

현장타설 팽이말뚝기초공법의 지지력 증대효과에 관한 모형실험 연구 Model Test on the Effect of Bearing Capacity for In-situ Top Base Method in sand

강홍규¹⁾, Hong-Kyu Kang, 김찬국²⁾, Chan-Kuk Kim, 이봉열³⁾, Bong-Yul Lee, 김학문⁴⁾, Hak-Moon Kim

¹⁾ (주)도담이앤씨 지반부 사원, Dodam Engineering & Construction Co., Ltd

²⁾ 단국대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dankook University

³⁾ 시지이앤씨(주) 상무, Managing Director, C.G. Engineering & Construction Co., Ltd

⁴⁾ 단국대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dankook University

SYNOPSIS : The present precast top-base method create many problems of requiring it plant facilities, transportation and installation, due to the heavy weight of and it takes too long time to set it up on site. In order to improve and solve these problems, in-situ Top-Base method is developed. It include processes that install Top-Base mold made of poly-ethylene into ground, then pouring concrete into the mold, and fill the rest gaps with broken stones. Considerable advantages can be obtained by applying in-situ Top-Base method in aspects of the stability, economical and construction efficiency. In this research, model tests for in-situ Top-Base system are carried out in other to the investigate the load delivering mechanism and the effect of bearing capacity.

Key words : top-base, load delivering mechanism, effect of bearing capacity

1. 서 론

현재 사용되고 있는 공장제작형 팽이말뚝은 70~80kg의 중량 구조체로서 형상을 제작하는데 따른 부지 및 플랜트 시설과 운반 및 현장 설치에 대한 부담이 크며, 설치시 파일의 수평 작업 시간이 길게 소요되는 등 단점을 가지고 있다. 이러한 종래의 공장제작형 팽이 말뚝이 갖는 여러 가지 문제점을 해결·보완하기 위해 현장타설형 팽이말뚝기초공법이 개발되었다. 현장타설형 팽이말뚝기초공법은 재활용 합성수지(Poly-Ethylene)인 팽이형 수지용기를 지반에 압입하고 수지용기에 콘크리트를 타설한 다음, 잔여 공간 부분에 쇄석을 충전하는 공정으로 이루어지며, 안정성과 시공성 및 경제성에 있어서 기존 공장제작형 팽이말뚝기초공법을 한 단계 발전시킨 공법이다. 따라서 본 연구는 현장타설 팽이말뚝기초공법 적용에 따른 기초 및 지반의 거동을 고찰하기 위하여 기초형식과 지반조건을 달리하여 모형실험을 수행하였으며, 모형실험 결과로부터 팽이말뚝의 하중 전달 메커니즘 및 지지력 증대효과를 평가하고자 한다.

2. 모형실험

2.1 모형실험 개요

본 연구에서는 현장타설형 PE 팽이말뚝기초 적용시 지지력 및 침하특성을 고찰하고자 모형실험을 실시하였다. 지반조건은 느슨 및 중간 조밀한 경우의 사질토 지반으로 하였으며, 기초형태는 원지반 무처리, 전면기초, 공장제작형 팽이말뚝기초 및 현장타설형 PE 팽이말뚝기초로 변화시키며 재하시험을 실시하였다.

표 1. 모형실험의 개요

구분	지반조건	단위중량(t/m^3)	기초 종류
A	느슨한 모래지반 (Loose sand)	1.355	원지반 무처리
			전면기초
			공장제작형 콘크리트팽이말뚝기초
			현장타설형 PE 팽이말뚝기초
B	중간 조밀한 모래지반 (Medium sand)	1.428	원지반 무처리
			전면기초
			공장제작형 콘크리트팽이말뚝기초
			현장타설형 PE 팽이말뚝기초

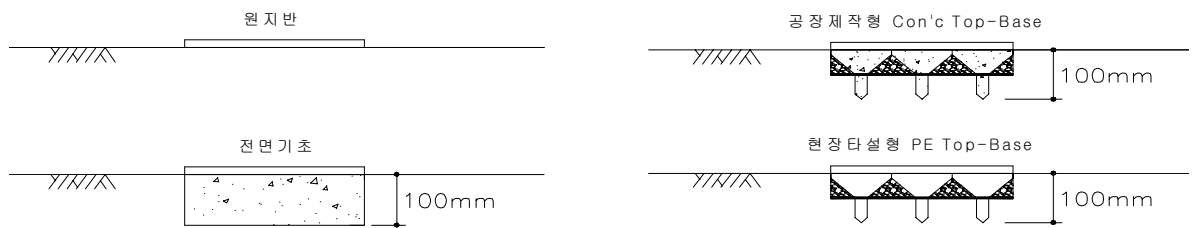


그림 1. 적용된 기초종류

본 모형실험에서 사용된 모형팽이말뚝기초는 실제 현장타설형 PE팽이 말뚝과 공장제작형 콘크리트 팽이말뚝의 강도와 단위중량을 고려하여 $\phi 500$ 형 파일의 1/5 Scale로 제작하였다. 또한 모형 전면기초는 콘크리트만으로도 재하하중에 대하여 충분한 강성을 가지므로 철근은 배제하고 $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 10\text{cm}$ 크기로 제작하였다.

2.2 모형실험 장치 및 실험방법

2.2.1 모형실험 장치

모형실험 장치는 크게 토조, 강사장치, 하중재하장치, 계측기기로 분류될 수 있다.

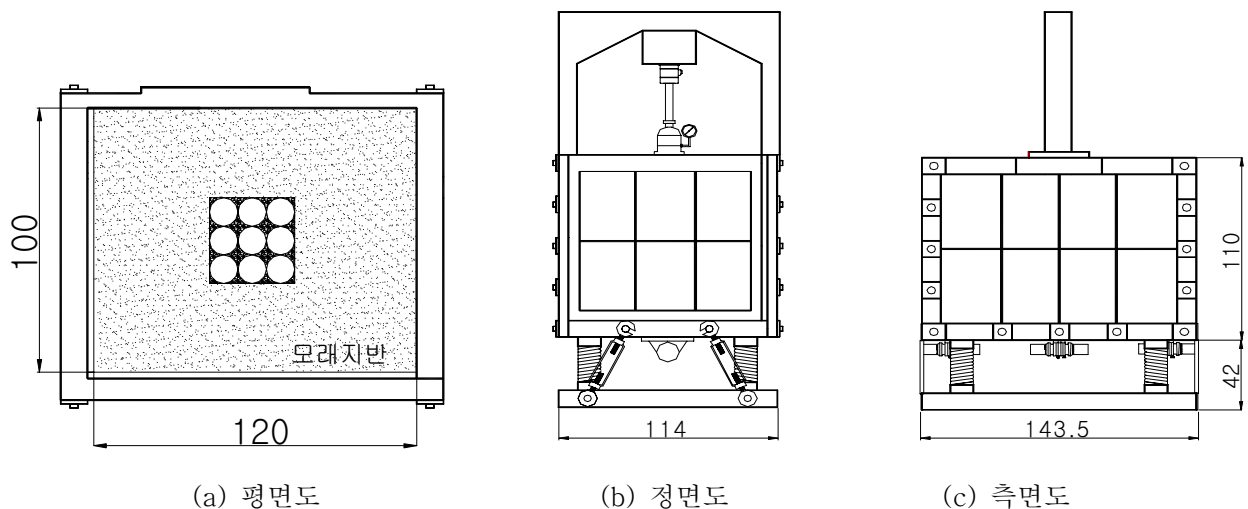


그림 2. 모형실험장치(단위:cm)

모형실험에 사용된 토조는 외부하중에 의해 발생하는 지중응력과 소성영역의 크기 및 변위 등이 토조의 측벽에 영향을 받지 않는 크기여야 하므로 본 연구에서는 접지압과 접지면적 등을 고려한 재하실험과 계측을 통하여 영향이 없는 것을 확인하였다.

하중재하는 하중지지대를 설치하고 기초위에 정사각형의 재하판과 3.0ton 용량의 유압잭을 거치하여 재하를 실시하였다. 재하시 유압잭 위에 하중계(Load Cell)를 설치하여 하중재하에 정확성을 기하였다.

계측기기는 재하시험에 따른 기초의 침하 및 지중에 작용하는 토압 등을 측정하기 위해 기기의 용도 및 정밀도 등을 고려하여 선정하였다

2.2.2 모형실험 방법

모형실험시 균질한 모형지반을 조성하기 위하여 강사구 폭과 낙하고에 대한 반복실험을 통하여 일정한 상대밀도를 갖도록 하였으며, 본 실험에서는 건조단위중량이 1.355t/m^3 의 느슨한 모래지반과 1.428t/m^3 의 중간 조밀한 모래지반으로 조성하였다.

팽이말뚝기초의 설치는 파일부 위쪽을 철사(D13철근의 1/5 scale)로 연결하고 팽이말뚝의 파일부 만을 사질지반 상에 관입시킨 다음, 최대직경 5mm의 쇠석을 팽이말뚝과 지반사이의 공극에 충분히 다져 넣어 설치하였다.

하중재하시험은 KS F2444-90(95), ASTM D1194-94, AASHTO T221의 시험기준에 따라 기초에 균등한 하중을 가하기 위하여 30cm×30cm의 정사각형 재하판을 사용하였다. 매회의 재하하중은 예상되는 파괴하중의 1/5이 되도록 하였으며 각 하중의 침하량은 2분, 4분, 8분의 간격으로 Dial Gauge의 침하량이 0.01mm이하가 될 때까지 측정하였다.

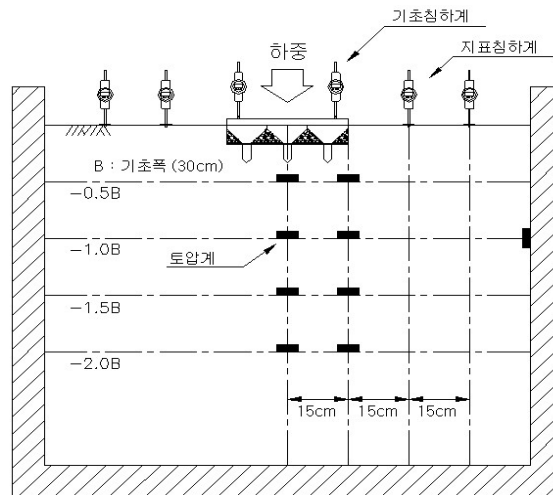


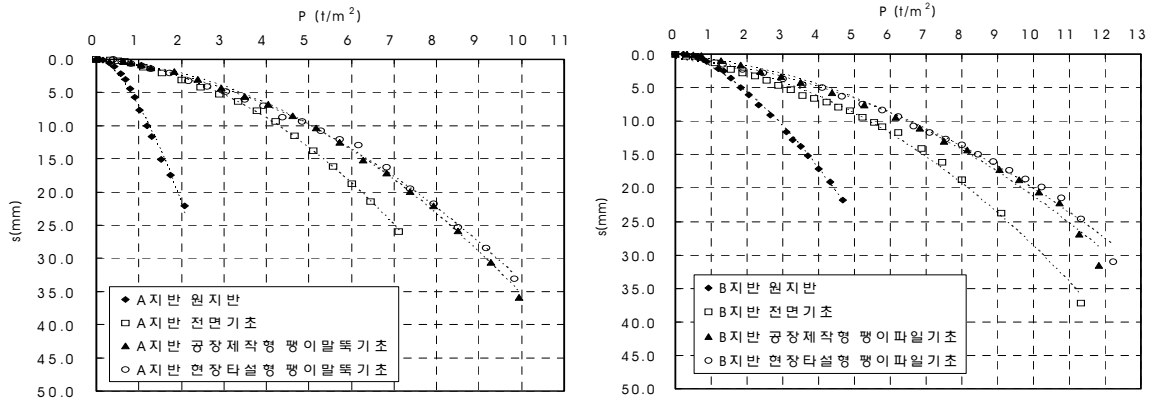
그림 3. 계측기기 설치위치도

3. 실험결과 및 분석

3.1 기초조건에 따른 하중-침하곡선

지반조건이 상대밀도 27.4%의 느슨한 모래지반과 상대밀도 52.5%의 중간 조밀한 모래지반에 대해 각각 기초형식을 무처리 원지반, 전면기초, 기존 공장제작형 콘크리트 팽이말뚝기초와 현장타설형 PE 팽이말뚝기초로 모형 제작하여 재하 실험한 결과는 그림 4와 같다.

느슨한 모래지반과 중간 조밀한 지반에 각각 PE 팽이말뚝기초를 설치하였을 때 무처리 원지반과 전면기초 조건에 비하여 지지력 증대효과가 향상되는 것으로 나타났으며, 기존 콘크리트 팽이말뚝기초와 유사한 거동을 보이고 있는 것으로 나타났다.



(a) 느슨한 모래지반(A지반, $D_r=27.4\%$) (b) 중간 조밀한 모래지반(B지반, $D_r=52.5\%$)

그림 4. 기초조건에 따른 하중-침하곡선

3.2 기초조건에 따른 허용지지력 비교

기초조건에 따른 허용지지력을 비교하기 위하여 각 기초형태별 재하시험자료로부터 허용지지력을 산정하였으며, 또한, 모형실험에 의한 지지력과 이론식에 의한 지지력을 각각 비교하였다. 이론식은 원지반과 전면기초 조건일 경우에는 Terzaghi의 정역학적 지지력 이론식을 적용하였으며, 팽이파일기초의 경우에는 일본의 「토목연구 센터」의 설계메뉴얼에서 Terzaghi의 지지력 이론식을 수정 제안한 팽이말뚝기초의 지지력 이론식을 적용하였다.

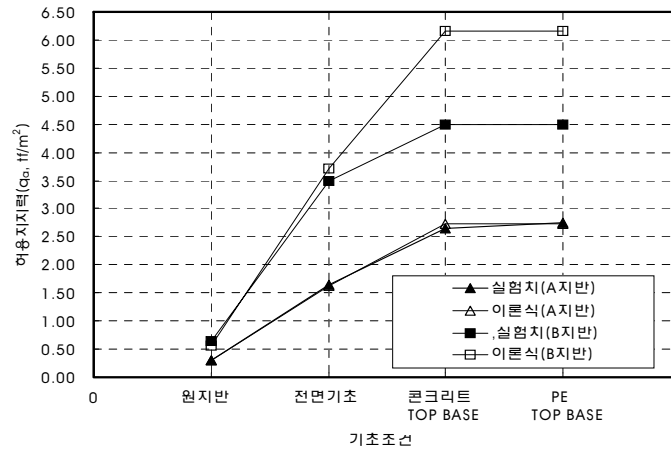


그림 5. 기초조건에 따른 허용지지력

그림 5를 참조하면 느슨한 모래지반(A지반)에서 현장타설형 PE 팽이말뚝기초는 무처리 지반의 경우보다 9 배, 전면기초의 경우보다 1.7배 증가된 허용지지력 값을 나타내었고, 중간 조밀한 모래지반(B지반)에서는 무처리 원지반의 경우보다 7배, 전면기초의 경우보다 1.3배정도 증가된 허용지지력 값을 갖는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로부터 PE 팽이말뚝기초 적용시 A, B의 두 지반에 대하여 허용지지력이 크게 증가한 것을 확인할 수 있으며, 느슨한 모래 지반의 경우가 중간 조밀한 모래지반의 경우보다 허용지지력 증대효과가 더 클 수 있다. 또한, 느슨한 모래지반에서는 이론식에 의한 허용지지력 값과 거의 일치하는 것으로 나타났으나, 중간 조밀한 모래지반에서는 원지반과 전면기초에 대하여는 이론식과 거의 유사한 값을 갖는 반면, 팽이 기초에서는 이론식에 의한 허용지지력 값보다 40%정도 작게 나타났다.

3.3 기준침하량에 대한 기초조건별 지지력

하중-침하곡선으로부터 기준 침하량 20mm일 때의 지내력 증대효과를 각 기초조건별로 분석하였으며, 분석결과는 그림 6과 같다. 침하량이 20mm일 때 느슨한 모래지반에서 PE팽이말뚝기초의 지지력은 원지반의 경우보다 4.0배 증가하였으며, 전면기초 지반의 경우보다 1.2배 증가하였다. 또한, 중간 조밀한 모래지반에서는 원지반의 경우보다 2.3배, 전면기초 지반의 경우보다 1.2배 증가하였다.

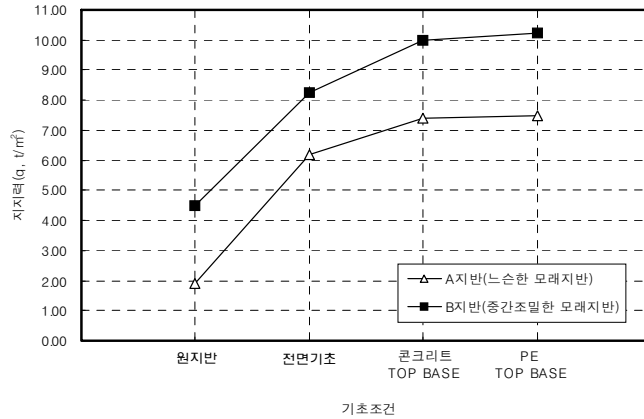
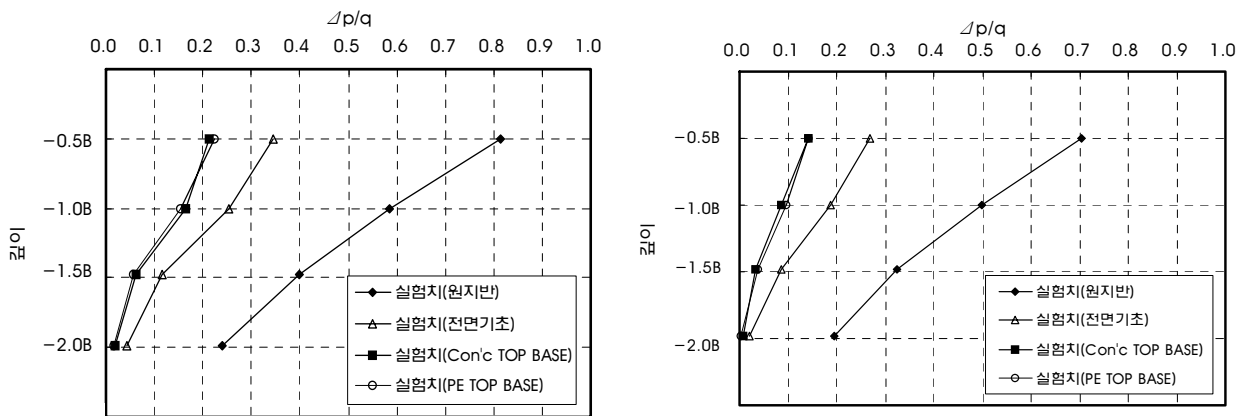


그림 6. 기준침하량 20mm에서의 지내력 비교

3.4 동일하중조건에서의 기초별 지중연직응력분포

A, B지반에서 각 기초조건별로 재하하중에 따른 지반내 연직응력을 측정하였으며, 측정위치는 기초의 중심부로부터 0.5B, 1.0B, 1.5B, 2.0B로 하였다. 그림 7은 동일하중 조건에서의 각 기초조건에 따른 깊이별 증가된 지중연직응력 분포를 재하하중에 대한 응력증가량의 비로 나타 낸 것이다.



(a) A지반(재하하중 200kg기준)

(b) B지반(재하하중 200kg기준)

그림 7. 기초조건에 따른 깊이별 지중연직응력 분포

재하판 중심에서 동일하중에 대하여 지중연직응력을 살펴보면, 팽이말뚝기초를 적용한 경우가 원지반 및 전면기초를 적용한 조건보다 깊이별 지반내 응력이 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 전면기초를 적용한 경우 약 1.5배정도 지중연직응력이 감소한 것으로 나타났다.

4. 결 론

- (1) 모형실험결과에 의하면 팽이형 말뚝 기초가 전면기초에 비하여 지지력 증대효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 현장타설형 팽이말뚝기초와 공장제작형 팽이말뚝기초의 하중-침하곡선은 거의 유사하게 나타났으며, 지반거동 및 지지력 증대효과에서도 거의 유사한 결과를 갖는 것으로 나타났다. 이는 현장타설형 팽이말뚝기초의 겉 재질인 PE와 채움 쇠석이 압축에 의해 서로 맞물리면서 마찰이 증가하여 공장제작형 팽이말뚝기초의 거동과 차이가 없는 것으로 판단된다.
- (2) 팽이형 말뚝기초의 허용지지력은 중간 조밀한 모래지반보다 느슨한 모래지반에서 지지력 증대효과가 큰 것으로 나타났으며, 중간 조밀한 모래지반에서 실험에 의한 허용지지력보다 팽이기초이론식에 의한 허용지지력이 크게 산정되었다. 이는 팽이기초 이론식에 적용된 지지력 증가계수의 변수인 응력분산각이 지반이 조밀할수록 작아지기 때문에 응력분산효과가 감소하는 것으로 판단된다.
- (3) 동일하중에서의 지중연직응력을 살펴보면, 팽이말뚝기초를 적용하는 경우가 원지반 및 전면기초를 적용하는 것에 비해서 지반내 전달되는 지중연직응력의 영향범위가 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 팽이말뚝 원추면의 접지압이 수평 및 수직응력으로 나누어지면서 수평응력으로서 상쇄되는 효과와 채움 쇠석과 말뚝부가 조합을 이루어 기초아래 지반주변의 측방변형을 구속효과 때문인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 山田, 安川, 齊藤 (1986) : “軟弱地盤におけるコマ型コンクリートブロック基礎の現場載 試験”, 第21回 土質工學研究發表會講演集, pp.1281~1284.
2. 山田, 齊藤, 安川 (1987) : “コマ型基礎の沈下抑制効果についての考察”, 第22回 土質工學研究發表會講演集, pp.1833~1836.
3. 山田, 齊藤, 安川 (1987) : “コマ型基礎の沈下抑制効果についての考察”, 第22回 土質工學研究發表會講演集, pp.1833~1836.
4. 安川, 山田, 大西, 齊藤 (1987) : “軟弱地盤におけるこま型基礎の支持力特性”, 第32回 土質工學シソボツウム-支持杭に頼らない基礎工法-發表論文集, pp.49~54.
5. 荒井, 町原, 大西, 小久保 (1986) : “軟弱地盤上コマ型コンクリートブロック基礎の室内模型實驗”, 第21回 土質工學研究發表會講演集, pp.1285~1286.
6. 日本道路協會 (1990) : “道路橋示方書. 同解説”, IV. 下部構造編, pp.212~219.
7. Arai.K.Y.Ohnishi. H.Horita and I.Yasukawa(1987) : “Measurement and interpretation of loading test of Concrete Top Block on soft ground, The Proceeding of 2nd International Symposium on field measurement on geomechanics, Vol.2, pp.1177~1184, A.A.BALKEMA.
8. Arai K., Y.ohnishi, M.horita, I. Yasukawa and S. Nakaya (1988) : “Interpretation of concrete Top Base foundation behaviour on soft ground by coupled stress flow finite element analisis”, 6th International Conference on numerical methodin geomechanics. Vol.1. pp.625~630, A.A.BALKEMA.