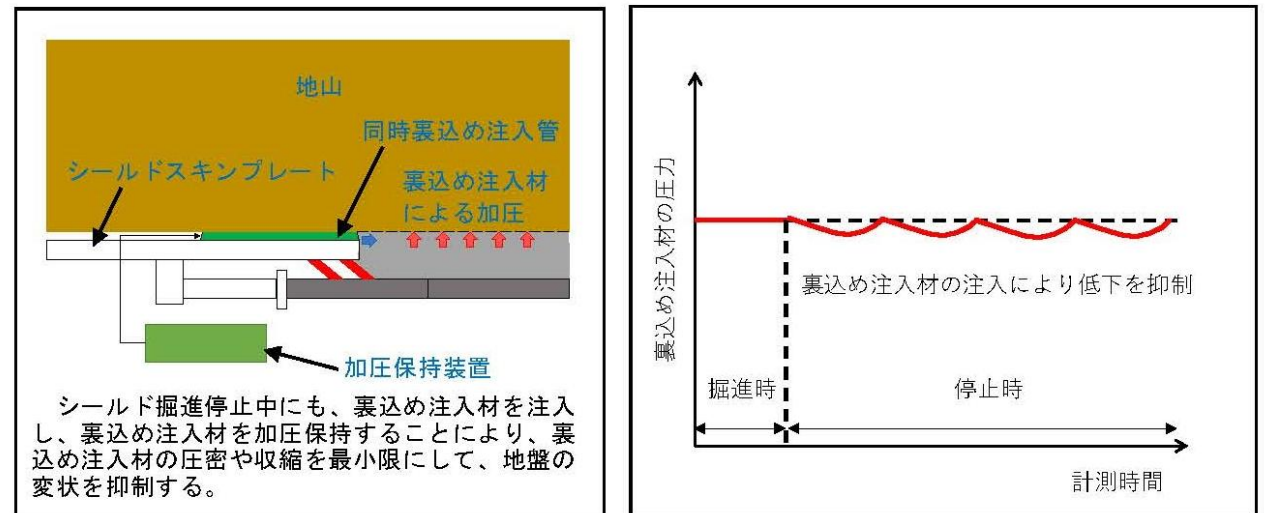


図5-3 裏込め圧保持システムと裏込め圧低下のイメージ

## 現場での実証施工

### 【実証施工概要】

シールド外径：φ3320mm

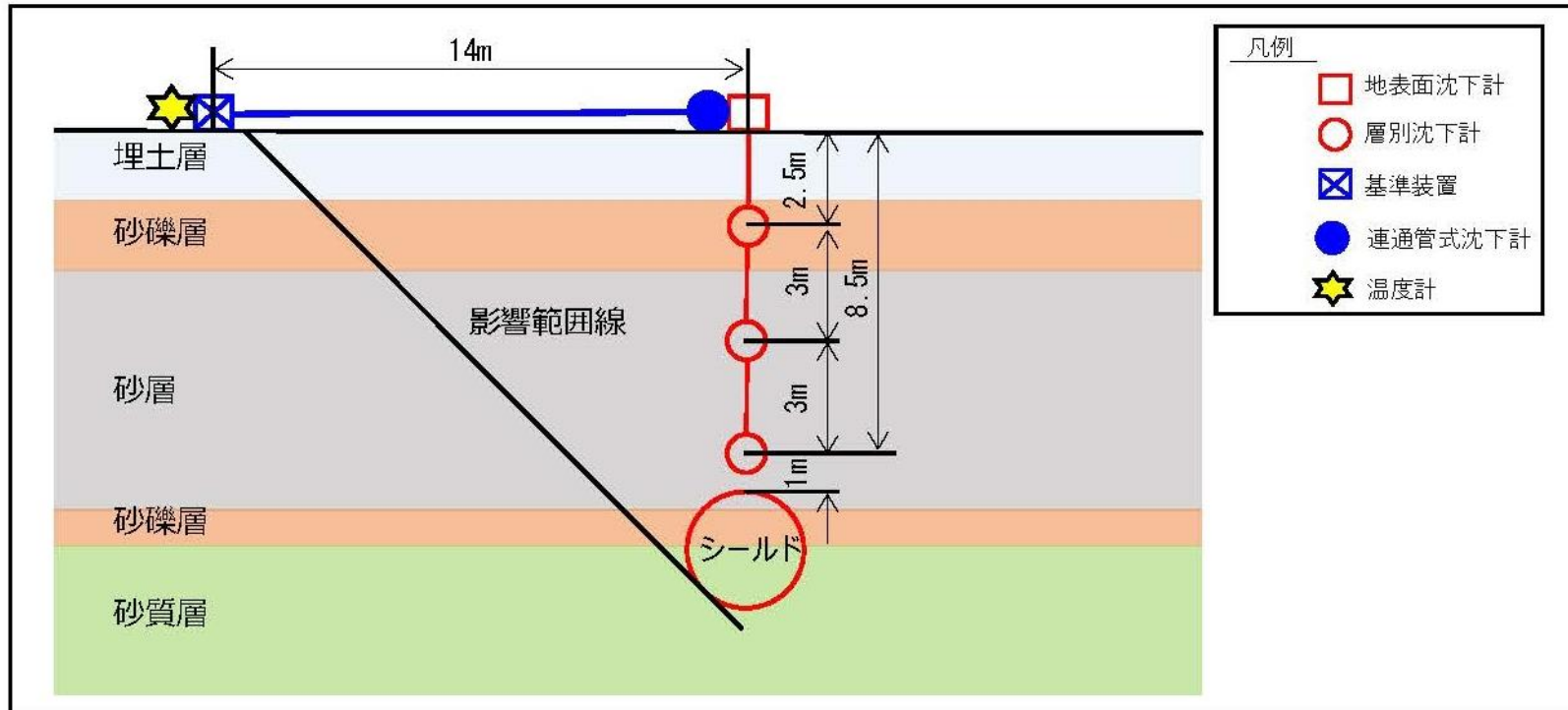
対象地盤：埋土、砂礫土、砂質土

計測機器：層別沈下計、地表面沈下計 各4箇所

土被り：8.3~11.3m

裏込め注入：同時裏込め注入

注入圧 70~90kPa



《実証施工》  
 システムの設定圧  
 裏込め注入圧  
 ~  
 裏込め注入圧 + 20kPa

《地表面の沈下量》  
 未実施 3.3mm  
 実施 1.1mm (1/3に低減)

図5-4 実証施工時の計測位置断面図

# 6. 掘進状況の見える化

～TSビューワー<sup>®</sup>～

## 掘進状況クラウド監視システム ～TSビューワー<sup>®</sup>～

TSビューワー



- ・全国どこからでもアクセスが可能
- ・掘進状況をリアルタイムに監視
- ・掘進状況をデータ化、一元管理
- ・トラブルの予兆を事前に察知
- ・的確かつ高度な施工管理を実現
- ・掘進データは

「AI Transform シールド」

の教師データに活用

(3. シールド掘進の自動化)

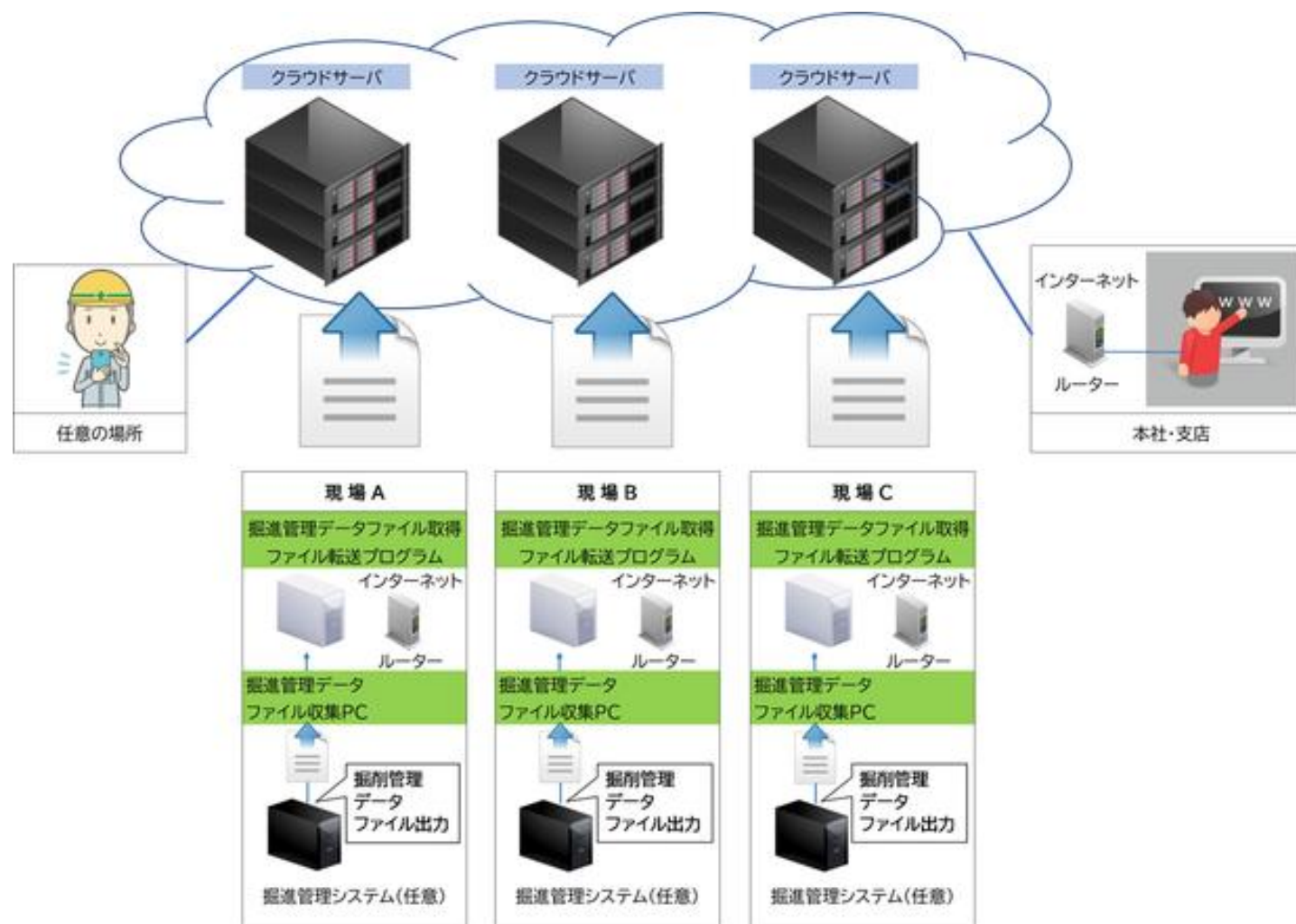


図 6-1 本システムの概要図



## 掘進進捗の確認



〇〇支店〇〇JV

〇〇作業所

掘進距離[m]

1682.302/1712.449

進捗率[%]

98

2021/05/25 14:33:10



<< 本日 >>

現在リングナンバー

2235

本日出来形数量[Ring]

5

本日掘進距離[m]

3.238

現在の進捗状況が  
確認できる

監視画面

掘進進捗

掘進状況

掘進位置

掘進データ一覧

データ

ダウンロード

タイムライン(2021/05/25)

	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	
掘進																									
停止																									
掘立																									

月集計:

出来形数量[Ring]

出来形数量/月 72[Ring]  
累計数量 2086[Ring]  
出来形数量 2235[Ring]  
05月



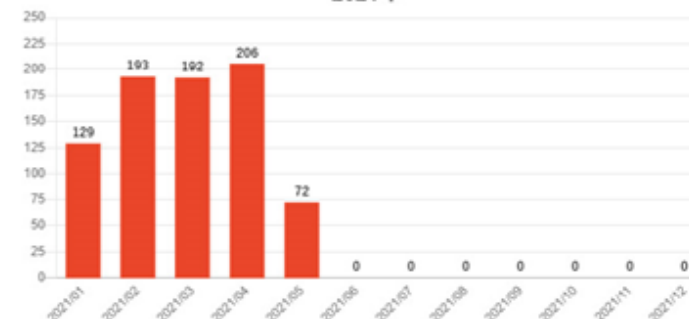
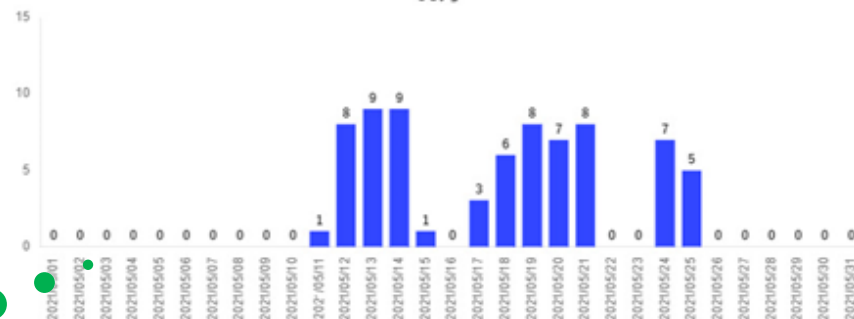
<< 今月 >>

年集計:

出来形数量[Ring]

出来形数量/年 792[Ring]  
累計数量 2086[Ring]  
出来形数量 2235[Ring]  
2021年

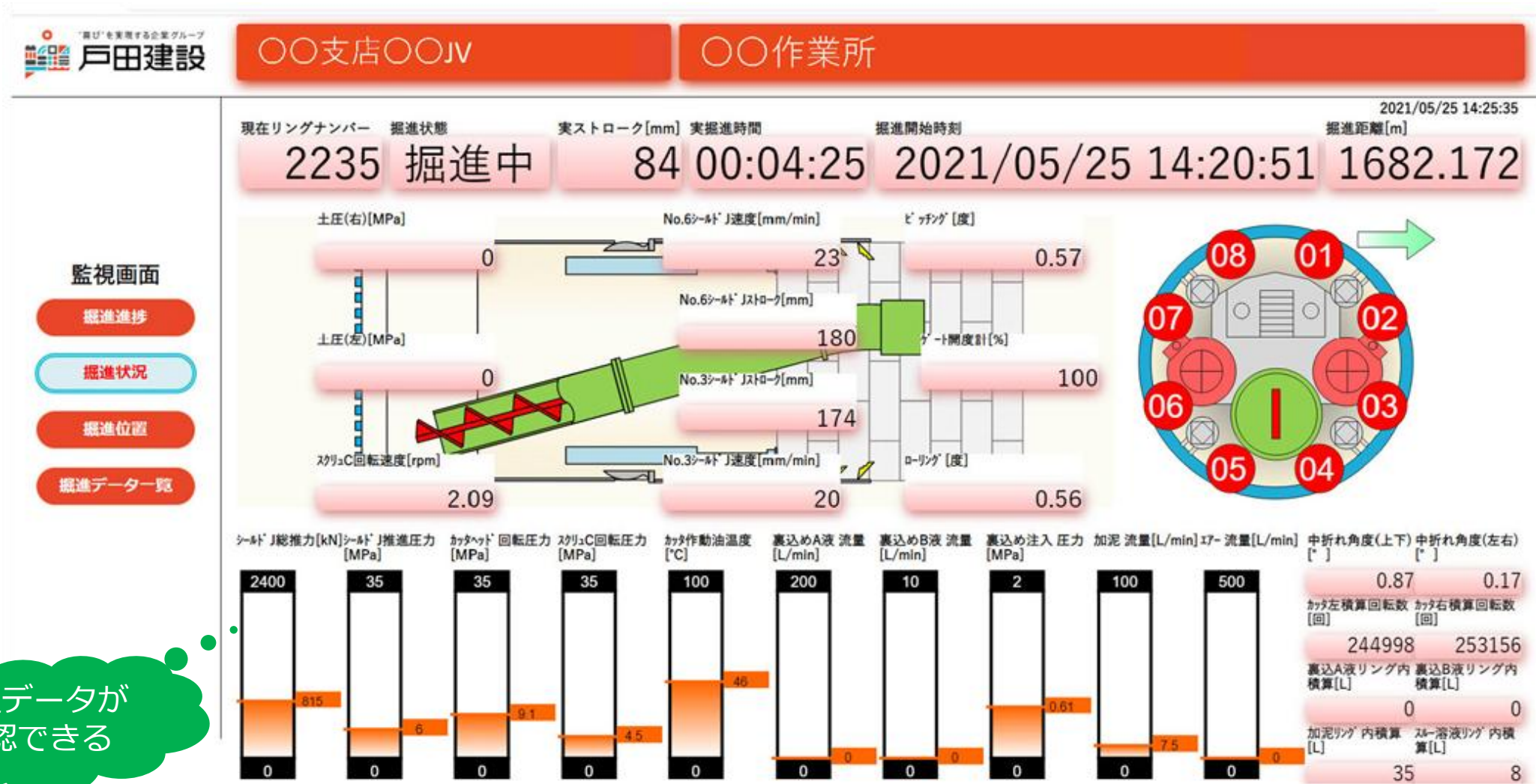
<< 今年 >>



過去の出来高が  
確認できる

図 6-2 掘削進捗画面の例

# 掘進状況の確認



掘進データが確認できる

図 6-3 掘削状況画面の例

## 切羽位置の把握



図6-4 掘進位置画面の例

# 7. 大断面・自由断面形状の 地下空間の構築

～さくさくJAWS工法®～

## さくさくJAWS (Joint All Water Shutting) 工法

### さくさくJAWS

矩形推進工法により地中掘削を行い、外殻構造部材（鋼製エレメント）を形成



外殻構造部材の内部の土砂を掘削



地下水対応型の非開削によるトンネルを構築



写真7-1 非開削トンネル内部構築状況

## 鋼製エレメントの継手構造

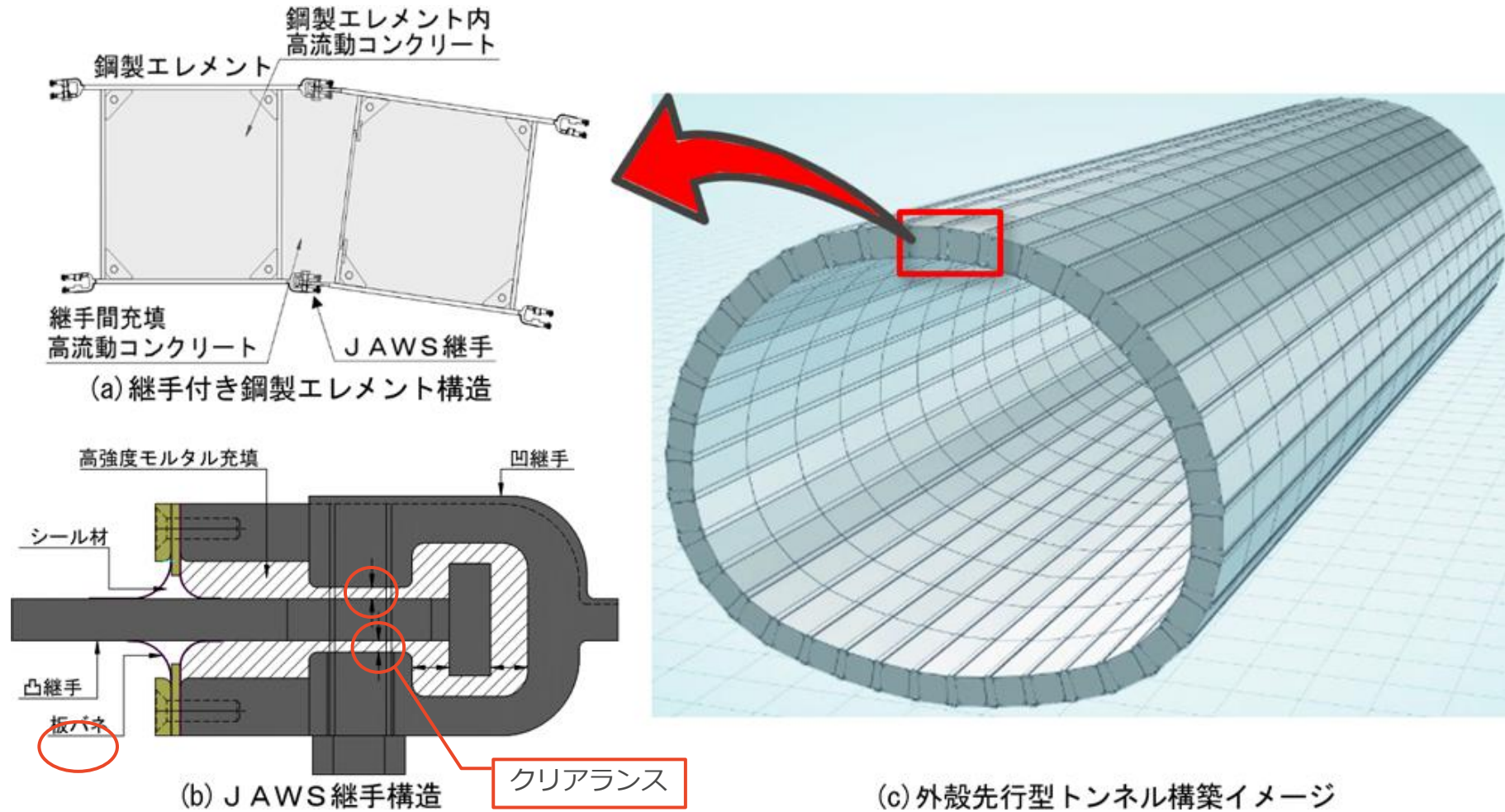


図7-1 本工法の概要

## トンネル構築の手順

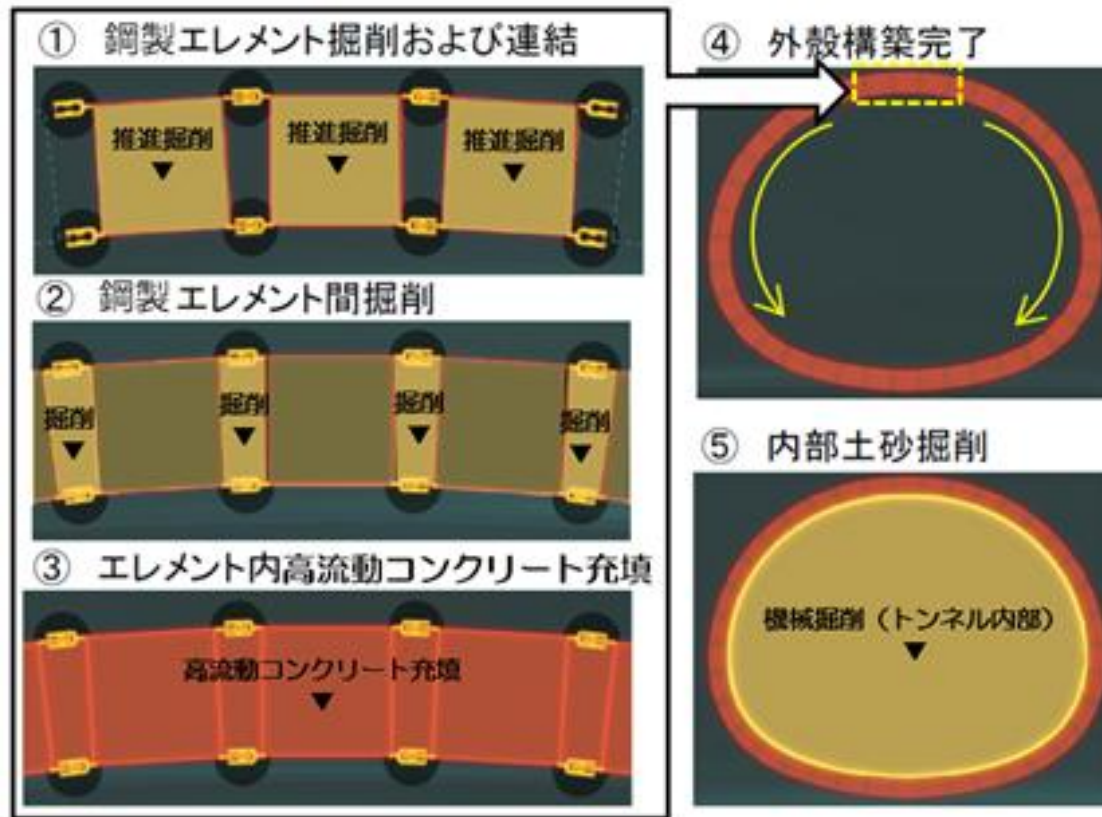


図7-2 本工法によるトンネル構築手順

①矩形推進工法で継手付き鋼製エレメント（推進管体）を順次掘削・連結



②鋼製エレメント内部と継手間の土砂を内側から除去



③鋼製エレメント内部と継手間に高流動コンクリートを打設して、トンネルの外殻構造部材を形成



④外殻構築の完了

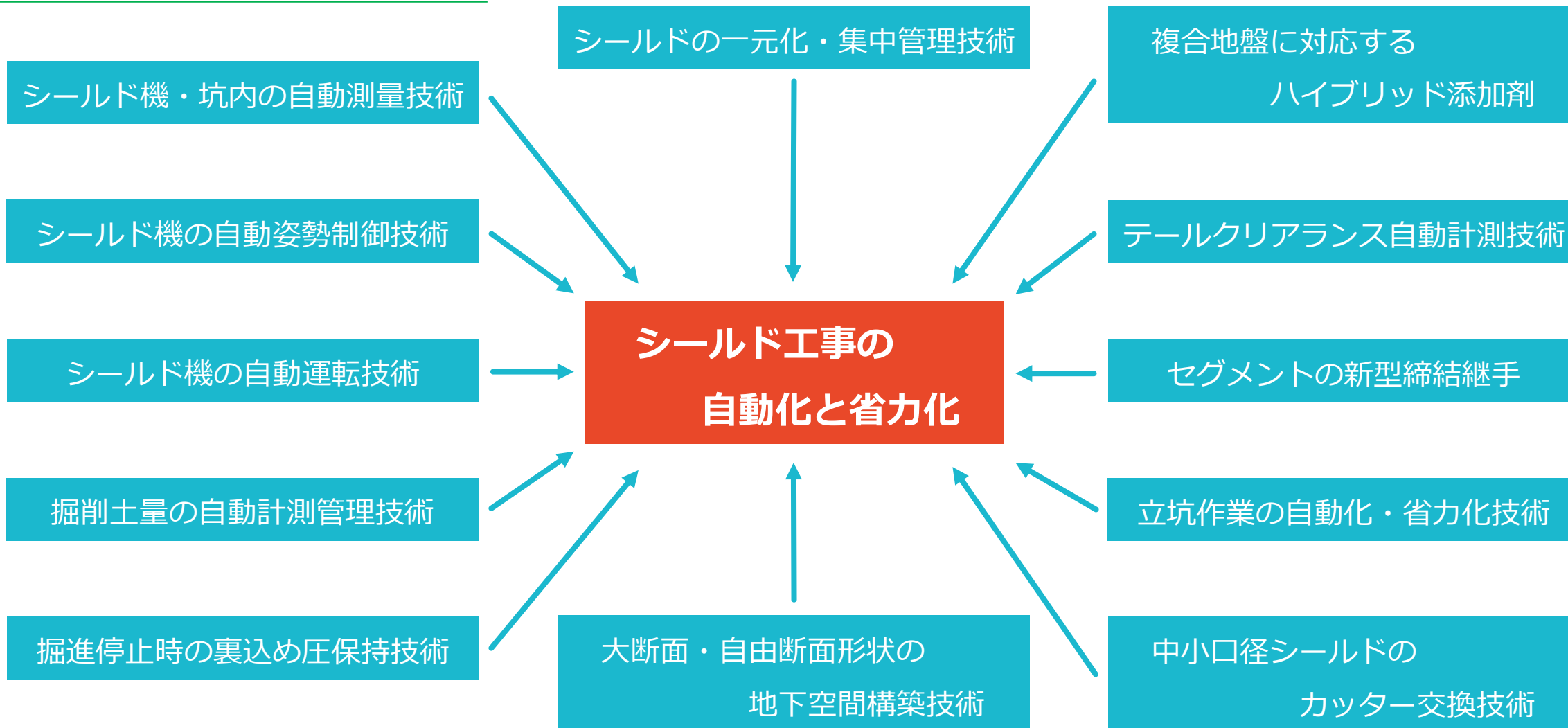


⑤トンネル内部の地山を掘削・除去し、トンネル構造物を構築

# 8. 今後の取り組み



## シールド工事の自動化と省力化



# ご清聴ありがとうございました

◆京橋彩区◆ “アートと文化が誰にも近い街”  
新本社ビル（右）  
ミュージアムタワー京橋（左）

