

直立堤で生じる越波飛沫の数値シミュレーションによる再現の試み

九州大学 学生会員 ○古賀健太郎
九州大学 学生会員 山田 翔喜
九州大学 正会員 山城 賢
九州大学 児玉 充由

1. はじめに

防波堤や護岸等の海岸構造物は波浪制御等の役割を果たす一方で、**図-1**にみられるように塩風害の原因となる大量の越波飛沫の発生源となり得る。しかし、越波飛沫の発生および飛散過程は複雑で未解明な部分が多い。著者ら¹⁾⁻³⁾はこれまでに、造波風洞水路を用いた越波飛沫の可視化実験を行い、画像解析による計測手法を確立し、越波飛沫の発生および飛散過程について検討した。**図-2**は、不規則波と風を同時に作用させた時のある一波による越波（打上げ高、越波量ともに大規模な個別波）について、護岸直上での様子を高速度カメラで撮影した連続画像の例である。これらの画像は、打ち上がった水塊から風的作用によって飛沫が発生する状況を捉えているが、その過程は非常に複雑で、直立壁で波が大きく打ち上がり越波飛沫が発生する過程を水理模型実験だけで詳細に把握することは困難である。また、微小な飛沫が撮影対象であることから、高速度カメラの解像度を確保するためには撮影範囲が限られ、飛沫が護岸から発生して飛散する状況を広範囲で撮影することができない。そこで、本研究では数値流体解析ツール OpenFOAM-5.X⁴⁾を用いて、**図-2**に示すような越波飛沫の発生および飛散の一連の過程を再現する数値シミュレーションを試みた。



図-1 大規模越波の様子

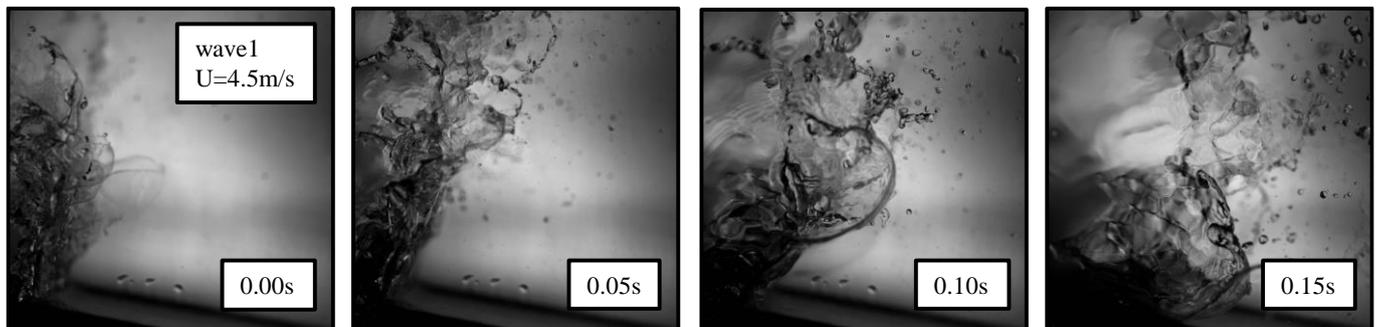


図-2 越波飛沫の発生状況 (山田ら³⁾)

2. 数値シミュレーション

OpenFOAM は、有限体積法を採用した流体解析ライブラリに特化したオープンソフトウェアである。OpenFOAM には多相流における自由表面解析のソルバーが多数あるが、本研究では、気液界面の追跡に VOF (Volume Of Fluid) 法を用いて多相の圧縮性流体を計算する multiphaseEulerFoam を使用した。計算領域を**図-3**に示す。赤色で示した水柱を護岸に模した障害に衝突させることで越波飛沫の生成を試みた。計算格子は、粒径の小さな飛沫を対象とするため 1 辺 1.25mm の立方体（奥行方向には 1 格子で、実質的には断面二次元の計算）とし、計算時間間隔は 5.0×10^{-5} s、総計算時間は 1.0s とした。また、水柱より上部の境界左端から右方向に風速 4.5m/s の風を与えた。その他の計算条件は**表-1**に示す。

3. 越波飛沫の飛散状況

図-4 に護岸付近での計算結果を示す。打ち上がった越波水塊の先端が風によって引きちぎられ越波飛沫が発生し、煙のような越波飛沫群となり、護岸背後へ飛散している。本計算では、計算格子のサイズが大きい



図-3 計算領域

ため、個々の飛沫そのものの形状や動きを再現することはできないが、大規模越波によって発生する越波飛沫が、現地でみられるような霧状になって飛散する様子についてはある程度再現できたといえよう。また、発生した飛沫群の飛散距離を比較すると、波の打上げの上部で発生した飛沫群は飛散距離が長く、下部で発生した飛沫群は飛散距離が短い結果となった。図-5 は、古賀ら²⁾による実験結果から推定した飛沫の飛散経路であり、図-2 の越波で発生した 124 個の飛沫について推定したものである。護岸は横軸の 0cm が護岸前面の位置であり、風速は $U=4.5\text{m/s}$ である。青系の色で示す遠方まで飛散した飛沫は、赤系の色で示す護岸付近で落下した飛沫より、護岸付近において高い経路を通過しており、飛散距離が長い飛沫は波の打上げ上部より発生したことが推測される。このことから、図-4 に示す数値シミュレーションの結果は水理模型実験の結果と整合するといえる。

表-1 計算条件

総格子数		1,580,800
動粘性係数	空気	$1.60 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$
	水	$1.00 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$
密度	空気	$1\text{kg}/\text{m}^3$
	水	$1000\text{kg}/\text{m}^3$
境界条件	壁面	no-slip条件
	上面	開放条件

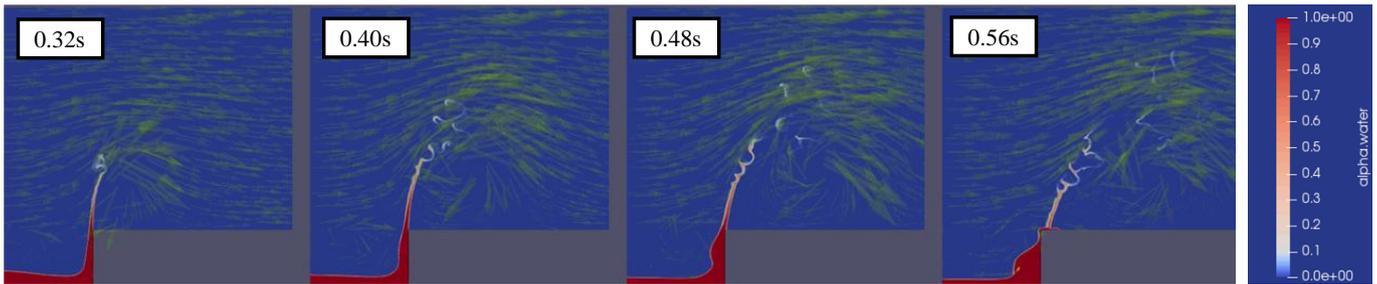


図-4 シミュレーション結果 (緑色の矢印は風ベクトル)

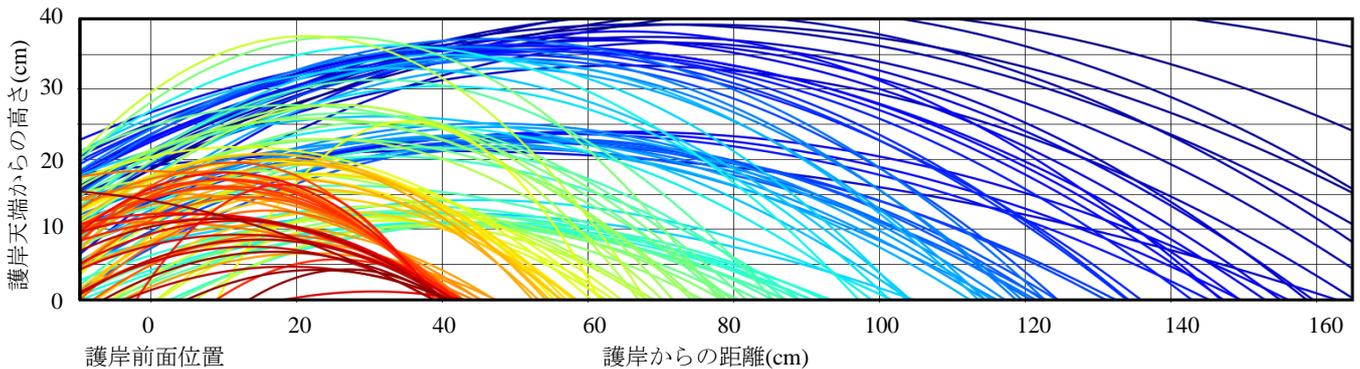


図-5 飛沫の飛散経路の推定結果 (古賀ら²⁾)

4. 結論

本研究では、直立堤で生じる越波飛沫の数値シミュレーションを試み、護岸付近で越波飛沫が発生し背後に霧状に飛散する一連の過程を再現することができた。今後は、飛沫の飛散量など、定量的にも再現できるよう計算精度の向上が必要である。

<参考文献>

- 1) 山城ら：越波飛沫の輸送過程に関する実験的研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.73，No.2，pp.1_847-1_852，2017.
- 2) 古賀ら：直立堤背後の越波飛沫量の空間分布に関する実験的研究，令和2年度土木学会全国大会，2020
- 3) 山田ら：直立護岸における越波飛沫の発生過程に関する可視化実験，令和2年度土木学会全国大会，2020
- 4) OpenFOAM Foundation: OpenFOAM User Guide, 参照 2020-12-22