

주문진 모래를 이용한 선반식 옹벽의 수평토압 측정 모형시험

문인종¹, 김병일^{1*}, 유완규², 박용석³
¹명지대학교 토목환경공학과, ²한국건설기술연구원, ³(주)주성엔지니어링

Model Tests for Measurement of Lateral Earth Pressure on Retaining Wall with the Relieving Platform Using Jumoonjin Sand

In-Jong Moon¹, Byoung-II Kim^{1*}, Wan-Kyu Yoo² and Yong-seok Park³

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Myongji University

²Korea Institute of Construction Technology

³Jusung Engineering Co.

요 약 최근 국내에서도 구조물의 안정성을 향상시키고 수평토압의 크기를 줄여주는 선반식 옹벽에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 모형시험 등 연구도 수행되기 시작했는데 기존 모형시험은 시험조건도 다양하지 않으며, 시험방법 등에서 개선해야 할 점이 있다. 이 연구에서는 개선된 모형시험 방법으로 여러 가지 다양한 조건에 대하여 모형시험을 수행하여 선반식 옹벽의 수평토압 감소효과를 확인하고자 하였다. 모형지반으로는 옹벽모형지반으로 일반적으로 많이 사용되는 주문진 모래를 이용하였으며, 1.2m의 모형옹벽을 15개 층으로 나누어 층마다 2개씩 총 30개의 로드셀을 사용하여 옹벽 높이별 수평토압을 측정하였다. 연구결과 선반식 옹벽은 캔틸레버식 옹벽에 비해 수평토압이 작게 발생하였으며, 선반 길이, 선반위치 등에 따라 수평토압의 크기가 영향을 받는 것으로 나타났다.

Abstract Recently, the retaining wall with the relieving platform has received increasing interests also in Korea in that it can reduce the lateral earth pressure and provide more stability than conventional retaining wall. Previous studies with model tests studies covered only a limited test conditions. In this study, total 15 model tests were performed for various conditions with improved model test apparatus to confirm the effect of decreasing the lateral earth pressure on the retaining wall with the relieving platform. Jumoonjin sand was used for model soil and 2 load cells were used for each 15 layers to measure the lateral earth pressure. Based on the experimental results, the lateral earth pressure of the retaining wall with the relieving platform is less than the that of cantilever wall. The length of the platform and the location of the platform are the key factors influencing the lateral earth pressure.

Key Words : Jumoonjin sand, Lateral earth pressure, Model test, Relieving platform, Retaining wall

1. 서 론

일반적으로 옹벽 상단 부근에 하나의 선반을 설치하는 선반식 옹벽은 옹벽높이가 높아도 옹벽에 작용하는 토압이 상대적으로 작아 구조물의 안정성이 크다[1,2]. 또한 선반식 옹벽은 기존의 캔틸레버식 옹벽이나 L형 옹벽에

비해 뒷굽이 작아 배면지반의 공간 확보가 어려운 현장 등에 적용할 때 장점이 있어 최근 그 사용이 늘고 있다.

선반식 옹벽의 토압분포에 대한 연구는 외국의 경우 Yakovlev[3,4], Liu & Lin[5] 등에 의해 일부 진행된 바 있고 국내에서도 선반식 옹벽에 발생하는 토압의 경감효과에 대한 모형시험 연구[6,7]가 진행된 바 있지만 많은

본 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2012R1A1A2003054).

*Corresponding Author : Byoung-II Kim(Myongji Univ.)

Tel: +82-31-330-6415 email: bikim@mju.ac.kr

Received July 23, 2013

Revised August 2, 2013

Accepted November 7, 2013

연구가 이루어진 것은 아니다. 또한 국내에서 수행된 기존의 모형시험은 시험조건도 다양하지 않으며, 모형시험 방법 등에서 여러 가지 개선해야 할 점이 있다.

이 연구에서는 개선된 모형시험 방법으로 여러 가지 다양한 조건에 대하여 모형시험을 수행하여 선반식 옹벽의 수평토압 감소효과를 확인하고자 하였다. 모형지반으로는 옹벽모형지반으로 일반적으로 많이 사용되는 주문진 모래를 이용하였으며, 선반 길이, 선반 위치, 되메움 조건 등 다양한 시험 조건으로 총 15회 모형시험을 수행하였다.

2. 모형시험

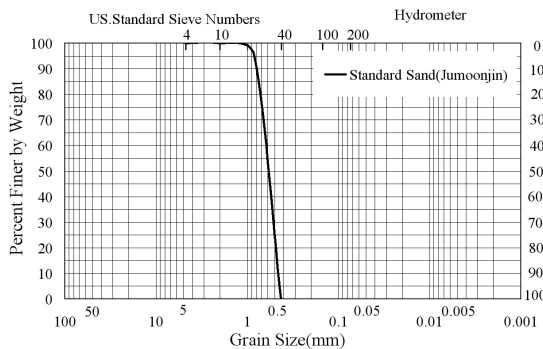
2.1 시험에 사용된 흙 및 장비

2.1.1 시험에 사용된 흙

이 연구에서는 균질한 모형지반을 조성하기 위해 주문진 표준사를 사용하였다. Table 1은 이 연구에 사용된 주문진 표준사의 물성값 및 역학적 특성값을 정리하여 나타낸 것이고 Fig. 1은 이 흙의 입도분포곡선을 나타낸 것이다.

[Table 1] Soil properties used in the model test

Soil characteristics	Specific gravity	Strength parameter		Dry unit weight		US CS
	G_s	c (kPa)	ϕ (°)	γ_{dmax} (kN/m ³)	γ_{dmin} (kN/m ³)	
Jumoonjin sand	2.62	0	38.4	16.79	13.96	SP



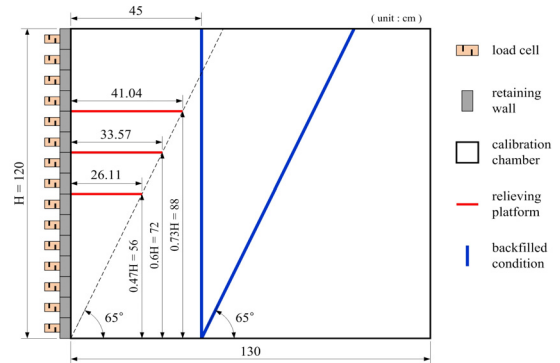
[Fig. 1] Grain size distribution curve

2.1.2 시험에 사용된 장비

모형시험에는 Fig. 2와 같이 50×130×120cm(폭×길이×높이)크기로 제작된 모형토조를 이용하였다. 이 모

형토조는 굴착면을 모사하기 위해 한 쪽 측면이 분리될 수 있도록 제작하였다. 분리 가능한 측면판의 재질은 지반의 조성과정을 확인하기 위해 두께 1cm의 아크릴을 사용하였으며, 분리 가능한 측면판을 제외한 토조는 알루미늄판을 사용하였다.

모형옹벽은 각 층의 분리 거동을 유도하기 위해 높이 8cm, 폭 50cm의 판을 1mm 간격으로 설치하여 총 15층(높이 1.2m)으로 구성하였으며 각 층에는 수평토압을 측정하기 위해 로드셀을 2개씩 설치하였다.



[Fig. 2] Schematic profile of experimental setup

2.2 시험 조건 및 시험 방법

이 연구에서는 캔틸레버식 옹벽에 작용하는 토압과 선반식 옹벽에 작용하는 토압을 모형시험을 통해 측정하여 비교하였다. 또한 기존에 이루어졌던 연구[7]에서는 파악할 수 없었던 선반 높이와 선반 길이가 선반식 옹벽에 작용하는 수평토압의 변화에 미치는 영향을 파악하기 위해 모형시험 조건을 추가하였다. Table 2는 이번 모형시험에 적용된 시험조건을 정리하여 나타낸 것이다.

굴착각도는 좁은 90°, 좁은 65°, 일반 90° 등 3가지 경우로써 그림 2에서 볼 수 있듯이 좁은 90°와 좁은 65°는 되메움 폭이 45cm, 일반 90°는 되메움 폭이 130cm이다. 굴착각도 65°의 경우 활동면(45+φ/2°)을 나타내기 위한 조건이다. 선반 높이는 옹벽 하단을 기준으로 0.47H(56cm), 0.6H(72cm), 0.73H(88cm)의 높이에 선반을 설치하였다. 한편, 선반 길이는 긴 선반, 짧은 선반 등 2가지 경우에 대하여 모형시험을 실시하였다. 긴 선반은 설치된 높이에서 활동면(Fig. 2에서 점선)까지 선반 길이가 근접하거나 초과하는 경우이며, 짧은 선반은 그렇지 못한 경우이다. 긴 선반의 경우 0.47H의 높이에서는 27cm, 0.6H은 34cm, 0.73H은 42cm인 길이의 선반을 각각 사용하였으며, 짧은 선반은 0.6H의

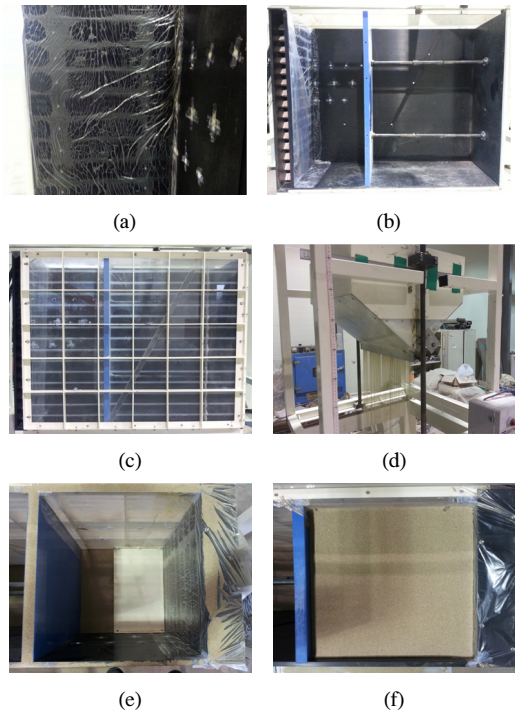
높이에서 27cm 인 길이의 선반을 사용하여 모형시험을 진행하였다.

[Table 2] Model test conditions

Case	Retaining wall type	Backfilled condition	Height of relieving platform	Length of relieving platform
C-N90	Cantilever	Narrow 90°	-	-
C-N65		Narrow 65°		
C-G90		General 90°		
R-N90-0.6H-L	Relieving platform	Narrow 90°	0.6H (72cm)	Long
R-N65-0.6H-L		Narrow 65°		
R-G90-0.6H-L		General 90°		
R-N90-0.73H-L		Narrow 90°	0.73H (88cm)	
R-N65-0.73H-L		Narrow 65°		
R-G90-0.73H-L		General 90°		
R-N90-0.47H-L		Narrow 90°	0.47H (56cm)	
R-N65-0.47H-L		Narrow 65°		
R-G90-0.47H-L		General 90°		
R-N90-0.6H-S		Narrow 90°	0.6H (72cm)	Short
R-N65-0.6H-S		Narrow 65°		
R-G90-0.6H-S		General 90°		

모형지반을 조성하기 위해 자체 제작한 강사장치를 이용하였으며 120cm의 강사 높이를 유지하면서 모형지반을 고르게 조성하였다. 이와 같은 방법으로 조성된 모형지반의 단위중량은 평균 15.41kN/m³이고, 이 때 지반의 상대밀도(D_r)는 약 55.79%이다. 모형시험 순서를 정리하면 다음과 같다(Fig. 3 참조).

- ① 모형옹벽을 구성하고 있는 15개의 판과 판 사이에 이물질 유입을 막기 위해 그리스를 바르고 얇은 비닐을 부착한다.
- ② 되메움 조건을 적용한 뒤 측면판을 부착한다.
 - 좁은 90° : 모형토조의 모형옹벽 바닥으로부터 45cm 떨어진 지점에 90°로 고강도 플라스틱판을 설치(Fig. 2, Fig. 3(b) 참조)
 - 좁은 65° : 모형토조의 모형옹벽 바닥으로부터 45cm 떨어진 지점에 65°로 고강도 플라스틱판을 설치(Fig. 2 참조)
 - 일반 90° : 모형토조에 고강도 플라스틱판을 설치하지 않는 조건(Fig. 2 참조)
- ③ 강사장치를 이용하여 8cm 단위로 1.2m의 일정한 높이를 유지하며 모형지반을 조성한다.
- ④ 선반식 옹벽의 경우 선반 아래 높이까지 강사한 후 선반을 설치한다.
- ⑤ 모형옹벽 높이까지 강사하고 모형지반 조성이 완료되면 토압을 측정한다.



[Fig. 3] Model test procedure

- (a) Vinyl attachment
- (b) Apply backfill
- (c) Attach the side plate
- (d) Pluviation of sand
- (e) Assemble the relieving platform
- (f) After setting up

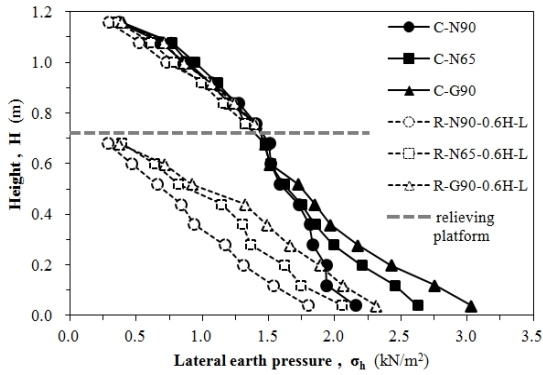
3. 모형시험 결과 및 분석

3.1 옹벽 종류에 따른 수평토압 분포

옹벽 종류에 따른 수평토압 측정결과는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 선반의 상부위치 ($H \approx 0.72 \sim 1.2m$)에서는 되메움 조건에 관계없이 캔틸레버식 옹벽과 선반식 옹벽에서 수평토압의 크기가 거의 유사한 것으로 나타났다. 그러나 선반 하부위치 ($H \approx 0 \sim 0.72m$)에서는 캔틸레버식 옹벽의 수평토압은 연속적으로 증가하는 반면에 선반식 옹벽에서는 선반 바로 아래 지점에서 토압이 급격하게 감소하고 깊이에 따라 다시 증가하지만, 그 크기는 캔틸레버식 옹벽에 비해 상당히 작은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Kim et al.[7]의 모형시험 결과와 유사하며, 선반식 옹벽에서는 선반의 설치로 인해 선반 하부에서의 수평토압 감소효과가 뚜렷하게 발생했기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 좁은 90° 되메움 조건을 적용한 캔틸레버식 옹벽에서는 나머지 경우와 다르게 옹벽 바닥에 근접할수

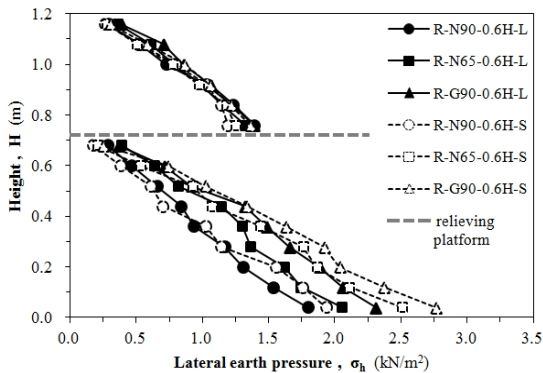
록 수평토압의 증가율이 감소하였다. 이러한 결과는 되메움 폭이 감소할수록 아칭현상으로 인해 옹벽 하부에서 수평토압의 크기가 작아지는 기존의 연구 결과[7,8]와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.



[Fig. 4] Lateral earth pressure distribution with regard to the type of retaining wall

3.2 선반 길이에 따른 수평토압 분포

선반 길이에 따른 선반식 옹벽의 수평토압 측정결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 선반 상부 ($H \approx 0.72 \sim 1.2$ m)에서는 되메움 조건과 설치된 선반 길이에 관계없이 수평토압의 크기가 거의 유사한 것으로 나타났다. 그러나 선반 하부 ($H \approx 0 \sim 0.72$ m)에서는 되메움 조건이 같은 경우 짧은 선반을 설치한 선반식 옹벽이 긴 선반을 설치한 선반식 옹벽보다 수평토압의 감소 효과가 상대적으로 작은 것을 확인할 수 있다. 이것은 긴 선반을 설치한 경우 선반이 설치된 높이에서 선반 길이가 활동면에 근접하기 때문에 선반 상부의 뒤채움 흙과는 관계없이 선반 하부의 뒤채움 흙에 의한 토압만 작용



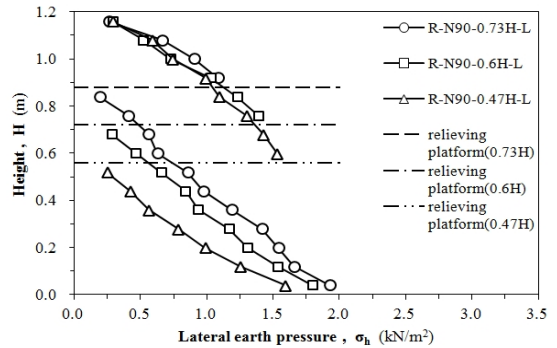
[Fig. 5] Lateral earth pressure distribution with regard to the length of relieving platform

하지만 짧은 선반이 설치된 경우에는 선반이 설치된 높이에서 선반의 길이가 활동면에 근접하지 못하기 때문에 선반 상부의 뒤채움 흙의 영향을 받아 수평토압의 감소 효과가 작은 것으로 판단된다.

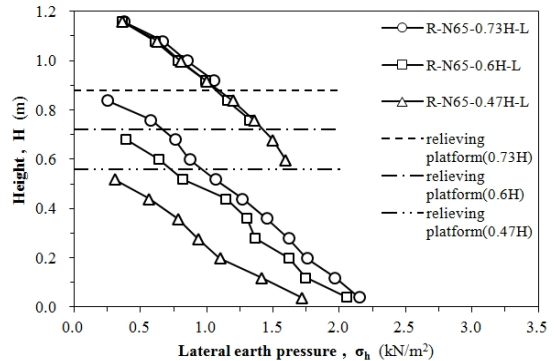
3.3 선반 높이에 따른 수평토압 분포

선반 높이에 따른 선반식 옹벽의 수평토압 분포는 Fig. 6과 같다. 선반 높이에 따른 수평토압의 비교는 Table 3과 같다. Fig. 6을 통해 선반의 높이가 높아질수록 선반 상부의 수평토압은 작아지고, 옹벽 하단에서의 수평토압은 커지는 경향을 확인할 수 있다.

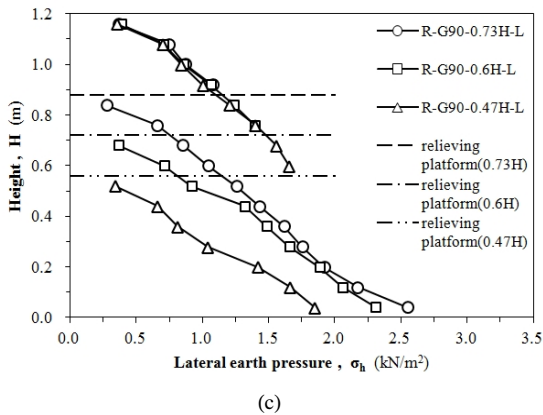
또한 Table 3을 통해 선반 높이에 따라 선반 길이의 변화와 수평토압의 합력 변화를 비교할 수 있다. 선반 높이가 옹벽의 중간부분($0.5H$)에 근접할수록 선반의 길이는 짧아지며, 수평토압의 합력이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 Liu & Lin[5]의 연구결과와 마찬가지로 긴 선반을 설치한 경우 선반의 높이가 옹벽의 중간 부분에 근접할수록 선반의 길이가 짧아지고, 수평토압의 경감효과가 커지는 것을 알 수 있으므로 실제 옹벽 시공 시 시공비용을 낮출 수 있을 것으로 판단된다.



(a)



(b)



[Fig. 6] Lateral earth pressure distribution with regard to the height of relieving platform
 (a) Backfilled condition - Narrow 90°
 (b) Backfilled condition - Narrow 65°
 (c) Backfilled condition - General 90°

[Table 3] Comparison of lateral earth pressure according to the height of relieving platform

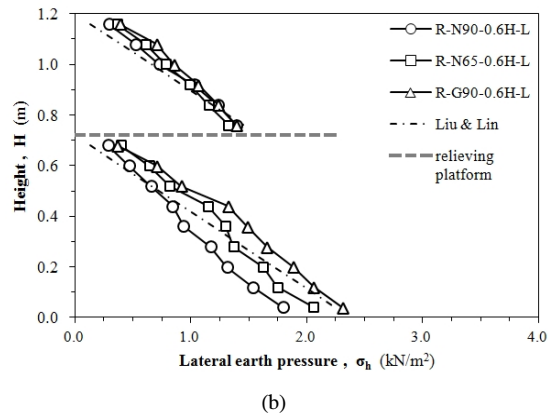
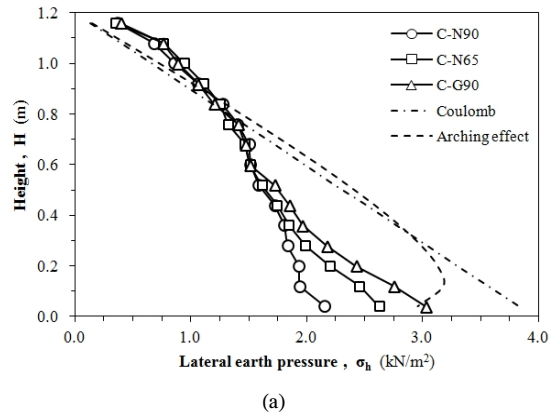
Case	Height of relieving platform (cm)	Length of relieving platform (cm)	Resultant force of lateral earth pressure (kN/m)
R-N90-0.73H-L	88	42	0.997
R-N90-0.6H-L	72	34	0.984
R-N90-0.47H-L	56	27	0.957
R-N65-0.73H-L	88	42	1.172
R-N65-0.6H-L	72	34	1.136
R-N65-0.47H-L	56	27	1.054
R-G90-0.73H-L	88	42	1.310
R-G90-0.6H-L	72	34	1.279
R-G90-0.47H-L	56	27	1.144

3.4 이론식에 의한 수평토압과 비교

Fig. 7은 모형시험결과 측정된 수평토압을 이론값과 비교하여 나타낸 것이다. 먼저 Fig. 7 (a)에서 보는 바와 같이 모형시험으로 결정된 캔틸레버식 옹벽의 토압분포는 대체적으로 이론식(Coulomb의 주동토압, Paik & Salgado[9]가 제안한 아칭효과를 고려한 주동토압)에 의한 값보다 작은 경향을 나타낸다. 이러한 결과는 Kim et al.[7]의 모형시험 결과와는 다른 경향을 보이며, 이번 모형시험에서는 층별로 모형옹벽의 변위가 발생했기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 선반식 옹벽에 작용하는 토압분포는 그림 7 (b)에서 보는 바와 같이 선반 상부에서는 대체적으로 Liu &

Lin[5]의 이론식에 의한 분포형태와 비슷한 경향을 보인다. 선반 하부에서는 좁은 65° 되메움 조건, 일반 90° 되메움 조건의 분포가 이론식에 의한 분포형태와 비슷한 경향을 보이지만 좁은 90° 되메움 조건은 옹벽 하단으로 갈수록 수평토압이 작아지는 분포형태를 보인다. 이러한 결과는 옹벽 하부로 갈수록 아칭현상으로 인해 수평토압의 크기가 이론식과 비교하여 작아지기 때문인 것으로 판단된다.



[Fig. 7] Comparison of lateral earth pressure by the theoretical equation
 (a) Cantilever retaining wall
 (b) Retaining wall with the relieving platform

4. 결론

이 연구에서는 여러 가지 조건을 달리하여 캔틸레버식 옹벽과 선반식 옹벽에 대한 모형시험을 실시하였다. 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 선반식 옹벽은 캔틸레버식 옹벽에 비해서 수평토압이 현저하게 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 선반 설치 시 선반 하부에서 발생하는 수평토압이 감소했기 때문이라 할 수 있고, 선반을 설치하여 발생하는 수평토압의 감소효과는 뚜렷한 것으로 판단된다.
- 2) 선반식 옹벽에서 긴 선반을 설치하는 것은 짧은 선반을 설치하는 것에 비해 수평토압의 감소효과가 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 수평토압의 감소효과를 극대화하기 위해서는 선반 길이가 활동면에 근접하거나 초과하도록 해야 하는 것으로 판단된다.
- 3) 선반식 옹벽에서는 선반 높이가 높아질수록 옹벽 하단에서의 수평토압이 커지며, 긴 선반 설치 시 선반 높이가 옹벽의 중간부분에 근접할수록 수평토압의 경감효과가 커지는 것으로 나타났다.
- 4) 캔틸레버식 옹벽의 토압분포는 대체적으로 이론식보다 작게 측정되었으며, 선반식 옹벽의 토압분포는 Coulomb 주동토압과 유사하게 측정되었다.

References

- [1] B. I. Kim, S. H. Lee, O. S. Kwon and J. H. Kim, *Geotechnical Structure Design Theories and Practice*, Saeron Publishing Company, 2009.
- [2] F. G. Bell, *Ground Engineer's Reference Book*, Butterworths, London, 1987.
- [3] P. I. Yakovlev, "Investigation of the Behavior of Relieving Platforms of Rretaining Walls", in: *Scientific Papers Hydraulic Engineering, Russian*, No.3, Morskoi Transport, 1964.
- [4] P. I. Yakovlev, "Experimental Investigation of Earth Pressure on Walls with Two Relieving Platforms in the Case of Breaking Loads on the Backfill", *Odessa Institute of Naval Engineers*, Translated from Osnovaniya, Fundamenty Mekhanika Gruntov, No.3, pp. 7-9, 1974.
- [5] Liu Fuchen and Lin Shile, "Earth Pressure Calculation for Retaining Structure with Relieving Platform", *Port Engineering Technology*, Aug. 2008, Total 182, No.4, 2008.
- [6] M. R. Yang, M. Piao, W. K. Yoo, B. I. Kim, C. Y. Park and Y. S. Park, "An Experimental Study on the Earth Pressure of the Retaining Wall with the Relieving Platform", *KGS Fall National Conference 2011*, pp. 656-665, 2011.
- [7] B. I. Kim, W. K. Yoo, M. R. Yang and Y. S. Park, "Model Test Study on the Earth Pressure of the Retaining Wall with the Relieving Platform", *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol.32, No.1C, pp. 27-35, 2012.
- [8] N. S. Yoon, *The Earth Pressure on a Cut-Slope Protection Wall*, Ph.D. thesis, Dept. of Civil & Environmental Eng., Myongji Univ., 2007.
- [9] K. H. Paik and R. Salgado, "Estimation of Active Earth Pressure against Rigid Retaining Walls Considering Arching Effects", *Geotechnique*, 53(7), pp. 643-653, 2003.

문 인 중(In-Jong Moon)

[정회원]



- 2012년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 석사과정

<관심분야>
토질역학, 기초공학

김 병 일(Byoung-Il Kim)

[종신회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>
토질역학, 기초공학

유 완 규(Wan-Kyu Yoo)

[정회원]



- 2006년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2011년 8월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 SOC 성능 연구소
Geo-인프라연구실 수석연구원

<관심분야>

토질역학, 기초공학, 지하구조물

박 용 석(Yong-Seok Park)

[정회원]



- 1988년 2월 : 중앙대학교 토목공학과 (공학사)
- 2000년 12월 : 토목구조기술사 자격 취득
- 2003년 3월 ~ 현재 : 주식회사 주성엔지니어링 대표이사

<관심분야>

토질역학, 구조역학