

## 신형 유공블록을 이용한 계단식 호안의 월파특성 수리실험

이달수\* · 오영민\*

### 1. 서론

재래식 간척 및 매립은 연안 간사지를 소멸시켜 수생생물의 산란 및 서식지를 훼손시킴으로써 해양 생태계를 파괴시킬 뿐 아니라 연안역 해수의 자정능력을 감소시켜 수질의 악화를 초래하고 있다 (Y. Hosokawa, 1992). 따라서 향후 간척, 매립을 하거나 호안을 축조할 때에는 외해측에 수심이 얕고 경사가 완만한 해저 환경을 새롭게 조성함으로써 수질 및 해양 생태계를 보전하는 환경 친화적 연안개발 공법의 도입이 요망된다. 또한 국민의 휴식공간 마련을 위해서 보다 접근이 용이한 친수 공간 개발 기술의 확보 필요성도 점점증하고 있다. 따라서 향후로는 호안 구조물의 형식도 직립식 보다는 경사식이 그리고 일반 경사식보다는 통행이 용이한 계단식 구조 형식의 채용 필요성이 증가할 것으로 예상된다.

부산광역시시는 1996년 수영강 하구에 매립 호안을 축조할 때 시민에게 휴식공간을 제공하기 위하여 환경사면과 접속된 계단식 호안 구조물은 신형식 유공 블록을 사용해 축조하였다. 여기서는, 이 환경사 친수호안 설계를 위해 시행된 2차원 수리모형실험의 예를 간략히 소개한다.

한편, 위에 채택된 유공 블록을 투과성이 좋도록 개량한 또다른 유공블록을 사용하는 투과성 유공 계단식 호안의 월파특성을 파악하기 위해 수행된 별도의 수리모형실험 결과도 소개한다. 신형식 투과성 유공 블록을 사용하여 계단식 호안을 축조할 경우 무공 계단식 호안의 경우에 비하여 호안의 천단고를 낮출 수 있음이 확인되었다.

### 2. 환경사 친수호안의 2차원 수리모형실험 예

부산광역시시는 1996년 국내 최초로 부산광역시 수영강 하구에 환경사 친수호안을 축조하였다. Fig.1은 이 환경사 친수호안 설계를 위한 수리모형실험(롯데건설주식회사, 1995)시에 참조한 호안

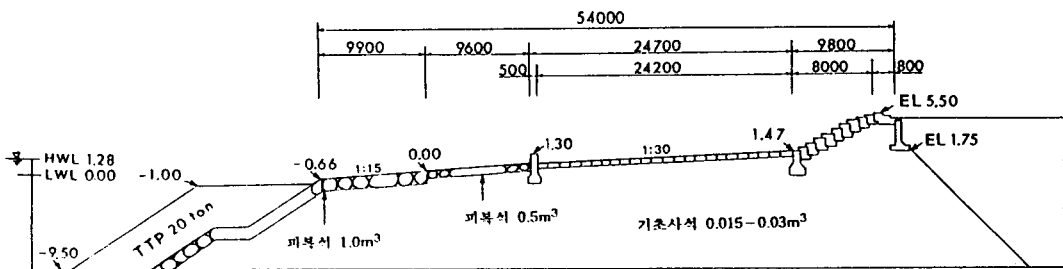


Fig.1 Cross-section of the mild slope seawall.

\* 한국해양연구소 연안공학연구부(Coastal Engineering Division, Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea)

구조물 단면도의 한 예이다. 이 구조물은 기능상 해양측 수면 하의 TTP 보호 사면 구간, 평상시 대부분의 구간이 해수로부터 노출되는 완경사 구간, 그리고 육지측의 계단식 호안 구간 등 크게 3개 구간으로 구성되어 있다. 이 중 완경사 구간은 총 연장 44.2m로서, 경사 1:15이며 피복석으로 보호된 해양측 20m 구간과 경사 1:15 또는 1:30으로서 콘크리트 블록으로 보호된 육지측 24.2m 구간의 두 구간으로 되어 있다. 두 구간의 경계에는 콘크리트 벽을 설치하여 태풍시에 해양측의 피복석이 육지측으로 이동되지 않도록 하였다.

부산 광역시는 매립지 보호를 위해 이 호안을 축조하였는데, 황천시에는 파랑을 쇠퇴시켜 호안에 미치는 파력을 감소시키고, 평상시에는 시민이 여가를 즐길 수 있도록 하기 위하여, 호안 전면에 완경사면을 조성하였다. 또한 호안의 구조 형식으로는 시민의 접근을 용이하게 하고 휴식 공간을 마련하기 위해 경사 1:2의 계단식을 채택하였다. 한편, 호안 천단고를 낮춤으로써 후면 매립고를 저감시킬 뿐 아니라 호안으로 인한 해양쪽으로는 시야 방해를 감소하기 위하여 계단식 호안은 유공 블록으로 축조하였다.

수리모형실험은 한국해양연구소의 길이 53m의 2차원 조파수조에 축척 1/20의 모형을 설치하여 시행되었다. 실험파로는 불규칙파로서 주기 15초, 유의파고 6.2m인 파와 주기 13초, 유의파고 5.5m인 두 개의 파를 적용하였다. 실험에서는 Fig.1의 기본 단면 및 변형단면을 대상으로 계단식 호안에 유공블록을 이용한 경우와 무공블록을 이용한 경우에 대해서 ① TTP 보호 사면의 안정성 검토, ② 피복석 보호 완경사면의 안정성 검토 및 피복석 중량 결정; ③ 콘크리트 블록 보호 완경사면의 안정성 검토, ④ 호안 계단의 안정성 검토 등이 이루어졌으며, ⑤ 계단에 접근하는 흐름의 속도 및 흐름층의 두께, ⑥ 천단고 변화에 따른 월파량, ⑦ 반사율 등이 측정되었다.

Fig. 2는 Fig.1의 단면에 채택된 신형 유공 블록의 형상을 보여주고 있으며, Fig.3은 이 유공블록(유공블록1)을 채택한 호안 구조물에서의 통수단면과 흐름의 양상을 보여준다. 이 유공 계단식 호안은 파랑이 내습할 때 쳐오름 수괴의 일부가 호안 구조물 내를 통해 흐르게 하며 이때 통수단면적의 급격한 변화에 따라 발생하는 와류로 인해 흐름에너지 일부가 소멸되어 월파량을 감소시킨다.

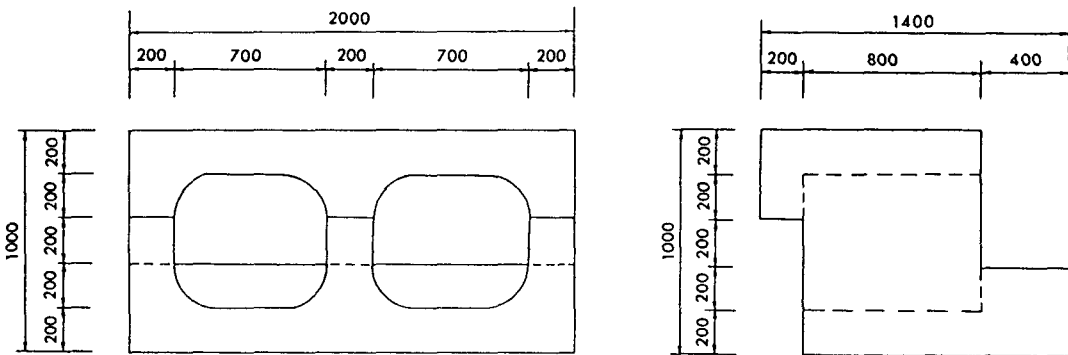


Fig.2 Sketch of the perforated block 1.

수리모형실험 결과 이 완경사 친수 호안에서 완경사면의 조도를 변화시켜도 완경사면의 길이가 설계파의 파장에 비하여 매우 짧기 때문에 월파량의 변화에 결정적 역할을 하지 못했으며, 월파량은 여러 가지 단면 제원의 변화 중 천단고의 변화에 가장 민감하게 변화하였다. 유공계단 호안의 월파량은 천단고(EL+7.12m)에서 무공계단 호안의 월파량에 비하여 약 1/2 정도 감소하였다. 한편, 설계파에 대한 반사율은 블록의 구조형식, 호안의 천단고 및 기타 단면 제원의 변화에 따라 0.3 ~ 0.5의 변화를 보였다.

### 3. 신형 투과성 계단식 호안의 월파특성 수리실험

Fig. 2에 제시된 유공 블록(유공블록1)을 사용한 호안에서는 Fig.3에서 보듯이 유입해수가 계단 블록으로 보호된 사면(저면)으로 유출되지 않도록 되어 있다. 블록을 거치한 저면이 사석으로 되어 있을 때에는 유입해수를 저면으로 투과시킴으로써 계단식 호안 전체의 투과성을 증가시켜 월파량을 추가로 감소시킬 수 있다. 따라서, 호안에서의 통수단면 및 흐름이 Fig.4에 보인 것과 같이 투과성이 좋도록 Fig.2의 유공블록1의 후면을 개량한 새로운 투과성 유공 블록(유공블록2)을 제작하였다. 이 유공블록2를 사용한 가상 호안에 대해 별도의 수리모형실험을 실시하여 월파특성을 검토하였다.

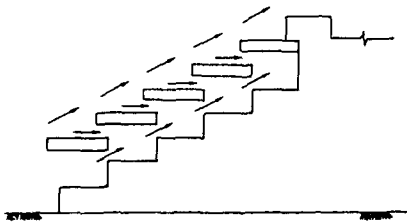


Fig.3 Flow pattern in the seawall composed of the perforated block 1.

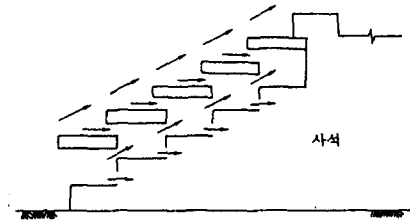


Fig.4 Flow pattern in the seawall composed of the perforated block 2.

한편, 위의 완경사 천수호안에서는, 입사 파랑이 계단식 호안에 도달하기 전에 TTP 보호 사면 및 완경사면을 지나 오는 동안 쇄파 및 저면 마찰에 의해 많은 에너지 손실을 불규칙적으로 겪게 되므로, 계단식 호안 축조에 채택된 서로 다른 블록 별로 파랑의 주기 및 호안 천단고 변화에 따른 월파량 변화를 정밀하게 검토하기에는 어려움이 있다. 따라서, 별도의 실험에서는 계단식 호안에 채택된 서로 다른 블록들의 월파량 감소 기여 정도만을 중점적으로 검토하기 위해서, 호안의 단면 형상을 대폭 단순화함으로써 입사파가 호안에 도달하기 전까지는 에너지의 손실이 거의 없도록 하였다.

Fig. 5는 천단고가 18cm인 경우의 실험 단면도를 나타낸다. 호안 전면의 수심은 45cm로 고정하였다. 실험파랑은 파고가 15cm이며 주기가 1.3초로부터 1.8초까지 0.1초씩 증가하는 총 6개의 규칙파로 구성하였다. 각 파랑 조건에 대해 각각 무공블록, 유공블록1 및 유공블록2를 사용한 호안별로 천단고를 12cm로부터 20cm까지 계단 1개의 층고인 2cm씩 증가하며 월파량을 측정, 비교하였다. 그 실험 결과의 예를 Fig. 6에 제시하였다.

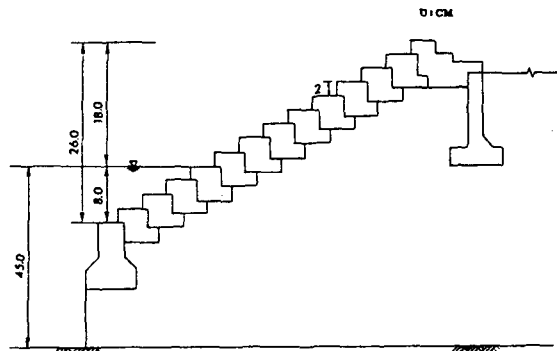


Fig. 5 Cross-section of the test seawall.

Fig. 6에서 종축은 3회 관측하여 평균된 실험실에서의 월파량이며 횡축은 호안 천단고를 입사 파고로 나눈 무차원량이다. Fig. 6으로부터, 월파량은 무공 계단식 호안에서 가장 많고 투과성인 유공블록2를 사용한 호안에서 가장 적어 계단식 호안의 투과성이 월파량 감소에 크게 기여함을 알 수 있다.

축척 1/20 - 1/30의 모형 실험 월파량을 현장 월파량으로 환산할 때에는 위의 실험실 월파량에  $10 \sim 10^2$  정도의 크기를 곱하게 되므로, 호안의 허용 월파량에 관한 일반 기준이  $10^{-2} m^3/m/s$  정도의 크기(해운항만청, 1993)임을 고려할 때, Fig. 6의 실험 결과 중 천단고 변화에 따른 월파량 변화가 현장 적용시 의미 있는 부분은 월파량이 작은 부분이다.

Fig. 6의 (a) 및 (b)에서 월파량이 작은 부분을 관찰하면, 동일한 월파량을 허용할 때 유공블록2를 채용한 계단식 호안에서는 무공계단식 호안에서보다 호안 천단고를 파의 주기가 1.7초인 경우에는 약 1.2계단, 파의 주기가 1.3초인 경우에는 약 1.5계단 정도 낮게 할 수 있음을 알 수 있다. 유공블록1을 사용할 때에는 이의 절반 정도를 낮출 수 있다.

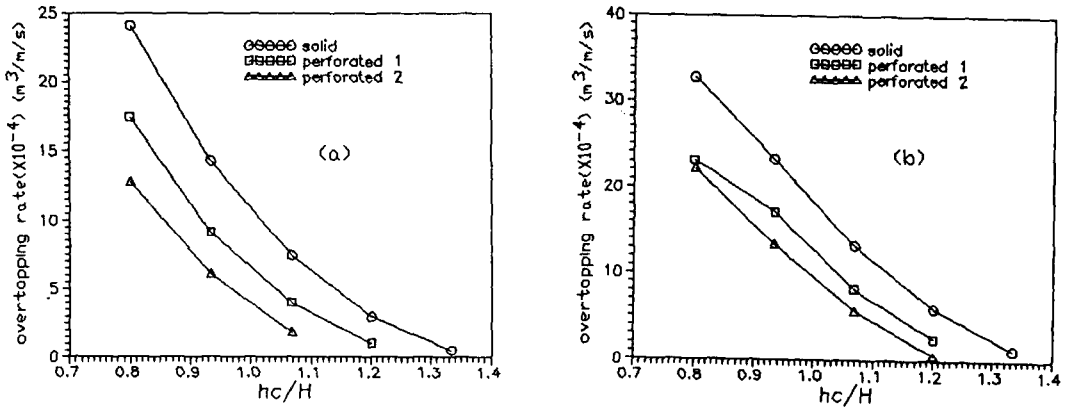


Fig. 6 Variation of the overtopping rate with respect to  $hc/H$  for (a)  $T = 1.3s$ , (b)  $T = 1.7s$ .

또한 유공계단식 호안의 월파량 감소 효율은 파의 주기가 긴 경우보다 짧은 경우에 더 큰 것을 알 수 있다. 이는 실험 조건 내에서는 파장에 대한 계단 폭의 비가 클수록 에너지 감쇄효과가 크다는 것을 암시한다고 볼 수 있다. 따라서 계단 폭의 설계시에서는 계단 폭의 증가와 공사비 증가와의 관계를 고려한 보다 정밀한 검토가 바람직하다.

#### 4. 결론

신형식 유공블록들로 축조한 유공 계단식 호안과 재래의 무공 계단식 호안을 대상으로 수리모형 실험을 통해 월파특성을 비교하였다.

유공 계단식 호안에서의 월파량은 무공 계단식 호안에서의 월파량보다 감소하였다. 또한, 2가지 유공 계단식 호안의 월파량을 비교할 때, 월파량 감소 효과는 유공블록2로 축조하여 구조물 저면으로 투과를 허용하는 호안의 경우가 유공블록1로 축조한 비투과성 호안의 경우보다 더 컸다.

투과성 유공블록2를 사용한 계단식 호안에서는 동일한 월파량을 허용할 때 무공 계단식 호안의 경우보다 천단고를 낮출 수 있음이 확인되었다. 본 실험에 이용된 가상 호안 단면 및 실험 조건의 경우에는 호안 천단고를 계단 층고(2cm)의 약 1.2 - 1.5배 정도까지 낮출 수 있었다.

유공 계단식 호안을 축조할 경우에는 설계파 파장에 대한 계단 폭의 비가 월파량에 미치는 영향을 좀 더 정밀히 검토함이 바람직하다.

향후 시민의 접근이 용이한 친수공간의 확보를 위해서는 친수성 호안의 건설이 적극 검토되어야 할 것이다. 이를 위해 호안을 계단식으로 축조할 때에는, 후면 매립공사비를 절감하고 시야 방해를 억제하기 위해서, 월파 방지 효과가 비교적 큰 투과성 유공블록2를 이용하는 것이 하나의 유력한 방안이라 하겠다.

#### 참고문헌

롯데건설주식회사, 1995. 환경사 친수호안 2차원 수리모형실험 보고서.

해운항만청, 1993. 항만시설물 설계기준서, p.148.

Yasushi Hosokawa, 1992. Coastal Development and the Natural Environment of the Water Environmental Preservation and Improvement of Water Quality, J. of the Japan Society of Civil Engineering, special issue Vol.77-9, Eco-Civil Engineering, pp.40-43.