

상재하중의 영향에 따른 보강토옹벽의 거동에 관한 모형실험연구

Model Test for The Behavior of Reinforced Earth Wall Associated with Surcharge Load

김명호¹⁾, Myoung-Ho Kim, 황의석²⁾, Ye-Suk Hwang, 이봉렬³⁾, Bong-Yul Lee, 김학문⁴⁾, Hak-Moon Kim

¹⁾ 한국건설품질연구원, Korea Construction Quality Research Center

²⁾ 단국대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dankook Univ.

³⁾ C.G. E & C 기술연구소 소장, General Manager, R&D Center, C.G. E & C Co., Ltd.

⁴⁾ 단국대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dankook Univ.

SYNOPSIS : Recently, application of the reinforced earth wall is in increasing trend. Although many investigations on the influence of the length and spacing of reinforcement and the values of surcharge load has been carried out in the past, but the research about the influence of the location and value of surcharge loads has been scarce. Therefore this study was necessitated. The model test were carried out by varying the location and value of surcharge loads for two types of the backfill soils.

Key words : the reinforced earth wall, the location of surcharge loads, the length of reinforcement the model test, the spacing of reinforcement

1. 서 론

보강토옹벽은 기존의 옹벽에 비해 시공이 간편하고 신속하며, 기초처리가 간단하고 경제성 또한 크기 때문에 현재까지 보강토 옹벽에 대한 많은 연구가 보강재의 길이, 보강재의 설치간격, 상재하중 크기의 영향등에 관하여 실험실시험 및 모형실험, FEM해석 등의 여러 가지 방법으로 실시되어 왔다. 그러나 도로 및 교대 배면의 상재하중의 작용위치 및 크기에 따른 보강토옹벽의 거동에 관한 연구가 미흡하므로 보다 구체적인 연구를 실시하고자 보강토옹벽에 상재하중이 작용할 경우, 상재하중의 작용 위치와 크기에 따라 보강토옹벽의 토압변화 및 벽체의 수평변위, 지표침하 등을 알아보기 위하여 모형실험을 실시하였으며, 상재하중의 크기 및 상재하중의 작용 위치에 따른 보강토옹벽의 수평변위, 토압, 지표침하의 관계를 분석하고, 기존의 이론과 비교·분석함으로써 보강토옹벽의 거동 및 배면지반의 거동에 대하여 규명하고자 하였다.

2. 모형실험

2.1 실험지반의 기본물성

본 실험에서 지반 조성을 위해 사용된 재료로는 공기 건조된 주문진 표준사를 사용하였으며, 물성실

험에 대한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 모래시료의 물성치

최대건조밀도 (γ_{dmax} , t/m ³)	1.591
최소건조밀도 (γ_{dmin} , t/m ³)	1.283
최대간극비 (e_{max})	1.042
최소간극비 (e_{min})	0.647
비중 (Gs)	2.62
D ₆₀ (mm)	0.60
D ₃₀ (mm)	0.50
D ₁₀ (mm)	0.42
균등계수 (C _u)	1.429
곡률계수 (C _g)	0.992
함수비 (ω , %)	0.05

2.2 실험장치 및 계측기

본 실험에 사용된 실험장치는 크게 토조, 강사장치, 상재하중판, 상재하중, 계측기기로 분류될 수 있다. 토조는 좌측면과 뒤쪽은 두께 10mm의 강철판으로 되어 있고, 전면과 우측면은 내부 관찰이 용이하도록 30mm 두께의 투명 아크릴로 되어 있다. 또한 토조의 변형을 억제하기 위해 전체면에 두께 5mm의 격자형 강철틀을 설치하였다. 이때 토조내의 측면효과를 최소화하기 위해 토조 내부에 미끄러운 플라스틱을 부착하였으며 원하는 실험지반의 조성을 위해 강사장치가 사용되었다.

본 실험에 사용된 상재하중판은 폭 20cm, 길이 64cm, 두께 2cm의 목재로 되어 있다. 상재하중은 0.78t/m², 1.17t/m², 1.56t/m², 1.95t/m²의 4가지로 재하하였으며 토조의 평면도 및 측면도는 그림 1과 같다.

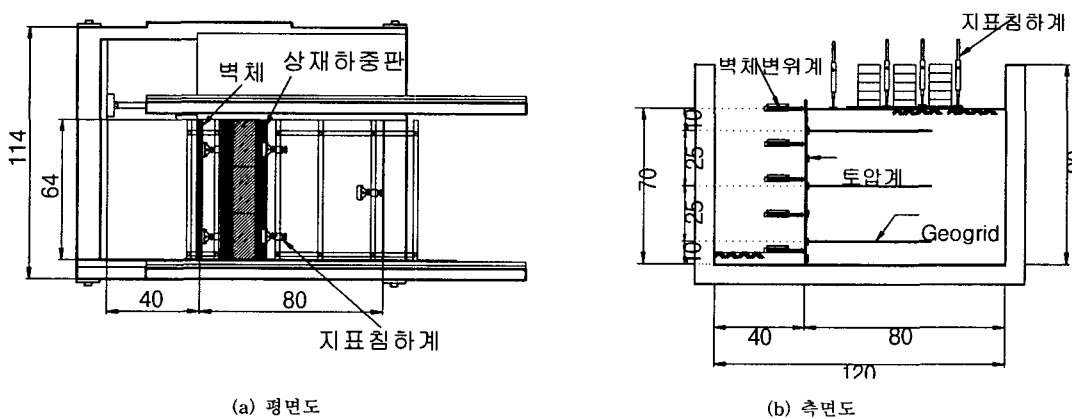


그림 1. 상재하중 거치시 보강재가 설치된 토조의 평면도와 측면도 (단위 : cm)

본 실험에서 보강재로 사용된 Geogrid는 아크릴을 이용하여 벽체에 고정시켰으며, Geogrid는 폭 8cm, 길이 56cm로 제작하여, 총 9개의 Geogrid를 사용하였다. Geogrid를 설치한 벽체는 그림 2와 같다.

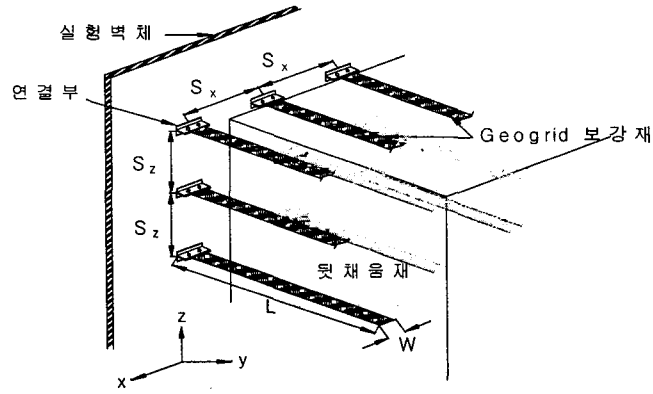


그림 2. 보강토 옹벽의 보강재 설치도

본 실험에서는 벽체 및 지반거동, 토압 등을 측정하기 위하여 계측기기를 용도 및 정밀도에 의해 선정하였으며, 확실한 Data의 검증을 위하여 계측기마다 보정 및 검증실험을 본 실험을 하는 동안 계속 실시하였다.

표 2. 실험시 사용된 계측기기 종류 및 측정범위

계 측 기 기	계 측 항 목	측 정 개 소	측 정 범 위
지 표 침 하 계 (Digital Gage)	지표침하측정	5개소	0.01mm ~ 50mm
토 압 계 (Pressure Cell)	토압측정	6개소	0.01kg/cm ² ~ 7.0kg/cm ²
벽 체 변 위 계 (Potential meter)	벽체변위측정	5개소	0.01mm ~ 50mm

2.3 실험방법

원하는 실험지반의 단위중량을 조성하기 위해 강사장치를 사용하였다. 강사폭은 3mm이고 낙하고는 20cm와 40cm를 사용하여 단위중량 1.46t/m³(상대밀도 60%)과 1.52t/m³(상대밀도 80%)의 뒤채움 지반을 조성하였다.

본 실험은 상재하중으로 인한 벽체의 거동, 배면지반의 거동과 토압의 변화 양상을 알아보기 위하여 벽체에서 배면지반 쪽으로 재하위치를 벽체의 높이 H에 따라 0.4H(28cm), 0.7H(46cm), 0.9H(64cm) 떨어진 지반에 상재하중판을 설치한 다음 하중을 차례로 재하하였으며, 재하위치는 주동영역을 고려하여 3가지 영역으로 결정하였다. 상재하중판의 부등침하를 막기 위하여 하중판을 정확히 3등분하여 제일 먼저 하중판의 중간에 하중을 재하한 후에 양끝에 하중을 동시에 재하하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 보강토 옹벽에서의 전면벽체 상단의 변위

3.1.1 상재하중의 재하위치에 따른 전면벽체 상단의 변위

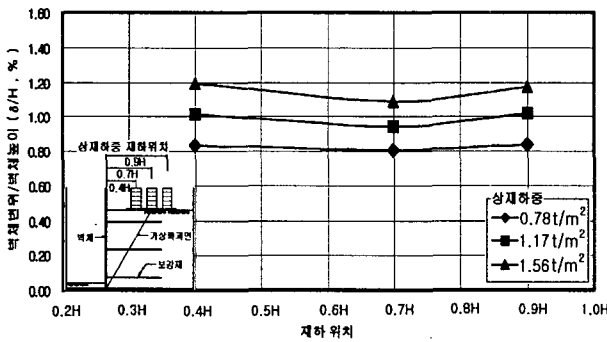
상재하중의 재하위치에 따른 전면벽체 상단의 변위는 표 3과 그림 3에서 보여주는 바와 같이 뒤채움 지반의 단위중량이 1.46t/m³일 경우에 비해 1.52t/m³일 경우가 상재하중의 재하위치에 따라 영향이 크게

나타남을 알 수 있었다.

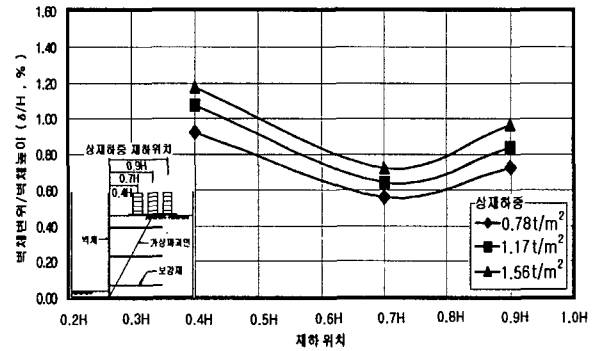
표 3. 상재하중의 재하위치에 따른 전면벽체 상단의 변위를 비교(재하위치 0.7H기준, 단위 %)

단위중량	상재하중			
	재하위치	0.78 t/m ²	1.17 t/m ²	1.56 t/m ²
1.46 t/m ³	0.4H	105	108	110
	0.7H	100	100	100
	0.9H	104	108	107
1.52 t/m ³	0.4H	167	168	164
	0.7H	100	100	100
	0.9H	130	130	134

상재하중의 재하위치 0.7H일 경우 상단의 변위가 가장 적게 일어나는 경향을 보인다. 이것은 0.7H에 작용하는 상재하중이 주동파괴면에 작용하여 지반과 보강재 사이의 마찰력을 증가시켜 벽체의 거동을 억제하는 것으로 판단된다. 0.4H의 경우는 주동파괴면 안쪽에 작용하는 것으로, 하중이 보강재의 구속효과와 발생보다는 오히려 벽체에 작용하므로써 벽체의 변위를 증가시키며, 0.9H의 경우에는 하중이 보강토체 외부에서 작용하여 상재하중이 보강토체의 외부에서 밀어내므로 0.4H의 경우보다는 작지만 벽체의 변위를 증가시키는 것으로 판단된다.



(a) 뒤채움 지반의 단위중량 1.46 t/m³일 경우



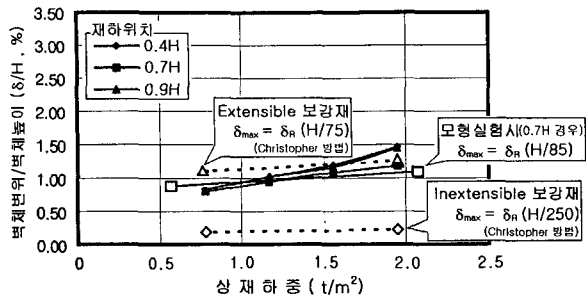
(b) 뒤채움 지반의 단위중량 1.52t/m³일 경우

그림 3. 상재하중의 재하위치에 따른 전면벽체 상단의 변위율(%)

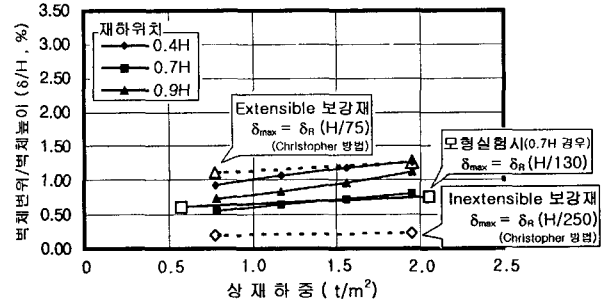
3.1.2 상재하중의 크기에 따른 전면벽체 상단의 변위

그림 4는 상재하중의 크기에 따른 전면벽체 상단의 변위(δ_{max})를 나타내며, 여기에서 지반의 단위중량이 1.52t/m³일 경우가 1.46t/m³일 때 보다 전면벽체 상단의 변위가 약 20% 정도 작게 발생한다. 이것은 단위중량이 클수록 지반과 보강재 사이의 마찰력을 더 크게 발생시켜 벽체의 변위를 억제하는 것으로 판단된다.

Christopher는 상재하중이 19.2kPa(400psf) 증가할 때마다 벽체변위상수(δ_R)에 25%의 할증을 주도 록 제안하였다. 모형실험에서도 Christopher가 제안한 것과 일치하는 결과를 나타내었다. 또한 Christopher는 신장성 보강재일 경우 $\delta_{max} = \delta_R(H/75)$, 비신장성 보강재일 경우 $\delta_{max} = \delta_R(H/250)$ 라고 제시하였는데, 모형실험시에는 그림 4에서 나타난 바와같이 상재하중의 재하위치가 0.7H인 경우에 전면벽체 상단의 변위 추정식은 단위중량이 1.46t/m³일 경우 $\delta_{max} = \delta_R(H/85)$ 으로, 단위중량이 1.52t/m³일 경우 $\delta_{max} = \delta_R(H/130)$ 임을 알 수 있었다.



(a) 뒤채움 지반의 단위중량 1.46t/m³일 경우

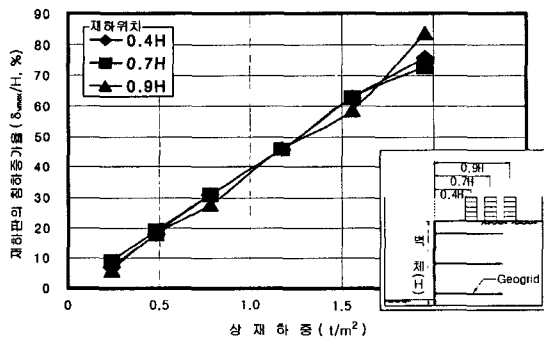


(b) 뒤채움 지반의 단위중량 1.52t/m³일 경우

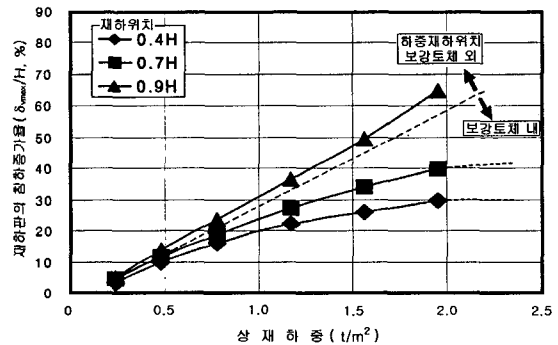
그림 4. 상재하중 크기에 따른 전면벽체 상단의 변위율(%)

3.2 보강토옹벽에서 상재하중 증가에 따른 재하판의 침하증가율

그림 5는 뒤채움지반의 단위중량에 따른 상재하중의 재하위치별 재하판의 침하증가율을 나타내며, 뒤채움 지반의 단위중량이 1.46t/m³일 경우에는 상재하중의 재하위치에 대한 영향이 거의 없어 비례적으로 재하판의 침하증가율이 증가하며, 1.52t/m³일 때 재하위치가 0.4H와 0.7H의 경우에는 뒤채움 지반과 보강재의 마찰력이 크게 발휘되는 보강재의 보강효과로 재하판의 침하증가율이 상재하중의 크기가 증가함에 각각 약 30%와 43%로 수렴해가는 경향을 나타내었으며, 재하위치가 보강토체가 설치된 영역 외에 위치한 0.9H의 경우는 상재하중이 증가함에 따라 재하판의 침하증가율이 비례적으로 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.



(a) 뒤채움지반의 단위중량이 1.46t/m³일 경우

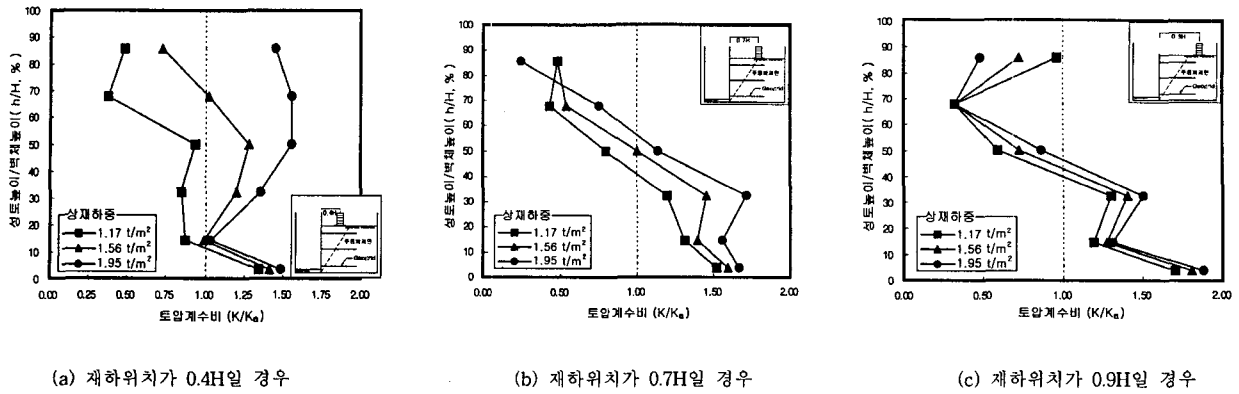


(b) 뒤채움지반의 단위중량이 1.52t/m³일 경우

그림 5. 상재하중의 크기에 따른 재하판의 침하증가율(%)

3.3 상재하중 영향에 의한 보강토옹벽에서의 토압 분포

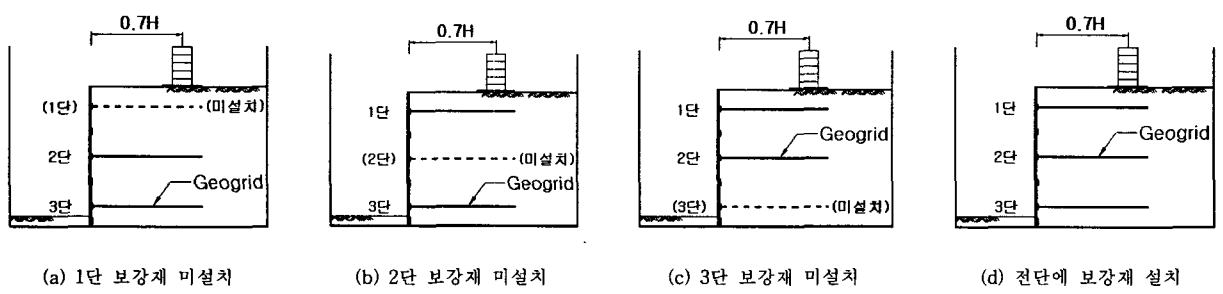
그림 6에서 알 수 있듯이 보강토옹벽의 상부에서 주동토압보다 작은 토압이 계속되었으며, 이는 Andrawes et al.(1990)의 실험실실험의 결과와 유사한 값으로서 이러한 주동토압보다 작게 나타나는 토압은 보강재의 존재로 인한 영향이라고 판단된다. 또한, 상재하중의 재하위치가 0.7H와 0.9H일 경우에 상재하중의 증가에 따라 벽체 상단의 토압이 주동토압보다 작게 나타났다. 이것은 상재하중이 보강재에 전달됨으로써 보강재가 상재하중을 분담함을 알 수 있었다. 반면에 재하위치 0.4H의 경우 상재하중의 증가에 따라 벽체 상단의 토압이 주동토압 이상으로 현저히 증가되었다.



(a) 재하위치가 0.4H일 경우 (b) 재하위치가 0.7H일 경우 (c) 재하위치가 0.9H일 경우
 그림 6. 상재하중의 크기에 따른 재하위치별 토압의 분포
 (뒤채움 지반의 단위중량이 1.46t/m³일 경우)

3.4 보강재의 설치 조건에 따른 보강토옹벽의 거동비교

보강토옹벽의 설계시 안정 및 불안정 조건에서 보강토옹벽의 거동을 비교하기 위하여 보강재의 설치 조건을 다음 그림 7과 같이 4가지 조건으로 실험을 실시하였으며, 결과는 그림 8~그림 12와 같다.

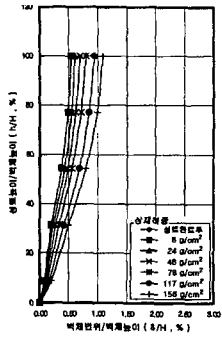


(a) 1단 보강재 미설치 (b) 2단 보강재 미설치 (c) 3단 보강재 미설치 (d) 전단에 보강재 설치
 그림 7. 보강재의 설치조건

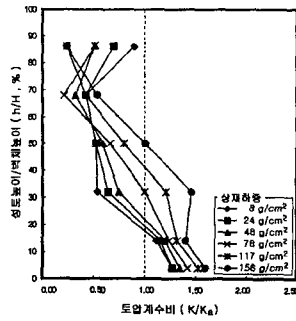
각각의 조건에 따라 비교·분석한 결과 1단 보강재 미설치시에는 벽체 상단의 변위가 가장 많이 발생하였으며, 상재하중에 의한 토압은 보강재가 있는 위치에서 감소함을 알 수 있었다. 상재하중이 보강재에 전달되는 정도의 차이로써 보강재에 상재하중이 전달되는 정도에 따라 상대적으로 토압은 줄어드는 경향을 보여준다.

그림 10, 그림 11에서 3단 보강재 미설치시와 전단에 보강재 설치시 벽체의 변위는 비슷하지만 토압에서 많은 차이가 발생하였다. Andrawes et al.(1990)이 보강재 층의 수에 따라 토압은 변화하는데 보강재 층의 수가 증가함에 따라 토압은 감소한다고 제안한 것과 유사한 결과를 나타내었다. 이것은 보강재에 응력이 전달되면서 상대적으로 벽체의 수평토압은 줄어들기 때문에 보강재 층의 수가 증가할수록 감소되는 것으로 사료된다.

그림 12는 보강재의 위치에 따른 변위 억제효과를 나타낸 것으로서 1단 보강재가 2단 보강재보다 약 3배 많은 변위 억제효과를 보이는 것을 알 수 있었다. 그러나 3단 보강재의 경우는 변위 억제효과에 영향을 끼치지 않는 것을 알 수 있었다.

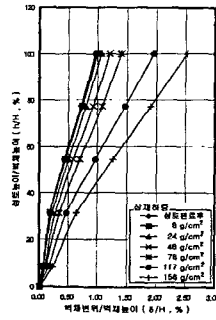


(a) 벽체변위율 (δ/H, %)

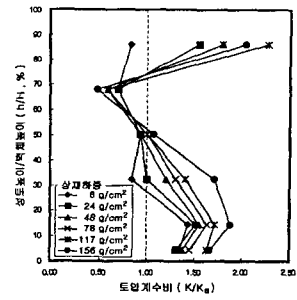


(b) 토압계수비 (K/K₀)

그림 8. 1단 보강재 미설치시

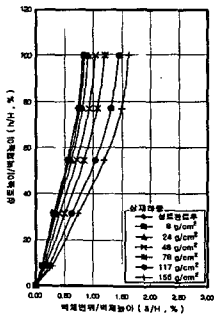


(a) 벽체변위율 (δ/H, %)

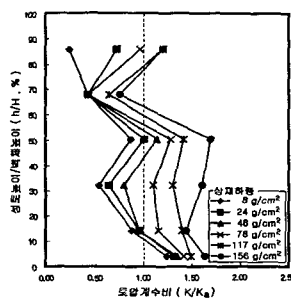


(b) 토압계수비 (K/K₀)

그림 9. 2단보강재 미설치시

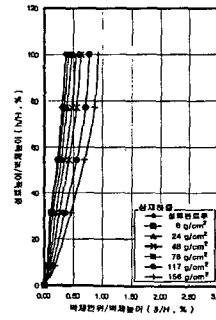


(a) 벽체변위율 (δ/H, %)

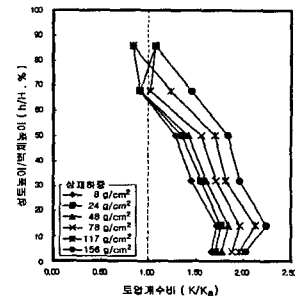


(b) 토압계수비 (K/K₀)

그림 10. 3단보강재 미설치시



(a) 벽체변위율 (δ/H, %)



(b) 토압계수비 (K/K₀)

그림 11. 전단에 보강재 설치시

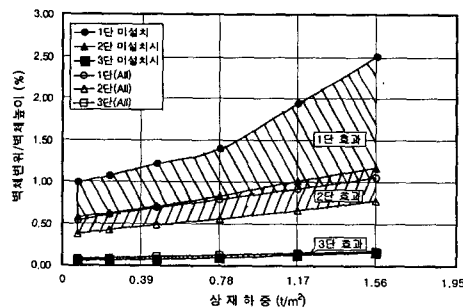


그림 12. 1단, 2단, 3단 보강재의 변위억제효과 (강성벽체, 상재하중 재하위치 0.7H, $\gamma=1.46t/m^3$)

4. 결론

보강토옹벽에 상재하중이 작용할 경우 벽체 및 지반의 거동을 연구하고자 모형실험을 실시하였으며, 상재하중의 작용 위치와 크기에 따라 보강토옹벽의 토압변화 및 벽체의 수평변위, 지표침하의 관계를 뒤채움지반이 조밀한 경우와 느슨한 경우에 대한 비교·분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 상재하중 적용시 전면벽체 상단의 변위 (δ_{hmax}/H , %)를 비교해 보면, 뒤채움지반이 느슨한 경우는 상재하중의 재하위치에 대한 영향이 거의 없지만, 조밀한 경우는 재하위치에 대한 영향이 크게 나타나는데, 재하위치가 0.7H일 경우 상단의 변위가 가장 적게 일어나는 결과를 나타내었다. 이것은 0.7H에 작용하는 상재하중이 주동파괴면에 작용하여 지반과 보강재 사이의 마찰력을 증가시켜 벽체의 거동을 억제하는 것으로 판단된다.

- (2) 상재하중 적용시 재하판의 침하증가율($\Delta\delta_{vmax}/H$, %)은 뒤채움지반이 조밀한 경우에, 보강토체 내에 상재하중 재하시에는 상재하중이 증가함에 따라 재하판의 침하증가율이 보강재의 보강효과로 인하여 일정한 값으로 수렴해가는 반면, 상재하중이 보강토체 외에 위치한 경우는 상재하중이 증가함에 따라 비례적으로 재하판의 침하증가율이 증가하는 결과를 얻었다.
- (3) 보강재의 위치에 따른 변위 억제효과는 1단 보강재가 2단 보강재보다 약 3배 많은 변위 억제효과를 보이는 것을 알 수 있었다. 그러나 3단 보강재의 경우는 변위 억제효과에 영향을 끼치지 않는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 한국지반공학회(1997), 토목섬유, 지반공학시리즈 9, 구미서관.
2. Braja M. Das(1995), "Principles of Foundation Engineering", *PWS Publishing Company*, pp. 670~675.
3. Canadian Foundation Engineering Manual(1992), *Canadian Geotechnical Society*, pp. 452~459.
4. Chew S. H. & Mitchell J. K.(1994), "Deformation evaluation procedure for reinforced soil walls", *Fifth Int. Conf. on Geotextile, Geomembranes & Related Products, Singapore*, Vol. 1, pp. 171~176.
5. Christopher B. R.(1993), "Deformation response and wall stiffness in relation to reinforced soil wall design", *PhD. Thesis., Purdue Univ.*, pp. 354.
6. Christopher B. R., Gill S. A., Giround J. P., Juran I., Shlosser F., Mitchell J. K., and Dunncliff J., "Reinforced soil structure", Vol. 1, Design and Construction Guidelines, prepared for Federal Highway Administration, Office of Engineering and Highway Operations, Research and Development, McLean, Virginia, pp. 25~39, pp. 64~79.
7. David F. McCarthy(1988), *Essentials of Soil Mechanics and Foundations*, Simon & Schuster/A Viacom Company, pp. 613~654.
8. Hidetoshi Ochiai, Shigenori Hayashi, Jun Otani(1992), *Earth Reinforcement Practice*, Vol. 1, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
9. HSAI-YANG FANG(1991), *Foundation Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold, pp. 229~230.
10. Joseph E. Bowles(1996), *Foundation Analysis and Design*, The McGraw-Hill Companies, 1996, pp. 629~630.
11. Mosaid Al-Hussaini & Edward B. Perry(1978), "Field Experiment of Reinforced Earth Wall", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, pp. 307~322.
12. R. K. Rowe & S. K. Ho, "A Review of the Behaviour of Reinforced Soil Walls", *Geotechnical Research Centre, University of Western Ontario, Canada*, pp. 47~76.