

振動台実験による重力式コンクリートダムの非線形振動特性に関する検討

建設省土木研究所 正会員 金子 裕 司
同上 正会員 佐々木 隆
同上 波多野 政博

1. まえがき

震度法を用いた重力式コンクリートダムの現行設計法では、鉄筋などにより補強される局所的な部位を除いて堤体内に引張応力が生じないように断面設計を行うこととしている。そのため、コンクリートの引張強度が設計上問題となることは希であり、また、引張応力によって堤体の上下流面等に亀裂が発生することは考慮していない。しかし、大地震を想定して重力式コンクリートダムの耐震性能に関して数値解析による検討を行った場合、堤体にはコンクリートの引張強度を超える引張応力の発生が予想されることがある。そのため、堤体の局所的な損傷を考慮した非線形動的解析法が開発され、それらを用いて亀裂が発生した後の地震時挙動が評価される例が出てきているが、亀裂の発生が堤体の基本的な地震時挙動に与える影響に着目して検討した事例は少ない。今後、非線形解析手法を精度良いものにするためには亀裂が堤体の地震時応答に与える影響に関する詳細な検討が必要であると考えられる。

本報告は、振動台を用いて重力式コンクリートダムを模擬した試験体に対する振動実験を行い、亀裂の有無が堤体の周波数応答に与える影響に関して検討を行った結果を述べるものである。

2. 試験方法

2.1 試験装置の概要

今回使用した振動実験設備は、振動台、油圧供給装置、制御装置、データ計測装置、コンピューターシステムにより構成されている。振動台の大きさは 4.0m×4.0m であり、油圧アクチュエーターによって正弦波及び地震波を用いて最大加速度 980gal まで水平方向に、最大載荷重量 40ton までの加振が可能である。

2.2 供試体の概要

表 - 1 に供試体諸元を示す。模型の寸法は高さ 1,000mm、幅 800mm、奥行 800mm の重力式コンクリートダムを模擬した形状とし、供試体材料として弾性係数を自由に設定できるシリコンを用いた。図 - 1 に示すように模型は、亀裂が無いものと底面に亀裂を有するものの 2 体を作製した。亀裂は上流端から下流方向に幅 260mm あり、亀裂面では引張応力を伝達しない。また実験中、亀裂が進展しないようにストッパーを設けた。

2.3 試験ケース

加振方向は上下流方向の一軸加振とした。入力振動は、正弦波加速度波形を用い、振動数の刻み幅は 0.01Hz～1Hz とした。加速度振幅は、5、10、15gal の 3 種類である。

2.4 測定項目

図 - 1 に示す様に加速度計を供試体内に設置し加速度データを測定した。天端加速度計位置は高さ 950mm。基礎の加速度計は振動台上（高さ 0mm）に設置した。また、亀裂の開閉状況を確認するために、亀裂直上（高さ 30mm）にも加速度計を設置した。

3. 試験結果

3.1 亀裂の無い供試体結果

ここでは同一入力加速度において各供試体の最も応答倍率が大きい振動数をピ - ク振動数と呼ぶこととする。

表 - 1 供試体の詳細

堤高	1, 000 mm
堤幅	800 mm
上流面勾配	鉛直
下流面勾配	1 : 0. 8
材料	シリコン
密度	0. 98 g / cm ³
弾性係数	10. 5 kgf / cm ² 1. 03 MN / m ²
ポアソン比	0. 49
亀裂の有る供試体について	上流面岩着部から下流方向に幅800mm(全幅)×260mm

キーワード：ダム、耐震、振動台、減衰、周波数応答、亀裂

〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地 TEL 0298-64-4283 FAX 0298-64-2688

亀裂が無い供試体の応答倍率（天端加速度〔gal〕／基礎加速度〔gal〕）を図 - 2 に示す。図によれば、亀裂が無い供試体は基礎加速度を変えてもピーク振動数、応答倍率はほぼ同じである。ピーク振動数は約 4.45Hz，応答倍率は約 190 であった。

3.2 亀裂の影響

2 種類の供試体の入力加速度 15gal 時の応答倍率を図 - 3 に示した。亀裂の影響により、固有振動数は 4.45Hz から 4.32Hz へ、応答倍率は 190 から 123 へと低下している。亀裂が有る供試体における各入力加速度での応答倍率を図 - 4 に示す。図によれば、入力加速度が大きくなるほど応答倍率，ピーク振動数はともに低下している。また、図 - 2，4 を比較した場合、亀裂の無い供試体のピーク振動数，応答倍率は、入力加速度 5gal 時の亀裂の有る供試体のピーク振動数，応答倍率とほぼ同じである。

入力加速度と応答倍率，ピーク振動数の関係を図 - 5 に示す。図によれば、応答倍率の低下割合は加速度が大きくなるほど減少する傾向が見られ、ピーク振動数の低下割合は増加する傾向にある。

入力加速度 15gal 加振時における亀裂の有る供試体のピーク振動数（4.32Hz）での加振時における亀裂上の鉛直加速度時刻歴を図 - 6 に示す。この亀裂の開閉に伴うエネルギー損失が見かけの減衰率を下げる原因になっていると考えられる。

4. まとめ

以上の試験結果をまとめると、以下のようになる。

亀裂の有る供試体では、5gal 加振時には亀裂の無い供試体とほぼ同じピーク振動数・応答倍率であり、亀裂の影響が殆ど見られない。

亀裂のある供試体では、5，10，15gal と入力加速度が増加するのに伴い、応答倍率は低下し、ピーク振動数も低周波数へと移行する。その傾向は、応答倍率については加速度が大きくなるほど低下率が減少し、ピーク振動数は入力加速度が大きくなるほど低下率が増加する。

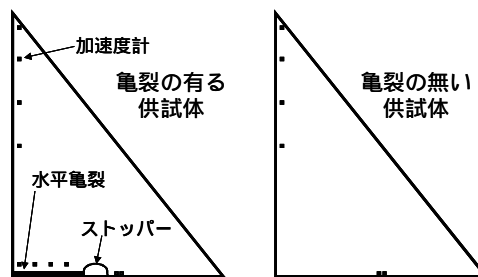


図 - 1 供試体概要図

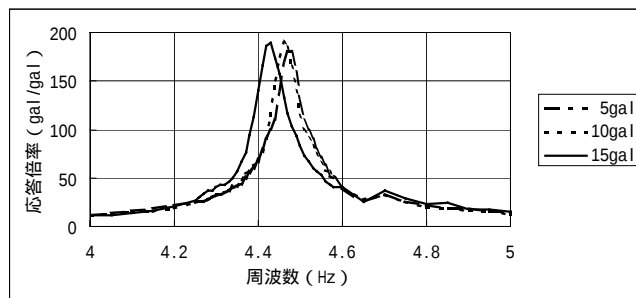


図 - 2 亀裂の無い供試体の応答倍率

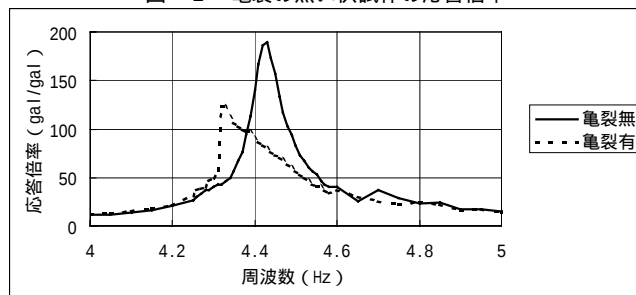


図 - 3 入力加速度15gal時の応答倍率

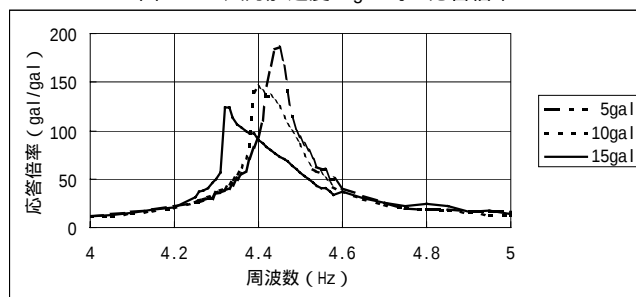


図 - 4 亀裂の有る供試体の応答倍率

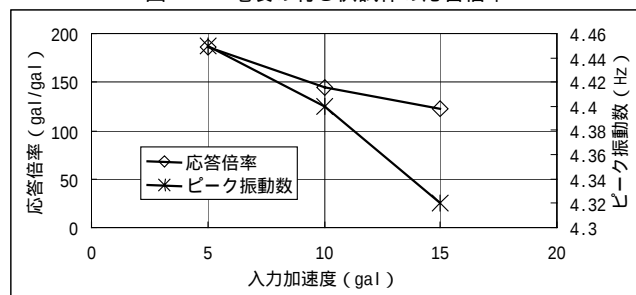


図 - 5 亀裂の有る供試体の入力加速度と応答倍率，ピーク振動数

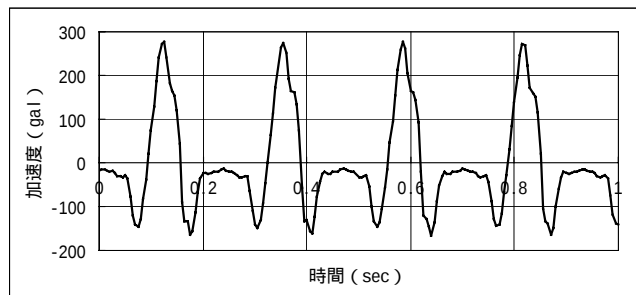


図 - 6 4.32Hz15gal加振時の亀裂上加速度