A114 微小砕波の可視化実験

水谷 夏樹[○] (岐阜大院/日本学術振興会特別研究員), 安田 孝志 (岐阜大)

An Experimental Study on Visualization of Microscale Breaking Wave

Natsuki MIZUTANI and Takashi YASUDA

ABSTRACT

An experimental study on visualization of the wave profile is presented here. A diode-pumped solid-state laser was used as a light source for exciting fluorescent dye (Rhodamine-B). The combination of a high speed CCD camera and two sliding rails were used. The sliding rails were used to move the CCD camera and an optical projection unit with propagating wave crest. Specially, we perceived region between breaking and non-breaking wave on a constant depth reef. As a result, microscale breaking wave, which has no falling jet at breaking process, existed in the boundary region. The breaking wave decayed through the capillary waves progressed to 3D turbulence without the jet plunged.

Keywords: Microscale breaking wave, Capillary waves, 3D turbulence

1. はじめに

海岸工学, 海洋学をはじめとして波浪を取り扱う研究領域は数多くあるが, とりわけ砕波という現象に対しては不明な点が多く残されている. 筆者らはこれまで何故砕波するのか? と言った疑問に対し, 波頂部から大きく巻き込むジェットに着目して現象の解明を行ってきた. また, 砕波と非砕波の境界付近に着目してどういった現象が起こるのか, それがどのように変化していくのかについて検討を行ってきた.

本論文では, その一連の研究の中で非砕波と砕波の境界付近に発生する微小な砕波 (Microscale Breaking Wave) の可視化実験を行い, 現象を詳細に捉えることができたので, それについて報告する.

2. 実験手法の概要

水理実験は, 長さ 15.4m, 幅 0.4m, 高さ 1.0m の 3 面ガラス張り二次元波浪水槽を用い, その中にリーフ高 $R=9.0\text{cm}$ のアクリル製のリーフを設置した. 水深 h を 15.0cm に設定し, 沖側端のピストン式造波機によって $H=2.7\text{cm}$ ($H/h=0.18$) の孤立波を入射させた.

微小砕波の空間波形の撮影は, 光源としてレーザー波長 532nm (Green 光源: 最大出力 5.0W) の半導体レーザー (Millennia, Spectra-Physics 製) を用い, 図-1 に示すようにシリンドリカルレンズによってシート状にしたものを水槽上方より下向きに照射した. この時, 広角レンズ (20mm lens, Canon 製) によって現象を最適に撮影

Fig. 1 Outline of experimental procedure

できるように手前のガラス面からシート光までの距離を 8.0cm とし, 側方より高速度ビデオカメラ (Motion scope, Radlake Imaging 製) によって撮影を行った. フレームレートおよびシャッタースピードは, それぞれ 250fps, 1/1000s とした. 本研究では, 空間波形の時間的変化を検討することが目的の一つであるため, 水槽上方と側方に移動用のスライドラールを設置し, それぞれレーザーシートの照射台と高速度ビデオカメラを設置して, 波頂部と共に移動する撮影法を採用した.

また, 波形を鮮明に撮影するため水中に少量の蛍光染料 (Rhodamine-B) を混入した. 高速度カメラのレンズの前には 560nm の臨界波長を持つ光学フィルター (S76-O56, 駿河精機製) を取り付け, 強い散乱光をカットして励起光のみを撮影し, 図-2 のような鮮明な波形を撮影することができた. なお, カメラは水平面より 30°

Fig. 2 Spatial change of microscale breaking wave ($H/h=0.18$)

傾けた角度で斜め上方より撮影を行った。このことから図-2にある波形のうち背景とのエッジ部分がレーザー照射面での波形となるほか、撮影されている縞模様は水面の形状を写しているものではなく、水槽上方より照射されたレーザー光の水表面の凹凸による光の干渉縞が見えていることに注意されたい。

3. 微小碎波の空間波形変化特性

図-2は $H/h=0.18$ の空間波形の時間的変化である。波は右から左へ進行している。図中の時間は造波信号によってビデオカメラの時間制御を行ったものであり、造波終了時を $t=0.0s$ としている。

$t=6.036s$ では波頂部付近に何の変化もないが、 $t=6.076s$, $6.116s$ と進むにつれて波頂部前方に toe(くぼみ)が発生し、 $t=6.156s$ では toe から波頂部にかけて bulge(膨らみ)が形成されると同時に、toe の前方に表面張力波が発生している。写っている干渉縞から波長 2~3mm 程度の表面張力波と判断される。 $t=6.196s$ になると表面張力波は次第に消滅し、 $t=6.236s$ にかけて toe が前方に移動する。次に toe から別の表面張力波(波長約 2~5mm)が今度は波頂部にかけて発生し、それらが発達と共に 3 次元的な乱れへと移行しながら波頂部を越えて消滅する。また、時間の経過と共に波頂部と toe との距離は徐々に大きくなり、それに伴って主波である孤立波の尖鋭度は低下していく。本研究で用いた人工リーフの長さは約 6m であり、このケースはそのうちほぼ中央の約 2m の区間を撮影したものであるが、現象はこの後

リーフ後端部まで継続して消波マットに達した。また、 $H/h=0.17$ のケースでは水槽内でこのような波形変化が生じなかったことから、図-2の現象は碎波と非碎波の境界付近の現象であると言える。

一連の現象は、位相の重ね合わせによって碎波を生じさせた Duncan ら¹⁾の結果とほぼ同じであり、リーフ上の孤立波の碎波においてもジェット放出のない碎波形式が存在することから、浅海域、深海域を問わず碎波と非碎波の境界付近にはこうした碎波形式が普遍的に存在すると思われる。

4. おわりに

浅海域における孤立波の碎波においてジェット放出のない微小な碎波を可視化し、その時空間特性を捉えることができた。その結果、微小碎波は波頂部付近に発生する表面張力波が 3 次元的な乱れへと発達することで波高を減衰させる過程を明らかにした。

謝辞：本研究は文部省科学研究費(学振特別研究員奨励費, No. 5566)による成果であることを付記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) Duncan, J. H., V. Philomin, M. Behres and J. Kimmel: The formation of a spilling breaking water waves, Phys. Fluids, 6(8) (1994) pp.2558-2560.