

III-496

地下水挙動の時間的変化を考慮した
トンネルの掘削解析

佐藤工業㈱ 正会員 中村 創、秋山伸一、篠川俊夫、山本松生

1. はじめに

東京をはじめとする大都市では、地下構造物の建設地点の深度が次第に深くなるにつれて、建設に伴う地下水挙動の影響も無視し得なくなっている。このような背景から、筆者らはこれまでに地下水の影響を考慮した地下構造物の安定解析手法を提案してきた¹⁾²⁾³⁾。この方法では、地下水挙動が時間的に変化しない定常状態であることを前提としているため、地下水の浸透流解析と地盤の応力変形解析を各々独立して行える点に大きな特長がある。しかし、実際には、施工時に見られるように、地下水挙動が時間的に変化する場合の検討も必要になると考えられる。このような問題に対し、ここでは、この方法の特長を生かしながら、地下水挙動の時間的変化も取り入れることのできる解析手法について述べる。

2. 解析手法の概要

地下水挙動の時間的な変化は、次式に示す浸透流の方程式⁴⁾によって表される。

$$\nabla \cdot [K(\phi)\nabla(\phi+z)] = S_r \frac{dn}{dt} + n \frac{dS_r}{dt} \quad (1)$$

ここに、 K は透水係数、 ϕ は圧力水頭、 z は位置水頭、 S_r は飽和度、 n は間隙率、 t は時間を示す。地盤の応力・変形との相互作用⁵⁾を考える場合には式(1)右辺第1項を次式のように置き換える。

$$S_r \frac{dn}{dt} = S_r \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2)$$

ここに、 ε は地盤の軸ひずみを示す。式(2)より、浸透流は地盤の応力・変形の影響を受ける。したがって、連成解析では浸透流と応力・変形の方程式を連立させることになる。一方、ここで提案する手法では、式(1)右辺第1項を通常の浸透流解析と同様に次式のように置き換える。

$$S_r \frac{dn}{dt} = S_r \frac{dn}{d\phi} \frac{d\phi}{dt} \quad (3)$$

ここに、 $dn/d\phi$ は比貯留係数を表す。さらに、浸透流解析と同様に、比貯留係数に一定値を与えると浸透流には応力・変形の影響が含まれないことになる。すなわち、先に提案した方法と同様に、ここでも浸透流の影響を外力とした地盤の応力・変形解析が可能となる。以上のように、本手法は通常の連成解析法とは異なり、地下水挙動が地盤の応力・変形に影響を及ぼすことを前提として成り立っている。

3. 解析条件

解析は、均質地盤の地下50mの地点に半径8mの円形トンネルを掘削する場合を対象にする。解析モデルを図1に示す。また、地盤の物性値を表1に示す。なお、トンネル掘削前の地下水面は地表面上にあるものとする。また、トンネルの掘削と同時に応力は100%解放されるものとする。

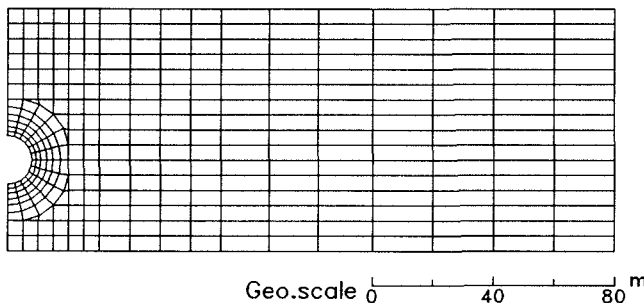


図1 解析モデル

表1 地盤の物性値

飽和単位体積重量 (gf/cm ³)	1.9
間 隙 比	0.9
自然含水比 (%)	25
ポアソン比	0.35
粘 着 力 (kgf/cm ²)	0
内部摩擦角 (°)	35
ヤング係数 (kgf/cm ²)	500
透 水 係 数 (cm/sec)	1×10 ⁻³

4. 解析結果

トンネル掘削後の時間経過に伴う地下水面の変化を図2に示す。図2より、トンネル掘削後、地下水面は急速に低下するものの、時間の経過とともに低下の速度は緩やかになる。さらに、500時間（約20日）程度経過した後に、地下水面は定常状態になる。

次に、浸透流解析結果を用いて行ったトンネルの掘削解析の結果を示す。図3には地表面沈下の時間的变化を示す。図3を見ると、地表面沈下は、地下水面形の変化と同様に、トンネルの掘削直後に急速な沈下を示し、時間の経過と共に次第に落ち着く様子がわかる。このことは、地表面の沈下は地下水挙動の変化に強く影響を及ぼされていることを示していると考えられる。さらに、トンネル断面の時間的变化を図4に示す。図4を見ると、トンネル掘削後、断面は内側に向かって急速に変形する。これは地下水挙動の変化とともに掘削時に応力を100%解放することにも起因している。一方、トンネル周辺では時間の経過による間隙水圧の変化が比較的早期に落ち着くために、時間経過に伴う断面の変化は余り見られない。

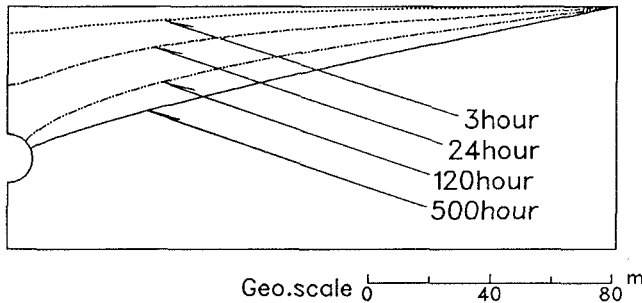


図2 地下水面の変化

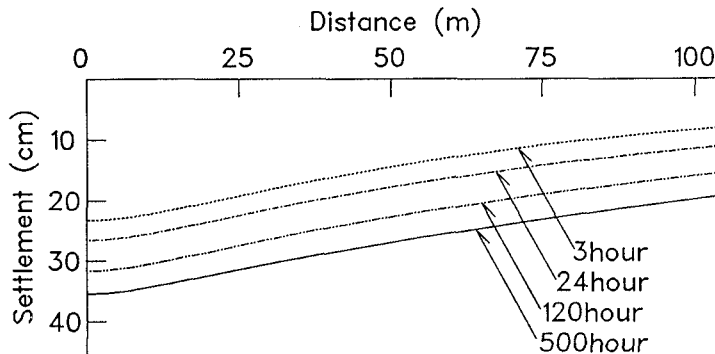


図3 地表面沈下の変化

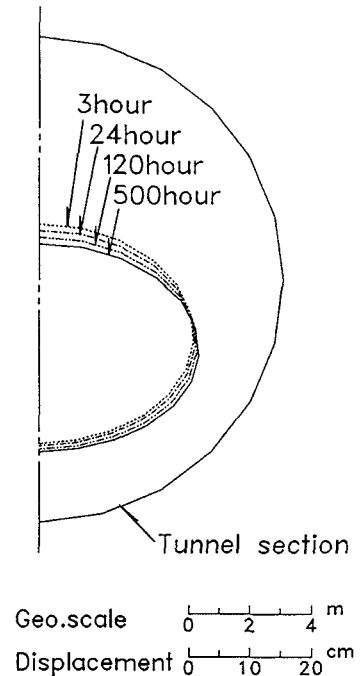


図4 トンネル断面の変化

5. おわりに

ここでは、先に提案した地下構造物の安定解析手法を拡張し、地下水挙動の時間的变化も考慮できる解析手法を提案した。この方法では、地下水の浸透流を地盤の応力・変形とは別に扱うことから、地下水の影響を外力とした地盤の応力・変形解析が行える。したがって、浸透流と応力・変形の連成解析と比べて計算量も軽減されるため、実務面で有用であると考えられる。

参考文献

- 1) 秋山・中村・篠川・山本: 地下水を考慮した大深度地下空洞の安定解析, 第1回トンネル工学研究発表会, pp. 153~158, 1991
- 2) 秋山・中村・篠川・山本: 止水注入がトンネルの安定性に及ぼす影響についての考察, 第27回土質工学研究発表会, pp. 1365~1366, 1992
- 3) 中村・秋山・篠川・山本: 地下水の影響を考慮したトンネルの安定解析, 土木学会第47回年次講演会, III, pp. 582~583, 1992
- 4) 赤井・大西・西垣: 有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析, 土木学会論文報告集, 264, pp. 87~96, 1977
- 5) 大西・村上: 有限要素法による地盤の応力・変形を考慮した浸透流解析, 土木学会論文報告集, 298, pp. 87~96, 1980