

일정한 연직간격의 지오텍스타일로 보강된 모래지반의 거동에 관한 연구

A Study on Behaviour of Sandy Ground Reinforced by Geotextiles with Equal Vertical Spacings

주인곤¹ · 박용부² · 박종배³

In-Gon Joo¹, Yong-Boo Park², and Jong-Bae Park³

(Received January 11, 2011 / Revised January 24, 2011 / Accepted January 25, 2011)

요 약

지반의 지지력은 안정화, 다짐공법등 고전적인 지반개량공법에 의한 증대된다. 최근, 지지력을 향상시키기 위한 내구성이 있고 강성이 큰 토목섬유의 유용성때문에 지오텍스타일의 사용은 보편화되고 있다. 본 논문에서는 모래지반에 보강재를 수평으로 등간격 배치하여, 평면 변형률 상태의 실내 모형실험을 실시하고 지지력의 개량효과와 거동을 분석하였다.

주제어 지지력, 지오텍스타일, 평면변형률 조건, 모래지반

ABSTRACT

The bearing capacity of a soil can be improved by conventional ground improvement techniques such as stabilization and compaction methods. Recently, the use of geotextiles in improving the bearing capacity of soils has become popular because of the availability of durable and strong geosynthetic materials. In this paper, through the laboratory model tests on sandy ground reinforced by geotextiles with the strip footing under plane strain condition, the effects of bearing capacity improvement on the sandy ground and its behaviour were investigated.

Key words Bearing capacity, Geotextile, Plane strain condition, Sandy ground

1. 서 론

토목공학의 발달과 함께 보다 경제적이고 안정성이 뛰어난, 새로운 건설재료를 개발하기 위한 많은 노력이 진행되고 있다. 이러한 재료 중의 하나인 흙은 다른 재료들에 비하여, 저렴한 비용으로 대량으로 얻을 수 있는 장점을 가지고 있지만, 반면에, 외력이 가해지면 쉽게 변형하는 등, 전단강도가 부족하기 때문에 용도가 제한되어 있다. 이러한 것을 해결하기 위해서 흙 입자 상호간을 접촉시켜 거동하게 하는 재료를 이용하여 굳게하는 등의 토질 개량공법이 있지만, 도로나 철도의 성토와 같이 많은 토량을 취급하는 경우에 이같은 방법은 비경제적이기 때문에 일반적으로 이용되고 있지는 않다.

그래서 경제적인 방법으로 흙의 전단 강도를 증가시키기 위해, 지오텍스타일과 같은 보강재를 흙과 복합하여 사용하여 보다 효과적인 건설재료를 활용하고 있다.

보강토 공법은 흙을 주체로 한 성토층 속에 인장력이 큰 보강재를 일정한 간격으로 매설하여 하나의 새로운 복합 구조물을 형성시키는 공법으로, 옹벽은 물론 교대, 제방, 댐, 기초슬래브, 암벽 등과 같은 구조물에 사용할 수 있는 효율적인 공법이다. 이 공법을 이용한 건설구조물은 종래의 구조물에 비하여 안정성과 경제성이 뛰어나 전세계적으로 그 사용량이 늘어가고 있는 실정이다.

외국에서는 기초의 지지력을 증가시킬 목적으로 모래지반 및 점토지반에 있어서, 토목섬유에 대한 연구가 지오텍스타

1) 부산정보대학 토목과 부교수(igjoo@bit.ac.kr)

2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(교신저자: parkyb@lh.or.kr)

3) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원

일을 대상으로 수행되어 왔으며, 최근에 들어 지오그리드를 대상으로 한 연구도 활발히 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 지반보강용 토목섬유에 대한 연구가 미비하여 설계지침 또한 제대로 제시되어 있고 얇아 과다설계 또는 위험한 설계가 될 소지가 다분하며 향후 건설시장이 개방될 경우 이에 따른 경쟁력저하가 우려되므로 이에 대한 체계적인 연구가 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 성토지반의 보강시 보강재의 깊이별 배치간격 변화에 따른 지반거동의 경향을 관찰하고 분석하는 것이다.

그래서, 본 연구에서는 모래지반에 보강재를 수평으로 등간격 배치하여, 그 배치간격의 변화에 따른 극한 지지력을 평가하기 위해, 평면 변형률 상태의 실내모형실험을 실시하였다. 이때 보강재의 길이는 5B(B= 재하판 폭, 10cm)(임종철 등, 1997; 이민희 등, 1997)로 일정하게 하였으며, 보강재의 층수는 4층으로 하여, 보강재의 배치간격을 변화시키면서 극한 지지력을 측정하였다. 또한, 무보강지반의 극한 지지력을 측정하고, 이 결과를 참고하여, 보강재의 배치간격 변화에 따른 극한 지지력과 비교 분석하였다.

2. 요소 시험

2.1 구포사의 입도분포

모형지반은 낙동강 하구에서 채취한 구포사를 이용하여 제작하였다. 먼저 세립분을 제거하기 위해 물로 씻고 #200체를 통과시켰다. 그리고, 최종적으로 #200체를 통과하는 모래를 공기건조상태에서 이용하였다. 표 1은 구포사의 특성을 나타내고 있다.

본 연구는 평면변형률 상태의 모형실험임을 고려하여 동일 조건인 압밀배수 평면변형률 압축시험을 실시하여 내부마찰각(ϕ_{ps})을 구한 결과, 동일한 상대밀도에서 54.1°였다.

표 1. Physical properties of Gupo sand

Property	Symbol	Value
Max. void ratio	e_{max}	1.07
Min. void ratio	e_{min}	0.75
Min. dry density	$\gamma_{d \ min}(g/cm^3)$	1.29
Max. dry density	$\gamma_{d \ max}(g/cm^3)$	1.51
Specific gravity	G_s	2.64
Water content	w (%)	0.34
Average particle-size	D_{50} (mm)	0.33
Effective particle-size	D_{10} (mm)	0.19
Uniformity coefficient	C_u	1.95
Coefficient of curvature	C_g	1.10
Internal friction degree	ϕ_{ps}	54.1

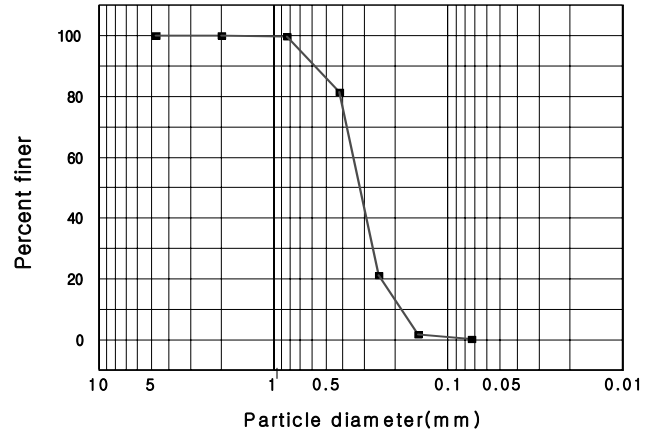


그림 1. Particle-size distribution curve of Gupo sand

표 2. Properties of reinforcing material

Description	Tensile strength(tf/m)	Tensile strain at failure(%)
Polyester-textile	0.278	26.46

구포사의 입도분포는 그림 1과 같다.

2.2 보강재의 인장시험

본 실험에 사용한 보강재는 모형토조의 특성을 고려하여 직포망사형태의 폴리에스테르사 길이 10cm, 폭이 2cm인 시편을 제작하여 인장강도에 대한 실험을 실시하였으며, 그 결과는 표 2와 같다.

3. 실내 모형 실험

3.1 실험장치

실험에 사용한 평면변형률 토조의 크기는 720(H)×1650(L)×400(W)mm ($V=0.475m^3$)이고 지반의 거동을 관찰할 수 있게 아크릴로 제작되었다. 관찰할 면에는 실리콘 그리스를 0.2mm 두께로 바르고 1cm간격으로 격자를 그은 라텍스 멤브레인을 부착시켰다. 그리고 이 면을 통하여 사진법으로 지반의 거동을 관측하였다(그림 2).

본 실험에서 사용한 하중재하는 그림 3과 같다. 하중재하 장치는 크게 6개의 부분으로 나눌 수 있으며 각각의 명칭은 다음과 같다. 동력의 발생시키는 서브모터, 서브모터의 회전 속도를 줄여주는 감속기, 동력을 전달하는 볼스크루, 회전운동을 직선운동으로 바꾸어주는 엘엠 가이드, 지반에 하중을 가하고 로드셀이 부착되어 있어 하중을 측정할 수 있게 제작된 재하판, 재하판을 고정하는 프레임 그리고, 하중을 제어하는 컨트롤 패널로 나누어 진다. 이 실험장치는 응력제어와 변위제어를 할 수 있으며 최대출력은 4.4KW이며 제어속도는 0.1mm/min이다.

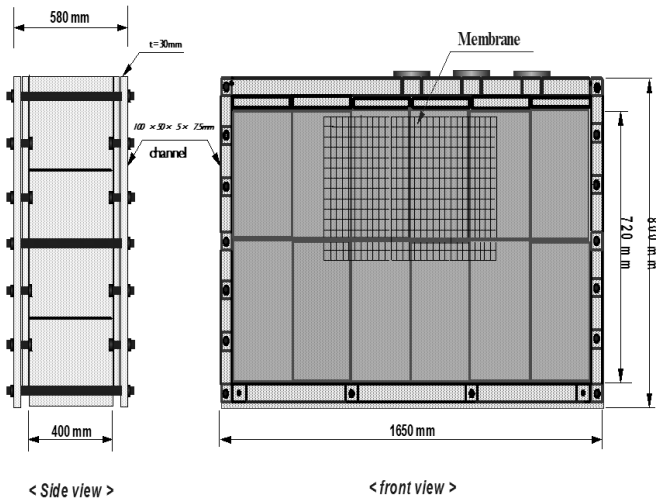


그림 2. Soil tank

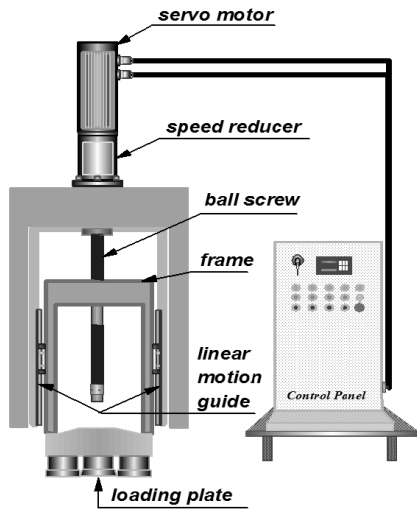


그림 3. Schematic of the loading equipment

표 3. The type of tests

Test name	Reinforcement area (cm ²)	Interval z	The number of reinforced layers
U0	No reinforcement		
RW451111	39.5 × 50 =1975	0.1B	4
RW452222		0.2B	
RW453333		0.3B	
RW454444		0.4B	
RW455555		0.5B	

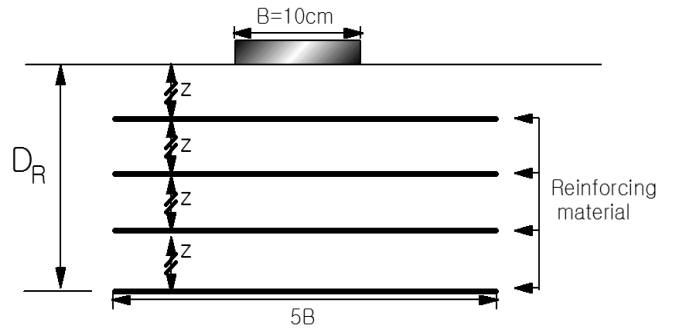


그림 4. Vertical spacing and depth of reinforcing materials

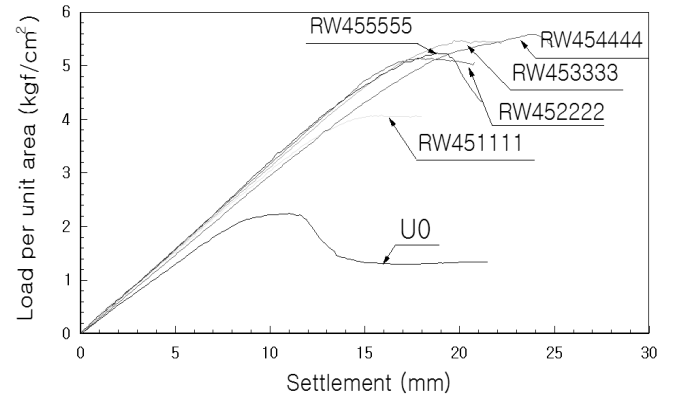


그림 5. Variation of load per unit area with settlement

3.2 모형지반제작

토조를 이용한 실험에서 가장 중요한 모래지반의 균일성을 확보하기 위해 본 실험에서는 슬롯형 모래 뿌리기를 이용하여 지반을 제작하였다(주인곤 등, 1996; 이민희 등, 1997).

3.3 실험의 종류

본 연구에서는 4층의 보강재를 등간격으로 설치했을 경우 보강재의 배치간격에 따른 최대 극한지지력 및 지반거동의 변화를 연구하고자 한다. 표 3은 시험의 종류를 나타낸 것이며, 그림 4는 보강재 설치간격 및 심도의 개략도를 나타낸 것이다.

4. 실험결과

보강재의 길이는 5B(B=재하판의 폭, 10cm)로 일정하게 하

여, 4층으로 배치하였으며, 보강재의 배치간격 변화에 따른 극한 지지력을 측정하고 그 결과치를 분석하였다. 이때 모형지반의 건조밀도는 1.518~1.556g/cm³범위에 있으며, 조밀한 상태의 모래지반이었다.

4.1 보강재의 배치간격에 따른 극한 지지력의 변화

보강재를 등간격으로 설치할 경우 보강재의 배치간격의 변화에 따른 하중-침하량의 그래프는 그림 5과 같다.

보강재 간격에 따른 지지력의 변화를 알아보기 위하여, 극한 지지력비(UBCR : Ultimate Bearing Capacity Ratio)(식 1 참조)와 간격계수(z/B)의 그래프를 그림 6에 나타내었다.

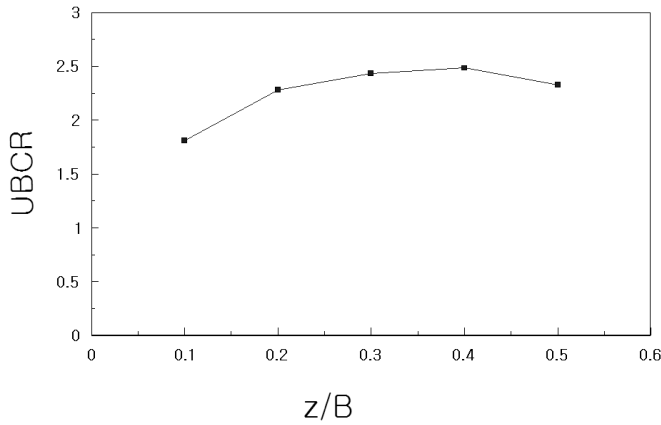


그림 6. Variation of UBCR with z/B

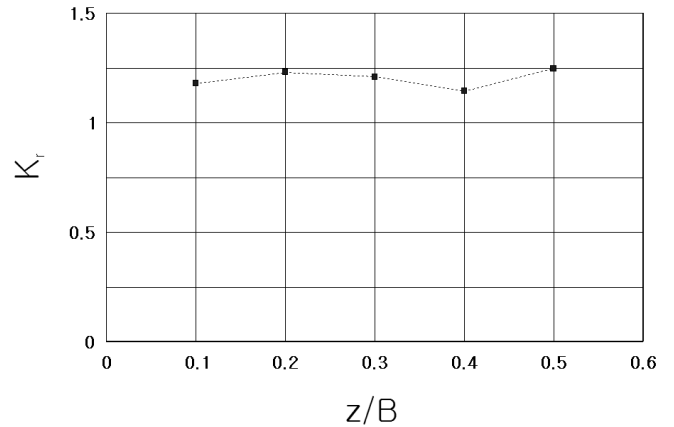


그림 7. Variation of Kr with z/B

$$UBCR = \frac{q_{ur}}{q_{u0}} \quad (1)$$

여기서, q_{ur} : 보강지반의 극한 지지력
 q_{u0} : 무보강지반의 극한 지지력

이 그래프에서 보면, 보강층수가 4일 때, 최대 극한지지력은 보강재 간격이 0.4B에서 발생하였으며, 이 결과로부터 다층의 보강층수에서, 극한 지지력 증대효과에 대한 최적의 보강재 등배치간격은 0.4B라는 것을 알 수 있다.

4.2 지반반력계수

지반반력계수비(K_r)는 식 (2)와 같다.

$$K_r = \frac{K_{rw}}{K_u} \quad (2)$$

여기서, K_{rw} 는 보강지반의 지반반력계수, K_u 는 무보강 지반의 지반반력계수이다.

보강재 간격에 따른 지반반력계수비의 변화는 그림 7과 같으며, 무보강 지반에 비하여 보강지반이 지반반력계수가 크므로 기초 하부의 침하억제효과가 증가함을 알 수 있다. 이 그래프를 보면, 보강층수가 4 일 때 0.5B간격에서 최대 지반반력계수를 나타내며, 보강재의 간격이 0.2B인 경우도 효과적인 지반반력계수를 나타내고 있다.

이 그래프로부터, 무보강 지반에 비하여 보강지반의 지반반력계수는 최대 약 1.25배의 증가를 나타내고 있다는 것을 알 수 있으며, 이것으로부터 보강지반이 침하억제에 효과적인 것을 알 수 있다.

4.3 지반의 변형률 분포

본 실험에서는 지반의 변형률분포를 구하기 위해 평면변

형률 모형토조에 ϵ_2 가 작용하는 면을 투명한 아크릴판으로 제작하여 이를 통해 사진 촬영을 한 후 분석한 결과를 무신축 방향의 분포로 나타내었다. 무신축 방향은 최소 주변형률 증분 $d\epsilon_3$ 방향과 $45^\circ + \nu_d/2$ 이 되는 방향으로 지반에서 파괴면의 방향과 거의 일치하는 경우가 많고, 직접전단시험이나 단순전단시험의 전단방향과도 일치해서 전단면의 위치를 찾는 데 중요한 의미를 갖는다.

4층의 보강재를 0.1B와 0.2B, 0.3B, 0.4B, 0.5B의 등간격으로 배치하였을 때, 보강지반에 대한 극한 지지력 발생시 및 최종 파괴시의 무신축 방향은 그림 8~12와 같다. 0.2B와 0.3B의 피크시를 보면, 재하판의 모서리로부터 최하단에 있는 보강재의 설치위치까지는 거의 수직에 가까운 파괴면을 나타내며 그 내부는 변형이 거의 없는 상태의 강체로서 거동을 하고 있음을 알 수 있다. 그리고, 보강재의 설치위치 이하부터는 썩기형의 파괴면을 나타내고 있다. 그러나, 0.5B의 피크시를 보면, 다른 등간격 결과와 달리, 재하판의 모서리로부터 최하단에 있는 보강재의 설치위치까지는 거의 수직에 가까운 파괴면이 나타나지 않고, 재하판 하부로부터 썩기형상이 형성되고 있다. 이러한 현상은 보강재의 간격이 커서 보강재와 보강재 사이의 흙을 일체화 시키지 못함으로써 일어나는 현상으로 분석된다.

이상의 결과를 정리하면, 보강지반의 파괴형상은 피크시와 피크를 지난후에는 변화한다는 것을 알 수 있다. 특히, 0.5B 등간격 배치시를 제외하고는, 지반 내부의 파괴형상은 피크시 그림 13의 ①과 같이 재하판 모서리로부터 최하단의 보강재위치까지 연직으로 파괴면이 형성되고 그 내부의 흙은 강체 변형을 하고, 최하단 보강재 아래에서 썩기 파괴면이 나타났다. 그러나, 최종 파괴시는 그림 13의 ②와 같이 재하판 하부에 썩기형상의 파괴면이 관측되었다.

Binquet과 Lee(1975)는 그림 14과 같이 깊이가 깊어질수록 최대전단응력이 후텁 밖으로 멀어진다고 가정하였으나,

본 실험결과에서는 보강재 간격 0.1B에서 0.4B인 경우의 피크발생시 재하판의 모서리로부터 연직으로 파괴면이 보강재의 최하단까지 발생하였으며, 보강재 간격 0.5B인 경우의 피크시 재하판 하부에 긴 썩기형상의 파괴면이 형성되었다.

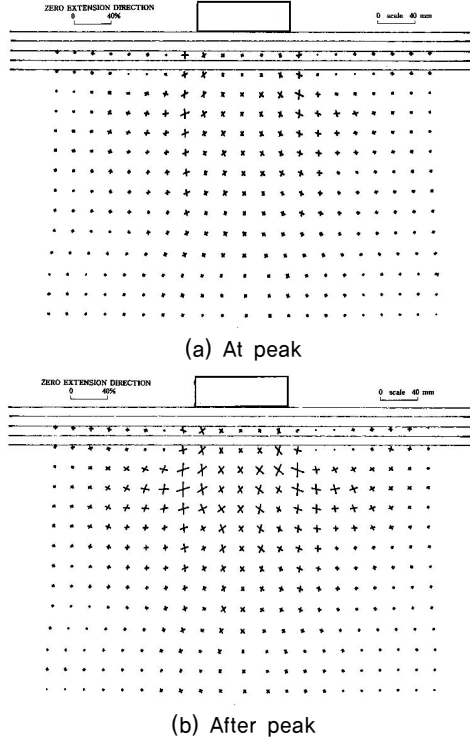


그림 8. Zero-extension direction of ground(RW451111 test)

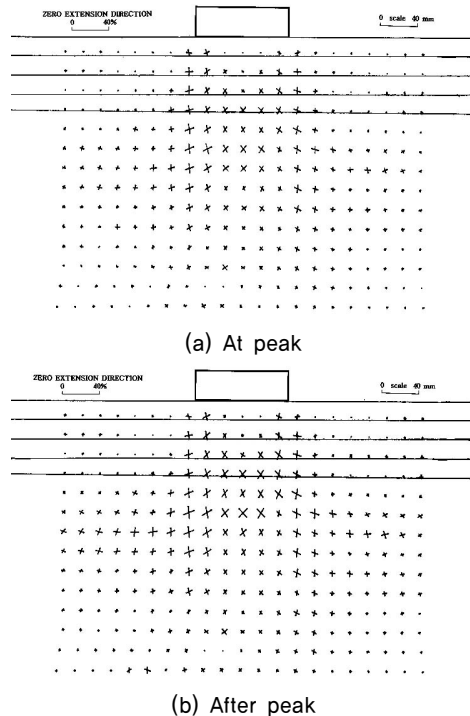


그림 9. Zero-extension direction of ground(RW452222 test)

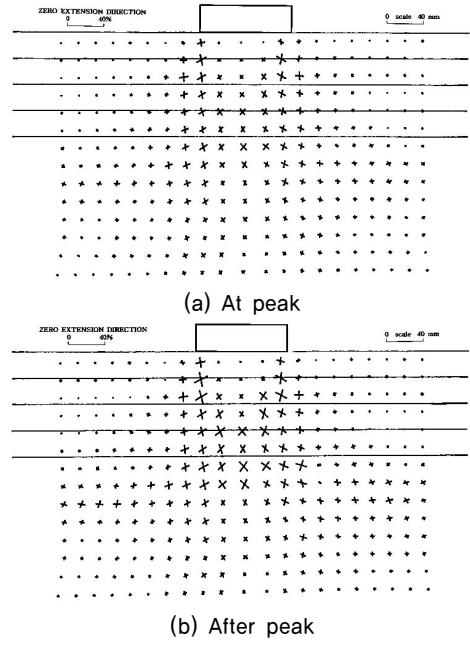


그림 10. Zero-extension direction of ground(RW453333 test)

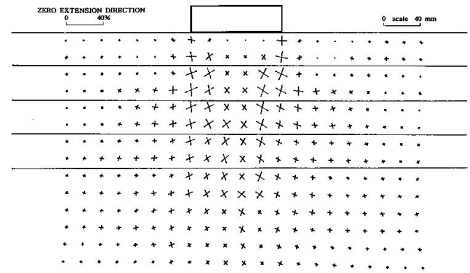


그림 11. Zero-extension direction of ground(RW454444 test)

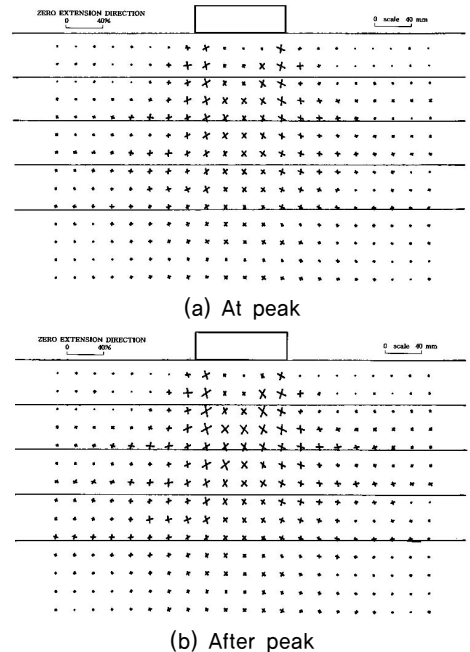


그림 12. Zero-extension direction of ground(RW455555 test)

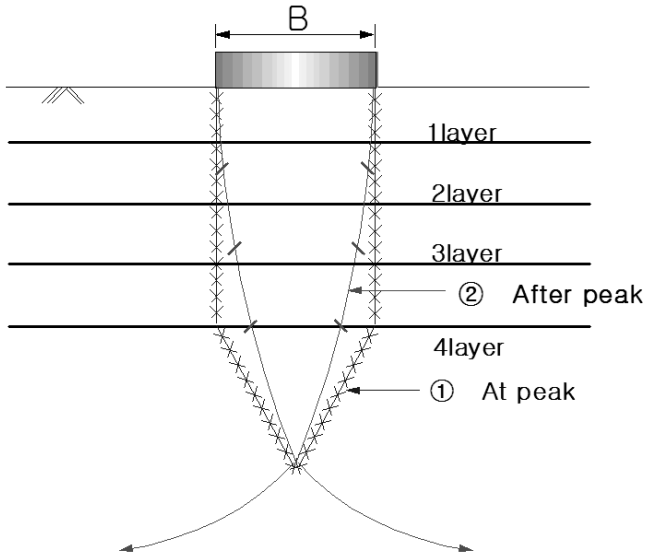


그림 13. Comparison of failure surface between peak failure and after peak

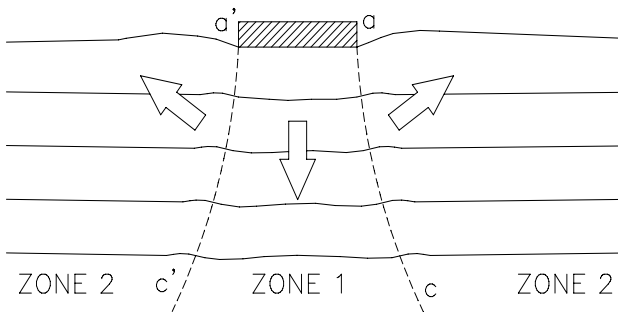
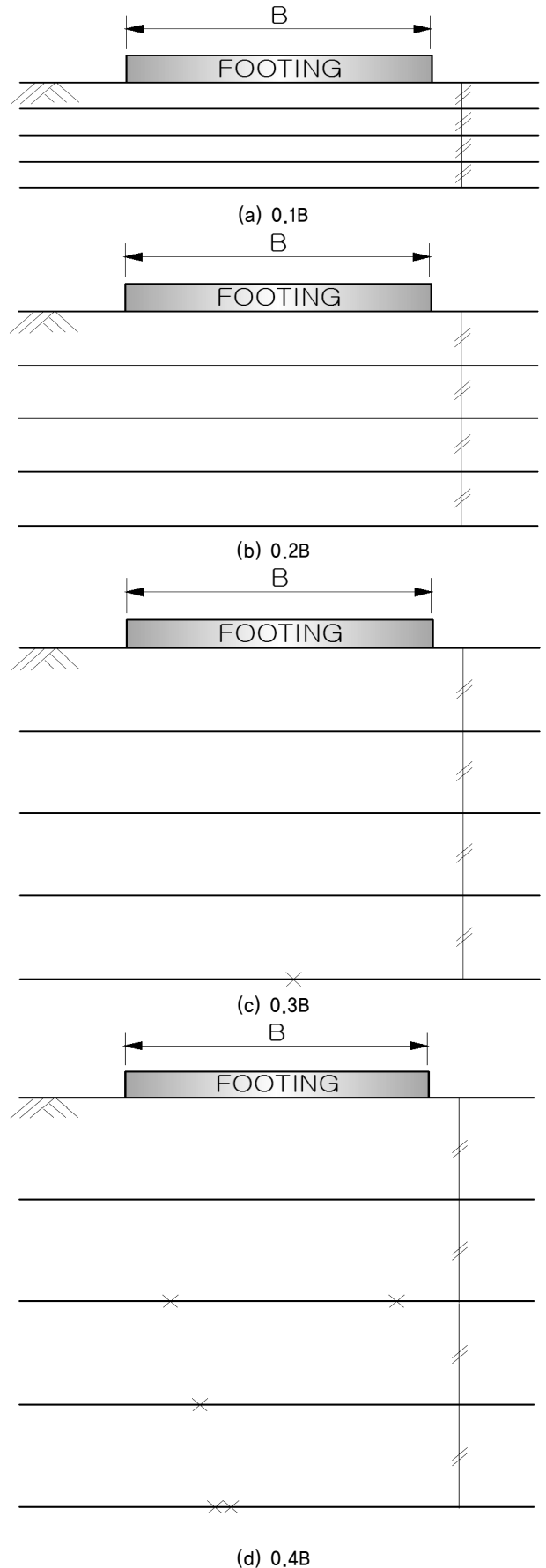


그림 14. Assumed failure mechanism(Binquet, 1975)

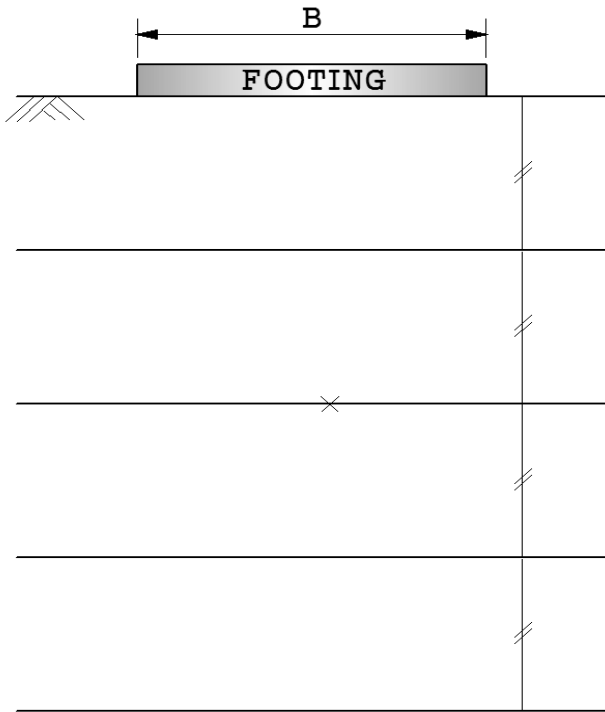


4.4 보강재의 파단위치

보강재는 상재하중에 의한 연직응력에 의해 인발저항과 보강재 자체의 인장강도에 따라 인발파괴 또는 파단파괴가 일어난다. 여기서는 보강재의 파단파괴 위치를 관찰하고 지반거동에 분석하였다.

0.1~0.5B의 등간격 배치시 0.1B, 0.2는 배치간격등의 영향으로 인발파괴, 나머지 배치간격에서는 재하판 폭의 내부에서 파단파괴가 발생하였다(그림 15).

한편, 보강재의 파단위치에 대한 Huang과 Tatsuoka(1990)의 연구에 의하면, 본 연구결과와는 달리, 모래와 보강재 사이의 마찰계수의 영향에 의해 금속스트립의 파괴 위치는 거의 기초 중심에서 파단되었다.



(e) 0.5B

그림 15. Location of reinforcing material ruptures of

5. 결론

본 연구에서는 평면 변형률 상태의 토조시험을 통해 보강재를 4층으로 등간격배치하고 배치간격을 변화시킬 때 지지력 변화와 지반거동을 분석하였다.

1. 보강재에 의한 보강층수가 4층인 경우에 보강재 간격이 $0.4B$ 일 때 최대 극한 지지력이 발생하여 최적의 보강재 등배치 간격은 $0.4B$ 으로 분석되었다.
2. 무보강 지반에 비해 보강지반에서 보강재 간격에 따른 지반반력계수가 크므로 기초 하부의 침하 억제 효과가 최대 약 1.25배 증가하였다.
3. $0.1B \sim 0.4B$ 의 등간격 배치시 보강지반 내부의 파괴형상은 피크시에는 재하판 모서리로부터 최하단의 보강재 위치까지 연직으로 파괴면이 형성되고 그 내부의 흙은 강체 변형을 하였으며, 최하단 보강재 아래에서 썩기의 파괴면이 나타났다. 보강재 간격이 $0.5B$ 인 경우는 재하판 하부에 썩기형상의 파괴면이 관측되었다.

참고문헌

1. 이민희, 임종철, 주인곤, 장지건(1997), “지반의 지지력 증가를 위한 보강토 공법의 적용에 관한 실험적 연구”, 대한 토목학회 학술발표회 논문집, 509-512.
2. 임종철, 이민희, 주인곤, 오재택(1997), “모래 지반의 지지력 증가를 위한 보강토공법의 효과”, 부산대학교 생산기술연구소 논문집, 제 53집, 13-22.
3. 주인곤, 임종철, 박성재, 이민희(1996), “한 층의 매트르 보강된 모래 지반상의 대상 기초에 있어서 보강재의 위치에 따른 거동에 관한 연구”, 대한 토목학회 학술발표회 논문집, 305-308.
4. Huang, C.C. and F. Tatsuoka (1990), “Bearing Capacity of Reinforced Horizontal Sandy Ground”, Geotextiles and Geomembranes 9: 51~82.
5. Binquet, J. and Kenneth L. Lee (1975), “Bearing Capacity Analysis of Reinforced Earth Slabs”, ASCE, 101(GT12): 1257~1276.