

九州大学工学部 学生員 古賀 徹志

九州大学工学部 正会員 樽木 武

九州大学工学部 学生員 白石 均

1. まえがき

トンネル地山において地下水が存在する場合には、それが存在しない場合に比して異なる応力状態になる事が予測され、地下水が地山の応力状態に及ぼす影響としては次のような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ことによる応力状態の変化。
- 2) 地山の密度、強度、及び材料定数等の物理的变化に基づく応力変化。
- 3) Joint 強度の力学的特性変化に伴う応力変化。

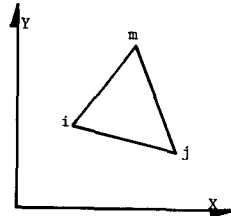
著者らは、これらの諸観点にたつて、地下水が存在することによる地山の応力変化を究明することを企図するものであるが、本研究ではその第1部として、まずは第1項について検討を加えるものである。すなわち、水頭トンネル等に見受けられる複圧水下の地山において、トンネルを掘削する事により複圧湧水が発生するが、そのことが地山の応力に及ぼす影響を及ぼすかを吟味せんとするものである。

2. 解析概要

地盤を形成する三角形要素では、各節点で水の力は水頭勾配と反対の方向に外力として計算される。今、水頭圧力勾配が要素全体にわたって一定であると仮定すれば、数学的に水の力は各節点に等分に分配される事になる。よって、水の浮力、及び浸透力は式(1)で表わされる。

$$[F_{ext}]_{water} = \begin{bmatrix} F_{xi} \\ F_{yi} \\ F_{xi} \\ F_{yi} \\ F_{xm} \\ F_{ym} \\ F_{xn} \\ F_{yn} \end{bmatrix} = \frac{\Delta}{3} \begin{bmatrix} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial p}{\partial y} \end{bmatrix} = \frac{\delta_w \Delta}{3} \begin{bmatrix} -\frac{2x}{\Delta} \\ 1 - \frac{2y}{\Delta} \\ -\frac{2x}{\Delta} \\ 1 - \frac{2y}{\Delta} \\ 1 - \frac{2x}{\Delta} \\ -\frac{2y}{\Delta} \\ 1 - \frac{2x}{\Delta} \\ -\frac{2y}{\Delta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

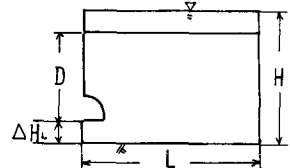
ここで、 Δ 、三角形の面積



解析手順としては、まず著者らが先に提案した還元有限要素法に基づく複圧湧水の解析手法によって湧水解析を行ない、各節点の水頭を算出する。次いで、これより各節点での $\frac{\partial p}{\partial x}$ 、 $\frac{\partial p}{\partial y}$ 等を算出し、これを式(1)に代入することにより浸透水がもたらす節点力を計算し、これを解析領域全体について集積することにより外力項とするものである。この外力項を地山の非引張解析による応力計算のためのプログラムに代入すれば、浸透水による付加的応力を求められることになる。尚、これらの一連の演算において、湧水解析と応力解析上の整合をとるため、要素形状を四辺形とすることは、要素分割の上で若干の工夫が必要である。

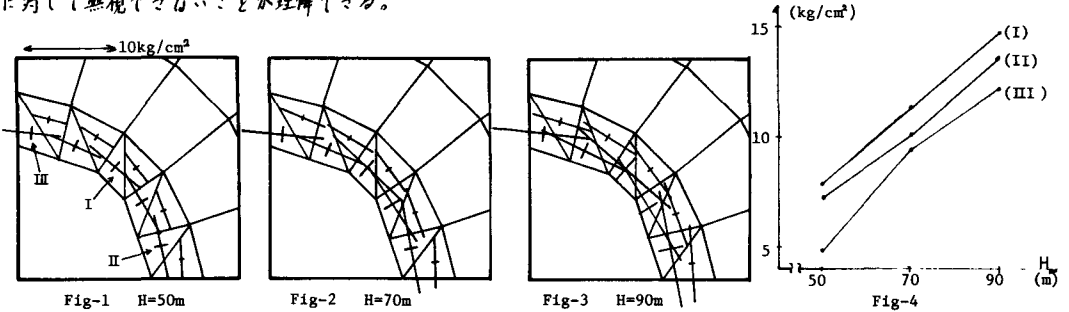
3. 演算結果及び考察

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 $L=120m$ を採用し、トンネル径としては複線鉄道トンネルにおいて見受けられる直径 $10m$ の半円形断面トンネルを考えた。又、地山の特性としては、 x, y 方向の透水係数が等しい等方性地山を考慮し、この解析モデルについて、水頭 H 、土かぶり D 、不透層—トンネル底間距離を变化させ、各々について、トンネル孔周辺応力の変化を検討したが、その結果は次のとおりである。



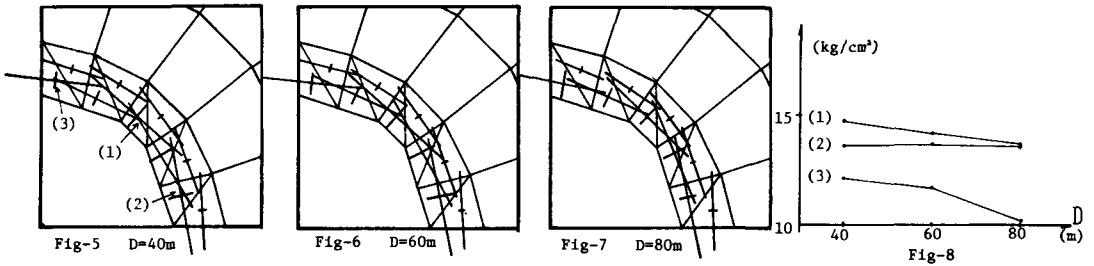
1) 水頭の変化

不透層とトンネル底が一致する土かぶり40mのモデルにおいて、水頭 H を50、70、90mと変化させて、その間の浸透圧、浮力による付加応力変化を求めたが、その結果はFig-1～Fig-3のとおりである。水頭変化に対して、主応力の方向はほとんど変化しないが、圧縮応力が水頭の変化とともに増加する事が理解できる。また、Fig-4はトンネル周辺要素Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの応力変化をプロットしたものである。水頭の変化に比例してほぼ直線的に増し、 $H=90$ mのとき、Ⅰの箇所では約15kg/cm²の圧縮力が生じる。この数値は、非引張解析を行なった単位体積重量18t/m³の地山自体の引張応力の約1.7倍にも及ぶ、かつ作用方向のなす角度が70にもなるため、地山の安全性の検討に対して無視できないことが理解できる。



2) 土かぶりの変化

不透層とトンネル底が一致する水頭 $H=90$ mのモデルにおいて、土かぶり D を40、60、80mと変化させるときのトンネル孔縁応力はFig-5～Fig-7のようにほとんど大きさ方向の両面において変化しない。このことは、土かぶりを変化させた時の、(1)、(2)、(3)部の最大圧縮応力の变化を插したFig-8によってもわかる。すなわち、(1)、(3)部ではわずかながら土かぶりの増大によって、応力は減少するが、底部ではまったく変化は見受けられない。



3) トンネル底—不透層間距離の変化

土かぶり、及びトンネル底からの水頭を一定にして、不透層 ΔH_L を変化させた場合の、トンネル孔縁応力状態はFig-9～Fig-11のとおりである。また、トンネル周辺の要素①、②、③を取、て応力変化を調べたのがFig-12である。当然ながら、全体的に応力状態は差して変化しないといえる。

