

# 난간 越波時 사람의 轉落防止를 위한 研究

— 親水性 港灣 構造物에 관한 水工的 研究(第3報) —

(3)

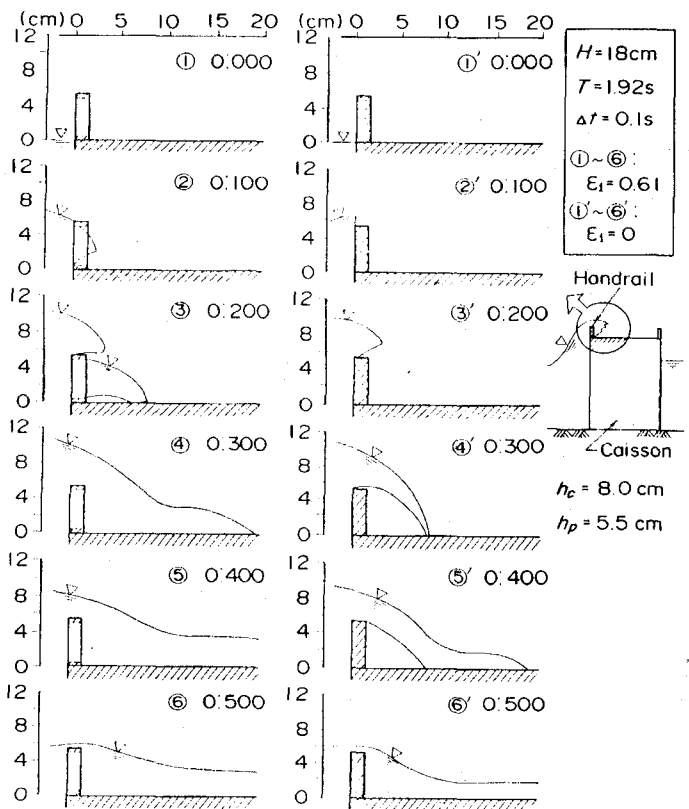
高橋重雄<sup>1)</sup> · 遠藤仁彦<sup>2)</sup> · 室善一朗<sup>3)</sup>

## 4. 난간으로 인한 월파수의 운동변화

### 4.1 水平天端型에 있어서의 난간 설치효과

(1) 항외측 난간으로 인한 월파저감효과

[그림-13]은 항외측 난간 근처에서 월파수 수면형의 輕時變化를 나타낸 것으로서 ①~⑥이 개구율  $\varepsilon_1=0.61$  또 ①'~⑥'이 개구율  $\varepsilon_1=0$ 의 난간을 설치할 경우로 양자 모두 파고 18cm의 조건이다. 또한 ①또는 ①'는 파면이 정확히 천단면에 도달할 때이고 그以降 0.1s간격의 수면형상을 나타내고 있다. 개구율 0.61의 월파상황에 대하여 보면 ②에서는 난간을 투과하여



[그림-13] 港外側 난간 근방에서 越波水面形態의 0.1s간격 經時 變化

1) 日本 港灣術研究所 水工部 耐波研究室長

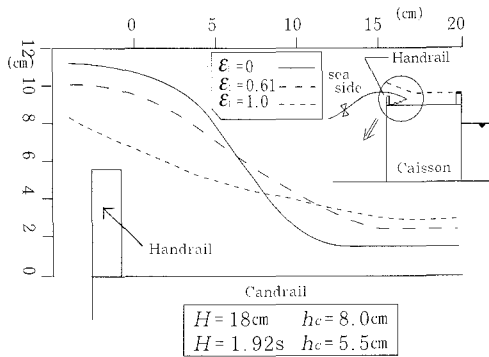
2) 日本 港灣術研究所 水工部 耐波研究室

3) 日本 港灣術研究所 海洋水理部 海水淨化研究室

월파수가 쳐들어 오고 ③에 있어서 그것이 천단면에 낙하고 있는 모습을 알 수 있다. 난간위를 넘는 월파수는 난간을 투과하고 있는 것 보다도 약간 늦게 쳐들어 오고 있으며 ③의 뒤에 그것들이 합쳐져서 ④의 형태로 되어 있다. 그 후 월파수가 항내측으로 진행(⑤, ⑥)하는 동시에 방파제 앞쪽의 수위가 저하하고 있다. 이에 대하여 (개구율의 난간 설치 시) 월파상황은 난간 불투과이기 때문에 월파수가 난간위에서 쳐들어 오는 상황(③'~④')이 된다.

[그림-14]는 [그림-13]과 같은 실험조건에 있어서 방파제상 각점에서의 최대수위의 분포를 도시한 것이고 방파제상의 항외측 끝에서 20cm까지의 범위에 대하여 도시하고 있다. 실선은 불투과인 난간( $\epsilon_1 = 0$ ), 또 파선은 개구율 0.61의 것을 도시하고 있다. 또 그림중에는 같은 실험과정에 있어서의 난간이 없는 조건의 것도 표시하고 있고 점선으로 표시하고 있다.

난간이 없는 상황에 있어서의 최대수위분포(点線)는 이때까지 얻어진 것과 같이 [그림-2]에서 제시된 분포로 되어 있고 항외측 방파제 끝에서 약15cm의 범위에서 최대수



(그림-14) 난간 開口率의 상위로 인한 天端上 各点의 最大 水位 分布

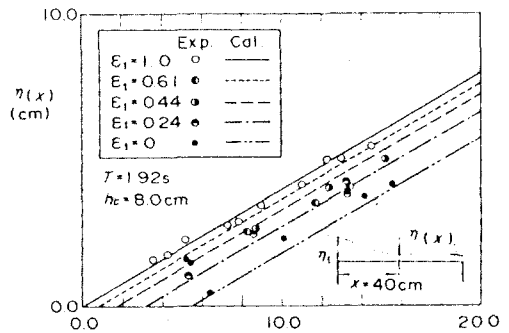
위가 직선적으로 감소하고 그것에서 항내측은 거의 일정수위로 되어 있다. 이에 비하여 개구율의 난간의 경우(實線)에는 난간 가까에서 약간 수위가 높아지나 난간에서 어느 정도 떨어진 위치에서 반대로 수위가 낮아지는 것이 특징이다. 또 그 분포형상은 항외측 가까에서 변화하고 있는 수위 분포의 경사가 급하고 그 수위 변화도 직선적으로는 되지 않는다. 다만 난간에서 10cm 이상 떨어진 위치에서는 거의 최대수위가 일정하게 되어 있고 약간 항내측의 위치에서 일정수위로 된다는 특징은 난간이 없는 것과 같다.

다음에 난간의 개구율 0.61의 경

우(破線)에는 난간 가까이의 최대수위가 난간이 없는 것과 비교하여 약간 크게 되어 있기는 하나 개구율의 것보다는 작게 되어 있음을 안다. 또 난간에서 어느정도 떨어진 위치에서의 최대

수위는 난간이 없는 것과 비교해서 약간 작게 되어 있으나 그 차는 작다. 따라서 개구율이 작은 형상의 난간일수록 난간 가까이의 밀어닥침이 국소적으로 커지나 월파량은 난간에 의하여 저감된다고 생각되며 어느 정도 난간에서 떨어진 위치에서의 최대수위가 난간을 설치하지 않는 경우에 비하여 작아지는 것이 특징이다.

[그림-15]는 항외측 난간(개구율  $\epsilon_1$ )에 의한 일정수위



(그림-15) 파도가 밀어닥치는 높이  $\eta_1$ 와 水位

영역의 최대수위의 저감 효과를 보이는 것이다. 횡측의 천단면에서 측량한 제체천단면에서의 밀어닥치는 높이를 취하고 종측에는 항외측 방파제 끝에서 40cm의 위치에서의 월파수의 최고수위를 보이고 있다.

이 위치는 모든 실험 케이스이다. 또한 그림 중의  $\epsilon_1 = 1.0(0)$ 는 난간이 없을 때의 실험치를 나타내고 있다. 이 조건에서의  $\eta_1$ 와  $\eta(x)$ 의 관계는 대략 비례관계이고  $\eta(x)$ 가  $\eta_1$ 의 대략 4배로 되어 있음을 안다. 이것은 이때까지의 실험결과(著者等 1991)와 동일한 경향을 나타내고 있다. 다음에 항외측에 난간을 설치한 경우가 같은 때의 최대수위  $\eta(x)$ 는 난간이 없을 경우에 비하여 저하하고 있고 난간의 개구율이 작을수록 그 경향이 강해지고 있다.

예컨대 항외측에 난간이 없는 경우와 불투과인 난간을 설치하고 있는 경우에 대하여  $\eta(x)$ 의 저하하는 높이를 비교해보면 꼭 난간 높이만큼 저하하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 또 하나의 특징은  $\eta_1$ 에 대한  $\eta(x)$ 의 변화율이 0.4이었으나 난간이 있을 경우에도  $\eta(x)$ 의 저하는 인정되지만 그 변화율은 동일하게 대략 0.4로 되어 있다.

따라서 항외측 난간에 의한 월파저감 효과를 고려한 일정수위 영역에서의 최대수위  $\eta(x)$ 는 난간 개구율  $\epsilon_1$ 과 난간높이  $hp$ 를 피라미트로 하여 식(8)에 표시하는 것으로 하였다. 그리고 식중의 난간 개구율이 들어 있는 항에 걸려 있는 승수는 난간 개구율이 작을 때의  $\eta(x)$ 의 저감이 비교적 작아진다는 경향을 표시한 것이며 실험결과에서 정하고 있다.

$$\eta(x) - 0.4\{\eta_1 - hp(1 - \epsilon_1)^2\} \dots\dots\dots (8)$$

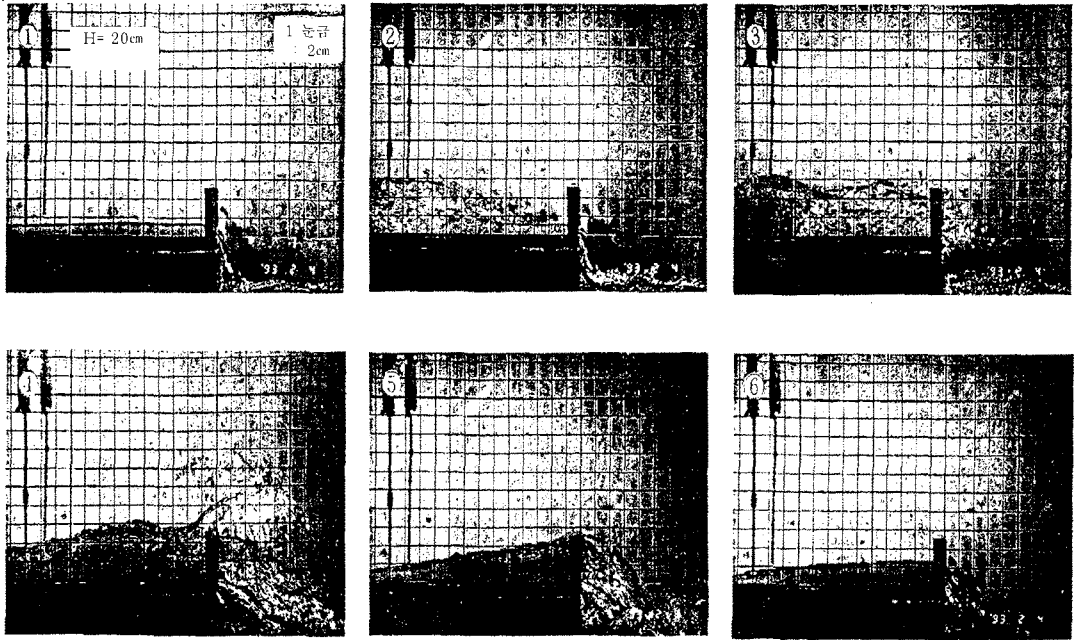
그림 중의 각선은 식(8)의 계산치를 표시한 것이다. 실험치는 약간 불균형이 있고 특히 개구율이 0.61의 난간의 실험치가 계산치보다도 작아지고 있다. 다만 식(8)에 제시한 계산치는 실험식의 전체적인 경향을 대강 표시할 수 있음을 알 수 있다.

## (2) 항내측 난간에 의한 壩上效果

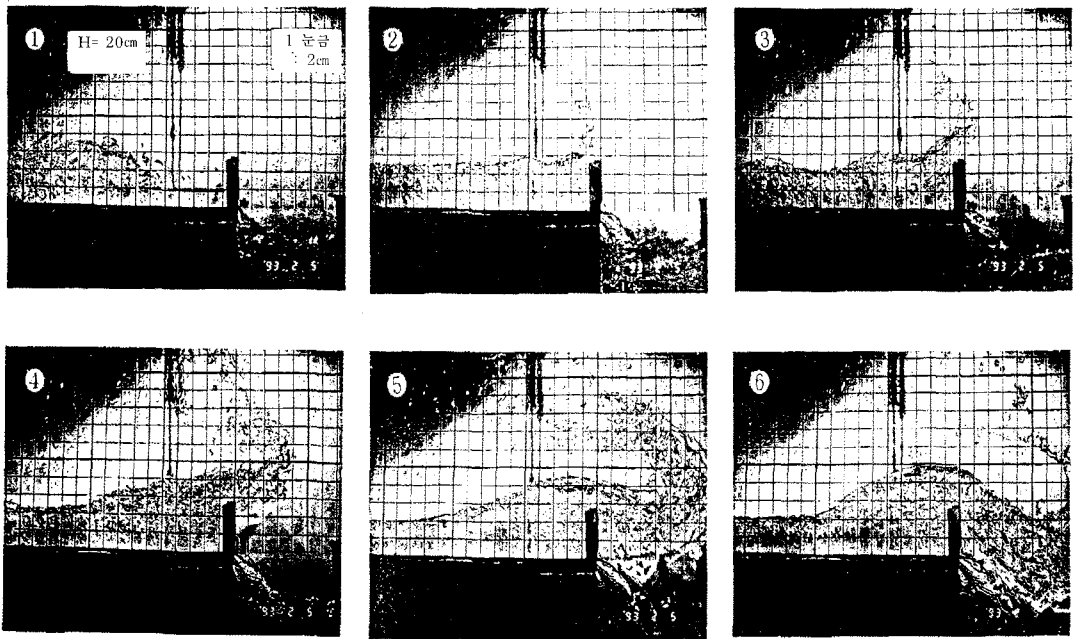
[사진-3]은 항내측에 난간을 설치한 조건에서의 난간근접의 월파상황을 표시하고 있고 난간개구율  $\epsilon_2$ 이 0.61, 파고 20cm, 주기 1.92s의 조건이다. 또 이 실험에서는 주로 항내측 난간의 영향을 보기 위하여 항외측의 난간은

설치하고 있지 않다. ①은 월파시초의 상황이고 사진의 범위에는 월파수가 보이지 않는다. ②에서는 월파수가 단파형태로 천단상을 진행하고 있고 ③에서 난간에 도달하고 있다. 난간은 비교적 투과성이 높으므로 대부분의 월파수는 난간을 투과하여 항내측으로 낙수하고 있으나 일부 난간위에 밀어닥치는 월파수도 보인다(④). ⑤, ⑥에서는 천단상의 월파수가 항내측으로 낙수함에 따라 천단상의 수위도 저하해가는 모습을 알 수 있다.

[사진-4]는 [사진-3]과 같이 항내측 난간근접의 월파상황을 나타내는 것인 바, 개구율의 불투과인 난간을 설치하고 있는 조건이다. 그리고 파고, 주기 등은 [사진-3]과 동일하다. ①에 있어서 월파수가 천단상을 단파형태로 진행하고 있고 ②에서 난간에 충돌하고 있다. 난간에 충돌한 후의 월파수는 난간이 불투과인 때문에 위쪽으로 밀어닥치고(③), ④ 및 ⑤에 제시된 바와같이 그 일부는 20cm 이상이나 밀어 올라가고 물보라 모양이 되어 비산하고 있는 수위가 비교적 많음을 안다. 그 후 월파수는 난간을 타고 넘듯이 항내측으로 낙수해가는



[사진-3] 港內側 난간 근방의 越波 狀況의 連續寫眞( $\epsilon_2=0.61$  波高 20cm)



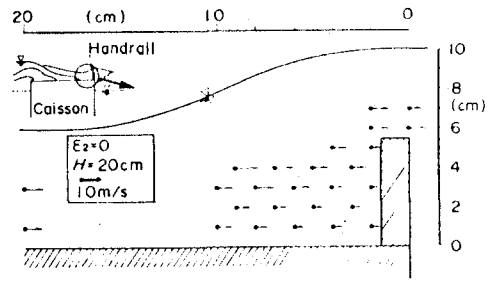
[사진-4] 港內側 난간 근방의 越波 狀況의 連續 寫眞( $\epsilon_2=0$  波高 20cm)

모습을 볼 수 있다.

다음에 [그림-16], [사진-3]과 같은 조건에서의 천단상 각점에서의 최대 수위분포와 난간 근접에서의 최대 수평유속을 나타낸 것이다. 또한 최대수위는 월파수의 실질 부분만을 나타내고 있고 물보라 모양으로 비산하고 있는 것을 포함하고 있지 않다. 그림에서 도시한 범위는 난간이 전혀 없는 조건에 있어서 일정수위로 되는 영역이고 동일한 파랑조건에서는 그 수위가 약 6cm였다. 개구율0.61의 난간을 설치한 조건에서는 난간 가까이를 제외하고 거의 같은 정도의 수위로 되어 있음을 안다. 또 난간에 극히 근접한 곳에서 2cm정도 수위가 상승하고 있다. 한편 천단상의 최대유속은 장소로 인한 차이는 그리 많지 않고 1.2m/s정도로 되어 있음을 안다. 따라서 이와같은 비교적 투과성이 높은 경우에는 난간에 의한 영

향이 적고 난간 근접에서 월파수의 堰上도 작다.

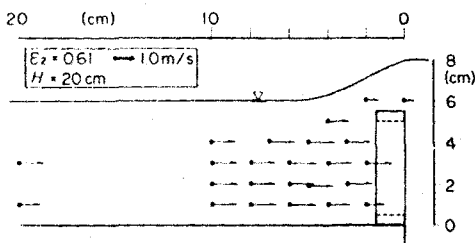
[그림-17], [사진-4]와 같은 조건에서 천단상 각점에서의 최대 수위분포와 난간 근접에서의 최대 수평유속을 나타낸 것이다. 이 조건에서는 난간에서 20cm 정도 떨어지면 최대수위가 6cm로 되어 있고 그 위치에서는 난간의 영향이 없다고 생각된다. 그러나 난간에 가까워 짐에 따라 최대수위가 크게 되어 있는 것이 특징이고 투과성의 난간(그림-16)에 비해 난간 위치에서의 최대수위가 크다. 이것은 앞에서 게재한 연속사진으로 알 수 있는 바와 같이 투과성인 난간의 경우에는 난간에 의한 월파수가 堰上을 막아주고, 위쪽으



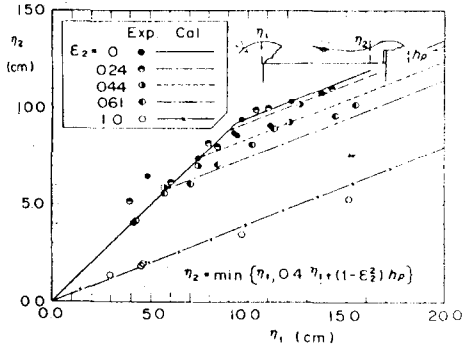
(그림-17) 港內側 난간 근방의 最大水位와 最大流速 (난간 開口率 0)

최대 수평유속에 대하여 보면 난간에서 약간 떨어진 20cm 위치의 유속에 비하여 난간가까이에서 난간보다도 낮은 위치에서의 유속이 작고 그것보다도 높은 위치에서의 유속이 비교적 크게 되어 있음을 안다. 이와같이 수평유속분포로부터도 난간을 타고 넘듯이 월파수가 넘어가는 것을 알 수 있다.

[그림-18]은 항내측 방파제 끝의 난간 위치에 있어서의 최대수위  $\eta_2$ 에 대하여 도시한 것인 바 횡축에 방파제 전면 에 부딪히는 높이  $\eta_1$ , 종축에  $\eta_2$ 를 취하고 있다. 또 항외측에는 난간은 설치돼 있지 않고 항내측에 만 난간 ( $\epsilon_2=0\sim 0.61$ )을 설치 한것 외에 난간을 설치하지 않은 조건( $\epsilon_2=1.0$ )에서도 행하고 있다. 난간이 있는 실험치는 난간이 없는 것에 비하여 불균형이 커지고 있음을 안다. 이



(그림-16) 港內側 난간 근방의 最大水位와 最大流速 (난간 開口率 0.61)



(그림-18) 파도가 밀어닥치는 높이  $\eta_1$ 와 港内側 난간위치의 最大水位  $\eta_2$ 와의 關係

것은 [사진-4]등으로 나타내고 있는 바와 같이 난간 충돌시에 물보라가 발생하고 월파수 본체와 물보라와의 경계를 분리하기가 곤란하기 때문이다. 실제로는 육안으로 본체 부분만을 해독하게 하고 있다.

항내측의 난간 위치는 항외측 끝에서 82cm이고 최대수위는 일정하게 되는 영역이다. 따라서 항내측에 난간이 없는 조건( $\epsilon_2=1.0$ )에서는  $\eta_2$ 가  $\eta_1$ 의 거의 0.4배로 되고 항외측 끝에서 40cm 위치에서의 수위  $\eta(x)$ 와  $\eta_1$ 의 관계를 나타내고 있는 [그림-15]와 같은 결과로 되어 있다.

다음에 항내측의 난간이 있을 경우 ( $\epsilon_2 < 1.0$ )에는 난간이 없는 조건에서의 실험치에 비하여 명백히 난간위치에서의 수위  $\eta_2$ 가 커지고 있음을 안다.

되어 있는 점이다.

또하나의 특징은  $\eta_1$ 가 어느 정도 크면 난간의 투과성이 낮을수록 堰上이 높아진다는 점이다. 이때  $\eta_1$ 에 대한  $\eta_2$ 의 변화율은 난간이 없을 경우와 같이 거의 0.4로 되어 있다. 또 개구율 0의 난간을 설치한 경우의 수위를 난간이 없을 경우에 비하여 난간의 높이만큼 堰上이 높아져 있음을 안다.

따라서 항내측 난간 위치에서의 최대수위  $\eta_2$ 는 난간 개구율  $\epsilon_2$ 과 난간높이  $hp$ ,  $\eta_1$ 를 파라미터로 하여 다음식에 의하여 표시하게 하였다. 또 난간 개구율과 수위의 堰上높이와 관계는 비례가 아니므로 식(9)에서는 난간 개구율  $\epsilon_2$ 을 제곱으로하여 실험의 영향을 표시하였다.

그림중의 각선은 식(9)를

사용한 계산치이고, 대개 실험치의 영향을 나타내고 있음을 안다. 또 이식은 항외측에 난간이 없는 조건에서의 실험 결과에서 검토한 것이고 식중에서 난간이 없는 조건에 한정된다. 다만, 실제로는 항외측에도 난간이 설치되는 것이 대부분이므로 난간의 영향을 받는 항외측 제단에서 부딪히는 높이는 아니고 난간 배후의 일정수위 영역에서의 최대수위  $\eta(x)$ 를 사용하여 식(9)를 나타낸 쪽이 형편이 좋다. 그래서 항외측의 난간이 없을 경우에는  $\eta(x)=0.4\eta_1$ 의 관계가  $\eta$ 의 성립되므로 이것을 식(9)에 대입하여 다음 식을 도출했다.

$$\eta_2 = \min\{2.5\eta(x), \eta(x) + (1 - \epsilon_2^2)hp\} \dots \dots \dots (9)'$$

식(8)과 식(9)를 사용하면 항내측 양단의 난간을 설치한 경우  $\eta_1$ 와  $\eta_2$ 의 관계가 아래 식으로 표시된다.

$$\eta_2 = \min\{\eta_1 - hp(1 - \epsilon_1)^2, 0.4\{\eta_1 - hp(1 - \epsilon_1)^2 + (1 - \epsilon_2^2)hp\} \dots \dots (9)'' \quad \triangleleft$$