

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580326

研究課題名(和文) 水利施設構造物と地盤との境界で生じる浸透破壊メカニズムの解明と予測手法の開発

研究課題名(英文) Development of prediction method and elucidation of seepage failure mechanism that occurs at the boundary between ground and irrigation facilities

研究代表者

岡島 賢治 (OKAJIMA, Kenji)

三重大学・生物資源学研究科・准教授

研究者番号：90466805

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、頭首工やコンクリート堤防などの水利施設と地盤との境界に生じる浸透破壊のメカニズムを明らかにすることを目的とした研究です。本研究の結果、既存の浸透破壊評価手法では、水利施設の周りの土の粒径の影響を評価できないことを示し、粒径の影響を評価できる新たな評価手法を提案しました。また、水利施設が水圧によって移動することを考慮し、水利施設の移動と共に地盤が浸透破壊するという模型実験を行い、水利施設の安全性が水圧だけでなく浸透も考慮する必要があることを明らかにしました。また、水利施設の移動と地盤の浸透破壊を同時に表現できる解析手法を開発しました。

研究成果の概要(英文)：This study is the study for the purpose of revealing the mechanism of seepage failure occurring at the boundary between the ground and irrigation facilities such as concrete embankments and headworks. The results of this study indicated that the previous seepage failure assessment methods are not possible to assess the effect of particle size of the soil around the irrigation facilities. We proposed a new assessment method that can evaluate the effect of particle size. We conducted the model tests that seepage failure occur at the ground with the movement of the irrigation facilities. This model tests indicated that it is necessary to consider the seepage as well as water pressure in the safety of the irrigation facilities. In addition, we have developed an analysis method that can be expressed at the same time the seepage failure of ground and movement of irrigation facilities.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学 農業土木学・農村計画学

キーワード：浸透破壊 水利施設 頭首工 特殊堤 粒径

1. 研究開始当初の背景

パイピングは有効応力を保持した地盤において経年の浸透流による細粒分の流出を原因として形成されるパイピングホールと、過剰間隙水圧により有効応力が失われた地盤において最も弱い部分でボイリングが生じて水みちを形成する2つの形態がある。前者に比べ後者のパイピングは、発生後のパイピングの発達が非常に速い。本研究では、主に後者を研究対象とする。また、浅い根入深さの場合の予測精度が低かったため、本研究では、浅い根入深さの現象の解明を主な目的とする。浅い根入れの浸透問題は、頭首工、ダム基礎、ため池や堤防の樋管まわりなどで検討されている。浅い根入れ深さで生じるパイピングに関して、構造物と基礎地盤との境界で生じる浸透破壊の研究は、古本ら(2002)によって樋管周りの実験が行っている。しかし、実構造物をモデル化した実験であり、現象が複雑すぎて浸透破壊のメカニズムの解明に至っていない。また、頭首工はこれまで、深刻な浸透破壊事故が多発していないため、解析手法の十分な検討や改良がなされていない。その一方、ため池底樋などでは、構造物と基礎地盤との境界で生じる浸透破壊はため池決壊の主要な要因の一つであるため、実証的研究は散見されるが、浸透破壊メカニズムに関する検討が未だ不十分であった。

2. 研究の目的

本研究は、水利施設構造物と地盤との境界に生じる浸透破壊メカニズムの解明と、Bligh 式、Lane 式の有効性の評価と、それらの式に代わる浸透破壊予測手法の開発を目的とした。

本研究で対象とする浸透破壊現象は、頭首工、ダムなどのコンクリート構造物、及びため池底樋などの剛な構造物に沿って起こる浸透破壊現象とした。申請者は、これまで矢板背面地盤におけるボイリングを解析可能な弾塑性有限要素解析手法を開発した。本研究では、いくつかの地盤材料と数パターンでのスケールでの模型実験と前述の解析手法を用いることで、水利施設と地盤との境界に生じる浸透破壊問題における破壊メカニズムの解明が可能であると考えていた。また、Bligh 式、Lane 式を模型実験などにより再検討することで同式の適用限界を明らかにすることを目的とした。さらに、有限要素解析は現状では使用ソフトや解析実行者により結果が異なる可能性がある点に問題があるため、破壊メカニズムを基にした Bligh 式、Lane 式に代わる浸透破壊予測式の検討を図ることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究は、模型実験による現象の把握と、数値解析による理論的な考察と、それらを基にした既往の浸透破壊予測式の再検証及び新たな浸透破壊予測式の提案が主な内容と

なる。

(1) 模型実験による現象の把握

本研究で対象とする浸透破壊実験は、Bligh Lane らの浸透路長を変数とする Bligh 式、Lane 式の検証を目的として設定する。Bligh、Lane は地盤材料によって、それぞれ係数を定めている。この実験のために、材料を変更させた模型実験、堰体の自重を考慮した場合の模型実験を計画した。

(2) 数値解析による理論的な考察

本研究では、浸透破壊が生じる水頭差を予測し、そのメカニズムを明らかにする目的で数値解析を採用する。このため、浸透破壊の進行に関する数値解析は取り扱わない。つまり、浸透破壊は、発生する限界の状態まで地盤は連続体として動き、弾塑性力学的なメカニズムで破壊に至る現象と仮定する。破壊に至るメカニズムを解明することで、予防的措置を講ずることが可能であると考え。また、本解析手法は、水と土の連成問題を扱わず、より簡便な浸透流による浸透力が地盤に作用することで浸透破壊が生じると仮定した解析を行った。

(3) 浸透破壊予測式の再検証

既往の研究で指摘されているように同様に Bligh 式、Lane 式が浸透破壊の予測式として不十分な式である。一方で、浸透破壊の予測式としては、限界流速法、Terzaghi の方法などが存在する。これらの予測式についても構造物と地盤との境界で生じる浸透破壊を念頭に置いた模型実験において検証された研究はほとんどない。本研究では、これらの浸透破壊予測式が構造物と地盤との境界で生じる浸透破壊現象について、どの程度有効であるのかという適用限界を明らかにすることを計画した。

(4) 実規模での検討

申請者の行ってきた研究は、実験室内の小規模実験装置を基にした検討が主であった。しかし、堰やダムなどは実験室内と比較してはるかに大きい。このため、実際の堰を対象とした検討を計画した。実際の堰の浸透破壊についての検討では、ボーリングデータや弾性波探査、現場で計測されている間隙水圧や湧水量などから弾塑性有限要素解析に必要なパラメータを同定する必要がある。本研究を通じて、実際に運用されている堰の浸透破壊評価手法を確立することを検討した。

4. 研究成果

2011 年度の研究で、粒径の異なる 3 種の砂を用いて、堰基礎地盤をモデル化した浸透破壊模型実験及び数値解析を実施した。粒径の異なる地盤材料を用いた場合、その間隙比を各実験で統一することで地盤の密度を一定とした。これは、既往の研究により堰基礎地盤の浸透破壊は、堰下流部の土塊の重さによって浸透破壊水頭差を予測する Terzaghi の方法が有効であることが報告されていたためであり、理論的には設定した模型実験では

同じ水頭差で浸透破壊が生じることを予測したものであった。しかし、模型実験の結果、破壊水頭差は地盤材料の粒径により異なり、これまで依拠していた Terzaghi の方法の有効性を否定するものとなった。本研究ではこの結果を表現しうる、新たなモデルを提案した。

2012 年度の研究では、実規模の堰の浸透破壊の検討を行った。新潟県で稼働中の堰での湧水問題を対象とした。解析に必要なパラメータとして、浸透解析では地盤の透水係数、弾塑性解析では飽和単位体積重量、間隙比、内部摩擦角、ヤング率、ポアソン比、粘着力が必要である。このうち透水係数は実験値から得て、その他の土質定数は弾性波探査やボーリングコアの分析結果から得ることで解析が可能であることが分かった。また、湧水が起っている堰の形状のモデル化においては、上流エプロンを考慮せず、下流のエプロンについて、健全なモデル、湧水部で穴を設けたモデル(穴の大きさが4パターン)、

湧水部より下流はエプロンの機能を果たさないモデルの3形状6パターンの浸透解析を行った。浸透解析の結果と実際の間隙水圧の測定値を比較し、測定値の値と近い4パターンに絞込みを行い、弾塑性有限要素解析で浸透破壊の安定性を評価した。評価手法は Bligh 式、Lane 式および Terzaghi 式に加え弾塑性有限要素解析の3パターンの評価を行った。Terzaghi 式と弾塑性有限要素解析の評価では、堰の最大水位差に対する、Terzaghi 式、有限要素解析による破壊水頭差の割合として安全率で評価した。2012 年度の研究により、現在稼働中の堰における浸透破壊に関する評価手法を確立することができた(図1)。

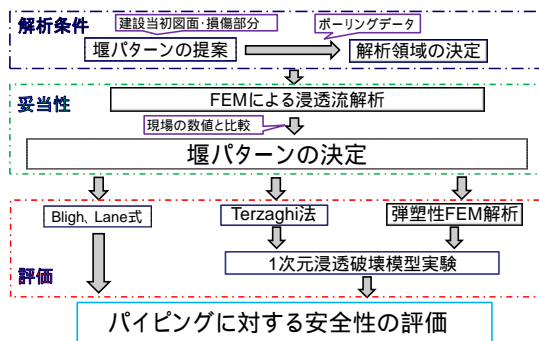


図1 稼働中の堰における浸透破壊に関する評価フロー

2013 年度の研究は、自重を考慮した特殊堤の浸透の有無による転倒および浸透破壊現象を対象とした。想定を超える水害が発生した場合、堤内へ流入した水は、洪水の水位低下の過程において、堤防に堤内側から堤外側への水圧を作用させる。このとき、コンクリート特殊堤防では水圧に加えて、浸透流による浸透破壊の可能性も考えられる。現在、コ

ンクリート擁壁型の堤防の安定性の設計は沈下・滑動・転倒に対して安全であるように設計されている。一方、浸透破壊に対しては、経験式であるクリープ理論をもちいた Bligh の式(1910)や Lane の式(1935)による検討が、安定性の設計と独立して行われている。しかし実際のコンクリート擁壁型の堤防では、浸透条件下で水圧による外力が作用することが考えられる。本研究では、安定計算のみで設計された擁壁型堤防を用い、浸透の有無による安定性の違いと、そのメカニズムを検討した。その結果、浸透の有無で、破壊水頭差・変位の推移が異なることから、浸透条件下では擁壁型堤防の安定性が低下することがわかった。また、その破壊メカニズムは、堤防の回転により主動状態となったつま先版で、浸透水が地盤に潜り込み、ひずみがより集中するためであるということがわかった(図2)。

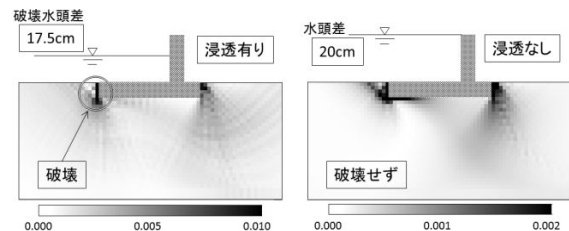


図2 最大せん断ひずみ分布

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 4 件)

岡島賢治, 東谷和輝, 石黒覚、堰基礎地盤の浸透破壊における粒径の影響、農業農村工学会論文集, 査読有、281、2012、63-69

K. Okajima, Analyses of Piping under Foundation of Weirs in Different Ground Density by FEM, Proceedings of First International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Refereed, 2011, 141-145

岡島賢治, 水利施設と地盤のはざま, 技術四季報 東海の国土保全、査読無、第6号、2012、14-19

岡島賢治, 水利施設と地盤のはざま, 技術四季報 東海の国土保全、査読無、第5号、2012、9-16

〔学会発表〕(計 2 件)

岡島賢治, 東谷和輝、堰基礎浸透破壊水頭差への粒径の影響、地盤工学会、2012年7月14日、八戸工業大学(青森県八戸市)

岡島賢治, 酒井俊典、林健二、石川昌幹、長谷川謙二、古根川竜夫、阪口和之、由

井恒彦、片岡泰、中谷仁、想定外の水圧
を受けるコンクリート特殊堤防基礎の
浸透流による強度低下、地盤工学会、
2014年7月15日、北九州市国際会議場
(福岡県北九州市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡島 賢治 (OKAJIMA, Kenji)
三重大学大学院生物資源学研究科・准教授
研究者番号：90466805