

## 하프록의 상재하중 효과 Load Effect on the Half-loc

권혁민<sup>1</sup> · 강보순<sup>1</sup> · 심형섭<sup>1</sup> · 정신택<sup>2</sup>

Hyuck-Min Kweon<sup>1</sup>, Bo-Soon Kang<sup>1</sup>, Hyung-Sup Shim<sup>1</sup>, and Shin-Taek Jung<sup>2</sup>

### 1. 서 론

권·이(1999)는 세계에서 최초로 중간피복용 인공 블록인 하프록을 개발했다. 하프록은 거치형상이 사면에 따라 전후의 맞물림이 가능하며 사면에 대한 법선방향의 맞물림이 발생하지 않으므로 반 맞물림이라는 의미로 명명됐다. 중간피복블록은 기능상 투과층의 역할을 하므로 자연석의 투과율 33%와 유사한 정도의 공극율이 요구된다. 권·이(1999)의 거치방법 Case I, Case II, Case III에 대하여 공극율을 재검토하여 각각 28%, 40%, 30%임을 밝혔다. 그러나 현장에서 거치공정 중 각 블록사이의 벌어짐이 예상되므로 이를 가로와 세로 길이의 블록들 사이가 각각 장반경 C에 대하여 5%씩 허용하면, 거치방법 Case I, Case II, Case III에 대하여 각각 36%, 46%, 37%가 된다. 현장 거치 시 맞물림을 허용하는 거치방법 Case I과 Case III는 각각 자연석에 비하여 3% 또는 4%정도 공극률이 크다는 것을 알 수 있다. 자연석의 노출시 안정성이 Shore Protection Manual(1984)에서 Hudson의 안정계수값  $K_D$ 를 2.4로 정하고 있으며 하프록은 권·이(1999)의 실험에서 4.5로 정했다. 두 값을 가지고 Hudson식을 파괴에 대하여 정리하여 비교해 보면 자연석이 콘크리트의 단위중량보다 크므로 하프록과 동일한 중량에 대하여 거의 같은 안정한계파괴 값이 산출됨을 알 수 있다. 따라서 노출시 하프록의 안정성을 자연석 1m<sup>3</sup>급보다 증가시키기 위해서는 중량이 최소한 2.65 ton 이상 이 되어야 함을 알 수 있다.

하프록은 중간피복용 블록이므로 전사면 피복블록이 상재하중으로써 작용하게 된다. 따라서 시공시

균열발생 및 파괴여부에 대한 검토가 요구된다. 전사면 피복블록의 시공중 구조적 검토는 주로 인접한 블록과의 부딪힘으로 인한 파괴가 예상되어 내부 응력의 검토나 자유낙하시 깨어짐을 관찰하는 방법이 주로 많이 쓰여왔다. 그러나 하프록의 경우는 상부의 전사면 피복블록이 거치 후 상재하중으로써 작용하므로 이에 대한 검토가 요구된다.

본 연구에서는 현장실험을 위하여 노출 시 자연석에 비하여 안정한계파괴를 높이고 현장에 기 제작된 40 ton급 (실중량 36.80 ton) 테트라포드와 실중량비가 1/7.45이 되는 5 ton 급(실중량 4.94 ton) 하프록을 제작했다. 본 실중량비는 권·이가 수리적 안정성을 확인한 중량비 1/3.36-1/10.0사이에 포함된다. 본 연구의 목적은 수리역학적으로 테트라포드의 안정성을 확보할 수 있는 하프록에 대하여 상재하중을 테트라포드의 2층피복상태로 상정하여 구조적 안정성에 대하여 검토하고자 했다.

### 2. 실험

#### 2.1 상재하중 산정실험

하프록에 작용하는 상재하중을 정량적으로 측정하기 위하여 1:1.5사면을 합판으로 설치하고 그 위에 하프록을 거치시켰다. 상재하중으로는 테트라포드 2층 난적 피복상태를 대상으로 했으며 테트라포드·하프록의 중량비( $W/W_H$ )가 5.51, 6.86, 13.39가 되는 경우에 대하여 측정했다. 측정대상은 한 개의 하프록에 작용하는 하중으로 했다.

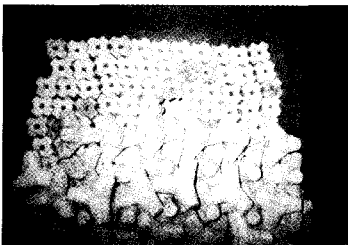
사면에 거치된 하프록에 작용하는 하중은 중력방

<sup>1</sup> 경주대학교 건설환경시스템공학부 (Program of Civil Engineering, Kyongju University, Kyongbuk 780-210, Korea)

<sup>2</sup> 원광대학교 토목환경공학과 (Department of Civil & Environmental Engineering, Wongkwang University, Chunbuk, 570-749, Korea)

향성분( $W$ )에 대하여 사면의 법선 방향( $W_n$ )과 사면방향의 분력( $W_s$ )으로 생각할 수 있다. 본 실험에서는 측정의 편리성을 고려하여  $W_n$ 의 하중을 측정하기로 했다.  $W_s$ 는 사면의 관계식으로부터 계산할 수 있다. 하프록의 거치방법은 권.이(1999)가 보인 바와 같이 비스듬한 경우인 Case III를 대상으로 했다. 지정된 하프록의 형상을 거치된 형상대로 구멍을 뚫어 중력계와 연결하였다. <사진 1>에 보이는 바와 같이 구멍의 크기는 하프록보다 약간 크게 하여 하중을 측정할 때 측면의 접촉으로 인한 하중저하를 초래하지 않게 했다. 한편으로 만들어진 고정사면에 대하여 전자저울이 나란히 설치되어 있고 하중전달자인 연결봉은 사면에 대하여 법선방향으로 설치되어 있음을 보이고 있다. 측정하고자 하는 하프록에 기 설치되어 있는 구멍에 연결봉을 종이 찰흙으로 여분 구멍을 매워 고정시키고 이를 통하여 저울의 측정위치에 하중이 전달 되도록 했다.

측정은 <사진 1>에 보이는 상단 측에 노출되어 있는 하프록 부분을 테트라포드로 2층 피복한 후 모든 측정을 실시했다. 테트라포드는 난적 형식으로 사면 전체를 피복한 후 중량을 측정하고 이러한 방법을 반복하면서 총 30회 실시하여 30개의 자료를 얻었다.



<사진 1> 상재하중 측정을 위한 단면 및 계측장치의 거치

테트라포드의 2층 난적 상태에 대하여 하프록 1개 가 사면에 대하여 법선 방향으로 지지하고 있는 하중을 측정한 결과를 환산개수중량비로 하여 상재하중이 각각 다를 경우 하프록 한 개에 테트라포드 몇 개의 중량이 상재하며 이때 그들의 비를 구했다.

## 2.2 자료분석

상재하중은 거치할 때마다 변화하므로 확률변수로 취급하여 분석을 실시했다. 상재하중결정을 위한 모형실험의 3가지 CASE중에서 CASE 2의 중량비가 1/6.86로써 가용한 현장실험조건인 실중량에 의한 중량비(테트라포드 40 ton급, 5 ton급 하프록)가 1/7.51

에 가장 근접하다. 본 연구에서는 CASE 2의 실험결과를 이용하여 한 개의 하프록 사면에 대한 법선방향의 상재하중을 분석하여 환산개수중량비( $W_M/W_E$ )가 평균  $\mu=0.768$ , 분산  $\sigma=0.19$ 가 되는 정규분포를 따름을 알 수 있었다. 본 연구에서는 실험에서 구한 정규분포의 90%누적확률에 상응하는 법선방향의 상재하중  $W_n$ 이 37 ton이 되면 1:1.5사면에 대한 사면방향 하중이 24.7 ton이 된다.

## 2.2 구조해석

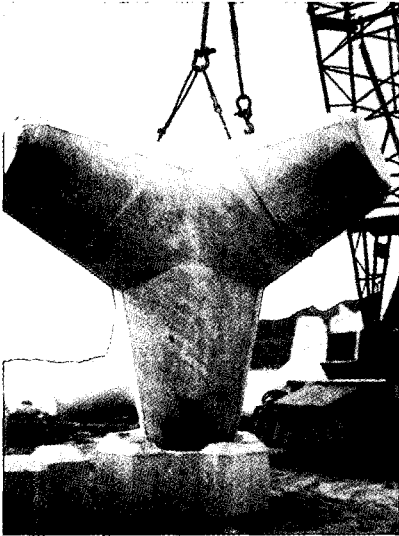
하프록의 상재하중에 대한 구조적 안전성을 검토하기 위하여 유한요소해석을 실시했다. 하프록의 구조응답을 Drucker-Prager의 항복기준을 사용하여 3차원 탄-소성 해석을 실시했다. 해석에 사용된 요소는 8절점 육면체로서 총 4000개의 절점과 3000개의 요소가 사용되었으며 하프록을 구성하는 콘크리트는 28일 설계기준강도가 210 kg/cm<sup>2</sup>로서 해석에 사용된 프와송비는 0.18이었다. 하프록이 받는 상재하중은 점하중으로 처리하였고 그 크기는 상재하중실험을 통하여 결정되었으며 지지조건으로 피복블록 4개의 다리 저면을 구속하였다. 본 해석결과, 하중이 재하된 일부분을 제외하면 하프록은 상재하중 하에서 탄성 거동을 한다고 할 수 있다.

## 2.3 현장실험

테트라포드 40 ton급을 재하하여 실재하중에 대한 하프록의 균열발생여부를 판정하기 위하여 비파괴 검사를 실시했다. 비파괴 검사를 위하여 100 cm × 40 cm × 60 cm 크기의 콘크리트 Pilot 시편 6개를 제작했다. 시편에 인위적으로 수직균열, 수평균열, 사장균열을 발생시켜 응력파를 이용한 SASW(Spectral Analysis Surface Waves) 실험, Impact-Echo 시험, 초음파를 이용한 Pundit에 의한 초음파 속도 측정을 비교 분석했다. 각각의 방법을 비교분석한 결과, 사인장균열의 위치를 파악하기는 어려움이 있었으나 수직균열과 수평균열의 위치는 정확하게 찾아낼 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 사용이 간편하고 보급화된 초음파 비파괴 시험을 선택하여 수행했다.

시험은 무근 콘크리트인 5 ton급 하프록의 표면에 측정위치를 표시하고 테트라포드를 재하하기 전에 그 위치들에서 초음파 검사를 통하여 콘크리트의 상태를 진단한다. 그 다음에는 40 ton급 테트라포드를 재하한 후 내려놓고 하프록에 표시한 위치에서 재측정하여 테트라포드 재하 전후의 하프록 상태를 비교 분석했다. <사진 2>는 5 ton급 하프록에 대하여 40 ton

급 테트라포드를 상재한 상태를 보인 것이다. 외관상 태에 대한 관찰과 균열발생 여부, 손상 여부를 초음파 속도로 비교해 볼 때 손상이 발생하지 않았음을 알 수 있었다.



<사진 2> 5ton급 하프록에 대한 40ton급 테트라포드의 상재조건

### 3. 결 론

하프록에 작용하는 상재하중의 효과를 검토하기 위하여 수치실험 및 현장물리실험을 실시했다. 상재하중의 크기를 결정하기 위하여 테트라포드·하프록 중량비가 약 7이 되도록하여 실험실에서 모형블록을 사용하여 측정된 결과 하프록 1개에 테트라포드 약 1개의 중량이 작용함을 알았다. 본 결과로부터 수치실험에서 5 ton급 하프록에 40 ton의 점하중을 상재하여 3차원 탄소성해석을 실시한 결과, 재하되는 일부분이 소성거동을 함을 알 수 있었다. 현장에서 40 ton급 테트라포드를 5 ton급 하프록에 재하시켜 울트라소닉에 의한 비파괴검사를 실시한 결과 균열 및 국부적 파괴가 발생하지 않았다.

### 참고문헌

권혁민·이달수(1998), '신형 중간피복용 블록의 개발 (I)', 한국해양해양공학회지 1999년도 정기학술 강연회 발표논문 초록집, pp. 138~142.

권혁민·이달수(1999), '신형 중간 피복블록의 개발', 대한토목학회논문집, 제 19 권 제 II-2 호, pp. 183~194.

권혁민·오영민(2000), '단층피복블록 사면의 수리적 안정성', 대한토목학회집, 제 20 권 제 1-B 호, pp. 45~57.

해양수산부(2001), 경사식 방파제의 최적설계 기술 개발 (I), pp. 123~166.

Hudson, R. Y.(1958), 'Laboratory investigation of rubble mound breakwater', *Journal of Waterways, Harbour, and Coastal Engineering Division*, Vol. 85, WW3, pp.93~121.

Kweon, H-M(1999), 'The Half-loc : Optimized Middle Armor Block (II)', *Journal of Kyongju University*, Vol. 12, pp. 605~615.

Kweon, H-M and Lee, D-S(2000), 'The Half-loc : Optimized Middle Armor Block', *27th International Conference on Coastal Engineering*, Vol. 2, pp. 1688~1695.

*Shore Protection Manual*(1984), Coastal Engineering Research Center, Department of Army, U.S. Army Corps of Engineers, pp. 7-206.