

常時微動スペクトルデータを用いた損傷ため池堤体の健全度評価

Health Assessment of Damaged Dam Body Using Microtremor Spectral Data

鈴木 哲也[†]
(SUZUKI Tetsuya)荻原 龍太郎^{††}
(OGIWARA Ryutaro)森 井 俊 広[†]
(MORII Toshihiro)河 合 隆 行^{†††}
(KAWAI Takayuki)

I. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、農業用ため池堤体の損傷が数多く確認された。震災後2年が経過した現在においても数多くの施設において補修・改修が続けられている。日本全国のため池総数は約21万カ所との報告¹⁾もあり、施設規模・数ともに膨大である。今後想定される大規模地震への戦略的保全管理を考慮した場合、東日本大震災において被災した施設の復旧過程について詳細な検討を加えることは、技術的課題を明確にするために有効であると考えられる。

筆者らは、東日本大震災で被災したため池施設について損傷状況の実態調査を行うとともに、損傷ため池堤体の物性評価を試みている^{2)~4)}。

本報では、東日本大震災により被災したため池施設の実態調査結果を概説した後に、被災した2カ所のため池堤体について常時微動計測による詳細調査を試みた結果を報告する。常時微動計測は、損傷時と改修後と比較し、スペクトルデータから復旧効果を定性評価することを試みた。検討結果を踏まえて老朽化が進行した農業用ため池堤体に対する戦略的保全管理への非破壊計測の有効性と課題を考察する。

II. 地震動によるため池堤体の被災特性

本研究では地震災害に伴い被災したため池堤体の常時微動計測を実施する前提として、東日本大震災で被災した群馬県および茨城県内の20カ所の既存施設の損傷状況を踏査した。

検討の結果、主な被災状況は、堤頂部における堤軸方向に発達したひび割れ損傷(写真-1)、法面の沈下・すべり(写真-2)および堤体部に施工された波返工などコンクリート二次製品の崩壊(写真-3)が確認された。同様の傾向は、宮本ら²⁾により行われた東日本大震災で被災した143カ所のため池施設の調査結果



写真-1 堤頂部において堤軸方向に発達したひび割れ



写真-2 法面の沈下およびすべり破壊



写真-3 A池上流部波返工の崩壊状況（東日本大震災後）

[†]新潟大学自然科学系（農学部）^{††}福井県^{†††}新潟大学災害・復興科学研究所

常時微動，ため池堤体，東日本大震災，損傷，非破壊検査

においても報告されている。これらの損傷は、堤体構造や築造年、使用材料の影響を受けて地震損傷が顕在化したものと推察される。

本調査では、調査施設の中で最も堤軸方向にひび割れ損傷が顕在化していた A 池および B 池の堤体部を対象に常時微動計測を実施した。

III. 常時微動を用いたひび割れ損傷堤体の復旧効果の定性評価

1. 計測施設

常時微動計測は被災直後の損傷時と改修後に行い、復旧効果の定性評価を試みた。復旧状況の概要を写真-4 に示す。

計測対象は、前述のとおり農業用ため池である A 池と B 池である。堤体構造は中心コア型アースダムである。A 池は 1933 年に築造され、堤高 19.7 m、総貯水量 128.3 万 t である。東日本大震災後、堤頂部において堤軸方向に進展したひび割れが顕在化した（写真-1, A 池）。B 池は 1950 年に築造され、堤高 18 m、総貯水量 128.3 万 t（A 池と同一）である。東日本大震災以後の損傷状況は、A 池と同様に、堤頂部においてひび割れ損傷が顕在化した。両池とも復旧に先立ち 3 次元比抵抗電気探査による被災状況調査が行われ、表層から約 2 m までの範囲で緩みが確認された²⁾。被災後の改修工事は、A 池、B 池ともに損傷部位の除去と再盛土が行われた。

2. 計測・解析方法

計測には 3 軸微振動検出器（昭和測機社製）を用いた。サンプリングレートは 100 Hz である。計測時間は 1 カ所当たり 11 min/回とし、明らかに環境ノイズの検出されていない計測時間を対象に解析を実施した。計測点は、堤頂部：5 点（No.1～5, 50 m 間隔）と堤体最下部：1 点（No.6）の計 6 点である。計測方位は xyz-3 方向である。計測軸は、堤軸方向：x、堤軸直角方向：y および堤体鉛直方向：z とした。ひび割れ損傷が顕在化していた計測点は、No.2～4 であり、No.1, 5（堤頂部）および No.6（堤体最下部）ではひび割れ損傷などの変状は確認されなかった。

評価パラメータは H/V スペクトル比^{5), 6)}を用いた。H/V スペクトル比は、同一計測点での水平方向の揺れと鉛直方向の揺れの比をとることで求められる。既往の研究により、これらのパラメータから振動特性である卓越周波数や地盤での揺れがどのように構造物に伝わるのかを表す伝達関数が求められることが明らかにされている^{5), 7)}。本研究では被災したため池堤体を対象に計測を行い、改修前後のパラメータの変化から復旧効果を評価した。



写真-4 計測施設の復旧状況

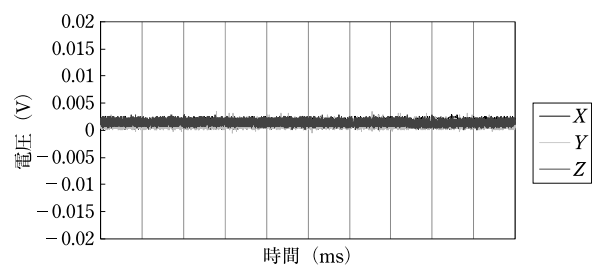


図-1 時刻歴データ（A池, No.1）

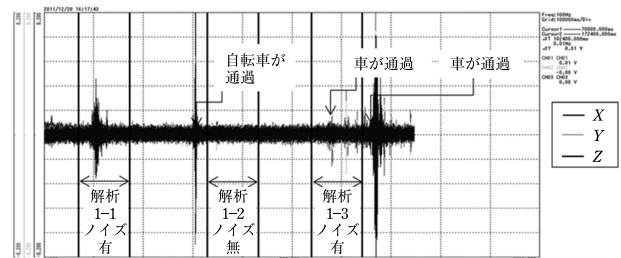


図-2 環境ノイズが頻発している時刻歴データ（B池, No.1）

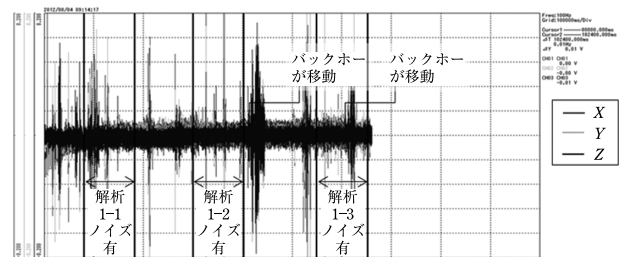


図-3 建設機械が駆動している場合の時刻歴データ（A池, No.1）

3. 結果および考察

計測した時刻歴データの一例を図-1～3 に示す。環境ノイズの確認されない計測条件では、図-1 に示す安定した時刻歴データが検出された。本計測における環境ノイズの主な原因は、自動車走行であると考えられ、自動車通過時の常時微動の乱れを図-2 に示す。

本検討では、1 計測に解析を 3 区間設定した。図-2 はその一例であり、3 区間（1-1～1-3）中に環境ノイズを内在するものとそれ以外とがあることがわかる。なお、本検討では、常時微動計測を主に夜間（午前 0～4 時）を中心に行った（図-1, 2）。堤体の復旧作業中に計測した場合、これらの時刻歴データとは異なり、建設機械などに起因するノイズが検出されるものと考えられる。本計測で検出した一例を図-3 に示す。

時刻歴データから H/V スペクトル比を算出し、被災後の復旧効果を定性的に評価した。各計測点では、同一地点で複数回（3～5 回）の計測を実施し、H/V スペクトル比のピーク周波数に関する平均値と標準偏差を算出した。検討結果を図-4 および図-5 に示す。その結果、A 池堤体、B 池堤体ともに標準偏差 2.5 よりも大きくかつ平均ピーク周波数が 5Hz よりも大きくなる範囲（図-4, 5：グレー部位）に損傷が顕在化した部位（No.2～4 改修前）での評価値が確認された。改修後の H/V スペクトル比が改修前と比較して標準偏差および平均ピーク周波数をともに低下させたことから、常時微動パラメータを用いることにより、復旧効果やその逆である被災度を定性評価することが可能になるものと考えられる。

このことから、農業用ため池堤体の地震動に対する戦略的保全管理へ常時微動計測を導入した場合、健全時（または復旧後）と被災時の評価値を比較検討することにより、復旧効果ないし被災度を検討できるものと考えられる。その際、3 次元比抵抗電気探査のように大規模かつ詳細な調査と常時微動計測のような簡便調査を適切に組み合わせることにより、管理者に必要な既存施設の物性値を効果的に得ることができるものと考えられる。

IV. 老朽化ため池施設での非破壊計測の有効性と課題

損傷を有するため池堤体の非破壊計測技術は、弾性波や電磁波を利用した検討が進められている。農業農村工学分野における既往の研究を概観すると、小林らは比抵抗電気探査を用いて老朽ため池の漏水領域の特定と改修効果を定量的に評価し、その有効性を確認している⁸⁾。この他に電磁レーダ法⁹⁾や弾性波法¹⁰⁾、常時微動⁵⁾などが適用され有効性と課題が明らかにされている。

農業用ため池の構造的特徴は、コンクリート水利施設と比較して、土質材料やコンクリート二次製品など、より多くの建設材料が構造設計に基づき用いられている点にある。コンクリート構造物へ非破壊検査を適用する場合、限られた範囲のコンクリートと鉄筋の

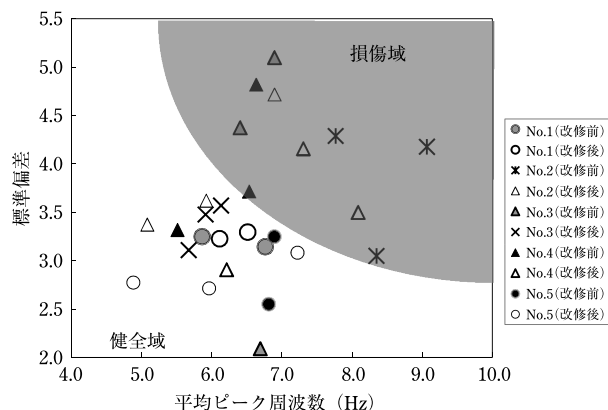


図-4 H/V スペクトル比 (A 池堤体, H : Y 方向)

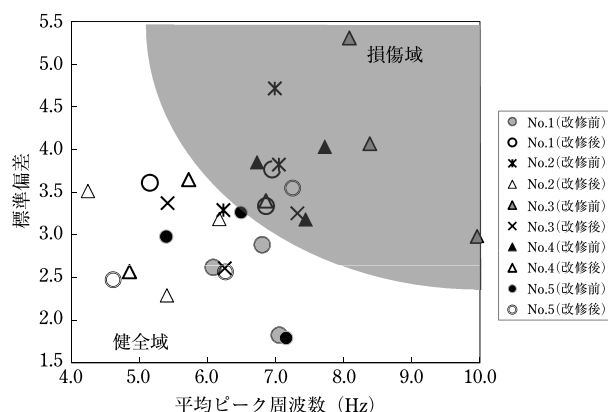


図-5 H/V スペクトル比 (B 池堤体, H : Y 方向)

物性値を考慮すればよいが、ため池堤体では材料物性の不均一性や施設規模を十分に考慮する必要がある。このような観点からも既往の研究において用いられている電気探査や弾性波法、振動計測は、ため池構造に対して有効な非破壊計測技術であると考えられる。本報は、その中でも常時微動計測をため池堤体に適用し、H/V スペクトル比を用いた復旧効果の定性評価から、その有効性を確認したものであると考えられる。同様の検討は、斎藤ら¹¹⁾により香川県の老朽ため池を対象に実施されており H/V スペクトル比の有効性が本報同様、確認されている。

V. まとめ

本報では、東日本大震災で被災したため池施設を対象に被災実態を概説した後に、被災施設の復旧過程において試みた常時微動計測結果を報告した。検討結果を以下に要約する。

- 1) 東日本大震災で被災した 20 カ所のため池施設を目視調査した結果、堤体上部にひび割れ損傷が顕在化していた。ひび割れ損傷以外には、法面の沈下やコンクリート二次製品で構築された付帯施設の崩壊が確認された。

- 2) 堤体上部のひび割れ損傷が顕在化した2施設について常時微動計測を実施した。H/V スペクトル比を算出した結果、被災直後と復旧工事後では評価値が相違し、復旧に伴うピーク周波数の標準偏差と平均値の低下を確認した。
- 3) 地震災害により被災したため池施設の被災や改修効果の定性評価には、本検討で用いた常時微動計測などの非破壊検査法が有効であるが、効率的かつ効果的な物性値評価には計測方法の特徴を踏まえた選定が必要である。

謝辞 本研究は新潟大学災害・復興科学研究所浸透制御研究グループ・事業経費による援助を受けた。現地計測では、(株)日本水工コンサルタント技術部・千代田 淳氏、本間辰之介氏の協力を得た。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

- 1) 村上直樹, 國塩正明, 西山佐喜雄, 岩下幸司: 中国四国地方におけるため池被災等の状況と減災・防災対策の展開方向, 材料と施工 51, pp.15~25 (2013)
- 2) 宮本健太郎, 佐藤智之, 千代田 淳, 加藤 強, 石橋正和, 鈴木哲也: 東日本大震災による被災ため池の緊急点検調査に基づく考察, 水と土 168, pp.28~33 (2013)
- 3) 鈴木哲也: 東日本大震災で被災したダム堤体の非破壊損傷度診断に関する研究, 新潟大学災害・復興科学研究所年報 1, pp.103~104 (2012)
- 4) 千代田 淳, 鈴木哲也, 本間辰之介: 突発型災害に起因する農業用ため池の被災とその特性評価, 平成 24 年度日本国際地域開発学会秋季大会講演要旨集, pp.35~36 (2012)
- 5) 小林範之: 農業基盤の保全と技術開発—貯水施設を事例として—, 材料と施工 51, pp.46~54 (2013)
- 6) 地盤工学会関西支部: 第 53 回実技セミナー「地盤・地震工学入門—振動から地盤を探る—」資料 (2011)
- 7) 物理探査学会: 物理探査ハンドブック 2, pp.200~203 (1998)
- 8) 小林範之, 吉武美孝, 松本伸介, 宇佐美幸大: 老朽化ため池における漏水領域の特定と比抵抗電気探査による改修効果の評価, 農業農村工学会論文集 252, pp.135~144 (2007)
- 9) 堀 俊和, 森 充広, 毛利栄征, 青山咸康: 地中レーダによるため池の漏水経路の調査手法, 農土論集 218, pp.115~125 (2002)
- 10) 小林 晃, 山本清仁: 弾性波を用いたため池堤体内の水分状況推定, 検査技術 4, pp.33~38 (2008)
- 11) 斎藤章彦, 山中 稔: 香川県におけるため池堤体の維持管理調査技術, 地盤工学会誌 60(5), pp.24~27 (2012)

[2013.5.30.受稿]

鈴木 哲也 (正会員)



1971年 東京都に生まれる
2011年 新潟大学農学部
現在に至る

略 歴

荻原 龍太郎



1991年 福井県に生まれる
2013年 福井県入庁
現在に至る

森井 俊広 (正会員)



1953年 滋賀県に生まれる
1997年 新潟大学農学部
2011年 新潟大学災害・復興科学研究所兼務
現在に至る

河合 隆行 (正会員)



1974年 埼玉県に生まれる
2012年 新潟大学災害・復興科学研究所
現在に至る