Gravel Mat로 보강된 말뚝지지 전면기초의 실내모형실험

서영교* · 이정훈*

*한국해양대학교 해양공학과

Laboratory Test of Piled-Raft Foundation Improved by Gravel Mat

Young-Kyo Seo* and Jeong-Hoon Lee*

*Department of Ocean Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea

KEY WORDS: Piled raft foundation 말뚝지지 전면기초, Settlements 침하량, Load-sharing ratio 하중분담률, Gravel mat 자갈매트

ABSTRACT: A piled raft foundation is one of the systems used to reduce the settlement of structures. However, the general design method for a piled raft foundation system assumes that the piles only support external loads, which exclude the bearing capacity of the raft itself. In this study, an experimental model test was performed to evaluate the raft capacity for the external load on the sand. Additionally, a part of the sandy ground under the raft was replaced with a gravel mat to reinforce the piled raft foundation system and increase the bearing capacity. Then, parametric studies of the reinforced ground were performed to determine the displacement and load-sharing ratio of the piled raft foundation system.

1. 서 론

말뚝지지 전면기초(Piled raft foundation)는 상부 구조물로부터의 하중을 Raft와 말뚝이 동시에 지반에 전달하는 기초 형태로 기존의 무리말뚝과 달리 Raft가 지반과 접촉하여 하중을 분담한다는 것을 전제로 하고 있는 기초형식(김경남 등, 1999)이다. 이러한 말뚝지지 전면기초는 무리말뚝 기초와 비교할 때, 소요되는 말뚝의 길이 및 개수를 현저하게 줄일 수 있는 경제적인 기초형식이지만 연약지반에서의 말뚝지지 전면기초는 과도한 침하, Raft의 지지력 산정문제, 하중의 대부분이 말뚝을 통해 전이되는 점 등의 문제로 기초 시공에 적합하지 않는 조건(Poulos, 2001)으로 알려져 있다. 하지만 연약지반 내에 구조물 시공이 증대되면서 연약지반 위에 설치되는 말뚝지지 전면기초에 대한 해석적인 연구가 제한적이나마 일부 수행되기도 하였으며(Seo and Jeong, 2004), Poulos(2005)는 연약지반에 시공된 마찰말뚝으로 지지된 말뚝지지 전면기초의 성공사례를 보고하기도 하였다.

본 논문에서는 말뚝지지 전면기초의 연약지반에 적용하기 위한 선행과제로서 사질토지반 위에 마찰말뚝으로 지지된 말뚝지지 전면기초의 거동 특성과 이를 보강하기 위한 수단으로 Raft 아래 일부분을 자갈로 치환하여 적용한 말뚝지지 전면기초의 실내모형실험을 실시하였다.

말뚝지지 전면기초 시스템에 대한 설계에 있어서 종래의 무리 말뚝기초와 같이 상부 하중을 말뚝이 전부 지지하고 있다고 가정할 경우, Raft의 지지력을 무시함으로써 과도한 설계가 될 수 있다. 이에 따라 말뚝지지 전면기초 시스템의 설계는 Raft와

말뚝이 상부 하중을 서로 분담하여 지지한다는 설계개념으로 접근함이 타당하다(김홍택 등, 2002). 이에 따라 마찰말뚝으로 지지된 말뚝지지 전면기초의 연직하중에 대한 말뚝-Raft의 하중 분담특성과 상부지반의 자갈치환으로 인한 말뚝지지 전면기초의 보강효과를 파악하였다.

2. 말뚝지지 전면기초 시스템

2.1 말뚝지지 전면기초

말뚝지지 전면기초(Fig. 1(b))는 주로 단단한 점토층과 같은 지반조건에서 Raft만의 전면기초(Fig. 1(b))로 충분한 지지력을 확보할 수 있지만 침하가 발생하여 구조물의 사용성에 문제가 발생할 경우에 대응되는 기초형식이다(Parakosa and Kulhawy, 2001; 김홍택 등, 2002).

말뚝지지 전면기초는 Fig. 2와 같이 Raft, 말뚝, 기초지반 3개의 지지요소로 구성된 복합구조체이며, 상부 구조물에 작용하는 하중은 식 (1)와 같이 Raft와 말뚝이 동시에 지반에 전달하는 기초형태로 되어있다(Katzenbach and Reul, 1997).

(a) Raft foundation

(b) Piled raft foundation

Fig. 1 Raft foundation and piled raft foundation

Fig. 2 Soil-structure interaction in piled raft foundation system (Katzenbach & Reul, 1997)

Fig. 3 Definition for the piled raft

$$R_{tot} = R_{raft} + \sum R_{pile} \quad (1)$$

여기서 R_{tot} : 상부 구조물에 작용하는 전체하중

R_{raft} : Raft가 부담하는 지지력

$\sum R_{pile}$: 말뚝이 부담하는 지지력의 총합

결과적으로 말뚝이 많이 설치될수록 기초의 하중-침하특성이 양호해지므로 말뚝지지 전면기초의 최적 말뚝개수를 결정하는 것이 기초 설계에 있어서 중요한 부분이다.

Fig. 3에서는 말뚝지지 전면기초의 각 부 명칭을 나타내었다. B_r 은 Raft의 한변의 길이를 나타내고, B_g 는 Raft 아래 무리말뚝의 폭을 나타낸다. B_g/B_r 수치의 의미는 Raft 한 변 크기에 대한 무리말뚝의 폭을 나타내므로 1에 가까울수록 말뚝이 넓게 분포된 경우를 뜻하고, 0에 가까울수록 조밀히 배치된 경우에 해당된다. 그리고 N 은 Raft를 지지하는 말뚝의 개수, L 은 말뚝의 길이, W 는 하중분담률, T 는 자갈매트의 두께로 각각 정의한다.

2.2 자갈매트의 접목

Fig. 4는 3층으로 구성된 김해지역 연약지반을 대상으로 상부지반의 탄성계수를 변수로 하여 동일한 조건의 말뚝지지 전면기초의 하부지반 유효응력증가량을 Plaxis foundation v1.5를 이용하여 해석한 결과를 나타낸 것이다. 상부지반의 탄성계수가 커질수록 지반의 강성도가 증가하여 상부하중에 대한 수직

깊이별 유효응력증가량이 감소되는 경향을 확인할 수 있다. 비교적 상부지반의 탄성계수가 100배 이상으로 보강된 경우에는 유효응력 증가량의 차이가 없어져, 상부지반의 탄성계수가 100배 정도로 개량되었을 때 상부 구조물에 의한 하중을 효과적으로 분담함을 나타낸다.

이에 따라 Raft아래 지반 일부분을 Fig. 5와 같이 지반의 탄성계수가 모형지반보다 큰 자갈로 치환하여 말뚝지지 전면기초 시스템에 자갈매트를 접목하였다.

3. 실내모형실험

3.1 모형실험장치

실내모형실험에 사용된 모형토조는 가로×세로×높이, 1000×800×800mm 크기로 벽체는 10mm의 강판으로 제작되었다. 모형실험에 사용된 모형말뚝은 강철 재질로 최대 9개가 사용되었다. 직경은 15mm로 동일하고, 말뚝의 길이는 200, 300, 400mm의 3종류 말뚝을 사용하였다. 모형Raft는 본 실험의 특성상 Raft의 지지력이 간접적으로 측정됨으로, 두께 10mm, 크기 300×300mm인 동일한 철제 모형Raft를 사용하여 동일한 Raft지지력을 조건을 유지하였다. Fig. 6는 본 실험에 사용된 3종류의 Raft폭에 대한 무리말뚝의 폭 비(B_g/B_r)에 따른 Raft모형이다.

Fig. 4 Vertical stress increment with sand improvement

Fig. 5 Definition for the piled raft enforced by gravel mat

Fig. 6 Model of raft(2×2, 3×3)

Fig. 7 Testing apparatus with model chamber

Raft와 지반과의 접지압, 말뚝 상호간의 침하 등은 Raft의 강성에 영향을 받는다. 모형실험에 사용된 Raft와 지반의 강성지수 K_r (Hain and Lee, 1978) 값을 평가해 본 결과, Raft가 완전 강성이라고 간주할 수 있는 기준 하한치인 10보다 충분히 크게 평가되어, 모형실험에 사용한 Raft는 강체로 거동한다고 가정할 수 있다.

$$K_r = \frac{4 \cdot E_r \cdot T_r \cdot B_r \cdot (1 - \nu^2)}{3 \cdot \Pi \cdot E_s \cdot L_r^4} \quad (2)$$

여기서 E_r : Raft 탄성계수, T_r : Raft 두께, B_r : Raft 폭
 L_r : Raft 길이, ν : 지반의 프아송비 E_s : 지반의 탄성계수

상부하중에 대해 말뚝이 분담하는 하중을 측정하고 상부하중이 Raft 전면에서 재하되기 위해 Load cell을 Raft 아래에 위치한 말뚝 두부에 역방향으로 설치하였다. Raft가 분담하는 하중은 전체 상부하중에서 말뚝두부에 측정된 하중값을 제하는 간접적인 방법으로 측정하였다. LVDT는 상부하중 재하판에 설치하여 상부하중에 대한 침하량을 측정하였다. 실내모형실험에 사용한 측정장비 설치와 실험 개요도는 Fig. 7과 같다.

3.2 모형지반 조성

본 실험에 사용된 사질토는 건재모래를 노건조시키고 10번체를 통과한 모래를 300mm 높이에서 강사하여 일정한 상대밀도로 모형지반을 조성하였다. Fig. 8은 모형실험에 사용된 사질토의 입도

분포곡선을 나타내고, Table 1은 모형실험에 사용된 사질토의 역학적 물성을 나타내었다.

3.3 자갈매트 조성

자갈은 건재모래를 노건조 시키고 10번체에 남은 시료중에서 4번체를 통과한 시료만을 300mm 높이에서 강사하여 일정한 상대밀도로 조성하였다. 자갈매트는 합판을 이용하여 크기 350 × 350mm로 조성하였고, 주변사질토와 교란에 의해 초기 침하량 증가를 방지하기위해 다짐 추로 5회~10회 정도 다짐을 실시하였다. Fig. 9는 자갈로 매트를 조성한 시료의 전경이며, Fig. 10은 합판을 이용하여 자갈매트를 일정한 두께로 조성한 전경이다.

Fig. 8 Grain-size distribution curves

Table 1 Material properties of sand

D_r (%)	34.8
ϕ (°)	33
r_d (kN/m ³)	14.74
r_{dmax} (kN/m ³)	16.36
r_{dmin} (kN/m ³)	14
C_u	2.33
C_c	0.88
Soil classification	SP

Fig. 9 Gravel used in the experiment

Fig. 10 Replacement of gravel

3.4 실험방법

말뚝의 설치는 조성된 모형지반위에 Raft를 위치하고 말뚝 설치공에 말뚝을 위치시키고 햄머를 이용한 항타를 통해 말뚝을 설치하였다. 말뚝 설치 시 수평자를 이용하여 연직으로 항타되도록 유도하였다.

상부하중의 재하는 유압을 이용하여 1kN 단위로 10kN까지 제한된 하중을 재하하였다. 각 하중 단계에서는 더 이상 침하가 진행되지 않을 때까지 5분 동안 방치하였다. 기초에 재하된 전체하중은 유압잭에 표시된 하중값을 이용하였고, 말뚝설치에 따른 Load cell과 LVDT 측정값은 데이터로거를 이용하여 1초 단위로 계측하였다.

3.5 벽체의 구속효과

토조를 이용한 실내모형실험은 실제 지반과 달리 반무한체 지반조건이 아니므로 토조 벽체의 구속효과를 고려할 필요성이 있다. 이를 판단하기 위해 Plaxis foundation v1.5 유한요소해석 프로그램을 이용하였다. Raft의 한 변의 길이 B_r 를 기준으로 모형지반의 한 변 길이 B 를 3배에서 10배 크기로 조절하여 동일한 조건의 말뚝지지 전면기초의 침하량을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 이를 바탕으로 본 논문에서 측정된 실험 결과값은 반무한체 지반조건인 약 84%에 해당하는 결과에 해당된다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 구속효과에 의한 별도의 보정 과정은 생략하였다.

Table 2 Scale effect

B/B_r	Displacement (mm)	% of Displacement to $B/B_r = 10$
3	1.061	83.87
4	1.159	91.62
5	1.192	94.23
6	1.228	97.08
7	1.248	98.66
8	1.261	99.68
9	1.265	100
10	1.265	100

4. 결과 분석

4.1 말뚝지지 전면기초의 하중-침하 특성과 자갈메트의 영향

본 분석에서는 말뚝의 배치간격, 말뚝의 길이, 말뚝의 개수의 말뚝지지 전면기초의 변수에 따라 연직하중에 대한 침하 특성을 자갈이 치환된 경우와 비교하고, 자갈의 치환두께에 대한 영향을 분석하였다.

Fig. 11은 길이가 300mm로 일정한 말뚝 9개를 배치한 말뚝지지 전면기초의 하중-침하 곡선을 나타내어 자갈로 보강된 경우와 비교하였다. B_g/B_r 가 0.65일 때는 최대 침하량이 2.82mm이었으며, 0.787일 때는 3.11mm, 0.95일 때는 3.54mm이었다. B_g/B_r 가 작을수록 즉, 말뚝이 간격이 조밀하게 배치될수록 침하량이 감소하는 경향은 자갈로 치환된 경우와 동일하게 나타났지만, 자갈로 상부 지반을 치환한 경우에는 B_g/B_r 가 0.65일 때는 최대 침하량이 2.69mm, 0.787일 때는 2.77mm, 0.95일 때는 2.88mm이었다. 따라서 말뚝의 배치간격에 의한 영향이 기존의 말뚝지지 전면기초에 비해 둔화됨을 확인하였다. 그리고 침하 감소비율은 4.5%, 11%, 18.6%이었다.

Fig. 12는 B_g/B_r 가 0.787로 동일하게 배치된 말뚝지지 전면기초의 말뚝의 길이에 의한 하중-침하 특성을 자갈로 치환된 경우와 비교하였다. 말뚝의 길이가 200mm일 때 최대 침하량이 3.96mm이었고, 300mm일 때는 3.11mm이었고, 400mm일 때는 2.70mm이었다. 그리고 자갈이 상부지반을 치환한 경우에는 말뚝의 길이가 200mm일 때 최대 침하량이 3.78mm이었고, 300mm

Fig. 11 Load displacements by B_g/B_r

Fig. 12 Load displacements by length of pile

일 때는 2.77mm이었다. 그리고 400mm일 때는 2.36mm이었다. 따라서 말뚝의 길이가 길어짐에 따른 지지력의 증대로 침하가 개선되는 경향은 동일하게 나타났다. 그리고 침하감소비율은 4.5%, 11%, 12.6%이었다.

Fig. 13은 B_g/B_r 가 0.787로 동일하게 배치되고 말뚝의 개수에 의한 하중-침하 특성을 자갈이 설치된 경우와 비교하여 나타내었다. 말뚝의 개수가 4개(2×2)일 때 최대 침하량이 4.13mm이고, 9개(3×3)일 때는 3.11mm이었다. 그리고 자갈이 상부지반을 치환한 경우에는 말뚝의 개수가 4개(2×2)일 때 최대 침하량은 3.23mm이고, 9개(3×3)일 때는 2.77mm이었다. 따라서 말뚝의 개수가 많은 3×3에서 침하가 개선되는 경향은 자갈로 치환된 경우에도 동일하게 나타났으며, 자갈에 의해 말뚝 개수에 의한 영향도 둔화되는 것을 확인하였다. 그리고 침하감소비율은 21.8%, 10.9%이었다.

자갈로 치환된 경우에는 전체적으로 기존의 말뚝지지 전면기초의 변수에 따라 침하가 개선되었다. 또한 기초 변수에 따른 하중-침하 거동 특성은 동일한 경향을 나타냈으나, 자갈의 치환으로 인해 기초 변수에 의한 민감도가 둔화되는 경향을 나타내었다. 이는 탄성계수가 큰 자갈의 상부지반 치환으로 인해 자갈 치환 두께 만큼 말뚝의 지지력을 일부 분담하여 나타난 결과라 판단된다.

Fig. 14는 자갈의 치환 두께를 50mm, 100mm로 달리 적용하여 기존의 2×2, 3×3 말뚝지지 전면기초 하중-침하 특성을 각각 비교하여 나타내었다. 자갈의 치환 두께를 50mm로 하였을 때, Raft만으로도 배치하였을 때를 기준으로 비교하였다. 최대 침하

Fig. 13 Load displacements by number of pile

Fig. 14 Load displacements by thickness of gravel

량이 4.1mm인 반면에, 2×2일 때는 최대 침하량이 3.83mm이고, 3×3일 때는 최대 침하량이 3.23mm이었다. 그리고 자갈의 치환 두께를 100mm로 하였을 때는 Raft만 배치하였을 때 최대 침하량이 3.14mm이었고, 2×2일 때는 최대 침하량이 3.23mm이고, 3×3일 때는 최대 침하량이 2.77mm이었다. 자갈의 치환에 의해 연직하중에 대한 기초의 침하가 감소되었으며, 이는 치환 두께가 두꺼울수록 개선되었다. 또한 말뚝의 지지력이 작은 2×2배치에서 자갈 치환 두께에 영향이 커지는 것을 확인하였다. 그리고 침하감소비율은 23.4%, 15.7%, 14.2%이었다.

4.2 말뚝지지 전면기초의 하중분담 특성과 자갈메트의 영향

본 분석에서는 말뚝지지 전면기초의 기초 변수에 따른 무리 말뚝과 Raft의 하중분담특성을 자갈로 치환된 경우와 비교하고 자갈 치환두께에 따른 하중분담 영향을 분석하였다.

Fig. 15는 연직하중에 10kN으로 작용하는 말뚝지지 전면기초의 B_g/B_r 에 따른 말뚝과 Raft의 하중분담 특성을 나타내어, 자갈로 치환된 경우와 비교하였다. B_g/B_r 가 작을수록, 즉 조밀히 배치될수록 말뚝의 하중분담률이 상승하는 경향이 동일하게 나타났다. 자갈로 치환된 경우에는 기존의 말뚝지지 전면기초의 말뚝 하중분담률이 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 기존의 말뚝지지 전면기초의 B_g/B_r 에 따른 말뚝의 하중분담률 감소폭이 둔감해지는 것을 확인하였다.

(a) Piled raft foundation

(b) Replacement of gravel

Fig. 15 Load-sharing ratio by B_g/B_r

(a) Piled raft foundation

(b) Replacement of gravel

Fig. 16 Load-sharing ratio by length of pile

(a) Piled raft foundation

(b) Replacement of gravel

Fig. 17 Load-sharing ratio by number of pile

(a) Piled raft foundation

(b) Replacement of gravel

Fig. 18 Load-sharing ratio by load

Fig. 16은 말뚝의 길이에 따른 말뚝지지 전면기초의 하중분담 특성을 자갈로 치환된 경우와 비교하여 나타내었다. 말뚝이 길어질수록 말뚝의 지지력이 상승하여 말뚝이 부담하는 하중분담률이 상승하는 경향이 동일하게 나타났으며, 자갈로 치환된 경우에는 말뚝길이에 따른 말뚝의 하중분담률 상승폭이 둔감해지는 것을 확인하였다.

Fig. 17은 말뚝의 개수에 따른 말뚝지지 전면기초의 하중분담

특성과 자갈로 치환된 경우와 비교하여 나타내었다. 말뚝이 많이 배치될수록 말뚝의 하중분담률은 상승하였으며 이와 같은 경향은 자갈로 치환된 경우에도 동일하게 나타났다. 실험의 한계상 말뚝 개수에 따른 많은 변수를 적용하진 않았지만, 자갈로 치환된 경우에는 말뚝의 개수가 많이 배치됨에 따른 말뚝의 하중분담률의 상승속도도 둔감해질 것으로 예상된다.

Fig 18은 연직하중에 따른 말뚝과 Raft의 하중분담률을 2kN

Fig. 19 Load-sharing ratio by thickness of gravel

단위로 나타내어 자갈로 치환된 경우와 비교하였다. 연직하중이 상승할수록 Raft의 하중분담률이 상승하는 경향이 동일하게 나타났으며, 이는 하중이 증가할수록 말뚝이 극한상태에 근접한 것으로 말뚝의 비선형 하중-침하 거동에 기인한다. 이와 유사한 결과를 Horikosh and Randolph(1996)가 원심모형실험을 통해 보고하였다. 자갈로 치환된 말뚝지지 전면기초의 경우에는 Raft의 하중분담률 상승속도가 저감되는 것을 나타내었다. 이는 자갈이 상부하중을 일부 분담하여 말뚝의 극한상태에 근접하는 속도를 줄여주는 결과라 판단된다.

Fig 19는 자갈의 치환두께에 따른 말뚝과 Raft의 하중분담률을 2x2, 3x3 배치별로 비교하였다. 두 가지 배치 모두 자갈이 두껍게 치환될수록 말뚝의 하중분담률이 감소하는 결과를 나타내었다.

말뚝지지 전면기초의 말뚝과 Raft의 하중분담특성은 마찰력으로 지지되는 말뚝이 3x3으로 설치된 경우, Raft가 연직하중의 약 60%를 분담하는 것으로 나타났다. 기존의 말뚝지지 전면기초의 하중분담특성과 자갈로 치환된 말뚝지지 전면기초의 하중분담특성이 큰 차이가 나지 않는 이유는 연직하중에 대한 Raft의 하중분담률 측정이 Loadcell을 이용한 말뚝의 하중분담률을 측정하고 연직하중에서 말뚝의 하중분담률을 제하는 간접적인 측정을 통해 자갈에 의한 하중분담률을 산정하는데 한계가 있기 때문으로 판단된다. 즉, 본 논문에서 측정된 Raft의 하중분담률은 자갈의 하중분담률을 포함하고 있는 수치로, 말뚝-Raft-지반-자갈의 4요소에 의한 말뚝지지 전면기초의 보강효과를 간접적으로 파악이 가능하다.

5. 결 론

본 논문에서는 사질토로 구성된 지반을 조성하고 마찰말뚝으로 지지되는 말뚝지지 전면기초의 거동특성을 파악하였다. 또한 말뚝지지 전면기초의 침하량 감소 및 지지력 향상을 위한 개선방법으로 상부 지반의 일부분을 자갈로 치환하여 실내모형실험을 수행하였다. 본 연구의 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 사질토 지반에 조성된 말뚝지지 전면기초의 변수에 따른 하중-침하 특성은 말뚝의 길이가 길수록, 말뚝의 개수가 많을수록, 말뚝의 간격이 조밀하게 배치될수록 침하가 개선되는 경향이 나타났다.

(2) Raft 아래 지반이 자갈로 치환된 말뚝지지 전면기초의 기초변수에 따른 하중-침하 특성은 기존의 말뚝지지 전면기초의 거동특성과 전체적으로 동일한 경향을 나타냈다. 하지만 자갈로 치환된 경우에는 기초변수에 의한 영향이 둔감해졌다.

(3) 연직하중에 대하여 상부지반 일부를 자갈로 치환하여 적용한 말뚝지지 전면기초의 경우, 기존 방법에 비해 침하가 개선되는 효과가 나타났다. 이는 자갈이 두껍게 치환될수록 개선정도가 크게 나타났다.

(4) 자갈로 치환된 말뚝지지 전면기초와 기존의 말뚝지지 전면기초의 하중분담특성을 분석한 결과, 자갈에 의해 무리말뚝의 하중분담률이 경감되는 결과가 나타났다. 이는 자갈의 치환이 두껍게 이루어질수록 무리말뚝의 하중분담률이 경감되는 정도가 커졌으며, 자갈매트가 말뚝지지 전면기초의 구성요소로서 상부하중을 일부 분담하여 나타난 결과로 판단된다.

(5) 상부하중이 증가할수록 무리말뚝의 비선형 하중-침하 거동에 기인하여 Raft의 하중분담률이 상승하였다. 이는 무리말뚝의 지지력이 작을수록 상부하중에 따라 Raft의 하중분담률 증가속도가 커졌으며, 자갈이 치환된 말뚝지지 전면기초의 경우에도 동일한 경향을 나타냈다.

자갈을 이용하여 말뚝지지 전면기초를 보강하는 방법은 상부지반 일부분을 치환함으로써 인한 비경제적인 시공방법이 될 수 있다. 하지만 연약지반 층이 두껍게 조성된 지반이나 말뚝이 연암층까지 도달할 수 없어, 마찰말뚝으로 지지되는 말뚝지지 전면기초의 지지력을 향상시키는 방법으로 적용이 가능하다. 이는 자갈이 마찰력으로 지지되는 말뚝지지 전면기초의 하중분담 시스템에 첨가되어 결과적으로 Raft와 무리말뚝의 하중분담률을 경감시키기 때문이다. 말뚝지지 전면기초에 자갈의 적용으로 연약지반에서 침하에 민감한 구조물 지반개량에 사용할 수 있는 말뚝지지 전면기초의 개선방법이란 기대를 갖게 한다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업인 “빙해선평의 극지항로 안전운항기술 및 극저온 빙 성능 시험평가 기법 개발” 중 “극지용 저온설계 및 Winterization 평가 기술(PNS133C)” 과제의 연구비 지원으로 수행한 결과임.

참 고 문 헌

- 김경남, 이수형, 정충기, 이해성 (1999). “Piled-raft 기초의 부등침하 최소화를 위한 최적말뚝배치”, 대한토목학회논문집, 19(III-4), pp 831-839.
- 김홍택, 강인규, 박정주, 박순규 (2002). “사질토 지반에서 연직하중을 받는 Piled-Raft 기초시스템의 하중분담특성에 관한 실험 내모형실험 연구” 대한토목학회논문집, 22(2-C), pp 111-120.
- 김홍택, 박시삼, 강인규, 최효범 (2002). “Piled Raft 기초 적용사례 분석”, 한국지반공학회, 봄 학술발표회 논문집, pp 597-604.
- Hain, S.J. and Lee, I.K. (1978) “The Analysis of Flexible Raft-Pile Systems”, Geotechnique, Vol 28, No 1, pp 65-83.
- Horikoshi, K. and Randolph, M.F. (1996). “Centrifuge Modelling of Piled Raft Foundations on Clay”, Geotechnique, Vol 46, No 4, pp 741-752.
- Katzenbach, R. and Reul, O. (1997) Theme Lecture: Design and Performance of Piled Rafts, Proceedings of the 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Vol 4, pp 2253-2256.
- Parakosa, W.A. and Kulhawy, F.H. (2001). “Piled Raft Foundation Design”, J. Geotech. and Geoenv. Eng., ASCE, Vol 127, No 1, pp 17-24.
- Poulos, H.G. (2001). “Piled-raft Foundation; Design and Application”, Geotechnique, Vol 51, No 2, pp 95-113.
- Poulos, H.G. (2005). “Piled Raft and Compensated Piled Raft Foundation for Soft Soil Sites”, Advances on Designin and Testing Deep Foundation, Geotechnical special publications No 129, ASCE, pp 214-235.
- Seo, Y.K. and Jeong, S.G. (2004). “Parametric Study of Piled Raft Foundation on Soft Clay”, J. of Ocean Science and Technology, Korean Society of Costal and Ocean Engineers, Vol 1, No 2, pp 147-152.

2010년 10월 4일 원고 접수

2011년 4월 5일 심사 완료

2011년 4월 22일 게재 확정