

재하판의 크기에 따른 지지력 및 침하특성

Characteristics of Bearing Capacity and Settlement According to the Difference of Loading Plate Sizes

정 형 식*¹ Chung, Hyung-Sik

김 도 열*² Kim, Do-Yeol

Abstract

The scale effect should be considered to determine the bearing capacity and settlement of footings from plate-load test, because of the size difference between a footing and a loading plate. To analyze characteristics of bearing capacity and settlement according to the difference of loading plate sizes, model tests were performed with four different sizes of square plate, which are B=10, 15, 20, and 25cm respectively, on five different kinds of subsoils. Test results showed that the ultimate bearing capacity of a footing on the sand did not increase proportional to the traditional formula and the bearing capacity on the clay also increased a little with increasing the size of loading plate. The settlement of test plate on the sand did not increase as the traditional formula of Terzaghi and Peck (1967), and the settlement on the clay also did not increase proportional to the traditional formula.

요 지

평판재하시험으로 부터 실제 기초지반의 지지력 및 침하량을 산정할 때, 재하판과 실제기초의 크기가 상이하므로 인해 일어나는 영향, 즉 Scale effect가 고려되어야 한다. 본 논문에서는 재하폭에 따른 지지력 및 침하량의 변화특성을 분석하기 위해 5종류의 모형기초지반을 형성하고, 크기가 각각 10cm, 15cm, 20cm, 25cm인 4가지 크기의 정사각형 평판으로 재하시험을 실시하여 재하폭에 따른 지지력 및 침하 특성을 분석하였다. 재하시험을 실시하여 분석한 결과, 순수모래 지반에서는 재하폭이 커지면 극한지지력은 증가하였으나 Scale effect에 관한 기존의 식과 같이 비례적으로 증가하지는 않았고, 순수점토 지반에서도 재하폭이 커지면 극한지지력은 약간 증가하여 재하폭에 무관하지 않은 것으로 나타났다. 또한 재하폭과 침하량의 관계를 보면 순수모래 지반은 재하폭이 커지면 침하량은 증가하였으나 Terzaghi and Peck(1967)의 실험식에 의한 값만큼 증가하지는 않았으며, 순수점토 지반에서도 재하폭이 커지면 침하량은 증가하였으나 Scale effect에 관한 기존의 식과 같이 비례적으로 증가하지는 않았다.

Keywords : Model test, Plate-load test, Scale effect, Settlement, Ultimate bearing capacity

1. 서 론

평판재하시험으로 부터 실제 기초지반의 지지력 및 침하량을 산정할 때, 재하판과 실제기초의 크기가 상이

하므로 인해 일어나는 영향, 즉 Scale effect가 고려되어야 한다. 일반적으로 재하폭이 클수록 파괴활동면이 커져서 전단저항이 커지게 되므로 지지력은 증가하게 되며, 또한 침하량도 재하폭이 클수록 지중으로 미치

*1 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

*2 정희원, 경북대학 토목설계과 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil Engrg., Kyungbok College, tykim@kyungbok.ac.kr)

는 압력의 범위가 커지기 때문에 실제기초의 침하량은 재하시험에서 측정된 침하량 보다 크게 발생하게 된다.

재하시험으로부터 실제기초의 지지력 및 침하량을 산정할 때, Scale effect와 관련하여 일반적으로 알려져 있는 기존의 식을 고찰해 보면, 지지력의 경우 모래지반에서는 기초폭에 비례하여 증가되며, 점토지반에서는 기초폭에 무관한 것으로 표현되어 있다. 또한 침하량의 경우에는 모래지반에서는 Terzaghi and Peck(1967)이 제안한 실험식의 형태로 기초폭에 따라 침하량이 증가한다고 알려져 있으며, 점토지반에서는 기초폭에 비례하여 침하량이 증가하는 것으로 표현되어 있다.

그러나 지지력과 기초폭의 관계에 대한 최근의 연구 결과에서 Clark(1998)과 Zhu 등(2001)은 조밀한 모래지반에서 지지력과 기초폭의 관계는 $\log q_u - \log B$ 그래프에서 선형적으로 증가하며, 이를 식으로 표현하면 지지력은 기초폭의 승수 형태로 증가한다고 제안하였다.

또한 침하량과 기초폭의 관계에 있어서도 Terzaghi and Peck(1967)이 제안한 실험식은 실제기초의 침하량을 추정함에 있어 양호한 결과를 주지 못한다고 알려져 있으며(D'Appolonia et al., 1968), Bond(1961)는 침하량은 기초폭의 승수 형태로 증가한다고 제안하였고, Schultz and Sherif(1973), Meyerhof(1974), Zolkov(1974) 등은 침하량은 기초폭의 \sqrt{B} 형태로 증가한다고 제안하였다.

따라서 본 논문에서는 재하폭에 따른 지지력 및 침하량의 변화특성을 분석하기 위해 모형실험을 실시하였다. 또한 다양하게 변화하는 현장의 기초지반에 적용할 수 있도록 모래와 점토의 혼합비율을 변화시키면서 재하시험을 실시하여 모래와 점토의 혼합비율 및 재하판의 크기에 따른 지지력 및 침하특성을 분석하였다.

2. 지지력 및 침하량에 대한 Scale effect

2.1 기초지반의 극한지지력

일반적으로 재하폭이 클수록 지지력은 증가하게 된다. 식 (1)의 Terzaghi 지지력공식에서, 점착력이 0인 사질토 지반의 지표면에 설치된 기초의 지지력은 식 (2)와 같이 되어 지지력은 기초폭에 비례하는 형태가 되며, $\phi = 0$ 인 포화된 점성토에서는 식 (3)과 같이 되어 기초폭에 무관한 것으로 표현된다. 따라서 실제기초의 지지력은 Scale effect와 관련하여 일반적으로 알려져 있는 기존의 식 (4), (5)와 같이 된다.

$$q_{ult} = \alpha c N_c + q N_q + \beta \gamma B N_r \quad (1)$$

여기서, α, β : 기초의 형상계수

N_c, N_q, N_r : 지지력계수

q : 토피하중 ($\gamma \times D_f$)

B : 기초폭

$$q_{ult} = \beta \gamma_1 B N_r \quad (2)$$

$$q_{ult} = \alpha c N_c \quad (3)$$

$$q_{u(\text{기초})} = q_{u(\text{평판})} \times \frac{B(\text{기초})}{B(\text{평판})} \quad (\text{모래}) \quad (4)$$

$$q_{u(\text{기초})} = q_{u(\text{평판})} \quad (\text{점토}) \quad (5)$$

그러나 지지력과 기초폭에 관한 최근의 연구결과에서 Clark(1998)과 Zhu 등(2001)은 조밀한 모래지반에서의 지지력을 원심모형실험 및 해석적방법으로 구하였는데, 기초폭이 증가함에 따라 기초하부의 흙썰기 파괴각(wedge angle)의 감소로 인하여 지지력과 기초폭의 관계는 $\log q_u - \log B$ 그래프에서 선형적으로 증가하며, 이를 식으로 표현하여 연속기초에서는 식 (6), 원형기초에서는 식 (7)과 같이 지지력은 기초폭의 승수 형태로 증가한다고 제안하였다.

$$q_u = 92.4 p_a \left(\frac{\gamma B}{p_a} \right)^{0.65} \quad (6)$$

$$q_u = 57.3 p_a \left(\frac{\gamma D}{p_a} \right)^{0.72} \quad (7)$$

여기서, p_a : 대기압(kN/m²)

γ : 흙의 단위중량(15.4kN/m³)

B, D : 연속기초의 폭, 또는 원형기초의 직경(m)

따라서 모래지반에서 재하시험결과로부터 Scale effect를 고려하여 실제기초의 지지력을 산정할 때, 기존의 식 (4)는 Clark(1998)과 Zhu 등(2001)의 제안식에 비해 기초지반의 지지력은 과다하게 산정된다.

2.2 기초지반의 침하량

일반적으로 침하량은 재하폭이 클수록 증가하게 된다. 식 (8)은 무한깊이의 탄성물체 위에 있는 기초의 즉시침하량을 산정하는 식으로 침하량은 기초폭에 비례하는 형태이다(Harr, 1966).

$$S_i = q B \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_s \quad (8)$$

여기서, q : 기초에 작용하는 응력증가(kg/cm^2)
 μ : Poisson 비
 B : 기초의 최소폭
 I_s : 영향계수

그러나 사질토 지반의 경우 식 (8)에서 변형계수(E_s)는 구속압력에 따라 변하고 기초아래 흙의 구속압력은 기초폭에 따라 다르며, 또한 자연상태의 기초지반은 깊이에 따라 변형계수가 증가하므로 침하량은 기초폭에 비례하지 않는다. 이에대해 Terzaghi and Peck(1967)은 조립토(Coarse-grained soils)에서 실시한 재하시험 결과로부터 식 (9)와 같이 침하량과 기초폭의 관계에 대한 실험식을 제안하였으며, 식 (10)과 동일한 형태이다.

반면 점성토 지반의 경우 $\mu=0.5$ 이고 변형계수(E_s)도 깊이에 관계없이 비교적 일정하므로 침하량은 기초폭에 비례하게 되며, 따라서 기초폭에 따른 실제기초의 침하량은 식 (11)과 같이 표현된다.

$$S_2 = S_1 \left(\frac{2}{1 + B_1/B_2} \right)^2 \quad (9)$$

여기서, S_2 : 폭이 B_2 인 기초의 침하량

S_1 : 30cm 재하판(B_1)으로부터 측정된 침하량

$$S_{(기초)} = S_{(평판)} \left(\frac{2B_{(기초)}}{B_{(기초)} + B_{(평판)}} \right)^2 \quad (\text{모래}) \quad (10)$$

$$S_{(기초)} = S_{(평판)} \frac{B_{(기초)}}{B_{(평판)}} \quad (\text{점토}) \quad (11)$$

그 외 기초폭과 침하량의 관한 연구결과를 보면 Bond(1961)는 평판재하시험으로부터 식 (12)와 같이 제안하였고, 또한 Schultze and Sherif(1973), Meyerhof(1974), Zolkov(1974) 등은 현장시험결과를 분석하여 침하량은 기초폭의 \sqrt{B} 형태로 증가한다고 제안하였다.

$$S_2 = S_1 (B_2/B_1)^{n+1} \quad (12)$$

여기서, 느슨~중간정도의 조밀한 모래 : $n = 0.2 \sim 0.4$
 조밀한 모래 : $n = 0.4 \sim 0.5$

이상에서 살펴본 바와 같이 침하량과 기초폭의 관계에 대해 많은 연구자들에 의해 다양한 형태의 식이 제안되어 있으며, 모래지반에서 Scale effect와 관련하여 일반적으로 알려져 있는 식 (10)도 양호한 결과를 주지 못함을 알 수 있다.

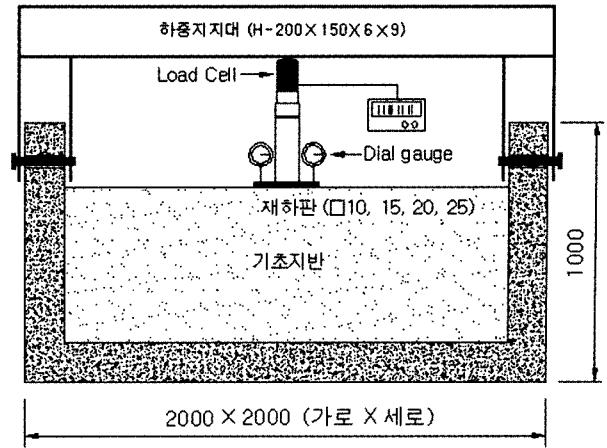


그림 1. 모형실험장치 개요도

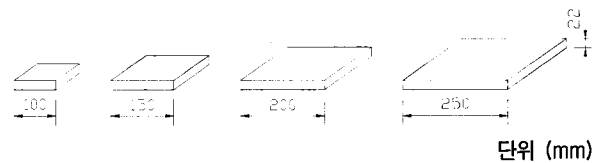


그림 2. 모형기초(재하판)

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 재하폭에 따른 지지력 및 침하량의 변화양상을 분석하기 위해 모형실험을 실시하였다. 실험장치는 그림 1과 같이 모형토조, 하중지지대, 모형기초, 하중계(Load cell), 변위계 등으로 구성되어 있으며, 하중은 재하속도를 일정하게 유지하는 방법으로 재하하였다.

철근콘크리트 모형토조는 지반의 전단파괴 범위를 고려하여 가로 2,000mm, 세로 2,000mm, 높이 1,000mm (내공규격 1,700×1,700×850)로 제작하였고, 반력장치는 H-beam과 철판을 사용하여 하중지지대를 제작하였다. 또한 모형기초는 그림 2와 같이 각각의 크기가 10cm, 15cm, 20cm, 25cm인 정사각형 평판을 제작하여 재하시험을 실시하였다.

3.2 모형기초지반

모형기초지반 형성에는 순수모래와 순수점토를 사용하여 중량비율을 조절하여 순수모래(100 : 0), 모래:점토 혼합토(75 : 25), (50 : 50), (25 : 75), 순수점토(0 : 100)로

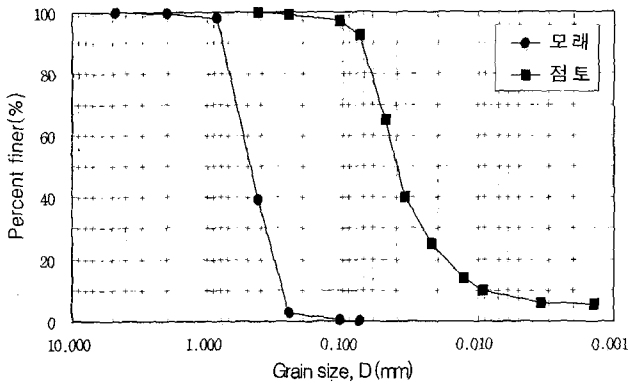


그림 3. 입도분석곡선

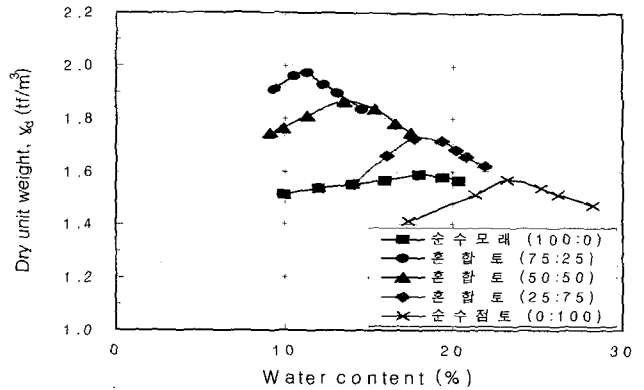


그림 4. 다짐곡선

표 1. 재료의 물리적 특성

구분	G_s	No.200 통과율 (%)	액성 한계 (%)	소성 지수	USCS
모래	2.65	0.17	NP	-	SP
점토	2.61	92.5	43	25	CL

표 2. 최대건조단위중량($\gamma_{d,max}$) 및 최적함수비(ω_{opt})

흙종류	$\gamma_{d,max}$ (tf/m ³)	ω_{opt} (%)	$0.9 \times \gamma_{d,max}$ (tf/m ³)
순수모래(100:0)	1.586	18.0	1.427
혼합토(75:25)	1.980	11.5	1.782
혼합토(50:50)	1.870	14.0	1.683
혼합토(25:75)	1.725	18.0	1.553
순수점토(0:100)	1.575	23.5	1.418

5종류의 흙을 조제하여 사용하였다.

모형기초지반 형성시에는 각각의 흙에 대한 다짐시험결과를 토대로 최적함수비가 되도록 함수비를 조절하여 흙을 혼합하고, 소형컴팩터로 토조내에서 다짐층수를 3층, 4층, 5층으로 변화시키며 3가지의 다짐상태로 모형기초지반을 형성하였으며, 기초지반의 최종 높이가 60cm가 되도록 하였다.

모형기초지반 형성에 사용된 모래는 세척된 해사를 사용하였고, 점토는 코령토를 사용하였다. 모래와 점토에 대한 입도분석결과와 그림 3과 같고, 재료의 물리적 특성은 표 1과 같다. 모형지반 형성에 사용된 5종류의 흙에 대한 다짐시험결과는 그림 4와 같고, 흙의 최대건조단위중량($\gamma_{d,max}$) 및 최적함수비(ω_{opt})는 표 2와 같다.

3.3 실험방법

모형실험은 토조내에 5종류의 흙으로 모형기초지반

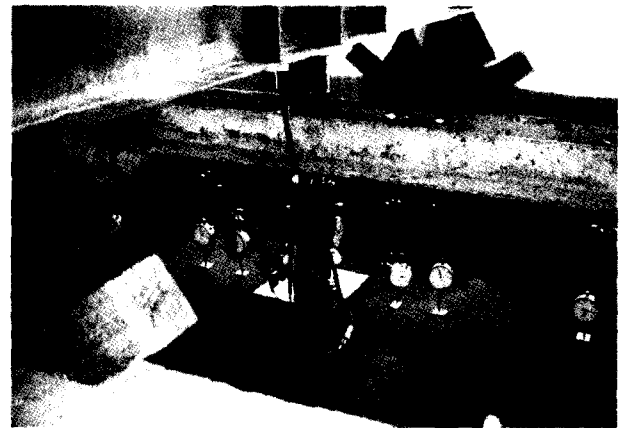


그림 5. 평판재하시험 전경

을 형성하고, 이에 대해 그림 2와 같이 크기가 각각 다른 4종(□10, □15, □20, □25cm)의 정사각형 재하판을 사용하여 재하시험을 실시하였다. 먼저 크기가 작은 재하판을 사용하여 재하시험을 실시한 후, 모든 흙을 토조밖으로 파내어 기초지반을 다시 형성하여 더 큰 재하판에 대해 재하시험을 실시하였다.

하중재하는 20ton 용량의 유압잭으로 재하속도를 일정하게 유지하는 방법으로 재하하였고, 유압잭 위에 하중계(Load cell)를 설치하여 하중재하에 정확성을 기하였다(그림 5 참조). 재하시험 종료후에는 현장밀도시험을 실시하여 모형기초지반의 다짐상태를 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 극한지지력(q_u) 산정

재하시험으로 부터 항복 및 극한하중을 산정하는 방법에는 최대곡률법, $\log P - \log S$ 법, $S - \log t$ 법, $P - \Delta S / \Delta$

표 3. 흙의 종류별 및 재하폭에 따른 재하시험결과

모형지반 종류	재하판의 크기	다짐 층수	건조단위중량 (tf/m ³)	극한지지력 (tf/m ²)	허용지지력 (tf/m ²)	허용지지력에서의 침하량 (mm)	
순수모래 (100:0)	□10	3	1.469	64.9	21.63	1.23	
		4	1.514	72.1	24.03	1.14	
		5	1.526	75.0	25.00	1.00	
	□15	3	1.465	75.6	25.20	1.77	
		4	1.510	83.0	27.67	1.60	
		5	1.534	88.9	29.63	1.35	
	□20	3	1.470	87.5	29.17	2.30	
		4	1.506	97.5	32.50	2.00	
		5	1.536	104.0	34.67	1.90	
	□25	3	1.455	93.3	31.10	2.85	
		4	1.500	102.9	34.30	2.50	
		5	1.531	115.0	38.33	2.20	
	혼합토 (75:25)	□10	3	1.730	32.3	10.77	1.30
			4	1.815	46.5	15.50	1.10
			5	1.871	57.6	19.20	1.00
□15		3	1.738	37.9	12.63	1.95	
		4	1.802	52.0	17.33	1.63	
		5	1.860	65.9	21.97	1.20	
□20		3	1.730	41.6	13.87	2.70	
		4	1.799	58.5	19.50	2.20	
		5	1.861	77.9	25.97	1.70	
□25		3	1.722	42.0	14.00	3.30	
		4	1.795	61.4	20.47	2.70	
		5	1.870	87.0	29.00	2.00	
혼합토 (50:50)		□10	3	1.627	20.3	6.77	1.10
			4	1.669	22.7	7.57	0.95
			5	1.710	25.1	8.37	0.80
	□15	3	1.621	22.9	7.63	1.80	
		4	1.663	25.0	8.33	1.53	
		5	1.720	30.2	10.07	1.10	
	□20	3	1.630	24.9	8.30	2.40	
		4	1.685	29.2	9.73	1.90	
		5	1.735	34.1	11.37	1.30	
	□25	3	1.642	28.0	9.33	2.80	
		4	1.690	31.9	10.63	2.40	
		5	1.731	36.9	12.30	1.80	
	혼합토 (25:75)	□10	3	1.481	18.4	6.13	1.10
			4	1.532	21.0	7.00	0.95
			5	1.560	22.1	7.37	0.85
□15		3	1.485	20.2	6.73	1.80	
		4	1.529	22.5	7.50	1.50	
		5	1.580	25.9	8.63	1.20	
□20		3	1.478	21.4	7.13	2.60	
		4	1.539	24.8	8.27	1.95	
		5	1.599	28.0	9.33	1.50	
□25		3	1.481	22.7	7.57	3.20	
		4	1.519	24.9	8.30	2.65	
		5	1.601	30.0	10.00	2.00	
순수점토 (0:100)		□10	3	1.337	16.9	5.63	1.10
			4	1.355	17.5	5.83	1.10
			5	1.380	17.9	5.97	0.95
	□15	3	1.335	17.7	5.90	1.75	
		4	1.354	18.3	6.10	1.65	
		5	1.400	19.5	6.50	1.35	
	□20	3	1.329	18.5	6.17	2.30	
		4	1.374	20.0	6.67	2.05	
		5	1.401	20.4	6.80	1.80	
	□25	3	1.339	19.9	6.63	2.90	
		4	1.361	20.5	6.83	2.70	
		5	1.391	21.1	7.03	2.40	

(logt)법, 그리고 재하판 직경의 10%에 해당하는 침하량을 극한하중으로 보는 방법 등 여러가지 방법이 있는데, 이들 분석방법으로 지지력을 산정해 본 결과, 분석방법에 따라 다소 차이를 보였으며, 본 연구에서는 모래지반에서는 다짐상태가 실내다짐의 90% 이상으로 양호하게 다짐되어 재하시험시 하중을 더 이상 증가시킬 없는 극한상태가 확인되어 극한하중을 구할 수 있었으며, 반면 점토가 혼합된 지반에서는 P-S의 관계곡선에서 뚜렷이 꺾이는 부분이 없이 완만하게 계속적으로 침하가 발생되어 항복하중을 구하기가 곤란하여 재하판 크기의 10% 침하량을 극한하중으로 산정하였다. 5종류의 모형기초지반에 대해 재하판의 크기를 변화시키면서 측정된 재하시험결과는 표 3에 나타내었다.

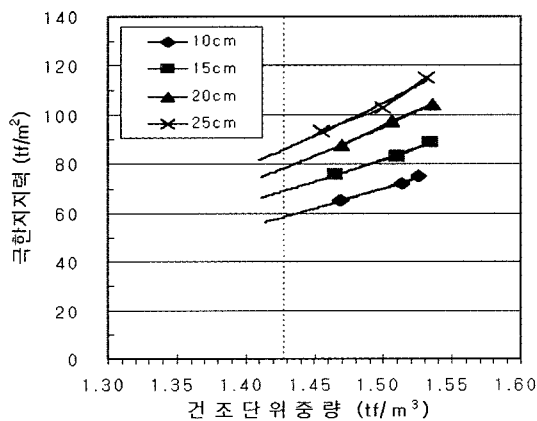
4.2 건조단위중량 (γ_d)과 극한지지력(q_u) 및 침하량(S)의 관계

재하판의 크기에 따른 지지력 및 침하량의 변화특성,

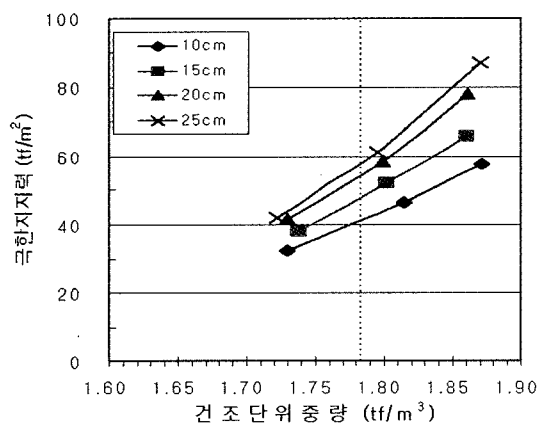
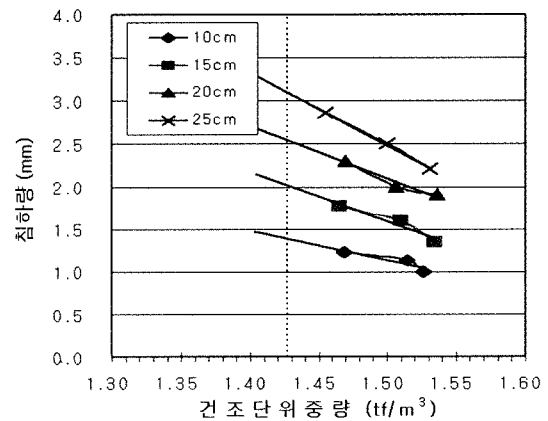
즉 Scale effect에 대한 분석이 목적이므로 동일한 지반 상태에서 구한 지지력 및 침하량을 획득하여 분석에 적용하여야 한다. 그러나 소형콤팩터를 사용한 다짐은 동일한 다짐을 하더라도 다짐정도에 있어 약간의 차이가 있을 수 있고, 또한 시료토의 반복 사용으로 인해 함수비가 변화하여 동일한 다짐을 실시하더라도 지반의 다짐상태, 즉 기초지반의 건조단위중량이 달라지는 것이 예상된다.

따라서 본 연구에서는 다짐상태에 따라 발생하게 되는 지반의 지지력 및 침하량의 차이를 배제할 목적으로 모형 기초지반의 다짐층수를 3층, 4층, 5층으로 변화시키면서 재하시험을 실시하여 기초지반의 건조단위중량 (γ_d)-지지력(q_u), 건조단위중량 (γ_d)-침하량(S)의 관계에서 $0.9 \times \gamma_{d, max}$ 에 해당하는 지지력 및 침하량을 산정하여 분석에 적용하였으며, 그림 6에서 점선으로 $0.9 \times \gamma_{d, max}$ 에 해당하는 건조단위중량을 표기하였다.

표 3의 재하시험결과를 건조단위중량 (γ_d)-극한지지



(a) 순수모래 (100 : 0)



(b) 혼합토 (75 : 25)

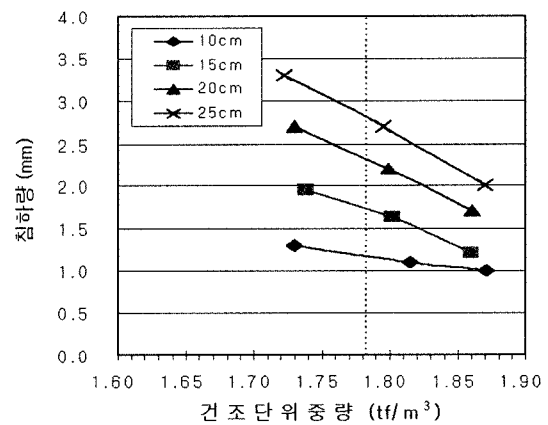
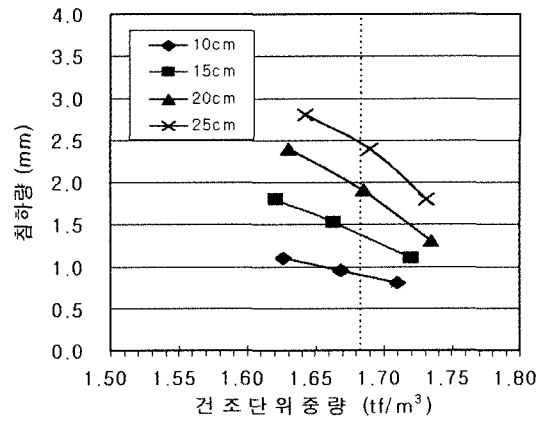
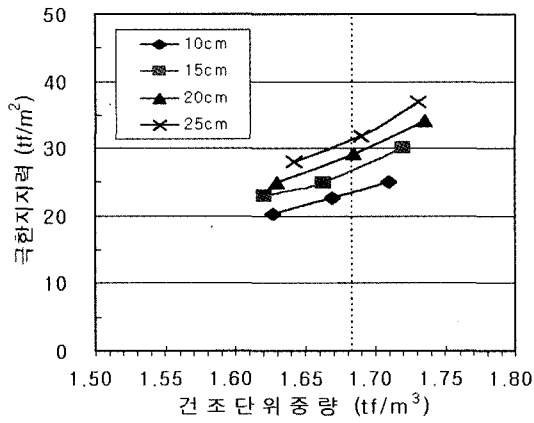
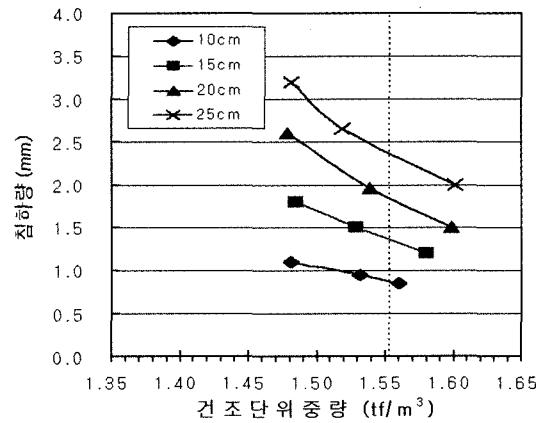
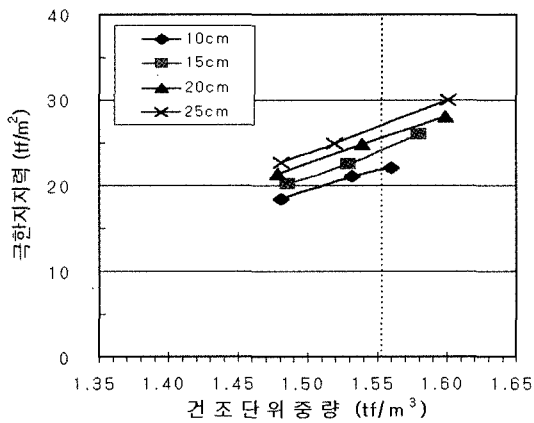


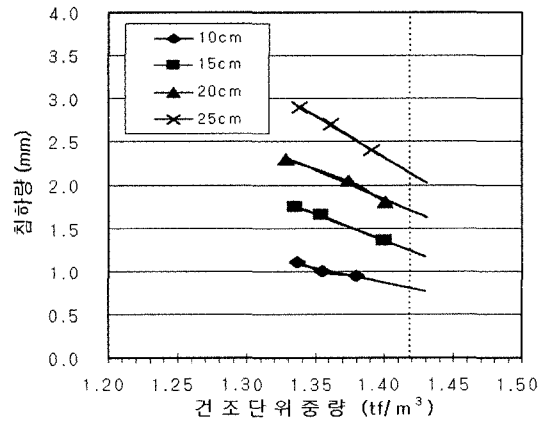
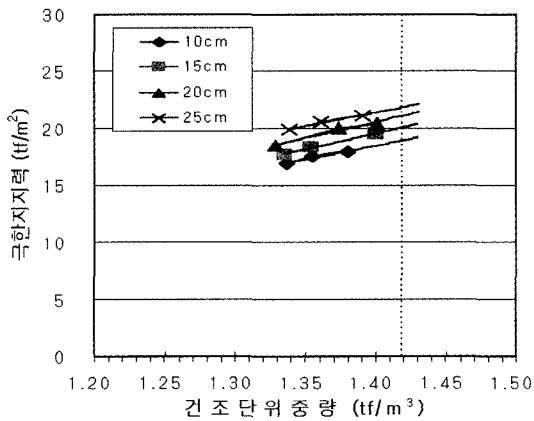
그림 6. 건조단위중량 (γ_d)-극한지지력(q_u) 및 건조단위중량 (γ_d)-침하량(S)의 관계곡선



(c) 혼합토 (50 : 50)



(d) 혼합토 (25 : 75)



(e) 순수점토 (0 : 100)

그림 6. 건조단위중량 (γ_d)-극한지지력(q_u) 및 건조단위중량 (γ_d)-침하량(S)의 관계곡선

력(q_u) 및 건조단위중량 (γ_d)-침하량(S)의 관계곡선으로 나타내면 그림 6과 같다. 건조단위중량 (γ_d)-침하량(S)의 관계곡선에서 침하량은 그림 6에서 산정된 극한지지력의 1/3인 허용지지력에서의 침하량을 하중(P)-침하(S) 곡선으로부터 읽어서 분석에 적용하였다. 이는 식 (8)이 탄성이론에 근거하고 있으며, 또한 실무에서 기초설계시 허용지지력 이내로 설계하므로 주로 요구되는 침하

량은 허용지지력 이내에서의 침하량이기 때문이다.

분석결과를 보면 건조단위중량이 증가함에 따라 전반적으로 모든 흙에서 극한지지력은 증가하였고, 반면 침하량은 감소하는 것으로 나타났다. 흙의 종류에 따른 지지력의 변화특성을 보면 모래에서는 건조단위중량의 변화에 따라 지지력의 변화가 컸으며, 반면 점토에서는 모래에서 보다 변화가 크지 않았다.

표 4. $0.9 \times \gamma_{d, \max}$ 에서의 극한지지력(q_u) 및 극한지지력 증가비율 (단위:tf/m²)

재하판크기	흙종류				
	순수모래 100:0	혼합토 75:25	혼합토 50:50	혼합토 25:75	순수점토 0:100
10cm	58.0	41.0	23.5	21.8	18.9
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15cm	68.9	47.8	26.6	24.1	20.1
	1.19	1.17	1.13	1.11	1.06
20cm	78.1	53.9	29.0	25.6	21.0
	1.35	1.31	1.23	1.17	1.11
25cm	85.8	57.7	31.3	27.1	21.8
	1.48	1.41	1.33	1.24	1.15

4.3 재하폭에 따른 극한지지력(q_u)의 변화

본 연구에서는 재하폭에 따른 지지력의 변화특성, 즉 Scale effect에 대한 분석이 목적이므로 동일한 지반상태일 때 극한지지력의 변화양상을 분석하기 위해 $0.9 \times \gamma_{d, \max}$ 에 대응되는 극한지지력을 그림 6에서 산정하여 표 4에 정리하였으며, 재하판의 크기에 따른 극한지지력의 변화양상을 그림 7에 나타내었다.

또한 그림 8은 10cm 재하판에서 구한 지지력으로 15cm, 20cm, 25cm의 재하판의 극한지지력을 나누어, 재하폭에 따른 극한지지력의 증가비율을 나타낸 것이다.

이상에서와 같이 재하판의 크기가 커짐에 따라 극한지지력은 모든 흙에서 증가하는 것으로 나타났다. 순수모래지반(100:0)에 대한 결과를 보면, 재하판의 크기가 커지면 극한지지력은 증가하는 것으로 나타났으나 기존

의 Scale effect 적용식인 식 (4)와 같이 비례적으로 증가하지는 않았고, 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 약 48% 정도 극한지지력이 증가하는 것으로 나타났다.

순수점토지반(0:100)에서도 극한지지력은 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 약 15% 정도 증가하는 것으로 나타나, 식 (5)와는 달리 재하판의 크기에 따라 극한지지력이 조금 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 순수점토로 모형기초지반을 형성할 때 최적함수비 상태에서 다짐되었으므로 기초지반이 불포화 상태이고, 따라서 흙에 내부마찰각이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

4.4 재하폭에 따른 침하량(S)의 변화

마찬가지로 재하폭에 따른 침하량의 변화특성, 즉 Scale effect에 대한 분석이 목적이므로 동일한 지반상태일 때 침하량의 변화양상을 분석하기 위해 그림 6에서 산정된 극한지지력의 1/3인 허용지지력에서의 침하량을 하중(p)-침하(S)곡선으로부터 읽어서 분석에 적용하였으며, 표 5와 같다.

이는 Scale effect에 관련된 기존의 식이 식 (8)의 탄성이론에 근거하고 있으며, 또한 실무에서 기초설계시 허용지지력 이내로 설계하므로 주로 요구되는 침하량은 허용지지력 이내에서의 침하량이기 때문이다.

또한 재하판의 크기가 커짐에 따라 극한지지력이 증가하고, 따라서 허용지지력 또한 증가하므로 동일한 압력하에서의 단지 재하폭에 따른 침하량의 변화양상을 분석하기 위해서 재하판에서 발생한 침하량을 그때의

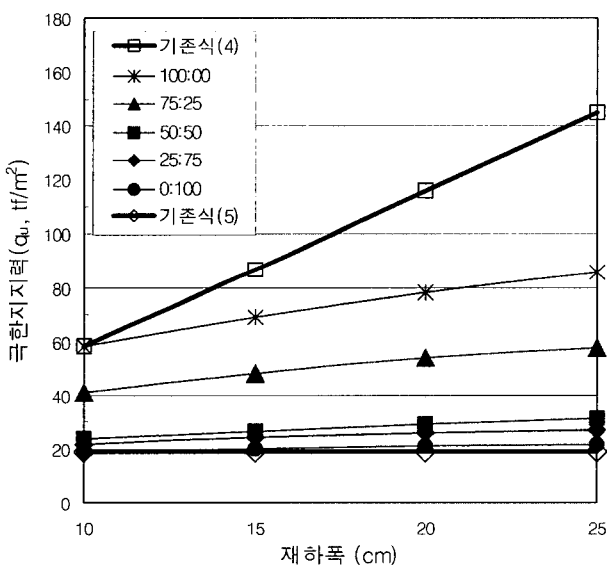


그림 7. 재하폭에 따른 극한지지력의 변화

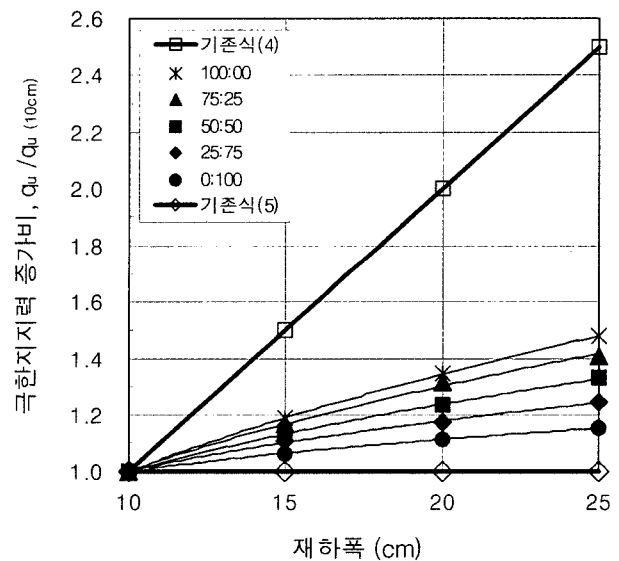


그림 8. 재하폭에 따른 극한지지력 증가비율

표 5. $0.9 \times \gamma_{d, \max}$ 에서의 침하량(S), 단위압력당 침하량(S/q_a) 및 침하량 증가비율

(단위:mm)

재하판 크기 \ 흙종류	순수모래 100:0	혼합토 75:25	혼합토 50:50	혼합토 25:75	순수점토 0:100
10cm	1.39 (0.072)	1.18 (0.086)	0.90 (0.115)	0.87 (0.120)	0.80 (0.127)
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15cm	2.02 (0.088)	1.74 (0.109)	1.38 (0.156)	1.36 (0.169)	1.24 (0.185)
	1.22	1.27	1.36	1.42	1.46
20cm	2.54 (0.098)	2.32 (0.129)	1.92 (0.199)	1.83 (0.215)	1.70 (0.243)
	1.36	1.50	1.73	1.79	1.91
25cm	3.10 (0.108)	2.81 (0.146)	2.47 (0.237)	2.36 (0.261)	2.14 (0.294)
	1.51	1.69	2.08	2.18	2.32

주) () : 단위압력당 침하량(S/q_a)

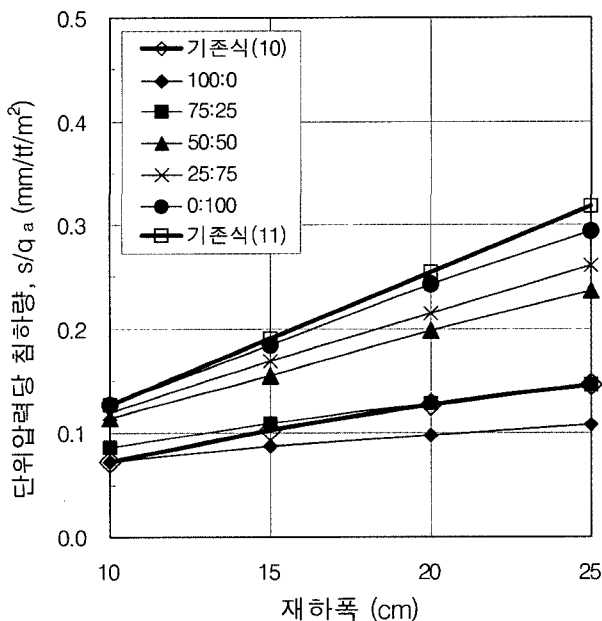


그림 9. 재하폭에 따른 침하량의 변화

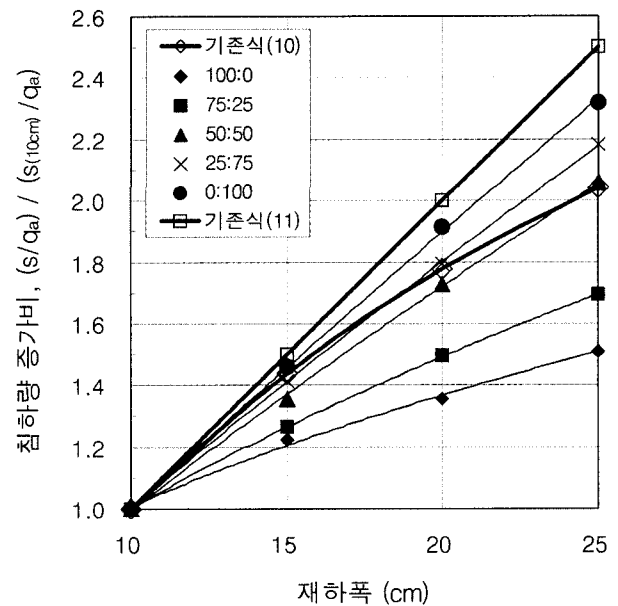


그림 10. 재하폭에 따른 침하량 증가비율

허용지지력으로 나누어 단위압력당 침하량(S/q_a)을 계산하여 표 5에 괄호 안에 정리하였다. 그림 9는 재하판 크기-단위압력당 침하량(S/q_a)의 관계를 나타낸 것이다.

또한 그림 10은 10cm 재하판에서 구한 침하량으로 15cm, 20cm, 25cm의 재하판에서 구한 침하량을 나누어, 재하폭에 따른 침하량의 증가비율을 나타낸 것이다.

이상에서와 같이 재하판의 크기가 커짐에 따라 침하량은 모든 흙에서 증가하는 것으로 나타났다. 순수모래(100:0)에 대한 결과를 보면 재하판의 크기가 커지면 침하량은 증가하였으나, Terzaghi and Peck(1967)의 실험식인 식 (10)에 의한 값만큼 증가하지는 않았으며, 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 약 51% 정도 침하량이 증가하였다. 순수점토(0:100)에서도 재하판의 크기가 증가하면 침하량은 증가하였으나 식 (11)과 같이 비례적으

로 증가하지는 않고, 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 약 132% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 재하판의 크기에 따른 지지력 및 침하량의 변화특성을 분석하기 위해 모래, 점토 및 모래와 점토의 혼합토로 조성된 모형기초지반에 대해 재하판의 크기를 변화시키면서 평판재하시험을 실시하였으며, 분석한 결론은 다음과 같다.

- (1) 재하시험결과 건조단위중량이 증가함에 따라 극한 지지력은 증가하였고, 반면 침하량은 감소하는 것으로 나타났다. 흙의 종류에 따른 지지력의 변화특성

을 보면 모래에서는 건조단위중량의 변화에 따라 지지력의 변화가 컸으며, 반면 점토에서는 모래에서보다 변화가 크지는 않았다.

- (2) 재하폭이 커짐에 따라 극한지지력은 모든 흙에서 증가하였다. 순수모래(100:0)에 대한 결과를 보면 재하판의 크기가 커지면 극한지지력은 증가하였으나, Scale effect에 관한 기존의 식 (4)와 같이 비례적으로 증가하지는 않았고, 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 약 48% 정도 극한지지력이 증가하는 것으로 나타났다. 순수점토(0:100)에서도 재하판의 크기가 2.5배 커질 때 약 15% 정도 극한지지력이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 모형기초지반을 형성할 때 최적함수비 상태에서 다짐되었으므로 기초지반이 불포화 상태이고, 따라서 흙에 내부마찰각이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.
- (3) 재하폭과 침하량의 관계는 순수모래(100:0)에 대한 결과에서는 재하판의 크기가 커지면 침하량은 증가하였으나, Terzaghi & Peck(1967)의 실험식인 식 (10)에 의한 값만큼 증가하지는 않았으며, 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 약 51% 정도 침하량이 증가하였다. 순수점토(0:100)에서도 재하판의 크기가 증가하면 침하량은 증가하였으나 식 (11)과 같이 비례적으로 증가하지는 않고, 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 약 132% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Bond, D. W.(1961), "Influence of Foundation Size on Settlement", *Geotechnique*, Vol.11, No.2, pp.121-143.
2. Clark, J. I.(1998), "The settlement and bearing capacity of very large foundations on strong soils: 1996 R. M. Hardy lecture", *Canadian Geotechnical Journal*, Ottawa, pp.131-144.
3. Das, B. M.(1987), *Theoretical Foundation Engineering*, ELSEVIER, New York, pp.330-341.
4. D'Appolonia, D. J., D'Appolonia, E., and Brisette, R. F.(1968), "Settlement of spread footings on sand", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol.94, No.3, pp. 755-760.
5. Harr, M. E.(1966), *Fundamentals of Theoretical Soil Mechanics*, McGraw-Hill, New York.
6. Meyerhof, G. G.(1974), "Ultimate Bearing Capacity of Footings on sand layer overlying Clay", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.11, pp.223-229.
7. Schultze, F. and Sherif, G.(1973), "Prediction of settlements from evaluated settlement observations for sand." *Proc., VIII, ICSMFE*, Moscow, U.S.S.R., Vol.1.3, pp.225-230.
8. Terzaghi, K. and Peck, R. B.(1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd Ed., John Wiley and Sons. inc., New York, 729p.
9. Zhu, F., Clark, J. I. and Phillips, R.(2001), "Scale Effect of Strip and Circular Footings Resting on Dense Sand", *Journal of the Geotechnical Engrg.*, ASCE, Vol.127, No.7, pp.613-621.
10. Zolkov, E.(1974), "The nature of sand deposit and the settlements of shallow foundations", *Proc., I, Europe Sym. Penetr. Test*, Stockholm, Sweden, Vol.2.2, pp.421-431.

(접수일자 2002. 3. 13, 심사완료일 2002. 4. 16)