

土のうを用いたため池堤体振動実験の2次元動的弾塑性有限要素解析 Two dimensional dynamic elasto-plastic finite element analysis of shaking table model test on small earth dam with soil bags

濱田 英希*・松島 健一**・毛利 栄征**・岡島 賢治*・田中 忠次*

Hideki Hamada, Kenichi Matsushima, Yoshiyuki Mohri, Kenji Okajima, Tadatsugu Tanaka

1.はじめに

ため池の多くで老朽化が進んでいると言われている中で、実際の被害では決壊により下流側の宅地等に被害が及ぶケースもあり、安全性の確保が求められている。土のうを用いた耐久性の高いため池堤体の開発が進められているが、堤体の改修に際しては、今後さまざまな補強効果の定量的な評価を行っていく必要がある。今回は土のうの傾斜積みの効果について、模型実験と解析を比較して考察を行った。

2.振動台実験

実験のより詳細な概要は松島ら(2006)

(¹)やGoran et al.(2006)(²)を参照されたいが、3種類の実験(土のう水平積み・傾斜積み(補強材なし)・傾斜積み(補強材あり))のうち今回は土のう水平積みと傾斜積み(補強材なし)の実験について解析を行った。

図-1a,bに水平積み、傾斜積みそれぞれについて模型寸法長さ6.7m、高さ2.7m、幅2.0mのため池堤体模型を示す。堤体土には $D_r=80\%$ になるように

締固めた含水比およそ10%の十勝砂を用いた。土のうは中詰め材に再生砕石を用い、傾斜積みの方は 18° の傾斜角をつけて積層されている。斜面勾配は上流側(左側)が1:1.5、下流側(右側)で1:1である。入力加振波は周波数3.8Hzであるsin波形を300Gal,500Gal,700Gal,1000Galの4段階加振で行った。

3.解析条件

今回の有限要素解析では、有限要素として1点

積分による4節点アイソパラメトリック要素を用い、堤体土の構成式には降伏条件にMohr-Coulomb型、塑性ポテンシャルにDrucker-Prager型の弾完全塑性モデルを用い、非線形動的解析手法には直接時間積分法とリターンマッピング法を用いた。解析に用いたメッシュは土のう水平積みの方は要素数812、節点数877のものを、また土のう傾斜積みの方は要素数810、節点数879のものを作成した(図-2a,b)。

材料は堤体土・土のう・土のう間弱層の3つに区分した。表-1にパラメータの一覧を示す。堤体土に

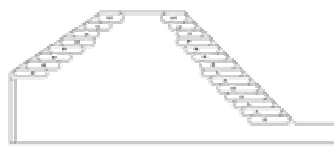


図-1a 水平積み堤体概要

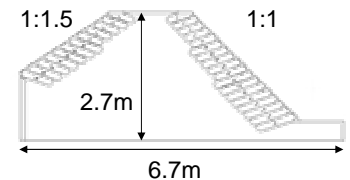


図-1b 傾斜積み堤体概要

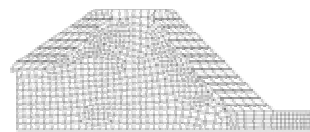


図-2a 水平積みメッシュ

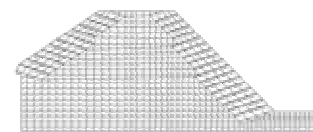


図-2b 傾斜積みメッシュ

表-1 材料定数一覧

| | 弾性係数 E | ポアソン比 | 粘着力 c | 内部摩擦角 | 単位体積重量 |
|----------|-----------|-------|----------|-------|-------------------|
| 砂地盤 | 9.8 | 0.3 | 2.1 | 38.9 | 15.7 |
| 土のう(弾性体) | 19.6 | 0.3 | - | - | 15.7 |
| 弱層 | 98 | 0.3 | 0 | 23.2 | 15.7 |
| | MPa | - | kPa | ° | kN/m ³ |

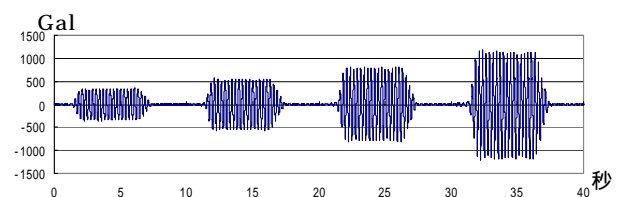


図-3 入力加速度

*東京大学大学院農学生命科学研究科, The University of Tokyo

**農村工学研究所, National Institute for Rural Engineering 土構造物の地震時挙動, 数値解析

については三軸圧縮試験の結果から決めた値を用いた。土のう部分は弾性体とし、土のう間のすべりを表現するために2cm厚の弱層を挟んだ。土のう間弱層は弾塑性の材料とし、土のうの直接せん断試験の結果(Matsushima et al.⁽³⁾)から $c=0$ 、 $\phi=23.2$ を用いた。土のうと弱層の弾性係数Eとせん断弾性係数Gのパラメータは、直接せん断試験の解析を行った上で、変形の特徴、応力比-変位関係・体積変化を実験と比較して決めた。入力した地震波は実験において基盤で観測した波形を10秒ずつ続けて使用した(図-3)。

4. 解析結果とまとめ

図-4a,bに各段階加振後の天端中央部における残留沈下量を示した。今回の解析では堤体土の構成モデルに弾完全塑性のものを用いておりひずみ軟化等を考慮していないこと、また特に大きな加振時には土のうが抜け落ちるなどの変形は表現できないことなどから沈下量は実験よりも小さい値が出ているが、水平積み場合に比べ傾斜積みの場合には沈下量は小さく、土のうの傾斜積みによって堤体の変形が抑えられる効果は出ていると言える。

図-5a,bは500gal加振後の解析における最大せん断ひずみ分布を、土のう水平積みは80%を最大とし、傾斜積みについては20%を最大として描いたコンターである。

また図-6a,bは土のう水平積みは700gal加振後、傾斜積みは1000gal加振後の堤体断面写真である。

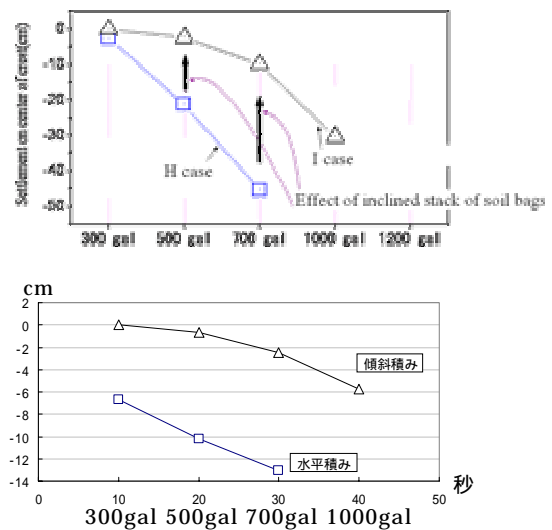


図-4 堤体天端沈下量(a実験(上),b解析(下))

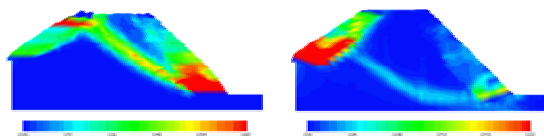


図-5 500gal加振後の最大せん断ひずみ分布



図-6 堤体断面写真

a 水平積み(左)最大80%, b 傾斜積み(右)最大20% a 水平積み(左)700gal加振後, b 傾斜積み(右)1000gal加振後

土のう水平積みにおいては、下流側堤体のせん断ひずみの集中領域は浅い位置に生じている。実験の写真において下流側土のうは下から3段目で抜け落ちているが、解析においても2段目・3段目周辺で最もひずみの集中が見られる。土のう傾斜積みでは、せん断ひずみの集中領域は実験・解析ともに水平積み場合に比べ深い位置に生じている。下流側土のうは実験において深い位置ですべり、下部ほど多く孕み出す傾向を示すが、解析においても下流側土のう間のひずみは深い位置に集中し、同じ傾向を示している。500gal加振の段階で、土のう水平積みでは下流側土のう間で滑っているのに対し、傾斜積みでは下流側土のう部分にはひずみの集中は見られず一体的な挙動を示している。

解析では下流側のせん断ひずみの集中が実験と比較して若干深い位置に見られた。実験では、側壁との摩擦の影響で下方の変形が抑制されせん断帯が浅くあらわれたなどとも考えられるが、傾斜積みの解析において上流側でひずみの集中が認められ先に変形を起こしてしまっていることなどから、上流側の境界条件の設定をより実験条件を再現できるように設定し直すなど解析条件に関する検討が必要である。

参考文献

- (1)松島健一, 毛利栄征, Aqil Umair, Goran Arangelovski, 弘中淳市, 山崎真司(2006)「土嚢を用いたため池堤体の振動実験」『第41回地盤工学研究発表会』 (2)Arangelovski Gran, Mohri Yoshiyuki, Matsushima Kenichi, Yamazaki Shinji(2006)「Comparison of analytical and experimental residual displacement of an earth dam improved with geotextile soil bag system」『第41回地盤工学研究発表会』 (3)K. Matsushima, U. Aqil, Y. Mohri and F. Tatsuoka " Shear strength and deformation characteristics of geosynthetic soil bag stacked in horizontal and inclined " Geosynthetics International