

되메움 공간의 상재하중 영향평가에 관한 연구

Evaluation of Surcharge Loads Acting in Backfilled Space

문 창 열¹ Moon, Chang-Yeul

김 희 동² Kim, Hee-Dong

최 현³ Choi, Heon

Abstract

Underground structures will be affected by the additional surcharge loads such as traffic load et al. Terzaghi (1956) suggested the equation on the influences of surcharge loads in vertically backfilled spaces. In field, the shapes of backfill spaces are not always formed vertically. Then the Terzaghi (1956) equation is not suitable to use because of boundary condition. This study suggests equation to calculate the stress in backfilled space caused by surcharge loads when the backfilled space is sloped symmetrically. The suggested equation is verified by carbon box test and numerical analysis. The experimental results show good agreement with the suggested equation but the numerical analysis result shows a little disagreement. The differences are estimated to be caused by the fact that ground made by carbon rod has become more dense and internal friction and wall friction has increased itself as surcharge load is added but that this increase can not be considered in the numerical analysis. The suggested equation shows good agreement with Terzaghi (1956) equation in case of sloped backfill ground. According to the results, it is considered that the suggested equation can be applied not only to sloped space but also to vertical space. Further investigation using full scale experiment is needed.

요 지

지중에 매설되는 구조물은 매설된 후 교통하중등의 외부하중을 추가로 부담하게 된다. Terzaghi(1956)는 수직하게 형성된 되메움 상태의 상재하중 영향을 산출하는 이론식을 제안한 바 있다. 그러나 현장에서는 되메움 공간 형태가 수직하게만 형성되지 않으며, 수직하지 않은 공간을 취하는 경우에는 그 경계조건이 부합되지 않아 사용이 적합하지 않다. 본 연구에서는 되메움 공간 형태가 대칭적으로 경사지며 되메움 후 상재하중이 작용될 경우, 상재하중에 의한 되메움 공간에서의 응력의 크기를 산출하는 이론식을 제안하였다. 제안된 이론식은 실내모형 탄소봉실험과 수치해석을 수행하여 이를 검증하고자 하였다. 연구결과에 따르면 제안된 이론식은 실험결과와 매우 유사한 결과를 나타냈으나 수치해석과는 다소 상이한 결과를 보였다. 이는 탄소봉으로 조성한 지반이 하중증가에 따라 다소 조밀하여지면서 내부마찰각의 증가와 이에 따른 벽면 마찰의 증가가 발생되었음에 비추어 수치해석상에는 반영될 수 없는 점이 그 차이를 나타내는 결과로 사료된다. 되메움 지반이 경사진 경우에 대하여 제안된 이론식은 수직한 되메움 공간의 형태에 적용시켰을 경우 Terzaghi(1956)의 이론식과는 동일한 결과를 나타냈다. 본 연구의 결과를 살펴보았을 때 제안된 이론식은 적용이 가능한 것으로 사료되며 또한 수직한 공간에 대한 적용 역시 가능한 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서는 실내모형 탄소봉실험이므로 실대형 실험을 통한 검증이 요구되어진다 하겠다.

Keywords : Surcharge Load, Backfilled Space, Numerical Analysis, Carbon Rod, Horizontal Stress

1 정희원, 삼척대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Samcheok Univ., moonyeul@samcheok.ac.kr)

2 정희원, 삼척대학교 산업대학원 토목공학과 석사과정 (Member, Graduate student, Dept. of Civil Engrg. Samcheok Univ.)

3 삼척대학교 토목공학과 시간강사 (Lecturer, Dept. of Civil Engrg., Samcheok Univ.)

1. 서론

일반적으로 지중에 매설되는 구조물의 경우 그 단면이 버팀 굴착을 이용한 수직 또는 굴착 법면 보호를 위하여 경사지게 굴착하고 구조물을 설치한 후 되메움을 하는 형태이다.

지중에 매설되는 관동에 작용하는 응력의 해석에 사용되어지는 Marston & Anderson(1913) Iowa이론을 Handy (1985)가 되메움 벽면과 되메움 흙과의 벽마찰에 의한 최소 주응력의 고리를 연결한 최소 주응력 아치로 새롭게 해석하였으며, 이를 토대로 평균 연직응력비를 재해석함으로써 보다 정밀한 해석을 가능하게 하였다. 또한 Kellogg(1993)는 되메움 벽면이 대칭적으로 경사지게 되메움된 형태에 대한 수평응력비를 되메움 벽면 경사에 따라 변화하는 주응력 방향을 고려하여 새롭게 이론을 제안하였다. 그러나 Kellogg(1993)의 이론식은 경사면의 마찰저항이 아닌 경사 저부의 연직 투영된 경계면에서의 내부 마찰각을 사용하고 있다. 이에 문(1997)은 경사면에 작용하는 마찰저항과 연직 투영면의 마찰저항의 크기가 다를 것으로 판단되어 수정 Kellogg 이론식을 제안하였다.

또한 일반적으로 지중 매설 구조물은 되메움 후 교통신의 개방 등에 따라 되메움 하중 이외에 외부 하중을 추가로 부담하게 된다. 이 하중에 의하여 지중에 작용하는 응력의 변화는 수평 및 연직응력의 증가로 나타난다.

외부하중에 의해 증가된 지중응력을 산출하는 이론은 지반이 반무한 탄성체이며 등방성이고 균질하다고 가정한 Boussinesq(1885), Westergaard(1938), Mindlin(1936), Spangler-Mickle(1956) 식이 사용되어져 왔으며 Coulomb 기준에 가정하는 소성론에 의한 Krey.(1936), Ohde (1952) 등의 산정이론식이 있다. 그러나 이들 이론을 되메움 형태의 공간에 적용하기에는 그 경계조건이 부합되지 않아 적합하지 못하다. 이에 대하여 Terzaghi(1956)는 되메움 벽면이 수직한 되메움 형태에서 상재하중 영향에 의한 산출식을 제안한 바 있다. 그러나 이 또한 되메움 공간이 경사진 경우에는 적용하기에 적합하지 못하다.

따라서 본 연구에서는 되메움 공간이 경사진 경우에서의 상재하중 영향에 대한 이론식을 제안하고 이를 탄소봉을 이용한 실내모형 탄소봉실험과 FLAC 2D를 이용한 수치해석을 통하여 비교 검토하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 Terzaghi(1956) 이론

Terzaghi(1956)는 그림 1과 같이 원지반을 좁게 굴착하고 되메움 한 후 상재하중 q 가 작용하였을 경우, 미소 요소에 대한 힘의 평형을 고려하여 응력을 산출하는 이론식을 다음의 식으로 제안하였다.

$$V + dV + 2K\mu \frac{V}{B_d} dh = V + \gamma B_d dh \quad (1)$$

$$dV + 2K\mu \frac{V}{B_d} dh = \gamma B_d dh \quad (2)$$

$$\frac{dV}{dh} + 2K\mu \frac{V}{B_d} = \gamma B_d \quad (3)$$

선형 미분방정식이므로

$$V = \exp^{-2K\mu \frac{h}{B_d}} \left[\int \exp^{-2K\mu \frac{h}{B_d}} \gamma B_d dh + C \right] \quad (4)$$

$$V = \frac{\gamma B_d^2}{2K\mu} + C \cdot \exp^{-2K\mu \frac{h}{B_d}} \quad (5)$$

초기경계치 $h=0$, $V=q$ 로서 아래식을 얻을 수 있다.

$$V = \frac{\gamma B_d^2}{2K\mu} \left[1 - \exp^{-2K\mu \frac{h}{B_d}} \right] + q \cdot \exp^{-2K\mu \frac{h}{B_d}} \quad (6)$$

또한, $\sigma_{av} = \frac{V}{B}$, $\sigma_h = \sigma_{av} K$ 이다.

2.2 대칭경사 조건의 상재하중에 의한 지중응력 산정식 제안

본 연구에서는 그림 2와 같이 대칭 경사진 되메움 공

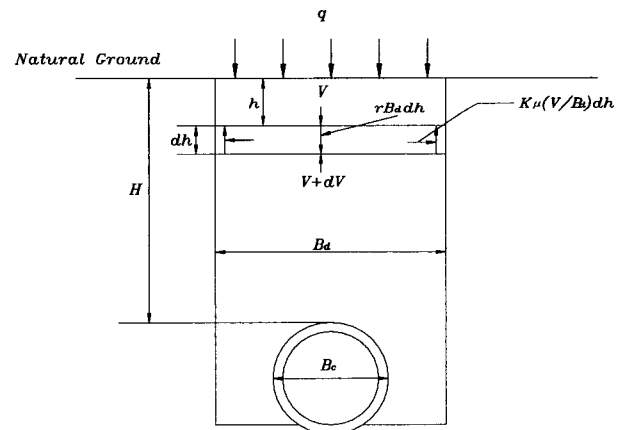


그림 1. 띠하중이 작용할 경우 미소요소에 대한 힘의 평형

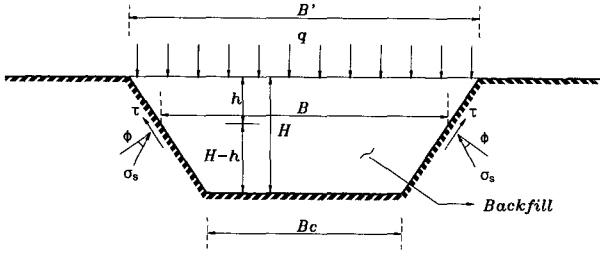


그림 2. 대칭 경사 지반에 피하중이 작용할 경우 힘의 평형

간에서 발생하는 응력 산정에 사용되는 문(1997)의 수정 Kellogg 이론을 확장하여 되메움 응력과 상재하중에 의한 증가량을 산정할 수 있는 다음의 식을 제안한다.

$K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$ 를 수평응력비라 놓고 힘의 평형을 고려하면 다음과 같다.

$$V + dV - V + 2\sigma_v \cdot dh - \gamma B dh = 0 \quad (7)$$

$$dV + 2K \frac{\sigma_v \cdot \sin(\delta_s + \Psi)}{\cos(\delta_s + \Psi)} dh = \gamma B dh \quad (8)$$

$$\frac{dV}{dh} + 2K \cdot \mu' \left(\frac{V}{B} \right) = \gamma B \quad (9)$$

$$\mu' = \tan(\delta_s + \Psi),$$

$$B = B_c + 2(H - h) \cdot \tan \Psi \text{ 이므로 } dB = -2 \tan \Psi \cdot dh$$

$$\frac{dV}{dB} + K_1 \frac{V}{B} = K_2 B \quad (10)$$

$$K_1 = -\frac{K \cdot \mu'}{\tan \Psi}, \quad K_2 = -\frac{\gamma}{2 \tan \Psi},$$

식 (10)의 해를 구하면

$$V = \frac{K_2}{2 + K_1} B^2 + CB^{-K_1} \quad (11)$$

$B = B_c + 2(H - h) \tan \Psi$ 임으로 초기 경계조건 $h=0$ 이면 $B = B_c + 2H \tan \Psi = K_3$ 로서 $V = q$ 일 때 그 해로 다음의 식 (13)에 나타냈다.

$$C = -\frac{K_2}{2 + K_1} K_3^{2+K_1} + q K_3^{K_1} \quad (12)$$

$$\therefore V = \frac{K_2}{2 + K_1} \left[B^2 - K_3^2 \left(\frac{K_3}{B} \right)^{K_1} \right] + q \left(\frac{K_3}{B} \right)^{K_1} \quad (13)$$

또한, $\sigma_{av} = \frac{V}{B}$, $\sigma_h = \sigma_{av} K$ 이다.

3. 실내모형실험

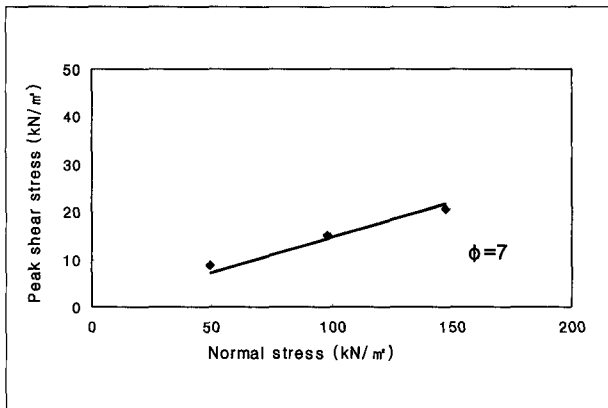
본 연구에서는 원지반을 굴착하고 되메움 한 후 상재하중에 의한 지반의 거동특성을 확인하기 위하여 다음 그림 4와 같은 실내모형 실험 장치를 제작하여 되메움 벽면 경사의 변화 및 되메움 폭의 변화에 따라 피하중 형태의 상재하중을 재하하는 실내모형 탄소봉 실험을 실시하였다.

3.1 모형지반의 강도정수

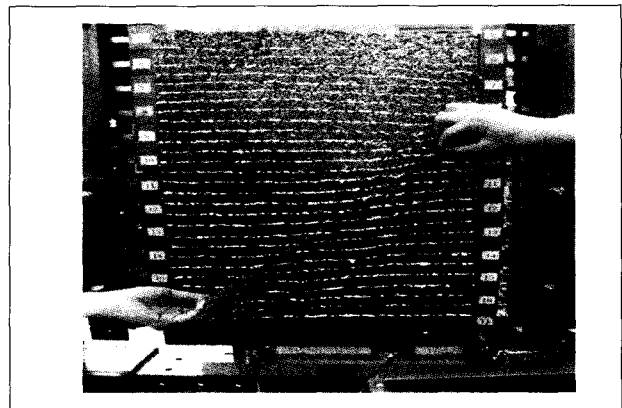
본 실험에 모형지반으로 사용된 탄소봉은 길이가 55mm 이고, 직경이 4mm, 6mm, 8mm인 세종류를 적정

표 1. 탄소봉의 기본 물성

단 위 중 량	13.5 ~ 13.8 kN/m ³
최대 간극비	$e_{max} = 0.45$
최소 간극비	$e_{min} = 0.23$
비 중	2.0 ~ 2.1
내부 마찰각	7°



(a) 전단박스에 의한 전단실험결과



(b) 벽면의 주동파괴를 가정한 탄소봉의 내부마찰각 시험

그림 3. 탄소봉의 내부마찰각 실험

한 배율비분으로 혼합한 후 되메움 체적에 따라 일정한 중량이 되도록 균질한 지반을 조성하였다. 조성된 모형 지반은 e_{max} 이 0.45, e_{min} 이 0.23, 평균 단위중량은 $\gamma_{ave} = 13.7kN/m^3$ 로 측정되었으며 이를 표 1에 나타내었다. 탄소봉의 내부마찰각을 확인하기 위하여 탄소봉용 전단시험박스를 만들어 실험을 실시한 결과(그림 3(a))와 주동상태에 이르도록 변형을 유발시킨 후 역해석하여 구한 결과(그림 3(b)) 내부마찰각은 7° 로 나타났다.

3.2 실험 장치

본 실험에 사용된 실내모형 탄소봉실험기는 그림 4와 같이 $1500 \times 1000 \times 100mm$, 두께 5mm의 강제 프레임을 사용하였고, 가공이 용이한 베이크플레이트를 50×57.5

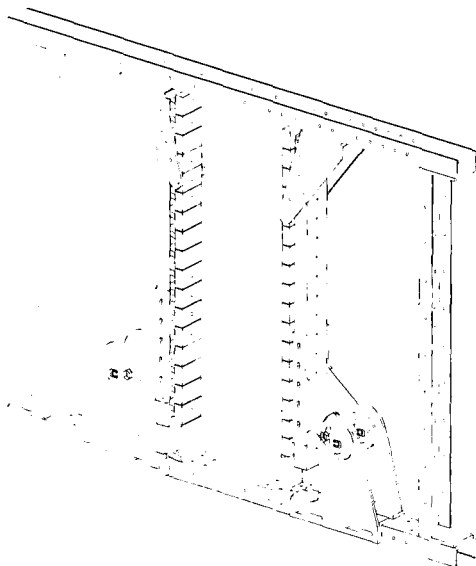


그림 4. 실내 모형 탄소봉 시험기

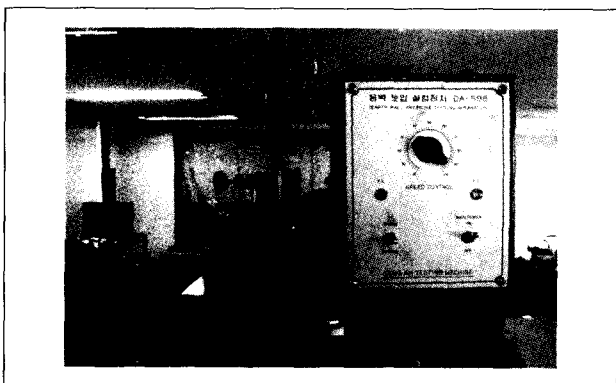
$\times 30mm$ 의 크기로 34개 제작하여 되메움 벽면의 경사각을 $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 로 변화시킬 때 각 경사 조건에 맞는 크기로 베이크플레이트를 제작하여 되메움 깊이를 일정하게 조절할 수 있도록 하였다. 또한 양쪽에 힌지를 두어 다양한 경사각 구현이 용이하도록 제작하였다.

또한, 벽면에 작용하는 응력을 측정하기 위한 베이크플레이트에 용량 50kg인 하중계 34개를 부착하였다. 이때 사용된 하중계는 정밀도 $\pm 10gr$ 로서 국내산(봉신)을 사용하였다. 자료의 출력은 Validyne 사의 UPC-601과 일본 NEC 사의 Remote Scanner DE1200 데이터 로거를 사용하여 일정한 시간간격으로 자동으로 모니터에 출력되고 컴퓨터에 저장되도록 하였다.

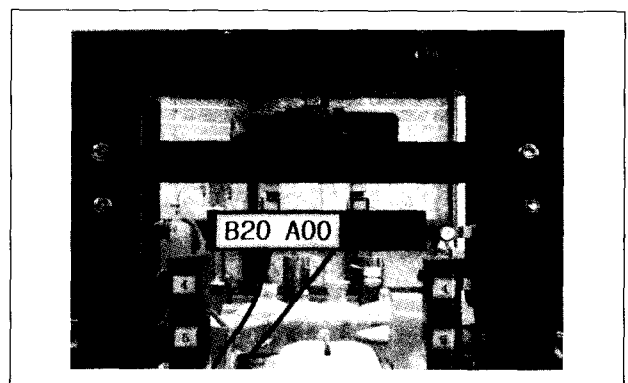
본 실험에 사용된 상재하중 재하장치는 그림 5(a)와 같으며 각각의 되메움 폭에 맞도록 α 자 형상으로 하중 재하판을 그림 5(b)와 같이 제작하여 모형 지반에 균등하게 하중이 작용하도록 하였다. 또한 하중 재하판 상부의 하중계가 재하되는 상재하중의 크기를 조절하도록 하였다.

3.3 실험 방법

4mm, 6mm, 8mm의 탄소봉을 혼합하여 되메움 지반을 조성하고 되메움이 완료된 후 상재하중 재하장치를 이용하여 49N/m, 98.1N/m, 147.2N/m, 196.2N/m, 245.3N/m, 294.3N/m의 총 6단계로 상재하중을 재하하였으며, 각 단계별로 하중 재하 후 응력을 측정하였다. 수행한 실험의 종류는 표 2로 나타냈으며 저부폭을 20cm, 30cm, 40cm로 증가시킨 경우와, 되메움 벽면 경사를 $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 로 증가시킨 경우에 대한 총 12회의 실험을 실시하였다.



(a) 하중재하 속도 제어기



(b) 하중 재하판

그림 5. 상재하중 재하장치

표 2. 실험 내용

실험명	되메움 벽면 상태	되메움 폭 [cm]	되메움 벽면 경사	
			좌 편[°]	우 편[°]
B20A00	수 직	20	0	0
B30A00		30	0	0
B40A00		40	0	0
B20A11	대 칭 경 사	20	10	10
B20A22			20	20
B20A33			30	30
B30A11		30	10	10
B30A22			20	20
B30A33			30	30
B40A11		40	10	10
B40A22			20	20
B40A33			30	30

4. 수치해석

본 연구의 수치해석은 유한차분법을 이용한 프로그램인 FLAC 2D를 사용하였다. FLAC 2D 프로그램은 지반 해석용 범용 프로그램으로 다양한 지반공학 문제를 모델링 할 수 있는 수치해석 프로그램으로 2차원적인 해석을 실시하였다. 수치해석 방법은 탄소봉 실험과 같은 형상으로 지반을 모델링 하고 되메움의 저부폭과 되메움 벽면의 경사를 변화시키면서 모형실험과 동일한 되메움 과정으로 설정한 후 상재하중을 49N/m, 98.1N/m, 147.2N/m, 196.2N/m, 245.3N/m, 294.3N/m로 총 6단계 별로 가하여 수치해석을 실시하였다. 수치해석에 사용된 되메움 지반은 Mohr-Coulomb의 파괴기준과 탄소성 응력-변형률의 구성관계를 갖는 2차원 평면변형요소를 사용하였고 되메움 지반의 기본 물성치는 실내모형 탄소봉실험에 사용된 지반의 물성치를 사용하였으며 되메움 지반과 되메움 벽면의 경계요소를 두어 이들 상호

표 3. 수치해석에 사용된 물성치

원지반 (콘크리트 구조물)		
탄성계수	E (MPa)	24500
포아송비	ν	0.2
단위중량	γ (kN/m ³)	24.5
되메움 지반 (탄소봉)		
탄성계수	E (MPa)	25
포아송비	ν	0.33
단위중량	γ (kN/m ³)	13.7
내부마찰각	ϕ (°)	7
점착력	c (Pa)	0

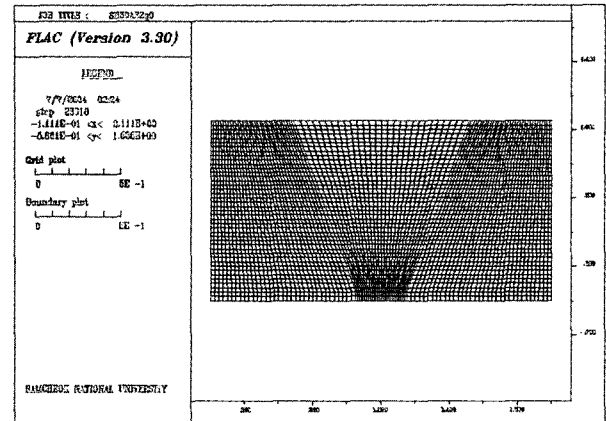


그림 6. FLAC 해석 단면 Mesh

간에 발생하는 마찰효과를 고려하였다. 수치해석에 사용된 물성치는 다음의 표 3에, 해석 Mesh 는 그림 6에 나타내었다.

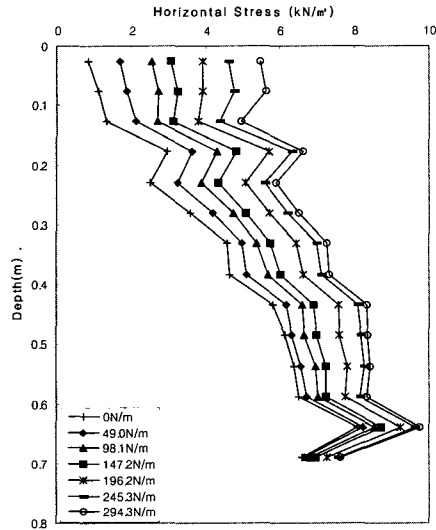
5. 실험결과 분석

5.1 되메움 벽면이 대칭경사일 경우

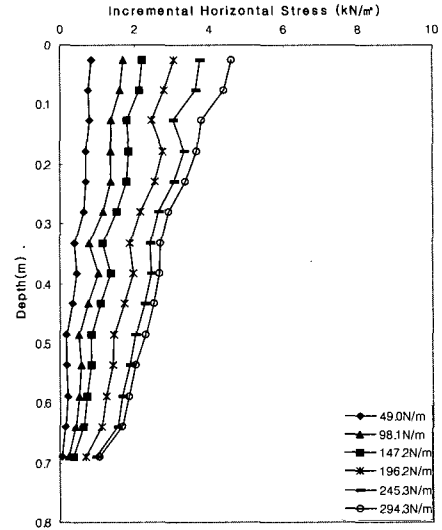
그림 7(a)는 되메움 벽면 경사를 10°로 일정하게 하고 되메움 저부폭을 20cm로 조성하였을 때 되메움이 완료된 후 단계별 상재하중을 가하여 하중 단계에 따른 되메움 깊이별 경사벽면에서의 수평응력 크기를 나타낸 실험결과이다. 그림 7(b)는 상재하중의 증가에 따른 수평응력은 비교적 일정한 크기로 증가됨을 보였으나 상재하중을 증가시킬수록 되메움 하단으로 응력 증가가 뚜렷하게 증가하는 경향을 나타냈다.

그림 8, 그림 9는 되메움 저부폭 20cm에 대하여 되메움 벽면 경사를 20°, 30°로 증가시켜 실험한 결과이다. 실험 결과에 의하면 동일한 하중강도에서 되메움 벽면 경사를 증가시킨 경우, 상단에서의 하중 증가부담이 크게 발생이 되기는 하지만 보다 경사가 가파르게 조성된 그림 8의 경우보다 완만한 그림 9의 실험결과에서 되메움 깊이에 따라 보다 큰 수평응력의 증가가 발생됨이 나타났다. 이러한 이유는 되메움 공간이 커짐에 따라 되메움 공간의 구속효과가 저하되어 동일한 하중강도에서 응력 구근의 형성이 보다 원활하게 되어짐에 따라 응력의 전이가 하단까지 보다 용이하여 지는 것이라 판단된다.

그림 10은 되메움 벽면 경사 ψ 를 30°로 하고 저부폭을 증가시켰을 때의 영향을 나타낸 것으로 되메움 공간



(a) 되메움응력과 상재하중의 증가에 따른 깊이별 수평응력



(b) 상재하중에 의한 깊이별 순 수평응력의 증가

그림 7. 되메움 저부폭 20cm, $\psi=10^\circ$ 일 경우 실험결과

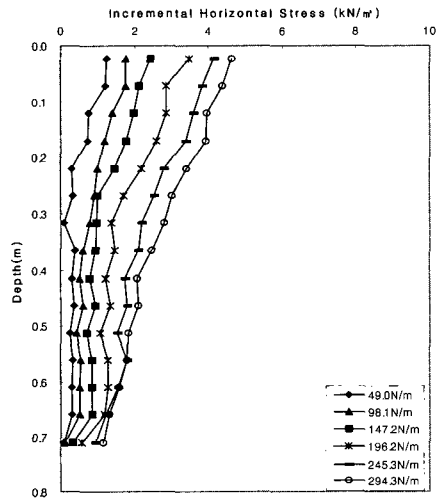


그림 8. 되메움 저부폭 20cm, $\psi=20^\circ$ 일 경우 상재하중에 의한 깊이별 순 수평응력의 증가

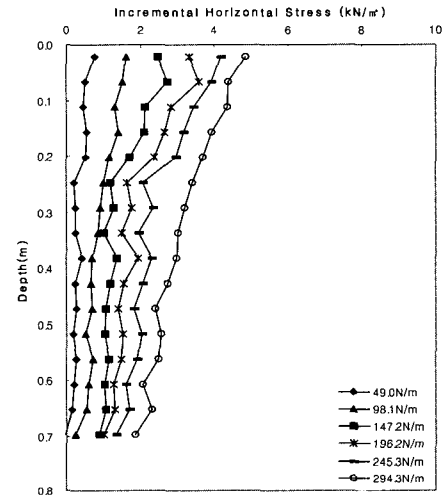


그림 9. 되메움 저부폭 20cm, $\psi=30^\circ$ 일 경우 상재하중에 의한 깊이별 순 수평응력의 증가

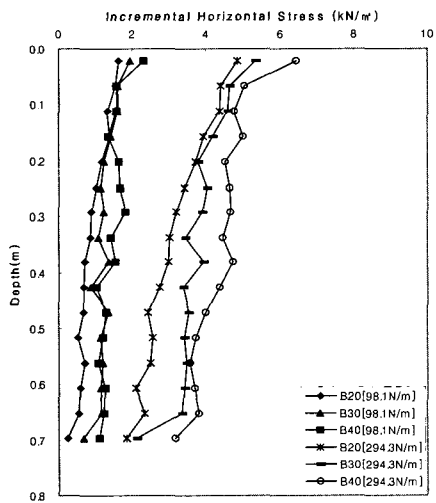
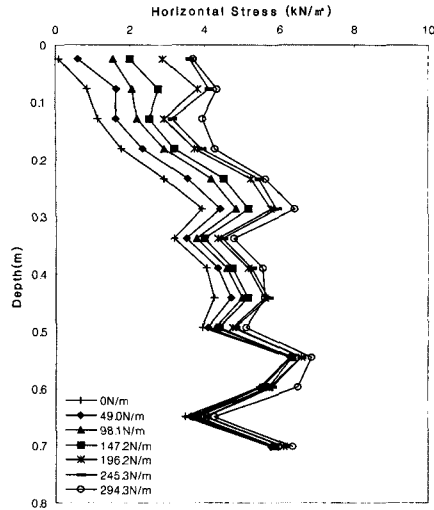


그림 10. 되메움 벽면 경사가 $\psi=30^\circ$ 일 경우 되메움 저부폭 크기별 상재하중에 대한 수평응력의 증가

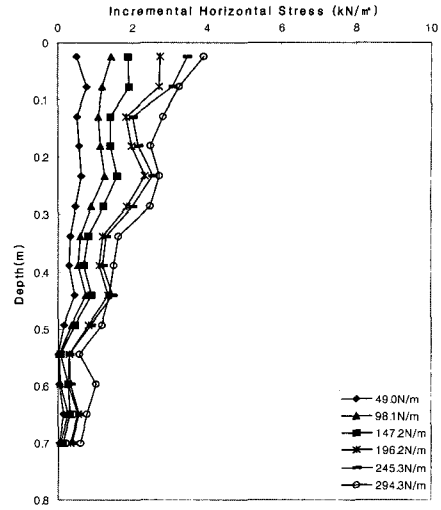
이 증가함에 따라 상재하중의 영향이 되메움 깊이별로 일정한 크기로 증가가 이루어짐을 나타냈다. 이로 미루어 상재하중은 되메움 공간의 크기가 커질수록 구속효과가 저하되어 되메움 벽면 깊이에 따라 비교적 일정한 크기로 나타나는 것으로 판단된다.

5.2 되메움 벽면이 수직인 경우

그림 11, 그림 12는 되메움 벽면의 경사를 수직하게 하고 되메움 저부폭을 20cm, 30cm로 조성한 후 실험한 것으로 되메움이 완료된 후 단계별로 상재하중을 49N/m, 98.1N/m, 147.2N/m, 196.2N/m, 245.3N/m, 294.3N/m로 단계적으로 증가했을 때 상재하중 단계에 따른 되메움



(a) 되메움응력과 상재하중의 증가에 따른 깊이별 수평응력



(b) 상재하중에 의한 깊이별 순 수평응력의 증가

그림 11. 되메움 저부쪽 20cm, $\psi=0^\circ$ 일 경우 실험결과

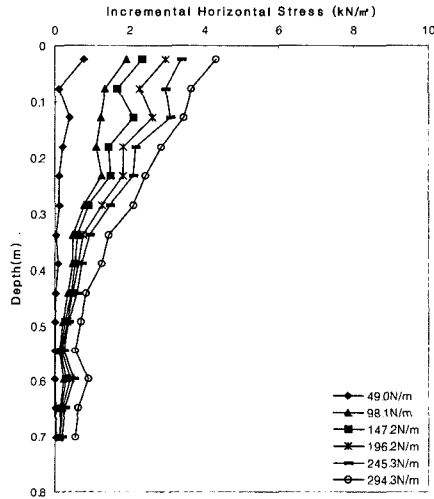


그림 12. 되메움 저부쪽30cm, $\psi=0^\circ$ 일 경우 상재하중에 의한 깊이별 순 수평응력의 증가

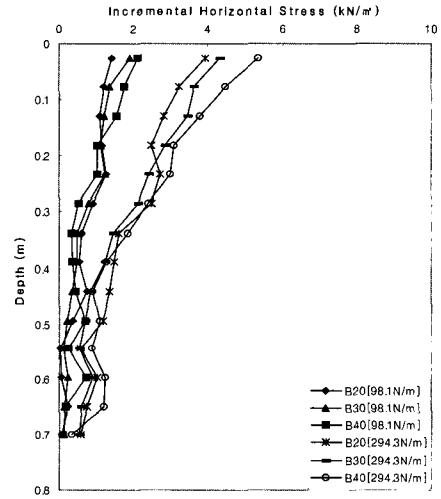


그림 13. 되메움 벽면 경사 $\psi=0^\circ$ 일 경우 되메움 저부쪽 크기별 상재 하중에 대한 수평응력의 증가

깊이별 수평응력의 증가를 나타내었다. 상재하중 증가로 인한 되메움 깊이별 수평응력의 증가는 되메움 벽면 상단에서 뚜렷하게 나타나고 하단으로 내려갈수록 그 영향은 감소되는 결과를 나타내고 있다.

그림 13은 되메움 벽면 경사를 수직하게 한 경우($\psi=0^\circ$) 동일한 상재하중에 대한 되메움 저부쪽의 증가에 따른 수평응력을 비교하여 나타낸 그림이다. 그림 13의 결과로 살펴볼 때 동일한 하중강도일 경우 되메움 공간이 작을수록 되메움 상단에서의 하중부담이 크게 나타나며 되메움 공간이 크게 되는 경우 되메움 상단에서의 수평응력 증가는 발생되기는 하나 그 증가폭은 크지 않으며 되메움 공간의 크기가 증가함에 따라 응력 전이에

대한 구속 영향이 줄어드는 효과로 수평응력의 증가는 되메움 깊이 방향으로 보다 넓게 확산 되어지는 것으로 나타났다.

6. 실험결과, 이론식 및 수치해석 결과 비교

6.1 되메움 벽면이 대칭경사일 경우

그림 14(a)는 되메움 벽면 경사가 10° 이고 되메움 저부쪽이 20cm 일 때 단계별 하중을 가하였을 때 실험결과와 제안 이론식 및 수치해석을 비교한 것이다. 작은 하중단계에서는 제안 이론식 및 수치해석의 결과와 실

험결과 모두 유사한 크기 및 분포 형태를 보였으며 높은 하중 단계에서는 제안 이론식과 실험결과는 매우 비슷한 크기와 분포 형태를 보였으나 수치해석의 결과와는 그 크기 및 분포형태가 다소 다르게 나타났다. 또한 되메움 벽면의 경사를 증가시킨 경우 역시 실험결과와 제안된 이론식은 매우 비슷한 결과와 분포 형태를 보이고 있으나 수치해석의 결과는 다소 다르게 나타났다. 이러한 점은 탄소봉으로 조성한 지반이 하중증가에 따라 다소 조밀하여지면서 탄소봉 입자간의 역물림 효과가 증대되는 즉, 내부마찰각의 증가와 이에 따른 벽면 마찰의 증가가 발생되었음에 비추어 수치해석상에는 반영될 수 없는 점이 그 차이를 나타내는 결과로 사료된다. 따

라서 추후 실험을 통한 제안 이론식의 엄밀한 검증이 요구된다 하겠다.

6.2 되메움 벽면이 수직인 경우

그림 15에서는 위 5장에서 논의되었던 실험결과에 대하여 Terzaghi(1956) 이론식과 제안 이론식 및 FLAC 2D를 이용하여 비교하였다. 그림 15(a)는 되메움 공간이 협소한 저부폭이 20cm 이며 수직인 되메움 벽면을 가정한 경우 하중강도가 작은 98.1N/m에서의 실험결과와 Terzaghi(1956) 이론식, 제안 이론식 및 수치해석 결과와 그 크기 및 분포형태가 매우 일치한다. 그러나 하

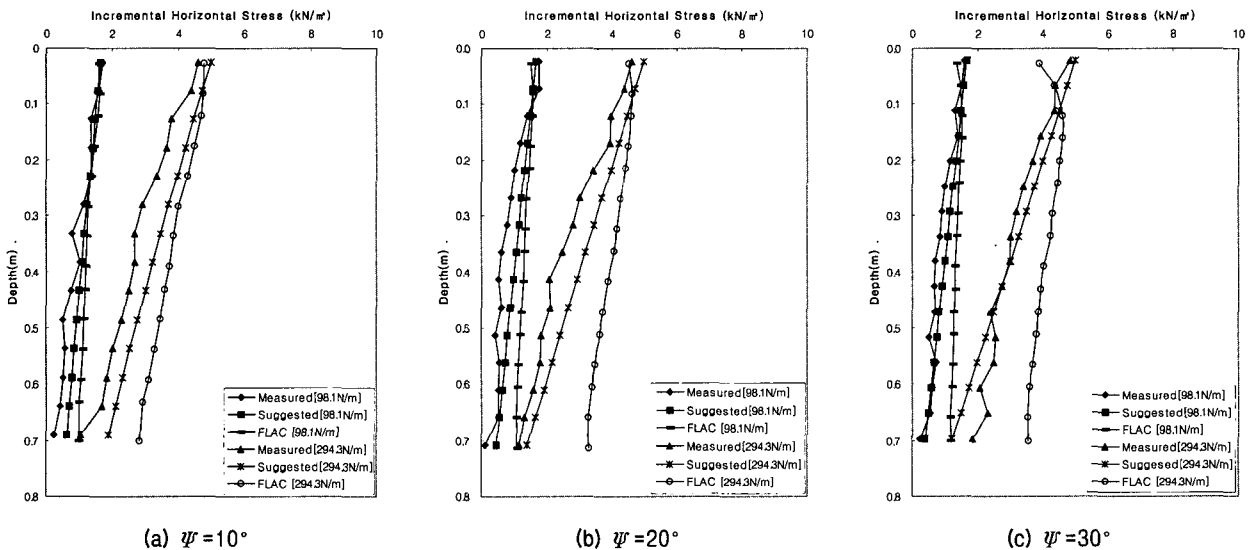


그림 14. 되메움 저부폭 B=20cm 일 경우 되메움 벽면 경사의 증가에 따른 수평응력 증가

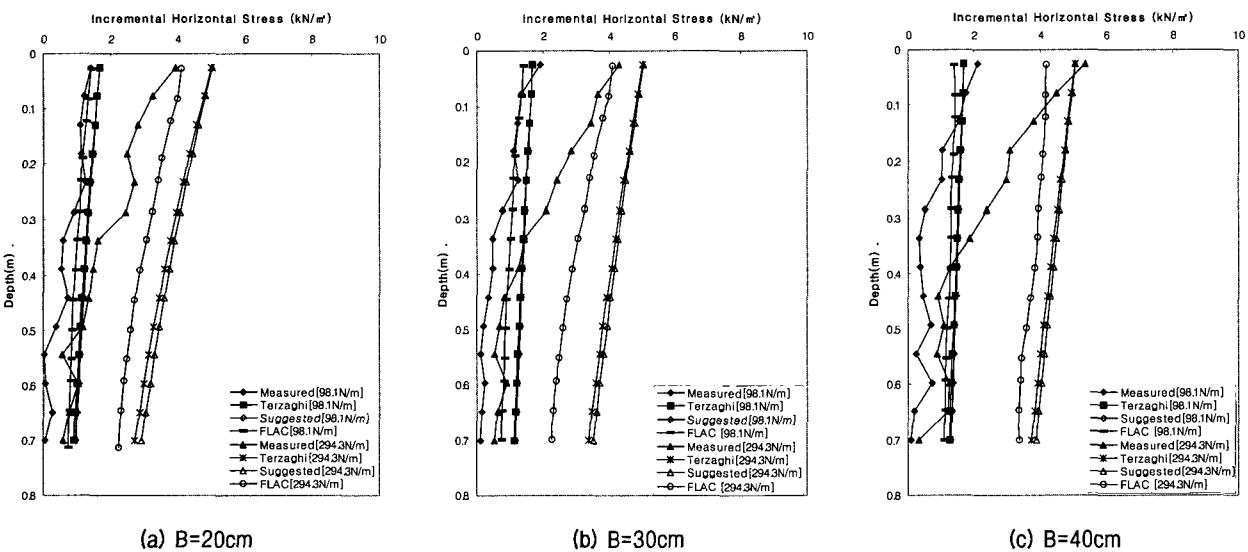


그림 15. 되메움 벽면 경사 $\psi=0^\circ$ 일 경우 되메움 저부폭 증가에 따른 수평응력의 증가

중을 294.3N/m로 증가시킨 경우 Terzaghi(1956) 이론식과 제안 이론식 및 수치해석의 결과는 되메움 깊이에 대한 수평응력의 증가량은 비교적 일정하게 증가하는 반면 실험결과는 되메움 벽면 상단에서 상재하중의 영향을 크게 부담하는 양상을 보였으며 하단으로 내려갈수록 그 영향이 감소하는 경향을 보였다. 이는 되메움 공간이 작은 경우, 실험에 사용된 탄소봉 지반은 큰 상재하중에서 입자간의 역물림 효과가 크게 발생하여 내부마찰각의 증가로 실험결과가 Terzaghi(1956) 이론식, 제안 이론식 및 수치해석의 수평응력보다 작게 측정된 것으로 사료된다. 되메움 저부폭이 넓어지는 경우에는 응력구근의 형성이 폭이 좁을 경우에 비하여 보다 원활하여 응력전이가 보다 폭넓게 발생되어져 점차 벽면을 따라 일정한 크기 형태의 수평응력을 갖는 것으로 판단된다.

되메움 벽면이 수직인 경우 상재하중에 의한 수평응력을 산정하는 Terzaghi(1956) 이론식과 본 연구에서 제안한 경사진 경우에 대한 이론식을 비교한 경우 그 결과는 동일한 크기와 분포를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 되메움 공간이 수직인 경우에도 본 연구에서 제안된 이론식은 그 적용이 가능한 것으로 판단된다.

7. 결론

본 연구에서는 되메움 벽면 경사의 변화 및 되메움 폭의 변화에 따라 락중 형태의 상재하중을 재하하는 실내모형 탄소봉 실험을 실시하여 되메움 지반의 응력과 거동 특성을 대칭경사 지반에 상재하중이 작용할 경우 벽면에 작용하는 수평응력에 대한 제안 이론식 및 FLAC 2D를 이용한 수치해석을 통하여 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 되메움 벽면이 대칭으로 경사지며 작은 크기의 상재하중에서는 실험 결과, 제안 이론식, 수치해석의 수평응력의 크기 및 분포가 비교적 유사한 형태를 보였다. 그러나 상재하중의 크기가 큰 수준에서는 실험결과와 제안 이론식이 매우 비슷한 양상을 나타내었으나 수치해석의 결과는 다소 다른 형태를 나타내었다. 이는 탄소봉으로 조성한 지반이 하중 증가에 따라 내부마찰각의 증가와 이에 따른 벽면 마찰의 증가가 발생되었음에 비추어 수치해석상에는 반영될 수 없는 점이 그 차이를 나타내는 결과로

사료된다.

- (2) 되메움 벽면이 대칭으로 경사진 되메움 공간에 대하여 제안된 이론식을 수직인 경우에 대하여 적용하여본 결과 Terzaghi(1956) 이론식과 동일한 결과를 나타내었다. 따라서 본 연구에서 경사진 되메움 공간의 상재하중 영향에 대한 산출 이론식은 되메움 벽면이 수직인 공간에도 적용할 수 있음이 확인되었다.
- (3) 되메움 공간이 수직인 경우 작은 상재하중 수준에서는 제안된 이론식 및 수치해석, 실험결과가 모두 유사한 크기와 분포형태를 보였다. 그러나 되메움 공간이 커지며 큰 상재하중 수준에서는 실험결과가 되메움 깊이 상단에서 하중을 크게 부담하며 하단으로는 그 영향이 크게 감소되는 경향을 보였는데 이는 실험에 사용된 탄소봉이 큰 재하하중에서 입자간의 역물림 효과가 크게 발생하여 내부마찰각의 증가로 실험결과가 Terzaghi(1956) 이론식, 제안 이론식 및 수치해석의 수평응력보다 작게 측정된 것으로 사료된다.
- (4) 동일한 상재하중에서 되메움 공간의 증가에 대한 영향은 되메움 공간이 클수록 상재하중에 의한 수평응력의 증가량이 되메움 상단에서 증가 영향은 미미한데 반하여 하단으로의 수평응력 증가가 점차 확산되는 결과가 나타났다. 이는 되메움 공간의 증대에 의한 구속효과의 감소로 응력의 전이가 원활하여 지는 것으로 판단되며 제안 이론식, 수치해석 및 실험결과에서 동일하게 나타났다.

참고 문헌

1. 김상규 (1997), 토질역학, 청문각, 서울.
2. 문창열 (1997), 좁은 공간에서의 되메움 토압에 관한 연구, 공학박사 학위논문, 단국대학교.
3. 문창열, 이종규 (1997), "좁은 공간 되메움 지반에서의 상재하중 영향에 의한 토압", 한국지반공학회논문집, 한국지반공학회, 제13권, 제6호, pp.165-177.
4. 문창열 (1999), "비대칭 좁은 공간에서의 되메움 토압에 관한 연구", 한국지반공학회논문집, 한국지반공학회, 제15권, 제4호, pp.261-277
5. 이상덕, 문창열, 김은섭, 이종규 (1997), "되메움 지반에 의한 수평토압에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제17권, 제III-3호, pp.285-292
6. FLAC (1996), Fast Lagrangian Analysis of Continua, Ver.3.3, ITASCA CONSULTING GROUP, INC.
7. Handy R.L (1985), "The Arch in Soil Arching", *JGE. ASCE*. Vol.111, No.3, Mar, pp.302-318.

8. Karl Terzaghi (1956), Theoretical Soil Mechanics, 8th printing, pp.67-76.
9. Kellogg, C.G (1993), "Vertical Earth Loads on Buried Engineered Works", *JGE., ASCE*. Vol.119, No.3, pp.487-506.
10. Krey, H.Erddruck (1936), Erdwiderstandund Trafahigkeit des Baugrundes, 5th den. Wilh. Ernst und Sohn, Berlin.
11. Marston, A. & Anderson, A.O (1913), "The Theory of Loads on Pipes in Ditches and Tests of cement and clay drain Tile and Sewer pipe", Iowa Engineering Experiment Station Bulletin, Iowa state college, Ames, Iowa, No.31, pp.181.
12. Mindlin. R. D (1936), Discussion : Pressure Distribution on Retaining Walls. In Proc. 1st int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Vol.3, pp.155-156.
13. Ohde, J. (1952), Zur Erddruck Lehre, Bautechnik.
14. Westergaard, H. M. (1938), "A Problem of Elasticity Suggested by a Problem in Soil Mechanics : A Soft Material Reinforced by Numerous strong Horizontal Sheets", Mechanics of Solids.

(접수일자 2004. 10. 21, 심사완료일 2004. 11. 24)