

補強土のせん断特性に基づいた補強土構造物の地震時挙動 Seismic behavior of geogrid-reinforced structure based on shear characteristics of reinforced soil

松島健一* 毛利栄征* 堀俊和* 山崎真司**

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

1. はじめに

近年では集中豪雨や地震によるため池の決壊によって下流地域への二次災害の危険性が高まっている。そのため、従来工法だけでなく積極的に災害に強い工法を採用することが重要になる。そこで我々はジオシンセティックスや土嚢などの人工材料を用いた防災機能が高い堤体構造を提案している(図-1)。本研究ではブロック型補強土擁壁の震動実験²⁾を実施し、大型直接せん断試験から得られた補強土のせん断特性に基づいて地震時における補強土構造物の変形挙動について検討した。

2. 試験方法

震動実験 ブロック型補強土擁壁の実験概要を図-2に示す。地盤材料は含水比がおよそ10%の十勝砂($s=2.668\text{g/cm}^3$, $D_{50}=0.18\text{mm}$, 均等係数 $U_c=1.8$, $e_{\max}=1.291$, $e_{\min}=0.781$)を用いた。補強材の引張特性を図-3に示す。地盤密度は相対密度 $Dr=60\%$ であり、地盤内には加振後のすべり面の位置を観察するために色砂層を高さ20cm毎に入れた。兵庫県南部地震神戸気象台記録波形NS成分を用いて、水平方向の最大加速度がそれぞれ300gal, 600galになるように2段階加振を行った。加振後にはすべり線の観察をするために色砂層を切り出して、色砂の変形をトレース紙に描き写し、デジタイザーによって記録を行った。

大型直接せん断試験(LDST) LDSTの概要を図-4に示す。せん断箱は高さ60cm, 長さ80cm, 奥行き50cmであり、せん断上箱は上蓋と側壁が一体化した構造である。試験条件は定拘束圧条件147kPa, せん断速度0.23mm/minである。地盤材料は豊浦砂を用いた。補強材の引張特性を図-3に示す。補強材にはひずみゲージを貼り付け、せん断方向に対し垂直な面に(高さ60cm×奥行き50cm)敷設した。なお、せん断上下箱の隙間は常に平行になるように制御した。

3. 試験結果および考察

図-5に振動台速度と壁面変位の位相特性を示す。擁壁上部・下部とも壁面変位は振動台速度と位相が一致し、転倒モードを示した。つぎに、加振後のすべり線の様子

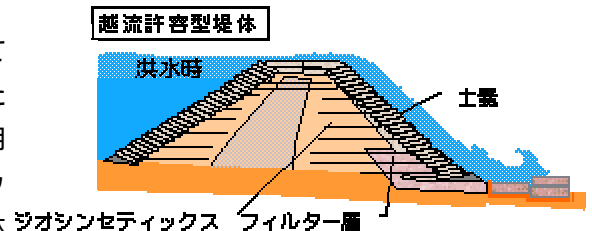


図-1 防災機能の高い堤体構造のイメージ
Image of reinforced small earth dam

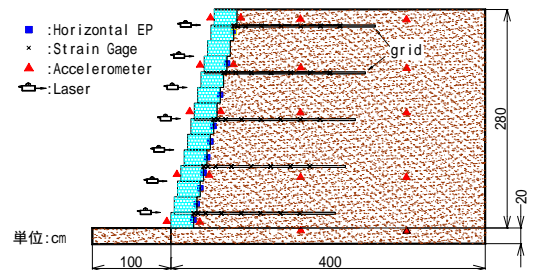


図-2 震動実験の概要
(Cross section of model with sensors)

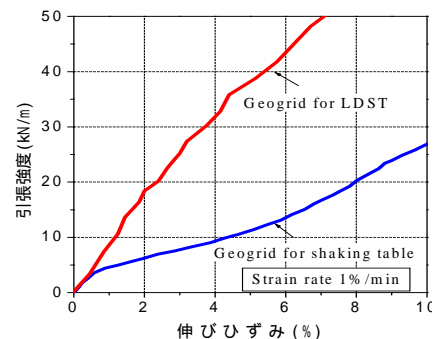


図-3 補強材の引張試験結果
Tensile strain-stress relation

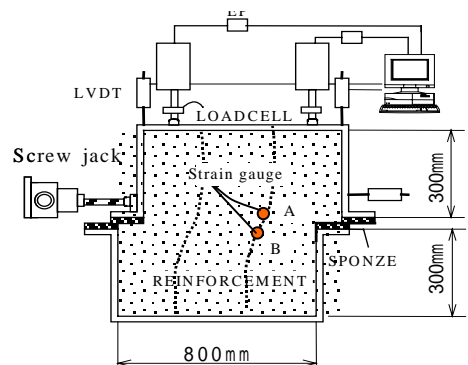


図-4 大型直接せん断試験機の概要
Apparatus of LDST (large direct shear test)

[*農業工学研究所] [*National Institute for Rural Engineering] [直接せん断試験, 補強材, 補強土]

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

(図-6)を見ると、補強材の端部に沿って連続したすべりが発生し、補強材の敷設領域の後方で部分的にすべりが発生していることが見てとれる。図-7に補強材のひずみと速度の位相特性を示す。振動台が主働方向（速度+）に動く時に応答して引張ひずみが増加し、受働方向（速度-）に動く時にひずみが回復していることわかる。計測された最大引張ひずみは1%以下であった¹⁾。一方、LDST から得られたせん断特性を見ると、図-8から補強供試体は無補強供試体に見られる軟化挙動がほとんどなく、高い靱性が表れることがわかる。次に図-9の補強材の引張ひずみ増分を見ると、ひずみ増分が1%に達するとき、せん断変位量は15mm(a点)になっている。無補強供試体の場合、このa点ではピークから残留強度に至る軟化過程に達していることがわかる。このことから、無補強領域では塑性ひずみが集中し、すべりが起きるようなせん断ひずみが部分的に補強領域内に発生していた可能性が高い。しかし、補強領域では補強材によって局所的なせん断ひずみの発生を抑制し、せん断力を周囲に伝達する²⁾。その結果、壁面背面から補強領域の中央部にかけてはすべりが発生しにくくなったものと考えられる。ただし、補強領域後方では引抜け抵抗力が低いいため、すべりが発生しているものと思われる。

さらに、地震時の補強領域の運動について考えると、主働方向の加速度によって発生する運動エネルギーは補強領域の全体的な変形に消費される。そして、加速度が受働方向に働くと、補強材の引張ひずみが回復し、補強領域内部に蓄積されたひずみエネルギーの一部は補強領域の復元に消費される。そして、再び、主働方向の加速度によって発生する運動エネルギーは補強領域の変形に消費される。その結果、剛な構造よりもゆれ（運動エネルギー）を変形によって吸収し(仕事量大きい)、古関ら³⁾によって示されているように重力式擁壁では見られない補強土構造物のねばり強さが表れるものと考えられる。

参考文献1) 松島健一, 毛利栄征, Hoe.I.Ling, 山崎真司: ブロック型補強土擁壁の震動実験, ジオシンセティックス論文集, 第18巻, pp251-256, 2003.

2) 松島健一ほか: 大型直接せん断試験による補強土の粒子径効果, 第39回地盤工学研究発表会, 第39巻, pp665-666, 2004.

3) 古関潤一, 渡辺健治: 補強土擁壁と重力式擁壁の模型実験における地震時挙動の比較, ジオシンセティックス論文集, 第19巻, pp194-204, 2004.

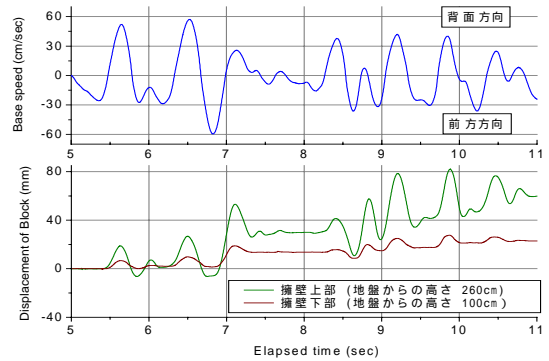


図-5 振動台速度と壁面変位の位相特性
Phase between table velocity and wall displacement

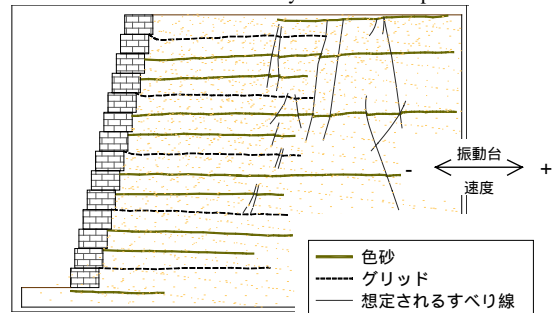


図-6 想定すべり線 (Slip line based on observation)

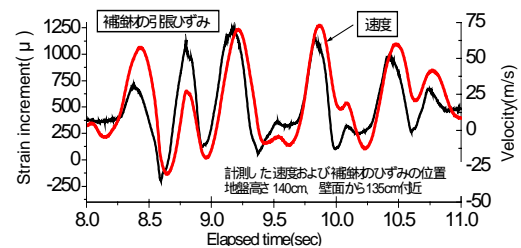


図-7 補強材のひずみと速度の位相特性
Phases of strain increment and velocity

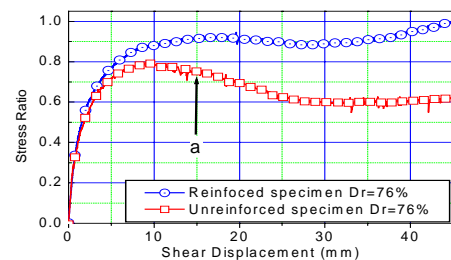


図-8 せん断変位量と応力比の関係

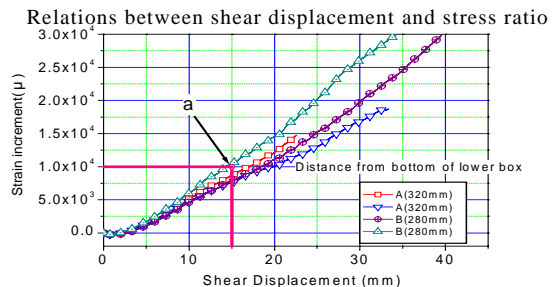


図-9 せん断変位量と補強材の引張ひずみ増分
Relation between shear displacement and reinforcement strain increment

4.まとめ

補強土は高い靱性が有するため、補強土構造物は地震時にすべりが発生しにくいことが伺えた。また、補強領域に蓄積された受働時に加速度が働くときに補強材の引張力が解放され補強土がそのフレキシブルな構造によってゆれを吸収することができる。し、崩壊を防ぐことができる。そのため、このような効果を貯水構造物であるため池に適用し、補強土工法を適用し、有効な決壊防止の対策法として堤体構造の開発に取り組んでいく予定であることを期待することができる。可能性があると思われる。今後は、ジオシンセティックスや土嚢によるため池堤体の震動実験を実施し、耐震性について検討を行っていきたい

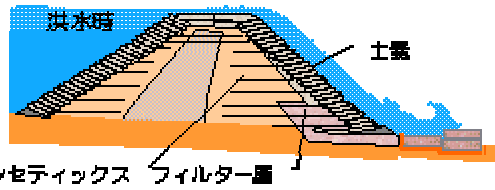
このことは従来の構造物と大きく異なっている点である。補強土構造物の変形が設計においてはこのようなフレキシブルな構造であることを考慮した設計法が必要である。具体的には崩壊に

せん断領域が拡大することによって補強土のピーク強度時のせん断変位量が増加するが、せん断初期にはせん断領域の拡大によって土のピーク強度が遅延して発現するに伴い動員される補強材の引張力が増加するため、相乗的に強度を増加させる効果があるが、せん断

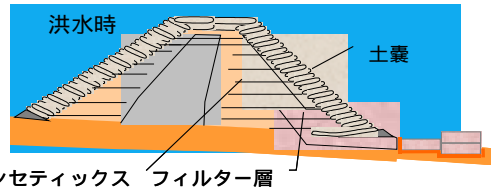
変位量が大きくなると、相乗効果はなくなり、補強材の引張力が主にせん断力に抵抗することが確認されたこのことから本実験では補強土のピーク強度時に補強材にはあまり大きな引張力は発生せず、ピーク強度時はせん断初期のピーク強度本実験の結果によると、初期のピーク強度時に補強材が破断することはなく、大変形時には補強材の最大引張強度が

問題となるが、ピーク強度に関しては補強材の剛性の違いが $k \text{ N/m}$ 程度ではほとんど差は表

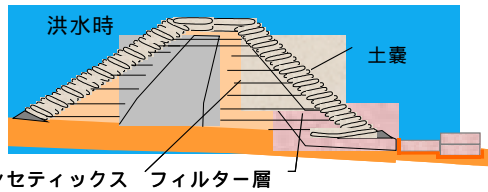
越流許容型堤体



越流許容型堤体

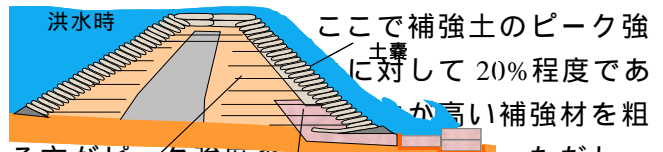


越流許容型堤体



れないことわかった．今後は補強材の剛性と裏込め材の粒子径の関係について研究する必要がある．

せん断ひずみの拡大はせん断変位量に対して供試体内の土のピーク強度発現が遅延し、その間に補強材に大きな引張力が動員されることを意味する．すなわち、1layer に比べて比較的大きなせん断変位量においても、



せん断初期に高く、その後はあまり増加しない．一方、layer2,3 ではせん断初期よりも後半において高い値を示していることがわかる．このことから層が増加するとせん断ひずみを拡大させる効果が高く、せん断変位に対して土に発生するせん断ひずみが小さくなり、その結果、土のピーク強度は Layer2,3 よりも比較的大きなせん断変位に表れることになる．一方、layer 1 では layer3 に比べてせん断ひずみを拡大させる効果が小さいため、無補強のピーク強度と差が小さく、大きなせん断変位になって補強材に大きな引張力が動員され、強度が再び増加する傾向にある．

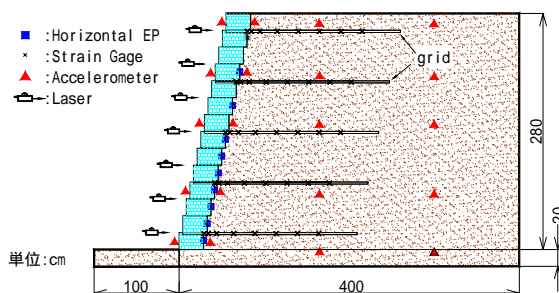


Fig. 2 センサー配置図

