

京都大学工学部 正会員 足立 紀 尚
 京都大学工学部 正会員 大西 有 三
 京都大学大学院 学生員 ○西 垣 誠

1. はじめに 岩盤内にトンネルを掘削する際に、出水の取り扱いがしばしば問題となり、出水による切羽の崩壊を防止するために注入領域を設け、その周辺に多数の水抜孔を配置などの処理が採られている。これらの水抜孔の機能を定量的に評価すること、および現場において水抜孔の開閉試験を行つた結果より、岩盤内の透水係数を推定することは、重要な課題であると考えられる。本研究は、上記の問題に対処するために、有限要素法による定常浸透流の解析を行い、水抜孔の機能と岩盤の透水係数の推定を行つた。

2. 有限要素法による解析と結果

図-1には、対象とするトンネル周辺に配置した水抜孔と注入領域を示し、トンネル中心より上下左右に30cmの位置を境界とするようにして要素分割を行つた。有限要素法による定常浸透流の解析の中で、自由水面を持たない浸透流（被圧滞水層内の浸透流）の解析は、比較的簡単であり次に示すように求めることができる。

連続の式

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0 \quad \text{-----} (1)$$

Darcy の法則より

$$v_i = -k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \quad \text{-----} (2)$$

境界面において

$$h(x_i) = H(x_i) \quad \text{-----} (3)$$

(1)式と(2)式より

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) = 0 \quad \text{-----} (4)$$

(3)式と(4)式より汎関数は

$$\Omega(h) = \int_R \frac{1}{2} k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \frac{\partial h}{\partial x_i} dR - \int_{A_i} (h-H) k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} n_i dA \quad \text{-----} (5)$$

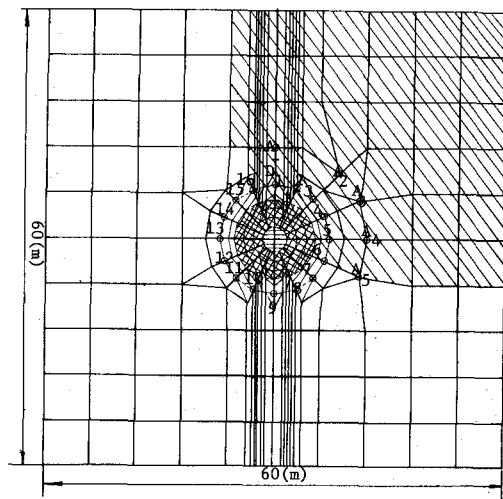


図-1

となり、Ritzの方法によつて(5)式の最小化を行い、各Nodal pointの間けき水圧を求める方法である。

図-1におけるハッチの部分は注入領域を示し、その透水係数を $\bar{k}g$ 、また自然地山の透水係数を K_1 とし、常時開放されている $A_1 \sim A_5$ の5孔に対しては、実測値である湧水量を条件として与えた。図-2における実線は、水抜孔閉塞時における各孔内の間けき水圧の実測値を示し、また図中の一点鎖線は、地山の透水係数 $K_1 = 5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 、注入領域の透水係数 $\bar{k}g = 5 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ を用いた解析結果を示したものである。しかし、この結果から右上部においては解析結果が実測値と一致しないことが明らかである。これを補正するため、図-1に示すように右上部の自然地山における透水係数が他の部分より小さいと仮定し、斜線をほどこした領域の透水係数を $K_2 = 5 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ として解析をした。その結果は図-2の破線で示されるが、全体にわたつて比較的よい一致を示していることがわかる。この際の試験坑道内への湧水量を計算すると、 $\bar{k}g = 5 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 、 $K_1 = 5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 、 $K_2 = 5 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ の場合に $Q_T = 0.527 \text{ cm}^3/\text{Sec.cm}$ であり、その実測値 $Q_T = 0.56 \text{ cm}^3/\text{Sec.cm}$ に比較して、一応妥当な結果が得られている。これらの結果から、

ここで仮定した透水係数は Order 的には妥当なものと考えられる。次に、 D_1 から D_{10} の水抜孔を開放したときの実測値を用いて、上と同じ透水係数を用いた解析を行い、各点における間げき水圧を求めた。その結果の一例をとくに注入領域の外周における間げき水圧の分布として図-3の黒丸で示している。図中の白丸と実線は、前述した全孔閉塞状態での注入領域外周での間げき水圧分布である。これらの結果より水抜孔を開放しても、水抜孔内部では間げき水圧が残留することを示している。また、 D_1 から D_{10} の水抜孔を開放した際に、それぞれの水抜孔では間げき水圧が零であると仮定して解析すると、その要素分割からも明らかな通りその内部、例えば図-3の白丸破線で示すように注入領域外周面では間げき水圧が零となる。また、その時の各孔の湧水量は図-4に破線で示しているが、実測値である実線と比較してよい一致は得られていない。このことは種々の理由が考えられるが、ここでは次のように考える。すなわち、水抜孔でそこに流入する湧水量 Q をすべて排水すれば、その部分とその内部での間げき水圧は零となり最後の解析と一致する。したがって、図-4に示す解析値量の排水を行う必要があることになる。しかし、実測値 Q_d は実際に測定された湧水量であつて、水抜が完全に行われていないことを示している。そこで、 $md = Q_d / Q$ なるパラメーターを導入して各孔における md を計算した結果の平均は、 $md = 0.69$ となり、全孔開放した状態でも $md = 1$ とならず、水抜孔配置部より内部において間げき水圧が残留することを示している。このことは、試験坑内への湧水量が全孔閉塞から全孔開放状態に移行することにより、約 $1/3$ になる事実と一致した。図-5は、試験坑道の中心より左右の点における間げき水圧分布を示している。図には、全孔閉塞状態におけるものと、開放状態で実測湧水量を用いた場合の解を d_1 、また水抜孔では間げき水圧が零となる場合の解を d_2 としてそれぞれ示してある。

3. 結 論

以上の解析ならびに考察により、一応用いた透水係数は Order 的には妥当なものであろう。また、水抜孔の機能も定量的に評価できたと考えられる。

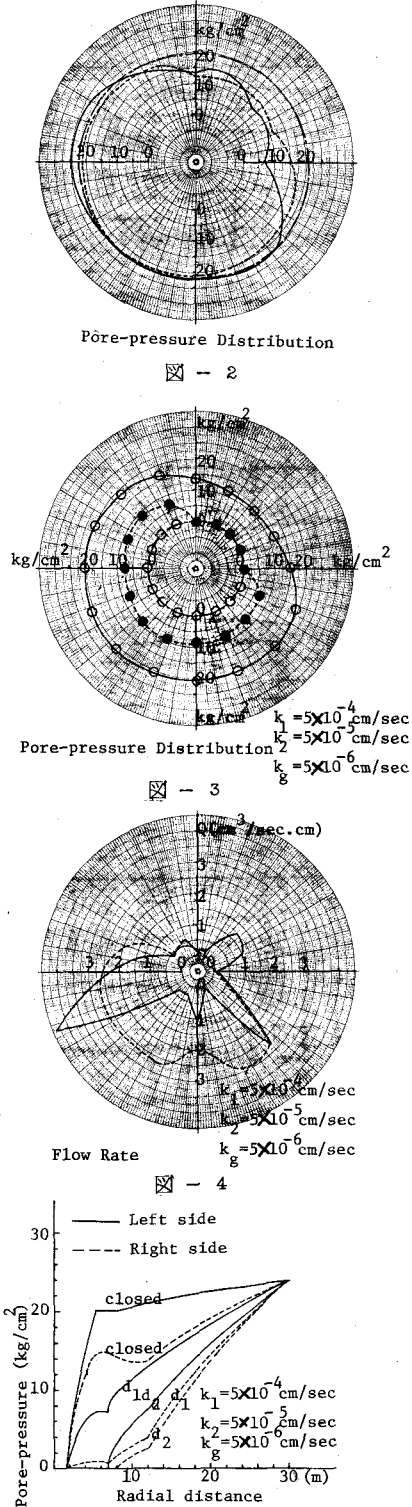


図 - 5