

Ⅲ-A 307

均一粒径の砂礫の透水・浸透破壊実験

中央大学 学生会員 藤倉 裕介
正会員 國生 剛治

1. はじめに

掘削地盤でのボーリング、ダム基礎地盤の浸透水によるパイピング現象などは重要な問題であり、通常の土質についてはすでに設計法も確立されているといえる。しかし、細粒の砂やシルトから粗粒の礫までを含むような均等係数の大きな礫質土や透水性の大きな礫材料に関する研究は少なく、その透水特性や浸透破壊条件が明らかにされていないのが現状であると思われる。そこで、著者らはそのような礫質材料が上向き浸透流により破壊を生じる条件を調べる目的で任意の水位を設定できる定常透水試験装置を作製し、様々な材料に関して実験を行い、その結果を報告^{1), 2)}してきた。本報告では均等係数の小さな均一な礫について粒径や粒子形状の影響を検討した。

2. 試験方法と試験材料

実験装置の概略を図1に示す。試料を入れる円筒はアクリル樹脂製のもので、内径200mm、長さ400mmである。円筒には水頭差 h を測定するためのピエゾメータが5本付いている。フィルター部は多数の穴の開いたアクリル板と金網、ろ紙を用いた。また、装置下部には、水道の蛇口から直接に給水させるためのホースが6本付いている。このような装置において水量を微調節することにより、水頭差を変化させて実験を行った。各段階での測定は20~30分間隔で行い、同時に供試体の様子を観察した。各材料の密度は密詰めからゆる詰めまで5段階に調整した。均等係数 $U_c=2$ のほぼ均一粒径の砂礫である。実験に用いた材料の粒径加積曲線を図2に、また物理特性を表1に示した。各試料の粒子形状係数 FU ²⁾も示してある。表中のT1~3、GB1~3、CR2~3はそれぞれ利根川砂礫、ガラスビーズ、碎石試料を表し、図2中の番号は表1中の試料番号に対応している。

表1 試料の物理特性

試料	均等係数	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	k (cm/s)	FU
TY(豊浦砂)		2.640	0.977	0.605	3.3×10^{-2}	0.734
T1	1.69	2.696	1.250	0.795	1.2×10^{-2}	0.671
GB1		2.480	0.667	0.507	1.1×10^{-2}	0.954
T2		2.661	0.955	0.542	3.5×10^{-1}	0.677
GB2	2.07	2.495	—	—	2.0×10^{-1}	0.954
CR2		2.713	—	—	2.5×10^{-1}	0.616
T3		2.650	—	—	3.2×10^0	0.760
GB3	2.19	2.523	—	—	2.6×10^0	0.954
CR3		2.730	—	—	3.1×10^0	0.616

3. 試験結果と考察

(1) 動水勾配と流速の関係

図3(a)~(c)は各試料における動水勾配と流速の関係の一例を示したものである。図3(a)は、豊浦標準砂と試料T1、GB1の試験結果を示しているが、ダルシーの方則($v=k \cdot i$)に従い、破壊直前まで直線関係を示していることが分かる。さらに図3(b)、(c)にはT2、GB2、CR2、とT3、GB3、CR3の結果をそれぞれ表した。図3(c)には近似曲線を示したが、これらの図よりダルシー則には従わない傾向が読みとれる。これは、試料の粒径の増加に伴い試料中を流れる浸透流は流速を増し、

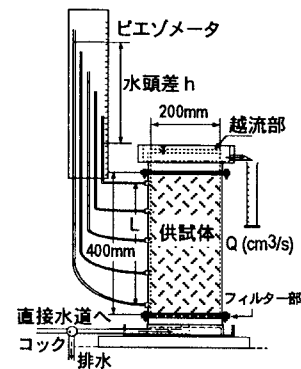


図1 定水位透水試験装置図

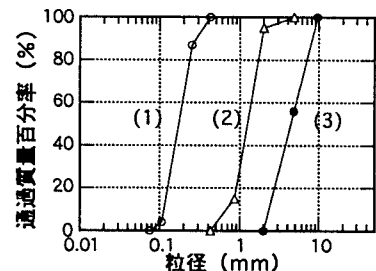


図2 試料の粒径加積曲線

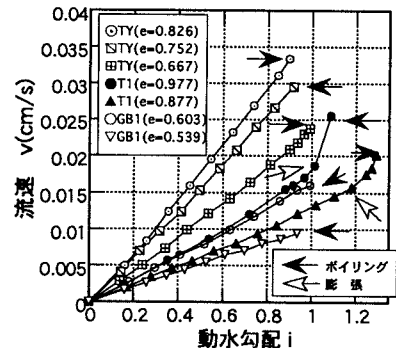


図3(a) 動水勾配と流速の関係

キーワード：礫質土・浸透・透水性

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部 TEL 03-3817-1799 FAX 03-3817-1803

層流から乱流へ移行していくことに起因していると考えられる。ここでは、その遷移条件に関しては扱わないが、以下のような考え方³⁾に基づいて考察する。試料内の水の通り道を円管と考え、その円管内を流れる乱流においては動水勾配と流速の間には次の関係がある。例えば簡単に表すと、

$$v = C \cdot i^p \quad \dots \dots (1)$$

となり、流速は動水勾配の累乗に比例する形で表される。ここで、係数 C は試料の性質やレイノルズ数、粒径に関係する定数であり、 p は流れの乱れによってダルシー則からずれる度合いを表す定数と考える。図3(b)、(c)より、(1)式の係数を各試料ごとに最小二乗法により求め、平均した結果を表2に示した。また、参考として小さな動水勾配での透水係数の初期値を示した。ちなみにこの透水係数はダルシー則より求めた。この表より、係数 C は各試料の透水係数にほぼ近い値を示し、透水係数同様に試料の粒径や間隙比に依存する係数であると思われる。また、 p は1であればダルシー則を満足し、流速は動水勾配に比例して増加すると考えられるが、粒径の大きな試料ほどそれからはずれる度合いは大きくなることが分かる。これは、流速が増すにつれて水の流れの乱れが大きくなり、見かけ上、透水係数の低下を生じると考えられる。

(2) 限界動水勾配

この一連の試験において、動水勾配は図1に示したように水頭差 h とピエゾメータ間の距離 L を用いて求めたもの、また各ピエゾメータの読みと越流部の自由水面高さの差を h_1 、供試体上面からそれぞれのピエゾメータまでの距離を L_1 としてそれぞれについて求め、平均化したものを採用した。限界動水勾配は浸透破壊によってピエゾメータが下がる寸前（最大値）の値を採用した。また、全ての試料に関して、破壊時の挙動は平均粒径や粒子形状などによらず、供試体下部から不安定化が開始し、最終的には均一な砂のように全体的にボイリングを生ずるような形態であった。各試料に関して密な試料では全体的な破壊以前に数センチ膨張するような傾向がみられた。さらに、直径約5cm、長さ50cmの棒を用いて破壊中の供試体を突いた結果、各供試体の反力は無く、供試体が有効応力を完全に失っていることを確かめた。

図4は、間隙比と限界動水勾配の実験値と理論値の比をプロットしたものである。各試料とも間隙比の減少に伴い、限界動水勾配の実験値と理論値の比は大きくなるが、同様な粒度分布を持つ試料で比較すると、粒子形状などのちがいににより間隙比を小さくするような試料ほど限界動水勾配は小さくなる傾向にある。

4. まとめ

1) 均一な砂ではダルシーの法則に従って、浸透破壊時寸前までは、動水勾配の増加に伴って流速は直線的に増加する。しかし礫材料の場合、流速は動水勾配の累乗に比例して増加することが分かった。2) 均一な礫では浸透破壊時に均一な砂と同様に全体的なボイリング破壊が生じた。3) ガラスビーズのように丸い粒子よりも碎石のように角張った粒子の方が間隙比の値は大きくなり、限界動水勾配も大きな値をとることが分かった。

参考文献

- 1) 國生・藤倉：ポートアイランドまさ土の上昇間隙水流による不安定化メカニズム、第32回地盤工学研究発表会、p.767-768、1997。
- 2) 國生・藤倉・嶋津：粒子形状の異なる礫質土の浸透破壊特性、第34回地盤工学研究発表会、1999（投稿中）
- 3) 松尾、木暮：碎石の透水性に関する実験、土と基礎、Vol.18、No.2、p.5-10、1970。

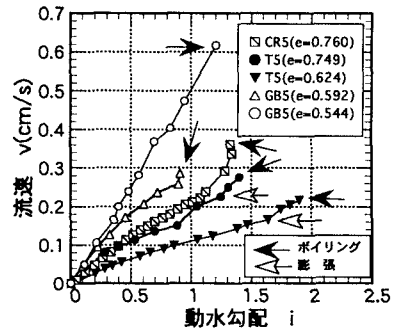


図3(b) 動水勾配と流速の関係

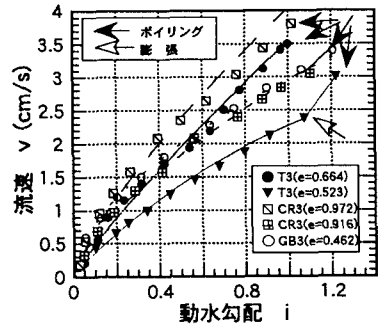


図3(c) 動水勾配と流速の関係

表2 各係数の算定結果

試料	C	P	k (cm/s)
GB2	0.357	0.927	3.5×10^{-1}
T2	0.148	0.749	2.0×10^{-1}
CR2	0.230	0.965	2.5×10^{-1}
GB3	3.157	0.610	3.2×10^0
T3	2.879	0.738	2.6×10^0
CR3	3.132	0.665	3.1×10^0

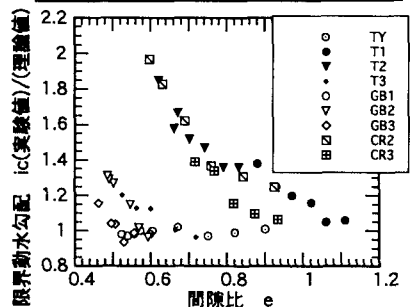


図4 間隙比と限界動水勾配