

京都大学工学部 正 員 土岐 憲三

京都大学工学部 正 員 田村 武

京都大学大学院 学生員○中川 淳史

### 1. はじめに

本研究は、高水圧下にある地山内にトンネルを掘削する際の湧水量の減少と地山の安定性を図ることを目的として、地山の力学的挙動についての覆工や注入による影響を、解析的方法・有限要素法を用いた方法により検討したものである。特に、湧水量並びにトンネル壁面変位、周辺土圧等の観点より、地山の安定性について詳しく検討した。

### 2. 解析の手順

問題を簡易化するためにトンネル及び周辺地山を図-1のように内径  $a=5.0\text{m}$  仮想外周面  $b=40.0\text{m}$  を持つ軸対称一軸厚肉問題と仮定する。注入域は、従来より適正だとされているようにトンネル半径の3倍、すなわち  $\rho_g=15.0\text{m}$  と設定した。また、注入域では透水係数だけ変化するとし、その値は自然地山の  $1/2$ ,  $1/10$  になるものとした。ヤング係数は  $E=30000\text{tf/m}^2$ 、ポアソン比は  $\nu=0.25$ 、粘着力は  $c=50\text{tf/m}^2$  である。

まず、解析的方法について説明する。間隙水圧分布は、Darcy 則・連続式より、応力と変位分布は、つり合い式・応力と歪みの関係より求められる。間隙水圧分布は、トンネル壁面と仮想外周面における水圧、応力と変位分布は、トンネル壁面と仮想外周面における応力又は変位をそれぞれ境界条件とする。

次に、有限要素法を用いた方法について説明する。ここでは、図-2のようにトンネル周辺地山を同心円状に分割し計算を行なった。境界条件は、解析的方法と同じである。

なお、内部摩擦角  $\phi$  を考慮する場合、解析的方法では計算が非常に繁雑になるため、有限要素法でのみ考慮した。

### 3. 結果と考察

図-3は、 $c=0$  として解析的方法で解いた有効応力分布図である。仮想外周面にかかる外圧  $P'_0=136.0\text{tf/m}^2$ 、水圧を  $u_a=240.0\text{tf/m}^2$ 、トンネル壁面にかかる内圧  $P'_a$ ・水圧  $u_a$  を  $0\text{tf/m}^2$  として計算を行っている。図から明らかなように注入域の透水係数が減少すれば有効応力が小さくなる。これは、注入域の透水係数減少により注入領域外周付近の間隙水圧が上昇するためと思われる。有効応力の低下はトンネル周辺地山を力学的に不安定にするので注意が必要である。

次に、図-4、図-5、図-6は有限要素法により求めたトンネル壁面における半径方向の有効応力と全応力である。内部摩擦角は  $\phi=30^\circ$  である。それぞれ、注入域の透水係数  $k_2$  が自然地山の透水係数  $k_1$  に対して  $k_2=k_1$ ,  $k_2=(1/2)k_1$ ,  $k_2=(1/10)k_1$  の場合である。また、注入域の透水係数が  $k_2=k_1$ 、トンネル壁面付近の間隙水圧が  $u_a=0.0\text{tf/m}^2$  の時の湧水量に対する湧水量の比を  $Q/Q_0$  で併記した。トンネル壁面変位を、覆工反力が0の時の状態に対して  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $3/4$  と固定した場合を想定して計算した。いずれの場合もトンネル壁面の間隙水圧が上昇するにつれ有効応力が減少している。すなわち、トンネル壁面付近の間隙水圧上昇はトンネル周辺地山を力学的に不安定にすることが解る。

また、図から明らかなように湧水量を減らすためにはトンネル壁面付近の間隙水圧を上昇させる必要があるが、その場合トンネル周辺地山が力学的に不安定になるという問題をはらんでいる。

### 4. まとめ

注入域での透水係数の減少やトンネル壁面における間隙水圧上昇など、間隙水の浸透の障害になるものは、トンネル周辺地山の有効応力を小さくし、力学的安定性を損なう働きをすることが解った。一方、湧水量を減少させることも重要であり、両者の調和ある安定状態に保つような工夫が望まれる。

TOKI Kenzo, TAMURA Takeshi, NAKAGAWA ATUSI

参考文献

1) 足立紀尚・田村武：高压湧水下のトンネルにおける水抜き孔の効果と注入域の適正規模，土木学会論文報告集，第280号，1978年12月，pp87～98

2) 中川淳史：海底トンネルにおける湧水量と地山の安定性について，京都大学工学部土木工学科特別研究，1994年2月

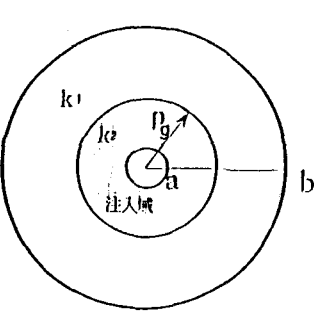


図.1 トンネル及び周辺地山

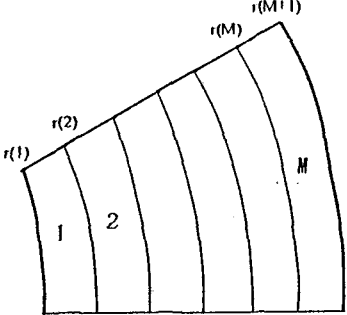


図.2 有限要素法

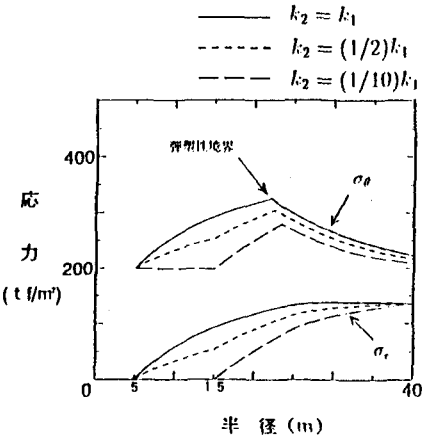


図.3 有効応力分布 ( $P_a' = 0.0$ )

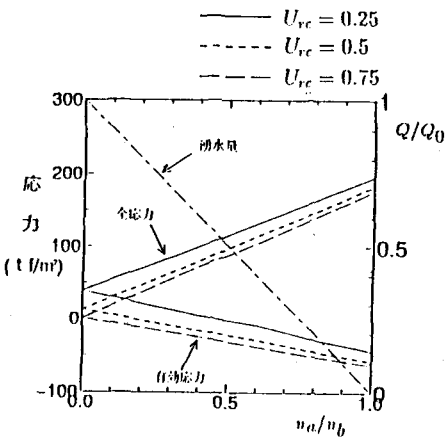


図.4 間隙水圧-壁面応力 ( $k_2 = k_1$ )

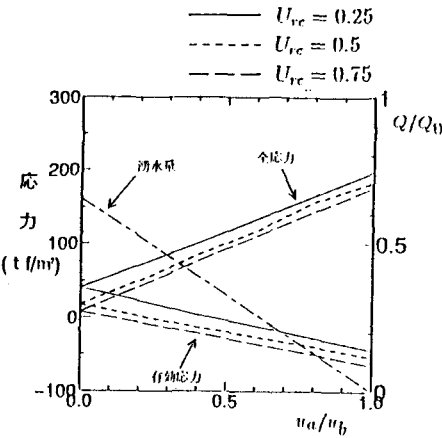


図.5 間隙水圧-壁面応力 ( $k_2 = (1/2)k_1$ )

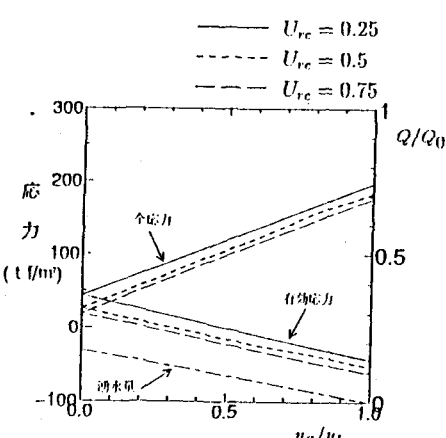


図.6 間隙水圧-壁面応力 ( $k_2 = (1/10)k_1$ )