

좁은 공간 되메움 지반에서의 상재하중 영향에 의한 토압

The Earth Pressure on the Effect of Surcharge
Load at the Narrowly Backfilled Soil

문 창 열*1
Moon, Chang - Youl
이 종 규*2
Lee, Chong - Kyu

Abstract

The structure such as underground external walls of buildings, conduit and box culvert supports the surcharge loads (point, strip and line loads).

The vertical and horizontal stresses in a soil mass depend on the backfill width and wall friction, etc.

The investigations described in this paper is designed to identify the magnitude and the distributions of the lateral and vertical pressure which is occurred by the narrowly backfilled soil in an open cut by the surcharge loads.

For these purposes, model tests were performed for various width of backfill in a model test box by considering the wall friction using carbon rods.

The results of test were compared with the theories of Weissenbach and US Army Code and also with the results of the numerical analysis using finite difference method which introduces Mohr-Coulomb failure hypothesis.

요 지

건물의 지하외벽 또는 암거나 박스 칼버트와 같은 지하구조물은 되메움한 흙의 자중에 의한 하중 이외에 되메움이 완료된 후 주차장을 신설하거나 도로를 건설하면 차량이나 구조물에 의해 표면에 작용하는 점하중, 띠하중, 선하중 등의 외부 하중을 지지하게 된다. 이러한 상재하중에 의한 지중응력은 구조물에 영향을 받아 수평압력 및 연직압력을 증가시킨다. 상재하중에 의해 증가하는 지중응력을 계산하는 방법은 지반이 반무한 탄성체이며 등방성이고 균질하다는 가정하의 Boussinesq(1885)의 탄성론에 의한 지중응력 산정법과 지반은 등향적(isotropic)이고 균질하며 활동선이 Coulomb의 기준에 맞는다라는 가정하에 Krey(1936), Ohde(1952) 등의 소성론에 따른 산정법 및 이를 조합한 Schmitt(1992) 등이 제시한 탄소성론에 의한 산정법등이 제시되었다.

*1 정희원, 삼척산업대학교 공과대학 토목공학과 부교수

*2 정희원, 단국대학교 공과대학 토목공학과 교수

본 연구에서는 탄소봉으로 지반을 조성한 후 되메움 공간의 크기가 다른 경우 그 표면에 등분포 락하중으로서 상재하중이 작용할 때 증가되는 수평토압의 크기, 벽체에 작용하는 토압에 의한 수직압력 및 굴착면 하부에 작용하는 연직토압을 측정하여 상재하중과 토압의 관계를 규명하였다. 또한, Mohr-Coulomb의 지반구성모델을 이용한 유한차분법(FDM)으로 해석하여 그 결과를 실험 결과와 비교, 검토하였다.

Keywords : Surcharge load, Strip load, Backfill, Earth pressure, FDM

1. 서 론

건물의 지하외벽 또는 암거나 박스 칼버트와 같은 구조물은 되메움한 흙의 자중에 의한 하중 이외에 되메움이 완료된후 주차장을 신설하거나 도로를 건설하면 차량이나 구조물에 의해 표면에 작용하는 점하중, 락하중, 선하중 등으로 표현될 수 있는 외부 하중을 추가부담하게 된다. 이러한 외부하중에 의한 지중응력의 변화는 구조물에 영향을 미쳐서 수평압력 및 연직압력을 증가시킬 뿐만 아니라 원지반과 되메움 지반사이의 상대 변위를 발생시킨다.

외부하중에 의해 증가하는 지중응력을 계산하는 방법은 지반이 반무한 탄성체이며 등방성이고 균질하다는 가정하에 Boussinesq (1885)가 점하중에 의한 지중응력산정식을 처음으로 제시한 이래, Westergard(1938), Mindlin (1936), Spangler-Mickle(1956), Weissenbach(1975) 등의 탄성론적 토압산정식이 사용되어져 왔으며, Krey. H(1936), Ohde(1952) 등은 지반과 구조물과의 경계면은 평활하고 상재하중에 의한 활동선이 벽체와 $45^\circ - \Phi/2$ 로서 직선적이며 지반은 등방성(isotropic)이고 균질하며 Coulomb의 기준에 따른다는 가정하의 소성론에 의한 산정방법을 제시한 바 있다. 그러나, 이 두가지의 방법에 의한 해석치가 너무 상이한 결과를 초래하므로 그 결점을 보완하여 Schmitt(1992) 등은 지반을 탄-소성으로 취급한 토압산정식을 제안하였다. 그러나 본 연구에서와 같이 규모가 큰 건물이나 지하 박스구조물을 건설하기 위하여 원지반을 굴착한 후 다시 되메움을 하는 경우

되메움 지반 및 외부하중에 의해 발생하는 수평토압의 크기는 기존의 설계 방법에 의한 계산치 보다 아칭효과에 의하여 작게 나타나는 경향이 있다. 이에 관련한 연구는 Marston (1930), Spangler-Handy(1982), Handy(1985) 등이 트렌치와 같은 일정폭을 가진 공간에 흙의 자중에 의해 증가되는 토압을 아칭효과를 고려한 이론식으로 제안하였으며 국내에서는 김(1990)은 암 근처에 옹벽이 위치할 경우에 대해 Spangler-Handy(1982)식과 Sokolovski (1965)의 응력특성법을 수정한 식을, 정(1994)은 평면아치 개념을 이용하여 기존의 췌기이론 및 사일로 이론을 근거로 한 식을 제안한 바 있다. 최근에 유등(1996)은 원심모형실험으로 강성의 경계사면에 인접한 옹벽의 거동특성 및 유압실린더를 이용하여 지표에 상재하중을 가하는 실험적 연구를 수행하였는데, 이러한 대부분의 연구는 옹벽과 같이 변위를 허용한 조건이다. 이등(1997)은 모형토조를 이용하여 건물의 외벽 또는 부벽식 옹벽 등과 같이 구조물의 변위가 발생하지 않는 상태에서 되메움 공간의 형상 및 벽마찰 조건에 따른 토압 분포를 실험 및 수치해석적으로 연구하였다. 이러한 연구는 단지 토체자중에 의해 발생하는 토압에 관한 연구로 지표면에 상재하중이 있는 경우에 대한 연구는 극히 드문 실정이다.

본 연구에서는 탄소봉으로 지반을 조성한 후 되메움지반이 수직하며 공간의 크기가 다른 경우 지표면에 작용하는 등분포 락하중에 의하여 증가되는 수평토압의 크기, 벽체의 수직압력 및 굴착면 하부에 작용하는 연직압력을 측정하여 상재하중과 토압의 관계를 규명하였고, 옹벽과는 달리 벽체의 변위를 허용하지 않는 조

전인 관계로 소성론방법에 의한 해석은 타당하지 않아 탄성론방법에 의한 Weissenbach (1975)의 제안식, 그리고 Spangler-Mickle (1956)의 제안식을 code화시킨 US Army (1994)식을 비교하였다. 또한 Mohr-Coulomb의 지반구성모델을 이용한 유한차분법(Finite Difference Method)으로 해석하여 그 결과를 실험결과와 비교 검토하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 탄성론 방법

2.1.1 Boussinesq

Boussinesq(1885)는 탄성론을 근거로 하여 지반이 균질하고 등방성이며 반무한체라 가정하여 점하중에 의한 지중응력 계산식을 식 (1)과 같이 제시하였다.

$$\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi z^2} \left[\frac{1}{1+(r/z)^2} \right]^{5/2}$$

$$\sigma_r = \frac{Q}{2\pi^2} \left[\frac{3r^2 z}{(r^2+z^2)^{5/2}} - \frac{1-2\nu}{r^2+z^2+z(r^2+z^2)^{1/2}} \right]$$
(1)

$$\sigma_\theta = \frac{Q}{2\pi} (1-2\nu) \left[\frac{z}{(r^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{r^2+z^2+z(r^2+z^2)^{1/2}} \right]$$

여기서, Q : 점하중

ν : 프아송비

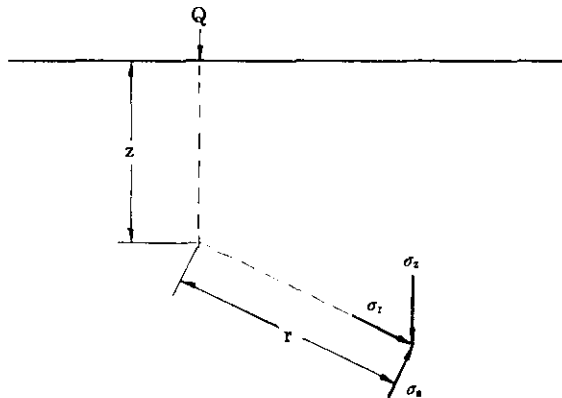


그림 1. 점하중에 의한 지중응력

2.1.2 US ARMY(1994)

Spangler & Mickle(1956)의 제안식을 코드화시킨 미공병단의 옹벽 설계지침서(1994)에서는 지표면에 띠하중이 작용할 경우 강성벽체에 작용하는 수평토압을 식 (2),(3)과 같이 제시하고 있다.

변위가 허용되지 않는 벽체의 경우

$$\sigma_r = \frac{2q}{\pi} (\beta - \sin\beta \cos 2\alpha) \quad (2)$$

변위가 허용되는 벽체

$$\sigma_r = \frac{q}{\pi} (\beta - \sin\beta \cos 2\alpha) \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\tan^{-1}(\frac{x_2}{z}) + \tan^{-1}(\frac{x_1}{z})}{2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{x}{z}\right) + \frac{\beta}{2}$$

여기서, β : 띠하중에 의한 하중의 선단 및 후단의 크기가 z 깊이에서 벽체에 작용되는 점에서 이루는 각

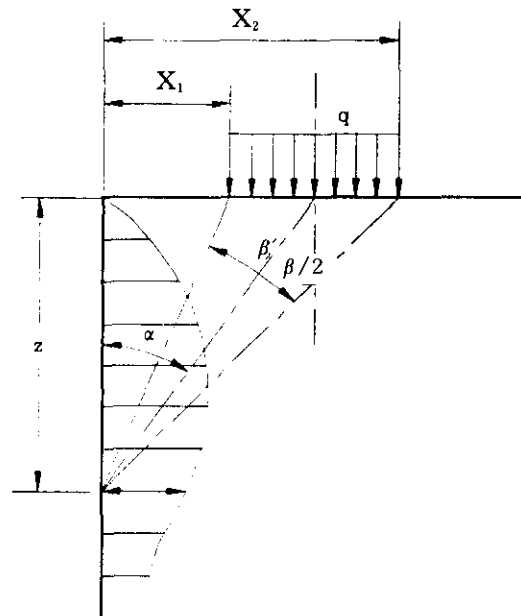


그림 2. 띠하중이 작용할 경우 강성벽체에 작용하는 수평토압

2.1.3 고정벽체에 작용하는 정지토압(Weissenbach 1975)

Weissenbach(1975)는 선하중과 띠하중이 작용할 경우에 고정벽체에 작용하는 수평정지 토압을 식 (4),(5),(6)과 같이 제안하였다.

1) 선하중

벽체에서 x 만큼 떨어진 선하중에 의한 수평 토압계산식은 식 (4)와 같다.

$$\sigma_x = \frac{\bar{P}}{\pi} \left(\frac{2}{\pi} \sin^3 \beta \cos \beta \right) \frac{\bar{P}}{x} i_L(x)$$

$$\sigma_x = \frac{2\bar{P}}{\pi^2} \cos^3 \beta \quad (4)$$

$$\tau_{xz} = \frac{2\bar{P}}{\pi^2} \sin \beta \cos^2 \beta$$

여기서 \bar{P} : 선하중

r : 선하중이 미치는 반경

i_L : Weissenbach 의 영향계수

β : 선하중 직하 벽체와 횡토압이 이루는 각

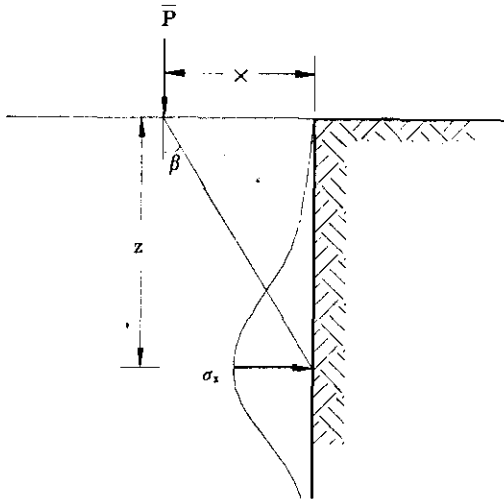


그림 3. 선하중에 의한 토압(Weissenbach)

$$\sigma_x = q \left[\frac{1}{\pi} (\beta - \sin \beta \cos \beta) \right] = q i_R(x) \quad (5)$$

거리 x_i 떨어진 폭 b인 띠하중에 의해 벽체에 작용하는 수평토압의 계산식은 식 (6)과 같다.

$$\sigma_x = q(x_i + b) - q(x_i)$$

$$q [i_R(x_i + b) - i_R(x_i)] \quad (6)$$

여기서 i_R : Weissenbach 의 영향계수

q : 띠하중

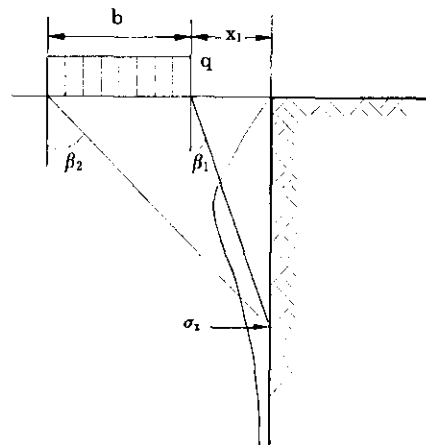
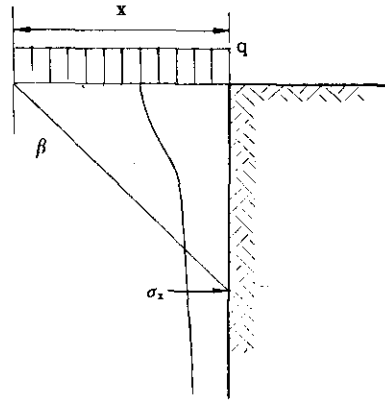


그림 4. 띠하중에 의한 토압(Weissenbach)

2) 띠하중

폭 x 인 띠하중에 의해 벽체에 작용하는 수평 토압의 계산식은 식 (5)와 같다.

표 1. Weissenbach의 영향계수 i_L, i_R

z/x	선하중 i_L	띠하중 i_R	z/x	선하중 i_L	띠하중 i_R	z/x	선하중 i_L	띠하중 i_R
0	0	0.500	0.5	0.204	0.225	1.2	0.128	0.065
0.05	0.032	0.468	0.6	0.207	0.188	1.4	0.103	0.045
0.10	0.062	0.437	0.7	0.201	0.156	1.6	0.080	0.035
1.15	0.091	0.406	0.8	0.189	0.130	1.8	0.063	0.025
0.2	0.118	0.376	0.9	0.175	0.109	2.0	0.051	0.020
0.3	0.161	0.320	1.0	0.159	0.091	2.5	0.028	0.012
0.4	0.189	0.269	1.1	0.143	0.076

2.2 소성이론에 의한 방법(극한평형방법)

Ohde(1975)와 Krey(1936)는 강성옹벽과 같은 벽체에 띠하중에 의해 작용하는 수평토압은 그림 5를 이용하여 계산할 수 있다고 하였다. 폭 b_s 인 띠하중에 의한 토압의 증가는 깊이 $d = a \cdot \tan\phi$ 에서 나타나며 깊이 $h_2 = a \cdot \tan\theta_s$ 부터 깊이 $h_3 = (a+b_s)\tan\theta_s$ 까지는 완전한 크기로 나타난다. 따라서 수평토압은 $\Delta e_{ah} = pK_{ah}$ 가 되어서 결국 전체 토압의 합력은 식 (7)과 같다.

$$E_{ep,h} = \Delta e_{ah} [h_3 - h_2 + 0.5(h_2 - d)]$$

$$= \Delta e_{ah} [b_s \tan\theta_s + 0.5a(\tan\theta_s - \tan\phi)] \quad (7)$$

이상에서 가정한 활동면의 각도 θ_s 는 간략한 가정이므로 그림 5에서 $a < b_s$ 인 경우와 $a + b_s$

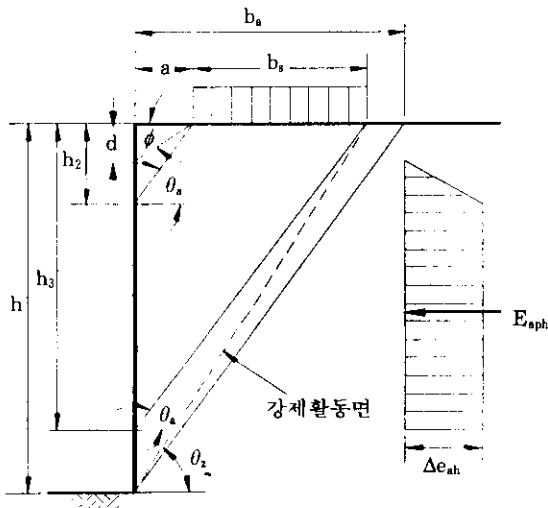


그림 5. 띠하중에 의한 토압

$(h/\tan\theta_s)$ 인 경우에 대해서는 강제활동면 θ_s 에서 토압의 합력이 더 커지는지 확인해야 한다. 대체로 강제 활동면은 기초의 후단에서 벽체 하단을 지나게 되어서 $\tan\theta_s = h_2/a$ 및 $\tan\theta_s = h/(a+b_s)$ 이며, 강제활동면에 대해서 자중 및 상재하중에 의한 토압의 합력을 구한다.

3. 실내모형실험

3.1 모형지반의 기본물성

본 연구에서 모형지반으로 사용된 탄소봉은 길이가 55mm 이고, 직경 4mm, 6mm, 8mm 인 세 종류를 적정한 배율비분으로 혼합한 후 퇴매움 체적에 따라 일정한 중량이 되도록 균질한 지반을 조성하였다. 조성된 모형지반은 최대 간극비가 0.45, 최소 간극비가 0.23이며 평균 단위중량은 약 $1.4g/cm^3$, 내부마찰각은 27° 이고, 점착력이 0인 느슨한 지반이다. 모형 지반에 사용된 탄소봉은 길이가 55mm 로 항상 일정하기 때문에 지반의 거동을 2차원 상태로 모형화할 수 있다.

표 2. 탄소봉의 기본 물성

단위중량	$1.38g/cm^3 \leq \gamma_t \leq 1.41g/cm^3$
최대 간극비	$e_{max} = 0.45$
최소 간극비	$e_{min} = 0.23$
비중	$2.0 \leq G_s \leq 2.1$
내부마찰각	$26^\circ \leq \phi \leq 29^\circ$

3.2 실험 장치 및 계측 장치

본 실험에 사용된 탄소봉 시험기는 프레임 크기가 140cm×140cm×10cm, 그 내부에 구조물의 외벽인 모형벽체(10cm×5.5cm×3cm, 7개), 원지반 굴착면인 강성벽체(120cm×7cm×4cm)와 하중재하 장치로 구성되어 있다(그림 6). 프레임은 'ㄷ'형강으로 제작하였으며 실험에 필요한 부속장치들을 연결하여 사용할 수 있도록 하였다. 모형벽체는 성형이 자유롭고 강성이 있는 아크릴판으로 하였으며 강성벽체는 'ㄷ'형강을 이용하였다. 또한 굴착면의 바닥에 작용하는 연직성분을 측정하기 위해 베이클라이트판에 로드셀을 설치하여 연직응력을 측정할수 있게 하였다.

굴착면 및 구조물의 벽마찰과 바닥면의 마찰

을 표현하기 위해서 굴착면과 구조물벽에 샌드페이퍼를 부착했으며, 샌드페이퍼의 종류에 따른 벽마찰각을 구하기 위해서 탄소봉에 대한 샌드페이퍼 마찰시험을 실시하였으며, 그 결과는 그림 7과 같이 일정한 선형 비례관계를 나타내었다. 본 연구에서는 벽마찰각이 지반의 내부마찰각과 동일한 경우에 대해서 실험하였다. 퇴메움시 발생하는 수평토압과 퇴메움이 완료된 후의 상재하중에 의한 수평토압증가는 용량 20kg인 load cell 7개를 모형벽체에 고정하여 측정하였으며 각각의 벽체가 서로 간섭되지 않도록 벽체사이에는 그리스를 바른 비닐을 부착하였다. 측정된 데이터는 컴퓨터에 내장된 Validyne Engineering 회사의 UPC-601-U에 의해 일정한 시간간격으로 자동으로 모니터에 출력되고 동시에 컴퓨터에 저장되도록 하였다.

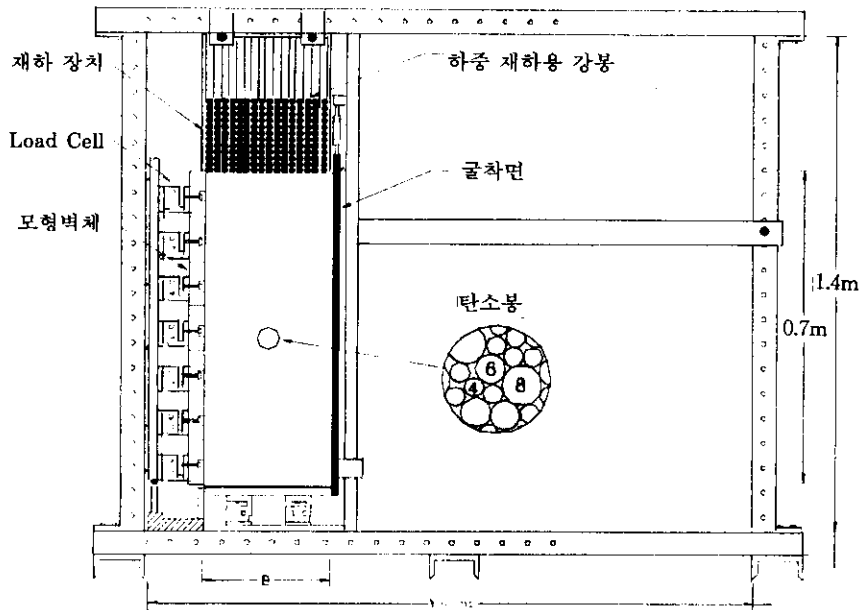


그림 6. 탄소봉 실험 장치

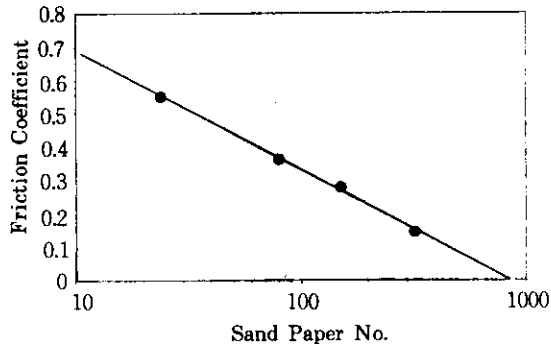


그림 7. 탄소봉-샌드페이퍼 마찰실험

3.3 실험 방법

되메움은 모형벽체 한 개의 높이인 10cm 씩 총 7 단계로 되메움하여 조성하고 매 단계마다 벽체에 걸리는 토압을 측정하였다. 되메움이 완료된 후 하중재하 장치를 설치하고 강봉 ($L=7\text{cm}$, $D=1.1\text{cm}$, $W=46\text{g/개}$)을 이용하여 6 단계로 하중을 재하하였으며, 각 단계별로 하중재하 후 토압을 측정하였다. 수행한 실험의 종류는 표 3과 같이 벽마찰조건이 지반의 내부마찰각이고, 수직단면 굴착면에 대해 굴착면의 폭(B)을 10, 15, 20, 25, 30cm로 변화시켜 실험하였으며, 되메움의 단위중량은 재하 실험이 완료된 후에 일정영역을 무작위로 선정하여 계산하였다.

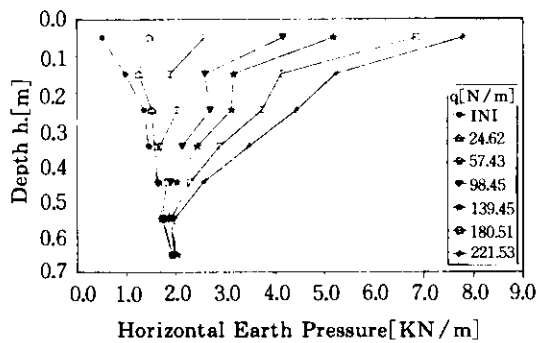
표 3. 수행한 실험의 종류

실험명	되메움 하부폭(B) [cm]
B10A9	10
B15A9	15
B20A9	20
B25A9	25
B30A9	30

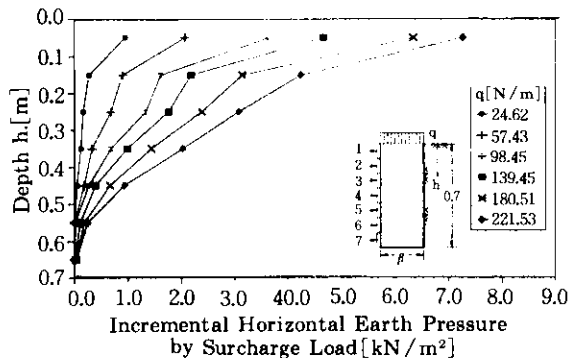
3.4 실험결과 및 분석

구조물을 건설한 후 좁은 공간에 되메움을 한 경우 되메움한 지반의 표면에 상재하중이 작용할 때 벽체에 증가하는 토압의 크기 및 형상을 고찰하기 위해서 탄소봉시험기를 이용하여 모형실험을 수행하였다. 모형벽체의 벽마찰각이 지반의 내부마찰각인(탄소봉-샌드페이퍼 마찰시험으로 부터 구한값) 경우에 대해 굴착면 폭을 10, 15, 20, 25, 30cm로 변화시켜 되메움을 한 후 6단계로 등 분포 띠하중을 재하하였다.

그림 8, 9, 10, 11, 12는 굴착면 폭을 10, 15, 20, 25, 30cm로 변화시켜 실험한 것으로, 되메움이 완료된 후 상재하중을 가했을 때 하중단계에 따른 깊이별 수평토압의 증가를 나타낸 것이다. 그림 8은 폭이 10cm인 경우로 수평토

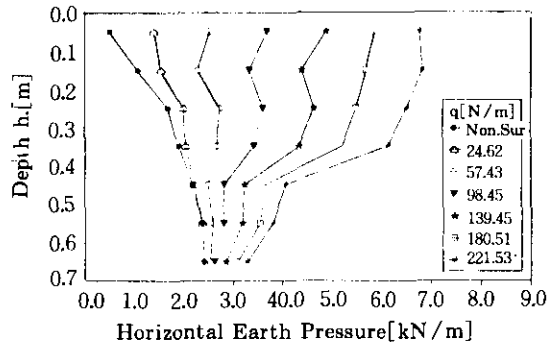


(a)

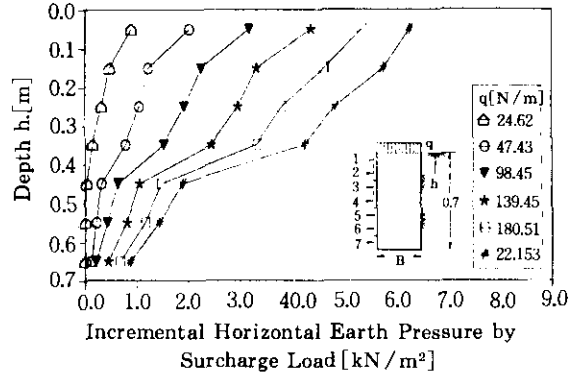


(b)

그림 8. 실험결과 굴착폭 (B)=10cm



(a)



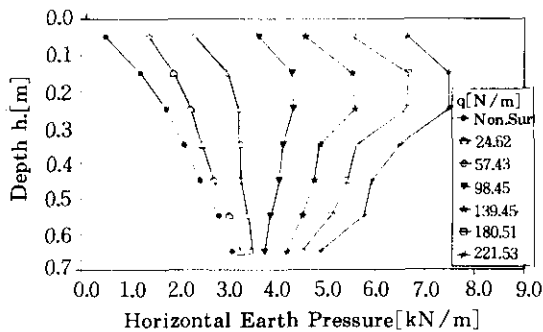
(b)

그림 9. 실험결과 굴착폭 (B)=15cm

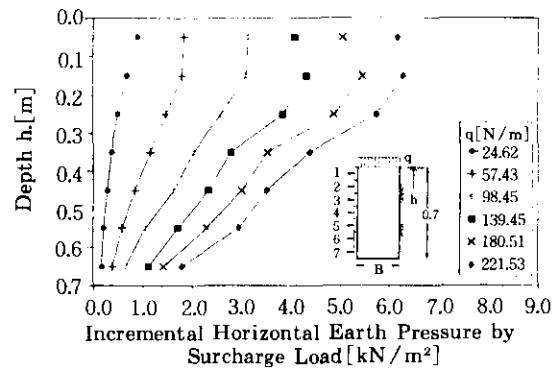
압의 증가는 대부분의 상재하중이 상부벽체에 작용하고 하부벽체로 갈수록 하중에 의한 영향이 감소하여 비선형적인 증가를 보였다. 그림 9는 폭이 15cm인 경우로 상부에서 중간부분까지는 상재하중의 영향이 뚜렷하게 나타나지만 하부로 갈수록 그림 8에서와 같이 상재하중의 영향이 감소하였다.

그림 10, 11은 폭이 20, 25cm인 경우로 낮은 하중단계에서는 전반적으로 수평토압이 깊이에 따라 일정한 증가를 보이고 있으나 하중이 증가함에 따라 상부에서는 급격한 증가를 보이며 하부로 갈수록 완만한 증가를 보였다. 그림

12는 폭 30cm인 경우로 하중의 증가에 따라 깊이별 수평토압의 크기는 일정한 크기의 증가를 보이지만 높은 하중단계에서 하부에서는 상재하중의 영향이 다소 감소함을 보였다. 이러한 현상의 원인은 상부하중에 의한 지중응력의 확산이 반무한체의 넓은 지반의 응력구근 형성과는 달리 좁은 되메움 지반에서 보다 강성이 큰 벽체에 의하여 상단 부분에서 응력 확산이 저지되고 한편, 벽마찰에 의한 아칭현상으로 되메움 하부의 하중 확산은 감소되어지는 것으로 사료된다.

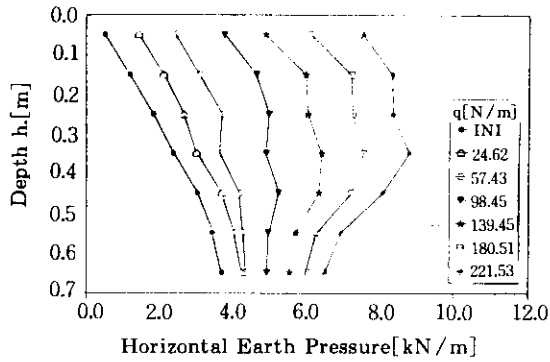


(a)

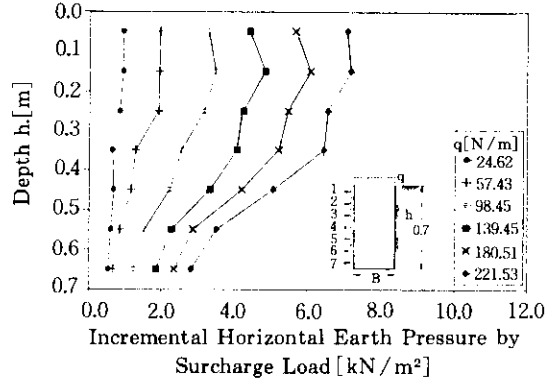


(b)

그림 10. 실험결과 굴착폭 (B)=20cm

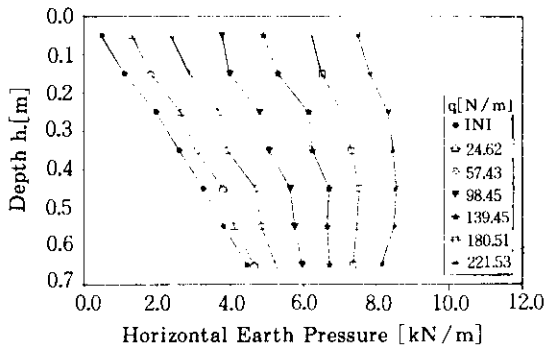


(a)

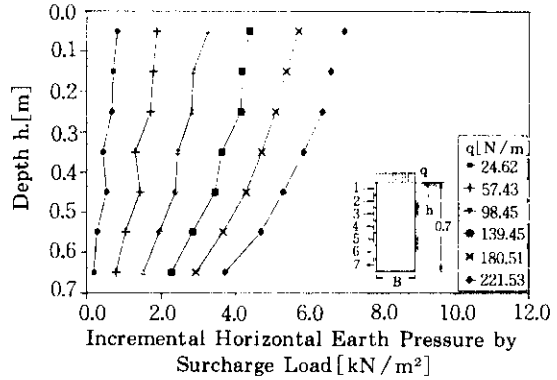


(b)

그림 11. 실험결과 굴착폭 (B)=25cm



(a)



(b)

그림 12. 실험결과 굴착폭 (B)=30cm

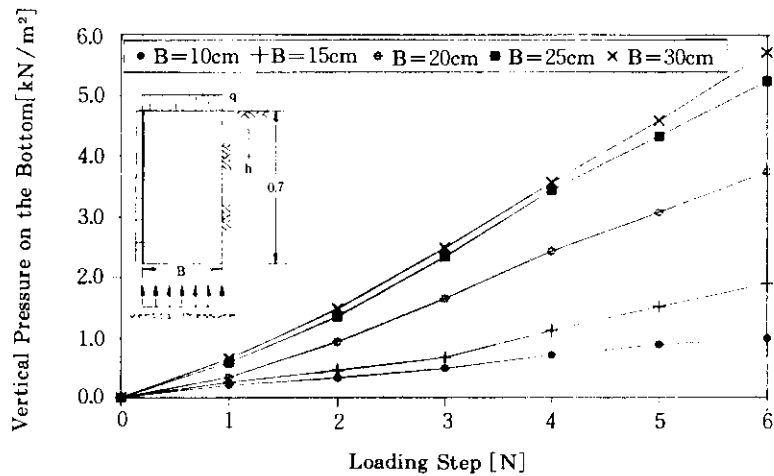


그림 13. 굴착면 폭(B)에 따른 굴착면 하부 연직압력변화 (B)=10, 15, 20, 25, 30cm

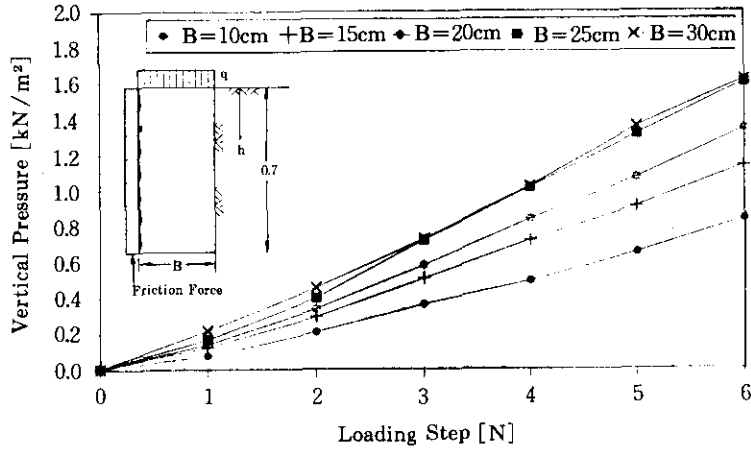


그림 14. 굴착면 폭(B)에 따른 벽체에 작용하는 토압의 연직성분 (B)=10, 15, 20, 25, 30cm

그림 13은 상재하중에 의한 굴착면하부의 연직응력변화로서 폭이 10, 15cm에서는 완만한 증가를 보이고, 20cm 이상에서는 상재하중의 영향이 바닥면 까지 전달되어서 급진적인 증가를 보이지만 폭이 25, 30cm에서는 비슷한 기울기의 증가를 보이고 있다.

그림 14는 모형벽체에 작용하는 토압의 연직성분으로서, 굴착폭의 증가에 따라 토압의 연직성분도 대체로 일정한 크기의 증가를 보이지만 그림 13과 같이 폭이 25, 30cm인 경우에는 유사한 크기의 연직토압 증가현상을 나타내고 있다.

4. 수치해석

4.1 수치해석 방법

모형실험결과와 비교 검토하기 위해서 유한차분법(Finite Difference Method, FDM)을 이용한 수치해석 프로그램인 FLAC(Fast Lagrangian Analysis of Continua, 1996)을 사용하였다. FLAC 프로그램은 지반해석용 범용프로그램으로 다양한 지반공학 문제를 유한차분법으로 모델링할 수 있는 수치해석 프로그램으로써 2차원적인 해석을 실시하였다. 해석방법

은 탄소봉실험과 같은 형상으로 지반을 모델링하고 되메움의 폭을 변화시키면서 모형실험과 동일한 되메움과정으로 설정한 후 상재하중을 단계별로 가하여 수치해석을 실시하였다. 하중단계는 실험조건과 동일하게 ①(24.62N/m) - ②(57.43N/m) - ③(98.45N/m) - ④(139.45N/m) - ⑤(180.51N/m) - ⑥(221.53N/m)으로 총 6 단계로 재하되는 것으로 적용하였다. 되메움 지반은 Mohr-Coulomb의 파괴기준과 탄소성 응력-변형률의 구성관계를 갖는 2차원 평면변형요소를 사용하였으며 되메움 지반의 기본 물성치는 모형실험에 사용된 지반의 물성치를 사용하였다. 또한 되메움 지

표 4. 수치 해석에 입력된 물성치

콘크리트 구조물		
탄성계수	E	1.8×10^{10} [Pa]
프아송비	ν	0.2
단위중량	γ	2.3 [t/m ³]
되메움 지반(탄소봉)		
탄성계수	E	2.6×10^7 [Pa]
프아송비	ν	0.33
단위중량	γ	1.4 [t/m ³]
내부마찰각	ϕ	27 [°]
점착력	c	0 [t/m ²]

반과 굴착면 및 구조물의 경계면은 경계요소를 두어 이들 상호간에 발생하는 마찰효과를 고려하였다.

본 해석에 사용된 구조물 및 모형지반의 물성치는 표 4와 같고, 구조물과 되메움 지반사이의 마찰에 의한 거동을 표현하기 위한 경계면 요소의 물성치는 표 5와 같다. 여기서 K_n , K_s 는 경계면의 연직 및 전단강성이다.

표 5. 경계면 물성치

K_n [Pa/m]	K_s [Pa/m]	δ_w [°]	c [Pa]
3.75×10^8	1.25×10^8	27	0

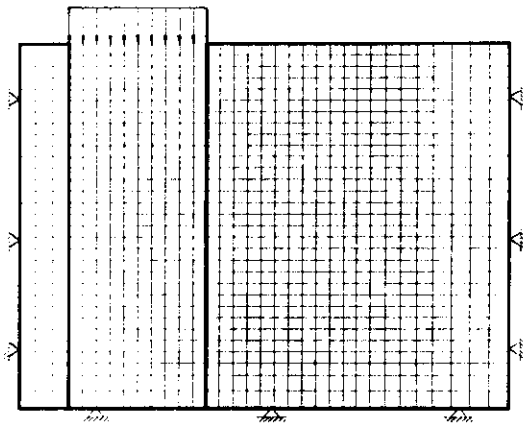


그림 15. 해석모델의 경계조건

4.2 실험결과와 수치해석 결과 비교

그림 16, 17은 폭이 10, 30cm인 경우에 대해 실험결과와 수치해석결과를 하중단계 1, 3, 6에 대해 비교한 것이다. 상재하중의 단계가 낮은 경우에는 실험결과와 수평토압의 크기 및 분포 형상이 비슷한 크기를 보이며, 하중단계가 높은 경우에는 다소 차이를 보이지만 전반적인 분포형상은 유사하게 나타났다.

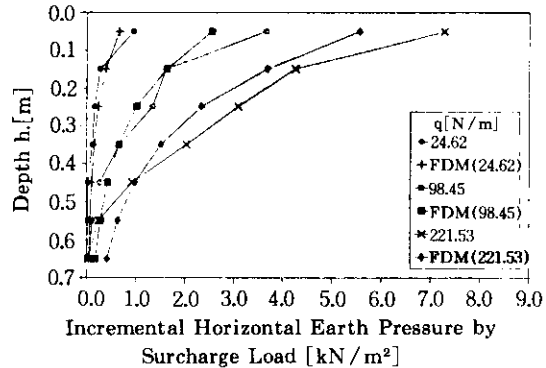


그림 16. 실험결과 및 수치해석 결과 굴착폭 (B)=10cm

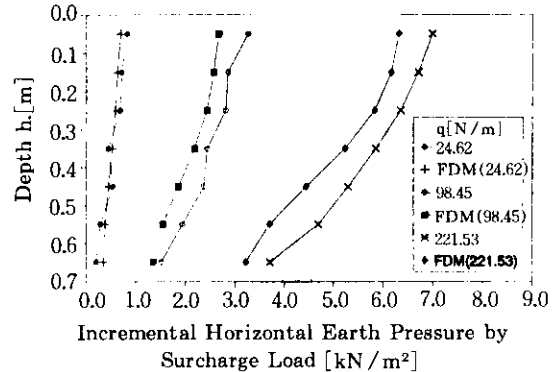


그림 17. 실험결과 및 수치해석 결과 굴착폭 (B)=30cm

5. 실험결과, Weissenbach식, US ARMY Code와 수치해석 결과 비교

그림 18, 19는 실험결과, Weissenbach식 및 US ARMY Code에 의한 결과와 수치해석 결과를 비교한 것으로, 굴착폭이 작은 경우에는 실험결과와 이론식 및 수치해석 결과가 모두 유사한 크기를 보이지만 하중단계가 증가할수록 이론식의 결과는 상부에서는 비슷하지만 하부로 갈수록 큰 차이를 보였다. 폭이 10cm인 경우에는 분포 형상이 비슷하게 나타났지만, 폭이 30cm일 경우 높은 하중단계에서는 Weissenbach와 US ARMY Code는 모두가 실험결과 및 수치해석결과와 큰 차이를 보였다.

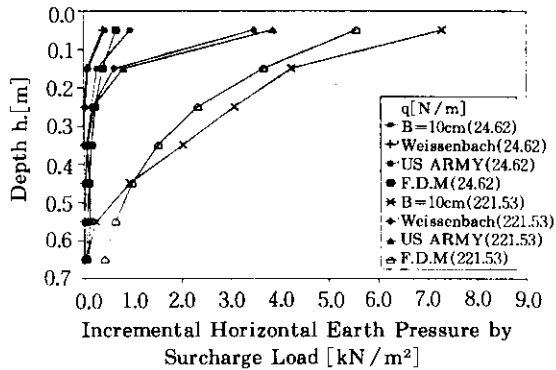


그림 18. 실험결과, Weissenbach식, US ARMY 및 수치해석 결과 굴착폭 (B)=10cm

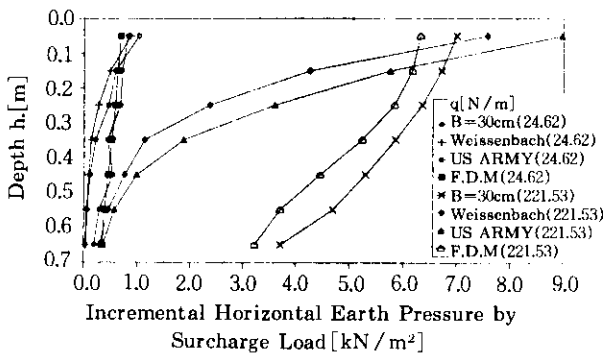


그림 19. 실험결과, Weissenbach식, US ARMY 및 수치해석 결과 굴착폭 (B)=30cm

실험결과 및 이론식의 결과 그리고 수치해석 결과를 비교하면 상재하중에 의해 구조물에 증가하는 수평토압의 크기 및 분포형상은 굴착면의 폭에 따라 크게 변화하는 것으로 나타났다. 실험결과와 수치해석결과는 거의 일치하는 경향을 보이지만 Weissenbach와 US ARMY Code는 상부에서는 유사한 크기를 보이지만 하부로 갈수록 큰 값의 차이를 보였다. 특히 하중단계가 증가할수록 더욱 현저한 차이를 보였다.

6. 결론

좁은 공간을 되메움하여 등분포 피하중으로

서 상재하중이 표면에 작용할 경우에 대해 탄소봉시험기를 이용하여 실내모형실험을 수행하였다. 되메움 벽체폭을 변화시켜 상재하중에 의해 증가되는 수평토압의 크기 및 형상, 벽체의 수직마찰력 및 굴착면 하부에 작용하는 연직토압을 측정하여 상재하중과 토압의 관계를 이론결과와 비교하였다. 또한 유한차분법(FDM)으로 수치해석을 실시하여 실험결과와 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상재하중의 재하단계에 따른 깊이별 수평토압의 크기 및 분포형상은 작은 상재하중에서는 깊이에 따라 일정한 크기를 보이나, 상재하중이 증가할수록 수평토압이 상부에서는 크고 하부에서 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 특히 이러한 분포형상은 되메움 벽체폭이 작을수록 크게 나타났다.
2. 상재하중에 의해 굴착면 하부에 작용하는 연직압력은 폭이 작은 경우 완만한 증가를 보이나 폭이 증가함에 따라 상재하중의 영향이 증가하여 급진적인 증가추세를 보였다. 그 이유로는 상대적으로 강성이 큰 인접된 벽체의 응력확산의 억지와 이에 따른 벽마찰의 증대 효과로 인한 아칭영향으로 작은 값이 산출되는 것으로 사료된다. 또한 모형벽체에 발생하는 벽면마찰력은 벽마찰각이 지반의 내부마찰각과 같은 경우로써 연직응력의 변화와 비슷한 경향을 보였다. 즉, 폭이 증가함에 따라 벽마찰력은 일정한 기울기로 증가하였다.
3. 모형실험에 대한 수치해석결과 상재하중에 따른 수평토압은 상재하중의 크기가 작은 경우에는 동일한 값을 나타냈으나, 상재하중이 증가할수록 다소 차이를 보이지만, 깊이에 따른 분포형상은 거의 일치함을 보였다.
4. Weissenbach 및 US ARMY Code에 의한 수평토압의 크기는 작은 상재하중에서는 실험결과 및 수치해석 결과와 유사하나 상재하중이 증가할수록 되메움깊이에 따라 점차적으로 큰 차이를 보였다. 이는 지반의 강성에 따라 차이가 있겠으나 상재하중이 큰 경

우에는 지반의 거동은 탄성적인 거동이 아닌 탄소성 거동을 하는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김홍택(1990), "암 근처에 설치되는 옹벽의 발생 토압에 관한 연구", 대한토질공학회지, 제6권, 제3호, pp. 7-17.
2. 유남재, 이명옥, 정길수(1996), "강성의 경계사면에 인접한 옹벽의 활동거동", 대한토목학회 학술 발표회집, 대한토목학회, pp. 199-202.
3. 이상덕, 문창열, 김은섭, 이종규(1997), "퇴메움 지반에 의한 수평토압에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제17권, 제III-3호, pp. 285-292.
4. FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) Version 3.3 ITASCA CONSULTING GROUP, INC., 1996.
5. Krey, H. Erddruck(1936), "Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes." 5th edn. Wilh. Ernst und Sohn, Berlin.
6. Mindlin. R. D(1936), Discussion: pressure distribution on retaining walls. In Proc. 1st int. Conf. Soil Mech. Found. Eng Vol.3, pp. 155~156
7. Marston, Anson(1930), "The Theory of External Loads on Conduits in Light of Latest Experiments" Bull 96, Iowa Engineering Experiment Station, Iowa State College Ames. Iowa
8. Ohde, J. (1952), "Zur Erddruck Lehre. " Baut-
echnick
9. Richard L. Handy(1985), "The Arching in Soil Arching," Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 111, No. GT3, March, Paper 19547, pp. 302-318.
10. Schmitt, P. J & Gilbert, C,M(1992), "Surcharge and elasto-plastic computations of earth retaining structures", Proceedings of the Conf. Retaining Structures Organized by the Inst. of Civil-Eng. and Held at Robinson College, Thomas Telford, London
11. Spangler. M. G & Handy, R. L(1982), Soil Engineering, 4th Edition, Happer & Row, Publishers, Inc, New York
12. Spangler. M. G & Mickle. J. L(1956), "Lateral pressure on retaining walls due to backfill surface loads," Bull Highway Res. Board 141, pp. 1-18
13. Sokolovskii, V. V(1965), "Statics of Granular Media", Oxford : Translated from Russian by Luscher, J. K. Pergamon Press, London
14. US Army Corps of Engineers(1994), "Retaining and Flood Walls", Technical Engineering and Design Guids as Adapted from the US Army Corps of Engineers, No. 4, ASCE
15. 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
16. Weissenbach, A. (1975), Baugrunben, Teil II Berlin-München Düsseldorf: Wilh. Ernst u. Sohn.

(접수일자 1997. 10. 30)