

## 浸透履歴に着目した締固め土の内部侵食のメカニズムに関する研究

九州大学大学院 学 ○長崎 智洋

九州大学大学院 F 安福規之 正 石蔵良平 正 アデル・アロワイシー

### 1. はじめに

浸透流によって地盤内の間隙よりも小さな粒径の土粒子が移動する現象は内部侵食と呼ばれ、地盤構造物の劣化・崩壊要因の一つとして知られている。図-1 の内部侵食の模式図のように粒子流出によって強度の低下、粒子の目詰まりによって、排水性の低下につながる。内部侵食の主な要因は、粒度分布や透水係数といった土質特性や、流速や動水勾配の変化といった浸透履歴である。土質特性から内部侵食の可能性を評価する指標としては、Kezdi<sup>1)</sup>や Kenney ら<sup>2)</sup>の粒度分布を利用したフィルターの安定指標 (H/F) が知られている。浸透履歴と内部侵食の関係については、動水勾配の変化に着目した研究<sup>3)</sup>が行われている。一方で、土質特性と浸透履歴のどちらにも着目した研究は少なく、その相互関係は明らかになっていない。

そこで本研究では土質特性として細粒含有率 (FC)、透水履歴として動水勾配の変化に着目し、土質特性と浸透履歴を考慮した内部侵食の評価を目的として、一次元透水試験を模した模型実験により検討を行った。

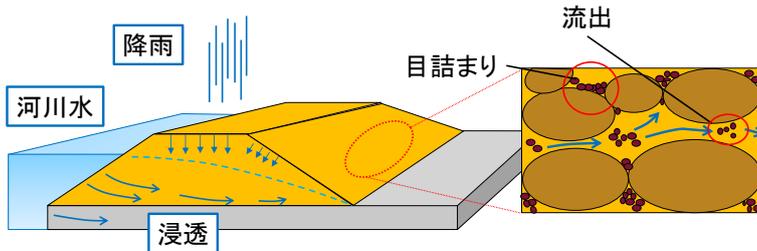


図-1 内部侵食の模式図

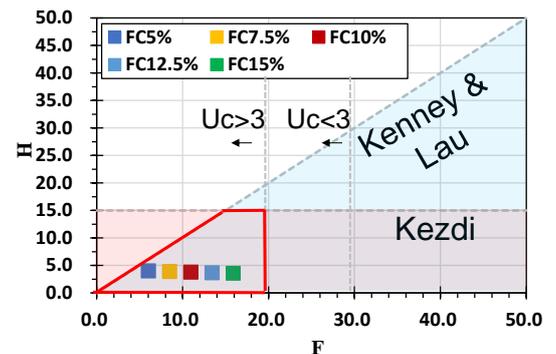


図-2 内部安定指標

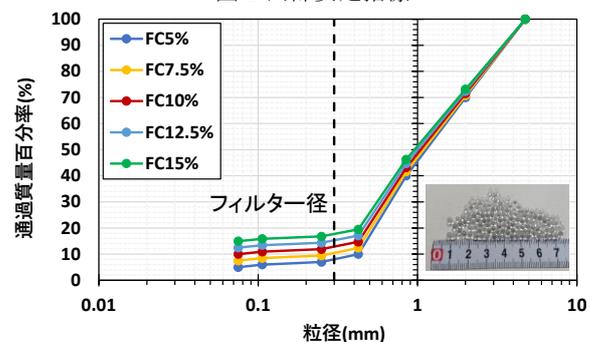


図-3 配合試料の粒度分布

表-1 供試体の特性

	均等係数Uc	間隙比e	H/F <sub>min</sub>	流出可能量(g)
FC5%	3.8	0.44	0.67	122
FC7.5%	5.3	0.44	0.46	165
FC10%	20.4	0.44	0.35	207
FC12.5%	19.8	0.44	0.27	250
FC15%	19.2	0.44	0.23	293

### 2. 実験概要

#### 2.1 配合試料の特性

実験には粒子形状を考慮せず粒子含有量を正確に把握するため、ガラスビーズの配合試料を使用した。

図-2 に Kezdi<sup>1)</sup>と Kenney and Lau<sup>2)</sup>の提案した内部安定指標を示す。内部安定指標は対象となる粒径 D の 4 倍粒径 4D の粒子質量含有率を H、粒径 D の質量通過百分率を F と定義し、Kezdi の指標では「H ≤ 15」で不安定、Kenney らの指標では「H/F<sub>(min)</sub> < 1」のときは不安定と提案している。本実験では図-2 の赤枠内で示す Kezdi と Kenney らの指標両方で内部不安定とされる配合試料を用いる。図-3 に配合試料の粒度分布を示す。供試体下には 3mm のフィルターを敷いており、浸透流の影響によって 3mm 未満の粒径を持つ粒子は供試体外に流出するようになっている。

#### 2.2 透水実験の概要

作製した供試体の特性を表-1 に示す。供試体は一辺 10cm、高さ 10cm の立方体に対し、試料を 5 層に分け突き固め、各供試体の重量が等しくなるように作成した。供試体下部からフィルターを通過して流出した粒子を流出粒子として吸引装置で採取した。供試体作成後は供試体を水に浸漬させ、水槽にふたをして 24 時間減圧することで飽和させている。

本実験で用いた透水実験装置を図-4 に示す。透水方向は供試体の上部から下部の向きで行った。水槽のバルブを開くことで、動水勾配を 0.5~2.5 まで 0.5 ずつ変化させることができる。

透水実験装置で行った動水勾配条件を図-5 に示す。a は動水勾配 0.5 で一定、b は動水勾配 0.5 から 2.5 まで段階的に増加、動水勾配 c は 0.5 から 2.5 に急激に増加させている。透水終了時間は a が 3000 分、b と c が 360 分としており、b と c の平均動水勾配が等しくなるように設定している。

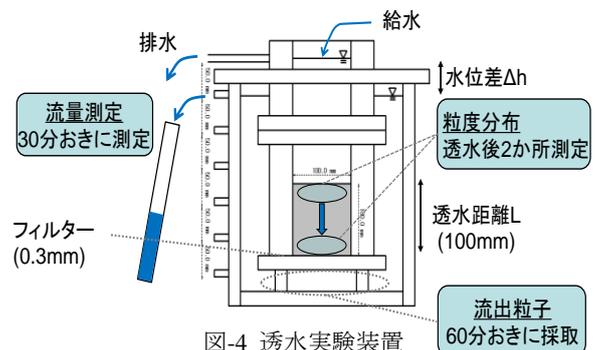


図-4 透水実験装置

3. 実験結果と考察

動水勾配条件 **b** における細粒分含有率と侵食率の関係を図-6 に示す。凡例中の数字は流出粒子を採取した時間を示している。本研究では侵食率を、流出可能量 (3mm 径のふるい以下の大きさの粒子量) で積算流出粒子量を除した値とした。360 分地点の結果をみると、侵食率は FC10 で最大値をとり、上に凸の曲線を描く結果となった。最大値の FC10 と最小値の FC15 では 4.1 倍ほど侵食率に差が生じた。このように FC5~FC10 で正の傾きを取り、FC10~FC15 で負の傾きをとる傾向は動水勾配条件 **a** と **c** でも確認することが出来た。この結果から粒子流出には危険な細粒分含有率があることが考えられる。この結果は限定的な条件ではあるが、近藤らの研究結果<sup>4)</sup>とは異なる。

FC10 における動水勾配条件と侵食率の関係を図-7 に示す。360 分地点を比較すると動水勾配条件 **a** と動水勾配 **b** では 7.2 倍ほど、**b** と **c** では 1.4 倍ほど侵食率に差が生じた。

この傾向は FC15 でも同様の結果が得られたが、FC5 では動水勾配条件 **c** が最大となる結果となった。これは FC5 では後述する間隙径が大きく粒子の目詰まりが発生しなかったためだと考える。

動水勾配条件 **b** と **c** における透水時間と間隙径の関係を図-7 に示す。間隙径は Reddi ら<sup>5)</sup>の以下の実験式より供試体内部の平均的な間隙半径を算出し、その値を 2 倍したものとした。

$$r = \sqrt{8k\eta / n\gamma_w} \quad (1)$$

ここで  $k$  は透水係数(m/s)、 $\eta$  は水の粘性係数(kg/m·s)、 $n$  は間隙率、 $\gamma_w$  は水の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)である。FC が増加するにつれて初期間隙径は小さくなっており、FC10 では透水終了時には間隙径が大きくなる傾向がみられる。一方で動水勾配条件 **c** において、FC5 と FC15 では透水終了時に初期間隙径よりも間隙径が小さくなる結果となった。

図-9 に動水勾配条件 **a** における透水後の粒度分布の変化率を示す。変化率は透水開始から 3000 分後の粒度分布と透水前の粒度分布の差を透水前の粒度分布の値で除したものである。粒子は供試体中心付近の上面から深さ 1cm と 9cm 地点を採取している。結果から供試体上部と下部の両方において 0.075mm 以下の粒子はほとんど抜けきっていることが分かる。また上部の方が下部と比較して、粒子が抜けている。これは下部においては粒子流出だけでなく、上部からの粒子が流入してくるためだと考えられる。この結果から浸透流が流入する側では粒子の移動、流出する側では、粒子の目詰まりが発生する可能性が高いことが考えられる。

4. まとめ

- FC と侵食率の関係より粒子流出には、危険な細粒分含有率があることを示した。
- 動水勾配と侵食率の関係と間隙径の関係から、初期間隙径によって粒子流出を促進させる動水勾配変化は異なることが分かった。
- 粒度分布の結果から浸透流が流入する側では粒子の移動、流出する側では、粒子の目詰まりが発生する可能性が高いことを示した。

今後は一般的な土試料や、内部安定指標から内部安定と判定される試料を用いて同様の結果が得られるか検討が必要だと考える。

参考文献 1) Kezdi, A.: Soil Physics: Selected Topics (Developments in Geotechnical Engineering), Amsterdam, New York, US, Elsevier Science, 1979.2) Kenney, T.C and Lau, D.: Internal stability of granular filters. Canadian Geotechnical journal, Vol22, No2, pp215-225, 1985. 3) Abdul Rochim.: Effects of Hydraulic Loading History on Suffusion Susceptibility of Cohesionless Soils: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 143(7):04017025 2017.4) Kondo, Y.: Effects of the pore structure caused by the grading for internal erosion and clogging. Proceedings of the Symposium, Chubu Branch Japan Geotechnical Society : 2012.8 5) Reddi, L. N., Lee, I., and Bonala, M. V. S. (2000). "Comparison of internal and surface erosion using flow pump test on a sand-kaolinite mixture." J. ASTM Geotech. Test., 23(1), 116-122.

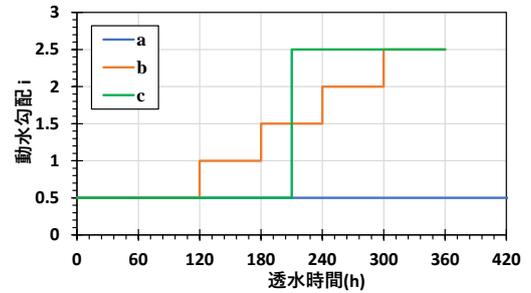


図-5 動水勾配条件

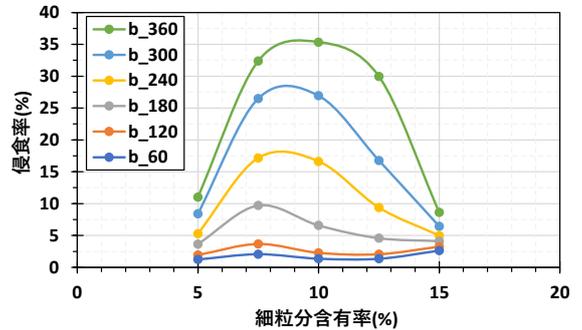


図-6 細粒分含有率と侵食率の関係

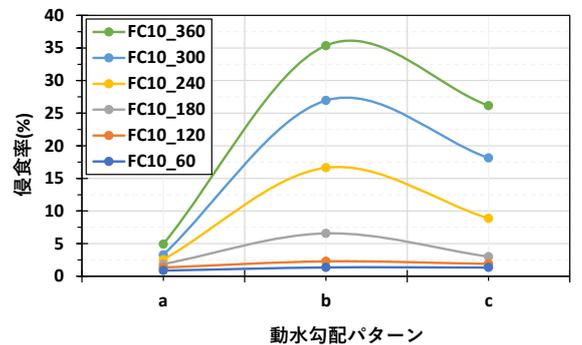


図-7 動水勾配と侵食率の関係

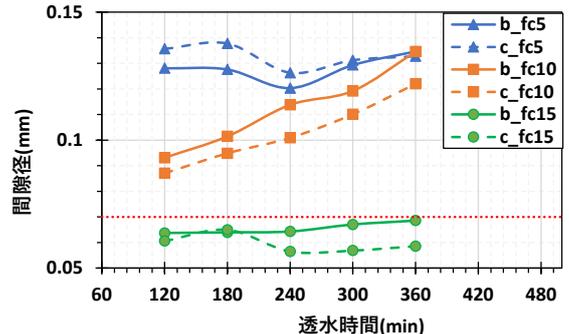


図-8 透水時間と間隙径

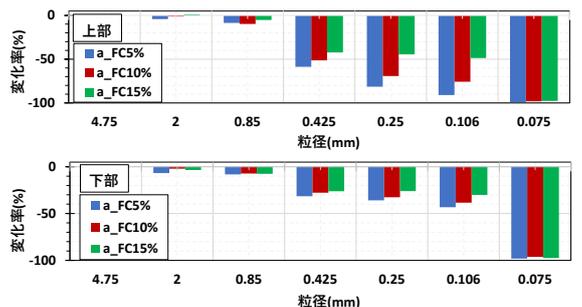


図-9 透水後の粒度分布の変化率