

地震応答解析における重力ダム堤体形状のモデル化と応答加速度

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土木構造物の安全性確保に対する社会的要請は、1995年に発生した兵庫県南部地震を契機として高まり始めた。ダムについては、2005年に国土交通省が「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」(以下、国交省指針案と称す)を策定し、レベル2地震動を想定した大規模地震に対するダムの安全性について照査を行うことを提言している。ダムの耐震性能照査を実施する上で、有限要素解析は有効な一つの方法である。有限要素解析を実施する際、解析用物性値や荷重条件、境界条件等の解析モデルを適切に設定する必要があるとともに、解析結果の解釈においても実態を踏まえた評価が望まれている。本報告では、有限要素解析を用いて重力ダムの耐震性能評価を実施する際に、ダム堤体形状や貯水池モデル化が応答加速度の解析結果に及ぼす影響について考察したものである。

2. 地震応答解析

2.1 解析概要

堤高100mの重力ダムを対象とした線形地震応答解析を実施した。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。解析要因は、堤体形状と貯水池上流側形状、貯水動水圧のモデル化法とした。解析ケースと解析要因の組合せを表-1に示す。堤体は2次元および3次元でモデル化し、3次元では堤頂長とダム軸方向堤敷幅の長い形状も考慮した。貯水池上流側形状は貯水域の拡幅を考慮した2種類、貯水動水圧は流体要素(ABAQUS音響要素)と付加質量による2種類の考慮法とした。

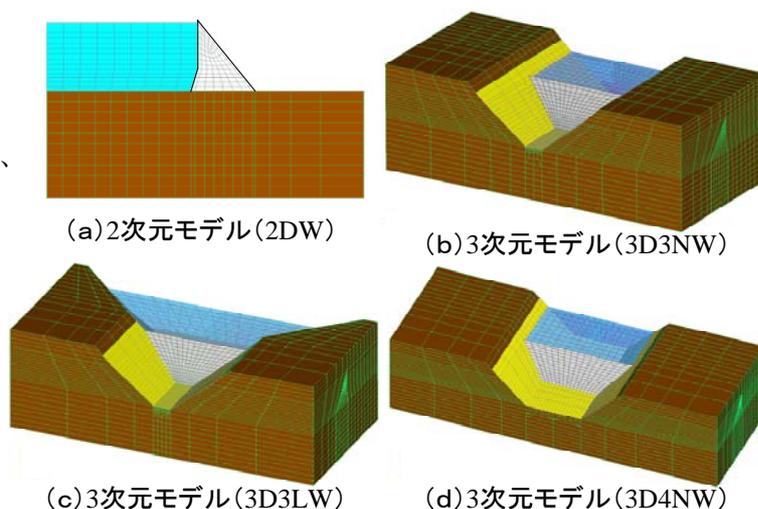


図-1 解析に用いた要素分割

2.2 解析モデルと物性

解析に用いた要素分割を図-1に示す。いずれの図面も貯水を流体要素として扱った場合のものである。境界条件は、有限要素モデルの底面および側面を水平ローラー支承とした。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 2.3tf/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 2.6tf/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。本報告の解析ケースでは、これを最大加速度 250cm/sec^2 にノーマライズして、有限要素底面の上下流方向に1方向入力した。

表-1 解析ケースと解析要因

ケース	堤体形状	堤頂長	貯水池上流側形状	貯水動水圧
2D	2次元	—	—	付加質量
2DW	2次元	—	—	流体要素
3D3N	3次元	堤高の3倍	貯水域一定幅	付加質量
3D3NW	3次元	堤高の3倍	貯水域一定幅	流体要素
3D3L	3次元	堤高の3倍	貯水域拡幅	付加質量
3D3LW	3次元	堤高の3倍	貯水域拡幅	流体要素
3D4NW	3次元	堤高の4倍	貯水域一定幅	流体要素

キーワード 重力ダム、地震応答解析、有限要素法、コンクリート、耐震性能

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

3. 堤体の最大加速度分布

3.1 中央鉛直断面の上下流方向最大加速度分布

堤体中央鉛直断面での上下流方向最大加速度分布を図-2に示す。同標高での堤体上流側表面と下流側表面の加速度はほぼ同値であったことから平均した値を図中に示した。図から、2次元モデルの最大加速度は3次元モデルよりも大きく、堤体天端に向かうほど最大加速度は増長される傾向にある。3次元モデルでも、堤頂長とダム軸方向堤敷幅が長いダム形状の場合は、2次元モデルの最大加速度分布に類似する傾向が求められ、2次元平面ひずみの仮定で扱う妥当性が確認できた。また、貯水池上流側形状の影響として、貯水域が上流に向かい拡幅するケースでは最大加速度が増長され、その効果は貯水部を付加質量としてモデル化した場合に大きくなる。これは、拡幅部の貯水と堤体の接触による圧力伝搬の逸出を、付加質量によるモデルでは考慮できないためと考えられる。

3.2 天端の上下流方向最大加速度分布

堤体天端での上下流方向最大加速度分布を図-3に示す。図の横軸は堤頂長1.0として正規化しており、堤体中央は0.5の位置となる。3次元モデルの場合、いずれのケースも堤体中央の最大加速度が大きいことがわかる。そして、貯水域が上流に向かい拡幅するケースでは、堤体中央の最大加速度が増長されている。

3.2 中央鉛直断面の鉛直方向最大加速度分布

堤体中央鉛直断面での鉛直方向最大加速度分布を図-4に示す。地震動は有限要素底面に上下流方向1方向入力であるが、堤体部には鉛直方向の加速度応答が認められる。その大きさはモデル化や堤体位置により異なるが、例えば、2次元モデルでは堤体底面位置で上下流方向加速度の50~100%となっている。なお、堤体の左右岸ダム軸方向には加速度応答は認められていない。

以上より、多方向の地震動入力による地震応答解析を実施した場合、入力地震動と堤体の最大加速度の卓越方向が異なる場合が想定される。

4. おわりに

地震動の大きさや入力方向、材料物性、減衰等を要因とした解析も実施しており、これら結果については応答加速度のみならず、堤体部の発生応力や動水圧、着岩近傍での滑動安定性等の観点から結果を分析中である。

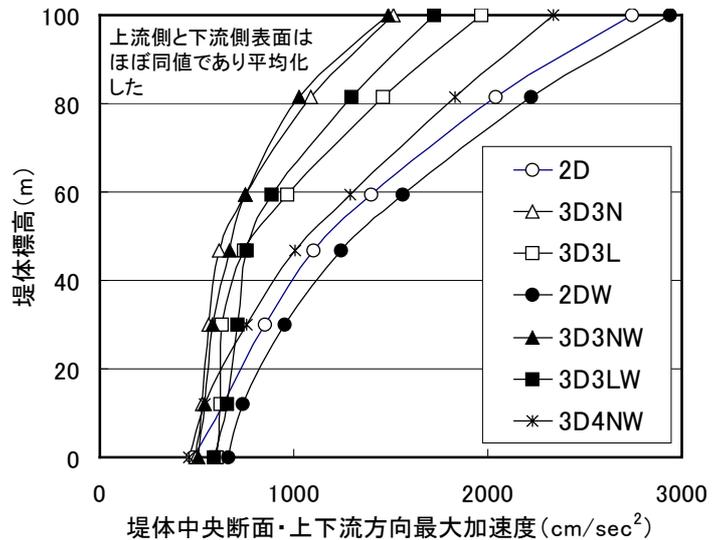


図-2 堤体中央鉛直断面の上下流方向最大加速度分布

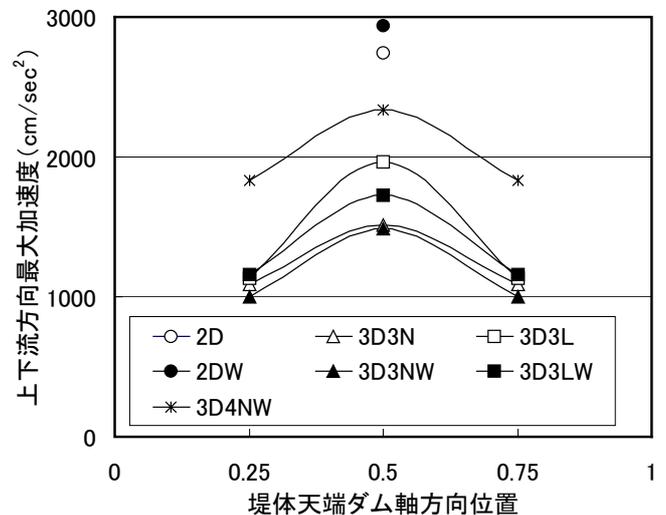


図-3 堤体天端の上下流方向最大加速度分布

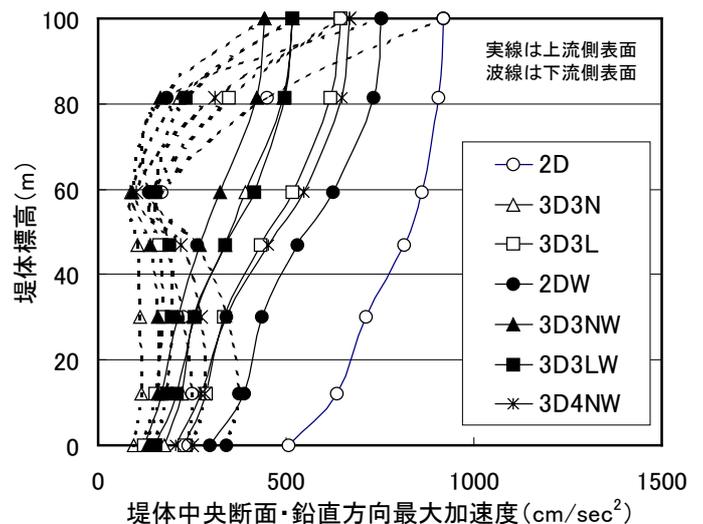


図-4 堤体中央鉛直断面の鉛直方向最大加速度分布