

京都大学工学部 正員 木村 晃

京都大学工学部 正員 岩田 雄一

1. 水位の確率特性: 一處で観測した不規則波の水位 $\eta(t)$ は一般に周波数が異なる微小な振幅をもつ多数の成分波の和として表わされることが多い。各成分波の初期位相角が、振幅・周波数に無関係に0から 2π の間に一様に分布するような定数であれば、中心極限定理により $\eta(t)$ は正規分布をすることが証明される。しかし、現地波浪の観測記録はほとんどの場合、正規分布に比して若干夏の歪みをもつことが報告されている。水の波本来の特性を考えると、むしろこの歪みは当然といえる。すなわち、波の運動は非線型ベルヌーイ式と自由表面での非線型境界条件を満足しなければならないし、それ以外にも碎波等の影響により、水位は無限に大きくはなり得ない。これらの条件が、定量的に不規則波の水面形にどの程度の影響を与えるかという点については明確にされていないが、定性的には規則波と同様に、峰が尖がり、谷の部分が平坦になるという結果を生じしめる。また、この効果は水深の減少にともなう一層顕著になり、その結果正規分布よりのずれは一層大きくなることが予想される。この研究はこうした水深の減少が不規則波の水位、特にその確率分布にどの程度の影響を与えるかという点をとりあげ、その分布形状の歪みを示す尺度として一般的に用いられているskewnessおよびkurtosisの変化をもとに検討したものである。

2. 琵琶湖における波浪観測: 京都大学工学部では、防災研究所と協同して、1975年3月より1976年3月まで、琵琶湖湖根地正および長成地正で、計14台の波高計を用いた大規模な現地観測を実施した。この研究では得られた記録のうち、特に湖根地正の、図-1に示すような丁線にほぼ直角な巨線上に並ぶ4台の波高計の記録を用いた。波高計の設置水深はW-1が1m、W-2が2m、W-3が3.5m、W-4が4mである。この正周の平均湖底内配は約1‰である。解折には3月21日から3月22日にかけて観測して得た17ケースの記録を用いた。なお、当日の波はW-1付近で碎波するものが多かった。

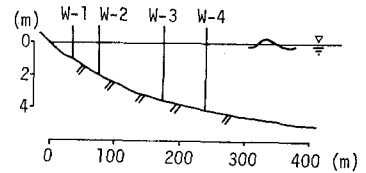


図-1 波高計の配置

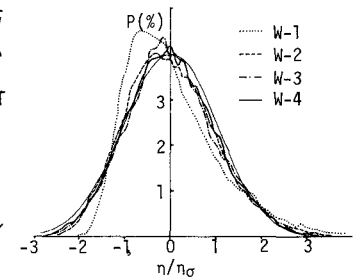
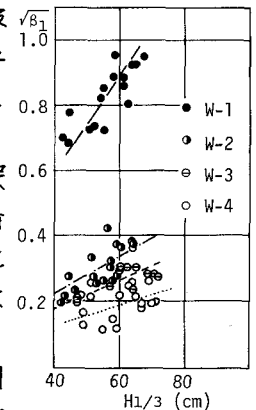


図-2 水位の頻度分布

3. 解折結果ならびに考察: 図-2は3月21日14時から15時10分まで観測した各水深の水位の頻度分布を示したものである。図中にあわせて示した正規分布と比較すると、各記録ともピーク付近で夏の歪みを示しており、水深の減少にともない、この傾向は著しくなっている。こうした頻度分布の歪みは不規則波の旧々の波の非対称性がつかさどって表れると考えるとよく、skewness $\sqrt{\beta_1}$ およびkurtosis β_2 と旧々の波の波形に非対称性を与える要素との間には何らかの相関があると思われる。柿沼ら¹⁾は大潟海岸での現地観測の結果、 $\sqrt{\beta_1}$ は有義波高 $H_{1/3}$ の増加にともなうて大きくなると報告している。図-3は $\sqrt{\beta_1}$ と $H_{1/3}$ の関係を調べたもので、水深が同じであれば、若干のばらつきはあるが、 $H_{1/3}$ の増加にもない $\sqrt{\beta_1}$ の値は大きくなる傾向がみられる。また、 $\sqrt{\beta_1}$ の増加の割合は水深が小さくなるほど大きくなることもわかる。しかし、 η の変化が波形におよぼす影響の程度は、波長との相対的な関係により定まるものであり、当日の来襲波のzero-up-cross法に基づく平均周期 T_m が約2.0~2.5 secと比較的狭い範囲に集中していることとあわせて考えると、水深が同じであっても、 $\sqrt{\beta_1}$ は常に $H_{1/3}$ のみの影響により変化するとは考えられない。規則波の場合、水面形の非対称性には、その波形勾配が主に関係することが知られている。図-3 $\sqrt{\beta_1}$ と $H_{1/3}$ の関係



不規則波についてこの点を検討したのが図-4であり、図は zero-up-cross法により決定した平均波高 H_m と平均周期 T_m をもとに微小振幅波理論を用いて計算した波長 L_m との比 H_m/L_m と $\sqrt{\beta_1}$ との関係を示したものである。各データは幾分散散しているがほぼ直線的に変化している。しかし、図より $\sqrt{\beta_1}$ におよぼす H_m/L_m の影響は非常に大きく、 H_m/L_m の変化に対して $\sqrt{\beta_1}$ は急激に変化することがわかる。この変化の程度は、規則波の場合に波形勾配が水面形の非対称性におよぼす影響よりかなり大きい。規則波の有限振幅浅海波理論によれば、波形その他の波の特性を決定する要素には、波高・波長(周期)の他に水深が必要であり、波高と波長による無次元量である波形勾配、さらに波高水深比、水深・波長比あるいは周期 T と水深 h に関する無次元量 $T\sqrt{g/h}$ がよく用いられている。ここでは $T\sqrt{g/h}$ をとりあげ

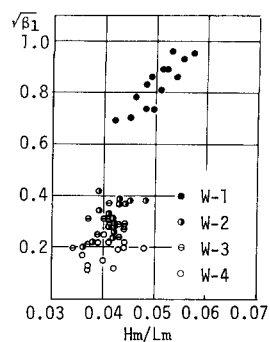


図-4 $\sqrt{\beta_1}$ と H_m/L_m の関係

考察してみる。図-5は平均周期 T_m を用いて計算した $T_m\sqrt{g/h}$ と $\sqrt{\beta_1}$ との関係を示したもので、図より明らかなように、両者の間にはかなり明確な関係が存在し、 $T_m\sqrt{g/h}$ の増加にともない $\sqrt{\beta_1}$ の値が徐々に大きくなっていることがわかる。また図中には波形勾配の影響を検討するため、4つの段階に波形勾配を区別して示してある。 H_m/L_m の幅は必ずしも広くなく、波形勾配による明確な差異はみられないが、それでも H_m/L_m が相対的に大きくなれば、 $\sqrt{\beta_1}$ が若干大きくなる傾向がみられるようである。しかし全体的にみれば、 $\sqrt{\beta_1}$ に対しては $T_m\sqrt{g/h}$ の方がより効果的なパラメーターとなっている。

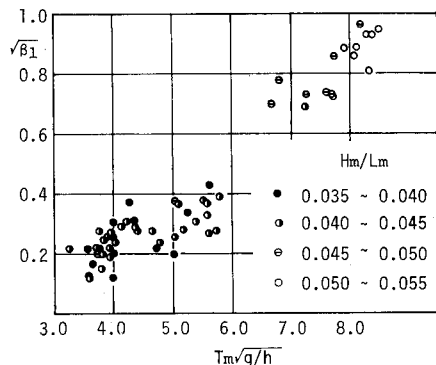


図-5 $\sqrt{\beta_1}$ と $T_m\sqrt{g/h}$ の関係

skewness とともに、kurtosis も波形の歪みを示す一つの尺度である。skewness の場合には、波の峰が尖り谷が平坦になればなるほど、水位の幾何分布は負の側に歪み、 $\sqrt{\beta_1}$ の値も大きくなるというように、統計量と波形の非線型性との対応が比較的明確であるが、kurtosis の場合にはこうした対応はつけにくい。しかし、規則波の波形をもとに、平均値に関する4次のモーメントを計算すれば、波形の非線型性が增大するほど、この値は大きくなる。したがって kurtosis も skewness と同じ特性を示すことが推定される。図-6はこの点を検討するため kurtosis と前述した $T_m\sqrt{g/h}$ との関係をプロットしたものである。図より、 β_2 の値はかなり散乱してはいるが、 $T_m\sqrt{g/h} = 5.0$ 付近でいったん小さくなり、その後 $T_m\sqrt{g/h}$ の増加にともない大きくなる傾向を示している。このように、 $T_m\sqrt{g/h} = 5.0$ 付近で値がいったん低下する現象は図-5でも若干みられるが、その理由は明らかでない。また、図-5と同様に H_m/L_m の値によりデータを4段階のランクにわけ示したが、この場合は H_m/L_m による β_2 の変化はとくに見い出せない。これらのことより、水深の変化にともなう skewness および kurtosis の変化に対しては $T_m\sqrt{g/h}$ が比較的有効なパラメーターとなり得ることがわかる。各ケースごとに検討すれば、水深の変化にともなう平均周期の変化はほとんどみられないこととあわせて考えると、水深の減少にともない、水位の確率分布のピークは正規分布に比して急峻になり、かつ負の側へしだいに歪んだ形状を持つようになることもわかる。最後に、この研究は文部省科学研究所による研究の一部であることを付記して謝意を示す。

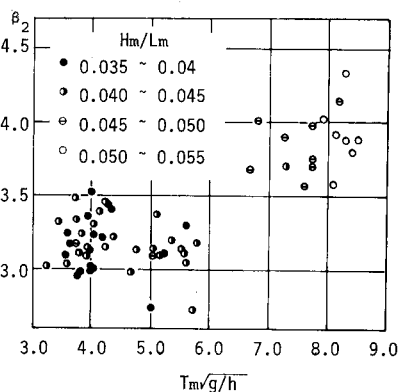


図-6 β_2 と $T_m\sqrt{g/h}$ の関係

理由が明らかでない。また、図-5と同様に H_m/L_m の値によりデータを4段階のランクにわけ示したが、この場合は H_m/L_m による β_2 の変化はとくに見い出せない。これらのことより、水深の変化にともなう skewness および kurtosis の変化に対しては $T_m\sqrt{g/h}$ が比較的有効なパラメーターとなり得ることがわかる。各ケースごとに検討すれば、水深の変化にともなう平均周期の変化はほとんどみられないこととあわせて考えると、水深の減少にともない、水位の確率分布のピークは正規分布に比して急峻になり、かつ負の側へしだいに歪んだ形状を持つようになることもわかる。最後に、この研究は文部省科学研究所による研究の一部であることを付記して謝意を示す。

参考文献： 神沼・石田・戸岡：オレノ海岸工学講演会講演集，pp.69~72，1968