

仮設備・施工機械の稼働状況モニタリングシステム 「T-i Monitor Tunnel」を活用した施工管理

大成建設(株) 正会員 ○川野 雄毅 正会員 三谷 一貴
正会員 小原 克己 正会員 岡崎 康仁
正会員 宮本 真吾

1. 目的・開発背景

山岳トンネル工事では24時間体制で作業を行っている。その作業は大きく2つの作業工程に分かれ、掘削を行う切羽作業と、コンクリートを打設する覆工作業で構成され、掘削を覆工が追いつけながら長大な線状構造物を構築していく。トンネル工事では数多くの建設機械や設備が稼働し、それぞれを停止させることなく連続稼働させることにより、工事は順調に進行していく。主要な設備として、吹付プラント、濁水プラントや、換気設備である送風機、集塵機などがあり、必要に応じて連続ベルトコンベア等が採用される。その他、ドリルジャンボや吹付ロボットなどの特殊機械や、覆工作業に用いられるセントルなども重要な設備である。これらの設備・機械はトンネル工事の生命線であり、線状構造物であるがゆえに、1つの機械・設備が停止するとすべての作業の中止を余儀なくされることから日々の保守点検が欠かせない。しかし、数多くの設備機械を統一的に監視できるツールは存在せず、それぞれの担当者が現場に直接足を運び、稼働状況の確認を行う業務が日常的に行われており、とりわけ長大トンネルの場合は、設備・機械間を移動するだけでも相当な労力と時間を浪費し、施工管理の効率化における大きな課題となっていた。

そこで、これらの設備・機械の稼働状況を一元的に管理できるシステムとして開発したのが「T-i Monitor Tunnel」である。本システムにより、監視体制の整備はもちろん、異常発生時の速やかな原因究明も可能となり、復旧時間の短縮に大いに寄与している。加えて当該システムは一種のプラットフォームであり、別途開発した覆工打設管理システムやA計測のデータ表示をオプションとして追加できることで、トンネル工事全体の施工管理効率化を図るシステムとして運用を行っている。

本稿では当該システムの機能と、現場で活用した事例を紹介するとともに、システム運用に伴い得られた効率化について具体的に紹介したい。

2. システム概要

本技術ではデータ収集を可能とするため、仮設備や機械にIoTを搭載することが前提条件となる。GNSS及び電波の届かないトンネル坑内からデータを収集するためにまず坑内の通信環境整備としてWi-Fiアンテナを設置することが必要条件となる。各々の設備は制御盤や電源のON/OFF等のアナログデータとなっているため、デジタル変換を行ってから現場事務所にデータを収集している。収集したデジタルデータをクラウド上にアップし、各自のスマートデバイスでWebサイトにアクセスすると誰でも、どこでも、いつでも確認できるシステムとなっている。(図-1)

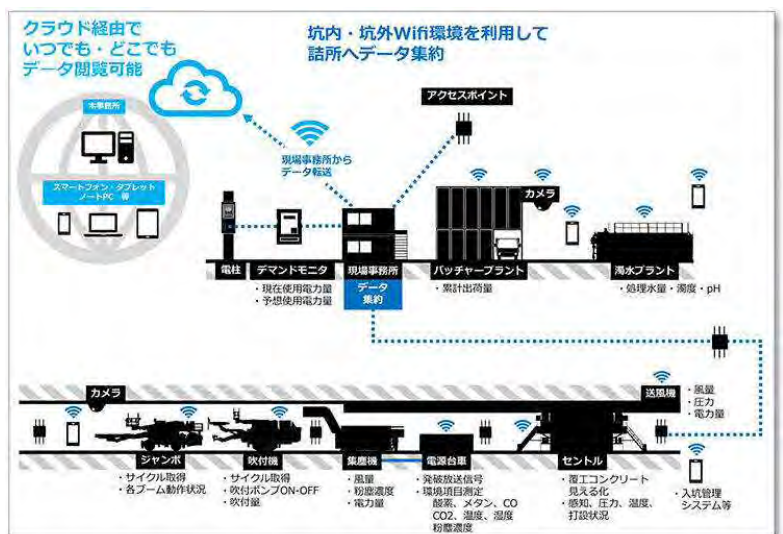


図-1 T-i Monitor Tunnel システム概要図

キーワード T-i Monitor Tunnel, 仮設備管理, 効率化

連絡先 〒300-4406 茨城県桜川市真壁町山尾字北田782-3 上曾トンネル（桜川工区）作業所 TEL0296-54-6360

当現場では、下表に示す設備機械の各種信号を収集し、データとして記録、モニタリングを行っている（表-1）

表-1 設備ごとの収集データ

対応設備	収集する信号(アナログデータ)	信号を受信後の表示データ	管理項目
バッチャープラント	練り混ぜ回数 (バッチ数) 練り混ぜ水温度	1 サイクルでのコンクリート出荷量 1 日のコンクリート出荷量 1 月のコンクリート出荷量 練り混ぜ水温度	材料管理
濁水プラント フィルタープレス	流量計数値 PH 計数値 濁度数値 フィルタープレス回数	左同	環境管理
変電設備 送風機, 集塵機	設定風量 電力使用量(デマンド値) 粉塵濃度数値	左同	安全管理
環境測定器	CH4, CO, O2 濃度, 温度, 湿度の数値	左同	安全管理
重機	電源の ON/OFF	各作業の作業時間 1 サイクルの時間	工程管理
セントル (覆工モニタリングシステム)	感知センサー・圧力センサー・温度センサーから取れる数値 ※オプション品	打ち上がり速度 コンクリートによる側圧 コンクリート温度+推定強度	品質管理

(1) 換気設備運転制御・デマンド監視

データ収集と制御の例として換気設備について紹介する。これらは通常ボタンの操作で運転状況が切り替わり、換気風量の調整は従来から人の手により行われている。施工延長の長いトンネルでは切羽の集塵機と坑口の送風機を人力で操作するには移動面で非効率で、結果的に過剰風量の換気となったり、集塵機がフル回転のまま稼働したりと結果的に電力量のロスが発生していた。そこで、集塵機に設置した粉塵測定器の粉塵濃度を閾値とし、集塵機と送風機の換気量を連動制御するシステムとした。

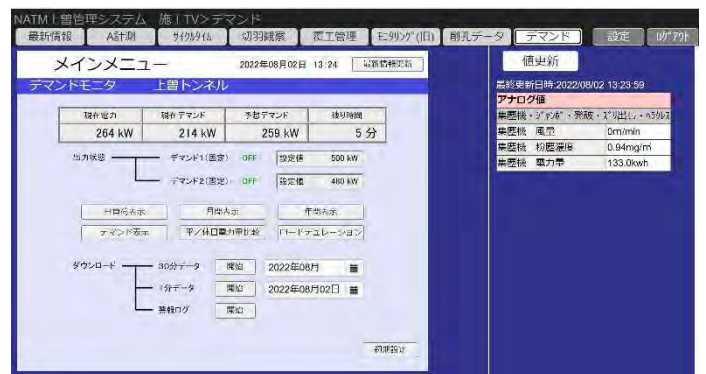


図-2 換気・デマンドモニタリング画面

また、変電設備の検針計から電力消費量を監視しており、得られたデマンド値から 500kw 以上の使用で起こる特別高圧契約を回避する警報を出すシステムを構築した。デマンド監視は一般的だが監視した数値から各設備を制御できる点が当システムの特徴の一つである。（図-2）

(2) サイクルタイム取得

次に掘削のサイクルタイムを取得するシステムについて紹介する。サイクルタイムは掘削作業の一連の繰り返し作業に要する時間で、その時間から施工速度が算出でき工程管理の指標として用いられる。従来では、代表的な 1 サイクルタイムを現場で収集し、その時間をもとに工程管理を行っていたが、本システムでは重機の稼働状況から施工中の作業を自動割り当てし、平均的な施工サイクルを集計することでより精度の高い平均サイクルタイムを取得可能となる。（図-3）

データの収集は各重機に設置したセンサーにより行われ、重機のエンジンあるいは給電の ON/OFF の情報を



図-3 サイクルタイム取得画面

あらかじめ割り当てておいたサイクル順序に基づき割り当て、各施工ステップのサイクルタイムを算出する。

(3) 仮設備稼働状況モニタリング

工事で使用される各種仮設備の稼働状況についてもモニタリングが可能である。モニタリング画面については全仮設備の稼働状況が一目でわかるように、リアルタイム数値をトップ画面に表示している(図-4)。図の例では4種の設備の稼働状況が表示されているが、現場の設備状況に応じて、画面を自由にカスタマイズできる。なお各々の計測値はデータが蓄積されているため経時変化も確認することができることから過去に遡って稼働状況の確認を行うことで原因究明の迅速化にも寄与している。



図-4 モニタリング画面

(4) 覆工モニタリングシステム

ここまでの本技術の標準システムの構成であるが、追加で設置が可能なオプションについても紹介したい。覆工コンクリートに着目したモニタリングシステム「T-iMonitorTunnelConcrete」であり、この技術はT-iMonitorTunnelの一構成要素なものの、単体での使用も可能である。標準10.5mを例にとると、セントルフォームに感知センサーを91箇所(1断面当り13か所×7断面)、圧力センサーを3箇所(天端のトンネル軸方向)、温度センサーを15箇所(1断面当り5か所×3断面)設置し、覆工の打設状況を定量的に確認、かつリアルタイムに可視化するもので、感知センサーでは打ち上がり高さを、圧力センサーでは天端部の充填状況を、温度センサーでは打設中・後のコンクリート温度を測定でき、積算温度から部位ごとの発現強度が自動算出、表示され、脱型時間の管理が可能である。(図-5)

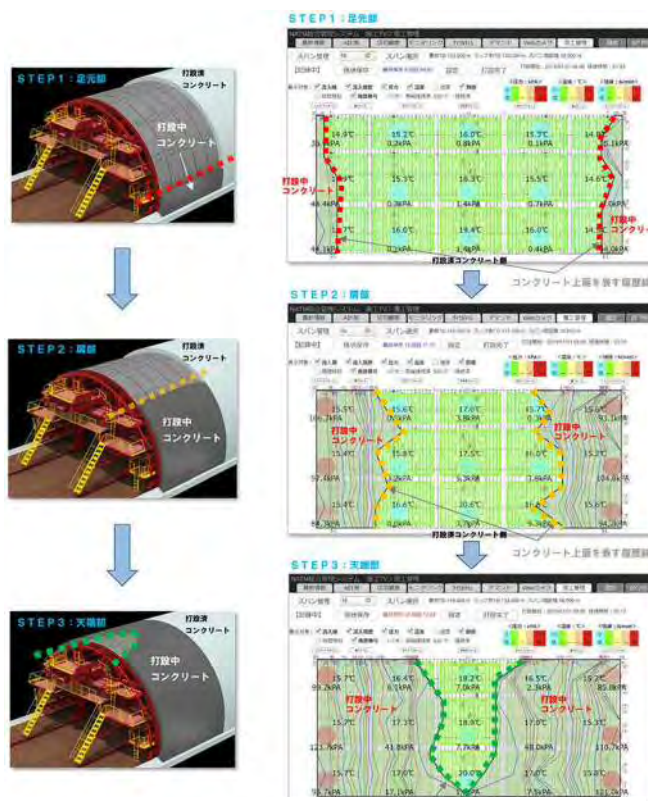


図-5 覆工モニタリング概要図

3. システム活用事例

上記のように、様々な現場での事象をモニタリング可能な本技術であるが、中でも最も効果の大きかった覆工モニタリングシステムについて、システムによる取得データを活用してコンクリートの品質トラブルを解消した事例を紹介する。

冬季の覆工施工時に、トンネルSL部の覆工コンクリート表面に剥離が見られるようになった(写真-1)。剥離の原因としては、一般的に剥離剤の塗布不足、フォームのケレン不足、生コンの性状、締固め不足等が推定されるが、原因を特定するのは難しく、仮説を立てながら一つ一つ試行を繰り返しているのが一般的である。



写真-1 剥離状況

今回の変状に対して、モニタリング結果を見てみると、温度の収集データに大きな特徴がみられた。内容はセントル脚部の温度が肩部・天端部と比較して相対的に低く、積算温度が積み上がらないことで強度が十分に発現されていないことが定量的に判明した（図-6）。

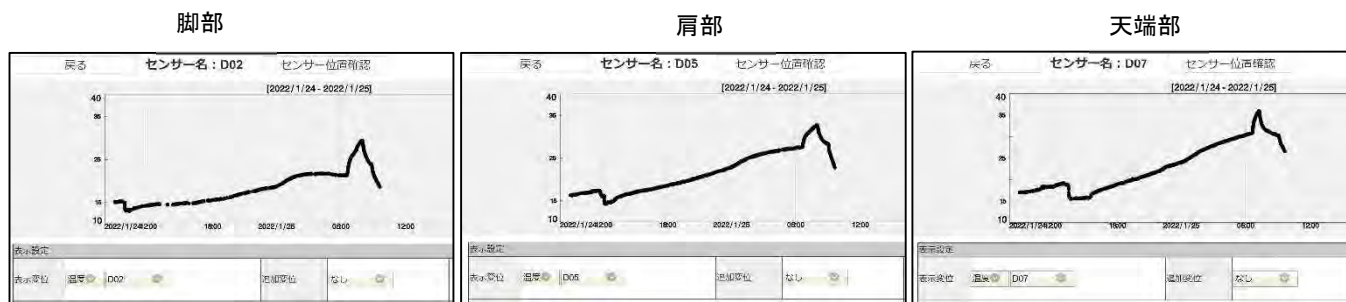


図-6 温度センサー経時変化モニタリング

コンクリートは脚部から打設するので、脚部の方が相対的に養生時間は長く、強度は十分に発現しているものと想定していたが、暖気は天端部に、寒気は脚部に留まることで気温差が生じ、養生時間が短い天端部の強度は十分でありながら、脚部の強度が発現されていないことが定量的に判明した。積算温度から算出されるコンクリート強度の低い箇所と剥離発生状況が完全に一致したことから、対策として脚部をジェットヒーターで重点的に加温することで、断面毎の温度差を解消し、剥離現象の収束につなげることができた（図-7）

従来の強度確認は最終打設コンクリート（天端部）からテストピースを採取し、翌日圧縮強度試験を実施し、発現強度を確認して脱型をするものである。毎度試験を行うのは大変な労力であり、代表的なテストピース強度から脱型時間を決定しての運用は、気温の変化に対応しておらず、結果として変状発生時の定量的原因究明が困難であった。本技術のモニタリングシステムによる情報収集により定量的な取得データから変状発生時の対策を速やかに検討できたことは品質向上に求められるPDCAサイクルを有効に回せたものとする。

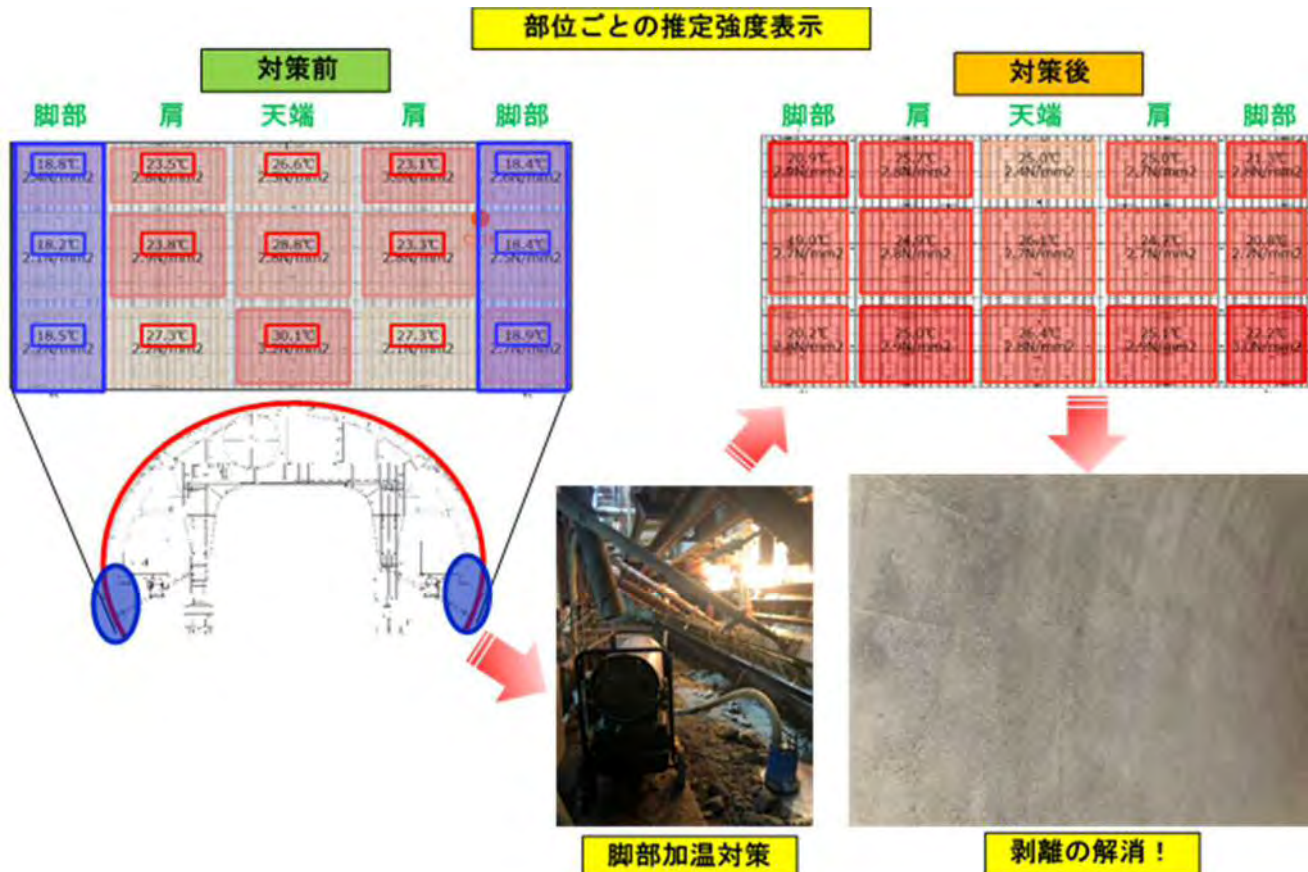


図-7 モニタリング結果から対策～改善までの流れ

4. システム導入の効果

本システムを運用は、施工管理の効率化に大いに寄与している。中でも、職員の移動・拘束時間の削減という点で最も効果を発揮している。当現場では事務所から現場まで片道 15 分程度を要するが、現場に状況を見に行かなくても現場の進捗状況、設備の稼働状況が確認できるため、1 回あたり少なくとも往復移動分の 30 分の削減が可能である。システム導入前後の比較では職員の残業時間が 62.5%減となっており、時短の面から大いに効果を発揮している。

また、先述の換気設備のモニタリング・制御運転により日最大負荷量を 50～100 kW 程度削減を確認できた。現場でのトラブル発生時は従来では「トラブル発生時の瞬間の事象」しか分からないため、トラブルが発生しているものへの対策は可能であるが、トラブルの原因となったものの特が困難である。本システムでは各設備の稼働状況を経時変化で確認できることで原因の特定に必要な参照できる情報量が増え、正確な原因究明にも寄与している

原因さえ特定できれば的確な対処方法の指示、再発防止対策の立案も可能になり、将来起こりうるトラブルを未然に防止するという点からも大いに寄与していると考えている（図-8）。

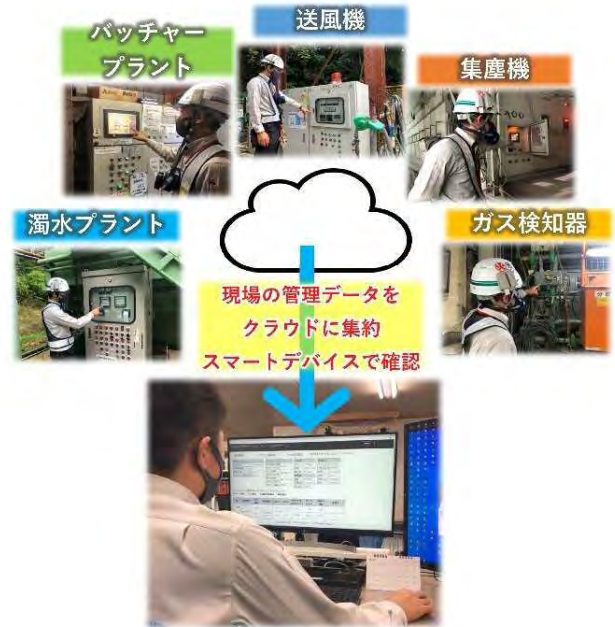


図-8 モニタリング概要

5. まとめ

当現場では、現場までの移動時間短縮を目的に本システムの導入を行ったが、現場のあらゆる情報がデータで収集・蓄積できること、そしてどこでもリアルタイムに確認が出来るようになったことで、効率的な施工管理業務を実現している。一概に導入前後の作業効率向上を数値化することは難しいが、施工トラブルは少なく、労働時間や電力を削減出来ているため施工管理のロスの削減には大いに寄与している。当現場での運用実績を元に、更なる効率化に向けて確認できる項目を増やし、トラブルを未然に防ぐことや更なる省力化につなげたいと考えている。