

北の峰トンネルにおけるウォータータイト区間 を含めた施工状況報告 —トンネル周辺の地下水位回復に向けて—

古市 圭典¹・水野 亮介²

¹北海道開発局 旭川開発建設部 富良野道路事務所 工務課 (〒076-0006 北海道富良野市字西扇山の1)

²北海道開発局 旭川開発建設部 富良野道路事務所 計画課 (〒076-0006 北海道富良野市字西扇山の1)

旭川十勝道路のうち「富良野道路」にて現在施工中の北の峰トンネル(仮称) L=2,928mは、周辺の水資源が豊富であり地下水環境への影響に配慮するため、全国的にも施工例が少ない真円断面によるウォータータイト構造を採用している。

本トンネルの本体工が2017年3月に完了したため、その掘削実績と覆工の施工状況について報告するものである。

キーワード：トンネル、非排水構造、真円断面

1. はじめに

(1) 北の峰トンネルの計画

旭川十勝道路は、旭川市から占冠村を結ぶ延長約120kmの地域高規格道路として計画されている。北海道縦貫自動車道および北海道横断自動車道と接続することにより、北海道における広域交流ネットワークを形成し、当該地域の交通円滑化、地域間連携や広域的な人流・物流の活性化に寄与する路線である。(図-1.2参照)

富良野市内では、主要産業である農作物輸送の物流交通や観光交通、沿道市街地から発生する域内交通が輻輳し、慢性的な交通混雑が発生していることから、「富良野道路」(富良野市字学田～富良野市字上五区間・8.3km)の整備を2002年度に事業着手している。

「北の峰トンネル」(仮称、以下省略)は、「富良野道路」において計画されている延長約3kmのトンネル(図-3参照)であり、2009年度から工事に着手している。



図-2 旭川十勝道路位置図



図-1 高規格道路・地域高規格道路網図

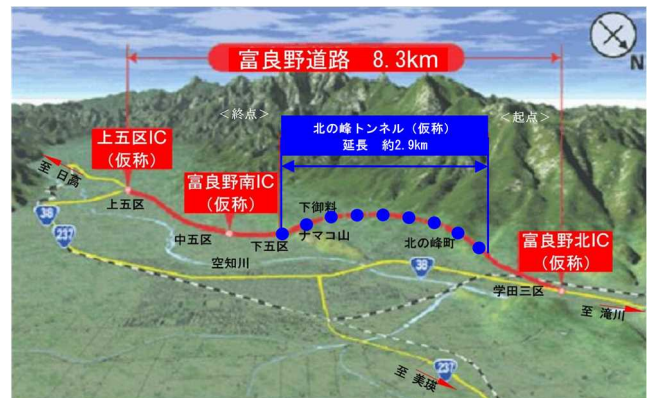


図-3 事業位置図

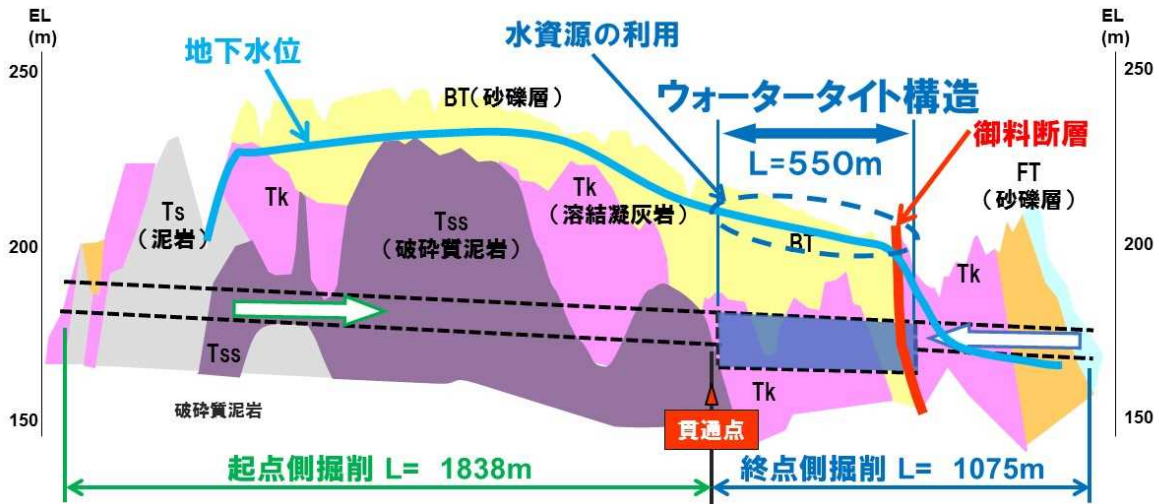


図-4 トンネル地質縦断面図 (過年度の地質縦断面図)

(2) 工法選定

本トンネルの周辺は、芦別岳に代表される夕張山地山麓の丘陵地で、広大な森林や豊富な地下水など豊かな自然環境が保たれている。そのため、当地域においては、自然環境が生み出す美しい景観や清らかな水の活用により、リゾート運営や営農活動の展開とともに、市民の飲料水確保など豊かな自然の恩恵を受けている。本トンネルでは、この地下水環境の保全を目的として地下水位低下を防止するため、ウォータータイト構造（非排水断面）を用いた施工を進めている。ウォータータイト構造の施工区間は延長550mで計画されており、耐水圧断面となるため円形断面（真円断面）で掘削を行った。地質状況は御料断層付近で、被圧帯水層である土砂状の砂礫層（BT）が切羽全面を占め、その区間は約100m連続し、その後、切羽下部より風化した溶結凝灰岩が現れ、大部分は亀裂の卓越した溶結凝灰岩層（Tk）が分布していた（図-4参照）。

ウォータータイト区間の両側は縦断的な通水を抑制するために、地上部より恒久的な止水注入を実施し、被圧帯水層が確認された区間については掘削時の安定性を保つために部分的な止水注入を行った（図-5参照）。

ウォータータイト区間のトンネル構造は通常の区間と異なり、地下水位回復により外周面から水圧が作用することから、全周複鉄筋のコンクリート構造とした。二次覆工の構造は、覆工の厚さ $t=50\text{cm}$ 、鉄筋は、土砂部の主鉄筋SD345D19、配力筋SD345D16、岩盤部の主鉄筋SD345D16、配力筋SD345D13としている（図-6参照）。図-7に各工種の施工割付を示す。掘削は上下半、インバートの3分割とし、断面下部には仮排水を設置した。防水工は上半部、下半部の2分割施工とし、鉄筋工およびコンクリート工はインバート、側壁、覆工の3分割施工とした。

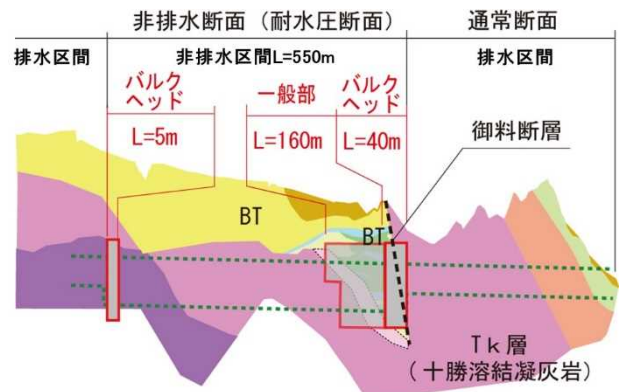


図-5 止水注入縦断面図

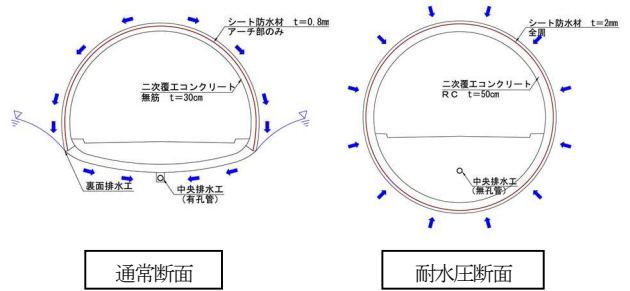


図-6 トンネル断面図

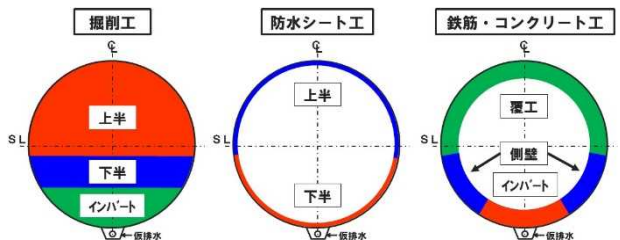


図-7 各工種の施工割付

2. 非排水構造区間の施工状況

(1) 掘削工およびインバート工

非排水構造区間においては上下半掘削完了後にインバート部の掘削を行っている。インバート部の掘削は機械配置や作業盤を考慮して坑口側からでなく切羽側から後退するように掘削を行った(写真-1 参照)。インバート防水工では、掘削を迫りかける形で防水シートを敷設し、敷設には専用のシート台車を使用した。防水シートは、通常の馬蹄形断面のアーチ部に施工する際は $t=0.8\text{mm}$ シートを使用するのが一般的だが、非排水区間においては、通常よりも厚い $t=2\text{mm}$ の防水シートを使用して施工している。インバート防水工の施工が完了後、インバートの鉄筋工およびコンクリート工を実施した(写真-2参照)。



写真-1 インバート掘削状況写真



写真-2 インバート完了全景写真

(2) 側壁

a) 側壁鉄筋の施工

側壁鉄筋工は、インバート完了区間から構築を行う。インバート工の立上り鉄筋からさらに約5m鉄筋を延長させるため、作業足場として側壁鉄筋台車を使用した(写真-3参照)。鉄筋を組立する際に通常使用する吊鉄筋金具では地下水位回復後の被圧地下水によって施工箇所から漏水を招く恐れがある。そこで吊鉄筋金具の代わりに非貫通治具「Kプレート・Kリング」を採用し、シートに一切傷つけないようにした。Kプレートは強カブチルテープ付きで防水シート接着面に貼りつけ固定した(写真-4参照)。

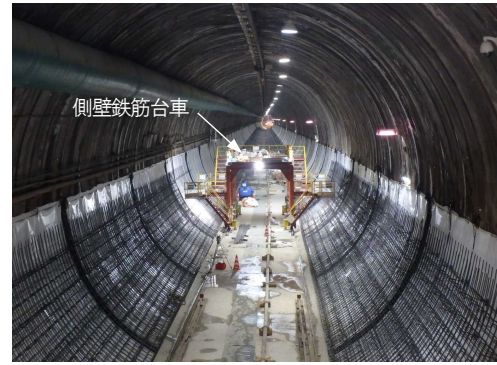


写真-3 側壁鉄筋施工状況

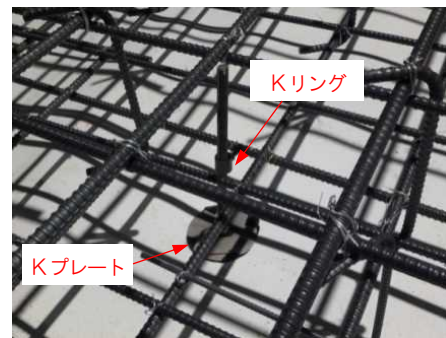


写真-4 Kリング・Kプレート

b) 側壁コンクリートの施工

側壁コンクリートの型枠は専用の移動式スライドセントルを製作した。打設方法は、セントル近傍にコンクリートポンプ車を配置し、セントル上部から型枠内へ筒先を挿入し、打ち込みを行った(写真-5,6参照)。



写真-5 コンクリート打設状況

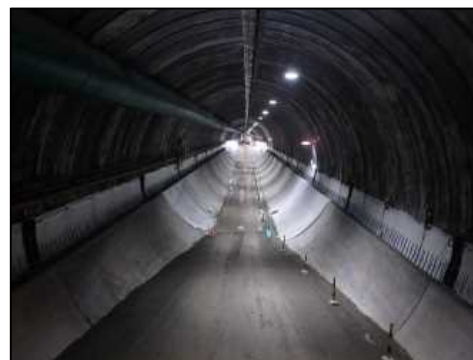


写真-6 側壁コンクリート完了全景

(3) アーチ部

側壁施工完了後はインバート埋戻しを行いアーチ部の施工に入る。

a) アーチ防水工の施工

上半防水工のシート敷設は専用のシート台車を使用している(写真-7 参照)。防水シートはインバート部と同様に通常よりも厚い $t=2\text{mm}$ の防水シートを使用して施工した。通常人力による敷設を行うが、今回の防水シートは通常の防水シートよりも厚いため通常の約4倍の重量がある。そのため、機械的にシート敷設が出来るよう台車に展張機を装備した。展張機はアーチ状のレールを走行する構造とし、この展張機に防水シートをセットし、自走させて防水シートを巻き出し、吹付面に貼りつけて施工を行った(写真-8,9 参照)。

防水シートには覆工施工後の漏水範囲を1ブロック内に限定させるため、漏水対策システムとして覆工の打継目全周にウォーターバリアと呼ばれる隔壁を設けている(図-8 参照)。加えて、防水シートの破損に対応するため、リペアシステムを採用し、水環境の保全に期した。リペアシステムとはシート破損により二次覆工から漏水が発生した場合、防水表面に設置したインジェクションチューブよりウレタン系止水材を注入し、シート破損部のある覆工ブロック全域を恒久的に止水するシステムである。ウォーターバリアと併用することにより、止水材注入範囲を限定できる。施工時は防水シートと同時にインジェクションチューブを併設し施工を行った(写真-10,11 参照)。



写真9 アーチ防水工完了全景

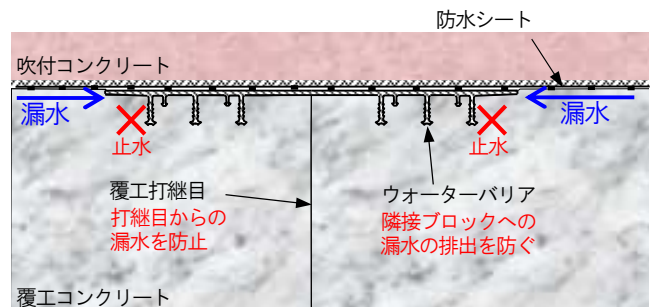


図8 ウォーターバリア



写真7 アーチシート台車



写真8 防水シート敷設状況



写真10 アーチ防水工完了全景



写真11 リペアシステム注入口

b) アーチ鉄筋工の施工

アーチ鉄筋は通常防水シートの敷設に使われるシート台車を使用して組立を行った。側壁鉄筋との継手には使用するモルタル充填方式の機械式継手を採用した(写真-12 参照)。組立では側壁部でも使用したKプレート・Kリングを覆工アーチ部でも使用するが、鉄筋の自重で鉄筋全体が下がってしまうため、プチルテープでシート面に接着固定することが難しい。そのため、弱部となる鉄筋の重ね継手には結束線の固定のほかに無溶接工法の鉄筋締結金具を使用して、横断方向の鉄筋のズレとKプレート接着面の剥がれを防止した(写真-13 参照)。



写真-12 アーチ防水工完了全景



写真-13 鉄筋締結金具



写真-14 アーチ鉄筋工完了全景

c) アーチコンクリート工の施工

覆工コンクリートは標準断面で使用していたスライドセントルを一部改造し、従来の方法と同様にコンクリートポンプ車の配管圧送により打設を実施した(写真-15,16参照)。



写真-15 アーチコンクリート打設状況



写真-16 アーチコンクリート工完了全景

(4) 仮排水閉塞

トンネル施工中は水圧のかかっていない状況でトンネル全周に防水シート設置、インバートおよび側壁、覆工の施工を行うことが出来るよう仮排水を設けていたため、覆工完了後、地下水位回復に向けて仮排水閉塞を行った。閉塞作業は仮排水ピットの止水処理、及び仮排水へのセメントミルクの充填完了後、ピット部分のインバートコンクリート打設、埋め戻しを行い作業が完了した(図-9 参照)。

また、排水区間とウォータータイト区間の境界は、地下水位回復中および回復後に排水工区側へ湧水が流出するのを防ぐ必要があるため、工区境処理を実施し、流出箇所である防水シートと吹付コンクリート間を遮水する構造とした。

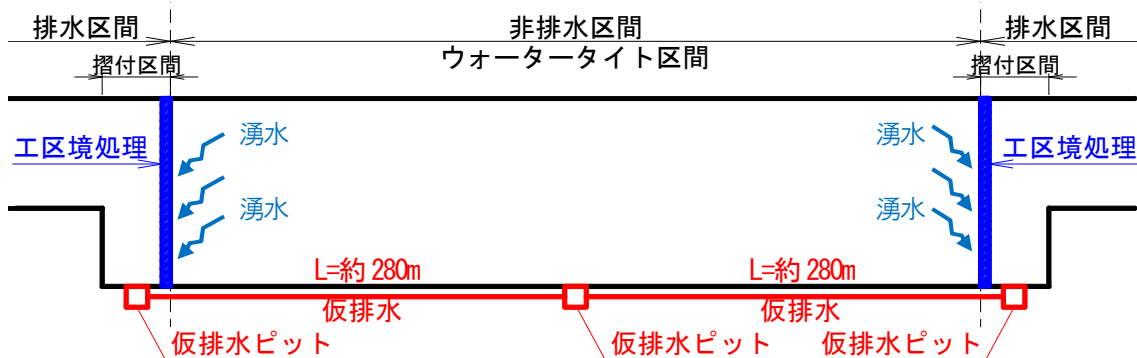


図-9 湧水仮排水設備と工区境処理位置 (縦断面図)

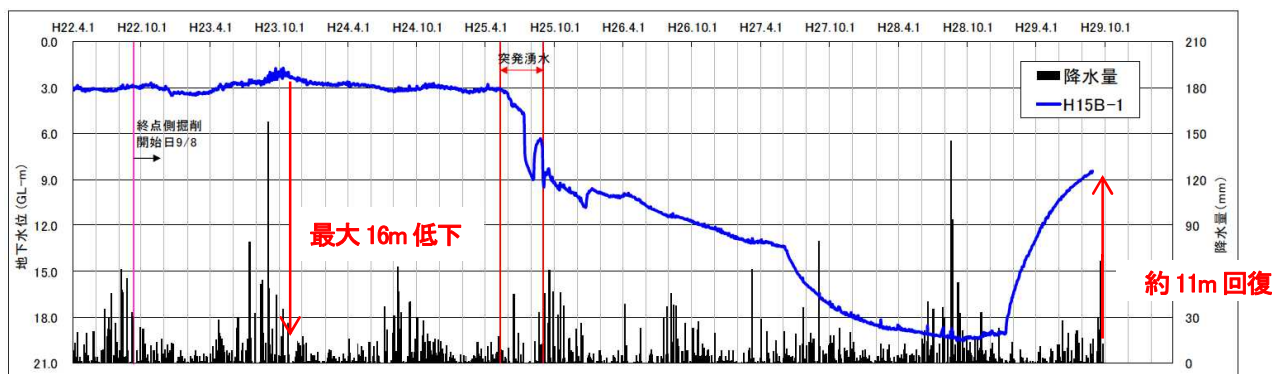


図-10 北の峰トンネル直上付近の地下水位観測結果

3. 今後の課題

トンネル本体工、及び仮排水閉塞作業が完了したことにより、トンネル周辺の地下水位は回復し始めている。図-10 のグラフは北の峰トンネル直上付近で観測している地下水位のグラフであるが、2017年1月19日に仮排水の閉塞が完了し、施工時は最大16m程低下していた水位が、2017年8月下旬には約11m程度上昇していることが確認出来る。

ウォータータイト構造による地下水位の回復については事例が少なく知見がほとんど無いため、今後も坑内湧水量や周辺の地下水観測結果を総合的に判断しながら効果検証に努めていきたい。

4. おわりに

本論文では、北の峰トンネルのウォータータイト構造の施工実績についてとりまとめた。北海道ではウォータータイトトンネルの施工事例が少なく、特に真円形状においては国内でも施工実績が少ない。知見が少ない工法のため、施工方法の確立を目的に施工計画を十分に検討し安全・確実な施工に努めた。施工時は大きなトラブルも無く、安全に施工を進めることが出来た。今後はトンネル供用に向けた舗装工や設備工が残っているため、これまでと同様に安全・確実な施工を実施したい。

最後になりましたが、検討及び論文作成に際してご協力を頂いた関係者の方々に感謝の意を表します。

(参考文献)

- 1) 山中昌也：三次元浸透流解析に基づくトンネル工法検討：第50回北海道開発局技術研究発表会
- 2) 千葉哲也：帯水層におけるトンネル施工のための止水注入とその管理について：第55回北海道開発局技術研究発表会
- 3) 小林 暁：帯水層における非排水構造トンネルの施工について：第56回北海道開発局技術研究発表会
- 4) 齋藤宏樹：帯水層における非排水構造トンネルの施工について：第57回北海道開発局技術研究発表会
- 5) 鹿嶋辰紀：北の峰トンネルにおけるウォータータイト区間の施工状況について：第59回北海道開発局技術研究発表会
- 6) 柴田寛和：北の峰トンネルにおけるウォータータイト区間を含めた施工状況報告：第60回北海道開発局技術研究発表会