

渡島トンネル（木古内工区）における高圧・大量湧水の再現解析 —地下水・ボーリング孔内の流れの連成解析による水抜きボーリングの評価—

大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部

正会員○増岡 健太郎 正会員 山本 肇

大成・田中特定建設工事共同企業体

正会員 亀田 徹也

三浦 郁夫

国土交通省 北海道開発局

佐々木 博一

柳原 正

1. はじめに

山岳トンネル工事の湧水対策の一つに水抜きボーリングがある。これは、トンネル切羽の前方に向けてボーリング孔を掘削し、地下水を排出して水圧を低下させてからトンネル掘削を行うものである。著者らは、地下水浸透流解析とボーリング孔内の流れの連成解析を用いながら、迅速かつ効率的に水抜きボーリングを設計する技術を開発してきた^{1),2)}。今回、高圧・大量湧水が生じた渡島トンネル木古内工区³⁾を対象に、上記の技術を用いて水抜きボーリングの事後評価を行ったので以下に報告する。

2. 工事概要

渡島トンネルは、函館江差自動車道における北斗市と木古内町を跨ぐ全長 2518m のトンネルであり、南側を海、東西北側を河川で囲まれた山（標高 482m）のほぼ直下を通る。図-1 にトンネル線形に沿った地質縦断面図を示す。トンネル周辺の基盤地質は、主に新第三紀中新世の堆積岩類で構成される。トンネル中央部に貫入している粗粒玄武岩中には多くの亀裂が発達し、多量の地下水を胚胎するものと想定された。

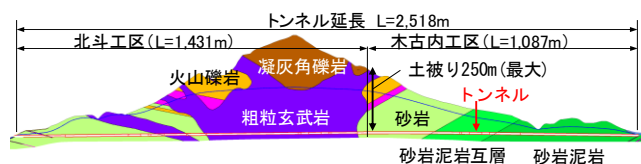


図-1 渡島トンネル地質縦断面図

トンネル掘削時、切羽前方の地質や湧水の状況把握等を目的として、トンネル全線で水平調査ボーリングが実施された。第9回目の調査ボーリングでは、坑口より約930m地点（TD930m）から、最大湧水圧 1.2MPa、湧水量 2t/min の高圧・大量湧水が生じた。そこで、5

本の水抜きボーリングを順次掘削して切羽前方の水圧を低下させ（図-2）、水圧測定による切羽安定のための限界動水勾配の考え方³⁾を適用し、トンネルは無事掘削を完了した。

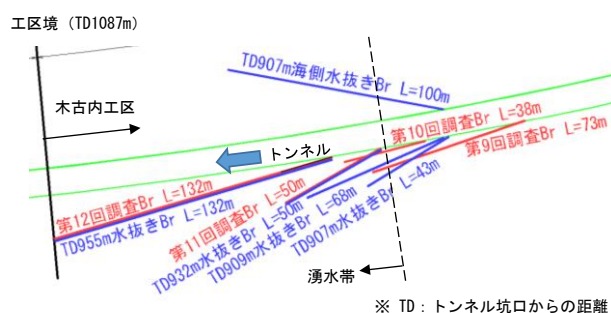


図-2 水抜き/調査ボーリング平面位置

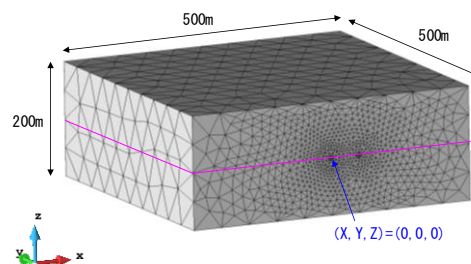


図-3 解析モデル鳥瞰図

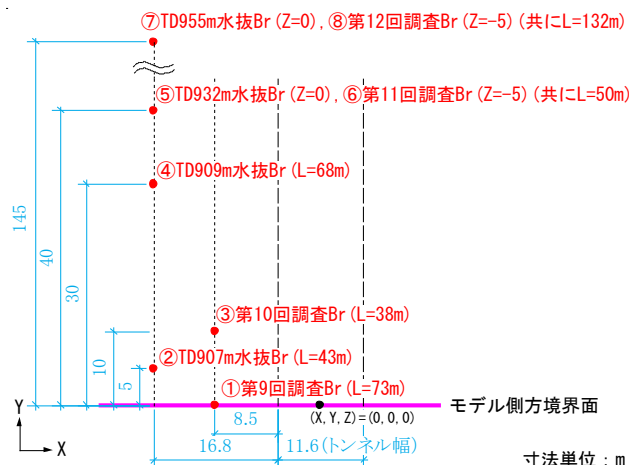


図-4 モデルでのボーリング先端位置 (Z=0 断面)

キーワード 高圧湧水, 大量湧水, 水抜きボーリング, 山岳トンネル工事, 圧力損失, 地下水解析
連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) TEL 045-814-7217

3. 解析条件

地下水とボーリング孔内の流れの連成解析¹⁾を用いて、水抜きボーリングの湧水量と先端圧力の経時変化の再現を試みた。図-3に本計算で用いた解析モデルの鳥瞰図を示す。水抜きボーリングからの湧水を胚胎すると考えられる粗粒玄武岩の範囲(図-1)を参考に、500m×500m×200mの大きさの均質なモデルとした。各ボーリング先端のモデルでの位置を図-4に示す。第9回目の調査ボーリング先端位置より前方を対象に、実工程に合わせた逐次掘削解析を行った。掘削済みの要素はモデルから削除し、切羽およびトンネル壁面は浸潤面境界とした。水抜きボーリングは、図-2で示すように、ボーリング孔口～先端を結ぶ線要素でモデル化し、孔口の節点のみを圧力0の固定境界とした。ボーリング孔内の圧力は、流れに伴って生じる圧力損失を考慮して計算される。その他、モデル上下面および側面は全て不透水境界とした。第9回調査ボーリングでの圧力測定値を参考に、初期の全水頭は120mとした。透水係数と空隙率は、水抜きボーリングの湧水量と圧力とのマッチングから設定した。比貯留係数には $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ を与えた。

4. 解析結果

マッチングの結果、透水係数に $1.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ 、空隙率に0.05とした場合に最も実測に近い解析結果が得られた。図-5に、代表として水抜きボーリング(TD907m)の先端における圧力の経時変化図を示す。比較として、空隙率を0.15と大きめに設定した場合の圧力もあわせて示した。モデルに与える空隙率が大きい場合、圧力の低下速度は、より緩やかになることが分かる。これは、空隙率が大きいと湧水帯が胚胎する地下水量が増加するので、圧力低下にはより多くの地下水を排出することが必要になるためである。したがって、水抜きに伴う湧水量の長期予測を行う上では、湧水帯が元々胚胎する地下水量を適切に見積もることが重要になる。

図-6に、最適モデルから得られたボーリング湧水量合計ならびに切羽湧水量(濁水処理量)を示す。この図から、未だマッチングに改良の余地があるが、切羽が湧水帯(TD930m)に突入したと考えられる80日頃に、ボーリング湧水量が減少する一方、切羽湧水量が大きく増加しているのが分かる。これは、それまで水抜きボーリングに向かっていった流れの一部が、切羽へ向かう流れに変化したと考えられる。この例のように、切

羽湧水とボーリング湧水量は互いに大きく干渉することから、水抜きボーリングの効果判定には、水抜きボーリングと切羽からの湧水を同時に考慮した解析が必要と考えられる。

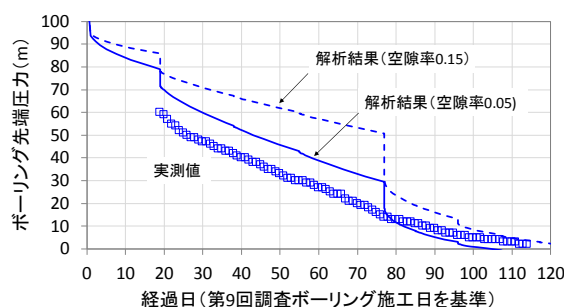


図-5 水抜きボーリング (TD907m) 先端での圧力

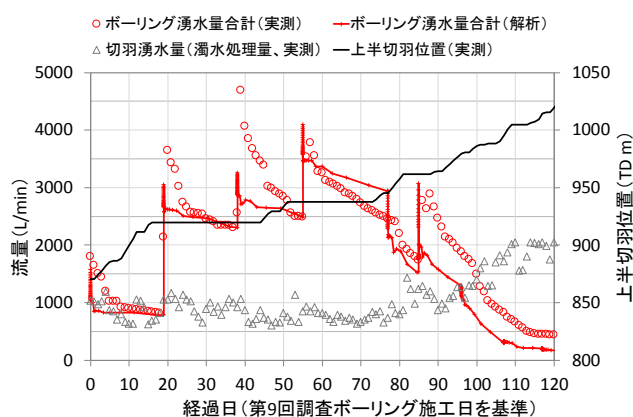


図-6 ボーリング湧水量合計と切羽湧水量

5. まとめ

高圧・大量湧水が生じた渡島トンネルを対象に、地下水とボーリング孔内の流れの連成解析を用いて、水抜きボーリングからの湧水量と先端圧力の経時変化の再現を試みた。その結果、水抜きボーリングの効果を評価する上では、ボーリング湧水とトンネル切羽湧水との干渉を考慮した解析が必要であることが分かった。また、水抜きボーリングの圧力や湧水量の減衰には湧水帯が胚胎する地下水量の大きな支配要因となることから、その適切な推定が長期的な湧水挙動を予測する上で重要と考えられる。

参考文献

- 1) 熊本創, 平塚裕介, 山本肇, 金子哲也: 水抜きボーリングの孔内圧力損失を考慮した地下水流動解析手法の開発, 大成建設技術センター報, 第47号, 23, 2014.
- 2) 熊本創, 増岡健太郎, 山本肇: トンネル湧水対策計画ツール「T-WELL_PLANNERSM」の開発, 大成建設技術センター報, 第49号, 33, 2016.
- 3) 佐々木博一, 柳原正, 亀田徹也, 八木直人: 高圧湧水帯の地山における水圧管理手法を用いたトンネル掘削一函館江差自動車道 木古内町 渡島トンネル木古内工区工事一, 2017 トンネル技術研究発表会, 2017.