

지오그리드로 보강된 사면위에 위치한 연속기초의 지지력 Bearing Capacity of Strip Footing on Geogrid-Reinforced Slopes

유충식¹⁾, Chung-Sik Yoo, 이대영²⁾, Dae-Young Lee

¹⁾성균관대학교 토목공학과 조교수, Asst. Professor, Dept. of Civil Eng., Sung Kyun Kwan Univ.

²⁾성균관대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Sung Kwan Kwan Univ.

개요(SYNOPSIS) : This paper presents results of laboratory model footing tests on the bearing capacity behavior of strip footing on geogrid reinforced slopes. For the model tests, the reinforced slopes were artificially created using the raining technique with sand. A wide range of conditions were analyzed by varying reinforcing patterns with geogrid. Based on the results of model tests, both qualitative and quantitative relationships were established between the bearing capacity and the geogrid design parameters such as depth, length, and number of layers. In addition, optimum reinforcing patterns were suggested for the slopes reinforced with single, double, and triple geogrid layers.

주요어(Key words) : geogrid, bearing capacity, slope, model test, strip footing.

1. 서론

지오그리드를 이용한 보강토 공법이 최근들어 국내에서도 관심이 점차 고조되고 있으며 그 이용도가 증가되고 있는 추세이다. 지오그리드의 기능 및 효과로는 인장보강기능, 분리기능, 배수여과기능, 상호결속기능 등을 들 수 있으며 최근에는 사면안정문제에서 지반의 보강용이나, 도로의 기층과 표층, 토류구조물 및 연약지반의 지지력증가에도 이용되고 있다. 특히 기초문제에서 지오그리드의 사용이 지반의 지지력을 증가시킨다는 것은 여러 연구를 통하여 밝혀져 있으며, 이는 지반에 인장강도가 큰 보강재를 설치하였을 때 지반의 부족한 지지력을 보강재의 인장응력으로 보충한다는 원리를 이용한 것이다. 이러한 경향에 발맞추어 최근에 들어서 토목섬유로 보강된 지반의 지지력에 관한 연구가 매우 활발히 수행되어 오고 있다.

보강지반의 지지력에 관한 기존의 연구를 살펴보면 Binquet 과 Lee(1975)는 알루미늄판으로 보강한 모래지반위의 연속기초에 대하여 균질토인 경우, 연약층인 경우, 연약한 공동이 있는 경우등 3가지 기초조건을 가정하여 65개의 모형실험을 수행하여 보강한 경우는 보강하지 않은 경우에 비하여 침하량 감소와 2-4배의 극한지지력 증가효과가 있었고, 보강효과는 보강재 사용량과 지반의 밀도, 보강재 사이의 수직간격에 따라 증가된다고 보고하였다.

Fragaszy와 Lawton(1984)은 알루미늄 호일로 보강된 사질토 지반의 보강효과를 연구하기 위해 모형실험을 수행하여 지반의 밀도와 보강재의 길이가 지지력에 미치는 영향을 제시하였는데, 기초폭의 10%에 해당하는 침하시의 하중을 극한지지력으로 하였을 때 지지력비는 상대밀도와는 무관하다고 하였고, 보강재의 최적길이는 기초폭의 6-7배라고 보고하였다.

Huang과 Tatuokas(1990)는 보강재를 수평으로 배치한 사질토 지반 모형실험을 통하여 포설층수, 보강재의 포설길이, 포설방법에 따른 지지력 증가효과를 체계적으로 검토하였고, 실험결과를 토대로 극한 지지력을 예측가능한 방법을 제시하였다. 또한 Huang과 Tatuokas(1994)는 평면변형 모형실험을 통하여 보강사면의 지지력에 관한 연구를 수행하여 모델사면의 침하수준별 파괴형태를 제시하였고, 보강형태, 보강길이, 보강재의 포설각도에 따른 지지력의 변화경향을 연구한 결과 하중-침하특성과 보강사면의 파괴형태는 보강방법에 따라 크게 변한다고 하였다.

대부분의 연구는 수평지반에 국한되어왔는데, 지오그리드로 보강된 인공사면이 점차 늘어 가면서 지오그리드로 보강된 사면위에 위치한 기초의 지지력에 관한 연구의 필요성이 점차 증가 하고있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지오그리드로 보강된 지반의 지지력에 관한 연구의 일환으로 실내 모형기초 실험을 통하여 지오그리드로 보강된 사면위에 위치한 기초의 지지력 변화 경향을 정성·정량적으로 알아 보았다.

2. 모형실험

2.1 모형지반 및 지오그리드

본 연구에서는 주문진 표준사를 이용하여 모형 지반을 조성하였으며, 지오그리드로는 FORTRAC 社의 제품(55/30-20)을 이용하였다. 표 1은 사용된 표준사 및 지오그리드의 물성치를 보여주고 있고, 그림 1은 본 연구에 사용된 지오그리드를 보여주고 있다.

표 1. 표준사와 지오그리드의 물성치

표준사		지오그리드	
입도분포	$D_{10} = 0.36\text{mm}$	제품종류	55/30-20
	$C_u = 1.61$	재질	P.E.T
	$C_c = 1.10$	탄성계수	1700MPa
		인장강도	55kN/m
최대건조밀도	1.682 g/cm^3	신율	MAX 12.5%
최소건조밀도	1.384 g/cm^3	용점	200°C
최대간극비	0.877	제품형태	Biaxially geogrid
최소간극비	0.546	Creep	MAX 2%
비중	2.6	Mesh size(mm)	20 x 20

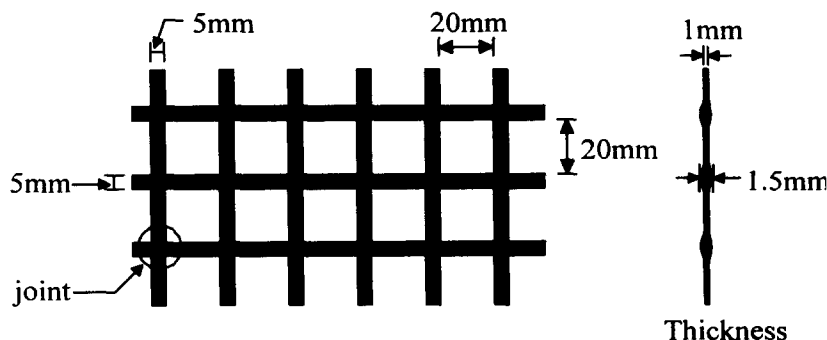


그림 1. FORTRAC 55/30-20 지오그리드의 제원

2.2 실험장치 및 방법

본 연구를 위해서 그림 1에서 보이는 바와 같이 두께가 60mm인 원목을 이용하여 길이 1200 mm, 높이 800 mm, 폭 300 mm의 모형토조를 제작하였다. 토조의 전면에는 하중재하시 지반의 파괴 메카니즘을 고찰하기 위해 두께 20 mm의 투명 아크릴을 부착하였으며, 하중재하시 토조가 벌어지는 현상을 방지하기 위해 토조의 상하부와 양측면에 지름 10mm인 보울트와 너트를 이용하여 최대한 보강하였다. 한편, 모형토조의 내부는 니이스칠을하여 지반과의 마찰을 최소화 하였으며, 모서리는 실리콘으로 마감 처리하여 지반조성시 모래의 유출을 차단하였다. 실험에서는 80 mm의 폭을 갖는 기초를 사용하였으며, 기초의 바닥에 사포를 부착하여 미끄러짐을 방지 하였다.

지반조성에 있어서는 본 연구를 위해 제작된 강사 장치를 이용하여 지반이 약 70%의 상대밀도를 갖도록 하였으며, 진공 청소기(vacuum cleaner)를 이용하여 흡입하는 방법으로 1:1.5의 경사를 갖는 사면을 조성하였다. 형성된 지반의 균질한 상대밀도를 파악하기 위하여 모형지반 형성시 파괴면 형성에 영향을 받지 않는 위치에 높이 별로 시료칸을 삽입하였으며 실험완료후 시료칸의 무게를 측정하여 지반조성시 상대밀도의 균질성을 확인하였다. 또한 레벨기를 이용하여 조성된 지반의 수평을 확보하였으며, 하중재하시 지반의 거동 메카니즘을 파악하기 위해 염색사를 일정한 간격으로 포설하였다.

기초 하중은 유압 잭(hydraulic jack)을 이용하여 단계적으로 재하하였으며 작용 하중은 load cell을 이용하여, 그리고 기초의 변위는 LVDT를 이용하여 측정하였다. 측정된 하중과 변위는 portable data logger인 TDS-301을 이용하여 수치화 하였다. 그림 2에서는 본 연구를 위해 제작된 토조 및 하중재하 장치를 보여 주고 있다.

본 연구에서는 보강사면위에 위치한 기초의 지지력에 관한 기초적 연구로서 지오그리드의 포설 조건에 따라 사면으로부터 1.5B, 3.0B(B=기초 폭) 떨어진 지점에 위치한 기초의 지지력 변화 경향을 알아 보았다. 그림 3에서는 본 실험에 사용된 모형지반의 개략도를 보여주고 있다.

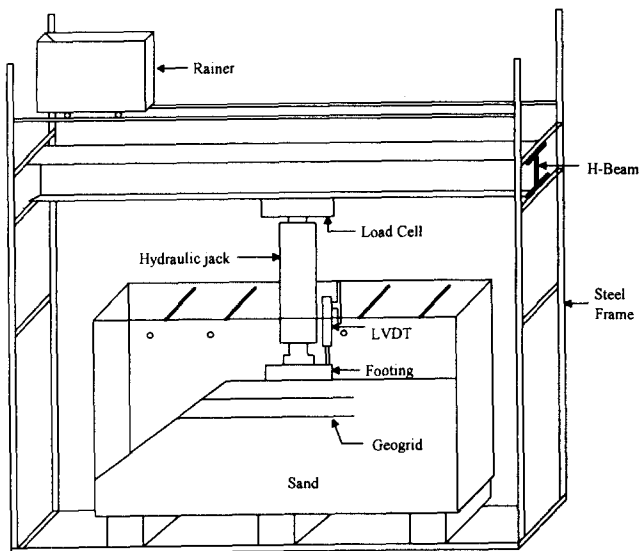


그림 2. 모형실험 장치

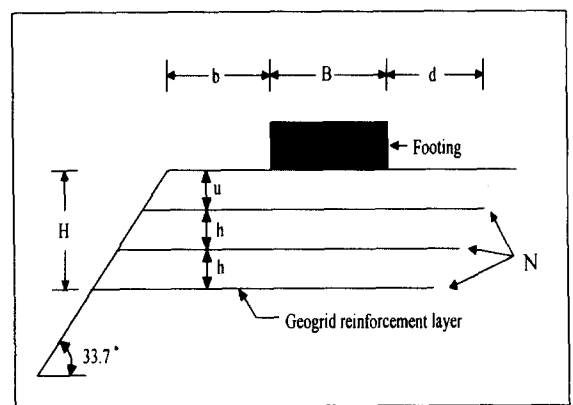


그림 3. 실험지반의 개략도

3. 실험 결과 및 분석

기초의 보강 지반의 지지력에 관련된 연구 결과를 살펴보면 보강 지반의 지지력은 지오그리드의 포설 방법에 따라 좌우되는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 보강사면의 경우 지오그리드의 포설 조건에 따른 기초의 지지력 변화경향을 알아 보았다. 결과의 분석에 있어서는 보강 사면의 지지력(q_r)을 비보강 사면의 지지력(q_{ur})으로 표준화한 지지력비(bearing capacity ratio)를 이용하였다. 또한 침하 수준별 지지력변화경향을 알아보기 위해 기초의 연직변위(S_v)에 따른 파괴형태와 지지력을 관찰하였다.

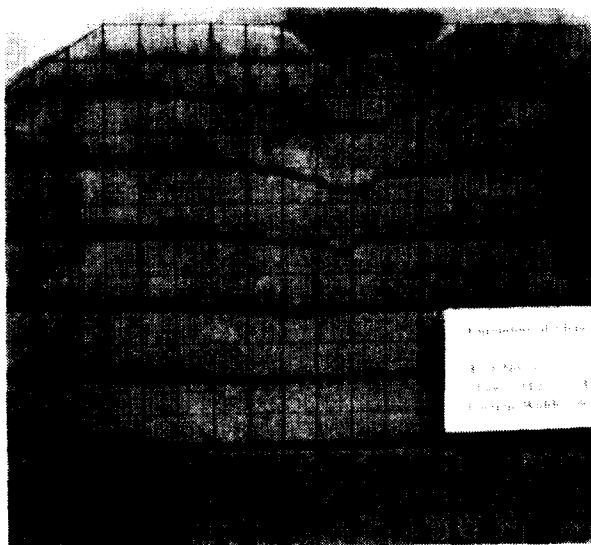
3.1 파괴 메카니즘

기초의 지지력에 관한 이론정립을 위해서는 지반의 파괴 메카니즘에 대한 정확한 이해가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 기초하중에 대한 비보강사면과 보강사면의 파괴 메카니즘을 알아보기 위해 지반에 염색사를 일정한 간격으로 포설한 후 연속사진 촬영을 실시 하였다.

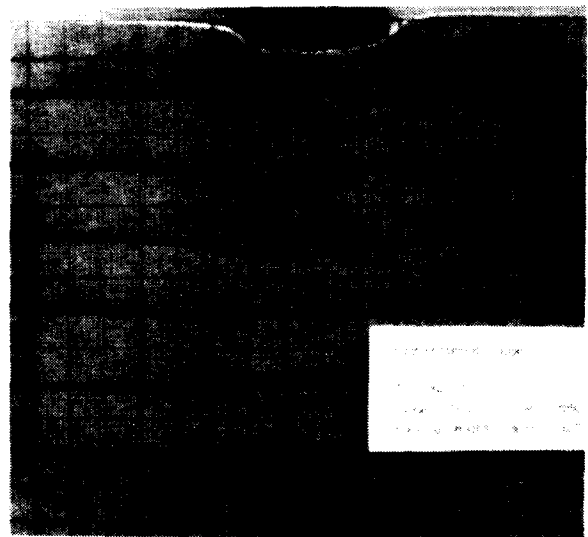
그림 4(a), 4(b)에서는 비보강 사면의 파괴 형상을 보여 주고 있는데 보이는바와같이 파괴 영역이 사면 방향을 향하여 진전되는 경향을 관찰할 수 있다. 반면에 그림 4(c)와 4(d)는 지오그리드 2층으로 보강된 지반의 파괴형상을 보여주고 있는데 보강사면의 경우 일반적인 파괴형태는 유사하나 지오그리드의 보강효과로 인해 파괴영역이 감소되는 경향을 관찰 할 수 있다.

그림 4(c)는 기초의 연직변위(S_v)가 기초폭의 10%일때($S_v/B=0.1$)의 극한하중시 파괴형상을 나타내고 있고, 4(d)는 극한하중이후($S_v/B=0.25$)의 파괴형상을 나타내고 있는데 극한하중시 뚜렷한 파괴형상은 나타나지 않았으며, 극한하중을 지나 변형연화 현상이 일어나는 구간에서 점차적으로 발생하는 진행성 파괴를 관찰할 수 있었다. 한계상태에 도달해서는 변형연화 구간에서 발생한 파괴면을 따라 미끄러지듯이 변위가 증가하는 것을 알 수 있다.

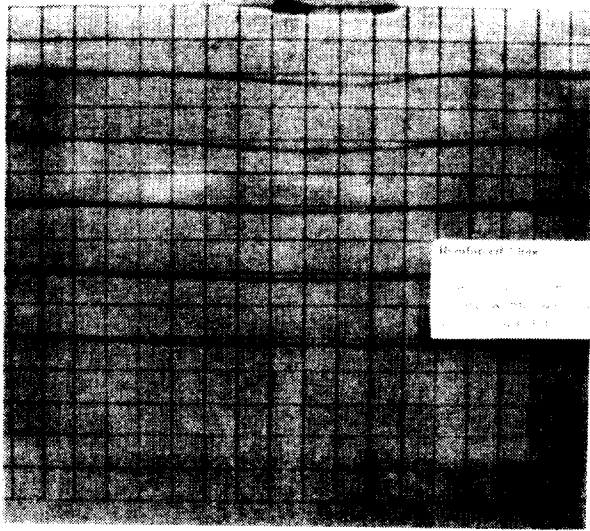
한편, 비보강사면의 경우 영향영역이 기초의 바닥으로부터 약 2.5B 정도 되는 것으로 나타 났으나 보강사면의 경우에는 영향영역이 약 2.0B 이하로 감소되는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 지오그리드의 포설에 따른 지반의 구속응력 증가에 그 원인을 찾을 수 있다.



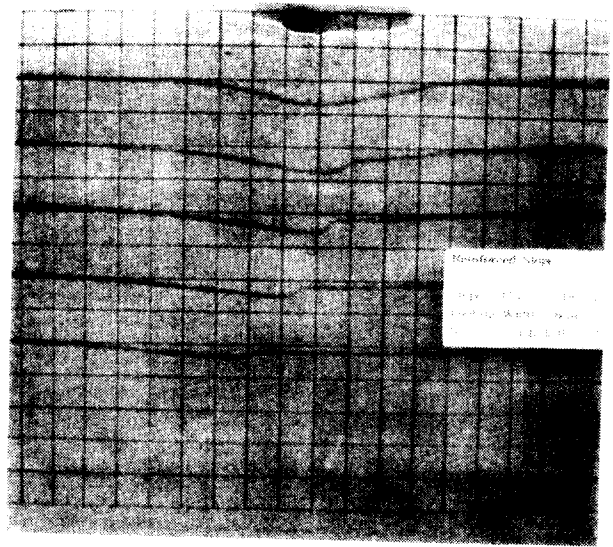
(a) $b=1.5B$ 인 비보강 사면



(b) $b=3.0B$ 인 비보강 사면



(c) 보강사면(Sv/B=0.1)



(d) 보강사면(Sv/B=0.25)

그림 4. 파괴메카니즘

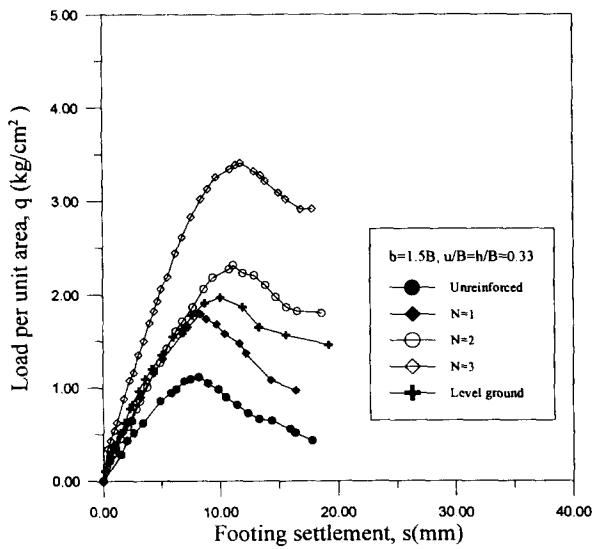
3.2 보강사면의 지지력 변화 경향

기존의 연구결과에 의하면 보강지반의 지지력은 보강재의 포설층수, 길이, 포설깊이, 포설층간의 간격 등 포설조건에 따라 보강효과에 상당한 차이를 보이는 것으로 보고되고 있다. 따라서 본연구에서는 이러한 포설조건에 따른 지지력 변화경향을 관찰하고 최대보강 효과를 얻을 수 있는 보강조건을 알아보았다.

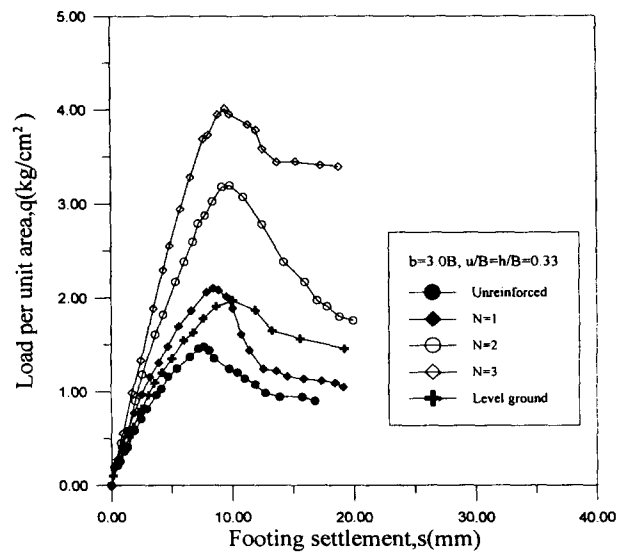
3.2.1 지오그리드 포설층수에 따른 지지력 변화경향

지오그리드의 포설층수에 따른 지지력 변화경향을 알아보기 위해 사면으로 부터 기초까지의 거리(b)가 1.5B, 3.0B인 사면에 대하여 지오그리드를 각각 4.5B, 5.0B의 길이로 수평으로 포설하여 포설층수를 3층으로 증가시켜가며 실험을 수행하였다. 그림 5는 비보강 사면 및 보강 사면위에 위치한 기초의 하중-변위 곡선을 보여 주고 있다. 하중-변위 곡선에서의 파괴점을 극한 지지력으로 간주할 때 사면으로 부터 기초까지의 거리가 1.5B에 위치한 지반의 경우 그림 5(a)에서 보이는 바와같이 보강사면의 극한지지력은 비보강사면의 극한지지력보다 N=1의 경우는 약 70%, N=2의 경우는 약 120%, N=3의 경우 약 230% 정도 극한 지지력의 증가 경향을 관찰할 수 있고, 사면으로부터 기초까지의 거리가 3.0B에 위치한 지반은 그림 5(b)에서 보이는 바와같이비보강 사면의 극한지지력에 비해 N=1의 경우는 약 60%, N=2의 경우 약 170%, N=3의 경우 약 250% 극한지지력이 증가하는 경향을 관찰할 수 있다. 한편 그림 5에서는 보강되지 않은 수평지반의 하중-침하 곡선도 포함되어 있는데 N=2 이상인 경우 보강-사면지반의 지지력이 비보강-수평지반의 지지력 보다 월등히 큰 경향을 볼 수 있다.

그림 6은 층수에 따른 지지력비를 나타내고 있는데 층수의 증가에 따라 지지력비가 증가하는 경향을 알 수 있고,이러한 결과는 기초의 전단영역내에 보강재가 위치하였기 때문으로 판단된다. 한편, 기초 침하의 경우 보강함에 따라 임의 하중에서 침하가 현저히 감소되는 경향을 관찰할 수 있으나, 파괴시 기초의 침하는 보강 여부에 관계없이 기초 폭의 약 10% 정도인 것으로 나타났다.



(a) $b=1.5B$ 인 지반



(b) $b=3.0B$ 인 지반

그림 5. 지오그리드 층수에 따른 하중-침하 곡선 변화 경향

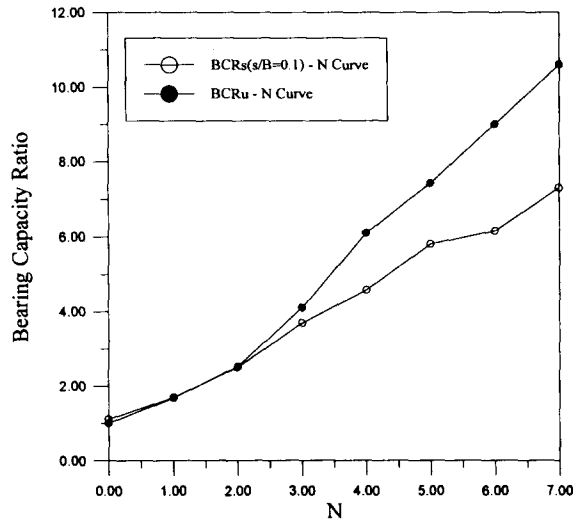
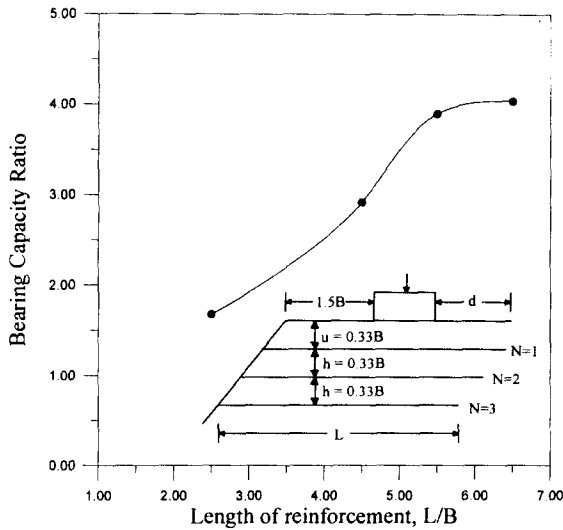


그림 6. 층수에 따른 BCR 변화경향 ($b=1.5B$)

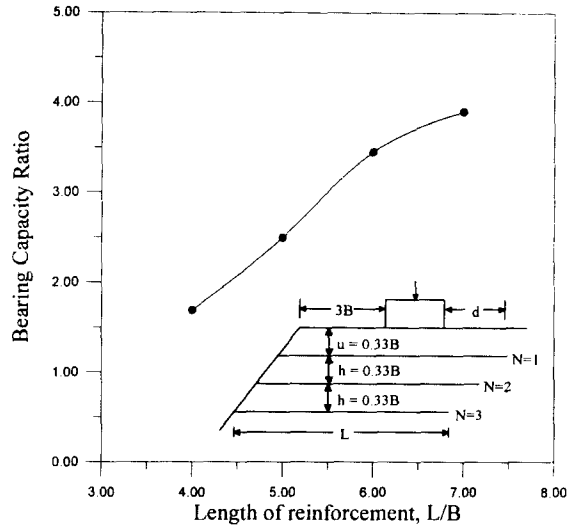
3.2.2 보강길이에 따른 지지력 변화 경향

지오그리드의 포설 길이에 따른 지지력 변화 경향을 알아보기 위해 $b=1.5B$, $u=h=0.33B$ 인 사면에 3층의 지오그리드를 사면정부로 부터 지오그리드의 길이(L)를 2.5B, 4.5B, 5.5B, 6.5B로 변화시켜가며 수평으로 포설하여 길이에 따른 지지력비의 변화경향을 살펴보았다. 그림 7(a)에서 알 수 있듯이 지오그리드의 길이가 증가할수록 지지력비가 증가하다가 $L=5.5B$ 이상에서는 별다른 증가효과가 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 이는 사면의 영향을 받는 전단영역의 충분한 보강이 이루어질 수 있는 거리가 $b=1.5B$ 인 경우 최소한 사면으로 부터 4.5B 내지 5.5B의 길이로 보강이 이루어 져야 한다는 것을 알 수 있다. 따라서

$b=1.5B$ 인 사면에서는 $5.5B$ 의 길이로 지오그리드를포설하는 것이 효과적인 방법임을 알 수 있다. $b=3.0B$ 인 경우에 수행한 결과는 그림 7(b)에서 알 수 있듯이 지오그리드의 길이에 따른 충분한 보강효과를 얻기 위해서는 사면으로 부터 최소한 $6B$ 이상의 길이로 보강이 이루어야 함을 알 수 있다.



(a) $b=1.5B$ 인 사면



(b) $b=3.0B$ 인 사면

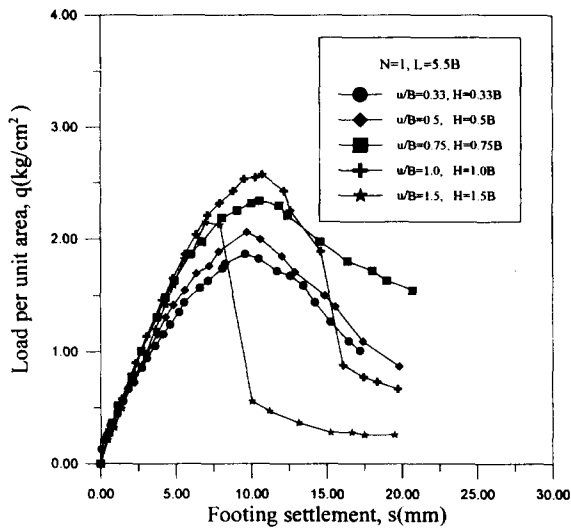
그림 7. 지오그리드 포설길이에 따른 BCR 변화 경향

3.2.3 첫 번째층의 포설깊이와 포설층간의 간격에 따른 지지력변화 경향

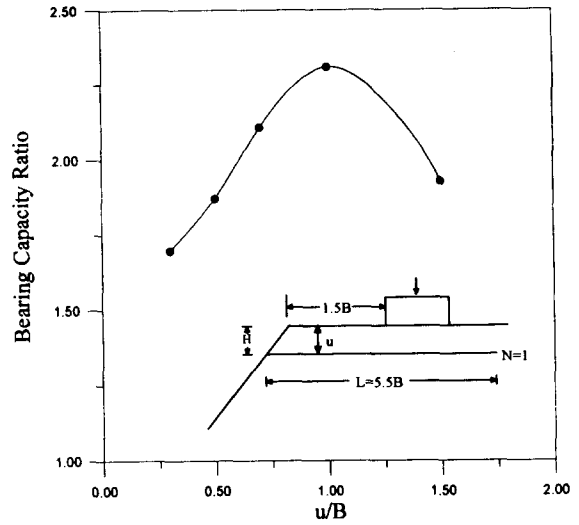
첫 번째층의 포설깊이와 포설층간의 간격에 따른 지지력 변화경향을 알아보기로 지오그리드를 1층, 2층, 3층으로 포설했을 경우 최대 극한지지력을 유도할 수 있는 최적 포설깊이(u), 지오그리드 층간의간격(h)을 결정하기 위하여 지오그리드 최적포설길이(L)를 $5.5B$ 로 유지하여 $b=1.5B$ 인 사면에 대해 실험을 수행하였다.

먼저 1층으로 보강사면의 최대극한지지력을 유도하기 위하여 1층의 포설깊이(u)를 $0.33B$, $0.5B$, $0.75B$, $1.0B$, $1.5B$ 로 변화시켜가며 실험을 수행한 결과 그림 8(a)에서는 포설깊이 변화에 따른 하중-침하곡선을 나타내고 있는데 $u=1.5B$ 에서는 극한지지력이 감소하고 극한하중점에서 급격히 하중이 감소하고 침하가 증가하는 전반전단 파괴가 발생함을 알 수 있다. 그림 8(b)에서는 포설깊이가 증가할수록 지지력비가 증가하다가 $1.0B$ 에서 최대로 나타나고 $1.0B$ 이상에서는 지지력비가 감소하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 2층으로 보강된 사면의 지오그리드 층간의 간격(h)을 변화시켜가며 실험을 수행한 결과 그림 8(c)에 나타난 바와 같이 $h=0.75B$ 에서 최대로 나타났고, 층간의 간격(h)을 $0.75B$ 로 고정시키고 u 를 변화시켜 실험을 수행한 결과 $u=0.75B$ 일 때 극한지지력이 최대로 나타났으며 $u=1.0B$ 일 때 극한하중에서 침하가 급격히 증가하고 하중이 감소하는 경향이 나타났다.

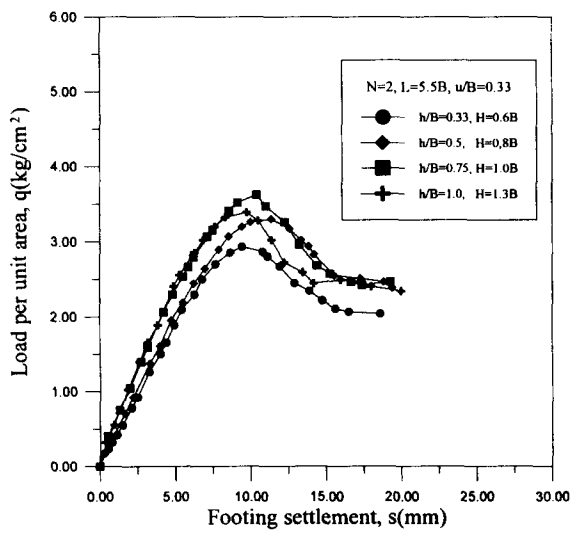
같은방법으로 3층으로 보강된 사면에 있어서는 그림 8(g), 8(i)에 나타난바와 같이 h 는 $0.75B$ 에서 최대로 나타났고, u 는 $0.5B$ 일 때 극한지지력이 최대로 나타났다. 실험결과에 나타난 하중-침하곡선에 알 수 있듯이 u 보다는 h 에 따른 지지력 변화가 크게 나타나므로 극한지지력의 증가효과를 위해서는 u 보다는 h 의 선정이 중요함을 알 수 있고, u 나 h 가 너무 커진 경우는 급격한 파괴가 발생하였는데 이는 비보강 영역의 전단파괴에 기인하는 것으로 판단된다.



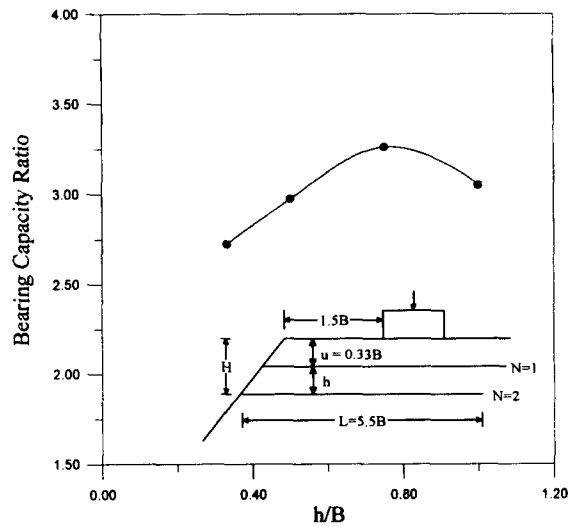
(a) 하중-침하곡선(N=1)



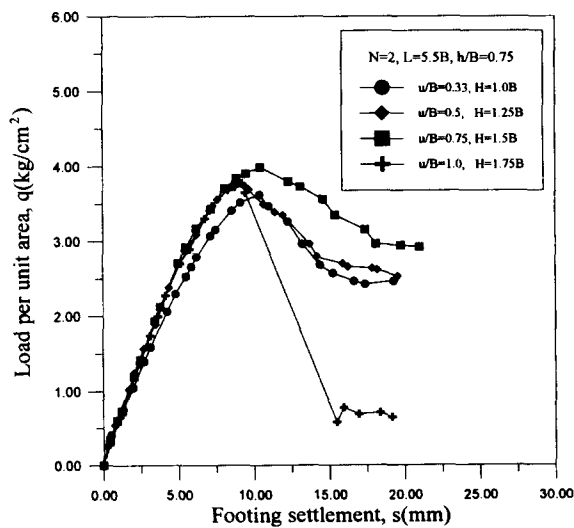
(b) BCR-u/B 곡선(N=1)



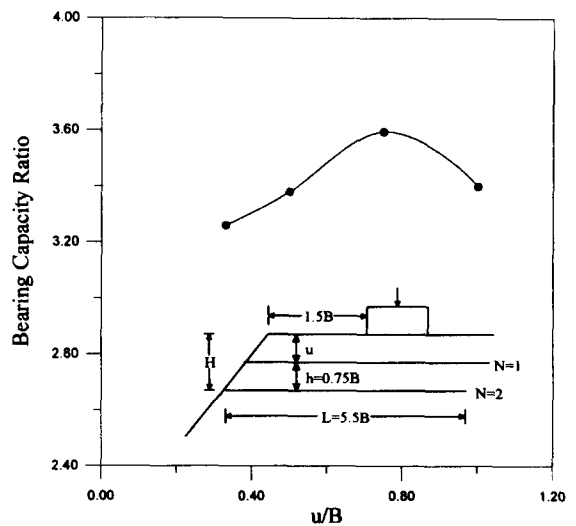
(c) 하중-침하곡선(N=2)



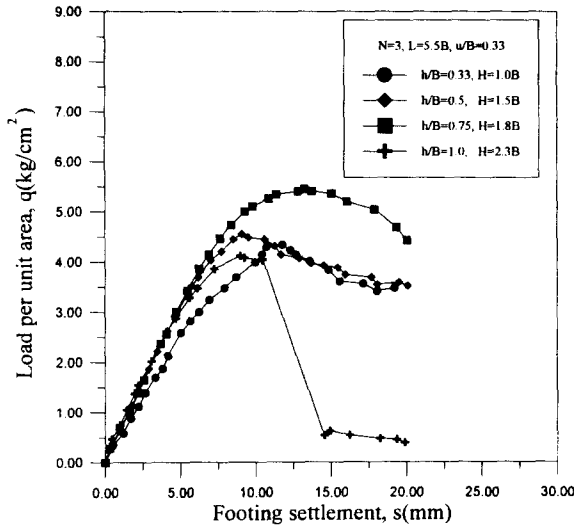
(d) BCR-h/B 곡선 (N=2)



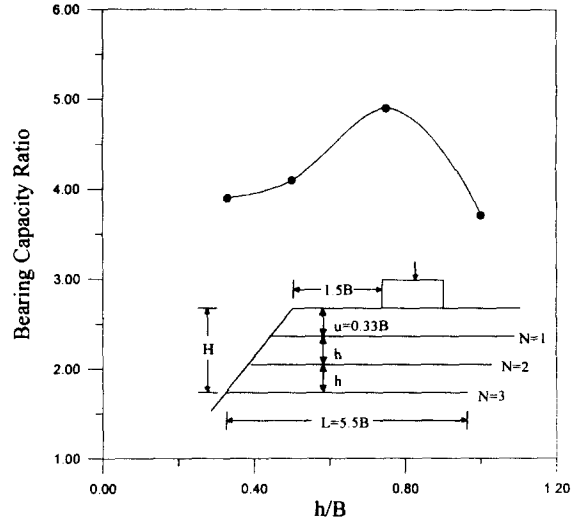
(e) 하중-침하곡선(N=2)



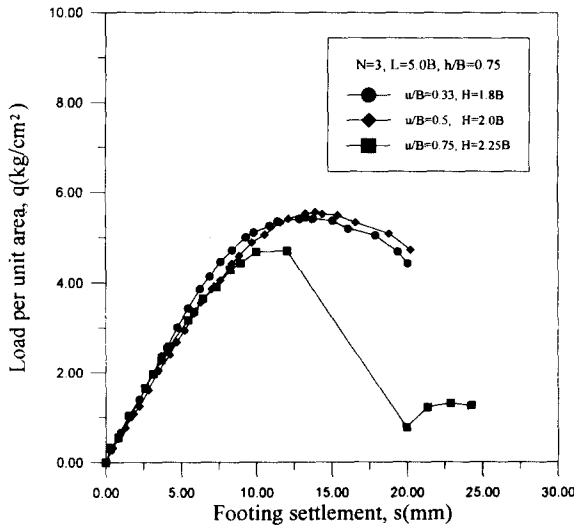
(f) BCR-u/B 곡선 (N=2)



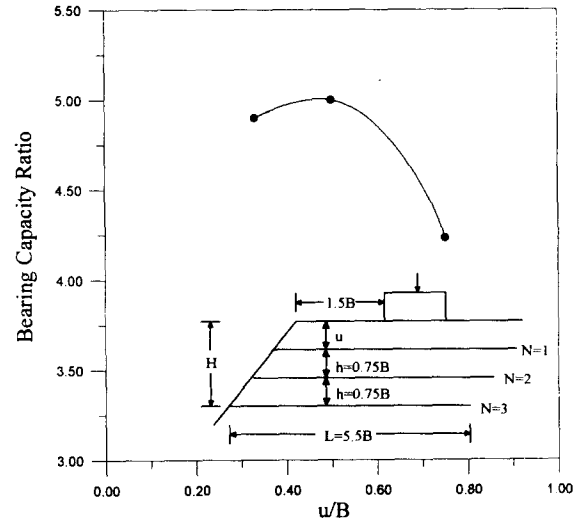
(g) 하중-침하곡선(N=3)



(h) BCR-h/B 곡선 (N=3)



(i) 하중-침하곡선(N=3)



(j) BCR-u/B 곡선 (N=3)

그림 8. 첫 번째층의 포설깊이(u)와 포설층간의 간격(h)에 따른 지지력비 변화경향

3.2.4 지오그리드의 포설방법에 따른 보강효과

지오그리드의 포설방법에 따른 지지력 변화경향을 살펴보기 위해 3층의 지오그리드를 사면으로 부터 수평으로 포설한 사면과 기초아래부분을 기초폭(B)과 같은 길이로 보강한 경우에 있어 시험을 수행하였다.

그림 9에 나타난 바와 같이 $b=1.5B, 3.0B$ 인 두 사면의 경우 지오그리드의 길이(L)를 각각 $4.5B$ 와 $5.0B$ 로 포설한 지반의 지지력이 $L=1.0B$ 인 지반과 $L=2.5B$ 와 $L=4.0B$ 로 포설한 지반보다 지지력이 크게 증가함을 알 수 있다. 그림 9(a)의 하중-침하곡선에서 볼 수 있듯이 $L=2.5B$ 로 보강한 지반이 비보강지반보다 지지력이 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 기초의 끝부분으로 부터 발생하는 파괴면과 사면사이의 주동영역내에 보강재가 위치하여 보강효과를 발휘하기 때문에 지지력이 증가하는 것을 알 수 있다.

한편 기초의 폭과 같은 길이로 기초의 바로 아래 부분에 보강재가 위치한 지반의 경우 포설길이가

L=2.5인 지반보다 짧게 보강했음에도 불구하고 길이가 L=2.5인 지반보다 오히려 지지력이 증가하는 경향을 보이는데 이러한 이유는 파괴메카니즘 관찰에서 알 수 있듯이 지오그리드가 기초끝부분에서 진행되는 파괴면을 교차하여 포설된 정도에 기인한 차이로 판단된다. L=1.0B인 지반과 L=4.5B로 포설한 지반의 하중-침하곡선에서 L=4.5B인 지반의 지지력이 크게 증가하는 것은 지오그리드로 보강된 영역 아래서 기초의 하중을 넓게 분산시켜주며, 파괴면에 대한 충분한 교차와 수평방향의 변위를 억제할 수 있는 영역내에 지오그리드가 보강되어야 함을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼 때 지오그리드가 파괴면을 교차하도록 포설되어야 하며, 파괴면을 교차하더라도 앵커효과가 발휘될 수 있도록 충분한 길이로 포설되어야 함을 알 수 있다.

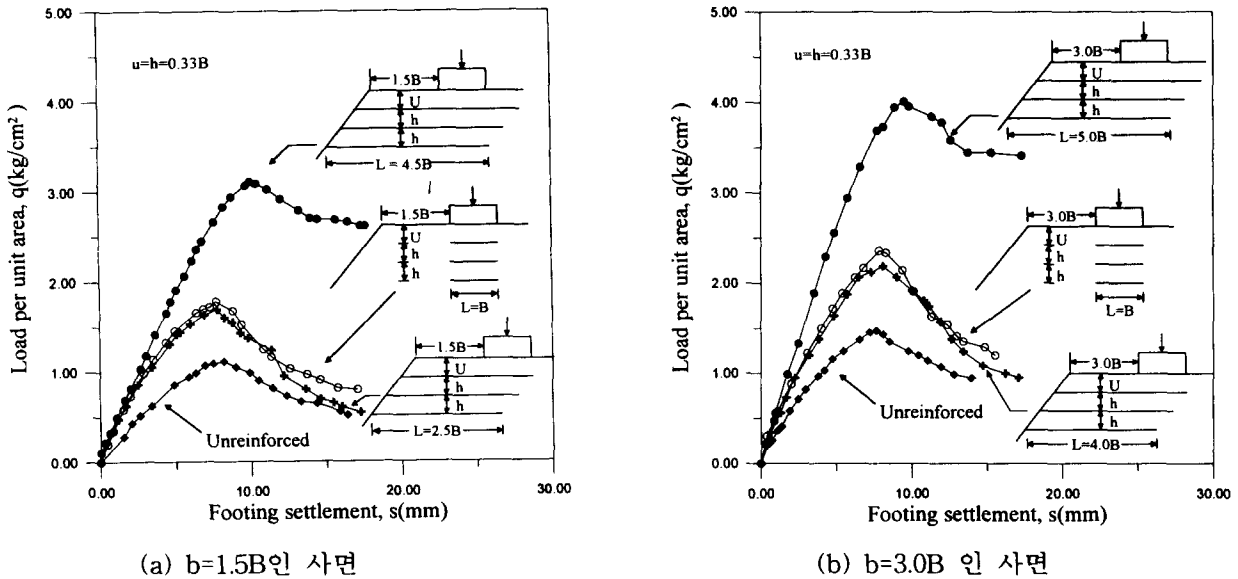


그림 9. 지오그리드 포설방법에 따른 지지력 변화 경향

3.3 보강층수에 따른 최적포설조건

위의 실험결과를 통하여 포설방법에 따른 지지력 변화경향을 살펴보고, 지오그리드 보강은 포설방법에 따라 보강효과가 크게 변화함을 알 수 있었다. 따라서 b=1.5B인 사면에 대해서 1층, 2층, 3층으로 지오그리드를 포설할 경우 최적 포설조건은 층수에 따라 다르게 적용되어야 함을 알 수 있었고, 본 실험을 통해 층수에 따른 최적포설조건은 다음과 같음을 알 수 있다.

표2. 보강층수에 따른 최적포설 조건

구 분	최적포설 조건			지지력비(BCR)
	포설길이(L)	포설층깊이(u)	포설층간격(h)	
1층 보강	5.5B	1.0B	0	2.3
2층 보강	5.5B	0.75B	0.75B	3.6
3층 보강	5.5B	0.5B	0.75B	5.0

4. 결론

실내모형기초 실험을 통하여 지오그리드로 보강된 사면의 파괴메카니즘과 지지력 변화경향, 포설방법에 따른 지오그리드 보강효과를 관찰한 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 지오그리드로 보강된 사면의 지지력은 포설방법에 따라 상당한 차이를 보이며, 최대의 보강효과를 얻기 위해서는 이에대한 충분한 고려가 뒤따라야 한다.
2. 지오그리드는 비보강 지반의 파괴면과 교차되도록 설치되어야 보강효과를 충분히 발휘할 수 있으며 최대의 보강효과를 얻기 위해서는 충분한 길이로 포설하여야 한다.
3. 보강지반의 지지력은 첫 번째 층과 기초와의 간격 보다는 포설층간의 간격에 더 많은 영향을 받는다.
4. 지오그리드 보강은 침하를 감소시키는 경향이 있으나 파괴시 보강여부에 관계없이 기초의 침하는 기초폭의 약 10%인 것으로 나타났으며 지오그리드의 보강효과가 크게나타날수록 극한하중이 증가하고 기초의 침하도 증가하는 것으로 나타났다.
5. 지오그리드 보강의 실제현장 적용성에 대한 심도있는 연구를 위해서는 지속적이고 체계적인 연구가 뒤따라야 할 것이다.

참고문헌

1. Akinmusuru, J. O. and Akinbolade, J. A. "Stability of Loaded Footings on Reinforced Soil", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 107, 1981, pp. 819-827.
2. Binquet, J. and Lee, K. L. "Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, 1975, pp. 1241-1255.
3. Binquet, J. and Lee, K. L. "Bearing Capacity Analysis of Reinforced Earth Slab", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, 1975, pp. 1257-1276.
4. Fragaszy, R. J. and Lawton, E. "Bearing Capacity of Reinforced Sand Subgrades", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 110, 1984, pp. 1501-1507.
5. Giroud, J. P. and Noiray, L. "Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1981, pp. 1233-1252
6. Huang, C., Tatsuoka, F. and Sato, Y. "Reinforcing a Sand Slope Surrounding a Footing Using Steel Bars", Performance of Reinforced Soil Structures, 1990, pp. 323-328.
7. Huang, C. and Tatsuoka, F. "Bearing Capacity of Reinforced Horizontal Sandy Ground", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 9, 1990, pp. 51-82.
8. Huang, C., Tatsuoka, F. and Sato, Y. "Failure Mechanisms of Reinforced Sand Slopes Loaded with a Footing", Soil and Foundations, Vol. 34, No. 2, 1994, pp. 27-40.
9. Huang, C., Tatsuoka, F. "Stability Analysis for Footing on Reinforced Sand Slopes", Solis and Foundations, Vol. 34, No. 3, 1994, pp. 21-37.

10. Jewell, R. A. "Application of Revised Design Charts for Steep Reinforced Slopes", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 10, 1991, pp. 203-233.
11. Kitamura, T. and Nagao, A. "Model Loading Tests of Reinforced Slope with Steel Bars", International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement, Balkema, 1988, pp. 311-316.
12. Khing, K. H., Das, B. M., Puri, V. K., Cook, E. E. and Yen, S. C. "The Bearing-Capacity of a Foundation on Geogrid-Reinforced Sand", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 12, 1993, pp. 351-361.