ジオシンセティックス-土との原位置摩擦特性評価試験

宇都宮大学工学部助教授	今泉繁良
宇都宮大学工学研究科博士前期課程	野本哲也
宇都宮大学工学研究科博士後期課程	坪井正行
宇都宮大学工学部教授	横山幸満

概 要

近年、ジオメンブレンやジオテキスタイルは廃棄物処理場の遮水工材料として、広く用いられている。ジオシンセティックスと土との摩擦特性は、固定や法面の設計をするのに重要な要因である。この論文では、原位置での摩擦特性を評価し得る簡易な試験装置を開発した。この試験装置を用いて、ローム地盤と排水用砂の上で、土の含水比を通常状態と湿潤状態とに変えて試験を行った。用いたジオシンセティックスは、HDPE, EPDM, PVC など 6 種類のジオメンブレンと長繊維と短繊維の 2 種類のジオテキスタイルである。結果として、浸水状態の摩擦係数は通常状態に比べて、ローム地盤で 70-80%, 砂地盤で 90% となることがわかった。また、原位置で評価された表面滑らかなジオメンブレンと短繊維ジオテキスタイルとの摩擦係数は、実験室内で実施した直接せん断試験の直応力せん断抵抗力関係とよい一致を示した。

In-situ Frictional Tests for Geomembrane/Soil and Geomembrane/Geotextile Interface

Shigeyoshi IMAIZUMI : Associate Professor of Utsunomiya University, Japan
Tetsuya NOMOTO : Graduate Student of Utsunomiya University, Japan
Masayuki TSUBOI : Doctoral Student of Utsunomiya University, Japan
Yukimitsu YOKOYAMA : Professor of Utsunomiya University, Japan

ABSTRACT

Geomembranes and geotextiles, recently, are becoming to be widely used as a component of liner system in waste landfill. The frictional characteristics on interface between geomembrane/soil and geomembrane/geotextile are very important factor to design liner's structure such as its anchorage or side slope angle. In this paper, convenient in-situ equipment to measure a frictional resistance between geomembrane/soil and geomembrane/geotextile was developed. The in-situ tests were conducted on two loam ground and on drain sand at construction site. The ground condition was prepared as natural moisture condition and submerged condition. The geosynthetics used included six geomembranes such as smooth HDPE, HDPE with spike, EPDM, TPO, PVC and reinforced CPE and two geotextiles such as continuous nonwoven and stapled nonwoven. As the results, it is found that the ratio of frictional coefficient estimated at submerged condition to one at natural condition is about 70 - 80 % for loam ground while it is 90 % for drain sand. The frictional coefficients between smooth surfaced geomembrane and stapled nonwoven geotextile estimated at in-situ tests is good agreement with the relationship between normal stress and shear stress obtained by direct shear tests in laboratory.

ジオシンセティックス-土との原位置摩擦特性評価試験

宇都宮大学工学部

正会員

今泉 繁良

宇都宮大学工学研究科

学生会員

○ 野本 哲也

同 上

正会員

坪井 正行

宇都宮大学工学部

横山 幸満

1.はじめに

廃棄物処分場における遮水工の設計において、ジオシンセティックスと土との摩擦係数を知ることが必要であることが多い。このために、摩擦係数の評価は室内での直接せん断試験の実施により数多く行なわれてきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。しかし、実際の施工においてはジオシンセティックスが原位置の地盤上に敷設されることが一般的であることを考慮すると、含水比や密度が原位置のあるがままの状態でのジオシンセティックスと土との摩擦係数を評価することは特に重要である。

本研究においては、原位置摩擦特性を評価することができる試験装置を試作し、この試験装置を用いて関東ローム、砂地盤とHDPE(高密度ポリエチレン)、EPDM(加硫ゴム)、PVC(塩化ビニール)、不織布などとの摩擦特性を評価した。特に地盤が通常の状態と湿潤状態における摩擦係数の違いに着目して考察した。

2.地盤およびジオシンセティックスの特性

実験の対象とした原地盤は、宇都宮大学工学部構内のローム(以下、「構内ローム」)、栃木県芳賀郡芳賀町八ッ木の宅地造成地内ローム(以下、「八ッ木ローム」)、埼玉県羽生市処分場建設現場内の覆土用砂(以下、「排水用砂」)の3箇所である。原地盤より採取した試料の物理的特性を表-1に示す。

また、実験に用いたジオシンセティックスは、厚さ1.5mmのHDPE(高密度ポリエチレン)、EPDM(加硫ゴム)、PVC(塩化ビニール)、TPO(熱溶着ゴム)、繊維補強CPEおよび厚さ3mmのシボ付きHDPE(シボ長5mm)のジオメンブレンと長繊維(厚さ4.86mm)および短繊維(厚さ10mm)の不織布の8種類である。これらの強度特性を表-2に示す。

表-1 試料の物理的特性

地盤 名称	土粒子 密度 ρ_s g/cm ³	自然 含水比 w %	アッターベルグ限界		
			LL %	PL %	I_p %
構内 ローム	2.52	79.13	140.6	130.6	10.0
八ッ木 ローム	2.62	62.59	106.9	64.2	42.7
排水用砂	2.72	5.15	NP	NP	—

表-2 ジオシンセティックスの強度特性

種類	引張り強度 kgf/cm ²
HDPE	340
EPDM	100
PVC	150
TPO	150
繊維補強 CPE	270
長繊維不織布	63
短繊維不織布	3.4

3.実験装置および実験方法

実験装置は、写真－1に示すような、幅800mm、奥行き400mm、厚さ4mmの鋼板上にワイヤー巻き上げ器を取り付けた引張り装置と、巻き上げ器からのワイヤーに連結された荷重計、さらにジオシンセティックスを装着し上載荷重としても機能する幅30cm、長さ40cm、高さ40cm、重さ118kgfのコンクリートブロックで構成される。なお、コンクリートブロックは持ち運びができるように厚さ10cmの4個のブロックに分けられている。また、荷重計はゴム製の車輪が4つ付いた台車の上に金具で固定されている。引張り装置は、鋼板の4隅に長さ320mmの鋼製ピンを打つことにより地盤に固定した。

写真－1 実験装置

供試体のジオシンセティックスの寸法は、幅30cm、長さ120cmとした。通常状態においては、ストレートエッジを用いて地盤を平滑にし、その上に供試体を地表面を乱さないように敷設した。地盤を湿潤状態にする場合は、地盤の表面に水膜ができるまで散水し、ストレートエッジを用いてすばやく平滑に成型し、水膜ができた状態で供試体を敷設した。

供試体の上面には、コンクリートブロックを4段に重ねて供試体中央に置き、上載圧を作用させた。コンクリートブロックは4隅をアングルを用いて固定することにより、4個のコンクリートブロックを一体化した。供試体の前・後端をコンクリートブロックに巻き付けて、一体化した後、地面からの高さ10cmの位置に、ワイヤーを地面と水平にコンクリートブロックと供試体を囲むように掛けて、シャックルを介して荷重計を接続した。その後、ワイヤー巻き上げ器のハンドルを回転させ、荷重計の針がピーク抵抗値を示し一定となるまでコンクリートブロックに引張り力を与え続けた。なお、このときの回転速度は、荷重計の針の回転が連続になるように注意した。測定終了後には、供試体の表面温度を測定した。

表－3 地盤の土質特性

地盤 名称	乾燥状態		湿潤状態	
	平均 含水比 w %	コーン 指数 q_c kgf/cm ²	平均 含水比 w %	コーン 指数 q_c kgf/cm ²
構内 ローム	79.13	5.55	108.9	2.60
ハッ木 ローム	62.59	3.16	113.61	1.67
排水 用砂	5.15	2.24	9.06	1.97

4.実験結果および考察

通常状態と湿潤状態について実験を行なった。3箇所の原地盤での含水比、5cm貫入時のコーン指数は表－3に示す通りであった。埼玉県羽生市処分場建設現場では、排水用砂の上に敷かれた保護用短繊維不織布の上においても、通常状態の試験を行った。

実験により得られたピーク抵抗値 T をコンクリートブロックの重量 N で除してピーク時の摩擦係数(以下、「摩擦係数」) μ_p を計算し、その結果を表-4に示す。

表-4 ジオシンセティックスの摩擦特性 $\left(\mu = \frac{T}{N}\right)$

下地	状態	ジオシンセティックスの種類								シートの 平均 温度 ℃
		ジオメンブレン						不織布		
		HDPE	EPDM	PVC	シボ付き HDPE	TPO	繊維補強 CPE	長繊維 不織布	短繊維 不織布	
構内 ローム	通常	0.47	0.84	0.77	0.94	0.53	0.72	0.77	0.78	19.4
	湿潤	0.35	0.64	0.55	0.73	0.44	0.53	0.71	0.73	13.8
ハツ木 ローム	通常	0.29	0.90	0.69	0.90	0.36	0.48	0.88	※ 1	38.5
	湿潤	0.23	0.51	0.45	0.84	0.27	0.46	0.68	※ 1	39.6
排水 用砂	通常	0.48	0.67	0.64	0.79	0.61	0.63	0.73	0.74	28.4
	湿潤	0.40	0.64	0.62	0.77	0.53	0.61	0.69	0.78	30.3
短繊維 不織布	乾燥	0.38	※ 2	0.73	※ 2	0.54	0.71	0.67	—	37.5

※1 —は実施せず。
※2 下地が短繊維不織布の場合の EPDM、シボ付き HDPE はピーク強度計測不可能。

図-1 ピーク時摩擦係数

さらに、ロームおよび砂の通常状態および湿潤状態におけるジオシンセティックスとの摩擦係数を比較して整理したものを、図-1-a~1-bに示す。通常状態、湿潤状態とも同様に、ロームおよび排水用砂に対してシボ付き HDPE、EPDM、長繊維および不織布の摩擦係数が高い傾向にあることがわかる。

次に、構内ローム、ハツ木ローム、排水用砂とジオシンセティックスとの摩擦係数を通常状態 μ_{nor} と湿

潤状態 μ_{wet} とで比較したものを図-2-a~2-c に示した。湿潤状態において、ロームでは平均的に通常状態の 70% 程度まで低下するものと見られる。他方、排水用砂では平均的に通常状態の 90% までの低下である。

図-2 通常状態と湿潤状態の摩擦係数の比較

ここで、湿潤状態における通常状態に対する摩擦係数の減少率を $\alpha = 1 - \mu_{wet} / \mu_{nor}$ と定義して、これと通常状態における摩擦係数との関係を図-3-a~3-b に示した。ロームの場合、減少率は 0.05~0.45 の範囲にあり、通常状態の摩擦係数 μ_{nor} が増大するにつれて、減少率も増大する傾向にある。このうち、長繊維不織布、シボ付き HDPE のような表面性状の粗いものは減少率が低い。排水用砂の場合、HDPE、TPO は 0.13~0.15 と減少率がやや大きい、その他のものの減少率は 0.03~0.06 とかなり小さい。これは、砂地盤の場合、水膜ができにくいためと考えられる。

図-3 通常状態の摩擦係数と減少率 α との関係

図-4 コーン指数と摩擦係数の関係

図-4-a~4-b はロームおよび排水用砂のコーン指数と摩擦係数との関係を示したものである。なお、ロームの場合、通常状態、湿潤状態別にコーン指数と摩擦係数との関係を示した。通常状態においては、シボ付き HDPE、EPDM、繊維補強 CPE のような表面が粗いものはコーン指数の増加とともに摩擦係数は減少し、PVC、長繊維不織布、TPO、HDPE はコーン指数の増大とともに摩擦係数が増大する傾向が見られた。湿潤状態においては、シボ付き HDPE と長繊維不織布はコーン指数の増大とともに摩擦係数がわずかに減少するが、その他は増大する傾向にある。他方、排水用砂の場合、湿潤状態におけるコーン指数の変化に伴う摩擦係数の変化が小さいことから、コーン指数すなわち強度の違いよりも表面の水分性状の違いの影響の方が大きいと考えられる。

一般にジオシンセティックスー不織布間の摩擦係数は、ジオシンセティックスー土間の摩擦係数よりも小さいと考えられている。そこで、そのことを検証するために、排水用砂に敷かれた短繊維不織布上での原位置摩擦試験の結果 μ_{gt} と通常状態のローム上での結果 μ_{loam} および乾燥排水砂上での結果 μ_{sand} との関係を示したのが図-5-a~5-b である。なお、シボ付き HDPE と EPDM を短繊維不織布で試験した場合、シートと不織布の間に相対変位が生じる以前に短繊維不織布上と下層の排水砂との間に相対変位が生じたため、図および表には記載していない。図-5-a~5-b より、短繊維不織布上での摩擦係数は、ハツ木ローム上での値と比較すると 5~30% 大きくなっており、構内ロームと比較すると HDPE、長繊維不織布の場合は 5~10% 小さく、その他のジオシンセティックスーについては同程度である。排水用砂と比較すると、HDPE、長繊維不織布、TPO については 5~10% 小さく、繊維補強 CPE、PVC については 5% 大きくなっている。いずれにしても、今回の結果では、各種ジオシンセティックスの対短繊維不織布との摩擦係数は、ローム、排水用砂と比較したとき 5~10% 以内の違いである。

図-5 ジオメンブレン/土 と ジオメンブレン/短繊維不織布
の摩擦係数の比較

図-6-a は、排水用砂上に敷かれた短繊維不織布に対して得られた HDPE、EPDM、PVC、TPO の摩擦係数 μ_{gt} と $100 \times 200 \text{ mm}$ のせん断箱を使用した室内摩擦試験より得られた結果とを比較したものである。PVC の摩擦係数は室内摩擦試験より得られた値とほぼ等しくなっているが、その他の 3 ケースについては現場摩擦試験の方が大きい値になっている。図-6-b は室内すなわち直応力 σ_n とせん断抵抗値 τ_p との関係を示したものである。図-6-a に示した室内せん断試験の摩擦係数 μ_{lab} は、各直線の傾きを用いて算出したものであるが、図-6-b においては各関係とも幾分の切片すなわち見かけの粘着力が見られる。したがって、図-6-a において現場での摩擦係数 μ が室内試験から得られた摩擦係数 μ_{lab} より大きいのは、このような見かけの粘着力も摩擦抵抗力に取り入れて評価したためと考えられる。図-6-c には、室内試験の結果に現場試験での σ_n 、 τ_p をプロットしてあるがこれらは室内試験の関係直線上にうまく対応していると言える。

a 摩擦係数の比較

b $\sigma_n - \tau_p$ 関係

c $\sigma_n - \tau_p$ との対応

図-6 原位置試験結果と室内試験結果との対応

5. 結論

土のせん断抵抗は、種類のみならず土の含水比や締固め度に依存する。そこで、ジオシンセティックスと土との摩擦特性を原位置で評価することのできる簡易な試験装置を試作した。本装置を用いた場合、鉛直応力は $\sigma_n = 0.10 \text{ kgf/cm}^2$ であり、得られた摩擦係数を埋立て層の深い処分場の設計に用いるには幾つかの問題点もあるが、固定工や廃棄物投入以前の施工中でのジオシンセティックスの検討には使用し得るものとする。

本実験によって得られた結論は次のようである。

1. 湿潤状態の摩擦係数を通常状態と比較した場合、ロームでは 60～70%、排水用砂では 90%となり、砂の場合に比較してロームの方が摩擦係数の減少率が大きい。
2. 各種ジオシンセティックスの対短繊維不織布との摩擦係数をロームおよび排水用砂と比較すると 5～10%程度の違いである。
3. 短繊維不織布とジオシンセティックスとの現場摩擦試験と室内摩擦試験の結果を比較すると、本実験の結果の方が摩擦係数を大きく評価するが、室内試験の $\sigma_n - \tau_p$ 関係とよく対応する。

本研究に際して住友建設（株）の土居洋一氏には、コンクリートブロックの作成、ハツ木ロームでの実験等大変お世話になった。記して感謝申し上げる次第です。

参考文献

- 1) 今泉繁良・内藤裕之・横山幸満・坪井正行: ジオメンブレンと豊浦砂の層間摩擦特性, 土木学会第 50 回年次学術講演会講演概要集 3-B, pp.1558-1559, 1995
- 2) 三木博史・林義之: 国内におけるジオメンブレンの現状, 第 1 回ジオメンブレン技術に関するセミナー, pp.28-46, 1994
- 3) 鈴木正人・佐々木宏二・中島典昭: 表面遮水工構成材料の境界摩擦特性, 土木学会第 49 回年次学術講演概要集 2, pp.1246-1247, 1994
- 4) 今泉繁良・高橋 悟・横山幸満・坪井正行: ジオシンセティックス多層ライナーに生じる張力の評価, 土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集 3-B, pp.682-683, 1996
- 5) 坪井正行・今泉繁良・横山幸満・宮地秀樹: 遮水シートの層間摩擦抵抗, 廃棄物学会第 7 回研究発表会講演論文集, pp.706-709, 1996