

# 天端を固化改良したため池のレベル2地震動に対する耐震性能評価 Effects of Crest Improvement on Seismic Stability of Small Earth Dams under Level 2 Earthquake Motion

○大山峻一\*・泉明良\*・澤田豊\*\*

OHYAMA Shunichi, IZUMI Akira, SAWADA Yutaka

## 1. はじめに

農業用ため池の耐震対策工として押え盛土工法があるが、貯水容量の減少や用地の制限を受ける場合において、採用が困難であるなどの課題がある。そのため、代替策として施工性・経済性に優れている固化材を用いてため池天端の固化改良を実施し、改修を行う事例がある。しかし、天端を固化改良したため池の動的挙動や耐震効果は未解明であり、天端の固化改良による改修は広く普及していない。そこで、本研究では天端を固化改良したため池堤体のレベル2地震動に対する塑性すべり解析を実施し、天端の固化改良およびその改良形状がため池の耐震性能に及ぼす影響を評価した。

## 2. 解析概要

解析には地震時における堤体・地盤の強度低下を考慮可能な塑性すべり解析手法の1つである詳細ニューマークD法<sup>1)</sup>を用いた。解析モデルは、Fig.1に示す通り、小西ら<sup>2)</sup>が実施した遠心載荷実験の堤体モデルと同様に無対策堤体と天端固化改良厚さを1.5mと3.0mとした

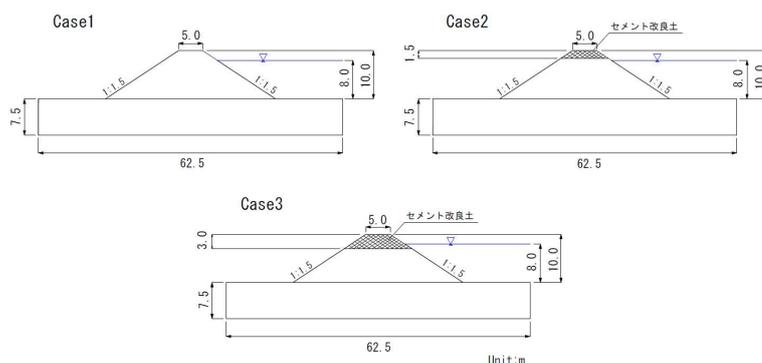


Fig.1 解析ケース (Case 1 ~ Case 3)  
Analysis case (Case 1 ~ Case 3)

3ケースとし、貯水位は常時満水位とした。浸潤線は実験時の間隙水圧から設定した。堤体材料の非線形性を考慮可能な Duncan-Chang モデルを用いた築堤解析と等価線形化法による地震応答解析を行い、塑性すべり解析を実施した。解析に使用したパラメータを Table 1 に示す。地震応答解析の入力波形として、遠心載荷実験時における各ケースの波形を用いた。詳細ニューマークD法の解析は、アントワンら<sup>3)</sup>の手順に従って実施した。

## 3. 解析結果および考察

Fig.2にCase1とCase3のせん断ひずみ分布を示す。Case1では、天端から堤体上部にかけてせん断ひずみが増加し、最大値は  $6.7 \times 10^{-3}$  であった。Case 3においては、固化改良された天端付近でせん断ひずみの増加が抑制された。一方、改良部と未改良部の境界付近ではせん断ひずみが増加する傾向が見られ、せん断ひずみの最大値は  $3.08 \times 10^{-3}$  となった。この傾向は天端の固化改良を行ったCase2でも確認でき、改良

\*農研機構農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO

\*\*神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

キーワード: ため池堤体, レベル2地震動, 天端固化改良, 塑性すべり解析, ニューマークD法

Table 1 塑性すべり解析に用いたパラメータ一覧  
Parameters used for plastic slip analysis

解析ケース	単位体積重量		基礎地盤・堤体のパラメータ(不飽和部)		基礎地盤・堤体のパラメータ(飽和部)		改良土のパラメータ(不飽和部)		改良土のパラメータ(飽和部)	
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$c_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi_d$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
Case 1	17.6	19.3	5.9	27.9	48.3	12.2	—	—	—	—
Case 2	17.6	19.3	5.9	27.9	48.3	12.2	13.3	34.5	—	—
Case 3	17.6	19.3	5.9	27.9	48.3	12.2	13.3	34.5	73.3	43.1

部と未改良部の境界付近が弱部になる可能性が示唆された。これは、小西ら<sup>2)</sup>が遠心载荷実験により明らかにした天端固化改良の課題と整合する。

Fig.3 に、Case 3 の塑性すべり解析結果を示す。遠心载荷実験結果の天端沈下量と解析結果により算出した沈下量を比較するため、法面にネバー線を設定し、天端部を通る円弧すべりを対象とした。Case 3 の上流側において、降伏加速度は加振段階の増加に伴い低下し、3 段階目の加振時(4.5 m/s<sup>2</sup>)において平均応答加速度を下回り、0.95 m の変位が発生した。Table 2 に小西ら<sup>2)</sup>が実施した遠心载荷実験時の天端沈下量と塑性すべり解析により求めた天端沈下量を示す。Case 1 と Case 2 では、遠心载荷実験時の天端沈下量と解析の沈下量は概ね整合が取れていた一方、Case 3 では実験と解析の沈下量には 0.6 m の差があった。

#### 4. まとめ

天端の固化改良を行ったため池のレベル 2 地震動に対する塑性すべり解析を実施した結果、①Case 2 と Case 3 では天端の固化改良部と未改良部の境界付近でせん断ひずみが他の部分よりも上昇し、弱部になる可能性が示唆されたこと、②Case 3 を除き、遠心载荷実験の天端沈下量と塑性すべり解析で算出した天端沈下量は概ね整合が取れていたことの 2 点が明らかになった。

謝辞：解析の実施に当たっては、株式会社複合技術研究所の Duttine Antoine 氏から貴重な助言を頂いた。本研究は JSPS 科研費 24H00533 の補助を受けて行った。記して感謝の意を示す。参考文献：1) SERID 研究会(2021), 『詳細ニューマーク-D 法 SERID』によるため池等土構造物の耐震診断マニュアル(案) 2) 小西ら(2024), 天端の固化改良がため池堤体の地震時安定性に与える影響(その 1), 第 73 回農業農村工学会大会講演会講演要旨集 3) アントワンら(2015), 農業農村工学会誌, 83(12), pp.1031-1034

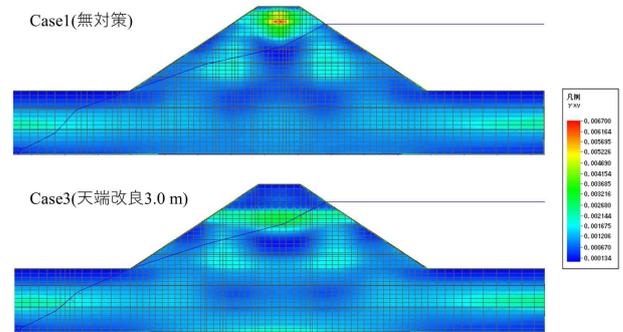
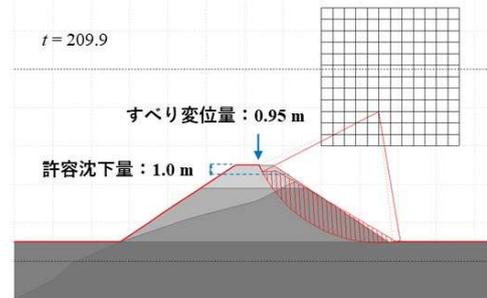
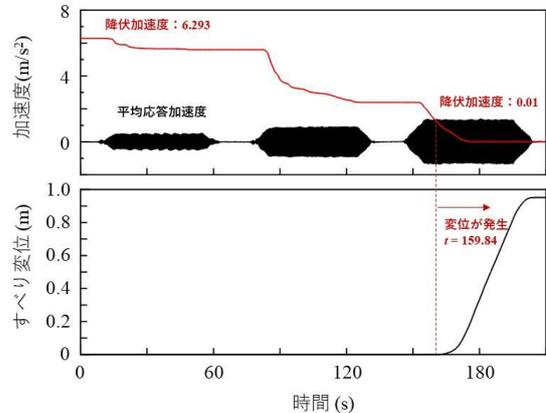


Fig.2 せん断ひずみ分布 (Case 1, Case 3)  
Shear strain distribution (Case 1 and Case 3)



(a) 最大変位円弧と許容沈下量



(b) 上段：平均応答加速度と降伏加速度  
下段：すべり変位の経時変化

Fig.3 解析結果 (Case 3)  
Analysis result (Case 3)

Table 2 天端沈下量 (Case 1 ~ Case 3)  
Crest settlement (Case 1 ~ Case 3)

	遠心载荷実験の 天端沈下量 (m)	塑性すべり解析の 天端沈下量 (m)
Case 1	1.40	1.50
Case 2	0.98	1.23
Case 3	0.35	0.95