

ロックフィルダムの遠心模型振動実験を対象とした個別要素法による変状解析

電力中央研究所 正会員 ○栃木均、岡本敏郎
東京電力（株） 正会員 内田善久、鶴田 滋

1. はじめに

ロックフィルダムの耐震性については、地震時における損傷過程などの終局挙動に関する検討が課題として残されている。これらを解明するため、地震時の変形性状に着目した遠心模型振動実験による検討が行われ、大地震時における挙動が明らかにされつつある。本研究では、ロックフィルダムの変形挙動の発生、進展状況を予測し、それらを反映させた耐震性評価を行うことを目的として、個別要素法（DEM）を用いた粒状体モデルにより遠心模型振動実験¹⁾の数値シミュレーションを行った。

2. 対象とした遠心模型実験の概要¹⁾

模型実験の遠心加速度は50gであり、堤体の高さは55cm、斜面勾配は上流側および下流側とも1:1.4である。堤体の材料には20mm以上を除去したロックフィルダムのフィルター材（CM~CH級）が用いられ、転圧による締め固めを行った高密度の実験（相対密度91%）と転圧を行わない低密度の実験（相対密度25%）が行われている。遮水ゾーンは考慮しないものとしシェルゾーンのみの変形特性が検討されている。加振波には兵庫県南部地震による箕面川ダムの記録が用いられ、堤体の変形状況が計測された。

3. 個別要素法による遠心模型実験の解析モデル

DEMによるロック材のモデル化においては数個の円を剛結させた要素を用いることによってロック材の粒子の寸法比を考慮した。図1に遠心模型実験の解析モデルを示し、図2にロック材の粒子の寸法比²⁾を示す。ロック材の粒度範囲（図4）の内3~19mm

までを4つの粒度階級に分け、それぞれの粒度階級ごとに粒子の寸法 a、b、c を定めた。次に、数個の円を剛結させ図3に示すように粒子の寸法比を b/c、c/a、a/b とした二次元の粒子モデルを各粒度階級ごとに作成した。これらの要素を型枠内に自由落下させ、ランダムな要素配置の堤体モデルを作成した。堤体の相対密度は $D_r=87\%$ およ

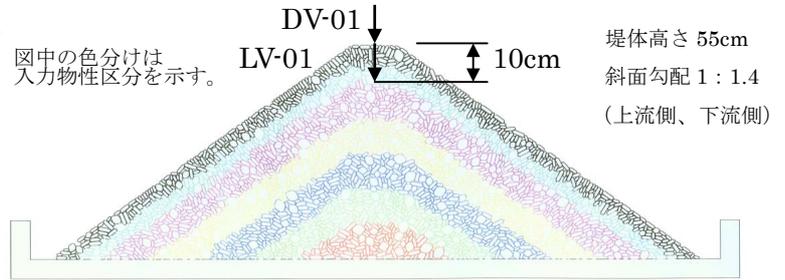


図1 遠心模型実験の解析モデル（高密度）

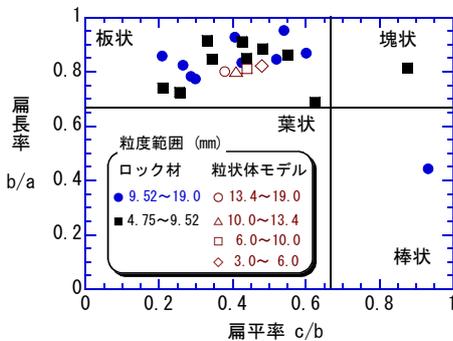


図2 粒子の寸法比

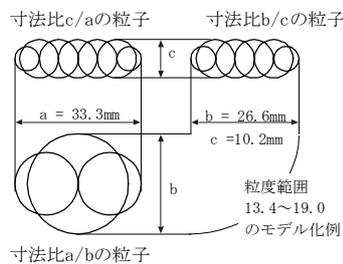


図3 二次元の粒子モデル

(a, b, c の寸法に応じて円の数进行调整する)

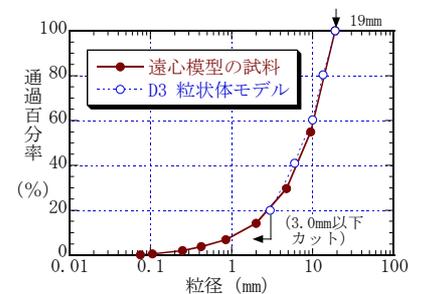


図4 粒度曲線

キーワード：粒状体，個別要素法，ロックフィルダム，遠心模型振動実験，変状予測

〒270-1194 我孫子市我孫子 1646 TEL 04-7182-1181 FAX 04-7184-2941

び $Dr=56\%$ の 2 種である。要素間の接触点におけるばね定数は、堤体内の拘束圧の変化を考慮して図 1 の物性区分ごとに、法線方向 $kn=255(\sigma_m)^{0.63}$ 、接線方向 $ks=58.9(\sigma_m)^{0.63}$ (KN/m) として与えた。ここに、 σ_m は平均主応力(kPa)である。粒子間の摩擦係数は 0.7 とした。ダッシュポットの定数は減衰定数を 2% として定めた。

4. 地震時の変形挙動

解析は 50g (g は重力加速度) の重力場で行った。以下には 1g 場での換算値を示す。入力地震波は箕面川波であり、図 5 に示すように加速度振幅を段階的に大きくして 3 段階の加振を行っている。図 6 には堤頂の鉛直変位 (DV-01) を示し、図 7 には堤頂から深さ 10cm (1g 場換算 5m) の位置における鉛直変位 (LV-01) を示す。ここで、沈下をマイナスで示している。堤頂の鉛直変位 (DV-01) は、高密度の実験の場合、最大加速度 715gal の加振により 0.55m の累積変位が生じており、これは堤体高さ 27.5m の約 2% に相当する沈下である。加速度に対する変位の増加傾向としては、地震波加振の場合は、振動台の加速度が大きくなるにつれて堤頂の鉛直変位 (DV-01) と堤体の圧縮変位 (LV-01) の増加の度合いが著しくなる傾向にある。文献[1]では、堤頂の鉛直変位を堤体の体積変化による圧縮変位と、表層の法尻方向への滑落によって生じる崩壊変位とに分けた分析を行っている。図 7 に示した鉛直変位 (LV-01) は堤体の圧縮変位を表し、図 6 の鉛直変位 (DV-01) は堤体の圧縮変位と崩壊変位の両方を含んだ変位を表している。解析結果においても、これらの変位に関する検討を行った結果、加速度と共に変位が累積していく挙動や、高密度と低密度の密度変化に応じた変形特性の違いが表現できていた。

図 8 では堤体の変形状況を見るため、各粒子の重心における変位ベクトルを示した。高密度および低密度の場合とも堤体の表層付近で滑落による変位が生じている状況が表れており、低密度の場合にはこの滑落の生じた領域が高密度の場合よりも深い位置に及んでいる。これらは実験結果と同じ変形状況である。

[参考文献] 1) 内田善久, 鶴田 滋, 他: 遠心模型振動実験によるロックフィルダム地震時変形特性の評価, 土木学会第 57 回年次学術講演会, I-768, pp.1535-1536, 2002.9. 2) 岡本敏郎, 他: 大型繰返し三軸試験による新鮮な安山岩質ロック材料の動的変形・減衰特性, 電中研報告, U01027, 2001.12,

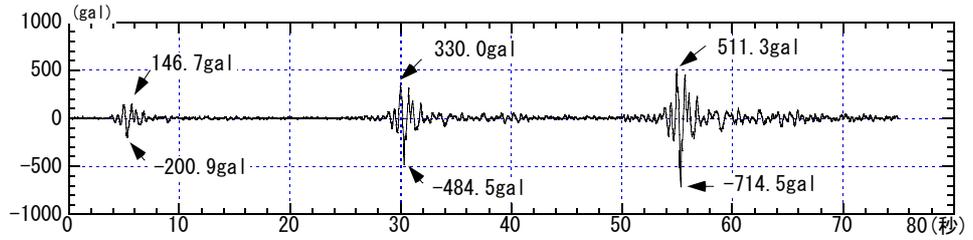


図 5 入力加速度 (高密度)

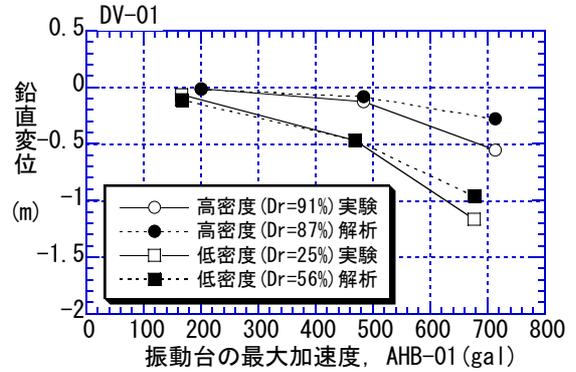


図 6 堤頂の鉛直変位 (累積)

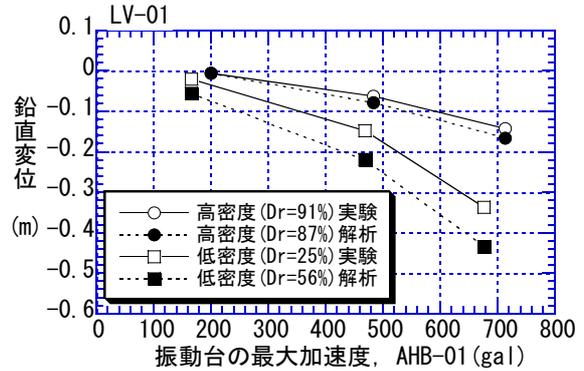


図 7 堤体の圧縮変位 (累積)

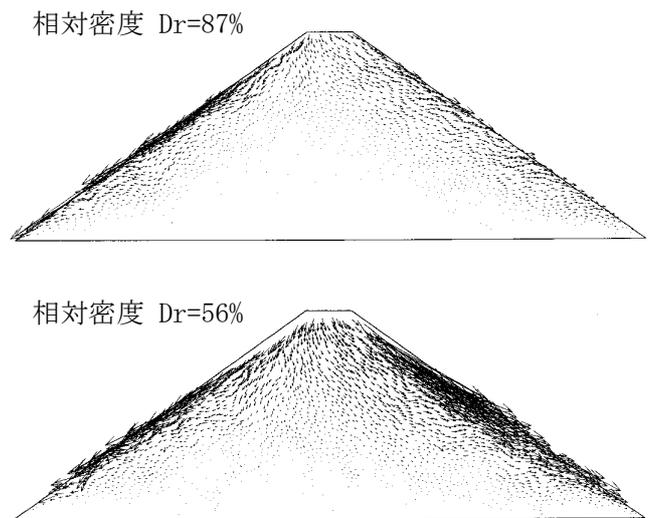


図 8 堤体断面の最終変形状況 (解析結果)