# 可視化実験による越波飛沫の輸送過程に関する研究

九州大学 学生会員 〇渡部敦史 九州大学 正 会 員 山城 賢 児玉充由

# 1. はじめに

海岸構造物での波の打上げに伴い発生する大量の越波飛沫は塩風害の原因となる.しかし,越波飛沫の発生およ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について検討し,護岸背後に飛来する越波飛沫には越波量よりも打上げ高の影響が大きいことなどを明らかにした<sup>1)</sup>.しかし,計測結果の変動性についての検討が十分ではなかった.本研究では,まず計測結果の変動性を調べ,最適な計測回数について検討し,ついで越波飛沫の輸送過程における風の影響について検討した.

#### 2. 越波飛沫の可視化実験

#### 2.1 可視化実験の概略

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)に護岸模型を設置し,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2つの領域X,Y(1辺6.97cm)を撮影領域とした.フレームレート とシャッタースピードは,計測領域Xでは3,600fps,1/333,000s,計測 領域Yでは3,600fps,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輸送過程について 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.図-4に2値化画像の例を示す.本手法 の詳細については既発表論文<sup>1)</sup>を参照されたい.

#### 2.2 実験条件

著者らは以前に, 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<sup>2)</sup>. **図-5**は、有義波高,有義波周期が( $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$ ) = (4.5cm, 1.5s)の不 規則波で風速 U=4.5m/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)を計測対象とした.計測は2つの 計測領域 X,Yにおいてそれぞれ10回実施した.また,風速は護岸壁 面上の断面平均風速を代表風速とし3.0m/s, 4.5m/s, 6.0m/sの3パター ンで計測した.



図-1 断面 2 次元造波風洞水路





図-3 実験装置の観測部



**図-4**2値化画像の例

### 3. 計測結果の変動性

図-6 に計測領域 X における wave①の1回目の飛沫個数密度分 布,さらに wave①,④の5回目ま での飛沫個数密度分布の平均と10 回目までの平均の比較を示す.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<sup>1)</sup>. 図より,ある1回の計測では,飛 注個物密度のばらつきが大きく



不規則彼における一波ことの越波重
と打上げ高の関係(山城ら<sup>2)</sup>に加筆)

沫個数密度のばらつきが大きく,計測回数を増やして平均することで滑 らかな分布になることがわかる.wave①の結果をみると,5回目までの平 均と10回の平均でほぼ差がないことから5回の計測で十分といえる.し かし,wave④では5回目までの平均と10回の平均で若干の差がある.

図-7 は計測領域 X における wave④の計測結果の変動性を示すもので, 横軸は平均する計測回数であり,図中の赤丸は,例えば横軸が 2 の場合 は 2 回目までの平均と 10 回の平均との RMSE を示す.実線は RMSE の 近似曲線である.また 3,5,7回については 10回の実験結果からランダ ムな組み合わせによる RMSE を算出し,白抜き丸で示している.この図 より,ランダムに計測結果を組み合わせたときの RMSE のほとんどが 1 回目から順に平均した結果の RMSE (図中の赤丸)より小さくなってい ることがわかる.このことから,図-6の wave④の飛沫個数密度分布にお ける 5 回目までの平均と 10回の平均の差は,実験結果の出現順により偶 然に大きくなったといえる.この結果から,本研究では 5回の計測で十分 に妥当な飛沫個数密度分布が得られると考え,計測回数を 5回とした.

## 4. 飛沫個数密度分布に対する風の影響

図-8に計測領域 X での wave③の飛沫個数密度分布について風速による 変化を示す.図より,風速が大きいほど飛沫個数密度が大きくなり,風速 3.0m/s では粒径が小さい飛沫の個数が相対的に非常に少ないことがわか る.これは風速が大きくなるほど飛沫が細かく分裂し,より多くの飛沫が 護岸背後のより遠い距離に飛散するためと考えられる.

5. おわりに

本研究では、水理模型実験による越波飛沫の計測結果の変動性について 検討し、妥当な結果が得られる計測回数を把握した.ついで、飛沫個数密 度分布に対する風の影響について検討した.今後は越波飛沫に対する風の 影響についてより詳細に検討する予定である.

#### <参考文献>

- 1) 山城 賢,仲村 渉,小川大輔,児玉充由,上久保裕志,横田雅紀: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.l\_847-l\_852, 2015.
- 2) 山城 賢,改田将平,知念 卓,吉田明徳: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.l\_771-l\_775, 2013.





図-7 wave④の飛沫個数密度の計測回数
及び平均する組み合わせによる
RMSE の変化

