

## 鉛直ジョイントを考慮した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

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 清水建設(株) | 正会員    | ○藤田 豊 |
| 清水建設(株) | 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、ダム堤体のクラックの発生、進展挙動を明らかにするとともに、クラックの進展状況から耐震安全性評価を試みてきた<sup>1)</sup>。その際、ダム堤体の施工時における鉛直ジョイントにはシアーキーを設けているものとし、堤体モデルを連続体として取り扱ってきた。一方、近年の実ダムでは施工上の観点からキーのない鉛直ジョイントを設けており、堤体を連続体として取り扱うことができない。このため、鉛直ジョイントを考慮した重力式コンクリートモデルダムを対象に三次元動的クラック進展解析を行い、鉛直ジョイントが堤体のクラックの発生、進展挙動に与える影響を把握し、大規模地震時における堤体の耐震安全性について検討する。

## 2. 解析モデルの概要

ダム堤体－基礎岩盤－貯水連成系モデル（1/2 モデル）を図-1 に、ダム堤体コンクリートの解析定数を表-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、鉛直ジョイントは初期応力状態を考慮した Mohr-Coulomb の破壊規準を用いる。堤体の着岩部の要素は、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。基礎岩盤のモデルサイズは 400m(x)×400m(y)×200m(z)とし、モデル対称面には、x 方向固定、y 方向及び z 方向を自由とする境界条件を与えた。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た。貯水は 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<sup>2)</sup>として作成した模擬地震動とし、位相特性には 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。入力地震動は上下流及び鉛直の 2 方向とし、耐震性評価をするために加速度レベルを 1.0～2.5 倍に変えている。

## 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

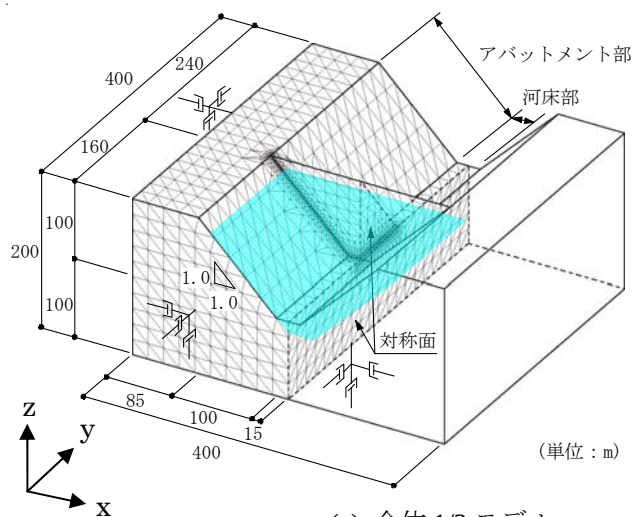
解析より得られた基礎岩盤底面に対するモデル全体の相対変位分布を図-3 に、ダム堤体河床部に対する堤頂部の相対変位波形を図-4 に示す。鉛直ジョイントのうち拘束圧が小さい堤体上部あたりはブロックごとで水平変位に差異を生じているが、拘束圧が大きい堤体底面近傍では同位相で挙動している。施工ブロックごとの挙動を見ると、堤体中央部が最大の相対変位になり、左右岸に近づくほど相対変位が小さくなっており、堤体中央では堤頂と河床部の水平方向の相対変位が 4.1cm、鉛直方向の相対変位が 1.3cm となっている。また、堤体底面のクラックひずみ分布を図-5 に示す。クラックはダム堤体着岩部のうちアバットメント中央着岩部の上流側で発生し、そのクラックがアバットメント着岩部全体にわたり進展していく。この傾向は、堤体を連続体とした場合<sup>1)</sup>と変わらないが、鉛直ジョイント位置でクラックの進行が顕著に現れるとともに、左右岸のブロックにおいてはわずかなクラックが上流側に生じているのみである。

## 5. まとめ

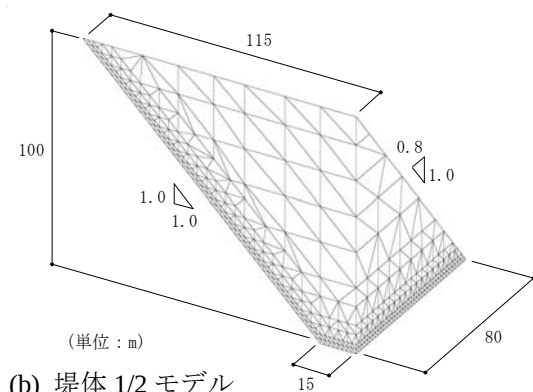
重力式コンクリートダムの三次元動的クラック進展解析を実施した結果、クラックはアバットメント着岩部全体にわたり進展するが、鉛直ジョイント位置でのクラックの進行が顕著に現れる。このクラックがダムの貯水機能へ影響については今後検討を行うものとする。

キーワード 重力式コンクリートダム、鉛直ジョイント、三次元動的クラック進展解析

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



(a) 全体 1/2 モデル



(b) 堤体 1/2 モデル

図-1 三次元 FEM モデル

表-1 主な解析定数

| 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 $\nu$                      | 0.20 (0.20) | 0.25 (0.25) |
| 密度 $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 2400 (2400) | 2500 (2500) |
| 圧縮強度 $f_c$ (MPa)                 | 30.0        | —           |
| 引張強度 $f_t$ (MPa)                 | 3.0         | —           |
| 破壊エネルギー $G_F$ (N/m)              | 400         | —           |
| 減衰定数(三次元) $h_1$ (%)              | 7.0         | 2.0         |
| 減衰定数(二次元) $h_2$ (%)              | 15.0        | 2.0         |

注: ( ) 内は初期応力解析(静的解析)の解析定数を示す。

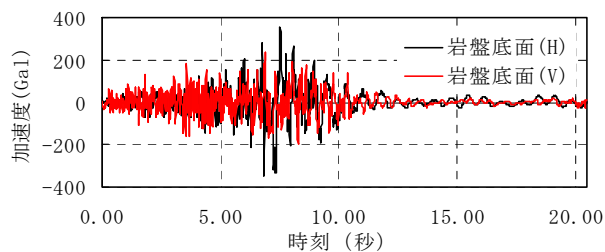


図-2 入力地震動

## 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.
- 2) 国土交通省河川局: 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説, 2005.

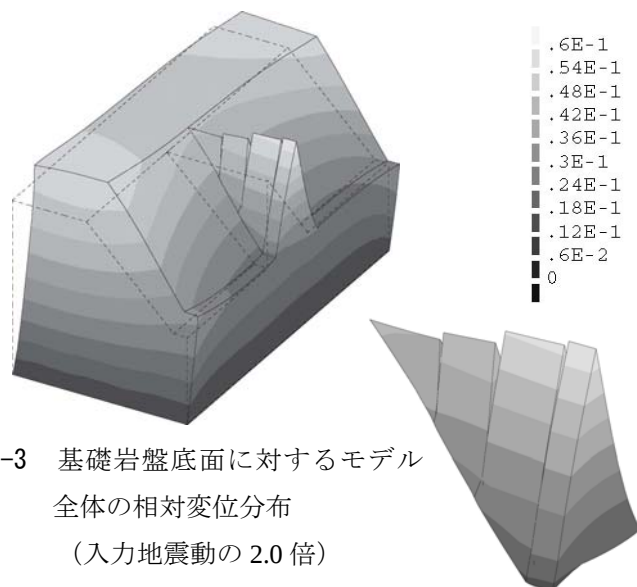


図-3 基礎岩盤底面に対するモデル  
全体の相対変位分布  
(入力地震動の 2.0 倍)

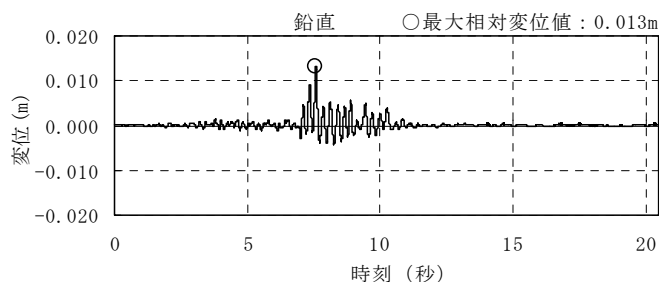
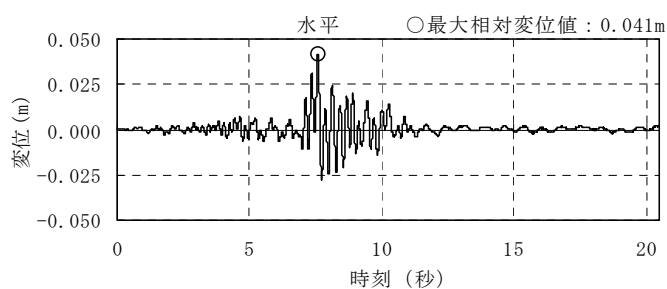


図-4 ダム堤体河床部と堤頂部の相対変位波形

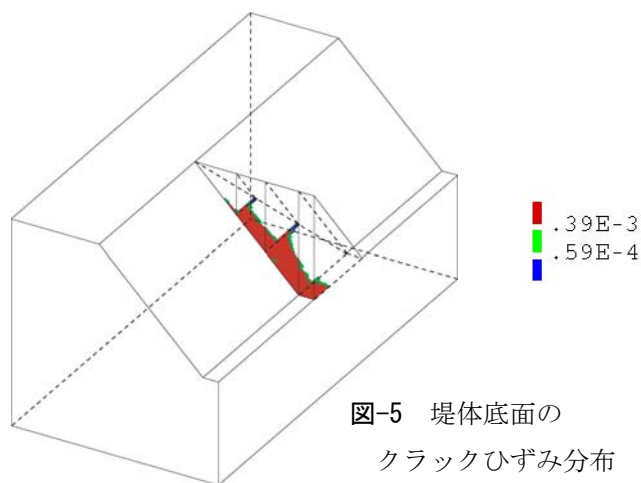


図-5 堤体底面の  
クラックひずみ分布  
(入力地震動の 2.0 倍)