

# 重力式コンクリートダム地震時挙動の再現解析に基づく岩盤引張強度の評価

独立行政法人土木研究所 正会員 ○小堀俊秀、正会員 村山邦彦、正会員 山口嘉一

## 1. はじめに

現在、重力式コンクリートダムの大規模地震動に対する耐震性能照査では、堤体の引張破壊をモデル化した手法が用いられることが多いが、基礎岩盤の破壊を考慮した事例は少ない。筆者等は基礎岩盤の引張破壊を考慮した動的解析を行い、基礎岩盤に亀裂が発生することにより、堤体の亀裂が減少する結果を得ている<sup>1)</sup>。基礎岩盤の引張強度は、引張垂直応力下での原位置岩盤せん断試験<sup>2)</sup>や原位置岩盤三軸試験により求める試みが行われているが、装置が大掛かりなため試験数量を増やすことは困難で、実務レベルでの使用にはかなりの制約がある。本報告では、大規模地震動を受けた既設ダムの再現解析結果から、地震時の安全性に関する点検結果を踏まえて、ダム基礎岩盤の引張強度について評価を試みた。

## 2. 対象ダムおよびダムサイトの地質概要

対象とするダムは、2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震(マグニチュード7.3)の震央に近い賀祥ダム(鳥取県)とした。このダムは1989年に完成した堤高46.4mの重力式コンクリートダムである。地震計の設置位置断面を図-1に示す。この断面にはエレベータ棟が有り、堤高は最大断面と同じである。ダムサイト一帯は花崗岩とそれに貫入した玢岩岩脈で構成されており、右岸EL.100.00mの試掘横坑内でのCM級岩盤に対する原位置せん断試験から、設計値として $\tan\phi=0.7$ および $\tau_0=1.176\text{N/mm}^2$ を設定している。最大断面の河床部にはCH級の岩が露出しており、図-1の断面を有するブロックもCH級岩盤上に位置している<sup>3)</sup>。

## 3. 鳥取県西部地震時における賀祥ダムの挙動と地震後の安全性の評価

本震時にはダム底部の監査廊内にて最大加速度529gal(北/南)、531gal(東/西)、485gal(上/下)、天端標高のエレベータ棟内にて最大加速度2,051gal(北/南)、1,406gal(東/西)、884gal(上/下)を記録している。なお、ダムの下流方向は、北から東へ20度である。地震後の現地調査の結果、天端から上流側に張り出し構造となっている予備ゲート室の壁面および基礎に亀裂が発生していたが、基礎排水量、堤体漏水量、変位の計測値も安定しており、ダムの安全性に問題はなかった<sup>4)</sup>。

## 4. 地震時の挙動再現解析方法

解析モデルは、有限要素により図-2のように堤体と貯水池をモデル化した<sup>5)</sup>。基礎岩盤はモデル化していない。貯水位は地震時の水位である34.3mとした。解析に用いた物性値を表-1に示す。減衰定数は、ダムの堤頂部で観測された加速度と解析で得られた加速度の比較から10%とした。入力加速度波形を図-3に示す。

## 5. 引張強度の評価

図-3は線形動的解析で得られた全解析時間の最大主応力分布である。堤踵部に $1.459\text{N/mm}^2$ の引張応力が

キーワード：重力式コンクリートダム 基礎岩盤 動的解析 引張強度  
連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 TEL:029-879-6781 E-mail:k-mura44@pwri.go.jp

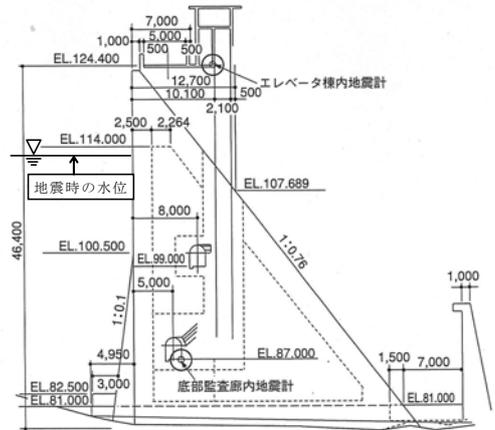


図-1 賀祥ダムの地震計設置位置断面

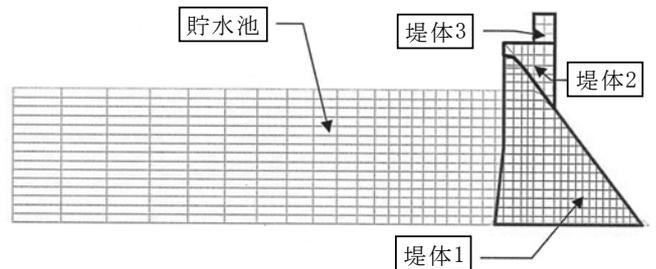


図-2 解析モデル

表-1 解析に用いた物性値

領域区分	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	厚さ (m)	減衰定数 (%)
堤体1	30,000	0.2	2,300	15.0	10
堤体2	30,000	0.2	2,300	3.0	10
堤体3	30,000	0.2	2,300	1.0	10
貯水池	∞	-	1,000	15.0	-

発生しているが、コンクリートの引張強度は圧縮強度(フィレット部の 91 日圧縮強度の平均値 :  $35.1\text{N/mm}^2$ )の 1/10 程度であり、動的引張強度は静的引張強度より 30~50%程度大きいことなどから、堤体に損傷が発生する可能性は小さいと考えられる。また、基礎岩盤を含めた大規模地震時の解析事例<sup>1)</sup>では基礎岩盤にも堤体と同程度の引張応力が発生して損傷が生じるが、賀祥ダムの地震後の調査では基礎排水量や変位の計測結果が安定していることから、基礎岩盤の損傷は発生していないか、発生していたとしても軽微であると考えられる。この結果から、原位置の基礎岩盤の引張強度は解析で発生した引張応力(約  $1.5\text{N/mm}^2$ )以上の値であると推測される。

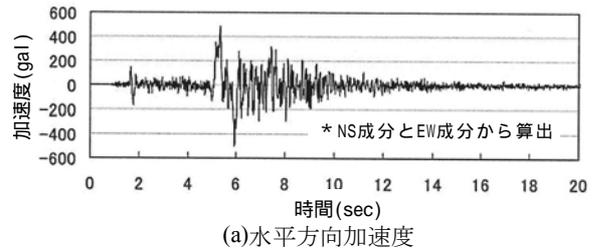
図-4 は、他ダムの CM~CH 級岩盤の原位置せん断試験結果と賀祥ダムの試験結果(4 点 : CM 級岩盤)および設計値と解析時に堤踵部で発生する引張応力( $\tau=0$  と考える)の値を比較したものである。賀祥ダムの試験結果は他ダムの試験結果の範囲内にあることから、他ダムの CM~CH 級の基礎岩盤の引張強度としても同程度の値(約  $1.5\text{N/mm}^2$ )以上を想定できると考える。次に 4 点の試験結果のうち、値の小さな 3 点でモール・クーロン型と二次放物線型による破壊包絡線を求めた。2つの包絡線の  $\tau=0$  時の  $\sigma$  は、解析時に堤踵部で発生する引張応力よりも小さな値となる。ここで、河床部は CH 級岩盤であり、原位置せん断試験が実施された CM 級岩盤よりも大きい引張強度を有していると考えられるが、今回の検討結果から得られた  $1.5\text{N/mm}^2$  以上の引張強度は想定値としては大きい値と言える。よって、同様の検討事例を増やして岩盤の引張強度の評価を進める必要がある。

6. まとめ

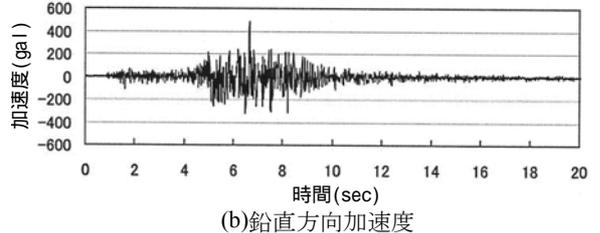
重力式コンクリートダムの基礎岩盤の引張強度について、大規模地震動を受けた賀祥ダムの再現解析と地震後の点検結果から評価を行った。その結果、解析時には堤踵部に約  $1.5\text{N/mm}^2$  の引張応力が発生するが、基礎排水量などに変状は生じなかった。これにより、基礎岩盤の引張強度として  $1.5\text{N/mm}^2$  程度以上を見込むことができると考えられるが、想定値としては大きい値と言える。今後はアーチダムも含めて同様に安全性の検討を行い、岩盤の引張強度の評価を進めたいと考えている。

参考文献

- 1)村山邦彦,山口嘉一,岩下友也,小堀俊秀: 基礎岩盤の引張破壊を考慮した重力式コンクリートダムの耐震性能照査解析,土木学会第 38 回関東支部技術研究発表会,2011.3.
- 2)野崎隆司,新 孝一: 引張を含む低垂直応力下での原位置岩盤せん断試験法の考察,電力中央研究所報告,U03009,2003.1.
- 3)鳥取県賀祥ダム建設事務所: 賀祥ダム工事報告書,1989.3.
- 4)建設省土木研究所: 2000 年 10 月 6 日鳥取県西部地震緊急調査報告書,土木研究所資料,第 3769 号,2000.12.
- 5)Yoshikazu YAMAGUCHI, Takashi SASAKI, Kenichi KANENAWA: Damages of Dams Caused by The Western Tottori-Prefecture Earthquake in 2000 and Stability Evaluation Analysis about Kasho Dam, 3rd U.S.-Japan Workshop on Advanced on Earthquake Engineering for Dams,Aug.2003.
- 6)菊池宏吉,藤枝誠他: ダム基礎岩盤の耐荷性に関する地質工学的総合検討,応用地質,特別号,1984.



(a)水平方向加速度



(b)鉛直方向加速度

図-3 入力加速度波形

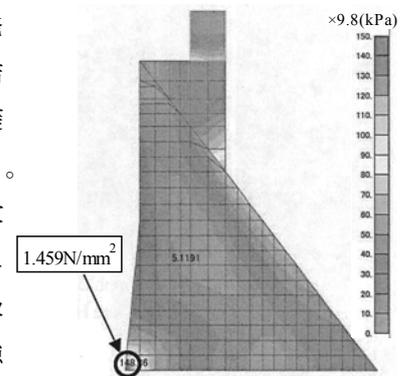


図-3 最大主応力分布

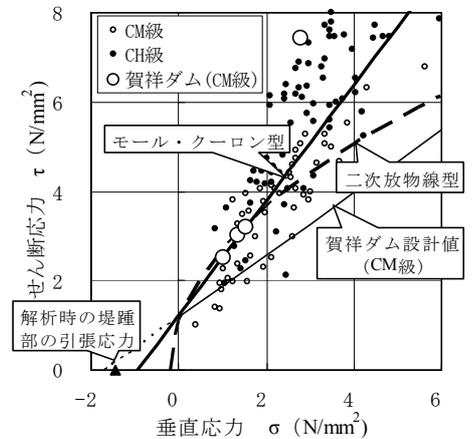


図-4 岩級区分と原位置せん断試験結果との比較(文献 6)に加筆修正)