

常時微動・地震動の長期継続観測による高経年化したアーチダムの構造健全性モニタリング技術の適用ーダムの振動特性変動の検出：常時変動と地震時変動ー

日本大学理工学研究所 正会員 ○上島 照幸, 元宮城大学 非会員 千葉 奈央
電力中央研究所 正会員 金澤 健司, 日本大学 正会員 塩尻 弘雄

1. はじめに

国内のダムは建設後 50 年近く経過したものが増えてきており維持管理の重要性が高まっている。そのためダムの構造健全性を効率的に評価できる手法が望まれている。振動計測を利用した構造健全性評価手法は構造物に損傷が生じる前後における振動特性の変化を利用する手法である。著者らはこれまでダムの構造健全性評価手法を開発するための基礎資料を得ることを目的として、実在アーチダムにて常時微動の高密度観測¹⁾、微動・地震動の長期継続観測²⁾を実施し、観測記録から推定された振動特性を検討し、またその経時変動・地震時変動を検討してきた。ここではその後の研究の進展を含めて報告する。

2. 観測対象ダムと観測・解析概要

観測対象ダム¹⁾²⁾ (宮城県仙台市青葉区大倉に位置する築後 50 年余を経たダム (仙台環境開発大倉ダム)) の平面図と常設観測点位置を図-1 に示す。3 点の常設観測点はいずれも天端上に設置されている。長期継続観測における観測量は地震動から常時微動レベルまでのそれぞれ水平 2 方向の加速度と上下方向加速度である。温度計は上流が第 4 チャネルまで、下流が第 3 チャネルまであり上・下流の第 1, 2 チャネルは堤体温度を、それ以外は気温を測っている。微動解析にあたっては、全観測記録を重複しないように 5 分ごとの小サンプルデータに分割した後、各小サンプルデータに対して ARMA モデルによる振動モード同定法を適用して対象構造物の振動特性を同定した。

3. 微動時卓越振動数の経時変動と堤体温度との相関

本研究における微動・地震動の長期継続観測は 2010 年 6 月に開始し、2013 年 12 月まで実施された。図-2 には mode-1 に相当する卓越振動数(青)の 3 年半に亘る経時変動を堤体温度 (緑) とともに示しており、図-3 は同様に、mode-2 に相当する卓越振動数(茶)の 3 年半に亘る経時変動を堤体温度 (緑) とともに示している。長期間に亘る卓越振動数の経時変動の表示にあたっては、日変動を除去するため、5 分ごとに得られている卓越振動数を(また 1 時間毎に得られている堤体温度をそれぞれ) 1 日平均して表示している。常時微動の長期継続観測から得られた卓越振動数の経時変動や堤体温度との相関について以下の事項が判明した；1) 卓越振動数は堤体温度との相関性が高く、

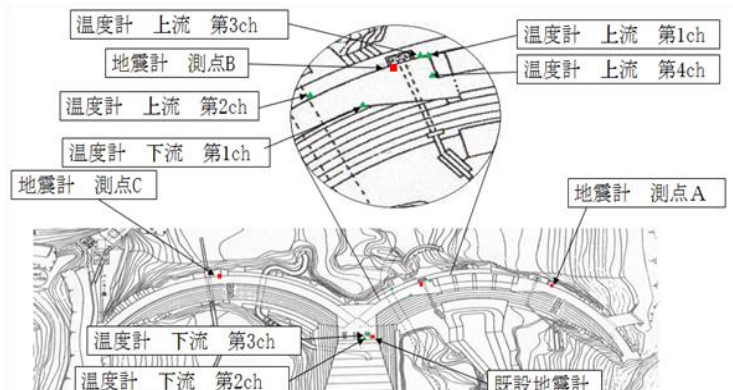


図-1 観測対象ダム平面図と常設観測点位置図

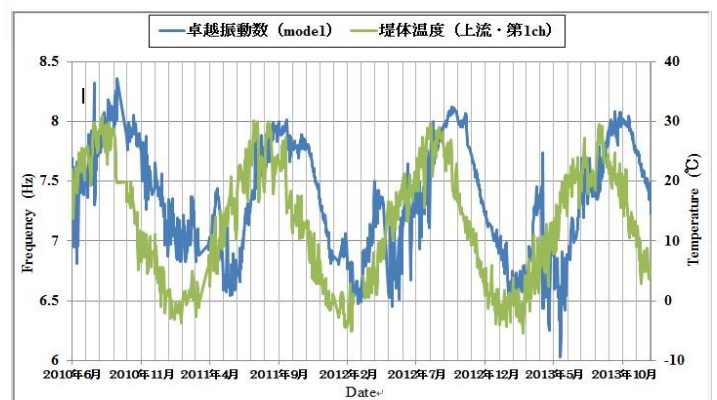


図-2 ダム卓越振動数と堤体温度の経時変動(mode-1)

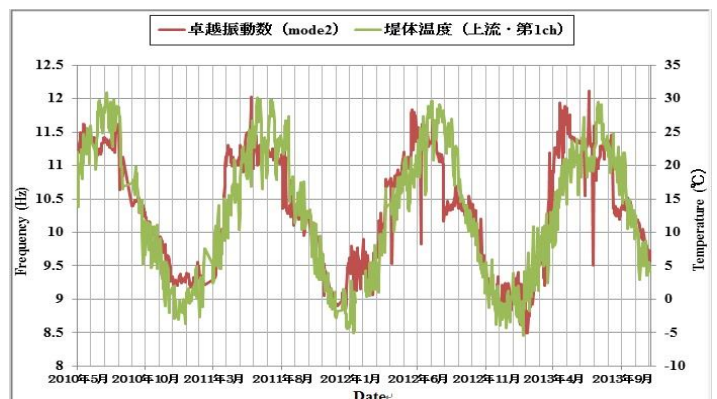


図-3 ダム卓越振動数と堤体温度の経時変動(mode-2)

mode-1,2とも、夏期に高く冬期に低くなる周期性がある。夏期と冬期での変動幅は2~2.5Hzにも及ぶ。後述のとおり卓越振動数の地震時変動幅が東北地方太平洋沖地震本震時で約1Hz程度であった²⁾ことを考えると、微動の長期継続観測から得た夏期と冬期での卓越振動数の変動幅は相当に大きいものであることが分かる。卓越振動数の経時変動のこうした特徴はダムの堤体温度の低下に伴いダムが収縮することでアーチ効果が失われ、堤体コンクリートの圧縮応力が減少し、ヤング係数の低下により、卓越振動数の低下が引き起こされるものと推察される。

4. 東北地方太平洋沖地震時・当該ダムの振動挙動

東北地方太平洋沖地震本震(M:9.0, 震源:三陸沖, 最大震度:7)時, 当該ダム(震央距離:約189km)の天端に設置された長期継続観測点(図-1)では, 図-4に示されるような加速度時刻歴波形記録が収録された。同図中には測点-A, -B, それぞれの上下方向成分(UD), ダム軸直交方向成分(NS), ダム軸接線方向成分(EW), 計6成分の加速度時刻歴波形記録が同スケール(gal/plot mm)で表示されている。本震前後における微動記録も収録されており, それらを併せ加速度スペクトル解析(図-5)を実施して以下の諸点が明らかとなった; 1)収録された東北地方太平洋沖地震の加速度記録では地震動継続時間は3分程にも及ぶものであった。測点-A, -Bとも, 3成分の中ではダム軸直交方向成分の加速度振幅が大きく, 記録された最大加速度は測点-B(NS)において約630galに及んだ。2)本震およびその前後での微動のスペクトル解析によれば; a)本震時には微動時に比し

て卓越振動数が著しく低下していたことが明らかとなった。b)微動記録における本震前後での卓越振動数の変化は極めて微小で, 常時変動の範囲内にあると判断される。本震時卓越振動数の著しい低下を考慮に入れば, 本震後微動における卓越振動数は, 本震前微動における卓越振動数に概ね復したものと見ることができよう。

5. まとめ 以上から 1)常時微動による卓越振動数のモニタリングによってアーチダムの構造健全性が評価できること, 2)東北地方太平洋沖地震, およびその後の数々の大規模余震後においても観測対象ダムの構造健全性が維持されていたことを卓越振動数という数値によって客観的に提示できたこと, 3)卓越振動数が変化していないことは構造健全性の維持確認に加えて地震荷重が不変である確認にもなっており, 地震後における耐震性検討が不要であることを示していること, など, 重要な諸点が明らかにされた意義は大きいものとする。

謝辞 本振動観測の実施にあたっては, (社)東北建設協会・技術開発支援制度より支援を受けていること, 宮城県仙台地方ダム総合事務所からはフィールドの提供を受けていること, また研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究C(課題番号:23560576)によっていることを付記し, 謝意を表する次第である。

参考文献 1) 仲村成貴・塩尻弘雄・上島照幸・有賀義明・大湊周作:“常時微動観測と三次元有限要素解析に基づく実在アーチダムの振動特性把握”, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.69, No.4(地震工学論文集第32巻), I_742-I_749, 2013 2) 上島照幸・金澤健司・村上弘太・仲村成貴・塩尻弘雄・有賀義明:常時微動・地震動の長期継続観測による高経年化したアーチダムの振動特性同定と2011年東北地方太平洋沖地震時のダムの振動挙動, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.68, No.4(地震工学論文集第31-b巻), I_186-I_194, 201

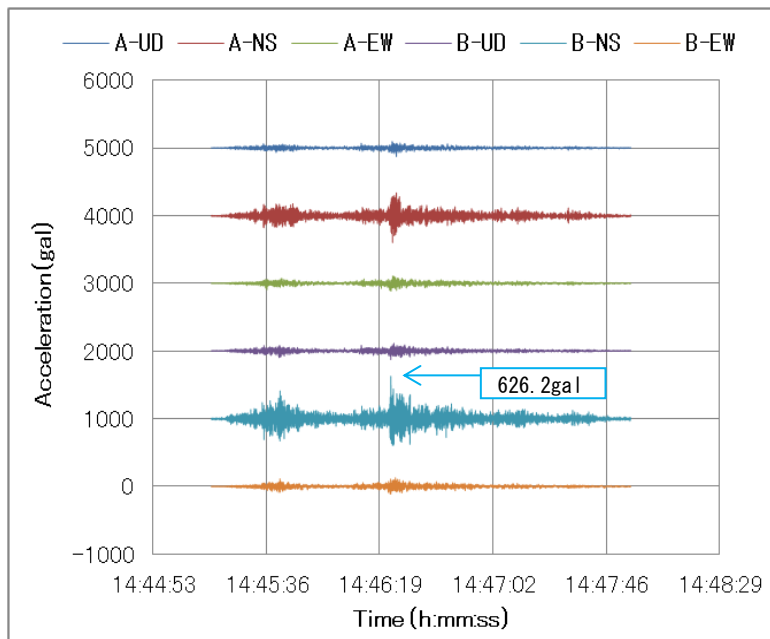


図-4 2011年東北地方太平洋沖地震時に当該ダム天端で観測された加速度時刻歴波形記録: 上段より, 測点-A(UD), -A(NS), -A(EW), -B(UD), -B(NS), -B(EW) (注) 観測に使用しているPCに時刻のズレがあり表示時刻はそれに伴う誤差を含む。

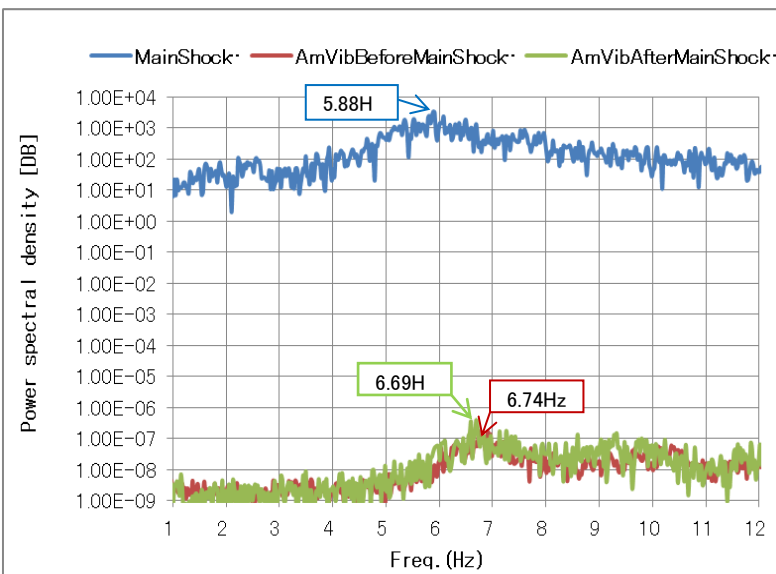


図-5 東北地方太平洋沖地震・本震時, 及びその前後での微動のダム天端での加速度記録のスペクトル: 測点-B(NS)