

トンネル工事におけるWEB会議システムを活用した遠隔岩判定の試行について

柏原宏輔¹・玉野達²

¹ 株式会社大林組 大阪本店 (〒910-2513 福井県今立郡池田町寺島12-1-9)

² 株式会社大林組 大阪本店 (〒910-2513 福井県今立郡池田町寺島12-1-9) .

トンネル工事の施工にあたっては「トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）」（平成18年9月試行案の改訂版：平成28年7月5日道路工事課長事務連絡）により、切羽の観察・計測により地山等級の判定を行い、適宜岩判定会議を開催し、最適な支保パターンを決定したうえで工事を進めている。今回、WEB会議システムを活用した遠隔岩判定を令和元年11月より冠山峠道路第2号トンネル工事で試行しているの、その事例を報告する。

キーワード 遠隔臨場、岩判定、生産性向上

1. はじめに

山岳トンネル工事では、切羽の観察・計測により地山性状を適切に把握し、安全性および経済性を確保した合理的な施工が求められる。岩判定会議は「トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）」（平成18年9月試行案の改訂版：平成28年7月5日道路工事課長事務連絡）（以下岩判定マニュアル）に基づき、切羽の観察・計測により地山等級の判定を行うものであり、最適な支保パターンを決定して工事を進めるにあたり、必要不可欠な段階確認に位置付けられている。

本稿で述べる「冠山峠道路第2号トンネル工事」ではWEB会議システムを活用した遠隔岩判定を試行し、その効果・課題について検討を行っている。

当工事は岐阜県揖斐郡揖斐川町と福井県今立郡池田町の県境を結ぶ全長7.8kmの「冠山峠道路」の一部である（図-1）。現道である林道冠山線は急峻な地形につくられた道路で、道幅が狭く、急カーブや急勾配が連続する。当工事で対象となる2号トンネルは、全長4,830mを福井県側からの片押しで、I期工事の施工区間を引き継いで、坑口より2,600m地点から残り2,230mを掘削する計画である。

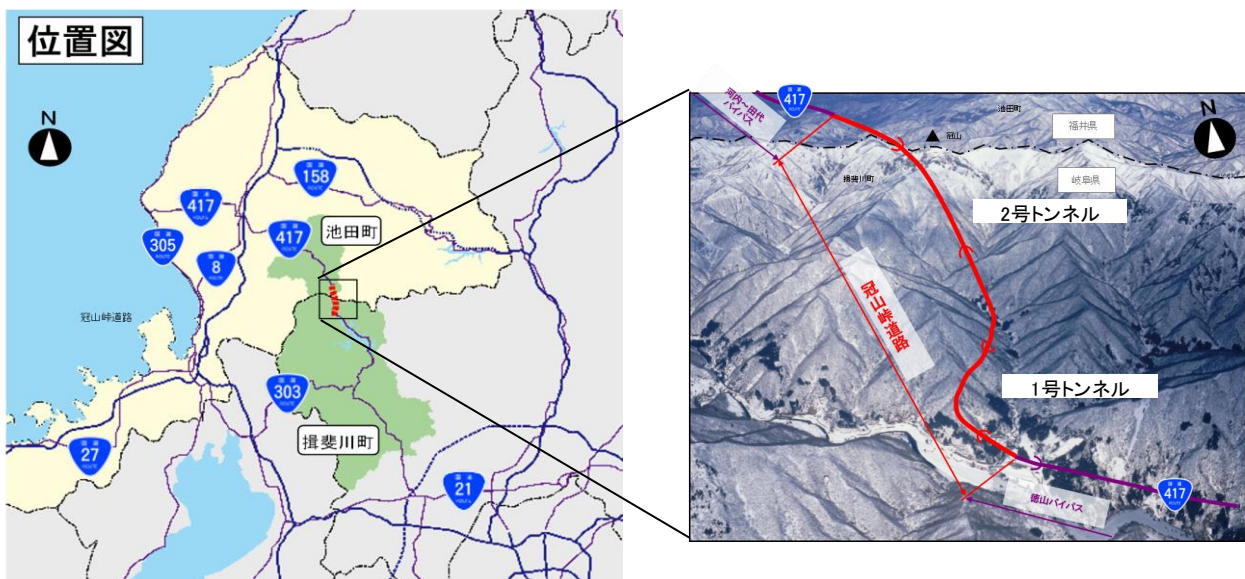


図-1 現場位置図

2. 工事概要

工事名：冠山峠道路第2号トンネル工事
 発注者：近畿地方整備局 福井河川国道事務所
 施工者：株式会社大林組 大阪本店
 施工場所：岐阜県揖斐郡揖斐川町塚地先～福井県今立郡池田町田代地先
 工期：平成29年11月～令和3年8月
 トンネル延長：L=4,830m
 工事区間：L=2,336.5m
 掘削方式：NATM（発破掘削方式）

3. 岩判定会議の概要

岩判定会議は岩判定マニュアルに基づき、切羽の観察・計測により地山等級の判定を行うものであり、①設計上の支保パターン変更点、②切羽評価点と実支保パターンが合致しなくなった地点、③同じ支保パターンが50m以上続いた地点、④不測の事態により発注者・施工者のいずれかが岩判定を必要とした時点、で実施するものとなっている¹⁾。近畿地方整備局福井河川国道事務所では主任監督員を含めた複数名（原則3名：国土交通省職員）による判定を行っている（写真-1）。



写真-1 岩判定会議状況

福井河川国道事務所では、中部縦貫自動車道の整備が最盛期に入中、多くのトンネル工事が稼働している。そのため同じ日に複数の岩判定会議が予定され、日程調整だけでも非常に苦慮していた。当工事は福井河川国道事務所から片道1.5時間かかり、一連の業務の大半が移動時間であり、半日以上も費やすことも多かった。

また破碎帯などの不良地山区間に遭遇すると急な支保パターン変更が頻発し、日時調整に要する業務は受発注者間で大きな負担となっていた。

そこで両者で協議し、ICTツールを有効活用することで業務の効率化を図るべく、遠隔岩判定の取り組みを試行することとした。

4. 遠隔岩判定の試行にあたって

遠隔岩判定は2019年度に初めて実施した。当初は遠隔臨場の要領はマニュアル化されておらず、手探りの状態での試行であった。事前に挙げられた課題と対応策について以下に挙げる。

(1) 現場 - 遠隔地側の通話・通信手段

現場は山間部に位置し、通信状態が悪く、電話回線およびインターネットの利用ができない地域であった。そのため当工事では独自に衛星回線を導入し、外部との通信回線を確保していた（図-2）。通信速度は下りで64kbps程度しかなく、いかに通信負担に配慮する必要があった。上記の条件のなか、数ある通話アプリのうち「ZOOM」を活用することとした。昨今コロナ禍によりテレワーク、Web会議導入が進んでいるが、それより以前から本アプリに注目し、先行導入を行った。

また評価を記入する帳票はExcelでなく、帳票アプリである「eYACHO（いーやちょう）」を活用した。本アプリは複数人による同時入力が可能であり、切羽点数の入力に役立ちモバイル端末のみで通話と入力が可能になるというメリットが挙げられた。

両アプリとも使用制限はなく、だれでも活用できる手法を確立することを心がけた。

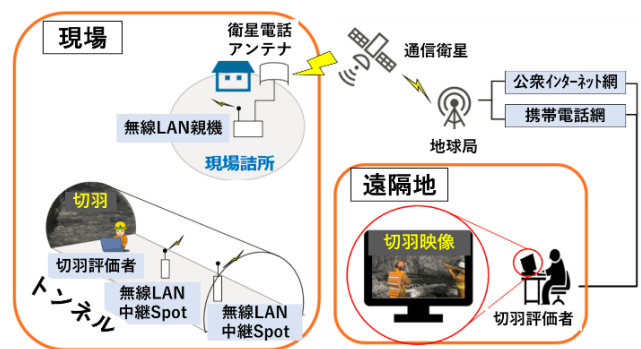


図-2 通信環境模式図

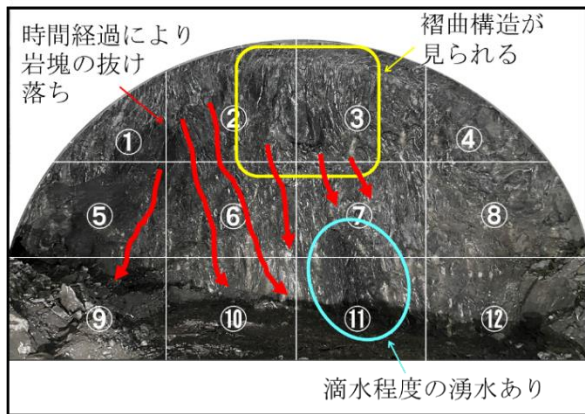
(2) 遠隔地側からの評価の精度および妥当性

試行に先立ち、同一評定者で現場側、遠隔地側での評価の差異と評価精度について検証した²⁾。

評価検証時の切羽状況を表-1、図-3に示す。また表-2に、同一3人の評価者が遠隔地側（トンネル坑外の詰所）と切羽（現場側）において判定した結果を示す。評価点は各項目に応じた岩盤の性状に応じて1～5点で採点される。遠隔地側と現場側での評価結果を比較すると、(A)～(G)の各項目の差は±1点差があるものの、どちらか一方に偏る傾向なく、重み付き評価点の加重平均は0.1の差に収まった。上記の結果より、遠隔臨場による評価で支保パターンを決定する精度は確保できると考えたが、より評価の妥当性を担保するため、評価者3人のうち1人は現場臨場とすることとした。

表-1 切羽評価項目 (評価区分)

| 評価区分 | 評価 |
|-----------|-----------------------------------|
| (A)切羽の状態 | 時間経過により岩塊の抜け落ちが生じていた。 |
| (B)素掘面の状態 | |
| (C)圧縮強度 | ハンマーの打撃で碎ける程度。 |
| (D)風化・変質 | 風化変質により岩目に沿ってわずかに変色。天端部では褶曲構造を確認。 |
| (E)割れ目の頻度 | 50~5cm程度。 |
| (F)割れ目の状態 | 部分的に開口。 |
| (G)割れ目の形態 | 柱状から層状を成していた。 |
| (H)湧水 | 右肩部に滴水程度の湧水。 |
| (I)水による劣化 | 湧水による劣化は少なかった。 |



※文字：切羽から遠隔地へ情報伝達

図-3 切羽評価結果 (切羽画像)

表-2 切羽評価結果 (遠隔地と現場の比較)

| 評価区分 (掘削地点の地山の状態と挙動) | 遠隔地での評価 | | | 現場での評価 | | |
|----------------------|---------|-----|-----|--------|-----|-----|
| | 評価者A | B | C | a | b | c |
| (A) 切羽の状態 | 222 | 211 | 222 | 221 | 111 | 221 |
| (B) 素掘面の状態 | 221 | 111 | 222 | 221 | 211 | 221 |
| (C) 圧縮強度 | 332 | 222 | 222 | 222 | 222 | 222 |
| (D) 風化変質 | 221 | 222 | 222 | 222 | 222 | 221 |
| (E) 割れ目の頻度 | 332 | 322 | 233 | 332 | 332 | 332 |
| (F) 割れ目の状態 | 332 | 222 | 222 | 222 | 222 | 221 |
| (G) 割れ目の形態 | 331 | 333 | 333 | 333 | 332 | 333 |
| (H) 湧水 | 112 | 112 | 112 | 112 | 112 | 112 |
| (I) 水による劣化 | 221 | 111 | 222 | 222 | 111 | 221 |
| 重み付き評価点加重平均値 | 2.2 | 1.8 | 2.2 | 2.1 | 1.8 | 2.1 |

※3桁入力・100位左肩、10位天端、1位右肩
数字(赤)：点数の差異 (+)

5. 遠隔岩判定の本格試行について

(1) 本格導入後の課題

前章による検証を行った上で、2020年度より遠隔岩判定の試行を本格化した。計10回の岩判定で11名の評定者に使用感を確認していただき多くの意見をいただいた。また現場側と遠隔地側で運用後に様々な課題も確認された。

表-3に運用上の課題について示す。特に問題となった

のが、画像の鮮明さであった。通信状況が悪く、不鮮明な映像となることが目立ったため、切羽の特徴を把握しづらい状況があった。そのため、事前に撮影した鮮明な画像・動画データをeYACHOに登録し、岩判定開始前に評定者に確認するよう手順を改良した(図-4)。評価者は確認したい箇所を評定が始まってから現場側にヒアリングすることで、評価精度の向上に努めた。動画データに関しては、容量が大きくなるため、10秒程度とし、湧水箇所や地質変化がある箇所などを重点的に録画することとした。

切羽評価中の説明方法にも課題が挙げられた。従来天端・右肩・左肩部の3箇所を評価を判断する。説明者はレーザーポインターなどを活用し、対象箇所を示しながら説明を行う。動画ではこのレーザーポインターが判別しづらく、よりわかりやすい(遠隔地側への配慮がある)説明が必要になった。そのため図-5に示すとおり切羽を12分割し、番号で箇所を指定することで、説明箇所を判別しやすく改善した。

表-3 試行実施による課題

| | |
|------|---|
| 遠隔地側 | 映像により切羽を写した際、不鮮明で詳細がわかりづらい。特に湧水の発生状況などは映像では確認困難 懐中電灯で照らすと、切羽の凹凸が白とびしてわかりづらい 切羽の説明に慣れが必要。ポインターなどの動きがわからないため、どの場所を説明しているかをわかりやすく説明する必要あり 通信状態が悪くなると、説明が聞こえづらい eYACHOの操作に慣れが必要 |
| 現場側 | 遠隔地側との通話手段を確立させる必要あり(イヤホン、スピーカーフォンでは参加者全員で会話内容が共有できない) Wi-Fi接続台数の増加により、通信状況が悪化する カメラワークを工夫する必要あり |

3名の評価者が点数を入力

図-4 eYACHO登録画面

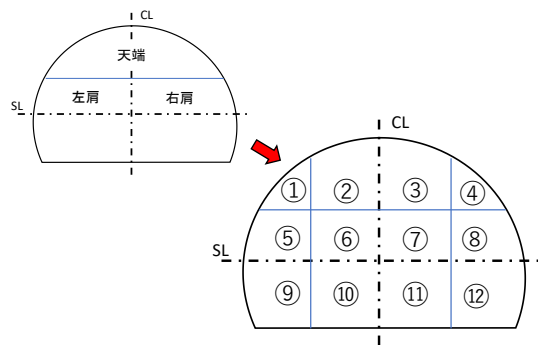


図-5 切羽分割による説明時の工夫

次に現場側での課題を挙げる。最も大きな課題は、遠隔地側との音声通話であった。当初は有線式のイヤホンマイクを切羽説明者が装着し、通話していたが、周りの担当者が会話に参加できず、情報共有で問題が生じた。第2案として、室内会議で活用する高出力のスピーカーフォン（Bluetooth対応）を使用した。現場の作業音にかき消され会話が成立しなかった。ワイヤレスマイクやアンプを活用するなど試行してみたが、エコーが生じ、効果が十分に上がらなかった。これに対して、試行錯誤の末、写真-2のような音響システムを自作することにした。本システムはカーオーディオのエコーキャンセラー機能に着目し、独自に作成した音響機器である。



写真-2 自作した音響システム

(2) 本格運用フローの確立

試行を繰り返し、現場で確立した遠隔岩判定のフローを図-6に示す。遠隔地側では切羽評価が開始される前にeYACHOに登録した施工記録と当日の切羽画像・動画データを確認し、遠隔地側で評価点の「アタリ」をつけるために事前評価をする手法を導入している。現場との通話開始後、遠隔地側の評価者は切羽側からの説明を聞き、不明点があれば現場側にいる評価者と確認しあうことで、切羽評価の精度を担保する。特に映像では確認しづらい湧水の発生状況などは具体的に発生箇所を説明してもらい、評価に反映することで評価精度を向上させた。

切羽評価完了後、切羽からトンネル坑外の詰所に移動する間に、遠隔地側評価者が同時入力可能なeYACHOに切羽評価点数を入力することとした。現場側が詰所に到着後、ZOOMを立ち上げ、切羽評価集計表をPC画面で共有し、現場側—遠隔地側での評価点を確認し、支保パターンを決定することとした。

試行当初はモバイル端末やアプリの操作方法に慣れが必要で、戸惑いも生じていたが、試行を繰り返すことで現在ではテレワークを実施している自室から切羽評価を行い、Web会議の有用性を発揮するまで成果を挙げることができた。

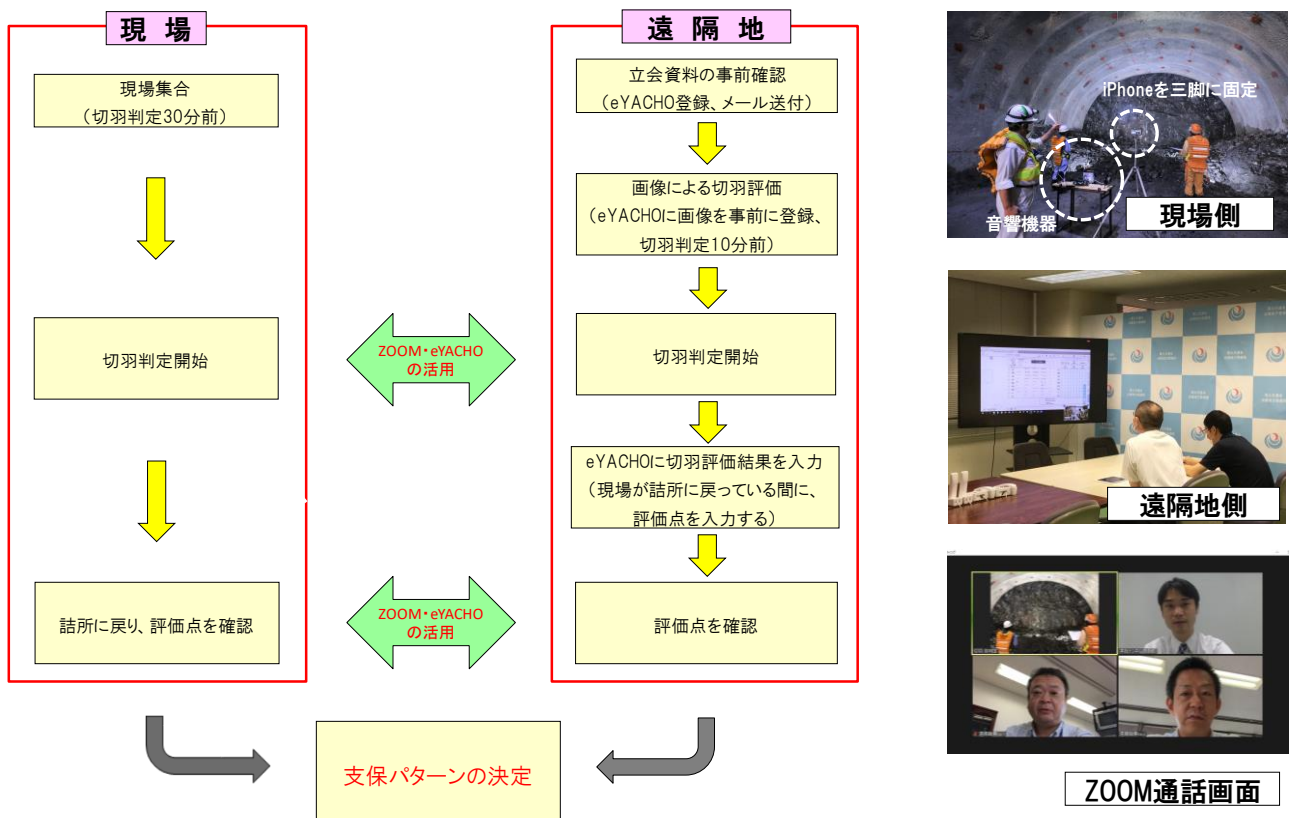


図-6 遠隔岩判定フロー

6. 遠隔岩判定の成果と今後の方向性

(1) 遠隔岩判定の成果

遠隔岩判定には受発注者間で適用に対する効果が挙げられた。

① 移動時間短縮による生産性向上【発注者】

発注者側では、事務所～現場まで移動時間は片道1.5時間である。現場到着後、施工状況の説明、切羽確認、評定の打ち合わせなど一連の臨場業務に1.5時間程度要する。遠隔臨場での拘束時間は切羽評価と評定打ち合わせの0.5時間であり、1回あたり4時間/人の拘束時間短縮が可能になった。

当工事では実掘削期間約2年で合計60回の岩判定を開催したため、掘削開始当初から実施した場合120時間/年（4時間×60回/2年）の時間創出に貢献できると考えられる。発注者側の担当職員からは岩判定会議の日程調整にかかる負担軽減にも大きく貢献したとの言葉もいただいている。

② 立会待ち時間の短縮によるロス低減【受注者】

トンネル工事の特徴として、地山の急変により急な立会依頼などが発生することがある。通常工事では1週間ほど前に次回岩判定予定を連絡し、受発注者間で調整することになるが、当日に岩判定会議の連絡をすることも幾度か生じている。この場合、時間調整が難しく、現場では掘削を中断し、路盤整備・重機整備など本工事以外の作業をするなど工程上、目に見えない「待ち時間」が発生することもあった。

待ち時間短縮を定量的に評価する場合、待ち時間が1時間の場合から1日要する場合もあった。平均して2時間/回の待ち時間があつたことから、工事全体では120時間の待ち時間短縮効果が期待される。ただし、この短縮時間は掘削工程には影響されない時間であることに注意が必要である。

③ WEB会議による参加者の拡大【受発注者】

今回の試行でも当社の技術部門が遠隔岩判定に参加することで、技術的なサポートや社内展開を促進するなどメリットも挙げられた。第3者による技術的支援が必要な場合、専門委員会の参加も容易となる。

(2) 遠隔岩判定の今後の方向性

今回の試行では、評価者1名と第三者判定員である近畿建設協会の職員は現場臨場している。映像・画像ではわかりづらい切羽詳細を確認するために、必要最小限の参加者は現場臨場することで、評価の精度を担保することが目的となっていた。今後は切羽情報をよりわかりやすく表現できるデジタルツールの開発促進により、完全な遠隔臨場も可能であり、政府の推進する建設業のDX化にも貢献できると考えられる。

また遠隔臨場に関して、発注者側で現地を確認することの重要性や岩判定によるOJT教育についてご意見をいただいた。そのため、今回の試行では支保パターン設計変化点では現場臨場とし、支保パターンを継続する場合や設計パターンの中間地点など支保パターン決定の判断で相違が生じにくい区間を優先的に対象として実施した。すべて遠隔臨場とするのではなく、受発注者間で工事のコミュニケーションを密にとることで、お互いの信頼関係を構築し、事業を進めることが重要であると考えられる。

7. おわりに

新型コロナウイルスが猛威を振るう中、岩判定会議の遠隔臨場を導入し、今後の建設工事の生産性を向上させ、働き方改革・DX化を促進する大きな成果が得られたと考えている。

最後に本工事に従事した工事関係者やご指導、ご助言をいただいた関係各位に感謝の意を表するとともに、本稿が今後のトンネル工事の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）P125, H28.7
- 2) 藤岡大輔, 鈴木拓也, 三宅由洋, 森拓雄, 木梨秀雄: 予測型CIMとクラウドを活用した岩判定の高度化と遠隔臨場の試行, 第15回岩の力学国内シンポジウム講演集2021.1