

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450357

研究課題名(和文) 振動実験によるため池堤体・基礎地盤の動特性の推定と耐震性評価

研究課題名(英文) Estimation of dynamic properties on irrigation tank by using in-situ vibration test and evaluation of earthquake resistance.

研究代表者

清水 英良 (SHIMIZU, Hideyoshi)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：90144005

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：兵庫県南部地震で被災した淡路島震災復旧ため池について、微動観測並びに弾性波探査を現地で実施した。併せてマサ土試料について室内せん断試験を行い、ピーク・残留強度を測定した。得られた知見は以下の通りである。

- 1) 微動アレイ観測から得られた卓越振動数は右岸側に進むにつれ微増し、堤高の違いを表現している。また、弾性波探査よりも3成分微動アレイのデータの方が信頼性があり、堤体のS波速度構造の同定に役立つことが明らかになった。
- 2) 室内試験で求めた強度を用いて兵庫県南部地震時に被災したため池について解析した結果、最終沈下量の値が観測値と大きくずれず、滑りが生じた後に残留強度を用いることの妥当性が認められた。

研究成果の概要(英文)：We investigated the restoration dikes of Awaji Island : we conducted micro tremor observation and elastic exploration techniques. We also gathered specimen from the field and conducted the ring shear tests to obtain the peak and residual strengths. The results are summarized as follows:
1) The predominant frequency of a dike increases as the direction to the right side of the bank ; it is likely caused the difference due to the height of the embankment. In addition, it was more reliable the data obtained by 3-D direction array measurements than those by elastic wave exploration techniques. It was useful to discover the structure of S wave velocities of the dike by arrangement of the sensors in triangle.

2) We analyzed the dikes which suffered from Hyogoken Nanbu Earthquake by using the data of soil properties and earthquake records, so that we recognized that, in order to decide the settlement of the dike, it was appropriate to apply the strengths of soil, i.e., peak and residual strengths.

研究分野：農業土木学

キーワード：ため池 微動アレイ 残留強度 すべり解析 卓越振動数 マサ土 逆解析 S波速度

1. 研究開始当初の背景

地盤における表面波探査は、成層地盤における理論分散が Haskell によりマトリクス法として提案されたのを機に始まり、その後振動計・読み取り装置の開発とデジタル時系列の FFT 解析が一般化され、単色振源(起振機)と一般振源との起振方法に別れて発達した。時松らは、深度数十メートル以浅の地盤構造を簡便に調べる手法として単色震源を用いた表面波探査を行っている。近年、一般震源を用いる方法として Xia らは、カケヤや重錘落下等のインパルス振源によって二次元成層地盤の S 波速度構造を求めることに成功している。また、林らは表面波 CMP 解析により地盤の二次元・三次元構造を同定する手法を開発している。

応募者は、これまでに原位置非破壊振動実験を実施し、屈折法弾性波探査から淡路島震災復旧ため池堤体の P・S 波速度を実測している。また、常時微動観測から H/V スペクトルを算定し、ため池・干拓堤防の特性値・応答倍率を求めている。本研究は、従来の原位置試験に加えて一般震源を用いた表面波探査手法を適用し、さらに高精度なデータ取得を目指すと共に、地震危険度解析を通して供用期間内における被災リスクを算定することにより、ため池の耐震性を評価するものである。

2. 研究の目的

ため池に代表されるアースダムの地震時における挙動はその内部構造の不均質性により複雑であり、事実兵庫県南部地震においても、底樋周辺部の弱部が原因で過大な沈下・クラックが生じ、また外見上無被害に見えるため池に湛水後漏水が生じたりしている。従って、アースダムの耐震性を詳細に検討するには、基礎地盤を含めた内部構造を原位置試験から同定し、地震時の変形挙動を照査して地震危険度解析により被災リスクを算定する必要がある。

応募者は、干拓堤防における地震危険度解析を既に実施し、国外誌に発表している。また、強震データは、気象庁が兵庫県南部地震以降全国各地に地震計を配置し、K-Net・Kick-Net 等の地震データがネット上で公開されている。従って、本研究を実施する上で新たに取得する必要がある基礎的データは、ため池堤体・基礎地盤の動的変形特性を同定する基となる二次元 S 波速度分布であり、従来の微動観測・屈折法探査に加えて表面波探査を実施し、詳細な内部構造を求めることにより、土構造物の耐震性評価に役立てていきたいと考える。

3. 研究の方法

(1) 原位置振動実験によるため池堤体内部構造の推定

ため池堤体において板たたき法による S 波

屈折法弾性波実験を行い、走時曲線を作成して内部構造の概略値と基礎地盤の位置を推定する。次いで、インパルス人工震源による表面波探査を実施し、各受信器間の波長～S 波速度の関係(分散曲線)をクロス解析により求める。測線を移動展開し、逆解析により理論分散と実測分散が一致する堤体・基礎地盤の二次元 S 波速度構造を求める。また、地表型 3 成分の換振器により常時微動観測を実施し、FFT 解析により H/V スペクトルを求め、卓越振動数と応答倍率を求める。

(2) 堤体振動モデルの構築

前記(1)の原位置振動実験から得られる堤体内の S 波分布を基に、ため池堤体・基礎地盤構造を FEM によってモデル化し、地震応答解析を実施する際の基礎となる二次元振動モデルを構築する。モデルの同定には、先の常時微動観測から求められる卓越振動数・ピーク応答倍率値を検討対象とし、振動モデルを用いて固有値解析を実行することにより算定される固有振動数・周波数応答関数ならびに刺激係数値との比較・検討により行う。

4. 研究成果

(1) 微動観測による卓越振動数

折ヶ谷池堤体のクレスト部で 3 成分常時微動観測を実施した。初年度(2013 年)は、堤体の左岸側から右岸側までについて 3 m ピッチで 2 日間にわたり計 29 測点で計測した。データの平常部をセグメントに分けて切り取り、FFT を用いてパワースペクトルを求め、最終的に H/V スペクトルを求めて堤体の一次卓越振動数を求めた。結果を図 1 に示す。

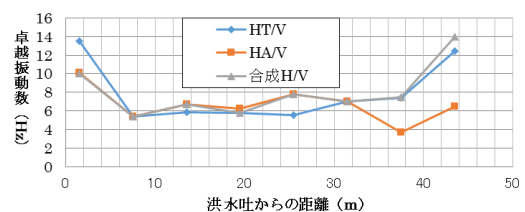


図 1 各測定点の卓越振動数(2013 年)

図中、HT は堤軸直交方向、HA は堤軸方向の水平動成分を表している。

これより、以下の事項が推察された。

HT/V スペクトルから、堤体の卓越振動数を求める場合、水平動成分は堤軸直交方向成分 HT を用いるべきである。

折ヶ谷池の谷地形は、洪水吐から 4~5m~30m の間は平坦(卓越振動数は 5.3~5.7Hz)で、その後徐々に傾斜した地形構造と推定される。

次に、翌年(2014 年)、中央部を詳細に求める目的で同様な実験を行った。測点を 5 測点に絞り、洪水吐から 16m~35m の地点を選び計測した(図 2)。

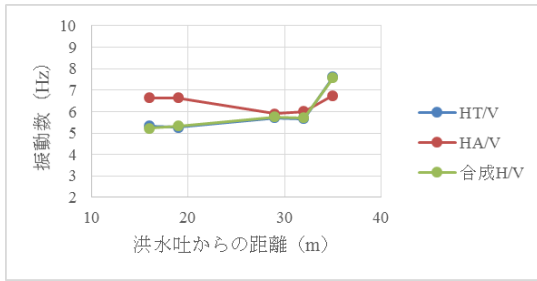


図2 各測定点の卓越振動数(2014年)

図から、H/V スペクトルから求められた卓越振動数は、35m 地点を除き前年と同様の傾向であった。35m 地点のデータは、計測時に風が強く吹いており、信頼性に欠けるところもあるが、卓越振動数の傾向は合理的であると思われる。

(2) 表面波探査と微動アレイ観測による分散曲線

2014～2015年にかけて、(1)と同様な測点で表面波探査と微動アレイ観測を実施した。具体的には、2014年に表面波探査を実施し、2015年に微動アレイ観測を行い、レイリー波の分散曲線を求め、逆解析によりS波内部構造を推定した。

表面波探査

洪水吐から16～19m地点で観測したデータを用いて求められた分散曲線を図3に示す。分散曲線は、位相角法と2点間空間自己相関法の両方法で求めている。

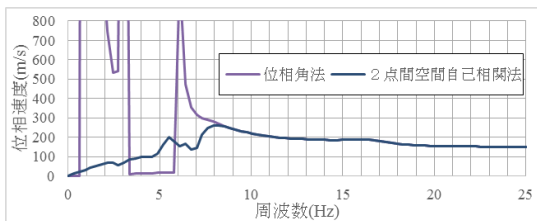


図3 分散曲線(表面波探査)

図から、両方法とも7 Hz以上はほぼ同一であるが、低振動数では大きな相違があることがわかる。従って、この手法で信頼できる周波数範囲は7 Hz以上であり、レイリー波の分散性をよく表していることが伺える。

微動アレイ観測

表面波探査とほぼ同様な測点について微動アレイ観測を実施した。クレスト上に微動計を正三角形上に配置し、長らが推奨しているHenstridge法により同時微動データを解析し、分散曲線を求めた(図4)。

これらの手法で求めた分散曲線から、逆解析によりため池堤体のS波速度構造を推定することが可能になる。ここでは、微動アレイ観測から得られた分散曲線からS波内部構造を推定した。

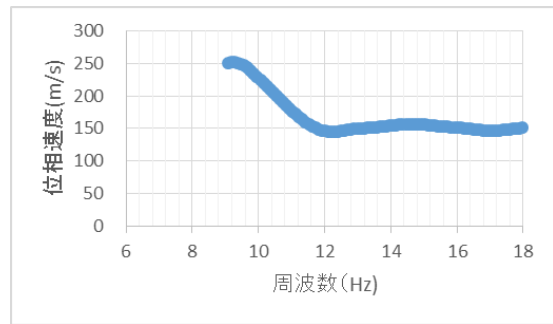


図4 分散曲線(微動アレイ)

(3) S波速度構造の推定

逆解析により、ため池堤体内部のS波速度構造をLevenberg-Marcardt-Morrison法(LMM法)を用いて推定した。堤高は、ボーリング調査により約13mであり、基礎は風化花崗岩である。ここでは、基礎地盤のS波速度も併せて推定している。

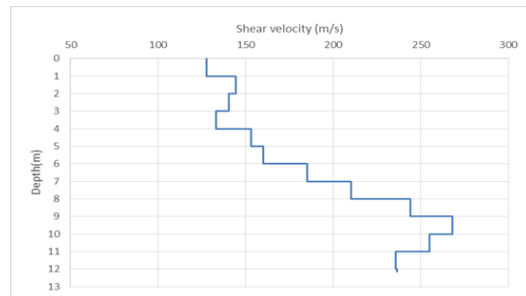


図5 堤体のS波速度構造

図5が、逆解析により推定したS波速度構造のグラフである。図から、S波速度は地表部で約130m/s、最大値は約10mの深度で270m/sと求められる。なお、基礎地盤のS波速度は約450m/sであった。

(4) 堤体の固有振動数と卓越振動数

ため池堤体(横断面)の固有振動数を、伝達マトリックス法を用いることにより、楔形理論をベースにして求めた。その結果、堤体の固有振動数は約6 Hzであった。この値は、先に得られた卓越振動数の値より5～10%ほど大である。

両者の値が食い違った理由としては、観測・解析精度の色々なばらつきが考えられるが、特に観測精度を高める必要があると思われる。

以上、3年間の現地実験の結果を纏めた。非破壊微動試験から堤体のS波内部構造が確定できれば、この値を用いて実際の大地震時に堤体が被る被害の度合いを予測することが可能になり、ため池改修の是非を他の自然災害(豪雨による破堤など)と併せて評価することが出来る。今後も詳細なデータを引き続き蓄積し、ため池の安全性・耐震性評価についての研究を進めていきたい所存である。

<引用文献>

長 郁夫・篠崎 祐三：微動を用いた構造決定のための円形アレイデータ解析に関する理論的研究．物理探査：56(1)，29-42，2003．

M. R. Osborne：Nonlinear least squares - the Levenberg algorithm revisited. J. Austral. Math. Soc. 19(Series B), 343-357, 1976.

Nishimura, S. & Shimizu, H.：Reliability-based design of ground improvement for liquefaction mitigation. Structural Safety 30：200-216, 2008.

Haskell, N. A.：The dispersion of surface waves on multilayered media. BSSA 43(1)：17-34, 1953.

時松ら：レイリー波探査を用いた液状化危険度予測．土と基礎 38(6)：15-20, 1990．

Xia et al.：Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. Geophysics 64：691-700, 1999.

林ら：人工震源を用いた表面波探査の開発とその土木地質調査への応用．応用地質技術年報 21：9-39, 2001．

清水ら：淡路島震災復旧ため池堤体の動特性の推定．雨水資源化システム学会講演要旨集：87-90, 2002．

清水ら：児島湾干拓締切堤防の振動特性 - 常時微動観測による固有振動数の同定 - 地盤工学研究発表会講演集：103-104, 2005．

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 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

大西健夫, 金森修平, 田島正廣, 平松研, 清水英良, 西村眞一, 千家正照：都市化に伴う農業用水需要の変化とその特性．平成 28 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 28 年 8 月 30 日～9 月 2 日(宮城県仙台市)．

〔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

清水英良：農業水利施設の保全．ホットライン東海．188：8，2015．

6．研究組織

(1)研究代表者

清水 英良 (SHIMIZU, Hideyoshi)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：90144005

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：