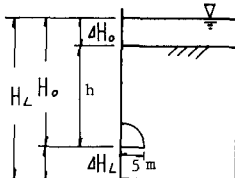


九州大学工学部 正会員 樽 木 武  
 学 学 楊 勲 得  
 福岡市正、○折原琢磨

1. まえがき 最近、トンネル掘削にともなう恒常湧水に重大な関心が示されるようになった。すなわち、単に排水設備の計画のみならず、恒常的な地下水位の低下にともなう他の生活圏における水利権への悪影響や植生の変化といった環境上の問題が新めて論議されることになり得る。通常の市街地トンネルや山岳トンネルの恒常湧水は、一般に自由水面を有する不圧地下水流れの問題になる。また、水底トンネルの恒常湧水は被圧地下水流れの問題として取り扱える。そこで、本研究では上述のトンネル湧水問題をこれらの水理学的問題として解析し、その結果から湧水特性の基礎事項について考察検討することも意図するものである。

図-1.



2. 解析手順及び解析モデル 湧水問題の解析に当っては、その境界の不規則性や地山の不均質性のため有限要素法の活用が望ましい。しかし、本法では特に不圧湧水問題の解析領域が当初明らかでない場合には、多大の演算努力を要することになり、また一般に流量の算定におけるバラツキが大きいなどの難点がある。そこで、本研究では、これらの難点を排除するものとして、著者らの提案する還元有限要素法を用いた。また、トンネル断面内に湧出点をも有する不圧湧水問題において、還元有限要素法を活用する。その誤差累積を極力抑える上から湧出点近傍を細かく要素分割を行うことにより、湧出点推定に対処することができない。したがって、荒い分割でも精度の高い湧出点を推定する必要が生ずるが、その手法としては著者らの提案する擬似放物線法を併用した<sup>2),3)</sup>。解析にあたっては、直径10mの半円形断面トンネルを想定した。これは、湧水特性がトンネル断面の形状は差程問題ではなく、それよりむしろトンネル断面の大きさが大いに関係すること、および大断面の方が小断面よりも湧水問題としてはより深刻であることなどを配慮したものである。また、地下水の水平方向浸透領域をトンネル断面中心より90~120mまでとした。これは、トンネルおよびその近傍の自由水面形状や水面低下量、ポテンシャル分布、湧出量に近似的境界の挿入の影響が小さい範囲として、トンネル幅のほぼ10倍程度をとれば十分であるという、これまでの著者らの経験にもとづくものである。

3. 被圧湧水 本文では、断面の都合上均質地山のみを対象とし、それ以外については講演時に報告することにする。さて、図-1に示す被圧湧水問題に関して、まず、 $H_0 = H_L$  すなわちトンネル底と不透層が一致する場合について、 $h$ 、 $\Delta H_0$  の種々の値に対して解析すれば、図-2,3に示す湧出量とこれらパラメータの関係がえられる。図-2は $Q/k$  と土被りとの関係を示すものであるが、土被りに関しては実際の水底トンネルにおける土被りが推定した  $h = 20 \sim 80$  m の範囲内で算定した。図から明らかになる、湧出量は土被りの増大とともにほぼ直線的に増大するが、その増大割合は水深  $4H_0$  が小さい程大きく  $\Delta H_0$  が大きくなれば次第に減少していきことがわかる。図-3は $Q/k$  と水深との関係で、水深の増大に伴い  $Q/k$  が直線的に増大するが、その増大割合は土被りが小さい程大くなる。図-4は、土被り、水深を一定とし、不透層がトンネル底と一致しない場合について検討を加えたものである。図中の $Q_0$ は前述の不透層とトンネル底が一致する場合の湧出量で、これに対して湧出量 $Q$ が基準化されている。 $Q/Q_0$ は $H_L/H_0 = 1.0$ における、1"なる値から、 $H_L/H_0$ の増大に伴い次第に増大するが、増大割合は次第に減ずる。 $H_L/H_0 \rightarrow \infty$  ではある一定値に収束する。その収束値はほぼ $Q/Q_0 \approx 1.5$ 程度あり

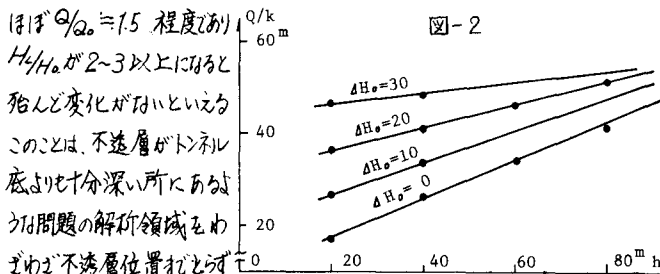


図-2

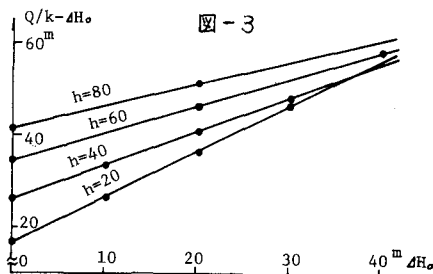


図-3

とも、 $H_L = 2H_0 \sim 3H_0$ に境界を定め  
て十分であることを示さるものがある。

4. 不圧湧水 図-5に示すに、  
固定境界水頭 $H_0$ も種々変化させ  
る場合に、トンネル断面上に湧出点  
が発生する湧出点状態と発生し  
ない非湧出点状態の二つが起る。この二つの状態のいずれになるかは $H_0/L$ に  
関係あることは容易に推察できる。但、トンネル断面の大小にも影響され、  
トンネル断面が大きくなるにつれて  
両状態の境界の $H_0/L$ は大きくなるが、断面の大きさも一定とし形状も変える  
場合には殆んど影響はない。そこで、不圧湧水の関心事は、自由水面の低下と湧  
出量の両者であるが、まず不透層がトンネル底に一致する場合について、自由  
水面低下率 $\Delta H_0/H_0$ と $H_0/L$ との関係を示したもので、 $H_0/L$ が小さい間の低下率  
はほぼ1に近く、その変化は小さいが、あるところから $H_0/L$ の増大とともに急速に  
低下率も小さくなる。この両者の境目が湧出点状態と非湧出点状態の境界点に  
ほぼ対応する。図-7は湧出量と $H_0^2/L$ との関係をプロットしたものである。  
Dupuitの準一様流理論によれば $Q/k$ と $H_0^2/L$ の関係は勾配 $1/2$ の直線になるが、  
湧出点状態ではほぼこの直線上にあり、わざわざトンネル問題として改めて解析せずとも湧出量を推定することができるといえる。  
しかし、 $H_0^2/L$ が大きくなり非湧出点状態となる場合にはこのDupuit直線から次第にずれることになる。図-8は不透層がトンネル底と一致しない場合の湧出量と不透層位置との  
関係を明らかにしたもので、 $H_L/H_0 = 1.2 \sim 2.0$ ととり、 $H_L/H_0$ が増大するとともに増大する凸型曲線と与えられる。この曲線は $H_0/L$ あるいは $H_0^2/L$ の各値に応じて異なるものである。

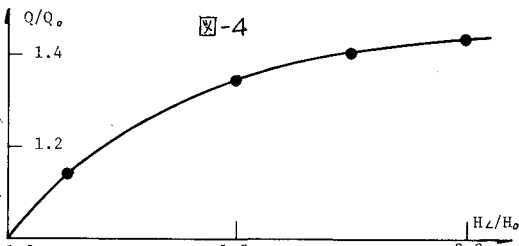


図-4

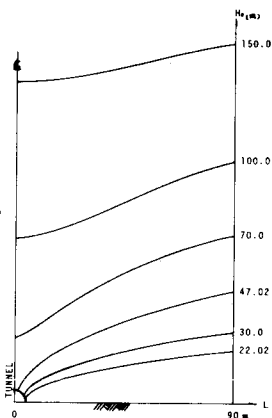


図-5

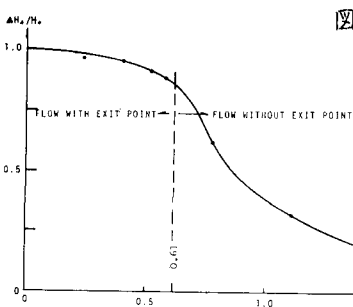


図-6

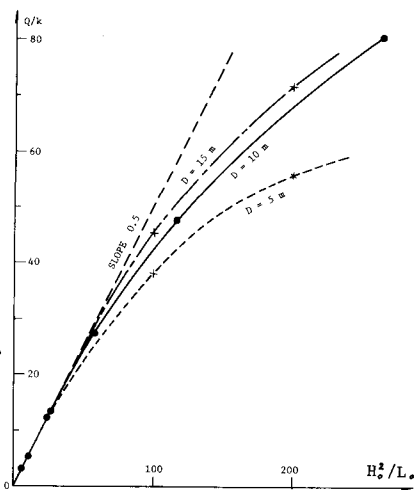


図-7

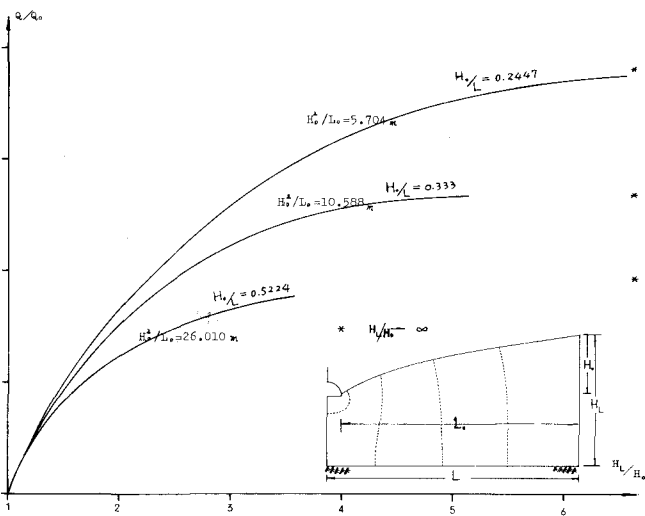


図-8

# 参考文献

- 1). 橋本, 楊, 副島:  
浸透流問題の還元解析法  
九大工学集報, 49巻2号, 1976, PP.75 ~ 82
- 2). 橋本, 楊, 松隈:  
不圧流れの湧水点推定法, 九大工学集報, 49巻1号, 1976, PP.9 ~ 15
- 3). 橋本, 楊:  
不圧流れの湧出点推定法(才2報), 九大工学集報, 50巻2号, 1977, PP.91 ~ 95