

埼玉大学 正員 嶋 祐之

1 はじめに 海底下にトンネルを掘削するにあたり、とくに掘削地点が断層破砕帯を通過するような場合には、出水およびそれに伴う切羽の崩壊を防止するための特別の考慮が拂はれている。すなわち、図-1に示すように、掘削半径 r_2 に比し充分に大きい半径 r_3 の注入領域を設け、さらにその周辺に多くの水抜孔を配置した状態で内部の掘削が行なわれることが多い。この際水抜孔は、①注入域外周にかかる水圧を軽減させる；②注入域内の間隙水圧を減少させ、注入域のせん断抵抗を増加させる；③切羽における湧水を防止する；等の重要な機能を果すものと考えられる。しかし、対象とする地山の岩盤あるいは破砕帯のようなものであるため、定量的な機能の評価が著しく困難である。

本文は、先ず透水層が等方性であるとした場合の水抜孔に関する解析結果が、実際の測定結果とかなりの差異のあることを紹介し、次に岩盤内の透水経路としていくつかのモデルを想定し、それぞれのモデルで水抜孔周辺にどのようなポテンシャル分布が得られるのかを知ることにより、前記の差異の起る可能性について検討を行なったものである。

2 等方性透水層の解析結果と実測結果

筆者は、図-1に示す流れの場合において、注入域は不透水層と考え、 $H_1 \gg r_3$, r_4 とした時の水抜孔周辺におけるポテンシャル分布を求めた。(土木学会；青函トンネル土圧研究調査報告書，昭和45年度，参照) この結果から、図-2に示す代表点B、B'およびC点のポテンシャルを水抜孔の孔数 n の関数として表わしたものが図-3である。ただし

$$h = \frac{P_0 + \gamma - r_4}{H_1 + H_2 - r_4} \quad \text{で定義され、計算条件と}$$

しるは $H_1 = 230 \text{ m}$, $r_3 = 20 \text{ m}$, $r_4 = 21 \text{ m}$, $r_2 = 4 \text{ cm}$ としている。

この図より、例えば水抜孔数を12とした場合、注入域外周での水圧は全水圧の20%以下に抑えられ、半数の6孔でも40%以下とすることが期待できる。

一方、現場での計測結果(鉄建公団，井上敬男；竜巻斜坑崩壊箇所突破について，P.51~54，参照)によれば、湧水圧は15~20 kg/cm²の範囲にあり、全水圧25 kg/cm²に比し60~80% となっている。また、同様の結果は土木学会，青函トンネル土圧研究委員会が昭和48年~49年に行なった現地試験の結果からも得られている。

このような事実は、岩盤内の透水が対象とする領域に対し有限な数の優勢な透水経路によって支配され、またその経路が非等方性でかつ不均一であることによるものと思われる。

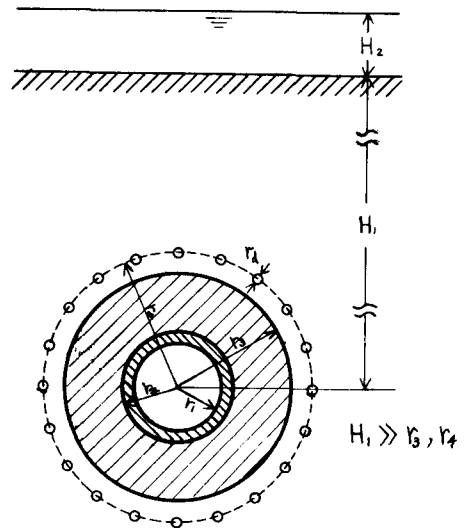


図-1 海底トンネル掘削断面

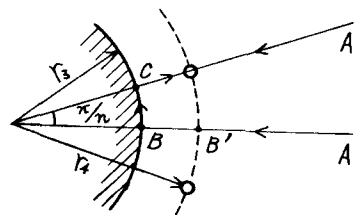


図-2 水抜孔周辺の代表点

3 亀裂モデルに関するポテンシャル分布

現象を単純化するため、岩盤内に互に直角に等間隔の透水経路(亀裂)が走っているとする。水平亀裂と鉛直亀裂の交点の座標を (i, j) で、また水抜孔の位置の座標を (ia, ja) で表わすこととする。そこで、鉛直亀裂の上端は単位ポテンシャルに接し、水抜孔は零ポテンシャルとした場合、各格子点におけるポテンシャルの値は、ダルシー法則と連続の方程式を組み合わせた多次連立方程式を解くことにより求められる。

以下に、いくつかのモデルについて求めた数値計算結果とその特性について述べる。

(a) モデル1 $i = 0 \sim 10, j = 0 \sim 10$ とし、 $ia = 5, ja = 5$ に水抜孔のある場合である。いま、 $R = \frac{h}{h_c}$ とし、 R の変化に伴う $j = 5$ 上でのポテンシャル分布を示したものが図-4である。いま $j = 0$ を注入域の外縁と考え、 $i = 10, j = 5$ に隣接水抜孔があり、これを閉塞して湧水圧を測定したとすれば、湧水圧は同点のポテンシャルと同等になる。したがってこの図より、鉛直亀裂相互の膨張状態が悪い程(R が大)、過去の湧水圧を示すこととなり、ひいては水抜孔の機能が低下することとなる。(岩盤内亀裂の非等方性)

$i = 0 \sim 10, j = 0 \sim 30$ の場合の結果では、この傾向はかなり緩和されることが知られる。

(b) モデル2 このモデルは図-5に示されるように、中央部に帯状の細かい網目が入ったものである。大小の網目の間隙の比は6:1となっている。各経路の比抵抗が等しいとすれば、帯状部分は他の亀裂に比べ相対的に水を通しやすい、いわば破砕帯を示すことになる。そこで、 $R = 1$ とし、A、BおよびQに水抜孔が置かれた場合、AおよびQに同時に水抜孔が置かれた場合、および $R = 5$ とし、Aに水抜孔の置かれた場合、合計5つの状態を想定する。それぞれの場合に對する $j = 1 \sim 2$ 上でのポテンシャル分布を示したものが図-6である。

この図より、① 破砕帯中に水抜孔を設けた場合には、湧水量は当然大きくなるが、その割には周辺岩盤 ($i = 0$ or 12) での水圧降下は大きくならない；② R の値が大きければ、周辺部の水圧降下はさらに減少する；③ 水抜孔の周辺に破砕帯が存在する場合には、水抜孔による水圧降下は破砕帯の向う側にすでは及び及ばない；……の諸点が明らかとなる。このことは岩盤の不均一性による効果と見なされる。

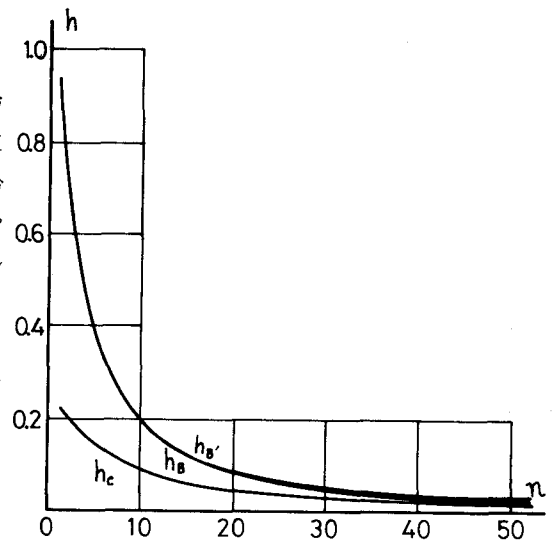


図-3 水抜孔数と代表点のポテンシャル

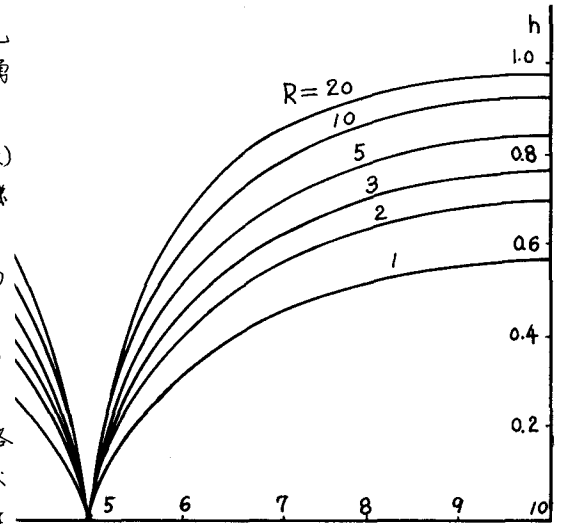


図-4 R の変化に伴う $j = 5$ 上でのポテンシャル分布

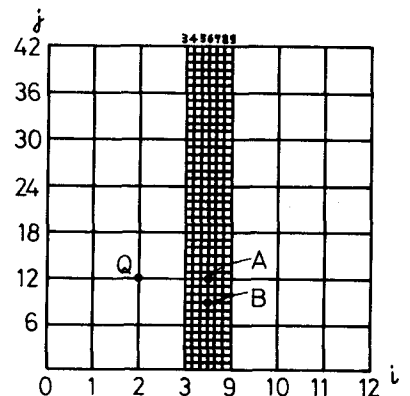
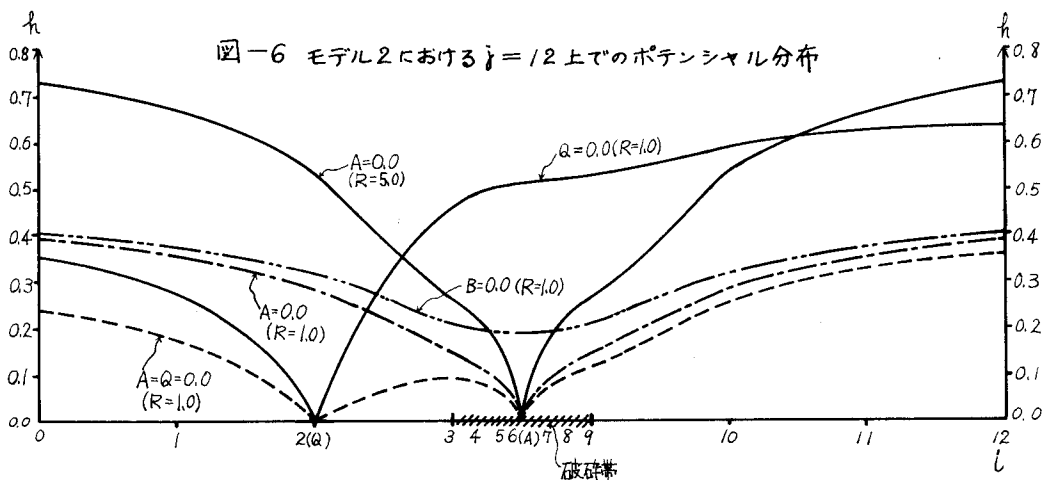


図-5 モデル2



(C) モデル3 岩盤は優勢な亀裂群により、比較的粗模の大きいブロック構造をなしていると考えられる。しかし、ブロック中にも細かい亀裂が発達しているため、水枝孔が優勢な亀裂を貫いている場合より細かい亀裂を貫く確率が大きい。

図-7はこのような場合のモデルである。A点に水枝孔が置かれた時、 $X = \frac{R_0}{R_{0.0}}$ の変化に伴う $j=5$ までのポテンシャルの分布を求めたものが図-8である。ここに、 R_0 は外側亀裂の透水係数、 $R_{0.0}$ は内部亀裂の透水係数であり $X > 1$ と考えられる。ただし $R = \frac{R_0}{R_{0.0}} = 1$, $R_R = \frac{R_{0.0}}{R_{0.0}} = 1$ としている。この図より以下の事項が指摘される。① ブロック内での水頭損失の占める割合が外側亀裂のそれと比し大きく、その割合はXの値が大きいく程増える。換言すれば、水枝孔が優勢な亀裂を貫いていない限り周辺部の水圧低下が起らず、その機能は低下することになる。

② 4と5の内部で水枝孔を横切る断面を考えれば、その断面におけるポテンシャル勾配は非常に急激なものとなる。

このモデルでは、Xを固定して $R = R_0$ を変化させる場合、X, R_0 を固定してRを変化させる場合、X, Rを固定して R_0 を変化させる場合等が考えられる。上の二つの場合は、いずれも鉛直亀裂の透水性が水平亀裂のそれと比し大きい程周辺部の水圧低下は少なくなる。然し③の場合は、ごくわずかなのであるが水圧低下の傾向は逆転する。

4 おわりに 岩盤内の透水現象は、岩盤の構造、亀裂の発達状態、水枝孔の位置等により複雑に変化するが、本文はその一例を示したものに過ぎない。水枝孔の適正配置については今後の研究に持ち度い。本研究に協力された東京都林部佐道氏ならびに大成建設金子実氏に謝意を示す次第である。

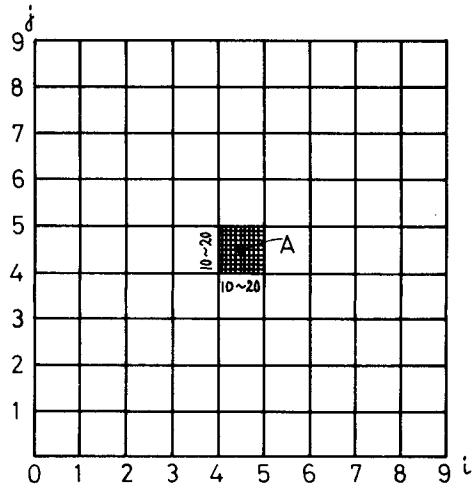


図-7 モデル3

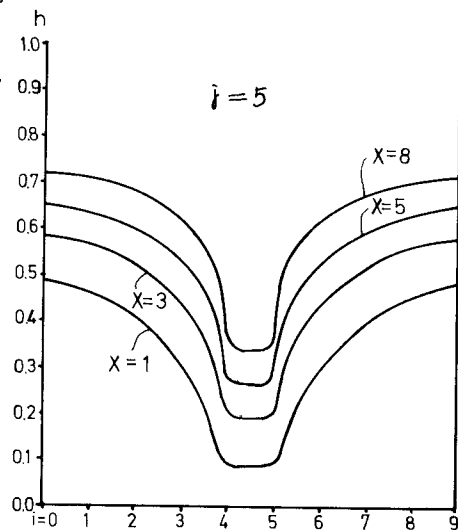


図-8 モデル3におけるポテンシャル分布