

重力式コンクリートダムの耐震性能に及ぼす地震入力方向の影響検討

清水建設（株） 正会員 ○藤田 豊
 高圧ガス保安協会 フェロー会員 木全 宏之
 東京大学 正会員 堀井 秀之

1. はじめに

これまで筆者等は、重力式コンクリートダムの三次元 FEM 動的非線形解析（以後、三次元動的クラック進展解析と呼ぶ。）を実施して、ダム堤体に発生するクラックの進展状況から耐震安全性評価を試みてきた¹⁾。ここで用いた解析モデルは、堤体中央の上下流方向を対称面とする 1/2 モデルで、地震波の入力方向は上下流方向及び鉛直方向に限定した。一方、実ダムでは地震波の入力方向が上下流方向と鉛直方向に限定されないことから、対称形状のフルモデルダムを構築し直して三次元動的クラック進展解析を行い、任意の入力方向によるダム堤体のクラックの発生、進展挙動への影響を把握するとともに、ダム堤体の耐震性能に及ぼす影響について明らかにする。

2. 解析モデルの概要

ダム堤体－基礎岩盤－貯水連成系の三次元非線形モデルの概要を図-1 に示す。堤体モデルは左右岸方向に対称モデルとし、アバットメント着岩部の勾配は 1:1 (45°)，下流側の勾配は 1:0.8 としている。解析モデルに用いたダム堤体コンクリート及び基礎岩盤の解析定数を表-1 に示す。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則(1/4 モデル)を採用し、動的引張強度は静的引張強度 ($F_c/10$) の 1.3 倍とする。堤体着岩部の要素は、メッシュ依存性の影響を排除するために、1 辺が約 2.0m の三角錐要素によるメッシュ分割を基本とする。また、基礎岩盤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行い、基礎岩盤底面には半無限境界を模擬したダッシュポットを設けている。貯水の影響は Westergaard 式による付加質量として考慮する。

3. 入力地震動

入力地震動を図-2 に示す。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て作成した模擬地震動とし、位相特性は 1995 年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を適用する。水平地震動の入力角度は、0°、30° 及び 90° の 3 種類とし、それぞれに鉛直地震動を組合せた入力地震動とする。

4. クラック進展解析による堤体の変位とクラック進展挙動

解析結果のうち、ダム堤体底面のクラックひずみ分布を図-3 に、ダム堤体底面とダム天端との相対変位を図-4 に示す。入力角度が 0° の場合、ダム堤体底面とダム天端中央部との上下流方向の相対変位が最大となる時刻 7.56 秒で、クラックはアバットメント着岩部中央の上流側から発生・進展する。一方、入力角度が 90° の場合、ダム堤体底面とダム天端（左右岸及び中央部）とのダム軸方向の相対変位が正側最大となる時刻 7.56 秒で、クラックは右岸側アバットメント着岩部の上部から発生・進展し、負側最大となる時刻 8.35 秒でクラックは左岸側アバットメント着岩部の上部で発生・進展している。特に、相対変位よれば堤体天端における左右岸の相対変位が中央部に比べて大きくなり、左右岸からクラックが進展している。クラックの発生範囲は、入力角度が 0° に比べて大きく広がり、この原因としては、左右岸近傍の基礎岩盤の変位挙動に対して、剛体に近い堤体が追従できないことにより生じたものと考えられる。また、入力角度が 30° の場合、クラック進展状況は、90° と類似の傾向が見られ、入力角度が比較的小さな段階でも、左右岸近傍のアバットメント着岩部にクラックが生じるものと想定される。

5. まとめ

地震動の入力方向をパラメータに、重力式コンクリートダムの三次元動的クラック進展解析を実施し、ダム堤体の耐震性能を評価した。その結果、上下流方向に比べてダム軸方向の入力地震動が、堤体底面のクラック進展に大きく影響を及ぼすと同時に、地震動の入力角度がダム堤体の耐震性能に影響を及ぼすことが認められた。

キーワード 重力式コンクリートダム、耐震性能、三次元動的クラック進展解析、地震波の入力方向

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2 丁目 16-1 TEL 03-3561-4395

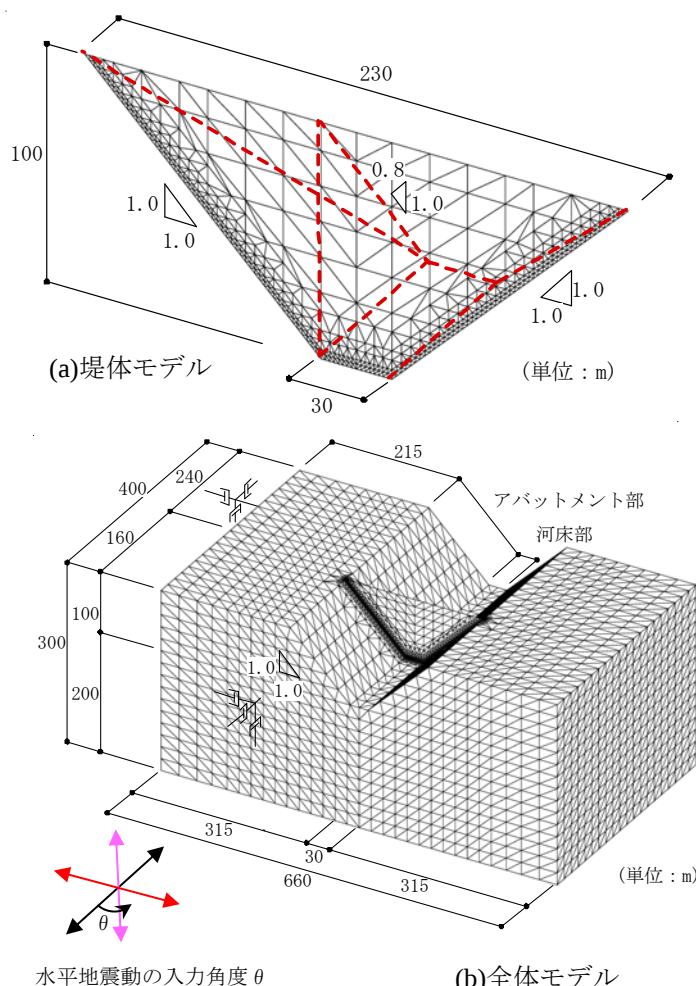


図-1 三次元非線形モデルの概要

表-1 解析定数

項 目	ダム堤体	基礎岩盤
ヤング係数 E (GPa)	28 (24)	10 (10)
ポアソン比 ν	0.20 (0.20)	0.25 (0.25)
密度 γ (kg/m ³)	2400 (2400)	2500 (2500)
圧縮強度 f_c (MPa)	30.0	—
引張強度 f_t (MPa)	3.9	—
破壊エネルギー G_F (N/m)	400	—
減衰定数 (三次元) h_t (%)	5.0	2.0

注: () 内は初期応力解析 (静的解析) の解析定数を示す。

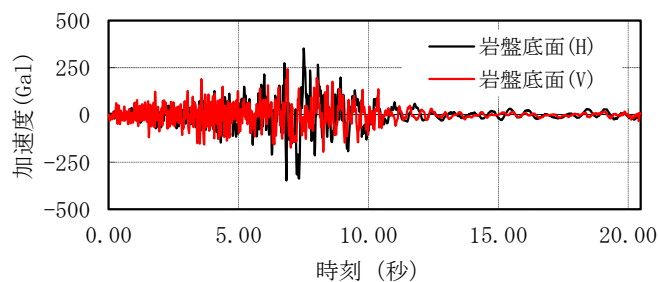


図-2 入力地震動

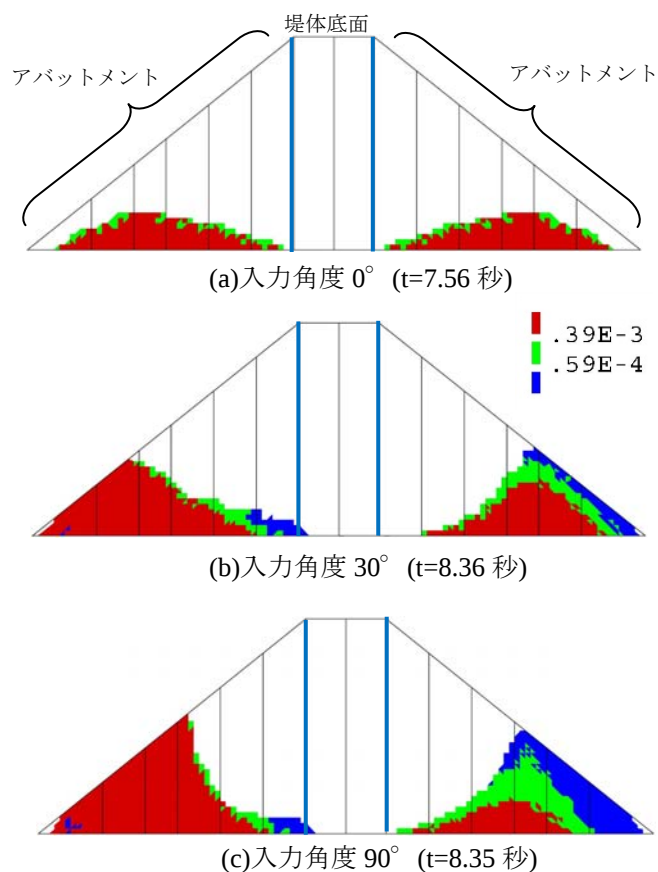


図-3 堤体底面のクラックひずみ分布

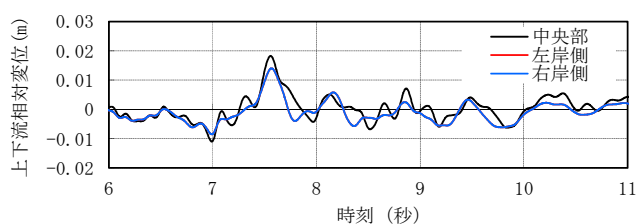
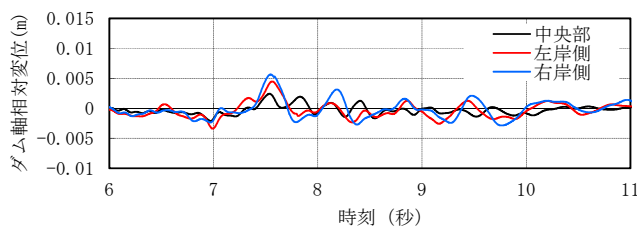
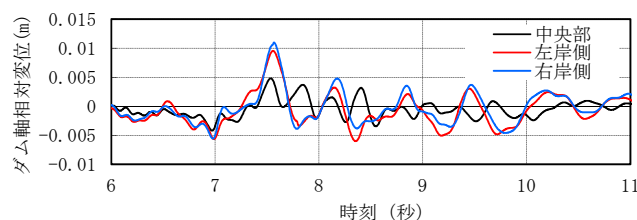
(a) 上下流方向の相対変位 (入力角度 0°)(b) ダム軸方向の相対変位 (入力角度 30°)(c) ダム軸方向の相対変位 (入力角度 90°)

図-4 ダム堤体底面とダム天端との相対変位

参考文献

- 1) 藤田豊, 木全宏之, 堀井秀之: 三次元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 A1, Vol.68, No.3, pp707-715, 2012.