

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) —

<1>

高橋重雄¹⁾ · 遠藤仁彦²⁾ · 室善一朗³⁾

1. 머릿말

방파제는 안전상의 관점에서 종래부터 사람의 출입을 금지해 왔으나 실제로는 침입 방지책을 타고 넘어서 들어오는 사람이 많은 것이 현실이다. 이러한 사람들 중에는 파랑이 높을 때 월파수에 휩쓸려 바다속으로 전락하는 사람도 있어 중대한 사고로 된 일도 적지 않다.

그러나 연중의 대부분은 월파하는 일이 없으므로 적절한 안전관리를 하려면 방파제를

안전하고 쾌적한 친수공간으로 이용하는 것도 가능해진다.

친수성방파제란 사람에 대한 안전대책을 적극적으로 시행하고 낚시나 산책을 위하여 개방하는 것이다. 예컨대 사진1은 名古屋港의 知多半島에 위치하는 高潮堤로서 그 천단상에 손잡이 난간을 설치하는 등 1992년부터 일반시민에게

낚시시설로서 개방하고 있다. 사진2는 北해도 網走港의 친수성방파제로서 시민이 산책할 수 있는 시설로 현재 건설중(일부는 완성)인 것이다. 이들 사례 이외에도 계획중인 것을 포함하면 그 수는 적지 않다.

항만기술연구소에서는 1990년부터 친수성항만구조물의 연구를 시작하고 있는바



사진1 名古屋港의 친수방파제



사진2 網走港의 친수성 방파제

1) 日本 港灣術研究所 水工部 耐波研究室長
3) 日本 港灣術研究所 海洋水理部 海水淨化研究室

2) 日本 港灣術研究所 水工部 耐波研究室

주로 친수성방파제상의 시설의 耐波안정성이나 사람의 안전에 대한 검토를 더 해왔다.

第一報에서는 친수성방파제상의 파도에 대한 여러가지 검토를 하는데서 가장 기본이 되는 방파제상의 월파수의 운동에 대하여 검토하였다. 또 친수성방파제상에 설치되는 계단사면등의 시설에 대한 파력에 대해서도 실험적으로 검토하고 파력이 산정가능한 실험식을 제안하고 있다.

第二報에서는 월파시에 있어서의 사람의 전도(휨쓸림)에 대하여 검토하였다.

전도가 어떠한 메카니즘으로 발생하는가를 명백히 하고 사람이 전도하는 상황을 방파제 전면에 있어서의 파도의 높이나 파고등으로 정량적으로 나타내고 전도한계타가 밀어닥치는 높이 등을 제안했다. 본보고는 이들 일련의 연구의 第三報이고 월파에 대한 사람의 위험중에서도 위험도가 높은 바닷속으로 사람이 전락하는데 대하여 검토한 것이다.

친수성방파제에는 사람에게 대한 안전대책으로서 여러가지 안전시설이 설치된다. 예컨대 긴급시의 방송시설이나 구명용의 튜브나 사다리등이 안전시설로서 위치를 부여 받고 있다.

또 가장 기본적인 안전시설은 전락방지를 목적으로 하는 손잡이 난간이다. 이 난간은 사람이 출입할 수 있는 장소와 바다와 경계, 즉 안전한 장소와 위험한 장소와의 경계를 표시하고 있다. 이와같이 항구 안쪽이나 항구 바깥쪽의 끝에 설치한 난간은 평상시의 이용 때 시민이 바다로 잘못해서 전락하는 것을 방지하고 있다.

한편 월파시에 있어서 방파제상에서 사람이 처하게된 경우 방파제상에서 파도가 어느 정도로 높아지면 사람이 월파수에 의하여 전락하고 다시 바다속으로 전락해 버리는 일도 예상된다. 그러나 방파제상에 전락방지를 위한 난간이 항구 안쪽에 설치되어 있으면 난간에 사람이 걸려서 가장 최악의 상황인 바다속으로의 전락방지는 할 수 있지 않겠느냐고 생각할 수 있다. 또 항구 바깥쪽 방파제 선단에 설치되는 난간이 비교적 불투과로 작은 Parapet를 겸한 구조로 되어 있을 경우에는 실제로 사람의 위험이 문제가 되는 파랑상황에 있어서 월파 그자체가 어느정도 감소하는 것도 기대할 수 있다.

본연구소는 수리모형실험에 의하여 난간을 설치한 것으로 인한 월파수의 운동의 변화를 파악하는 동시에 난간에 의한

사람의 전락방지 효과를 명백히 하는 것이다. 또한 통상의 방파제의 경우 난간은 항 바깥쪽 뿐만아니라 항내쪽 계단에도 설치된다. 여기서는 이들 두개의 난간의 효과에 대하여 검토하고 있다.

또 방파호안 특유의 형상으로 볼 수 있는 천단상에 큰 Parapet(난간벽)가 항 외측 계단보다도 후퇴하여 설치되어 있을 경우 Parapet(후퇴형)도 검토 대상으로 하고 있다. 이와같은 형상의 방파제의 경우는 난간이 항 외측 계단에만 설치된다.

제2장에서는 여태까지의 친수성방파제에 관한 일련의 연구를 간단히 비평하고 본보고에서 대상으로 하고 있는 위험(월파시의 사람의 전락)의 위치부여와 본연구의 목적을 명확히 하고 있다. 또 친수성방파제상의 사람의 안전성을 평가하는 방법에 대하여도 기술한다. 제3장에서는 실험의 개요에 대하여 설명하고 있다. 제4장에서는 난간이 방파제상의 월파수에 미치는 영향에 대하여 검토하고 있다. 제5장에서는 월파시에 있어서의 방파제상의 사람의 거동에 대하여 검토하고 있다. 제6장에서는 월파에 의하여 사람이 바닷속으로 전락하는 조건을 검토하고 있고, 전락하는 한

계조건을 방파제 측면에 있어서의 파도의 높이를 파고를 사용하여 표시하고 있다.

2. 친수성방파제상에 있어서의 사람의 안전연구

2-1 월파수의 운동에 관한 연구

저자들은 방파제상의 월파수의 운동에 대하여 실험적으로 검토하고 있고, 그 결과 월파수의 운동 모델을 구축하고 있다. 그림1은 월파수의 운동모델의 개념도를 나타내는 것이다. 월파수의 운동모델이란 파랑조건, 수심조건, 방파제조건등에서 방파제상에서의 월파수의 최대수위나 최대유속을 구할 수 있다. 이른바 실험식이다.

또 이 모델은 당초직립제 및 혼성제(통상의 구형케이슨공법)을 대상으로 하고 파고의 적용범위가 수심파고비로 0.4이하로 비교적 저파랑역으로 되어 있었다. 그후菅原들에 의하여 슬릿케이슨(Slit caisson 이나 소파블럭) 복제에도 적용가능하고 그위에 쇄파영역도 포함하는 비교적 고파랑역에도 적용할 수 있도록 확장되고 있다.

여기서는 월파수의 운동모델중에서 본보고에 관한 이하의 부분에 대하여 구체적으로 설명을 가하는 것으로 한다.

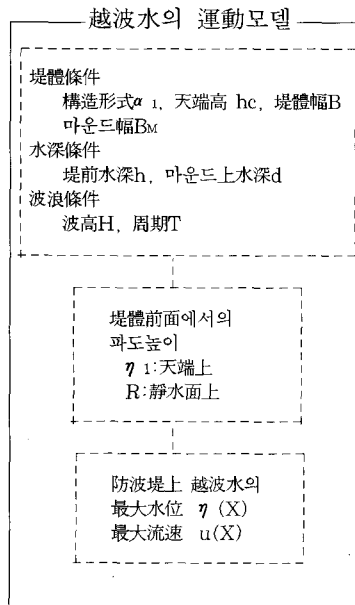


그림 1 월파수 운동모델의 개요

① 파고와 방파제 측면으로 밀어닥치는 높이의 관계

② 방파제상에서의 월파수의 최대수위 분포

처음에 ①방파제 측면에서 월파가 발생하지 않는 파고에서는 파도가 중복파적인 운동을 나타내고 월파랑이 증가하면 부분중복파적인 운동으로 된다. 월파수의 운동모델에서는 밀어닥치는 높이를 고려할 때에 다소 유한전폭성을 고려한 중복파를 기본으로하여 월파의 충격 저감효과를 고려한 실험식을 제안하고 있다. 월파시의 방파제 전면에서의 파

$$n_1 = K \cdot H - h_c \quad (1)$$

$$K = \frac{1 + 1 + \sqrt{4\alpha_1 h_c / h_m}}{2} \quad (2)$$

$$h_c = \frac{H/h_m}{2(H/h_m) - \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha_1 \cdot h_c / h_m}}{2\alpha_1}} \quad (3)$$

$$h_m = \begin{cases} d : B_m/L \geq 0.16 \\ d + (h-d) \frac{0.16 - B_m/L}{0.05} \\ : 0.11 \leq B_m/L < 0.16 \\ h : 0.11 < B_m/L \end{cases} \quad (4)$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1.0 : \text{직립제, 혼성제} \\ 0.5 : \text{소파블럭 피복제} \\ 0.5 : \text{上床版無 슬릿케이슨제} \\ 0.5 \sim 1.0 : \text{上床版有 슬릿케이슨제} \end{cases} \quad (5)$$

여기에 α_1 : 방파제 형식에 의한 보정계수
 h_c : 천단고 높이
 h_m : 마운드 높이를 고려한 환산수심

- B_M : 마운드의 肩幅(어깨폭)
- L : 방파제 전면 수심에 있어서의 파장
- d : 마운드상의 수심
- h : 방파제 전면에 있어서의 수심
- K : 파의 최고 높이 비(정수면에서 치는 높이 R 을 파고 H 로 무차원화 한것 R/H)

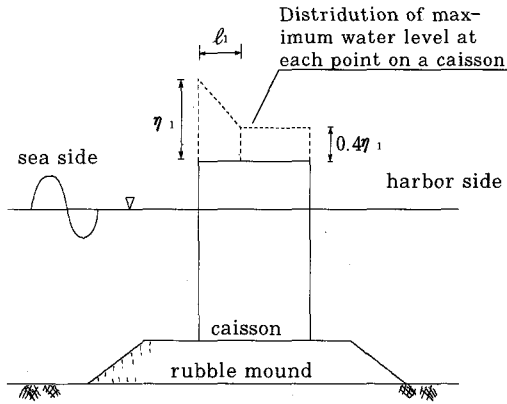


그림2 越流時 최대수위분포

도가 치는 높이 n (천단면을 기준으로 한 것)은 식(1)~(5)로 표시된다.

다음에 ②방파제상의 각점에 있어서의 월파시의 최대수위는 그림2에 보는 바와 같이

영역에서는 그 최대수위가 방파제 전면의 최대수위의 거의 0.4배로 되는 것을 알고 있다. 월파수의 운동모델에서는 방파제상의 각점에서의 최대수위 $\eta(x)$ 를 이하의 식으로 표시하고 있다.

$$\eta(x) = \begin{cases} \frac{h_1 - 0.6x}{h} \cdot \eta_1 & : x < h \\ 0.4\eta_1 & : x \geq h \end{cases} \quad (6)$$

$$\ell_1 = C_m \sqrt{\frac{1.2\eta_1^2}{g(\eta_1 + h_c)}} \quad (7)$$

여기에, x : 방파제 천단상에 있어서의 항 외측 방파제 끝의 거리

- C_m : 수심 h_m 에 있어서의 파속
- g : 중력가속도

2-2 월파와 사람의 위험에 관한 연구

파랑에 대한 방파제상의 사람위험은 감상적인 것에서 실질적인 것까지 여러가지를 생각할 수 있다. 여태까지 일련의 연구에서는 위험을 아래에 제시한 4개의 위험도의 다른 상황으로 나눠서 생각해 볼 수 있다.

- ① 파도의 물보라가 천단상에 밀어닥치는 상황
- ② 월파가 생기는 상황
- ③ 월파에 의하여 사람의 일정수위로 되는 것이 특징이다. 또 일정수위의
- ④ 월파에 의하여 사람이 바다속으로 전락하는 상황

그림3은 이같은 상황을 개념적으로 도시한 것이다. 아래 각각이 위험상황에 대하여 설명한다.

- ① 물보라가 천단상에 밀어닥치는 상황

파고가 커지면 월파가 생기지 않아도 방파제상의 사람은 주변의 파랑상황이나 방파제전면에서 파도가 밀어닥치는 높이 등으로 위험을 느낀다. 특히 물보라가 천단면에 밀어닥치는 상황에서는 위험을 느끼는 사람이 많은 것으로 생각된다.

이와같은 상황은 그렇게 위험치는 않으나 다시 파고가 높아지면 실질적인 위험이 생길 가능성도 있고 사고의 예방이란 관점에서도 중요한 지표가 된다.

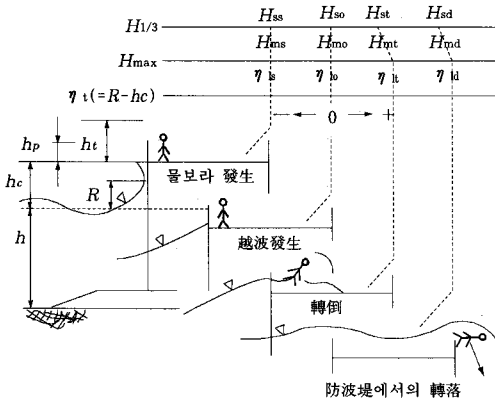


그림3 파랑과 사람의 위험

예컨대 神戸垂水친수호안에서는 방파제전면에서의 실질적인 파도의 높이가 천단고의 약 70%에 도달한 때에 물보라가 발생하기 시작하여 시설의 이용을 정지하고 있다

② 월파가 생기는 상황

①의 상황보다도 파고가 높게되면 월파수의 실질부분이 천단을 넘기 시작하여 천단상에 있는 사람의 위험은 감상적인 것으로 부터 실질적인 것으로 바뀐다. 그 월파하는 한계의 상황은 그것을 경계로 하여 위험의 종류가 바뀐다는 의미에서 사람의 위험을 표시하는 하나의 중요한 요소이다.

③ 월파에 의하여 사람이 전도하는 상황

다시 파고가 높아지면 방파제 전면에서 동시에 월파량도 증가하여 당연히 사람의 위험도 상당히 커진다. 이와같이

는 12세의 표준적인 체형을 대상으로 하며 0.5m로 되는 것을 알고 있다.

④ 월파에 의하여 사람이 바다속으로 전락하는 상황

파도의 치는 높이가 더욱 높아지면 사람은 전도할 뿐만 아니라 월파수에 의하여 흘러 내려가서 바다속으로 전락해 버린다. 이 위험은 사람에게 있어서 가장 위험도가 높은 것이며 실제로 전락해버린 경우에는 생사에 관계되는 사고로 된다. 또 본보고서에서는 이 위험상황을 대상으로 하고 있다.

본보고를 포함하는 일련의

표 1 위험한계 밀어닥치는 높이와 파고의 기호

	방파제 전면에서의 파도의 밀어닥치는 높이	유의파고	최고파고
물보라발생한계시	η_{ls}	H_{ls}	H_{ms}
월파발생한계시	η_{lo}	H_{so}	H_{mo}
전도한계시	η_{lt}	H_{st}	H_{mt}
전락한계시	η_{ld}	H_{sd}	H_{md}

실질적인 파도의 봉우리를 넘어서 높아지면 월파시의 수위나 유속도 증가하고 일정 높이 이상에서 사람은 월파수에 의하여 전도해 버린다. 전도한계시의 천단면에서의 치는 높이

연구에서는 여태까지 설명한 위험을 개별로 검토하고 있고 각기의 상황이 생기기 시작하는 조건을 정량적으로 표시하는 것을 검토하여 왔다. 구체적으로 방파제전면에서 파도가 치는 높이와 사람의 위험을 관계지어서 각각의 위험이 생길때 밀어닥치는 높이를 검토하고 있다. 또 앞에서 설명한 월파수의 운동모델을 파고(유의파고, 최고파고)가 구해질 수 있도록 검토를 하고 있다. 또한 여태까지의 개별 검토에서는 반드시 기호의 정합성이 취해져 있지 않으므로 그림3 중에 새로 정의하고 있다. 표1은 각 한계시의 밀어닥치는 높이나 파고의 기호를 정리한 것이다. 또 각각의 파고의 산정방법에 대하여는 본 보고에서 대상으로 하고 있는 전락한계시의 것을 포함하여 부록에 정리하고 있다.

2.3 시설의 안전성에 대한 사고방식과 평가방법

파랑에 대하여 안전을 확보

하는 수단으로서는 아래의 두 가지 방법이 있다.

① 입원금지기준을 설치하여 시설의 입원관리를 한다.

② 천단고 높이를 거의 월파하지 않는 높이로 한다.

기왕의 친수성시설에서는 이용상이나 경제적인 이유에서 ①의 방법이 많은 것이 현상이다. 다만 상당히 차폐된 장소나 수심이 얇은 장소에 건설되는 경우에는 출현하는 파고의 높이가 한정되므로 ②의 방법이 현실적으로 되는 일도 생각할 수 있다.

그림4는 파랑에 대한 사람의 위험상황과 시설의 안전을 평가하는 방법을 개념적으로 도시한 것이다. 시설의 안정성을 평가하는 지표로서 아래의 2가지를 생각할 수 있다.

- I. 빈도적인 평가
- II. 시간적인 평가

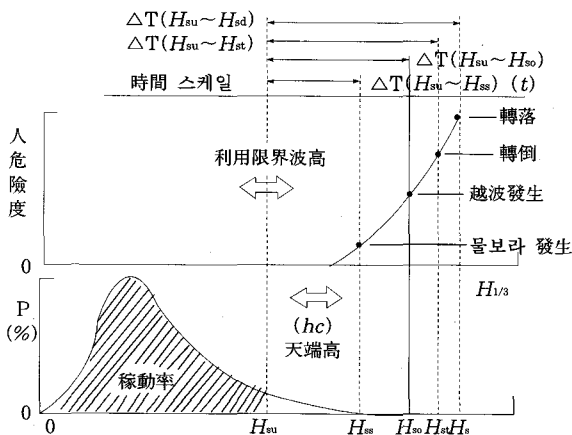


그림4 친수성 방파제에서 사람의 안전성 평가 방법

빈도적인 평가란 앞에 제시한 4개의 위험단계가 되고와 친수성방파제 주변에서의 파고출현빈도확률과의 상대적인 관계에서 시설의 안전도나 위험도를 확률적으로 나타내는 것이다. 이용한계의 파고를 정하면 그 유의파고(여기서는 Hsu로 한다) 이하의 출현빈도(미초과확률)가 시설의 가동율이 되어 하나의 안전성을 나타내는 것이다. 또 각 위험의 한계유의파고 이상의 출현빈도(초과확률)가 그 시설이 잠재하는 위험을 나타내는 지표가 된다.

또 이용한계로 된때부터 실제로 여러가지 위험상황으로 될때까지의 여유시간도 시설의 안전성을 나타내는 중요한 지표이다. 실제의 시설관리를 생각하면 이용한계로 된때부터 사람들이 대피할때까지에는 시

간이 필요하고 시설이 갖는 위험에 대한 여유시간을 시설의 연장이나 위험정보의 전달시스템에도 밀접하게 관계된다.

이들 빈도적 또는 시간적인 안전지표는 시설주변의 지형적 조건이나 해상조건등에 의하여 상이할 뿐만 아니라 이용한계 조건의 설정이나 천단고 높이의 설정에 의하여 변화하는 상대적인 것이다. 따라서 이들 지표를 기초로 이용한계 파고나 천단고 높이를 적절하게 설정하는 일이 중요하다.

2.4 본연구의 목적과 내용

본연구에서는 전절 2.3에서 설명한 친수성방파제의 사람의 안전성 평가방법을 확립하기 위하여 필요한 하나의 위험단계이다. 월파시의 사람의 전략현상을 파악하는 것을 하나의 목적으로 하고 있다. 또 다른 한 목적은 사람이 가장 위험한 상황으로 되는 바다로 전략하는 것을 난간에 의하여 어느정도 방지할 수 있는가를 파악하는데 있다. 아래의 주된 검토내용을 제시한다.

① 손잡이 난간을 설치 할 때에 방파제상의 월파수의 운동이 어떻게 변화하는가를 명확히 한다.

② 월파시에 있어서 사람이 전도한 다음 전략할 때 까지의 운동특성을 명확히 한다.

③ 난간을 설치함으로써 사람의 전략에 방지효과가 있는지 여부를 명확히 한다. ㉠