

## ロックフィルダムの大規模地震時変形挙動の評価手法について

電源開発(株) 正会員 江原 昌彦  
 電源開発(株) 正会員 喜多 佑介  
 (株)JP ビジネスサービス 正会員 曹 増延

### 1. 目的

ロックフィルダムの大規模地震時変形挙動について、振動台模型実験、動的弾塑性解析及び従来の円弧すべり計算による変形結果を比較し、ダムの耐震性能照査に有効な解析手法の検証を行うことを目的とする。

### 2. 検討手法

図-1 に示す高さ 1.0m、奥行き 2.0m、法面勾配 1:1.5 と 1:1.85 の二つの 2 次元状態の片法面模型を対象として振動台により破壊実験を行い、残留変形を測定した。また、同模型実験に対して 2 次元 FEM による動的弾塑性解析、及び線形応答解析に基づく従来の円弧すべり計算により変形解析を実施し、3 者の比較を行った。

#### (1) 模型実験

弾性波試験によるモデル内弾性波速度の深さ方向分布を表-1 に示す。

表-1 模型の弾性波試験結果

深さ(m)	$V_s$ (m/s)	$V_p$ (m/s)	動ポアソン比
0.00 ~ 0.25	62.12	152.45	0.40
0.25 ~ 0.50	72.72	172.90	0.39
0.50 ~ 0.75	91.44	158.12	0.25
0.75 ~ 1.00	133.33	232.56	0.26

注：模型の密度：1.94g/cm<sup>3</sup>，粘着力：0.0MPa，内部摩擦角：41°

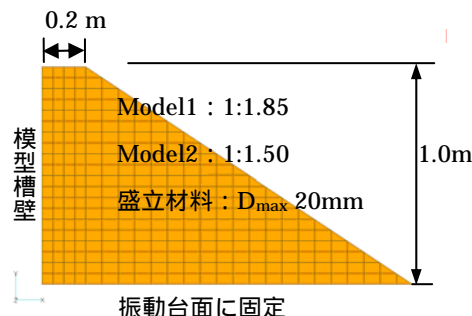


図-1 検討用モデル

実験は、振動数 30Hz、振幅 50gal の正弦波を用いた動的応答特性実験、及び振動数 30Hz、振幅 500gal、30 秒間の正弦波加振による破壊実験である。破壊実験後、堤体の残留変形を計測した。

#### (2) FEM による弾塑性解析

2 次元 FEM により片法面模型をモデル化し、表-1 の物性値を基に動的応答特性実験における模型の挙動が再現できるように、解析モデルの剛性係数および減衰係数を同定した。さらに模型の破壊実験と同じ加振波（30Hz 正弦波、振幅 500gal、30 秒間加振、その後 5 秒間自由振動）を入力し、非関連流れ則を用いた弾塑性解析を行い、残留変形量及び残留ひずみ等を求めた。用いた解析コードは自社開発 UNIVERSE である。

降伏基準：Mohr-Coulomb 式

塑性ポテンシャル関数：Drucker-Prager 式

強度係数：材料試験結果を用いる。粘着力 0.001MPa(表層の不安定を避けるために微小に設定)、内部摩擦角 41°

#### (3) 円弧すべり計算

動的応答特性実験の再現解析で同定した材料物性値及び破壊実験の荷重条件を用いて動的応答解析を実施した。また、解析により得られた模型の加速度応答および応力応答に基づき、渡辺-馬場法<sup>(1)</sup>により円弧すべり計算を行い、模型のすべり変形量を算出した。

### 3. 検討結果

図-2 と図-3 にはそれぞれ弾塑性解析の加振終了後の Model1 と Model2 の残留変形を示す。両モデルともに、実験結果と同じく、法面頂部の沈下と法面中下部のはらみ出しが見られる。この変形傾向は実験結果と同じである。法面の変形量については実測結果が概ね再現されていると判断できるが、頂部の沈下量については、解析の最大値

キーワード：ロックフィルダム、破壊実験、弾塑性解析、円弧すべり計算、残留変形量

連絡先：〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1 電源開発(株) 水力エンジニアリング部 TEL03-3546-3222

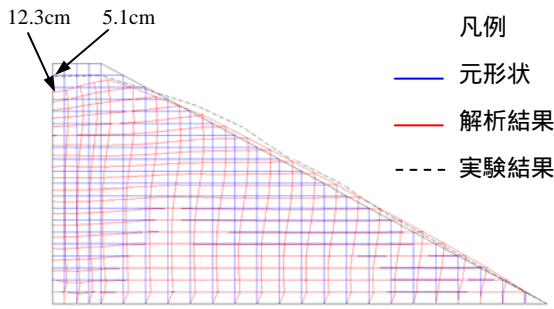


図-2 Model1 の残留変形

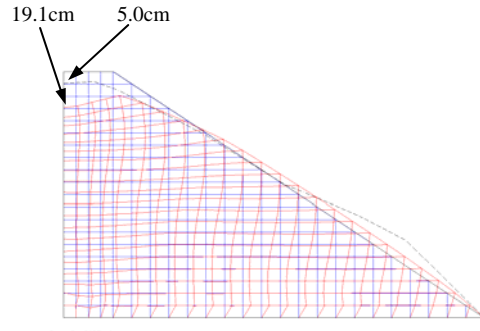


図-3 Model2 の残留変形

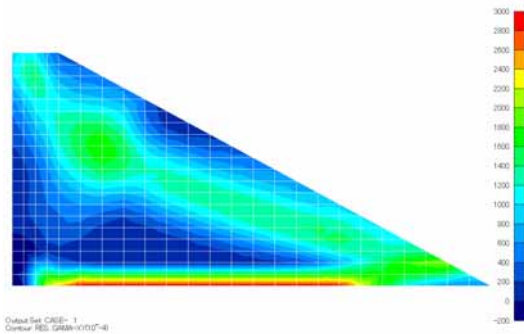


図-4 Model1 の残留せん断ひずみ

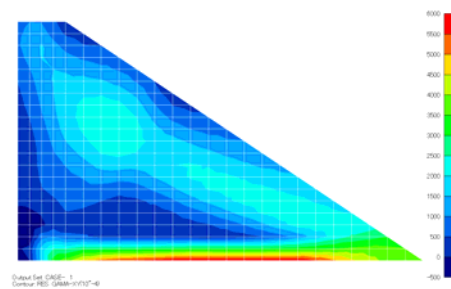


図-5 Model2 の残留せん断ひずみ

は実測値の2倍以上となっている。これは、実験では盛土模型と模型槽壁の間に摩擦がある一方、解析ではこの境界で鉛直方向にローラー条件を設けており、モデルに対して鉛直方向には全く無拘束となっていることが原因であると推察される。また、Model2 において、法面の下部では実験による変形は解析結果より大きくなっている。これは Model2 が比較的急勾配で、破壊実験において頂部から盛立材料の転落があり、結果として模型の塑性変形のみならず、粒状体としての挙動が含まれているためと推測する。

図-4 と図-5 には加振終了後の残留せん断ひずみの分布を示す。モデル底面にひずみが集中しているが、これは解析モデル底面の剛性境界条件によるものであると考えられる。一方、模型頂部より法先にかけて円弧状に分布する比較的大きな残留ひずみ帯が見られる。これにより法面模型がこのようなゾーンを中心として主要な変形を生じているものと推測することができ、均一な材料による模型では従来の円弧すべり計算手法によっても破壊モードをある程度再現し得ることを示唆しているものと考えられる。

円弧すべり計算について、ここでは Model1 の結果のみを示す。図-6 にすべり安全率が1を下回る円弧のうち、上位10本の円弧位置を示す。また、同図に頂部と法先を通り、かつ安全率の最も小さい円弧の天端沈下の時刻歴を示す。すべり円弧の位置は、図-4 に示す残留せん断ひずみ帯の分布形状と概ね一致し、また天端部の鉛直沈下量も同程度であるが、実験結果とは約2倍の開きがある。

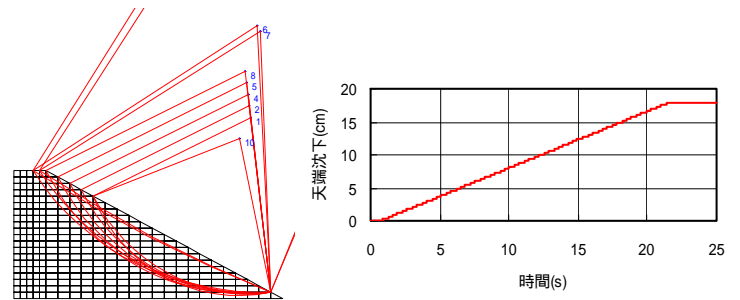


図-6 すべり円弧の位置及び変位時刻歴

#### 4. まとめ

大地震後のフィルダムの残留変形が動的弾塑性解析により推定可能であることが室内実験との対比により示された。また、均一斜面の場合にあっては円弧すべりでもある程度破壊モードの説明は可能であるが、変形量をよりの確に把握するという観点では弾塑性解析が望ましいものと考えられる。今後は、実際のダムの地震時変形のシミュレーションを通じてさらに評価手法の検証を図って行きたいと考えている。

#### 参考文献

(1) 土木学会編：「動的解析と耐震設計，第3巻，エネルギー施設」，pp.56-57，技報堂出版，1989