

Double Object – Jet Method

DO-Jet工法

技術説明用パワーポイント資料

DO-Jet工法研究会



Double Object – Jet Method

DO-Jet工法

🏆 平成24年 第14回国土技術開発賞 優秀賞 受賞

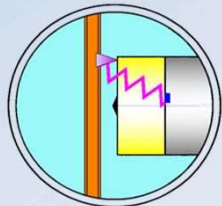
🏆 令和4年度 土木学会賞 技術賞（Iグループ） 受賞

DO-Jet工法研究会

DO-Jet工法の特長

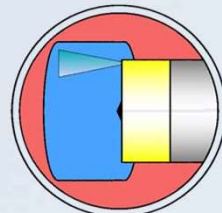
すべての作業を掘進機から対応

地上対応ゼロ（3つの基本機能）



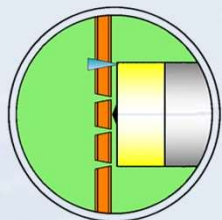
前方探査

地中支障物の位置、材質、形状等の解析
地盤改良計画図と切断計画図を作成



超高压地盤改良

セメント系および溶液型の噴射により、重
要構造物防護、ゆるみ防止などの地盤改良



切断・除去

鋼材、コンクリート、木類、PIP杭など地中
支障物を安全確実に切断・除去

DO-Jet工法の特長

使用材料がすべて固化（地盤への影響最小限）

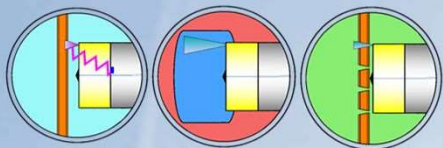
- 探査材および切断材は、溶液型注入材（瞬結タイプ）を使用し、噴射後に固化（P.21）

未確認支障物への対応（支障物の存在が不明）

- 「保険方式」の採用により、最小限のコストで未確認支障物に対応
- 推進工法 …… メンテナンス費の計上（P.25）
- シールド工法 …… DO-Jetシステム等初期装備費の計上（P.26）

小口径シールド工法への対応

- DO-Jet小口径シールド工法により
仕上り内径1,000mm～1,650mmまで対応（P.27）



DO-Jet施工時の切羽の安定

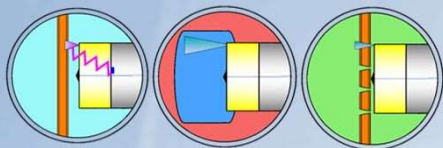
DO-Jet工法の施工は切羽の安定を図ることが重要

カッターチャンバー内の圧力管理

- DO-Jet施工時の切羽の安定を確保するため、チャンバー内の圧力（土圧＋地下水圧）を一定の範囲（標準土圧管理値：自然水圧＋20～50kPa）内で管理する

噴射量と排泥量の収支バランス

- 超高压ジェットの噴射量と排泥量の収支バランスを厳密に管理する



DO-Jet工法の適用範囲

シールド工法

- セグメント内径 ϕ 1,800mm以上

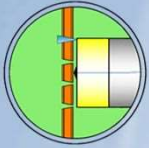
小口径シールド工法

- 仕上り内径 ϕ 1,000mm～1,650mm

推進工法

- 呼び径 ϕ 800mm～3,000mm

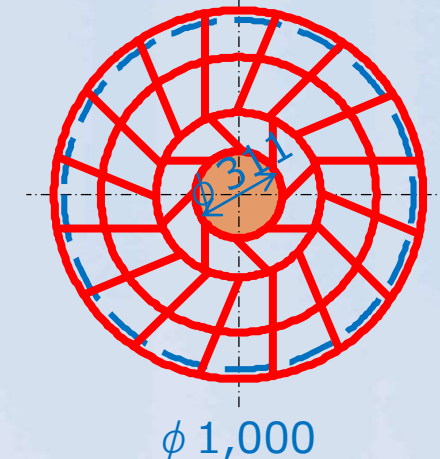
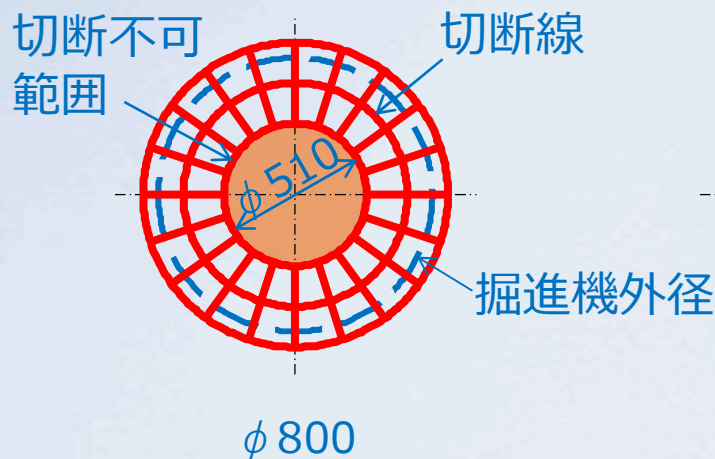
ϕ 800mm～900mmは条件付きとなり、
想定される支障物により ϕ 1,000mmへの増径が
必要となる場合があります。



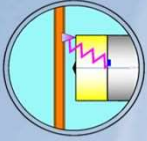
DO-Jet工法の適用範囲

推進工法で確実な切断・除去を行うための適用径

- $\phi 800 \sim 900\text{mm}$ は掘進機中心部に遭遇した金属支障物を回収可能となる切断片に切断できないため、支障物の位置や高さにより $\phi 1,000\text{mm}$ への増径が必要

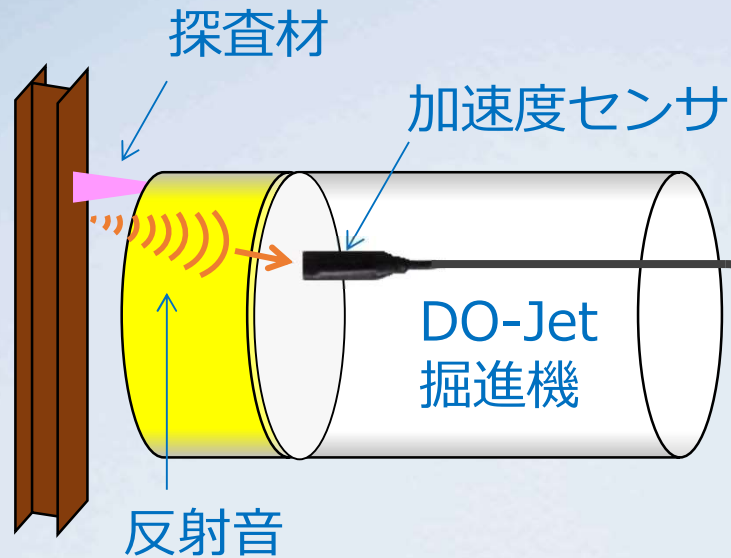


増径対応	ケース	概略図
必要な場合	- 金属支障物が中心部に出現 - 金属支障物の位置が不明確 - 支障物保険方式	
不要な場合	- 木杭等の木製支障物 - 金属支障物の位置が明確 (掘進機外側や高止まり等)	



前方探査

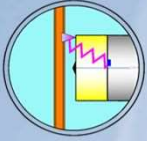
探査材の噴射により掘進機前面の支障物を判別



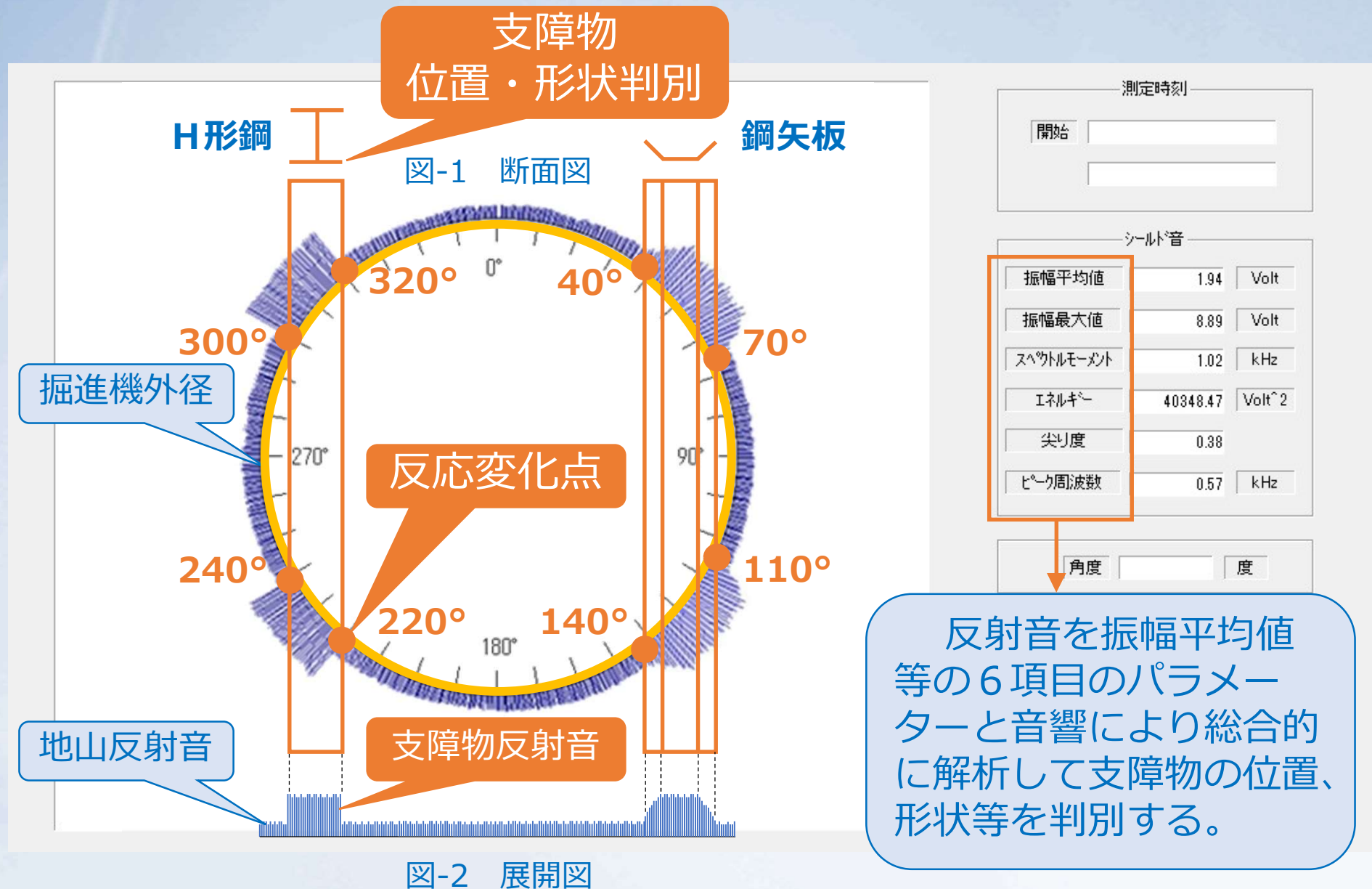
支障物遭遇後

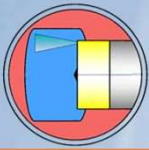
- ①前胴部前後進ジャッキによりカッターヘッドが回転できる位置まで前胴部を後退させる
- ②探査材（溶液型瞬結タイプ）を噴射し全周を探査
- ③支障物の位置、形状、寸法、範囲等を解析
- ④切断・改良計画図の作成





前方探査解析例

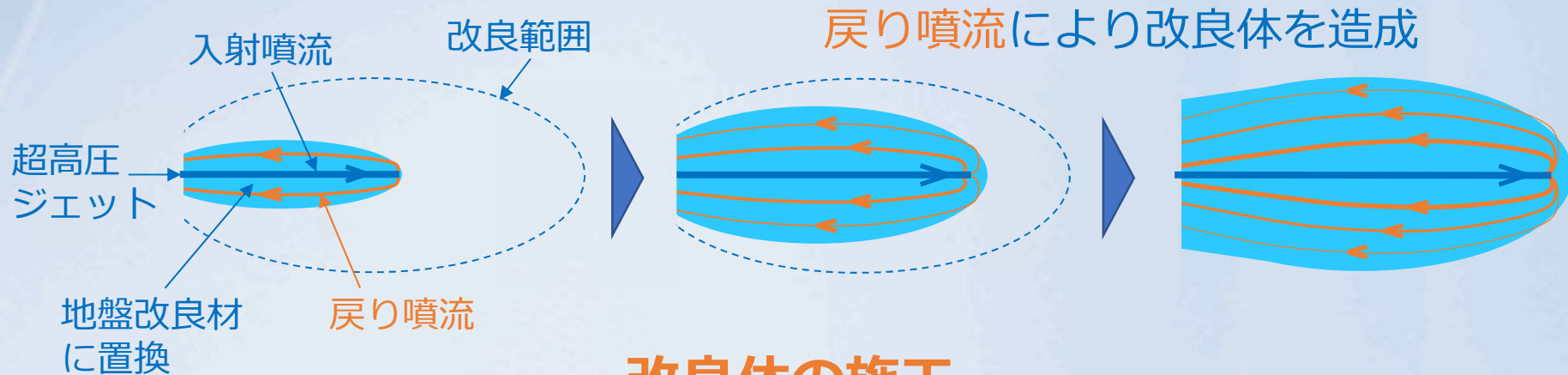




超高圧地盤改良（置換方式）

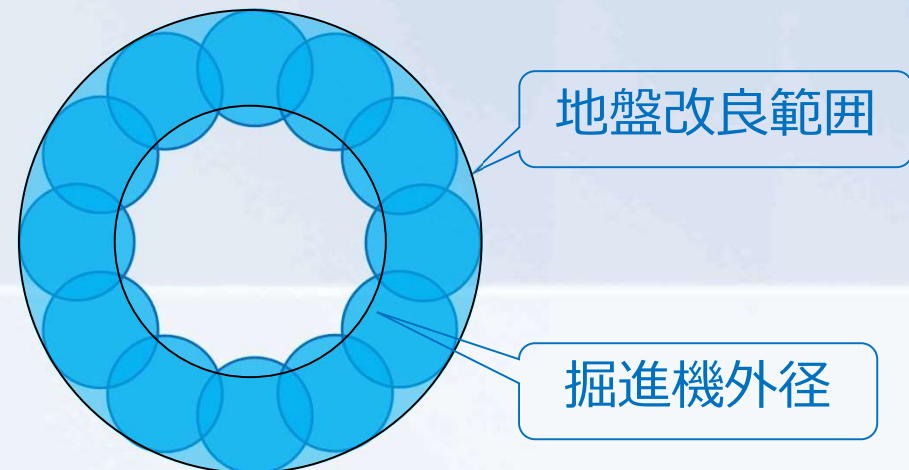
地盤改良を掘進機から造成

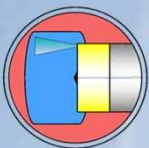
改良体の造成（1本当り）



改良体の施工

- 改良体を連続で配置し、地盤改良範囲を確保する
- 造成順序は下側から積み上げて造成する





超高圧地盤改良（置換方式）

地盤改良の用途に応じた改良材

セメント系地盤改良

- セメント系地盤改良材は、早強セメントと珪酸ナトリウム溶液の混合材で、早期硬化、早期強度の発現とブリージングを防止
- 切断防護、切断後補足改良、地盤強化、地盤変状防止など

溶液型地盤改良

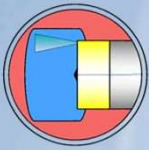
- 溶液型注入材は、瞬結タイプ
- 止水、地盤変状防止など



写真-1 セメント系地盤改良



写真-2 溶液型地盤改良

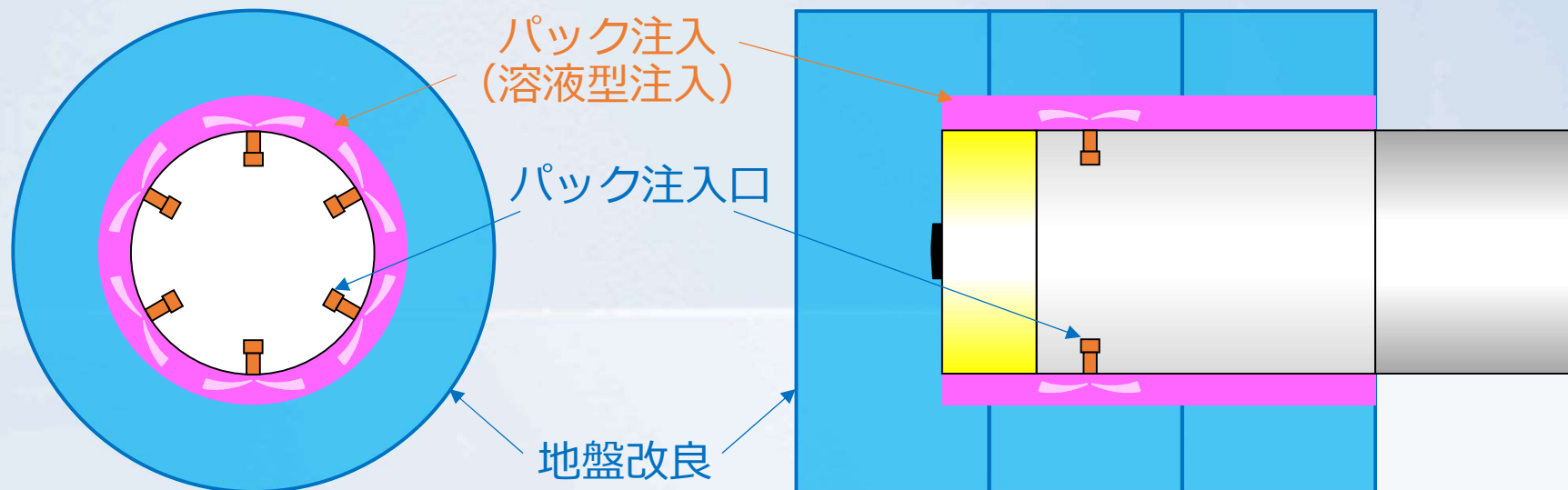


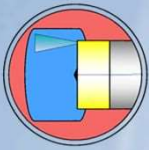
パック注入

掘進機外周の溶液型注入

目的

- 地盤改良材が掘進機スキンプレート外周に廻り込み固結する事による掘進不能を防止
- 地中接合時における掘進機外周の水みちを遮断
- 掘進機通過に伴う地盤のゆるみ防止



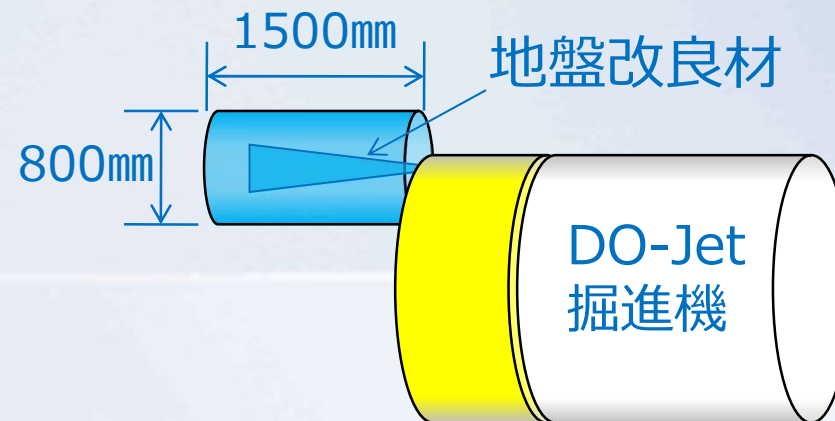


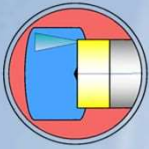
超高圧地盤改良の改良方式

2つの改良方式によりすべての土質に対応

1 工程方式

- 適用土質
砂質土・粘性土（粘着力 30kN/m^2 未満）・砂礫土
- 地盤改良材を地山に直接噴射して改良体を造成
- 改良体1本当り造成有効形状 $\phi 800\text{mm}$ 、 $L=1500\text{mm}$

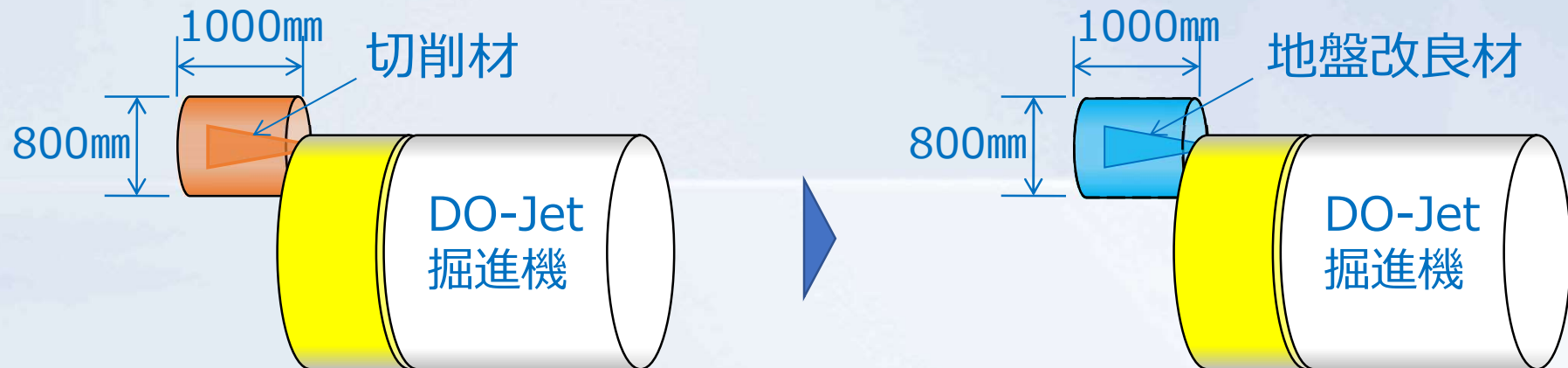


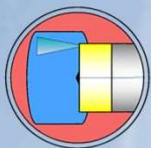


超高圧地盤改良の改良方式

2 工程方式

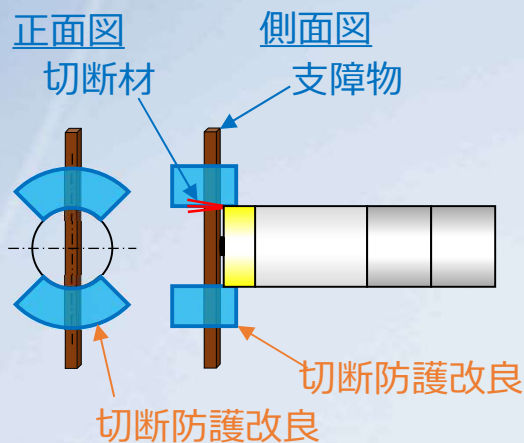
- 適用土質： 粘性土（粘着力 30kN/m^2 以上）
- 一工程目： 切削工程
切削材（溶液型瞬結タイプ）を噴射して粘性を下げ改良範囲を確保
- 二工程目： 改良工程
切削工程で確保した範囲を地盤改良材に置き換える
- 改良体1本当り造成有効形状 $\phi 800\text{mm}$ 、 $L=1000\text{mm}$



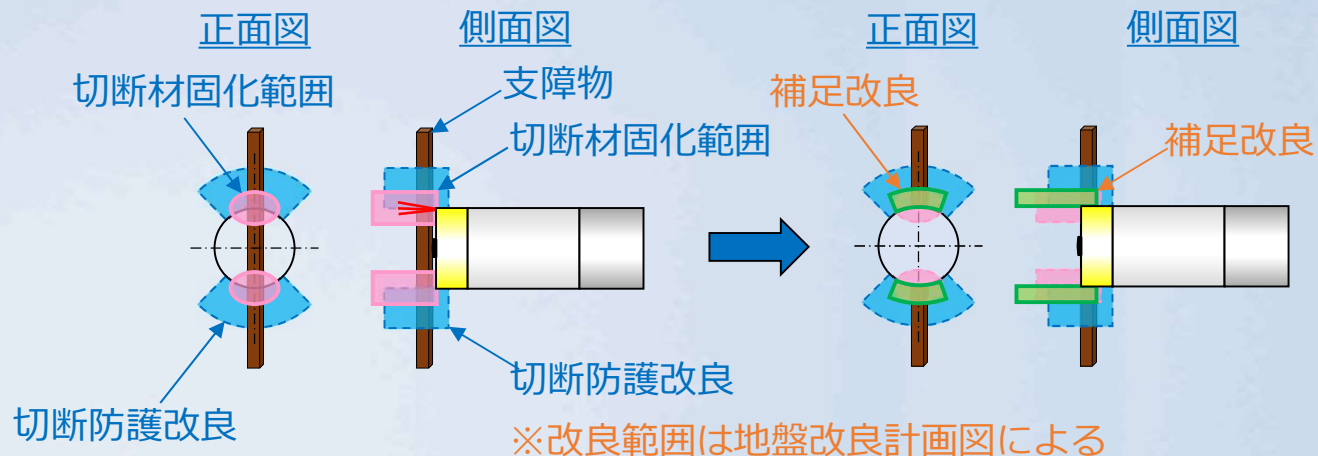


超高压地盤改良適用例

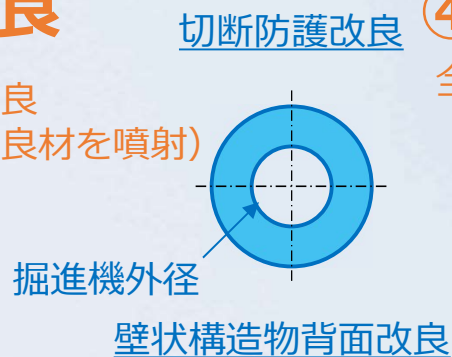
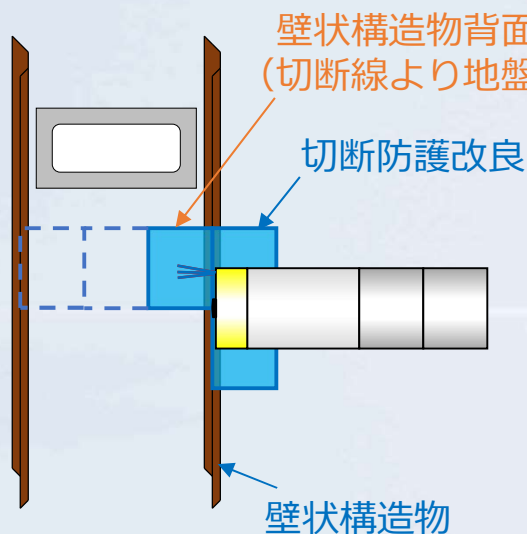
① 支障物切断防護改良



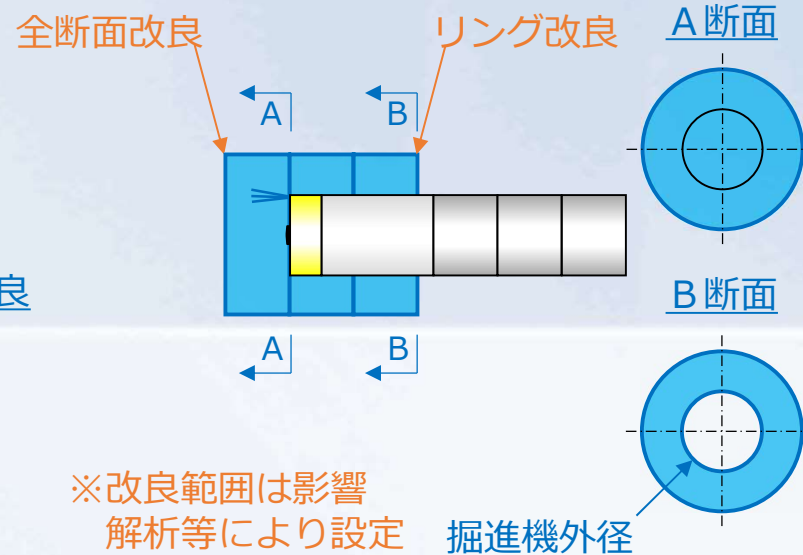
② 切断後の補足改良

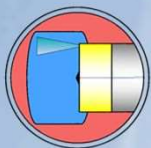


③ 壁状構造物背面改良



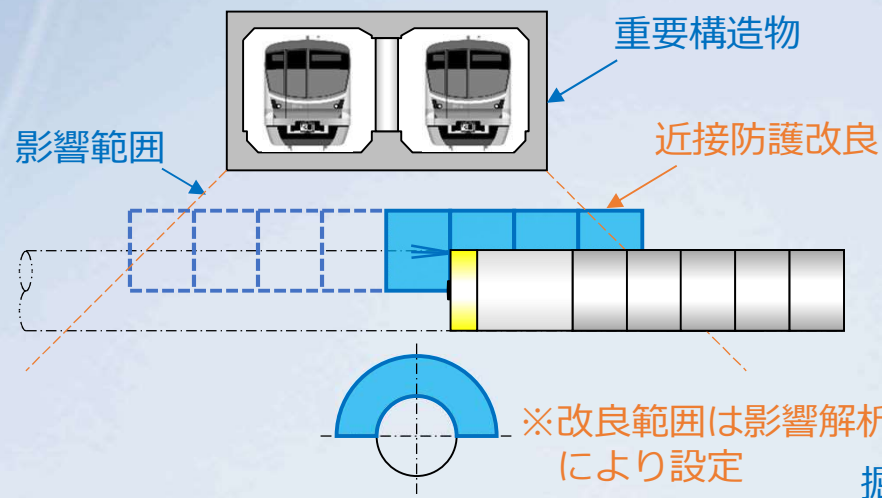
④ ノズル交換時防護



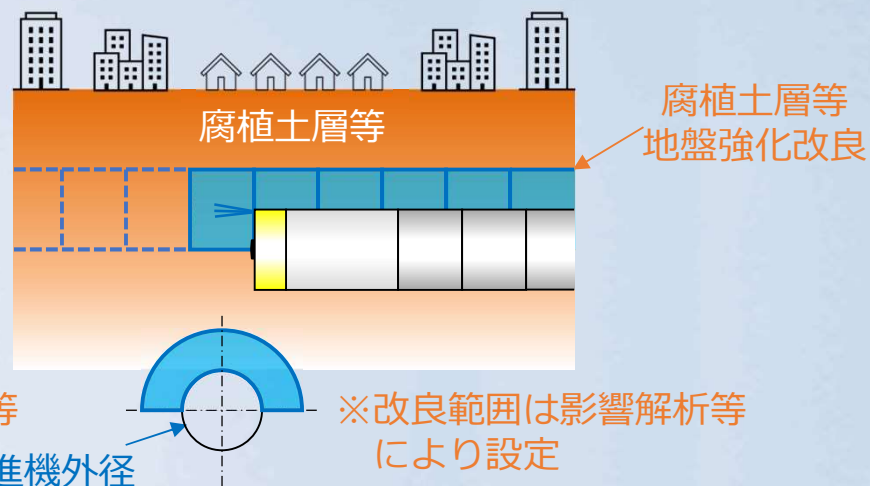


超高压地盤改良適用例

⑤ 近接防護改良



⑥ 腐植土層等地盤強化



⑦ 地中接合防護改良

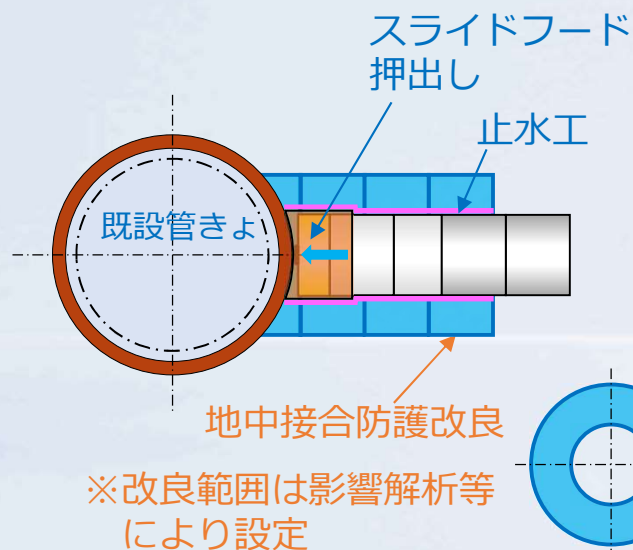
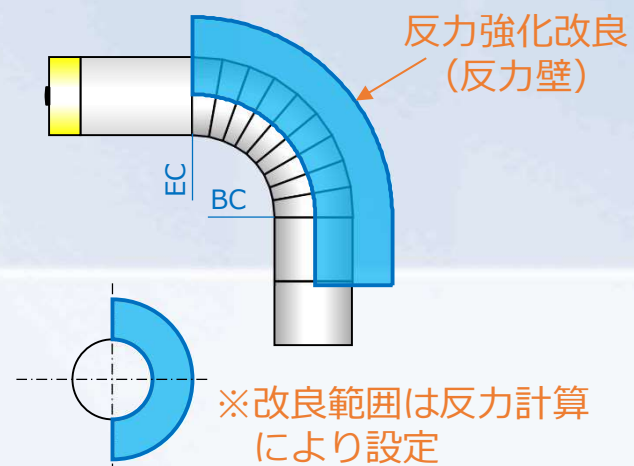


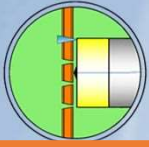
写真-1 掘進時



写真-2 地中接合時

⑧ 急曲線部反力強化

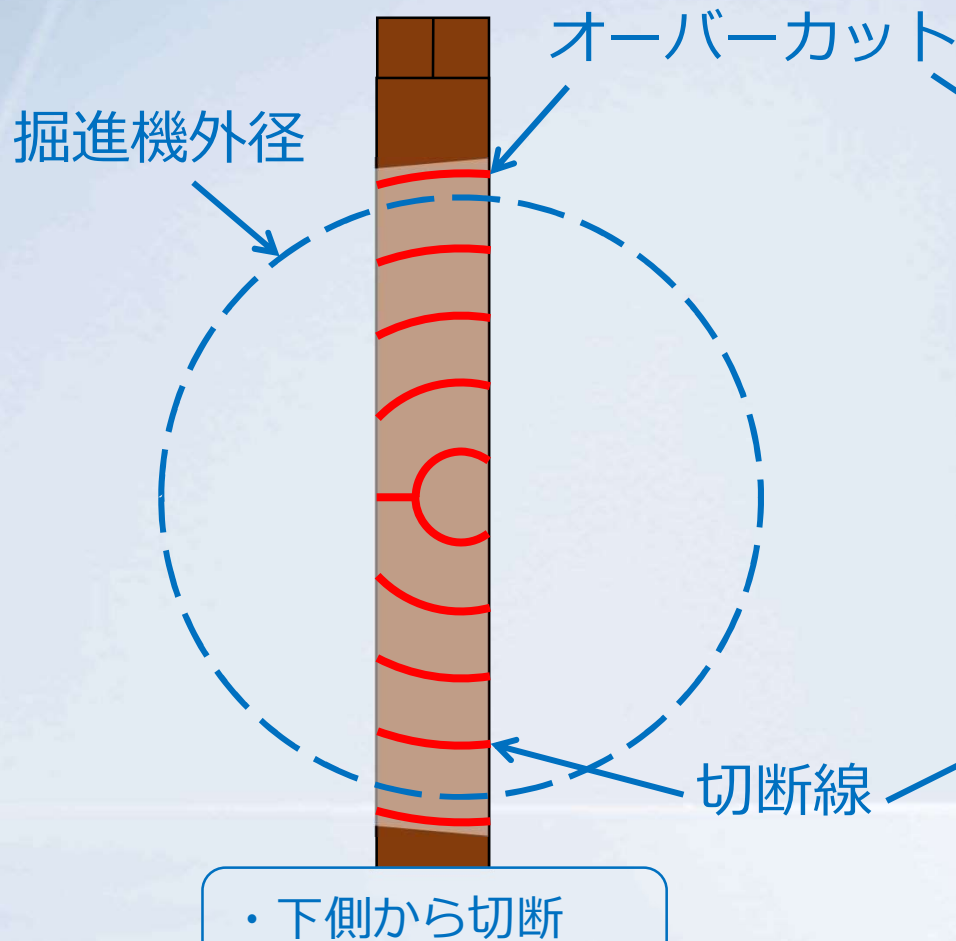




切断・除去

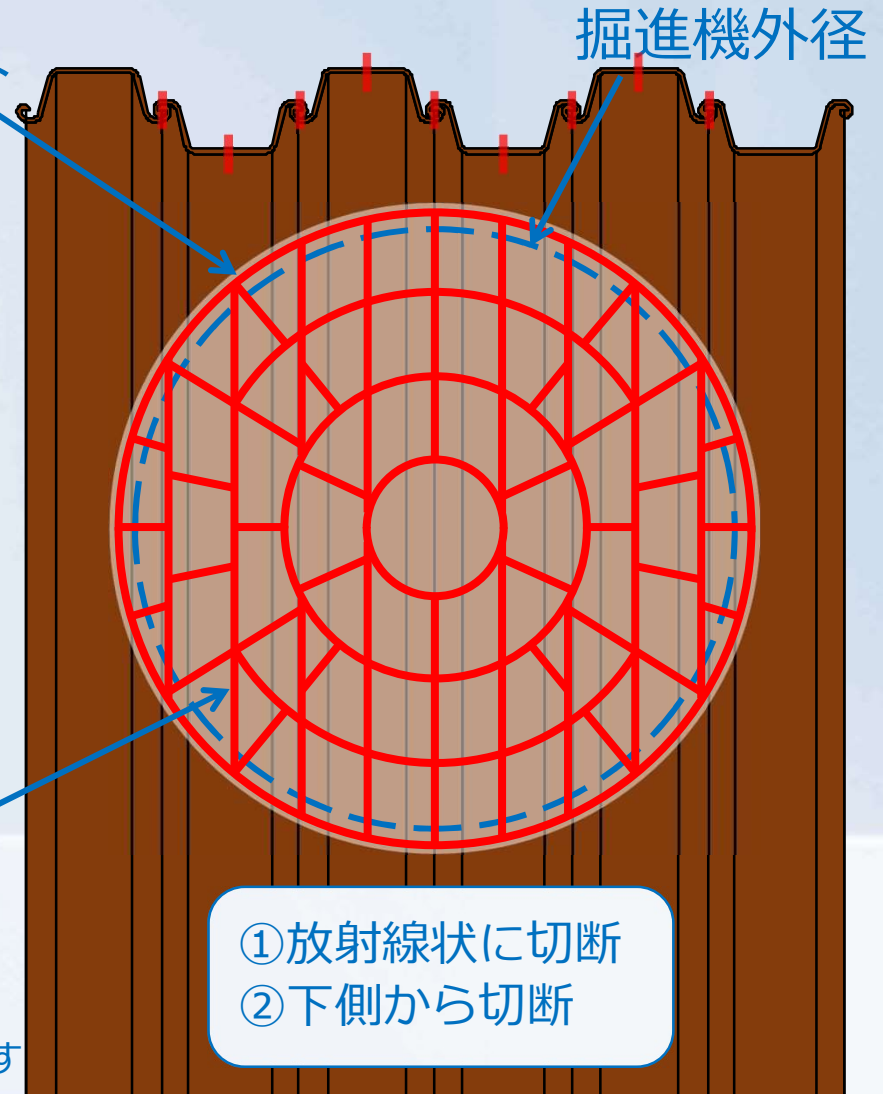
すべての支障物を非接触で任意の大きさに切断

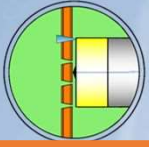
H形鋼の場合



※切断計画はイメージです

全面鋼矢板の場合





切断・除去

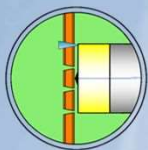
切断材の噴射による切断原理

- 支障物の切断は、切断材（溶液型瞬結タイプと研磨材の混合材）を噴射して切断する
この時の切断原理は、切削作用と変形作用の組み合わせにより行われる

切削作用：対象面に浅い角度で衝突したときに生じる研磨材のエッジで削り取る作用

変形作用：対象面に垂直に近い角度で研磨材が衝突したときに生じ、衝突時の応力が降伏点以上になったときに材料の変形が生じる作用





切断可能な支障物の種類および能力

切断可能な支障物の種類

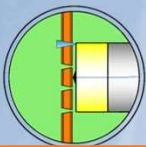
土留め壁	鋼矢板、H形鋼
基礎杭	木杭、H形鋼杭、鋼管杭、PC杭、RC杭、その他
地中連続壁	RC連壁、SMW、PIP杭
その他	流木、グラウンドアンカーなど

切断速度（支障物の種類による）

鋼材 (鋼矢板・H形鋼等)	鉄筋コンクリート (RC杭・PC杭等)	無筋コンクリート
5.0mm/min	5.0～10.0mm/min	15.0mm/min

切断可能距離（切断噴射 1 回当り）

鋼材	鉄筋コンクリート	無筋コンクリート
300mm		500mm



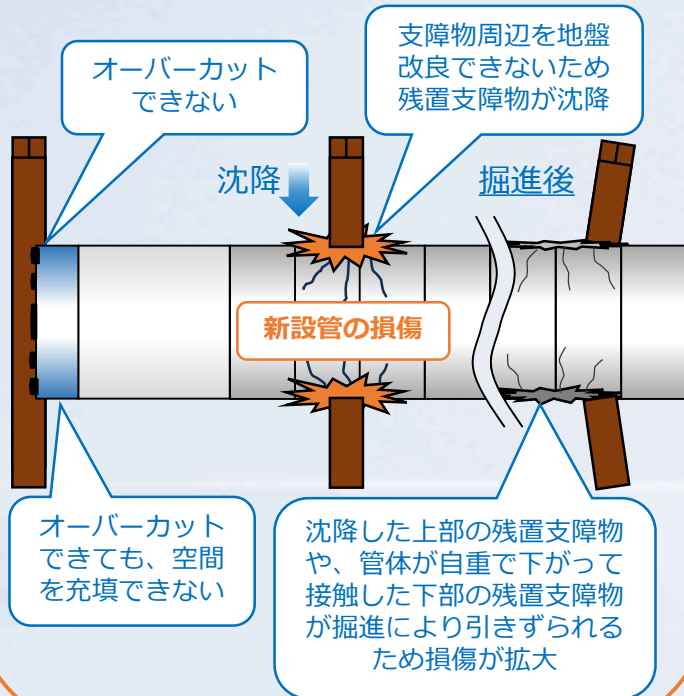
切断・除去

支障物をオーバーカット（本工法の特徴）

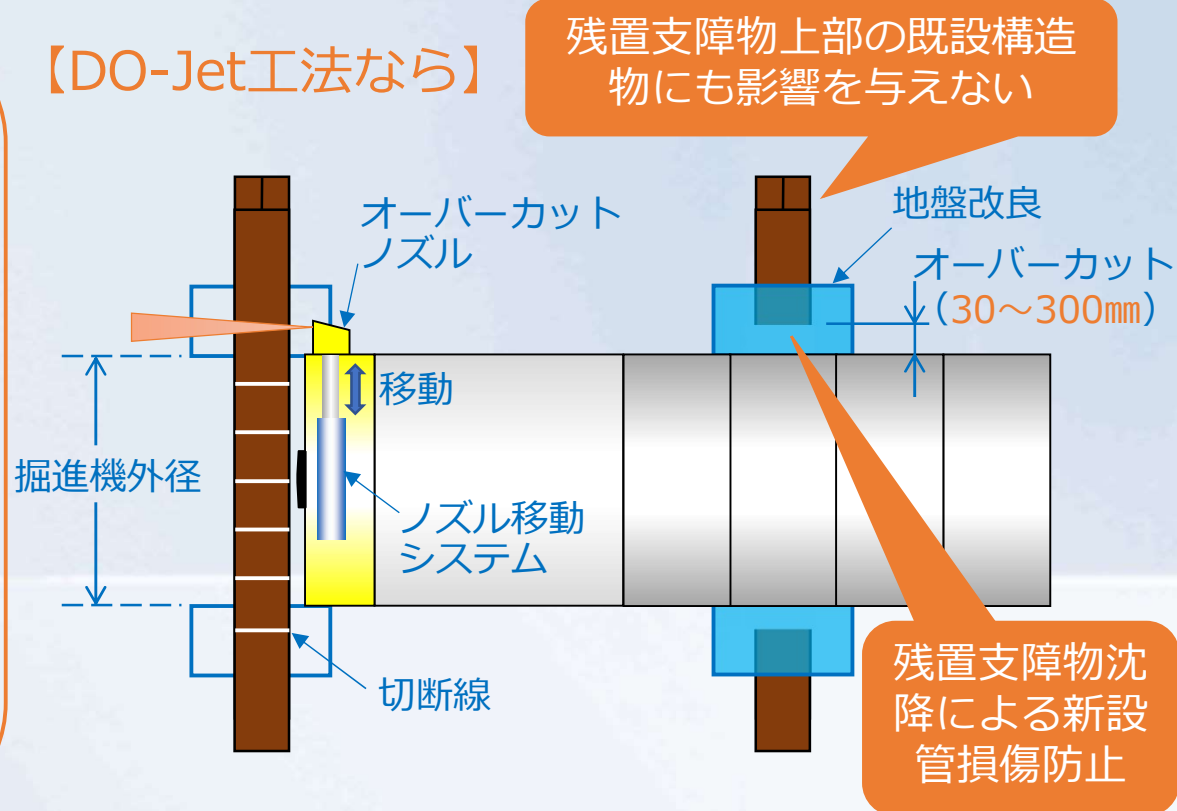
➤ 掘進機外周より30～300mm程度大きく切断

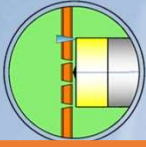
➤ 切断後の残置支障物が新設管に接触し、点荷重となり新設管に損傷を与えることを防止（管路の品質確保）

【他工法では】



【DO-Jet工法なら】





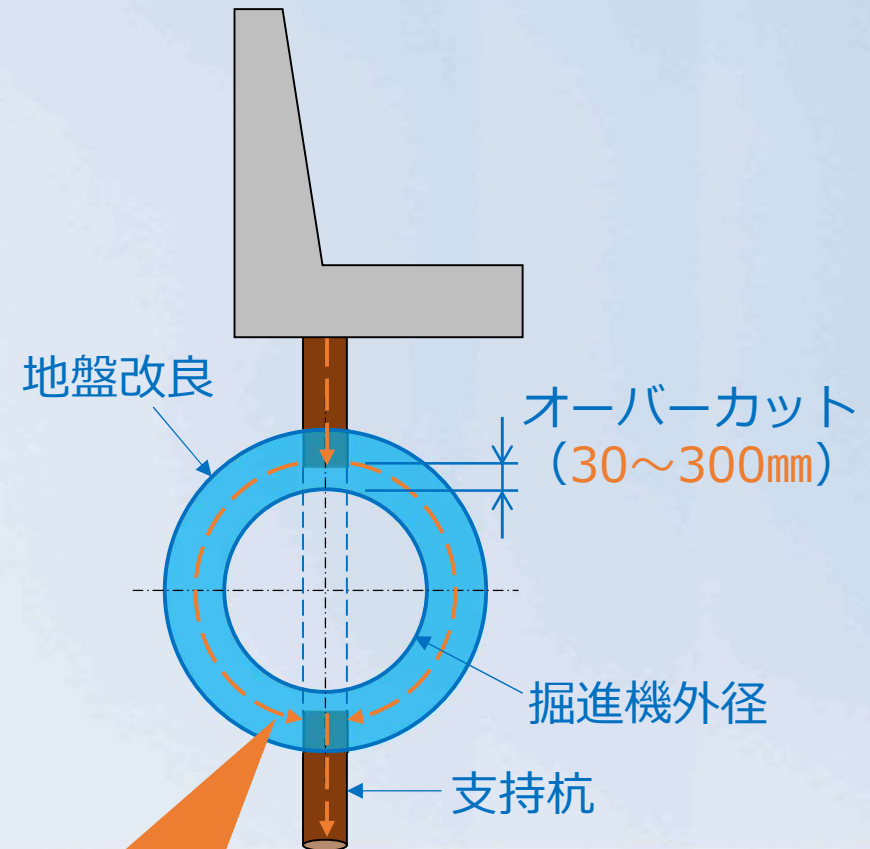
切断・除去

支持杭の切断と防護

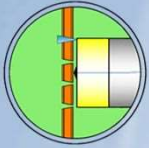
- 非接触にて切断
- リング状に地盤改良



- 非接触にて切断することにより、本体構造物に影響を与えない
- 支持杭と地盤改良体を一体とすることにより、鉛直力を残置支持杭に伝達
- 地盤改良厚さ、強度の検討を行って計画



鉛直力を残置支持杭に伝達



切断材噴射後に固化



写真-1 切断材噴射状況



写真-2 固化状況 (1)



写真-3 固化状況 (2)

一般工法（ビット）による木杭の切削

木杭の繊維がビットに絡みついて掘進不能

- 木杭の繊維はビットでは切れない
- 最初は引きちぎるが、徐々にビットに絡みつきカッターロックが発生
- 木杭をビットで切削すると…



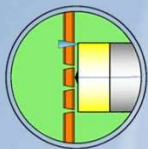
繊維が切れずにカッターロック発生



木杭の繊維が切れない



木杭の繊維が切れずにカッターロック等が発生し、掘進不能となる



DO-Jet工法による木杭の切断・除去

施工法①：木杭の数量が**少ない**場合

木杭を支障物として切断してから除去

➤切断ノズルにより木杭を**切断**した後、掘進・除去

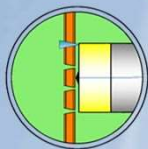


超高圧ジェットで切断



超高圧ジェットによる切断面

切断片は掘削土と一緒に掘進機内に取り込まれ、土砂と分別して回収する



DO-Jet工法による木杭の切断・除去

施工法②：木杭の数量が多い場合

木杭の繊維を切断することでビットに絡まず除去

- 木杭切断専用ノズルを装備し、超高压ジェットを噴射して木杭の繊維を掘進しながら切断・除去



カッターロックなし



木杭の繊維を切断

切断された木杭の繊維



超高压ジェットによる
スリット痕 (4箇所)

切断片は掘削土と一緒に掘進機内に取り込まれ、土砂と分別して回収する

保険方式（推進工法の場合）

計画路線上で地中支障物の存在が不明

- ・調査が出来ない
- ・資料がない
- ・地上から対応できない

DO-Jet標準装備の掘進機で施工

なし

支障物の有無

あり

通常掘進到達

通常推進工事費

+

メンテナンス費用

400万円（呼び径φ1,800mm以下）

500万円（呼び径φ2,000mm以上）

DO-Jet工法に設計変更
(メンテナンス費用減額)

DO-Jet工法で切断・除去

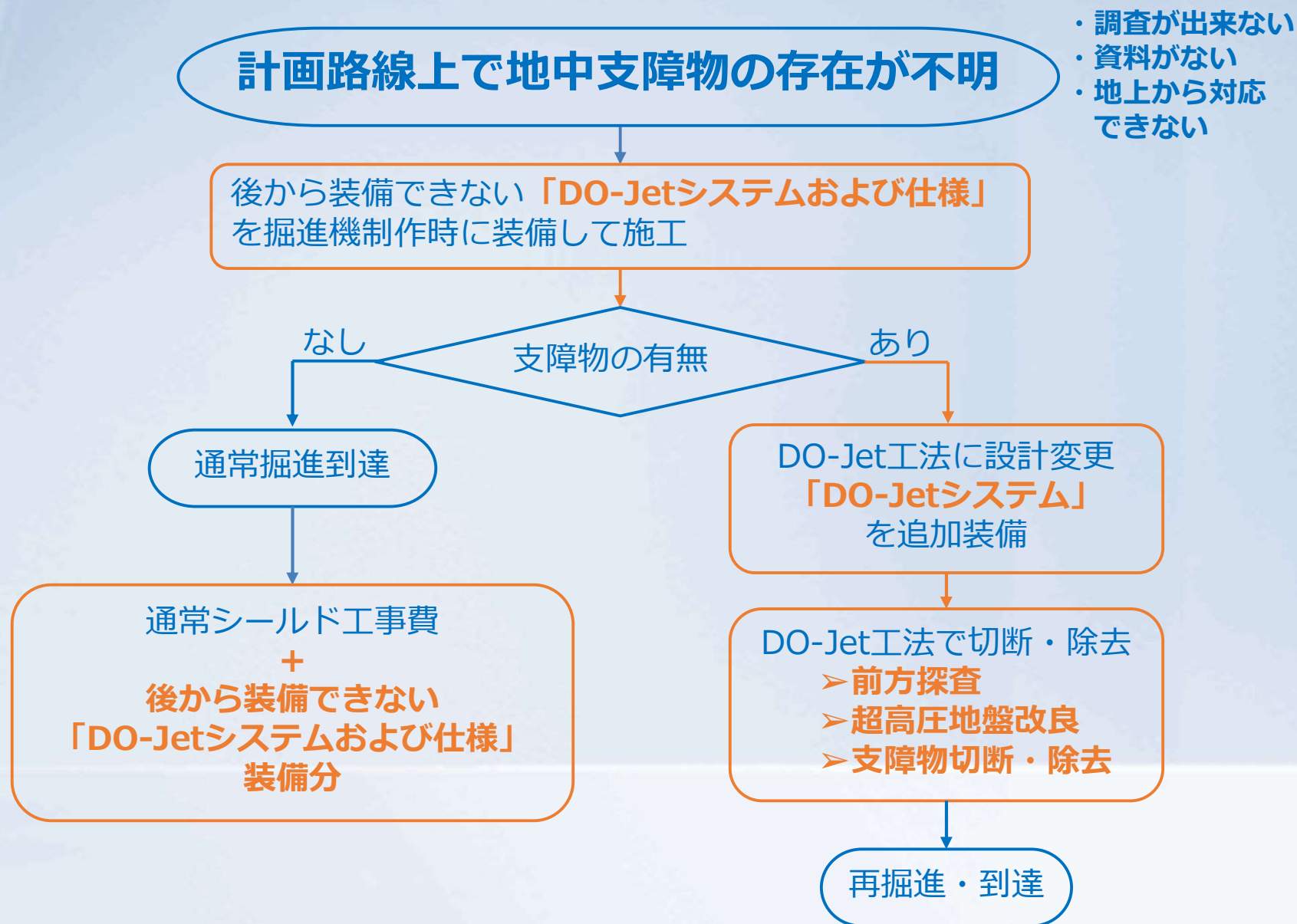
➢ 前方探査

➢ 超高圧地盤改良

➢ 支障物切断・除去

再掘進・到達

保険方式（シールド工法の場合）



DO-Jet小口径シールド工法

仕上り内径1,000mm～1,650mm

課題

現場環境から中間立坑が構築できず推進工法では ▶ 掘進延長の長距離化 急曲線施工 など ▶ 施工不可

対策

- DO-Jet小口径シールド工法で長距離施工や急曲線施工
 - ・ セグメントで掘進するシールド工法を採用することで長距離施工や急曲線施工に対応
- DO-Jet工法の機能を装備
 - ・ 保険方式 適応



DO-Jet掘進機で救済

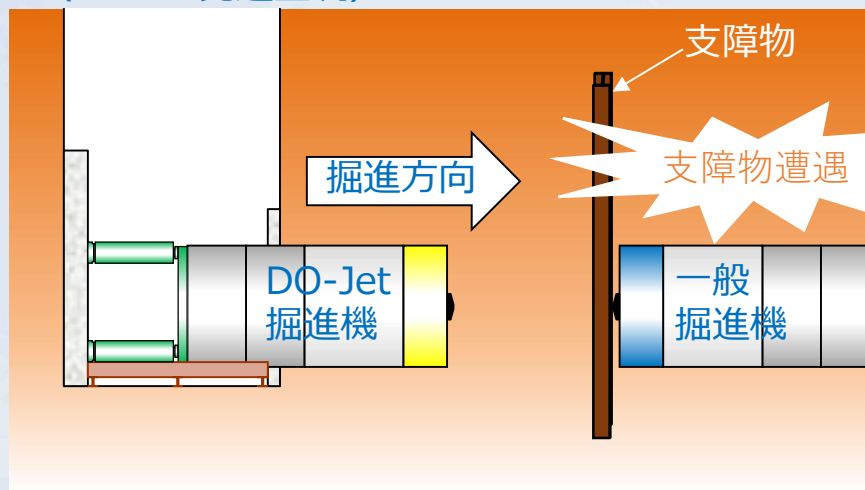
支障物で掘進不能となった一般掘進機を回収

- 到達立坑よりDO-Jet掘進機を発進させ、予期せぬ支障物に遭遇し掘進不能となった一般掘進機を救済する

救済の手順

① 推進工

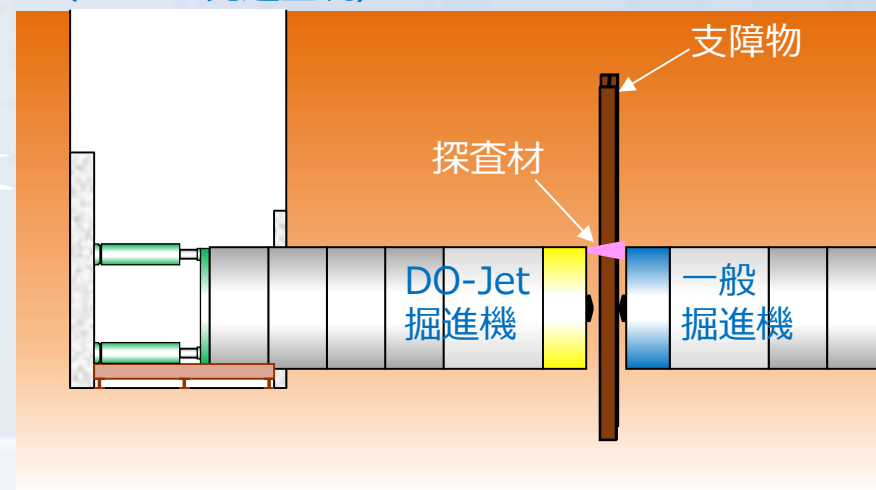
到達立坑
(DO-Jet発進立坑)



- 到達立坑から一般掘進機救済のためDO-Jet掘進機を発進させる

② 前方探査工

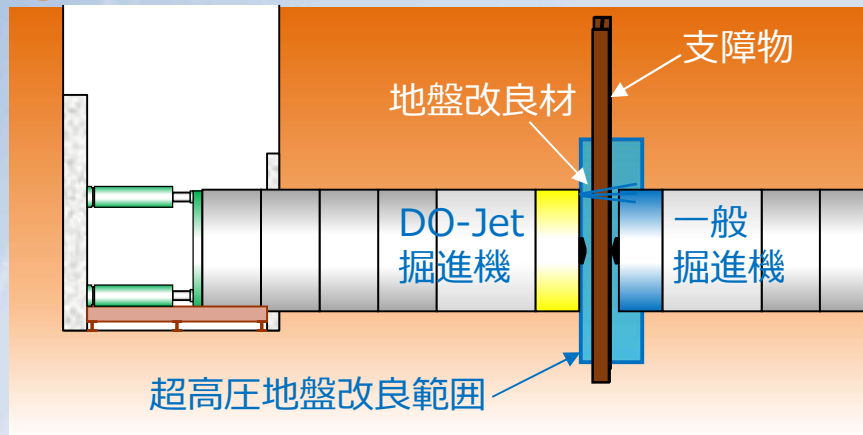
到達立坑
(DO-Jet発進立坑)



- 前方探査により支障物の位置、形状等を確認する

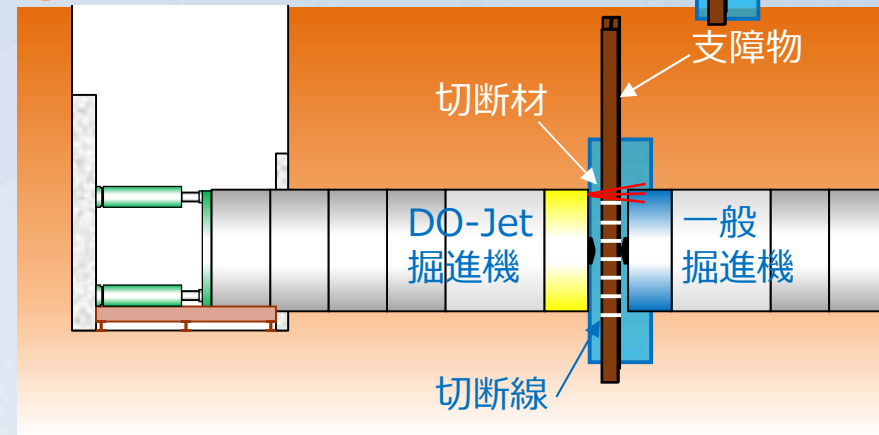
DO-Jet掘進機で救済

③ 超高圧地盤改良工



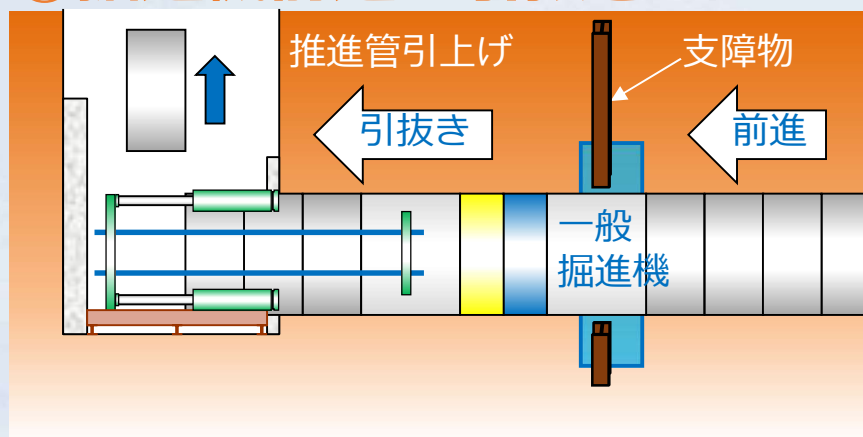
- 地盤改良材を噴射し改良体を所定の位置に造成する

④ 切断工



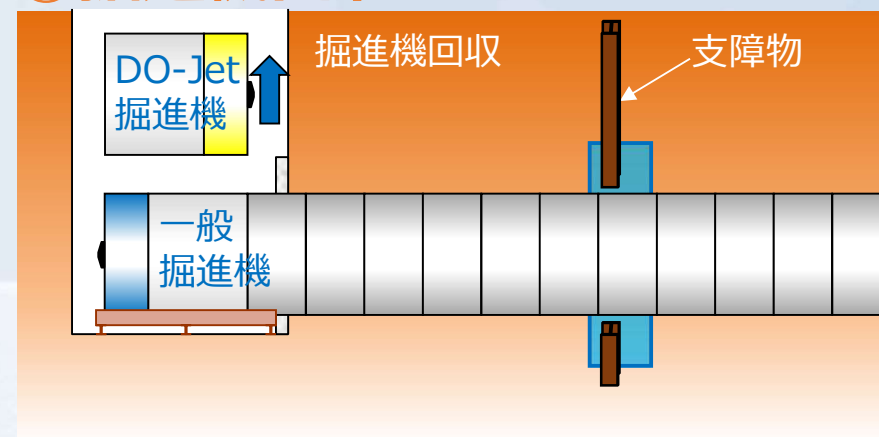
- 切断材を噴射し支障物を切断する
- DO-Jet掘進機を前進させ切断片を回収し一般掘進機にドッキングさせる

⑤ 掘進機前進・引抜き

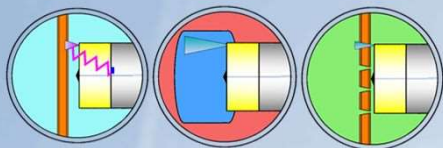


- 一般掘進機を前進させると同時にDO-Jet掘進機を引抜く

⑥ 掘進機回収



- 手順⑤を繰返しDO-Jet掘進機を回収
- 一般掘進機を回収し掘進工完了



DO-Jet掘進機

- 切断ノズルと地盤改良ノズルを搭載
- ノズルスライド機能を搭載

ノズルの種類

- : 切断ノズル (移動)
- : 切断ノズル (固定)
- : 地盤改良ノズル (固定)

切断ノズル (移動)

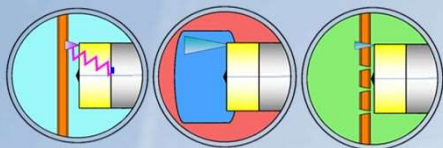
ノズル移動

ノズル移動

地盤改良ノズル (固定)

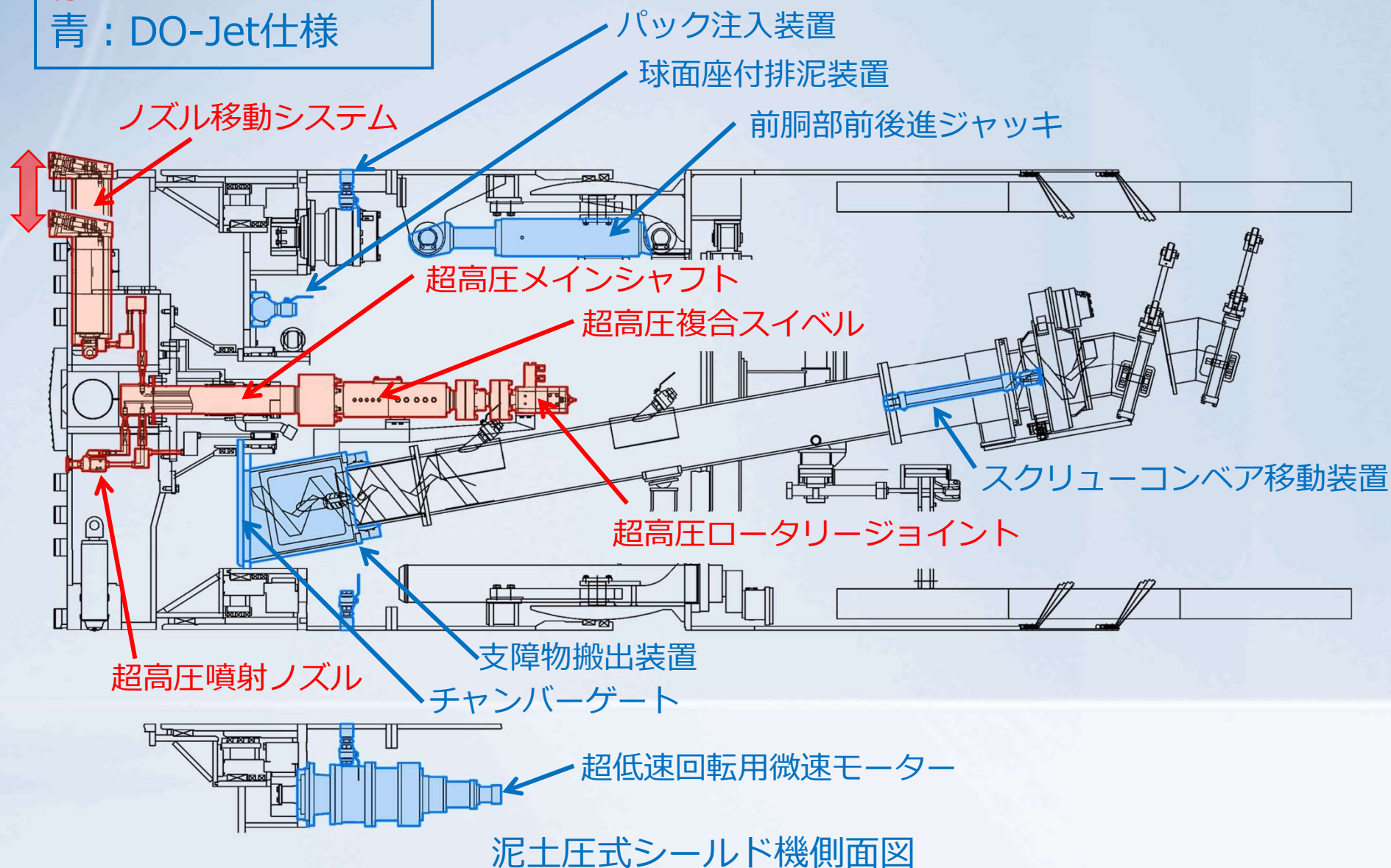
回転

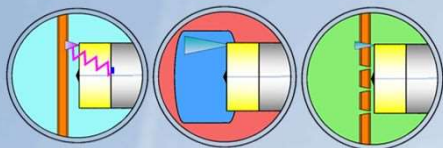
切断ノズル (固定)



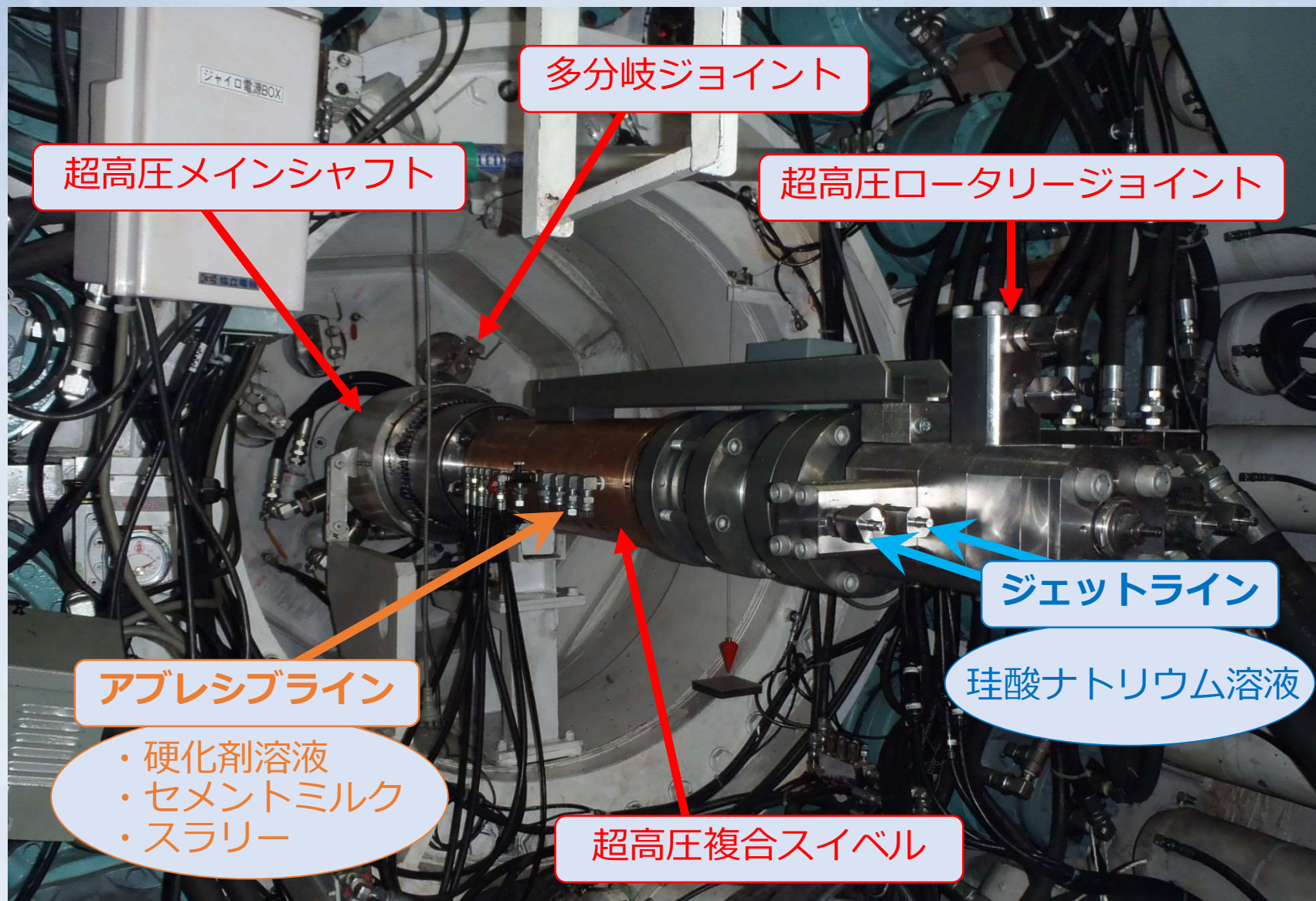
DO-Jetシステムおよび仕様

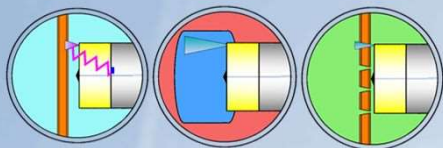
赤：DO-Jetシステム
青：DO-Jet仕様





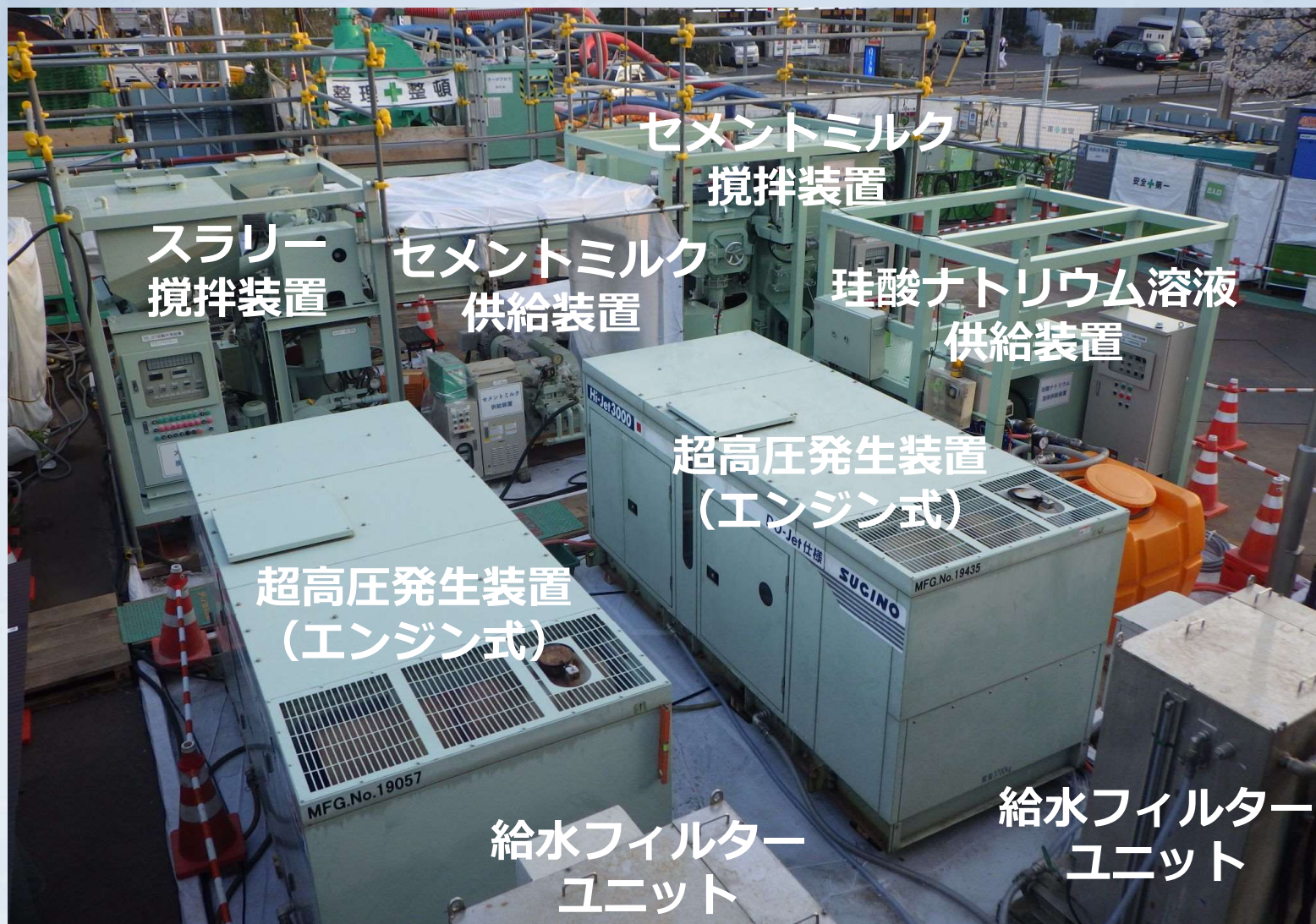
DO-Jetシステム



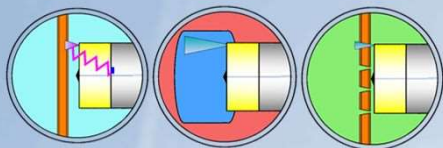


DO-Jet工法施工時のプラント設備

坑外設備



➤ DO-Jet工法プラントヤード面積：50～100m²程度



超高压発生装置（電動式）

坑内設備

超高压発生装置（電動式・1セット）

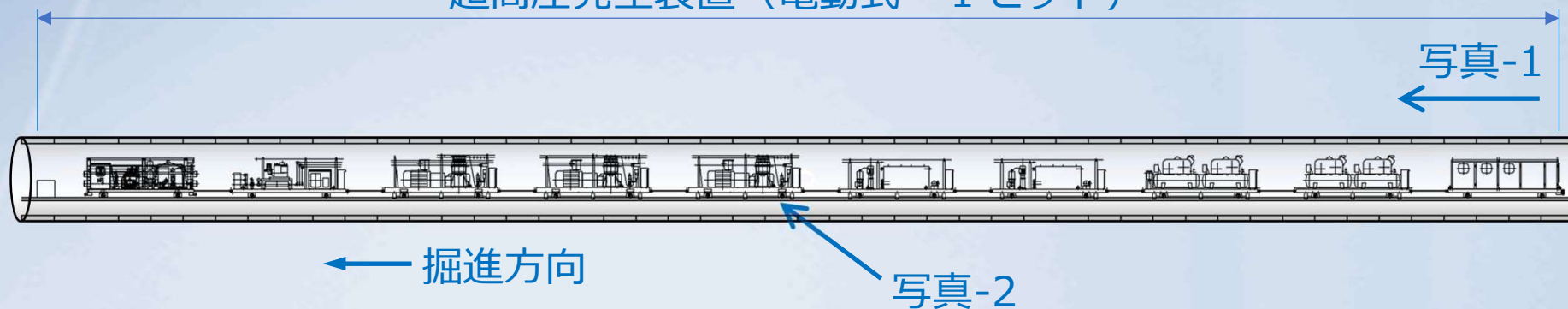
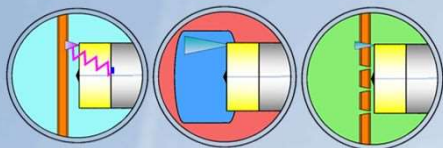


写真-1 超高压発生装置台車全景

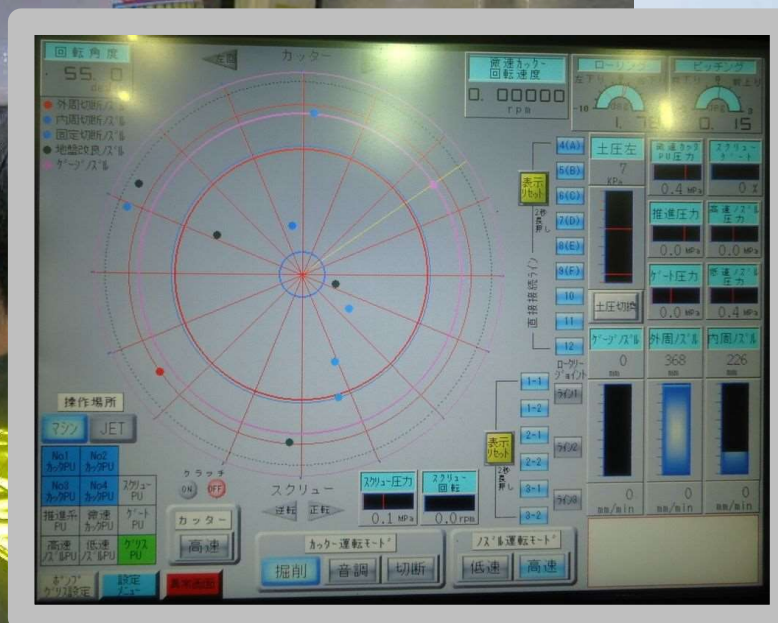


写真-2 超高压ポンプユニット



操作盤

ノズル移動操作・排泥管理等



DO-Jet操作盤

カッターの回転とノズル位置・移動をリアルタイムに管理

実証実験（1）

近接構造物への影響検証



写真1 圧力容器



写真2 噴射状況（1液）



写真3 噴射状況（2液混合）

- 改良ノズルから噴出する混合噴流の動圧は、ノズル出口からの距離の増加に伴い減少し、高速でかつ噴流径の小さな流れから、低速でかつ噴流径の大きな流れに変化していく（文献※1より）
その結果、近接構造物を損傷する可能性はない

※1：支障物撤去型掘進工法における地盤改良用二液混合噴流の地盤掘削特性に関する研究

実証実験（２）

グラウンドアンカーの前方探査および切断

- グラウンドアンカーのような細くて動く支障物の探査確認および切断確認

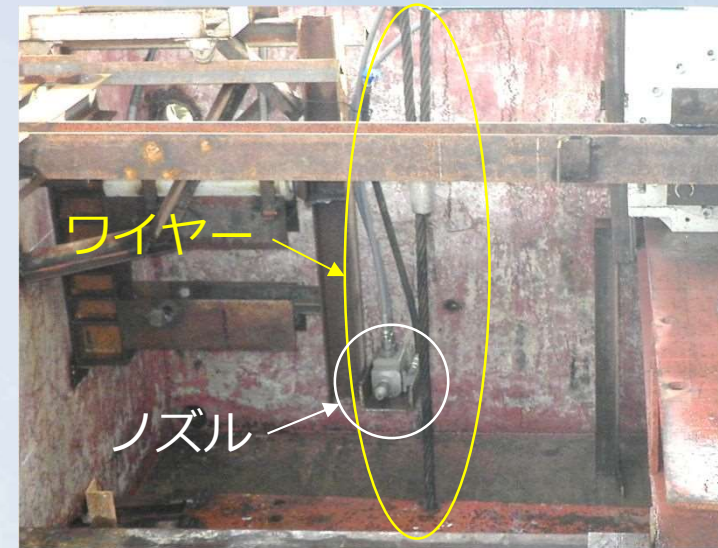
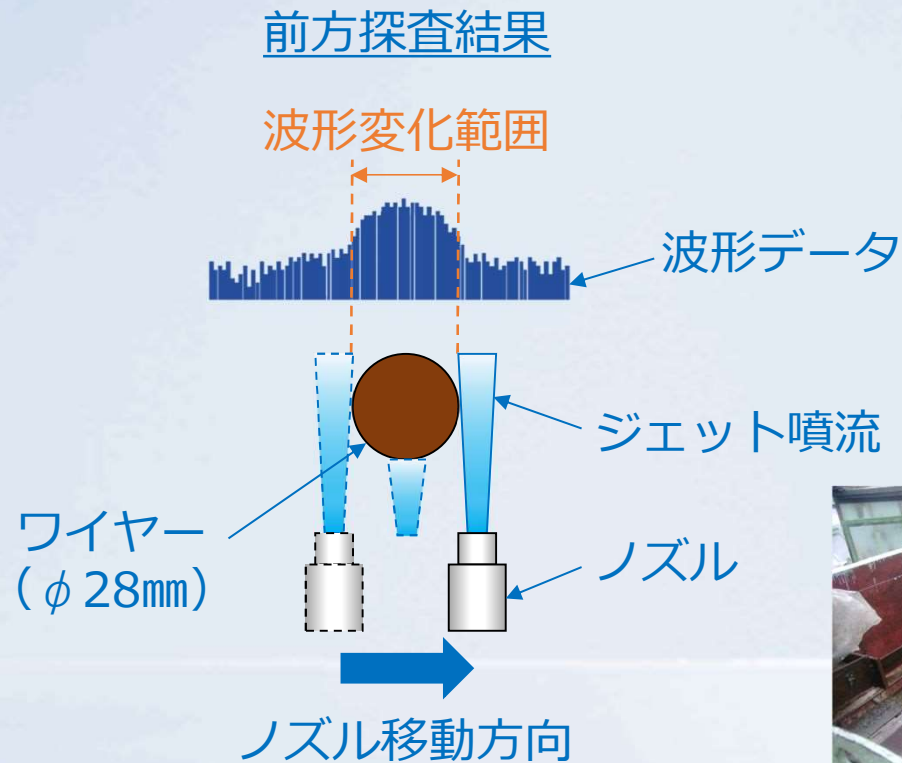


写真1 実験槽内状況



写真-2 切断噴射状況



写真-3 ワイヤー切断面

実証実験（3）

ノズルのスライドによる改良体造成の検証



確認（立会）状況



従来の改良体

ノズルスライドによる改良体



施工方法の工夫により**工期の短縮**

実証実験（４）

壁状構造物背面の地盤改良

- 壁状の支障物に遭遇した場合の支障物背面側に地盤改良が造成可能かの確認



切断線から地盤改良材を噴射

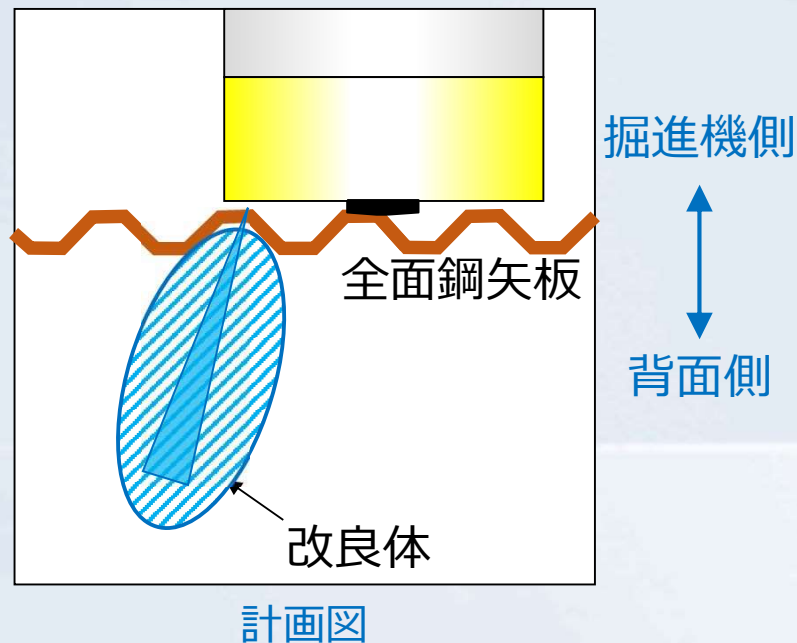


写真-1 切断線状況



写真-2 背面改良状況

実証実験（５）

P I P 杭の切断確認

- P I P 杭（ $\phi 450\text{mm}$ 、 $\phi 525\text{mm}$ 、 $\phi 600\text{mm}$ ）を切断した場合のモルタル部や鋼材の切断線を確認

P I P 杭
（ $\phi 450\text{mm}$ ）



P I P 杭切断面



P I P 杭切断線

今後も **工期の短縮 ・ 施工費の縮減**
を目指し、日々努力してまいります。

進化する

Double Object – Jet Method

DO-Jet工法

DO-Jet工法研究会

〒103-0021 東京都中央区日本橋本石町3-2-7 常盤ビル5F
TEL : 03-3278-6778 FAX : 03-3517-5698
URL : <https://www.do-jet-kouhou.com>
E-mail : do-jet-k@bridge.ocn.ne.jp