

# 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) —

(5)

高橋重雄 · 遠藤仁彦 · 室善一朗

## 6. 월파수로 인한 사람의 轉落한계조건

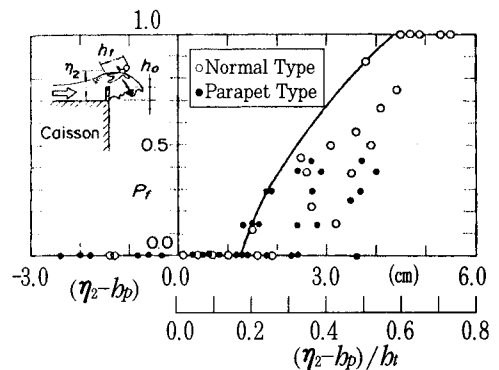
### 6.1 전략한계시의 밀어닥치는 높이

(1) 天端上의 최대수위와 轉落率과의 관계

[그림-30]은 天端上에서 사람이 전략하는 위치에 있어서의 최대수위와 轉落率  $P_f$ 와의 관계를 나타낸 것이다. 또한 전략하는 위치는 수평천단형의 경우에 항외측 제단이 되고 파라페트 후퇴형의 경우에는 항외측 제단이 된다. 도면횡축에는 그 위치에서의 난간상의 최대수위  $(\eta_2 - h_p)$  또는  $\eta_{1OUT}$

$h_p$ )와 그것을 신장으로 무차원화한 것  $((\eta_2 - h_p)/h_t)$  또는  $(\eta_{1OUT} - h_p)/h_t$  를 취하고 있다. 도면중에는 수평천단형의 堤體를 ○, 파라페트 후퇴형을 ●로 하고 있고 파라페트 후퇴형에서는 두가지의 파라페트 위치 ( $x_p = 19.41\text{cm}$ )에 있어서의 결과를 합해서 표시하고 있다.

난간 위치에서의 최대수위  $\eta_2$ (또는  $\eta_{1OUT}$ )가 난간 높이  $h_p$



[그림-30] 轉落位置에서의 最大水位와 轉落率  $P_f$ 와의 關係

보다도 작을 때에는 인체모형이 난간에 걸리기 때문에 天端上에서 전락하지 않으나 그 수위가 난간보다 어느정도 높아지면 전락이 생기기 시작한다.

예컨대 수평천단형에서는 난간의 최대수위가  $\eta_2 - b_p$ 가 신장의 약17%에서 전락하기 시작하고 있고,  $\eta_2 - b_p$ 가 신장의 40%정도에서 약 50%의 전락률,  $\eta_2 - b_p$ 가 신장의 55% 이상이 되면 거의 100%전락하고 있음을 안다. 또 파라페트 후퇴형에서는 잔락하기 시작하는 수위는 수평천단형과 거의 동일하게 되어 있으나 난간상의 수위가 높아져도 수평천단형처럼 전락률이 올라가지 않고 전락률의 불균형도 비교적 큰 것이 특징이다.

이것은 파라페트 후퇴형에서의 월파상황이 비교적 복잡한 것에 원인이 있다고 생각된다. 즉 수평천단형의 경우 항내측 난간 위치에서의 수위가 최대로 될때에 인체모형이 전락하는 일이 많고 단순하지만 파라페트 후퇴형의 경우 파도가 빠질 때의 수위가 최대로 되는 시간과 인체모형이 난간위치로 운반되는 시간에 위상차가 있는 일이 많아지는 등 복잡하기 때문이다.

도면중의 실선은 두가지 구조형식을 합친 실험치의 상한

을 包絡한 것이다. 전술한 바와 같이 난간 위치에서의 최대수위와 전락률과의 관계에 불균형이 있으나 전락하는 한계의 수위가 대략 일치하고 있음을 알 수 있다. 이 한계수위는 난간위에서의 최대수위로 생각하면 신장 $h_t$ 의 약 17%였다. 즉 사람이 전락하는 한계의 최대수위  $\eta_{2cr}$  및  $\eta_{1OUTcr}$ 는 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\eta_{2cr} = 0.17b_t + b_p$$

$$\eta_{1OUTcr} = 0.17b_t + b_p \dots (11)$$

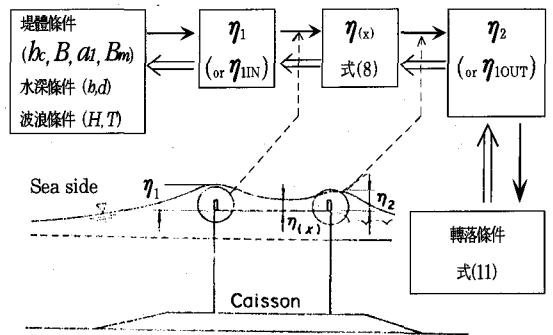
그리고 그림에는 생략하였으나 난간이 없을 경우에도 전락한계의 상황에서 전락위치에서의 최대수위가 신장의 약 17%가 되고  $b_p = 0$ 으로 하면 식(11)에 일치 하였다.

## (2) 전락한계시의 밀어닥치는 높이의 산정방식

[그림-31]는 월파시에 있어서 사람의 전락 유무나 전락한계의 밀어올리는 높이등을 구하는 방법을 정리한 흐름도이다. 堤體조건이나 波浪조건 등과 밀어올리는 높

이  $\eta$ 와의 관계는 월파수의 운동모델에 의하여 구할 수 있다.

또한 天端上에 난간을 설치한 경우의 파고와 밀어올리는 높이와의 관계에 대하여는 6.2에서 검토하고 있다. 수평천단형의 堤體를 넘은 월파수는 먼저 시초에 항외측 제단에 설치하는 난간에 의하여 월파량이 감소하고 난간배후의 최대수위가 저하한다. 이 수위의 저하는 난간의 개구율 등에 의하여 다르고 식(8)에서는 항외측 제단에 설치한 난간의 영향을 고려한 수위를 구할 수 있다. 그후 월파수가 항내측 난간위치에 도달하면 난간근방에서 월파수가 방파제 위로 불어난다. 불어난 높이는 난간의 형상에 따라 다른바 식(9)'에서는 항내측의 난간을 고려한 최대수위를 계산할 수 있다. 따라서 파고등



[그림-31] 轉落限界的 높이를 계산하는 흐름도

의 조건을 알면 堤體前面에서  
의 밀어올리는 높이를 아는  
동시에 항내측 제단에서의 난  
간의 영향을 고려한 최대수위  
를 알 수 있다. 天端前面에서  
의 밀어올리는 높이를 아는  
동시에 항내측 제단에서 난간  
의 영향을 고려한 최대수위를  
알 수 있다. 天端上에서 사람  
의 전락 유무는 전락하는 위  
치에서의 최대수위를 알 수  
있으며 式(11)에 의하여 전락  
하는 한계의 최대수위가 계산  
된다. 또 지금까지 설명한 흐  
름도를 역으로 생각하면 전락  
한계가 되는 밀어올리는 높이  
나 파고등을 계산할 수 있다.

파라페트후퇴형에 있어서도  
水平天端型과 같이 전락한계  
가 되는 밀어올리는 높이 등  
을 알 수 있다. 파도가 밀려  
올 때는 항외측제단에서의 최  
대수위  $\eta_{IN}$ 는 水平天端型에서  
의  $\eta_1$ 에 상당하고 파도가 빠질  
때 최대수위  $\eta_{OUT}$ 와의 관계를  
계산할 수 있고  $\eta_{IN}$ 에 의하여  
轉落의 有無를 알 수 있다.

### (3) 난간이 없을 경우의 轉 落限界時의 밀어닥치는 높이

난간이 없을 경우에는 신장  
152cm의 사람을 대상으로 하  
면 전락위치에서의 최대수위  
가 26cm인 때에 전락한계로  
된다. 이때 水平天端型의 堤體

에서는 堤體前面에 밀어닥치  
는 높이가 65cm이고 파라페트  
후퇴형에서는 항외측 제단의  
최대수위가 43cm로 된다. 따  
라서 파라페트후퇴형의 쪽이  
작은 밀어닥치는 높이로 전락  
하고 水平天端型보다도 약간  
전락하기 쉬워지는 것을 알 수  
있다.

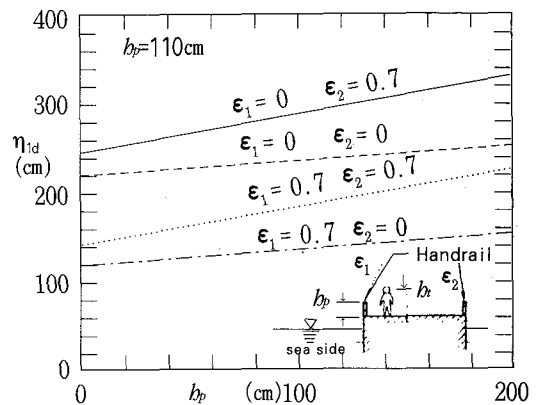
한편 월파에 의하여 사람이  
전도할 때의 밀어닥치는 높이  
는 신장 152cm의 표준형의 體  
형을 對象으로 한 경우에  
0.5m가 된다. 이로 말미암아  
天端上의 사람이 전도하는 越  
波狀況인 때에는 월파수에 의  
하여 흩어져서 海中으로 전락  
해버리는 가능성도 상당히 높  
은 것을 알 수 있다.

### (4) 난간이 있는 경우에 서의 전락한계시의 밀어닥 치는 높이

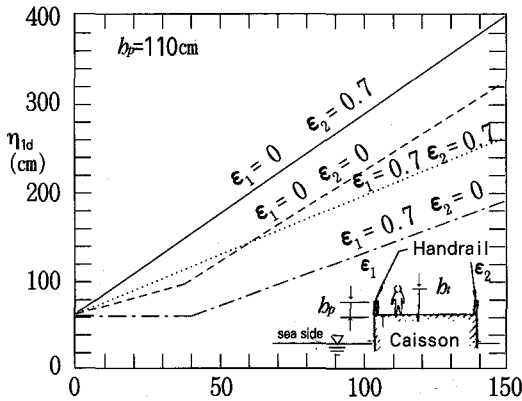
[그림-32]  
는 水平天端  
型에 있어서  
신장  $h_c$ 와 轉落  
限界 밀어닥  
치는 높이  $\eta_{id}$   
와의 관계를  
도시한 것이  
다. 계산에  
이용한 난간  
의 높이  $h_p$ 는  
110cm이고 開

口率이 각각 0와 0.7의 2종류  
의 난간을 組合해서 항내측과  
항외측에 설치한 4케이스에  
대하여 계산하였다. 또한 개  
구율 0의 난간은 파라페트를  
겸한 壁型의 난간을 상정하고  
있고 개구율 0.7은 柵型의 난  
간을 상정하고 있다.

이에 의하면 신장이 커지면  
전락한계로 밀어닥치는 높이  
도 커지고 약간 전락하기가  
어렵게 되어 있으나 그 차는  
그렇게 크지 않다. 예컨대 항  
내측과 항외측의 난간이 양자  
모두 불투과인 경우에는 신장  
100cm인  $\eta_{id}$ 가 약 2.4m, 신  
장 180cm에서 약 2.5m로 되어  
있다. 또 난간 形狀의 각 組  
합을 비교하면 항외측 난간이  
불투과인 것이 전락하기 어렵  
고 항내측 난간이 투과성으로  
되면 더욱 전락하기 어려워지  
는 경향이 있는 것을 알 수



(그림-32) 身長  $h_c$ 와 轉落限界打의 높이  $\eta_{id}$  ( $h_p=110$ cm)



(그림-33) 난간높이  $h_p$ 와 轉落限界打의 높이  $\eta_{id}$   
( $h = 152\text{cm}$ )

있다.

전술한 바와같이 난간이 없는 조건에서의 전락한계로 밀어닥치는 높이는 신장 2m인 때 0.7m이고 이와같은 신장을 대상으로한 난간 설치시의 전락한계로 밀어닥치는 높이를 비교하면 난간에 의한 전락방지 효과를 알 수 있다. 예컨대 개구율 0.7의 난간을 항내외측 양단에 설치한 경우에 비하여 약 3배가 되어 상당히 전락하기 어렵게 된다. 또 항외측의 난간을 개구율 0로 하면 난간이 없는 경우에 비하여 4.4배나 커져서 더욱 전락하기 어렵게 됨을 알 수 있다.

이와같이 방파제상에 설치하는 壁型이나 柵型의 난간은 월파시에 있어서 사람의 전락방지 효과가 있음이 명확하

여 계산하고 있다. 또한 난간 개구율은 [그림-32]와 동일한 조합에 대하여 계산하고 있다.

사람의 전락은 전락위치에서의 최대수위에 따라 거의 결정되므로 그 위치에 난간을 설치한 때에 난간의 높이에 의하여 전락한계로 밀어닥치는 높이도 상당히 변화한다. 예컨대 방파제상의 양단에 불투과의 난간을 설치한 경우에는 그 높이가 50cm인때에 전락한계로 밀어닥치는 높이  $\eta_{id}$ 가 1.3m로 되어 있으나  $h_p$ 가 100cm로 높아지면  $\eta_{id}$ 가 2.3m로 되어 있다. 또 항외측의 난간이 불투과인 경우( $\epsilon = 0$ ), 개구율 0.7의 난간보다도 난간의 높이에 의한 전락한계로 밀어닥치는 높이의 변화가 커진다. 다만 실제로 전

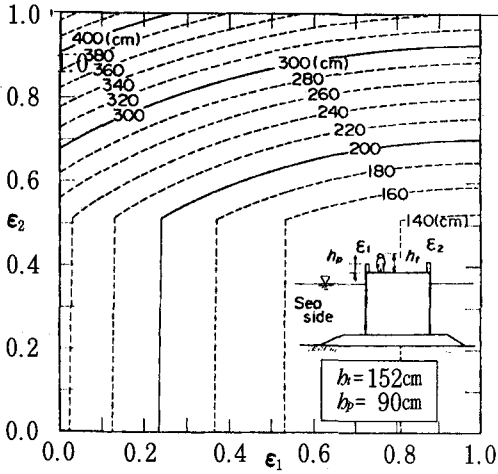
다.

[그림-33]은 난간의 높이와 전락한계로 밀어닥치는  $\eta_{id}$ 높이의 관계를 나타낸 것이다. 堤體는 水平天端型을

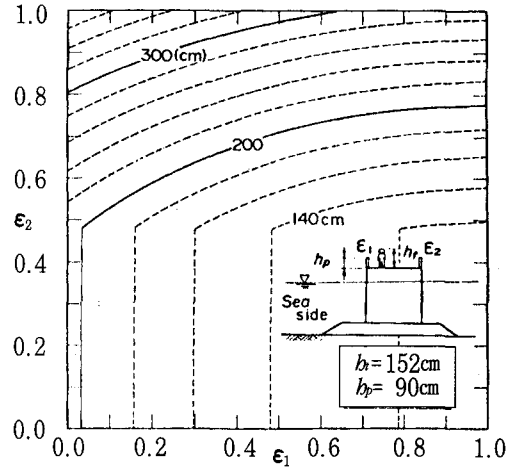
락방지용으로 사용되는 난간의 높이는 90에서 110cm가 많고 그 범위에서는 轉落限界로 밀어닥치는 높이가 최대로  $\pm 10\%$ 정도 변화하고 있다.

[그림-34]는 수평찬단형에 있어서의 난간 개구율과 전락한계로 밀어닥치는 높이와의 관계를 나타내는 것으로서 신장 152cm, 난간높이 110cm의 조건이다. 전락한계로 밀어닥치는 높이는 등고선에 의하여 도시하고 있다. 이에 의하면 항외측의 난간 개구율이 같은 경우 항내측의 난간 개구율  $\epsilon$ 이 0.5이하에서는 전락한계로 밀어닥치는 높이가 일정하나  $\epsilon$ 가 0.5이상에서는  $\epsilon$ 가 클수록 전락한계로 밀어닥치는 높이가 커지고 전락하기 어렵게 된다.

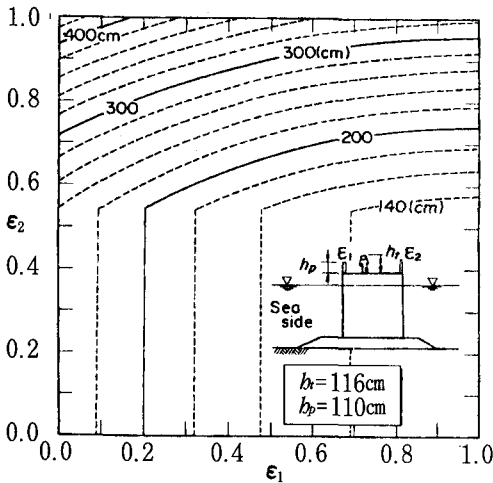
[그림-34]는 신장 116cm, 난간높이 110cm로 (a)와 동일한 도면이다. [그림-34](c)는 신장 152cm, 난간높이 90cm, [그림-34](d)는 신장 116cm, 난간높이 90cm의 조건에서의 전락한계로 밀어닥치는 높이를 나타낸 것이다. 난간형상을 알면 이들 도면에서 전락한계로 밀어닥치는 높이를 나타낸 것이다. 난간형상을 알면 이들 도면에서 전락한계로 밀어닥치는 높이를 판독할 수 있다.



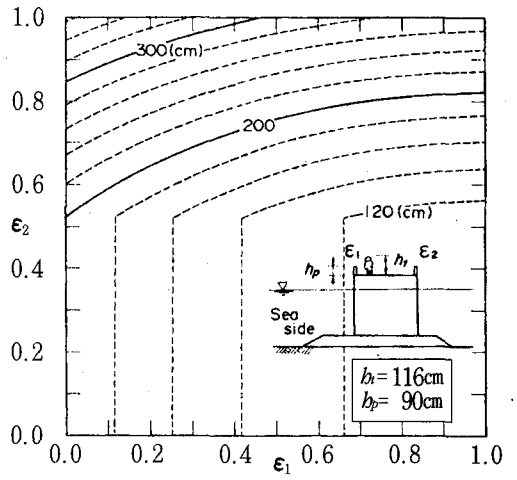
[그림-34](a) 난간開口率과 轉落限界打의 높이 $\eta_{id}$   
( $h=152\text{cm}$ ,  $h_p=110\text{cm}$ )



[그림-34](c) 난간開口率과 轉落限界打의 높이 $\eta_{id}$   
( $h=152\text{cm}$ ,  $h_p=90\text{cm}$ )



[그림-34](b) 난간開口率과 轉落限界打의 높이 $\eta_{id}$   
( $h=116\text{cm}$ ,  $h_p=110\text{cm}$ )



[그림-34](b) 난간開口率과 轉落限界打의 높이 $\eta_{id}$   
( $h=116\text{cm}$ ,  $h_p=90\text{cm}$ )

또한 신장 152cm는 12세의 평균신장이고 신장 116cm는 6세의 평균신장이다. 또 난간높이가 90 또는 110cm이외의 경우에는 전략한계로 밀어닥치는 높이가 난간높이에 관하여 선형으로 생각하여 표에서 판독한 값을 사용하여 또는 外插

하여 구할 수 있다. 다만 도면 중에 있어서 개구율  $\epsilon$ 가 1.0의 경우 난간이 율파수에 영향을 미치지 않으나 柵이 있다고 가정하여 계산한 것이고 난간이 없는 조건은 아니다.

(5) 전략한계시의 밀어닥치

는 높이의 간이 설정방법

전략한계시의 밀어닥치는 높이는 사람의 신장, 난간의 높이, 난간의 개구율이 주된 파라미터로 되어 있는 것을 설명하여 왔다. 여기서는 간이적인 검토를 할 때에 참고가 되는 전략한계의 밀어닥치는 높

〈표-2〉 대표적인 조건에서 전락한계타의 높이  $\eta_{td}$   
(水平天端型)

港外側端 난간	港內側端 난간	전락한계타의 높이 $\eta_{td}$ (m)
벽 型	벽 型	2.4
	책 型	3.1
	체인형, 無	1.3
柵 型	벽 型	1.5
	책 型	2.1
	체인형, 無	0.8
체인형, 無	벽 型	1.4
	책 型	2.0
	체인형, 無	0.7

〈표-3〉 대표적인 조건에서 전락한계타의 높이  
(파라페트후퇴형)

港外側 난간	전락한계타의 높이 $\eta_{td}$ (m)
벽 型, 책 型	2.3
체인형, 無	0.5

이를 제시한다. 이것은 사람의 신장등 기본적인 조건을 한정하여 난간의 형상만에 의하여 나타내는 것이다. 대상으로한 사람의 신장은 152cm를 기본으로 하였다. 이 신장은 사람의 전도를 검토한 때에 사용한 것과 동일하고 12세의 평균신장에 대응하고 있다. 또 난간의 높이는 전락방지용으로서 가장 잘 사용되고 있는 110cm로 생각하고 있다.

난간의 형상은 전술한 바와 같이 책형, 벽형, 체인형으로

구분할 수 있고 책형과 벽형에 대하여는 각각의 대표적인 개구율로 생각되는 0.7, 0을 사용하였다. 또 체인형은 지주간 체인의 개수에도 따르지 만 통상적으로는 전락방지 효과가 낮다고 생각되기 때문에 전락한계의 조건을 검토하기 위해서는 난간이 없는 것과 동등하게 생각했다.

이상의 판정에 의거하여 산출한 것이 〈표-2, 3〉에 제시한 것이며 난간의 형상을 알면 전락한계로 밀어닥치는 높

이를 구할 수 있다. 〈표-2〉는 수평천단형을 대상으로 한 것이고 〈표-3〉은 파라페트후퇴형의 堤體에 있어서 양단의 난간이 벽형일 때 전락한계로 밀어닥치는 높이는 2.5m이고 그것이 책형이면 2.1m, 체인형 또는 난간이 없을 경우에 0.7로 된다. 가장 전락 방지 효과가 높은 組合은 항외측에 벽형 난간을 설치하고 항내측에 책형의 난간을 설치한 경우이고 그때의 전락한계로 밀어닥치는 높이는 3.1m가 된다.  $\triangle$