

ウォータータイトトンネルを確立する注入施工について —中央仮排水管の閉塞注入—

中谷幸一¹・京免継彦²

¹ 佐藤工業株式会社 大阪支店 河原トンネル作業所 (〒680-1202 鳥取県鳥取市河原町布袋字五反田 525-2)

² 佐藤工業株式会社 土木事業本部 機電部 (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-19)

新宇治川放水路トンネル工事は、浸水被害を受けている高知県枝川地域の浸水被害対策として行われている緊急整備工事である。トンネルは延長 2,365m、仕上がり内径 6.98m の真円トンネルであり、当第一工区はその内 1,320m を施工している。トンネル周辺は地下水位が高く、地下水は生活用水、農業用水として利用されているため、トンネル掘削による地下水低下が問題となる。そこで当トンネルはウォータータイトトンネル(完全防水型耐圧トンネル)として計画された。掘削期間中トンネル内に流入する湧水は排水管、ピットを設けて強制排水を行い、覆工コンクリート完了後には中央仮排水管、仮排水ピットの全てを注入して湧水を止める閉塞工を行った。本報告分は仮排水管閉塞注入工の概要と施工実績について紹介するものである。

キーワード：ウォータータイト、耐水圧トンネル、管路閉塞、注入工

1. 工事概要

工事名：新宇治川放水路トンネル第一工事

発注者：国土交通省四国地方整備局

高知河川国道事務所

箇所：高知県吾川郡いの町字三ツ森地内

施工者：佐藤・五洋特定建設工事共同企業体

工期：平成 13 年 10 月 26 日～18 年 6 月 8 日

トンネル概要：トンネル延長 1,320m

仕上がり内径 6,980mm の真円形 図-1 参照

トンネル設計水圧：1.1MPa

2. 湧水仮排水工の概要

ウォータータイトトンネルの概要図を示す。トンネル全周を厚さ 2mm の防水シートで囲いトンネル湧水を直接トンネル内部に流出させない構造で計画された(図-2)。トンネル工事施工中に発生するトンネル湧水は中央仮排水管(有孔管)に流入し、50m 間隔に設置した中央仮排水ピットから強制排水される(図-3)。この湧水処理により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を張り合わせ、インバートおよび覆工コンクリートの施工を行う。しかし、中央仮排水ピット箇所は排水施設確保のため、ピット箇所の防水シートに開口を設けなければなら

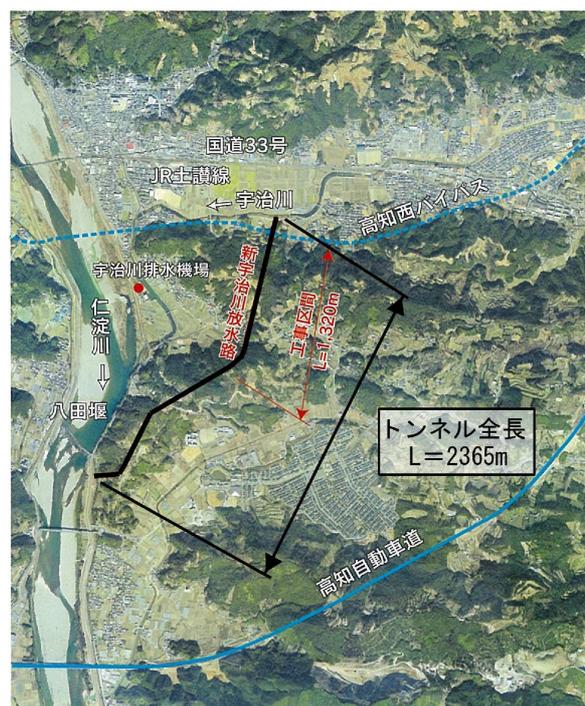


図-1 新宇治川放水路の周辺図

ない(写真-1, 図-4)。覆工完了後、このピット内に流出する湧水を止水して防水シート開口部を復旧する事により全周防水としてウォータータイトトンネルが完成する。今回、このピット内に流出する湧水を止水し、防水シートの開口を復旧する施工法の選定を行った。

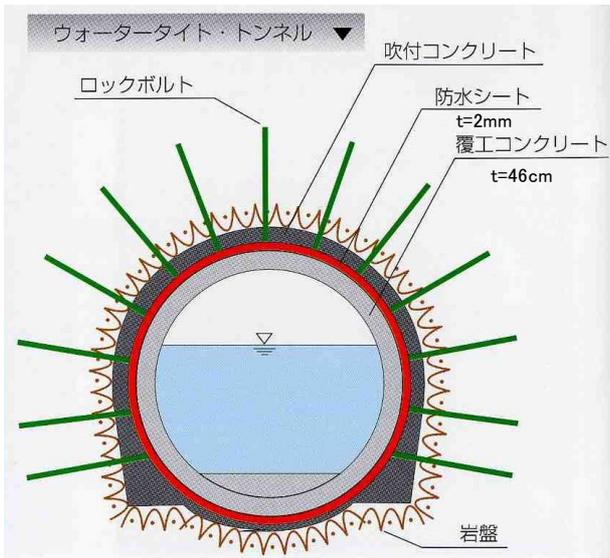


図-2 ウォータータイトトンネル概要図

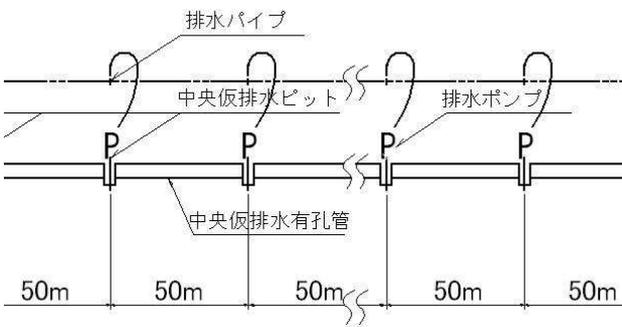


図-3 中央排水管路概要図

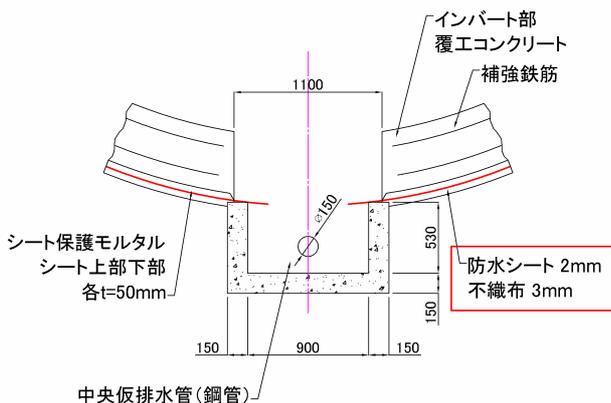


図-4 中央仮排水ピット箇所概要図



写真-1 ピット箇所防水シート開口部

3. 仮排水管路閉塞工事概要

(1) 工種・数量

- ・中央仮排水管
(φ150mm 高密度ポリエチレン有孔管)
閉塞工 26箇所 (50m/1箇所)
- ・中央仮排水ピット閉塞工 27箇所

(2) 施工フロー

図-5 に施工フローを示す.

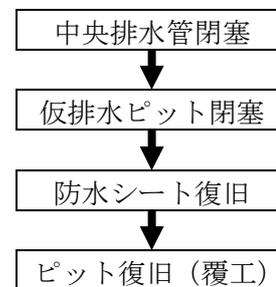


図-5 施工フロー

(3) 中央仮排水管・ピットの止水方法の選定

中央仮排水管および中央仮排水ピットの止水方法を選定するにあたり基本的な条件を述べる.

- ・中央仮排水管に流入して中央仮排水ピットに流出する湧水を、ピットの内部に導かないようにピット外部にて止水を行う.
 - ・中央仮排水ピット内部に湧水が流出する場合は、ピット内部にて止水を行う.
 - ・トンネル湧水は地下水位の関係で水圧のかかった状況で止水施工を行う.
- 以上の基本的な条件をもとに工法の選定を行った.

a) 中央仮排水管の止水方法

トンネル湧水は、中央仮排水管φ150mm有孔管により地下排水として管内に導かれている。ピット外部による止水方法はこの中央仮排水管を閉塞して止水する。その止水方法としては、管内をセメント系により固化させて止水する注入による管内閉塞を選定した。しかし、中央仮排水管の周囲は、フィルター砕石で取り囲まれているため、管内の閉塞だけではフィルター砕石の空隙を地下水が流れる。よって、各中央仮排水管からピットに流出する湧水量を測定し、湧水の量により注入材を使い分けることにした。なお、区間当り湧水量は少ない区間は10リットル/分（50m当り）程度で、多い区間は400リットル/分（50m当り）程度が数箇所確認された。

b) 中央仮排水ピットの止水方法

中央仮排水管を止水閉塞した後、湧水量の多い箇所ではその周辺の地下水位が上昇を始め中央仮排水ピット周辺に湧水が集中し、防水シートとピットの隙間から水圧のかかった湧水が流出する事が考えられる。当初はこれ程のトンネル湧水を想定していなかったため、排水ピットの止水方法として中央仮排水管止水後、ピット内部をコンクリートで充填し、防水シートの開口復旧として防水シートによる熱溶着する案にて計画していた。しかし、湧水量の多い区間ではピット内部に湧水が流出する状況でのコンクリート打設および防水シートの熱溶着は不可能と判断し、防水シート開口部のシート背面に鋼製フレームを設置して鋼製蓋のボルト締め付け固定に止水方法に変更した。また、ピット内部の充填方法として鋼製蓋設置完了後、鋼製蓋に取付けた注入口から注入を行い、ピット内部を止水充填させる方法を選定した。

表-1 1:2モルタル配合表

普通セメント	砂	水	W/C	フロー値
590 kg	1,180 kg	352 リットル	60%	20 秒前後

表-2 セメントベントナイトミルク配合表

普通セメント	ベントナイト	水	ブリージング	フロー値
390 kg	39 kg	858 リットル	3.2%	100 秒前後

b) 注入順序

- ① 仮排水ピットコンクリート打設前に、あらかじめ型枠にフランジを溶接したφ150mm鋼管を仮排水ピットの両側へ設置してコンクリートを巻き込んで打設を行う。
- ② 中央仮排水管はこの鋼管に接続する。なお、接続する両者は高密度ポリエチレンと鋼管と材質が異なり直接接続が不可能なため、コンクリート巻きして固定する。この状態でインパートの施工を行い、覆工コンクリートの完了までトンネル湧水を集水する。
- ③ 中央仮排水管閉塞注入前にフランジの付いた鋼管に、合わせフランジをボルトにて固定する。この合わせフランジに注入孔を取付ける（図-6）。
- ④ 注入口に注入ホースを取付ける前に管内の水圧を測定する。水圧測定確認後、バルブを開放して注入前に管内の水圧を下げる。
- ⑤ 注入圧力は覆工コンクリート耐力を考慮し、当現場では規定注入上限圧力を0.3MPaに設定した。なお、事前に水圧測定を行ったのは水圧以上の注入圧力で注入するための確認である。

4. 排水管閉塞工実施内容

(1) 中央仮排水管閉塞

a) 注入材

湧水量が10リットル/分以下と比較的少ない箇所の注入材は、1:2モルタルとした。湧水量の多い箇所は、管内のみならず、管内から有孔を通してフィルター砕石内部まで充填できるセメントベントナイトミルクによる注入を選定した。また、ブリージング率の小ささも選定理由の一つである。注入材の配合を下記に示す（表-1, 2）。

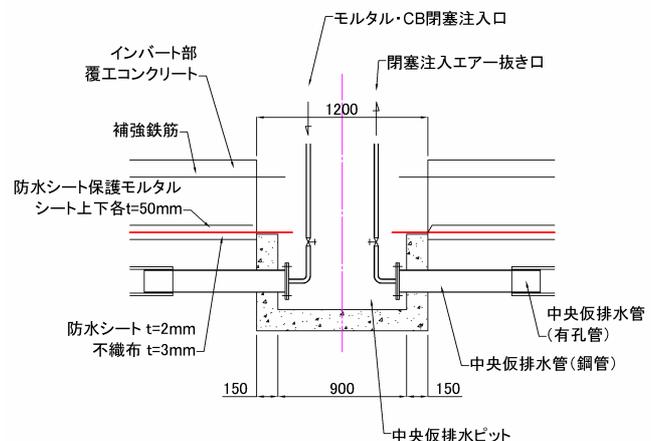


図-6 中央仮排水ピット内部詳細図

⑥ 注入口に注入ホースを取り付け、バルブを開放して注入を開始する（図-7、写真-2）。なお、規定注入量に到達前の圧力上昇による注入停止の場合は、隣のピットから反対向きに注入を行いピット周辺の充填を確保する。

⑦ 注入完了後、バルブを閉めて閉塞完了とする。



写真-2 中央仮排水管閉塞状況

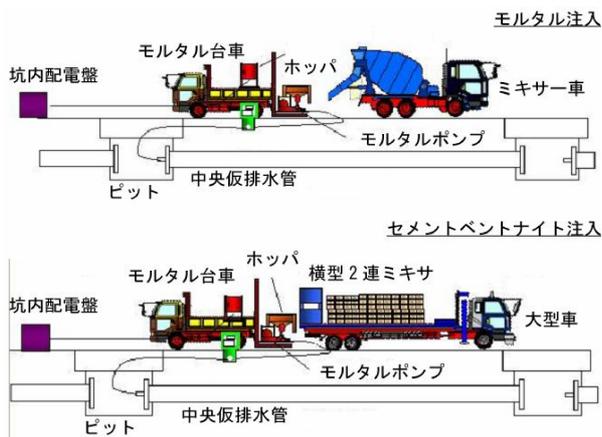


図-7 注入施工図

(2) 中央仮排水ピット閉塞

中央仮排水ピットの閉塞注入材は、1:2モルタルを選定した。なお、ピット内モルタル閉塞注入後のピットフレームの隙間からの漏水を考慮し、事前に注入ホースをピット内部に設置し、モルタル充填完了後、ウレタン系止水材を注入した。これにより、漏水箇所の水の通り道を止水材で塞いだ。また、最後の止水手段としてインバート開口コンクリート側に注入用ホースを事前に設置して、開口コンクリート打設後ウレタン系止水材にてコンクリート打ち継ぎ部の止水を行った。

a) 注入順序

① 中央仮排水ピット閉塞の事前準備として、インバート防水シート施工時に中央仮排水ピットとインバート防水シートの間（防水シート下面）にピットフレームを設置した。防水シート上面に押さえフレームにて防水シートをピットフレームで挟み込み、ボルトで頑固に固定する。なお、両フレームには水膨張性ゴムを防水シートとの間に挟み込んでフレームと防水シートの隙間の止水を行った（写真-3）。

② 設置完了後、インバートコンクリートを打設する。

③ ピットフレームとピットの内側4面にウレタン注入用ホースを取付ける。

④ 中央仮排水管閉塞完了後、地下水位の上昇が始まらないうちに、注入口を取付けたフレーム蓋をボルトでピットフレームと堅固に固定する。なお、ピット蓋とフレームの隙間からの漏水対策として水膨張性ゴムを蓋とフレームの間に挟み込んだ（図-8、写真-4）。



写真-3 ピットフレーム設置状況

⑤ フレーム蓋設置後、モルタル注入用注入口よりモルタル注入を行う。注入の充填確認は、注入口の隣に取付けた排気口からのモルタルのリターンを確認した時点で排気口のバルブを閉め、中央仮排水と同様に規定上限圧力0.3MPaに到達した時点で注入を完了させる。

⑥ ピット内部モルタル充填完了後、開口コンクリート側面4面にウレタン注入用ホースを取付ける。

⑦ 注入ホース設置後、インバート開口コンクリートを打設する。

⑧ コンクリート強度確認後、ピット内部と開口コンクリート側面に事前に設置した注入用ホースにウレタン系止水材を注入してピット閉塞を完了する。

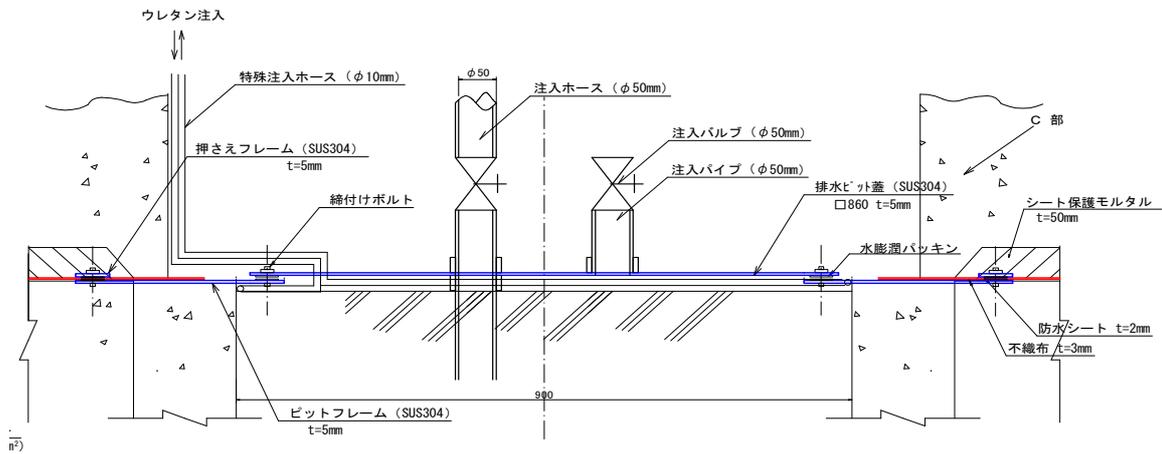


図-8 ピットフレーム詳細図



写真-4 フレーム設置完了状況

表-3のとおり、1:2モルタルは規定注入量に対して28%の低い注入率となった。しかし、管内充填量の883リットルを上回っていることから、管内の充填は十分に充填された。注入率の低かった事は、中央仮排水管の有孔箇所断面が小さく管内から有孔部へのモルタルの流出に抵抗がかかり、フィルター砕石部への充填が成されなかったものと想定される。セメントベントナイトミルク注入においては、注入率が186%と非常に高い注入率となった。これは、中央仮排水管施工時の岩盤掘削による余掘りの多さに関係する量と想定される。なお、注入の停止は圧力上昇による注入完了であることから、この区間の注入は十分な注入が成されていると評価できた。

5. 排水管閉塞工実施結果

(1) 中央仮排水管閉塞

規定注入 (50m/箇所当り) は下記の算定により計画と実施状況を確認する。

規定注入量

管内填 (φ150mm) 883 リットル

フィルター砕石内 (間隙率 40% 3,429 リットル)

合計 4,312 リットル

各、注入材料による注入量および充填率を表に示す (表-3)。

表-3 中央仮排水管閉塞注入実績表

注入材	規定注入量	実施注入量	注入率
1:2 モルタル	4,300 リットル	1,200 リットル	28%
セメント ベントナイト	4,300 リットル	8,000 リットル	186%

(2) 中央仮排水ピット閉塞

27箇所のピットにおいて、最初に施工したピットは湧水量の比較的少ない箇所でのピット閉塞であった事から、注入順序通りの施工でピット内閉塞を完了した。しかし、2つ目のピット閉塞箇所は当初400リットル/分の湧水が流出されていた箇所であり、この箇所の中央仮排水管閉塞後、水圧のかかった湧水が、防水シートとピットの隙間から流出し、同様な順序にて施工を行った結果、ピット内注入を完了し開口コンクリートを打設する間に、フレーム蓋面が湾曲しボルト固定箇所から湧水が漏水してきた。これは、水圧によるステンレス盤の湾曲と判断し、施工順序を急ぎよ下記の通りに変更した。

- ① フレーム蓋設置前までの手順は当初と同様。
- ② フレーム蓋設置時は注入孔より吸引式水中ポンプでピット内部の湧水を強制的に排出しながらボルト固定を行う。

- ③ ボルト固定完了後、フレーム蓋の湾曲を防止するため、先に開口部コンクリートを打設する。
 なお、打ち継ぎ目は平坦で抵抗が少ないことから、既設コンクリートに鉄筋を刺し込み、開口コンクリートと既設コンクリートの一体化を図った。
- ④ 開口部コンクリートが目標強度に到達するまで、吸引式水中ポンプで湧水を排水する。強度の確認は供試体により行った。
- ⑤ 開口部コンクリートが目標強度に到達後、注入口からモルタル注入を行う。なお、モルタル注入前にピット内部の水圧を測定し確認する。注入時は隣接する排気口からリークするモルタルを監視して、希釈されたモルタル排出からフレッシュなモルタル排出に切替った時点で排気口のバルブを閉め、規定上限圧力の0.3MPaまで注入を行う。注入完了後、バルブを閉めモルタル注入を終える（写真-5、図-9）。
- ⑥ 翌日、モルタルが完全硬化を始めないうちに再度注入口、排気口のバルブを開放し最後のダメ押し注入を行い、モルタル注入を完了させた。この時点でのバルブから吹き上げる湧水は殆ど無いがその後のウレタン止水注入の注入量を控えるため、規定上限圧力まで2次注入を行う。
- ⑦ 最後にピット開口部隙間からの漏水状況をモルタル硬化まで監視する。
- ⑧ 排水ピット内のモルタル強度到達確認後、ピット内・外のウレタン止水注入を行った。これによりピット閉塞作業を完了した。
- 以上により水圧のかかった状況でのピット蓋の設置およびピット内閉塞注入を可能にした。



写真-5 中央仮排水ピット閉塞注入状況

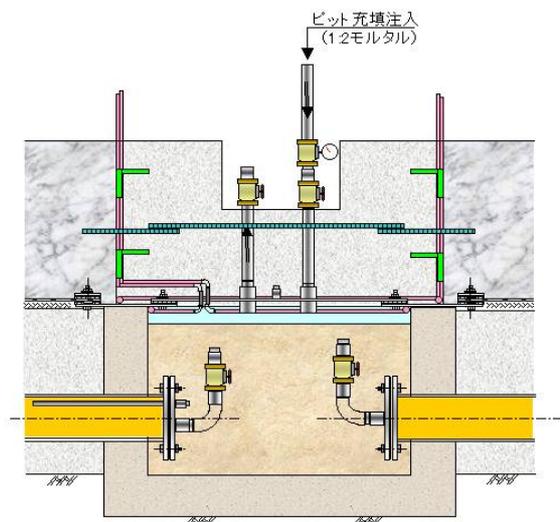


図-9 中央仮排水ピット閉塞施工図

6. 効果の確認

(1) 中央仮排水管閉塞

中央仮排水管閉塞について、湧水量の多い区間の注入材を充填率が高く、ブリージング率の低いセメントベントナイトミルクにて注入した結果、中央仮排水ピット内部に湧水が流出した結果となったが、その流出量は400リットル/分が20リットル/分と1/20に減少された結果となり、成功したものとして考えられる。なお、全線にセメントベントナイトミルクを使用しなかったのは、経済性を重視したためである（湧水量にて材料を使い分けた）。

(2) 中央仮排水ピット閉塞

当初は、防水シートの熱溶着で開口防水シートを塞ぐ計画になっていたが、トンネル工事の切羽からの湧水量を把握し、インバート施工時における中央仮排水ピットへの湧水量を想定し、ピットフレームによる閉塞方法を変更したことは効果的と考えられる。しかし、ピットフレームの施工順序を見直すことになったピット内部に差し込む湧水は予定外の結果であった。これは、トンネル施工中は中央仮排水にてトンネル湧水を排出しているため、トンネル周辺は急激に地下水位が下がっていたものの、中央仮排水管閉塞後は急激にトンネル周辺部の地下水位が上昇したためと想定される。しかし、中央仮排水管閉塞の効果の確認に述べたように、ある程度の水圧がかかっても湧水量を大きく減少した結果、施工順序の変更でピット閉塞を完了できたことは効果的と考えられる。

(3) 反省点

ウォータータイトトンネルとして国内の施工実績も少ない中央仮排水の閉塞で、トンネル工事期間中の2,000リットル/分の湧水が、仮排水の閉塞後、2リットル/分にまで削減されたことは、成功として評価されると考える。施工途中予期せぬ事態に見舞われ、施工実績のない手探りの状況での施工変更は水の特性を理解し、安全率の向上を目的に検討した結果だと思われる。

漏水が確認されている場所は中央仮排水ピットの開口コンクリート打ち継目からではなく、ピット周辺のインバートコンクリート継目からであった。計画段階では、ピット開口コンクリート打ち継目から漏水する可能性が高いと想定し、対策として打ち継目にウレタン止水材の注入を行っている。このウレ

タン止水により、湧水が開口部継目に向かわず、防水シートとインバートコンクリートの隙間に進入、インバートコンクリート継目から滲み出たものと考えられる(図-10、図-11)。

また、漏水の原因としてはピットフレームと防水シートの接続箇所のボルト穴からの漏水と考えられる。防水シートとピットフレームはステンレス板で挟み込みボルトで縫い合わされている。止水材として水膨張パッキン(ゴム製)を使用しているが、厚さ2mm、幅2cm程度の小さなゴムを使用したため、その箇所が弱点となったのではないかと推測される。

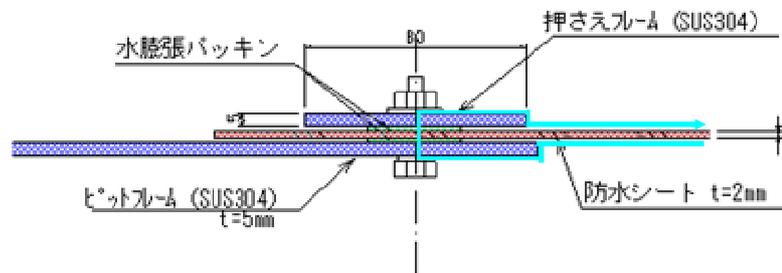


図-10 フレーム固定箇所詳細図

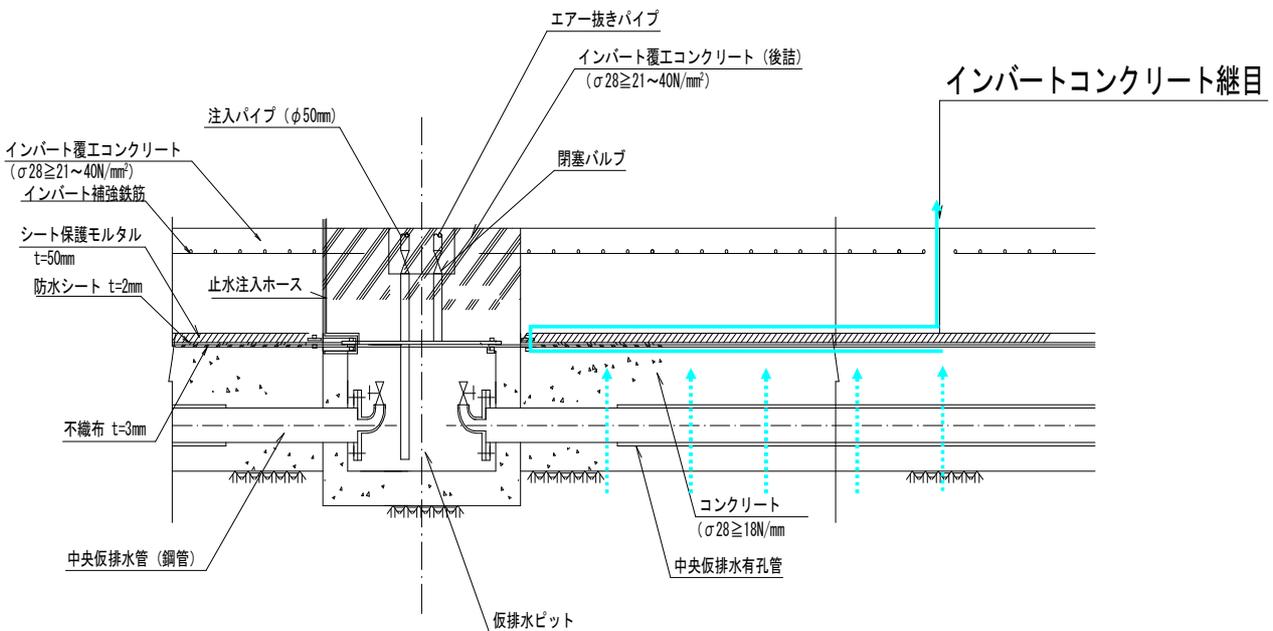


図-11 漏水状況想定図

7. おわりに

平成16年9月にトンネル掘進に着手し、平成17年4月に覆工が完了した。ファンカーテングラウト、コンタクトグラウト等の防水工も完了し、第二工区も含めたトンネル排水設備の閉塞工が平成18年5月に完了した(写真-6)。図-12に周辺地下水位の観測結果を示すが、平成18年11月現在で地下水位がほぼ掘削開始前まで回復している。降水状況や今後のトンネル経年変化の観測にもよるが、基本的には当初目的としてのウォータータイトトンネルの施工は成功したと思われる。

これまでの、数少ない国内のウォータータイトトンネル施工実績の中で、最大水圧1.1MPaに耐える止

水構造は今回が初めての試みであった。今回の施工が成功されたウォータータイトトンネルとして評価されると、施工コストは高いが、社会条件・環境条件を重視するトンネル止水構造(ウォータータイトトンネル)の計画が今後増えることを期待したい。その為にも、社会的条件・環境条件を設計の基本理念として計画していただきたい。まだまだウォータータイトトンネルは確立されたものではなく、未知の世界である。「元々の山の状態に帰す」を目的に、これまでのトンネル構造理念に反し、トンネルに水圧をかけ地下水を回復させる構造としてウォータータイトトンネルのより一層の技術向上を期待する。

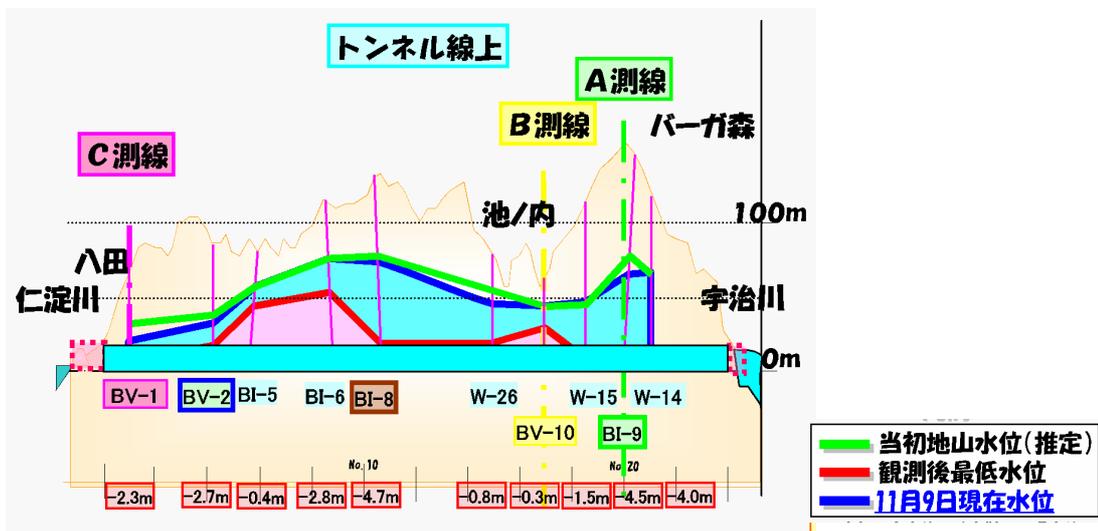


図-12 周辺地下水位回復状況



写真-6 施工完了状況