直立護岸背後の越波飛沫の空間分布に関する検討

九州大学　学生会員　福重芳友，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および生成過程について検討した[1), 2), 3)]．本研究では，これまでに蓄積された実験データをもとに，直立護岸背後における越波飛沫の空間分布について検討した．

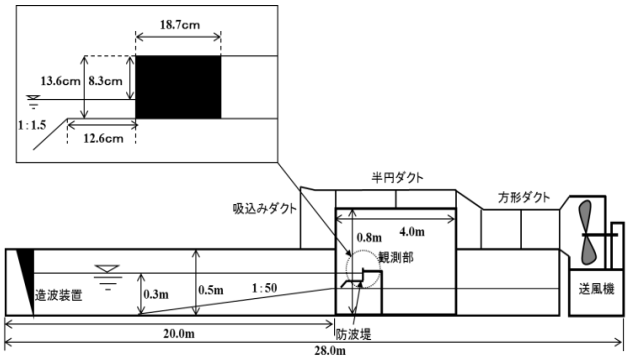

図-1　断面 2 次元造波風洞水路

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た．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，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て高速度カメラで撮影した．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 2 ㎝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．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．

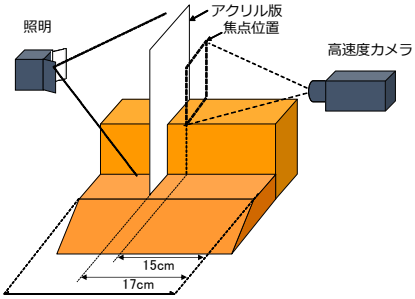

図-2　可視化実験の概略

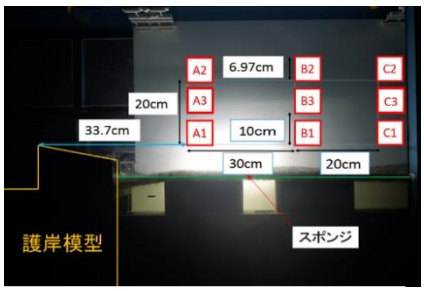

図-3　撮影領域

山城ら[4)]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 $H_{1/3}$=4.5cm，有義波周期 $T_{1/3}$=1.5s 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, 6.0m/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, 4.5，6.0m/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対象とした．

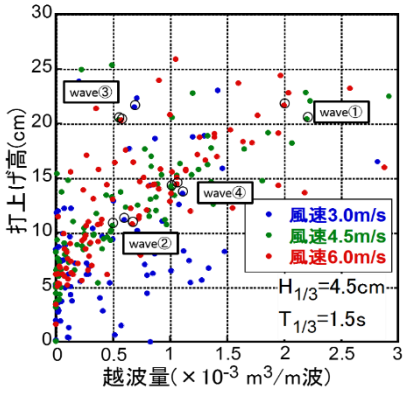

図-4　不規則波における一波ごとの越波量と打上げ高の関係

３．越波飛沫の空間分布

図-5 に wave③で風速 6.0m/s における A1 の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）で除した単位面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，粒径の小さい飛沫ほど数が多い．他の計測領域においても基本的に同様な分布となっている．

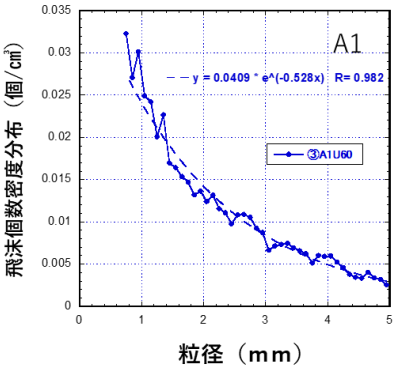

図-5　飛沫個数密度分布
（風速 6.0m/s，wave③）

図-6 に wave③，**図-7** に wave④について，護岸背後の各位置（A～C）における粒径と高さに対する飛沫個数密度の分布を示す．風速はどちらも 6.0m/s である．全体的に高い位置ほど飛沫個数密度が大きい傾向にあり，これは護岸位置での打上げ高が高く，多くの飛沫が高い位置を飛散したためと考えられる．また，粒径の小さい飛沫ほど高さに対する変化が大きい．

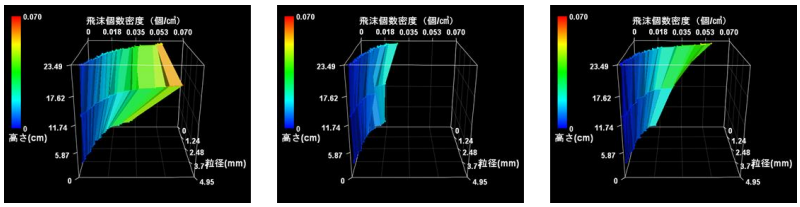

図-6　飛沫個数密度分布（wave③，左から計測位置 A～C）

図-8 は wave④について，粒径 1.05mm，2.05mm，3.05mm，4.05mm の飛沫個数密度の鉛直分布を示したものである．図に示すとおり，護岸に最も近い A（護岸前面から 33～40cm）と護岸から離れた C（83～90cm）では，高い位置ほど飛沫個数密度が増加しており，粒径が小さいほど増加率が大きい．一方で，中間に位置する B（63～70cm）においては，粒径が小さいほど変化率が大きいという特徴は同じであるが，高い位置ほど飛沫個数密度が小さく，他の計測領域と逆の傾向を示しており，この違いについては更なる検討が必要である．

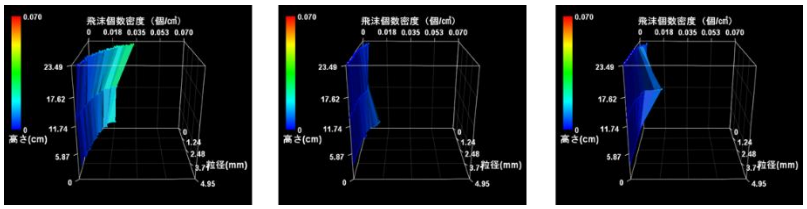

図-7　飛沫個数密度分布（wave④，左から計測位置 A～C）

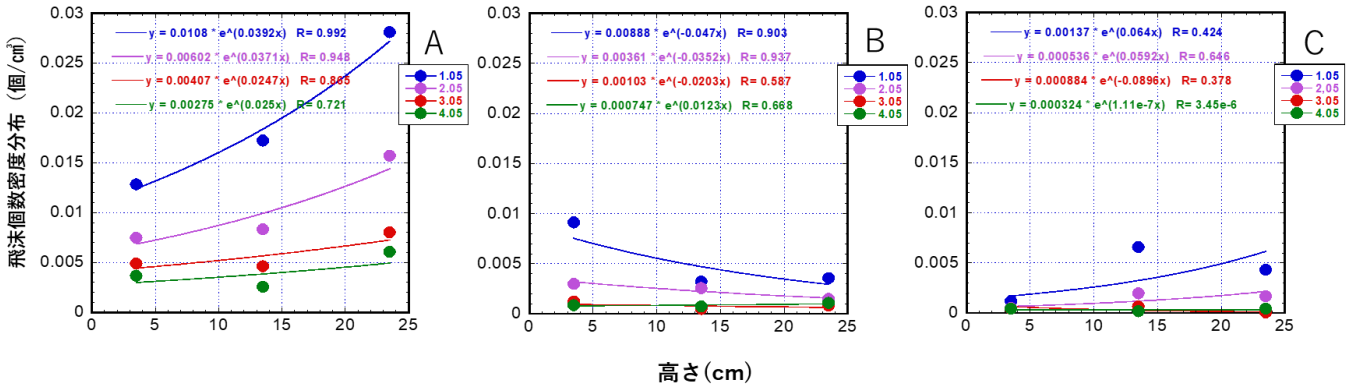

図-8　各粒径の飛沫個数密度の鉛直分布（wave④，左から計測位置 A～C）

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，護岸前面からの距離，高さ，飛沫粒径による飛沫個数密度の空間的な変化について検討した．今後は打上げ規模や，風速が異なる場合についても検討して知見を累積し，打ち上げ規模と風速に応じた越波飛沫の飛散特性を明らかにすることを目指す．

＜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.I_847-I_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，令和元年度土木学会全国大会 2019
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，令和二年度土木学会全国大会 2020
4)　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.I_771-I_775，2013.