

海洋における巨大波浪の予知と回避に関する研究

Study on forecast and evading of Freak wave

木下 健 (KINOSHITA TAKESHI)

東京大学・生産技術研究所・教授



研究の概要

巨大波の予知及び回避を実現するために巨大波発生指標を水槽試験と数値シミュレーションを用いて確立する。実海域波浪観測実験を行いフリーク波の発見と我々の提案する指標の実証を行う。波浪計算によりその指標を予測し回避のための情報支援するシステムを開発する。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：フリーク波、三角波、ログウェイブ

1. 研究開始当初の背景

突発性巨大波による海難事故は相変わらず世界各地で起きている。その原因は巨大波の発生メカニズムが不明なためである。メカニズムの候補として、海洋波エネルギーの幾何的集中や波長による波速の違いによる集中と、水面の非線形効果が挙げられていたが、フリーク波の発見法が確立されていないため、定説に至っていない。

2. 研究の目的

巨大波の予知及び回避を実現するために巨大波発生のメカニズムを、前記の水面の非線形効果に着目して方向不規則波の水槽試験と、直接計算と新たに開発する **Large Wave Simulation** の数値シミュレーションを融合利用して発生指標を確立することを目的とする。さらに、その指標を予測計算することで回避システムを構築する。

3. 研究の方法

具体的な研究内容は以下の通りである。

- ・1次元の弱非線形理論を多次元に拡張する。
- ・砕波、風、流れの影響のパラメタライズをする。
- ・水槽実験及び海洋観測、数値シミュレーションにより指標を検証する。

さらに **Freak** 波の発生頻度が卓越する海況に関する観測データは限られているので、海難事故発生時を **Freak** 波が発生しやすい状況と仮定し、事故時の波浪場の解析を、第

三世代波浪モデルを用いて行う。方向スペクトルの推定を行うので、モデルからはフリーク波の発生頻度に資する、波形勾配、周波数バンド幅、方向分散性などのパラメーターが推定される。

多数の事故時の波浪場の解析を行うとともに、多方向照射式パルスドップラーレーダによる実海域波浪観測実験を行いフリーク波の発見と我々提案の指標の実証を行う。

フリーク波の発生予測結果から船上の航海支援のためのシステムを構築する。

4. これまでの成果

主たる成果を以下にまとめる：

成果1 フリーク波（有義波高の2倍を超える波）の発生頻度は、不規則波の方向分散性が狭くなるに従い、高くなる。

成果2 水位変動の4次のモーメント

（**Kurtosis**）は、不規則波の方向分散性に依存し、有る閾値を境に、波浪スペクトルが狭くなると、急激に上昇する。

成果3 不規則方向波の不安定度の指標（非線形性と分散性の比 **Benjamin-Feir Index**）を拡張し、方向スペクトルの **Effective Wave-number** と、4波共鳴のエネルギー交換係数を考慮に入れた新しい指標「**Effective Benjamin-Feir Index**」を提唱した。

成果4 不規則波における、共鳴相互作用と準共鳴相互作用の役割を、方向スペクトルの方向分散性の関数として示した。

成果5 成果1, 2の結果を、ノルウェーで

独立に行われた実験結果と比較し、水槽形状や造波方法に依存しないことを確認した。

成果1-5からの帰結として、以下の仮説を提案する：

仮説 平均的な海洋波の方向分散性は広く、フリーク波の発生確率は既存の統計理論で説明しうるが、風の場の変動や海流の影響など特殊な気象・海象条件下で、非常に狭い波浪スペクトルが実現し、フリーク波の発生頻度が高くなる

どのような気象・海象条件がフリーク波の発生頻度の高い海域 (Freakish Sea State) を作りうるかを探るため次のことを行った。フリーク波の発生頻度が卓越する海況に関する観測データは限られている。そこで、海難事故発生時をフリーク波が発生しやすい状況と仮定し、事故時の波浪場の解析を、第三世代波浪モデルを用いて行った。方向スペクトルの推定を行うので、モデルからはフリーク波の発生頻度に資する、波形勾配、周波数バンド幅、方向分散性などのパラメータを推定する。

成果6 2008年に日本東方で起きた漁船第58寿和丸の海難事故時の波浪場の変遷を推定し、停滞する梅雨前線から伝搬したうねりと、寒冷前線の通過に伴う局所的な風波との相互作用により、うねりのエネルギーが急成長(4時間程度)し、フリーク波の発生頻度が高くなることが分かった。

成果7 1980年、大型貨物船尾道丸が日本東方で波高20mを超える波に遭遇し、船首が折損するという事故が起きた。再現された波浪場から、強風帯が西から東に移動するという特殊な風況下で、事故現場での波浪の周期は変わらずに、エネルギーだけが上昇するというフリーク波の発生しやすい海況であったことが分かった。

すなわち前記の条件が大波による海難事故時と強く相関していることを示し、フリーク波の発生メカニズムの一つが、本研究で示している現象であることを示した。そして、波浪予測によりフリーク波予測への可能性を示した。

5. 今後の計画

本研究の中核となるフリーク波のメカニズムの解明と、その指標の確定にこの3年で目処がついた。残りの2年でLarge Wave Simulation(LWS)による数値シミュレーションとの融合を進め、碎波、風、流れの影響をパラメタライズするこ

とにより定量的な精度を高め、フリーク波の予報を可能にできると考える。その準備は完了している。

Freak Waveの広域での発見と実証については、事故時の波浪場の解析をつづけることと、多方向照射式パルスドップラーレーダを相模湾平塚沖の東京大学平塚沖総合実験タワー設置して、実海域波浪観測実験を行いフリーク波の発見と我々の指標の実証を行う。その準備は完了している。

巨大波回避と運航管理システムについては、上記項目が完成すれば、既に試作のシステムに組み込むことで容易に達成できる。

6. これまでの発表論文等

[雑誌論文] (計10件)

・ Evolution of a Random Directional Wave and Freak Wave Occurrence, Waseda, Kinoshita and Tamura, *J. Phys. Oceanogr.*, **38**(3), 621-639, 2009

・ Interplay of resonant and quasi-resonant interaction of the directional ocean waves, Waseda, Kinoshita and Tamura, *J. Phys. Oceanogr.*, **39**, 9, 2351-2362, 2009

・ Statistical Properties of Directional Ocean Waves: The Role of the Modulational Instability in the Formation of Extreme Events, Onorato, Waseda, Toffoli, Cavaleri, Gramstad, Janssen, Kinoshita, Monbaliu, Mori, Osborne, Serio, Stansberg, Tamura, and Trulsen, *Phys. Rev. Lett.*, **102**, 114502, 2009

・ Freakish sea state and swell-windsea coupling: Numerical study of the Suwa-Maru incident, Tamura, Waseda, and Miyazawa, *Geophys. Res. Letters*, **36**, L01607, doi:10.1029/2008GL036280, 2009

・ 連続波ドップラーレーダによる海洋波浪観測と波浪観測に及ぼすレーダ照射幅の影響、林昌奎、日本船舶海洋工学会論文集、第8号、61-69、2008

・ マイクロ波ドップラーレーダによる実験水槽波浪観測、林昌奎、日本船舶海洋工学会論文集、第6号、65-73、2007

[学会発表] (計12件)

・ 風波初期発達の数値シミュレーション、広部智之、川村隆文、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第8号、517-520、2009

ホームページ等

無し