복합보강토의 전단강도 특성

Shear strength characteristics of composite reinforced soils

장병욱 · 차경섭*(서울대) · 박영곤(철도기술연구원)

Chang, Pyoung-Wuck · Cha, Kyung-Seob · Park, Young-Kon

Abstract

Traditional methods of earth reinforcement consist of introducing strips, fabrics, or grids into an earth mass. Recently, discrete fibers are simply added and mixed with the soil, much the same as cement, lime or other additives. The advantages of randomly distributed fibers is the maintenance of strength isotropy, low decrease in post-peak shear strength and high stability at failure.

In this study, new composite reinforcement structures which consist of geotextile and randomly distributed discrete fibers were examined their engineering properties, such as shear strength of the composite reinforced soil. The increments of shear strength of composite reinforced soils were the sum of increments by fiber and woven geotextile respectively.

I. 서론

흙은 불연속체이기 때문에 쉽게 분리되고 인장력이 약하여 그 자체로는 구조물로서의 기능을 유지하기 어렵다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 지금까지는 주로 배면 토체에 강성 또는 연성의 평면 보강재를 삽입하여 취약한 흙의 인장력을 보완하고, 강성을 증가시켜왔다. 최근 연구에서 인장성이 높은 선형보강재를 사용한 경우, 파괴후의 전단강도 감소가 타 재료에 비해 극히 적어 파괴에 대한 높은 안정성을 도모할 수 있는 것으로 나타났으나, 아직 두 재료의 복합거동에 대한 연구는 없는 실정이다. 본 연구에서는 선형보강재료와 평면보강재료의 장점을 살린 복합적인 형태인 복합보강토의 전단강도특성을 살펴보고, 강도증가에 대한 각 보강재의 보강기작을 구명하고자 한다.

II. 사용재료

시험에서는 경기도 수원지역에서 채취한 SM계열의 시료와 의왕지역에서 채취한 ML계열의 시료를 재료로 선정하였고, 시료의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Physical properties of soils

Sample name	Location	Specific gravity	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	U.S.C.S	OMC(%)	γ_{dmax} (tf/m^3)
SW	Suwon	2.75	N.P	N.P	SM	23.0	1.61
UW	Uiwang	2.73	32.97	24.18	ML	20.2	1.70

SW시료는 200번체 통과량은 41.2%이었고, UW시료는 57.06%이었다. Fig. 1은 두 시료의 입도분석결과를 도시한 그림이다. 두 시료 모두 점토분의 양은 10%미만인 것으로 나타났다.

한편, 본 연구에서는 콘크리트 혼합재료로 사용되는 가볍고 인장강도가 큰 폴리프로필렌

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2002년 10월 12일)

섬유를 선정 사용하였으며, 형태는 망사형을 선정하였고, 본 연구에서 사용한 폴리프로필렌 섬유의 물리적 특성은 아래 Table 2와 같다.

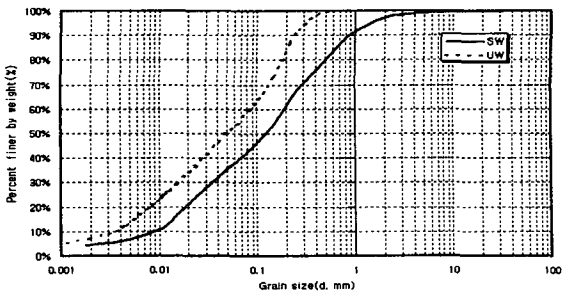


Fig. 1 Grain size distribution curves of soils

Table 2 Physical properties of fiber

Fiber element	Specific gravity	Tensile strength(MPa)	Melting point(℃)	Young's modulus (MPa)	Diameter (mm)
Polypropylene	0.91	350-770	163	3,500	0.08

평면보강재는 소규모 실내시험에 맞게 얇고 가벼우며, 조직이 균일하고 역학적 기능이 우수한 재료를 선정하였으며, 그 물리적·역학적 특성을 아래 표에 기술하였다.

Table 3 Physical properties of geotextile

Product name	Material	Tensile strength(t/m)	Expansibility (%)	Weight (g/m^2)	Permeability (cm/sec)	Type
CT30	Polyester	3.0	10-40	880	10^{-2}~10^{-4}	Woven

III. 시험방법

공시체는 제작시, SW와 UW시료에 대한 함수비와 혼합비를 결정하기위한 사전시험을 수행한 결과, OMC 건조측에서 일정한 강도를 발현하였다. 따라서, 노건조 시킨 후 함수비는 각각의 OMC에서 3%감소한 함수비를 적용하였으며, 혼합비는 시공성과 강도발현정도를 고려하여, 단섬유를 각각 0.2%, 0.3%로 혼합하는 것으로 결정하였다. 본 삼축압축시험에 사용된 공시체는 직경 50mm, 높이 100mm로 제작하였으며, 표준다짐방법(A-1다짐)으로 다짐을 실시하였다. 하중제어방식은 변형률제어방식으로서 15%이상 변형이 일어날 때 까지 시험하였다. 공시체의 전단시 재하장치의 전단속도는 간극수압이 발생하지 않는 범위에서 선정하였으며, SW시료의 경우 2mm/hr, UW시료의 경우 1mm/hr로 하였다. 삼축시험에 사용된 모델은 영국의 GDS사 제품으로 3개의 압력조절기, 간극수압 변환기가 컴퓨터로 자동 조작되고 수압으로 조절되는 시험기이다. 시험내용은 아래와 같다.

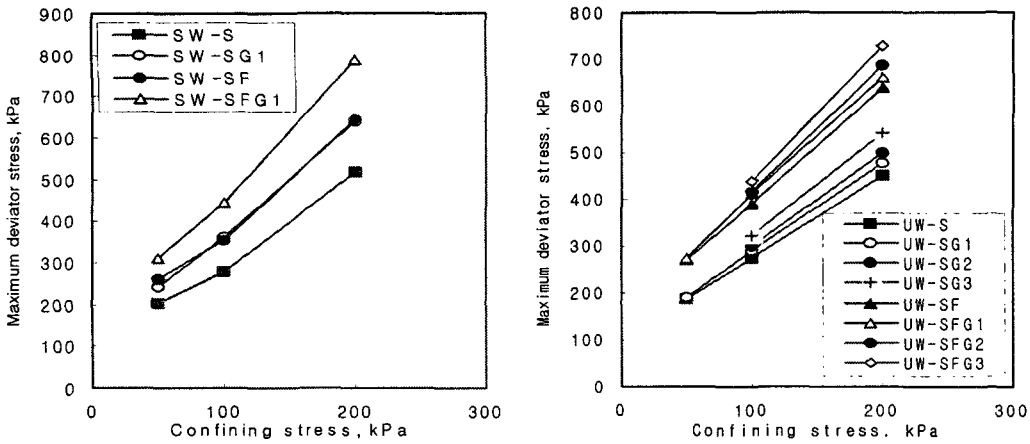
Table 4 Trialxial test schedules

Sample type		S	SG			SF	SFG		
			SG1	SG2	SG3		SFG1	SFG2	SFG3
Confining stress (kPa)	50	SW,UW	SW,UW	-	-	SW,UW	SW,UW	-	-
	100	SW,UW	SW,UW	UW	UW	SW,UW	SW,UW	UW	UW
	200	SW,UW	SW,UW	UW	UW	SW,UW	SW,UW	UW	UW

* S : Soil, SF : Soil+Fiber, SG : Soil+Woven geotextile,
SFG : Soil+Woven geotextile+Fiber, 1,2,3 : Number of layer by woven geotextile

IV. 결과 및 고찰

단섬유 및 평면보강재 보강에 따른 보강효과를 살펴보기 위하여, 비보강토, 평면보강재 보강토, 단섬유 보강토, 및 복합보강토에 대한 삼축시험결과를 Fig. 2에 나타내었다.



(a) SW (b) UW

Fig. 2 Relation between maximum deviator stress and confining stress

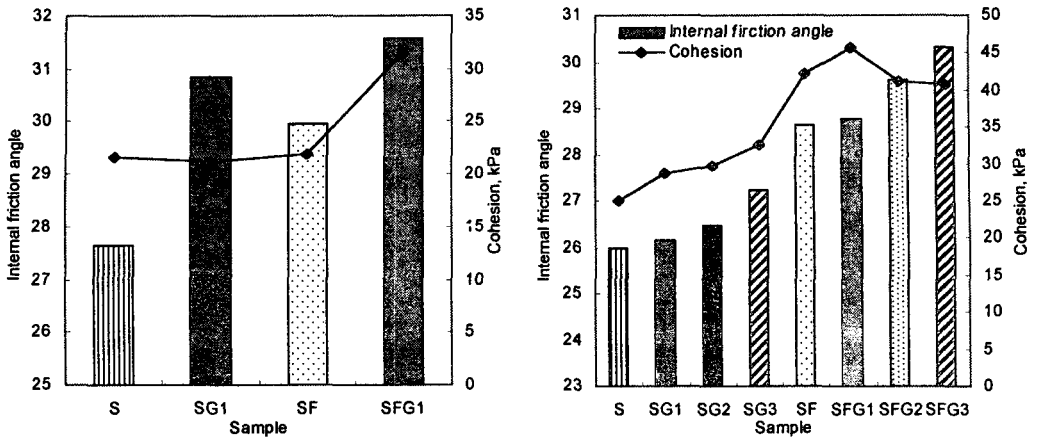
구속응력에 대하여 축차응력증가가 선형적으로 나타났고, 구속응력이 증가할수록 증가율이 증대되었으며, 삽입된 평면보강재의 개수가 증가할수록 축차응력이 증가하는 것으로 나타났다. 평면보강재 보강의 경우, SW시료에서는 각 구속응력에 대하여 비보강토에 대한 강도가 19, 29, 24% 증가하는 것으로 나타났으나, UW시료에서는 1단보강시 2,5,6%로서 보강효과가 크지 않았으며, 3단보강시 17, 20%(50kPa 없음)로서 다소 증가하는 것으로 나타났다. 단섬유보강토의 경우, SW시료에서는 비보강토에 대하여 강도가 구속응력별로 28,27,24% 증가하였고, 그 증가율이 평면보강재 보강토와 유사한 값으로 나타났다. UW시료에서는 비보강토에 대하여 강도가 구속응력별로 45,42,42%로 증가하였고, 그 증가율이 평면보강재 보강토에 비해 현저하게 크게 나타났다. 복합보강토의 경우, SW시료에서 복합보강토의 강도증가는 각 구속응력별로 54,60,52% 증가하였다. 평면보강재 및 단섬유보강이 복합보강토에서 강도 증가에 대한 역할을 구명하기 위하여 비혼합토에 대한 각각의 최대축차응력 증가분의 합을 복합보강토의 증가분과 비교하였고, Table 5에 나타내었다.

Table 5 Role of geotextile and fiber in shear strength increment of composite reinforced soil

Sample	Confining stress(kPa)	SF	SG1	SF+SG1	SFG1	SG2	SF+SG2	SFG2	SG3	SF+SG3	SFG3
SW	50	39	58	97	109						
	100	82	75	157	166						
	200	123	126	248	271						
UW	50	83	4	87	87	-	-	-	-	-	-
	100	115	15	130	136	24	140	142	46	161	165
	200	189	28	217	210	51	239	236	91	280	280

위의 표에서처럼, SW 및 UW시료의 복합보강토에서 강도증가는 단섬유보강에 의한 일정분의 강도증가에 평면보강재 보강에 따른 강도증가의 합으로 볼 수 있다. 따라서, 본 실험결과 두가지 보강재는 각각 독립적으로 그 기능을 발휘하는 것으로 판단되며, 추후 다양한 조건에서의 연구가 필요하다.

한편, 비혼합토에 대한 복합보강토의 내부마찰각 및 점착력의 증가를 살펴보았다(Fig. 3).



(a) SW (b) UW

Fig. 3 Internal friction angle and cohesion with samples

SW시료에서 내부마찰각은 2~4°증가하였고, 점착력은 복합보강토에서만 10kPa정도 증가하였다. UW시료에서 평면보강재 보강시 내부마찰각의 증가는 거의 없으며, 점착력에서는 4~13kPa의 증가가 발생하였다. UW시료의 복합보강토에서 단섬유보강토에 대해 평면보강재의 개수에 따른 내부마찰각 및 점착력의 증가는 크지 않은 것으로 나타났으며, SW시료에 비해 섬유의 강도증진효과가 큰 것으로 나타났다.

V. 요약 및 결론

지금까지 복합보강토에 대하여 삼축압축시험을 실시하여, 평면보강재의 개수 및 섬유혼합에 따른 전단특성 연구를 수행하였으며, 결과는 다음과 같다.

1. 모래질 흙인 SW시료에서는 복합보강토의 강도증가에 대하여, 평면보강재와 단섬유가 비슷한 강도증가분을 나타내었으나, 실트질 흙인 UW시료에서는 단섬유의 역할이 매우 큰 것으로 나타났다.

2. 복합보강토의 강도증가는 비보강토에 대한 단섬유혼합토의 강도증가분과 평면보강재 보강토의 강도증가분의 합으로 표현되었으며, 두 가지 보강재에 의한 보강효과는 독립적인 것으로 나타났다.

3. 비혼합토에 대하여, SW시료의 경우 SFG1은 내부마찰각은 4°, 점착력은 10kPa증가하였고, UW시료의 경우, SFG1,SFG2, SFG3에서 각각 3.4~4.3°, 13.3~16.3kPa 증가하였다.

추후, 섬유의 혼합비, 종류, 그리고 평면보강재의 종류에 따른 복합보강토의 강도증진에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 한국건설기술연구원에서 시행한 2001년 산·학·연 공동연구개발사업의 결과의 일부이다.

References

1. 고홍석, 1987, 토목섬유 보강이 점토의 역학적 거동에 미치는 영향, 박사학위논문, 서울대
2. 박영곤, 장병욱, 2000, 섬유혼합토의 전단파괴해석, 한국농공학회지, 제42권 2호, pp.86-92
3. Gray, D.H., and Ohashi, H., 1983, Mechanics of fiber reinforcement in sand, J. of Geotech. Eng. Div., ASCE, 109(3), pp. 335-353