

内部浸食による堤防構成土の劣化に関する研究

東京工業大学 教授 高橋 章浩

概要:

本研究は、浸透に伴う内部浸食による堤防の劣化評価に必要な、浸透による土の劣化機構の解明を目的とする。浸透による細粒分流失は土の骨格構造を変化させ、土の剛性・強度に変化をもたらすと想定されることから、室内土質試験によりこれを検証した。2015年9月に発生した関東・東北豪雨において噴砂が見られた鬼怒川堤防の基礎地盤は、土の構成に着目した評価によれば、内部浸食に対して脆弱であった。そのような堤防基礎地盤土を模擬した土を対象に、浸透流による浸食試験と非排水三軸圧縮試験を連続して行った。その結果、浸食は浸透流による土の移流や目詰まりを繰り返しながら進展し、土を不均質にしていく様子が確認された。このような浸食がもたらす間隙比の変化はわずかであったが、その土の力学特性に与えるインパクトは大きく、浸食によりピーク強度は小さく、また、ピーク後のひずみ軟化の程度も大きくなることが確認された。

キーワード: 堤防基礎地盤土, 内部浸食, 浸透, 非排水三軸圧縮試験

1. はじめに

本研究では、浸透に伴う内部浸食による堤防の劣化評価に必要な、浸透による土の劣化機構の解明を目的とし、室内土質試験を実施した。具体的には、2015年9月に発生した関東・東北豪雨で被災した鬼怒川堤防の基礎地盤土を対象に、浸透による浸食のしやすさを各種手法によって評価した上で、浸食・せん断を連続的に土に付与することができる三軸試験装置を用いて、被災堤防の基礎地盤土を模した土の浸食・せん断試験を行うことで、浸食の程度と土の変形・強度特性の関係を明らかにした。

2. 対象土と試験方法

内部浸食に対する土の脆弱性評価には、土の構成、応力や水理条件が一般に考慮される¹⁾。本研究では、まず土の構成(土の粒度分布)に着目し、内部浸食に対する土の脆弱性を評価した。具体的には、2015年9月に発生した関東・東北豪雨において噴砂等が確認された鬼怒川堤防の基礎地盤土を、左岸 18.5k, 左岸 20k, 左岸 21.5k, 左岸 22.25k, 右岸 36.75k, 右岸 38.75k の 6カ所から採取した土を対象とし、脆弱性評価に、フィルター材の選定評価方法、空隙の大きさに着目する方法、粒径加積曲線の形状に着目する方法を適用した。その結果、これらの土は内部浸食に対して脆弱であったと判断された。

本研究ではその中から、鬼怒川左岸 21.5k の堤防基礎地盤土(深さ 0.5 m から採取)を対象として、浸食・せん断試験を実施した。試験では、現地の土を模擬した土を作製し、これを試験に供することとした。様々な方法を試みたが最終的には、浸出土の計量を既存の設備で可能にするため、Parallel gradation method²⁾と呼ばれる方法により、実物の 10 倍の粒径を有する模擬土を、珪砂を用いて締固め度 90% の供試体を作製した。その粒径加積曲線を図-1 に示す。

本研究では、Ke and Takahashi³⁾によって開発された浸食・せん断を連続的に土に付与することができる三軸試験装置を改良したものをを用いた。浸食試験では、給水タンク出口の水圧計の読みを給水タンク圧 (ITP) と呼び、

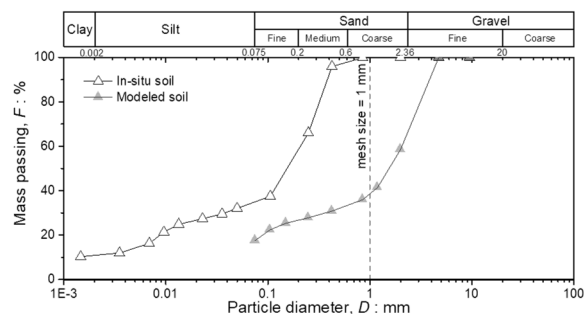


図-1 対象土と作製した模擬土の粒径加積曲線

これを用いて圧力制御した。一方で供試体下端の水圧 (BP) を一定として、これらの圧力差により、下向き浸透流を供試体に与えた。なお、給水タンクと供試体上端までの間で水頭損失 (圧力損失) が発生するので、供試体上端直近でも水圧計 (TP) を用いて圧力を計測し、これと BP の差から供試体内の動水勾配を求めた。浸食試験では、付与する動水勾配、繰り返し浸透回数を変えることで、浸食程度の異なる供試体を作り、浸食試験後に供試体を所定の有効拘束圧 (50 kPa) で再圧密した後、非排水三軸圧縮試験を行った。

3. 試験結果と考察

浸食試験の一例として、浸食過程における各パラメータの時間変化を図-2 に示す。動水勾配 i が 4.6 に達した時点で、浸出土が検出されている (浸食開始動水勾配 $i_e = 4.6$)。この浸食試験の間に発生した体積ひずみは $\varepsilon_v = 0.004\%$ であり、土の浸出は間隙の増大に直結していた。この試験中の浸出土量 m_e は初期の土の質量の 0.59% と小さいが、その結果、間隙比は浸食試験前の $e_c = 0.501$ から、 $e_e = 0.510$ に増加している。ダルシー流速 v や透水係数 k は変動しているが、これは浸出土の目詰まりと新たな水みちの形成を繰り返した結果と考えられる。

上記のような内部浸食を受けた供試体に対して、非排水三軸圧縮試験を行った。図-3 に全ケースの試験結果を、図-4 に浸食によるピーク強度の変化を示す。内部浸食なしのケース (WOE) と比べて、内部浸食を受けたケース (WE) はピーク強度が小さく、また、ピーク後のひずみ軟化の程度も大きいことが分かる。今回の試験結果を既往の Gap-graded soils (粒径が大きく異なる 2 つの単粒径土を混合して作製した人工土、図-4 には細粒分含有率 25% の例を示す) に対する試験結果と比べると、浸出土量ははるかに小さいものの、劣化の程度は著しいことから、浸透による内部浸食は堤防基礎地盤の長期安定性に影響を与える可能性がある。

4. まとめ

内部浸食に対して脆弱であると判断された堤防基礎地盤土を模擬した土を対象に、浸透流による浸食試験と非排水三軸圧縮試験を連続して行った。その結果、浸食は浸透流による土の移流や目詰まりを繰り返しながら進展し、土を不均質にしていく様子が確認された。このような浸食がもたらす間隙比の変化はわずかであったが、その土の力学特性に与えるインパクトは大きく、浸食によりピーク強度は小さく、また、ピーク後のひずみ軟化の程度も大きくなることが確認された。本研究により、堤防の耐災性評価に必要な内部浸食に伴い経年変化する土の力学特性の端緒を掴むことができた。この成果は、堤防の耐災性評価に必要な構成モデル構築に資する知見で

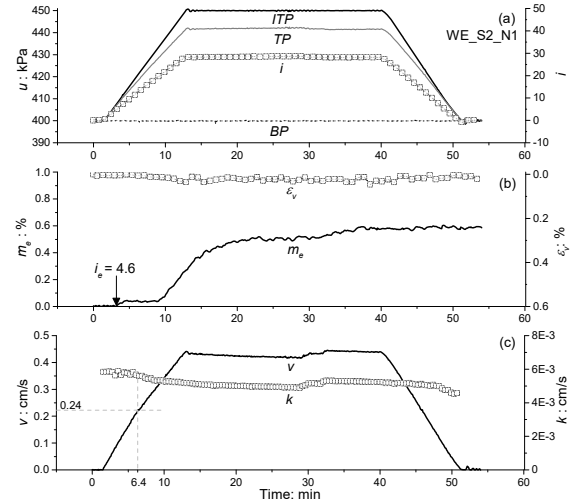


図-2 浸食試験の例 (WE_S2_N1)

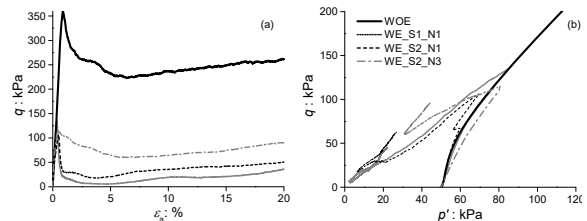


図-3 非排水三軸圧縮試験結果

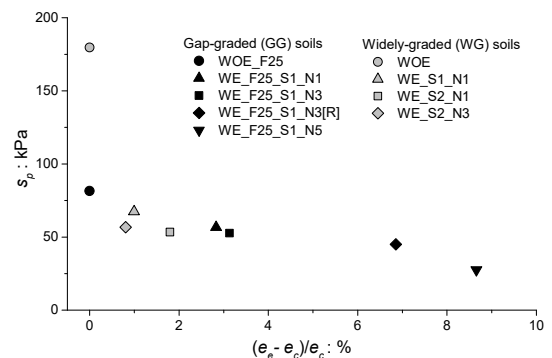


図-4 浸食によるピーク強度 (s_p) の変化

あり、堤防の質的整備に資する成果といえる。

参考文献

- 1) Wan, C.F. and Fell, R.: Assessing the potential of internal instability and suffusion in embankment dams and their foundations, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 134(3), 401-407, 2008.
- 2) Varadajan, A., Sharma, K., Venkatachalam, K. and Gupta, K.: Testing and Modeling two rockfill materials, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 129(3), 206-218, 2003.
- 3) Ke, L. and Takahashi, A.: Triaxial erosion test for evaluation of mechanical consequences of internal erosion. *Geotech. Test. J.*, 37(2), 347-364, 2014.