

トンネル施工によるため池湧水への影響に関する広域三次元浸透流解析

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング ○八巻翔太、高崎汐織、孫 躍、大森将樹

1. はじめに

臼杵トンネルは、大分県臼杵市を通る全長約2kmのトンネルである。現在現場では、既存の臼杵トンネル（以下Ⅰ期線）の北に新たなトンネル（以下Ⅱ期線）を施工中である。トンネル起点側には岩屋川溜池があり、湧水が確認されている。この溜池の水は、周辺住民が農業用水として使用している。このような状況の中、現在施工中のトンネルが岩屋川溜池の湧水量に影響し、溜池の水量が減少するのではないかと懸念が上がっていた。

そこで筆者らは、調査で把握することが困難な広域の地下水流動を三次元浸透流解析で再現し、トンネル築造後の溜池の湧水量への影響を検討した。ただし対象の現場は調査情報が少なく、限られたデータでモデル作成や妥当性検討を行う必要があった。そこで本稿では、実施した浸透流解析の内容について述べるとともに、特に今まで述べられた事例が少なかった山岳地域の初期水位設定手法にも着目し、その課題の対応策について併せて述べる。

2. 解析概要

(1)解析モデルの作成

モデル範囲は、図-1に示す範囲¹⁾とした。青線で示す解析メッシュモデル境界は、溜池とトンネルを含み尾根や河川を通るように設定した。赤線で示す地質構造モデル境界は、解析メッシュモデルを含むように東西方向3.5km、南北方向2.5kmとした。地質構造モデルは、通常調査ボーリングデータを用いて作成するが、データが溜池周辺の一部のみであったため、現地踏査を実施することで情報を補った。踏査で着目したポイントは、露頭と湧水地点である。露頭は、地質構造モデルの作成以外に水理パラメータ設定の参考にした。湧水地点は、水理パラメータと初期水位の設定の参考にした。また、広範囲の地質分布は既往文献（産業技術総合研究所 5万分の1地質図や、過去に作成されたトンネル周辺の地質図等）を参考に作成した。作成した地質構造モデルを図-2に示す。

解析メッシュモデルは、池周辺とトンネルが細かく分割されるようにメッシュを切り、地質構造モデルの地質材料分布を反映させた。また、トンネルに該当する要素は地質材料を与えず、空洞とした。作成した解析メッシュモデルを図-3に示す。モデルは、節点総数4,233,496、要素総数4,101,120、層数41とした。

モデルの境界条件は、地表面を降雨浸透境界、底面を不透水境界、側面の尾根を定流量境界、河川と低地を水位固定境界とした。

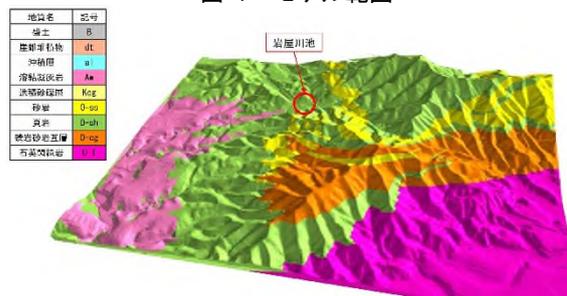
図-1 モデル範囲¹⁾

図-2 地質構造モデル

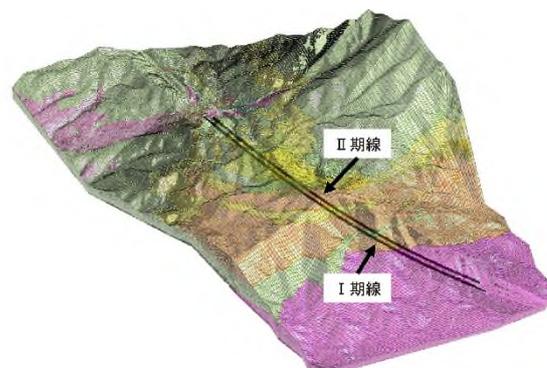


図-3 解析メッシュモデル

(2)初期水位の設定

浸透流解析を実施するためには、モデルの節点に初期水位を与える必要がある。本来は観測データを基に水位を設定し、定常解析で初期水位を得るが、今回は観測データが少ないため、初めから浸透流解析によって初期水位を設定した。山岳地域の地下水分布は地形に依存するという特徴を考慮し、解析モデルをある程度飽和させた状態から一定降雨で解析を実施するという方法を採用した。降雨は、解析期間の平均降雨量を使用した。現地踏査で標高の高い場所に湧水を確認したことから、解析によって山地の地下水位が下がりすぎないように留意した。一定降雨の解析によって初期水位を設定する利点は、地形沿いの地下水位分布を得られるだけでなく、モデル全体で安定水位を得られることである。モデル全体の水位が安定しない場合、計算は収束せず正しい結果が得られ

ない。設定した初期水位の妥当性は、後述する現況解析で評価した。

(3)解析実施

浸透流解析は、現況解析と予測解析の2段階で実施した。解析流出量は、図-4に青枠で示す池全体からの流出量を検討対象として計算した。

現況解析は、モデルと水理パラメータの妥当性評価を目的とし、I期線のみ開通した状態のモデルに対して、観測湧水量と解析流出量のフィッティングを実施した。湧水観測の約1か月前に現場で池の水を排水していたため、解析も同様の条件下で実施した。期間は、観測日を含む2か月とし、降雨データは気象庁臼杵観測所のデータ²⁾を使用した。

予測解析は、湧水量の検討を目的とし、現況解析と同一のモデルとII期線も開通したモデルの2つを使用して1年間の非定常解析を実施した。II期線開通後のモデルに対し、裸工と通常施工の2ケースの計算を実施した。降雨データは、臼杵観測所において直近10年間で最も年間降雨量の少ない2022年のデータを採用した。少ない降雨量データを採用した理由は、降雨による水の供給量が少なくても湧水量が減少しなければ池の水が不足する可能性が低いと判断できるためである。

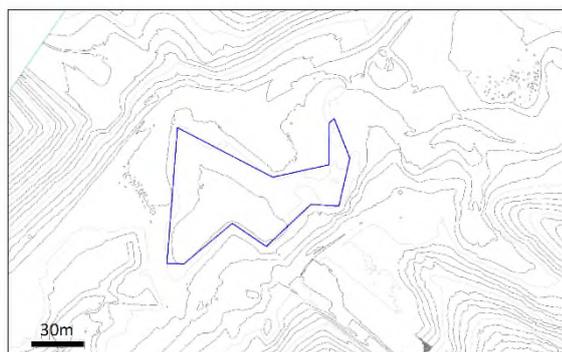


図-6 流出量計算範囲

3. 検討結果

(1)現況解析

フィッティングに使用した観測値は、2/25に現地で測定した湧水量75L/minである。解析流量の経時変化を図-5に示す。現況解析の結果、2/25の解析流出量は約73L/minとなり、観測値との流量差を約2L/minまで抑えることができた。よって、作成したモデル、設定したパラメータおよび初期水頭は妥当であると判断した。この時のパラメータを使用して、次の予測解析を実施した。

(2)予測解析

予測解析の結果を図-6に示す。緑線は現況解析と同一のモデル、赤線はII期線も開通したモデル（I・II期線モデル）を使用して解析した結果を示す。

II期線掘削後、裸工の状態とした場合(図-6 上グラフ)は、I期線のみの場合に比べてII期線掘削後の流出量が減少する結果となった。しかし、このケースはトンネル

施工後に吹付けコンクリート等の処理を実施しない場合を想定しており、通常施工では考えにくい状態である。すなわち、ここで示す値はII期線掘削が原因で湧水量が減少する場合の最小流出量であると言える。

一方、II期線掘削後、通常施工が完了した場合(図6下グラフ)は、I期線のみの場合に比べてII期線掘削後の流出量がやや増加する結果となった。I・II期線モデルは、トンネルと地盤の境界を不透水境界として計算している。流量が増加した原因は、II期線が地下水流動の障害となり、流動方向が変化したことによる地下水水位の上昇と考えられる。以上の結果より、II期線の通常施工が完了した場合、湧水量は減少しないと考えられる。

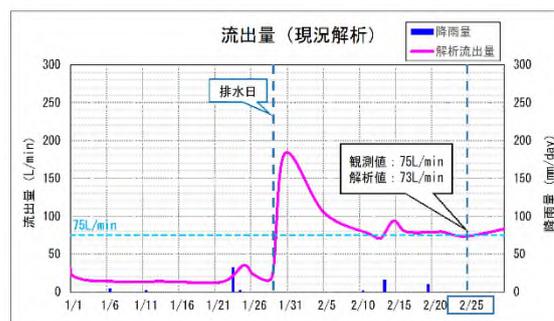


図-4 流量経時変化 (現況解析)

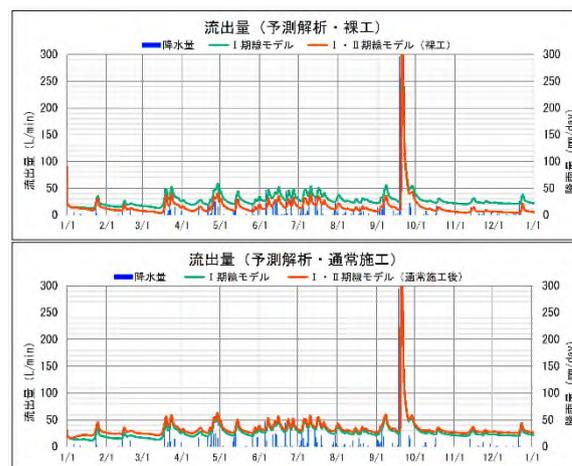


図-5 流量経時変化 (予測解析)

4. おわりに

本件では、トンネル掘削に伴う湧水への影響を検討した。検討の結果、トンネル築造による池湧水量への影響はないと結論付けた。今後の展望として、より高精度な山岳地域の初期水位設定手法の確立を目指したい。また、モデルやパラメータの妥当性評価について、何を根拠に妥当であると判断するのかという指標は現在のところ存在しない。妥当性の評価方法は、今後も検討していく必要があると考えている。本稿が、今後山岳地域の浸透流解析を行う上で参考になれば幸いである。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院地形図 (に加筆), (最終閲覧日2023年6月11日), <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>.
- 2) 気象庁アメダス: 観測地点「臼杵」(最終閲覧日2023.6.11), <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>.