

반복하중에 의해 옹벽에 작용하는 잔류토압의 실험적 연구

Experimental Study of Residual Earth Pressure Acting on the Retaining Wall under Repeating Load

전 용 백*
Chon, Yong - Baek

Abstract

As the scale of public works get recently larger and diversified, the construction of retaining walls is required for the effective use of land. In the design of the retaining wall, the reliability and fitness of the retaining wall itself are regarded prudently although there is a tendency to ignore the importance of backfill. In this study, the experiments under various conditions such as repetition-continuity-load, roller-press load, and working space of backfill, are carried out using a model retaining wall similar to the real system. The experimental results are interpreted theoretically, Using a computer program, the experimental results are analyzed and compared with other theoretical ones.

요 지

최근과 같이 토목공사가 대형화되고 다양화됨에 따라 용지의 효율적 이용을 위해 옹벽 구조물의 축조는 필수적이다. 옹벽 설계시 옹벽자체에 대해서는 신뢰성과 적합성에 대해 신중을 기하면서 현실적으로 볼때 뒤채움에 대한 중요성을 가볍게 생각하는 경우가 많다.

본 논문에서는 옹벽체계를 원형에 가깝게 설계제작하여 고정벽에서 여러 형태의 반복 연속 하중, 롤러다짐하중, 뒤채움 작업공간, 기타 여러상태에서 실험을 하여 그 결과를 이론적으로 해석하고 Computer Program을 만들어 실험식을 만들고 타이론식과 결과를 비교분석하였다.

1. 서 론

현재까지 벽체에 작용하는 토압의 산정은 고전적 이론(Rankine, Coulomb)에 의존하고 있으나 벽체 배면에 반복하중이나 부분적인 과재

하중이 작용할 때는 고전적인 방법만으로 해결할 수 없다. 옹벽에 뒤채움을 할 경우 몰다짐이나 다짐기에 의하여 다지게 되면 뒤채움 흙은 조밀하게 되고 뒤채움이 계속됨에 따라 수평토압은 증가하게 된다. 이때 수평토압은 합성하중에 의한것이므로 측정하기가 어렵고 또한 벽

*1 정회원, 대구대학교 공과대학 토목공학과 교수

면이동의 측정은 매우 어렵다.⁽¹⁾ 대형차에 의한 옹벽의 변화에 대해서는 계속 연구되어왔으나, 옹벽 뒤채움을 책크하중이나 롤러 다짐하중으로 다짐했을 때의 영향을 실험적으로 연구한 문헌은 별로 없었고 그것에 대한 결과와 분석적 방법을 찾아보기는 더욱 어려운 실정이다.⁽²⁾⁽³⁾ 반복하중의 대부분은 차량과 같이 일시적이거나 기중기처럼 연속적인 성질의 것이며 반복하중의 증가는 토압을 증가시킨다.⁽⁴⁾ 또한 다짐은 흙의 전단강도를 증가시켜 침하의 영향을 줄이고 지지력을 증대 시키며 마찰각을 증대시킨다.⁽⁶⁾ 뒤채움다짐의 영향을 최초로 관찰한것은 Rowe⁽⁹⁾ (1975), Sowers⁽¹⁰⁾ 실내모형 실험결과에서 찾을수 있으며 그후 이러한 관찰은 실제구조물에까지 확대되었다. Broms⁽¹¹⁾ (1971), Jones 와 Sime⁽¹²⁾ (1975), Schuppener⁽¹³⁾(1975) 및 Brune⁽¹⁴⁾(1983)는 직접잔류토압의 존재를 관찰하였다. 반복하중에 의한 잔류토압을 관찰하기 위하여 Sherif와 Mackey⁽¹⁵⁾ (1977), Rehuman과 Broms⁽¹⁶⁾(1972) 및 Moore⁽⁴⁾ (1985)가 현장 및 실내실험으로 조사하였다. Duncan과 Seed⁽¹⁷⁾(1986)는 미국 토목학회지에 토압에 대해 완속된 이론을 발표하였으며 Duncan과 Williams, Sehn, Seed⁽¹⁸⁾(1991)은 다짐으로 인한 토압측정이론을 ASCE에 발표하기에 이르렀다.

이상과 같이 지표면에 반복하중이 작용할 때 벽체에 작용하는 토압에 대해서는 토압이론, 탄성이론, 또는 경험적인 방법의 측면에서 여러 학자들이 이미 발표한 바 있는데 본인은 본 논제와 관련되는 여러 문헌을 충분히 고찰정리하여 반복하중이 작용할때에 생기는 잔류토압이 크기와 분포를 규명하기 위해 실험장치를 고안하고 이에 대한 연구를 수행하였다.

2. 반복하중에 의한 토압이론의 고찰

2.1 Broms 이론

Broms⁽⁷⁾는 1871년 고정벽체에 뒷면을 사질

토로 뒤채움 다짐을 할 경우 잔류토압을 구하는 방법을 제시하였다.

여기서 잔류토압이란 상재하중으로 인하여 토압이 상재하중을 제거해도 원상태로 완전히 회복되지 못하고 남아있는 토압을 말한다. Broms는 고정벽체 뒤면의 사질토 내의 수평토압이 그림. 2-1과 같이 변화하는 것을 실내시험과 현장측정으로 부터 제시하였다.

벽체뒤면에 있는 흙의 요소를 고려할 때 이 흙의 요소는 다짐장비의 영향범위에 있다고 생각하여 수평응력 σ_h 는 (2-1) 식으로 표시하였다.

$$\sigma_h = K_0 \cdot \sigma_v \dots \dots \dots (2-1)$$

여기서 K_0 : 정지토압 계수

σ_v : 수직응력

뒤채움 다짐으로 처음 점 A에서 점 B를 지나 점 C까지 수직응력을 증가시킬 때 수평응력은 식 (2-1)에 의하여 증가된다. 점 C에서 다짐장비를 제거할 때 수직응력은 감소하여 점 D에 이르는데 이때 수평응력은 거의 변화하지 않음을 실험에서 밝혔다. 또 수직응력의 감소가 비교적 작은 점 D에서 점 E로 변화할 때 수평응력은 식 (2-2)와 같이 되었다.

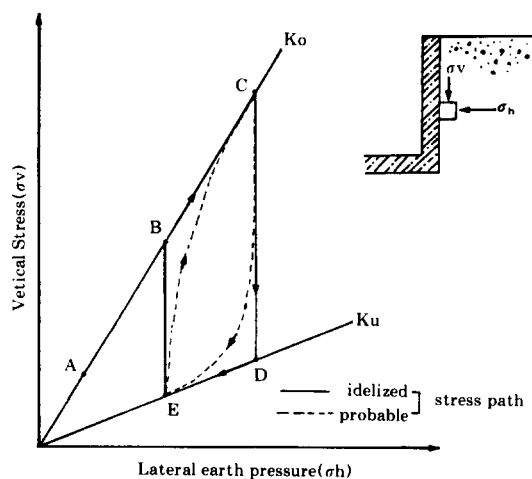


그림 2-1 다짐장비의 이동에 따른 고정벽에 작용하는 응력변화

$$\sigma_h = K_u \sigma_v \dots\dots\dots (2-2)$$

여기서 : K_u : 잔류토압계수,
 σ_v : 수직응력

이때 잔류토압계수 K_u 는 하중제거시의 정지 토압계수에 해당되며 식(2-1)의 K_0 보다 기울기가 크다. 다짐장비의 재투입으로 수직응력이 점 E에서 점 B로 증가할 때 수평응력은 거의 변화가 없고, 추가재하시 식(2-1)에 따라 점 B에서 점 C로 이동한다. 재하-제하 과정의 실제적인 응력관계는 그림 2-1의 점선으로 나타났으나 직선 BC, CD, DE, EB로 근사화하였다. 그러나 Broms의 이론은 다음과 같은 결점이 있다.

첫째, 잔류토압계수의 선택에 있어서 이는 다짐층의 높이 및 과압밀비에 따라 지배되는데 이를 단순히 K_0 의 역수로 가정하였다.

둘째, 상재하중의 크기를 자중의 두배 무게가 되는 진동다짐 기구에 국한 하였다.

2.2 Ingold 이론

Broms⁽⁷⁾(1971)가 고정된 벽(unyielding wall)에 대해 해석한 것에 반하여 Ingold는 변형벽(yielding wall)에 대하여 Broms와 유사한 방법으로 해석하였다. ⁽¹⁷⁾⁽³⁾⁽¹⁹⁾ 하중재하시에 주동토압상태의 수평토압은 주동토압계수 K_0 함수로 하였고, 하중제거시에는 수동토압계수 K_p 선에 따라 응력경로가 결정된다고 가정하였다.

Ingold는 k_p 를 K_a 의 역수로 가정하였다. 다짐장비가 주는 하중상태가 장비 바로 밑에 있는 흙을 소성상태로 되게 한다는 가정에서 이루어졌다.

이렇게 하여 얻어진 결과는 Broms의 토압 분포와 유사한 모양으로 그림 2-2와 같다.

고정벽체에 대해 Ignoid⁽¹⁹⁾(1980)는 주동토압계수(K_a)는 정지토압계수(K_0)로 쓰도록 권하고 있다.

그림 2-2에 있는 Z_c , σ_{hm} , h_c , 값들은 다음

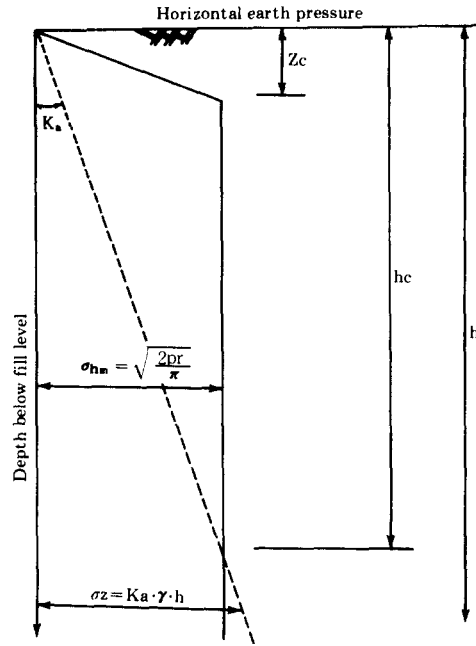


그림 2-2 다짐에 의한 Yielding wall의 토압분포

식 (2-4), 식 (2-5), 식 (2-6)으로 부터 구하였다.

$$Z_c = K_a (2p/2\pi \gamma) \dots\dots\dots (2-4)$$

$$\sigma_{hm} = \sqrt{(2p\gamma/\pi)} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$h_c = \frac{1}{K_a} \sqrt{(2p/\pi \gamma)} \dots\dots\dots (2-6)$$

여기서 Z_c = 임계 깊이

σ_{hm} = 다짐후 나타난 최대 수평토압

p = 상재하중

h_c = 주동토압 위의 한계깊이

γ = 흙의 단위중량

그리고 Broms와 마찬가지로 성층두께와 다짐장비에 의한 과압밀비를 고려하지 않았다.

그리고 고정벽체에 적용할 경우에 단지 주동토압계수 대신에 정지토압계수를 사용하여 계산하였다는 것 등을 지적할 수 있다.

2.3 Spotka 이론

Spotka는 응력의 경로 즉 다짐 장비의 이동을 고려한 최초의 이론을 발표했다.⁽²⁰⁾ 그리고

다짐회수에 대한 고려도 근사적으로 행하였다.

응력의 이력을 고려한 정지토압계수와 과압밀비($K_0 - OCR$)의 관계를 Spotka는 많은 문헌들에서 한개의 하중을 재하 - 제하로 반복시킬 때 다음과 같이 정하였다.

$$K_u = K_0(OCR)^\alpha \dots\dots\dots(2-7)$$

여기서, K_u : 잔류토압계수,

α : 상수(0.38 ~ 0.51)

$$OCR = \frac{\sigma'_v}{\gamma Z} + 1,$$

$\Delta \sigma'_v$: 상재하중에 의한 증가유효 수직
응력

$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

Spotka(1977, 1979) 이론의 결함으로써 다짐장비의 다짐회수를 충분히 고려하지 못한 점을 들 수 있다. 또 정지토압계수와 과압밀비의 관계를 구하는데 단지 1회 반복하중을 사용하였다. 다음으로 식(2-7)에서 α 를 상수로 택한 것이다. 그러나 최근 Mayne 과 Kulhawy (1982)와 Duncan 과 Seed⁽¹⁷⁾(1986)에 따르면, α 값을 내부마찰각 ϕ 의 함수로 표시하여 $\alpha \approx \sin \phi$ 로 단순화시켰다.

2.4 Duncan 과 Seed 이론

Duncan 과 Seed는 현장 계측자료를 바탕으로 다짐장비로 인하여 발생하는 응력 - 변형률 관계를 고려하였다. 즉, 흙의 다짐은 하중의 재하(Loadng), 하중제거(Unloading)의 과정에서 큰 잔류응력을 남긴다. 이 잔류토압은 이론적인 정지토압보다 크고, 때로는 소성토압의 크기에 가까울 것이다. (7)(10)

다짐에 의해 토압을 증가시키는 깊이는 다짐장비의 크기와 수직으로 작용하는 힘의 크기에 따라 좌우된다. 소규모의 진동롤러는 2~3m까지, 그리고 매우 중형의 다짐장비에 대하여는 15m 이상까지 다짐장비의 영향을 받는다.⁽¹⁶⁾ 특히 상재하중의 영향깊이에서 최대수평토압

의 40~90%가 잔류응력으로 남는다. (15)(16)

다짐은 벽체의 변형을 가속화 시키며, 일반적으로 지표면까지의 잔류응력이 정지토압보다 크고, 깊이와 함께 감소한다. (11)(16) 벽체의 변형은 토압분포에 미치는 영향이 매우 크다. (21)

이미 다짐된 흙에 부과되는 다짐 하중은 다짐을 받지 않는 흙보다 다짐을 하는 동안 최대 토압은 적게 나타난다. 이 최대응력증가분은 무시할 수 있을 정도의 작은 양이 다짐의 완료 후에 잔류응력으로 남는다. (15)(16)

이상의 계측결과를 바탕으로 하여 Duncan 과 Seed(1986)는 정지상태에서 재하 - 하중제거에 의한, 반복하중에 의한 수직 - 수평응력을 모델화 하였다.

2.5 Boussinesq 와 Mindlin 이론

Boussinesq는 흙이 균질하고 등방성이며 탄성이라 가정하여 지표면에 점하중이 작용할 때 지반내 한 요소의 응력을 구하는 식을 유도하였다.⁽²²⁾

$$\sigma_v = \frac{3pZ^3}{2R^5} \dots\dots\dots(2-8)$$

$$\sigma_h = \frac{p}{2R^2} \left[\frac{3\nu^2 Z}{R^3} - \frac{(1-2\nu)R}{R+Z} \right] \quad (2-9)$$

여기서

P : 상재하중

R : $\sqrt{Z^2 + r^2}$

ν : poisson 비 (0.5)

Z : 깊이 r : 반경

Mindlin은 Spangler의 실험식자료와 Carothers의 영상법에 의해 얻어진 결과를 비교하여 다음 식을 얻었다. (23)

$$\sigma_h = \frac{3P}{\pi} \frac{a^2 z}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2-10)$$

여기서

P : 집중하중

a : z = 0 을 기준으로 X 축의 거리 (+, - 방향)

여기서 주목할 만한 사실은 최대응력이 옹벽과 집중하중이 작용하는 거리의 1/2되는 깊이에서 생긴다.

3. 실험

3.1 뒤펀흙 재료의 특성

실험에 사용된 시료는 낙동강 상류지역 고령 모래로써 체분석 실험은 로타체 진동기를 사용하였고 입도분포는 그림 3-1과 같으며 기타 사용시료의 상세한 물리적 성질은 표 3-1과 같다.

표3-1. Soil properties for the test material

Properties	Unit	Value
validity diameter : D ₁₀	mm	0.25
validity diameter : D ₃₀	mm	0.45
validity diameter : D ₅₀	mm	0.78
validity diameter : D ₆₀	mm	1
uniformity coefficient ' C _u	-	3.7
void ratio : e _{max}	-	0.891
void ratio : e _{min}	-	0.685
water content : ω ₁₀₀	%	5~6
specific gravity : G _s	-	2.66

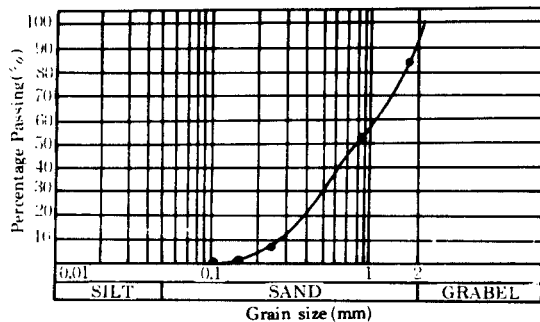


그림 3-1 입도분포곡선

그리고 흙의 밀도에 따른 내부마찰각과의 관계는 그림 3-2와 같고 이때 용량 200kg의 직접전단시험기를 사용하였다.

3.2 실험장치

본연구에 사용된 실험장치는 크게 나누어 실험대와 토조(soil box) 재하장치와 부속기계, 옹벽과 지지장치, 우수장치(rainfall device)와 강사기(sand deposit rainer) 및 토압변위 기록측정장치등 5가지로 구성되어 있고 본연구자가 토압연구를 목적으로 그림 3-3과 같이 설계하여 기계제작공장에서 제작하였다.

다짐시험을 위하여 제작된 롤러는 직경 20cm 길이 30cm의 토관에 배합비 1:2:4의 무근콘크리트를 주입하고 그 중앙에 직경 2cm PVC를 넣어 지지대를 고착시킬 수 있도록 하여 시방 규정에 맞게 양생시켜 100kg/cm² 강도를 낼 수 있도록 하였다. 롤러는 시료의 과압 밀비(OCR)를 5, 성층두께 15cm, 단위중량 1.7t/m³로 가정하여 770g/cm의 선하중을 구한 후 롤러의 중량과 크기를 결정하였다. 그 결과 롤러 무게는 23.1kg이고 지지대 높이는 길이 60cm 폭 38cm로 하였다.

측정기록장치는 독일 HBM사 (3.B.MKWS 637.08) 제품으로 6 channel로 정직이 상판의 토압을 정확하게 측정할 수 있고, Tokyo Sokki Kenkyujo 사(portable Data Logger

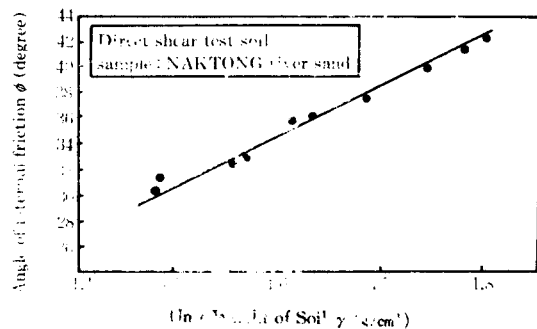


그림 3-2 흙의 단위중량과 내부마찰각의 관계

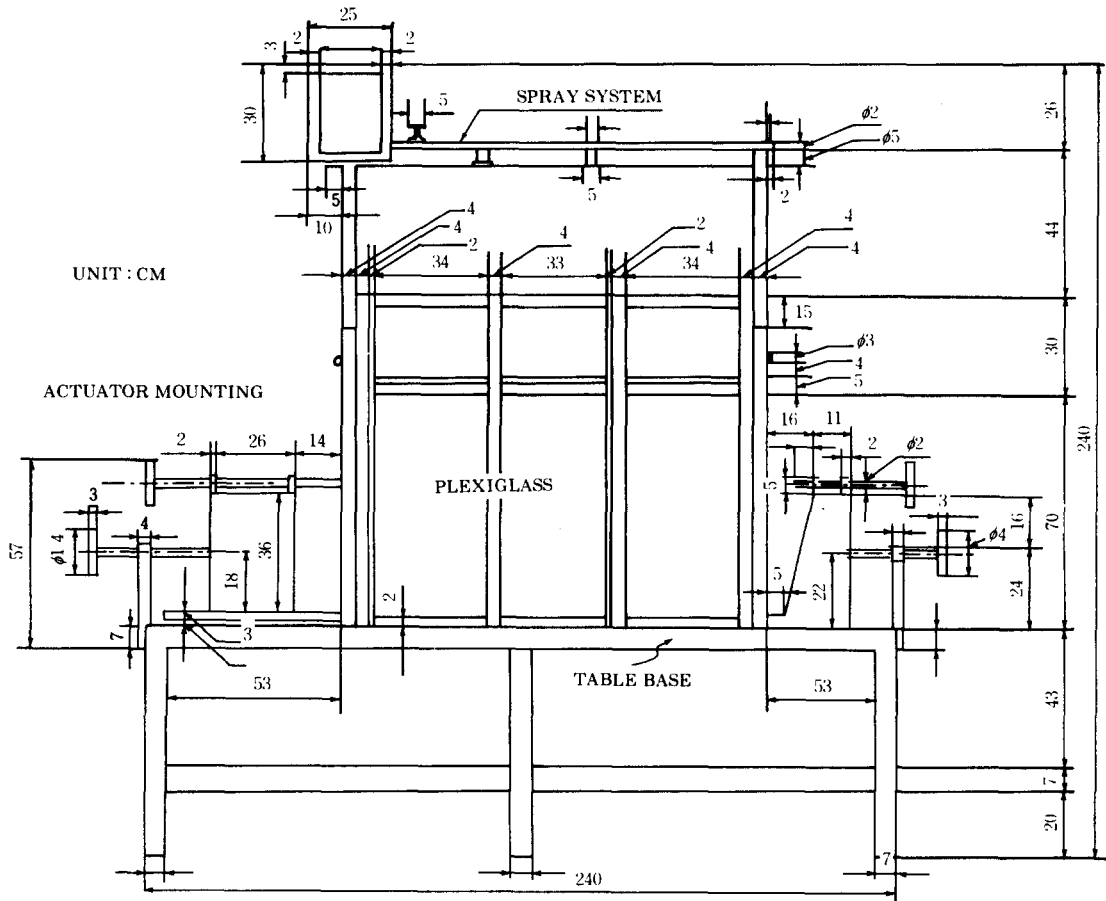


그림 3 - 3 실험장치의 정면도

TDS-302, Digital Strain Meter TC-21K) 제품과 Trigem 286+s computer를 사용하여 동적인 상태의 토압을 측정하였고 토압계는 KYOWA사 용량 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 사용하였다. 그림 3-4와 같이 A, B, C, D, E 점에 직경 3cm 길이 0.4cm의 구멍을 뚫어 토압계를 접촉하고 토압계 반대측에 두께 50cm의 판을 구부려 볼트 조임하여 전체두께가 10cm가 되도록 하였고 벽 변위를 측정하기 위하여 Dial gauge (No1~No3)를 설치하였다.

강사기는 그림 3-5와 같은 장치를 고안하였다.

레이너는 2중체로 만들었으며 체눈금 6mm-

$\times 6\text{mm}$ 의 철망을 사용하였고, $600\text{mm} \times 600\text{mm} \times 150\text{mm}$ 크기로 제작하였다. 레이너 밑에 나무막대로 높이 조절봉을 만들고 그 조절봉에 눈금있는 천 테-프를 부착하여 원하는 높이를 조절할 수 있게 하였다.

레이너의 상하 이동은 천정에 도르레를 설치하고 이를 통하여 밧줄을 윈치에 걸어 작동하였으며 낙하 높이 조절로 시료의 상대밀도를 조정할 수 있게 하였다.

3.3. 실험 절차 및 방법

가) 기본실험에는 물리적실험으로 균등계수

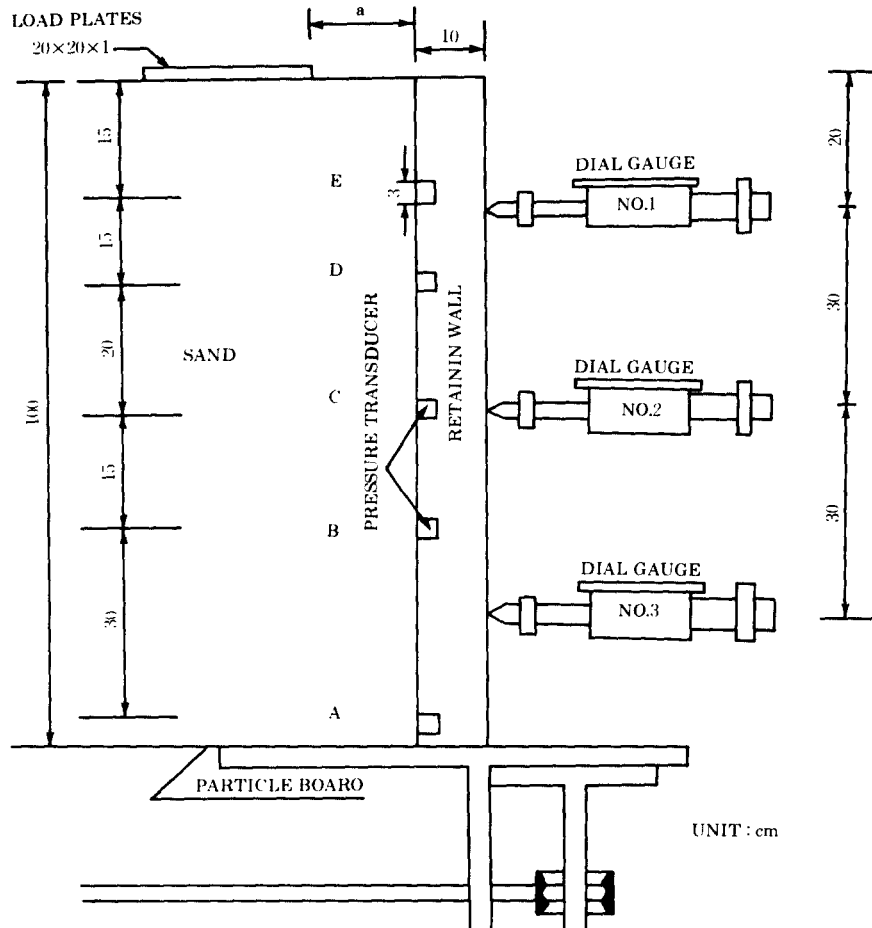


그림 3 - 4 벽 변위 측정장치

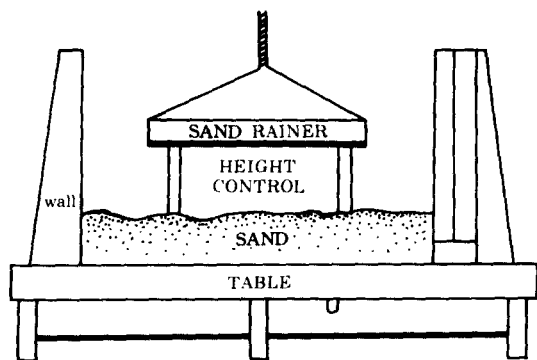


그림 3 - 5 강사기 개략도

(Cu), 흙의 비중(Gs), 흙의 밀도(느슨한 상태, 조밀한 상태), 흙의 내부마찰각(ϕ°), 최대간극비(e_{max}), 최소간극비(e_{min}), 함수비(w_n) 등을 측정하였으며 시료자중에 의한 토압측정에서는 건조밀도(γ_s), 간극비(e), 상대밀도(D_r) 및 내부마찰각(ϕ°)을 측정하였다.

나) 롤러 다짐 실험

롤러 다짐은 롤러 지지대를 이용하여 벽체에 평행되게 진행했으며, 벽의 충격에 유의 하였고, 진행코스가 중복이 생기지 않도록 최선을 다하였다.

실험은 OCR 별, 다짐회수별로, 즉 OCR5, OCR10, OCR20, OCR30, OCR35, 다짐회수 6

회통과, 10 회통과, 25 회통과로 실행하였다.

다) 뒤채움작업공간

서로 다른 뒤채움폭하에서 토압측정실험을 하였다. 뒤채움폭이란 옹벽뒷면에서 이동식 벽 (120cm×80cm×1cm) 사이의 수치로서 첫째 연직선에서 폭을 50cm, 75cm, 85cm, 120cm 변경시켜 실험하고 둘째, 췌기모양으로 즉 지표면에서 40cm, 50cm, 60cm, 하단은 옹벽뒷면에서 10cm로 일정하게 하여 실험하였다. 첫째 실험에서 사용된 시료는 상대밀도 62%, 건조밀도 1.66g/cm³, 간극비 0.60, 내부마찰각 37°로 하였다. 그리고 뒤채움폭이 결정될때마다 이동벽을 설치하고, OCR20, 성층 두께 6.7cm, 다짐회수 10회 통과 다짐선하중이 770g/cm 되게 하였다. 그때의 건조밀도는 1.74g/cm³, 상대밀도는 85.9%이었다. 이와같은 방법으로 요구되는 높이까지 채워지면 10분정도 시간이 경과한 후 토압을 측정하였다. 그리고 나서 다시 해체하고 뒤채움폭에 따라 작업을 계속하였다.

둘째 시험에 사용된 시료는 하단에서부터 포설두께 40cm, 20cm, 20cm, 20cm로 포설하고 각층마다 50kg의 하중으로 1분간 다짐하였다. 그때의 건조밀도는 1.74g/cm³ 상대밀도는 86%이었다. 이와 같은 방법으로 실험준비를 완료하고 각 측정점(A, B, C, D, E)의 수평토압이 일정하게 될 때 즉 토압 변화가 없을때까지 관찰한 후에, 옹벽뒷면 10cm 거리에 구형판 (20cm×20cm×1cm) 놓고 그위에 150kg까지

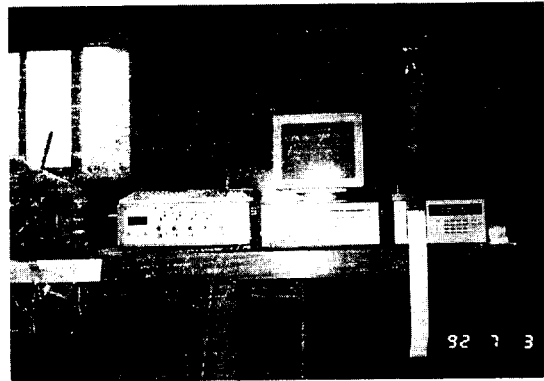


사진 3 - 1 토압변화측정장치.

측정 가능한 작크로서 0, 50kg, 100kg, 150kg의 연직 하중을 단계적으로 가하고 100kg, 50kg, 0로 단계적으로 하중을 제거하였다. 이 과정을 10회 반복하였으며 이때 반복하중으로인한 토압 변화를 사진 3-1와 같은 측정장치로 측정할 수 있었다. 그리고 나서 다시 해체하고 뒤채움폭에 따라 작업을 계속하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 롤러 다짐에 의한 분석

표4-1은 OCR별, 성층 두께별 및 롤러 통과회수별의 토압계설치점(A~E점)에서의 수평토압의 측정치이다.

표 4-1. OCR, 성층두께, 통과회수에 따른 토압변화(g/cm²)

OCR	layer thickness (cm)	depth below surface (cm)	passing number		
			6	10	25
5	15	A (95)	62.0	60.0	59.0
		B (65)	53.1	51.1	50.2
		C (50)	54.1	52.1	51.4
		D (30)	53.9	51.1	50.5
		E (15)	48.6	45.6	44.5

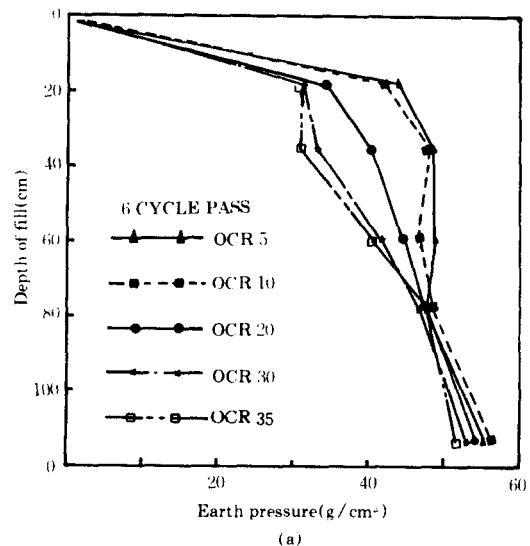
10	10	A (95)	63.0	61.4	60.5
		B (65)	54.0	53.3	52.1
		C (50)	52.0	51.1	50.4
		D (30)	53.9	53.0	52.1
		E (15)	46.7	45.8	44.6
20	6.7	A (95)	60.6	59.0	58.0
		B (65)	53.1	53.0	52.3
		C (50)	49.6	47.4	46.1
		D (30)	45.0	44.4	36.7
		E (15)	38.0	37.0	35.0
30	5.5	A (95)	59.6	58.0	56.6
		B (65)	52.0	42.1	40.5
		C (50)	46.0	45.4	43.4
		D (30)	37.0	36.1	35.0
		E (15)	35.0	34.0	33.0
35	5	A (95)	58.0	56.0	54.6
		B (65)	53.1	52.1	51.3
		C (50)	45.1	44.1	40.4
		D (30)	34.5	34.0	33.7
		E (15)	35.0	33.0	32.0

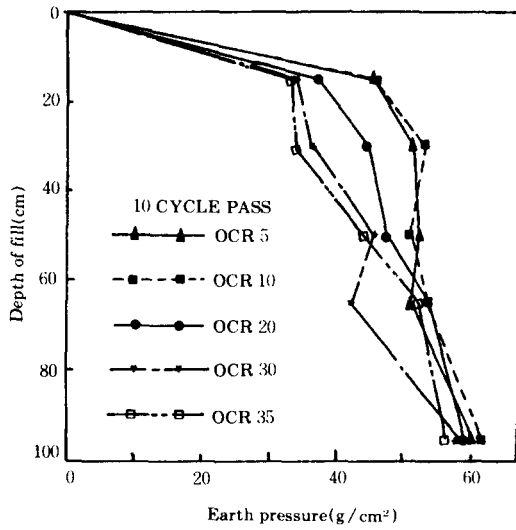
4.1.1 과압밀비(OCR)에 따른 토압

옹벽에 작용하는 토압문제는 Coulomb(1773)의 흙쇄기 이론, Rankine(1851)의 소성론에 의한 토압산출, 그후 Boussinesq(1885)의 탄성론에 의한 토압산정, Broms(1971), Ingold(1979)에 의한 잔류토압 규명으로 발전되었다. 이상의 이론들은 과압밀비에 대한 취급을 하지 않았는데 본 연구에서는 과압밀비별 다짐효과를 고려하였다. 그림 4-1은 표 4-1을 도식화 한것으로 OCR 치가 증가할수록 토압이 감소됨을 알 수 있다.

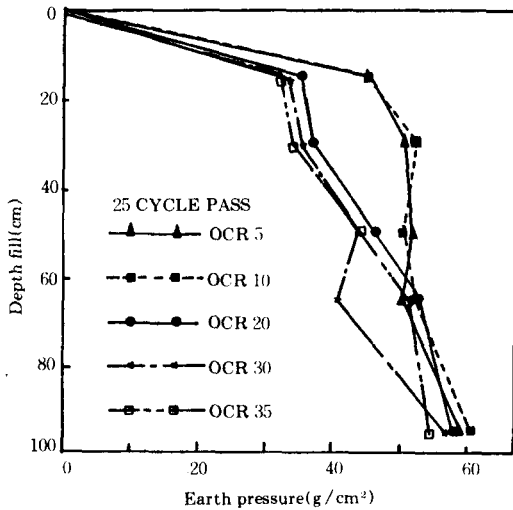
잘 다져진 모래의 토압분포는 사다리꼴 분포를 나타내며 삼각형 분포와는 다르다는 사실과 OCR은 다짐층의 높이와 다짐장비의 무게 함수라는 것을 알 수 있다. 물러의 통과회수에 관계없이 토압분포는 유사한 형태를 이루었으며 깊이가 60cm 이상인 경우에는 통과회수 10회,

25회에서 OCR35 일때, 수평토압은 OCR5, OCR10, OCR20, OCR30 보다 적게 나타났다.





(b)



(c)

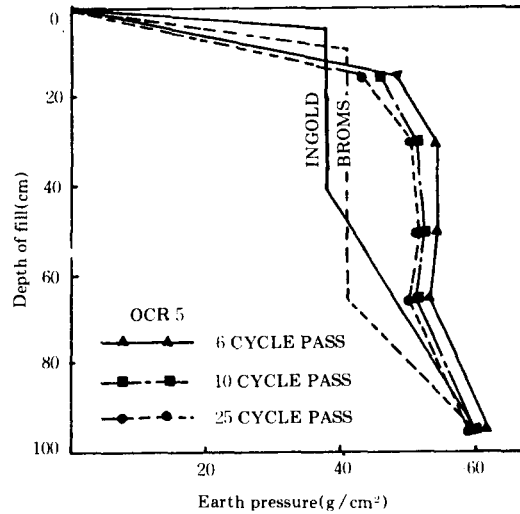
그림 4 - 1 통과회수별 토압변화

4.1.2 통과회수에 따른 토압

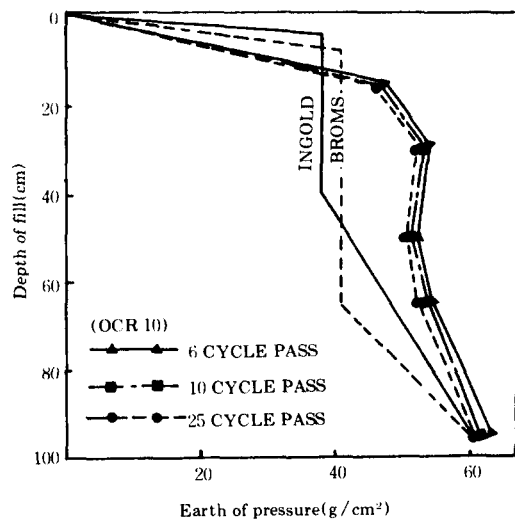
결정된 OCR 값에 대한 물러의 통과회수 6 회, 10 회, 25 회 별로 실험한 결과치를 Ingold, Broms 이론에 의한 계산치를 비교하여 나타낸 것이 그림 4-2이다.

OCR 값에 관계없이 수평토압은 통과회수가

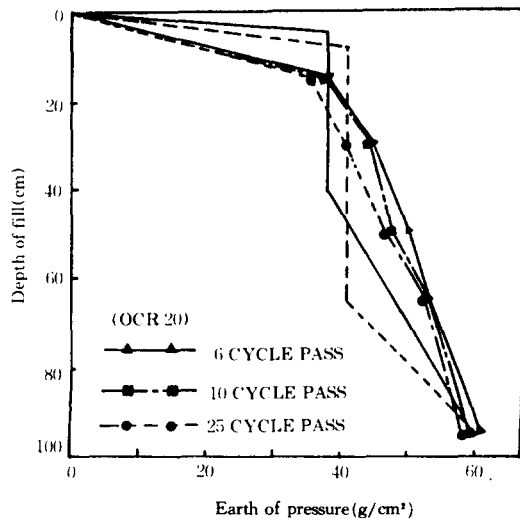
증가할 수록 모두 감소현상을 보였으며, OCR-30에서는 Broms의 값이, OCR35에서는 Ingold의 값이 본 실험치에 접근하였다. OCR5, OCR10, OCR20에서는 Broms, Ingold의 값보다 본 논문의 실험에 의한 측정치가 일반적으로 수평토압이 증가현상을 보였다. 이것은 Broms와 Ingold의 식은 OCR을 고려하여 성층두께를 정하지 않은 때문으로 생각된다.



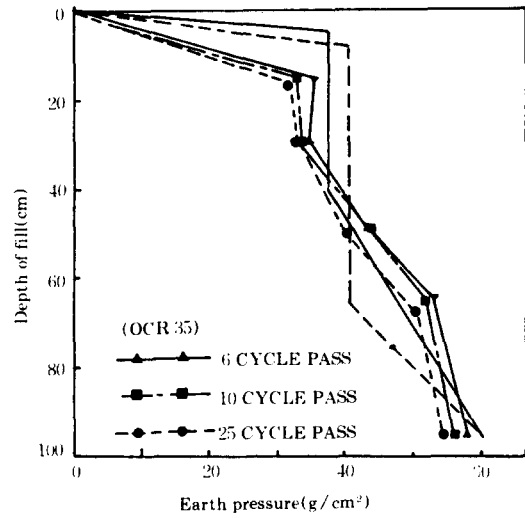
(a)



(b)

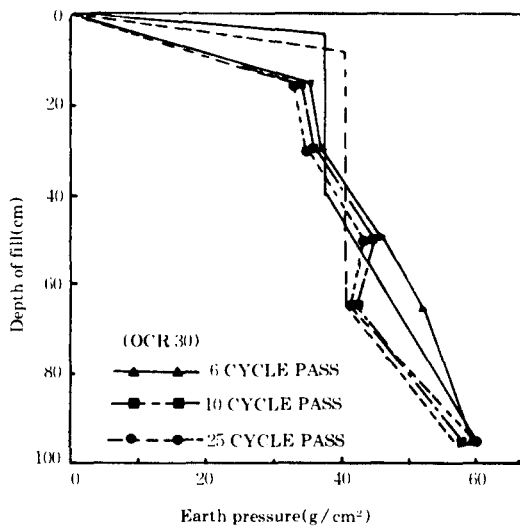


(c)



(e)

그림 4 - 2 과압밀비에 따른 토압변화



(d)

4.1.3 뒤채움폭과 토압

그림 4-3은 뒤채움폭이 토압에 미치는 영향을 나타낸 것으로 표 4-2를 도식화한 것이다.

옹벽의 뒤채움은 일반적으로 자갈을 사용하고 배수망을 구축하나 본 실험에서는 배면토사와 동일한 모래를 사용하여 다짐 효과만을 고려하였다. 그결과 벽체와 이동벽 사이의 거리

에 따른 수평토압 변화는 큰 변화를 보이지 않았다.

깊이가 0.5cm이하인 경우는 0.5cm, 0.75cm, 0.85cm, 1.20cm의 거리에서 수평토압은 점차적으로 조금씩 증가되다가 깊이가 0.5cm이상인 경우는 불규칙한 현상을 나타내었다. 뒤채움폭의 크기는 수평토압 변화에 크게 좌우되지 않으며, 토압분포는 삼각형 분포를 이루지 않았다.

표 4-3은 이동벽의 하단은 고정시키고 상단부분을 이동시키면서 반복연속하중을 10회 통과시킨후의 각 측정점의 토압측정치이다.

췌기모양으로 뒤채움한 옹벽에 반복연속하중을 가했을때 각점의 잔류토압은 C, D, E점에서는 증가하나 A, B점에서는 감소하였다. 수평거리 0.4, 0.5m에서 불규칙한 잔류토압이 각점에서 발생하였고 0.6m에서 규칙적이었으며, 뒤채움폭의 크기가 잔류토압 변화에 영향을 끼친다는 사실을 알 수 있다.

4.2 롤러 다짐에 의한 실험식 결정

4.2.1 기존이론 값과 실험값과의 관계

표 4-2. 뒤채움폭의 크기에 따른 토압의 변화 (g/cm^2)

depth from surface(cm)	distance(m)	0.5	0.75	0.85	1.20
A (95)		53.7	55.8	56.7	56.7
B (65)		55.3	58.5	57.5	53.1
C (50)		45.1	47.4	47.4	48.1
D (30)		34.5	36.7	36.7	37.5
E (15)		38.0	37.5	39.0	39.5

표 4-3 벽체의 하단이 고정된 상태에서 뒤채움폭의 크기에 따른 토압변화 (g/cm^2)

depth from surface(cm)	distance(m)	0.4			0.5			0.6		
		초기 토압	10회 통과	잔류 토압	초기 토압	10회 통과	잔류 토압	초기 토압	10회 통과	잔류 토압
A(95)		20	20	0	20	30	10	20	20	0
B(65)		10	0	0	20	10	0	20	10	0
C(50)		140	200	60	180	200	20	70	110	40
D(30)		40	190	150	40	150	110	40	100	60
E(15)		60	110	50	60	160	100	30	100	70

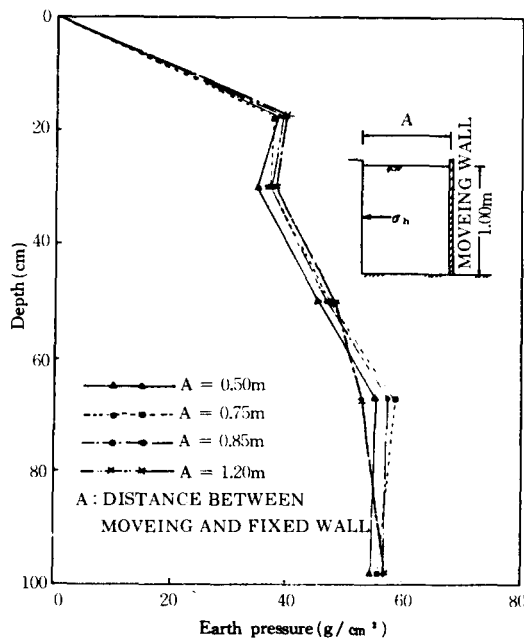


그림 4-3 뒤채움폭의 크기에 따른 토압의 분포

본 논문에서 사용한 토성치와 하중요소들을 Ingold, Borms 이론식에 적용하여 그 값을 산출한 것이 표 4-4이고 이것을 정리한 것이 그림 4-2이다.

그림 4-2에서 Broms와 Ingold 식에 계산한 값과 본 실험치와는 차가 현저하였다. 이것은 상기 연구자들의 결과는 OCR의 개념을 무시한 실험식으로 생각된다.

본 연구에서는 옹벽배면을 롤러로 다지는 경우 OCR 개념을 설정할 때와 그렇지 않을 때 충분히 고려하기 위하여 상기의 Broms의 값, Ingold의 값, 및 본 실험치의 값을 단순회귀해석으로 수정식을 만들었다.

4.2.2 수정식 결정

회귀프로그램에 표 4-4의 자료를 입력시켜 OCR 별로 σ_{hm} , σ_x 를 구하는 수정식을 유도하였다.

표 4-4 Ingold, Broms 이론식에 의한 토압과 측정된 토압의 비교

OCR		σ_x									σ_{hm}								
OCR: 5(Geysle pass)	depth(cm)	98	94	90	86	82	78	74	70	66	18	24	30	36	42	48	54	60	66
	Ingold(g)	60	58.7	55.7	55.7	54	52.3	51	49.3	48	37.7	37.7	37.7	37.7	38.3	41	43.4	45.7	48
	Broms(g)	60	57.7	55.5	53	50.3	47.7	45.3	43	40.3	40.4	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.3
	Chon(g)	55.3	55	54.7	54.7	54.3	54	53.7	53.3	53	48.7	51.3	53.7	54	54.3	54.5	54	53.7	53
OCR: 10(Geysle pass)	depth(cm)	98	94	90	86	82	78	74	70	66	18	24	30	36	42	48	54	60	66
	Ingold(g)	60.3	59	57.3	55.7	54	52.3	51	49.7	48	37.7	37.7	37.7	37.7	38.7	41	43.3	45.7	48
	Broms(g)	60.3	58	55.3	53	50.3	48	45.7	43	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3
	Chon(g)	57	56.7	56	55.7	55.3	54.7	54	53.7	53	46.7	50	53.5	53.5	52.7	52.3	52.2	52.7	53
OCR: 20(Geysle pass)	depth(cm)	98	94	90	86	82	78	74	70	66	18	24	30	36	42	48	54	60	66
	Ingold(g)	60	58.7	56.7	55.3	53.7	52.3	51	49.3	48	38	38	38	38	38.7	41	45.3	43.3	48
	Broms(g)	60	57.3	54.7	52.3	50	48	45.3	43	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7
	Chon(g)	55.3	55	54.7	54.3	54	54	53.7	53.3	53	39.7	42.3	45	46.5	48	49.3	50.7	51.6	53
OCR: 30(Geysle pass)	depth(cm)	98	94	90	86	82	78	74	70	66	18	24	30	36	42	48	54	60	66
	Ingold(g)	60	59	57.3	55.7	54	52.3	47.7	49.3	47.7	38	38	38	38	38	40.6	43	45.3	47.7
	Broms(g)	60	57.3	55	53	50.3	48	45.3	42.7	40.7	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.4	40.7
	Chon(g)	60	59	58	55.7	55.7	54.3	53	52	51	35	36	36.7	40	43	46	49	49.7	51
OCR: 35(Geysle pass)	depth(cm)	98	94	90	86	82	78	74	70	66	18	24	30	36	42	48	54	60	66
	Ingold(g)	60	58.7	57	55.3	54	52.3	51	49.3	47.7	38	38	38	38	38.7	40.7	43	45.3	47.7
	Broms(g)	60	57.3	55	52.7	50.3	48	45.3	43	40.7	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40
	Chon(g)	56.3	56	55.3	54.7	54.3	53.7	53.3	53	52.3	35	34.9	34.7	38	41	44	47	49.3	52.3

여기서 σ_{hm} 은 그림 4-2에서 수평토압이 증가하는 점(본 실험에서는 옹벽높이 1m일때 깊이 66cm인 점)까지의 토압으로 시료표면에서 수직선으로 가정하였고 σ_x 는 변곡점 이하의 토압증가 부분을 의미한다.

OCR5, OCR10, OCR20, OCR30, OCR35에서 구한 σ_{hm} , σ_x 의 실험식은 너무 다양하여 현실적으로 사용하기가 오히려 복잡하고 불편한 점이 많아 대표적으로 사용할 수 있는 수정식의 필요성을 느꼈다.

그림 4-2에 나타난 토압분포를 그림 4-4과 같이 고려하여 다음 토압공식을 유도하였다.

$$h < 15\text{cm 일때 } \sigma_x = 6.89K_A \cdot \gamma \cdot h$$

$$15\text{cm} < h < 65\text{cm 일때 } \sigma_x = 0.48K_A \cdot \gamma \cdot h + 36.4$$

$$h > 65\text{cm 일때 } \sigma_x = 0.95K_A \cdot \gamma \cdot h + 24.7 \dots (4-1)$$

식 (4-1)에서 h는 시료표면에서 부터 깊이 (m)이다.

본 실험에서는 깊이 15cm 및 그 이하에 토압계를 설치하고 이 이상의 높이에서는 수평토압의 증가는 없다고 판단하여 토압계를 더 이

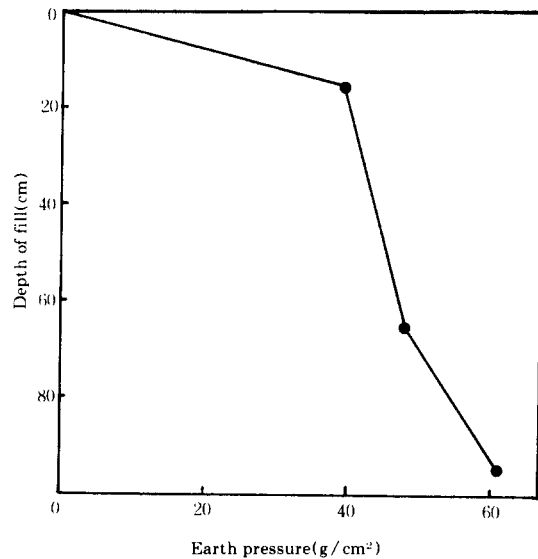


그림 4-4 토압의 수정분포도

상 설치하지 않는다.

5. 결 론

본 연구는 옹벽구조물의 뒤채움부분에 반복

상재하중이 작용하였을 때 발생하는 잔류토압의 변화를 구하기 위한 것으로서, 옹벽시험체를 직접 설계 제작하여 롤러를 이용하여 OCR 별, 통과회수별 잭크하중을 이용하여 뒷채움폭별로 실험 관찰하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 롤러 통과 회수가 같은 상태에서 잔류토압은 OCR5에서 토압은 크게 나타났다. 일반적으로 OCR 값이 증가할수록 토압은 적게 나타났다.
2. 롤러 통과회수가 6회, 10회, 25회로 증가할수록 토압은 감소하였고, OCR 값과 통과회수는 토압변화의 결정적인 요인이 된다.
3. OCR과 다짐회수를 고려하였을 때 토압을 구하는 수정식을 다음과 같이 얻었다.
 $h < 15\text{cm}$ 일때 $\sigma_x = 6.89K_A \cdot \gamma \cdot h$
 $15\text{cm} < h < 65\text{cm}$ 일때 $\sigma_x = 0.48K_A \cdot \gamma \cdot h + 36.4(\text{g}/\text{cm}^2)$
 $h > 65\text{cm}$ 일때 $\sigma_x = 0.95 K_A \cdot \gamma \cdot h + 24.7(\text{g}/\text{cm}^2)$
4. 뒤채움측면이 구형일 때는 뒤채움폭의 크기는 잔류토압 변화에 크게 좌우되지 않으나 쉐기모양일 때는 수평거리에 따라 반복상재하중의 회수에 따라 옹벽 깊이에도 따라 크게 좌우된다. 통상 단위길이당 과재하중을 처리하는 종래의 설계방법에 문제점을 발견할 수 있다.
5. 뒤채움 다짐을 필요로 하는 옹벽을 설계하는 경우 반복상재하중에 의하여 발생하는 잔류토압이 중요하므로 뒤채움설계시 잔류토압을 반드시 고려할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성) 과제 학술연구조성비에 의해서 연구되었음. 이에 감사를 표합니다.

참고 문헌

1. Yoshida, Y.(1977). "Earth pressure Experiment on Gravity Type Retaining Wall", Japanese society of Soil Mechanics, pp. 278-296.
2. Sims, F. A. & Jones, C.J.F.(1970). "Lateral pressures on retaining Wall", The Journal of The Institution of Highway Engineers. Vol. 17, No. 6, pp. 19-30.
3. Ingold, T.S.(1979). "The effects of compaction on retaining Wall", Geotechnique, No.3, pp.265-283.
4. Moore, P. J., "Effects of repeated loading on the earth pressure", 11th ICSMFE, 8/14, pp. 2117-2120.
5. Sims, F.A. & Jones, C. J. F. (1974). "Comparison between theoretical & measured earth pressures acting on a large motorway retaining Wall", Journal of the Institution of Highway, pp.26-29.
6. Mehment A. Sherif & M.ASCE, Yung - show Jang. (1984), "Ka and Ko behind Rotating and Non - Yielding Walls," pp. 41-55.
7. Broms, B.(1970). "Lateral earth pressures due to compaction of cohesionless Soils", proc 4th European conf, on soil mech., Budapest, pp.373-384.
8. Jones, C. J. F. (1970). "Current practice in designing earth retaining Structures," Ground Engineering, Vol. 12, No. 6, pp. 40-45.
9. Rowe, P. W.(1954). "A stress - Strain theory for cohesionless Soil with application to earth pressures at rest and moving Wall", Geotechnique 4, No. 2, pp. 70-88.
10. Sower, C. F. etal. (1957). "The residual lateral pressures produced by compacting Soil", proc 4th ICSMFE, pp.243-247.
11. Broms, B. & Ingleson, J.(1971). "Earth pressures against abutment of rigid frame bridge," Geotechnique, Vol. 21, No. 1, pp. 15-28.
12. Sims, F. A. & Jones, C. J. F.(1975), "Earth pressures against the abutments and Walls of standard motorway bridges", Geote-

- chnique (I), pp. 731-742.
13. Schuppener, B.(1975). "The earth pressure of a cohesionless soils against rigid retaining structures due to compaction", Mitt, B., pp. 1-10.
 14. Brumer, R. F. (1977). "Cantilever retaining Wall design", Ph. D. Thesis, Texas A & M University, pp. 1809.
 15. Sherif, M. A. & Macbey, R. D.(1977). "Pressures on retaining Wall with repeated Loading", JGED, ASCE., pp. 1341-1345.
 16. Rehmans, S. E. & B. S.(1972). "Lateral pressures on basement Wall, Results from full-scale tests", 5th European Cont on SMFE, Vol. 1, pp. 189-197.
 17. Duncan, J. M. & Seed, R. B.(1986), "Compaction - Induced earth pressures under Ko-Conditions", JGED, ASCE, 112 (1), pp. 1-22.
 18. Duncan, J. M. & Williams, G. W. & Sehn. A. L. & Seed, R. B. (1991). "Estimation earth pressure due to compaction", JGED, ASCE, Vol. 117, No. 12, pp. 1833 - 1847.
 19. Ingold, T. S. (1984), "Lateral earth pressures", Civil Engineering London, pp. 45 - 58.
 20. Spotka, H. (1979). "Einfluß der Bodenverdichtung auf den Erddruck einer Stützwand", Gestechnik, Vol. 2, No. 1, pp. 1 - 7.
 21. Coyle, H. M & Bartoskewitz, R. E. (1976), "Earth pressure on precast panel retaining Wall", JGED, ASCE, Vol. 102, GT5, pp. 44 - 456.
 22. Poulos, H. G. & Davis, E. H., "Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics", pp. 26 - 54.
 23. Mindlin, R. D. (1936) "Pressure distribution on retaining Walls", Proc, 1st ICSMFE, Cambridge, pp. 155 - 156.
- (접수일자 1992. 7. 24)