

# 水平 - 鉛直方向の加振によるフィルダムの動的破壊挙動の検討 Study of dynamic collapse of fill dam with model experiment and analysis

田中忠次\*, 原田 大\*, 増川 晋\*\*

TANAKA Tadatsugu, HARADA Dai, MASUKAWA susumu

## 1. 背景

兵庫県南部地震で、今までの通常の耐震設計で想定していなかった鉛直方向の地表面加速度  $550\text{cm/sec}^2$  が観測された。フィルダムの耐震設計において、かつてはこのように大きな鉛直方向の加振は想定されておらず、水平加振のみが注目されていたが、鉛直加振も考慮する必要があると認識された。

## 2. 目的

鉛直方向加振も考慮したフィルダムの挙動を正確に表せる解析の手法を目指すため、応力-ひずみ関係に 弾完全塑性モデル(強度に残留強度を用いたもの)、弾完全塑性モデル(ピーク強度を用いたもの)、ひずみ硬化軟化を考慮した弾塑性モデルの3種類を考慮した解析をフィルダム振動模型実験に適用し、妥当性を検証し、動的耐震設計への可能性を検証する。

## 3. 有限要素解析

本研究では動的解析に1点積分を適用した4節点のアイソパラメトリック要素を用いた弾塑性有限要素法を用いた解析をおこなった。弾性挙動から塑性挙動に至る境界の降伏関数には実験値をよく表現できる Mohr-Coulomb 型のモデルを、塑性挙動を決定する塑性ポテンシャルには主応力空間の平面に特異点を持たない Drucker-Prager モデルを用いた。応力-ひずみ関係には上述の3つのモデルを用いた。概念図を Fig.1 に示す。

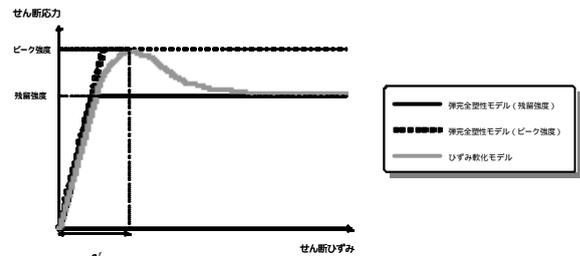


Fig. 1 各モデルの概念図  
Concept of elasto-plastic models

## 4. 実験

フィルダム模型振動実験については、独立行政法人農業工学研究所所有の三次元振動台を用いた実験結果に適用する。

実験は水平方向、鉛直方向それぞれ加速度がテーパ状に増加する 10Hz の sin 波を入力波として加振された。材料等は下のとおりである。

模型材料	豊浦標準砂含水比 5% 相対密度 50% 相当
模型寸法	堤高 80cm 堤頂長 277cm 法面勾配 1:1.5
計測項目	加速度、変位、クラック、すべり帯形状
入力加速度	水平方向、鉛直方向ともに最大 500gal、10Hz の sin 波

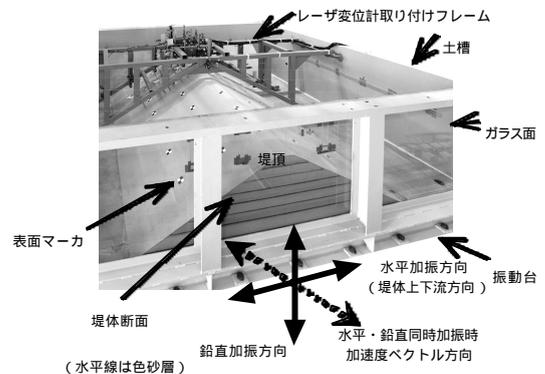


Fig. 2 動的実験装置の様子  
Model for dynamic tests

## 5. 解析の適用

Fig.3 は解析に用いた有限要素メッシュである。要素数 160、節点数 196 である。入力波は模型底部中央のセンサー AT で実測されたものを用いた。また、観測において、側壁の影響を受けないと思われる中央付近の断面について二次元解析(平面ひずみ条件)を行なった。

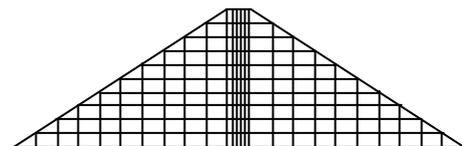


Fig. 3 有限要素メッシュ  
Finite element mesh

\*東京大学大学院 Department of Biological and Environment Engineering University of Tokyo

\*\*独立行政法人農業工学研究所 National Institute for Rural Engineering

キーワード 鉛直加振 ひずみ軟化 有限要素解析

## 6. 実験と解析の比較

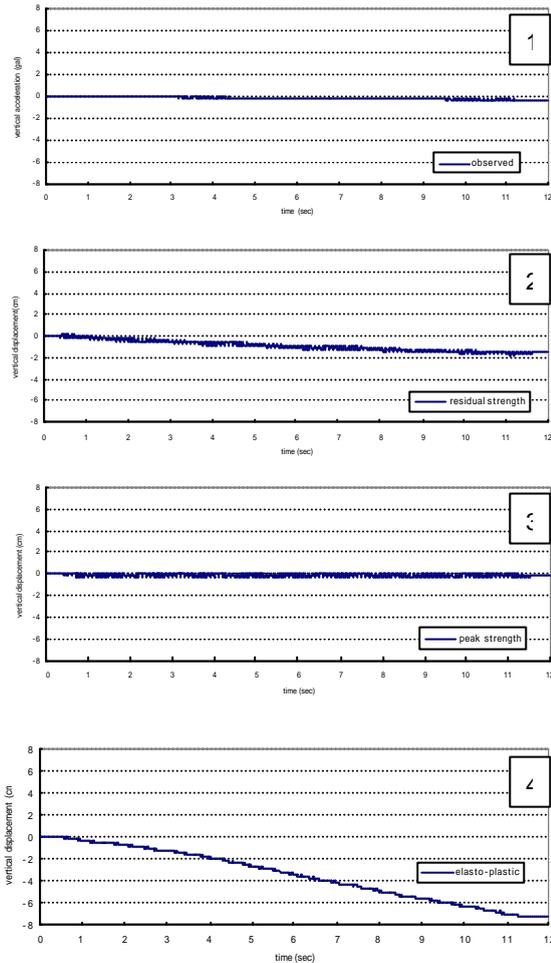


Fig.5 天端部鉛直変位  
Vertical displacement at top point

- 1 実験
- 2 弾完全塑性解析 (残留強度)
- 3 弾完全塑性解析 (ピーク強度)
- 4 ひずみ軟化を考慮した解析

## 7. 解析結果の考察

### 弾完全塑性モデル (残留強度)

鉛直変位で 2cm ほどの沈下を示した。最大せん断ひずみのコンター図の様子では、天端部付近からせん断帯が発生するという挙動は表現できなかったが、左側斜面にひずみが集中する様子は表せた。

### 弾完全塑性モデル (ピーク強度)

鉛直変位において実験値とほぼ等しく、わずかな沈下を示した。最大せん断ひずみのコンター図の様子では残留強度と同様の傾向をとり左側斜面にひずみが集中する様子は表せた。

### ひずみ軟化を考慮したモデル

鉛直変位において 7cm 程度の沈下を見せた。最大ひずみコンター図の様子から、左側のひずみの集中は表せたが、右側底部付近、模型中央に縦方向のひずみの集中が見られる。

## 8. まとめ

フィルダム振動実験に 3 種類の応力-ひずみ関係を用いた動的有限要素解析を適用した。その結果、材料の挙動を単純化した完全塑性体はある程度実験を再現できた。この実験では特にピーク強度を用いた完全塑性体モデルが有効であった。

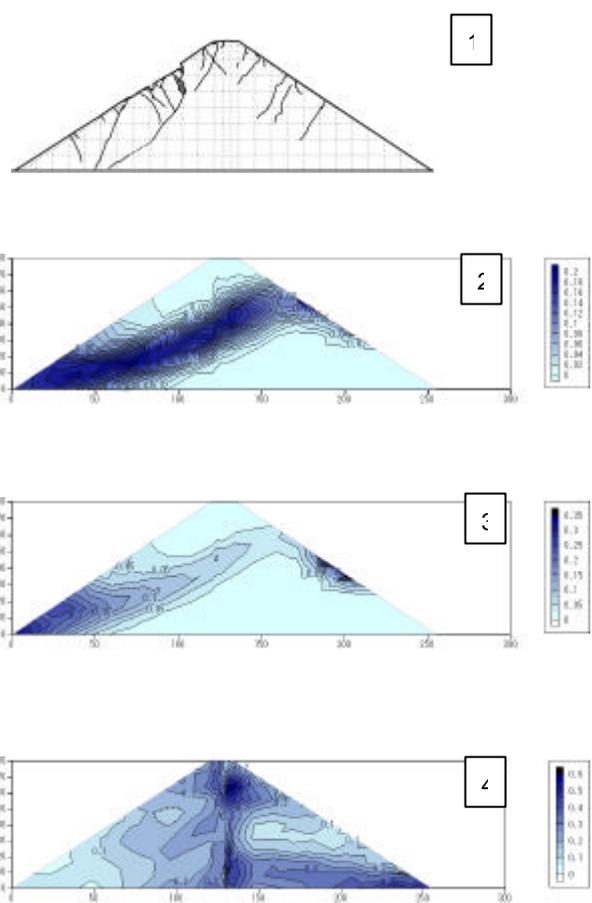


Fig.6 実験終了後の破壊の様子と解析による最大せん断ひずみコンター図

Observed slip bands and cracks of model experiment and calculated maximum shear strain centers

- 1 実験
  - 2 弾完全塑性解析 (残留強度)
  - 3 弾完全塑性解析 (ピーク強度)
  - 4 ひずみ軟化を考慮した解析
- 破壊の様子  
最大せん断ひずみのコンター