

모형실험에 의한 조립식 격자 옹벽의 거동 특성

The Behavior Characteristics of Segmental Crib Retaining Wall by Model Test

김상수¹⁾, Sang-Su Kim, 신방웅²⁾, Bang-Woong Shin, 김용언³⁾, Yong-Un Kim
이재영⁴⁾, Jae-Young Lee, 변동건⁴⁾, Dong-Gun Byun

¹⁾ 충북대학교 토목공학과 박사과정, Graduated School, Dept. of Civil Eng., Chungbuk National Univ.

²⁾ 충북대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Chungbuk National Univ.

³⁾ (주)산천건설 대표이사, President, San-Cheon Construction Company

⁴⁾ 충북대학교 토목공학과 석사과정 Graduated School, Dept. of Civil Eng., Chungbuk National Univ.

SYNOPSIS : The concrete wall is the most useful of retaining structure which can obtain the engineering stability, but has problems that is not friendly with nature environment in a fine view, such as poor rear drainage, and shrinkage crack by temperature difference, etc.

Because of this problems, the research for a segmental crib retaining wall has been performed. A segmental crib retaining wall is quickly and easily erected because is possible to be erected as the individual members, and is not sensitive to differential settlement and earthquakes. Also, it shows effective drainage and has a friendly advantage with nature environment because of being able to be planted with vines and shrubs in retaining walls

The design of crib retaining walls has traditionally been based on classical soil mechanics theories. These theories, originally derived by Rankine(1857) and Coulomb(1776), assume that the wall acts as a rigid body. This assumption results in failure being predicted by either monolithic overturning or base sliding mechanisms. However, the wall consists of individual members which have been created a three dimensional grid. This grid confines an fill mass which becomes part of the wall.

The filled wall resists the earth pressure with the same mechanism of classical gravity walls. Because of the flexibility of the individual segment, it allows relative movement between the individual members within the wall. The three dimensional flexible grid leads to stress redistribution when the wall is subjected to external or fill loads. Due to the flexibility and the stress redistribution, the failure of segmental crib wall consists of not only overturning and base sliding but the local deformation and the failure between the segmental members. It has been researched in the field that due to this flexibility and load redistribution, serviceability failure of segmental crib walls is unlikely to be due to overturning or base sliding.

Therefore, in this study, the relative displacement appearance of retaining wall due to variation of inclination is measured to examine this behavior characteristics. Also, the behavior characteristics of retaining walls by surcharge load, and location of acting point of retaining wall rear, and the displacement characteristics and deflections are estimated about the existence and nonexistence of Rear Strecher performing an role in transmitting earth pressure of Header and Strecher organizing retaining walls.

This research focuses on the characteristics due to the behavior of retaining walls.

Key words : Segmental Crib Retaining wall, Rear Strecher, deflection

1. 서론

성토 및 절토체를 지지하기 위하여 축조되는 토류 구조물로 가장 널리 쓰이는 것은 현장 타설식 콘크리트 석축 및 옹벽을 들 수 있다. 기존의 현장타설 콘크리트 옹벽은 공학적인 안정성은 확보되고 있으나 배면 배수, 온도차 신축균열, 미관상 자연 환경에 친화적이지 못한 문제점 등을 갖고 있다.

현재까지 개발된 옹벽공법을 구분하여 보면 보강토 공법과 같은 배면토 보강식 옹벽, 앵커지지의 패널 옹벽, 그리고 기성제 콘크리트 블록체를 단순 조립하여 축조하는 조립식 옹벽으로 분류할 수 있다.

이러한 옹벽공법들은 재래식 옹벽공법에 비하여 안전성 및 시공성이 우수하고 품질관리를 용이하게 수행할 수 있는 장점이 있다. 이중 기성제의 단보를 격자 형태로 결합하여 속채움 공간을 조성하는 조립식 격자옹벽(Segmental Crib Retaining Wall)은 시공성이 좋으며, 비교적 높은 옹벽의 축조가 가능하고 부등침하와 지진에 대한 유연성이 높은 것으로 알려져 있다. 또한 효율적인 배수 효과를 나타내고 있으며 옹벽에 식생이 가능하여 자연환경과 친화적인 특성을 살릴 수 있는 장점을 갖고 있다.

그러나 조립식 격자 옹벽은 서로 연결된 부재가 3차원 격자를 형성하게 되며 격자 내부는 채움재로 구성되어 엄밀한 의미로 일체식으로는 가정할 수 없다. 이러한 옹벽은 중력식 옹벽과 같은 방법으로 배면토의 토압에 저항하게 되지만 옹벽이 부재(Segment)로 구성되고 유연한 성질을 갖고 있기 때문에 부재들 간의 상대적인 변위를 허용한다.

유연한 3차원 격자망은 외부하중이 가해지거나 뒷채움에 의한 토압이 발생할 경우 응력의 재분배를 유발하게 되며, 이러한 유연성과 힘의 재분배로 인해 조립식 격자 옹벽의 파괴는 전도나 활동에 의한 파괴양상만을 갖지는 않으며, 이러한 이유로 옹벽의 국부적인 변형이나 부재간의 파괴로 인한 옹벽의 파괴가능성이 연구되어 오고 있다.

따라서 본 연구에서는 조립식 격자 옹벽의 거동특성을 규명하기 위하여 옹벽경사의 변화에 따른 상대적인 변위 형태를 측정하고 옹벽체에 부담되는 위치별 변위 특성을 규명하였다. 또한 옹벽을 구성하는 Header와 Strecher 중 상부하중 전달의 역할을 수행하는 Rear Strecher의 유·무와 Rear Strecher의 형태에 따른 옹벽의 거동특성, 옹벽 배면 채움재의 변위 특성 및 작용점의 위치를 측정하고 조립식 격자 옹벽의 하중-변위 특성을 규명하고자 한다.

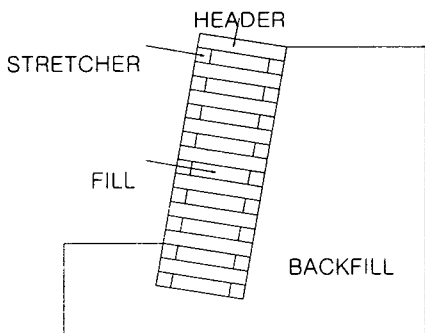


그림 1. 조립식 격자 옹벽 측면

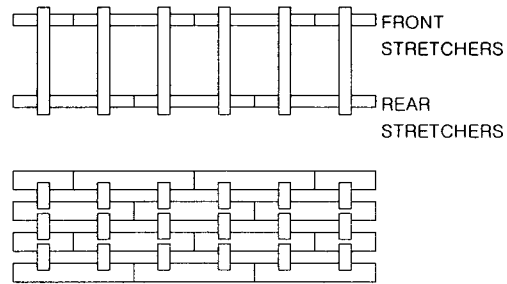


그림 2. 조립식 격자옹벽 평면과 전면

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 그림 3과 같이 모형토조, 조립식 격자 옹벽체, 하중 재하장치와 재하

정도를 측정할 수 있는 압력계, 변위량을 측정하는 Dial Gauge로 크게 분류해 볼 수 있다.

실험에 사용된 모형토조의 제원은 120cm×120cm×90cm의 강재로 제작하였으며 전면은 옹벽축조를 위하여 개방시킬 수 있도록 고안하였다. 바닥은 옹벽의 경사를 모사하기 위하여 1:4 기울기의 판을 제작하였다.

본 실험에서 사용된 모형 실험은 실물크기의 1/5정도의 축척모형으로서 조립식 격자 옹벽은 25mm×25mm의 각관을 이용하여 축조하였으며, Strecher는 400mm, 250mm, 30mm, Header는 150mm의 길이로 분할하여 사용하였다.

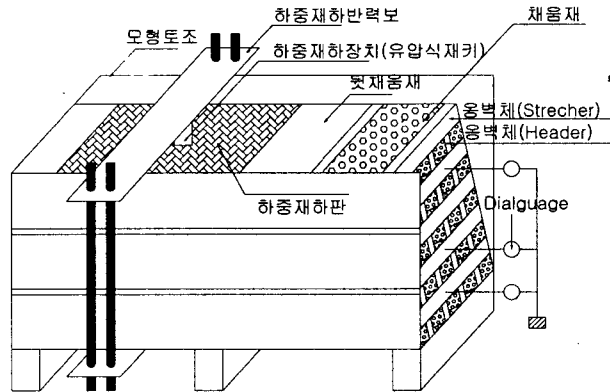


그림 3. 모형 실험 장치

하중재하장치의 최대 하중 용량은 50 ton 으로 견고한 판재로 이루어진 재하판에 하중이 균등하게 가해질 수 있도록 하였다. 재하판은 하중을 균등하게 분포시킬 수 있도록 500mm×110mm×20mm의 재하판을 사용하였다. 변위량 측정에 사용된 Dial Gauge는 하중작용 중심부 및 좌측부, 우측부에 각각 벽체의 하부로부터 상부, 중부, 하부지점에 설치하여 하중 재하에 따른 옹벽의 변위량을 측정하였다.

2.2 실험방법

본 실험에 사용된 뒷채움재는 강모래를 사용하였으며, 통일분류법(USCS)에 의한 분류결과, SP에 해당하는 시료이다. 또한 채움재는 입경 약 19mm이하의 마찰각이 큰 쇄석골재를 사용하였다. 본 실험에 사용한 뒷채움재에 대한 기본적인 특성은 다음 표 1과 같다.

표 1. 뒷채움재의 공학적 성질

Physical Properties	Quantity
Specific gravity	2.67
Coefficient of uniformity	3.65
Coefficient of curvature	1.64
Maximum dry unit weight(t/m ²)	1.70
Minimum dry unit weight(t/m ²)	1.35

옹벽 실험의 뒷채움 지반은 다짐에 의해 일정한 단위중량을 유지하도록 하였으며, 계측방법으로는 Dial Gauge를 일정한 높이의 각 층마다 설치하였고 좀더 정확한 변위 거동의 측정을 위해 벽체에 부착된 자를 이용하여 직접 계측을 하였다. 또한 옹벽의 경사를 각각 1:4와 수직인 경우에 대한 경우와 뒷부분 Strecher 가 있는 경우와 없는 경우, 뒷부분 Strecher의 형태에 대해 하중재하에 따른 변위와 거동특

성에 대해 관찰하였다. 옹벽의 축조는 옹벽의 구성이 되는 Strecher와 Header를 한층 쌓고, 채움과 뒷채움을 동시에 실시하는 방법으로 옹벽을 축조하였다. 본 연구에서 수행한 모형실험은 다음 표 2와 같으며, 그림 4~7은 Rear Strecher의 설치형태를 나타낸다. Front Strecher의 형태는 그림 4의 Rear Strecher 형태로 고정 시켰으며 변위량을 측정하기 위한 계측기의 위치를 표시해 놓았다.

표 2. 실험에서 사용된 경우의 수

Test series	Parameter	Remark
A	경사 1:4, Rear Strecher 있음	뒤채움재 단위중량 1.5 t/m ³
B	경사 수직, Rear Strecher 있음	
C	경사 1:4, Rear Strecher 없음	
D	경사 수직, Rear Strecher 없음	
E	경사 1:4, Rear Strecher 한열씩 빈 경우	
F	경사 수직, Rear Strecher 한열씩 빈 경우	
G	경사 1:4, Rear Strecher 엇갈려 쌓인 경우	
H	경사 수직, Rear Strecher 엇갈려 쌓인 경우	

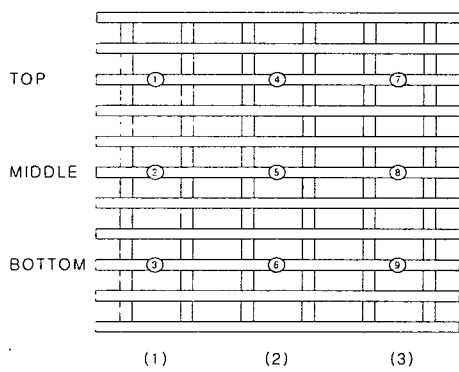


그림 4. Front Strecher와 Rear Strecher의 설치형태

(계측기의 위치는 Front Strecher에 설치한 것을 나타낸다.)

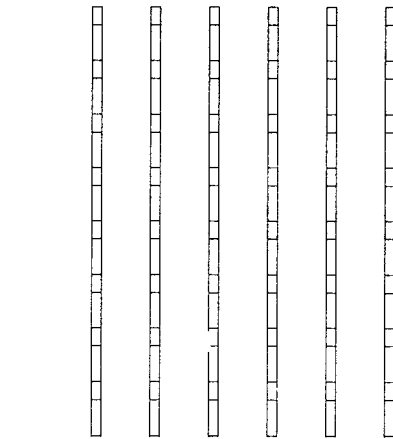


그림 5. Rear Strecher없는 경우의 뒷모습

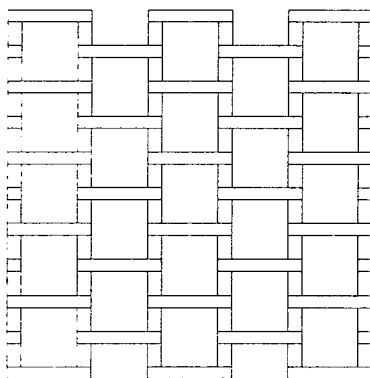


그림 6. Rear Strecher 가 엇갈리게 쌓인 경우

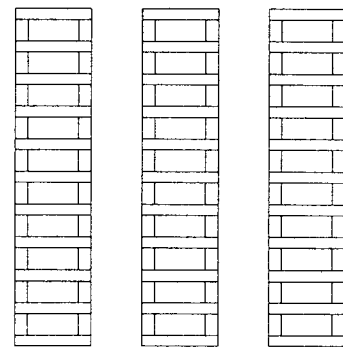


그림 7. Rear Strecher의 한열씩 빈 경우

3. 실험결과 및 분석

3.1 하중-수평변위 특성

본 실험에서는 조립식 격자 옹벽의 거동특성을 규명하기 위하여 경사와 Rear Strecher의 유·무 및 형태에 따른 모형실험을 실시하였으며, 경사 1:4와 수직일 때 Rear Strecher의 유·무 및 형태에 따른 경우에 대해 분석을 실시 하였다.

3.1.1 경사가 1:4인 경우의 거동

그림 8~9는 옹벽 경사가 1:4인 경우일 때 Rear Strecher의 유·무에 따른 하중-변위관계를 나타낸 그림이다. 상재하중의 증가에 따른 벽체의 거동은 벽체 상부에서 최대 수평변위를 나타냈고 벽체 저면으로 갈수록 변위량이 감소하는 경향을 보였다. 파괴에 도달한 후 지속적인 변위의 증가를 보이고 있으며, 각각의 경우에 대한 파괴하중은 Rear Strecher가 있는 경우는 $7 t/m^2$ 이고, Rear Strecher가 없는 경우 $4.7 t/m^2$ 로 측정되었다.

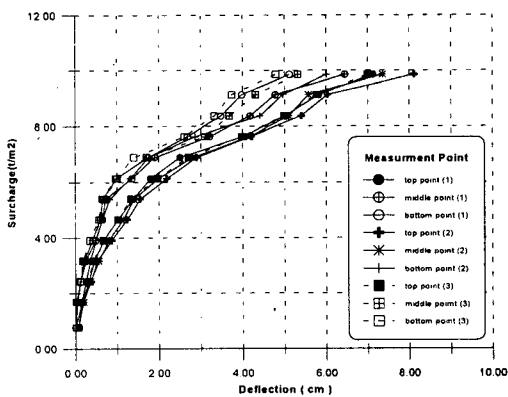


그림 8. Rear Strecher가 있는 경우

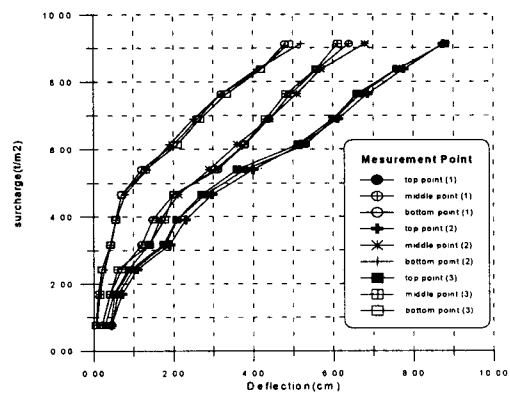


그림 9. Rear Strecher가 없는 경우

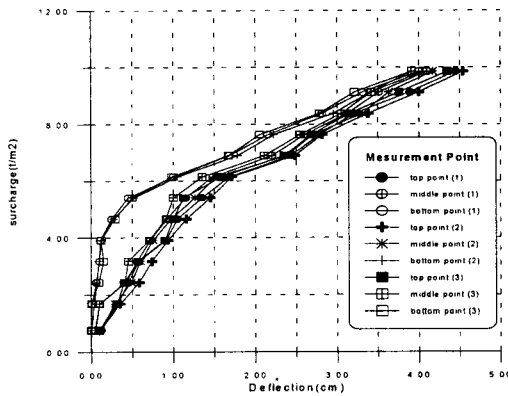


그림 10. Rear Strecher가 한열씩 빈 경우

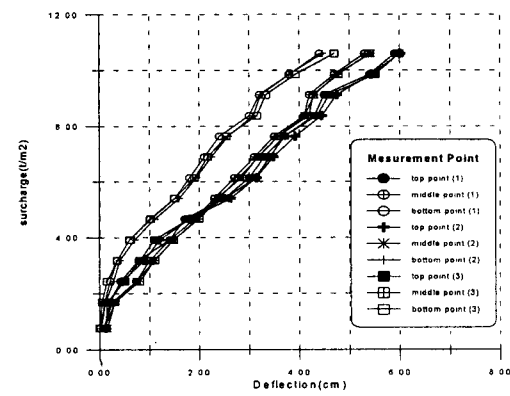


그림 11. Rear Strecher를 엇갈려 쌓은 경우

그림 10~11은 옹벽체의 경사가 1:4일 때 Rear Strecher의 형태에 따른 하중-변위관계를 나타낸 그림이다. 벽체의 변위는 하부로 갈수록 증가량이 작아지는 경향을 보였으며, Rear Strecher가 존재하는 경우 벽체 상단부와 하단부의 변위차가 Strecher가 없는 경우에 비해 작은 것으로 나타났다. 옹벽체의 경사가 1:4일 때 Rear Strecher가 한열씩 빈 경우에서의 파괴하중은 $5.4 t/m^2$, Rear Strecher가 엇갈려서 쌓인 경우는 $5.0 t/m^2$ 로 나타났다.

3.1.2 경사가 수직인 경우의 거동

그림 12~13은 경사가 수직일 때 Rear Strecher의 유·무에 대한 하중-변위관계를 나타낸 그림이다. 각각의 경우에 대한 파괴하중은 Rear Strecher가 있는 경우는 $4.5 t/m^2$ 이고, Rear Strecher가 없는 경우 $3.2 t/m^2$ 로 나타났다. 위치별 벽체의 변위도 경사진 경우와 유사한 거동을 보이고 있으나 상재하중의 작용에 따라 벽체의 붕괴 양상을 확연하게 관찰할 수 있었다. 또한 파괴하중을 지난 후 붕괴도달 전까지 4~6cm 정도의 급격한 변위 증가 양상을 보이고 있다.

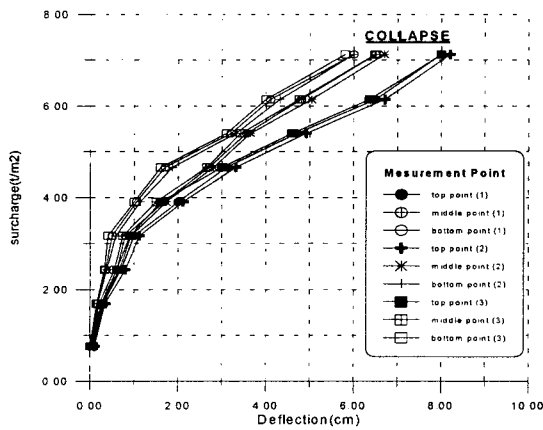


그림 12. Rear Strecher 있는 경우

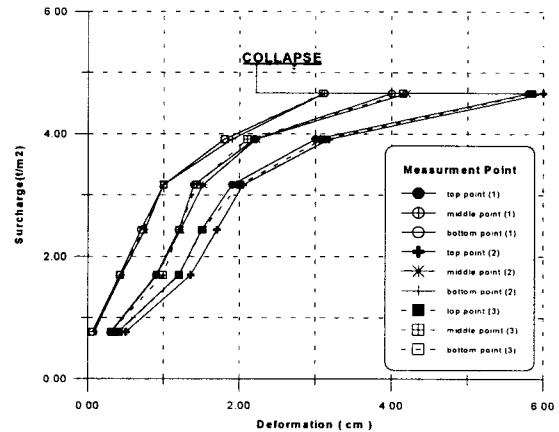


그림 13. Rear Strecher가 없는 경우

그림 14~15는 옹벽체의 경사가 수직일 때 Rear Strecher의 형태에 따른 하중-변위관계를 나타낸다. 옹벽체의 경사가 수직이며 Rear Strecher가 한열씩 빈 경우에는 $3.5 t/m^2$, Rear Strecher가 엇갈려서 쌓인 경우 $3.3 t/m^2$ 으로 나타났다. 위치별 벽체의 변위도 경사진 경우와 유사하며 마찬가지로 붕괴도달까지 급격한 변위의 증가를 보이고 있다.

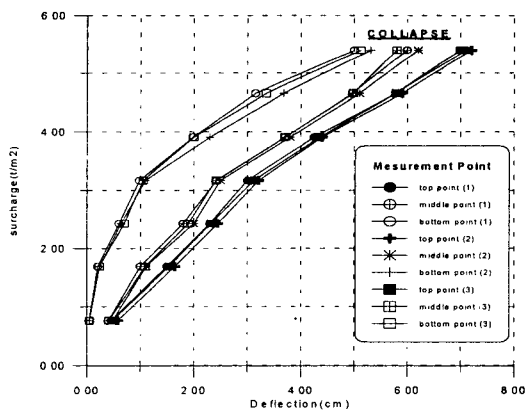


그림 14. Rear Strecher가 한열씩 빈 경우

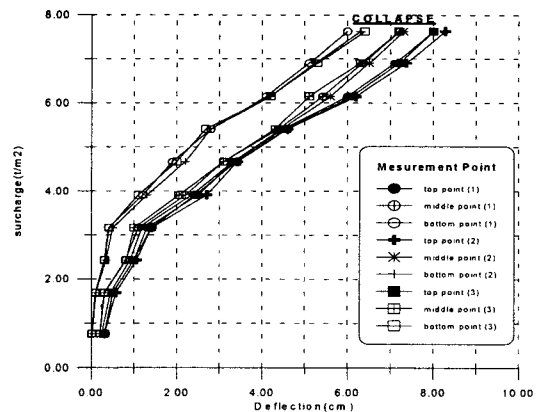


그림 15. Rear Strecher를 엇갈려서 쌓은 경우

3.2 옹벽의 높이에 따른 변위 특성

그림 16~17은 파괴시에 따른 벽체의 변위 양상을 나타내고 있다. 경사가 1:4 인 경우 벽체 상부에서 1.7~3.2cm, 하부 0.3~1.5cm의 변위를 나타내고 있으며 Rear Strecher가 없는 경우 벽체 상부에

서 3.2cm로 최대변위를 나타냈다. 옹벽 경사 수직 인 경우에선 상부지점에서 1.5~3cm, 하부 0.5~1.2cm의 변위를 나타내었으며, 옹벽의 경사가 1:4 인 경우처럼 옹벽 상부지점이 가장 큰 변위를 보였고, 하부로 갈수록 작아지는 경향을 알 수 있었다. Rear Strecher가 한 열 빈 경우 상부에서 3cm의 가장 큰 변위를 나타냈다. 옹벽체의 변위차를 상·하부로 비교해본 결과 경사 1:4 조건에서 상·하부의 변위차는 33.3~51.6%, 경사 수직인 조건에서 46.7~67.0%로 경사가 수직인 조건에서 높이에 따른 상·하부 변위차가 큰 것을 알 수 있었다.

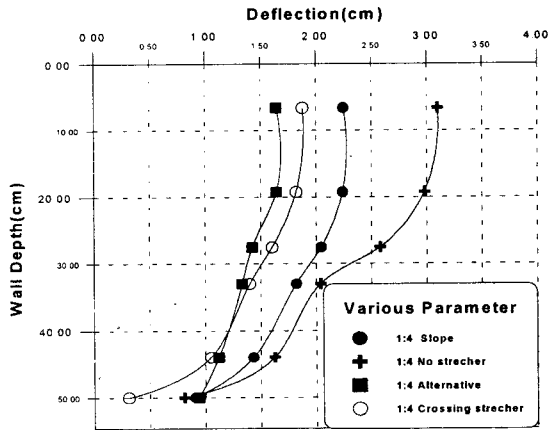


그림 16. 높이에 따른 변위특성(경사 1:4)

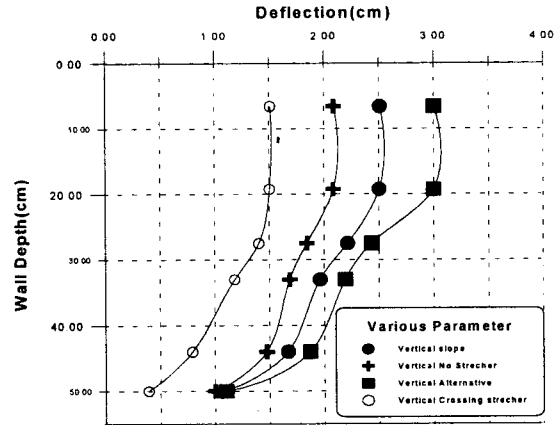


그림 17. 높이에 따른 변위특성(경사 수직)

따라서 조립식 격자 옹벽의 파괴는 강성 벽체와는 달리 단일체의 거동을 보이지 않으며, 최상부 보다 약간 아래의 옹벽활동이 최대가 되는 층에서 최대 수평변위를 보이며 스트레처의 형태에 따라서 두 조건에서 모두 동일한 파괴양상을 보이고 있으며, 파괴시의 변형이 주동상태를 야기 하는데 충분한 만큼 발생되고 있음을 알 수 있다.

3.3 실험 조건(Parameter)에 따른 파괴하중 비교

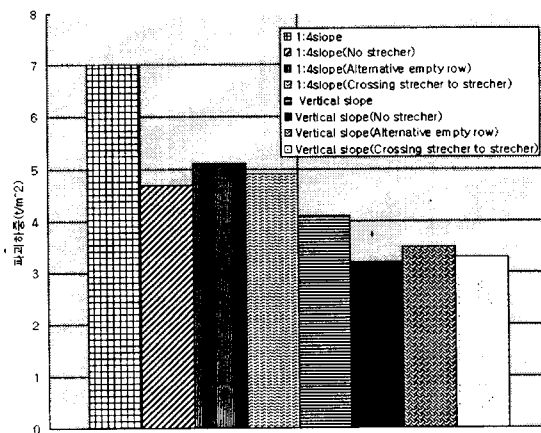


그림 18. 실험 조건에 따른 파괴하중

실험 조건에 따라 파괴하중을 비교해본 결과 벽체경사가 1:4이고 Rear Strecher가 있는 경우에서 파괴하중이 $7 t/m^2$ 로 가장 크게 나타났으며, 경사가 수직이고 Rear Strecher가 없는 경우는 $3.1 t/m^2$ 로 파괴하중은 옹벽체 경사가 1:4 인 경우가 수직인 경우에 비해 30~42.8%, Rear Strecher가 있는 경우가 Rear Strecher가 없는 경우 보다 23~40% 크게 나타남을 알 수 있고, Rear Strecher의 형태에 따

라서는 파괴하중의 차이가 5~7%로 미약한 것으로 나타났다.

따라서, 조립식 격자 옹벽의 파괴는 벽체의 경사에 큰 영향을 받으며 Rear Strecher의 형태에 따른 영향은 극히 작음을 알 수 있다.

4. 결론 및 제언

조립식 격자 옹벽의 거동 특성을 규명하기 위해 120cm×120cm×90cm의 토조를 이용하여 모형실험을 실시 하였으며, 다양한 조건에 대한 조립식 격자 옹벽의 변위 특성을 관찰한 결과는 다음과 같다.

- 1) 본 실험에서 조립식 격자 옹벽은 강성 벽체와는 달리 단일체의 거동을 보이지 않으며 벽체 상단부에서 상대적인 최대 수평변위를 나타내고 있음을 알 수 있다.
- 2) 옹벽체의 상단과 하단부의 변위차를 비교해본 결과 경사 1:4 조건에서 33.3~51.6%, 경사가 수직인 조건에서 46.7~67.0%로 경사가 수직일수록 상단부의 수평변위가 크게 발생함을 알 수 있다.
- 3) 조립식 격자 옹벽의 파괴하중은 옹벽체의 경사에 따라서 30~42.8%, Rear Strecher의 유·무에 의해 23~40%의 차이를 나타냈고, Rear Strecher의 설치 형태에 따라 5~7%로 미약하다는 것을 알 수 있다. 따라서, 조립식 격자 옹벽의 파괴는 벽체의 경사에 큰 영향을 받으며 Rear Strecher의 설치 형태에 따른 영향은 극히 작음을 알 수 있다.
- 4) 향후 조립식 격자 내부의 Silo토압과 뒷채움재에 의한 토압의 측정을 통하여 조립식 격자 옹벽의 정확한 거동 특성을 규명해야 할 것이다.

5. 참고문헌

1. 유충식, 이광문, 신현강, “블럭식 보강토 옹벽의 거동”, 한국 지반공학회 가을학술발표회, 1998, pp. 319~326.
2. 이상덕, “기초공학”, 도서출판 엔지니어즈, 1996, pp. 409~410
3. 박용부, “옹벽에 작용하는 토압과 옹벽 마찰 각에 대한 실험적 연구”, 부산대학교 석사학위 논문, 1991
4. F. Bullen, B. Boyce & C. Fidler, “The design and performance of segmental concrete crib retaining walls”, Queensland University of Technology. Physical Infrastructure Centre, Research Report 92-9, 1992
5. Heinz Brandl, “Raumgitter-Stützmauern”, Bundesministerium Für Bauten und technik, Straß enforschung Heft 208, 1982