

조립식 블록 옹벽의 재하시 변형특성

신방웅, 권영철*, 유동우*, 오부영**

충북대학교 토목공학과 교수, *충북대학교 대학원 토목공학과, **(주)상원개발

1. 서론

토류벽체는 배면토의 과도한 변형을 막기 위한 구조물이다. 일반적인 형식의 옹벽에는 중력식 옹벽, 철근 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 그리고 타이백(tie-back) 옹벽 등이 있다. 그러나 실용적인 관점에서는 실제로 많이 사용되고 있는 이들 형식의 옹벽들은 배수구의 막힘현상과 보강재의 부식 및 정착공간의 부족, 온도차 신축균열, 미관상 자연 환경에 친화적이지 못한 문제점 등을 갖고 있다. 이에 따라 최근에는 콘크리트 블록으로 만든 새로운 형태의 옹벽이 개발되었다. 특히 본 공법은 상하면에 요철부를 형성하고 요철부를 맞물려 적층하는 공법으로서 요홈부 사이에 노출되어 있는 연결구를 연결부재로 체결하여 블록을 설치함으로써 반영구적이며 매우 유연한 옹벽 시스템을 축조할 수 있게 되었다. 따라서 본 연구에서는 강성 콘크리트 블록을 조적하여 시공하는 조립식 블록 옹벽의 변형 특성을 규명하기 위하여 옹벽경사, 높이 및 축조형태의 변화에 따른 상대적인 변위 형태를 측정하였으며, 또한 재하시 옹벽의 변형 및 배면의 파괴 형태의 특성을 고찰하여 조립식 블록옹벽 공법의 공학적 거동을 규명하고자 한다.

2. 조립식 블록 옹벽 공법

조립식 블록 옹벽 공법은 적절한 크기의 속채움을 할 수 있는 단위 블록체의 일체를 공장에서 제작 또는 현장에서 조립하고 이들 단위 블록체를 하단부터 상단으로 연속적으로 축조하여 중력식 옹벽체를 축조하는 공법으로 단위 블록체들이 상호 결합될 수 있도록 결합키(Key)를 블록체의 일부로 제작하고 이 결합키에 의해 블록체들이 맞물린 구조가 전도 및 활동력 기타의 외력에 충분히 저항할 수 있도록 설계되었다. 본 공법은 성토 및 절토체의 지지를 목적으로 축조되는 옹벽 구조물로서, 옹벽블록을 현장에서 조립할 수 있도록 단위 블록체로 제작하여 상·하 방향 뿐만 아니라 횡방향으로 결속되도록 함으로써 전체적인 옹벽체의 일체력이 크게 되어 보다 안정된 조립구조를 가지고, 단위 블록체의 소형, 경량화와 조립방식의 개선을 통한 시공성 및 경제성을 향상시킨 옹벽블록 시공법과 그 옹벽 블록에 관한 것이다.

3. 모형실험

조립식 블록옹벽의 재하시 변형 특성을 규명하기 위해 본 실험에서는 강재로 제작한 모형토조를 이용하여 조립식 블록옹벽의 위치별 변위특성 및 옹벽 배면지반의 파괴형태를 계측하여 비교 연구를 실시하였다.

3.1. 모형실험의 기본물성

본 실험에 사용된 뒷채움재는 강모래를 사용하였으며, 통일분류법(USCS)에 의한 분류결과, SP에 해당하는 시료이다. 본실험에 사용한 뒷채움재에 대한 기본적인 특성은 다음과 같다.

표 1. 시료의 물리적 성질

Physical properties	Quantity
Specific gravity, Gs	2.67
Coefficient of uniformity, Cu	3.65
Coefficient of curvature, Cc	1.64
Maximum dry unit weight,	1.70
Minimum dry unit weight	1.35

3.2 실험장치 및 측정장치

본 실험에서 사용된 실험장치는 모형토조, 조립식 블록, 일체식 옹벽체, 하중재하장치와 하중재하정도를 측정할 수 있는 로드셀(loadcell), 변형량을 측정하는 다이얼게이지(dial gauge)로 크게 구분해 볼 수 있다. 실험에 사용된 모형 토조의 재원은 현장 실험 크기의 1/10 축척의 모형실험이 가능하도록 가로 120cm × 세로 120cm × 높이 90cm의 강재로 제작하였다. 전면은 옹벽 축조를 위하여 개방시킬 수 있도록 고안하였으며, 또한 옹벽 배면지반의 파괴형태를 관찰하기 위하여 모형 토조 측면에 플렉시글라스가 부착된 모형토조를 이용하여 모형실험을 실시하였다. 모형옹벽은 실험물의 1/10의 축척대로 제작하였으며 연결구의 체결을 위해 연결장치를 들출시키고 모형옹벽 축조시에는 강선을 이용하여 연결하였다. 실제 블록식 옹벽의 거동을 최대한 모사하기 위해 요철부와 요홈부를 축소모형에도 적용하였으며, 요철부가 맞물리도록 조적하였다.

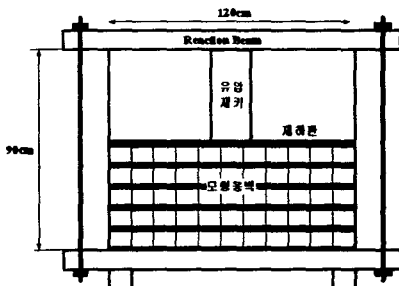


그림 1. 모형실험 장치



100×100× 100cm	100×100× 50cm	100×100× 100cm
1800kg	1100kg	2200kg

그림 2. 모형옹벽

3.3 실험방법

옹벽은 경사 및 높이를 변화하여 블록을 축조하고, 뒤채움 시료의 조성은 시료조성 전에 조성할 시료의 체적과 시료의 중량을 측정하여 단위체적에 일정량의 시료가 조성될 수 있도록 체적다짐법을 적용한다. 또한 시료 조성시 층별로 염색사를 포설하여 재하시에 발생하는 지반 내부의 파괴모드의 관측이 가능하도록 하였으며, 벽면의 마찰로 인한 오류를 최대한 줄이기 위해 벽면에는 실리콘그리스를 도포하며, 변위 측정 장치 및 하중재하 장치를 설치한후 재하에 따른 변위와 이에 따른 거동특성에 대해 관찰한다. 실험에 대한 영향인자는 표 2.과 같다.

Test series	Wall front Inclination(°)	Rear Block	Wall Height (cm)	Remark
A	0	None	50	1/10 scale
B	0	Constructed	50	
C	19.16	None	50	
D	19.16	Constructed	50	
E	0	Constructed	70	
F	19.6	Constructed	70	

표 2. 매개변수에 따른 실험 종류

4. 실험 결과 및 분석

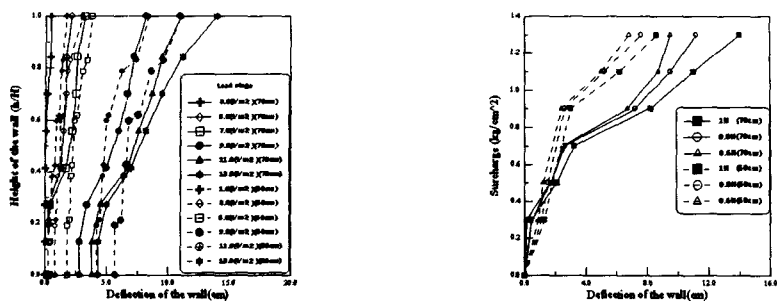
조립식 블록옹벽의 재하시 변형 특성을 규명하기 위하여 옹벽 경사와 높이의 변화에 따른 변위 양상을 측정하고 배면의 파괴 형태를 고찰하여 본 옹벽 공법의 재하시 변형 특성을 규명하고자 하였으며, 각 영향인자에 따라 비교 연구를 수행하였다. 연구 수행에 있어 배면에 축조된 흙은 절토나 사면 표토 제거 후 시공하는 경우는 가변적인 요소가 매우 많아 이를 실험적으로 고려하기가 어려워 성토의 경우로 국한하였다.

4.1 조립식 블록 옹벽의 변형특성

4.1.1 직립으로 축조한 옹벽의 변형특성

그림 3. 은 배면을 최적단면으로 축조한 5단 및 7단 직립 옹벽의 경우에 대한 재하 실험결과를 보이고 있는 것으로 각각 옹벽의 높이-수평변형 분포와 재하하중-수평변위 분포를 나타내고 있다. 5단 및 7단 직립 옹벽의 경우에는 하중 재하 초기에는 옹벽 전체가 전면으로 밀려오는 활동변형의 양상을 보이다가 하중이 점차로 증가함에 따라 최상단 축조단의 변위가 급격하게 증가하는 전도파괴형태를 보이고 있으며 하단부는 수평적으로 이동하는 파괴 양상을 보이고 있다. 7단 옹벽의 경우는 5단 옹벽과 비교하여 설명하면 옹벽 하단부의 수평 변형량에 비해 최상단의 변형량이 약 3배에 이를 정도로 전형적인 국부파괴의 양상을 띠고 있었으며 최종적으로 상부 2단이 국부적 전도 탈락하는 파괴양상을 보였다. 또한 5단 및 7단 직립옹벽의 최대수평변위는 각각 옹벽전체 높이의 0.6H~1.0H, 에서 최대 변위를 보이고 있었다. 옹벽의 하중-수평변위 양상은 5단 및 7단 모두 초기 직선적인 증가를 유지하다가 특정 하중을 넘어면서 급격히 증가

하는 양상을 보이고 있으며, 이때의 하중을 파괴하중으로 간주할 때 이 경우의 파괴하중은 각각 $9t/m^2$, $7t/m^2$ 로 5단 직립옹벽이 7단보다 약20% 크게 나타났다.



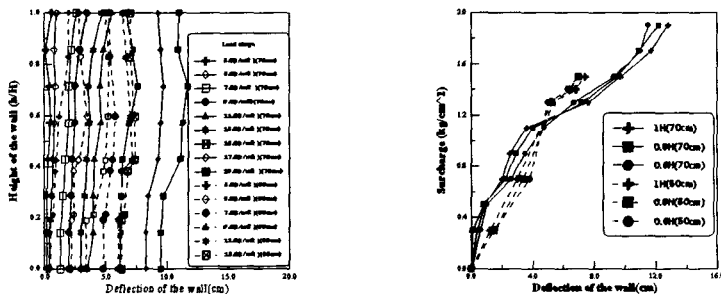
(a) 높이별 수평변위 분포

(b) 하중-수평변위 분포

그림 3. 경사로 축조한 옹벽의 변형 특성

4.1.2 경사로 축조한 옹벽의 변형특성

그림 4은 전면의 경사를 19.16° 로 유지한 상태에서 블록을 구축하고 5단 및 7단 높이의 옹벽에 대한 재하시험결과를 도시한 그림이다. 직립으로 구축한 블록의 경우와는 달리 이 경우의 파괴 양상은 재하 초기 최상단부의 수평변위가 최대로 증가하다가 재하 2단계부터 제 3단 블록이 전면방향으로 돌출되어 최종 성토단계에서는 옹벽 높이의 $0.4H \sim 0.6H$ 의 위치에서 최대의 수평변위를 보이고 있으며 이는 팽창성파괴(bulging failure)의 양상을 보이는 것으로 판단되며 최하단 수평변위량도 최상단의 변위 증가에 따라 지속적으로 증가하고 있어 전체 옹벽의 활동파괴와 팽창성 파괴가 동시에 진행되고 있음을 알 수 있다. 재하하중-수평변위 양상은 5단 및 7단 모두 직립인 경우와 비슷하게 초기 급격한 증가 후 변곡점을 지나 그 변형은 증가하고 하중의 재하는 느리게 진행되고 있으며 이 때의 하중을 파괴하중으로 간주할 경우 대략 $13t/m^2$, $11t/m^2$ 내외로 5단 경사 옹벽이 7단 경사의 옹벽보다 약 15%큰 파괴하중을 나타내고 있음을 알 수 있다.



(a) 높이별 수평변위 분포

(b) 하중-수평변위 분포

그림 4. 경사로 축조한 옹벽의 변형 특성

4.2 조립식 블록 옹벽의 파괴형태

조립식 블록의 파괴양상을 종합적으로 정리하기 위해 비교적 파괴형태를 명확하게 드러내고 있는 두 가지 경우에 대한 하중 단계별 개별블록의 변위 특성을 그림 7. 에 도시하였다. 그림 5.(a)는 전면 경사를 19.16° 로 유지한 상태에서 실시한 경우이며 3단계 재하시까지는 블록이 거의 수평적인 이동만을 보이는 전체 활동성 변형양상을 보이다가 재하 4단계부터서는 중앙부 블록인 3단 블록부터 전면으로 돌출되어 나오고 4단 블록과 5단 블록은 오히려 변형이 뒷채움 쪽으로 진행되는 것을 알 수 있다. 최종 하중 단계인 5단계에서는 이러한 변형특성이 보다 확실하게 발생되고 있으며 상부 4단과 5단 블록은 뒷채움쪽으로 역전도되는 양상을 보여 팽창성 파괴의 가능성이 높다는 것을 알 수 있었으며 국부적인 붕괴는 관측할 수 없었다. 그림 5.(b)는 전면 경사가 0° , 즉 직립으로 구축된 옹벽의 변형특성을 보이고 있으며 재하 단계가 계속되어도 최하단부를 중심으로 전도 변형하는 양상을 보이고 있으며 본 공법의 경우 상·하단의 인위적인 결속은 없고 단지 요철부의 맞물림만으로 저항하고 있으므로 블록의 변위가 진행되어 요철부의 맞물림력을 넘어서는 경우에는 상단부가 국부적으로 전도되는 파괴의 가능성을 예측해 볼 수 있다.

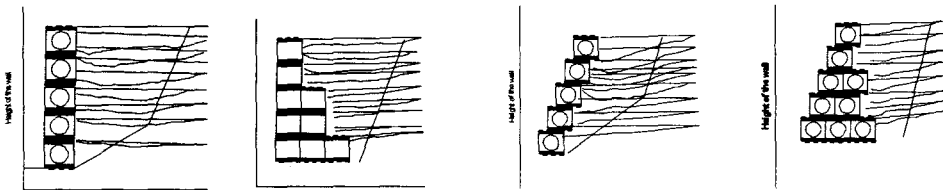


(a) 경사지게 축조된 조립식 블록의 변형 (b) 직립 축조된 조립식 블록의 변형

그림 5. 조립식 블록의 대표적인 변형 양상

4.3 옹벽 배면 지반의 파괴모드

옹벽에 작용하는 토압은 뒷채움재의 변형 및 벽체의 변위 형태에 따라 달라지게 된다. Chen(1975)에 의하면 옹벽 배면의 파괴형태는 대수나선형(logspiral) 파괴를 보이고 있으며 이에 해당하는 토체가 옹벽에 직접 작용한다고 제안하였고 후에 많은 연구가 수행되었다. 이와는 달리 일반적으로 제안되고 있는 바는 옹벽 배면의 파괴각이 $45 + \phi/2$ 라고 알려져 있다.



a) test series A b) Test series B c) Test series C d) Test series D

그림 6. 조립식블록식 옹벽의 배면파괴 모드

그림 6. 은 재하실험을 통해 얻어진 조립식 블록 옹벽 배면에 형성된 파괴면을 도시

한 그림이다. 동일한 높이의 모형옹벽에서 옹벽체를 폭 방향으로 1단만 축조한 경우인 그림 6. a)와 c)에서는 파괴형태가 상단 축조부에서는 급하게 그리고 하단으로 내려올수록 완만하게 이루어진 곡선상의 파괴 형태를 보이고 있으며 파괴 영역 또한 배면에 추가적으로 블록을 축조한 그림 6. b)와 d) 경우에 비해 매우 넓게 분포하고 있다. 이는 축조된 블록의 단면이 작아 배면에 재하된 하중에 효과적으로 저항하지 못하고 변형이 급격히 증가하는데 원인이 있는 것으로 판단된다. 또한 직립과 경사 옹벽의 경우에서도 약간의 차이를 발견할 수 있었는데 이는 직립옹벽의 경우 전술한 바와 같이 벽체가 전체적으로 전도되어 파괴에 이르는 변형거동을 하고 있으나 경사진 옹벽의 경우 상단의 블록이 하중단계가 올라갈수록 후방으로 변형을 진행하여 최상단에는 수동상태가 유지되게 되고 이에 따른 영향으로 파괴선의 기울기가 증가하는 것으로 사료된다.

5. 결론

조립식 블록 옹벽의 재하시 변형 특성을 규명할 목적으로 수행한 실내실험을 통해 얻은 자료를 토대로 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 조립식 블록식 옹벽을 구축하여 모형재하시험을 실시한 결과 직립옹벽은 전체적 전도에 따라 상단 블록이 국부적으로 탈락하는 파괴형태를 보이고 있으며, 경사지게 구축한 경우에는 옹벽 중앙부에 배부름 현상이 발생하는 팽창성 파괴(bulging failure) 현상을 보이고 있었다.
2. 파괴하중의 산정방법은 하중-변위 곡선에서 비교적 변곡점이 확연히 구분되는 점 또는 곡률반경이 최소를 보이는 점을 파괴하중으로 가정하였을 경우 파괴하중은 배면에 블록을 축조한 5단 및 7단 직립, 경사 경우 각각 $9t/m^2$, $7t/m^2$, $13t/m^2$, $11t/m^2$ 으로 나타났다.
3. 뒷채움의 침하 특성에 따른 배면토의 파괴모드를 계측해 본 결과 배면에 블록을 충분히 구축한 경우는 직선적인 파괴형태를 보이고 있었으며 그렇지 않는 경우에는 원호 혹은 대수 나선형 파괴형태를 보이고 있었다.

6. 참고문헌

1. Brandl, H. "Raumgitter-Stützmauern", Bundesministerium für Bauten und Technik, Straßenforschung Heft 208, 1982.
2. Chen W. F, Limits Analysis and Soil Plasticity, Elsevier Science Publisher, 1975
3. 社團法人 日本道路協會, 道路土工, "擁壁、カルベート、仮設構造土工指針"