

섬유혼합보강토의 일축강도 특성

Unconfined Strength Characteristics of Fiber Reinforced Soil

장 병 욱*·박 영 곤**·우 철 용***·김 강 석***
Chang, Pyoung Wuck ·Park, Young Kon ·Woo, Chull Woong ·Kim, Kang Suk

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the properties of unconfined strength of dry soil which was reinforced with polypropylene fiber. It is found that unconfined compressive strength and strain of dry soil without fiber were decreased as water content was increased. As mixing ratio of fiber was increased, unconfined compressive strength and failure strain of dry soil reinforced with polypropylene fiber were increased. When mixing ratio was larger than 0.5%, unconfined compressive strength was gradually increased. The longer fiber was, the larger post peak strength was obtained and the larger strain was reached. Tensile strength of dried fiber reinforced soil was larger than that of dry soil without fiber.

I. 서 론

흙을 건설재료로 사용함에 있어서 가장 큰 관심사는 강도 증진이며, 현장지반에 대한 흙의 연구 및 시공은 강도 증진을 위한 각종 재료의 혼합과 공법을 중심으로 이루어졌다. 현장지반의 강도 증진뿐만 아니라 흙을 건조하여 벽체나 벽돌 등 구조물의 재료로 사용할 때 강도의 증진은 중요한 문제이었으며 이때 보강재로서 짚 등을 사용하여 보강의 효과를 본 전통적인 방법이 있다. 그러나 전통적인 건축 구조용 재료로 사용되었던 흙에 대한 공학적인 연구와 특히 이러한 재료의 보강에 대한 연구는 국내외적으로 미흡한 실정이다.

섬유혼합보강토에 관한 연구로 Gray와 Ohashi,⁹⁾ Maher와 Gray¹⁰⁾는 모래질 흙을 대상으로 하여 전단강도의 개선효과를 평가하였고, 국내에서도 조, 김^{3,4)}은 화강 풍화토와 실트질 흙을 대상으로 하여 폴리에스테르(polyester)섬유 2종을 보강하여 섬유 직경, 길이, 혼합비, 구속응력에 따른 일축 및 삼축 전단특성을 연구하였다. 또한 Benedito de Souza 등⁷⁾은 섬유혼합보강토의 전단강도특성은 점성토 및 조립토 등 흙의 종류보다 섬유의 기하학적인 특성(섬유의 길이, 직경)에 의존한다고 발표하였고 그 외에도 Cardoso de Lima 등⁸⁾은 할렐 인장시험을 통해 섬유의 효과를 연구하였다.

일반적으로 콘크리트 보강용 섬유로 사용되고

*서울대학교 농업생명과학대학

**서울대학교 농업개발연구소

***서울대학교 대학원

키워드 : 일축압축강도, 인장강도, 섬유혼합보강토, 파괴강도, 형상비, 폴리프로필렌, 보강

있는 폴리프로필렌 섬유를 흙과 혼합한 연구를 소개하면 다음과 같다. Al Wahab와 ElKedrah⁵⁾는 매립지 라이너(liner)에 폴리프로필렌 섬유를 보강함으로써 섬유의 인장균열 감소효과와 일축압축강도에 대한 영향을 연구하였고, Nataraj 등¹¹⁾은 망사형 폴리프로필렌(fibrillated polypropylene) 섬유를 대상으로 섬유 혼합에 의해 모래와 점토의 최고 강도 후(post peak) 압축강도가 크게 개선됨을 밝혀냈으며 적절한 혼합비로 0.3%의 증량비를 제시하기도 하였다. 또한 백²⁾은 폴리프로필렌 섬유가 콘크리트 보강용 재료로서 적합한지를 판정하기 위해 섬유의 혼합비, 길이, 형태를 변화시켜 연구하기도 하였다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 보강용으로 널리 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유를 흙과 혼합하여 조제한 섬유혼합보강토의 일축강도특성을 구명하여 건축구조물인 흙벽(soil wall) 재료 개발의 일환으로 그 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 시험방법

1. 재 료

연구에 사용한 흙 시료는 수원지역에서 채취하였으며 입도분포곡선은 Fig. 1과 같다.

Fig. 2는 흙의 함수비에 따른 건조밀도와와의 관계를 나타낸 것으로 최적함수비(Optimum Moisture Content, OMC)와 최대건조밀도는 흙의 기초 물성치와 함께 Table 1에 정리하였다.

섬유는 콘크리트 보강용 재료로 널리 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유로서 물리·화학적인 특성은 Table 2와 같다. 폴리프로필렌 섬유는 섬유의 제조 방식 및 형태에 따라 단사(monofilament

fiber, PF)와 망사(fibrillated fiber, PM)가 있으며 본 연구에서는 섬유의 절단길이에 따라 단사 3종(6mm, 12mm, 19mm), 망사 3종(19mm, 25mm, 38mm)의 6종을 선정하였다.

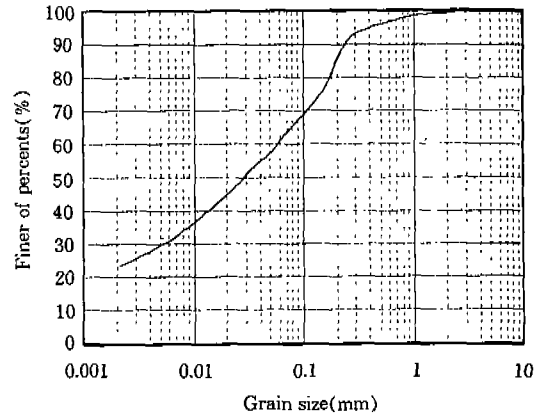


Fig. 1. Grain size distribution curve of soil

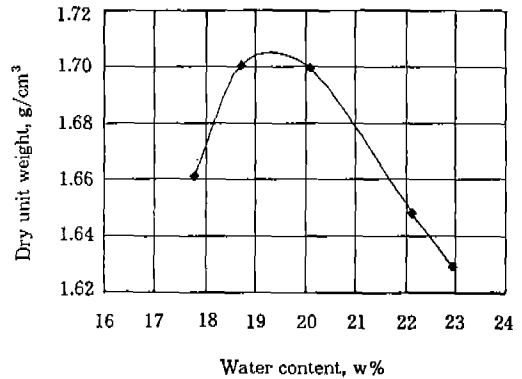


Fig. 2. Dry density vs. water content of soil

Table 2. Chemical and physical properties of fiber

Fiber element	Specific gravity	Tensile strength (MPa)	Melting point (°C)	Young's modulus (MPa)	Diameter (mm)
Polypropylene	0.91	350~770	164	3,500	0.082

Table 1. Physical properties of soil

Location	Specific gravity	Liquid limit (%)	Plasticity index (%)	USCS	OMC (%)	Max. dry density (g/m³)
Suwon	2.62	38	21	CL	19.6	1.70

2. 시험방법

재료의 혼합은 최적함수비 상태를 기준으로 이미 계량된 섬유, 흙, 물을 Fig. 3과 같은 섬유 혼

합기를 이용하여 혼합하였으며 6mm, 12mm 단사는 30분~40분, 19mm 단사와 19mm 망사는 1시간~1시간 30분, 25mm, 38mm 망사는 1시간 30분~2시간 동안 혼합하여 섬유길이 가 긴 경우는 짧은 경우보다 혼합시간을 늘렸다. 혼합비는 건조토의 중량에 대한 섬유 중량비로 하였다.

공시체는 직경이 10cm이고 높이가 20cm로 직경과 높이의 비가 2이다. 1종의 실험조건에 대해서 공시체는 3개를 제작하여 평균치를 구하였다. 그리고 공시체의 건조는 급작스런 건조시 표면균열 등의 우려가 있기 때문에 24시간 동안 공기 중에 건조시킨 후 실내가 항상 60°C로 유지되는 건조 장치를 이용하여 4일 동안 건조하였다.

일축강도(압축 및 인장) 시험에 사용된 기기는 독일 Zwick사의 Z101모델인 만능재료시험기(universal testing machine)로서 최고 10tf까지 재하할 수 있다. 일축강도 시험에서의 재하 속도는 3mm/min이며, 일축인장 시험은 KSF 2423의 할렬인장시험에 의해 수행하였다.

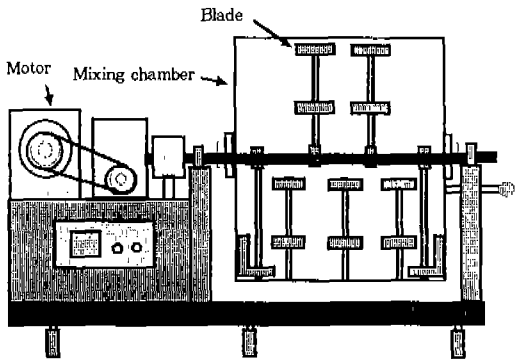


Fig. 3. Schematic view of fiber mixer

III. 결과 및 고찰

1. 섬유혼합보강토의 다짐특성

가. 섬유 혼합비에 따른 최대건조밀도

섬유혼합보강토의 섬유 혼합비에 따른 최대건조밀도와 관계는 Fig. 4와 같다. 그림에서 섬유의 양이 증가함에 따라 최대건조밀도는 감소하였는데

이는 섬유 양의 양이 증가할수록 흙이 차지하는 체적과 중량이 상대적으로 감소하기 때문이다. 또한 섬유의 길이에 따른 최대건조밀도는 섬유의 양에 따라서 다소 차이는 있지만 섬유의 길이가 증가함에 따라 대체적으로 감소하였는데, 섬유의 길이 증가는 섬유의 양과 마찬가지로 섬유의 체적 증가를 유발시키기 때문이다. 섬유의 형태에 따른 최대건조밀도는 단사가 망사인 경우보다 큰 최대건조밀도를 나타내었는데, 이는 단사가 망사보다 흙사이의 간극을 더 잘 채우기 때문인 것으로 사료된다.

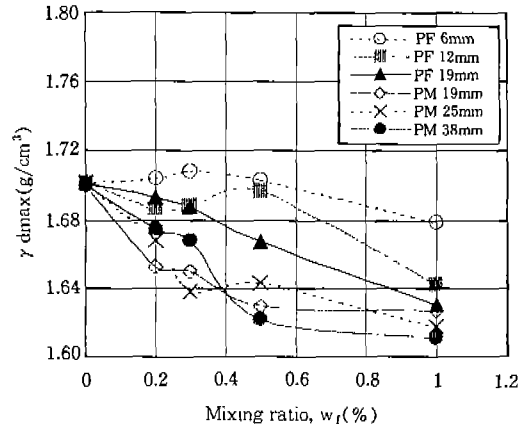


Fig. 4. Max. dry density vs. mixing ratio of fiber reinforced soil

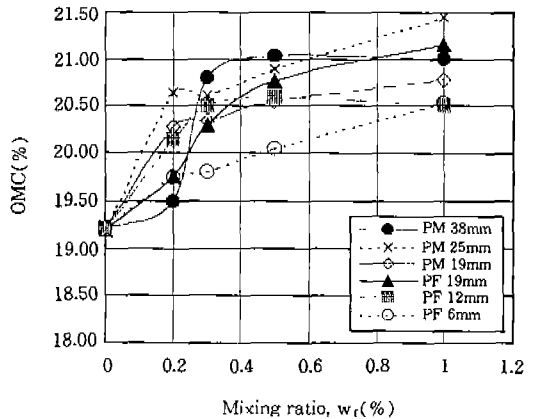


Fig. 5. Optimum moisture content vs. mixing ratio of fiber reinforced soil

나. 섬유 혼합비에 따른 최적함수비

섬유의 혼합비에 따른 최적함수비와의 관계는 Fig. 5와 같다. 그림에서 섬유의 양이 증가함에 따라 최적함수비는 증가하지만 섬유의 종류에 따른 최적함수비의 일관된 특징은 찾아내기 어렵다. 섬유의 양이 증가함에 따라 최적함수비가 증가하는 이유는 흙 입자와 섬유의 형상이 상이하여 섬유의 신축성에 의한 스펀지현상이 크게 증대하기 때문으로 사료된다.

동일한 혼합비 조건에서 섬유의 종류에 따라 최적함수비는 1%~1.2%의 차이를 보이며 모든 경우에 있어서 섬유를 혼합하지 않은 경우의 최적함수비인 19.2%보다 크게 나타났다

2. 비건조된 섬유혼합보강토의 강도특성

건조된 공시체의 강도를 알아보기 전에 섬유를 혼합한 경우와 혼합하지 않은 경우에 대해서 공시체 제작 직후의 비건조된 섬유혼합보강토의 일축압축강도를 알아보았다. 섬유혼합보강토는 Fig. 6과 같이 섬유의 종류와 길이에 따라서 큰 강도 변화가 없었으며 일축압축강도는 200kPa 전·후의 값을 보여 주었다. 한편 파괴변형률은 섬유의 길이가 증가함에 따라 대체적으로 증가하는 경향을 보였다.

3. 건조된 섬유혼합보강토의 강도특성

가. 섬유혼합보강토의 일축압축강도와 변형률
 섬유혼합보강토의 일축압축강도와 변형률과의 관계를 섬유를 혼합하지 않은 경우와 비교하면 Fig. 7과 같다. 그림에서 6mm, 19mm 단사, 38mm 망사를 각각 0.3% 혼합하였을 경우와 섬유를 혼합하지 않았을 경우에 대해서 최대 강도의 60%에 해당하는 강도를 발현할 때까지 도시한 것이다. 섬유의 길이가 증가할수록 최대일축강도는 증가하며 변형률도 증가한다. 섬유를 혼합하지 않은 흙의 경우와 6mm 단사를 0.3%를 혼합한 경우에 있어서 건조된 섬유혼합보강토의 강도 및 변형률은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 38mm 망

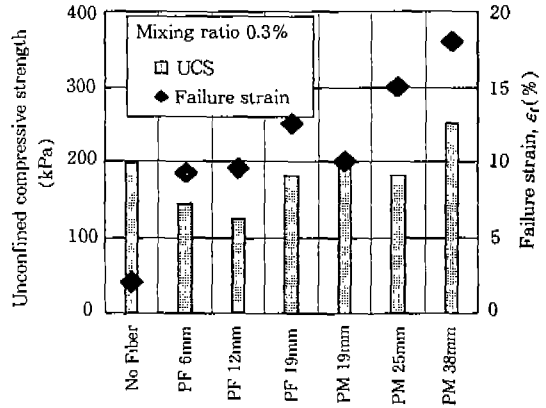


Fig. 6. Unconfined compressive strength(UCS) and failure strain of soil and fiber reinforced soil with moisture

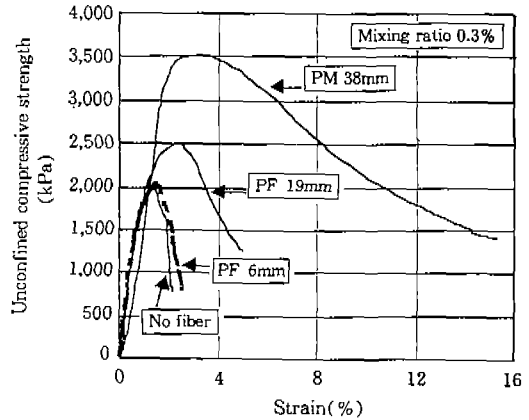


Fig. 7. Unconfined compressive strength and strain of soil and fiber reinforced soil

사의 경우 섬유를 혼합하지 않은 경우에 비해 약 1.7배에 해당하는 강도를 보이며 파괴 이후 큰 변형률에서도 급작스런 강도저하가 발생하지 않음을 알 수 있다.

나. 일축강도

섬유를 혼합하지 않은 공시체에 대한 공시체 제작시의 함수비와 건조 후 일축압축강도와와의 관계는 Fig. 8과 같다. 그림에서 최적함수비보다 1~7% 이상 높은 함수비에서 일축압축강도는 1,930~2,020kPa(평균 1,990kPa, 표준편차 26kPa)

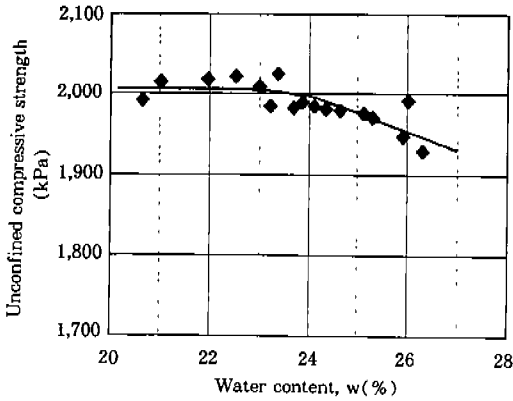


Fig. 8. Unconfined compressive strength vs. water content of soil without fiber

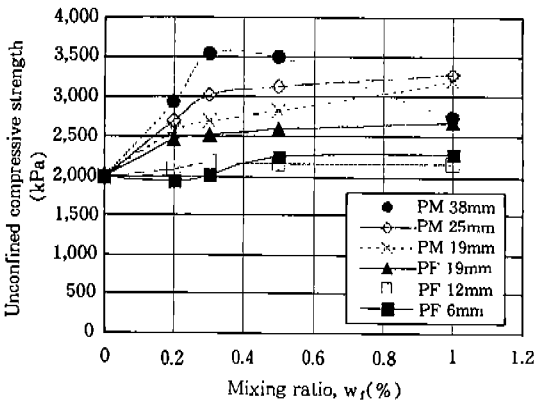


Fig. 9. Unconfined compressive strength vs. mixing ratio of fiber reinforced soil

이다. 또한 공시체를 제작할 때의 함수비를 23% 이하로 한다면 강도는 1,980~2,020kPa(평균 2,005kPa, 표준편차 17kPa)이며 이보다 높은 함수비에서는 강도가 크게 감소한다. 이처럼 공시체를 제작할 때의 함수비는 일축압축강도에 큰 영향을 미치며 최적함수비 습윤층 4%를 넘지 않는다면 비교적 균일한 강도를 얻을 것으로 사료된다.

건조된 섬유혼합보강토에서 섬유의 혼합비, 섬유의 형태에 따른 일축압축강도와의 관계는 Fig. 9와 같다. 그림에서 섬유의 양이 증가할수록 대부분의 섬유 형태에 대해 일축압축강도는 증가하였다. 하지만 6mm 단사를 0.2% 혼합하였을 경우에

강도는 약간 감소하였고 12mm 단사의 경우에는 0.3%~1.0%까지 강도는 점차적으로 감소 하였으며 38mm 망사는 1.0%를 혼합하였을 경우에 강도가 급격히 감소하였다. 이상의 결과에서 섬유의 양이 증가하면 대체적으로 일축압축강도가 증가하지만 섬유의 길이 38mm 이상에서는 섬유혼합에 의한 보강 효과를 크게 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

섬유의 형태에 따른 건조된 섬유혼합보강토의 인장강도는 Fig. 10과 같다. 여기서 섬유혼합보강토의 인장강도는 비혼합토에 비해 모두 증가하였고, 특히 섬유의 길이가 긴 38mm 망사를 혼합하였을 때 인장강도는 비혼합토의 2.5배 이상으로 증가하였다.

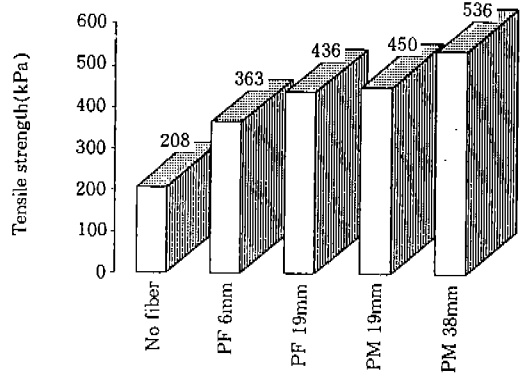


Fig. 10. Tensile strength vs. type of reinforced soil

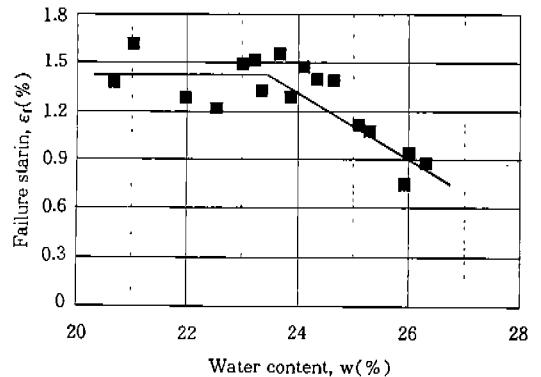


Fig. 11. Failure strain vs. water content of soil without fiber reinforcement

다. 파괴변형률

섬유를 혼합하지 않은 공시체에 대해서 공시체를 제작할 때의 함수비와 파괴변형률과의 관계는 Fig. 11과 같다. 그림에서 파괴변형률은 비진조토의 파괴변형률인 2.0% 보다 작다. 이는 공시체가 건조 후 취성이 증가했다고 판단할 수 있다. 또한 23% 보다 작은 함수비에서 공시체를 제작한다면 파괴변형률은 1.2%~1.6%(평균 1.4%, 표준편차 0.14%)로서 비교적 균일하며 이보다 높은 함수비에서는 급격하게 작아짐을 알 수 있다.

섬유의 형태 및 길이에 따른 섬유혼합보강토의 파괴변형률과 혼합비의 관계는 Fig. 12와 같다. 즉 섬유의 양이 증가할수록 모든 경우에 있어서 파괴변형률이 증가하였고, 증가하는 형태는 대수적이기보다는 지수적으로 증가하였다. 각각의 경우를 보면 6mm 단사의 경우 섬유의 양이 가장 많은 1.0%에서 비혼합토에 비해 변형률이 약 70% 정도 증가하였다. 한편 섬유의 길이가 가장 긴 38mm 망사의 경우는 10배 정도 큰 변형률에서 최대 일축압축강도를 발현하였다.

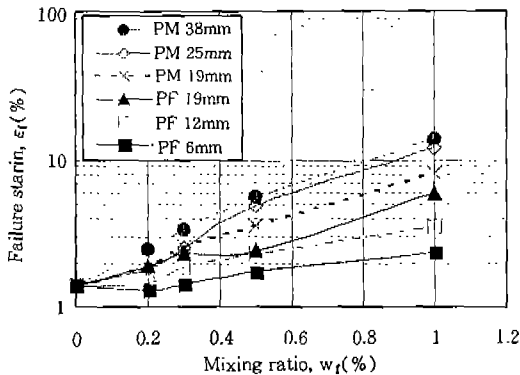


Fig. 12. Failure strain vs. mixing ratio of dried fiber reinforced soil

IV. 요약 및 결론

건축구조물인 흙벽의 재료개발에 대한 기초연구로서 수원지역에서 채취한 점토질 흙에 콘크리트 보강용 섬유로 사용되는 폴리프로필렌 섬유를 혼

합한 섬유혼합보강토의 일축강도특성은 다음과 같다.

1. 섬유를 혼합하지 않은 건조토의 일축압축강도와 파괴변형률은 최적함수비 습윤층 4% 이전에는 비교적 일정하고 이후에는 크게 감소한다.
2. 섬유를 혼합한 건조토의 일축압축강도와 파괴변형률은 섬유의 양이 증가할수록 대체적으로 증가한다.
3. 섬유의 길이가 길어질수록 일축압축강도 및 파괴변형률은 증가하지만 혼합비가 0.5% 이상일 경우 일축압축강도의 증가율이 둔화되거나 감소한다.
4. 섬유의 길이가 길어질수록 최대 강도 후 상당히 큰 변형률에 이르기까지 강도를 발현한다.
5. 섬유혼합보강토의 인장강도는 비혼합토에 비해 크게 나타났으며 섬유의 길이가 길어질수록 대체적으로 증가한다.

이 논문은 1998년도 농림수산특정연구사업에 의한 연구지원과제의 일부 결과임

참 고 문 헌

1. 김경환, 1996, 최신 섬유재료학, 문운당, pp. 185197.
2. 백상현, 1996, 폴리프로필렌 합성섬유보강 콘크리트의 강도 및 건조수축균열제어 특성 연구, 서울대학교 대학원석사학위논문.
3. 조삼덕, 김진만, 1993, 섬유혼합보강토의 전단 특성, '93년도 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, 지반보강, pp. 2328.
4. 한국건설기술연구원, 1994, 섬유혼합보강토 연구.
5. Al Wahab, R. M., ElKedrah, M. A., 1995, Using Fiber To Reduce Tension Cracks And Shrink/Swell in A Compacted Clay, Geoenvironment 2000, pp. 791805.
6. Barzegar, A. R., Dades, J. M., Rengasamy, P. and Murray, R. S., 1995, Tensile Strength of

- Dry, Remoulded Soils as Affected by Properties of the Clay Fraction. *Geoderma*, Vol. 65, pp. 93108.
7. Benedito de Souza, B., Cardoso de Lima, Carlos Teixeira, S. H., Ribeiro, N. J., 1996, Soil Fiber Reinforcement Basic Understanding. *Environmental Technology Proc. of the 3rd Int. Symp.*, Vol. 1, pp. 878884.
 8. Cardoso de Lima, D., Benedito de Souza, B., Lucianz, T., 1996, The Mechanical Response of Soil Lime Mixture Reinforced with Short Synthetic Fiber, *Environmental Technology: Proc. of the 3rd Int. Symp.*, Vol. 1, pp. 868877.
 9. Gray, D. H. and Ohashi, H., 1983, Mechanics of fiber reinforcement in sand. *ASCE Jr. of Geotechnical Engineering*, Vol. 109, No. 3, pp. 335353.
 10. Maher, M. H. and D. H. Gray, 1990, Static Response of Sands reinforced with randomly distributed fibers, *J. of Geotech. Eng. Div., ASCE*, 116(11), pp. 16611677.
 11. Nataraj, M. S., Addula, H. R., Mcmanis, K. L., 1996, Strength and Deformation Characteristics of Fiber Reinforced Soils, *Environmental Technology: Proc. of the 3rd Int. Symp.*, Vol. 1, pp. 826831.