

名古屋大学 工学部 正会員 大東憲二
 名古屋大学 工学部 正会員 植下 協
 大成建設 正会員 ○青木俊彦

1. まえがき

今日では、鉄道や道路の建設が進むにつれて、山岳地域を通るトンネルの建設が次第に増えつつある。そして、これらのトンネル建設に伴って生じる地下水問題が、近接地域への影響という観点からも重要な検討事項の一つとして認識されるようになってきた。山岳地域に掘削されるトンネルにおいては、従来の経験からも湧水現象が発生する可能性が高く、しかも近接地域では、その生活用水を地下水や湧水に求めている場合が少なくない。したがって、トンネル建設工事に先だって十分な事前調査を実施し、それをもとに必要な対策を講じながら工事を進める必要がある。本報告では、トンネル掘削に伴う地下水状態の変化を、定常および非定常のシミュレーション計算をカップリングさせることによって、効率良く予測する方法を提案する。

2. 定常計算と非定常計算のカップリング

本来、地下水流動シミュレーションに用いる定常計算は、トンネル施工時の問題を予測する計算ではなく、トンネル掘削が周辺地域に及ぼす環境影響評価、すなわち最終的な地下水位低下域や低下量の問題や重要な水源の枯渇問題等の検討に目的をおいた計算である。したがって、定常計算では、トンネル掘削にともなって生じる経時的な地下水位低下やトンネル湧水量変化を予測することができない。しかし、トンネル施工時の地下水流動状態の変化は、掘削工事の安全性につながる重要な問題である。そこで、定常計算と非定常計算をカップリングさせることによって、トンネル施工時の地下水流動状態の予測と環境影響評価が同時に可能な解析方法を考案した。図1にその概念図を示した。以下にこの概念図を簡単に説明する。

① 事前調査結果をもとに定常計算を行い、トンネル掘削による地下水環境変化の影響評価（最終水位低下域、低下量の予測）を行う。また、この定常計算結果を用いて、非定常計算の解析領域を決定する。

② 非定常計算により経時的な地下水頭の変化予測を行い、トンネルの安全性、施工の難易の評価に役立てる。

③ トンネル掘削工事の進行に伴って得られる実測値（トンネル湧水量、ボーリングの孔内水位）と②で得られた計算結果とを比較し、解析領域内の断層の効果、透水係数や比貯留量等のパラメータの評価を行う。

④ ③で評価したパラメータ、断層の効果を地盤モデルに組み込み、次のトンネル掘削段階の非定常計算を行い、地下水頭の経時変化を求める。

⑤ ③、④の過程を繰り返し、最終的に得られた断層、パラメータの評価に基づいて定常計算を再度行い、環境影響評価の修正を行う。

今回の報告では③の過程までの計算結果を紹介する。

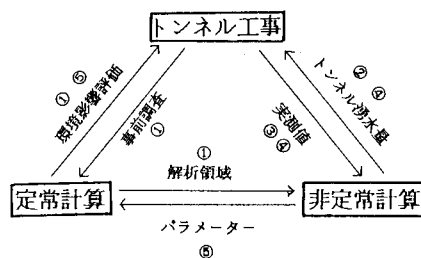


図1 定常・非定常計算のカップリングの概念図

3 解析例

現在、日本道路公団では中央自動車道長野線を建設中であり、その中に約1.4 km、平均土被り65mの岡谷トンネルが含まれている。今回の研究ではケーススタディとして、この岡谷トンネルを取り上げた。

対象地域は複雑に断層が走行しており、事前調査より得られた地質図もかなり複雑なものとなっている。そこで、領域内の断層の走行状態、トンネルの位置、地質の平面分布状態等を考慮して、対象地域の平面分割を行い、また、地質断面図を考慮して実際の地盤を7層に立体分割して地盤モデルを作成した。対象地域の平面分割図を図2に、立体図の一部を図3に示した。また、基礎式には、以下に示す非定常浸透流に対する支配方程式を用い、三次元FEM解析を行った。

$$\operatorname{div}(\ell \cdot \boldsymbol{v}) = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

ただし S_s : 比貯留量

従来、三次元解析は、計算時間及び費用などの問題により、実際現場への適用が困難とされていた。ここでは、非定常計算に用いる地盤モデルを定常計算で用いた地盤モデルをズームングすることによって、この問題の解決を図った。以下に解析手順を示す。

① 定常計算を行い、トンネル掘削段階ごとの地下水位低下等量線図を作成する。

② 各掘削段階ごとの地下水位低下域（ここでは水位低下5m線とする）の大きさの変化を考慮して、非定常計算を適用する領域を幾つか決定する。各領域における計算をステップと呼ぶ。各領域は、対応する掘削段階における水位低下域を囲む形で、定常計算に用いた平面分割図のメッシュに沿って組む。

③ 境界条件は、モデル底面を不透水面、領域を囲む側面を水頭固定とする。また、トンネルの境界条件は、トンネルの位置に対応する節点の水頭値をトンネル標高に固定する。これにより離散的ではあるが、トンネルの進行状態を再現できる。

以上の手順により、各ステップごとに経時的地下水位の低下量及びトンネル湧水量を求めることができる。

上記で述べた手法に従って、対象地域を第1ステップ（図4）、第2ステップ（図5）に大別した。第1ステップはトンネル坑口よりおよそ200m、導坑掘削を始めてから約80日後の地点までを考え、第2ステップでは、トンネル坑口よりおよそ600m、約160日後の地点までを考えた。図6には、ボーリング B-25（図2中◎）における定常計算結果と非定常計算結果及び実測値が示されている。これより、実測値と非定常計算値の水位低下傾向が良く一致していること、非定常計算結果によって地下水頭の低下の時間的遅れが良く表わされていることがわかる。

4 結論

以上より、今回提案した手法を用いると、非定常三次元モデルの要素数が、定常計算の地盤モデルの要素数に対して、第1ステップで約1/12、第2ステップで約1/3になり、大幅に計算時間が短くなり、しかも現場に対応した予測が可能であることがわかった。しかし、定常計算に用いた環境影響評価の修正（図1中◎）には、パラメータの逆算方法、パラメータ・断層条件の変化に伴うFEM解析結果の振動、地質状態の変化に伴うモデルの修正などの問題が含まれており、それらをどのように解決するかが今後の課題である。

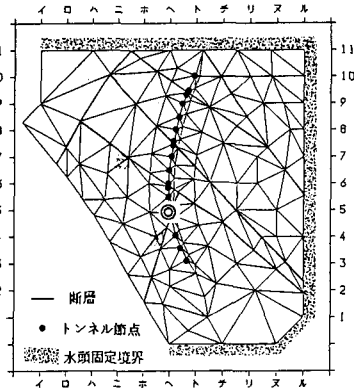


図2 地盤モデルの平面分割図

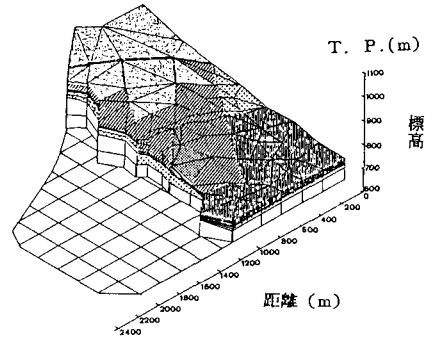


図3 三次元地盤モデルの立体図

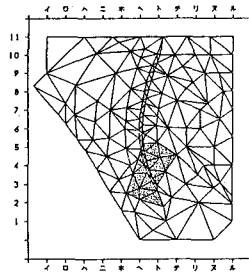


図4 非定常計算の解析領域（第1ステップ）

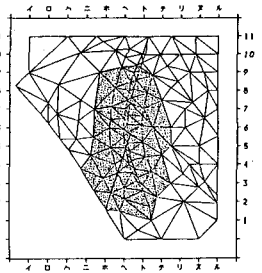


図5 非定常計算の解析領域（第2ステップ）

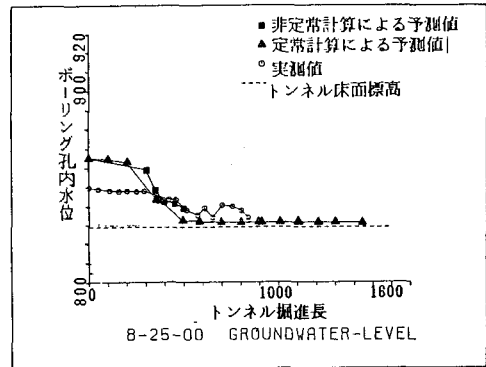


図6 ボーリング孔（B-25）における非定常計算と定常計算結果の比較