

照査用下限加速度応答スペクトル適合波を用いた重力式コンクリートダム の動的クラック進展解析

清水建設(株) 正会員 木全宏之 新美勝之 井上篤史 ○玉井誠司
清水建設(株) 藤田 豊 Pongwit RUNGBANAPHAN

1. はじめに

重力式コンクリートダムの大規模地震動に対する耐震安全性評価の対象となる主な破壊メカニズムは、クラック発生、進展による貫通破壊と考えられる¹⁾。このため、筆者は重力式ダムのクラック進展挙動を精緻に評価する方法として、接線剛性比例型減衰を用いる評価方法を提案した²⁾。これまで、筆者等が用いた地震動は、「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」(国土交通省河川局)¹⁾に示されている照査用下限加速度応答スペクトルをターゲットスペクトルとした時刻歴加速度波形としていた。この照査用下限加速度応答スペクトルは平成20年に見直され(H20式と称する。見直し前をH13式と称する)、長周期成分が増加しており、クラック進展にともない堤体の非線形性が進行した場合について堤体への応答影響を把握する必要がある。

このため、本報では、新たに設定された照査用下限加速度応答スペクトルに基づき地震動を作成し、コンクリートの動的クラック進展解析を実施し、重力式ダムに対するクラック進展長さへの影響を解析的に検討する。

2. 解析モデルの概要

解析モデルは、ダム上下流方向を対象に、二次元平面ひずみ状態を仮定したダム-基礎岩盤-貯水連成系モデルとする。解析モデルの概要を図1に示す。モデルダムの堤高は100m、基礎岩盤水平方向のモデル化領域をダム底面幅の約10倍(760m)、鉛直方向のモデル化領域をダム堤高の2.0倍(200m)とした。モデル底面にはダッシュポットを設け、底面における波動逸散を考慮する。モデル側面には自由地盤を設け、自由地盤とのエネルギー伝達をダッシュポットにより考慮する。貯水の影響は、Westergaard式から求められる付加質量を堤体上流面に付与することで考慮する。

ダム堤体コンクリートと基礎岩盤の解析諸元を表1に示す。コンクリートのクラックは、Smeared crack modelにより表現し、引張応力-クラック開口変位関係は二直線型引張軟化構成モデル(1/4モデル)を採用する。引張応力-クラック開口変位関係における除荷時には原点指向型の履歴特性を設定する。なお、減衰タイプは、堤体で瞬間剛性比例型減衰を、基礎岩盤でレーリー減衰を採用し、1次のモード減衰を堤体で7%、基礎岩盤を2%と仮定する²⁾。

なお、堤体の固有周期は0.50秒となっている。

3. 入力地震動

採用する地震波は「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」(国土交通省河川局)に示されている照

査用下限加速度応答スペクトルをターゲットスペクトルとした時刻歴加速度波形とする。ただし、このスペクトルは、図2に示すように平成20年に見直されており、見直しによる0.7秒以上の長周期成分が増加している。位相特性は、兵庫県南部地震において一庫ダムの監査廊内で観測された時刻歴加速度波形(堤体底面岩盤位置相当の加速度波形)の位相を用いる。また、この地震波はダム堤体底面位置で定義されていることから、一次元波動論を用いてモデル底面位置まで引き戻したものを入力地震動とする。得られた入力地震動の時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図3に示す。

4. 動的クラック進展解析結果

前章で示した地震波を用いて、動的クラック進展解析を実施した。解析結果のうち、堤体の相対変位波形を図4に示す。最大相対変位は5cm程度となっている。クラックの進展長さを図5に示す。H13式の地震動によるクラックとH20式の地震動によるクラックを比較した場合、H20式の地震動によるクラックがわずかに進展しているが、明確な差異は認めがたい。クラックの進展長さは堤体底面の幅の概ね35%~40%程度で、堤体のクラックが急激に進展すると考えられる50%を越えていないことから、堤体は貯水機能を十分確保できていると考えられる。

また、堤体が下流側の変形を生じたときの最大・最小主応力を図6に示す。最大主応力は、クラック進展の影響により堤体の中央当りで最大を示している。ここで、クラック発生要素の周辺では引張応力の開放が生じ、最大主応力が低減している。最小主応力は、堤体底面の下流端で20Mpaとなっているが、堤体コンクリートの設計基準強度($F_c=30\text{N/mm}^2$)以下となった。

5. まとめ

平成13年式での検討と平成20年式での検討では明確な差異は認められなかった。また平成20年に見直された照査用下限加速度応答スペクトルに基づき地震動を作成し、堤体コンクリートのクラック進展を実施した結果、クラックの進展長さは堤体底面の幅の概ね35%~40%程度で、堤体は貯水機能を十分確保できていると考えられる。

参考文献

- 1) 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説、国土交通省河川局、2005.3.
- 2) 木全、藤田他：動的クラック進展解析による重力式コンクリートダムの耐震安全性評価、土木学会論文集No.787/I-71、2005.4

キーワード：重力式コンクリートダム 照査用下限加速度応答スペクトル 動的クラック進展解析

〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3 シーバンスS館 TEL 03-5441-0598 FAX 03-5441-0543

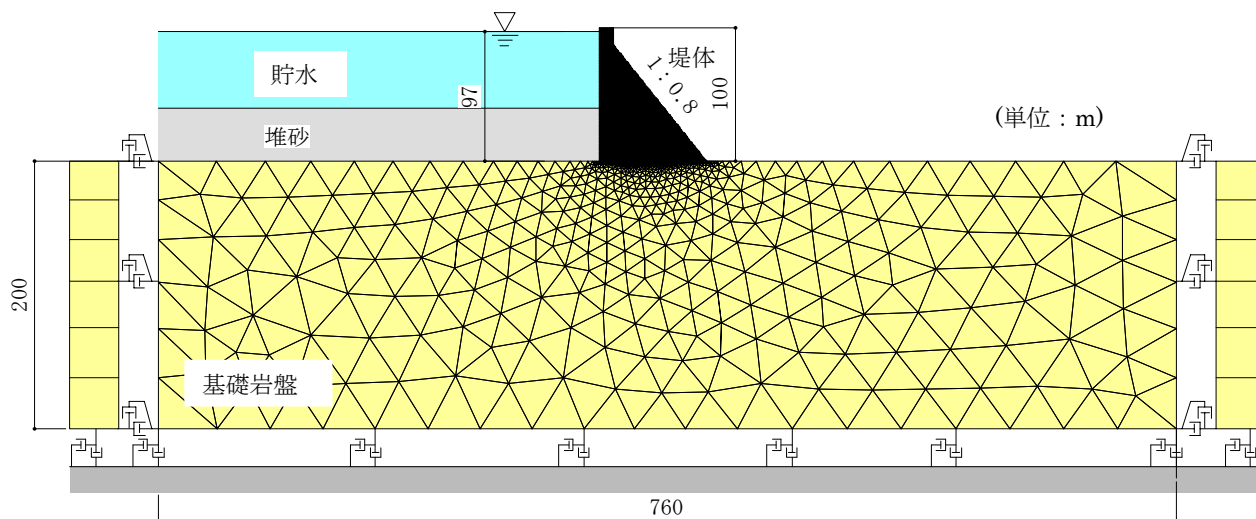


図1 連成系モデル

表1 解析諸元

項目	ダム堤体	基礎岩盤
ヤング係数 E (GPa)	28	10
ポアソン比 ν	0.2	0.25
密度 γ (kg/m ³)	2300	2500
引張強度 f_t (MPa)	3.0	—
破壊エネルギー G_f (N/m)	400	—

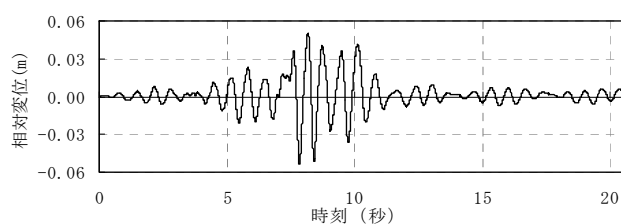


図4 堤体の相対水平変位 (頂部-底部)

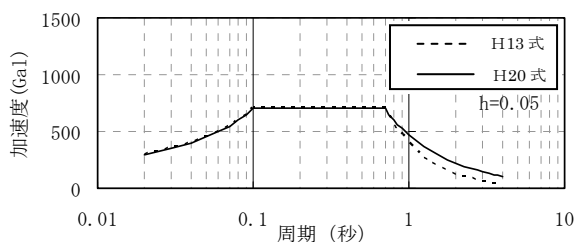
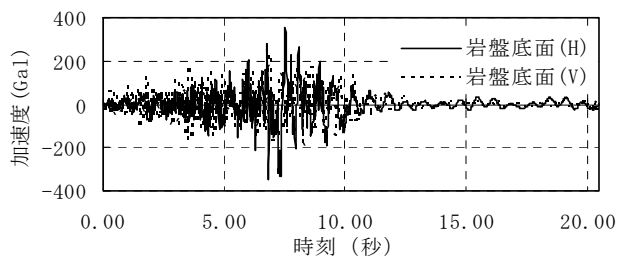
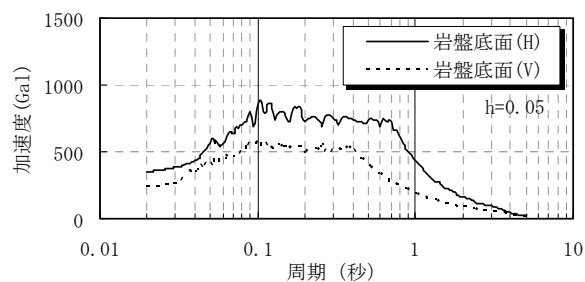


図2 照査用下限加速度応答スペクトルの変更



(a)時刻歴加速度波形



(b)加速度応答スペクトル

図3 入力地震動 (モデル底面位置)

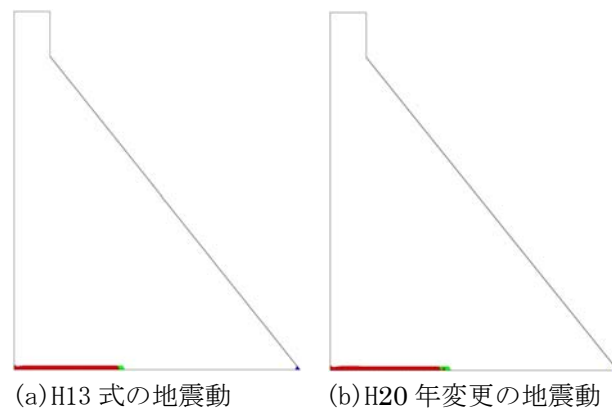
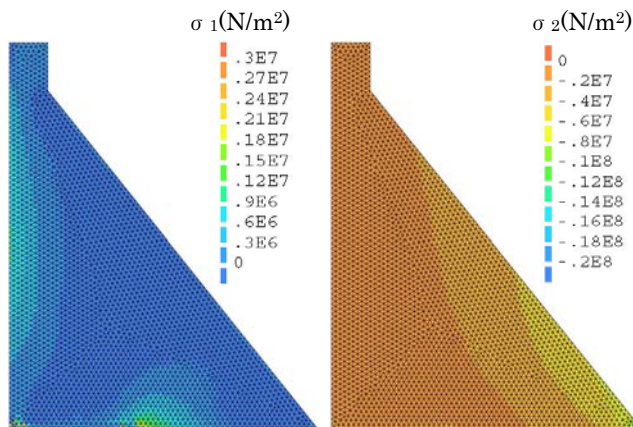


図5 クラック進展状況



(a)最大主応力

(b)最小主応力

図6 堤体に生じる主応力 (8.18秒)