

## 보강재의 구속조건에 따른 초연약지반의 지지력개선효과에 관한 연구

### A Study on The Improving Effects of the Bearing Capacity of Very Soft Ground by Restricting Conditions of Reinforcement

함 태 규 <sup>1*</sup>	Ham, Tae-Gew	조 삼 덕 <sup>2</sup>	Cho, Sam-Deok
양 기 석 <sup>3</sup>	Yang, Kee-Sok	유 승 경 <sup>4</sup>	Yoo, Seung-Kyong

#### ABSTRACT

This study was carried out the model experiment in laboratory to evaluate the bearing capacity improvement of soft ground as altered constraint condition of reinforcements according to geotextile, geogrid, steel bar. As a results, the value of BCR was increased linearly as improvement of the stiffness of reinforcements, and the factor governed the increasement of BCR was the increasement of frictions between reinforcement and clay as far as the constrain conditions increased until  $T=85.6\text{kg}$ . Moreover, An angle of inclination,  $\theta$ , between reinforcement and horizontal surface was distributed from  $38^\circ$  to  $50^\circ$  for Geotextile, from  $45^\circ$  to  $50^\circ$  for Geogrid and from  $14^\circ$  to  $16^\circ$  for steel bar. A radius of heaving,  $r$ , of clay ground by vertical weight at side was distributed from 0.6m to 0.7m for Geotextile, from 0.5m to 0.8m for Geogrid, and from 2.4m to 3.0m for steel bar. In case of steel bar,  $r$  was 4 times that of Geotextile.

#### 요 지

본 연구에서는 지지력개선효과에 미치는 보강재의 구속조건의 영향을 평가하기 위하여 보강재의 재료특성이 서로 다른 직포, 지오그리드, 강봉을 이용하여 보강재의 단부 구속조건을 달리한 실내모형실험을 수행하였다. 실내 모형실험 결과, 보강재의 강성도 증가에 따라 BCR값도 함께 증가되는 선형적인 관계가 확인되었고, 단부 구속응력이  $T=85.6\text{kgf}$ 까지는 단부 구속응력의 증가에 따른 보강재와 점토지반사이의 마찰력의 증가로 인해 BCR값이 증가되는 것으로 평가되었다. 또한 보강재가 수평면과 이루는 경사각  $\theta$ 에 있어 직포는  $38^\circ \sim 50^\circ$ , 지오그리드A는  $45^\circ \sim 50^\circ$ , 강봉은  $14^\circ \sim 16^\circ$ 인 것으로 평가되었고, 융기망의 반경  $r(\text{m})$ 은 직포가 0.6m~0.7m, 지오그리드가 0.5m~0.8m, 강봉이 2.4m~3.0m로 강성재료인 강봉은 비강성 재료인 직포의 약 4배에 해당하는 것으로 평가되었다.

**Keywords** : Reinforce material, Bearing capacity ratio, Model test, Soft ground

#### 1. 서 론

일반적으로 연약지반 표층처리공법은 개량원리 및 시공방법 등에 따라 표층보강공법, 표층배수/건조공법, 치환공법, 표층혼합처리공법, 진공압밀공법 등으로 분류되며, 국내에서는 토목섬유나 대나무 망 등을 보강재로 사용한

표층보강공법이 널리 사용되고 있다. 표층처리공법으로 처리된 연약지반의 성토하중으로 인한 공학적인 거동분석에 관한 연구는 福往 & 西林(1967), 山内 & 後藤(1979), Watari 등(1986)을 시작으로 여러 연구자들에 의해 시도되었으며, 특히 Watari 등(1986)은 표층처리공법 현장시험을 통하여 보강재가 성토완료시 최대 인장력을 발휘한 후 점차

1\* 정회원, 한국건설기술연구원 토질및기초연구실 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Earth Structure & Foundation Engineering Resarch Division, KICT, E-mail: hamtg@kict.re.kr)

2 정회원, 한국건설기술연구원 토질및기초연구실 책임연구원 (Member, Research Fellow, Earth Structure & Foundation Engineering Resarch Division, KICT)

3 정회원, 한국항만기술단 기술연구소장 (Member, Chief Researcher, Korea Port Eng)

4 정회원, 명지전문대학 토목과 부교수 (Member, Associate Professor, Dept of civil Eng, Myongji College)

로 감소되고, 지반변수는 지반강도, 하중조건 등에 의해 크게 변화되는 결과를 발표하는 등 유의한 정보를 제공하고 있다. 그러나 현재까지 진행된 연구의 대부분은 보강재의 완전구속상태에서 발생하는 거동분석에 국한되어 있다. 실제 현장에서는 보강재의 단부를 구속하여 사용하는 것이 일반적이나, 성토하중으로 인해 보강재의 인장력이 발생되고 어느 한계를 넘게 되면 일정한 구속력(약간의 구속)을 유지하면서 보강재가 이동 하게 된다. 즉 현장에서는 보강재의 부분구속 상태에서 지지력이 발생되며, 이러한 현장에서의 시공을 상정하여 보강재 단부 구속조건이 지지력개선효과에 미치는 영향을 파악하는 것은 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 표층보강재를 이용한 연약지반 표층처리공법의 기초적 연구로서 지지력 개선효과에 미치는 보강재의 구속조건에 영향을 조사하고 설계에 사용되는 설계정수를 추정하는 방법을 제안하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 직포, 지오그리드, 강봉(대나무 대체재료)을 이용하여 보강재의 단부 구속조건을 완전구속, 부분구속(3종류)으로 한 24 종류의 실내모형실험을 수행하였다.

## 2. 시험점토 및 표층보강재의 공학적 특성평가

### 2.1 사용점토의 물성치

본 연구에서는 전라남도 광양항 3단계 3차 예정지구현장에서 채취한 해성점토를 실내모형실험의 모형지반에 사용하였다. 채취된 시료를 대상으로 물리적 특성과 역학적 특성을 조사하기 위해 각종 토질시험을 실시한 결과 광양점토시료는 비중 2.65, 액성한계(LL) 45.9% 및 소성지수(PI) 24.2%이며, 통일분류법의 분류기준에 의하면 CL로 분류되는 것으로 확인되었다. 표 1에 물성시험결과를 나

타내었다.

### 2.2 표층처리 보강재의 공학적 특성 분석

실내모형실험에 사용된 보강재로는 PP직포와 지오그리드(A, B, C), 강봉(대나무 대체재료)로, 지오그리드 시료는 폴리에스테르 레진(resin)을 압축실린더에 통과시켜 평평한 바(bar)형태로 추출한 후 냉각, 연신공정을 통하여 고강도의 스트립(strip) 형태로 만들고, 이를 격자형으로 교차시켜 레이저 기법으로 용접하여 제조한 결합형 지오그리드이다. 또한 대나무 대체재료 선정을 위하여 강성도시험(캔틸레버시험과 굴곡시험)을 실시하였다.

표 2는 직포, 지오그리드A, 지오그리드B, 지오그리드C의 경사방향의 최대광폭인장강도와 그 때의 인장변형률을 나타내고 있다. 광폭인장시험 결과는 시험 시 사용한 20cm폭 시료의 리브수에 대한 단위 폭(1m)당 리브수의 비율을 고려하여 단위폭당 인장강도로 환산한 값이다. 표 2로부터 직포와 지오그리드A는 최대인장강도가 비슷한 값을 나타내는 반면 최대인장강도를 나타내는 인장변형률은 직포 16%, 지오그리드A 6.86%로 지오그리드A에 비해 직포는 큰 변형률에서 최대인장강도를 나타내는 것을 알 수 있다.

강성도시험(Stiffness Test)은 보강재의 강성도를 측정하기 위하여 실시하는 시험으로, ASTM D1388에 규격화되어 있다. 시험으로는 캔틸레버시험과 굴곡시험이 있으며, 본 연구에서는 비강성시료(직포, 지오그리드)는 캔틸

표 1. 광양점토시료의 물리적 특성

시료	G <sub>s</sub>	LL (%)	PI (%)	흙 분류 (소성도표)	γ <sub>t</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	No.200 통과량(%)
광양	2.65	45.9	21.7	CL	16.82	98

표 2. 광폭인장강도시험 결과

시험횟수 및 항목	경사방향							
	직포		지오그리드A		지오그리드B		지오그리드C	
	최대인장 강도 (t/m)	인장 변형률 (%)	최대인장 강도 (t/m)	인장 변형률 (%)	최대인장 강도 (t/m)	인장 변형률 (%)	최대인장 강도 (t/m)	인장 변형률 (%)
1	3.46	21.1	7.46	8.69	9.66	5.96		
2	3.68	16.5	5.83	7.12	9.48	6.80	11.98	6.77
3	3.80	16.9	4.47	4.22	9.87	7.03	13.35	7.75
4	3.30	20.7	5.52	6.74	9.87	6.64	11.63	6.73
5	3.81	17.3	6.23	7.54	9.65	7.20		
평균	3.61	16.0	5.90	6.86	9.71	6.73	12.32	7.08

레버법을 이용하여 강성도를 조사하였고, 강성재료의 강성도 평가와 대나무 망 대체재료를 선정하기 위하여 굴곡 시험(KS M 3830)을 수행하였다.

캔틸레버법은 최소 3.8cm×20cm의 면적을 지닌 수평 플랫폼위에 시료를 장착하고 그 위를 이동 슬라이드로 밀착시켜, 슬라이드를 12cm/min±5%의 속도로 41±0.5°의 각 지시기에 시료가 접할 때까지 이동시켜, 이때의 시료 돌출길이를 측정하여 강성도를 계산한다. 본 연구에서는 수평 플랫폼의 면적이 91.0cm×115cm인 시험기를 제작하여 캔틸레버 시험을 수행하였다. 표 3은 캔틸레버 시험결과를 나타내고 있다.

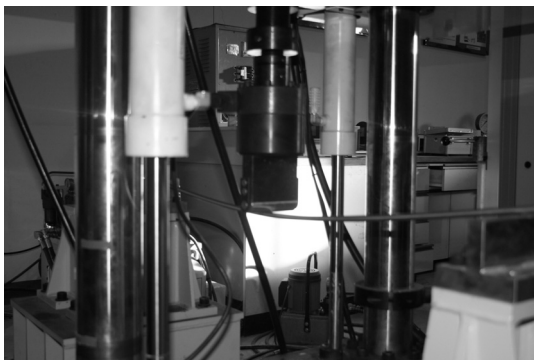
굴곡시험은 시편을 일정한 거리(1,000mm)만큼 떨어져 있는 두개의 지점에 올려놓고 시편의 파괴가 발생할 때까지 시험속도 10mm/min로 시편이 놓인 수직방향으로 하중을 가해 응력과 굴곡을 측정하였다(그림 1 참조). 시료로는 현장에서 일반적으로 사용되는 외경 50mm의 청죽

표 3. 캔틸레버 시험결과

항목 \ 종류	직포	지오그리드A	지오그리드B	지오그리드C
강성도 (mg·cm)	3.0×10 <sup>5</sup>	1.6×10 <sup>7</sup>	1.9×10 <sup>8</sup>	3.5×10 <sup>8</sup>



(a) 대나무



(b) 강봉

그림 1. 굴곡시험전경

과 흑선으로 제작된 철망, 스테인리스로 제작된 강봉을 이용하였다. 이하 각각 “대나무”, “철망”, “강봉”으로 기술한다. 굴곡시험에 사용된 시료의 재료특성을 표 4에 나타내고 있다.

그림 2는 굴곡시험 결과를 변위와 시험력과의 관계로 나타낸 것이다. 그림으로부터 철망의 최대하중은 0.7kgf로 매우 작은데 비해 강봉은 변위 105mm에서 최대하중 14kgf를 나타내는 것을 알 수 있다.

식 (1)을 이용해 측정된 시료의 강성도를 산정하였다.

$$D = \frac{Pl^3}{48\delta} \quad (1)$$

여기서,  $D$  : 강성도(kgf·m<sup>2</sup>),  $P$  : 최대하중(kgf),  $l$  : 하부지점간 거리(m),  $\delta$  : 최대하중 발생시의 변위량(m)를 의미한다.

대나무 및 강봉의 강성도를 평가한 결과를 표 5에 나타내

표 4. 굴곡시험에 사용된 재료 특성

	대나무	철망	강봉
재질	-	흑선	스테인리스
외경	50mm	1mm	10mm
내경	40mm		8.5mm
철사사각내경	-	7mm×7mm	-
하부지점간 거리	1,000mm	1,000mm	1,000mm

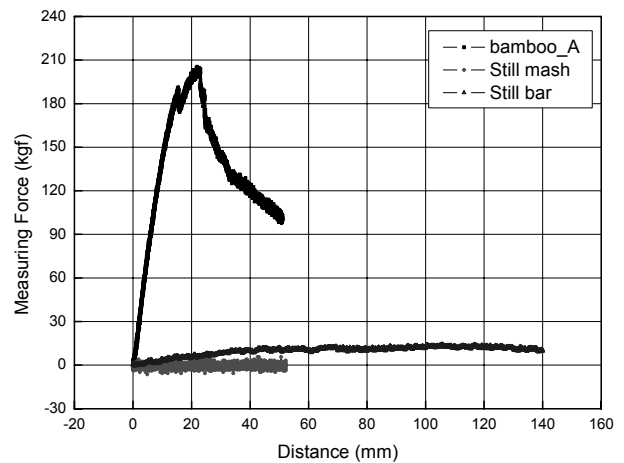


그림 2. 시험력과 변위와의 관계

표 5. 굴곡시험결과

강도	재료		
	대나무	철망	강봉
최대점 응력(kgf)	203.90	0.08	14.03
최대점 변위량(mm)	23.06	28.38	105.92
강성도D(kgf·m <sup>2</sup> )실험치	184.18	0.06	2.76

고 있다. 대나무의 강성도는  $184.18\text{kgf}\cdot\text{m}^2$ , 철망은  $0.06\text{kgf}\cdot\text{m}^2$ , 강봉은  $2.76\text{kgf}\cdot\text{m}^2$ 인 것을 알 수 있으며, 실내모형실험장치에서 적용가능하고 품질이 균질한 실험재료로서, 현장에서 사용하는 대나무 보다는 강성도가 현저히 작으나 철망보다는 강성도가 우수한 강봉을 선정하였다.

본 연구에서는 실내모형시험에 사용되는 강성 및 비강성보강재의 강성도를 비교하기 위하여 비강성 보강재(직포, 지오그리드)를 이용하여 실시한 캔틸레버시험결과를 외팔보의 처짐으로 가정하고, 비강성 보강재의 자중을 등분포하중으로 산정하여 식 (2)를 이용해 강성도를 평가하였다.

$$D = \frac{P\ell^3}{3\delta} \quad (2)$$

여기서,  $D$  : 강성도( $\text{kgf}\cdot\text{m}^2$ ),  $P$  : 최대하중( $\text{kgf}$ ),  $\ell$  : 하부지점간 거리( $\text{m}$ ),  $\delta$  : 최대하중 발생시의 변위량( $\text{m}$ )를 의미한다.

표 6은 식 (2)로 평가한 비강성 보강재의 강성도를 나타내고 있다. 표 5로부터 지오그리드 A, B, C 모두 거의 동일한 강성도를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 표 5와 표 6의 결과를 비교해 보면 직포의 강성도는  $0.01\text{kgf}\cdot\text{m}^2$ 로 본 연구에서 사용한 재료 중 가장 작은 값을 나타내며, 대나무 대체재료로 선정한 강봉은 직포의 276배의 강성도를 나타내는 것을 알 수 있다.

### 3. 실내모형실험

#### 3.1 실내모형실험 장치

본 연구에서 제작한 실내모형실험기는 모형토조, 재하장치, 계측장치로 구성되어 있다. 모형토조 크기는 길이 2000mm, 높이 1000mm, 폭 500mm이며, 수치해석을 통한 경계조건을 조사하여 결정하였다. 본 실내모형실험에서는 최대 100mm까지 측정가능하며 오차범위 1/100mm

표 6. 비강성 보강재(직포, 지오그리드)의 강성도

강도	재료			
	직포	지오그리드A	지오그리드B	지오그리드C
등분포하중(kgf)	0.03	1.06	0.94	1.46
보의 처짐량(mm)	179	584	564	705
강성도D( $\text{kgf}\cdot\text{m}^2$ ) 실험치	0.01	0.35	0.31	0.48

변위를 측정할 수 있는 자기저항식 변위계(LVDT)와 연약지반 표층처리재의 정성적인 거동을 실시간으로 측정하기 위하여 최대측정범위는 200mm로 오차범위가 1/100mm인 비접촉 변형율게이지(Laser Displacement Transducer)를 이용하였다. 변위계 설치 간격은 예비실험을 통해 결정하였으며 이를 이용하여 성토체 중앙부의 침하와 인접지반의 연직변위를 측정하였다. 그림 3에 제작한 실내 모형시험 장치의 계통도, 그림 4에 보강재의 표층거동 분석을 위한 LVDT의 위치를 나타내고 있다.

#### 3.2 실험방법 및 계획

본 연구에서는 광양점토의 함수비를 94.7%(약 2LL)과 124%(약 3LL)로 조절하여 실내모형실험에 사용하였으며, 사용된 점토시료의 전단특성을 조사하기 위하여 전동식 디지털 베인전단시험기를 이용한 전단시험을 실시하였다. 측정결과 함수비 124%의 지반의 전단강도는  $1.0\text{kN}/\text{m}^2$  ( $0.1\text{tf}/\text{m}^2$ ), 함수비 94.7% 지반의 전단강도는  $1.7\text{kN}/\text{m}^2$  ( $0.17\text{tf}/\text{m}^2$ )인 것으로 평가되었다.

표층보강재의 구속방법은 완전구속, 부분구속조건인 2가지 조건에서 실시하였다. 보강재의 단부에  $T=23.0\text{kN}$ 의 선행하중을 가하여 보강재의 느즈러짐을 펴고, 본 연구

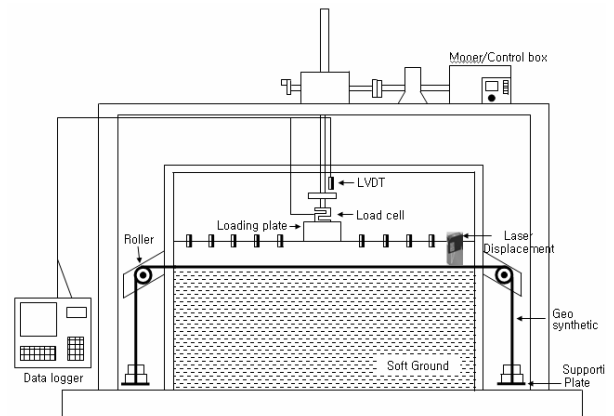


그림 3. 실험모형시험장치 계통도

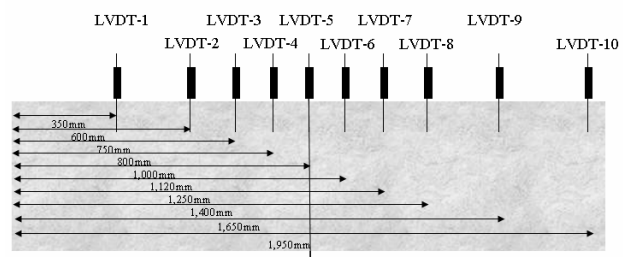


그림 4. 보강재의 표층거동 분석을 위한 LVDT위치

에서 제작한 클램프를 이용하여 보강재 양 단부를 고정시키는 것을 완전구속조건, 보강재의 단부에 추를 이용하여 선행하중을 가하는 것을 부분구속조건이라고 정의하였다. 부분구속의 선행하중은 23.0kgf, 55.6kgf, 85.6kgf의 3종류로 실시하였다.

재하방법은 실제 현장에서의 급속시공(비배수조건)을 모사하기 위하여 급속하중을 기본으로 하며, 2개의 모터를 이용해 실시하였다. 먼저 제1모터를 이용하여 재하속도 400mm/min로 각 단계별 하중의  $\pm 1.0\text{kgf}$ 까지 재하한 후, 제2모터를 이용하여 재하속도 0.1mm/min로 각 단계별 하중의  $\pm 0.01\text{kgf}$ 까지 재하를 실시하였다. 각 단계의 재하가 완료된 후 15분경과 시에 차기 하중을 증가시키는 방법으로 점토지반의 중앙에서 단계적으로 하중을 재하하였다. 각 단계별의 정적재하 시간은 예비모형실험을 통해 결정하였고, 하중 증가 없이 침하가 지속적으로 진행되는 하중을 극한하중(Ultimate load)으로 정의하여 극한하중에서 각각의 실험을 종료하였다. 시험 종료 후에는 본 연구에서 제작한 교반기를 이용하여 토조안에서 직접 교반

시킨 후 차기 시험을 실시하였다. 표 7에 실시한 실내모형 실험 조건을 나타내고 있다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 보강재 구속방법이 지지력 특성에 미치는 영향

함수비를 94.7%, 124%로 조절하여 실시한 무보강지반의 실내모형실험결과를 그림 5에 나타내고 있다. 그림 5로부터 S-P 곡선법을 이용하여 산정한 무보강지반의 항복응력( $p_m$ )은 함수비  $w=94.7\%$ 의 무보강지반에서  $0.125\text{tf/m}^2$ , 함수비  $w=124\%$  지반에서  $0.115\text{tf/m}^2$ 인 것을 알 수 있다. 무보강지반의 지지력은 초연약지반의 특성상 원지반에 대한 현장시험이 불가능하므로 Terzaghi 등의 지지력이론( $q_a=cN_c/F_s$ )을 통해 평가하는 것이 일반적이다. 본 연구에서도 동일한 방법을 통해 원지반의 허용지지력을 산정한 결과 함수비  $w=94.7\%$ 의 원지반의 허용지지력은  $q_a=0.45\text{tf/m}^2$ , 함수비  $w=124\%$  지반은  $q_a=0.26\text{tf/m}^2$ 인 것으로 확인되었

표 7. 실시한 실내모형실험 조건

실험 종류	원지반 함수비 (%)	보강재종류	보강재 인장강도 (tf/m)	보강재 강성도 (kgf·m <sup>2</sup> )	보강재 고정방법	
Case 1	124% (3LL)	무보강	-	-	-	
Case 2		직포	3.6	0.01	완전구속	
Case 3					부분구속 (T=23.0kgf)	
Case 4					부분구속 (T=55.6kgf)	
Case 5					부분구속 (T=85.6kgf)	
Case 6					완전구속	
Case 7					부분구속 (T=23.0kgf)	
Case 8		지오그리드A	6.26	0.35	부분구속 (T=55.6kgf)	
Case 9					부분구속 (T=85.6kgf)	
Case 10					완전구속	
Case 11		지오그리드B	9.71	0.31	부분구속 (T=23.0kgf)	
Case 12					완전구속	
Case 13		지오그리드C	12.31	0.48	부분구속 (T=23.0kgf)	
Case 14					완전구속	
Case 15					부분구속 (T=23.0kgf)	
Case 16		강봉	-	2.76	부분구속 (T=55.6kgf)	
Case 17					부분구속 (T=85.6kgf)	
Case 18					무보강	-
Case 19		94.7% (2LL)	직포	3.6	0.01	완전구속
Case 20						부분구속 (T=23.0kgf)
Case 21			지오그리드A	6.26	0.35	완전구속
Case 22						부분구속 (T=23.0kgf)
Case 23			강봉	-	2.76	완전구속
Case 24						부분구속 (T=23.0kgf)

다. 이 값은 실제 실내모형실험을 통해 얻은 값의 각각 3.6 배 및 2.3배에 해당한다.

그림 6은 전 시료의 실내모형실험 결과를 재하응력과 침하량과의 관계로 나타낸 것이다. 보강재로 보강된 지반의 항복응력  $p_{yr}$ 은 그림 5에서와 같이 S-P 곡선법을 이용하여 평가하였다. 또한 보강재의 지지력 증대 효과를 평가하기 위하여 보강 전 원지반의 항복응력( $p_{ym}$ )과 보강 후 재하시험에서 얻어진 항복응력( $p_{yr}$ )의 비로 정의되는 지지력비(Bearing Capacity Ratio)를 산정하여 평가하였다. 그 결과를 표 8에 나타내고 있다.

그림 7에 항복응력에서의 보강재의 강성도에 따른 지지력비의 변화형태를 나타내고 있다. 그림으로부터 직포, 지오그리드A, 강봉 모두 강성도의 증가에 따라 BCR값도 함

계 증가되는 선형적인 관계가 확인되었다. 또한 직포, 지오그리드A, 강봉 모두 보강재 단부 구속응력이 55.6kgf, 85.6kgf, 완전구속 조건에서는 거의 동일한 BCR값을 나타내며, 강성도의 증가에 대한 BCR값의 증가정도는 보강재 단부 구속응력에 관계없이 거의 동일하다.

그림 8에 단부구속응력에 따른 지지력비의 변화형태를 나타내고 있다. 그림 8로부터 직포, 지오그리드A, 강봉 모두 보강재의 단부 구속응력이 증가하면 BCR값도 함께 증가되다가 구속응력 T=88.5kgf부터 완전구속 상태에서의 BCR값은 거의 동일한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 卍尾(1997)에 의해 수행된 연구결과와 동일한 결과로 소정의 단부 구속응력까지는 단부 구속응력의 증가에 따라 보강재와 점토지반사이의 마찰력의 증가로 인해

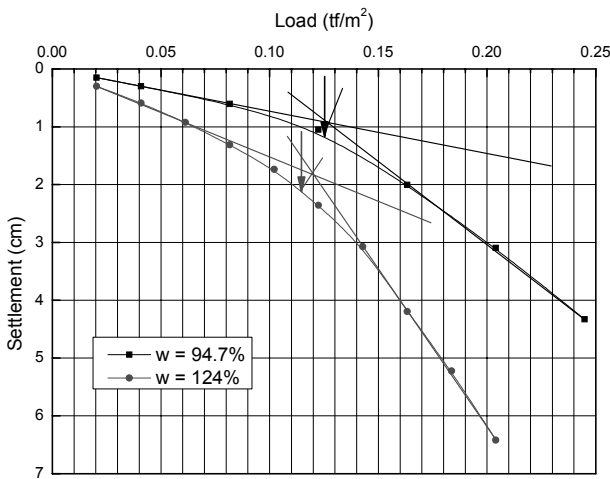


그림 5. 무보강지반의 재하응력과 침하량과의 관계

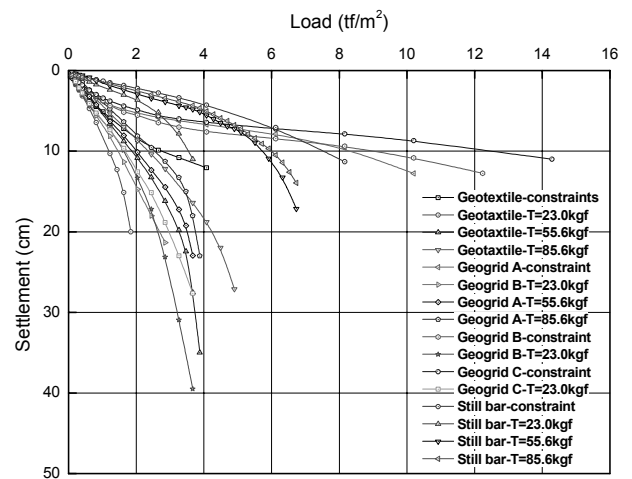


그림 6. 전시료의 재하응력과 침하량과의 관계

표 8. 보강재의 인장강도, 강성도, 구속응력에 따른 지지력비

보강재종류	보강재 인장강도 (tf/m)	보강재 강성도 (kgf·m <sup>2</sup> )	보강재 단부 구속응력 T(kgf)	항복응력 $p_{yr}$ (tf/m <sup>2</sup> )	극한응력 $p_{ur}$ (tf/m <sup>2</sup> )	지지력비 BCR
직포	3.6	0.01	완전구속	3.26	-	28.34
			23.0	1.23	1.84	10.69
			55.6	3.26	3.88	28.34
			85.6	3.67	4.89	31.91
지오그리드A	6.26	0.35	완전구속	3.56	-	30.95
			23.0	2.448	3.26	21.28
			55.6	3.25	3.67	28.26
			85.6	3.26	3.87	28.34
지오그리드B	9.71	0.31	23.0	2.448	3.67	21.28
지오그리드C	12.31	0.48	23.0	2.25	3.67	19.56
강봉	-	2.76	완전구속	5.0	-	43.47
			23.0	2.8	4.08	24.34
			55.6	4.89	6.73	42.52
			85.6	5.10	6.73	44.34

BCR값이 증가되고, 소정의 구속응력 부터는 완전구속조건과 동일한 효과를 나타내며 지지력개선효과에 미치는 마찰력의 영향이 감소되는 것을 의미한다. 이를 명확히 평가하기 위하여 항복응력에서의 인장강도에 따른 지지력비의 변화형태를 그림 9에 나타내었다. 완전구속조건에서 실시된 실험결과에서는 보강재의 인장강도가 증가함에 따라 BCR값이 함께 증가되고 있으며, 부분구속( $T=23\text{kgf}$ ) 조건에서는 인장강도에 관계없이 거의 동일한 BCR을 나타내고 있다. 이것은 완전구속상태에서의 지지력개선효과는 보강재의 인장강도에 크게 의존하는데 비해, 부분구속 조건에서는 인장강도 이외의 영양인자, 즉 마찰특성 및 강성도에 의존하는 것을 의미한다.

이상의 결과를 정리하면 소정의 단부 구속응력까지는 단부 구속응력의 증가에 따라 보강재와 점토지반사이의 마찰력의 증가로 인해 BCR값이 증가되고, 소정의 구속응력 부터는 완전구속조건과 동일한 효과를 나타내며 지지

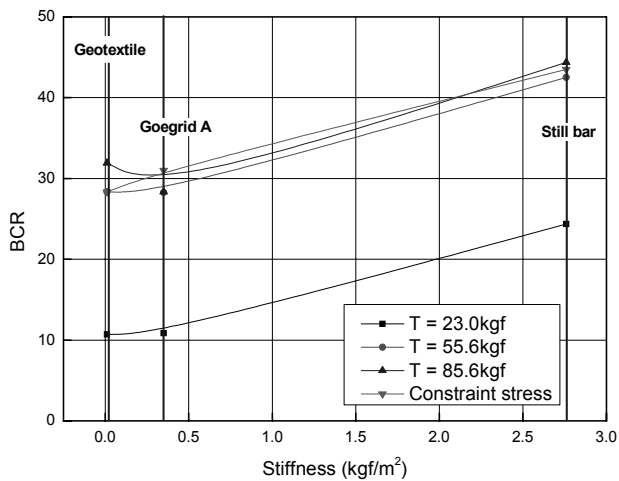


그림 7. 보강재의 강성도에 따른 지지력비의 변화형태

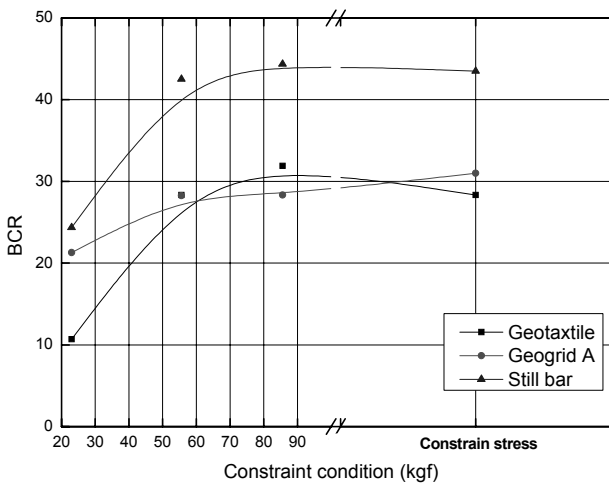


그림 8. 보강재의 단부구속응력에 따른 지지력비의 변화형태

력개선효과에 미치는 마찰력의 영향은 감소되는 것으로 평가된다.

#### 4.2 실내모형실험 결과를 이용한 설계 파라미터 산정방법

본 연구에서는 실내모형실험으로부터 얻어진 결과를 이용하여 지지력 기본식에 포함되어 있는 미지의 파라미터를 산정하여 矢島 등(1988)에 의해 산정된 기존의 연구결과와 비교 분석하였다. 보강재가 수평면과 이루는 경사각  $\theta$ 는 그림 10에 나타내는 것과 같이 재하판의 단부 A점에서 보강재에 접하는 접선이 수평면과 이루는 각도로 정의하였다. 또한 가상원은 矢島 등(1988)과 같이 재하판 단부 A점과 점토지반의 변형이 발생하는 C점을 연결하는 가상의 원으로 상정하였다. 그러나 그림 11과 같이 본 연구에서 실시한 실내모형실험 결과로부터 상기 제시된 방법으로는 용기막의 원을 상정하기 어려운 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 재하판의 단부와 최대용기위치를 연결하는 가상원을 상정하여, 현의 길이  $L(\text{m})$ , 현과 수평면과 이루는 각을  $\phi(\text{deg})$ , 점토지반의 최대용기량을  $\Delta H_{\text{max}}(\text{m})$ , 재

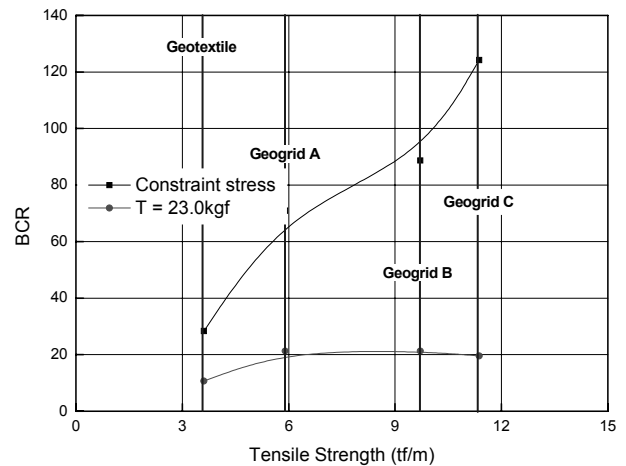


그림 9. 보강재의 인장강도에 따른 지지력비의 변화형태

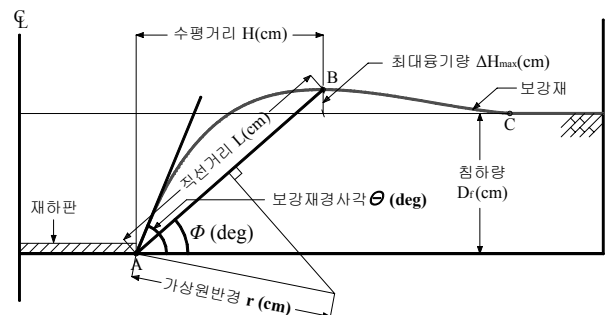


그림 10. 표층처리 보강재의 변형도

하판단부와 최대용기량이 발생하는 위치까지의 수평거리를  $H(m)$ 로 하여 기하학적으로 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 현의 길이  $L(m)$ 과 용기망의 반경  $r(m)$ 을 구하였다.

$$L = \sqrt{(\Delta H_{\max} + D_f)^2 + H^2} \quad (3)$$

$$r = L/2 \cdot \sin(\theta - \phi) \quad (4)$$

본 연구에서는 상기의 방법으로 항복응력에서의 설계정수를 산출한 결과를 그림 11, 12에 나타내고 있다. 그림 11, 12 중에는 西林(1980)에 의해 산정된 기존의 설계정수를 함께 표시하였다. 그림 12로부터 직포의 보강재가 수평면과 이루는 경사각  $\theta$ 는  $38^\circ \sim 50^\circ$ 에 해당하며 지오그리드 A는  $45^\circ \sim 50^\circ$ , 강봉은  $14^\circ \sim 16^\circ$ 인 것으로 평가되었다. 본 연구에서 사용된 직포와 지오그리드의  $\theta$ 는 西林(1980)에 의해 제안된 범위보다 전반적으로 큰 결과를 나타내고 있으며, 강봉은 작은 결과를 나타내고 있다.

또한 그림 13으로부터 용기망의 반경  $r(m)$ 은 직포가  $0.6m \sim 0.7m$ , 지오그리드가  $0.5m \sim 0.8m$ , 강봉이  $2.4m \sim 3.0m$ 인 것으로 평가되었으며, 강성재료인 강봉은 비강성 재료인 직포의 약 4배에 해당하는 것을 알 수 있다. 또한 직포, 지오그리드는 西林(1980)가 제안한 용기망의 반경  $r(m)$ 보다 작은 결과를 나타내고 있다. 西林(1980)가 제안한  $\theta$ ,  $r$ 의 범위는 일본의 시공사례를 이용해 제안되었으며 일본의 시공사례에는 점토지반의 비배수 전단강도가 약  $0.28tf/m^2$  이하의 값이 존재하지 않은 점을 고려할 때, 본 연구에서 평가한 점토지반( $c=0.1tf/m^2$ )의  $\theta$ ,  $r$  값과 향후 여러 가지 실험을 이용한 검증을 통해 새로운 범위곡선이 제안될 수 있을 것으로 사료된다.

(단부장력 T=85.6kgf, 우단면)

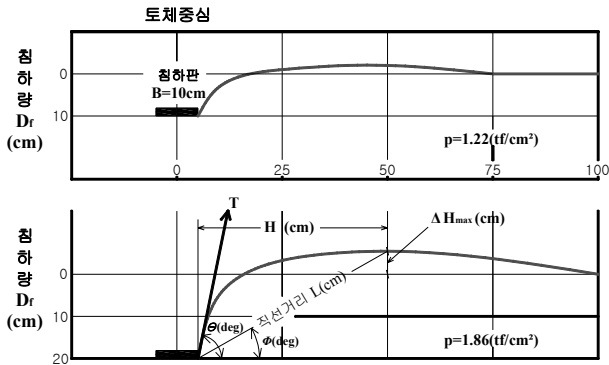


그림 11. 실내모형실험으로부터 측정된 표층처리 보강재의 변형도

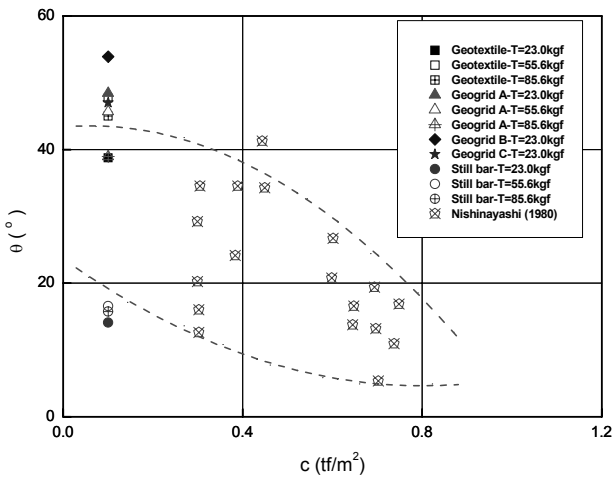


그림 12. 보강재가 수평면과 이루는 경사각  $\theta$ 와 점토지반의 비배수 전단강도와의 관계

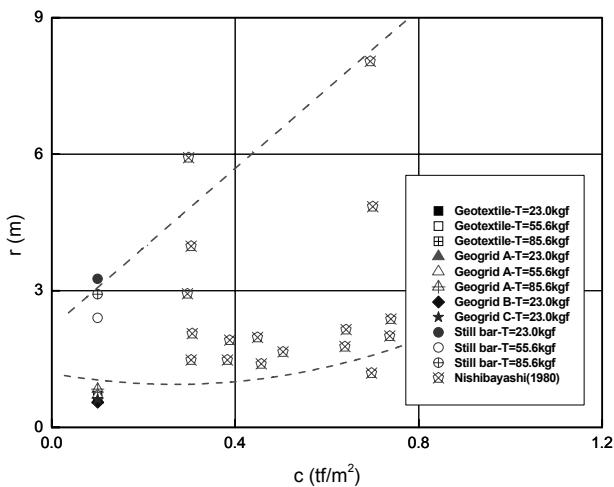


그림 13. 용기망의 반경  $r$ 과 점토지반의 비배수전단강도와의 관계

## 5. 결론

지지력개선효과에 미치는 보강재의 구속조건의 영향을 평가하기 위하여 보강재의 재료특성이 서로 다른 직포, 지오그리드, 강봉을 이용하여 보강재의 단부 구속조건을 달리한 실내모형실험을 수행하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 원지반의 허용지지력을 Terzaghi 지지력 이론식으로 평가한 결과 함수비  $w=94.7\%$ 의 원지반의 허용지지력은  $q_a=0.45tf/m^2$ , 함수비  $w=124\%$  지반은  $q_a=0.13tf/m^2$  인 것으로 확인되었고, 이 값은 실내모형실험을 통해 얻은 값의 각각 3.6배 및 2.3배에 해당한다.
2. 항복응력에서 보강재의 강성도의 증가에 따라 BCR값도 함께 증가되는 선형적인 관계가 확인되었다.
3. 소정의 단부 구속응력까지는 단부 구속응력의 증가에



따라 보강재와 점토지반사이의 마찰력의 증가로 인해 BCR값이 증가되고, 소정의 구속응력 부터는 완전구속 조건과 동일한 효과를 나타내며 지지력개선효과에 미치는 마찰력의 영향은 감소한다.

4. 직포의 보강재가 수평면과 이루는 경사각  $\theta$ 는  $38^\circ \sim 50^\circ$ 에 해당하며 지오그리드A는  $45^\circ \sim 50^\circ$ , 강봉은  $14^\circ \sim 16^\circ$ 인 것으로 평가되었고, 용기망의 반경  $r(m)$ 은 직포가  $0.6m \sim 0.7m$ , 지오그리드가  $0.5m \sim 0.8m$ , 강봉이  $2.4m \sim 3.0m$ 로 강성재료인 강봉은 비강성 재료인 직포의 약 4배에 해당하는 것으로 평가되었다.

### 감사의 글

본 연구는 건설기술혁신사업(06건설핵심-D02)의 일환으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 福往降二, 西林清茂 (1967), “비니론시트による軟弱地盤表層処理工法”, 第22回土木工学会年次学術講演概要集, pp. 1-4.
2. 山内豊聰, 後藤恵之輔 (1979), “敷網工の实用支持力公式の一提案”, 九州大学工学週報, Vol.52, No.3, pp.201-207.
3. Watari, Y. et al (1986), “Field study of behavior of geogrids and soft ground”, 3th Int. Conf. of Geotextiles, pp.187-191.
4. 平尾和年 (1997), “ジオテキスタイルによる軟弱地盤の支持力改良とその評価法に関する研究”, 九州大学博士論文, pp.42-46.
5. 矢島寿一, 丸尾武樹, 塚田幸広 (1988), “ジオテキスタイルを用いた強化路盤の変形挙動と効果”, 第3回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集, pp.60-65.
6. 西林清茂 (1980), 表層被覆工法(シート), 土木施行, Vol.21, No.13, pp.48-56.

(논문접수일 2008. 8. 17, 심사완료일 2008. 9. 6)