

非線形性を考慮したアーチダム堤体の常時応力状態 (堤体の対称性および非対称性に対する検討)

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。

実際のアーチダムは鉛直ジョイント部の状態変化が堤体内部の応力状態に大きく影響を及ぼすことが知られている。そのため、材料非線形性を考慮しないモデルでは過剰な引張応力が堤体コンクリートに発生するという問題が生じており、鉛直ジョイント部には材慮非線形性を考慮したモデル化が必要であるとされている。過剰な引張応力の開放に起因する主要な挙動は剥離であると考えられるため、本研究では離接挙動を再現できる非線形モデルを構築した。また、アーチダム野形状として堤体の対称性・非対称性に着目した。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常時応力分布に及ぼす影響をについて述べる。

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

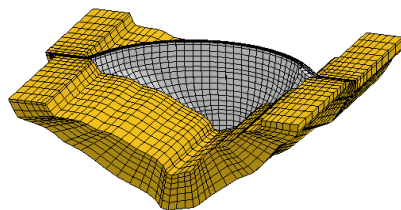


図-1 model11の鳥瞰図

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45m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。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、この基本モデルをmodel1とする。

表-1 model11の物性値

	ヤング係数 [kN/mm ²]	ポアソン比	単位体積重量 [kg/m ³]
堤体コンクリート	44.13	0.167	2.45
鉛直ジョイント部	8.83	0.167	2.45
岩盤部	19.61	0.200	2.45

2.2 対称モデルの構築

岩盤を含めた基本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モデルをmodel12、左岸側を折り返したモデルをmodel13とした。それぞれのモデルの物性値はmodel1と同じものを用いている。

2.3 鉛直ジョイント部について

鉛直ジョイント部には剥離の非線形挙動を再現できるモデル化を行った。鉛直ジョイント部は図-2に示すように配置されている。剥離する方向（ダム軸方向）の非線形特性を図-3に示す。今回は、鉛直ジョイント部のせん断方向については剛なバネを設け、滑動は生じないようにモデル化した。

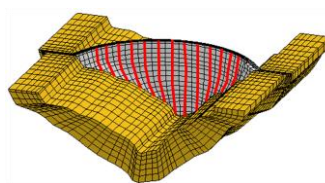


図-2 鉛直ジョイント

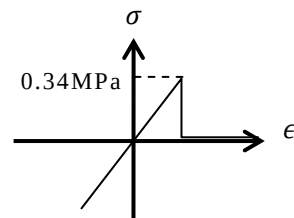


図-3 応力-ひずみ特性

3 荷重条件

外的荷重としては自重、静水圧、および揚圧力を作用させた。今回は、堤体の形状に着目しているため、温度荷重については考慮していない。

4 常時応力解析結果

貯水条件は、高水位（貯水位 100m）と空虚（貯水位 0m）の2ケースで常時応力解析を実施した。

4.1 空虚時

空虚時に model1 に発生した最大主応力分布図の下流表面を図-4 に示す。線形解析結果では、右岸側の天端に比較的大きな引張応力が生じており、水平断面アーチ変形に起因するアーチ方向の引張応力が発生していると推測される。非線形解析結果では、右岸側アバット近傍に比較的大きな引張応力が生じている。これは、右岸側の鉛直ジョイント部が剥離することでアーチ方向の引張応力が解放され、鉛直断面片持ち梁変形に起因する引張応力がアバット近傍で生じたと考えられる。空虚時における線形モデルおよび非線形モデルの堤体天端の半径方向の変位を図-5 に示す。非線形モデルでは鉛直ジョイント部が剥離することにより、線形モデルよりも最大で約 1mm 上流側へ変位していることが確認できる。

4.2 高水位時

高水位時に model1 に発生した最大主応力分布図の下流表面を図-6 に示す。線形解析モデルと非線形モデルを比較すると、大きな差異は認められない。高水位時における線形モデルおよび非線形モデルの堤体天端の半径方向変位を図-7 に示すが、両モデルに差異はみられない。高水位時には貯水池の影響により下流側へ変形し、アーチ方向圧縮応力が生じることで鉛直ジョイント部が剥離することなくアーチダムが連続的に安定した構造を保っていることが推測される。

4.3 応力最大値

線形モデルおよび非線形モデルの最大主応力の最大値を表-2 に示す。空虚時には、線形モデルと比較すると非線形モデルで最大主応力が大きく低下しているが、高水位時には鉛直ジョイント部の剥離はごく一部でのみ生じており、線形モデルと非線形モデルとの差異は小さい。

各モデルを比較すると、高水位時は model3 に発生する応力が最も小さい結果となった。model1 および model2 と比較すると model3 は上流側へのはらみ出しが小さく、この形状の差異が堤体に発生する引張応力に影響を及ぼしていたと考えられる。一方、空虚時は model3 の線形モデルに最も大きな引張応力が発生している。これは、スラストブロックの存在に起因する応力集中が影響していると考えられる。同モデルの非線形モデルでは引張応力が大幅に低減していることが確認できる。

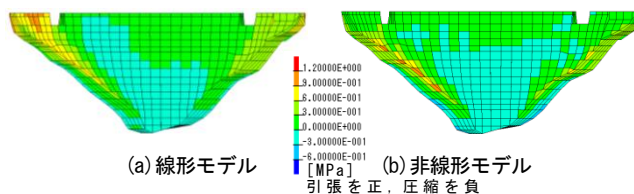


図-4 model1 の最大主応力分布図（空虚時）

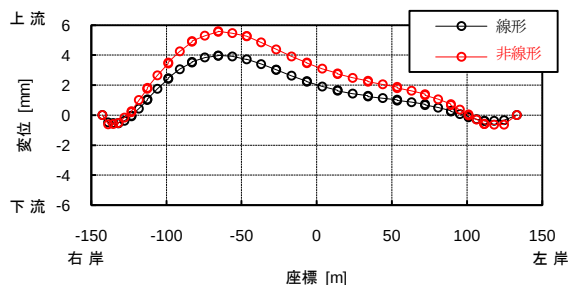


図-5 model1 の線形・非線形モデルの天端変位（空虚時）

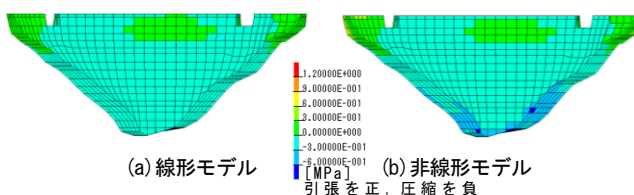


図-6 model1 の最大主応力分布図（高水位時）

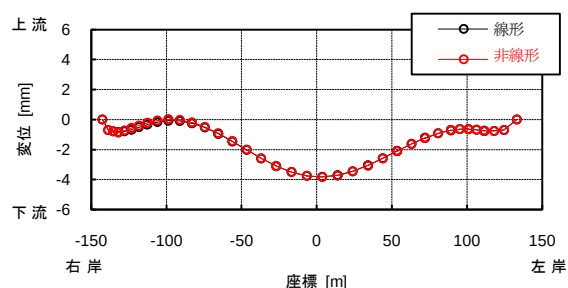


図-7 model1 の線形・非線形モデルの天端変位（高水位時）

表-2 最大主応力最大値 [MPa]

水位条件	空虚時		高水位時	
モデル	線形	非線形	線形	非線形
model1	1.457	1.040	0.624	0.561
model2	1.280	1.004	0.650	0.568
model3	1.560	0.657	0.387	0.388

5 おわりに

本検討では、対称モデルおよび非対称モデルに対して鉛直ジョイント部に離接挙動を再現できる材料非線形性を考慮することで、空虚時および高水位時のアーチダムの常時応力状態を把握した。今後は、堤体形状が地震時挙動に対して及ぼす影響について地震応答解析を実施し、検証を進める予定である。