

토목섬유 보강토 옹벽의 거동분석 Analysis on Geosynthetic-Reinforced Walls Behavior

원명수¹⁾, Myung-Soo Won, 이재열²⁾, Jae-Yeol Lee, 김유성³⁾, You-Seong Kim

¹⁾전북대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.

²⁾전북대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.

³⁾전북대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.

개요(SYNOPSIS) : The effect of geotextile reinforcements(nonwoven, woven geotextiles and geogrid) on the stability and deformation of steep clayey soil retaining walls constructed on weak ground was examined based on the performance of the walls for short term(about 3 months). It was found that the use of geotextile reinforcements may effectively improve the performance of walls by virtue of their reciprocal action. In spite of heavy rainfall, the excess pore water pressure was not so high and was dissipated in short period. The middle section settlement of the wall was relatively large compare with that of the edge section of the wall. This shows settlement restraint effect of reinforcements even that the wall was constructed on weak ground. The inducing strain and tensile stress of the reinforcement were small compare with the wall design value. As a result of above, it might be concluded that construction of the wall reinforced with non-woven geotextile even on the weak ground could be done. Furthermore the result of this study showed, using in combination with high stiffness reinforcement, the reinforcement effect would be increased in this case.

주요어(Key words) : Geosynthetics, Nonwoven-geotextile, Woven-geotextile, Geogrid, Gabion

1. 서론

Vidal이 고안한 테일알메공법이 세계적으로 보급된 이래 각종의 유사한 보강성토 및 보강토옹벽공법이 주로 경제적 이점에서 주목되어 개발되어 왔다. 그러나 그 외의 많은 특징이 있음에도 우리 나라에서는 보강토공법의 이용이 사용토질의 제한, 보강재의 물리적·화학적 단점 등으로 적극적이지 못한 실정이나, 향후 보강토공법의 확대보급을 위하여는 보강토공법의 특징을 최대한 활용할 필요가 있다. 우리 나라의 건설현장에서는 절토·굴착에 따른 현지 발생토가 포화도가 높고 세립분이 많은 사질토, 풍화화강토 및 점성토가 다량으로 발생하게 된다. 이와 같은 토질재료를 성토재료로서의 이용이 가능하다면 우선 경제적으로 보강토공법이 유리하므로 보강토공법을 이용하여 성토 또는 벽체의 뒷채움재로 현장발생 불량 점성토 등의 이용이 가능할 경우 보강토공법의 확대·보급에 전향적인 발판이 될 것이다.

본 연구에서는 연약지반상에 현장발생 불량 점성토를 이용하여 5m 높이의 연직 보강토벽을 구축하여 벽체의 거동을 보강재의 변형, 토압, 간극수압 및 수평·수직변위 계측을 통해 분석하였다. 그 결과 부등침하 등의 문제점도 노출되었으나, 연약지반과 성토재의 약점이라는 약조건하에서도 연직보강토벽의 구축이 가능하고 구축후의 안정성에도 특기할 만한 문제점은 없는 것으로 조사되었다.

2. 시험 보강토벽의 개요

2.1 벽체단면, 기초지반, 성토재료 및 보강재

일련의 안정해석을 통해 보강토벽의 시공단면을 설정하였다. 시험 보강토벽은 강성벽면의 유무, 보강재의 조합에 따라 총 4개의 시험단면으로 구성되었고, 시공단면의 평면 및 측면도는 그림 1, 2와 같다. 그림에서 SECTION I 은 부직포+직포의 복합형태로 SECTION II는 부직포+지오그리드의 복합형태로 보강재를 배치하였다. 이와 같이 복합형태로 보강재를 배치한 것은 강성이 큰 보강재의 장점과 배수기능이 큰 보강재의 장점을 활용하기 위함이다. 각 SECTION의 상호영향을 배제시키기 위해 5m높이의 격벽을 설치하였다. 기초지반은 점토질실트층으로 지표면하 5m까지는 표준관입시험 및 사운덜결과 N값이 5이하의 연약층이고, 성토재료는 인근의 현장에서 발생된 점성토(CL)로 투수계수는 $5 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 로 일반적으로 성토재료로서는 부적합한 것으로 판단되는 재료를 사용하였다. 사용보강재는 국내시판의 3종의 보강재를 사용하였다. 각보강재의 물성치는 표 1과 같다.

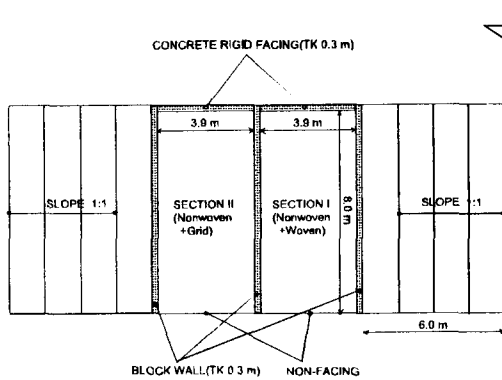


그림 1. 보강토벽의 평면도

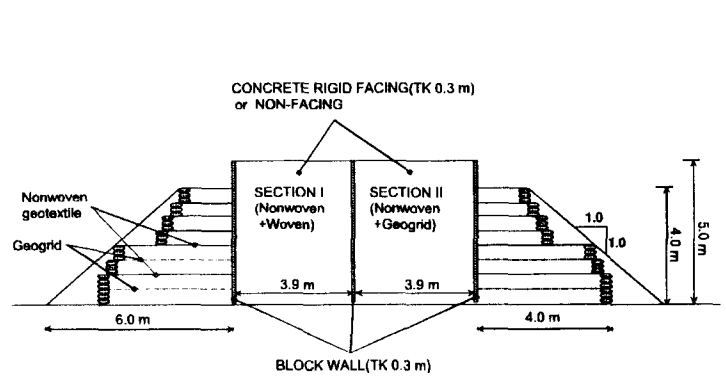


그림 2. 보강토벽의 측면도

표-1. 사용된 보강재의 물성치

Product name	Weight (g/m ²)	Tensile strength	Tensile strain (%)	Joint strength (kg)	Coefficient of permeability (cm/sec)
P5100 (Nonwoven geotextile)	1000	267 kg/in	60~100	267	$\alpha \times 10^{-1}$ ($\alpha=1\sim9$)
PET 5TON (Woven geotextile)	171.3	161.0 kg/in(경사) 149.7 kg/in(위사)	13(경사) 16(위사)	153.8	1.1×10^{-2}
AKILEN-GRID 5/3 (Geogrid)	-	5.6 ton	10 이상	-	impermeable

2.2 계속내용

시험 보강토벽의 전반적인 거동분석을 위하여 그림 3, 4와 같이 벽체변위, 보강재의 인장변형, 간극

수압, 토압을 측정하기 위한 계측기기를 매설 또는 설치하였다. 표 2에 각각의 단면에 매설 또는 설치된 계측기기의 종류 및 수량을 나타내었다. 측정은 자동계측시스템에 의해 이루어졌다.

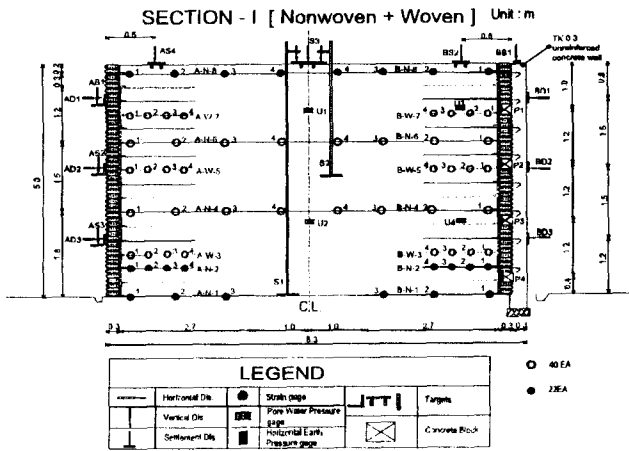


그림 3. 계측계획 단면도-I

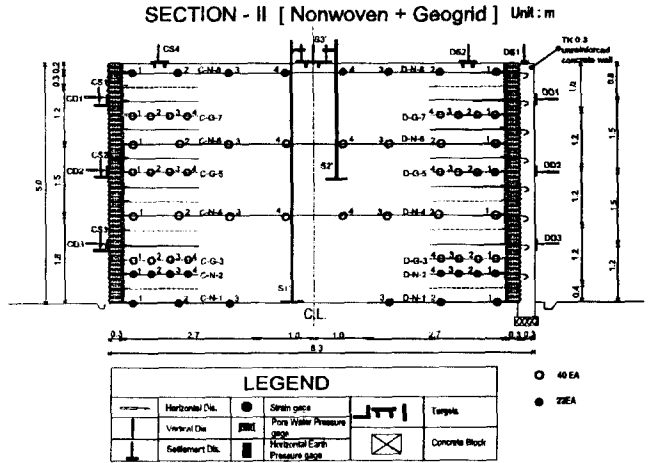


그림 4. 계측계획 단면도-II

표-2. 계측기기 및 측정항목

항 목	기 기(총수)	계측점의 수			
		단 면-I(부직포+직포)		단 면-II(부직포+그리드)	
		단 면-A (벽면 無)	단 면-B (벽면 有)	단 면-C (벽면 無)	단 면-D (벽면 有)
내 부 변 형	Strain gage(124)	31 (8층)	31 (8층)	31 (8층)	31 (8층)
외 부 변 형	LVDT 및 Dial gage(24)	7	5	7	5
칩 하 계	LVDT(6)	3		3	
간극수압계	KP-2C	4		-	
토 압 계	KD-2D	4	-	-	-

3. 계측결과 분석

3.1 보강재의 인장변형 및 응력

그림 5,6은 SECTION I의 A단면 제1층(기초지반상)에 매설된 부직포와 제3층에 매설된 직포에 부착된 스트레인이게이지에 발생된 성토완료시점까지의 변형량을 성토기간에 대해 나타낸 것이다. 이들 그림에서 다음과 같은 내용을 알 수 있다.

- 1) 성토하중에 민감하게 반응을 나타내고 있는 등, 얻어진 데이터로 볼 때 부직포에 매개체를 이용한 스트레인이게이지의 직접부착방법 및 직포에 스트레인이게이지의 직접부착방법은 유용하다.
- 2) 성토시 및 다짐시에는 직선적으로 변형량이 증가하는 추세를 보이나, 성토후 일부의 게이지에서는 변형량이 감소하는 추세를 보이고 있다. 이러한 감소추세 경향은 다짐기계의 충격하중과 인력하중의 제거의 영향도 배제(불과 15cm밑에 스트레인이 게이지가 매설되어 있음)할 수 없을 것으로 생각되나, 이와 같은 경향의 지배적 원인은 압밀로 인한 간극수의 작용으로 구속력이 해방되고 있음에 기인하는 것으로 생각된다.

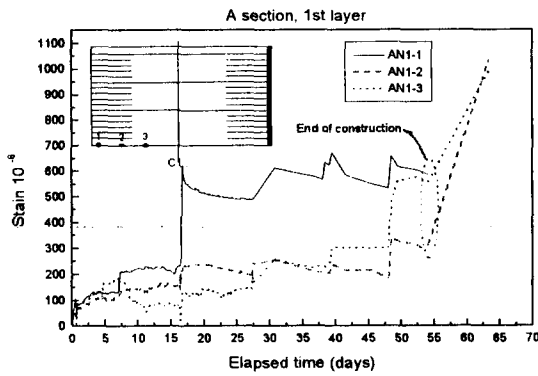


그림 5. 보강재의 변형(A 단면 제 1층)

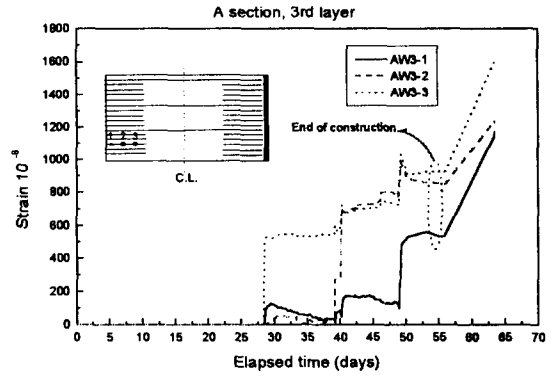


그림 6. 보강재의 변형(A 단면 제 3층)

그림 7,8은 A,B,C,D 각 단면의 성토완료시점과 성토완료후 7일 및 50일의 보강재의 변형량을 나타낸 것이다. 그림에서 다음사항을 읽을 수 있다.

- 1) 전체적으로 벽면부보다 성토내측의 변형률이 크게 나타나 있다. 최대인장력 발생위치가 벽체단부에서 성토체 내측으로 이동되고 있음을 보여주고 있다.
- 2) 각각의 보강재에 유발된 최대변형률은 부직포의 경우 2%, 직포의 경우가 1.5%, 그리드의 경우가 1.2% 정도로서 작게 나타나고 있다. 발생 최대인장력은 각각 약 0.3t/m, 1t/m, 1.5t/m 정도로 설계 최대인장력의 최대 12.5%만이 작용하고 있다.
- 3) 각각 인장강성이 서로 다른 보강재를 병용하고 있으나, 발생 인장변형률은 크게 다르지 않고, 매

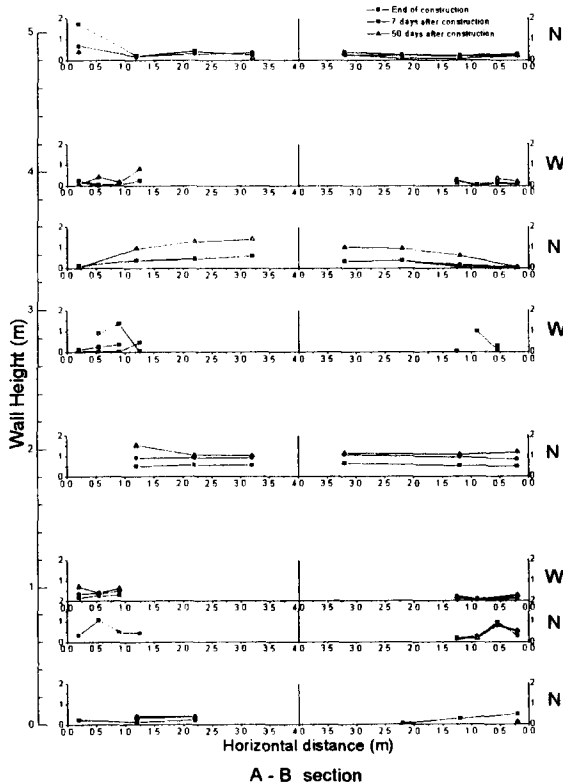


그림 7. 보강재의 변형(단면 A, B)

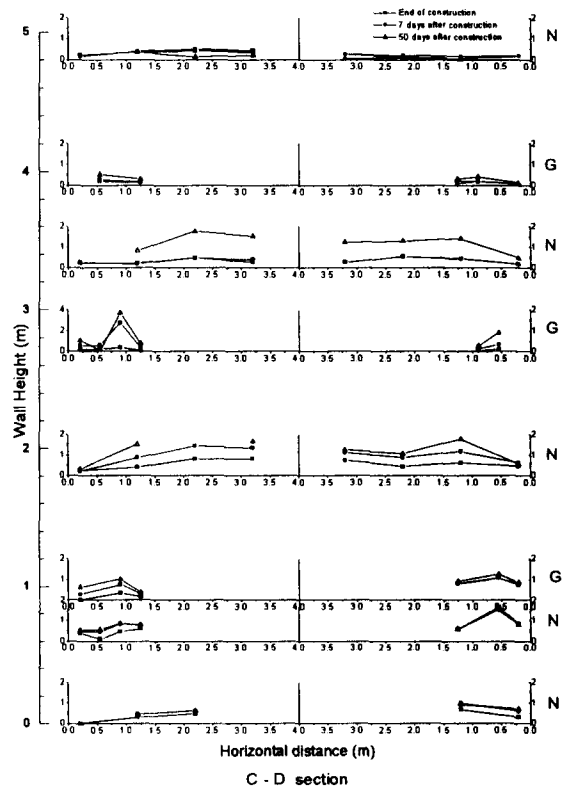


그림 8. 보강재의 변형(단면 C, D)

설층을 달리하여도 복합재료로서의 거동을 나타내고 있다.

4) 1층, 4층, 6층 및 최상층의 부직포는 좌우단면으로 연결된 것으로 뚜렷하게 벽체단부에 비해 내측의 변형률이 크게 나타나 있다. 이는 이후 기술되나 벽체 중앙부의 수직변위에 따른 변형률의 증가로 보여지며 잠재파괴면을 의미하는 것은 아닌 것으로 판단된다.

이와 같은 결과로, 점성토 보강시 배수기능의 부직포 보강재만을 사용할 경우에는 보강재의 강성이 상대적으로 작아 변형이 크게 될 가능성이 있고, 그리드와 같은 배수성이 없는 보강재를 사용할 경우에는 간극수압의 발생이 효과적으로 이루어지지 않아 보강효과가 크게 감소할 우려가 있으나, 시공중의 변형을 제한할 필요가 있는 영구구조물의 경우에는 강성이 큰 그리드와 같은 보강재와 배수성의 보강재를 병용하면 각각의 단점이 상쇄되어 충분한 보강효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 간극수압

그림 9는 SECTION I 에 매설된 간극수압계에 나타난 간극수압을 경과시간에 대해 나타낸 것이다. U1, U2는 각각 성토 중앙에 매설되었고, U3, U4는 벽면에 가까운 곳에 매설된 것으로, 성토 및 다짐시에 U4의 간극수압이 일시적으로 매우 큰 값을 나타내고, 또 급히 소산됨과 동시에 부의 간극수압을 보이고 있다. U2의 경우는 성토 및 다짐시 고탍수비 점성토의 영향으로 약간의 간극수압의 증가추세를 보이고, 이후 서서히 감소되어 가나 약간의 간극수압이 존재한다. 이들 간극수압 측정값으로부터 다음과 같은 사항을 유추할 수 있다.

1) 보강재 매설위치에서 일시적으로 간극수압이 증가하나 즉시 소산되고 있고, 내부에는 약간의 간극수압이 발생하나 서서히 소산된다. 또 8월의 폭우시 다소 간극수압이 증가하나 성토체의 안정에 영향을 줄 정도의 크기로 증가하지는 않는다.

2) 보강재 매설위치에서 간극수압이 일시적으로 크게 상승하는 것은 보강재가 배수층이 되어 있는 영향인 것으로 판단된다. 내부에는 이러한 배수층이 1층 밖에 존재하지 않으므로 일시적인 증가현상은 보이지 않으나, 성토후 안정기에는 벽면측보다 다소 큰 간극수압을 보이고 있다.

3) 성토완료 이후의 간극수압이 소산되지 않고 지속적으로 일정값을 유지하고 있는 것은 8월에 지속된 강우의 영향인 것으로 판단된다.

전체적으로는 성토체의 안정에 큰 영향을 줄 정도의 간극수압이 발생되지 않고, 또 보강재 매설위치에서는 작은 값의 부의 간극수압이 발생하고 있는 점으로 보아, 점성토벽의 경우에도 부직포 보강재의 배수기능을 충분히 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

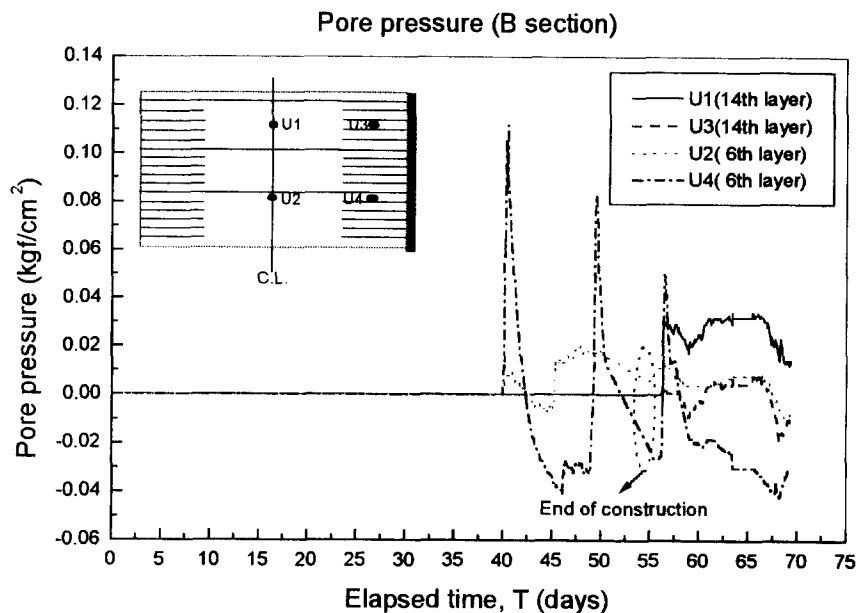


그림 9. 간극수압의 변화(단면 B)

3.3 수평토압

그림 10은 B단면에 매설된 토압계의 성토완료 후 및 성토완료후 7일, 성토완료후 50일의 읽음을 벽높이에 대해 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

1) 벽면토압계에 의한 토압의 분포는 일정하지 않고 깊이방향으로 커지고 있다.

2) 토압의 분포는 전체적으로 쿨롬의 토압분포에 비하여 작은값을 나타내고 있으나 하층부에서는 쿨롬토압과 같거나 오히려 커지고 있다.

이와 같이 토압이 하층부에서 커지고 있는 이유는 보강재를 통한 배수로 인해 지반부근에 수압이 집중되기 때문인 것으로 판단되나, 전체적 토압의 분포형태는 Meyerhof 분포와 유사하다.

3) 토압은 성토완료후에도 보강재의 인장력 증가와 같은 경향으로 다소 커지고 있다.

이와 같은 결과로 볼 때, 전체적으로 작용토압은 크지 않으나, 역시 폭우 등에 의한 수압의 영향을 배제하기 위한 지표면 근처의 배수시설이 필수적인 것으로 판단된다.

Lateral earth pressure distribution

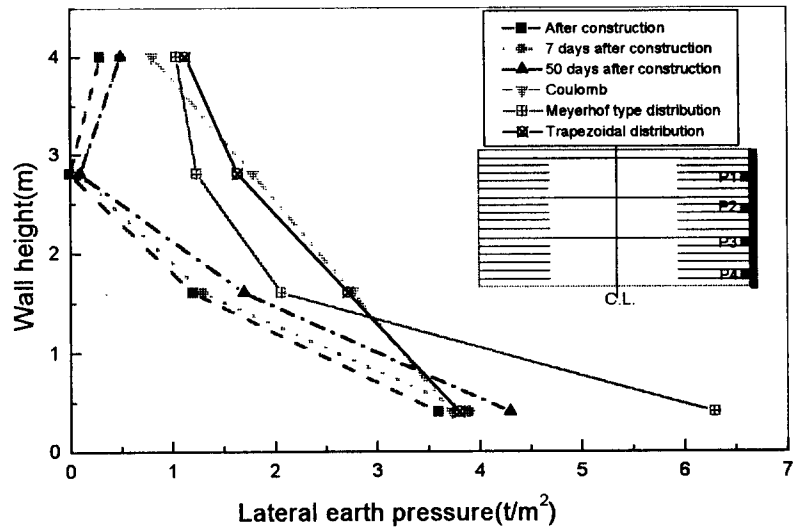


그림 10. 수평토압의 분포

3.4 기초 및 성토체 침하

그림 11(a)는 SECTION I 성토기초지반과 성토체 중앙단면 및 성토표면중앙에 설치된 침하계의 성토중 및 성토후의 침하양상을 나타낸 것이다. 현재까지 기초지반은 약 10cm 가량의 침하가 발생하고 있으나, 벽면부는 그림 11(b)에서 알 수 있듯이 약 2cm 정도의 침하가 발생하고 있고, 현재는 것의 수

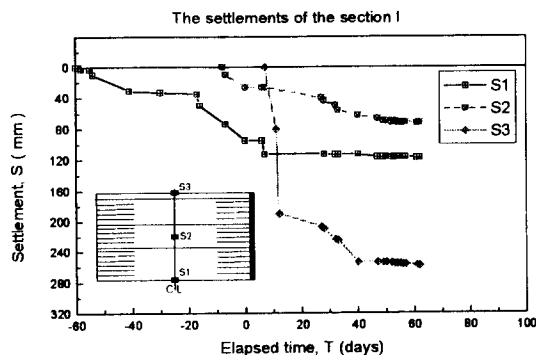


그림 11(a). Section I의 침하

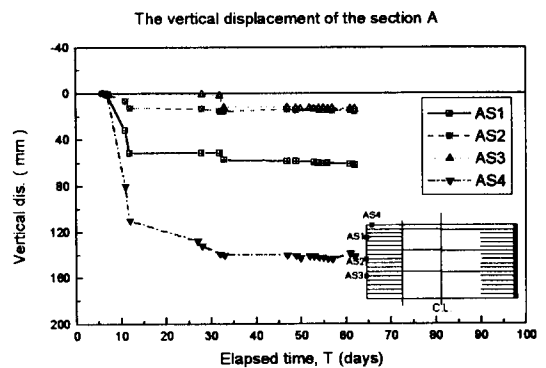


그림 11(b). Section A의 연직변위

럼되고 있다. 또한 보강재가 매설되어 있지 않은 중앙부는 약 5~6cm 가량의 침하가 발생하고 있는데, 이 내용으로 보아 보강재의 매설로 인한 지반침하의 억제효과가 나타나고 있는 것으로 판단된다. 특히, 천단부의 경우는 약 25cm 가량의 큰 침하를 보이고 있는데, 이는 그림 12에서 알 수 있듯이 시공완료 10일 후의 폭우로 인한 천단부의 유실에 의한 것으로 이 폭우로 인해 성토체는 그림 13에 모식적으로 나타내듯이 성토체 중앙으로 큰 변형이 유발되었다. 이러한 현상은 수압의 증가로 인해 성토외측으로의 큰 변형을 우려하였으나, 오히려 반대의 현상이 초래된 것은 보강재 매설지역의 간극수압은 상기한 바와 같이 크게 상승되지 않았던 점으로 보아, 보강재가 매설되어 있지 않은 성토내측의 침하와 폭우로 인한 천단부의 유실로 인한 것으로 생각된다. SECTION II의 경우도 거의 유사한 경향을 나타내었

Deformation of the Embankment (Unit ; cm)

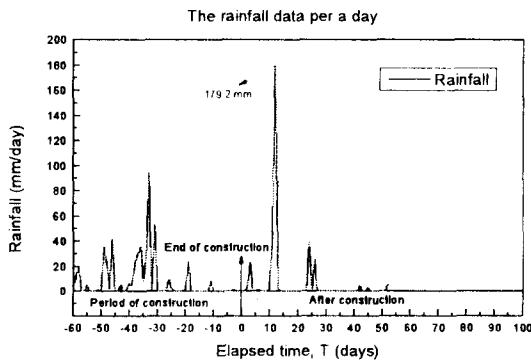


그림 12. 강수량 데이터(일당)

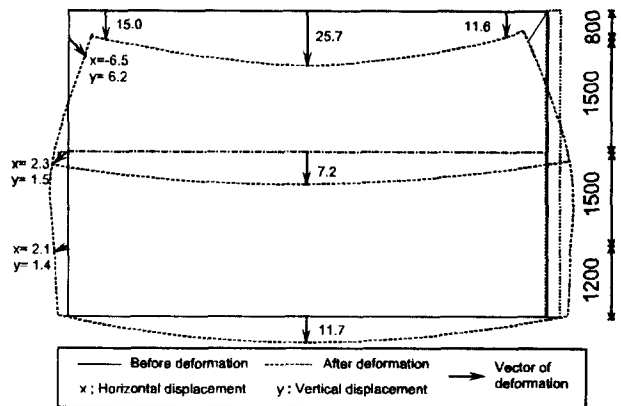


그림 13. 성토체의 변형모식도

다.

3.5 외부변형

그림 14(a),(b)는 A,C단면의 수평변위를 성토완료후의 경과시간에 대해 나타낸 것으로 벽면하단부는 약 2~3cm 정도의 변위를 나타내고 있다. 그러나 벽면상단은 오히려 성토내측으로 약 6cm 정도의 변위를 나타내고 있다. 이러한 현상은 상기한 바와 같은 벽체 중앙부와 벽체단부의 상대침하에 의한 것으로 판단되며, 변위는 수렴되고 있다. 이러한 수평변위는 각 단면 공히 유사한 양상을 보이고 있다.

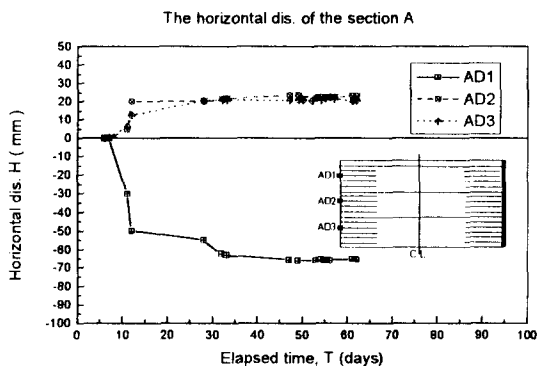


그림 14(a). Section A의 수평변위

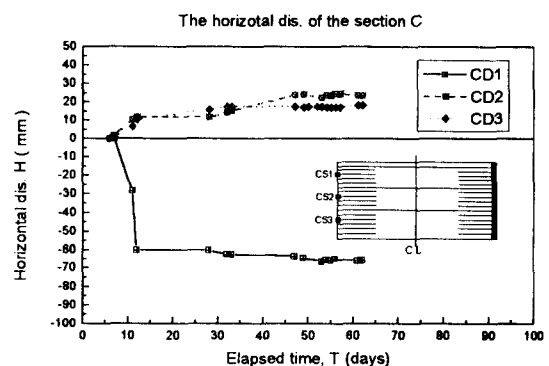


그림 14(b). Section C의 수평변위

4. 결론

토목섬유 보강 점성토벽의 시공중 및 시공후 거동을 변형계이지, 토압계, 침하계, 간극수압계 및 외 부변형계이지를 매설하여 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 보강재에 유발되는 변형률은 최대 2% 정도이고, 발생최대인장력은 최대 1.5t/m 정도로 설계 최대 인장력의 최대 12.5% 만이 작용하고 있다.

2) 180mm/day의 폭우에도 전체적으로 성토체의 안정에 큰 영향을 줄 정도의 간극수압이 발생되지 않고 또 빠르게 소산되고 있고, 또한 보강재 매설위치에서는 작은 값의 부의 간극수압이 발생하고 있는 점으로 보아, 점성토벽의 경우에도 부직포 보강재의 배수기능을 충분히 기대할 수 이TEk.

3) 변형을 허용하고 있어 토압의 분포는 전체적으로 Coulomb의 토압분포에 비하여 작은값을 나타내고 있으나 하층부에서는 Coulomb토압보다 오히려 같거나 커지고 있다.

4) 보강재의 매설지역과 비매설지역의 상대침하가 크게 나타나고 있어, 연약지반상에 보강토벽을 구축하고자 할 경우 전층 동일하게 보강재를 매입하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

이상과 같이 연약지반상에 현장발생 점성토를 이용하여 시험보강토벽을 구축한 결과, 부등침하와 폭우시의 천단부의 유실과 같은 문제점을 제외하고는 벽체의 거동은 충분히 안정성을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이재열, 송성원, 김유성(1997), "전단시험에 의한 부직포보강 점성토의 보강효과", 한국지반공학회 '97 가을 학술발표회 논문집, pp.291~298.
2. 전북대학교(1997), "경제성을 고려한 연직사면성토공법의 최적화에 관한 연구", 건설교통부, '96연구 개발사업 연차보고서.
3. 전북대학교(1998), "경제성을 고려한 연직사면성토공법의 최적화에 관한 연구", 건설교통부, '97연구 개발사업 연차보고서.
4. 한국건설기술연구원(1995), "Geotextile 및 보강토공법에 관한 연구".
5. 최영근(1990), "보강토 옹벽의 거동에 관한 실험적 연구", 충북대학교 대학원 석사학위논문
6. Ling Hoe In(1993), "Performance of Geosynthetic-Reinforced Cohesive Soil Mass at Plane Strain Compression", University of Tokyo.
7. Tatsuoka. F., Ando, H., Iwasaki, K. and Nakamura, K. (1986), "Performance of clay test embankments reinforced with a non-woven geotextile", Proc. Third Int. Conf. on Geotextiles, Vienna, Vol. 3, pp. 355~360.
8. Yamauchi, H., Tatsuoka, F., Nakamura, K. Tamura, Y., and Iwasaki, K. (1987), "Stability of steep clay embankments reinforced with a non-woven geotextile", Proc. the Post Vienna Conf. on Geotextiles, Singapore, pp.370~386.