

既設ため池堤体の地震時強度低下を考慮した耐震診断手法

Evaluation of seismic-stability of small earth dams by the modified Newmark-D method accounting for strength reduction during shaking

龍岡文夫*, 田中忠次**, 矢崎澄雄***, DUTTINE Antonine***, ○毛利栄征****, 上野和広****

TATSUOKA Fumio, TANAKA Tadatsugu, YAZAKI Sumio, DUTTINE Antonine, MOHRI Yoshiyuki*, UENO Kazuhiro

1. はじめに

日本海中部地震によって大被害（決壊，あるいは天端沈下量 1m 以上）を受けたため池の被害率¹⁾は，砂質土を主体とするため池で 4.7%，粘性土主体の場合は 0.4%であった。男鹿半島地震で決壊したため池 9 基²⁾は砂質土を主体とする堤体であった。締固めが不十分な飽和砂質土は地震時に間隙水圧の上昇を伴って強度低下し，斜面が不安定化することが報告^{3,4,5)}されている。筆者らは，地震動による堤体の損傷の指標としてのすべり変位を間隙水圧上昇に伴う強度低下を考慮して評価する手法（詳細 Newmark-D 法）を開発してきた。本稿では，本手法による試算結果を報告する。

2. ため池堤体の耐震診断

2.1 詳細 Newmark-D 法

本計算では，フェレニウス法により安全率 $F_s=1.0$ となる降伏震度（降伏加速度） $K_{h,y}$ を求め，臨界円の各スライスの地震応答の 1 波毎の滑動量増分をその時々せん断強度を用いて計算して，すべり面の累積変位を求める。その際，せん断強度は地震中に非排水繰返し载荷によって損傷を受けて段階的に低下するとしている。計算のプロセスは，以下の 5 ステップで構成されている。

Step1: 初期条件の設定（断面形状，地層，土質物性，水位線，地震波形等）

Step2: 動的等価線形化応答解析によって堤体内の各位置での加速度，応力の応答波形を計算する。ただし，滑動量を算定する臨界すべり円弧が強度低下によって移動するののかについても再度検討して確定する。

Step3: すべり土塊内の平均応答加速度波形を求め，また臨界円弧のすべり土塊の分割スライスの底面に作用している直応力とせん断応力の時刻歴を求める。

Step4: 各スライス底面でのせん断応力の履歴によって軟化する非排水せん断強度（見掛け摩擦角 $(\phi_{mob})_D$ で表す）の時刻歴を求める。

Step5: 各パルスで軟化した $(\phi_{mob})_D$ に対して降伏が生じる場合は，それによる滑動量増分を求める。これを繰返して円弧すべり変位の時刻歴を計算する。

2.2 解析条件

対象とする均一型ため池堤体断面と強度を図 1，表 1 に示す。繰返し三軸圧縮試験によって求めた損傷曲線を図 3a に示す。損傷度 D

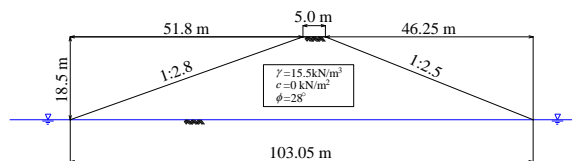


図 1 解析断面図

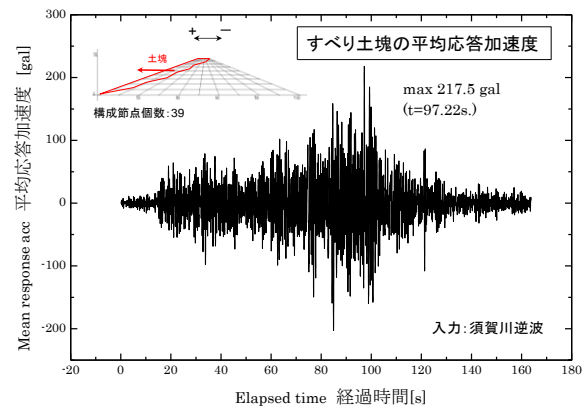


図 2 すべり土塊の平均応答加速度の時刻歴

表 1 堤体土の強度

湿潤重量 γ_t [kN/m ³]	せん断強度	
	粘着力 c [kN/m ²]	内部摩擦角 ϕ [deg]
15.5	0	28

*東京理科大学，**(社)地域環境資源センター，***複合技術研究所

****農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所，National Institute for Rural Engineering

キーワード：ため池，地震，耐震診断，強度低下，ニューマーク法

は次式で求まる。

$$SR = D^{\beta_1} \cdot \alpha_1 \cdot N^{-\beta_1}$$

ここで、 α_1, β_1 : 無次元定数

SR_i : せん断応力比(せん断応力/初期有効鉛直応力 $SR_i = \Delta\tau_i/\sigma_0$)

$N(SR_i)$: SR_i に対するパルス数

非排水繰返し三軸圧縮試験後の非排水単調載荷試験によって繰返しによる強度低下を確認し、図 3b に示す様に、損傷度(D)と見かけ摩擦角(ϕ_{mob})_D の関係を求める。

3. 結果と考察

表 2 に堤体の損傷度と強度低下の組み合わせを示す。それぞれのケースの損傷度 D と (ϕ_{mob})_D の関係を用いて滑動変形量の時刻歴を求めた。結果について以下に概説する。

(1) 指定時点 t での損傷度は損傷曲線(図 3a) より計算されるため、基本およびケース 0~2 とケース 3~5 はそれぞれ、同様な損傷の時刻歴を示す。

(2) ケース 3~5 は基本、ケース 0~2 と比べて損傷曲線が下に移動し(図 3a), 損傷度が大きくなる。

(3) 強度低下率が大きいほど、最終見掛け摩擦角(ϕ_{mob})_D が小さく(図 4a), 滑動開始が早くなって、累積変位量 δ が大きくなる。

(4) 同様な強度低下率で損傷度が大きいほど、最終見掛け摩擦角(ϕ_{mob})_D が小さくなる(図 4a)。

(5) 本解析に用いた地震動では損傷曲線の影響が強度低下率の影響より大きい。

4. まとめ

地震動による堤体土の損傷度が大きいほど、強度低下率が大きいほど、累積滑動変位 δ が大きくなる。地震動による堤体材料に生じるせん断ひずみ量(損傷曲線)やそのときの損傷度合いに応じた強度低下(見かけ摩擦角)は、土質材料とその密度に大きく依存している。堤体土質毎にこれらの特性を正確に把握することによって、既設ため池の地震時の挙動、すなわち、耐震性を評価することができる。

参考文献

- 1) 谷茂, 堀俊和: 日本におけるため池を含めた農業用フィルダムの地震災害に関する研究(1998), 農村工学研究所, 37, pp.51~90.
- 2) 秋葉満寿次, 仙波秀男 (1941): 秋田県男鹿地震とため池被害, 農業土木研究, 13(1), pp.31-59.
- 3) DUTTINE Antonie, 龍岡文夫, 堀井克己, 毛利栄征(2013): ひずみ軟化と非排水繰返し載荷による強度低下を考慮したニューマーク法による地震時斜面変位推定, 平成 25 年度地盤工学研究発表会
- 4) 矢崎澄雄・Duttine,A.・龍岡文夫・毛利栄征(2013): 載荷中の強度低下を考慮したニューマーク法による地震時斜面変位の解析例, 平成 25 年度地盤工学研究発表会
- 5) 上野和広・毛利栄征・田中忠次・龍岡文夫(2013): ため池堤体土の非排水繰返し載荷に伴う強度低下特性, 平成 25 年度地盤工学研究発表会

表 2 損傷曲線と強度低下の組み合わせ

	損傷曲線	強度低下
基本	標準(図 3)	標準(図 4)
ケース 0	標準(図 3)	強度低下無し
ケース 1	標準(図 3)	強度低下率増加
ケース 2	標準(図 3)	強度低下率減少
ケース 3	損傷度増加	標準(図 4)
ケース 4	損傷度増加	強度低下率増加
ケース 5	損傷度増加	強度低下率減少

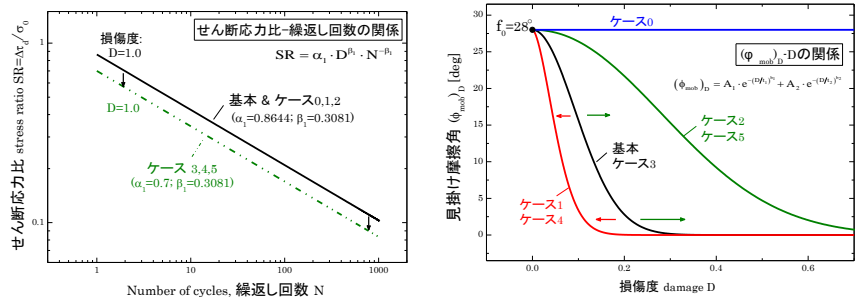


図 3 損傷曲線 (a) と 強度低下モデル (b)

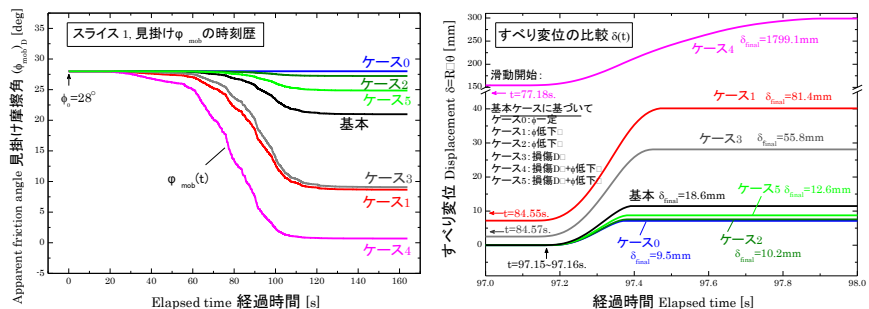


図 4 見掛け摩擦角 (ϕ_{mob})_D (a) と すべり変位時刻歴 (b) の比較