

흙-土木纖維 Interface 特性에 관한 研究

A Study on the Characteristics of the Soil-Geotextile Interface

高 弘 錫* · 高 楠 咏** · 洪 淳 迎**
Goh, Hong Seok · Goh, Nam Young · Hong, Soon Young

Summary

The objective of this paper is to show that the soil-geotextile interaction needs to be addressed in addition to the usual tensile and modulus properties when the geotextile is being designed for a specific application. The soil-geotextile interaction can be directly assessed by standard direct shear test. The data presented here show that the shear strength parameters describing the soil-geotextile interface can be greatly influenced by the type of the geotextile.

In this investigation, we examined nine different geotextiles of varying construction and surface textures with two standard soil, under five loading conditions, and compared the shear strength and the frictional resistance with the corresponding values of soil itself.

The following conclusions were drawn from this study.

1. The shear stress-strain curve shows that there are the residual shear stresses at the soil-geotextile interface. Because of the hydraulic gradient between the soil and the geotextile, the excessive pore water can migrate into the geotextile and among the filaments and dissipate through the soil-geotextile interface.
2. The shear strength of the soil-geotextile interface is affected by the moisture content of the soil. At moisture content lower than the optimum water content of the Proctor compaction test, the shear strength of the soil-geotextile interface is greater.
3. The type and surface roughness of the geotextile have the greatest influence on the interface friction angle between the soil and the geotextile.

* 全北大學校 農科大學

** 全北大學校 大學院

키워드 : 土木纖維, 흙-土木纖維 接觸面, 織布, 不織布, 應力-變形度 曲線, 纖維의 구멍면적과 透過性, 内部摩擦角係數, 粘着力係數, 殘留剪斷應力

4. The maximum internal friction angle mobilized between the soil and the geotextile is on the average 82% of that of the soil itself.
5. The maximum adhesion mobilized between the soil and the geotextile is on the average 67% of that of the soil itself.

I. 緒 論

土工構造물에 土木纖維를 補強, 分離, 排水, 필터 등 다양한 기능으로 사용하면, 시공이 용이해지고 土工量이 감소되며 특히 軟弱地盤에서 氣象의 변화에 대한 依存性이 감소된다. 또한 그동안 土工設計의 어려운 문제점을 해결할 수 있다. 예를 들면 흙은 재료로서 均質하지 못하는데 반하여 土木纖維는 품질이 均質할 뿐만 아니라 管理가 용이하고 氣象에 관계없이 생산 가능한 장점이 있기 때문에 土木纖維로 補強한 構造物의 信賴度 역시 증가한다.

土木纖維에 대한 연구는 國際土木纖維學會가 조직되면서 4차례의 國際學術會議을 개최하여 연구 성과들을 발표하는 등 진전이 있었다. 그럼에도 불구하고 여타 다른 構造物, 예를 들면 콘크리트나 鐵骨構造物의 설계 및 시공의 수준에는 미치지 못하고 있다. 따라서 土木纖維에 대한 합리적인 設計示方書와 구체적인 설계모델이 構造物에 따라 개발될 것이 요구되고 있다.

土木纖維 補強의 機能에 대한 力學的 기본개념은 다음과 같이 간단히 설명할 수 있다. 引張強度가 크고 彈性係數가 큰 재료를 흙 속에 매설함으로써, 壓縮力에는 비교적 강하나 引張力에는 약한 흙의 工學的 성질을 개량하고, 이 補強構造物의 垂直 및 水平滑動을 억제시킴으로써 地盤의 안정과 構造物의 耐久性을 증진시켜 주는 것이 바로 土木纖維의 補強에 대한 개념이다. 이때 흙속에 매설하는 補強材는 초기에는 天然纖維(나무가지, 짚 등)에서 강판, 알루미늄, 유리섬유 등이 쓰이다가 纖維工業의 발달로 주로 合成纖維가 쓰이게 되었다. 土木纖維의 引張強度와 柔軟性(Ductility)은 흙의 補強材로서 알맞는 工學

的인 특성인 것이다.

軟弱地盤에 土木纖維를 포설하였을 때 土木纖維의 舉動과 力學的 관계에 대한 연구는 대체로 3가지로 분류할 수 있다. 실내에서 기존의 土質試驗裝置를 이용하여 土木纖維와 흙과의 力學的인 관계를 究明하고 설계 자료를 얻는 방법, 土木纖維 補強土 構造物에 대한 模型實驗을 하고 模型實測值를 얻는 방법, 그리고 有限要素法을 비롯한 數學的 解析 모델을 적용하여 數值的으로 대상 構造物의 舉動을 間接的으로 해석하는 방법으로 분류한다. 이때 각 방법간에는 差別性이 있는 것이 아니라 일정한 聯關性을 가지고 있으며, 相互補完的인 檢證 관계를 갖는다.

土木纖維로 補強한 構造物의 설계에서 究明해야 할 것 중의 하나는 흙-土木纖維 接觸面(Interface)의 剪斷強度의 특성이다. 剪斷強度의 특성에 영향을 끼치는 因子들은 土木纖維 설치 위치, 基礎地盤과 성토재의 物理性 및 力學的 性質, 土木纖維의 특성이다. 본 연구에서는 標準直接剪斷試驗裝置를 이용, 흙의 종류는 粘土質모래와 粘土 2종류로 하고, 土木纖維는 織布와 不織布로 구분하고 그 引張強度는 9가지로 구분하여 纖維의 특성에 따른 변화와, 흙의 함수비 변화에 따른 시험을 수행함으로써 흙-土木纖維 接觸面(Interface)의 力學的 특성을 究明하였다.

II. 材料 및 試驗 方法

1. 使用材料

가. 흙

흙 試料는 均質性을 위하여 試驗실에서 粒度를 조정하여 製造한 粘土質모래(Clayey sand)와 粘土(Clay) 2종류를 사용하였다. 흙 試料의 제반

物理性 및 力學的 성질은 KS規定으로 시험하였고, 시험결과는 Table-1과 같다. 粘土質모래는 粒度分布가 양호한 모래 61%, 실트 29%, 粘土 10%의 분포이며, 粘土 역시 粒度分布가 양호한 모래 13%, 실트 29%, 粘土 58%의 분포이다. 粘土質모래는 統一畧分類上 SC이고 粘土는 CL이다.

나. 土木纖維

土木纖維의 組織과 引張強度를 비롯한 제반

纖維特性이 高-土木纖維 接觸面의 剪斷強度에 끼치는 영향을 비교하기 위하여 폴리에스터(Polyester)인 織布와 폴리프로필렌(Polypropylene)인 不織布 2종류를 사용하였고, 섬유的 引張強度는 39~635kgf/2.54cm 범위의 9종류로 구분하였다. 土木纖維는 국내에서 市販되는 제품이며 土木纖維의 제반 시험 결과는 製品會社에서 제공한 값으로 Table-2와 같다.

Table-1. Physical and mechanical properties of soil

Sample	Grain size percent(%)			Atterberg limit(%)			Specific gravity	Unit weight (gf/cm ³)
	Sand	Silt	Clay	LL	PL	PI		
Clayey sand	61	29	10	38.24	17.15	21.09	2.538	1.724
Clay	13	29	58	42.01	21.77	20.24	2.633	1.686

Sample	Direct shear test		Permeability coefficient (cm/sec)	Unified soil classification
	Angle of internal friction ϕ (°)	Cohesion C(kgf/cm ²)		
Clayey sand	40.1	1.3	2.1×10^{-3}	SC
Clay	37.2	2.5	1.8×10^{-7}	CL

Sample	Moisture content (%)	Uniformity coefficient Cu	Procter compaction test	
			γ_{dmax} (gf/cm ³)	W_{opt} (%)
Clayey sand	15.34	84	1.930	12.75
Clay	23.29	11.5	1.640	22.30

Table-2. Properties of geotextiles

Trade Name	Structure	Material	Weight (gf/m ²)	Tensile strength (kgf/2.54cm)	Permeability coefficient (cm/sec)
KM 80001	Woven	Polyester	700	635	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
KM 70001	Woven	Polyester	600	508	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
KM 60001	Woven	Polyester	500	458	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
KM 50001	Woven	Polyester	400	381	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
KM 30001	Woven	Polyester	330	331	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
KM 7001	Woven	Polyester	170	178	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
P 530	Nonwoven	Polypropylene	300	90	$(1 \sim 9) \times 10^{-1}$
P 520	Nonwoven	Polypropylene	200	51	$(1 \sim 9) \times 10^{-1}$
P 515	Nonwoven	Polypropylene	150	39	$(1 \sim 9) \times 10^{-1}$
Test method			KS K 0514	KS K 0520	KS F 2322

2. 試驗方法

가. 直接剪斷試驗

흙-土木纖維 接觸面(Interface)의 摩擦 特性을 究明하기 위한 室內試驗方法은 국제적으로 公인된 시험방법이 없지만, 지금까지 연구결과 는 直接剪斷試驗과 引拔試驗을 들 수 있다. William¹⁹⁾(1986)과 Dembick⁴⁾(1987)는 直接剪斷試驗이 引拔試驗보다는 精確하다고 하였다. 그 이유는 引拔試驗은 接觸面의 應力分布가 公시체가 滑動하기 전까지는 非線形性을 보이고, 흙속 에 묻히지 않는 土木纖維는 흙속 에 拘束되지 않을 뿐만 아니라 특히 不織布에서는 接觸面의 滑動이 시작되기 전에 이미 伸張되기 때문에 正確도가 떨어진다고 하였다. 즉 引拔試驗에서 測定된 水平摩擦力은 剪斷箱子 밖 土木纖維의 伸張에 의한 수평력과 剪斷箱子 내의 흙-土木纖維 接觸面의 마찰력인 두 성분으로 구성되며, 이것 때문에 측정된 값은 흙-土木纖維 接觸面의 摩擦力만의 값으로 보기는 곤란하다는 의견이다. 이미 Mitchell 등¹²⁾(1979)도 直接剪斷試驗이 간편하고 精確하기 때문에 흙-土木纖維 接觸面의 特性을 분석하는 데는 精確한 試驗방법이라고 주장한 바 있다.

본 연구에서는 일반적으로 흙의 前단시험에 이용되는 KS F 2343에 의한 標準直接剪斷試驗을 실시하고, 急速剪斷과 變形制御 상태를 기준하였다. 이 때 垂直應力은 1.908kgf/cm²에서 9.534kgf/cm²까지 5단계로, 단계마다 1.908kgf/cm²씩 증가시켰다. 剪斷變形速度는 Williams¹⁹⁾(1986)

의 0.003~3mm/min 범위에서는 흙-土木纖維 接觸面 前단특성에 영향을 미치지 않는다는 보고에 준하여, 일반 흙의 標準直接剪斷試驗 變形速度인 1mm/min를 유지하고, 흙 공시체의 40% 變形率이 발생할 때까지 계속하였다.

나. 供試體 제작

흙의 最適含水比와 最大乾燥單位重量을 구하고 이를 기준으로 하여 공시체의 含水比가 높고, 낮은 상태에서의 剪斷強度의 變化를 비교하기 위해 KS F 2312로 흙의 다짐시험을 한 결과는 Table-3과 같다. 粘土質모래는 最適含水比가 12.75%일 때 最大乾燥單位重量이 1.930kgf/cm³이고, 粘土는 最適含水比가 22.32%일 때 最大乾燥單位重量이 1.640kgf/cm³이다.

直接剪斷試驗을 하기 위한 공시체는 흙의 含水比의 變化에 따른 剪斷強度의 特性을 비교 분석하고자 표준다짐시험으로 구한 最大乾燥單位重量의 95%에 해당하는 함수비를 기준으로 습윤층과 건조층에 대하여 Table-3과 같이 計量하여 直徑 63.33mm, 두께 26.2mm인 몰드에 2층으로 분할 다짐하여 제작하였다. 이 때 土木纖維는 公시체의 直徑과 같이 直徑 63.33mm로 자르되 한쪽면은 약간 길게 잘라서 설치하였다.

III. 結果 및 考察

1. 應力-變形度 곡선

가. 土木纖維의 種類(織布와 不織布)가 應力-變形度 곡선에 끼치는 影響
土木纖維의 종류가 흙-土木纖維 接觸面의

Table-3. Wet unit weight and moisture contents of soil specimens

Sample	Water content											
	Low				Optimum				High			
	Soil (gf)	Water (cc)	W (%)	γ_t (gf/cm ³)	Soil (gf)	Water (cc)	W (%)	γ_t (gf/cm ³)	Soil (gf)	Water (cc)	W (%)	γ_t (gf/cm ³)
Clayey sand	151.21	17.73	11.73	2.049	159.13	20.29	12.75	2.176	151.21	21.85	14.45	2.099
Clay	128.46	26.05	20.27	1.874	135.22	30.18	22.32	2.006	128.46	30.59	23.81	1.929

剪斷應力(剪應力)의 특성에 끼치는 영향을 분석하기 위하여 흙의 경우 및 織布인 KM80001(폴리에스터)과 不織布인 P530(폴리프로필렌)에 대한 應力-變形度 곡선은 Fig. 1과 Fig. 2와 같다. 이때 흙의 다짐상태는 표준 다짐시험에서 最大乾燥單位重量에 해당하는 含水比 상태를 기준하였다.

Fig. 1과 Fig. 2의 應力-變形度 곡선을 살펴보면, 전반적으로 應力-變形度 곡선은 세부분으로 나눌 수 있다. 첫번째 단계는 應力과 變形度가 비교적 線形의 관계를 가지면서 낮은 變位水準에서 높은 剪斷應力으로 증가되는 부분이고, 두번째 단계는 變位の 증가에 따라 應力이 감소되는 부분이며, 마지막 단계는 變位の 증가에 따라서 剪斷應力의 변화가 비교적 적은 상태, 즉 應力-變形度 곡선이 수평의 상태를 유지하는 부분으로 나누어진다. 물론 Fig. 2의 粘土-織布, 粘土-不織布에서는 이러한 경향과는 예외적으로 두번째 단계와 마지막 단계의 구분이 뚜렷히 나타나지 않고 거의 같은 수준으로 증가하는 경향도 보이고 있다.

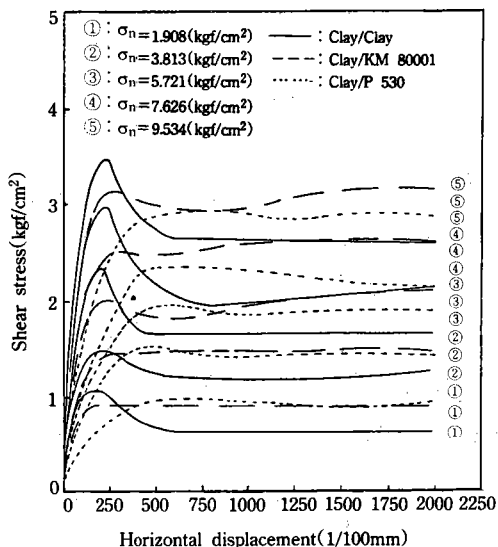


Fig. 1. Typical load-displacement curves of Clayey sand/Geotextiles (Water content = 12.75%)

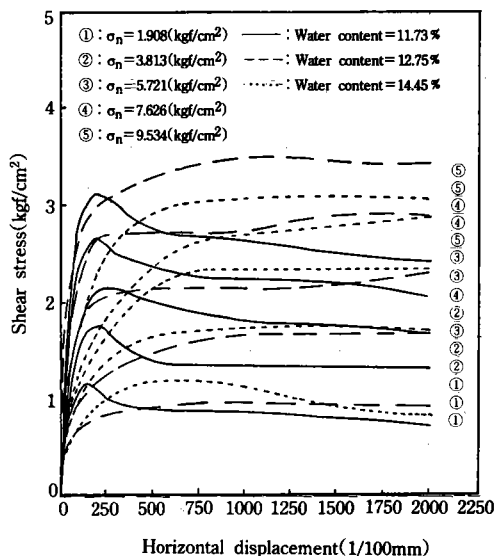


Fig. 2. Typical load-displacement curves of Clayey sand/Geotextiles (Water content = 22.32%)

Fig. 1의 粘土質모래-織布 接觸面의 應力-變形度 곡선은 粘土質모래-粘土質모래에 비하여 最大剪斷應力이 變位 0.25mm 근처에서 발생하고 있는 것은 비슷한 결과를 보이고 있다. 그러나 變位가 증가함에 따라서 粘土質모래-粘土質모래에서는 應力-變形度 곡선이 거의 수평인 데 비하여, 粘土質모래-織布는 垂直應力이 높은 수준에서는 큰 變位에서 곡선이 증가되는 殘留剪斷應力이 존재하고 있다. 특히 Fig. 2와 같이 粘土質모래-不織布는 織布와 상당히 相異한 곡선의 형태를 나타내고 있다. 變位가 0.75mm 정도에서 最大剪斷應力이 나타나고 그 이후에도 剪斷應力이 감소되지 않고 수평 상태를 유지하는 특성을 보인다. 이 경향은 Fig. 2의 粘土-土木纖維에서 더욱 뚜렷하게 나타나고, 특히 垂直應力이 높을 때 오히려 증가하는 경향으로 나타나고 있다. 이처럼, 殘留剪斷應力이 粘土質모래-粘土質모래와는 달리 粘土質모래-土木纖維에 존재하는 것은 Miyamori¹³⁾(1986)의 연구결과와 일치하는 내용이

며, 또한 粘土質모래-不織布에서 殘留剪斷強度가 變位の 증가에 따라서 증가하는 것 역시 Fourie⁶⁾(1987)의 연구결과와 일치하는 것이다.

粘土-不織布의 應力-變形度 곡선이 다른 곡선과 차이를 갖는 이유는 剪斷箱子 내의 흙 공시체에 작용하는 垂直荷重이 粘土의 경우에 過剩空隙水壓을 유발하게 되고 이는 土木纖維의 動水傾斜(Hydraulic gradient)의 영향을 받는 것으로 생각된다. 이 過剩空隙水는 土木纖維의 空隙 사이 또는 纖維絲 내로 이동이 가능한데, 이러한 土木纖維의 動水傾斜에 영향을 끼치는 요인은 섬유 구멍면적(Opening size)과 透過性(Transmissivity)을 들 수 있다. Table-2에서 土木纖維의 특성을 보더라도 不織布는 織布에 비하여 透水性이 좋은 것으로 나타나고 있고 이러한 높은 透水性이 過剩空隙水壓을 消散하는 역할을 하는 것으로 판단되며, 반면에 織布는 낮은 透水性 때문에 過剩空隙水를 효과적으로 消散할 수 없으므로 應力-變形度 곡선의 擡動에서 차이를 보이는 것으로 판단된다. 따라서 變位 0.25~0.50mm에서는 흙만의 剪斷應力이 큰 값을 보이지만 變位가 증가함에 따라 흙-土木纖維 剪斷應力은 흙만의 剪斷應力보다 큰 값으로 나타나면서 殘留剪斷應力이 존재하기 때문에 큰 剪斷變位에서 흙-土木纖維는 延性的 效果가 있을 것이다.

나. 흙의 含水比가 應力-變形度 곡선에 끼치는 影響

흙의 含水比가 흙-土木纖維 接觸面의 剪斷應力 특성에 끼치는 영향을 분석하기 위하여 표준 다짐시험에서 95%에 해당하는 건조단위 중량에서 건조축 함수비와 습윤축 함수비에 대하여 도시하면 粘土質모래-織布는 Fig. 3이고, 粘土質모래-不織布는 Fig. 4, 粘土-織布는 Fig. 5이고, 粘土-不織布는 Fig. 6이다.

粘土質모래는 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 織布와 不織布 구분없이 건조축 함수비와 最適含水比에서의 곡선은 거의 같은 경향을 보이고 있으나,

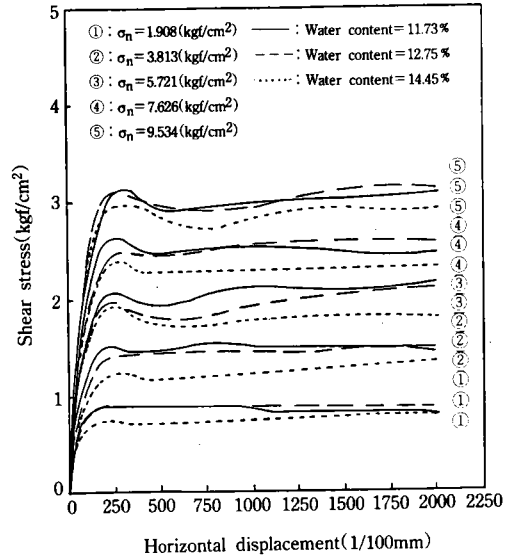


Fig. 3. Typical load-displacement curves (Clay sand/KM 80001)

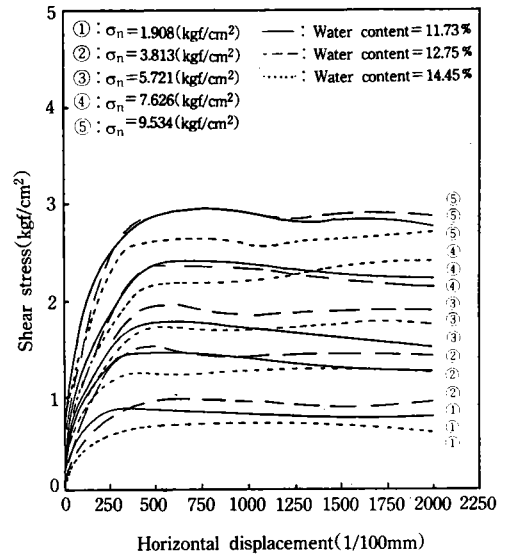


Fig. 4. Typical load-displacement curves (Clay sand/P 530)

습윤축 함수비에서는 약간 떨어지는 경향을 보이고 있다. 그 이유는 습윤축 함수비에서는 粘土質모래와 섬유 사이에 附着力이 감소되는 데 원인이 있을 것으로 판단된다. 따라서 동일한

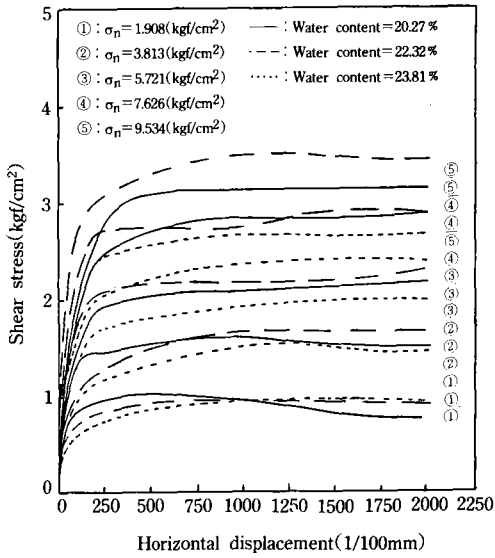


Fig. 5. Typical load-displacement curves (Clay/KM 80001)

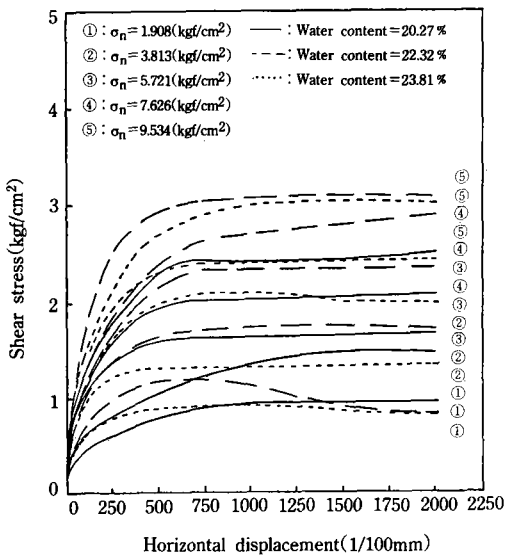


Fig. 6. Typical load-displacement curves (Clay/P 530)

단위중량에서는 건조층 함수비에서 시공하는 것이 비록 施工性은 떨어지더라도 흙-土木纖維의 剪斷應力을 증진시킬 수 있을 것으로 생각된다.

粘土는 Fig. 5와 Fig. 6과 같이 粘土質모래와는

달리 剪斷應力의 수치가 最適含水比에서 가장 큰 값을 보이고 습윤층 함수비에서 가장 작은 값을 보이고 있다. 이 현상은 섬유 종류에 무관하여 織布, 不織布에서 비슷한 경향이였다. 따라서 粘土質모래에서와 마찬가지로 가능하면 건조층 함수비에서 施工하는 것이 유리할 것이다.

다. 土木纖維의 引張強度가 應力-變形度 곡선에 끼치는 影響

土木纖維의 引張強度가 應力-變形度 곡선에 끼치는 영향을 분석하기 위하여 垂直應力이 5.721kgf/cm²이고 最適含水比 상태에서 應力-變形度 곡선을 도시하면 Fig. 7에서 Fig. 10까지와 같다.

Fig. 7의 粘土質모래-織布는 섬유의 引張強度가 KM80001은 635kgf/2.54cm이고 KM7001은 178kgf/2.54cm로써 많은 차이가 있음에도 불구하고 應力-變形度 곡선에서의 剪斷應力의 차이는 크게 나타나지 않고 있다. 이 결과는 Fig. 8의 粘土質모래-不織布, Fig. 9의 粘土-織布,

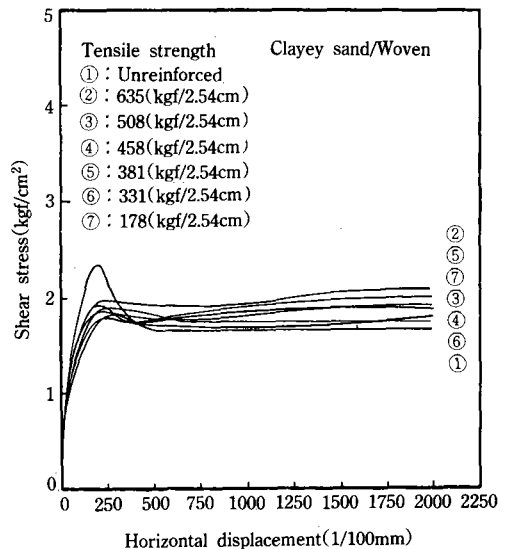


Fig. 7. Typical load-displacement curves ($\sigma_n=5.721 \text{ kgf/cm}^2$, Water content=12.75%)

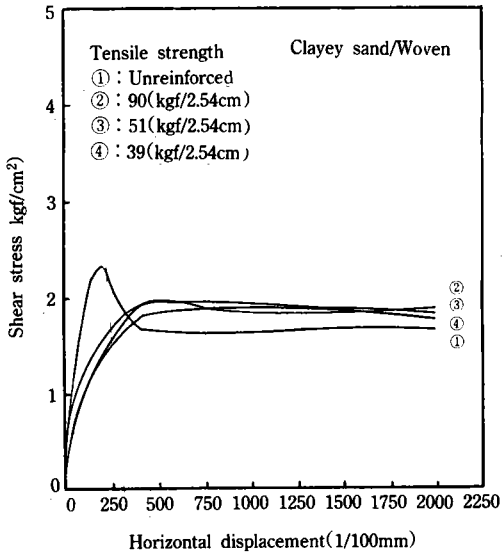


Fig. 8. Typical load-displacement curves
($\sigma_n = 5.721 \text{ kgf/cm}^2$, Water content = 12.75 %)

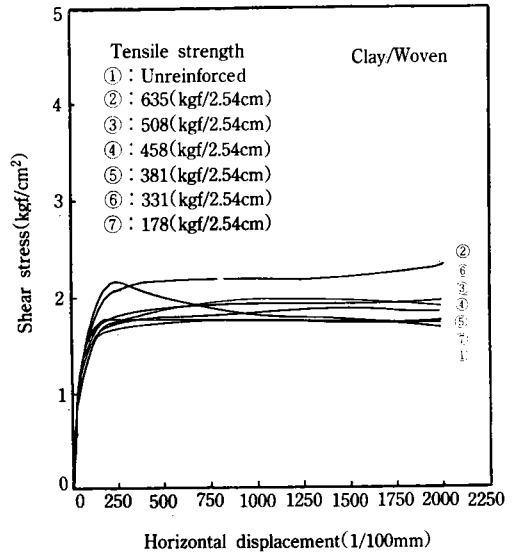


Fig. 9. Typical load-displacement curves
($\sigma_n = 5.721 \text{ kgf/cm}^2$, Water content = 22.32 %)

Fig. 10의 粘土-不織布에서도 거의 비슷한 결과를 보이고 있다. 이는 흙-土木纖維 剪斷應力의 특성에는 土木纖維의 引張強度가 크게 영향을 미치지 않는다는 Formazin⁵⁾(1985), William¹⁹⁾(1986), Jone⁹⁾(1986), Fourie⁶⁾(1987)의 연구결과와 일치하고 있다. Robert¹⁷⁾(1987)는 剪斷強度는 흙의 제반 특성과 土木纖維의 특성 및 剪斷시험 방법 등에 영향을 받는 것은 확실하지만, 영향을 많이 받는 것은 纖維 표면의 凹凸이라고 한 바 있다.

본 연구에서도 織布중에서 가장 높은 引張強度인 KM80001의 引張強度가 635kgf/2.54cm인데 비하여 不織布인 P515의 引張強度는 39kgf/2.54cm로 거의 1/20 정도에 불과하다. 그러나 동일한 垂直荷重에서 이 2종류 土木纖維의 剪斷應力-應力-變形度 곡선에서 큰 차이가 없는 것으로 나타난 것으로 보아 引張強度가 剪斷應力에 끼치는 영향보다는 오히려 섬유 表面의 凹凸에 의한 영향이 크다고 생각된다.

그러나 土木纖維는 土木構造物에 補強材로

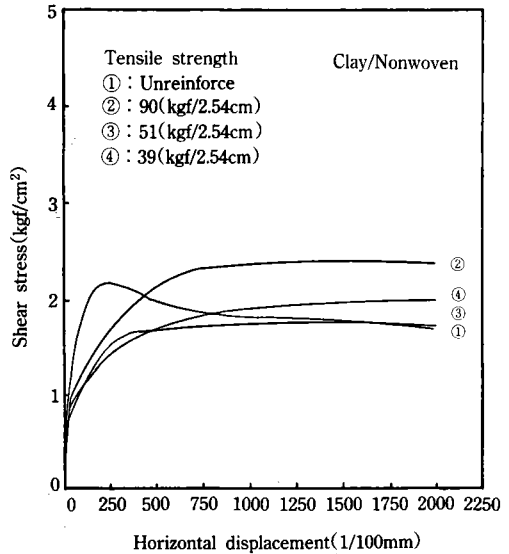


Fig. 10. Typical load-displacement curves
($\sigma_n = 5.721 \text{ kgf/cm}^2$, Water content = 22.32 %)

사용될 때 단지 剪斷應力만 작용하지는 않는다. 土木構造物 내에 포설된 土木纖維는 引張強度로써 支持力 증가, 作用荷重 分散, 軟弱한 基

礎地盤과 盛土材 사이에 分離作用 등으로 補強의 역할을 하는 것이다. 여러가지 기능이 相互補完 작용함으로써 補強材로써 기능을 발휘한다고 할 때 土木纖維의 引張強度가 흙-土木纖維의 剪斷應力에 끼치는 영향이 적다는 결과만으로 낮은 引張強度의 土木纖維를 補強材로 사용해서는 무리가 있을 것이다.

2. 흙-土木纖維 接觸面の 内部摩擦角 및 粘着力

應力-變形度 곡선에서 剪斷應力の 最大點 또는 平均變位가 試料 直徑의 15%에 대응하는 剪斷應力을 垂直荷重에 대한 剪斷應力으로 하고, 橫軸에 垂直應力 σ_n (kgf/cm²), 縱軸에 剪斷應力 τ (kgf/cm²)를 취해 그 관계를 直線으로 구하여 垂直荷重-剪斷應力 直線을 作圖한 후 粘着力 C(kgf/cm²)와 内部摩擦角 ϕ (°)를 구하여 정리한 결과는 Table-4와 같다.

Jones⁹⁾(1986)와 Miyamori¹³⁾(1986)는 土木纖維가 흙 속에 補強材로써 매설되고 破壞形態가 剪斷破壞로 豫見될 때

$$\frac{\tan \phi(\text{흙/土木纖維})}{\tan \phi(\text{흙/흙})} = \text{内部摩擦角係數} \dots \text{Eq. (1)}$$

라는 内部摩擦角係數 개념과,

$$\frac{C(\text{흙/土木纖維})}{C(\text{흙/흙})} = \text{粘着力係數} \dots \text{Eq. (2)}$$

라는 粘着力係數 개념을 도입하여 土木纖維 補強構造物 安定度 분석의 설계기준으로 하고자 하였다. 본 연구에서도 이 연구성과를 바탕으로 하여 粘土質모래와 粘土에 대한 土木纖維 接觸面 剪斷強度의 특성, 즉 内部摩擦角係數와 粘着力係數를 Eq. (1)과 Eq. (2)로 계산하고 Table-5, 6과 같이 表로 작성·분석하였다.

가. 흙-土木纖維 接觸面の 内部摩擦角係數

Table-5의 흙-土木纖維 接觸面 内部摩擦角係數는 0.66~0.97 범위이며, 이 값은 Myles¹⁴⁾(1982)의 연구결과인 0.75, Jones⁹⁾(1986)의 0.5~1.0(0.75 Typical), Fourie⁶⁾(1987)의 0.5~0.6에 비하면 약간 큰 값을 보였고, Miyamori¹³⁾(1986)의 0.72~0.87과는 거의 같은 값으로 나타났다.

또한 不織布는 織布에 비하여 引張強度가 거의 1/20 정도에 불과함에도 불구하고 内部摩擦角係數의 감소 정도는 크지 않았다. 따라서 비슷한 引張強度라면 不織布가 織布에 비하여 摩擦特性이 양호하며, 이는 Formazin⁵⁾(1985)을 비롯하여 Fourie⁶⁾(1987), Robert¹⁷⁾(1987) 등의 연구결과와 일치하는 것이다. 그러나 같은 종류의

Table-4. Summary of the interface friction angle and cohesion

Geotextile	Clayey sand						Clay					
	11.73(%)		12.75(%)		14.45(%)		20.27(%)		22.32(%)		23.81(%)	
	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C
Unreinforced	37.1	1.2	40.1	1.3	37.0	1.2	35.2	2.3	37.2	2.5	29.3	2.2
KM 80001	32.2	1.1	34.5	1.2	31.2	1.0	30.3	1.7	34.1	1.8	28.4	1.7
KM 70001	32.2	1.1	34.2	1.2	30.8	1.0	29.0	1.7	30.9	1.8	27.6	1.5
KM 60001	31.6	1.1	33.7	1.2	29.4	0.9	27.3	1.7	28.8	1.7	25.8	1.5
KM 50001	30.8	1.0	32.8	1.1	28.6	0.8	26.6	1.7	27.5	1.7	24.4	1.5
KM 30001	29.8	0.9	30.6	0.9	27.1	0.8	25.6	1.4	26.4	1.5	24.3	1.3
KM 7001	28.4	0.9	29.6	0.9	26.2	0.7	24.6	1.3	25.0	1.4	22.8	1.2
P 530	28.5	1.2	30.7	1.3	26.7	1.1	29.0	1.8	30.3	1.9	25.8	1.6
P 520	28.2	1.2	29.4	1.3	25.2	1.1	27.0	1.6	29.1	1.8	22.7	1.5
P 515	25.9	1.1	27.7	1.2	24.3	1.0	26.5	1.4	27.8	1.6	21.8	1.3

纖維에서는 引張強度가 크면 클수록 内部摩擦角係數는 큰 값으로 나타났다. 따라서 土木纖維를 土工構造物의 補強材로 사용할 경우에는 支持力의 증가 효과를 고려해서라도 높은 引張強度의 土木纖維를 사용하는 것이 좋을 것이다.

흙의 含水比의 영향은 最適含水比, 건조축, 습윤축의 순서로 内部摩擦角係數의 값이 큰 결과를 보이고 있는 데, 이는 동일한 95%의 乾燥單位重量에서라면 最適含水比보다는 건조축 含水比에서 시공하는 것이 유리하다는 것을 입증하는 것이다.

粘土質 土工構造物에서는 内部摩擦角은 존재

하더라도 安定度 계산해서 무시하는 경향이 있으며, 이러한 設計指針은 William¹⁹⁾(1986)에 의하여 제안된 바 있다. 이러한 관점에서 土木纖維로 補強하는 土工構造物에서 粘土質모래-土木纖維 接觸面의 内部摩擦係數는 0.66~0.97의 범위이며, 평균치인 0.82를 설계에 반영하여도 무난할 것이며, 이 값은 지금까지 연구결과와 큰 차이가 없다.

나. 흙-土木纖維 接觸面의 粘着力係數

Table-6의 粘着力係數는 0.55~1.0 범위이며, 이 값은 Jones⁹⁾(1986)의 연구결과인 0.5~0.7, Fourie⁶⁾(1987)의 0.5~0.6, Miyamori¹³⁾(1986)

Table-5. Internal friction angle factors resulting from direct shear test

Geotextile	Clayey sand			Clay		
	11.73(%)	12.75(%)	14.45(%)	20.27(%)	22.32(%)	23.81(%)
Unreinforced	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
KM 80001	0.87	0.86	0.84	0.86	0.92	0.97
KM 70001	0.87	0.85	0.83	0.82	0.83	0.94
KM 60001	0.85	0.84	0.79	0.78	0.77	0.88
KM 50001	0.83	0.82	0.77	0.76	0.74	0.83
KM 30001	0.80	0.76	0.73	0.73	0.71	0.83
KM 7001	0.77	0.74	0.71	0.70	0.67	0.78
P 530	0.77	0.77	0.72	0.82	0.81	0.88
P 520	0.76	0.73	0.68	0.77	0.78	0.77
P 515	0.70	0.69	0.66	0.75	0.75	0.74

Table-6. Cohesion factors resulting from direct shear test

Geotextile	Clayey sand			Clay		
	11.73(%)	12.75(%)	14.45(%)	20.27(%)	22.32(%)	23.81(%)
Unreinforced	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
KM 80001	0.92	0.92	0.83	0.74	0.72	0.77
KM 70001	0.92	0.92	0.83	0.74	0.72	0.68
KM 60001	0.92	0.92	0.75	0.74	0.68	0.68
KM 50001	0.83	0.85	0.67	0.74	0.68	0.68
KM 30001	0.75	0.69	0.67	0.61	0.60	0.59
KM 7001	0.75	0.69	0.58	0.57	0.56	0.55
P 530	1.00	1.00	0.92	0.78	0.76	0.73
P 520	1.00	1.00	0.92	0.70	0.72	0.68
P 515	0.92	0.92	0.83	0.61	0.64	0.59

의 0.68~0.71에 비하여 上限値에서 비교적 큰 값을 보였다.

土木纖維의 種類에 따른 粘着力係數의 變化는 織布0.55~0.92, 不織布 0.59~1.00의 범위를 보이고 있다. 不織布는 織布에 비하여 引張強度가 작음에도 불구하고 粘着力係數가 큰 값으로 나타나는 것으로 보아 内部摩擦角 뿐만 아니라 粘着力에 있어서도 不織布가 織布보다 양호할 것이다. 또한 흙의 함수비는 粘着力係數의 變化에 뚜렷하게 영향을 끼치는 것은 아니지만, 内部摩擦角係數 분석과 마찬가지로 동일한 95%의 건조단위중량이라면 最適含水比보다 건조측 함수비에서 시공하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

V. 結 論

干拓地를 비롯한 軟弱地盤의 補強材로써 土木纖維 이용은 一般化되어 가고 있고 使用量도 증가하고 있다. 흙의 낮은 引張強度 특성을 補強하기 위하여 土木纖維가 쓰이기 시작하면서 많은 종류의 土木纖維가 개발되고, 이 土木纖維들은 주로 濾土, 排水, 分離, 補強의 기능으로 중요한 土木資材로 자리를 잡게 되었다.

본 연구에서는 특히 土木纖維가 土工構造物에 補強材로 사용될 때 흙-土木纖維 接觸面의 剪斷強度 특성을 분석하여 설계자료를 제시하고자 여러가지의 조건에서 시험을 수행하고 분석하였다. 특히 흙의 종류를 粘土質모래와 粘土 두 종류로 나누고 흙의 함수비의 영향에 따른 剪斷強度의 특성의 變化를 究明하고자 하였으며, 섬유는 폴리에스터인 織布와 폴리프로필렌인 不織布 두 종류를 사용하고 섬유의 중요한 특성 중의 하나인 引張強度의 變化에 따른 剪斷強度의 變化를 분석하기 위하여 9가지 종류의 引張強度에 變化를 고려하였다. 이러한 흙-土木纖維 接觸面에서의 剪斷強度의 특성을 분석하는데는 지금까지 많은 연구자들이 시도하였던 直接剪

斷試驗法을 이용하였고 그 결과의 분석은 應力-變形度 곡선과 内部摩擦角 및 粘着力에 대하여 분석하였다.

이러한 시험과 분석을 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 흙-土木纖維 接觸面의 應力-變形度 곡선에서는 殘留剪斷應力이 존재하며, 이는 土木纖維의 動水傾斜 특성에 영향을 받는 것으로 섬유 내의 空隙이 작용 垂直應力으로 발생되는 過剩空隙水壓을 消散시키기 때문이다.

2. 흙의 含水比는 흙-土木纖維 接觸面의 剪斷強度에 영향을 미치며, 最適含水比 보다 건조측 함수비일 때 큰 값을 보이고 있다.

3. 土木纖維의 引張強度는 흙-土木纖維 接觸面의 剪斷強度에 뚜렷하게 영향을 끼치지 않으며, 오히려 土木纖維 表面의 凹凸이 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 그러나 土木纖維를 土工構造物의 補強材로 사용할 때 支持力 효과 등을 고려해서 높은 引張強度의 土木纖維를 사용하는 것이 좋을 것이다.

4. 粘土質모래-土木纖維 接觸面의 内部摩擦角係數는 0.66~0.97의 범위이며 평균 0.82로 나타났다.

5. 粘土-土木纖維 接觸面의 粘着力係數는 0.55~0.78의 범위이고 평균 0.67로 나타났다.

이 論文은 1988年度 文敎部 支援 學術振興 財團 自由公募課題 學術研究造成費에 의하여 研究되었음.

參 考 文 獻

1. Barksdale, R., Q. Robnett and J. Lai, 1982, Experimental and Theoretical Behavior of Geotextile Reinforced Aggregate Soil Systems, Proc. of the 2nd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 375-380.
2. Collios, A., P. Delmas, J. P. Gource and J. P. Giroud, 1980, The Use of Geotextiles for Soil Improvement, ASCE National Conven-

- tion, Portland, Oregon, pp. 53-73.
3. Degoutte, G. and G. Matthieu, 1986, Experimental Research of Friction between Soil and Geomembranes or Geotextiles using 300 mm Shear Box, Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Geotextiles, pp. 791-796.
 4. Dembicki, E. and J. Alenowicz, 1987, Determination of Frictional Properties of Geotextiles, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 6, pp. 307-314.
 5. Formazin, J. and C. Batereau, 1985, The Shear Strength Behavior of Certain Materials on the Surface of Geotextiles, Proc. of the 11th Int'l. Conf. on SM and FE, San Francisco, California, Vol. 3, pp. 1773-1775.
 6. Fourie, A. B. and K. J. Fabian, 1987, Laboratory Determination of Clay-Geotextile Interaction, Geotextiles and Geomembranes Vol. 6, pp. 275-294.
 7. Ingold, T. S., 1985, A Laboratory Investigation of Soil Geotextile Interaction, Ground Engineering, Vol. 22, pp. 21-28.
 8. Jewell, R. A. and C. P. Wroth, 1987, Direct Shear Tests on Reinforced Sand, Geotechnique, No. 1, pp. 53-68.
 9. Jones, C. P. D., 1986, Design Parameters for High Strength Geotextiles, Proc. of the 3rd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 325-330.
 10. Martin, J. P., R. M. Koerner and G. R. Koerner, 1986, Shear Strength Parameters between Geomembranes and Cohesive Soils, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 4, pp. 21-30.
 11. Martin, J. P., R. M. Koerner and J. E. Whitney, 1984, Experimental Friction Evaluation of Slippage Between Geomembranes, Geotextiles and Soils, Proc. of 1st Int'l Conf. on Geotextiles, pp. 191-196.
 12. Mitchell, J. K. and F. Schlosser, 1979, General Report, Proc. of 1st Int'l Conf. on Geomembranes, Vol. 1, pp. 25-74.
 13. Miyamori, T., S. Iwai and K. Makiuchi, 1986, Frictional Characteristics of Non-Woven Fabrics, Proc. of the 3rd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 701-705.
 14. Myles, B., 1982, Assessment of Soil-Fabric Friction by Means of Shear, Proc. of 2nd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 787-792.
 15. Paulson, J. N., 1987, Geosynthetic Materials and Physical Properties Relevant to Soil Reinforcement Applications, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 6, pp. 211-223.
 16. Richards, E. A. and J. D. Scott, 1985, Soil Geotextile Frictional Properties, Proc. 2nd Canadian Symposium on Geotextiles and Geomembranes, pp. 13-24.
 17. Robert H. Swan Jr, 1987, The Influence of Fabric Geometry on Soil/Geotextile Shear Strength, Geotextiles and Geomembranes Vol. 6, pp. 81-87.
 18. Saxena, S. K. and J. S. Budiman, 1985, Interface Response of Geotextiles, Proc. of the 11th Int'l. Conf. on SM and FE, San Francisco, Vol. 3, pp. 1801-1804.
 19. Williams, N. D. and M. Houlihan, 1986, Evaluation of Friction Coefficients between Geotextiles and Related Products, Proc. of the 3rd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 891-896.
 20. 高弘錫, 1988, 有限要素法에 의한 土木纖維 補強 構造物의 解析, 全北大學校 農大論文集, 第19輯, pp. 135-149.
 21. 高弘錫, 1988, 土木纖維 補強 構造物의 應力 變 舉動 解析, 韓國農工學會誌, 第30卷, 第4號, pp. 94-108.

(接受日字 : 1991. 3. 9)