

先進ボーリング口元観測データの逆解析による切羽前方透水係数分布の評価

大成建設（株） 正会員 ○熊本 創，正会員 平塚 裕介

1. はじめに

大量湧水を伴う山岳トンネル工事では、切羽前方の透水性や地下水位等を事前に把握することが重要である。地上からの調査が困難な山岳地帯のトンネルでは、トンネル坑内からの先進ボーリングにより切羽前方の湧水発生状況を把握しながら施工される。著者らは、先進ボーリングで取得される湧水量や湧水圧などの観測データから逆解析によって前方の地下水位や水理物性の分布を定量的に評価する技術 T-WELL_ANALYZER¹⁾を開発した。本稿では、本技術を大量湧水トンネルの既往事例である飛驒トンネル（先進坑）に適用し、先進ボーリングの口元観測データから切羽前方の透水係数分布を評価した結果を報告する。

2. 逆解析ツール T-WELL_ANALYZER の概要

T-WELL_ANALYZER は、米国ローレンスバークレー国立研究所（LBNL）が開発した逆解析コード iTOUGH2²⁾と大成建設（株）開発の T-WELL_FLO^{®3)}を組合せた逆解析ツールである。T-WELL_FLO は、一次元管路内流れと三次元飽和不飽和浸透流を連成した FEM 解析コードであり、大量湧水時の先進ボーリング観測データの評価で問題となる孔内圧力損失の影響を考慮可能である。T-WELL_ANALYZER では、水理物性を変えた順解析を T-WELL_FLO を用いて繰返し行い、観測データとの誤差を最小化するようなパラメータの組合せを Gauss-Newton 法の一つである Levenberg-Marquardt 法によって自動的に求める。

3. 飛驒トンネル（先進坑）の概要⁴⁾

飛驒トンネル（東海北陸自動車道）は、岐阜県北部に位置する全長10.7km、最大土被り約1000mの長大トンネルである。本坑に先立って施工された先進坑（掘削径4.5m）では、坑口から約2700m地点から始まる大量湧水帯で湧水圧5.5MPa、坑口湧水量50t/minの大量湧水が発生した。図-1に、当該箇所における先進坑の施工順序を整理する⁴⁾。STEP①：大量湧水帯の掘削に先立ち、先進坑から分岐した水抜き坑（L=700m）を掘削。STEP②：水抜き坑の掘削を完了し、その間に先進坑は大量湧水帯の直前付近まで到達。STEP③：水抜き坑の切羽から前方に長尺ボーリング（L=300m）を削孔。長尺ボーリング削孔完了時点で、先進坑は水抜き坑の先端付近まで到達。STEP④：先進坑が長尺ボーリングの先端付近まで到達。このとき、大量の湧水に伴う大規模な切羽崩落が発生している。

著者らは、STEP③、④を対象にT-WELL_FLOを用いた湧水量の再現解析を行い、文献3)に報告して

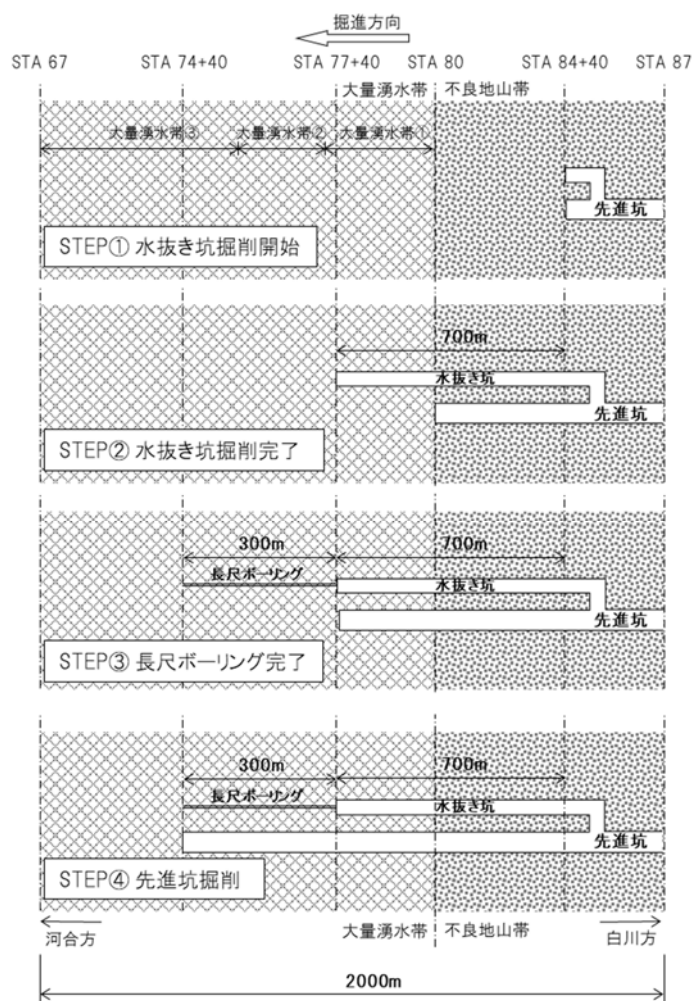


図-1 飛驒トンネル（先進坑）の施工順序

キーワード 山岳トンネル，先進ボーリング，湧水量，逆解析，透水係数

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) 技術センター TEL:045-814-7221

いる(図-2, 3). 再現解析では, 先進坑口, 水抜き坑口, 長尺ボーリング口元のそれぞれで観測された湧水量の実測値を再現するよう, 不良地山帯と大量湧水帯の透水係数を, 自動逆解析ではなく手動で試行錯誤的に推定した. 湧水量の変動傾向から, 大量湧水帯を3つに区分し(図-1の大量湧水帯①~③), それぞれ異なる透水係数を推定している(表-1). なお, 境界条件は図-2のモデル上下面を不透水境界, 側面を圧力固定境界とし, トンネルとボーリングの掘削箇所は施工工程に合わせて順次浸出面境界に変更している.

4. 逆解析ツールの適用

今回は, STEP③において長尺ボーリング削孔中に口元で観測された湧水量データ(83日分)を用いて, ボーリング削孔区間の透水係数分布をT-WELL_ANALYZERにより自動推定した. 透水係数の推定は, 長尺ボーリングの削孔区間に分布する大量湧水帯②および③を未知パラメータとし, 不良地山帯ならびに大量湧水帯①の透水係数については, 文献3)で推定した値で既知とした. 表-1に, 逆解析で求めた透水係数と文献3)で推定した透水係数の比較を示す. 逆解析の結果は, 文献3)の値と概ね同等の値を示した. 大量湧水帯②の逆解析結果が文献3)より低いのは, 手動による文献3)の推定結果がやや過大評価であった可能性が考えられる. 図-4に, 逆解析で求めた透水係数での長尺ボーリング湧水量の解析結果を示す. 解析結果は, 観測データの変化を概ね再現しており, 逆解析により妥当な透水係数分布が求められたことが分かる.

5. まとめ

本研究では, 先進ボーリングの湧水量データから, 切羽前方の地下水位や水理物性を定量評価するための逆解析ツールを開発し, 大量湧水トンネルの既往事例に適用した. その結果, 本ツールにより比較的容易に測定可能なボーリング口元の湧水量データから, 切羽前方の透水係数分布を自動推定できることが示された. 今後, 実工事に適用し, 実績を重ねていく予定である.

参考文献 1) 熊本創: 先進ボーリング口元観測データの逆解析による切羽前方の水理特性評価手法, 第45回岩盤力学に関するシンポジウム, 2018. 2) Finsterle, S.: iTOUGH2 User's Guide, LBNL-40040 Updated Reprint, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA., 2007. 3) 熊本創ほか: 大量湧水トンネルにおける水抜きボーリングの孔内圧力損失の評価, 第24回トンネル工学研究発表会, 2014. 4) 寺田幸太郎ほか: 不良地山・高圧大量湧水との関わり(大量湧水編) 東海北陸自動車道 飛騨トンネル, トンネルと地下, Vol. 35, No. 9, pp. 679-689, 2004.

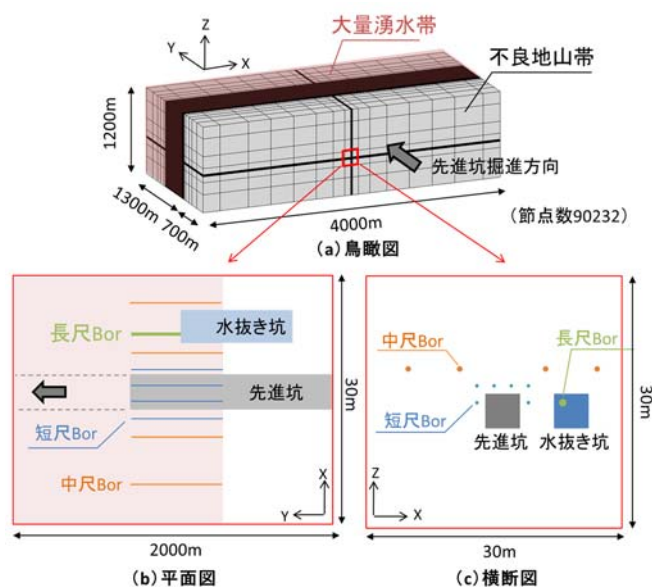


図-2 再現解析モデル(文献3)を引用)

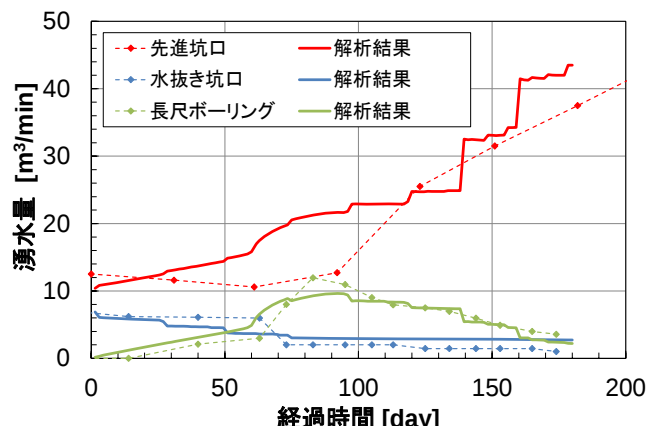


図-3 湧水量の再現解析結果(文献3)を引用)

表-1 透水係数の推定結果

地質区分	透水係数 [m/s]		備考
	文献3)推定結果	逆解析ツール	
不良地山帯	2.0×10^{-7}		既知 (固定値)
大量湧水帯	①	7.0×10^{-7}	逆解析にて 推定
	②	8.3×10^{-7}	
	③	5.6×10^{-6}	

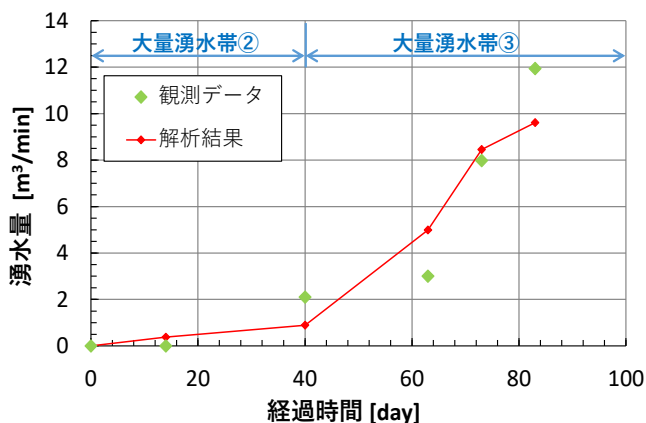


図-4 長尺ボーリング湧水量の逆解析結果