

지오텍스타일 보강토벽의 계측결과에 의한 거동분석

Behavior Analysis from the Site Monitoring Results of Geotextile Reinforced Wall

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.

SYNOPSIS : In the applying of the reinforced soil method, it would be possible to obtain reinforcement effect more than before in terms of economic if high water content clayey soils could be used as embanking material. Futhermore it would be possible to expect the expansion of the applying field of reinforced soil method too. In this study, the authors describe the analysis results on the behavior of 5 meter high walls reinforced with nonwoven geotextile having the permeability and woven geotextile or geogrid having large tensile strength on the soft ground. The behavior of the walls were investigated for about 100 days after construction and the deformations of reinforcements, lateral soil pressures, vertical and horizontal displacements of the walls were examined by automatical measuring system. It was found that this kinds of reinforcing system might effectively improve the performance of the steep walls by virtue of the reciprocal action between soil and reinforcements, and it might be concluded that construction of the clayey reinforced soil walls with three kinds of geotextiles could be done successfully even on the comparative weak ground.

주요어(Key words) : Reinforced soil wall, Nonwoven geotextile, Woven geotextile, Geogrid, Gabion

1. 서론

보강토공법의 적용에 있어 세립분을 다량 함유한 현장발생 불량토를 성토재로서 활용이 가능하다면 보강토공법의 보다 큰 경제적 효과를 기대할 수 있고, 또한 보강토공법의 적용가능 영역의 확대도 기대할 수 있을 것이다. 본 연구는 연약지반상에 배수성이 불량한 점성토를 성토재로 하여 배수성의 부직포와 인장강성이 큰 직포 및 그리드를 병용하여 보강한 5m 높이의 시험 보강토벽을 구축하고, 비교적 단기간(성토완료후 약 100일)의 벽체거동을 분석한 결과를 기술한 것이다. 시험 보강토벽의 거동을 분석하기 위하여 보강재의 변형, 수평토압, 간극수압 및 수평·수직변위를 자동계측시스템을 이용하여 측정하였다. 그 결과 연약지반상에 배수성이 불량한 성토재의 활용이라는 악조건하에서도 적절한 보강재를 이용할 경우 보강토공법의 적용이 가능한 것으로 조사되었다.

2. 시험 보강토벽

2.1 보강토벽의 구축

보강토벽은 그림 1과 같은 연약지반상에 구축되었고, 성토재료는 인근의 현장에서 발생된 점성토(CL)

로 투수계수는 5×10^{-7} cm/sec로 일반적으로 성토재료로서는 바람직하지 않은 것으로 판단되는 재료를 사용하였다. 사용 보강재는 3종의 국산 보강재를 사용하였으며 물성치는 표1에 요약하였다.

표 1. 사용된 보강재의 물성치

보강재	중량 (g/m ²)	인장강도	인장변형률 (%)	투수계수 (cm/sec)
부직포	1000	10.5 t/m	60~100	$\alpha \times 10^{-1}$ ($\alpha=1\sim9$)
직포	171.3	6.3 t/m	13	1.1×10^{-2}
지오그리드	-	5.6 ton	10이상	impermeable

보강토벽의 단면은 강성벽면의 유무 및 보강재의 조합형태에 따라 그림 2와 같이 SECTION I, SECTION II 및 A,B,C,D단면으로 구분되어 있다. SECTION I은 부직포+직포의 복합형태, SECTION II는 부직포+지오그리드의 복합형태로 보강재가 배치되어 있다. 이러한 보강재의 배치 목적은 강성이 큰 보강재(직포, 지오그리드)와 배수기능을 보유한 부직포보강재의 장점을 활용하기 위한 것이고, 보강재는 전체적으로 성토체의 양호한 다짐, 인장보강 및 배수의 3가지 기능을 하게 된다.

시험보강토벽의 성토는 단계적 시공방법을 적용하였다. 자갈로 채워진 계비온을 전면에 쌓고 각 토층을 30cm로 다짐하여, 총 5m(완성고)의 보강토벽을 구축하였다. 성토중 벽면을 구속하는 지지기구는 사용하지 않았고, 단지 계비온 만으로 벽면의 형성시켜 성토중의 도적으로 흙의 수평변형에 의한 보강재의 인장변형을 유발할 수 있도록 하여, 성토완료후 과도한 수평변형의 발생을 억제하도록 하였다.

2.2 계측단면

보강토벽의 계측시스템 구성은 SECTION I, SECTION II에서 큰 차이점은 없다. 그림 3은 SECTION I의 계측시스템 단면도이다. 표2에 나타낸 바와 같이 침하, 외부변형, 보강재의 인장변형, 간극수압 및 토압을

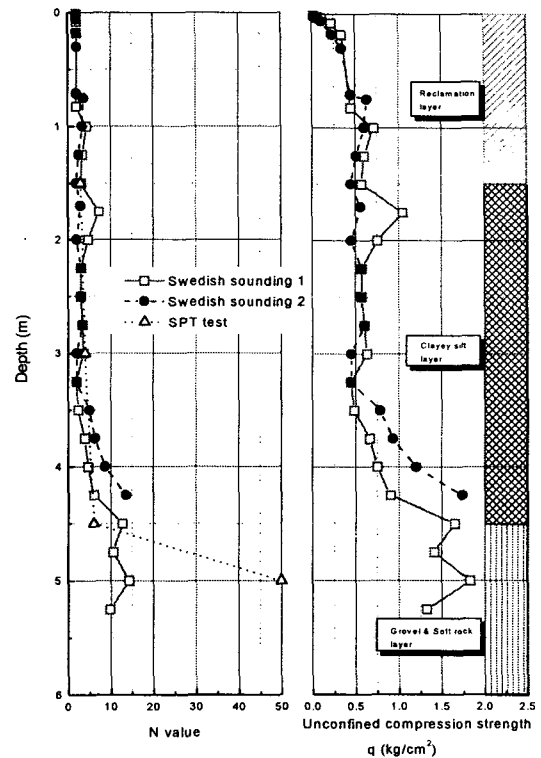


그림 1. 지반조사 결과

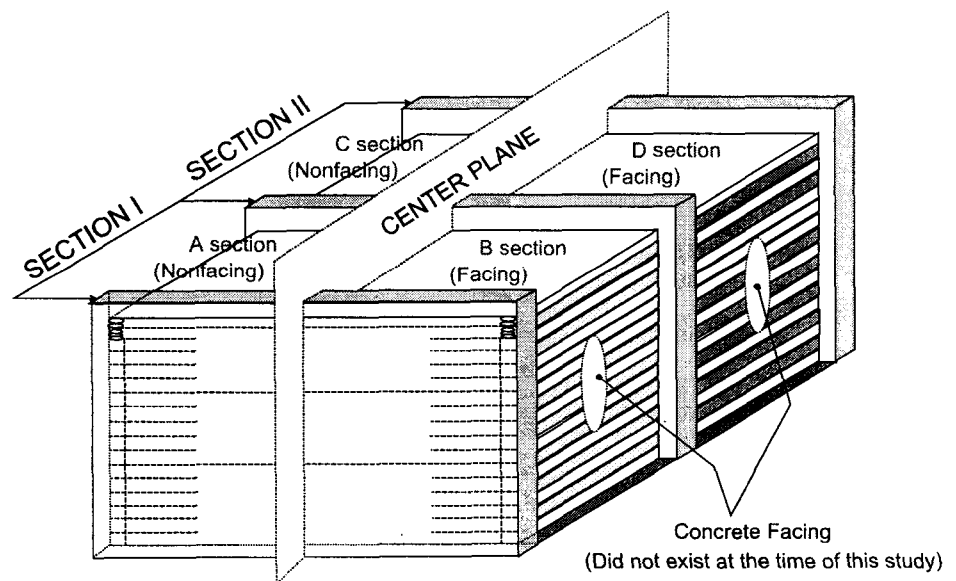
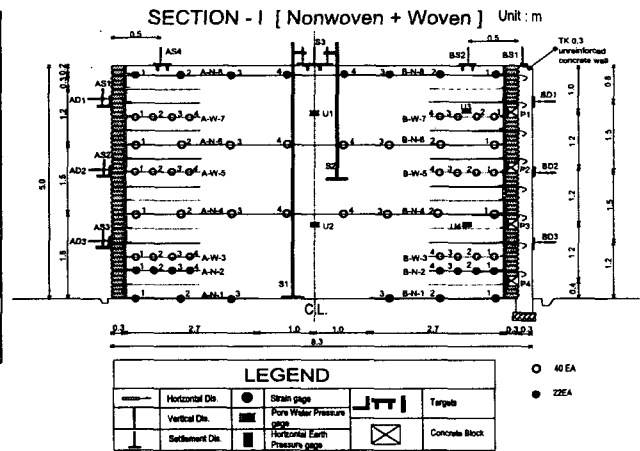


그림 2. 보강토벽의 전체도

측정하기 위하여 총 162개의 계측기기를 설치하였고, 모든 측정값은 자동화시스템에 의해 이루어졌다.

표 2. 계측기기 및 측정항목

측정항목	수량	단면			
		SECTION I (부직포+직포)		SECTION II (부직포+그리드)	
		A단면 (벽면無)	B단면 (벽면有)	C단면 (벽면無)	D단면 (벽면有)
내부변형	124	31	31	31	31
외부변형	24	7	5	7	5
침하계	6	3		3	
간극수압계	4	4		-	
토압계	4	4	-	-	-



3. 계측결과에 의한 분석

3.1 보강재 인장변형 및 응력의 평가

그림 3. SECTION I 의 단면도

그림 4(a), (b)는 SECTION I 의 각층에서의 성토완료시점과 성토완료후 7일, 50일의 보강재의 변형량과 유발인장력을 나타낸 것이다. 그림에서 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

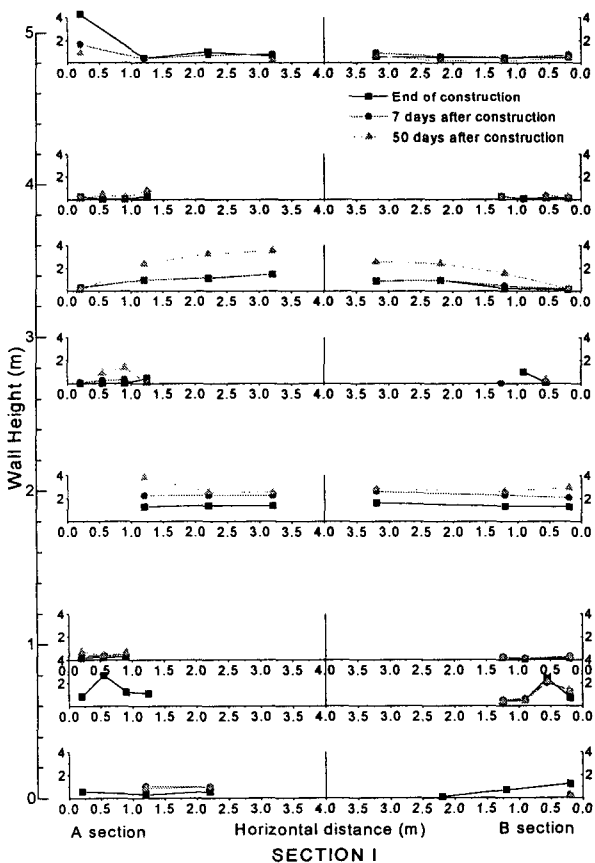


그림 4(a). SECTION I 의 보강재 변형

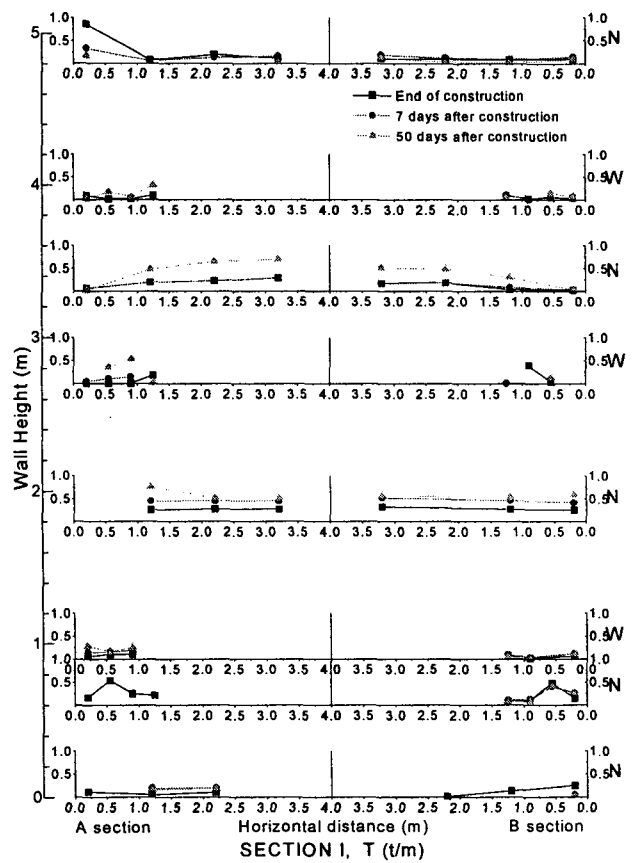


그림 4(b). SECTION I 의 보강재 인장력

- 1) 전체적으로 벽면부에 비해 성토내측의 변형율이 크다. 즉 최대 유발인장력의 발생위치가 성토체 내측으로 이동하고 있음을 보여주고 있다.
- 2) 각각의 보강재에 유발된 최대변형율은 부직포의 경우 4.2%, 직포의 경우 1.8%, 그리드의 경우 3.8% (이값은 상당히 예외적인 것이나 이것을 제외하면 평균적으로 1.6% 정도) 정도로 나타나고 있다. 유발 최대인장력은 각각 1t/m, 0.7t/m, 0.7t/m 정도로 확폭시험에 의한 최대인장력의 각각 17.5%, 18.4%, 20%가 작용하고 있다.
- 3) 위의 결과로부터 유발인장력이라는 보강기여도로 볼 때는 미소하나 그리드>직포>부직포의 순으로 평가할 수 있으나, 보강효과의 측면에서는 부직포>직포>그리드의 순인 것으로 판단된다.

따라서 이 성토체에 국한하여 잠정적인 결론을 내린다면, 현장발생 점성토 보강의 경우 변형을 어느 정도 허용할 수 있는 구조물이라면 본 성토체에 사용한 강도정도(최대인장강도 5.8t/m, 최대인장강도시의 변형을 30~40%)의 부직포의 경우 그 기능상에 문제는 없을 것으로 생각되며, 일정 이상의 변형(예를 들어 5% 정도)을 허용하지 않는 구조물의 경우는 보다 큰 강성의 부직포를 이용 또는 앞에서 기술한 바와 같은 콤포지트의 형태가 바람직하다고 할 수 있다.

3.2 간극수압

그림 5는 성토중 및 성토완료후의 강수량과 SECTION I 에서 측정된 간극수압의 변화를 경과시간에 대해서 나타낸 것이다. 성토중 하절기(7월 20일~8월 10일)에 지속적인 강우가 기록되었으며, 성토완료후 약 12일 경과시 180mm/일 가량의 집중호우가 기록되었다. 이 호우로 인해 보강성토체의 변형이 크게 발생하였고, 그 결과로 보강재에서는 상대적으로 큰 변형이 유발되었다. 성토 및 다짐시에 U4와 U2의 간극수압이 일시적으로 매우 큰 값(정의 간극수압)을 나타내고 있는 것을 제외하고는 간극수압의 변화는 그다지 크지 않고 항상 계측초기에 갖고 있던 부의 간극수압을 유지하고 있다. 그러나 작은 변화량이기도 하나 성토상부의 경우 성토완료후의 강우의 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있으며, 간극수압의 변화로부터 다음과 같은 사항을 유추할 수 있다.

- 1) 성토완료후(67일째 및 80일째) 큰 강우에 대해 간극수압의 증가 반응을 보이고 있다. 이 간극수압 자체의 증가량은 크지 않으나 보강재의 인장변형은 전체적으로 크게 유발되어 간극수압이 하중으로 작용하고 있음을 보여주고 있

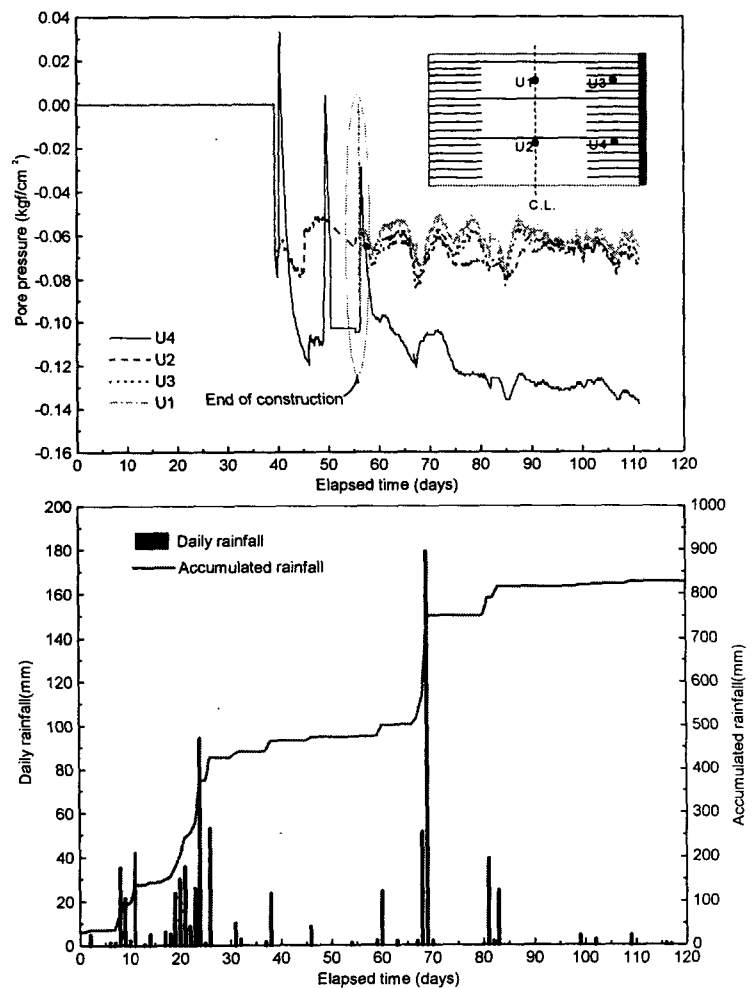


그림 5. 강수량 및 간극수압의 변화

다.

2) 그러나 일단 큰 호우를 겪은 약 13일 후의 약 40mm/일의 강우에는 간극수압은 전과 동일한 크기로 증가하나 성토체의 변형과 보강재의 인장변형은 유발되고 있지 않다.

3) 보강재 매설위치(U4)에서 성토다짐시 간극수압이 일시적으로 크게 상승하는 것은 보강재가 배수층이 되어 있는 영향인 것으로 판단된다.

4) 성토완료 이후에 특히 성토상부층의 간극수압이 소산되지 않고 지속적으로 일정한 값을 유지하고 있는 것은 8월에 지속된 강우 및 성토상부 표면에 형성된 크랙으로 침투한 침투수의 영향인 것으로 판단된다. 그러나 하부 보강층의 경우(U4)는 지속적으로 부의 간극수압이 증가하고 있다.

따라서 성토 표면에 크랙이 발생하여 침투수가 성토체내로 침투되고 있는 것으로 판단되나, 전체적으로는 성토체의 안정에 큰 영향을 줄 정도의 간극수압이 발생되지 않고, 또 청천시에는 보강재 매설위치에서는 작은 값이나 부의 간극수압이 증가하고 있는 점으로 보아, 점성토벽의 경우에도 부직포 보강재의 배수기능을 충분히 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 수평토압

그림 6(a)는 B단면에 매설된 토압계의 성토중 및 성토완료후 경과시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 이 중 P2의 경우는 대단히 작은 값을 나타내고 있는데 데이터로서의 신뢰성에 문제가 있는 듯하여 분석에서 제외하였다.

1) 성토하중 및 다짐에 비례하여 토압은 일시적으로 크게 상승하고 있다. 그 후에는 다짐하중 등의 제거로 감소하나 그 감소량은 매우 작다.

2) 성토완료후 토압은 서서히 증가하나, 성토체의 변형에 수렴하여 거의 안정적 값을 유지하고 있다. 다만, 성토체상부 표면 직하에 있는 P1의 경우는 호우시의 성토체의 변형에 따라 큰 증감을 보이고 있고, 그 하부의 토압과 거의 동일한 값을 보이고 있는데 이는 성토체의 변형이 성토내부로 향하고 있어 수동토압적인 값을 보이고 있는 것으로 생각된다.

그림 6(b)는 토압계의 매설위치별 경과시간에 따라 수평토압의 변화를 나타낸 것으로 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

1) 벽면토압계에 의한 토압의 분포는 일정하지 않고 깊이방향으로 커지고 있

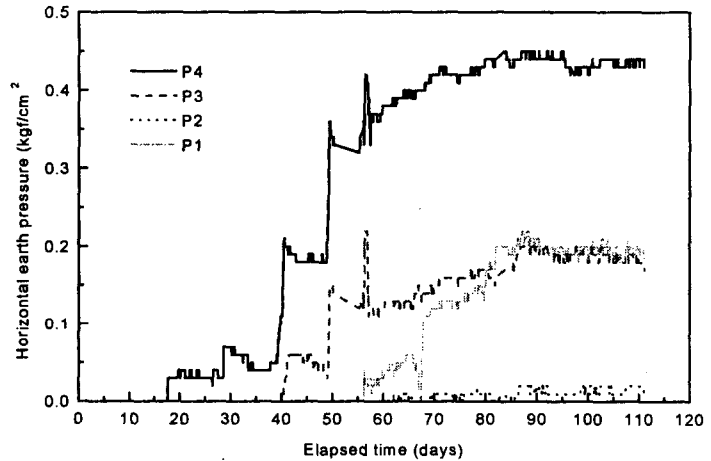


그림 6(a). 수평토압의 변화

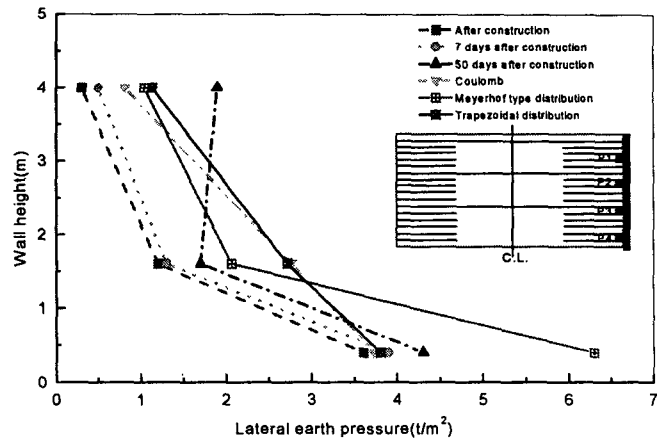


그림 6(b). 수평토압의 분포

다.

2) 토압의 분포는 전체적으로 컬럼의 토압분포에 비하여 작은값을 나타내고 있으나 하층부와 상층부에서는 컬럼토압과 같거나 오히려 커지고 있다. 이와 같이 토압이 하층부에서 커지고 있는 이유는 보강재를 통한 배수로 인해 지반부근에 수압이 집중되기 때문일 것으로 판단되나, 전체적 토압의 분포형태는 Meyerhof 분포와 유사하다.

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

3.4 성토체의 변위

3.4.1 기초 및 성토체 침하

그림 7은 SECTION I 에 설치된 침하계의 성토중 및 성토후 침하량의 변화를 나타낸 것으로 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

1) S1, S2는 성토하중의 증가에 따라 침하량이 급증하였다.

2) 성토완료후 11, 12일에서 S3의 침하량이 급증하였으며, 이는 집중강우(약 230mm/2days)로 인하여 성토체 천단부에서의 압축으로 인한 급격한 침하가 발생하였기 때문이며, 집중강우 동안에 발생한 침하량은 현재까지의 침하량의 약 60~75%에 해당한다.

3) 그러나 S1, S2의 침하는 집중강우의 영향보다는 지속적인 성토체의 압축에 의한 것으로 생각된다.

4) 모든 지점에서의 침하양상은 성토완료후 약 50일을 전후하여 수렴되기 시작하여 현재(성토완료후 약 100일 경과)에는 뚜렷하게 수렴되고 있다.

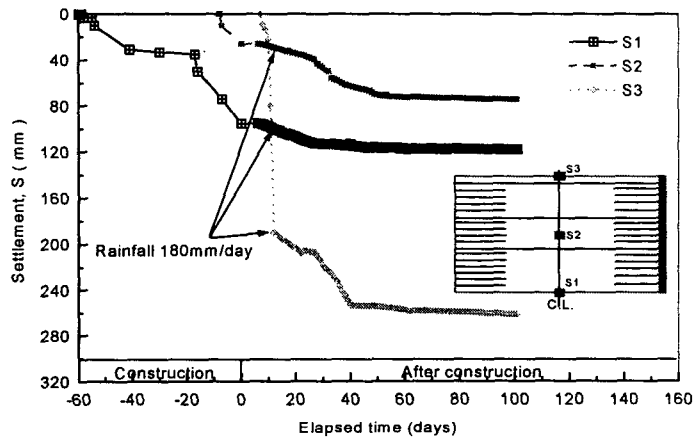


그림 7. SECTION I 중앙단면의 침하

따라서 집중강우로 인한 성토체의 급격한 압축침하는 성토체의 상부에서 발생하고 있으며, 그 이하에서는 집중강우의 영향이 작다고 판단된다. 이러한 원인은 점성토의 투수성이 대단히 낮기 때문에 천단부로부터의 강수의 침투가 용이하지 못하고, 일부 침투수가 발생하더라도 부직포보강재를 통하여 효과적으로 배수되기 때문인 것으로 생각된다.

그림 8은 경과시간에 따라 각 지점에서의 침하량을 도식적으로 나타낸 것으로 집중강우를 전후하여 단지 2일 동안

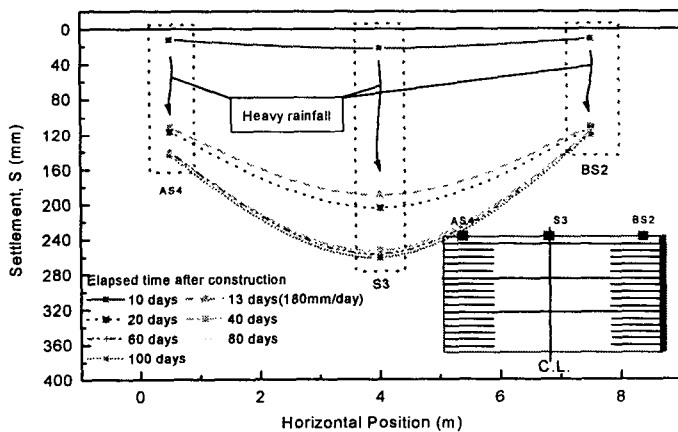


그림 8. SECTION I 천단부의 침하

에 급격히 침하가 발생하였으며, 양 단부측의 침하량은 거의 비슷한 값을 나타내고 있어 다음과 같은 사항을 유추할 수 있다.

- 1) 상대적인 무보강영역의 S3의 침하량이 보강영역의 AS4, BS2의 침하량에 비하여 초기에는 큰 차이를 보이지 않으나, 집중강우 발생 및 시간의 경과에 따라 상대적으로 크게 발생하여 현재에는 약 1.5배 정도의 뚜렷한 침하량의 차이를 보이고 있다.
- 2) 이러한 천단부 부등침하의 원인은 첫째, 성토체의 벽면부를 조립골재로 채운한 계비온층을 설치하고 다짐하여 다짐시 거의 모든 압축이 발생하여 잔류압축이 미소하기 때문이고 둘째, 보강재의 매설로 성토체의 수직방향 압축과 병행하여 발생하는 수평방향의 팽창을 보강재가 구속하는 기능을 발휘하기 때문으로 생각된다.

따라서 보강재의 매설로 인한 지반침하의 억제효과가 발생하고 있음을 간접적으로 알 수 있다.

3.4.2 벽면부의 변위

그림 9(a), 9(b)는 SECTION I의 성토완료후 경과시간에 따른 수평 및 수직변위의 변화를 나타낸 것으로 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

- 1) 집중강우의 영향으로 수평변위량이 급증하였으며, 그 원인은 집중강우로 인한 천단부의 유수 및 침투수가 벽면 배수층(계비온층)과 배수성이 있는 부직포보강재를 통하여 벽면부로 유하하여 그로인한 벽면단부에 인근한 토체의 함수비 증가에 따른 변형이 유발된 것으로 생각된다.
- 2) 변형형상은 중단부가 하단부 보다 외측으로의 약간 큰 변형이 발생하고 상단부는 내측으로 크게 변형하였다. 이러한 원인은 성토에 중앙부와 단부의 상대침하와 보강재의 인장력 발생으로 중단부의 변형이 내측으로 크게 발생한 것으로 생각된다.
- 3) 현재까지의 결과로 볼 때 전체적으로는 집중강우 발생이후 변형의 양상은 경과시간 60일을 전후하여 거의 수렴되고 있다.
- 4) 성토체 중하부의 연직변위는 집중강우의 영향이 작게 나타나고 있으나 상부측은 현재까지의 연직변위의 대부분이 집중강우시에 발생하였다.
- 5) 이러한 원인은 중하부의 경우 성토하중의 증가에 따라 상재압력의 영향으로 상부측 보다 상대적으로 큰 압축

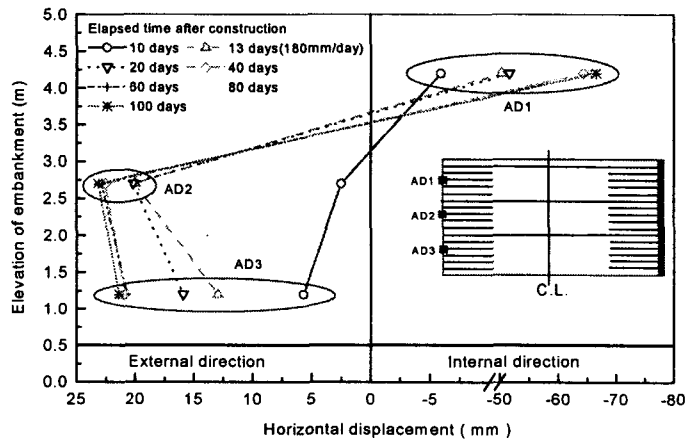


그림 9(a). 벽면부의 수평변위

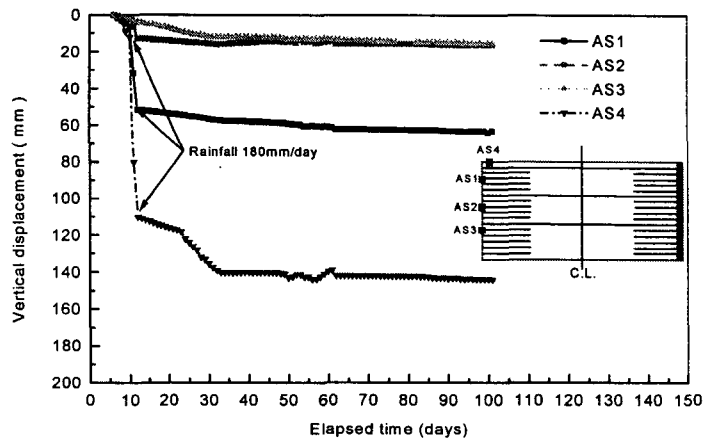


그림 9(b). 벽면부 수직변위의 변화

변형이 발생한 것으로 생각된다.

4. 결론

지오텍스타일 보강점성토벽의 성토중과 성토후 비교적 단기간의 계측을 통한 거동을 조사한 결과 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 현장발생 불량점성토를 지오텍스타일 보강재로 보강하여 연직의 벽체를 효과적으로 구축할 수 있고, 성토구축후 단기에 불과하나 현재까지 안정을 유지하고 있다. 다만, 성토체 표면의 처리가 불충분하여 성토완료후의 호우시 표면의 유실과 크랙이 발생하였다. 그러나 계비온으로 보강된 벽사면은 호우에 의한 직접적인 변상은 없었다.
- 2) 침하를 포함한 성토의 변형은 하부의 경우 다짐성토시와 호우시에, 성토상부의 경우에는 호우시에 집중되었다. 성토재료의 투수계수가 작아 단기적인 호우에 의한 우수의 대부분은 표면을 통해 배출될 것으로 생각되나, 표면에 발생한 크랙을 통해 침투가 이루어졌을 것으로 판단된다. 이 침투수의 영향으로 약간의 간극수압이 상승하고 있고 이 간극수압의 상승으로 인한 유효응력의 저하로 변형이 발생하는 것으로 생각되며, 따라서 성토내의 발생가능한 간극수압의 상승을 방지한다는 의미에서 부직포의 배수성의 기능이 중요한 것으로 판단된다. 부직포가 배수기능을 하고 있다는 것은 성토체 보강영역내에서 간극수압의 급격한 상승은 없다는 것으로 판단할 수 있다.
- 3) 보강재로서의 역할은 유발인장력으로 볼 때, 그리드, 직포, 부직포의 순이나, 보강효과로 판단할 때 부직포>직포>그리드의 순으로 나타났다. 즉 배수기능이 없는 보강재를 포화도가 높은 성토재료에 사용할 경우는 인발저항의 저하로 인한 보강효과의 감소를 검토하여야 할 것으로 생각된다.
- 4) 이 실험결과에 국한하여 잠정적이 결론을 내린다면, 현장발생 점성토 보강의 경우 변형을 어느정도 허용할 수 있는 구조물이라면 본 성토체에 사용한 강도정도(최대인장강도 5.8t/m, 최대인장강도시의 변형을 30~40%)의 부직포의 경우 그 기능상에 큰 문제는 없을 것으로 생각되며, 일정이상의 변형(예를들어 5%정도)을 허용하지 않는 구조물의 경우는 보다 큰 강성의 부직포를 이용 또는 콤포지트의 형태가 바람직하다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 건설교통부(1997), "경제성을 고려한 연직사면성토공법의 최적화에 관한 연구".
2. 한국건설기술연구원(1995), "Geotextile 및 보강토공법에 관한 연구".
3. Ling Hoe In(1993), "Performance of Geosynthetic-Reinforced Cohesive Soil Mass at Plane Strain Compression", University of Tokyo.
4. 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.
5. 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.