

建設DXによる長大トンネルの施工管理と働き方改革への貢献

増田 淨¹・工藤 正憲²・秋山 健³・対馬 剛⁴

^{1,3,4}独立行政法人水資源機構 豊川用水総合事業部新城支所 工事課
(〒441-1338 愛知県新城市一鉄田字西浦7-2)

²独立行政法人水資源機構 豊川用水総合事業部新城支所
(〒441-1338 愛知県新城市一鉄田字西浦7-2)

豊川用水二期事業では、併設水路の建設を目的とした長大なトンネル工事（最大6km）を実施している。本工事は、24時間施工であることから、監督員は現場立会等のため早朝・深夜に関わらず現地に出勤する必要があり、事務所からトンネル基地、坑内での長時間移動等、労働環境、工程管理、緊急時対応等において厳しい条件となっていたため、上記課題の解決策として遠隔臨場システムを導入した。導入当初は、遠隔臨場特有の課題が発生したが、コストをかけない様々な創意工夫により克服した。本稿は、遠隔臨場の概要と課題への対応経過、導入効果を報告するとともに、DX推進、働き方改革に向けた今後の展望について提言するものである。

キーワード 遠隔臨場、生産性向上、長大トンネル、建設DX、働き方改革

1. はじめに

豊川用水は、愛知県東三河、静岡県湖西地域に農業・水道・工業用水の供給を行う本地域の生命線である。昭和43年の通水開始から50年以上が経過し、施設の老朽化が進行していること、南海トラフ地震の発生が危惧されていることから、豊川用水二期事業として水路改築及び大規模地震対策を実施している。

併設水路は、幹線水路（山岳トンネル部）の耐震補強を実施するため、先行して設置し、併設水路により通水を確保しながら、幹線水路を空水にして耐震補強工事を実施する。

トンネル工事は、掘削、二次覆工（鉄筋コンクリート）等の作業工程があり、監督員は各々の工程において、地山のタイプ判定、配筋、打設状況等の現場臨場を繰り返し実施している。トンネル工事は24時間施工であることから、現場臨場も必然的に24時間、早朝、深夜関わらず発生するとともに、坑内の移動手段は坑内電車又は徒歩に限られ、臨場までに多くの時間を要することが特徴である。

生産性の観点から捉えると、現場臨場の正味時間に比べて監督員の拘束時間がかかなり長いこと、かつ監督員の都合（臨場までの時間等）に工事工程等が左右されてしまうことは、合理的ではなく、地山状態の急変、現場トラブル等に伴い必要となる緊急的な臨場にも不利な条件であった。

そこで、上記課題の解決策として、遠隔臨場システムを導入することとし、大野導水併設水路工事（以下「大野併設トンネル」という。）、東部幹線併設水路浅間風越工区工事（以下「浅間風越併設トンネル」という。）をモデル工事に選定、現地実証したものである。（図-1）

遠隔臨場の導入により、監督員の労働環境改善、工事現場における生産性の向上等多くの効果が確認されたことから、機構のみならず全国の同種工事への水平展開が期待できる。

2. モデル工事について

(1)大野併設トンネル

TBM 工法による掘削を完了し、円形水路断面を築造するコンクリート打設（以下「覆工」という）を昼夜施工で進めている。12m 毎のブロック打設を中間地点より上下流の2方向へ1年半で延べ499回の打設予定である。監督業務としては、覆工コンクリート打設前と後の段階確認、防水シート・ひび割れ防止シートの設置、鉄筋組立、コンクリートの巻立空間、鉄筋かぶりの立会確認、コンクリート打設後の出来形確認、鉄筋やコンクリートの規格、品質等の現場確認が必要である。多い場合には現場確認が1日に4回となることや、早朝や深夜の場合もある。

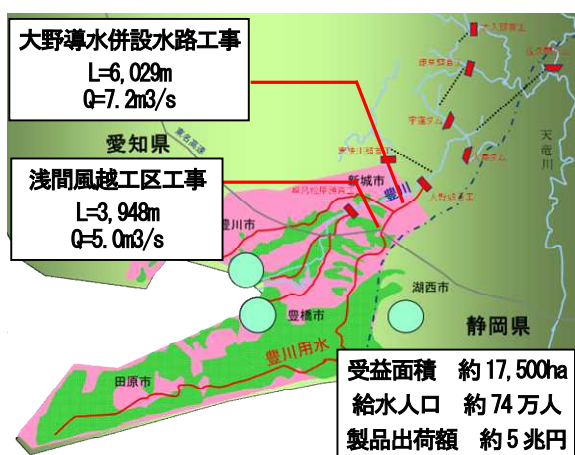


図-1 工事位置図

坑口から覆工打設地点まで片道最長 3km の移動は、坑内電車または徒歩であり、移動時間を要する。確認時間を含めると、1 回あたり往復の所要時間は 2 ～3 時間程となる。(表-1) さらに、坑内電車等の操作のため、受注者が監督員のトンネル内の移動に同行することとなる。

監督業務では 1 日の臨場回数が多く、移動のための延べ時間が長く、また、深夜早朝の場合もあることから、拘束時間が課題であった。工事作業では、臨場にあわせた作業の一時中止や坑内電車の使用による作業サイクルの遅延による生産性の低下が課題であった。

(2) 浅間風越併設トンネル

上下流 2 方向から NATM 工法による掘削を進めている。掘削地山の改善又は、悪化した場合に地山のタイプを判定する段階確認、ロックボルト打設の出来形、ロックボルト引抜試験、使用するロックボルトの規格等の現場確認が必要である。

地山状況変化のタイミングは予想困難であり、掘削後に切羽を確認してから監督員へ連絡することとなる。また、昼夜施工であり早朝や深夜となる場合もある。地山が悪化した場合は、速やかに変位抑制のための吹付コンクリートを施工する必要があるが、臨場の完了後となるため、臨場が完了するまでの間

表-1 現場臨場 1 回あたりの所要時間

項	目	所用時間
事務所～立坑	移動時間(片道)	20～30分
立坑～臨場地点	移動時間(片道)	30～40分
対象物の確認時間		20～30分

は切羽の崩落(以下「肌落ち」という)等の危険がある。このため、地山のタイプ判定は臨機、迅速、かつ適切な評価を行う必要がある。

しかし、片道最長 2km の坑内移動を伴うことから、切羽まで移動に時間がかかるため、突発的に生じる地山のタイプ判定への対応が課題であった。

以上のことから、両工事では監督員と受注者の拘束時間を短縮すること、突発的な臨場に臨機に対応し安全性や生産性を向上するために、遠隔臨場を導入することとした。

3. 遠隔臨場システムの導入

(1) システムの概要

水資源機構が定める建設現場の遠隔臨場に関する試行要領(案)¹⁾に基づき実施しており、スマートフォンで撮影・通信し、一般的なビデオ通話アプリを使用している。(図-2)坑内に Wi-Fi 機器を設置しており、2～10Mbps の通信速度となっている。

大野併設トンネルは、全ての立会・確認を遠隔臨場の対象としている。浅間風越併設トンネルは、材料確認等の頻度が少ないことから、段階確認である地山のタイプ判定のみを対象としている。

(2) 顕在化した課題等

遠隔臨場の導入にあたり、事前試験で以下の課題を確認した。

大野併設トンネルでは、円形の坑内空間で音が反響し、また、近傍の作業音がノイズとなり、スマートフォンのスピーカーやマイクの明瞭な通話が困難であった。

浅間風越併設トンネルでは、地山のタイプ判定を切羽の状況、岩盤の状況、風化・変質、割れ目の間

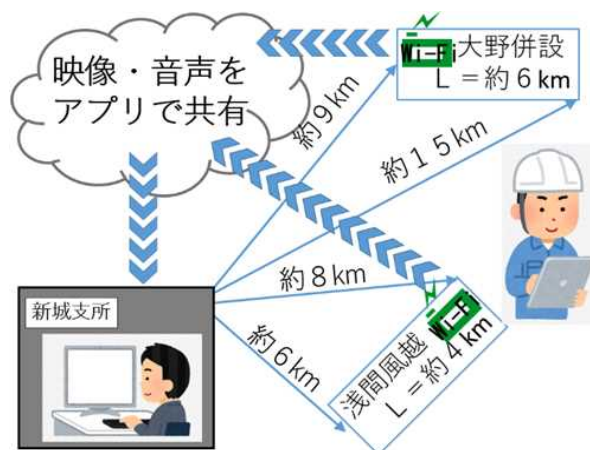


図-2 遠隔臨場システムの模式図

隔、割れ目の形態、割れ目の状況、湧水状況の7項目で評価している。肌落ち時の安全確保のため、現場対応者は切羽から少し離れて現況の撮影等を行うこともあり、割れ目の間隔と湧水状況の2項目は映像のみでは判断が困難であった。割れ目の間隔は明確な間隔を確認できず、湧水状況は照明が反射し、水の有無や量を判別できなかった。なお、他の5項目は遠隔臨場の映像と音で判断可能であった。

(3) 課題解決のための創意工夫

坑内の通話について、スマートフォンに無線接続し、ノイズキャンセル機能を有する骨伝導イヤホンマイクを導入した。これにより、周囲の作業音を低減させ、現場の音声を明瞭に伝えることが可能となった。また、骨伝導であることから耳を塞がないため、現場の対応者は周囲の音も同時に聞くことが可能であり、通常のイヤホンよりも安全性が高い。

地山のタイプ判定では、次の取り組みにより定量的な評価を可能とした。

割れ目の間隔は、判断基準の5cmである定規を同時に撮影できるようにした。スマートフォン撮影用の伸縮棒に通常自撮りをする場合とは逆向きにスマートフォンを取り付け、その先に5cm区画の網目状の定規があり、定規を地山に密着させて接写することで、割れ目間隔が5cm以下であるか明確に判断が可能である。(写真-1)

湧水状況は習字等で使用する水書紙をフローリングワイパーに取り付け、湧水箇所に接触させることで、水書紙の変色状況から間接的に湧水状況を判断することが可能である。(写真-2)

現場対応者が切羽と距離を確保した安全な状態で作業可能であり、監督員も確認内容が明瞭となることで、遠隔臨場でタイプ判定のための評価が可能となった。



写真-1 5cm四方の網による割れ目間隔の把握



フローリングワイパー+水書

使用後変色

写真-2 水書紙による湧水確認

4. 効果検証と総括

(1) 労働環境の改善及び生産性の向上効果

大野併設トンネルにおいて、受注者の勤務時間とコンクリート打設回数から打設の生産性で評価した。

遠隔臨場導入2ヶ月後の令和4年6月には、生産性が最大77%上昇している。(表-2)監督員の移動対応削減や坑内電車の効率的な運用等で施工サイクルが効率化され、生産性向上が図られたと考える。

監督員において、労働状況を過年度同時期と比較し、移動に使用する車両の移動距離、稼働時間が低減している。(表-3)拘束時間が減少し、労働の低減・業務効率の向上が図られたと考える。

表-2 受注者労働時間集計表

	遠隔臨場導入前	遠隔臨場導入後	
	R4.4	R4.5	R4.6
コンクリート打設ブロック数①	13	17	24
総労働時間②	436:15	442:54	455:05
1打設あたり総労働時間②/①	33:33	26:03	18:57
4月に対する生産性向上率	100%	129%	177%

表-3 監督員労働状況集計表

年度別比較(4~7月の延べ集計)

R3: 大野併設は切羽判定のみ。浅間風越は切羽判定のみ(7月から)。

R4: 大野併設は全て。浅間風越は切羽判定のみ。

区分	公用車走行距離 [新城市内] (km)	公用車稼働時間 [新城市内] (時間)	時間外労働 [1人あたり平均] (時間)
R3	1,607	122:08	131:50
R4	824	80:03	96:25
増減	▲783	▲42:05	▲35:25
前年度比	51%	66%	73%



写真-3 遠隔臨場中の状況共有

(2) 施工管理面で確認された効果

浅間風越併設トンネルでは、令和3年7月から地山のタイプ判定を現場臨場か遠隔臨場に切り替え、現在に至るまで肌落ち等による事故は一度も発生していない。臨場に要する時間を削減し、迅速かつ適切な地山のタイプ判定を行うことができていたためだと考える。

(3) その他（人材育成等）の効果

遠隔臨場では大画面で現場状況を表示し、遠隔側の会話も現場と複数人で共有が可能である。（写真-3）段階確認のように重要な内容を複数人で議論しながら確認でき、ベテラン職員と工事経験が少ない若手職員等を交えることで人材育成として有用である。

(4) 総括

長大トンネル工事の施工管理における監督業務の課題の改善方法として遠隔臨場を導入した。導入当初は課題があったが、現場条件に適応した工夫で解決できた。これにより、遠隔臨場の導入を可能とし、生産性の向上による事業工期の遵守、労働環境の改善、安全管理への貢献、人材育成への活用が確認できた。

5. DX 推進、働き方改革に向けた今後の展望

遠隔臨場の更なる客観性、確実性、効率性向上のため、新たな方法の導入を検討している。

覆工の配筋検査において、配筋間隔、鉄筋径、継手長の写真から AI が自動で計測するシステムの導入を試験中である。円形断面の鉄筋の画像認識に課題があり、改良を進めているが、配筋検査は、確認時間や監督員の経験を必要とするため、導入できれば更なる効率化を図ることができる。

また、地山のタイプ判定時の岩盤の状況を、ハンマーの打撃音により定量的に判定可能か試験中である。岩盤が締まっていると硬い音で周波数が大きくなり、脆弱であれば鈍い音で周波数が小さくなることから、周波数測定アプリで客観的・定量的評価が可能になると考えている。

施設の機能診断・評価を行うストックマネジメントにおけるコンクリート背面の空洞を確認する打音調査も音による判断であり、人の感覚によるところが大きい。周波数による定量的評価の手法を確立できれば、活用に期待ができる。

6. おわりに

建設 DX、働き方改革は担い手不足の現況において有効であるため、豊川用水として更なる導入・推進を模索していく一方で、現場に赴き、目視や手触りで確認することが、土木技術者として大切であることを忘れてはならない。

今後も業務の効率化と技術力向上の両面から、建設 DX を推進していくものとする。

参考文献

- 1) 建設現場の遠隔臨場に関する試行要領(案) 2023 年 4 月 独立行政法人水資源機構