

九州大学工学部 正員 橋本 武

学生員 ○楊 勲得

" 松隈宣明

" 副島広巳

1. まえがき

著者らはこれまでトンネル湧水問題の解析をFEMにより理論的に行ってきたが、これらの解析結果がどの程度の精度を有するものかを知る必要があり、この目的から、トンネル湧水実験を行ったので、その結果をここに発表するものである。すなわち、トンネル地山を砂モデルで作成し、トンネル直径 D と動水傾斜 H/L (L : トンネル中心から流入面までの距離)を種々変化させて総計27のケースにつき、地山内各点の水頭とトンネル孔よりの湧水量を測定し、トンネル湧水に関する定性的な特性把握を行うとともにFEMによる解析結果と比較対照したものである。

2. 実験装置および実験方法

写真-1に示めすように長さ 180cm 幅 20cm 高さ 60cm の前面アクリル板張りの鉄製水槽を作製し、滞水層の長さを 80cm 、 120cm 、 160cm に移動できるように工夫した。また、滞水層の両側およびトンネル部分には 0.6mm の金網を張った。底板には図-1aに示めすように水頭値を測定するために総計11本のピエゾメータを配置した。砂の高さは 45cm で 15cm ずつ分けて詰め、透水係数になるべく一樣になるようにバイブレータを用いて層毎に 10cm の等間隔で各点 10sec の振動時間で往復一回振動させてのち水締めを行った。

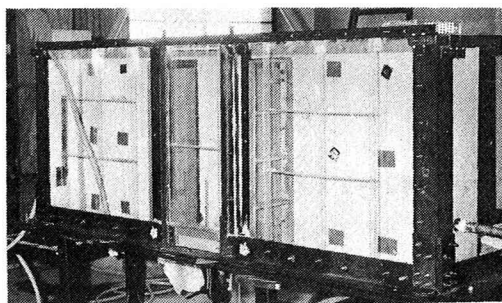


写真-1

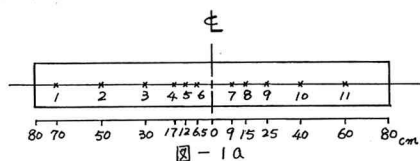


図-1a

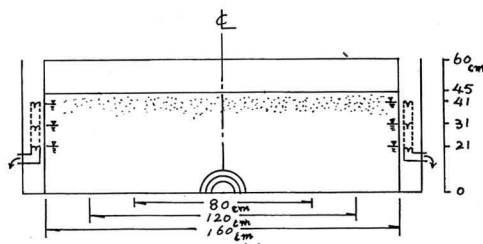


図-1b

実験は図-1bに示すように滞水層の長さを $2L=80\text{cm}$ 、 120cm 、 160cm と変化させるとともに、トンネルの直径を $D=10\text{cm}$ 、 15cm 、 20cm と変化させ、その各々のケースについて流入面の水位を $H_0=21\text{cm}$ 、 31cm 、 41cm と替えて、各点の水頭とトンネル孔よりの湧水量とを測定した。定常トンネル湧水では定常状態になった後、理論的に水頭は変化しないが水の中に溶けている空気が金網を通るとき、金網に附着し、長時間経過すると次第に水が通りにくくなるため、全体の水頭が時間の経過とともに低下傾向を示す。したがって妥当な測定値をうるためには、非定常状態から定常状態になった後のできるだけ早い機会に測定することが望まれる。したがって、本実験ではまず滞水層に水を満たし、滞水層の中の水頭が全べて等しくなったとき、バルブを開けてトンネル内の水を抜き、この瞬間から測定を始め、1分、2分、3分、5分、10分経過時の水頭を測定した。その結果本モデルでは3分を経過した時点ではほぼ定常な湧水状態になるものである。そこで水頭値と湧水量は3分、5分、10分の時点で測定した値の平均値を取り実験値とした。砂の透水係数は測定した湧水量と計算による湧水量から逆算したが、その値はおよそ $k=2.8 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 程度である。

3. 実験結果および考察

実験によりえられたトンネルの湧水量 Q と動水傾斜 H/L (H : 流入面における既知水圧シヤル, L : 流入面と土空間の距離)との関係をプロットすれば図-2に示すとおりであり, これより両者の関係がほぼ直線で表わされていることがわかる。図は L および D をパラメータとして描かれていますがこれら各直線に対する平均勾配は $\tan \theta = 2.398$ である。図より明かなように H/L に対して Q をプロットするならばトンネル直径の影響は H/L の計算に關係するものの直接 $H/L \sim Q$ 曲線を大きく変えるものではないといえるであろう。なお, 図中 $L=80$ cm, 60 cmの場合と $L=40$ cmの場合および $L=40$ cmにおいて $D=10, 20$ と $D=15$ の場合とでズレを生じて

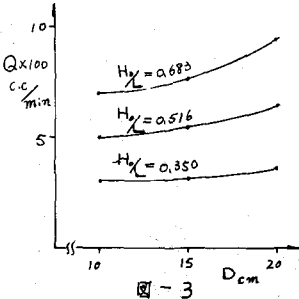


図-3

いるがこれは両実験による砂モデルの透水係数の相違にもとづくもので, したがって, 透水係数が推定できるならば $H/L \sim Q$ 曲線としてまとめられ, このとき, 全ての曲線がほぼ一本にまとまってくるものと推察される。潜水層の長さ $2L=120$

cmの場合について, トンネル直径を換えてその湧水量と直径との関係をプロットすれば図-3に示すとおりである。トンネル直径を換えるとき砂モデルを作成しなおしたのでその透水係数が必ずしも一様ではない点で問題であるが図-2より差程大きな差異はないと推測され, したがって図-3から D の変化に対する Q の変化の様子を定性的に把握することができ。すなわち, トンネルの直径に対する湧水量の変化率は動水傾斜 H/L が大きいかほど急速に増えるものである。図-4は H/L の変化に対する潜水層内水頭の応答を示したもので両者が直線的であることがわかるであろう。また, 流入面の近傍では応答が大きく, トンネルの近傍では小さいといえる。

通常, 湧水問題は有限要素法により解析できるがここでは演算労力の莫大で極めて有能な著者らの手法すなわち還元有限要素法⁽⁴⁾とでも称すべき手法により解析し, その演算結果とさきの実験結果の一例とを対比すれば図-5に示すとおりである。図より明かなように, トンネル地山内各点の水頭の理論値と実験値が極めてよく一致しているといえ, 理論計算の妥当性を知ることができる。

参考文献

- (1) 橋本 武, 楊 勲得, 松隈宣明: FEMによるトンネル湧水の解析 第29回土木学会年次講演会講演集III p. 3. 49. 10
- (2) 橋本 武, 楊 勲得, 松隈宣明: トンネル湧水の非定常解析 第30回土木学会年次講演会講演集III p. 477. 5. 50. 10
- (3) 橋本 武, 楊 勲得, 松隈宣明: 予圧流れの湧出量推定法 (4) 橋本 武, 楊 勲得, 松隈宣明, 副島広巳: 浸透流問題の還元解析法 九大工学集報第49巻2号

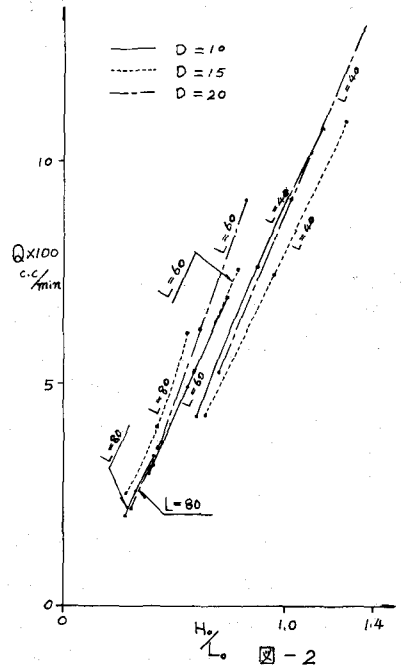


図-2

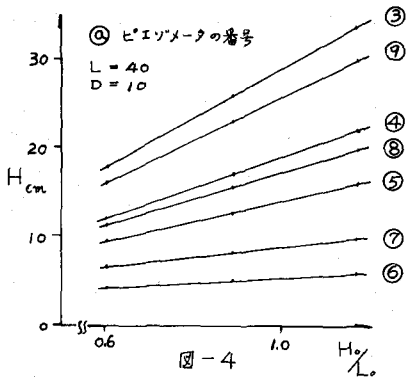


図-4

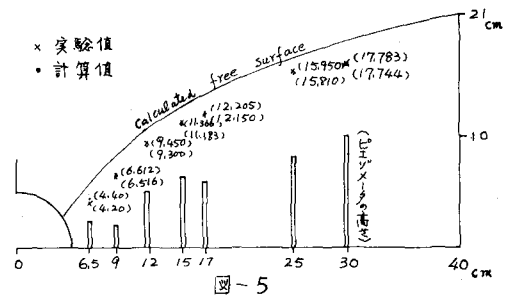


図-5