

지표면 재하시 사질토 지반의 상대밀도에 따른 지중 연직응력분포 특성

Characteristics of Vertical Stress Distribution in Soil according to the Relative Density of Sandy Soil in case of Surface Loading

임종석¹⁾, Jong-Seok Lim, 이인형²⁾, In-Hyung Lee, 정원중³⁾, Won-Joong Jeong

¹⁾ 국립목포대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Mokpo National University

²⁾ 국립목포대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Mokpo National University

³⁾ 국립목포대학교 토목공학과 석사, Master, Dept. of Civil Engineering, Mokpo National University

SYNOPSIS : Model soil tank tests were conducted in sandy soil to investigate the effect of surcharge strip loads on vertical stress distribution in soil. A total number of 6 tests were performed using one loading plate and two relative density(55%, 65%). The soil was considered as an elastic material, while no friction was allowed between the wall and the soil. Measured stress values were compared to predictions defined by Fröhlich, Boussinesq and Westergaard. The comparison of measured values and predictions used the ratio between the soil pressure and load value. Results of this study demonstrated that experimental values were generally larger than predictions. The Fröhlich analysis provided the best prediction, while the Boussinesq analysis and Westergaard theory not presented a satisfactoral result.

Key words : sandy soil, surcharge strip loads, vertical stress distribution in soil, relative density

1. 서 론

지표면에 하중이 가해지면 지반은 충분한 지지력을 가지고 상부구조물을 안전하게 유지할 수 있어야 한다. 기초설계시 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 하중으로 인한 지반의 응력분포를 규명하는 공학적인 해석을 필요로 한다. 이러한 해석을 토대로 하중을 보다 안전하게 지지하고 과도한 침하를 미연에 방지할 수 있는 기초를 설계할 수 있다. 그러나 자연상태의 여러 지반들은 토질역학과 더불어 기초공학의 보편적인 가정들과 완전 일치하는 조건들로 이루어지지 않았으며, 기존의 지중 응력 해석들은 토질의 특성을 잘 파악하지 못하여 실제 지반에 적용하기에는 다소 어려움을 안고 있다. 따라서, 본 논문에서는 보다 자연상태와 가깝고 보다 토질의 특성에 일치하는 실험을 위해서 다음과 내용으로 실험을 진행하였다.

본 연구에서는 지표면에 등분포 띠하중이 작용할 때 사질토 지반의 상대밀도 변화에 따라서 발생하는 지중 연직응력의 변화를 알아보고자 하였다. 이를 위하여 모형토조 및 재하장치를 이용한 모형시험을 수행하고 분석하였으며 그 결과를 Boussinesq(1883)의 이론식과 Ohde(1939)에 의한 집중계수 ν 와 푸아송비 μ 의 관계를 도입한 Fröhlich의 지중응력 이론식(Jumikis, 1964)으로 구한 결과와 비교하였다.

2. 모형실험

2.1. 실험장치

모래지반의 응력을 측정하여 기존 이론과의 관계를 알아보기 위해 그림 1과 같이 모형실험을 진행하였다. 1500mm×800mm×800mm의 모형 지반내부에 그림 2와 같이 토압계(일본 TML사 제품)를 매설하고, 지반표면에 띠형재하판(B=200mm)을 설치하고, 침하량 측정을 위해 재하판 양끝단에 LVDT(일본 TML사 제품)를 연결하였으며, 하중재하는 재하장치에 로드셀(미국 SENSOTEC사 제품)을 고정시켜 하중을 재하하였다. 각 측정장치의 수치화는 TDS-302(일본 TML사 제품)로 기록하였다.

실험에 있어 과중한 하중재하로 인한 모형장치의 파괴를 방지하기 위해 주문 제작된 토조(soil tank)를 사용하였으며 실험의 편리성을 위해 토조 하부에 고강도 레일(rail)을 설치하여 실험의 능률성을 향상시켰다. 뿐만아니라, 실험중의 토조내부 가시화를 위해 아크릴로 전·후면을 제작하였다.

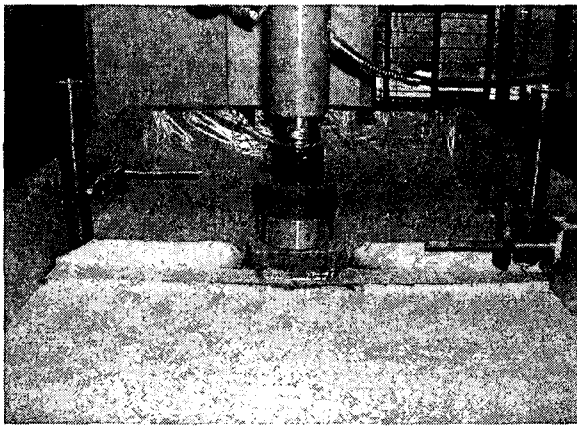


그림 1. 모형시험장치

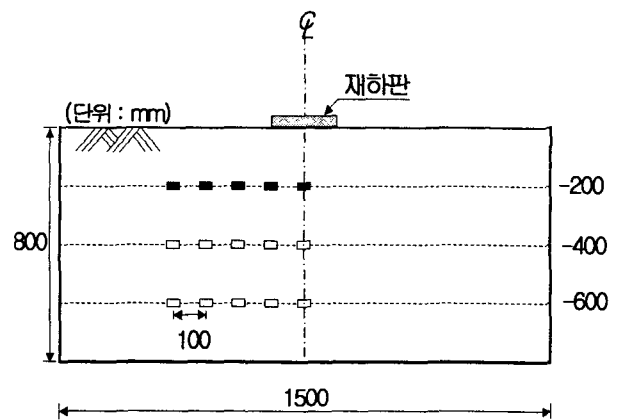


그림 2. 모형시험 단면도

2.2 사용된 토질

본 논제의 실험에 사용된 시료는 주문진 표준사로서 표 1과 같은 특성을 가지고 있다.

표 1. 사용된 토질의 특성

물성실험	D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_u	C_g	e_{max}	e_{min}	$\gamma_d max$	$\gamma_d min$	G_s
실험값	0.365	0.460	0.520	1.42	1.11	0.89	0.61	1.66	1.41	2.67

2.3 실험방법

본 실험의 순서를 간략하게 설명하면 다음과 같다. 먼저, 토조에 모래를 넣으면서 필요한 위치에 그림 2와 같이 토압계를 매설하고, 지반 위에 재하판을 설치한다. 그 후 2.1절의 측정장치를 연결하여 데이터 로거를 세팅한다. 토압계는 간섭을 방지하고 보다 높은 정확성과 신뢰도를 위해서 재하판 폭의 1배, 2배 그리고 3배의 깊이에 대하여 각각 실험을 수행하였다. 각 상대밀도의 조성에 있어서 55%의 지반은 4층 그리고 65%의 지반은 5층 다짐을 수행하였다. 이 중에서 65%의 상대밀도를 조성하기가 다소 어려운 점이 있었다.

하중의 재하는 2분 동안 1mm를 침하시키는 변위제어법을 사용하였으며, 보다 정확한 측정을 위해 각 단계의 재하가 끝난 후 2분의 간격을 두어 침하가 완전히 멈춘 후에 다음 단계의 하중을 재하하였다. 1

회의 실험을 수행하는데 걸리는 시간은 120~180분이 소요되었으며, 침하량의 오차범위는 2mm 내외의 자료만을 선별하여 측정결과를 정리하였다.

3. 비교 및 분석

3.1. 상대밀도에 따른 허용하중에서의 수평응력분포

본 실험에서 모래자체의 무게는 무시되었으며 아래 그림 3의 (a), (b), (c)는 상대밀도 55%, 재하판 폭 20cm일 때 허용하중을 기준으로 1B, 2B 그리고 3B(여기서, B는 재하판 폭)의 수평응력분포를 나타낸 것이다. 실험결과의 정리에서 Westergaard(Das 1998)의 해석은 Boussinesq이론과 동일한 결과를 나타내어 각 그래프에서 Westergaard의 결과값은 생략하였다. 그림 3의 (a)에서 수평응력분포는 0지점에서 측정값이 가장 큰 값을 나타내다가 100(mm)지점에서 급격히 감소하며 전체적으로 이론값보다 작은 값을 나타낸다. (b)에서는 전체적으로 측정값이 이론값보다 큰 값을 나타내며 200(mm)지점에서 급격한 감소를 나타내고 있다. (c)에서는 전체적으로 응력이 감소하며, 측정값과 이론값이 200(mm)지점에서 응력의 급격한 감소를 나타내고 있다.

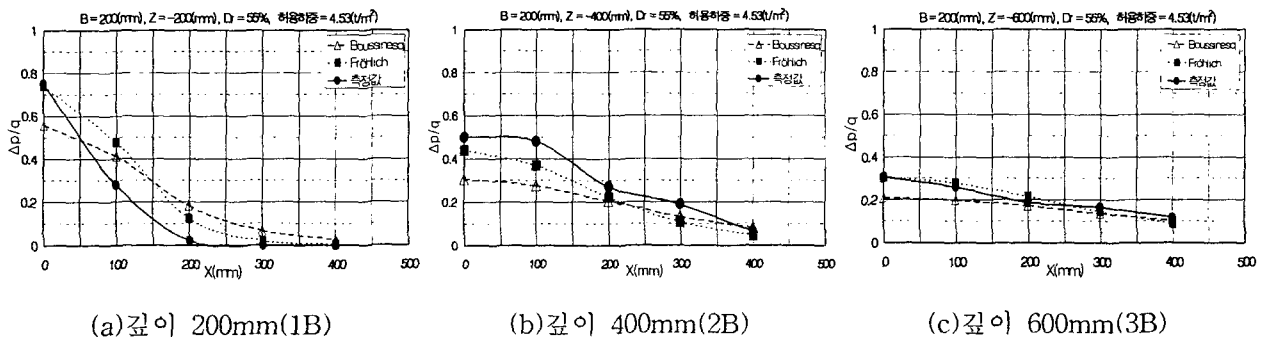


그림 3. 상대밀도 55%일 때 깊이별 연직응력분포

아래의 그림 4는 상대밀도 65%에서 허용하중을 기준으로 한 수평응력분포이다. 측정값을 상대밀도 55%와 비교하였을 때 다소 큰 값을 나타내지만 전체적인 분포는 상대밀도 55%와 비슷한 형태를 보여준다.

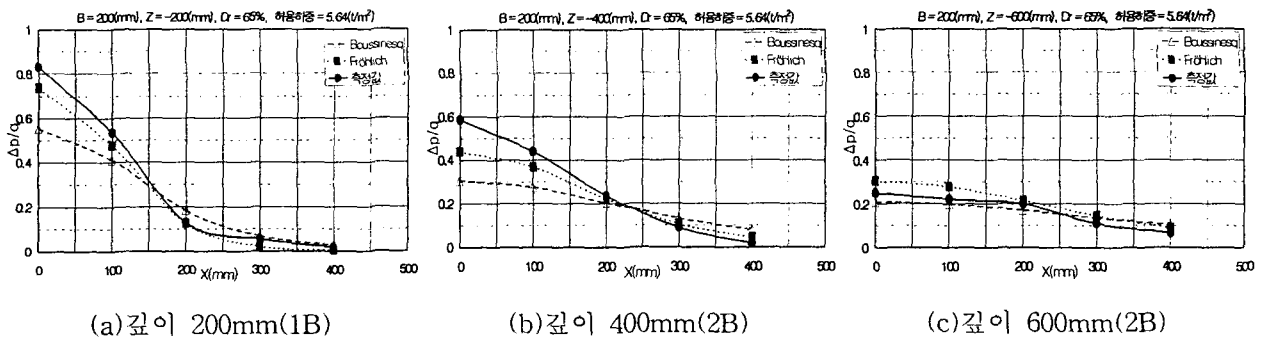


그림 4. 상대밀도 65%일 때 깊이별 연직응력분포

3.2. 상대밀도에 따른 허용하중에서의 지중연직응력분포

아래의 그림들은 상대밀도 55%에서 허용하중을 기준으로 재하판 중심으로부터 수평방향으로 떨어진 각 지점의 지중 연직응력분포를 나타낸 것이다. 그림5 (a)의 0(mm)지점을 시작으로 그림 (d)의 400(mm)를 살펴보면 0지점에서 측정값은 이론값과 비슷한 형태이며 이론값보다 다소 큰 값으로 응력이 분포하고 있다. 100(mm)지점에서 1B의 측정값이 급격히 감소하며 400(mm)지점에서 측정값의 전체적인 감소를 나타내고 있다.

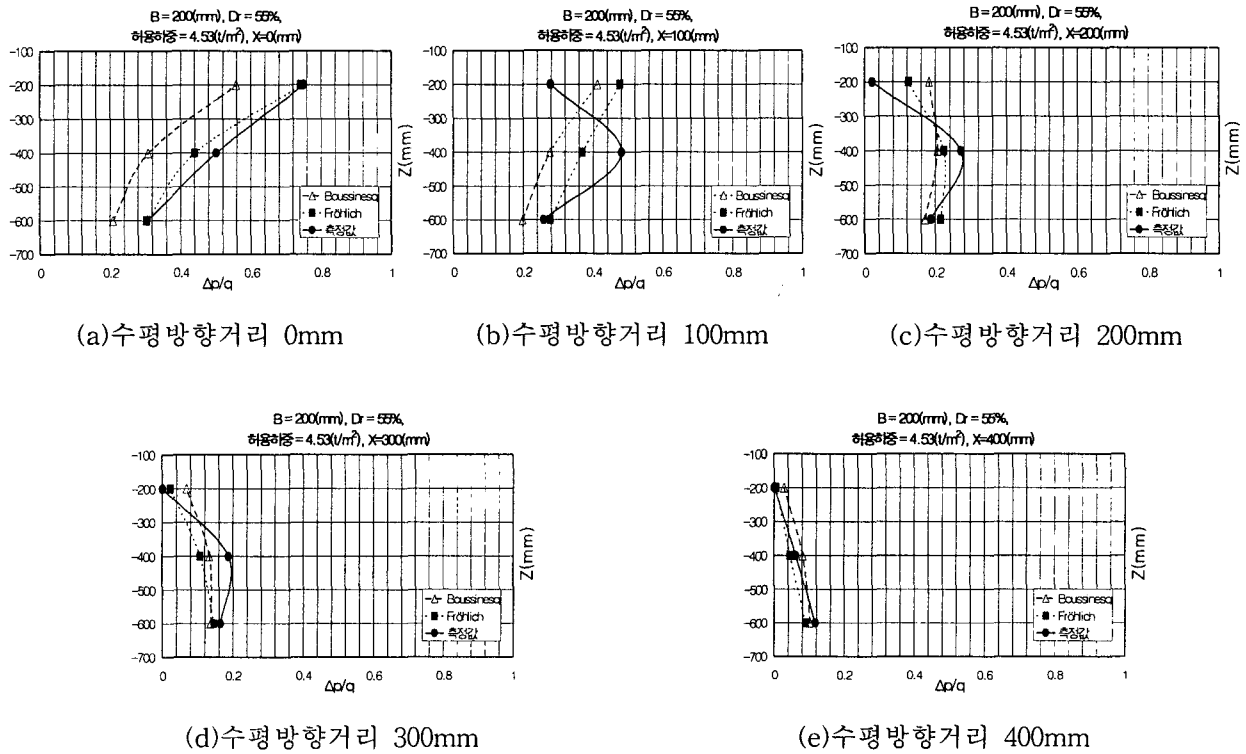
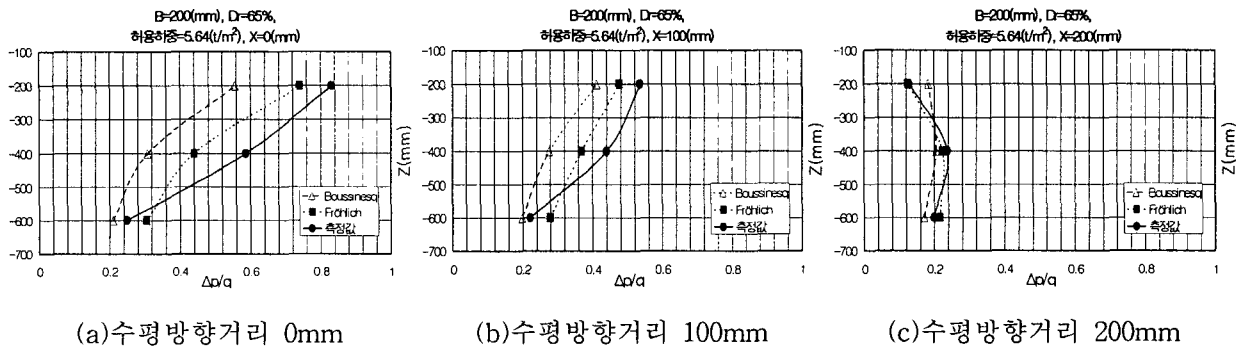
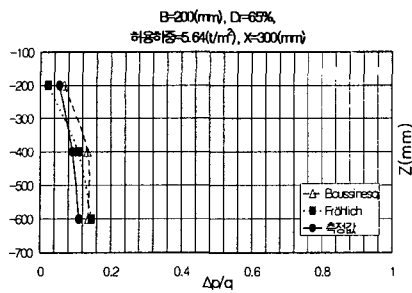


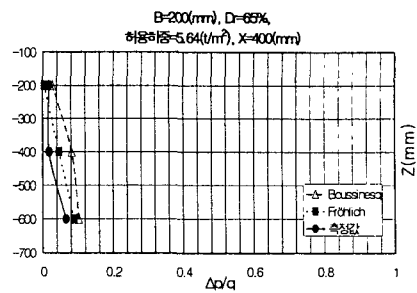
그림 5. 상대밀도 55%일 때 수평방향거리별 연직응력분포

아래의 그림들은 상대밀도 65%에서 허용하중을 기준으로 한 지중연직응력분포를 나타낸 것이다. 그림 5의 (a)와 그림 6의 (a)를 비교했을 때 측정값은 3B를 제외한 1B, 2B에서 65%가 55%보다 확연하게 큰 값을 도시하고 있다. 반면 이론값은 상대밀도에 따른 차이를 보이지 않았다. 그림6의 (c)를 보면 1B지점에서 측정값이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 55%와 100(mm)정도 차이가 나는 거리이다.





(d)수평방향거리 300mm



(e)수평방향거리 400mm

그림 6. 상대밀도 65%일 때 수평방향거리별 연직응력분포

4. 결론

본 연구에서는 주문진 표준사로 지반을 조성하고 등분포 띠하중을 가하면서 지중응력을 측정하는 실험을 수행하였으며 측정값을 Boussinesq, Fröhlich의 식으로 구한 이론값과 비교하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 첫째, 측정결과 응력은 상대밀도가 증가할수록 동일한 위치에서 더 큰 값을 나타내었다.
- 둘째, 각 상대밀도에서 재하판 바로 아래의 측정값은 이론값들보다 큰 경향이 있다.
- 셋째, 측정값은 Boussinesq보다 Fröhlich의 이론값에 더 근접하였다.

참고문헌

1. Boussinesq, J. (1883). *Application des potentiels a L'Etude de L'Equilibre et de Mouvement des Solides Elastiques*, Gauthier-Villars, paris, p.58.
2. Das, B. M.(1998) *Principles of Geotechnical Engineering*. PWS, Boston pp. 263~277.
3. Jumikis, A. R.(1964) *Mechanics of Soils(Fundamentals for Advanced Study)*, Princeton, New Jersey, D. Van Nostrand Company, Inc. pp.88~98.
4. Ohde, J.(1939) "Zur Theorie der Druckverteilung im Baugrund." *Der Bauingenieur*, no. 33/34, pp. 451~459.