

I-605 アーチダムの三次元動的FEM解析における堤体メッシュ分割に関する比較検討

電源開発(株) 正員 有賀義明

**1 まえがき** アーチダムの地震時挙動を三次元動的FEM解析により再現しようとした場合、動的解析の結果は、一般に、解析モデル(解析領域の設定、メッシュ分割、境界条件)、解析物性値(波動インピーダンス、減衰定数、ダムと基礎岩盤の波動インピーダンス比、動的非線形性)、解析手法(モード合成法、直接積分法、複素応答法等)、解析モード次数、解析時間きざみ、解析周波数、入力地震動の周波数特性等により影響を受けるものと考えられる。ここでは、これらの要因の内、アーチダム堤体の奥行方向のメッシュ分割に関して実施した比較解析の結果を紹介する。

**2 比較対象とした解析モデル** 比較解析に用いた全体解析モデル(ダム堤体+基礎岩盤)を図-1に示す。アーチダム堤体のメッシュ分割に関しては、8節点ソリッド要素を用いてダム堤体奥行方向の分割を1層(Model-1)、2層(Model-2)、4層(Model-4)としたケース、および、20節点アイソパラメトリック要素を用いてダム堤体奥行方向の分割を2層としたケース(Model-3)の四種類の解析モデルを設定した。比較対象とした解析モデルの規模概要は、表-1に示すとおりである。

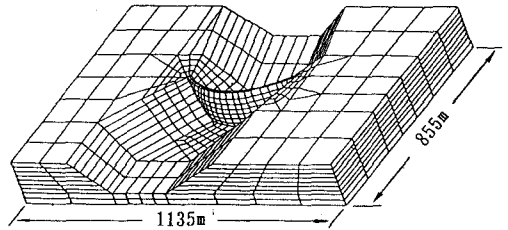


Figure 1. Three Dimensional Finite Element Mesh used in This Study(IKEHARA Dam)

**3 解析条件** 比較解析に際して想定した、ダムおよび基礎岩盤の物性値は表-2に示すとおりである。解析モデルの境界条件は、下方境界は剛基盤とし、側方境界は加振方向(上下流方向)のみ水平ローラー支持と仮定した。解析プログラムには“SAP-6”を使用し、モード合成法により、解析次数を30次までとして、動的応答解析を実施した。貯水については、Westergaardの式を用いて付加質量として考慮した。貯水位は、ダム基礎より8.2mとした。入力地震動には、池原ダムのダム基礎位置で、1987年4月12日3時47分33秒に発生した地震(マグニチュード4.0、震源距離58.2km)の際に観測された地震動の0~20秒間を使用した。

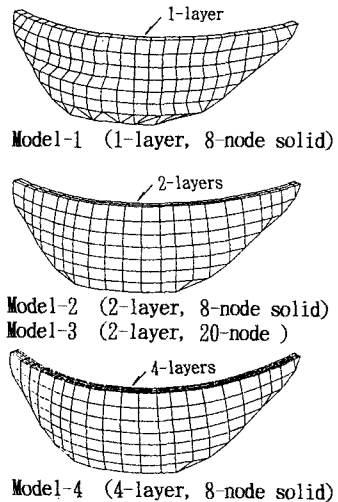


Figure 2. Mesh Division for Dam Body

**4 解析結果** 固有値解析の比較結果を表-2に示す。また、ダム天端中央での加速度時刻歴、ダム天端中央位置とダム基礎位置の地震動のパワースペクトルの比(ダム天端中央/ダム基礎)を図-2~図-4に示す。パワースペクトルの比から評価したダムの固有周波数、ダム天端中央での最大加速度、ダムの応答倍率(ダム天端中央/ダム基礎)についてまとめた結果は表-3に示すとおりである。

Table 1. Three Dimensional Finite Element Analysis Models used in This Study

ANALYSIS MODEL	MESH DIVISION of DAM BODY *1	ELEMENT TYPE	ELEMENTS		NODES	
			DAM	TOTAL	DAM	TOTAL
Model-1	1 layer	8-Node Solid	129	393	274	719
Model-2	2 layer	8-Node Solid	224	1221	378	1730
Model-3	2 layer	20-Node *2	224	1221	1244	2596
Model-4	4 layer	8-Node Solid	448	1676	635	2248

\*1: Division in the upstream-downstream direction  
\*2: 20-node isoparametric element

今回の比較解析の結果では、ダム堤体奥行方向のメッシュ分割が細くなるにつれて、ダム堤体の固有振動数はわずかに低周波数側に変化し、ダム天端中央での応答加速度は若干小さくなる傾向が見受けられた。しかし、全体的には、解析前の予想とは異なり、ダム堤体奥行方向のメッ

メッシュ分割は解析結果に顕著な影響を及ぼさなかった。8節点ソリッド要素を用いた場合(Model-2)と20節点アイソパラメトリック要素を用いた場合(Model-3)の結果についても、差はほとんど見られなかった。

Table 2. Property Values assumed for Analyses

PROPERTY	DAM	ROCK
Unit Weight (tf/m <sup>3</sup> )	2.3	2.6
Dynamic Elastic Modulus(kgf/cm <sup>2</sup> )	450000	450000
Dynamic Poisson's Ratio	0.2	0.3
Damping Factor (%)	5	5
P-Wave Velocity (m/s)	3500	4100
S-Wave Velocity (m/s)	2150	2100

Table 3. Natural Frequency estimated by Eigenvalue Analysis

FEM MODEL	NATURAL FREQUENCY (Hz)					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	30th
Model-1	2.64	2.73	3.65	3.70	3.80	5.63
Model-2	2.56	2.70	2.82	2.89	3.54	6.12
Model-3	2.56	2.72	2.82	2.89	3.54	6.10
Model-4	2.53	2.69	2.82	2.89	3.56	6.18

Table 4. Comparative Results of Three Dimensional Dynamic Analyses

MODEL	Natural #1 Frequency of Dam(Hz)	Max. Acceleration at Dam Crest Center (gal) #2	Acceleration Response Magnification #3
Model-1	2.75	12.6	4.8
Model-2	2.65	8.1	3.2
Model-3	2.71	9.3	3.7
Model-4	2.69	6.1	2.4

\*1: Estimation based on the power spectrum ratio  
 \*2: Horizontal radial component at dam crest center  
 \*3: Ratio of maximum acceleration( Dam crest / Dam base )

5 あとがき 本質的に二次元的な取扱いが難しいアーチダムについては、より精度良く地震時の動的挙動を再現したり、あるいは、耐震安定性を評価確認したりするためには、今後ますます、三次元有限要素解析の重要性が増して行くものと推察される。三次元有限要素解析を実用的に活用して行くためには、三次元有限要素解析の妥当性・信頼性の実証が大変重要であると思われる。ここで紹介した解析では、最初に作成した解析モデル(Model-1)をより細かく分割する方向の比較検討を実施したが、今後は、逆にどこまでメッシュ分割の簡略化が可能かについての比較検討を予定している。また、今回の解析では、モード合成法を用いたが、直接積分法を用いた場合にどのような結果になるかについても確認して行きたいと考えている。

【参考文献】1) 有賀義明: アーチダムの三次元動的シミュレーション解析、土木学会第21回地震工学研究発表会講演概要 p593 ~596, 1991年 7月

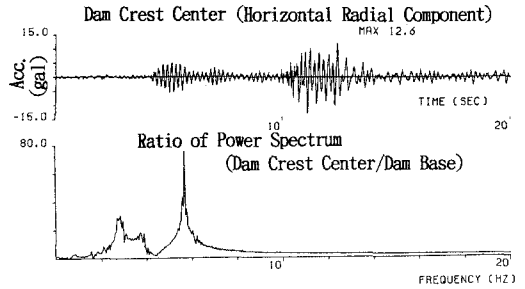


Figure 3. Analysis Results for Model-1 [1-Layer, 8-Node Solid Element]

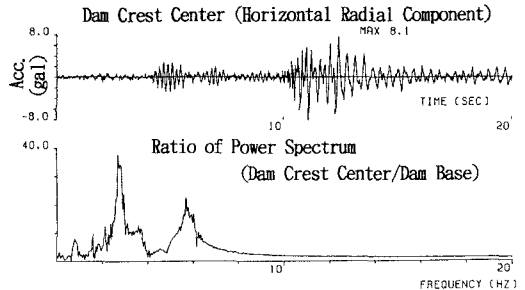


Figure 4. Analysis Results for Model-2 [2-Layer, 8-Node Solid Element]

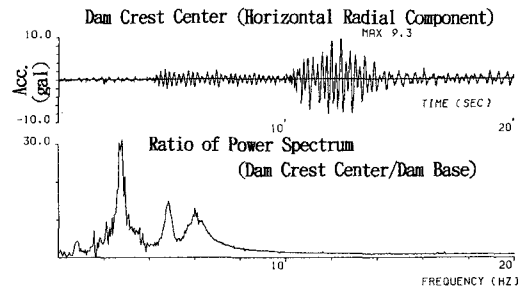


Figure 5. Analysis Results for Model-3 [2-Layer, 20-Node Isoparametric Elem.]

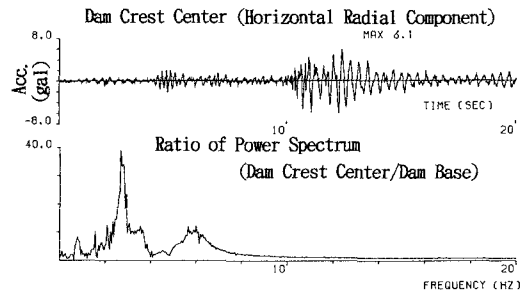


Figure 6. Analysis Results for Model-4 [4-Layer, 8-Node Solid Element]