



# 낙석방지벽에 작용하는 토압의 특성에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Characteristics of Earth Pressure to a Debris-fall Prevention Wall

윤 남 식\*      박 용 원\*\*      박 명 수\*\*\*      최 이 진\*\*\*\*  
 Yoon, Nam-Sik      Park, Yong-Won      Park, Myoung-Soo      Choi, Yi-Jin

### Abstract

This paper deals with the characteristics of earth pressure to the debris-fall prevention walls which usually are installed in front of steep slope. Such walls have narrow backfill width where the active soil wedge can not be developed fully. The earth pressure to such walls are affected by the movement of wall and arching effects due to the friction developing on the surface of adjacent ground slope and wall and therefore cannot be analyzed and calculated reliably. The study is carried out through laboratory model tests using centrifuge test. Test results reveal that the earth pressure to the debris-fall prevention wall depends largely on the inclination angle of the ground slope and the wall movement. The earth pressure reduction due to wall movement was observed at the upper half of wall, while the arching effect was significant at the lower half especially in the case of steep ground slope. It can be said that from the result of this study in the design of a debris-fall prevention wall the earth pressure should be determined considering the inclination of ground slope and the condition of wall movement during and after construction.

**Keywords :** lateral earth pressure, debris-fall prevention wall, centrifuge test

### 요 지

이 논문은 가파른 경사면 전면에 시공되는 낙석방지벽에 작용하는 토압의 특성에 대한 내용을 다룬다. 낙석방지벽 배면 되메움 공간은 주동상태의 흩뿌리가 완전히 형성될만큼의 공간이 없고, 토압의 특성은 벽체의 이동과 벽체와 절취사면 사이의 좁은 간격에서 발생하는 아칭 효과의 영향을 크게 받기 때문에 해석적으로 신뢰성있는 규명이 되지 않고 있다. 연구는 실내에서 축소모형에 대한 원심력시험을 통하여 수행되었다. 연구결과는 낙석방지벽 배면토압이 지반의 경사각과 벽체이동에 크게 영향받음을 보여주었다. 벽체상반부에서는 벽체이동에 의한 토압감소가, 하반부에서는 아칭 효과가 뚜렷하게 나타남을 보였다. 이 연구결과에 의하면 낙석방지벽 설계에서 벽체에 작용하는 토압은 지반경사와 공사중 또는 완공후의 벽체이동조건을 고려하여야 함을 알 수 있었다.

**핵심용어:** 수평토압, 낙석방지벽, 원심모형시험

- \* 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 박사과정
- \*\* 비회원 · 명지대학교 토목환경공학과 교수
- \*\*\* 비회원 · (주)지성이씨에스 기술연구소 선임연구원
- \*\*\*\* 비회원 · 남양주시청 도로과



## 1. 서론

최근 도로의 절취사면 보강을 위하여 록볼트공법과 네일공법 또는 앵커공법 등을 적용한 낙석방지공으로 옹벽과 블록벽체 등이 적용되고 있다. 낙석과 표면침식 방지 그리고 미관개선 및 시공성과 경제성 개선을 위해 블록벽체를 채택하는 사례가 많아지고 있다. 이 경우에 벽체 뒤의 좁은 되메움 공간이 생기는데 이 때의 수평토압에 대해서는 지금까지 주로 강성구조물을 대상으로 하는 연구는 되어 왔으나(김은섭 등(1999.8), 임종철 등(2000)) 벽체변형이 발생하는 블록벽체의 경우에는 흙-구조물 상호작용 기구가 같지 않으므로 토압특성이 강성벽체와는 다를 것이다. 이 연구는 도로의 절취사면에 활용이 가능한 연성의 낙석방지공으로서 블록벽공법의 개념을 소개하고 굴착면과 연성벽체 사이의 좁은 되메움 공간의 형상과 크기를 변화시키면서 원심모형시험을 실시하고 그 결과를 분석하여 설계에 적용할 토압특성을 고찰하고자 한다.

## 2. 블록식 낙석방지공의 개념

### 2.1 개요

이 공법은 사면보강 네일(nail) 혹은 앵커와 낙석과 표면침식방지, 미관과 시공성 증대를 목적으로 절토사면 전면면에 블록벽을 설치하는 공법이다. 네일 혹은 앵커의 역할은 절취사면의 안정성을 확보하고 연성의 전면벽은 낙석방지공의 효과를 기대하는 것으

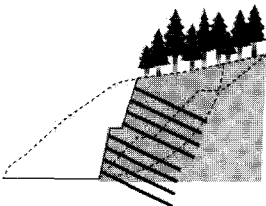


그림 1. 사면안정 개념도

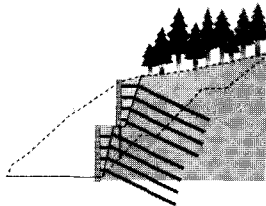


그림 2. 낙석방지공 개념도

로 개념도를 나타내면 그림 1과 그림 2와 같다.

### 2.2 시공순서

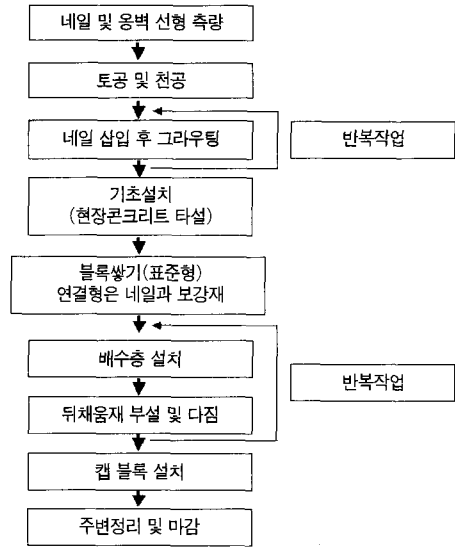


그림 3. 시공순서도

### 2.3 시공완료후의 모습



그림 4. 시공완료후 모식도

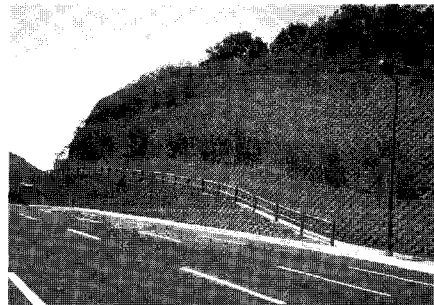


그림 5. 시공완료후 전경

### 3. 원심모형시험

#### 3.1 시험개요

원심모형 토조에 절취사면과 전면벽이 설치되어 생기는 좁은 되메움 공간을 모사하기 위하여 스티로폼과 얇은 구리판을 이용하여 전면벽을 모사하고 절취된 사면을 스티로폼과 사포를 이용하여 형성시켜 만들어진 좁은 공간에 토압계를 설치하고 되메움을 시행한 후 원심모형시험을 실시하였다.

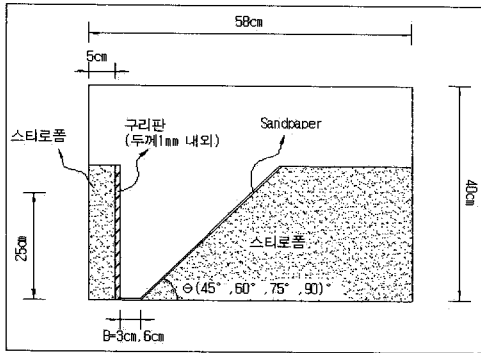


그림 6. 시험장치 모식도

#### 3.2 원심모형시험의 상사법칙

원심모형시험은 실제현장을 1/n의 축척으로 축소시킨 축소모형에 대하여 ng의 원심가속도장에서 시험을 수행하게 된다. 이 때 모형에서 발생하는 역학적 거동은 표 1에 제시한 것과 같은 축척효과를 나타내게 된다. 우리의 관심대상인 길이는 1/n, 토압(응력)은 1의 축척비를 나타낸다. 따라서, 모형의 벽체 높이 h는 현장의 nh를 상사하고 토압은 모형에서 측정된 토압이 그대로 현장의 토압에 해당하게 된다.

#### 3.3 시험에 사용된 재료 및 장비

##### 3.3.1 되메움 재료

실험에 사용된 되메움 재료는 주문진 표준사이며, 물성치는 표 2와 같다.

표 1. 원심모형시험의 상사성

Quantity	Prototype	model
length	1	1/n
area	1	1/n <sup>2</sup>
volume	1	1/n <sup>3</sup>
velocity	1	1
acceleration	1	n
mass	1	1/n <sup>3</sup>
force	1	1/n <sup>2</sup>
stress	1	1
strain	1	1
energy	1	1/n <sup>3</sup>
mass density	1	1
time(dynamic)	1	1/n
frequency	1	n
permeability	1	n
time(consolidation)	1	1/n <sup>2</sup>

표 2. 주문진 표준사 물성치

구분	값
$G_s$	2.6
$e_{max}$	0.879
$e_{min}$	0.546
$D_{10}$	0.21mm
$D_{30}$	0.23mm
$D_{60}$	0.25mm
통일분류법	SP

##### 3.3.2 전면벽

전면벽의 모형은 약스티로폼에 부직포를 대고 얇은 구리판(t=2mm)을 부착후 그 위에 사포를 부착시켜 블록의 거친 표면을 모사하였다.

##### 3.3.3 스티로폼

전면판은 벽체변형이 허용되도록 약스티로폼을 사용하였으며 절취사면의 모형은 강스티로폼을 사용하여 상대적으로 변형이 작게 발생하도록 하였다.



표 3. 스티로폼의 물성치

구 분	규 격	밀 도 (kg/m <sup>3</sup> )	굽힘강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
전면벽	4호 (약스티로폼)	15 이상	0.5 이상	0.5 이상
모형사면	1호 (강스티로폼)	30 이상	3.5 이상	1.6 이상

### 3.3.4 원심모형시험기

실험에 사용된 원심력 모형시험기는 명지대학교 지반공학연구실에서 자체개발한 것으로 아래와 같다.

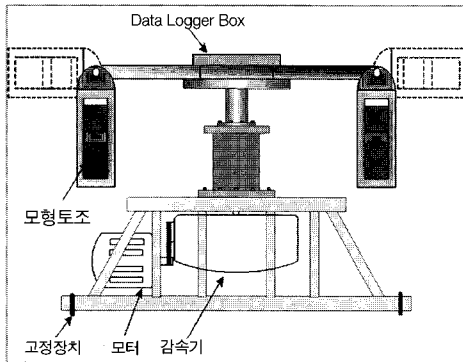


그림 7. 원심모형시험기 모식도

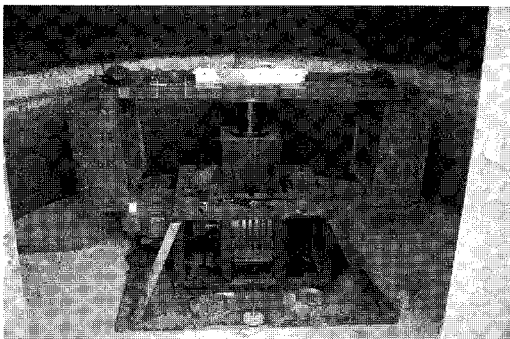


그림 8. 원심모형시험기 전경

표 4. 원심모형시험기 제원

구 분	제 원
회전팔(개수)	2(개)
팔 길 이	140cm
최대 g-level	140g
모터용량	10HP

### 3.3.5 원심모형 토조

좁은 되메움 공간의 평면변형(plane strain)조건을 만족시킬 수 있는 내부크기 40×58×20cm(높이×폭×길이)인 직육면체 모형토조 2개를 사용하였다. 측면은 원심모형시험의 모형에서 발생된 형상의 관찰이 용이하도록 투명아크릴판으로 제작되었고 상부에는 계측기의 설치를 위한 앵글을 장착하였으며 형상은 그림 9와 같다.

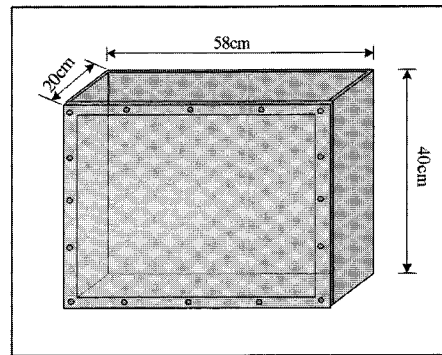


그림 9. 원심모형시험에 사용된 토조

### 3.3.6 계측장비

#### 3.3.6.1 토압계

수평토압을 측정하기 위해 사용된 토압계는 일본의 동경측기연구소의 PDA-1MPA 제품을 사용하였다.

#### 3.3.6.2 Data Logger 및 무선 송·수신장치

모형시험 진행중 토압계에서 전송된 데이터를 수집하기 위하여 미국 Campbell사의 CR1000 데이터 로거(그림 10)를 사용하였으며, 시험중 무선으로 데

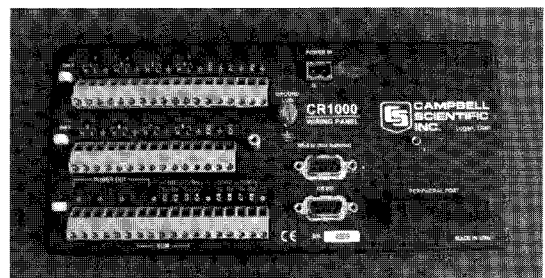


그림 10. 시험에 사용된 데이터 로거



이터의 모니터링 및 수집을 위하여 블루투스 방식의 무선통신 모듈(그림 11)을 사용하였다.

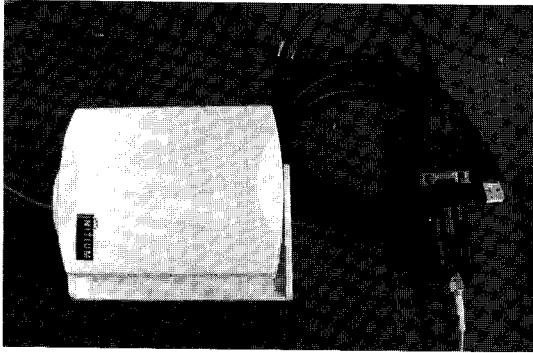


그림 11. SD202 블루투스 모듈 및 패치 안테나

### 3.4 시험방법

#### 3.4.1 시험조건

모형공간조성은 저면폭(3cm, 6cm)과 사면경사각(45, 60, 75, 90도)을 변화시키면서 되메움토에 대하여 총 8회의 시험을 실시하였으며 각각의 시험에서 중력가속도(g)를 실제의 시공가능한 크기의 모사를 위해 20g, 30g, 40g로 증가시키면서 토압을 측정하는 다음과 같은 시험이 수행되었다.

표 5. 시험에 적용한 조건

구분 시료	저면폭 (cm)	사면경사각 (도)	시험횟수 (회)	중력가속도 (g)
주문진표준사	3, 6	45, 60, 75, 90	8	20, 30, 40 (3단계 시험)

#### 3.4.2 시험순서

- ① 토조측벽 아크릴판의 내부에 벽마찰을 최소화시키기 위해 접착식 폴리에틸렌 필름을 부착하였다.
- ② 약스티로폼에 부직포, 얇은 구리판 및 사포를 부착하여 전면벽을 만든 후 토압계를 정해진 위치(0.2H, 0.4H, 0.6H, 0.8H)에 설치한다.
- ③ 강스티로폼에 사포를 부착하여 모형사면을 완성시킨다.

- ④ 일정한 밀도로 관리하기 위하여 시료상자에 되메움 흙을 채운후 중량을 기록하고 되메움을 완료한 후 남아있는 흙의 중량을 기록한다.
- ⑤ 되메움은 총 4층으로 나누어 일정한 밀도를 유지할 수 있도록 자유낙하시켜 부설하고 다짐판을 이용하여 약 20회의 가벼운 다짐을 하였다.
- ⑥ 각 층별 다짐이 완료되면 중량을 잰후 나머지 1개의 토조에 시험용 토조의 중량에 맞추어 흙을 채운다.
- ⑦ 2개의 토조를 원심력시험기 팔 2개에 각각 고정하고 토압계를 데이터로거에 연결한 후 회전수(RPM)를 점차 증가시키면서 원심력모형시험을 실시한다.

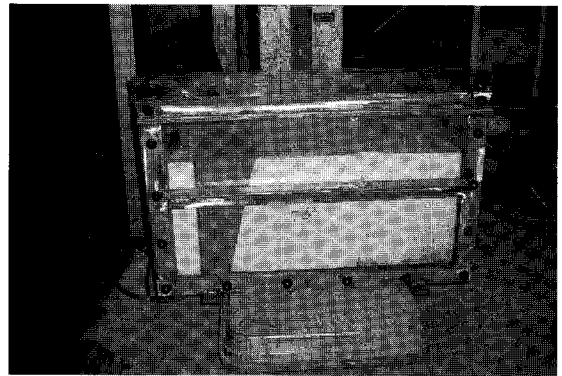


그림 12. 완성된 토조 전경

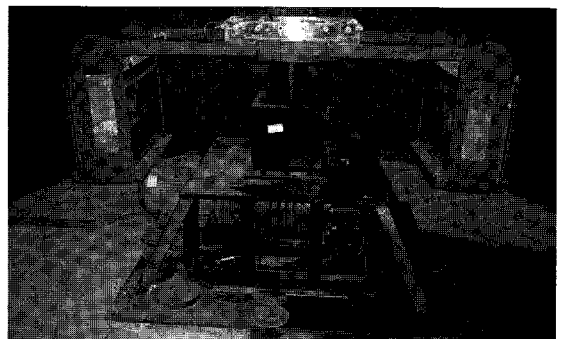


그림 13. 시험준비 완료 후 전경

### 3.5 시험결과

시험후 관찰한 벽체의 변형은  $h/H=1$ 인 최상부에



서와  $h/H=0$ 인 최하부에서 보다는 중앙부에서 뚜렷하게 관찰되었다. 아래의 그림은 수평토압의 변화를 옹벽구조물에 작용하는 Rankine 토압을 기준으로 되메움 공간안에서 파괴영역이 생기는 사면경사각인  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ 의 경우와 좁은 되메움 공간(사면경사각이 Rankine 토압의 파괴영역 이내)인  $75^\circ$ ,  $90^\circ$ 의 경우로 구분하여 나타낸 시험결과이다. 그림을 비교하여 보면  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ 의 경우, 상부에서 큰 값을 보이는 것을 제외하고는 하부로 갈수록 증가하는 경향을 나타내었고  $75^\circ$ ,  $90^\circ$ 의 경우에는 상부에서는 작고  $0.5H$  이하에서는 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이하의 그림에서 A는 사면경사각, B는 저면폭, G는 중력가속도를 나타낸다.

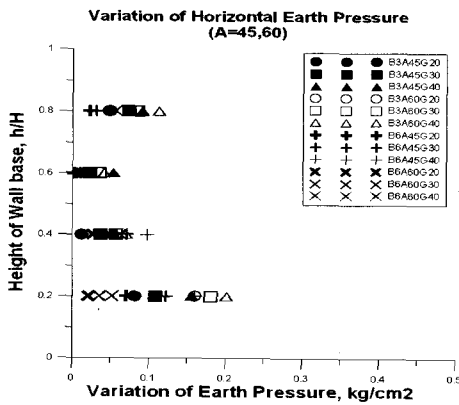


그림 14. 수평토압의 변화(A=45°, 60°)

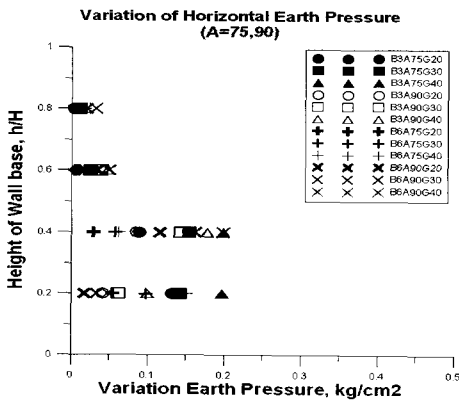


그림 15. 수평토압의 변화(A=75°, 90°)

### 3.5.1 사면경사각의 영향

사면경사각의 영향을 분석해 보기 위하여  $40g$ 에 대하여 옹벽구조물에 작용하는 일반옹벽의 토압을 기준으로 되메움 공간내에서 파괴영역이 생기는  $A=45^\circ$ ,  $60^\circ$ 와 좁은 되메움 공간인  $A=75^\circ$  및  $A=90^\circ$ 인 경우로 나누어 나타낸 결과는 아래와 같다.

#### 1) A=45°, 60°인 경우

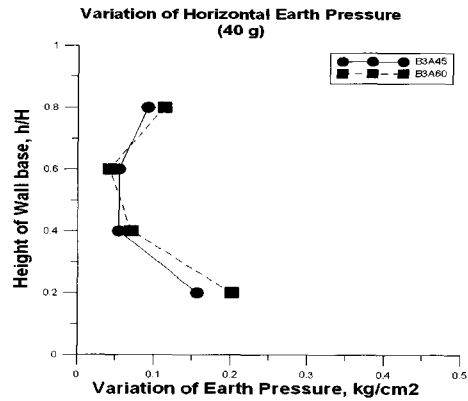


그림 16. 수평토압의 변화(A=45°, 60°)

토압의 변화는 굴착면경사각의 영향보다는 전면벽의 변형에 의한 영향을 받은 것으로 판단되며, 중앙부에서 발생하는 벽체변형의 영향으로 중앙부 토압이 감소하는 양상을 나타내고 있다. 하부의 아칭효과에 의한 토압감소는 뚜렷이 관찰되지 않았다.

#### 2) A=75°인 경우

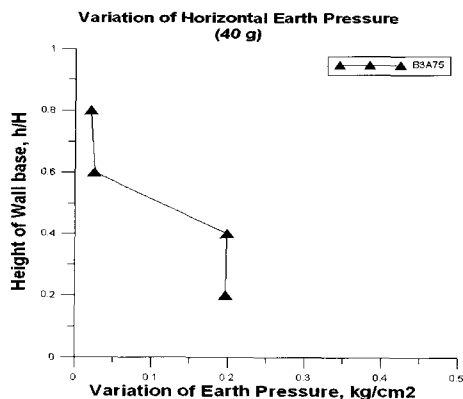


그림 17. 수평토압의 변화(A=75°)



중상부에서 벽체변형과 축소되는 주동파괴 썩기에 의한 토압감소가 나타났고, 중하부에서는 인접한 절취사면과 벽체 사이에서 발생하는 아칭효과에 의한 토압감소가 나타나기 시작하였다.

### 3) A=90°인 경우

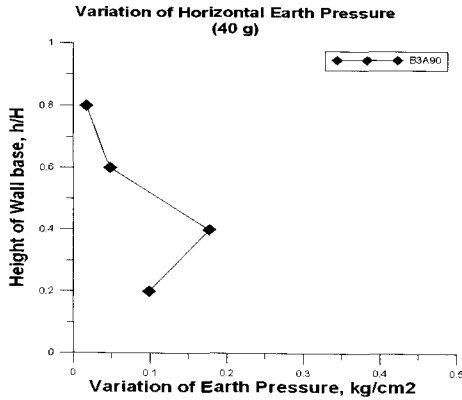


그림 18. 수평토압의 변화(A=90°)

아주 좁은 되메움 구간을 형성시킨 경사각 90°에서의 토압의 변화는 중상부에서는 75°의 경우와 유사하나 뚜렷한 것은 하부에서 아칭효과가 최대로 발휘되어 토압감소효과가 매우 커졌다는 것이다.

#### 3.5.2 저면폭의 영향

저면폭의 변화에 따라서는 최상부와 최하부에서 약간의 변화를 보이고 있으나 되메움 공간의 높이

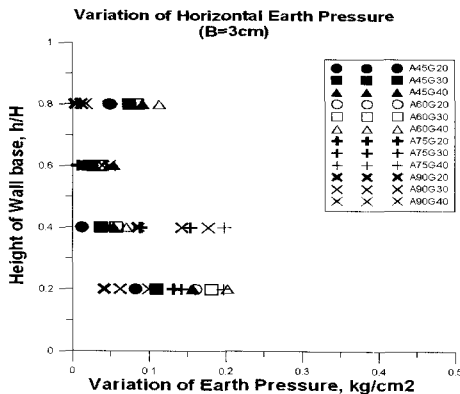


그림 19. 수평토압의 변화(B=3cm)

(H)에 비하여 상대적으로 작은 저면폭(B)을 감안하면 B/H가 약 25%내에서는 큰 변화가 없음을 알 수 있었다.

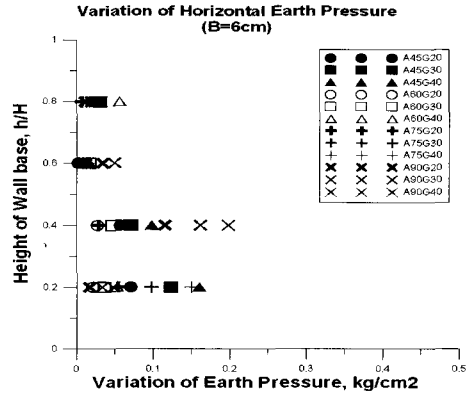


그림 20. 수평토압의 변화(B=6cm)

## 4. 결론

굴착사면 전면의 낙석과 표면침식방지와 미관을 목적으로 시공되는 블록벽체와 굴착면 사이의 좁은 되메움 공간의 형상에 따라 유발되는 토압의 변화특성을 알아보기 위하여 원심모형시험을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 현재까지 시험에서 얻은 데이터가 충분하지 않으나 잠정적으로 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 되메움 공간의 폭이 용벽구조물에 작용하는 주동토압의 파괴 흠썩기가 형성될 수 있는 정도로 큰 경우(A=45°, 60°)에는 수평토압이 벽체 중상부에서 연성벽체의 변형에 의한 토압감소가 관찰되었고 아칭효과에 의한 토압감소는 관찰되지 않았다.
- (2) 절취면 경사각이 큰 A=75°, 90°의 경우에는 벽체변형과 흠썩기 축소에 의한 토압감소에 더하여 벽체하부의 아칭효과에 의한 토압감소가 경사각의 증가와 함께 커짐이 관찰되었다.
- (3) 되메움 공간의 저면폭은 시공상 허용되는 범위



에서 토압특성에 별로 영향을 주지 않았다.

- (4) 낙석방지 블록벽에 작용하는 토압산정에는 시공 중과 완공후 발생하는 벽체 변형과 절토면 경사 각을 고려하여 토압감소를 반영하여야 한다. 특히 절토면경사가 급경사인 경우에는 아칭효과에 의한 토압감소효과를 고려하면 경제적인 벽체설계가 되도록 해야 한다.

임종철,공영주 외2인(2000), "지하구조물에 인접해 있는 옹벽의 주동토압", 토목학회, 학술발표논문(2), pp.329-332.

Richard L. Handy (1985.3), "ARCH IN SOIL ARCHING By Richard L. Handy", *Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 111, No. 3*, pp.302-318.

#### 참고문헌

김상규 (1996), "토질역학의 기본원리", 동명사, pp.229-271.

김은섭, 이상덕 (1999.8), "지하박스구조물에 작용하는 토압에 관한 실험적 연구", 지반공학회논문, 15권, 4호, pp.235-246.3.

이상덕, 문창렬, 김은섭, 이종규 (1997), "퇴메움 지반에 의한 수평토압에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제17권 제3-3호, pp.285-292.

접 수 일: 2007. 10. 29

심 사 일: 2007. 10. 29

심사완료일: 2008. 1. 15