

水抜きボーリングによる湧水対策を考慮した浸透流解析

鹿島建設(株) 正会員 ○並川 正 田部井和人 北村義宣 升元一彦 フェロー会員 森川誠司
(株)地層科学研究所 関野真登
西日本高速道路(株) 勘定 茂

1. はじめに

大深度の高圧湧水帯の存在が危惧される山岳トンネルを安全かつ合理的に施工するために、長距離の先進探査ボーリングから得られる湧水量や水圧などの情報をもとに、高圧湧水帯の対策工(たとえば水抜きボーリング)の設計のための予測解析が行われている¹⁾。予測解析には、群井理論解や三次元 FEM 浸透流解析などが用いられる。両方法に共通する精度向上の課題として、ボーリング孔壁による摩擦損失を考慮することが挙げられる。例として、Manning 式を使って 1 本の管路を流れる地下水の流量と圧力水頭の関係求めたものを図-1 に示す。ボーリング孔の径が同じであれば、摩擦損失の大きさは粗度係数によって決まる。孔壁面が粗く、必ずしも直線状ではないボーリング孔を想定した場合(粗度係数 0.05 と想定)、孔壁面が比較的滑らかで直線状の鋼管を想定した場合(粗度係数 0.014 と想定)と比べて流量が 1/3~1/4 に減少することがわかる。そして、粗度係数が流量に与える影響は地下水圧が高いほど大きいこともわかる。したがって、ボーリング孔の湧水量から湧水帯の圧力水頭や透水係数を推定することを考えると、ボーリング孔内の摩擦損失を考慮しなければ、それらを過小評価することになり、さらにその施工情報に基づいて追加の湧水対策を検討すれば、湧水量を実際よりも小さく危険側に評価することになる。本報告ではこうした点に着目し、ボーリング孔壁による摩擦損失を考慮した三次元 FEM 浸透流解析手法について示し、実トンネルの施工情報を用いて湧水帯の透水係数を算定し、地下水圧低下をシミュレーションした事例を報告する。

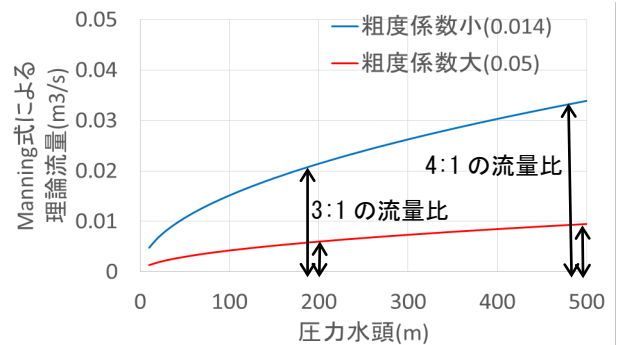


図-1 圧力水頭と Manning 式に基づく理論流量の関係(ボーリング孔径 10cm, 長さ 1000m)

2. 水抜きボーリングの摩擦損失を考慮した浸透流解析手法

本報告で使用する解析手法は、堤ら²⁾が提案した「パイプ流れを模擬した浸透流解析モデル」である。この手法は、岩盤の浸透流とボーリング孔内の地下水流れをそれぞれ個別の系とみなし、相互間の水移動を考慮した上で、それぞれの支配方程式を計算するものである。浸透流解析は Richards の式、ボーリング孔内の地下水流れは Manning の式を用い、ボーリング孔を模擬したパイプ状の要素(線要素)の各節点における流量と浸透流解析で求められた流量が一致するように収束計算を行って、ボーリング孔内の水圧分布や流量を計算する。本報告で使用する解析プログラムの検証として、堤ら²⁾による解析結果と一致していることを確認している。

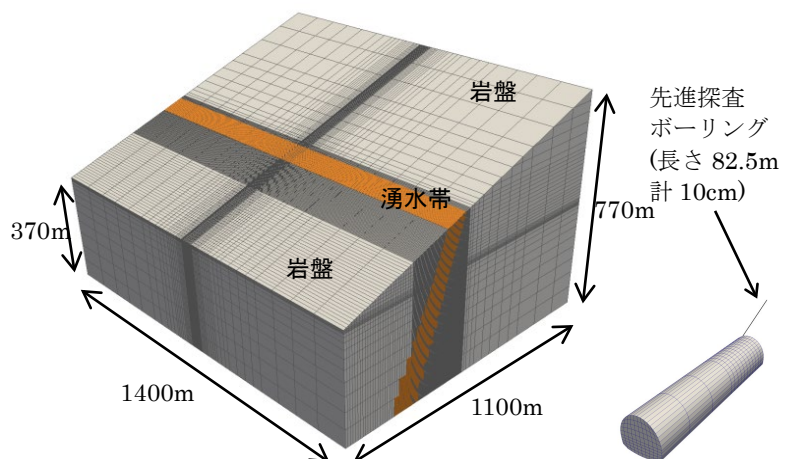


図-2 解析モデルとトンネル部分の拡大図

3. 実トンネルへの適用

新名神高速道路の箕面トンネルは、大阪府箕

キーワード 浸透流解析, Manning 式, 水抜きボーリング, 湧水対策, 箕面トンネル

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 KI ビル 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL 03-6229-6795

面市北部を東西に横断する全長約 5km の 2 車線双設道路トンネルであり, 名古屋～神戸間で最長のトンネルである³⁾. このトンネルでは掘進にあたって, 前方探査のために 82.5m の先進探査ボーリングを施工している. このボーリングの削孔後, 1,200(l/分)の湧水が 5 日間続いた. その過程で, 湧水帯での計測井戸の水位が約 5m 低下した. この事象を対象に本解析手法の適用性検討を行った. 解析モデルを図-2 に示す. 1.4km×1.1km×770m の領域の中央部分に, 幅 60m の湧水帯を地質調査結果に基づいて設定した. 解析モデルの境界条件を図-3 に示す.

また, 表-1 に岩盤および湧水帯の解析物性を示す. まず, 湧水帯の透水係数をパラメータとして, ボーリング孔の摩擦損失を考慮しない場合の解析を行い, ボーリング孔口からの湧水量が 1,200(l/分)となる透水係数の同定を行ったところ, 湧水帯の透水係数は 2.0×10^{-3} (cm/s) となった (図-4). さらにボーリング孔の摩擦損失 (粗度係数 0.025) を考慮した場合の検討を行ったところ, 5.0×10^{-3} (cm/s) となった. この実トンネルモデルでは, ボーリング孔の摩擦損失の考慮の有無により, 推定される湧水帯の透水係数には 2.5 倍の差が生じることがわかった. 図-5 には計測井戸付近の圧力水頭の変化を実測値と比較して示す. 湧水帯の透水係数には図-4 で求めた透水係数を用いている. 摩擦損失を考慮した場合の解析値は初期水位から 4m 程度の低下量となり, 実測の圧力水頭の経時変化の傾向と概ね一致する. 一方, 摩擦損失を考慮しない場合はボーリング孔による排水効果を過大に評価するため, 解析値は実測値よりも速く圧力水頭が低下し, 水位低下量もより大きくなっている.

4. おわりに

三次元 FEM 浸透流解析による水抜き対策効果の予測精度向上のために, ボーリング孔壁による摩擦損失を考慮する機能を浸透流解析プログラムに導入した. 実トンネルを対象に適用性検討を行ったところ, 摩擦損失の効果が湧水帯の透水係数の推定に与える影響を把握するとともに, 摩擦損失を考慮して推定された透水係数を使って求めた圧力水頭変化の方が実測値により整合する結果となることがわかった. 今後, 高圧湧水帯を有するトンネルに本解析機能を本格的に適用するために更なる大規模化, 高速化を進めたい.

参考文献 1) 小泉ら: 水抜きボーリングの実績データを活用した SWING 法によるトンネルの湧水量予測, 土木学会第 66 回年講, III-101, p201-202, 2011. 2) 堤ら: 斜面土層内のパイプによる選択流のモデル化, 京大防災研年報, 第 47 号 B, 2004. 3) 北村ら: 切羽前方の地下水压管理に基づく断層破砕帯のトンネル掘削, トンネル工学報告集, 第 25 巻, I-15, 2015.

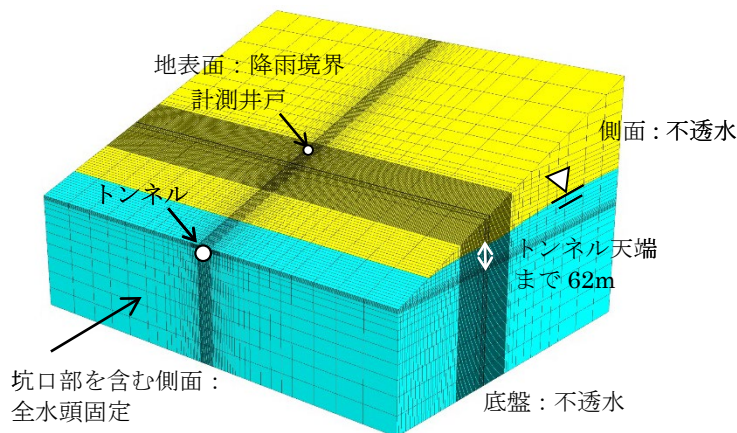


図-3 解析モデルの境界条件

表-1 岩盤等の解析物性

	透水係数(cm/s)	比貯留係数(1/m)
岩盤	4×10^{-6}	1×10^{-6} (岩石相当)
湧水帯	湧水量から同定	1×10^{-4} (密な砂礫相当)

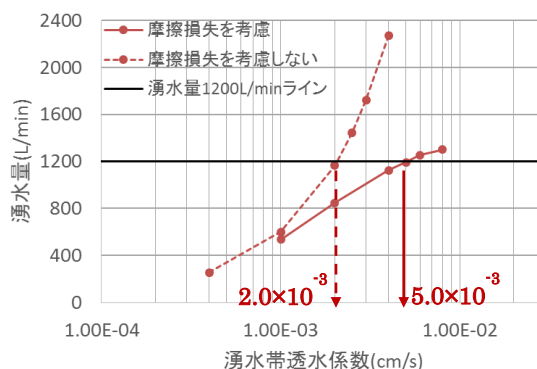


図-4 湧水量による同定結果

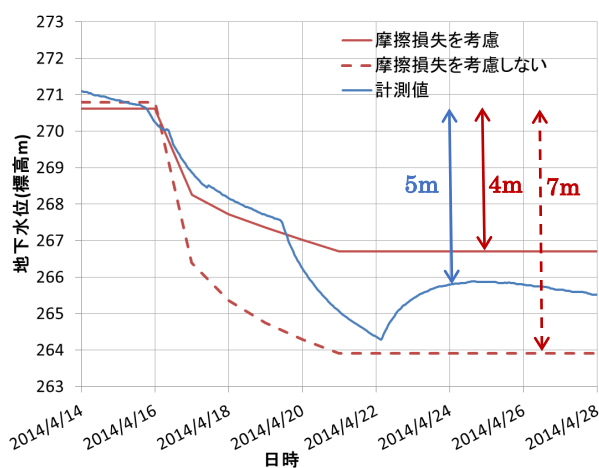


図-5 計測井付近での圧力水頭の実測値と解析値との比較