

トンネル掘削に伴う周辺河川流量への影響再現解析の試み

大成建設(株) 正会員 ○熊本 創, 藤田 クラウディア
(株)ブルーアースセキュリティ 正会員 森 康二 非会員 村井 展子

1. はじめに

山岳トンネルの施工時に大量の湧水が発生すると、井戸枯れや河川流量の減少など周辺水文環境に影響を及ぼすことがある。これら周辺環境への影響を定量的に予測することは、施工時の対策工の計画や環境影響に対するリスク管理を行う上で重要と考えられる。著者らは、トンネル施工に伴う周辺水文環境への影響を予測可能な地表水・地下水連成解析コード (HydroGeoSphere¹⁾ : 以後、HGS と呼ぶ) の導入を進めている。同コードの適用性確認を目的に、施工時に大量湧水が発生した既往のトンネル工事事例での坑内湧水量や、河川流量の観測結果の再現解析を試みた。その結果、HGS により、トンネル掘削に伴う坑内湧水量や周辺河川流量の変化を定量的に評価できることが示された。本稿では、再現解析の結果と考察について報告する。

2. 地表水・地下水連成解析コード HydroGeoSphere (HGS)

HGS は、カナダ Waterloo 大学で開発された地表水・地下水連成解析コードである。地表水は二次元マニング流れ、地下水は三次元飽和・不飽和浸透流として取り扱い、これらを完全陰的に連成して解くことができる。空間離散化はコントロールボリューム型の有限要素法、有限差分法を選択可能であり、細かな地形の起伏などに応じた柔軟な非構造メッシュモデルの取扱いが可能である。これまで多くの解析実績を有するが、トンネル施工に伴う地表水への影響評価事例は少ない。

3. 対象事例 (蓼武トンネル) の概要

再現解析は、既往の大量湧水事例である蓼武トンネル²⁾を対象に実施した。蓼武トンネルは、兵庫県北部に位置する道路トンネルであり、施工時に約 8m³/min の突発湧水と天端崩落が発生している。その後も湧水量は増加し、トンネル貫通時には約 32m³/min に達したと記録されている。また、大量湧水による周辺水文環境への影響を把握するため、施工途中から多数の地点で河川流量などの水文調査が行われている³⁾。

4. 再現解析の方法・条件

本検討では、トンネル掘削時の湧水量と河川流量の観測値について、HGS による再現解析を試みた。解析モデルを図-1 に示す。当該地域には主に新第三紀中新世の堆積岩類が分布しているが、大量湧水はいずれも断層部で発生しており、その他の区間では顕著な湧水増加は見られない。また、本件は、文献 2), 3) に記載の限られた情報に基づいているため、詳細な地質構造はモデル化しておらず、湧水の増加に寄与すると推定された 7 つの断層のみモデル化し、その他は一つの岩盤としてモデル化した。また、表層付近の伏流水の影響を考慮するために地表面下 10cm を表土層としてモデル化した。透水係数などの水理物性は、別途実施した地下水流動解析から、坑内湧水量の変化

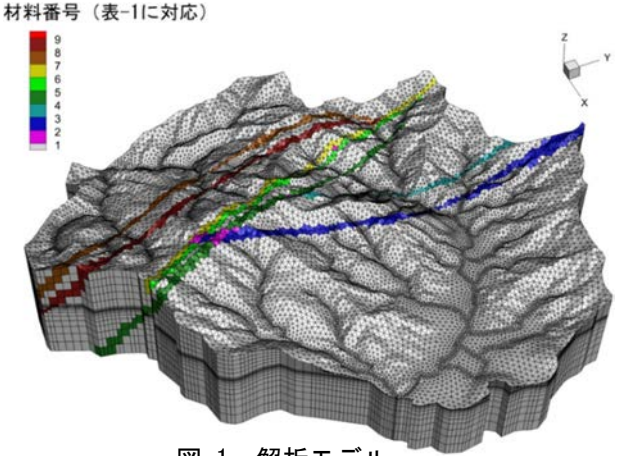


図-1 解析モデル

表-1 地下水理物性

地質区分	材料番号	透水係数 (m/s)	比貯留係数 (1/m)	空隙率 (-)
岩盤	1	2×10^{-7}	1×10^{-5}	0.3
断層交差部	2	1×10^{-5}		
断層(H1)	3	4×10^{-6}		
断層(H2)	4	6×10^{-6}		
断層(H3)	5	1×10^{-5}		
断層(H4)	6	1×10^{-5}		
断層(H5)	7	1×10^{-5}		
断層(M1)	8	3×10^{-5}		
断層(M2)	9	1×10^{-5}		
表土	10	1×10^{-5}		

表-2 地表パラメータ

区分	粗度係数 (m ^{-1/3} s)
河川部	0.01
河川以外	0.2

表-3 境界条件

モデル区分	地表水	地下水
上面	降雨境界	-
下面	-	不透水境界
側面	水深勾配ゼロの流出境界	不透水境界

キーワード 地表水・地下水連成解析, 山岳トンネル, トンネル湧水, 河川流量
連絡先 〒245-005 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

をある程度再現可能な透水係数を予め求めて設定した(表-1)。また、地表流については、河川部とそれ以外のメッシュを区分して、それぞれに異なるマンニングの粗度係数を設定した(表-2)。境界条件は表-3に示す。地表面に与える降水量は、文献3)を参考に有効降雨量2,123mm/yearとした。再現解析は、まず掘削前の初期状態を模擬した定常解析を実施し、その後、トンネル掘削工程を模擬した逐次掘削解析を実施した。逐次掘削解析では、掘削工程に合わせて、トンネル掘削箇所該当する節点を圧力水頭ゼロの浸出点境界に変更した。

5. 解析結果と考察

図-2に坑口湧水量の解析結果と観測値の比較を示す。掘削完了後の湧水量が過大ではあるが、トンネルが断層に到達した際の急激な湧水増加など、施工中の湧水量変化を概ね再現できていることが分かる。図-3に河川流量の解析結果と観測値の比較を示す。文献3)では、トンネル周辺4km程度のエリアを21の流域に分割し、各流域の最下流点で河川流量観測を行っている。本検討では、このうち20の流域について、文献から読み取れる流量推定値と解析結果を比較した。なお、解析値は掘削前後の定常状態を示した。図-3より掘削前後で河川流量は減少し、掘削後は観測値を大きく下回った。流量観測は、大量湧水と天端崩落が発生した時期から施工完了2年後までの長期に渡っており、文献3)に記載の流量値がいつの時点の値かは定かではない。これに対して解析結果は掘削後定常状態の値であり、そのため実測値よりも河川流量が少なくなった可能性がある。また、図-4には、観測流域における比流量の比較を示す。解析結果では、掘削の影響を受けて、トンネルルートに沿って比流量の低い流域が見られるが、観測値はトンネル直上においても1,500~2,000mm/yearの比流量を維持した流域が見られる。この要因としては、解析モデルの浅層地質構造や降水量分布などが実際に十分に反映していないことが考えられる。浅層地質構造については、今回のモデルは坑内湧水の増加に寄与する断層のみを考慮しており、断層を通じて地表水をトンネルに直接引き込むようなモデルとなっている点が挙げられる。実際には、表土層や風化岩等と断層との空間的な位置関係によって、地表水とトンネルとの水の導通を遮るような構造が存在していた可能性が考えられる。

6. まとめ

本検討では、地表水・地下水連成解析コード(HydroGeoSphere)のトンネル掘削に伴う水文環境影響評価への適用性確認を目的とした既往事例の再現解析を行った。観測値の再現性について課題は残すものの、トンネル施工時の坑内湧水量や、それに伴う河川流量の変化を定量的に評価できる見通しが得られた。今後は、実績を重ねつつモデル化・解析ノウハウを蓄積していく予定である。

参考文献

- 1) Aquanty Inc.: HGS Theory Manual, 2015.
- 2) 樋上 尚子 ほか: 予期せぬ異常湧水に挑む 国道482号 蘆武トンネル日高工区, トンネルと地下, 第33巻, 1号, 2002.
- 3) 後藤 大輔 ほか: 環境同位体と流量測定によるトンネル湧水の起源推定, 環境工学研究論文集, 41巻, 2004.

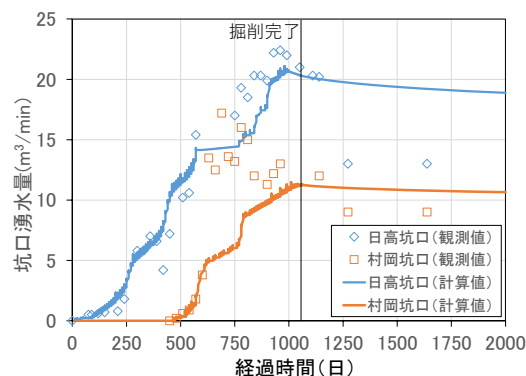


図-2 坑口湧水量の比較

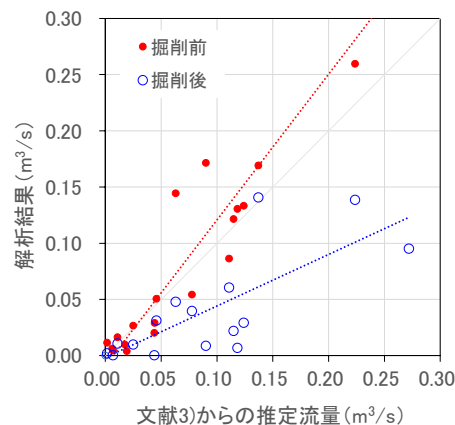
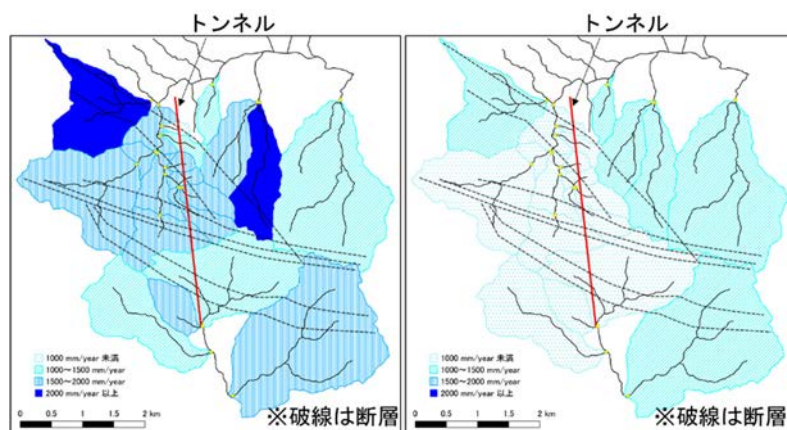


図-3 河川流量の比較



(a) 観測値(文献3))

(b) 解析結果(掘削後定常)

図-4 河川比流量の比較