

直立護岸背後の越波飛沫に関する可視化実験

九州大学 学生会員 ○山田翔喜, 古賀健太郎
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、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、越波飛沫の発生及び輸送過程は複雑で未解明な部分も多い。著者ら^{1) 2)}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、越波飛沫の飛散過程について検討した。本研究では、さらに実験データを蓄積し、直立護岸における越波飛沫の飛散過程について詳細に検討した。

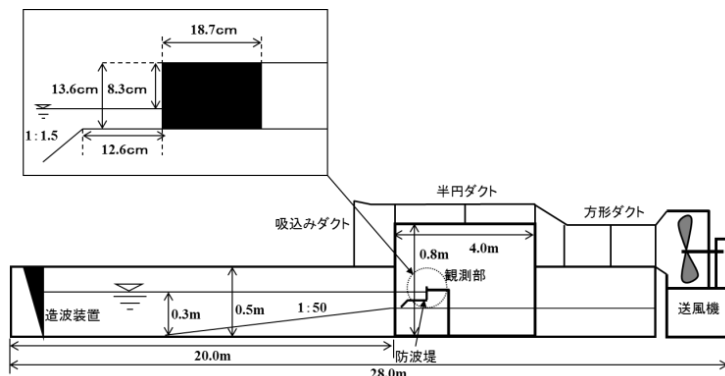


圖-1 断面 2 次造波風洞水路

2. 水理模型実験

図-1に示す断面2次元造波風洞水路(長さ28m, 高さ0.5m, 幅0.3m)に直立護岸の模型を設置し, 波と風を同時に作用させる. 越波に伴い発生する飛沫をバックライトにより可視化し, 高速度カメラで撮影する. 観測部は遮光性のテントで覆い暗室とし, 図-2に示すように, 撮影範囲の背後に光を拡散させるためのアクリル板を設置して, 背面からハロゲンライトにより光を照射した. 撮影の焦点は水路ガラス面から15cm(被写界深度は約4mm)で, アクリル板の2cm手前である. 撮影領域は図-3に示す9つの領域A1~C3(1辺6.97cm)とした. A3, C3は本研究で新しく追加した領域で, それ以外は古賀ら²⁾により撮影された領域である. フレームレートは3,600fps, シャッタースピードは, 計測領域A2, B2, C2, A3, B3, C3では1/333,000s, 計測領域A1, B1, C1では1/178,000sとした. 撮影は作用している不規則波のある特定の一波について行い, その波による飛沫の飛散過程について解析した. 画像解析には市販のソフトウェア((株)ディテクト製 Dipp-Macro)を使用し, 飛沫を白, 背景を黒で表す2値化処理を行い, 飛沫の粒径と個数を計測した. なお, 断面2次元の実験であるが, 実際には水路横断方向のある幅に含まれる飛沫が解析の対象となる. 事前に検証した結果, 水路横断方向には約2.0cmの幅が解析範囲となっていることを確認した. 具体的な計測手法については山城ら¹⁾を参照されたい.

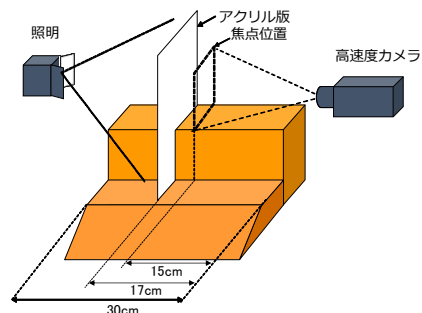


図-2 可視化実験の概略

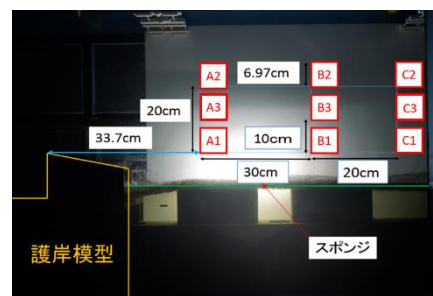


圖-3 撮影領域

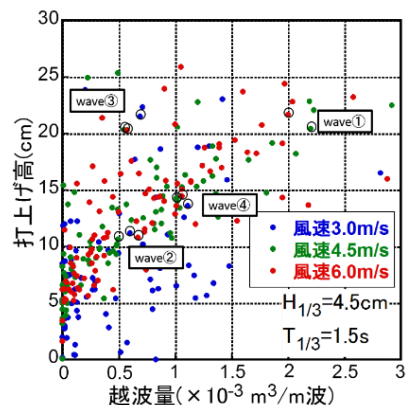


図-4 不規則波における一波ごとの越波量と打上げ高の関係

山城ら³⁾は、修正 Bretschneider-光易型スペクトルを有する不規則波と風を同時に作用させ、一波ごとの越波量と打上げ高を計測した。図-4 は、有義波高 $H_{1/3}=4.5\text{cm}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=1.5\text{s}$ の不規則波で風速（護岸壁面上の断面平均風速） $U=3.0, 4.5, 6.0\text{m/s}$ における一波ごとの越波量と打上げ高の関係を示している。本研究では、この結果から越波量と打上げ高の組み合わせが異なる 4 種類の波（wave①～④）を計測対象とし、風速を $3.0, 4.5, 6.0\text{m/s}$ として、各条件につき 5 回計測を行ってその平均値を実験結果とした。

3. 越波飛沫の飛散

図-5 に, wave③で風速 6.0m/s の場合について, 各計測領域(A1~C3)における飛沫個数密度分布を示す. なお, 飛沫個数密度とは計測領域の面積 (1 辺 6.97cm) と水路横断方向の計測幅(2.0cm) で除した単位体積あたりの飛沫の個数である¹⁾. 図中に示すように飛沫個数密度分布は指数関数 ($\alpha e^{-\beta x}$) で近似でき, 全体的には, 護岸から離れるにつれて減少し, また低い位置ほど数が少ない. これは wave③の打上げ高が高く, 多くの飛沫が高いところを遠くまで飛んだためと考えられる. 図-6 は図-5 の結果をもとに粒径 1.05mm および 3.05mm について作成した飛沫個数密度の空間分布図である. 粒径が大きい飛沫 (3.05mm) は, 護岸側の高い位置で飛沫個数密度が大きく, 護岸から離れるにつれて飛沫個数密度が小さくなっており, 護岸の背後で落下しながら飛散し, 離れると非常に少なくなることがわかる. 一方, 粒径が小さい飛沫(1.05mm)は, 護岸側の最も高い位置ではなく, 少し低い位置(A3)で飛沫個数密度が最も大きくなっており, より低い位置 (A1)との差が大きい. しかし, 護岸から離れると(55~70cm), 飛沫個数密度が鉛直方向にほぼ均一になっている. さらにその背後では, また高い位置での密度が大きくなっているが, これは計測した領域よりもさらに高い位置から飛来した飛沫の影響が考えられ, より詳細な考察が必要である. 図-7 は計測領域の下端が護岸天端と同じ高さである A1, B1, C1 の結果から wave③について粒径 1.05mm, 2.05mm, 3.05mm, 4.05mm の飛沫個数密度の空間変化を示したもので, 地上付近を飛来する飛沫を意味している. この図より, いずれの粒径の飛沫個数密度も護岸からの距離に対して指数関数的に減少しており, 粒径が小さいほど減少率の大きい, 飛沫個数密度そのものが大きい, 護岸から離れた場所でも, 大きな飛沫に比べて数が多い.

4. おわりに

本研究では, 直立護岸で発生する越波飛沫の飛散過程を把握するため, 造波風洞水路を用いて可視化実験を行い, 飛沫個数密度の空間的な変化など有用な知見を得た. 今後は, 打上げ高や風速の影響など, さらに検討する予定である.

<参考文献>

- 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.
- 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, 令和元年度土木学会全国大会 2019
- 山城ら: 風作用下での越波量の出現頻度に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.1_771-1_775, 2013.

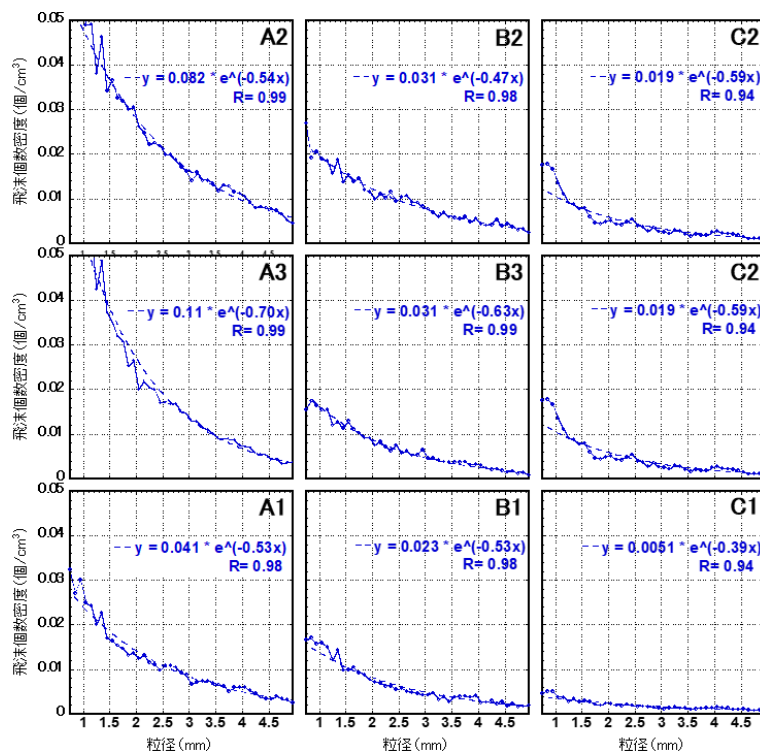


図-5 飛沫個数密度分布 (wave③, 風速 6.0m/s)

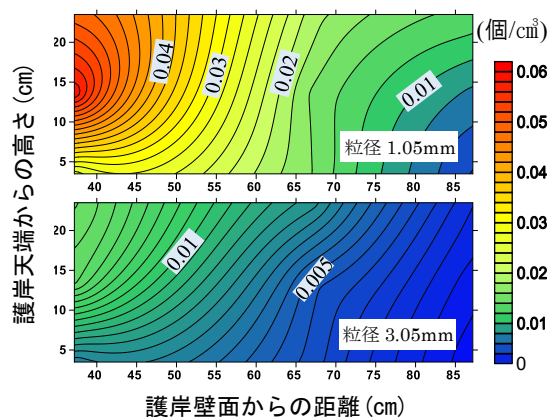


図-6 特定の粒径の飛沫個数密度の空間分布 (wave③, 風速 6.0m/s)

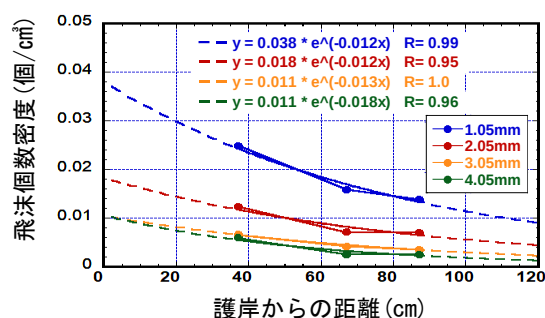


図-7 粒径ごとの飛沫個数密度の空間変化