

山岳トンネルにおける地下水情報化施工法の提案

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 安田 亨 正会員 高橋 健二
 京都大学大学院 正会員 大津 宏康 正会員 大西 有三

1. 地下水情報化施工法の提案

山岳トンネル工事に関する地下水問題は、施工面では大量湧水に伴う切羽崩落防止対策やトンネル排水の処理などが課題である。また、周辺環境面では地下水排水に伴う周辺水環境への損傷、既設水源に及ぼす地下水影響が挙げられる。こうした地下水問題に対する評価法としては、主として数値解析法が挙げられるが、ある規模の地盤モデルの作成やデータ処理などの労力が必要となる。したがって、従来は殆ど事前評価に始終し、工事中の逆解析や検証解析が実施されたケースは少ない。増してや施工中の実績データを反映した影響評価を行うことは現状の解析ツールを用いても困難である。こうした背景を鑑み、本研究では、地下水問題への対応を考慮しつつ、合理的な施工を目的とする山岳トンネルにおける地下水情報化施工法(SWING法と呼ぶ)を提案する。

2. 地下水情報化施工法に適用した解析モデル

SWING法は、差分法や有限要素法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、トンネル掘削により発生した湧水量を基に、トンネル進行距離を単位スライスボリュームとしてモデル化し、施工実績から得られた水理定数を基に、スライスボリュームにおける地下水位低下範囲や低下量、及び沢水減少量を求める方法である。さらに、施工実績から既施工区間の見直し、及び未施工区間の予測を繰り返し行う方法である。

(1) トンネル湧水量と地下水位低下量の算定方法

SWING法では掘削に伴うトンネル湧水に関する流動メカニズムを捉えるために図-1に示す1次元非定常流を考える。降雨浸透量とすると、任意時間 t におけるトンネル湧水、及び地下水位は式(1)~(2)から求められ、各スライスボリューム内におけるトンネル湧水量の低減特性が計算できることになる。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、 e :有効空隙率、 θ :降雨浸透率、 R :流域幅、 r :河道幅、 α :流域開口角、 A :流域面積、 Sp :比流量、但し、ここで水循環要素として降雨浸透率を考慮する必要があり、SWING法では地表部における限界貯留高とホートン流出をモデル化した1次元タンクモデルを適用し、降雨波形に応じた降雨浸透率を採用する。さらに図-2に示すとおり、トンネル掘削距離を経時変化パラメータとして順次算出する。

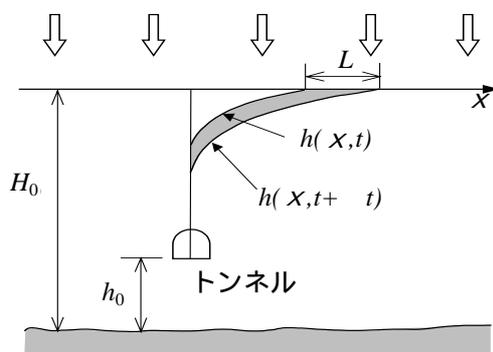


図-1 単位スライスボリュームにおけるトンネル湧水量の算定方法

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

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

$$Sp(t) = \frac{\pi k(H_0^2 - h^2)}{\ln(R/r)} \cdot \frac{\theta}{360} \cdot \frac{1}{A} \quad (3)$$

(2) 表流水への算定方法

SWING法における表流水への影響量は、(3)式に示す不貫通井戸の水理公式で近似する。すなわち、任意流域内

キーワード トンネル, 地下水, 地下水情報化施工法

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 4-3-24 パシフィックコンサルタンツ(株) TEL06-6886-8436

の地下水位低下量を算定し、この流域における基底流量（比流量）の減少量を算定する。但し、表流水は降雨に伴う変動が著しく、これを解決するため流量観測地点毎に4段タンクモデルを結合し、基底流量の減少に伴う表流水本来のハイドログラフから流量変動を求める。

3. 地下水情報化施工法によるトンネル湧水、地下水位、表流水の影響評価

(1) トンネル湧水量の変動解析結果

トンネル進捗に伴うトンネル湧水について、実績値と SWING 法による予測値を対比して図-3 に示す。同図は施工中における工事の進行距離とトンネル湧水量であり、実績値は坑口湧水量である。多数の重なりが認められる湧水量は、SWING 法による予測値であり、各スライスボリュームにおける区間湧水量とそれらを積算した坑口湧水量である。さらにトンネル貫通後における将来的な水量の推移を合わせて示している。施工時に集中湧水が発生した区間やトンネル全体の湧水量の減衰傾向が予測されている。実際のトンネル工事では進行と共に、吹付けや覆工が実施されるため、区間湧水量が計測できないことが多く、坑口の合計湧水量だけ指標とする SWING 法を援用することで、掘削実績を考慮した坑口湧水量と区間湧水量の相関が評価可能となる。

(2) 地下水位、表流水の変動解析結果

図-4 には SWING 法における地下水位、及び表流水の予測結果と実績値を対比して示している。同図からみて表流水、及び地下水位とも十分に実用レベルで合致した予測結果である。両地点ともスライス座標系の任意地点の予測結果である。

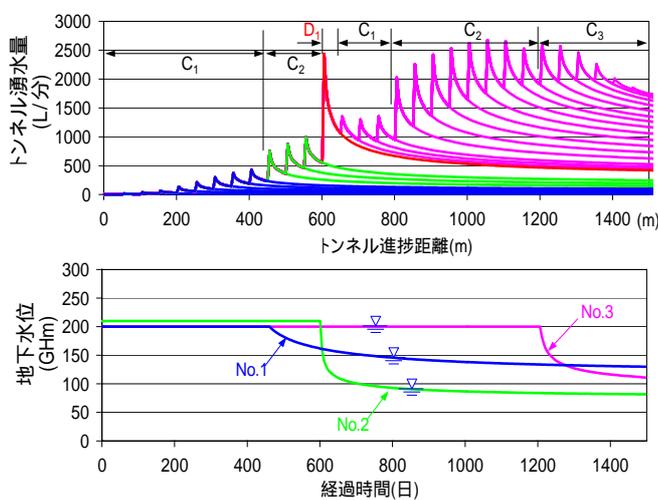
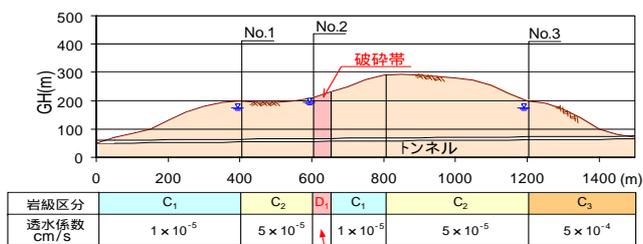


図-2 SWING 法の手順

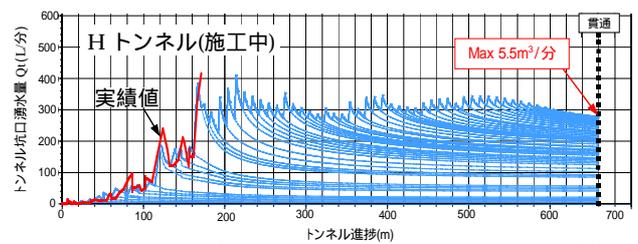


図-3 SWING 法によるトンネル湧水量の予測結果

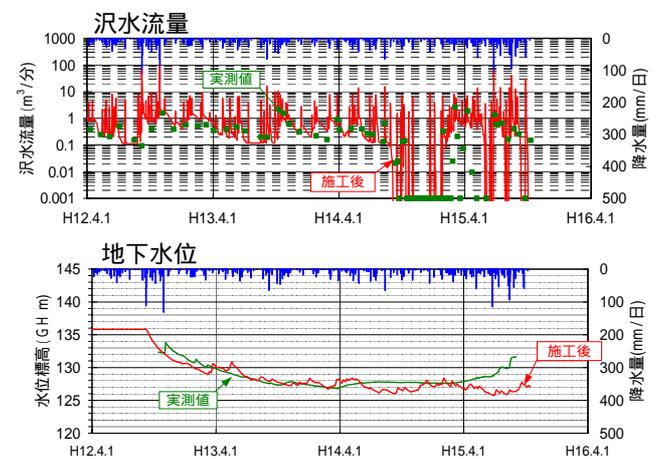


図-4 SWING 法による表流水、地下水位の変動予測結果

4. まとめ

従来の地下水数値解析は、工事開始前の事前評価として多用され、工事開始以降は、予測結果との整合性を議論することはあっても、解析所要時間等の関係から掘削実績を再評価するまでには至らないケースが多い。これに対して SWING 法は、簡便に掘削実績を組み入れることが可能であり、掘削実績を基に周辺の水環境問題や経済的、且つ施工に有益な地下水評価が可能であり、施工面、環境面を考慮したきめ細かい地下水情報化システムとして利便性の高い評価手法と考えている。加えて、施工中の再評価による信頼性の向上によって、コストオーバーランのリスクを低下させることから、環境保全に向けた事前対策の取り組みが前進するものと考えている。

参考文献 1) 箕面トンネルにおける地下水情報化施工法 (SWING 法) の開発, 土木学会第 58 回年次学術講演会, III-016