

# 과재하중에 의한 역T형 옹벽의 활동거동에 관한 원심모형실험

## Centrifuge Model Tests on Sliding Behavior of Cantilever Retaining Wall due to Surcharges

유 남 재 <sup>*1</sup>	Yoo, Nam-Jae	유 건 선 <sup>*2</sup>	Yoo, Gun-Sun
이 명 옥 <sup>*3</sup>	Lee, Myung-Woog	이 종 호 <sup>*3</sup>	Lee, Jong-Ho

### Abstract

This paper is experimental and numerical works about the sliding behavior of cantilever retaining walls where surcharge loads in the form of strip footing are applied to the surface of backfill. Parametric centrifuge model tests at the increased g-levels as well as 1g environments were performed by changing the location of model footing and its width.

Bearing capacity of model footing and characteristics of load-settlement and load-lateral displacement of retaining wall were investigated by using centrifuge modelling technique. Centrifuge model tests at 20g and 40g were carried out and their test results were compared with model behavior at 1g condition. Conventional bearing capacity tests of shallow footing were also performed in order to obtain the location of footing where the sliding failure of retaining wall is induced from surcharge loads and test results were compared with results obtained from model tests with the retaining walls.

Test results were compared with currently available analyzing method modified by the limit equilibrium method with elasticity theory.

### 요 지

본 연구는 과재하중의 재하폭과 재하위치를 매개변수로 변화시켜 옹벽의 뒤채움재 상부 지표면에 제한된 폭의 과재하중 작용시 그의 활동거동에 관한 실험적·수치해석적 연구이다. 중력수준을 1g, 20g, 40g로 변화시켜 수행한 원심모형실험을 통해 구한 기초의 극한지지력 및 하중-침하특성, 하중-옹벽수평변위특성에 관하여 조사연구 하였다. 또한, 옹벽의 활동으로 인한 지반파괴의 영향을 받기 시작하는 기초의 재하위치를 추정하기 위하여 종래의 얇은 기초의 극한지지력 실험을 수행하여 이들 결과와 함께 비교하였다. 한편, 모형실험결과와 기존의 이론식을 수정보완한 해석 결과와 비교분석을 하였다.

**Keywords :** Cantilever retaining wall, Sliding behavior, Surcharge loads, Centrifuge model test

### 1. 서론

옹벽은 사면을 절·성토하여 토지공간을 활용하는데 이용되거나, 자연구배를 이룰 수 없는 배면의 흙을 지지하고 그의 붕괴를 방지하기 위하여 교대, 도로, 철도, 하천 등

에 매우 광범위하게 사용되는 토류구조물이다. 양호한 지반위에 설치된 옹벽은 지지력과 전도에 대하여 소정의 안전율을 확보하는데 크게 문제가 없으나 활동에 대해서는 지반과 옹벽저판 사이의 마찰거동에 따라서 소정의 안전율을 확보하는데 많은 문제점을 지니고 있다. 옹벽의 활동

\*1 정회원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*2 정회원, 한라대학교 공과대학 토목공학과 부교수

\*3 정회원, 강원대학교 토목공학과 공학박사

거동에 영향을 주는 다양한 변수에 대한 연구는 대부분 뒤채움재의 자중효과를 고려하여 수행되어 왔으며, 부분적으로는 과재하중이 옹벽배면에 무한한 거리로 재하되는 경우에 대하여 연구가 수행되어왔다. 그러나 현장조건에서는 도로 횡단면에 위치한 옹벽의 뒤채움재에 작용하는 차량하중, 제한된 폭의 건물하중 등 과재하중의 폭이 제한되어 작용하는 경우가 많이 발생하고 있으며 이러한 상황에 대한 옹벽의 활동거동에 관한 연구는 미비한 상태이다.

과재하중으로 인해 옹벽에 작용하는 수평응력을 구하기 위하여 일반적인 방법으로는 Boussinesq(1885), Fröhlich(1934), Westergaard(1938), Burmister(1956) 등의 탄성이론에 의한 해석적 방법과 Terzaghi(1954), Spangler(1936, 1956, 1982), Rowe(1950) 등의 실험결과에 근거한 경험식이 있다. 한편, 수정 Boussinesq방정식(Jarquio, 1981; Misra, 1981)에 기초한 탄성해석법의 사용이 추천되었으나(Motta, 1994), 이러한 탄성해석법에 의한 추가 토압의 계산방식은 뒤채움의 강도를 적절히 반영하지 못하고 뒤채움을 완전탄성체로 가정하는 근사적방법이라는 한계점을 지니고 있다(Clayton, Milititski and Woods, 1993).

따라서, 본 연구에서는 벽체 배면으로부터 일정한 거리로 이격되어 과재하중이 작용하는 경우에 과재하중의 재하폭과 재하위치를 매개변수로 이들이 역 T형 옹벽의 활동거동에 미치는 영향을 조사하기 위하여 1g, 20g, 40g의 중력수준에서의 원심모형실험을 수행하였으며 실험결과 획득한 하중-침하특성, 하중-수평변위특성, 극한지지력 파괴특성을 기존의 극한평형해석인 Jarquio(1981)의 식을 수정보완하여 계산된 결과와 비교분석을 실시하였다. 한편, 옹벽의 활동으로 인한 지반파괴의 영향을 받지 않는 재하위치를 추정하기 위하여 옹벽을 설치하지 않은 무한지반에서의 얇은기초의 재하실험도 수행하여 옹벽설치시 지지력 결과와 비교하였다.

## 2. 실험

모형실험에 사용된 주문진 표준사의 기본물성실험 및 전단강도정수를 구하기 위한 삼축압축실험, 옹벽의 활동 파괴에 가장 큰 영향을 주는 옹벽저판과 기초지반 사이의 마찰계수를 구하기 위한 마찰실험을 수행하였다. 한편, 모형재하실험은 모형옹벽 성형 후 모형을 가속시키지 않은 상태, 즉 1g상태와 모형성형 후 원심모형시험기에서 각각 20g와 40g상태로 가속한 후 과재하중을 가한 20g, 40g의

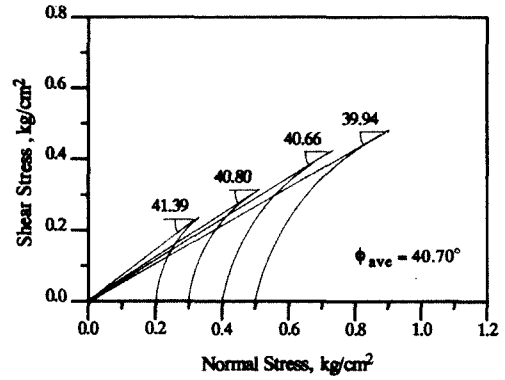


그림 1. 접선법에 의한 평균 내부마찰각의 결정

표 1. 주문진 표준사의 물리적 성질

입경특성	건조밀도, g/cm <sup>3</sup>		간극비, e		비중, G <sub>s</sub>
	최대	최소	최대	최소	
D <sub>10</sub> =0.21mm, Cu=1.19, Cc=1.01	1.68	1.38	0.88	0.55	2.6

과재하중 실험으로 구별하여 수행하였다.

### 2.1 주문진 표준사의 토질공학적 물성

본 연구에서 사용된 공기건조된 주문진 표준사의 기본 물성은 표 1에 나타낸 바와 같이 통일분류법(USCS)상 SP에 해당하는 균등한 중립질의 모래이다. 한편, 모형지반의 내부마찰각은 직경 50mm, 높이 110mm의 분리형 몰드에 고무막을 씌우고, 모형지반의 밀도와 동일한 조건에 대한 전단강도를 구하기 위하여 강사법을 이용하여 시료를 성형 초기밀도를 모형지반의 밀도와 동일하게 하여 압밀배수시험(CD Test)을 수행하였다. 내부마찰각의 결정은 각각의 구속응력에 대한 Mohr원을 작도하여 원점과 Mohr원과의 접선을 통해 그림 1의 각 구속응력별 내부마찰각을 산정하였다. 그림 1은 구속응력이 증가함에 따라 다일러턴시 효과의 감소로 인해 내부마찰각이 감소함을 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 구속응력에 따른 내부마찰각의 변화결과인 그림 2로부터 임이의 구속응력에 대한 내부마찰각 산정식을 구하여 각각의 중력수준에 해당하는 내부마찰각을 결정하여 해석에 사용하였으며 그 결과는 표 2에 나타난 바와 같다. 한편, 옹벽저판과 모형지반 사이의 마찰계수를 획득하기 위해 콘크리트 시편을 제작하여 상대밀도 80%의 주문진표준사와 직접전단실험을 실시하여 그림 3과 그림 4의 결과를 얻었으며 그림 4의 결

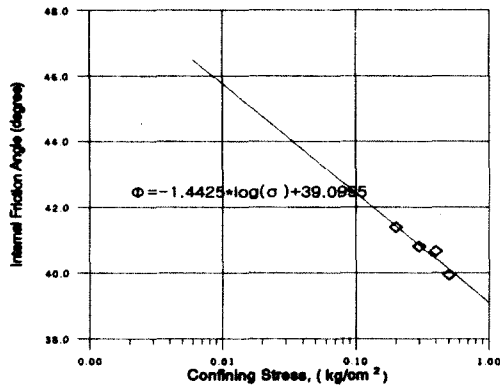


그림 2. 구속응력 변화에 따른 내부마찰각의 변화

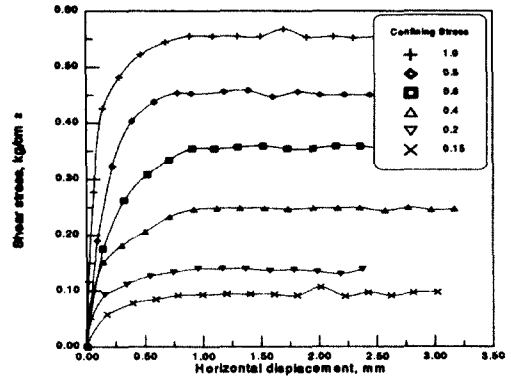


그림 3. 전단응력 - 수평변위결과 (콘크리트와 마찰시험)

표 2. 중력수준에 변화에 따른 내부마찰각 및 콘크리트와의 마찰각

상대밀도	중력수준	구속응력, (kg/cm <sup>2</sup> )	내부마찰각 ϕ	마찰각 δ
80%	1g	0.00463	46.87°	32.29°
	20g	0.09259	42.54°	30.87°
	40g	0.18518	41.54°	29.46°

표 3. 모형실험내역

기초폭 (cm)	중력수준 (g)	재하위치	
		d(cm)	d/H
2	1	0, 2, 4, 6, ∞	0, 0.12, 0.24, 0.36, ∞
		0, 3, 6, ∞	0, 0.18, 0.36, ∞
3	20	0	0
	40	0, 3, 6, ∞	0, 0.18, 0.36, ∞
4	1	0, 2, 4, 6, ∞	0, 0.12, 0.24, 0.36, ∞

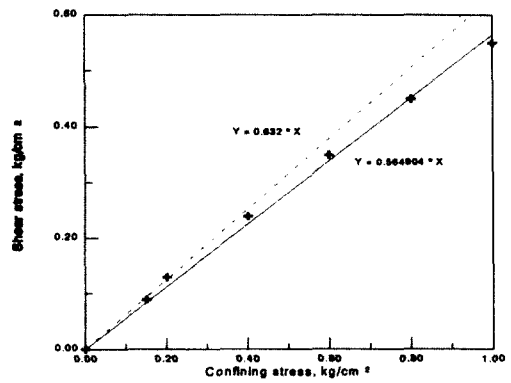


그림 4. 구속응력 - 전단응력 결과 (콘크리트와 마찰시험)

과를 통해 1g 실험의 경우 구속응력 0.15 kg/cm<sup>2</sup>, 0.2 kg/cm<sup>2</sup>의 기울기를 40g의 경우는 구속응력 0.15 kg/cm<sup>2</sup>에서 1.0 kg/cm<sup>2</sup>의 전체의 기울기를 벽면마찰각으로 사용하였다. 한편 20g의 경우는 1g와 40g의 평균값을 이용하였다. 그 결과는 표 2에 보인바와 같다.

## 2.2 원심모형실험

본 연구에서는 축소된 모형을 인위적으로 가속시켜 독립자의 자중을 증가시킴으로서 현장상태의 응력을 재현시켜 그의 거동을 관찰할 수 있는 원심모형실험기법을 사용하였다. 역T형 옹벽의 뒤채움재 상부 지표면에 작용하

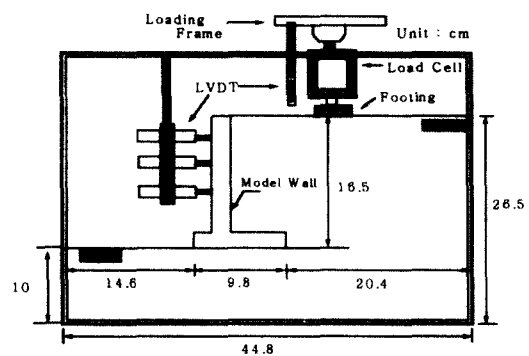


그림 5. 모형장치배치도

는 과재하중에 대한 극한지지력, 하중-침하특성, 파괴특성 및 옹벽 벽체의 하중-수평변위특성을 분석하기 위하여 표 3에 보인바와 같이 과재하중의 폭과 재하위치, 중력수준을 매개변수로 변화시켜 총 19가지 경우의 모형실험을 수행하였다. 한편, 그림 5는 표 3의 제원을 나타내고 있다.

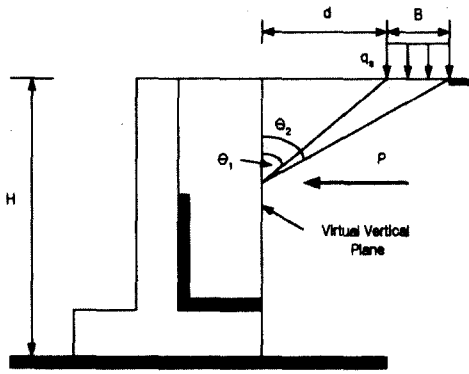


그림 6. 과재하중에 의한 수평토압(Jarquio, 1981)

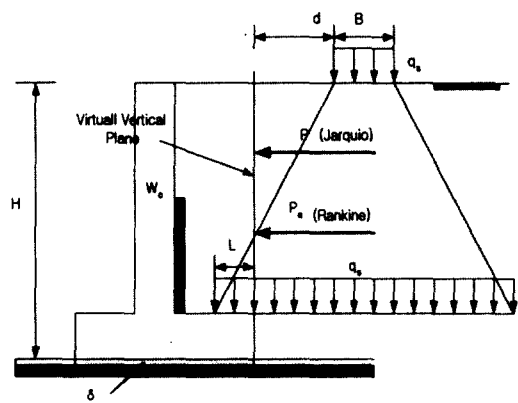


그림 7. 옹벽의 활동파괴에 대한 힘의 평형관계

### 2.2.1 실험장치

실험장치는 강원대학교 지반공학연구실에 설치된 원심모형시험기(유남재 외, 1994)를 사용하였다. 2차원 평면변형조건의 모형거동을 모사하기 위하여 사용한 모형토조는 그림 5에 보인바와 같다. 모형옹벽은 16.5cm 높이의 콘크리트옹벽으로 제작하여 40g 중력수준에서 6.6m(16.5 cm × 40) 옹벽에 해당하도록 옹벽높이를 결정하였다. 모형 옹벽의 단면의 두께 및 저판길이 그리고 앞굽의 길이는 가능한 실물옹벽을 모사하기 위하여 일반적인 옹벽의 설계기준을 고려하여 결정하였다. 뒤채움재 지표면에 대상하중형태의 과재하중으로 사용된 모형기초는 길이 20cm, 두께 2.5cm 이며 폭은 2cm, 3cm, 4cm 크기의 3 종류의 강성 알루미늄 모형기초를 사용하였다. 또한, 유압식 하중재하장치를 사용하여 과재하중을 재하하였다. 한편, 하중재하시 모형옹벽의 수평변위와 모형기초의 연직침하량을 측정하기 위하여 변위계(LVDT)를 사용하였으며, 과재하중의 크기를 측정하기 위하여 하중계(Load Cell)을 하중재하장치에 장착하여 하중을 측정하였다.

### 2.2.2 실험방법

주문진 표준사를 사용하여 상대밀도 80%의 균질한 기초지반 및 뒤채움의 모형지반을 형성하기 위하여 강사법을 이용하였다. 원심모형실험은 모형토조에 모형을 조성한 뒤 원심모형시험기의 바스켓에 설치하여, 1g 실험의 경우 원심모형시험기를 가속하지 않고 하중을 재하하여 모형옹벽의 활동파괴를 유도하였으며, 원심모형실험의 경우 소정의 중력수준(20g 또는 40g)까지 원심력을 증가시

킨 뒤 일정한 중력수준을 유지하고 있는 상태에서 하중을 재하하여 모형옹벽의 활동파괴를 유도하였다.

### 3. 옹벽의 극한지지력

그림 6에 보인 바와 같이 Jarquio(1981)가 제안한 떠하중 형태의 과재하중으로 인해 옹벽의 배면에 유발되는 단위길이당 힘  $P$ 는 식 (1)과 같다.

$$P = \frac{R q_s}{180} [H (\theta_2 - \theta_1)] \quad (1)$$

여기서,  $\theta_1 = \tan^{-1}(\frac{d}{H})$ ,

$$\theta_2 = \tan^{-1}(\frac{d+B}{H}).$$

$R$ 은 뒤채움재의 강성도를 고려하기 위한 강성계수로 강체로 가정할 경우에는  $R=2$ 를 압축성 재료로 가정할 경우에는  $R=1$ 을 적용하였다. 높이  $H$ 는 토압이 전달되는 벽체의 높이에 해당하고,  $B$ 는 재하기초폭 그리고  $d$ 는 토압이 작용하는 가상배면으로부터 그에 가까운 재하판 연단까지의 수평거리를 나타낸다.

본 연구에서는 옹벽의 활동파괴를 유발하는 과재하중의 크기를 산정하기 위하여 Jarquio(1981)가 제안한 식을 보완하여 사용하였다. 즉, 지표면의 과재하중,  $q_s$ 에 의하여 옹벽저판 상부에 전달되는 응력,  $q_s'$ 은 연직력으로 작용하여 활동저항력을 증가시키는 요소가 되므로 그림 7에 보인바와 같이 2:1 응력분포법을 사용하여 그 크기를 결정하였다. 한편, 뒤채움자중으로 인해 발생하는 주동토압

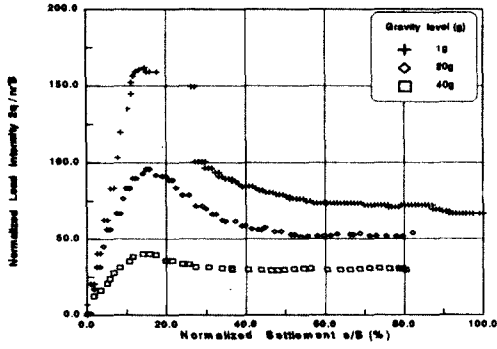


그림 8. 중력수준에 따른 하중-침하곡선 (B=3cm, d=0cm)

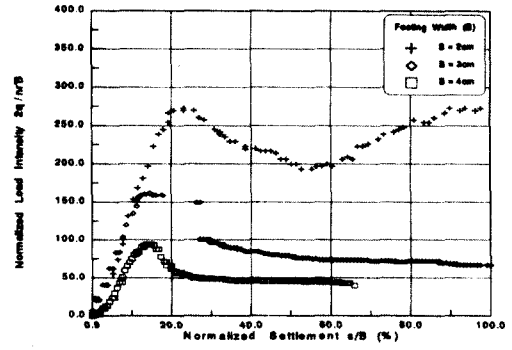


그림 9. 기초폭에 따른 하중-침하곡선 (g-level=1g, d=0cm)

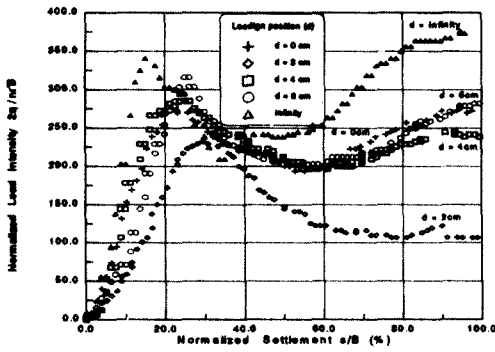


그림 10. 기초 재하위치에 따른 하중-침하곡선 (g-level=1g, B=2cm)

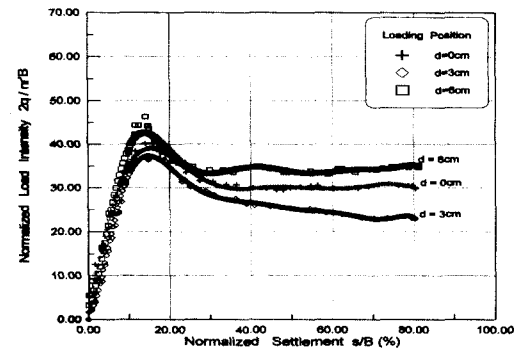


그림 11. 기초 재하위치에 따른 하중-침하곡선 (g-level=40g, B=3cm)

은 Rankine 토압을 사용하였다. 따라서 뒤채움의 강성도를 고려하여 옹벽의 활동파괴를 고려한 힘의 평형관계를 정리하면 다음의 식 (2)와 같다.

$$\frac{R q_s}{180} [H(\theta_2 - \theta_1)] + P_a = (W_t + q_s' \cdot L) \tan \delta \quad (2)$$

여기서,  $W_t$ 는 옹벽무게( $W$ )와 저판 상부의 흙무게( $W_s$ )를 더한 무게이고  $\delta$ 는 옹벽저판과 기초지반 사이의 마찰각이며,  $L$ 은 연직력으로 작용하는  $q_s'$ 가 옹벽저판 상부에 작용하는 길이를 나타낸다.

따라서, 옹벽의 활동파괴를 유발하는 지표면의 과재하중,  $q_s$ 는 다음과 같이 산정된다.

$$q_s = \frac{W_t \tan \delta - P_a}{\frac{R}{180} H(\theta_2 - \theta_1) - s \cdot L \cdot \tan \delta} \quad (3)$$

여기서,  $s = \frac{q_s}{q_s'}$ .

## 4. 결과분석

역 T형 옹벽의 뒤채움재 상부지표면에 과재하중 재하 폭, 재하위치, 중력수준을 매개변수로 재하실험을 수행하여 획득한 하중-침하특성, 극한지지력, 하중-수평변위 결과를 각각의 매개변수들의 변화에 따른 영향을 검토하는 한편, 기존의 이론식(Jarquio, 1981)을 수정보완한 식을 사용하여 구한 극한지지력과 비교분석하였다.

### 4.1 하중-침하특성 분석

과재하중 재하실험으로부터 획득한 하중-침하특성을 분석하기 위하여 정규화시킨 하중강도( $2q/n\gamma' B$ , 여기서  $q$ 는 하중강도,  $n$ 은 중력수준,  $\gamma'$ 는 유효단위중량,  $B$ 는 기초폭)와 정규화시킨 침하율( $s/B$ , 여기서  $s$ 는 침하량) 관계를 이용하여 각각의 매개변수들의 변화에 따른 특성을 비교분석하였다.

그림 8은 기초폭 3cm, 재하위치 d=0cm에 대한 중력수

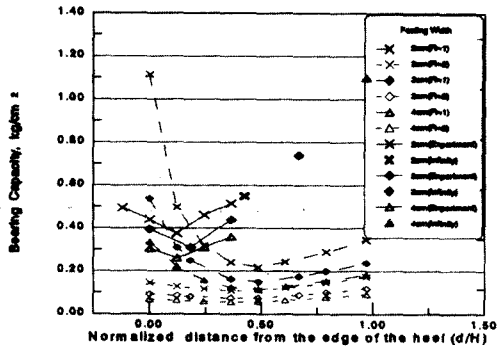


그림 12. 과재하중의 재하위치에 따른 극한 지지력의 변화 (실험값과 Jarquio제안식의 비교, 1g)

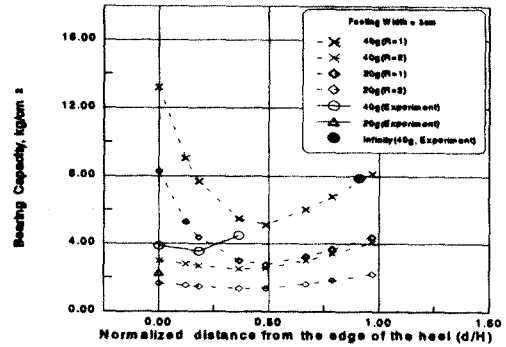


그림 13. 과재하중의 재하위치에 따른 극한지지력의 변화 (실험값과 Jarquio제안식의 비교, 20g, 40g)

준별 하중-침하관계이다. 극한하중에 이르는 침하량은 대략 5mm 내외로 정규화시킨 침하율( $s/B$ )로는 약 14%이다. 중력수준이 증가함에 따라 하중강도가 감소하는데, 이는 중력수준이 증가에 따른 지반의 구속응력 증가가 체적 팽창(dilatancy)효과를 감소시켜 지반의 내부마찰각이 감소하는데 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

그림 9은 중력수준 1g, 재하위치  $d=0\text{cm}$ 일때 각각의 기초폭에 따른 하중-침하관계로 기초폭이 증가함에 따라 극한하중은 감소하며 이는 기초폭이 증가함에 따라 과재하중 재하에 의해 옹벽의 활동을 유발하는 수평토압이 증가하므로 지반의 극한하중은 작아지는 것으로 판단된다.

그림 10은 중력수준 1g, 기초폭 2cm에 대하여 재하위치를  $d=0\sim 6\text{cm}$  까지 증가시킨 결과이다. 하중을  $d=2\text{cm}$ 에 재하시킨 경우에는  $d=0\text{cm}$ 에 비해 하중강도가 감소하였으며,  $d=4\text{cm}$  및  $6\text{cm}$  위치에 하중을 재하한 경우는  $d=0\text{cm}$ 에 비해 하중강도가 증가하였다.

한편, 거리비( $d/H$ )가 0.36,  $d=5\text{cm}$  위치에서의 하중강도 값이 옹벽을 거치하지 않은 무한지반(infinity)에서의 하중강도값에 거의 도달함을 볼 수 있었다.

그림 11는 기초폭 3cm, 중력수준 40g에 대한 실험결과로 앞서 보인 1g 중력수준에서의 재하위치에 따른 하중-침하특성과 유사한 경향을 나타내고 있다.

#### 4.2 극한지지력 비교

실험을 통한 뒤채움지반의 극한지지력 결정은 하중-침하곡선에서의 최대하중강도를 이용하였다. 해석은 중력수준에 따른 구속응력의 변화를 고려한 내부마찰각을 사용한 Jarquio의 수정보완식의 결과와 실험결과를 비교분석하였다.

재하실험 및 Jarquio의 보완식 해석결과 그림 12, 그림 13을 얻었다. 그림 12, 그림 13의 1g, 20g 및 40g의 중력수준에 대한 재하위치에 따른 극한지지력값은 재하위치가 옹벽 뒷굽의 연직배면으로부터 멀어질수록 극한하중은 감소한 후, 소정의 거리 이후로는 증가하는 경향을 보인다. 이러한 이유는 과재하중의 2:1 응력분포에 의한 연직응력의 증가분이 옹벽저판 상부에 작용하여 옹벽의 활동에 대한 안정성 증진에 기여하는 것으로 판단된다. 한편, 1g, 20g와 40g에 대해 Jarquio의 제안식을 도식한 결과는 뒤채움재를 압축성 재료로 가정한 경우( $R=1$ )와 강체로 가정한 경우( $R=2$ )를 함께 도식하였다. 그림 12와 그림 13의 결과에서 나타낸 바와 같이 뒤채움재를 강체( $R=2$ )로 가정한 경우, 지반탄성계수( $E$ )가 크므로 과재하중에 의해 옹벽에 전달되는 수평응력이 커짐으로 인해 기초의 극한지지력은 작아지는 경향을 보인다.

그림 12의 1g 중력수준에서의 실험값과 Jarquio의 제안식을 비교한 결과 실험값이 뒤채움재를 압축성 재료( $R=1$ )로 보고 해석한 경우에 가까웠고 그림 13의 20g와 40g 해석결과는 실험값이 뒤채움재를 강체( $R=2$ )로 보고 해석한 Jarquio의 제안식에 근접함을 볼 수 있었다. 이러한 경향은 중력수준이 증가함에 따라 구속응력 증가에 따른 뒤채움 지반의 강성도 증가에 기인한 것으로 판단된다.

#### 4.3 하중-수평변위특성 비교

기초폭과 재하위치를 매개변수로 수행된 1g 실험을 통해 그림 14, 그림 15의 하중-수평변위의 결과를 얻었다. 그림 14, 그림 15에 보인바와 같이 파괴시 수평변위는 기초폭이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이며, 재하위치가

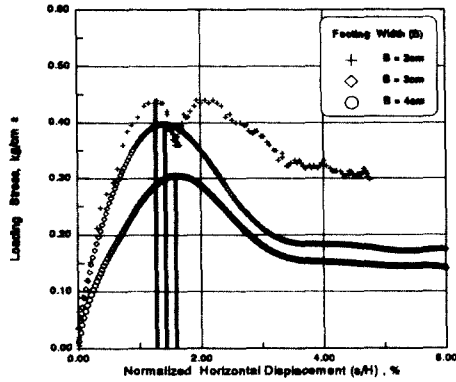


그림 14. 기초폭의 변화에 따른 수평변위

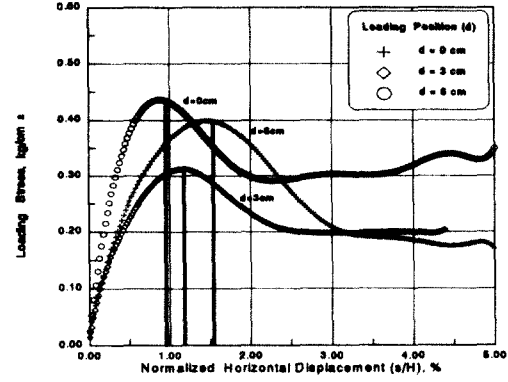


그림 15. 재하위치 변화에 따른 수평변위(B=3 cm)

옹벽의 배면으로부터 멀어질수록 파괴시 수평변위가 감소함을 알 수 있었다. 이와같은 경향은 재하위치가 옹벽으로부터 멀어짐에 따라 무한지반에 대한 기초의 거동에 가까워짐으로 기초의 극한 하중이 옹벽의 활동에 영향을 덜 미치는 것으로 판단된다.

## 5. 결론

역T형 옹벽의 뒤채움재 상부 지표면에 작용하는 과재하중의 폭과 재하위치, 중력수준을 매개변수로 수행된 원심모형실험을 통해 획득한 하중-침하특성, 하중-수평변위, 극한지지력결과를 각각의 매개변수들의 변화와 기존의 이론식(Jarquio, 1981)을 수정보완하여 사용한 해석결과와 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 과재하중의 동일한 재하위치에 대한 원심모형실험결과, 중력수준이 증가할수록 기초폭이 증가할수록 옹벽의 하중강도는 감소하는 경향을 보이며 이는 중력수준에 따른 구속응력 증가가 dilatancy 효과를 감소시켜 지반의 내부마찰각을 감소시키며, 기초폭의 증대는 옹벽의 활동을 유발시키는 수평토압의 증가에 원인이 있는 것으로 판단된다.
- (2) 하중의 재하위치를 변화시켜 수행한 실험결과, 과재하중으로 인한 연직응력이 옹벽저판으로 전달되어 옹벽저판의 마찰저항을 증가시켜 옹벽의 활동에 대한 안정성 증진에 시킴을 확인하였으며, 옹벽의 활동과 파괴로 인해 극한지지력이 가장 작아지는 재하위치는 옹벽뒷굽의 연직상단으로부터  $d/H = 0.12 \sim 0.18$  범위임을 확인하였다.
- (3) 과재하중 재하위치에 따라 옹벽저판에 전달되는 응력

을 고려하기 위하여 기존의 Jarquio식에 2:1 응력분포법을 적용하여 수정보완한 관계식을 사용한 해석결과와 실험결과를 비교분석한 결과, 1g 응력상태에서는  $R=1$ (뒤채움 압축성 재료)일 때가, 20g 및 40g 응력상태에서는  $R=2$ (뒤채움 강체)일 때가 실험값과 비교적 일치함을 확인하였다.

- (4) 과재하중에 의해 옹벽배면에 전달되는 응력상태를 고려하기 위하여 강성계수를 사용하여 실험결과와 비교분석한 결과, 중력수준이 증가할수록 구속응력의 증가에 따른 지반의 탄성계수 증가로 인하여 옹벽배면에 작용하는 수평토압이 증가하는 경향이 있음을 확인하였다.
- (5) 기초폭과 재하위치에 따른 하중-수평변위 특성은 기초폭이 증가할수록 재하위치가 옹벽배면으로부터 가까울수록 파괴시 수평변위는 증가하는 경향을 보이며 이는 재하위치가 옹벽으로부터 멀어질수록 무한지반에 대한 기초의 거동에 가까워지는 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김상규(1992), "옹벽과 교대에 작용하는 토압의 작용에 관하여", 대한토목학회지, Vol. 40, No.3, pp. 46~54.
2. 엄재경(1996), "상재하중하 역T형 옹벽의 활동거동에 관한 원심모형실험", 석사학위논문, 강원대학교.
3. 유남재, 김영길, 이명욱(1994), "강원대학교 원심모형기설치", 대한토목학회 학술발표회 논문집( I ), pp. 781-784.
4. 이명욱(1998), "사면에 인접한 옹벽의 원심모델링", 박사학위논문, 강원대학교.
5. Bolton, M. D.(1986), "The Strength and Dilatancy of Sands", Geotechnique, Vol.36, No.1, pp. 65~78.
6. Boussinesq, J.(1885), "Application des potentials a l'etude de l'equilibre et du mouvement des solides elastiques", Gauthier-Villars, Paris.
7. Bruce, L. K., Abbas, A., and James, A. C.(1988), "Strength Parameters for Bearing Capacity of Sand", Jour. of Geotechnical Engrg. Div.,

- ASCE, Vol.114, GT4, pp. 491 ~498.
8. Clayton, C. R. I. and Milititsky, J., and Woods, R. I.(1993), " Earth Pressure and Earth-Retaining Structures", Blackie Academic & Professional, pp. 60 - 62.
  9. Jarquio, R.(1981), "Total Lateral Surcharge Pressure due to Strip Load", Jour. of Geotechnical Engrg. Div., ASCE, Vol.107, No.10, pp. 1424-1428.
  10. Kimura, T., Kusakabe, O., and Saitoh, K.(1985), "Geotechnical Model Tests of Bearing Capacity Problems in a Centrifuge", GT35, No.1, pp. 33~45.
  11. Misra, B.(1981), "Lateral Pressures on Retaining Walls due to Loads on Surfaces of Granular Backfill", Soils and Foundations, Vol.20, No.2, pp. 31 ~44.
  12. Motta, E.(1994), "Generalized Coulomb Active-Earth Pressure for Distanced Surcharge", Jour. of Geotechnical Engrg. Div., ASCE, Vol.120, No.6, pp. 1072~1079.
  13. Potyondy, J. G.(1961), "Skin Friction between Various Soil and Construction Materials", Geotechnique, Vol.11, No.4, pp. 339~353.
  14. Spangler, M. G., and Mickle, J. L.(1956), "Lateral Pressure on Retaining Walls due to Backfill Surface Loads", Bull. Highway Res. Board 141, pp. 1-18.
  15. Terzaghi, K.(1954), "Anchored Bulkheads", Transaction ASCE., Vol.119, pp. 1243 - 1342.

(접수일자 2000. 9. 18)