
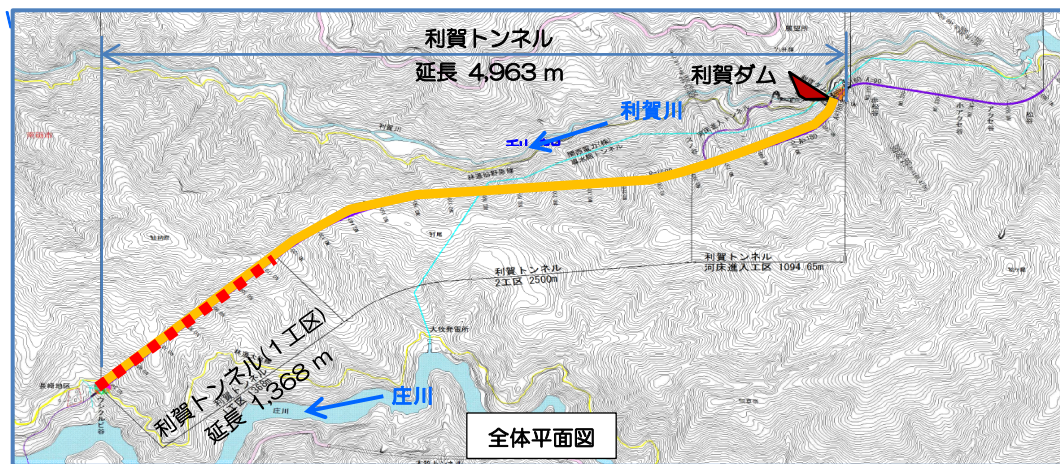


分類	① 安全管理 ② 施工管理 ⑤ 環境・渉外関係
----	-------------------------

課題名	トンネル掘削工切羽における安全管理、大量湧水処理の工夫、環境影響抑制への取り組み	
工事名	利賀トンネル(1工区)工事	
施工業者名	清水建設株式会社	
担当技術者名	福嶋 幸治	
工事場所	富山県南砺市利賀村長崎区地先	
工期	令和5年3月8日～令和7年3月15日	
工事概要	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネル掘削・支保工 1,350.0m ・覆工コンクリート・防水工 1,222.4m ・インバート工 141.0m ・坑門工 1式(18.0m) ・地下排水工 1,268.0m ・側溝工、監査歩廊、監視員通路 舗装工 148.0m ・トンネル仮設備工 1式 	



1. はじめに

本工事は、利賀ダム工事の工事用道路トンネルとして施工している利賀トンネル(全長4,963m、3分割発注)のうち、最下流部(L=1,368m)をNATM工法により施工するものである。令和5年6月よりトンネル仮設備工に着手、8月末に坑口部のトンネル補助工法を施工し、9月から機械によるトンネル掘削工を開始した。10月より昼夜間作業、11月中旬より発破掘削を開始して、12月末時点で掘削延長184mに達している。

2. 本工事の特徴と課題

本工事の設計・現地状況・立地上の特徴と、令和5年4月の工事着手から令和5年12月末までの期間において発生した問題に対する課題を以下に述べる。

【 特徴 】

- ① 利賀ダム工事用道路コスト削減を考慮した長孔発破仕様の支保構造を採用
- ② 突発湧水発生が懸念される区間に設計段階から水抜きボーリングを計画
- ③ 坑口が南砺市利賀村長崎地区集落・民宿に近接

【 課題 】

- ① 切羽への立入り時間が長期化する長孔発破支保構造のトンネル掘削工切羽における安全管理
- ② 突発湧水発生時の大量湧水処理
- ③ 近接集落・民宿に対しての工事振動・騒音、発破時の低周波、夜間照明による光害等への環境影響抑制

本文では、上記①～③の課題を解決するための取り組みを報告する。

3. 課題解決への取り組み

(1) トンネル掘削工切羽における安全管理の取り組み

本トンネル工事のコスト削減のため採用された長孔発破支保構造を図-1 に示す(赤字部が標準支保構造との相違部分)。NATM 工法では切羽と呼ばれるトンネル掘削の最先端において、鏡吹付けコンクリートにて地山の緩み・崩落を防止するが、切羽で作業する作業員が装薬作業や鋼製支保工建込み作業中に巻き込まれる肌落ち災害のリスクが存在している。本トンネルでは長孔発破支保構造を採用しているため、1 掘進長毎の装薬量増加に伴う切羽立入り時間の長期化、掘進長延長に伴う天端部開放面からの肌落ち災害のリスクは増大し、より一層の肌落ち災害防止対策が必要であった。

地山等級	掘削工法	標準一掘進長 m	ロックボルト				鋼製支保工			吹付け		覆工厚			金網	
			長さ m	施工間隔		施工範囲	上半種類	下半種類	建込間隔 m	設計厚 cm	設計基準強度 N/mm2	アーチ・側壁 cm	インバート cm	設計基準強度 N/mm2		
				周方向 m	延長方向 m											
B	標準	補助ベンチ付き全断面工法	2.0	3.0	1.5	2.0	上半120°	-	-	-	5	18	30	-	18	-
	コスト削減支保	全断面工法	4.0	3.0	1.5	2.0	上半120°	-	-	-	5	36 (高強度)	25	-	30 (高強度)	-
C I	標準	補助ベンチ付き全断面工法	1.5	3.0	1.5	1.5	上半180°	-	-	-	10	18	30	-	18	-
	コスト削減支保	全断面工法	3.0	3.0	1.5	1.5	上半180°	-	-	-	5	36 (高強度)	25	-	30 (高強度)	-
C II	標準	補助ベンチ付き全断面工法	1.2	3.0	1.5	1.2	上・下半	H125	-	1.2	10	18	30	-	-	-
	コスト削減支保	補助ベンチ付き全断面工法	1.5	3.0	1.5	1.5	上・下半	H125	-	1.5	10	36 (高強度)	30	-	18	-
D I	標準	上半先進ベンチカット工法	1.0	4.0	1.2	1.0	上・下半	H125	H125	1.0	15	18	30	45	18	上半
	コスト削減支保	補助ベンチ付き全断面工法	1.2	4.0	1.2	1.2	上・下半	H125	H125	1.2	15	36 (高強度)	30	45	18	上半
D III	標準	上半先進ベンチカット工法	1.0	4.0	1.2	1.0	上・下半	H200	H200	1.0	25	18	35	50	18	上・下半
	コスト削減支保	補助ベンチ付き全断面工法	1.0	4.0	1.2	1.0	上・下半	H200	H200	1.0	20	36 (高強度)	35	50	18	上・下半

図-1 利賀トンネルコスト削減 支保構造・掘削工法一覧表

現在までに取り組んでいる肌落ち災害防止対策を以下に示す。

- ・装薬作業時の落石防護ネット設置・・・ハード対策
効果：作業エリアの照度を阻害せず、切羽下部装薬時の上部からの肌落ち発生時、肌落ちの落下エネルギーを吸収できる。
- ・Dパターンの鋼製支保工への金網の事前設置・・・施工方法の改善
効果：切羽に立入って金網を設置する必要が無くなり、切羽立入りに伴う肌落ち災害リスクを低減できる。
- ・鏡吹付けクラック AI 検知システムの導入・・・ソフト対策
効果：鏡吹付けに発生するクラックを AI カメラにて発見・監視を行いタブレット端末に常時表示する。リスクのあるクラックへ進展した時は警報発令を行い、切羽監視責任者による切羽監視の補助として活用できる。

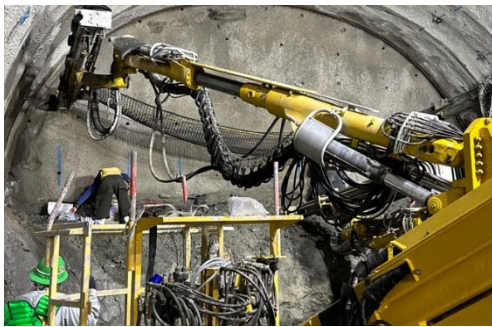


写真-1 装薬作業 落石防護ネット使用状況



写真-2 鋼製支保工金網事前設置状況

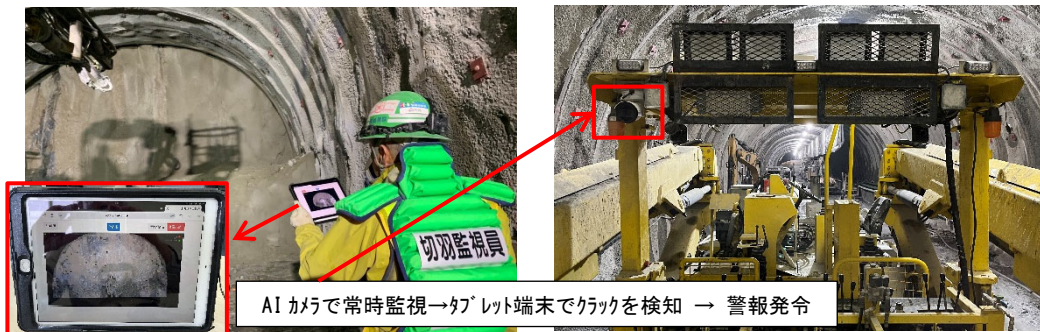


写真-3 削孔・装薬中切羽監視状況

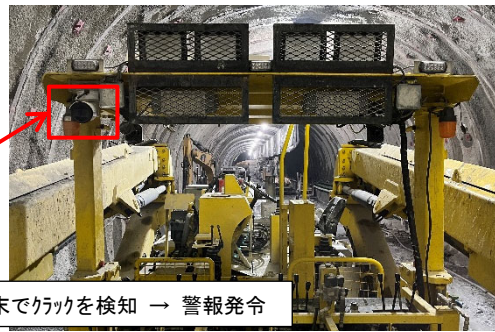


写真-4 AI 検知システムカメラをホールジャンプに設置

AI カメラで常時監視→タブレット端末でクラックを検知 → 警報発令

(2) 突発湧水発生時の大量湧水処理

本トンネルでは利賀トンネル 2 工区との施工分界点までの 1,368m の中に、弾性波速度の低速度帯 2 箇所、貫入岩区間 1 箇所の計 3 箇所において突発湧水が発生する可能性があり、水抜ボーリングが設計されている。その内の最初の弾性波速度の低速度帯区間の坑口から 172m 付近で、トンネル掘削の発破直後に切羽から大量の湧水を確認した。事前に実施したこの区間の設計の水抜ボーリング(L=50m、坑口から 130m～180m 区間)では、最大で湧水量：60L/min、水圧 0.4MPa しか計測しておらず、大量湧水のリスクは回避できると想定している中での事象であった。

NATM 工法によるトンネル掘削において、切羽前方に被圧された帯水層が存在すると、切羽崩壊のリスクが懸念される。そのため、水抜きと前方地山探査を兼ねた先進削孔(L=18~21m)を切羽前方へ実施したところ、被圧された突発湧水が発生した。発生した湧水量はピーク時で概算約 1.5~2.0t/min(90~120t/h)あり、設備していた濁水処理設備 60t/h を大幅に超えるもので、トンネル掘削の一時中断を判断せざるを得ない状況となった。

この突発湧水等の大量湧水処理への取り組みを以下に示す。

- ・トンネル掘削開始時から濁水処理設備 60t/h を設備し、掘削延長 500m を超える前には、さらに同等の濁水処理設備 60t/h を増設して 120t/h まで処理できる濁水処理設備能力への準備を進めていた。

成果：濁水処理設備の能力アップ 30t/h(設計)→60t/h は設置作業日数を要するが、当初から濁水処理能力 60t/h までには備えていたため、60t/h 処理まではトンネル掘削を止めることなく工事を進めることができた。

- ・突発湧水発生後は、既設の濁水処理能力 60t/h を超える坑内排水が場外へ流出しないよう、急遽の対応で清濁分離排水配管(6 インチ)と導水処理を行った。

成果：突発湧水による濁りの無い湧水約 1.0t/min(60t/h)分を地山から直接配管と排水ホースへ導水し、自然由来の湧水として濁水処理設備を介さずに放流することで、濁水処理設備能力に余裕を確保してトンネル掘削作業を再開・継続することができた。

- ・水抜き兼探り削孔により切羽前方の先行水抜きと地質状況の把握、湧水排水管の圧力測定による被圧状況の把握を行った。

成果：突発湧水が発生した区間の帯水している水をトンネル掘削に先行して抜くことで、時間をかけて水位と水圧を低下させることができた。また、前方の地山状況と被圧状況を事前に把握することで、切羽崩壊リスクの把握と低減を行いながらトンネル掘削作業を進めることができた。



写真-5 濁水処理設備 (60t/h)



写真-6 水抜き削孔時 突発湧水発生状況

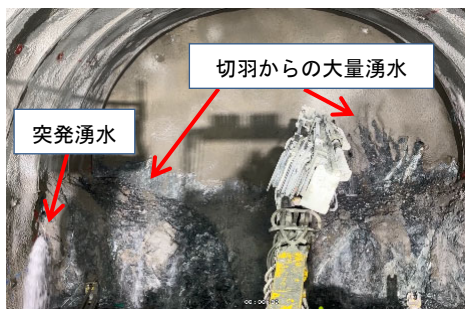


写真-7 突発湧水発生時 切羽 (TD172m)



写真-8 大量湧水発生 2 回目 切羽 (179m)



写真-9 清濁分離配管状況

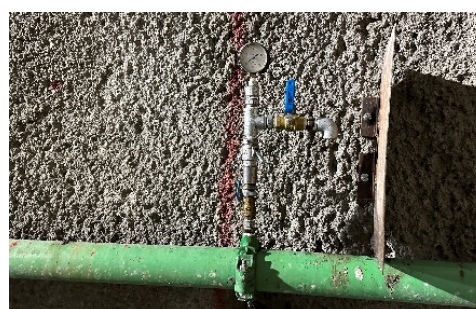


写真-10 水圧測定状況

(3) 近接集落・民宿に対する環境影響抑制

本工事の仮設備ヤードは長崎地区集落・民宿に近接しており工事振動・騒音に対する対策が必須であった。また、最近接する民宿は坑口から約 130m に位置しておりトンネル掘削発破における騒音・低周波に対しても特段の対策が必要であった。さらにトンネル掘削は昼夜間継続して行うため工事ヤード内は夜間照明を使用するが、この夜間照明から漏れ出る光で夜眠れないと地域からの作業時間規制の要望を受ける事象が発生した。

このような状況下、環境影響抑制への主要な取り組みを以下に示す。

① 振動対策

- ・セルダンパー防振マットにより、通行車両等の振動を約 10dB 低減
効果：工所用道路すぐ横に民宿と民家が位置する状況下、往復で 200 台/日以上の 10 t ダンプが通行しているが、苦情も無く受け入れて頂いている。

② 騒音・低周波対策

- ・防音壁の開口出入口部に防音シートカーテンを設置
- ・防音扉 2 基：砂充填仕様の設計をコンクリート充填タイプの最上級仕様に変更
効果：防音シートカーテンにより夜間作業においてヤードから漏れ出る騒音を約 10dB 低減、防音扉の効果により発破時の低周波を規制値 100dB 以下に抑える事ができた。

③ 坑外照明

- ・ LED 照明出力 700KW → 450KW に低減
- ・ ルーバー付 LED 照明への交換

効果：夜間作業時にヤードから漏れ出る光の強さと量を可能な限り低減させ、夜間作業の安全を確保しながら、近接する集落・民宿に受け入れて頂ける夜間周辺環境を確保することができた。



写真-11 セルダンパ-防振マット設置状況



写真-12 コンクリート充填仕様防音扉2基設置状況



写真-13 防音壁開口部防音シート設置状況



写真-14 ルーバー付LED照明設置状況

4. まとめ

地域のための利賀ダム事業を加速させるため、利賀トンネルの早期完成を念頭に現場の運営に取り組んでおりますが、工事開始から令和5年12月末までの10ヶ月はあっという間に過ぎていきました。わずか10ヶ月でも様々な問題・課題に直面しましたが、そのたびに地域の方々、利賀ダム工事事務所の皆様、協力会社等の工事関係者に助けられ、トンネル掘削延長184mに達した現在まで無災害を継続できていることに感謝申し上げます。厳しい自然環境を相手にする山岳トンネル工事なのでこの先も様々な問題・課題に遭遇すると思いますが、これまで同様に工事関係者の皆様と密にコミュニケーションを図り、一つ一つ課題を解決しながらまずは無災害でのトンネル貫通を目指します。さらに、その先ではトンネル完成に向けて全力で取り組み、地域のための利賀ダム事業に貢献していきたいと思っております。