

土とジオファブリック間の摩擦特性

FRICTION PROPERTIES BETWEEN SOILS AND GEOFABRICS

山岡一三*・西形達明**

By Ichizou YAMAOKA and Tatsuaki NISHIGATA

In this study, the two types of test, direct shear and pull-out test, are used to evaluate the frictional resistance between geofabrics and cohesionless and cohesive soils. The results from the direct shear tests show that the friction angle between geofabric and soil depends on the soil particle size, and when the soil particle size is smaller than surface roughness of geofabric, the friction angle is almost equal to the value of soil itself. In the pull-out test, the distributions of shear stress acting on geofabric are not uniform, and the effective shear area decreases with increasing the normal stress. It is clarified that the friction properties obtained from pull-out test are equal to the results of direct shear test by means of considering the decrease of effective shear area.

Keywords: geotextile, friction, reinforced earth

1. はしがき

ジオテキスタイルの基本的な機能には補強、分離、排水氾濫の3種類が挙げられているが、中でも補強機能が最も注目されることである。この方面への適用法には盛土や軟弱地盤の補強など非常に幅広いものがある。この場合、ジオテキスタイルの大部分は土中に埋設して使用されるため、その機能と挙動を検討するには、地盤材料と間の相互作用について明らかにしておく必要がある。特に土構造物における引張り補強材として使用する場合には、補強領域内に発生した引張り応力をジオテキスタイルと土との接触面に作用するせん断応力としてジオテキスタイルに伝達させて補強効果を得ることを目的としている。したがってジオテキスタイルと土との摩擦特性はその補強機能と密接な関係を有しており、現実の設計にも欠かすことのできない要因となっている。

土と一般の土木材料ととの間の摩擦特性については以前より研究がなされており¹⁾、試験法には一面せん断試験法が主に用いられているようである。ジオテキスタイル表面の摩擦特性については Myles²⁾ および Ingold³⁾ らが

大型の一面せん断試験機を用いて検討を加えており、またわが国では宮森ら⁴⁾が不織布を用いて同様の一面せん断試験法により研究を行っているが、いずれも土試料は単一の砂を対象としたものである。もう1つの代表的な試験法としては引抜き試験法があり、本方法を使用したものには、やはり Ingold^{5),6)} によるジオグリッドと砂および粘土との間の摩擦特性に関する研究がある。本来、引抜き試験法はジオグリッドの摩擦抵抗の測定のために用いられたものであるが、引抜き時に生じるジオグリッドの伸び変形のため、試料面に作用するせん断応力分布が一様とはならず、本試験法の結果から摩擦特性を直接把握することは困難である。そこで林・山内ら⁷⁾が、同様にジオグリッドを対象として、引抜き時のグリッド面内の変位分布を測定することによってせん断応力分布形状を求め、これより引抜き時の挙動について考察している。しかし本方法をジオグリッドに比べて強度特性の低い織布、不織布とよばれるジオファブリックに対して用いると、その挙動も異なってくるものと考えられる。

そこで本研究では一面せん断試験法によって、織布、不織布試料と、粒径の異なる非粘性土および粘性土との間の表面摩擦特性について全般的な検討を加える。さらに引抜き試験法によって、ジオファブリックの引抜き時の挙動と摩擦特性について考察し、一面せん断試験の結

* 正会員 工博 関西大学教授 土木工学科
(〒564 吹田市山手町 3-3-35)

** 正会員 工修 関西大学助手 土木工学科 (同上)

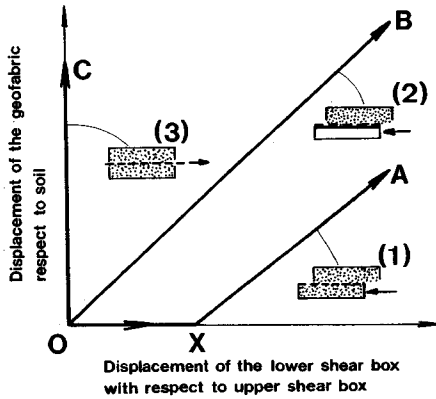


Fig. 1 Graphical representation of soil-geofabric friction tests.
 (1) Direct shear test. (Geofabric is unrestrained.)
 (2) Direct shear test. (geofabric is restrained.)
 (3) Pull-out test.

果と比較を行うことにする。

2. 摩擦試験法

ジオファブリックと土との摩擦試験法の概念を Giroud によって示された表示法³⁾によって表わしたものが Fig. 1 である。この図はジオファブリック試料を下箱に固定してせん断試験を行った場合を基準としたもので、縦軸にファブリック試料面と上せん断箱の試料土との間の相対的なせん断変位量と取り、横軸には上下せん断箱の相対変位量をとって、それぞれの試験法における実験時の変位経路を表わしたものである。

一般にジオファブリックの摩擦試験を一面せん断試験法により行う場合には、Fig. 1 の (1) のように上下のせん断箱に試料を入れ、間にファブリック試料を設置してせん断を行う方法が最も自然であると考えられる。しかし従来の土木材料に比べてジオファブリックの強度特性が著しく低いことから、この方法によるとせん断試験の開始時にファブリック試料中に生じる局所的な伸び変形のために、この部分では試料土との間にせん断変位が生じないことや (Fig. 1 の OX 部分)、ファブリック試料の両面でせん断変位が生じるため、正確なせん断変位量を抽出することが困難である。このため (2) のようにファブリック試料を鋼板等の剛な板に貼り付け、伸び変形を拘束して片面だけのせん断試験を行う方法が取られることが多い^{3), 4)}。こうすることによって、ジオファブリックの表面性状による摩擦特性を重点的に考察することができる。

次に Fig. 1 の (3) は引抜き試験法の状態を示しているが、本試験法は前述したようにジオグリッド系のジオテキスタイルに対して多く用いられている。これはジオグリッドの摩擦特性の発生機構が直接せん断時の表面摩

擦より、引抜き時に格子部に作用する土の受動抵抗に起因しているためである⁹⁾。さらに本試験方法は、現実の補強盛土等におけるジオファブリックの挙動を模擬化したものとも考えられるため、引抜き時のジオファブリック内の引張り力分布、あるいはその表面に作用するせん断応力の分布形状も興味の対象となる。またその挙動は対象とする土の性質やジオファブリックの表面性状だけではなく、強度特性にも関係していることから、本試験方法は補強機能中のジオファブリックの挙動を理解するうえで非常に重要な方法であると考えられる。

3. 実験装置と試料

本研究において使用した実験装置を Fig. 2 に示す。これは汎用の一面せん断試験機を大型化したもので、その構造や機能は全く同じものである。上せん断箱の大きさは深さ 70 mm で、長さ、幅とも 316 mm の正方形となっており、下箱駆動式で全体で 0.1 m² のせん断面積を有している。ただし実験中のせん断面積の減少を防ぐために、下箱は上箱より 60 mm 長くされている。また一面せん断試験では、Fig. 1 の (1) の方法による場合には、

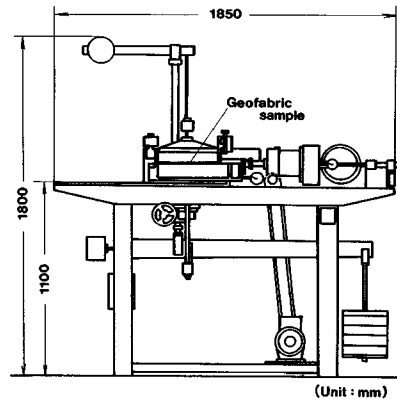


Fig. 2 Test apparatus.

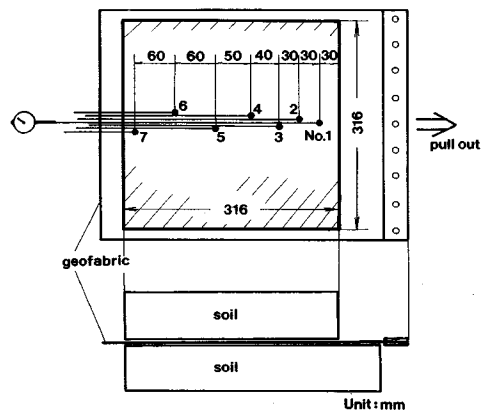


Fig. 3 Geofabric sample for pull-out test.

Table 1 Properties of geofabrics.

Samples	Type of geotextile	Material	Thickness (mm)	Tensile strength (kgf/cm)	Tensile modulus (kgf/cm)	Rigidity (gf-cm)	Rmax (μm)	Opening size (μm)
Non-woven-A	Heat-bond	Polyethylene	0.74	7.2	26.0	35.2	210	64
Non-woven-B	Needle-punch	Polyester	2.46	16.7	25.8	20.3	320	—
Woven-A	Multifilament	Polyester	0.56	51.1	509.0	12.1	140	95
Woven-B	Monofilament	Polypropylene	0.77	36.8	118.0	18.3	430	480
Woven-C	Monofilament	Polypropylene	0.40	30.7	151.0	10.8	180	140

下せん断箱に試料土を入れ、鋼製のフレームによって周辺部を固定したファブリック試料を下箱に取り付けた後、上箱に試料土を投入した。次に(2)の方法による場合にはファブリック試料を貼り付けた鋼板を下箱に固定した後、試料土を上箱だけに入れた。またすべての実験においてせん断速度は1 mm/minとした。

引抜き試験ではファブリック試料中のせん断変位分布を把握するために、林・山内ら⁷⁾の研究に倣い Fig. 3 に示すように試料中の各部分(7か所)に固定したピアノ線を真鍮管を通して試料後部に取り出し、これに変位計を接続して内部の変位状況を調べることにした。また引抜き速度は1 mm/minとしたが、これには試料のグリップ部からせん断箱に至るまでの間のファブリック試料の伸び変形が含まれるため、実際のせん断速度は1 mm/min より小さくなるものと思われる。

次に実験に使用したジオファブリック試料は Table 1 に示すように、それぞれ製造法の異なる不織布および織布である。不織布Aはヒートボンド法による白色の布であり、厚さは薄いのが剛性(Rigidity)が比較的高い。不織布Bはニードルパンチ製で厚さが厚く、引張りに対する変形係数が低いのが特徴である。マルチフィラメント製の織布Aは、試料の中で最も高い引張り強度特性を有している。次に織布Bと織布Cはともにモノフィラメント製であるが、織布Bはメッシュタイプであるため他のものに比べて開孔径が大きく、見掛けの表面粗度は最も大きい。一方織布Cの繊維形状は扁平であるため、同じモノフィラメントではあるが、外見は織布Bと大きく異なっている。

以上のジオファブリック試料の表面性状を定量的に把

握するために、JIS B 0601(表面粗さの定義と表示)に示された方法に従って、それぞれの試料の表面形状を測定した結果が Fig. 4 に示されている。ただしこれらの結果はいずれもファブリック試料面に垂直応力が作用しない状態にあるときのものである。また JIS による表面粗さの表示法には、試料表面の粗さの程度によって定められた基準測定長さ中に存在する凹凸の最大高さで表わす方法や、凹凸の中心線と表面形状によって囲まれる面積を基準測定長さで割って求める中心線平均粗さなどがある。本研究では物理的な意味が最も簡明な、測定区間中の最大高さ(R_{max})で表示することにし、その測定結果が Table 1 に示されている。Fig. 4 より不織布の表面は明らかに不規則な形状をしており、不織布Aの表面には100~200 μm の凹凸が数多く存在している。また不織布Bの R_{max} が320 μm と大きくなっているが、ニードルパンチ製の布構造は非常に柔軟性が高いことから、応力の作用時には表面形状が容易に変化するため、現実にはこれほどの表面粗さはないことも予想される。織布は、いずれも規則的な表面形状を有しており、織布Aは約150 μm 、織布Cでは200 μm 程度の凹凸が規則的に存在するが、織布Cでは繊維形状が扁平であるため、表面形状には平坦な部分が多くなっている。織布Bはメッシュタイプであるため、400 μm 以上の非常に大きい凹凸形状を有している。

使用した試料土の諸性質を、Table 2 に示す。非粘性

Table 2 Properties of soils.

Soil sample	D_{50} (mm)	ϕ (degree)	c (kgf/cm ²)	Consistency w_L, w_p (%)
Gravel (10~20mm)	15.0	47.3	0.0	—
Gravel (5~10mm)	7.5	43.2	0.0	—
Sand (<5mm)	0.7	35.0	0.0	—
Toyoura sand	0.2	32.8	0.0	—
Silty sand	0.06	29.7	1.05	41.0, 27.4
Kaoline clay	0.008	19.2	1.25	44.5, 23.3

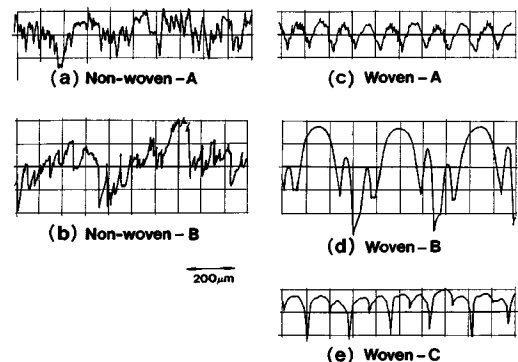


Fig. 4 Surface roughness of geofabric samples. (1 division=100 μm)

土には乾燥状態にある粒径の異なる4種類の細骨材および粗骨材を用いており、ここで5 mm以下の砂とは、市販の砂のうち5 mmふるいを通したものを試料としたものである。これらの試料の作成時には締固めは行わず、自然にせん断箱に投入した状態で実験を行った。次に粘性土としては、シルト質砂とカオリン系の白色粘土を使用し、これらについては最適含水比に調節した後、せん断箱の中で3層に分けて締固めを行うことによって試料とした。

4. 一面せん断試験結果

ジオファブリックの表面の摩擦特性を支配する要因は、開孔径も含めた布面の表面形状であると考えられる。ただし Table 1 に示したように、通常のマルチフィラメント織布やヒートボンド不織布では非常に開孔径が小さく、特にニードルパンチ不織布では開孔径そのものの定義にすら不明な点が残されていることから、このようなジオファブリックでは開孔径の直接的な影響は除外しても差し支えないものと思われる。そこで前述したような布面の表面形状による影響を重点的に考察することになるが、これにはジオファブリックの変形を拘束した試料による一面せん断試験 (Fig.1 の方法 (2)) が有効な方法になる。そこで実験結果の一例として Fig.5~8 に

それぞれの試料土と各ジオファブリック試料との間の垂直応力と最大せん断応力との関係を示す。Fig.5, 6の非粘性土における実験結果をみると、標準砂のように粒径の小さい骨材では各ジオファブリック間の摩擦特性の差はほとんどなく、また骨材自身のもつせん断特性とも大きく異なることがわかる。しかし骨材粒径が大きくなると (Fig.5), 特に織布において各ファブリック試料間の差が大きくなるようである。これは前述したように使用した3種類の織布試料の表面性状がそれぞれ異なっており、また一般に織布は不織布に比べて、布の表面構造の安定性が高く、せん断応力の作用時にも表面形状が変形しにくいいため、その差が摩擦特性に直接影響を及ぼしたものと考えられる。すなわちメッシュタイプのモノフィラメントである織布Bのせん断強度が最も高くなっており、同じモノフィラメントであっても繊維形状が偏平な織布Cが最も低い値を示している。このように骨材粒子径が大きくなると、骨材自身のもつ値に比べてジオファブリック表面の摩擦抵抗の低下が著しくなる傾向がみられる。これはジオファブリックの存在によって、骨材粒子間のインターロッキングによる摩擦抵抗が妨げられることや、骨材粒子径が大きくなるとファブリック試料面と骨材との有効な接触面積が減少するなどの原因が考えられる。さらにこのような要因が助長されたのは、

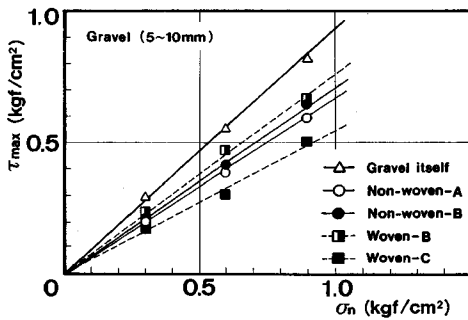


Fig.5 Results of direct shear test between geofabrics and gravel (particle size, 5~10 mm).

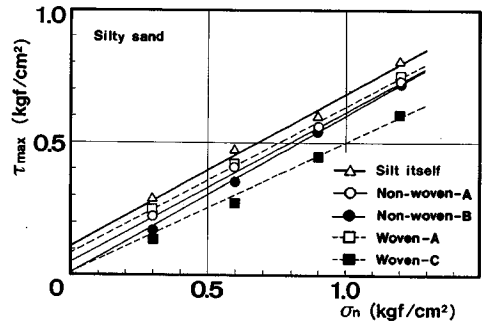


Fig.7 Results of direct shear test between geofabrics and silty sand.

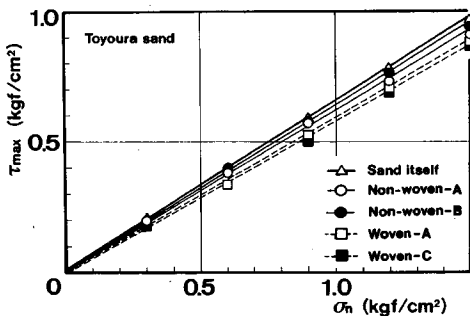


Fig.6 Results of direct shear test between geofabrics and Toyoura sand.

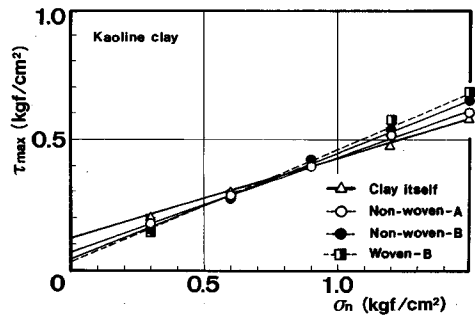


Fig.8 Results of direct shear test between geofabrics and kaoline clay.

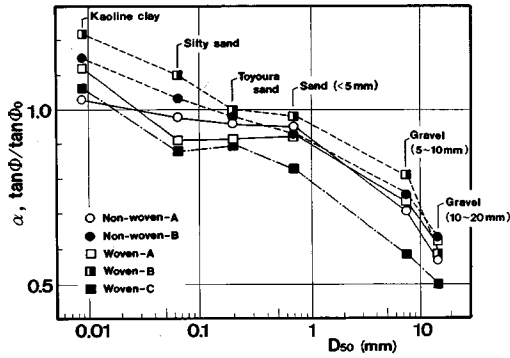


Fig. 9 Effect of soil particle size on friction angle between soil and geofabrics (Geofabric samples are restrained. Test method (2) in Fig.1).

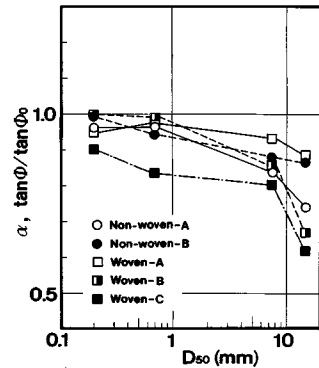


Fig. 10 Effect of soil particle size on friction angle between soil and geofabrics (Geofabric samples are unrestrained. Test method (1) in Fig.1).

ファブリック試料を鋼板に貼り付けることによってジオファブリックの変形を拘束したことが影響を及ぼしているものと思われるが、この点については後で考察を加えることにする。

次に Fig. 7, 8 の粘性土の結果についてみると、シルト質砂の場合では摩擦角はほとんど低下せず、一部のジオファブリックではわずかながらも増加する傾向さえうかがえる。これが粘土になると、いずれのジオファブリックでも粘土自身の摩擦角より大きい値を示している。一方、粘着力については定量的な考察は行っていないが、土自身のもつ値と比べると明らかに低下しており、特にシルト質砂においてはほとんど粘着力は発揮されないようである。

以上の摩擦角に関する結果をまとめるために、それぞれのジオファブリック試料について、各試料土の平均粒径 (D_{50}) と摩擦角の低減係数 ($\alpha = \tan \phi / \tan \phi_0$, ϕ : ジオファブリックと土の間の摩擦角, ϕ_0 : 土自身の摩擦角) との関係を示したものが Fig. 9 である。さらに Fig. 10 には、上下のせん断箱に試料土を入れ、ジオファブリック試料を鋼板に貼り付けず、自由な変形が生じるようにした試験法 (Fig.1 の (1) の方法) による結果が記されている。

一般に土とジオファブリック間の摩擦特性としては低減係数の値は種々の実験結果から 0.8~0.9 の範囲にあるといわれている。本研究においてもほぼ同程度の結果が得られているが、いずれも α の値はジオファブリックの種類や土の粒径によって異なっていることがわかる。すなわち Fig. 9 に示されたファブリック試料の変形を拘束した場合の実験結果より考察すると、平均粒径が 1 mm 以下の砂では、不織布やメッシュタイプのモノフィラメント織布 (Woven-B) では α の値は 0.9 以上となっており、マルチフィラメント織布 (Woven-A) や繊維形状の偏平なモノフィラメント (Woven-C) で

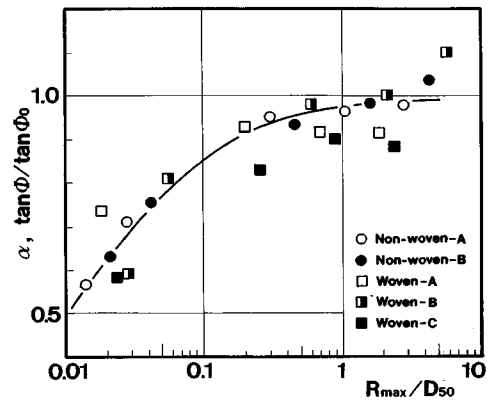


Fig.11 Effect of surface roughness of geofabrics on friction angle.

は 0.9 程度になっている。またこれらのファブリック試料では、Fig. 9 と Fig. 10 の 2 つの試験法の結果を比較してもほぼ等しい結果が得られている。しかし平均粒径が 15 mm のように大きい骨材については、Fig. 9 の結果では不織布の α の値は 0.6~0.7 であり、モノフィラメント織布 (Woven-B, C) では 0.5~0.6 と非常に低い値となっているのに対して、Fig. 10 では不織布で 0.7~0.9、モノフィラメント織布で 0.6~0.7 となっており、ファブリック試料の変形を拘束しない一面せん断試験法では、対象とする土の粒径が大きくなると高い摩擦特性を与えることがわかる。すなわち骨材粒径が大きくなるとジオファブリックの表面摩擦だけでなく、ジオファブリックに骨材粒子形状に沿った変形が生じた結果、インターロッキング作用が助長されたものと考えられる。これにはジオファブリック自身の剛性 (Rigidity) が関係しているものと考えられる。すなわち Fig. 10 の平均粒径 15 mm の結果をみると、ニードルパンチ不織布 (Non-woven-B) およびマルチフィラメント織布 (Woven-A) の α の値が約 0.9 と Fig. 9 の結果に比べ

て非常に大きくなっている。このように剛性の低いジオファブリック (Table 1 参照) では表面摩擦だけではなく、現実には骨材粒子形状に沿った変形が生じやすいことから、これによる摩擦抵抗が大きくなることも考慮する必要がある。

粘性土では前述したように、 α の値はシルト質砂で 0.9~1.1, 粘土で 1.0~1.3 と大部分のジオファブリックで 1 より大きい値を示しており、同様の結果が Koerner ら¹⁰⁾の研究にも一部示されている。しかしこれらの結果は、粘性土試料が最適含水比状態であったことや、現実にはジオファブリックの埋設直後からその補強効果に期待しなければならぬことが多いことを考えに入れて、試料作成直後に実験が行われたものであることを考慮する必要がある。すなわち時間の経過とともに生じるとされる土とジオファブリック間の馴染みなどを除外しているため、作成試料が十分な有効応力状態には至っていない。このような条件下での挙動については、今後検討を重ねる必要があろう。

次にジオファブリックの表面粗さ (R_{max}) と摩擦角と土の平均粒径との相対的な関係が、その摩擦特性に及ぼす影響を調べたものが Fig. 11 である。ただし、この図には粘着力の影響の大きい粘土試料の結果は省かれている。これより α と R_{max}/D_{50} の間にはジオファブリックの種類に関係なく、ほぼ一定の関係が得られており、

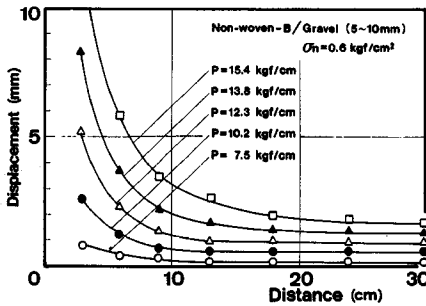


Fig. 12 Distributions of pull-out displacement in geofabric sample.

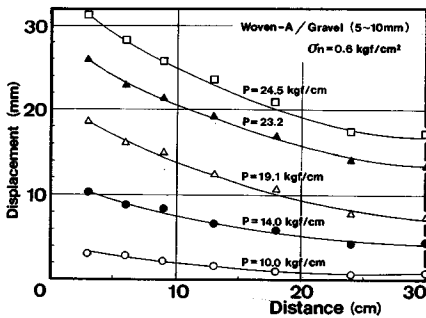


Fig. 13 Distributions of pull-out displacement in geofabric sample.

R_{max}/D_{50} の値が 1 より大きくなると、 α は 1 付近の値となっている。すなわち非粘性土の場合、ジオファブリックの表面粗さが土の粒径より大きくなると、せん断面はジオファブリックと土との境界面ではなく、その近傍の

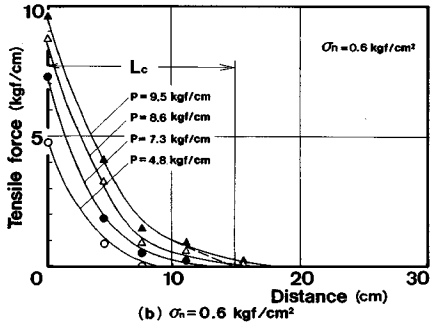
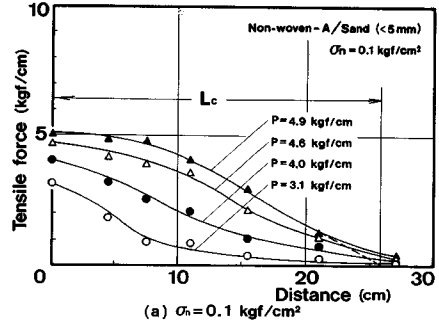


Fig. 14 Distributions of tensile force in geofabric sample.

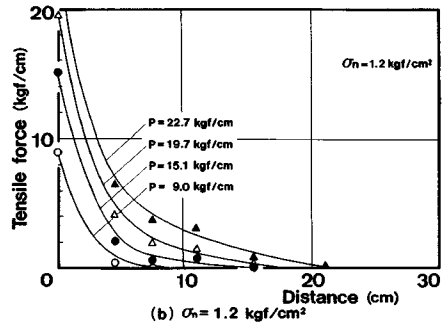
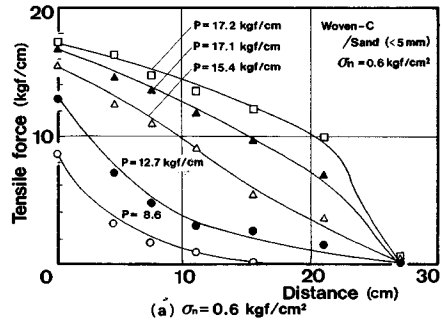


Fig. 15 Distributions of tensile force in geofabric sample.

土部分で主に生じることを示している。また R_{max}/D_{50} の値が1より小さくなるにつれて α は低下していくことから、この領域で本来のジオファブリックと土との間の摩擦特性が現われ始めるものと考えられる。

5. 引抜き試験結果

引抜き試験では Fig. 3 に示したような方法でファブリック試料内の各点の水平変位量を測定した。これより各測点間の引張りひずみ量を求め、あらかじめ行った引張り試験の結果から、おのおののひずみ量に相当する引張り力 (単位幅当たりの引張り力) を推定することにした。

各ジオファブリック試料における引抜き試験の結果の一例として、5~10 mm の砂利の場合について、各引抜き力 (P) が作用したときのファブリック試料内の変位量分布を示したものが Fig. 12, 13 である。これより引張り変形係数の低い不織布と変形係数の高い織布とでは、その挙動に大きな差があることがわかる。すなわち不織布では引抜き力の増加とともに、引抜き力の作用点に近いところでは大きい変位が生じているが、試料後部では変位が拘束された状態になり、ジオファブリック自身の引張り破壊の様相を示している。一方、織布Aでは最大引抜き力に近くなると、試料全体にわたってほぼ等しい変位が生じており、いわゆる引抜き破壊の状態を呈している。

このように引抜き試験によって、土構造物に使用された場合のジオファブリックの代表的な破壊形態を明確に知ることができる。さらに両破壊形態のどちらが発生するかについては、ジオファブリックと土との摩擦特性もさることながら、ジオファブリック自身のもつ強度特性と作用する垂直応力の大きさが大きく影響するものと考えられる。

そこで Fig. 14, 15 に不織布Aおよび織布Bについて、それぞれの垂直応力下における試料内の引張り力分布が示されている。いずれの試料においても垂直応力の低い

場合にはファブリック試料の後部まで引張り力が発生しているが、垂直応力が増加すると引張り力の発生領域が短くなっていることがわかる。さらに引張り力の分布曲線の勾配がファブリック面と試料土との間に作用するせん断応力であることを考えると、特に垂直応力の低い場合において、引抜き力の増加に伴い試料前部のせん断応力が低下し、しだいに試料後部のせん断応力が増加していく傾向がみられる。ジオグリッドを用いて引抜き摩擦試験を行った林・山内⁷⁾らによっても同様のことが指摘されている。

次にジオファブリック間の結果の相違についてみてみると、引張り変形係数の低い不織布ほど引張り力の発生領域の減少が著しくなっている。試料後部の引張り力が作用しない部分では、ファブリック試料の引抜き力によるせん断変位が拘束されており、この部分ではせん断応力が作用せず、結果的に有効なせん断面積が減少していることになる。Fig. 16 は 5 mm 以下の砂の場合の引抜き試験と一面せん断試験の結果を比較したものであるが、引抜き試験結果の最大せん断応力はファブリック試料の両面に作用することを考慮して、最大引抜き力を試料の全面積の2倍 ($0.1 \text{ m}^2 \times 2 = 0.2 \text{ m}^2$) で割ることによって求めたものである。明らかに引抜き試験による最大せん断応力は、一面せん断試験の結果に比べて低い値

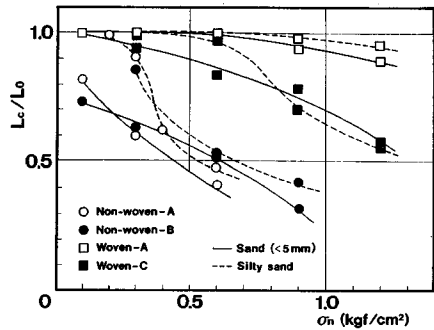


Fig. 17 Variations of effective shear length with normal stress.

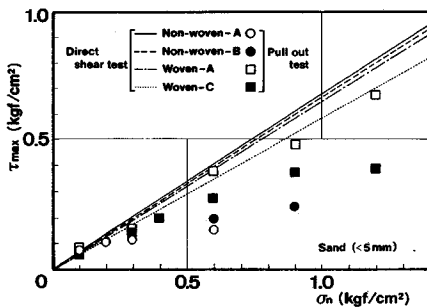


Fig. 16 Comparison between the results of pull-out test and direct shear test.

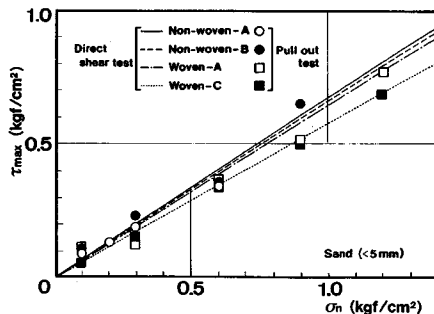


Fig. 18 Results of pull-out test considering the reduction of shear length.

を示している。引抜き試験法を用いた既往の研究結果^{3), 5)}をみても、同様の結果が示されているが、これは前述したように有効せん断面積が減少しているにもかかわらず、せん断面積を試料の全面積と仮定してせん断応力が求められていることが原因しているものと考えられる。

そこで Fig. 14 の中の破線で示されるように、試料中の引張力が 0 となる点を近似的に求め、試料前部よりこの点までの長さを有効せん断長さ (L_c) として決定し、 L_c/L_0 (L_0 : 全試料長さ = 31.6 cm) と垂直応力との関係を各ジオファブリック試料について調べたものが Fig. 17 である。これより引張り変形係数の低い不織布では垂直応力が約 0.3 kgf/cm² を超えると、引抜き時のせん断長さは急激に低下して、10 cm 程度になり、モノフィラメント織布でも垂直応力が 0.6 kgf/cm² を超えると、急に減少が始まることになる。すなわちジオファブリックによる補強盛土の設計において、ジオファブリックの敷設長の決定が重要な項目の 1 つとされているが、Fig. 17 の結果から考えると、強度特性の低い不織布では引抜き破壊に対しては、敷設長はそれほど長いものを必要とせず、ジオファブリック自身の引張り破壊に対する検討が第一であり、敷設長については補強領域全体としての安定化あるいは一体化の観点から決定されるべきであると考えられる。

次に Fig. 17 に示された有効せん断長さ (L_c) を用いて、試料中の有効せん断面積を $L_c \times$ 試料幅 (31.6 cm) として、最大せん断応力を計算しなおしたものが Fig. 18 である。この結果、引抜き試験の結果は一面せん断試験によるものとほぼ一致することがわかる。すなわち一面せん断時でも引抜き時でも、ジオファブリックの摩擦特性には変化はないことを示している。したがってジオファブリックと土との間の摩擦特性を把握するには、基本的には一面せん断試験法によるべきであり、引抜き試験法はジオファブリックの機能時の挙動を知るための試験法であるといえることができる。

6. ま と め

本研究ではジオファブリックと土との間の摩擦特性について、一面せん断試験と引抜き試験の両面から検討を加えたが、得られた結果をまとめると次のようである。

(1) ジオファブリックと非粘性土との間の摩擦角の低減係数 (α) の値は土の粒径によって異なり、粒径の大きい骨材の場合にはジオファブリックの種類によっても若干異なるが、0.6~0.8 の範囲にある。骨材粒径が小さくなると、低減係数は 0.9~1.0 と骨材自身のもつ値とほぼ等しくなる。これは低減係数が、ジオファブリックの表面粗さと骨材の粒径の比 (R_{max}/D_{50}) に関係しており、この比が 1 あるいはそれ以上になると、低減係数

は 1 付近の値を取ることに関連している。すなわちこの場合のせん断面は土とジオファブリックの境界面ではなく、その近傍の土中に生じることを示唆している。

(2) 粘性土における摩擦角の低減係数は本研究では 1.0~1.2 と土自身の値を上回る結果が得られ、これは危険側の結果を与えることから、今後、試料土の飽和度等を変えた試料による検討が必要と思われる。

(3) 引抜き試験の結果から、ジオファブリック自身の引張り破壊と、ジオファブリックの引抜きによる破壊の 2 つの破壊形態を明確に知ることができる。これより比較的強度の低い不織布では、前者の破壊形態に対する検討が重要であり、後者の破壊に対して必要な敷設長はそれほど長いものではない。

(4) 土とジオファブリックの間の摩擦特性は、一面せん断時と引抜き時とで変わるものではない。しかし今回用いた一面せん断試験法を要素試験と考えるならば、引抜き試験法はモデル試験的な意味をもつものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) Potyondy, J.G. : Skin friction between various soils and construction materials, *Geotechnique*, Vol. 11, pp. 339~353, 1961.
- 2) Myles, B. : Assessment of soil fabric friction by means of shear, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, pp. 787~791, 1982.
- 3) Ingold, T.S. : Some observation on the laboratory measurement of soil-geotextile bond, *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, Vol. 5, No. 3/4, pp. 57~67, 1982.
- 4) 宮森建樹・岩井茂雄・巻内勝彦 : ジオテキスタイルと砂の摩擦抵抗について, 第 30 回土質工学シンポジウム発表論文集, pp. 59~62, 1985.
- 5) Ingold, T.S. : Laboratory pull-out testing of grid reinforcements in sand, *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, Vol. 6, No. 3, pp. 101~111, 1983.
- 6) Ingold, T.S. : A laboratory investigation of grid reinforcement in clay, *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, Vol. 6, No. 3, pp. 112~119, 1983.
- 7) 林 重徳・山内豊聡・落合英俊・孫 純屏 : 土中におけるポリマーグリッドの引抜き抵抗機構, 土と基礎, Vol. 33, No. 5, pp. 21~26, 1985.
- 8) Giroud, J.P. : Introduction to geotextiles and their applications, First Canadian Symposium on Geotextiles, pp. 3~33, 1980.
- 9) Jewell, R.A. and Dubois, D. : Interaction between soil and geogrids, *Polymer Grid Reinforcement*, Thomas Telford Limited, London, pp. 18~30, 1985.
- 10) Koerner, R.M., Martin, J.P. and Koerner, G.R. : Shear strength parameters between geomembranes and cohesive soils, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 4, No. 1, pp. 21~30, 1986.

(1988. 3. 24・受付)