

ため池の簡易耐震診断手法の開発  
 Development of simplified seismic-stability analysis of small earth fill dams by modified Newmark-D method

DUTTINE Antoine\*, 矢崎澄雄\*, 毛利栄征\*\*, 立石卓彦\*\*\*, 龍岡文夫\*\*\*\*

1. はじめに

約 20 万箇所 of 既設ため池の殆どは、経験的技術によって造られた。このため、近代的な耐震設計に基づく施工による堤体に比べて、締固め度が低く土質が不適切な場合が多く、耐震診断が喫緊の課題となっている。H27 年に改訂された土地改良事業設計指針「ため池整備」では、大規模ため池はレベル 2 地震動に対する安全性を照査することとして、詳細 Newmark-D 法<sup>1,2)</sup>や動的応答解析による診断を規定している。本報告では、膨大な数の中小規模ため池を対象とした簡易 Newmark-D 法の開発と解析事例を示す。

2. 簡易ニューマーク D 法について

簡易な解析手法であっても、詳細 Newmark-D 法<sup>1)2)</sup>と同様に次の基本的な機能を有している必要がある。①地震動の大きさと継続時間が考慮できること。②堤体土の強度の地震時の非排水繰返し载荷による継続的な低下が考慮できること。開発した簡易ニューマーク D 法の計算フローは、以下の 7 ステップで構成されている (図 1)。

- Step1: 初期設定: 堤体・地盤系の断面形状等の設定
- Step2: 地震動、地表地盤の増幅度の設定: 内閣府が提案する地震波形を基に、ため池位置の波形を作成。
- Step3: 極限釣合い法円弧すべり安定計算: 一様震度に対して初期臨界円弧すべりを検索し、降伏震度  $k_y$  を算定。
- Step4: 分割スライス底面に作用する応力の計算: 臨界円弧すべり土塊の分割スライス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。
- Step5: 分割スライス底面の強度低下の計算: 標準劣化モデル(K2015)を用いて各スライスでの見掛けせん断強度 (摩擦角  $\phi_{u.mob}$ 、粘着力係数  $c_{u.mob}$ ) の時刻歴を求める。
- Step6: ニューマーク法による滑動量の算出: 地震荷重に応じて低下してするせん断強度 (摩擦角  $\phi_{u.mob}$ 、粘着力係数  $c_{u.mob}$ ) を用いて、従来のニューマーク法と同じ原理に基づいて変位量を計算。
- Step7: すべり変位が最大となる臨界円弧の探索: Step4~6 を繰り返して、すべり変位が最大となる円弧を求めて最終変位量とする。

堤体天端の堤体底面に対する応答倍率は、20 のため池の地震応答解析の結果を取りまとめた応答倍率・振動数比  $f_0/f_{med}$  の関係 (図 2) から推定する。 $f_0$  は N 値から推定した微小ひ

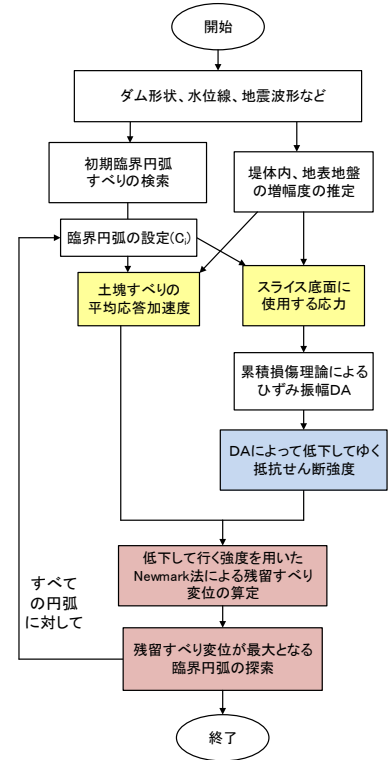


図 1 簡易 NewmarkD 法のフロー

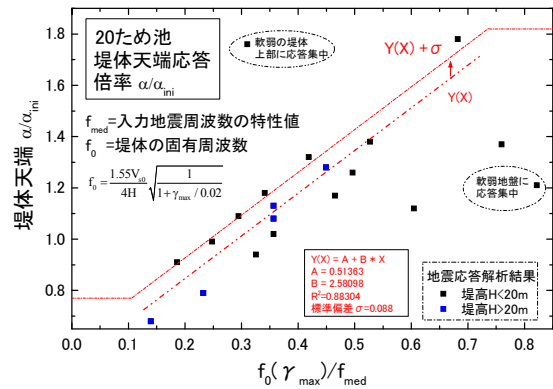


図 2 堤体の応答倍率の簡易推定法

株式会社複合技術研究所\*, 茨城大学\*\*Ibaraki University, 新技術研究開発組合\*\*\* (NTC コンサルタンツ株式会社, 日本工営株式会社, 内外エンジニアリング株式会社, 株式会社三祐コンサルタンツ), 東京理科大学\*\*\*\*Tokyo University of Science. キーワード: ため池, 耐震診断, NewmarkD 法

ずみでのせん断剛性率にひずみ依存性を考慮して算定した堤体の固有振動数、 $f_{med}$  は入力地震波の卓越周波数でありフーリエ帯域幅の中央振動数とする。次に、堤体の鉛直方向の最大水平応答加速度の分布は、二直線で近似した(図3)。最後に、堤体の臨界すべり円弧内の各スライスに作用する平均応答加速度の波形は、入力加速度の波形の加速度振幅を「各スライス内の加速度応答倍率(図3)の面積平均値」を乗じて求める。

### 3. 解析事例

東日本太平洋沖地震で被災した堤高 8.3m の中規模ため池(写真1)を解析した(図4)。このため池は、天端で 10~20cm 沈下し堤軸方向に開口亀裂が上下流法面には明確なすべり崩壊が発生し、堤体屈曲部付近で決壊した。全応力内部摩擦角  $\phi_{cu}=21.2^\circ$ 、全応力粘着力  $c_{cu}=27.3\text{kN/m}^2$  とした。標準強度低下モデル(K2015)(図5)を用いた。簡易解析法では、すべり円弧が基礎地盤を通らない場合は地震動初期にわずかに強度低下を生じ、その後の主要動を受けて最終沈下量は 15cm となった(図6、7)。一方、すべり面が基礎地盤( $c_{cu}=0\text{kN/m}^2$ ,  $\phi_{cu}=27.4^\circ$ )を通る場合は、196cm の沈下となり被災状況と整合する。

### 4. まとめ

地震による堤体の変形量の算定手法として簡易 Newmark-D 法とその解析事例を紹介した。今後、中小規模のため池の解析と詳細解析の事前解析としての利用が期待できる。

謝辞：本研究は、農林水産省官民連携新技術研究開発事業「ため池の簡易耐震性能照査技術の開発」の一環として実施したものである。ここに関係各位に謝意を表す。

**参考文献**：1) 龍岡文夫・Duttine, A.・矢崎澄雄・毛利栄征：非排水繰返し載荷による強度低下および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，地盤工学会一東日本大震災を乗り越えて一発表論文集，394-403，2014. 2) Duttine, A.・龍岡文夫・矢崎澄雄・毛利栄征：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解析の諸仮定の検討，第49回地盤工学研究発表会，北九州，1397-1398，2014.

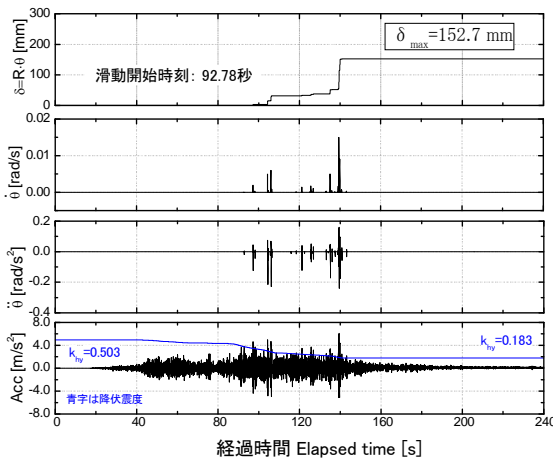


図7 滑动すべり量の計算結果

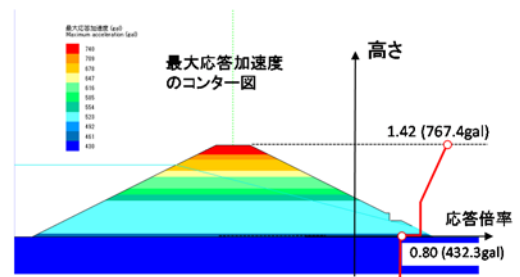


図3 堤体の応答加速度分布の例

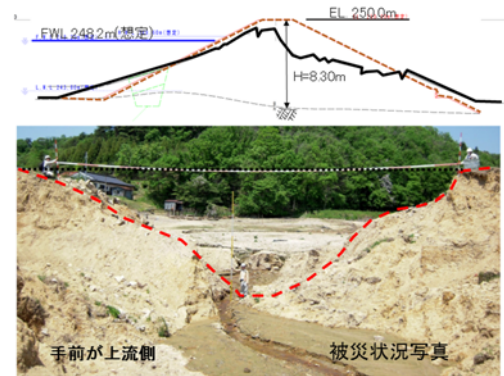


写真1 ため池の被災事例

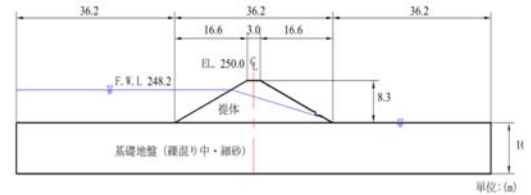


図4 解析断面

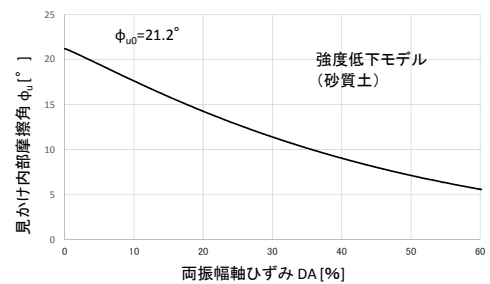


図5 標準強度低下モデル

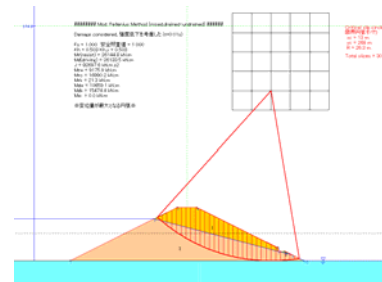


図6 臨界円弧の位置