

Ⅲ-A 308

浸透流による異種粒径地盤の不安定化機構に関する実験

京都大学大学院 学生会員 ○木元 小百合
 京都大学大学院 正会員 小林 俊一

1. 研究の背景 海洋構造物の安定性を考える上で、捨石マウンド法尻付近の局所的な洗掘や捨石マウンド直下の置換砂層の地震時液状化による抜け出しなどのメカニズムの把握は重要な課題である。これらに特徴的な点は、浸透流によって粒状地盤から細粒分が流出する物質移動を伴う不安定化現象である。従来、砂地盤の浸透流による不安定現象については、粒度分布に着目した Kenney らの実験的検討 [1] が知られている。Kenney らは図1に示すように、粒径加積曲線における粒径 D 以下の粒子の重量百分率 F 、粒径 D から $4D$ の粒子の重量百分率 H を用い、その比 (H/F) の最小値を不安定指標 $(H/F)_{\min}$ と定義して材料の不安定性を評価した。その結果、 $(H/F)_{\min} \leq 1.0$ の配合では、限界動水勾配が $0.2 \sim 0.4$ 程度で細粒分のみによる分離型パイピングを生じる内的不安定な粒子配合であると報告している。ここでは中間的な粒径の粒子がほとんど無い粒径分布の試料を作成し、鉛直上向き浸透流を与える実験を行った結果について報告する。

2. 実験概要 直方体供試体(断面積 $15\text{cm} \times 5\text{cm}$ 、高さ 15cm)に鉛直上向きの一様な浸透流を与えて、浸透流量と供試体内 3 個所の間隙水圧を経時的に計測した。供試体は表1に示すように砂礫分と細粒分の重量比で管理した。砂礫分として試料 A~C では珪砂 3 号 ($D_{50}=1.4\text{mm}$)、試料 D~F では $2\text{mm} \sim 9\text{mm}$ のふるいを通した山砂 ($D_{50}=3.1\text{mm}$) を使用し、細粒分は全ての試料で珪砂 7 号 ($D_{50}=0.15\text{mm}$) を使用した。供試体作成では飽和度を確保しつつ分粒を避けるため、スラリー状の試料を水中落下法により液深 2cm から 5 層に分けて投入し、さらに試料 A~C については各層を直径 1.2cm の金属棒で 10 回突き固めた。各試料の粒径加積曲線を図2に示すが、いずれの試料も中間的な粒径の粒子がほとんど含まれておらず、Kenney らによれば $(H/F)_{\min} \leq 1.0$ の内的不安定とされる配合である。

3. 結果および考察 試料 A~F の不安定性指標 $(H/F)_{\min}$ と供試体の平均限界動水勾配 i_c を表1に示す。また平均動水勾配と単位面積単位時間当たりの流量の関係を図3~8に示す。試料 A~C では、細粒分の流出は徐々に進行し、全体的なボイリング破壊に到るまで、細粒分の大部分は砂礫分の間に残ったままであった。また動水勾配が概ね 0.5 を超えると曲線の勾配が減少し、見かけの透水係数が低下する特徴がある。ボイリング発生時の供試体の平均限界動水勾配はそれぞれ $i_c=2.39, 2.04, 2.39$ であった。さらに図9に示す試料 B 内部の経時的な水頭分布から、細粒分の流出に伴って供試体上部では透水係数が増加し、ボイリング破壊前の動水勾配は供試体上部で $i=0.9$ 、下部で $i=3.5$ であった。ボイリング発生時の限界動水勾配がかなり大きな値になる理由については、実験装置の境界条件に注意しながら今後検討していく必要がある。

一方、試料 D では供試体全体にわたって徐々に細粒分が流出し、動水勾配 $i=0.38$ で細粒分はほぼ完全に流出したが砂礫の骨格部は動かず、典型的な分離型パイピングを示した。図6において、領域 I ではほぼ均一な混合試料と考えられるが、領域 II では細粒分が流出し始めた遷移的な状態となり、領域 III で完全に細粒分が流出していると考えられる。試料 E、F では、動水勾配が小さいときには細粒分の流出はあまり見られなかったが、それぞれ $i=0.54, 1.1$ で直径 1cm 程度の範囲で部分的な細粒分のパイピングが起こり、流量の急激な増加と細粒分の流出に伴う砂礫分の沈下が見られた。また試料 F では引き続いて全体的なボイリング破壊を生じた。試料 D~F について細粒分がほぼ完全に抜け出し、表面が沈下したあとの砂礫骨格部の体積は、試料 D で 100% (変化なし)、E では 95% 、F では 82% であった。細粒分の流出特性の違いを説明するため、Skempton ら [2] による細粒分の限界含有率 S^* の概念を導入する。すなわち、砂礫より構成される骨格部が細粒分に比べて十分大きくしかも細粒分が少量ならば、荷重の大部分は骨格部のみに伝達され、細粒分のみが流出しやすくなるが、細粒分がある限界含有率 S^* を超えると、砂礫の骨格部だけでは荷重を支持できなくな

り、細粒分にも荷重が伝達されるため全体的なボイリングを生じやすくなると考えられる。本実験では試料D～Fの結果より、限界含有率が $15 < S^* < 30$ の範囲であることが予想される。

試料A～Fはいずれも内的不安定とされる配合であったが、細粒分と砂礫分の平均粒径比 D_{50f}/D_{50c} は、試料A～Cで9.0、D～Fで20.7と異なることに注意する必要がある。

4. まとめ 広い粒径分布を示す異種粒径地盤の浸透流による不安定化について実験的検討を行った。その結果、Kenney らの指摘した内的不安定な配合である不安定性指標 $(H/F)_{\min} \leq 1.0$ の試料であっても、砂礫分と細粒分の平均粒径の比によって、細粒分のみ分離型パイピングが発生する場合と全体的なボイリング破壊が発生する場合が観察された。さらに分離型パイピングが生じるためには細粒分含有率がポイントとなることが分かった。今後は不安定化メカニズム進展状況の可視化や、進行波載荷のような主応力の回転を伴う波浪載荷時の細粒分流出特性などについて検討を加えていく予定である。

参考文献 [1] Kenney, T. C. and Law, D. ; Canadian Geotech. J., Vol. 22, pp. 215-225, 1985. [2] Skempton, A. W. and Brogan, J. M. ; Geotechnique, Vol. 44, No. 3, pp. 449-460, 1991.

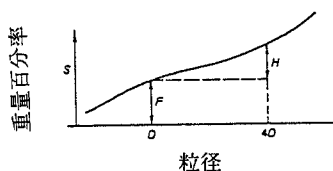


図1 Kenney らによる不安定性指標

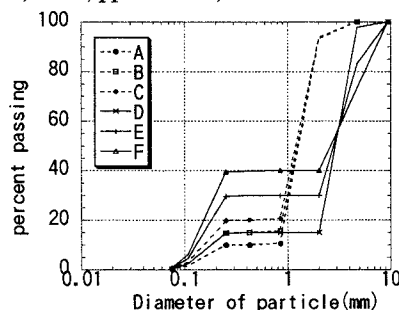


図2 試料の粒径加積曲線

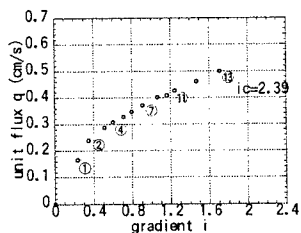


図3 平均動水勾配と流量（試料A）

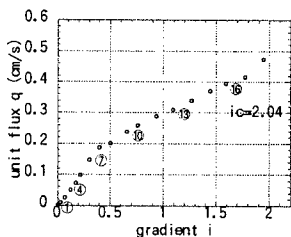


図4 同（試料B）

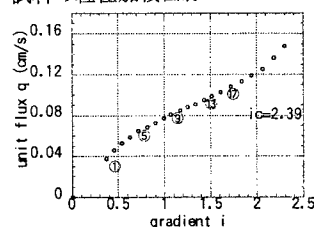


図5 同（試料C）

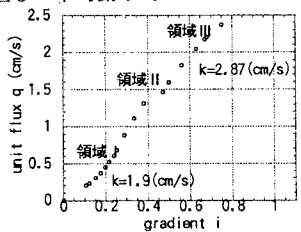


図6 同（試料D）

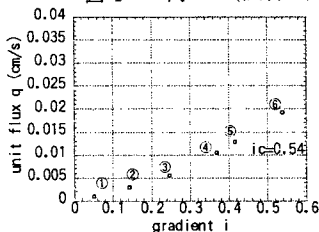


図7 同（試料E）

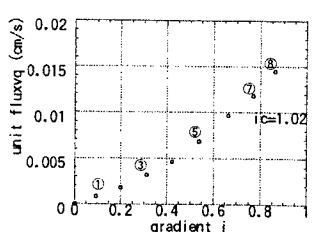


図8 同（試料F）

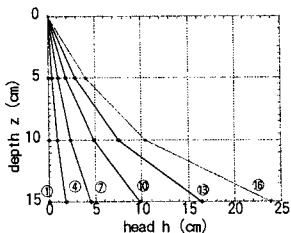


図9 試料Bの水頭分布

表1 実験に用いた試料

	混合A	混合B	混合C	混合D	混合E	混合F
	3号90% 7号10%	3号85% 7号15%	3号80% 7号20%	砂礫85% 7号15%	砂礫70% 7号30%	砂礫60% 7号40%
$(H/F)_{\min}$	0.40	0.41	0.36	0.00	0.00	0.00
間隙比 e	0.64	0.60	0.51	0.62	0.44	0.42
限界動水勾配						
理論値 $i_{\lim}$	1.00	1.02	1.09		1.16	1.15
実験値 i_c	2.39	2.04	2.39		0.54	1.02
理論値に対する比率($i_c/i_{\lim}$)	2.39	2.00	2.19		0.47	0.89