

既設アーチダムの実地震時挙動に関する再現解析

電源開発株式会社 フェロー会員 有賀 義明

1. はじめに

動的解析によって算出される、コンクリートダムの地震時の引張応力や引張りずみは、ダムおよび基礎岩盤の動的変形特性の数値によって大きく変動する。したがって、精度・信頼性の高い動的解析を行うためには、ダムおよび基礎岩盤の動的変形特性を実際の現象に基づいて定量的に評価しておくことが必要不可欠である。このような必要性から、これまでに糠平ダム(重力式ダム)^{1) 2)}、新豊根ダム(アーチダム)^{3) 4)}の実地震時挙動について再現解析を実施して来た。1995年の兵庫県南部地震では、震源から106km離れた池原ダムで最大加速度82.3galの地震動が観測された。そこで、池原ダムについても実地震時挙動の再現解析を行い、ダムおよび基礎岩盤の動的変形特性を評価した。

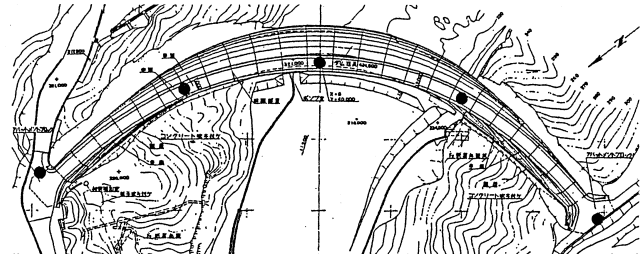
2. 池原ダムでの地震観測

池原ダムは、紀伊半島尾鷲市西方約20kmの奈良県野郡に位置する、高さ111m、堤頂長460m、堤体積64万 m^3 のドーム型非対称アーチダムである。基礎岩盤は、時代未詳の中世層と砂岩粘板岩の互層で構成され、貫入岩による珪化作用を受けて硬質の岩盤となっている。池原ダムでは、1964年の竣工以来、図-1に示したように計7箇所に合計13台(左岸、右岸、ダム底部:3成分、他の4ヶ所:放射方向1成分)の地震計を設置して地震観測を実施している。兵庫県南部地震(1995.1/17, M7.2)では、図-2に示すように、ダム底部監査廊で最大加速度11.6gal、ダム天端中央で82.3galの地震動が観測された。伝達関数(ダム天端中央/ダム底部監査廊)から評価した、池原ダムの1次の固有振動数は約2.8Hzであった。

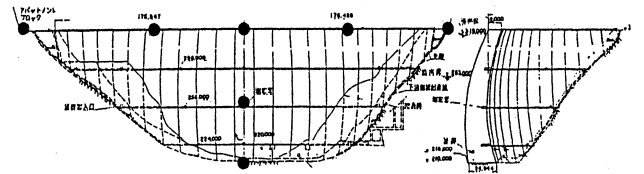
3. 三次元再現解析方法

(1) 解析モデル: 再現解析は、図-3に示した、ダム-基礎岩盤-貯水池連成系の三次元モデルを作成して行った。基礎岩盤の側方は粘性境界、下方基礎は剛基盤を設定している。貯水池の水深は93.77mとしている。

(2) 解析手法: 三次元動的解析モデルの伝達関数を利用して、ダム底部監査廊で観測された3成分の地震動を各振動成分毎に下方入力基盤に引き戻し、再現解析では、引き戻した地震動を3成分同時入力とした。再現性については、主として、ダム天端中央の地震動に着目して判定した。解析プログラムは、筆者等が開発した、ダム-基礎岩盤-ジョイント-貯水池連成系の三次元解析プログラム“UNIVERSE”¹⁾を使用し、線形解析を行った。

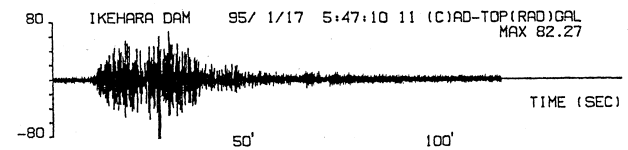


(1) 平面

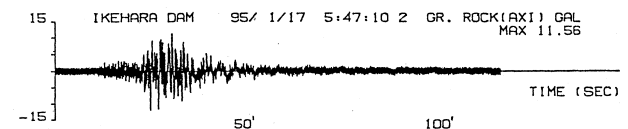


(2) 下流側正面 (: 地震計)

図-1 池原ダムの形状と地震計配置



(1) ダム天端中央の加速度時刻歴(放射方向)



(2) ダム底部監査廊の加速度時刻歴(放射方向)

図-2 兵庫県南部地震の際に観測された地震動

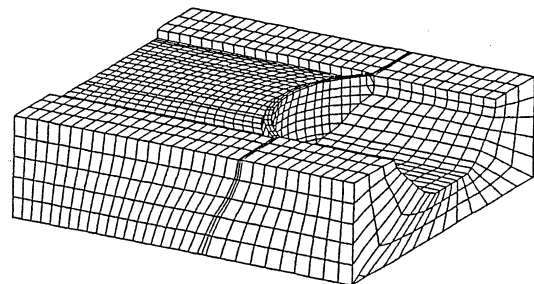


図-3 再現解析に用いた三次元解析モデル

4. 再現解析結果

兵庫県南部地震時の実地震時挙動の三次元再現解析により評価した、池原ダムの動的せん断剛性および減衰定数を表-1に示す。表-1の物性値を設定して解析した

際の、ダム天端中央の加速度時刻歴に関する地震観測結果と再現解析結果の比較を図 - 4 に示す。最大加速度値に関しては、観測結果が 82.3gal であるのに対して解析結果は 77.5gal であり、ほぼ同程度の数値となっているが、地震動の前半部分（概ね 0~15 秒の区間）は、解析結果の振幅が小さく、後半部分（概ね 15~40 秒の区間）は、解析結果の振幅が大きくなっている。解析上は、前半部分の減衰定数を 2%より若干小さく、後半部分の減衰定数を 2%より若干大きく設定すれば、この相異は解消できるものと考えられる。この点に関しては、動的変形特性に関する非線形性を少し考慮することにより、再現性を向上させることが可能であると解釈することができる。波形に関しては、特に特異な振動成分は見られない。ダム底部に対するダム天端中央の伝達関数の比較結果は図 5 に示すとおりであるが、同図より、4Hz より高い周波

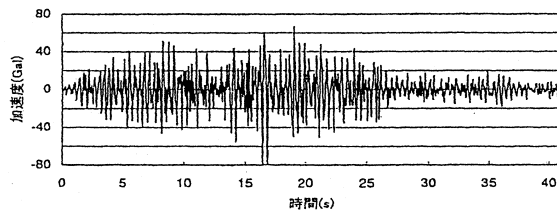
数成分については必ずしも良い対応は示していないが、主要振動成分である 2.8Hz に関しては良く一致している。

5. まとめ

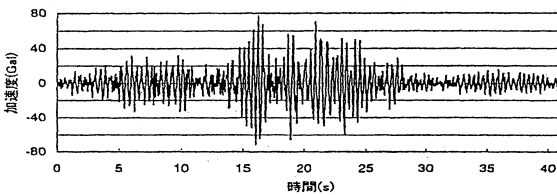
既設アーチダムの三次元再現解析結果に関して、これまでに実施した、新豊根ダム^{3) 4)}と今回実施した、池原ダムの動的変形特性の同定結果を表 - 2 に示す。表 - 2 に示した減衰定数に関しては、ダム堤体の最大加速度が 83.2gal の池原ダムでは減衰定数が 2%と評価されたのに対して、最大加速度が 709gal の新豊根ダムでは減衰定数が 5%と評価された。両ダムの動的変形特性の相異は、基本的には、ダムの形状や寸法、基礎岩盤の硬さ等に依存するものと考えられるが、地震動の振動レベルによる影響の可能性も考えられる。

表 - 1 再現解析により評価した池原ダムの物性値

項目	物性値	
	ダム	基礎岩盤
密度 (g/cm ³)	2.3	2.55
動ポアソン比	0.2	0.3
動的せん断剛性(N/mm ²)	13,500	11,700
S波速度 (m/s)	2420	2140
減衰定数 (%)	2	3

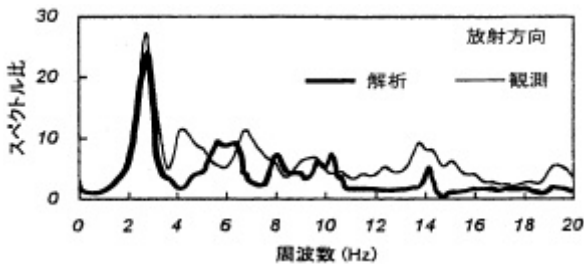


(1) 地震観測結果（ダム天端中央，放射方向）



(2) 再現解析結果（ダム天端中央，放射方向）

図 - 4 加速度時刻歴に係る観測結果と解析結果の比較



(ダム天端中央 / ダム底部監査廊，放射方向)

図 - 5 伝達関数に係る観測結果と解析結果の比較

表 - 2 三次元再現解析による既設アーチダムの動的変形特性の評価結果（池原ダムと新豊根ダム）

項目	ダム名			
	池原	新豊根		
密度 (g/cm ³)	2.3	2.35		
動ポアソン比	0.2	0.2		
動的せん断剛性(N/mm ²)	13,500	10,700		
S波速度 (m/s)	2420	2130		
減衰定数 (%)	2	5		
ダム天端の最大加速度(gal)	82.3	709		
ダム底部の最大加速度(gal)	11.6	68.5		
固有振動数(Hz)	2.8	5.2		
備考	ダム諸元	高さ (m)	111	116.5
		堤頂長(m)	460	311
		堤体積(m ³)	640000	348000

6. あとがき

今後の検討として、ダムの動的せん断剛性と減衰定数の非線形性（ひずみ依存性）を考慮した場合の比較解析を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 渡邊啓行，有賀義明，曹増延：三次元動的解析による非線形性を考慮したコンクリート重力式ダムの耐震性評価について，土木学会論文集 No.696/L-58, pp.99 ~ 110, 2002.1
- 2) 有賀義明，曹増延，渡邊啓行：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
- 3) 有賀義明，曹増延，渡邊啓行：大地震時の構造継目の影響を考慮したアーチダムの耐震性の評価，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-17, pp255-260, 2001.3
- 4) 有賀義明，曹増延，渡邊啓行：既設アーチダムの強震時応答に関する三次元再現解析，土木学会第 26 回地震工学研究発表会講演論文集 pp.969 ~ 972, 2001.8