

GISを利用したトンネルの時空湧水予測システムの開発

九州大学工学部 学生会員○津島 博志 九州大学大学院 正会員 江崎 哲郎
九州大学大学院 正会員 周 国云 九州大学大学院 非会員 張 曉兵

1. はじめに

近年、トンネル工事の際に、環境問題が重要視されるようになってきている。特に、トンネル工事による湧水は周辺の住民の生活環境に大きく関わる。そのため、トンネル掘削に伴う湧水量の定量的予測をしていた時代から、この定量的予測に加えて湧水、湧水の関連性、さらにはトンネル工事による周辺住民の生活環境への影響評価の予測までも必要とされる時代になってきている。その結果、トンネル湧水やそれによる湧水を水循環の中でとらえ総合的に考えなければならず、そのためには処理するデータの量も膨大になるので合理的かつ効率的な予測システムが要求される。

また、このような総合的な湧水予測を行った研究例として大島¹⁾の研究が挙げられるが、この研究では、1)トンネルを中心に解析領域を設定し、流域境界を考慮していない。そのため降雨による地下への浸透を明確に算出できない。2)井戸の公式を利用してトンネルの湧水量を算出している。しかし井戸の公式は垂直に掘られた井戸に適用すべきものでトンネルのように横に掘るものに適用して厳密に計算できるとは考えにくい、などの問題点がある。本研究ではGIS(地理情報システム)と三次元数値解析を導入して、その問題点を改良し、新たな時空トンネル湧水予測システム(Fig.1)を提案し、実際の施工事例に適用してこの妥当性を検証した結果を示す。

2. 時空トンネル湧水予測システムの構築

2.1 GISの導入

水収支を考慮してトンネル湧水を求めるには膨大な量のデータが必要となる。まず、新しい情報技術であるGISを導入することにより、解析に必要なデータの管理が容易になる。次に、土地利用、流域区分などの解析を行い、三次元地下水流動モデルの構築に必要な基礎データを準備する。また、数値解析では限定される結果の表示もGISを用いることにより効果的に多様に表現することができる。

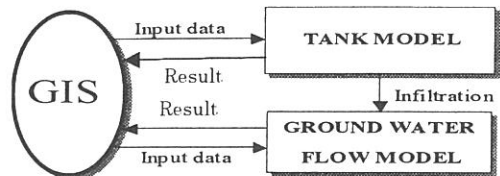


Fig.1 Principle of system integration

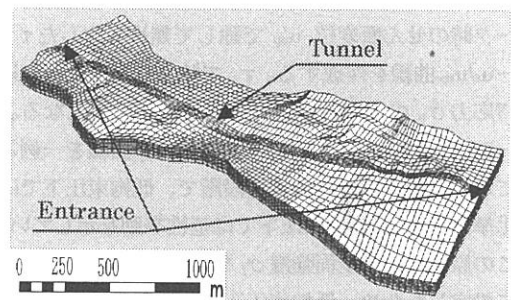


Fig.2 3D mesh of groundwater model.

2.2 境界条件の設定

本研究で提案する予測システムでは前述の1)の問題に対処するために、対象となる流域の水収支を考慮し浸透量を算出する。解析領域の設定はトンネルを含む領域の河川、流域を境界として設定する。

また、土地利用、蒸発散、河川流量、降水等のデータを収集し、4段タンクモデルを用い降雨による流出過程のシミュレーションを行い、3段目の出力を地下水への涵養量として時間毎に算出し、地下水流動解析モデル(Fig.2)に入力する。

2.3 湧水量

トンネルの三次元形状を正確にモデル化し、トンネル空間の境界を大気圧、つまり間隙水圧をゼロに設定する。そして三次元差分数値解析法を利用して湧水量を算出する。その結果、掘削進行に伴う切羽ごとに湧水量を求めることができ時空的な考察が可能となる。

2.4 地下水位の時系列的変動

GISを用いることで一般にはわかりづらい時空的な地下水位の変動の可視化が可能となる。さらに、これを基にトンネル掘削することによる地下水位低下の影響範囲も算出し、表示することができる。

3. 計算例

本研究で提案する予測システムを実際の施工事例（ここでは九州新幹線の田上トンネル）に適用して実測値と比較検討を行う。

3.1 地質特性

今回解析を行ったトンネルは、特殊地質の一つであるシラスからなる台地を通過するものである。一般的な地山に比べると透水係数が大きいため地下水面がかなり低くなっているのが特徴である。ここでのシラスは、主として軽石流堆積物の弱溶結部のものを指す。

3.2 入力値の設定

入力値として設定しなければならないものに透水係数、間隙率、地下水位、涵養量、掘削ステップがある。ここで観測された湧水のデータが1ヶ月ごとのデータであったので掘削ステップもそれに合わせて1ヶ月ごとに設定した。その結果、1ヶ月の掘削長は約165mとなった。掘削ステップが1ヶ月ごとなので、涵養量も1ヶ月を時間刻みとして設定した。地下水位は河川水位、観測孔の水位からのデータをGISで補間して求めた。透水係数は現場実験から得られた透水係数 $k = 3.2 \times 10^{-4}$ (cm/s) 間隙率 $n = 54$ (%)とした。

3.3 考察

トンネル湧水が発生すると考えられるのはトンネルが地下水面を通過する区間である。その区間では工事の際に湧水が発生し、地下水位の低下が生じる。Fig.3 に示してある湧水量の変化を見ると、掘削終了までに発生する湧水量に多少の誤差があるが、全体的に比較するとほぼ実測値と一致していると言える。

次にGISを用いて地下水位の変動を検討した。結果の例をFig.4に示す。これは初期地下水頭と全線掘削終了時の地下水頭との差をとったもので、地下水位低下部分及び地下水位のコンターを示している。また、掘削の進行や時間経過による地下水の挙動も予測することができる。

4. 結論

GISと三次元数値解析法を連携して時空トンネル湧水予測システムの提案を行った。主な結果は次の通りである。

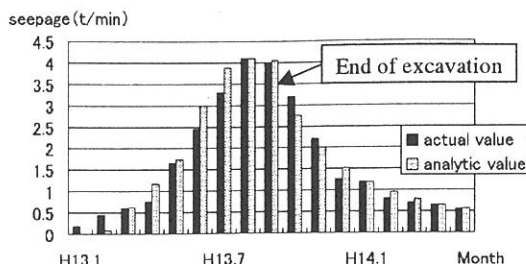


Fig.3 Variation of seepage.

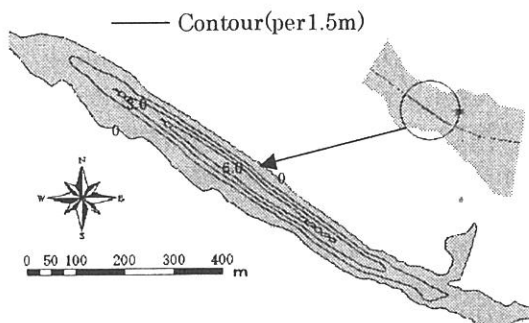


Fig.4 Difference of water table before and after excavation

- 1) GISを導入することにより、流域の分割、土地利用の区分、三次元モデルメッシュを作成するデータの準備、初期水位や地下水流動解析モデルの境界条件の設定などの格段の効率化を実現した。
 - 2) 従来の解析では不明確だった涵養の扱い方を流域別に考えて明確にすることにより解決し、地下水涵養タンクモデルを作成した。
 - 3) トンネル掘削過程における空間的変化と時系列的変化を考慮した地下水の非定常解析を可能として、実用的でかつ信頼性の高い湧水量の予測方法を提案した。
- また、実際の施工事例に適用することによって予測システムの妥当性を検証した。

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたって、資料を提供していただいた日本鉄道建設公団九州新幹線建設局に厚く御礼を申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 大島洋志：トンネル掘削に伴う湧水とそれに伴う水収支変化に関する水文地質学的研究，鉄道技術研究所報告，No1228，1983。