

파랑의 관측방법과 자료의 해석

박 인 보

노목공학과

<요 약>

현재까지 개발 되었거나 개발 중인 여러가지 파랑의 제원에 대한 관측법을 열거, 설명하였으며 우리나라의 파랑관측에 대해 설명했다. 이렇게 관측된 여러가지 파랑자료를 평균파법으로 처리하고 이에 의해 구해진 대표파들을 이용하여 파랑현상의 구멍이나 지역적인 파랑의 특성을 추정하는 방법을 설명하고 우리나라의 실측자료에 의한 예를 제시하였다.

Methods of wave Measurement and Analysis of wave Data

Park, In Bo

Dept. of Civil Engineering

<Abstract>

The instrumentation techniques for wave measurement have been improved greatly during the last ten years. The next step is to establish the data treatment system in order to speed up the analysis of data with adequate accuracy for practical purposes. Several methods of wave measurement are proposed and the analysis of data chosen out of the East Sea is also treated.

I. 서 론

최근에 이르러 우리나라가 중공업 개발에 힘쓰고 부역에 치중함으로 인해 항구에 대한 인식이 새로워져 가고 있다. 이러한 항만 구조물을 설치하기 위해서 파랑의 관측은 필수 불가결한 요소이다. 해안 파랑의 관측은 일반적으로 파랑현상을 구멍하기 위한 관측과 파랑특성이 장소에 따라 어떠한 통계적인 모습으로 나타나는가를 밝히기 위한 관측으로 나눌수 있다. 전자에서는 비교적 단기간이긴 하나 정도가 높은 관측이 요망되지만 이에 비해 후자에서는 정도 보다는 오히려 길측이 적은 확실한 관측을 장기간에 걸쳐 실시하는 것이 요망되는 바로서

지금까지와 같은 시험적인 연구개발이 성행되어 왔다. 특히 우리나라에서는 63년경 부터 관측이 시행되어 오다가 70년 경부터 본격적인 연속관측이 각항마다 실시되어 오고 있으며 건설부⁽¹⁾나 국립건설연구소⁽²⁾등이 중심이 되어 우리나라 연안의 파랑 특성을 구멍하고 통계적 해석을 내리는내 힘 써오고 있다. 우리나라는 아직 관측기에 있어서 비좁은 심이 다소 있지만 국제적으로는 관측기에 있어서 거의 100%에 달하는 완전됨을 갖추고 있으며 현재는 가묘의 해석을 위한 전 사세가기의 응용등에 치중하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 파랑 관측법의 개요에 이어 주로 관측설과의 해석법에 대하여 설명하고자 한다.

II. 파랑관측의 방법

일반적으로 해안파랑은 파고, 주기, 파장 및 파향에 따라 그 특성을 나타낼 수 있으므로 여기서는 이들 각각의 관측방법에 대하여 그 개요를 설명한다.

1. 파고, 주기의 관측

해안의 1점에 있어서의 수위의 시간적 변화를 관측할 때에는 다음과 같은 방법이 있다.

각각으로 직접관측법으로 분류되는 방법으로 利木⁽⁴⁾

의 분류에 따르면 표 2-1에 나타낸 것과 같이 그 측정방법과 측정기로서 각종의 것이 고안되어 실용에 제공되고 있다. 이들 중 거의 모든 것이 수심 30m 정도의 소위 천해(淺海)에서의 파랑관측에 적당한 것으로 관측탑이나 해안에 있는 기지에서 관측 또는 측정하는 것이지만 더욱 수심이 깊은 해역에서의 관측이 필요할 때는 日本에서 개발되고 있는 바와 같이 고정식 부표(buoy)에 초음파식 파고계 등을 설치하여 바람 및 해류의 흐름의 특성을 동시에 관측하는 것도 고려가 되고 있다.

<표 2-1>

波浪觀測法의 分類와 波高計

- 光學的 方法—標柱法, 實體寫眞法, 實體觀式波高計, stadia 式波高計
- 音響學的 方法—水中發射型超音波式波高計
- 電氣的 方法—平行線式波高計, 抵抗線式波高計, 스타드式波高計, 容量式波高計
- 氣壓變化를 利用하는 方法
- 加速度變化를 利用하는 方法—부표 式波高計
- 浮力變化를 利用하는 方法—浮力式波高計
- 水壓變化를 利用하는 方法—摺動抵抗型, 直記型, 差動變壓器型, strain gage 型, 바이브로트론型, 差壓檢出型, 스타드스코오프式, 磁歪型, 壓電素子型, 各水壓式波高計

들개의 방법은 소위 간접관측법으로서 표 2-1에 기록한 것 같이 이러가지 방법이 고안되어 있으나 파동에 따른 수압의 변화를 관측하는 방법은 비교적 간편하기 때문에 각종의 파고계가 실용되고 있다.

그러나 이것은 수압의 변화와 수면 변동과의 대응관계들 먼저 구할 필요가 있어 그 보정계수의 특성을 구명하는 것이 중요하며 후술하는 것과 같은 불편점이 있다. 그리고 이 방법에는 주로 천해에 있어서의 파랑관측이 실시 되지만 부표등을 병용하므로서 수심 수십 m 정도의 해역에서의 파랑관측에도 사용하는 것이 시도되고 있다. 한편 부표에 가속도계를 설치하여 가속도의 시간적 변화를 2차적분하여 부표의 상하운동을 구해 그로부터 파랑특성을 알아내려고 하는 방법은 성능이 좋은 부표의 개발과 더불어 급해나 심해에도 응용될 수 있는 것이지만, 측정정도(精度)에 있어서 여러 문제점이 있다고 봐야 할 것이다. 이 방법에서는 부표의 경사를 관측함으로써 파랑의 관측도 실시할 수 있으나 상세한 것은 후술하기로 한다. 심해에서의 파랑관측의 방법으로는 이와같은 부표의 운동 그 자체에 의하는

것 외에도 파동운동의 영향이 없는 곳의 수압을 기준으로 하여 수면의 변동을 측정하고자 하는 시도도 고려되고 있다.⁽⁴⁾

이 밖에 해양에서의 파랑관측으로는 선체에 압력식 파고계를 설치하여 선박의 동요를 보정하여 파랑을 관측하는 방

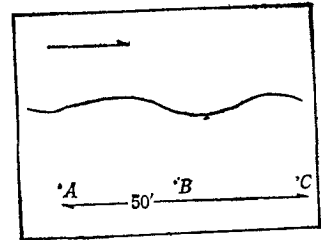


그림 2-1, 잠수정에 의한 파랑관측 (ABC가 잠수정)

법 (ship-borne-wave-recorder)⁽⁵⁾이나 잠수정에 수중형—초음파—파고계를—그림 2-1과 같이 몇 점 설치하여 방향 spectrum을 측정하고자 하는 시도도 있다.⁽⁶⁾

이상 말한 것은 주로 해안 또는 해안의 한점에 있어서의 파랑의 관측을 목적으로 한 것이나 파랑은 그 영역의 특성으로도 명백하듯이 여러 방향에서 내습한 파랑이 규정된 것이기 때문에 더욱 자세히 논하기 위해서는 그 밖에도 평면적인 관측을 실시할

필요가 있다. 그러기 위해서는 표 2-1에 있는 사진 실체법에 의한 해변의 연속촬영 이외의 가능한 방법은 현재로서는 없다고 보겠지만 이 방법은 관측 조건에 있어서 큰 세약을 받게 되기 마련이며 또한 data의 해석처리가 매우 번잡하기 때문에 연속관측으로서는 실용적이 못된다.

한편, 해안 파랑의 변형이나 해안 조사 등의 연구를 실시하기 위해서는 동인해역에서의 수심의 파고계로서 천해에기의 파랑의 동시관측을 실시할 필요가 있다. 이것을 위해서는 일반적으로 長大棧橋를 이용하는 것을 생각할 수 있다. 長大棧橋로서는 유

다. 우리나라에서는 대부분의 항만에서 대략 70년 이전에는 목시 관측 또는 Stereo식 관측이 행해져 오고 있었으나 70년대 이후에는 거의 수압식파고계 혹은 계단식항식파고계로 바뀌어 본격적인 연속관측을 행해오고 있으나 대개 1개지점에 1개의 파고계가 설치되어 있을 뿐이므로 앞으로 수심에 따라 몇대의 파고계를 설치하여 입체적인 동시관측을 할 것이 요망된다.

2. 파랑의 관측

파랑의 특성 중에서 파랑의 관측은 파고 및 주기의 관측과 동시에 실시되어야 하는 것이지만 계속 관측으로 실시할 수 있는 계기가 개발되지 못하였기 때문에 비교적 그 실적이 적다. 파고의 관측 방법으로 생각되는 것을 분류하면 다음과 같다.

표 2-2 波高觀測法の 分類

- 光學的方法——實體寫眞法, stereo 波高計
(transit 혹은 方位盤에 의한 目視觀測)
- 電氣的方法——定置式 波高計
- 音響學的方法——海象觀測用 레이더
- 波高計를 利用하는 方法——觀測用 부표, 波高計의 알레이 潛水艇을 利用하는 方法

이들 방법 중에서, 실제사실법에 의한 방법은 해면의 광광사진을 도시하여 파고분포와 동시에 파랑을 구해 소위 방향 spectrum을 산출하는 것으로 예를 들면 Cote 등⁽⁷⁾⁽⁸⁾에 의해 S. W. O. P (Stereo Wave Observation Project)로서 실시되었다. stereo 파고계는 井島⁽⁹⁾에 의해 개발된 것으로 그 원리는 실체사진법의 같지만 동일한 지역의 여러 점에서 동시관측을 실시할 때 같은 상대위치에서 육

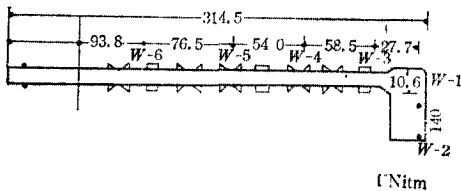
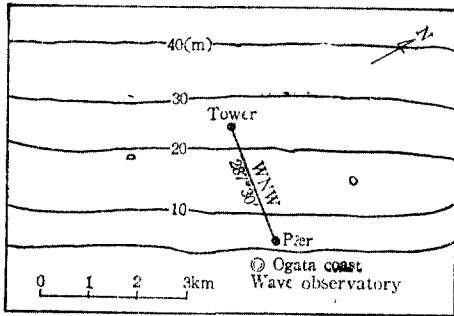


그림 2-2 大瀧파랑관측소의 파고계의 배치도

명한 scripps pier가 있고 해안공학연구 center에서도 Atlantic city의 pier를 이용하여 관측을 실시했다. 그림 2-2는 일본 防災研究所附屬大波浪觀測所에서 觀測을 위해 사용하고 있는 帝國石油 K.K의 세 1인공도 및 세 3인공도의 위치도와 棧橋의 약도를 나타낸 것으로 현재 전자에 계단식항식 파고계 6대 그리고 후가에 계단식파고계 1대가 설치되어 있으며 해안파랑의 관측을 실시하고 있다. 이것은 연구용으로서 주위 특수한 것이지만 후술하듯이 해안파랑의 특성에는 관측수심이 크게 영향을 끼치며 또한 심해와 천해역 및 일인에 있어서 파랑특성이 변화하므로 해양개발의 진척과 더불어 관측수심도 깊어질 것이고, 따라서 심해에서 천해까지의 파랑의 변형도 밝혀져야 한다고 생각된다. 이런 목적을 위해서는 해안선에 직각방향인 수점에 있어서의 동시관측은 대단히 큰 의의를 지니는 것이라 하겠

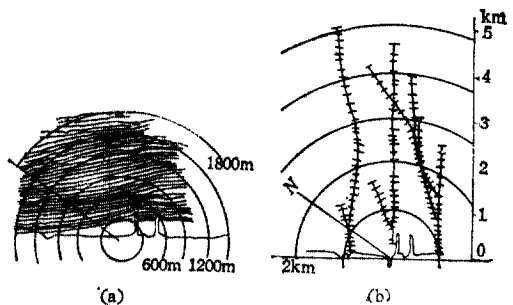


그림 2-3 레이더에 의한 파고 관측결과와의 예

상에 목표를 실시하고 필름에 찍어놓고 이것들과의 비교로서 간단하게 측정할 수 있다. 따라서 여러점의 동시파형이 얻어지기 때문에 방향 spectrum을 산출할 수가 있어 쇄파대에 있어서의 파랑연구에

유효하게 이용되고 있다.

다음으로 파고의 정상관측에 대하여 밀리파 레이더를 이용하는 것도 시도되어 파향, 파속등의 관측이 실시되고 있으나 그림 2-3은 이들의 관측설과의 한예를 보인 것이다. 즉 (a)는 일본 鹿島港에서의 파향신봉도를 나타내며 또한 (b)는 그 결과를 이용하여 파향의 진입 각도를 그린 것이다. 이와같이, 이 방법은 파향의 정상관측을 기후에 좌우되지 않고 실시할 수 있는 큰 특징을 갖고 있다.

3. 쇄파대에서의 목시관측

美國의 해안공학연구 center⁽¹¹⁾⁽¹²⁾에서는 1954년경부터 해안진척과 같이 장기에 걸친 파랑특성을 조사하기 위해 파고, 주기, 파향 및 쇄파형을 목시관

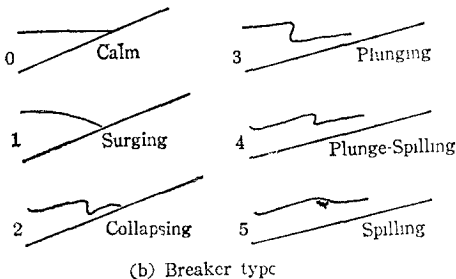
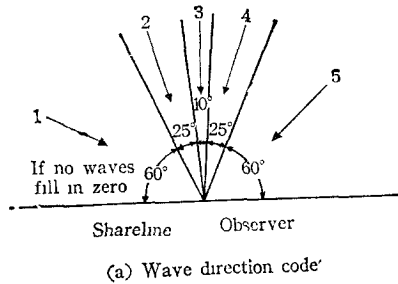


그림 2-4 파고의 진행 및 쇄파형의 정의

측으로 관측하는 계획을 세우고, 대평양, 대서양 및 멕시코만의 각지의 해안에서 연속적으로 실시해 왔다. 이 경우 우선 파고는 쇄파의 1/3최대파고로 하고, 또한 주기는 주어진 점을 통과하는 10파에 있어서의 평균치로 했다. 그리고, 파향및 쇄파형에 대해서는 그림 2-4의 정의에 따라 모두 그들의 code number에 따라 파고와 주기와 그리고 그들의 관측기일 및 시각과 같이 소정의 용지에 기입되어 계산기에 의해 지체없이 통계처리가 되도록 했다. 이때의 파고의 측정정도는 약 30cm로 되어있다. 해

안 파향의 장기적 변리를 찾아보면 필요가 있을 때에는 결측이 비교적 많은 다고계에 의한 관측보다는 이와 같은 목시관측에 의한 관측자료가 더욱 유효할 것으로 생각한다. 이 관측경과의 네에 대해서는 3장에서 후술함 것이다.

Ⅲ. 평균파법에 의한 관측기록의 해석

관측기록의 해석 처리방법으로는 스튀 유의파법으로 대표되는 평균파법과 파랑 spectrum에 의한 것이 있으나 여기서는 전자의 방법에 대하여 논하고 그 결과 얻어지는 파랑의 통계적 성질에 대하여 설명한다.

1. 평균파법에 의한 기록 독해법⁽¹³⁾

그림 3-1에는 파랑기록의 한예를 나타냈으나 여기서 파고와 주기를 해독하기 위해서는 일반적으로

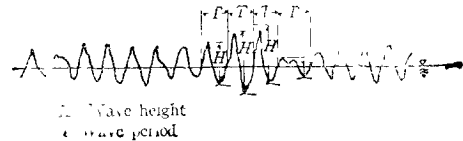


그림 3-1 파랑기록의 읽는법

로 다음과 같은 zero-up-cross method에 의존한다. 즉, 파형의 기록에 있어서 기준선의 상방을 지나는데서 다시 상방을 향하여 지나는데 다음 건파간의 간격 T를 주기로 하고, 이 사이에 있는 최대파와 최소점간의 차 H를 파고로 정의하고 기록을 독해하는 것이다. 그러나 이때 그림에 나타나듯이 양기한 구간에 있어서 기준선을 지나지 않는 파랑 또는 변동은 무시되지만 주파수에 포함되지 않는 파에기 이 독해 방법은 실용기이라 할 수 있다. 이 때에 기준선은 일반적으로 수평적으로 중심선을 길게하고 표시 정해진다. 거기의 파고 및 주기가 독해되고, 나면 일련의 기록에 대하여 다음과 같은 대수적인 파고가 정의된다.

- a. 평균파 : 연속된 100파이상의 기록으로부터 구해진 모든 파고의 주기 및 각각의 평균치(H 및 T)
- b. 유의파(1/3 최대파) : 마찬가지로 독해된 각각의 파고중 큰것으로부터 전파수의 1/3에 해당하는 것의 파고 및 주기의 평균치(H1/3 및 T1/3)
- c. 1/10최대파 : 역시 파고의 큰 것으로부터 전파수의 1/10에 해당하는 것의 파고 및 주기의 평균치

(H1/10 및 T1/10)

d. 최고파: 일련의 기록에 있어서 독해된 파고의 최대의 것으로서 그 파고 H_{max} 의 주기 T_{max} 로서 나타낸다.

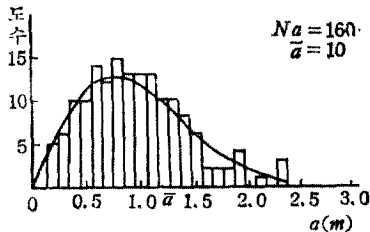
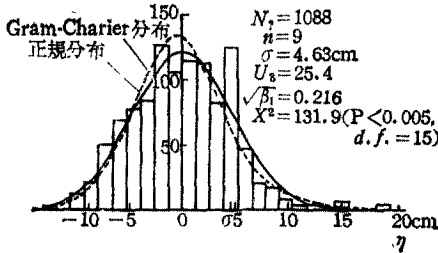
지금 기준면으로 부터의 변위 η 의 확률밀도 $P(\eta)$ 가 Gauss 분포

$$P(\eta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left\{-\frac{\eta^2}{2\sigma_0^2}\right\} \quad (3.1)$$

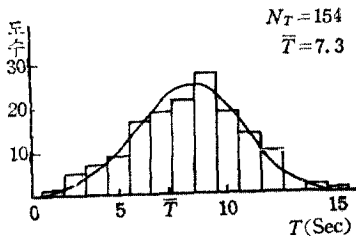
에 따르며 또한 좁은 주파대의 변동이라고 생각된 경우에는 주지하는 비와 같이 파고의 확률밀도 $P(H)$ 는 다음 식의 Rayleigh 분포로 나타난다⁽¹⁴⁾ 위에서 σ_0 는 η 의 표준편차이다.

$$P(H) = \frac{\pi H}{2H^2} \exp\left\{-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2\right\} \dots\dots(3-2)$$

단 \bar{H} 는 평균파고이다. 이것은 해면의 변동에 대



(5) 1972. 3. 10 9:50-10:10



(5) 1971. 11. 29. 9:50-10:10

그림 3-2 기준면으로 부터의 수위변동의 분포특성

하이 선형 random model 을 가정했을 경우이고 이때 건설한 대표적인 파고 사이에는 다음의 관계가 성립됨을 나타내고 있다.

$$H1/10=1.30H1/3, H1/3=1.57\bar{H}\dots\dots(3.3)$$

또한 이것에 대응한 주기의 확률밀도 $P(T)$ 는 Bretschneider 에 의해 Rayleigh 분포

$$P(T) = 2.7 \frac{T^3}{T^4} \exp\left\{-0.675\left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^4\right\} \quad (3.4)$$

로 표현된다고 알려져 있다.

한편 비선형의 영향을 받을 때에는 η 의 분포로서 소위 Gram-Charier 분포⁽¹⁵⁾

$$P(\eta) = \left\{1 + \frac{1}{6}\sqrt{\beta_1}H_3 + \frac{1}{24}(\beta_2-3) \times H_4\right\} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left(-\frac{\eta^2}{2\sigma_0^2}\right) \quad (3.5)$$

가 성립된다고 한다. 여기에서

$$H_3 = \eta^3 - 3\eta, H_4 = \eta^4 - 6\eta^2 + 3$$

$\sqrt{\beta_1}$: 歪度, β_2 : 尖度이다.

그림 3-2는 긴 수한 박사⁽¹¹⁾⁽²⁾에 의해 발표된 결과로서 관측 경과를 기초로 (3.1)(3.2)(3.4) 및 (3.5) 식을 비교한 것의 일부분을 보여주는 것이다. 또한 그림 3-3은 (3.3)식으로 나타나는 관계를 검토한 것으로서⁽¹⁶⁾ 유의파고의 중내의 더불어 약간 비선형 효과가 나타나 있는 것을 알수가 있다. 한편 Kuo⁽¹⁷⁾에 의하면 천해에서는 한계파고 이상의 파고가 출현하지 않는 까닭에 Rayleigh 분포와 파고의 확률

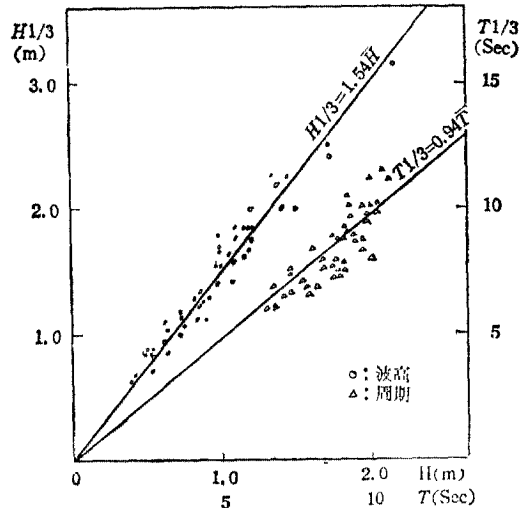


그림 3-3 H1/3과 H의 관계(-11m) (浦項)

밀도 함수는 그림 3-4와 같이 변함없이 입증되었다. 이러한 관점에서 Kuo는 다음과 같은 파고 분포형을 제시했다.

$$P_b(H) = \begin{cases} \frac{P(H)}{\int_0^{H_b} P(H)dH} & H < H_b \\ \frac{P(H)}{\int_0^{H_b} P(H)dH} & H \geq H_b \end{cases} \quad (3.6)$$

단 H_b 는 breaking condition 하의 파고이며 H_r 이 $H_{r, rms}$ (root-mean-square)일때 $P(H) = (2H/H_r^2) \exp(-(H/H_r)^2)$ 으로 역시 Rayleigh 분포를 이룬다. 또한 Kuo는 천해에서의 평균파를 상호간의 관계를 그림 3-5, 3-6에 제시하고 있다.

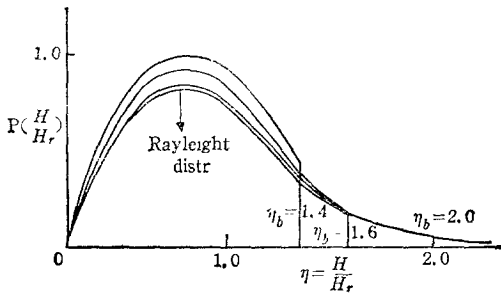


그림 3-4 A model of wave height distribution in shallow water proposed by Kuo & Kuo.

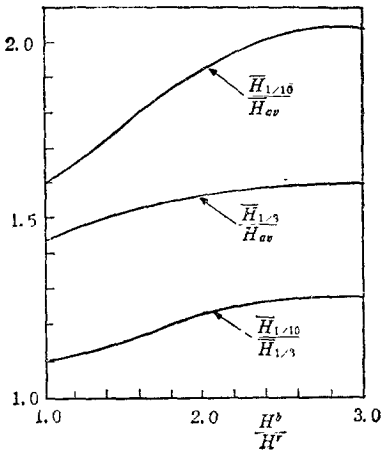


그림 3-5 Statistical wave height ratios in shallow water. (After Kuo & Kue)

또한 이와같은 기록의 독해는 기록을 digital화하여 전자계산기로 처리하는 것도 실시되고 있으며⁽¹⁾ 표 3-1에는 wave data processing system의 한 예

가 있고 표 3-2에는 Muraki⁽¹⁸⁾에 의한 또다른 예가 있다.

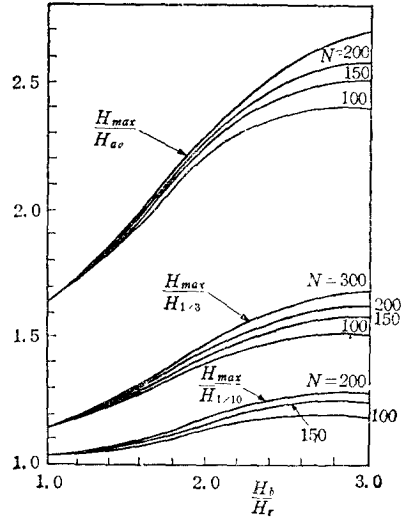
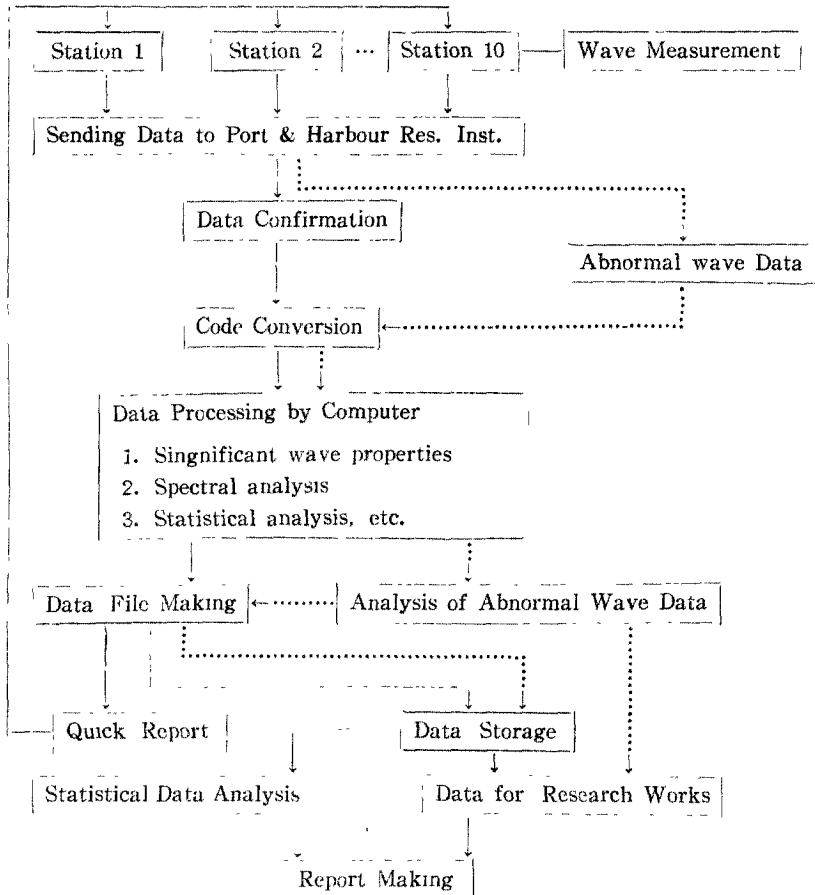


그림 3-6 Probable maximum wave height in shallow water. (After Kuo & Kuo)

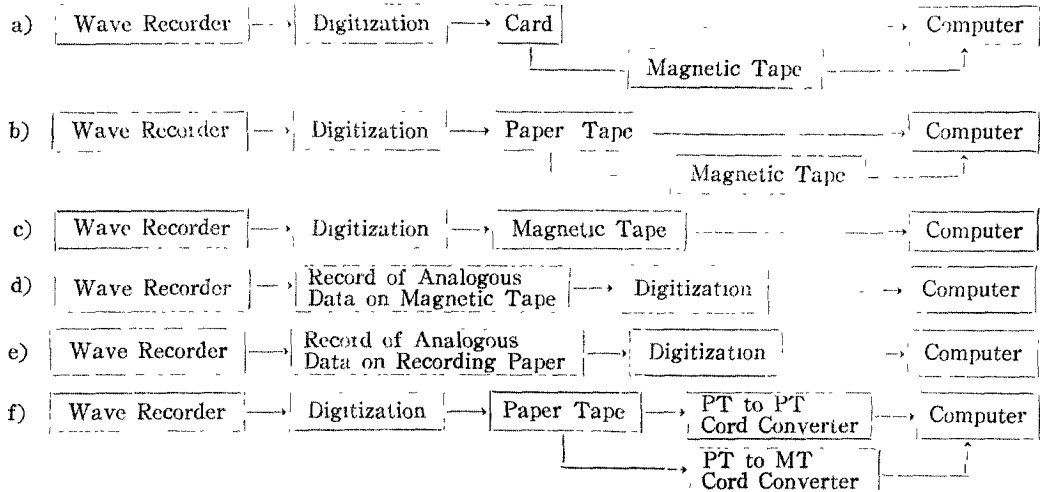
이던 경우에는 기준선에 상당하는 평균키는 간단히 구할 수 있기 때문에 이 방법의 정도는 digital화를 위한 시간간격 Δt 의 대소와 파랑의 주기에 의존하게 된다. 高橋⁽¹⁸⁾은 이던 방법에서 Δt 의 크기에 의한 파랑특성의 감성오차를 제시했다. 다만 그 길파에 있어서는 Δt 라고 현지관측의 기록에서 독해될 수 있는 Δt 의 값의 최소치로서 0.2 sec를 기준으로 하여 계산하고 있다. 이 길파로 본다면 파랑의 평균 주기가 6~20 sec이고 기록지상의 평균파고가 10~50mm인 경우에는 Δt 를 0.5 sec나 해도 0.2 sec로한 계산 길파에 대한 상대오차는 불과 1%정도인 것으로 된다. 이상은 또한 파고계의 종류에 따라서도 상이될 것이나 조음파파고계나 용량식파고계와 같이 세 단주기의 파랑도 기록이 되는 경우에기 상술한 바와 같이 Δt 는 0.2 sec 정도로 계산할 필요가 있다.

이상의 방법으로 파랑기록에서 파랑특성을 직접 산출하는 것은, 직접관측법, 예를 들어 계단지향식 파고계나 조음파식파고계 등에 의해 얻어진 기록에 대해 적용되지만 간접관측법 특히 수압식파고계의 경우에는 수압변동에서 수면변동으로 환산하기 위해 다음과 같은 보정이 필요하게 된다.

㉟ 3-1 Wave data processing system of Port & Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Japan.



㉟ 3-2 Wave data processing system. (After Muraki)



2. 수압식 파고계의 기록의 처리

수압식 파고계에 의한 관측기록에서 파고를 산출할 때에는 압력파고를 전술한 Zero-up-cross method로 독해하고, 여기에 다음의 식으로 나타나는 계수 K 를 곱하면 된다. 즉 이들의 관계는 미소진폭이론으로 다음과 같이 나타나진다.

$$H = n \frac{P}{\rho g} \frac{\cosh(2\pi h/L)}{\cosh(2\pi Z_0/L)} = Kp \quad (3.7)$$

여기서 $K = (n/\rho g) \cosh(2\pi h/L) / \cosh(2\pi Z_0/L)$ 이고 H 는 파고, ρg 는 해수의 단위중량, h 는 측정위치의 수심, Z_0 는 해저에서 파고계 수감부까지의 높이, L 은 파장 $(= (gT^2/2\pi) \tanh(2\pi h/L))$, T 는 파의 주기, g 는 중력의 가속도, n 은 보정계수이다 (3.7)식에 있어서 p 는 압력파로 측정되고 T 도 그 주기로 측정되기 때문에 미리 적당한 방법으로 파고와의 대응을 찾아내 두면 좋지만 다음 검에 주의하여야 한다. 우선 미소진폭파이론과의 상위등에서 생기는 보정계수 n 에 대해서는 ⁽¹³⁾ ⁽¹⁹⁾ ⁽²⁰⁾ 각 지점의 조건이나 파고계의 종류의 문제 이외에도 파랑의 주기에 따라라도 상이되며 일반적으로 주기가 작을수록 감소되는 경향이 있다. 따라서 일반적으로는 직접관측법에 의한 파고기록과 비교해서 보정계수의 주파수에 따른 변화를 찾아내서 교정하면 된다. 그 방법으로는 이러가지를 생각할 수 있으나, 양가의 동시 기록이 있을 경우에는 압력파의 power spectrum ϕ_p 및 파랑에 대한 ϕ_ω 와 양자의 cross spectrum $\phi_{p\omega}$ 를 도입하면 일반적으로 응답계수 K 는 다음의 관계에서 구할수 있다.

$$\phi_\omega(f) = |K(f)|^2 \phi_p(f) + \phi_n(f), \quad (3.8)$$

$$\phi_{p\omega}(f) = K(f) \phi_p(f)$$

여기서 $\phi_n(f)$ 는 noise(잡음)의 power spectrum이지만 단일 이와 같은 noise가 기록처리에 있어 개입되지 않는다면 (3.8)식에서

$$K(f) = \{\phi_\omega(f) / \phi_p(f)\}^{1/2} \quad (3.9)$$

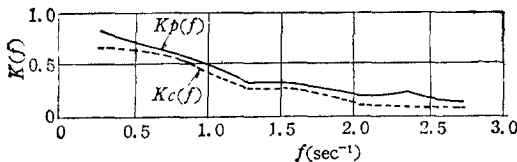


그림 3-7 수압식 파고계의 응답계수의 예

으로 산출되며 그렇지 않을 경우에는 cross-spectrum을 구해서 (3.8)식에서 계산하지 않으면 안된다.

그림 (3.7)은 本間등이 이상의 두가지 방법으로 계산한 보정계수 n 의 변화를 나타낸 것이지만 양자의 차이는 (3.8)식에 있어서의 $\phi_n(f)$ 의 영향이라고 생각된다.

다음으로 주의해야 할 것은 (3.7)식의 응답계수 K 에 포함되는 수심 h 의 영향이다. 파고계의 설치 수심은 일반적으로 10여m 정도 이므로 해저지형의 변동이 따르기 쉽고 또 조석등에 따라 수심이 변화하면 이것이 K 값에 미치는 영향이 꽤 크기 때문에 수심의 확인과 더불어 조석에 의한 수심의 변화를 고려하여 계산해야 할 것이다.

이상과 같은 점을 고려해야 하지만 보정계수 n 값에 대해서는 경험적으로 하나의 정수 예를 들면 1.35를 사용하고 있으나 자세히 검토해야 할 경우에는 n 값의 특성을 고려해야 한다. 보정계수 n 이 정해졌으면 이것을 압력파의 독해치에 대해 어떻게 환산하는가에 대해서는 두가지의 방법이 있을 수 있다. 첫째는 개개의 압력파를 수면파로 환산한 다음 전술한 정의에 따라 평균파, 유의파, 1/10 최대파등을 구하는 것이고 다른 하나는 압력파에 대하여 이들의 특성치를 구한 다음 수면파로 환산하는 방법이다. 전자는 말 할 필요도 없이 지극히 노력적이지만, 후자의 방법에 따른 상위는 전자에 비하여 파고에 대해서 5~10%정도 작고 또한 주기에 대해서는 1~20%정도 길어진다고 하며 보정계수등에 포함되는 오차를 생각하면 후자로서도 실용상으론 충분할 것이다.

3. scale-out 한 기록의 해석

異常한 파랑 시에는 자주 scale-out 된 기록이 관측 될 때가 적지 않다. 이것은 기록계의 판리등의 소혼한 이유에서 유래하는 것이지만, 이럴 때의 파랑기록은 일반적으로 지극히 귀중하기 때문에 그 기록을 해석하여 활용하도록 힘 써야 한다. 여기서는 전술한 Longuet-Higgins에 의해 나타난 파랑의 진폭의 분포특성을 적용하여 scale-out 한 기록에서 파랑특성을 찾아내는 高橋등⁽¹⁸⁾의 방법을 기술한다. 지금 해면의 수위 변동이 정상확률과정으로 표현된다고 보면, 수면변동의 평균치로 부터의 편차 $n(t)$ 가 gauss 분포에 따른다고 하려는 전술한 것과 같이 파랑의 진폭은 Rayleigh 분포가 되므로, 반진폭 $H'/2$ 가 평균치로 부터 편차 σ_0 를 덮는 확률 $P(H'/2)$ 은 다음과 같아 진다.

$$P(H'/2) = \frac{1}{\sigma_0^2} \int_{H'/2}^{\infty} S \exp\left(-\frac{S^2}{2\sigma_0^2}\right) ds$$

$$= \exp\left\{-\frac{(H'/2)^2}{2\sigma_0^2}\right\} \quad (3.10)$$

따라서 $H'/2$ 이상의 파랑의 평균치를 $H'_0/2$ 라고 하면

$$H'_0/2 = \left\{ \int_{H'/2}^{\infty} \frac{1}{\sigma} S^2 \exp\left(-\frac{S^2}{2\sigma^2}\right) ds \right\} / \exp\left\{-\frac{(H'/2)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3.11)$$

로 된다. 한편 $(H'/2)_{1/3} = 1.416\sqrt{2\sigma_0^2}$ 이므로 이 관계를 (3.10)식에 대입하면 $H'_0/2$ 및 $H'/2$ 를 주어 $(H'/2)_{1/3}$ 의 값을 계산할 수가 있고 유의 파고는 $2(H'/2)_{1/3}$ 으로 구할 수 있다. 그림 3-8은 이상의 관계를 도시한 것으로서 파고 H_0 이하의 파랑만을 측정하였을 때의 평균 파고 H_m 에서 전파수에 대한 유의파고 $H_{1/3}$ 을 그림으로 부터 직접 추정할 수가 있다.

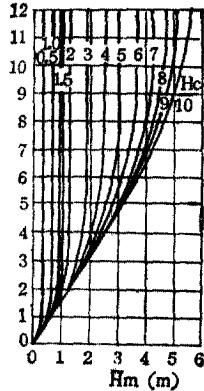


그림 3-8 Scale-out한 기록에서 유의파고를 추정하는 관계

4. 파랑의 통계적 성질

해안파랑의 통계적 특성 중에서 그 분포이론에 대해서는 Rice 또는 Longuet-Higgins 등에 의하여 상세한 이론적 고찰이 행해져, 그 개요는 이미 전술한 바 있으므로 여기서는 주로 계절변화나 파랑의 출현확률을 등을 구하는 방법에 대하여 기술한다. 파랑의 현상을 하나의 통계적 현상이라고 생각하면 그 통계기간이라고 생각되는 것은 주, 월, 또는 년등이겠지만 여기서 주의할 것은 그 기간동인의 파랑이 독립된 것이 아니던 인된다는 것이다. 또한 통계량으로 취급하는 경우에도 그것이 무슨 목적을 위해 추계되는가에 따라 파랑의 통계적 성질의 표현법이 달라진다. 여기서는 슈넬(21)이나 Galvin(11)(12) 등의 연구를 기초로 파랑의 통계적 처리방법에 대하여 기술한다.

(a) 파랑관측치의 통계적 독립성

정기관측에 의해 얻어진 관측치는 하나의 시계열(時系列)을 이루고 있으므로 그 시계열의 독립성은 자기 상관계수(自記相關係數)를 구하므로써 검토된다.

지금 관측치를 $H_1, H_2, H_3 \dots H_m \dots H_N$ 라 하면 그들 각각의 값이 n 개 만큼 떨어진 다른 관측치와의 사이에 이루는 상관계수는 다음 식으로 나타난다.

$$r(n) = \frac{\frac{1}{N-n} \sum_{m=1}^{N-n} (H_m - \bar{H})(H_{m+n} - \bar{H})}{\frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (H_m - \bar{H})^2} \quad (3.12)$$

여기서 $n=0, 1, 2, \dots$ 이고, H 는 전 관측치의 평균치이며 N 는 전 관측치의 갯수이다. 필자(22)는 이 방법으로 포항항의 유의파고에 대하여 각 기간의 자기상관계수를 계산하여 그림 3-9의 결과를 얻었다.

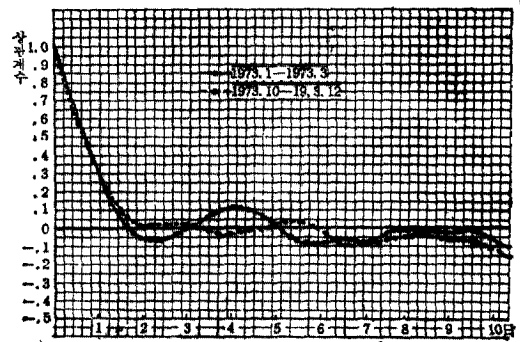


그림 3-9 포항항의 유의파고의 자기 상관계수

이 결과에 따르면 어느 경우에도 $n=2$ 일에서 거의 상관이 없어져 있지만 $n=4$ 일 정도의 곳에도 상관계수의 극치가 나타나 있다. 이로 보면 파랑에 대한 주기적인 변동성향도 볼 수 있다. 하여튼 이들 상관계수의 특징에는 지역적 특성이 나타날 것이기 때문에 파랑특성의 통계를 행할 때에는 미리 이 점을 조사해 둘 필요가 있을 것이다.

(b) 확률파랑의 추정

전술한 바와 같이 파랑관측치의 통계적 독립성을 고려하여 정시관측치로부터 통계량을 구하여 확률파랑을 추정할 필요가 있지만 이 독립성의 문제의에도 관측기간이 대체로 짧기 때문에 여러 편의적인 추계의 방법이 시도되고 있다. 그 제1의 방법은 어떤 기간내의 최대치에서 확률파랑을 추정하는 것으로써 구체적으로 다음의 기간을 생각할 수 있다.

- (1) 일 최대파의 초과출현율(超過出現率)을 사용한다.
- (2) 주 최대파의 초과출현율을 사용한다.
- (3) 년 최대파의 통계치를 사용한다.

이들 중 1의 방법에서는 그림 3-9에서 볼 수 있듯이 최대파고간에 상당한 상관이 있으므로 통계량을 구하여 취급할 수가 없다. 이에 대하여 (2)의 방법

에서는 일반적으로 그 상관계수도 그러하지 않으므로 통계량으로 취급해도 좋고 출현율을 직접 확률로 보아도 좋을 것이다. 다만 기상조건을 이용하여 이상파랑(異常波浪)시의 파랑특성을 추산하여 이것을 관측치에 부가하도록 하면 추신선과의 경도에는 문제가 남지만 일단 이 방법으로 확률파랑을 추정할수는 있을 것이다. 그림 3-10는 목호항의 유의파

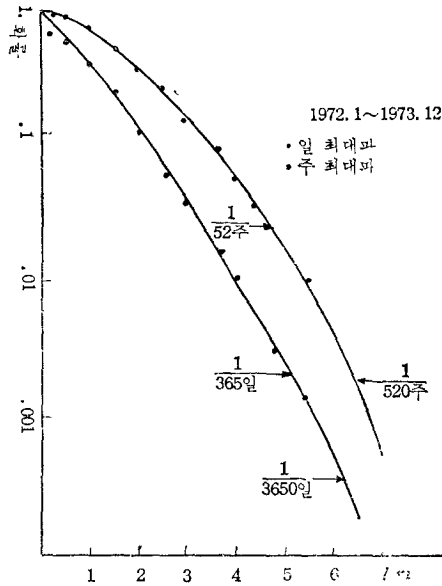


그림 3-10 목호항의 초과 출현 확률

고에 대하여 그림 2의 방법에 의해 그 출현율을 구할 것이지만 이 그래프는 양쪽에 그림 2에 있는 것으로 보인다. 그러나 일반적으로 최대파를 쓸 것이 권장되고 있다.

다음으로 제2의 방법은 어떤 값 이상의 극대파에 한하여 해석하는 것으로 진술한 극대파는 고나라이 다량의 발생요인마다 각각과 다량(樣)으로 분할하여 각각의 극대치는 동등하므로 추산하는 것이다. 수평(20)은 이 방법을 극값계열(極值時系列: partial-duration-series)이라 부르고 있다. 필자(22)는 목호항의 관측치나 여기 다음과 같은 검토를 행하였다. 우선 연속적인 관측기록에서 n 수의 방정식 정도의 파고 이상의 극대파를 추산하여 등기상으로 하면 그림 3-3과 같이 된다. 그러나 이 경우 방정요인 마다의 극대파고를 원으로 하므로 지어도 2시간 이하의 정시관측치의 결과를 이용해야 하나 우리나라에는 그러한 관측치가 없으므로

표 3-3 墨湖港의 極大波高(1970. 1. 1. ~1973. 12. 1.)

년	월	일	극대파고 m	순위	재질기간 주기 sec	
1970.	1.	4.	2.80	19.	0.158	9.5
	2.	1.	3.20	13	0.231	11.5
	2.	11.	2.54	27	0.111	9.7
	5.	12.	2.80	20	0.150	8.9
	6.	16.	3.70	9	0.333	8.6
	7.	7.	4.00	6	0.500	9.3
	10.	26.	3.00	15	0.230	9.1
	11.	22.	2.70	24	0.125	9.2
	12.	14.	3.30	11	0.273	11.3
	12.	18.	2.70	25	0.120	8.3
1972.	1.	5.	2.82	18	0.167	5.1
	1.	15.	4.33	4	0.750	8.8
	1.	26.	3.63	10	0.300	10.1
	2.	1.	3.75	7	0.429	10.1
	2.	28.	4.02	5	0.600	12.2
	3.	4.	2.51	28	0.107	11.1
	3.	21.	2.76	21	0.143	9.1
	4.	1.	4.65	3	1.000	11.2
	7.	24.	2.93	16	0.125	8.1
	9.	14.	2.69	26	0.115	8.0
	9.	19.	5.80	1	3.000	15.0
	12.	2.	4.90	2	1.500	11.0
1973.	1.	25.	3.20	14	0.214	10.0
	3.	25.	2.76	22	0.133	14.0
	5.	19.	2.50	29	0.103	10.5
	9.	10.	3.75	8	0.375	7.6
	9.	27.	3.23	12	0.250	11.5
	10.	23.	2.64	18	0.167	11.5
	11.	22.	2.75	23	0.150	8.2
	12.	24.	2.95	17	0.176	10.5

$n(\text{관측일수})=3$ 2.5m 이상

부득이 최대치가 너무 커서 6시간 간격을 사용하였다. 그림 3-3에 있어서 날기 회고의 단 것으로 극대치 순위 m 을 얻어, 이 순위 m 에 해당하는 극대파고 H_m 와 같은가 아니나 이보다 큰 파도의 재질기간 t_m 은

$t_m = n/m$ 로 구할 수 있다. 여기서 n 는 관측기간의 수이지만 n 은 더욱이 극대파고의 개수보다도 고려한 유효수계미수의 개념을 해인하고 있다. 그림 3-11은 이같이 상관계수로 그림 3.3의 결과를 도출한 것인데 목호항의 극선은 눈대중으로 보기 관측치에 적합하도록 그린 것이다. 이 결과와 그림 3-10와 비교하여 그리 큰 차가 없음을 알 수 있다.

이상은 주로 확률파고의 특성 중에서 파고에 대해서만 검토되었지만 그 파고에 대응할 주기는 다음과 같이 해석 구할 수 있다. 표 3-3에 나타난 극대파의 파고와 주기의 관계인 그림 3-12와 같이 구해 그 관계에서 N 년 확률파의 주기를 추정하면 되지만 일반적으로 양자의 관계는 그리 명확하지 않기 때문에 소요의 계획에 대응하여 어떤 범위를 지닌 주기를 채용해야 할 것이다.

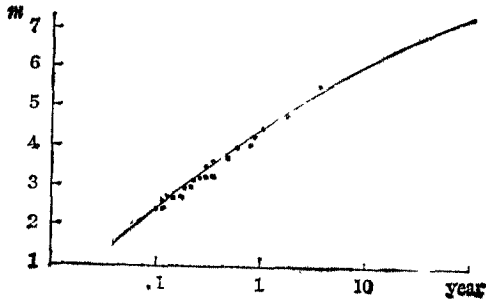


그림 3-11 북호항의 확률파고(1970.1~1973.12)

더욱이 이기는 주로 1개소에서 관측된 파랑기록에 기초를 둔 것이지만 예를 들어 농해안의 거의 비슷한 해안이라고 생각되는 곳이라도 파고계의 설치 수선에 따라 파랑수준이 크게 달라진다. 그림 3-13은 같은 습지(21)에 의해 나타낸 기령통제에 미치는 관측수집의 영향을 검토한 것이다.

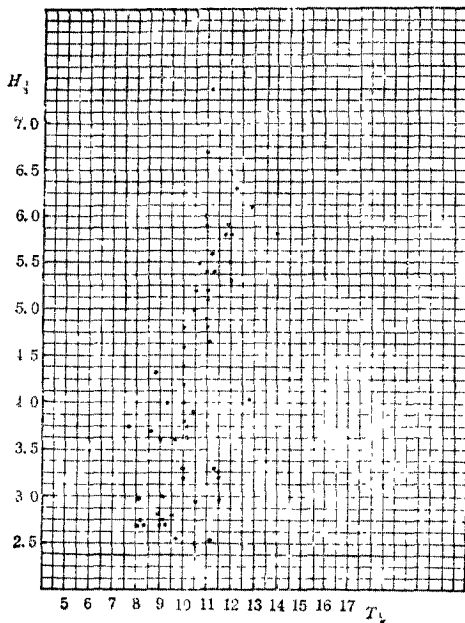


그림 3-12 북호항의 파고와 주기의 상관관계

(c) 파랑특성의 계절변화(목시 관측(目時觀測))에

의한 관측결과)

해안파랑의 통계에 있어서 그 계절변화를 알 필요는 해안침식등의 통계에 있어서 극히 중요하며, 진출

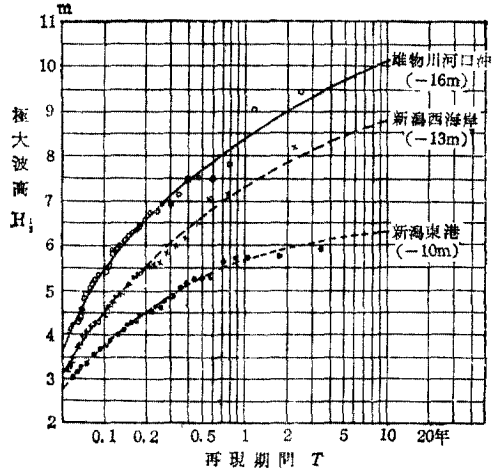


그림 3-13 日本海中部沿岸의 確率波高推定曲線

관 것과 같은 파고계에 의한 관측결과를 정리하면 간단히 구할 수 있지만 이기기는 반드시 파고계에 의하지 않더라도 목시관측의 결과라도 어느 정도 그 단락을 찾아낼 수 있으므로 1에로서 galvin(11)등의 결과를 제시한다. '전술한 바와 같은 방법으로 관측

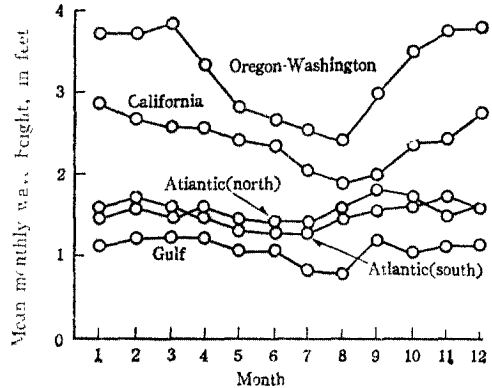


그림 3-14 월평균파고의 계절에 의한 변화

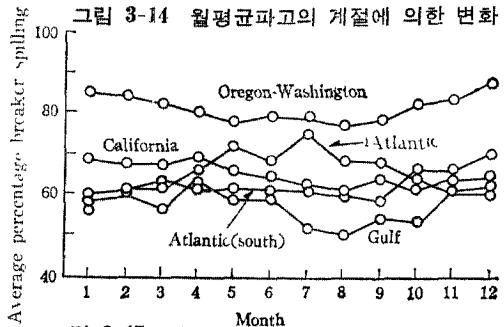


그림 3-15 쇄파형의 월평균발생율의 계절변화

된 결과관 정리하여 월평균파고의 계절변화를 미국의 다섯 해인에 대해서 나타낸 것이 그림 3-14이다. 해안침식등 장기에 걸친 파랑의 특성을 필요로 할 때에는 이러한 방법으로도 충분히 파랑의 특성을 알 수가 있다. 이 결과에 따르면 미국의 동부해안보다 서부해안 즉 태평양인안 쪽이 명확한 계절변화가 나타난다는 것을 잘 알 수가 있다. 또 그림 3-15는 채널링의 계절 변화를 조사한 것으로서 한 예로서 spilling breaker 의 월평균 발생율을 나타낸다. 이

항면시설물을 개조 혹은 신축하는데 필요한 여러가지 파랑 자료를 구해야 할 것으로 생각된다. 강우량에 대한 자료는 수십년 동안의 것이 있는 반면 파랑에 대해서는 불과 10년 정도의 자료도 없으므로 이상해상시의 파랑추산 방법을 개발함과 아울러 파랑관측에 필요한 파고계와 기타 장비를 현대화하고 보다 예산을 들이 관심을 기울여야 할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

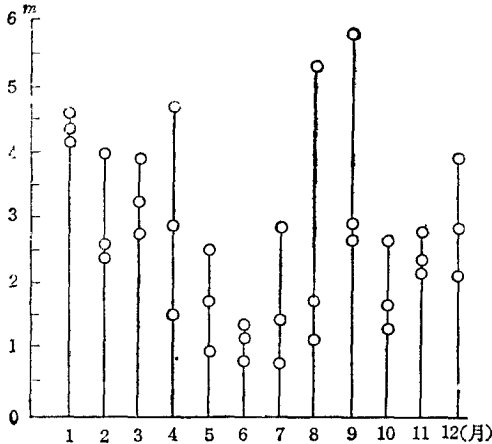


그림 3-16 최대유의파고의 계절별 변화(목호) 것도 그림 3-14와 거의 같으며 이 밖에 파랑주기의 계절별과도 상세하게 검토되어 있으나 이런 방법은 장기에 걸친 연안환경의 변화를 알아내는데 극히 유용한 것으로 생각된다. 그림 3-16는 목호항의 1971~1973년의 월별 최대유의 파고인데 그러 큰 계절차이가 느낄 수 없으며 대체로 통계가 하계보다 하계가 높으나 8.9월에는 태풍에 의한 극치가 발생 할 수 있다. 방파제 및 일반 해안 구조물의 계획시공에는 상기한 파랑특성을 고려해야 할 것이다.

Ⅳ. 결 론

이상으로 파랑의 세 관측법과 실용단계에 있는 해석법을 종합 설명하였고 문제점을 제시 하였다. 우리나라는 우선 파고계의 digital 화가 급선무이며 산정식으로 실시되고 있는 파랑관측을 좀더 체계적이고 신속적으로 실시하여 즉각적이고 광범위한 자료를 신속정기기로 처리하여 방파제의 피해를 줄이고

1. 김길부 "파랑관측자료 분석연구보고서" 1973.
2. 국립건설연구소 "성파계의 단면 결정을 위한 조사연구 보고서"
3. 村木義男 : 파랑관측, 1970년도 수공학에 관한학기수련회 상의집. 일본. 1970. pp1~22
4. Barbar, N. F. and M. J. Tucker: Wind Waves The Sea, Vol.1, edited by M. N. Hill, Inter. Pub., London, 1962, pp664~699.
5. Tucker, M. J. A Ship-borne Wave Recorder, Proc. 1st Conf. on Coastal Eng. Instruments, 1956, pp. 112-118
6. Macovsky, M. S. and Mechlim, G. F: A proposed technique for obtaining directional wave spectra by an array of inverted fathometers, Proc. Conf. Ocean Wave Spectra, 1961, pp. 235~241
7. Kinsman, B: Wind Waves, Prentice Hall, 1965, pp. 460~472.
8. Ewing, J. A.: Some measurements of the directional wave spectrum Jour. Marine Res., Vol. 27, No2. 1969 pp163-171
9. 井島武士, 松尾隆彦 : 해파대의 파의 연구(1), 제 15회 해안공학 강연회강연집. 일본 1968, pp.35~40
10. 井島武士, 高橋智晴, 佐々木弘 : 파고관측등에 대한 레이더의 응용, 제11회 해안공학 강연회 강연집. 일본, 1964, pp.81~88.
11. Galvin, C. J., D. G. Dumm, B. R. Simes and L. W. Tenney: Nearshore visual wave observations for United States' coastlines, 1969
12. Galvin, C. J., L. W. Tenney and W. N. Seeberg: Differences between littoral and offs-

- hore wave climates. 1970
13. 高橋智晴, 鈴木實, 中井徹也: 파고계에 의한 관측 Data의 처리방법, 항만기연자료, No 39, 1967, pp. 3-233.
 14. Longuet-Higgins, M.S.: On the statistical distribution of the height of sea waves, Jour, Marine Res., Vol. 11, No.3, pp245~266.
 15. Longuet-Higgins, M.S.: The effect of nonlinearities on statistical distributions in the theory of sea waves, Jour. Fluid Mech., Vol. 17, part 3.
 16. 柿沼忠男, 石田昭, 門司剛至: 기록에 의한 해안파랑의 비선형성의 해석, 제15회 해안공학강연회 . . . , 1968, pp.73-79.
 17. Kuo, C. T. and S. Kuo: Wave Damping and Wave height distribution of breakers generated wind, Proc. 19th conf. on Coastal Eng. in Japan, JSCE, 1972
 18. Muraki, Y.: On wave observations, Text for summer seminar on Hydraulic Eng A, JSCE, 1968
 19. 本間仁, 堀川清司, 小森修藏: 수압변동파형과 수면파형의 상관성, 제12회 해안공학강연회 강연집, 1965. 일본 pp76~83.
 20. Esteva, D. and D. L. Harris: Comparison of pressure and staff wave gage records. 1970
 21. 畠田良實: 파랑통계에 관한 제2.3의 고찰 항만기연자료 No 39. 1967. 일본. pp.239~255.
 22. 朴仁輔: 동해안 확률파고의 추정. 서울대학교 대학원 논문집 1974