

止水ウレタン注入による減水対策

Restoration of Reduced Water by Urethane Injection Method

武市直人^{※1} 藤本克郎^{※1} 坂本秀夫^{※1}
Naoto Takeichi Katsurou Fujimoto Hideo Sakamoto

【キーワード】 坑内水平調査ボーリング 多量湧水 温泉湯量の低下 減水対策 止水ウレタン

1. はじめに

一般国道400号下塩原第二トンネルは、那須塩原市関谷～塩原間に位置する延長1,458mの2車線バイパストンネルである。本トンネルは、貫入岩区間の掘削に伴う多量湧水の発生が懸念されていたことから、坑内水平調査ボーリングを採用しながら掘削した。その結果、調査ボーリングで多量湧水が発生し、それに伴い近接温泉施設の温泉湯量が減少する事態が発生した(図-1)。そこで、温泉湯量を回復させるためにトンネル湧水量の低減のために採用した対策工とその効果について報告する。

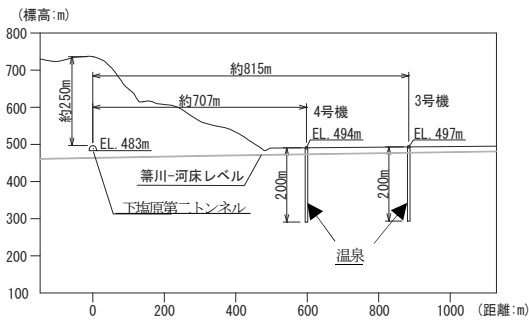


図-1 温泉自噴位置とトンネルの横断面図

2. 大量湧水による近接温泉施設の湯量減少の発生

2.1 坑内水平調査ボーリング併用による掘削

平成24年12月より終点側(塩原側)から起点側(関谷側)へ掘削を開始した。本トンネルは、新第三紀の凝灰岩質堆積岩が広く分布し、貫入岩として流紋岩が分布しており、大量の地下水が流紋岩背面に蓄えられていることが予想されていた。そこで、突発湧水の発生を回避す

るため、終点側坑口から190m地点より坑内水平調査ボーリング(延長100m～150m/回)を実施した(図-2、写真-1)。

2.2 大量湧水の発生による温泉湯量の減少

第1回坑内水平調査ボーリングを実施したところ、ロックボルト孔からの湧水も含めて約1,000ℓ/minの坑内湧水となった。その後、第2回、第3回と実施したところ、2,700ℓ/minの湧水が発生し、坑内湧水量は最大で3,500ℓ/minに達した(写真-2)。



写真-1 ボーリング状況



写真-2 多量湧水発生状況

その後、平成25年5月20日に終点側坑口から上流側に約700m離れた温泉施設(3号機、4号機)の湯量が減少しているとの報告を受け、一時掘削を中断し原因究明と対策の検討を開始した。

3. 温泉湯量低下の原因と対策工の選定

3.1 湯量低下の原因

各種調査結果を基に検討した結果、温泉湯量の低下について以下の見解を得た(図-3)。

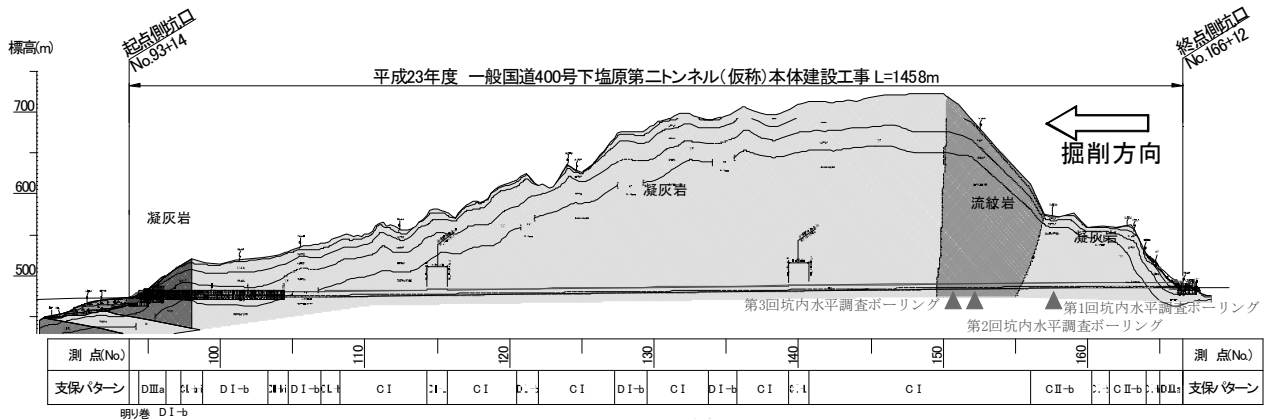


図-2 地質縦断面図

- ① 対象エリア一帯に被圧された地下水源が存在し、地下水は亀裂内を飽和する形で存在する可能性が高い。
- ② 地下水源につながる亀裂がトンネル内に出現し地下水湧出が発生した。これにより、地下水源の水頭が低下し、700m以上離れた温泉施設（3号機、4号機）まで影響が波及した。

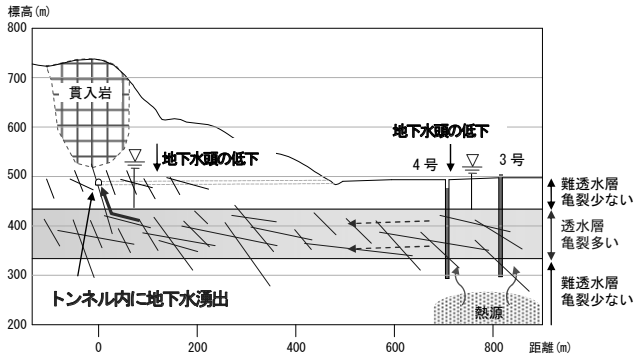


図-3 トンネル周辺の地下水帯水構造のイメージ

3.2 対策工法の選定

前述の見解より、温泉湯量を回復させるためには、トンネル内の地下水湧出量を低減し、地下水源の水頭を上昇させる必要があると判断した。その対策として表-1に示す三つの工法を検討した結果、効果とコスト等の点から第3案の急結性止水材注入工法を選定した。

表-1 多量湧水箇所止水対策工法比較表

案	第1案	第2案	第3案
対策概要	水脈に対する遮水壁の構築	外周に止水ゾーンを形成	出水箇所への止水
特徴	トンネル両サイドに凍結工法により遮水壁を構築し、トンネル内への湧水を遮断する。 ●遮水壁を構築するため作業坑が必要となる。 ●凍土を維持するための設備が過大であり、費用が莫大となる。	トンネル外周に止水ゾーンを形成し、トンネル全周で湧水進入を遮断する。 ●セメント系注入材の場合、温泉水質などに対して将来的な耐久性が問題となる。 ●注入材が遊走した場合、温泉への混入が懸念される。	●出水箇所へ直接特殊注入材を注入して、止水する。 ●水と反応して発泡するため、出水箇所への注入が可能である。 ●ゲルタイムが短いので遊走の心配は少ないが、完全な止水は困難である。
コスト(円)	80,000万	29,000万	6,000万
判定	x	△	◎

また、注入材はゲルタイムが短く、高圧注入が可能である止水用ウレタンを採用することとした(表-2)。

表-2 止水ウレタン注入による減水対策工法の仕様

注入材	カーボプルWF (ウレタン系の溶液型)
ゲルタイム	水なし 60秒 無発砲 水あり 120秒 発泡倍率3倍
注入量	圧力管理で設置 (初期圧+10Mpa)
打設延長	L=4m, 5m (注入範囲は先端から3m)

4. 減水対策工法の施工

4.1 止水ウレタン注入工事の施工

本施工に先立ち試験施工を25箇所行い、減水効果の検証・適切な施工方法を確認した。その後、本施工を17箇所で行った(図-4)。

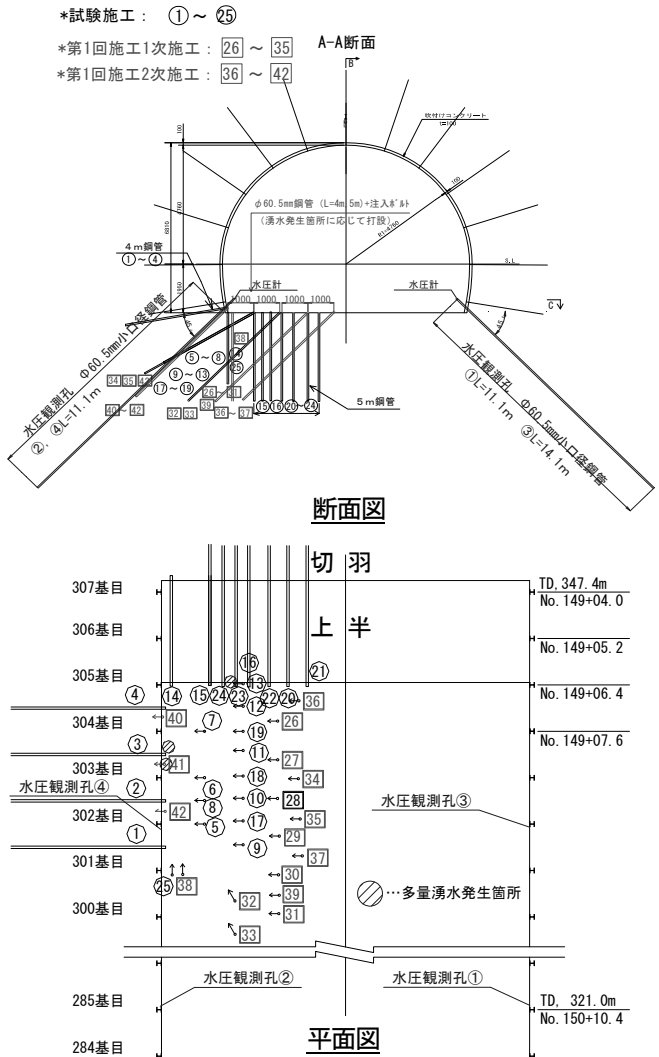


図-4 止水ウレタン注入工事実施図

4.2 効果の確認

- 減水効果の検証を行うため、モニタリング(①坑内全体湧水量、②坑内周辺の地下水位、③周辺温泉の湯量または水位)を行った。その結果は、以下のとおりである。
- ① 減水対策工施工開始前と完了後の坑内湧水量は、試験施工時で5080/min、本施工時で3760/min減少した。
 - ② 坑内周辺の地下水位は試験施工時に最大34cm、本施工時に最大97cm上昇した。
 - ③ 周辺温泉の湯量は施工開始前に比べて300/min程度回復した。

5. まとめ

多量湧水に伴う温泉湯量の減少に対し、止水ウレタン注入による減水対策を実施した結果、坑内周辺の地下水位は97cm、周辺温泉の湯量は300/min程度回復した。

対策工施工後、1週間後の平成25年10月に掘削を再開し、現在順調に作業を進めている。その後のモニタリングでも坑内湧水量や温泉湯量に大きな変化は見られず、本工法の坑内湧水に対する止水性能は持続的に機能していると判断している。