

I-B 88

3次元有限要素解析コードによるアーチダムの起振実験過渡応答シミュレーション

電力中央研究所	正会員	豊田幸宏
中部電力	正会員	上田 稔・近藤寛通
中電工事	正会員	恒川和久
日本大学	正会員	塩尻弘雄

1. はじめに

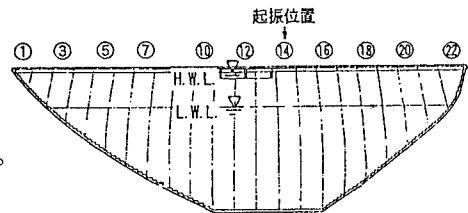
強震下におけるアーチダムの動的挙動を把握し、地震時安全性を合理的に評価するためには、施工ジョイント部における離接、滑動等の非線形性を考慮した地震応答解析技術確立することが重要である。著者らは、これまでに有限要素法に基づく3次元岩盤一堤体一貯水連成地震応答解析コード(以下THEADHIと記す。)を用い、実ダムの起振実験や弱地震応答のシミュレーション解析を実施し、解析モデル化法や物性値の設定方法について明らかにしてきた¹⁾²⁾。しかしながら、THEADHIでは、施工ジョイント部の非線形性を3次元解析モデルに取り入れることができず、ダム堤体を完全な連続体とした線形解析のみに使用が限定されていた。このため、著者らは、施工ジョイント部の非線形性を考慮できる新たな解析コードを開発した。

本報では、施工ジョイント部の非線形性を考慮した解析を実施するに先立ち、新たに開発した解析コードの時刻歴応答解析機能に関する検証の1つとして、別途実施した起振実験から得られた過渡応答データとの比較を行い、解析法の適用性について述べる。

2. 解析コードの概要

新たに開発した解析コードは、THEADHIが有する解析機能・要素ライブラリの他、アーチダム施工ジョイント部の非線形性を適切にモデル化できるジョイント要素、さらには、地震入力におけるダムアバット沿いでの位相差を考慮できる、いわゆる多入力系の応答解析機能を有する、3次元有限要素解析コードである。主たる特徴をまとめて記すと以下のとおりとなる。

- ・貯水・岩盤との相互作用を考慮できる。
- ・岩盤部粘性境界を考慮できる。
- ・貯水部の圧縮性、または非圧縮性を考慮できる。
- ・貯水部の自由表面を考慮できる。
- ・貯水部のインピーダンス境界を考慮できる。
- ・ダムのアバット沿いでの入力地震動の分布を考慮できる。
- ・施工ジョイント部の離接特性、摩擦滑り特性を考慮できる。
- ・非線形時刻歴応答解析が行える。
- ・振動固有値解析が行える。
- ・線形周波数応答解析が行える。



図—1 ダム上流面と起振位置

3. 起振実験の概要

3.1 対象とするダム

対象は、中部電力(株)所有の川浦アーチダムで、ダム高107.5m、堤頂長341.2m、堤体積40万m³である。ダムサイトの地質には、中生代白亜紀の流紋岩を主とし一部ひん岩の貫入が認められる。

3.2 実験方法と過渡応答の測定

起振位置は、ダム天端中央の洪水吐を避けた位置である(図—1)。起振方向はアーチ半径方向である。起振機は2組の不平衡重錘起振装置の機械的な同期反転により、一方向の正弦波起振力を発生させるものである。起振機を2台設置し、それを同時に運転し、可能な限り大きな起振力を与えるようにした。

シミュレーション解析の対象とする過渡応答として、次の2ケースに対し応答の測定を行った。即ち、起振機の電源を入力してから、起振機の回転数が徐々に上がりダムの1次の固有振動数に達し、定常応答になるまでの状態と、この定常応答の状態から起振機の電源を切り、起振機の回転数が徐々に低下していく状態である(図—4)。

4. 解析方法ならびに解析結果

4.1 解析方法

解析モデルを図—2に、物性値を表—1に示す。これらは、既に実施した高根アーチダムの起振実験シミュレーション解析¹⁾により妥当性が明らかになった解析モデル化法と物性値の設定方法に基づいたものである。解析モデルに使用した要素は、20節点アイソパラメトリック立体要素であり、岩盤境界には粘性境界要素を導入している。貯水池の境界条件については、貯水と貯水を取り囲む材料とのインピーダンス比で与え、貯水自由液面については、表面波を考慮したものとなっている。減衰については、ダム堤体ならびに貯水部にレーリー減衰を用いた。時間積分法には、ニューマークβ法($\beta=0.25$)を用い、起振力を模擬した節点荷重入力による時刻歴応答解析を実施した。

時刻歴解析を実施するにあたり、まず時間積分における適切なステップ幅を決定するため、ダム堤体が最も共振する固有振動数に一致する周波数を有する定振幅正弦波を入力とした試計算を実施した。図—3に示すごとく、入力波1/4波長に相当する時間を基準時間として、基準時間あたりの分割数が5分割以上の時間ステップ幅で応答値が収束する傾向が見られた。このことから、実験シミュレーション解析では、入力波(図—4)の山谷を分割点と

し、1/4波長あたり5分割に相当する時間をステップ幅とした。

4.2 解析結果

過渡応答解析結果の代表例として図-4に、起振開始直後と起振停止前後における起振位置での応答変位波形実験値と解析値をあわせて示す。起振開始直後については、解析値は、定常応答に達するまでの過渡応答実験値をよくシミュレートしている。また、起振停止前後についても、定常応答から除荷過程における非定常応答実験値を、解析値は、よくシミュレートしていることがわかる。他の計測点においても解析値と実験値は、概ね良好な一致を示した。

なお、ここで用いた解析モデル化法により、定常応答値に関する比較も実施しており、その結果を文献3)に述べている。それによれば、本解析コードによる時刻歴応答解析の定常解が、実験値とよく一致していること、さらにTHEADHIによる周波数応答解析値とも良く一致していることが確認されている。

以上のことから、ここで用いた解析モデル化法が十分適切であり、今回開発した解析コードの時刻歴応答解析機能に関し、線形応答に解析を限定すれば十分妥当性を有しているものと考えられる。

5. まとめ

新たに開発した解析コードを用い、起振実験から得られた過渡応答波形に対し、時刻歴応答解析法によるシミュレーションを実施し、同コードの妥当性を検証することができた。今後は、施工ジョイント部の非線形性を取り入れた解析モデルによる応答解析を実施していく予定である。

「参考文献」

- 1) 上田稔・奥田宏明・塩尻弘雄・田村重四郎：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, pp. 203-212, 1994.
- 2) 上田稔・奥田宏明・塩尻弘雄・恒川和久：アーチダムの弱地震応答シミュレーション、土木学会年講概要集, pp. 872-873, 1994
- 3) 恒川和久・上田稔・近藤寛通・塩尻弘雄：アーチダム起振実験での変位と動水圧の時刻歴線形応答解析、土木学会年講概要集, 1996

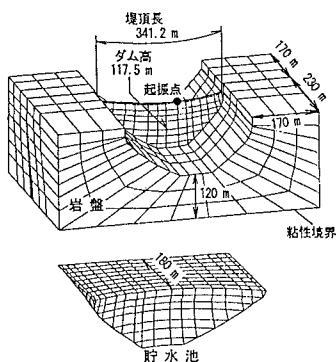


図-2 解析モデル

入力波（定常波）正弦波2.38Hz=ダム堤体1次固有振動数

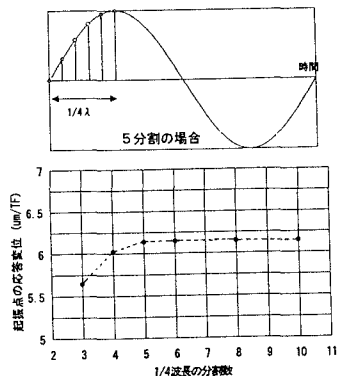


図-3 時刻歴応答解析における時間刻みの検討結果

表-1 解析に用いた物性値

	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	370,000	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(m/sec)		1,400		
	インピーダンス比		5.3 (地山) , 1.0 (貯水)		

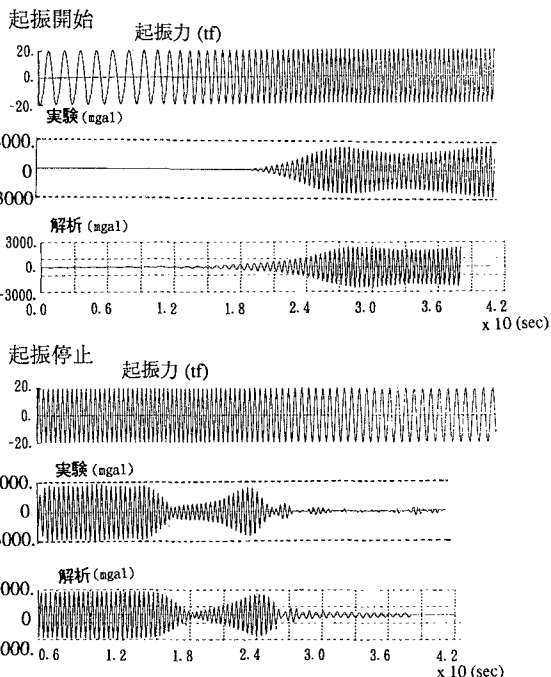


図-4 過渡応答実験値と解析値の比較
(起振点位置応答値)