

節理性岩盤の3次元浸透流解析に関する現場実験的検討

京都大学工学部

菊地 宏吉

水戸 義忠

吉川 浩二

神田 耕治

三井建設（株）

中田 雅夫

山田 文孝

1. はじめに

塊状硬質岩盤の浸透流は節理系を主たる浸透経路とする流れと考えられているが、これまでに筆者らは、解析手法の開発のために岩盤中の地下水流れを把握することを目的として現場実験を行い、水理モデルの基礎となるいくつかの貴重な知見を得てきた。本研究では新たに行った現場実験について報告するとともに、これまでに構築されてきた3次元浸透流解析システム¹⁾の検証を行った。

2. 浸透流現場実験の内容とその結果

本実験は、花崗岩の採石場において供試体ブロック（1.8m×1.5m×1.3m）を切り出して行った。まず表面節理調査を行った後に1壁面に水室を設け（図1）、以下の手順で実験を行った。

- 1) 流量測定試験……水室内の水頭を5段階（昇降圧計9段階）変化させた条件下で流出量を測定した結果、ダルシー則の成立を確認した。透水係数は、 $1.54 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ となった。
- 2) 流速測定試験……着色水を水室から注入し、流出するまでの時間を測定。浸透所要時間は248secで、概算により流速は0.73cm/secとなった。
- 3) グラウト注入……節理系内の流路のトレーサーとして、水室からグラウト液を注入した。
- 4) 流路調査……節理面に沿って供試体を分解し、節理の連結状態とグラウト固結地点を詳細に調査した。調査結果より節理内の流れがチャンネルフローであることを確認した。また、各節理に対してその流路構造を流路トレース図に再現し、有効間隙面積率を算出した。これらの調査結果を基に決定論的解析モデルを作成した。

3. 決定論的解析モデルによる浸透流解析手法の検証

3次元浸透流解析システムの概要を図2に示す。このシステムは、確率論を用いた3次元節理分布のモデル化手法と、解析モデル作成から、次式に示すDirichlet問題のFEM解析までの解析手法によって構成される。

$$[K]\{h\} + \{Q\} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$[K]$ ：全体剛性マトリックス

また、水理モデルとして複数パイプモデルを採用しており、各流路要素での透水係数 K_j は次式で表される。

$$K_j = \frac{g t_j^2}{32\nu} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 t_j ：流路要素jの開口幅、 g ：重力加速度、 ν ：動粘性係数である。

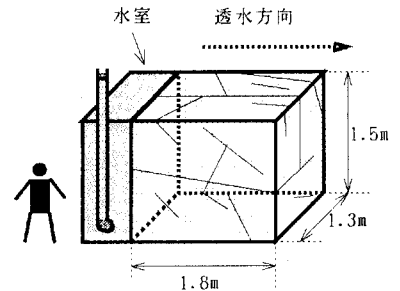


図1 供試体概念図

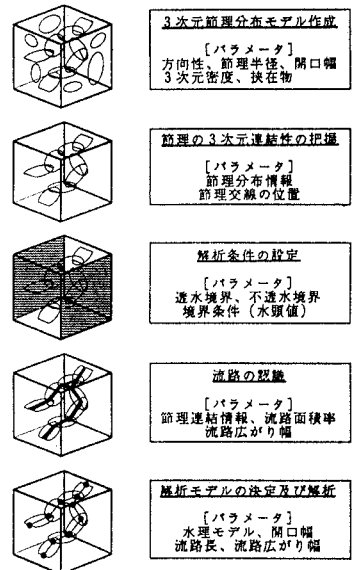


図2 浸透流解析システムの概念図

今回、節理分布モデルから解析モデルの決定までを流路調査に基づいて行い、信頼性の高い決定論的解析モデルを作成し、解析を行った。そして解析値と実測値との比較により解析手法の妥当性を検証した。検討項目とその結果を以下に示す。

1) 透水係数は $0.70 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ となった。

2) 要素流速分布を図3に示す。要素流速は、FEM解析に用いた各流路要素を流れる流速を次式より求めたものである。

$$v_j = K_j \cdot i_j \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 K_j ：式(2)、 i_j ：流路要素j内の動水勾配

3) 有効間隙率を考慮した流速は、 0.48 cm/sec となった。これは、解析領域を通過する流量を、有効間隙で除したもので、流速試験結果 0.73 cm/sec に対応するものである。

4) 浸透所要時間分布を図4に示す。これは、流路要素を浸透経路として求めたもので、流速試験結果248secに対応する。解析値のうち最短所要時間は81secとなった。

以上の解析結果と実測値との対応性を考えると、いずれの検討項目においてもオーダー的により対応を示している。このように解析結果が全般的に実現象をよく再現できていることから、解析手法の妥当性はかなり高いものといえる。

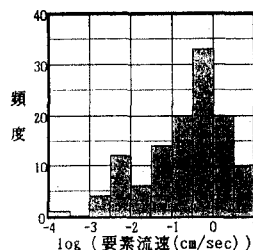


図3

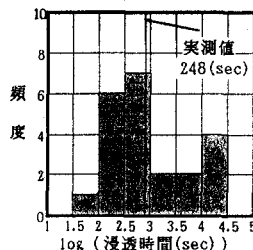


図4

4. 節理分布モデル化手法の検証

次に節理調査結果より3次元節理分布モデルを作成し、これを3.において妥当性を得た解析手法に適用して、現場実験のシミュレーションを行った。これは確率的な手法であるため、100個の節理分布モデルを作成して各々について解析し、結果のばらつきを評価して解析解の信頼性を高めた。3.と同様に解析結果を実測値と対応させ、モデル化手法の妥当性を検証した。

透水係数の解析結果、要素流速分布、有効間隙率を考慮した流速の分布、浸透所要時間の分布をそれぞれ図5～図8に示す。透水係数の平均値は $2.85 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 、有効間隙率を考慮した流速の平均値は 0.83 cm/sec となった。どちらも現実と非常によく対応している。図3と図6の分布が良く似ていることから、確率モデルは決定論的モデルと良く対応しているといえる。またいずれの分布図からも実測値との良い対応が認められることから、モデル化手法は妥当なものであるといえる。

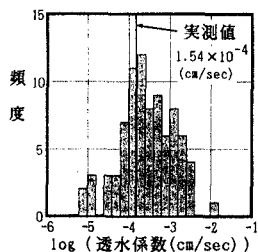


図5

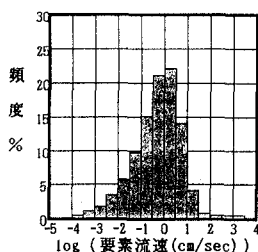


図6

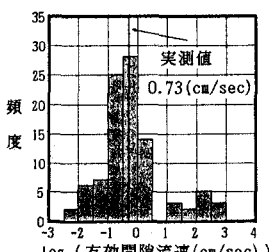


図7

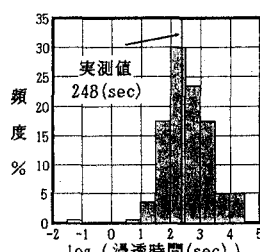


図8

5. おわりに

解析手法、モデル化手法のそれぞれについてその妥当性を検証できた。従って本システムは十分に妥当なものであるといえる。今後はより地下深部の岩盤や広域的な領域に本システムの適用を試み、さらに、REVの問題を含めて検討していく所存である。

参考文献

1) 水戸義忠・菊地宏吉・山本佳正・吉川浩二：節理性岩盤における3次元浸透流解析システムの提案、第25回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1993