

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 21 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580355

研究課題名(和文)ため池の劣化度と動特性の関係の明確化とため池性能劣化予測モデルの構築

研究課題名(英文)Clarification of the relation between degradation level and natural frequency and construction of performance degradation prediction model for irrigation tank

研究代表者

小林 範之 (Kobayashi, Noriyuki)

愛媛大学・農学部・教授

研究者番号：00314972

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ため池堤体の劣化度と動特性関係の明確化と性能劣化予測モデルの構築を目的とした。愛媛県の3つのため池で比抵抗電気探査、表面波探査および常時微動計測を実施した。また、地下水位・固有振動数関係の明確化のために、実験土槽内で模擬地盤を作成し、常時微動計測を実施した。固有振動数と地下水位の上昇による地盤の強度や有効応力の低下には相関があり、当初からの強度低下や有効応力の減少を劣化度とすれば、劣化度・動特性関係が求められ、常時微動計測によりため池堤体の劣化を推定できる可能性を示唆した。また、モンテカルロフィルタを用いてため池堤体の減衰定数と剛性を推定し、堤体の性能劣化の予測を試みた。

研究成果の概要(英文)：This research aimed to quantitate degradation level of irrigation tank, to clarify relations between the degradation level and seismic characteristics, and to establish performance degradation prediction model. The three types of the geophysical exploration methods, that is, electrical resistivity survey, surface-wave method and microtremor measurements, are carried out for three irrigation tanks, and model experiment is performed in order to clarify relation between ground water level (G.W.L.) and natural frequency. The natural frequency correlates with fluctuation of the strength and the effective stress associated with change of G.W.L. When the degradation level is defined as reduction rate of the strength and effective stress, it is suggested that the degradation level can be estimated only by microtremor measurements. Moreover, the prediction of the performance degradation is tried by identifying stiffness and damping ratio using the Monte Carlo filter.

研究分野：農業土木学・農村計画学

キーワード：ため池 常時微動 性能劣化予測モデル

1. 研究開始当初の背景

構造的に健全なため池が地震によって被災するといった事例は極めて少ない。したがって、緊急にその動特性を把握する必要があるのは、老朽化し劣化が進行しているため池である。これまでに、農業用水利施設の動特性を調査する研究はあったが、その劣化度合いと動特性の関係を明らかにした研究はない。本研究では、ため池の劣化度を比抵抗電気探査および表面波探査で定量化し、ため池の動特性を常時微動計測で捉え、劣化度 - 動特性関係を明らかにすることを旨とする。さらに、その関係が明らかになれば、常時微動の計測だけでため池の劣化度合いを知ることができるため、ため池ストックマネジメントでの性能劣化モデルが構築できると考えた。

これまでに、農業用水利施設の動特性を調査する研究はあったが、その劣化度と動特性の関係を明らかにした研究はない。また、劣化度 - 動特性関係に基づいて構築される「ため池性能劣化モデル」は他に例がなく、この点に本研究の独創性がある。また、日本に 21 万個あり、そのほとんどが老朽化しているため池の耐震診断手法の確立は、大地震が確実に襲来する日本において、喫緊に要請されている社会的課題であり、本研究はその社会的要求に応えようとするものである。本研究の完成は、全国の溜池の耐震診断の足掛かりとなることが予想された。

2. 研究の目的

農業用ため池は、全ため池の約 75% が築造されてから 100 年以上経過しており、数多くのため池が何らかの機能障害を起こしている。このように老朽化によって本来の健全な状態が損なわれていると、被害が発生する可能性がより高くなり、近年では地震や豪雨によるため池災害がしばしば発生している。特に、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震においては、ため池が決壊する被害が発生し、死亡事故にまで発展している。そのため、東海・南海・東南海地震をはじめとする大規模地震に対する老朽ため池の改修や地域・地盤特性に応じたため池の耐震対策は緊急を要している。また、東北地方太平洋沖地震で被災したため池の多くは、締固め度が小さいなどの構造的な弱点があるとの報告がされている。すなわち、健全なため池が地震によって被災するといった事例は少なく、緊急にその動特性を把握する必要があるのは、健全性が劣化しているため池と考えられる。本研究では、ため池の劣化度を比抵抗電気探査および表面波探査等で定量化し、ため池の動特性を常時微動計測で捉え、劣化度 - 動特性関係を明らかにすること、また堤体の性能劣化予測モデルの構築を目的とする。

具体的には、まず、比抵抗電気探査により堤体内の含水状況および表面波探査により堤体の V_s 構造を把握する。また、常時微動測定により堤体の卓越周期および増幅特性を把握する。次に、 H/V を用いて、ため池堤体劣化度診断方法を確立する。さらに得られた卓越周期および増幅特性と診断された劣化度からため池劣化度 - 動特性関係を明らかにする。最後に、測定データをモンテカルロフィルタに取り込むことにより劣化予測モデルを構築する。

3. 研究の方法

愛媛県にある 3 か所のため池を調査対象とし、比抵抗電気探査、表面波探査および常時微動計測を実施した。比抵抗電気探査からは堤体の粘土成分や含水率の影響、表面波探査からは堤体の硬さが 2 次元的に把握できる。また、常時微動計測結果から H/V スペクトルを求めることで、ため池堤体の卓越振動数が得られる。

(1) 堤体に差がある 2 つのため池 (A, B 池) で検討を行った。常時微動測定より得られる卓越振動数の値と表面波探査から得られる V_s 構造と $1/4$ 波長則から求めた固有振動数との誤差は約 0.2Hz であり、比較的よい一致をすることがわかった。また、 H/V スペクトルの 1 次および 2 次ピークの評価から、それぞれの振動パターンを明らかにすることができた (表 1)。

表 1 固有振動数と卓越振動数

	A 池	B 池
堤高(m)	12.5	4.3
固有振動数(Hz)	5.71	5.38
卓越振動数(Hz)	1 次	3.42
	2 次	1.17

(2) 堤体の一部で漏水のあるため池 (C 池) において、漏水浸出箇所と健全部では固有振動数が異なることがわかった。さらに、満水時と水位低下時でも固有振動数が異なった (図 1)。

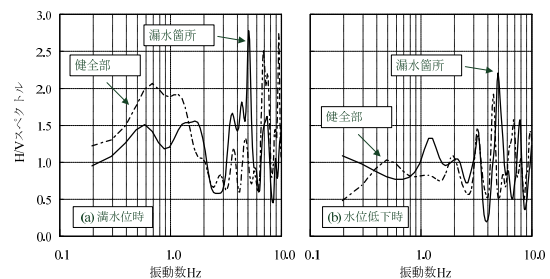


図 1 H/V スペクトル

以上より、堤体内の含水状態により常時微動の値に変化が見られ、固有振動数にも影響することがわかった。しかしながら、貯水位と堤体内の浸潤線の変動は必ずしも一致しないため、貯水位と固有振動数の間に一定の法則性がみられなかった(図2)。

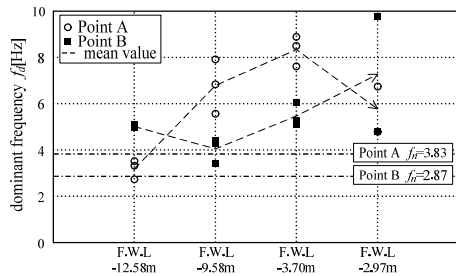


図2 浸潤線の高さと固有振動数の関係

(3) 地下水位変動と固有振動数の変化の関係を明確にするために、実験土槽内で模擬地盤を作成し、常時微動計測を実施した。また、地下水位の変動に伴う、ポータブルコーン貫入抵抗試験による貫入抵抗値 q_c および有効応力の変化に着目し、卓越振動数との関係を検討した。地下水位の低下に伴う卓越振動数の増加は、有効応力の増加に大きく影響されていることがわかった(図3)。

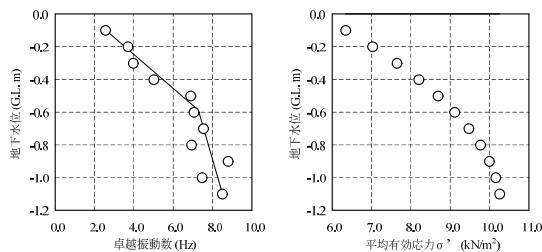


図3 浸潤線の高さと固有振動数、平均有効応力の関係

地盤の強度や有効応力の低下と固有振動数の減少には相関があり、当初からの強度低下や有効応力の低下を劣化度とすれば、劣化度-動特性関係が求められることを示した。これにより、常時微動計測によりため池堤体の劣化を推定できる可能性を示唆した。

(4) モンテカルロフィルタを用いた1質点減衰系モデルにおける動特性の同定手法を開発した。構造物の動特性を知る手段として常時微動の測定があり、常時微動の振動の様子は地盤の固さや層構造に影響されるという性質があることは上記内容から検証できている。ため池堤体においても漏水部と非漏水部、健全部と劣化部では地盤の固さおよび内部の含水比等の状態に差があり、動特性が

異なることも検証した。そこで、ヘルスモニタリングに活用することを目的とし、常時微動とデータ同化手法の一つであるモンテカルロフィルタを用いてため池堤体の減衰定数 h と剛性 k (非減衰固有円振動数 ω) を推定した。モンテカルロフィルタは、どのような非線形・非ガウスモデルでも取り扱うことができ、これにより一般的なモデルへの適用が可能である。数値実験では、非常に良い精度で h と ω の同定を行うことができた。粒子数が多いほど解析精度が上がることを示された。また、解析時間内に任意の解析区間を設けても同定ができることが分かった。これにより、モンテカルロフィルタを1質点減衰系モデルに適用することが確認できた。

ため池堤体での実測値は振幅が非常に微小で振動数の大きい振動であったが、解析時間内に任意の微小区間を設定し、区間内の最大・最小加速度を観測値とすることで同定を行うことができた。同定した ω は、漏水部・非漏水部の両点とも常時微動の H/V スペクトル比から得られる値と同程度であり、信頼できる。 ω は、非漏水部に比べ漏水部で小さくなり、劣化度合いが高いことが考えられる。一方、 h は非漏水部に比べ漏水部で大きくなり、含水比が大きいと減衰が大きくなることが考えられた。常時微動を用いたモンテカルロフィルタによる同定結果から得られたこれらの予想は、表面波探査および比抵抗電気探査の結果と一致していた。よって、本手法から得られる動特性の同定結果から相対的な堤体内部の劣化度および漏水の危険性を知ることができるといえる(図4)。

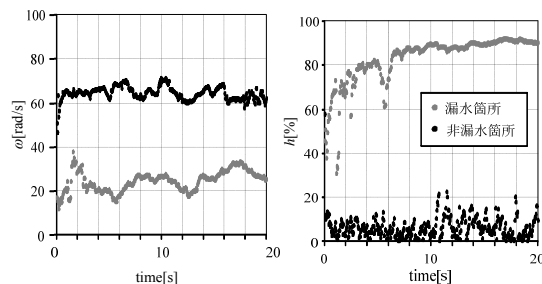


図4 モンテカルロフィルタによる k と h の同定結果

4. 研究成果

当初予定した研究をほぼ計画通りに達成し、その成果は学会大会での発表および国内論文集に投稿した。掲載が決定した成果は下記の5.に記載した。

今後は、ため池堤体の有効応力の測定方法について検討をするとともに、「ため池性能劣化予測」のシステム化を考え、耐震機能診断へと発展させる計画である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Kobayashi, N., Kimata, T., Ishii, M., Nishiyama, T., Tsukada, Y. and Izumi, T., 2015, Estimation of the Coefficient of Volume Compressibility of Soils Using Artificial Neural Network with Batch Learning Algorithm, Journal of Rainwater Catchment Systems, 20(2), 23-28. 査読有

Yoshitake, Y., Kobayashi, N., Fujihara, M., Nishiyama, T. and Izumi, T., 2012, A Simple model for estimating phreatic surface location and seepage discharge through a small homogeneous earth dam on inclined foundation, Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal, No. 279(80-3), 29-34. 査読有

Fujihara, M., Kobayashi, N., Nishiyama, T., Izumi, T. and Yoshitake, Y., 2012, Effect of impervious zone width of an embankment dam on blanket design length, Journal of Rainwater Catchment Systems, 18(1), 9-13. 査読有

Lapong, E., Fujihara, M., Izumi, T., Hamagami, K., Kobayashi, N. and Kakihara, T., 2012, Water Quality Characterization and Index Optimization - The Case of Agricultural Rivers in Southern Ehime, Japan -, Journal of Rainwater Catchment Systems, 18(1), 1-8. 査読有

Lapong, E., Fujihara, M., Izumi, T., Hamagami, K., Kakihara, T. and Kobayashi, N., 2012, Suspended sediment estimation and analysis in river basins with rice paddy fields, Journal of Water Science and Technology, 66(5), 918-926. 査読有

Lapong, E., Fujihara, M., Izumi, T., Hamagami, K., Kobayashi, N. and Kakihara, T., 2012, Suspended load estimation in agricultural rivers using regression analyses with data stratification, Journal of Water and Environment Technology, 10(4), 387-398. 査読有

〔学会発表〕(計12件)

小林範之, GMDH - type ニューラルネットワークによる体積圧縮係数 mv の推定, H26 年農業農村工学会中国四国支部講演要旨集, 鳥取 2014 年 11 月 5 日, 143-145. 泉智揮, 小林範之, 非負値行列因子分解を用いた観測データの特徴抽出, H26 年農業農村工学会中国四国支部講演要旨集, 鳥取, 2014 年 11 月 5 日, 61-63.

松田理恵・小林範之, 屈曲した堤体を有するため池における決壊要因の解析的検討, H26 年農業農村工学会全国大会講演要旨

集, 新潟, 2014 年 8 月 26 日, 720-721. 田所千尋, 小林範之, 常時微動を用いた溜池の水位変動による振動特性の評価, H26 年農業農村工学会全国大会講演要旨集, 新潟, 2014 年 8 月 26 日, 722-723.

小林範之, 防災教育のための簡易実験教材の開発, H26 年農業農村工学会全国大会講演要旨集, 新潟, 2014 年 8 月 26 日, 52-53. 泉智揮, 森貞陽介, 藤原正幸, Lapong R. Edward, 濱上邦彦, 小林範之, 垣原登志子, 広見川流域における代かき・田植えに起因する SS 負荷量の一推定, 平成 25 年度農業農村工学会応用水理研究部会講演会, 京都, 2013 年 12 月 9 日, 126-131.

小林範之, 岩見麻由, 個別要素法による底樋改修時の盛土に発生するアーチ作用の検討, 日本雨水資源化システム学会第 20 回研究発表会, 松江, 2013 年 11 月 2 日 19-20.

小林範之, 吉武美孝, 常時微動測定による漏水箇所の検討, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 東京, 2013 年 9 月 4 日 608-609.

小林範之, 農業基盤の保全と技術開発-貯水施設を事例にして-, 農業農村工学会材料施工部会シンポジウム, 東京, 2013 年 2 月 1 日, 46-54.

長谷顕士, 小林範之, 吉武美孝, 流体・弾塑性ハイブリッド粒子法を用いた越流水による表面侵食過程の解析, 日本雨水資源化システム学会第 20 回研究発表会, 沖縄県・座間味村, 2012 年 11 月 4 日, 37-38.

福多香寿美, 小林範之, 吉武美孝, モンテカルロフィルタを用いた 1 質点減衰系モデルにおける動特性の同定, 日本雨水資源化システム学会第 20 回研究発表会, 沖縄県・座間味村, 2012 年 11 月 4 日, 39-40.

小林範之, 吉武美孝, 滝本亮, ため池天端で計測した常時微動による卓越振動数の検討, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 札幌, 2012 年 9 月 18 日, 648-649.

〔図書〕(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 範之 (KOBAYASHI NORIYUKI)

愛媛大学・農学部・教授

研究者番号: 00314972

(2) 研究分担者

西山 竜朗 (NISHIYAMA TATSURO)

愛媛大学・農学部・准教授

研究者番号: 30294440