

様々な粒度分布を有する粒状体の浸透破壊実験

日本大学工学部 学生会員 ○木内 将太
日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

ダムや河川堤防の浸透破壊時に見られるパイピング・ボイリング現象は、古くから地盤工学の重要な問題の一つであり、多くの研究が以前から進められている。土構造物の浸透に伴う粒子の侵食は、局所的な破壊から構造物全体の破壊に至る恐れがある。この土中内部での浸透破壊に対する安定性は粒度分布から Kenney らの図表^{1),2)}を用いることで判定できる。しかし、その図表からは粒子の侵食量および破壊形態³⁾を判定することは難しい。そこで本研究では、様々な粒度分布に調整した試料を対象に浸透破壊実験を行い、粒度分布が浸透による粒子の侵食と破壊形態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 試料および実験概要

試料は11種類のガラスビーズ(呼び番号BZ-005~3,5)を混合し、粒度調整したものを用いた。各試料の物理試験結果を表-1に、粒径加積曲線を図-1に示す。次に、粒径加積曲線を基に粒子の侵食に対する安定性を判定するため図-2の Kenney らの図表^{1),2)}を作成した。粒径加積曲線上の任意の粒径 D とその4倍の粒径 $4D$ の質量百分率より図-2の F と H の関係を求める図である。 $F:H=1:1$ の境界線より下にプロット線が存在する場合、粒子の侵食が生じる可能性がある。

浸透破壊実験装置の概略を図-3に示す。本装置は既往の研究⁴⁾を参考に作製した。円筒容器はアクリル製で内径7cm、高さ17cmである。上部水槽に脱気水を溜め、円筒容器へ送水する。浸透流を供試体下端で一様に作用させるためポーラスストーンを設置した。円筒容器下部には管路内の摩擦損失水頭を考慮し、供試体に実際に作用する動水勾配を求めるためのマノメーターを設置した。供試体上端は自由水面としているが、侵食された粒子の再堆積を防ぐためエアーチューブを取り付けた。侵食された粒子は越流部から管路を通り75 μ mふるいを取り付けた下部水槽で細粒分と粗粒分に分けられる。供試体は水中落下法で、相対密度 D_r が70%となるように作製した。実験は20分毎に動水勾配を上昇させ、各動水勾配時の流量・水温・侵食された粒子の質量を計測した。実験中は粒子の侵食と破壊状況をデジタルビデオカメラで撮影し記録した。

表-1 試料の物理特性

Sample	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$e_{\max}$	$e_{\min}$	U_c	$F_c(\%)$
Case1	2.484	0.47	0.26	16.7	6.0
Case2	2.507	0.29	0.23	19.0	6.3
Case3	2.500	0.27	0.23	-	12.2
Case4	2.500	0.28	0.22	-	18.3
Case5	2.502	0.28	0.22	-	20.3
Case6	2.493	0.49	0.32	8.2	6.0

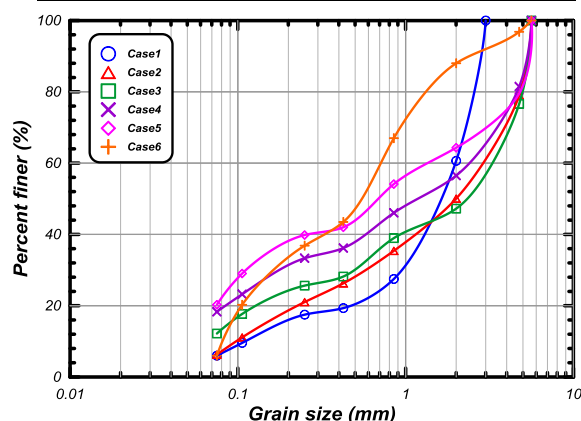


図-1 粒径加積曲線

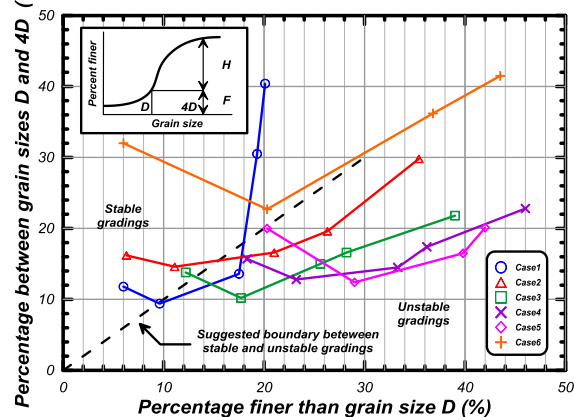


図-2 Kenney らの図表^{1),2)}

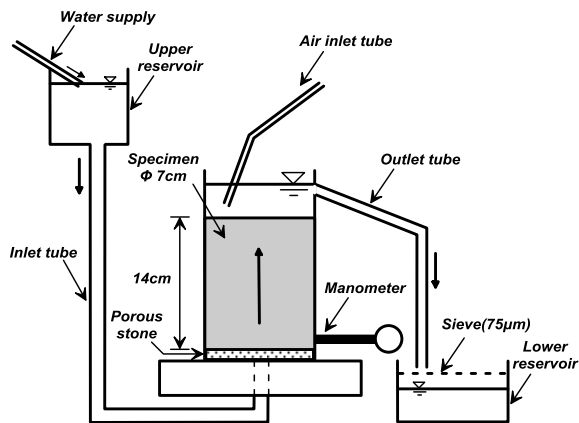


図-3 浸透破壊実験装置⁴⁾

キーワード：粒度分布 浸透破壊 内部侵食 破壊形態

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 TEL 024-956-8710 FAX 024-956-8858

3. 実験結果と考察

浸透破壊実験より得られた細粒分侵食率 μ_{e1} 、粗粒分侵食率 μ_{e2} と動水勾配 i の関係を図-4,5 に、破壊形態を図-6 に示す。細粒分侵食率 μ_{e1} 、粗粒分侵食率 μ_{e2} は次式で定義した。

$$\mu_{e1} = \frac{m_{s-ef}}{m_s \times \mu_0} \times 100 \quad (1) \quad \mu_{e2} = \frac{m_{s-ec}}{m_s(1-\mu_0)} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 m_s ：供試体の乾燥質量(g)、 μ_0 ：初期細粒分含有率、 m_{s-ef} ：侵食された細粒分の質量(g)、 m_{s-ec} ：侵食された粗粒分の質量(g)である。実験結果より粒子の侵食および破壊形態に関して、図-2 に作図されたプロット線が安定領域へ向かう Case1 と不安定領域へ向かう Case2~Case6 でそれぞれ異なる傾向が見られた。

Case1 に着目すると動水勾配が上昇するにつれ、徐々に細粒分・粗粒分の侵食率が増加している。この時、粗粒分については、粗砂や細礫などは侵食されず、 $75\mu\text{m}$ に近い粒径が主に侵食された。破壊形態を見てみると、粒子の侵食が生じる $i=0.2\sim0.4$ で供試体上端に直径 $1\sim2\text{mm}$ 程度のボイリングと供試体内の粒子の移動(1)が観察された。さらに動水勾配の上昇が続くと直線状の水みち(5)を形成し、粒子骨格を保ったまま細粒分の侵食が供試体全体へと広がった。

Case2~Case6 では、ある動水勾配に達するまでは粒子の侵食はほとんど見られなかったが、その後は急激に粒子の侵食率が増加し、動水勾配が減少している。破壊形態を見てみると、Case1 と同様に $i=0.2\sim0.4$ の間で(1)の現象が観察された。 $i=0.7\sim0.9$ の間で、供試体内で水平クラックの発生(2)を経て、全体膨張(3)が生じた。それと同時に供試体下部より螺旋状に水みち(4)が発達し、供試体上端へ到達すると直線状の水みち(5)となった。その過程で細粒分の浮上から対流(6)を生じ、粗砂や細礫の沈降より最終的に体積が減少した。

4. まとめ

今回の実験で動水勾配の上昇に伴い、2通りの侵食の傾向と破壊形態が確認された。1つは、Kenney らの図表でプロット線が安定領域へ向かう場合、粒子骨格は保たれたまま細粒分の侵食が生じる。もう1つは、プロット線が不安定領域へ向かう場合、ある動水勾配まで粒子の侵食は少ないが、膨張を伴う破壊形態による侵食量の急増から粒子骨格も変化する。今後は浸透による粒子の侵食・粒度の変化を考慮した粒状体の強度・変形特性について検討を行う必要がある。

謝辞：この研究は科学研究費補助金(基礎研究(B)：課題番号 21360220 代表 渦岡良介)の援助を受けました。記して謝意を示します。

参考文献：1)Kenney,T.C.,&Lau,D.(1985)：Internal stability of granular filters, Can. Geotechnical Journal, 22, pp.215-225. 2)Kenney,T.C.,&Lau,D.(1986)：Internal stability of granular filters：Reply, Can. Geotechnical Journal, 23, pp.420-423. 3)杉井・佐藤・宇野・山田(1989)：浸透破壊の発生プロセスと非均質性, 土と基礎, Vol.37, No.6, pp.17-22. 4)Sterpi,D.(2003)：Effects of the erosion and transport of fine particles due to seepage flow, International Journal of Geomechanics, ASCE, Vol.3, No.1, pp.111-122.

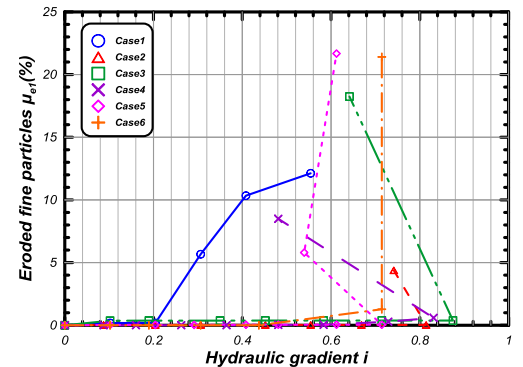


図-4 細粒分侵食率と動水勾配の関係

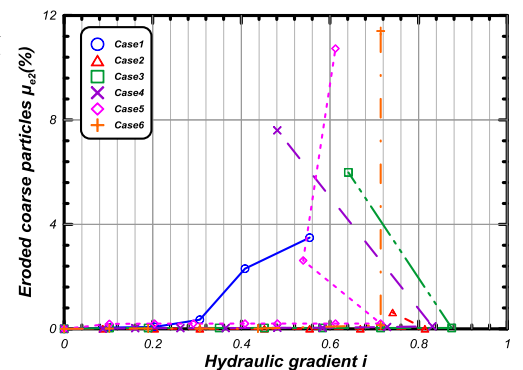


図-5 粗粒分侵食率と動水勾配の関係

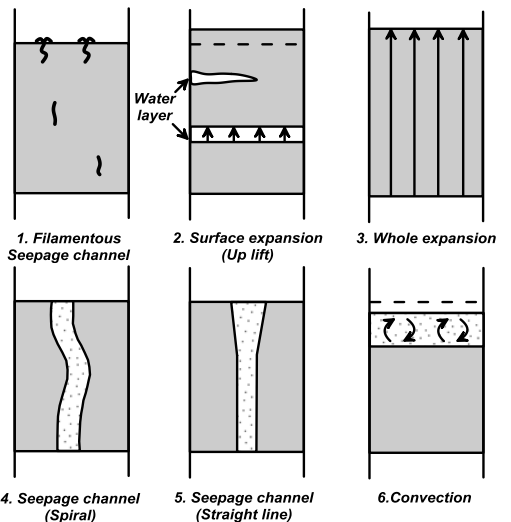


図-6 破壊形態(文献3に加筆)