

쇄파대내의 불규칙 파랑의 일반적인 특성

權赫珉*

1 머릿말

쇄파대내의 파랑은 원래 비선형성이며 더욱이 불규칙적이다. 이러한 비선형 파랑은 수심의 변화에 의해 불안정하게 된다. 이때 분산 및 일산의 효과가 적절하다면 비선형성과 균형을 이루어 soliton과 같은 안정한 비선형 파동으로 안착하나 이것의 효과가 충분하지 못하면 파형 변동이 현저히 되어 때로는 쇄파가 생긴다. 쇄파하면 이에 의한 파의 호트러짐이 발생하여 새로운 일산기구가 발생하므로 비선형성이 약해지면서 균형을 이루게 되며, 최종적으로는 안정한 파열로 안착하게 된다. 불규칙파의 성질은 여러 가지 주파수 성분이 중첩한 것으로 이해할 수 있어 성분파의 에너지 분포상태를 표현하는 것으로써 파의 에너지 스펙트럼이 이용되고 있다. 그러나, 쇄파와 같이 비선형성이 강한 현상등을 취급함에 있어서는 적절하지 않다. 이러한 경우에는 불규칙한 파군 중의 1파씩을 분리하여 생각하는 파별 해석법이 유효하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 파랑이 안정파에 이를 때까지의 과정을 사면에 연결한 step과 bar형 지형에서의 실험 data를 가지고 파별해석법에 의한 결과를 중심으로 정리했다.

2 실험대상 및 해석방법

실험은 2가지의 지형을 대상으로 하였다. Fig. 1과 Fig. 2는 각각 step형 지형 및 bar형 지형의 실험 조건을 보인 것이다.

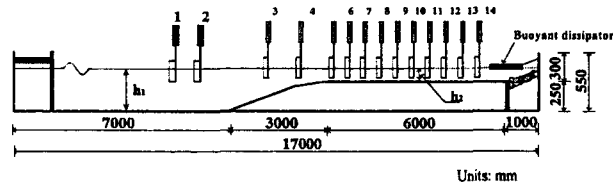
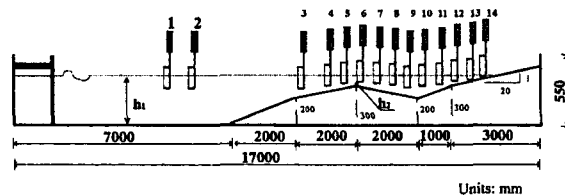


Fig. 1 Step형지형을 이용한 실험 조건



DISTORTED SCALE 1H = 3.33V
TANK WIDTH = 0.50m

Fig. 2 Bar형 지형을 이용한 실험 조건

* 연수연구원, 한국해양연구소 연안공학연구부

* Coastal Engineering Division, Korea Ocean Research & Development Institute

실험은 수심, 스펙트럼, 주기 그리고 파고를 변화시켜 총 54종류의 파랑을 가지고 실험을 실시했다. 해석 방법 및 실험조건에 대한 자세한 내용은 권 등(1996)을 참조 바란다.

3 파형의 공간적 분포

본 절에서는 파형이 쇄파한 후에 안정파고에 이를 때까지의 파형 변화를 거리와 함께 살펴 보았다. 쇄파후의 파고의 공간적인 변동은 파분열 그리고 파의 호트러짐에 의한 일산 등에 의해 감소해 간다. 그러나, 본 연구에서는 쇄파의 내부변동 기구를 대상으로 하지 않으며 파형에 의한 변동의 관찰 결과만을 의논의 대상으로 제한한다.

Fig. 3과 Fig. 4는 step지형에서의 공간적인 파형 변화이며 Fig. 5와 Fig. 6은 Bar형 지형에서의 공간적인 파형 변화이다. Fig. 3에 보인 파형은 step형 지형에서의 실험 파랑중 가장 에너지의 집중도가 낮은 Breitschneider-Mituyasu형 스펙트럼을 갖는 Case이다. Fig. 4는 bar형 지형에서의 실험 파랑중 에너지 집중도가 가장 높은 JONSWAP형 스펙트럼형의 $\gamma = 10.0$ 에 해당하는 파형이다. 또한 step형 지형에서의 비교 Case는 Run group 1의 case 3과 case 7이다. 이 case는 파형구배가 실험예중 가장 큰 것과 가장 작은 것에 해당한다.

Fig. 3과 Fig. 4에 보인 것과 같이 사면에 연접해 있는 step에서의 파형은 쇄파후에 분열, 충돌, 증폭, 그리고 감소 등에 의해 격렬한 변화를 계속하고 있음을 알 수 있다. Run group IRB 1의 Case 3에서는 Pt. 6지점에서 날카롭게 되어있는 파봉 ①이 120cm진행한 후의 Pt. 8지점에서 작게되어 Pt. 10지점에서 2개의 파로 분열하고 있음을 알 수 있다. 동시에 Run group IRB 1의 Case 7에서도 큰 파봉 ①이 Pt. 8에서 작아지면서 Pt. 10에서 분열하여 진행을 계속한다. Run group IRB 1의 Case 7에서는 진행하는 파 ②가 점점 뒤에서 따라오는 파에 추격을 당해 Pt. 14지점에서 충돌하고 있음을 알 수 있다. 그리고 Run group IRB 2의 Case 3의 파봉 ③은 Pt. 6에서 분열하여 240cm지점에서 갑자기 증폭하여 가는 것을 알 수 있다. 한편, Run group IRB 2의 Case 7에서의 화살표의 파형은 최초 Pt. 8에서 증폭한 후에 감소한다. 한편 파의 충돌 ②는 Run group IRB 1의 Case 7, 그리고 Run group IRB 18의 Case 7에서 보인다. 이러한 파형의 변화는 성분파의 간섭에 의한 것으로 생각할 수 있다. 상술한 것처럼 불규칙파에 의한 전파속도에 관해서는 1파장 내에서 성분파의 거리에 따른 위상차를 계산할 수 있다. 그러나 쇄파부근부터 쇄파후에 있어서는 파의 비선형성이 강하게 나타나므로 선형분할에 의해서는 신뢰가 가능한 결과를 내는 것이 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 일련의 파형으로부터 분열 또는 간섭에 영향을 받고 있지 않다고 생각되는 파형을 쫓아가면서 이의 전파속도를 살펴보기로 했다. 더욱이 장파근사에 의한 Soliton의 전파속도와 비교를 했다.

Fig. 3과 Fig. 4에 보인 것과 같이, Run group 1의 Case 3과 Case 7, 그리고 Run group 2의 Case 3과 Case 7의 공간적인 시간파형으로부터 Pt. 6부터 Pt. 14까지 480cm를 이동한 사이의 파형을 쫓아간다. 여기서, Fig. 3과 Fig. 4의 ▼와 ▽표시는 각 지점에서의 추격하는 파형을 보인다. Fig. 3과 Fig. 4를 보면 알 수 있듯이 ▼또는 ▽표시의 변화는 겉보기 파형으로부터 전파속도를 산출하기 위해 자세히 본 파형의 이동거리이다. Fig. 3과 Fig. 4에 보인 각파형은 각지점 간격 120cm를 진행한 후의 파형에 해당하며 겉보기 파형에 있어서 실험상의 전파속도를 산출하는 것이 가능하다. 겉보기 파형의 전파속도 C_{exp} 는 다음의 관계식으로 구한다.

$$C_{exp} = \Delta t / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

여기서, Δl 는 측정간격, l 은 다음의 측정지점에서 쇄파파형의 발생점, 그리고 $(t_2 - t_1)$ 는 결보기의 최대 파형이 거리를 전파하는 시간이다. 또한, Soliton분열에 의한 전파속도 C_s 인 코립파이론에 의한 속도로서 다음의 식을 가지고 쓴다.

$$C_s = \sqrt{g(H + d_0)} \quad (2)$$

여기서, 파고 H 와 정수심(d_0)은 파봉의 정점에 해당하는 것이므로 다음과 같이 고쳐 써서 계산한다. 그러나, 하나의 파형에 발생하는 평균수위 변동은 거의 0에 가까우므로 무시하면, 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_b &= \sqrt{g(\eta_{\max} + d_0 + \bar{\eta})} \\ &= \sqrt{g(\eta_{\max} + d_0)} \quad (\because \bar{\eta} \approx 0) \end{aligned} \quad (3)$$

그리고, 하나 더 비교대상으로써 다음과 같은 장파 근사에 의한 파속도(C_l)를 이용하도록 했다.

$$C_l = \sqrt{gd_0} \quad (4)$$

사면에 연접해 있는 step에서 쇄파후에 발생하는 파형에 대하여 결보기 파형의 전파속도(C_{exp}), soliton의 파속도(C_s), 그리고 장파근사에 의한 파속비(C_l)의 비교를 행했다.

결보기 파형의 전파속도는 Pt. 6부터 Pt. 14의 평균치로 Run group 1의 Case 3의 경우가 0.85m/s, Case 7이 1.00m/s, 그리고 Run group 2의 Case 3의 경우가 0.94m/s, Case 7이 0.93m/s와 0.97m/s이다. 더욱이 표1.1부터 결보기 파형의 전파속도는 soliton의 전파속도보다 장파근사에 의한 전파속도에 대하여 평균치로 89%이며, 최저치 70%, 그리고 최대치로 115%이다. 그리고 soliton전파속도에 대해서는 평균치로 82%이며, 최저치 58%, 그리고 최대치로 100%이다. 즉, 결보기 파형의 전파속도보다 장파근사에 의한 전파속도에 가까운 것을 알 수 있다. 그리고 평균치로 결보기 파형의 전파속도는 이론치보다 작음을 알 수 있다. 한편, Fig. 3과 Fig. 4는 Bar형 지형을 통과하는 파형이 쇄파후에 시간 파형의 공간적 분포를 보인 것이다. Fig. 3과 Fig. 4의 전체를 보면 알 수 있듯이 파형의 변화가 step에서의 것보다 심하게 변하지 않는 것을 알 수 있다. 특히, Fig. 3의 Case 17의 ▼로 표시한 파형을 쫓아가보면 분열에 의한 파형 변화가 그렇게 생기지 않는다. 이것은 step지형에서와 틀리게 Bar 頂部부터 수심이 깊어지기 때문이라고 생각되어 진다. 그러나, Fig. 3의 Case 3의 경우와 같이 Pt. 5부터 200cm떨어진 곳에서부터 전후의 파의 간섭에 의해 결보기 파형의 진행의 분별이 가능하지 않을 때도 있다. 동시에 Case 7에서의 250cm, Fig. 4의 Case 3에서의 200cm부터도 파형의 진행이 구별할 수 없다. 더욱이 Fig. 4의 Case 7은 파형의 증폭(㉓)과 분열(㉑)한 파형이 보인다. 수심의 영향에 의한 파분열 및 간섭은 현저하게는 보이지 않으나, 주기에 의한 영향은 길수록 심하게 나타난다.

4 대표파고간의 비율

Fig. 14와 Fig. 15는 step와 bar형 지형에서의 대표파고간의 비율을 보인 것이다. 대상으로한 예는 입사파가 Rayleigh분포에 가장 가까운 경우이다. 또한 실선은 Rayleigh분포를 나타낸다.

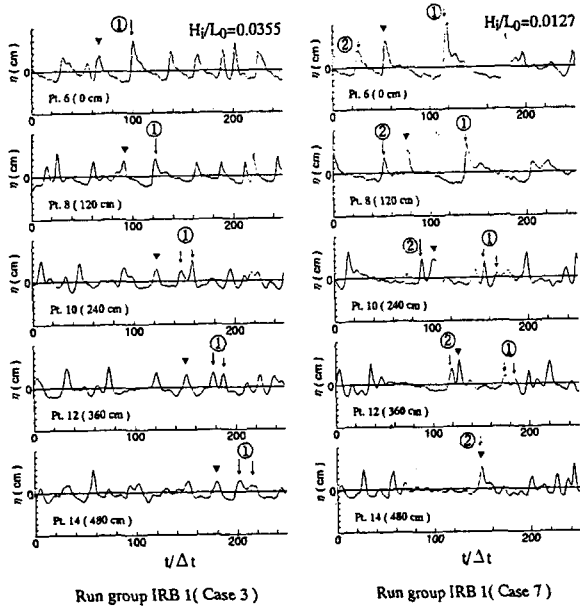


Fig. 3 쇄파후의 시간파형의 공간적 분포
(Step형 지형, $h_2=9$ cm)

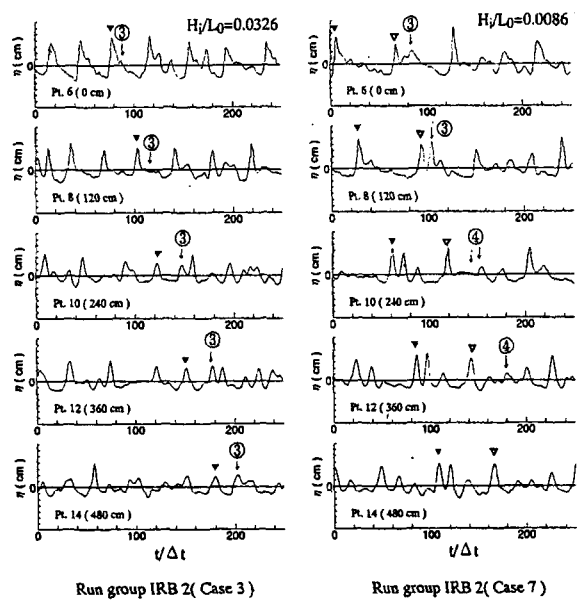


Fig. 4 쇄파후의 시간파형의 공간적 분포
(Step형 지형, $h_2=11$ cm)

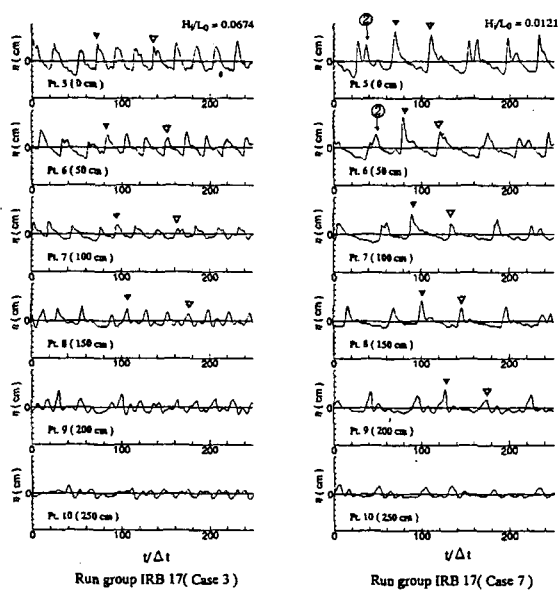


Fig. 5 쇄파후의 시간파형의 공간적 분포
(Bar형 지형, $h_2=6$ cm)

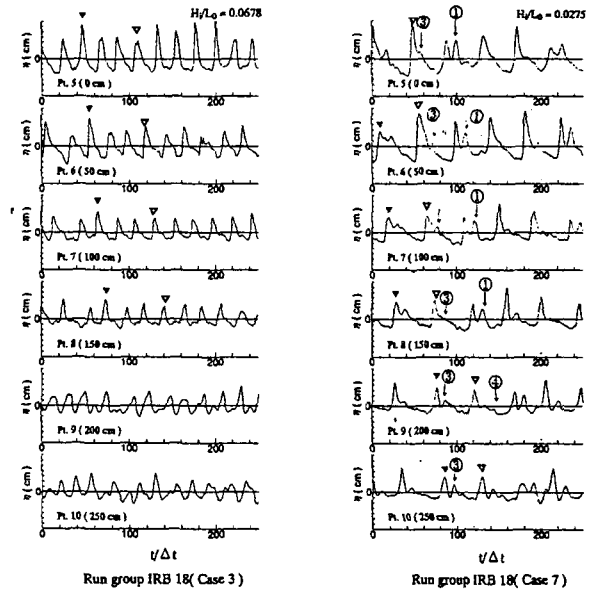


Fig. 6 쇄파후의 시간파형의 공간적 분포
(Bar형 지형, $h_2=9$ cm)

두 가지의 경우 모두 유의파고와 평균파고는 Rayleigh분포로부터 그렇게 떨어지지 않았음을 알 수 있다. 그러나, 쇄파후의 파고감쇄는 1/10과 최대파고의 경우는 Rayleigh분포보다 매우 작은 값을 갖고 있음을 알 수 있다. Fig. 7을 보면 알 수 있듯이 쇄파후에 수평 step의 가장 후면에서의 전 대표파고는 Rayleigh분포로 되돌아가고 있음을 알 수 있다. 그러나, Fig. 8을 보면 알 수 있듯이 bar형 지형의 경우에는 안정파고에 도달했다고 사료되는 trough에서도 최대파고와 1/10파고가 Rayleigh분포로 되돌아가고 있지 않음을 알 수 있다.

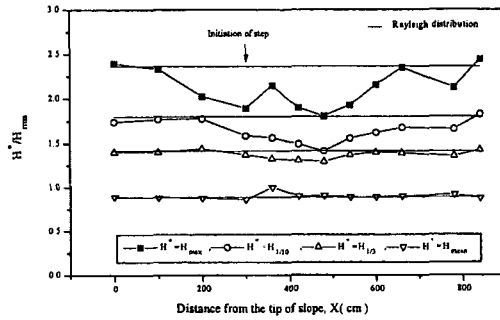


Fig. 7 사면에 연접한 step지형에서의 대표파간의 비율의 공간적 분포 (IRB 4, Case 2)

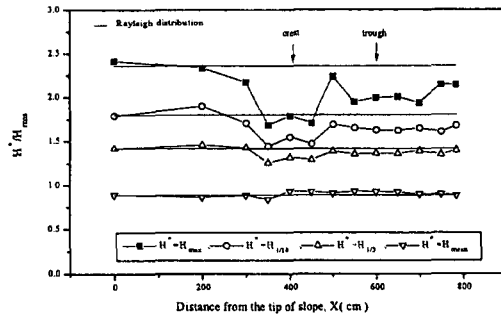


Fig. 8 Bar형 지형에서의 대표파간의 비율의 공간적 분포 (IRB 13, Case 1)

5 안정파고와 Rayleigh 분포의 관계

본 연구에서 실험적으로 얻어진 안정파고는 step상에서 쇄파한 후의 파고이며 이의 파고가 Rayleigh분포로 회복함을 알 수 있다. 따라서 Rayleigh 분포와 안정파고의 사이의 관계를 조사하기 위하여 각대표파고와 유의파 사이의 비율과 각대표파고에 대한 안정파고 사이의 비율의 값은 권 등(1996)의 식(14)을 이용했다. 그리고 Rayleigh의한 최대파고는 다음의 식으로 계산했다. 단, 파수는 주기의 영향은 있으나 대개 250파를 전후로 변동한다.

$$(H_{max}/H_{1/3})_{max} \cong 0.706(\sqrt{LN N_0} + \gamma/2\sqrt{LN N_0}) \quad (5)$$

여기서, N_0 는 파수, γ 는 오일러 상수(=0.5772), LN 은 자연함수이다.

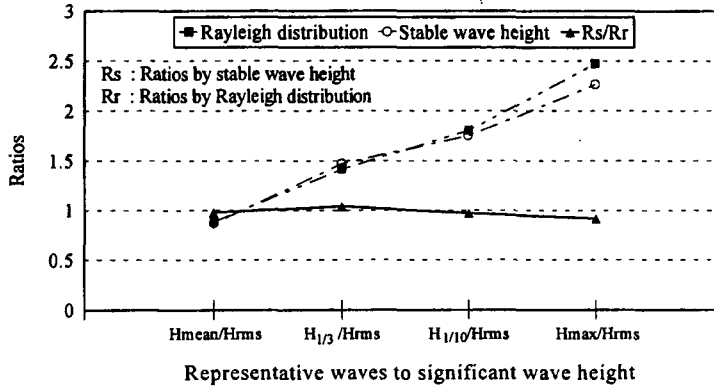


Fig. 9 안정파간의 파고비와 Rayleigh분포에 의한 파고비의 비교

Fig. 9에서 삼각형으로 표시한 값은 안정파고비와 Rayleigh 분포에 의한 비율사이의 비이다. 이의 비율을 보면 알 수 있듯이 각대표파고는 최대파고의 경우가 안정파고의 경우보다 약간 작으나 거의 같은 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉, 파고분포는 쇄파후에 step의 가장 윗부분인 Pt. 14지점에 입사파의 분포는 거의 회복함을 알 수 있다.

6 결론

본 연구로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 쇄파대내의 파고 분포는 Rayleigh분포로부터 크게 벗어난다.
- 2) 쇄파후 Step형 지형의 경우 안정파고가 생기는 지점에서는 Rayleigh분포로 회복한다.
- 3) 각 대표파고의 안정파고비는 Rayleigh파고비와 거의 일치한다.

참고문헌

1. 권 赫珉, 1996, 複合斷面における不規則波の碎波變形に関する研究, 京都府立大學 博士學位論文, pp. 97~118.
2. 권 赫珉·요시미 고다·최 한규, 1995, 複合斷面地形에서의 波浪의 碎波變形特性, 韓國海岸·海洋工學會誌, 第7卷 第2號, pp. 135~140.
3. 권 赫珉·合田良實·崔 漢圭, 1996, 複合斷面に 있어서 不規則波에 의한 碎波變形 모델의 開發, 韓國海岸·海洋工學會誌, 第8卷 第1號, pp. 87~94.
4. Kweon, H-M and Yoshimi Goda, 1996, A Parametric Model for Random Wave Deformation by Breaking on Arbitrary Beach Profiles, 25th I.C.C.E., (in print)
5. Mase, H(1986) : 不規則波浪の波群特性と淺海變形に関する研究, (日本)京都大學博士學位論文, pp.136.