

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月4日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580282

研究課題名（和文）ため池堤体内の透水性の不均一性と浸透破壊現象に関する研究

研究課題名（英文）Research concerning heterogeneity of permeability in an embankment dam and seepage collapse

研究代表者

堀 俊和 (HORI TOSHIKAZU)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・施設工学研究領域・
上席研究員

研究者番号：20414451

研究成果の概要（和文）：ため池堤体の破壊原因の一つにパイピングなどの浸透による破壊があるが、有効な評価手法がないのが現状である。本研究では堤体の浸透破壊の危険度を評価することを目的として、堤体内の透水性の不均一性に着目し、浸透破壊のメカニズムを解明した。模型土槽や実物大の盛土堤体を用いて、透水性の不均一性の測定を行った。その結果、連続的な浸透の継続により、初期の不均一性が平均化され、より全体的な不均一性へと進展することが分かった。さらに、局所的な浸透破壊と変形が繰り返すことにより、パイピングが進行するメカニズムを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：One of the major causes of small earth dams collapse is seepage failure, such as piping, but mechanism of seepage failure is not well elucidated. In this research, in order to appear piping mechanism, we concern permeability heterogeneity in an embankment dam. We performed model-test using small physical model and real-size model, and measure initial permeability heterogeneity in the models. After that we measure the change of the heterogeneity during continuous seepage. Initial heterogeneity disappeared during seepage and inhomogeneous of whole mass appeared. It was appeared that piping progresses repeating local seepage failure and deformation of embankment.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：土質力学・応用力学

1. 研究開始当初の背景

(1) 農業用ため池は全国に21万個あるといわれており、地域の灌漑用水、生活用水として貴重な資源となっている。自然災害によるため池の決壊は、豪雨によるものがほとんどであり、このうち半数以上がパイピングなどの局所的な浸透破壊現象により決壊に至ったと報告されている。

(2) 堤体の透水係数には、締固め層などの初期的な不均一性が存在している。また、長期的な貯水運用に伴って堤体からの漏水が拡大するなど、時間の経過とともに不均一性が増大する現象が見られる。不均一性が更に増大すると、大規模な漏水やパイピングにつながる可能性がある。したがって、パイピングなどの局所的な浸透破壊現象を解明するた

めには、堤体内の透水性の不均一性を考慮する必要がある。

2. 研究の目的

- (1) 本研究では堤体の浸透破壊の危険度を評価することを目的として、堤体内の透水性の不均一性に着目する。築堤時の初期的な不均一性の発生原因とその不均一性が時間とともに増大して、パイピング発生に至るメカニズムを解明する。
- (2) さらに、浸透破壊のシミュレーション手法を開発し、豪雨時における堤体の危険度を評価するための信頼性設計手法を開発する。

3. 研究の方法

- (1) 模型土槽 (88×10×50(H) cm) を用いて、透水性のばらつきを測定する模型実験を行った (図1)。笠間土を用い、締固め土80%、仕上がり層圧10cmで模型地盤を作製した。模型地盤中には電気伝導度センサーの測定孔 (9点) を設置している。模型の片側から浸透させ、各測定孔間の平均間隙流速および水頭を測定するとともに、模型解体の際に間隙率を測定した。更にばらつきの分布が時間とともに、どのように変化するかを計測した。

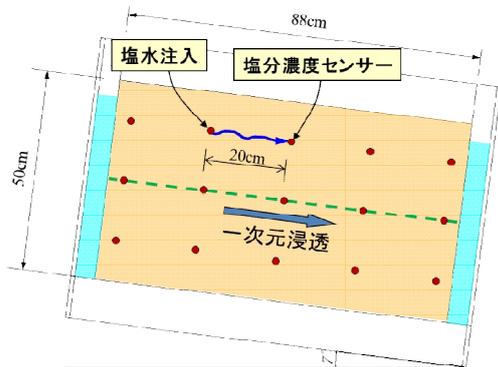


図1 模型土槽を用いた浸透実験

- (2) 模型土槽の浸透実験について透水性のばらつきを考慮したシミュレーションを実施した。透水性のばらつきを持つモデルを作成し、発生する浸透流速から浸透破壊の可能性について検討した。また、信頼性設計の可能性について検討した。
- (3) ため池等の土質貯水構造物の浸透に関する不均一性と浸透破壊に対する安定性を調べるために、野外に設置された堤高3.5m、堤頂長約30mの実物大の盛土堤体 (図2) を用いて、貯水および降雨により浸透を発生させて、盛土堤体内の間隙水圧および変位を測定し、パイピングの進行過程について分析を行った。

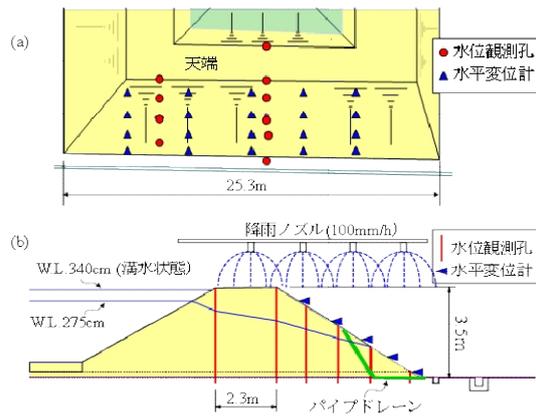


図2 実物大模型を用いた浸透・降雨実験

4. 研究成果

- (1) 小型アクリル土槽を用いた模型を用いて、長期間の浸透を作用させ、模型内の透水係数の変化を測定した。図3に浸透開始直後から約60日後までの透水係数の変化を示す。透水係数はトレーサの流下速度から算出している。

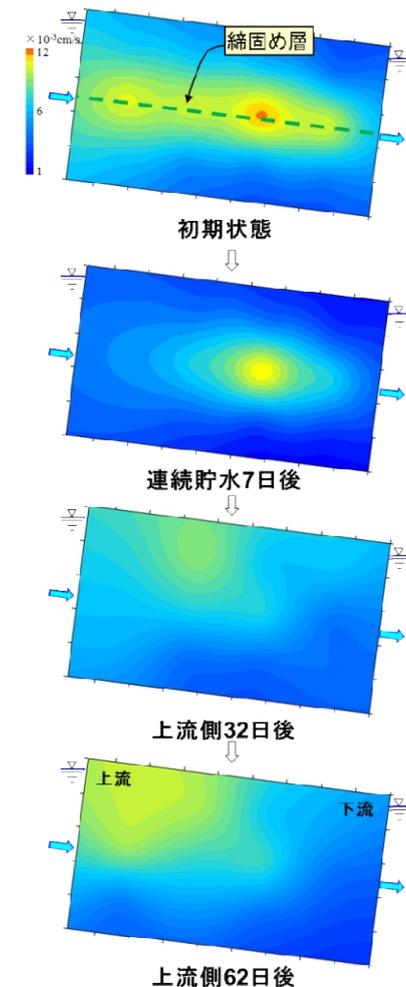


図3 模型土槽を用いた浸透実験

図3に示すように、浸透開始初期には、締固め層でそれ以外の部分と比較して10倍程度の速い流速分布が確認された。一方、浸透を継続することによって、締固め層の浸透の集中が緩和されることが分かった。また、浸透の継続に伴い、土槽の上流側の透水係数が上昇し、下流側の透水性が減少していく現象が見られた。これは、土の細粒分が上流から下流に移動し、下流側の土の間隙に目詰まりが発生するためであると考えられる。このような透水性の変化により、土槽全体の浸潤線が上昇する結果となった。

(2) 透水性のばらつきを与えたモデルを用いて模型実験を対象として二次元浸透現象のシミュレーションを行った。模型実験で得られた不均一性を考慮してランダムに透水係数を与え、浸透流速を算出した。図3の模型の横方向透水係数の変動係数は0.28、相関距離は23cmであったため、これらの数値のモデル作成のパラメータとした。また、締固め層の上端では透水係数が小さく下端では大きくなるため、締固め層の上下で透水性が異なる条件を与えている。浸透流速を算出した例を図4に示す。図4は締固め層付近に特に高い浸透流速が得られたケースである。図4と同様なシミュレーションを1000ケース行い、得られた最大流速を確率分布でプロットしたものが図5である。この土槽では、材料のパイピングに対する限界流速を超える

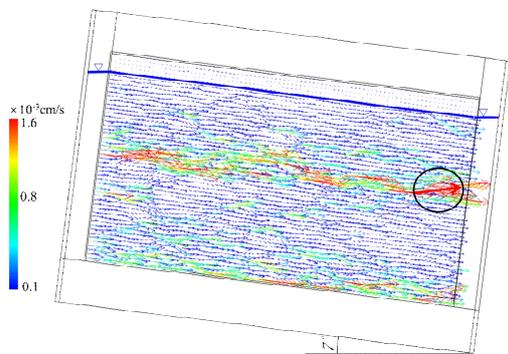


図4 透水性のばらつきを与えた浸透のシミュレーション結果

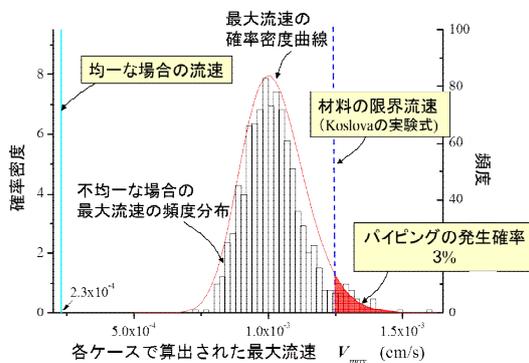


図5 透水性のばらつきを与えた浸透のシミュレーション結果

ケースが約3%算出される。このように、透水性のばらつきを考慮することによって、パイピングの評価が可能であることが分かった。

(3) 実物大の盛土堤体を用いて、貯水や降雨を作用させて浸透実験を行い、長期間の浸透による透水性の変化、パイピングの発生と進行について観察を行った。この堤体模型において予め、現場定水位透水試験を行った結果、堤体の透水係数の変動係数は0.7であった。

この盛土堤体に貯水を行い、継続的に浸透を発生させた結果、貯水開始後は一定の間隙水圧および地下水位で定常状態に達するものの、数ヶ月間の長期の貯水浸透により徐々に下流側の間隙水圧および地下水位が上昇して下流斜面から漏水が発生し始めた。模型実験でも見られた現象で、浸透の継続により細粒分の移動が進行して浸透の下流側の透水性が上流側と比べて相対的に低くなるためであると考えられた。

時間降雨100mmの降雨強度を堤体に作用させて、浸透実験を継続させたところ、降雨開始から約1時間で変形が開始した。その直後、下流法先でパイピングが発生し、堤体内水位が一旦低下した(図7)。パイピングにより大量の漏水が発生している間の数十分間、変形はほぼ停止していたが、一時的にパイピングに目詰まりが発生して漏水が停止した途端、堤体内の間隙水圧が急上昇し、再び変形が開始した。そのまま、変形の進行は止まらず、斜面は完全に崩壊した(図8)。

長期浸透と降雨実験によるパイピング現象を考察すると、土構造物の浸透の不均一性について以下のことが考察される。長期の浸透では、土構造物内部の不均一性の進行は、浸透の方向に依存し、浸透上流側では透水性が高く、下流側では低くなる。これは細粒分の移動に起因すると考えられる。一方、土構造物の変形を伴うような強い浸透が発生す

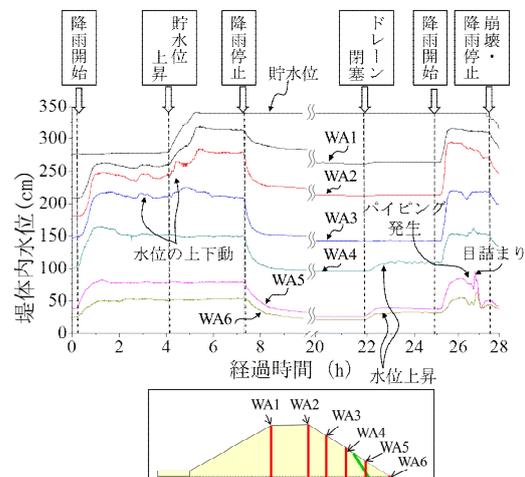


図6 パイピングの発生に伴う堤体内水位の変化

ると局所的な不均一性が発生し、土粒子の移動により目詰まりと間隙水圧の上昇を交互に繰り返しながら、浸透破壊が進行することが分かった。

(4) 本研究の成果により、土質貯水構造物において、締固め層などの初期的な透水性にばらつきについては、長期的な浸透により徐々に消失し、上下流方向のマクロ的な透水性変化が発生して、漏水やパイピングを引き起こすことが明らかとなった。また、透水性のばらつきを測定することにより、ばらつきを有する地盤のパイピングに対する抵抗性の評価が可能であることが分かった。浸透破壊は、最終的には局所的な浸透破壊と堤体の変形を交互に繰り返して進行する可能性がある。

今後は、本研究で得られた知見をもとに、パイピングに対する設計手法や防止対策の開発を実施していく必要がある。



図7 パイピングの発生状態



図8 パイピング発生後のすべり破壊

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)

① 堀 俊和、毛利栄征、土橋和敬、高橋 浩、前田和亨、堤体表面被覆によるため池の豪雨対策と波浪侵食対策、査読有、2013 (印刷中)

② 堀 俊和、毛利栄征、土橋和敬、松島健一、堤体表面被覆工法によるため池の豪雨対策、ジオシンセティックス技術情報、査読無、28巻、2012、15-21

③ 堀 俊和、毛利栄征、向後雄二、松島健一、Model Test and Consolidation Analysis of Failure of a Loose Sandy Embankment Dam during Seepage、Soils & foundations、査読有、51巻、2011、53-66

④ 堀 俊和、毛利栄征、松島健一、有吉 充、豪雨リスクを考慮したため池のライフサイクルコスト算定手法と最適な豪雨対策の選定手法、270巻、査読有、2010、57-67

[学会発表] (計3件)

① 堀 俊和、毛利栄征、盛土斜面の原位置孔内回転せん断試験法～ため池堤体への適用～、平成24年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、2012.9.20、札幌市

② 堀 俊和、藤山哲雄、樋口佳意、永江 祐、静電容量式水位計を用いた水位観測システムの開発、土木学会台67回年次学術講演会、2012.9.5、名古屋市

③ 堀 俊和、毛利栄征、松島健一、有吉 充、上野和宏、人工降雨によるため池堤体の実物大模型の崩壊実験、平成23年地盤工学会研究発表会、2011.7.7、神戸市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀 俊和 (HORI TOSHIKAZU)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・施設工学研究領域・上席研究員

研究者番号：20414451

(2) 研究分担者

毛利 栄征 (MOHRI YOSHIYUKI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・施設工学研究領域・研究領域長

研究者番号：90373224

羽田野祐子 (HATANO YUUKO)

筑波大学・システム情報工学研究科・准教授

研究者番号：60323276