

令和 3 年度
技 術 発 表 会

2021 年 11 月 29 日

場所 名古屋市中小企業振興会館 4 階 第 3 会議室

一般社団法人 日本建設機械施工協会中部支部

《 目 次 》

- 1 『生産性向上を目的とした現場のデジタル化』
～デジタル現場（デジタルツイン）の作成～ 1
コマツカスタマーサポート株式会社 渡邊 良宏 氏

- 2 インフラ点検業務の省力化への取り組み
～傾斜・伸縮監視システム OKIPPA の導入実績と事例報告～ 6
西松建設株式会社 環境・エネルギー事業統括部
事業推進部 ○鶴田 大毅 氏
技術研究所 土木技術グループ 黒田 卓也 氏

- 3 小土被り未固結地山での NATM工法によるトンネル施工
－営業中のゴルフ場直下における施工時
および恒久的な地表面沈下抑制対策について－
(令和元年度 北勢 BP 坂部トンネル工事) 12
大日本土木株式会社 名古屋支店 岩田 修 氏

- 4 煙を出さず大量の焼却能力を備えた、刈草の「酸素供給型高速焼却架台」
～「生産性の向上」と「働き方改革」を達成した
焼却架台の名は「モヤッシー」！～ 18
株式会社山辰組
専務取締役 馬淵 剛 氏

- 5 循環式ブラスト工法を活用した鋼橋の疲労対策
－エコクリーンハイブリッド工法で環境保全と国土強靱化を両立－ . . . 24
ヤマダイインフラテクノス株式会社 亀山 誠司 氏

論文をご覧になりたい方は、当支部ホームページに掲載してありますのでご覧ください。

『生産性向上を目的とした現場のデジタル化』 ～デジタル現場(デジタルツイン)の作成～

コマツカスタマーサポート株式会社
渡邊良宏

1.はじめに

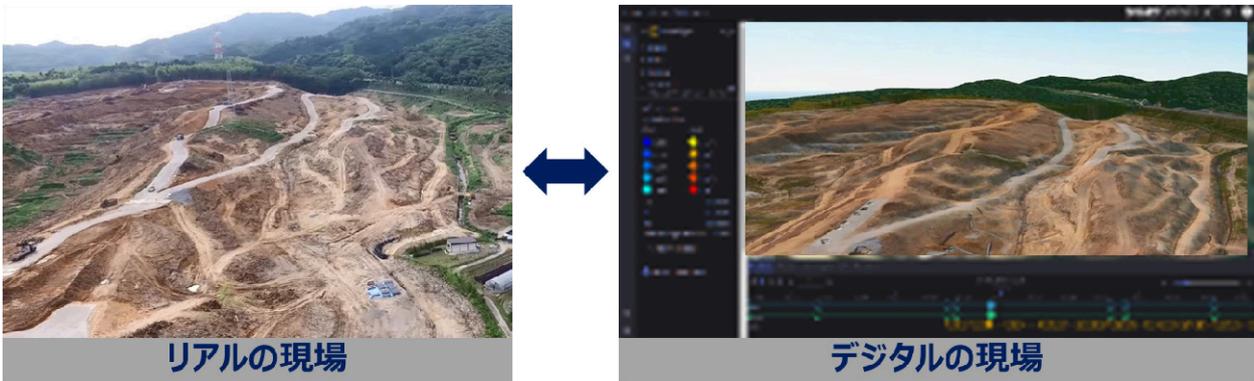
情報通信技術(ICT)の大幅な活用により土木工事の生産性を20%向上実現し、労働人口の不足や就業環境改善等のさまざまな課題解決に向けて現場が変化しています。
更に目標達成へ加速すべく、施工プロセス全工程を3次元データでつなぎ、工事前の地形から完成地形までを最短・最小人員で安全に正確に変化させ従来気付き得なかった課題を発見し解決していくクラウドサービスを今回ご紹介させていただきます。
これは製品として完成された、『モノの提供』とは異なり、『コトの提供』により現場に最適な価値を作る事といえます。
計画・準備工・本施工・検討の各フェーズ毎に説明致します。



図-1 コンセプト

2.計画のデジタル化

まず最初に実際の現場の詳細なコピーであるデジタル現場(デジタルツイン)を作成するところから始まります。デジタルツインとは、現場の地形を3次元の点群として表現したもので、点群作成から利用まで一元管理が可能とする事が出来るツールを用いて参ります。



「リアルの現場・デジタルの現場」を同期させながら**施工の最適化**が可能
→工事全体の**安全性・生産性・環境適応性**を飛躍的に向上

図-2 デジタルツイン

2-1.デジタル現場の作成

PDFの図面からでも、計画のデジタル化を行うことが可能です。

- ・PDF図面から3次元設計データ(完成形状)
 - ・国土地理院のデータから3次元地形データ
- 作成した3次元データは、クラウドソフトで管理・閲覧する事が可能です。

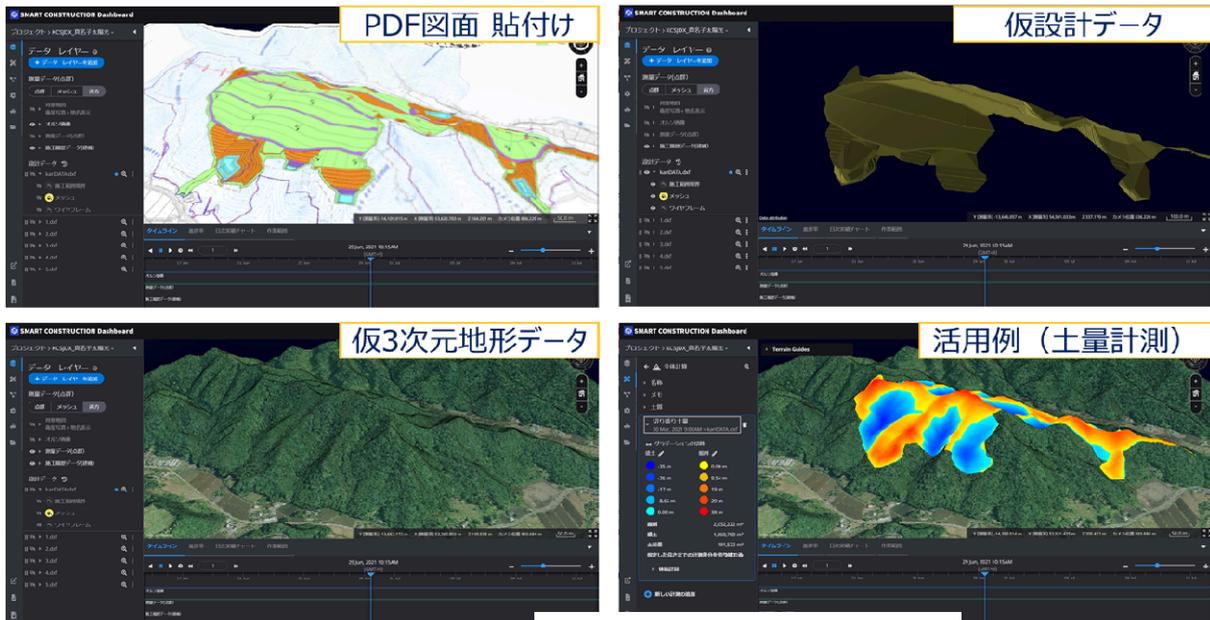


図-3 PDFからデジタル化

2-2. デジタル現場の活用

作成した3次元点群や3次元点群は、様々な用途に利用可能です。

- ・AR、VRと連携して現場体験や安全教育を実施
 - ・発注者様および関連業者様との情報連携
 - ・3次元モデル上に建機を配置し安全性や施工性の検討
 - ・施工ステップ図作成
- の流れ方向を解析し、水溜まり位置の把握など

・雨水

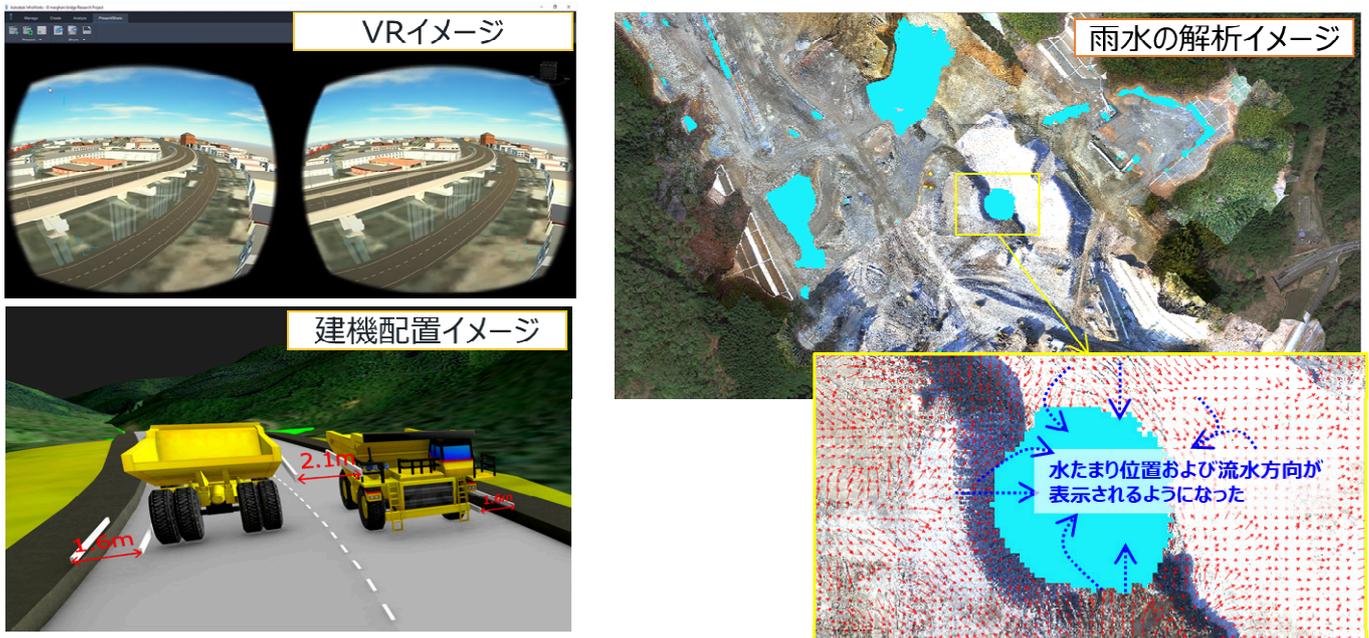
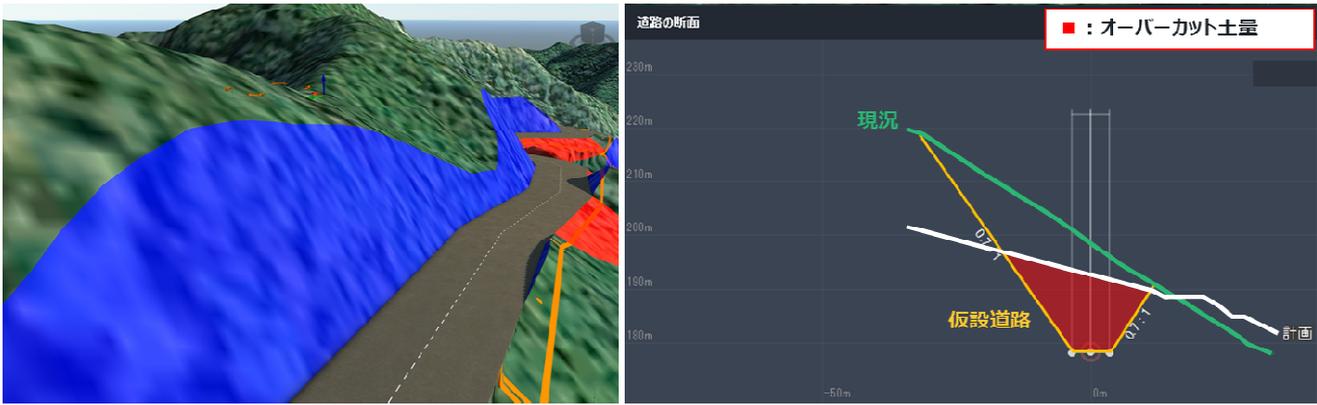


図-4 デジタル現場の活用事例

3. 準備工

デジタルツインを使って仮設道路の検討を実施することで、2次元図面で検討していた際の課題を解決します。

- ・短時間で仮設道路計画を実施可能 (過去実績では延長1kmの道路を3hで検討)
- ・リアルタイムで法面の形状が変化するため、仮設道路の完成形をイメージした計画が可能
- ・土量をリアルタイムに把握することが可能



| | 合計施工土量 | | オーバーカット、ノイル | |
|--------|--------|--------|-------------|---------|
| | 切土(m3) | 盛土(m3) | 過切土(m3) | 過盛土(m3) |
| 1号調整池1 | 50,934 | 0 | 22,431 | 0 |
| 1号調整池2 | 12,608 | 458 | 0 | 0 |

図-5 デジタルツイン事例

3-1. 施工シミュレーション

デジタルツインを使って現況の地形形状から完成形状に至るまでの土の動きをシミュレーションし、工区分けや建機構成などの施工計画検討を支援するツールとなります。

現況地形データと完成形状データがあれば、Web上で3次元的な施工計画が作成可能です。

土配シミュレーション

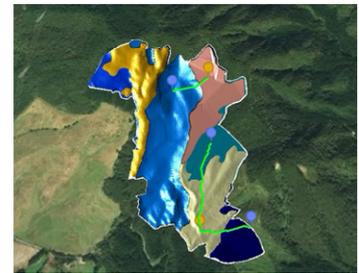
①現場条件(区分け、施工手順、運搬数量、運搬ルート、休工日)を加味した最も効率の良い(距離×土量が最小)切土と盛土の組み合わせ(土配計画)を自動で作成できる。



工区分け、施工手順

| 推奨頒布土量 (m³) | | | | |
|-------------|--------|---------|---------|-----------|
| | 区画 5 | 区画 1 | 区画 11 | 区画 112 |
| 盛土 D | 88,030 | 235,171 | 321,405 | 2,594,704 |
| 盛土 B | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 631,647 |
| 盛土 B1 | 0,000 | 235,171 | 321,405 | 325,937 |
| 残地土量 名称なし | 80,430 | 0,000 | 0,000 | 1,264,838 |

距離×土量が最小の計画を作成



運搬ルート

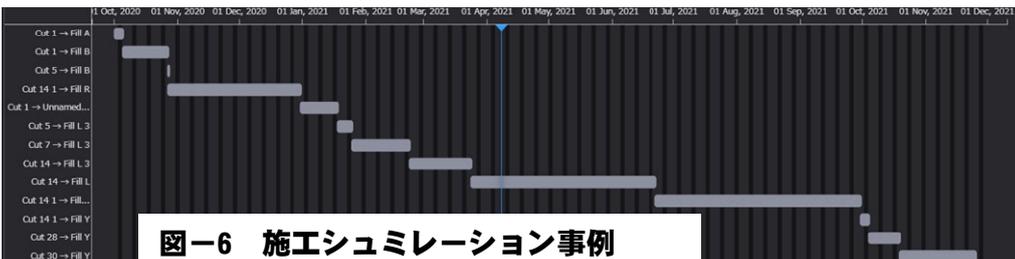


図-6 施工シミュレーション事例

建機シミュレーション

②建機やダンプの稼働予測(稼働率、周回数、日当たり施工量)をシミュレーションすることで車両編成(種類、台数)を検討できる。



図-7 建機シミュレーション

- ③運行管理システム(建機・ダンプの履歴管理ツール)の履歴情報との予実ギャップを比較できる。
- ④車両のコスト試算結果を確認できる。

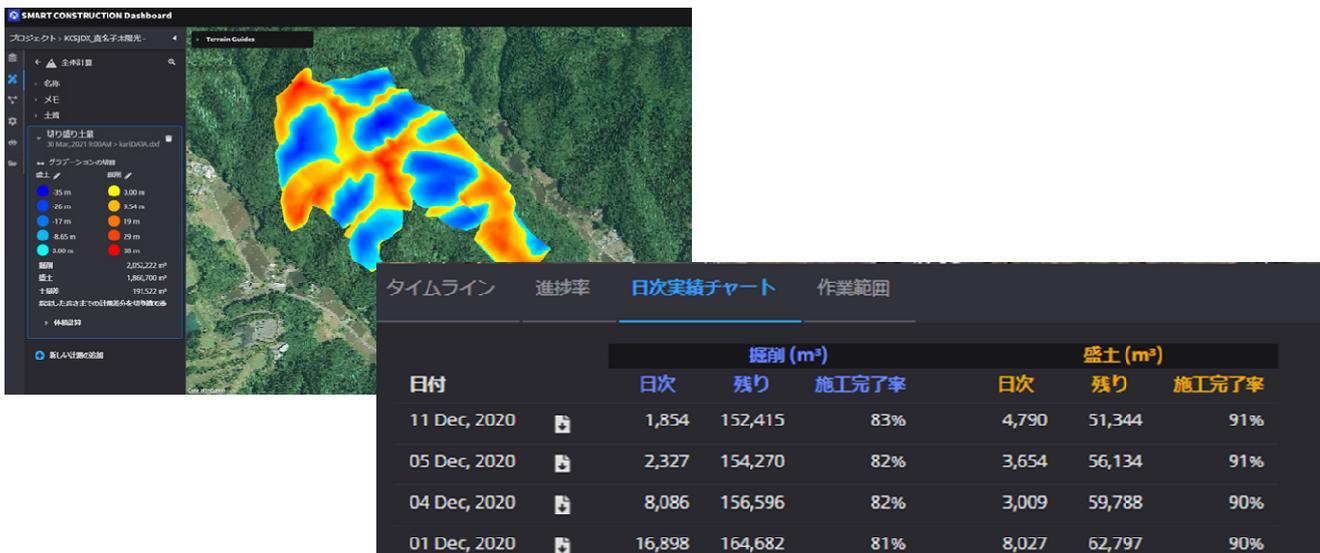


図-8 運行管理システム

4.本施工

切盛りゼロ施工

ICT建機及びDroneによる日々の地形情報の計測とクラウドシステムによる・土量計算により**施工進捗**における**切盛りバランスの変化を把握**することが可能です。



**工事途中段階の切盛りバランスを把握する事で
施工完工前の土量配分ミスなどによる手戻りを無くす**

図-9 切盛りゼロ施工

4-1.ICT建機の施工履歴データ活用

施工履歴データ又はDroneにより**作業の進捗状況を把握**する事が可能

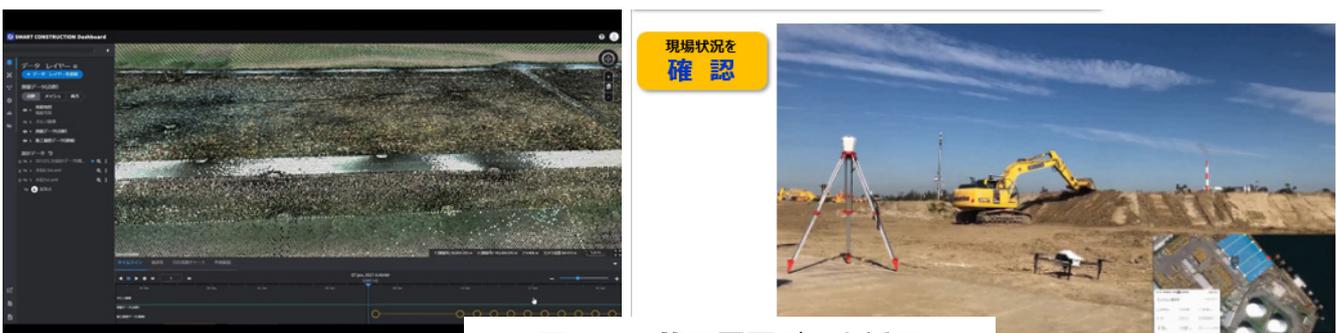


図-10 施工履歴データ活用

5. 施工効率の検討

建機などが稼働したあとは、(現場が計画どおりに進んでいるのか)日々の進捗確認をし、(そこでずれが生じているようでしたら)その**進捗状況に適した計画の修正**が必要です。
クラウド上のデジタル現場で施工進捗を見える化しSimulationを実施し、今の状況にあった最適な施工計画を導き出します。そしてその**最適化された計画に基づいて現場を稼働**させます。
現場はこのPDCAにより、現場全体の安全性や生産性が向上します。

従来の協議は2次元図面を使用し工事概要や進捗状況説明を行なうケースが多いかと思いますが、3次元データを用いることで、今までよりもより現場全体をイメージしやすくなり、情報の共有もスマートなものにすることが可能です。

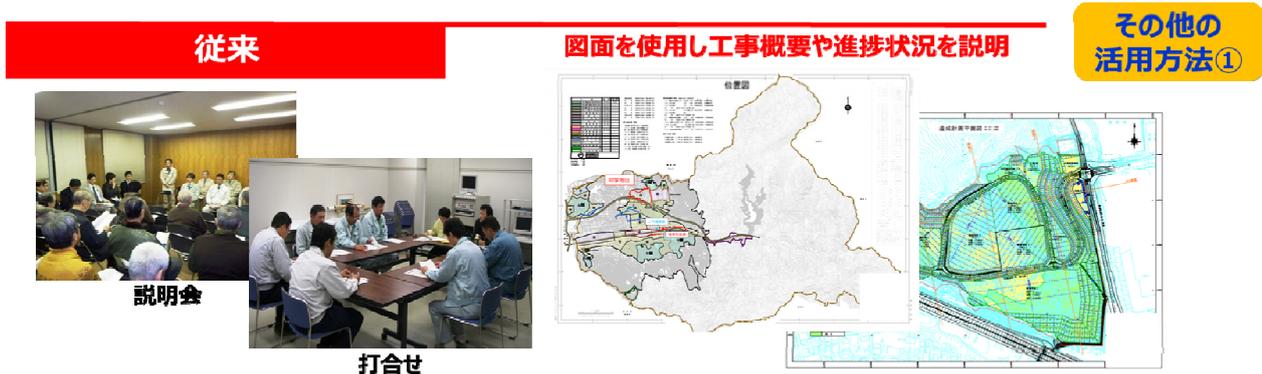


図-11 3次元モデル活用

5-1. その他 活用

4K動画で現場全体の撮影が可能となり、例えば施主様向けの進捗確認・報告や地域住民様向け 現場説明会などで、現場の情報共有にご利用頂く。そんな活用方法はいかがでしょうか。



インフラ点検業務の省力化への取り組み ～傾斜・伸縮監視システム OKIPPA の導入実績と事例報告～

西松建設株式会社 環境・エネルギー事業統括部 事業推進部 鶴田 大毅
技術研究所 土木技術グループ 黒田 卓也

1. はじめに

我が国のインフラ施設は、高度経済成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されている。老朽化や災害への対策が必要とされる一方、生産年齢人口の減少は着実に進行しており、生産性向上を目指す施策 i-Construction が推進されている。また、安全・安心なインフラ施設を次世代に継承するためには、データやデジタル技術を活用した、インフラ分野のデジタルトランスフォーメーション(DX)の推進が求められている。

このような状況から、建設現場においても、可能な範囲で「ヒト」から「キカイ」に業務を置き換え、業務の省力化を図ることが喫緊の課題となっている。特に、目視による巡視点検業務は、広範囲に渡る場合が多く負担が大きい上に、植生繁茂や悪天候などの影響により、変状の有無が不明確で、点検結果が定量的に判断しづらく、現場での適切な判断が困難であることが課題であった。

これらの課題を解決する目的で開発した「傾斜監視クラウドシステム OKIPPA104(NETIS 番号:KT-190097-A)」(以下、OKIPPA104)は、センサBoxだけで監視が始められる、極めて『手軽かつ簡単』な傾斜監視システムである。

さらに、この傾斜監視の機能を応用し、地割れやクラックなどの幅を監視する目的で「OKIPPA 伸縮計」を開発した。

本稿では、本システムの導入実績と適用分類、国土交通省による試行導入事例、及び変状が確認された計測事例等について報告する。

2. 本システムの概要

本システムは、センサボックス内の各種センサで計測したデータを省電力広域無線通信 LPWA(Low Power Wide Area)の Sigfox 通信を用い、クラウドサーバへ定期的にデータ伝送し、サーバ内で演算処理したデータを管理画面にて可視化させるシステムである(図-1)。



図-1 本システムの概要図

本センサボックスは、10 cm × 10 cm × 4 cm、重量約 300g と小型軽量で、かつ屋外仕様(防塵防水仕様 IP67)であり、2か所のビス穴により固定が可能であるため、特別な技術や道具が無くとも設置が完了できる(写真-1)。

計測する主なデータは、傾斜角度を算出する基礎データ(分解能:0.06°、精度:約0.1°)、衝撃検知(無感~16G)、GPS(機器位置検索)、温度(Box 内部)である。データ伝送は省電力広域無線通信 LPWA の Sigfox 通信を用いているため、内蔵のリチウムイオン電池で約2年間(1時間/回通信時)稼働が可能である(詳述は、参考文献¹⁾を参照されたい)。



写真-1 センサボックス設置状況

3. 導入による効果

本システムは、従来の詳細な計測システムと比較し、「手軽かつ簡単」な監視システムであり、インフラ施設の不安な箇所（例：地質が悪く対策工を施した箇所や地滑りが懸念される箇所など）手軽簡単に設置し、『バラまく』ことで変状箇所を見つけ出し、従来の詳細な計測システム（地中変位計や挿入式傾斜計）を導入すべき場所を見つけ出すシステムである（図-2）。

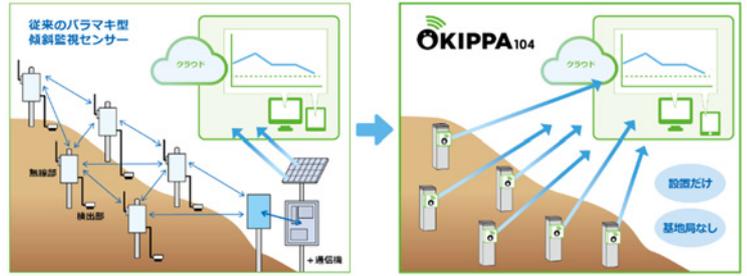


図-2 本システムの設備概念図

本システムの主な効果は、「点検業務の省力化」、「目視点検後の対策判断の明確化」、「手軽かつ簡単に斜面監視の開始」を可能にすることである。

4. OKIPPA104 導入の適用分類(傾斜のみの実績)

2021年8月1日時点でのOKIPPA104の設置台数は総計669台(傾斜のみ)となっている。OKIPPA104の適用分類ごとの設置台数(図-3)を見ると、法面への適用台数が特に多くなっている。具体的には国道や高速道路、鉄道等の沿線に分布する法面が多く、広範囲な場所で効率的に計測を行うことができるOKIPPAのメリットを最大限に生かす意図が見受けられる。

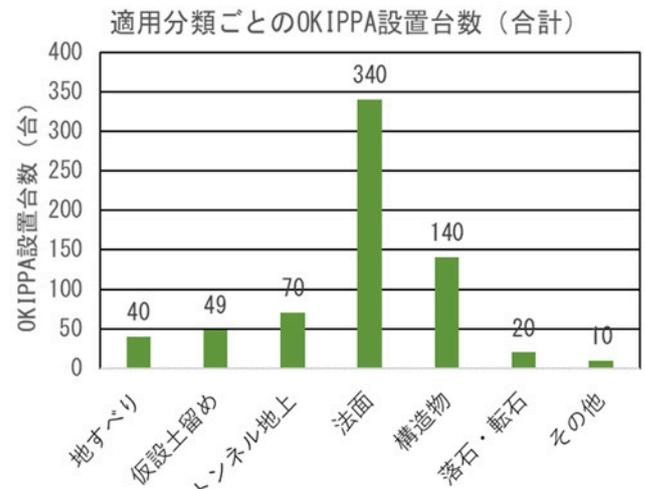


図-3 OKIPPAの適用分類

5. 国土交通省による試行導入事例(実証マッチング)

OKIPPA104は、国土交通省が推進するi-Constructionの活動における「現場ニーズと技術シーズのマッチング」の取り組みにおいて、2018年度に九州地方整備局管内1件、2019年度に中部地方整備局管内2件で選定され、実際の現地で試行導入を実施した。

(1)2018年度 九州地方整備局管内

| 項目 | 内容 |
|--------|---|
| 現場ニーズ | 切土法面の安定性を確認する技術 |
| 技術シーズ | 傾斜監視 |
| 実施期間 | 2018年5月中旬 ~ 2019年3月末 |
| 実施機器台数 | 傾斜 27台 |
| 実施内容 | <p>切土区域内に存在する供用中の市道脇や変状想定箇所等に傾斜センサを設置し、現地の変状について常時監視を実施し、本システムの妥当性を検証した。</p> <p>また、当該施工区域の工事関係者(発注者、施工管理、施工業者)に対し、監視システムの閲覧権限配布やアラートメールの送信登録などの情報共有体制を構築し、本システムが確実に稼働することを確認した。</p> |

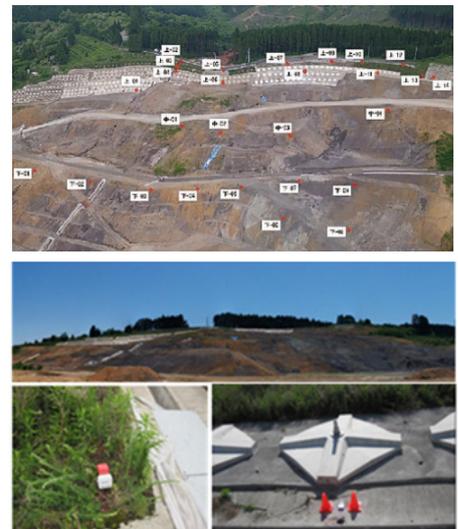


写真-2 切土斜面への導入事例(全景と近景)

(2)2019 年度 中部地方整備局管内 その1

| 項目 | 内容 |
|---|---------------------|
| 現場ニーズ | 切盛土のり面の長期安定性を確認する技術 |
| 技術シーズ | 傾斜監視、伸縮監視 |
| 実施期間 | 2019年12月中旬～2020年9月末 |
| 実施機器台数 | 傾斜 14台、伸縮 2台 |
| 実施内容 斜面及び盛土法面等に傾斜センサ 14 台と OKIPPA 伸縮計 2 台を設置し、現地の変状について常時監視を実施し、本システムの妥当性を検証した。 既設の従来技術による計測値と比較した結果、概ね同様の挙動を捉えることを確認した。 | |



写真-3 導入事例
(上：傾斜 下：OKIPPA 伸縮計)

(3)2019 年度 中部地方整備局管内 その2

| 項目 | 内容 |
|--|----------------------|
| 現場ニーズ | 仮設鋼製橋梁の供用時における挙動監視 |
| 技術シーズ | 傾斜監視、伸縮監視 |
| 実施期間 | 2019年12月中旬～2020年10月末 |
| 実施機器台数 | 傾斜 4台、伸縮 3台 |
| 実施内容 応急復旧完了後における、仮供用中の道路に対する監視システムのひとつとして、仮橋及びその周辺に傾斜センサと OKIPPA 伸縮計を設置し、現地の変状について常時監視を実施した。 本システムによる計測データを関係各署(施工業者、道路管理者ほか)と情報共有し、仮供用期間での安全監視ができることを確認した。 | |



写真-4 導入事例
(上：傾斜 下：OKIPPA 伸縮計)

6. OKIPPA 伸縮計における従来技術との比較検証

OKIPPA 伸縮計と従来技術について、計測値の比較検証を実施した結果を下記に示す(写真-5、図-4)。
 本検証では、計測期間中の計測値は、既存機器と比較し概ね同様となっており、累積伸縮量に若干の差異があるが、誤差の範囲と見受けられる。誤差の原因は、土砂部での計測において、それぞれの機器が独立した「固定杭」「移動杭」の伸縮量を計測しているためと考えられる。



写真-5 従来技術との検証状況

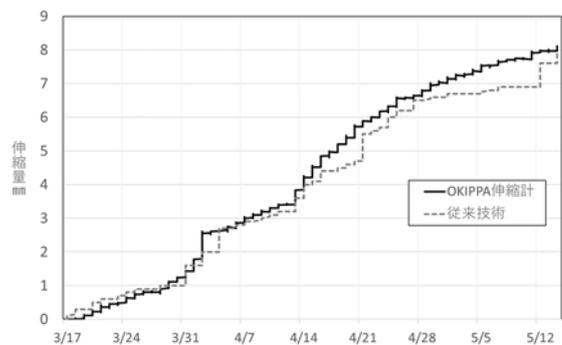


図-4 従来技術との検証結果

7. OKIPPA の導入事例

OKIPPA104 や OKIPPA 伸縮計は、変位が発生した斜面の監視や、施工中の現場(切土法面、構造物、落石)の監視、クラックの監視など、建設現場や自然斜面の様々な対象物の監視に広く活用されている。

OKIPPA シリーズを導入し、変位が確認された事例を下記に示す。計測結果の詳細やその他の事例は、参考文献^{2)~7)}を参照されたい。

(1) 応急復旧工事中的変状法面監視事例

本事例では、崩壊が発生した法面に OKIPPA104 を設置し、道路応急復旧工事中的法面の監視を行った。計測した傾斜測定値にはばらつきは認められるものの、降雨時に法面が変位している傾向が確認された。同図には 8 時間の移動平均線を追記しており、任意の時間での移動平均線を示すことで、変動状況をより明確に確認することが可能となった(図-5)。

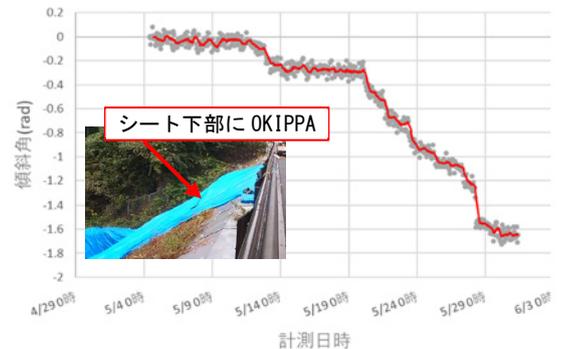


図-5 道路法面の傾斜角計測事例

(2) 道路工事中的切土法面監視事例

OKIPPA104 による施工中の斜面監視事例として、道路工事の施工中切土法面の監視を行った。対象地は脆弱な岩盤に起因した切土後の法面変位が発生しており、約 1.6km の広大な切土範囲の施工中の監視が課題であった。そのため、トータルステーションによる地表面計測と合わせて、OKIPPA104 を 17 台設置し、施工中的の変位の有無を確認した(図-6)。

結果として、OKIPPA104 により切土法面の状況をほぼリアルタイム監視することで、法面変位の早期発見・作業員の安全管理に活用することが可能となった。さらに、OKIPPA104 で地表面計測の補完ができたことで、職員の計測手間を軽減し、生産性向上が可能となった。

また、近傍位置で計測した地表面変位量と OKIPPA104 の傾斜測定値を比較すると、変位の全体的な挙動は一致しており、OKIPPA104 は地表面変位を比較的よく捉えていることがわかる。傾斜測定値は、環境影響等によりばらつきが生じるが、他の計測方法と併用することで、広範囲に渡る施工範囲を効率的に監視することが可能となった事例である。

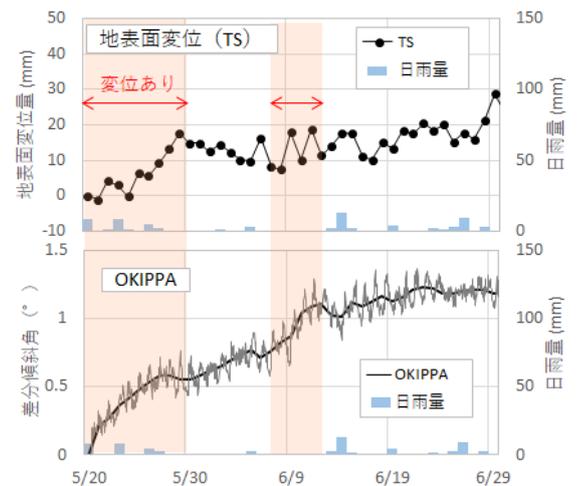


図-6 観測結果(上:地表面変位、下:OKIPPA)

(3) 施工時の構造物の監視事例

OKIPPA104 を用いた施工中の構造物監視事例として、補強土壁の動態観測を行った事例を示す。計測対象の補強土壁(H=15.9m)の断面図を図-7に示す。補強土壁の壁面へは、あと施工アンカーとビスを用いて固定でき、他の補強土壁についても同様に OKIPPA104 の設置が簡便に可能である。

NEXCO 土工施工管理要領⁸⁾では、補強土壁の挙動の管理について規定されており、当該現場では職員による測量が必要なため、補強土壁施工中の効率的な動態観測ができないか、課題として挙げられていた。そこで、動態観測の生産性向上を目的として、トータルステーションを用いた測量計測以外の手法として、OKIPPA104 導入を提案し、採用された。補強土壁の計測は、3 測線に対し、高さ方向に 3 点(上、中、下)で実施した。

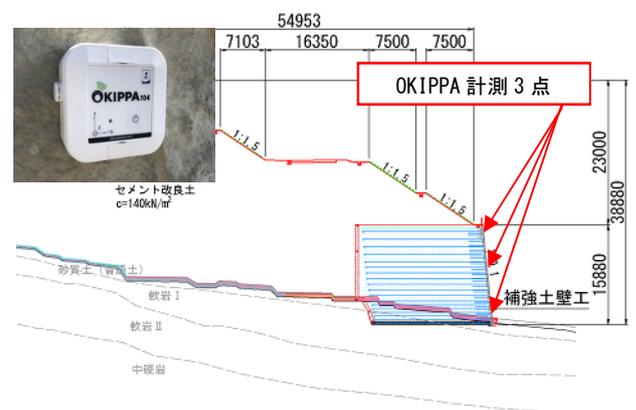


図-7 補強土壁断面図と計測位置(測線 No. 24)

測線 No.24 での OKIPPA104 による傾斜角計測結果を図-8に示す。補強土壁パネルの中段、下段の傾斜角について、8測点(8時間)の移動平均による近似曲線を追加している。計測結果より、パネル中段では補強土壁の進捗に合わせて変位し、施工が進むにつれ変位が収まる傾向が確認された。測量による計測結果も同様の結果が得られており、OKIPPA104 による計測によって、補強土壁の変位をほぼリアルタイム監視することができ、変位の進行や兆候を早期に把握することができることから、職員による測量計測を大幅に軽減でき、生産性向上に寄与できたものと考えている。

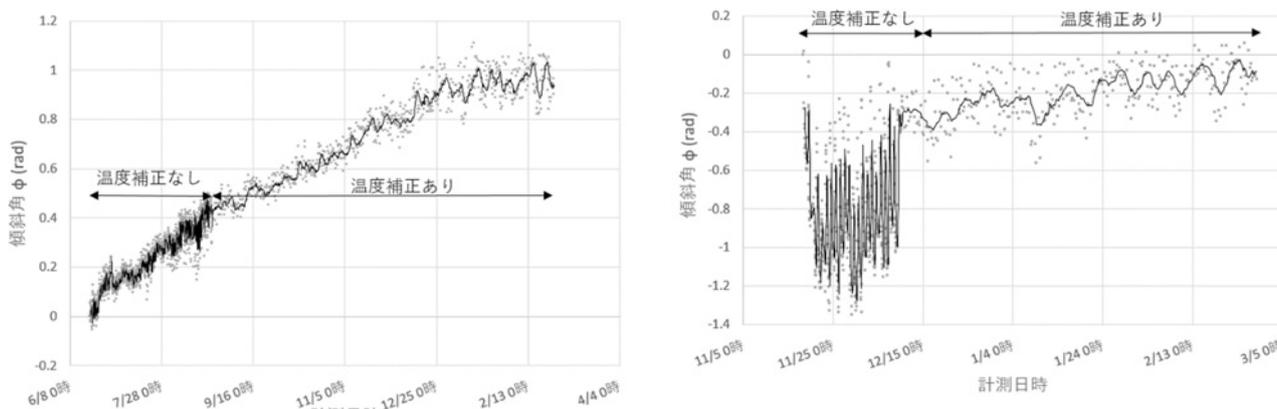


図-8 OKIPPAによる計測結果(左:中段 右:下段)

(4) 施工時の巨石の監視事例

OKIPPA104 を用いた落石の監視事例として、造成工事施工中に巨石の動態観測を行った例を示す。太陽光発電所造成工事の調整池掘削に伴い、法肩近傍で巨石の存在が確認されたため、作業員の安全確保や、隣接民家へ影響が考えられたことから、OKIPPA104 を設置し、巨石を監視した(写真-6)。広範囲に分布する巨石の監視は、手間と危険を伴うことから、簡便かつ安価であり、かつ遠隔監視が可能な OKIPPA104 が採用された。



写真-6 巨石の監視事例

(5) OKIPPA 伸縮計によるクラック計測事例

トンネル坑口への工所用道路として施工した切土と切土背面の既設擁壁を OKIPPA 伸縮計により動態観測を行った事例を示す(写真-7)。既設擁壁が切土法面に近接しており、切土法面の変位監視が必要であることから、両構造物を対象に OKIPPA 伸縮計を設置した。当該現場においても、測量作業を省力化する観点から、簡便かつ安価な OKIPPA 伸縮計が採用されている。



写真-7 クラックの計測事例

8. おわりに

『手軽かつ簡単』をコンセプトに開発した本システムに関して、これまでの導入事例の監視結果から OKIPPA104 は高精度な従来技術と比較し、精度の粗さは多少あるものの、ほぼリアルタイムに現場の変位を的確に捉えることができ、遜色ないことを確認した。また、『手軽かつ簡単』の一面である経済性について、従来技術とコスト比較したところ、OKIPPA104 で約 50%、OKIPPA 伸縮計で約 40%縮減できると試算され、その優位性が確認できた。

今後、本システムを活用することで、施工現場における省力化を図るだけでなく、供用中のインフラ監視に対する導入ハードルを下げることをコンセプトとした OKIPPA シリーズとして、インフラ施設の監視ソリューションを追加して

いく予定である。

さらに計測実績を蓄積し、地盤や気象などの関連データと AI を掛け合わせ、有機的なインフラ点検(施工中から供用後)の可能性を追求していく予定である。

本システムが CIM と同様に、インフラ施設のライフサイクル全体を見通した情報マネジメントや情報の見える化に寄与することを目指す中で、インフラ施設を網羅的に監視できる“手軽かつ簡単”な『バラまき型』の本システムが、インフラ分野のデジタルトランスフォーメーションの推進に寄与し、安全・安心な社会経済活動を支えるインフラ事業の生産性向上に貢献して参りたい。

参考文献

- 1) 鶴田大毅・永山智之「次世代インフラ監視システム (OKIPPA104) の開発と実証」、『西松建設技報VOL.42』2019年
- 2) 菊池将人・澤田悦史・北原一平・依田直樹・市山誠・檜垣大助・鶴田大毅・永山智之「小泊権現崎における地すべり斜面の監視クラウドシステムについて」2019年度砂防学会研究発表会
- 3) 鶴田大毅・永山智之「次世代インフラ監視システムの開発と運用」、『建設機械施工』2018年11月
- 4) 鶴田大毅・永山智之・土屋光弘・黒田卓也「傾斜監視クラウドシステムOKIPPA104の導入実績と計測事例」『西松建設技報VOL.44』2021年
- 5) 西松建設(株)「傾斜監視クラウドシステム『OKIPPA』」『北陸の建設技術』2020年8月
- 6) 宮野篤・永山智之「日原街道の復旧概要と供用後のモニタリング『インフラ監視クラウドシステムOKIPPA』」『土木施工』2020年9月
- 7) 山本修平・五十川秀哉・松葉洋介「黒川第一発電所復旧に伴うヘッドタンク周辺の崩壊斜面对策の設計と施工」『電力土木』2021年7月
- 8) NEXCO東日本・中日本・西日本「土工施工管理要領」令和2年7月

以上

小土被り未固結地山でのNATM工法によるトンネル施工

-営業中のゴルフ場直下における施工時および恒久的な地表面沈下抑制対策について-
(令和元年度 北勢 BP 坂部トンネル工事)

大日本土木株式会社 名古屋支店
岩田 修

1. はじめに

国道 1 号北勢バイパスは、三重県三重郡川越町南福崎から四日市市采女町に至る延長 21.0km の幹線道路であり、国道 1 号・23 号等の渋滞緩和、災害に強い道路機能の確保および地域経済活性化の支援を目的に計画された道路である。現在、みえ川越ICから市道日永八郷線までの延長 8.5km が開通している。さらに国道 477 号バイパスまでの延長 4.1km については、令和 6 年度開通に向けて事業が行われている。(図-1)

坂部トンネルは三重県四日市市に位置し、標高 70~80m の尾根が北西-南東方向に延びる丘陵地を約 870m の延長で貫く工事である。(写真-1)

トンネル上部はほぼ全線に亘り営業中のゴルフ場で、最小土被りは約 3m である。トンネル掘削対象箇所の地質は未固結の粘性土および砂質土で、それぞれが互層状に重なっているという特徴がある。

2. 工事概要

坂部トンネルは I 期工事において、終点側坑口よりトンネル掘削工 L=568.15m、覆工 L=313.0m、インバート工 L=323.5m が施工済みである。本工事は、I 期工事からの継続部をトンネル掘削工 L=177.0m、覆工およびインバート工 L=402.7m を施工する II 期工事である。また、トンネル中央部の含水未固結地山区間約 280m は、トンネル掘削による恒久的な地下水位の低下に伴う地表面沈下の発生を抑制するためウォータータイト構造となっている。(図-2)

当工事の掘削対象地質である東海層群大泉累層の粘性土、砂質土は、代表 N 値が 20 程度で砂質土における自然地下水位はほぼトンネル天端高と同等であることから、湧水の影響により地山が軟弱化し、自立性が著しく低下することが懸念され、適切な施工方法の選定が求められた。また、トンネル直上ゴルフ場の営業に支障がないように地表面沈下管理基準値を 50mm と定めているが、I 期工事では 200mm を超える地表面沈下が発生した。そのため、計測管理による確実な施工管理を実施し、安全にトンネル掘削を行うことが強く求められた。



図-1 位置図(出典先:北勢国道事務所)



写真-1 坂部トンネル

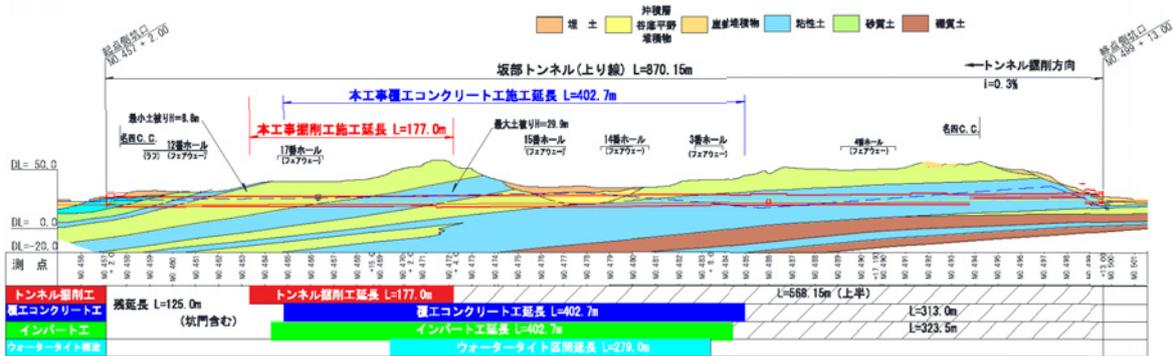


図-2 地質縦断面図

3. 施工中の地表面沈下抑制対策について

3.1 施工方法に関する対策

(1) 掘削工法の変更

支保パターン DⅢ-A3(F2)の区間において、設計掘削方式である補助ベンチ付き全断面工法(早期閉合)にて施工していたが、砂層が切羽の多くの部分を占めるようになると鏡面の崩壊が顕著となった。(写真-2)

要因として、地山強度の低い地質の場合、補助ベンチ長程度の離隔距離では、下半掘削による緩みが上半鏡面にも影響を及ぼしていると推察された。

そのため掘削方式を上半先進掘削工法に変更することで、施工時の鏡面の安定性を確保した。また、掘削に伴う変位抑制を目的とした早期閉合との両立を図るため、上半先進ミニベンチカット工法(早期閉合)にて施工した。(図-3)

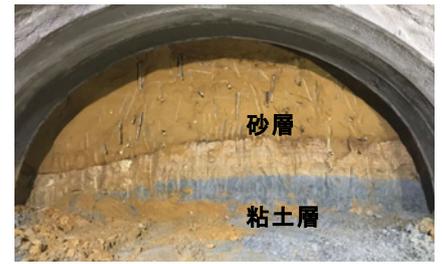


写真-2 切羽状況

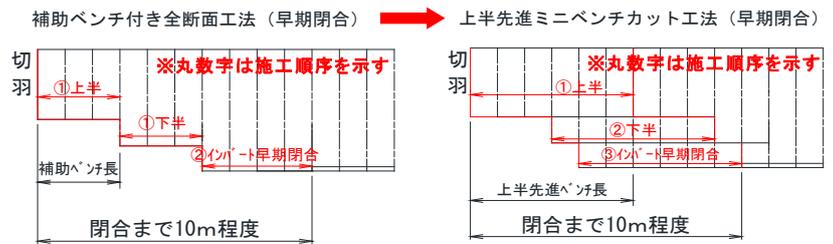


図-3 掘削工法比較模式図

(2) 注入式長尺鋼管フォアパイリング(AGF)工での対策

1) 拡幅方式およびダブルラップ工法の採用

施工事例が多い無拡幅方式では、末端管が掘削断面内に残置し掘削時に撤去する必要がある。撤去後は十分な先受け長が確保できないことに加え、鋼製支保工に支持されない構造となる。また、打設仰角が大きくなることで、掘削線からの離隔距離が大きくなり先受け効果が低下することが懸念された。そのため当工事では、天端付近の地質が比較的硬質な粘性土などで地山安定性が確保できる場合は、無拡幅方式と比較して打設仰角を約 3° 小さくすることができる最小拡幅方式(20cm 拡幅 シフト長 9m)を採用した。(図-4) また、天端付近の地質が砂質土で地山崩落が顕著となる恐れがあり、地表面沈下抑制が困難であると判断される場合、打設仰角をさらに約 2° 小さくすることができかつ、末端管が掘削断面内に残置しない最大拡幅方式(40cm 拡幅 シフト長 6m)の「ダブルラップ AGF 工法」を採用した。(図-5)

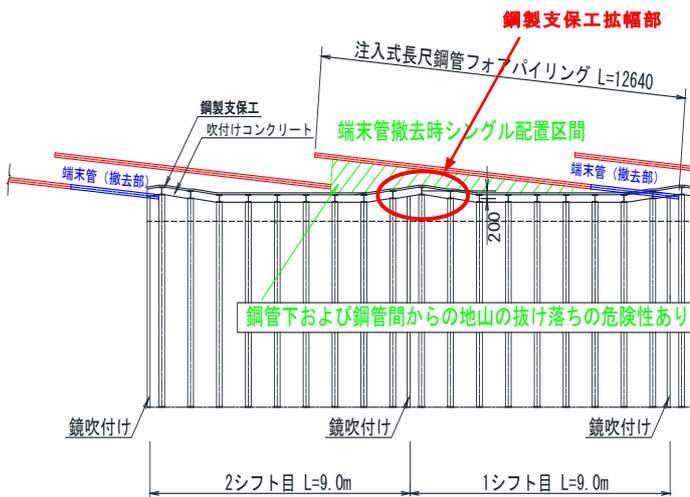


図-4 最小拡幅方式シフト長 9m 断面図

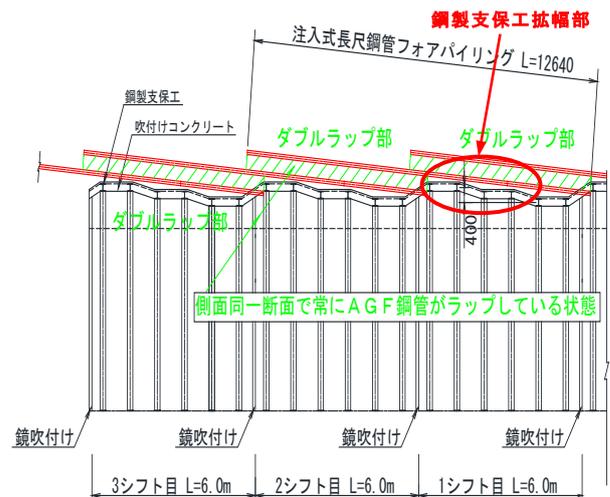


図-5 最大拡幅方式シフト長 6m(ダブルラップ工法)断面図

トンネル周方向AGF鋼管間隔を $\textcircled{450}\text{mm}$ とし、シフト毎の千鳥配置とすることで、長尺先受け先端近くで鋼管が放射状に開くことにより発生する未改良部の発生防止対策を行った。また、打設改良範囲は標準的な上半 120° に加え、上記の改良範囲より下方でも地山の崩落が顕著な場合は、打設改良範囲を上半 140° とした。

なお、AGF 工全 27 シフトの内ダブルラップ AGF 工法を採用したのは 22 シフト(約 81%)であった。

2) 末端管事前撤去型AGF工法 (AGF-Tk工法)の採用

最小拡幅方式 9m シフトの場合、末端管撤去時の衝撃による周辺地山の緩みや抜け落ちにより、天端付近の地山の安定性が低下することが懸念された。そのため鋼管打設後、専用の治具を使用して末端管を中間管から事前に引抜いて注入改良を行うAGF-Tk工法を採用した。実施工では、末端管事前撤去部分においても十分な注入改良効果を確認した。(図-7、8)

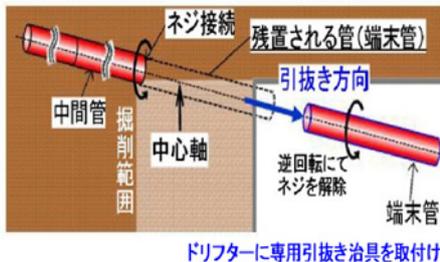


図-7 末端管事前撤去方法説明図

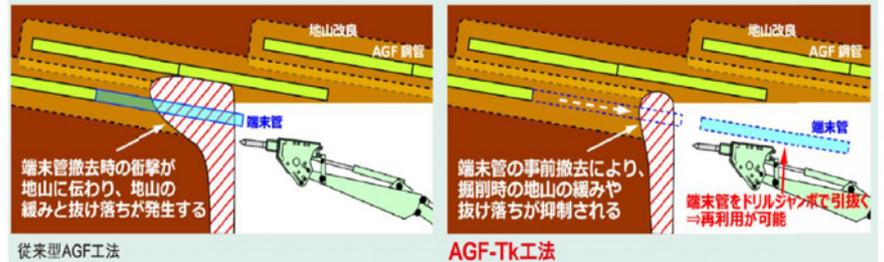


図-8 従来工法との比較図

3) 湧水の影響を受けにくい材料の採用

掘削補助工で使用する注入材料は、地山浸透性に優れゲルタイムが短く湧水の影響を受けにくい、ウレタン系注入材であるシリカレジンを主に使用した。

湧水の影響などにより、トンネル掘削工を安全に施工するために必要な所定の改良効果が得られない場合は、シリカレジンよりも強度発現性に優れるウレタン系減水止水材 (KOD-M) を使用した。(写真-3、表-1)

また、掘削時に湧水の影響などにより地山の安定性が失われ、緊急的に注入改良する場合もウレタン系減水止水材を主に使用した。

表-1 注入材料比較表

| 材料名 | ウレタン系注入材 | ウレタン系減水止水材 |
|----------------|----------|----------------------|
| | スーパー-SRF | KOD-M |
| ライズタイム(秒/20°C) | 60±15 | 45±15 |
| 圧縮強度(Mpa) | 2±1.0 | 60以上 |
| 自由発泡倍率 | 6~10倍 | 1(水なし) 7±2(水添加1%) |

① 水との接触により固体の性状が変化する



② 帯水層における湧水との反応により水脈を閉塞してトンネルへの引き込み水量を減少し、最終的に無発泡体の防水ゾーンを形成することにより、減水・止水する

写真-3 減水止水の過程説明

3.2 計測管理に関する対策

(1) 計測工 (A)

計測工 (A) における、設計での縦断方向坑内計測点間隔は 10m であったが、拡幅支保工での施工を考慮しシフト長である 6m もしくは 9m とした。また、計測頻度は現場状況を考慮し 3 時間毎とした。

地表面沈下測定は、対象が営業中のゴルフ場のため営業開始前と営業終了後の 1 日 2 回の測定とした。また、ゴルフ場のコース内にはプレーの支障となる固定点プリズムなどを設置することができないため、コース上に設置した目印を直接測定することとした。(写真-4、5) なお、縦断方向計測点間隔は 5m とした。



写真-4 計測状況



写真-5 コース上の目印

(2) 計測工 (B)

トンネル直上のゴルフ場フェアウェイ区間では計測工 (B) として、計測工 (A) による地表面沈下測定の補完および休工中の地表面状況を確認することを目的に、縦断方向 5m 間隔、横断方向 5 点を計測する地表面沈下自動計測を実施した。

(写真-6)



写真-6 自動計測機器

ゴルフ場の芝生上を計測するため精度が劣ることを想定し、1時間に1回の計測を行って地表面変状の兆候を早期に把握する対策を行った。

計測工(A)・(B)共に、計測項目ごとに設定した管理基準値(管理レベルⅠ～Ⅲ)を超過した場合、元請職員へのメール通知と現場事務所および切羽付近に設置した警告灯で通知するシステムとした。これにより、異常発生兆候を速やかに作業所全体で共有出来る体制を整え、有事において迅速に地表面沈下抑制対策を実施できるようにした。(写真-7)



写真-7 切羽付近に設置の警告灯

(3)切羽前方天端沈下計による緩み領域および先行変位量の把握

地表面沈下を抑制して施工するには、掘削時の切羽前方の緩み領域や先行変位量を早期に把握し、適切な先受け工を施工することが極めて重要となる。そのため、トンネル天端の前方に重力加速度センサを用いた地中沈下計を設置し常時計測を行った。沈下計は1本当り計測長を12mとしAGF工のシフト長毎(6mまたは9m)に設置した。(図-9)

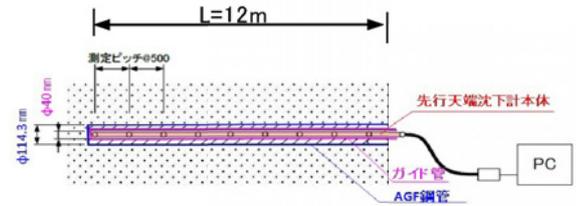


図-9 地中沈下計設置概略図

緩み領域を把握することでダブルラップAGF工などの先受け効果を確認すると共に、先行変位量から地表面沈下管理基準値超過の予兆を定量的に把握することができた。(図-10)

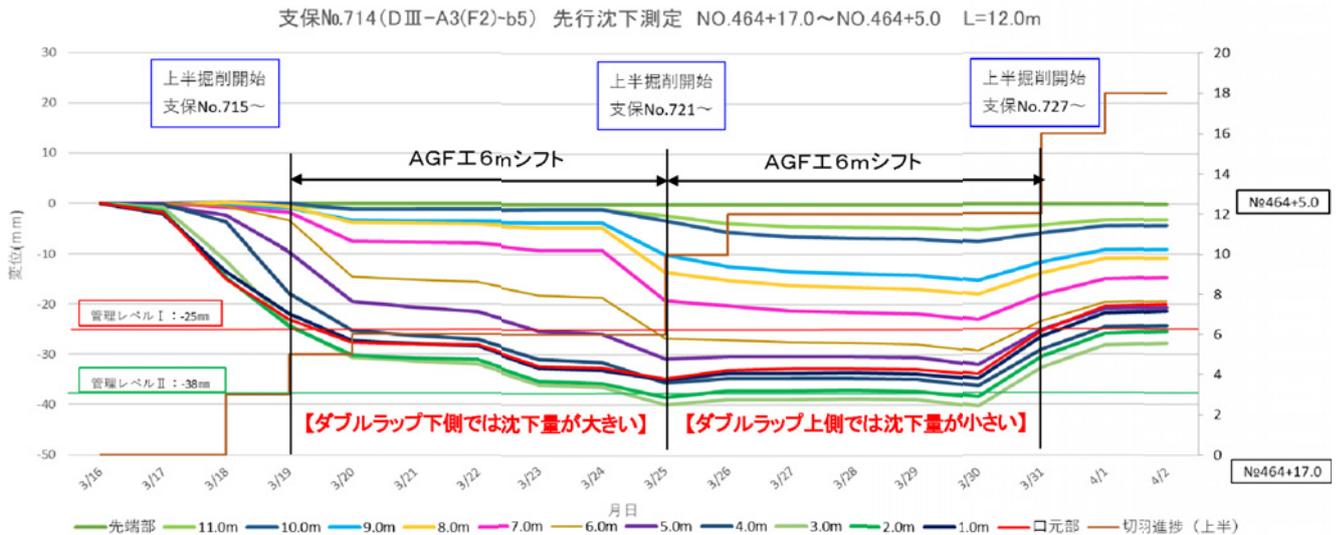


図-10 切羽前方天端沈下計計測結果例

(4)切羽前方穿孔探査(DRISS)による切羽前方地山性状の事前評価

切羽崩落や地表面沈下の要因となる情報を事前に入手することが重要と考え、油圧ジャンボを使用した切羽前方穿孔探査を行った。穿孔時に得られるデータを自動収録数値化(図示化)することで地山評価を定量的かつ迅速に行った。(図-11)

穿孔探査孔は、水抜き孔として利用することで切羽前方の地下水の状況把握に活用した。

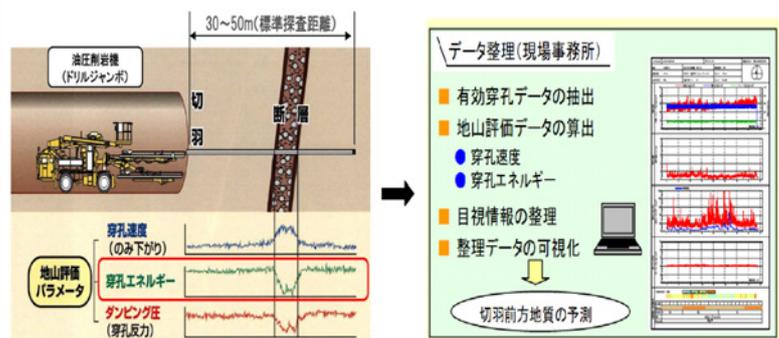


図-11 穿孔探査の仕組みと探査結果活用例

(5) BIM/CIM の活用

上記の計測結果や切羽状況の変遷、追加地質調査結果などの各種情報を 3 次元モデルにて一元的に管理する BIM/CIM を実施した。(図-12) 支保パターンや掘削補助工の仕様を決定するために実施する段階確認(切羽判定)や、トンネル業者との施工検討会にも BIM/CIM を活用し、情報共有や合意形成の迅速化を図ることで切羽安定対策を適切に実施することができ、地表面沈下抑制に大きく寄与した。(写真-8)

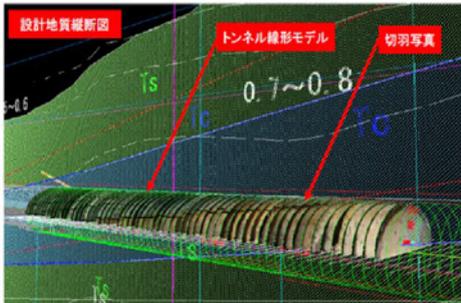


図-12 3次元統合モデル例



写真-8 切羽判定実施状況

4. 施工後の地下水位低下に伴う地表面沈下抑制対策について

施工中は工事の安全確保のために一時的な排水により地下水位を低下させるが、工事完了後は地下水位を回復させることで地表面沈下抑制対策を行う。抑制対策は、トンネル全体の約 32%の区間で実施する。

(1) ウォータータイト型トンネル

当工事は、一般的な排水型トンネルであるドレネイジ型ではなく、トンネル全周に防水シートを設置する非排水型のウォータータイト型トンネルとなる。それぞれの防水工仕様を(図-13)に示す。

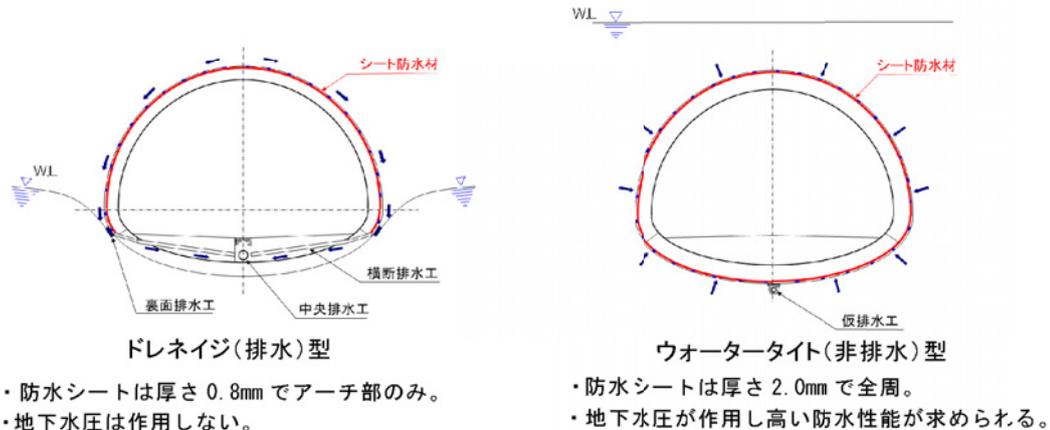


図-13 トンネル防水工比較図

(2) 各種防水システム

ウォータータイト型トンネルでは、ドレネイジ型とは比較にならないほど完成度の高い防水性能が要求される。そのため、当工事で採用しているウォータータイト仕様では、様々な防水システムを取り入れている。

1) 打継目部へのウォーターバリアの設置

覆工コンクリート打継目部の防水シート表面にウォーターバリアを設置し、漏水が発生した場合に隣接するスパンへ広がるのを防止すると共に、打継目部からの漏水を防止する。(写真-9)



写真-9 ウォーターバリア設置状況

煙を出さず大量の焼却能力を備えた、刈草の「酸素供給型高速焼却架台」
～「生産性の向上」と「働き方改革」を達成した焼却架台の名は「モヤッシー」！～

株式会社 山 辰 組
専務取締役 馬 淵 剛

1. はじめに

国土交通省が管轄する河川において、堤防の除草工事が行われています。堤防の除草工事は整備と堤体の点検のために行われ、その工程は、草を刈り取る「除草」→ 刈り取った草を集める「集草」→ 集めた草をパッカー車へ積み込む「積み込み」→ パッカー車で運搬をする「運搬」→ 荷下ろしをする「荷下」、そして焼却場で刈った草を焼却する「焼却」、または処分場に持ち込み「処分」をする、となっています。

堤防除草工事は天候によって進捗が大きく左右されます。雨などの悪天候によって休工したり、また、天気が回復したとしても刈った草を天日干しするため集草を見合わせたり、焼却を延期したりすることが多くあります。そのため悪天候が続くと工事の進捗が遅れ、特に最終工程が「焼却」となっている場合には、焼却を実施できる日程が工期に間に合うかを懸念しなければならず、現場担当者のストレスとなっていました。

また、焼却の際に発生する煙が近隣や一般通行者からの苦情に繋がりこれも現場担当者のストレスとなっていました。現場では、刈草を出来るだけ乾燥させるなどの対応をしているものの従来の方法では煙の発生を抑制するには限界があり、常に苦情がいつくるのか、というストレスを拭うことはできませんでした。また、雨天などの天候の影響を受けて休日作業を余儀なくされるなどの働き方は作業員とその家族のストレスにも繋がっていました。

2. 従来工法から「モヤッシー」開発までの経緯

1) 従来の焼却方法



写真 1 地面上焼却作業の様子

従来の焼却方法は、地面上で集めてきた草を燃やす方法です。集草してきた刈草を一定量、焼却ヤードに分けて直接着火します。着火後は、バックホウ等でほぐしながら焼却を行い、焼却が進んだら刈草を追加する、この作業を繰り返します。しかし、前述の通り従来の焼却方法は煙が大

量に発生するのが課題です。【写真 1】は、地面上での焼却作業の様子を撮影したのですが、奥の景色が見えない程の煙が発生しています。

地面焼却で大量の煙が発生するのは、刈草の上部表面だけは燃焼をしますが刈草の中は不完全燃焼となることが原因です。刈草の表面は空気(酸素)に触れているため焼却されますが、刈草の塊の中は空気に触れていないため、不完全燃焼となり煙が大量に発生することとなります。【写真 1】のような煙が発生するため、近隣からの苦情が発生することがあり、現場責任者は心理的に大きな負担を強いられていました。

焼却において刈草の表面は燃えて灰になっても内部は焼却ができていないため、重機で刈草の塊をほぐす作業が必要です。【写真 1】は焼却において重機を用いて草をほぐしている作業を撮影したのもでもあります。焼却作業を実施する場合、重機オペレーターは燃えている草の状況を見極めてほぐし作業を行ったり、また刈草を追加投入したりと状況判断して作業を行う必要があり、熟練度が求められるという課題もありました。

また、従来の焼却方法においては、日々の焼却作業完了時の消火作業により地面が湿っているため、その上においた刈草が湿ることからなかなか燃えないという課題もありました。



写真 2 消火作業の様子

以上の様に従来の焼却方法には、①煙の発生に伴う苦情への心理的負担が大きい。②工程管理が天候に影響される。③時間外作業、休日作業を余儀なくされる。④作業効率の改善という課題があり、それらを解決すべく当社は開発を進めました。

2) 焼却架台(酸素供給なし)の焼却方法の開発

幾つかの課題を抱えた地面焼却の課題を解決すべく最初に取り組んだのは、焼却時に地面との接触を防ぐために架台を製作することでした。地面との接触を防ぐことで消火作業による地面の湿りの影響を受けずに焼却作業を行うことができます。また、空気の対流により架台の下部から焼却を促進する空気が自然に回り込み、焼却効率が上がる効果を発揮しました。

焼却架台を用いた焼却作業は従来の地面上の焼却方法より効率的に焼却作業を進めることができました。架台の使用により、湿った地面に接することなく、乾いた状態の刈草を焼却するこ

とができました。また、焼却において火の勢いが地面焼却工法と比べ明らかに強く、焼却温度も高い数値を確認しました。時間当たりの焼却量を増やすことができました。

使用期間においては、作業責任者、施工をする協力会社からの評価も高く、従来工法よりも焼却の効率があがり、焼却に掛る日数を減らすことができました。しかしながら、刈草の塊の表面は早く燃えるものの内部まで空気が行き渡らず重機によるほぐし作業が必要なのは変わらないため、さらなる改良が必要と判明しました。

また、煙の発生も抑える効果があったものの、作業責任者の心理的負担をより軽減させるためにより焼却効率を上げる工夫が必要であり改善策を模索しました。



写真 3

焼却架台(酸素供給なし)で燃える刈草

3) 酸素供給型高速焼却架台「モヤッシー」の開発へ

前記焼却架台の特徴を活かし、より焼却効率を向上させるために考えたのが刈草に酸素(空気)を送り込むという方法でした。架台の下部に送風管を配管し、コンプレッサーにより空気を供給することで刈草の内部にも空気を強制的に送り込み、内部の焼却ができるようになると考えました。こうして開発されたのが酸素供給型高速焼却架台「モヤッシー」です。

焼却架台(酸素供給なし)と比べ改善したのは【写真 5】のように、架台をV字型にすることで、狭い面積で大量の刈草の焼却ができるよう工夫したことです。架台が縦方向に刈草を受けられるようにし、下部から酸素を強制的に燃焼部に吹付けるため、炎と共に酸素が刈草の内部に届くように工夫しています。



写真 4 酸素供給型高速焼却架台「モヤッシー」

【写真 3】の焼却架台(酸素供給なし)の地面に接しない長所はそのままに残し、強制的な酸素供給によって焼却の生産性が大幅に向上しました。強制的な酸素供給を行うことで刈草の内部へ酸素を送り込むことで焼却が促進され、1日当たりの焼却量が大幅に増えました。また、ほぐし作業が不要になり重機オペレーターは刈草の追加投入に専念することができ作業の生産性の向上に

繋がりました。

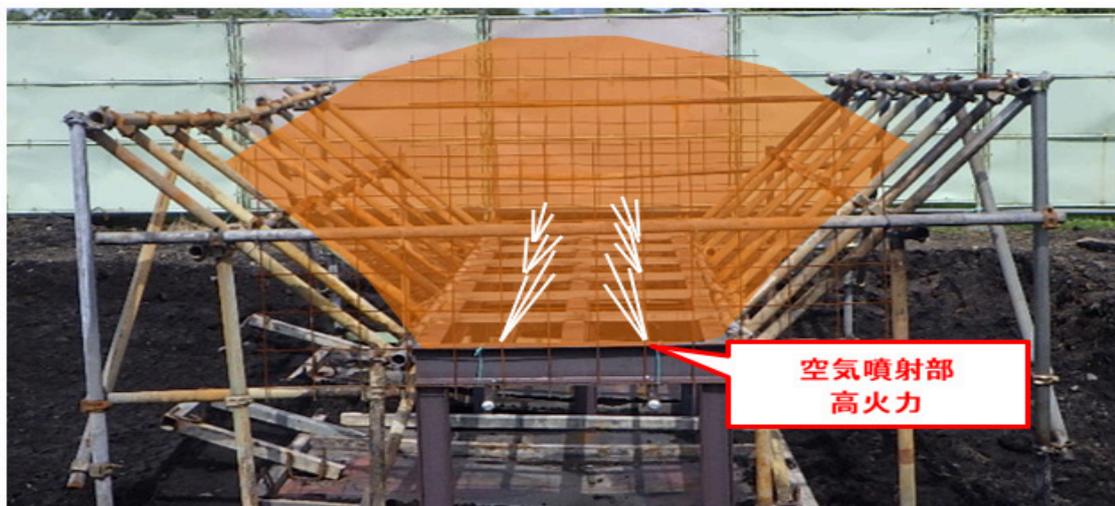


写真5 「モヤッシー」の空気噴射の工夫

また、「モヤッシー」の使用にあたり焼却架台の下部に焼却後の灰を受けるいわゆる「灰受け皿」を追加しました。これにより焼却作業後の灰の処理がより容易になり、従来工法では1時間近くを要した消火作業を20分ほどとして、焼却時間が40分も長く作業できるようになり1日当たりの生産性の向上を実現しました。

【写真6】は「モヤッシー」による焼却状況を撮影したものです。炎が刈草全体から立ち上がっており、また煙の発生量が少ないことが分かります。

使用した期間においては、煙の発生量が少ないことから近隣からの苦情もなく作業を終えることができました。また日当たりの焼却量が従来工法より大幅に向上したことから焼却に掛る日数を減らすことができ現場の負担を軽減することができました。作業担当者、重機オペレーターからは苦情に対する心理的負担、また工期に対する心理的負担がより軽減されたとして非常に高い評価を頂いています。



写真6 「モヤッシー」による焼却状況

3. 従来工法との「モヤッシー」の比較

従来の地面焼却工法と酸素供給型高速焼却架台「モヤッシー」について焼却温度、焼却効率のデータを採取しました。

【写真7】は従来の地面焼却と「モヤッシー」による焼却の際の温度計測の結果です。温度計の

数値が示す通り、「モヤッシー」は 900 度を超える温度で完全燃焼することを実現しており、これが焼却量の向上と煙の発生抑制につながっていると考えられます。



写真 7 焼却時の温度(左:地面焼却 右:「モヤッシー」による焼却)

【表 1】は地面焼却と「モヤッシー」との燃焼量の比較です。表が示す通り、従来の焼却作業では 1 時間当たり 12m³ の焼却量ですが、「モヤッシー」は 1 時間あたり 24m³ と 2 倍の焼却量を実現しました。

| 「地面上」と「モヤッシー」との焼却量比較 | | | | | |
|---|-----------------------------|--|--|-----------------------------|--|
| 地面上での焼却作業 | | | 酸素供給型架台焼却作業 | | |
| 0.5m ³ ～1.0m ³ づつ投入 | | | 0.5m ³ ～1.0m ³ づつ投入 | | |
| | 作業時間 | 投入量 | | 作業時間 | 投入量 |
| 1回目投入 | 着火 | 2m ³ ×2掴み=4.0m ³ | 1回目投入 | 着火 | 2m ³ ×2掴み=4.0m ³ |
| 投入を続ける | 燃焼続く | 適時追加投入 | 投入を続ける | 燃焼続く | 適時追加投入 |
| 焼却時間と投入数量 | 35分間 | 7.0m³ | 焼却時間と投入数量 | 15分間 | 6.0m³ |
| 1時間当りに換算 | 60分÷35分×7.0m ³ = | 12m³ | 1時間当りに換算 | 60分÷15分×6.0m ³ = | 24m³ |
| ① 灰が黒い（有機物が不完全燃焼のまま） ② 燃焼くずの飛散が多い ③ 焼却完了後に、消火状況を確認するため灰をほぐしたところ枯れ草内に燃え残りが確認された。 | | | ① 灰が白い（完全燃焼している） ② 地面上と比較して 約2倍の生産性向上 が確認できた。 ③ 焼却完了後は燃え残りが残っていない。 ④ オペレータの作業負担が軽減された。 | | |

表 1 地面焼却と「モヤッシー」の燃焼量比較

従来は悪天候で工程が遅れた際に、時間外作業や休日作業でその遅れを取り戻すことが現場責任者のストレスとなっていました。が、「モヤッシー」を使用することで焼却日数を減らすことができるため平日の作業で焼却作業を完遂できるため、工程を組む際に余裕ができ、心理的負担を軽減することに繋がりました。

また、焼却時の煙の発生についても大幅な改善を達成しました。【写真 8】にある通り、地面焼

却においては大量の煙が発生しており、これが近隣住民や通行者からの苦情に繋がることもあり現場作業者のストレスとなっていました。しかし、「モヤッシー」の使用により煙の発生を大幅に減らすことができたため、苦情が殆んど無くなり、現場作業者の心理的負担が大幅に軽減されます。



写真 8 焼却時の風景(左:地面焼却 右:「モヤッシー」による焼却)

4. まとめ・従来工法の課題を解決する新装置・酸素供給型高速焼却架台「モヤッシー」

これまでの説明の通り、従来の地面上の焼却方法の課題を解決するために開発したのが、堤防除草工事における焼却作業の「生産性の向上」と「働き方改革」を達成する酸素供給型高速焼却架台「モヤッシー」です。

専用の焼却架台を設け、架台の下部から空気(酸素)を燃焼部に強制的に吹き付ける仕組みにより 900 度近い温度で刈草を焼却することを実現しました。高温による焼却により日当たりの焼却量が従来工法の 2 倍となりました。焼却の生産性向上したことにより、作業日数を減らすことを実現しました。その効果として土曜日の焼却作業は休工として工程を組むことを達成しています。従来工法は場合によっては土曜日にも焼却作業をしなければ工期に間に合わないことが多かったため、本装置の活用により「働き方改革」に繋がる効果が生まれました。また、高温による完全燃焼により煙の発生を大幅に減らすことにも成功しました。従来工法では多くの煙が発生することから苦情に繋がることもありましたが、本装置を活用することで煙の発生を抑え、使用してきた 3 年間では苦情 0 件を達成しました。

本装置の採用により、除草工事の最終工程である焼却の日数を減らすこと、苦情の軽減を実現することから現場責任者の心理的負担を軽減する効果が生まれ、実際に使用していただいた施工業者さんにおいても非常に良好な評価を頂いています。

5. おわりに

酸素供給型高速焼却架台「モヤッシー」の開発においては、多くの皆様のご助言を頂くことにより大きな成果を生み出すことができました。この場をお借りして心より感謝を申し上げます。誠にありがとうございました。

循環式ブラスト工法を活用した鋼橋の疲労対策 —エコクリーンハイブリッド工法で環境保全と国土強靱化を両立—

ヤマダイインフラテクノス株式会社
亀山 誠司

1. はじめに

高度経済成長期に多くが建設され、日本経済を支えてきた橋。それらが高齢化を迎え、それに伴い損傷も進んできています。

鋼製橋梁に目を向けてみますと、代表的な損傷としてあげられるのは「腐食」です。集中的に錆が発生している状態や、錆が極度に進行し板厚減少や断面欠損が生じている状態です。(図1)それに対し軽度な錆の発生状態は「防食機能の劣化」とされています。腐食の効果的な予防保全として、この「防食機能の劣化」のうちに Rc-I 塗装系へ塗替える工法が定着してきています。

Rc-I 塗装系は、平成 17 年に当時の「鋼道路橋塗装・防食便覧(現在の鋼道路橋防食便覧)」で長寿命化の観点から耐久性に優れた重防食塗装への塗替えを基本とするとして導入され、以降腐食対策として積極的に採用されてきました。

Rc-I 塗装系は、ブラストにより旧塗膜や錆を除去すると同時に、鋼材面に適度な粗さを付与して塗装の密着性を良くし、防食効果を高める処理(素地調整程度 1 種)が必要です。ブラスト作業は、特定粉じん作業に該当するため、作業員には送気マスクの装着が義務付けられますし、研削材や粉じんの周辺への飛散を防ぐための防護設備が必要となりますが、素地調整程度 1 種の品質を確保できる唯一の工法です。逆に言えばブラストの品質が防食性能を左右すると言えます。



図1 腐食の例

2. 循環式ブラスト工法の誕生

ブラスト処理は、工場にて行われる場合は金属系研削材が使われてきましたが、現場で行う場合は、軽くて扱いやすく錆びない鉄構スラグに代表される非金属系研削材が使用されてきました。しかし、ブラストの需要が高まるにつれ、この非金属系研削材を使用した従来ブラスト工法には大きな課題が見えてきました。非金属系研削材は 1 回塗装を剥がすと破碎してしまい、塗膜くずと混じって産業廃棄物として処理されます。その量ですが、1,000 m³のブラスト処理の際、剥離目的物である塗膜くず 1t に対し、研削材は約 40t がゴミとなっていたのです。産業廃棄物の大量発生は、その処理費用の増大や、運搬・処理行為に伴う温室効果ガスである CO₂ の大量排出につながります。さらに、ブラスト処理の際に研削材の破碎に起因し、大量の粉じんが発生していたのです。これでは作業員の視界が奪われ、作業効率や安全性・品質確保に悪影響を及ぼす可能性があります。

そこで私たちは、工場でのブラスト環境を現場で再現し、金属系研削材を回収・選別し循環再利用するシステムを開発しました。具体的には、エアドライヤを導入し、乾燥圧縮空気により金属系研削材を固結・発錆することなくスムーズに噴射します。そして、非金属系研削材よりも3倍近く重い金属系研削材を塗膜くずと共に回収し、セパレータ(選別装置)にて両者を重量差により選別(風選式選別)し、塗膜くずのみを産業廃棄物として排出し、研削材は何度も循環再利用するものです。これにより、従来ブラスト工法に比べ約40分の1に産業廃棄物発生量を抑制することが可能となりました。これに伴い処理費用やCO2排出量も大きく抑制できますし、金属系研削材は破碎しないため粉じんの発生も大幅に抑制可能となりました。(図2)

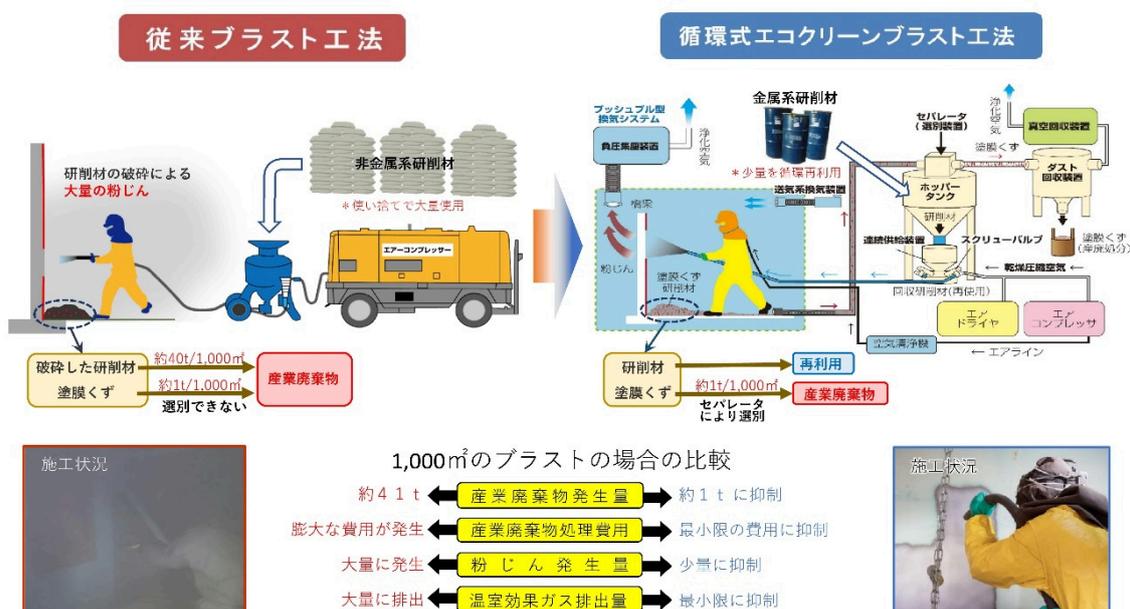


図2 ブラスト工法の比較

循環式エコクリーンブラスト工法は徐々に施工実績を伸ばし、昨年度末までの累計施工面積は133万㎡に達しました。その間、産業廃棄物の発生抑制効果が評価され、多くの賞を受賞することが出来ました。最近では、「リデュース・リユース・リサイクル推進功労者等表彰 内閣総理大臣賞」を受賞したところです。

3. 疲労き裂の現状

鋼製橋梁において、腐食以外にも無視できない重大な損傷があります。それが「疲労き裂」です。橋は、長年にわたり交通荷重を支えてきましたが、高齢化を迎えた橋は、交通量の増加や車両の大型化により、弱点となりやすい溶接部等の応力集中部に疲労が蓄積し、き裂が多く見受けられるようになりました。発生した部位によっては、放置すれば鋼材の破断につながる重大な損傷といえます。

しかし、疲労き裂には腐食の様な予防対策が無く、発生してからの補修対応が大半となっています。

補修には、当て板補修(図3)や溶接補修等を行います。現地での溶接や部材への穴あけ作業を伴います。厳しい精度が要求されるため、施工方法を誤れば既設鋼材へ悪影響を与える可能性もありますし、死荷重の増加は避けられません。そして、補修が終われば、今度はその周辺の弱い部分に応力が集中し、新たなき裂が発生する可能性が大きくなります。また、今はき裂が発生していない橋でも、今後さらに高齢化が進むにつれて疲労が一層蓄積され、新たなき裂が発生する可能性が高いと言われています。やはり、疲労き裂に対して早急に予防保全工法を確立することが求められます。

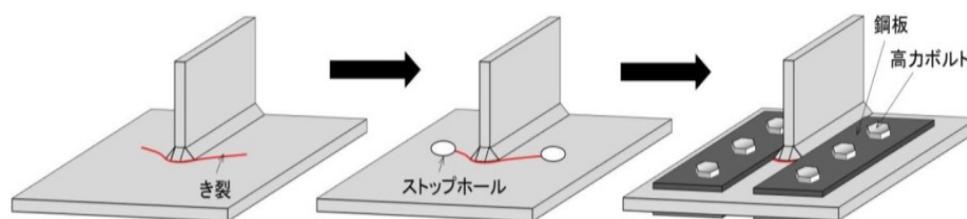


図3 き裂補修の例

き裂に対する予防工法が全くないわけではありません。棒グラインダーによる溶接部止端処理は、「疲労設計指針」に記載されているき裂予防工法です。溶接止端部を削り、形状を滑らかにすることで応力集中を低減させ、疲労強度の改善を図る処理方法で、疲労強度を1等級向上させるとされています。ただ、使用器具の大きさから、既設の鋼橋では十分な空間が確保できないと使用できません。部材が複雑に入り組んだ狭隘部などへの施工は困難と言えます。さらに、指針には、母材と溶接部の境界に溶接止端を示すラインを残さず、削り込み深さ0.5mm以下とするのが望ましいと記載されており、相当な熟練が必要とされます。ましてや供用中の交通振動が伴う足場上での施工ではさらに難易度が上がります。また、非常に作業効率が悪く、それに伴い費用も高くなります。そのような理由から既設鋼橋での実績は決して多くありませんでした。(図4)

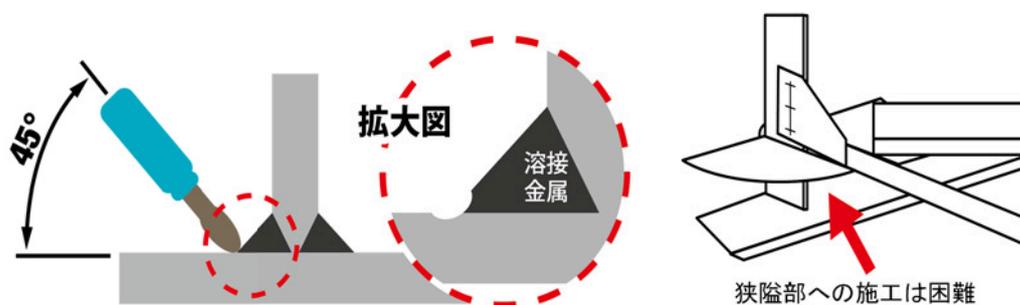


図4 棒グラインダーによる処理のイメージ

4. 疲労き裂の予防保全工法誕生

私たちは、自動車業界や航空機業界で、鋼材の疲労強度を向上させる技術として実績のあるショットピーニングに着目しました。

ショットピーニングとは、無数のショットと呼ばれる特殊鋼球を鋼材表面に叩きつけて塑性変形させ、圧縮残留応力を与えることで、疲労き裂や応力腐食割れなどに対する抵抗力の向上を図る技術です。自動車のバネやシャフト等、また航空機のジェットエンジンや翼等に古からこの技術が使われ、安全が保たれてきています。しかし、このショットピーニング技術を既設鋼橋に採用しようとするには課題がありました。現地で、無数のショットの飛散防止をどうするか。そして、そのショットをどうやって回収し再利用するか。さらに、湿度の高い現地にて、鋼製であるショットの固結・発錆対策をどうするか、です。

これらの課題は、工場で行われてきた金属系研削材を既設鋼橋で使用可能にした「循環式エコクリーンブラスト工法」が解決してくれました。すなわち、Rc-I 塗装系への塗替え工事にショットピーニング工程を組み込めば、ブラスト用の足場防護設備を併用できるため、ショットの飛散防止が可能となります。そして、循環式エコクリーンブラスト工法の最大の特徴である循環再利用システムの活用でショットの回収・再利用が可能となり、また、エアドライヤにより、固結・発錆も防げます。あとは、ブラスト用の研削材を、ピーニング用ショットに入れ替えることで、既設鋼橋へのショットピーニングが可能となったのです。

また、ブラストと同様に圧縮空気によりショットを噴射するため、溶接止端部だけでなくその近傍を含めた範囲への施工が可能となり作業効率が良くなりますし、狭隘部への施工も容易になります。特段の熟練度も不要です。

ここに、経済的かつ効率的に鋼橋の予防保全が可能な新工法が誕生したのです。その工法は、循環式のブラストによる腐食予防を行うと同時に、疲労き裂の発生しそうな箇所ショットを叩きつけ、疲労強度を向上させるハイブリッドな予防保全工法である、「エコクリーンハイブリッド工法」として2018年にNETISに登録され、国内特許も取得しています。さらに、ショットピーニングで使用するショットが、「鋼構造物への循環式ブラスト工法ショットピーニング用ショット」として、JIS 制定もされています。(図5)

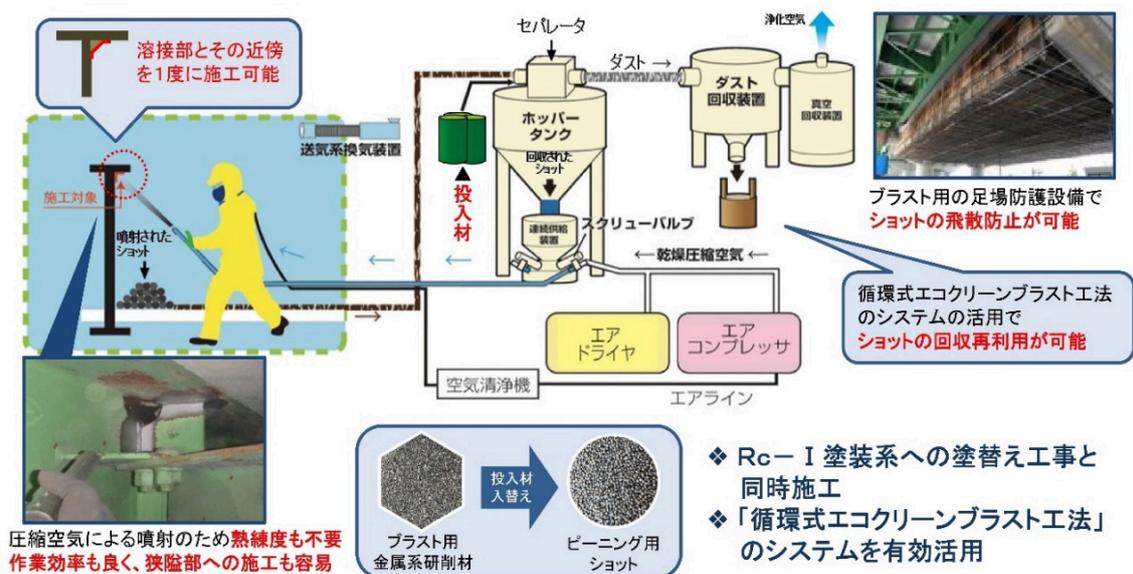


図5 エコクリーンハイブリッド工法のしくみ

5. 効果の実証と安定した品質確保のために

岐阜大学と共同研究を行いショットピーニングの効果の実証も行っています。実際の溶接止端部と同様の試験体を製作し、溶接止端部にショットピーニング処理を行ったものと、未処理のものそれぞれに端部を偏心モーターにより载荷を行った疲労試験の結果、ショットピーニングにより疲労強度が2等級向上したことが確認されています。(図6)

次に、その試験体の溶接止端部において、残留応力を計測したところ、未処理のものは引張残留応力が確認されたのに対し、ショットピーニングを行ったものでは、高い圧縮残留応力が導入されていることが確認されています。また、実際の橋梁の溶接止端部において、ショットピーニング前後の残留応力を測定したところ、試験体と同様にショットピーニングにより高い圧縮残留応力が導入されているのが確認されています。つまり、既設鋼橋においてもショットピーニングにより疲労強度の2等級向上効果が期待できると言えます。(図7)

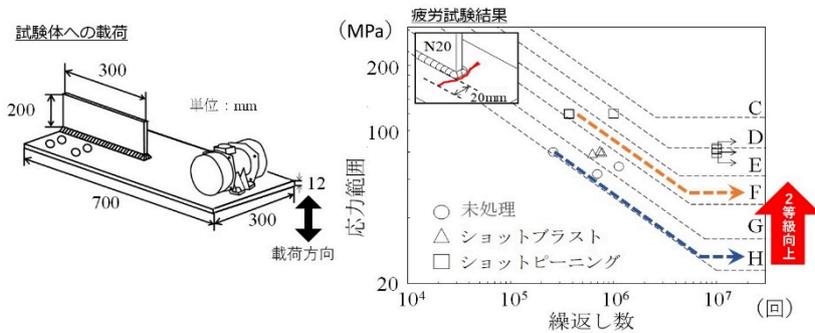


図6 疲労試験結果

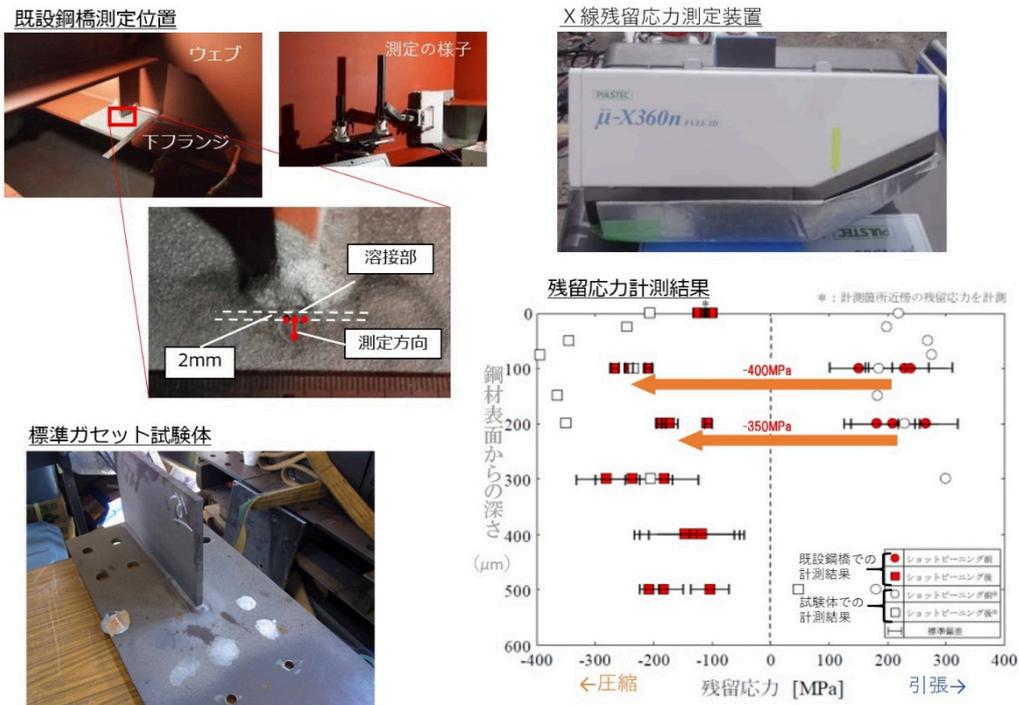


図7 残留応力計測結果

その後も、既設鋼橋での実績や疲労試験のデータを取り続け、その研究成果である、「ショットピーニング処理された既設鋼橋溶接部の疲労強度向上効果」が評価され、土木学会中部支部技術賞を受賞しています。(図8)

一方、品質管理の環境が整備された工場でのショットピーニングと違い、既設鋼橋では様々な地形条件の上、多種多様な形状の橋に対しての施工となります。そこで、実証実験を繰り返す中で施工管理方法、出来形管理法を確立し施工要領として取りまとめています。この要領に基づいて施工する事で、安定した品質を保ちます。

エコクリーンハイブリッド工法は、国土交通省やNEXCO、地元東海市発注工事等で徐々に実績をあげています。特に東名高速道路特定更新工事では、当初き裂の予防保全工法として前述の棒グラインダーによる溶接止端部処理が計上されていましたが、協議により全面的にエコクリーンハイブリッド工法によるショットピーニングに変更され採用されています。今後も効果的な予防保全工法として採用が拡大していくと期待しています。

6. おわりに

昨今、脱炭素社会の実現が求められている中、国土強靱化政策においても可能な限り環境負荷を低減した技術を採用するべきだと考えます。私たちは環境配慮において様々な実績を持つ循環式エコクリーンプラスト工法を活用した新技術「エコクリーンハイブリッド工法」で環境保全と国土強靱化の両立を目指します。

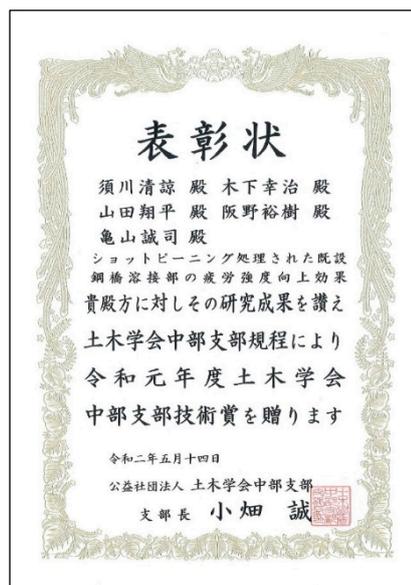


図8 土木学会中部支部技術賞