

UVPとPIVによる砕波帯内部の流速計測

Measurement of velocity in wave breaking by UVP and PIV

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 大塚 淳一 (Junichi Otsuka)
 北海道大学大学院工学研究科 横山 馨 (Kaoru Yokoyama)
 北海道大学大学院工学研究科助手 正 員 渡部 靖憲 (Yasunori Watanabe)

1. はじめに

砕波ジェット突入部およびボアフロント部は幅広い気泡スペクトルを有する、複雑かつ大規模な三次元気液二相乱流場である。これまで、このような流体場に対する流速計測ではADV(Acoustic Doppler Velocimeters)やLDV(Laser Doppler Velocimeters)が多く用いられてきたが、これらは特定の点に対する流速計測において効果を発揮するものであり、砕波帯のような時空間に広がりを持つ複雑な気液二相乱流場で適用することは難しい。著者らはこのような問題を解決すべく、時空間に拡張可能なPIV(Particle Image Velocimetry)を適用し複雑な乱流場の流速計測を可能とするとともに、この技術を三次元に拡張したPIVおよびPTV(Particle Tracking Velocimetry)を開発し、砕波帯の内部構造をより空間的に解明する試みを行っている。

本研究では水路側方部からレーザーシートを照射し、砕波帯内部の可視化を行い、高速ビデオカメラで可視化領域の撮影を行った。その後、得られた画像をPIV解析することにより、砕波帯内部の水平速度成分および水平渦構造の計測を行うものである。なお、本実験では水路側方部に設置されたUVP(Ultrasonic Velocity Profiler 以下、UVPと称する)により水路横断方向の測線上流速分布を計測し、PIVで得られた結果と比較を行う。また、高ボイド率帯であるジェット着水点近傍およびボアフロント部での計測を行い、気泡存在下におけるUVPの適用性についても検討を行う。

2. 実験方法と実験条件

(1) 実験方法

図-1に実験装置の概略図を示す。実験は長さ800cm、幅26cm、高さ60cmの全面アクリル製の二次元造波水路で行った。水中には蛍光塗料で着色された中立粒子(比重1.02)を散布し、水路側方部 波の進行方向に対して左側)から厚さ約5mmのレーザーシート(アルゴンレーザー)を照射した。砕波帯内部の流速をPIVで計測する場合、水粒子と混入気泡の動きを分離して計測する必要があるが、本実験では水路底部に2台の高速ビデオカメラを設置し、一方にはレーザーシートによる蛍光塗料からの励起光を通すハイパスフィルタを、もう一方には気泡表面からのレーザーシート反射光を通すローパスフィルタをレンズ前面に設置することにより、水粒子と気泡の動きを同時に計測することを可能にした。2台のカメラは同一計測面を撮影するため、ある程度傾きを持たせて設置されている。撮影された画像は実際の計測面に対して歪んだ画像となるが、あらかじめ格子状のキャリブレーション

ションボードを2台のカメラで撮影し、歪みに対する情報を取得し、その結果を線形投影法に反映させることにより歪み補正を行っている。

UVPは水路側方部 波の進行方向に対して右側)に、測線がPIV計測面の中心となるように設置した。TTLトリガーを高速ビデオカメラとUVPに接続することにより、同期計測を可能とした。

本実験では高速ビデオカメラのフレームレートは250fps、シャッタースピードは500fps、UVPの空間分解能2.04mm、速度分解能2.05mm/s、時間分解能20msと設定し実験を行った。

(2) 実験条件

表-1に実験条件を示す。各ケース水平方向に砕波点から40cm、70cm、150cmの3箇所、深さ方向に底面から2cm、4cm、6cm、8cm、10cmの5箇所の合計15箇所において計測を行った。各計測箇所で30回計測を行い、得られた結果のアンサンブル平均をとり評価を行った。

表-1 実験条件

	水深 (cm)	海底勾配 -	周期 (s)	砕波水深 (cm)	砕波形態 -
CASE1	25	1/20	1.47	17.5	plunging+ spilling
CASE2	25	1/20	2.00	12.5	plunging

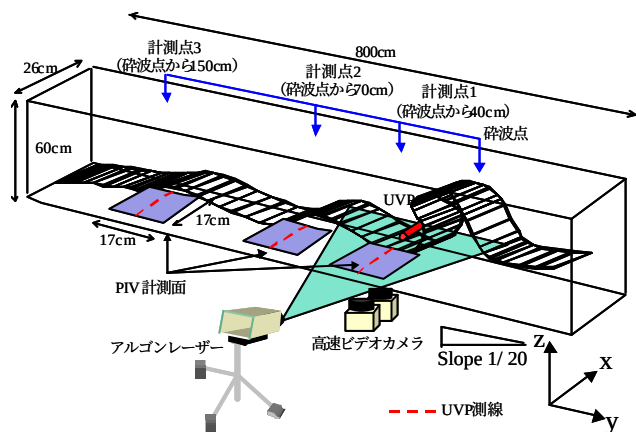


図-1 実験装置の概略図

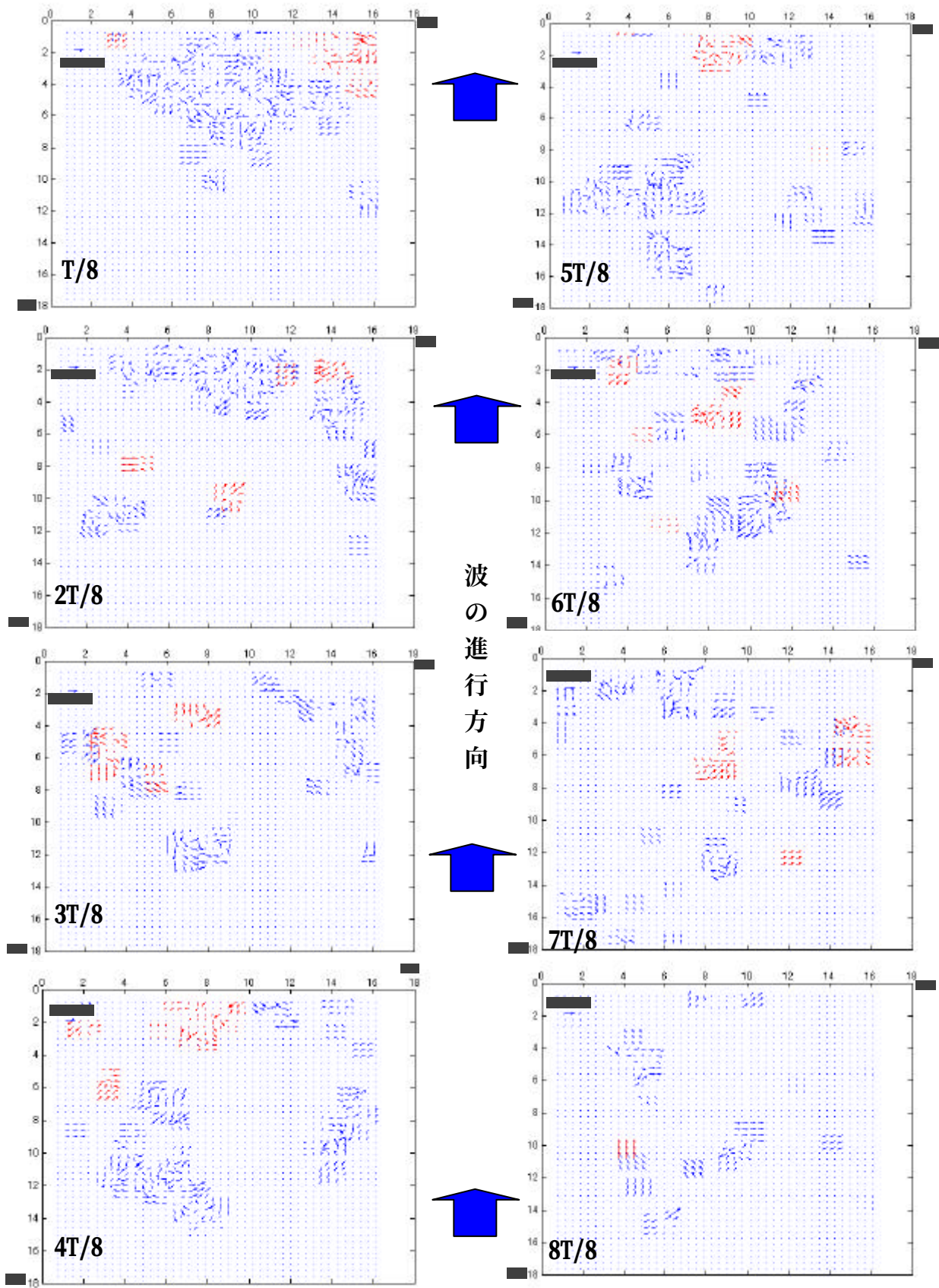


図-2 流速ベクトル (CASE1:碎波点から70cm, 底面からの距離8cm)

青：水粒子 赤：気泡

3.計測結果

(1)PIV解析結果

図-2にCASE1における流速ベクトル（砕波点から70cm, 底面から8cm）を示す。なお、波は紙面下方から紙面上方へ向かうものとする。T/8におけるベクトル図は、砕波ジェット着水後の流速を示している。ジェット着水後の水面近傍の流体運動は比較的大径の気泡を大量に含む、複雑な気液混相乱流場となる。その傾向は図の上方に存在する時計回りの渦運動により確認することができる。この渦運動は2T/8～3T/8において水路幅方向に拡散する傾向があるが、4T/8～5T/8のベクトル図からもわかるように、この拡散運動は完全に渦が散逸するまで続くのではなく、比較的水路側面部に近い領域で停滞する傾向がある。その後、次の位相の波がくるときに発生する戻り流れの影響を受け、水路中心部に近い領域で渦運動が確認され、再度来襲する砕波ジェットの突入により再び水路側面部へ拡散する。

本実験では水粒子の運動とともに、気泡の運動も計測しているが、ベクトル図（赤矢印）では気泡の明確な運動は確認することはできない。ジェット着水時に生成される気泡は、流体運動から抗力を受け、瞬時に計測領域を通過する。その後、気泡はすぐには上昇せず岸方向へ大きく輸送された後、戻り流れにより再び検査領域付近に到達し、検査面を底面から水面方向へ通過する。このような、一連の気泡の動きは今回用いたPIVの局所定常時間を大きく上回るものであり、その影響により気泡の運動が本PIV解析では捉えられなかった可能性がある。気泡の運動に関しては、時空間へ拡張されたPIVにより解析することにより、明確に気泡の運動を捉えることが可能となる。

(2)UVP解析結果

図-3による流速測定結果を示す。縦軸は計測開始からの時間（秒）を表し、横軸は水路側面からの距離（波の進行方向に対して右側面からの距離）を表す。図-2のベクトルとはT/8のベクトル図が、図-3における4.00(s)にあたる。

砕波ジェット突入後、水路中心部付近に波の進行方向に対

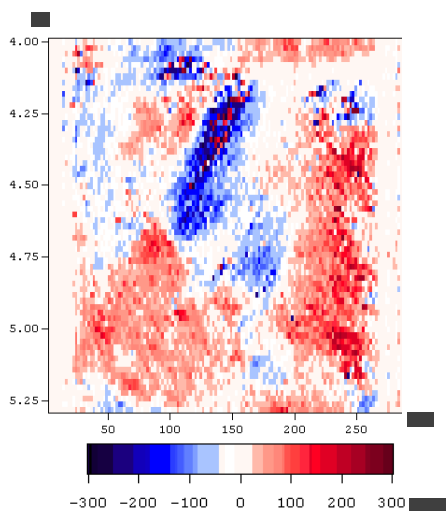


図-3 UVPによる流速測定結果
(CASE1:砕波点から70cm, 底面からの距離8cm)
青：波の進行方向に対して右側へ向かう流速
赤：波の進行方向に対して右側へ向かう流速

して右側に向かう速度が強く出ている。この傾向は、図-2のT/8に示すベクトル図と同様な傾向を示している。しかし、その速度を比較した場合、PIVとUVPではおよそワンオーダーの違いが生じている。この原因については不明であるが、PIVに関しては検査領域内に存在する粒子数が少なかったこと、UVPに関しては比較的大径の気泡が存在する計測領域であったためノイズが多く出た可能性が挙げられる。PIVにおける検査領域内の最適な粒子数と、UVPにおける気泡存在時の精度確認については今後、更なる検討が必要である。

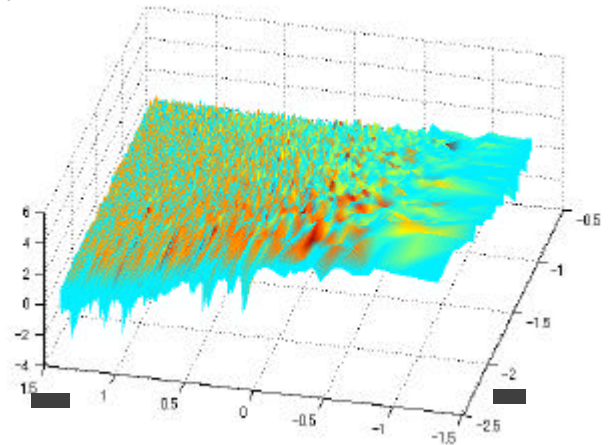


図-4 UVPにおける2次元スペクトル解析結果
(砕波点から40cm, 底面から2cm)

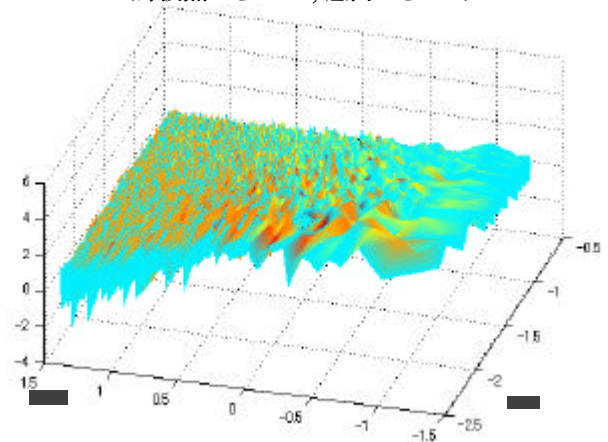


図-5 UVPにおける2次元スペクトル解析結果
(砕波点から40cm, 底面から6cm)

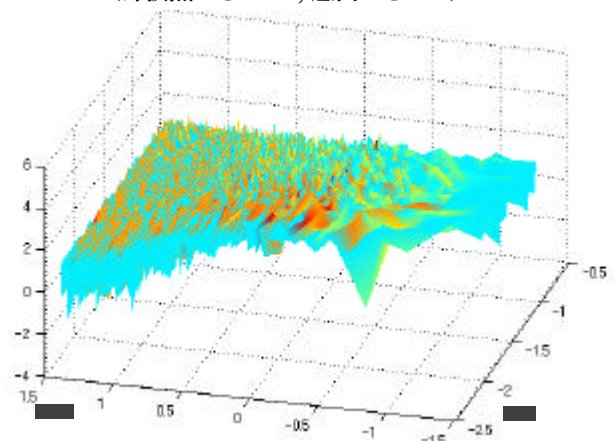


図-6 UVPにおける2次元スペクトル解析結果
(砕波点から40cm, 底面から10cm)

(3)UVPにおける2次元スペクトル解析結果

図-4～図-9にUVPにおける2次元スペクトル解析結果を示す。碎波点から40cmおよび70cmの両ケースにおいて、水面に近づくほど、高周波数成分が卓越する様子がわかる。この様子は碎波ジェット突入後の複雑な乱流場が水面近傍でより強いことを示している。今後、碎波点からさらに遠い点における計測結果と比較し、その乱れ成分の空間方向遷移過程について検討を行う必要がある。

参考文献

- 1)Longuet-Higgins,1992.Capillary rollers and bores.J.Fluid Mech.240,658-679
- 2)Brocchini & Peregrine,2001.The dynamics of strong turbulence at free surfaces.Part 1.Description.J.Fluid Mech.449,225-254
- 3)Met-flow:UVP Monitor-Model UVP-XW,User's guide ,pp.2.1-3.15,2000

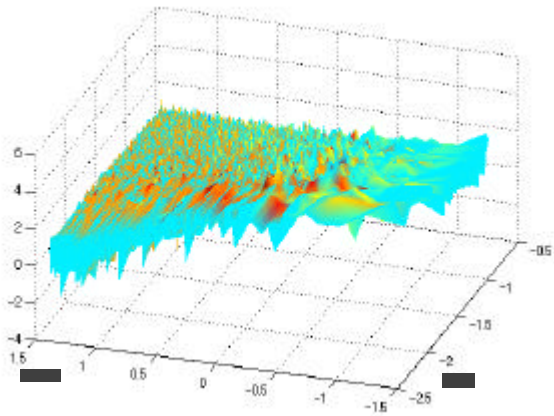


図-7 UVPにおける2次元スペクトル解析結果
(碎波点から70cm, 底面から2cm)

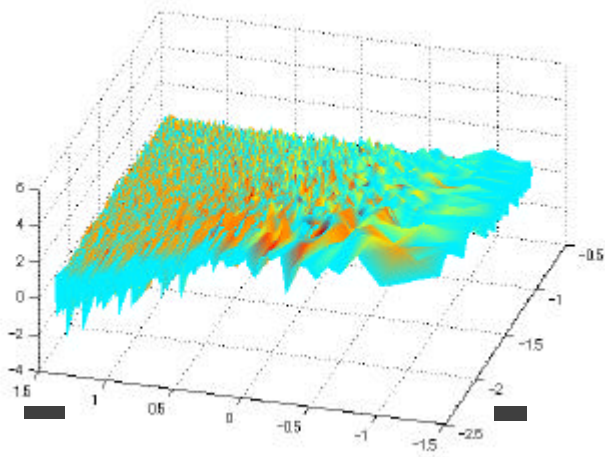


図-8 UVPにおける2次元スペクトル解析結果
(碎波点から70cm, 底面から6cm)

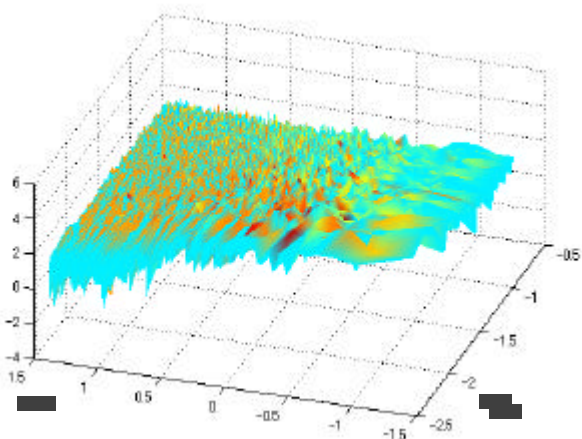


図-9 UVPにおける2次元スペクトル解析結果
(碎波点から70cm, 底面から10cm)