

# 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) —

(4)

高橋重雄 · 遠藤仁彦 · 室善一朗

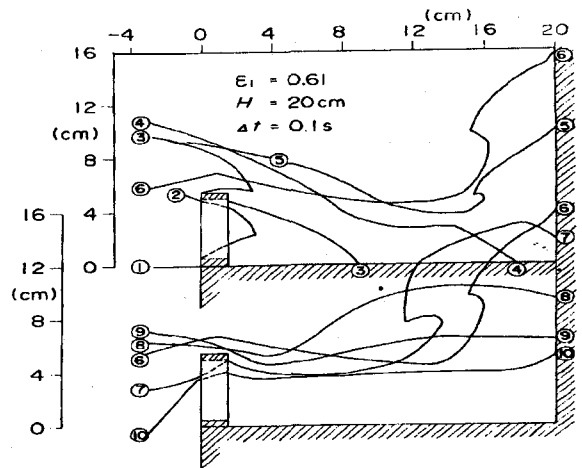
## 4.2 파라페트 後退型에 있어서의 난간설치 효과

[그림-19]는 파라페트 후퇴형에서 월파수 운동의 일례를 도시한 것인데 0.1초 간격의 수면형(①~⑩)을 나타내고 있다. 이것은 파라페트 위치가 항외측제단에서 20cm, 항외측 제단에서의 난간 개구율 0.61, 파고 20cm, 주기 1.92s의 조건이다. 도면은 상하 2단으로 되어 있으나 같은一波의 월파 상황이다. 상단은 월파수가 쳐들어온 후 파라페트의 위치에서 수위가 최대로 될 때까지 (밀려오는 파도 ①~⑥)를 보이고 있고 하단은 그후 파라페트의 위치에서 밀어닥친 월파수가 항외측으로 되돌아가는 (빠지는 파도 ⑥~⑩) 모양을

나타내고 있다. 또 월파수가 天端面에 꼭 도달한 때부터 0.1s 간격으로 水面形을 해독하고 있고, 그 시초의 상황이 그림중의 ①에 상당한다. ②에서는 난간을 월파수가 투과하여 쳐들어오는 상황을 볼 수 있고 그 월파수는 아직 천단면에 낙하하고 있으나 난간위에서 쳐들어오기 시작한 월파수도 있음을 알 수 있다. ④에서는 그 월파수가 합쳐져서 段波狀으로 천단면을 진행 하고

있는 모습을 알 수 있다.

이와같이 ①에서 ④까지의 월파상황은 수평천단형에서의 월파상황[그림-13] 우측의 ①~④)과 거의 같게 되어 있다. 그 후 파라페트와 충돌하는 동시에 월파수가 위쪽으로 밀어닥치고 ⑥에 있어서 파라



[그림-19] 파라페트 後退型 越波水面形의 經時變化一例 (ε<sub>1</sub> = 0.61, H = 20cm)

페트 위치에서 최대로 밀어닥치는 수위는 堤體前面에서 최대수위의 약 1.6배로 되었다.

다음에 빠지는 파도시에는 밀어닥친 월파수가 ⑦에 보이는 바와같이 그 先端을 휩쓸면서 낙하해 가는 모습을 볼 수 있다. 휩쓸면서 낙하해가는 월파수는 天端上에 남아있는 월파수에 돌입하여 그것들이 합쳐지고 ⑧에 보이는 바와 같은 수위의 분포로 된다. 이 월파수 돌입시에는 매우 복잡한 흐름의 상황으로 되어 있고 파라페트 근처에서 시계 반대방향 회전의 소용돌이를 볼 수 있다. 그 후 월파수가 항내측으로 낙수하고 있는 파라페트로부터 돌입해온 월파수가 난간위치에 도달 할때에 난간위치에 있어서 수위가 약간 불어나 있다(⑨). 또 빠지는 파도시에 있어서의 항외측 제단(난간위치)에서의 최대수위는 약 6.5cm이고 쳐들어올때 동위치에서 최대수위의 약 65%, 파라페트 위치에서 최대수위의 약 40%로 되어 있다.

[그림-20]은 항외측제단에서 밀려오는 파도시에 있어서의 최대수위  $\eta_{IN}$ 와 빠지는 파도시에 있어서의 최대수위  $\eta_{OUT}$ 과의 관계를 도시한 것인바 횡축에  $\eta_{IN}$ , 종축에  $\eta_{OUT}$ 를

취하고 있다. 또 도면에는 두 개의 파라페트 위치에 의한 결과를 함께 도시하고 있다. 빠지는 파도시에 월파수가 난간에 충돌할 때는 상당한 물보라가 생기는 것도 있었으나 모두 월파수 본체만을 대상으로 하여  $\eta_{OUT}$ 를 그림에서 보는 바와같이 해독하고 있다. 다만 물보라가 상당히 발생하는 상황에서는 월파수의 실질부분만을 분리하는 것이 곤란하고  $\eta_{IN}$ 가 비교적 큰 조건에 있어서 실험치의 불균형은 물보라의 영향이라 생각된다.

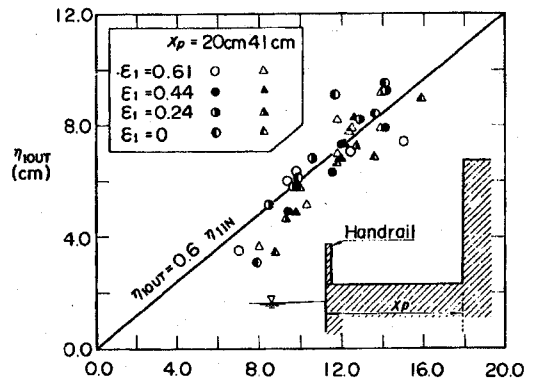
$\eta_{IN}$ 과  $\eta_{OUT}$ 의 관계를 대충보면 대체로 비례관계로 되어 있고  $\eta_{OUT}$ 는  $\eta_{IN}$ 의 거의 0.5배로 되어 있음을 안다. 도면중의 실선은 아래식의 관계를 나타낸 것이다.

$$\eta_{OUT} = 0.67\eta_{IN} \quad (10)$$

이 관계는 난간의 개구율에 의하여 명확한 차이가 없는 것이 큰 특징이다. 이것은 월파수에 미치는 난간의 영향이 파도가 밀려올 때와 파도가 빠질

때에 다르다는 것이 원인으로 생각된다. 즉 밀려오는 파도시에 있어서의 파라페트 후퇴형의 난간은 수평천단형으로 항외측에 설치한 난간과 동일한 월파저감 효과가 있고 파도가 빠질 때에는 수평천단형에 있어서의 항내측의 난간과 동일한 물분기 효과가 있다.

예컨대 난간 개구율이 작을수록 월파량이 감소하여 밀려오는 파도시에 난간 배후의 최대수위가 저하하는데 파도가 빠질 때에는 월파수가 불어서 수위가 증가한다. 수평천단형에서는 월파시의 수위에 미치는 항내측과 항외측 개구율의 영향이 각각 비선형이고 단순하게는 그들의 영향이 남아 있다. 그러나 파라페트 후퇴형의 경우에는 수평천단형에 없는 현상으로서 월파수의 파라페트에서의 충돌이 있



[그림-20] 파도가 들어올때와 빠져 나갈때 防波堤 前面의 最大水位  $\eta_{IN}$ ,  $\eta_{OUT}$

고 그 영향을 포함한 두개의 수위  $\eta_{1OUT}$ 와  $\eta_{1IN}$ 의 사이에는 난간 개구율에 의한 명확한 차이점은 볼 수 없고 밀려올 때와 빠질 때에 있어서 난간의 효과가 결과적으로 없어지는 것으로 생각된다.

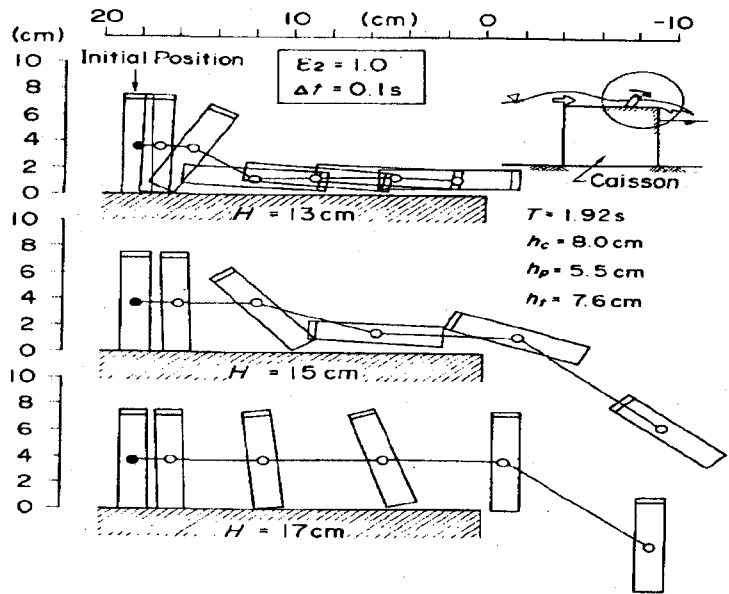
또 하나의 특징은 파라페트 위치에 의해서도  $\eta_{1IN}$ 과  $\eta_{1OUT}$ 의 관계가 그리 변화하지 않는다는 사실이다. 파도가 밀려올 때에 최대수위가 비교적 작은 조건에서는 파라페트 위치가 항외측제단에서 떨어져 있는 쪽이 파도가 빠질때의 위치가 약간 저하하고 있으나  $\eta_{1IN}$ 이 커지면 그 차는 거의 없어진다. 사람의 전락이 문제가 되는 상황은  $\eta_{1IN}$ 이 비교적 큰 조건이고 본 실험에서의 파라페트 후퇴거리의 범위에서는 파라페트 위치로 인한 영향이 없었다. 한편 실제의 파라페트 후퇴형의 호안을 생각하면 파라페트 후퇴거리는 어느 정도 한정되어 있고 본 실험에서 상정한 파라페트 거리(현지환산 4m, 8.2m)의 범위내로 되는 일이 많다고 생각된다. 따라서 실제의 조건을 상정한 범위에서는  $\eta_{1IN}$ 과  $\eta_{1OUT}$ 의 관계에 파라페트 후퇴거리의 영향을 무시해도 문제가 없다고 생각된다.

## 5. 越波水中에서 사람의 운동과 轉落의 특징

### 5.1 수평천단형에서의 전락상황

(1) 파고와 사람의 운동상황 [그림-21]은 파고의 차이로 인한 인체모형의 운동상황을 도시한 것인데 인체모형이 이동하기 시작한 뒤 0.1s간격의 인체모형을 중심으로 軌跡과 인체모형을 보이고 있다. 실험 조건은 항내측 및 항외측에 난간을 설치하고 있지 않을 때의 것이고 상단이 파고 13cm, 중단이 15cm, 하단이 17cm이다. 또 도면 중 좌측이 항외측이고 도시하고 있는 것은 항내

측제단에서 20cm의 범위이다. 먼저 시초에 파고 13cm에 대하여 보면 天端上을 段波狀으로 진행해 오는 월파수에 의하여 인체모형이 넘어지는 형의 전도를 하면서 항내측으로 월파수에 의하여 운반되는 것을 알 수 있다. 다만 이 조건에서는 최종적으로 항내측제단 부근에 멈춰 있고 해중으로는 전락하고 있지 않다. 파고 15cm로 되면 미끄럼의 전도가 생기고 항내측으로 전락하고 있음을 안다. 이와같이 수평천단형의 방파제에 있어서 항내측으로의 월파수 흐름에 의하여 항내측으로 떨어지는 것이 특징이다. 다시 파고가 커지면 월파량이나 그 수위가



[그림-21] 越波水中 사람의 運動狀況 (水平天端型, 난간없음)

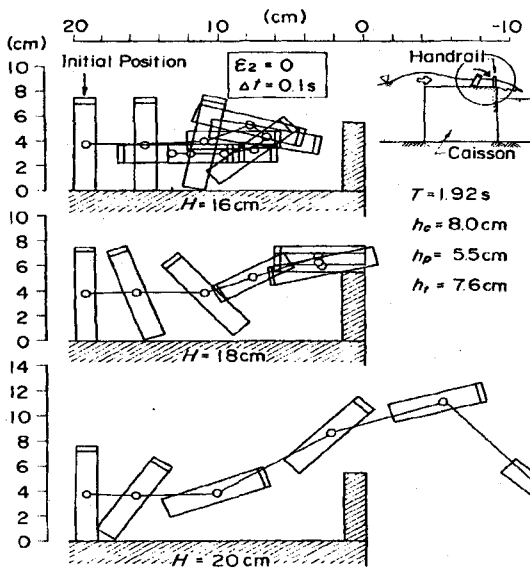
증가하기 때문에 인체모형이 전도하지 않고 운반되고 있는 모습이 이해된다. 또 난간이 없는 조건에서는 전락한계의 파고가 13cm에서 15cm 사이에 존재하고 있음을 안다.

[그림-22]는 [그림-21]과 동일한 도면인 데 항내측에 개구율 0의 불투과한 난간을 설치한 경우이다. 도면중에는 3종류의 파고에서 운동상황을 도시하고 있고 상단부터 파고 16cm, 18cm, 20cm이다. 파고 16cm에서는 월파수에 의하여 전도하지 않고 항내측으로 이동하고 난간 부근에서 넘어지면서 약간 위쪽으로 쳐들어지고 있다. 그후 난간에서 반사되어 되돌아가는 흐름

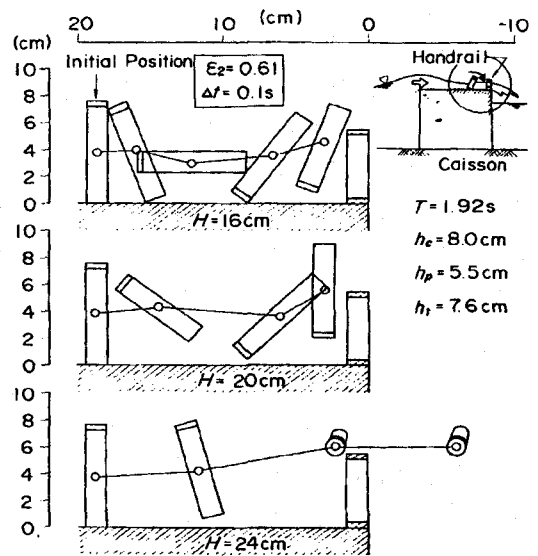
으로 항외측으로 이동하고 있고 항내측으로의 전락은 발생하지 않는다. 파고가 18cm로 되면 미끄럼형의 전도가 생기고 인체모형이 난간의 높이까지 밀어 올려지고 있으나 전락하고 있지 않다. 파고 20cm로 되면 인체모형을 해중으로 전락해 버리고 만다. 이때 난간을 넘을 때의 인체모형의 중심 높이는 당초 서 있을 때의 중심 높이에 비하여 신장의 약 65%정도 커지고 있다. 또 불투과인 난간을 설치한 조건에서는 전락하는 한계의 파고가 18cm에서 20cm사이이고 난간을 설치하고 있지 않은 조건에 비하여 커지고 있고 난간을 설치함

으로써 전락이 어느정도 억제되어 있음을 안다.

[그림-23]은 [그림-21]과 동일한 도면인 데 항내측에 개구율 0.61의 난간을 설치한 경우 인체모형의 운동상황을 도시한 것이다. 도면중 상단부터 파고 16cm, 20cm, 24cm로 주기 1.92s의 조건이다. 난간의 개구율이 0인 때에 파고 20cm에서 전락이 투과성이 높은 개구율 0.61의 난간에서는 같은 파고인데도 전락이 발생하고 있지 않다. 이 조건에서는 파고 24cm에서 인체모형이 항내측으로 전락하고 있고 불투과인 난간보다도 더욱 전락이 억제효과가 있는 것을 안다. 또한 난간을



[그림-22] 越波水中 사람의 運動狀況 (水平天端型, 난간있음,  $\epsilon_2 = 0$ )



[그림-23] 越波水中 사람의 運動狀況 (水平天端型, 난간있음,  $\epsilon_2 = 0.61$ )

넘은 때 際의 인체모형의 중심 높이는 통상 서 있을때의 중심 높이에 비하여 난간 위치에 있어서 신장의 약 25% 정도 올랐을 뿐이었다.

(2) 난간 개구율과 사람의 운동상황

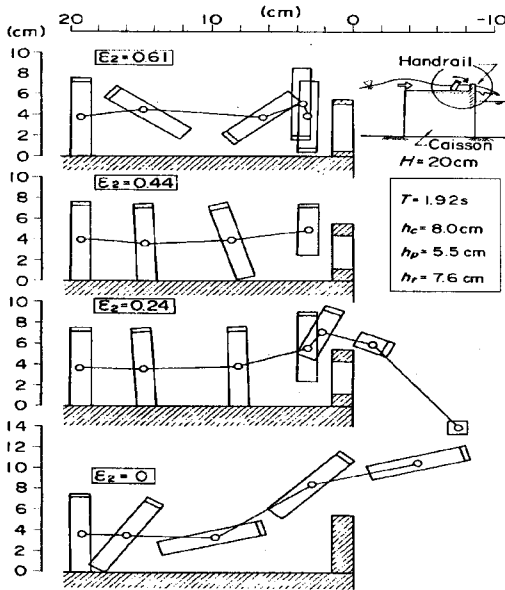
[그림-24]는 항내측의 난간 개구율  $\epsilon_2$ 로 인한 인체모형의 운동상황의 차이를 도시한 것인데 파고는 모두 20cm이다. 도면중에는 4개 조건에서의 운동상황이 제시돼 있다. 상단부터 개구율 0.61, 0.44, 0.24, 0의 난간을 설치한 조건의 것인데 하단으로 갈수록 난간의 개구율이 작아지고 있다. 비교

적 개구율이 큰 난간( $\epsilon_2 = 0.61, 0.44$ )을 설치한 조건에 있어서 인체모형은 수평방향으로 이동하는데 난간에 충돌하지만 전락하고 있지않다. 약간 개구율이 작은 난간( $\epsilon_2 = 0.24$ )의 경우 난간에서 어느 정도 떨어진 곳에서도 개구율이 큰 것과 동일하게 인체모형이 수평이동하고 있으나 난간에 근접하면 약간 위쪽으로 밀려 항내측으로 전락하고 있다. 또 개구율이 0의 경우( $\epsilon_2 = 0$ )에는 위쪽으로 밀어 올려지는 영역이 넓어지는 동시에 그 높이도 높아지고 있다. 이로부터 개구율이 작은 쪽이 난간위치에서 인체모형의 밀어올림이

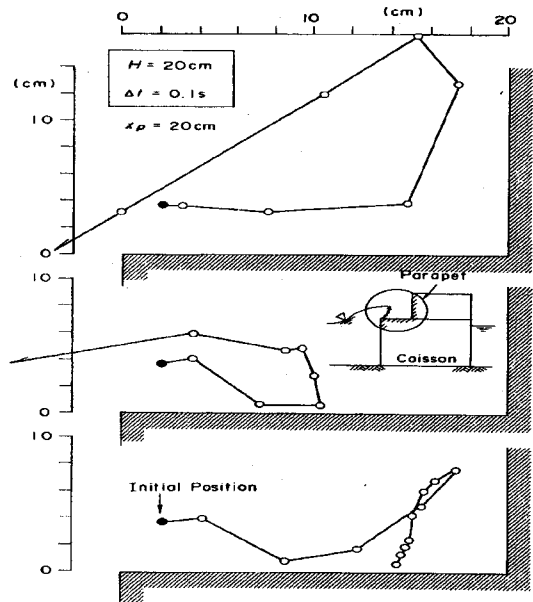
커지고 있는 것을 알 수 있다. 난간 개구율에 의한 인체모형의 움직임 차이는 4.1(2)에서 설명한 항내측 난간 근접에서의 월파수 흐름 특성으로부터 설명할 수 있다. 즉 항내측 난간의 개구율이 작을수록 난간 근처에서 물의 분기가 커지고 난간을 타넘는 월파상황으로 되기 때문에 인체모형이 전락하기 쉬워진다고 생각된다.

5.2 파라페트 후퇴형에서의 전락상황

(1) 난간을 설치하고 있지 않은 경우의 사람의 운동상황 [그림-25]는 파라페트 후퇴



[그림-24] 난간의 차이로 인한 인간의 운동특성(波高 20cm)



[그림-25] 파라페트 後退型에서 사람의 運動狀況 (난간없음, 波高20cm)

형에 있어서의 월파시의 인체 모형의 운동상황을 도시한 것 인 데 0.1s간격의 중심의 軌跡을 나타내고 있다. 또한 항외측제단에는 난간을 설치하고 있지 않고 파고 20cm의 조건이다. 또 도면에는 3개의 운동상황을 도시하고 있는바 이것은 모두같은 실험조건의 것이다. 파라페트 후퇴형 堤體上에 있어서의 월파수의 운동을 비교적 복잡하기 때문에 같은 실험조건이라도 인체모형의 움직임에 불균형이 생긴다.

상단의 도면에서는 단파상으로 진행해오는 월파수의先端部에 의하여 인체모형이 운반된 것같이 되어 있고 파라페트 위치에서의 월파수가 밀어닥치는 동시에 인체모형도 상당한 높이까지 밀어 올려지고 있다. 그후 월파수의 낙하와 함께 인체모형도 항외측으로 낙하하고 있다. 중단의 도면에서는 인체모형이 쓰러지는 형의 전도로 되어 있고 그 후 밀바닥면에 눌러 찌부러뜨려진 것처럼 되어 있다. 이때 월파수는 이미 파라페트 前面에서 높이 밀어 올려지고 있고 그 낙수에 의하여 인체모형이 항외측으로 낙하해가는 상황으로 된다. 하단의 도면에서는 중단의 도면과 같이 쓰러지는 형의 전도가 생기고

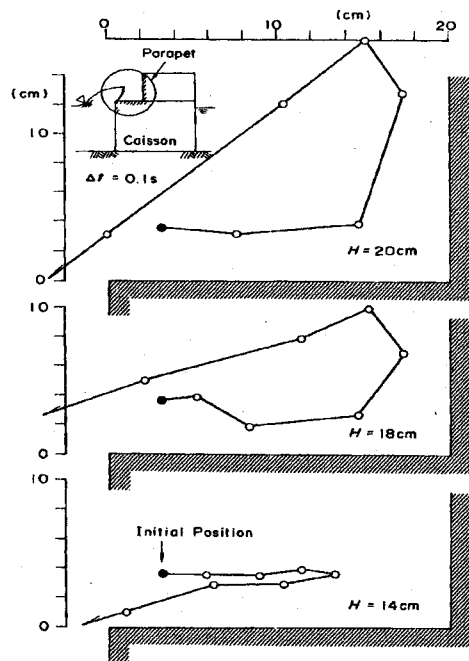
있고 그후 파라페트 근처에서 밀어올려지고 있으나 항외측으로 전락하고 있지 않다. 이것은 인체모형이 월파수의 선단보다도 뒤늦게 진행하였기 때문에 되돌아가는 흐름에 뒤늦게 탄 것으로 생각된다.

[그림-26]은 파고의 차이에 의한 인체모형의 운동상황을 도시하고 있는바 항외측에 난간을 설치하고 있지 않은 조건의 것이다. [그림-25]에서 설명한 바와 같이 같은 조건이라도 인체모형의 움직임에 불균형이 있으나 여기서는 인체모형이 월파수의 선단부에 의하여 운반되고 있는 것에 대하여 도시하고 있다. 또 도면중에는 3가지의 운동상황을 도시하고 있으나 상단부터 각각 파고 20cm, 18cm, 14cm로 주기 1.92s의 경우이다. 이에 의하면 파고가 큰쪽이 파라페트 위치에서의 인체모형의 밀어 올림이 크다는 것을 알 수 있다. 파고 14cm에서

는 파라페트 근처에서의 밀어 올림이 거의 없는데 대하여 파고 18cm에서 중심 위치가 신장의 약 180%정도, 파고 20cm에서 약 170%정도 밀어 올려지고 있다. 또 이 면에 있어서 가장 작은 파고 14cm에서도 전락이 생기고 있음을 알 수 있다.

(2) 난간을 설치한 경우 사람의 운동상황

[그림-27]은 개구율 0.61의 난간을 항외측제단에 설치한 경우에 있어서의 0.1s 간격의 사람의 운동상황을 도시한 것

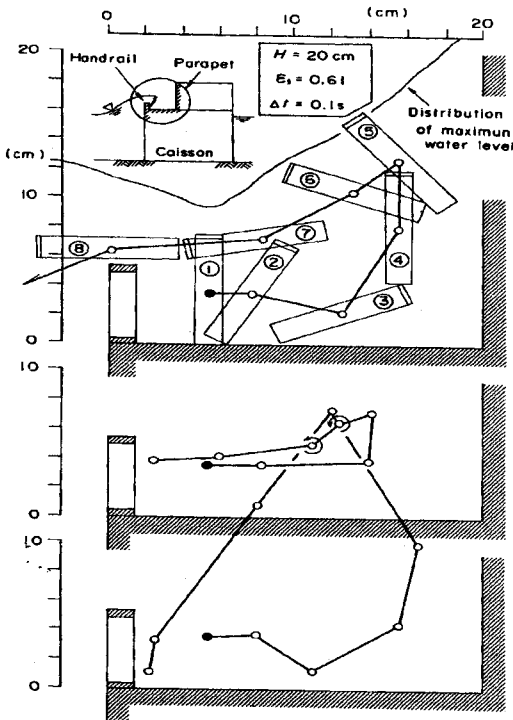


[그림-26] 波高와 사람의 運動狀況 (파라페트 後退型, 난간없음)

인바 파고 20cm의 경우이다. 이 경우에는 7회의 시행중 전락은 1회밖에 생기지 않았다. 여기서는 전락한 것을 상단의 도면에 인체모형의 중심의軌跡과 인체모형의 위치를 도시하고 있다. 전락하지 않는 것 중에서 대표적인 2가지 예를 중단과 하단의 도면에 인체모형의 중심에 대해서만 도시하고 있다.

항외측으로 전락한 사례에서는 쓰러지는 형의 전도를 하면서 파라페트 쪽으로 이동하고 파라페트 위치에서 위쪽으

로 밀어 올려지고 있다. 그 후 파도가 빠질때에 항외측으로 쓰러지면서 이동하여 드디어는 낙하하고 있다. 전락이 발생하지 않은 사례에서는 크게 두가지 패턴이 있다. 하나는 하단의 도면에 도시되어 있는 바와같이 인체모형의 段波狀으로 진행되는 월파수가 先端을 타고 파라페트 위치에서의 밀어 올림도 커지나 파도가 빠질 때에 난간에 충돌하여 전락하고 있지 않다. 또 하나는 중단의 도면에 도시되어 있는 바와같이 파라페트 부근에서의 밀어 올림이 작고



[그림-27] 파라페트 後退型에서 사람의 運動狀況 (난간있음,  $\epsilon_2 = 0.61$ , 波高 20cm)

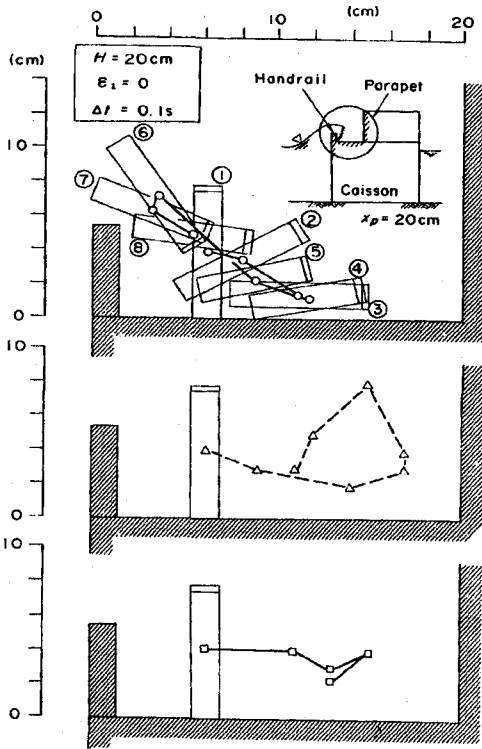
위치에서의 수위가 최대로 될 때에 반드시 인체모형이 난간 위치에 도달하고 있지 않는 것이 특징이다.

이와같이 파라페트 후퇴형에서는 인체모형의 움직임이 복잡하고 파라페트나 난간에 충돌할 때에 큰 힘이 생기든가 잠입시간이 길어지는등 전락이 발생하지 않아도 상당히 인체에 위험한 상황으로 되는 일이 있음에 주의할 필요가 있다.

[그림-28]은 [그림-27]과 같은 실험조건이고 불투과인 난간을 설치한 경우이다. 이 실험조건에서는 7회의 시행중 한번도 전락이 발생하고 있지 않다. 도면중에는 세가지 운동 상황이 도시되어 있으나 이것은 모두 같은 파고이고 7회 시행중에서 특징이 있는 것을 들고 있다. 이 실험에서는 인체모형의 초기위치가 항외측 제단에서 6cm로 되어 있다. 이 경우 난간이 불투과이므로 월파수가 난간에서 휩쓸면서 쳐들어 오는 상황이 된다. 쳐들어 오는 범위중에 인체모형의 초기위치가 있고 인체모형은 위에서 쳐들어 오는 월파수에 의하여 쓰러지는 형의 전도가 생기기 쉽게 되어 있다.

이것은 월파수의 선단보다도 인체모형이 약간 늦게 운동하고 있고 파도가 빠질 때의 낙하수가 인체모형에 충돌하여 그 소용돌이에 휩쓸려서 인체모형이 회전하고 있다. 이와같은 경우 파도가 빠질 때에 있어서의 난간

예컨대 상단의 도면에서는 쳐들어온 월파수에 의하여 인



[그림-28] 파라페트 後退型에서 사람의 運動狀況 (난간있음,  $\epsilon_2 = 0$ , 波高 20cm)

체모형은 바닥면에 쓰러져 있고 그 후 파라페트 위치에서 밀리지 않고 복귀 흐름에 의해 난간에서 약간 밀어 올려지고 있다. 중단의 도면에서는 상단과 같이 처음 쓰러진 형의 전도가 발생하고 있으나 파라페트 위치에서 약간 밀어 올려져 있는 것이 특징이다. 이때 복귀흐름에 약간 늦어서 밀어 올려져 있기 때문에 항외측으로는 그렇게 이동하고 있지 않다. 또 불투과인 난간의 경우 특징은 파라페트 위

낮은 난간일수록 난간 근처에서 위에서 쳐들어 오는 것이 상대적으로 증가하고 이 때문에 그 가까이에 인체모형이 있을 경우에는 월파수의 쳐들어 오므로 인하여 쓰러지는 형의 전도로 되는 일이 많은 것으로 짐작된다.

(3) 사람이 서 있는 위치에 의한 운동상황의 차이

[그림-29]는 인체모형의 초기 위치를 바꾸고 그 0.1s 간격의 운동상황을 도시한 것인

치에서의 인체 모형의 밀어올림이 불투과인 난간에 비하여 작게 되어 있는 점이다.

난간이 있을 경우의 월파상황은 난간에서 어느정도 떨어지면 어떠한 개구울의 난간 일지라도 거의 한 방향의 흐름이 되는 난간 근처에서는 개구울에 의하여 그 상황이 상당히 다르게 나타나고 있다. 투과성이

대 난간 개구울 0.61, 파고 24cm의 조건의 것이다. 상단의 도면은 인체 모형의 초기 위치가 난간직후에 있을 경우 중단의 도면이 堤體前面에서 20cm의 위치에 있을 경우 하단의 도면이 파라페트 직전에 있는 경우이다. 또 파라페트의 위치는 항외측제단에서 41cm에 설치하고 있다.

상단에서는 월파수가 난간 위에서 쳐들어오는 범위에 인체모형이 있기 때문에 쓰러지는 형의 전도가 발생하고 있다. 그 후 바닥면에 충돌하여 파라페트 쪽으로 운반되면서 파라페트 근접에서 약간 밀어 올라가는 모습을 알 수 있다. 쓰러져서 바닥면에 충돌하고 있을 사이에 월파수가 인체모형 보다도 선행하여 진행하고 있으므로 파라페트에는 충돌하고 있지 않다. 또 밀려 올라간 인체모형은 복귀흐름과 함께 항외측으로 진행하고 있다.

중단의 도면에 도시된 바와 같이 난간에서 약간 떨어진 위치에 인체모형이 있을 경우, 인체모형의 초기 위치가 월파수가 쳐들어 오는 범위밖이고 인체모형에는 段波狀으로 진행하여 오는 월파수가 작용한다. 이 조건에서는 인체모형은 미끄러짐 형의 전도를 나타내고 있고 단파상으로




진행해오는 월파수의 선단부분에 의하여 파라페트 위치에 서 월파수의 밀어닥침이 가장 커질 때에 인체모형의 밀어닥침도 커지고 상단의 도면에 비하여 그 최대 높이가 크게 되어 있는 것을 알 수 있다. 또 파도가 빠질 때에도 가장 유속이 빨라지는 부분에 인체모형이 타고 있으므로 그때의 이동속도가 빠르고 전락은 생기지 않지만 상당한 속도로 난간에 충돌하고 있다.

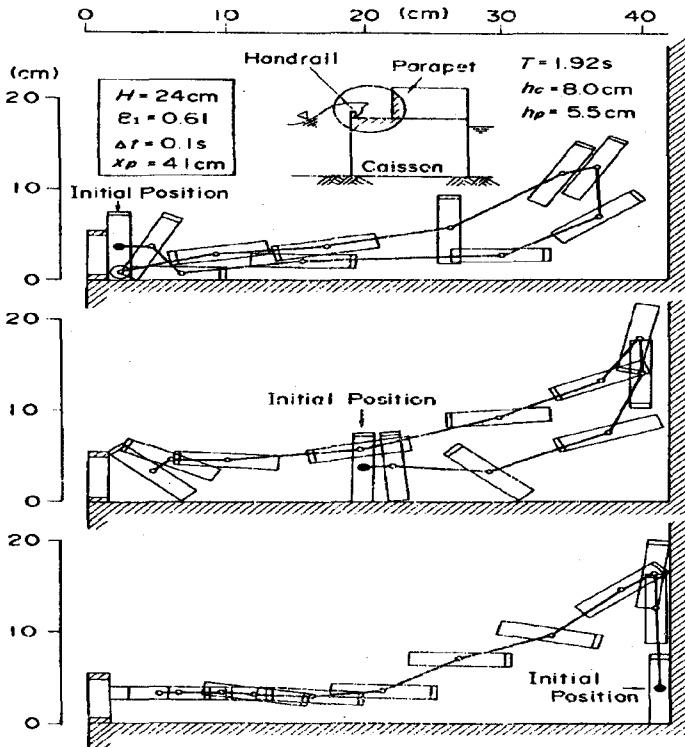
파라페트 직전에 인체모형이 있을 경우(도면중 하단),

단파상으로 진행해온 월파수가 인체모형에 충돌하는데 배후에 파라페트가 있기 때문에 전도는 발생하지 않는다. 그 후 월파수가 파라페트의 위쪽으로 밀어올라가는 동시에 인체모형도 위쪽으로 올라가 있다. 파도가 빠질 때에는 복귀 흐름과 함께 항외측으로 이동하는데 속도는 비교적 작다. 이것은 인체모형이 파라페트 전면에서 상승하고 밀려 올라간 때에는 가장 빠른 복귀 흐름이 생기는 월파수의 선단부분은 이미 항외측으로 진행하

고 있기 때문에 남은 월파수가 항외측으로 배수때는 비교적 느린 속도로 항내측으로 이동하기 때문이다.

이와같이 사람이 있는 위치에 의하여 위험의 종류가 면하고 있다. 항외측의 가장자리에 가까울수록 월파수가 직접 쳐들어올 가능성이 높기 때문에 波面의 충돌과 쓰러져서 전도할 때 바닥면에 충돌의 위험이 높아진다. 항외측에서 어느 정도 떨어진 위치에서는 월파수의 선단부에 옮겨지기 때문에 파라페트의 충돌이나 파도가 빠질 때 난간에서의 충돌 위험이 높아진다. 그래서 본 실험의 결과로부터는 어느 위치에서도 위험의 정도는 그리 변화하지 않는 것으로 생각된다. 다만 실제의 평면적인 월파현상에서는 유한구간에서 월파하기 때문에 항외측에서 어느 정도 떨어지면 횡방향으로도 월파수가 분산하는 것을 생각할 수 있다.

따라서 항외측에서 가급적 떨어진 쪽이 인체에 대한 위험은 비교적 적어질 가능성이 있다. 



[그림-29] 사람의 위치에 의한 運動狀況의 차이