

ため池堤体の耐震診断のための土の強度低下モデルの提案 Strength reduction model of soil for seismic stability analysis of small earth fill dam

毛利栄征*・龍岡文夫**・デューティン アントワン***・矢崎澄雄***

Yoshiyuki MOHRI・Fumio TATSUOKA・Duttine/Antoine・Sumio YAZAKI

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、岩手県、宮城県、福島県の3県で約12,500箇所のため池の内、1,951箇所に被害が生じ、被害率は14%である¹⁾。決壊した3箇所のため池は、いずれもため池整備指針策定以前に築造されたものであが、その後に改修・築造されたため池も何らかの損傷を受けおり、被害数は13箇所、被害率は14%である¹⁾。決壊したため池の耐震性検証委員会²⁾では、震度法による円弧すべりの安定計算によって、水平震度0.15として安全率 $F_s=1.15$ の堤体が完全に決壊に至った主要原因の一つに堤体土の地震時の強度低下を挙げている。現在、このような地震時の強度低下を考慮した耐震診断手法が開発され、実際のため池への適用が進んでいる。本報告では、複数の堤体土の試験結果から基本となる強度低下モデルを提案する。

2. 強度低下を求める試験方法

図1は、堤体土の強度が地震動によって低下する特性を繰返し載荷と単調載荷を組み合わせた非排水三軸試験によって評価する方法である。ため池の耐震性評価委員会²⁾で採用された。圧密後に実施する非排水繰返し載荷は、堤体土に地震荷重によるダメージを導入する過程である。その後続けて実施する非排水単調載荷三軸圧縮試験はダメージを受けた堤体土が発揮することのできる強度を求める過程である。この結果からダメージを受けていない堤体土の強度と比較して、図2に示すように堤体に生じたダメージと強度低下量の関係を示す「ため池の強度低下モデル」を定める。具体的な試験方法とデータ整理の方法は、参考文献³⁾を参照いただきたい。不規則な地震波を受けることによって供試体に生じる損傷ひずみ ϵ_D の時刻歴は、繰返し応力振幅比 SR 、繰返し載荷回数 N 、および損傷ひずみの関係に累積損傷度理論を適用して求め、 ϵ_D を用いて強度低下モデルから刻々と変化する強度の時刻歴を求めることができる⁴⁾。

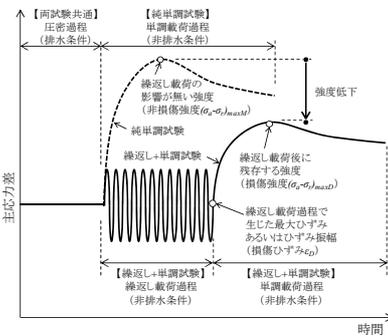
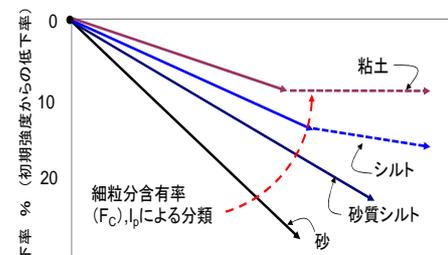


図1 強度低下特性を求める試験方法



累積ひずみ(両振幅ひずみDA%, 繰返しによって劣化が進む程度)

3. 堤体土の強度低下特性と標準モデル

非排水繰返し載荷によって累積するひずみ量(両振幅ひずみ DA)と強度低下量の関係を、土質分類ごとに整理した。現在収集されている試験データの塑性指数 I_p と細粒分含有率 F_c は狭い範囲にあり、これらの影響は明確ではない。また、最も大きな影響を持つと思われる土の密度(締固め度 D 値)の影響についても、分析できるだけのデータが揃っていない。このことから、対象とする堤体土を砂と粘性土に大分類し、それぞれのグループを代表する標準強度低下曲線(K2015モデル)を設定した。その代表曲線に対応する土質の諸元を表1に示す。

図2 土質ごとの強度低下モデル

茨城大学*:Ibaraki University, 東京理科大学嘱託(東京大学名誉教授)**:Tokyo University of Science, 複合技術研究所***: Integrated Geotechnology Institute

キーワード: ため池, 耐震診断, 標準強度低下モデル, NewmarkD法

(1) 砂質土の強度低下モデル

図3に砂質土グループの全データと標準強度低下曲線(青線)を示す。強度は ϕ_{cu} で表している。図4に標準曲線と試験データを示す。比較的大きなばらつきがあるが、全体の特性を反映した直線近似を当てはめた。しかし、 $DA > 12\%$ ではデータが無く、大きいひずみ領域のデータを蓄積することによって標準曲線を改善する必要があるが、現段階では砂質土の標準的な強度低下曲線として式(1)を提案する。

$$\phi_{cu} / \phi_{cu0} = 1 + \alpha \cdot DA \quad (1a)$$

$$\alpha = \min(\alpha 1, \alpha 2) \quad (1b)$$

$$\alpha 1 = -0.111 + 0.048 \rho_t \quad (\rho_t: \text{湿潤密度}) \quad (1c)$$

$$\alpha 2 = -0.048 + 0.002w \quad (w: \text{含水比}) \quad (1d)$$

*ただし、表1の砂質土で代表する土質は、初期内部摩擦角 ϕ_{cu0} : $14 \sim 36^\circ$ 、細粒分含有率 F_c : $10 \sim 48\%$ 、含水比 w : $13 \sim 28\%$ の範囲とする。

(2) 粘性土の強度低下モデル

図5に、粘性土グループの強度低下曲線を示す。データ数が4であるため、 I_p , F_c , D 値などの影響を詳細には検討できない。このため、図5の青線で示すように、粘性的な性質を最もよく表しているものをグループの標準的な強度低下曲線として式(2)を提案する。図6は標準曲線と具体的な試験データである。

$$\phi_{cu} / \phi_{cu0} = 1 + \alpha \cdot DA \quad (2a)$$

$$\alpha = \min(\alpha 1, \alpha 2, \alpha 3) \quad (2b)$$

$$\alpha 1 = -0.322 + 0.012w \quad (w: \text{含水比}) \quad (2c)$$

$$\alpha 2 = -0.228 + 0.004F_c \quad (F_c: \text{細粒分含有率}) \quad (2d)$$

$$\alpha 3 = -0.126 + 0.0049 \phi_{cu0} \quad (\phi_{cu0}: \text{初期内部摩擦角}) \quad (2e)$$

*ただし、表1の粘性土で代表する土質は、初期内部摩擦角 ϕ_{cu0} : $20 \sim 36^\circ$ 、細粒分含有率 F_c : $50 \sim 70\%$ 、含水比 w : $25 \sim 30\%$ の範囲とする。

4. まとめ

汎用性を高めるためには、提案した標準強度低下モデル(K2015)を用いて塑性指数 I_p 、細粒分含有率 F_c 、締固め度 D 値などの影響を詳細に検証し、地域のため池に適合するモデルを構築することも重要である。

参考文献

- 1) 食料・農業・農村政策審議会 農業農村振興整備部会 技術小委員会資料 4 土地改良事業設計指針「ため池整備」の改定の考え方
<http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/gizyutu/h24-2/index.html> (平成27年1月20日閲覧)
- 2) 福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会(田中忠次委員長): 藤沼湖の決壊原因調査報告書(要旨, 2012年4月03日閲覧)
http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/nosonkeikaku_kensyo_houkokul-1.pdf
- 3) 上野和宏, 毛利栄征, 田中忠次, 龍岡文夫: 非排水繰返し載荷による飽和土の強度低下の評価法: 地盤工学会誌, 63-3, 2015. 3, pp20-23
- 4) 龍岡文夫・DUTTINE Antoine・矢崎澄雄・毛利栄征: 非排水繰返し載荷による強度低下とひずみ軟化を考慮したニューマーク法による地震時斜面残留変位推定, 地盤工学会特別シンポジウム—東日本大震災を乗り越えて—発表論文集, pp. 394~402, 2014.

表1 土質の基本諸元

土質	細粒分含有率 Fc(%)	塑性指数 Ip	粘着力 Ccu(KN/m ²)	内部摩擦角 ϕ_{cu}
砂質土	10.6	不明	115.6	35.9
粘性土	69.4	不明	33.1	35.8

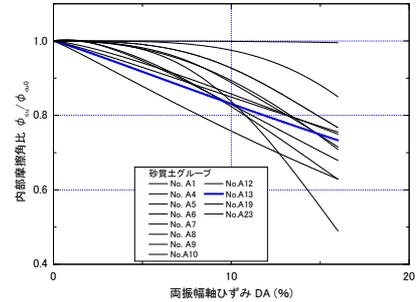


図3 砂質土の強度低下特性

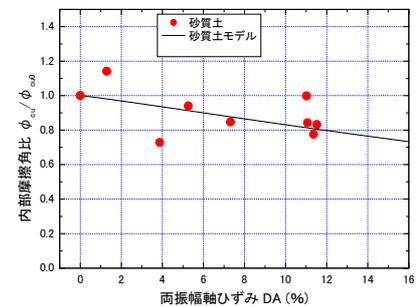


図4 砂質土の標準強度低下曲線

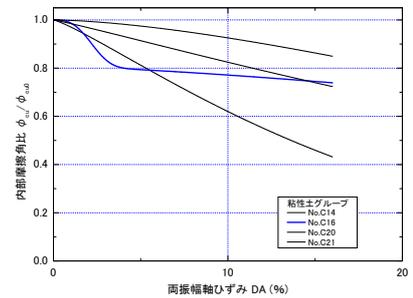


図5 粘性土の強度低下特性

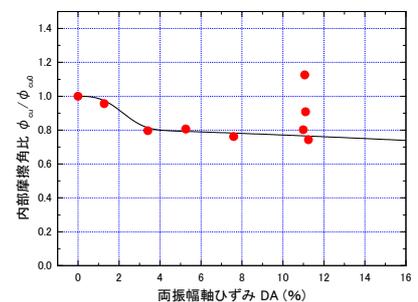


図6 粘性土の標準強度低下曲線

要約

東北地方太平洋沖地震では、岩手県、宮城県、福島県の3県で1,951箇所のため池に被害が生じ、3箇所のため池が決壊している。決壊に至るため池を適正に峻別するために地震時の堤体土の強度が低下する特性を考慮した NewmarkD 法が、実際のため池の耐震診断手法として適用されてきている。本報告では、累積損傷度理論に基づいてため池堤体土を代表する土質の強度低下パターンの基本となる標準強度低下モデルを提案する。