

ため池耐震診断の考察

エンジニアリング本部 国土防災情報部

高橋 圭一

1. はじめに

1.1 ため池とは

ため池とは、降水量が少なく、地域の大きな河川に恵まれない地域などで、農業用水を確保するために水を貯え、取水設備を備えた人工的に造成された池である。ため池の全国に15万4千箇所存在し、特に西日本に多く分布している。また、瀬戸内地域は年間を通じて降水量が少ないことから、全国の約5割程度のため池が存在している。

ため池の被災原因は震災と豪雨による2種類があり約9割は豪雨によるものであるが、東北地方太平洋沖地震で、ため池の決壊等被害が生じたため池が多くあり耐震診断が急務となっていることから、本稿ではため池の耐震診断に注目することとする。

1.2 東北地方太平洋沖地震におけるため池の被災事例

東北地方太平洋沖地震では岩手県、宮城県、福島県の3県において約12,500箇所のため池のうち約2,000箇所が被災した。そのなかでも決壊したため池はいずれもため池設計指針(平成12年制定)以前に築造または改修されたものであった。一方で平成12年度以降に改修した3県のため池の被災数は13箇所であり、決壊等の深刻な被害が生じたものはなかった。

2. ため池整備の検討方法

2.1 土地改良事業設計指針「ため池整備」

ため池整備は主に「土地改良事業設計指針「ため

池整備」³⁾(以下「ため池整備」とする。)で実施する。「ため池整備」では、ため池が地震動等により決壊した際の影響や下流側の地形状況、被害想定範囲や被害対象等を考慮して、ため池の重要度区分をAA種、A種、B種の3つ設定している。各区分の耐震性能はレベル1地震動に対しては全区分で「健全性を失わない」ことが必要となりレベル2地震動ではAA種区分でのみ「限定された損傷にとどめる」こととなっている。また、AA種区分とA種区分では液状化対策工の評価が必要である。本稿では重要度区分が最も高いAA種について記述する。

(1) 検討方法

レベル1地震動では、震度法を用いた堤体の安定解析を行う。レベル2地震動の検討手順については、図1に示す通りである。

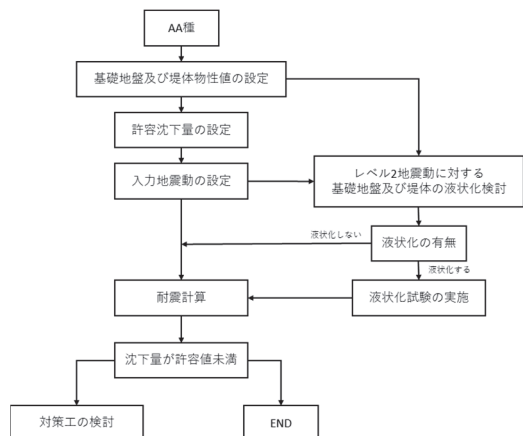


図 1 レベル2地震動 検討手順

(2) 検討方法の地域性

ため池の耐震性能照査においては、「ため池整備」に準拠・準用することとなるが、近年多発している地震災害、または今後発生が予想される地震に対して耐震対策は急務となる。ただし、多数あるため池を短時間で照査・整備することは非常に困難であることから、各度道府県のため池の形状や地盤の特性などから「ため池整備」では示されていない固有の検討方法がある。ここでは、代表的な「大阪府」の検討手法⁵⁾に触れる。下記図2に大阪府のレベル2地震動に対する検討手順を示す。

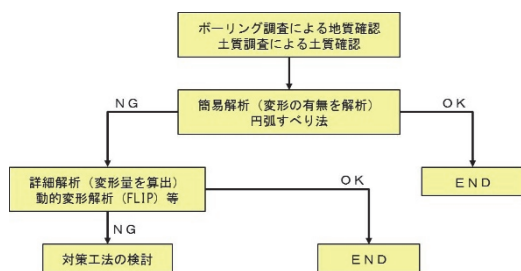


図 2 大阪府レベル2地震動 検討手順

大阪府では、「ため池整備」とは違い、簡易法照査ののち、詳細法照査の手順を通る。簡易法(液状化ありの場合、 ΔU 法、なしの場合はkh法)を実施し安全率が1.0を超えるかを確認する。詳細法は安全率1.0を下回るNG判定の場合のみ実施することとなっている。詳細法では、液状化を生じる場合は、ALID,FLIP等を使用し液状化を生じない場合は、簡易ニューマーク法を実施することとされている。

2.2 レベル2地震動に対する照査手法

耐震検討において、レベル1地震動に対してはkh法や ΔU 法といった円弧すべり解析手法が確立されて

いるがレベル2地震動については解析手法がまだ統一されておらず、「ため池整備」においても動的応答解析又は塑性すべり解析と記載されている。動的応答解析はモデル化や材料モデル等で結果は大きく異なる。そのため、液状化の有無、堤体の条件等を鑑みて適切に使用する必要がある。ため池レベル2耐震検討ではALID,FLIP、ニューマーク法が広く使用されている。

ALID,FLIPは、液状化を考慮した変形を求める手法である一方、ニューマーク法は液状化しないため池についてすべり円弧において安全率が1.0となる降伏加速度を求め、降伏加速度を超える応答加速度成分により滑動が生じるとして簡易的にすべり変位量を求める手法である。ニューマークD法はニューマーク法を基として地震動による非排水強度低下を考慮する検討方法であり「ため池整備」に準拠した手法である。また、ニューマーク(D)法では、地震応答解析を行い、堤体の加速度分布を用いて計算する詳細ニューマーク(D)法と、地表面波形を用いて計算する簡易ニューマーク(D)法がある。

3. ニューマーク法の比較

3.1 簡易ニューマーク法と詳細ニューマークD法の比較

詳細ニューマークD法は、解析に必要な室内土質試験が多数あり、検討手順も複雑となる。一方で、簡易ニューマーク法はレベル1地震動で使用される室内土質試験に加えて地震動を与えることで解析することができる。本稿では、円弧滑り面スライス法を基本としたニューマーク法の違いについて考察する。

対象は、「ため池整備」に記載されている塑性すべり解析(詳細ニューマークD法)と簡易ニューマーク法とした。解析モデルは下図の通りとする。

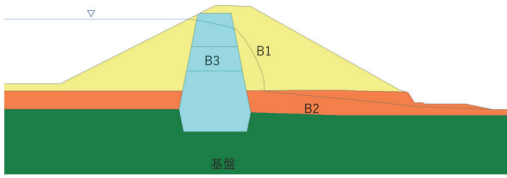


図 3 解析モデル図

(1) 解析用パラメータ整理

ニューマーク法では、通常の円弧すべり解析に必要な単位体積重量、粘着力、内部摩擦角に加えて応答加速度波形が必要となる。このとき簡易ニューマーク法では地表面応答波形、詳細ニューマークD法では基盤波形を入力する。詳細ニューマークD法の解析フローを下図図4に示す。

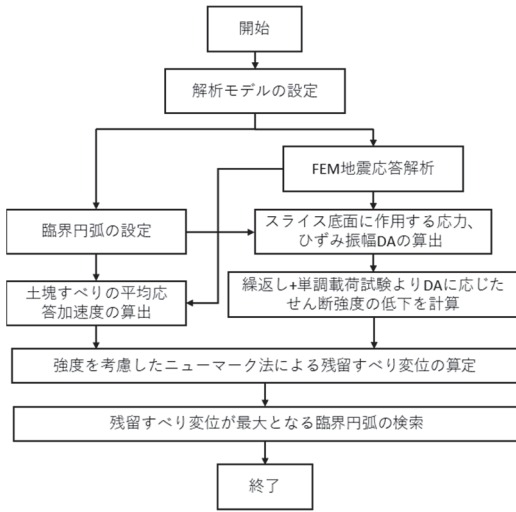


図 4 詳細ニューマークD法 解析フロー

表 1 基本物性値

	単位体積重量	粘着力	内部摩擦角
B1	16.6	6.7	22
B2	19.5	109.6	28.9
B3	17.9	9.1	19.9
基盤	21.4	440.7	21.4

(2) 強度低下特性

詳細ニューマークD法では、強度低下はB1層の地下水位以下を対象とする。強度低下曲線は、「両振幅ひずみ-見掛け摩擦角」と「繰返し載荷回数N-繰返しせん断応力振幅比SR」があり、前者は「繰返し+単調載荷試験」より、後者は「土の繰返し非排水三軸試験」より設定する。

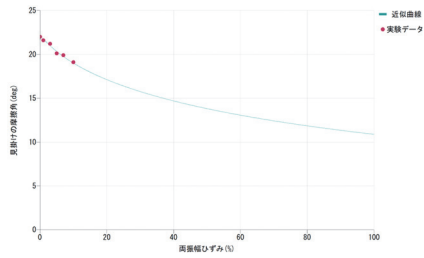


図 5 両振幅ひずみ-見掛け摩擦角 関係

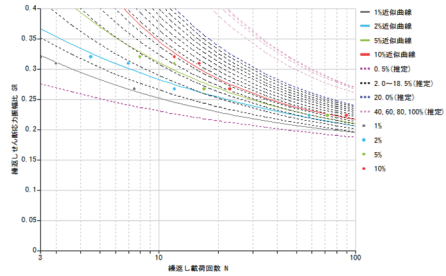


図 6 N-SR関係

(3) 結果の比較

本稿では、強度低下の影響を見るため同一の波形を使用することとした。詳細ニューマークD法では強度低下により降伏加速度が0に近づくため滑動量、累積沈下量共に5倍以上の結果となった。

表 2 計算結果の比較

	活動量 (mm)	累積沈下量 (mm)
簡易NM法	318	213
詳細NM-D法	1698	1186

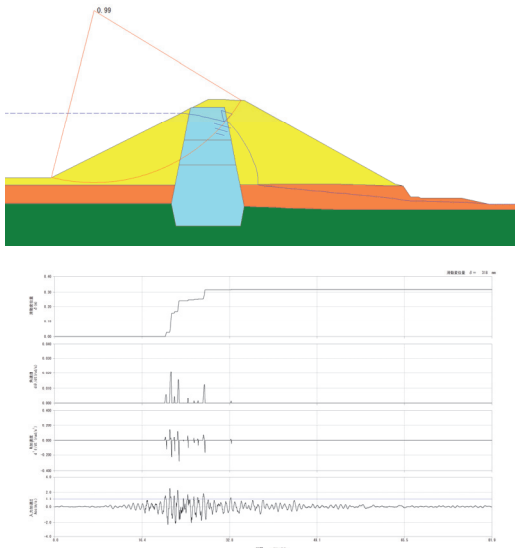


図 7 簡易ニューマーク法 計算結果

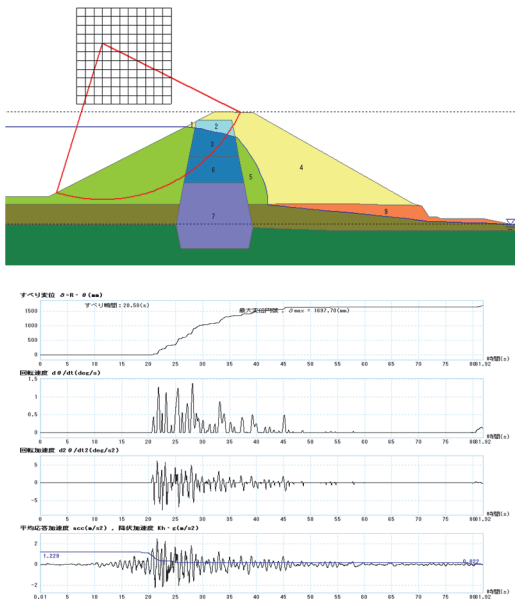


図 8 詳細ニューマークD法 計算結果

(4) 考察

結果から詳細ニューマークD法では強度低下により応答加速度の主要動が終わった後にも滑動が生じ大きな変位が発生する。また、滑動が生じることにより回転角も大きくなるため鉛直沈下量も大きくなる。一方で簡易ニューマーク法では、降伏加速度が一定であるため主要動付近でのみ滑動が生じる結果となった。変位量の大きくなる詳細ニューマークD法は安全側の検討といえる。

4. 最後に

動的解析やニューマークD法はこれまでの簡易ニューマーク法や円弧すべりと比較して解析コストが高いことが課題としてあげられる。また、レベル2地震動に対する照査が必要となるため池は多数存在し、被災した場合、社会的にも大きな影響が生じる。そのため、ため池の整備は急務と言える。ため池を評価するための解析手法はいくつか提案されているため、その都度、適切な解析手法を選択することが必要である。

<参考文献>

- 1) 「ため池: 農林水産省」
(https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/)
- 2) 「SERID」マニュアル 五大開発株式会社
- 3) 土地改良事業設計指針「ため池整備」
平成27年5月 農業農村工学会
- 4) 藤沼湖の決壊原因調査報告書(要旨)
福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会
- 5) 大阪府/ため池耐震診断
(https://www.pref.osaka.lg.jp/nosei_seibi/tameike-ap/taishin.html)