

# ため池耐震照査業務における詳細法と SIP 簡易法の比較事例の紹介

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 ○萩村 俊司, 赤坂 幸洋, 金丸 功希, 草野 正太郎

## 1. はじめに

ため池の耐震照査業務の検討では、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、土地改良事業設計指針「ため池整備」（平成 27 年 5 月改訂）により提案されている。ニューマーク-D 法は、塑性すべり解析法の一つであり、非排水繰返し載荷による継続的な強度低下特性を累積損傷度理論によって適切に評価して地震時のすべり変形を算定する手法である。さらに、ニューマーク-D 法には、詳細ニューマーク-D 法（以降、詳細法）、SIP ニューマーク-D 法（以降、SIP 簡易法）がある。一般的に、ため池の堤高が比較的高い場合や堤体構造が複雑な場合には、詳細法が用いられる。一方、堤高が低い場合や堤体構造が単純な場合には、SIP 簡易法が用いられる。本報告は、ため池 A についてレベル 2 地震動における詳細法を実施し、参考として SIP 簡易法も実施したことから、両手法による地震時の最小安全率を比較した。

図-2に繰返し+単調載荷試験の概略図を示す。詳細法で必要となる繰返し+単調載荷試験は、供試体に非排水繰返し載荷を与える前後に土の圧密非排水三軸圧縮試験（三軸 CUB 試験）を実施し、地震を受けて強度低下する堤体土の特性を明らかにする室内土質試験である。

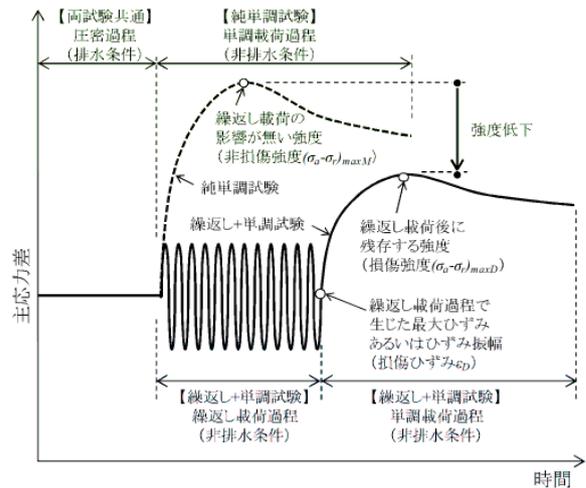


図-2 繰返し+単調載荷試験の概略図<sup>1)</sup>

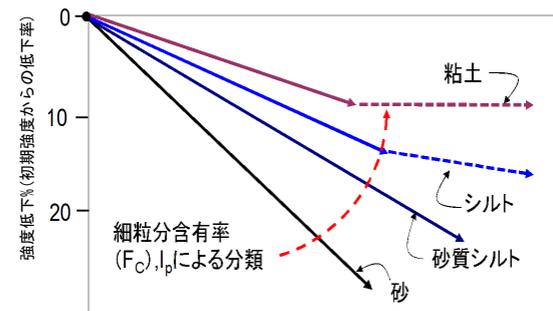
## 2. 検討手順

図-1に検討手順を示す。詳細法と SIP 簡易法の違いは、堤体の応答加速度の計算方法と堤体の強度低下特性の設定方法である。堤体の応答加速度の計算方法は、詳細法では二次元地震応答解析を実施するが、SIP 簡易法では N 値や Vs から設定される簡易的な応答倍率直線や一次元地震応答解析により計算される。堤体の強度低下特性は、詳細法はボーリング調査により試料を採取し、繰返し+単調載荷試験結果により設定するが、SIP 簡易法は物理試験結果等から標準強度低下曲線の経験式により設定する。

図-3に堤体土の標準強度低下モデルの概略図を示す。簡易法で採用されている標準強度低下モデルは、細粒含有率(Fc)、塑性指数(Ip)により分類される。細粒含有率(Fc)が小さいほど、両振幅ひずみ DA の増加に伴う強度低下が大きい傾向となっている。

| SIP簡易法  | 詳細法   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○地質調査</li> <li>・ボーリング調査</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○地質調査</li> <li>・ボーリング調査</li> <li>・PS検層</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○室内土質試験</li> <li>・物理試験</li> <li>・三軸圧縮試験</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>○室内土質試験</li> <li>・物理試験</li> <li>・三軸圧縮試験</li> <li>・動的変形試験</li> <li>・繰返し+単調載荷試験</li> </ul>         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○設計地震動の設定</li> <li>・模擬地震波作成</li> </ul>                                       |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○解析モデルの設定</li> <li>・地盤定数設定</li> <li>・強度低下曲線</li> <li>(※標準強度低下モデル)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○解析モデルの設定</li> <li>・地盤定数設定</li> <li>・HDモデル作成</li> <li>・強度低下曲線</li> <li>(※繰返し+単調載荷試験値)</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○耐震性能照査</li> <li>・簡易的な応答倍率直線</li> <li>・塑性すべり解析</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○耐震性能照査</li> <li>・二次元地震応答解析</li> <li>・塑性すべり解析</li> </ul>   |

図-1 検討手順



累積ひずみ量 (両振幅ひずみ DA%、繰返しによって劣化が進む程度)

図-3 堤体土の標準強度低下モデルの概略図<sup>2)</sup>

## 3. 地層構成

図-4に今回検討した堤体地層断面図を示す。堤体は堤高約4m(堤高が低いに相当)で、堤体上流側に透水性の低い刃金土を設けた前刃金型をなしている。堤体下位には洪積層(粘性土、礫質土、砂質土)が堆積する。このうち、洪積第3礫質土は概ね N 値が50以上となる地層で、S 波速度 (Vs) が400m/s 程度となる。

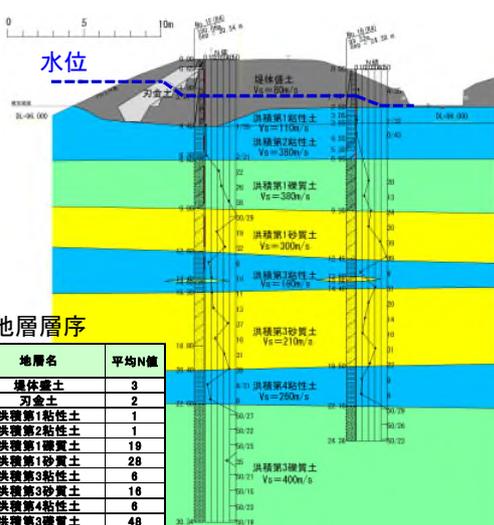


表-1 地層層序

| 地質時代       | 地層名     | 平均N値 |
|------------|---------|------|
| 完新世        | 堤体盛土    | 3    |
|            | 刃金土     | 2    |
| 第四紀<br>更新世 | 洪積第1粘性土 | 1    |
|            | 洪積第2粘性土 | 1    |
|            | 洪積第1礫質土 | 19   |
|            | 洪積第1砂質土 | 28   |
|            | 洪積第3粘性土 | 16   |
|            | 洪積第3砂質土 | 16   |
|            | 洪積第4粘性土 | 6    |
|            | 洪積第3礫質土 | 48   |

図-4 地層断面図

#### 4. 解析条件

##### (1) 地震動

堤体で予測される地震動の設定は、「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説(2005)」<sup>3)</sup>に従い、内陸型地震、海溝型地震とした。本報告ではこれらのうち加速度が大きい内陸型地震に対する結果を報告する。

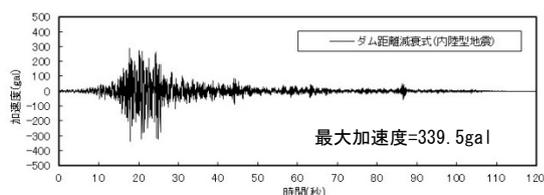


図-5 内陸型地震波形

##### (2) 強度低下特性

強度低下対象層は、堤体土、および刃金土とした。詳細法では繰返し+単調載荷試験により得られた試験値から繰返し計算により堤体の強度低下特性を設定した。簡易法では標準強度低下モデルにより堤体の強度低下特性を設定した。図-6に設定した両振幅軸ひずみと見掛けの摩擦角の関係図を示す。図-6によると、堤体土、および刃金土の強度低下特性は、詳細法の方が両振幅軸ひずみの増加に伴う強度低下がやや大きい傾向が得られた。

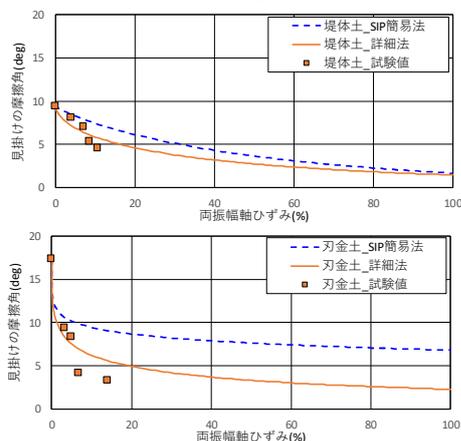


図-6 強度低下曲線の比較図(上:堤体土, 下:刃金土)

#### 5. 解析結果

図-7に解析結果図を示す。二次元地震応答解析による最大加速度分布は、基盤の入力加速度が340gal程度に対し、堤体は560~600gal程度で増幅した応答を示す。なお、SIP簡易法での天端の加速度応答倍率をN値とせん断波速度Vsにより算出すると基盤加速度の1.942倍であり、天端の最大加速度は630gal程度と計算された。

また、2つの解析手法において、地震中の最小安全率は上流側、下流側で概ね一致する傾向が得られた。このことから、SIP簡易法は詳細法と同程度の結果が得られることが分かり、堤高が比較的低いため池については、SIP簡易法が有効活用できる結果が得られた。

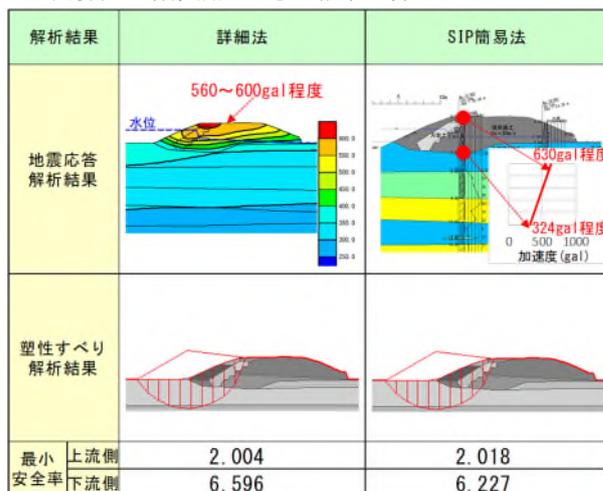


図-7 解析結果図

#### 6. まとめ

ため池Aについてレベル2地震動における詳細法とSIP簡易法を実施し、地震時の最小安全率を比較した。その結果、堤高が比較的低いため池については、SIP簡易法が有効活用できる結果が得られた。詳細法では、解析に必要な室内土質試験及び二次元地震応答解析など解析手法が複雑かつ高価である。そのため、本結果では、検討費用の削減や作業短縮の可能性が確認できた。しかしながら、今回の堤体土質は比較的低強度下にくい土質のために、解析結果が概ね一致した可能性がある。堤体土質によっては、今回の比較結果と異なるケースも考えられるため、今後も様々な堤体土質で詳細法とSIP簡易法の比較検討を続ける必要がある。

#### 《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」, pp. 126, 2015. 5.
- 2) 毛利栄征, 龍岡文夫, デューティン アントワン, 矢崎澄雄: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, 農業農村工学会大会講演要旨集, pp806~807, 2015
- 3) 国土交通河川局：大規模地震に対するダム耐震性能指針(案)・同解説, pp. 6-9, 2005