

トンネルの施工に伴うタンクモデルを用いた工事影響検討

株式会社ダイヤコンサルタント ○小玉 聡, 梅沢 晃司, 遠藤 理
中日本高速道路株式会社 前川 和彦, 小林 綾乃

1. はじめに

トンネルの施工では、水利用への施工影響を判断するために施工前後における保全対象の流量・水位等の変化を捉えることが重要である。これに対し、本業務では、水文調査（流量観測、地下水位観測等）を実施した。その結果、地下水位および河川流量は降雨と相関する傾向が認められたため、タンクモデルによる影響判定が最適と判断し、予測解析を実施した。予測解析の結果、再現期間における予測と実測の観測結果に乖離は少なく、タンクモデルが精度よく検証できることが分かった。

2. 水文調査

水文調査における流量観測は断面法、容器法、三角堰法を用いて実施した。断面法を実施した観測地点では自記水位計を設置し、河川水位を計測した（1回/h）。計測した河川水位と断面法による流量から1時間毎の河川水位を流量に換算している。換算された流量は、後述する「工事影響判定検討」におけるタンクモデルの構築に利用するためである。地下水位観測はテスター式水位計（1回/月）および自記水位計（1回/h）を用いて観測を実施した。

3. 流量観測および地下水位観測結果

観測結果について、以下の傾向がみられた。

- (1) 自記水位計観測（1回/h）による流量および河川水位は降雨後1時間以下の時間差で明瞭に増加している。
- (2) 観測頻度（1回/月）による流量および地下水位も不明瞭ではあるが降雨後の観測値に増加がみられた。
- (3) 断面法による流量と河川水位は概ね連動している。
- (4) ほとんどの観測地点で観測値の季節変動がみられ、渇水期（12月～2月）は観測値が小さくなり、豊水期（6月～10月）は観測値が大きくなる傾向がみられた。

観測結果の一例と降雨との関係を図-1 に示す。

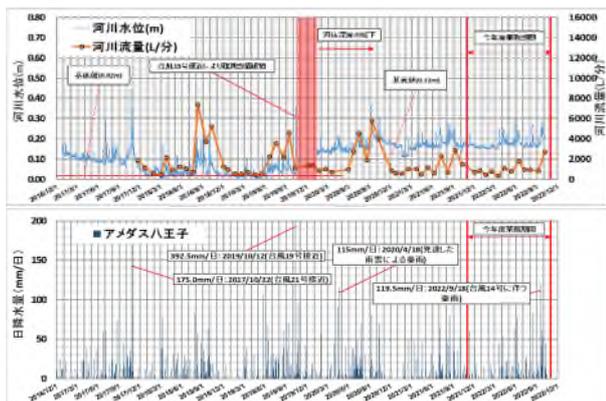


図-1 流量観測結果¹⁾

4. 工事影響判定検討

観測結果より、地下水位および河川流量は降雨と相関する傾向がみられたため（図-1）、水利用への施工影響についてタンクモデルによる、予測解析を実施した。トンネル施工前の流量観測結果と降水量を用いて、降水量と流量観測値との関係をタンクモデル法による流出解析により構築した。

(1) 検討範囲

トンネル施工による影響範囲、連続流量観測箇所および水利用のある流域であることを考慮し、表-1および図-2に示す5箇所とした。

本検討では、トンネル掘削による影響を評価するため長期流出解析を実施することとし、1時間間隔で取得しているデータから日平均流量を計算し、基底流出に着目した再現を行った。

表-1 タンクモデル構築箇所

	測定方法 (1時間間隔)	集水面積 (km ²)	
1	調査地点 A	水位	5.434
2	調査地点 B	水位	1.467
3	調査地点 C	流量	0.272
4	調査地点 D	流量	0.362
5	調査地点 E	水位	0.956



図-2 タンクモデル構築地点及び集水域

(2) 設定条件

設定条件はタンクモデル形状、気象条件、流域面積（表-1）、再現期間であり、以下に示す通りとした。

・タンクモデル形状

図-3に示す直列4段タンクモデルとした。観測地点の地下を通る下流側への流出や既設トンネルへの流出を考慮し、第4段タンクの下部に漏水孔のあるモデルを用いた。

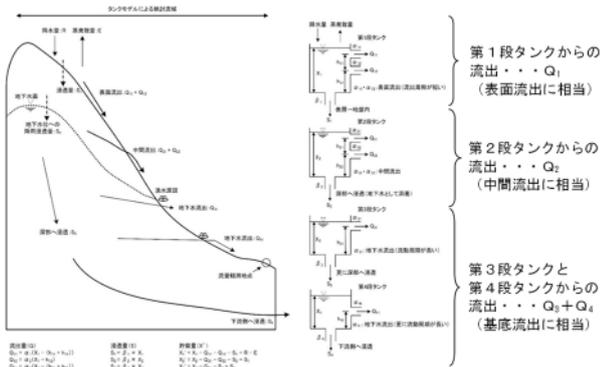


図-3 直列4段タンクモデル形状

・気象条件

降水量はアメダス「相模湖」の日降水量データ、蒸発散量は、Hamon 法を用いて平均気温および可照時間から算出した。気温はアメダス「八王子」のデータ、日照時間はアメダス「千葉」のデータを用いた。

本検討では、Hamon 法から算出された可能蒸発散量に、経験的な係数の中間値0.65を乗じた値を蒸発散量としてタンクモデルへ設定した²⁾。式-1に Hamon 法の式を示す。

$$Ep = 0.14D^2Pt \quad \dots \text{式-1}$$

- ここで、 Ep : 蒸発散能 (mm/day)
- D : 可照時間 (1日当たり12時間の可照時間を1としたときの可照時間の割合)
- Pt : 平均気温に対する飽和絶対湿度 (g/m³)
- $Pt=10(0.0275T+0.70945)$
- D : 平均温度 (°C)

・再現期間

解析は2016年12月26日～2021年9月5日までの期間を実施した。再現期間は2019年10月12日の台風19号により被災した観測施設が復旧した2020年1月29日～2021年9月5日の19ヶ月間程度とした。

(3) 計算方法及び妥当性検証方法

タンクモデルによる流出解析では、計算流量が実測流量に近似するように各パラメータを調整する。

タンクモデルの計算流量は、第1段～第4段タンクからの流出流量の総和 (表面流出+中間流出+基底流出) を比較しながら設定した。

タンクモデル解析結果の妥当性は、低水部の適合度を重視する平均相対誤差法によって検証した。検証誤差のシキイ値は平均相対誤差25%以下とした。式-2に平均相対誤差法 (RM) の計算式を示す。

$$RM = \frac{1}{n} \sum \frac{q_n - \hat{q}_n}{q_n} \quad \dots \text{式-2}$$

ここで、 n : データ数, q_n : 実測流量, \hat{q}_n : 計算流量

(3) 解析結果

全地点において、タンクモデルの計算結果は平均相対誤差のシキイ値を超過する結果となった。調査地点 A を除く4地点においては、低水流量が若干小さめに計算され

る傾向があるものの、概ね実測流量を再現する結果であった。そこで、調査地点 A の除く4地点については低水流量をフィッティングするよう第4段タンク浸透孔を微調整した。その結果、水位-流量の関係が安定しておらず、時系列の流量値にバラツキがある調査地点 A を除き平均相対誤差のシキイ値を満足しており、予測と実測の観測結果との間に乖離は少ない結果となった。表-2にパラメータ一覧、図-4に計算結果を示す。

表-2 タンクモデルパラメータ一覧

	調査地点 A	調査地点 B	調査地点 C	調査地点 D	調査地点 E
流域面積 (km ²)	5.434	1.467	0.272	0.362	0.956
①: 第1段タンク浸透孔1	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
②: 第1段タンク浸透孔2	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
③: 第1段タンク浸透孔	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
④: ①～③の高さ	5	5	5	5	10
⑤: ④～⑥の高さ	10	10	10	10	10
⑥: 第2段タンク浸透孔1	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
⑦: 第2段タンク浸透孔2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
⑧: 第2段タンク浸透孔	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
⑨: ⑥～⑧の高さ	0	0	0	0	0
⑩: 第3段タンク浸透孔	0.010	0.050	0.050	0.050	0.015
⑪: 第3段タンク浸透孔	0.1	0.1	0.1	0.1	0.015
⑫: ⑩～⑫の高さ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
⑬: 第4段タンク浸透孔	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01
⑭: 第4段タンク浸透孔	0.005	0.008	0.002	0.005	0.001
⑮: 第1段タンク_初期水頭	0	0	0	0	0
⑯: 第2段タンク_初期水頭	0	0	0	0	0
⑰: 第3段タンク_初期水頭	5	5	5	5	5
⑱: 第4段タンク_初期水頭	60	50	40	40	50
平均相対誤差					
2019年台風19号以降 (2020年1月29日～2020年9月5日)	22.5%	2.6%	17.6%	9.5%	22.5%
平均相対誤差					
2019年台風19号以降 (2020年1月29日～2021年9月5日)	63.4%	21.7%	19.2%	11.7%	14.7%

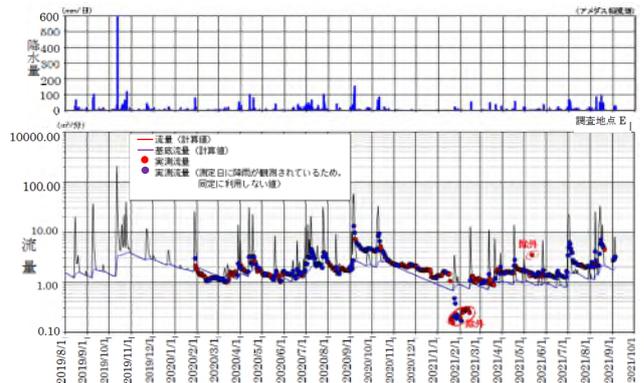


図-4 タンクモデル計算結果¹⁾

5. まとめ

トンネル施工に対する水利用の影響を捉えるために、水文調査を実施した。その結果、地下水位観測および河川水位は降雨と相関する傾向が見られたため、タンクモデルによる影響判定の予測解析を実施した。予測解析の結果、再現期間における予測と実測の観測結果に乖離は少なく、タンクモデルが精度よく検証できることが分かった。なお、現時点では、トンネル掘削による周辺の水環境への影響はみられない。

《引用・参考文献》

- 1) 気象庁アメダス：観測地点「八王子」、「相模湖」(最終閲覧日2023.6.1), <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 2) 新井正 (2004) : 地域分析のための熱・水収支水文学, p. 58, 古今書院。