

Ⅲ-A258

岩盤浸透流における層流から乱流への変化に関する実験的研究

西松建設(株) 正会員○石山宏二
ダム技術センター 正会員 杉村淑人
埼玉大学大学院 小池高匡
埼玉大学工学部 正会員 渡辺邦夫

1. はじめに

岩盤中の割れ目を平行板でモデル化し、地下水の流れを把握しようとする研究が多く成されている。この場合、ダルシー則が成り立つ、つまり割れ目内は層流であると考えられ、これを前提とした評価・解析が一般的である。従来、C.Louisの平行板間における流れの抵抗則の研究¹⁾に代表されるように、割れ目中ではかなり大きな流速(レイノルズ数(Re) ≈ 2300)にならないと乱流にならないと考えられてきた。しかし、ダム基礎岩盤等での原位置透水試験の結果から、実際には乱流も一般的に生じているとの指摘が成されている²⁾。

本研究では、実際の岩盤割れ目内における流れの Re と抵抗係数(f)の関係を室内透水試験で調べ、 $Re \approx 10$ という小さい値で乱流になることが判明した。また、この現象解明のために透水経路内に抵抗を設けた平行板状モデルを作成・透水試験を実施し、岩盤内の流れが乱流に成りやすい理由の1つに対する考えを示す。

2. 実岩盤割れ目を使用した室内透水試験

試料は割れ目を含む花崗岩で、サイズは $\phi 200\text{mm} \times L500\text{mm}$ 程度を目標に採取した。この際、既存の割れ目に沿って破断しないよう十分注意して運搬・セットを行った。計17の供試体に対して実施した定水位試験の結果から、式(1),(2)に基づきそれぞれ Re と f を算定した。図1に代表的な関係をまとめて示す。

$$f = (4gIL^3/Q^3)tp^3 \quad \text{--- (1)}; \quad Re = 2Q/L\nu \quad \text{--- (2)}$$

ここで、割れ目は平行板モデルで仮定しており、 tp は割れ目幅、 L は割れ目長、 I は動水勾配、 Q は流量、 ν は動粘性係数を示す。また、層流状態にある両者は式(3)の関係にあることが知られている³⁾。

$$f = 96/Re \quad \text{--- (3)}$$

図から、全体的に割れ目内の水の流れは f が理論値に比べて非常に大きく、また Re は10前後の小さい値で層流から乱流へと移行したことが分かる。これは、岩盤内の流れが層流から乱流へと移行しやすいことを示す。

ここで、理論値と比べて極めて大きな f が得られたことに着目する。これに関する1つの理由として、式(1)から推察されるように、割れ目間隙幅の見積もり方に原因があったと考える。間隙幅の測定方法は、透水試験後、切断機によってスライスした供試体の断面をノギスによってランダムに測定し、加重平均する方法を採用した。この時、供試体の割れ目には所々に粘土化した断層ガウジが見受けられたが、測定する際にはこれも間隙幅に含めたため、実際、水が通る幅よりもより大きな値としたことが原因と考えられる。

しかし、割れ目間隙幅を小さく評価することによって、 f が理論値に比べて大きな値に推定されたことは説明できるが、式(2)からも分かるように Re は tp の関数ではなく、小さい Re で乱流に至ることの説明にはならない。そこで、新たに平均割れ目幅の見積もりには影響しないが、閉塞するような著しく断面の狭い浸透経路が局所的に存在する割れ目モデルを考案し、モデル試験による透水量への影響評価を試みることにした。

3. 局所的に浸透経路の閉塞したモデル試験

試験装置は、図2に示すように平行平板モデルを原型とし、基本的な浸透経路の寸法は $L100.0\text{cm} \times W2.0\text{cm} \times d0.4\text{cm}$ で、内部に三角形の抵抗を付加するものとする。また、水頭差は3ヶ所に設置されたマノメータを

キーワード：岩盤浸透流、層流、乱流、レイノルズ数、抵抗係数、透水試験

〒242-8520 大和市下鶴間2570-4 TEL 0462-75-1135 FAX 0462-75-6796

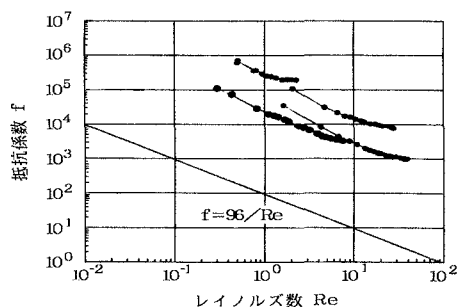


図1 割れ目内流れの Re と f の関係

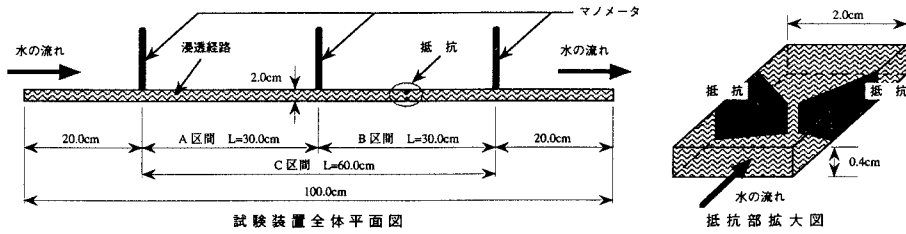


図2 割れ目モデル試験装置概要

使用して実測し、A～Cの各区間における動水勾配を算定して、各々 Re と f の関係を求めた。この際、割れ目間隙幅は全ケースで一定（抵抗の影響は無視）を前提としている。試験ケースは、図3に示すように抵抗を設ける位置およびその数を変えた(a)～(e)の5ケースである。試験結果を図4に示す。図から、抵抗を設けた(a)～(d)と抵抗を付けていない(e)とでは、浸透経路の断面積変化に伴い流出量 Q が異なったため、結果的に Re および f の領域に明らかな違いが見られる。また、(e)では理論式と試験結果を比較した場合、特に層流から乱流への遷移点である限界レイノルズ数(Re_c)も1000を超える値(≈ 2300)を示す等、整合性が見られる。一方、(a),(b),(d)の Re は100前後を示し、浸透経路に断面積縮小がない(e)に比べて乱流に成りやすい状況にあることが分かる。

A区間とB区間で得られた結果を比較すると、常にB区間で得られた f の方が小さい。また(c)の Re と f の関係からでは乱流に移行したとは言い難く、図3 モデル試験ケース概念図A区間とB区間で f の差が比較的少ないのが特徴である。これは、より流入口に近い区間に設けられた抵抗の影響が極めて強く、流量および流速損失が大きくなるため、逆に一度損失を受けた流れの後方では抵抗を設けても損失の程度は相対的に小さいことが推察される。

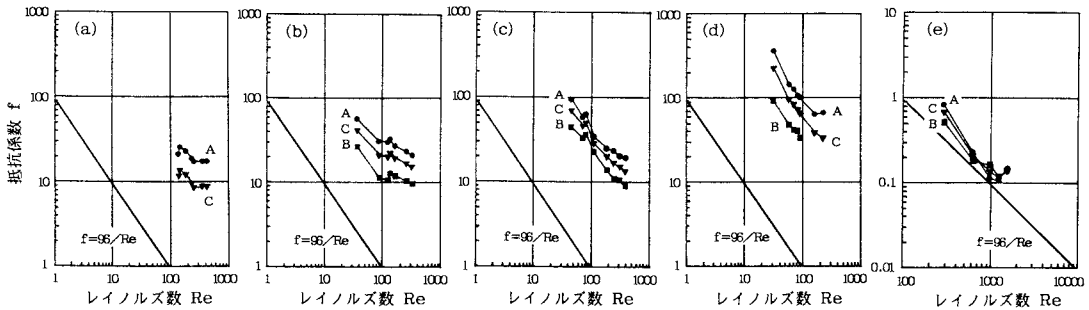


図4 局所的閉塞モデル内流れの Re と f の関係

4. おわりに

岩盤内の主な水みちである割れ目内では、小さなレイノルズ数で乱流に移行しやすい状況にあることが実際の割れ目による透水試験結果から示唆された。また、なぜこのような現象が生じるかについては、平均割れ目幅の見積もり誤差によるという考えもあるが、むしろ考案した割れ目モデルの透水試験結果から得られたように、浸透経路（割れ目）中の極端な断面積縮小、いわゆる地質調査から観察されにくい局所的閉塞が岩盤内の水の流れを乱流に移行しやすくさせていると考える。今後、モデルの妥当性の検証を進めていきたい。

【参考文献】 1)C.Luis：A study of groundwater flow in jointed rock and its influence on stability of rock mass, Imperial College Rock Mechanics Report No.10, 1969. 2)山口嘉一・松本徳久：ダム基礎の透水性とルジオン値, 土木学会論文集, No.412/Ⅲ-12, pp.51-60, 1989.