Stability of Multi-layered System of Encapsulated Soils by Geotextiles

by

Kunio MINEGISHI College of Sci. & Technology, Nihon University and
Katsuhiko MAKIUCHI Ditto

ABSTRACT

An encapsulated soil by a geotextile such as a soil-bag increases its strength due to the confining effect of deformation. In order to investigate the mechanical properties of its multi-layered system, several laboratory model tests were carried out in terms of compressibility, shear resistance, slope stability, and friction of geotextile-interfaces. As the results, it was found that the compressibility of fine gravel was smaller than that of sand. A higher compressibility was observed in loose, dry and cubic packing conditions for both sand and fine gravel. The shear strength has a relation to the density of soil but not the soil type. The optimum frictional stability of the multi-layered system was obtained at 60 to 80 % of the relative density of a soil-bag.

概要

土嚢（のう）のような土質材料を内包する形式の工法は、内部の土をジオテキスタイルにより変形拘束することにより、その力学的強度を増強させ土構造物の安定を図ることができる利点があり、土留めや埋立て地の斜面部への利用性が高い。この内包式ジオテキスタイルの力学的基本特性を明らかにするため、千鳥または正方に積層した場合の圧縮特性、せん断抵抗性、斜面安定性、および土留めなどの壁体部に用いた場合のジオテキスタイル間の摩擦効果について、室内模型実験を行ない調べた。その結果、圧縮性は、細礫のほうが砂より小さく、また緩詰め、気乾条件、正方積みにおいて大きいこと、せん断抵抗は、内部の土の種類よりも密度に関係すること、安息角は、千鳥積みが正方積みより大きい積上げ段数とともに低下すること、また壁体状態における摩擦特性は相対詰め率80～60%で最適な安定性が得られることなどが明らかとなった。

多段積み内包式ジオテキスタイルの安定性

日本大学理工学部 ○ 峯 岸 邦 夫
同 上 卷 内 勝 彦

1 はじめに

粒状体の基本特質に応力依存性があり、特に乱した非圧密状態の土は拘束応力なしには強度をほとんど発現しない。したがって古くから利用されてきた土嚢（sand-bag）や蛇籠（gabion）のような粒状材料を内包する形式の工法は、拡散防止、浸食防止および土塊の大きさを適宜調節出来ることによる運搬・施工の利便の効果だけでなく、内包した土の変形を抑制し拘束応力を付与することにより、その強度と力学的特性を向上させ土質構造物の安定化を図ることがもう一つの狙いといえる。実際、土留め斜面部や海中投棄による埋立て工法の安定補強などに使用されるケースも少なくない。また、最近では高強度で耐久性があり種々の表面性状をもつジオテキスタイル材料が出現している。こうした場合にはジオテキスタイルの引張り強度、伸び特性、摩擦特性も重要なファクターとなる。しかしながら現状ではこうした工法原理は主に経験的な知識によって利用されることが多く、力学的背景の考察は少ない。ここでは、内包式ジオテキスタイル（本文では以下ソイルバッグという）の基本特性を明らかにするため、千鳥または正方に積層した場合の圧縮特性、せん断抵抗性、斜面安定性、および土留め壁体部に用いた場合のジオテキスタイル間の摩擦効果について、室内模型実験により得た結果を報告する。

2 実験方法

(1) 圧縮試験

ソイルバッグの積み方（千鳥積み、正方積み）、ソイルバッグ内の土の密度（密詰め、緩詰め）、気乾条件と水浸条件が、ソイルバッグ積層体の圧縮特性に与えるそれぞれの影響を調べるため、図-1に示すような二次元小型土槽（幅 26 × 長さ 40 × 高さ 26 cm）で載荷実験を行なった。試料土には、豊浦標準砂（土粒子の密度 $\rho = 2.63 \text{ g/cm}^3$ ）および細礫（ $\rho = 2.76 \text{ g/cm}^3$ ）を使用し、ソイルバッグ（詰土前：長さ約 20 cm × 幅 5 cm）には、織布（実験-a）および不織布（実験-b）を用いた。圧縮沈下量は、各載荷段階で載荷開始24時間後に、載荷板の 6～10箇所を測定しその平均値を求めた。土を詰めた状態

図-1 圧縮試験装置 図-2 せん断試験装置

表-1 ソイルバッグの性質

試料名	詰め方	間隙比 e	密度 $\rho (\text{g/cm}^3)$
標準砂	緩詰め	1.37	1.25
	密詰め	0.90	1.41
細礫	緩詰め	1.29	1.24
	密詰め	0.98	1.41

図-3 安息角測定試験装置

のソイルバッグの間隙比および密度は、表－１に示すとおりである。

（２）せん断試験

せん断試験は、（１）と同じ試料の密詰めおよび緩詰め供試体を用いて、図－２のように千鳥積みの気乾条件で行なった。所定の垂直応力下で圧縮過程が終了した後、せん断過程として横方向からせん断変形を与え、力計の値（せん断力）と垂直変位を測定した。

（３）安息角試験

安息角試験は、（１）と同じ試料の密詰めおよび緩詰め供試体を用いて、図－３のように１段目の供試体は底板に接着剤で固定し、その上に段重ねしながら供試体を所定の段数を積み重ねた後に板を傾斜させて、積み上げた供試体が崩落し始めた際の傾斜角度を各段数とも10回測定し、その平均値を安息角とした。

（４）引抜き摩擦試験

引抜き摩擦試験には、ソイルバッグには市販の土嚢（織布）を使用し、土試料には木更津産の山砂（土粒子の密度 $\rho = 2.59 \text{ g/cm}^3$ ）を用いた。ソイルバッグに詰め込む山砂の密度の設定は、この山砂の最適含水比（ $w_{opt} = 17\%$ ）状態において、ソイルバッグに可能な限り最密充填したときを100%として、この最大質量（32.5 kg）を基準に、質量率90%，80%，70%，60%，50%の土を詰め供試体とした。実験を行なった供試体の質量と密度を表－２に示す。引抜き摩擦試験の方法は、図－４に示すように１段目を底板に固定し、その上に所定の段数まで、ずれが生じないように出来るだけ垂直に重ねた。引抜き試験は、３段目の供試体の中心部にロープで水平に引張り力を加え、積み上げたソイルバッグ全体が崩落するまで引張力を増加させた。２段目以上の各供試体の水平変位は、所定の引張り荷重段階ごとに測定した。

表－２ ソイルバッグの質量および密度

質量率(%)	土塊質量(kg)	土塊密度(g/cm^3)
100	35.2	1.28
90	31.2	1.13
80	28.2	1.02
70	24.6	0.89
60	21.1	0.76
50	17.6	0.64

図－４ 引抜き摩擦試験装置

３ 実験結果および考察

３－１ 圧縮試験

図－５は、実験－aの圧縮試験結果を、垂直応力と圧縮率 $\Delta h\%$ （圧縮変形量 $\times 100$ ／初期高さ）の関係で示したもので、垂直応力の増加につれて圧縮量が収れんする傾向がみられる。最終圧縮率を気乾条件と水浸条件に大別して示したのが図－６で、この図から、土の密度と積み方が同一条件で

図－５ 垂直応力－圧縮率の関係

は気乾条件が水浸条件よりも最終圧縮率が大きいといえる。ただし、載荷開始48時間以降の圧縮率 $\Delta h'$ には、図-7に示すように気乾条件と水浸条件の両者には差がほとんど見られないこ

図-6 圧縮率と期間条件と水浸条件の関係

図-7 圧縮率(48時間以降)と気乾条件と水浸条件の関係

図-8 圧縮率と緩詰-密詰の関係

とから、水浸条件におかれた供試体は、載荷初期において間隙水により粒子の再配列が促進され早期に安定化しているものと考えられる。すなわち一定以上

図-9 圧縮速度変動図(0~1時間)

図-10 圧縮速度変動図(0~1時間)

の垂直応力下では、気乾・水浸による圧縮傾向には大きな差はなく、垂直応力が支配的要因となる。

図-8は、最終圧縮率を緩詰めと密詰め条件に大別して示したもので、密詰め状態の試料は、気乾・水浸および積み方にかかわらず、緩詰め状態のものより明らかに圧縮しにくいことが分かる。したがって、施工後の圧縮量を押えるためには密詰めが望ましい。

図-6および図-7より、全体としては千鳥積みが正方積みよりも圧縮性が小さいことが分かる。実験-bの圧縮試験による圧縮速度(圧縮量/1時間)と垂直応力の関係を、気乾条件と水浸条件に分けてそれぞれ図-9および図-10に示す。両図から、気乾条件と水浸条件とも全般的にみて、細礫の場合が標準砂より圧縮速度が遅いことが分かる。これは粒度、粒形、間隙比が異なることによると考えられる。また、緩詰めと密詰め状態は垂直応力が小さい場合にはその圧縮速度に与える影響はないが、垂直応力が大きくなると圧縮速度が大きくなり、気乾条件の標準砂では間隙比が大きいいため特に高い。

3-2 セン断試験

図-11は、せん断変位が20mmのときの垂直応力とせん断応力の関係を示したものである。クーロンの

摩擦則に準じて、垂直応力とせん断応力の関係に直線近似が成立し、いずれの場合も摩擦係数はほぼ等しい。ただし、細礫および標準砂ともに、密詰め条件でせん断応力が大きくなっている。これは密詰めすることによってソイルバッグ表面間における織布の絡み合いが増し見掛けの粘着的成分が発現するものと考えられる。

図-11 せん断力-垂直力関係図 (気乾・千鳥)

3-3 安息角試験

図-12および図-13は、実験-aとbによる安息角試験結果を示したものである。いずれの場合も、積み上げ段数が増えるに従って安息角は低下する。また、千鳥積みは、土塊と土塊の間に積み重ねを行なうため接触面積が増え摩擦力が大きくなる。したがって気乾・水浸条件および土の密度にかかわらず、正方積みよりも明らかに安息角は大きく安定していることが分かる。図-13をみると、細礫の場合が標準砂より安息角が大きいのは、せん断試験結果で述べたようにソイルバッグ間の見掛けの粘着力が細礫の方が上回っているためと考えられる。

図-12 積み上げ段数-安息角の関係

図-13 積み上げ段数-安息角の関係 (気乾)

3-4 引抜き摩擦試験

最密充填状態 (100 %) の供試体の場合を例に、この試験で引抜きが行なわれる3段目の供試体の引張り力と変位量の関係を図-14に示す。この図から分かるように、引張り力が増えるにつれて次第に変位量が増加し、崩壊する直前には最大変位量を示す。また、3段目の供試体に加わっている鉛直全荷重Pが増加するにつれて、ソイルバッグ積層体は剛性化し変位量は小さくなる。ここには図示していないが、他のすべての質量率 (供試体密度) の場合においても、同様の傾向を示す。

図-15は、各積み上げ段数ごとにおける、崩壊時における引張り力 T と質量率（供試体密度）との関係である。この図から、供試体密度が60～70%付近の範囲で引張り力は最大を示し、それよりも供試体密度が増加または減少することにより、最大引張り力は低下し、その影響傾向は図において凸型を示す。すなわち最大の引抜き抵抗を得る最適供試体密度が存在することを意味している。

図-16および17は、クーロンの摩擦則に基づく引張り力と荷重の関係から水平変位ごとに算定された粘着力 c およびせん断抵抗角 $\tan \phi$ と質量率の関係を示したものである。これらの図からいずれの質量率（供試体密度）においても変位量が4mm～5mmのときに大きいせん断抵抗角 ϕ の値を得ている。また変位量が小さいときには密詰めの方がせん断抵抗角は若干大きい。これは山砂をソイルバッグに密に詰め込む場合は、山砂がジオテキスタイルに食い込み、噛み合わせが生じて、滑りが生じにくくなるものと考えられる。ところで、引抜き抵抗には最適供試体密度が存在することを上述したが、質量率が70%以上、または60%以下のソイルバッグの安定性が低下するというのではなく、質量率が下がるにつれてジオテキスタイル間の接触面積が増えるので、粘着力 c は質量率70%を例外とすれば60%をピークとして大きくなる。

3段目以上の上載荷重（供試体の鉛直全荷重）が880N～1080Nの範囲において、質量率（供試体密度）と崩壊時の2断面と3断面の水平相対変位（それぞれ d_{23} 、 d_{34} ）の関係を示したのが図-18である。この図から、質

図-14 引張り力-3断面変位量関係(100%)

図-15 崩壊時の引張り力-質量比関係

図-16 粘着力成分-質量比関係

図-17 せん断抵抗角-質量率関係

質量率（供試体密度）が低くなるほど相対変位量は大きく、また引拔けを起こしている変位差 d_{23} が変位差 d_{34} よりも全般的に大きいのが分かる。

4 あとがき

多段積み内包式ジオテキスタイルの圧縮特性、せん断抵抗性、安息角、壁体部における摩擦特性に及ぼす積み方（千鳥積み、正方積み）、土の密度（密詰め、緩詰め）、気乾条件と水浸条件、織布と不織布、内部の土の種類などの影響を室内模型実験を行ない基礎的事項を調べた。その結果を要約すると下記の通りである。

- 1) 積層した内包式ジオテキスタイルの圧縮性は、一定以上の垂直応力下では、気乾または水浸条件による圧縮傾向には大きな差はなく、垂直応力が支配的要因となる。
- 2) 密詰め供試体の圧縮性は、気乾・水浸条件および積み方にかかわらず、緩詰め状態のものより小さい。
- 3) 千鳥積みの圧縮性は、正方積みのものよりも小さい。
- 4) 細礫を詰めた供試体の圧縮速度は、気乾・水浸条件ともに標準砂より遅い。
- 5) 積層した内包式ジオテキスタイルのせん断特性は、クーロンの摩擦則に準じて直線近似が成立し、いずれの条件でも摩擦係数がほぼ等しい。
- 6) 積み上げ段数が増えるに従って安息角は低下する。
- 7) 千鳥積みの安息角は、気乾・水浸条件および土の密度にかかわらず、正方積みよりも大きい。
- 8) 細礫を詰めた供試体の安息角は、標準砂の場合より大きい。
- 9) 上載荷重が増えると多段積み内包式ジオテキスタイルは剛性化し、変位しにくくなる。
- 10) 質量率（供試体密度）が60～80%において、引抜き崩壊時の引張り力は最も高い値を示す。
- 11) 質量率が低いほど（緩詰め）、引抜き試験崩壊時の変位は大きい。

以上のことから、多段積み内包式ジオテキスタイルの圧縮性は、密詰め・千鳥積み・角張った粒子が適し、摩擦特性は、総合的にみて質量率（供試体密度）60～80%が安定し最適といえる。なおここでは触れなかったが、上述したような特性を踏まえた上で、多段積み内包式ジオテキスタイルの安定解析の一方法として示力線方程式が利用できよう。

【参考文献】

- 1) 土質工学会編：補強土工法、1986.
- 2) R. Veldhuijzen van Zanten (Ed.): Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, Balkema, 1986.

図-18 崩壊時の3段階土囊の相対変位