

京都大学工学部 正員 木村 晃

京都大学工学部 正員 岩垣 雄一

1. はじめに: 不規則な波も海岸に來襲し、水深が減少するにつれて規則波と同様、波の峰が尖り、谷が平坦になるという特性を示し始める。この水面形の非線型性が水位の頻度分布におよぼす影響、特に正規分布からの歪みは普通、skewness を尺度として評価されることが多く、非線型性の増大とともに、この値が増大してゆくことがよく知られている。しかしながら、両者の定量的な関係については非線型性が非常に小さい (weakly non-linear) と仮定して Gram-Charlier 分布を導いた Longuet-Higgins の研究があるにすぎない。これらの研究は深海域における波を対象としたものであり、前述した浅海域にある強い非線型性をもつ不規則波とはおのずから取り扱いも異なるものである。一般に不規則な波は水深が減少するにつれて各成分波の波速が小さくなり、周波数による波速の差が小さくなって、波形の変化がなくなり、水深が一定であれば規則波と同様、波高・周期をほぼ一定に保ちつづける。したがって浅海域にある不規則波は、波高・周期のきつい規則波と同じ特性を持つと見なされることが多い。この研究はやはりこの仮定にもとづいて、但々の波のもつ非線型性が全体的として不規則波の水位の頻度分布におよぼす効果について検討するとともに、この仮定の妥当性についても論議する。

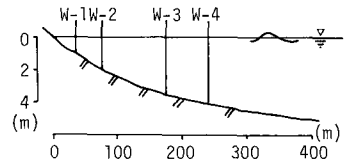


図-1

2. 現地波浪の観測記録: この研究で解析に用いたデータは、京都大学琵琶湖波浪観測グループが1995年から1996年にかけて琵琶湖芦根地区で得た観測結果である。特にここでは図-1に示すように、汀線に近しほぼ直角な直 (cm) 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であり、この区間の平均湖底勾配は約1/90である。解析には1995年3月21日から22日にかけて観測した17ケースのデータを用いた。当日の波はW-1より幾分岸側に砕波するものがあった。

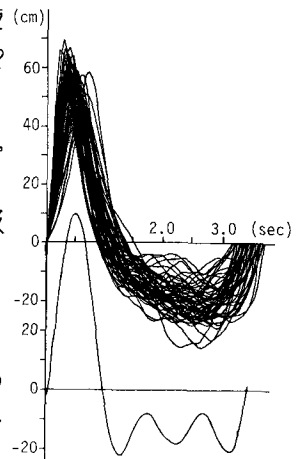


図-2

3. 解析結果ならびに考察: 前にも述べたように、水深の減少にともない不規則波も波の峰が尖がり、谷が平坦になるという特性をもち始める。図-2は3月21日4時から15時10分までW-1で観測した1471波 ($H_{1/3} = 67.0\text{cm}$, $T_{1/3} = 3.24\text{sec}$) のうち、 $76.0\text{cm} \leq H \leq 85.4\text{cm}$, $3.15\text{sec} \leq T \leq 3.72\text{sec}$ の域内に入る計60波の波を重ねて示したものである。同図の下部には上のランクに入る波の平均波高・平均周期である $H = 80.3\text{cm}$, $T = 3.43\text{sec}$ の条件で Skjelbreia による Stokes 波のオラ近似解を用いて計算した規則波の波形を示しておいた。図からわかるように、不規則波の波形は幾分かづいてはいるが、ほとんど例外なく前述した非線型特性を持っている。実測波形と理論曲線とを比較すると、実測波の方が波の峰および谷の位置で少しづつ理論波形より下に下がっているものが多いこと、波の峰が若干前かがみになっているものが多いなどの特長が見られるが、但々の波がゼロアップクロス法で定義した不規則波であることを考えると、理論曲線との相違は比較的良好であるといえる。つぎに図-3, 4は不規則波の波の峰高について検討したものであり、水底からの峰高と水深の比と波高・水深比の関係を示したもので、解析に用いたデータは3月22日10時から10時10分までの186波 ($H_{1/3} = 64.0\text{cm}$, $T_{1/3} = 3.06\text{sec}$) で、図-3はW-2、図-4はW-1の波高計で観測したものである。図中で上の細い実線は孤立波、下側の細い実線は微小振幅波の峰高・水深比と波高・水深比の関係を示したものであり、太い実線は Skjel-

breia の理論式をもとに計算したものである。またデータは図中に示したように水深と波長の比 h/L をのいきさまのランクにわけてプロットしてある。図からわかるように、W-2 で観測した波の波高水深比は比較的小さく、たかだか 0.4 程度であり、データは若干はらついてはいるが、 $H/h = 0.25$ 付近までは微小振幅波の峰高の関係式のまわりに分布しており、 $H/h = 0.3$ より大きな部分になるとこの関係より上にプロットされるデータの数が増加し、不規則波においてもこの付近から波形の非線型性が徐々に無視できなくなることがわかる。しかし、図からもわかるように、 h/L による差はあまり顕著でない。つぎの図-4 では水深が $1m$ とさらに浅くなるため、図-3 に比して非線型性の強い波が増加していることがわかる。 H/h の小さい領域では、データのばらつきが大きくなり、特に明らかに傾向を見いだすことは困難であるが、 H/h が 0.4 より大きな領域ではばらつきも幾分小さくなり、ほとんどのデータが微小振幅波理論による $(\eta_c + h)/h \sim H/h$ の関係より上にプロットされるようになってくる。しかしながら、図中に太い実線で示した Stokes 波の 3 次近似解による関係式より上にプロットされるデータは少なく、波高に占む峰高の割合は理論値より若干小さい値を示している。これは図-2 の部分でも指摘した特性である。図中の破線は倉田による規則波の実験値の平均的な傾向を示したものであるが、 $H/h \geq 0.5$ の部分では上に述べた理論曲線より大きくなり、次第に孤立波の関係式に近づいてゆく傾向を示している。不規則波のデータも幾分小さ目ではあるが、平均的な傾向はむしろこの実験曲線との対応の方が良いように見える。つぎに、このような孤立波の波の波形の歪みが水深の程度分布にあおよそ影響を推定するため、以下に示すような検討を行った。すなわち、ゼロアップクロス法で定義した同様の波をもつ規則波の波形がおきかえて、新たな不規則波形をつくり、これととの不規則波形の頻度分布とについて検討した。波形の計算には Stokes 波の 3 次近似解および hyperbolic 波理論を用いた。図-5 は両者の skewness を比較したもので、縦軸にものデータ、横軸に上述した方法による値をとってプロットした。図からわかるように、破線で示した両者の関係が等しい場合よりほとんどすべてのデータが下にプロットされ、若干のばらつきはあるが図中に直線で示したような関係がみられる。これと図-2, 4 の結果より、不規則波の同様の波のもつ非線型性は同じ波高・周期の規則波よりも幾分小さ目であり、波の峰および谷の高さは規則波よりもやや下になっている。図-6 は kurtosis の関係を示したものであるが、水深の減少によりその値は徐々に大きくなり、波形の非線型性とかかり密接な関係が存在することは明らかであるが、ここで示したような方法ではその値の定量的な評価は困難である。

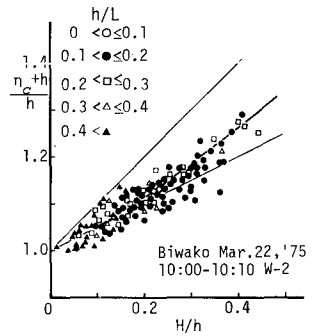


図 - 3

図-4 は水深が $1m$ とさらに浅くなるため、図-3 に比して非線型性の強い波が増加していることがわかる。 H/h の小さい領域では、データのばらつきが大きくなり、特に明らかに傾向を見いだすことは困難であるが、 H/h が 0.4 より大きな領域ではばらつきも幾分小さくなり、ほとんどのデータが微小振幅波理論による $(\eta_c + h)/h \sim H/h$ の関係より上にプロットされるようになってくる。しかしながら、図中に太い実線で示した Stokes 波の 3 次近似解による関係式より上にプロットされるデータは少なく、波高に占む峰高の割合は理論値より若干小さい値を示している。これは図-2 の部分でも指摘した特性である。図中の破線は倉田による規則波の実験値の平均的な傾向を示したものであるが、 $H/h \geq 0.5$ の部分では上に述べた理論曲線より大きくなり、次第に孤立波の関係式に近づいてゆく傾向を示している。不規則波のデータも幾分小さ目ではあるが、平均的な傾向はむしろこの実験曲線との対応の方が良いように見える。つぎに、このような孤立波の波の波形の歪みが水深の程度分布にあおよそ影響を推定するため、以下に示すような検討を行った。すなわち、ゼロアップクロス法で定義した同様の波をもつ規則波の波形がおきかえて、新たな不規則波形をつくり、これととの不規則波形の頻度分布とについて検討した。波形の計算には Stokes 波の 3 次近似解および hyperbolic 波理論を用いた。図-5 は両者の skewness を比較したもので、縦軸にものデータ、横軸に上述した方法による値をとってプロットした。図からわかるように、破線で示した両者の関係が等しい場合よりほとんどすべてのデータが下にプロットされ、若干のばらつきはあるが図中に直線で示したような関係がみられる。これと図-2, 4 の結果より、不規則波の同様の波のもつ非線型性は同じ波高・周期の規則波よりも幾分小さ目であり、波の峰および谷の高さは規則波よりもやや下になっている。図-6 は kurtosis の関係を示したものであるが、水深の減少によりその値は徐々に大きくなり、波形の非線型性とかかり密接な関係が存在することは明らかであるが、ここで示したような方法ではその値の定量的な評価は困難である。

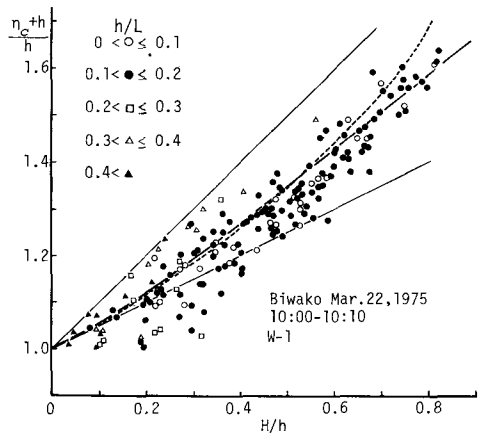


図 - 4

図-5 は両者の skewness を比較したもので、縦軸にものデータ、横軸に上述した方法による値をとってプロットした。図からわかるように、破線で示した両者の関係が等しい場合よりほとんどすべてのデータが下にプロットされ、若干のばらつきはあるが図中に直線で示したような関係がみられる。これと図-2, 4 の結果より、不規則波の同様の波のもつ非線型性は同じ波高・周期の規則波よりも幾分小さ目であり、波の峰および谷の高さは規則波よりもやや下になっている。図-6 は kurtosis の関係を示したものであるが、水深の減少によりその値は徐々に大きくなり、波形の非線型性とかかり密接な関係が存在することは明らかであるが、ここで示したような方法ではその値の定量的な評価は困難である。

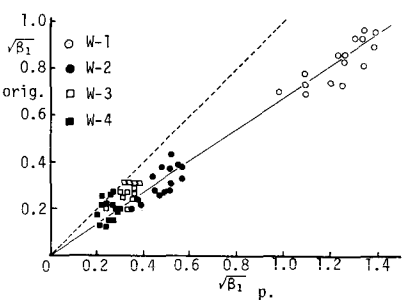


図 - 5

最後に、この研究は文部省科学研究費による研究の一部であることを付記して感謝の意を表す。

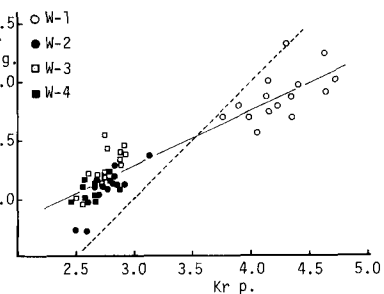


図 - 6