

III-204

曲がりを有する岩盤割れ目の水理挙動に関する実験

(株) アイ・エヌ・エー新土木研究所 正員 加藤 克行

同 上 大北 学

同 上 清水智賀佐

1. はじめに

ダム基礎などに代表される岩盤中の浸透現象は単一割れ目の透水性と、その方向、長さ、密度などの分布性状に支配される。また、単一割れ目の透水性は、①開口幅、②粗度、③他の割れ目との連結状態、④狭在物などで決定されると言われている。近年、不連続面に注目した種々の解析手法が発表されているが、解析に用いる不連続面モデルは平行板であることが多く、前述の透水パラメータを適切にモデル化した例は少ない。これは、実岩盤ではこれらの透水パラメータが複雑にからみ合うので、一つ一つの透水パラメータの影響を分離することが難しいためである。特に、単一割れ目の透水パラメータの一つである“曲がり”については、壁面の粗度状態として扱われることが多く、その水理挙動を粗度と分離して明らかにした例は少ない。そこで、これらの現状をふまえ、“曲がり”を有する割れ目モデルの透水実験を行いその水理挙動の検討を行ったので報告する。

2. 基本式

長さ l の平行板間のエネルギー損失 ΔH は、平行板間の間隔を W 、平均流速 V 、壁面の摩擦損失係数を f とすると、層流、乱流を通して

$$\Delta H = f \frac{l}{2W} \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

となる（図-1）。ここに g は重力加速度である。

一方、曲がり区間を有する場合には、曲がり損失係数を f_c として

$$\Delta H_c = (f_c + f \frac{l}{2W}) \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

となる（図-2）。したがって、平行板間の流れの実験から壁面の摩擦損失係数 f を求めておけば、曲がり区間を有する場合の実験により曲がり損失係数 f_c を求めることができる。

3. 実験装置、方法

平行板とした場合（直線モデルと呼ぶ）、および曲がりを有する場合（波形モデルと呼ぶ）について、図-3のような実験装置を用いて開口幅と動水勾配を変化させた透水試験を行った。モデルは、壁面の凸凹の影響ができるだけ小さくなるように、 $\pm 0.05\text{mm}$ の精度の亚克力板を用いた。波形モデルは、波長 2cm 、波高 1cm 、屈折角 90° とした。水位は3地点にマンメータを立てて測定した。

4. 直線モデルの透水試験結果

図-4は、開口幅を 0.3mm 、 0.5mm 、 1.0mm 、 1.8mm と変化させた直線モデルの透水試験結果である。これによると、開口幅が 0.5mm 以下では動水勾配が10となっても層流であるが、開口幅が 1.8mm では動水勾配が 0.4 で乱流となる。すなわち、同じ動水勾配では開口幅が大きい方が乱流になりやすい。また、層流時および完全乱流時の割れ目の透水係数 K_f 、 K'_f の理論式は（3）、（4）式で表せるが、実験結果もこれとほぼ一致している。

$$\text{層流時} \quad ; \quad V = K_f i \quad , \quad K_f = \frac{gW^2}{12\nu} \quad (3)$$

$$\text{完全乱流時} \quad ; \quad V = K'_f i^{1/2} \quad , \quad K'_f = 2\lambda \sqrt{gW} \quad (4)$$

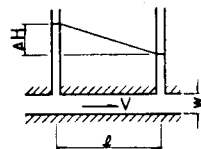


図-1 平行板間の流れ

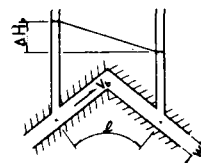


図-2 曲がりを有する場合の流れ

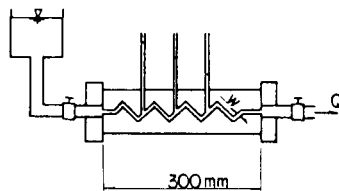


図-3 波形モデル実験装置

ここに、 i は動水勾配、 ν は動粘性係数である。また、 λ は乱流時の抵抗係数であるが、Louis の平行板の開口幅と絶対粗度 κ を関係づける次の実験式が提案されている。³⁾

$$\lambda = -2 \log \frac{\kappa}{3.7(2W)} \quad (5)$$

これを、今回の開口幅 1.0mm の実験結果に適用すれば、アクリル板の絶対粗度 κ は 0.02mm となり、摩擦抵抗係数 f ($= 1/\lambda^2$) が求まる。

5. 波形モデルの透水試験結果

図-5 は、開口幅を 0.21mm, 0.35mm, 0.71mm, 1.41mm と変化させた波形モデルの透水試験結果である。これによると、直線モデルではレイノルズ数が 2,000 程度にならないと乱流にならなかったが、波形モデルでは 200 程度で乱流になる。したがって、従来ダム貯水池からの浸透現象を扱う場合 ($i \div 1$) 開口幅 1mm 程度の割れ目では一般に層流であると考えられていたが、曲がり区間を有する場合には動水勾配 0.1 で乱流になるので乱流状態の水力挙動の把握も重要であることがわかった。

また、波形モデルの実験結果を式(2)に代入し、直線モデルによる摩擦抵抗係数を適用すれば曲がり一箇所当りの損失係数は図-6 のようになる。この図から、層流状態では曲がり損失係数は摩擦損失係数と同様に開口幅に関係なくレイノルズ数に反比例し、乱流状態では開口幅によってレイノルズ数と曲がり損失係数の関係が変化することがわかる。これは、乱流時の曲がりの損失が、流れのはく離、水流の縮小と拡大、遠心力による二次流などに伴うものであり、同じ屈折角でも開口幅によってその影響が異なるためである。なお、層流時の曲がり一箇所当りの損失は開口幅 W の約 6 倍の長さ λ の摩擦損失に相当する。

6. おわりに

従来、岩盤の単一割れ目の水力挙動は、壁面の粗度の影響をほとんど無視できる場合、限界レイノルズ数は約 2,000 と言われていたが、曲がりを有する岩盤割れ目モデルの基礎的な透水試験により曲がりのみの影響でレイノルズ数が 200 程度で乱流になることがわかった。また、層流時および乱流時 ($Re < 3,000$) の曲がり損失係数を求め、この影響が壁面の粗度による摩擦損失係数と同様かなり大きいことがわかった。今後は、主に屈折角、波長、直線区間の長さ等を変えた場合について、実験的、解析的にさらに詳細な検討を加えていく予定である。

<参考文献>

- 1) 渡辺 邦夫; 岩盤割れ目系の諸地質量を考慮した岩盤浸透流の解析に関する研究, 学位論文
- 2) 大西有三ら; 不連続性岩盤の浸透モデル実験とその解析, 第19回土質工学会研究発表会
- 3) G.Gudehus 編著; 地盤力学の有限要素解析2, 森北出版

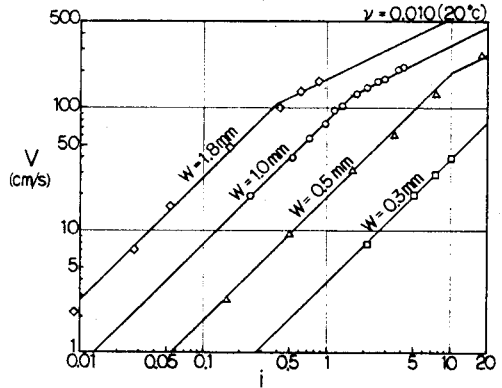


図-4 直線モデルの透水試験結果

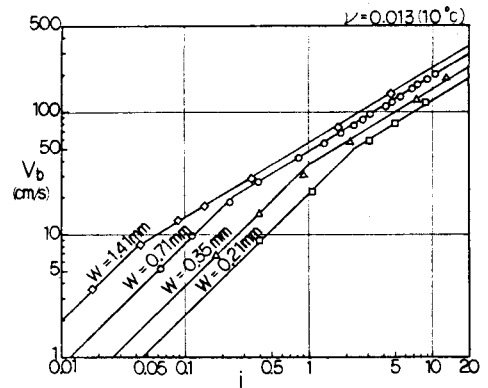


図-5 波形モデルの透水試験結果

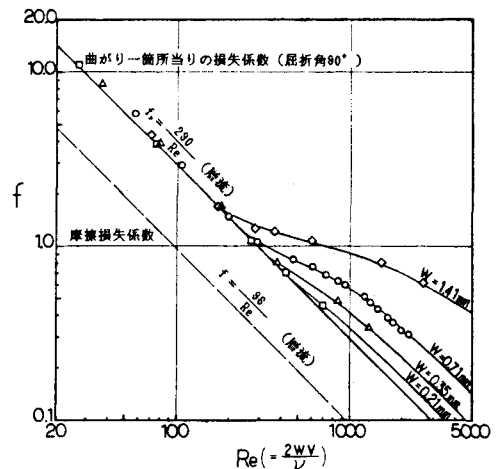


図-6 レイノルズ数と曲がり損失係数