한국지반환경공학회 논문집 제2권 제2호 2001년 6월 pp. 51~58

Geotextile로 보강된 제체의 거동

Behavior of a Geotextile Reinforced Embankment

신방웅* · 배우석** · 이종규** · 안병철**
Shin, Bang-Woong · Bae, Woo-Seok · Lee, Jong-Kyu · An, Byung-Chul

Abstract

The primary objective of this paper was to study the seepage and the failure behavior of unreinforced and reinforced embankment, respectively. Experimental study was conducted to examine the infiltration characteristics. The embankment infiltration tests were conducted with water level condition(h=15cm, 25cm, 35cm), slope inclination(1:1.5, 1:2.0), and the rising velocity(1.25cm/min, 2.5cm/min), respectively.

From the model test results, as the slope inclination is decreased, the rising velocity of seepage line increased with both reinforced and unreinforced embankment. With the unreinforced embankment, the rising velocity of water level was faster and the failure circle is lager than those of reinforced ones.

And the reinforced embankment with geotextile was safer against seepage force than that of the unreinforced embankment.

Keywords : Reinforced embankment, Water level, Seepage, Geotextile

요 지

본 연구에서는 보강제체와 무보강제체의 침투거동을 평가하기 위하여 실내모형실험을 실시하였다. 제체침투시험은 사면경사가 1:1.5, 1:2.0이고 수위상승속도가 1.25cm/min, 2.5cm/min, 수위는 15cm, 25cm, 35cm인 조건에서 실시하였다.

모형실험결과 보강재를 사용한 제체의 경우 지하수의 흐름과 상승 때문에 어느 정도의 침하와 수평방향변위가 발생하였으나, 무보강제체에서 나타난 커다란 활동파괴는 발생되지 않았다. 그리고 수위상승속도 변화에 따른 제체의 침투거동분석결과 Geotextile로 보강된 제체가 무보강제체보다 최종침하량이 감소하는 것으로 나타나 Geotextile을 설치한 제체가 비교적 물의 침투력에 대해 안정한 것으로 나타났다.

주요어 : 보강제체, 수위, 침투, 지오텍스타일

* 정회원 · 충북대학교 토목공학과 교수
** 충북대학교 대학원 토목공학과 박사수료

1. 서 론

현재 우리나라의 강우는 대부분 여름철에 집중하는 형태로서 특히 단기간에 많은 양의 강우를 보이고 있다. 강우로 인해 유출된 물은 주로 하천으로 집중되어 하천수위는 급상승하게 된다. 체제에 침투하는 물은 제체내에서 함수비 및 포화도를 증가시키고 포화영역을 상승시켜 제체내에 간극수압의 증가로 제체의 안정성이 감소하게 된다.

따라서 본 연구에서는 실내모형실험을 통하여 무보강 제체사면과 보강 제체사면의 침투거동을 평가하기 위해 풍화토와 모래로 각각 축조된 제체의 사면경사, 상대밀도, 보강재 설치유무, 수위상승속도 등을 고려한 침투모형실험을 실시하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구를 위한 모형 실험장치는 Fig. 1과 같이 수조의 길이 120cm, 폭 30cm, 높이 50cm, 두께가 3mm인 강재 수조로 제체내부의 침윤선의 변화를 관측하기 위하여, 수조 하단부에 ϕ=5mm의 구멍을 20cm 간격으로 뚫어 고무관을 연결하여 Stand Pipe를 설치함으로써 수위 상승에 따른 제체내의 수두변화를 관측할 수 있도록 하였다.

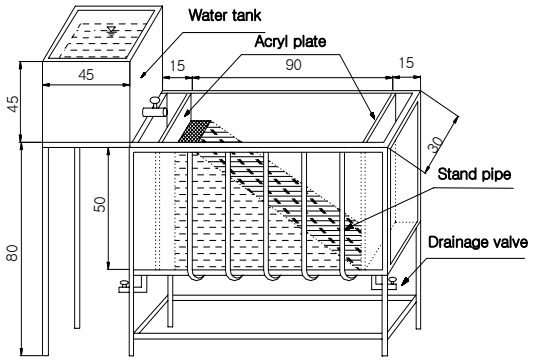

Fig. 1. Schematic sketch of experimental equipment (unit : cm)

수조의 좌측상단에 물 공급용 탱크를 설치하여 실험도중 유입수를 자유로이 조절할 수 있게 하였다. 모형수조 양끝에서는 각각 15cm의 공간을 두어 2cm간격으로 ϕ=2mm의 미세한 구멍을 낸 아크릴판을 설치하여 제체에 미치는 물의 영향(난류 또는 진동)을 최소화시키고자 하였다.

2.2 실험방법

제체의 모형은 Fig. 2와 같은 상류측의 사면이 직립사면인 제체를 모델로 하였다. 제체의 높이는 40cm, 상단폭은 15cm, 사면경사는 1:1.5, 1:2.0 수위는 15cm, 25cm, 35cm로 변화시켜 가며 상승속도에 따른 침윤선변화와 파괴거동을 관찰하고자 하였다.

수위상승속도는 급상승일 경우 2.5cm/min, 완상승일 경우 1.25cm/min으로 각각 변화시켜 가며 실험을 실시하였다. 부직포를 사면저면부터 5cm간격으로 4개의 층으로 나누어 매설하여 수위상승에 따른 보강제체와 무보강제체의 파괴양상과 침윤선의 변화를 비교하고자 하였다. 본 연구에 사용된 시료는 No.10체를 통과하고 No.200체에 잔류한 자연상태의 모래와 풍화토를 사용하였다. 시료의 함수비는 약 8~10%정도로 유지하였다.

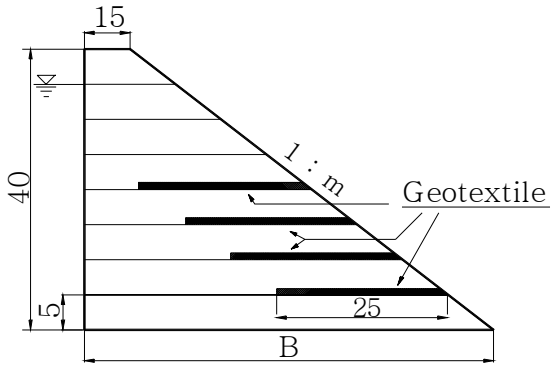

Fig. 2. Reinforced embankment with geotextile (unit : cm)

본 연구에서 수행한 제체재료의 물성치와 모형실험의 세부사항은 Table 1, 2, 3과 같다.

Table 1. Physical properties of sand and granite soil

Properties of Material		Sand	Granite soil
비 중		2.6	2.67
균등계수		3.25	8.5
자연함수비(%)		8~10	8~10
최대건조밀도(t/m^3)		1.735	1.910
투수계수 (cm/sec)	Dr=40%	2.4×10^{-2}	4.5×10^{-4}
	Dr=80%	2.1×10^{-3}	1.7×10^{-5}

Table 2. Physical properties of Geotextile

Properties of Materials	Geotextile(Nonwoven)
단위면적당 중량(g/cm^2)	300
극한인장강도(Kg/in)	90
두 께(mm)	1.5
파괴시 변형률(%)	74.7
수평방향 투수계수(cm/sec)	1.5×10^{-1}

Table 4. Seepage line of embankment (sand, 1:1.5, unit: cm)

Horizontal distance(cm)	Unreinforcd			Reinforced		
	15cm	25cm	35cm	15cm	25cm	35cm
4	15	25	35	15	24	34.5
24	11	20	24	6.8	17.5	24
44	4	12	16	0	1	7
64	0	5	8	0	0	0

Table 3. Details of model tests

Slope (1:m)	Sand				Granite soil			
	Relative Density(%)	Rising water level(cm)	Rising Velocity (cm/sec)	Reinforced/ Unreinforced	Relative Density (%)	Rising water level(cm)	Rising Velocity (cm/sec)	Reinforced/ Unreinforced
1.5	40	15 25 35	Fast	Reinforced Unreinforced	40	15 25 35	Fast	Reinforced Unreinforced
	80		Slow		80		Slow	
2.0	40	15 25 35	Fast	Reinforced Unreinforced	40	15 25 35	Fast	Reinforced Unreinforced
	80		Slow		80		Slow	

3. 실험결과 및 고찰

3.1 보강제체의 침윤선변화

1) 모래로 축조된 경우

Table 4와 5는 사면경사가 각각 1:1.5, 1:2.0인 제체의 수위상승속도에 따른 침윤선변화를 나타내고 있다.

사면경사가 1:1.5, 상대밀도 40%인 제체의 경우 수평거리가 증가할수록 즉, 보강재가 매설되어 있는 위치로 점점 가까워질수록 침윤선이 급격히 낮아지는 경향을 보였다.

그리고 낮은 수위보다는 수위가 높게 상승할수록 보강제체의 침윤선높이가 무보강제체보다 더 낮게 형성되는 것으로 나타났다. (Fig. 3, Fig. 4참조)

사면경사가 1:2.0인 경우에도 1:1.5경사의 제체와 비슷한 경향을 보였으나 사면경사가 완만해질수록 침윤선이 더 높게 형성되었다.

Table 5. Seepage line of embankment (sand, 1:2.0, unit: cm)

Horizontal distance(cm)	Unreinforced			Reinforced		
	15cm	25cm	35cm	15cm	25cm	35cm
4	15	25	35	15	25	34.5
24	12	20.8	28.3	11	20	25.5
44	5	15	19	0	1	6
64	0	7.8	12	0	0	5

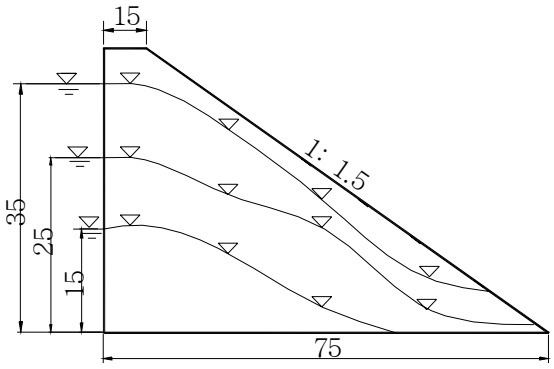

Fig. 3. Seepage line of unreinforced embankment in sand (Dr=40%, 1:1.5, Fast rising)

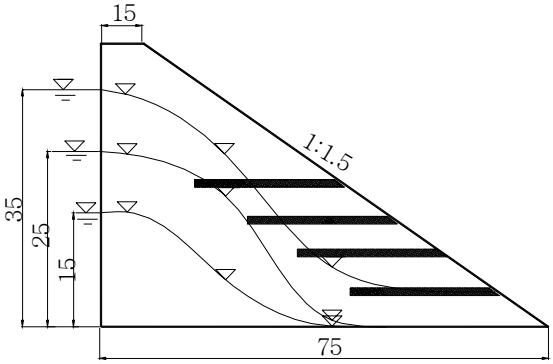

Fig. 4. Seepage line of reinforced embankment in sand (Dr=40%, 1:1.5, Fast rising)

2) 풍화토로 축조된 경우

Table 6과 7은 풍화토로 조성된 제체로 사면경사와 보강유무에 따른 제체의 침윤선 변화를 나타내고 있다.

모래지반의 경우와 마찬가지로 보강재가 매설되어 있는 위치로 점점 가까워질수록 침윤선이 급격히 낮아지는 경향을 보였다.(Fig. 5, 6참조)

사면경사가 1:2.0인 경우에도 1:1.5경사의 제체와 비슷한 경향을 보였다. 또한 상대밀도가 80%인 지반에서도 보강재를 사용하였을 때 침윤선이 낮게 형성되었다.

제체내의 침투류는 보강재가 매설되어 있는 위치로 갈수록 낮은 침윤선양상을 보였는데 이것은 보강재 설치로 인한 투수계수의 증가로 제체내에서 Geotextile이 하나의 필터층처럼 작용함으로써 유선이 보강재에 집중되는 현상을 보인 것으로 판단된다.

수위 상승후 시간이 지남에 따라 점차적으로 유출량이 늘어나는 것으로 실험결과 나타났기 때문에 물과 함께 모래의 침투로 인하여 발생될 수 있는 보강재의 Clogging현상은 비교적 미소한 것으로 판단된다.

Table 6. Seepage line of embankment (granite soil, 1:1.5, unit: cm)

Horizontal distance(cm)	Unreinforced			Reinforced		
	15cm	25cm	35cm	15cm	25cm	35cm
4	14.1	23.5	34.5	14	23.3	33.5
24	6.5	15.4	23.9	3	9.5	16.5
44	0	4.5	11.0	0	1	6
64	0	1	4.0	0	0	5

Table 7. Seepage line of embankment (granite soil, 1:2.0, unit: cm)

Horizontal distance(cm)	Unreinforced			Reinforced		
	15cm	25cm	35cm	15cm	25cm	35cm
4	14.3	24.1	34.6	14.2	24.2	34.1
24	7.2	16.5	24.1	4.5	10.5	18.1
44	4	7	13	0	1	6
64	0	2	5	0	0	5

Table 6과 7을 비교해 볼 때 모래로 축조된 제체가 풍화토로 축조된 제체보다 침윤선이 더 높게 형성되는 결과를 보였는데 이는 모래의 투수계수가 풍화토보다 더 크기 때문에 보강유무에 관계없이 제체내 수위는 모래지반이 풍화토지반보다 더 크게 상승하는 현상을 보이는 것으로 판단된다.

Fig. 5와 6은 상대밀도가 40%인 제체의 침윤선변화를 나타낸 것으로 제체내의 물과 접촉하는 경계면에서는 침윤선이 직각에 가깝게 형성되다가 제내지측으로 갈수록 감소하는 것으로 나타났다.

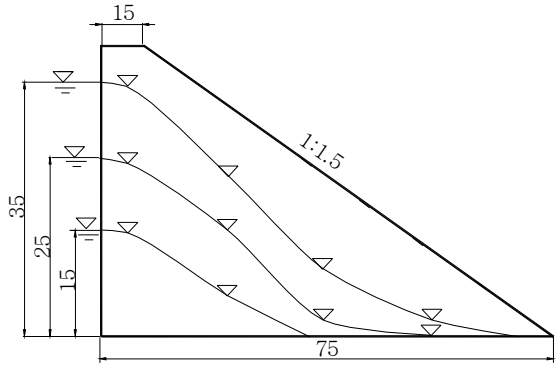

Fig. 5. Seepage line of unreinforced embankment in granite soil (Dr=40%, 1:1.5, Fast rising)

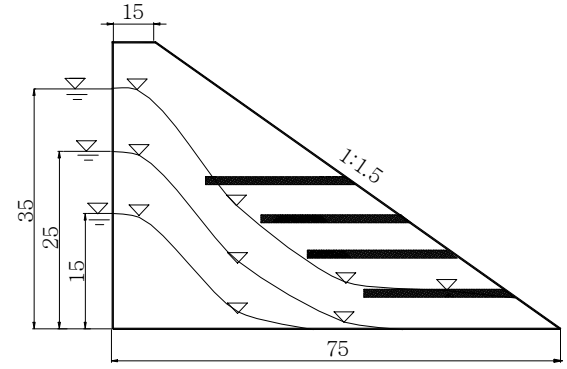

Fig. 6. Seepage line of reinforced embankment in granite soil(Dr=40%, 1:1.5, Fast rising)

3.2 제체의 파괴거동

수위상승에 따른 제체의 침윤선변화를 관찰한 결과 무보강제체가 보강제체의 경우보다 침윤선의 높이가 상승하였는데 이에 따른 제체의 거동을 분석해 본 결과 다음과 같다.

1) 모래로 축조된 경우

(1) 보강전

Fig. 7은 1:1.5경사일 경우에 수위급상시 파괴된 제체의 모습이다.

Fig. 7. Unreinforced embankment failure in sand (Dr=40%, 1:1.5, Fast rising)

제체하단부에서 점점 유출점이 형성되면서 토사가 이동하기 시작하였으며 그 결과 제체는 수위가 35cm로 증가된 후 시간이 경과됨에 따라 붕괴되는 양상을 보였다.

1:2.0경사에서도 동일한 파괴거동을 보였으나 1:1.5경사보다는 파괴가 다소 작게 발생하였다.

상대밀도가 80%인 상태에서는 사면 끝단부에 국부적인 파괴가 발생되었을뿐 전체적인 파괴양상은 보이지 않았다.

(2) 보강후

보강전의 지반상태와 동일하게 조성하면서 제체의 하단부로부터 25cm길이의 부직포를 5cm마다 4층으로 나누어 설치하였다. 그 결과 Fig. 8과 같은 제체의 파괴가 발생하였는데 상대밀도가 작고(Dr=40%), 사면경사가 급경사이며 제체내 수위가 급상승할 때 붕괴가 가장크게 발생하였으나 보강전보다는 붕괴양상이 크게 나타나지 않았다.

상대밀도가 80%인 상태에서는 사면 끝단부에 약간의 토사유실이 발생하였을 뿐 대체적으로 안정한 상태를 나타냈다.

Fig. 8. Reinforced embankment failure in sand (Dr=40%, 1:1.5, Fast rising)

2) 풍화토로 축조된 경우

(1) 보강전

Fig. 9는 무보강제체의 파괴모습을 나타내고 있는데, 25cm에서 35cm로 수위를 상승시키는 동안 상단부가 침하되면서 사면쪽으로 토사의 이동이 발생함에 따라 제체가 파괴에 이르렀다.

유출점(Runoff point)은 수위상승동안 명확하게 드러나지 않았지만 제체가 큰 활동을 보이기 시작할 때 유로가 명확히 형성되었다. 상대밀도가 80%인 상태에서는 부분적인 토사유출이 발생되었을 뿐 제체는 안정한 상태였다.

(2) 보강후

Fig. 9와 10은 무보강과 보강제체의 파괴모습을 나타내주고 있다. 보강제체의 경우 35cm 수위상승이 이루어진

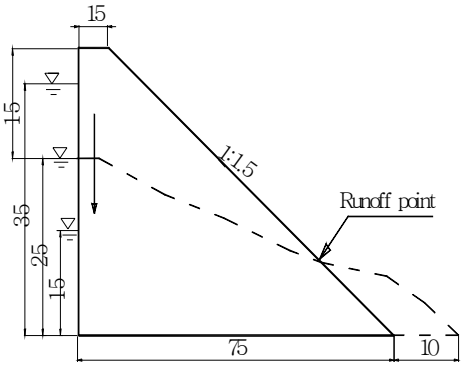

Fig. 9. Unreinforced embankment failure in granite soil(Dr=40%, 1:2.0, Fast rising)

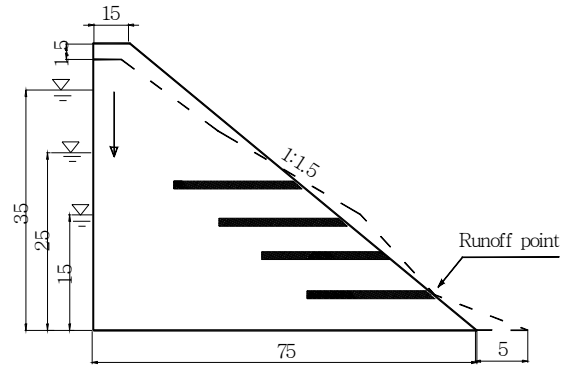

Fig. 10. Reinforced embankment failure in granite soil(Dr=40%, 1:1.5, Fast rising)

후 약 2시간정도 시간이 경과되었을 때 상단부가 미소하게 침하되면서 사면파괴가 국부적으로 발생하였다.

상대밀도가 80%인 상태에서는 토사유출이 거의 발생되지 않아 제체는 안정한 상태를 보였다.

3.3 실험결과분석

Fig. 11은 파괴시 사면상단부의 수직침하(δ/h)와 사면상단부에서 미끄럼선을 따라 발생한 수평거리(B/h)사이의 관계를 나타내고 있다.

무보강 풍화토지반의 경우 약 30~35%의 수직침하(δ/h)에서 붕괴가 발생하였으나, 무보강 모래지반의 경우에는 약 35~50%의 δ/h에서 파괴가 일어났다. 이것은 모래지반의 경우 전단강도를 발휘시키기 위해서는 상대적으로 풍화토지반에 비해 커다란 변형이 필요하다는 것을 의미한다.

또한 수평거리 즉 풍화토에 대한 B/h가 모래의 경우보다 더 크게 나타났는데, 이와같이 파괴양상과 변형의 크기가 다르게 나타난 이유는 모래와 풍화토의 응력-변형률의 차이로 인한 것으로 분석된다.

보강제체인 경우 무보강보다 상대적으로 작은 변형률에서 파괴가 발생하는 것으로 나타났으며 그리고 수위상승속도가 빠를수록 큰 변형률에서 파괴가 발생되는 결과를 보였다.

Fig. 12는 침투시험동안 수위상승속도에 따른 침하-시간관계를 나타내고 있다. 수위상승에 따라 상단부침하증가는 보강조건에 상관없이 침투초기단계에서 나타났다.

이러한 증가속에서 Geotextile의 보강효과는 더 작은 최종침하의 결과로 나타났으며, 완상승과 급상승 모두 Geotextile로 보강된 제체의 최종침하량은 동일한 제체의 침하량보다 더 작게 나타났다.

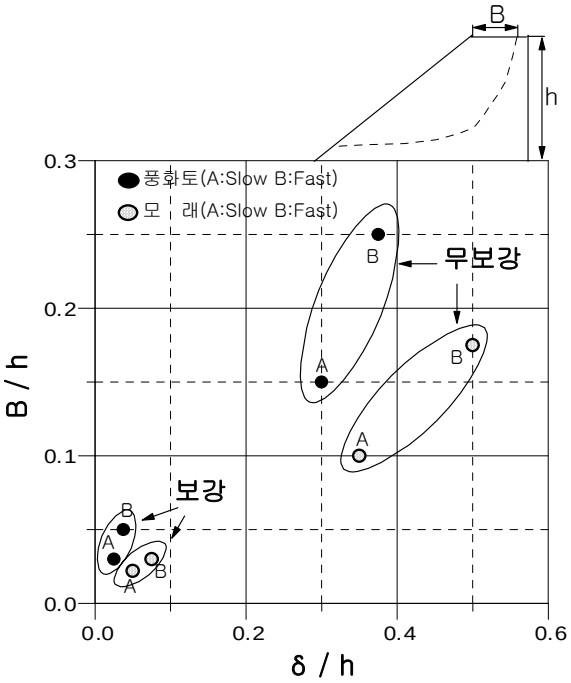

Fig. 11. δ/h - B/h at failure(1:1.5, Dr=40%)

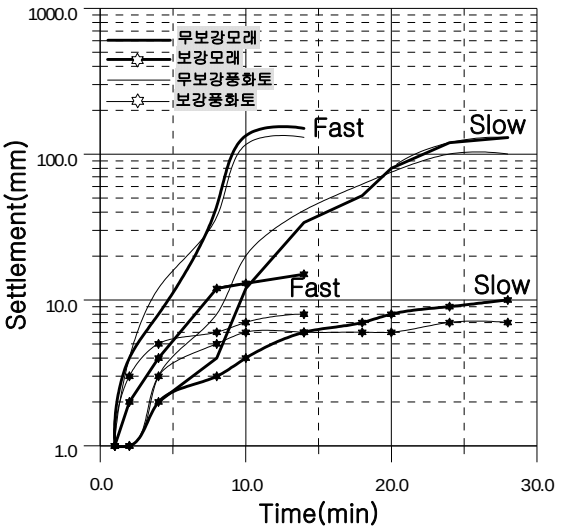

Fig. 12. Time-Settlement curve(1:1.5, Dr=40%)

Fig. 13은 제체상단부에 설치한 LVDT에 의해 측정된 침하와 사면끝단부 하단의 Stand pipe No.3에서 측정된 수두와의 관계를 나타낸 그림이다. 모래와 풍화토지반 모두 상승조건에 관계없이 수두가 약 4~5cm이고 침하가

4mm정도 발생할때까지 모두 동일한 하나의 곡선을 따라 가는 것으로 나타났다.

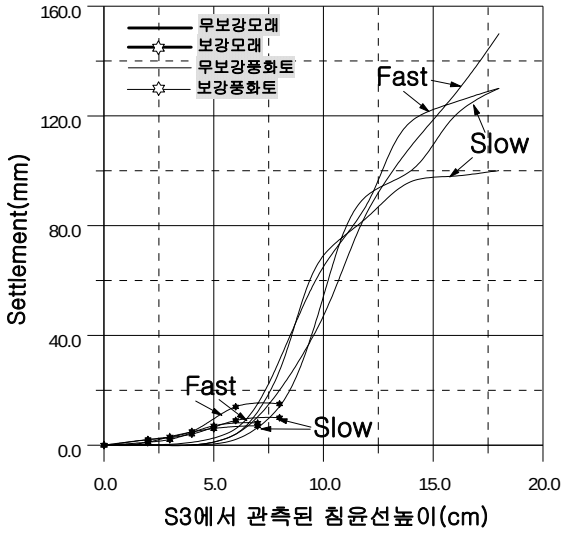

Fig.13. The relationship of settlement and seepage level on S3

Fig. 11,12,13을 통해서 보강된 제체인 경우에도 지하수의 흐름과 수위상승으로 인해 어느정도 침하와 변형이 발생한다는 것을 알 수 있다. 또한 무보강제체에서의 커다란 활동파괴는 제방의 변형이 발생한 후 일어났으나 보강제체의 경우에는 이러한 형태의 파괴가 Geotextile에 의해 방지되었다.

특히 매우 느슨한 제체의 경우에 Geotextile와 제방의 활동부분까지 유효저항력이 작용하기 위해서는 흙과 Geotextile사이 약간의 상대변위가 필요함을 알 수 있다.

4. 결 론

보강제체의 침투거동을 평가하기 위하여 제체의 단면조건 및 지반조건 그리고 수위상승속도에 따른 모형침투실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수위상승조건에 관계없이 사면경사가 완만할수록 보강제체와 무보강제체의 침윤선이 상승하는 것으로 나타났으며, 동일한 사면경사일때는 수위상승속도가 느릴수록 침윤선의 높이가 상승하였다.
2. 상대밀도가 40%인 경우 수위가 높아질수록 유출량이 증가하다가 거의 만수위에 가까워질 때 활동파괴가 발생되었다. 모래로 조성된 경우는 많은 유출량을 보이면서 천천히 파괴가 발생되었으며, 풍화토로 조성된 경우는 낮은 투수계수로 인해 유출량은 줄어들었으나 만수위시 급격하게 파괴되는 현상을 나타냈다.
3. 보강재를 사용한 제체의 경우 지하수의 흐름과 상승때문에 어느 정도의 침하와 수평방향변위가 발생하였으나, 무보강제체에서 나타난 커다란 활동파괴는 발생되지 않았는데 이것은 보강재로 인해 제체내 침윤선이 대체적으로 낮게 형성되어 지반내 간극수압의 감소로 인한 전단강도의 증가현상 때문인 것으로 판단된다.
4. 수위상승속도 변화에 따른 제체의 침투거동분석결과 Geotextile로 보강된 제체가 무보강제체보다 최종침하량이 감소하는 것으로 나타나 Geotextile을 설치한 제체가 비교적 물의 침투력에 대해 안정한 것으로 나타났다.

(접수일자 : 2001. 5. 18.)

참 고 문 헌

1. Kerry Rowe, R., Gnanendran, A. O.,"Calculated and observed behavior of a reinforced embankment over soft compressible". Journal of the Geotechnical Engineering, Canadian, Vol. 33, pp. 324~337, 1996.
2. Rowe, R. K., Gnanendran, C. T., Landva, A. O., and Valsangkar, A. J., "Calculated and observed behaviour of a reinforced embankment over soft compressible soil", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 33, No. 2, pp. 324~338, 1996.
3. Rowe, R. K. and Mylleville, B. L. J., "A geogrid reinforced embankment on peat over organic silt: A case history",Canadian Geotechnical Journal, Vol. 33, No. 1, pp. 106~122, 1996.
4. Fowler, J., "Use of Engineering Fabric in Road and Embankment Construction", Seminar on the Use of Synthetic Fabrics in Civil Engineering, Toronto, Ontario, Canada, pp. 66~94, 1981.
5. Hailburton, T. A., Anglin, C. C., and Lawmaster, J. D., "Testing of Geotechnical Fabric for Use as Reinforcement", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 1, pp. 203~212, 1979.

6. Herrman, L. R., and Al Yassin, Z.,“Numerical Analysis of Reinforced Soil System”, Proceeding, ASCE Spring Convention, 1978.
7. Kidder, R. E., “Unsteady Flow of gas Through a Semi-infinite Porous Medium”, ASME, Vol. 24, pp. 329~332, 1977.
8. Hollingshead, G. W., and Raymond, G. P., “Predicition of Undrained Movements Caused by Embankments on Muskeg”, Canadina Geotechnical Journical Journal, Vol. 8, No. 1, pp. 23~35, 1971.
9. 신윤섭, “불포화 흐름을 고려한 제체내 침투거동”, 석사학위논문, 대전산업대학교, 1998.
10. 최기봉, “침투력을 고려한 제체사면의 안정해석”, 박사학위논문, 충북대학교, 1990.
11. 신방웅, “제체의 평행흐름에 대한 비정상침투의 연구”, 대한토목학회논문집 제8권, 제3호, pp.101~110, 1988.