

水平および傾斜積層した土嚢堤体の耐震性

Seismic resistance on small earth dam using geosynthetic soil bags stacked in inclined and horizontal directions

松島健一* 毛利栄征* 山崎真司** 堀俊和* 有吉充*

MATSUSHIMA Kenichi*, MOHRI Yoshiyuki*, YAMAZAKI Shinji**, HORI Toshikazu* and ARIYOSHI Mitsuru*

1. はじめに 近年では地震による堤体斜面のすべり崩壊や豪雨による越水現象によって下流斜面の侵食や決壊が相次いで発生している。そのため、自然災害（越水・地震）に対して耐久性の高いため池改修工法の開発が強く望まれている。本研究では、土嚢を用いた改修工法に着目し、水平および傾斜積層した土嚢の振動実験およびせん断試験を実施して、土嚢の積層構造の違いによる耐震性を検証した。

2. 実験方法 水平に土嚢を積層する一般的な方法と水平方向の滑動抵抗力を高める意味で堤体内側に傾けて土嚢を積層した堤体の耐震性を検討するため、図-1 に示すように2通りの振動実験を実施した。また、水平および傾斜積層した土嚢積層体の水平せん断試験を実施した。図-2 に傾斜角 18° の場合の例を示す。土嚢材（ポリプロピレン製）の引張特性を図-3 に示す。堤体土は含水比 10% の十勝砂（ $D_{50}=0.18\text{mm}$, $U_c=1.8$ ）を用い、相対密度 80% の地盤を作成した。土嚢は高さ 16cm, 幅 490mm, 奥行き 1,200 ~ 2,000mm の扁平状で、中詰め材にはコンクリート廃材を破碎した再生砕石を用いた。入力加振波は周波数 3.8Hz の正弦波を水平方向の最大加速度がそれぞれ 300 gal, 500gal, 700gal, 1,000gal の段階加振を行った。

3. 実験結果および考察

崩壊モード 図-4 および 5 に各段階加振後の天端中央の沈下量の変化と堤体下流斜面の地表面変位分布を示す。

Case H では最大入力加速度 300gal 時で、すでに 25mm の沈下が生じた。500gal 時では天端沈下量 210mm が生じ、堤体斜面の中腹および下部で土嚢積層間に滑動が生じた（図-5a）。さらに、700gal 時になると、土嚢間の滑動量が著しく大きく（同図 a）、天端沈下量は 450mm で、堤高に対する沈下率は 18% に及んだ。一方、Case I では、300gal 時では沈下は発生せず、500gal 時でも天端沈下量は 23mm と小さかった。700gal 時になると、天端沈下量は 100mm とやや大きくなるが、Case H と比べると 1/4 以下の沈下量に収まった。下流斜面の土嚢間に顕著な滑動は表れなかった（同図 b）。1,000gal 時では天端沈下量は 304mm と大きく、斜面法肩の堤体内部への落ち込みや斜面中腹から下部で孕みだしが見られた（同図 b）。しかし、この段階でも Case H で見られたような土嚢間の顕著な滑動は発生しなかった。それぞれ 700gal, 1,000gal 加振後の Case H および Case I の堤体内部の変状（図-6）を見ると、土嚢間で滑動が生じた Case H では土嚢積層斜面の背面に浅いすべりが複数発生した（図-6a）。これに対し、土嚢間に滑動が生じなかった Case I では堤体内部に深いすべりが発生した（図-6b）。これらのすべり発生位置の相違は水平方向に対する滑動抵抗力の違いによって生じたものと考えられる。

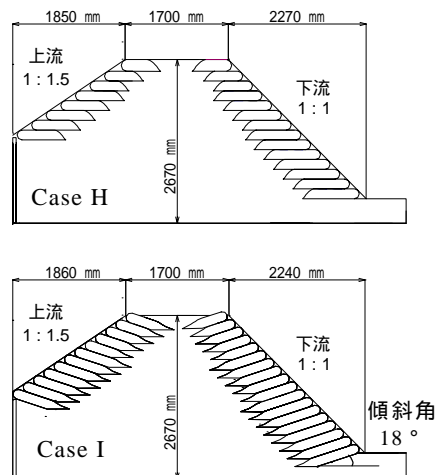


図-1 水平および傾斜積層した土嚢堤体
Embankment models using geosynthetic soil bags stacked horizontal and inclined

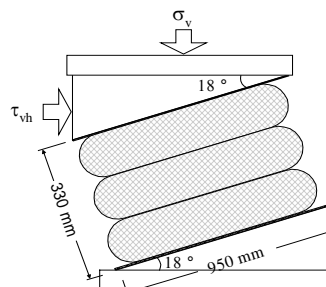


図-2 土嚢積層体の水平せん断試験
The soil bags lateral shearing test

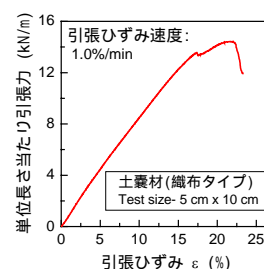


図-3 土嚢材の引張試験結果
Tensile strain-stress relation

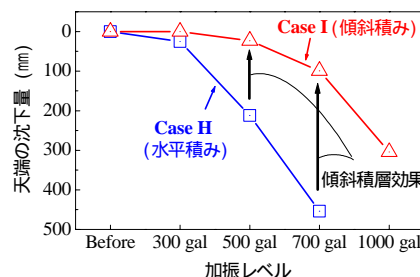


図-4 天端中央の沈下量の変化
Change of settlement at center of crest

[*農村工学研究所] [*National Institute for Rural Engineering] [土嚢, 振動実験, ため池]

[**三井化学産資] [** Mitsui Chemicals Industrial Products, Ltd.]

傾斜積層による耐震性向上

傾斜した土嚢積層面上の力の釣り合い状態を考えると(図-7), 水平方向にせん断を受けた場合, 傾斜角が大きくなるほど積層面間の垂直力は大きくなり, 土嚢間の滑動抵抗力が向上する. 一定鉛直応力条件で実施した水平および傾斜積層した土嚢の水平せん断試験結果によると(図-8), 本振動実験と同じ角度($\delta=18^\circ$)で傾斜した

土嚢のせん断強度は水平積層した場合に比べて約2倍に増加する. 上記の傾斜積層効果は Case H の水平積層構造では発揮されないため, 加振力が小さい段階で土嚢間に滑動破壊が生じる. その結果, 地震時の主働土圧に土嚢積層斜面が十分に抵抗できず, 浅いすべりが発生する. 一方, Case I では堤体背面側に傾斜して積層しているため, 傾斜積層効果が発揮される. その結果, 土嚢間の顕著な滑動はいずれの加振力(最大入力加速度 300~1,000gal)でも生じず, 土嚢積層部分が一体的に変位する. 事実, 堤体の崩壊は Case H では土嚢積層体の滑動破壊が直接的な原因であるのに対し, Case I では土嚢積層体底面と基盤を通る深いすべり, いわゆる, 外的不安定によって引き起こされており, 土嚢積層体が堤体崩壊の原因とはなっていない.

4.まとめ 水平および傾斜積層した土嚢の振動実験および水平せん断試験から得られた知見を以下に示す.

1. 水平に積層した土嚢構造は水平方向の滑動抵抗力が小さいので, 加振力が小さい段階で土嚢間の滑動破壊が生じ, 堤体全体の崩壊を招く.

2. 一方, 傾斜積層した構造では水平方向の滑動抵抗力が大きいため, 最大入力加速度 1,000gal の加振を行っても, 土嚢間に滑動破壊が生じず, 土嚢積層構造が維持される.

3. 上記の土嚢積層構造の違いによる耐震性の相違は, 土嚢積層面での垂直力を高める効果の違いによって表れるものであり, 傾斜積み工法を採用することで, 飛躍的に耐震性が向上することが認められた.

活用面) 土嚢の傾斜積み工法は, 堤体内側に傾斜するだけで良いので, ため池堤体以外の土質構造物にも適用ができ, 現場への普及が非常に容易である.

参考文献) Matsushima, K., et al., 2008, Shear strength and deformation characteristics of geosynthetic soil bags stacked horizontal and inclined, *Geosynthetics International*, 15, No. 2, pp. 1-17

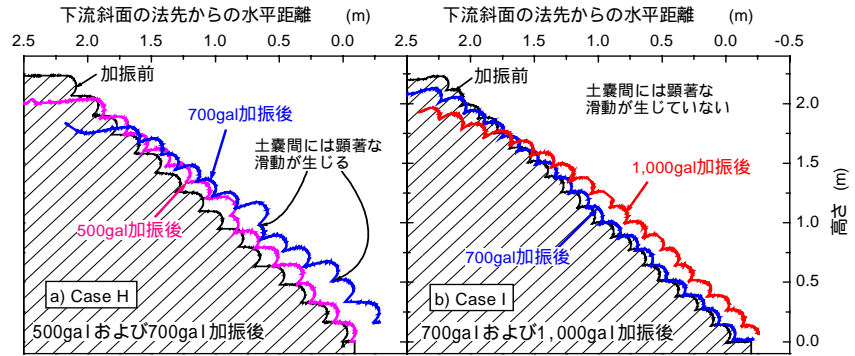


図-5 各段階加振後の堤体下流斜面の地表面分布
Distribution of displacement on downstream slope

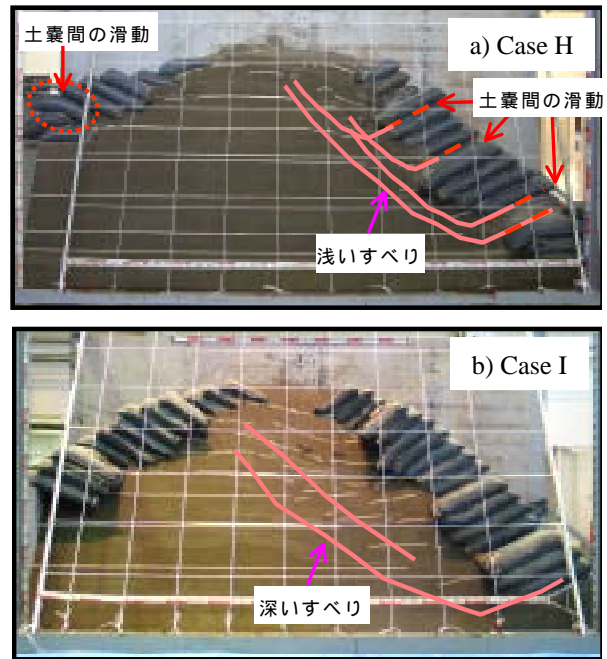


図-6 加振後の堤体変状の様子
Deformation of embankments after shaking

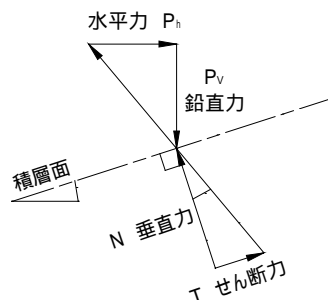


図-7 土嚢積層面の力の連力図
Force polygon on interface between stacked soil bags

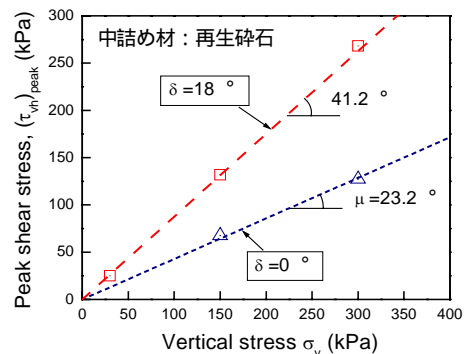


図-8 ピークせん断力と鉛直力の関係
Relation between peak shear stress and vertical stress