

Ⅲ-A283

平行平板流れの抵抗則に関する室内試験

水資源開発公団試験研究所 正会員 杉村 淑人
同 上 正会員 山口 昌広

1. はじめに

割れ目の層流・乱流抵抗則は、亀裂性岩盤の水利機構を解明する上で極めて重要な要素である。この抵抗則に関する研究として、C.Luis の平行平板流れの実験式¹⁾がある。この実験式は、絶対粗度を 3～4mm とするグリーンカットされたコンクリート版を用い、相対粗度の範囲を 0.001～0.4 程度として求められている。従って、試験対象となった割れ目幅は 7.5mm 以上であり、これ以下の割れ目幅については C.Luis の実験式の適用性は明らかにされていない。本報は、割れ目幅 4mm 程度以下を対象とし、平行平板流れの抵抗則に関する簡易的な室内試験を行い、C.Luis の実験式の適合性に関する概略の検討を行った結果について報告するものである。

2. 試験の概要

試験の目的は、割れ目幅を 1,2,3,4mm 程度とし、絶対粗度を 0.001mm (アクリル)、0.1mm (標準砂)、0.4mm (ガラスビーズ)、0.8mm (ガラスビーズ) として、割れ目幅と絶対粗度の組み合わせを変えて平行平板流れの室内試験を行い、層流・乱流抵抗則を求めるものである。試験装置は、室内内部浸食試験装置の割れ目モデル部分を流用した。割れ目モデル部分は、アクリル製で3種類のスリット幅があり、これに別途作成した粗度を付けた平行平板モデル(縦 267mm、横 85mm)を装着し、止水を行ってセットした。注水は、流量が多いため2系統の注水チューブを使用し、流量は重量で計測し水温 15℃の値に換算した。透水試験は、多段階の定水圧透水試験とし、試験装置の水面と水槽の水面との水頭差を 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 30cm から 100cm までは 10cm ピッチに変化させた。割れ目流入部の有効水頭は、マノメータを2カ所設置し計測した。使用した平行平板モデルの割れ目幅、絶対粗度等の諸元を表-1に示す。絶対粗度の区分は、アクリル(0.0005mm)、標準砂(0.1mm 篩い残分)、ガラスビーズ(0.4mm)、ガラスビーズ(0.8mm)とした。粗度は、アクリル板に両面接着テープを全面に張り付け、これに均等にこれらの材料を張り付けた。試験ケースは、同表に反転文字で示した 11 ケースである。

表-1 平行平板流れモデルの諸元

粗度の区分 () : δ	割れ目幅 (2ai) および δ / D_b 単位 : 2ai(mm)、 δ / D_b (無次元)、 $D_b=4ai$					
アクリル (0.001mm) (A)	Case	A0.5	A1.0			
	2ai	0.5	1.0			
	δ / D_b	0.001	0.0005			
標準砂 (0.1mm) (S)	Case		S1.1	S2.0	S3.3	
	2ai		1.06	1.95	3.25	
	δ / D_b		0.0467	0.0257	0.0154	
ガラスビーズ (0.4mm) (G)	Case		G1.3	G2.1	G3.4	
	2ai		1.27	2.08	3.4	
	δ / D_b		0.158	0.0960	0.0590	
ガラスビーズ (0.8mm) (G')	Case			G2.0	G3.3	G4.3
	2ai			1.97	3.27	4.32
	δ / D_b			0.203	0.123	0.0925

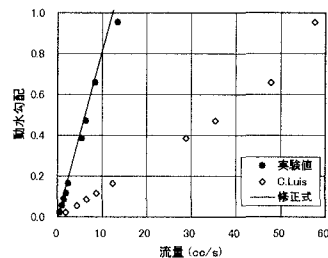


図-1 流量と動水勾配の関係(Case-S1.1)

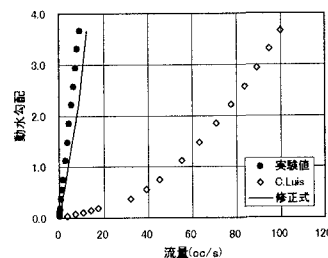


図-2 流量と動水勾配の関係(Case-G1.3)

キーワード : 乱流、岩盤浸透流

連絡先 : 338-0812 埼玉県浦和市大字神田 936 TEL.048-853-1785 FAX.048-855-8099

3. 試験結果

図-1～6は、表-1に示した 11 ケースのうち、 $\delta / D_h \geq 0.033$ （Case-S1.1を除く標準砂、ガラスビーズを粗度とする試験ケース）に対して流量と動水勾配の関係を試験結果、C.Luisの実験式および今回の試験結果をフィッティングすることにより求めた式（以下、修正式と呼ぶ。）を用いて算定した結果を示したものである。C.Luisの実験式および修正式を用いて動水勾配に対応する流量を算定する際、 δ / D_h 、割れ目幅（ $2a_i$ ）等は、表-1に示す値を用いた。修正式は、 $\delta / D_h \geq 0.033$ である標準砂、ガラスビーズを用いた各試験ケースの試験結果を最小二乗法によりフィッティングし、それを平均して係数を決定した。以下に、修正式とC.Luisの式を対比して示す。

修正式

$$\begin{aligned} \text{層流: } q_i &= \frac{g}{12 \nu [1+554.2(\delta/D_h)^{1.6}]} (2a_i)^3 J_i \\ \text{乱流: } q_i &= 4\sqrt{g} \log \frac{0.2}{\delta/D_h} (2a_i)^{1.6} J_i^{0.7} \end{aligned}$$

C.Luisの実験式

$$\begin{aligned} q_i &= \frac{g}{12 \nu [1+8.8(\delta/D_h)^{1.6}]} (2a_i)^3 J_i \\ q_i &= 4\sqrt{g} \log \frac{1.9}{\delta/D_h} (2a_i)^{1.6} \sqrt{J_i} \end{aligned}$$

ここで、 q_i は単位幅当たりの割れ目の流量、 ν は動粘性係数、 δ は絶対粗度、 D_h は水力径、 δ / D_h は相対粗度、 $2a_i$ は割れ目幅、 J_i は動水勾配を示す。ただし、修正式については、式の通用範囲は $0.033 \leq \delta / D_h < 0.2$ である。修正式は、層流領域では C.Luis の実験式中の δ / D_h に係わる係数 8.8 が 554 になり、乱流領域では δ / D_h に係わる係数 1.9 が 0.2、動水勾配 J_i に係わる係数 0.5 が 0.7 となった。

図-1～6から以下のことが言える。

(i) $\delta / D_h \geq 0.033$ の領域に対し、C.Luis の実験式は、壁面粗度や割れ目幅の大きさを問わず、数倍～10 数倍過大な流量を与える結果となった。

(ii) 修正式は、C.Luis の式に比較し試験結果と比較的よく適合している。

今回の割れ目幅 4mm 程度以下を対象とした平行平板流れの抵抗則の試験結果は、簡易的な試験を基に検討を行ったものであり、今後、本格的に試験を行い修正式を検討する必要がある。

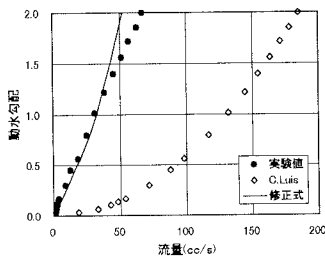


図-3 流量と動水勾配の関係 (Case-G2.1)

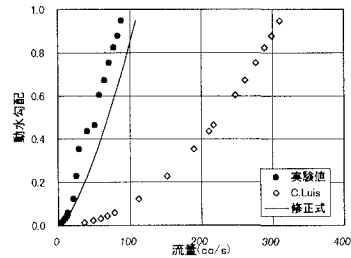


図-4 流量と動水勾配の関係 (Case-G3.4)

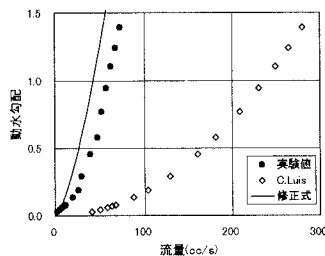


図-5 流量と動水勾配の関係 (Case-G'3.3)

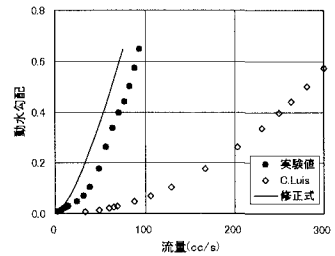


図-6 流量と動水勾配の関係 (Case-G'4.3)

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, pp.49, Sep.1969.