

アーチダムの形状が及ぼす振動特性・常時応力の影響評価

熊本大学 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ことが確認されている。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ついて、という観点で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・非対称性に着目し、実在するダムの解析モデル（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振動特性、および常時応力分布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

基本モデルは実在する円筒型コンクリートアーチダム（1955年竣工）を対象として、精微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

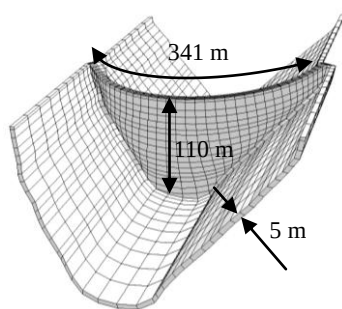


図1 モデル1 鳥瞰図

—岩盤—貯水連成系の三次元モデルであり、堤高は110m、堤頂長は341m、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、動水圧は付加質量により考慮した。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

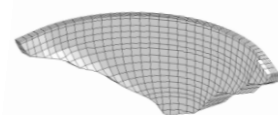
表1 物性値

	ヤング率(kN/mm ²)	単位体積重量(kN/m ³)	ポアソン比
堤体	44.13	25.50	0.167
岩盤	19.61	23.53	0.200

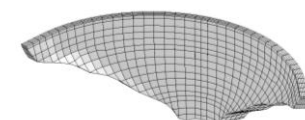
応させるため、この解析モデルをモデル1とする。

2-2. 対称モデルの構築

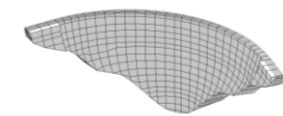
岩盤を含めた非対称モデルを対称面で折り返し、対称モデルを2ケース作成した。右岸側を折り返したものをモデル2、左岸側を折り返したものをモデル3とした。それぞれのモデルの物性値はモデル1と同じものを用いている。各モデルの堤体の形状を図2に、概要を表2に示す。



モデル1（基本モデル）



モデル2（右岸側折り返し）



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（固有値解析のみ）、および揚圧力を作用させた。静水圧及び動水圧については、堤体上流面への付加質量により考慮している。なお、動水圧の算出については、Zangarの式を用いている。

4. 解析結果

貯水条件は、高水位(貯水位 100.0m)と空虚(貯水位 0.0m)の 2 ケースで各解析を実施した。

4-1. 固有値解析

固有値解析により得られた高水位時における、全モデルの低次 4 次の固有振動数と、モデル 3 の上下流方向刺激係数を表 3 に示す。表 3 をみると逆対称モードにおける上下流方向刺激係数はゼロであることが確認できる。モデル 2 においても同様の傾向が示されたが、モデル 1 ではこのような特性は見受けられなかった。したがって、対称的な堤体を有するアーチダムでは、逆対称モードがアーチダムの耐荷機構上、厳しい上下流方向の振動に対し、鈍感であるといえる。

一方、高水位時の固有振動数については、各モデルで差異が生じたが、表 2 の体積比からもわかるように堤体の規模の違いに伴う質量の差に起因するものであると考えられる。また表 4 に空虚時の固有振動数を示すが、高水位時と比較すると固有振動数は各モデルで全体的に約 3 割増加している。これは貯水の影響を考慮するために付加していた質量の低減に伴うものである。したがって、堤体形状の対称・非対称性が固有振動数に及ぼす影響は小さいと考えられる。

表 3 貯水時の固有値解析結果

モード	固有振動数(Hz)			モデル 3 の 上下流方向刺激係数
	モデル 1	モデル 2	モデル 3	
逆対称 1 次	4.19	3.78	4.72	0.00
対称 1 次	4.40	4.18	4.52	2.61
対称 2 次	6.11	5.62	6.73	1.02
逆対称 2 次	7.61	6.87	8.67	0.00

表 4 空虚時の固有値解析結果

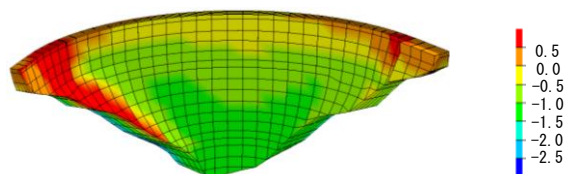
モード	固有振動数(Hz)		
	モデル 1	モデル 2	モデル 3
逆対称 1 次	5.18	4.71	5.79
対称 1 次	5.55	5.35	5.74
対称 2 次	7.25	6.71	8.01
逆対称 2 次	8.96	8.06	10.28

4-2 常時応力解析

ここでは空虚時には自重を、高水位時にはそれに加

えて静水圧と揚圧力を作用させて解析を行った。図 3 にモデル 1 の常時応力解析結果を示す。空虚時には貯水時と比較すると、全体的に引張応力が増加しており、貯水の存在がアーチダムの安定性に有利に作用していることが確認された。これは、貯水に伴う静水圧の影響によりアーチ推力に寄与するダム軸方向の圧縮応力が発生し、引張応力を低減しているためであると考えられる。空虚時の下流面に着目すると、右岸側岩着部で全体的に引張応力が生じているが、左岸側にはそのような傾向は見受けられない。これは左岸側にあるスラストブロックの効果であると考えられる。左岸側岩着部には右岸側比べ、広範囲に引張応力は発生していない。しかしながら、堤体ブロックとスラストブロック間の急激な形状変化により、その付近で引張応力が局所的に集中していることが確認された。モデル 2,3 ではモデル 1 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・非対称性が常時応力に与える影響は小さいと考えられる。

空虚時



高水位時

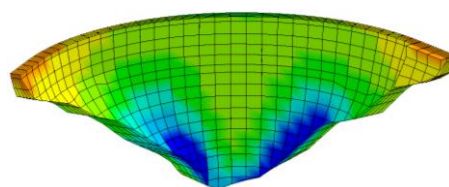


図 3 モデル 1 の主応力分布図 (MPa)

5. おわりに

本検討では、基本モデルから 2 ケースの対称モデルを構築し、それらの堤体の対称性が振動特性、常時応力状態に及ぼす影響を把握した。

アーチダム堤体の対称・非対称性が固有振動数あるいは常時応力状態に及ぼす影響は小さいものの、逆対称モードにおける上下流方向の刺激係数に対しては差異が生じた。このことは、堤体の形状が地震時挙動に対して大きく影響を及ぼすことが考えられるため、今後地震応答解析を行い、検証を含めていく予定である。