

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 22 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760397

研究課題名(和文) 波浪観測データを用いた超強風条件における海面抵抗係数の推定

研究課題名(英文) Estimation of sea surface drag coefficient under strong wind condition based on the wave data

研究代表者

横田 雅紀 (Yokota, Masaki)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

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、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：現地での測定が極めて困難な超強風条件における海面抵抗係数について、暴風域外で観測された波浪観測データから逆推定可能なデータ同化システムに現地データを適用し、海面抵抗係数を風速の関数として推定した結果、風速30m/s以下の風速範囲については、複数の擾乱事例については、任意に設定した複数の初期値からほぼ同様の推定結果を得ることができ、従来、利用されているMitsuyasu・Hondaの式が概ね妥当であることが確認できた。さらに、強風が発生していない観測地点であっても、強風域で発生し伝播してきたうねりが観測されていれば、データ同化により強風速範囲の海面抵抗係数が推定可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The sea surface drag coefficient, an important parameter of the energy transfer from winds to waves in wave prediction model, is generally described as a linear function of wind speed. However, it might be inadequate to apply their extrapolation to strong wind conditions. For the purpose of clarifying the appropriate values of the sea surface drag coefficient in high wind speed, the ADWAM was modified to estimate the sea surface drag coefficients as its control variables from observational wave data. As a result, I confirm that the sea surface drag coefficient was automatically corrected to appropriate values (similar to Mitsuyasu & Honda's equation in wind speed less than 30m/s) with the method although arbitrary initial values of the sea surface drag coefficient were used for the estimations. It was also confirmed that the possibility of the estimation of the sea surface drag coefficient under stormy conditions on the basis of the wave data remotely observed from storms.

研究分野：海岸工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：海面抵抗係数 波浪推算 データ同化

1. 研究開始当初の背景

第3世代波浪推算モデル WAM Cycle4 (WAMDI group 1988)の中で、風から波へのエネルギー輸送項には、Janssen(1991)のquasi-linear理論が採用されているが、強風条件では過剰な発達を示すことがあると指摘されており(橋本ら, 2004), この理論に変えて海面抵抗係数  $C_D$  を用いて摩擦速度  $u_*$  を算出する方法が広く用いられている. 海面抵抗係数は Wu (1980) や Mitsuyasu・Honda (1982) のように風速の増加に伴い単調増加する一次式が一般に用いられているが、概ね風速 25m/s 以下の条件における観測や実験から導かれた式と考えられ、強風条件への適用については疑問が残る. Andreas (2004) は強風条件で波峰からの飛沫の発生を考慮し、強風条件では海面抵抗係数が増加しない式を提案している. WAM による波浪推算結果を比較した例を図2に示すように海面抵抗係数の提案式による違いは強風条件での波浪推算の結果に大きく影響するものであり、Janssen の理論に比べて強風条件での急速な波高の発達が抑えられるとされている Wu の式や Mitsuyasu・Honda の式(以下 MH 式)についても、強風条件での飛沫の発生を考慮した Andreas の式と比べると波高が過大に推算される. 今後、地球温暖化の進行に伴う台風の強大化が懸念されており、強大台風接近時の波浪予測を行ううえで、強風条件における海面抵抗係数の再設定が非常に重要な課題といえる. しかしながら、風速 30m/s を超えるような強風時の海面抵抗係数を解明しようとしても、台風直下をねらった現地観測は予算的目的が立ちにくいという、有用なデータを取得できる保証はない. また、実験的検討も施設整備(強風と高波の再現)が困難であり、未解明なまま残されているのが現状である.

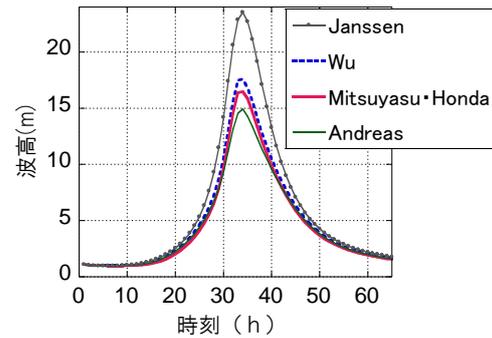


図2 提案式の違いによる推算波高比較

2. 研究の目的

橋本ら (2009) は WAM にデータ同化手法の一つである Adjoint 法を組み込んだ ADWAM (Hersbach, 1998) を改良し、波浪の観測データをもとに海面抵抗係数を風速に関する離散的な一定値関数として推定可能なモデルを開発している. 本手法は、波浪推算モデルを仮定の観測装置として、間接的に強風条件における海面抵抗係数を推定する手法であることから、強風を受けて発達し伝播してきた波浪を強風域外で観測できれば、強風条件における直接の観測は必要としない. このデータ同化システムにより推定される海面抵抗係数の妥当性については数値実験により確認済みである. 現地での測定が極めて困難な超強風条件における海面抵抗係数について、暴風域外で観測された波浪観測データから逆推定可能なデータ同化システムに現地データを適用し、超強風条件における海面抵抗係数を推定することを目的としている.

3. 研究の方法

本研究では全国港湾海洋波浪情報網 NOWPHAS により提供されている波浪データのうち、強風の影響を受けた発生した波が到達しやすいと考えられる潮岬(東経 135.7472 度, 北緯 33.4333 度, 水深 54.7m)における有義波高の時系列データ(2時間間隔)を観測値とし、ローパスフィルタなどの処理は行わず、データ同化に使用した.

波浪推算の外力条件となる海上風データについては、気象庁 GPV データ(メソ客観解析値)を与えた. GPV データは 2001 年 3 月~2006 年 2 月は 6 時間間隔、2006 年 3 月以降は 3 時間間隔で提供されており、波浪推算においては、各計算格子における風ベクトルの風速絶対値及び風向を計算時間間隔に合わせてそれぞれ線形補間による時間内挿を行った. 計算範囲はメソ客観解析値の提供範囲の南端及び東端にあわせ、図3に示す東経 125~150 度, 北緯 22.5~35 度の海域で計算格子間隔は 0.5 度とした.

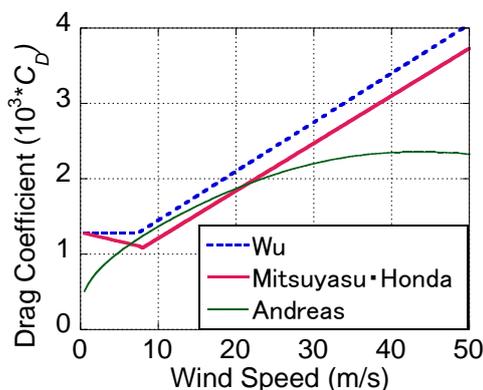


図1 海面抵抗係数の比較

数値実験では本データ同化システムが十分な精度で海面抵抗係数を推定可能なモデルであることを確認済みであるが、実海域に適用する場合、平均風速で与える海上風や観測値に含まれる誤差のため、解が不安定となりやすい。特に、本検討で設定した計算領域外で台風が発生した場合など、潮岬で観測される波高に計算領域外から伝播してくるうねりの影響が含まれている場合や、波高が最大となる時刻がずれている事例では適切な係数が推定できない。そこで、2004年から2008年の過去5年間における5~10月を対象にMH式を用いて推算される波高と観測波高を比較し、潮岬に台風が接近した事例のうち、観測誤差が小さいと考えられる事例を対象にデータ同化を実施することとした。ここでは、MH式に加え、強風の影響を受けた波浪が伝搬している期間を確認するため、図4に示すように風速30m/s未満ではMH式、風速30m/s以上では単調減少に転じる係数を設定したCase1、さらに、低風速範囲の海面抵抗係数の違いが与える影響を確認するため、風速8m/s以上についてMH式の傾きを変化させたCase2(傾きを0)、Case3(傾きを1.5倍)についても波浪推算を実施した。

図5は各ケースで推算された波高をMH式を用いて推算された波高と比較したものである。Case2やCase3はMH式に比べて推算結果に明瞭な差がみられており、海面抵抗係数の設定が推算波高に大きく影響を与えることが確認できるものの、風速30m/s以上の範囲のみで海面抵抗係数がMH式と異なるCase1の推算値はMH式を用いた推算値との差が非常に小さくなっていった。このことから、本計算条件では、風速30m/s以上の強風速を受け発達した波浪は、潮岬の推算波高にあまり影響を与えていないものと考えられ、風速30m/s以上の海面抵抗係数については推定できないものと推察される。計算格子間隔を細かく設定する、海上風に局地気象モデルを用いるなどにより、強風条件が再現される可能性はあるが、本研究では風速30m/s以下の海面抵抗係数について推定することとした。

任意に設定した複数の初期値からデータ同化を開始し、 $C_D$ が同程度の値に修正された擾乱事例を安定した推定値が得られた事例とした。 $C_D$ の推定は図6に示す3種の初期値(Case A: MH式, Case B: 風速8m/s未満はMH式, 風速8m/s以上は $1.09 \times 10^{-3}$ で一定, Case C:  $5.0 \times 10^{-3}$ で一定)からデータ同化を開始した。推定する未知パラメータ数はCase A, Case Bは風速8~30m/sを2m/s間隔で12個, Case Cは風速2~30m/sを2m/s間隔で15個とした。

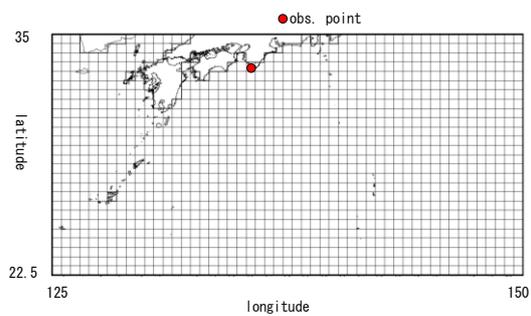


図3 計算領域と観測地点

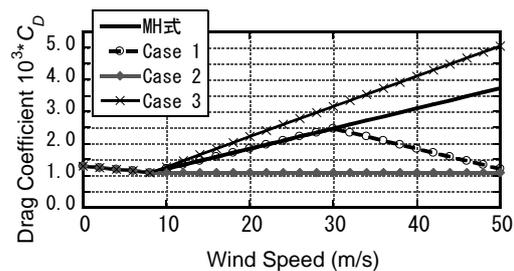


図4 設定した海面抵抗係数

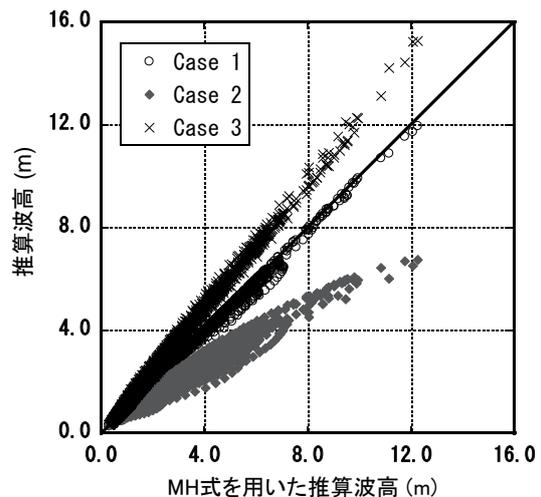


図5 推算波高の比較

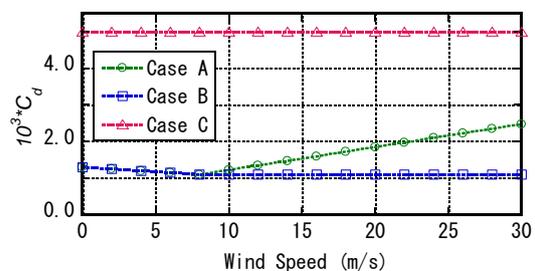


図6 海面抵抗係数の初期値

#### 4. 研究成果

台風 0402 号の接近期間及び、台風 0704 号、0705 号の接近期間の 2 事例で安定した解が得られた。台風 0704 号、0705 号の接近期間については、期間を長期間とすることで、個々の時刻における観測誤差の影響が相対的に小さくなるうえ、観測された波高に寄与する風速を網羅できると考え、連続した 2 擾乱を 1 事例としてデータ同化を行った。

台風 0402 号接近期間の潮岬における観測波高及び気象庁 GPV の風速時系列を示したものを図 7 に、気象庁のウェブサイト ([http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/position\\_table/index.html](http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/position_table/index.html)) で提供されている台風位置表をもとに台風経路と中心気圧を示したものを図 8 に示す。図から台風 0402 号は潮岬から離れた南方では強い勢力であったものの、潮岬接近時は勢力が弱まっていることが分かる。観測地点である潮岬における風速の最大値は 10m/s 程度であった。

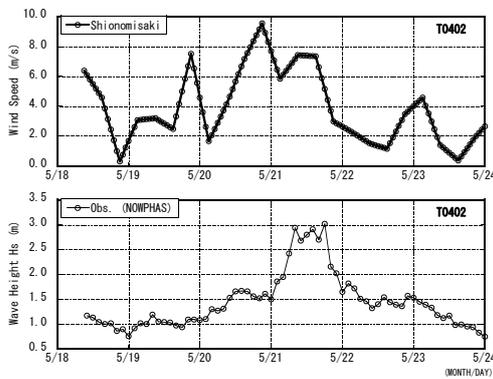


図 7 潮岬における風速と観測波高の時系列

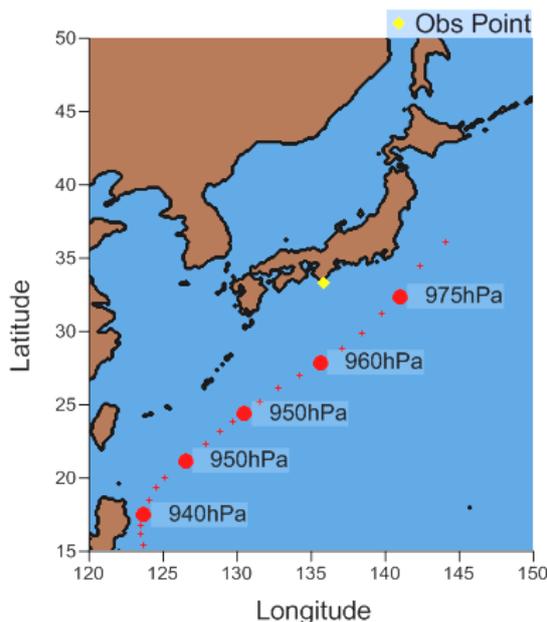


図 8 台風 0402 号の経路 (6 時間間隔) と中心気圧 (24 時間間隔)

データ同化前後の波高の時系列を図 9 に、推定された海面抵抗係数を図 10 に示す。初期値を MH 式とした Case A については、同化前の波高と観測波高の差が小さいため、同化後の波高についても大きな変化はみられていない。初期値を  $1.09 \times 10^{-3}$  で一定とした Case B では同化前の波高が観測波高に対して過小であったのに対し、同化後の波高は観測波高近くに修正されていることがわかる。同様に、観測波高に対して過大であった Case C についても、同化後の波高は観測波高近くに修正されていた。各ケースで推定された海面抵抗係数は、本擾乱期間中、観測地点である潮岬で発生した最大風速が 10m/s 程度であったにもかかわらず、風速 10m/s を超える風速範囲についても、風速の増大に伴って増加する MH 式に比較的近い値へと修正されており、3 つの異なる初期値からほぼ同様の海面抵抗係数分布が推定された。このことから、観測誤差を含むような実海域を対象とした場合でも本データ同化システムが適用可能であり、観測値を満たす最適な係数が推定できるものと考えられた。さらに、強風の影響を受けた波浪が伝搬し、観測されていれば、観測地点で強風が発生していなかった場合でも、強風条件における海面抵抗係数を推定可能であることが確認できた。

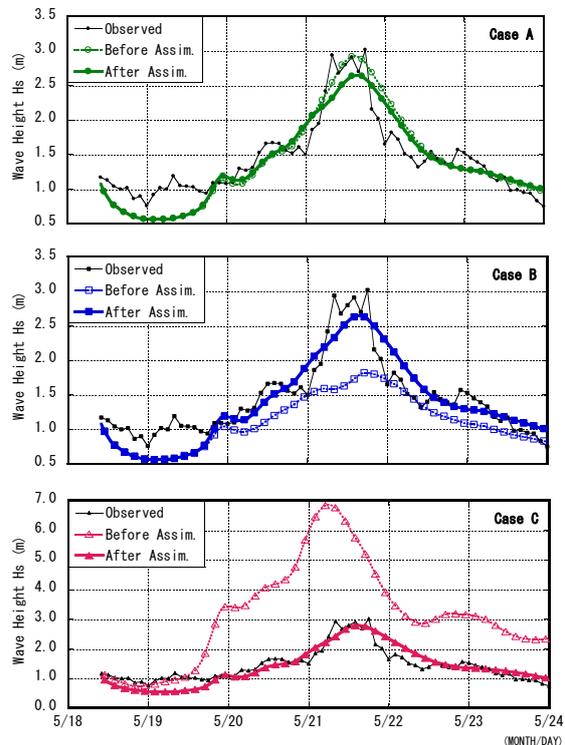


図 9 データ同化前後の波高時系列

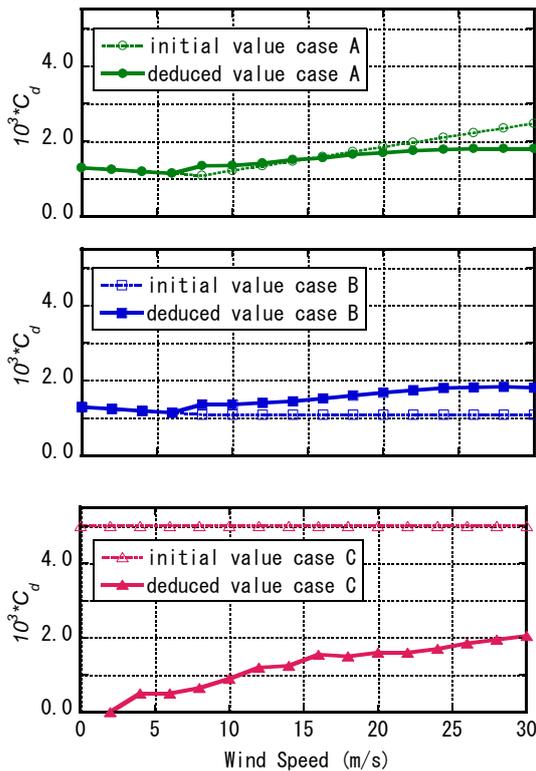


図10 推定された海面抵抗係数 (T0402)

図 11 は安定した解が得られた 2 事例について、それぞれ 3 種の初期値から推定された海面抵抗係数を風速別に平均し、MH 式と比較したものである。検討事例を蓄積することで推定された海面抵抗係数の信頼性を高めていく必要があるものの、風速 30m/s 以下の風速範囲については、従来、利用されている MH 式が概ね妥当であるといえる。

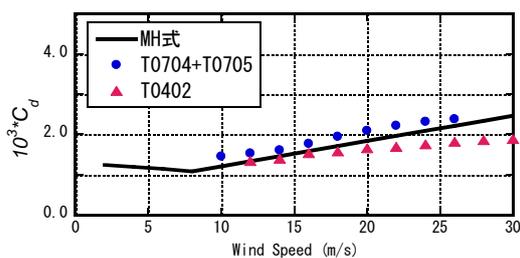


図11 推定された海面抵抗係数(T0402, T0704+T0705)

以上、改良した ADWAM を実海域に適用し、波浪観測データをもとに風速 30m/s 以下の海面抵抗係数について風速の関数として推定した結果、風速 30m/s 以下の風速範囲については、任意に設定した複数の初期値からほぼ同様の推定結果を得ることができ、従来、利用されている Mitsuyasu・Honda の式が概ね妥当であることが確認できた。さらに、強風が発生していない観測地点であっても、強

風域で発生し伝播してきたうねりが観測されていれば、データ同化により強風速範囲の海面抵抗係数が推定可能であることを明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

横田雅紀, 橋本典明, 網屋凌太, 児玉充由  
波浪データに基づく海面抵抗係数の風速依存性に関する研究  
土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol.69 (2013) No.2, I\_136-I\_140, 2013 年 11 月

Yokota, M., N. Hashimoto, M. Kodama, R. Amiya  
Estimation of The Sea Surface Drag Coefficient Based on a Wave Data  
Proc. 7th Int. Conf. on Asia and Pacific Coasts APAC2013, CD-ROM, 2013 年 9 月

〔学会発表〕(計 3 件)

Yokota, M., N. Hashimoto  
Sea Surface Drag Coefficient Estimated with ADWAM from Field Data  
Waves In Shallow Environments 20th International Conference  
2013 年 4 月 23 日  
アメリカ

Yokota, M., N. Hashimoto, M. Kodama, R. Amiya  
Estimation of The Sea Surface Drag Coefficient Based on a Wave Data  
7th Int. Conf. on Asia and Pacific Coasts,  
2013 年 9 月  
バリ

横田雅紀, 橋本典明, 網屋凌太, 児玉充由  
波浪データに基づく海面抵抗係数の風速依存性に関する研究  
海岸工学講演会  
2013 年 11 月 14 日  
九州大学

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

横田 雅紀 (YOKOTA MASAKI)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：6 0 4 3 2 8 6 1