

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：37102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06237

研究課題名(和文) 日本沿岸における波浪の方向集中度出現特性の解明と予測モデルの開発

研究課題名(英文) analysis and modeling of the characteristics of spreading parameter of directional wave spectrum around the coastal area of Japan

研究代表者

横田 雅紀 (yokota, masaki)

九州産業大学・建築都市工学部・講師

研究者番号：60432861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：日本沿岸に來襲する波浪の方向集中度の出現特性に関して、全国港湾海洋波浪情報網により観測されているデータから推定される方向集中度および、WAMによる波浪推算で得られる方向集中度の出現特性を明らかにするとともに、合田・鈴木(1975)の提案する値との比較を行った。波浪推算モデルで得られた S_{max} を波形勾配別に比較すると大きくばらつくものの、平均 S_{max} は合田らの設定値と同様に波形勾配の増大とともに減少する傾向がみられた。NOWPHASの観測結果から推定される平均 S_{max} は波形勾配によらず、概ね10～20程度の値であり、風波については合田らの推定値よりやや大きい可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：I analyzed the wave data measured with Doppler-type directional spectra wave meters to estimate directional spectra and to investigate the occurrence characteristics of S_{max} , an energy concentration parameter in direction, around the Japanese coastal area. Also, a fundamental study about the appearance characteristics of spreading parameter was done by using wave prediction model. As a result of the statistical analyses on the directional spectrum, the value of S_{max} calculated from the mean directional spectrum during one violate wave term at Naoetsu is about 14 which is a little higher than the value generally used for the wind waves. In wave prediction model, S_{max} is decreased with the increase of the wave steepness. Comparison of wave observation data and wave prediction data shows that S_{max} which calculated using wave prediction model is bigger than those calculated using wave observation data.

研究分野：海岸工学

キーワード：波浪予測モデル 方向集中度 波浪観測

1. 研究開始当初の背景

波浪は沿岸域の開発・利用・防災において最も支配的な自然外力であり、有義波高・有義波周期といったエネルギー平均量に相当する情報が全国港湾海洋波浪情報網により公開されている。漂砂、波力、静穏度の算定には、これらの平均量に加え、波向・周期別のエネルギーに相当する方向スペクトル、特に波の方向分散特性に関する情報が不可欠であるが、その出現特性に関しては、一部海域での観測事例があるのみであり、実務では、標準スペクトルとして光易型方向分布関数(光易ら 1973)が仮定され、その係数である方向集中度 S_{max} には、合田・鈴木(1975)が Wilson の式(1965)をもとに工学的利用の観点から便宜的に設定した値が利用されている。このうち、風波($S_{max}=10$)については、設定当時の観測・実験データとの比較により、ある程度の裏付けがあるとされているものの、減衰距離の短いうねり($S_{max}=25$)および、減衰距離の長いうねり($S_{max}=75$)については今後の観測により信頼性を高める必要があるとされている。近年、波浪観測に基づく方向集中度の解析結果が新たに報告され、設定値は再検討すべき段階にあることが指摘されている(森ら 2012, 横川・泉宮ら 2013)。一方、波向観測の標準化を目的として開発された海象計(橋本ら 1992)が全国沿岸の波浪観測に用いられるようになっており、高精度な方向スペクトルの推定が可能な波浪データの蓄積が進んでいる。波浪推算モデルの高精度化は多くの研究者により進められており、既に実務で利用されているものの、方向スペクトルレベルでの予測精度の検証例は少なく、方向集中度の予測精度を確立した高精度な波浪予測モデルは未だ提案されていない。

方向集中度はべき数のパラメータであるため不安定であることに加え、少なからず含まれる観測誤差により方向スペクトル解析そのものの精度が解析時刻により異なり高波浪時であっても時系列に安定した結果が得られない。したがって、従来の S_{max} 値の妥当性を検証するうえでは、風波、うねりそれぞれについて標準的な波形が観測されている代表波浪のみを予め抽出する必要がある。さらに、静穏度解析などの実務に方向集中度の情報を活用するためには、時系列情報が必要となることから、波浪推算モデルを活用した方向集中度の空間分布特性の把握が不可欠である。また、Chia-Huan ら(2012)は波浪の方向分散特性が風から波へのエネルギー輸送過程に大きな影響を与えることを指摘しており、これまでの波浪予測精度向上に関する研究を発展させるうえでも、波浪推算モデルが方向集中度を精度良く再現可能であることを確認する必要がある。

2. 研究の目的

風波のみ、うねりのみが観測されている代表的なケースを厳選し、波形勾配別の方向集中度の出現特性を明らかにすることで、波の出現特性が未解明な段階で便宜的に導入され、長年、検証されることが無かった方向集中度の出現特性について、観測データをもとに評価する。

次いで、波浪推算モデルによる予測結果から算出される方向集中度について、理論値および波浪観測から得られた方向集中度と比較し、現行のモデルにおける方向集中度の推定精度を明らかにするとともに、台風来襲時や冬季風浪時における方向集中度の空間分布特性について、時間変化を含めて明らかにする。ただし、実海域データには、様々な変動要因が含まれているため、台風の移動に基づく方向集中度の分布特性を一般化することは困難である。そこで、モデル台風による数値的検討により台風の移動速度を変化させながら、台風の強風円内における方向別の方向集中度分布及び、台風の強風円外側にうねりとして伝播した波浪場における方向集中度の時間変化を把握する。

3. 研究の方法

全国港湾海洋波浪情報網により海象計で観測された波浪データについて、方向スペクトル解析を実施し、方向集中度の出現特性を明らかにする。対象地点は、日本海側の直江津(水深 32.7m)、鳥取(水深 30.9m)および、太平洋側の久慈(水深 49.5m)、御前崎(水深 22.8m)の計 4 地点とし、2004 年について 2 時間間隔のデータを用いた。

方向スペクトルの解析は鉛直方向の水位変動および、鉛直軸から 30 度傾いた 3 方向の上層における水粒子速度の計 4 つの波動量に推定精度が高いベイズ法(橋本ら 1987)を適用して推定を行った。方向集中度は、計算コストの都合上、方向分割数がせいぜい 36 分割程度となる波浪予測モデルの推算結果ならびに、波浪エネルギーの方向分布がスペクトルピークに対して非対称な観測ケースに対しても安定して S_{max} を算出するため、図 1 のように解析により得られた方向スペクトルのピーク周波数における方向分布関数から、図 2 に示す半値幅 $\alpha=2(\theta-\theta_0)$ (スペクトルピーク値の半分のエネルギーを持つ波向の範囲)を求めたのち、図 3 および、式(1)に示す光易型方向分布関数 $G(f,\theta)$ を変形した式(2)の半値幅と S の関係を利用して S_{max} に換算する。本手法は予備検討において、過去に用いた手法(三井ら 2010)で算出される方向集中度とほぼ一致することを確認済みである。

$$G(f, \theta) = G_0 \cos^{2S} \left(\frac{\theta - \theta_0}{2} \right) \quad (1)$$

$$S = \log_2 \frac{1}{\log \left(\frac{1 + \cos(\alpha/2)}{2} \right)} \quad (2)$$

ここで式(2)中の θ_0 はピーク波向, f は周波数, θ は方向, G_0 は正規化条件の定数である.

得られた S_{max} をもとに波高, 周期, 波向および波形勾配等の条件別に出現特性を明らかにする. S_{max} はべき数であり, 集中度が高い場合, わずかな違いで集中度の値が大きく変わることも想定される(森ら 2012). 解析結果がばらつく場合は, 半値幅を用いて整理を進めることで安定した結果を得たうえで, 集中度に換算する.

なお, 「減衰距離の長いうねり」については解析データに含まれない可能性もあることから, 南半球で発達した波浪がうねりとして日本沿岸域に到達するケースを想定した波浪予測モデルによる数値実験を並行して実施し, 日本沿岸に來襲しうる S_{max} の最大値についても検討を行う.

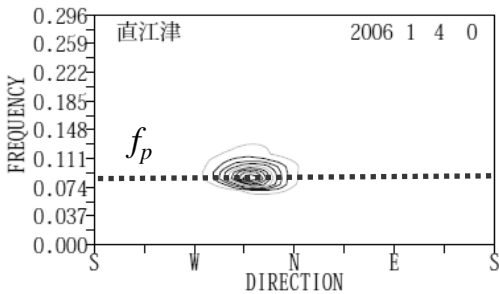


図1 方向スペクトル分布例

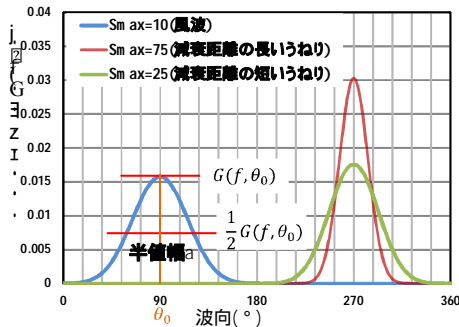


図2 半値幅の抽出方法

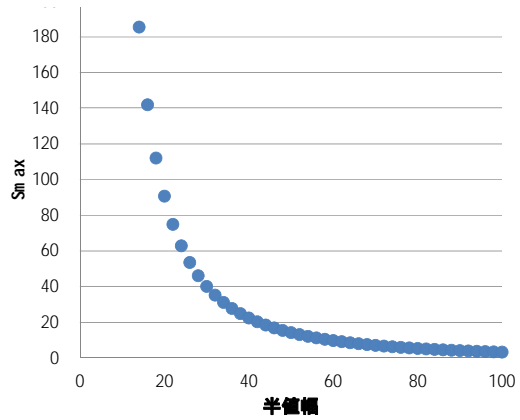


図3 半値幅と S_{max} の関係

4. 研究成果

2004年1月の直江津における S_{max} の算出結果の時系列を図4に示す. S_{max} は平均15程度で5~30の間を大きくばらついており, 非常に不安定であるといえる. 図5は高波が発生していた2004年1月10日22時から1月11日16時までの期間について, 周波数別方向集中度 S の分布を各時刻について重ねて示したものである. 時刻間の S_{max} のばらつきに加え, 同時刻内においても, S はピーク周波数付近を最大とする一山形の波形を示しておらず, 大きくばらついていることがわかる. 図5中の赤太線は擾乱期間中の各時刻の方向スペクトルから平均方向スペクトルを算出し, 周波数別の S を示したものである. 平均処理により S_{max} が小さくなることが想定されるものの, 概ねピーク周波数で最大となる山形を示しており, 比較的安定して方向集中度の推定が可能と考えられる.

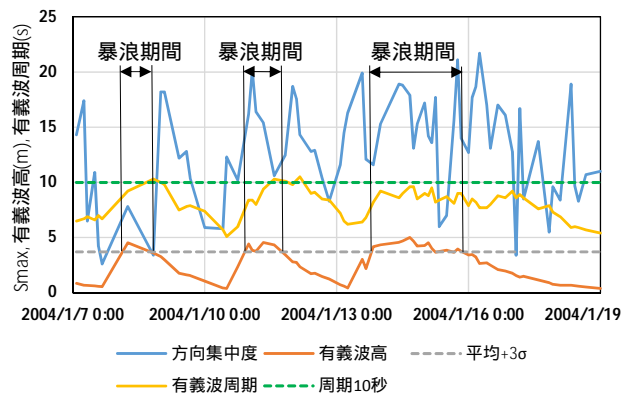


図4 S_{max} の時系列の一例

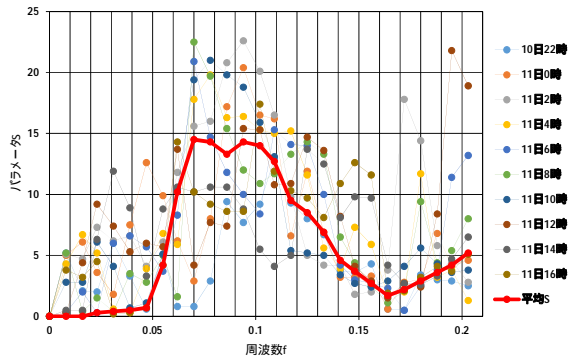


図5 擾乱期間における各時刻の周波数別方向集中度S

解析期間中の有義波高の基準値（平均値+標準偏差 $\sigma \times 3$ ）を設定し、基準値を超えた期間を高波浪期間として、各暴浪期間における平均方向スペクトルの S_{max} 出現特性を整理した結果、吹送距離が限定される日本海側の直江津において、11月から2月にかけて冬季季節風によるとみられる高波が発生しており、平均方向スペクトルの S_{max} は風波の場合について提案されている $S_{max}=10$ よりも少し高い値およそ14程度となった。鳥取では平均方向スペクトルの S_{max} は最大13.7、平均で11程度であった。ただし、各地点の各暴浪期間中の時刻別 S_{max} では20を超える例が多く、うねりに近い S_{max} をもった波が襲来していた可能性もある。太平洋側についてみると、御前崎では、平均方向スペクトルは他の地点よりも小さい傾向にあり、高波浪が台風由来であるために、高波浪期間中に波向が変動していたものと推察される。久慈では、比較的高い期間もみられており、御前崎に比べるとうねりによる方向集中度の高い波浪を観測しやすいことがうかがえる。

2005年の1年間について、日本周辺（北緯22.5~45°、東経128~148°）を計算領域として波浪推算を実施し、潮岬、直江津、鳥取における方向集中度について、波形勾配との比較を行った。図6は2005年において波高が1m以上であった時刻における S_{max} を波形勾配の階級別に整理したものである。Sがべき乗の係数であり、集中度が高い条件でSの変動幅が大きくなるため、波形勾配の階級別に半値幅について平均処理した後にSに換算した。また、図中には合田・鈴木(1975)によって推定された S_{max} も合わせて示している。黒丸で示す平均処理前のプロットは大きなばらつきがあるものの、波浪推算から得られる平均 S_{max} は合田・鈴木(1975)によって推定された S_{max} と同様、波形勾配の増大とともに減少する傾向を示した。これに対して、ナウファスの観測値に基づく S_{max} は、波形勾配の増大に伴う減少傾向はみられず、平均 S_{max} は10から20前後の値を示した。

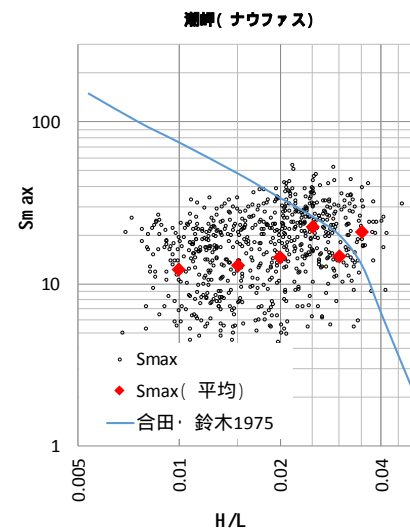
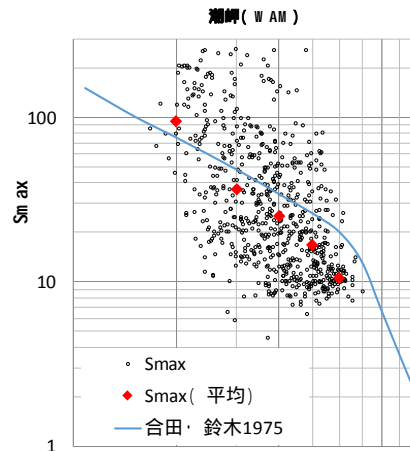


図6 2005年潮岬における S_{max} と波形勾配の比較 (上: WAM、下: ナウファス)

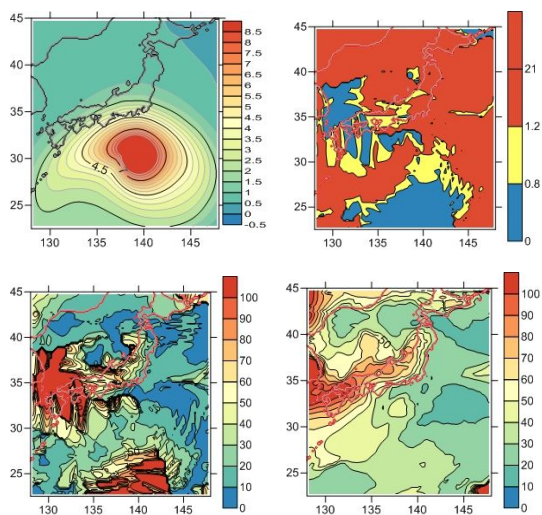


図7 平面分布の比較 (左上: 波高分布、右上: 理論S/推算S、右下: 推算S、左下: 理論S)

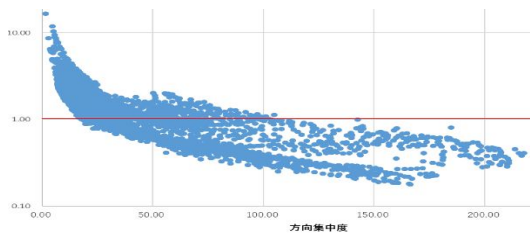


図 8 方向集中度の出現特性（縦軸：理論 S/推算 S）

モデル台風及び台風 0402 における波高、方向集中度の平面分布例は図 7 に示すとおりである。推算結果の波高及び周期から想定される波形勾配別の合田らの方向集中度（理論 Smax）と推算結果の方向スペクトルから得られる方向集中度（推算 Smax）の比の分布をみると両者が近い値を示す海域は非常に狭くなっているが、理論 Smax と推算 Smax の分布図を比較してみると、高い値が算出される海域は一致しているなど、分布形状は似ている。図 8 は 2004 年台風 2 号について、全計算格子における推算 Smax を理論 Smax との比と比べたものである。50 程度の条件では概ね同程度の値を推定可能であるが、20 以下の風波条件では過小評価傾向であり、方向集中度が 80 を越えるような減衰距離の長いうねりについては過大な値を与えることがわかる。

WAMにより得られたSmaxを波形勾配別に比較すると、大きなばらつきを有するものの、平均Smaxは合田らの設定値と同様に波形勾配の増大とともに減少する傾向がみられた。ナウファスの波浪データから推定される平均Smaxは波形勾配によらず、概ね 10～20程度の値であり、風波については合田らの推定値よりやや大きい可能性が示唆された。ただし、高波浪時であってもSmaxは時系列に安定した結果が得られず、観測・推定誤差の影響が大きいことが示唆された。Smax出現特性の実態解明には、さらなる調査・検討が必要といえる。

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4件)

横田雅紀、橋本典明、山城賢、井手喜彦、児玉充由、有明海湾奥部における高潮発生時の波浪推算に関する検討、土木学会論文集 B3(海洋開発)、査読有、Vol. 74 No. 2、2018、印刷中

横田雅紀、小田圭祐、齋藤隆介、橋本典明、三井正雄、児玉充由、波の方向集中度の出現特性に関する基礎的検討、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol. 72No. 2、2016、pp. I_163-I_168

DOI https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_163

横田雅紀、橋本典明、児玉充由、柘植和哉、高波の将来予測を目的とした気候モデル予測値の海上風バイアス補正に関する研究、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol. 71No.2、2015、pp. I_1531-I_1536

DOI https://doi.org/10.2208/kaigan.71.I_1531

橋本典明、三井正雄、川口浩二、横田雅紀、小田圭祐、濱野有貴、高精度な方向スペクトルの観測と解析に向けた数値実験と現地観測、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol. 71No.2、2015、pp. I_79-I_84

DOI https://doi.org/10.2208/kaigan.71.I_79

〔学会発表〕(計1件)

横田雅紀、気象擾乱時における波浪の方向集中度出現特性に関する研究、土木学会西部支部研究発表会、2018

6. 研究組織

(1)研究代表者

横田 雅紀 (YOKOTA, Masaki)

九州産業大学・建築都市工学部・講師

研究者番号：60432861