

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20880017

研究課題名（和文）

越流・パイピングを考慮した水利土質構造物の総合的機能評価手法の構築

研究課題名（英文）

Functional assessment of irrigation earth structures considering piping and overflowing

研究代表者

藤澤 和謙（FUJISAWA KAZUNORI）

岡山大学・大学院環境学研究科・助教

研究者番号：30510218

研究成果の概要（和文）：

本研究では堤防やため池等の土で造られた防水・利水構造物の被害で頻発するパイピングや越流侵食に対して、そのメカニズムの解明と被害予測に取り組んだ。その結果、これまで困難であったパイピングの進展を解析する手法の開発に成功し、越流侵食においては理論及び実験的にそのメカニズムを解明するとともに、破堤に至る時刻を推定することを可能にした。以上の知見をリスク解析と結び付け、水利土質構造物の機能評価を進めている。

研究成果の概要（英文）：

This study has challenged to reveal the mechanism of embankment failure owing to overflow, as well as piping phenomenon, and to predict the damage of the earth structures for irrigation and flood prevention. The study has proposed the analyzing scheme of the temporal development of piping, has theoretically and experimentally showed the failure mechanism of embankments due to overflow, and has enabled the time required for the failure to be predicted. These results are now combined with risk analysis, which leads to the functional assessment of the soil structures.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2009年度	910,000	273,000	1,183,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,170,000	651,000	2,821,000

研究分野：農業農村工学、地盤工学

科研費の分科・細目：農業土木学

キーワード：機能診断、土質構造物、堤体、パイピング、越流

1. 研究開始当初の背景

土で作られた堤防、ため池、フィルダムなどの防水・利水施設は、土粒子の集まりであるため、粒子間を流れる水流の影響でそれらの粒子が流出する危険性に常にさらされてい

る。古くから知られているパイピングは浸透流の作用によって構造物の内部および表面付近から土粒子が流亡する現象であり、浸透流の集中や構造物の脆弱化に起因して構造物の崩壊至る可能性がある。近年では埋設さ

れている水道管の亀裂から地盤の土粒子が流出し、地盤が陥没することで家屋や道路などが被害を受け、安心・安全な市民生活が脅かされることもある。これらの被害は地盤や土構造物をとりまく水流による土粒子の流亡によって進行し、土塊が安定性を失うことで発生する。近年の豪雨により頻発する堤防やため池の越流災害においても、土表面の水流が土粒子の流亡を引き起こすことで甚大な被害をもたらしている。従来の土質力学では、上述したような土の内部で進行する土粒子の流亡や移動と土塊の安定性とが別々に議論されており、それらを統一的に扱うことができない。

2. 研究の目的

上で述べた背景を鑑み、本研究の目的は「土粒子の流亡」を土質力学の体系に取り組み、土構造物の機能評価及びその予測につなげることである。そのためには以下の3つの課題に取り組むことが必要であると考えた。

- (1) 土構造物の内部侵食・変形同時解析手法の開発
- (2) 堤体材料の表面侵食特性の把握
- (3) 表面侵食特性を把握した材料を用いての越流堤実験

3. 研究の方法

上の研究目的で述べた(1)~(3)の課題について研究方法をそれぞれ説明する。

- (1) 従来から用いられている土・水連成解析法に加えて、内部侵食による土粒子移動の保存則を組み込むことで土の変形とともに土構造物に内部の透水による侵食を解析する手法を開発する。具体的には土塊のつり合い式に加えて、土粒子流亡による空隙率の変化と浸透流による土粒子の輸送方程式を解析する。
- (2) 堤防やため池の堤体には15~50%の細粒分(=粘土分+シルト分)を含む弱い粘着性を有する砂質土が用いられる。開水路を用いた実験を行い、土の侵食速度や限界せん断応力(侵食が始まる最小の流体が土表面に及ぼすせん断応力)などの侵食特性パラメータを把握する。
- (3) 侵食特性が調べられた材料を用い、実験室内で模型堤体を作成して越流破堤実験を行う。これまでに著者は越流破壊の理論や模型堤体を用いて越流堤実験についての相似則を提案している。本実験結果をこれまでの研究成果と照合し、堤体の越流破壊に関する理論の検証及び修正を行う。

4. 研究成果

課題(1)に関しては、土の内部で生じる土粒子からの土骨格の離脱に関して侵食速度

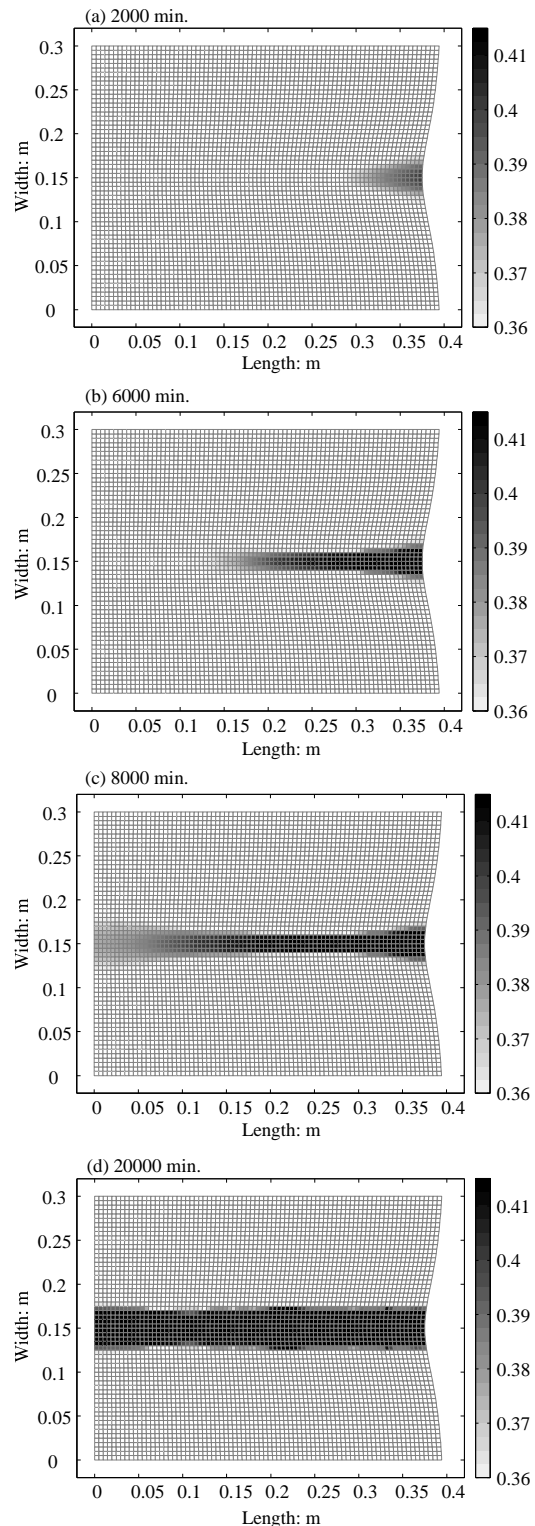


図1 土塊の内部侵食シミュレーション

の概念を導入し、浸透流の作用によって土塊の内部で土粒子が土の骨格から離脱する現象をモデル化した。侵食速度の概念を用いることで、侵食による空隙率の変化を微分方程式で簡単に表現できる。浸透流の支配方程式に加えて侵食による空隙率の変化、土骨格から離脱した土粒子の輸送に関する方程式を

解くことにより、土中で生じる土粒子侵食と輸送を偏微分方程式の初期値・境界値問題として解くことが可能となった。浸透流については有限要素法、間隙率の変化については砂分法、土粒子の輸送については有限体積法を用いて計算する数値解析手法を提案した。

図1にこれらの方程式を解くことで得られる結果の一例を示す。同図には初期間隙率0.35の土塊が左から右へと流れる浸透流によって侵食を受け、浸透流の出口部分(図1の右端)から土粒子流亡によって間隙率が増加し、間隙率の増加が左側へと発展していく様子が示されている。(図中の黒くなっている箇所が土粒子流亡の進んでいる部分を表している。)

このように土粒子流亡の時間発展とその経路が解析可能となったのは世界初の成果である。

課題(2)及び(3)については、実験的研究に取り組み粘土・砂混合土の侵食特性の把握及び同材料の越流侵食に対する耐久性を検討した。粘土・砂混合土の表面に作用するせん断応力と侵食速度との関係を調べることによって、材料の乾燥密度が侵食速度に大きく影響することが確かめられた。乾燥密度の大きい材料ほど侵食速度が小さく、侵食に対して耐久性がある。実験では乾燥密度が0.1 g/cm³程度違う場合、侵食速度には2倍程度の差が表れることもあった。また、粘性土の割合が多いほど侵食速度が小さい。越流侵食に対して耐久性のある堤体をつくるには、乾燥密度と粘性土の量に気を配ることが実践的な研究成果の応用となる。侵食速度が把握された材料を用いて越流破堤実験を行う課題(3)の研究結果からは、侵食速度が既知の場合、堤体が破堤に至る時間が推定できることが実験的に示された。これまで、堤防等の構造物が越流被害を受けた際に、どのくらいの時間で破堤に至るかを予測する方法は存在しておらず、本研究の成果は越流破堤を考える上での先駆的な知見を与えている。

これらの成果をリスク分析と統合することが土構造物の機能や性能を評価する上で重要と考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① K. Fujisawa, A. Murakami and S. Nishimura: Numerical analysis of the erosion and the transport of fine particles within soils leading to the piping phenomenon, *Soils and Foundations*. (Accepted, 査読有)
- ② 藤澤和謙, 村上 章, 西村伸一: 侵食速度を用いた土粒子流亡によるパイピング

の進展解析, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.12, pp.395-403, 2009. (査読有)

- ③ 西村伸一, 森俊介, 藤澤和謙, 村上 章: 豪雨時の越流破堤に対するため池の信頼性設計, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.12, pp.89-97, 2009. (査読有)
- ④ 村上 章, 西村伸一, 藤澤和謙, 中村和幸, 樋口知之: 粒子フィルタによる地盤解析のデータ同化, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.12, pp.99-105, 2009. (査読有)
- ⑤ 藤澤和謙, 村上章, 西村伸一: 土の内部で生じる土粒子侵食の解析手法, 農業農村工学会論文集, 第260号, pp.85-93, 2009. (査読有)

[国際会議報告] (計7件)

- ① K. Fujisawa, A. Murakami, S. Nishimura: Simultaneous Modeling of Internal Erosion and Deformation of Soil Structures, *Proceedings of Geoshanghai 2010*, 2010. (Accepted, 査読有)
- ② K. Fujisawa, A. Murakami, S. Nishimura: Coupled problem of saturated-unsaturated seepage flow and internal erosion of soils, *Proceedings of 4th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils*, pp.837-842, 2009. (査読有)
- ③ K. Fujisawa, A. Murakami, S. Nishimura: Numerical analysis of erosion and migration of soil particles within soil mass, *Proceedings of the International Symposium on Prediction and Simulation Method for Geohazard Mitigation (IS-KYOTO2009)*, pp.139-144, 2009. (査読有)
- ④ S. Nishimura, A. Murakami, K. Fujisawa: Risk evaluation and reliability-based design of earth-fill dams, *Proceedings of the International Symposium on Prediction and Simulation Method for Geohazard Mitigation (IS-KYOTO2009)*, pp.547-552, 2009. (査読有)
- ⑤ K. Fujisawa, S. Momoki, A. Kobayashi: Experimental Investigation of Embankment Erosion due to Overflow and Slope Protection, *Proceedings of 4th International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics*, pp.1449-1462, 2008. (査読有)
- ⑥ K. Fujisawa, A. Murakami: Numerical modeling of internal erosion of soils; Examples of simple numerical analyses, *New Frontiers in Computational Geotechnics*, pp.115-118, 2008. (査読なし)
- ⑦ K. Fujisawa: Simultaneous analysis method of deformation and internal erosion for soil structures, *JST Presto Symposium on Mathematical Sciences towards*

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① 藤澤和謙: 土内部の土粒子流亡に起因する集中流の進展解析, 第 58 回理論応用力学講演会講演, 2009 年 6 月, 東京.
- ② 藤澤和謙, 村上 章, 西村伸一: 土構造物の内部で生じる細粒分の流亡に関する数値解析, 計算工学講演会, 2009 年 5 月, 東京.
- ③ 藤澤和謙, 村上 章, 西村伸一: 土の侵食速度測定装置とその計測, 農業農村工学会大会講演会, 2009 年 8 月, つくば.
- ④ 藤澤和謙, 村上 章, 西村伸一: 土内部の土粒子移動に起因するパイピングの進展解析, 第 44 回地盤工学研究発表会, 2009 年 8 月, 横浜.
- ⑤ 藤澤和謙, 小林晃, 村上章: 越流による破堤時間の推定, 農業農村工学会大会講演会講演, 2008 年 8 月, 秋田.
- ⑥ 藤澤和謙, 小林晃, 山本清仁, 木山正一: 越流による堤体侵食, 計算工学講演会, 2008 年 5 月, 仙台.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤澤 和謙 (FUJISAWA KAZUNORI)
岡山大学・大学院環境学研究科・助教
研究者番号: 30510218