

III-A 310 地下岩盤試験場の水理特性に関する検討（その3）

一均質異方性媒体モデルによるクロスホール透水試験シミュレーション解析一

(株) 大林組技術研究所 正会員 須藤 賢、丸山 誠

(株) 大林組技術研究所 正会員 丹生屋純夫、藤原紀夫

1. はじめに

亀裂性岩盤の岩盤水理特性およびモデル化の研究を目的に、当社の保有する岩盤試験場で亀裂調査、原位置透水試験を実施している<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。この試験場において、クロスホール透水試験を行い、均質異方性媒体と仮定して、Hsiehらの提案する方法<sup>5)</sup>で3次元透水係数を求めた<sup>3), 4)</sup>。ここでは、得られた3次元透水係数を入力定数としたシミュレーション解析を実施して試験結果について検討したので、以下に報告する。

2. 試験の概要

調査・試験地点は当社が岐阜県神岡鉱山栃洞坑道内に保有する地下岩盤試験場で、標高約850m、土被り約175mの場所である。その神岡岩盤試験場内において、図-1に示す位置に3本の試験孔（径76mm、長さ約13m）を設置した。試験位置の岩種は、花崗岩質岩・片麻岩からなる伊西岩・空地鉱が現れている。透水試験は、単孔式透水試験とクロスホール透水試験を実施した。単孔式透水試験は、試験孔の亀裂調査結果から試験深度を設定し、ダブルバッカー方式で1mの試験区間に区切って行い、順次、試験深度での定圧注水透水試験を3孔で15区間実施した。その結果、透水係数は約 $1 \times 10^{-9}$ 以下～ $9.7 \times 10^{-6}$  cm/sの範囲で、 $10^4$ オーダーの開きがあるが、これは比較的浅部の透水性が良い結果である。クロスホール透水試験は、1孔を注水孔、他の2孔を観測孔とし、注水孔ではダブルバッカーで注入区間を1mで区切り、観測孔では多段式バッカーで3区間の観測区間（1m）を設けている。試験は、注入区間を各試験孔の中で透水性が良く圧力応答が多く認められた各々H1孔②区間（試験No.2, No.3）、H2孔②区間（試験No.1）、H3孔②区間（試験No.4, No.5）として合計5回の試験を実施した（図-3参照）。試験方法は、注水孔内の注入区間に定流量送水し、観測孔内に設置した圧力センサーによって各観測区間の圧力の経時変化を測定した。試験結果の解析は、試験領域を巨視的に異方性を有する均質媒体と仮定して、観測孔で得られた28の圧力応答結果を利用して、Hsiehらが提案した方法で求めた主透水係数と主軸方向を表-1に示す。表-1に示す主透水係数の対数平均は約 $1 \times 10^{-6}$  cm/sで、単孔式透水試験結果と比較すると、注入区間H1②とした位置での透水係数の最大値 $9.7 \times 10^{-6}$  cm/sに近い値が得られた。また、図-2に透水楕円と測定値の関係（H1-H2断面）の一例を示すが、巨視的に近似された楕円が得られている。

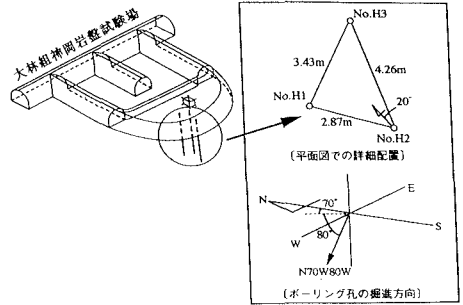


図-1 調査・試験位置

表-1 主透水係数と主軸方向

主透水係数 (cm/sec)	主軸方向
$Kw1=4.232 \times 10^{-5}$	N29.2° W64.6° W
$Kw2=9.204 \times 10^{-6}$	N63.1° E 1.1° E
$Kw3=3.163 \times 10^{-6}$	S26.3° E 25.4° E

比貯留係数： $7.276 \times 10^{-5}$  (1/m)

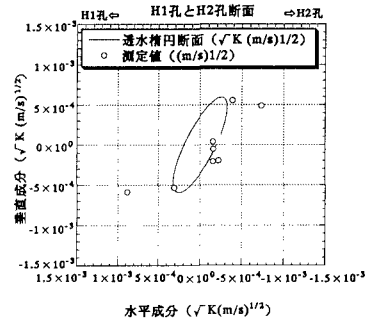


図-2 透水楕円と測定値(H1-H2断面)

3. クロスホール透水試験のシミュレーション解析

表-1に示す3次元の主透水係数と比貯留係数を水理定数としてシミュレーション解析を実施した。解析モデルの概要を図-3に示す。境界条件としては、解析領域の外周に流出境界条件、注水孔の注入区間（1m）を流入境界条件とし、モデルの上下面は不透水条件とした。

シミュレーション解析は、解析コードSIGNASを使用して、3次元飽和浸透流非定常解析を実施した。解析ケー

ス試験No1～No5の5ケースで、各注水孔の注入区間に注入流量（試験No1:H2②25.2cc/min、No2:H1②71.3cc/min、No3:H1②60.8cc/min、No4:H3②7.4cc/min、No5:H3②6.9cc/min）を一定として与えた場合の3次元非定常解析を行った。

### 3. 1 注水孔水頭変化量解析結果

図-4には、各注水孔の水頭変化量についての測定値と解析値の関係を示す。図-4に示すように、各ケースの解析値は、測定値に比べて小さい。その傾向は、注水孔H3②区間とした試験No4と試験No5、次に注水孔H2②区間の試験No1が著しいが、注水孔H1②区間での試験No.2、No3の解析値は測定値に近い結果である。これは、H1②区間の単孔式透水試験の透水係数が今回の3次元透水係数の対数平均に近いため、試験区間H1②を注水孔とした解析値は測定値に近い値が得られたものと考えられる。また、H1②区間は全孔の単孔式の透水係数の最大値を示し、水頭変化量の解析値は測定値より小さいことから、今回の楕円近似して求めた3次元透水係数は、試験区間とした高透水性の透水亀裂に大きく影響されているものと考えられる。

### 3. 2 観測孔水頭変化量解析結果

解析結果の一例として、図-5に試験No2の注水孔H1②とした場合の観測孔H2の②、④、⑥区間の測定値と解析値の水頭経時変化を示す。H2孔の各区間の応答順序は解析値と測定値とも同じであるが、水頭経時曲線の立ち上がり時間とH2④、⑥区間の最終の水頭増加量は一致しない結果である。これは、今回の楕円近似した3次元透水係数では、図-2の透水楕円と測定値の関係でバラツキが見られること等から、亀裂を対象とした総ての応答曲線を調和よく表現することは難しいものと考えられる。

### 4. おわりに

神岡岩盤試験場において実施したクロスホール透水試験からHsiehらの提案した方法で求めた均質異方性媒体とした3次元透水係数を入力定数としたシミュレーション解析結果と試験結果について検討した。その結果、クロスホール透水試験シミュレーション解析から、注水孔の水頭変化量は測定値より小さく、今回求めた3次元透水係数は試験区間とした高透水性の透水亀裂に大きく影響されていることが分かった。

今回、クロスホール透水試験により岩盤の水理特性・水理モデル化の検討を進めてきたが、トレーサー試験についても現在進めており、それらの結果も踏まえて、今後、さらに岩盤水理特性について検討していく予定である。

#### (参考文献)

- 1)須藤ほか：低透水性岩盤の亀裂特性と原位置透水試験・透気試験結果について、第49回年次学術講演会、PP142～143、1994
- 2)鈴木ほか：地下岩盤試験場の水理特性に関する検討（その1）岩盤亀裂調査による等価透水テンソルの推定、第50回年次学術講演会、pp.122～123、1995
- 3)須藤ほか：地下岩盤試験場の水理特性に関する検討（その2）原位置岩盤のクロスホール透水試験結果について、第50回年次学術講演会、pp.120～121、1995
- 4)須藤ほか：神岡岩盤試験場でのクロスホール透水試験による水理特性の検討、第27回岩盤力学に関するシンポジウム、pp191～195、1996
- 5)P.A.Hsieh et al : Feild Determination of the Three Dimensional Hydraulic Conductivity Tensor of Anisotropic Media  
2.Methodology and Application to Fractured Rocks,Water Resources Research,Vol.21,No.11,pp.1667-1676,1985

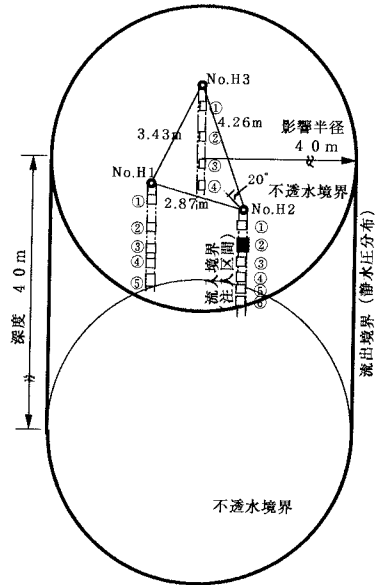


図-3 解析モデルの概要  
（注入区間 H2 ②の場合）

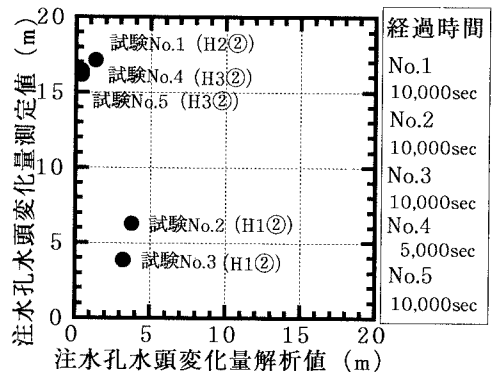


図-4 各注水孔の水頭変化量測定値と解析値

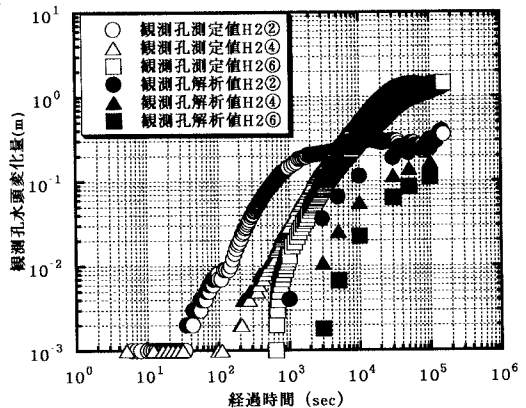


図-5 観測孔 H2 孔の水頭変化量経時変化