

一方向波列における Freak wave の内部特性

岐阜大学 正会員 安田孝志, 学生会員 森 信人・○中山晋一, 田中光宏

【1. 緒言】

海洋空間の開発が進むにつれ、特に大水深海域において単独で現れる非常に大きな波—'Freak wave'—が広く注目されるようになって来た。Freak wave の発生原因については、二方向からの波の重なり、島の背後での回折、非線形干渉によるもの等、諸説あり、その発生原因の絶対的な決め手に欠いている状態である。また、内部特性については、Freak wave 自体の観測例が稀な為、ほとんど分かっておらず、僅かに Sand *et al.*(1990) が、数例の観測結果を用いて検討を行っているのみである。そこで、本研究では、一方向非線形不規則波列の伝播シミュレーションを実施し、その結果を基に Freak wave の発生原因およびその内部特性の解明を図る。

【2. 計算手法と精度】

一方向波列における Freak wave の発生頻度については、Yasuda *et al.*(1992) により、3 次の非線形干渉による 4 波共鳴干渉が大きな影響を与えることが示されている。本研究では、Yasuda *et al.*(1992) 同様、West & Watson(1987) の方程式を用い、任意のスペクトル形状を持つ不規則波の長時間の伝播計算を行うことにより、不規則波列に及ぼす 3 次の非線形干渉の影響について検討を行う。計算条件としては、 $k_p a = 0.15$, $m = 5$ および 30, 位相を決定する初期乱数を 3 パターンの合計 6 ケースの初期波を生成し、無限水深の下で伝播計算を行った。ここに、 k_p は初期スペクトルのピークモードの波数、 a は $(H_{1/3})/2$, m は Wallops スペクトルのバンド幅パラメーターである。

【3. 一方向不規則波列の Freak wave の発生原因】

図-1 に、上述の手法で得られた典型的な Freak wave の波形を示す。図中の $\chi = \eta_c/H$ は波形の上下非対称性を、 $\kappa = H_i / \{(H_{i-1} + H_{i+1})/2\}$ は隣り合う波高に対しての突出性を表すパラメーターである。現在、Freak wave の定義としては有義波高の 2 倍を超えるものが一般的であるが、図-1 の Freak wave は典型的な Freak wave の条件である $\chi > 0.65$, $\kappa > 2$ を満たすものである。波列の中で、矢印で示した波が Freak wave であり、一見して極端な上下非対称性を持ち、前後の波に対して異常に突出した波であることが分かる。図-1 の波形のスペクトルに対してピーク波数の 2 倍高調波以上の波数をカットしたものが図-2 に示す波形である。高調波をカットしたことにより、波列は平均水面に対して対称になっており、Freak wave の極端な上下非対称性は 2 次以上の高調波によって造り出されたものであることが分かる。さらに図-1 の波形に対して、バンドパスフィルター ($0.8k_p < k < 1.5k_p$) を用いたところ、このような狭帯化によっても急峻な波群つまり波形の突出性は失われておらず、異常な突出性がサイドバンドによる変調により生じていることが分かる。

これらの結果より、Freak wave の特徴である異常な突出性は、4 波共鳴干渉により励起されるサイドバンドの変調によるものであり、さらに、もう一つの特徴である極端な上下非対称性は、非線形性によって生じる高調波が造り出ものであることから、一方向波列に於ける Freak wave の主たる出現原因は 3 次の非線形干渉であることが理解できる。

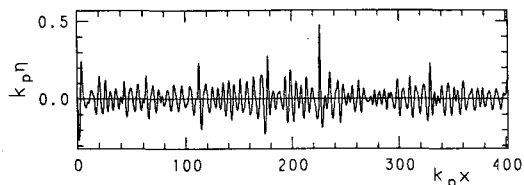


図-1. 一方向波列における Freak wave の出現例
($m=30$, $H_{max}/H_{1/3}=2.23$, $\kappa=4.76$, $\chi=0.72$)

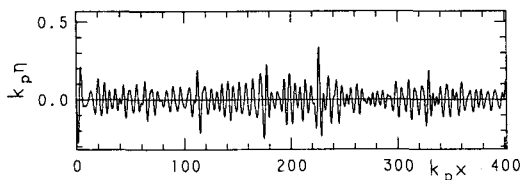


図-2. 図-1 の波形に対して高波数モード ($k/k_p > 2$) をカットした場合

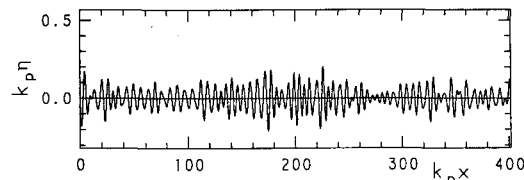


図-3. 図-1 の波形に対してバンドパスフィルター ($0.8 < k/k_p < 1.5$) を使用した場合

【4. Freak wave の出現時間】

Freak wave を定常波と同様な扱いをすべきなのか、もしくは、特別に非定常な扱いが必要なのかという問題は、構造物に対する波力の算出をする上で、重要な問題である。ところが、これまでの現地観測によって得られた Freak wave の計測データは、1 測点における時間波形であり、その発生から消滅に至るまでのメカニズムについては、全く明らかにされていない。そこで、シミュレーション波形を基に Freak wave の発生から消滅の過程について検討を行う。図-4 は、Freak wave を含む波列の一部を取りだし、その時間発展を示したものであり、矢印で示した区間が $H_{max}/H_{1/3}$ が 2 を超える場所で、出現時間は $t/T_p = 0.88$ である。ところが、シミュレーション上で生じる Freak wave の出現時間は、 $t/T_p =$

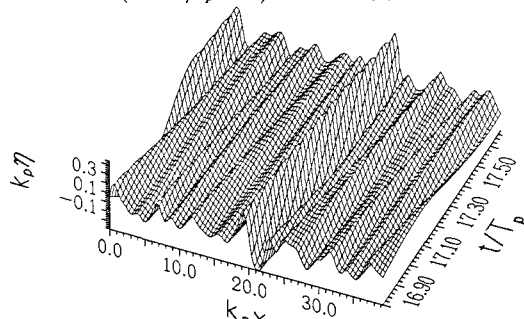


図-4. Freak wave の発生から消滅までの時間変化 ($m = 5$)

0.02 ~ 1.5 と瞬間的に現れるものから、かなり長時間存在するものまで様々であり、そのメカニズムの定量化は難しい。しかし、図-4 から分かるように、Freak wave の出現が短時間であっても、それは突然形成されるものではなく、徐々に造り出されていくものであり、ゼロクロス法による波高の定義がその出現時間の多様性を造り出しているのではないかと考えられる。この形成の過程については、さらなる検討が必要である。

【5. Freak wave の内部特性】

前節より、Freak wave が突発的に形成されるものではなく、比較的長い時間を経て出現することが明らかになった。そこで、ここでは、その非定常性について、水粒子速度を定常解によるものと比較することにより検討を行う。現地における Freak wave の水平方向の水粒子速度は Sand *et al.*(1990) によって数例観測され、平均水面以下に於いては、Stokes 波 (5 次近似解) と比較的良く合うのに対し、自由表面近傍については Stokes 波では過小評価であることが報告されている。しかし、Freak wave の静水面上の水粒子速度を正確に計測することは、その出現が稀であることに加え、観測精度および測点の制約などから非常に困難であり、内部特性についてはほとんど明らかになっていないのが現状である。ここでは、ある時刻の Freak wave の波形とポテンシャルから計算される Freak wave の正確な水平方向の水粒子速度の鉛直分布と、その波形より、ゼロダウン法で定義された見かけの波形勾配 $(ak)_f$ を計算し、同様な波形勾配 ak を持つ定常解および波形から直接線形フィルターを用いて得られる値とを比較し、特に、重要な平均水面以上の内部特性について検討を行う。

図-5 は、上側の図の○印で示した Freak wave の峰に於ける水平方向の水粒子速度の鉛直分布をそれぞれ $m=5$ および 30 について、それぞれ、実際の波形から線形フィルターを用いて計算されたものと Stokes 波の解 (5 次近似解) を附せて示したものである。その結果、Freak wave の峰に於ける水平方向の水粒子速度は、定常波である Stokes 波と比較して、波列が狭帯スペクトル ($m=30$) の場合には全体的に小さいのに対して、広帯スペクトル ($m=5$) の場合には、平均水面下で小さく、自由表面近傍に於いて 10% 程度大きいだけでなく分布形状が大きく異なることが分る。この水粒子速度の差異は、 $m=5$ のケースの方が $m=30$ のケースに対して、波形勾配 $(ak)_f$ の値が小さいのにも関わらず水粒子速度が、自由表面近傍で 15% も大きいという点から考えると、不規則波列と規則波列の違いだけでは無く、Freak wave の持つ非定常性に起因しているのではないかとと思われる。より現地のスペクトル形状に近い $m=5$ のケースに於いて、定常解との差異が大きいため、Freak wave の水粒子速度の評価に対しては、Stokes 波よりも実際の波形から計算される線形フィルターの値に何らかの補正を加えた方が良く適合することが分る。そして、 $m=5$ のケースは、Sand *et al.*(1987) が示した現地の観測データによるものとよく似ているが、Sand *et al.* が自由表面近傍での Freak wave の水粒子速度の増大が砕波によるものとしているのに対し、この様に、保存系に於いても同様な結果が得られたことから、砕波の影響と言うよりも Freak wave が持つ非定常波としての特徴なのではないかとと思われる。

【6. 結語】

以上、数値計算の結果を基に、Freak wave の発生原因が 3 次の非線形干渉であることを明らかにするとともにその内部特性について検討を行った。

【参考文献】

- ◇ S.E. Sand. (1987) 'Analysis of prototype freak waves, in Coastal Hydrodynamics (Ed. R.A. Dalrymple, ASCE), pp.618-632.
- ◇ Sand, S.E. *et al.* (1990) 'Freak wave kinematics', in Water Wave Kinematics (Eds. A. Tørum & O.T. Gudmestad, Kluwer Academic Publishers), pp.535-549.
- ◇ West, B.J., K.A. Brueckner & R.S. Janda (1987) 'A New Numerical Method for Surface Hydrodynamics', J.G.R., vol.92, pp.11,803-11,824.
- ◇ Yasuda, T. N.Mori, K.Ito (1992) 'Freak wave in unidirectional wave trains and their properties', Proc.23th ICCE'92.

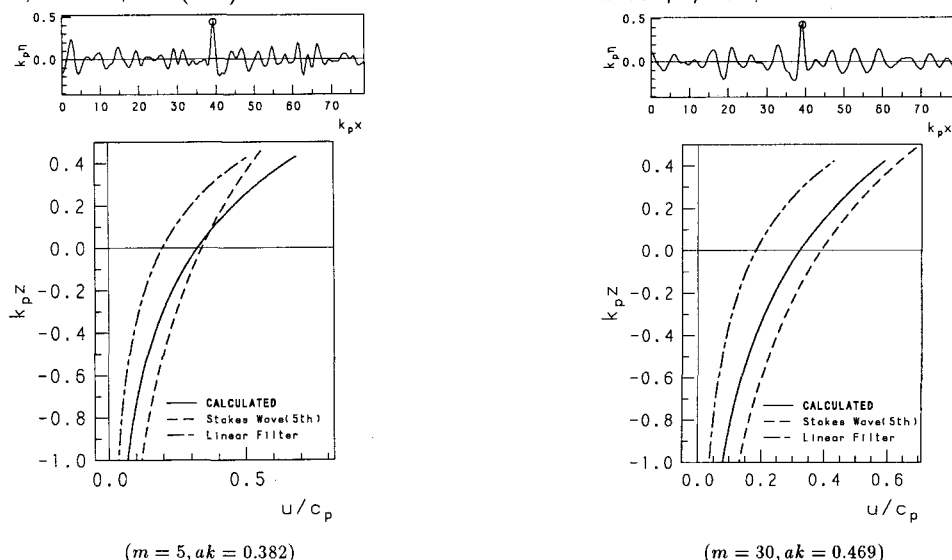


図-5. Freak wave の水平方向水粒子速度の鉛直分布