

東京電力株式会社技術開発研究所 正会員 太田 孝 同 高比良敬一
同 江川顕一郎

1. まえがき

フィルダムの耐震設計で、上下流方向の断面設計においては、堤体の地震応答の鉛直方向の分布形状が重要な事項である。フィルダムの振動特性は堤体の構造的な形状と堤体材料の物性に支配され、構造的な向題としては、上下流方向の断面形状、剛性の異なる材料のゾーニングの形状、谷の左右岸方向の拘束の条件等があり、工質材料の物性値の特質としては、弾性定数と減衰定数が歪の大きさに依存していること、また、同じ材料でも拘束圧によって弾性定数は異なり、大型フィルダムでは堤体の深部と表層部では弾性係数値は数倍異なることがある。このため、フィルダムの地震応答特性を正しく把握するためには、堤体の構造、形状を3次元的に正しくモデル化するとともに物性値のゾーニングを考慮して、非線型の解析を行なう必要がある。ここでは、3次元の形状と物性値のゾーニングを考慮したモデルにより振動解析を行ない、フィルダムの地震応答を検討した。

2. 実験および解析

振動実験は、前回報告¹⁾したものと同様に塩化ビニール樹脂を用いた3次元模型によるものであるが、今回の模型では図-1に示すように弾性係数値により、堤体の横断面をゾーニングした。

各ゾーンの弾性係数はフィルダムにおいて実施した弾性波試験結果²⁾および砂の振動3軸試験結果等からモデル化して定めた。各ゾーンに用いた模型材料の物性は表-1に示すとおりである。

この模型の振動実験における主な物理量の縮尺は、相似則により次のとおり定まる。長さ： 5.0×10^{-2} 弾性係数： $1.055 \times 10^4 \sim 2.638 \times 10^5$
質量： 3.882×10^{-9} 時間： $1/7.37 \sim 1/3.69$

弾性係数と時間の縮尺が一定値とならないのは、堤体材料に生ずる歪の大きさによって弾性係数値が変化することを考慮したためである。

また、本模型では加速度計を設置して(図-1に示す3点)上下流方向の応答加速度を計測したが、使用した加速度計はひずみゲージ型で、外形寸法は $25 \times 14 \text{ mm}$ で、密度は 1.7 g/cm^3 である。

EL CENTRO 波を時間縮尺 $1/5$ にして入力したときの応答加速度記録を図-2に示す。また、正弦波で加振して振動数応答特性を調べたものを図-3に示す。なお、これらの加振はいずれも上下流方向の振動である。

EL CENTRO 波を時間縮尺 $1/25$, $1/5$, $1/10$ にして入力したときと正弦波で加振したときの最大応答加速度の中央断面(上下流方向断面)における鉛直方向の分布形状を図-4に示したが、頂部付近で大きく増幅している。実ダムの新高野山ダムならびに喜撰山ダムの地震観測結果³⁾を図-6、図-7に示したが、頂部付近で大き

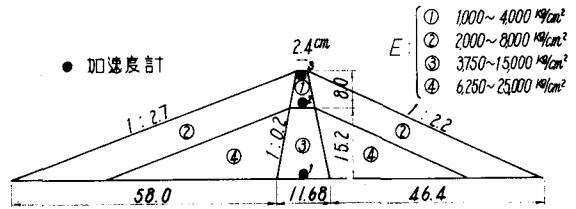


図-1 ダム模型の横断面図

ゾーン	配合比 (DOP/PVC)	密度 (g/cm^3)	弾性係数 (kg/cm^2)	減衰係数 (%)
1	8.5	1.013	107	20.6
2	7.0	1.019	211	14.2
3	5.0	1.059	427	11.5
4	4.0	1.077	628	10.9

表-1 模型材料の物性値

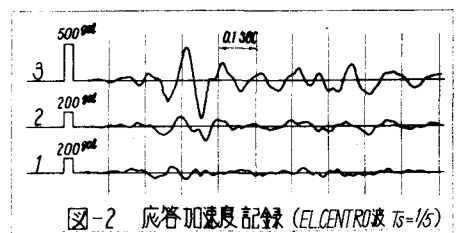


図-2 応答加速度記録 (EL CENTRO 波 $T_s=1/5$)

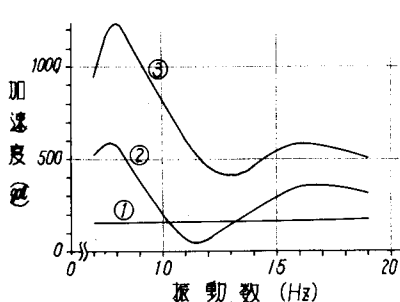


図-3 正弦波振動数応答特性

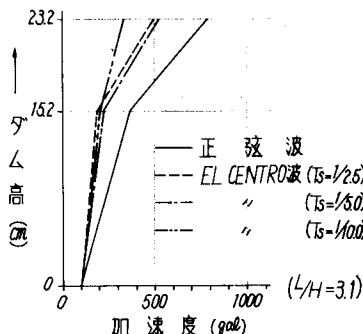


図-4 応答加速度分布

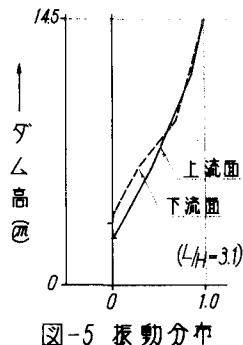


図-5 振動分布

く増幅しており、模型振動実験は実ダムと類似した結果があらわれている。

左右岸方向の谷の形状と応答特性を調べるため、ダムの堤頂長と高さの比 (L/H) を 2, 5, 10 としたモデルについて、3次元 FEM により応答を求めると、鉛直方向の分布形状は図-8 に示す通り、 L/H が小さいほど頂部付近での増幅が大きくなっている。2次元断面 (Chopra 等⁴⁾) の計算ではこのような結果は得られず、実測および3次元模型振動実験と同じような応答を求めるためには、左右岸方向の谷の拘束条件を考慮した3次元モデルで検討する必要があると考えられる。

また、3次元模型による振動実験でも、堤体材料の物性値を均一にした場合には、上下流方向断面の鉛直方向の応答分布形状は図-5、図-6 に示す通り、ダム底部からほぼ一様に増幅しており、ゾーニングして物性を変化させた場合のような頂部付近で大きく増幅する傾向はなかった。均一剛性のくさび状壁のセン断振動のモード形状⁵⁾は0次の Bessel 関数で表われ、頂部付近では大きく増幅しない形状分布であるため、この傾向は当然と考えられる。

ここで行なった模型振動実験や実ダムでの地震観測結果によれば、ダムの耐震設計のためには、3次元形状と物性値の変化を考慮して応答を検討する必要がある。

(参考文献)

- 1) 前田, 高比良, 江川, 太田 “フィルダムの3次元模型振動実験について” 第13回地震工学研究発表会講演概要 1974 土木学会
- 2) 高橋 忠 “ロックフィルダムの弾性波速度分布および地震時挙動について” 電力中央研究所
- 3) 喜撰山ダム発電所工事誌
- 4) O.C. Zienkiewicz “The Finite Element Method in Engineering Science”
- 5) 小坪清真 “土木振動学” 森光出版

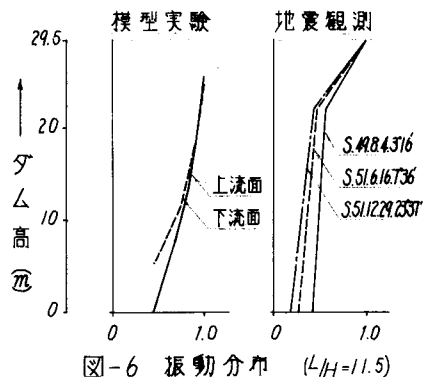


図-6 振動分布 ($L/H=11.5$)

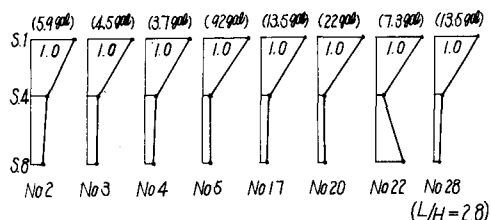


図-7 応答加速度分布 (喜撰山ダム地震観測結果)

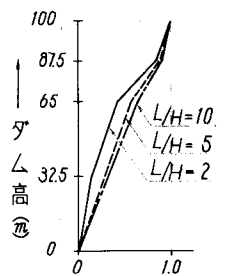


図-8 振動分布 (3次元FEM計算結果)