

埼玉大学工学部 正 員 ○渡 辺 邦 夫
" " 佐 藤 邦 明

はじめに

最近の青函トンネルに代表される水底トンネル掘削に伴う湧水では、水源は無限といってよく、湧水予測や適切な湧水処理は施行上・管理保守上重要な問題となる。しかし、トンネル掘削に伴う湧水の研究、とりわけ湧水量の正確な推定については、地山地質の複雑さや開削周囲の地下水流れが三次元的になることもあって、非常に困難であり、従来十分な成果が得られているとは言い難い。筆者らはトンネル湧水の研究に着手したが、今回特に、均一無限透水層に掘削された水底トンネル切羽からの湧水量の算定に関し、近似式を導き実験によって基礎的に研究したので報告する。

1 理論的近似式

今、図-1のように水深 H_0 、水底よりトンネル中心までの距離 H のところに半径 R のトンネルが掘削されるものとする。切羽周囲の地下水流れは三次元的であるが、まず切羽に鉛直上方より一次元的に流入する流量をもとめ、それに切羽周囲の流れの場で決定される補正係数 C を乗じて全体の流量を近似的に算定する。そこで、切羽部に長さ b 、幅 dh をもつ微小面積 dA を考え、水底より微小断面までの距離を h とし、動水勾配を I とすれば、

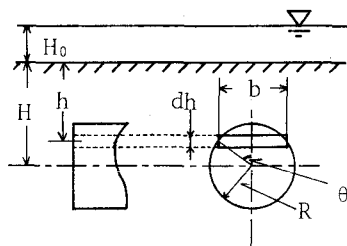


図-1 切羽周囲の記号説明

$$dA = b \cdot dh = 2R^2 \sin^2 \theta d\theta$$

$$I = (H_0 + h) / h, \quad h = H - R \cos \theta$$

となる。ここで、トンネル内部は大気圧としている。また、全体の流量 Q は地山の透水係数を K として、

$$Q = C \int_0^\pi 2KR^2 \sin^2 \theta \left(1 + \frac{H}{H - R \cos \theta} \right) d\theta = 2C\pi KR^2 \left\{ \frac{1}{2} + \frac{H_0}{R^2} (H - \sqrt{H^2 - R^2}) \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

である。また、(1)式を無次元化表示すればつぎのようになる。

$$\frac{Q}{KR^2} = 2C\pi \left(\frac{1}{2} + X \right), \quad X = \frac{H \cdot H_0}{R^2} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{H} \right)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、補正係数を湧水係数と呼び、その値は実験的に決まるものとする。

2 実験方法

実験は図-2、図-3に示される実験装置(A)、(B)を使用して行った。どちらの実験装置も透水性内箱と外箱より成り、内箱と外箱の間はオーバーフローにより水位を一定に保つ。内箱側面は金網(約0.31mmメッシュ)がはりつけられた有孔鉄板より成り、水は自由に内箱内に流入する。内箱中に砂をつめ透水層を作るが、今回の実験では底部に砂利をしき、透水係数の大きな層を下部に作ることによって透水層厚さが無限大の条件を設定した。この透水層中にトンネル模型が埋めこまれる。トンネル模型は塩ビパイプ製で切羽部は金網がかぶせられ、砂の流入を防いでいる。実験条件を表-1に示すが、EXP-1~EXP-5までは土被りが小さいこともあって実験装置(A)を使用し、それぞれのシリーズでは H を一定にし H_0 を変化させた。EXP-6は実験装置(B)を使用し、このシリーズでは砂層の状態を乱さないよう表層を削り取り、 H と H_0 を共に変化させた。さらに、切羽周辺の間隙水圧を図-6のように測定した。なお、内箱中

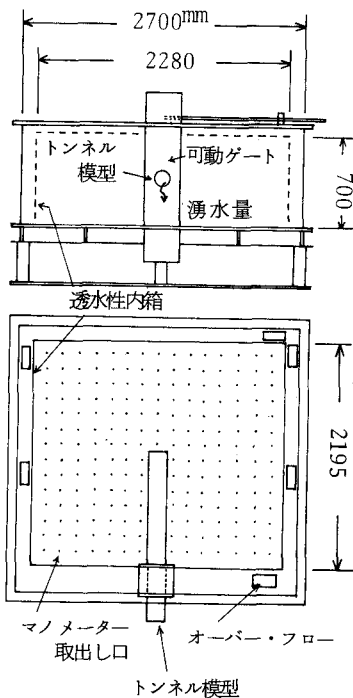


図-2 実験装置 (A)

表-1 実験条件

実験番号	実験数	R (cm)	H (cm)	透水係数 (cm/s)
EXP-1	10	5.35	21.4	3.2×10^{-3}
-2	6	〃	13.7	〃
-3	9	2.19	13.1	〃
-4	9	〃	23.1	2.8×10^{-3}
-5	8	〃	15.3	〃
-6	8	2.52	変化	6.5×10^{-4}

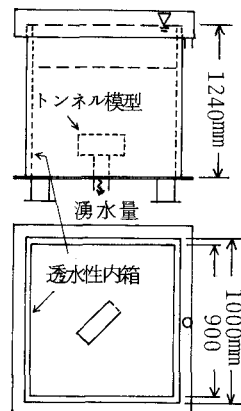


図-3 実験装置 (B)

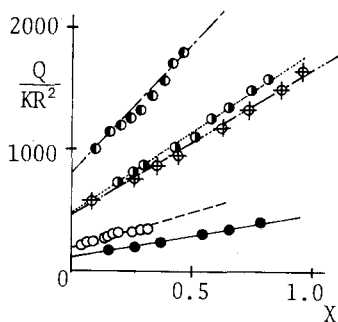


図-4 Q/KR^2 と X の関係

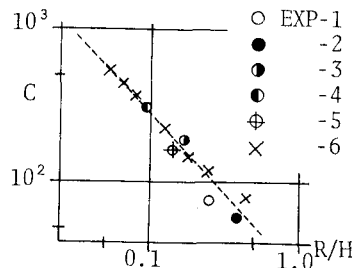


図-5 C と R/H の関係

につめられた砂の透水係数は、実験終了後シンウォール・チューブにより不攪乱資料を採取し、定水位透水試験を行ってもとめた。

3 実験結果と考察

このように、ある R、H についてそれぞれ水深 H。を変え、50 種の実測

を行った結果をまとめるとつぎのように整理される。まず、(2)式は、 Q/KR^2 と X との関係が一次直線で表わされることを示している。今回の実験結果から Q/KR^2 と X との値をプロットしたものが図-4 であるが、明瞭な直線関係を示しており、(2)式の性質の妥当性を表している。また、図-5 は湧水係数 C の値と R/H 比との関係を表わしたものであり、両対 0.0 数紙上で直線関係をもっていることが読みとれる。図中の破線は、最小二乗近似した直線であり、これは、

$$C = A (R/H)^n; \quad A = 2.438, \quad n = -1.04 \quad \dots\dots (3)$$

で示される。また、EXP-1 と EXP-2 シリーズの中で、水深 H。の異なる代表的なものについて、間隙水圧分布をトンネル周辺で 0 として表わしたものが図-7 である。これによれば、H が小さくなるにつれて切羽上部での水圧降下が大きくなり、上部よりの流速が増加することがわかる。

今回、こういった簡単な方法で近似式をたて実験的に検討したが、水底トンネル切羽からの湧水量がある程度推定しうるものと考えている。

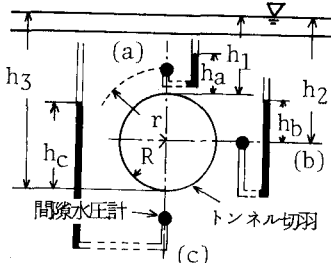


図-6 間隙水圧の測定

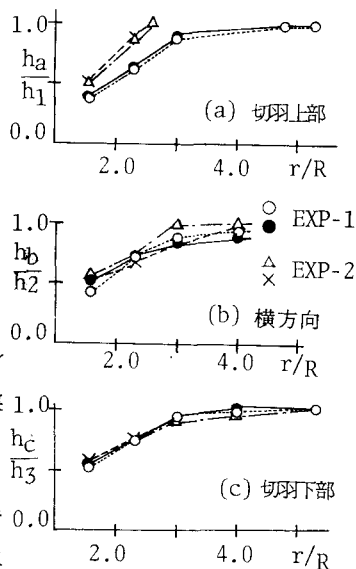


図-7 切羽周囲の間隙水圧分布