

トンネル周辺における水収支解析および掘削に伴う湧水量予測

九州大学工学部 学生会員 ○村上 あすか

九州大学大学院 正会員 江崎 哲郎 九州大学大学院 正会員 三谷 泰浩

鉄道建設運輸施設整備支援機構 永利 将太郎 九州大学大学院 非会員 津島 博志

1. はじめに

トンネル掘削時に発生する湧水は、工費、工期、安全性に大きな影響を与えるため、以前から湧水量予測の研究が行われてきた^{1)~3)}。しかしながら、近年は工事に関する湧水問題もさることながら、トンネル掘削を誘因とする湧水などの環境問題についても懸念されている。そのため、トンネルの建設および供用後のトンネル周辺の水循環の挙動を的確に把握し、周辺環境に及ぼす影響を定量的に評価することが求められている。

トンネル湧水は岩盤中の地下水の動きに左右され、地山の地質だけでなく周囲の気象状況、植生や土地利用などの影響を受ける。したがって、地山岩盤を適切にモデル化し、必要となる膨大なデータの管理を効率的に行えるトンネル湧水の解析手法が必要とされる。しかしながら、現在用いられている手法では、概略湧水量の予測しかできず、掘削の進行過程や湧水の種類などの位置関係が考慮できないなどの問題を有する。

本研究では湧水の予測手法として GIS (Geographic Information System) を導入し水収支解析と地下水流動の三次元数値解析を統合することにより、トンネル掘削に伴う湧水量、地下水位の変化を予測する手法を提案し、適用事例を示す。

2. 水収支解析および湧水量予測手法

2.1 GIS の導入

本予測システムの核となるのは GIS であり、GIS を用いて地形の空間モデルを作成し、水収支解析機能を用いて河川と標高データから流域を算出し、水収支解析や地下水流動解析の解析領域を設定する。また、解析により得られた地下水位低下量やその影響範囲などの結果を可視化する。このように GIS を用いて必要となる空間データを管理・分析するとともに水収支解析と地下水流動解析を統合することで解析の効率化を図る (Fig.1)。

2.2 水収支解析

トンネル掘削に伴う湧水量を正しく把握するため、トンネル周辺の水収支解析を行ない、水の流入から流出に至る過程を理解し、評価する必要がある。それにより求められた涵養量を地下水流動解析に用いる。

涵養量算出のために、降水量・蒸発散量をタンクモデルに入力し、算出された河川流量と実測の河川流量とを比較して各タンクの流出孔と浸透孔の係数を決定し涵養量を算出する⁴⁾。

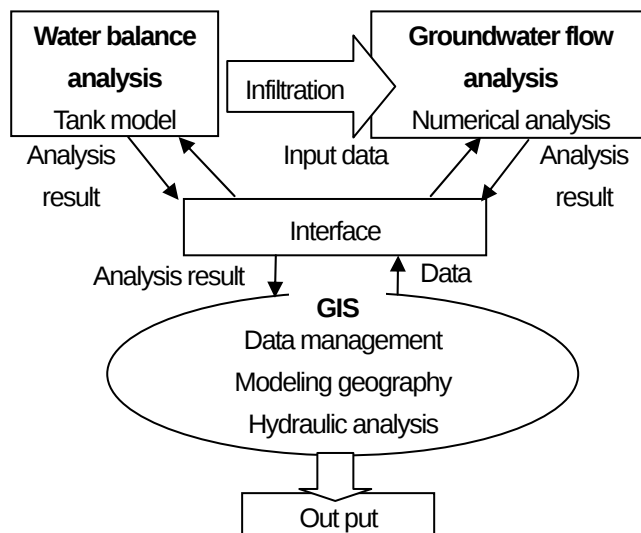


Fig.1 Relationship of the proposed systems

2.3 地下水流動解析

トンネル掘削による湧水量および地下水位の低下量を算出するために三次元の地下水流動解析を行う。解析に際しては、モデル作成、結果表示などのプリポストプロセッサとして GIS を利用する。解析では、トンネルの掘削過程を逐次再現し、有限差分法を用いた数値解析により湧水量を算出する。

3. 筑紫トンネルへの適用

3.1 筑紫トンネルの概要

筑紫トンネルは、九州新幹線鹿児島ルートに建設されるトンネルの1つである。地質は主に花崗岩類で形成されており、その区間には5つの大きな断層破砕帯が分布しているため豊富な地下水の存在が考えられ、地下水位の低下、河川流量の減少、生活・農業用水の不足など、トンネル掘削時の湧水が地表に及ぼす影響が懸念されている。

3.2 水収支解析

解析領域は、4つのトンネル工区に関連した流域を、河川流量の測定地点が集水点となるように修正し設定する (Fig.2)。

気象データはアメダスデータを用いるが、観測点である九千部山については雨量観測のみで冬季の観測データが欠けているため大宰府と久留米のデータを補正して用いる。河川流量については9箇所に設けられた観測所の観測データを用いる。蒸発散量の算出にあたっては、気温・風速・日照時間・降水量・水蒸気圧・アルベドをパラメータとするペンマン法を用いる。具体的には、ティーセン分割を用

いて流域を3つの観測点に分割し、用いる降水量と蒸発散量のデータを流域ごとに決定する。これを4段のタンクモデルに入力し、流域ごとの涵養量を算出する。

涵養量は1991年から2003年までの13年間の値が日ごとに算出されるが、これを流域ごとに月平均、年平均をとると、どの流域もほぼ1.5~3.0mm/dayの範囲に分布した。解析は月単位で行うので月平均の涵養量を地下水流動解析で用いる。

3.3 地下水流動解析

水頭固定となる河川、不透水境界となる尾根線をモデルの境界条件として解析領域を設定し、解析領域内に分布する5つの断層破碎帯を考慮しメッシュを作成する。また、強風化層・弱風化層・新鮮部・断層破碎帯についてそれぞれ透水係数と有効間隙率を設定し、地質モデルを構築する。

地下水流動解析の各部分モデルはそれぞれ複数の流域を含むので、水収支解析で求めた涵養量を地下水流動解析の上部境界条件として与える際には、モデルごとに含まれる流域の涵養量を平均し、メッシュの面積に対して比例配分して与える。

掘削は各工区とも実際の予定工期にあわせて月進100mとし、トンネル建設開始から終了後の2年間を含めた約6年間(73ヶ月間)について解析を行う。

3.4 解析結果および考察

解析結果として掘削開始から1100m経過した時点での河内工区の湧水量の予測結果と実測値との比較をFig.3に示す。また、トンネル掘削に伴う河内、山浦工区周辺の地下水位の変化をFig.4に示す。掘削初期では湧水量の実測値が予測値を上回っているが、掘削に伴って湧水量が増加する傾向を適切にとらえている。しかしながら、掘削長800m以降は急に湧水量が増加し、その後減少する傾向を解析ではうまく表現できていない。これは、解析に用いた涵養量は月平均の予測値であり、実際の掘進長との整合性がとれていないことが原因の1つとして考えられる。地下水位の変化は、両工区とも掘削区間周辺で地下水位低下が生じており、特に、山浦工区のトンネル周辺での地下水位低下が著しい。

4. 結論

GISを用いて地形・地質・水循環を考慮し、空間的・時間的変化を考慮したトンネル湧水量の予測手法を提案した。

水収支の境界を明確にし、流域ごとに解析することで地下水涵養量の時空分布を明らかにし、有限差分法を用いた数値解析により掘削過程や湧水位置を考慮した湧水量の算出が可能となった。

今後は、トンネル掘削に伴う湧水量の傾向について、実測値と予測結果の比較を行い、モデルやシステムの妥当性をさらに検証していく予定である。

参考文献

1)阿部謙夫：水文学，岩波書店，1933。

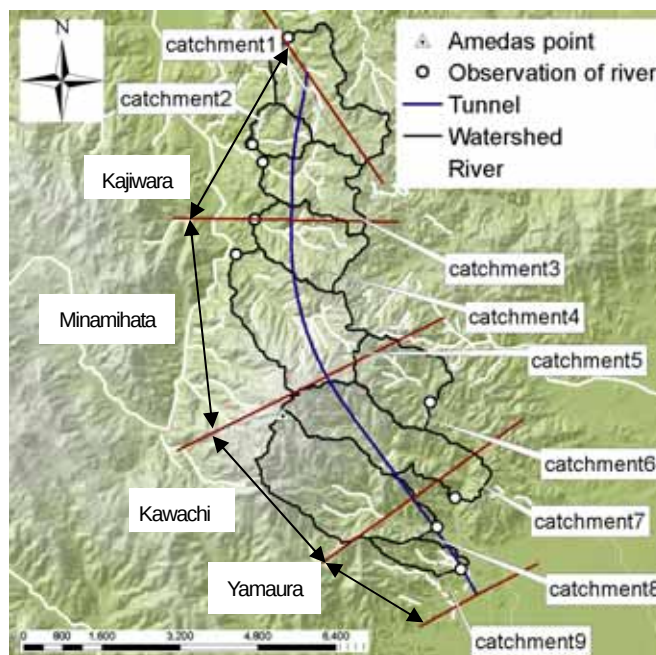


Fig.2 Analysis area

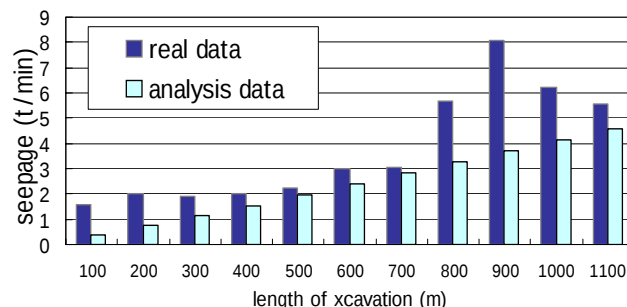


Fig.3 Time-series behavior of seepage

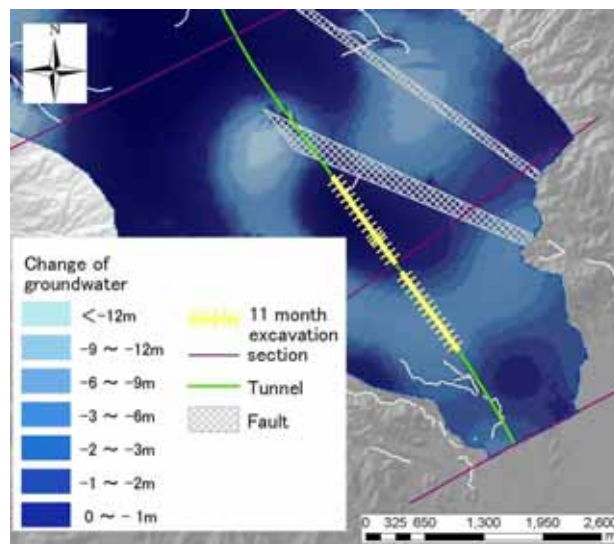


Fig.4 Change of groundwater level

2)高橋彦治：トンネル湧水に関する応用地質学的考察，鉄道技術研究報告，No.279, pp.16-29, 1962。

3)大島洋志：トンネル掘削に伴う湧水量とそれに伴う水収支変化に関する水文地質的研究，鉄道技術研究報告，No.1228 pp.5-21, 1983。

4)菅原正巳：流出解析法，共立出版，1972