

복합지반상 교대변위 및 지반 측방유동에 관한 원심모델링

Centrifuge Modeling on Lateral Flow of Soft Soils and Displacement of Bridge Abutment on the Composite Ground

허 열[†] · 박 성 훈¹⁾ · 윤 석 현²⁾ · 권 선 옥¹⁾

Heo, Yol · Park, Sunghun · Yun, Seokhyun · Kwon, Seonuk

ABSTRACT : In this study, the centrifuge tests were performed to investigate the lateral flow behavior and stability of the ground improved by SCP. The centrifuge tests were fulfilled in the case of the back of abutment filled by EPS (case 1) and soil (case 2), and the potentiometer was installed on the abutment and embankment to measure the vertical and horizontal displacement at the top of abutment. As a result, the vertical displacement measured at the back of abutment was maximum 2.1 m, which was about 12% if compared with the height of embankment. In the case of the back of abutment filled by soil, the vertical and horizontal displacement measured at the top of abutment was 10 cm and 1.1 m, respectively, which exceeded the allowable horizontal displacement. On the other hand, in the case of the back of abutment filled by EPS, the vertical displacement of abutment did not occur and the horizontal displacement was 1.4 cm. Therefore, the effect of SCP improvement with EPS method adopted to prevent the lateral flow and assure the stability of embankment on the soft ground was far superior.

Keywords : EPS, SCP, Centrifuge modeling, Lateral flow, Abutment, Embankment

요 지 : 본 연구에서는 모래다짐말뚝(SCP)로 개량된 복합 지반상의 고성토 지반 및 교대의 측방유동과 안정성을 파악하기 위하여 원심모형실험을 수행하였다. 원심모형실험은 교대배면구간을 EPS로 성토한 경우(Case 1)와 교대 배면구간을 토사로 성토한 경우(Case 2)에 대하여 수행하였으며, 모형실험시 성토체 상부와 교대구간에 Potentiometer를 설치하여 단계 성토별 성토체 수직변위 및 단계별 개량지반내 변형 양상과 교대상부에서 발생하는 수직 및 수평 변위를 측정하였다. 실험결과, 교대배면 성토부에서 수직변위는 최대 2.10m 정도(현장조건)로 성토고 대비 약 12%로 나타났다. 교대배면구간을 토사로 성토한 경우(Case 2) 교대 상부에서 측정된 수직 및 수평변위는 각각 10cm와 1.1m 정도로 허용기준을 크게 초과하였다. 반면, EPS로 뒷채움을 하는 경우(Case 1) 교대의 수직변위는 거의 발생하지 않았으며, 수평변위는 1.4cm 정도로 나타났다. 따라서, 연약지반상 도로 시공시 성토체의 안정성 확보를 위한 SCP공법 및 교대의 측방유동을 방지할 목적으로 채택된 SCP 개량 + EPS 성토공법의 효과는 매우 우수한 것으로 판단된다.

주요어 : EPS, SCP, 원심모델링, 측방유동, 교대, 제방

1. 서 론

우리나라의 산업이 발전하고, 더불어 인구 증가와 경제 규모의 확대로 인해 공학적으로 불리한 조건에 있는 해안 지대에서의 매립공사 및 토목구조물 시공이 점점 증가하고 있는 실정이다. 현재 연약지반 구간을 통과하는 고속도로나 철도 등등이 지속적으로 건설되고 있으며, 서해와 남해 연안에서는 바다를 매립하여 부지를 조성해서 항만이나 공항 또는 공업단지를 건설하는 건설공사들이 진행되고 있다.

이들 건설공사에는 연약지반 위에 제방 축조 등이 수반되며 이와 같이 연약지반상에 성토를 하거나 교대 등의 구조물을 축조하고 뒷채움을 실시하는 경우 연약지반에 편

재하중이 작용하게 되어 측방유동이나 용기 현상 등이 발생하게 되고(Tschebotarioff, 1973), 심할 경우 지반의 전단 파괴로 상부구조물이 붕괴될 수도 있으며, 측방유동의 발생은 지반구조물에 많은 문제를 야기시키고 있다(Ingold, 1977; Kimura et al., 1994). 이에 따라 실제 건설공사 시에는 지반파괴 및 과다변형을 억제하고, 안정적이고 신속한 시공을 도모하기 위해 여러 종류의 지반개량공법을 적용하고 있다. 국내에서도 측방유동에 대한 관심이 증가하고 있으며, 관련 연구도 계속적으로 진행되고 있다(홍원표 등, 1991; 조성민, 1998; 서정주 등, 2003; 홍원표, 송영석, 2006). 그러나, 복합지반상 교대설치 후 EPS 및 토사 고성토에 의한 지반거동에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

† 정회원, 충북대학교 토목공학과 교수(E-mail : heoyol@yahoo.co.kr)

1) 비회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

2) 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

본 연구는 연약지반 즉, 실트질 점토로 이루어진 퇴적지반에 현장 지반조사 결과를 이용하여 검토된 연약지반처리공법 중 샌드컴팩션파일공법(SCP)을 적용한 후 도로 축조를 위한 제방 시공시 점성토 지반 및 성토제방의 변형거동 평가와 더불어 도로의 토공구조물인 교대와 깊은기초인 현장타설말뚝의 거동특성을 규명하기 위해 원심모형실험을 실시하였다.

원심모형실험을 통하여 현장에서 계획된 지반개량, 성토, 교대 시공 및 배면 EPS 성토공법을 적용할 경우에 대해 각 시공 단계별 지반 및 구조물의 변위 양상을 확인하여, 변위 양상에 따른 지반과 성토체 및 교대구조물의 거동을 평가하고자 하였다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 시료의 물리적 특성

본 연구에서 모형실험시 지반형성 재료로는 울산 지역

표 1. 점성토의 물리적 특성

물리적 특성	측정값
통일분류	CH
No.200 체 통과량(%)	97.3
액성한계, LL (%)	94.5
소성지수, PI (%)	62.5
자연함수비, ω (%)	87.3
비 중, G_s	2.73
초기간극비, e_0	2.38
압축지수, C_c	1.03
압밀계수, C_v (cm/sec)	4×10^{-4}
내부마찰각, ϕ ($^\circ$)	19.1
습윤단위중량, γ_t (t/m^3)	1.51

에 걸쳐 널리 분포하고 있는 점성토를 재성형하여 사용하였다. 시료는 현장에서 채취한 해성점토로 액성한계의 2배의 함수비를 갖도록 물을 첨가하고 교반기로 교반한 후 슬러리 상태에서 0.074mm체를 통과시켜 원 지반 내에 함유되어 있는 유기질 및 불순물을 제거하였다. 이에 앞서 실험에 사용된 대상 시료의 물리적 특성을 파악하기 위하여 비중, 액·소성한계, 체분석 및 비중계분석의 물성시험을 실시하였으며, 실험에 사용된 대상 시료에 대한 물성시험 결과를 표 1에 나타내었다.

2.2 실험장치 및 기구

2.2.1 원심모형시험기

본 연구에서는 사용된 원지반의 응력 조건을 재현할 수 있는 원심모형 실험기의 최대 원심가속도는 200g-level, 최대 용량은 25g·ton으로 중심축에서 힌지까지의 거리가 920mm, 스윙바스켓 저면까지의 거리는 1280mm로 제작되었다. 원심모형시험기는 그림 1과 같이 기본 구조를 이루는 Shaft와 Boom, 2개의 Swing Basket, Slip Ring으로 이루어져 있으며, 주요 장치로 구동장치, 자료 획득 장치, 속도제어 장치, 모니터링 장치로 구성되어 있다. 원심모형실험은 실내에서 축소모형을 사용하여 인위적으로 모형을 가속시켜 흙입자의 자중을 증가시킴으로서 현장상태의 응력을 재현하여 경제적으로 실험을 수행할 수 있는 효율적인 실험기법으로 원심모형실험의 원리, 지반공학적 활용 및 문제점 등에 대해서는 Atkinson(1993), Taylor(1995), 이처근(2001)의 연구결과에 자세히 설명되어 있으며, 원심모형실험에서 모형과 현장조건에서의 상사법칙은 표 2와 같다.

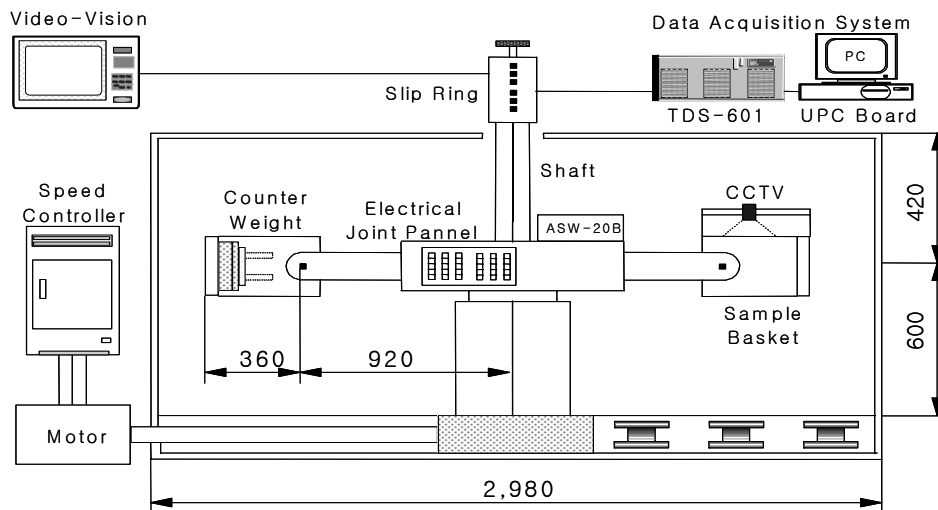


그림 1. 원심모형시험기의 개요도

표 2. 원심모형실험에서의 상사법칙

Quantity	Prototype	Model	Quantity	Prototype	Model
Length	1	1/n	Force	1	1/n ²
Area	1	1/n ²	Stress	1	1
Volume	1	1/n ³	Strain	1	1
Velocity	1	1	Mass density	1	1
Acceleration	1	n	Time (dynamic)	1	1/n
Mass	1	1/n ³	Time (consolidation)	1	1/n ²

2.2.2 계측장치

본 실험에서는 지반의 변위를 측정하기 위하여 Potentiometer를 사용하였으며, 이 Potentiometer의 측정용량은 50mm이고, 0.01mm까지 측정이 가능하다. 본 실험에서 potentiometer로부터의 측정 자료를 기록하기 위하여 PC에 내장된 UPC BOARD와 TDS 601로 자료획득 장치를 사용하였다.

2.3 실험내용 및 방법

연약지반상 고성토 교대구간의 측방유동에 대한 안정성을 평가하기 위하여 표 3에 나타낸 바와 같이 2회의 원심 모형실험을 수행하였다. Case 1은 교대배면구간을 EPS로 성토한 경우이고(그림 2), Case 2는 교대 배면구간을 토사로 성토한 경우이다(그림 3). 모형실험은 150g의 중력수준에서 실시하였으며, 단계 성토고 및 방치기간은 표 4와 같다. 표 4에서 성토고 및 시공기간은 현장조건에서의 값으로 모형실험에서는 현장조건을 고려하여 상사법칙을 적용하여 모형실험을 수행하였다.

연약지반에 SCP 설치를 완료한 후 샌드매트를 포설하였다. 본 실험에서 SCP의 설치는 자중압밀이 완료된 점토지반상에 오거를 이용하여 천공을 한 다음 얇은 황동

제 케이싱을 설치하고 케이싱을 인발하면서 천공된 구멍 내에 모래를 다짐하여 SCP를 설치하였다. 연약지반 위에 시공되는 프리로딩의 각 단계별 성토는 1단계 성토 후 원심모형실험을 실시하여 개량지반 및 성토체의 변위 양상을 확인한 후 2단계 성토를 실시하였으며, 이와 같은 과정을 반복하여 3단계 성토까지 실험을 실시하였다. 일반 토사를 이용한 3단계 프리로딩공법에 대한 모델실험 완료 후 현장에서 계획된 높이까지 토사 성토부를 제거한 후 교대 설치구간을 굴착하여 현장타설 말뚝 및 교대

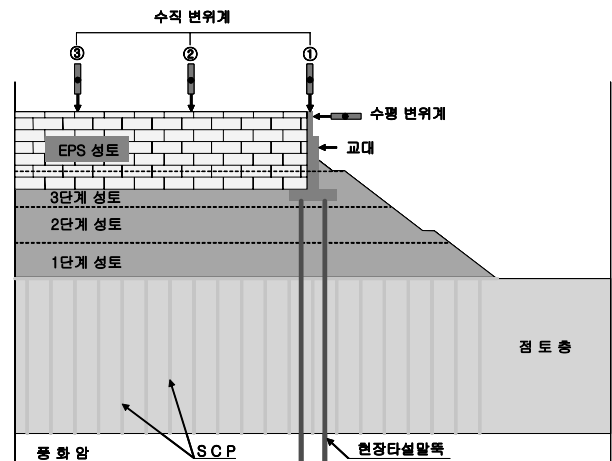


그림 2. EPS 성토단면의 모형지반 단면도

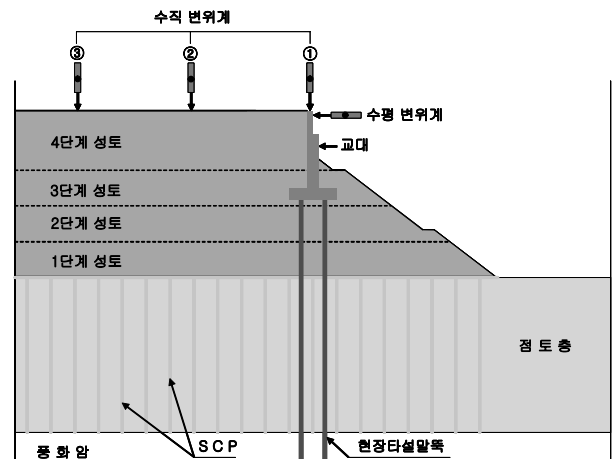


그림 3. 토사 성토단면의 모형지반 단면도

표 3. 원심모형실험 내역

구 분	점토지반 높이 (cm)	SCP 치환율 (%)	배면 성토재
Case 1	19cm	17	EPS
Case 2	19cm	17	토사

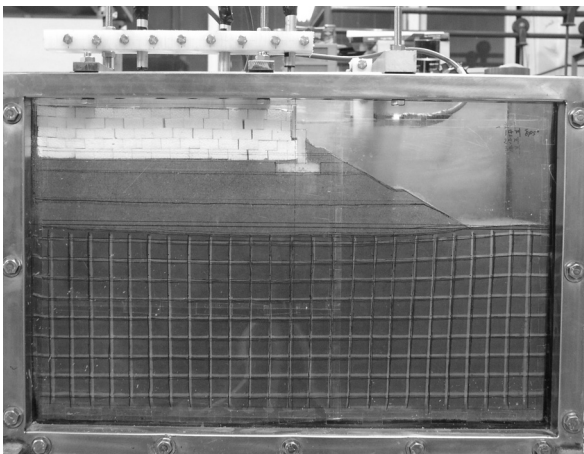
표 4. 단계 성토에서 성토기간 및 방치기간

시공단계	성토고 (m)	시공기간 (개월)	압밀기간 (개월)
1단계성토	4.0	2.7	2.3
2단계 성토	4.0	2.7	2.3
3단계성토	2.86	1.9	0.1
말뚝 및 교대	-	2.0	-
뒷채움(성토재)	8.52	6.7	12
뒷채움(EPS)	8.52	0.7	12

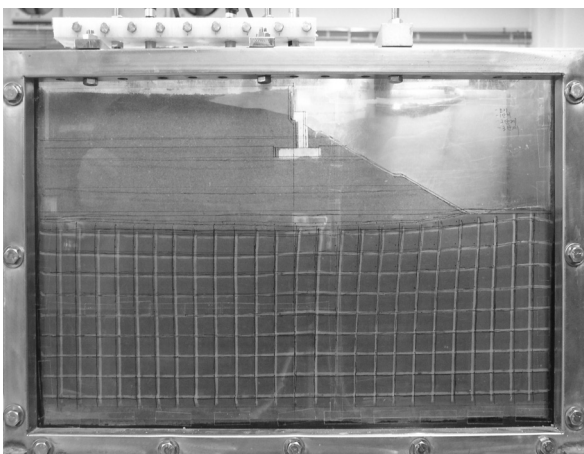
를 설치하였다. 본 실험에서 성토는 1g 상태에서 다짐하여 형성하였다.

교대배면의 EPS(또는 토사)성토는 현장에서 실제 이용하고 있는 EPS(또는 토사)성토 재료를 계획의 높이까지 쌓은 후 포장층을 모사하였다. 이와 같이 축조한 모델에 대해 각각의 성토 단계별 개량지반과 성토체의 변위와 더불어 교대상부의 수직 및 수평 변위를 계측하였다. 또한 지반의 변형양상을 파악하기 위해 개량지반에 설치된 그리드를 통하여 변형양상을 확인하고 지반의 전반적인 안정성을 확인코자 하였다.

원심모형실험 수행시 주요 계측기를 설치하여 단계 성토별 성토체 수직변위 및 단계별 개량지반 내 변형 양상과 EPS 시공 후 발생하는 EPS(또는 토사) 시공 구간 및 교대상부에서 발생하는 수직 및 수평 변위를 측정하였다. 그림 4는 교대축조후 EPS(또는 토사) 성토 후의 모형지반 단면을 보여준다.



(a) EPS 성토단면



(b) 토사 성토단면

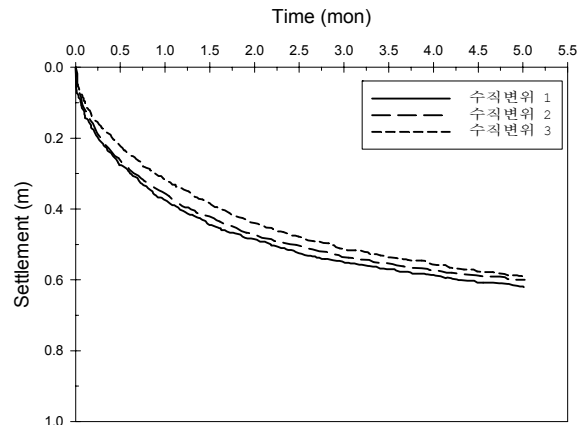
그림 4. 모형실험 사진전경

3. 실험결과 및 분석

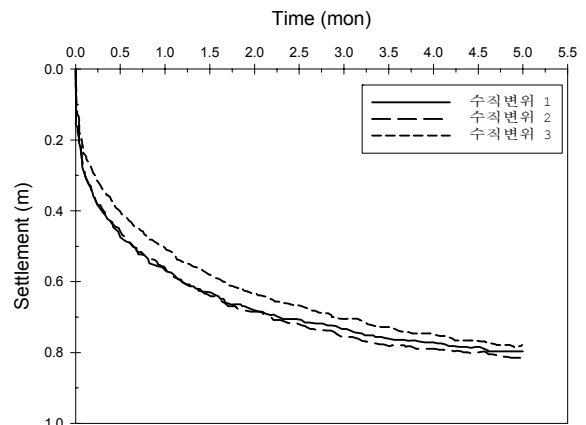
3.1 단계 성토별 수직변위

3.1.1 EPS 성토 단면의 단계 성토별 수직변위

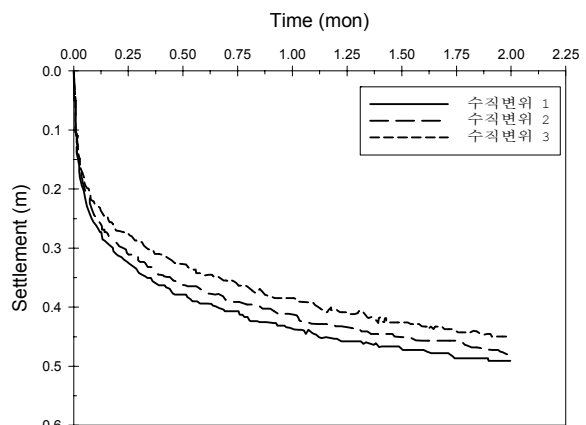
연약지반처리공법으로 SCP를 설치한 후 프리로딩공법을 적용한 각 단계별 시간경과에 따른 수직 변위량은 그림



(a) 1단계 성토시



(b) 2단계 성토시



(c) 3단계 성토시

그림 5. 시간에 따른 성토부 및 교대의 수직변위(Case 1)

5에 나타난 것과 같이 성토고 및 방치기간에 따라 유사한 경향을 보이고 있다. 각 단계별 성토고를 기준으로 수직 변위량을 보면 성토고 4m 및 방치기간 5개월일 경우 수직 변위 발생율은 1단계 성토의 경우는(0.59m~0.62m) 15% 내외, 2단계는(0.78m~0.82m) 20% 내외, 3단계는(0.45m~0.49m) 16% 내외로 나타났다. 동일한 성토고 및 방치기간을 적용한 경우의 수직 변위 발생율은 1단계 수직 변위 발생을 보다 2단계 수직변위 발생율이 상대적으로 크게 나타났다. 이와 같은 수직 변위 양상은 일반적으로 선행압밀 하중이 어느 정도 큰 정규압밀 점성토 지반이거나, 과압밀 지반에서 발생하는 경향을 보이고 있는 것으로 판단할 수 있으나, 본 원심모형실험에서 자중압밀을 조기에 발생시키기 위해 추가적인 선행하중을 적용한 결과로 볼 수 있다.

연약지반 상 고성토구간의 교대부위 SCP공법으로 개량된 연약지반구간에서 프리로딩공법인 단계 성토 시행 및 EPS 성토를 교대 배면 침하저감 및 교대의 측방유동 방지를 위해 적용한 원심모형실험에서 측정된 전체 공정상의 수직 변위 양상은 그림 6과 같다. 교대 설치 및 배면 EPS 성토공법 적용 후 측정된 EPS 성토부의 수직 변위량은 0.25m 정도(수직변위 2, 3)로 나타났으며, 교대 배면 EPS 성토 하중을 감안[3단계 성토 및 방치 후 성토 일부(약 1.35m 정도)를 제거한 후 EPS 성토 및 포장층 시공에 따른 하중의 증분]하였을 때 상당히 크게 발생하였다. 이는 3단계 성토 후 방치기간이 충분하지 못함에 따라 어느 정도의 압밀침하가 발생한 것으로 보인다.

원심모형실험 완료 후 점성토층에 설치한 그리드로부터 측정된 지반의 변위벡터는 그림 7과 같다. 교대 배면 성토체 하부에서는 연직방향의 변위를 일으키고 있으며, 교대 하부에서의 지반변위는 수평방향과 60~65°의 각도를 이루면서 발생하고 있으며, 성토체 외부에서는 변위벡터의 방향이 지표면을 향하고 있음을 알 수 있다.

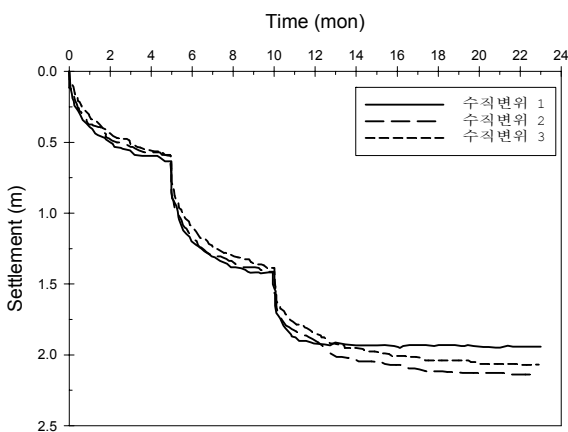


그림 6. EPS 성토단면의 수직변위 양상

3.1.2 토사성토 단면의 단계 성토별 수직변위

연약지반처리공법으로 SCP를 설치한 후 프리로딩공법을 적용한 각 단계별 수직 변위량은 그림 8에 나타난 것과 같이 성토고 및 방치기간에 따라 유사한 경향을 보이고 있다. 각 단계별 성토고를 기준으로 수직 변위량을 보면 성토고 4m 및 방치기간 5개월일 경우 수직변위 발생율은 1단계성토의 경우는(0.57m~0.59m) 14.5% 내외, 2단계는(0.75m~0.84m) 20.5% 내외, 3단계는(0.46m~0.50m) 16.5% 내외로 나타났다. 또한, 교대 설치 후 교대 배면에 실시한 4단계 성토인 8.53m 및 방치기간 12개월 후 발생한 수직 변위 발생율은(2.01m) 23% 정도 크게 나타났다.

EPS 성토공법을 적용한 경우와 같이 동일한 성토고 및 방치기간을 적용한 경우의 수직 변위 발생률은 1단계 수직 변위 발생률 보다 2단계 수직변위 발생률이 상대적으로 크게 나타났다. 이와 같은 수직 변위 양상은 앞에서 기술한 것과 같이 선행압밀하중이 어느 정도 큰 정규압밀 점성토 지반이거나, 과압밀 지반에서 발생하는 경향을 보이고 있는 것으로 판단할 수 있으나, 본 원심모형실험에서 자중압밀을 조기에 발생시키기 위해 추가적인 선행하중을 적용한 결과로 볼 수 있다.

또한, 교대설치 및 배면 토사 성토를 계획고까지 수행하여 발생한 수직 변위 발생률은 이전의 단계 성토에 비해서 더 크게 나타났는데 이는 원심모형실험에서 수행한 1, 2단계 성토 및 방치기간이 2배 이상으로 장기간에 걸쳐 수직 변위가 발생하였기 때문이다.

연약지반상 고성토구간 교대 부위 SCP 공법으로 개량된 연약지반구간에서 프리로딩공법인 단계 성토 시행 및 교대 배면 4단계 토사 성토를 적용한 원심모형실험에 측정된 전체 공정상의 수직변위 양상은 그림 9와 같다. 또한, 교대 배면에 4단계 토사 성토를 실시하여 수행한 원심모형실험 완료 후 점성토층 설치한 그리드로부터 측정된 지

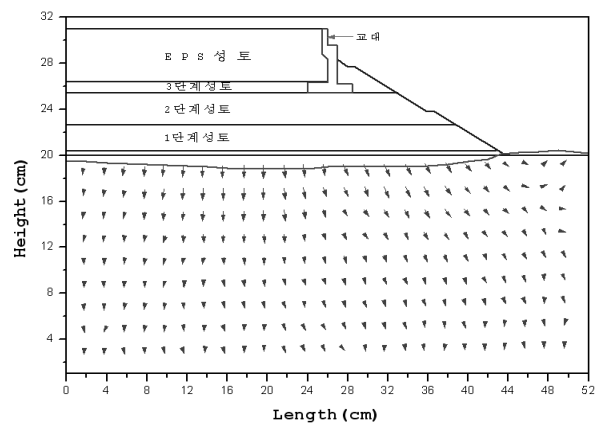
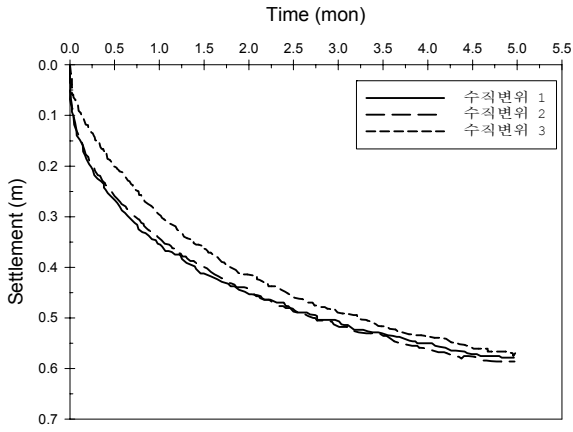
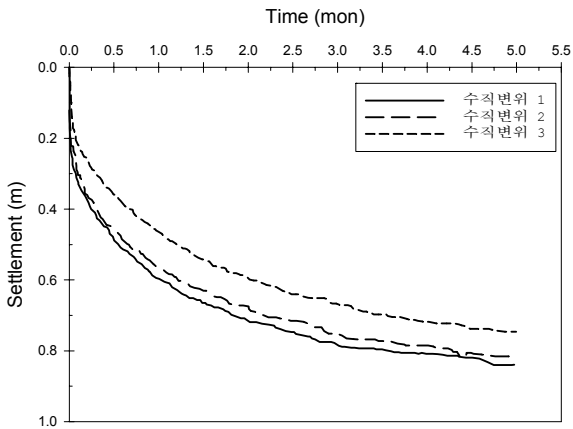


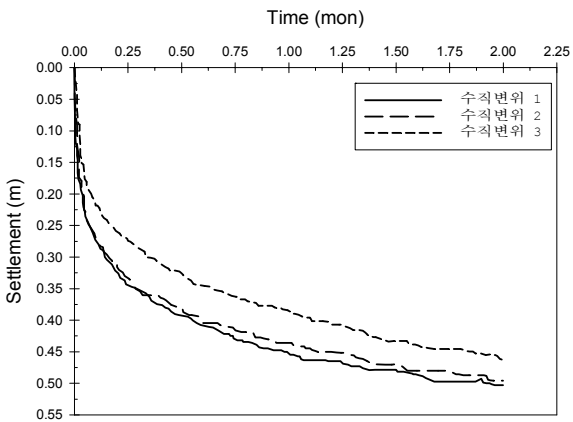
그림 7. 실험후 측정된 지반의 변위벡터(Case 1)



(a) 1단계 성토시



(b) 2단계 성토시



(c) 3단계 성토시

그림 8. 시간에 따른 성토부 및 교대의 수직변위(Case 2)

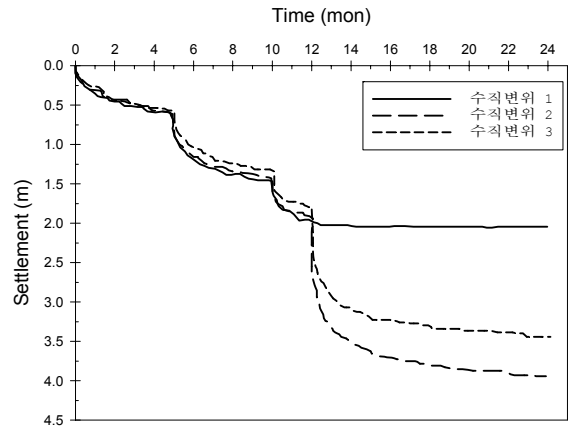


그림 9. 토사 성토단면의 수직변위 양상

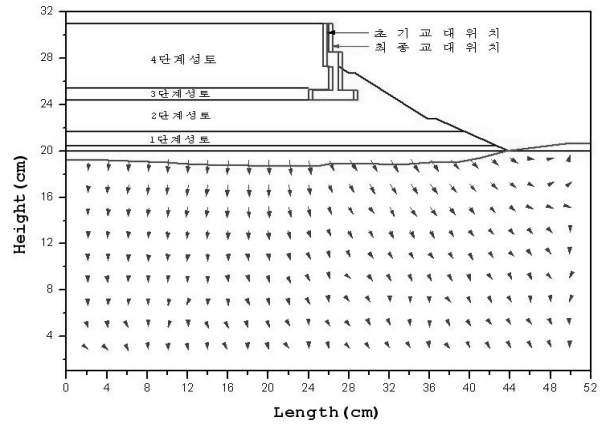


그림 10. 실험후 측정된 지반의 변위벡터(Case 2)

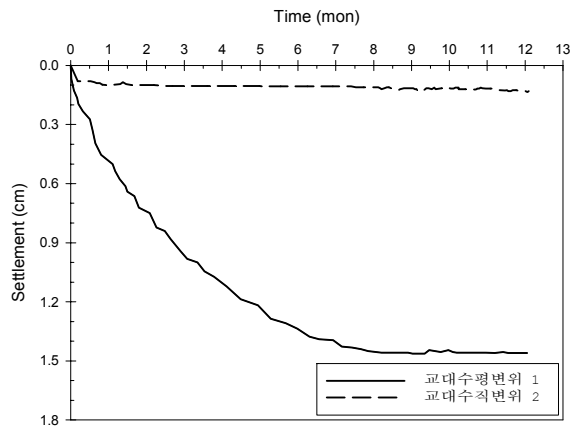


그림 11. 교대의 수직 및 수평변위(Case 1)

반의 변형양상 및 변위벡터는 그림 10과 같다.

3.2 교대의 변위

그림 11은 3단계 성토완료 후 뒤채움 배면을 EPS로 성토한 단면에 대한 시간경과에 따른 교대의 수직 및 수평변위 분포를 나타낸 것이다. SCP 성토공법 및 교대 배면에 대해 하중저감공법인 EPS 성토공법을 적용하여 수행한 원

심모형실험결과와 현장조건으로 환산한 교대상부에서의 수직변위는 0.12cm 정도로 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다으며, 교대의 수평변위는 1.4cm 정도로 나타나 실제 시공에서 허용할 수 있는 범위에 있음을 알 수 있고, 성토체 및 교대의 안정성은 확보된 것으로 판단할 수 있다.

그러나, SCP 성토공법 및 교대 배면에 모래 성토공법을 적용하여 수행한 원심모형실험에서 측정된 수직 및 수평

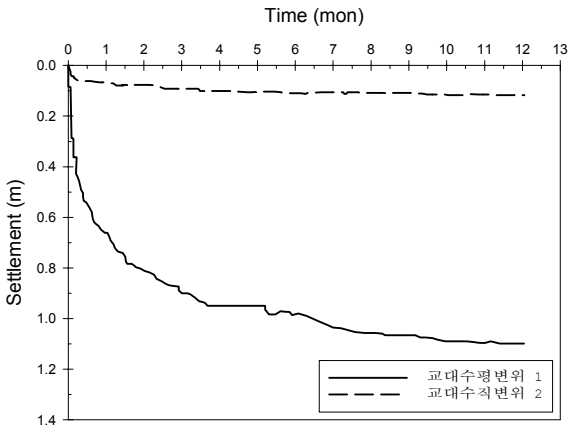


그림 12. 교대의 수직 및 수평변위(Case 2)

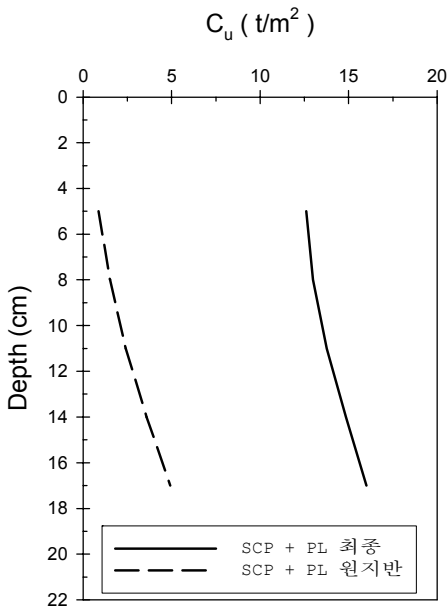


그림 13. 베인시험 결과 개량전후의 깊이별 강도변화

변위는 그림 12에 나타난 것과 같이 교대의 수직변위는 12cm, 수평변위는 1.10m 정도로 크게 발생하는 것으로 나타나 실제 시공에서 허용할 수 있는 범위를 초과한다는 것을 알 수 있다.

따라서, 연약지반상 도로시공 시 성토체의 안정성 확보를 위한 SCP 공법 및 교대의 측방유동을 방지할 목적으로 채택된 SCP 개량 + EPS 성토공법의 효과는 상당히 우수한 것으로 평가할 수 있다.

3.3 SCP 개량지반의 개량 효과

그림 13은 깊이별 개량지반의 강도 분포를 나타낸 것으로 베인시험 결과 비배수전단강도는 평균 $11.4t/m^2$ 정도 증가하는 것으로 나타났으며, 4단계 성토후의 개량지반의 강도는 원지반에 비해 평균 6배 이상 크게 평가되었다. SCP

개량지반에 프리로딩을 통한 단계 성토 재하 및 방치에 따른 개량효과를 판정하기 위해 지중압밀 완료 후 모델 내에서 측정된 베인시험 결과와 SCP 개량 및 교대 배면의 계획고까지 프리로딩의 4단계 성토 후 측정된 개량효과는 상당히 우수한 것으로 나타났다.

4. 결 론

연약지반상 고성토 교대구간의 뒷채움 시공 방법에 따른 측방유동과 관련한 안정성을 평가를 위해 교대배면의 뒤채움을 EPS로 성토하는 단면과 토사로 성토하는 단면에 원심모형실험을 수행하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 연약지반개량공법으로 SCP공법, 프리로딩 단계 성토, 교대 배면 EPS 성토공법을 적용한 고성토 교대구간에 대한 원심모형실험 결과 교대배면 성토부에서 측정된 수직변위는 최대 2.10m 정도로 계획성토고 대비 약 12%로 나타났다.
- (2) 연약지반개량공법으로 SCP공법 및 프리로딩 단계 성토, 교대 배면 토사성토를 적용한 고성토 교대구간에 대한 원심모형실험 결과, 교대 배면 성토부에서 측정된 최대 수직변위는 3.92m 정도로 계획 성토고 대비 약 22%로 나타났다.
- (3) 교대 배면 EPS 시공 후 발생한 교대의 수직변위는 거의 발생하지 않았으며, 교대의 수평변위는 1.4cm 정도로 허용기준을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서, 연약지반상 도로 시공시 성토체의 안정성 확보를 위한 SCP공법 및 교대의 측방유동을 방지할 목적으로 채택된 SCP 개량 + EPS 성토공법의 효과는 우수한 것으로 판단된다.
- (4) 교대 배면 토사성토 후 발생하는 교대 상부에서의 수직 및 수평 변위는 각각 10cm 및 1.10m 정도로 허용치를 크게 초과하는 것으로 나타났다. 이는 교대 배면 4단계 성토에 따라 발생하는 지반의 측방유동에 따른 것으로 과대한 수평 변위 발생에 따라 수직 변위도 발생된 것으로 판단된다.

이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2006).

참 고 문 헌

1. 서정주, 서동희, 정상섭, 김유석(2003), 측방유동을 받는 교대 말뚝 기초의 거동분석(I), *한국지반공학학회논문집*, 제19권, 제1호, pp. 5~19.
2. 이처근(2001), 원심 및 수치모델링에 의한 화강토 지반상 Diaphragm Wall의 거동, 충북대학교 대학원 박사학위논문, pp. 70~90.
3. 조성민(1998), 국내 연약 점성토 지반의 성토 재하시 변형특성 분석, 서울대학교 대학원 박사학위논문, pp. 1~14.
4. 홍원표, 송영석(2006), 측방유동 연약지반상 파일슬래브로 보강된 교대의 안정, *한국지반공학학회논문집*, 제22권, 제8호, pp. 13~24.
5. 홍원표, 이우현, 안종필, 남정만(1991), 교대기초말뚝의 안정, *대한토질공학회지*, 제7권, 제2호, pp. 67~69.
6. Atkinson, J. (1993), *An Introduction to the Mechanics of Soils and Foundations Through Critical State Soil Mechanics*. McGraw-Hill, pp. 316~323.
7. Ingold, T.S.(1977), A Field study of Laterally Loaded Piles, *Proc. 9th ICSMFE*, Special Session 10, Tokyo, pp. 77~80.
8. Kimura, T., Takemura, J., Watabe, Y., Suemasa, N. and Hiro-Oka, A.(1994), Stability of Piles Bridge Abutments on Soft Clay Deposits, *Proc. 13th ICSMFE*, New Dehli, pp. 721~724.
9. Taylor, R.N.(1995), *Geotechnical Centrifuge Technology*. Chapman & Hall, London, pp. 1~115.
10. Tschebotarioff, G.P.(1973), Lateral Pressure of Clayey Soils on Structures, *Proc. of the 7th ICSMFE*, Special Session 5, Moscow, pp. 227~280.

(접수일: 2007. 7. 20 심사일: 2007. 7. 20 심사완료일: 2007. 9. 13)