

直立堤における越波飛沫の飛散経路の推定

九州大学 学生会員 ○古賀健太郎

九州大学 正 会 員 山城 賢

九州大学 児玉充由

1. 目的

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．山城ら¹⁾、古賀ら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．それらの検討では、飛沫の移動速度を局所的に粒径によらず一定としていたが、飛沫の大きさによって飛散する速度が異なることが認められた．本研究では、同手法を用いて、護岸背後の越波飛沫の飛散について、粒径に着目したより詳細な検討を行った．

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法により可視化し、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．図-3 に示す 5 つの領域 A1～A4、B1（1 辺 6.97cm）を撮影領域とした．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～A4、では 1/333,000s、計測領域 A1、B1 では 1/178,000s とした．撮影は作用している不規則波中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．計測手法の詳細は山城ら³⁾を参照されたい．

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） $U=4.5\text{m/s}$ 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、図中に示す wave①を用いて実験を行った．

3. 越波飛沫の飛散

図-5 は、風速 4.5m/s の場合の計測領域 A2、B1 における飛沫の粒径と移動

キーワード 越波飛沫 水理模型実験 可視化実験 画像解析 造波風洞水路

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1003 号室 沿岸海洋工学研究室 TEL092-802-3415

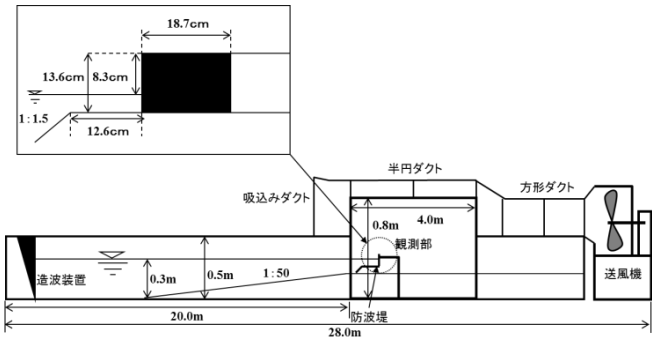


図-1 断面 2 次元造波風洞水路

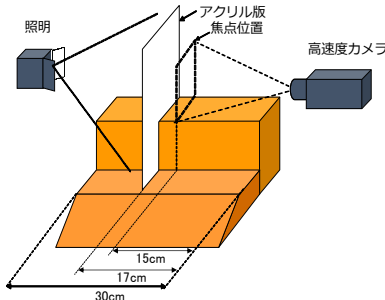


図-2 可視化実験の概略

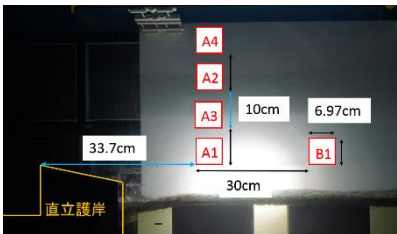


図-3 実験装置の観測部

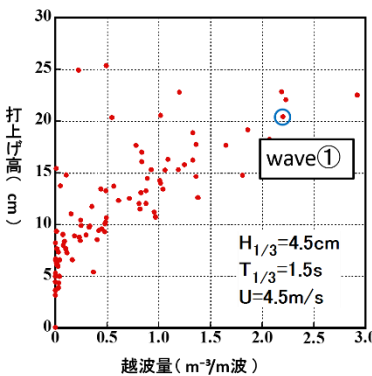


図-4 不規則波における一波ごとの越波量と打上げ高の関係（山城ら³⁾に加筆）

の関係を示す。ここで、 V_x 、 V_y は速度 V の水平、鉛直成分で、鉛直方向の速度 V_y は、鉛直下向きを正とする。各領域で計測された飛沫の個数は、A2 では 30 個、B1 では 9 個であった。図中に示すように、護岸に近く波の打上げ高とほぼ同じ高さである計測領域 A2 では、水平方向の速度が大きく、鉛直方向の速度が小さいため、ほぼ水平方向に飛沫が飛散する。また、飛沫の粒径が大きくなるにつれて、水平方向の速さは減少傾向にあり、粒径の小さな飛沫は上向きに、粒径が大きな飛沫は下向きに飛散する傾向が認められる。護岸から離れた天端高の高さにある計測領域 B1 でも、飛沫の粒径が大きくなるにつれて水平方向の速度は減少し、鉛直下向きの速度は増加する。また、A1 の結果と比較し、速度に占める鉛直成分の割合が大きくなっている。つまり、B2 を飛散する飛沫は、計測領域を斜め下方向に飛散することが分かる。

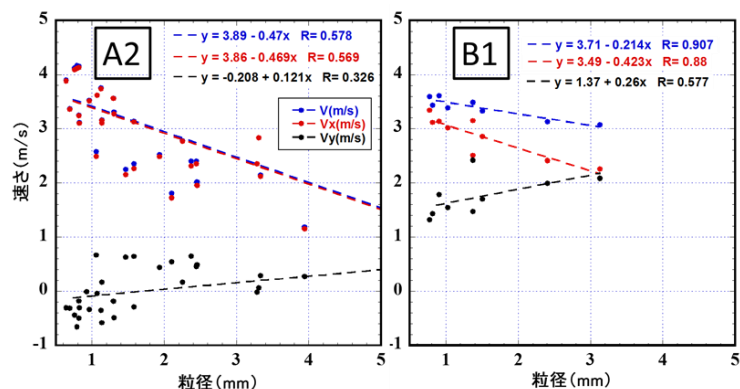


図-5 粒径と各速度の関係（計測領域 A2, B1）

図-6 に、風速 4.5m/s の場合の計測領域 A2 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⁾。古賀ら²⁾は飛沫個数密度を算定する際、計測領域内の飛沫の平均的な移動速度を用いていたが、本研究では、飛沫の大きさによって移動速度が異なることを考慮して飛沫個数密度を求めた。その結果、大きな違いはないものの、従来の手法に比べて粒径が小さいと飛沫個数密度が大きく、粒径が大きくなるにつれ飛沫個数密度が小さくなった。より詳細に護岸背後の飛沫の粒径分布を計測することができたといえる。

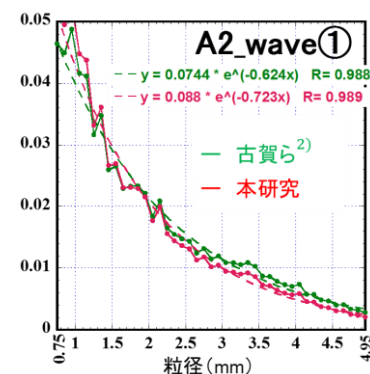


図-6 飛沫個数密度分布

図-7a に、計測領域 A1～A4 の実験結果から、各計測領域を飛散する個々の飛沫の速度を求め、水平方向に風圧力、鉛直方向に重力を考慮し、各計測領域の中心からの飛沫の飛散経路を推定した。飛沫が飛散する過程で鉛直下向きの速度が増し、放物線を描いて落下する様子が分かる。また、護岸からの距離が 40cm 付近では、天端からの高さが高い計測領域を通過した飛沫ほど、より飛散距離が長い傾向がある。同一の計測領域を通過したにもかかわらず、落下距離に大きく差が生じるのは、同一の領域を通過する飛沫の速度に違いがあるためである。この速度の違いは、図-5 に示すとおり、飛沫の粒径に応じた傾向があり、天端からの高さが高い位置を通過した小さい飛沫ほど、護岸から遠くに飛散することが推察される。図-7b は、計測領域 B1 に飛散した飛沫の飛散経路を逆算したものである。

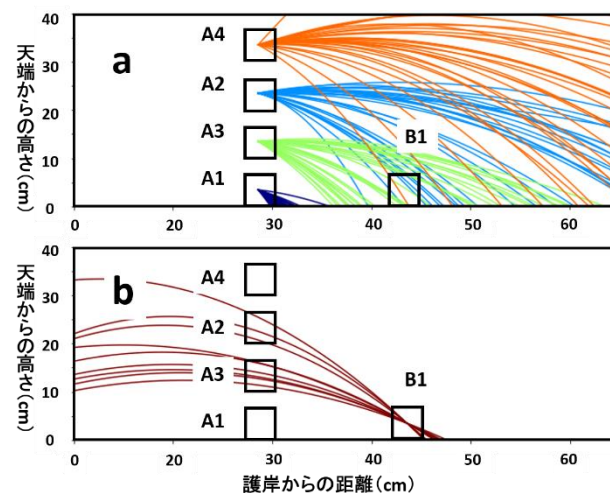


図-7 飛沫の飛散経路の推定

この図より、計測領域 B1 に飛来した飛沫は、計測領域 A2, A3 を通過したものが多く、これは、図-7a の飛散経路と整合した結果であり、本研究における飛沫の飛散経路の推定は妥当といえる。

4. 結論

本研究では、直立堤で生じる越波飛沫の飛散について、粒径に応じた移動速度の詳細な検討を行い、飛沫の飛散経路を推定し、護岸背後での越波飛沫の飛散過程に関する知見を得た。

<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。