

京都大学工学部 正会員 大西有三
 京都大学大学院 学生会員 田中 誠
 不動建設 正会員 ○角谷明臣

1. はじめに

一般にルジオン試験の結果の解釈においては、岩盤中の浸透流は層流であると仮定される。しかし、透水性の高い亀裂性岩盤では、注水孔周辺に生じる放射状の浸透流の動水勾配が大きく、乱流が発生する可能性がある。この問題の対策には大きく分けて2つの方法がある。1つは試験において乱流の発生を抑制する方法であり、もう1つは、試験結果を乱流の影響を含めて解釈しようとするものである。本研究では、後者の立場からルジオン試験の結果を再検討し、亀裂特性（開口幅 e 、粗度高さ k_s ）によって高透水性岩盤における透水性の指標を与えることを試みた。

2. 解析方法

本解析では、岩盤内の亀裂として円盤モデルを用いる。Fig.1に示すように、亀裂の開口幅 e と注水量によっては、注水孔周辺の流れに粗面乱流や滑面乱流が現れる。Sharp¹⁾の実験結果を用い、ここでは乱流から層流への遷移が起こる臨界Reynolds数 Re_{crit} の値を300とした。ここで、粗度に関するReynolds数を

$$R_e^* = \frac{U \cdot k_s}{\nu}$$

で定義する。 U は摩擦速度、 ν は水の動粘性係数、 k_s は粗度を表す。この値が4²⁾となる流速を境に、粗面乱流から滑面乱流への遷移が起こるとした（遷移領域は無視する）。ただし、注水孔周辺の流速が10(m/s)を超える場合は原則として考慮しない。 k_s は、 e の0.01倍から0.4倍の値を与えた。なお摩擦損失係数については粗面領域においては k_s と e の比だけで与えられるが、滑面領域においてはReynolds数の関数となる。これは摩擦損失係数が注水孔からの距離によって変動することを意味する。ここでは簡単のために、Reynolds数を一定と仮定し、一定の摩擦損失係数を用いて解析を行った。

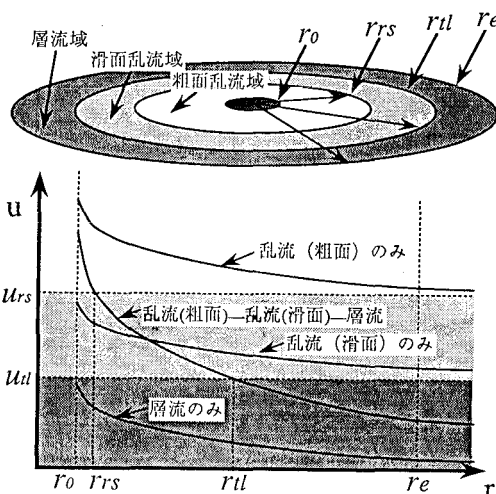


Fig.1 粗面乱流 滑面乱流 層流

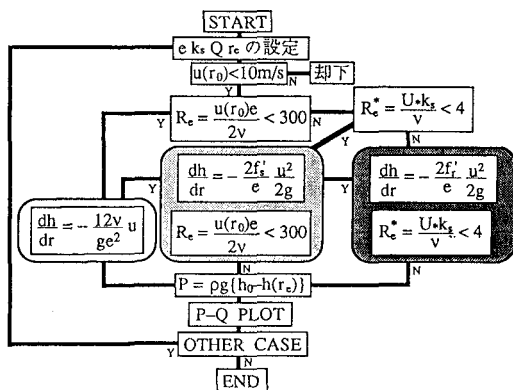


Fig.2 解析手順

注入量 Q は有効注入圧力が $10(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 以下となるように適宜選択した。計算の都合上、水頭が0となる影響半径 r_e を注水孔半径 $r_0 = 3.3(\text{cm})$ の50倍、100倍、152倍(5m)、200倍の4通り設定する。 r_e の各値において k_s を決定し、一本のP-Q曲線を得る。以上の解析手順をFig.2に示す。

3. 解析結果および考察

Fig.3によれば、影響半径の違いはP-Qの関係にそれほど大きく影響しない。したがって、影響半径は透水性の指標としてそれほど重視する必要はなく、従来用いられている影響半径(5m)を用いればよいと考える。Fig.4からは、 k_s が大きくなると同一流量における有効圧力が大きくなることがわかり、Fig.5からは、 e を大きくすると同一流量における有効圧力が逆に小さくなることがわかる。こうしたP-Q図の曲線形状と、実測されるP-Q図を比較し、試行錯誤によって k_s と e の値を定める。Fig.6は、実測されたP-Q関係と解析で導いた結果を比較した例である。この場合、実際の亀裂の数は観測されておらず5mの注水区間中に3枚の亀裂が存在すると想定している。本研究の方法によれば、比較的容易にP-Q関係を得られるため、こうした方法によって透水性のパラメータとなる k_s と e を得ることができる。ただし以上の解析においては、 $k_s \geq 0.08e$ のときには、粗面乱流が滑面乱流に遷移する前に層流に移り変わるものとした。

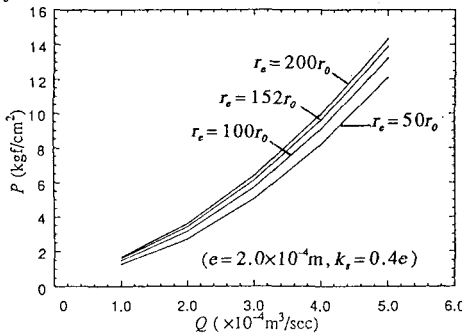


Fig.3 影響半径の違いがP-Q図に与える影響

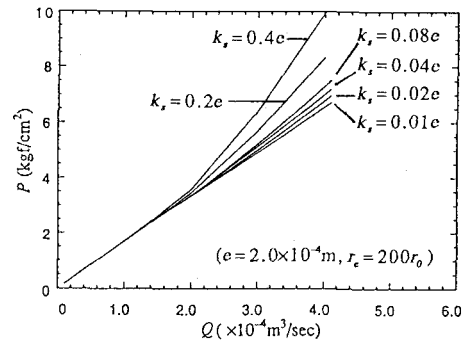


Fig.4 粗度高さの違いがP-Q図に与える影響

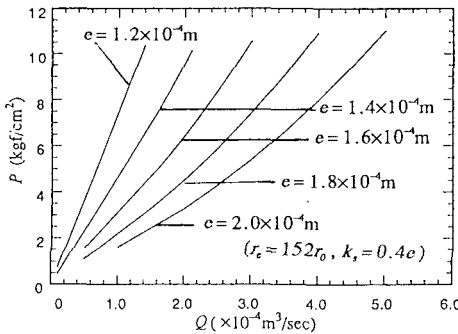


Fig.5 開口幅の違いがP-Q図に与える影響

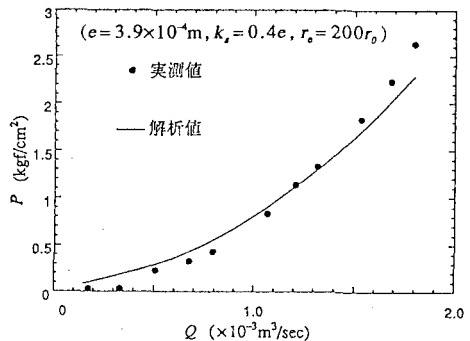


Fig.6 解析値と実測値の比較

4. おわりに

本研究の今後の主要な研究課題を以下に述べる。

1. 流れの各状態間の遷移時のReynolds数を実験により検証する。
2. 滑面乱流の摩擦損失係数 f_s をReynolds数 R_e の関数として解析を行う必要がある。

参考文献

- 1) Sharp, J. C.: Fluid Flow through Fissured Media, Ph.D. Thesis, Imperial College, 1970.
- 2) 日野幹雄：明解水理学、丸善、1983.