

CONFIDENTIAL



鹿島土木のオープンイノベーションの取組

～中国地方建設技術開発交流会～

2020. 10. 30

【日本建設業連合会】

鹿島建設株式会社

大浜 大

1. 土木分野における技術開発

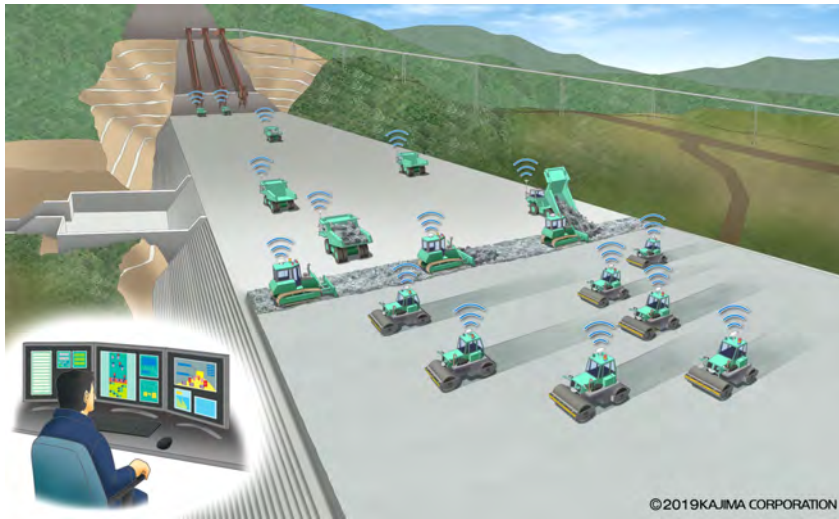
2. 鹿島土木のオープンイノベーション

3. 光ファイバセンシングによるスマートインフラ

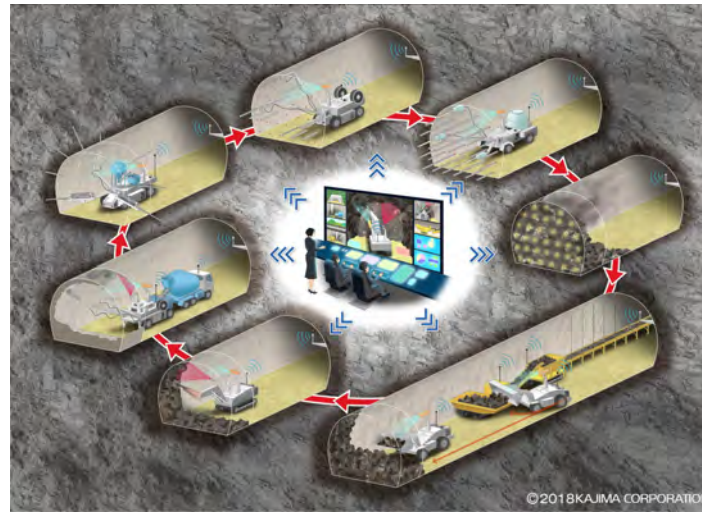
鹿島土木の技術開発の概要

▶ 建設現場の工場化

- 建設現場を**製造工場**のように**工学的に管理**される生産場所に最適化
- 最適化の手段：機械化・**自動化** / **見える化**・**デジタル化**
- ダム、トンネル、橋梁、都市、臨海、造成等、**様々な工事での挑戦**
- これにより**安価で良質なインフラ**を提供することを目指す



建設機械の自動化による
次世代の建設生産システム



トンネル現場の自動化・ワンマンオペレーション化のイメージ



コンクリート工事の将来像

これまでの技術開発の事例①

▶ 次世代建設生産システムA⁴CSEL

- 建設機械の自動運転を核とした次世代建設生産システムA⁴CSELの開発・実用化により、これまで労働集約型産業の代表であった建設業において、製造業のような生産性向上を目指す
- これにより建設現場の工場化を進め、ゼネコンから先端ITゼネコンへ



KAJIMA DX LABO
(2020/10/14オープン)



管制室 (2階)



LABO内 (1階)



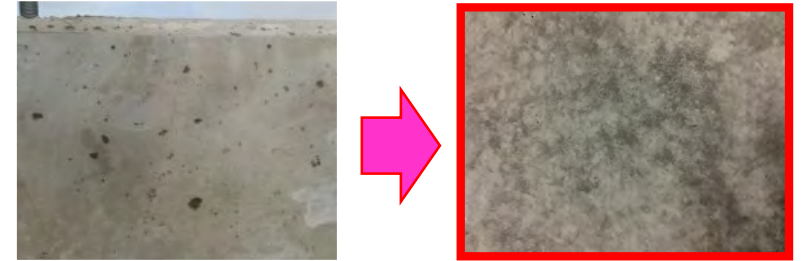
管制室からの指示で複数の重機が連携して作業を行う



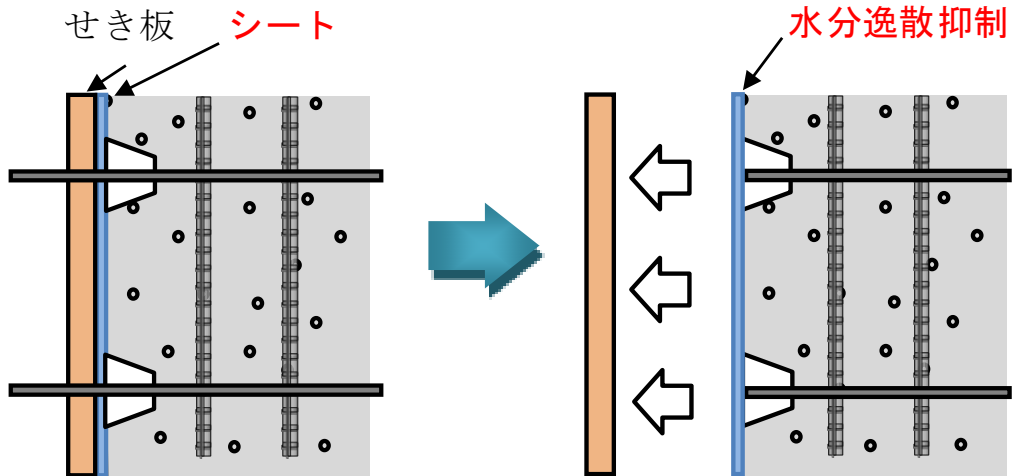
これまでの技術開発の事例②

▶ 美シール工法® NETIS : KT-190003-A

- コンクリートの表層を高品質化
(表面気泡, 透気, 透水, 塩分浸透)
- 養生手間をなくし, 生産性を向上
- 品質向上、生産性向上の両立を実現



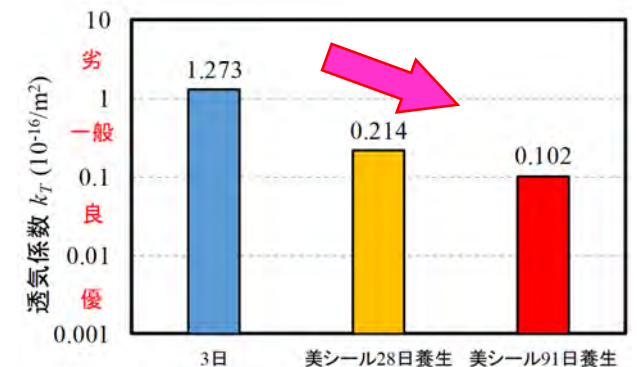
表面気泡を低減



コンクリート打込み時
一度も外気に触れることなく
長期の水分逸散抑制養生を実現



シールドトンネル インバート側壁
移動台車による急速施工と長期養生による品質向上を両立

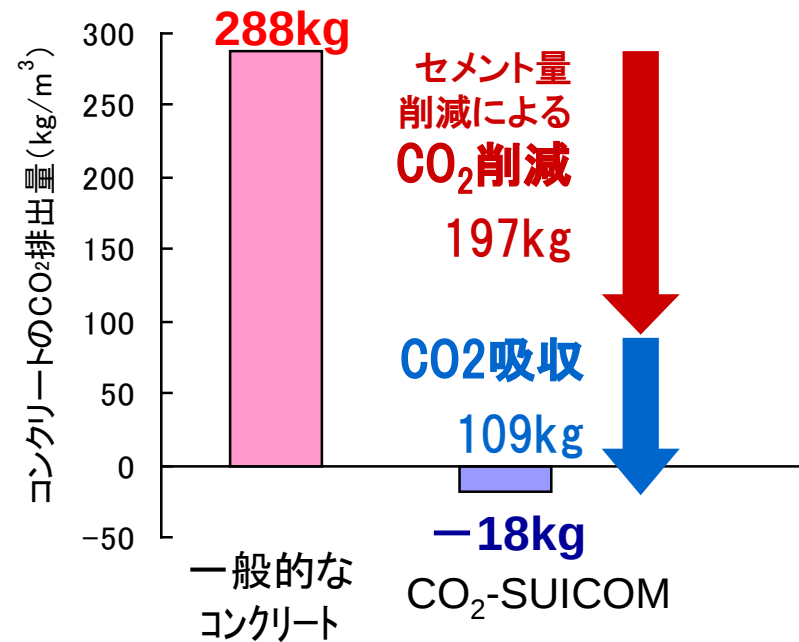
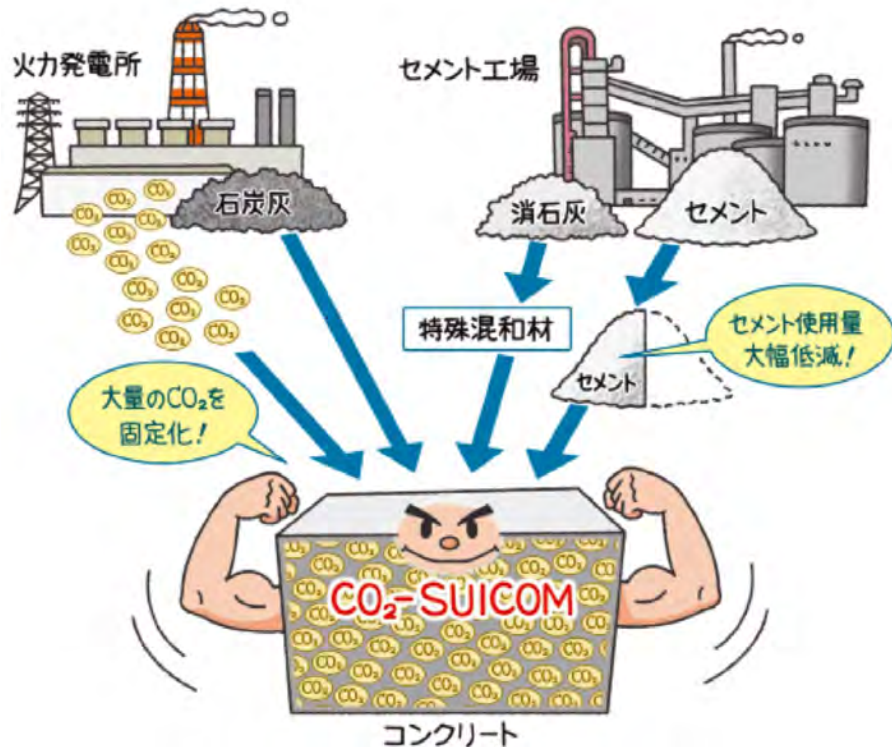


緻密性を向上

これまでの技術開発の事例③

▶ CO₂-SUICOM®

- まるで植物のようにCO₂を吸収・固定化して硬化するカーボンリサイクルコンクリート
- 2050年Zero Carbon達成への挑戦



CO₂排出量の算定結果



歩車道境界ブロック
NETIS:CG-140005-A

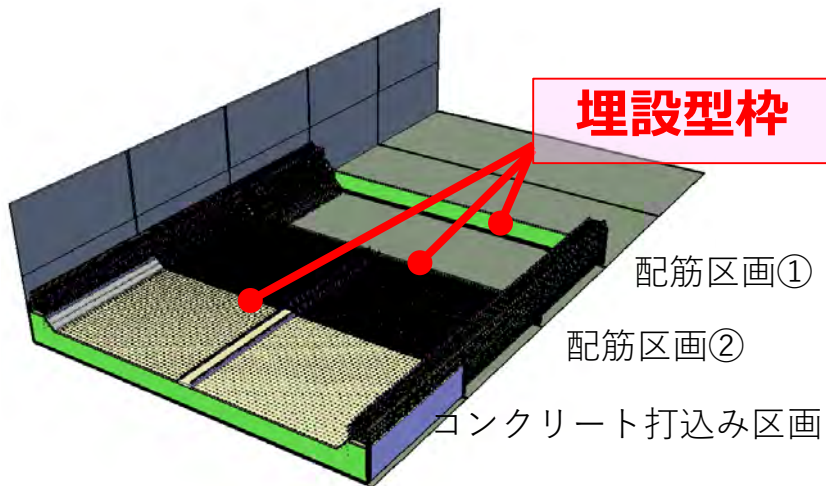


インターロッキングブロック
NETIS:CG-160001-A

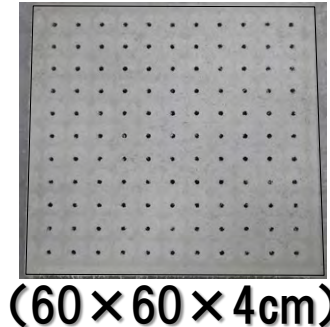
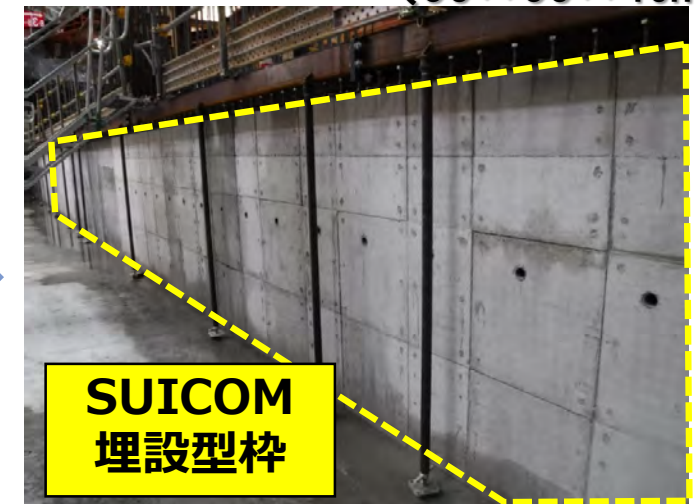
これまでの技術開発の事例④

▶ CO₂-SUICOM[®]を用いたガラス繊維補強埋設型枠

- SUICOMとガラス繊維を補強として用いることで、鉄筋を不要とし、**耐久性を向上した埋設型枠**
- **棲型枠**への活用により、**現場の生産性を向上**



棲型枠への使用
隣接ブロックの同時施工



棲部にSUICOM埋設型枠を使用することで**生産性を向上**

Contents

1. 土木分野における技術開発

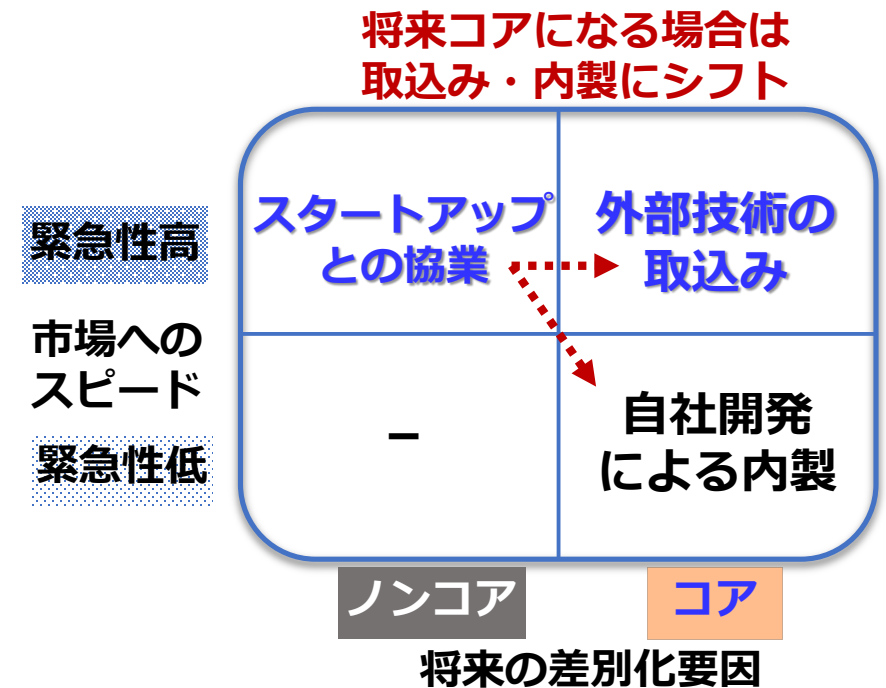
2. 鹿島土木のオープンイノベーション

3. 光ファイバセンシングによるスマートインフラ

オープンイノベーションの概要

▶ 鹿島土木のオープンイノベーション

- AI、IOT、ロボット技術が急速に進化する現状においては、自社独自の取組に加えて**外部技術の活用**が不可欠。
- 現在の延長線上にない**斬新な発想やアイデア**による**最先端技術を業界内外、国内外から探索**
- これらを有する**スタートアップ・大学、アライアンスパートナー**と**協業**することにより、その**技術やアイデア**を**自社開発に足りない部分に応用・補完**することで、**革新的生産技術・イノベーションの創出**に繋げる
- **コア・ノンコア**に対し、**外部技術の取込み・内製・スタートアップとの協業**、を使い分け



オープンイノベーションの概要

▶ オープンイノベーション活動の概要

- 知の探索としてイノベーションの1丁目1番地である米国シリコンバレーを中心として世界の最先端技術を探索
- WiL (World Innovation Lab) 、Plug and Play、U.C.Berkeley等とのパートナーシップにより拠点化し、駐在員を配置
- 短期的に結果が出る技術、中長期的に成果を出す可能性のある技術、それぞれをバランスよく探索・活用
- 約1100社のスタートアップと面談、鹿島土木への適用性が高い技術として約290社を発掘、約50社と実証試験・協業中（2020年10月時点）
- デザイン思考等のイノベーションの型を身に着けることで、起業家精神を醸成することにより、土木の世界にイノベーションの創出を！



Contents

1. 土木分野における技術開発

2. 鹿島土木のオープンイノベーション

3. 光ファイバセンシングによるスマートインフラ

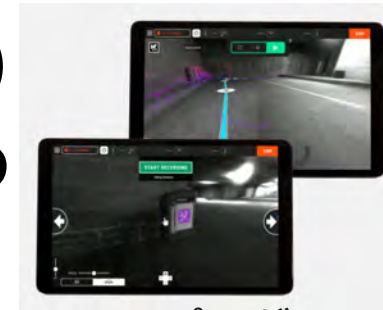
開発事例①：最先端ロボット技術の導入

▶ 世界最先端のロボット技術の導入（アメリカ）

- 近い将来懸念される、建設業の担い手不足への対応策として
- 建設現場内の安全性向上、危険・苦渋・繰返し純作業の削減、生産性向上
- 「建設現場は面白い・ワクワクする！」鹿島はそれを目指し、建設業界を若者に魅力あるものに！

▶ 四足自律歩行ロボットSpot（スポット）

- ソフトバンクロボティクス・ソフトバンクの協力のもと最先端ロボット技術を有するBoston Dynamics社（アメリカ）より導入
- マッピングによる自律歩行（自動運転）
- 障害物を自動回避、階段・悪路走行が可能
- 様々な機器を装備させ、自由にカスタマイズ



マッピングによる自律歩行



ゲーム感覚で
容易な操作

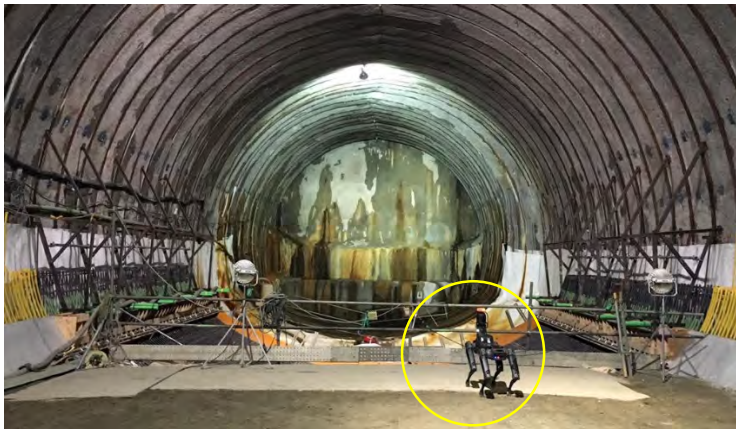


Spot

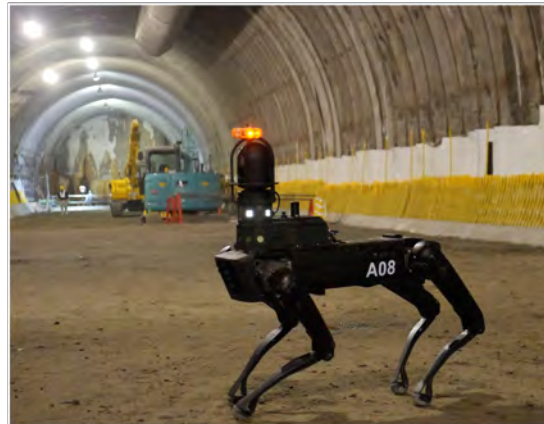
開発事例①：最先端ロボット技術の導入

▶ トンネル現場での実証試験

- NEXCO東日本殿のトンネル工事において、**土木工事現場**での「Spot」適用の可能性を検証
- 360度カメラを搭載した「Spot」を**制御室から遠隔操作**し、坑内巡視、**切羽（掘削箇所）の写真撮影**やポンプメーター等の**計器点検**を実施
- トンネル工事で最も危険な個所である切羽に人が近づかなくとも観察することができることにより、**立会が不要**となり**安全性が向上**することを確認



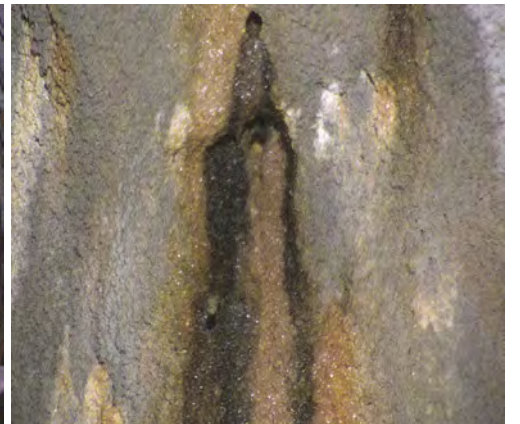
現場実証試験



トンネル内巡視



切羽写真（30m離隔）



切羽接写（光学30倍）

開発事例①：最先端ロボット技術の導入

▶ 実証試験の状況



現場実証試験状況

開発事例①：最先端ロボット技術の導入

▶ 実証試験の課題解決

- ソフトバンクロボティクス・Boston Dynamics社にて、**悪路歩行性能**（ぬかるみ・障害物）の確認、**雨天**、**粉塵環境**下でも適用可能なようにカスタマイズ、**インターフェースプログラムの改良**を行い、**土木現場への適用可能性を向上**



開発事例①：最先端ロボット技術の導入

▶ 改良後のSpot

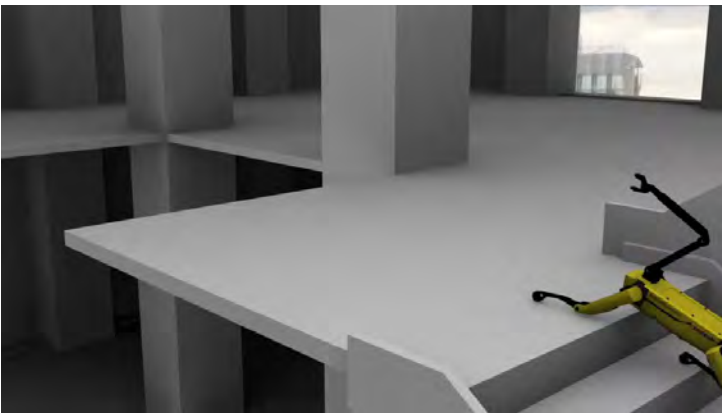


改良後のSpot現場実証試験

開発事例①：最先端ロボット技術の導入

▶ 今後の活用方法

- トンネル工事での坑内測量や安全管理のための巡視などを実証実験中。
- また、トンネル以外のダム、都市、鉄道、造成等での適用を検討中。
- 四足歩行が可能な特性を活かして、急傾斜地すべり地帯での調査・測量などの危険作業を含め、適用先の拡大を検討
- Spotを初めとするロボット技術の導入をこれからも積極的に推進し、建設業界のさらなる生産性や安全性の向上を図り、魅力ある業界を目指す



測量（イメージCG）



トンネル装薬（イメージCG）



放射能環境下（イメージCG）

開発事例②：導入先端技術のさらなる改良

▶ 従来の配筋作業の課題

- 従来の配筋作業は、**長時間**、**肉体的負担が大きい**ため、**省人化・省力化**の実現が必須

従来の配筋作業

バラ鉄筋 現場搬入

段取り筋配置・位置出し

全本数

鉄筋小運搬・間配り

長時間 / 肉体的負担大

間隔調整

長時間 / 中腰作業

結束



鉄筋の位置出しマーキング
(中腰で全本数)



鉄筋小運搬・間配り
(1本ずつの運搬)



鉄筋小運搬・間配り
(上筋の場合、更に負担増)

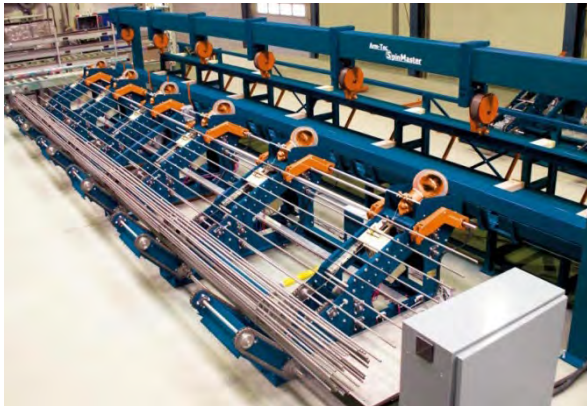


鉄筋間隔調整
(長時間中腰姿勢)

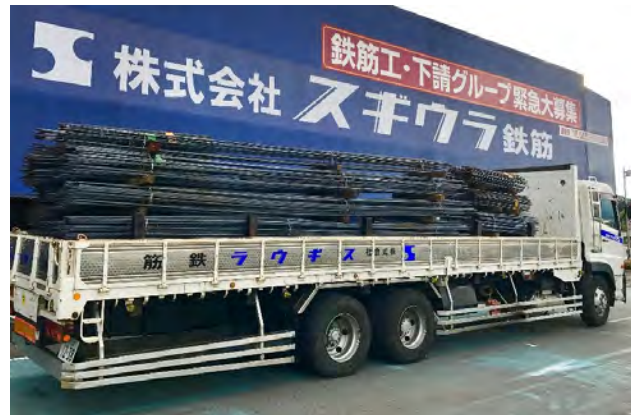
開発事例②：導入先端技術のさらなる改良

▶ ロールマット工法（ドイツ）

- 直線形状の鉄筋を施工前に工場内で専用機械（**SPINMASTER**：ドイツ）を用いて**ロール状に結束加工**した、**ロールマット**を製作
- ロールマットを現場搬入し、展開することで現場での**作業効率向上**、**作業人員の削減**、**工程短縮**を可能とした工法
- ただし、歩きながら押すことによる**肉体的負担が大きい作業姿勢**、配筋した鉄筋上を歩行するため**スラブの上筋への適用が不可**であることが**課題**



工場で専用機械により
ロール状に結束・加工



ロールマット運搬状況



現場にてロールマットを
絨毯を広げる様にして配筋

開発事例②：導入先端技術のさらなる改良

▶ ロールマット工法の改良：ラクラクロールマット工法

- 更にラクで安全な工法を目指し、(株)スギウラ鉄筋と共同で、ラクラクロールマット工法を開発
- ロープを引いて重い鉄筋（D32、1ロール最大3t）を無理なく配筋、安定した足場上での作業、ロールマット展開時の前傾姿勢の解消、配筋精度の向上



ロープ付きロールマット



上筋の展開・配筋状況



重い配筋（D32）の展開・配筋状況

開発事例②：導入先端技術のさらなる改良

▶ ラクラクロールマット工法施工状況



重い配筋（D32）の展開・配筋状況

開発事例②：導入先端技術のさらなる改良

▶ さらなる改良・適用拡大

- 2016年5月より国内土木現場で適用を開始し、建築現場でも適用拡大中
- 展開方法のさらなる効率化、運搬・設置作業の効率化、熟練作業員でなくても誰でも作業できるようなマニュアルの整備、引張作業の自動化、鉛直部材（壁）鉄筋への適用、等、さらなる改良・適用を実施中
- 鉄筋工が不足している現場において、多能工により施工を実施。本工法により鉄筋工と同等の生産性を実現



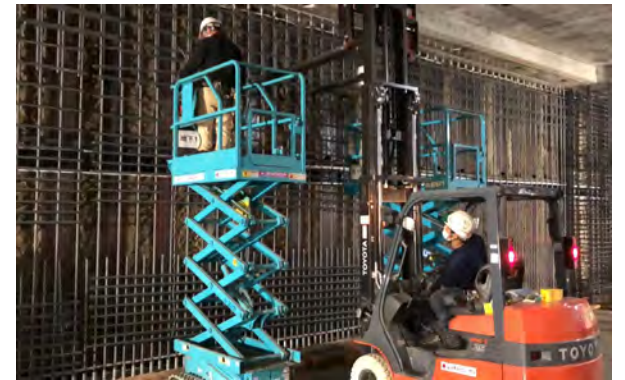
底版の下筋での
引張展開式工法の施工状況



底版の上筋での
引張展開式工法の施工状況



開口部から縦吊り
での投入状況



壁鉄筋への適用状況

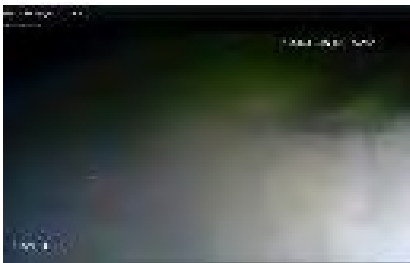
開発事例③：開発に足りない要素の補完

▶ 水中の見える化技術の活用（アメリカ）

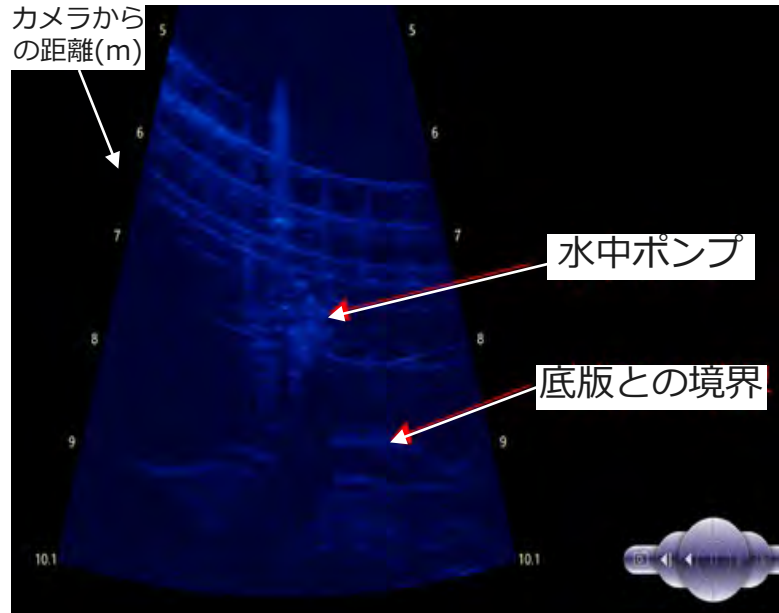
- 海洋工事、水中掘削工事での課題：従来の光学カメラでは視認性に限界
- **音響カメラ**：超音波を使用し、濁水中・暗闇水中下でも**リアルタイム**に構造物・ダイバー等を**視認可能**（～15m）
- 適用拡大のため、**ドローンへの搭載**を開発中



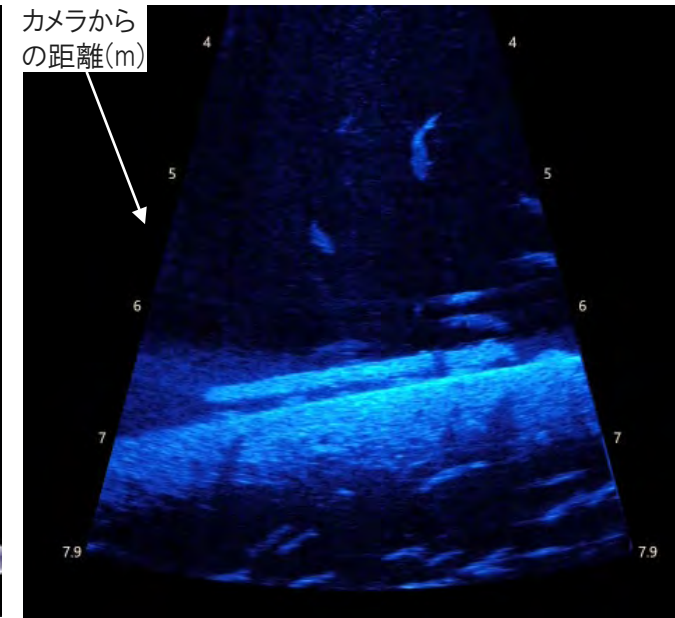
水中掘削時のシールド立坑



水中光学カメラの視認状況
（視界0.1～0.2m）



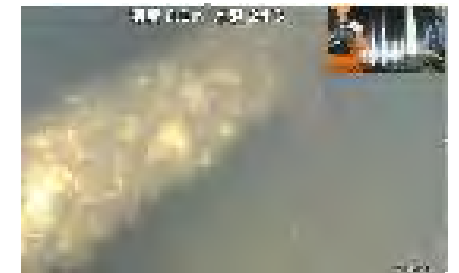
音響カメラによる視認状況
（視界10m～）



海中の栈橋の状況
（視界8m～）



音響カメラ



水中光学カメラの視認状況
（視界0.5～1m）

開発事例③：開発に足りない要素の補完

▶水中掘削状況の確認

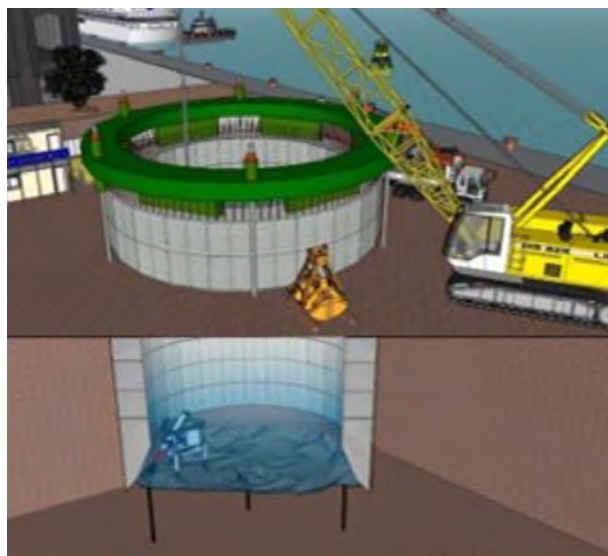
- 硬質地盤の沈下掘削を可能とする**水中掘削機**を開発
- **オープンケーソン沈下掘削**時に重要となるのが、**刃口部の掘削状況の確認**
- **音響カメラ**で**確実な沈下掘削を管理**することで、**安全性確保、コストダウン、工程短縮**を図る



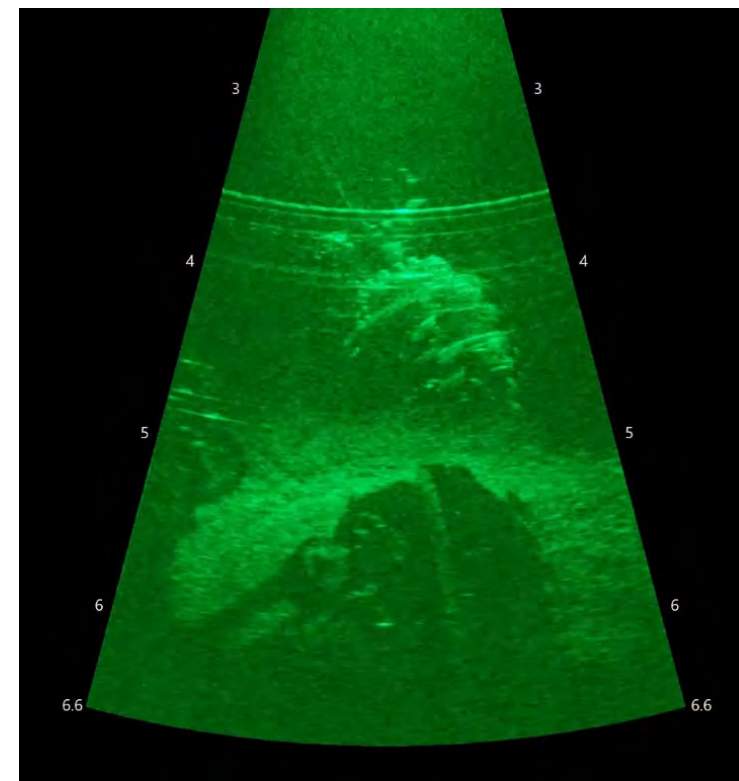
水中掘削によりは内部は濁水状態



硬質地盤対応水中掘削機



硬質地盤に対応したオープンケーソン工法

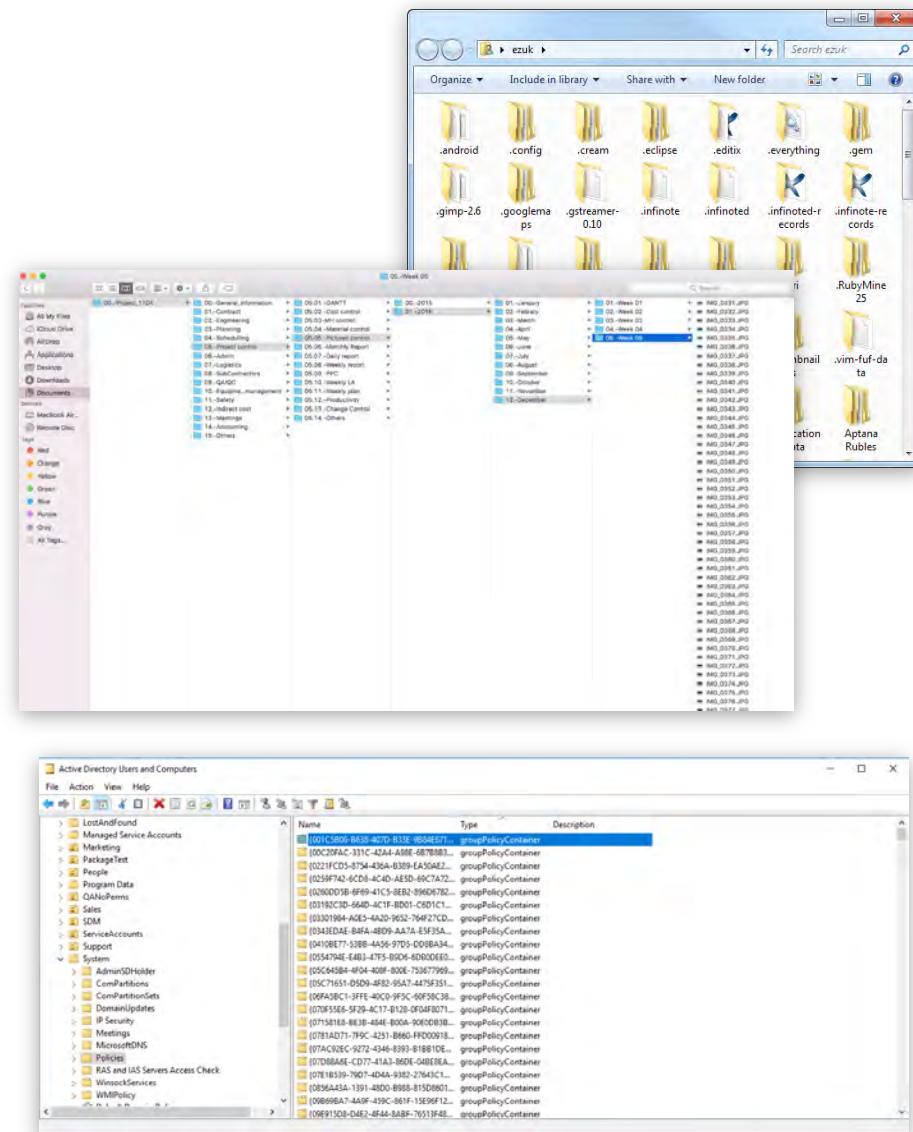


音響カメラによる刃先動作確認

開発事例④：「見える化」技術の導入

▶ 現場における写真管理の課題

- デジタルカメラでの通常の（2次元）写真
 - ・ 狙った方向の写真しか残らない。
 - ・ いざという時に見たいものが写っていない
- 煩雑なフォルダでの写真管理
 - ・ データが見つからない
 - ・ 欲しい場所・日時の写真を探すのに**時間がかかる**
- メールでの大量送信
 - ・ 関係者間での共有のために**メールに写真を貼付**して送る必要がある



開発事例④：「見える化」技術の導入

▶ 360度写真管理プラットフォーム：HoloBuilder（アメリカ）

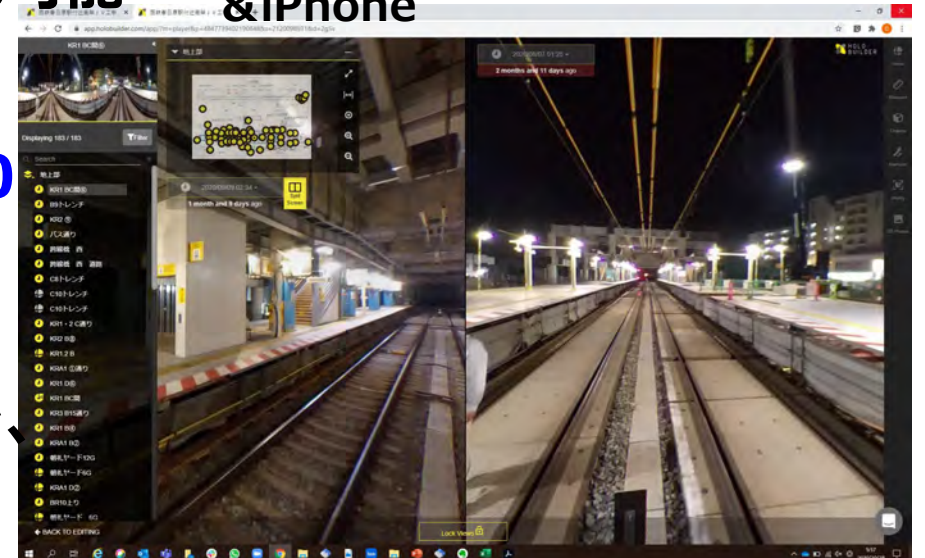
- 360度写真のため、撮り忘れがなく、現場状況を俯瞰することが可能
- データ閲覧はWebブラウザ上のためiPhoneですぐにアクセス
- 同位置での撮影画像を別の日時に比較可能、現場の日々の進捗管理に活用。時間を遡っての確認も可能
- CIMモデルと撮影画像の比較可能
- Street Viewを作ることでもでき、直観的に360度写真間を行き来可能
- 現場内だけでなく、お客様、協力会社とのコミュニケーションツールとして活用することで、計画精度、安全性、意思決定の促進が向上。
- 施工記録として関係者全員が振り返り可能



360度カメラ
& iPhone



撮影はワンタップ



Webブラウザでの別日時比較状況

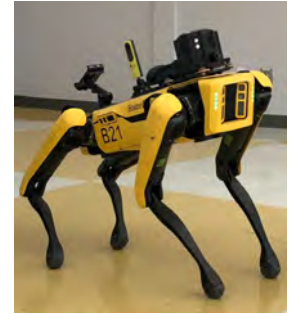
開発事例④：「見える化」技術の導入

▶ HoloBuilderの効果

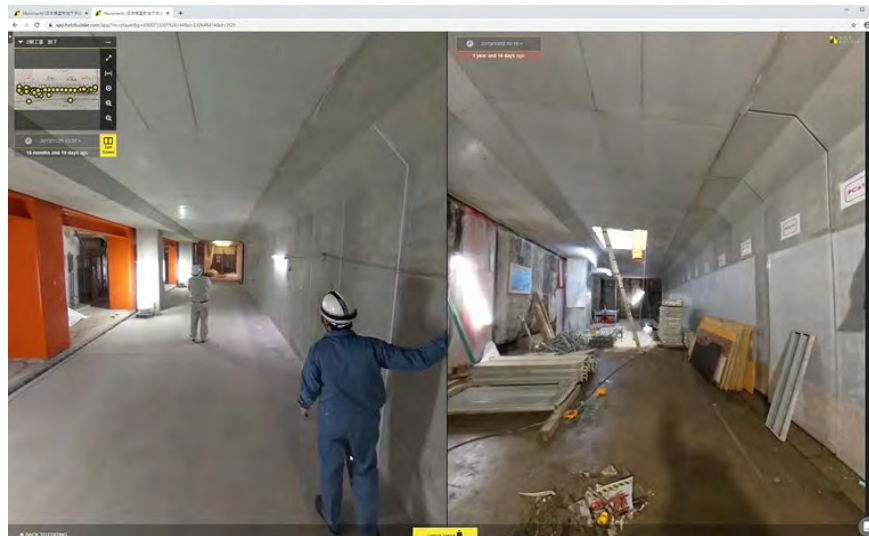
- 都市土木のような狭隘な個所やアクセスが難しい危険個所で安全性が向上
- お客様、協力会社含め、現場への移動・確認時間が削減され、労働時間短縮に寄与
- お客様との協議がスムーズになり施工計画精度向上
- Spotに搭載して、撮影の自動化を開発中



お客様との効率的なWeb会議



Spotへの搭載



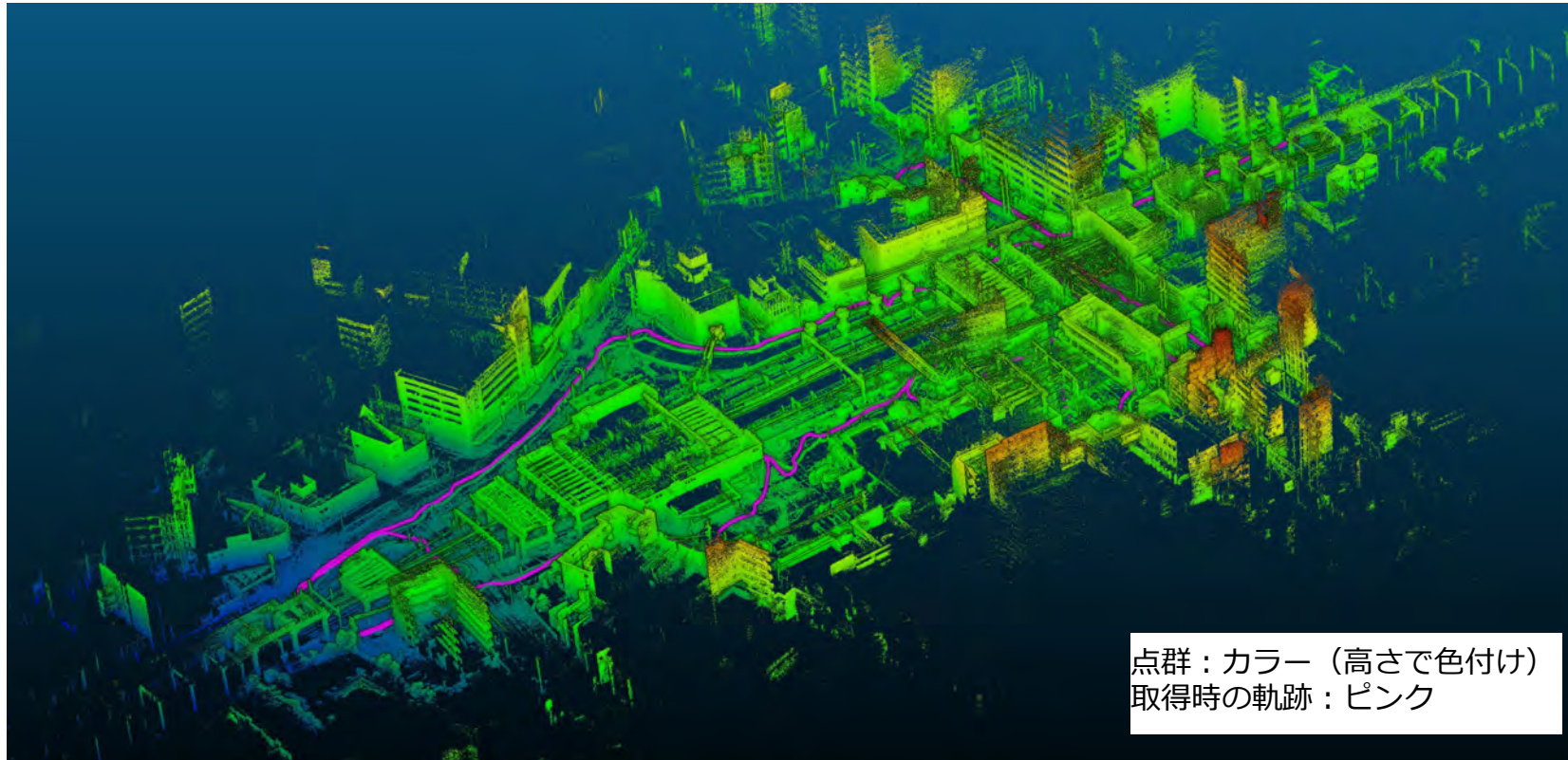
都市土木における活用事例



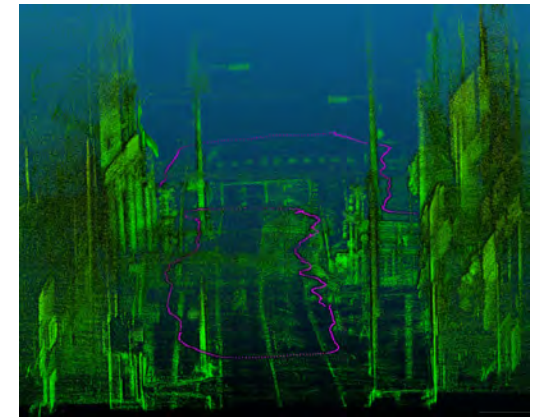
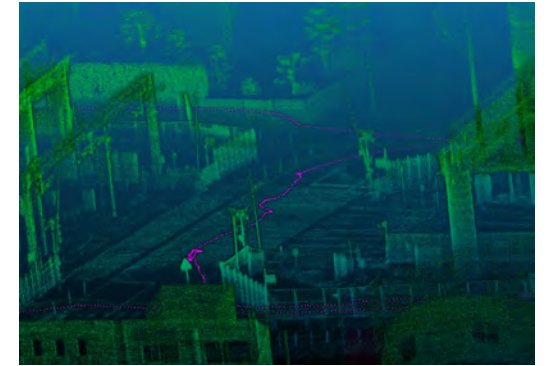
危険個所での活用事例

開発事例⑤：最先端ICT技術の導入

- ▶ 「現場でしかできなかったこと」を「工事事務所で」
 - モバイル式3Dレーザスキャナ（アメリカ）により駅周辺部全体の点群取得
 - 点群取得時間は歩行時間のわずか約20分



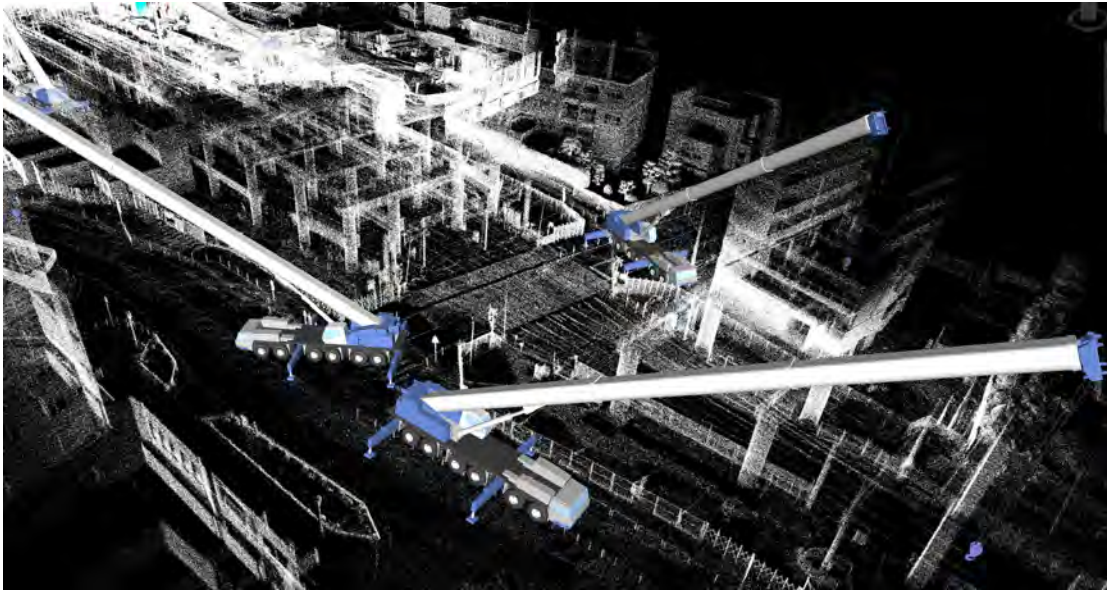
3Dレーザスキャナによる駅周辺部全体の点群取得



踏切部の点群

開発事例⑤：最先端ICT技術の導入

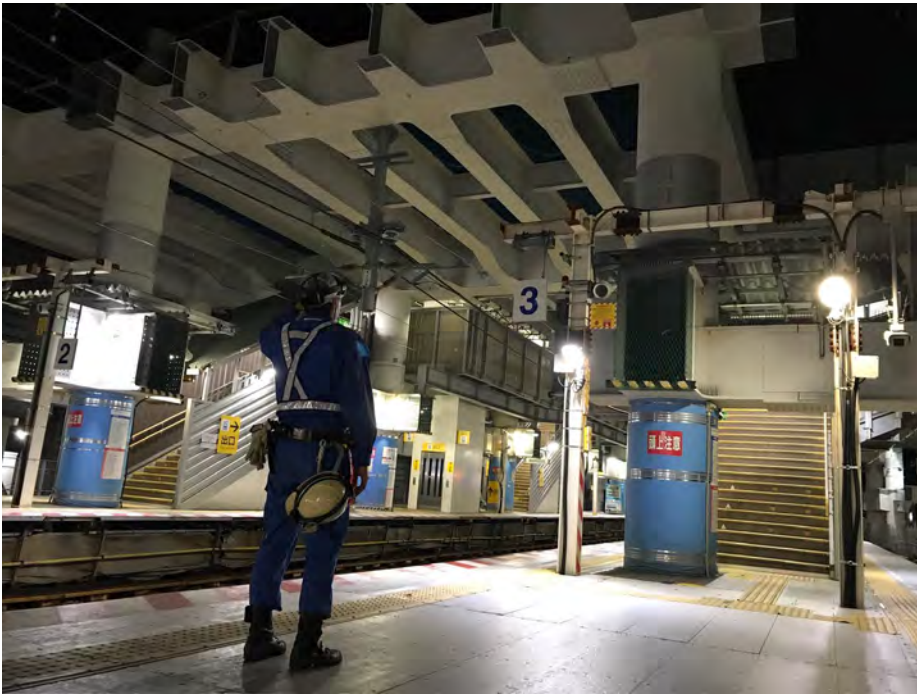
- ▶ 「現場でしかできなかったこと」を「工事事務所で」
 - 点群データを専用ソフトに読み込み、重機配置までを約60分で実施
 - これまで現場で測量し、2次元で検討していたプロセスに比べ、大幅に時間短縮が可能となるとともに、計画精度、安全性も向上。
 - お客様、協力会社との施工検討会への活用で意思疎通・決定が大幅に向上



点群データを活用した施工計画例とお客様との確認打合せ状況

開発事例⑤：最先端ICT技術の導入

- ▶ 「工事事務所でしかできなかったこと」を「現場で」
 - MR（Mixed Reality）（アメリカ）の導入により現場にCIM情報を投影
 - お客様、協力会社とともに現場で施工計画図・構造物を確認をすることで、意思疎通・決定が大幅に向上するとともに計画精度、安全性、品質が向上



点群データを活用した施工計画例（重機配置検討）

1. 土木分野における技術開発

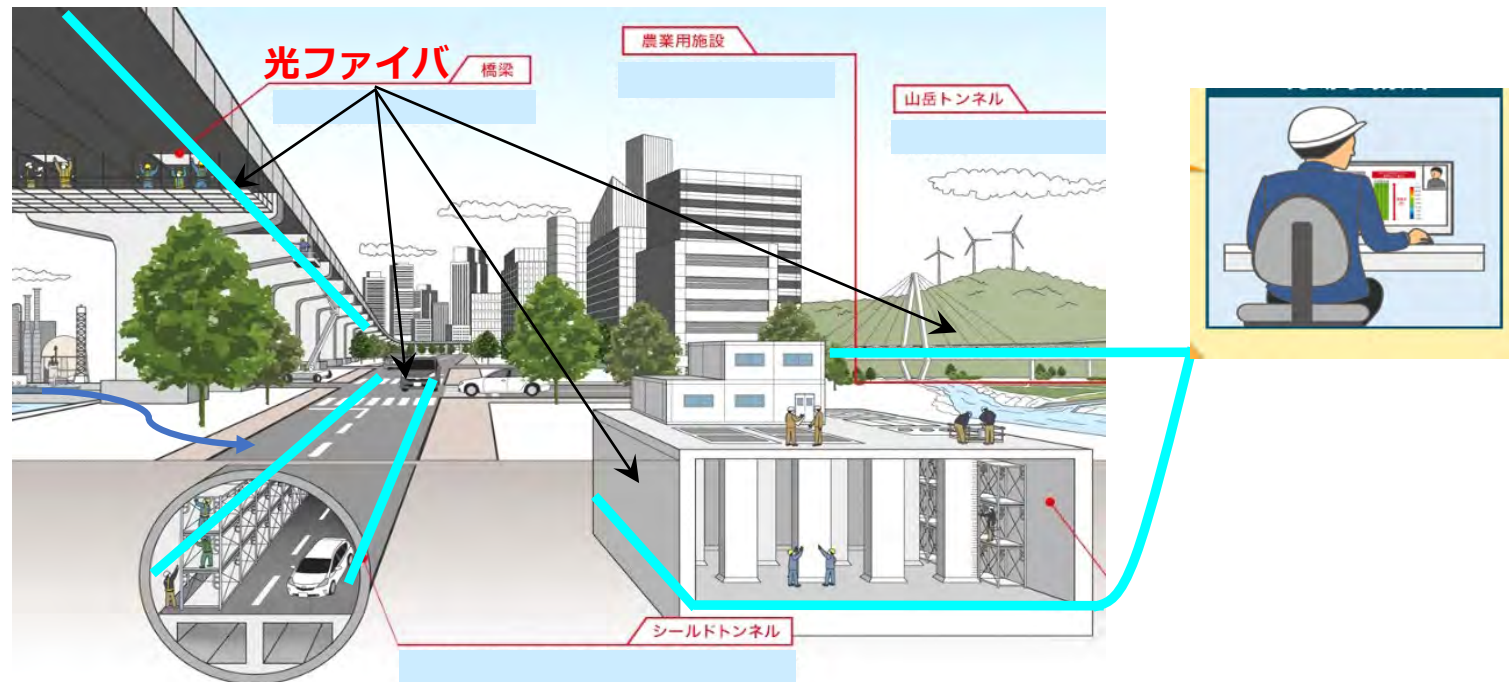
2. 鹿島土木のオープンイノベーション

3. 光ファイバセンシングによるスマートインフラ

光ファイバセンシングによるスマートインフラ

▶ 分布型光ファイバセンシング

- 分布型光ファイバセンシングにより、**構造物、地盤の変化**を見える化
- **施工管理**としてだけでなく、**共用中**もモニタリングすることが可能
- **インフラモニタリング**に変革を！



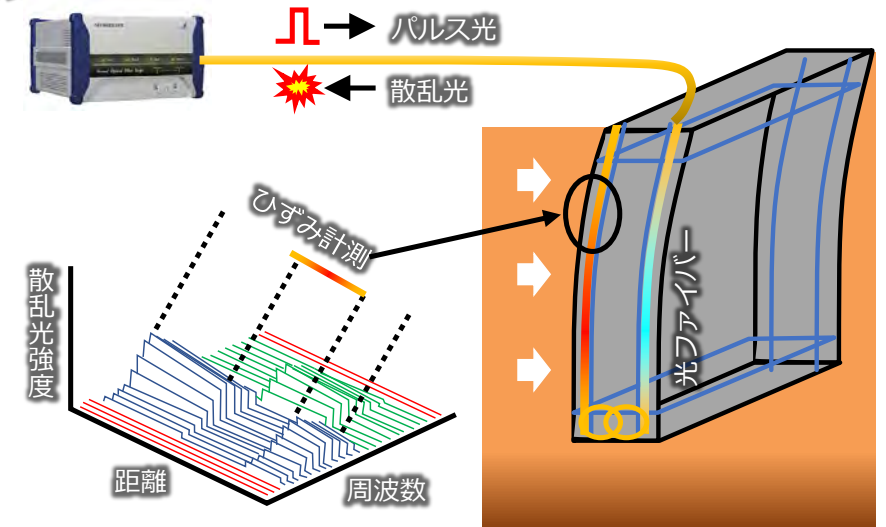
光ファイバによるセンシングイメージ

分布型光ファイバーセンシング技術とは

▶ インフラモニタリングの革新的技術

- 目に見えない構造物内部、地盤内の現象をリアルタイムで把握
- 品質の常時見える化：ひずみ、温度の連続的な分布（kmオーダー）
- 長年にわたりモニタリング可能（長寿命：数十年）
- 通信用光ファイバを活用（安価：500～2000円/m）
- 配電が不要で外乱に安定（落雷、漏電等と無縁）
- 簡単に実装でき、配線がコンパクト

- ① 施工管理：高精度、リアルタイム
- ② 完成時の品質：品質の見える化
- ③ 地震時の影響：変状を即時・遠隔で把握
- ④ 維持管理：即時、遠隔で把握



最新計測技術：レイリー計測

▶ 高速・高精度の分布型光ファイバ計測：レイリー計測

➤ これまでの分布型センサ：

- ・ ラマン散乱：温度分布センサ
- ・ ブリルアン散乱：ひずみ分布センサ

ブリルアン
(ひずみ分布)
 $\pm 50\mu$

ラマン
(温度分布)
 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

レイリー計測
(ひずみ・温度)
 $\pm 1\mu$ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$

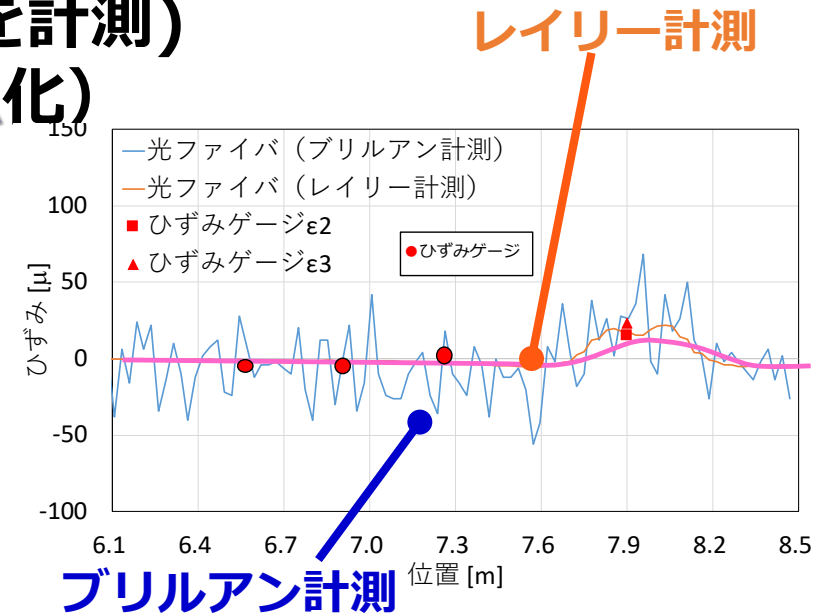
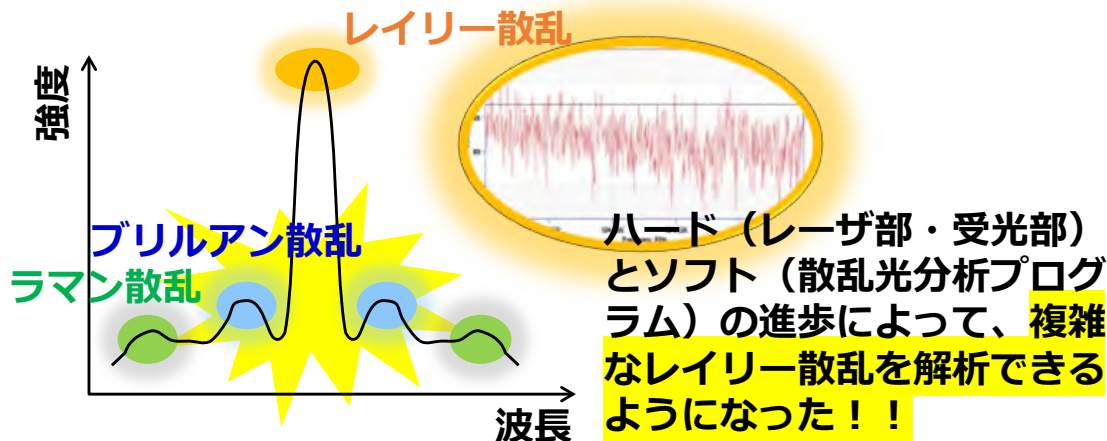
精度

➤ 新たな光ファイバセンサ：

- ・ レイリー散乱：ひずみ分布（温度分布）センサ

✓ 精度 $\pm 50\mu \Rightarrow \pm 1\mu$ (5cmピッチでひずみを計測)

✓ 計測速度：5～10分 $\Rightarrow$ 5秒 (リアルタイム化)



施工管理への適用例①：地中変位

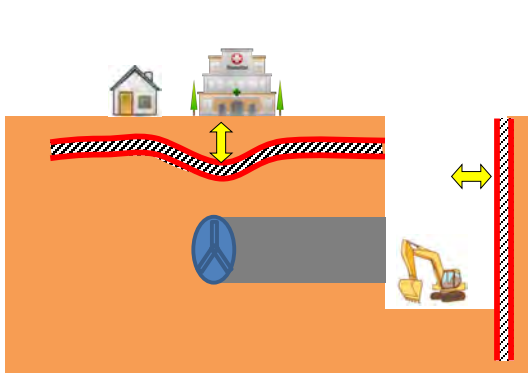
▶ 山留め鋼材のひずみ・変位を詳細に把握し施工管理に活用

➤ 従来の計測：点での計測（ひずみゲージ）、特別な治具が必要（傾斜計）

➤ 新たな光ファイバセンシングにより、

- ひずみ換算から変位算出が可能
- 地中変位をかつてなく詳細に把握

- ・ 傾斜計などに比べて**設置が容易**
- ・ ひずみ換算から変位算出が可能のため、**地中変位**をこれまでになく**詳細に把握**
- ・ 効率的な設計・**施工フィードバック**により**経済的**かつ**安全な施工**を実現



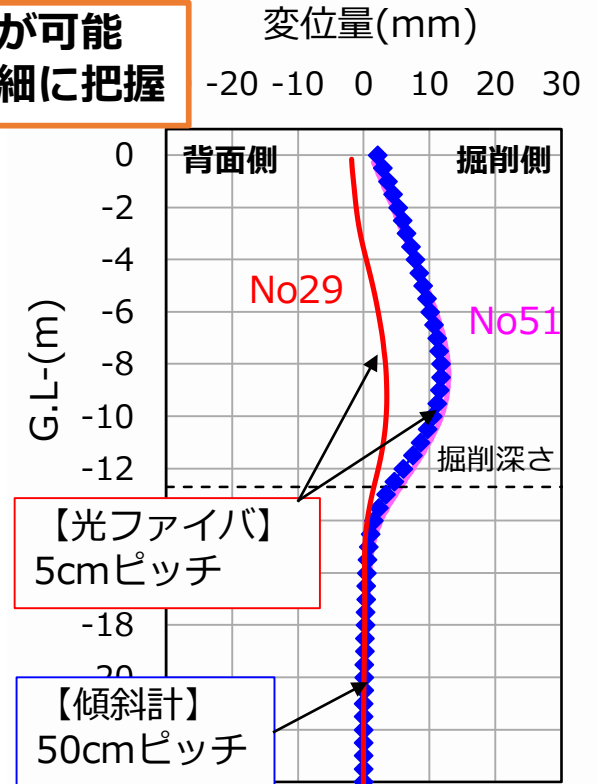
変位計測概要図



山留め鋼材への適用



掘削工事への適用状況



実測データ：
ひずみから換算した変位

施工管理への適用例②：ニューマチックケーソン

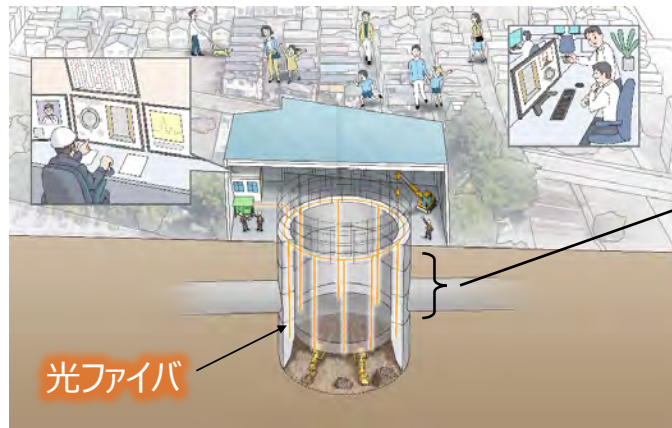
▶ 躯体に生じる沈設時のひずみ変化を網羅的に把握し施工管理に活用

➤ 従来の計測：R C 躯体沈設時に周辺地盤による躯体の“胴締め”が発生、
躯体のひび割れ、急激な沈下による振動、騒音

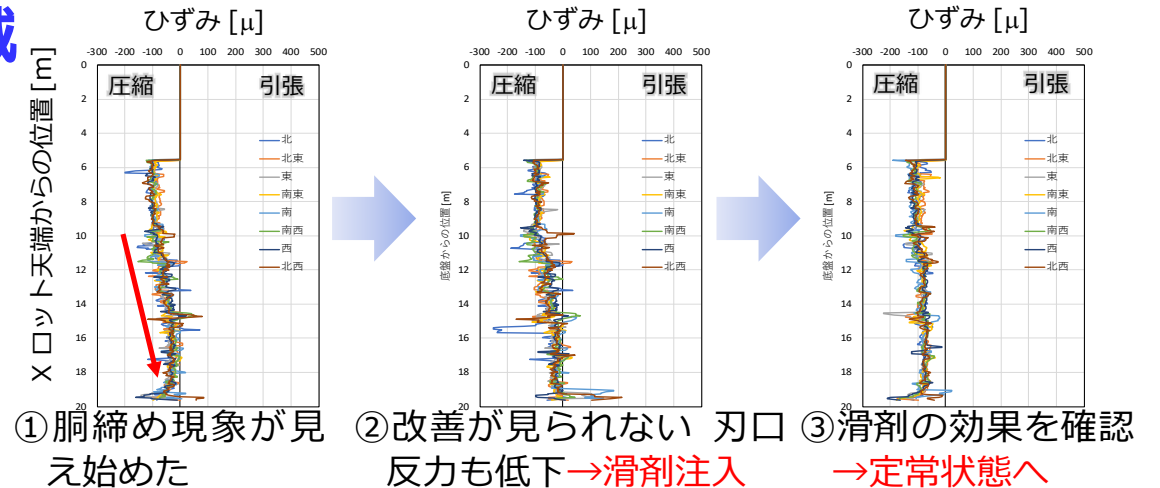
➤ 新たな光ファイバセンシングにより、

- 早期に胴締め現象の予兆を検知し、滑剤投入等の合理的判断（タイミング、位置）などを決定
- ひび割れを生じさせず躯体品質を向上
- 急激な沈設を避け周辺影響を低減

- 僅かなひずみ変化を検知
- 客観的に滑剤注入断や効果を確認



施工管理概要図



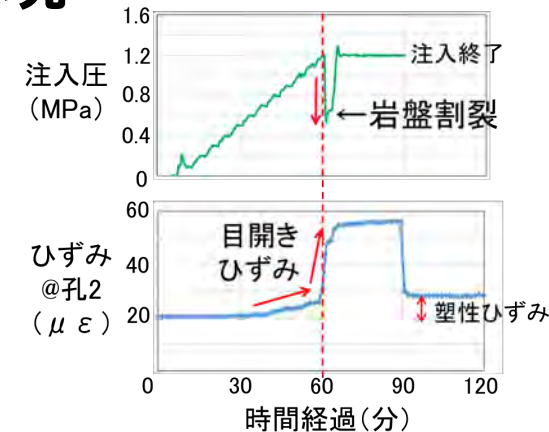
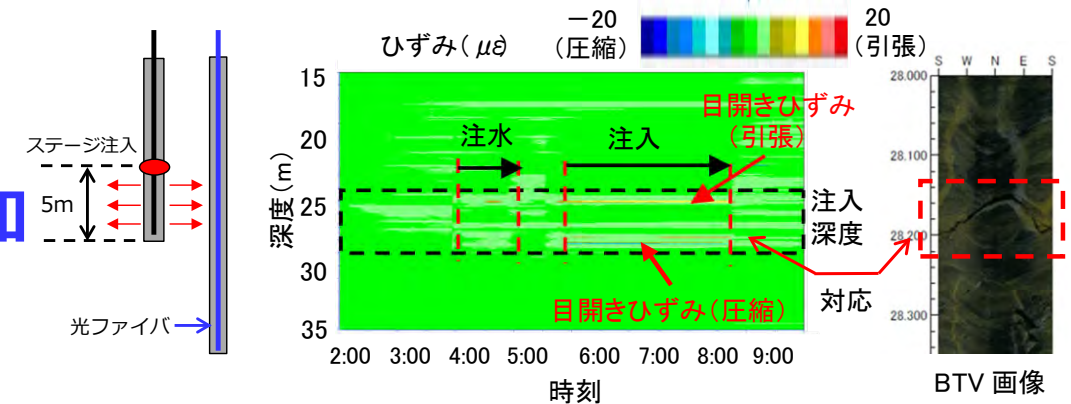
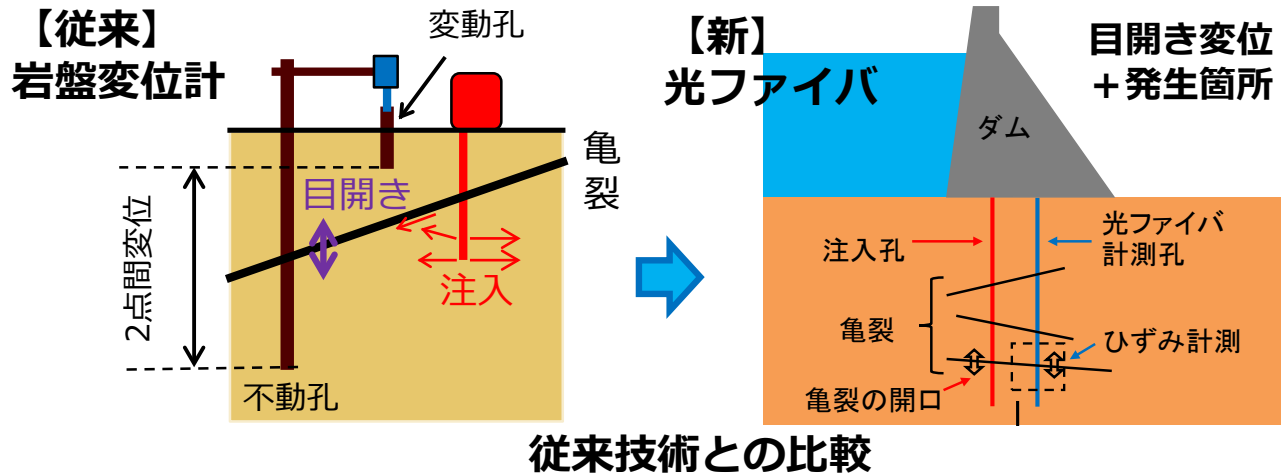
実測データ：深度方向のひずみ分布

施工管理への適用例③：ダム

基礎処理グラウチング時の施工管理

➤ 従来の計測：岩盤変状を岩盤変位計で管理するため、精度確保困難、亀裂の発生個所不明

- 新たな光ファイバセンシングにより、
- ・ 早期に僅かな目開き現象の予兆を検知
 - ・ 注入圧の調整により、亀裂発生防止、止水性向上
 - ・ 適切な注入圧で効率的な施工を実現



- 深度方向全長のひずみ変化を把握
- 10μ ϵ の微小ひずみの変化を検知【目開きの予兆】
- ひずみ発生位置：潜在的な開口割れ目と整合

実測データ：目開き箇所のひずみ変化

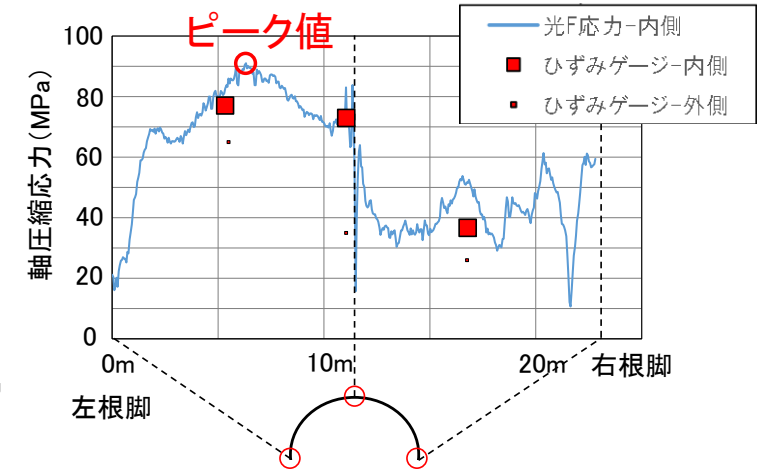
施工管理への適用例④：トンネル

▶ 支保や覆工コンクリートの応力を網羅的に把握し、施工管理に活用

➤ 従来の計測：支保や覆工コンクリートの応力は点で把握

➤ 新たな光ファイバセンシングにより、

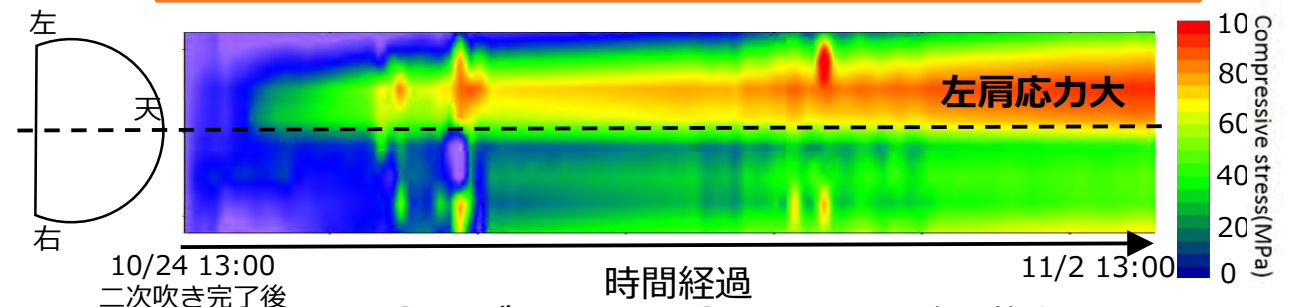
- 応力分布の計測により**ピーク**、**変形モード**を把握し、**地圧分布**を把握
- **掘削後の時間変状**を把握
- **適切な支保パターン**により**効率的な施工**を実現
- **崩落を防ぐ安全な施工**を実現



➤ 支保全長を漏れなく把握し、**最大応力と発生位置**を把握、かつ時間経過を把握



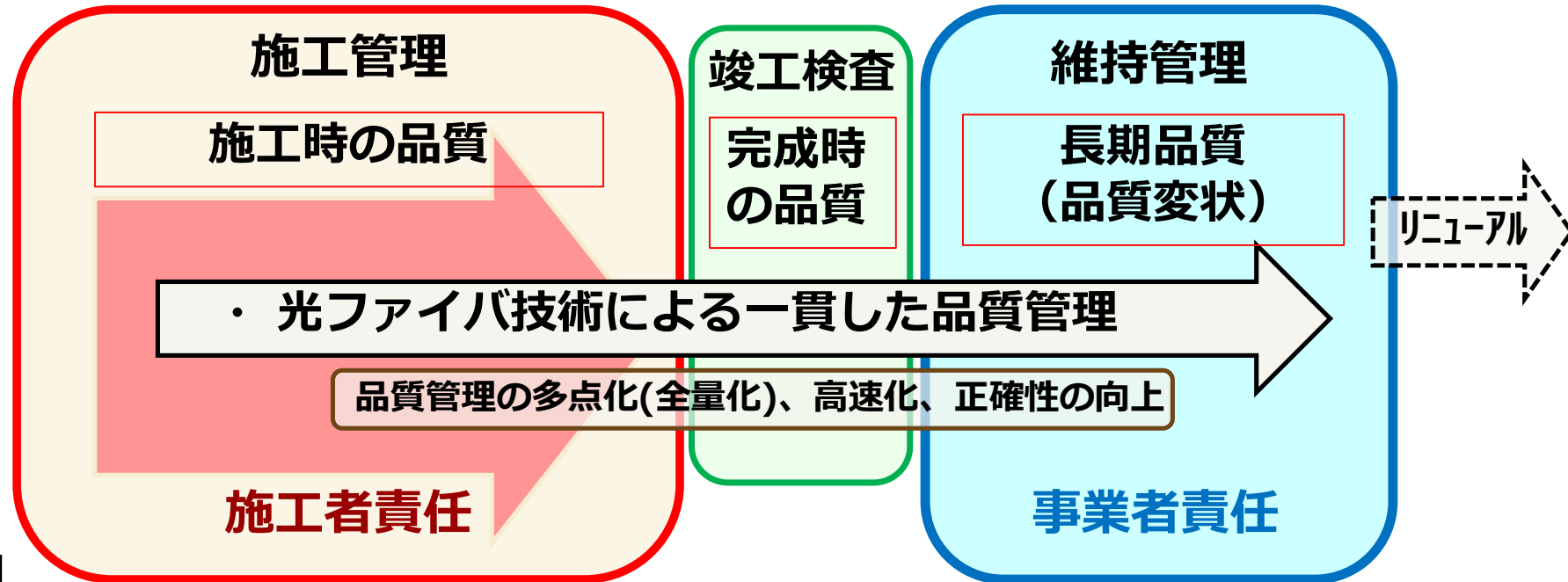
支保への光ファイバ設置概要



実測データ：深度方向のひずみ分布

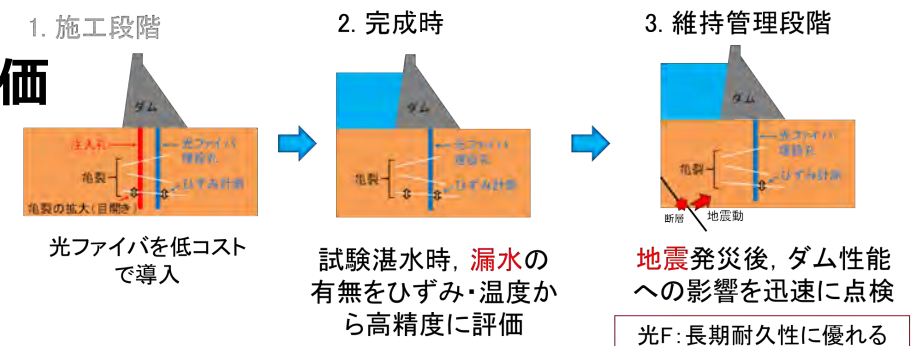
インフラのライフタイムモニタリングの唯一の手段

▶ 施工時から共用時まで、光ファイバ技術による一貫した品質管理



➤ ダムの例

- ・ 完成時：
試験湛水時、漏水有無をひずみ・温度から高精度に評価
- ・ 供用後：
地震発生後、ダム性能への影響を迅速に点検
(光ファイバは長期耐久性に優れる)



ご清聴、ありがとうございました

～連絡先～

**〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-11
鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木技術部
大浜 大**

**Tel: 03-5544-2412
ohama@kajima.com**