

모형실험에 의한 보강 점성토체의 장기적 거동 분석

Analysis on Long-Term Behavior of Reinforced Clayey Soil by Model Tests

이 상 호 · 김 철 영*(경북대) · 장 병 욱(서울대)

Lee, Sang Ho · Kim, Chul Young · Chang, Pyoung Wuck

Abstract

Long-term behavior of reinforced clayey soil by model tests were performed to investigate the effect of reinforcement during loads and under static loads. In order to determine proper contents by weights of monofilament polypropylene fiber and calcium carbonate, the drying shrinkage and compressive strength tests had been conducted before model tests. Model tests were run on a clayey soil mixed with or without reinforcement and test specimen in test apparatus was placed in air dry for 7 days before load application. In the case of fiber reinforced soil, the horizontal strain was lower than others during loads because the presence of fibers increased the soil's resistance to deformation. All of reinforced clayey soil, horizontal strain decreased as the water content decrease under static loads.

I. 서론

여러 가지 크기의 토립자가 집합된 흙은 일반적으로 결합력이 약하고 외력에 의하여 입자가 상대적으로 변형되기 쉬우며 공극의 양이나 함수량에 따른 물리적 성질이 다르다. 구조물이나 성토제로 사용하기 위해서는 흙의 강도 증가 및 안정성의 확보를 위한 보강이 이루어져야 한다. 흙의 보강에 대한 기존 연구는 흙의 성질을 개선하기 위한 연약지반 개량이나 옹벽 뒤채움재인 흙과 보강재와의 마찰력 증대로 인한 변형억제(보강토 공법), 그리고 보강재를 혼합하여 도로 노상토에의 이용 등 지반 공학적인 측면에서 연구가 주로 이루어져 왔고 대부분의 연구가 사질토를 대상으로 하는 경우가 많았다.

최근 콘크리트에 비해 강도가 약한 흙을 구조물에 이용하기 위해서 성형성 및 강도 증진을 위한 연구가 시도되고 있지만 구조물의 시공 후에 발생하는 문제에 대해서는 연구가 부족한 실정이다. 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 보강 혼합토의 기초 연구에서 강도 특성이 우수한 탄산석회와 폴리프로필렌 섬유를 보강재로 사용하여 모형 벽체의 하중 재하에 따른 변형과 재하 후 벽체의 장기적인 거동을 파악하고자 수행하였다.

II. 재료 및 시험방법

1. 재료

본 연구에 사용한 흙 시료는 경기도 수원시에서 채취한 것으로 비중은 2.63, 최적 함수비(OMC)는 18.2%, 최대 건조 단위중량($\gamma_{d, max}$)은 1.651 t/m^3 이었다.

흙의 성질을 개선하기 위한 보강재로는 탄산석회 및 절단된 19mm 길이의 폴리프로필렌 섬유 단사를 사용하였다.

2. 시료 조성

보강 혼합토 모형 벽체의 시험을 위한 시료의 조성은 표 1과 같다.

표 1. 보강 혼합토 모형 벽체의 크리이프 시험에 대한 시료조성

| 사용재료 | 혼합비(%) | | 재하시의 재령 (일) | 함수비 (%) | 재하시간 (일) |
|-------------|--------|-----|----------------|------------|-------------|
| | 탄산석회 | 섬유 | | | |
| 흙 시료 | 0 | | 7 | 20 | 30 |
| 탄산석회 혼합토 | 9 | 0 | | | |
| 섬유 혼합토 | 0 | 0.3 | | | |
| 섬유/탄산석회 혼합토 | 9 | 0.3 | | | |

3. 장치 및 시험방법

표 1에 나타낸 시료의 조성으로 흙과 보강재가 충분히 혼합되도록 하였다. $50 \times 30 \times 30 \text{ cm}$ 의 모형상자에서 A-다짐에 의한 다짐에너지를 이용하여 시험을 위한 벽체를 제작하였고 제작 후 1일이 경과한 다음 벽체의 외형을 제거하여 실내에서 공기건조상태로 6일을 양생하였다. 하중 재하 속도는 37.5 kg/min 으로 하였고 1.5 ton의 재하 하중으로 일정하게 유지하여 30일간의 크리이프 변형을 측정하였다.

그림 1은 보강 혼합토 벽체 모형시험에 사용한 장치를 나타낸 것이다. 수평 변형률은 벽체 높이의 3곳에서 변형률을 측정하였고 수직변형률은 2곳에서 측정하여 평균값을 취하였다.

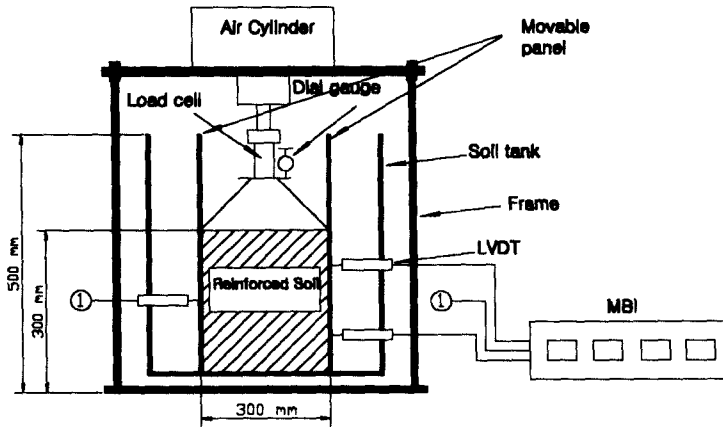
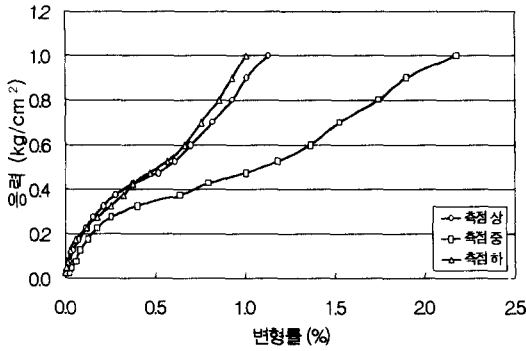


그림 1. 보강 혼합토 모형 벽체의 크리이프 시험 장치

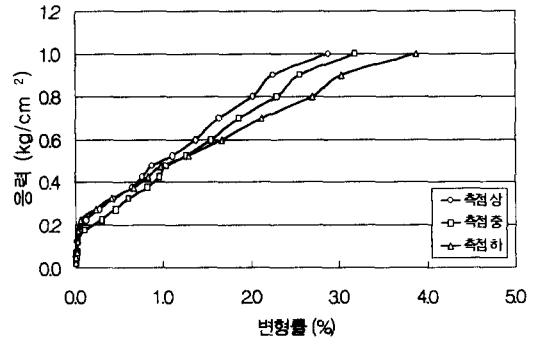
III. 결과 및 고찰

1. 하중 재하시 응력의 증가에 대한 보강 혼합토 모형 벽체의 변형

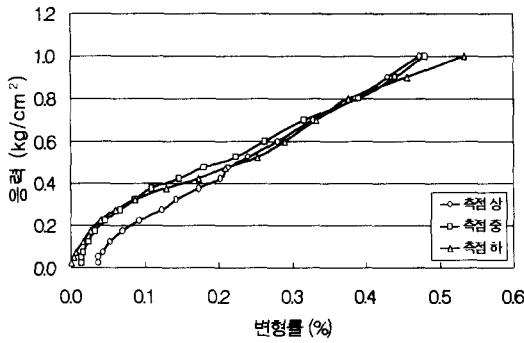
그림 2는 모형 벽체에 하중을 재하시 응력과 수평변형률의 관계를 나타내었으며 흙 시료와 혼합토 벽체 모두에서 응력 증가에 따라 변형률이 비선형적으로 증가하였다. 흙 시료인 그림 2(a)는 벽체에 하중이 작용하면 내부의 토립자에 압축응력이 생기고 이 응력은 벽체 측면으로 팽창압을 유발하게 된다. 팽창압은 변형이 자유로운 벽체 중앙부로 집중되어 변형이 증가하게 된다. 작용된 상부 하중이 벽체 전체에 전달되면 중앙부의 변형률은 점차 커져서 하중 재하를 완료한 응력에서는 상·하부 측정에서의 변형률보다 약 2배 정도의 변형률을 보였다. 9%탄산석회 혼합토인 그림 2(b)는 하중 재하 초기에는 변형률의 변화가 거의 없었으나 재하 완료 후에 변형률은 다른 측정에서보다 하부에서 크게 나타났다. 또한 수평 변형률 변화가 흙 시료 및 다른 보강토 벽체에 비해 크게 변화하였다. 이는 흙과 탄산석회와의 결합력 부족으로 변형을 억제하지 못한 것으로 판단된다. 섬유를 혼합한 그림 (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 하부까지 전달되고 난 이후에는 벽체의 변형률이 하부에서 약간 크게 변하였지만 전반적으로 벽면 전체에 걸쳐 거의 비슷하게 변화하였다. 그림 (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 나타났다. 그리고 상·하부 변형률이 중앙부에서의 변형률보다 높게 나타난 것은 직접적인 응력작용 때문인 것으로 판단된다.



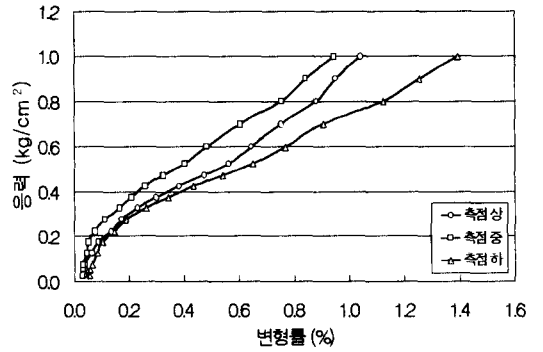
(a) 흙 시료



(b) 9% 탄산석회 혼합토



(c) 0.3% 섬유 혼합토

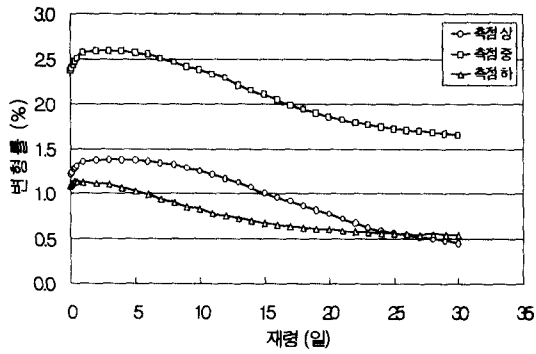


(d) 0.3% 섬유 + 9% 탄산석회 혼합토

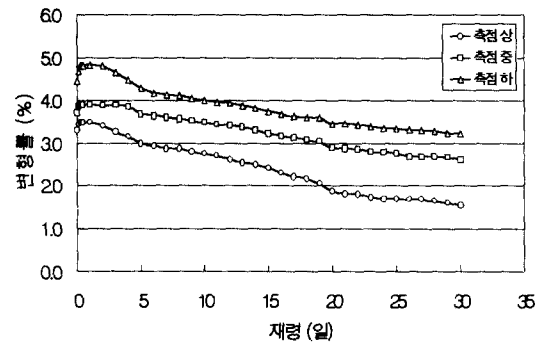
그림 2. 보강 혼합토 모형 벽체의 응력과 수평 변형률의 관계

2. 하중 재하후 재령에 대한 보강 혼합토 모형 벽체의 크리프 변형

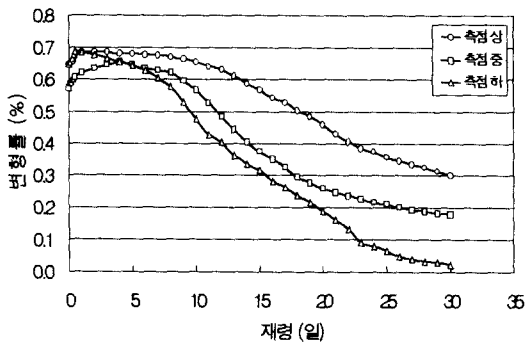
그림 3은 모형 벽체에 하중 재하 후 재령에 따른 수평 변화물의 변화를 나타낸 것이다. 흙 시료인 그림 (a)는 하중 증가로 인해 벽체 내부의 팽창력이 중앙부로 전달되어 변형률이 증가된 후 재령에 따라 벽체의 변형률이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 탄산석회를 혼합한 그림 (b)는 재령에 따라 내부 수분감소의 영향으로 공극이 형성되고 입자 상호간의 접촉력이 점차 감소함으로 인해 변형률이 점차 감소하는 것으로 사료된다. 섬유를 혼합한 그림 (c)는 재령이 증가함에 따라 벽체가 건조되어 흙 입자의 팽창이 감소됨으로 인해 변형률이 감소된 것으로 판단된다. 탄산석회와 섬유를 같이 혼합한 그림 (d)는 벽체 내부 수분 증발로 인해 생긴 입자 상호간의 접촉력 약화와 섬유의 변형 구속에 의해 변형률이 점차 감소하였다. 일정 응력하에서 경과시간에 대한 모형 벽체의 크리프 특성은 벽체 제작에 사용한 재료의 종류, 재하 하중 등 여러 가지 요소에 의해 영향을 받게 된다. 보강 혼합토 모형 벽체는 재령이 증가할수록 벽체 측면에서 내부로 건조가 진행되면서 벽체의 내부 위치에 따른 수분 분포의 차이가 생긴다. 또한 내부 함수량의 감소로 인한 공극의 형성과 건조수축의 영향으로 변형률의 감소가 발생한 것으로 사료된다.



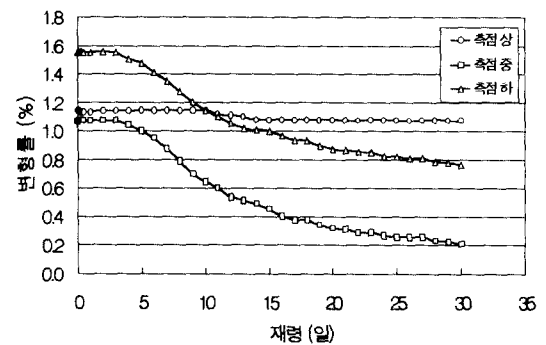
(a) 흙 시료



(b) 9% 탄소섬유 혼합토



(c) 0.3% 섬유 혼합토



(d) 0.3% 섬유 + 9% 탄소섬유 혼합토

그림 3. 보강 혼합토 모형 벽체의 변형률과 재령의 관계

IV. 결론

보강 혼합토 모형 벽체의 장기적 거동을 파악하기 위하여 수원지역에서 채취한 점토질 흙에 9% 탄소섬유 및 절단 길이 19mm인 폴리프로필렌 섬유 단사 0.3%를 혼합하여 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 흙 시료와 혼합토 벽체 모두에서 응력 증가에 따라 수평 변형률이 비선형적으로 증가하였다. 탄소섬유를 혼합한 경우 벽체 내부 입자간의 결합력 부족으로 인한 강도 약화로 인해 변형률이 가장 크게 변하였다.
2. 섬유를 혼합한 벽체에서 재하 하중 증가에 따른 수평 변형률의 변화가 적은 것은 전달된 하중이 토립자에 벽체 외부로의 팽창을 유발하지만 섬유와 흙과의 마찰력이 증대되어 하중 작용시 벽체의 변형을 억제하는 요인으로 판단된다.

3. 흙 시료와 혼합토 벽체의 수평 크리프 변형률은 시간이 경과함에 따라 점차 변형률이 감소하여 일정하게 되는 감쇄 크리프의 형태를 보였고 섬유 혼합토에서 재하 후 경과시간에 대한 수평 변형률의 변화가 작게 나타났다. 이것은 일정 응력 상태에서 건조로 인한 벽체 내부의 수분감소는 흙과 섬유간의 접촉력 약화와 토립자가 내부공극을 메우면서 발생하는 섬유의 구속으로 인해 발생하는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 이상호, 1997 “토목섬유 보강토의 장기적 성능시험” 토목섬유 학술발표회 논문집, pp.65~73
2. 김상식, 1989.10 “콘크리트의 건조수축과 크리이프” 콘크리트 학회지 제1권 2호, pp.23~30
3. 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
4. Donald H. Gray and Harukazu Ohashi, 1983, Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand, J. Geotech. Engrg., ASCE, 109(3), pp. 335~353