

細粒分流出に起因する粒度変化に着目した粒状体の内部侵食と目詰まりの挙動

名古屋工業大学 学生会員 ○山田 高弘  
 名古屋工業大学 学生会員 近藤 明彦  
 名古屋工業大学 正会員 前田 健一

1. はじめに

近年、世界各地で地盤の陥没災害が発生しており、その発生箇所も水位変動がある護岸の背後地盤だけでなく都市の劣化したライフライン周辺など多岐にわたる。陥没発生箇所の現地調査からは、周辺地盤内においてゆるみ領域の形成と粒度分布が狭まること(細粒分の流出)が確認されている<sup>1), 2)</sup>。しかし、細粒分流出の発生に起因する周辺粒子への影響、特に局所的な動水勾配の変化や変形に至るメカニズムは未だ解明されていない。そこで、その起点となる粒子流出に関して、粒子の移動と目詰まり条件を明らかにすることを目的として、本報告では、既報<sup>3)</sup>に引き続き、基本的な粒子集合体に流体力を作用させ、細粒分のミクロスケールの挙動を模型実験によって観察することを試みた。

2. 実験概要

実験は定水位一次元鉛直下向き浸透を模し、供試体下部より流出量を計測した。また、供試体内には局所的な変化を観察するために水圧計を深さ方向に等間隔で設置している(図-1)。流出粒子については供試体底面に設置した多孔質フィルター盤によって0.300mm以下の粒子が通過できる。

試料には粒度分布による幾何学的な影響を顕著にするため、球形ガラスビーズ( $\rho_s=2.59$ )を用い、突き固めにより相対密度80%の密な状態にしている。図-2には使用した粒度分布とともに、供試体底面の多孔質フィルター盤の孔径、フィルター径 $D_f=0.300\text{mm}$ も示している。これらの粒度分布は、Kennyらの間隙くびれ径<sup>4), 5)</sup>をもとに、流出しにくいとされる境界の直線分布(st)、流出に対して不安定とされる分布(sp)、stよりも中間粒径の多い安定とされる分布(cv)となっている。

実験条件として、図-3に示す動水勾配*i*の変化によって供試体に浸透力を作用させた。動水勾配は、 $i=0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.5, 10.0$ のように段階的に増加させた後、 $i=0.3$ に一度減少させた。また、動水勾配を変化させる時間間隔は20分とした。

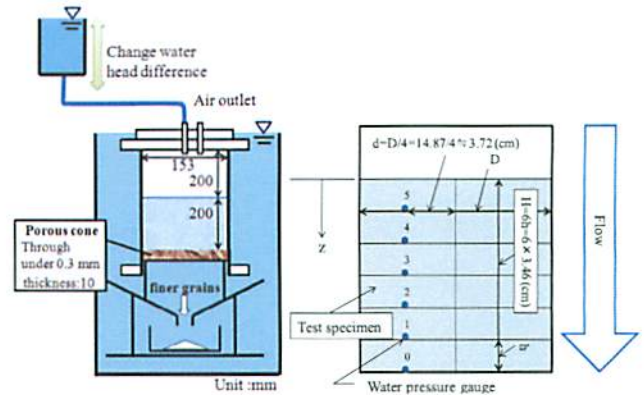


図-1 一次元透水による粒子流出実験機概要

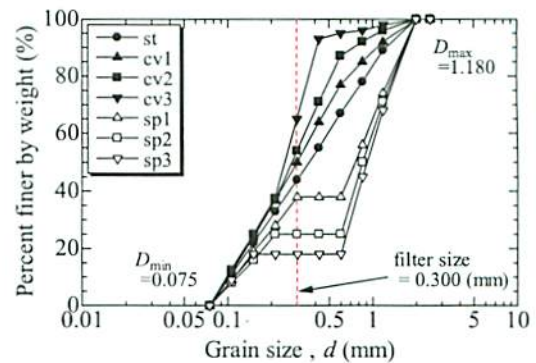


図-2 実験に用いた試料の粒度

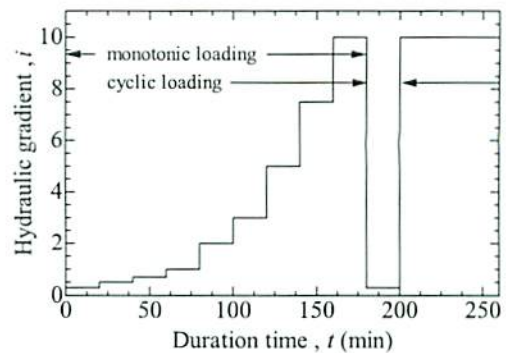


図-3 動水勾配の作用方法

3. 透水力による粒子流出実験結果および考察

3.1 粒子流出量と透水係数に及ぼす粒度分布の影響

図-4に、全ての粒度分布形状の累積粒子流出量と透水係数の変化を動水勾配毎に示す。累積粒子流出量については、動水勾配の増加に伴い、粒子流出量の増加がみられる。しかし、粒度分布形状により傾向が

異なる。直線粒度より上に凸な形状と下に凸な形状とに分類した場合、どちらも直線分布に近い程、粒子流出量は少ないが、上に凸な形状である方が下に凸な形状に比べて全体的に流出量は少ないため、粒子流出に関しては上に凸は安定、下に凸は不安定であるといえる。sp1 から sp3 と下に凸になる程流出量が多いことから、細粒分の流出に伴い、より流出しやすい粒度に変化するといえる。

透水係数の変化については、粒度に関係なく、動水勾配の増加に伴って減少し、その減少量は高い動水勾配になるほど低くなる傾向を示す。また、その傾向は粒子流出に対して最も安定な直線粒度をはじめとして、安定な粒度分布形状なものほど顕著である。

3.2 粒子流出に伴う供試体内部の変化

図-5 には sp2 の粒度分布における、 $i=0.3, 2.0, 10.0$  のケースについて、水圧計の値から供試体内部での局所的動水勾配の変化を示している。また、図中には各動水勾配に変化させた直後を黒色、終了時を赤色で示している。図-4 において透水係数の低下が顕著に発生する  $i=0.3$  では、内部の局所的動水勾配の変化も大きく、全体の動水勾配を超える箇所が低下し、下回るものは上昇する。また、流出量が増え始める  $i=2.0$  では変化は少ないものの、 $i=0.3$  同様、局所的動水勾配と全体の動水勾配は一致しない。そして、最も動水勾配が高い  $i=10.0$  では局所的動水勾配が全体の動水勾配に接近し、深度が大きい箇所から、全体の動水勾配を下回る。

図-6 には動水勾配の増加と時間経過に伴う、局所的動水勾配と流出量の変化を示す。高い動水勾配になるにつれ、各水圧計の局所的動水勾配は全体の動水勾配に近づいていく。特に、水面近くの No.5 の水圧計は、流出量が増加しはじめる  $i=2.0$  付近から顕著である。

以上のような局所的な動水勾配や透水係数、粒子流出量の変化から、供試体内部での透水力を受けた粒子の移動によって粒子の流出だけでなく、間隙に目詰まりが発生することで、局所的に透水係数の小さな領域が生じることが考えられる。

4. 結論

- ・直線の粒度分布程、粒子流出は発生しにくく、下に凸な粒度形状では流出の連鎖が生じやすい。
- ・局所的な動水勾配の変化から、目詰まりの発生・解消などの構造の変化が発生していることが確認できた。

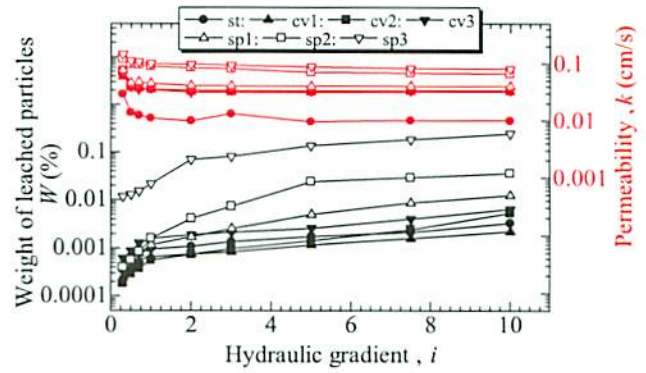


図-4 動水勾配の増加に伴う累積粒子流出量と透水係数の変化

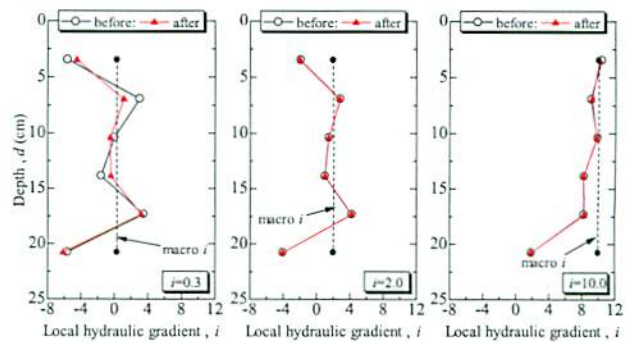


図-5 動水勾配の増加に伴う局所的動水勾配の変化

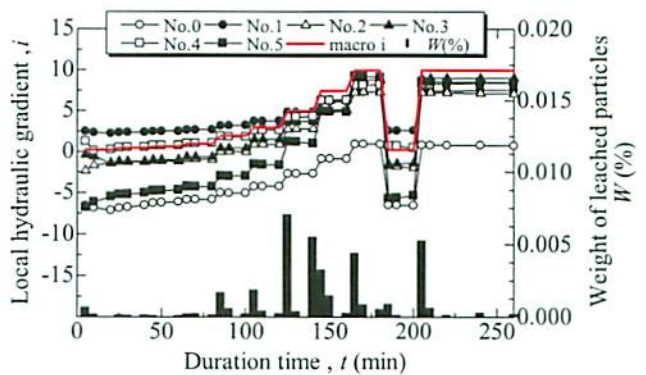


図-6 時間経過に伴う粒子流出量と局所的動水勾配の変化

謝辞：この研究で用いた装置の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) 20360210 と基盤研究(B) 21360222 と JOGMEC 受託研究によるものであり、深謝の意を表します。

参考文献)

- 1) Wood, D. M. and Maeda, K.: Changing grading of soil: effect on critical states, *Acta Geotechnica*, 3 (1), pp.3-14, 2008.
- 2) Wood, D. M., Maeda, K. and Nukudani, E.: Modelling Mechanical consequences of erosion, *Geotechnique*, 60(6), pp.447-457, 2010.
- 3) 前田健一, 山田高弘, 近藤明彦: 内部構造の安定性に着目した細粒分のダイナミクスに関する検討とモデル化の試み, 第3回メタンハイドレート総合シンポジウム講演集, pp.10-17, 2011.
- 4) Kenny T.C. and Ofoegbu G.I.: Permeability of compacted granular materials, *Canadian Geotech.Eng.*, 21, 726-729, 1984.
- 5) 杉井俊夫, 山田公夫, 名倉晋: 限界流速からみた浸透破壊の発生と進行, *地盤工学会誌*, 57-9, pp.26-29, 2009.