Faraday 波下の流速変動に関する研究

The research associated with velocity fluctuation of water particles in Faraday wave

北海道大学院工学院修士課程1年 ○学生員 小嶋亮太 (Ryota Kojima) 北海道大学院工学研究院 正会員 渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

1. はじめに

浅水変形を受け非線形性が発達した波が鉛直壁面と平 行に衝突すると,波面の集中に伴い,極めて大きな波圧 を発生させ,1000gを超える初期加速度で鉛直ジェット を形成する,flip-through現象が発生する(Cooker and Peregrine)¹⁾.flip-through現象は最大のインパクトを与え る波-構造物相互作用として,理論的¹⁾,実験的²⁾研究が 行われている.また,flip-through現象に起因して上方数 10mに及んで放出する大量飛沫の分裂において,

Watanabe and Ingram(2015³),2016⁴)は flip-through ジェット の不安定化と飛沫分裂過程をバックライト計測により明 らかにしている.しかし,これら全ての研究は壁面に垂 直入射する波を仮定しており,壁面に多方向入射し一点 集中する場合,想定上最大の波力を持つ高速ジェットが 生じると考えられる.

エジンバラ大学は直径 25m の円筒水槽の周上に造波 板が設置された大規模造波水槽 FloWave を用い,全方位 から同心集中波群を生成し,大規模な円柱状ジェットの 形成に成功している(図-1). これはミラー効果を考慮 すると,壁面一点に多方向入射し発生する flip-through 現象と等価であると考えられる.

一方、Longuet-Higgins は円筒容器内の液体を鉛直加振 することで発生する Faraday 波により、円筒中央でジェ ットを形成し、安定限界角を与えている⁵⁾. FloWave, Faraday 同心波より発生する両ジェットは同心集中波群 を形成後、ジェットを放出することから、Faraday 波の 解析により最大 flip-through の発達機構を明らかにでき る可能性がある.

本研究は, Faraday 波生成時における水粒子の挙動を 高速高解像度計測法により分析し,誘発される同心集中 ジェットの発達機構を明らかにするものである.



図-1 FloWave で生成された鉛直ジェット

2. 実験方法

内径 74mm,高さ 200mm の透明アクリル製円筒容器 に、水深 50mm で蛍光中立粒子を混入した蒸留水を入れ、 鉛直加振機によって周波数を変更して鉛直振動させ、 Faraday 波を生成する.振動条件は振幅 0.5mm,周波数 5、10、15、20Hzの計4ケースとした.実験条件として、 円筒中央断面上に側面から YAG レーザーシート(波長 532nm)を照射し、水中に混入した蛍光中立粒子の移動 を高速カメラ(125fps)により撮影した(図-2).また、カ メラレンズにシャープカットフィルター(620nm 以上の 波長が通過)を取り付け、レーザー光の容器との反射の 影響をなくし、トレーサーからの蛍光のみを撮影可能と した.撮影画像は相互相関と粒子追跡を合わせた Superresolution PIV(Watanabe et al. 2012)⁶により高画像流速の 面分布を取得する.



図-2 実験装置

3. 実験結果

3.1 波浪集中時の水粒子軌道

振動条件 5Hz, 10Hz の時,水面の大きな変位はなく, 15Hz, 20Hz の時,水面が大きく変動し,局所的な水位 上昇が確認された.水位変動の増減について,自由振動 の振幅は半径方向,円周方向のモード数の組み合わせに より決定し,分散関係を補完してパラメトリックな液体 振動の振幅を与える⁷⁾.15Hzにおいて中心付近で局所的 な水面の低下,即ちキャビティを形成した後,多方向入 射する同心円筒波によって急速に収縮し(図-3(a)-(d)), 同心集中ジェットを形成し,同時に鉛直下向きへの粒子 の移動が観察された(図-3(e)-(f)).これは,円筒波の急





図-3 15Hz 励振時における波浪集中時の撮影画像; (a)-(d): 2ms 間隔, (e)-(f): 6ms 間隔

速な収縮に伴うキャビティの崩壊により気泡や水面付近 の粒子が水中に巻き込まれたためと考えられる.

3.2 Faraday 波下の速度場

振動初期において全てのケースで水面付近のみの速度 場が観察された(図-4). 図中における矢印が速度ベク トル,赤青が渦度を表している. Faraday 波形成初期よ り,水面付近において渦度の分布が現れる. このことか ら,半径方向だけでなく,円周方向のモードが存在する ことがわかる.







図-5 は図-3 前後における速度場, 渦度の時間変化を 表したもので, 図-5.(a)より水面付近において中心方向 の速度ベクトルが確認できる. これは波浪集中に伴い, 同心波が中心に収束していくためである. 図-5.(b)から キャビティ形成により曲面に沿って速度が発達していき, 波面同士の平行衝突によって鉛直方向に速度が生まれて いる様子が確認された(図-5.(c)). ジェット形成後, 水 面上に急速に移動するため,鉛直上向きの速度ベクトル は確認できず,図-3 同様,ジェット下において鉛直下 向きの速度ベクトルが確認された.

4. まとめ

Faraday 波をモデルに研究を進めていくため, Faraday 波下の速度, 渦度分布を SRPIV 法を用いて調査 した.振動初期からジェット発生まで水面付近でのみ速 度, 渦度の分布が確認された.また, 波浪集中時におい て中心方向に大きな速度場が生まれ, 波面衝突に伴い鉛 直両方向に発達することが確認できた. 今後は, 鉛直振 動の周波数によって粒子移動が大きく異なるため混入す る蛍光中立粒子の調整とサンプル数の増加による精度の 向上を目指し, ジェット発達について解明していく.

参考文献

1) Peregrine, D. H.(2003): Water-wave impact on walls. Annu. Rev. Fluid Mech., 35, 23-43.

(doi:org/10.1146/annurev.fluid.35.101101.161153)

2) Lugni, C. and Brocchini, M. and Faltinsen, O. M.(2006): Wave impact loads: The role of the flip-through. Phys. Fluids, 18(12), 122101.

(doi:org/10.1063/1.2399077)

3) Watanabe, Y. and Ingram, D. M. (2015): Transverse instabilities of ascending planar jets formed by wave impacts on vertical walls. *Proc. R. Soc. A* 471: 20150397.

(doi:org/10.1098/rspa.2015.0397)

4) Watanabe, Y. and Ingram, D. M. (2016): Size distributions of sprays produced by violent wave impacts on vertical sea walls. *Proc. R. Soc. A* 472: 20160423

(doi:org/10.1098/rspa.2016.0423)

5) Longuet-Higgins, M. S.(1982): Bubbles, breaking waves and hyperbolic jets at a free surface. J. Fluid Mech., 103-121. (doi:org/10.1017/S0022112083002645)

 6) 渡部靖憲, 堀井正輝, 新井田靖郎: 遡上波の力学的 バランスと流れ構造, 土木学会論文集 B2 (海岸工学),
69.2: 66-70, 2013

7) Benjamin, T. B. and Ursell, F. J.(1954): The stability of the plane free surface of a liquid in vertical periodic motion. Proc. Royal Soc. London. A, 225(1163), 505-515.

(doi:org/10.1098/rspa.1954.0218)