

# コンクリート重力式ダムの貯水池のモデル化に関する一考察

電源開発株式会社 フェロー会員 有賀 義明  
株式会社開発計算センター 曹 増延  
埼玉大学 工学部 フェロー会員 渡邊 啓行

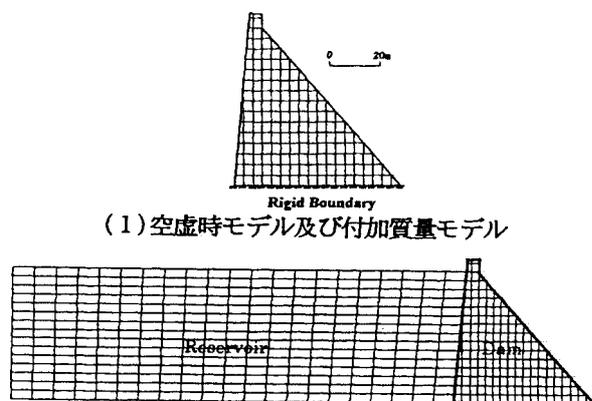
## 1. はじめに

コンクリート重力式ダムに対する貯水池の地震時の影響に関しては、古くから地震時の動水圧に着目した研究が数多く実施されている。代表的な研究としては、Westergaard(1933)の動水圧に関する研究<sup>1)</sup>が有名である。コンクリート重力式ダムの動的解析では、Westergaardの式に基づく付加質量を用いて貯水池をモデル化する手法が一般に多用されており、堤体の固有振動数を簡便に模擬する手法として利便性が高く有効であることが報告されている。しかし、貯水池のモデル化が、ダム堤体に発生する地震時応力や地震時ひずみに対してどのような影響を及ぼすかについては、あまり検討されていない。そこで、ダムに対する貯水池の地震時の影響を明確にするために、既設コンクリート重力式ダムの二次元動的解析モデルを用いて、貯水池を考慮しない場合(空虚時)、貯水池を付加質量でモデル化した場合、貯水池を差分グリッドでモデル化<sup>2)</sup>した場合の3種類の方法について比較解析を行なった。

## 2. 貯水池のモデル化に関する比較解析方法

### (1) 解析モデル

解析モデルは、貯水池のモデル化の影響を単純化して検討するために、糠平ダム(高さ 76m、堤頂長 293m)を対象に作成した、ダム堤体だけの二次元解析モデルを使用した<sup>3)</sup>。貯水池のモデル化は、図-1に示したように、(a)空虚時モデル、(b)付加質量モデル(Westergaardの式)、(c)貯水池連成モデルの3種類を設定した。

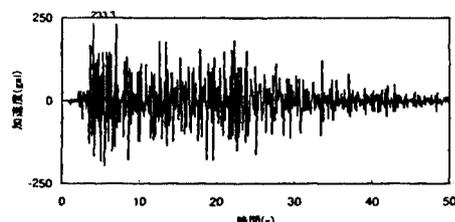


(1) 空虚時モデル及び付加質量モデル  
図-1 貯水池のモデル化

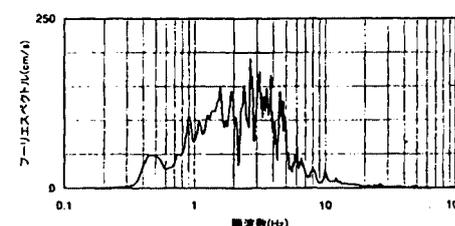
貯水池連成モデルは、貯水を可圧縮性弾性媒体と見なし、水の粘性を無視し、Reynolds数が小さいとの仮定により、波動方程式を差分法により離散化したものであり、解析プログラムは、筆者等が開発した、ダム-基礎岩盤-貯水池連成解析プログラム“UNIVERSE”を使用した。

### (2) 入力地震動

入力地震動は、内陸直下地震を想定し経験的手法により作成したダム底部位置で最大加速度233galの模擬地震動を使用した。



(1) 加速度時刻歴



(2) スペクトル特性

図-2 比較解析に使用した入力地震動

### (1) 解析用物性値

解析に使用した物性値を表-1に示す。動的せん断剛性および減衰定数は、1993年釧路沖地震時の再現解析によって同定した数値である。ダム-基礎岩盤-貯水池連成モデルを用いた三次元再現解析の結果から、減衰定数に関しては、堤体の材料減衰定数は5%と評価しており、表-1に示した20%という数値は、下方境界等での逸散分を含めた付加減衰(15%相当)分を合せたものである<sup>4)</sup>。

表-1 比較解析に用いた物性値

項目	物性値
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.6
静弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	20,580
静ポアソン比	0.17
動的せん断剛性(N/mm <sup>2</sup> )	11,025
動ポアソン比	0.17
減衰定数 (%)	20

キーワード：ダム、コンクリート重力式、動的解析、貯水池モデル

連絡先：〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88、TEL：0467-87-1211、FAX：0467-82-4003

### 3. 貯水池のモデル化に関する比較解析結果

貯水池のモデル化を変化させた、二次元解析の比較結果として、堤体での最大加速度、最大引張応力および最大引張ひずみの値を表-2に示す。また、最大引張応力の発生分布状況を図-3に示す。

表-2 二次元堤体モデルによる貯水池のモデル化に関する比較解析結果

貯水池モデル	最大加速度 (gal)	応答倍率	最大引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )	最大引張軸ひずみ ( $\times 10^{-4}$ )
空虚時	634	2.7	0.61	0.41
付加質量	784	3.4	1.63	0.77
連成モデル	543	2.3	1.47	0.64

表-2から明らかなように、堤体に発生する最大加速度、最大引張応力、最大引張軸ひずみは、いずれも、空虚時の解析で最も小さく、付加質量モデルによる解析で最も大きい。付加質量モデルでは、堤体の質量が大きくなるので、その分、固有振動数は低周波数側へ移行するとともに、応答も増大する傾向がある。貯水池連成モデルによる解析では、付加質量モデルによる解析よりも、加速度応答や地震時応力、ひずみは小さい。これは、ダムと貯水池を連成させて解析することにより、ダムに対する貯水池の地震時応答の抑制効果、貯水池による制振効果の影響と考察することができる。付加質量を用いた動的解析は、ダム堤体に発生する地震時応力および地震時ひずみの算定という観点では、算定結果が大き目に評価されるため、安全側の解析評価手法となるが、実現象に即してより精度良く評価するためには、ダムと貯水池との連成解析が必要であると考えられる。

### 4. まとめ

コンクリート重力式ダムの耐震性を評価する際に、貯水池のモデル化がどのように影響するかを明らかにするために、糠平ダムの実地震時挙動の再現解析で同定した二次元ダム堤体解析モデルを用いて比較解析を行なった。その結果、貯水池のモデル化の方法によって、加速度応答や地震時応力等の評価結果が大きく変動することを確認した。付加質量モデルを用いた動的解析は、地震時応力およびひずみの評価に関しては安全側の解析になるが、ダムに対する貯水池の動的相互作用を合理的かつ適確に再現することはできない。

ダムに対する地震時の貯水池の影響を精度良く評価するためには、ダムと貯水池との連成解析が必要である。

### 5. あとがき

ここでは、ダムの耐震性評価に及ぼす貯水池のモデル化の影響を明らかにするための事例として、ダム堤体だけの二次元比較解析の結果に基づいて、貯水池のモデル化によって、地震時応力および地震時ひずみが大きく変動することを示した。今後は、より精度の高い定量的な

評価を念頭において実施した、ダム-基礎岩盤-貯水池連成系の三次元動的解析による比較解析事例について報告したいと考えている。

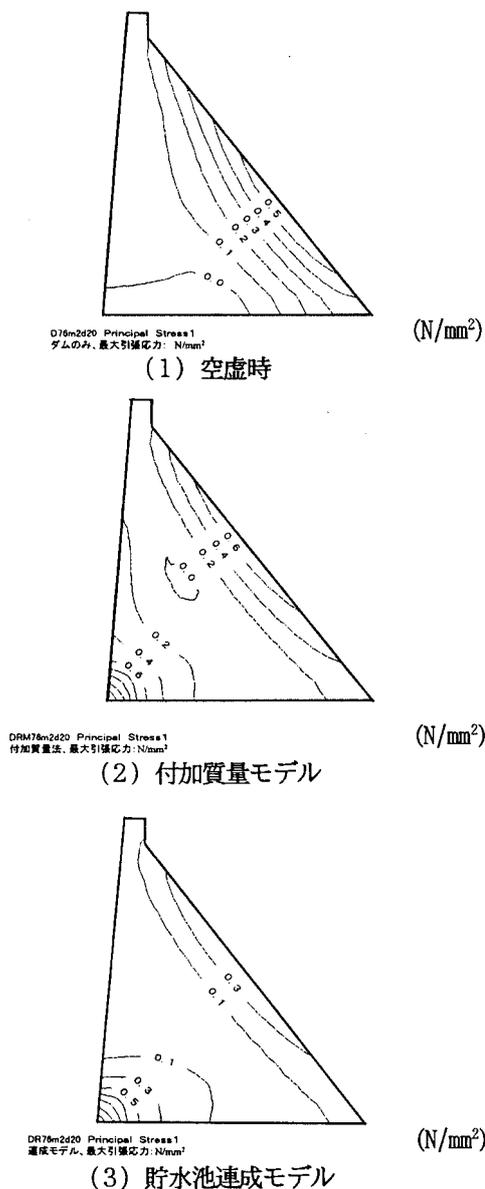


図-3 最大引張応力の分布状況

### 参考文献

- 1) Westergaard, H.M.: Water Pressure on Dams during Earthquakes, ASCE Vol. 98, pp418, 1933
- 2) 有賀義明, 渡辺啓行, 吉田昌稔, 曹増延: 三次元ダム-貯水池-基礎岩盤連成系における逸散減衰に関する一考察, 第10回日本地震工学シロゾウム, E4-18, 1998.11.
- 3) 有賀義明, 曹増延: 既設コンクリート重力式ダムの実地震時挙動の再現解析, 土木学会第54回年次学術講演会-B520, -B pp1036~10376, 1999.9
- 4) 有賀義明, 曹増延, 渡辺啓行: 強い地震動を想定した既設コンクリート重力式ダムの耐震性再評価, 土木学会第2回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, d-16, pp249-254, 2001.3