

中央大学 学生員 藤倉 裕介

正会員 國生 剛治

学生員 荒井 隆俊 後 勝浩

1. まえがき

浸透破壊の発生、破壊条件は、Terzaghi による限界動水勾配か、Justin による限界流速の考え方が一般的に用いられている。しかし、室内の鉛直上昇流による浸透破壊実験では限界動水勾配理論値よりもはるかに大きな実験値が得られたり^{1),2)}、あるいはその1/3から1/5の大きさで細粒分がパイピングするといったケース^{3),4)}もある。そこで、均一な砂から礫質土までの破壊挙動や条件を明らかにする目的で、最小粒径を0.075mm、最大粒径を0.425、4.75、19.00mmとした3つの異なる粒度分布をもつ試料を用い、定水位透水試験を行った。本報告では特に各試料の透水係数、限界流速に着目して考察した結果について報告する。

2. 試験方法と試験試料

実験装置の概略は、図1に示すようなものである。試料を入れる円筒は透明アクリル樹脂製のもので、内径200mm、長さ400mmである。円筒には、透水試験時の水頭差 h を測定するためのピエゾメータが5本付いている。通水管上部の給水部と透水円筒上部の越流部は二重構造とし、試験中は水をオーバーフローさせて水位を一定に保つようにした。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。

図1のように設置した装置において給水部を50mmごとに上方に上げ、水位を変化させて透水試験を行った。測定は段階ごとに約20～30分間隔で行い、同時に供試体内の変化の様子を観察した。動水勾配($i = h/L$)は図1のようにそれぞれのピエゾメータの読みと越流部自由表面高さとの差を h 、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 としてそれぞれ求め、平均化したものを採用した。

試験に用いた3つの利根川砂礫試料の粒度分布を図2に示した。また、各試料の物理特性を表1に示した。これらの試料は均等係数が大きな試料ほど最大・最小間隙比ともに小さな値をとるという特徴をもつ。供試体の作製は、乾燥試料を用いて円筒を何層かに分け、突き棒によるタンピングを行って密度を調整した。ただし、相対密度 $Dr = 80\%$ の場合は木槌による水平打撃を併用して供試体を作製した。

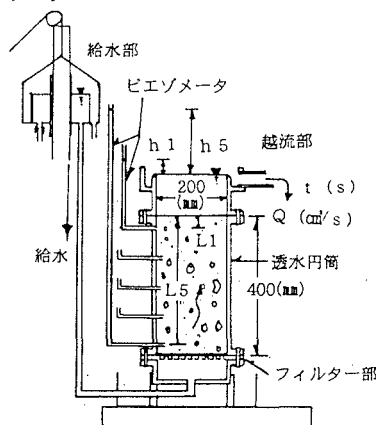


図1 定水位透水試験装置

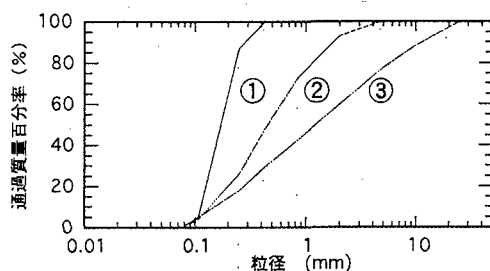


図2 利根川砂粒径加積曲線

表1 試料の物理特性

試料	均等係数	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}
①	1.44	2.696	1.250	0.795
②	3.79	2.697	0.898	0.467
③	13.1	2.655	0.585	0.303

キーワード：礫質土、均等係数、透水係数、限界流速

連絡先：〒112 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 ☎ 03-3817-1798 Fax 03-3817-1803

3. 実験結果と考察

まず、図3は各試料の相対密度と透水係数の関係を表したものである。透水係数は供試体内に変化が生じずにダルシー則 ($v=k \cdot i$) に従っている範囲内での値を平均化したものを採用している。各試料に関して相対密度の増加に伴い、透水係数はより小さな値をとるが、密度の違いによる透水係数の値の大小の幅は粒度の広い(均等係数が大きい)試料ほどその差が大きいことが分かる。また、3つの試料に対して、相対密度50%において同様な値をとっていることも分かる。

次に各試料の相対密度に関して限界動水勾配の実験値と理論値 ($i_c = (G_s - 1)/(1 + e)$) の比をプロットしたのが図4である。各試料における破壊形態は様々であるが⁵⁾ 限界動水勾配の実験値は、ピエゾメータが下がる寸前のものを採用した。その後、試料①では、全体的な不安定化に至るが試料②、③では、砂分のみのパイピングという形態をとり、礫分は主に安定したままであった。3つの試料に関して限界動水勾配の実験値は理論値よりも大きな値をとるが、試料①のような均一な砂では理論値に近い値をとり、礫混じりの試料②、③ではその均等係数、相対密度が大きな試料ほど実験値と理論値の比は大きいことが分かる。

次に各試料において、以上から得られた透水係数と限界動水勾配の実験値から逆算して求めた流速を間隙率 n で除した流速(実断面限界流速)と相対密度の関係を図5に示した。これは、限界時の流速は安定せずに急激な増加を示し、測定が困難なためである。また、浸透断面を間隙部分のみとみなすことにより、見かけ上ではない実際の流速を扱うことを意味している。粒度の広い試料ほど限界流速は大きな値をとり、各試料ともに密度の違いによる大きな変化はない。ただし試料③に関しては他の試料に比べてばらつきが大きいので、今後さらに検討が必要である。

4. 結論

- ・3つの試料に対して、相対密度50%における透水係数はほぼ一致するが、均等係数の大きな試料ほど密度の違いによる変化は大きい。
- ・均一な砂では Terzaghi の限界動水勾配理論値にほぼ一致する結果を得るが、礫質土では均等係数、相対密度が大きくなるほど理論値と実験値の比は大きくなる。
- ・実断面限界流速は均等係数が大きな試料ほど大きな値をとる。

【参考文献】1) 大西他 (1980) ボイリング現象に関する一次元モデル実験について、第15回土質工学研究発表会、p.1441-1444 2) 山口他 (1990) 粒度の広い砂のパイピング特性、第25回土質工学研究発表会、p.1667-1668 3) 國生、藤倉 (1997) 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 4) Skempton, A. W. & Brogan, J. M. (1994) Experiments on piping in sandy gravels. Geotechnique 44, No. 3, 449-460 5) 國生他 (1998) 粒度の異なる礫質土の浸透破壊過程、第25回関東支部技術研究発表会

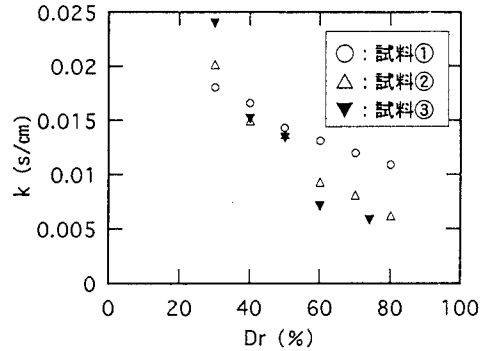


図3 相対密度と透水係数の関係

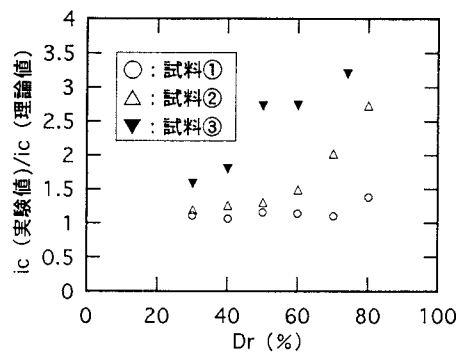


図4 相対密度と限界動水勾配の関係

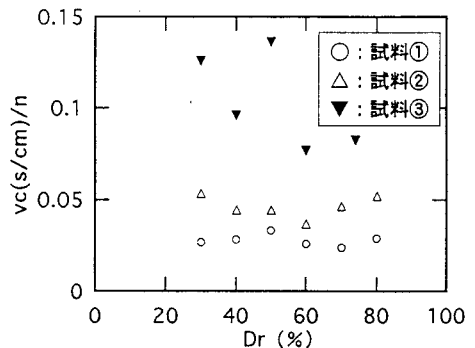


図5 相対密度と限界流速の関係