

대나무 망으로 보강된 준설매립지반의 지지력 특성

Bearing Capacity Characteristic of Dredged and Reclaimed Ground Reinforced by Bamboo Net

강 명 찬¹ Kang, Myoung-Chan

양 기 석² Yang, Kee-Sok

이 송³ Lee, Song

Abstract

A series of large scale plate loading tests are performed to assess bearing capacity characteristic of dredged and reclaimed ground that is reinforced by bamboo net and geotextile as a surface strengthen method. Bearing capacity ratio is distributed from 3.46 to 6.03 for bamboo net and from 2.19 to 3.59 for Geotextile. In case of bamboo net, BCR was obtained from 1.6 to 1.7 times than Geotextile. As the comparison of each bearing capacity from test and theory shows, bearing capacity theory for geotextile was not suited for bamboo net. The bearing capacity analysis reinforced by bamboo net shows a good relationship between sand mat thickness (H) / bamboo net space (S), and bearing capacity ratio (BCR).

요 지

준설매립된 초연약지반의 표층처리공법 적용시 보강재로 이용되고 있는 대나무망 및 토목섬유로 보강된 준설매립지반의 지지력 특성을 파악하기 위하여 현장 대형평판재하시험을 실시하였다. 각 보강재별 지지력비(BCR) 산정결과 대나무망 보강의 경우 지지력비는 3.46~6.03, 토목섬유의 경우 2.19~3.59로서 대나무망 보강의 경우 1.6~1.7배 크게 측정되었고, 실험결과와 이론식에 의한 지지력 비교결과 기존 토목섬유 보강시의 지지력 평가식은 대나무망 보강시 지지력 평가에 있어 적용성이 떨어짐을 알 수 있었다. 대나무 망 보강시의 지지력 평가를 위한 변수들의 상관관계 분석결과, 시험에서 얻어진 지지력비(BCR)와 복토두께/대나무망 간격의 비(H/S)로 표현한 경우 좋은 상관관계 특성을 얻을 수 있었고, 이는 대나무망의 지지력특성 파악을 위한 기초 자료로서 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

Keywords : Bamboo net, Bearing capacity ratio, Geotextile, Large scale plate loading test

1. 서 론

준설매립지반의 지반개량을 위한 표층처리공법 적용시 발생 가능한 문제점들을 최소화하여 지반개량 품질 확보와 경제성이라는 두 가지 목적을 달성할 수 있는

보다 개량되고 실용적인 표층처리 공법 개발이 요구되고 있다. 이를 위하여 건설재료로서 재료적 특성이 우수하고 국내·외적으로 활용된 실적이 있으며 국내에서 자생 또는 재배되고 있는 대나무를 보강재로 활용하는 표층처리 공법이 개발·적용되고 있다(양기석, 강명찬 2004).

1 정회원, 한국항만기술단 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Korea Port Engrg., mckang71@paran.com, 교신저자)

2 정회원, 한국항만기술단 책임연구원 (Member, Chief Researcher, Korea Port Engrg.)

3 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof. of Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2007년 2월 28일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

외국의 경우 해성점토, 이탄, 광산슬라임등의 매립에 의해 형성된 초연약 매립지반의 복토공사시 장비주행성 확보를 위한 대나무망의 보강 시공사례를 통해 그 효용성이 보고되었다(Toh 등 1994). 또한 실내시험을 통해 대나무망 보강시의 지지력효과 확인 및 강성보강재에 의한 파괴 메카니즘의 변화로 인해 기존이론식의 적용성 한계 및 새로운 해석모델의 필요성이 제기되었다(Yusuf 등 1989). 이와 같이 대나무를 보강재로 활용시의 지지력 증대에 따른 효용성은 보고되고 있으나, 재료특성이 반영된 보강메카니즘에 근거한 지지력 평가이론 및 설계기법이 미흡하고, 실제현장에서 정량적인 측정값이 없어 많은 연구보완이 요구되는 실정이다.

본 연구에서는 대나무망을 이용한 표층처리 공법의 기초적 연구로서 대나무망으로 보강된 초연약지반의 지지력 특성을 파악하기 위하여 현장에서 정적하중에 대한 흙의 지지력 시험방법을 준용한 대형 평판재하시험을 실시하여 보강재의 보강효과 및 지지력 특성 등을 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 시트공법의 설계

연약지반위에 토목섬유로 보강한 경우의 지지력은 Terzaghi의 지지력 이론과 시트 인장력의 연직성분, 연약지반 용기력에 의한 지지력과 시트측방의 박힘량 D_f 에 의한 근입효과를 도입하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_a = \frac{1}{F_s} \left[c \cdot N_c + T \cdot \left(\frac{2 \sin \theta}{B} + \frac{N_q}{\gamma} \right) + \gamma \cdot D_f N_q \right] \quad (1)$$

여기서, 점토층의 $\phi=0$ 조건시, $N_q=1$ 이 되며 막효과와 D_f 에 의한 상재압 효과를 무시한 다음의 식 (2)를 적용한다.

$$q_a = \frac{1}{F_s} \left[c N_c + \frac{2 T \cdot \sin \theta}{B} \right] \quad (2)$$

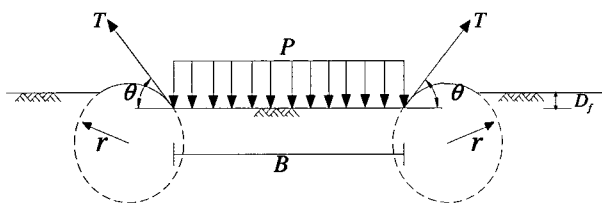


그림 1. 시트공법의 설계

여기서, F_s : 안전율(=2.0)

N_c : 지지력계수

c : 점토층의 비배수전단강도(tf/m^2)

B : 장비폭(m)

T : 보강재의 허용인장력(tf/m)

θ : 인장력이 작용하는 각도($^\circ$)

2.2 네트공법의 설계

Yamanouchi(1985)는 연약지반 위에 Geo-net 포설 및 복토완료 후, 복토 상단에서 재하시험시의 하중강도와 침하량과의 관계에서 어느 하중강도에서 변곡점이 나타나 지지력이 재 발현됨을 발견하였다. 즉 Prandtl류의 지지력 이론에 따르면, 하중직하의 썩기대가 네트에 닿고 네트를 통해서 새로운 형태의 썩기대가 형성되는 것을 의미한다. 이것을 이용하여 네트공법을 상층이 복토, 하층이 연약지반인 2층계 지반으로 모델화하여 지지력식을 제안하였다.

상층에서 파괴가 발생할 때의 허용 지지력은 식 (3)으로, 하층에서 파괴가 발생할 때의 허용지지력은 식 (4)로 표현되며, 식 (4)에서 보강재의 전단저항력(S_a), 용기막의 반경(r), 장비의 근입심도(D_f)를 무시하고 간략화하면 식 (5)와 같다. 2층계 지반의 허용지지력은 식 (3)과 식 (5)를 비교해서 작은 값으로 적용한다.

$$q_a = \frac{1}{F_s} \{ \beta \gamma_1 b N_r + \gamma_1 D_f N_q \} \quad (3)$$

$$q_a = \frac{1}{F_s} \left(1 + \frac{d - D_f}{b} \right) \cdot \left[\left\{ 5.3c + T \cdot \left(\frac{2 \sin \theta}{b} + \frac{1}{r} \right) + \frac{4S_a \cdot R(1 - \cos \theta)}{b + d - D_f} \right\} + \gamma_1 \cdot D_f \right] \quad (4)$$

$$q_a = \frac{1}{F_s} \cdot \left(1 + \frac{d}{b} \right) \cdot \left(5.3c + \frac{2T_a \cdot \sin \theta}{b} \right) \quad (5)$$

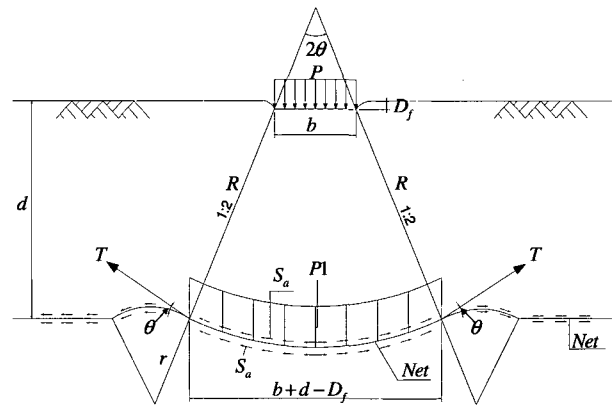


그림 2. 복토완료 후 네트의 지지력

- 여기서, F_s : 안전율(=2.0)
 β : 기초의 형상계수
 N_r, N_q : 지지력계수
 c : 준설패립층의 비배수 전단강도(tf/m^2)
 d : 복토층 두께
 D_f : 장비의 근입심도
 R : 가상원의 반경
 γ_1 : 복토층 단위중량
 r : 용기막의 반경
 b : 시공장비의 접지폭(m)
 T_a : 보강재의 허용인장력
 θ : 보강재가 수평면과 이루는 각도(°)

3. 현장재하시험

3.1 시험개요

현장재하시험은 대나무 망 또는 토목섬유로 연약한

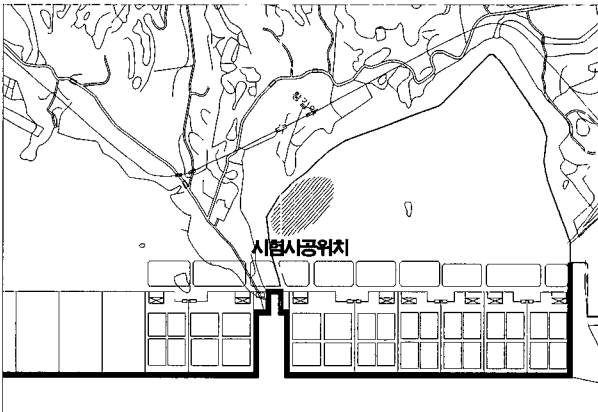


그림 3. 현장재하 시험 위치도

표 1. Case별 시험조건

구 분	지반보강	복토 두께 (m)	계획 하중 (tf)	시 험 위 치
Case 1	토목섬유 (15tf/m)	1.0	11.8	○○항 컨테이너 터미널 배후부지 동측구간 (인력진입 가능)
		1.5	19.3	
		2.0	88.2	
Case 2	대나무 망 (1.25×1.25m)	1.0	11.8	
		1.5	19.3	
		2.0	88.2	
Case 3	대나무 망 (1.0×1.0m)	1.0	11.8	
		1.5	19.3	
		2.0	88.2	
Case 4	대나무 망 (0.5×0.5m)	0.5	7.9	○○항 안벽배후 부지

지반의 표층을 보강하는 표층처리공법 적용시 지지력 특성과약을 목적으로, 현장에서 정적하중에 대한 흙의 지지력 시험 방법을 준용한 대형 평판재하시험을 표 1 과 같이 각 조건별 현장재하시험을 실시하였다.

대형 평판재하시험 위치는 ○○항 컨테이너터미널 배후부지 동측 구간으로 지반상태는 인력진입이 가능한 상태이며 시험 위치도 그림 3과 같다.

현장재하시험이 실시된 대상지반의 물리적 특성 및 표층부에 대해 현장 베인시험을 실시하였고, 평가된 지반정수는 표 2, 표 3과 같다. 현장 베인시험 결과 토목섬유 보강구역의 비배수 전단강도가 대나무 망으로 보강된 구역의 전단강도보다 큰 것으로 나타났으며, 전체 평균값은 $0.36tf/m^2$ 로 나타났다.

3.2 시험방법

대형 평판재하 시험을 실시하기 위해 그림 4와 같이 각각 $15m \times 17m$ 의 크기로 조성하여 보강재별 보강구역을 Case 1, Case 2, Case 3의 시험구역으로 설정하였다.

표 2. 원지반 물리적 특성

구 분	토목섬유 구역	대나무 망 구역
함수비(%)	108.87	104.66
액성한계(%)	87.43	88.13
소성한계(%)	36.36	33.33
소성지수(%)	51.06	54.80
USCS	CH	CH

표 3. 시험위치별 비배수전단강도

구 분	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	평균
c (tf/m^2)	0.53	0.37	0.32	0.23	0.36

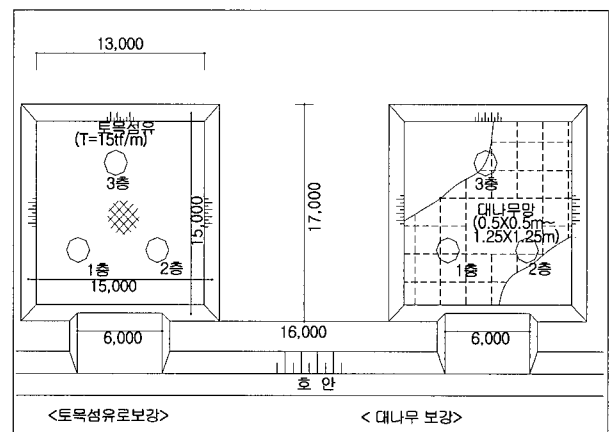


그림 4. 대형평판재하시험 평면도

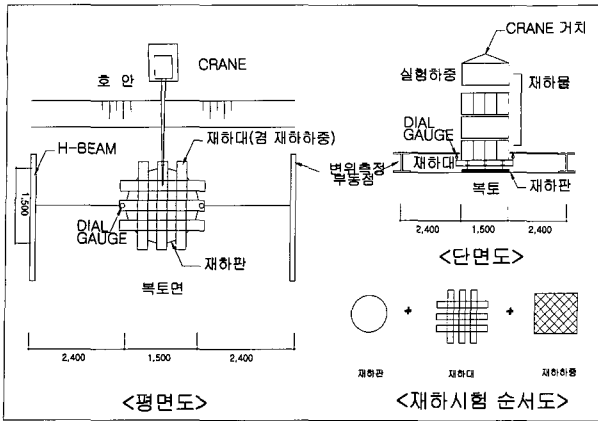


그림 5. 대형평판재하시험 장치개념도

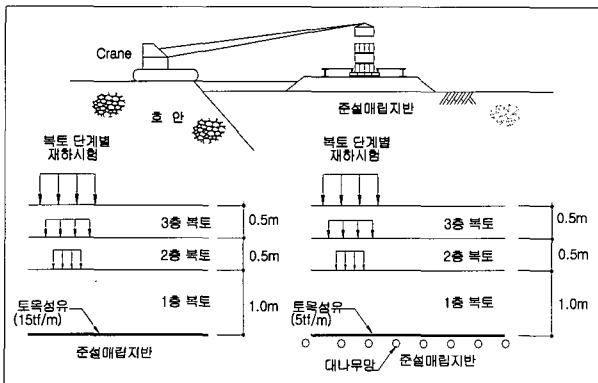


그림 6. 대형평판재하 시험 단면도

시험방법은 각 Case 별 복토 1.0m 실시 후 1차 재하시험, 1.5m 복토 후 2차 재하시험, 2.0m 실시 후 3차 시험의 순으로 총 9회의 재하 시험을 실시하였고, Case 4의 경우 실제 시공된 현장의 복토높이 H=0.5m가 되는 위치에서 1회의 재하시험을 실시하였다.

하중 재하를 위하여 그림 5에서와 같이, 재하판으로는 직경(D)1500mm, 두께(t) 75mm인 원형 철판을 사용하였으며, 재하 하중은 강철판을 이용한 사하중 재하 방식으로 호안 상부에서 크레인을 이용하여 재하 하였다.

변위 측정장치(Dial gauge)는 재하에 의한 지반 변위 등의 영향을 받지 않도록 재하 위치로부터 2.4m이상 이격된 지점의 H-beam에서 재하판까지 연장시켜 단계별 하중재하에 따른 연직변위를 측정하였고, 각 단계별 시험 전·후 H-beam의 연직 변위를 Level로 측정하여 영향 여부를 평가하였다.

복토 단계별 시험 하중은 그림 6에서와 같이 각 복토 단계별로 일반적으로 탑재되는 시공장비에 상응하는 하중의 2배까지 최대 시험하중으로 재하 하였으며, 각 단계별 시험은 하중-침하 곡선에서 항복확인 후 시험을 종결



사진 1. 실험중 재하 장면(Case 4)

하였다. 사진 1은 Case 4의 시험장면을 나타내고 있다.

4. 결과 및 분석

4.1 허용지지력 및 지지력비 산정

대형 평판재하시험에 의한 지반의 허용지지력은 그림 7, 그림 8에서와 같이 P-S 곡선법을 이용하여 평가하였다. 각 경우에 대해 평가된 결과는 표 4에서와 같이 토목섬유 보강의 경우 3.07tf/m²~5.04tf/m²의 결과를 나타냈고, 대나무 망 보강의 경우 2.94tf/m²~5.11tf/m²의 범위를 나타냈다.

각 보강재별로 실험을 통해 평가된 허용지지력은 서로 다른 지반강도 조건에서 실시되었으므로 각 보강재에 의한 지반의 지지력 증대 효과를 평가하기 위하여 보강전 원지반의 허용지지력(q_a)과 보강 후 재하시험에서 얻어진 허용지지력(q_{ap})의 비로 정의되는 지지력비 (Bearing Capacity Ratio)를 산정하여 평가하였다.

보강전 원지반의 허용지지력(q_a)의 경우 준설매립지반의 특성상 원지반에 대한 대형평판재하 시험의 실시가 불가능하므로 식 (2)에서 무보강의 경우 ($T=0$)에 대하여 원지반 허용지지력($q_a=cNc/F_s$)을 평가하였다.

각 보강재별 지지력비 산정결과, 그림 9에서와 같이 대나무 망(1.25×1.25m)의 경우 BCR=3.46~4.71, 대나무 망(1.0×1.0m)의 경우 BCR=3.46~6.03, 대나무망(0.5×0.5m)의 경우 BCR=4.33의 범위를 나타냈고, 토목섬유(15tf/m)의 경우에는 BCR=2.19~3.59의 범위를 나타냈다.

각 보강재에 있어서 복토두께가 증가할수록 지지력비는 증가하는 경향을 보이고, 동일한 복토두께의 경우 대나무 망 간격이 감소할수록 지지력비가 증가하는 경

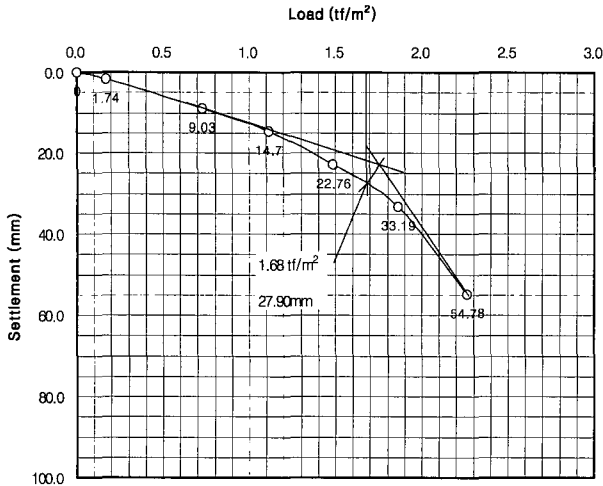


그림 7. 토목섬유(15tf/m, 폭토:0.95m)

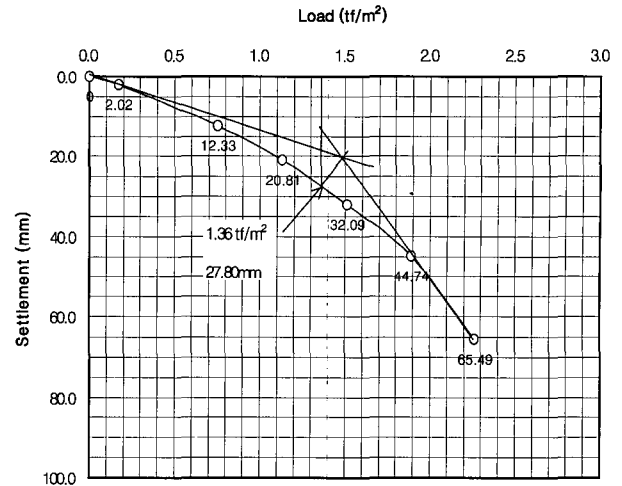


그림 8. 대나무 망(1.25×1.25m, 폭토:0.95m)

표 4. 각 보강재별 허용지지력 및 지지력비

구 분	복토두께 (m)	비배수강도 c (tf/m ²)	N _c	보강 전 허용지지력 q _a (tf/m ²)	대형 평판재하시험 q _{ap} (tf/m ²)	지지력 비 (BCR=q _{ap} /q _a)
토목섬유 (15tf/m)	0.95	0.53	5.3	1.40	3.07	2.19
	1.30	0.53	5.3	1.40	3.93	2.80
	1.94	0.53	5.3	1.40	5.04	3.59
대나무망 (1.25m×1.25m)	0.95	0.37	5.3	0.98	3.39	3.46
	1.25	0.37	5.3	0.98	3.99	4.06
	1.89	0.37	5.3	0.98	4.61	4.71
대나무망 (1.0m×1.0m)	0.95	0.32	5.3	0.85	2.94	3.46
	1.45	0.32	5.3	0.85	4.07	4.80
	1.95	0.32	5.3	0.85	5.11	6.03
대나무망(0.5m×0.5m)	0.5	0.23	5.3	0.61	2.64	4.33

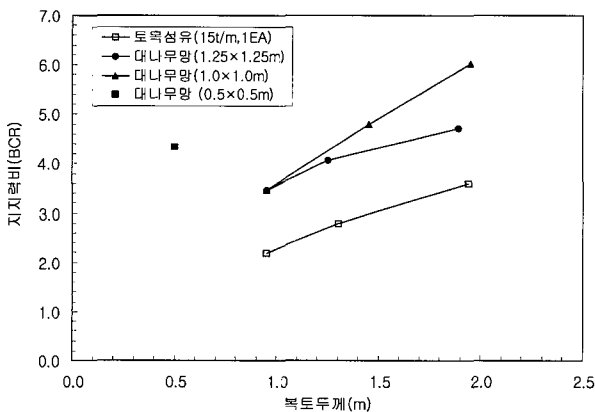


그림 9. 각 보강재별 지지력비(BCR)

향을 나타내며, 대나무망 (1.0m×1.0m)의 경우 토목섬유 보강에 비해 1.6~1.7배 정도 지지력비가 크게 나타났다.

4.2 이론식의 적용성 분석

보강재로 보강된 지반의 지지력 평가에 사용되는 기존 이론식의 적용성을 검토하기 위하여 각 시험 조건에 대한 지지력을 식 (5)를 이용하여 산정하였다. 이때 보강재의 변형각(θ)은 그림 10의 지반강도와 변형각의 기존관계도표를 토대로 시험대상 지반의 비배수 전단강도를 고려하여 변형각(θ)은 20°를 적용하였다.

그림 11에서와 같이 실험을 통해 얻어진 허용지지력과 이론식에 의해 얻어진 허용지지력과의 비율은 토목섬유 보강의 경우 75.6%~86.5%이고, 대나무망 보강의 경우 54~73% 정도로 평가되어, 이론식에 의해 얻어진 허용지지력은 시험값에 비해 크게 평가되는 경향을 확인할 수 있었고, 대나무 망 보강의 경우 적용성이 떨어짐을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 Yamanouchi(1985) 제안식의 경우 인장력보다는 강성이 우수한 대나무 망의 재료적 특성을 고려할 수 없기 때문인 것으로 판단된다.

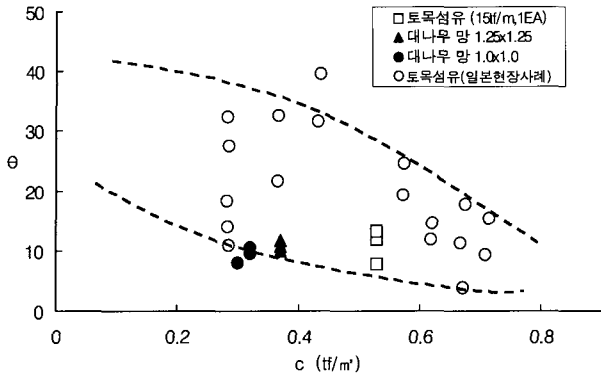


그림 10. 보강재별 지반강도-변형각 관계

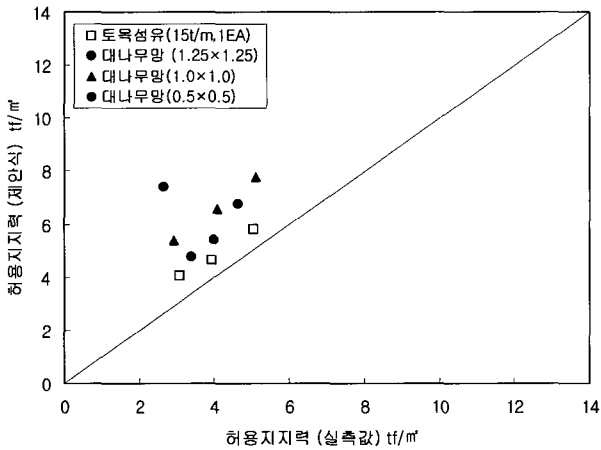


그림 11. 실측값 및 이론식에 의한 허용지지력 비교($\theta=20^\circ$)

또한 Yamanouchi(1985) 제안식의 설계변수 검증을 위하여 재하실험을 통해 얻어진 허용지지력을 바탕으로 역산에 의해 보강재의 변형각을 평가하였다. 그림 10에서와 같이 대나무 망의 경우 $7.3^\circ \sim 11.7^\circ$, 토목섬유의 경우 $7.9^\circ \sim 13.2^\circ$ 로 평가되어 기존 제시된 지반강도와 변형각의 범위보다 작은 결과를 나타냈다.

4.3 상관관계특성

대나무 망으로 보강된 준설매립지반의 지지력을 평가하기 위하여, 시험시의 비배수전단강도(c_u), 대나무망의 포설간격(S), 복토두께(H)등을 변수로 설정하여 현장 대형 평판재하시험 결과에서 얻어진 지지력비(BCR)와의 상관관계특성을 분석 하였다.

그림 12에서와 같이 종축을 지지력비(BCR), 횡축을 복토두께(H)와 대나무망 간격(S)의 비로 표현한 결과 좋은 상관관계를 보이고 있으며, 복토두께가 증가할수록 지지력비는 증가하고, 대나무망 간격이 감소할수록 지지력비가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 상

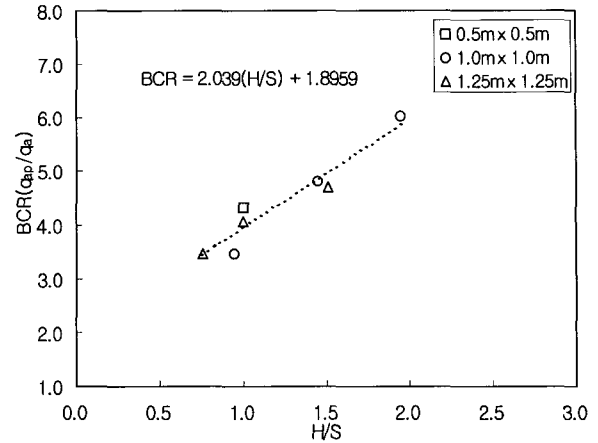


그림 12. 지지력비-복토두께/대나무망 간격

관관계 특성은 대나무망 보강시의 지지력특성 파악을 위한 기초자료로서 활용할 수 있으리라 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 보강재로 보강된 준설매립지반에 대한 현장 대형 평판재하시험을 실시하여 복토 단계별 지반의 허용지지력을 평가하였고, 기존에 제시된 이론식에 의한 허용지지력과 비교·분석 및 대나무망 보강시의 지지력특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 각 보강재의 지지력비 산정결과 대나무망 보강의 경우 지지력비는 3.46~6.03, 토목섬유의 경우 2.19~3.59로서 대나무망 보강시 지지력비가 1.6~1.7 배 크게 측정되었다.
- (2) Yamanouchi의 이론식에 의해 평가된 복토 두께별 허용지지력은 시험결과보다 크게 평가되는 경향을 확인할 수 있었고, 실험결과/이론식의 비율은 토목섬유 보강의 경우 75.6~86.5%, 대나무 망 보강의 경우 54~73%의 비율로서 대나무망 보강에 따른 지지력 평가시의 적용성이 떨어짐을 알 수 있었다.
- (3) 실험을 통해 얻어진 허용지지력을 바탕으로 역산에 의해 보강재의 변형각(θ)을 평가한 결과, 토목섬유의 경우 약 $7.9^\circ \sim 13.2^\circ$, 대나무의 경우 약 $7.3^\circ \sim 11.7^\circ$ 의 범위로서 기존의 비배수 전단강도와 변형각의 관계값 보다 다소 작은 결과를 얻을 수 있었다. 향후 보강재의 적절한 변형각도에 대한 평가가 필요할 것으로 판단된다.

(4) 대나무 망 보강시의 지지력평가를 위해 변수들의 상관성을 분석한 결과, 시험에서 얻어진 지지력비 (BCR)와 복토두께/대나무망간격의 비(H/S)로 표현한 경우 좋은 상관관계 특성을 얻을 수 있었고, 이는 대나무망의 지지력특성 파악을 위한 기초 자료로서 활용할 수 있으리라 판단된다.

향후 대나무망의 재료적 특성에 적합한 지지력 평가 방법정립 및 실측자료의 축적과 보완을 통한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 남현우, 한창연, 양기석, 강명찬 (2003), “연약기초지반의 변형감소를 위한 대나무매트 공법 설계적용사례 연구”, *한국 지반환경*

공학회 학술발표회 논문집.

2. 양기석, 양태선 (2003), “준설패립지반에서의 표층처리”, *토목섬유 봄 학술발표회 논문집.*

3. 양기석, 강명찬 (2004), “대나무 망을 이용한 표층처리공법 적용시 지지력특성에 관한 연구”, *ISSMGE ATC-7 Symposium, September Busan, Korea.*

4. 양기석, 양태선, 강명찬, 김윤하 (2004), “대나무 망으로 보강된 초연약지반의 현장재하시험”, *대한 토목학회 가을 학술발표대회 논문집*, pp.5231-5236.

5. Toh, C. T., Chee, S. K., Lee, C. H., and Wee, S. H. (1994), “Geotextile-Bamboo Fascine Mattress for Filling over Very Soft Soils in Malaysia”, *Geotextiles and Geomembranes* 13, Elsevier science Limited. pp.357-369.

6. Yamanouchi (1985), “Recent developments in the used synthetic geofabrics and geogrids”, *Symposium on Recent Developments in Ground improvement techniques.* Bangkok, pp.205-224.

7. Yusuf, M.Z., Werner, G. and McGrown, A.C. (1989), “The bearing capacity of bamboo and geotextile reinforced sand on soft clay”, *Symp. on the Application of Geosynthetic and Geofibre in SE Asia*, Petaling Jeva, Malaysia, pp.3-14~3-21.

(접수일자 2005. 8. 29, 심사완료일 2006. 8. 8)