

평판재하시험으로부터 실제기초의 지지력 및 침하량 산정시 Scale Effect Application of Scale Effect in Estimating Bearing Capacity and Settlement of Footing from Plate-Load Test

정형식¹⁾, Hyung-Sik Chung, 김도열²⁾, Do-Yeol Kim

¹⁾ 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Hanyang Univ.

²⁾ 경북대학 토목설계과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Eng., Kyungbuk College

SYNOPSIS : 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 is B=10, 15, 20 and 25cm respectively, on five different kinds of subsoil, which is pure sand(100:0), sand-clay mixed soil(75:25, 50:50, 25:75), and pure clay(0:100).

Based on the analyzed results, this paper also proposed a method of bearing capacity and settlement determination, where scale effect is considered depending on the mixing ratio of sand and clay. Applying the formular proposed in this research to field problems, it is expected that evaluation of bearing capacity and settlement of footings can be more reliable and more economic construction can be achieved.

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

1. 서론

평판재하시험으로부터 실제 기초지반의 지지력 및 침하량을 산정할 때, 재하판과 실제기초의 크기가 상이하므로 인해 일어나는 영향, 즉 Scale effect를 고려하여야 한다. 일반적으로 재하폭이 클수록 파괴활동면이 커지게 되므로 지지력은 증가하게 되며, 또한 침하량도 지중으로 미치는 압력의 범위가 커지기 때문에 실제기초의 침하량은 재하시험에서 측정된 침하량 보다 크게 발생하게 된다. 그러나 Scale effect를 고려할 수 있는 기존의 식은 순수모래, 순수점토의 경우에 적용될 수 있으며, 현장의 흙과 같이 모래와 점토가 혼합되어 있는 경우에는 적용에 문제가 있으며, 실무에서는 전혀 적용되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 평판재하시험으로부터 실제기초의 지지력 및 침하량 산정시, 모래와 점토의 혼합비율에 따라 Scale effect를 합리적으로 적용할 수 있도록 하여 기초의 안정성에 대한 확신과 경제적인 시공이 되도록 하는데 연구의 목적이 있다.

2. Scale Effect에 대한 고찰

2.1 지지력 산정시 Scale Effect

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

$$q_{ult} = \beta \gamma_1 B N_r \quad (1)$$

$$q_{ult} = \alpha c N_c \quad (2)$$

$$q_{u(기초)} = q_{u(평판)} \times \frac{B_{(기초)}}{B_{(평판)}} \quad (\text{모래}) \quad (3)$$

$$q_{u(기초)} = q_{u(평판)} \quad (\text{점토}) \quad (4)$$

2.2 침하량 산정시 Scale Effect

식(5)는 무한깊이의 탄성물체 위에 있는 기초의 즉시침하량을 산정하는 식으로 침하량은 기초폭에 비례하는 형태이다(Harr, 1966).

$$S_i = q B \frac{1-\mu^2}{E_s} I_s \quad (5)$$

여기서, q 는 기초에 작용하는 응력증가(kg/cm^2), μ 는 Poisson 비, B 는 기초의 최소폭, E_s 는 변형계수, I_s 는 영향계수이다. 그러나 사질토 지반의 경우 기초하부의 구속압력은 기초폭에 따라 다르므로 변형계수(E_s)는 변하게 되며, 또한 자연상태의 기초지반은 깊이에 따라 변형계수가 증가하므로 침하량은 기초폭에 비례하지 않는다. 이에 대해 Terzaghi & Peck(1967)은 조립토(Coarse-grained soils)에서 실시한 재하시험 결과로부터 식(6)과 같이 침하량과 기초폭의 관계에 대한 실험식을 제안하였다. 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(7)과 같이 표현된다.

$$S_{(기초)} = S_{(평판)} \left(\frac{2B_{(기초)}}{B_{(기초)} + B_{(평판)}} \right)^2 \quad (\text{모래}) \quad (6)$$

$$S_{(기초)} = S_{(평판)} \frac{B_{(기초)}}{B_{(평판)}} \quad (\text{점토}) \quad (7)$$

2.3 모래와 점토의 혼합비율을 고려한 Scale Effect 제안식

본 연구에서는 기존의 Scale effect 적용식을 일반화하여 현장기초지반의 조건, 즉 모래와 점토의 혼합비율에 따라 Scale effect를 합리적으로 적용할 수 있도록 식(8), 식(9)와 같이 제안하였다. 식에서 지지력 산정계수(a, b)와 침하량 산정계수(c, d)는 다양한 종류의 흙에 대해 재하판의 크기를 변화시키면서 재하시험을 실시하여 재하판의 크기에 따른 지지력 및 침하량의 변화특성을 분석하여 구할 수 있으며, 본 연구에서는 모형실험을 실시하였다.

$$q_{u(기초)} = q_{u(평판)} \left[\frac{a B_{(기초)} + b B_{(평판)}}{B_{(평판)}} \right] \quad (8)$$

여기서, $a=1, b=0$ 일 때 : 식(3)과 동일

$a=0, b=1$ 일 때 : 식(4)와 동일

$$S_{(기초)} = S_{(평판)} \left[\frac{c B_{(기초)} + (c+d) B_{(기초)}}{c B_{(기초)} + (c+d) B_{(평판)}} \right]^{2c+d} \quad (9)$$

여기서, $c=1, d=0$ 일 때 : 식(6)과 동일

$c=0, d=1$ 일 때 : 식(7)과 동일

3. 모형실험 및 결과분석

3.1 모형실험

3.1.1 실험장치

실험장치는 그림 1과 같고, 모형토조는 가로 2,0m, 세로 2,0m, 높이 1,0m(내공규격 1.7×1.7×0.85)로 철근콘크리트로 제작하였고, 반력장치는 H-beam과 철판을 사용하여 하중지지대를 제작하였다. 또한 모형기초는 그림 2와 같이 각각의 크기가 10cm, 15cm, 20cm, 25cm인 정사각형 평판을 사용하였다.

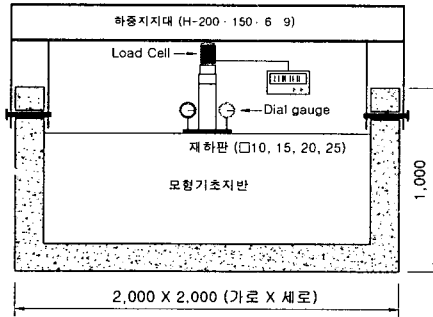
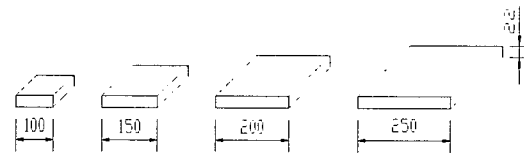


그림 1. 모형실험장치 개요도



단위 (mm)

그림 2. 모형기초 (재하판)

3.1.2 모형기초지반 형성

순수모래와 순수점토를 사용하여 증량비율을 조절하여 순수모래(100:0), 모래:점토 혼합토(75:25, 50:50, 25:75), 순수점토(0:100)로 5종류의 흙을 조제하여 사용하였다. 모형기초지반 형성시에는 각각의 흙에 대한 다짐시험결과를 토대로 하여 최적함수비 상태에서 소형컴팩터로 다짐하였으며, 다짐층수를 3층, 4층, 5층으로 변화시켜며 3가지의 다짐상태로 모형기초지반을 형성하였으며, 최종 높이가 60cm가 되도록 하였다.

모형실험에 사용된 모래는 세척된 해사를, 점토는 고령토를 사용하였다. 모래와 점토에 대한 입도분석결과 및 재료의 물리적 특성은 표 1.와 그림 3과 같다. 모형지반 형성에 사용된 5종류의 흙시료에 대한 다짐시험결과는 그림 4와 같고 흙의 최대건조단위중량 및 최적함수비는 표 2.과 같다.

표 1. 재료의 물리적 특성

구분	G _s	No.200 통과율 (%)	액성한계 (%)	소성지수	USCS
모래	2.65	0.32	NP	-	SP
점토	2.61	96.56	43	25	CL

표 2. 최대건조단위중량 (γ_{dmax}) 및 최적함수비 (w_{opt})

흙종류	γ_{dmax} (tf/m ³)	w_{opt} (%)	$0.9 \gamma_{dmax}$ (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

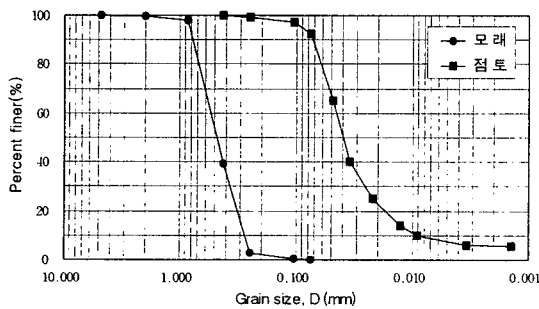


그림 3. 입도분포곡선

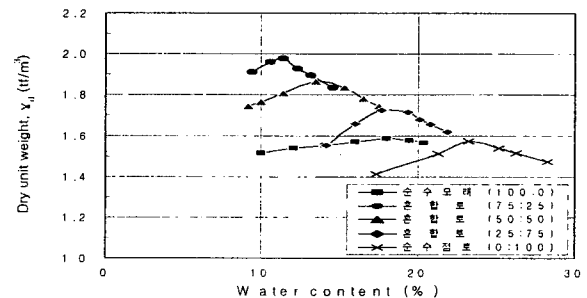


그림 4. 다짐곡선

3.1.3 실험방법

토조내에 5종류의 흙으로 모형기초지반을 형성하고, 그림 2와 같이 크기가 각각 다른 4종의 정사각형 재하판을 사용하여 재하시험을 실시하였다. 하중재하는 20ton 용량의 유압잭으로 재하속도를 일정하게 유지하는 방법으로 재하하였고, 하중계(Load cell)를 설치하여 하중재하에 정확성을 기하였다. 재하시험 종료후에는 현장밀도 시험을 실시하여 모형기초지반의 다짐상태를 측정하였다.

3.2 실험결과 및 분석

3.2.1 극한지지력(q_u) 산정

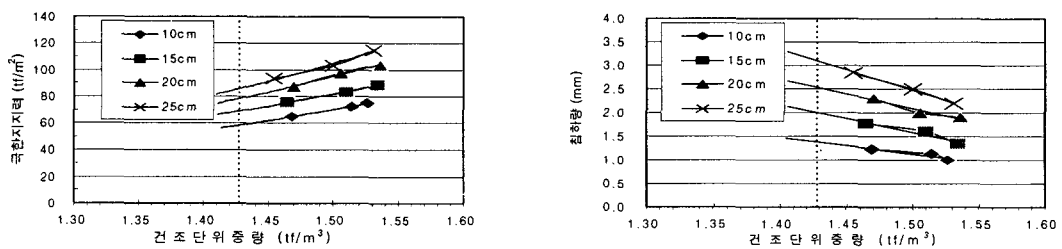
본 연구에서는 모래지반에서는 다짐상태가 실내다짐의 90% 이상으로 양호하게 다짐이 되어 재하시험시 하중을 더 이상 증가시킬 없는 극한상태가 확인되어 실험당시의 값을 극한하중으로 결정하였다. 반면 점토가 혼합된 지반에서는 P-S의 관계곡선에서 뚜렷이 꺾이는 부분이 없이 완만하게 계속적으로 침하가 발생되어 항복하중을 구하기가 곤란하여, 재하판 크기의 10% 침하량을 극한하중 값으로 결정하였다.

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

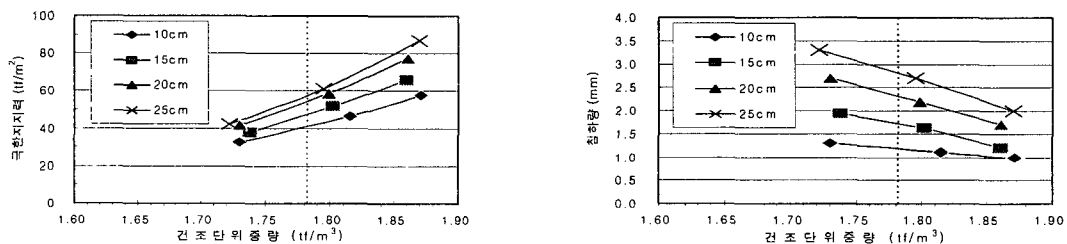
본 연구에서는 재하판의 크기에 따른 지지력 및 침하량의 변화특성, 즉 Scale effect에 대해 분석하는 것이 목적이므로 동일한 지반상태에서 구한 지지력 및 침하량을 획득하여 분석에 적용하여야 한다. 그러나 동일한 다짐을 하더라도 다짐정도에 있어 약간의 차이가 있을 수 있고, 또한 흙시료를 반복적으로 사용함으로써 인해 함수비가 변화하여 지반의 다짐상태, 즉 기초지반의 건조단위중량이 달라지는 것이 예상된다.

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

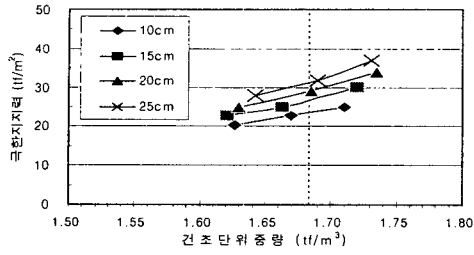
γ_d -S의 관계곡선에서의 침하량은 극한지지력의 1/3인 허용지지력에서의 침하량을 하중(P)-침하(S)곡선으로부터 읽어서 분석에 적용하였다. 이는 식(5)가 탄성이론에 근거하고 있으며, 또한 실무에서 기초설계시 허용지지력 이내로 설계하므로 주로 요구되는 침하량은 허용지지력 이내에서의 침하량이기 때문이다.



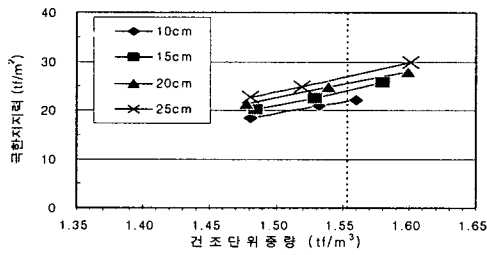
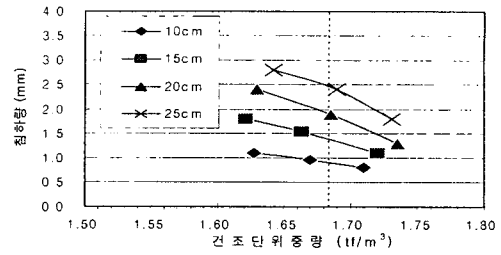
(a) 순수모래 (100 : 0)



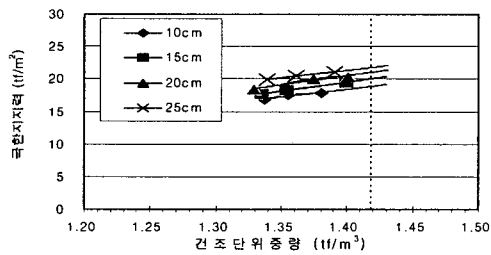
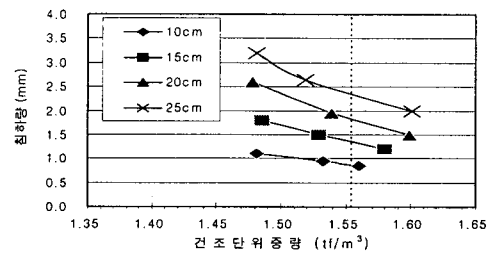
(b) 혼합토 (75 : 25)



(c) 혼합토 (50 : 50)



(d) 혼합토 (25 : 75)



(e) 순수점토 (0 : 100)

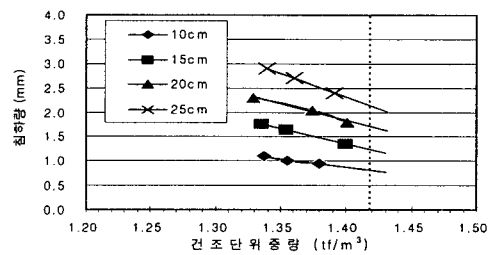


그림 5. 건조단위중량 (γ_d)-극한지지력(q_u) 및 건조단위중량 (γ_d)-침하량(S)의 관계곡선

3.2.3 재하폭에 따른 극한지지력(q_u)의 변화

본 연구에서는 재하폭에 따른 지지력의 변화특성, 즉 Scale effect에 대한 분석이 목적이므로 동일한 지반상태 일 때 극한지지력의 변화양상을 분석하기 위해 $0.9 \times \gamma_{d\max}$ 에 대응되는 극한지지력을 그림 5에서 산정하여 표 3에 정리하였고, 재하판의 크기에 따른 극한지지력의 변화양상을 그림 6에 나타내었다. 또한 10cm 재하판에서 구한 극한지지력으로 15cm, 20cm, 25cm 재하판의 극한지지력을 나누어, 재하폭에 따른 극한지지력의 증가비율을 그림 7에 나타내었다.

표 3. $0.9 \gamma_{d\max}$ 에서의 극한지지력(q_u) 및 극한지지력 증가비율 (단위:tf/m²)

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

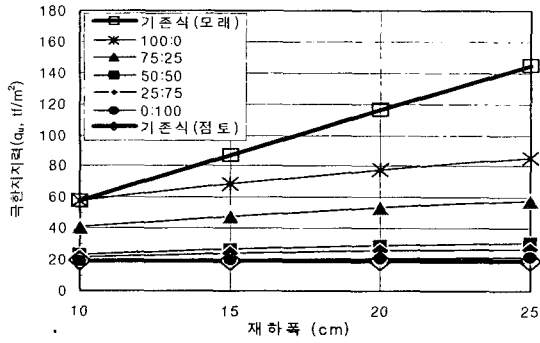


그림 6. 재하폭에 따른 극한지지력의 변화

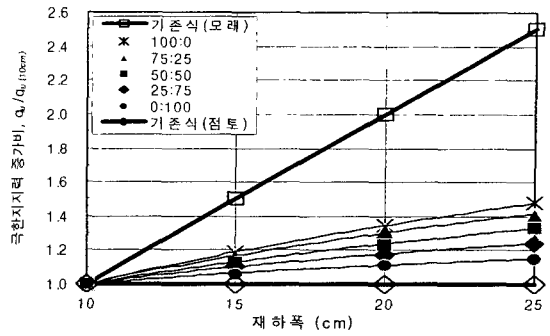


그림 7. 재하폭에 따른 극한지지력 증가비율

순수모래(100:0) 지반에서 극한지지력은 기존의 Scale effect 적용식[식(3)]과는 달리 비례적으로 증가하지는 않았으며, 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 약 48% 증가하였다. 순수점토(0:100) 지반에서도 기존의 적용식[식(4)]과는 달리 재하판의 크기가 2.5배 커질 때 약 15% 증가하였는데, 이는 순수점토지반을 형성할 때 최적함수비 상태에서 다짐되어 기초지반이 불포화 상태이므로 내부마찰각이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

3.2.4 재하폭에 따른 침하량(S)의 변화

마찬가지로 재하폭에 따른 침하량의 변화특성, 즉 Scale effect에 대한 분석이 목적이므로 동일한 지반상태 일 때 침하량의 변화양상을 분석하기 위해, P-S곡선으로부터 허용지지력에서의 침하량을 읽어서 구하였다. 이렇게 구한 허용지지력에서의 침하량은 재하판의 크기가 커짐에 따라 극한지지력 및 허용지지력이 증가하여 동일한 압력하에서 산정된 침하량이 아니므로 침하량을 허용지지력으로 나누어 단위압력당 침하량(S/q_a)을 계산하였으며, 표 4에서 괄호안에 정리하였다. 그림 8은 재하폭-단위압력당 침하량(S/q_a)의 관계를 나타낸 것이며, 또한 그림 9는 10cm 재하판에서 구한 침하량으로 15cm, 20cm, 25cm의 재하판에서 구한 침하량을 나누어, 재하폭에 따른 침하량의 증가비율을 나타내었다.

표 4. $0.9 \gamma_{dmax}$ 에서의 침하량(S), 단위압력당 침하량(S/q_a) 및 침하량 증가비율 (단위:mm)

재하판크기	혼종류	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	1.35	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	2.06	2.18	2.32

주) () : 단위압력당 침하량 (S/q_a)

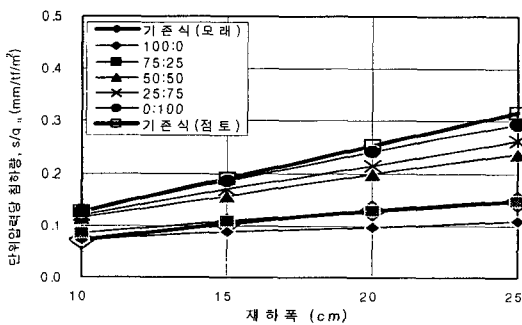


그림 8. 재하폭에 따른 침하량의 변화

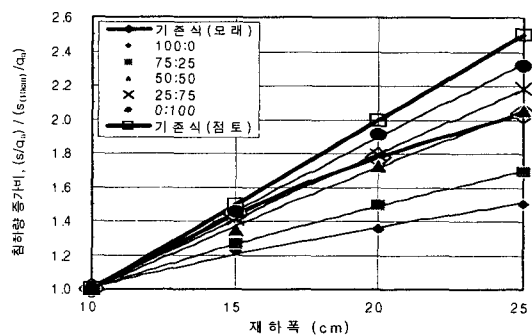


그림 9. 재하폭에 따른 침하량 증가비율

그림 9에서 순수모래(100:0) 지반에서는 재하판의 크기가 2.5배 커질 때 침하량은 약 51% 증가하여 Terzaghi & Peck의 실험식[식(6)] 보다는 침하량의 증가가 적었으며, 순수점토(0:100) 지반에서도 재하판의 크기가 2.5배 커질 때 침하량은 약 132% 정도 증가하였으며, 기존의 Scale effect 적용식[식(7)]과는 달리 비례적으로 증가하지 않았다.

4. 모래와 점토의 혼합비율을 고려한 Scale Effect 적용

4.1 지지력 산정계수 (a, b)

표 3에 수록되어 있는 극한지지력(q_u) 값을 식(8)에 대입하여 분석함으로써 지지력 산정계수(a, b)를 구하였으며, 모래와 점토의 혼합비율에 따른 a, b 계수의 변화양상을 표현하면 그림 10과 같다.

$$\begin{aligned}
 10-15\text{cm} : 68.9 &= 58.0 \left[\frac{a \times 15 + b \times 10}{10} \right] \text{ --- ①} \\
 10-20\text{cm} : 78.1 &= 58.0 \left[\frac{a \times 20 + b \times 10}{10} \right] \text{ --- ②} \\
 10-25\text{cm} : 85.8 &= 58.0 \left[\frac{a \times 25 + b \times 10}{10} \right] \text{ --- ③} \\
 15-20\text{cm} : 78.1 &= 68.9 \left[\frac{a \times 20 + b \times 15}{15} \right] \text{ --- ④} \\
 15-25\text{cm} : 85.8 &= 68.9 \left[\frac{a \times 25 + b \times 15}{15} \right] \text{ --- ⑤} \\
 20-25\text{cm} : 85.8 &= 78.1 \left[\frac{a \times 25 + b \times 20}{20} \right] \text{ --- ⑥}
 \end{aligned}$$

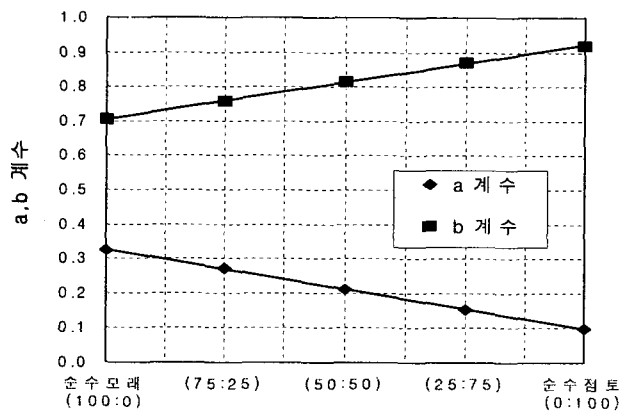


그림 10. 모래와 점토의 혼합비율에 따른 a, b 계수의 변화

4.2 침하량 산정계수 (c, d)

표 4에 수록되어 있는 허용지지력(q_a)에서의 단위압력당 침하량(S/q_a) 값을 식(9)에 대입하여 분석함으로써 침하량 산정계수(c, d)를 구하였으며, 모래와 점토의 혼합비율에 따른 c, d 계수의 변화양상을 표현하면 그림 11과 같다.

$$\begin{aligned}
 10-15\text{cm} : 0.088 &= 0.072 \left[\frac{c \times 15 + (c+d) \times 15}{c \times 15 + (c+d) \times 10} \right]^{2c+d} \text{ --- ①} \\
 10-20\text{cm} : 0.098 &= 0.072 \left[\frac{c \times 20 + (c+d) \times 20}{c \times 20 + (c+d) \times 10} \right]^{2c+d} \text{ --- ②} \\
 10-25\text{cm} : 0.108 &= 0.072 \left[\frac{c \times 25 + (c+d) \times 25}{c \times 25 + (c+d) \times 10} \right]^{2c+d} \text{ --- ③} \\
 15-20\text{cm} : 0.098 &= 0.088 \left[\frac{c \times 20 + (c+d) \times 20}{c \times 20 + (c+d) \times 15} \right]^{2c+d} \text{ --- ④} \\
 15-25\text{cm} : 0.108 &= 0.088 \left[\frac{c \times 25 + (c+d) \times 25}{c \times 25 + (c+d) \times 15} \right]^{2c+d} \text{ --- ⑤} \\
 20-25\text{cm} : 0.108 &= 0.098 \left[\frac{c \times 25 + (c+d) \times 25}{c \times 25 + (c+d) \times 20} \right]^{2c+d} \text{ --- ⑥}
 \end{aligned}$$

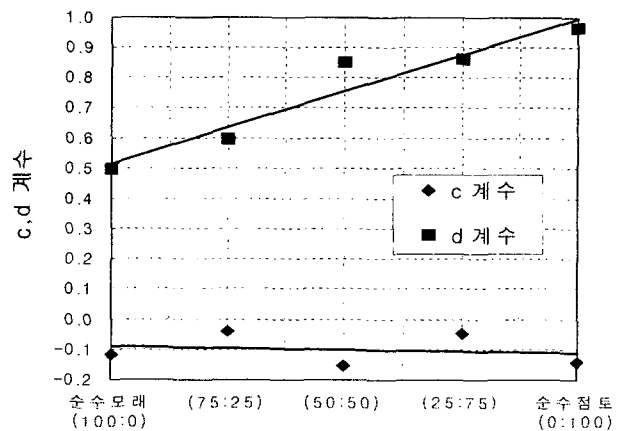


그림 11. 모래와 점토의 혼합비율에 따른 c, d 계수의 변화

그림 11에서 침하량 산정계수, c 는 값이 작고, 흙의 종류에 따라 변화가 작으므로 무시하면 식(9)는 식(10)과 같이 간단하게 표현된다.

$$S_{(기초)} = S_{(평판)} \left[\frac{B_{(기초)}}{B_{(평판)}} \right]^d \quad (10)$$

d : 침하량 산정계수

5. 결론

본 연구에서는 모래와 점토의 혼합비율에 따른 Scale effect의 변화특성을 분석하기 위해 5종류의 모형기초지반에 대해 재하판의 크기를 변화시키면서 재하시험을 실시하였으며, 분석한 결론은 다음과 같다.

- 1) 재하판의 크기가 커짐에 따라 극한지지력은 모든 종류의 흙에서 증가하였다. 순수모래(100:0) 지반에서는 재하판의 크기가 2.5배 증가할 때, 극한지지력은 약 48% 정도 증가하여 기존의 Scale effect 적용식과는 달리 비례적으로 증가하지 않았다. 순수점토(0:100) 지반에서는 재하판의 크기가 2.5배 증가할 때 극한지지력은 약 15% 정도 증가하였으며, 이는 순수점토로 모형기초지반을 형성할 때 최적함수비 상태에서 다짐되었으므로 기초지반이 불포화 상태이고, 따라서 흙에 내부마찰각이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) 재하판의 크기가 커짐에 따라 침하량은 모든 흙에서 증가하였다. 순수모래(100:0) 지반에서는 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 침하량은 약 51% 정도 증가하여, Terzaghi & Peck(1967)의 실험적인 기존의 Scale effect 적용식과는 큰 차이를 보였다. 순수점토(0:100) 지반에서도 재하판의 크기가 2.5배 커질 때, 침하량은 약 132% 정도 증가하여 기존의 Scale effect 적용식과는 달리 비례적으로 증가하지 않았다.
- 3) 평판재하시험으로부터 실제기초의 지지력 및 침하량을 산정할 때, 현장 기초지반의 조건, 즉 모래와 점토의 혼합비율에 따라 Scale effect를 고려할 수 있도록 식을 제안하였으며, 모래와 점토의 혼합비율에 따라 지지력 산정계수(a , b)와 침하량 산정계수(d)를 구할 수 있도록 그림으로 제시하였다.
- 4) 현장의 흙은 본 연구에서 실험에 사용한 흙과는 달리, 모래와 점토 뿐만 아니라 자갈 및 실트가 포함되어 있으므로, 이에 대해서는 향후에 계속적으로 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되며, 현재의 연구결과를 적용하는 방법으로는 현장기초지반에 대해 No.200체 통과율을 기준으로 점토의 혼합비율을 결정하고, 그 외에는 모래의 혼합비율로 보아 지지력 산정계수(a , b) 및 침하량 산정계수(d)를 결정하여 평판재하시험으로부터 Scale effect를 고려한 실제기초의 지지력 및 침하량을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(1997), "구조물 기초 설계기준", pp.87, 128~129.
2. 한국지반공학회(1994), "얕은기초, 지반공학시리즈(2)", 구미서관, 서울, pp.163~202.
3. (社)土質工學會(1983), "土質工學會基準の 地盤平板載荷試驗方法・同解説", pp. 17~18, 41~44.
4. Bond, D. W.(1961), "Influence of Foundation Size on Settlement", Geotechnique, Vol.11, No.2, pp.121~143.
5. Das, B. M.(1987), Theoretical Foundation Engineering, ELSEVIER, New York, pp.330~341.
6. 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.
7. Terzaghi, K. and Peck, R. B.(1967), Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Ed., John Wiley and Sons. Inc., New York, 729p.
8. 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.