

透水力の作用による粒度変化を伴う粒状体の内部侵食と目詰まりの挙動

間隙水圧 侵食 粒度分布

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 国際会員 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^{1),2)}。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、粒子の移動による内部侵食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、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($\rho_s=2.50[g/cm^3]$)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 $D_f=0.300mm$ も示している。これらの粒度分布はKennyらの間隙くびれ径^{3),4)}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、動水勾配 i の変化により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る。その後、 $i=0.3$ まで低下させたのち、再び $i=10.0$ まで上昇させ60分間水位差を保持する。また、動水勾配を変化させる時間間隔は20分とし、経時変化図中に実線で示している。

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-3、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経時変化を示す。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が安定、下に凸が不安定であるといえる。sp1からsp3へと中間粒子と細粒分が低下する程、流出量が多くなることから、細粒分の流出と間隙径の拡大に伴い、より流出しやすい粒度に変化するといえる。また、sp1からsp3になるほど流出量が3倍程になる、粒子流出の集中が小さ

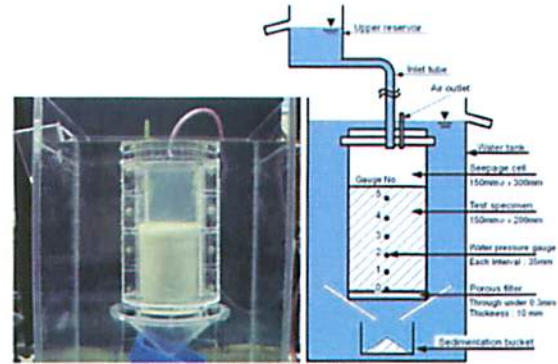


図-1 実験機概要

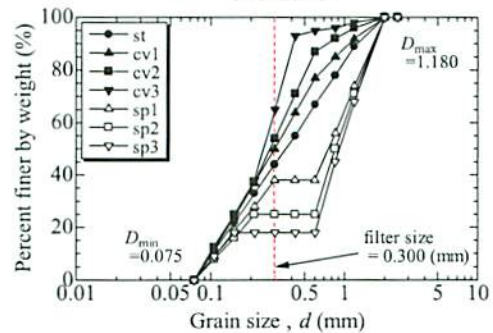


図-2 実験に用いた粒度分布

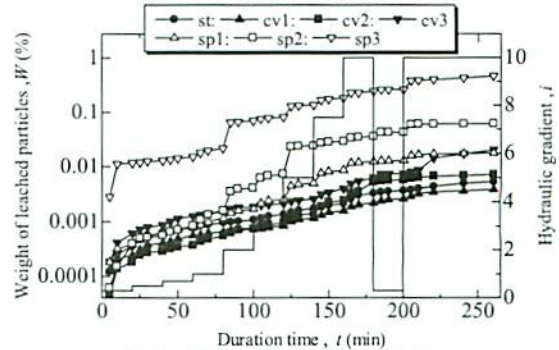


図-3 累積粒子流出量の経時変化

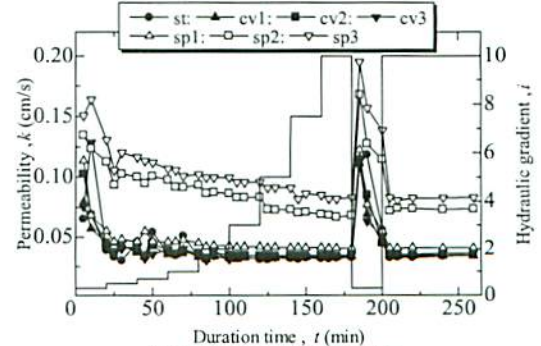


図-4 透水係数の経時変化

い動水勾配で発生していることや透水開始直後の透水係数の低下が少ないことから、sp3ほどより小さい透水力で細粒分の移動が発生していることがわかる。透水係数の経時変化については、粒度に関係なく、動水勾配の増加に伴って減少し、一定の値に収束する傾向を示す。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。そこで、図-5に示すような流出粒子とフィルター粒子のみで構成される簡明な粒度分布を用いて同様の実験を行い、流出粒子とフィルター粒子の関係を考察した。

図-6、図-7に全ての粒度分布形状の累積粒子流出量と透水係数の経時変化を示す。bm1,2,3のように細粒分粒子径を固定し、フィルター粒子径を変化させた場合と、bm3,4,5,6のようにフィルター粒子径を固定し、細粒分粒子径の含有率を変化させた場合に分けて考察する。bm1,2,3における累積粒子流出量については、フィルター粒子径が D_f から最も離れたbm1が最も流出量が多いが、透水係数の経時変化については差が見られない。つまり、フィルター粒子の成す間隙径が大きくなるほど、流出量が増える分、透水量が減少することがわかる。一方、bm3,4,5,6における累積粒子流出量については、細粒分含有率が最も高いbm4が最も流出量が多いが、透水係数の経時変化については、bm4が最も低い。よって、細粒分粒子とフィルター粒子の粒径差が一定で、細粒分含有率が高いほど流出量が増える分、透水量が減少することがわかる。

3.2 粒子流出に伴う供試体内部の変化

供試体内部での局所的な変化を観るため、図-8、図-9にbm4,6での水圧計の値から供試体内部における局所的動水勾配の変化を示している。bm4における局所的動水勾配、流出量ともにbm6よりも高いことがわかる。このことから、bm6よりもbm4に作用する透水力が高いために、bm4の流出量がbm6より多いことがわかる。また、図-8において $i=0.3$ から $i=10.0$ への再載荷後の流出量と局所的動水勾配に着目すると、流出量の増加に伴う局所的動水勾配の低下が見られることから、流出による透水力の低下が考えられる。以上のことから、細粒分粒子とフィルター粒子の粒径差が一定で細粒分含有率が異なる場合、細粒分含有率の高い方が透水力が高いために、流出量が増えることがわかる。

4. 結論

全粒径が均等に存在する直線の粒度分布程、粒子流出は発生しにくく、中間粒径粒子の少ない下に凸な粒度形状では流出の連鎖が生じやすい。また、簡明な粒度分布である二粒径混合分布より、間隙径が大きい粒度分布ほど流出量は増加し、細粒分粒子とフィルター粒子径の粒径差が一定の場合、細粒分含有率の高い粒度分布の方が、より高い透水力を受けて流出量が増加することから、間隙径と透水力の大小が流出量に影響を及ぼすことが分かった。

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) 23360203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)Kenny T.C. and Ofoegbu G.I.: Permeability of compacted granular materials, *Canadian Geotech. Eng.*, 21, 726-729, 1984. 4)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.

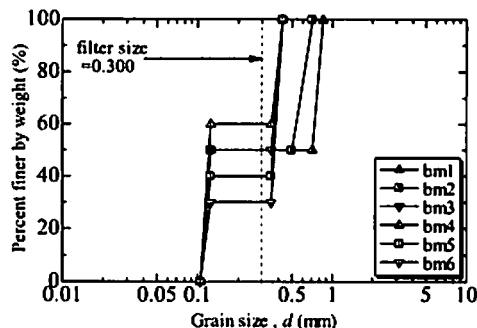


図-5 実験に用いた粒度分布

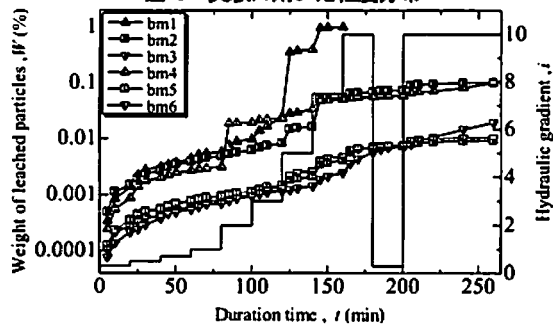


図-6 累積粒子流出量の経時変化

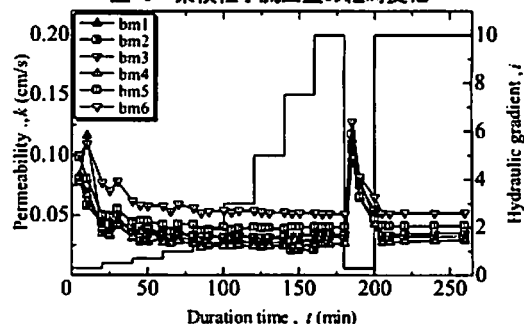


図-7 透水係数の経時変化

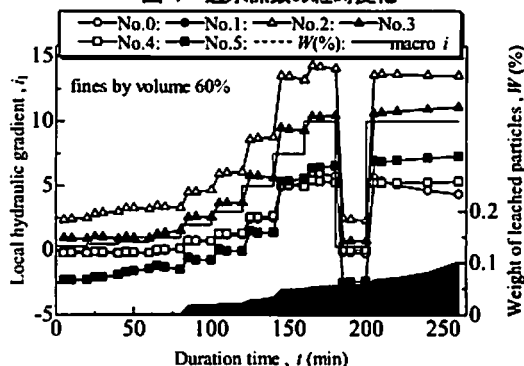


図-8 bm4の局所的動水勾配と累積粒子流出量の経時変化

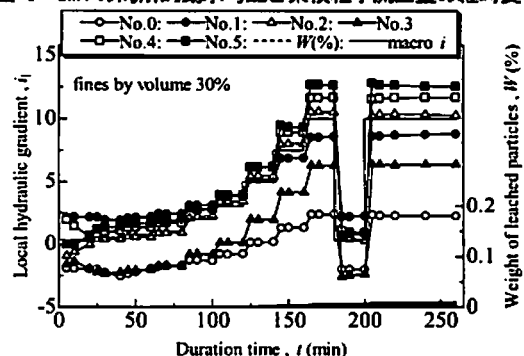


図-9 bm6の局所的動水勾配と累積粒子流出量の経時変化