

電力中央研究所 正員 青柳 栄

電力中央研究所 正員 塩尻弘雄

## 1. はじめに

筆者等は Lysmer 等が提案した固体に対する半無限要素の概念を発展させ、水と固体の両者を含む半無限要素の開発を行ない、通常の有限要素法との結合により、自由度を過大にふやすことなくダム—貯水池—岩盤系の連成振動解析が可能な手法を提案し、重力式ダムについて若干の数値解析例を示した。そこで明らかにされた点は概略次のとおりである。① 簡単な岩盤モデルや、岩盤—貯水系のモデルに適用した結果、比較的粗いメッシュで解析解と良好一致を示し上記方法の有効性が確認された。② 本解析手法を高々150mの重力式ダムに適用し、貯水池底での貯水岩盤の相互作用を考慮した場合と、貯水池底での相互作用を無視し貯水池底に音波の部分吸収条件を入れた場合を比較すると、水平地震動に対しては比較的類似した応答結果を与えたが、鉛直地震動に対しては動水圧、ダム応答変位ともかなり異なった。③ 地震動が水平方向に位相差を持つ場合については、地震波の進行方向が上流方向か下流方向かで動水圧、ダム応答変位とも異なる場合がある。

本研究は、上記の研究結果をふまえ、本解析手法の検証のために、(I) 岩盤部を半無限弾性体として重力式ダムを解析した chopraの研究との比較 (II) ダム上流面勾配の動水圧に及ぼす効果 (III) ダム、岩盤の相対剛度のダム応答変位に及ぼす影響 等について検討を重ねたものである。なお、chopraの解析はダムは有限要素に分割し、貯水、岩盤については解析的に動的インピーダンスを求めてダムの剛性行列に加える方法をとっている。解析解を求める都合上、貯水部分についてはダム上流面は鉛直で、水深一定で上流側に無限に広がっていると仮定し、岩盤は半無限—様等方粘弾性体と仮定されている。これに対し本解析手法は系をダム付近とダムから離れた領域に分割し、ダム付近は有限要素法で解析し、ダムから離れた部分は水平方向に物性・幾何形状が変化しないものとして高さ方向のみ離散化し、運動方程式を水平方向座標を独立変数とする常微分方程式系に帰着させてその理論解を求め、両者の境界で変位・応力を一致させることにより、ダム、貯水、岩盤部の周波数応答を求めるものである。解析手法の詳細については文献3), 4)を参照されたい。

## 2. 解析モデルと物性について

解析モデルは、chopraの解析との比較のために図-1に示す重力式ダムとした。また、ダム上流面勾配の動水圧に及ぼす効果を調べるために、図-2に示すダムモデルについても検討した。ダムコンソートの物性は次のとおりである。

| MATERIAL PROPERTIES OF DAMS |                                                           |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| E=                          | 281227.6 KG/CM <sup>2</sup> ( 4.0 X 10 <sup>6</sup> PSI ) |
| G=                          | 117178.16 KG/CM <sup>2</sup>                              |
| $\lambda$ =                 | 78118.77 KG/CM <sup>2</sup>                               |
| $\nu$ =                     | 0.2                                                       |
| $\rho$ =                    | 0.000025 KG·SEC <sup>2</sup> /CM <sup>4</sup>             |

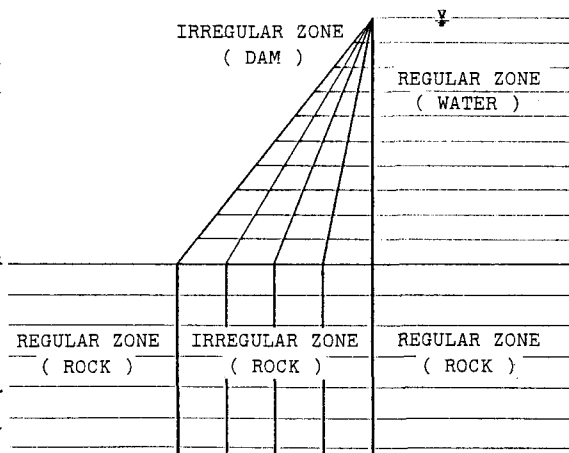


FIG.1 DAM-RESERVOIR-FOUNDATION SYSTEM

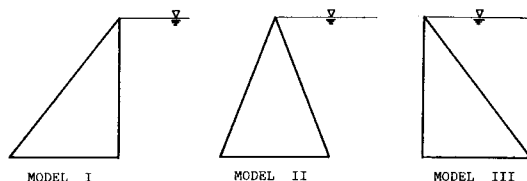


FIG.2 DAM MODELS

### 3. 数値解析例

ダム単体, 及びダム-貯水系について, 水平調和外力がダム基部に入力された場合の, ダム頂部の周波数応答曲線(加速度応答倍率)を図-3, 4, 5に示す。ダムモデル I の貯水池空庫時の 1 次固有振動数は  $f_1 = 4.8 \text{ Hz}$  であるため, 図-3, 4, 5 の横軸は  $\omega/\omega_1 = 2\pi f/f_1$  で割った無次元化した角振動数を示している。また, Chopra は地表面との相対加速度で結果を整理しているため, 比較のために本解析結果もここにあげておいた。

ダム単体の場合(図-3), 及びダム-貯水系(図-4)の場合, 1 次共振点では両解析結果は水平方向, 鉛直方向ともに完全に一致するが, 2 次の共振点近傍では若干の差を認められる。これはダム部分の離散化の程度の相異等に起因するものと考えられる。図-3, 図-4 より, 貯水との連成により 1 次固有振動数が低下し, 共振振幅が増大することが指摘される。

岩盤との相互作用も含めると共振周波数が低下することが Chopra により指摘されているが, 本解析手法によるこれらの詳細な解析結果は当日発表する。

Chopra の解析手法は, ダム上流面は鉛直に制約されているため, ダム勾配の動水圧に及ぼす影響は検討されていない。図-5 は本解析手法により, 図-2 に示す 3 つのダム-貯水モデルについて周波数応答を調べたものである。ダム上流面勾配が, ダム-貯水池系の振動特性に大きな影響を及ぼすことが示されている。図-6 は最大共振振幅時のダム上流面に沿った動水圧分布を示すが, ダム勾配の相異により, 動水圧分布がかなり異なってくることが明らかである。

### 4. まとめ

今後, 詳細かつ広範な数値計算を行ない, より簡単なモデルへの置換を検討し, それによって精度をおとさなくとも 3 次元問題への拡張を行ない, A-4 ダム-貯水-岩盤系の連成振動解析を行なう予定である。FIG. 6

<参考文献>

- 1) Lysmer, J. and L. A. Drake : " A Finite Element Method for Seismology. " in Vol. II of Methods of Comp. Physics. Academic Press
- 2) A. K. Chopra, P. Chakrabarti and Sunil Gupta : Earthquake response of concrete gravity dams including hydrodynamic and foundation interaction effects. EERC REPORT NO. VCB/EERC-80/01
- 3) 塩見善昭: 貯水および岩盤との相互作用を考慮した重力式ダムの地震応答解析 電力中研. 研究報告 390028 昭和 56 年 1 月 JANUARY 1980
- 4) 塩見善昭: 貯水および地盤との相互作用を考慮した重力式ダムの地震応答解析 土木学会第 35 回年次学術講演会概要集 I-300

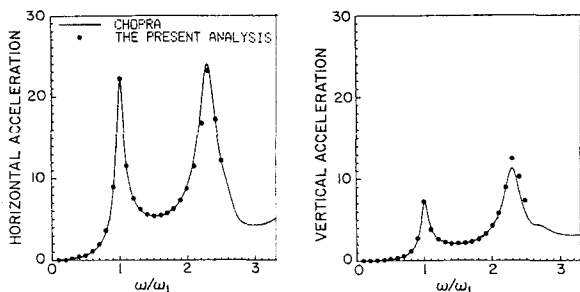


FIG. 3 RESPONSE OF DAM TO HARMONIC, HORIZONTAL GROUND MOTION ( DAM ONLY )

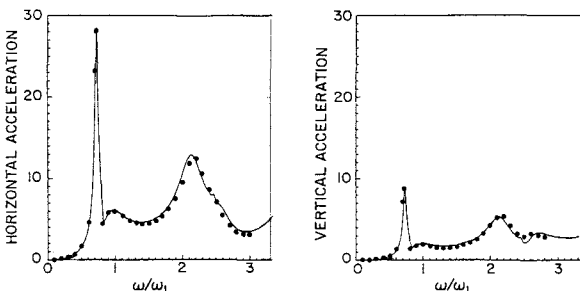


FIG. 4 RESPONSE OF DAM TO HARMONIC, HORIZONTAL GROUND MOTION ( DAM-RESERVOIR SYSTEM )

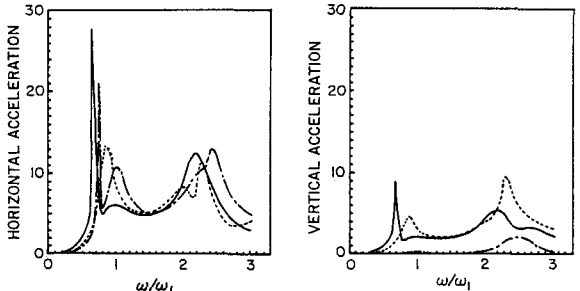


FIG. 5 RESPONSE OF DAM MODELS I, II, AND III TO HARMONIC, HORIZONTAL GROUND MOTION ( DAM-RESERVOIR SYSTEM )

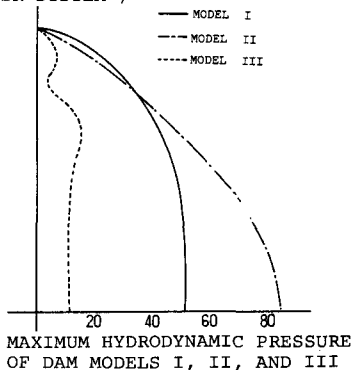


FIG. 6 MAXIMUM HYDRODYNAMIC PRESSURE OF DAM MODELS I, II, AND III