

ジオテキスタイル補強盛土の変形挙動に関する重力場模型実験

豊田工業高等専門学校 正会員 小林 睦 伊東 孝
 豊田工業高等専門学校 専攻科 芳野 幹生

1. はじめに

土が発揮する引張り抵抗力は極めて小さいため、土中に補強材を敷設あるいは挿入して引張り力を付加する補強土工法は、コンクリート擁壁のような重量構造物を用いることなく、急勾配の盛土の施工が可能となるため、用地の制約を受けにくくなることから、近年急速に普及している。特に、ジオテキスタイルを用いた補強土壁については、兵庫県南部地震だけでなく2004年の中部地震においても、損傷の程度は小さく、耐震性に優れた構造物であることが確認されている^{1), 2)}。

そこで本研究においては、ジオテキスタイル補強盛土の変形挙動の評価に資する知見を得ることを目的として、補強材と土との摩擦特性を明らかにした上で、異なる変形特性を有するジオテキスタイルを用いた補強盛土の繰返し载荷実験を実施した。

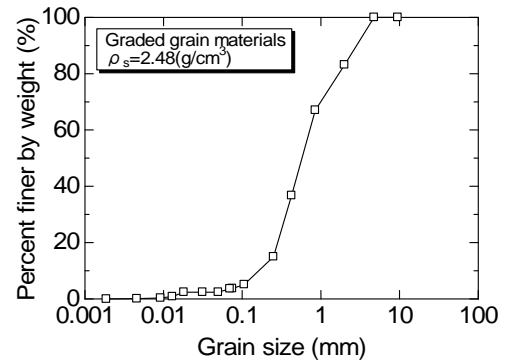


図-1 粒径加積曲線

2. 試料について

本研究では、豊田市内で採取した粒度調整砂を用いた。試料の比重は2.48であり、粒径加積曲線は図-1に示すとおりである。工学的分類手法によると礫質砂(SG)に分類される。試料の強度特性を調べるために相対密度を変化させて一面せん断試験を行ったところ、図-2のようなせん断応力～垂直応力の関係を得た。粘着力がなく内部摩擦角が50°程度であることが分った。一般の砂の内部摩擦角(概ね30°～45°)よりも大きいのは、砂粒子が角ばっていることが要因であると推察される。本研究において、模型盛土は相対密度Dr=60%で作製することとした。

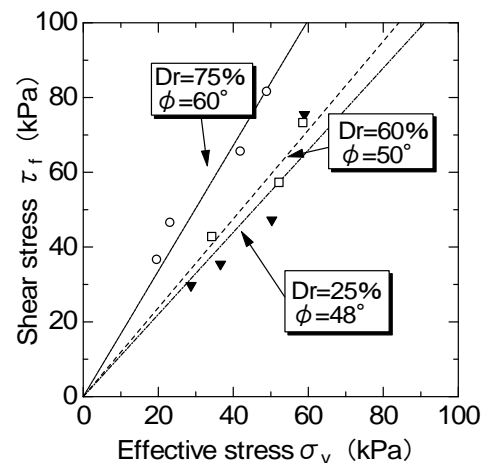


図-2 せん断応力～垂直応力の関係

3. ジオテキスタイルについて

本研究で用いたジオテキスタイルは次の2種類である。ジオテキスタイルA(図-3参照)は厚さ3mm、ポリエチレン100%で構成され、ジオテキスタイルB(図-4参照)は厚さ0.1mm、ポリエチレン60%×レーヨン40%で構成される不織布である。補強材の引張り強度特性を調べるために、ISO 10319に準拠した長さ100mm×幅200mmの



図-3 ジオテキスタイル A



図-4 ジオテキスタイル B

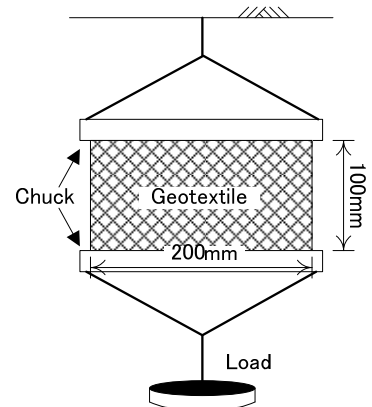


図-5 補強材の引張り試験状況

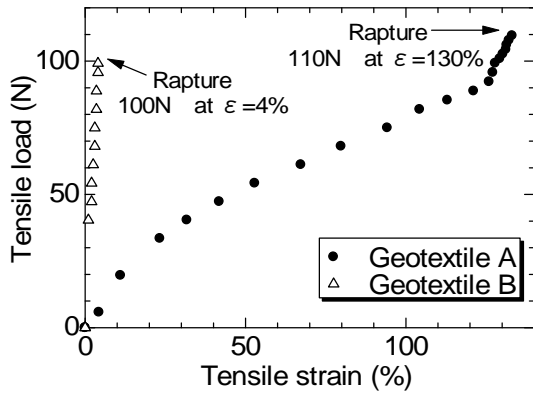


図-6 補強材の引張り試験結果

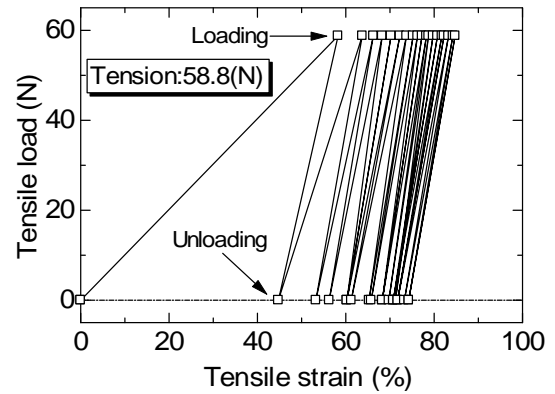


図-7 補強材の引張り試験結果 (载荷・除荷試験)

供試体を用意し、図-5 の要領で引張り試験を実施した。その結果、図-6 に示すような変形特性を得ることができた。これより、両者の引張り強度はほぼ同程度であるものの、変形係数は大きく異なり、ジオテキスタイル A が 130% のひずみで破断したことに対して、ジオテキスタイル B は数% のひずみで破断に至った。このように、補強材が引張り強度を発揮するために必要な伸び変形が異なることは、補強盛土の変形挙動に大きく影響を及ぼすものと考えられる。また、ジオテキスタイル A に関しては、同一引張り荷重において载荷・除荷試験 (20 サイクル) を行い、図-7 のような試験結果を得た。これより、载荷回数が増加するにしたがって引張りひずみは増加するものの、十数サイクル目あたりからほぼ収束していることが窺える。

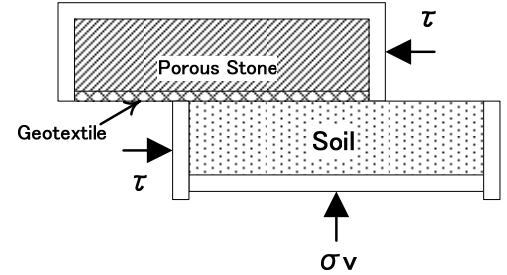


図-8 ジオテキスタイルの摩擦特性に関する一面せん断試験

4. 補強材の摩擦特性について

ジオテキスタイルの補強効果を明らかにするために、図-8 に示すように、せん断面と補強材と土との接触面を一致させた一面せん断試験を実施した。その結果、図-9 に示すように $\tau \sim \sigma$ の関係を得た。これより、補強材を敷設しても内部摩擦角の増大は見られず、補強材による拘束効果³⁾は確認できなかった。しかしながら、補強材を敷設した場合の強度発現特性および変形特性は大きく異なり、図-10、11 に示すせん断応力～せん断変位の関係、垂直変位～せん断変位の関係より、ジオテキスタイル A を敷設することでひずみ硬化型の強度特性、およびせん断初期に負のダイレイタンス特性を示したことが指摘できる。一方、ジオテキスタイル B を敷設すると、ピーク強度が発現されてからの挙動に若干ふらつきが見られるものの明確なひずみ軟化特性は見られず、体積も一旦収縮し、その後一定になる傾向にあることが窺える。このように、強度・変形特性に違いが観察されるのは、不織布が敷設されたことにより、砂粒子の噛みあわせが異なってきたことに起因するものと推察される。すなわち、ジオテキスタイル A においては、厚みがあるために、せん断に伴って砂粒子が補強材に吸収されることによって、補強材が引張り抵抗力を発揮したものと推察される。これに対して、ジオテキスタイル B においては、その厚みがないために強度特性は砂のみのケースと同様であるが、補強材と砂粒子との接触面で

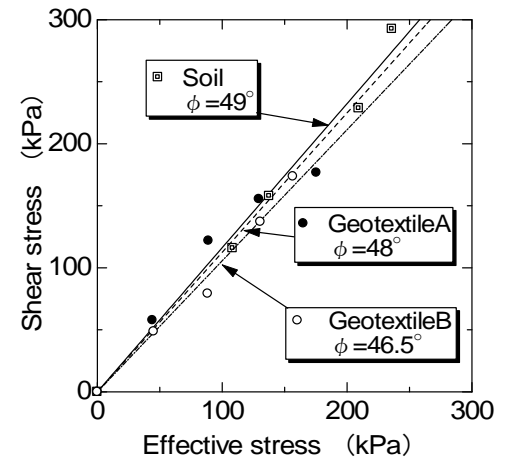


図-9 補強材の摩擦特性

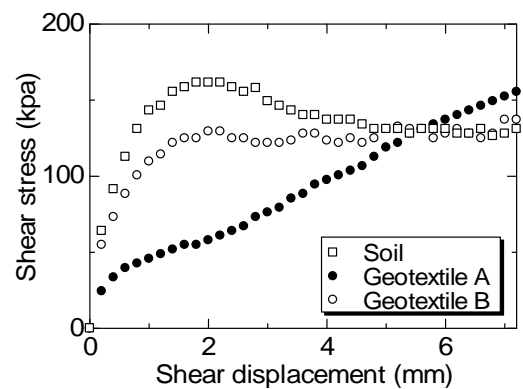


図-10 せん断応力～せん断変位の関係
有効拘束圧：170(kPa)

間隙が大きくなったことから、せん断に伴って噛みあわせが確保されたものと推察される。ここで、ジオテキスタイルが敷設された場合、これが変形すると引張力が発揮されるが、試験後に観察した補強材の表面にはほつれが見られたことから、本研究における砂試料と補強材との組合せにおいては、せん断に伴う変形特性は緩詰め状態を示すものの、ジオテキスタイルが引張り抵抗力を發揮したことが推察される。したがって、補強材面上にはたらく摩擦抵抗角は砂試料と同等になったものと考えられる。

また、繰り返し荷重を受ける補強材の摩擦特性を調べるために、繰り返し一面せん断試験を実施した。その結果、図-12 に示すようなせん断応力とせん断変位の関係を得た。これより、繰り返し回数が増加に伴って、發揮されるせん断抵抗力が増大していることが指摘できる。これは、繰り返しせん断力を加えることによって砂試料が締め固まったことと、補強材と土との噛み合わせが強固になったことに起因するものと推察される。

5. 補強盛土の繰り返し荷重実験

5-1 実験システム

重力場小型模型の繰り返し荷重実験システムを図-12, 13 に示す。まさ土を締め固めて作製した基盤部の中央部 800mm を掘削して、乾燥密度 $\rho_d=1.6(g/cm^3)$ で模型斜面を作製する。また、補強盛土は 5 分勾配で作製し、補強材は敷設長 500mm として 200mm 間隔で敷設した。補強盛土の前面は巻込み式で処理し、盛土中に挿入された巻込み長さは 10cm 程度に設定し、すべり面と交差することを避けた。上載荷重は、模型土槽に固定したフレームに設置したベロフラムシリンダを用いて、荷重制御方式で与えることとした。単調に荷重を増大させるケースと周波数 10Hz で繰り返し荷重(荷重重は単調荷重で崩壊した荷重の 9 割)500 回を行う 2 ケースについて比較検討する。

5-2 結果及び考察

単調荷重実験の結果、図-14 に示すような荷重と盛土天端の沈下量の関係を得た。これより、ジオテキスタイル A を敷設した盛土はシステムの最大荷重を付与しても崩壊しなかったことと天端の沈下量が 10cm (盛土高の 10%) であったことに対して、ジオテキスタイル B を敷設した盛土は、その半分の沈下量が生じた 7kN 荷重時にすべり面に沿って剛塑性的な崩壊を起こした。一方、崩壊に至らなかったジオテキスタイル A の補強盛土においては、盛土前面のジオテキスタイルに 10% のひずみが生じていることが観察された。このように、同一の上載荷重において、盛土天端の沈下量が大きいにも関わらず、さらに大きな荷重まで崩壊に至らなかったことは、ジオテキスタイルの変形特性に起因するものであると考えられる。すなわち、ジオテキスタイル A においては、変形係数が小さいために大きな変形を許容できることから、盛土は崩壊に至らなかったものと推察される。

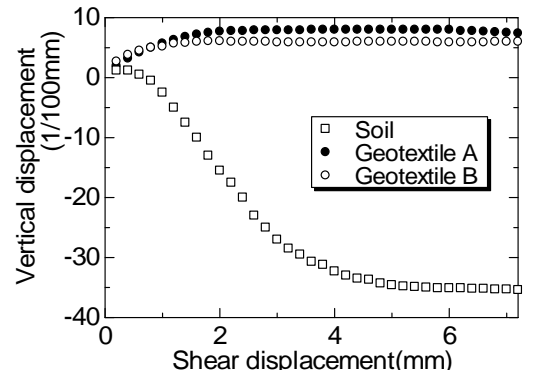


図-11 垂直応力～せん断変位の関係
有効拘束圧：170(kPa)

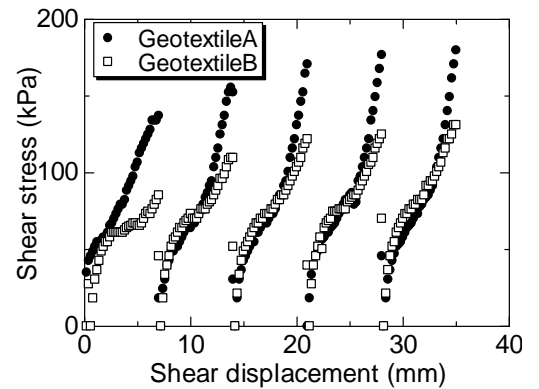


図-12 せん断応力～せん断変位
繰り返し一面せん断試験



図-13 模型盛土荷重実験システム

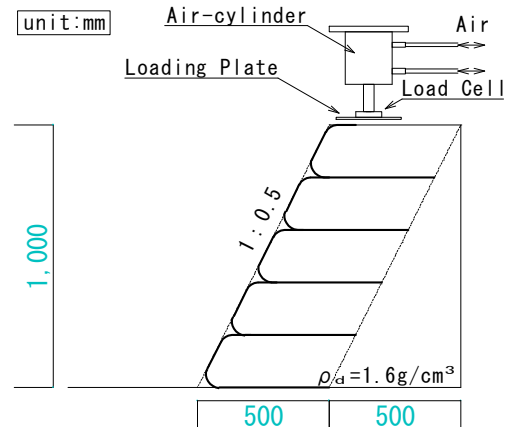


図-14 実験システム (断面図)

ジオテキスタイル補強盛土の繰返し载荷実験においては、ジオテキスタイル B を敷設した盛土の崩壊荷重の 90%に相当する荷重を 500 回繰返して载荷した。その結果、ジオテキスタイル A を敷設した盛土において、図-16 のような载荷重と盛土天端沈下量の関係から、最終的な天端沈下量は、単調载荷のケースと比較して大きくなったことが分る。しかしながら、単調载荷同様に本ケースも崩壊には至らなかった。ここで、単調载荷、繰返し载荷の両実験後に、盛土前面のジオテキスタイルの伸びを測定したところ、図-16 のような関係を得た（補強材番号は最下段から開始）。これより、繰返し载荷を行ったケースでは補強材のひずみが単調载荷の半分程度であることが指摘できる。このことは、繰返し载荷における 1 波の載加速度が単調载荷と比較してかなり大きなことと、繰返し回数の増加に伴って盛土の締め固め密度が増大したことによるせん断抵抗力の増加に起因するものと推察される。

ジオテキスタイル B においても、図-18 に示すような载荷重と盛土天端の沈下量の関係より、繰返し回数の増加に伴って盛土天端の変位は増加するものの、最終的な変位は単調载荷と同程度であった。また、繰返し载荷後に単調载荷を行ったが、盛土は崩壊に至らなかった。これらのことから、繰返し载荷回数の増加に伴って、盛土を構成する砂粒子自体が締め固まり、強度が増加したこととその変形に追従して発揮されるジオテキスタイルの引張り抵抗力が増大したため、盛土の安定性は向上したことが窺える。

6. まとめ

本研究では、繰返し上载荷重を受けるジオテキスタイル補強盛土の変形挙動を明らかにするために、重力場小型模型盛土の载荷実験を実施した。その結果、以下の結論を得た。

- ・ 変形係数の小さな補強材を敷設した盛土は、盛土自体の変形は大きいものの崩壊には至らなかった。
- ・ 繰返し载荷を受けることによって盛土は締め固まり、その変形に追従してジオテキスタイルの発揮する引張り抵抗力は増加するため、盛土の安定性は高まる。
- ・ 本研究の結果から、供用中の変形が許容でき、かつ補修が容易な工事用仮設道路等に補強土壁を用いることができるのであれば、事業費のコスト削減に繋がるのではないかと考えられる。

【参考文献】

- 1) 館山勝, 龍岡文夫, 古関潤一: 阪神・淡路大震災における土構造物の挙動, 土と基礎, Vol. 44, No. 2, pp. 10-13, 1996
- 2) 吉田浩一, 久保哲也, 南和弘: 中越地震による補強土壁の被災調査と復旧事例, ジオシンセティックス論文集, 第 20 巻, pp. 301-304, 2005
- 3) 河村隆, 落合英俊, 平井貴雄, ジオグリッド補強土構造物における拘束効果と補強材形状について, 第 13 回ジオシンセティックス論文集, pp. 306-325, 1998

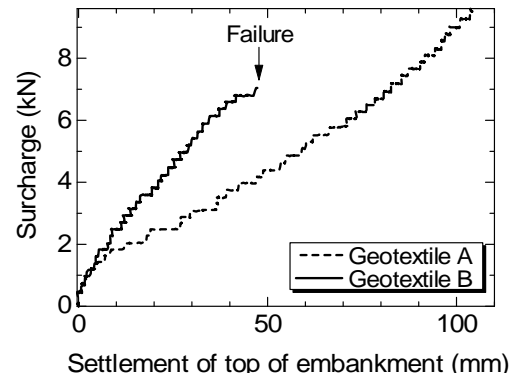


図-15 盛土天端の沈下量 (単調载荷)

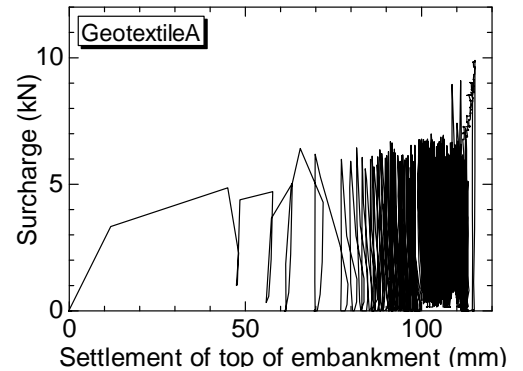


図-16 盛土天端の沈下量

(繰返し载荷: ジオテキスタイル A)

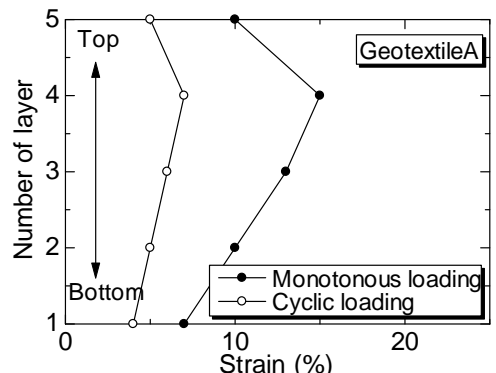


図-17 盛土前面の補強材の伸び

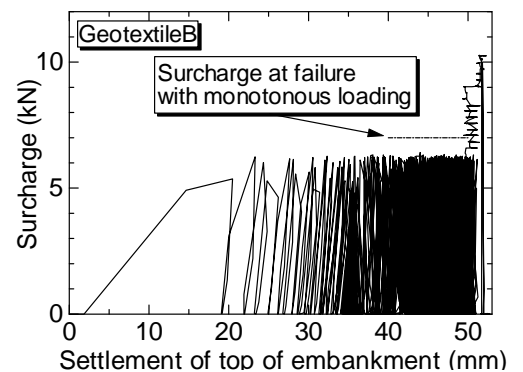


図-18 盛土天端の沈下量

(繰返し载荷: ジオテキスタイル B)