

京都大学 工学部 正会員 岩垣 雄一
 京都大学 工学部 正会員 ○酒井 哲郎

1. まえがき

すでに昨年度のオ 26 回年次学術講演会講演集¹⁾に、不規則波の水深減少による変形のオ 1 段階として、2つの単一波を重ね合わせた合成波の場合を実験的に取り扱った結果を同じ題目で報告したが、この研究はそのオ 2 段階として、連続なスパクトル分布を有する不規則波そのものの場合を対象とする。

昨年度の合成波の実験の結果から、その基本成分波高の水深減少にともなう変化は有限振幅波の shoaling の理論曲線から求められた規則波の基本成分波高の変化と定性的に一致すること、2次成分波高は水深の減少により基本成分波高と同程度の大きさまで増大し非線型干渉が顕現しえないことおよびその傾向は一樣水深での決田²⁾の理論値の傾向と定性的に一致することなどがわかった。この研究は、連続なスパクトル分布を有する不規則波そのもののスパクトル分布を構成する各成分のパワーの水深減少にともなう変化が、合成波の場合の成分波高の変化と同様に説明しうるかを実験的に確かめるとともに、とくに2次成分のパワーの増大をわき非線型干渉の程度を一樣水深での不規則波に関する決田³⁾の理論値と比較しながら検討する。さらに水深減少にともなう不規則波の水位および波高の強度分布の変化をも検討し、水深変化による不規則波の変形の現象の解明を試みる。

2. 実験装置 および方法

実験は、昨年度と同様京都大学工学部土木工学材料地下実験室の波浪実験水槽(長さ約 27m)を用いて行った。ただし、造波機としてはあらかじめ電気油圧式不規則波発生機^{4), 5)}も用いた。この不規則波発生機は入力電気信号として数種タイプのものも利用できるが、ここでは 0.2~5.0 Hz の 15 コの中心周波数を有するバンドパスフィルターを通過させて指定のパワースパクトル密度を有するように修正した雑音を用いた。水槽のほぼ中央から後端にかけて長さ約 9.4m 勾配 1/20 のアルミ製一様勾配斜面を設置した。波高計は電気抵抗線式のものも4台使い、うち1台は一樣水深部に、のこり3台は斜面上に設置した。4台の波高計の位置での水位の時間変化は、同時にデータレコーダによって記録した。パワースパクトル密度は数値計算により求め、データレコーダのアナログの記録は計算に先だて 0.08 sec ごとのデジタル記録に変換した。

実験において用いたバンドパスフィルターは、実験 No. 1~5 では 0.5~2.0 Hz のうちの1コを、No. 6~9 では 0.4~1.6 Hz のうちの2コを、No. 10 では 1.25~5.0 Hz のすべてを、No. 11 では 0.2~1.0 Hz のすべてを、No. 12 では 0.2~5.0 Hz のすべてを用いた。一樣水深部の水深はつねに 47cm とし、したがって静水面は斜面後端の高さで一致する。斜面上の3台の波高計のうち最も記録よりのものは当初砕波点に設置する予定であったが、不規則波の場合その砕波点を決定することが困難なもので、いずれのケースも水深 10.5 cm の点に設置し、他の2台も全ケースにわたって水深 3 cm および 20 cm の点に設置した。

3. 実験結果および考察

実験ケースのうち No. 10~12 は、数多くの成分を含み、合成波の場合の成分波高に相当する成分パワーを計算したバースパフトル密度の図から求めることが困難であるため、ここでは No. 1~9 のケースについて述べる。No. 1~5 は卓越周波数が1つの場合、No. 6~9 は2つの場合である。

(1) 1次成分パワーの変化

図-1は、No. 1~5 の卓越周波数 $f^{(1)}$ も有する最大パワーの成分（1次成分と呼ぶ） $S(f^{(1)})$ の水深減少に伴う変化を示したものである。ここで h は水深、 L_0 は周波数 $f^{(1)}$ の微小振幅波の沖波波長、 $S_0(f^{(1)})$ は $\sqrt{S(f^{(1)})/S_0(f^{(1)})}$ が一様水深部（一様水深部水深も h_1 で表わし他の3つの測定点も沖側から h_2, h_3 および h_4 と表わす）で微小振幅波の shoaling の理論曲線（図中一点鎖線）の値に一致するとして求めた水深での1次成分パワーである。

図中破線で示した曲線は、有振幅波の shoaling の理論曲線から求めた基本成分波高 $H^{(1)}$ の変化を示す理論曲線である¹⁾。また $f_{av}^{(1)}$ は、4つの測定点で $f^{(1)}$ が若干変動するためその平均という意味である。実験値のパラメータとしての $f_{av}^{(1)2} \cdot S_0(f^{(1)})^{1/2}$ という量は、次元を有してはいるが不規則波の1次成分の沖波波長形状配 H_0/L_0 に比例する量である。

図から明らかなように、いずれの場合も $S(f^{(1)})$ は水深減少に伴って減少するまたは一変増加した後減少しており、規則波の理論曲線（破線）の傾向と定性的には一致している。また、 $f_{av}^{(1)2} \cdot S_0(f^{(1)})^{1/2}$ の値が大きいほど一般に減少をはじめめるのは早い、たとえば No. 1 と 2 のようにその関係が逆のものもある。さらに、値そのものも規則波の場合の理論曲線（破線）の値とはかなり相違している。図-2は、No. 6~9 の2つのフィルターを用いた場合の2つの1次成分 $S(f^{(1)})$ の変化を示したものである。

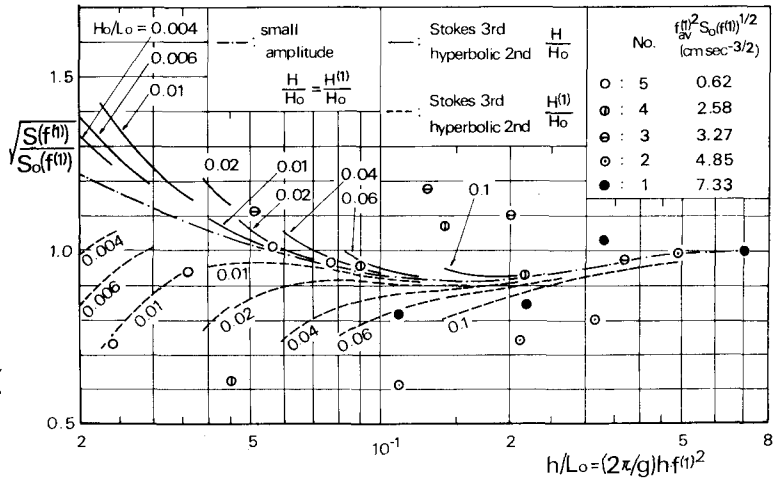


図-1 水深減少に伴う不規則波の1次成分パワーの変化 (1)

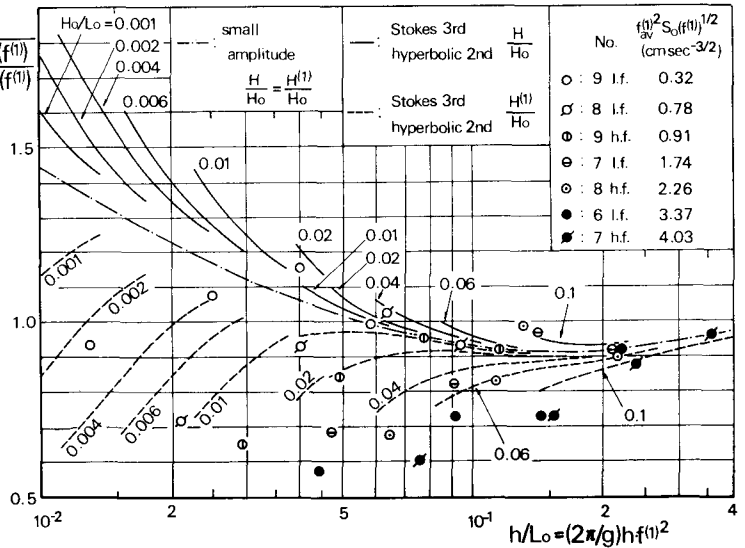


図-2 水深減少に伴う不規則波の1次成分パワーの変化 (2)

る。なお、 f_1 、 f_2 、 f_3 、とあるのは、各ケースの2つの1次成分のうち低周波数および高周波数の成分であることを示す。この場合は、図-1の単一の卓越周波数の場合とくらべて、1次成分パワー $S(f^{(1)})$ の値は、パラメータ $f_{av}^2 \cdot S_0(f^{(1)})^{1/2}$ の値によって例外なくその値が大きいか小さいかはよく減少し、しかも値そのものも規則波の基本成分の変化の理論曲線の値がほぼ等しい。パラメータ自身が規則波の場合の沖波形状勾配 H_0/L_0 と同一のものであることは量的には検討できないが、合成波の場合と同様少なくとも規則波の理論曲線と定性的には一致していることがわかる。

(2) 2次成分パワーの変化

2次成分パワーを、No.1~9のそれぞれのパワースパクトル密度の図から求める場合、No.6~9の2つの卓越周波数をもつ場合は、合成波の場合と違ってその2次成分をとり出すことが困難であったため、ここではとくにNo.2~5のケースについてすなわち2倍成分のみについてその変化を検討する。図-3は、各ケースの2倍周波数 $f^{(2)}$ でのパワー $S(f^{(2)})$ の変化を、図-1、2 と同様横軸に h/L_0 (ただしこの場合の L_0 は $f^{(2)}$ に相当する沖波波長) をとって示している。図を見て明らかのように、水深の減少とともに1次成分パワー $S(f^{(1)})$ との比 $S(f^{(2)})/S(f^{(1)})$ は増大するがこれは一度減少したのを増大し、No.2 と3の関係を除いてはパラメータ $f_{av}^2 \cdot S_0(f^{(1)})^{1/2}$ が大きいほどはやく大きくなり、非線型性の増大とともに2倍成分は1次成分と同じ程度の大きさにまで成長することからわかる。この傾向は合成波の場合と同じである。図中小さい・印を折れ線で結ぶことは、各測定点での基本成分パワースパクトル密度 (図-4の1次スペクトル) を与えて求めたその水深での規則波の2次成分パワーの理論値 (図-4の破線で示される2次スペクトル) である。合成波の場合と同様に、一様水深での理論値の変化の傾向は実験値と

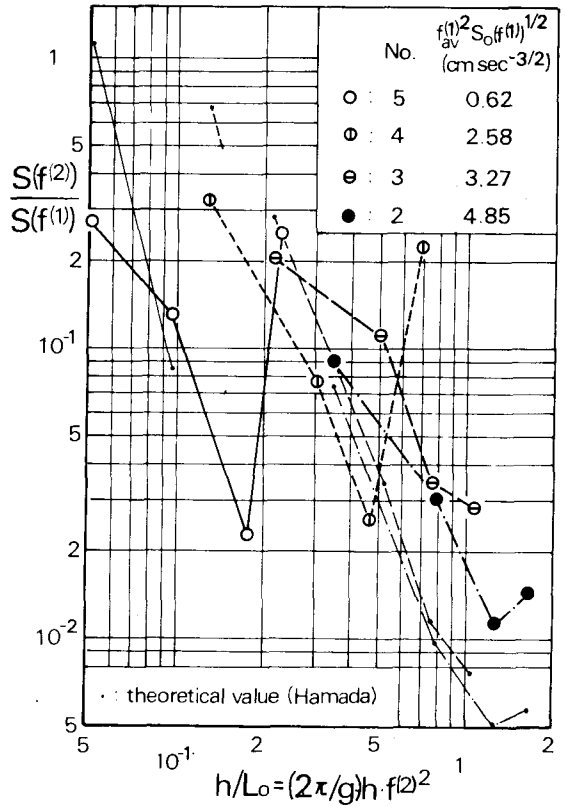


図-3 水深減少に伴う不規則波の2倍成分パワーの変化

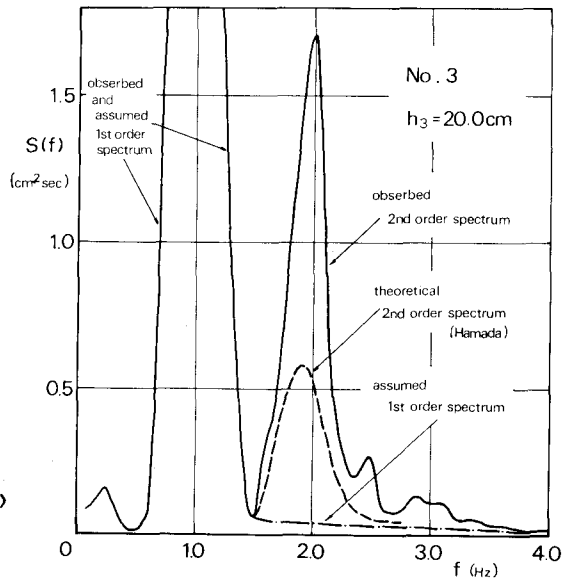


図-4 不規則波の2倍成分パワーの例

一致するが、値そのものにはかなりの相違がある。

(3) 水位および波高の頻度分布の変化

図-5 および 6 は、水位 η および波高 H の頻度分布の例である。図から明らかなように、この場合には水位の頻度分布は正規分布とは異なり η の逆側にそのピークがあり、非線型性が強く、述べていることがわかる。一方、その場合の波高（ゼロアップクロス法による）の頻度分布はほぼ Rayleigh 分布に一致しており、従来の観測の結果と同様水位の頻度分布そのものは非線型性の増大により正規分布からずれても波高の頻度分布はほぼ Rayleigh 分布をしていることがわかる。頻度分布は No.1~5 のケースについて計算したが、図-5 の場合のように水深が減少するにつれて水位の頻度分布が正規分布と相違するようになりそのピークが η の逆側にずれていく場合と、水深が減少してもほぼ正規分布を占める場合とがあり、一般的に傾向を論議することはできないが、一方、波高の頻度分布はいずれの場合も図-6 の場合と同様ほぼ Rayleigh 分布に一致しており、波高の頻度分布には非線型効果は直接影響をおよぼさないことがわかる。

以上の結果から、不規則波のうち卓越周波数が1つの場合は1次成分および2倍成分のパワーの変化と、また卓越周波数が2つの場合は1次成分パワーの変化と、合成波の成分波高の変化と同様、規則波の基本成分波高の変化の理論曲線および図(3)の同様水深での不規則波の2次元スペクトルの理論値により定性的に説明（うる）ことがわかったが、量的な評価を含めて未解決の向題も残っている。最後に本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記して謝意を表するとともに、実験および解析に協力して頂いた当時京都大学工学部学生森田哲生君に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 岩垣雄一・酒井哲郎：水深変化による不規則波の変形について，第26回年次学術講演会講演集第2部，土木学会，pp.15~18，1971-10.
- 2) 洪田徳一：表面波の2次干渉，第11回海岸工学講演会講演集，pp.12~18，1964-11.
- 3) 洪田徳一：表面波の2次干渉(2)，第12回海岸工学講演会講演集，pp.1~6，1965-11.
- 4) 岩垣雄一・村上仁士・酒井哲郎・木村晃：電気油圧式不規則波発生機について，第17回海岸工学講演会論文集，pp.409~414，1970-11.
- 5) 岩垣雄一・木村晃：任意のスペクトル構造を持つ不規則波の造波の研究，第27回年次学術講演会講演集第2部，土木学会，1972-10.

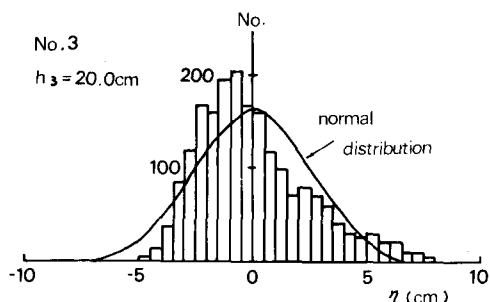


図-5 不規則波の水位の頻度分布の例

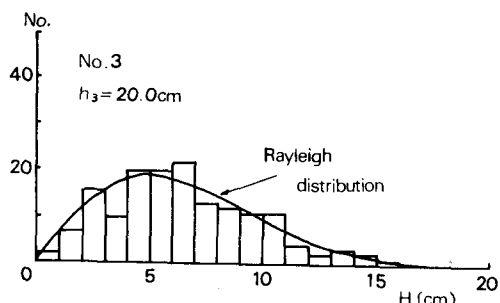


図-6 不規則波の波高の頻度分布の例