

Ⅲ-A215

透水係数によるトンネル掘削の力学挙動の影響

京都大学工学部 正会員 足立紀尚

ダイホーコンサルタント 正会員 劉 軍

1 はじめに

飽和した硬質粘性土や軟岩地山内にトンネルを掘削するときの最大の問題は水の処理に関するものである。これは、膨張性地山を含めて、掘削に伴って時間経過とともに生じるトンネル断面の変状や、支保工、覆工に作用する土圧に関する問題である。飽和した軟岩地山内のトンネルの掘削では、長期不安定の主要因として、間隙水圧の平衡化、軟弱劣化、進行性破壊などが考えられる。掘削直後地盤内に発生した負の間隙水圧は、時間経過とともに消散するため地盤内の有効応力が減少し、見かけ上地盤のせん断強度は低下することになる。また、軟弱劣化は、掘削に伴う地盤の吸水膨張や風化作用による構造劣化などに起因した時間依存性挙動であり、地盤強度を低下させる。他方、進行性破壊は、せん断ひずみやせん断応力が非一様に挙動されることになり破壊が局所的に発生し、せん断帯やすべり面の形成を伴いながら次々進行していく現象であり、これは地盤工学上の本質的課題でもある。本文では、透水係数によるトンネル掘削の力学挙動の影響について考察を行う。

2 解析の境界条件と材料定数

本解析において用いた材料定数を Tabel.1 に示す。本材料の平面ひずみ状態における応力-ひずみ関係を Fig.1 に示している。図において、本モデルがひずみ硬化のみならずひずみ軟化を呈することが明らかである。Fig.2 に解析に用いた有限要素メッシュを示すが、トンネル径を 10 m, スプリングラインからの土被りを 25 m としている。初期応力場としては、自重を考慮し、静止土圧係数 $k_0=0.67$ で解析を行った。境界条件としては、領域の左右端、下端とも滑らかで剛であるものとし、間隙水の消散は地表面とトンネルの内境界でのみ行われるものとする。トンネルの掘削は初期応力の解放によりシミュレートする。その時間当たりの解放率は一定(2%/100sec)とするが、掘削速さの影響を考慮するため、透水係数を 10^{-6} (cm/sec) と 10^{-8} (cm/sec) の 2 通りとした。

3 透水係数による地盤の力学挙動の影響の検討

Fig.3 にトンネル天端およびスプリングラインの変位と時間の関係を示す。図より、掘削終了前には、トンネル天端、スプリングラインの変位への透水係数の差異による影響は見られないが、掘削終了後には、透水係数の影響がわずかに認められるものの最終変位量には差異がない。スプリングライン部の変位は、掘削終了時点の変位より減少することがわかる。一方、トンネル天端の変位は、掘削終了時点の変位と比べるとわずかに増加することがわかる。

Fig.4 は地表面の沈下曲線である。透水係数の差異の影響が見られるが、いずれにしても、トンネル直上の沈下量は間隙水圧の消散により増加することが明らかである。

Fig.5 は 145 要素における応力-ひずみ及び間隙水圧の関係を示している。この図において透水係数が小さい 10^{-8} cm/sec の場合、最終ひずみ量は小さく、かつ残留強度が大きいことは注目すべき点である。

4 おわりに

本研究では、ひずみ軟化型弾塑性構成式に基づきトンネル掘削における水との連成問題の解析を行った。本文において得られた主な知見を列挙すると以下の通りである。

- 1) 間隙水圧の消散に伴い、天端の垂直変位は増加するが、トンネルのスプリングライン部の水平変位は減少する。
- 2) 透水係数が小さい場合、トンネルのスプリングライン部の地盤の残留強度は透水係数が大きい場合に比較して大きな値を取る。

Tabel.1 材料定数

E (kgf/cm ²)	100.0	G'	454.0
ν	0.4	τ	0.06
K (kgf/cm ²)	166.7	b_v (kgf/cm ²)	1.91
G (kgf/cm ²)	35.71	b_p (kgf/cm ²)	1.0×10^{-4}
M_f'	0.84	k (cm/sec)	1.0×10^{-4}
σ_{∞} (kgf/cm ²)	24.0	γ_s	0.00232

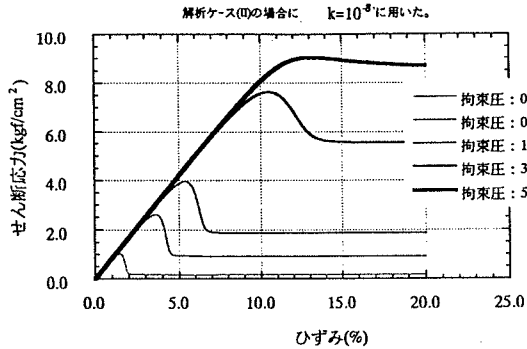


Fig.1 材料定数における応力-ひずみ関係

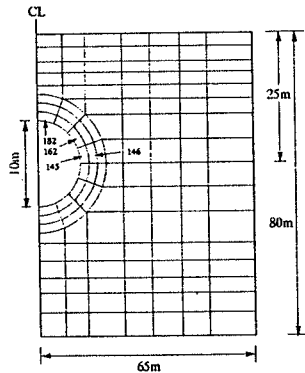


Fig.2 有限要素メッシュ

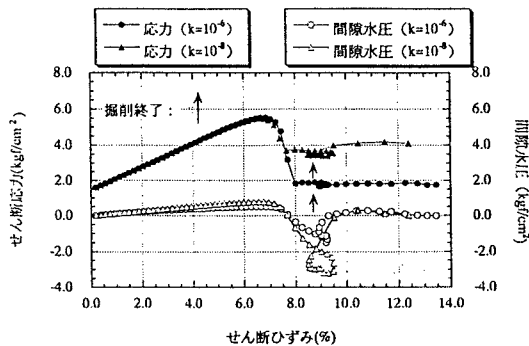


Fig.5 は 145 要素における応力-ひずみ及び間隙水圧の関係

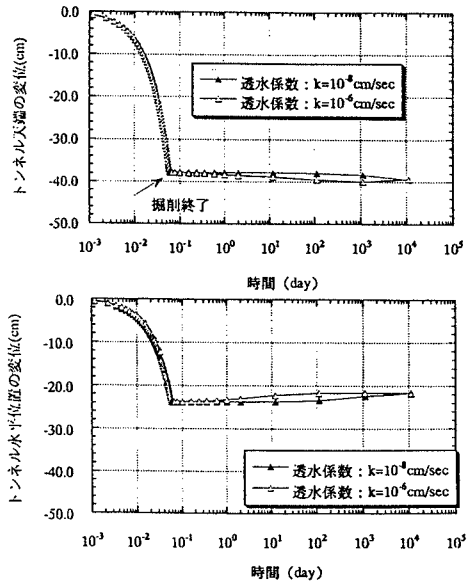
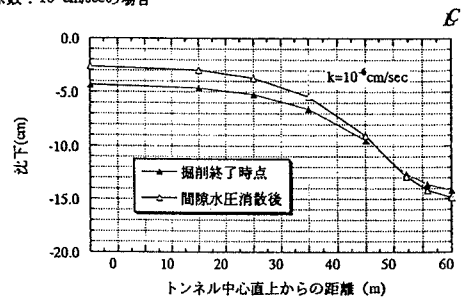


Fig.3 にトンネル天端およびスプリングラインの変位と時間の関係

透水係数: 10^{-4} cm/sec の場合



透水係数: 10^{-4} cm/sec の場合

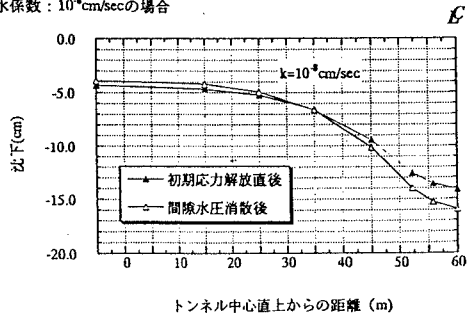


Fig.4 地表面の沈下曲線