

보강혼합토의 압축 크리프 특성

Compressive Creep Properties of Reinforced Soil Mixture

이 상 호* · 차 현 주** · 김 철 영**

Lee, Sang Ho · Cha, Hyun Ju · Kim, Chul Young

Abstract

This study was performed to provide basic data for development and construction of reinforced soil wall that mixed with reinforcements such as calcium carbonate, monofilament fiber. In order to determine proper moisture content and mixing ratio by weight of reinforcement, Poisson's ratio and compressive strength tests for sandy soil had been conducted. Model tests for long-term behavior of reinforced soil wall were carried out to investigate the effect of reinforcement during loads and under static loads. The results of creep and model tests for sandy soil compared with clayey soil. Reinforced sandy soil mixed with calcium carbonate and cement showed brittle rupture by shear but that of mixed with monofilament fiber showed ductile rupture due to the tension force of fiber. It was shown that when age increased, creep strain of reinforced soil under sustained load approached constant values.

Keywords : Monofilament fiber, Reinforced soil mixture, Poisson's ratio, Compressive strength, LVDT

I. 서 론

건설재료로서 흙은 일반적으로 결합력이 약하고 외력에 의하여 입자가 상대적으로 변형되기 쉬우며 공극의 양이나 함수량에 따른 물리적 성질이 다르기 때문에 임의의 형상을 가진 구조물로서의 기능을 유지하기가 어렵다. 또한 하중에 대한 강도도 콘크리트에 훨씬 미치지 못하기 때문에 흙과 보강

재의 마찰을 통하여 흙의 단점을 보완하는 것이 필요하다. 흙의 보강에 대한 기존 연구는 흙의 성질을 개선하기 위한 연약지반 개량이나 옹벽 뒤채움재인 흙과 보강재와의 마찰력 증대로 인한 변형억제, 합성 섬유보강으로 인한 전단강도 개선, 그리고 보강재를 혼합하여 노상토 이용 등 지반 공학적인 측면에서 연구가 주로 이루어져 왔으며 산업화에 따른 도시화와 인구 증가로 인해 각종 공해 및 환경문제의 발생으로 인해 최근 자연 친화적인 사업이 늘어가고 있으며 통나무를 이용하거나 콘크리트를 사용하지 않는 주거공간의 건축 등 건강을 고려한 주택환경이 요구되고 있다. 또한 노후로 인한 농업구조물의 보수나 곡물저장고와 농가주택의 비

* 경북대학교 농업생명과학대학
** 경북대학교 대학원
* Corresponding author. Tel.: +82-53-950-5735
fax: +82-53-950-6752
E-mail address: sahlee@knu.ac.kr

내력벽으로 자연 친화재료인 흙을 이용할 경우 공사비 절감과 실내 온·습도 조절에 의한 에너지 절감효과를 기대할 수 있을 것이다.

최근 콘크리트에 비해 강도가 약한 흙을 구조물에 이용하기 위해서 성형성 및 강도 증진을 위한 연구가 시도되고 있지만 보강토를 흙벽에 이용한 연구가 부족한 실정이다. 건조수축과 크리프는 시간에 따른 체적변형인 것은 같지만 건조수축은 주위의 온·습도 등 환경적인 요인에 의하여 발생하고 구조체에 응력을 유발시킨다. 그러나 크리프는 외부에서의 직접적인 압력변화로 인해 시간 의존적인 변형을 일으키고 응력을 이완시키는 차이가 있다. 구조물 시공 후 생기는 균열이나 크리프 문제는 구조물의 안정이나 내구성에 영향을 미치며 일단 발생하면 이에 대한 제어가 어렵기 때문에 구조물 시공 전에 방지할 수 있는 연구가 필요하다. 콘크리트 구조물에서 크리프의 특성 및 제어에 대한 연구가 많은 연구자에 의해 수행되었지만 구조물에 사용된 재료의 종류, 재령, 자중 및 외력, 시간 등 여러 가지 변수의 작용과 시간에 따른 건조수축과 함께 발생하기 때문에 이에 대한 명확한 규명이 이루어져 있지는 않다. 따라서 본 연구는 흙에 탄산석회, 19mm의 폴리프로필렌(polypropylene) 단사 섬유 등의 보강재를 혼합하여 압축 크리프 시험에 따른 변형률과 거동을 분석하였다.

II. 사용재료

1. 흙 재료

본 연구에 사용된 흙 시료는 발안 및 수원 지역에서 채취한 (S-1), (S-2)시료를 사용하였으며 발안(S-1)시료는 옹벽의 뒤채움재나 성토재료로서 적합한 실트질 모래를 함유한 사질토인 반면 수원(S-2)시료는 점토질 흙으로서 입도분포곡선은 Fig. 1, 물리적 특성은 Table 1로 나타내었다.

Table 1 Physical properties of soils

Location	Specific gravity	Liquid limit (%)	Plasticity limit (%)	Plasticity index	γ_{dmax} (t/m ³)	OMC (%)	USCS
Balan (S-1)	2.71	NP	NP	-	1.79	14.5	SM
Suwon(S-2)	2.63	39	17	22	1.65	18.2	CL

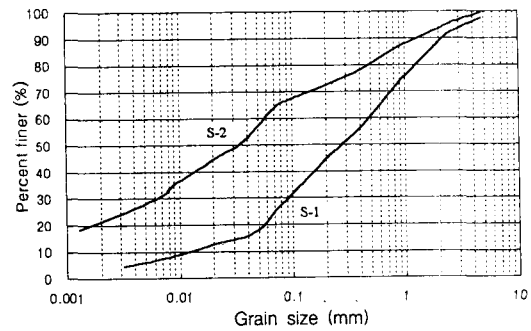


Fig. 1 Grain size distribution curves

2. 보강재

본 연구에 사용된 보강재료는 탄산석회, 폴리프로필렌섬유를 사용하였다. Table 2는 탄산석회의 물리적 특성을 나타낸 것으로 점성토의 소성지수를 감소시키고 최적함수비(OMC)를 증가시켜 시공성을 향상시키기 위하여 사용하였다.

보강재로 사용된 섬유는 섬유 혼합 콘크리트에서 많이 사용되고 있는 폴리프로필렌(polypropylene) 계로서 19 mm로 절단한 단사(Monofilament fiber)를 균열방지 및 인장강도의 보강을 위해 사용한 폴리프로필렌은 고결정성 필름상 물질로 가공된 화학적 불활성 탄화수소 중합체이며 이 폴리프로필렌 레진 또는 작은 알갱이들을 용해된 상태의 판상으로 압출시킴으로서 생산된 제품으로 비중은 0.91,

Table 2 Physical properties of calcium carbonate

Specific gravity	Absorption (cc/g)	Moisture content (%)	pH	Mean diameter (μ m)	# 325 Residual (%)
2.70	0.3	0.16	8.7	3.6	0.01

인장강도 및 탄성계수는 각각 3.3×10^3 , 39.6×10^3 kgf/cm²이다.

Ⅲ. 시험 장치 및 방법

1. 압축 크리프 시험

압축 하중으로 인한 보강혼합토의 크리프를 측정하는 방법은 KS F 2403에 준하여 시험하였으며 시료가 몰드 표면에 부착되는 것을 방지하기 위하여 그리스를 몰드 표면에 고르게 바른 후 직경 15 cm, 높이 30 cm의 몰드 체적과 6층 다짐을 이용하여 각 층당 다짐횟수를 66회로 하였다. 시료배합은 흙 시료 자체와 노건조 흙 시료에 대한 중량비로 탄산석회 9% 및 단사 섬유 0.3%를 각각 혼합한 것과 탄산석회 9%와 단사 섬유 0.3%를 같이 혼합하였다. 이때 함수비는 20%로 하였으며 제작된 공시체는 공기건조(20~25℃, 70~85%) 1일 후 몰드에서 제거하여 재령 7일에서 파괴시험을 하였다.

보강혼합토의 크리프 및 포아송비 시험은 KS F 2453(콘크리트의 압축 크리프 시험방법)과 KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성 계수 및 포아송비 시험방법)에 준하여 파괴하중의 40%에 해당하는 지속하중을 가하여 30일 동안 시험을 하였다. Table 3은 보강혼합토의 재령 7일에서 파괴하중과 압축 크리프 및 포아송비를 시험하기 위해 사용한 시험하중을 나타낸 것이다.

2. 모형실험에 의한 크리프 시험

가. 시험장치

보강혼합토 모형 시험장치는 Fig. 2와 같고, 시험장치는 모형 벽체를 제작할 수 있는 부분(soil tank)과 하중 재하를 위한 장치(air cylinder & load cell) 그리고 벽체의 변형을 측정하는 장치(MBI : Microprocessor Based Indicator)로 구성되어 있다. 50 cm×50 cm×50 cm 크기인 외형내부에 30 cm 폭으로 벽체를 제작할 수 있도록 하였고 벽체 제작 후 벽체 상부에 등분포 하중이 재하될 수 있도록 하중 재하판을 피라미드 형태로 제작하였으며 부속장치로는 수직 변형량을 측정하기 위한 다이얼 게이지와 수평 변형량을 측정하기 위한 LVDT(Linear Voltage Displacement Transducer)를 Photo 1과 같이 장착하였다.

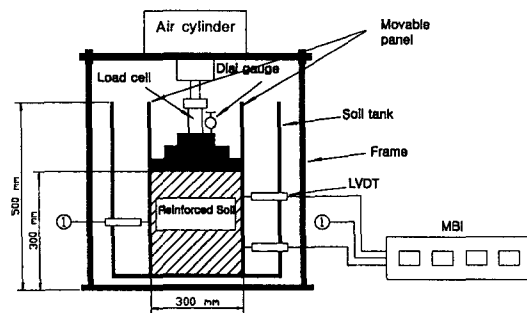
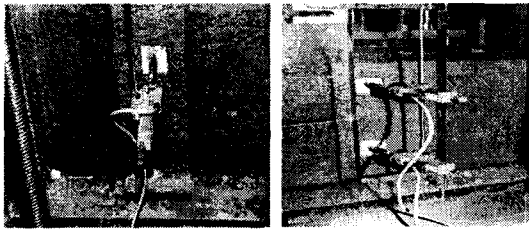


Fig. 2 Model test apparatus

Table 3 Load of compression creep test

Sample		Failure load (kgf)	Failure stress (kgf/cm ²)	Test load (kgf)	Test stress (kgf/cm ²)
S-1	Soil	400	2.26	160	0.91
	fiber(0.3%)	250	1.41	100	0.57
S-2	Soil	1,190	6.73	480	2.72
	calcium carbonate(9%)	870	4.92	350	1.98
	fiber(0.3%)	1,860	10.53	750	4.24
calcium carbonate(9%)+fiber(0.3%)		1,410	7.98	570	3.23



(a) Left surface (b) Right surface

Photo. 1 Horizontal shift measurement of LVDT

나. 실험방법

벽체 제작은 보강토와 접하는 벽면에 흙 시료 부착 방지와 벽면과의 마찰을 최소화하기 위해 그리스를 바른 후 외형을 조립하였으며 시료의 조성은 노건조 흙 시료 중량으로 흙 시료 및 9% 탄산석회, 0.3% 섬유, 9% 탄산석회+0.3% 섬유 혼합토를 초기 함수비 20%에서 각각 혼합하였다. 이때 다짐은 표준 A다짐 값을 이용하여 500×300×300 mm의 몰드 체적과 다짐 충수를 6층으로 하여 층당 다짐횟수를 563회로 하여 모형 벽체를 제작하였다. 제작된 모형 벽체는 1일 후에 벽체의 외형을 제거한 후 6일을 양생하였다. 재령 7일에서 하중 재하를 위한 재하판을 씌우고 벽체 하부까지 하중이 전부 전달될 수 있도록 1.5tf의 전체 재하하중을 37.5 kgf/min의 속도로 40분간 재하하였다. 하중 재하에 따른 벽체의 변형은 2~3분 간격으로 측정하였고, 전체 하중이 재하된 후 30일 동안 장기간 크리프 변형을 측정하였다.

모형 벽체의 변형량을 측정하기 위한 장치는 Photo. 1로 나타내었으며 벽체 하부에서 5 cm, 15 cm, 25 cm인 위치인 벽체 높이의 3등분 중앙점에 수평 변형량을 측정하기 위한 LVDT를 장착하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 보강 사질토의 크리프 특성

초기 함수비가 15%인 경우 각 보강재에 대해

강도는 크게 나타났지만 다짐시공시 측압이 크게 발생할 우려가 있고 25%의 초기 함수비는 다짐시공이 어렵고 건조수축이 크게 발생하며 강도가 약하여 초기 함수비를 20%로 결정하였고 탄산석회 및 시멘트의 혼합비는 9%, 섬유는 단사 0.3%를 적정 혼합비로 결정하여 관련시험규격인 KS F 2453과 KS F 2438에 의거하여 시험을 수행하였다. 사질성 흙(S-1)의 시험하중은 160 kgf이고 단사 혼합토의 시험하중은 100 kgf이다.

Fig. 3은 탄성 변형률을 고려한 보강 사질토의 크리프 변형률을 나타내고 있다. 보강 사질토에서는 흙 시료(S-1)에서보다 섬유를 혼합한 경우 초기 하중 재하에 의한 탄성 변형률이 큰 것으로 나타났다. 흙 시료와 섬유 혼합토 모두에서 건조로 인해 형성된 내부 공극이 하중 재하로 인해 채워질 것이지만 흙 시료의 경우 입자간의 하중전달이 잘 이루어져 시험하중에 도달하는 시간이 적게 걸리고 흙 시료보다 상대적으로 압축강도가 약한 섬유 혼합토는 하중 재하시 내부 균열 발생으로 인해 변형률이 큰 것으로 판단된다. 탄성 변형률을 고려하지 않은 크리프 변형률은 흙 시료에서보다 섬유 혼합토에서 재령 경과에 대한 크리프 변형률은 적게 나타났다. 이것은 흙 시료의 경우 내부 수분감소로 인한 입자간의 결합력이 저하되어 일정응력을 유지하기 위해 압축 변형률이 크고 섬유 혼합토에서는 섬유의 인장력이 변형률을 억제하기 때문인 것으로 사료된다.

흙 시료와 섬유 혼합토의 일정 응력에서 재령 경

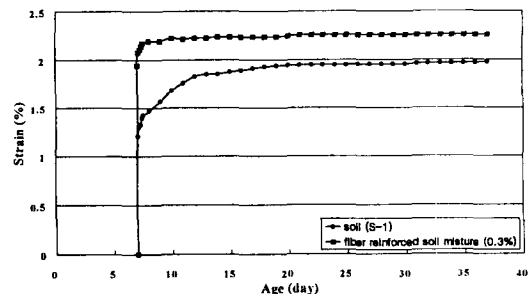


Fig. 3 Creep strain of reinforced sandy soil

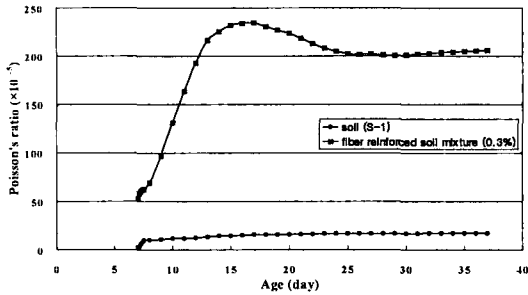


Fig. 4 Poisson's ratio and age for reinforced sandy soil

과에 대한 포와송비는 Fig. 4와 같다. 포와송비의 결정은 시험 하중을 재하한 직후 중방향 및 횡방향 변형률 다이얼 게이지를 0으로 조절한 후 각 측정 시간에 대한 변형률의 비로 결정하였다. 섬유 혼합토에서는 종·횡방향 변형률이 거의 일정하여 포와송비의 변화가 거의 없었지만 흙 시료의 경우 시험 응력 후 약 10일 동안 횡방향 변형률의 증가로 인해 포와송비는 크게 나타났다. 이후 포와송비는 감소하다가 25일 이후 일정한 변화를 보였다. 각 측정 시간에서의 포와송비는 상대적인 비율이기 때문에 포와송비 자체만으로는 구조물의 안정성을 판단하기는 어려울 것으로 사료된다.

2. 보강 점성토의 크리프 특성

점성토(S-2)와 보강재를 혼합한 공시체의 압축 크리프 시험에 적용한 재하하중은 파괴하중의 40%를 시험하중으로 하였다. 보강재를 혼합하지 않은 흙의 6.73 kgf/cm^2 에 비해 9% 탄산석회를 혼합한 경우 4.92 kgf/cm^2 로 파괴시 압축강도가 적게 나타났지만 섬유를 혼합한 경우 10.53 kgf/cm^2 , 탄산석회와 섬유를 같이 혼합한 경우 7.98 kgf/cm^2 으로 크게 나타났다. 점성토에서 섬유 혼합으로 인한 압축강도 증가는 재령이 증가할수록 점토 입자가 굳어지면서 생기는 강도증가와 흙 입자에 얽혀있는 섬유에 압축 하중이 작용할 때 생기는 마찰력으로 인한 강도증가 때문으로 판단된다. 탄산석

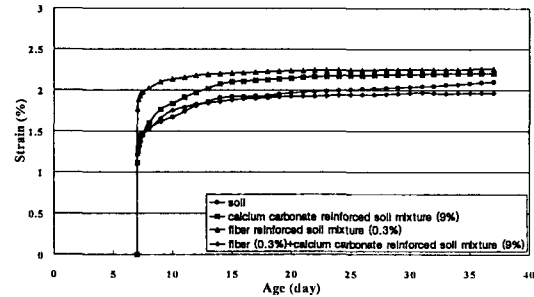


Fig. 5 Creep strain of reinforced cohesive soil

회 혼합토의 경우 초기 압축강도는 작지만 재령 증가에 따른 강도가 커지기 때문에 탄산석회로 보강할 경우 재령에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 5는 파괴하중의 40%를 재하한 시험하중으로 인해 생긴 초기 변형률, 즉 탄성변형률을 포함한 압축 크리프 변형을 도시한 것이다. 압축 하중에 의한 탄성변형률은 0.3% 섬유 혼합토에서 1.67%로 가장 크게 나타났고 흙 시료와 탄산석회 혼합토에서는 0.67%, 0.6%로 비슷한 변화를 나타내었다. 시험하중에 도달할 때까지 가해지는 하중으로 인해 파괴시 압축강도가 가장 큰 섬유 혼합토에서 탄성변형률의 변화가 급격한 것으로 판단된다. 하중 재하에 의한 탄성 변형률의 차이를 고려하지 않고 일정 응력 상태에서의 압축 크리프 변형률만 고려하면 다음과 같다. 섬유는 건조 수축하는 성질이 아주 미소하기 때문에 흙에 섬유를 0.3% 혼합한 섬유 혼합토는 섬유에서는 인장응력이, 흙에는 압축응력이 발생한다. 따라서 섬유가 흙의 건조수축을 구속하여 섬유와 흙 사이의 마찰력이 커지므로 크리프 변형률이 작게 나타나는 것으로 판단된다. 9% 탄산석회 혼합토에서는 크리프 시험전 함수비가 크리프 변형률에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 탄산석회를 혼합한 후 공시체내에 자유수가 머물러 있다가 공시체가 대기중에 방치될 때 증발이 생긴다. 그 결과로 인해 공시체에는 건조수축이 발생하게 되어 변형률이 증가한 것으로 판단된다. 섬유를 혼합한 경우 하중 재하로 인한 탄성

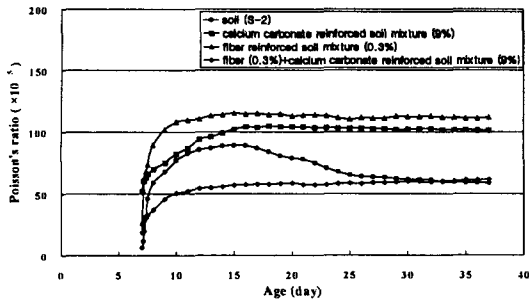


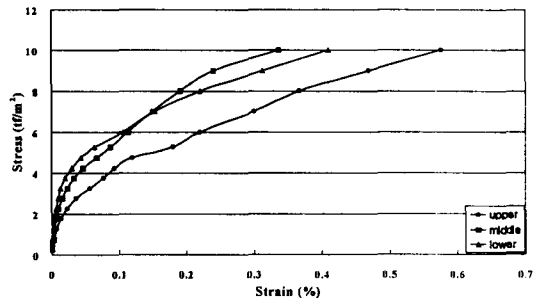
Fig. 6 Poisson's ratio and age for reinforced cohesive soil

변형률을 고려하지 않은 크리프 변형률에서는 재령 증가에 대해 적게 변하는 것으로 나타났다.

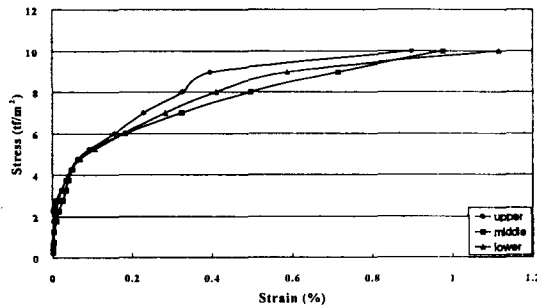
Fig. 6은 보강 점성토의 재령에 따른 포외송비를 나타낸 것으로 흙 시료(S-2)의 경우 재하한 후 초기 10일까지는 종방향 변형보다 횡방향 변형이 급격히 변화하였으며 재하시간 15일 정도에서 최고점에 도달하여서는 재령이 증가함에 따라 포외송비가 줄어드는 양상으로 보이고 있다. 이것은 공시체 내부에 수분감소가 진행되는 동안 토립자 사이의 마찰력 증대로 인해 횡방향 변형이 증대되어 포외송비가 증가하다가 수분감소가 진행되는 동안 공시체 내부에 형성된 공극이 채워지지만 토립자 사이의 접착력 약화로 인해 변형량은 작아질 것으로 사료된다. 따라서 횡방향 변형이 작아질 것이고 이것은 포외송비의 감소로 이어졌다. 0.3% 섬유 혼합토에서는 재하한 후 초기에 종방향 변형보다 횡방향 변형이 급격히 변화하였으며 재하시간이 길어질수록 종·횡방향의 변화 폭이 거의 일정한 형태로 나타났다. 9% 탄산석회 혼합토에서도 초기 포외송비는 급격히 증가한 후 재령이 14일 이후부터는 점차 안정화되었다. 0.3% 섬유와 9% 탄산석회를 섞은 혼합토에서는 탄산석회 혼합으로 인한 함수비 감소 및 공극 감소와 섬유혼합으로 인하여 흙 입자와 섬유의 엉킴현상으로 포외송비의 변화가 다른 경우보다 작게 나타났다.

3. 보강 사질토 모형 벽체에서의 크리프 거동

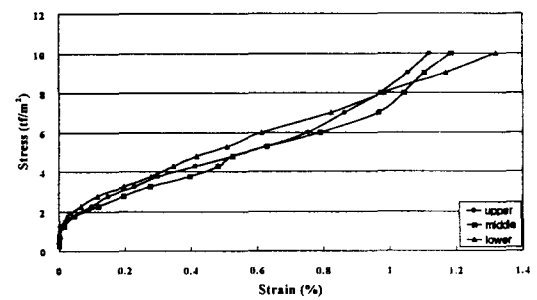
일정 응력하에서 경과시간에 대한 모형 벽체의 크리프 특성은 벽체 제작에 사용한 재료의 종류, 재하 하중 등 여러 가지 요소에 의해 영향을 받으며 재령이 증가할수록 벽체 측면에서 내부로 건조가 진행되면서 벽체의 내부 위치에 따른 수분 분포



(a) Soil(S-1)



(b) Calcium carbonate reinforced soil mixture(9%)



(c) Fiber reinforced soil mixture(0.3%)

Fig. 7 Horizontal strain and stress increase of reinforced sandy soil

의 차이가 생긴다. 또한 내부 함수량의 감소로 인한 공극의 형성과 건조수축의 영향으로 변형률의 감소가 발생한다. Fig. 7은 모형 벽체의 응력 증가에 대한 수평 변형률의 관계를 도시한 것으로 축점상, 중, 하의 구분은 수평 변형률을 측정하기 위하여 벽체 하부에서 5 cm, 15 cm, 25 cm인 위치에 설치한 LVDT의 위치를 나타낸 것이다. 흙 시료와 혼합토 모두에서 비선형적인 변화를 나타내었고 흙 시료(S-1)인 Fig. (a)는 점성토에 비해 변형률이 적었다. 이것은 하중 증가에 대해 벽체가 강하다는 것보다는 벽체 내부에 균열이 발생하여 입자간의 마찰로 인한 수평방향의 팽창력이 저하되었고 상부 축점에서 변형률의 증가는 하중의 직접적인 작용으로 인해 수평 방향의 변형이 증가하였기 때문으로 판단된다. 탄산석회를 혼합한 경우인 Fig. (b)는 각 축점에서 변형률이 50%의 응력까지 0.1%의 낮은 변형률을 나타내었다. 건조수축 시험 후 압축강도 시험에서 알 수 있듯이 벽체 내부에 발생한 공극이 점차 균열로 형성되어 벽체가 견딜 수 있는 내부 응력에 거의 도달하여 변형률이 낮게 나타난 것으로 사료되며 50% 이후 응력에서의 변형률은 이전보다 약 10배 이상의 차이를 보였다. 재하 응력 증가로 인한 균열은 벽체 표면에서 관찰되지 않았기 때문에 벽체로 보강 혼합토를 이용하고자 할 때 건조시기의 결정에 주의가 필요할 것으로 사료된다. 섬유를 혼합한 Fig. (c)는 섬유의 혼합으로 어느 정도 강도 발휘가 되지만 흙의 결합력 부족으로 인해 상부와 중앙 축점에서 전체 재하 응력의 60%까지 변형률이 증가하다 이후 감소하였고 하부에서는 변형률의 증가가 계속된 것으로 판단된다.

보강 사질토 모형 벽체의 응력 증가에 대한 수직 변형률의 관계를 Fig. 8에 도시하였다. 흙 시료나 탄산석회 혼합토보다 섬유 혼합토에서 수직 변형률이 가장 크게 나타난 것은 흙 시료나 탄산석회 혼합토와는 다르게 파괴가 급작스럽게 일어나지 않기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 9는 보강 혼합토 모형 벽체의 재령 경과에

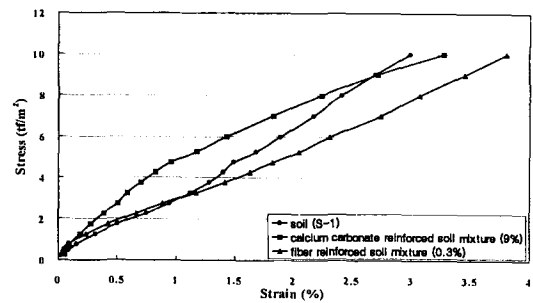


Fig. 8 Vertical strain and stress increase of reinforced sandy soil

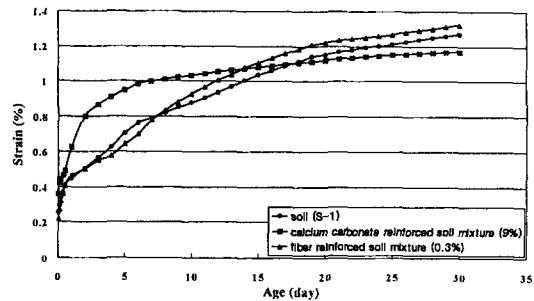


Fig. 9 Vertical creep strain and age

대한 수직 변형률의 관계를 나타낸 것이다. 내부 균열이 발생하여 수평 변형률의 변화는 일정 응력을 유지하기 위해서 흙 시료 및 보강 혼합토 모형 벽체의 변형률은 증가하였고 탄산석회 혼합토에서 변형률의 변화가 적은 것은 재령 경과에 따라 벽체의 강도가 증가하였기 때문으로 판단된다.

4. 보강 점성토 모형 벽체에서의 크리이프 거동

Fig. 10은 모형 벽체에 하중 재하시 응력과 수평 변형률의 관계를 나타내었으며 흙 시료와 혼합토 벽체 모두에서 응력 증가에 따라 변형률이 비선형적으로 증가하였다. 흙 시료(S-2)인 Fig. 10(a)는 벽체에 하중이 작용하면 내부의 토립자에 압축응력이 생기고 이 응력은 벽체 측면으로 팽창압을 유발하게 된다. 팽창압은 변형이 자유로운 벽체 중앙부로 집중되어 변형이 증가하게 된다. 작용된 상부

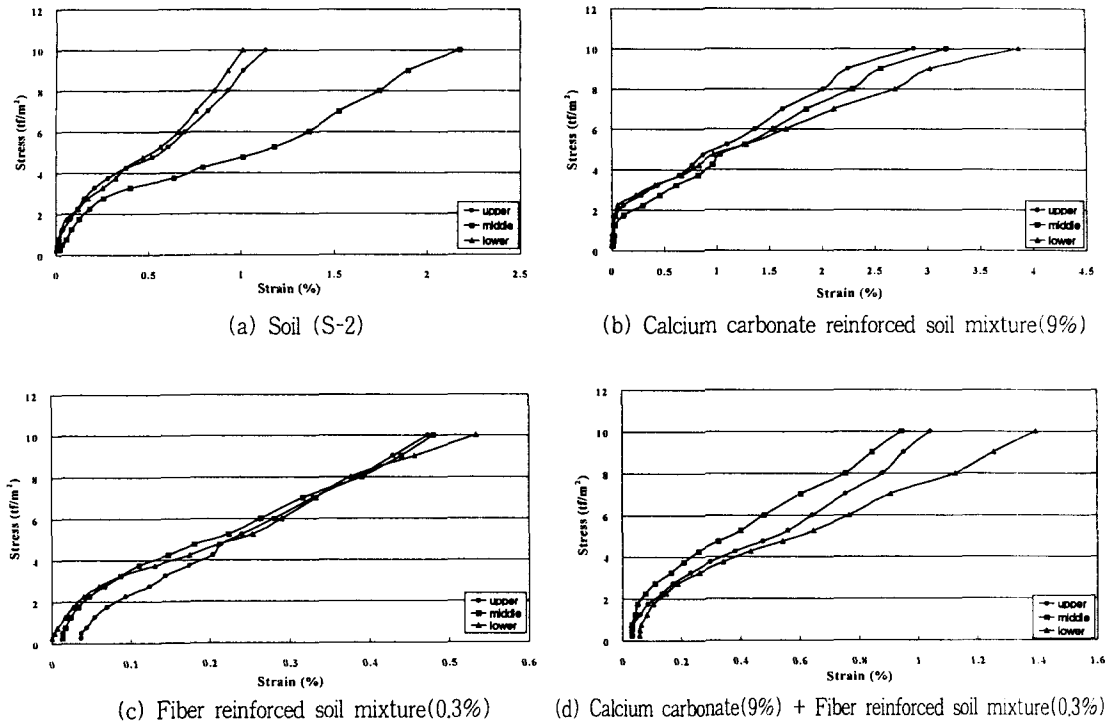


Fig. 10 Horizontal strain and stress increase of reinforced cohesive soil

하중이 벽체 전체에 전달되면 중앙부의 변형률은 점차 커져서 하중 재하를 완료한 응력에서는 상·하부 측점에서의 변형률보다 약 2배 정도의 변형률을 보였다. 9% 탄산석회 혼합토인 Fig. 10(b)는 하중 재하 초기에는 변형률의 변화가 거의 없었으나 재하 완료 후에 변형률은 다른 측점에서보다 하부에서 크게 나타났다. 또한 수평 변형률 변화가 흙 시료 및 다른 보강토 벽체에 비해 크게 변하였다. 이는 흙과 탄산석회와의 결합력 부족으로 변형을 억제하지 못한 것으로 판단된다. 섬유를 혼합한 Fig. 10(c)는 하중이 작용하면 흙에는 압축력이 작용하고 토립자에 얽혀있는 섬유는 인장력이 생긴다. 섬유와 흙에 생기는 이런 상호작용과 마찰력은 하중 증가에 대해 섬유혼합토의 수평방향 변형을 억제하는 요인이 된다. 하중재하 초기에는 벽체 하부로 하중의 전달이 원활하지 못하여 상부에서의 변형률이 크게 나타났지만 하중 전달이 벽체 하부

까지 전달되고 난 이후에는 벽체의 변형률이 하부에서 약간 크게 변하였지만 전반적으로 벽면 전체에 걸쳐 거의 비슷하게 변하였다. Fig. 10(d)는 0.3% 섬유와 9% 탄산석회를 같이 혼합한 경우이다. 탄산석회 혼합으로 인한 변형률 증가를 섬유가 억제함으로 인해 섬유를 혼합하지 않은 흙 시료와 탄산석회 혼합토의 경우보다 변형률은 작게 나타났

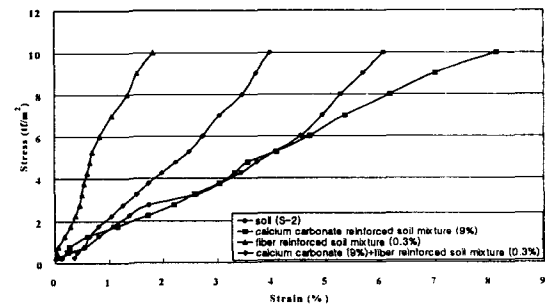


Fig. 11 Vertical strain and stress increase of reinforced cohesive soil

다. 그리고 상·하부 변형률이 중앙부에서의 변형률보다 높게 나타난 것은 직접적인 응력작용 때문인 것으로 판단된다.

하중 재하로 인한 응력 증가에 대한 수직변형률의 관계를 Fig. 11에 도시하였다. 탄산석회 혼합토의 경우 벽체가 강도를 충분히 발휘할 수 있을 정도의 재령이 되지 못하여 흙 시료보다 하중 재하가 완료된 후 응력에서 변형률은 높게 나타났고 섬유를 혼합한 벽체의 경우 입자사이에 얽혀있는 섬유가 작용 하중에 대해 벽체가 압축되는 것을 억제하기 때문에 수직변형률이 작게 나타난 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 점성토 및 사질토에 탄산석회, 폴리프로필렌 단사를 혼합하여 압축 크리프 및 포와송비 시험과 모형 벽체를 제작하여 재하 하중에 따른 변형률과 재하 후 벽체의 거동을 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 흙 시료와 보강 혼합토에서 변형률이 재령에 따라 점차 일정하게 감소크리프의 변화를 나타내었으며 사질토 및 점성토는 하중에 의한 탄성 변형률을 고려하였을 때 섬유 혼합토의 변형률은 크게 변하였다.

2. 모형 벽체 시험에서는 흙 시료 및 혼합토가 공히 응력 증가에 따라 수평 변형률이 비선형적으로 증가하였으나 점성토의 경우 탄산석회 혼합토에서 벽체 내부의 입자간의 결합력 부족으로 인한 강도 약화로 변형률이 가장 크게 나타났다. 또한 응력 증가에 대해 섬유 혼합토에서 수평 변형률의 변화가 작은 것은 벽체 외부로의 팽창을 섬유가 흙과의 마찰력으로 억제하기 때문인 것으로 판단된다.

3. 사질토의 보강 혼합토 모형 벽체는 응력 증가에 의한 내부 균열 발생으로 수평 방향의 팽창력이 약화되어 세립토의 혼합에서보다 변형률은 작게 나타났다. 또한 점토성분이 많은 흙에서는 섬유에 의

한 보강효과를 기대할 수 있고 사질토에서는 시멘트에 의한 보강이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

References

1. Lee, S. H., H. J. Cha and P. W. Chang, 2000a, Physical properties of reinforced soil mixture powder, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 42(5), pp. 125-132. (in Korean)
2. Lee, S. H., H. J. Cha and P. W. Chang, 2000b, Variation of unit weight and compressive strength by long-term dry shrinkage of reinforced soil mixture, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 42(6), pp.90-97. (in Korean)
3. Chang, P. W., Y. K. Park, C. W. Woo and K.S. Kim, 1999, A study on the unconfined strength characteristics of fiber mixed soil, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 41(1), pp.72-78. (in Korean)
4. Song, C. S., S. H. Rhee, P. W. Chang and C.H. Ban 1999, A study on the crack characteristics of the synthetic fiber reinforced soil, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 41(3), pp.59-65. (in Korean)
5. Chang, P. W., Y. K. Park, S. H. Lee and C.S. Song, 2002, Engineering properties of fiber mixed soil, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 44(1), pp.116-124. (in Korean)
6. Mohamad H. Maher and Donald H. Gray, 1990, Static Response of Sands Reinforced with Randomly Distributed Fibers, *J. Geotech. Engrg., ASCE*, 116(11), pp.1661-1677.
7. Donald H. Gray and Harukazu Ohashi, 1983, Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand, *J. Geotech. Engrg., ASCE*, 109(3), pp.335-353.
8. J. D. Frost and J. Han, 1997, Behavior of Interfaces Between Fiber-Reinforced Polymers and Sands, *J. Geotech. Engrg., ASCE*, 125(8), pp.633-640.