ジオテキスタイルの引き抜き摩擦試験

関西大学工学部 ○西形 達明

関西大学工学部 山岡 一三

1. まえがき

ジオテキスタイルの土木工学における適用法には非常に幅広いものがあるが、なかでも補強機能が最も注目されているようである。補強機能に関与するジオテキスタイル自身の工学的性質としては、引張強度、変形係数、剛性などが挙げられるが、大部分が土中に埋設して使用されることから、周辺土との力学的な相対関係、すなわちジオテキスタイルと土との摩擦特性が非常に重要であり、また現実の設計においても欠かすことのできないパラメタであると考えられる。この摩擦特性の測定方法としては主に一面せん断試験法が使用されているが^{1)・2)}、グリッド系のジオテキスタイルを対象として引き抜き試験法を用いた研究報告がなされている^{3)・4)}。そこで本研究では変形係数の異なる4種類のジオテキスタイル試料を用いて引き抜き試験を行い、引き抜き時に生じるジオテキスタイルの伸び変形の影響等について考察する。また一面せん断試験法による結果と比較することにより、引き抜き試験法の結果の特性について検討を加えることにする。

2. 一面せん断試験法と引き抜き試験法

通常ジオテキスタイルの摩擦試験を一面せん断試験法により行う場合には、上下のせん断箱に試料土を入れ、間にジオテキスタイル試料を設置してせん断する場合と、ジオテキスタイルを鋼板に貼付けて片面のみでせん断試験を行う場合の2つの方法が取られている。これらの方法の実験時における変位経路をGiroudが用いた表示法を用いて表すと図-1のようである。第一の方法(直線OXA)では試料の状態は図-2(a)ようになり、最も現実的な方法であると考えられるが、せん断初期のジオテキスタイルの変形(OX)や、上下面におけるそれぞれのせん断変位量を分離することが困難である。第2の方法(直線OB)では確実なせん断変位量を知ることができるが、ジオテキスタイルの変形が完全に拘束されているために、図-2(b)に示されるように砂粒子との有効な接触面積が減少し、見かけの摩擦力が低下することになる。この現象は砂の粒径が大きくなるほど顕著になる²⁾。

一方引き抜き試験法の変位経路は図-1では直線OCで

図-1 各実験方法の変位経路

図-2 実験時のジオテキスタイルの状態

表示される。とくにジオテキスタイルを土の引っ張り補強材として使用する場合、ジオテキスタイル内に発生した引っ張り力が周辺の地盤にせん断力として伝達されることが主体であると考えられる。この意味においては引き抜き試験が現実の補強機能中のジオテキスタイルの挙動を把握する上で最も適した試験法であると思われる。

3. 実験方法

実験装置は図-3に示されるような大型の一面せん断試験機(せん断面積 $0.32\text{m} \times 0.32\text{m} = 0.1\text{m}^2$) を引き抜き試験用に改造したものであり、上下のせん断箱の間にジオテキスタイル試料を設置し、引き抜き速度を $1\text{mm}/\text{min}$ として実験を行った。ただしここで示した引き抜き速度には、グリップ部からせん断箱に至るまでの間のジオテキスタイル試料の伸び変形が含まれているため、実際のせん断速度はこれより小さく、また各ジオテキスタイルによって若干異なるものと思われる。さらに引き抜き摩擦試験では試料内部の各部分におけるジオテキスタイルの伸び変形量に興味を持たれ、またこれが引き抜き時の摩擦特性を考察するうえでも非常に重要になるものと考えられる。そこで山内ら⁴⁾の研究を参考にして、図-4に示されるように試料中のジオテキスタイルの各部分(7箇所)に固定したピアノ線をしんちゅう管を通して試料後部に取り出し、これに変位計を接続することによって試料内部の変位状況を調べることにした。

図-3 実験装置

図-4 試料内の変位測定位置 (mm)

表-1 ジオテキスタイル試料の諸性質

	材質	製造法	厚さ mm	重量 gf/m ²	引張強度 kgf/cm	変形係数 kgf/cm
不織布A	ポリエチレン	ヒートボンド	0.74	213	7.2	41.4
不織布B	ポリエステル	ニードルパンチ	2.46	322	16.7	25.8
織布A	ポリエステル	マルチフィラメント	0.56	352	51.1	509.0
織布B	ポリプロピレン	モノフィラメント	0.40	154	30.7	151.0

図-5 不織布Aの場合の各測点の変位量

図-6 不織布Bの場合の各測点の変位量

図一七 織布Aの場合の各測点の変位量

次に実験に使用したジオテキスタイル試料は表一1に示されるようにそれぞれ製造法の異なる代表的な不織布と織布であり、その変形係数も各々大きく異なっている。

最後に砂試料であるが、これには市販の川砂の粒径 5mm以下のものと、5~10mm の川砂利の2種類を使用した。

4. 引き抜き試験結果

図一5~8は4種類のジオテキスタイルの実験結果の一例として、垂直応力 $\sigma_n = 0.6 \text{ kgf/cm}^2$ における引き抜き力と各測点の変位量の関係を示したものである。これらより不織布と織布ではその挙動が大きく異なっていることがわかる。すなわち不織布では引き抜き力の増加とともに試料前部では変位が生じているが、後部ではほとんど変位が拘束された状態になっている。また不織布では引き抜き力の最大値が両者ともほぼその引張強度に近く、実験終了時にはジオテキスタイル自身に引張破壊が生じていた。一方織布では最大引き抜き力付近になるとジオテキ

図一八 織布Bの場合の各測点の変位量

図一九 不織布Bにおける変位分布

図一〇 織布Aにおける変位分布

スタイル試料全体に渡ってほぼ等しい変位を生じており、引き抜き破壊の状況を示している。このようにジオテキスタイル自身が引張破壊を生じるか、または全体的な引き抜き破壊を生じるかは、ジオテキスタイルの変形係数と垂直応力の大小の相対関係から決定されることになる。したがって非常に大きな応力下で引き抜き力が作用した場合、変形係数の大きな織布でも図一5、6のような挙動を示すものと考えられる。以上の状況をより明確に示すためにジオテキスタイル試料全体の変位量分布を示したもの

(a) $\sigma_v = 0.1 \text{ kgf/cm}^2$ (5mm以下の砂)

(b) $\sigma_v = 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ (5mm以下の砂)

(c) $\sigma_v = 0.6 \text{ kgf/cm}^2$ (5mm以下の砂)

図-11 不織布Aにおける引張応力分布

(a) $\sigma_v = 0.6 \text{ kgf/cm}^2$ (5mm以下の砂)

(b) $\sigma_v = 0.9 \text{ kgf/cm}^2$ (5mm以下の砂)

(c) $\sigma_v = 1.2 \text{ kgf/cm}^2$ (5mm以下の砂)

図-12 織布Bにおける引張応力分布

が図-9、10であるが、不織布Bでは試料前部で引張破壊に至っており、また織布Aではジオテキスタイル全体が変位し、引き抜き破壊を生じていることが良くわかる。

次にジオテキスタイル内に生じる引張応力分布について考察する。ジオテキスタイル内の各点の引張応力は図-9、10に示した変位分布から各測点間の伸びひずみ量を求め、引張試験から得た応力-ひずみ曲線を使用して求めた。この一例として図-11、12に不織布Aと織布Bの各垂直応力下における引張応力分布を示す。両者とも垂直応力が低い場合には、布試料の後部にまで引張応力が発生しているが、垂直応力の増加とともに引張応力の発生領域が徐々に短くなることがわかる。しかし2つのジオテキスタイル試料の強度特性が大きく異なることから、引張応力の分布形状が変化する垂直応力レベルにはか

なりの差が見られるようである。さらに各測点間の引張応力の差がその間に作用するせん断応力であることを考えると、垂直応力の低いときにはジオテキスタイル試料全体に渡って比較的均一にせん断応力が作用しており、同時に引き抜き力の増加に伴い試料前部のせん断応力は低下し、試料後部のせん断応力が増加していく傾向が見られる。このことはグリッドを用いて実験を行った山内ら⁴⁾によっても同様の結果が示されている。以上のような引張応力の分布形状の差からも補強機能時のジオテキスタイルの引き抜き破壊と引張破壊の2つの破壊状況を明確に区別することができる。

次に非常に大まかではあるが、図-11に示されるように引き抜き試験の最終段階における引張応力の伝達長さ(図中の L_c)を求めてみた。そしてこの L_c と試料全長($L_0=31.6\text{cm}$)の比を縦軸に取り、実験時の垂直応力を横軸に取って、4種類のジオテキスタイルにおける引張応力の伝達長さの変化を調べたものが図-13である。変形係数の小さい不織布では垂直応力が増加すると急激に引張応力の伝達長さが減少し、局部的に作用する引張力によって破壊する危険性のあることを示している。

図-13 有効せん断面積の減少量

5. 一面せん断試験結果との比較

図-14、15は5mm以下の砂と5～10mmの砂利に対する引き抜き試験における最大引き抜き力から、有効せん断面積を試料の全面積(0.1m^2)と仮定して $\tau_{\max}$ を求め、垂直応力との関係を示したものである。また同時に一面せん断試験から獲られた結果も記されている。いずれの場合も引き抜き試験による $\tau_{\max}$ は一面せん断試験結果よりも低い値を示しており、垂直応力の増加とともにその差が大きくなるようである。この原因として引き抜き時のジオテキスタイルの伸び変形による表面粗度の変化等も考えられるが、最も大きい原因は図-13で示されたように現実には有効なせん断面積が垂直応力の増加とともに減少しているにもかかわらず、せん断面積を全試料面積として計算した点にあるものと思われる。そこで図-13より得られた有効せん断面積を使用して $\tau_{\max}$ を計算し直したものが図-16、17である。多少のバラツキが見られるが、引き抜き試験時のせ

図-14 一面せん断試験結果との比較(5mm以下の砂)

図-15 一面せん断試験結果との比較(5～10mmの砂利)

ん断面積の減少分を考慮することによって、一面せん断試験結果とほぼ等しい摩擦抵抗が得られている。このことよりジオテキスタイルと砂との摩擦特性は一面せん断状態下でも引き抜き状態下でも大差ないことを示している。ただし図-17の5～10mmの砂利の場合、不織布Bの摩擦抵抗が非常に大きくなっているが、これは不織布Bはニードルパンチであるため剛性が低く厚さも厚いことから、骨材粒径が大きくなると図-2(a)のように骨材形状に沿った変形を生じ、このため摩擦抵抗が大きくなったものと思われる。

6. まとめ

以上、ジオテキスタイルの引き抜き摩擦試験の結果、得られた知見をまとめると次のようである。

1) ジオテキスタイルの引き抜き時に生じる破壊形態には、ジオテキスタイル自身が引張破壊する場合と、引き抜き破壊を生じる場合の2つがあり、どちらが発生するかについては垂直応力およびジオテキスタイルの変形係数によって異なる。

2) 引張破壊時と引き抜き破壊時におけるジオテキスタイル内に作用する引張応力分布形状は大きく異なっている。

3) 引き抜き試験では有効せん断面積の減少のため、見かけの摩擦抵抗が小さくなる。この現象は明らかに変形係数の低い不織布において顕著である。

4) 有効せん断面積の減少を考慮することによって、一面せん断状態と引き抜き状態のジオテキスタイルの摩擦特性は等しいことが示された。

図-16 有効せん断面積の減少量を考慮した場合 (5mm以下の砂)

図-17 有効せん断面積の減少量を考慮した場合 (5～10mmの砂利)

参考文献

- 1) Miles, B.: Assessment of soil fabric friction by means of shear, Second Int. Conf. on Geotextile, Las Vegas, pp.787-791, 1982.
- 2) 山岡、西形、坪井: ジオテキスタイルと砂および砂利の摩擦試験結果, 第21回土質工学研究発表会, pp.730-731, 1986.
- 3) Ingold, T.S.: Laboratory pull-out testing of grid reinforcements in sand, Geotechnical Testing Jour. of A.S.T.M., Vol.6, No.3, 1983.
- 4) 林、山内、落合、孫: 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.

Pull-out Friction Test of Geotextiles Embedded in Sand

Tatsuaki Nishigata, Department of Civil Engineering, Kansai University
Ichizou Yamaoka Department of Civil Engineering, Kansai University

Series of laboratory pull-out tests were carried out using fore samples of geotextile and two sands. When the pullout force acts on geotextiles embedded in sand, two critical modes that are pullout failure and tensile failure of geotextile are observed. It seems that these two failure modes are closely related to confining pressure and deformation modulus of geotextiles. Also, in the pull-out test the nonuniform shear stress distributions occur along the specimen, so in this paper effective shear length that is obtained from the pull-out experiments introduced to consider the pullout resistance.

The Creep Characteristics of Geotextiles under Static Tensile Load

Ichizou Yamaoka, Kansai University
Tatsuaki Nishigata, Kansai University
Seiji Okamoto, Kansai University

The creep characteristics of geotextiles under sustained load are important for their satisfactory performance in civil engineering. In this paper, series of laboratory creep tests are carried out and typical test results are given for some wovens and nonwovens. They indicate that creep resistance of needle-punch nonwoven and multi-filament woven are larger than heat-bond nonwoven and mono-filament woven made from polypropylene. Also the test results are analyzed to investigate their creep parameters based on empirical creep equation for soils developed by J.K. Mitchell. The parameters obtained from the analyze are almost equal to the soil's one.