

九州大学工学部○学生員 古賀 徹夫  
九州大学工学部 正会員 橋本 武

1. まえおき

トンネル地山の応力状態は、地下水が存在すると存在しないとで相違するものであるが、その相違に影響を及ぼす要因として次の諸事項が考えられる。

- 1) 浮力、浸透力、間隙水圧等の荷重が新たに付与される。
- 2) 地山の密度、強度および材料定数等の物理的变化。
- 3)  $\sigma_{\text{int}}$ 強度の力学的特性変化。

著者等は、これらの諸観点に立って、地下水が存在する事による地山の応力変化を明らかにせんとするものであるが、本研究はその一報として、まず被圧湧水下の木屋トンネルについて内容を検討するものである。

2. 解析概要

解析手順は、まず地山を四辺形要素に分割し、著者等が先に提案した環元有限要素法に基づき被圧湧水解析を行い、各節点の水頭勾配を算出し、これによって浸透流をもたす付加節点を参考文献Ⅱの式(65)で示される内容により評価し、解析領域全体について集積する。次にこれを非引張解析によるプログラムに代入し、浸透水による付加応力を求め、また、必要に応じて自重による応力との合成をほかるものである。

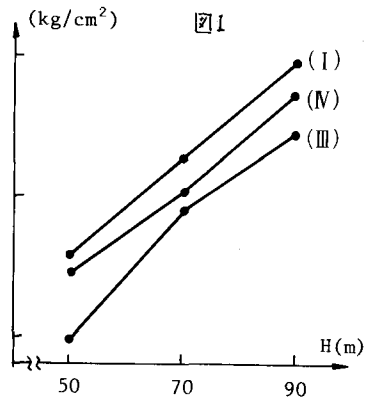
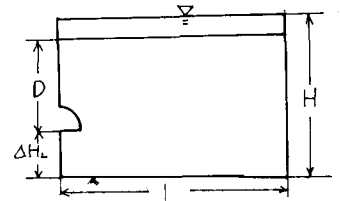
3. 演算結果及び考察

解析領域としては、ポテンシャルの変化がほとんどなくなり、境界既知水頭とほぼ同じ値にとどまる  $L=120\text{m}$  を採用し、トンネル径としては、複線鉄道トンネル等に見受けられる直径10mの半円形断面トンネルを想定した。また、材料定数として、砂質土の理想的地山と考え  $E=0.5 \times 10^5 \text{ t/m}^2$ ,  $\nu=0.3$ ,  $G E=1.92 \times 10^4 \text{ t/m}^2$ ,  $\gamma=1.8 \text{ t/m}^3$  とした。不透層を形成する地盤としては、粘板岩質岩盤と考え、 $E=2.0 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ ,  $\nu=0.1$ ,  $G E=9.09 \times 10^5 \text{ t/m}^2$ ,  $\gamma=2.7 \text{ t/m}^3$  を採用した。

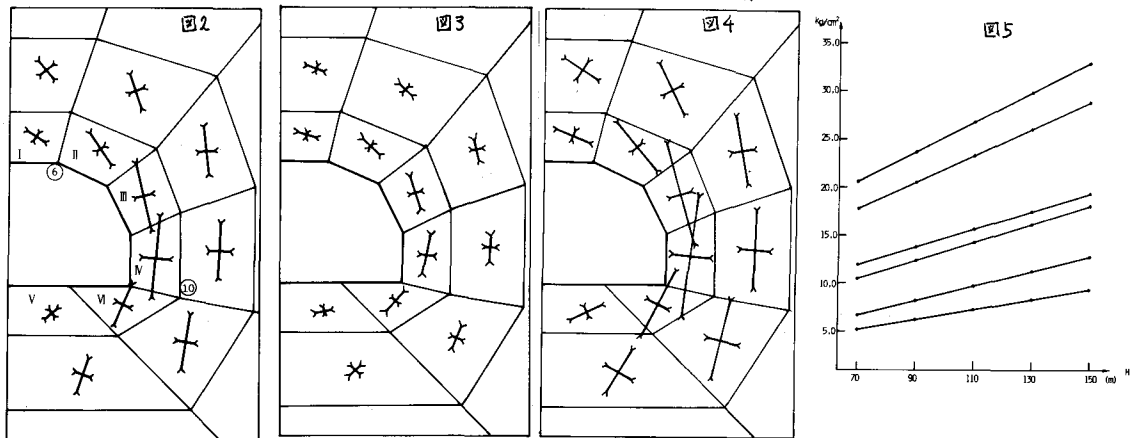
a) 湧水による付加応力の影響要因、及び等方性地山における応力状態

まず最初に、x-y方向の透水性の等しい等方性地山において、影響要因として、水頭H、土のがりD、不透層-トンネル底間距離 $\Delta H_L$ の3者を取り比較検討した。すなわち、トンネル周辺要素、頂部(I)、側部(IV)肩部(III)の応力が、これら要因によりいかに変化するかを検討すれば、D、 $\Delta H_L$ の変化に対しては、ほとんど変わらないと言えるが、水頭Hに関しては、その増加に伴って比率的に増加する事が判明した(図1参照)。この事は、水頭Hの変化に対するトンネル周辺部のポテンシャル変化が他の2者による変化より極めて急激であるために、浸透力が比率的に増大することによるものである。

ここで、水頭の変化に対する付加応力と、地山自体の応力を加えて、浸透水下の地山の応力を計算すると、図2の地山自体による応力状態に図3の浸透水による付加応力が加えられた図4のようになる。これより明らかのように、主応力の方向は、水頭が高くなるにつれて付加応力のみによる主応力方向へ近づく傾向にあるがその変化は小さい。また、

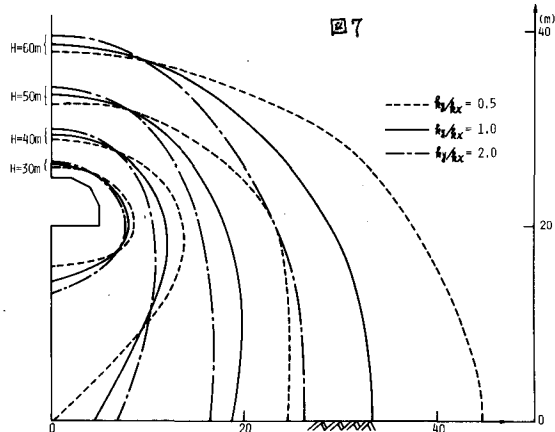
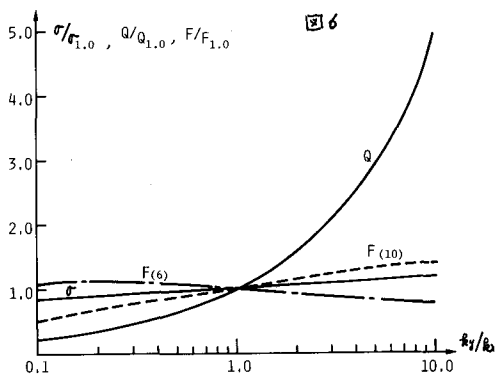


圧縮力は、水頭の変化に対して比例的に増加すると言える(図5参照)。特にトンネル肩部、および側部で、水頭が70m~150mと変化するにつれ、地山自体の圧縮応力の1.5~2.5倍の応力に達するために、地山の安定の工で再検討することが極めて重要であると言える。 → : 圧縮 10kg/cm<sup>2</sup>



### 3. 直交異方性地山における応力状態

堆積層地質の地山、及びクラック、節理が特定の方向に発達した地山においては、x-y方向で透水係数が異なる。そこで、これらの地山の応力状態を解明するために直交異方性地山における解析を行った。図6は、対称軸目盛のx軸に透水係数比  $k_y/k_x$  を、y軸に各透水係数における流出量  $Q$ 、要素Ⅲにおける応力  $\sigma$ 、節点番号6, 10における節点力  $F$  を等方性地山の諸値で除し標準化したものととり、両者の関係とプロットしたものである。流出量  $Q$  は  $k_y/k_x$  の増加とともに比例的に増大し、Ⅲ部における応力  $\sigma$ 、及び  $F(10)$  は緩やかな増加を見せ、逆に  $F(6)$  は緩やかに減少と見えた。このことは、図7のポテンシャル分布の変化によって説明し得る。トンネル上部では  $k_y/k_x$  の増加とともにポテンシャル分布は疎になるために  $F(6)$  は減少し、逆に側部では密になるために  $F(10)$ 、 $\sigma$  が増加する。したがって、トンネル周辺部におけるポテンシャル分布の変化度は、水頭  $H$  の変化に対する場合と比べれば非常に緩やかなもので、その為に応力に関する変化は小さい結果となる。流出量  $Q$  は応力の場合と異なり、トンネル周辺ばかりでなく、遠方領域のポテンシャル分布の変化も影響し、 $k_y/k_x$  の変化に敏感に反応して図示のごとく結果が得られたものと推察される。



### 参考文献

- I. 檀木武著、山崎總也校閲「トンネル工学」
- II. R.E. グッドマン原著、赤井浩一、川本朋万、大西有三共訳「不連続性岩盤の地質工学」
- III. 川本朋万、林正夫著「地盤工学における有限要素法解析」