

지중 박스구조물에 작용하는 토압

Earth Pressure on the Underground Box Structure

이 상 덕* Lee, Sang-Duk

Abstract

The mechanical behavior of the underground box culvert constructed by the open cut method depends mainly on the earth pressure acting on it. In this study, the earth pressure on the underground box culverts constructed by the open cut method during and after the construction sequence was numerically analysed by using FLAC. The results are compared with those of the Marston-Spangler's theory, silo theory, and the model tests. The results showed that the vertical earth pressure on the upper slab of the box structure was not uniform. It was as large as the overburden in the middle part of the slab but was smaller or larger than that at its end part depending on the slope of the excavation, the depth of the cover, and the width of the side refill. The horizontal earth pressure on the side wall was much smaller than the earth pressure at rest and grew nonlinearly with the depth.

요 지

지하박스구조물을 개착식으로 시공할 때에는 토공을 최소화하여 지반을 굴착하고 구조물을 설치한 후에 되메움하므로 지반굴착면과 구조물사이의 되메움 공간이 크지 않다. 따라서 구조물의 상부슬래브와 외측벽에 작용하는 토압의 크기와 분포형상은 구조물의 거동에 큰 영향을 미치며, 되메움 폭과 굴착면의 형상 및 토피두께 등에 따라 다르다.

본 연구에서는 원지반을 굴착한 후 구조물을 설치하고 잔여 굴착공간을 되메움하여 지하박스구조물을 건설하는 시공 과정을 FLAC을 이용하여 수치해석하고 그 결과를 Marston-Spangler 등의 이론과 silo 이론 및 모형실험 결과와 비교하였다.

결과적으로 상부슬래브에 작용하는 연직토압이 슬래브 중앙에서는 토피하중과 같으나 구조물의 가장자리에서는 되메움 폭과 굴착면의 경사 및 토피의 두께 등에 따라 이보다 작거나 커졌고, 외측벽에 작용하는 수평토압은 정지토압보다 작았으며, 깊이에 따라 비선형적으로 증가하였다.

Keywords : Box culvert, Vertical earth pressure, Horizontal earth pressure, Silo theory

* 정회원, 아주대학교 공과대학 환경도시공학부 토목설계공학과 교수

1. 서론

개착식으로 지하박스구조물을 건설할 때에 그 역학적 거동은 주로 되메움 지반의 자중에 의한 토압에 의해 영향을 받는다. 개착식 공법에서는 토공을 최소화하여 지반을 굴착한 후에 구조물을 설치하고 굴착공간을 되메움하므로 굴착면과 구조물사이의 되메움 공간이 크지 않다. 이때에 되메움지반의 압축 즉, 지반침하로 인하여 상부슬래브와 외측벽에 작용하는 토압의 분포형상과 크기는 되메움 폭과 굴착면과 되메움지반사이의 마찰 및 되메움지반의 침하량에 의해 영향을 받는다. 박스구조물의 상부슬래브에 작용하는 연직토압은 대체로 덮개지반의 자중으로 간주하여 계산하며, 측면에 작용하는 수평토압은 박스구조물의 강성이 크므로 주로 정지토압이 적용되고 있다.

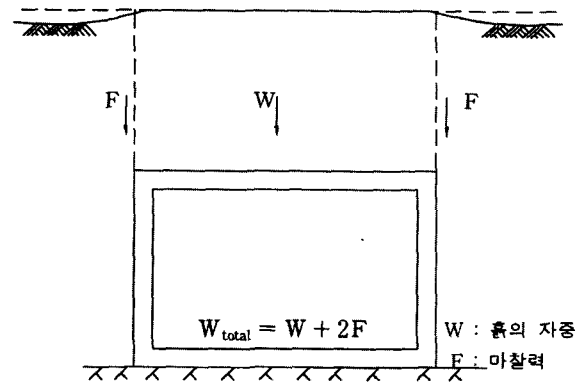
상부슬래브에 작용하는 연직토압은 되메움지반의 압축에 의해 발생하는 구조물과 되메움지반의 상대변위를 고려한 Marston - Spangler의 이론식이나 그 수정식들을 적용하여 구할 수 있으며, 이들에 대한 상세한 내용은 김 등(1999)에 따라 언급되어 있다. 외측벽에 작용하는 수평토압은 아칭효과에 의하여 깊이에 따라 비선형적으로 분포하는 것으로 알려져 있다(정, 1964, 문 1999).

박스구조물에 대한 최근의 연구는 Dasgupta & Sengupta (1991)의 실험적 연구와 평면아치개념을 적용한 조(1994) 등이 있다. 또한 원지반 굴착형상이나 되메움 형상을 고려하여 이론적 및 수치해석적 연구(정, 1964, 정 등, 1996)와 실험적 연구(김 등, 1999)가 다소 진행되어 있으나 아직은 미흡한 편이다.

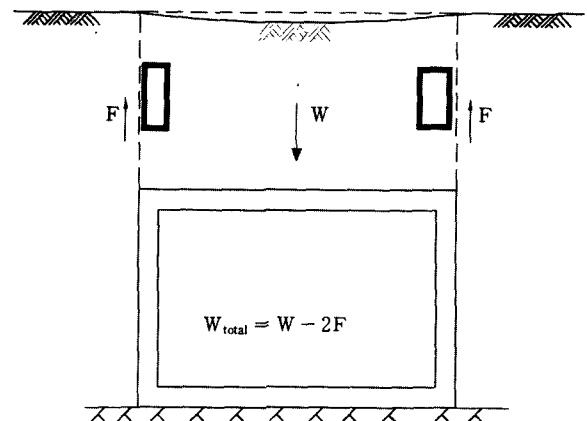
따라서 본 연구에서는 되메움 공간의 형상과 크기 및 덮개토피에 따라 박스구조물의 상부슬래브와 외측벽에 작용하는 연직 및 수평토압의 크기와 분포를 좀더 구체적으로 규명하고자 지반해석 범용 프로그램인 FLAC을 적용하여 해석하고 이론치 및 실내모형시험결과와 비교, 분석하였다.

2. 박스구조물에 작용하는 토압

지중매설관이나 지하 박스구조물 등을 설계할 때 고려하는 하중으로는 구조물의 사하중, 활하중, 토압, 수압, 충격하중, 중형하중, 양압력, 원심하중 등이 있는데 이들 중에서 특히 되메움 흙의 자중에 의해 박스구조물 상부 슬래브에 작용하는 연직토압과 외측벽에 작용하는 수평토압의 비중이 크다(우 등, 1994, 탐구문화사, 1997).



(a) 강성박스 구조물



(b) 연성박스 구조물

그림 1. 강성 및 연성 박스구조물에 작용하는 연직하중

박스구조물의 상부슬래브에 작용하는 연직토압은 상부 되메움 지반과 박스구조물의 강성에 따라 즉, 강성 박스구조물과 연성 박스구조물에서 다르다(그림 1).

2.1 연직토압

강성박스구조물에서 박스구조물 양 측면에 있는 되메움 지반과 박스구조물 윗면에 있는 성토지반의 침하가 동일하게 발생하는 경우는 박스구조물 상부슬래브에 작용하는 연직토압은 그림 2(a)와 같이 덮개지반의 자중이 된다. 그러나 박스구조물 양측면과 상부덮개지반은 같은 지반으로 되메움하더라도 측면의 좁은 공간을 다짐하기가 어렵고 침하가 발생하는 압축성 지층의 높이가 서로 다르므로, 침하는 박스구조물 상부에서는 적고 양측면에서는 크게 발생한다(Kellogg, 1993). 따라서 원지반과 측면 되메움 및 상부덮개지반 사이에 상대변위가 발생하여 마찰력이 작용하므로 박스구조물 상부슬래브에 덮개지반의 자

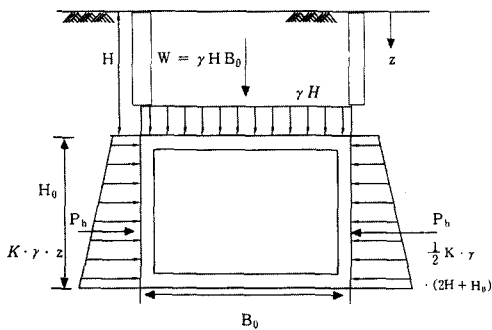
중과 다른 크기의 연직토압이 작용한다(그림 1(a), 2(b)).

반면에 연성박스구조물에서는 상부슬래브에 처짐이 발생하여 박스구조물 상부지반의 침하량이 양측의 침하량보다 커지므로 연성박스구조물에 작용하는 연직토압은 성토지반의 자중보다 작아지게 된다.(그림 1(b) 참조)

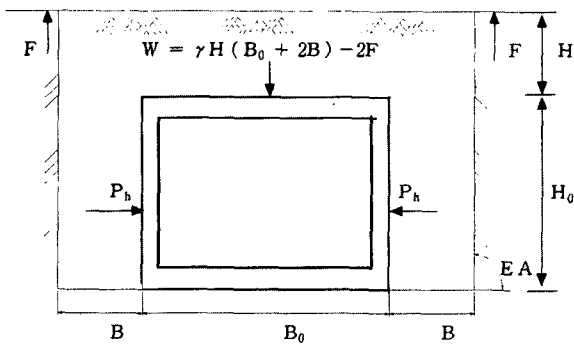
2.2 수평토압

박스구조물, 부벽식옹벽, 지하외벽 등은 강성이 충분히 커서 변형이 작으므로 주동토압보다는, 보통 정지토압을 적용하며 철도 구조물에서는 정지토압에 대해 100%와 70%에 대해서 검토하도록 되어있다.

그러나, 박스구조물 등은 굴착공간을 최소화하여 개착식으로 시공함에 따라 구조물과 굴착면 사이의 공간이 협소하여 두 벽면 사이 되메움 흙의 자중을 부분적으로 벽면 마찰각이 지지하여(Krynine, 1945) 수평토압은 깊이에 따라 선형분포하지 않고(김, 1990, 이 등, 1997) 되메움 공간의 폭에 따라 다른 경향을 보이며, 이러한 경우에는 사일로(silo)토압이론이 적용된다(Handy, 1985, Spangler and Handy, 1982, Terzaghi, 1943).



(a) 일반적인 설계의 가정



(b) 되메움에 의한 연직 토압의 변화
그림 2. 박스구조물에 작용하는 토압

따라서 강성박스구조물을 설계할 때에 상부슬래브에 작용하는 연직토압을 단순히 덮개지반의 자중으로 하고 측벽에 작용하는 수평토압으로 깊이에 따라 직선분포하는 정지토압을 적용하면, 실제의 작용토압과 달라질 수 있다.

3. 수치해석

3.1 해석 프로그램 및 해석조건

본 연구에서는 원지반을 굴착한 후 박스구조물을 신설하고 잔여굴착공간을 되메움 했을 때 박스구조물에 작용하는 토압의 크기 및 분포형상을 규명하기 위하여 지반해석 범용 프로그램인 FLAC(Fast Lagrangian Analysis of Continua)을 사용하였다. FLAC 프로그램은 다양한 지반공학 문제를 유한차분법(F.D.M)으로 모델링하는 이차원 수치해석 프로그램이며, 비선형 성질을 가진 재료로 된 지반 및 구조물 등의 요소를 적절하게 표현할 수 있는 요소 Library 를 가지고 있고 Explicit Approach 해석기법을 적용하므로 지반해석에 자주 이용한다.

본 해석에서는 박스구조물이 길이가 무한히 길며, 좌우 대칭이라고 생각하고 굴착면 경사와 되메움 하부폭을 변화시켜 반단면으로 수치해석을 수행하였으며, 되메움 지반과 박스구조물 및 굴착면에 경계요소(interface element)를 두고 Mohr - Coulomb 의 탄소성 구성식을 갖는 2 차원 평면변형률요소를 사용하였다.

3.2 해석방법 및 입력물성치

본 수치해석에 사용된 FDM 해석망 및 경계조건(boundary condition)은 그림 3 과 같으며, 박스구조물의 하부는 강성이 매우 큰 지반이고, 박스구조물 폭의 3배 범

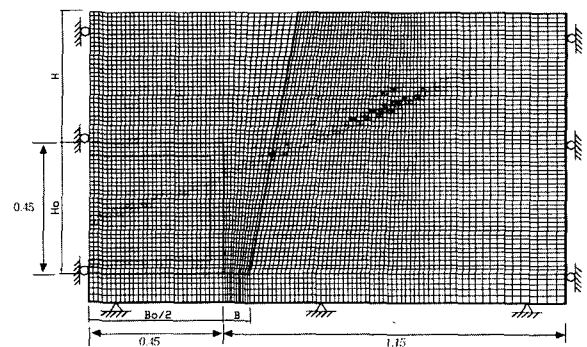


그림 3. 유한차분해석망 및 경계조건

위 내에서 토피를 박스구조물 높이의 2배까지 변화시키면서 되메움 단계별로 해석을 수행하였다. 해석망의 경계는 모형박스구조물이 있는 좌측면과 우측면은 수직방향의 변위를 허용하는 물리조건으로 하였으며, 하부는 고정단 조건으로 하였다.

지반구성모델은 Mohr-Coulomb 의 탄소성 구성식을 갖는 2 차원 평면변형률요소를 사용하였으며, 되메움 지반의 기본 물성치는 김 등(1999)의 결과와 비교하기 위하여 모형실험에서 측정된 값을 사용하였고 구조물 및 모형 지반의 물성치는 표 1 과 같다. 구조물과 되메움 지반사이의 마찰에 의한 거동을 표현하기 위한 경계면 요소의 물성치는 모형토조시험시에 별도제작한 전단시험장치를 이용하여 측정하였으며 그 크기는 표 2 와 같다. 여기에서 K_n 은 경계면요소의 수직강성(normal stiffness)이고 K_h 는 전단강성(shear stiffness)을 나타낸다.

표 1. 수치해석에 입력된 물성치

구분	탄성계수 [Pa]	포아송비	단위중량 [Pa]	내부마찰각 [°]	점착력 [Pa]
박스구조물	1.8×10^{10}	0.2	23	-	-
되메움지반	2.9×10^7	0.33	17.5	41	0

표 2. 경계면 물성치

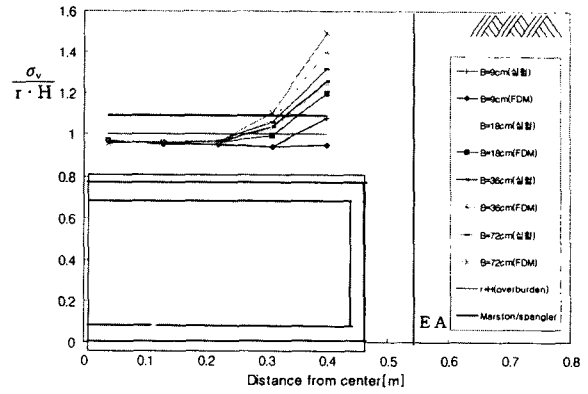
K_n [Pa/m]	K_s [Pa/m]	δ_w [°]	c [Pa]
7.35×10^8	2.45×10^8	41	0

3.3 해석결과

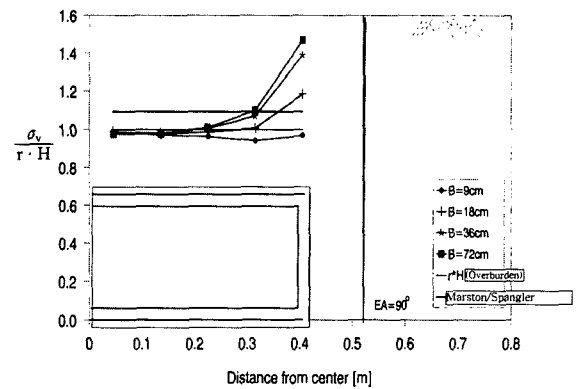
실제현장에서 박스구조물 상부슬래브와 외측벽에 작용하는 토압을 위치별로 측정할 자료가 거의 없으므로 실내모형실험한 경우에 대해 해석하여 본 연구의 해석모델을 검증하였다. 지하 박스구조물의 상부 슬래브에 작용하는 연직토압 및 외측벽에 작용하는 수평토압의 분포형상과 크기를 구하기 위하여 되메움 공간의 형상을 변화시키면서 실내모형실험을 수행한 결과는 김 등(1999)에 상세히 기술되어 있다.

3.3.1 연직토압

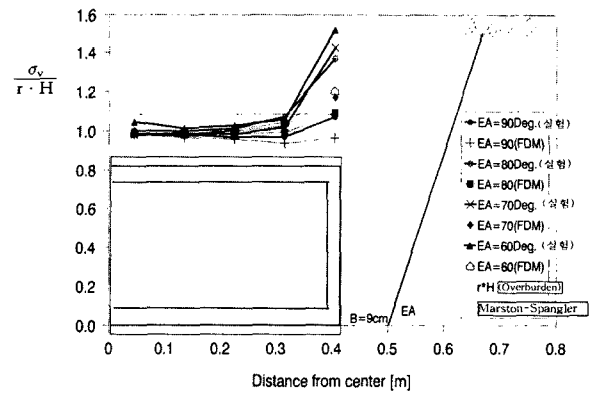
그림 4(a)는 벽마찰(WF)이 지반의 내부마찰각과 같으며, 굴착면경사(EA)가 90° 이고, 되메움 하부폭(B)이 9, 18, 36, 72 cm 로 변화될 때, 그림 4(c)는 되메움 하부폭(B)이 9 cm 이고, 굴착면 경사(EA)가 $90^\circ, 80^\circ, 70^\circ, 60^\circ$ 로



(a)되메움 하부폭(B)에 따른 상부슬래브 연직토압 ($H = H_0$)
(WF = ϕ , B = 9, 18, 36, 72 cm, EA = 90°)



(b) 되메움 하부폭(B)에 따른 상부슬래브 연직토압 ($H = 2H_0$)
(WF = ϕ , B = 9, 18, 36, 72 cm, EA = 90°)



(c) 굴착면 경사(EA)에 따른 상부슬래브 연직토압
(WF = ϕ , B = 9cm, EA = $90^\circ, 80^\circ, 70^\circ, 60^\circ$)

그림 4. 상부슬래브에 작용하는 연직토압

변화될 때 되메움이 완료된 후 상부슬래브와 외측벽에 작용하는 연직 토압의 크기와 분포를 나타낸다. 여기에서 연직토압 σ_v 은 덮개토피의 자중 $\gamma \cdot H$ 으로 나누어서 무차

원화하여 나타냈다.

그림 4(a)는 박스구조물의 상부슬래브에 작용하는 연직토압을 나타낸 것으로, 되메움 하부폭이 작은 경우에는 되메움 지반과 굴착벽면사이에 마찰력이 크게 작용하여 박스구조물의 상부슬래브에 작용하는 연직토압은 덮개 토압의 자중 $\gamma \cdot H$ 보다도 작은 값을 보이고 있다. 그러나, 되메움 하부폭이 증가하면 연직토압은 구조물의 중앙에서 측면 쪽으로 갈수록 더 커지고 Marston - Spangler의 연직토압보다 큰 값을 나타내고 있다.

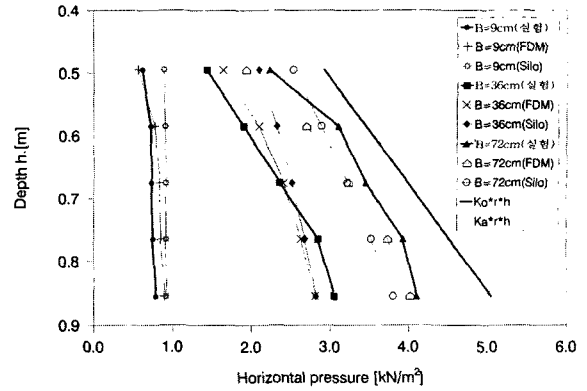
그림 4(b)는 박스구조물 덮개지반의 두께가 2배인 경우 ($H=2H_0$)에 상부슬래브에 작용하는 연직토압을 나타낸다. 여기에서 되메움 폭이 작을 때 ($B=9\text{cm}$)에는 박스구조물의 가장자리에서는 연직토압이 덮개지반의 자중 $\gamma \cdot H$ 보다 작아지는데 이것은 굴착면의 마찰 때문인 것으로 추정된다. 그러나 되메움 폭이 증가할수록 박스구조물의 가장자리에서 연직토압이 증가하였으며, 증가되는 범위가 박스구조물의 중앙쪽으로 넓혀졌다. 상부슬래브의 모서리에 작용하는 연직토압의 증가율은 되메움 폭이 작을수록 덮개지반의 두께에 의한 영향을 크게 받으나 되메움 폭이 큰 경우 ($B=36\text{cm}, 72\text{cm}$)에는 연직토압의 증가율이 덮개지반의 두께 H 에 무관하게 거의 일정한 것으로 나타났다.

한편 원지반 굴착면의 경사에 의한 영향을 알아보기 위하여 되메움 하부폭이 $B=9\text{cm}$ 로 일정할 때에 굴착면의 경사를 $60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ 로 변화시키면서 상부슬래브에 작용하는 연직토압을 구하였다(그림4(c)). 이때에는 박스구조물의 가장자리에서 연직토압이 덮개지반의 자중보다 커지는 것을 알 수 있으며, 굴착지반의 경사가 완만할수록 증가율은 커졌고 증가영역이 박스구조물의 중앙쪽으로 넓어졌다. 이러한 경향은 굴착지반의 경사가 완만할수록 상부슬래브 높이에서의 되메움 폭이 넓기 때문인 것으로 판단된다.

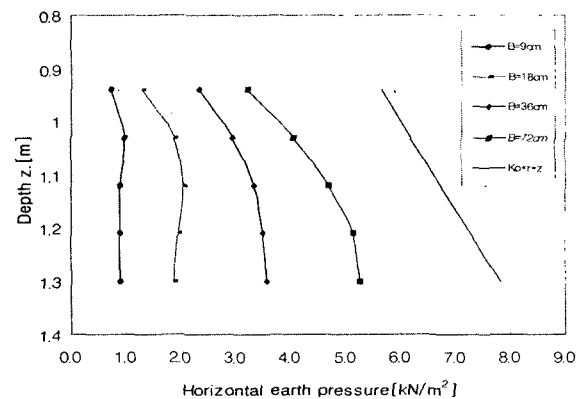
3.3.2 수평토압

그림 5(a)는 되메움 깊이에 따라 박스구조물의 외측면에 작용하는 수평토압의 크기 및 분포형상이다. 되메움 하부폭이 작은 경우에는 깊이에 따라 기울기가 완만한 곡선형 분포를 보이며, 그 크기는 정지토압과 상당한 차이를 보인다. 되메움 하부폭이 증가하면 삼각형 형태의 토압분포를 보이나 비선형적인 형태를 갖고 정지토압에 근접한 값을 보인다.

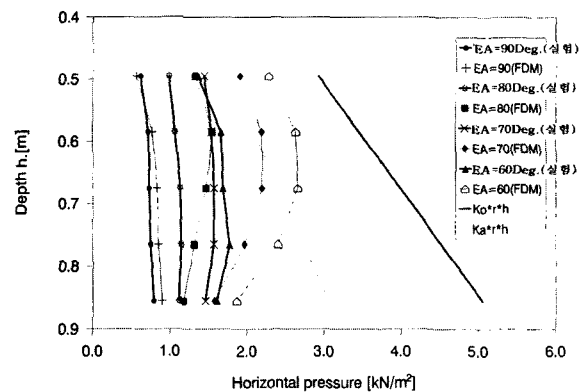
그림 5(b)는 박스구조물 덮개지반의 두께가 2배인



(a) 되메움 하부폭(B)에 따른 외측벽 수평토압 ($H = H_0$)
($WF = \phi, B = 9, 36, 72 \text{ cm}, EA = 90^\circ$)



(b) 되메움 하부폭(B)에 따른 외측벽 수평토압 ($H = 2H_0$)
($WF = \phi, B = 9, 18, 36, 72 \text{ cm}, EA = 90^\circ$)



(c) 굴착면 경사(EA)에 따른 외측벽 수평토압
($WF = \phi, B = 9\text{cm}, EA = 90, 80, 70, 60^\circ$)

그림 5. 외측벽에 작용하는 수평토압

($H=2H_0$) 굴착면이 연직일 경우에 되메움 공간의 폭에 따라 외벽면에 작용하는 수평토압을 나타낸다. 이때에도 초기에는 거의 직선적인 토압분포를 나타내다가 일정한 깊

이부터는 토압의 크기가 일정해지며, 그 깊이는 되메움 공간의 폭이 작을수록 낮은 것을 알 수 있다. 덮개지반이 작을 때와 마찬가지로 수평토압은 정지토압보다 훨씬 작은 크기이다.

원지반 굴착면의 경사에 따라 박스구조물의 외측면에 작용하는 수평토압이 달라진다(그림 5(c)). 굴착면의 경사가 클수록 수평토압이 작으며, 특기할 것은 굴착면의 경사가 완만해질수록 외측면의 하부로 갈수록 토압이 작아져서 그 분포가 전체적으로 반원형태로 되며, 수평토압이 최대가 되는 위치가 경사가 완만할수록 벽체 하반부의 수평토압이 상반부보다 작아지는 것을 알 수 있다.

3.3.3 지표침하

박스구조물을 개착식으로 시공하고 되메움한 경우에는 박스구조물과 되메움 지반의 영향하에 지반침하가 발생한다.

그림 6(a)는 되메움 지반의 폭에 따른 지표침하의 양상은 나타낸다. 즉, 되메움 폭이 좁으면 아칭에 의하여 박스구조물의 가장자리보다 중앙부에서 더 큰 침하가 발생된다. 그러나 되메움 폭이 커질수록 아칭효과가 적어서 측면 되메움부의 침하가 크게 발생하여, 구조물 중앙부보다 가장자리에서 침하가 크게 일어난다.

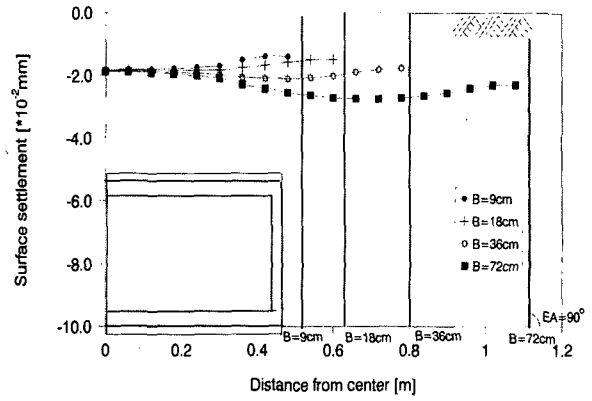
덮개지반이 $2H_0$ 로 두꺼운 경우에는 측면 되메움 지반의 영향이 거의 나타나지 않았다(그림 6(b)).

즉, 구조물 중앙의 침하가 가장자리보다 컸으며, 굴착면에 인접하여 균등한 침하가 나타났다.

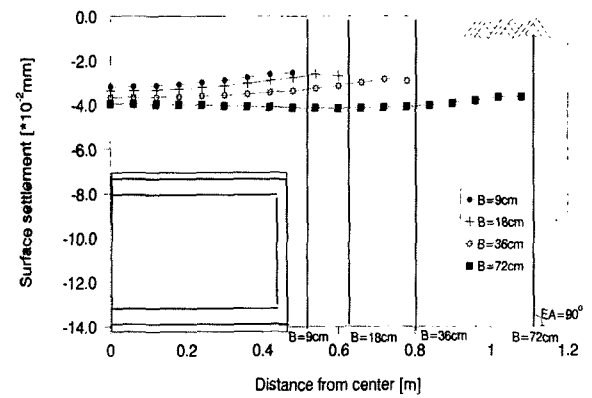
원지반 굴착면의 경사에 따라서 지표침하의 형상이 다소 다르게 나타났다(그림 6(c)). 즉, 굴착면이 연직일 경우에는 아칭의 영향으로 구조물 가장자리보다 중앙부에서 큰 침하가 발생한 반면 굴착면이 경사진 경우에는 되메움 지반과 원지반의 경계면, 즉 굴착면 상단에서부터 침하가 증가하다가 측면 되메움의 중앙부에서부터 구조물 중앙부까지 일정한 크기를 유지하였다.

4. 수치해석결과와 실험결과 및 설계토압이론의 비교

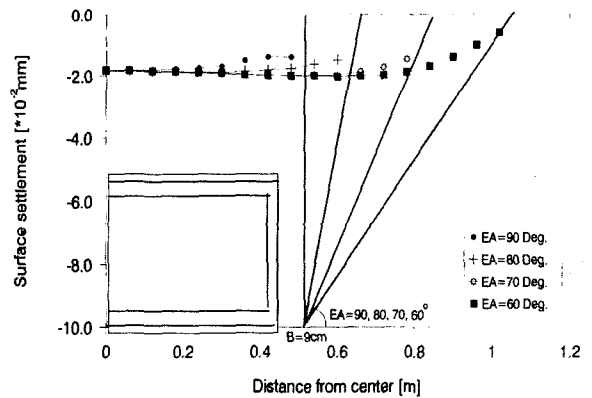
강성박스구조물의 상부슬래브에 작용하는 연직토압의 수치해석결과를 김 등(1999)에 의한 모형실험 및 덮개 흙의 자중 $\gamma \cdot H$ 와 Marston-Spangler 의 이론식과 비교하여 그림 4(c)에 함께 표기하였으며, 수평토압은 박스구조물의 설계에 적용하는 Jaky의 정지토압계수 ($K_0 = 1 - \sin \phi$)를 사용한 정지토압(Das, 1994) 및 Coulomb



a) 되메움 하부폭(B)에 따른 지표침하 ($H = H_0$)
($WF = \phi$, $B = 9, 18, 36, 72$ cm, $EA = 90^\circ$)



b) 되메움 하부폭(B)에 따른 지표침하 ($H = 2H_0$)
($WF = \phi$, $B = 9, 18, 36, 72$ cm, $EA = 90^\circ$)



c) 굴착면 경사(EA)에 따른 지표침하
($WF = \phi$, $B = 9$ cm, $EA = 90, 80, 70, 60^\circ$)

그림 6. 지표침하

의 주동토압과 비교하고, 굴착면 경사가 90° 일 때에는사일로(silo)토압이론과 비교 분석하여 그림 5(a)에 함께 표기하였다.

4.1 되메움 하부폭(B)에 따른 영향

그림 4(a)와 5(a)에서 보는바와 같이 수치해석결과는 김 등(1999)의 모형실험결과와 전반적으로 거의 유사한 분포형상을 보이고 있다. 박스구조물의 상부슬래브에 작용하는 연직토압은 그림 4(a)와 같이 되메움 폭이 작은 경우에는 되메움 지반과 굴착면사이의 벽마찰로 인하여 덮개지반의 자중 $\gamma \cdot H$ 보다 작은 크기를 보인다(Kellogg, 1993). 되메움폭이 증가하면 벽마찰에 의한 영향이 감소하고 또한 박스구조물의 상부와 측면의 되메움된 지반이 서로 상대변위가 발생한다고 전제한 Marston - Spangler의 전체 연직토압계산에 근접한 크기를 보인다. 또한 박스구조물의 중앙보다는 측면으로 갈수록 연직토압은 급격한 기울기로 증가하는 경향을 보이는데, 이러한 현상은 박스구조물의 상부와 측면 되메움 지반의 침하량 차이에 의한 상대변위로 인하여 중앙부에서 측면으로 갈수록 응력이 집중되어 발생한다고 판단되며 이러한 경향을 되메움폭이 커질수록 감소한다.

그림 5(a)는 박스구조물의 외측벽에 작용하는 수평토압의 분포형상으로 실험결과, 수치해석결과, 정지토압, 주동토압 및 사일로(silo)토압이론을 비교한 것이다. 되메움 하부폭(B)이 작은 경우 ($B=9\text{cm}$)는 실험결과, 수치해석결과 및 사일로토압이론이 거의 유사한 분포형상을 보이지만, 사일로토압이론에 의한 값이 상부에서 다소 크게 나타나고 있다. 또한, 깊이에 따른 수평토압의 분포형상은 완만한 기울기로 증가하고 있다. 되메움 하부폭(B)이 36cm 및 72cm로 큰 경우에는 수평토압은 상부에서 선형적인 삼각형 토압분포를 보이지만 하부로 갈수록 비선형적으로 증가하였다. 이러한 현상은 구조물의 높이(H)대 되메움폭이 작을수록 뚜렷하게 나타났다. 어느 경우이나 수평토압에 대한 모형실험 및 수치해석결과는 정지토압과 상당한 차이를 보이고 있다.

4.2 굴착면 경사에 따른 영향

그림 4(c), 5(c)는 되메움 하부폭이 9cm 일 때 굴착면 경사(EA)가 90° , 80° , 70° 에서 60° 로 변화함에 따라 박스구조물의 상부슬래브에 작용하는 연직토압과 외측벽에 작용하는 수평토압을 나타낸다.

그림 4(c)는 굴착면 경사(EA)에 따라 상부슬래브에 작용하는 연직토압을 나타낸 것으로 실험결과와 수치해석결과가 거의 일치하는 크기를 보이고 있으며 굴착면 경사

가 90° 에서 60° 로 완만해짐에 따라 중앙부에서는 완만한 고측면부에서는 급격한 증가를 보인다. 이것은 되메움 하부폭에 따른 영향과 유사한 형태이나 굴착면의 경사가 변화하면 연직토압은 덮개지반의 자중 $\gamma \cdot H$ 보다 다소 큰 값을 보인다.

그림 5(c)는 외측벽에 작용하는 수평토압의 크기 및 분포형상으로 수치해석 결과가 다소 큰 값을 보이지만 분포형상은 유사하게 나타났다. 실험결과 굴착면 경사가 크면 (90° , 80°) 깊이에 따라 완만한 기울기의 증가를 보이고, 경사가 완만하면 (60°) 수치해석 결과와 유사한 분포형태인 상부에서 하부로 내려 갈수록 처음에는 선형적으로 증가하다가 일정한 깊이부터는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 깊이가 증가할수록 구조물의 높이 대 되메움 폭의 비가 감소하여 아칭효과가 커져서 발생한다고 사료된다. 본 경우에도 설계에 적용하는 정지토압과는 다소 크게 차이를 보이고 있다.

5. 결론

지하박스구조물을 개착식으로 건설할 때에 되메움한 흙의 자중에 의하여 박스구조물에 작용하는 연직토압 및 수평토압의 크기 및 분포형상은 구조물의 상당히 중요한 설계요소이다. 이에 본 연구에서는 실내 모형시험 조건에 대하여 수치해석을 실시하여 그 결과를 모형실험결과와 기존의 설계토압이론 및 사일로 토압이론과 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 되메움 하부폭에 따라 상부슬래브에 작용하는 연직토압과 외측벽에 작용하는 수평토압의 크기 및 분포형상은 수치해석과 모형실험의 결과가 상당히 일치함을 보였다. 그러나 굴착면 경사에 따른 수평토압의 분포형상은 유사하나 수치해석결과가 다소 크게 나타났다.
- 2) 사일로 토압이론에 의해 산출된 수평토압은 모형실험 및 수치해석결과에 비하여 상부에서는 다소 과대하나, 깊이에 따른 분포형상은 유사하게 나타났다. 그러나 박스구조물의 설계에 적용되는 정지토압과는 상당한 차이를 보였다.
- 3) 상부슬래브에 작용하는 연직토압은 되메움 폭이 작으면, 가장자리에서는 덮개지반의 자중보다 작다. 반면에 되메움 폭이 넓어질수록 슬래브 중앙에서는 연직토압이 덮개지반의 자중과 같으나 가장자리에서는 덮개지반의 자중보다 증가하며 증가되는 범위가 중앙으로 확

대되었다.

- 4) 상부슬래브의 가장자리에서 연직토압의 증가는 되메움 폭이 크면 뒤편지반의 두께에 거의 무관하며 되메움 폭이 작을수록 영향을 크게 받았다. 또한 굴착면의 경사가 완만할수록 상부슬래브의 가장자리에서 연직토압이 크게 증가하였고 증가영역이 중앙으로 확대되었다.
- 5) 외측벽에 작용하는 수평토압은 벽체의 상단으로부터 깊어질수록 초기에는 직선적으로 증가하다가 일정한 깊이부터는 일정한 값에 수렴하거나 작아졌으며, 수평토압이 최대가 되는 위치는 되메움 폭이 증가하거나 굴착면의 경사가 완만해질수록 깊어졌다. 굴착면의 경사가 완만해질수록 반원형의 분포형태에 근접하였다.
- 6) 되메움 후의 지표침하하는 되메움 폭이 작으면 구조물 가장자리보다 중앙부에서 크게 발생되었으나, 되메움 폭이 커질수록 가장자리와 측면 되메움 부에서 크게 일어났다. 뒤편지반이 두꺼운 경우에는 지표침하가 중앙부에서 더 크게 발생하였다. 굴착면이 경사진 경우에는 굴착면 상단에서부터 구조물 측면 되메움의 중앙부까지는 침하가 증가하며, 그 이후부터 구조물 중앙까지는 거의 균등한 침하를 나타내었다.

이상은 규모가 작은 모형실험에 준하여 연구한 결과이며, 지반조건과 해석조건에 따라 달라질 수 있으므로 보다 광범위한 연구가 필요하다. 실제규모에 대해서는 향후 연구를 계속할 예정이다.

본연구는 본인의 연구년 기간에 이루어 졌으며, 아주대학교와 미국 University of Illinois의 Cording 교수와 Long 교수에게 감사한다.

참고문헌

1. 기술경영사(1996), 최신 흙과 기초의 설계계산연습, pp. 53-87
2. 김은섭, 이상덕(1999), "지하 박스구조물에 작용하는 토압에 관한 실험적 연구", 한국지반공학회지, 제 15권, 제 4호, pp.235-246
3. 김홍택(1990), "암 근처에 설치되는 옹벽의 발생토압에 관한 연구", 대한토질공학회지, 제 6권, 제 3호, pp. 7-17
4. 문창열(1999), "비대칭 좁은 공간에서의 되메움 토압에 관한 연구", 한국지반공학회지, 제 15권, 제 4호, pp.261-277
5. 우기형, 이승호(1994), 토질공학연습, 탐구문화사, 서울, pp. 264-277
6. 이상덕, 문창열, 김은섭, 이종규(1997), "되메움 지반에 의한 수평토압에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 17권, 제 III-3호, pp. 285-292
7. 정성교, 조기영, 윤치관, 이대명(1996), "뒤채움(굴착)의 형상에 따라 매설박스에 유발되는 토압", 한국지반공학회지, 제 12권, 제 5호, pp. 75-85
8. 정진교(1994), "기존사면에 인접한 중력식 옹벽에 작용하는 주동토압", 공학박사 학위논문, 동아대학교
9. 조기영(1994), "박스구조물에 작용하는 토압", 공학석사 학위논문, 동아대학교.
10. 탐구문화사(1997), 알기쉬운 옹벽·칼버트의 설계, pp. 85-118
11. Das, B. M. (1994), "Principles of Geotechnical Engineering", PWS Publishing Company, Third Edition, Boston, pp. 319-320
12. Dasgupta, A. and Sengupta, B. (1991), "Large-Scale Model Test on Square Box Culvert Backfilled with Sand", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 117, No. 1, pp. 156-161
13. Kellogg, C. G. (1993), "Vertical earth loads on buried engineered works", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 119, No. 3, pp. 487-506
14. Krynine, D. P.(1945), Discussion of "Stability and Stiffness of Cellular Cofferdams", by Karl Terzaghi, ASCE, Vol. 110, pp. 1175-1178.
15. Handy, R. L. (1985), "The Arching in Soil Arching", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 111, No. GT3, pp. 302-318
16. Spangler, M. G. and Handy, R. L. (1982), "Soil Engineering", fourth edition, Harper and Row, Publishers, pp. 727~790
17. Terzaghi, K. (1943), "Theoretical Soil Mechanics", John Wiley and Sons, New York, pp. 66-76

(접수일자 1999. 12. 22)