

アーチダム堤体の対称性および非対称性が地震時挙動に及ぼす影響評価

熊本大学大学院 学生会員 ○遠藤洋平  
 熊本大学大学院 正会員 松田泰治  
 九州電力株式会社 正会員 大熊信之

1. はじめに

我が国のコンクリートダムは、ダム設計基準に基づき、震度法により設計されているが、兵庫県南部地震等、これまでの大規模地震での被害報告がないことから、十分な耐震性を有していると考えられている。しかしながら、今後も長期間供用するためには、より合理的な耐震性照査が必要である。アーチダムの耐震性照査に関する既往検討では、個別ダム毎での耐震性照査が実施されているものの、堤体の形状が耐震性に及ぼす影響に関して整理された研究は非常に少ない。

本研究では、アーチダムの形状として堤体の対称性および非対称性に着目し、アーチダムの解析モデル（非対称モデル）から2つの対称モデルを作成した。本稿では、これらのモデルによる解析結果から堤体の形状が地震時挙動に及ぼす影響について述べる。

2. 解析モデル

2.1 基本モデル

基本モデルは円筒型コンクリートアーチダムを対象として、精緻に作成した解析モデルを用いた。図-1に示すように基本モデルはダム-岩盤-貯水連成系の三次元モデルであり、岩盤幅は簡易的に5mの等厚としている。要素分割は線形弾性体の8節点6面体ソリッド要素を用い、堤体は鉛直ジョイント間を均等2分割、厚さ方向に均等5分割している。貯水は水要素とはせず、動水圧による影響はZangarの式に基づく付加質量法により考慮した。また、ゲート部のモデル化は行っていない。表-1に堤体と岩盤の物性値を示す。以降、次節で述べる対称モデルと対応させるため、この解析モデルをモデル1とする。

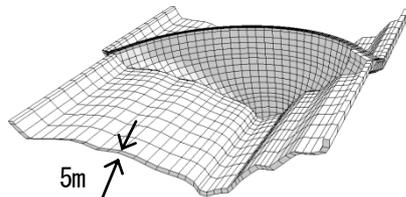


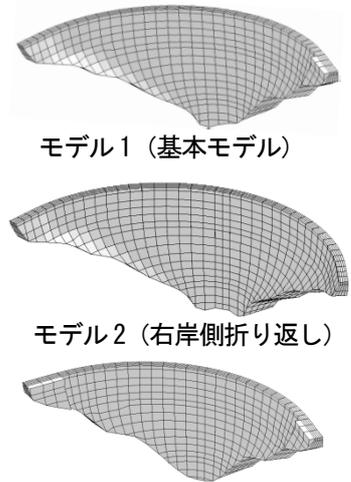
図-1 モデル1鳥瞰図

表-1 解析に用いた物性値

	ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比	減衰率 (%)
堤体	44.13	25.50	0.167	5.0
鉛直ジョイント部	44.13	25.50	0.167	5.0
岩盤	19.61	23.53	0.200	2.5

2.2 対称モデルの構築

岩盤を含めた非対称モデルを対称面で折り返し、対称モデルを2ケース作成した。右岸側を折り返したものをモデル2、左岸側を折り返したものをモデル3とした。それぞれのモデルの物性値はモデル1と同じものを用いている。各モデルの堤体の形状を図-2に、概要を表-2に示す。



モデル3 (左岸側折り返し)

図-2 各モデル鳥瞰図

表-2 各解析モデルの概要

解析モデル	モデル1	モデル2	モデル3
要素数	3726	4202	3362
節点数	5508	6190	4984
体積比	1.00	1.12	0.93
スラストブロック	あり(1箇所)	なし	あり(2箇所)

3. 荷重条件

外的荷重としては自重、静水圧、動水圧および揚圧力を作用させた。静水圧および揚圧力については節点力として考慮した。

4. 空虚時と高水位時における常時挙動

ここでは地震発生時における堤体の初期応力状態を求めるため、空虚時（貯水位 0.0m）には自重を、高水位時（貯水位 100.0m）にはそれに加えて静水圧および揚圧力を作用させて常時挙動解析を実施した。非対称モデルの堤体コンクリート部および鉛直ジョイント部について、空虚時および高水位時のダム軸方向応力分布図を図-3に示す。同図によれば、空虚時は下流面右岸側岩着部で相対的に大きな引張応力がコンクリート部で発生しており、鉛直ジョイント部においても引張強度 0.34MPa を超える応力が生じている。今回の自重解析では、ダムの建設過程を考慮しておらず、ダム全体を連続体として実施しているため、岩盤と堤体の接触部分において、剛性差に起因した高応力が発生したことが原因と考えられる。しかしながら、高水位時においては、空虚時と比較する

キーワード アーチダム, ダム-岩盤-貯水連成系三次元モデル, 形状対称性・非対称性  
 連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2丁目39番1号

と、貯水に伴う静水圧の影響により、堤体の広範囲で一斉作用に寄与するダム軸方向圧縮応力が増加しており、全体的に引張応力が低減されていることから、貯水の存在がダムの安定性に有利に作用していることが確認された。対称モデルについては非対称モデルから引き継いだ形状においてほぼ同様の応力分布を示しており、堤体の対称性および非対称性が常時挙動に与える影響は小さいと考えられる。

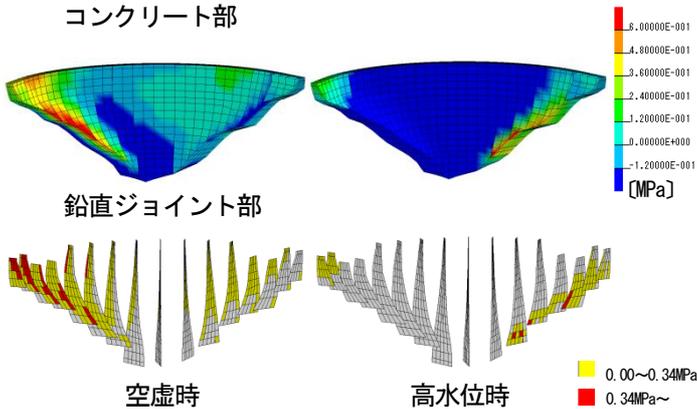


図-3 非対称モデルのダム軸方向応力分布 (視点は下流から上流)

5. レベル2地震動による時刻歴応答解析

常時挙動解析結果を初期状態として各モデルに対して時刻歴応答解析を実施した。貯水条件は高水位とした。また入力地震動については、当該ダム地点において検討されたレベル2地震動の加速度波形を用いており、入力方向は上下流方向とした。また入力地震動の最大加速度は330galである。

5.1 解析結果

図-4に堤体要素において全積分ステップにわたって生じた最大の主応力応答をモデル1,2の上流面についてそれぞれコンター図として示す。モデル1,2ともに最大主応力の発生箇所、大きさにはあまり違いがなく、両モデルともに天端中央部および下段中央部において、一般的なダムコンクリートの引張強度である3MPaを超える大きな引張応力が生じていることがわかる。この大きな引張応力は天端中央部については堤体の上流側への変位に、下段中央部については下流側への変位に起因する応答であると推測される。点A(モデル1の天端中央部)における上下流方向加速度の時刻歴応答を図-5に示す。この時刻歴応答をフーリエ変換することにより、図-6のように点Aのフーリエスペクトルが得られる。図-6をみると振動数が4Hz付近で卓越しているが、モデル1の高水位時における対称1次モードの固有振動数が4.25Hzであることから、上下流方向の地震動に対して対称1次モードが励起されることが確認された。

一方、ダムの対称・非対称性に大きく影響を及ぼすであろうダム軸方向の応答については、図-7で明らか

うに点B(モデル2の天端中央部)では点Aと比較すると応答が非常に小さく、堤体形状の対称性および非対称性により地震時における振動特性に差異を生じたことが確認された。しかしながら、この振動特性の差異は応力状態に対して影響を及ぼすものではないと考えられる。

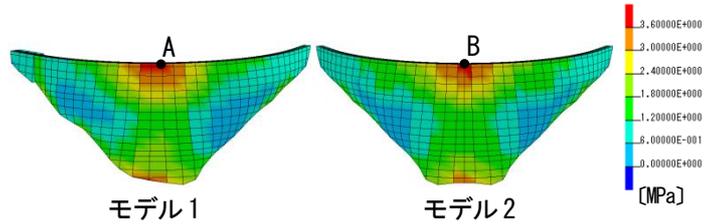


図-4 最大主応力 (視点は上流から下流)

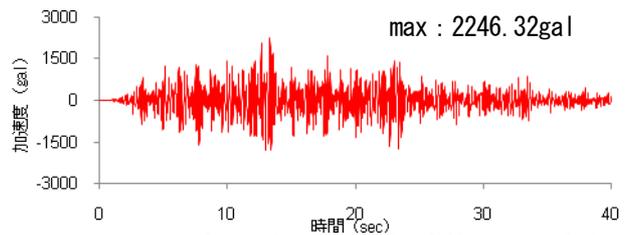


図-5 点Aの加速度時刻歴応答(上下流方向)

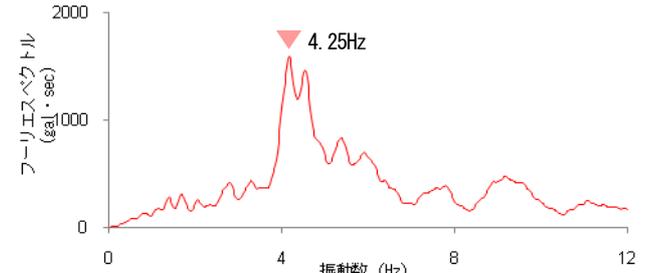


図-6 点Aのフーリエスペクトル

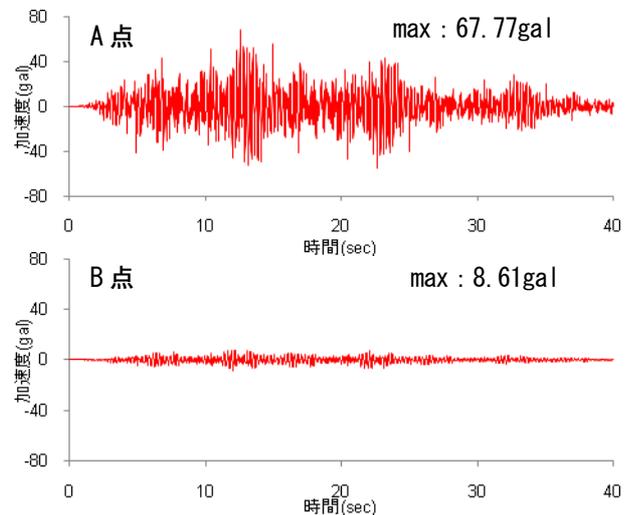


図-7 A点およびB点の加速度時刻歴応答(ダム軸方向)

6. おわりに

本検討では、基本モデルから対称モデルを構築し、堤体の対称性および非対称性が常時挙動および地震時挙動に与える影響について把握した。今後は鉛直ジョイント部の非線形挙動を考慮できる解析モデルを構築し、線形解析との比較検討を行う予定である。