

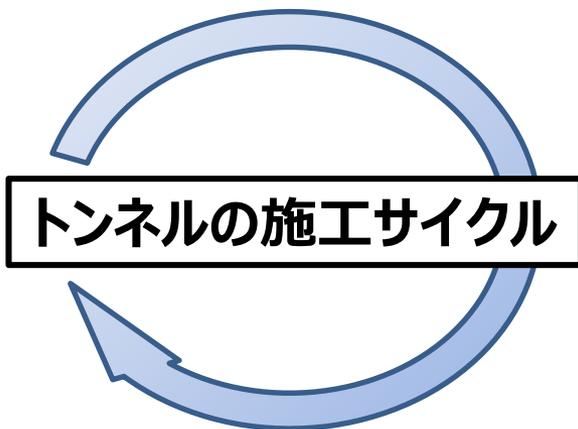
山岳トンネル 鋼製支保工建込みロボット



土木事業本部 土木技術部 施工技術グループ トンネル技術チーム

水 谷 和 彦

山岳トンネル掘削の標準的な施工サイクル



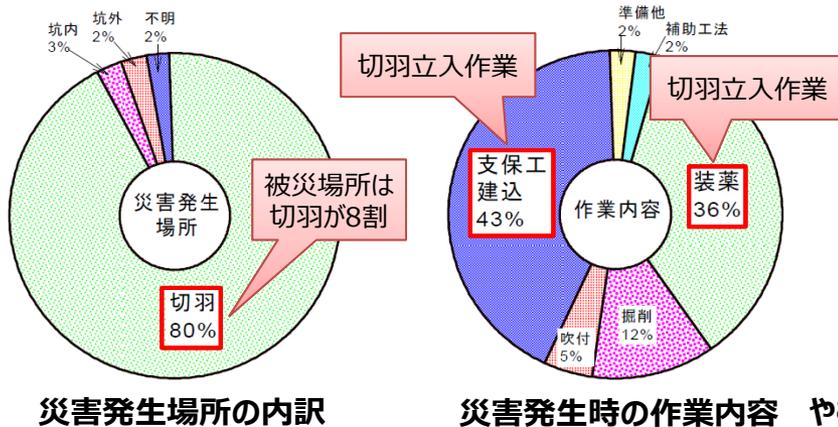
山岳トンネル施工における社会的課題と技術開発の目的

社会的課題

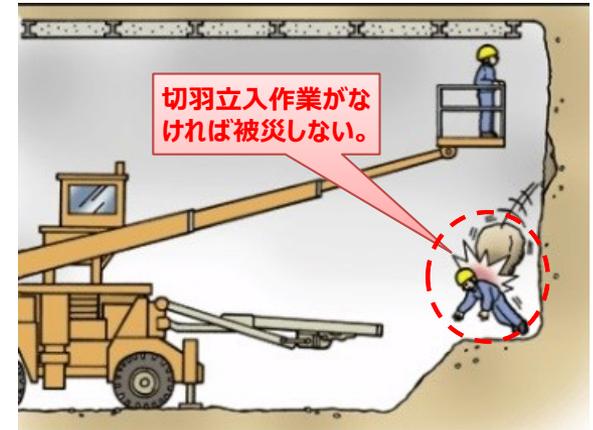
- ・ **技能労働者不足**（坑夫不足）に対して**生産性向上**が要望
- ・ **切羽における岩石落下**（肌落ち）による**重篤災害**の撲滅

H28.12「山岳トンネル工事の切羽における**肌落ち災害防止**対策に係る**ガイドライン**」が厚労省より発令
講ずることが望ましい事項⇒労働者の切羽への立入りを原則として禁止し**切羽での作業は可能な限り機械化**

トンネルにおける労働災害に関する分析結果



やむを得ず切羽に立入る作業



切羽立入作業時に肌落ち災害

※トンネル切羽からの肌落ちによる労働災害の調査分析と防止対策の提案 2012 労働安全衛生総合研究所 より抜粋

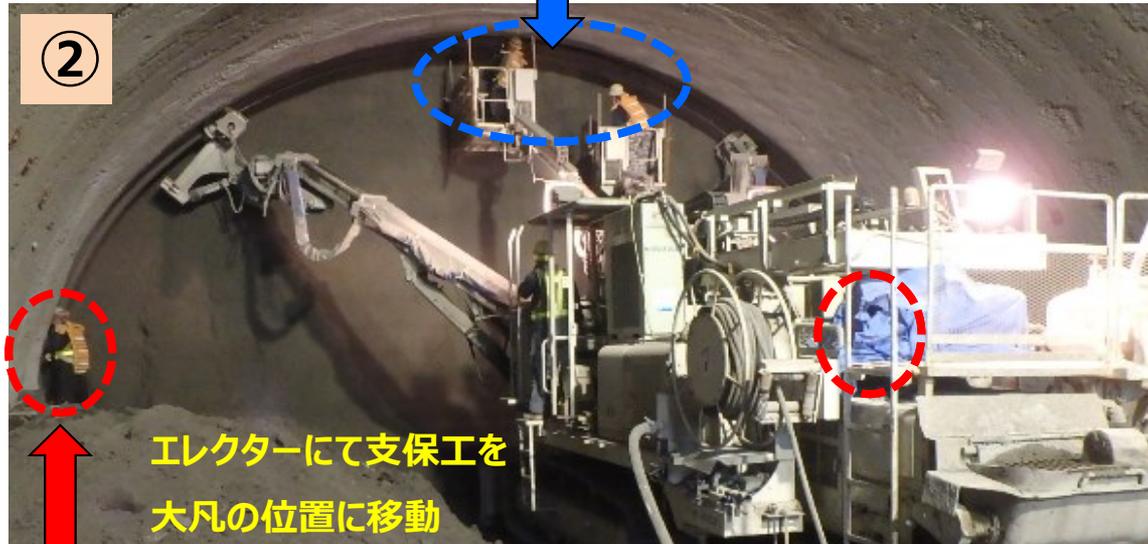
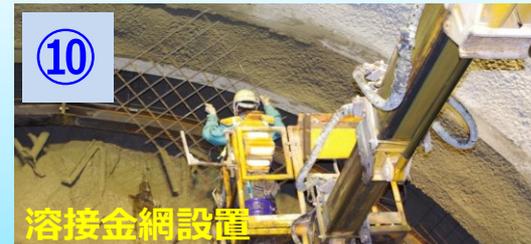
技術開発の目的

被災確率の高い、**鋼製支保工建込作業を機械化**することにより、

- ・ **作業員の切羽立入作業を無くし、安全性を向上する。**
- ・ **省人化** や**施工スピードアップ**により、**生産性を向上する。**

現行の鋼製支保工建込手順

天端作業



脚部作業



現行の鋼製支保工建込手順（動画）



全体のフロー



板による高さ調整



位置確認・微調整（人力）



微調整（機械）

鋼製支保工建込ロボットを開発（前田建設・古河ロックドリル・マック）

■ 建設通信新聞

■ ホームページ版

2017.10.10

山岳トンネル

1人で鋼製支保工設置

建込みロボを共同開発

前田建設は、古河ロックドリル、マック（千葉県市川市）と共同で「鋼製支保工建込みロボット」を開発した。写真に設置した自動追尾型トータルステーションなどを組み合わせた「支保工位置ナビゲーションシステム」と支保工位置を測定できる「高性能エレクターマシン」で構成。運転席のナビゲーション操作盤1人で作業員4人が必要

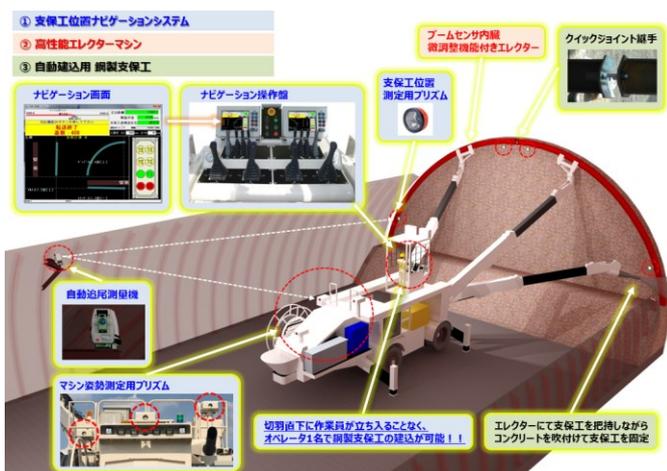
前田建設は、古河ロックドリル、マック（千葉県市川市）と共同で「鋼製支保工建込みロボット」を開発した。写真に設置した自動追尾型トータルステーションなどを組み合わせた「支保工位置ナビゲーションシステム」と支保工位置を測定できる「高性能エレクターマシン」で構成。運転席のナビゲーション操作盤1人で作業員4人が必要

切羽肌落ち災害は山岳トンネル特有の労働災害だが、統計上では鋼製支保工建込み作業中の被災事例が最も多い。2016年に厚生労働省が通知した「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」では、事前調査による地山の状況把握や肌落ち防止計画の策定に加え、機械化による事故防止対策を事業者へ要望している。

同ロボットの鋼製支保工建込み性能の確認は既に工場で行っており、今年度中には実際の現場への導入を開始する予定だ。

前田建設ら／山岳トンネル用鋼製支保工建込ロボ開発／オペレーター1人で施工可能に

日刊建設工業新聞 2017年10月09日(月)22時00分配信



前田建設は6日、古河ロックドリル（東京都中央区、三村清仁社長）とマック（千葉県市川市、宮原宏史社長）と共同で、山岳トンネル建設向けに鋼製支保工を設置するロボットを開発したと発表した。支保工の位置を誘導するシステムなどを搭載し、危険な切羽直下に人が立ち入ることなく、オペレーター1人で支保工の建て込みが可能となる。現場に配置済みで、本年度中の本格稼働を目指す。開発したロボットは、一台でコンクリートの吹き付けから支保工の建て込みまで行うことができるエレクター一体型吹き付け機がベース。左右2本のエレクターで支保工を把持しながらコンクリートを吹き付けて支保工を固定する。支保工位置測定用プリズムや自動追尾型トータルステーションなどで構成する「支保工位置ナビゲーションシステム」、支保工位置の微調整が可能な「高性能エレクターマシン」により、測量や支保工の位置合わせなど、従来は人が切羽で行っていた作業を機械化し、運転席からの操作のみで高精度な支保工の建て込みを実現する。標準的な施工では、オペレーター1人と切羽に入る作業員4人が必要だった。ロボットの導入により、切羽で岩石などが落下する「肌落ち」による事故の防止と同時に、大幅な省人化や施工サイクルの短縮にもつながり、生産性が高まる。切羽での肌落ち災害は、山岳トンネル工事に特有の労働災害で、鋼製支保工の建て込み作業中の被災事例が最も多いとされる。16年12月に厚生労働省が通達した「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」でも、機械化による事故防止対策が求められている。



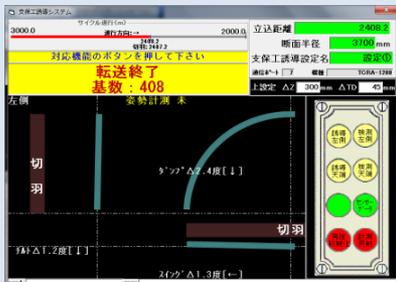
鋼製支保工建込みロボットの技術構成

① 支保工位置ナビゲーションシステム

② 高性能エレクターマシン

③ 自動建込用 鋼製支保工

ナビゲーション画面



ナビゲーション操作盤



ブームセンサ内蔵
微調整機能付きエレクター

クイックジョイント継手



支保工位置
測定用プリズム



自動追尾測量機

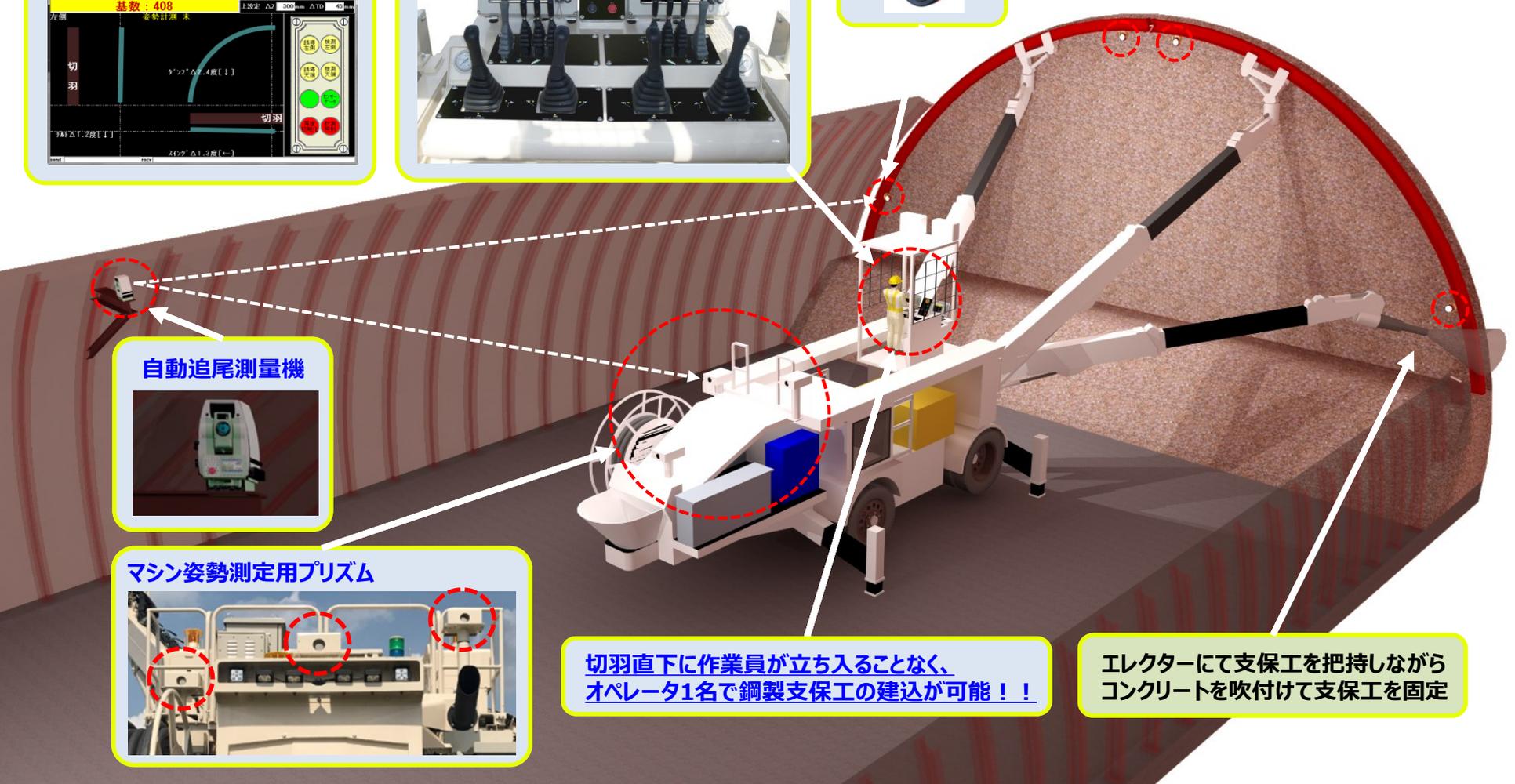


マシン姿勢測定用プリズム



切羽直下に作業員が立ち入ることなく、
オペレータ1名で鋼製支保工の建込が可能！！

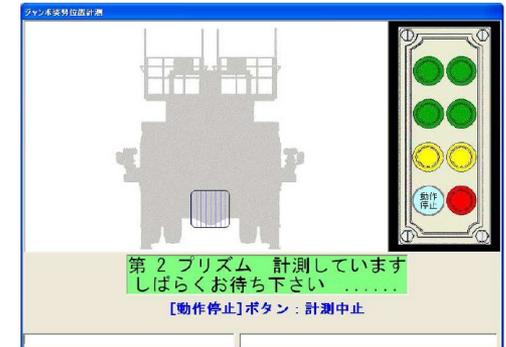
エレクターにて支保工を把持しながら
コンクリートを吹付けて支保工を固定



① 支保工位置ナビゲーションシステム

新機能 1 : マシン姿勢測定機能

- ① マシン本体に給電(400V)すると自動でナビ画面が起動
- ② 切羽位置で油圧スイッチをONにすると、坑内壁面に固定設置した自動追尾測量機にて、マシン後方のプリズムを自動で測定し、マシン本体の姿勢・位置を測定します。

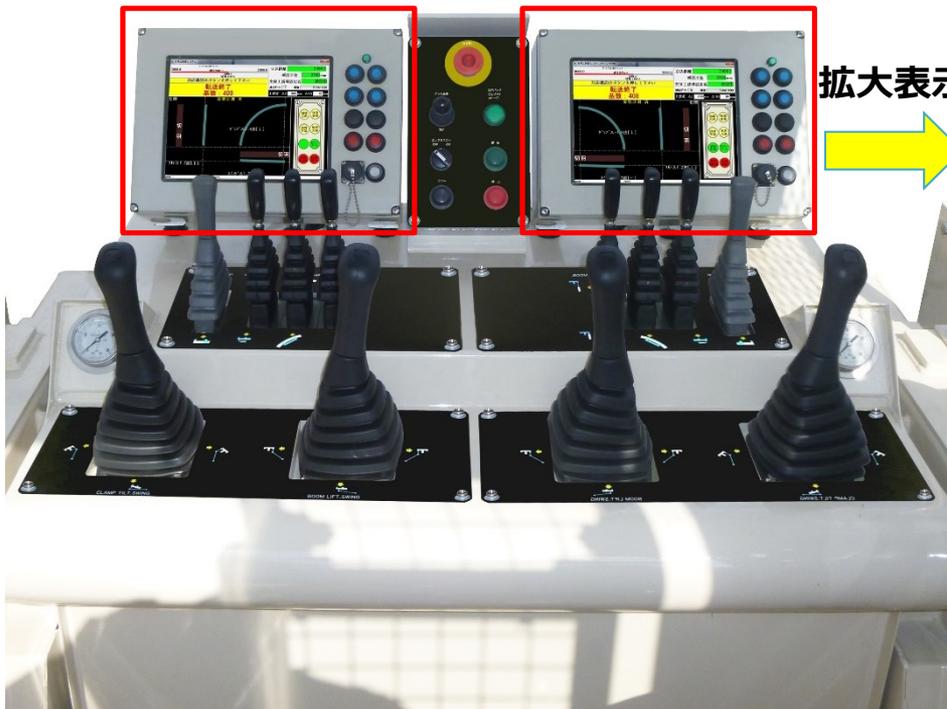


マシン姿勢測定用プリズム (3箇所) 自動追尾測量機 ナビ画面表示

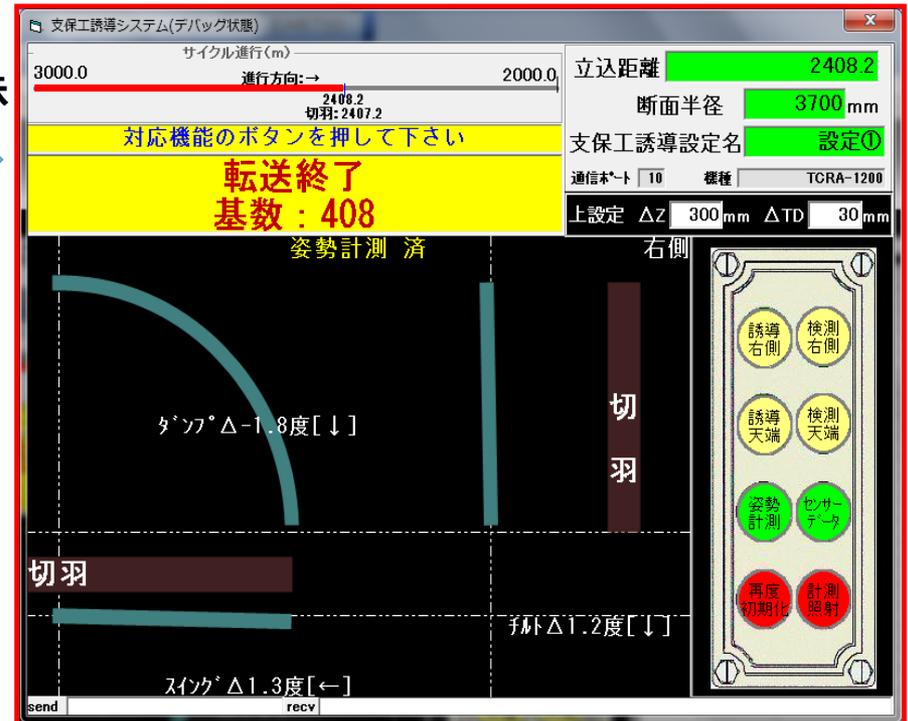
① 支保工位置ナビゲーションシステム

新機能 2 : 鋼製支保工角度表示機能

- ① マシン姿勢位置とブームセンサ データを合成計算する事により、エレクターの位置姿勢を把握できます。
- ② 左右のナビ画面で設計基線に対する鋼製支保工の角度をリアルタイムに把握することができます。



ナビゲーション (左右2画面表示)



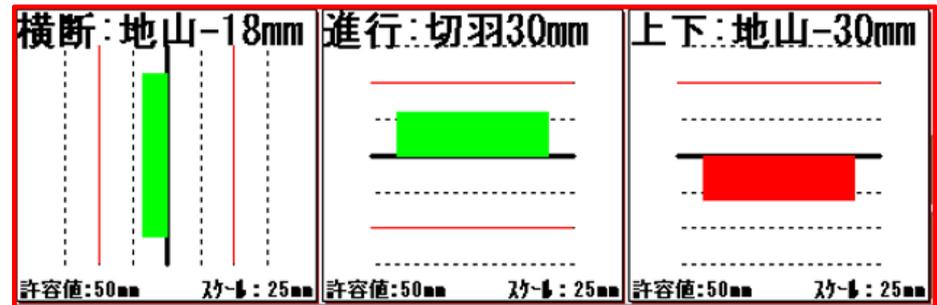
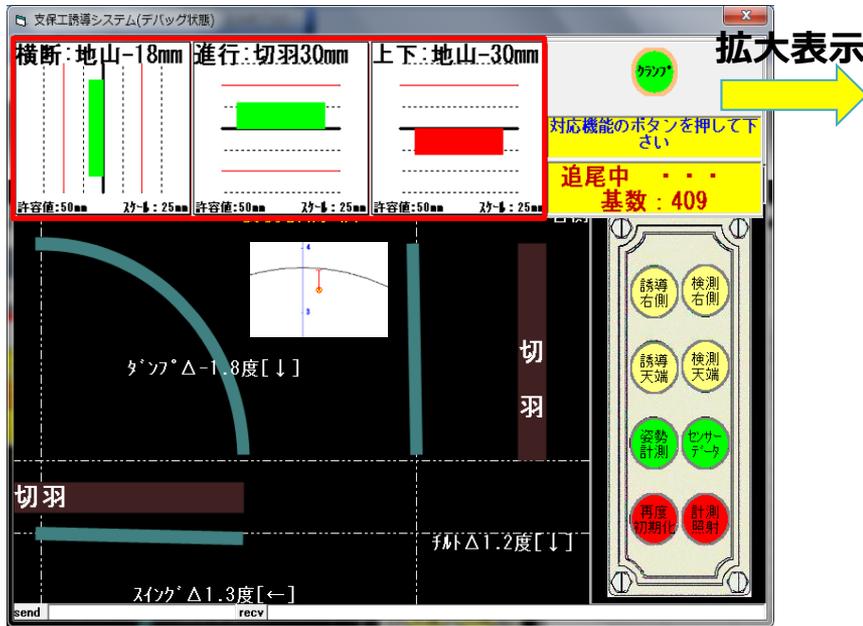
画面表示 (右側)

① 支保工位置ナビゲーションシステム

新機能 3 : 測定用プリズムによる鋼製支保工位置の詳細表示

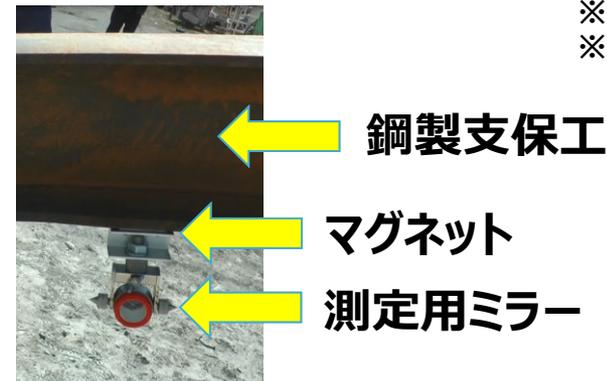
- ①トンネル線形管理については、従来施工で用いている測量システムを活用します。
- ②測量システム側で鋼製支保工へのミラー設置位置など初期設定を事前入力しておきます。
- ③鋼製支保工を仮置きしている時点で所定の位置に測定用プリズムをマグネット接着します。
- ④前機能により角度調整をした後、本機能を用いて天端締結や測量精度の位置合わせを行います。

右側天端ミラー自動追尾測定時



カラーバーにより設計値との差分を表示

- ※ 許容値内 ⇒ 緑色表示
- ※ 許容値外 ⇒ 赤色表示



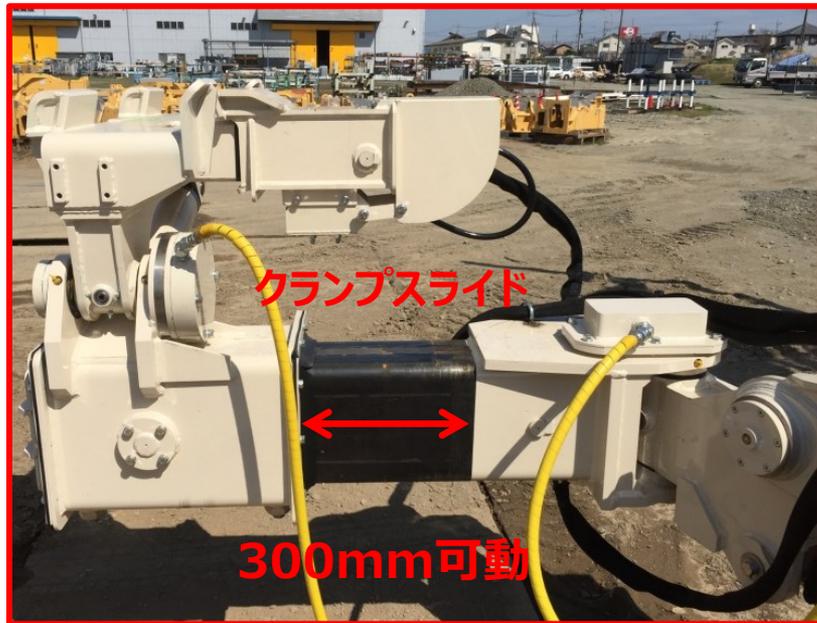
測定用プリズムによる詳細表示

② 微調整機能付きエレクター

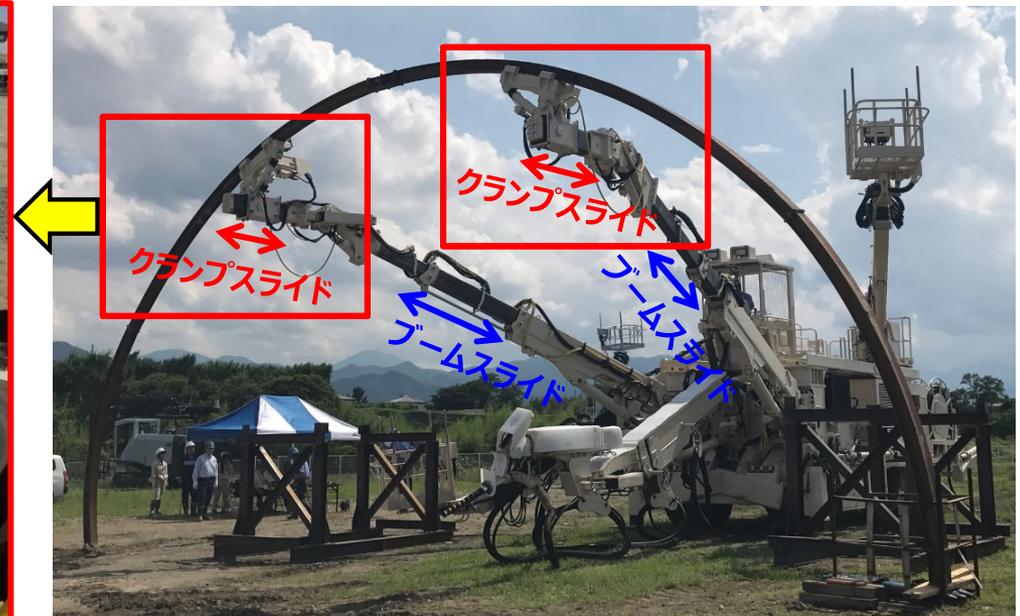
新機能 1 : 鋼製支保工クランプ部の平行スライド機能

⇒ 鋼製支保工を把持したまま、前後方向の調整が可能

※ ブームスライドでは広がる方向となり、把持したままの前後移動は不可能



クランプ部 拡大写真



マシン本体 全景

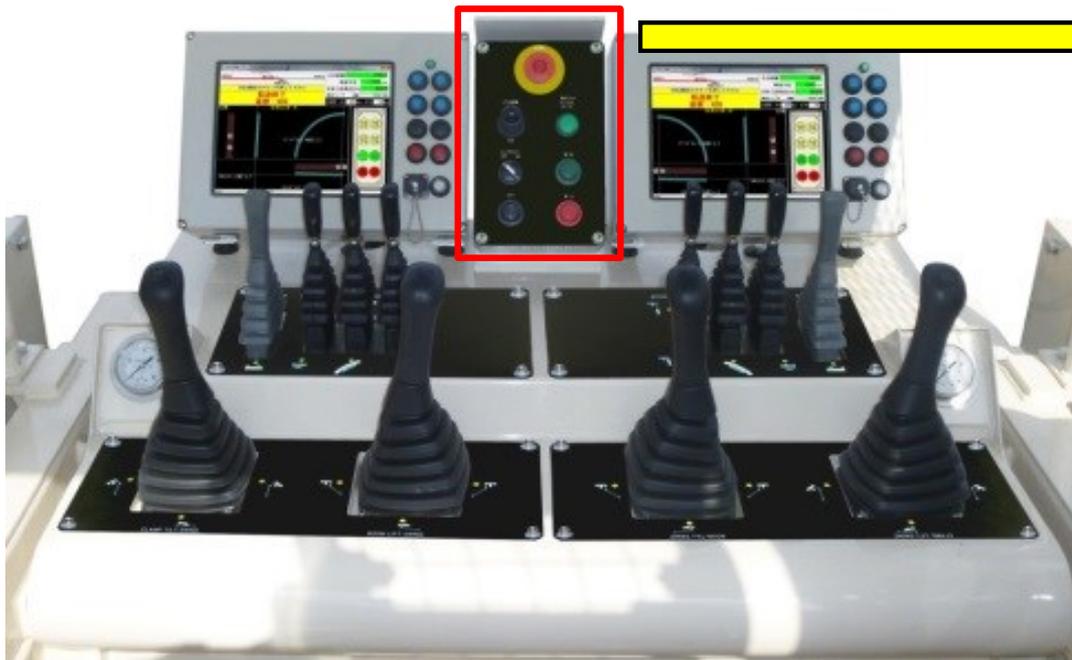
② 微調整機能付きエレクター

新機能 2 : エレクター微速モード 切替機能

⇒ 大凡の支保工移動は従来速度で可動 (エレクタースロー-OFF)

⇒ 天端継手や位置合わせ時は微速で可動 (エレクタースロー-ON)

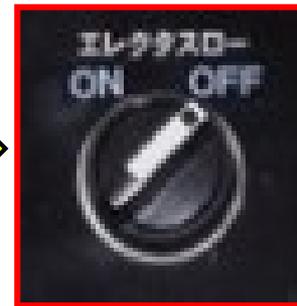
※ 従来エレクターでは、レバー操作で支保工位置の微調整ができなかった。



コントロールレバーおよびスイッチ盤



スイッチ盤

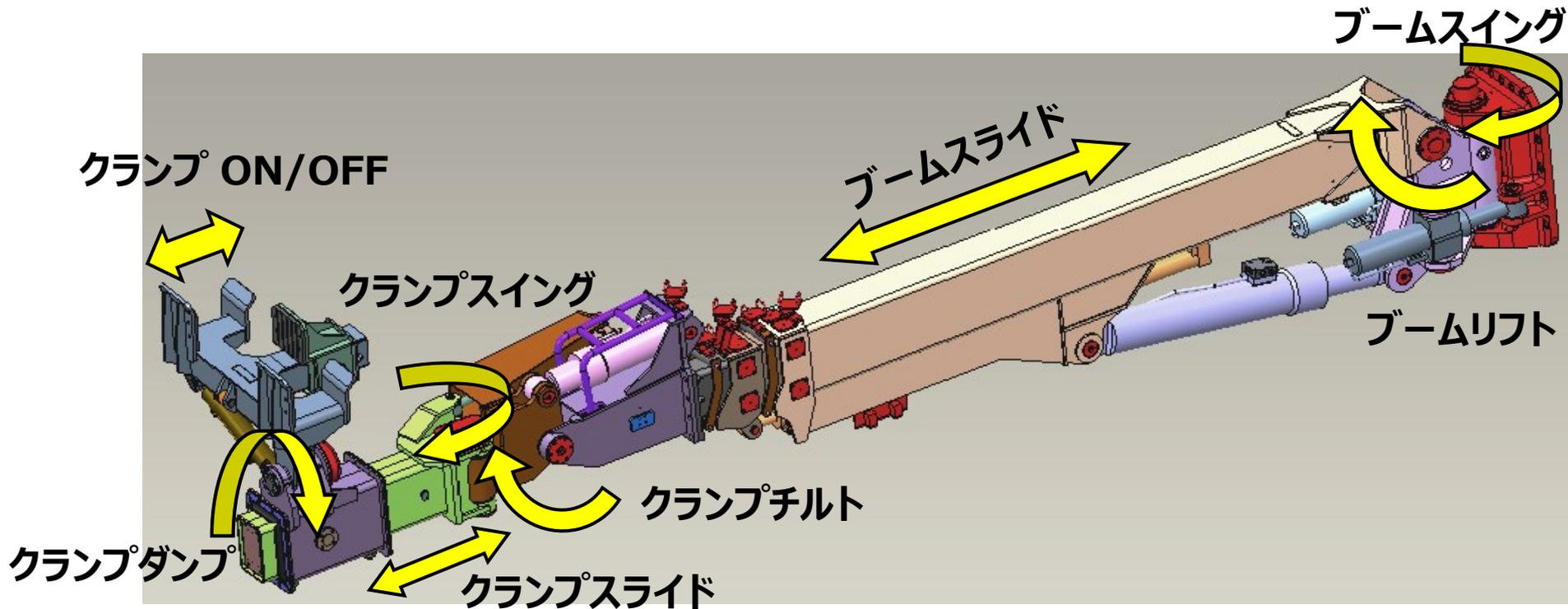


② 微調整機能付きエレクター

新機能 3 : エレクターの各関節にブームセンサーを内蔵

⇒ ブームセンサーにより鋼製支保工の方向やねじれが把握可能

⇒ 施工中のデータを自動記録し、完全自動化に向けてデータ取得



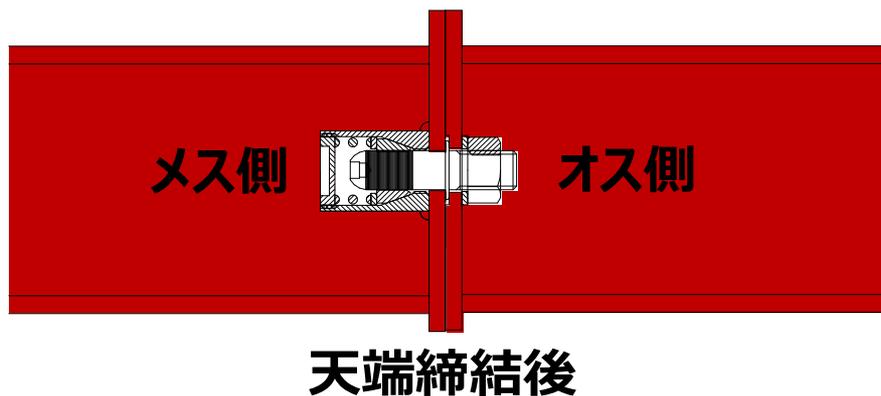
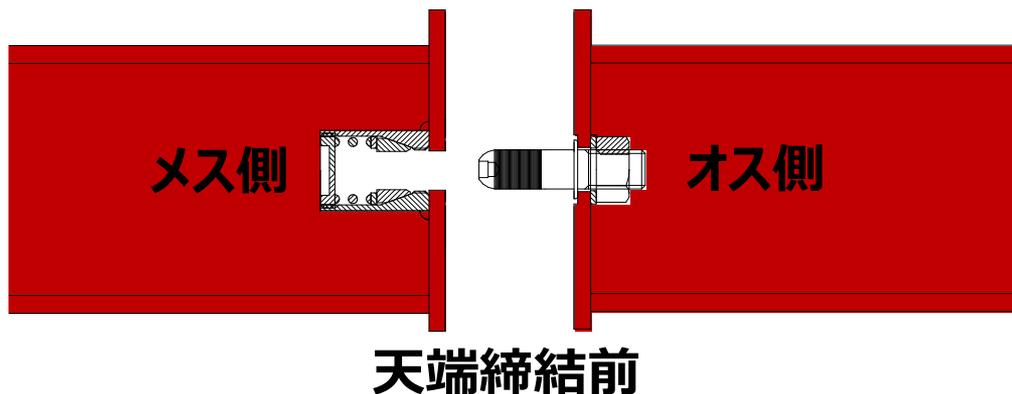
エレクター各関節のブームセンサー

③自動建込用 鋼製支保工

新機能 1 : クイックジョイント継手による天端締結

⇒ セグメント用継手活用、一度挿入すると抜けることはありません。

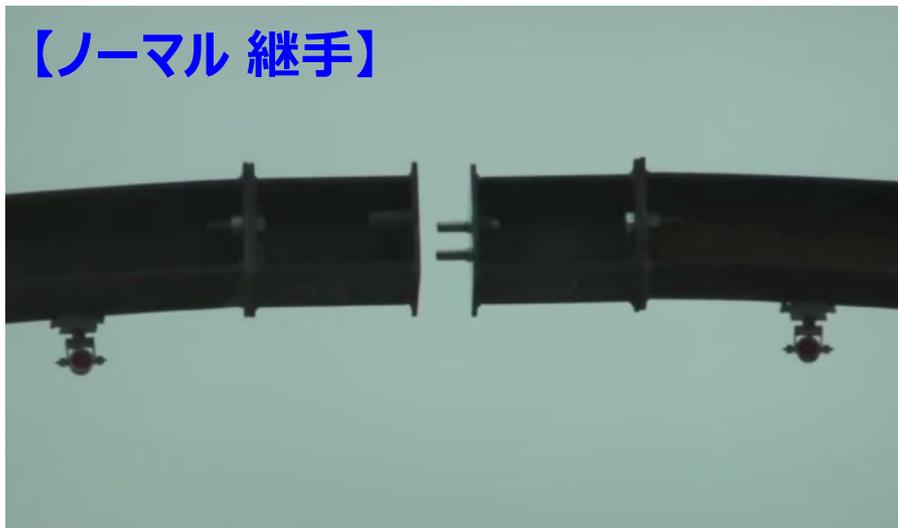
⇒ メス側は支保工に溶接固定し、オス側はナットにて固定します。



③自動建込用 鋼製支保工

【様々な継手形状により試験】

【ノーマル 継手】



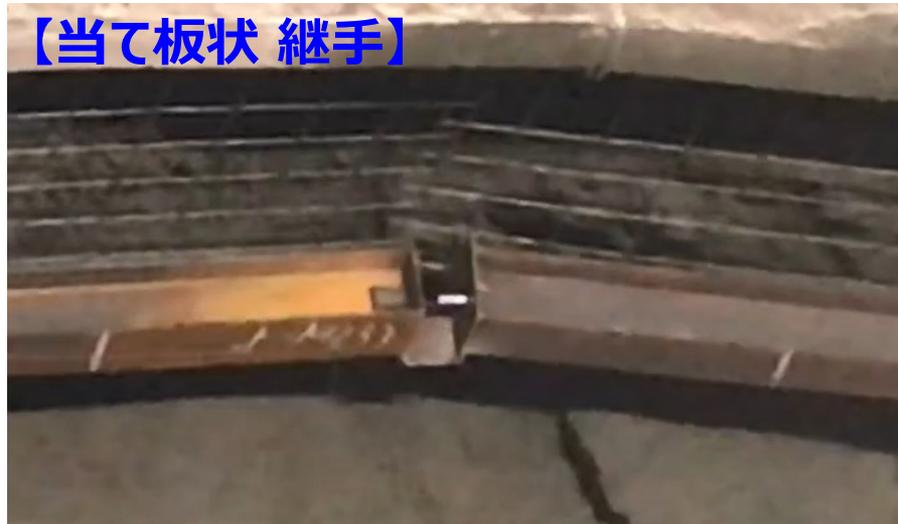
【くの字状 継手】



【ラッパ状 継手】



【当て板状 継手】



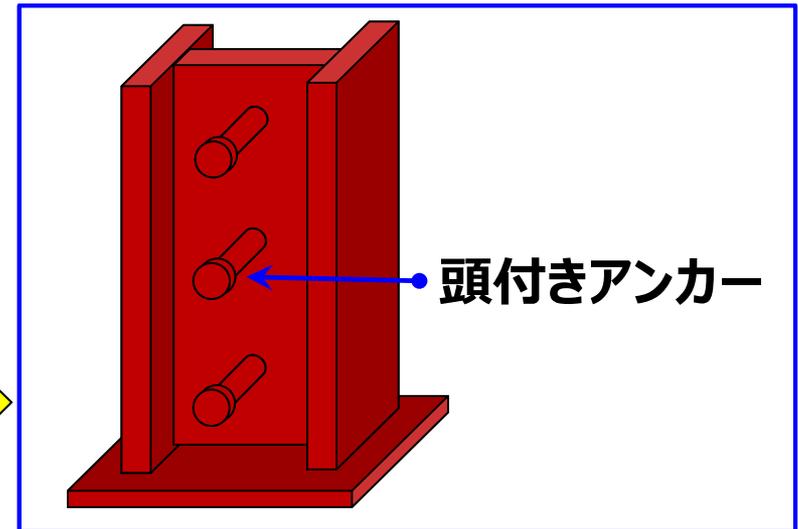
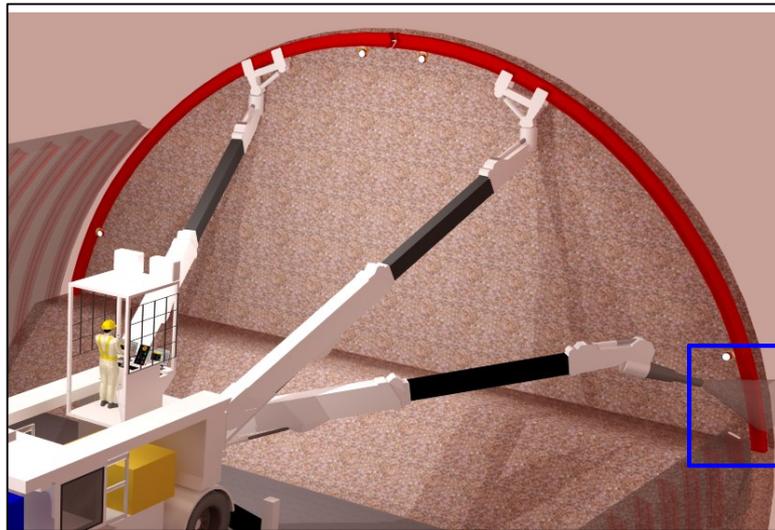
③ 自動建込用 鋼製支保工

新機能 3 : 支保工つなぎ材を不要にする施工法と構造

【つなぎ材の目的】

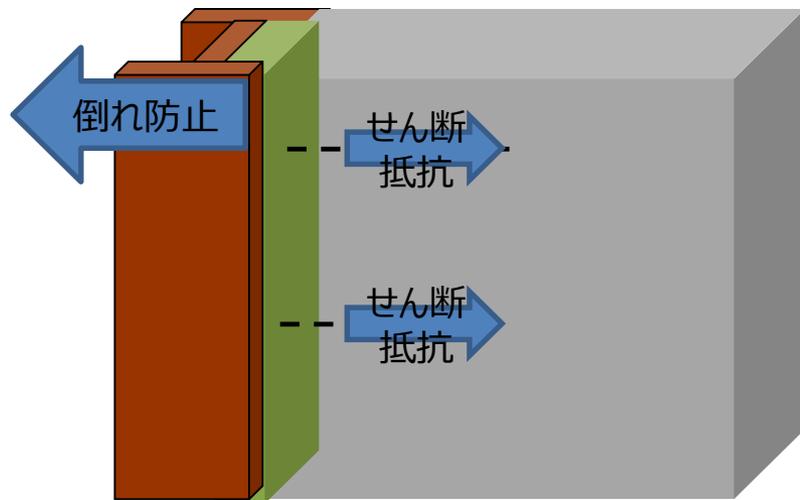
鋼製支保工には、建込み後、吹付けコンクリートによって固定されるまでの間、鋼製支保工相互を連結して転倒防止するなど、安定性を向上させるために適切なつなぎ材を設けなければならない。

(トンネル標準示方書 土木学会より抜粋)



エレクターにて支保工を把持しながら支保工脚部を吹付けコンクリートにより固定し、頭付きアンカーにより転倒防止を行った後にエレクターを外して、全周吹付けを行う。

③自動建込用 鋼製支保工



③ 自動建込用 鋼製支保工

新機能 4 : 溶接金網を不要にする支保工構造

【金網について】

- ・鋼繊維吹付けコンクリート（SFRC）等を用いる場合は、金網を省略できる。
（道路トンネル技術基準）
- ・高強度吹付けコンクリートを使用する場合は、原則として金網の設置は行わないものとする。
（日本高速道路株式会社）



『鋼繊維吹付けコンクリート』や『高強度吹付けコンクリート』により金網を省略



これら機能の技術検証の為、工場試験ヤードにて建込試験を実施



試験状況（後方より）



自動追尾トータルステーション



自動追尾トータルステーション



試験状況（前方より）



測量用ミラー



開発関係者

開発システムにより天端締結と支保工位置合わせが可能であることを確認
⇒ 九州地方整備局 平底トンネルに導入し、現場試験にて検証

九州地方整備局 平底トンネル

現場実証試験状況

九州地方整備局 平底トンネル 現場実証試験

施工前に金網を鋼製支保工に溶接設置



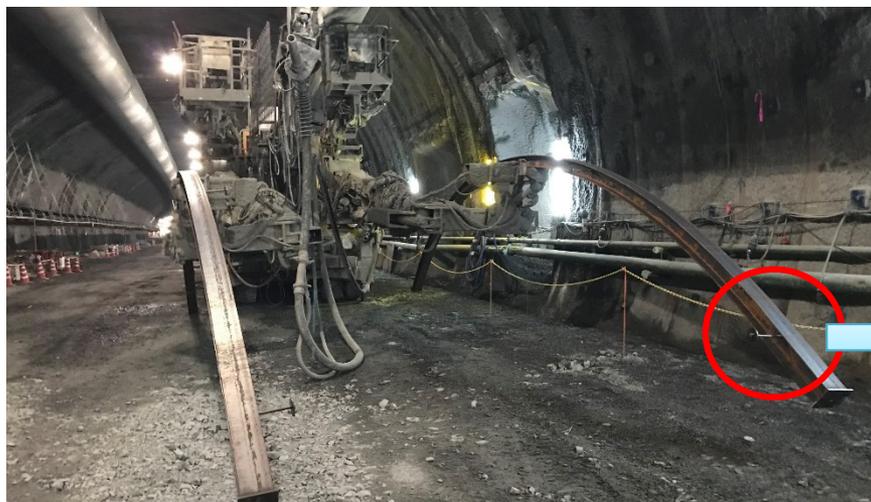
※ただし、吹付け材料の仕様変更（鋼繊維・高強度など）により金網を省略することも可能であると考えている。

九州地方整備局 平底トンネル 現場実証試験

施工前に頭付きアンカーを設置



頭付きアンカー例①



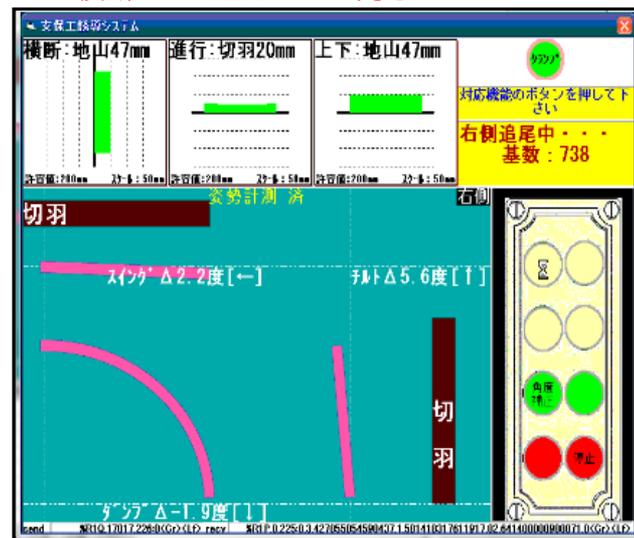
頭付きアンカー例②

九州地方整備局 平底トンネル 現場実証試験

① 右側の鋼製支保工位置合わせ



横断 進行 高さ



九州地方整備局 平底トンネル 現場実証試験

② 右側の鋼製支保工脚部吹付けコンクリート

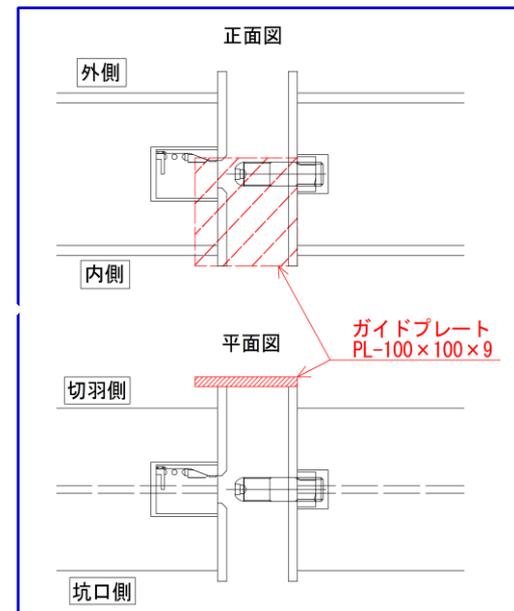
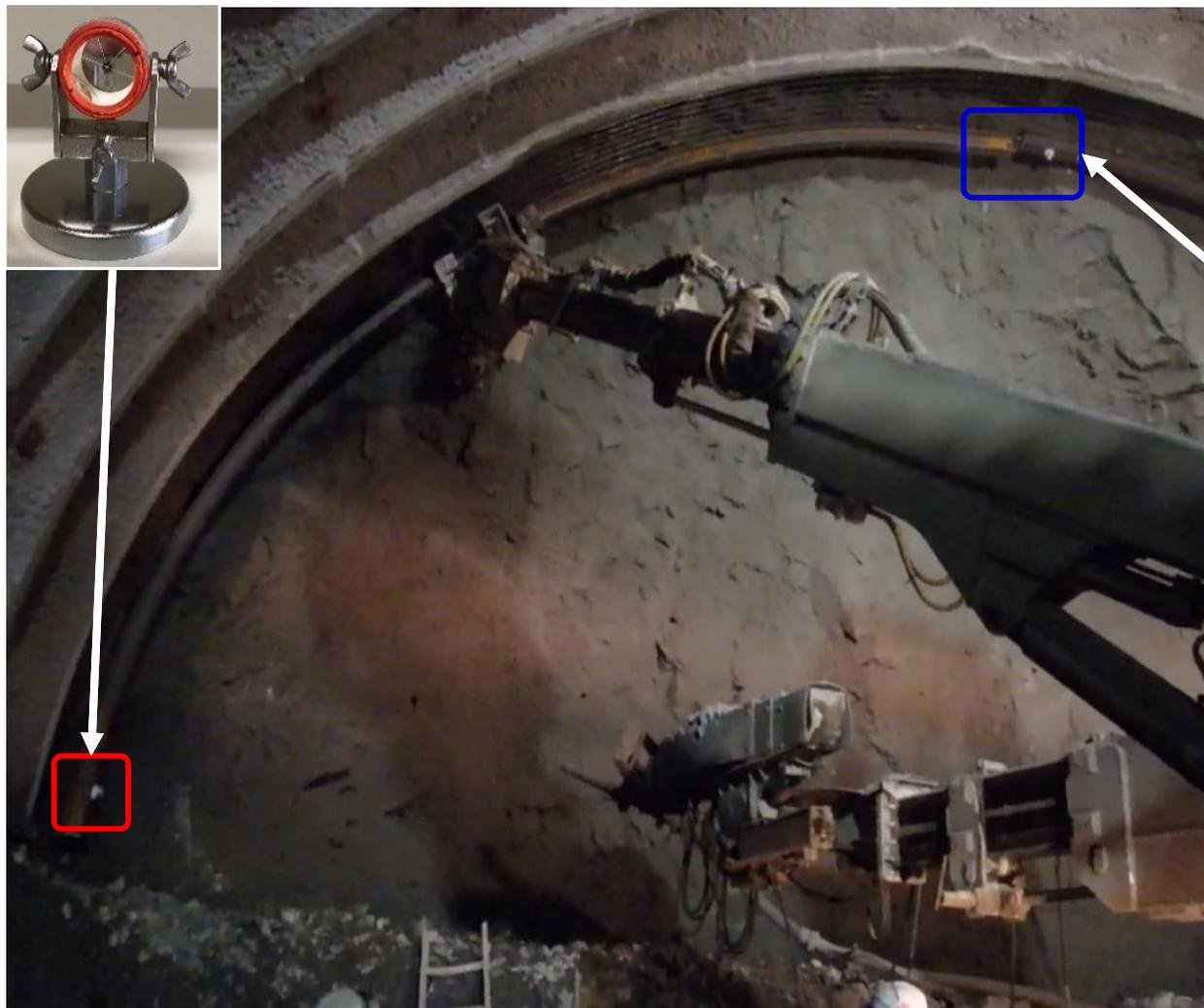


エレクターアームで把持

位置合わせ完了後、
エレクターアーム下まで
吹付コンクリートを施工

九州地方整備局 平底トンネル 現場実証試験

③ 天端締結 および 左側鋼製支保工位置合わせ (右脚部吹付中)



ガイドプレート

九州地方整備局 平底トンネル 現場実証試験

④ 左側の鋼製支保工脚部吹付けコンクリート



エレクターアームで把持

位置合わせ完了後、
エレクターアーム下まで
吹付コンクリートを施工

九州地方整備局 平底トンネル 現場実証試験

⑤ 左右脚部の吹付コンクリート固定完了後、左右のエレクター解除



九州地方整備局 平底トンネル 現場実証試験 動画



東北地方整備局 広瀬1号トンネル現場導入状況 動画



鋼製支保工建込みロボット現場稼働状況

広瀬1号トンネル

九州地方整備局 城山トンネル現場導入状況 動画



00:14右調整,01:30右吹付,02:59左調整,04:42左吹付,04:51天端調整,06:15天端締結,08:10二次吹き

開発技術導入による効果①

切羽直下立入作業 「ゼロ」



人力による支保工脚部移動



位置確認



高さ調整



位置確認指示



ボール等による微調整



天端ボルトナット締結



つなぎ材設置

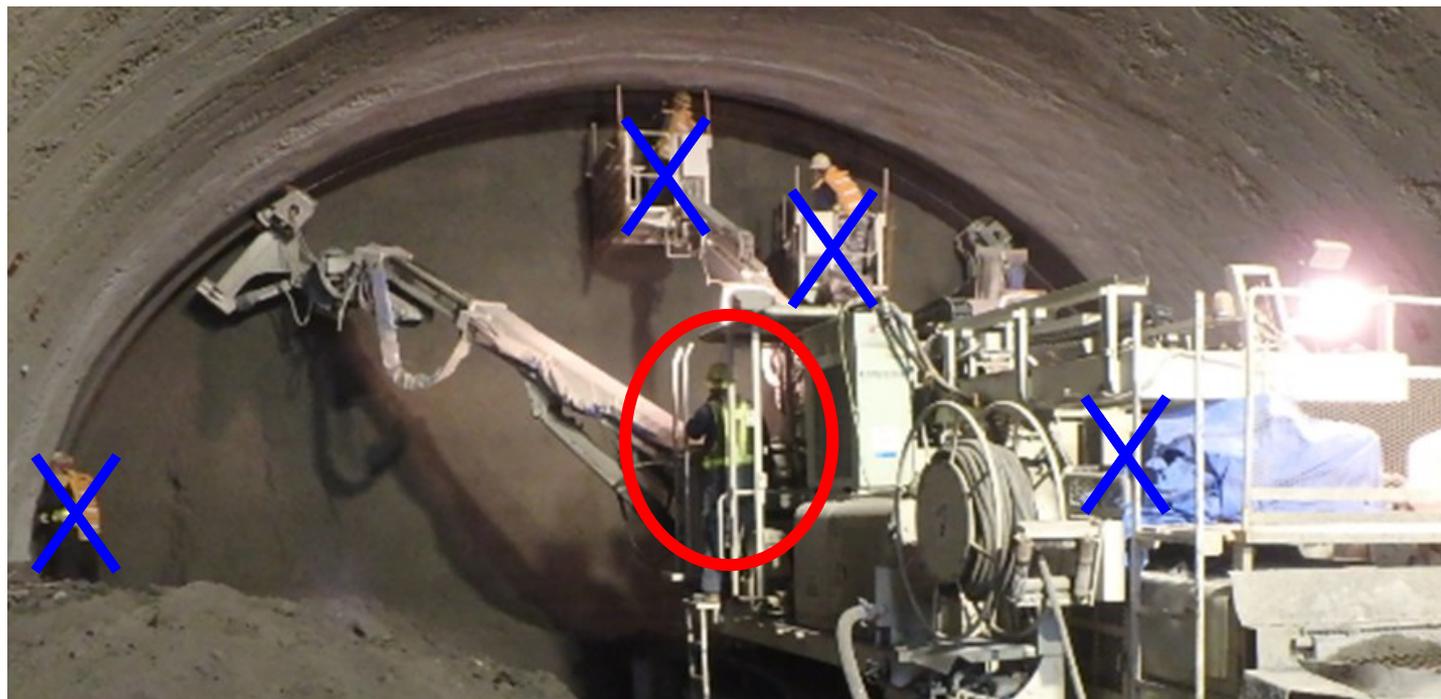


溶接金網設置

切羽直下立入作業員数 **現行施工 4人** ⇒ **開発技術 0人**

開発技術導入による効果②

鋼製支保工建込作業における省人化



建込作業	マシン操作 (人)	支保工脚部 位置確認 (人)	天端ボルト締結 金網・つなぎ材設置 (人)	合計 (人)
現行施工	1	2	2	5
開発技術	1	0	0	1

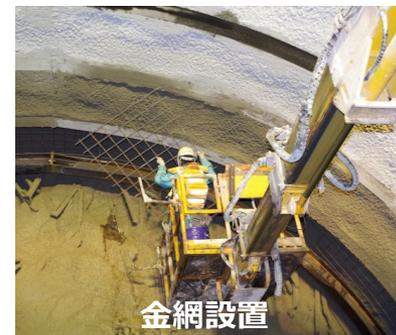
➔ マシン操作+吹付けコンクリートノズルマン+ミラー回収補助員 : **合計3名**

開発技術導入による効果③

機械化施工による**施工スピード向上**

- ✓ 人力で行っていた**位置合わせ作業**の機械化
- ✓ 天端ボルト・つなぎ材・溶接金網の**現場設置作業**の省略
- ✓ 吹付けコンクリートと鋼製支保工建込みの**並行作業**

【現行施工】



【開発技術】



エレクター導入により省略



東北地方整備局 広瀬1号トンネル現場導入 実績

従来と新支保工建込み施工との比較

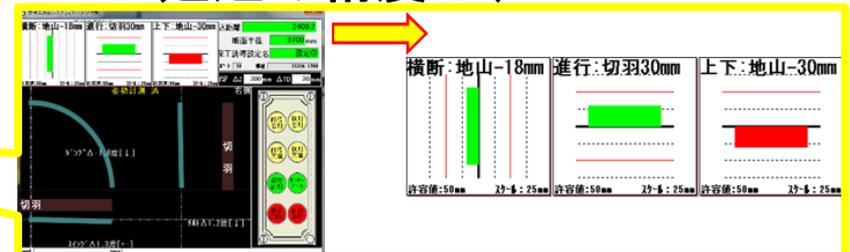
従来施工と新建込みシステム サイクルタイム比較表

項目		一次吹付	建込み	溶接金網	合計
従来の建込み	作業時間	7分	15分	8分	30分
	切羽直下	1名	5名	3名	5名
新建込みシステム	作業時間	(7分)	12分	—	12分
	切羽直下	0名	0名	0名	0名

支保工建込み時間は従来の1/3この時点で吹付けも1/3完了！



マグネット付きプリズム3箇所
建込み精度は、±30mm



開発技術導入による効果④

鋼製支保工の建込精度の向上

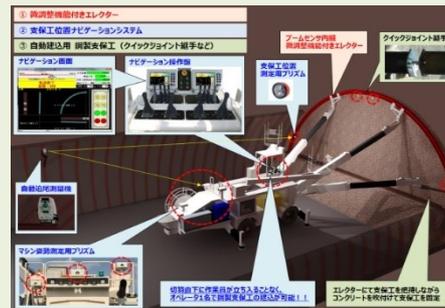
- ✓ 人力・目視で行っていた位置合わせ作業の機械化

【現行施工】



切羽後方からのレーザー光照査 作業員目視による位置合わせ

【開発技術】



支保工位置を1mm精度でナビゲーション

- ✓ 鋼製支保工のつなぎ材を省略することにより、設計位置への建込みが可能になり、カーブ区間における精度が向上

現在の開発状況

測量用ミラー回収機構の開発



マシンガイダンスからマシンコントロールへの開発



ご清聴ありがとうございました。



一次吹き終了 → 二次吹き開始



00:14右調整,01:30右吹付,02:59左調整,04:42左吹付,04:51天端調整,06:15天端締結,08:10二次吹き