

トンネルの湧水量予測のための SWING 法の開発およびその実トンネルへの適用

西松建設 正会員 木村 哲 明石 健
 水文技術コンサルタント 正会員 高橋 健二
 京都大学 正会員 ○小山 倫史 大西 有三

1. はじめに

山岳トンネルの湧水に関して、集中湧水による工事への影響や渇水などによる地表環境への影響などがしばしば問題となる。しかし、山岳トンネルの地質は一般に不均質であり、水理特性を完全に把握することは困難であるため、湧水の予測は難しいとされている。本研究で開発を行った SWING 法(System for Water Information of Ground)¹⁾は、トンネル地山全体の水循環系を考慮した新しい地下水情報化施工方法であり、坑内湧水量、地下水位、地表水などを水理式で連立し、地表および地下の全体系からトンネル湧水とその影響を評価するものである。本論文では、SWING 法を実際のトンネル建設工事に適用し、その有用性について検証を行った。

2. SWING 法の概要

SWING 法は、浸透流解析や修正タンクモデル等に代表される地盤モデルを用いた数値解析法ではなく、実際のトンネル掘削により発生した湧水量を基に、トンネル進捗距離を単位スライスボリュームとして、水理定数(透水係数や有効間隙率)を決定し、これにより地下水に関わる諸情報(地下水位低下量や低下範囲、地表水減少量など)を求め、予測結果と実測値(沢水流量、地下水位)や現況の渇水影響と検証し、更に将来予測計算を行うというトンネル地下水解析方法である。トンネル湧水量および基底流量の算出にはそれぞれ以下に示す Dupuit の準一様流解析に基づく式および不貫通井戸や開渠の水理公式を用いる(図-1 および図-2 参照)。

$$q(t) = \frac{k(H_0^2 - h_0^2)}{2L(t)} = \frac{k(H_0^2 - h_0^2)}{2 \left[\frac{k(H_0^2 - h_0^2)}{2\varepsilon} \left\{ 1 - e^{-6\varepsilon t / \lambda e(H_0 - h_0)} \right\} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

$$S_p(t) = \frac{\pi K (H_A^2 - h^2)}{\ln(R/r)} \cdot \frac{\theta}{360} \cdot \frac{1}{A} \quad (2)$$

ここに、 k : 地盤の透水係数、 h : 地下水位、 h_0 : 不透水性基盤からトンネル底盤までの距離、 H_0 : 初期地下水位、 q : 単位スライスボリュームのトンネル湧水量、 L : 単位スライスボリューム内で発生する地下水位低下区間(以上、図-1 参照)、 λe : 有効空隙率、 ε : 降雨浸透率、 θ : 流域開口角、 A : 流域面積、 R : 流域幅、 r : 平均河道幅である(以上、図-2 参照)。

3. トンネルの概要

本研究で対象としたトンネルは千葉県南部の丘陵地帯に位置し、トンネル部の丘陵標高は70~120m程度で、土かぶり厚は50~70m程度である。図-3に地質縦断図を示す(砂岩の一軸圧縮強度は2.6~2.7 MPa、トンネルキーワード SWING 法、地下水、トンネル掘削、情報化施工

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂4, C1-II 棟 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 TEL:075-383-3306

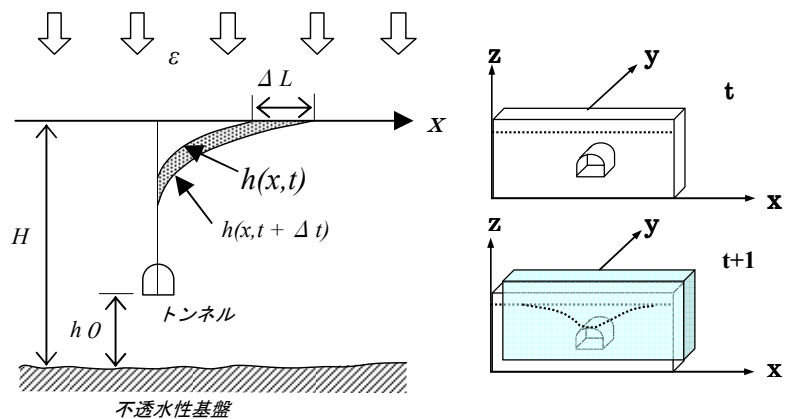


図-1. スライスボリュームにおけるトンネル湧推量の算定方法.

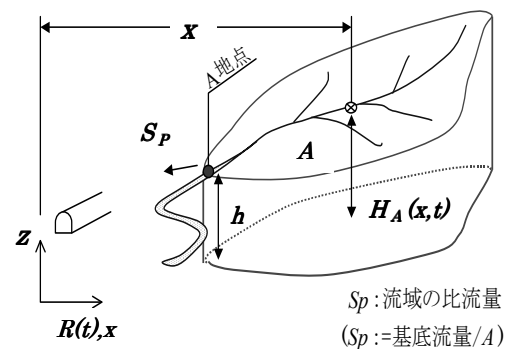


図-2. 沢水流量の算定法.

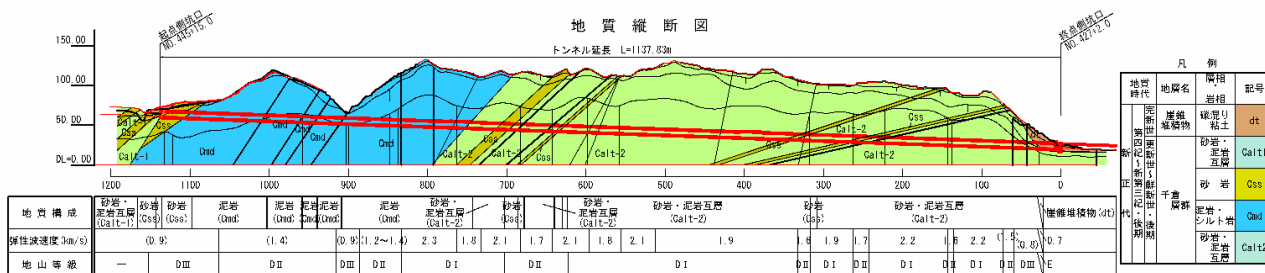


図-3. 本研究で対象としたトンネルの地質縦断面図。

の地山等級は DI～DII)。掘削開始当初、トンネルの全体湧水量は濁水処理設備の容量(500l/min)の範囲で十分納まると考えられていたが、TD340m付近の切羽から湧水が増加し、トンネル坑内より排出される濁水量が急激に増加した。そのため、濁水処理設備増強を余儀なくされ、将来のトンネル湧水量予測を行う必要が生じた。

4. SWING 法による湧水予測

SWING 法による湧水予測結果を、図-4 に示す。SWING 法ではスライスボリュームごとに切羽湧水量を加算するため、鋸歯状の変動が認められる。トンネル掘削の後半では、予測値は概ね 900～1200 l/min の幅で変動していることがわかる。これに対して実測値は主に岩判定ごとに不定期に観測されたデータであり、予測値と実測値を詳細に対比するにはやや無理があるが、全体を通してみると全体湧水量は比較的精度よく予測されていることがわかる。トンネル掘削の後半において増設した濁水処理プラントの稼動により詳細な濁水処理量データを得ることが可能となり、湧水量が増加したトンネル掘削の後半の濁水処理量は 986～1243 l/min の範囲で変動していたことが判明した。これより工事用水分を考慮して、実際の湧水量を 900～1200 l/min と見積もることができ、これは SWING 法による湧水量予測値 900～1300 l/min と概ね合致する。次に SWING 法による坑口湧水量の長期にわたる経時変化の予測結果を図-5 に示す。トンネル貫通後の坑口湧水量は徐々に減衰傾向を示し、約 1.5 年で 400 l/min 程度まで減少する。その後、降雨量の多寡により、降雨直後に最大 500 l/min 強まで増加するが、ほぼ 250～300 l/min 程度で恒常湧水量を示すものと予測される。なお、降雨条件については、将来の降雨を予測することはできないため、ここでは、施工期間中の降雨を繰り返し用いた。SWING 法はトンネル湧水量予測だけでなく地下水位低下や沢水流量の変化も同時に予測できる方法であり、本トンネルについても予測を実施したが紙面の都合上、結果は省略する。

5. おわりに

SWING 法は山岳トンネルの工事における地下水に関わるトラブルに対して迅速に対応することが可能なシステムであり、今後のトンネル施工で重要な役割を担っていく可能性がある。

参考文献

- 1) 高橋健二, 大西有三, 安田 亨, 熊 俊: 山岳トンネルの地下水情報化施工簡易システム(SWING)の構築, 土木学会 地下空間シンポジウム論文・報告集, vol.13, pp.147-150, 2008.

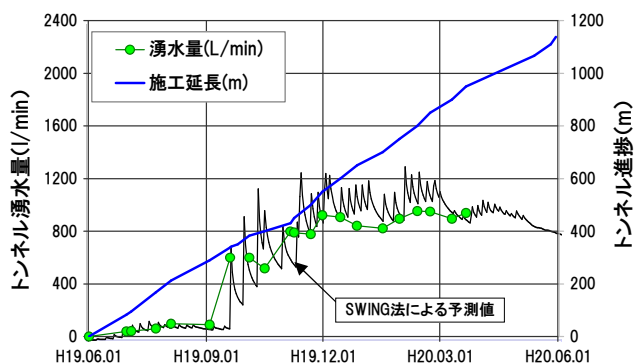


図-4. SWING法予測値と実測湧水量との比較。

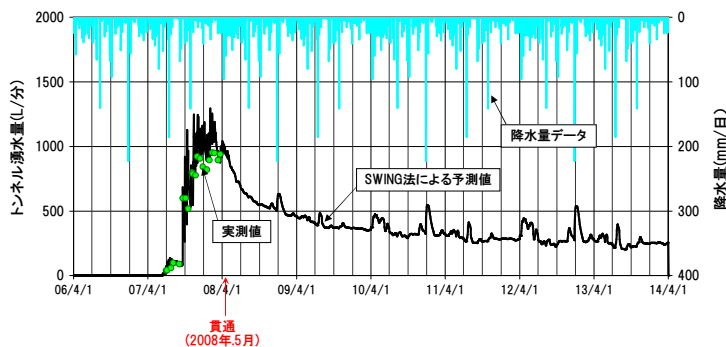


図-5. トンネル進捗に伴う坑口湧水量。