

高速カラービデオを用いた断面二次元流速場の測定

Measurement of two dimensional velocity profile using a high-speed color video camera

秋山成央*・昇 悟志**・風間 聡***・西村仁嗣****

by Shigehisa AKIYAMA, Satoshi NOBORU, So KAZAMA and Hitoshi NISHIMURA

Color pictures from a high-speed color video system was used in measurement of the internal velocity fields by the correlation method. Color pictures provide three-times more information than monochromatic pictures, allowing more detailed analysis of fluid motion under breaking waves. By taking this advantage, the comparative investigation was made on the internal velocity fields of solitary wave on a fixed bed and on a movable bed.

Keywords : correlation method, high-speed color video system, solitary wave, movable bed

1. はじめに

砕波帯における波の変形や流速場を把握することは海浜変形の予測を行う上で不可欠であるが、砕波のような再現性に乏しい現象を調べるには、流れを可視化して流速場全体を捉える方法が多点同時計測が出来るという点で有用である。画像解析により流体内部の流速分布を求める方法はトレーサ追跡法¹⁾、相関法^{2),3)}、Fourier変換法⁴⁾等数多くあり、多くの例が報告されている。しかしこれらの方法では流速場を密に測るためにトレーサの数を増やすと、その信頼度が低下する傾向があり、その矛盾に悩まされることが多い。

そこで本研究では、相関法による画像解析においてカラー画像を利用することを考える。この場合、3種の異なる色調のトレーサを用いれば相関解析の信頼性を維持しつつ、測点の数を3倍に増加させることが理論的には可能である。この性質を利用して、回転盤による予備的な実験の後、一定勾配斜面を遡上する孤立波の砕波現象をカラー撮像し、相関解析によってその内部流速分布を固定床および移動床について測定した。従来の多くの砕波研究において固定床について行われており、漂砂運動の理解を目標とするには、移動床で行うことが現実的である。既往の砕波実験がどの程度、移動床と違いがあるのかを理解するため、両条件での比較を試みた。

* 筑波大学大学院 工学研究科

(〒305 つくば市天王台 1-1-1)

** 筑波大学 基礎工学類

*** 正会員 博(工) 筑波大学講師 構造工学系

**** 正会員 工博 筑波大学教授 構造工学系

2. 予備解析

2.1 トレーサ粒子の輝度値分布

高速カラービデオカメラ(HVC)で撮影したカラー画像は、1画面につき256×256画素のデジタルデータで得られる。各画素はR,G,Bの各色毎に256階調の輝度値で表現される。カラービデオの画像データを解析する場合、特長を活かすためには、R(赤),G(緑),B(青)の各色に対してそれぞれ高い輝度値を示すようなトレーサを用いることが重要となる。これは、相関法においてトレーサの最適密度に上限があるため、R,G,Bのうちの一つだけ強い反射を起こす色のトレーサであれば、他の色のトレーサ密度の上昇を防ぐことができるからである。そのようなトレーサを特定するために6色のトレーサ(オレンジ、青、緑、ピンク、黄、白)を用意し、それらを各色毎に撮影した画像データに対しR,G,B輝度値の分布を調べた(図-1)。

図-1において輝度値の平均値を点、平均値に対する標準偏差を線で示している。この結果からオレンジ色のトレーサに対してはR画像、緑色のトレーサに対してはG画像、青色のトレーサに対してはB画像にそれぞれ高い輝度値が得られることがわかる。これら3色のトレーサを混合して使用することによって、それぞれの画像に影響を与えることなく高密度の測定が期待できる。

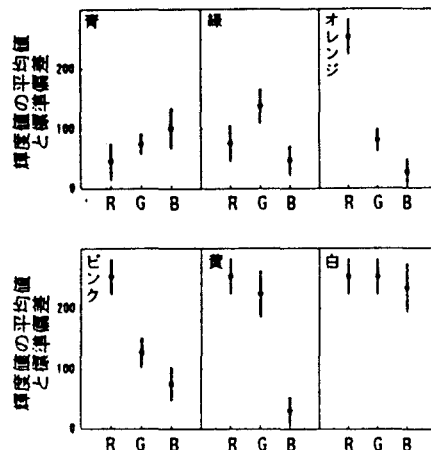


図-1 トレーサの色に対する R, G, B 輝度値分布

2.2 相関解析

相関解析は、時刻 $t = t_0$ の画像中に $n \times n$ の大きさの基準テンプレートを設定し、時刻 $t = t_1$ の画像においてこれと最も類似度(相関値)の高い同じ大きさのテンプレートを検索しその位置を移動先とみなすものである。解析においてはテンプレートの大きさを15×15画素とし、基準テンプレートは6画素毎に移動させた。検索時間の短縮のため、 $t = t_1$ 画像での検索範囲は基準テンプレートの中心位置から±8画素とした。カラー画像を利用する場合、R,G,B 各々で異なった位置を基準テンプレートの移動先として選択する場合があるが、その場合 R,G,B で最も高い相関値を示している位置を移動先として採用した。最大相関値のしきい値は0.5とし、この値以下は信頼性に欠けるものとして流速を求めていない。以下の解析結果において速度ベクトルは相関値が0.5以上0.6未満は細線、0.6以上0.7未満は中線、0.7以上の場合には太線で示している。

2.3 回転円盤上での解析

回転運動に対する相関法の精度を調べるために円盤にトレーサ粒子を散りばめたものを回転させ、HVCで撮影した。円盤の回転角速度は $3\pi/2$ (rad/s) であり、時間間隔5/186秒の2枚の画像に対して解析を行った。結果を図-2に示す。図-2の2本の半径方向の直線で挟まれた角がこの時間間隔で実際に回転した角度である。回転の中心から外側にかけて速度が速くなっていることが見てとれ、解析によって得られた速度ベクトルは、各回転半径において真値とほぼ一致している。円盤の

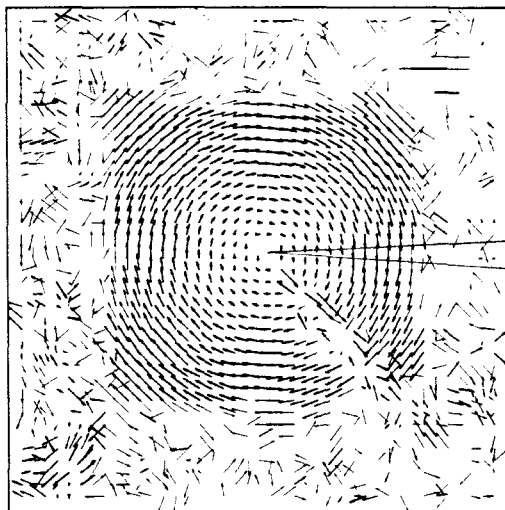


図-2 回転円盤での解析結果

外側では、大部分が欠測となっているが、これは検索範囲を±8画素に限ったために、より高速の運動を追いきれないためである。解析においてテンプレートは平行移動しか行っていないが撮影画面の大きさに対してこの規模の回転運動ならうまく捉えられることがわかる。

3. 砕波帯での解析

3.1 実験装置

実験水槽は長さ 17 m、深さ 0.6 m、幅 0.1 m の片面透明の矩形水路を用いた。その水路に勾配 1/20 の斜面を設けて固定床および移動床のケースについて二次元断面実験を行った。孤立波はピストン型造波機により発生させ砕波の瞬間を HVC(フोटロン製)で撮影し、得られた画像データは、VTR および光磁気 disk に記録した。HVC のコマ送り速度は 1/186 sec、露光時間は 1/186 sec である。高速度撮影に対応するために、2000 W の照明を上方向から照明し、ガラス面や背景の反射を押さえるために背景はつや消しの黒色板とした。トレーサは直径約 1mm のオレンジ、青、緑の 3 色のポリスチレンビーズを加熱処理により水の比重と同じにしたものを混合して使用した。対象とした波は沖波波高 5.6 cm、波高水深比 0.28 の巻き波砕波である。

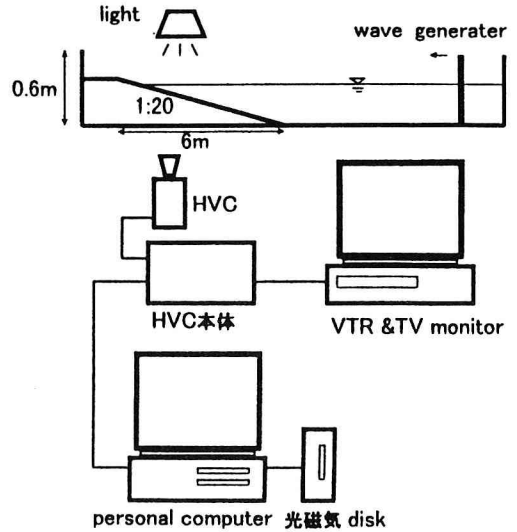


図-3 実験装置

3.2 固定床での流速分布

写真-1 はビデオ画像の 1 コマを白黒表示したものである。上部からの照明のため、境界面の水面と底面において光の散乱が強調されているが、内部のトレーサ粒子はうまく撮影されている。撮影によって得られた画像の中から、砕波直前の 3 画像に対して解析した。この 3 画像の時間間隔は 10 コマ (10/186sec) であり、それぞれ次のコマ (1/186sec 後) の画像に対して相関解析を行い、流速分布を求めた(図-4(a), (b), (c))。また比較のために R 画像のみで得られた流速分布を図-5 に示す。それに対する同じ画像の R, G, B すべてから得られた流速分布は図-4(a) である。両者を比較すると、単色のみの結果(図-5)におけるデータ欠損領域や明らかに誤っていると思われる判定が図-4(a)において改善されていることが分かる。このことからカラー画像を利用することにより情報量が増え、一つの画像データによる解析結果での欠損領域を補填し信頼度が向上していることがわかる。図-4(a), (b), (c)において内部流速分布を見ると、波頂部前方の領域では流速は斜め上方を向いており、水面の上昇とともに流速を増していることがわかる。底面付近の流速は(a), (b), (c)ともに水平方向を維持しているが、図-4(b), (c)において波頂部真下の底面付近では、他の領域に比べて斜め上向きの流速が見られる。波頂部後方では全体にわたって水平方向の流れを示しており、水表面を除き一

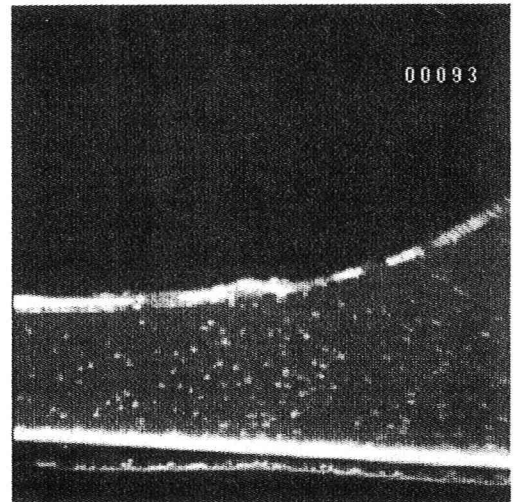
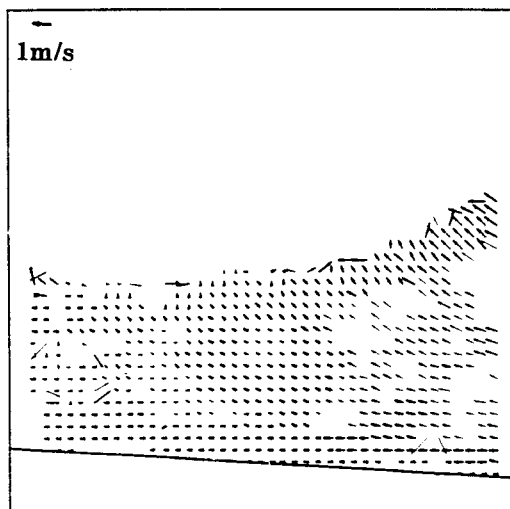


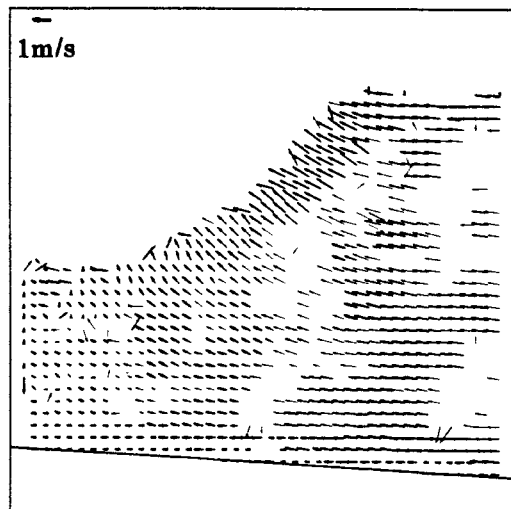
写真-1 VTR 画像 (白黒表示)

写真-1 はビデオ画像の 1 コマを白黒表示したものである。上部からの照明のため、境界面の水面と底面において光の散乱が強調されているが、内部のトレーサ粒子はうまく撮影されている。撮影によって得られた画像の中から、砕波直前の 3 画像に対して解析した。この 3 画像の時間間隔は 10 コマ (10/186sec) であり、それぞれ次のコマ (1/186sec 後) の画像に対して相関解析を行い、流速分布を求めた(図-4(a), (b), (c))。また比較のために R 画像のみで得られた流速分布を図-5 に示す。それに対する同じ画像の R, G, B すべてから得られた流速分布は図-4(a) である。両者を比較すると、単色のみの結果(図-5)におけるデータ欠損領域や明らかに誤っていると思われる判定が図-4(a)において改善されていることが分かる。このことからカラー画像を利用することにより情報量が増え、一つの画像データによる解析結果での欠損領域を補填し信頼度が向上していることがわかる。図-4(a), (b), (c)において内部流速分布を見ると、波頂部前方の領域では流速は斜め上方を向いており、水面の上昇とともに流速を増していることがわかる。底面付近の流速は(a), (b), (c)ともに水平方向を維持しているが、図-4(b), (c)において波頂部真下の底面付近では、他の領域に比べて斜め上向きの流速が見られる。波頂部後方では全体にわたって水平方向の流れを示しており、水表面を除き一

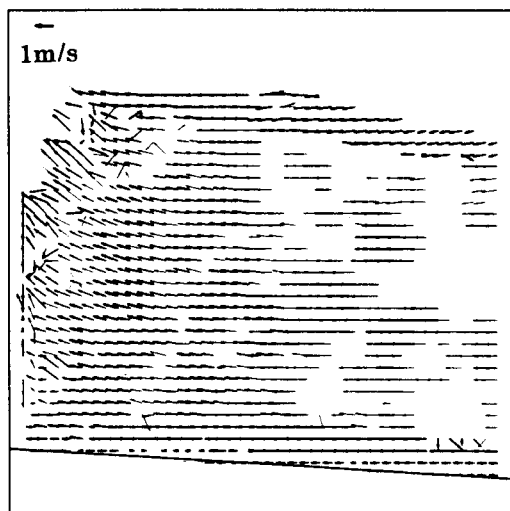
様流れの様相を呈している。図-4(c)の右上方水面付近の領域では水面の低下を示す斜め下向きの流れが見られる。どの図においても欠測部周辺に誤判定が多く生じる。これは、この領域にはトレーサの数が少なく、テンプレートの濃淡パターンが単純になり易いためである。トレーサを均等に分布させることで、この問題は解決されるが、実際には手作業に負うことであり作業の熟練が必要となる。



(a)



(b)



(c)

図-4 固定床での解析結果

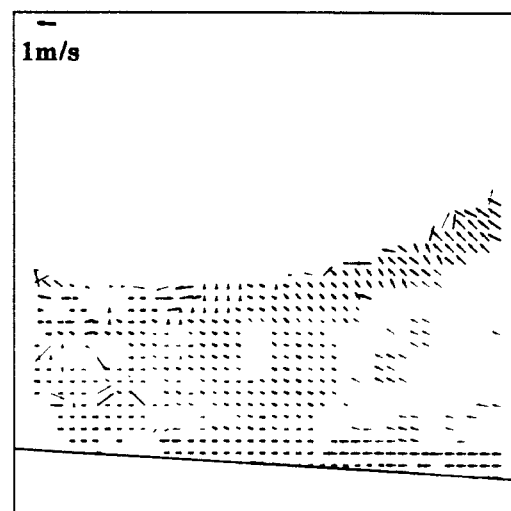
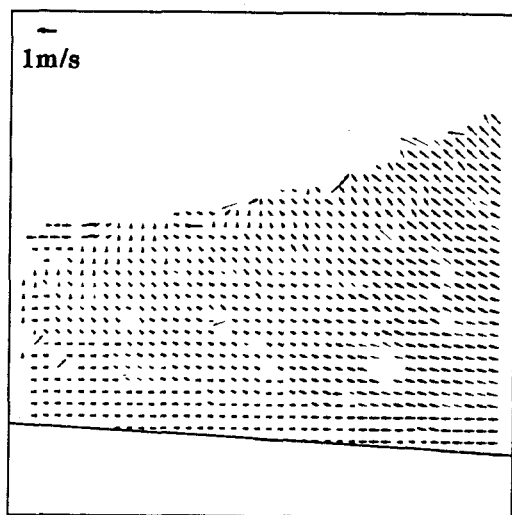


図-5 R 画像のみの解析結果

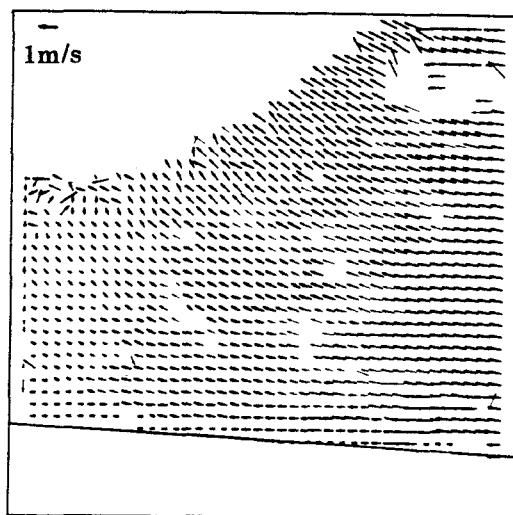
3.3 移動床と固定床との比較

移動床での同様の解析結果を図-6(a), (b), (c)に示す。移動床の場合においても固定床の場合と同様に波頂部の真下の底面付近で、他の領域と違い斜め上向きの流れが見られる。これら一連の結果は固定床の場合と大きな差違は見られない。固定床と移動床では特に底面付近の流速分布に違いが生じるとは思われたが、今回の結果では違いを見ることはできなかった。これは、固定床と移動床において解析画像が同じ波形を捉え

たかどうかの判断が厳密になされていないため、定量的な差を求めずに定性的に判断しているからである。詳細な検討を行うには、それぞれの条件の画像において、高精度な流速測定を行う必要がある。今後は両条件において同じ波形をもつ画像を多く取り込み、その平均から流速の分布を定量的に議論する予定である。



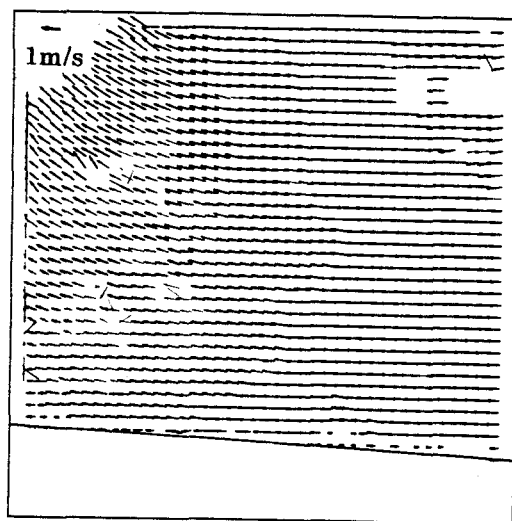
(a)



(b)

4. まとめ

カラービデオを用いた相関解析は、再現性の乏しい碎波のような流体運動の流速分布測定に効果的であることが、本研究により確認された。その際、カラービデオから得られる R, G, B 各画像に対して効果的なトレーサの色について議論された。しかし、トレーサの分布状態によっては、固定床上での解析結果に見られるような欠測を多く生じさせることがある。孤立波碎波の内部流速分布については、固定床上および移動床上で差異は見られなかった。これは定性的な判断によるもので、詳細な検討は、より多くの画像を用いた定量的解析にまたなければならない。今後の課題としては、観測された値をさらに信頼性の高い定量データに変換する方法の開発とトレーサの不均一分布による誤判定の除去があげられる。これらが解決された後、碎波内部流速の定量解析が進むものと考えられる。



(c)

図-6 移動床での解析結果

参考文献

- 1) 長尾昌朋・片岡曉彦・沢本正樹：VTR 画像処理とトレーサ追跡法を組み合わせた砕波内部流速場の測定，海岸工学論文集，第 38 巻，pp. 56-60，1991.
- 2) 西村仁嗣・武若 聡：VTR 画像の相関解析による砕波時内部流速分布の推定，第 35 回海岸工学講演会論文集，pp. 45-48，1988.
- 3) 真野 明・神尾成也：相関法による砕波気泡混入領域の流動解析，土木学会論文集，第 423 号／II-14，pp. 171-180，1990.
- 4) 小林智尚・日野幹雄・疋田賢七・萩原秀規：フーリエ変換を用いた画像処理による砕波内部流速場の測定，海岸工学論文集，第 39 巻，pp. 56-60，1992.
- 5) 長尾昌朋・神保誠二・沢本正樹：トレーサ追跡法と相関法を用いた孤立波砕波の流速分布測定，海岸工学論文集，第 41 巻，pp. 161-165，1994.
- 6) 渡部靖憲・佐伯浩：画像処理による砕波帯内の運動機構に関する考察，海岸工学論文集，第 42 巻，pp. 116-120，1995.
- 7) 江藤剛治・竹原幸生：高速ビデオカメラの現状と水工学分野への適用，土木学会論文集，第 533 号／II-34，pp. 9-20，1996.
- 8) 藤田一郎・河村三郎・近藤雅信：粒子画像のシミュレーションによる相関法の精度と精度向上に関する研究，可視化情報，Vol. 11, No. 1, pp. 173-176，1991.
- 9) 江藤剛治・竹原幸生・横山雄一・井田康夫：水流の可視化に必要な関連技術の開発-比重整合・屈折率整合・多波長計測-，土木学会論文集，第 533 号／II-34，pp. 37-106，1996.
- 10) K. A. Powell, P. A. Quinn and C. A. Greated, Single Beach Profiles and Wave Kinematics, Proc. 27th Coastal Eng. Conf., pp. 2358-2369, 1992.