

新型 有孔블록을 이용한 階段式 護岸의 越波特性 水理實驗
Hydraulic Model Experiments for Overtopping Rate on
Step Seawall Using New Type of Perforated Blocks

李達秀* · 吳榮敏* · 李養熙**

Dal Soo Lee*, Young Min Oh* and Yang-Hee Lee**

要 旨 : 계단식 호안 축조에 사용할 수 있는 신형 유공블록이 제시되었다. 또한, 2차원 수리모형실험을 통하여 신형 블록을 사용한 유공 계단식 호안에서의 월파량 변화를 파악하였다. 신형 유공 계단식 호안은 재래식 무공 계단식 호안에서보다 월파량이 작아 향후 친수성 호안의 한 대안이 될 수 있음이 입증되었다.

Abstract □ A new type of perforated block is presented to be used in the construction of a step seawall. Two-dimensional hydraulic model test is performed to compare the overtopping rates between the traditional non-perforated step seawall and the perforated step seawall constructed with the new type of perforated blocks. The overtopping rate of the perforated step seawall is lower than that of the traditional non-perforated step seawall. The new type of perforated step seawall may be used as an alternative for water-amenity seawall in the future.

1. 緒 論

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. 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(Hosokawa, 1992). 또한 국민의 휴식공간 마련을 위해서 보다 접근이 용이한 친수공간 개발 기술의 확보 필요성도 점증하고 있다. 따라서 향후로는 호안 구조물의 형식도 직립식 보다는 경사식이 그리고 일반 경사식보다는 통행이 용이한 계단식 구조 형식의 채용 필요성이 증가할 것으로 예상된다.

부산광역시 1996년 수영강 하구에 민립동 매립 호안을 축조할 때 시민에게 휴식공간을 제공하기 위하여

완경사 친수호안을 건설하였으며 완경사면과 접속된 계단식 호안 구조물은 신형식 유공 블록을 사용해 축조하였다. 여기서는, 이 완경사 친수호안 설계를 위해 시행된 2차원 수리모형실험의 예를 간략히 소개한다.

한편, 위의 계단식 호안에 채택된 유공 블록을 투과성이 좋도록 개량한 다른 유공블록을 제시하며 이를 사용하는 투과성 유공 계단식 호안의 월파특성을 파악하기 위해 수행된 별도의 수리모형실험 결과도 소개한다.

2. 緩傾斜 親水護岸의 2次元 水理模型實驗 例

부산광역시는 1996년 국내 최초로 부산광역시 수영강 하구에 완경사 친수호안을 축조하였다. Fig. 1은 롯데건설주식회사(1995)가 이 완경사 친수호안 설계를 위한 수리모형실험시에 참조한 호안 구조물 단면도의 한 예이다. 이 단면은 기능상 해양측 수면 하의 TTP 보호 사면 구간, 평상시 대부분의 구간이 해수로부터 노출되는 완경사 구간, 그리고 육지측의 계단식 호안

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

**롯데건설주식회사 (Lotte Construction Co. Ltd., 50-2, Jamwondong, Seocho, Seoul 137-030, Korea)

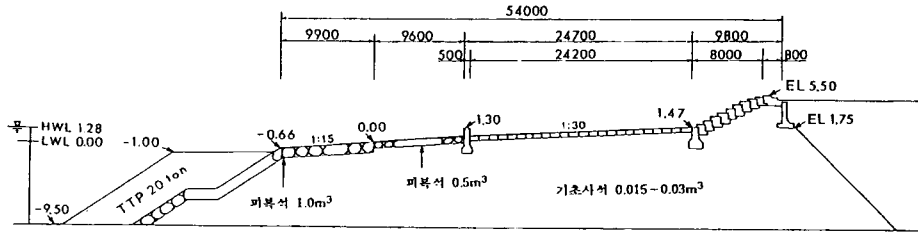


Fig. 1. Cross-section of the mild slope seawall (unit : mm).

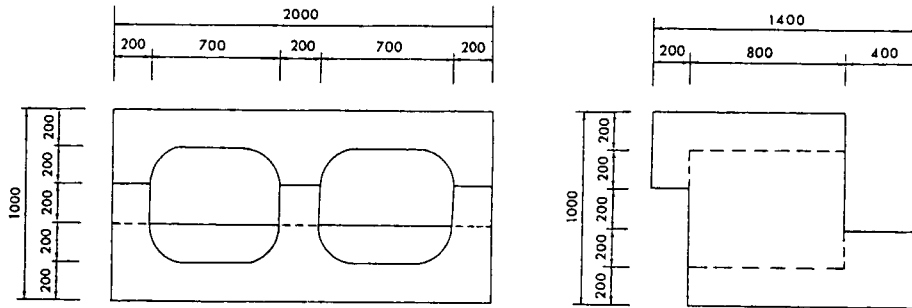


Fig. 2. Sketch of the perforated block1 (unit : mm).

구간 등 크게 3개 구간으로 구성되어 있다. 이중 완경사 구간은 총 연장 44.2 m로서, 경사 1:15이며 피복석으로 보호된 해양측 20 m 구간과 경사 1:15 또는 1:30으로서 콘크리트 블록으로 보호된 육지측 24.2 m 구간의 두 구간으로 되어 있다. 두 완경사 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 호안 자체의 구조 형식으로는 시민의 접근을 용이하게 하고 휴식 공간을 마련하기 위해 경사 1:2의 계단식을 채택하였다. 한편, 후면 매립고를 저감시킬 뿐 아니라 호안 설치로 인한 해양쪽의 시야 방해를 감소할 목적으로 계단식 호안은 천단고를 낮추기 위해 유공 블록으로 축조하였다.

수리모형실험은 한국해양연구소의 길이 53.3 m의 2차원 조파수조에 축척 1/20의 모형을 설치하여 수행되었다. 실험과로는 불규칙파로서 주기 15초, 유의파고 6.2 m인 파와 주기 13초, 유의파고 5.5 m인 두 개의 파가 적용되었다. 실험에서는 Fig. 1의 기본 단면 및 변형단면을 대상으로 계단식 호안에 유공블록을 이용한 경우와 무공블록을 이용한 경우에 대해서 ① TTP

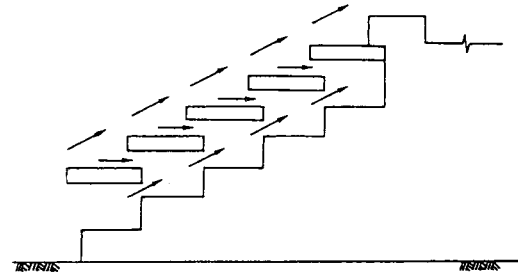


Fig. 3. Flow pattern in the seawall composed of the perforated block 1.

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 블록 원형의 형상을 보여주고 있으며(단위 : mm), Fig. 3은 이 유공블록(유공블록 1)을 채택한 호안 구조물 내에서의 통수단면과 내외의 흐름 양상을 보여준다. 이 유공 계단식 호안은 파랑이 내습할 때 처오름 수괴의 일부가 호안 구조물 내를 통해 흐르게 하며 이때 통수단면적의 급격한 변화에 따라 발생하는 와류로 인해 흐름에 너지 일부가 소멸되어 월파량을 감소시킨다.

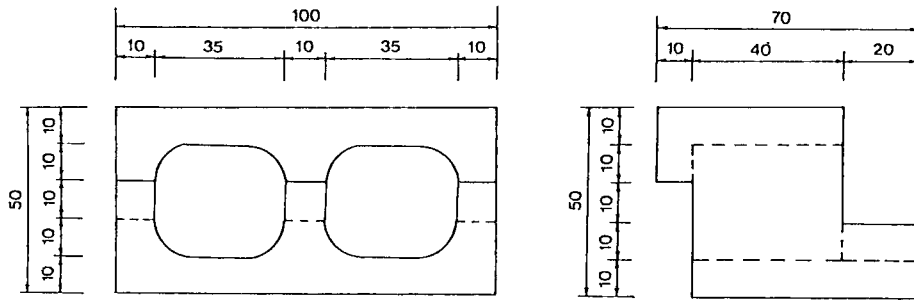


Fig. 4. Sketch of the perforated block 2 (unit : mm).

수리모형실험 결과 이 단면에서는 완경사면의 길이가 설계과의 파장에 비하여 매우 짧기 때문에 완경사면의 조도의 증가는 이상 파랑시의 월파랑 감소에 결정적 역할을 하지 못했으며, 월파랑은 시도된 여러 가지 단면 제원의 변화 중 천단고의 변화에 가장 민감하게 변화하였다. 유공계단식 호안의 월파랑은 천단고 EL+7.12 m에서 무공계단 호안의 월파랑에 비하여 약 1/2 정도 감소하였다. 한편, 구조물 전체의 반사율은 블록의 구조형식, 호안의 천단고 및 기타 단면 제원의 변화에 따라 0.3~0.5의 변화를 보였다.

3. 新型 透過性 階段式 護岸의 越波特性 水理實驗

3.1 新型 有孔블록의 形狀과 水理模型實驗

Fig. 2에 제시된 유공 블록(유공블록 1)을 사용한 호안에서는 유입해수는 블록과 블록 사이의 틈을 제외하고는 Fig. 3에서 보듯이 블록으로 보호된 사면(지면)으로 유출되지 않도록 되어 있다. 그러나 블록을 거치한 사면이 사석으로 되어 있을 때에는 유입해수의 일부를 사면으로 투과시킴으로써 계단식 호안 전체의 투과성을 증가시켜 월파랑을 추가로 감소시킬 수 있다.

따라서, Fig. 4에 보인 바와 같이 Fig. 2의 유공블록 1의 후면만을 개량한 새로운 투과성 유공 블록(유공블록 2)을 제작하였다(단위 : mm). Fig. 5는 이 유공블록 2를 이용해 호안을 축조할 경우 호안 구조물 내의 통수 단면 및 내외의 흐름 양상을 보여준다. Fig. 5를 Fig. 3과 비교할 때 Fig. 5에서는 처오름 수괴의 일부가 각 블록의 저면에서 수평 방향으로 투과될 수 있음을 볼 수 있다. 이의 효과를 파악하기 위하여 무공 계단식 호안, 유공블록 1 및 유공블록 2를 이용한 호안 간의 월파 특성을 비교하는 수리모형실험을 별도로 실시하였다.

한편, 위의 Fig. 1의 완경사 친수호안에서는, 입사

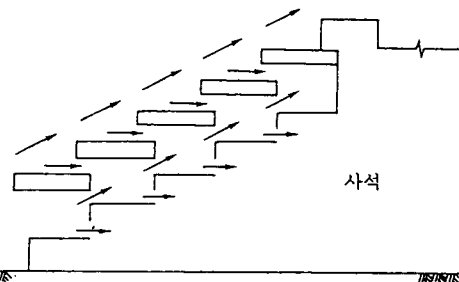


Fig. 5. Flow pattern in the seawall composed of the perforated block 2.

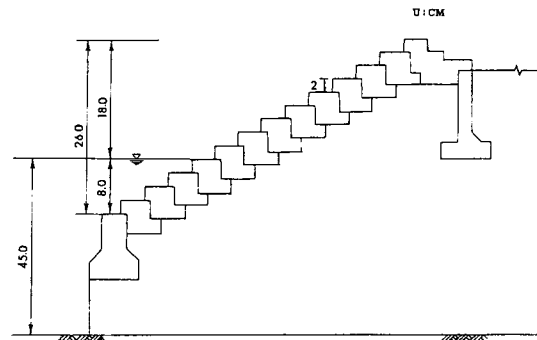


Fig. 6. Cross-section of the test seawall.

파랑이 계단식 호안에 도달하기 전에 TTP 보호 사면 및 완경사면을 지나 오는 동안 쇄파 및 저면 마찰에 의해 많은 에너지 손실을 불규칙적으로 겪게 된다. 서로 다른 블록들을 사용한 계단식 호안에서 파랑의 주기 및 호안 천단고 변화에 따른 월파랑 변화를 중점적으로 파악하기 위해서는 보다 단순한 형태의 호안 단면이 유리하다. 따라서, 별도의 실험에서는 입사파가 호안에 도달하기 전까지는 에너지의 손실이 거의 없도록 하기 위하여 호안 전면 형상을 대폭 단순화하였다.

Fig. 6은 실험 호안 단면도의 한 예를 나타낸다. 여기서 호안 전면의 해저 경사는 1/100이고 호안의 경사

는 1:2이며 호안 전면의 수심은 45 cm로 고정하였다. 실험과는 규칙파로서 파고는 15 cm이며 주기는 1.3초로부터 1.8초까지 0.1초씩 증가하는 총 6개로 구성하였다. 월파량은 각각 무공블록, Fig. 2의 유공블록 1 및 Fig. 4의 유공블록 2를 사용한 3가지 형식의 호안에 대해서 측정하였다. 이때 천단고는 12 cm로부터 20 cm까지 계단 1개의 층고인 2 cm씩 증가하며 변화시켰다.

3.2 實驗 結果

3개 형식 호안의 월파량 실험 결과의 예가 Fig. 7에 도시되었다. (a)와 (b)는 각각 입사파의 주기가 1.3초 및 1.7초인 경우의 결과이다. Fig. 7에서 종축은 3회 관측하여 평균된 실험실에서의 월파량이며 횡축은 무차원 천단고로서 호안 천단고를 입사 파고로 나눈 무차원량이다. Fig. 7에서, 월파량은 무공 계단식 호안에서 가장 많고 유공블록들을 사용한 2가지 형식의 유공 계단식 호안에서 적음을 알 수 있다. 또한, 두 가지 유공 계단식 호안에서의 월파량은 계단블록으로서 유공블록 1을 사용한 경우보다 유공블록 2를 사용한 경우에서 더 적다. 이는 비디오 촬영 결과를 분석할 때 처음 흐름의 일부가, 일련의 블록으로 형성된 계단식 수로 내를 통과할 때 통수단면적이 급격히 변화하기 때문에 발생하는 와류로 인해, 에너지를 소모하며(각각 유공블록 1 및 유공블록 2를 사용한 호안의 경우), 각 블록 저면에서 호안 구조물 내로 투과(유공블록 2를 사용한 호안)되기 때문이라고 판단할 수 있다.

Fig. 7은 실험 조건에 대한 월파량 변화의 일반 특성을 나타낸다. 따라서 이 결과를 현장에 적용할 때에 고려해야 할 사항을 검토해 보기로 한다. 이 실험이 축척 1/20~1/30의 모형 실험이었다고 가정하면 이 실험 결과로부터 현장 월파량을 추정하기 위해서는 위의 실험실 월파량에 10~10² 정도의 크기를 곱하게 된다. 해운항만청(1993)에 의하면 호안의 허용 월파량에 관한 일반 기준은 10⁻² m³/s/m 정도의 크기이다. 따라서 위의 두가지 점을 고려할 때 Fig. 7의 실험 결과 중에서 천단고 변화에 따른 월파량 변화를 현장에 적용할 때 의미 있는 부분은 월파량이 적은 부분이다. Fig. 7의 (a) 및 (b)에서 월파량이 작은 부분을 관찰하면, 동일한 월파량을 허용할 때 유공블록 2를 사용한 계단식 호안에서는 호안 천단고를 무공계단식 호안에서보다 파의 주기가 1.7초(현장에서 약 7.6~9.3초)인 경우에는 약 1.2계단(현장에서 약 0.48~0.72 m), 파의 주기가 1.3초

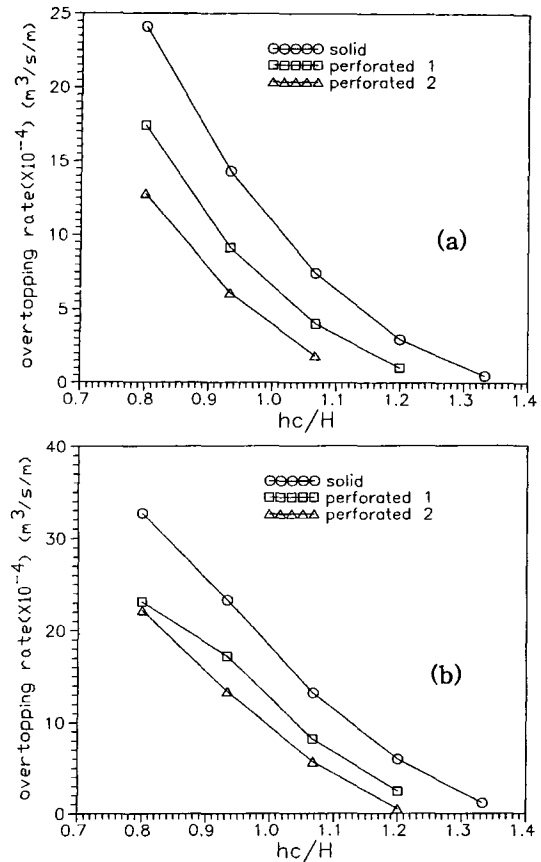


Fig. 7. Variation of the overtopping rates with respect to h_c/H for (a) $T=1.3s$, (b) $T=1.7s$.

(현장에서 약 5.8~7.1초)인 경우에는 약 1.5계단(현장에서 약 0.6~0.9 m)정도 낮출 수 있음을 알 수 있다. 유공블록 1을 사용할 때에는 이의 절반 정도를 낮출 수 있다. 여기서 유의할 점은 이 결과는 아직 채택한 호안 단면 및 파의 조건에만 유효하다는 점이다. 천단고를 낮출 수 있는 범위는 예를 들어 유공블록을 이용한 계단이 수면 아래 어느 깊이에서부터 시작하는가, 계단식 호안의 경사, 유공블록의 폭, 그리고 대상파의 파고 및 주기 등에 따라 약간씩 달라질 수 있을 것이다. 또한 실제 현장 설계를 위해서는 불규칙파에 의한 월파량을 기준으로 해야 할 것이다.

Fig. 8은 두가지 유공블록을 채용한 호안의 서로 다른 천단고에 따른 월파량 비교를 나타낸다. 횡축은 블록의 폭이 $B=4\text{ cm}$ 인 경우 이 블록의 폭을 입사파의 파장 L 로 나눈 무차원량이다. 점선과 실선은 각각 유공블록 1과 유공블록 2를 의미한다. 모든 경우에 대해

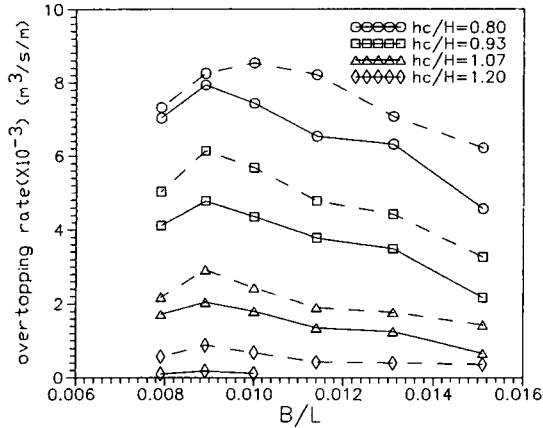


Fig. 8. Variation of the overtopping rates with respect to B/L; dashed line = block 1, solid line = block 2.

월파량은 유공블록 2를 채용한 호안에서 작다. 또한 월파량은 B/L의 값이 클수록 작아지는 경향을 보이고 있다. 그러나 이 실험에서는 계단블록의 폭은 변화가 없이 파장만 변화되었으므로 월파량이 B/L이라는 무차원 값이 클수록 작아진다고 포괄적으로 해석하기에는 아직 무리가 있다. 현 단계에서는 월파량은 일반적으로 파의 주기(즉 파장)가 짧아짐에 따라 감소된다고 해석함이 일단 안전측이라 사료된다. 그러나 계단 폭이 커지면 물리적으로 파랑 에너지는 더 많이 감소될 것으로 예측할 수 있으므로 계단 폭의 변화가 월파량에 미치는 영향에 대해서는 차후 추가 연구가 필요하다. 실제 설계시에서는 계단 폭의 증가에 따른 공사비 증가와 월파량 감소와의 상관 관계를 보다 정밀하게 검토할 필요가 있다 하겠다.

4. 結 論

신형식 유공블록으로 국내 최초로 축조하는 환경사 친수호안의 설계를 위한 수리모형실험 예를 소개하였고, 가상 호안 단면도를 대상으로 신형유공블록들을

이용한 유공 계단식 호안과 재래의 무공 계단식 호안의 수리모형실험을 통해 월파특성을 비교하였다.

유공 계단식 호안에서의 월파량은 무공 계단식 호안에서의 월파량보다 감소하였다. 또한, 2가지 유공 계단식 호안의 월파량을 비교할 때, 월파량 감소 효과는 유공블록 2로 축조함으로써 치오름 수괴의 일부가 호안 구조물 저면으로 투과하도록 하는 호안의 경우가 유공블록 1로 축조한 비투과성 호안의 경우보다 더 크다.

투과성 유공블록 2를 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(2 cm)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 유공블록 2를 이용하는 것이 하나의 유력한 방안이라 하겠다.

參考文獻

롯데건설주식회사, 1995. 환경사 친수호안 2차원 수리모형실험 보고서.
 해운항만청, 1993. 항만시설물 설계기준서, 148 pp.
 Hosokawa, Y., 1992. Coastal development and the natural environment of the water environmental preservation and improvement of water quality, *J. of Japan Soc. of Civil Eng.*, special issue Vol. 77-9, Eco-Civil Engineering, pp. 40-43.