

平成22年5月10日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760329

研究課題名 (和文) 画像解析による波浪計測手法に関する研究

研究課題名 (英文) Measurement of wave surface using stereo stereophotogrammetry

研究代表者 有田 守 (ARITA MAMORU)

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：80378257

研究成果の概要 (和文)：

2台のカメラを用いたステレオ画像法によって、沿岸域での波浪計測装置を開発し波面計測を行った。計測に用いたレンズは、非計測用のレンズであるが、歪みパラメータなどのレンズ特性を把握することにより画像計測に十分使用できることが分かった。画像解析によって得られた波面は、ミスマッチングの影響で誤差は大きくなるが、圧力式波高計で計測した水面と良好な一致を示した。

研究成果の概要 (英文)：

Over the past decade, a considerable number of studies have been conducted on the wave plane distributions by using two video camera images. These studies analyzed azimuth difference of digital images taken by video cameras. The problem of these studies is to find the same element between two images. Generally, they put the targets or tracers in images to solve azimuth difference. This way which comes from Particle Image Velocimetry (PIV) method, is sufficiency to measure waves. However, this method involves difficulties to put the appropriate number of targets or tracers on water surface evenly, which is not reasonable to measure sea waves. We had measured wave profile using experimental water tank without tracers or targets. We generated a few kinds of regular waves and took the pictures by two digital cameras and analyzed the azimuth difference in digital images by stereo matching method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：自然科学

科研費の分科・細目：水工水理

キーワード：波面計測, 画像, ステレオ画像法

1. 研究開始当初の背景

沿岸域の環境問題の中で砂浜の減少, 汀線

の後退は大きな社会問題となっている。砂浜の減少は国土面積の減少を意味するだけで

なく、多様な生態系の生息域を減少させ環境資源をも減少させる。また、離岸流によって海水浴客が流され死亡する事故が発生している。これらは、沿岸域の波浪特性、地形変動によって誘起される沿岸流が大きな要因となっている。

沿岸流の変動は地形特性、地形によって変化をうける波浪分布が数時間の時間スケールで時々刻々変化することが複雑な要因の理由である。出口ら(2004, 2005)によれば離岸流は、地形性と突発性に分類され地形性の離岸流発生にはカスプ地形と波向、潮位が大きな要因になっていることが指摘されている。突発性の離岸流については発生要因が解明できていないのが現状である。しかしながら、離岸流発生には砕波帯付近の水位変動が大きく起因している事が知られており、砕波帯の平均的な水位の上昇が沿岸流発生の起動力となることが考えられる。

この問題を解明するにあたり、平面的な波浪分布の計測は重要な要素の1つである。一般に波高は、圧力式の波高計を設置することで定点における精度のよい波浪観測技術はすでに確立されているが、平面的な波高分布を計測には計測器を面的に数多く配置しなければならず実用的ではない。平面的な波浪分布の計測手法の確立が求められている。

2. 研究の目的

海洋の波浪の計測、実験室での波浪計測には、圧力センサーや音波、容量式の波浪計測機器が使われている。これらの計測装置は、機器の設置された定点の波浪計測に有効な手段である。沿岸域、特に砕波帯周辺での波浪分布、実験室内での面的な波浪場の計測には、従来の波浪計測装置を数多く配置することで面的な波浪特性を計測することとなる。しかし、これらの方法は多くの機器の設置に労力、コストがかかる。

平面的な波浪分布を計測する方法は様々な研究が行われてきている。代表的な例としては、マイクロ波を利用したもの、FM電波を利用したもの、ビデオカメラにより撮影した画像解析を行うものが挙げられる。マイクロ波、FM電波などは装置が大がかりであること、本研究で対象としているよりも広域の波浪場を対象としている。また、これらは平均的な波高、波向を計測するために波面の直接的な形状を計測していない。

画像解析によって波面を計測する研究は、ステレオ画像法を用いて、服部ら(1979)が試みている。ステレオ画像法は2台のカメラによって撮影された画像からそれぞれのカメラが研究当時は、計算機の発達が十分でなく画像間の同一点を決定するのが手作業であり波面を連続的にとらえるには多大な労力がかかった。近年になり計算機やデジタル画

像機器の発展に伴って高解像度の画像解析が高速に行えるようになりデジタルカメラを用いた研究が、Stefanら(2004)によって行われている。

画像による波面計測は、2台のカメラによって撮影された画像から同一点を同定することが困難な箇所が画像中に多く存在することが指摘されている(例えば、服部ら, 1979; Stefanら 2004)。これらは撮影した画像の輝度値の分布特性がマッチングを行う際の検査領域に対して大きい場合、水面の光の反射を近接する位置に設置されたカメラによって撮影された画像であっても異なる映像となり画像の同定が困難になるためである。Justinら(2005)は、波面の反射により画像の同定が困難になることを克服するために3台のカメラを用いて波面を撮影し精度の高い画像による波面計測を行っている。また、竹原ら(2004)は画像解析による波面計測においてPIVの手法を用いて波面にトレーサを散布しトレーサを撮影した画像の解析を試みることで水面の画像から同一点を容易に抽出する試みを行っている。

研究代表者は、これまでにデジタルカメラを用いてステレオ画像法によって波面の計測を試みた。計測装置は、2台のデジタルカメラを用いている。実験は、平面造波水槽において波高10cmの波を発生させ、その水面を装置の2台のカメラによって撮影し画像解析を行った(図-1)。

3次元計測手法はピンホールカメラモデルを採用し、2枚の画像での同一点の同定には、画像の領域を設定し相互相関係数を算定する手法を取り入れたプログラムを開発した。また、相互相関係数だけでは画像間での同一点を同定する際にミスマッチングを起こしやすいことが解ったので、マッチングの検索を行う際に写真の座標において、ある軸方向に検索を行うと同一点はもう一方の画像においてある直線上に存在するという特性を利用してマッチングの精度を向上させた。その結果、6%程度の誤差で画像解析から実際の波高を算定できる結果が得られた。

【研究の独創性】

本研究は、他のステレオ画像法を用いた計測手法に対して以下の点で独創的である。1. 波高分布を計測する際に計測領域にターゲットを散布することなく計測された画像の輝度値から同一点を抽出している。2. 水面は太陽光の反射によって近接するカメラで撮影された画像であっても同一点が見つけにくい複数台のカメラを用いて計測精度を向上させる試みがなされているが、2台のカメラでもマッチングの手法を工夫することで計測精度の向上を試みている。

また、本研究で開発した装置を用いて砕波帯付近の面的な波浪場の分布特性と沿岸流の

関係について考察した研究はなされておらず、その点からも独創的であると考えられる。

【研究の特色と意義】

本研究によって、確立された技術によって今まで計測が困難であった、沿岸域の波浪分布の時刻歴応答が計測できるようになる。これによって、波浪分布に起因する沿岸流、それによる地形変化の発生機構の解明に有用な基礎データを提供できるようになる。また、沿岸域に2台の監視カメラを設置し波浪場を計測し続けることで地形変化モデルと組み合わせ海岸地形変化を予測することができる。

本研究により得られた技術は、実海域の波浪観測にだけでなく、水槽実験において波高分布を解析する際にも有効な手法となりうる。

3. 研究の方法

本研究は、平成19年度に計測装置の開発、平成20年度に実海域での計測を行い離岸流と砕波帯周辺での波高分布の特性について解明を行う。平成19年度には、画像解析プログラムの高速処理化と精度の検証を行う。平成20年度には、計測装置を用いて鳥取県浦富海岸において実海域での計測を行う。

1. 画像解析プログラムの高速化

現在までに開発した画像解析プログラムは、2枚の画像間での同一点を決定する際に検索範囲を設定し、それぞれの画像から相互相関係数を算定するために設定した領域の輝度値を抜き出して相互相関係数の算定を行っており1枚の画像を解析するのに汎用の計算機(32bit)では10分程度の時間を要している。現在は、ある瞬間に撮影された画像についての解析を行っているが、数時間のビデオ画像を解析するにあたってはプログラムの高速化が問題となる。プログラムの高速化は、ソフトとハードの両面から改善を試みる。

現在の画像解析では、画像間の同一点の解析に検索範囲×検査領域分の計算を行う事になっている。Justinら(2005)によれば、クロススペクトル法を用いる事によって画像の同定を高速に行えることが示されている。クロススペクトル法は、左右2枚の画像において左画像の検査領域を決定しそのスペクトルと右画像の全領域のスペクトルの両者を掛け合わせる事によって画像のずれを算定できる。この手法では検査領域の計算をその都度行うだけで良く、先に述べた現在の手法と比べても計算容量が急激に少なくなることがわかる。

ハード面では、購入予定のワークステーション(64bit)を用いることによっても計算時間が2/3程度になることを確認済みである。また、大容量の画像データを扱う上で

も十分な容量の記録装置を搭載する計算機が必要である。

上記に述べるようにソフトで1/5、ハードで2/3程度のプログラムの高速化が見込まれる。

2. 装置の精度と計測の範囲

画像による3次元計測は、3次元空間を2次元で計測するために計測対象物とカメラの設置角度によって3次元座標の精度が決まることとなる。対象物が水面の場合カメラの設置角度は、3次元座標をx, y, zとしてそれぞれの精度を均一にするためには45度が最適であると考えられる。しかし、本研究では面的な波面計測を目標としており、波高が数十センチのオーダーに対して平面的には数十メートルのオーダーとなる。カメラの画素数が十分に保証されていれば、余り問題とはならないが現状の高画質なビデオカメラでは画素数と精度を十分に検討する必要がある。

カメラの精度と計測範囲の問題には、既知の計測点を設けてそれらを本システムで計測し既知点とのずれを検証することで精度のチェックを行う。精度を保証すると計測範囲が面的に狭くなる事が予想できるため本研究で対象とする数十メートルの海域で数十センチの波浪が分布している場合の計測精度と範囲に関して装置の性能を把握しておくことは重要である。

また、実海域ではカメラの設置方法が問題となり観測対象海域の陸側に十分な土地があればクレーンなどを用いて理想的なカメラ角度で設置することが可能であるが、そうではない場合にはカメラ角度が水面に対して小さくなり計測範囲が結果的に狭くなる問題も考えられる。この問題に関しては、ソフト面では、サブピクセル解析を取り入れることで計算精度の向上を図ることにより対応を検討する。ハード面では、本システムを数セット用意して各装置で撮影範囲を分担して撮影し解析後に統合することで問題を解決できる。

研究計画・方法(平成20)

1. 実測調査

平成20年度は本システムを実海域に適用することを試みる。実海域の計測場所は、研究代表者が平成17年から離岸流の実測調査を行っている鳥取県浦富海岸を予定している(研究業績3)。浦富海岸は、離岸流が頻繁に発生する海岸で知られており、離岸流を含む沿岸の流れの観測に適しているためこの場所を選定した。

2. 波浪計測装置の設置

本研究で開発する波浪計測装置は、平成19年度で検討する通り、カメラの撮影角度、撮影範囲によって計測精度が決定される。

撮影範囲、精度によってカメラの撮影角度

が空中になることが予測される。このためにクレーン車に本装置を設置し計測を行うこととなる。クレーン車は15メートル程度の高さまで装置を設置する事ができるが、カメラ画像を地上では確認できなくなることやカメラの操作が行えなくなるために、カメラの映像を地上に送る送信機とカメラの操作を遠隔で行える機能のカメラ雲台を購入予定である。この雲台にカメラ2台を設置しクレーンに設置されたカメラの制御を行うことが可能になる。

先にも述べたようにクレーン車による設置可能高度は15m程度であり、これを超える高度に本装置の精度を保証する高度があればクレーンでは計測が困難となる。

研究代表者は、これまで離岸流の観測に気球を使用してきた。気球は直径約3m長さ6mの飛行船形状をしており、機体の安定性能が高い。この気球にカメラの遠隔操作ができる雲台を搭載し約100-200m上空まで気球を上昇させ離岸流の観測を行ってきた(研究業績3)。この気球を使用して本装置を上空に設置できればクレーンで不可能な撮影高度であっても観測が可能となる。

しかし、気球に搭載された本システムは気球が風の影響を受けて時々刻々その位置が変化する。装置の位置が移動することで計測位置が変化しカメラの視野から計測領域がずれてしまう可能性がある。カメラの姿勢を変化させることによって生じる問題は、3次元計測を行う際に重要となるカメラパラメータが変化することである。通常このカメラパラメータは、座標が既知である基準点を撮影することによって求められるがカメラの姿勢を制御する度に基準点を撮影することは画像解析を行う上でシーンごとにパラメータが変化するために労力が多大となる。カメラパラメータは、カメラの位置、焦点距離によって決定される。カメラの三次元の座標と焦点距離を何らかの形で把握できればそのデータからカメラパラメータを算定することが可能となる。これより、気球に本装置を搭載するにはカメラの3次元座標を知る必要がある。カメラの3次元座標と座標軸の回転角は加速度センサーをカメラに搭載することで計測が可能であるため、気球の搭載にあたってはカメラ姿勢計測装置の購入を検討している。

3. 波浪計測の検証

本装置で計測した波高と実海域での波高の検証を行う。実海域の波高は、本学所有の圧力式波高計を海域に設置して計測を行う。圧力式波高計は、波向き計測も行うために3本の波高計を三角形の頂点に配置して設置する。3つの波高計で計測されたデータの位相を解析することにより計測地点での波向きが得られる。波高計の設置位置は本研究で

開発する装置によって平面位置を撮影し位置の計測を行うこととする。

画像解析によって得られた波面から波高計を設置した地点の時刻暦を抽出して圧力式波高計によって計測された時系列を比較することによって本装置の精度の検証を行う。

4. 研究成果

波浪計測装置を用いて、和歌山県日高郡の海岸での観測をおこなった。計測に用いたカメラは、Imprex社製の2048×2048 pixelのCCDカメラとSigma社製の28mmレンズを使用した。ステレオ画像法では、カメラとレンズの特性である内部パラメータ、カメラの位置や姿勢の特性を示す外部パラメータ、画像間の同一点を精度良く解析することが重要となる。実測の海域において外部パラメータ(カメラの位置と姿勢)の算定には、沖側のワールド座標が既知となる基準点が必要となる。沖側の基準点の設置は困難な場合が多くこれを解決するためにフリーネットワーク手法を用いて沖側のワールド座標が未知な基準点でも精度の良い外部パラメータを算定することができた。また、カメラの内部パラメータ(歪みや主点位置)の算定には、Brownのレンズ歪み式を用いて基準点から算定する手法を用いた。一般にステレオ画像計測では、計測用のレンズが用いられているが本研究では、非計測用レンズを用いても精度良く推定することが確認できた。実海域でのステレオ画像計測では、同一点の算定の際にミスマッチが多く発生した。この問題を解決するためにFFT法や相互相関係数法を用いた上に、視差等の拘束条件、輝度値の波長による拘束条件を加味したが、ミスマッチによる波面形状の推定が難しい場合があることがわかった。ミスマッチの発生により波面形状の解析に誤差が生じるためミスマッチの除去が今後の課題となることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

1. 有田守:ステレオ画像法による波面計測,招待講演,2010年2月25日,韓国 関東大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

有田 守 (ARITA MAMORU)
大阪大学・工学研究科・助教
研究者番号:80378257