

SCP 및 GCP로 개량된 복합지반의 변위 양상에 관한 원심모델링

Centrifuge Modeling on Displacement Shapes of Composite Ground Improved by SCP and GCP

허 열[†] · 정소전* · 이처근** · 안광국***

Heo, Yol[†] · Zheng, Zhaodian* · Lee, Cheokeun** · Ahn, Kwangkuk***

Abstract

In this study, the centrifuge model tests were carried out to evaluate the stress concentration ratio, the deformation modes of piles and the ground movement in clay deposit improved by SCP and GCP piles with changing the replacement ratio(20%, 40%, 60%) under flexible loading. Based on the results obtained, it was shown that the stresses acting on GCP was larger than those acting on SCP with the same replacement ratio. It was evaluated that the average stress concentration ratio of soft clay ground improved by GCP was slightly larger than that of SCP when the replacement ratio is 40%. Only expansion failure occurred in GCP, whereas SCP showed the expansion and shear failure simultaneously.

Keywords : Sand Compaction Pile, Gravel Compaction Pile, Stress Concentration Ratio, Centrifuge Model Test, Flexible Loading

요 지

본 연구에서는 모래다짐말뚝(SCP) 및 쇄석다짐말뚝(GCP)으로 개량된 복합 지반의 응력 분담비, 말뚝 및 지반의 변형형태를 파악하기 위하여 말뚝의 치환율(20%, 40%, 60%)을 변화시키면서 연성재하 원심모형실험을 수행하였다. 실험결과, 동일 치환율에서 쇄석 다짐말뚝에 작용하는 응력이 모래다짐말뚝에 작용하는 응력보다 크게 나타났다. 치환율 40%에서 쇄석다짐말뚝으로 개량된 연약점토지반의 평균 응력분담비가 모래다짐말뚝을 설치한 경우보다 약간 크게 나타났다. GCP는 팽창파괴가 발생되었으며, SCP는 팽창 및 전단파괴가 동시에 발생함을 확인할 수 있었다.

주요어 : 모래다짐말뚝, 쇄석다짐말뚝, 응력분담비, 원심모형실험, 연성재하

† 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수(heoyol@yahoo.co.kr)

* 비회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

** 정회원, (주)세일엔지니어링 기술연구소 소장

*** 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 전임강사

1. 서론

조립질 다짐말뚝 공법은 연약지반에 모래, 쇄석, 자갈 등의 조립질 재료를 압입하여 큰 직경의 말뚝을 조성하는 지반개량공법으로 사용하는 재료에 따라 모래 다짐말뚝(Sand Compaction Pile, SCP), 쇄석다짐말뚝(Granular Compaction Pile, GCP) 등으로 분류된다. 조립질 말뚝공법은 기초 지반의 지지력 증가, 침하량 감소, 주변 점성토 지반의 압밀침하를 촉진하여 지반의 잔류침하를 저감할 수 있는 특징을 갖는다. 조립질 말뚝에 의해 보강된 지반은 일반적으로 복합지반이라 불리며, 치환율과 내부마찰각, 원지반의 강도에 대한 함수로 알려져 있다. 이러한 공법의 설계는 유럽과 일본을 중심으로 제안된 식들을 이용하므로 국내의 경우와 다를 수 있으며, 모래를 중심으로 산정된 값이므로 점차적으로 사용량이 증가할 것으로 예상되는 쇄석이나 다른 재료에 대한 적용 가능성은 검증되지 않았다.

조립질 다짐말뚝으로 개량된 복합지반의 변위 및 응력분담 특성에 관한 연구결과로는 Jung 등(1988)은 원심모형실험을 통하여 모래다짐말뚝으로 개량된 복합지반의 압밀거동 특성을 규명하였고, 박용원 등(2000)은 SCP의 치환율 변화에 따른 모형실험과 대형직접전단 시험을 통해 치환율과 복합지반의 응력분담비, 침하저감효과의 관계와 치환율이 복합지반의 강도에 미치는 영향을 분석하였으며, 천병식과 여유현(2001)은 면적치환비가 작은 샌드파일 설치지반에서 복합지반을 고려한 원지반의 지지력과 비교하여 매우 작은 증가를 보인다고 하였으며, 신방웅과 배우석(2001)은 쇄석말뚝-매트로 구성된 기초시스템의 선단지지 단일말뚝과 군말뚝에 대한 모형실험을 통하여 파괴각에 미치는 인자들을 평가하였고, 유승경(2003)은 저치환율의 SCP 복합지반에 대한 모형실험을 통하여 압밀중에 발생하는 SCP와 점토 각각의 역학거동과 복합지반 내부에 대한 응력분담 거동에 고찰하였고, 안광국(2006)은 원심모형 실험을 통하여 강성재하시 CSCP 및 SCP로 개량된 복합지반의 응력분담 특성 등을 규명한 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 모래다짐말뚝(SCP) 및 쇄석다짐말뚝(GCP)으로 개량된 복합지반에 대하여 연성재 하조건에 대한 원심모형실험을 수행하여 말뚝의 종류

와 치환율에 따른 응력분담비, 지반 및 말뚝의 변위형태를 비교 분석하였다.

2 조립질 다짐말뚝공법의 기본개념

조립질 다짐말뚝공법은 모래나 쇄석 및 자갈과 같은 조립질 재료로 형성된 기둥으로 연약한 점토나 느슨한 사질토 지반을 치환하여 지반을 개량하는 공법으로 조립질 말뚝과 원지반이 상재하중을 분담하고, 단일 말뚝의 하중 분담은 단일 등가원주모형(unit cell)개념으로 해석한다. 조립질 말뚝과 점성토로 형성된 복합지반은 말뚝의 직경과 치환율로 표현되는 말뚝 간격, 지반의 비배수 전단강도, 조립질 재료의 응력-변형률 특성과 전단 저항각 등에 영향을 받는다.

치환율 a_s 은 조립질 다짐말뚝의 면적비로 개량 정도를 나타내는 정수로 식 (1)과 같다.

$$a_s = \frac{A_s}{A_s + A_c} \quad (1)$$

여기서, A_s 는 다짐한 후 말뚝의 단면적이며,

A_c 는 말뚝 주변점성토지반의 면적이다.

복합지반이 하중을 받는 경우 말뚝 주변의 점성토 지반에 발생하는 응력은 감소하며, 조립질 다짐말뚝으로 응력의 집중이 발생한다. 응력의 집중은 재하시 말뚝의 수직침하와 주변 흙의 침하가 거의 동일하며, 아칭현상에 의해 주변의 연약지반보다 강성이 큰 말뚝으로 응력이 집중되기 때문에 발생된다. 응력분담비 n 은 단위 셀의 수직응력 분포를 고려하여 식 (2)와 같이 정의할 수 있다.

$$n = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \quad (2)$$

여기서, σ_s 는 조립질 다짐말뚝의 응력, σ_c 는 주변 점성토 지반의 응력이다.

응력분담비는 조립질 다짐말뚝과 주변지반의 상대적인 강성에 의존하며, Barkdale과 Bachus(1983)는 치환

울에 따른 응력분담비를 2-5의 범위로 제안하였다. Bergado(1988)는 6%의 낮은 치환율을 가진 연약한 방콕 점토에 대한 현장 재하시험으로부터 응력분담비 2를 획득하였으며, 적용된 하중의 증가에 따라 1.45까지 감소됨을 발견하였다. 주어진 면적 치환율 a_s 에 따라 단위 셀 면적에 대한 평균 응력 σ 는 식 (3)과 같다.

$$\sigma = \sigma_s \cdot a_s + \sigma_c(1 - a_s) \quad (3)$$

3. 실험내용 및 방법

3.1 시료의 물리적 특성

본 연구에서 모형실험 시 지반형성 재료로는 경상남도 진해시 안골동 인근 옥망산 앞 해역지역에서 채취한 해성점토를 재성형하여 사용하였으며, 실험에 사용된 대상 시료에 대한 물리적 특성 실험 결과를 표 1과 같다.

표 1. 점토의 물리적 특성

비중	#200체 통과율 (%)	액성 한계 (%)	소성 지수 (%)	자연 함수비 (%)	USCS	습윤 단위 중량 (kN/m^3)
2.70	84.6	74.8	44.3	68.2	CL	16.19

3.2 실험장치 및 기구

3.2.1 원심모형시험기

본 연구에서는 사용된 원 지반의 응력 조건을 재현할 수 있는 원심모형 실험기의 최대 원심가속도는 200g-level, 최대용량은 25g·ton이고 중심축에서 힌지까지의 거리가 920mm, 스윙바스켓 저면까지의 거리는 1280mm로 제작되었다. 원심모형시험기는 그림 1과 같이 Shaft와 Boom, 2개의 Swing Basket, Slip Ring으로 이루어져 있으며, 주요 장치로 구동장치, 자료 획득 장치, 속도제어장치, 모니터링 장치로 구성되어 있다.

3.2.2 모형토조

모형 토조는 그림 2와 같이 3면과 밑면은 2mm 두께

의 스테인레스로 제작되었고, 실험 중 측방 관찰할 수 있도록 토조의 전면은 20mm 두께의 투명아크릴 판으로 제작하였다. 본 실험에서 사용한 모형 토조의 내부 크기는 가로 52cm, 세로 17cm, 높이 35cm이다.

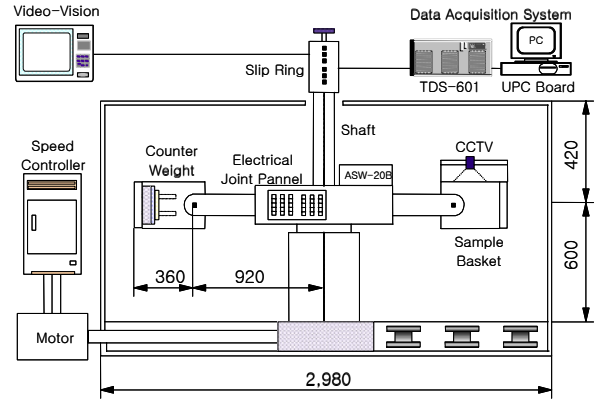


그림 1. 원심모형시험기의 개요도

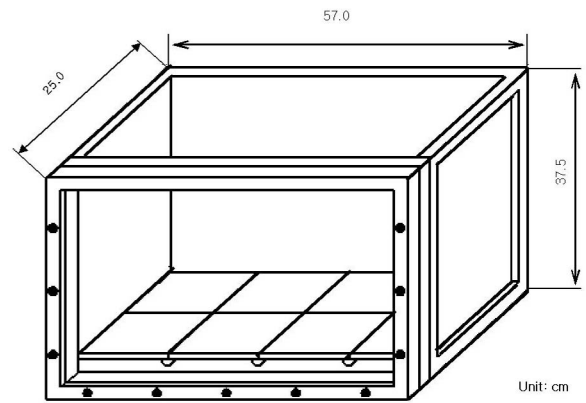


그림 2. 모형토조의 개요도

3.2.3 계측장치

본 실험에서는 지반의 변위를 측정하기 위하여 LVDT를 사용하였으며, 이 LVDT의 측정용량은 50mm이고, 0.01mm까지 측정이 가능하다. 토압계는 말뚝상부와 지반상부에 설치하여 재하에 따른 연직응력을 측정하기 위하여 Tokyo Sokki Kenkyujo사 제품을 사용하였으며, 측정용량은 200, 500kPa인 제품을 사용하였다. 본 실험에서 토압계 등의 계측기로부터 측정 자료를 기록하기 위하여 PC에 내장된 UPC BOARD와 TDS 601로 자료획득 장치를 사용하였다.

3.3 실험내용 및 방법

본 실험에서는 말뚝의 치환율(0, 20, 40, 60%), 말뚝 재료의 종류(GCP, SCP)를 변화시키면서 연성재하 조건으로 7회의 원심모형실험을 수행하였으며, 실험조건은 표 2와 같다. 모형실험은 자중압밀, 말뚝설치, 제방 축조, 계층계 설치, 모형토조 탑재, 중력수준 60g-level 까지 가속하는 순서로 실시하였다.

본 실험에서 쇄석다짐말뚝 재료는 1~5mm의 쇄석을 사용하였으며, 모래다짐말뚝 재료는 표준사를 사용하였다. SCP와 GCP는 미리 제작하여 동결시킨 후에 자중압밀이 끝난 점토 지반에 오거를 사용하여 굴착을 한 후에 굴착된 구멍 내에 동결말뚝을 설치하여 형성하였다. 모형실험에서 말뚝의 지름은 15mm로 형성하였다.

그림 3은 개량지반의 단면을 나타낸 것으로 개량영역의 폭은 155mm, 모형지반의 높이는 200mm로 형성하였다. 치환율이 20%인 경우 말뚝 중심사이의 간격을 29.7mm로 하여 25개의 말뚝을 설치하였으며, 치환율이 40%인 경우에는 말뚝중심사이의 간격을 21.0mm로 하여 49개의 말뚝을, 치환율이 60%인 경우 말뚝중심사이의 간격을 17.2mm로 하여 정방형으로 72개의 말뚝을 설치하였다. 본 실험에서 사용한 모형토조의 폭이 17cm로 제한적이므로 치환율 20%인 경우에는 토조 후면에 2cm 두께의 아크릴판을 부착하였으며, 치환율 40%인 경우에는 1.5cm 두께의 아크릴판을 부착하여 모형실험을 수행하였다.

본 실험은 자중압밀이 완료된 점토시료에 GCP 및 SCP를 설치하였고, 그 후에 모형지반 상부에 말뚝상부 및 말뚝사이의 점토지반 상부에 토압계를 설치한 다음에 제방을 축조하고 나서 60g-level의 중력수준에서 실시하였으며, 제방하중에 의한 말뚝상부 및 점토지반 상부에서 시간에 따른 연직응력을 측정하였다. 또한, 일부 실험에 대해서는 말뚝설치 후 모형 토조 전면의 아크릴판을 분리한 후 점토지반 표면에 20mm 간격으로 정방형의 메쉬를 설치하여 제방하중에 의한 지반의 변위형태를 분석하였다.

표 2. 원심모형실험 조건

실험 번호	치환율 (%)	말뚝 지름 (mm)	말뚝 재료	말뚝 간격 (cm)
SCP00	0	15	-	-
GCP20	20	15	표준사	2.97×2.97
GCP40	40	15	표준사	2.10×2.10
GCP60	60	15	표준사	1.72×1.72
SCP20	20	15	쇄석	2.97×2.97
SCP40	40	15	쇄석	2.10×2.10
SCP60	60	15	쇄석	1.72×1.72

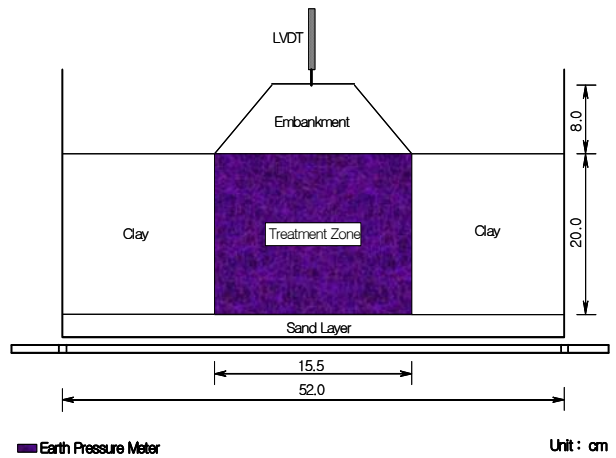


그림 3. 모형실험 단면

4. 실험결과 및 분석

4.1 시간에 따른 연직응력

SCP 및 GCP로 개량된 지반에 대한 연성재하 원심모형실험은 60g-level의 중력수준 하에서 실시하였다. SCP 및 GCP로 20%, 40%, 60%의 치환율로 개량된 지반상부에 제방을 축조하여 제방하중에 의한 말뚝상부 및 말뚝사이의 점토지반 상부에 설치한 토압계로부터 시간에 따른 연직응력의 변화를 측정하였다.

그림 4는 GCP를 20%, 40%, 60%로 개량된 지반에 대한 실험결과 시간-연직응력 곡선을 나타낸 것이다. 치환율이 40%인 경우의 말뚝상부에서의 연직응력이 가장 크게 나타났으며, 점토지반 상부에서의 연직응력이 가장 작게 측정되었고, 치환율이 60%인 경우 말뚝상부의 연직응력이 가장 작게 나타났다.

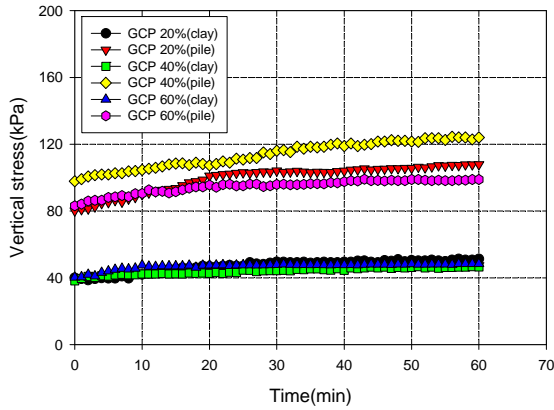


그림 4. GCP 보강지반의 시간-연직응력곡선

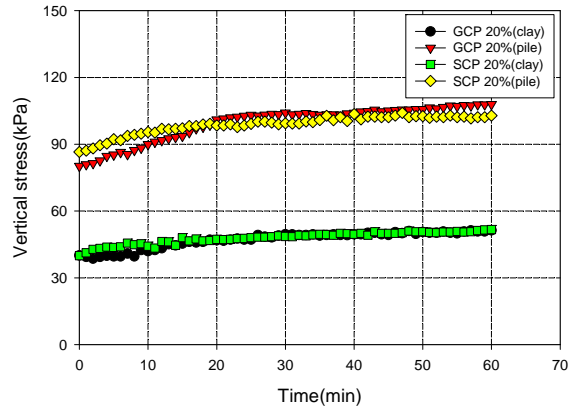


그림 6. 시간-연직응력곡선(치환율 20%)

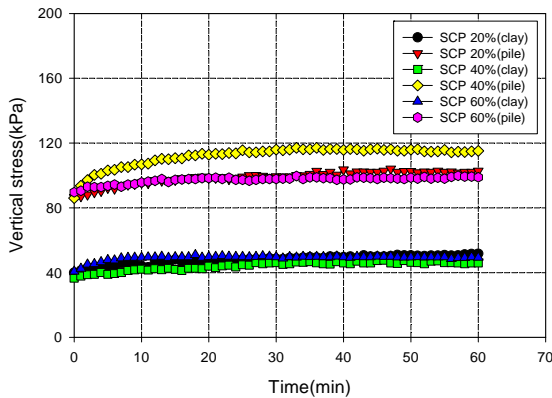


그림 5. SCP 보강지반의 시간-연직응력곡선

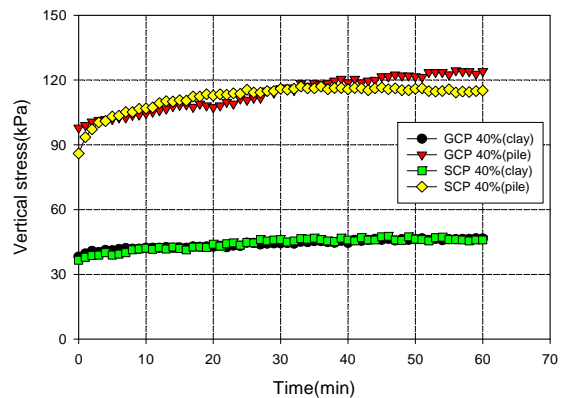


그림 7. 시간-연직응력곡선(치환율 40%)

그림 5는 SCP로 개량한 경우 시간에 따른 연직응력의 변화를 나타낸 것이다. SCP를 설치한 경우에도 GCP를 설치한 경우와 마찬가지로 치환율이 40%인 경우의 모래말뚝 상부에서의 연직응력이 가장 크게 나타났으며, 점토지반 상부에서의 연직응력은 가장 작게 측정되었다. 치환율이 20%와 60%인 경우 점토지반 상부에서의 응력은 거의 일치하고 있으며, 말뚝 상부에서의 연직응력은 약 25분 이후부터 치환율이 20%인 경우가 다소 크게 나타났다.

그림 6은 SCP 및 GCP의 치환율이 20%인 경우 시간에 따른 연직응력의 변화를 비교한 것이다. 이로부터 점토지반 상부에서의 시간에 따른 연직응력은 10분 이전에는 GCP가 다소 작게 측정되었지만, 10분 이후부터는 거의 일치하였다. 한편, 말뚝상부에서의 연직응력은 약 20분 이내에서는 SCP로 개량된 경우가 약간 크게

나타난 반면, 20분 이후부터는 오히려 GCP를 설치한 경우의 연직응력이 더 크게 측정되었다.

그림 7은 치환율이 40%인 경우 SCP 및 GCP로 개량된 지반에 대한 연성재하 실험결과 시간-연직응력 곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 8로부터 점토지반 상부에서의 연직응력은 거의 일치하고 있으며, 말뚝 상부에서의 응력은 30분 이후부터 GCP의 연직응력이 SCP에 비해 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 8은 SCP 및 GCP를 60%의 치환율로 개량한 경우 시간-연직응력 곡선을 나타낸 것으로 점토지반 상부에서의 연직응력은 SCP를 설치한 경우가 GCP를 설치한 경우보다 약간 크게 나타나고 있으며, 말뚝상부에서의 연직응력은 약 40분 이전에는 SCP를 설치한 경우가 다소 크게 나타나고, 그 이후에는 거의 일치하는 것으로 나타났다.

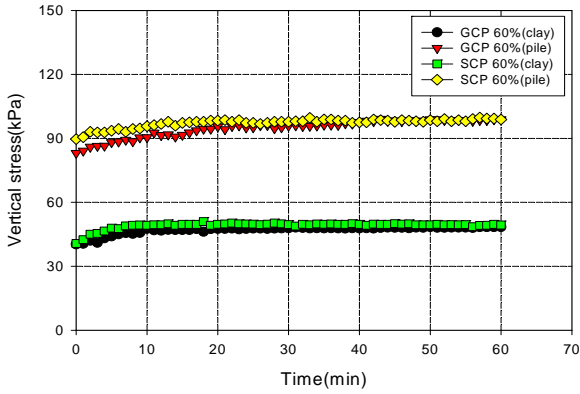


그림 8. 시간-연직응력곡선(치환율 60%)

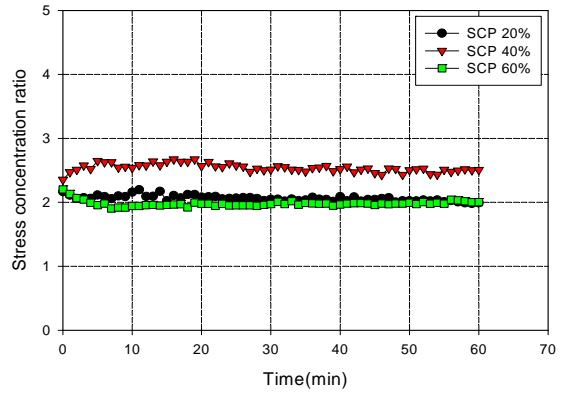


그림 10. 시간에 따른 응력분담비(SCP)

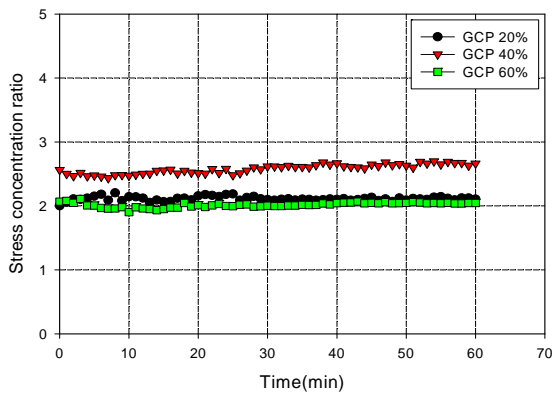


그림 9. 시간에 따른 응력분담비(GCP)

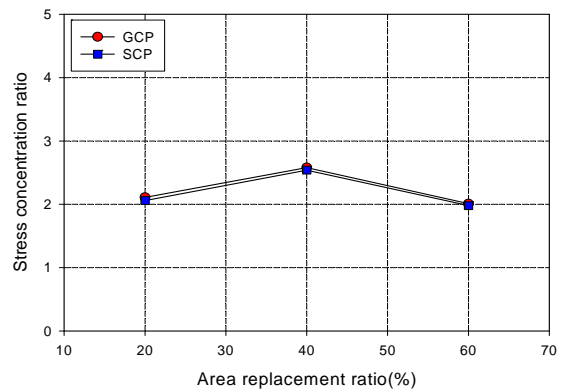


그림 11. 치환율에 따른 응력분담비

4.2 응력분담 특성

표 3은 SCP 및 GCP로 개량된 지반에 대한 연성재 하 원심모형실험 결과 응력분담비의 범위와 평균 응력분담비를 정리하여 나타낸 것이다.

표 3. 응력분담비의 범위 및 평균

Test Case	Range of Stress Concentration Ratio	Average Stress Concentration Ratio
GCP 20%	2.00~2.18	2.11
SCP 20%	1.98~2.17	2.06
GCP 40%	2.46~2.69	2.58
SCP 40%	2.35~2.67	2.54
GCP 60%	1.90~2.08	2.01
SCP 60%	1.90~2.20	1.98

그림 9와 그림 10은 각각 GCP와 SCP로 개량된 복합 지반에 대한 시간-응력분담비 곡선을 나타낸 것으로 치환율이 40%인 경우 응력분담비가 가장 크게 나타났으며, 치환율이 60%인 경우 응력분담비가 가장 작게 평가되었다. GCP로 개량된 복합지반을 대한 치환율이 40%인 경우 평균 응력분담비는 2.58로 치환율이 20%인 경우에 비해 22% 정도 증가하였다. GCP로 개량된 복합지반을 대한 치환율이 40%인 경우 평균 응력분담비는 2.54로 치환율이 20%인 경우에 비해 23% 정도 증가하였다.

그림 11은 치환율에 따른 평균 응력분담비의 변화를 나타낸 것으로 SCP 및 GCP의 치환율이 40%인 경우가 가장 큰 응력 분담비를 나타내고 있으며, GCP로 개량된 경우의 평균 응력분담비가 SCP를 설치한 경우보다 약간 크게 나타났다.

4.3 지반 변위

본 실험에서 연성 재하에 의한 지반의 변위 형태와 변위 양상을 파악하기 위하여 SCP 및 GCP의 설치가 완료된 후에 모형토조 전면의 아크릴판을 분리한 다음 점토지반 표면에 약 20mm 간격으로 정방형의 격자망을 설치하였다. 격자망은 점토층에 약간의 흠을 형성시킨 다음 국수를 이용하여 형성시켰으며, 지반의 변위양상은 실험완료 후에 재하에 의해 변형된 격자의 좌표를 읽어 측정하였다. 그림 12는 지반변위 측정을 위한 격자망 설치 후의 모형지반형상이며, 그림 13은 무보강 지반에서 실험이 종료된 후의 제방하중에 의해 변형된 모형지반을 나타낸 것이다.

그림 14는 무보강 지반에 대한 연성재하 실험결과 측정된 지반의 변위벡터를 보여주고 있다. 제방하중 중심부분 아래에서의 변위벡터는 연직면과 약 10°~20° 정도의 각도를 이루면서 연직방향으로 발생하고 있으며, 중심에서 멀어질수록 연직면과 이루는 각도가 커지면서 제방 선단 아래 부분에서는 수평방

향의 변위를 나타내고 있다. 지표면 부분에서는 연직면과 약 40°~50°의 각도를 이루면서 지표면 쪽을 향하여 발생하고 있다. 최대변위벡터의 크기는 28mm 정도로 나타났으며, 지표면으로부터 약 100mm 이내에서 지반변위가 지배적으로 발생하고 있다.

그림 15~그림 17의 복합지반에 대해서도 변위 벡터의 크기와 방향이 약간 다를 뿐 무보강지반과 거의 유사한 형태의 지반변위를 일으키고 있다. SCP의 치환율이 20%인 경우에(그림 15) 연직방향의 최대 변위벡터의 크기는 약 42mm 정도로 제방 중심 아래서 발생하였는데 무보강 지반보다 크게 나타났다, 최대 수평변위는 약 36mm 정도로 제방 선단에서 발생하였다. 40%인 경우에도(그림 16) 연직방향의 최대 변위벡터의 크기는 약 36mm 정도로 제방 중심 아래서 발생하였는데 무보강 지반보다 크게 나타났다, 최대 수평변위는 약 33mm 정도로 제방 선단에서 발생하였다. 그림 17에 나타낸 바와 같이 치환율 60%인 경우에는 최대 연직 변위벡터의 크기는 약 25mm 정도로 제방중심에서 발생하였으며, 최대 수평변위의 크기는 22mm 정도로 제

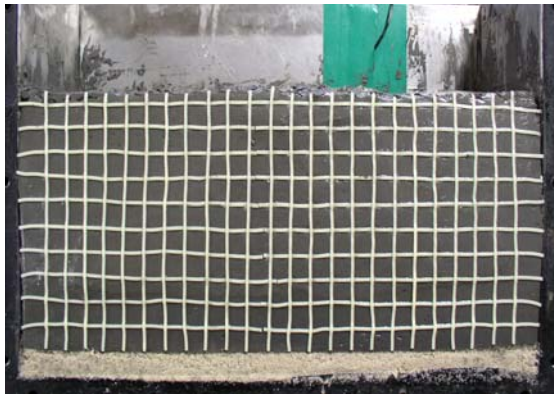


그림 12. 정방형 격자망 설치후의 모형지반

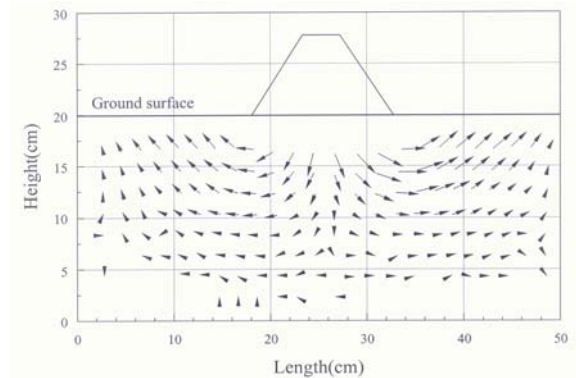


그림 14. 무보강 지반의 변위벡터



그림 13. 성토하중에 의해 변형된 모형지반

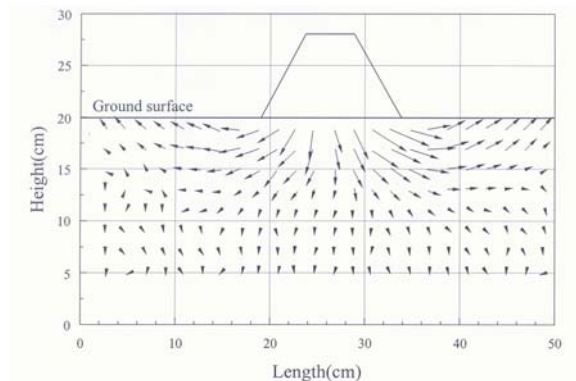


그림 15. 보강지반의 변위벡터(SCP 20%)

방선단 아래 부분에서 발생하였다.

그림 18과 그림 19는 GCP의 치환율이 20%와 60%인 경우 실험종료 후의 변형된 모형지반을 나타낸 것으로 전반적인 지반의 변형형태는 제방 중심 아래에서 지반의 변형은 거의 연직방향으로 발생하고 있으며, 지표면으로부터 깊이가 증가할수록 변형이 감소되어 모형지반하부에서는 거의 변형이 발생되지 않음을 알 수 있다. 재하 및 제방 중심으로부터 거리가 멀어짐에 따라 변위의 방향이 연직방향에서 수평방향으로 변하면서 재하판 모서리(연성재하시는 제방 선단) 아래 부분부터는 재하 및 제방하중에 의한 수평방향 응력의 증가로 인해 흙요소가 연직방향으로 팽창이 발생되어 지표면까지 확장되고 있다.

4.4 말뚝의 변형특성

그림 20~그림 22는 연성재하 실험결과 말뚝의 변위 단면을 보여주고 있다. 이로부터 제방 중심부분 아래의 말뚝은 연직방향으로 변위가 발생하고 있으며, 중심에서 거리가 멀어질수록 말뚝의 수평방향 변위가 크게

발생하고 있음을 알 수 있다. 또한, 치환율이 증가할수록 말뚝의 수평변위가 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 실험종료후 모형지반단면을 모형토조의 폭방향으로 절개하여 SCP와 GCP의 변형형태를 확인한 결과 GCP는 팽창과괴가 발생되었으며, SCP는 팽창 및 전단과괴가 동시에 발생하는 것으로 나타났다. 복합지반의 파괴형태는 원추형태를 나타내었으며, 이러한 결과는 김홍택과 강운(2004)의 결과와 유사하다. 동일 치환율에서 GCP와 SCP의 최대 수평변위의 크기는 SCP가 약간 크게 발생하는 것으로 나타났으며, SCP의 경우 수평변위가 발생하는 깊이가 GCP의 경우보다 깊어지는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 쇄석다짐말뚝(GCP) 및 모래다짐말뚝(SCP)으로 개량된 복합지반에서 응력분담비, 지반 및 말뚝의 변위형태를 파악하기 위하여 말뚝 종류와 치환율을 변화시키면서 연성재하 원심모형실험을 실시하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

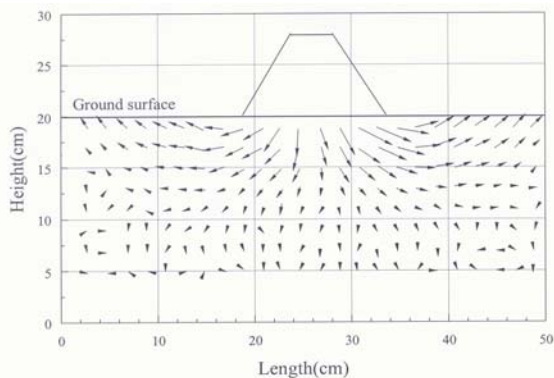


그림 16. 보강지반의 변위벡터(SCP 40%)

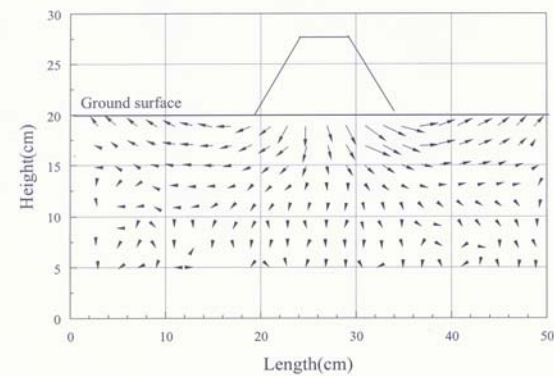


그림 17. 보강지반의 변위벡터(SCP 60%)



그림 18. 모형지반의 변형단면(GCP 20%)

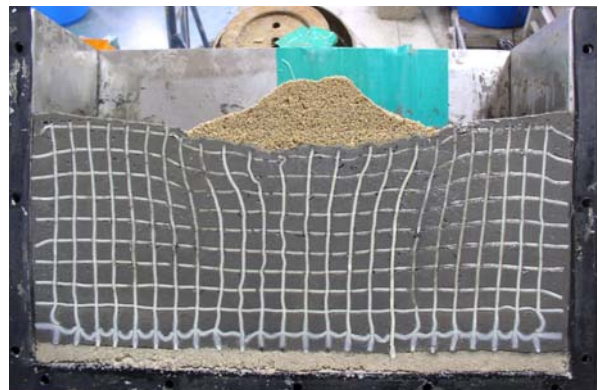


그림 19. 모형지반의 변형단면(GCP 60%)

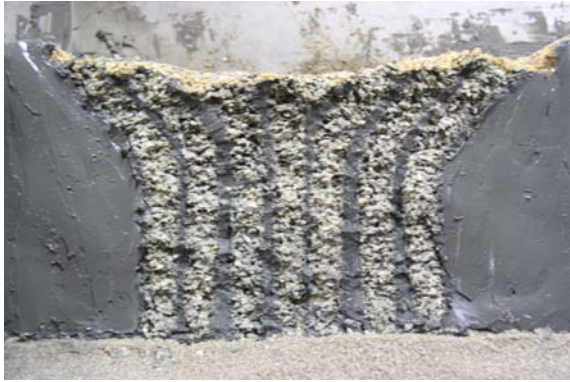


그림 20. 말뚝의 변형단면(GCP 40%)



그림 21. 말뚝의 변형단면(SCP 40%)



그림 22. 말뚝의 변형단면(GCP 60%)

1. 실험 결과 동일한 치환율에서 복합 지반에서의 연직 응력은 유사한 반면, 말뚝상부에서의 연직응력은 쇄석다짐말뚝으로 보강한 경우가 크게 나타나 SCP보다 GCP가 더 큰 응력을 부담한다는 것을 확인할 수 있었다.
2. 쇄석다짐말뚝 및 모래다짐말뚝의 치환율이 40%인 경우가 가장 큰 응력 분담비를 나타내었으며, 쇄석다짐말뚝으로 개량된 경우의 평균 응력분담비가 모래다짐말뚝을 설치한 경우보다 약간 크게 나타났다.
3. 제방하중에 의한 지반의 변위는 재하중심 아래에서 거의 연직방향의 변위를 일으키며, 재하중심으로부터 거리가 멀어짐에 따라 변위의 방향이 연직방향에서 수평방향으로 변하면서 제방선단 아래 부분에서 최대 수평방향의 변위를 일으키고 있음을 확인할 수 있었다.
4. 연성재하에 의하여 제방 중심부분 아래의 말뚝은 연직방향으로 변위가 발생하고 있으며, 중심에서 거리가 멀어질수록 말뚝의 수평방향 변위가 크게 발생하고 치환율이 증가할수록 말뚝의 수평변위가 감소하였다. GCP는 팽창파괴가 발생되었으며, SCP는 팽창 및 전단파괴가 동시에 발생함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

(접수일 : 2006. 7. 4 심사일 : 2006. 8. 14 심사완료일 : 2006. 9. 4)

참고문헌

1. 김홍택, 강운(2004), 모형실험에 의한 조립토 다짐말뚝의 하중-침하 관련 거동특성 분석, 한국지반환경공학회 논문집, 제5권, 제4호, pp. 33~45.
2. 박용원, 김병일, 윤길림, 이상익, 문대중, 권오순(2000), 모래다짐말뚝(SCP)의 치환율 변화에 따른 특성연구, 한국지반공학회 논문집, 제16권, 제4호, pp. 117~128.
3. 신방웅, 배우석(2001), 쇄석말뚝으로 보강된 기초시스템의 파괴 거동, 한국지반환경공학회 논문집, 제2권, 제3호, pp. 71~80.

4. 안광국(2006), 원심모델링에 의한 CSCP 및 SCP로 개량된 연약지반의 거동, *한국지반공학회 논문집*, 제22권, 제4호, pp. 21~30.
5. 유승경(2003), 저치환율 모래다짐말뚝에 의한 복합지반의 응력분담거동에 대한 실험적 연구, *한국지반공학회 논문집*, 제19권, 제5호, pp. 253~261.
6. 천병식, 여유현(2001), 면적치환비가 작은 샌드파일 설치지반에서의 복합지반 효과, *한국지반환경공학회 논문집*, 제2권, 제3호, pp. 57~69.
7. Barksdale, R. D., and Bachus, R. C.(1983), *Design and Construction of Stone Columns-Vol. I*, Report No. FHWA/RD-83/026, FHWA, Washington D.C, pp. 1~194.
8. Bergado, D. T., Miura, N., Panichayatum, B. and Sampaco, C. L.(1988), Reinforcement of Soft Bangkok Clay Using Granular Piles, *Proceedings of International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement*, pp. 179~184.
9. Jung, J. B., Moriwaki, T., Sumioka, O., and Kusakaba, O.(1998), Consolidation Behavior of Composite Ground Improved by Sand Compaction Piles, *Proceedings of the International Conference Centrifuge 98*, Tokyo, Japan, Vol. 1, pp. 825~830.