

逐次非線形解析による嵩上げたフィルダムの地震時挙動 Seismic Behavior Evaluation of Raised Fill Dam by Sequential Nonlinear Analysis

○田頭秀和*) 黒田清一郎*) 林田洋一*) 本間雄亮*)
TAGASHIRA Hidekazu, KURODA Seichiro, HAYASHIDA Yoichi, HONMA Yusuke

1. はじめに

気候変動等に対応するためのダムの再開発の有力な手段のひとつとして嵩上げがある。ダムのように、破壊した場合の周囲へのインパクトが大きく供用が長期間に渡る施設を安全に管理していくためには、大規模地震に対する挙動を把握することが重要であるが、嵩上げたフィルダムの地震時挙動については充分には検討されていない。そこで、理想化した嵩上げたフィルダムを対象にして逐次非線形解析による地震時挙動の検証を行った。

2. 方法

FEM 解析用メッシュ図を図-1 に示す。Case 1 は旧堤体部、新堤体部、中間層を想定して剛性を変えたもので、Case 2 は Case 1 と形状は同じで材料をすべて旧堤体部の材料に設定した。両ケースとも要素数は 3182 個、節点数は 1674 個であり、アイソパラメトリック一次要素を使用した。解析パラメータ (表-1) は、不飽和状態の 6 号珪砂試料を用いて圧密排水条件で実施した三軸圧縮試験 (JGS 0524-2009) と繰返し三軸試験 (JGS 0542-2009) の結果を基にして平面ひずみ状態を想定して設定した。入力波 (図-2) は 4 段階 (1.0, 2.0, 3.0, 4.0 m/s²) の最大加速度から成り、各段階は全て 16 サイクル (前後に別途各 1.5 サイクルのテーパ波付き) のサイン波である。以上はそれぞれ過去の模型実験¹⁾との比較のために実験で採用したものに合わせて設定した。

繰返しせん断特性のモデルは修正 H-D モデルを採用した。このモデルで近似した G/G_0 - γ 曲線と h - γ 曲線を図-3 に示す。運動方程式の積分法は Newmark- β 法で、時間刻みは 0.5 ms とした。

3. 結果と考察

図-4 に Case 1 の加振終了時の変形図を示す。旧堤体部上部および新堤体部旧堤体側の領域で旧堤体側に向かって大きな変位が生じている。この傾向は模型実験¹⁾でも認められており、下流側に嵩上げたフィルダムの特徴的な挙動といえる。

■ Area 1 (Case 1:材料A, Case 2:材料A)
■ Area 2 (Case 1:材料C, Case 2:材料A)
■ Area 3 (Case 1:材料B, Case 2:材料A)

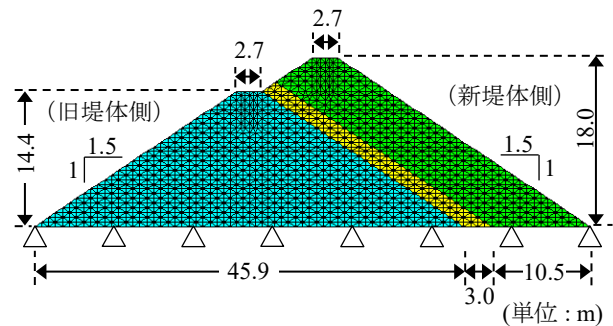
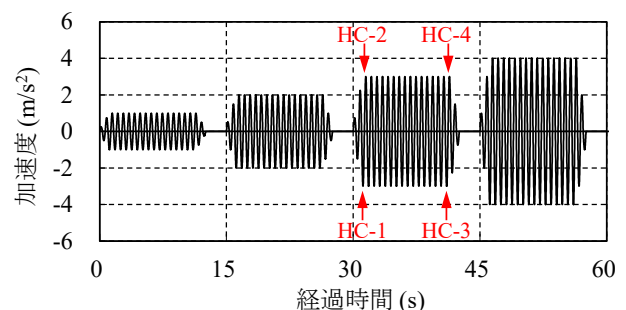


図-1 FEM 解析用メッシュ図

表-1 解析パラメータ

| 材料番号 | 相対密度 D_r (%) | 湿潤密度 ρ_t (kN/m ³) | 初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²) | 左記 G_0 に対応する平均有効拘束圧 σ'_{m0} (kN/m ²) |
|------|----------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| A | 50 | 15.891 | 57,240 | 100 |
| B | 95 | 17.447 | 104,100 | 200 |
| C | 75 | 16.719 | 99,990 | 200 |
| 材料番号 | ポアソン比 ν | 最大減衰定数 h_{max} | 内部摩擦角 ϕ (°) | 粘着力 c (kN/m ²) |
| A | 0.450 | 0.42 | 39.6 | 5.6 |
| B | 0.375 | 0.42 | 46.7 | 6.4 |
| C | 0.408 | 0.42 | 42.9 | 7.7 |



(*) HC-1~4: 堤体内の応答値分布の検討を行った半周期

図-2 入力波 (水平方向)

*) (国研) 農研機構農村工学研究部門 National Agriculture and Food Research Organization

以下に記す加速度とせん断ひずみの「大小」は絶対値の大小を意味する。図-5 は、図-2 中に示す半周期(1 サイクルの前半または後半)HC-1 ~4 における各ケースの最大応答加速度分布図である。HC-1, 2 は入力最大加速度が 3.0 m/s² の段階のテーパ波を除いた最初のサイクルの前半と後半の半周期, HC-3, 4 は同じく最後のサイクルの前半と後半の半周期である。

HC-1 と HC-2 を比べると、両者の分布形態が左右対称ではなく、応答加速度の分布形態は振動の方向によって異なることがわかる。この原因は、ゾーニングおよび堤体形状の非対称性と考えられる。

図-6 は、図-5 と同様のせん断ひずみの分布図である。(b)をみると、Case 2 では振動方向に関わらず、旧堤体側斜面中央部から新堤体側斜面上部に伸びる高せん断ひずみ領域(図中の P)と新堤体側斜面中央部から旧堤体側の新堤体上部に伸びる高せん断ひずみ領域(Q)がほぼ対称に分布している。一方、(a)をみると、Case 1 では前者が卓越して発達しており、これが図-4 に示す旧堤体部方向への変位の直接的な原因になっていると考えられる。また、Case 2 で旧堤体側(P)が新堤体側(Q)よりもせん断ひずみの値が若干小さいのは、旧堤体部頂部に該当する箇所が小段の役割を果たしているためと考えられる。

4. おわりに

斜面勾配, 断面形状, 材料, 中間層厚, 入力地震波, 貯水の影響について引き続き検討を進める予定である。

【参考文献】1) 田頭ら: 嵩上げたフィルダムの地震時返上に関する遠心裁荷模型振動実験, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.598~599 (2013)

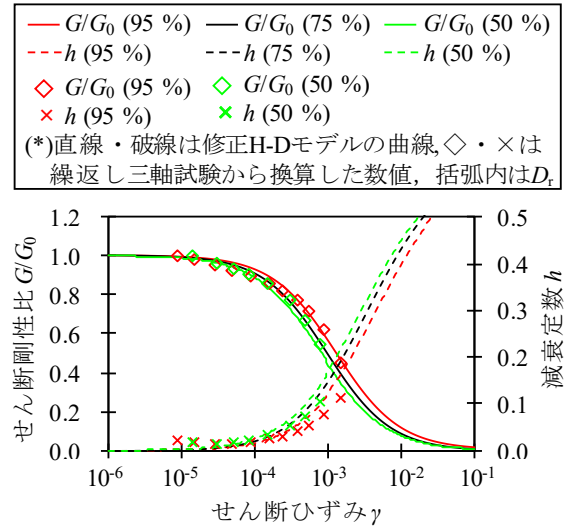


図-3 修正H-Dモデルによるフィッティング結果

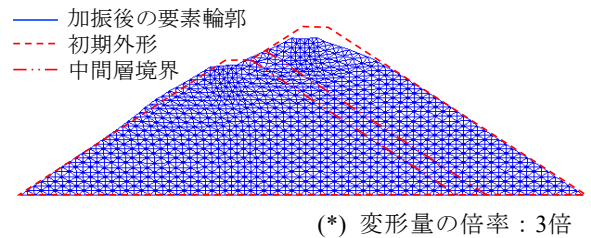


図-4 加振終了後の変形図 (Case 1)

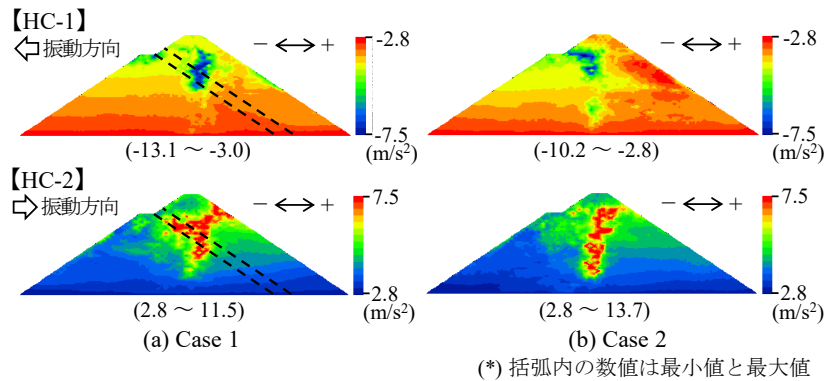


図-5 半周期中の最大応答加速度分布

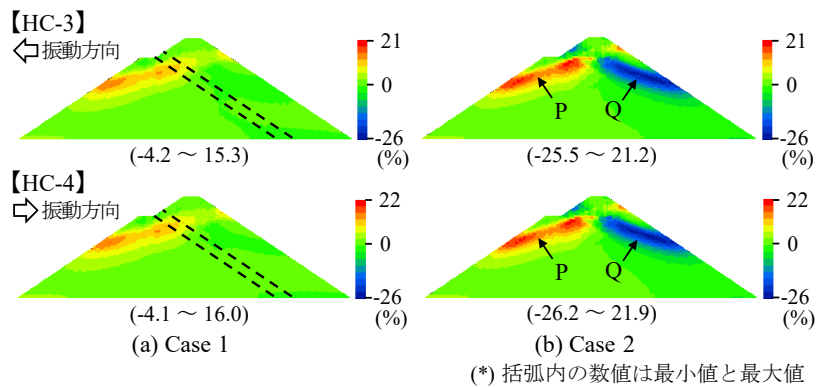


図-6 半周期中の最大応答加速度発生時のせん断ひずみ分布