

山岳トンネル掘削に伴う湧水影響範囲の推定法について

名古屋大学大学院工学研究科 ○大 東 憲 二
 名古屋大学工学部土木工学科 Mohamad Zaid Bin Yusof
 名古屋大学大学院工学研究科 植 下 協

1. まえがき

土木学会中部支部中央自動車道長野線トンネル湧水調査委員会（昭和55年4月～昭和62年3月）は、山岳道路トンネルである岡谷・塩尻トンネルの掘削に伴うトンネル湧水と湧水影響範囲を事前に予測し、周辺住民の生活に影響が及ばないような工事を遂行することを目的として、水文・地質調査の検討から始め、三次元FEMシミュレーションによる地下水状態の現況説明とトンネル工事による影響評価を行った^{1)・2)}。また、その予測に対し、工事中、工事後のモニタリングを行い、地下水関係の影響評価に貢献した³⁾。この委員会では、従来から湧水影響範囲とトンネル恒常湧水量を推定するために用いられている高橋彦治の方法⁴⁾の問題点が明らかにされ、本格的計算作業が必要ではあるが、大型計算機による三次元FEM予測法を用いた予測作業が行われた。その後、筆者らは三次元水収支ブロックモデルを用いた地下水状態変化の予測法⁵⁾や、このような大型計算機による本格的な計算作業を行わなくても、同程度の予測結果が得られる簡易計算方法についても検討している⁶⁾。今回は、これらの湧水影響範囲の推定法とその問題点について報告する。

2. 高橋の方法による推定法

従来のトンネル掘削工事においては、トンネルの恒常湧水量と湧水影響範囲を求めるために、周辺地域の湧水比流量と平均比高を利用する高橋彦治の方法⁴⁾が、その簡便さからよく用いられてきた。この方法によるトンネルの恒常湧水量の計算値は、過去に国鉄が掘削したトンネルの実測湧水量と比較的良好に一致しているが、湧水影響範囲については、地下水観測体制が十分でないことが多いため、その信頼度についてはあまり報告されていない。図-1は、高橋の方法によって求めた岡谷トンネルの湧水範囲である。岡谷市の水道水源となっていた滝の沢湧泉を含む⑤断面上の湧水影響範囲は、西側で約210m、東側で約160mと推定され、この湧泉は湧水影響範囲に入っていなかった。しかし、実際にトンネルが掘削されるとこの湧泉は枯渇してしまった。これは、地山の複雑な地質構造を十分に考慮できない高橋の方法の限界を示していると考えられる。

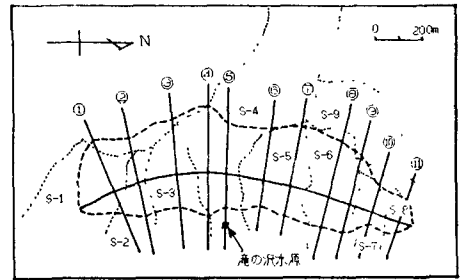


図-1 高橋の方法による岡谷トンネルの湧水影響範囲

3. 三次元FEMシミュレーションによる推定法

湧水調査委員会では、トンネル掘削前から高橋の方法による予測結果を疑問視していたので、FEMによる三次元地下水流動シミュレーションを行ってトンネル掘削に伴う周辺地下水状態変化を予測し、湧水影響範囲を推定することにした。この三次元FEMシミュレーションの詳細については、参考文献^{1)・2)・3)}を参照されたい。図-2は、この方法によって求めた岡谷トンネルの湧水影響範囲である。この図には、周辺のボーリング孔内で観測された地下水位を基にして描いた湧水影響範囲も示してある。この方法による湧水影響範囲は、実際の湧水影響範囲と比較的良好な対応をしている。しかし、この方法を適用する

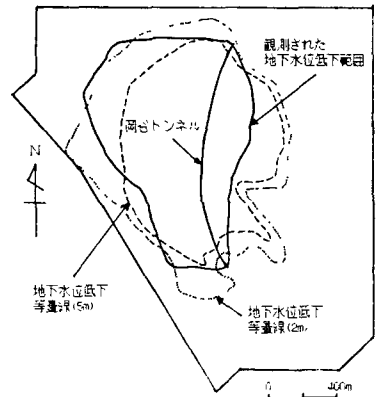


図-2 三次元FEMシミュレーションによる岡谷トンネルの湧水影響範囲

ためには、詳細な水理地質調査を行って適切に地盤をモデル化し、さらに実際の状況に即した境界条件を設定する必要がある。また、大型計算機による本格的な計算作業も必要である。

4. 三次元水収支シミュレーションによる推定法

三次元FEMシミュレーションによる計算作業は、計算機の記憶容量と計算時間が膨大となるので、計算時間だけでも短縮しようとしたのがこの方法である。この方法の詳細については参考文献⁵⁾を参照されたい。図-3は、この方法によって求めた1990年時点の塩尻トンネル掘削に伴う地下水位低下等量線である。この方法は、地盤を同じ大きさのブロックによって三次元的に分割するために、地層の境界付近のモデル化が実際とやや異なる場合もあるが、地表面からの降雨浸透をタンクモデルによって考慮することができ、地下水位とトンネル湧水量の経時変化を短時間で計算することができる。

5. 断面二次元モデルによる簡易推定法

大型計算機を用いる湧水影響範囲の予測法は、湧水影響範囲の詳細な検討をするために必要ではあるが、概略検討の段階では、高橋の方法のように簡単に湧水影響範囲を予測できる方法が有効である。そこで、トンネルに直交する鉛直断面において、降雨浸透を考慮した自由地下水面の挙動を表す次式を、それぞれの地域の状況に適した境界条件のもとで解くことによって湧水影響範囲を求めてみた⁶⁾。

$$k \frac{d}{dx} \left(h \frac{dh}{dx} \right) + N = 0 \quad (1)$$

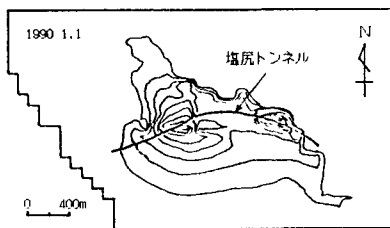
ここに、kは地盤の透水係数、hは地下水位、Nは降雨浸透量である。図-4は、この方法によって求めた岡谷トンネルの滝の沢湧泉付近の断面における地下水面を表している。この図には、三次元FEMシミュレーションで求めた地下水面と高橋の方法で求めたR-H曲線も示しておいた。地盤の透水係数と降雨浸透量、および地下水の境界条件を考慮したこの方法で求めた地下水面形は、FEMシミュレーション結果とかなり良く対応しており、トンネルの影響を適切に評価していることがわかった。

6. あとがき

今回紹介した方法以外にも湧水影響範囲を予測する方法はいくつかあるが、湧水影響範囲の予測精度を向上させるためには、できるだけ詳細に対象地域の水理地質構造の事前調査を実施しておくことが望ましい。

参考文献

- 1)植下 協, 他: 山岳トンネル掘削による湧水現象予測に関する研究, 第17回土質工学研究発表会講演概要集, pp.2365-2368, 1982.
- 2)Ueshita, K., et al.: Prediction of tunnelling effect on ground-water condition, Proc. 5th Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics, Vol.2, pp.1215-1219, 1985.
- 3)大東憲二, 他: 山岳トンネル掘削に伴う地下水状態変化ならびにトンネル出水の予測, 土と基礎, Vol.34, No.11, pp.39-44, 1986.
- 4)高橋彦治: トンネル湧水に関する応用地質学的考察, 鉄道技研報告, No.279, 1962.
- 5)大東憲二, 他: 山岳トンネル建設地域における水収支シミュレーションについて, 第21回土質工学研究発表会講演概要集, pp.995-996, 1986.
- 6)植下 協, 他: 山岳トンネル掘削に伴う湧水影響範囲の簡易推定法, 第17回日本道路会議一般論文集, pp.232-233, 1987.



注) 地下水位低下等量線は5m間隔

図-3 三次元水収支シミュレーションによる塩尻トンネルの湧水影響範囲

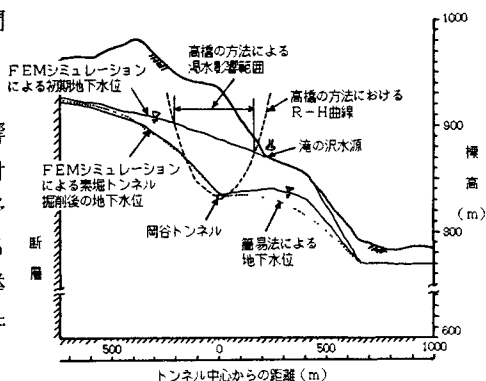


図-4 簡易法による岡谷トンネルの湧水影響範囲