

I-B523 周波数応答解析と直接積分FEM解析によるアーチダムの動的応答特性の比較

(株) シーテック 技術コンサルタント部 正会員 ○恒川和久¹⁾
 中部電力(株) 電力技術研究所 正会員 上田 稔²⁾
 (財) 電力中央研究所 構造部 正会員 豊田幸宏
 日本大学 理工学部 正会員 塩尻弘雄

1. まえがき

アーチダムの強震時の挙動には、ダムのジョイントや基礎岩盤剛性の振動レベル依存性などが大きく影響すると考えられる。これらダムの強震時の非線形挙動を扱うためには、直接積分による動的FEM解析による必要があるが、解析はダム-岩盤-貯水の連成三次元で大規模であるうえに、非線形でかなり複雑である。このため、できる限り信頼性を確保しつつ解析が実施されることが望まれる。著者らは既に周波数応答解析による地震応答解析（解析コードは TEADHI、線形解析）で、起振実験や弱地震の観測記録のシミュレーション解析を実施してきており、振動レベルが小さい場合には線形解析で良好な成果を得ており^{1), 2)}、解析コード TEADHI の妥当性を確認している。本報告は、新たに開発した直接積分による動的FEM解析コードの信頼性を検証するために、線形応答解析を行い、周波数応答解析（TEADHI）と一致するか比較するとともに、積分する時間刻みについても検討する。

2. 検討方法

定常加振したときのダムの応答値と周波数応答解析で求まる伝達関数とを比較する。外力としては、天端で点加振した場合（図-1の点Aを加振）と岩盤境界から入力した場合について検討する。外力の成分は上下流方向（図-1のY方向）である。結果は、上下流方向（Y方向）の応答変位、加速度について整理する。点加振した場合の応答変位については、既に両解析コードが一致することを確認済みである¹⁾。

3. 解析モデルと物性値

解析モデルを図-1に示す（水位は HWL）。要素は20節点アイソパラメトリック要素である。岩盤境界は粘性境界、貯水池の境界は貯水池とその周辺岩盤とのインピーダンス比で与え、水の圧縮性、表面波を考慮している。解析に用いた物性値を表-1に示す。このモデル、物性値は、周波数応答解析で起振実験のシミュレーションを実施した場合に良好な結果が得られた場合と同じモデル、物性値である¹⁾。時間積分はニューマークのβ法（β=0.25）を用い、時間刻みは点加振、岩盤境界からの入力ともに定常波に対して1波長を20分割する刻みとした（図-2）。この時間刻みは、点加振の解析で時間刻みを変えて計算したときに加振点の応答変位が収束したときの刻みである（図-3）³⁾。

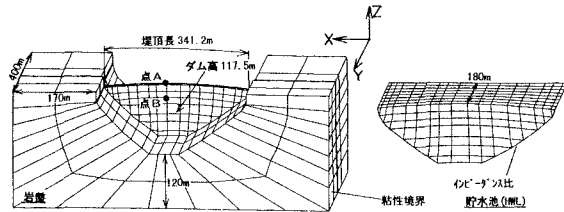


図-1 解析モデル

表-1 物性値

	動弾性 係 数 (kgf/cm ²)	せん断波 伝播速度 (m/sec)	動ポア ソン比	単位体 積重量 (tf/m ³)	減衰 定数 (%)
ダ ム	380,000	2,490	0.20	2.5	0.8
岩 盤	184,000	1,700	0.25	2.5	0.8
貯 水	水中音速(m/sec)		1400		
	インピーダンス比		5.3(地山), 1.0(貯水)		

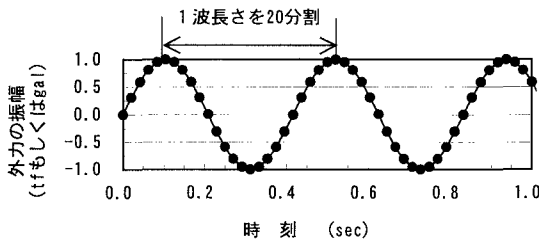


図-2 積分の時間刻み

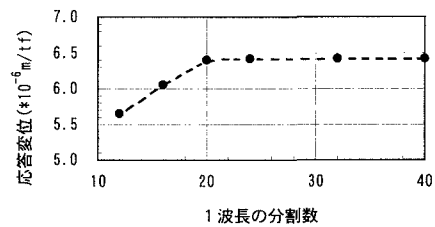


図-3 時間刻みと応答値の関係

キーワード：アーチダム、シミュレーション、有限要素法、ジョイント

¹⁾ 455-0054 名古屋市港区遠若町 3-7-1 TEL 052-651-4092 FAX 052-651-2349
²⁾ 459-8522 名古屋市緑区大高町北関山 20-1 TEL 052-621-6101 FAX 052-623-5117

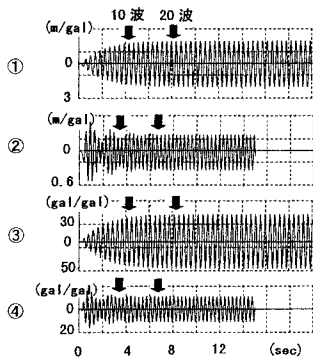


図-5 変位と加速度の時刻歴波形

4. 解析結果 天端中央（図-1の点A）とダム中腹（図-1の点B）の変位と加速度を比較した結果を図-4に示す。横軸は周波数、縦軸は変位、加速度である。加振荷重 1tf 当たりの変位と加速度、岩盤境界からの入力 1gal 当たりの変位と加速度である。——が周波数応答解析での伝達関数、●が開発した直接積分によるコードでの応答の収束値である。点加振した場合、岩盤境界から入力した場合ともに変位、加速度は良く一致している。図-4中の①～④の時刻歴波形を図-5に示す。変位、加速度ともにピークの山の部分では応答が徐々に大きくなり、20 波程度で収束している（①、③）。谷の部分では最初の10 波程度は大きくなり小くなったりするが20 波程度で収束している（②、④）。この傾向は他の山谷部、および点加振の場合も同様である。

5. まとめ 新たに開発したダムのジョイントを考慮した直接積分による動的FEM解析コードを用いて線形解析を行い、周波数応答解析と比較した。結果をまとめると、①点加振、岩盤境界からの入力とともに応答変位、加速度は良く一致した。②積分する時間刻みは1 波長を20 分割すれば、応答値が収束する。今後はダムのジョイントを考慮した非線形解析を行っていく予定である。

参考文献 1) 恒川和久・上田稔・近藤寛通・田村重四郎・塩尻弘雄：アーチダムの起振実験で実測した動水圧のシミュレーション解析，第23回地震工学研究発表会講演概要，pp.513-516,1995 2) 上田稔・恒川和久・横井幹仁・塩尻弘雄：アーチダムの実地震応答シミュレーション解析，第24回地震工学研究発表会講演概要，pp.849-852,1997 3) 豊田幸弘・上田稔・田村重四郎・恒川和久・塩尻弘雄：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，第51回土木学会年次学術講演会，第I部門 pp.176-177,1996

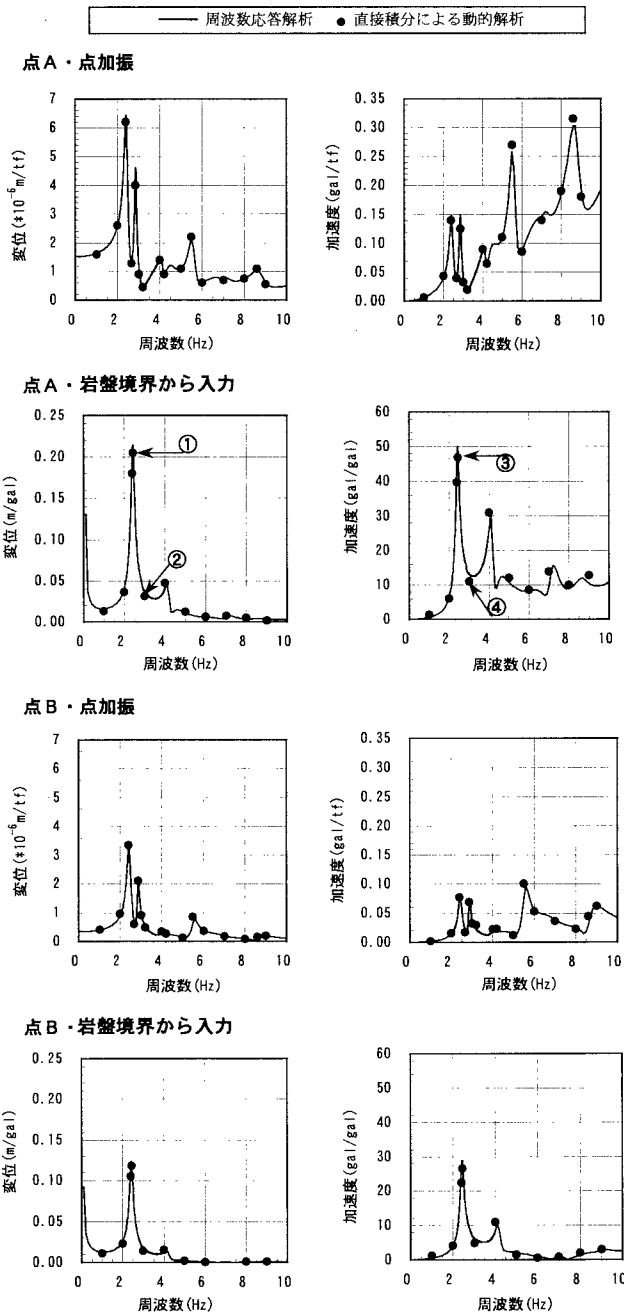


図-4 点加振，地震入力した場合の変位と加速度