

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：82111

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23697

研究課題名（和文）地震時にフィルダム堤体に生じた亀裂を考慮した水位低下速度の決定に関する研究

研究課題名（英文）Study on drawdown speed in fill dams considering crack in dam body

研究代表者

本間 雄亮（Homma, Yusuke）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・研究員

研究者番号：00827157

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：フィルダムでは貯水位の急低下を行うと堤体内部からの排水が追い付かずに間隙水圧が残留し、堤体斜面がすべり破壊を起こす危険性がある。地震によって堤体に亀裂が生じることがあるが、その場合には堤体の安全性を確保するために水位の低下を行う必要がある。本研究では、亀裂のある堤体で水位低下を行ったときの間隙水圧の挙動を数値シミュレーションと模型実験を行い検証した。亀裂に溜まった水が排水されることで水位低下時に間隙水圧は亀裂周辺で高くなった。堤体内部の間隙水圧分布は亀裂の位置や深さの影響を受けるため、水位低下時には留意する必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震等でフィルダム堤体に亀裂が生じた場合に水位の低下を行うと、亀裂周辺での間隙水圧は亀裂がない場合よりも高くなる現象が確認された。亀裂に溜まった水の挙動を把握することは、堤体だけでなく斜面等の土中の水の流れを把握するために必要である。亀裂が発生した堤体の間隙水圧分布を正確に予測することで水位低下時の安全性を正確に評価することにつながり、適切な水管理に貢献できる。水位低下時の間隙水圧の挙動を把握することは近年豪雨災害が激甚化し、事前放流の重要性が増していることから重要性を増している。

研究成果の概要（英文）：In fill dams, rapid drawdown of water level may lead to slope failures due to the pore water pressures remaining in dam bodies. When earthquake cause damage to dam bodies, reservoir water levels should be downed to secure the safety of dam bodies. In this study, numerical simulation and model experiment show the effects of crack in a dam body on pore water pressures during drawdown. Water flow from crack occurred and pore water pressures remain high near the crack. Pore water distribution in a dam body is effected by position and depth of crack.

研究分野：農業農村工学

キーワード：フィルダム 水位低下 飽和・不飽和浸透流解析 亀裂

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

フィルダムやため池といった土構造物では、豪雨により水位の上昇が見込まれる場合および地震で堤体が損傷を受けた場合に水位低下の操作を行う。貯水位の急低下を行うと堤体内部からの排水が追いつかず、堤体内部に間隙水圧が残留し、堤体表面の土が堤体内部の間隙水圧に押されることですべり破壊が発生する危険性がある。近年では、豪雨災害が激甚化していることから利水目的で使用されている農業用ダムやため池においても事前放流による洪水調節機能の強化が求められており、水位低下時の堤体の安全性は重要となっている。

一方、過去の大規模地震では、フィルダム堤頂部のダム軸方向に亀裂が発生することが報告されているが、フィルダムが地震等で損傷した場合には安全を確保できる水位まで迅速に下げることが求められている。具体的な水位低下速度については、実運用における水位低下速度は必要な貯水位の範囲において、適切な下降速度により水位低下を行うことという規定があるのみで水位低下速度に明確な基準はなく、地震発生後のダムの管理について水位低下時に亀裂が堤体の安全性に与える影響については十分に検討されているとはいえない。堤体が損傷した場合の水位低下に関する知見が少ないため、亀裂のあるフィルダムの間隙水圧の挙動に着目した。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、堤体に亀裂のあるフィルダムで水位低下の操作を行ったときの間隙水圧の挙動を明らかにすることである。間隙水圧は上述のように堤体斜面の安全性に影響を及ぼすために着目した。水位低下速度を変化させたときの間隙水圧の挙動を模型実験と数値シミュレーションを行い検証した。数値シミュレーションでは堤体に生じた亀裂の位置や深さが間隙水圧の挙動に与える影響について検討した。

### 3. 研究の方法

本研究ではフィルダム堤体における間隙水圧の挙動を把握するために模型実験と数値シミュレーションを行った。実際に地震によって堤体に生じる亀裂は3次元的で分布も形状も複雑であるが、亀裂の影響を定性的に調べるために、模型実験では簡易的な亀裂を作成した。亀裂の作成方法として、堤体模型の盛り立て時にアクリル板を設置し、模型作成後に引き抜きガラスビーズで充填した。堤体内部に小型のテンシオメータを挿入し、水位低下速度を変化させたときの間隙水圧を測定した。数値シミュレーションでは亀裂部を透水係数が極めて高い物質と仮定することで再現した。

### 4. 研究成果

#### (1) 模型実験

ダム堤体模型は高さ200mm、天端幅50mm、敷幅650mm、法面勾配1:1.5とし、砂質土を最大乾燥密度の85% ( $1.29\text{g}/\text{cm}^3$ ) で水平に天端高さまで盛り立て、堤体の形になるように整形して模型を作成した。堤体内部には50mm間隔でテンシオメータを8か所(図1のオレンジ色の点の位置)と水位計を設置し、10秒間隔で計測した。水位低下の操作は流量調節ポンプで排水することで低下速度をコントロールした。

圧力センサと脱気処理を行った素焼き管をチューブで接続し、内部を水で飽和することで堤体内の間隙水圧を測定するための小型テンシオメータを作製した。

実験は亀裂のない場合と堤体の中心に深さ100mmの亀裂がある場合の2ケース行い、所定の水位(160mm)で湛水して定常状態になった後に水位を40mmまで低下させた。各ケースに対して、水位を低下し終えるまでの時間をそれぞれ4, 2, 1, 0.5時間とした。水位低下前後の堤体外形をレーザー変位計で計測したが、水位低下によるすべり破壊は発生しなかった。また、亀裂があるケースにおいても、亀裂の存在により堤体全体の安全率が低下しているにもかかわらず、すべり破壊は起こらなかった。

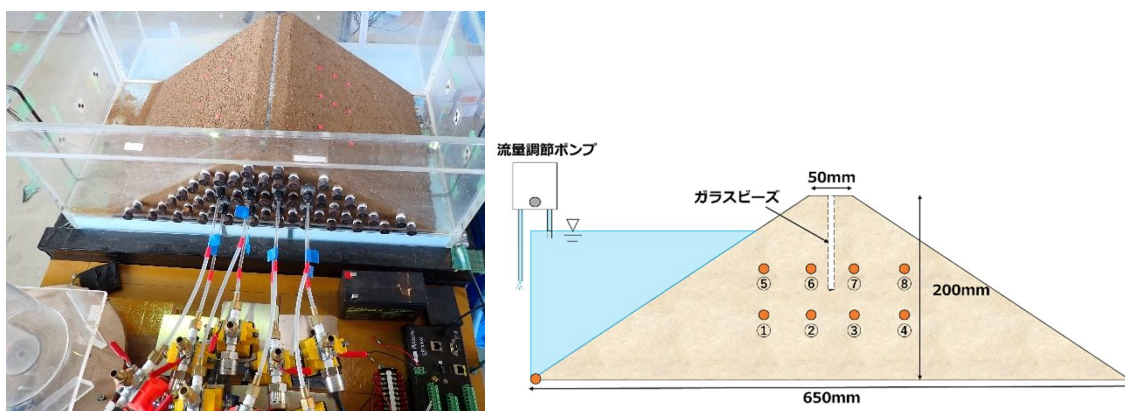


図1 模型実験の様子(左)と観測点(右)

亀裂があるケースについて、図2に上流側の亀裂に近い点6における間隙水圧と水位の関係を示す。4, 2時間で水位を低下したときの間隙水圧の挙動はほとんど変わらなかったが、1, 0.5時間の場合には堤体からの排水が追いつかず、堤体内に間隙水圧は残り、水位低下速度の影響が見られた。

図3は観測点6における異なる速度で水位低下を行ったときの間隙水圧と経過時間の関係である。水位低下とともに間隙水圧は減少したが、低下途中で間隙水圧の値がわずかに停滞し、間隙水圧値の変化率が小さくなるタイミングがみられた。動画で撮影したところ、亀裂部に残留した水は貯水位のように連続して減少はせず、段階的に排水される様子が観察された。貯水位が低下し、貯水面と亀裂部の水面との間で水頭差が生じないと排水されないと考えられる。亀裂からの排水時に間隙水圧の減少が止まったと考えられる。水位低下速度が大きい場合には、間隙水圧の上昇もしくは停滞する現象の頻度は少なくなった。水頭差がつきやすくなることで亀裂部に残留した水が排水されやすくなったと考えられる。

後述する数値シミュレーションの結果では、間隙水圧はなだらかに減少したのに対して、模型実験の結果では間隙水圧は減少と停滞を繰り返す挙動を取っていたため、亀裂のある土中での水移動を正確に再現できるモデルを今後検証していく必要がある。

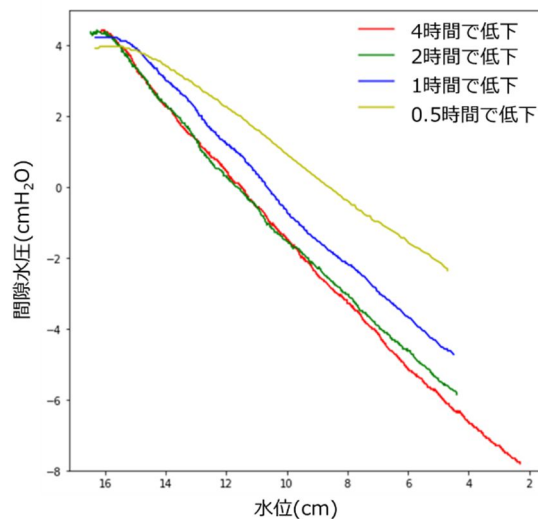


図2 異なる速度で水位低下を行ったときの  
間隙水圧と水位の関係

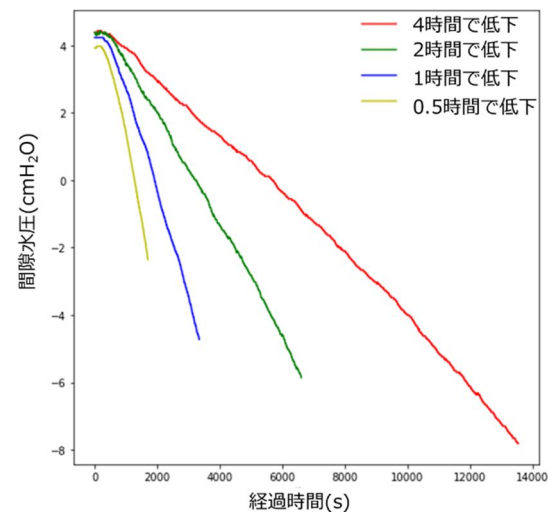


図3 異なる速度で水位低下を行ったときの  
の間隙水圧と経過時間の関係

## (2) 数値シミュレーション

フィルダム堤体内の圧力水頭分布の計算を飽和・不飽和浸透流解析をHYDRUS-2Dで行った。亀裂を透水係数の高い物質と仮定して表現した。堤体土と亀裂の水分特性曲線を図4(黒点は実測値)に、van Genuchtenモデルのパラメータを表1の値とした。亀裂はAkay et al.(2008)<sup>1)</sup>を参考に空気侵入値が小さく( $\alpha$ が大きく)、水分特性曲線の傾き( $n$ が大きく)なるようにし、飽和透水係数は堤体土の約1000倍とした。数値シミュレーションでは亀裂の深さと位置を変えて、その影響を検討した。シミュレーションでも模型実験と同様、水位低下速度が大きくなると間隙水圧が残留する現象がみられた。亀裂の深さの影響として、天端中央に深さ50, 75, 100mmの亀裂がある条件とした。亀裂が浸潤面に到達していない場合(50mm)には、間隙水圧の挙動は亀裂がない場合と変わらなかった。一方、亀裂が深くなるほど堤体内部の間隙水圧は減少しにくく残りやすくなる傾向が見られた。亀裂の位置の影響として、亀裂が天端中央と上流側斜面(高さ180mmの位置に深さ50mm)に発生した場合を検討した。亀裂の発生箇所では間隙水圧は高くなり、特に上流側に生じた場合には堤体斜面表層の間隙水圧分布が高くなり、すべり破壊が発生する危険性がある(図6)。

亀裂が発生することで、水位低下時に亀裂周辺で圧力水頭が高くなることから、水位低下の操作を行う際には亀裂が浸潤面に到達しているかやどの位置に発生しているかに留意する必要がある。

模型実験では数値シミュレーションとは異なり段階的に亀裂からの排水が発生しており、正確な水の流れを把握するためにはさらなる検証が必要である。そうすることで、間隙水圧の分布から亀裂の位置の把握等の堤体内部の診断につながる。

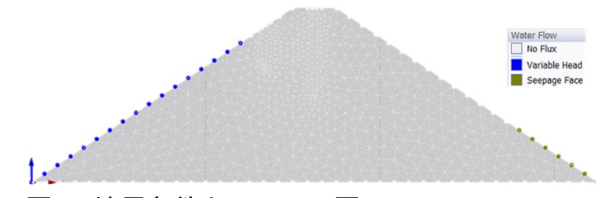


図 4 境界条件とメッシュ図

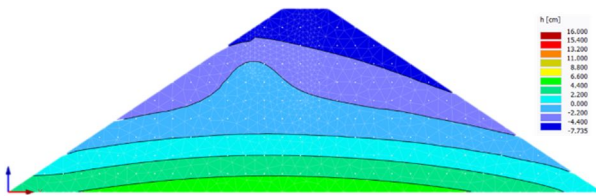


図 6 上流側斜面に亀裂がある場合の間隙水圧分布

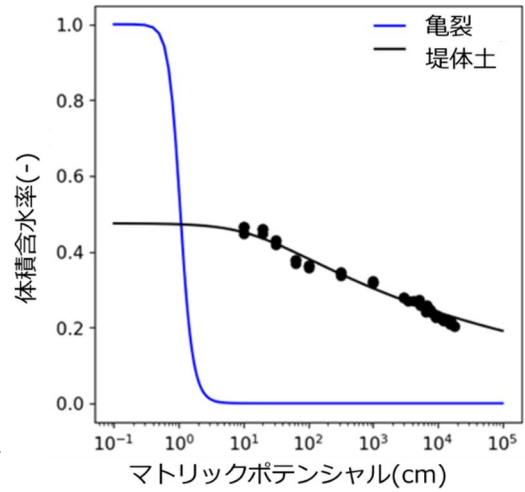


図 5 堤体土と亀裂の水分特性曲線

参考文献

1) Akay et al. (2008) Vadose Zone J. 7:909-918

	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha[1/cm]$	$n$	$K_s [cm/s]$	$l$
堤体土	0.0179	0.4748	0.0742	1.1088	$3.0 \times 10^{-4}$	0.5
亀裂	0	1	0.1	5	0.3	0.5

表 1 van Genuchten モデルのパラメータ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 本間雄亮、林田洋一、黒田清一郎、田頭秀和
2. 発表標題 亀裂のあるフィルダムにおける飽和・不飽和浸透流解析
3. 学会等名 農業農村工学会2020年全国大会
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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------