三次元動的解析によるアーチダムの動的せん断剛性のひずみ依存性の評価

1. まえがき

コンクリートダムの耐震性能照査では地震時応力の評価が重要であり、地震時応力を評価するためには動的変形特性の設定が必要になる.動的変形特性に関しては、強震時のひずみレベルの増大に伴い剛性の低下や減衰定数の増加といった非線形性が知られているが、実物大での評価例は殆どない.ここでは、コンクリートダムの動的せん断剛性のひずみ依存性について既設ダムの地震時応答に着目して三次元動的解析により定量的に評価した.

2 三次元動的解析

2.1 解析モデル

解析には、これまでの研究結果を踏まえ図-1 に示し た解析モデルを用いた¹⁾.解析対象は、2011年東北地方 太平洋沖地震の際の地震時応答が評価された既設アーチ ダムであり最大堤高は 82m,総堤頂長は 323m である.基 礎岩盤は、幅 450m,奥行 250m,高さ 142m の領域をモデ ル化した.ダムと基礎地盤は、8 節点ソリッド要素でモ デル化し、基礎岩盤の側方境界は粘性境界、下方境界は 剛基盤とした.貯水については、強震時の引張応力の評 価においては安全サイドの条件になることを念頭に置い て空虚時を仮定した.解析は、線形解析とし、解析プロ グラムは ISCEF を使用した.

2.2 解析用物性值

解析に用いた動的物性値を表-1 に示す.表中,ダム 堤体の動的せん断剛性(Gd)に関して,Gd=6000N/mm² は、東北地方太平洋沖地震の本震時(2011.3/11,ダム天 端の最大加速度 626Gal)の一次固有振動数 5.8Hz が三次 元固有値解析で再現されるように同定した値である.同 様に、Gd=7310N/mm²は、東北地方太平洋沖地震の余震 時(2011.4/7,ダム天端の最大加速度 430Gal)の一次固 有振動数 6.4Hz,Gd=9250N/mm²は、微小地震時の一次固 有振動数 7.2Hz が再現されるように同定した値である¹⁾. 密度、ポアソン比、減衰定数の値は、これまでの研究を 踏まえ設定した.

2.3 ひずみ依存性の評価方法

上記のように,解析対象ダムに関しては,3つの地震の揺れに対して3つの動的せん断剛性の値が同定されている.したがって,地震動が作用した時のダム堤体の動的ひずみを評価することができれば,Gdと動的ひずみ

弘前大学 フェロー会員 有賀 義明

の関係を求めることができる.そこで、本震時(3/11) と余震時(4/7)の地震時応答を三次元動的解析により 評価し、ダム堤体の動的ひずみを定量的に評価した.

2.4 入力地震動

Gd のひずみ依存性を評価するために,解析には図-2 に示した2つの入力波(本震時と余震時,共に底部監査 廊で観測された地震動)を用い上下流方向に入力した.



側方境界:粘性境界(4面),下方境界:剛基盤図-1 三次元動的解析モデル

表-1 解析用動的物性值				
項目	動的社人期间性	密度	ポアソ	減衰
	$Gd (N/mm^2)$	t/m ³	ン比	定数
	6000 (*1)	2.40	0.20	0.05
ダム 堤体	7310 (*2)			
	9250 (*3)			
岩盤	4500	2.60	0.25	0.05
(備考) *1:東北地方太平洋沖地震の本震時(2011.3/11)				
*2:東北地方太平洋沖地震の余震時(2011.4/7)				
*3:微小地震時(微小ひすみ)				
本震時 (2011.3/11) ダム基礎 最大加速度 88.35gal				
(1) 八刀波1 (Gd=60000N/mm ² とした時の八刀波)				
余震時 (2011.4/7) ダム基礎 最大加速度 73.17gal				
図-2 解析に用いた入力波				

キーワード:コンクリートアーチダム,動的せん断剛性,ひずみ依存性,三次元動的解析,動的非線形性 連絡先:〒036-8561 弘前市文京町3,弘前大学大学院理工学研究科 Tel・Fax 0172-39-3608

2.5 解析結果

(1) 動的ひずみの分布例

Gd=6000N/mm²とした時(本震時)の動的ひずみの分 布例を図-3に示す.ダム天端や放流施設の周辺部で動的 ひずみが大きくなっていることが理解できる.

(2) 動的せん断剛性のひずみ依存性

動的ひずみの大きさはダム堤体の位置によって変化す ることから、図-4のように代表出力位置を設定しGdの ひずみ依存性を検討した.ダム天端部(位置 31 と位置 49) での Gd のひずみ依存性の評価結果を図-5 に示す. 図の縦軸は Gd/Go であり、横軸は動的軸ひずみとして いる. 図-5 中の 3 つの緑の丸印は, Gd=9250N/mm², Gd=7310N/mm²および Gd=6000N/mm²に対する評価結果 であり、赤の曲線は想定される包絡線を付記したもので ある.黒の■印と曲線はコンクリート供試体を用いた室 内引張試験の結果から図化したものである².図-5より, ダム天端部に関しては、室内試験と符合する結果となっ た. 図-6と図-7は、それぞれ、ダム中央部(位置 32と 位置 47) とダム底部(位置 38 と位置 52)の評価結果で ある. 図-5~図-7 より、どの代表出力位置でも Gd のひ ずみ依存性を確認することができたが、ダム天端部とダ ム底部では室内試験と良く符合する結果となったが、ダ ム堤体中央部ではひずみ依存性が早く現れ剛性低下の度 合が大きい結果となった. これらの結果から、ダム堤体 の動的せん断剛性のひずみ依存性は、ダム堤体のどの部 位でも一様ではなく、ダム堤体の位置によって変化する ものと考えられる.

3 あとがき

従来、ダムコンクリートの動的変形特性の評価に関し ては、供試体を用いて載荷速度を早く設定した室内試験 により、材料力学的なアプローチによる評価研究例は多 いが、大規模なダムの実物大での評価研究例は非常に少 ない.本研究では、既設ダムの地震時応答を踏まえた三 次元動的解析を活用することにより、ダム堤体の動的非 線形性を定量的に評価できることを確認することができ た.三次元動的解析技術は、コンピュータを三次元数値 振動台とした実規模振動実験として解釈することが可能 であり、三次元動的解析は、大規模な構造物の動的非線 形性の定量的評価の手段として有効である.

参考文献

- 有賀義明,上島照幸,仲村成貴,塩尻弘雄:三次元動 的解析による2011年東北地方太平洋沖地震における ダブルアーチダムの耐震性評価,土木学会論文集A1 (構造・地震工学),Vol.70,No.4 (地震工学論文集第 33巻),I_121-I_129,2014
- 2) 畑野正: コンクリートの如き脆性体のひずみに立脚した破壊論, 土木学会論文集第153 号, pp. 31-39, 1968



図-3 Gd=6000N/mm²の時の動的ひずみ分布例



図-4 堤体上流面での代表出力位置











図-7 ダム底部の動的せん断剛性のひずみ依存性