

実アーチダムの動的応答解析におけるモデル化手法に関する検討

電力中央研究所 正会員 豊田幸宏 中部電力 上田 稔
株式会社シーテック 正会員 恒川和久 日本大学 塩尻弘雄

1. はじめに

強震時におけるアーチダムの動特性を正確に把握し、合理的な設計に資するためには、施工縦ジョイント部における離接、滑動等の非線形挙動を考慮した地震応答解析技術を確立することが重要である。これまでに著者らは、堤体を連続体とした線形解析モデルを用い、適切なメッシュサイズや物性値の設定方法等について明らかにしてきた¹⁾。一方、既存アーチダムの起振実験等から得られた実測値に検討を加え、弱震であっても貯水位が低い場合等に、ダムの固有振動数がジョイント部の影響を受けている可能性のあることを指摘した²⁾。

本報では、堤体ジョイント部の非線形性を考慮した時刻歴応答解析を新たに実施し、起振実験等より得られた貯水位と固有振動数の関係と比較することにより、解析モデル化手法の妥当性について検証する。

2. 解析概要

2.1 解析対象 対象としたダムは、図1に示すⅠアーチダム（ダム高 107.5m、堤頂長 341.2m、堤体積 40 万 m³）とした。同ダムでは、一連の起振実験等が、湛水開始から満水（HWL）に至るまでの間に適時実施され、貯水位とダムの固有振動数の関係が得られている。

2.2 解析プログラム概要 本解析プログラムは、有限要素法に基づく 3 次元岩盤－堤体－貯水連成地震応答解析プログラムである。3 次元ジョイント要素は、実ダムの施工ジョイントキー部の接触面を考慮し（図2）、5 方向の接触面に対して離接特性と摩擦滑り特性を非線形ばねで表現するものである。

2.3 解析モデル 解析モデル（解析モデル1）を図3に、物性値を表1に示す。本解析では、貯水位が HWL-70m 等の 4 ケースを対象とした。ジョイント要素は、図3に示す太線で記した部分のダムブロック間に挿入された。ジョイント要素のばね剛性については、建設時にダムブロック間に充填されるグラウト材の弾性係数がダムコンクリートの 1/5 程度であることと、グラウト材充填部分のダム軸方向厚さが 5mm 程度であることを考慮して定めた。本解析モデルの他、堤体を連続体としてモデル化したもの（解析モデル2）も作成した。

2.4 解析方法 解析にあたっては、実験と同様に、正弦波を起振点位置に節点荷重として入力し、起振点位置における応答値が定常になるまで時刻歴応答解析を実施することにより、定常振幅値と入力正弦波の周波数の関係（変位応答曲線）を得た。なお、これらの動的解析では、予め静的解析を実施し、貯水の静水圧により発生するダム堤体の初期変形を考慮したものとなっている。

3. 解析結果

図4に、HWL-70m の場合における起振点位置での共振曲線実測値と解析値を併せてプロットしたものを示す。同図によれば、解析値は、共振点ならびに応答振幅値ともに実測値とほぼ同様であることがわかる。図5に今回の解析結果とⅠダムにて実施された一連の起振実験や地震観測記録等から得られた実測値ならびに解析モデル1による解析値を、固有振動数と貯水位の関係で整理したものを示す。同図によれば、貯水位が高い（HWL 付近）場合には、実測値と解析モデル1ならびにモデル2はいずれもほぼ一致しているが、貯水位が LWL（HWL-26.5m）以下になると、解析モデル2（線形モデル）による解析値は、実測値より明らかに高い。HWL-70m の場合に注目すると、今回の解析より得られた固有振動数は、解析モデル2の解析値に比べ実測値に近いことがわかる。図6に1次共振点振動数近傍におけるジョイント部のアーチ水平方向相対変位時刻歴を示す。これより、解析モデル1がより実測値に近い値となったのは、堤体に発生している水平アーチ方向の圧縮力が水位低下に伴い減少することにより、堤体コンクリート部に比べて低い剛性を有するジョイント部に離接挙動が生じ、その結果、堤体全体の等価な剛性が低下したためと考えられる。

キーワード：アーチダム、施工縦ジョイント、ダム堤体－岩盤－貯水系連成解析、有限要素法

連絡先：千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 0471-82-1181 FAX 0471-83-2962

4. まとめ

アーチダム堤体の施工縦ジョイント部の非線形挙動を考慮した解析モデルにより、I ダムの貯水と固有振動数の実測の傾向をほぼシミュレートすることができた。今回の解析モデルは、ダムの固有振動数に関して、ジョイント部を無視した線形モデルに比べ実測値に近づく傾向にあることがわかり、ダムの固有振動数がジョイント部の挙動の影響により、低周波側にシフトすることを数値解析的に示した。

参考文献 1) 上田ら、アーチダムの起振実験シミュレーション、土木学会論文集 No. 501/I-29, 1994. 10 2) 豊田ら、実測データに基づくアーチダム-岩盤-貯水系の3次元時刻歴応答解析法の適用性検討、第10回日本地震工学シンポジウム、1998. 11

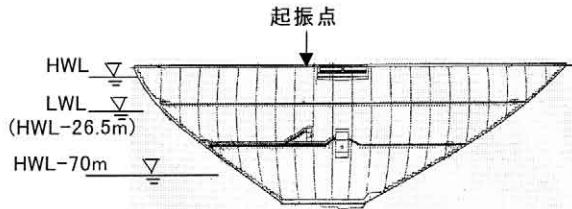


図1 I アーチダム下流面展開図と貯水位

表1 解析に使用した物性値

	波動伝播速度 (m/sec)	動弾性係数 (kgf/cm ²)	動ポアソン比	単位体積重量 (t/m ³)	減衰定数 (%)
ダム	2,460	380,000	0.20	2.5	1.0
岩盤	1,700	184,000	0.25	2.5	1.0
貯水池	水中音速		1,400		
	インピーダンス比		5.3(地山), 1.0(貯水)		

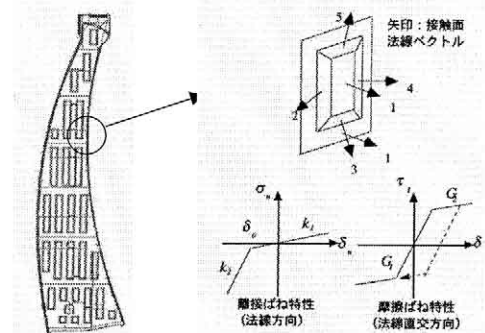


図2 ジョイント部の非線形ばね特性

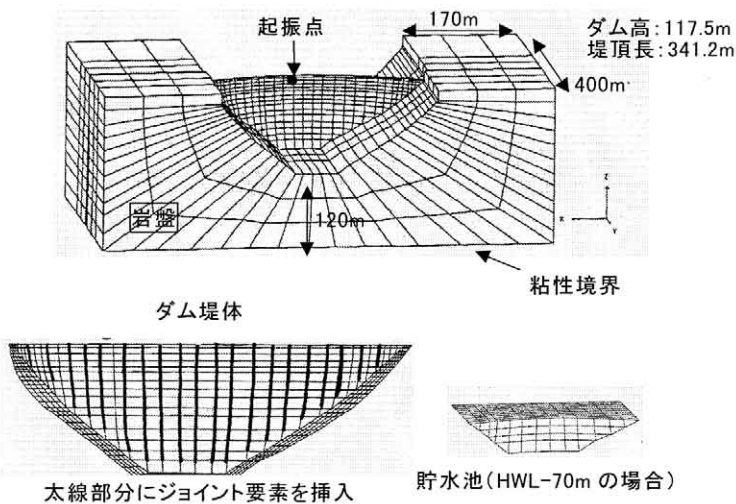


図3 解析モデルメッシュ

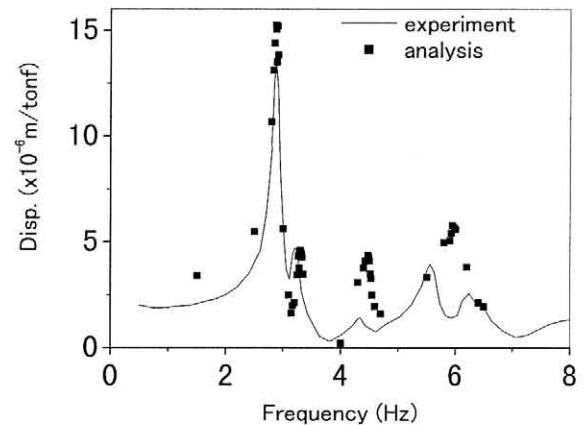


図4 上下流方向変位の変位応答曲線実測値と解析値の比較(起振点位置の例)

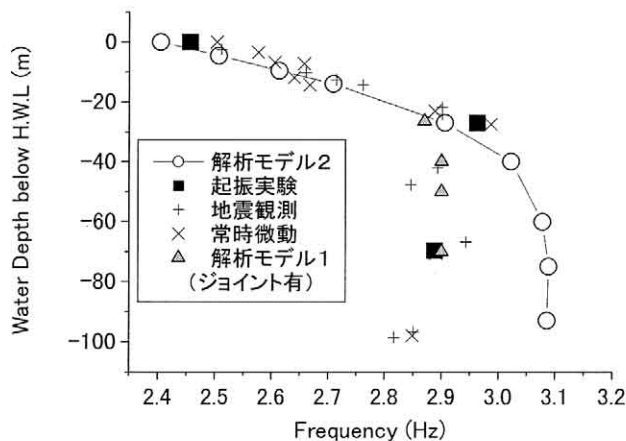


図5 ダムの固有振動数と貯水位の関係

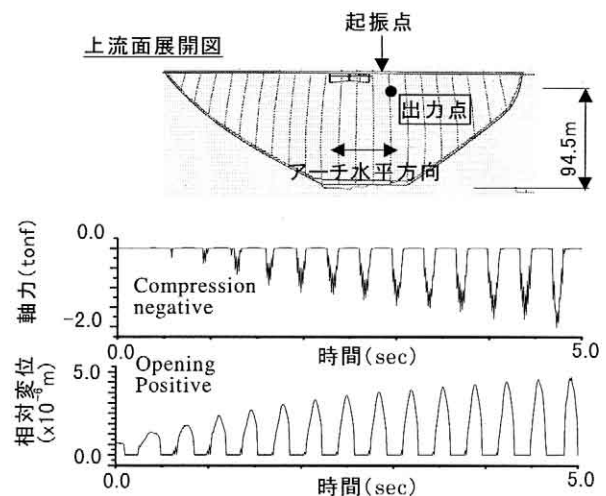


図6 ジョイント部におけるアーチ水平方向軸力および相対変位時刻歴応答波形の例(振動数 2.89Hz 正弦波入力の場合)