

任意相対角を持つ壁体に衝突するジェットの水水面形遷移

Surface of water face-shape transition of jet impinging on the wall with any relative angle

北海道大学工学部

○学生員 大島悠揮(Yuki Oshima)

北海道大学沿岸海洋研究室

正員 渡部靖憲(Yasuhiro Watanabe)

1. はじめに

沿岸構造物に作用する衝撃砕波圧はもしくは廣井(1920)から始まり多くの研究が行われてきたにも関わらず、未だに不明な物理過程を経て生じる予想外の波力から現在でも数多くの被害が生じている。多くの実験的で得られている同一波浪条件に対する砕波圧の著しい分散は、波面の壁体衝突時の応答に極めて敏感であること、またさらに空気塊あるいは気泡を巻き込むことによる水中圧力応答の急変が複合的に重なり、非常に複合な流体力分布を構成することが原因と考える。

この実験的研究が主体であった分野において、Peregrine(1995)は短形水塊の鉛直壁面への衝突時に発生する圧力の力積を解析的に導いている。これによると壁面上、水面直下では非常に高い圧力勾配が発生し、1000gを越える加速度で鉛直ジェットを放出するいわゆる flip-through の発生機構と衝撃圧との関係が説明されている。Flip-through は衝突直前の水面勾配と壁面との相対角が支配パラメータとなり、これに応じてジェットの放出速度、形状が大きく異なることが渡部、石崎(2001)の研究から明らかになっている。これらの成果は、従来入射波浪条件のみによる砕波圧並びに越波のパラメータ化の限界を示唆するものであり、水面形状という新たなパラメータによる定量化が期待されている。

本研究は、可変勾配ダムブレイク水槽を用い、鉛直及び水平水面形の遷移を Laser Induced Fluorescence(LIF)により定量化し、独特な変動を伴い発達する水面、組織的空気混入、そしてジェット先端部の運動学的特徴のジェット-壁面相対角依存性を明らかにしようとするものである。

2. 実験装置

延長 1.4m、幅 0.3m、高さ 0.28m の全面透明アクリル壁をもつ可変勾配ダムブレイクで行う。延長方向はゲートにより 0.25m (水室側) と 1.15m (流下層) に区切られている。ゲートはエアコンプレッサーにより速度 0.8m/s で引き上げられる。また、ゲートおよび底面は任意の角度に設定することができる。

3. 実験方法

ダムブレイク水槽の水室に蛍光試薬ローダミン 6G(540ppm)水溶液をため、ゲートを引き上げときに発生する水槽フロント部の水面形を LIF により撮影する。

水面を 3 次的に解析するために、縦断面、横断面の両面から撮影する (図 1 参照)。

縦断面計測では、水槽中央に流れ方向に沿ったレーザーシートを鉛直方向に照射し、側方から高速カメラ (500fps, シャッタースピード 1/2000) で撮影した。

横断面計測では、底面上にレーザーシートを照射し、蛍光分布を圧力からミラーを介した撮影した。

縦断面、横断と平行流下方向共にトラバースし水面形全体を計測した。ゲートが引き上げられたと同時にトリガーがカメラに送信され、撮影が開始される。(図 2 参照)。

蛍光発色させるために、レーザー光をシリンダリカルレンズを通してシート状にして照射する。水面からのレーザーの乱反射を取り除き、蛍光発色した色だけ撮影する為に、ローダミン 6G 水溶液の桃色以上の波長を残すローパスフィルターを用いた (限界波長 540nm)。

水面形の画像計測では、画像座標から実座標の関係を較正する必要がある。1cm 間隔に点を打ったアクリルボードをレーザーシート面に設置し撮影することで画像座標と実座標の関係を取得する。(図 3 参照)

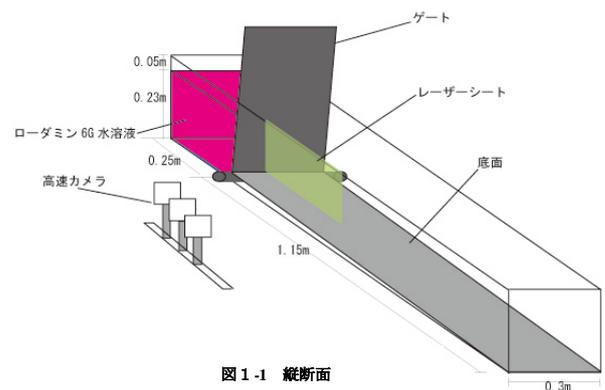


図 1-1 縦断面

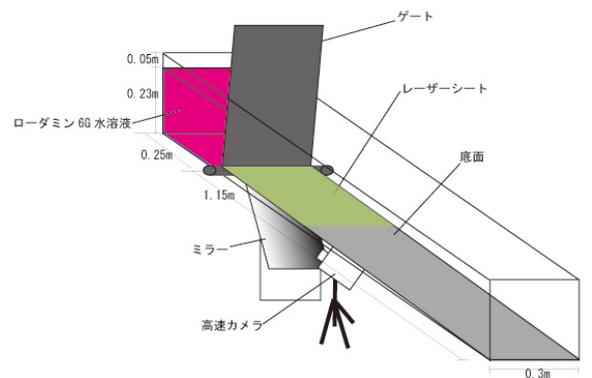


図 1-2 横断面



図2 フォトダイオード (左) トリガー発信機



図3 アクリルボードの設置縦断面 (左) 横断面

2次元の射影変換を適用した. 図4-1は撮影されたオリジナルの画像で, 図4-2はスケールした画像. 図4-3は変換後の画像である.

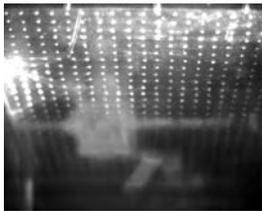


図4-1

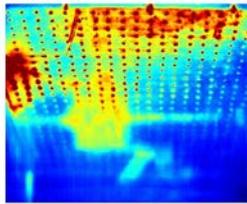


図4-2

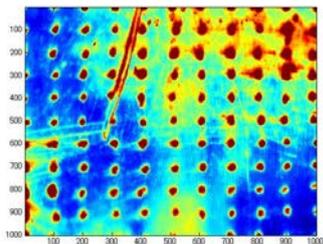


図4-3

4. 画像処理

変換された画像はまず, トップハットフィルターを用いて画像から不均一なバックグラウンド輝度が除去される(図5-2). 次にエントロピーフィルターの適用後, ソベル法によるエッジの抽出を行い, エッジにおいて水面の影となり, 流体と認識されていない領域を修正する(図5-3). この流体領域のゲートからの積分値による横断計測によるフロント座標を決定できる. よって, 水面形画像を得ることができる. その図を進行方向に対して積分し, プロットしたのが図5-5である.

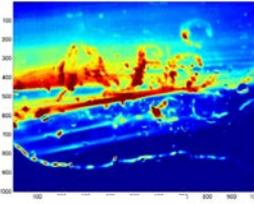


図5-1

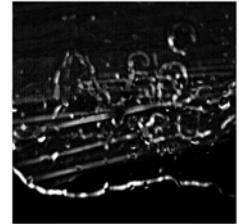


図5-2

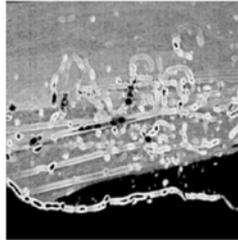


図5-3



図5-4

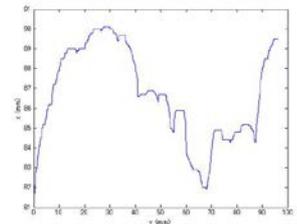


図5-6



図5-5

縦断面計測について同様に処理する. 下図は, 底面が 67.5° のときの画像処理結果である. 最終的に選んで流体領域を底面と直行方向に積分し縦断水面形を得る. (図6-8)

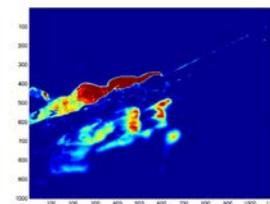


図6-1

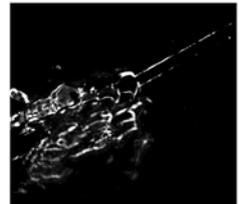


図6-2



図6-3

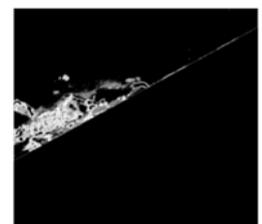


図6-4

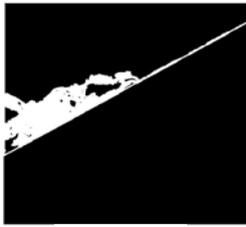


図 6-5

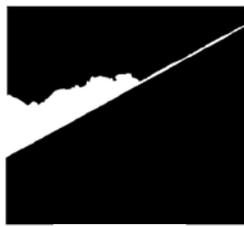


図 6-6

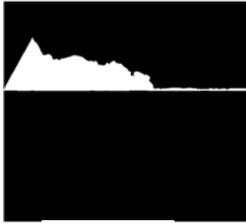


図 6-7

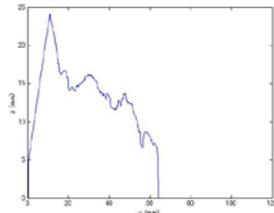


図 6-8

5. 結果

図 7 は、0.01 秒ごとの縦断水面形状を表す。

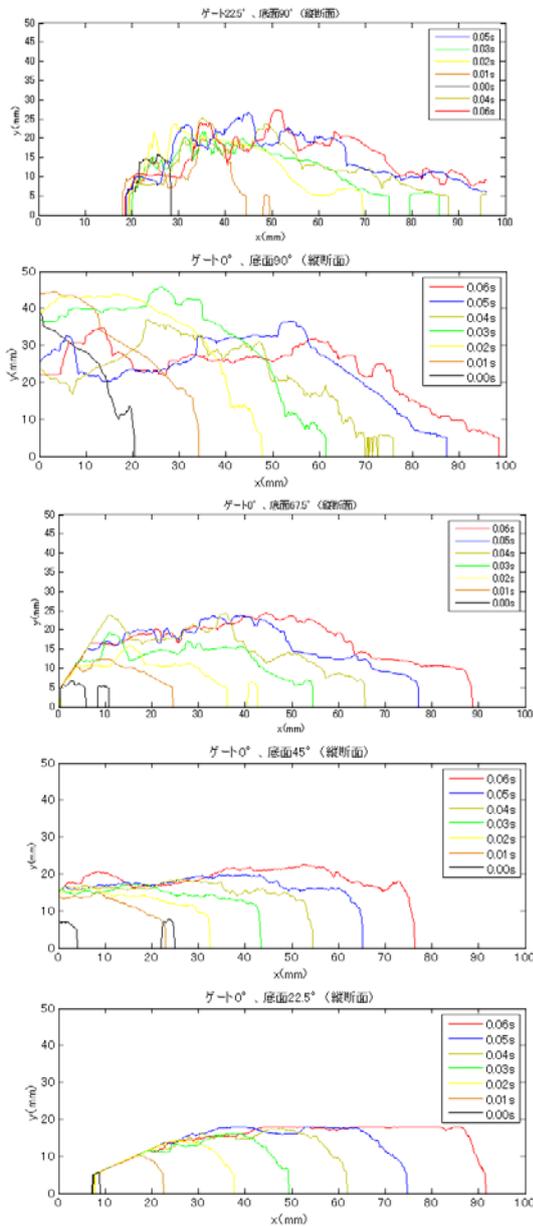


図 7

フロント部でマイルドな勾配をもち、背後に波状の変動を伴う水面形から、斜面が急になるにつれて、垂直に立つ形状になっていくことが分かる。また、底面の角度が同じ場合、ゲートの角度が増えるほど、水面形の形状は緩やかになる。また、急な斜面ほど高速でフロントが進行するのがわかる。

図 8 は、0.01 秒ごとの横断水面形状を表す。

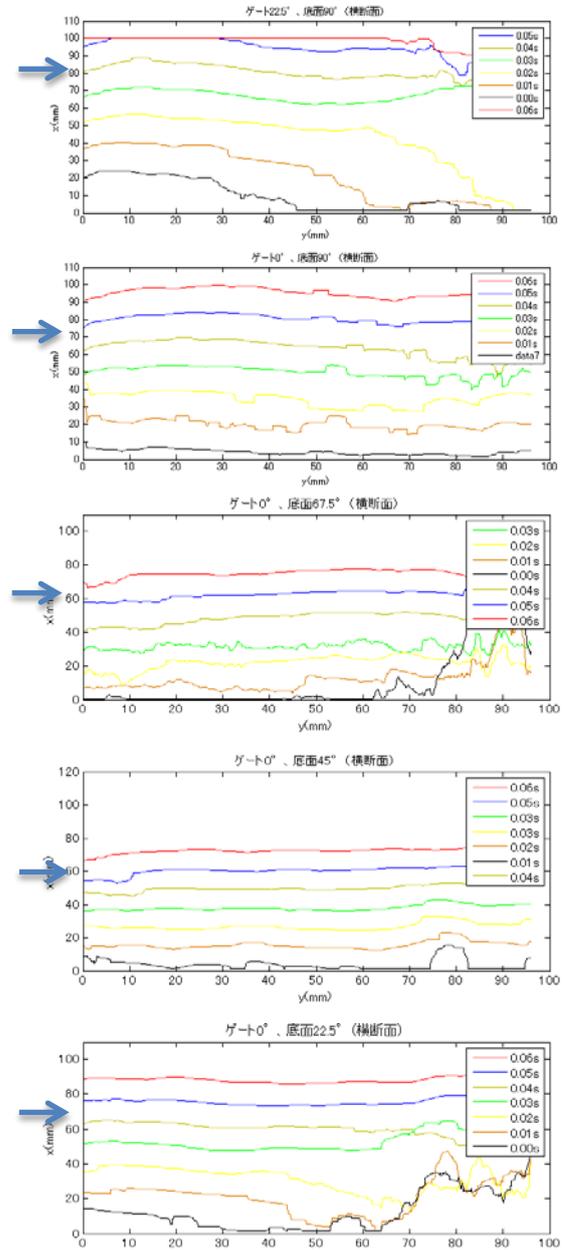


図 8

図 8 より、ゲートの角度が一定の場合、底面が急勾配になるにつれてフロント速度が早くなる。また、斜面のないケース (90°) では水面の横断方向変位が観測される。一方、斜面の急しゅん化に伴い、一様なフロント形成となることが分かる。

図 9 は横断計測で得られた界面の分布を表している。フロント部背後にキノコ状に発達する界面を確認することができる。この形状は、密度差を応じて生じる典型的

なレイラー・テイラー不安定に起因するにすることが分かる。即ち、流体フロント背後において、底面上にシート混化した空気がレイリー・レイラーとして気泡へと分裂する過程を表していると考えられる。

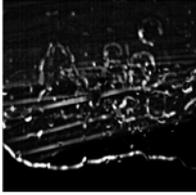


図 9-90°

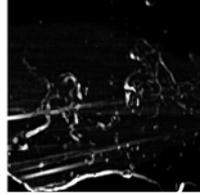


図 9-ゲート 22.5°

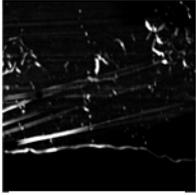


図 9-22.5°

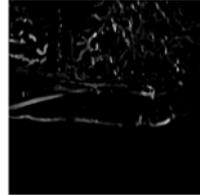


図 9-67.5°

空気が混入する位置を図 8 の矢印で示す。

6. まとめ

本研究では、可変勾配ダムブレイク水槽を用い、鉛直及び水平水面形の遷移を Laser Induced Fluorescence(LIF)により定量化し、独特な変動を伴い発達する水面、組織的空気混入、そしてジェット先端部の運動学的特徴のジェット-壁面相対角依存性を明らかにしようとするものである。

今回の実験結果から実際に水面計を計測することができ、かつそしてジェット先端部の運動学的特徴のジェット-壁面相対角依存性もみられた。

流体フロントの進行途中で空気が底面に沿って一様に混入し、その後、レイラー・テイラー不安定を介し、気泡へと分裂することが分かった。

参考文献

- ・ 廣井勇 (1920) 土木学会誌 第 6 巻 2 号, 435-449
- ・ C. Lugni (2006) Physics of Fluids 18, 122101