

粘性境界を考慮したアーチダム地震時挙動解析

熊本大学 学生会員 ○秋永裕貴
熊本大学大学院 正会員 松田泰治

1. はじめに

現在、我が国のコンクリートダムは震度法によって設計されている。この震度法で設計された我が国のダムは、兵庫県南部地震後の評価において、十分な耐震性を有していることが確認されている。しかし、それ以後兵庫県南部地震を上回る地震動が観測されている。また、国内のコンクリートアーチダムには建設後 50 年近く経過するものも多いこともあり、コンクリートアーチダムの合理的な耐震性能照査が必要となっている。

地震応答解析を行う際、半無限的に広がる自由地盤を有限な領域にする必要があるが、解析領域の内部に波動エネルギーが留まってしまい、適切に地震時挙動を評価できない。そのため、解析領域と自由地盤との境界面に粘性境界を考慮する必要がある。本研究では、簡易アーチダムモデルにおいて、粘性境界の設定条件について比較、検討を行う。

2. 解析モデル

2.1 解析モデルの概要

本研究では、図-1 に示す簡易アーチダムモデルを用いた。堤体、岩盤ともに線形弾性体として 8 節点 6 面体ソリッド要素でモデル化している。堤高は 100m、堤頂長は 356m、岩盤に関して左右岸方向と鉛直方向をともに 45m、上下流方向を 410m としている。解析に用いた物性値については、表-1 に示す。

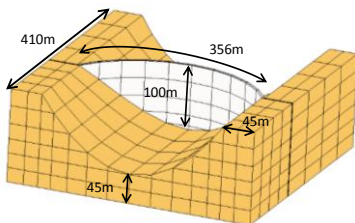


図-1 解析モデルの鳥瞰図

表-1 解析に用いた物性値

	単位体積質量 [t/m ³]	ヤング係数 [kN/mm ²]	ポアソン比
堤体	2.44	44.1	0.167
岩盤	2.60	19.6	0.200

2.2 岩盤の要素サイズの決定

岩盤の要素サイズを変更させて固有値解析を行ない、固有振動数の変化を確認することで固有値が収束する要素サイズを決定する必要がある。本研究では、解析モデルの形状は変化しないため、岩盤の要素数を変更することで、要素サイズを変更させたものとする。以上のこと

より、要素数と固有振動数の関係から本研究で採用する要素数の決定を行なう。図-2 より要素数が 660 個以上となると、1 次から 4 次の固有振動数がそれぞれ一定の値に収束していることが確認できる。したがって、本研究で採用する要素数を 660 個と決定した。この際、堤体のみの場合と要素数を 660 個とした場合での 1 次から 4 次までの固有振動モードが概ね同じ形状となることを確認している。

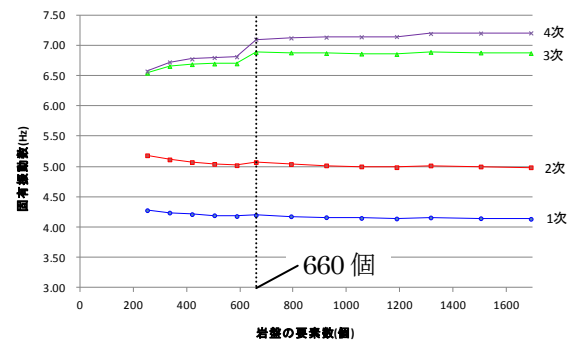


図-2 岩盤の要素数ごとの固有振動数

3. 粘性境界の設定

粘性境界を設定する境界には、図-4 のように境界面の各節点にダッシュポットを設定することで粘性境界を模擬する。各節点に働く減衰力は式(1)に示したとおりとなる。また、式(1)における粘性定数は境界面に平行な方向に対しては式(2)で、境界面に垂直な方向に対しては式(3)で各節点の負担面積に応じて求める。

$$F = C\dot{y} \quad (1)$$

$$C_S = A\rho V_S \quad (2)$$

$$C_P = A\rho V_P \quad (3)$$

ここで、 F : 減衰力、 $\dot{y}$: 相対速度、 C_S : せん断方向粘性係数、 C_P : 縦方向粘性係数、 A : 各節点の負担面積、 ρ : 単位体積質量、 V_S : S 波速度、 V_P : P 波速度である。

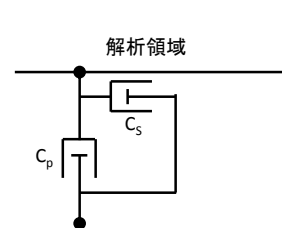


図-4 粘性境界のイメージ図

4. 地震応答解析

4.1 境界条件

本研究では、解析モデル底面の境界条件について検討するため、解析モデル側面は自由境界とする。解析モデル底面は固定境界、または粘性境界とする。以上より、境界条件は表-2 に示すとおりとなる。

表-2 境界条件

	底面	側面
条件1	固定	自由
条件2	粘性境界	自由

4.2 入力地震波

図-5 は堤体底部の加速度波形であり、地震応答解析を行なう際には解析モデルの下方基盤まで引き戻した地震動を入力する必要がある。地震動の引き戻しには、重複反射理論に基づく一次元地震応答解析プログラムを解析モデル底面の境界条件に応じて用いた。解析モデル底面が固定境界の条件 1 では図-6 の地震波を、粘性境界の条件 2 では図-7 の地震波を用いる。

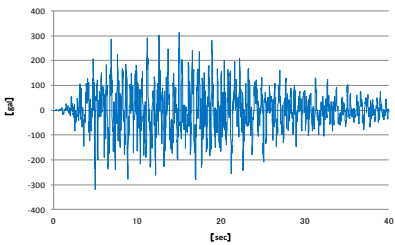


図-5 引き戻し前の加速度

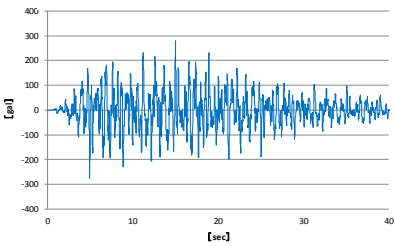


図-6 固定境界への入力地震波（条件 1）

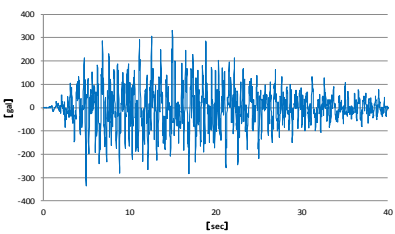


図-7 粘性境界への入力地震波（条件 2）

4.3 結果

各条件で地震応答解析を行ない、堤体底部における加速度の時刻歴応答が図-5 の引き戻し前の加速度と等しいならば、適切な境界条件が設定されているといえる。図-8 は条件 1 での堤体底部における加速度の時刻歴応答、図-10 は条件 2 での堤体底部における加速度の時刻歴応

答を示している。表-3 は引き戻し前の加速度、条件 1 および条件 2 について上流方向を正として上流方向と下流方向の加速度応答最大値を示したものである。図-9 は条件 1 と引き戻し前の加速度の比較を行ない、図-11 は条件 2 と引き戻し前の加速度を比較したものである。また、括弧内は各条件と引き戻し前の加速度との相対誤差 (%) を示したものである。表-3 より相対誤差が条件 1 では上流方向が 33.02%、下流方向が 27.27% となっており、条件 2 では上流方向が 8.943%、下流方向 12.94% となっている。上流方向と下流方向いずれも条件 2 の方が相対誤差が小さくなっており、条件 1 に比べ、条件 2 の方が適切な境界条件であると考えられる。以上より、解析モデルの側面を自由境界とした場合では、底面は粘性境界を用いることで適切に地震時挙動を評価できると考えられる。

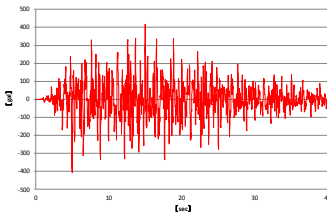


図-8 条件 1 での岩盤底部の
加速度応答

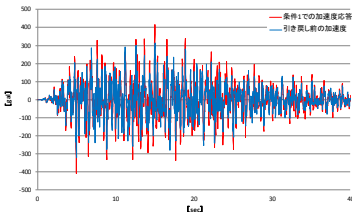


図-9 条件 1 と引き戻し前
の加速度の比較

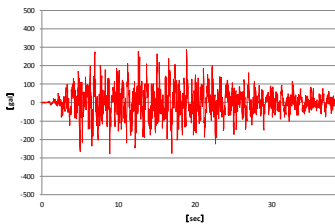


図-10 条件 2 での岩盤底部の
加速度応答

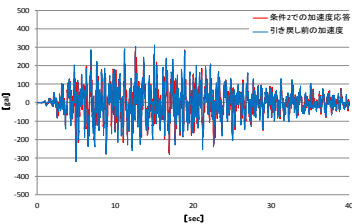


図-11 条件 2 と引き戻し前
の加速度の比較

表-3 加速度応答最大値と相対誤差

	上流方向最大値 [gal]	下流方向最大値 [gal]
引き戻し前の加速度 (図-5)	313.1	320.0
条件1での加速度応答 (図-8)	416.5 (33.02)	408.7 (27.72)
条件2での加速度応答 (図-10)	285.1 (8.943)	278.6 (12.94)

5. 結論

本研究では簡易アーチダムモデルにおいて、地震応答解析を行なう際の適切な境界条件について解析モデル側面は自由境界として、底面の境界条件について検討を行った。検討の結果、底面は固定境界とするよりも粘性境界とした方が適切に地震時挙動を評価できると考えられる。本研究では、加速度応答による検討のみを行っているため、今後は周波数領域や応力状態での検討が必要であると考えられる。また、解析モデル側面の境界条件について検討も必要があると考えられる。