

보강 점성토의 크리이프 특성

Creep Behavior of Reinforced Clayey Soil

이 상 호 · 최 재 원* · 차 현 주(경북대)

Lee, Sang Ho · Choi, Jae Won · Cha, Hyun Ju

Abstract

This study was performed to examine the characteristic of creep behavior by reinforced clayey soil. So, it was carried out measurement of compressive strain and poisson's ratio by the reinforced soil mixtures. At each specimen was made by added calcium carbonate and 19mm length monofilaments into soil at designated ratio, and it was measured during the age of 30 days right after manufacturing the specimens. Because monofilaments controled increase of friction and dry shrinkage of soil into soil, compressive strain of monfilments reinforced soil with mixing rate of 0.3% is low value. And Because void was formed by compressive, vertical strain and horizontal strain of calcium carbonate reinforced soil with rate of 9% is high value.

I. 서 론

흙은 불연속체이기 때문에 그 자체로서 임의의 형상을 가진 구조물로서의 기능을 유지하기가 어려울 뿐만 아니라 하중에 대한 강도도 콘크리트에 훨씬 미치지 못하기 때문에 흙과는 다른 물질인 보강재를 혼합하여 흙과 보강재의 마찰을 통하여 인장에 약한 흙의 특성을 보완하는 것이 필요하다. 흙 속의 어느 한 부분에서 흙과 보강재의 마찰에 의하여 발휘되는 점착력과 마찰 저항력이 흙덩이 전체에 걸쳐서 전달되고, 이때 보강재의 배치 방향은 자유로이 조절할 수 있으므로 보강토는 모든 방향으로 강도를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 보강토에 대한 연구는 보강재의 삽입에 따른 거동해석의 복잡성 및 실험수행의 어려움으로 현재까지 표준적인 실험방법이 수립되지 못하고 있는 실정이며 보강토에 대한 연구 또한 보강토 옹벽에 대한 연구들뿐이어서 그 적용에 있어 한계가 있다.

보강재를 혼합한 보강 점성토의 거동은 낮은 응력에서는 시간이 오래 경과되면 정지하거나 매우 미세한 속도로 변형이 계속되지만 상대적으로 높은 응력에서는 일정한 속도를 지속하다가 결국에는 크리이프 파괴에 이르게 될 것이다. 소성이 큰 점토지반이 지속하중을 장기적으로 받으면 시간의 경과에 따른 크리이프 변형이 일어나고 이 변형이 지속적으로 증가되기도 하는 등 그 거동을 예측하기가 매우 어렵다. 크리이프 변형의 원인은 여러 측면에서 연구되어 왔으나 보통 응력, 변형, 시간의 관계로부터 규명하려는 시도가 일반적이다.

이에 본 연구는 보강 점성토의 압축 강도 시험을 실시한 결과 강도가 전반적으로 우수한 시료에 대하여 크리이프 및 Poisson's Ratio 시험을 실시하여 보강흙벽의 재료로서 이용가능성을 도모하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 흙

연구에 사용한 흙 시료는 경기도 수원시 부근에서 채취하였다.

나. 보강재

본 연구에 사용된 보강재료는 석회석에서 제조된 탄산석회와 콘크리트 보강 구조물의 재료로 널리 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유 중 절단길이에 따른 19mm 단사를 사용하였다.

2. 시료배합

보강 점성토의 크리이프 시험을 위한 시료의 혼합은 표 2와 같고, 재하하중은 파괴하중의 40%를 재하하여 시험하였으며 재하하중 결과는 표 3과 같다.

표 2. 보강 점성토의 크리이프 및 Poisson's Ratio 시험에 대한 시료조성

| 사용재료 | 혼합비 (%) | | 재하시의 재령 (day) | 함수비 (%) | 재하시간 (day) |
|----------------|---------|-----|------------------|------------|---------------|
| | 탄산석회 | 단사 | | | |
| 흙 시료 | 0 | | 7, 14 | 20 | 30 |
| 탄산석회 보강 점성토 | 9 | 0 | | | |
| 섬유 보강 점성토 | 0 | 0.3 | | | |
| 섬유/탄산석회 보강 점성토 | 9 | 0.3 | | | |

표 3. 보강 점성토의 크리이프 시험시 재하하중

| 사용재료 | 흙 시료 | | 0.3%섬유혼합토 (단사) | | 9%탄산석회 혼합토 | | 0.3%섬유(단사)+ 9%탄산석회 혼합토 | |
|-------------------------------|------|-------|-------------------|-------|------------|-------|---------------------------|-------|
| | 7일 | 14일 | 7일 | 14일 | 7일 | 14일 | 7일 | 14일 |
| 재령 | 7일 | 14일 | 7일 | 14일 | 7일 | 14일 | 7일 | 14일 |
| 파괴하중 (kg) | 1190 | 2630 | 1860 | 2520 | 870 | 1810 | 1410 | 2280 |
| 파괴응력 (kg/cm ²) | 6.73 | 14.88 | 10.53 | 14.26 | 4.92 | 10.24 | 7.98 | 12.90 |
| 시험하중 (kg) | 480 | 1050 | 750 | 1010 | 350 | 730 | 570 | 910 |
| 시험응력 (kg/cm ²) | 2.72 | 5.94 | 4.24 | 5.72 | 1.98 | 4.13 | 3.23 | 5.15 |

3. 실험 방법

보강 점성토에 대한 크리이프 실험은 재료의 복잡성과 실험수행의 어려움으로 현재까지 표준적인 실험방법이 수립되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 크리이프 시험은 적용용력이 일정하도록 하기 위하여 공시체를 KS F 2403의 규정에 의하여 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 로 제작하였다. 보강 점성토의 크리이프 및 Poisson's Ratio 시험은 KS F 2453과 KS F 2438에 준하여 수직하중에 대한 가로 및 세로변형을 시험하였다. 또한 공시체를 제작한 후 재하전까지의 양생은 공기건조상태로 각각 7일, 14일간 건조시킨 후 재령 30일간 시험을 수행하였으며 크리이프 수행하였으며 크리이프 시험의 재하 하중은 최대하중의 40%로 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 변형률-시간

크리이프 시험은 하중 재하에 의한 탄성변형률을 고려하지 않고 일정용력상태에서의 압축 변형률만을 분석한 결과, 흙 시료의 재하시간에 대한 압축변형은 그림 1과 같다. 흙 시료의 압축변형률은 재령 7일, 14일 모두에서 시간이 경과함에 따라 변형이 점차 감소하는 감쇄 크리이프의 양상을 보였다. 이런 크리이프 변화 형태는 이후 섬유 및 탄산석회를 혼합한 보강 점성토 모두에서 비슷한 변화를 나타내었고 재하시 재령 7일의 변화가 14일보다 큰 변형을 나타내었다.

그림 2는 0.3%혼합한 단사형 섬유 보강 점성토의 재하시간에 대한 압축변형률을 나타낸 것으로 30일 동안의 전체 변형량에 대한 각 재하 시간대별 변형은 재령 7일, 14일 모두에서 하중을 재하한 후 초기변형은 점차 안정화되는 것으로 나타났다. 섬유는 건조 수축하는 성질이 아주 미소하기 때문에 흙에 섬유를 혼합한 0.3%혼합한 단사형 섬유 보강 점성토에서 섬유에서는 압축용력이, 흙에는 인장용력이 발생한다. 따라서 섬유가 흙의 건조수축을 구속하여 섬유와 흙 사이의 마찰력이 커지므로 크리이프 변형이 작게 나타나는 것으로 판단된다. 그리고 재하시 재령이 증가할수록 재하 전 함수비가 작을수록 크리이프 변형은 감소할 것으로 사료된다.

9%혼합한 탄산석회 보강 점성토의 재하시간에 대한 압축변형률은 그림 3과 같다. 9%혼합한 탄산석회 보강 점성토에서는 크리이프 시험전 함수비가 크리이프 변형에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 탄산석회를 혼합한 후 공시체내에 자유수가 머물러 있다가 공시체가 대기중에 방치될 때 증발이 생긴다. 그 결과로 인해 공시체에는 건조수축이 발생하게 된다. 재령이 7일에서는 재하된 후 초기에 급격한 변화를 보이다가 재하시간이 경과할수록 점차 크리이프 변형이 안정되는 변화를 보인 반면 재령 14일에서는 재하시간 전체에 걸쳐서 안정화된 크리이프 변형을 보였다. 이것은 재하시의 재령이 짧은 경우 공시체의 건조가 충분하지 못하여 변화가 큰 것으로 판단된다. 재하시의 재령이 길어질수록 건조로 인한 크리이프 변형은 점차 감소할 것으로 예상된다. 30일 동안의 전체 변형량에 대한 각 재하시간대별 변형은 재령 7일인 경우 5일의 재하시간에 80%가 이루어진 반면 재령 14일의 경우 15일의 재하시간에 80%가 이루어진 것으로 나타났다.

그림 4는 섬유(단사) 0.3%와 탄산석회 9%를 혼합한 보강 점성토의 재하시간에 따른 압축변형률을 나타낸 것이다. 재령 7일에서는 하중이 재하된 후 약 3일 정도 급격한 변화를 보이다가 재하시간이 경과할수록 점차 크리이프 변형이 안정적인 변화를 보이고 있으나 재령 14일에서는 재하시간 전체에 걸쳐서 완만한 크리이프 변형을 보였다.

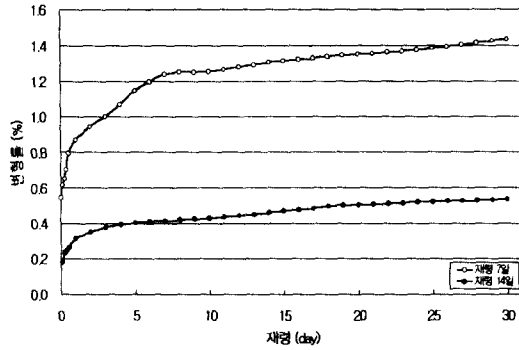


그림 1. 흙 시료의 재하시간에 따른 압축변형

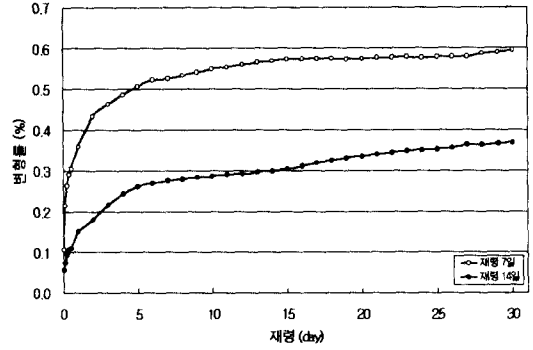


그림 2. 0.3%혼합한 단사형 섬유 보강 점성토의 재하시간에 따른 압축변형

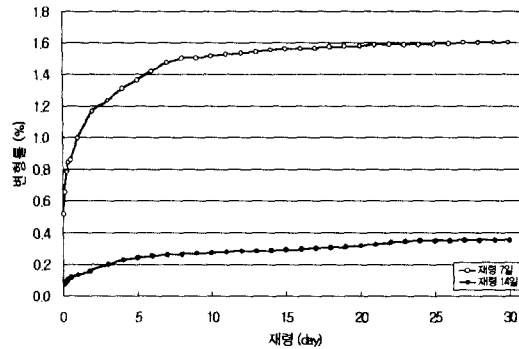


그림 3. 9%혼합한 탄산석회 보강 점성토의 재하시간에 따른 압축변형

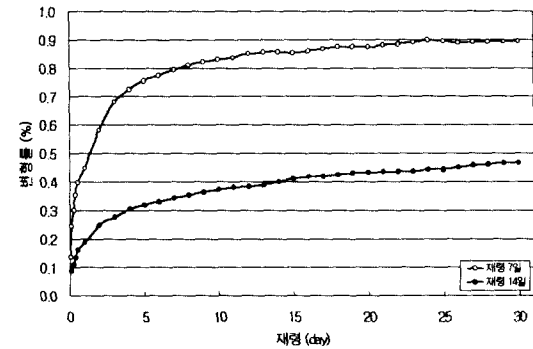


그림 4. 0.3%섬유(단사)·9%탄산석회를 혼합한 보강 점성토의 재하시간에 따른 압축변형

2. Poisson's Ratio

그림 5는 흙 시료의 재하시간에 따른 Poisson's Ratio를 나타낸 것이다. 재령 7일의 경우 재하한 후 초기 5일까지는 종방향 변형보다 횡방향 변형이 급격히 변화하였으며 재하시간 10일 정도에서 최고점에 도달하여서는 재하시간이 증가함에 따라 Poisson's Ratio가 줄어드는 양상으로 보이고 있다. 공시체 내부에 수분감소가 진행되는 동안 토립자 사이의 마찰력 증대로 인해 횡방향 변형이 증대되어 Poisson's Ratio가 증가하다가 수분감소가 진행되는 동안 공시체 내부에 형성된 공극이 채워지지만 토립자 사이의 접촉력 약화로 인해 변형량은 작아질 것으로 사료된다. 따라서 횡방향 변형이 작아질 것이고 이것은 Poisson's Ratio의 감소로 이어졌다. 재령 14일의 경우에 대해서는 하중을 재하 한 후 초기 Poisson's Ratio는 급격히 증가한 후 재하시간이 7일 이후부터는 점차 안정화되었다.

0.3%혼합한 단사형 섬유 보강 점성토의 재하시간에 따른 Poisson's Ratio를 그림 6에서 도시하였다. Poisson's Ratio는 각 측정시간에 대한 종·횡방향 변형량을 기준으로 하여 산출하였다. 재령 7일인 경우 재하한 후 초기에는 종방향 변형보다 횡방향 변형이 급격히 변화하였으며 재하시간이 길어질수록 종·횡방향의 변화 폭이 거의 일정한 형태로 나타났다. 그러나 재령 14일인 경우 재하시간이 증가할수록 Poisson's Ratio는 증가하여 종방향보다 횡방향 변화가 큰 것으로 나타났다. 또한 재하시의 재령이 작은 7일의 경우가 재령이 긴 14일보다 Poisson's Ratio는

13일까지는 크게 나타났으나 13일 이후부터는 재령 14일의 Poisson's Ratio가 크게 나타났다.

그림 7은 9%혼합한 탄산석회 보강 점성토의 재하시간에 따른 Poisson's Ratio를 나타낸 것으로 재하시의 재령이 7일인 경우 하중을 재하 한 후 초기 Poisson's Ratio는 급격히 증가한 후 재하시간이 7일 이후부터는 점차 안정화되었다. 재령 14일인 경우 30일의 재하시간 동안 중·횡방향 크리이프 변형은 거의 비슷한 폭으로 변하였다. 이런 변화는 건조로 인한 수축으로 공시체내의 수분이 급속히 감소했기 때문이다. 공시체내의 수분감소는 공극의 형성이 많아지고 작용하는 구속 응력으로 인해 공시체의 크리이프 변형이 커지는 것으로 판단된다.

0.3%섬유(단사)와 9%탄산석회를 섞은 보강 점성토의 재하시간에 따른 Poisson's Ratio를 그림 8에서 도시하였다. 재령 7일, 14일 모두 재하한 후 초기에는 종방향 변형보다 횡방향 변형이 급격히 변하였으며 재하시간이 길어질수록 중·횡방향의 변화 폭이 거의 일정한 형태로 비슷한 형태를 나타내었다. 탄산석회 혼합으로 인한 함수비 감소 및 공극채움 그리고 섬유혼합으로 인해 영김현상으로 인하여 Poisson's Ratio의 변화가 다른 경우(그림 5, 6, 7)보다 작게 나타났다.

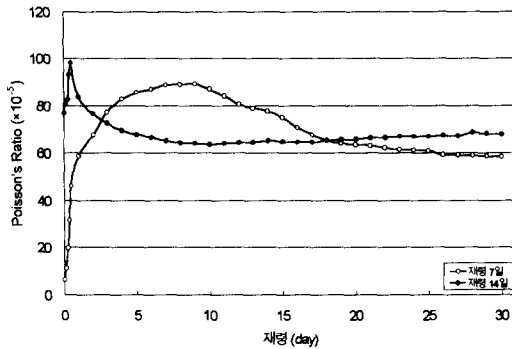


그림 5. 흙 시료의 재하시간에 따른 Poisson's Ratio

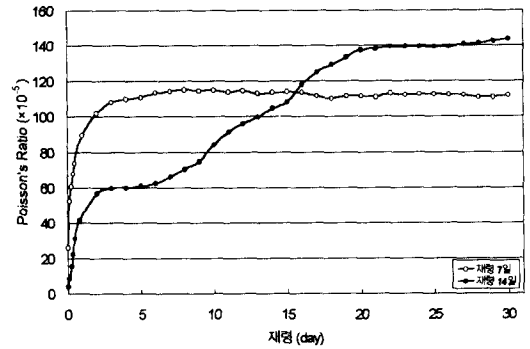


그림 6. 0.3%혼합한 단사형 섬유 보강 혼합토의 재하시간에 따른 Poisson's Ratio

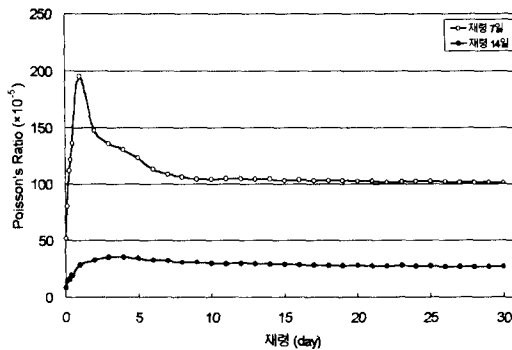


그림 7. 9%혼합한 탄산석회 보강 점성토의 재하시간에 따른 Poisson's Ratio

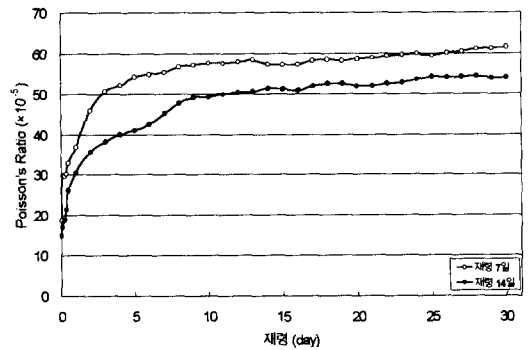


그림 8. 0.3%섬유(단사)와 9%탄산석회를 혼합한 보강 점성토의 재하시간에 따른 Poisson's Ratio

IV. 결 론

보강 점성토의 크리이프 특성을 실험적으로 구명하기 위하여 수원지역에서 채취한 점토질 흙에 탄산석회 9%와 19mm 단사형 섬유 0.3%를 각각 혼합하여 공시체를 제작한 후 재령 30일 까지의 압축변형률 및 포아슨 비를 측정하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 0.3%혼합한 단사형 보강 점성토에서는 섬유의 혼합으로 인하여 마찰력의 증대 및 흙의 건조수축을 억제시켜 압축변형률이 작게 나타나는 반면, 9%혼합한 탄산석회 보강 점성토에서는 압축으로 인한 공극이 형성되어 중·횡방향 크리이프 변형률은 큰 값을 나타냈다.
2. 재하후 초기 Poisson's Ratio 증가의 원인은 재하하중으로 인해 공시체 내부에 형성된 공극이 채워지고 횡방향으로의 하중전달이 증가하여 변형률이 증가하였기 때문으로 사료된다.
3. 하중을 재하한 초기의 압축변형은 큰 폭의 변화를 보였으며, 이후 재하기간과 시험전 함수비가 낮을수록 그 변형률이 작게 나타났기 때문에 보강흙벽의 제작시 건조시기를 결정하는데 있어서 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 문한영, 1996, 건설재료학, 동명사
2. 류능한, 1983, 보강토공법에 관한 연구, 한국농공학회지, 25(2) pp.54~66
3. 장병욱, 박영곤, 우철웅, 김강석, 1999, 섬유혼합보강토의 일축강도 특성, 한국농공학회지 41(1) pp.72~78
4. 한만엽, 1991, 건조 수축의 메카니즘과 물의 역할, 콘크리트학회지 3(2) pp.46~52
5. Mohmad 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