

연약점토층위 이중지반 지표면 재하시 지중응력 특성연구

A Study on the Stress Distribution beneath Loaded Ground
Surface Area of Double Strata Ground on Soft Clay Layers

임 중 석* · 이인형** (목포대)
Lim, Jong Seok · Lee, In-Hyung

Abstract

If the load of constructing vehicles during the construction work acts on the road or the ground surface on the soft ground, due to the excess stresses in soils the trafficability of the vehicles influences the constructing efficiency, constructing period and so on.

Stress distribution in soils is the very important element to design and to solve the problems of settlement, safety of foundations and trafficability of constructing vehicle in civil engineering.

This research represents the comparative estimation of the actual and theoretical measurement on the underground stress of outer layer for each soil after the observation of each top soil layer for its vertical and horizontal stress in ①homogeneous sand ground ② weak stratum with the sand soil ③ weak stratum with gravel of the soil model, and it also investigates the effect of subsidence of ground by the repeated load. The underground stress turn out to be different in the value of theoretical and actual measurement after the trial examination of model.

Keywords: Distribution Stresses, Double Stratum Ground, Soft Soil Ground

I. 서 론

연약지반의 설계와 시공은 지반조건, 토질조건, 수리조건, 장비조건, 시공방법, 기상영향 등에 크게 좌우되며 이는 곧 공사비와 직접적으로 영향을 미친다. 우리나라는 부족한 토지자원의 확보정책으로 간척지 조성과 준설매립공사에 의한 토지조성사업이 활발하게 진행되고 있어서 연약지반의 안전한 시공이 절실히 필요하다. 건설분야의 설계시공에 필요한 지표면 또는 지중에 하중이 작용하는 경우 지표면 또는 지중 어느 심도에서 지반내에 발생하는 응력을 아는 것은 구조물의 압밀침하량 계산(침하문제)이나 기초구조물의 소요지지력과 규모설계(지반안정문제)는 물론 공사용 시공장비의 주행성 판정(시공성문제)에 중요한 기준요소가 된다.

지반의 본 연구는 실내에서 제작된 모형실험용 토조를 이용하여 인공적으로 조성하여 지표면재하에 의한 지중응력이 토질별 특성에 따라 어떻게 변화하는가를 정확하게 파악하고자 이 실험을 행하고, 지표면에 등분포재하중이 작용할 때 지반의 특성이 달라지면 발생하는 지중연직응력 변화의 실험관찰 및 실험값과 가장 근접한 이론값 도출을 비교분석 한다.

2. 문헌연구

2.1 균질지반의 지중응력

지표면 또는 지반중에 작용하는 하중에 의하여 지반중에 응력이 분포되는 상태는 기초지반의 안정문제 및 침하문제를 해석하고 구조물의 기초 및 지하매설물 등을 설계하는데 있어서 필요불가결

한 요소이다. 자연지반은 균질성 또는 등방성이 아닐 뿐 아니라 완전한 소성체 또는 탄성체도 아니므로 지반중의 응력분포를 정확하게 규명하기는 매우 어려우나 응력이 지반의 강도에 비하여 충분히 작은 범위 내에서는 탄성적으로 해석하여도 실용상 지장이 없다는 것이 경험적으로나 실험적으로 알려져 있으므로 이러한 전제조건하에서 탄성체에 대한 응력분포상태를 직접 또는 어느 정도의 수정을 가하여 적용하고 있다.

2.2 탄성해법

이 방법들의 모음은 Poulos and Davis(1974)가 쓴 교재에 제공되어 있다. 이 방법들은 흙이 선형탄성매질처럼 거동한다는 가정에 근거하였다. 최초의 개발수행은 Boussinesq(1883)에 의해 이루어졌으며 Westergaard(1938)는 교호하는 단단한 층이 있는 탄성 흙에 대한 해를 제공하였다. Fröhlich는 Boussinesq의 식을 수정하고 응력집중계수를 도입하였다(Jumikis, 1962). 층이 진 토층 및 강성 경계가 있는 토층에 대한 탄성해는 후에 Burmister(1956, 1958, 1962)와 다른 이들에 의해 개발되었다.

2.3 2층지반에서의 지중연직응력

실제 지반의 경우에는 지층이 구분되어 있어서 각 층마다 각기 다른 탄성계수를 갖게 되는 일이 흔히 발생한다. 하부에 연약한 층이 있고 상부에 단단한 층이 있는 지반상태가 본 연구에서 다루는 경우이다. 주어진 하중조건 하에서는 상부의 단단한 토층으로 인해 하부의 연약한 토층에 응력이 집중되는 경향이 감소할 것이다. Das(1997)에서는 상부의 단단한 지층으로 인한 응력집중의 감소효과를 탄성계수의 비로 나타내었다. 여기서는 2중층 구조로 이루어진 지반표면에 하중을 받는 연성 원형 재하단면을 고려하였다. 연성 다층지반에서는 응력문제는 고속도로 포장설계시 중요하다.

3. 실내모형시험

3.1 시험개요

본 연구에서는 실내모형실험을 통하여 이층으로 구성된 지반 표면에 하중이 가해질 때 지중의 응력을 측정하여 지반지층구성에 따라 지중응력이 어떻게 다른지 알아보고자 하였다. 이를 위하여 모형 토조에 균질모래지반, 모래+점토지반, 자갈+점토지반을 각각 조성하고 재하실험을 시행하여 그 결과로부터 항복하중과 허용하중을 결정하여 이를 통해 각 지반의 종류에 따라 지중응력분포를 알아보기 위해 반복적으로 재하시험을 시행하였다.

3.2 실험장치

본 연구의 실험에서는 모형지반의 조성을 위하여 주문 제작된 토조(그림 1)를 사용하였다. 실험중의 토조내부 가시화를 위해 아크릴로 전·후면을 반투명하게 제작하였다. 실내모형 실험에 필요한 실험장치 크기와 종류는 표 1 과 같다.

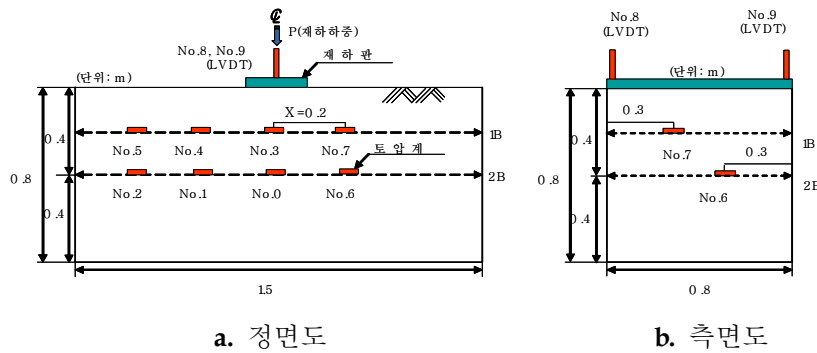


그림 1. 시험전경

표 1. 실험 측정치 (단위: m)

모형토조	재하장치	재하판	토압계	침하량측정장치	데이터로거
1.5×0.8×1.0	actuator	0.8×0.2	KDE-2MPA(8개)	actuator, LVDT	자료저장

그림 2 은 본 실험의 일반적인 배치에 대한 정면도와 측면도를 나타내고 있다. 토압계의 매설깊이는 재하판 의 폭 B 에 따라 깊이 $1B$ 및 깊이 $2B$ 로 하였다. 토압계는 간섭을 방지하기 위하여 서로 교차되지 않는 방식으로 매설하였다(임종석, 이인형, 정원중, 2002).



a. 정면도

b. 측면도

그림 2. 실험장치

3.3 실험지반의 물성값

토조내에 조성된 모래, 자갈, 점토층의 각 실험에 대한 토질의 특성은 아래의 표 2, 3, 4와 같다.

표 2. 모래의 특성

D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_u	C_g	e_{max}	e_{min}	γ_{dmax}	γ_{dmin}	G_s	ϕ°	D_r
0.37	0.46	0.52	1.42	1.11	0.89	0.59	1.68	1.41	2.67	32°	55%

표 3. 자갈의 특성

D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_u	C_g	ϕ°	D_r
3.18	3.35	4.1	1.244	0.861	38°	55%

표 4. 점토의 특성

흙분류	함수비	일축압축강도	점착력	액성한계	소성지수	N
CL	55 %	0.15 kg/cm^2	0.066 kgf/cm^2	42 %	21.0 %	2

4. 시험결과 및 분석

4.1 허용응력 결정

항복응력의 결정을 위하여 $\log q - \log s$ 그래프를 그리고 초기의 직선부와 후기의 직선부를 연장하여 만나는 점을 항복응력으로 하고 이 값의 2분의 1을 허용응력으로 하였다. 각 성층조건에 따른 항복응력과 허용응력 값을 표 1에 보이고 있다.

표 5. 성층조건에 따른 항복응력 및 허용응력

지반	균질모래	모래+점토	자갈+점토
허용하중	5.26 t/m^2	4.15 t/m^2	5.75 t/m^2
항복하중	10.52 t/m^2	8.3 t/m^2	11.5 t/m^2

4.2 성층조건에 따른 이론값과 실험값

그림 3은 균질모래지반, 모래+점토지반, 자갈+점토지반의 종합계측분석 자료이며, 상대밀도 $D_r = 55\%$, 비배수전단강도 $c_u = 0.066 \text{ kgf/cm}^2$, 함수비 $w = 55\%$ 지반에서 허용응력에 따른 표층부와 깊이(Z)별 1B, 2B 에서 지중응력분포특성을 이론값과 실험값에 따른 분산각 (26.56°, 30°, 45°) 의 비교자료를 나타낸 것이다.

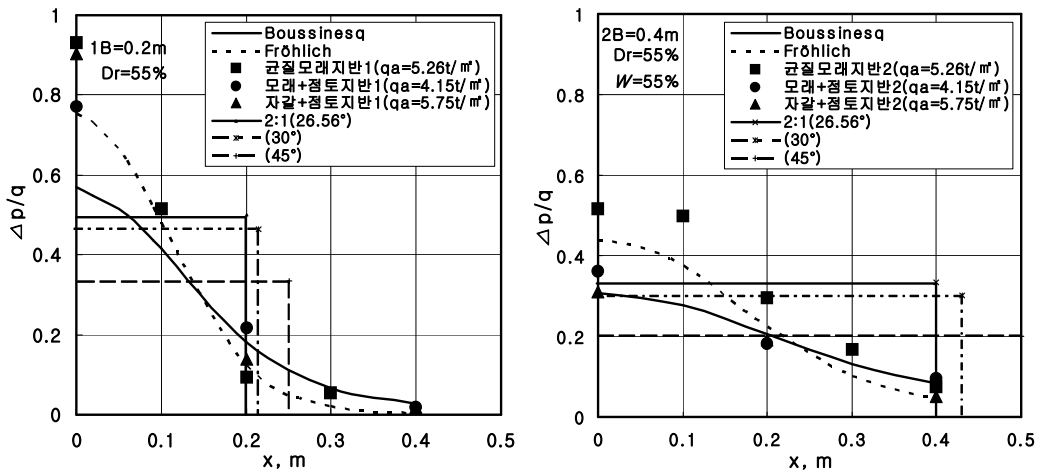


그림 3. 깊이별 이론값과 실험값의 분산각 비교

4.3 성층조건에 따른 지중응력 회귀분석

그림 4는 각 성층조건에 따른 허용응력 상태에서의 깊이1B, 2B에서의 지중응력분포를 나타낸 것이다. 시험결과로부터 회귀분석하여 각 지반조건에 따른 분포곡선을 구하였으며 이를 기준으로 곡선과 가로축이 이루는 면적을 구하여 그림에 나타내었다. 그림에서 x는 재하판 중심으로부터의 수평거리이다.

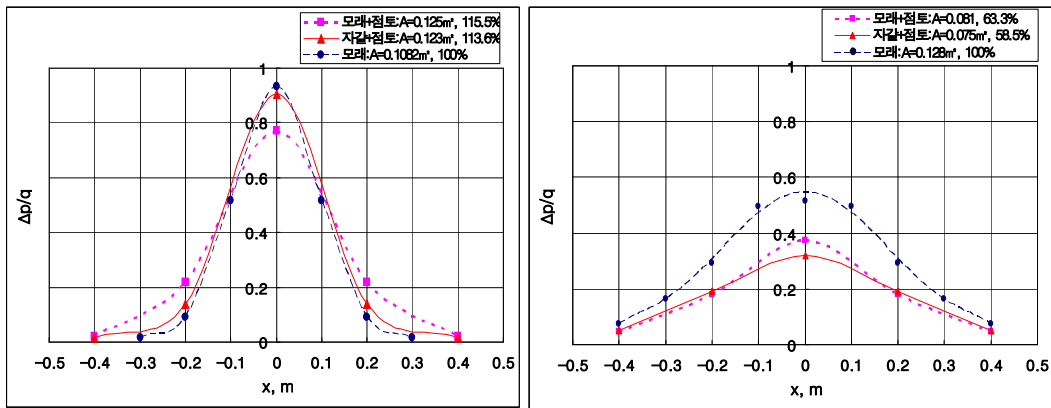


그림 4. 깊이별 지중응력분포 회귀분석

5. 결 론

실험1 - 균질모래지반, 실험2 - 모래층 + 점토지반, 실험3, 자갈층 + 점토지반, 각 지반별 지표면에 재하관 하중 재하시 Model의 실험자료의 결론은 다음과 같다.

첫째, 각 지반별 단층 및 2층지반의 모형실험결과 실험값은 **Boussinesq** 이론값 보다 **Fröhlich** 이론값에 매우 가깝게 근접한다.

둘째, 성층조건에 따라 지중응력 분포가 달라지며 상부층의 강도가 하부층에 비해 클수록 하부층으로 전달되는 지중응력은 더 작아진다.

셋째, 균질모래지반, 모래+점토지반, 자갈+점토지반의 하중 분산각은 2:1 분포법에 근접 한다.

넷째, 모래+점토지반과 자갈+점토지반의 2층 불균질 지반의 경계면에서의 지중응력은 균질모래지반 100 %에 비해 모래점토 경계면 지반은 64 %, 자갈점토 경계면 지반은 59 % 감소한다.

다섯째, 지반 성층상태의 상하층의 강도차가 클수록 지중응력은 감소하는 경향이 있으며 원형하중에 비해 띠하중은 감소하는 비율이 작다.

여섯째, 모래의 치합작용이 우수하며 모래지반에서 지중응력(접지압)이 크게 나타난다. 따라서 지반지력 개선용 치환재료로 모래가 자갈 및 흙성토재보다 우수하다.

- 참고문헌 -

1. 임종석, 이인형, 정원중, (2002) "지표면 재하시 사질토지반의 지중 연직응력 분포특성", **대한토목학회지**, pp. 54~57.
2. Boussinesq, J.(1883), *Application des potentials a L'Etude de L'Equilibre et de Mouvement des Solides Elastiques*, Gauthier-Villars, Paris.
3. Burmister, D. M.(1956), "Stress and Displacement Characteristics of a Two-Layer Rigid Base Soil System : Influence Diagrams and Practical Applications", *Proceedings of Highway Research Board*, Vol.35, pp.773~814.
4. Burmister, D. M.(1958), "Evaluation of Pavement Systems of the WASHO Road Testing Layered System

- Methods", *Proceedings of Highway Research Board*, Bulletin, p.177.
5. Burmister, D. M.(1962), "Application of Layered System Concepts and Principles to Interpretations and Evaluations of Asphalt Pavement Performance and to Design and Construction", *Proceedings International Conference on Structural Design of Pavements*, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp.218~233.
 6. Das, B. M.(1997), *Advanced Soil Mechanics*, 2nd edition, Taylor & Francis, Washington, D.C, pp.85~88.
 7. Jumikis, A. R.(1962), *Soil Mechanics*, Princeton, New Jersey, D. Van Nostrand Co., Inc.
 8. Poulos, H. G. and Davis, E. H.(1974), *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*, John Wiley and Sons, New York, p.411.
 9. Westergaard, H. M.(1938), " A Problem of Elasticity suggested by a Problem in Soil Mechanics; soft Material Reinforced by Numerous Strong Horizontal Sheets, " in *Contribution to the Mechanics of Soils*, Stephen Timoshenko 60th Anniversary Vol., Macmillan, New York.
 10. 赤井浩一著.(昭和39年), 土の支持力と沈下, pp.53~55.
 11. 木村孟著.(昭和53年), 土の應力傳播, pp.10~108.