

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06296

研究課題名(和文) コンクリート心壁をもつ特殊構造フィルダムの地震時挙動解明

研究課題名(英文) Study of seismic behavior of the fill dam with a concrete core wall

研究代表者

岡島 賢治 (OKAJIMA, Kenji)

三重大学・生物資源学研究科・教授

研究者番号：90466805

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はコンクリート心壁を持つ特殊ダムの地震時挙動解明にある。コンクリート心壁をセメント板で模擬した準静的な傾斜実験を検証対象として、地震時挙動に関する弾塑性有限要素解析による構造物-地盤との一体解析により、傾斜角度と板の端部の水平変位の関係、砂地盤部分の最大せん断ひずみの様子を実験と比較して有効性を確認した。また、開発した解析手法を用いて、胆振東部地震で被害を受けた厚真ダムの再現解析を行った。単純ひずみ軟化弾塑性解析により計算された天端中央の最大応答加速度は、観測された最大応答加速度と概ね一致した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、コンクリート心壁を有する特殊ダムの地震時の挙動解明を目的に、模型実験をシミュレーションできる弾塑性有限要素解析の開発を行った。コンクリート心壁を有するダムという特殊な構造物を対象としているが、コンクリートと地盤の相互作用による破壊現象の解明は、地盤内にコンクリート構造物を有する現場における安全性の評価一般に活用できる解析手法となる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to elucidate the seismic behaviour of a unique dam with a concrete core wall. Quasi-static tilting experiments with cement plates simulating the concrete core wall were used for verification. A comparison between the tilting experiment and a structure-soil integration analysis based on elasto-plastic finite element analysis of seismic behaviour validated the relationship between the tilting angle and the horizontal displacement at the edge of the plate, and the maximum shear strain in the sandy part of the plate, by comparing them with the experiment. The developed analysis method was also used to reproduce the Atsuma Dam, which was damaged in the Gallo-East Japan Earthquake. The maximum response acceleration at the centre of the top end calculated by simple strain softening elasto-plastic analysis generally agreed with the observed maximum response acceleration.

研究分野：農業農村工学

キーワード：ダム コンクリート心壁 地盤 相互作用 破壊

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

フィルダムの中には特殊な構造をもったものがあり、本研究では、遮水ゾーンにコンクリート心壁をもつ特殊ダムに着目し、その地震時挙動を準静的な実験および動的な遠心载荷振動実験と弾塑性有限要素解析により解明を図る。また、弾塑性有限要素解析法は模型実験によって特殊ダムへの適用性を確認する。さらに、実際のダムに弾塑性有限要素解析を適用することで、コンクリート心壁をもつ特殊ダム地震時挙動を解明することを目的とする。

土質材料とコンクリート材料という材料特性の異なる材料を持つ複合的な構造物に対する有効な解析手法の検討は、コンクリートダムとフィルダムの複合ダムの接合部の挙動解明へと発展できる研究となる。

2. 研究の目的

本研究では、コンクリート心壁を持つダムの地震時挙動を解明することを目的に、模型実験と弾塑性有限要素解析を行う予定である。模型実験は、初めにコンクリート心壁を模擬した準静的な傾斜実験から基礎的な知見と計測機器、計測項目を確認する。これらの知見をもとに遠心载荷試験機による動的な模型実験を行い、コンクリート心壁を持つダムの地震時挙動を観測する。また、同時に準静的な実験、動的な実験を2次元の弾塑性有限要素解析により検討することで、弾塑性有限要素解析の構造物-地盤との一体解析に対する適用性を確認する。適用性が確認された場合は、実際のダムに弾塑性有限要素解析を適用することで、コンクリート心壁をもつ特殊ダム地震時挙動を解明する。適用性に問題がある場合は、解析コードの改良を検討する。

3. 研究の方法

構造物-地盤の相互作用による影響・コンクリート心壁の有無による堤体の地震時挙動の比較・コンクリート心壁自体が実験中に折損する場合の地震時挙動の変化、以上のテーマを模型実験と弾塑性有限要素解析により明らかにしていく。初めにコンクリート心壁を模擬した準静的な傾斜実験を行う。傾斜実験は、地震の安定性解析において震度法とよばれるレベル1地震動の安定解析に対応しているこのとき、模擬コンクリート心壁の有無による破壊挙動の違いを明らかにする。比較的实验回数を重ねることのできる準静的な傾斜実験において、地盤の締固め技術、模擬コンクリートの設置技術、レーザー変位計、加速度計、ひずみゲージ、土圧計などの計測方法の習熟を図る。特に、模擬コンクリート心壁自体が実験中に折損する場合の模擬コンクリート心壁の材料、厚さ、深さなどの諸条件に関する知見を十分に蓄積する。弾塑性有限要素解析でも傾斜実験に対応した再現解析を試み、地盤変位、コンクリート心壁のひずみ、土圧などから検証を行った。特に、模擬コンクリート心壁が折損する場合の再現に挑戦したい。さらに、弾塑性有限要素解析は次年度以降の動的解析を見据えて、本研究期間中を通じて胆振東部地震で被害を受けた厚真ダム、瑞穂ダムの再現解析を行い、実際のダムの地震時挙動の解析を行った。

4. 研究成果

本研究の学術的独自性はコンクリート心壁を持つ特殊ダムの地震時挙動解明にある。そこで、模型実験を検証対象として、コンクリート心壁を持つダムの地震時挙動に関する弾塑性有限要素解析による構造物-地盤との一体解析の有効性を確認、または解析コードを改良することで、複数あるコンクリート心壁を持つダムの地震時挙動に対しても信頼性の高いシミュレーションを開発することを目的とし、コンクリート心壁を模擬した準静的な傾斜実験を行った。模型実験は、コンクリート心壁と土質材料の同時破壊をモデル化した実験として、乾燥砂を片側の背面土にもつセメント板の破壊実験を行った。傾斜計で傾斜角を計測しつつ、土槽を0~35°の間は5°ずつ、以降は変位計の値を見ながら0.1~1°ずつ傾けた。それぞれの傾斜後、5分間放置した後、変位計の値の記録し、写真を撮り、再び傾ける作業をセメント板が破壊するまで行った。この模型実験をシミュレーションするために、弾塑性有限要素解析ソフトに nonsolan を使用した。メッシュは節点数 1695、要素数 1586 とした。材料数はセメント板と豊浦砂の2種類に設定した。境界条件は、左右端の1列および、ベニヤ板の部分とセメント板の最下部の節点の x, y 座標を固定した。解析により求めた傾斜角度と板の端部の水平変位の関係、砂地盤部分の最大せん断ひずみの様子を実験と比較して有効性について検討した。実験において、板は傾斜 36~38°、変位 2~3.5 mm の間で破壊した。解析値は実験値とほぼ同じグラフとなった。また、実験の画像からせん断帯の場所を読み取り、線を引いた。解析における傾斜角 35°時点の最大せん断ひずみの集中領域は、観察されたせん断帯の位置を境界により深い位置に見られた。これらのことから、本研究の弾塑性有限要素解析の構造物-地盤との一体解析に対する適用性が確認できたといえる。

開発した弾塑性有限要素解析を用いて、胆振東部地震で被害を受けた厚真ダムの再現解析を行った。弾塑性有限要素解析においては、単純ひずみ軟化弾塑性構成式を適用した。動的応答解析の前に、築堤解析を実施した。動的解析の材料パラメータは、非排水状態を想定した。コア材

の全応力強度は、等方圧密非排水三軸試験により求めた。半透水性材料の全応力強度は、等方圧密非排水三軸試験により求めた。下流斜面側の不飽和半透水帯については、原位置密度（D 値 100%の密度）に対する等方圧密非排水三軸試験により、材料の強度を求めた。フィルターゾーンは排水状態とした。リップラップゾーンは排水状態とした。レイリー減衰は 5.0%とした。入力加速度は、ダム底部において観測された胆振東部地震の観測波を用いた。単純ひずみ軟化弾塑性解析により計算された天端中央の最大応答加速度（1090Gal）は、観測された最大応答加速度（1293Gal）より小さいが、最大応答加速度の時間が、観測された最大応答加速度の時間（15.6秒）と一致した。また、天端付近の鉛直変位は天端中央で約 5.4cm、下流斜面上端付近で約 8.6cm の最大鉛直変位と計算された。また、上流側斜面上端付近の最大鉛直変位は、約 18.1cm と計算された。胆振東部地震で観測された天端の最大頂上沈下量は 14.9cm であった。再現解析では、原位置密度における材料定数が締めめ D100 の結果よりも解析結果を良く表現することが明らかとなった。

構造物 - 地盤との一体解析を応用するために、コンクリートと地盤との境界部分で発生する浸透による事故のシミュレーションを行った。令和 4 年 5 月に発生した明治用水頭首工の事故で、事故による影響が発生していない地点で、本研究が対象としているコンクリートと地盤との相互作用による浸透と内部の破壊の検討課題が生じた。このテーマは、研究対象がコンクリート心壁を有するダムから頭首工へと変更するが、コンクリートと地盤との相互作用による地盤の安定性という点で共通するテーマであるとして、本年度は頭首工の上流エプロンで行われた暫定止水矢板工が下流のエプロン下部の地盤の破壊に影響を与えるか否かについて、現地観測データと有限要素浸透流解析を比較することで検討した。研究の結果、上流エプロンの暫定止水矢板は下流のエプロン下部の地盤の破壊を抑止する効果が確認できた。また、上流エプロンの暫定止水矢板による浸透流量の抑止効果は、施工後から時間を追うごとに現地観測データと乖離していく傾向があった。これに対して、浸透流解析における上流エプロンの暫定止水矢板下部の透水係数を小さくすることで、乖離幅が小さくなることが分かった。このことは、上流エプロンの暫定止水矢板によって施工後時間を追うごとに浸透抑制効果が大きくなっていることを意味しており、徐々に安全側に向かって安定していることが明らかとなった。一方で、上流エプロンに止水矢板を施工により、下流の水深変化がエプロン下部の水圧変動に与える影響が大きくなることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 岡島賢治
2. 発表標題 コンクリート止水壁を持つフィルダムの地震時挙動の解明
3. 学会等名 農業農村工学会ダム保全管理研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡島賢治
2. 発表標題 コンクリートと地盤の同時破壊実験とその再現解析
3. 学会等名 農業農村工学会ダム保全研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡島賢治
2. 発表標題 コンクリート心壁をもつ特殊ダム地震時挙動を解明
3. 学会等名 農業農村工学会ダム保全研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kaede Yoshida, Kenji Okajima
2. 発表標題 Effect of an additional watertight sheet pile to prevent piping in headworks
3. 学会等名 The 29th Tri-U International Joint Seminar and Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023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
---------	---------