

I-B 89 アーチダムの地震観測記録などから求めた固有振動数について

中部電力 電力技術研究所 正会員 ○上田 稔 佐藤正俊 近藤寛通
中電工事 技術コンサルタント部 正会員 恒川和久
日本大学 理工学部 土木工学科 正会員 塩尻弘雄

1. まえがき

アーチダムの固有振動数を地震観測記録などから求め、貯水位との関係を示す。次に固有振動数に及ぼす貯水位やダム、岩盤の剛性の影響について、ダム—岩盤—貯水の三次元連成モデルにより、解析的に検討する。これにより、アーチダムの地震時挙動に関わる若干の考察を行うものである。対象とするアーチダムは、Iダム（ダム高107.5m、堤頂長341.5m）とJダム（ダム高130m、堤頂長275m）である。

2. ダムの固有振動数の算出

（1）地震観測記録による方法 ダム天端（図-1の地震計A）と岩盤内（地震計B）の地震観測記録のスペクトル比より、1次の固有振動数を求めた。ダムの固有振動数による振動が卓越している主要動終了後の記録を用いた（図-2参照）。いずれも、最大加速度が数10gal程度以下の弱震である。

（2）常時微動計測記録による方法 ダム最底部の監査廊内（図-1のC）の記録を基準としたダム天端（図-1のD）の伝達関数を算出して求めた。

（3）起振実験による方法 ダム天端起振位置（図-1のE）の変位の共振曲線より固有振動数を求めた。起振実験の貯水位は、H.W.L.、L.W.L.（H.W.L.から26.5m下がり）、H.W.L.から70m下がりの3ケースである。

3. 貯水位とダムの固有振動数の関係

各種方法により求めたダムの固有振動数と貯水位の関係を図-3（Iダム）、図-4（Jダム）に示す。Iダムでは3つの方法により求めた値は、ほぼ一致している。Jダムは地震観測記録による値のみである。I、J両ダムとも貯水位が高い範囲では、貯水位が高い程固有振動数は低周波側にある。

4. 貯水位が低い場合の固有振動数とダムの弾性係数

図-3、4には、ダム—岩盤—貯水の三次元連成解析モデル（図-5に示す）により求めた固有振動数と貯水位の関係を示す。I、J両ダムとも高い貯水位では、実測値と解析値はほぼ一致している。しかし、貯水位が低い範囲では実測値が低周波側にある。さらにIダムでは、貯水位が-30m程度より低い場合の固有振動数は、それより高い貯水位であるL.W.L.（-26.5m）時に比べ、低周波側にある。同様にJダムでは貯水位が-30m程度以下になると、固有振動数が低周波側に变化している。以下にこれらの理由について考察する。

図-6は、Iダムの起振実験（貯水位がH.W.L.から70m下がり）での起振点の変位の共振曲線のシミュレーション結果である。ダムの弾性係数として、図-3に示した解析による固有振動数と貯水位の関係を求めた時の値（貯水位がH.W.L.時やL.W.L.時の起振実験シミュレーションに良好な結果を得た値でもある）を用いた結果を、点線で示す。実測値に比べ固有振動数は0.2Hz程高周波側で、ピークの応答値は2割程度も小さい。そこで岩盤の物性はそのまま、実測の固有振動数がとらえられるダムの弾性係数を見い出したところ、貯水位がH.W.L.時やL.W.L.時に用いた値に対し15%程度小さめであった。そしてその時、実測と解析は応答値もほぼ一致し、良好なシミュレーション結果が得られた（図-6の実線）。もし固有振動数が低周波側になっているのが、ダムの剛性によるものでないならば、実測と解析の固有振動数が一致しても、応答は異なった値となるはずである。Jダムに対しても、貯水位がH.W.L. -35mの場合に、実測の固有振動数がとらえられるダムの弾性係数を見い出したところ（図-7にダムの弾性係数と固有振動数の関係を示す）、貯水位が高い場合に用いた値（図-7の×印）に対し20%程度小さめ（図-7の■印）であった。

ダムは左右岸方向にブロックに分割（Iダムは22ブロック、Jダムは19ブロック）して、コンクリートが打設されている。ブロック間にはジョイントキーが設けられるとともに、セメントミルクによるジョイントグラウチングが実施されている。このグラウト材の弾性係数は、ダムコンクリートの1/4程度である。以上から推察するに、貯水位が上昇して水平アーチ方向の軸圧縮力が発生し、ジョイント部が圧縮されると、ダムの剛性はジョイントがなく、コンクリートが一体となっている場合に近いものとなる。だが貯水位が低いと水平アーチ方向の軸圧縮力が小さく、ダムの剛性はジョイント部の影響を受け、低下した値になるためと考えられる。よって解析で与えたダムの弾性係数は（解析ではジョイント部のモデル化は行っていない）、ジョイント部の影響も含んだダム全体の平均剛性を与えていると判断される。

5. 比較的強振時のダムの固有振動数

Jダムでは、ダムの最大加速度が150～200gal程度の記録が3波得られている。この最大加速度発生時を含む強振部の記録（図-2参照）を用いて固有振動数を求めた結果を、図-4に○印で示す。弱振部の記録から求めた固有振動数より低周波側にあることがわかる。ダムの固有振動数は、貯水位を一定とした場合、ダムと岩盤の弾性係数によって決定される。岩盤の弾性係数が固有振動数に及ぼす影響を調べた結果も図-7に示す。貯水位はH.W.L. -35mの場合で、ダムの弾性係数は、弱振部の記録（図-2参照）から求めた固有振動数がとらえられた値である（図-7の■印）。図-4に○印で示すとおり、比較的強振時のダムの固有振動数が弱振時にくらべ0.1Hz程度低周波側にあるのが、岩盤によるものとする、その弾性係数は弱震時に比べ50%程度も（図-7の□印と○印）小さくならなければならないことになる。このことと弱震時にもジョイントの影響でダムの固有振動数が低周波側にあることを考えると、強振時にさらにダムの固有振動数が0.1Hz程度低周波側にあるのは、ダムのジョイントによる剛性低下の影響が大きいと言える。

6. まとめ

2つのアーチダムを対象に、地震観測記録などから求めた固有振動数に検討を加え、貯水位が低い場合や強振時に、アーチダムはジョイントの影響を受けていることを示した。

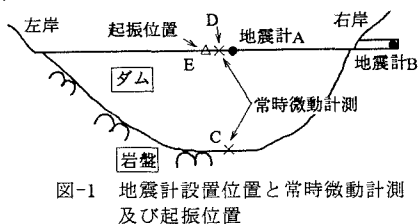


図-1 地震計設置位置と常時微動計測及び起振位置

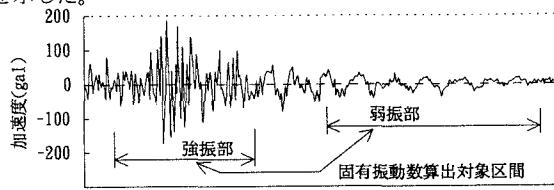


図-2 固有振動数算出対象区間の例

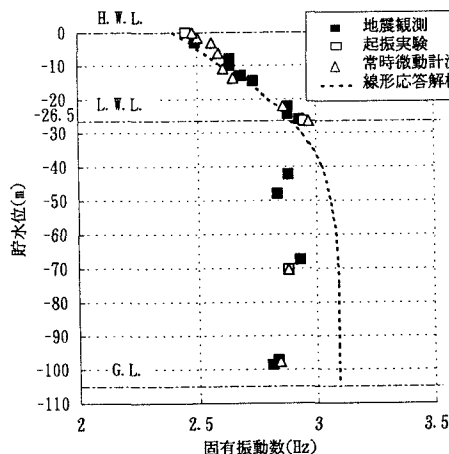


図-3 ダムの固有振動数と貯水位の関係 (Iダム)

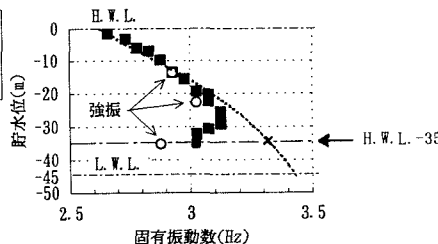


図-4 ダムの固有振動数と貯水位関係 (Jダム)

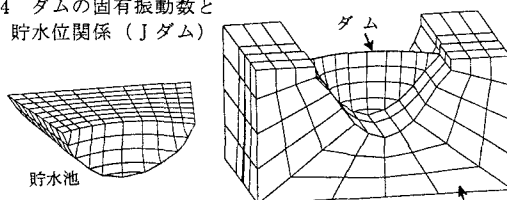


図-5 ダム-岩盤-貯水
三次元連成解析モデル (Jダム)

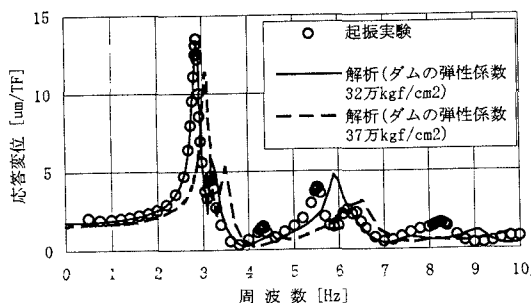


図-6 起振点の変位の共振曲線のシミュレーション結果 (Iダム, 貯水位 H.W.L. -70m)

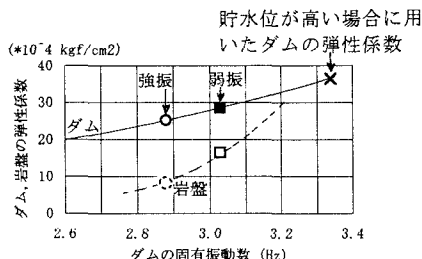


図-7 ダムと岩盤の弾性係数と固有振動数の関係 (Jダム, 貯水位 H.W.L. -35m)