釜山 海上新都市에 있어서의 縱 Slit型 有孔防波堤 設計

Design of Vertical Slit type perforated Breakwater at Busan New Marine Town

金 在 炅* 朱 喜 燦* 安 益 聖*

Jae Keyong Kim* Hee Chan Joo* Ik Seong Ahn*

要 旨 : 從來의 防波機能에 附加하여 防波堤에 親水機能과 消波機能을 附與한 多目的 防波堤(縱 Slit型 有孔防波堤)를 計劃, 設計하였다. 水理實驗을 통해 旣存 構造物과의 比較 評價를 시행하여 有孔防波堤의 有意性을 확인하였으며, 實驗結果를 토대로 현지적용을 目的으로 斷面을 改善하였다.

ABSTRACT □ In addition to the traditional breakwater faculty, multipurpose breakwater of vertical slit type perforated breakwater was planed and designed using the idea of waterfront and wave dissipation of breakwater.

As a result of experimental test, the good hydraulic characteristics was confirmed by comparison of traditional structure, and in order to the field application the section was improved on the test of result.

1. 緖 論

2,000년대 환태평양시대에 대비하여 釜山市의 位相을 再定立하고 懸案問題點인 3難(交通, 用地, 財政難)의 해결과 우리나라 東南經濟圈의 중추적 역할을 담당할 國際港口 都市로서의 발전기반을 조성키 위한 海上新都市를 건설함에 있어 태풍 및 해일 내습시 港內 靜穩水域을 최대로 확보하여 船舶의 安定性 確保, 港灣施設物의 保護 및 利用性의 極大化를 위하여 外廓防波堤의 축조가 필수불가결하다.

한편 최근 국민소득의 향상과 여가선용의 다변화에 따라 많은 관광행락객들이 海洋性 위락시설과 낚시, 산책 등 바다와 접촉할 수 있는 시설을 요구하고 있는데 비추어 볼때 이러한 시설의 공급이 절대적으로 부족하여 비교적 가까운 해안선과 人工的으로 축조된 항만주변을 해양 레크레이션 시설로 이용함으로써 안전성과 편익성 부족의 문제를 야기하고 있는 실정이다.

이러한 여건에 비추어 볼때 海上新都市 前面에 計劃中인 南外港의 防波堤는 그 크기와 길이에 있어서 국내에서 가장 긴 방파제로 파악되고 있어 人工構造物이기는 하지만 唯一性과 長大性 측면에서는 상당한 觀光魅力性을 보유할 수 있는 潛在力을 보유하고 있다. 또한 주변지역의 수려한 해안경관 및 관광 레저시설과 연계시켜 워터프론트(Waterfront) 이용개념을 적극적으로 도입하고 해양성의 주제가 형상화된 시설물을 유치하므로서 시민과 관광객들에게 개방하여 이용자들이 「非日常的인 體驗」을 할 수 있

* 韓國綜合技術開發公社 海上用役團(Korea Engineering Consultants Corporation, Marine dept. #71, Daekyo-1 Dong, Youngdo-ku, Pusan, Korea, 606-011)

는 市民用 親水性 空間 및 부산관광의 상징적인 시설을 확보하려는 차원에서 방파제에 親水機能을 도입하는 것으로 계획하였다.

또한 본 부산 南外港 外廓防波堤 前面은 海上新都市 조성으로 인해 장차 廢棄되는 현 南外港 錨泊地의 代替地임과 동시에 小型漁船 및 沿岸旅客船, 貨物船 등 각종 선박이 현 南內港을 중심으로 매우 빈번히 왕래하는 장소이다. 따라서 이러한 港內外의 海上活動을 효율적으로 수행하기 위해서는 무엇보다도 外海에서 전달해오는 高波浪을 반사, 消波시킴으로서 港內의 水面攪亂을 적절히 감소시킬수 있는 성능이 우수한 消波施設이 요구된다 하겠다.

이러한 시점에서 既存 防波堤(混成防波堤)의 단점을 보완할 수 있으며 港內 靜穩度 유지에 크게 기여할 수 있는 형식의 방파제 단면으로서 기왕의 연구결과가 풍부하고 그 水理特性이 입증되어 국외에서 현지 적용된 바 있는 傾斜式 上置形態의 縱 Slit型 有孔防波堤를 選定, 計劃하여 消波機能과 親水機能을 도입하므로서 방파제의 기능과 특성을 향상시킨 多目的 防波堤를 계획하게 되었다.

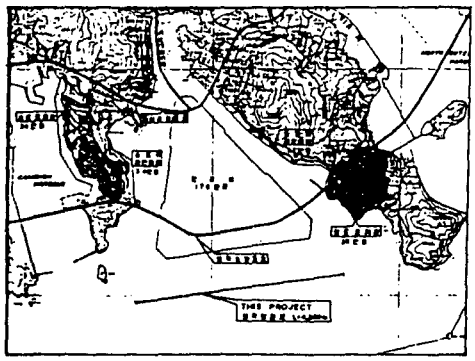


Fig.1 Location of project site

2. 縱 Slit型 有孔防波堤의 設計

2.1 現地條件

가. 潮 位

Table 1. Tidal Condition (단위 : cm)

高極 潮位	略最高 滿潮位	平均 海面	略最低 干潮位
182	128.2	64.1	0.0

나. 水 深

範圍 : EL(-)23.5~EL(-)30.8M

平均 : EL(-)25.0M

다. 波浪條件

Table 2. Wave Condition in object site

區分 / 波浪諸元	波高 (M)	週期 (sec)	備考
異常時 波浪	9.5	15.0	100年 頻度
平常時 波浪	1.0 ~ 1.5	6.0 ~ 7.0	

2.2 有孔防波堤 斷面의 假定

가. 最適 Mound EL 檢討

Mound 水深을 EL(-)14.80, EL(-)16.80, EL(-)18.8 등으로 변화시켜 Mound 변화에 따른 공사비를 산정한 결과 Mound EL(-)16.80에서 최소의 공사비를 나타내 최적의 단면으로 평가되었다.

나. 天端高 假定(上部 斜面 케이슨堤)

- 「港灣施設의 技術上의 基準. 同解說」- 1990. 日本 港灣協會
- 天端高 = H.W.L + $1.0H_{1/3}$
  = 1.28 + 1.0×9.5 = (+)10.78M → EL(+)10.50으로 계획

다. 有孔部 諸元 假定

- 遊水部 天端高 : EL(+)3.00
- 遊水部 下端高 : EL(-)3.00
- 遊水部 幅 (B) : 기왕의 연구자료(B/L = 0.15 → K_{Rmin}) 이용하여 계획
  - 對象波浪 週期(T) = 6~7 sec(평상시 탁월파랑)
    → L = 54.8~74.6(m)
    B/L = 0.15에서 B = 0.15 L = 8.2~11.2(m)
    → 구조물 계획상 B = 10.1m 로 계획
  - 有孔率 ε_1 = 0.36 (第 1 遊水壁)
    ε_2 = 0.24 (第 2 遊水壁)

라. 斷面形狀

본 방파제 설치지점의 자연여건등을 감안하여 2개 형식의 有孔堤 斷面 및 비교 평가 목적으로 별도의 2개안을 다음과 같이 작성하여 비교 검토하였다.

■ 斷面 檢討案

Table 3. Scheme of experimental section

區分 / 案別	構 造 形 式	上置 前面 Con'c 形 象	有 孔 部 形 態	被 覆 材 Slope
第 1 案 (ALT. 1)	消波 Block 被覆混成堤	傾 斜 式	無 孔	1 : 1.5
第 2 案 (ALT. 2)	有孔 消波混成堤 (Caisson 前面上部 막힘)	〃	縱 Slit	〃
第 3 案 (ALT. 3)	有孔 消波 混成堤 (Caisson 前面上部 열림)	〃	〃	〃
第 4 案 (ALT. 4)	一 般 混 成 堤	〃	無 孔	〃

■ 斷面形象

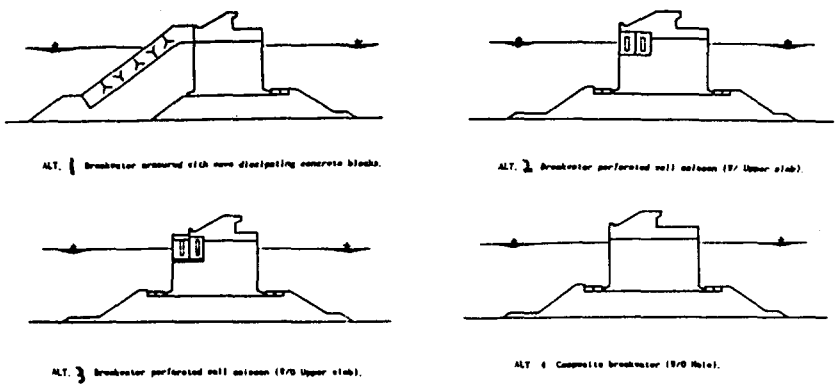


Fig.2 Scheme of experimental sections

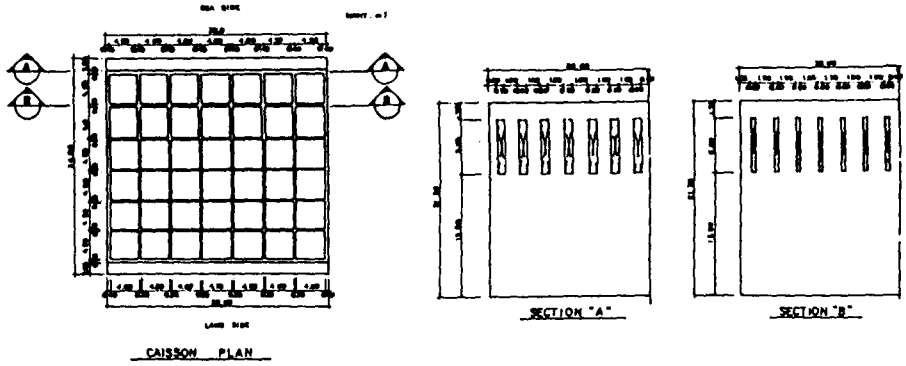


Fig. 3 Plan & section of perforated wall caisson

2.3 水理實驗에 의한 有孔防波堤의 水理特性

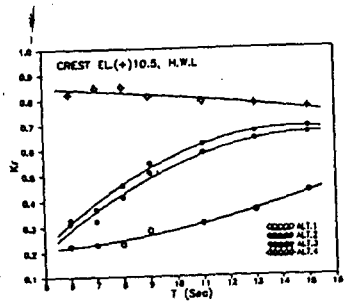
가. 水理實驗 槪要

- 實驗水槽 : 韓國海洋硏究所 2次元 斷面水槽
- 縮　　尺 : 1/50
- 實驗方法 : 不規則波 實驗

나. 實驗結果

① 反射率

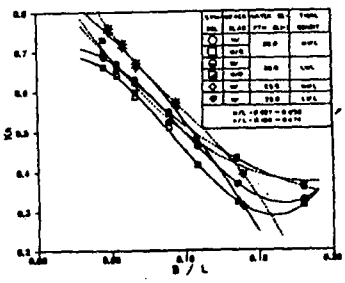
■ 各 形式別 反射率



- 消波 Block 被覆堤, 有孔堤, 混成堤 順으로 反射率 良好
- 有孔堤는 週期에 따른 反射率 변화 큼
- 有孔堤中에서는 隔室 上部 開放斷面(ALT.3)이 水理特性 良好(85%)

Fig.4 Comparison of reflection coefficient as a function of period of various type caisson

■ 有孔堤의 反射率

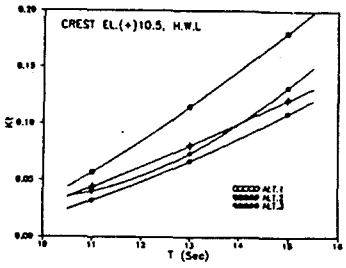


- 水深 EL(-)30.0:B/L=0.16～0.9
  →K_{Rmin}=0.3～0.35
  水深 EL(-)25.0:B/L=0.15～0.17
  →K_{Rmin}
- 水深작을수록 最小反射率(K_{Rmin}) 작아짐

Fig.5 Variation of the reflection coefficient as a function of B/L in perforated wall caisson

② 傳達率

■ 各 形式別 傳達率



◦ 消波 Block 被覆堤가 가장 큼.(越波 容易)

◦ 有孔堤, 一般混成堤는 傳達率 類似

Fig.6 Comparision of transmission coefficient as a function of period of various type caisson

③ 有. 無孔堤間 水理特性 比較

前面壁이 有孔인 제2안 및 제3안은 전반적으로 볼때 대체로 양호한 水理特性을 보이는데 이는 Table 4.의 에너지 損失率에서 알수있다. 有孔堤는 無孔堤에 비해 通常時 波浪에 대해 약 3배, 設計波浪에 대해서 약 1.5배의 양호한 에너지 消散率을 갖는다.

Table 4. Comparison of wave energy dissipation rate with perforated wall or not

實 驗 波 浪		有 孔 堤 (A)		無 孔 堤 (B)	消散率 比率
Ts(sec)	Hs(m)	第 2 案	第 3 案	第 4 案	(A/B)
7.0	2.0	0.84	0.86	0.28	3.02
15.0	9.5	0.51	0.53	0.39	1.33

註 : 에너지 消散率(K_L^2) = 1 - K_R^2 - K_T^2

④ 有. 無孔堤間의 波壓比較

파압측면에서도 有孔堤가 無孔堤에 비해 유리함이 본 실험에서 확인되었는데 Fig.7은 그 한 예를 나타낸 것이다.

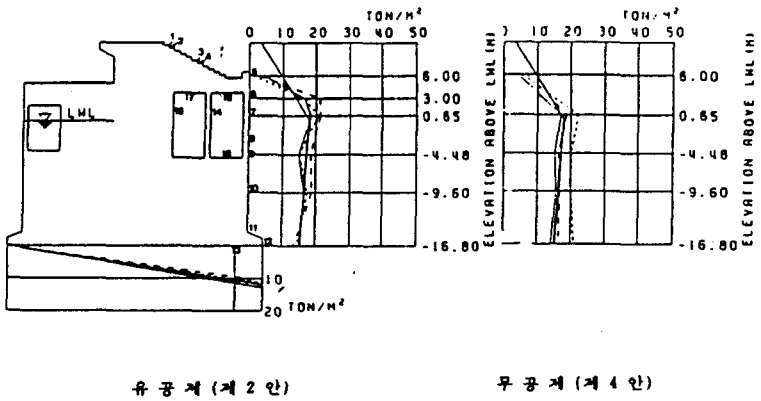


Fig. 7 Comparison of wave pressure with the perforated wall or not

2.4 縱 Slit型 有孔防波堤의 設計

비교안에 대해서 설계조건을 포함한 施工性, 利用側面, 經濟性, 水理特性 등에 대한 사항을 종합적으로 비교, 검토분석한 결과 양호한 水理特性이 입증되어 有孔堤를 선정하였다. 有孔堤中에서는 上部 閉鎖斷面(ALT. 2)이 水理特性面에서는 다소 불리하나 構造的인 安定性, 天端幅 利用側面에서 유리한 것으로 검토되어 본 계획에서는 Caisson 前面 上部가 閉鎖된 縱 Slit型 有孔 消波混成堤(傾斜形 上置)를 채택하였으며 수리실험 결과를 토대로 단면을 개선하였다. (Fig. 8 참조)

가. 天端高 檢討

천단고 변화((+)10.5, (+)9.50)에 따른 전달율 실험결과 港內 許容 傳達波高(Ht < 1.50m)를 만족하는 所要 天端高는 (+)9.04m로 검토되었으며, 設計波浪 작용시 天端高 (+)9.50m일때 배후 人工섬 岸壁에서 越波가 발생하지 않아 防波堤 天端高를 (+)9.50으로 결정하였다.

나. 有孔部 諸元 檢討

기존 실험자료를 토대로 有孔部 諸元을 가정한 단면에 대한 水理模型實驗 결과 계획된 有孔部 諸元은 對象波浪을 효과적으로 차폐하므로서 港外 海域利用에 크게 이바지할 것으로 검토되었다.

다. 被覆材의 安定性 檢討

水理模型實驗 결과 채택단면(ALT.2)에서 被覆材의 피해가 발생되었기 때문에 根固 Block의 크기를 증가시키고 被覆材의 경사를 당초 1:1.5에서 1:2로 변경하여 수리실험을 시행한 결과 被害率이 거의 발생하지 않는등 改良效果가 뚜렷이 나타났다.

라. 堤體 所要重量 檢討

제2안의 活動限界重量 實驗結果 有孔部에 의한 波力低減效果를 확인할 수 있었다. 따라서 Goda의 修正波壓公式에서 λ_1=0.9, λ_2=1.0으로 보아 Caisson 육측 격실의 속채움을 제거한 단면(最終採擇案)에 대한 안정검토를 시행하였으며 계산결과 안전한 것으로 검토되었다.

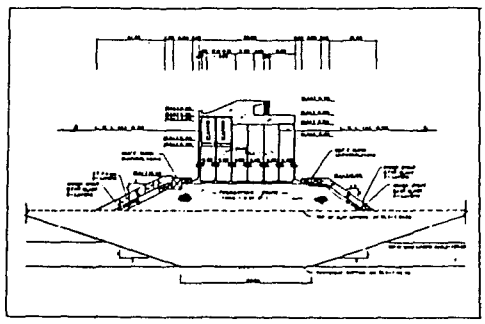


Fig. 8 Typical section of adopted Breakwater

3. 結 論

본 방파제는 國內.外的으로 그 유래가 드문 거대한 海洋 構造物로서 기존 도심지와 海上新都市의 재산을 보호한다는 견지에서 100年 頻度 設計波를 적용하였으며, 堤體의 Caisson 上部(上置)形狀을 종래의 一般 混成堤와는 달리 傾斜形을 취하여 堤體에 작용하는 水平波力을 저감시킴과 동시에 파력의 鉛直分力을 이용한 構造的인 安定性과 經濟性을 圖謀하였으며, 나아가 上部空間에 親水機能을 導入하여 市民에 休息空間을 제공토록 계획하였고, 이에 따른 安全管理對策을 樹立하였다.

구조형식으로서는 縱 Slit型 有孔堤 斷面을 立案하여 水理實驗을 시행한 결과 波壓의 減少效果로 인해 堤體重量을 감소시켜 경제성을 확보할뿐만 아니라 消波效果도 우수하여 平常時 卓越波浪을 효과적으로 消散시킴으로서 防波堤 前面의 錨泊地 利用과 小型船의 航行 등 海域利用에 크게 이바지 할 것으로 검토되었다.