

円形要素規則配列を用いたロックフィルダムの 地震時崩壊形状のDEM解析

鳥取大学大学院 ○米田 憲司

鳥取大学工学部 木山 英郎, 藤村 尚, 西村 強

建設技術研究所 森本 浩之

1. はじめに

増大する水需要に対処すべく、ダム建設の計画・建設が進められているが、近年では残された悪質な地盤条件のもとでの施工を要求されることが多くなっており、ロックフィルダムが採用される事例が増えてきている。従来、ロックフィルダムの静的・動的安定性は連続体とみなして検討が進められてきたが、土砂や碎石を締め固めて作られていることを考え合わせると、そのモデル化には不十分な面がある。不連続な粒状要素の集合体であるとして評価するアプローチも重要であると考えられる。

本研究では、粒状集合体の動的応答問題へのDEM（個別要素法）の適用を念頭に、円形要素の規則配列を基本としてロックフィルダムをモデル化し、ダム堤体の地震時の安定性と崩壊形状の解析を実施した。円形要素の規則配列はロックフィルダムの模型として必ずしも最適とは言えないが、従来報告してきているように、配列の変化によって、堤体の応力状態や変形特性を系統的に表現してゆくには有効なモデルであると考えている^[1]。

2. 解析モデルの設定と入力地震波

図-1に示すように、半径1cmの円形要素を最下段に12個、その上に11個、10個・・・と一段ごとに個数を1つつ減じて積み上げ、ロックフィルダムのモデルとする。要素間接触角を、接触接線方向と水平方向のなす角 α で定義すれば、この図では $\alpha=30^\circ$ となっており、鉛直方向に比べ水平方向への接触力伝播が卓越したものとなっている。解析では図中陰影部要素を基盤要素であるとして、まず鉛直・水平方向に固定して、自重静止を求める。続いて、これらの要素に鉛直および水平方向の地震加速度を入力し、集合体の応答を追跡する。

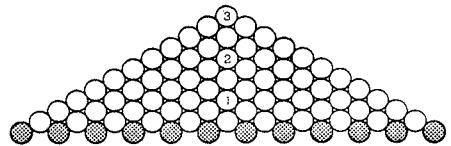


図-1 解析モデルの一例

表-1 入力地震波の諸元

	卓越周波数	最大加速度(gal)	継続時間(秒)
Case-A	4.2	250,125	8
Case-B	1.9,3.5	120, 40	18
Case-C	3.7,5.0	350,333	12

表-2 DEM解析定数

Particle	
Radius	$r:1(\text{cm})$
Density	$\rho:2.65(\text{g/cm}^3)$
Young's modulus	$E:750(\text{kgf/cm}^2)$
Poisson's ratio	$\nu:0.3$
Time Step	$\Delta t:1.0 \times 10^{-4}(\text{sec})$
Particle to Particle	
$Kn/\rho g$	(cm) 3.64×10^4
$\eta n/\rho g$	(cm*s) 1.53×10
$Ks/\rho g$	(cm) 0.91×10^4
$\eta s/\rho g$	(cm*s) 0.78×10
μ	0.577

入力地震波として3つの実測された地震加速度波形を用いている。その主な諸元は、表-1に示す通りであり、図-2にCase-Cの加速度時刻歴を一例として示した。また、表-2に解析定数を示している。なお、加速度データは、 10^{-2} 秒ごとの数値として準備している。これに対し、DEMの時間増分は 10^{-4} 秒であるので、基盤要素に 10^{-2} 秒(1000step)間継続して1つの加速度値を入力し、 10^{-2} 秒経過毎に次の加速度値を入力するという方法を使った。

3. 解析結果

本文では、一例として図-2のCase-Cに対する結果を示す。図-3は $t=4.0$ 秒の時の集合体の変形と接触力の分布状況を示したものである。なお、この図に対する基盤への入力加速度時刻歴については図-2を参照されたい。

初期状態における接触力分布では左右対称性が保持されているが、ここでは基盤の動きに呼応して、接触力分布の左右対称性が失われている。図-4は、応答加速度の様子を、図-1中に番号付けした要素のうち、頂上部の要素①と下部の要素③について描いたものである。入力加速度の最大値は鉛直方向350gal、水平方向333galとなっており、応答倍率でみると要素①位置でそれぞれ0.96倍、1.00倍、要素③でそれぞれ0.90倍、0.93倍の値を示しており、入力値とほぼ同等の応答を示している。

今回の解析では、表-1のような3つの地震波に対して、図-3のような、内部の接触力分布の変化は表現されたものの、表面部要素の滑落、内部での開口等堤体の破壊と見なせる挙動は再現されていない。

ロックフィルダムの耐震性を検討する際に地震加速度の大きさのみならず、破壊をもたらす加速度の継続時間が重要な因子となることは既に報告されている^[2]。今後、加速度の継続時間と、モデルの基本振動周期の関連等研究を進めてゆく予定である。

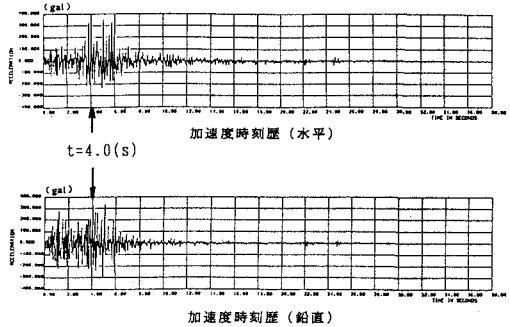


図-2 加速度時刻歴(Case-c)

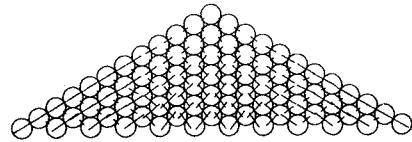


図-3 変形状態と接触力分布($t=4.0$ s)

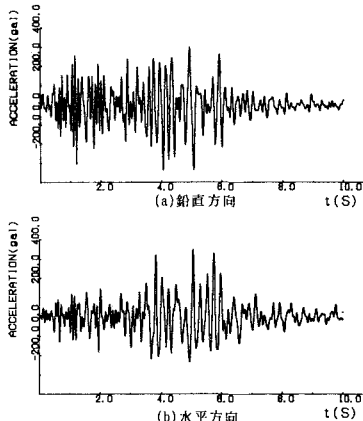


図-4.1 応答加速度(要素①)

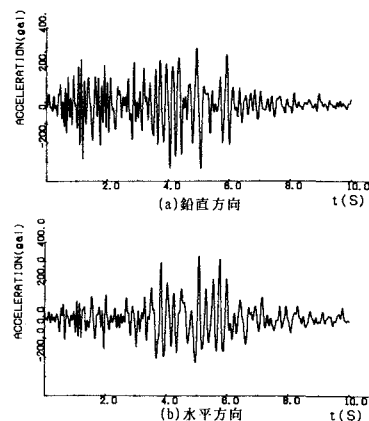


図-4.2 応答加速度(要素③)

参考文献

- [1]木山, 藤村: カンドルの離散剛要素法を用いた岩質粒状体の重力流動の解析, 土木学会論文報告集, 第333号, pp.137~146, 1983.5
- [2]大町, 荒井: 円形粒子の規則的配列をもつロックフィルダム模型の動的破壊機構, 土木学会論文集, 第388号, pp.197~206, 1987.12