

令和元年6月17日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18145

研究課題名(和文) 浸透破壊に対する土構造物の短期および長期的侵食を考慮した統一的評価手法の確立

研究課題名(英文) An evaluation method for seepage-induced internal erodibility in levees

研究代表者

堀越 一輝 (Horikoshi, Kazuki)

東京工業大学・環境・社会理工学院・助教

研究者番号：90771965

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：日本の河川堤防の試料を対象に、土の侵食速度に関する実験(Hole erosion testと上向き浸透侵食試験)を実施した。その結果、対象とした河川堤防の試料は、土内部の侵食に対して耐性が大きいと評価できた。これらの実験で得られた侵食指標IHETとその土の基本的物性値の相関を分析することで、侵食速度に影響を与えるであろう土の基本的物性を抽出した。さらに、本研究の成果を既往のフィルダム材を対象とした試験結果を取りまとめ、土の基本的物性値から侵食特性(侵食指標IHET)を算出する評価式を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで河川堤防の浸透による侵食の開始に関する知見やその浸透破壊の形態に関する研究は多くなされていたが、その時間スケールに関する定量的な評価に関する研究はわずかであった。本研究は、これまで欧州やオーストラリアのフィルダム材を対象に使用されているHole erosion testを日本の河川堤防材を対象に適用し、その堤防材の侵食速度の評価を示した。また、土の基本的物性値の中で、侵食速度に影響を与える物性を抽出した。その土の基本的物性値から、概算的な侵食速度を算出する評価式を提案した。

研究成果の概要(英文)：In this study, it was investigated the erosion rate of the topsoil along same Japanese River levee, where many traces of piping were observed after the heavy rain, by Hole erosion test. By exploring relationship between the erosion rate and various soil properties, influential soil properties on erodibility were identified. From this study, the following conclusions were obtained.

- 1) The erosion rate of 18 specimens was judged as Extremely slow, Very slow or Moderately slow and erosion rate of 4 specimens was judged as rapider than moderately slow.
- 2) Test results obtained by Hole erosion test and engineering properties of soil that the consistency limit, grain size distribution and compaction characteristics affect the erosion rate. This suggests that the clay content is the key parameter for the erosion resistance.

研究分野：地盤工学

キーワード：侵食 河川堤防 浸透流

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

浸透流による土内部の侵食現象は内部侵食と呼ばれ、土構造物の健全性を阻害し壊滅的な被害を引き起こす一因である。この内部侵食が知覚できるほど発達した現象が、良く知られたパイピング現象である。近年、この内部侵食による堤防やダムなどの水理構造物や谷埋め盛土の性能劣化、およびその破壊は世界的に大きな問題となっている。浸透流に起因する内部侵食によって土構造物が破壊に至る場合、そのプロセスは、“開始”、“継続”、“発展”および“破壊”の4つの段階に分類される[1]。このうち、パイピングは“発展”段階で形成され、急速に進行し、最悪の場合、土構造物を“破壊”させる。

この内部侵食の発生要因、つまり破壊プロセスの“開始”に関する知見は、近年、多くの要素的な浸透実験によって急速に蓄積されつつある[2]。この現象が土構造物の内部で、どのように発展していくか、という“継続”段階についても、いくつかの数値解析モデル[3]や小型模型実験[4]によって、定性的ではあるが、徐々に解明されつつある。しかしながら、実際の土構造物中で、この現象が定量的にどれほどの時間スケールで進展していくか、については“発展”および“破壊”の段階に関してのみ、いくつかの方法によって、その侵食速度が評価されている[5,6]。この“発展”段階に至るまでの“開始”、“継続”の段階では、土構造物の浸透状況は層流状態で、長期的な侵食が緩やかに生じている。土構造物の性能は、その供用期間の大半において、この“開始”、“継続”の破壊プロセスの初期段階の状態にある。それにも関わらず、これらの段階で生じる侵食の時間スケールに着目した研究は少ない[7]。

[参考文献]

- [1] Foster, M. and Fell, R.: A framework for estimating the probability of failure of embankment dams by internal erosion and piping using event tree methods, *UNICIV reports*, R-377, University of New South Wales, Sidney, 1999.
- [2] 例えば, Bendahmane, F., Marot, D. and Alexis, A.: Experimental parametric study of suffusion and backward erosion, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 134, No. 1, pp.57-67, 2008.
- [3] 例えば, Cividini, A., Bonomi, B., Vignati, G. C. and Gioda, G.: Seepage-induced erosion in granular soil and consequent settlements, *International Journal of Geomechanics*, Vol. 9, No.4, pp.187-194, 2009
- [4] 例えば, Horikoshi, K. and Takahashi, A.: Suffusion-induced change in spatial distribution of fine fraction in embankment subjected to seepage flow, *Soils and Foundations*, Vol. 55, No. 5, pp.1293-1304, 2015.
- [5] Wan, C. F. and R. Fell: Investigation of rate of erosion of soils in embankment dams, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No.4, pp.373-380, 2004.
- [6] Hanson, G.J. and Cook, K.R.: Apparatus, test procedures, and analytical methods to measure soil erodibility in situ, *Applied Engineering in Agriculture*, Vol.20, pp.455-462, 2004.
- [7] Sterpi, D.: Effects of the erosion and transport of fine particles due to seepage flow, *International Journal of Geomechanics*, Vol.3, No.1, pp.111-122, 2003.

2. 研究の目的

本研究では、日本のみならず諸外国における社会資本の整備および維持管理技術の向上に寄与すべく、土構造物の性能劣化の一因である浸透流による土内部の侵食現象を考慮した盛土の性能評価法を構築することを長期的な目標としている。これを達成すべく、本助成研究の目的は、定量的な内部侵食現象の予測に寄与することであった。この実現のため、1) 日本における河川堤防の土 22 試料を対象に侵食速度を2つの異なる実験法で測定した。これにより、日本において河川堤防の堤体材の侵食特性の評価を試みた。また、得られた堤体材の侵食特性と各土試料の粒度特性や塑性指数などの土の基本的物性値との関係性についての検討もおこなった。

3. 研究の方法

(1) Hole erosion test

この実験法は、事前に直径数 mm のパイプを開けた試料に一定の水頭差を保ちながら水を流し、実験で得られるパイプ表面に作用するせん断応力と時間当たりの単位侵食量の関係から、侵食進展速度の指標である I_{HET} (Erosion rate index) を評価する実験である。この試験は、欧州やオセアニアを中心にフィルダムの材料を対象に実績がある試験法であるが、河川堤防の材料を対象とした事例や日本における実施事例もわずかである。この試験法で得られた土の侵食進展速度は、その程度によって6つの侵食クラスに分類される【5】。

(2) 上向き浸透侵食試験

この試験は、円筒容器に充填した土試料に鉛直上向きの浸透流を発生させたものである。土要素の全体的な浸透破壊を評価する際に使用される限界動水勾配より小さい動水勾配での浸透流で侵食する土の中の細粒土成分を計測することによって、土の内部安定性を評価する。

4. 研究成果

(1) Hole erosion test による土の侵食特性の評価

この実験を実施した 22 つの土試料のうち、4 つの試料は試験開始後、すぐにパイプが崩壊したため、侵食指標の測定は不可能であった。8 つの試料に関しては、実験前後でパイプに侵食が生じなかったため、 I_{HET} を測定することが不可能であった。しかし、これらの侵食が全く生じなかった土の進展速度は Extremely slow と判断でき、侵食に対して、非常に耐性のある土であることがわかる。そのほか 10 試料に関しては、 I_{HET} を測定することができた。今回実施した日本の河川堤防から採取し測定できた土試料の I_{HET} は 4.77 ~ 7.27 の範囲で進展速度は Moderately slow から Extremely slow であった。このことから対象とした河川堤防の試料は、土内部の侵食に対して耐性が大きいと評価できる。

(2) 内部侵食特性

上向き浸透侵食試験の結果、対象とした土試料においては、その土の限界動水勾配より明らかに小さい動水勾配での土の中の細粒分の分離現象は生じず、内部安定性を示した。このことから、今回対象とした河川堤防の試料は、侵食耐性が大きいと推察した。

(3) 土の侵食特性と土の基本的物性の相関

今回、実験対象とした土試料の侵食速度が緩やか、つまり侵食特性強い試料に偏っていたことや、評価値として具体的な値がでた試料が 10 つであることから、今回実施した試料に加えて、フィルダム等を対象にした欧州およびオーストラリアで実施された既往の研究の結果[8-11]を加え、土の侵食特性とその土の基本的な物性値との相関を確認した。検討した土の物性は、液性限界、塑性限界、塑性指数、細粒分含有率、粘土含有量、最大乾燥密度、最適含水比である。これの物性値と I_{HET} との関係をそれぞれ指数、線形、対数近似のうち最も相関がある方法で近似した。一例として、図 1 および 2 に I_{HET} と最適含水比、粘土含有量の関係を示す。これらの図において、赤のプロットが今回実施した実験結果、黄色で既往の研究の結果[8-11]を示している。各物性値と I_{HET} との相関の度合いを示す決定指数は、液性限界 0.392、塑性限界 0.4377、塑性指数 0.217、細粒分含有率 0.4211、粘土含有量 0.376、最大乾燥密度 0.468、最適含水比 0.498 と塑性指数以外はある程度の相関が確認できた。本研究の成果をとフィルダム等を対象とした上記の研究成果を踏まえ、土の基本的物性値から侵食特性（侵食指標 I_{HET} ）を算出する評価式を下記のように提案した。

$$I_{HET} = 0.0092w_{opt} + 0.223CC + 1.527 \quad (\text{重相関 } 0.685)$$

ここで、 w_{opt} : 土の最適含水比、 CC : 土の粘土含有率

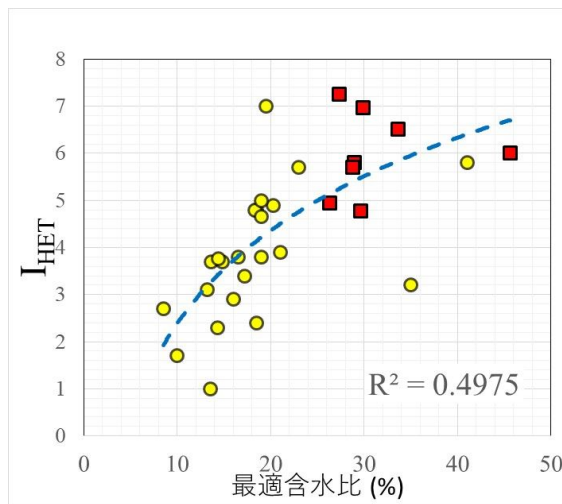


図 1 侵食進展指標と最適含水比の関係

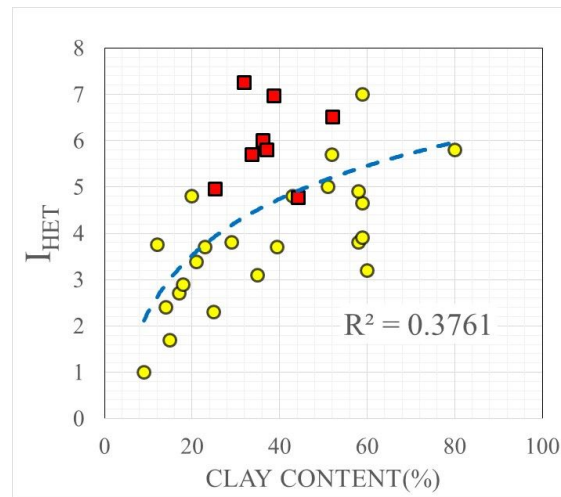


図 2 侵食進展指標と粘土含有率の関係

[参考文献]

- [8] Wan, C.F. and Fell : Investigation of internal erosion and piping of the Slot Erosion Test and the Hole Erosion Test, Report UNICIV No. R-412, The University of New South Wales Sydney, Australia, 2002.

- [9] Haghghi *et al.* : Improvement of Hole Erosion Test and Results on Reference Soils, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 2013, 139(2): 33.-339, 2013.
- [10] Hark : A modified hole-erosion-test on high plastic clay with different soil structure, *Proceedings of the 9th International Conference on Scour and Erosion*, Taipei, 2018.
- [11] Tony L. Wahl, Pierre-Louis Regazzoni, and Zeynep Erdogan : Results of Laboratory Physical Properties and Hole Erosion Tests, Truckee Canal Embankment Breach, Newlands Project, Nevada, U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center Denver, Colorado, 2008.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

藤本幹太,堀越一輝,高橋章浩 Hole Erosion Test による 2015 年関東・東北豪雨で被災した鬼怒川堤防基礎地盤土の 内部侵食進展速度に関する研, 地盤工学研究発表会, 2017, 名古屋

堀越一輝, 藤本幹太, 高橋章浩: Hole erosion test による堤防およびその基礎地盤の土の侵食特性に及ぼす因子の検討, 地盤工学研究発表会, 2019, 大宮

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。