

常時微動計測データに基づく既設アーチダムの動的特性

九州電力(株) 正会員 ○大熊信之 畑元浩樹
(財)電力中央研究所 非会員 金澤健司

1. はじめに

既設アーチダムの耐震安全性評価を目的として、現在のダム動的特性を把握するため常時微動計測を実施している。この計測結果は、地震応答解析に用いるダム-基礎岩盤-貯水連成系の三次元 FEM モデルのキャリブレーションに用いるとともに、構造ヘルスマニタリングを行うための基礎データとして利用する。本稿は、ある大規模アーチダムで実施した 2 種類の常時微動計測概要、および計測結果から明らかとなった動的特性の周期的変化について述べるとともに、建設当時に実施された起振実験結果との比較結果について述べる。

2. 計測方法

図-1 に下流側からみた 2 種類の常時微動測定点を示し、以下に計測概要を各々記す。

(1) 高密度振動計測 (高密度計測)

高密度計測は、現在のダム全体のモード形状を把握することを目的として、2007 年 2 月に実施した。ダム背面に 97 点の測点を設け、8 台のポータブル加速度計を移動させながら計 20 回の計測を行った。各々の計測点での計測時間は 10 分とし、(2)の計測で得られたデータを固定点として用いることにより、これら 20 個のデータを合成して、ダム全体のモード形状を得た。

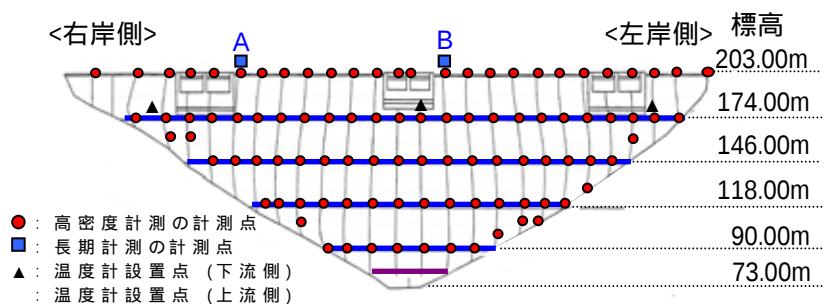


図-1 2種類の常時微動計測における計測点

(2) 長期常時微動継続計測 (長期計測)

長期計測は、固有振動数の周期的変化 (ダム水位や気温の変化に伴う季節変化) を評価するために、2006 年 8 月から計測を開始し、現在も計測中である。この計測では、ゼロ変位となる節を避けることと、2 計測点間の応答についてのクロススペクトルを取ることを目的として、2 台の三成分加速度センサをダム頂部右岸側 (セサA) と中央 (セサB) に設置した。サンプリング周期は 200Hz とし、計測データは 1 時間毎に自動的に保存される。同時に、6 つの温度計をダムの上流側と下流側にそれぞれ設置している。

3. 計測結果

(1) 高密度計測結果 (振動モードの同定結果)

高密度計測データについて、クロススペクトルに基づく同定法¹⁾を適用した結果、低次 3 次のモード形状を同定することができた。図-2 には、紙面の都合上、同定された 3 つのモード形状のうち、3 次固有振動数 (Mode3) のみを示す。これらのモード形状は、44 年前に実施された起振実験で得られたモード形状と一致した²⁾。このことは、現在のダムの振動モードが 44 年間変化していないということと、常時微動計測は起振実験と同等の評価が可能であることを示している。

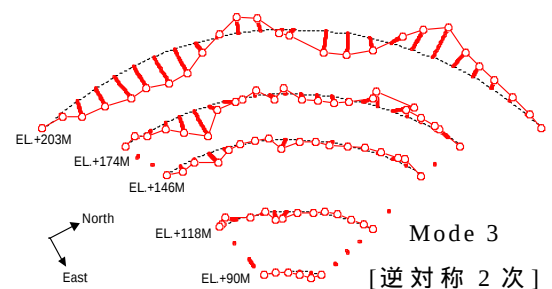


図-2 同定した3次固有振動数のモード形状

(2) 長期計測結果 (固有振動数の周期的変化)

図-3 に、計測を開始した 2006 年 8 月から 2007 年 11 月までのデータから同定した低次 3 次の固有振動数の経時データを、ダム水位、ダム表面温度と併せて示す。このうち、固有振動数は毎 5 分の同定結果をプロットした。図-3(a)、(c)より、固有振動数とダム水位の変化を比べると、明らかに強い相関関係が見られる。例えば、2007 年 7-9 月の期間に着目すると、ダム水位の上昇とともに固有振動数は減少し、水位の下降とともに増加する。

キーワード アーチダム, 常時微動, 振動モード, 固有振動数, システム同定

連絡先 〒815-8520 福岡市南区塩原2-1-47 九州電力(株) 総合研究所 土木グループ

また図-3 (b), (c)からは読み取り難いが,固有振動数は温度との相関も認められ,これらダム水位・温度と固有振動数の関係は次節に述べる。

4. ダム水位・温度と固有振動数の関係

図-4 に 3 次固有振動数 (Mode-3) のみとダム水位の関係を示す。同図によると,ダム水位が低水位から EL.182m 付近まで上昇するにつれ,固有振動数は

は水位の上昇とともに微増する (図中矢印 A)。この現象は,水位上昇に伴い増加する静水圧により,施工縦ジョイント部分が収縮しダムの剛性が増加した結果であると考えられる。水位がそれ以上に達した後は,貯水の質量付加作用が優位となり,水位の上昇とともに固有振動数は減少する (図中矢印 B)。この水位変化に伴う固有振動数の特性は,他の国内外のアーチダムでの起振実験や常時微動計測結果でも報告されている³⁾⁴⁾。なお,同図には上記考察に基づく固有振動数の変化に該当しないプロット群が存在する (図中矢印 C) が,このプロット群は寒冷期のデータであり,この挙動は気温の影響と思われる。そこでダム水位があまり変化していない 12-3 月 (図-4 の青破線枠内) に着目し,その期間の 3 次固有振動数とダム表面温度の関係を示したのが図-5 である。同図によれば,寒冷期には温度と固有振動数の関係は概ね比例関係あり,この現象は外気温の低下に伴う堤体コンクリートブロック内部の温度応力 (圧縮応力の低下) により堤体コンクリートが収縮することで施工縦ジョイント部分が剥離を生じ,剛性が低下するためと考えられる。

また,図-4 には 44 年前に実施された起振実験で得られた 3 次固有振動数もプロットしている。この起振実験は,満水位 (EL.200m) 時に実施されており,現時点までの長期計測では満水位での固有振動数が得られていないが,同図によれば,過去の起振実験から得られた固有振動数のプロットは,長期計測で得られた固有振動数の回帰線上 (図-4 の赤破線) にある。よって,間接的な比較であるが,現在の固有振動数の値は,44 年前と変わらないといえる。

5. おわりに

高密度計測と長期計測という 2 種類の常時微動計測に基づいて,既設アーチダムのモード形状と,固有振動数の周期的変化およびその影響因子が明らかとなった。また,過去の起振実験結果との比較から,動的特性は 44 年間変化していないことが確認できた。これらの結果は,地震応答解析モデルの妥当性検証と,構造ヘルスマモニタリングの開発に利用する予定である。

【参考文献】

- 1) 金澤健司. 常時微動計測に基づく構造物の損傷探査法(その3) (電力中央研究所報告2002 U01046)
- 2) 高橋忠; 堤一; 増子芳夫ほか. 一ツ瀬アーチダムの振動実験結果について (電力中央研究所報告1966, No.66017)
- 3) 豊田幸宏; 松尾豊史; 西内達雄ほか. 現場振動計測に基づく既設アーチダムの動的応答特性に関する検討 (電力中央研究所報告1997, U97031)
- 4) Jean Proulx; Patric Paultre; Julien Rheault; et al. An experimental investigation of water level effects on the dynamic behavior of a large arch dam (Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2001,30,1147-1166)

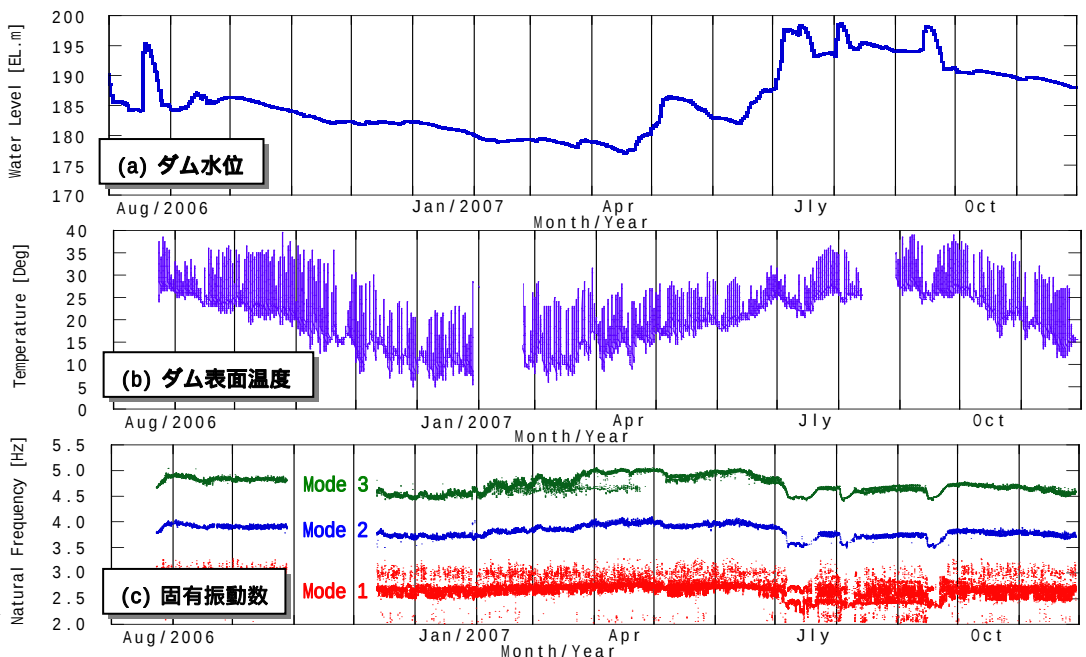


図-3 ダム水位, ダム表面温度, 固有振動数の時刻歴 [2006.8-2007.11]

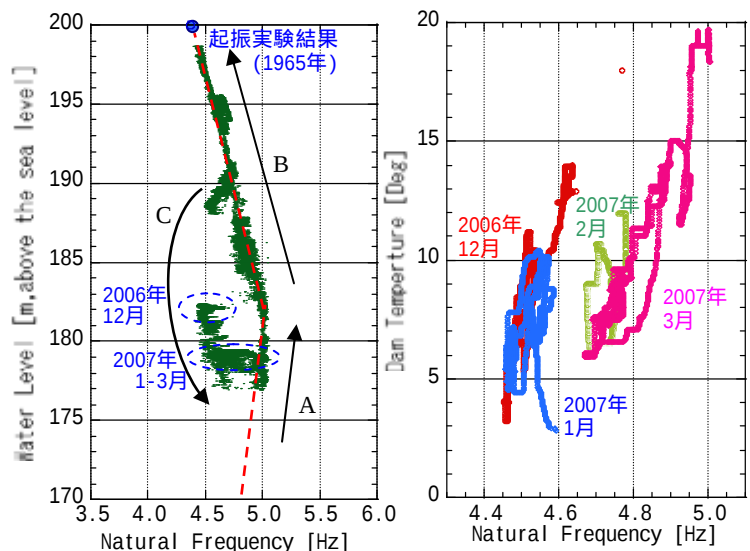


図-4 固有振動数の水位変化

図-5 固有振動数の温度変化