

# 内部侵食現象における土粒子と浸透流の直接観察方法の検討

環境防災研究室 修士2年 清野 颯  
指導教員 大塚 悟, 宮木 康幸, 福元 豊

## 1. はじめに

近年, 集中豪雨や台風による豪雨の増加で, 斜面の地すべりや河川堤防といった被害が多くなっている. 堤防などの土木構造物に影響を与える主要な要因の1つに内部侵食が挙げられ, 被害原因の30~50%が内部侵食であることがわかっている<sup>1)</sup>. そのため内部侵食に対する安全性の向上も重要な課題である. 内部侵食の発生・進行は地盤内部の状況を直接観察できないことから未解明な点が多いため, 内部侵食の挙動を直接的に観察することで防災対策の向上にも繋がる. 現在では, 電子計算機の普及によって内部侵食の発生原因であるパイピングやクラックなどの進行過程の解析シミュレーションに期待が寄せられているが, 解析だけでは信頼性に欠けるため地盤内挙動を観察する簡易的な室内実験の再現により妥当性が確認できる. そこで本研究では, 簡易に実験が行える模型装置を作製し, 内部侵食が発生・進行する様子を直接観察できる実験方法の検討を行った.

## 2. Contact Erosion

ここまで一概に内部侵食と記述したが, 内部侵食は発生機構によって様々な侵食タイプに分類されており<sup>2)3)</sup>, その中でも本研究では, Contact Erosion 現象に着目した. Contact Erosion は粒径差のある細粒分層と粗粒分層が接する面で発生し, 浸透流によって粒径の小さい土粒子が粒径の大きい土粒子の間隙に吸い込まれると説明されている. 主にダム堤防や海岸堤防といった土木構造物を支持する地盤中で, 粒径差のある土の層が接する面で発生すると言われ, 構造物の安定性に影響を与える. この現象を作製した模型装置によって再現実験を行い, 直接観察を行う.

## 3. 実験方法

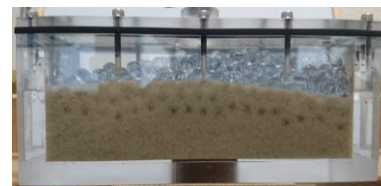
模型装置は流量ポンプ, 侵食コントロール装置, 循環用タンクにより構成され(写真-1), それぞれはチューブ(6.4mm)によって接続されている. 実験では粗粒分にソーダガラス球, 細粒分に東北硅砂を使用し, 細粒分の粒径差を硅砂5号(平均粒径:0.515mm), 6号(平均粒径:0.340mm), 7号(平均粒径:0.190mm)を変えた場合と, 流量の大きさ(175.06~1126.73ml/min)を変えた場合の比較も行う. 直接観察は, 定点カメラによって3時間実施した. 実験を行った結果, 侵食が進行した場合は細粒分の流亡と細粒分上昇, 粗粒分沈下が発生していることが確認できた(写真-2). そこで直接観察する方法として, 濁度計測器による細粒分流出の測定, 細粒分層厚の測定, 画像解析による粗粒分位置の時系列追跡を行い沈下量の測定を行う. また粗粒分間隙の浸透流速の直接観察を行い, 粗粒分と細粒分の境界面に作用する影響の考察を行った.



写真-1 実験装置



(a) 実験前



(a) 実験後

写真-2 実験前後の様子

## 4. 侵食進行過程の観察結果

粒径の大きさを変えた場合の比較と流量の大きさを変えた場合の比較結果を図-1, 図-2 に示す. 結果から粒径が小さいほど細粒分流出量と層厚の変化が大きく, 流量の比較では, 流量が大きくなるにつれ細粒分流出量と層厚の変化が大きくなることがわかった. しかし, 細粒分流出や上昇が大きかった場合で, 粗粒分の沈下も大きくなるという結果ではなかった. 理由としては, 浸透流の影響が関係していると考えられる.

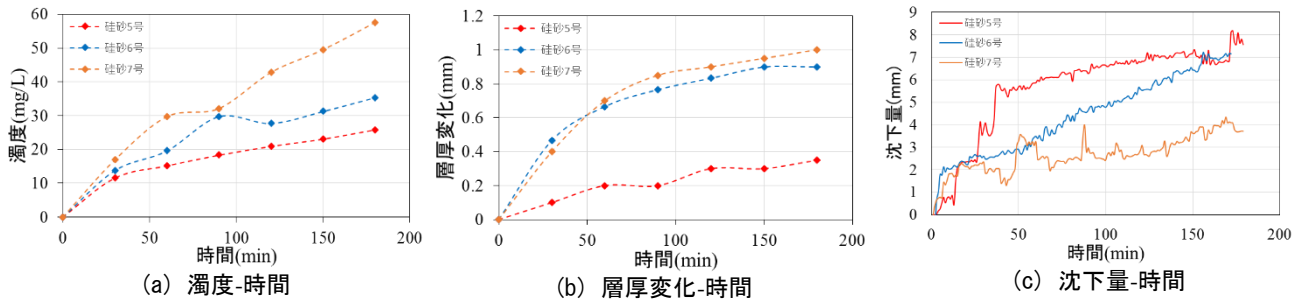


図-1 粒径の大きさの比較

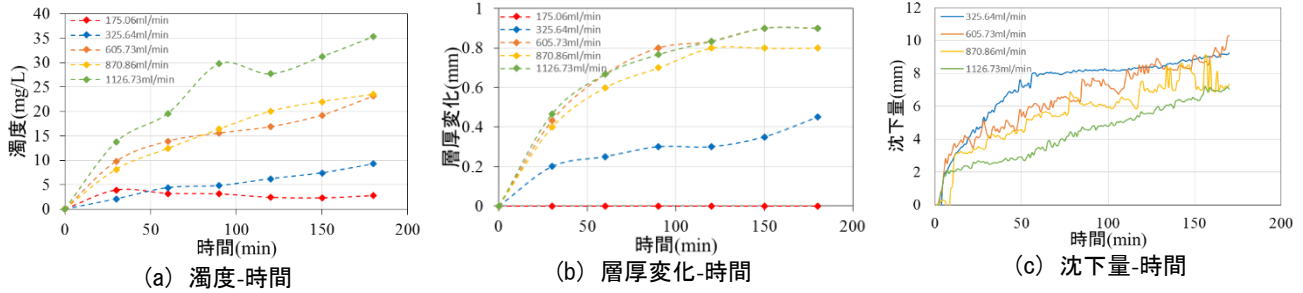


図-2 流量の大きさの比較

### 5. 浸透流の直接観察

粗粒分の浸透流観察では RIMS (Refractive Index Matching Scanning)<sup>5)</sup>と呼ばれる屈折率マッチング法を用いて、PIV(Particle Image Velocimetry)計測によって直接観察を行った。実験は土粒子にアクリル球、浸透流に蛍光とレーザー粒子を浮遊させたシリコンオイルを使用した。浸透流の直接観察方法としては、高速度カメラによってロングパスフィルター(波長 577.1~900nm のみ通過)を通し撮影することで、粗粒分間隙を流れる蛍光トレーサー粒子のみを映し出し、PIVによって間隙速度を計測する(写真-4)。計測結果を図-3 の速度分布図に示す。結果から、粗粒分層の間隙における流速の大きさは不均一で局所的に大きな流速が存在することがわかった。このことから粗粒分層と細粒分層の境界面において、予想より大きな流速が影響を与え、早い段階で侵食が発生していることが考えられる。

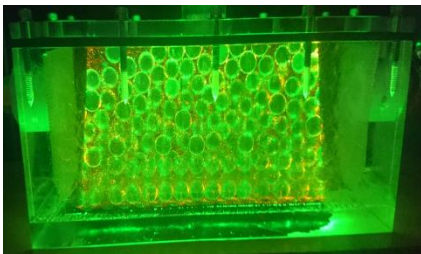


写真-3 レーザー照射の様子

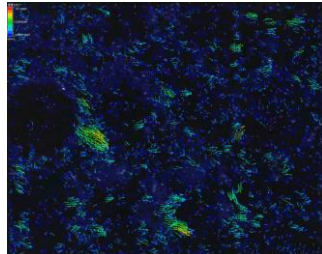


写真-4 速度ベクトル図

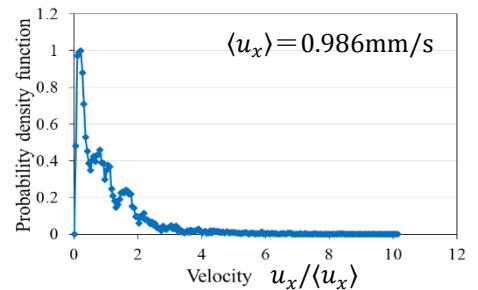


図-3 速度分布図

### 6. おわりに

本研究から、模型装置内において侵食の進行過程を、濁度計測器による細粒分流出量の測定と画像解析による粗粒分位置の時系列追跡により把握することができた。また、RIMS と PIV 画像解析による粗粒分間隙を 2 次元的に直接取得することができた。今回の検討から、装置を改良し圧力測定などを追加で行うことで、粗粒分と細粒分の境界面に作用する掃流力を推定することができれば、より Contact Erosion への理解が深まる。その他に、土粒子の時系列の位置情報や間隙流速の情報が得られるようになったため、粒子-流体連成計算モデルの再現性をより詳細に確認することができる。

### 参考文献

- 1) Foster, M., & Fell, R., & Spannagle, M. Statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*, 1000-1024 (2000a)
- 2) Bonelli, Stéphane, ed. Erosion of geomaterials. John Wiley & Sons, 2012.
- 3) Bonelli, Stéphane, ed. Erosion in geomechanics applied to dams and levees. John Wiley & Sons, 2013.
- 4) Takahashi, Hidenori, et al. "Stability of caisson-type breakwater foundation under tsunami-induced seepage." *Soils and Foundations* 54.4 (2014)
- 5) 清野 颯, 福元 豊, 大塚 悟: RIMS による土粒子と浸透流の可視化方法の検討, 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, Vol.34, pp.170-171, 2016