

中空重力式コンクリートダムの観測記録と数値解析による固有周期の比較検討

中部電力(株) 正会員 ○亀谷 泰久 佐藤 正俊
清水建設(株) 正会員 玉井 誠司 新美 勝之 藤田 豊

1. はじめに

中空重力式コンクリートダムの地震時の挙動を解析により精度良く把握するためには、ダム堤体や基礎岩盤の物性値を適切に設定する必要がある。このような物性値の設定については、塩尻¹⁾が重力式ダムやアーチ式ダムを対象に物性値設定方法についての考察を行っている。筆者らは中空重力式ダム(高さ125m)を対象に、地震観測記録から得られるダム堤体の卓越周期とダム堤体—基礎岩盤連成系の三次元 FEM モデルによる固有振動解析から得られる固有周期を比較し、岩盤の弾性係数がダム堤体の固有周期に及ぼす影響を検討した。

2. 地震観測記録の分析

検討対象ダムにおける地震計設置位置を図1に示す。本稿では、2009年8月11日駿河湾地震(M=6.5)を検討対象とし、観測された上下流方向の加速度波形を図2に示す。上下流方向最大応答加速度は、フロアにおいて 18cm/s^2 、監査廊において 41cm/s^2 で、比較的小さい。フロアと監査廊における応答加速度のフーリエスペクトルをそれぞれ算出し、フロアを基準とした際の監査廊のフーリエスペクトル比をとることにより、ダム堤体の上下流方向卓越周期を算定する。作成したフーリエスペクトルを図3に、フーリエスペクトル比を図4に示す。これより、ダム堤体の上下流方向卓越周期は0.190s、0.104sと読み取ることができる。ダム堤体上下流方向の2次振動モードは励起されにくいことから、それぞれ、1次卓越周期、3次卓越周期であると考えられる。また、図3より、周期0.04s周辺の成分は微小であることから、図4の周期0.04s周辺に卓越している成分はダム堤体全体の振動ではなく、局所的な振動であると考えられる。

3. 固有振動解析

3.1 解析条件

ダム堤体-基礎岩盤連成系の三次元 FEM モデルを用いて固有振動解析を実施する。解析に用いた三次元 FEM モデルを図5に示す。

ダム堤体コンクリートの物性値は、建設時における品質管理試験に基づき設定し、基礎岩盤の物性値は、建設時における弾性波探査試験に基づき設定した。ここで、基礎岩盤の弾性波探査結果は、ダムに近接した基礎岩盤のデータであること、場所によってばらつきがあることから、ダム周辺の岩盤の剛性と相違があることが考えられる。ダム堤体直下の基礎岩盤の弾性係数がダム堤体の

固有振動数に与える影響を検討するために、基礎岩盤の弾性係数を0.5倍、1.0倍、1.5倍と変化させたケース1、ケース2、ケース3を実施する。解析に用いるダム堤体コンクリート及び基礎岩盤の物性値を表1及び表2に示す。境界条件は、基礎岩盤底面の三方向を固定とし、基礎岩盤側面の水平方向をフリーで鉛直方向を固定とする。

3. 2 固有振動解析結果

3ケースの固有振動解析より得られるダム堤体の上下流方向1次及び3次固有周期と固有振動モードを表3及び図6に示す。3ケース全てにおいて、ダム天端が変形するモードとともに、堤体底面直下の基礎岩盤を押し込むモードが見られる。このため、基礎岩盤の弾性係数がダム堤体の固有周期に対して影響を与え得ると言える。また、基礎岩盤の弾性係数が大きくなるにつれて、固有周期の短周期化の程度は小さくなっており、ダム堤体コンクリート及び基礎岩盤の弾性係数の相対的な関係により、固有周期への影響度が変化すると考えられる。

4. 卓越周期と固有周期の比較

地震観測記録より得られる卓越周期と固有振動解析より得られる固有周期を比較したものを表3に示す。地震時に励起されるダム堤体の上下流方向の振動は1次モードと3次モードが支配的であると考えられる。1次と3次の固有周期において、ケース2の結果が卓越周期とほぼ一致する結果となった。

5. まとめ

中空重力式ダムコンクリートダムを対象としたダム堤体-基礎岩盤連成系の三次元 FEM モデルによる固有振動解析より得られる上下流方向の固有周期は、基礎岩盤の弾性係数の影響を受けることが分かった。今回の検討に用いた三次元 FEM モデルでは、基礎岩盤の弾性係数を弾性波探査試験に基づき設定したケースにおいて、地震観測記録より得られる卓越周期とほぼ一致する結果となった。なお、対象とした地震記録は比較的小さい加速度であったため、今後は大きな加速度の観測記録による固有周期の変化を把握する予定である。

6. 参考文献

- 1) ダム-岩盤-貯水の連成を考慮した重力式ダムの三次元地震応答シミュレーション, 土木学会論文集 No.640/I-50, 177-192, 2000年1月

キーワード：中空重力ダム 地震観測記録 卓越周期 固有振動解析 固有周期

〒461-8680 愛知県名古屋市中区東新町1番地 TEL 052-973-2249 FAX 052-973-3173

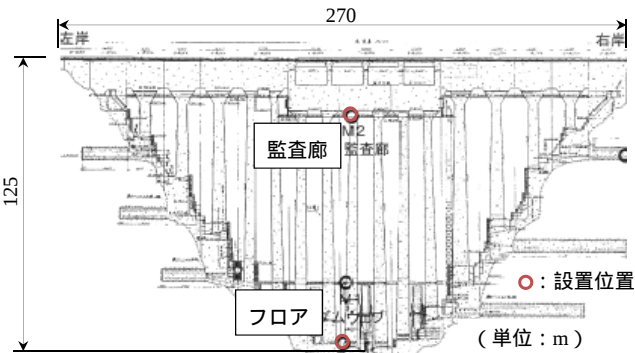


図 1 地震計設置位置

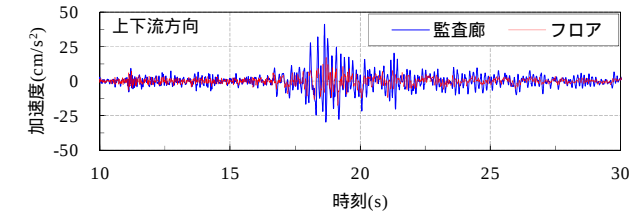


図 2 地震観測波形 (2009.8.11, 駿河湾地震, M=6.5)

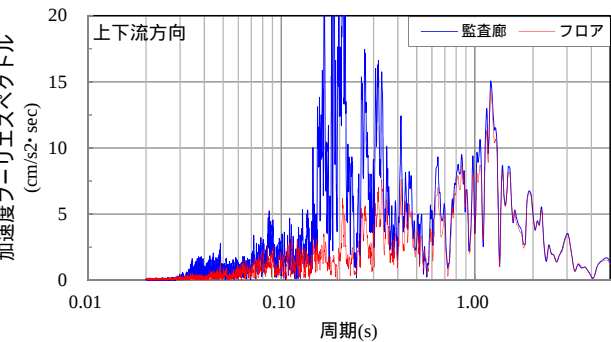


図 3 加速度フーリエスペクトル

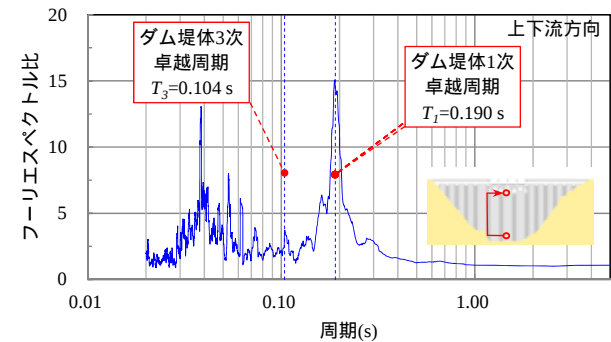
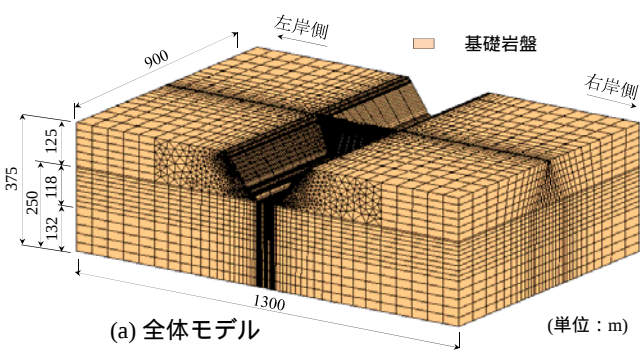
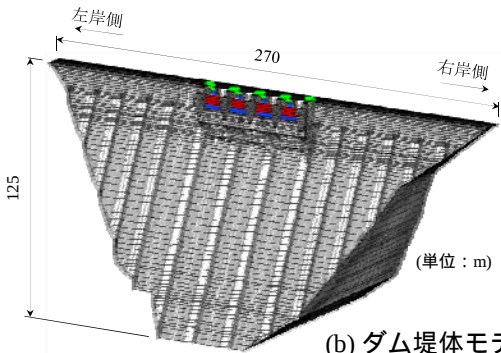


図 4 フーリエスペクトル比 (監視廊/フロア)



(a) 全体モデル



(b) ダム堤体モデル

図 5 解析モデル

表 1 ダム堤体コンクリートの物性値 (各ケース共通)

項目	堤体外部	隔壁上部	隔壁下部
弾性係数 $E(\text{N/mm}^2)$	30200	26100	28100
ポアソン比 ν	0.2	0.2	0.2
密度 $\gamma(\text{kg/m}^3)$	2350	2350	2350

表 2 基礎岩盤の物性値

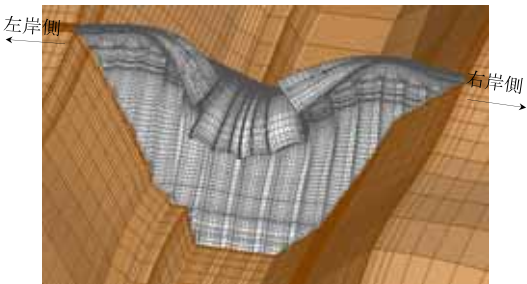
項目	上部		
	ケース 1	ケース 2	ケース 3
弾性係数 $E(\text{N/mm}^2)$	15000	30000	45000
ポアソン比 ν	0.25	0.25	0.25
単位体積質量 $\rho(\text{kg/m}^3)$	2500	2500	2500

表 3 卓越周期と固有周期の比較

次数	卓越周期 (s)	固有周期(s)		
		ケース 1	ケース 2	ケース 3
1 次	0.190	0.221	0.188	0.181
3 次	0.104	0.110	0.102	0.095



(a) 1 次



(b) 3 次

図 6 ダム堤体の上下流方向固有振動モード