

지중에 근입된 콘크리트전주의 실물 수평재하실험에 의한 수평토압과 변위특성

Lateral Earth Pressures and Displacements through Full Scaled Lateral Loading Test of Concrete Electric Pole Embedded in Ground

안 태 봉[†]

Ahn, Tae-Bong

ABSTRACT : Many electric poles in the softground have been collapsed due to external load. In this study, 10 types of tests were performed with variation of location, numbers and depths of anchor blocks as well as depth of poles to find horizontal earth pressure through full scale pull-out tests. The horizontal earth pressure increased with embedded depth of electric pole, and earth pressure of lower passive zone decreased. The deeper of anchor block, earth pressure of passive zone becomes less. lateral displacements showed differences depending on location, numbers and depth of poles. The bending is generated in the upper part at the initial load, but it moved to central part as load increased. The maximum horizontal displacement decreased to 1/1.6 at -0.5m depth of anchor block and 1.3m additional laying depth of poles into ground.

Keywords : Electric pole, Anchor block, Pull-out test, Horizontal earth pressure, Displacement

요 지 : 연약지반에 시공하는 많은 콘크리트전주가 외부하중으로 전도파괴가 발생하는데 본 연구에서는 실물인장실험을 실시하고 근가위치, 근가깊이, 근가개수, 전주근입깊이를 달리하면서 전주에 작용하는 수평토압을 분석하였다. 실물실험은 10가지 종류로 나누어 실험한 결과 수평토압은 전주 근입깊이가 클수록 커지고 하부수동영역이 길어지는 것으로 나타났다. 근가 설치위치가 깊을수록 하부수동영역 토압이 감소된다. 변위는 근가의 위치 및 수량, 전주기초의 근입깊이에 따라 뚜렷한 차이를 나타냈다. 초기하중 재하 시 상부에서 굴절된 양상을 보이다 점중하중에 따라 전주의 중앙부로 굴절의 양상이 전이되었다. 근가위치는 G.L(-) 0.5m인 상태에서 전주기초 깊이 1.3m를 추가로 근입 시 최대 수평변위는 약 1.6배의 감소를 보여 전주의 안정성이 증가하였다.

주요어 : 전주, 근가, 인장시험, 수평토압, 변위

1. 서 론

전력수요가 지속적으로 증가함에 따라 전력공급에 필요한 전주를 많이 사용하고 있다. 국내의 해안가 등의 연약지반에 약 6~7만 개의 전주가 사용되고 있는 것으로 파악되며 농촌지역의 논 등 기타 연약지반을 포함하면 그 수는 매우 많을 것이다. 전주를 시공할 시에는 일본전기협회의 수평지지력공식을 이용하여 규정대로 시공하고 있지만 기상변화로 인한 강우를 동반한 태풍에 의한 풍하중이 작용 시 기초지반의 연약화 및 전주노출부의 축력작용에 의해 많은 전도파괴가 발생하고 있다(손명운 등, 2004). 이는 콘크리트 전주기초지반에 대한 지반공학적 응력-변형 거동 특성을 고려하지 않은 채로 시공된 사례가 많고 실무적으로 지반특성을 적용하기 위한 제반 규정이 미흡한 실정이기 때문이다.

이를 위하여 연약지반상의 전주에 작용하는 힘들과 전주시공조건, 지반특성에 대한 상세한 이해와 연구를 통하여 합리적인 전주기초시공을 할 수 있다(White 등, 2008). 말뚝기초를 설계할 시에는 지반과 말뚝간의 상호작용을 고려한 해석이나 연구가 많지만 콘크리트전주기초지반에 대해 횡방향으로 작용하는 힘들에 대한 지반과 전주의 거동에 관한 연구가 적은 실정이다(White 등, 2008; Rajashree 등, 2001; Chen 등 2008). 강풍에 의한 배전시설물의 안전성은 바람에 의해 야기되는 풍압과 지반 기초의 견고성에 의해 지배받으므로 풍압과 지반기초를 동시에 고려한 안전성 평가가 필요하다. 전주기초지반에 작용하는 수평토압과 지반의 변위를 분석하면 연약지반상의 전주에 작용하는 힘들과 전주시공조건, 지반특성에 대한 상세한 이해와 연구를 통하여 합리적인 전주기초시공을 할 수 있을 것으로 사료된다(White

[†] 정희원, 우송대학교 철도건설환경공학과 교수(E-mail : tbahn@wsu.ac.kr)

등, 2008). 즉, 지반내에 작용하는 토압과 변위를 분석하여 지반내에서 전주의 전도나 전주지반기초의 파괴로 인한 전주의 붕괴를 방지하기 위한 설계의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

우들도 주동영역과 수동영역의 합리적인 비교를 위하여 근가 및 전주근입장의 변수와 무관하게 계측기의 설치 위치는 전주의 일정한 위치에 설치하여 시험하였다. 시험에서 사용한 콘크리트전주의 길이는 16m이고 설계하중은 700kg, 밑지름은 404mm, 끝지름은 190mm이다. 콘크리트 근가는

2. 실험방법 및 계측기설치

2.1 실험방법

본 실험은 전주의 근입깊이와 근가의 위치 및 수량을 변화시키면서 전주에 인장하중을 점증적으로 재하하여 전주 및 기초지반의 응력의 변화를 측정하였다. 전주 케이블 인장에 의한 수평재하시험에 앞서 시험지반의 토질특성을 알기 위하여 현장들밀도시험, 지층구성현황, 표준관입시험(N치), 입도분석을 실시하여 지반의 특성을 분석하였다. 하중 재하 시 압축과 인장응력을 상호 비교 검토하여 하중재하별 재료의 변형특성 거동을 파악하였다. 전주근입장이 다른 경



그림 1. 전주 인장시험

표 1. 유형별 실험조건

실험유형	실험기준		
	근가깊이(m)	근가수량	전주근입(m)
TEST-1	없음	없음	2.5
TEST-2	0.75	1	2.5
TEST-3	1.5	1	2.5
TEST-4	2.25	1	2.5
TEST-5	0.50	1	2.5
TEST-6	0.50	2	2.5
TEST-7	0.50	4	2.5
TEST-8	0.50	1	2.7
TEST-9	0.50	1	3.2
TEST-10	0.50	1	4.0

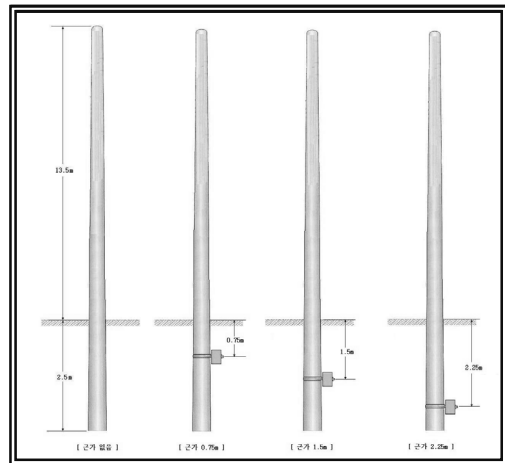


그림 2. 전주 시공 근가깊이별 실험 모식도

표 2. 실험지반의 지층현황 및 N값 분포

공번	지층	구성토질	심도(m)	N치
BH-1	모래층	세립질의 모래/황갈색/보통 조밀	0.0 ~ 11.0	20 ~ 22
		점토섞인 모래/황갈색/보통 조밀	14.0 ~ 17.0	12 ~ 18
	점토층	실트섞인 점토/암회색/연약	1.2 ~ 8.0	2 ~ 4
	실트층	세립 모래섞인 실트/담회색/매우 견고	11.0 ~ 14.0	15 ~ 18
	풍화토	실트섞인 모래/갈색/매우 조밀	17.0 ~ 20.0	50/17 ~ 50/12
BH-2	모래층	실트섞인 모래/갈색	20.0 ~ 27.0	50/7 ~ 50/2
		일부구간 맥층(Core형성) 하부로 갈수록 매우 조밀		
	점토층	세립질의 모래/황갈색/매우 느슨	0.0 ~ 3.2	2
	점토층	실트섞인 점토/암회색 연약 ~ 보통 견고	3.2 ~ 20.0	2 ~ 8
BH-2	풍화토	실트섞인 모래/황갈색 조밀 ~ 매우 조밀	20.0 ~ 26.0	42 ~ 50/17
	풍화암	실트섞인 모래/매우 조밀, 하부로 갈수록 매우 조밀(실트질 모래화)	26.0 ~ 32.0	50/6 ~ 50/2

표 3. 흙의 실내시험결과

W _n (%)	G _s	Atterberg Limits		D 다짐		점착력, kg/cm ²	내부마찰각(°)	USCS
		LL(%)	PI(%)	W _{opt} (%)	γ _{d,max}			
10.6	2.62	NP	NP	13.2	1.772	0.27	26.3	SP

240mm×1,200mm의 제품을 사용하였다. 본 연구에서 수행한 시험 조건은 표 1과 같으며 그림 1은 시험전경이며 그림 2는 시험조건의 모식도이다. 한국전력의 시공표준은 근가 1개와 전주근입깊이 2.5m, 근가깊이는 0.5m이다.

시험현장은 해안지역으로서 지층구성 및 표준관입시험 결과는 표 2와 같다.

시험대상지반의 물리적, 역학적 특성을 파악 및 통일분류법에 의한 토층분류를 실시하였으며 이에 따른 결과는 표 3과 같다.

2.2 계측기 설치

변형률계의 위치는 전주가 상부로 갈수록 단면이 작아지는 변단면이므로 전주의 노출부 길이를 3등분하여 위치를 선정하여 인장방향의 전, 후면에 계측기를 부착하였다. 변형률계는 총 36개를 설치하였으며 전주부재에 6지점을 선정하여 하중재하별 부재의 응력을 측정하여 전주의 거동특성을 평가하였다. 이때 하중은 근가의 설치방향과 수직하고 반대방향에서 인장하중을 가하는 것을 기준으로 실험하였고, 전주에 설치한 변형률계를 통하여 전주에 작용하는 응력을 측정하였으며 전주를 3등분하여 상단부분, 중간부분, 하단부분에 좌우 설치하였다. 토압계의 위치는 상부수동영역에 3개소, 하부수동영역에 2개소를 설치하여 토압의 크기와 주동, 수동의 영역을 구분하여야 하므로 근가 및 전주근입장의 변수와 무관하게 일관성 있도록 설치하였으며 변형

표 4. 계측기기별 설치 수량

시험유형	측정기기 항목별 수량				
	토압계	변형률계	로드셀	광파측량	수평이동측정기
Test-1(T-1)	5	6	1	4	-
Test-2(T-2)	5	6	1	4	-
Test-3(T-3)	5	6	1	4	-
Test-4(T-4)	5	-	1	4	-
Test-5(T-5)	5	6	1	-	-
Test-6(T-6)	5	-	1	4	-
Test-7(T-7)	5	6	1	-	-
Test-8(T-8)	5	-	1	4	-
Test-9(T-9)	5	-	1	4	-
Test-10(T-10)	5	6	1	4	1

률계의 경우 전주가 상부로 갈수록 단면이 작아지는 변단면이므로 전주의 노출부 길이를 3등분하여 위치를 선정하여 인장방향의 전, 후면에 계측기를 부착하였다.

하중재하 단계별 전주기초에 미치는 토압을 산정하여 최적의 시공조건을 구하기 위해 전주 기초부에 토압계 5개소를 설치하였다. 토압계 설치위치는 수동영역인 하중재하방향으로 G.L(-)0.3m, G.L(-)0.9m, G.L(-)1.6m에 각 1개소를 설치하였고 주동영역인 하중재하 방향 배면측으로 G.L(-)1.6m, G.L(-)2.5m에 각 1개소를 설치하였다. 이들 5개의 토압계를 각각 기호 P1, P2, P3, P4, P5로 정하였다. 또한 전주근입깊이에 따라 TEST-8, 9, 10번의 경우 재하방향측의 토압계 설치위치는 상기와 동일하고 재하방향 배면측에 설치한 토압계 위치는 TEST-8의 경우 G.L(-)1.8m, G.L(-)2.7m에 각 1개소를 설치하였고 TEST-9는 G.L(-)2.3m, G.L(-)3.2m, TEST-10의 경우 G.L(-)3.1m, G.L(-)4.0m에 각각 1개소를 설치하였다. 전주기초 깊이별, 근가 위치 및 수량을 변경하면서 전주 시공을 하였다. 그림 3에 계측기의 설치사례를 나타냈다.

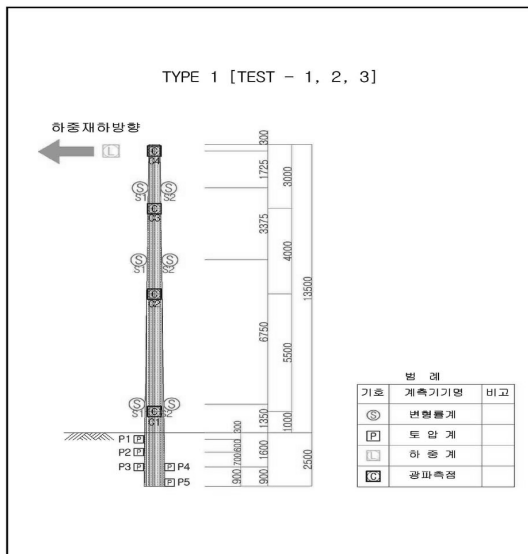


그림 3. 계측기 설치 예

3. 실험결과 및 분석

3.1 시험유형별 하중재하단계에 따른 지중에 작용하는 토압분포

3.1.1 Test-1의 토압분포

Test-1의 경우에는 그림 4의 주동영역에서 보는 바와 같이 재하중이 증가함에 따라 700kg 이후 토압은 더 이상 증

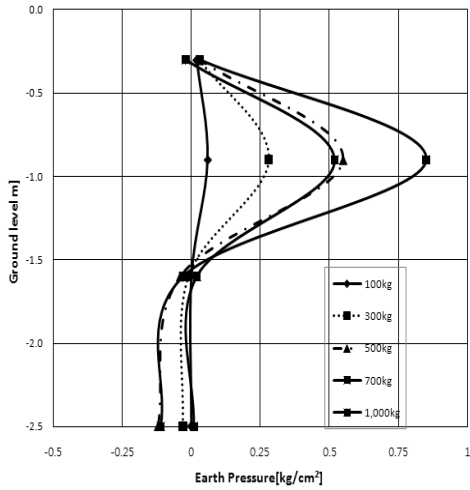


그림 4. 하중재하단계별 수평토압분포(Test-1)

가하지 않는 것으로 나타났다. 근가가 없는 경우의 시험인 Test-1의 경우에는 재하하중 1,000kg에서는 변위가 발생하여 수평토압은 감소하는 것으로 판단된다.

3.1.2 Test-2의 토압분포

Test-2의 경우에 그림 5의 수동영역에서 보논바와 같이 재하중이 증가할수록 토압이 증가하는 것으로 나타났으며 아래 부분의 수동영역과 P2의 위치에서는 재하하중이 증가할수록 토압이 크게 측정되었다. Test-1과는 다르게 재하하중 1,000kg에서 토압이 계속 증가하는데 근가가 변형에 저항하여 토압이 증가하는 것으로 판단된다.

3.1.3 TEST-3의 토압분포

그림 6의 경우에도 수동영역으로 판단되는 지역에서 재하중이 증가할수록 토압이 증가하였다.

Test-2의 경우와 비교하면 지반내 재하하중 배면방향으

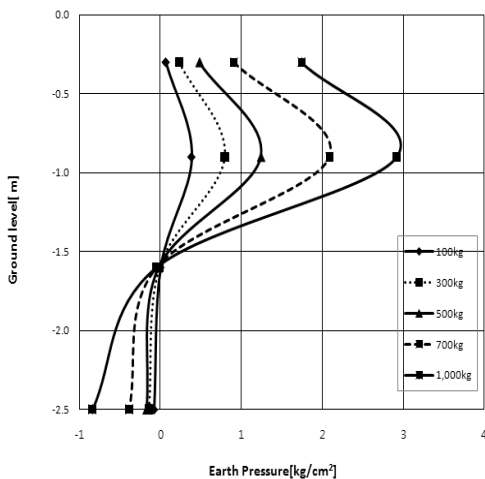


그림 5. 하중재하단계별 수평토압분포(Test-2)

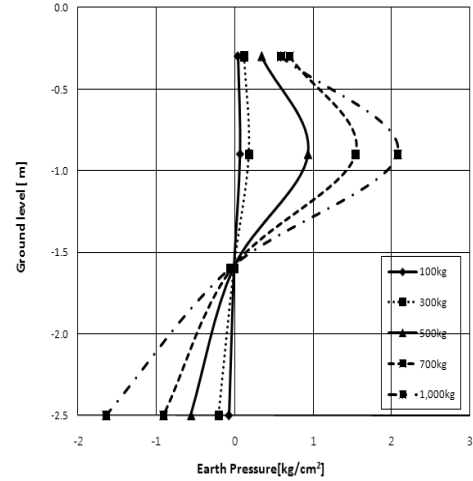


그림 6. 하중재하단계별 수평토압분포(Test-3)

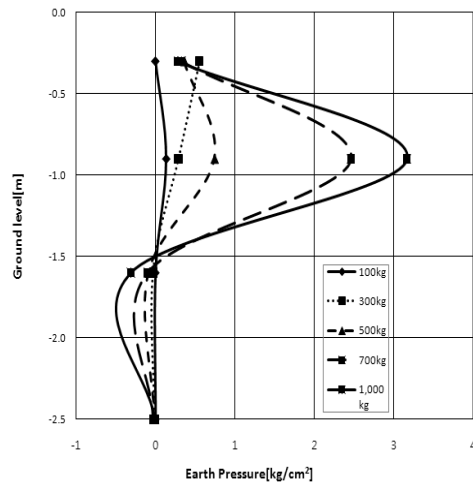


그림 7. 하중재하단계별 수평토압분포(Test-4)

로 P5의 위치에서 토압이 증가하였는데 이는 근가깊이가 G.L(-) 0.75m에서 G.L(-) 1.5m로 깊어져서 P5의 위치의 토압이 수동방향으로 증가한 것으로 판단된다.

3.1.4 Test-4의 토압분포

그림 7에서는 근가깊이가 G.L(-) 2.25m일 때를 나타냈는데 토압분포는 재하하중의 크기에 따라 각각 측정위치에서 증가하였다. P2(G.L(-) 0.9m)의 위치에서 Test-2, 3 근가 위치보다 토압의 크기가 증가하였고 하단부에서는 근가의 영향으로 토압이 측정되지 않은 것으로 판단된다.

3.1.5 Test-6의 토압분포

그림 8은 근가를 2개 표준깊이에 설치한 것으로 재하하중이 증가할수록 토압이 증가하는 추이를 보이며 상부 수동영역에서 토압과 같이 선단부 토압이 비례하는 양상을 나타냈다.

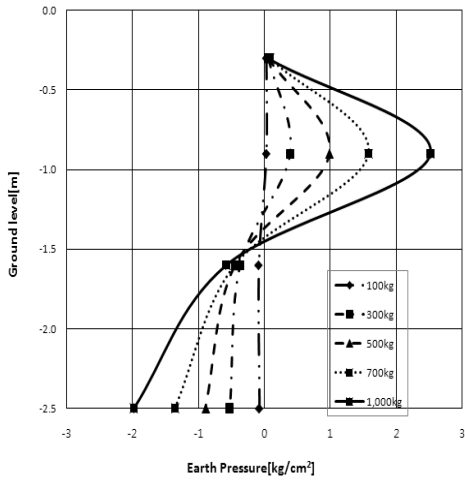


그림 8. 하중재하단계별 수평토압분포(Test-6)

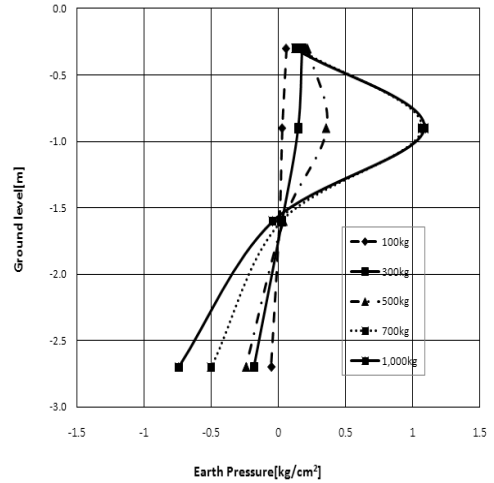


그림 10. 하중재하단계별 수평토압분포(Test-8)

3.1.6 Test-7의 토압분포

그림 9는 근가를 4개 설치한 경우의 토압분포로서 상부에서 토압이 크게 감소한 것으로 나타났고 하단부에서는 수동토압이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 근가를 같은 깊이 설치한 것이 아니라 연속적인 깊이에 걸쳐 약 80cm에 걸쳐 진행하였기 때문에 토압감소에 큰 영향을 준 것으로 판단된다. 이것은 근가 4개를 설치하기 위해 불가피한 굴착과 되메우기 작업으로 인한 흙의 전단강도 저하에 따라 상부층에서 토압이 거의 발생하지 않았으나 차후 수개월내 흙의 전단강도 회복 시 상부에서 작용하는 토압도 현재보다는 큰 폭으로 증가할 수 있고 수평변위량 감소에도 효과가 있을 것으로 판단된다.

3.1.7 Test-8의 토압분포

그림 10은 토압의 크기가 크게 감소하였는데 이는 전주의 근입깊이가 깊어짐으로써 발생한 현상으로 전주의 근

입깊이를 증가하면 토압감소를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

3.1.8 Test-9의 토압분포

그림 11은 전주의 근입깊이가 3.2m로서 근입깊이 2.7m와 비슷한 결과이지만 근입깊이가 깊어짐으로써 선단부에 작용하는 토압이 다소 증가하여 결과적으로 전주 수평변위량 감소에 효과가 있는 것으로 나타났다.

3.1.9 Test-10의 토압분포

Test-10의 경우는 전주의 근입깊이를 4.0m로 하였을 경우의 토압분포를 나타내었으며 Test-8 및 Test-9와 마찬가지로 토압이 감소한 것을 알 수 있다. 하중재하 방향 배면측 선단부 토압의 경우 Test-9와 비교하여 하부수동영역이 커짐을 나타냈다(그림 12).

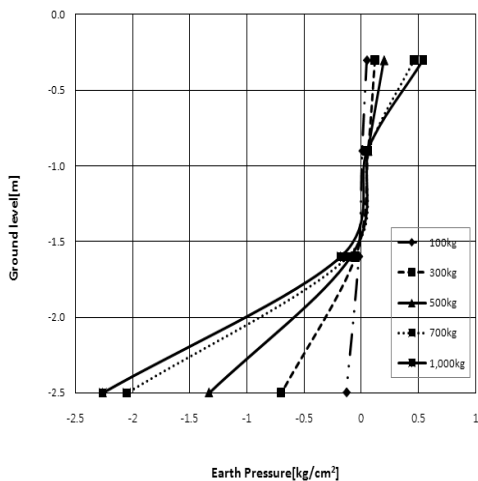


그림 9. 하중재하단계별 수평토압분포(Test-7)

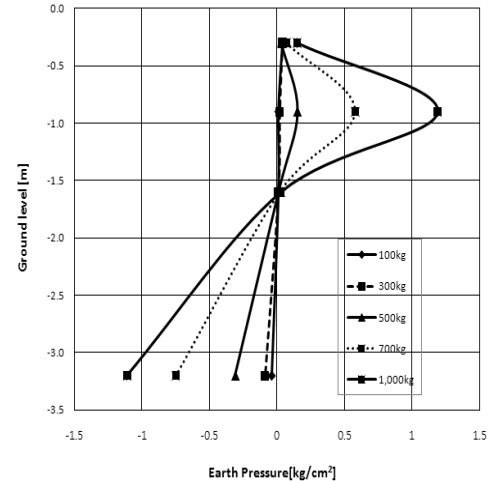


그림 11. 하중재하단계별 수평토압분포(Test-9)

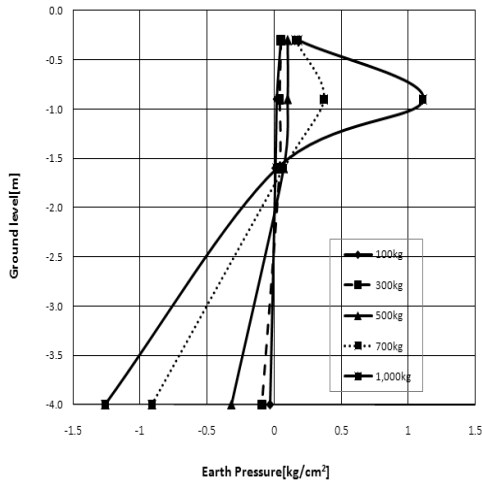


그림 12. 하중재하단계별 수평토압분포(Test-10)

3.2 시험유형별 하중재하단계에 따른 변위분석

하중재하 단계별 전주재료의 변형특성을 파악하기 위해 노출된 전주에 일정한 간격으로 광파목표점을 부착하여 광파측정기를 이용하여 하중의 재하단계별로 전주의 수평변위를 측정하였다. 그림 13은 하중이 증가함에 따라 전주의

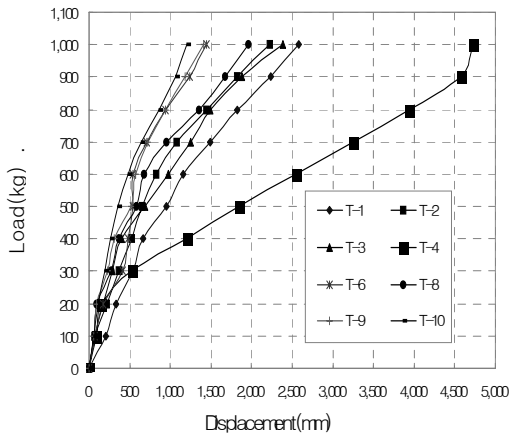


그림 13. 전주수평변위(전주 최상부)

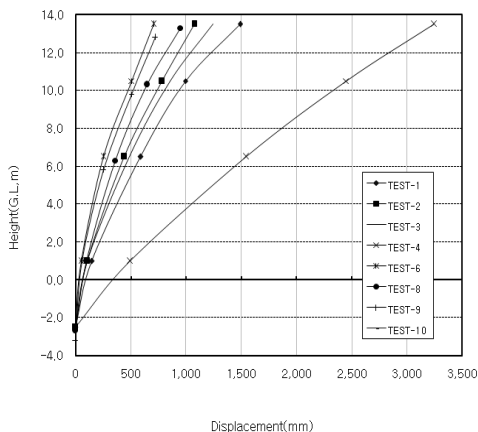


그림 14. 설계하중(700kg) 재하 시 전주수평변위

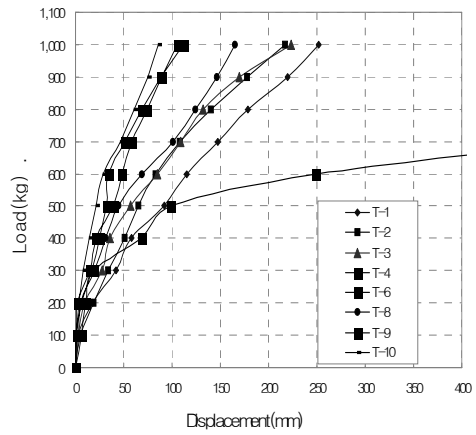


그림 15. 전주수평변위(지표 상부 1m)

수평변위를 나타낸다. 그림 13과 같이 최대하중 1,000kg 하중재하 시 전주 최상부점의 수평변위 크기는 Test-4, 1, 3, 2, 8, 6, 9, 10번 순으로 나타났다.

수평재하중은 1,000kg까지 총 14단계로 분산하여 점증적으로 실시하였으며 그림 14는 설계하중 700kg 하중재하 시 전주 각 위치별 수평변위를 나타냈으며 변위크기는 Test-4, 1, 3, 2, 8, 6, 9, 10번 순으로 크다. 그림 15는 지표부(G.L.+1m)의 점증하중 재하별 전주수평변위를 나타내는데 최대하중 1,000kg 재하중 시 변위 크기는 Test-4, 1, 3, 8, 2, 6, 9, 10번의 순으로 그림 11의 전주 최상부점의 수평변위 크기순과 유사하다.

전주의 절손점을 파악하기 위해 2개의 전주에 재하중을 점증시킨 결과 약 1,400kg에서 절손되었다. 실험 전주의 설계하중이 700kg인 것을 감안하면 설계하중의 약 200%를 발휘하는 것이나 실제 기 시공된 전주의 경우 재료의 노후화, 크리프, 외기 노출로 대기 오염물로 인한 산화작용 등을 감안할 때 현 설계하중 700kg이 타당한 것으로 판단한다.

따라서 본 실험을 통한 분석은 상대적으로 외부조건에 기인하지 않고 계측에 대한 변수가 적은 전주 수평변위를 중심으로 설계하중 700kg을 기준으로 토압계, 변형률계를 상호 조합하여 분석하였다.

3.3 근가위치에 따른 전주수평변위

3.3.1 Test-2(T-2)

그림 16은 점증하중대비 수평변위이며, Test-2의 전주 위치별 계측기 지점별 수평변위를 나타냈다. 그림 17은 하중재하 단계별 전주(Test-2) 수평방향변위이며 재하하중 400kg까지는 상부에서 굴절된 양상을 보이다 재하하중 500kg 이후 전주의 중앙부로 굴절의 양상이 전이되었다. 이는 재료 자체의 상부로 작아지는 변단면의 특성과 하중전달 위치가 최상부로서 초기하중 시 재료의 상부에서 하중을 분담하다

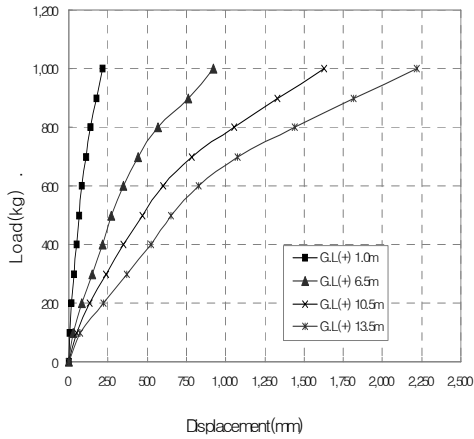


그림 16. 계측기위치에 따른 수평변위(Test-2)

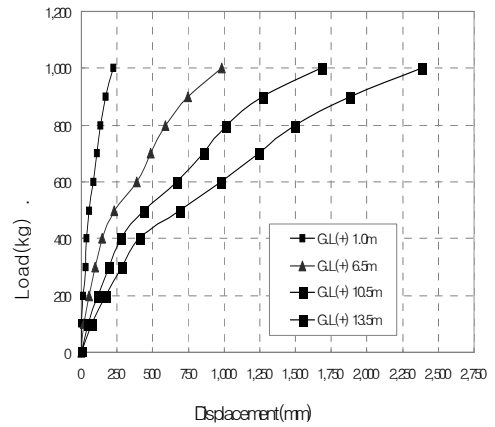


그림 19. 계측기위치에 따른 수평변위(Test-3)

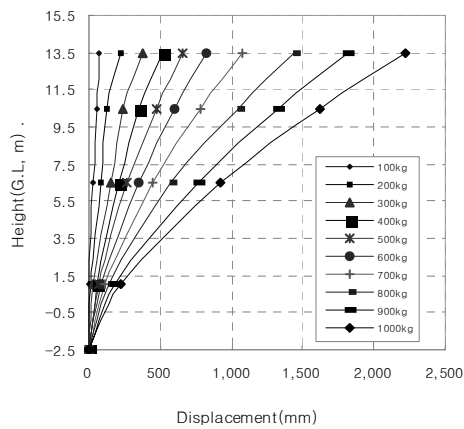


그림 17. 점증하중에 따른 전주 수평변위(Test-2)

재하하중 응력이 점차적으로 재료 전체에 전이되는 양상으로 판단된다. 시공 조건은 전주근입깊이 2.5m, 근가수량은 1개, 근가 위치는 G.L(-) 0.75m이다.

3.3.2 Test-3(T-3)

그림 18은 하중재하 단계별 전주(Test-3)의 횡변위이며 초

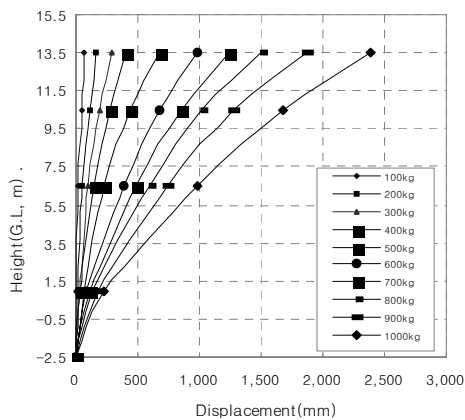


그림 18. 점증하중에 따른 전주 수평변위(TESt-3)

기에는 상부 6.5m 부근에서 굴절된 그래프를 보이고 있다. 시공사양은 전주근입 2.5m, 근가 수량은 1개 위치는, G.L(-) 1.5m이다.

그림 19는 점증하중대비 수평변위이고 Test-3의 전주 위치별 계측기 위치에 따른 수평변위를 나타낸 것으로 재하중 500kg시 상부변위에서 증가가 가속되는 것을 보이고 상대적으로 전주 저부는 변위가 둔화된 양상으로 볼 때 근가의 위치가 양호한 것으로 판단된다.

3.3.3 Test-4(T-4)

그림 20은 전주의 위치에 따라서 점증하중대비 수평변위를 나타냈고, 그림 21은 하중재하단계별 전주(Test-4) 수평변위이다. 수평변위는 하중 500kg이후 소성변형의 형태를 나타내고 있다. 전주시공은 전주근입 2.5m, 근가 수량은 1개, 위치는 G.L(-) 2.25m이다.

본 실험(Test-4)의 경우 타 사양에 비교하여 근가설치를 위해 불가피하게 굴착 작업이 광범위하게 이뤄졌으며 근가 설치 후 되메우기 및 다짐작업을 하여 점증하중별 전주실험

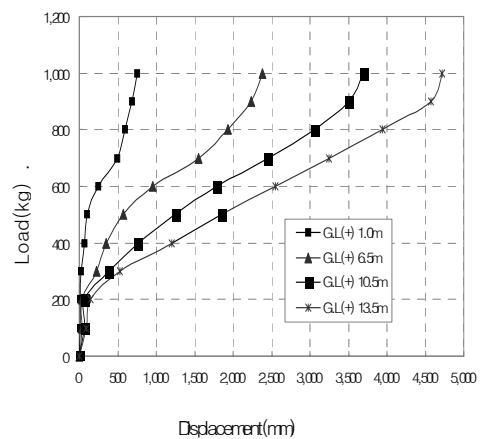


그림 20. 계측기 위치에 따른 수평변위(Test-4)

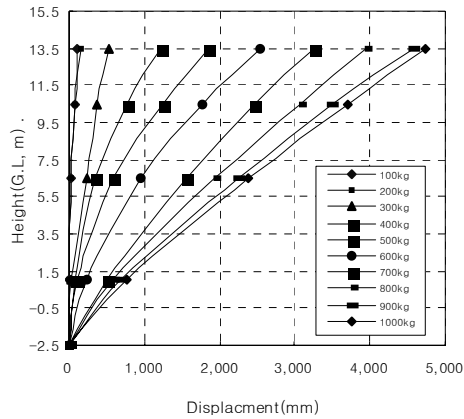


그림 21. 점증하중에 따른 전주 수평변위(Test-4)

이 이뤄졌다. 한편 점증하중 1,000kg 시 전주 최상부점에서 전주수평변위는 약 4.7m로 가장 큰 값을 나타냈으며 근가 위치별 실험중변위가 작은 TEST-2의 수평변위는 최대 2.2m로 변위에 비하여 약 213%에 해당된다. 이는 상기와 같이 굴착으로 인한 되메우기로 주변지반이 교란되어 흙의 전단강도 저하와 근가위치가 하부에 있어 지반내 상부층 수동저항력이 감소된 것으로 판단된다(그림 21).

3.4 근가 수량증가별 토압분포

근가의 개수가 TEST-1(무근가), TEST-5(1개), TEST-6(2개), TEST-7(4개)의 숫자로 변화하며 토압을 나타내었는데 근가는 전주에 수직으로 일렬로 설치하여 지반을 굴착하고 전주시공을 한 것이다. 근가를 4개 설치한 것이 G.L.-0.9m에서 토압을 크게 줄였는데 이는 수직으로 80cm 정도에 걸쳐 설치된 근가의 영향으로 판단되지만 근가를 다수설치하고 굴착면적이 커지는 시공성이 떨어지는 단점이 있다. 그러나

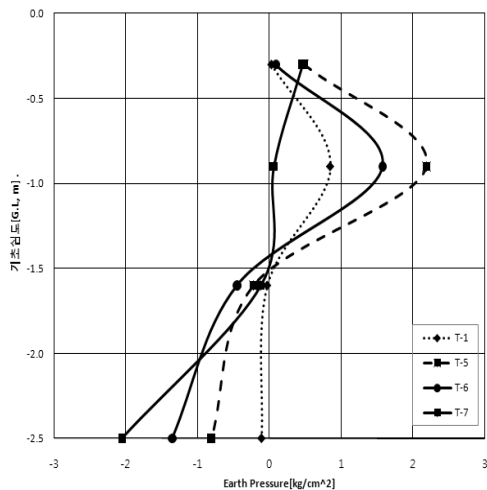


그림 22. 근가 수량별 수평토압분포

교란된 지반이 차후 흙의 전단강도를 회복할 시 보다 안정적인 변위를 나타낼 것으로 판단된다(그림 22).

4. 결 론

연약지반에 실험크기의 전주를 시험시공하여 전주에 작용하는 응력과 지중의 수평토압을 실험계측을 실시하였다. 전주는 10개의 유형으로 시험시공하였는데 근가의 위치 및 수량을 변경하였고 전주의 근입깊이를 변경하며 각 경우에 응력을 측정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 하중재하방향에 설치한 전주 높이별 응력 추이는 초기 하중 시 전주 최상부에서 응력이 집중되다 추가하중 재하 시 점차적으로 전주 저부로 응력이 전이되는 양상을 보였으며 응력의 크기순서는 Test-10, 5, 2, 7, 3, 1번의 순이다.
- (2) 전주 근입깊이가 클수록 토압의 양상이 비례함과 하부 수동영역이 길어짐을 보이고 있다.
- (3) 토압계를 이용하여 시험유형별로 근가깊이에 따라 토압 분포를 분석한 결과 상부수동영역 G.L(-) 0.9m지점에서 토압이 크게 나타났다. Test-10의 경우 다른 시험조건보다 비교적 안정적인 토압양상을 보였으며 기초 근입 깊이와 하부수동영역의 크기는 비례함을 보였다. 근가 설치위치가 하부로 갈수록 하부수동영역 저항력이 감소된 것으로 볼 때 전주 기초 안정성 증대를 위해서는 근가를 비교적 깊은 깊이에 설치하는 것이 유리하게 나타났다.
- (4) 전주의 근입 깊이가 증가한 Test-10의 경우 하부 수동토압이 큰 특성을 보였다. 그러나 압축응력과 인장응력 값이 상대적으로 크게 측정되어 전주시초 안정성과 전주 재료에 대한 상관관계에 있어 서로 반비례함을 나타냈다. 근가깊이가 클 때에 수동영역에서 토압의 크기가 크게 나타났다. 이는 Test-4의 근가위치가 2.25m로서 수동영역에서 토압측정값이 큰 것으로 판단된다.
- (5) 전주의 변위는 상부로 갈수록 수평변위가 크게 측정되었으며 근가의 위치 및 수량, 전주시초의 근입깊이별로 뚜렷한 차이를 나타냈다. 전주 전체 변위크기순은 Test-4, 1, 3, 2, 8, 6, 9, 10번 순이고 지표부의 변위크기순과 동일하다. 따라서 재하중별 전주시초에 미치는 영향과 전주수평변위과 비례관계가 성립한다.
- (6) 전주에 작용하는 응력을 변형률계를 통하여 측정한 결과 인장력이 600~700kg 사이에서부터 전주의 응력이 완전상이 발생하였고 근가를 4개 설치한 경우가 응력감

소 현상이 뚜렷하게 나타났다. 이는 근가를 설치하기 위해 다소 광범위한 굴착 및 되메우기 작업으로 흙의 전단강도가 저하되어 지반의 저항력이 감소에 따른 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

1. 손명윤, 임종석(2004), 점성토에 설치된 콘크리트 전주지반의 수평방향지지력, *학술발표회 논문집*, 대한토목학회, pp. 1723 ~1727.
2. Chen, S. L. and Chen, L. Z.(2008), Note on the Interaction Factor for Two Laterally Loaded Piles, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 134, No. 11, pp. 1685 ~1690.
3. Rajashree, S. S. and Sitharam, T. G.(2001), Nonlinear Finite-Element Modeling of Batter Piles under Lateral Load, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No. 7, pp. 604~612.
4. White, D. J., Thompson, M. J., Suleiman, M. T. and Schaefer, V. R.(2008), Behavior of Slender Piles Subject to Free-Field Lateral Soil Movement, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 134, No. 4, pp. 428~436.

(접수일: 2010. 12. 22 심사일: 2011. 1. 5 심사완료일: 2011. 3. 18)