

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 1日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360196

研究課題名（和文）実海域を対象とした異常波浪予測モデルの確立

研究課題名（英文）PREDICTION OF EXTREME WAVES FOR REALISTIC WEATHER CONDITION

研究代表者

森 信人 (MORI NOBUHITO)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：90371476

研究成果の概要（和文）：

本研究は、海岸・海洋における想定を超える高波である異常波浪の発生頻度を予測する手法の開発とその危険海域の特定を行った。嵐の中の最も大きな波である最高波高について、線形および非線形効果を考慮しつつ現地観測データをもとに分布形状の推定を行った。得られた結果をもとに全球の波浪推算を実施し、危険海域の特定を行った。偏西風や季節風の影響を強く受け、波齢が若く吹送距離が短い、発達過程の風浪が高頻度で存在する海域では、異常波浪の出現ポテンシャルが高いことがわかった。

研究成果の概要（英文）：

Extreme waves such as freak waves are studied to predict occurrence probability and dangerous area. The semi-empirical formula is proposed to estimate the maximum wave height in the wave train considering linear and nonlinear effects of random gravity wave train. The proposed formula is verified by the observed wave data in the ocean. A series of numerical simulation was performed to estimate dangerous area in the global scale. It is found that the westerly winds or seasonal storm areas, young wave age and short fetch, are possible dangerous area to potentially expect occurrence of extreme waves.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2011年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2012年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：Freak wave, 異常波浪, 最大波高, 方向スペクトル, 非線形干渉

1. 研究開始当初の背景

有義波高の2倍を超える高波はFreak waveと呼ばれ、多くの海難事故の原因とされることが多い。最近の被災としては、2010年に客

船Louis Majesty号がスペイン沖で高波を3回受け、乗客2人が死亡、14人が負傷した例がある。また日本周辺においても、2008年千葉県犬吠埼沖の第58寿和丸、2009年長崎県平

戸市沖の第 11 大栄丸の沈没について、Freak wave の影響が海難審判所の事故報告書で示唆されている。

Freak wave のような想定を超える異常波浪の予測は、理論的には波列中の最も大きな波の高さ、つまり最高波高を予測することであり、

- 1) 線形重ねあわせ
- 2) 非線形相互作用による増幅

の 2 つの支配要素が混在する中での予測理論を確立することである (例えば Dysthe ら 2008)。挟帯スペクトルを持つ線形波については、波高についての Rayleigh 分布をもとにした最高波高の分布が用いられる。このため、線形波における最高波高の分布は波列中の波の数 N に依存するが、実際の観測値のアンサンブル平均は、Rayleigh 分布よりやや安全側になることが知られている。一方、3 次の非線形干渉の 4 波準共鳴が卓越する条件では、水面変位の 4 次モーメント kurtosis が増加し、Rayleigh 分布と比較して最高波高の分布は危険側に変化する (Mori・Janssen, 2006)。

2. 研究の目的

本研究では、有義波高の 2 倍を超える異常な高波を Freak wave と定義し、その発生頻度を予測する手法を開発する。第 1 の目的は波浪のスペクトルと最大波高の関係を理論的に定式化すると共に、観測データをもとに理論では記述できない差異について補正を試みる。得られた予測式を用いて数値実験を行い、全球における異常波浪の出現海域の特定を行う。最後に、浅海域における以上波浪の出現特性について議論を行い、深海域から浅海域に渡る異常波浪の出現特性について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

不規則波の統計的特性について、線形・非線形の影響は理解が進んでいるが、両者の影響を含み、かつ実際の海洋における波浪を記述できる定量的な予測方法は確立していない。そこで、実用的な Freak wave の予測を可能とするため、観測データをもとに線形・非線形効果を含む最高波高について、理論的考察をベースに現地観測データによる補正を加えて推定式を提案した。ついで、全球を対象にハザードマップの作成を行い、危険海域の特定を行った。最後に、浅海域での影響についても検討を行った。

4. 研究成果

(1) 観測データに基づく Freak wave の出現特性の解析

現地観測データの解析には、全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) の波浪観測データを用い、この中で、日本海および太平洋沿岸合

計 6 観測地点 (設置水深 50m) を解析対象として選定した。解析対象とした 6 測点の計測は、超音波ドップラー海象計により行われ、対象とした観測期間は 2001~2005 年、各測点 0.9~1.7 万回、合計 7.9 万回の観測値を対象に解析を行った。

最高波高や Freak wave の出現頻度を推定す

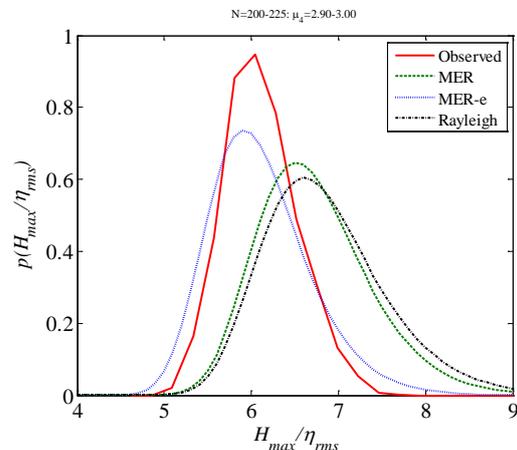


図-1 $H_{\max}/\eta_{\text{rms}}$ の確率密度分布
(実線: 観測データ, 破線: 非線形理論 (Mori and Janssen, 2006), 点線: 今回提案, 一点鎖線: 線形理論)

る要素を確認するために、解析した全波浪統計量について相互相関を調べた。波浪統計量の中で $H_{\max}/\eta_{\text{rms}}$ (H_{\max} は最高波高, η_{rms} は水面変位 η の rms 値) と有意な相関が見られたのは波の数 N と kurtosis だけであった。観測データをもとに、最高波高の分布が N と kurtosis に依存すると仮定し、Weibull 分布型の最高波高分布の推定を行った。分布形状係数を、観測データの波 N および kurtosis 毎に最小二乗法により最適化した。

観測データより最小二乗法を用いて N および kurtosis 毎に求められた最高波高の確率密度分布の形状係数は、 N と kurtosis の増加に対してほぼ線形的に変化する。 N に対する分布形状係数の変化は、線形波理論におけるスペクトル幅による最大波の出現確率の変化に対応し、kurtosis に対する分布形状係数の変化は、非線形効果による波高増幅作用に対応するものである。後者が kurtosis に対して線形に増加することを理論的に確認した。

この結果をもとに、 $H_{\max}/\eta_{\text{rms}}$ について波の数 N と kurtosis の値で分類し、それぞれの区分内において最高波高 $H_{\max}/\eta_{\text{rms}}$ の確率密度分布を計算した。例として強い非線形の条件の結果を図-1 に示す。線形理論および従来の非線形理論のいずれも観測値とのずれが大きい。本研究で得られた最高波高の確率密度分布は、非線形の影響が考慮されているだけでなく、従来の非線形理論で見られたバイアスが軽減されており、観測データに見られる非

線形の影響をよく追従している。

ついで、外洋から来襲するうねりやフェッチの影響を比較するため、太平洋および日本海側にデータセットを分けて同様の解析を行った。太平洋および日本海側のデータに大きな差異は見られず、風波、うねりを問わず、本研究で提案した最高波高の確率密度分布の適合性が高いことを確認した。

以上の結果、観測データをもとに、最高波高分布の最適化を行った結果、最高波高分布やその期待値を精度良く推定することを可能とした。さらに、得られた結果を Freak wave の出現頻度の推定に応用し、従来の推定式と比べて Freak wave の発生頻度を、精度良く予測することが可能であることを明らかにした。

(2) 全球ハザードマッピング

(1) の結果を元に、波浪の方向スペクトルに着目して、全球を対象に波浪解析を行い、Freak wave の出現特性、特に発生ポテンシャルの高い海域や季節についての検討を行った。波浪解析には、デルフト工科大学開発のスペクトル型波浪モデル SWAN (Booij, 1998) を用いた。外力として JRA-25 (Onogi ら, 2004) の海上風 U_{10} を与え、全球を対象に空間解像度 1 度、周波数 36 分割、方向分布 36 分割の計算条件で波浪推算を行った。解析期間は 2003-2009 年の 6 年間とした。

Freak wave に着目した全球波浪推算を行い、その発生海域と季節の特定を行った。推定した kurtosis の有義波高依存性を図-2 に示す。数値計算の解析結果より、北西太平洋および北西大西洋の西側海域で Freak wave の出現ポテンシャルが高いことがわかった。これらの海域では、偏西風や冬季季節風の影響を強く受け、波齢が若く、吹送距離が短い、発達過程の風浪が高頻度で存在する海域では、Freak wave の出現ポテンシャルが高いことがわかった。このような海域は、北半球の大陸東沿岸に広く見られる。一方、南半球ではこれに相当する海域は少なく、南北半球で偏った分布が見られた。

(3) 浅海域における出現特性

深海域や浅海域、深海域から汀線までを伝播する一方向波列を対象に、Freak wave の出現に対する水深変化に着目した断面水路実験を行い、Freak wave と水深変化の関係について明らかにした。実験は、長さ 35m、幅 0.6m、高さ 1.3m の断面水路内に、深海域から汀線までを想定した海底地形(一様水深地形、1/20 一様勾配斜面地形、2 勾配斜面地形、ステップ地形)を模型により再現し、一方向不規則波列を造波して水路内の波形変化を計測した。

斜面を伝播する不規則波の実験結果より、

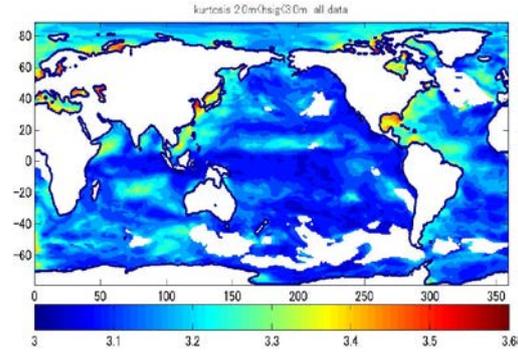


図-2 推定した冬季平均 kurtosis の波高依存性

水深 h を波数 k で無次元化した水深 $kh > 1.36$ となる海域では、3 次の非線形干渉により kurtosis が増大し、その変化に依存して最大波高が大きくなり、伝播距離が長いほど Freak wave が出現する可能性が高くなる。一方、 kh が 1.36 を下回ると、浅水変形に伴う 3 次の非線形干渉の影響を受けて最大波高の kurtosis 依存性が弱くなるが、地形によっては深海域の影響が大きく残ることがわかった。

上記のように kh を転移点とした 2 つの海域から、深海域から浅海域に伝播する Freak wave の出現特性を整理できることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 19 件)

1. Mori, N. (2012) Freak waves under typhoon conditions, *Journal of Geophysical Research, Ocean*, Vol.117, C00J07, 12pp. doi:10.1029/2011JC007788
2. 森 信人・道前武尊・島田広昭・安田誠宏・間瀬 肇(2012) : Freak Wave を考慮した波浪推算と全球における出現特性について, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.68, No.2, pp.I_111-I_115.
3. 大久保陽介・間瀬 肇・辻尾大樹(2012) : 波の遡上を考慮した強非線形ブシネスクモデルの現地海域への適用, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.68, No.2, pp.I_016-I_020.
4. 森 信人・山口 翼・中條壮大・安田誠宏・間瀬 肇(2012) : 風波の方向スペクトル幅の現地観測, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)* Vol.68, No.2, pp.I_091-I_095.
5. 二宮順一・森 信人・安田誠宏・間瀬 肇 (2012) : WRF-ROMS-SWAN を用いたモデル間の結合の有無による気象・海象推算結果の比較, *土木学会論文集 B2 (海*

- 岸工学), Vol.68, No.2, pp. I_466-I_470.
6. Mori, N., M. Onorato and P.A.E.M. Janssen (2011) On the estimation of the kurtosis in directional sea states for freak wave forecasting, *Journal of Physical Oceanography*, American Meteorological Society, Vol. 41, No. 8, pp.1484-1497. doi:10.1175/2011JPO4542.1
 7. 木原直人・中屋 耕・坪野考樹・松山昌史・平口博丸・森 信人・鈴木崇之・武藤裕則 (2011) うねりと発達中の風波が混在する湾内における大気・海洋間運動量輸送, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol.67, No.2, pp.I_51-I_55.
 8. 加島寛章・平山克也・森 信人 (2011) 一方向波列の伝播過程における Freak Wave の出現と浅水変形の関係について, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.67, No.2, pp.I_116-I_120.
 9. 森 信人・道前武尊・島田広昭・間瀬肇 (2011): 現地観測データに基づく最高波高の推定と Freak Wave 予測への応用, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.67, No.2, pp.I_121-I_125.
 10. 森 信人・田中 遼・中條壮大・安田誠宏・間瀬 肇 (2011): 風波とうねり共存場における波浪発達と高波の出現特性に関する研究, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.67, No.2, pp.I_146-I_150.
 11. 辻尾大樹・間瀬 肇・森 信人 (2011): 沖波出現分布形と年数回来襲を考慮した防波堤の滑動安定性評価, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.67, No.2, pp.I_761-I_765.
 12. 森 信人・紺野晶裕・中條壮大・間瀬 肇 (2011): X バンドレーダによる波浪観測と空間波形の解析, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.67, No.2, pp.I_1381-I_1385.
 13. 間瀬肇・平石哲也・川田達也・行本卓生・徳永誠之・松下紘資 (2011) 偶発波浪荷重対策としてのカウンターウェイトブロックの開発, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)* Vol.67, No.2, pp.696-700.
 14. 川口浩二 (2011) 長期波浪推算結果に基づく日本沿岸の波浪特性, *土木学会論文集 B3 (海洋開発)*, Vol.67, No.2, I_932-I_937.
 15. Mori, N., T. Yasuda, H. Mase, T. Tom and Y. Oku (2010) Projection of extreme wave climate change under the global warming, *Hydrological Research Letters*, Vol.4, pp.15-19. doi:10.3178/hrl.4.15
 16. Mori, N., H. Mase and T. Yasuda (2010) Discussion of `Influence of spectral width on wave height parameter estimates in coastal environments' by Justin P. Vandever, Eric M. Sigel, John M. Brubaker and Carl T. Friedrichs (2008), *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, Volume 136, Issue 2, pp.123-124. doi:10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.42
 17. 森 信人 (2010) Freak wave の発生と気象条件の関係について, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.66, pp.116-120.
 18. Tracey Tom・池本 藍・間瀬 肇・安田誠宏・森 信人 (2010) 台風シーズンにおけるリアルタイム波浪予測と精度検証, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.66, pp.161-165.
 19. 森 信人・鈴木崇之・木原直人 (2010) 海洋表層鉛直混合におよぼす風応力と波浪の影響, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.66, pp.311-315.
- [学会発表] (計 8 件)
1. Shimura, T., N.Mori, T.Yasuda and H.Mase, Wave Dynamics and Projection of Future Wave Climate, *Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2012)*, #654, 2012/6/1-6, Spain.
 2. Ninomiya, J., N.Mori, T.Yasuda and H.Mase, Improvement of Storm Surge Projection upon updating Air-Sea Interaction Parameterization using Coupled Model, *Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2012)*, #816, 2012/6/1-6, Spain.
 3. Kashima H., K. Hirayama and N. Mori (2012) Shallow Water Effects on Freak Wave Occurrence, *Proceedings of ISOPE2012*, pp.778-783, 2012/7/17-22, Greece.
 4. Mase, H., T. Tracey, A. Ikemoto, T. Yasuda and N. Mori (2011) Real-time wave prediction and virtual buoy systems, *Proceedings of Coastal Disasters 2011*, ASCE, 2011/6/26-29, USA.
 5. Nobuhito Mori, Yusuke Tanaka, Sota Nakajo, Tomohiro Yasuda, Hajime Mase (2011) Numerical Experiments on Coastal Upper Ocean Mixing under Strong-Wind Conditions, *Proceedings of Asia Pacific Coasts*, 2011/12/14-16, Hong Kong.
 6. Junichi Ninomiya, Nobuhito Mori and Hiroyuki Kusaka (2011) Influence of sea surface temperature on coastal urban area, *Proceedings of Asia Pacific Coasts*, 2011/12/14-16, Hong Kong.
 7. Mori, N., H. Mase and T. Yasuda (2010)

Freak Waves and Weather Conditions, Proceedings of the 32nd International Conference on Coastal Engineering, ASCE, #waves.70, 2010/6/30-7/5, China.

8. Yasuda, T., H. Mase, S. Kunitomi, N. Mori and Y. Hayashi (2010) Stochastic typhoon model and its application to future typhoon projection, Proceedings of the 32nd International Conference on Coastal Engineering, ASCE, #management.16, 2010/6/30-7/5, China.

[図書] (計 1 件)

1. Mori, N. (2009) Freak waves, in Hand book of Coastal and Ocean Engineering, Chapter 6, Ed. Young C. Kim, World Scientific Pub. Co., pp.131-150.

[その他]

ホームページ

<http://www.coast.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

森 信人 (MORI NOBUHITO)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：90371476

(2)研究分担者

間瀬 肇 (MASE HAJIME)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：30127138
平石 哲也 (HIRAISHI TETSUYA)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：20371750
河合 弘泰 (KAWAI HIROYASU)
独立行政法人 港湾空港技術研究所
海洋・水工部 研究チームリーダー
研究者番号：40371752
平山 克也 (HIRAYAMA KATSUYA)
独立行政法人・港湾空港技術研究所
海洋・水工部 研究チームリーダー
研究者番号：60371754
川口 浩二 (KAWAGUCHI KOJI)
独立行政法人・港湾空港技術研究所
海洋・水工部 主任研究官
研究者番号：50371753

(3) 連携研究者

加島 寛章 (KASHIMA HIROAKI)
独立行政法人 港湾空港技術研究所
海洋・水工部 研究官
研究者番号：60463098