

地下水位の変動を考慮した浅いトンネルの 応力・変形解析

京都大学 正会員 大西 有三
京都大学 正会員 堀田 政國
京都大学 学生会員 ○ 秋山 俊一

1. まえがき

定常地下水位が高い地山内にトンネルを掘削する場合、水抜き等の処置を適切に行えば切羽および周辺地山の安定性が高まることは周知の事実である。変形挙動に与える浸透水の影響も無視することができない。地下水位が変化すれば浸透流も変化するので、地盤の応力・変形挙動も変化する。地下水位が低下するにつれて有効応力は増加するが、浸透流の作用によりせん断応力も増加するので応力比が増加するか減少するかは一概には判断できない。本研究では、非定常性を考慮した上で、初期水面の位置の違いによるトンネル掘削時の地盤の応力・変形特性の違いを、応力と浸透を連成させて解析し、検討を行った。

2. トンネル掘削モデルの概要

本解析において、地表面と右側境界において排水、下側及び左側境界においては非排水境界としている。また、トンネルの壁面は排水境界としている。また、内挿関数として2次のアイソパラメトリック四角形要素を用いる。要素数は47、節点数は172である。トンネル直径は4m、土被りは24mとする。解析領域は32m×26mである。本解析は自重を考慮しており、トンネル掘削は初期応力に等しい外力をトンネル壁面に作用させることでシミュレートする。トンネルの掘削方法として、二段階掘削を考え、本解析では第一段階としてトンネル上部を掘削した後、約1日放置したものと仮定し、その変形挙動を考慮する。時間対象として、1分後、1時間後、1日後を考察する。解析対象として砂質地盤を想定しており、ヤング率 $E=2.0 \times 10^3 \text{ (tf/m}^2\text{)}$ 、ポアソン比 $\nu=0.33$ 、透水係数 $K=1.0 \times 10^{-4} \text{ (m/sec)}$ 、ジョイントを使用せず、弾性解析を行った。地下水面の影響を検討するため、図1に示す4種類の地下水位面を想定する。

- ケース1 トンネルクラウン部より上方24m (地表面)
- ケース2 トンネルクラウン部より上方8m (地表面より-16m)
- ケース3 トンネルインバート部から下方に6m (水の影響を考慮しない)
- ケース4 トンネルクラウン部から直線分布 (ケース2より水抜き)

3. 自由水面の低下特性の検討 (図2)

ケース1においては、初期においてトンネル頂上から24mにあった自由水面が1日後には9mまで下がる。ケース2においては、初期においてトンネル頂上から16mにあった自由水面が1日後にはトンネル頂上まで下がる。ケース2とケース4は、定常状態では同じ水面形になっているが、初期流量が約3倍も違う。従って、トンネル掘削前に水抜きを行えば浸透流がトンネル周辺地盤に与える影響は小さくなる。

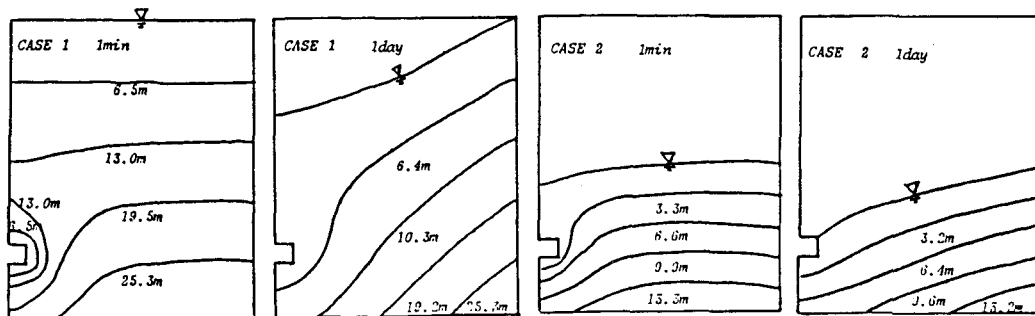


図2 圧力水頭図 (CASE 1 1分後 1日後 CASE 2 1分後 1日後)

Yuzo OHNISHI, Masakuni HORITA and Shunichi AKIYAMA

4. 地盤内変位に与える影響

各ケースの表面沈下量を図3に示す。どのケースにおいても、地表面の沈下はトンネルクラウン上部を中心に放物線を描いている。各ケースにおけるトンネルクラウンより上部の変位分布を図4に示す。各ケースともトンネルに近づく程沈下量は大きくなっている。時間が経過してもトンネル付近の沈下量にはあまり変化がないのに対して、トンネル頂上部分では時間の経過に伴って沈下量は増加する。その傾向は初期地下水位が高い程大きい。その理由として、地下水位が低下するに伴って自重による圧密が起こっているものと考えられる。初期水位が高い程、沈下量は大きい。地下水位が低い方がトンネル掘削をより安全におこなえと予想できる。

5. 地盤内応力分布に与える影響 (図5)

初期においては有効応力が小さいため応力比の大きい危険な部分はトンネルの周辺に集中しているが、長時間経過後には浸透によるせん断応力の増加のため応力比の大きい危険な部分は上方全域に広がっている。ケース1では、地下水面が低下していくトンネル上部において、浸透によるせん断応力が増加しているため長時間経過後には応力比の大きい危険な部分が存在するようになる。それに対して、ケース3では、時間の経過に対して有効応力分布、せん断応力分布ともほとんど変化せず、危険なところはほとんど存在しない。

6. 結論

地下水面が高い場合は、初期においては有効応力が小さいためトンネル周辺地山の安定性が低下し、長時間経過後は浸透流によるせん断応力の増加のためトンネル周辺地山の安定性が低下することが確かめられた。

トンネルを掘削する場合、水抜きは切羽及び周辺地山の安定性を高める上で非常に重要であることがわかった。しかも、地山全体の地下水位を低下させる場合も、トンネル掘削地点の地下水位を低下させる場合も大差がないことがわかった。従って、トンネル掘削前に水抜き井戸などで掘削部周辺の地下水位を下げおくのが安全で経済的であることが言える。

参考文献1) 足立紀尚・田村 武・八島 厚・上野 洋：砂質地山トンネルの挙動と解析に関する研究、土木学会論文報告集、第358号、PP.129~136、1985。 2) 大西有三・柴田裕章・小林 晃：有限要素法による応力-浸透-熱移動連成問題解析手法、土木学会論文報告集、第370号、PP.151~158、1986。

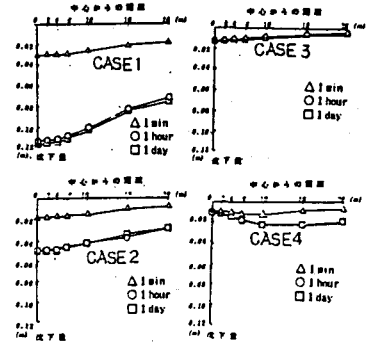


図3 地表面沈下図

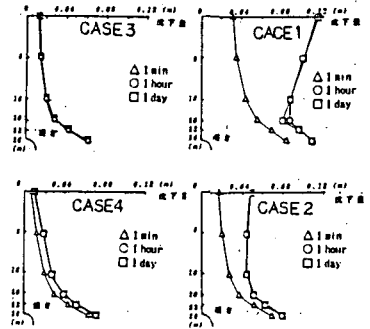


図4 トンネルクラウン上部の沈下量

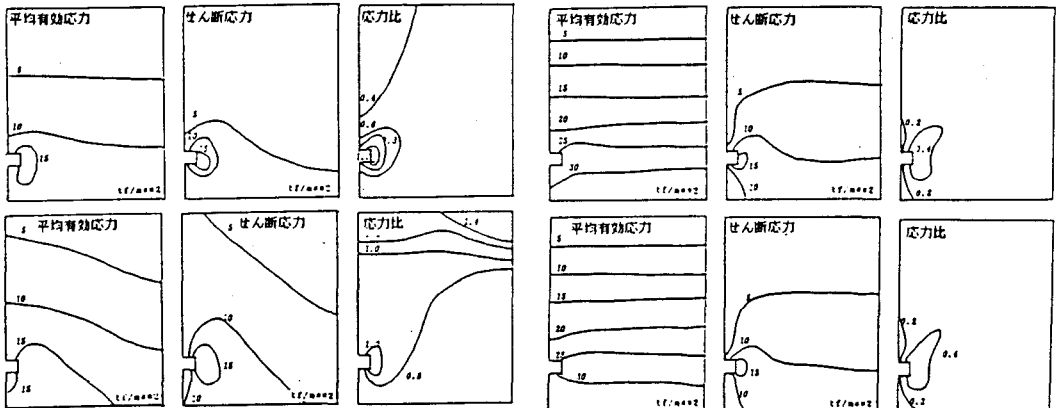


図5 平均有効応力-八面体せん断応力-応力比