

# 地震応答解析における損傷の考慮箇所が重力式ダムの応答に与える影響

電力中央研究所 正会員 西内 達雄

## 1. はじめに

「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」(国土交通省、2005年3月)が公表され、ここで提示されているレベル2地震動に対するダム施設の安全性検討が必要とされている。この指針(案)では、堤体の安定性はより具体的な損傷の発生と伸展に伴う貫通の評価となっており、損傷が懸念された場合には、非線形解析により損傷の伸展を評価することが必要である。このためには、従来の設計では許容されていない損傷を考慮できる解析手法や評価法が必要である。このような課題に対して、当所は地震時のダム堤体の損傷状況を評価できる非線形有限要素解析手法<sup>1)</sup>を提案している。本報告では、堤体および岩着部、基礎岩盤での損傷を考慮した有限要素解析により、これら箇所での損傷の考慮が堤体応答に及ぼす影響を明らかにした。

## 2. 地震応答解析

### 2.1 解析概要

重力式ダムの2次元断面を対象とした非線形地震応答解析を実施した。損傷を考慮した箇所は、堤体と岩着部、基礎岩盤である。堤体断面は堤高100mと50mの相似形とした。作用荷重は貯水池の水圧、自重、揚圧力、泥圧、地震力(入力地震動)である。解析は汎用コードABAQUSを使用し、堤体-基礎岩盤-貯水連成系の解析モデルを作成した。損傷モデルは、ABAQUSの標準機能であるひずみ軟化モデルを用いて、損傷箇所に応じた引張強度を設定して適用した(図-1)。解析ケースと条件を表-1に示す。解析要因は堤高の違いと損傷の考慮箇所である。

### 2.2 解析モデルと物性

解析に用いた要素分割を図-2に示す。解析に用いた物性は、堤体は動弾性係数 $2.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、単位体積重量 $2.3 \text{tf/m}^3$ 、基礎岩盤は動弾性係数 $1.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、単位体積重量 $2.6 \text{tf/m}^3$ とした。減衰は、堤体の1次および2次固有振動数での堤体および基礎岩盤の減衰が5%となるレイリー減衰を設定した。入力地震動は、国交省指針案の照査用下限加速度応答スペクトルで振幅を規定し、ランダム位相を用いて作成したものである。有限要素底面の上下流方向に入力した。

## 3. 解析結果

### 3.1 堤体応答加速度

堤体の最大応答加速度倍率の分布を図-3に示す。堤高100mケースでは、堤体天端を除くと、線形解析が非線形解析よりも応答倍率が大きい傾向を示している。これは、非線形解析では堤体頂部を含む断面内部に損傷が生じており、損傷の発生に伴い特に堤体天端での応答倍率は増大するが、それよりも低標高では損傷に伴う応力開放の影響で応答が低減したためと考えられる。また、岩着部や基礎岩盤の非線形性(損傷)の考慮による影響は堤体天端を除いて小さいことがわかる。これは、これら箇所が損傷しないことで、損傷が堤体に集中したことの影響と考えられる。堤高100mと50mで最大応答加速度倍率の分布を比較すると、堤高50mでは堤体

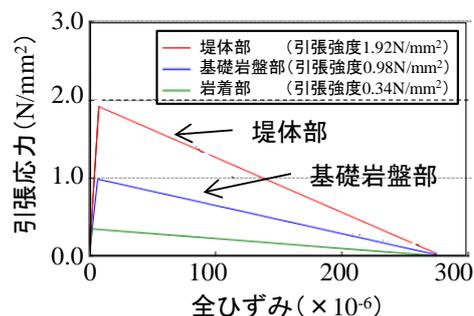


図-1 材料の非線形特性(引張領域)

表-1 解析ケースと条件

No	堤高	損傷を考慮する箇所
1	100m	なし
2		堤体、岩着部
3		堤体、岩着部、基礎岩盤
4	50m	なし
5		堤体、岩着部、基礎岩盤

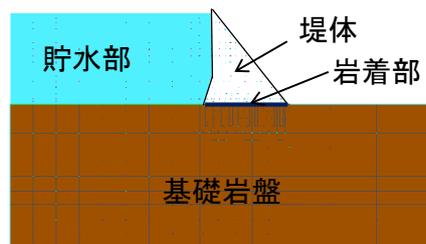


図-2 解析で用いた要素分割図

キーワード 重力式ダム、地震応答解析、損傷、耐震性能、コンクリート

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 電話 04-7182-1181、FAX 04-7183-2962

天端での最大応答加速度倍率は2程度であり、堤高100mの線形解析の結果での標高50mの値と同じである。堤高が低い場合、固有周期は短くなり、今回用いた地震動の卓越周期帯から外れるため、最大加速度応答倍率が小さくなったと考えられる。

3.2 損傷状況

堤高100mケースで損傷の進展状況を図-4に示す。堤体と岩着部、基礎岩盤での損傷を考慮したケースでは、まず、岩着部の上流端で損傷が発生し、基礎岩盤の損傷は深部へ伸展したが、ある深度で進展が止まった。岩着部での損傷は断面中央まで進展した。堤体では上流面フィレット取付近傍からの損傷が水平方向に断面中央まで伸展したが、堤体頂部での損傷が最終的に断面を貫通した。一方、基礎岩盤の損傷を考慮しないケースでは、基礎岩盤の損傷を考慮したケースと比べて堤体と岩着部での損傷領域は広範囲となるが、損傷箇所は変わらない。基礎岩盤が損傷しないため、そこが負担する引張応力を堤体が分担したためと考えられる。このことから、堤体の損傷評価において、基礎岩盤の損傷を考慮しない場合の方が安全側評価と考えられる。

堤高100mと50mケースで損傷の進展状況の比較を図-5に示す。岩着部と基礎岩盤の損傷については、堤高50mケースは100mケースと同様であり、損傷の進展領域としては堤高50mケースが狭く、損傷は相対的に軽微である。堤体については堤高50mケースでは損傷は認められない。このことは、前述図-3で示された堤体は線形弾性的な応答挙動を示すことと整合する。

4. まとめ

堤体および岩着部、基礎岩盤での損傷を考慮した重力式ダムの有限要素解析より、損傷を考慮する箇所の違いにより、堤体の最大応答加速度や損傷状況は異なることが明らかとなった。基礎岩盤の損傷を考慮しない解析では、堤体応答や発生応力とも大きくなり、堤体の損傷評価においては安全側と考えられる。

参考文献

1) 西内達雄：重力式コンクリートダムの耐震性能評価技術の高度化（その1）模型実験と地震応答解析による損傷評価、電力中央研究所研究報告 N11025、2012. 3

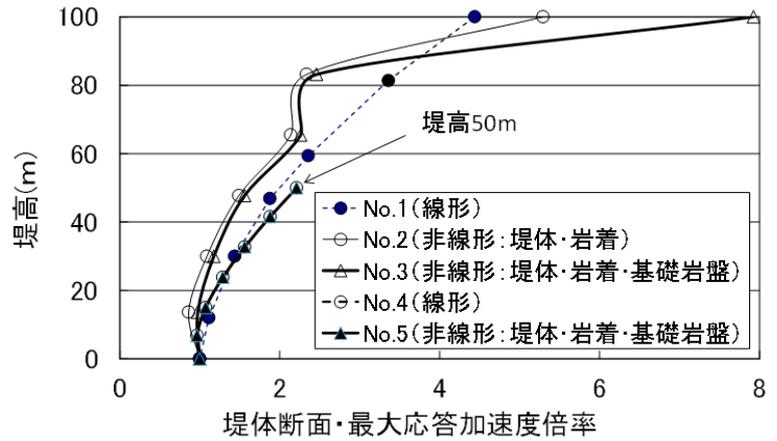


図-3 堤体の最大応答加速度倍率<sup>1)</sup>

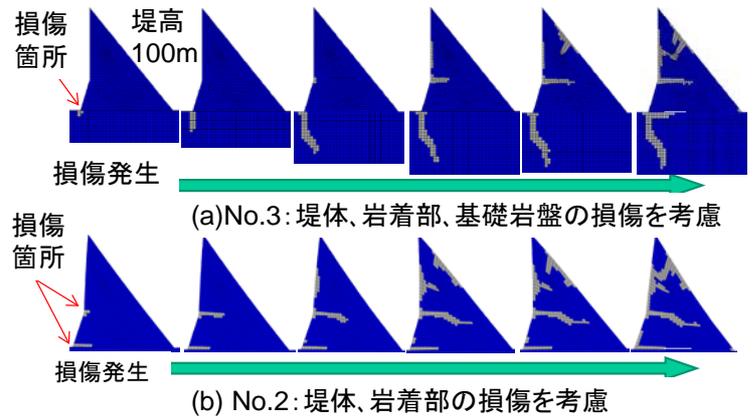


図-4 損傷を考慮した箇所の違いによる損傷の進展状況の比較<sup>1)</sup>

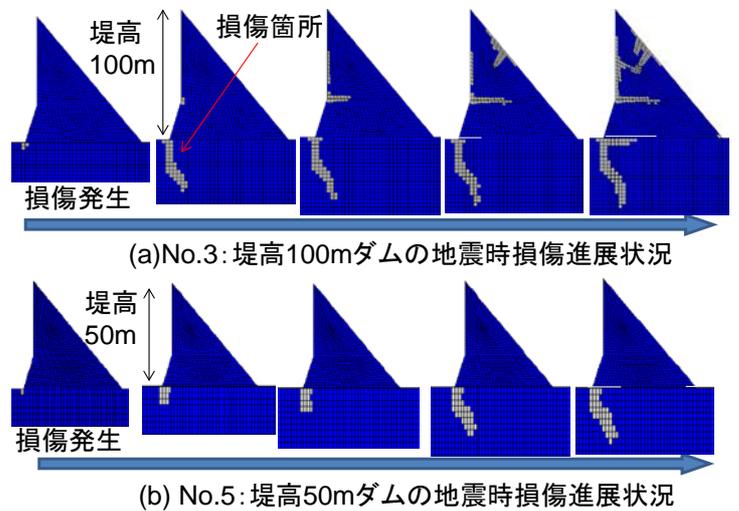


図-5 堤高の違いによる損傷の進展状況の比較<sup>1)</sup>