

中央大学 学生員 荒井 隆俊
正会員 國生 剛治
学生員 藤倉 裕介
後 勝浩

1. まえがき

定水位透水試験機による均等係数を変えた礫質土の試料を用いた実験は、過去にいくつか行われてきた。そこでは間隙比がある値よりも小さくなると、限界動水勾配が Terzaghi の理論値 ($i_c = (G_s - 1)/(1 + e)$) よりもはるかに大きな値をとることが報告されている⁽²⁾。しかし、これらの報告では限界動水勾配が理論値よりも大きくなると、ならないときで供試体の破壊形態にどのような違いがみられるかあまりふれられていない。そこで我々は、最小粒径を $75 \mu\text{m}$ に固定し、最大粒径を 0.425mm 、 4.75mm 、 26.5mm と変化した砂礫試料を用いて、定水位透水試験を行い、その中で特に供試体の破壊形態と、限界動水勾配の理論値に対する実測値の変化に着目し、これらの関連などを考察した。

2. 実験概要と試料

実験装置の概要は図1に示すものである。給水部と越流部は一定水位に保てるように二重構造とし、試料を入れるアクリル円筒は内径 200mm 、高さ 400mm で、これに等間隔に5本のピエゾメータがさし込まれている。アクリル円筒内下部にはフィルター材として、多数の穴のあいたアクリル板、金網・ろ紙を敷き、供試体最下端面で浸透水圧が一樣に作用するようにしている。

実験では、給水部を $15 \sim 20$ 分間隔で 5cm ずつ上げて、水位を変化させてそのつど越流部からの排水量を測り、また各ピエゾメータを読み取る。その値と越流部自由水面との差を水頭差 h とし、これを各ピエゾメータの位置から供試体最上面までの距離 L で除し、それぞれの動水勾配 ($i = h/L$) を求め平均したものを採用する。また各水位段階において供試体の不安定化の様子も観察する。

試料として用いた利根川砂礫の物性、粒度分布は表1、図2に示す。これらの乾燥試料を何層かに分けアクリル円筒に入れ、棒による突き固め、もしくは密な場合は木槌による水平打撃も併用して、密度を調整し供試体を作成した。

3. 実験結果と考察

3.1 破壊までの形態について

今回の実験で観察された浸透破壊の概要を図3にまとめた。

破壊の挙動は、まず各試料共通の形態として、(1) 供試体上部において、数 mm から数 cm の膨張が生じた。ただし各試料ごとの統一的傾向は特に見られない。(2) 水平方向のキレツが発生する場合はそのキレツから、もしくは供試体最下部から、供試体全体が上方へ移動すると同時に侵食をする。(3) 侵食により供試体全体が下にできた水の層へ崩れる。その後の挙動は大きく分けて2つに分類できる。1つ
キーワード：間隙比、限界動水勾配、浸透破壊

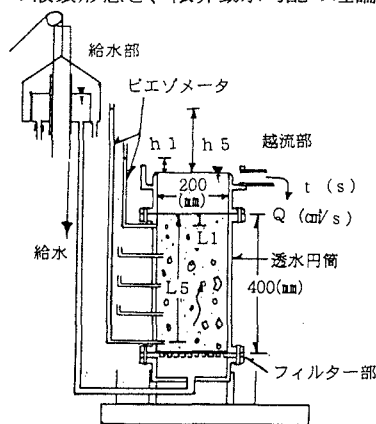


図1 定水位透水試験装置

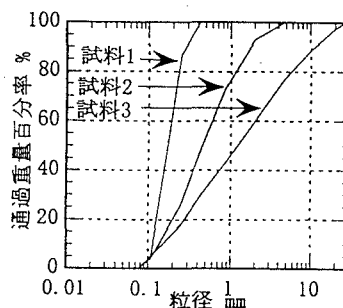


図2 粒径加積曲線

表1 試料の物性

試料	均等係数	$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	$e_{\max}$	$e_{\min}$
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

は、クイックサンドなど供試体全体での不安定化。もう1つは、礫・砂の分離が生じ、供試体上部に一部の砂が堆積して不安定化を生じ、下部には砂と礫の骨格が残る。

図4は動水勾配 i と流速 v の関係を示しており、この図の中で●は膨張した時点を表す。これを見ると膨張はどの試料でも比較的発生しやすいことがわかる。また $i-v$ 関係の特徴として、試料1のような均一砂では破壊の直前までダルシー則に従う⁽¹⁾。これに対し試料2、3などで特に限界動水勾配が大きくなる試料では、兵庫県南部地震で問題となったポートアイランドまさ土と同様の逆S字カーブ⁽³⁾が見られる。次に膨張、クイックサンド、礫・砂分離といった3つの挙動に着目し、これらの挙動を示したときの動水勾配 i の値（クイックサンド、礫・砂分離は限界動水勾配 i_c に対応している）と、間隙比 e の関係を図5に示す。図中の矢印は試料1～3のとりうる間隙比 e_{max} , e_{min} の範囲を表している。この図を見ると、やはり膨張は間隙比に依存せず、比較的どの実験でも発生している。それに対し、クイックサンドは $e > 0.65 \sim 0.70$ の範囲でのみ発生し、礫・砂分離は逆に $e < 0.65 \sim 0.70$ の範囲で観察された。ここで $e \approx 0.65$ は試料2の $Dr = 50\%$ 付近に相当する。

3.2 限界動水勾配について

図5において、クイックサンド、礫・砂分離は、限界時の動水勾配 i_c を示している。これを見ると、 $e > 0.65 \sim 0.70$ の範囲では、限界動水勾配 i_c の値がTerzaghiの理論値とよく一致しており、その最終破壊形態はクイックサンドなどの全体不安定化を示す。それに対し、 $e < 0.65 \sim 0.70$ の範囲では、限界動水勾配が理論値よりはるかに大きくなり、最終破壊形態は礫・砂の分離により供試体上部に堆積した砂のみ不安定化を示す。これより $e = 0.65 \sim 0.70$ は、限界動水勾配変化の境界のみならず、最終的破壊形態においても明確な境界をなしていることが明らかになった。

4. まとめ

(1)最終的な破壊形態は、粒度のよい混合粒径砂礫の場合礫分、砂分の分離を示し、粒度の悪い均一砂の場合、クイックサンドなど供試体全体での不安定化を示す。(2)均等係数の大きな試料においては、 $i-v$ 関係に逆S字カーブが見られた。(3)限界動水勾配が理論値よりもはるかに大きくなるものは、最終的な破壊形態が礫・砂の分離を示し、理論値に一致するものはクイックサンドなどを示す。

参考文献

- (1)稲葉他：浸透流による砂質土の破壊に関する基礎実験、第14回土質工学研究発表会、p1097—1100, 1979
- (2)大西他：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 p1441—1444, 1980
- (3)國生・藤倉：ポートアイランドまさ土の上昇間隙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、p767—768, 1997

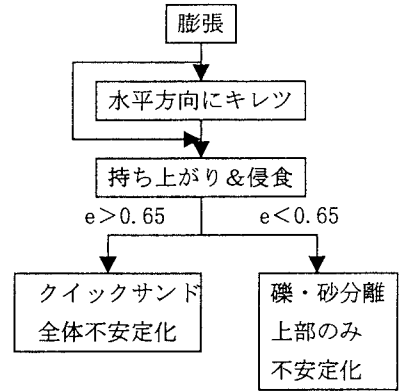


図3 破壊形態

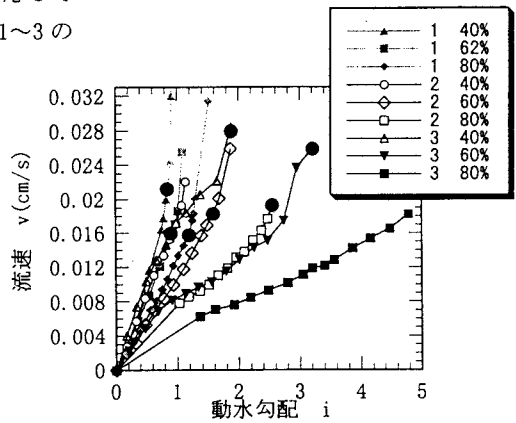


図4 動水勾配と流速

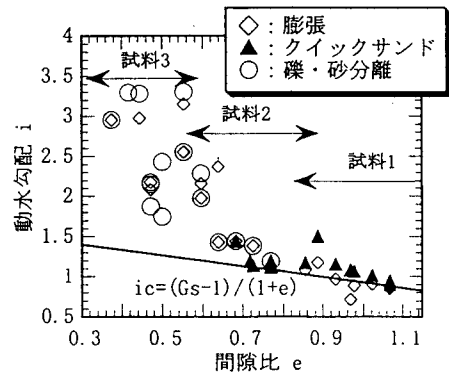


図5 破壊形態と間隙比