

令和 2 年 4 月 9 日現在

機関番号：15201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K21112

研究課題名（和文）土構造物の侵食による経年劣化機構の解明とモニタリング手法の開発

研究課題名（英文）Deterioration of earth structures due to internal erosion and development of monitoring methods

研究代表者

佐藤 真理 (Sato, Mari)

島根大学・学術研究院環境システム科学系・助教

研究者番号：60749183

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では基礎研究として、内部侵食現象の解明のために二層地盤での浸透と内部侵食を再現した模型実験、パイプ流の計算のために既往の研究に乱流域での計算を組み込みを行った。またそれらの研究成果をもとに実地盤での現象を明らかにするため、ため池堤体と簡易アスファルト材下地盤において体積含水率や地温の長期計測を実施した。これらは災害予防のための研究であるが、災害が発生した場合の初期対応を明らかにするため、阪神淡路大震災発生当時の神戸新聞を対象として文献調査を行った。これらの研究の結果、既存の知見では明らかになっていない内部侵食による影響があり、影響を考慮して長期的な保守保全を行うべきであることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ため池や堤防などの土構造物内部での浸透と侵食による影響を包括的に研究した。その結果模型地盤、実構造物どちらにおいても大きな変状が見られなくとも内部で侵食が進行している可能性が示された。こうした侵食に伴い強度や浸透状況が変化するため、施工後も長期的に使用を続けていく際の影響を検討することが必要であると示唆された。

研究成果の概要（英文）：This research project conducted the small scale experiments to simulate the internal erosion in the ground having two layers: sand-gravel and fine silt. Then, numerical simulation of turbulent flow was developed for simulating the piping flow. On the basis of the results of these research, the long-term monitoring is conducted on the two sites: an old dike on the small reservoir and the ground being paved by an unheated asphalt. Sensors are buried in the ground, measuring soil temperature and moisture content. Finally to clarify first requirements immediately after a disaster, literature review was done, due to the classification of the documents of Kobe Shinbun published after the great Hanshin earthquake.

研究分野：地盤工学

キーワード：内部侵食 浸透 堤体

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

土構造物において、築造時よりも強度が低下する可能性については殆ど考慮されていない。また土粒子が浸透流により移動・流亡する内部侵食<sup>1)</sup>はよく知られた現象であるが、例えば高い間隙水圧により引き起こされるパイピング侵食のような現象の原因や伴う破壊現象がはっきりしているもの以外、実態はあまり明らかとはなっていない。実構造物において内部侵食による長期的な強度低下や浸透特性の変化を明らかにすることは、土木構造物という社会における重要なインフラストラクチャーの適切な維持管理に寄与すると考えられる。

### 2. 研究の目的

河川堤防やため池等の土構造物は、動植物の成長や巣穴による空隙・弱層形成の他に、豪雨時の水位上昇の繰り返しによる内部侵食で徐々に強度や剛性が失われる(経年劣化)可能性がある。侵食による経年劣化は内部でゆるやかに進行するため目視での判断が難しく、現在の堤体の点検項目では考慮されていないうえ、そのメカニズムも殆ど明らかではない。本研究では内部侵食による堤体の経年劣化機構に着目し、要素試験と模型実験、数値解析を組み合わせ包括的な検討を行い、1) 侵食の進展が引き起こす劣化機構の解明、2) 実地盤における劣化堤体のモニタリング項目の策定と地震時危険性の把握 を目指す。

### 3. 研究の方法

以下の5つの研究を行った。手法の詳細を項目ごとに示す。大まかな流れとして、i)とii)は現象のメカニズムを解明するための基礎実験や解析であり、iii)とiv)は実地盤スケールでの調査である。v)は実際に大規模災害が起きた際の対応法についての検討である。

#### i) 二層地盤内への浸透による内部侵食の模型実験

小型の亚克力土槽内に二層に分けた地盤を作成する。下部を砂礫質土、上部を細粒土とし細粒土が表層にある堤体内での、浸透に伴う内部侵食状況を把握する。近年細粒土層が表層にある地盤で豪雨時の被災事例<sup>2)</sup>が多くみられ、またこうした地盤での二次元的な浸透流での侵食状況は明らかでないためである。この研究では浸透流の流れる層や排水条件を変化させ、表層の変位をレーダー変位計で観測した。また実験終了後の地盤において山中式土壌検査棒で強度を簡易的に調べ、数か所から土砂を採取し粒度分布の変化を調べることで内部での侵食状況を明らかにした。

#### ii) 乱流を考慮した多角形セルによる浸透流解析

既往の研究<sup>3)</sup>で用いていた浸透流解析手法を多角形セルでも解析可能とし、乱流域にも計算可能範囲を拡大して解析を行った。また併せて不飽和地盤での浸透流解析の実装を目指した。

#### iii) 舗装地盤の含水率の長期計測

堤体表層の道路の影響を考慮して、補修材として主に用いられる非加熱の簡易アスファルト材を敷設した地盤を作成し、降雨に伴う長期的な体積含水率の変化を計測した。

#### iv) ため池堤体内の含水率の長期計測

松江市内のため池の漏水部付近を中心として、体積含水率や地温を計測できるセンサーを設置し、長期計測を行った。また水位や漏水量を適宜計測した。

#### v) 震災事例を基に災害発生直後の対応状況を調べる文献調査

災害後の初期対応やニーズについて明らかにするため、阪神淡路大震災を調査対象とし、神戸新聞の災害発生直後のトピック毎の記事割合や専門家の意見を抽出した。

### 4. 研究成果

前章で述べた各種研究についての結果を以下に示す。

i) 二層地盤への浸透では、下部礫質土層に水を流入させ、底部からの排水が制限されたケースで土砂移動が多くみられた。このケースでは、流速が早く地盤内に水が浸透しやすい一方底部からの排水が少ないため、土砂が移動しやすいことが示された。土壌硬度計の結果にはばらつきが多く定量的な評価は難しかったが、土砂移動によって局所的な強度低下が起きている可能性も示された。排水が十分にある場合も土砂移動は見られたが、排水が少ない場合に比べると上部細粒土層への影響は小さかった。細粒土層に水を流入させた場合、同一水圧の場合は流速が極めて小さくなるため、流量が小さくなり土砂移動は少なくなる傾向があった。

ii) 乱流領域を考慮した計算は精度よく計算することが出来たため、局所的なパイプ流の計算も行うことが可能となった。不飽和領域への拡張は計算の収束が難しい条件が多く論文発表をする成果には達していないが、今後の改良の可能性が示された。多角形セルへの拡張とこれらの乱流域や不飽和域の拡張の組み合わせも試行したが、組み合わせる実装を行うには計算上の処理が多くなることや値の発散がみられることで、実用化には課題が残った。

iii) 簡易アスファルト材は安価で施工も容易であるが、下部に碎石層を路盤として組み合わせると降雨の際に未施工地盤より早く浸透することが示された(図1)。ある程度の透水性を有するということは有用性もある一方で、そこから水が集中的に浸透する危険性もあるため、今後補修材として用いる際は考慮が必要な可能性が示された。

iv) ため池堤体内の長期計測では、松江市内の老朽化ため池を対象に数か月に渡り長期的な計測が行われた。その結果計測中に漏水部からの濁水が見られ、濁水発生後にため池貯水位と漏水量の関係が変化することが示された(図2)。濁水は水圧を境界条件とし小規模な内部侵食をとらえていることは既往の研究<sup>5)</sup>でも知られており、ため池内でも水みちの閉塞による圧力上昇や底樋周囲への水の流入で何らかの侵食が発生した可能性が高く、そうした侵食の発生により堤体が徐々に劣化する可能性が示唆された。

v) i) ~ iv)までは土砂災害の予防、土構造物の劣化予測やその影響因子を考慮した研究であるが、v)は実際に災害が起きた際に重要となるニーズを調べた。その結果阪神大震災の場合、災害発生直後から3日程度までとそれ以降で紙面の内容が変化する傾向が明らかとなった。また専門家に意見を求められたものはその多くが地震動や耐震強度など極めて専門性が高い項目に限られた。

これらの研究成果をまとめると、層状地盤においてはその組み合わせや排水能も考慮する必要があることが示され、舗装補修材や地盤内空隙等様々な未考慮の問題を考慮する必要があることが明らかとなった。また災害が実際に発生するとそれまでの知見で迅速な対応が求められるため、研究による新たな知識の蓄積が重要であることが示唆された。

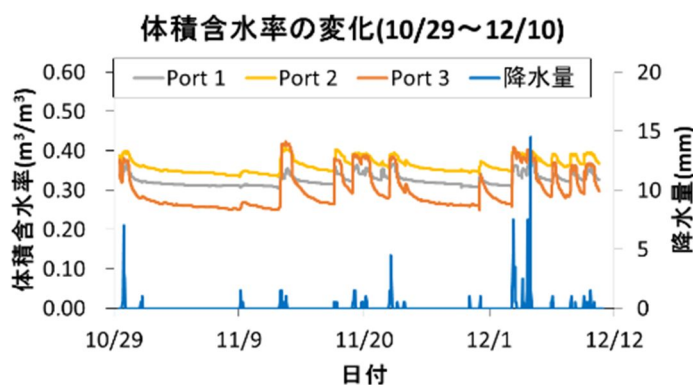
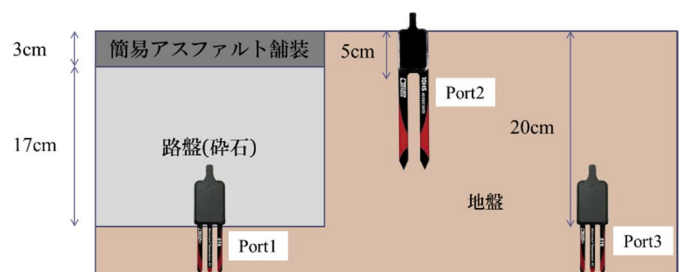


図1 上：センサー計測条件と位置  
下：体積含水率と降雨の関係（福間ら<sup>4)</sup>から引用）

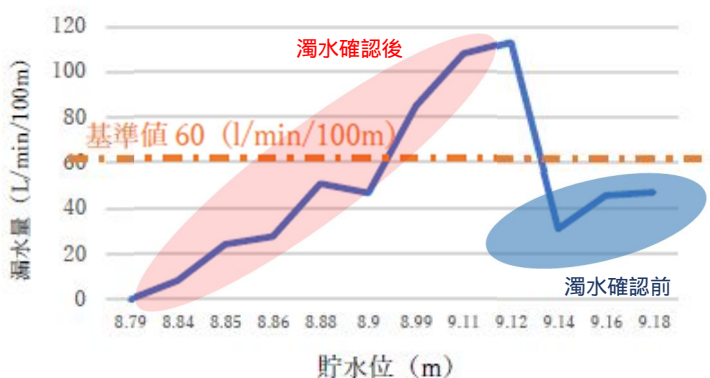


図2 左：漏水の濁り 右：貯水位と漏水量の関係（松井ら<sup>5)</sup>から引用，加筆）

#### 参考文献

- 1) Bonelli, S. (ed.), Erosion of Geomaterials, Wiley, 2012.
- 2) 土木学会中国支部, 2018年7月西日本豪雨災害調査報告書, p.96, 2018.
- 3) 藤澤和謙, 有本慎一, 村上章, Darcy-Brinkman式を用いた非圧縮性流れとDarcy流の同時解析手法, 農業農村工学会論文集, 81巻5号, pp.419-428, 2013.
- 4) 福間一誠, 佐藤真理, 簡易アスファルト舗装材の地盤への影響, 第33回日本道路会議, 1P03, 2019.
- 5) 松井萌, 佐藤真理, 中村直樹, 老朽ため池における漏水漏出部周辺の土壌水分変動調査, 令和元年度土木学会西部支部研究発表会, r01186, 2020.
- 6) Sato, M. and Kuwano, R., Laboratory testing for evaluation of the influence of a small degree of internal erosion on deformation and stiffness, Soils and Foundations, Vol.58 (3), pp.547-562, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 佐藤真理, 祖父江陵, 堂領翔吾	4. 巻 23
2. 論文標題 模型実験による複雑な内部侵食状況に関する検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 島根大学生物資源科学部研究報告	6. 最初と最後の頁 27, 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 祖父江 陵、佐藤真理
2. 発表標題 2次元浸透流による細粒分の礫質土層への流出状況の解明
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齊藤夢美、佐藤真理
2. 発表標題 阪神大震災の報道傾向から見る災害発生直後に専門家が果たしうる役割についての基礎的検討
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福間一誠、佐藤真理
2. 発表標題 簡易アスファルト舗装材の地盤への影響
3. 学会等名 第33回日本道路会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井萌、佐藤真理、中村直樹
2. 発表標題 老朽ため池における漏水漏出部周辺の土壌水分量変動調査
3. 学会等名 令和元年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考