

I - 438

フィルダムの模型振動実験と三次元固有値解析・二次元動的解析との比較

東京電力 正会員 木村應志
埼玉大学 正会員 渡辺啓行

1. まえがき

一般に、フィルダムの動的挙動を把握するためには、模型振動実験や三次元固有値解析、二次元動的解析等が行われている。本論文は、これらの手法から得られる動的挙動の相互関係や相違を明らかにするため、シリコンゴムを用いた三次元模型振動実験を対象に三次元固有値解析ならびに二次元 FEM 動的解析を行い、比較・検討したものである。

2. 模型振動実験方法および数値解析モデルと条件

模型は、写真-1に示すように、縦2m×横2m×深さ50cmの鋼製の箱の中に製作されており、堤体は、シリコンゴムを使用して弾性体とし、ダム基礎は、地形を考慮し、石膏で製作して、剛体とした。模型堤体は、図-1に示すように剛性の異なる3つのゾーンに分け、加速度計は、ダム中央横断面のダム基礎、堤高の2/3の位置および天端に設置した。振動実験は、上下流方向および堤軸方向に、それぞれ1~30Hzの範囲で、SWEEP 試験を行い、堤体の伝達関数を把握した。また、El Centro波（時間縮尺:1/5）を上下流方向に入力したランダム波加振により、堤高の2/3の位置および天端部の加速度応答波形を計測した。三次元固有値解析および二次元動的解析に用いたモデルは、それぞれ、図-2、図-3に示すとおりである。二次元動的解析での入力波は、模型振動実験のダム基礎部で計測されたEl Centro波（時間縮尺:1/5）とした。なお、模型堤体の物性値は、模型製作中にサンプリングしたシリコンゴムの角柱供試体（5×5×20cm）を使用し、せん断振動における共振振動数や自由曲げ振動による固有周期から求めたせん断弾性係数、弾性係数、減衰定数を採用した。

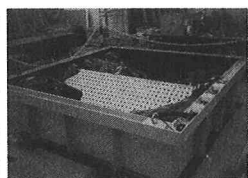


写真-1 模型の全景

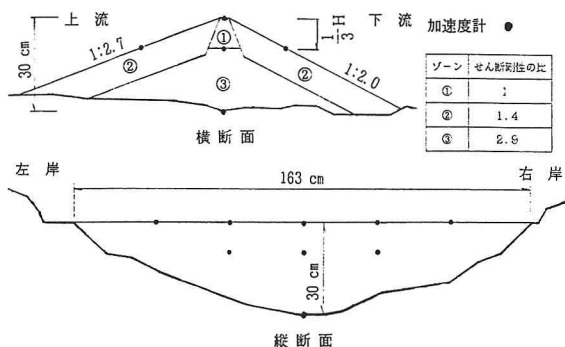


図-1 模型堤体の形状とゾーニング

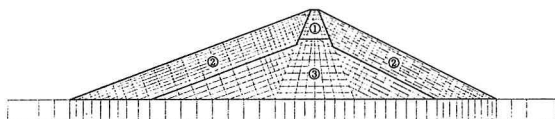


図-2 二次元FEM解析モデル図

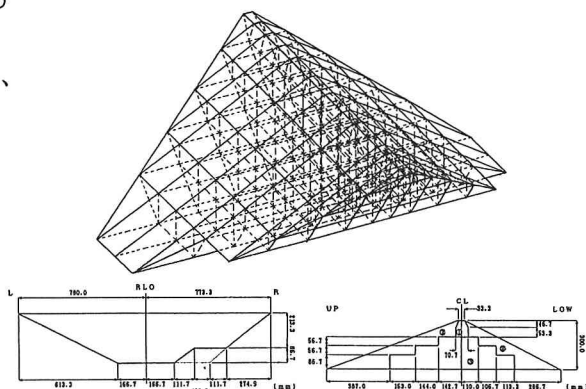


図-3 三次元固有値解析モデル図

3. 結果および考察

(1) 三次元固有値解析結果との比較

三次元固有値解析と模型振動実験から得られた固有振動数を比較すると表-1に示すとおりであり、1次（上下流方向1次）と2次（堤軸方向1次）の固有振動数については、実験値と解析値は、よく一致している。しかし、実験では、3次（上下流方向2次）のモードは、発生せず、5次（上下流方向3次）が発生し

ている。これらは、模型振動実験結果だけによるフィルダムの動的挙動の把握には、限界があることを示している。即ち、模型振動実験では、加振方向、ダム基礎形状などの条件が関係し、発生しにくい振動モードがあり、

すべての振動モードが現れるとは限らない。このため、すべてのモードを確認し、模型振動実験で発生しているモードを明確にするためには、三次元固有値解析によるフォローが必要となることが分かる。

（2）二次元FEM解析結果との比較

a. 伝達関数： 二次元FEM解析と模型振動実験による天端部の伝達関数は、図-5に示すとおりであり、第1のピークは、二次元FEM解析では、9.0Hz、模型振動実験では、9.4Hzで、よく一致している。また、応答倍率もほぼ一致している。しかし、第2のピークは、模型振動実験の場合、12.4Hzに5次（上下流方向3次）の固有振動数が現れるのに対して、二次元FEM解析の場合は、12.4Hz付近に対応するものは見られず、16.3Hz付近に5次以上の高次の固有振動数と思われるピークが見られる。このように、二次元解析と模型実験では、二次元と三次元との違いによる伝達関数の相違が生じることが分かった。

b. 応答波形： El Centro波（時間縮尺1/5）を入力波とした時の解析および実験から得られた天端部の応答波形は、図-6に示すように、両者の伝達関数に差異があるにもかかわらず、一部を除き主要な部分では、よく一致している。これは、入力波の卓越周期も9Hz付近にあるためと考える。

4. まとめ

二次元FEM解析は、上下流方向1次に関しては、三次元模型実験結果を再現できたが、それ以上の高次については、再現しきれなかった。従って、三次元模型振動実験の有用性が生じてくると考える。しかし、三次元模型振動実験も、見落とすモードが有り得るので、三次元固有値解析を行う必要があると考える。

参考文献：

1) 川上, 渡辺 フィルダムの3次元地震応答特性,

土木学会第48回年次学術講演会 第1部 1993.9 図-6 二次元FEM解析と模型振動実験による応答波形

表-1 固有振動数の対比

三次元固有値解析			模型振動実験		
次数	固有振動数 (Hz)	備考	固有振動数 (Hz)	備考	
1次	9.5	上下流1次	9.4	上下流1次	
2次	10.3	堤軸1次	10.2	堤軸1次	
3次	11.4	上下流2次	-		
4次	13.1	鉛直1次	-		
5次	13.5	上下流3次	12.4	上下流2次	

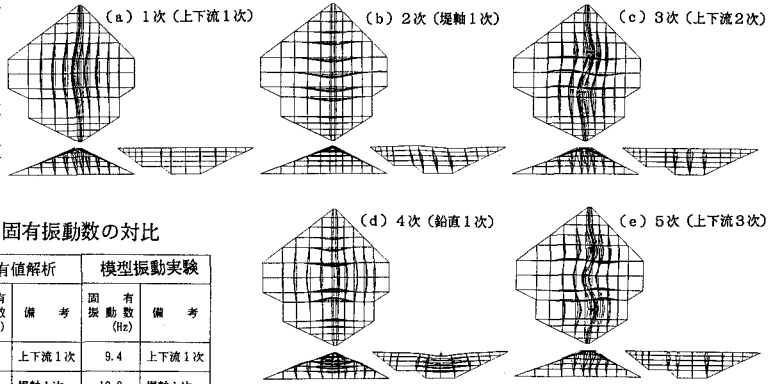


図-4 振動モード

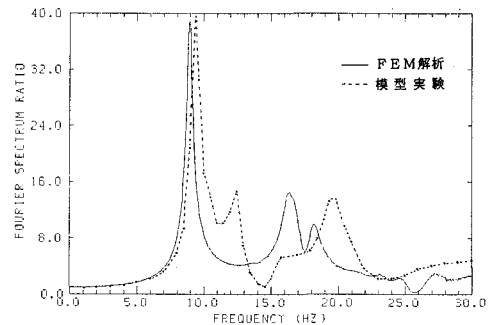


図-5 二次元FEM解析と模型振動実験による伝達関数

