

【CO97】

詳細ニューマーク-D法によるAA種ため池の変形解析の事例紹介

基礎地盤コンサルタンツ（株） ○小柴 直也，長谷川 勝喜

1. はじめに

本報告は、AA種のため池である広島県の農業用ため池（小野池）に対し、レベル2地震動に対する安定性能照査を行うために、地質調査、解析パラメータの設定、詳細ニューマーク-D法による塑性すべり解析を行った事例の報告である。

2. ニューマーク-D法の概要

平成27年5月に土地改良事業設計指針「ため池整備」¹⁾が改定され、レベル2地震動に対するため池の耐震性能の照査法の1つとして、長時間継続する地震動の場合は、堤体土が強度低下することを考慮した塑性すべり解析法を用いることが提案された。塑性すべり解析法は堤体のすべり土塊のすべり変位量を算定する方法として、すべり土塊の等価瞬間震度を求め、安全率Fsが1.0となる震度（降伏震度）を超過した場合にのみ、すべり土塊が滑動するとした方法である。その一種に、地盤の強度として、非排水状態での繰返し載荷による累積損傷による強度低下を考慮する、ニューマーク-D法がある。

図-1にニューマーク-D法によるすべり変位の計算仮定の概略を示す。ニューマーク-D法では、土が地震動による非排水繰返し載荷を受けたとき（図-1(a)）、繰返し載荷に伴って損傷ひずみが累積し（図-1(b)）、その損傷ひずみの値に応じて土の非排水強度が継続的に低下する現象（図-1(c)）に基づいて滑動変位量を算定する。

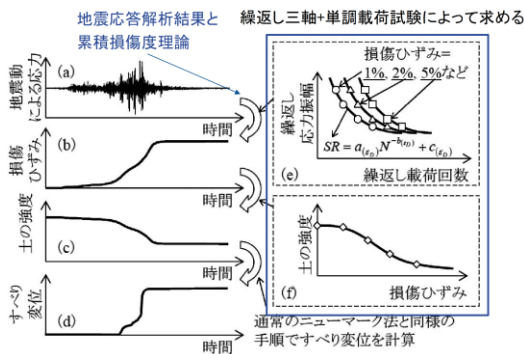


図-1 ニューマーク-D法によるすべり変位の計算過程の概略²⁾

3. 地層構成と解析モデル

解析モデルを図-2に示す。本ため池の堤体は細粒分を含む緩い砂質土からなる盛土層（B1、B2）で構成される。基礎地盤は砂層と砂礫層の互層状（S1～G2）で、基盤岩は風化花崗岩（WGr、Gr）からなる。本ため池においては、現況断面に対して実施したレベル1地震動に対する安定計算結果が、上流側・下流側ともに安全率Fs<1.2となった。そのため、図-2に示すように、上流側のすべり抵抗力の増加と堤体内の浸潤面の低下による下流側のすべり

抵抗力の増加を目的として、上流側法面にボンテラン改良土による押え盛土を施工する対策断面を提案した。

また、浸潤線は浸透流解析により設定した。赤字で示した強度定数は、三軸CUB試験結果を三等分法によって整理した非排水強度 c_{cu} 、 ϕ_{cu} である。

この対策断面が、レベル2地震動に対する耐震性能を満足することを照査することを目的として、対策断面に対して詳細ニューマーク-D法による塑性すべり解析を行い、すべり変位量及び天端沈下量を計算した。

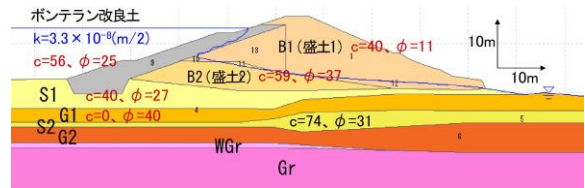


図-2 解析モデル図

4. 二次元地震応答解析

入力地震動の設定においては、土地改良事業設計指針「ため池整備」¹⁾の記載に従い、広島県の防災計画において想定されている地震動や、本ため池周辺で過去に観測された強振記録を整理の上、検討を行った。

堤体で予測される地震動として、プレート内地震、活断層型地震の2波形を作成した。本報告では、これらのうち加速度が大きいプレート内地震に対する結果を報告する。解析の結果、加速度は堤体上位ほど増幅され、最大で堤体天端/入力地震動=1.99（倍）の増幅率であった。

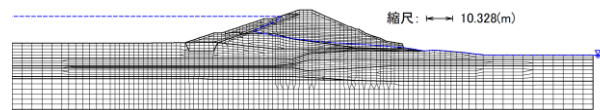


図-3 メッシュ図

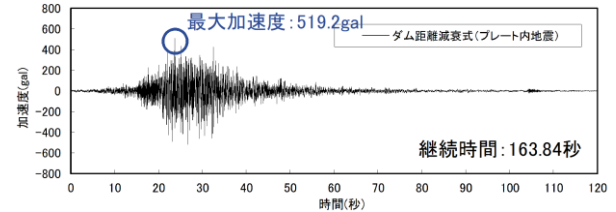


図-4 入力地震動（プレート内地震）

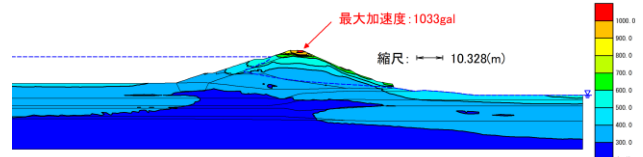


図-5 応答最大加速度のコンター図

5. 詳細ニューマーク-D 法

(1) 強度低下特性

ため池の堤体は、近代的な設計・施工方法で築造されていないものが多く、長時間継続する地震動によって、堤体の強度が時間の経過とともに低下する。本ため池では、堤体（B1、B2層）の飽和領域で、地震時の非排水繰返し载荷による強度低下を考慮するために、繰返し三軸+単調载荷試験を実施し、図-6に示す強度低下曲線を得た。

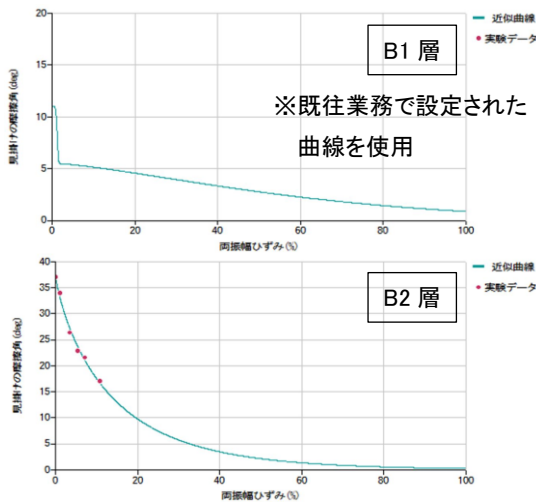


図-6 強度低下曲線

(2) 解析結果

図-7に最大変位円弧、図-8に解析結果図を示す。平均応答加速度は、すべり土塊内の応答加速度の平均値である。降伏加速度はすべり土塊の安全率 F_s が1.0となる水平加速度で、平均応答加速度が降伏加速度を下回るとすべりが生じる。上流側・下流側ともに平均応答加速度が降伏加速度を上回らず、すべり変位量は0mmであった。

初期降伏加速度は上流側 4.43m/s^2 に対し下流側 3.50m/s^2 と下流側の方が小さく、滑りやすいが、これは上流側には B1層と比較して高強度な B2層やポンテラン改良土、S1層があるためと考えられる。下流側については B1層の飽和領域で地震動による損傷が生じ、B1層の非排水強度が損傷前の $\phi_{cu}=11^\circ$ から $5^\circ \sim 10^\circ$ 程度まで低下した結果、すべり土塊の降伏加速度が低下した。

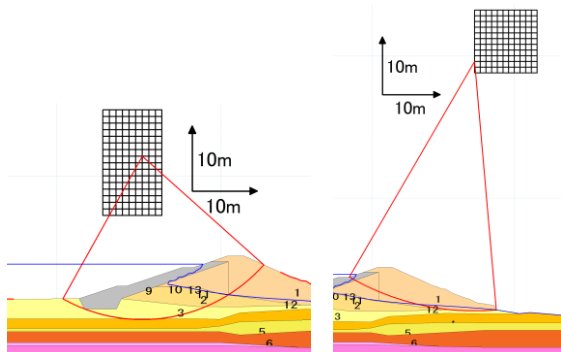
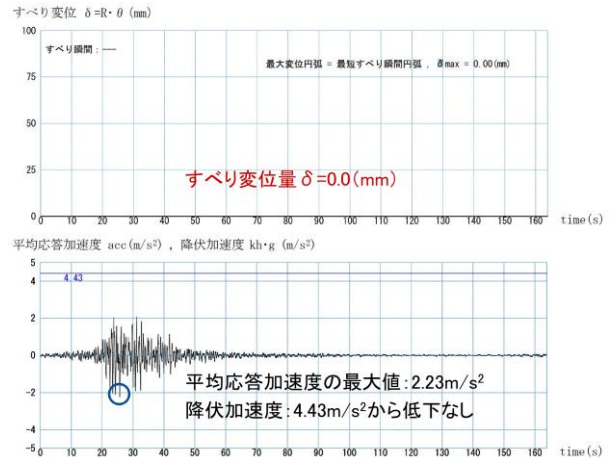


図-7 最大変位円弧

(1) 上流側の結果



(2) 下流側の結果

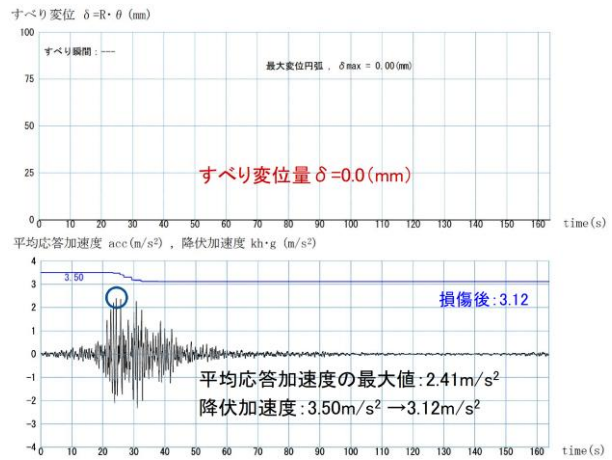


図-8 解析結果図

すべりが発生しなかった理由としては、以下の2点が考えられる。

- ① 難透水性のポンテラン改良土によって浸潤線が低下したことで、特に B1層にて強度低下を起こさない不飽和領域が増加し、すべりの抑制に繋がった。
- ② 堤体の非排水せん断強度が大きかったため、すべり土塊の降伏加速度が大きくなった。

6. まとめ

本件では、ため池の耐震性能照査方法を紹介し、一事例を示した。解析の結果、レベル2地震動によるすべりは生じなかったため、天端沈下量も生じず、ため池はレベル2地震動に対する耐震性能を満足する結果となった。

《引用・参考文献》

- 1) 農業農村工学会：土地改良事業設計指針「ため池整備」、2015年5月
- 2) SERID 研究会：『詳細ニューマーク-D 法 SERID』によるため池土構造物の耐震診断マニュアル（案）（に加筆），pp. 44, 2021年2月