

地震応答解析における重力式ダムのモデル化と動水圧分布

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式ダムの耐震性能評価を実施する際に、ダム堤体および貯水池形状のモデル化、地震動入力方向が堤体上流面に作用する貯水の動水圧分布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、地震動入力方向とした。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次元では堤頂長の長い形状も考慮した。また、貯水池上流側形状で貯水域の拡幅を考慮したケースも設定した。

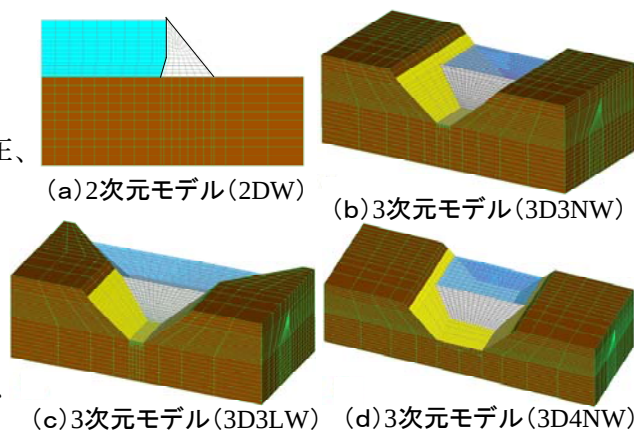


図-1 解析に用いた要素分割

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。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

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	入力地震動最大加速度
2DW-UD	2次元	—	—	250cm/sec ² ・上下流方向
3D3NW-UD	3次元	堤高の3倍	貯水域一定幅	250cm/sec ² ・上下流方向
3D3NW-RL	3次元	堤高の3倍	貯水域一定幅	250cm/sec ² ・ダム軸方向
3D3LW-UD	3次元	堤高の3倍	貯水域拡幅	250cm/sec ² ・上下流方向
3D4NW-UD	3次元	堤高の4倍	貯水域一定幅	250cm/sec ² ・上下流方向

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、堤体底面で最大応答加速度 250cm/sec^2 となるようノーマライズして、有限要素底面の上下流およびダム軸方向に1方向入力した。

3. 堤体上流面の最大動水圧分布

3.1 3次元解析での地震動入力方向の影響

3次元解析において上下流方向とダム軸方向の1方向地震動入力のみ考慮した場合の最大動水圧分布を図-2に示す。評価断面は、堤体中央断面(中央1/2断面と称す)とダム軸方向で右岸側から堤頂長1/4断面(右岸1/4断面と称す)である。

キーワード 重力式ダム、地震応答解析、動水圧、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

中央 1/2 断面の最大動水圧分布は、ダム軸方向地震動入力の場合では全標高で動水圧ゼロの分布となっている。これは、貯水部のダム軸方向の応答は堤体に圧力を与えない純せん断方向の接触状態になるためと考えられる。

右岸 1/4 断面での最大動水圧分布では、ダム軸方向地震動入力の場合では動水圧が発生している。その大きさは、上下流方向の約 50 % である。これは、堤体の変形モードとして右岸 1/4 断面が中央

1/2 断面よりも相対的に上下流方向へ応答することで、貯水のダム軸方向の応答に対して堤体と接触するためと考えられる。このことは、ダム軸方向地震動入力 3D3NW-RL の堤体の最大加速度分布を示した図-3 から、右岸 1/4 断面が上下流方向に応答していることから明らかである。

3.2 堤体形状と貯水池上流側形状の影響

堤体形状と貯水池上流側形状の影響について、最大動水圧分布の比較を図-4 に示す。評価断面は前述と同様であり、比較として 2 次元解析結果も記載した。

中央 1/2 断面での最大動水圧分布を比較すると、堤頂長の長い 3D4NW を除いて、動水圧は 2 次元解析の方が 3 次元解析よりも大きい傾向を示した。3 次元解析のケースについては、3D4NW が 3D3NW よりも約 50% 動水圧は大きくなる傾向を示した。堤頂長の長さに応じて貯水池体積が大きくなったことの影響と考えられる。貯水池上流側の形状の影響については、貯水池の上流域での拡幅を考慮した 3D3LW が、3D3NW よりも約 30% 動水圧は大きくなる傾向を示した。両ケースでは堤体部の最大応答加速度は同程度であるが (図-5 参照)、貯水池体積は 3D3LW の方が大きいため、地震時に堤体へ作用する慣性力として差が生じたためと考えられる。

右岸 1/4 断面での最大動水圧分布についても、中央 1/2 断面での傾向と同じである。いずれの 3 次元解析でも、右岸 1/4 断面での最大動水圧は、中央 1/2 断面での動水圧の約 75% を示しており、堤体の変形モードが類似していることによるためと考えられる。

4. おわりに

堤体上流面に作用する動水圧については、堤体形状や貯水池上流側の形状、地震動入力の方角の影響により圧力値が異なることが示された。今後はこれら解析要因の影響を定量的に分析して、他の解析結果 (応答加速度や発生応力等) と併せて、ダムの耐震性能評価において適切な方法を提案したい。

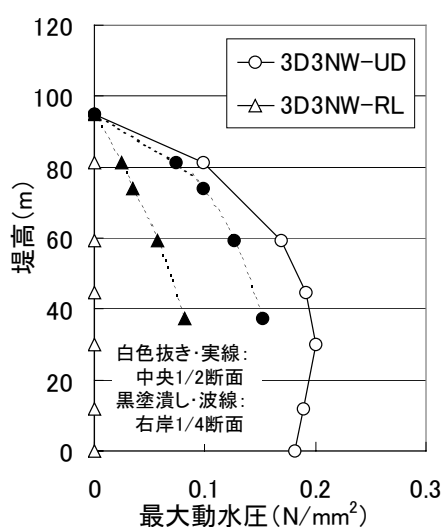


図-2 3次元解析での最大動水圧分布

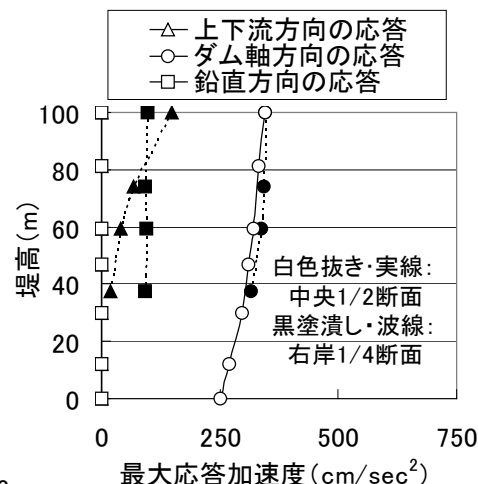


図-3 ダム軸方向地震動入力に対する堤体の最大加速度分布

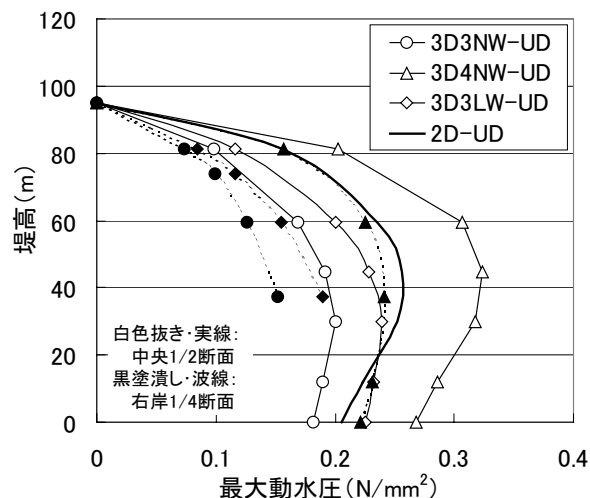


図-4 最大動水圧分布に及ぼす堤体形状と貯水池形状の影響

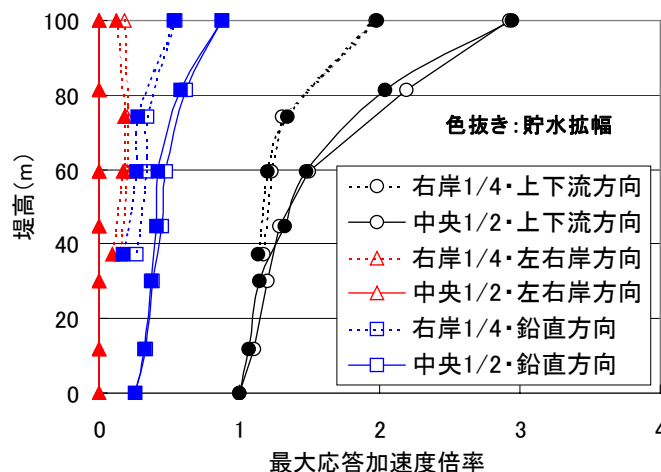


図-5 堤体の最大加速度分布に及ぼす貯水池形状の影響