

앵커형태의 지반네일로 보강된 흙구조물의 보강효과에 관한 실험적연구

An Experimental Study on Reinforcing Effects for Soil Structures Reinforced by Nail with an Anchor Shape

김 준 석*¹ Kim, Joon-Seok

이 상 덕*² Lee, Sang-Duk

이 승 래*³ Lee, Seung-Rae

Abstract

The soil nailing methods have been developed on the basis of experimental works as well as theoretical backgrounds, and these methods are actively used in the actual site. In this study, a relatively large-scale experiment was carried out to figure out the failure behavior of a soil-nailed wall reinforced by the nail with an anchor shape to enlarge the axial tensile resistance which is important factor in the stability. A number of data, such as displacement of soil-nailed walls, soil pressure in soil-nailed walls, axial strain, axial force of the nail so forth have been acquired and analyzed. Furthermore, the results are compared with the test results for non-anchor shaped nail that is performed at the same condition.

요 지

지반네일 보강방법은 이론적 뒷받침과 함께 경험적인 작업을 기초로 발전되어 왔으며, 연구 결과를 바탕으로 현장적용이 활발하게 이루어지고 있다. 본 연구에서는 소일 네일로 보강된 토체의 안정성에 중요한 요소인 소일네일의 인발저항력을 높이기 위하여 네일의 끝 부분에 앵커와 같은 구근이 형성된 네일로 보강된 토체의 파괴거동을 이해하기 위하여 비교적 큰 규모의 실험을 실시하였다. 토체의 변위, 네일의 축변형률, 네일의 축하중, 토체내부의 토압 등에 관한 자료를 얻었으며 이러한 자료들을 분석하였다. 또한 같은 조건에서 일반적인 형태의 네일로 실험된 결과와 비교분석을 실시하였다.

Keywords : Soil nailing, Soil-nailed structures, Soil-nailed wall, Large scale experiment, Reinforced earth wall

1. 서론

절토사면에 대한 급경사면 안정화 방법 중에 하나인 지반네일 보강공법(soil nailing method)은 붕괴의 위험성이 큰 자연사면이나 굴착에 의한 인공사면의 안정성을 향상시키기 위하여 인장응력, 전단응력 및 휨모멘트에 저항할 수 있는 지반네일 보강재를 프리스트레싱 없이

축축한 간격으로 삽입함으로써 원지반의 전체적인 전단강도의 증대 및 발생변위를 억제하여 굴착공사 도중 및 완료 후 사면파괴에 대한 안정성을 향상시키는 지반 보강공법이다.

임시 또는 영구목적의 토류 구조물에 대한 지반네일(soil nail)공법의 성공적인 적용과 함께 해석 및 설계에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다. 극한상태에서의 힘

*1 정희원, 청운대학교 토목환경공학과 조교수

*2 정희원, 아주대학교 토목공학과 교수

*3 정희원, 한국과학기술원 토목공학과 부교수

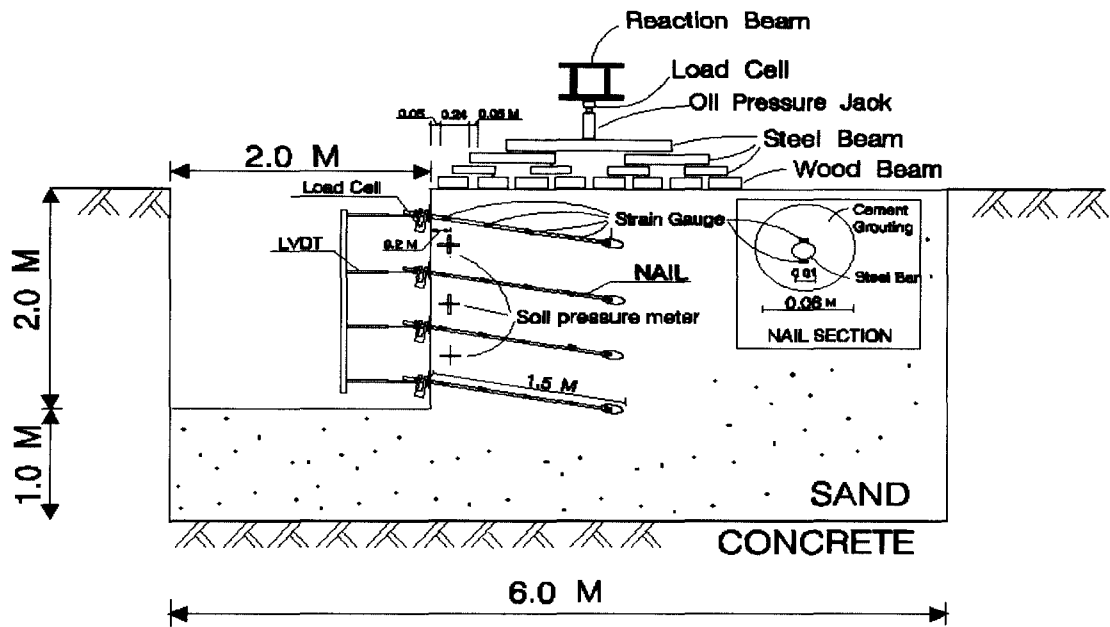


그림 1. 실험용 토체의 개요도

평형조건을 이용한 Shen과 Bang(1992)의 설계방법, 보강재의 휨, 전단, 인장응력 및 인발저항력을 종합적으로 고려한 Schlosser(1992)의 설계방법, 실험적 결과를 바탕으로 제안된 Stocker(1990)의 설계방법, 변형기하학적 개념을 도입한 Juran(1990)의 설계방법등 다양한 제안이 있으며 최근 우리나라에서도 활발한 연구와 적용이 이루어지고 있다.

지반네일 보강공법에서 보강토체의 안정성에 중요한 요소인 보강재의 인발저항력을 증가시키기 위하여 보강재로 사용되는 네일(nail)의 끝 부분에 구근을 설치하여 앵커와 같이 수동저항력을 증대시키는 방법에 대하여 많은 관심이 있었으나 토체전체의 거동에 대한 연구가 아직 제안되고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 네일(nail)의 끝 부분에 구근이 설치된 앵커형태의 지반네일에 대한 보강효과와 토체의 파괴거동을 파악하기 위하여 실물 규모의 실험용 토체를 제작한 후 상재하중을 가하여 파괴시키는 실험을 실시하였다. 본 실험연구를 통하여 토체의 수평 및 수직변위, 지반네일에 발생된 축인장변형률, 벽체와 지반네일 사이의 축하중, 벽체 부근의 토압변화등을 계측하여 지반네일 끝 부분에 구근이 형성된 앵커 형태의 지반네일로 보강된 지반토체의 파괴 거동을 분석하였다. 또한 동일한 조건에서 실시된 일반적인 형태의 네일로 보강된 토체의 파괴 거동 결과(김준석, 이상덕, 이승래 1997)와 비교분석을 실시하였다.

2. 실험방법, 장치 및 재료

2.1 실험방법

본 논문에서 실험용 토체는 총4개 층으로 하고, 각각의 층마다 4개의 지반네일을 설치하여 총 16개(4×4)의 네일을 갖는 보강토체를 제작하였다. 지반네일의 수평, 수직 간격은 50cm로 하였다.

실험용 토체가 실제 상황과 가장 유사하도록 하기 위하여 대형토조에서 모래지반을 균질하게 조성한 후 실제 시공과 동일한 순서로 지반네일 보강토체를 제작하였다. 즉 상부에서 부터 아래쪽으로 굴착-전면처리-네일설치-굴착의 순서 방식으로 실시하였으며 굴착된 전면부의 처리



그림 2. 실험용 토체의 전면

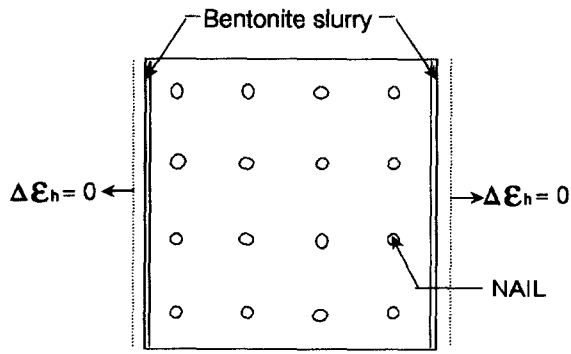


그림 3. 토조의 경계조건

는 실제 시공에서는 쇼크리트(shotcrete)를 일반적으로 사용하지만, 본 실험에서는 합판을 사용하여 매층별로 전면 에 돌출된 네일과 볼트로 조이는 방식으로 부착하였다. 전면부 쇼크리트의 기능이 전면부 표면의 부분적인 파손을 방지하기 위함이므로 시험목적상 문제는 없을 것으로 사료된다.

실험용 토체가 완성된 후 피라미드 형태의 재하장치(그림 4)를 이용하여 토체가 파괴될 때 까지 상재하중을 가하면서 토체의 거동을 계측하였다.

2.2 실험장치

2.2.1 토조

지반공학에서 모형실험에 사용되는 토조에는 일반적으로 원심모형기(centrifuge), 가압토조(calibration chamber), 소형토조, 대형토조등이 있으며, 이 밖에 크기와 형상, 기능에 따라 더욱 세분화 될 수 있다. 각각의 토조는 나름대로의 특징을 갖고 있기 때문에 실험 목적에 따라 선택

될 수 있다. 본 연구에서는 대형토조(높이 3M×폭 6M×길이 6M)를 3등분하여 높이 3M, 폭 2M, 길이 6M의 토조로 개조하여 사용하였다. 실험에 사용된 토조는 자연 지반을 굴착하여 만들었으며 200ton 까지 재하할 수 있는 반력장치가 설치되어 있다.

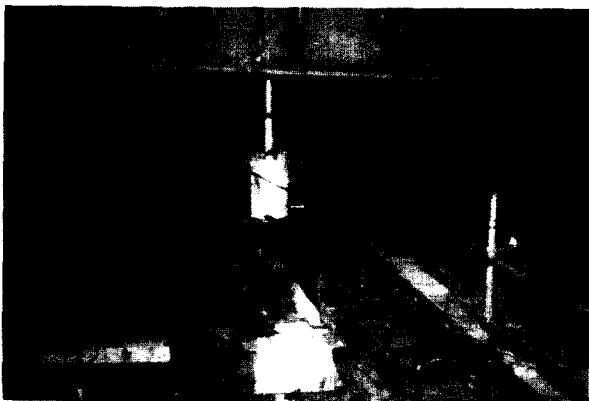
2.2.2 토조의 경계조건

토조를 이용한 모형실험에서 모형지반과 현장지반의 가장 큰 차이인 경계효과(boundary effect)를 최소화 해야 한다. 경계효과는 실험대상에 따라 고려하는 방법이 달라지게 된다. 일반적으로 토조실험에서는 수평, 수직 응력과 변형률에 따라 4가지의 서로다른 경계조건이 설정될 수 있으며 경계조건에 따라 실험결과가 크게 달라지게 된다(Parkin Lunne, 1982).

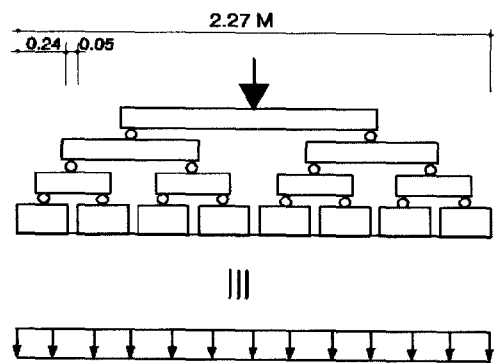
본 실험에서는 토조의 양측면 벽체에 물로 적당히 반죽된 벤토나이트를 2cm 두께로 입히고 비닐로 덮어서 토체가 앞으로 미끄러질때 측면 마찰력의 영향이 최소화 되도록 했으며, 측면방향의 수평변위는 완전히 억제되도록 하였다(그림3).

2.2.3 하중 재하장치

실험토체가 완성된 후에 토체의 상부에 균등한 상재하중을 가하기 위하여 그림4 와 같은 구조의 피라미드 형태의 재하장치를 설치하였다. 재하장치의 최하단은 하중의 균등한 분포를 위하여 상대적으로 연성인 침목을 이용하였고 나머지 부분은 강재를 이용하였다. 재하장치의 최상단에 오일잭(200ton 급 사용)을 설치하여 하중을 가하면, 하중은 하단으로 전달되면서 등분되어 최하단에 균등하게 전달된다. 오일잭의 하중은 검력계를 설치하여 조절하였다.



(a) 하중 재하장치 전경



(b) 하중 재하장치 개념도

그림 4. 하중 재하장치 및 개념도

2.3 계측장치

보강토체의 거동을 계측하기 위하여 변형률 측정계, 검력계, 토압계, 변위 측정계등을 설치하였다.

2.3.1 변형률 측정계

네일의 변형상태를 계측하기 위하여 각층에서 1개의 네일을 선택하여 길이 방향으로 5개 지점에 대하여 상부와 하부에 변형률 측정계(strain gauge)를 설치하였다(그림1). 설치위치는 전면부를 기준으로 10cm, 40cm, 70cm, 110cm, 140cm의 위치에 상하로 부착하였으며 설치된 변형률측정계는 측정계길이(gauge length) 3mm를 사용하였다.

2.3.2 검력계

피라미드 형태의 재하장치 최상부에서 집중하중을 가하는 오일잭 위에 용량 200ton의 검력계(load cell)를 설치하여 가해진 상재집중하중을 계측하였다. 또한, 지반네일에 작용된 축하중을 측정하기 위하여 지반네일과 전면판 사이 연결지점에 검력계를 설치하였다(그림1, 그림2).

2.3.3 토압계

토체 내부의 토압변화를 계측하기 위하여 전면판 부근의 3개 지점에 대하여 수평과 수직 1쌍씩 총 6개의 진동현형식의 토압계(soil pressure meter)를 매설하였다(그림1).

2.3.4 변위 측정계

보강토체 외부의 변위를 계측하기 위하여 변위 측정계(LVDT)를 보강토체 전면부에 부착된 4개의 전면판 중심(아래에서 부터 0.25m, 0.75m, 1.25m, 1.75m)에 각각 1개

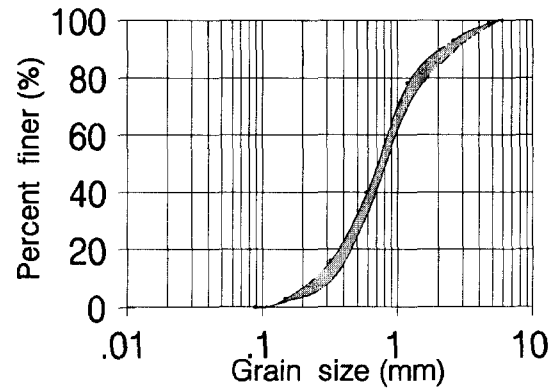


그림 5. 실험용 모래의 입도분포 곡선

씩 4개와 토체의 상부면에 앞에서 부터 0.17m, 0.75m, 1.64m 에 각각 1개씩 3개를 설치하였다.

2.4 실험재료

2.4.1 토체

실험용 토체를 조성하기 위한 재료로서 남양만에서 채취한 바다모래를 사용하였다. 토체의 제작 방법은 굴삭기를 사용하여 토조 외부에 쌓아둔 모래를 떨어뜨리지 않고 살며시 내려놓는 방법으로 30cm를 쌓아올린 후에 갈퀴로 교란시켜 낙하에너지의 영향을 없앤 다음 진동다짐기로 5회씩 다짐하였다.

모래시료의 강도정수는 실험토체의 평균건조 단위중량인 $\gamma_d = 1.51 \text{ g/cm}^3$ 를 기준으로 직접전단 시험을 실시한 결과 최대강도 기준으로 $\phi_p = 39.4^\circ$, 잔류강도 기준으로 $\phi_r = 34.7^\circ$, 점착력 $C=0$ 를 얻었다. 모래 시료의 입도분포는 그림5와 같으며, 함수비는 시험전 6.0%, 시험후 5.1%이었다.

2.4.2 지반네일

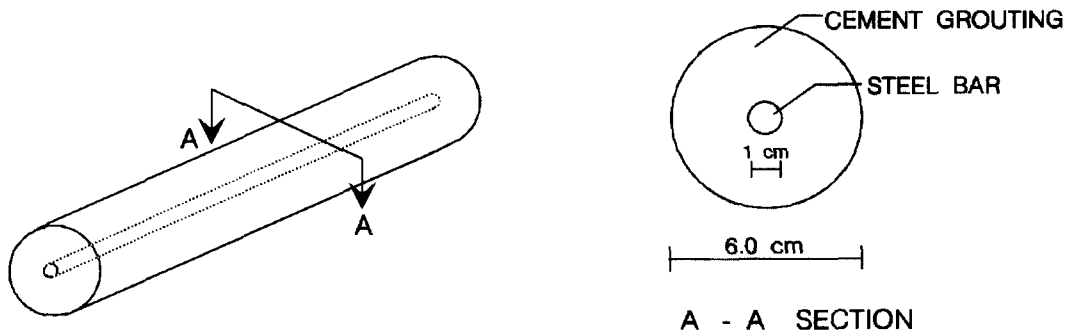


그림 6. 지반네일의 구성도



그림 7. 앵커형태의 네일 모습

지반네일은 보강철근과 철근주변을 감싸고 있는 시멘트 그라우팅으로 구성되어 있다(그림6). 지반네일의 제작은 현장타설(in-situ)로 제작되었다. 지반네일을 제작하기 위한 천공방법은 핸드 오거를 지지대에 장착하여 굴착 지점에 설치 한 후, 지지대의 각도를 수평에서 10° 로 조절하여 고정한다. 다음 핸드오거를 천천히 회전시키며 인력으로 굴착하였다.

굴착이 끝나면 네일 끝부분에 구멍을 형성하기 위하여 추가로 천공하였다. 천공 후에 스페이서가 부착된 보강철근을 삽입한 다음 시멘트 몰탈로 중력을 이용하여 그라우팅하였다.

본 실험연구에서는 보강철근을 직경 10mm의 이형철근을 사용하였고, 전면부와의 연결을 위하여 보강철근 앞부분에 직경 10mm의 볼트봉을 전기용접으로 부착하였다. 네일로 사용된 이형철근의 공학적 성질은 표 1과 같으며, 그라우팅을 실시한 후 강도발현이 목표치에 달하는데 48시간이 되도록 물/시멘트비 45%, 급결용 혼화재 1%로 사용량을 조절하였다.

그림7은 실험이 끝난 후 파괴된 실험용 토체를 조사하는 과정으로서 앵커형태의 보강재가 잘 형성된 것이 확인되었다.

3. 계측결과 및 분석

피라미드 형태의 재하장치 상부에 유압잭을 이용하여 집중하중을 10 tonf씩 증가시키면 가해진 집중하중은 재하장치에 의하여 분산되어 보강토체의 상부면에 2.2

표 1. 실험용 지반네일의 제원

직 경(D)	탄성계수(E)	인장강도	용접부분강도
10mm이형철근	2.02x10 ⁶ kgf/cm ²	5.86x10 ³ kgf/cm ²	2.67x10 ³ kgf/cm ²

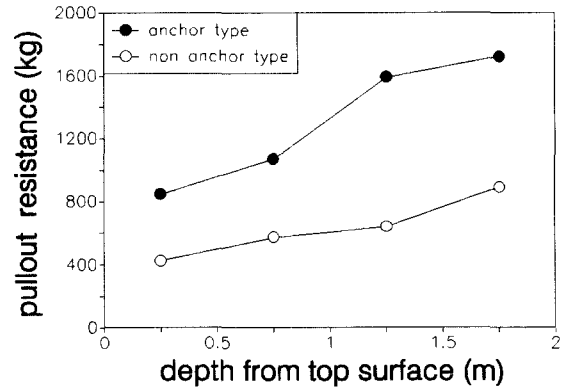


그림 8. 네일의 인발저항력

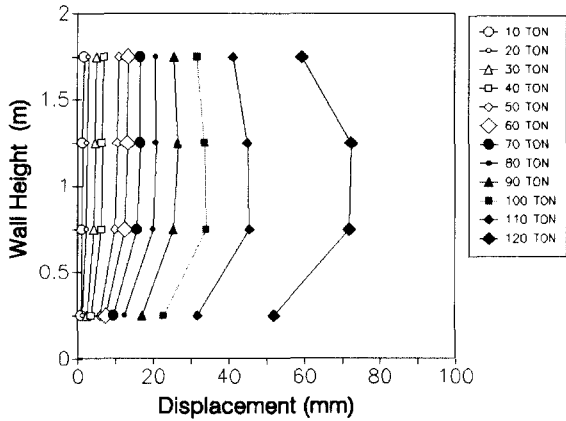
tonf/m² 씩 상재하중으로 균등하게 분포되어 증가한다. 집중하중을 10 tonf씩 증가시키면서 토체전면의 수평변위, 토체상부면의 수직변위, 토체 내부의 토압, 네일의 축하중 및 축변형률을 측정하고 네일의 균열등을 분석하였다. 본 실험연구에서 앵커형태의 네일에 대한 보강효과를 확인하기 위하여 본 실험과 동일한 조건에서 실시된 앵커형태가 아닌 일반형태의 네일이 사용된 실험연구결과와 비교 분석하였다.

3.1 지반네일의 인발저항력

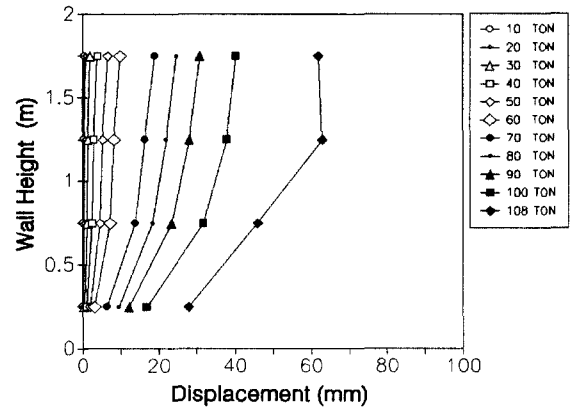
지반네일의 인발저항력을 확인하기 위하여 보강토체의 각 층에서 1개의 네일에 대하여 인발저항시험을 실시하였으며 각층별 네일의 인발저항력은 그림8과 같다. 그림8에서 앵커형태의 네일에 대한 평균 인발저항력은 1.307ton 이고 동일한 조건에서 앵커형태가 아닌 일반 네일의 평균 인발저항력은 0.633ton으로 앵커형태의 네일이 약 2배정도 큰 것으로 시험되었다.

3.2 보강토체의 변형

상재하중의 증가에 따르는 보강토체 전면의 수평변위량을 그림 9, 그림 10에 표시하였다. 그림 9에서 하중이 증가함에 따라 변위가 점점 크게 발생하다가 110 ton을 넘기면서 급격히 증가하였다. 이것은 그림 10의 하중-변위 곡선에서도 유사한 경향을 나타내고 있다. 특히, 그림 10에서 벽체 최하단의 수평변위(LVDT 1)를 제외한 나머지 하

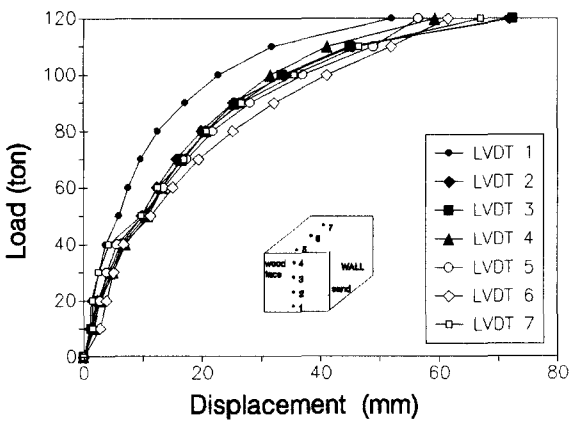


(a) 앵커형태의 네일이 사용된 경우(본 연구)

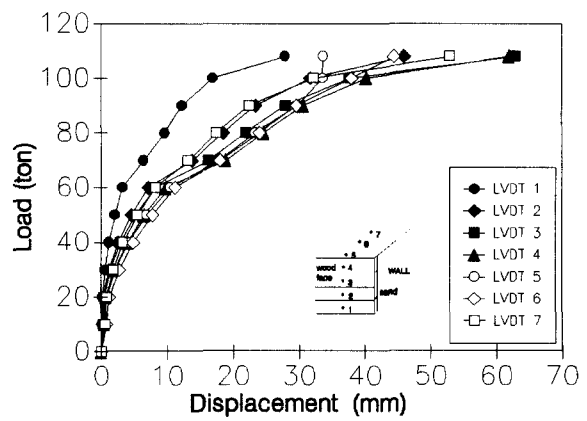


(b) 일반형태의 네일이 사용된 경우(참고문헌)

그림 9. 상재하중에 따른 보강토체 전면의 수평변위



(a) 앵커형태의 네일이 사용된 경우(본 연구)



(b) 일반형태의 네일이 사용된 경우(참고문헌)

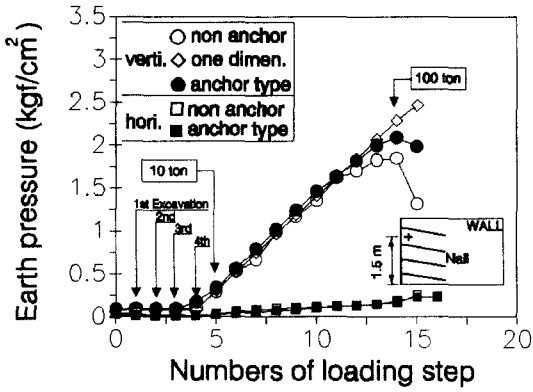
그림 10. 상재하중에 따른 보강토체의 변위

중-변위 곡선은 거의 동일한 거동을 보이고 있다. 이것은 벽체 전면부의 수평변위가 상재하중 증가에 따라 최하단을 제외하고 거의 평행한 직선으로 변화하였다는 것을 의미한다. 그림9에서 파괴시점인 110ton 부근에서 토체의 수평변위가 중간부분에서 증대하여 마치 배가 나온 형태로 됨을 알 수 있다. 이것은 일반적인 네일을 사용한 실험 결과에서 대수나선 형태의 수평변위 모습과 비교할 때 다른 형태의 결과를 나타내었다.

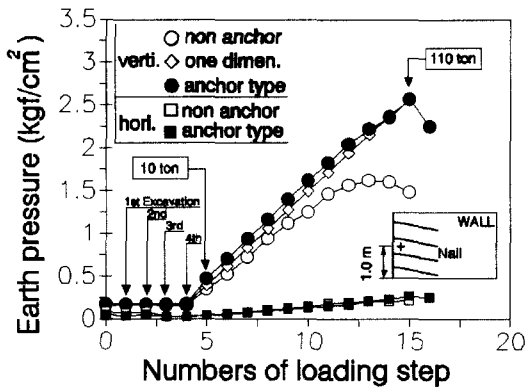
3.3 보강토체 내부의 토압

지반네일 보강토체의 시공과정과 하중재하 동안 토체의 내부벽면 부근에 작용하는 토압을 계측하여 각각의 위치에 따라 그림 11과 같이 표시하였다. 수평토압은 굴착깊이가 토압계의 매설깊이를 통과할 때 거의 0의 값으로 급격히 감소하였다가 상재하중을 가함에 따라 완만한 상승

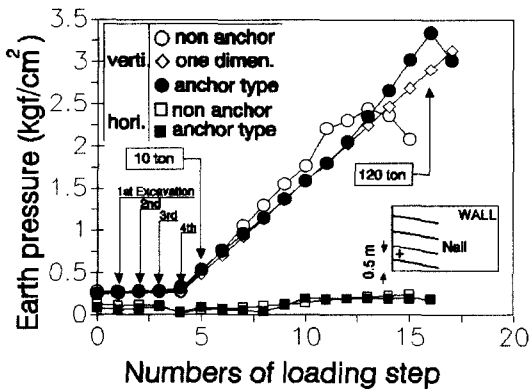
을 나타내었으나 연직토압에 비하여 비교적 작은 값이다. 연직토압은 굴착에 따른 영향이 거의 없었으며 상재 하중 재하에 따른 토압의 증가는 1차원 하중 조건과 거의 유사한 증가를 보였다. 이것은 피라미드 형태의 재하장치가 비교적 균등하게 토압을 전달했음을 보여주는 것으로 판단된다. 상재하중 증가에 따른 연직 토압의 증가는 상재 집중 하중이 토체 높이에 따라 100~120 ton 을 고비로 급격히 감소하는 경향을 보였다. 연직토압이 감소한 것은 토체가 파괴되어 아래방향으로 이동되면서 연직 토압계도 함께 이동된 때문으로 판단되며, 극한파괴시점을 추정할 수 있는 지표로 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 이것은 동일한 조건의 일반적인 네일이 사용된 실험결과에서 높이에 관계없이 거의 동시에 하중저하 현상이 발생하는 것과는 달리 앵커형태 네일의 경우 상부에서 100ton, 중간 부분에서 110ton, 하부에서 120ton을 고비로 상재하중이 감소되는 것을 나타내었다. 이것은 상부에서부터 파괴가 시작되



(a) H=1.5m 인 경우



(b) H=1.0m 인 경우



(c) H=0.5m 인 경우

그림 11. 보강토체 내부의 토압

어 점진적으로 하부로 전이되는 것을 나타내는 것으로 사료된다.

3.4 네일의 축하중

벽체 전면부에서 네일에 작용되는 네일의 축하중은 그림 12와 같이 전체적으로는 상재 집중하중이 80 ton 까지

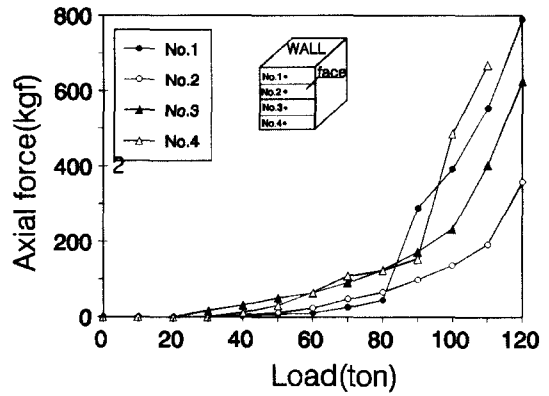


그림 12. 보강토체 전면부에서의 네일의 축하중

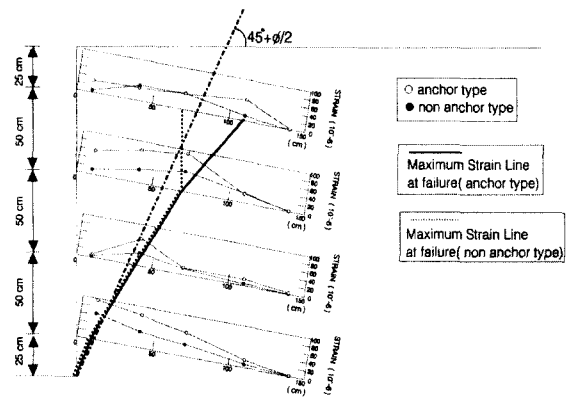


그림 13. 네일의 축인장 변형을

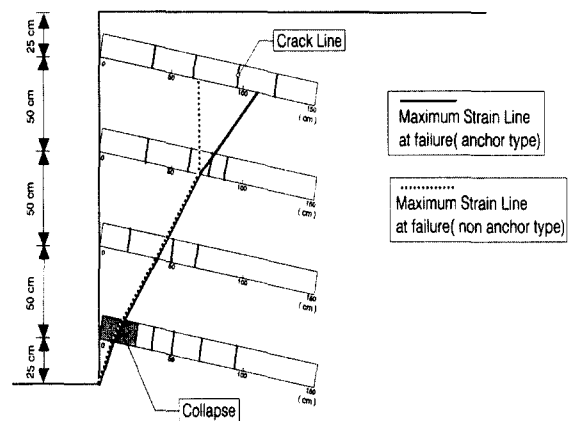


그림 14. 네일의 손상과 네일의 최대 축인장 변형을 연결선

증가하는 동안 비교적 작게 발생하다가 80 ton을 고비로 최상단과 최하단이 급격한 증가를 보였으며 비교적 수평 변형이 많이 발생된 중간 부분은 완만한 증가를 보이다가 110ton을 고비로 큰 증가를 보였으며 전체적으로 유사한 거동을 보였다.

3.5 네일의 축인장 변형을

극한 상태에서 네일에 발생하는 축인장 변형률(axial tensile strain)을 계측하기 위하여 각각의 재하하중에 대하여 축인장 변형률을 계측하였다.

그림13에서 파괴시점으로 판단되는 상재 집중하중 110 ton에 대하여 축인장 변형률에 의한 예상파괴선은 직접전단시험에서 얻은 최대강도 기준의 내부마찰각을 사용한 $45^\circ + \phi/2$ 선과 유사한 직선적 경향을 보였다. 이것은 비앵커형태의 네일로 보강된 토체의 경우 대수나선형과 유사한 형태의 예상파괴선(그림13)을 보였던 것과는 다른 결과로서 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

재하 실험 후에 네일의 손상상태를 파악하여 그림14에 계측결과와 함께 비교하였다. 그림14에서 계측된 예상파괴선 부근에 많은 손상이 있었으며, 특히 최하단의 경우 네일의 앞부분이 파괴되었으며 상당히 많은 손상이 있었다.

4. 결론

끝 부분에 구근이 형성된 앵커형태의 지반네일로 보강된 토체의 파괴거동을 분석하기 위하여 대형토조에서 비교적 큰 규모의 실험연구를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 재하에 따른 수평 및 연직변위의 거동을 고찰한 결과 점진적인 파괴거동을 보임을 알 수 있었다. 또한, 벽체 전면부의 높이에 따른 수평변형은 상재하중 증가에 따라 거의 평행한 직선으로 변화하다가 파괴시점에서 중앙부분의 변형이 증대되어 배가 나오는 형태를 보였다.
- (2) 벽체 전면부에서 네일에 작용되는 축하중은 명확한 파괴시점을 제시하지는 않았으나 각층별로 축하중이 크게 증가하는 하중 단계가 서로 다른 것을 보여주었다. 이것은 전체적인 극한파괴가 발생되기 전에 각층별로 부분적인 극한상태가 발생하다가 최종적으로 전체적인 극한파괴가 일어나는 것을 보여주는 것으로 사료된다.
- (3) 토체내부의 연직토압은 동일한 조건의 일반적인 네일이 사용된 실험결과에서 깊이에 관계없이 파괴시점에서 거의 동시에 하중저하 현상이 발생하는 것과는 달리 앵커형태 네일의 경우 상재하중이 증가하여 파괴시점부근에 도달하자 토체내부의 연직토압이 상부에서부터 먼저 감소하기 시작하였다. 이것은 토체의 파괴

가 상부에서부터 시작되어 점진적으로 하부로 전이된 것을 보여준 것으로 판단된다.

- (4) 네일의 최대 축인장 변형률을 연결한 가상파괴선은 일반적인 형태의 네일로 보강된 토체의 가상파괴선이 일반적으로 대수나선형과 유사한 형태로 연구된 것과는 다른 거의 직선형태를 보였다. 따라서 향후 앵커형태의 네일이 사용되는 설계시 가상파괴선의 설정에 있어서 기존의 대수나선형적 가상파괴선은 과소설계가 될 수 있을 것으로 판단된다.
- (5) 네일의 평균 인발저항력은 앵커형태의 네일이 일반적인 형태의 네일에 비하여 약2배정도 크지만 각각의 네일로 구성된 보강토체의 극한파괴하중은 약 1.2배정도 큰 것으로 분석되었다. 즉 구근이 형성된 앵커형태의 네일에 의한 인발저항력의 증가에 비하여 상재하중에 대한 토체의 저항력 증가는 상대적으로 매우 작은 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 청운대학교 학술연구조성비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다. 또한 공동연구에 협조해 주신 아주대학교에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김준석, 이상덕, 이승래(1997) "모래를 사용한 지반네일 구조물의 실험적 연구", 한국지반공학회 논문집, 제13권, 제2호, pp91-100.
2. 김홍택, 류정수, 정성필, 강인규, 박시삼(2000) "제거식 쏘일네일링 공법의 설계 및 시공", 한국지반공학회 논문집, 제16권, 제3호, pp.107-108.
3. Bang, S., Kroetch, P. and Shen, C.K. (1992) "Analysis of soil nailing system", *Proc. of the Inter. Symp. on Earth Reinforcement Practice, Japan*, Vol. I : pp.457-462.
4. Byrne, R. J. (1992) "Soil nailing: A simplified kinematic analysis", *Geotechnical Special Publication*, ASCE, No. 12, Vol. 2, pp.751-763.
5. Elias, V. & Juran, I. (1991) "Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations", *Federal Highway Administration Report FHWA*.
6. Juran, I., Baudrand, G., Farrag, K. & Elias, V. (1990) "Kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures", *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 1, pp.54-73.
7. Juran, I. & Elias, V. (1992) "Soil nailed retaining structures: Analysis of case histories", *Geotechnical Special Publication*, ASCE, No. 12, New York, pp.232-244.
8. Leshchinsky, d. (1991) "Discussion on kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures", *Journal of the geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 11, pp.1821-1824.
9. Michell, J. K. (1992) *Reinforcement of earth slopes and embank-*

ments, NCHRP-290, Transportation Research Board

10. Parkin, A. K., Lunne, T.(1982),"Boundary effect in the laboratory calibration of a Penetrometer for sand", *Proc. of the 2nd European Symposium on Penetration Testing*, Amsterdam, pp.761-768.
11. Schlosser, f., Unterreiner, p. & Plumelle, C.(1992) "French research program CLOUTERRE on soil nailing", *Geotechnical Special publication, ASCE*, No. 12, Vol. 2, pp. 739-750.
12. Stocker, M. F. & Riedinger, G.(1990) "The bearing behaviour of nailed retaining structures", *Geotechnical Special Publication, ASCE*, No. 25, New York, pp.612-628.
13. Thompson, S. R. & Miller, I. R.(1990) "Design construction and performance of a soil nailed wall in seattle Washington", *Geotechnical Special publication, ASCE*, No. 25, New York, pp.629-643.

(접수일자 2000. 12. 11)