

II-280

波の統計的性質に及ぼす波の非線形性の影響

愛媛大学工学部 正会員○山口 正隆

愛媛大学工学部 大福 学

東亜建設工業K.K. 正会員 早川 淳

1. はじめに：ゼロアップクロス法で定義される不規則波の波高分布はRayleigh分布によりよく近似され、各種平均波高比が一定の値をとることや、最高波高 H_{max} と有義波高 $H_{1/3}$ の比は波数 N を変数とする確率分布に従って分布し、 $H_{max}/H_{1/3}$ の平均値も波数により変化することが理論および観測の両面で詳細に明らかにされてきた。しかし、各種の波高比や周期比が波高によりどのように変化するかという波の非線形性に係る問題はあまり検討されていない。そこで、ここでは、気象庁波浪観測資料の解析に基づき、波高比や周期比に及ぼす波の非線形性の影響を調べる。

2. 波浪観測資料：気象庁では、水深50m地点に設置した超音波波高計による波浪観測体制を整備しつつあり、現在わが国周辺の11ヶ所に展開されている。本研究で取り扱う資料は日本海洋データセンターのMTに納められた松前（1979～1981年）、経ヶ岬（1977～1981年）、福江島（1981年）、佐喜浜（1978～1981）、石廊崎（1977～1981年）、江ノ島（1980～1981年）における3時間ごとの資料である。解析にあたり、 $H_{1/3}/H_m=1.01\sim 2.2$ 、 $H_{1/10}/H_{1/3}=1.01\sim 1.6$ 、 $H_{max}/H_{1/3}=1.01\sim 3.5$ 、 $T_{1/3}/T_m=0.6\sim 1.8$ 、 $T_{1/10}/T_{1/3}=0.6\sim 1.4$ 、 $T_{max}/T_{1/3}=0.4\sim 2.0$ 、 $H_{max}/L_{max}<0.14$ 、 $T_{1/3}<15$ s、波数 $N=100\sim 450$ 、記録障害指数 $IC=0$ という条件を満たす観測資料のみを使用した。ここに、 H_m ：平均波高、 $H_{1/10}$ ：1/10最大波高、 $T_{1/3}$ ：有義波周期、 T_m ：平均周期、 L_{max} ： T_{max} に対応する波長、である。また、高波高資料を得るため、

表-1

$H_{1/3}$ m	0～1	1～2	2～3	3～4	4～5	>5
Case 数	31541	16718	4573	1126	303	75
N	233(48)	202(31)	179(23)	162(17)	147(13)	134(9)
$H_{max}/H_{1/3}$	1.705(0.267)	1.669(0.182)	1.656(0.167)	1.634(0.162)	1.626(0.156)	1.582(0.144)
$H_{1/10}/H_{1/3}$	1.255(0.071)	1.256(0.040)	1.259(0.037)	1.258(0.038)	1.260(0.039)	1.251(0.039)
$H_{1/3}/H_m$	1.535(0.124)	1.582(0.071)	1.597(0.051)	1.604(0.048)	1.604(0.049)	1.601(0.051)
$T_{max}/T_{1/3}$	1.030(0.199)	1.006(0.120)	0.998(0.098)	0.999(0.098)	0.998(0.092)	1.011(0.099)
$T_{1/10}/T_{1/3}$	1.028(0.070)	1.008(0.040)	1.006(0.035)	1.006(0.034)	1.008(0.037)	1.017(0.043)
$T_{1/3}/T_m$	1.209(0.124)	1.201(0.090)	1.197(0.074)	1.206(0.061)	1.216(0.056)	1.233(0.055)
H_{max}/L_{max}	0.019(0.013)	0.033(0.016)	0.044(0.016)	0.049(0.015)	0.051(0.014)	0.051(0.012)

気象庁11地点における1987年

までの全資料から、 $H_{1/3}>5$

mとなる資料（ただし、 $T_{1/3}$

<16 s、 $T_{max}<16$ s、 $N>$

80という基準による）を選択した。

3. 波浪の統計的特性：表-1は各種代表波の波高比および周期比の平均値と標準偏差を波高の階級別にまとめたものである。これによると、 $H_{1/10}/H_{1/3}$ と $H_{1/3}/H_m$ は波高とともに若干増加し、高波高の場合にRayleigh分布に基づく理論値 $H_{1/10}/H_{1/3}=1.27$ 、 $H_{1/3}/H_m=1.60$ に近い値をとる。一方、 $H_{max}/H_{1/3}$ は波高とともに減少する。これは波高・周期の増大に伴う波数の減少のほか、波の非線形性の増加あるいは砕波に起因する。また、周期比の波高に伴う系統的变化は見出されず、観測結果の解析から従来得られているように、 $T_{max}\approx T_{1/10}\approx T_{1/3}\approx 1.2T_m$ が近似的に成立する。図-1は $H_{max}/H_{1/3}$ と $H_{1/3}$ の関係を示

$H_{1/3}$ m	5～6	6～7	7～8	8～9
Case 数	307	80	15	9
N	138(12)	129(10)	116(13)	101(8)
$H_{max}/H_{1/3}$	1.596(0.153)	1.557(0.139)	1.578(0.099)	1.550(0.112)
$T_{max}/T_{1/3}$	0.987(0.097)	0.998(0.093)	1.032(0.140)	0.945(0.137)
H_{max}/L_{max}	0.056(0.015)	0.057(0.013)	0.059(0.014)	0.064(0.014)

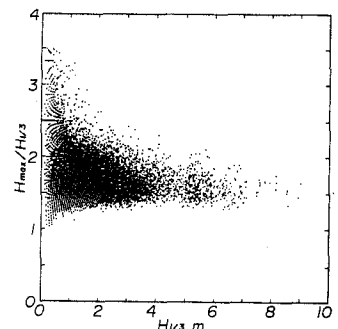


図-1

したものである。波高が小さい場合、いずれも非常に広い範囲にデータが散乱するが、波高の増加とともに急速に変動幅が減少し、ほぼ一定値に漸近する。この傾向は表-1の標準偏差の挙動からも明らかであり、 $H_{1/3} > 2\text{ m}$ では標準偏差はあまり変化しない。

さて、海洋構造物の設計に必要な波浪は、被災による壊滅的打撃を考慮するとき、有義波よりむしろ最高波の諸元であることが多い。しかし、波浪推算や波浪の極値統計解析で得られるのは有義波であることから、ここでは最高波と有義波の関係を調べる。図-2は波高階級(1 mごと)別 $H_{\max}/H_{1/3}$ の頻度分布の数例を示したものであり、図中には最大・最小値および平均波数も与えられる。また、図中の曲線は各図の平均波数を用いて計算したLonguet-Higginsの理論曲線である。 $H_{\max}/H_{1/3}$ は、 $H_{1/3}$ の増加とともにその変動幅が減少し、とくに高波高時には $H_{\max}/H_{1/3}$ の大きい部分が欠落し、 $H_{1/3} > 6\text{ m}$ では $H_{\max}/H_{1/3} > 1.9$ のデータは存在しない。また、理論曲線との対応をみると、 $1\text{ m} < H_{1/3} < 6\text{ m}$ では、 $H_{\max}/H_{1/3}$ の低い値をもつ資料がやや多いけれども、両者はかなり一致するといえる。

つぎに、各種波高比・周期比に及ぼすサンプリング間隔 $\Delta t/T_{1/3}$ ($\Delta t = 0.5\text{ s}$)および波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の影響を調べるため、全資料を $\Delta t/T_{1/3}$ および $H_{1/3}/L_{1/3}$ の小区間ごとに分けて、それらの平均値を図示したのが図-3であり、小区間の資料数が90以上のもののみを対象としている。これらによると、 $\Delta t/T_{1/3}$ に強く依存するのは $H_{\max}/H_{1/3}$ 、 $H_{1/3}/H_m$ 、 $H_{1/3}/H_n$ 、 $T_{1/3}/T_n$ であり、 $H_{1/3}/L_{1/3}$ に依存するのは $H_{1/3}/H_m$ 、 $H_{1/3}/H_n$ 、 $T_{\max}/T_{1/3}$ 、 $T_{1/3}/T_n$ である。ここで、 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の影響をみると、周期比は $H_{1/3}/L_{1/3}$ とともに減少するのに対し、波高比の $H_{1/3}/L_{1/3}$ に伴う変化傾向は $\Delta t/T_{1/3}$ の値により異なる。最後に、MTを貸与戴いた日本海洋データセンターに謝意を表します。

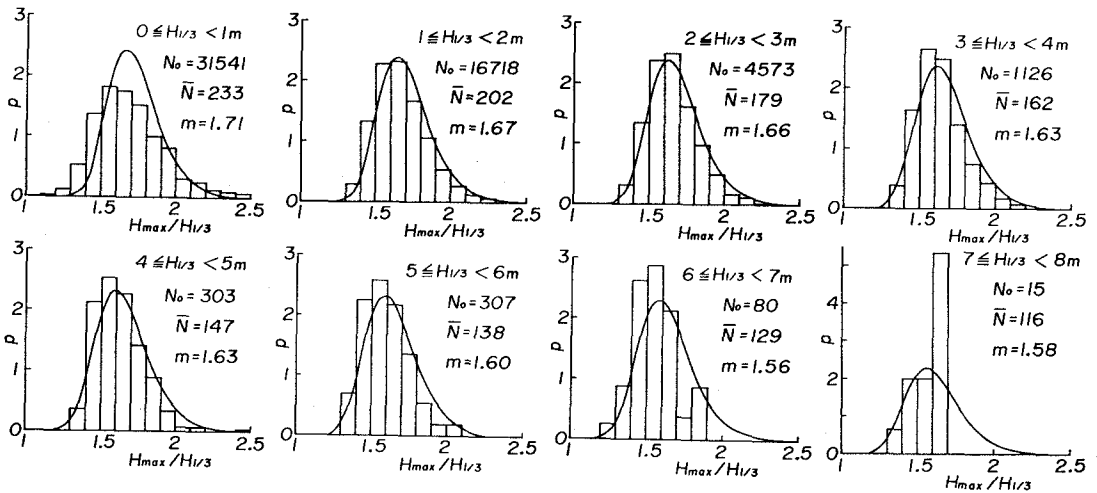


図-2

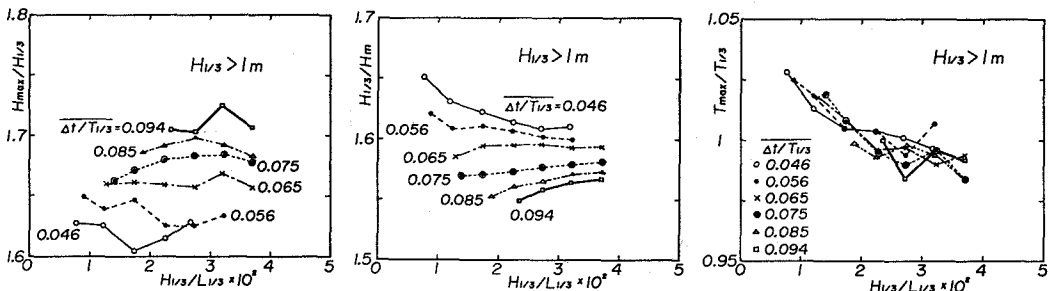


図-3