

画像解析を用いた水理模型実験における越波量計測手法の検証

九州大学 学生会員 ○知念 卓 改田将平
正 会 員 山城 賢 吉田明徳

1. はじめに

沿岸防災を考えるうえで、近年では、越波流量などの時間平均量だけでなく、一波毎の越波量や打上げ高を把握することの重要性が指摘されている。著者らは、一波毎の越波量の出現頻度特性を造波水路による水理模型実験で検討するため、画像解析を用いた越波量の計測手法を構築した¹⁾。この手法は、特に風洞装置を備えた造波風洞水路による風と波を同時に作用させる実験において、非常に有効な計測手法である。しかし、現段階では計測精度や適用範囲等が明確ではなく、改良の余地も残されている。そこで、本研究では、今後の改良に向けた知見を得るため、本計測手法の問題点を抽出し、適用条件について詳細に検討した。

2. 実験内容

2.1 計測手法の概略

断面 2 次元造波風洞水路に設置された護岸模型の前面での流体運動（波の打上げや越波）を可視化し、高速度カメラ（フレームレート 400fps、シャッター速度 1/500s）で撮影する。次いで、護岸天端の高さに検査ラインを設け、撮影した映像から PIV（Particle Image Velocimetry）により検査ライン上の複数点で鉛直流速の時系列を求める。得られた流速の時系列を検査ラインについて積分すれば、検査ラインを上下に通過する水量の時系列が得られ、さらに 1 周期間で積分すれば、1 波当りの正味の越波量が求められる。この時、ある 1 波の作用時間は、護岸の壁面に沿って計測した水位変動データから判断する。なお、PIV により得られる流速には、水面の乱反射等による異常値や欠測が含まれるため、それらを取り除く必要がある。また、実験の際には、図-1 に示すように護岸背後に越波枡を設置し、それによって計測した累積越波量をもとに、PIV で得た流速を補正する。本手法の詳細については既発表論文²⁾を参照されたい。

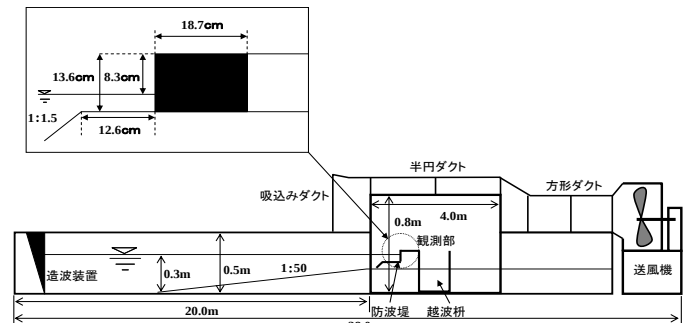


図-1 実験装置

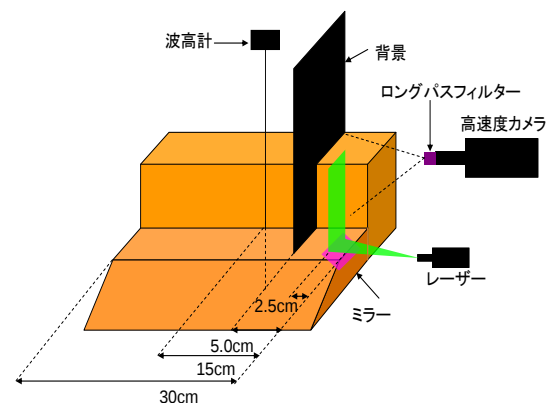


図-2 堤体前面部の撮影

2.2 実験条件

実験には図-1 に示す断面二次元造波風洞水路（長さ 28m、高さ 0.5m、幅 0.3m）を使用した。この水路内に、海底斜面および直立堤の模型を作成した。水深は 30cm とし、入射波は周期 $T=1.0s$ 、波高 H を 4cm から 8cm の規則波と不規則波とした。入射波は修正 Bretschneider-光易型スペクトルを有する 2 種類の不規則波で、有義波高をそれぞれ $H_{1/3}=4.5cm$ および 5.7cm、有義波周期はともに $T_{1/3}=1.0s$ と設定した。風の条件は、護岸壁面の位置での静水面上 20cm と 30cm（それぞれ天端上 11.7cm、21.7cm）における風速を平均したものを代表風速として、0.0m/s（無風）、3.0m/s、4.5m/s、6.0m/s を設定した。したがって、実験は入射波と風を組み合わせた 8 ケースについて実施した。各ケースとも波と風を同時に約 470 秒間作用させ、その間、高速度カメラによる撮影を行った。加えて、越波枡内の 2 か所と護岸壁面の 1 か所を含む水路内の計 8 か所において、サンプリング周波数 10Hz で水面変動を記録した。データ数は 4696 個である。

3. 計測結果

3.1 個別波の越波量の出現頻度と越波量算出における問題点

図-3 は、 $H_{1/3}=5.7\text{cm}$ 、 $T_{1/3}=1.0\text{s}$ における個別波の越波量の出現頻度を本計測手法により求めたものである。なお、縦軸は対数軸としており、横軸の単位は、一波当りの越波量という意味で、 $\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{波})$ と表記している。基本的に、越波量が多くなるほど発生頻度は指数関数的に減少する。そして、風速が大きくなるにつれて、大きな越波量の出現頻度が増加する。このように本計測手法により、個別波の越波量の出現頻度を実験的に検討することが可能となる。ところで、図をみると負の越波量が算出されていることが分かる。これは当然起こり得ないものであるが、前述の越波量の算定手順において、検査ラインを上昇する水量よりも下降する水量を多く検出した場合、その差である越波量が負となってしまう。この原因は幾つかあり、例えば、水面の乱反射等によって PIV で抽出した流速ベクトルが誤差を大きく含む場合や、可視化した断面とは別の場所で打ち上がった水塊が、落下する際に可視化断面に入り込むことなどが挙げられる。これらの原因は可視化実験の工夫によりある程度は抑えられるものの、完全に排除することは現段階では困難である。そこで次に、どのような実験条件において負の越波量が多く算出されてしまうのかという点に着目し、本計測手法の適用範囲について検討する。

3.2 適用条件についての考察

可視化実験で撮影した映像を確認し、個別波の越波について、目視により越波規模を 0～4 の 5 段階に階級化した。越波規模 0 は天端まで水面が上昇するが越波を生じない状況で、越波量が多く見えたものほど数字が大きくなる。このように階級化した越波規模ごとに、画像解析で得た越波量の出現頻度を調べた。図-4 に例を示す。図より、無風の条件では、負の越波量の発生頻度が高く、風を作用させると発生頻度が減少している。また、風を作用させた場合には越波規模に応じて、出現頻度の中心が明確に移動しており、越波規模が大きいほど負の越波量の発生率（ある越波規模の全発生数に対する割合）は小さくなる。風が作用する場合、打ち上がった水塊のうち護岸背後に運ばれる量が増加するため、護岸前面に落下する水量は相対的に減少する。逆に無風の条件では、大量に水塊が打ち上がっても、その大部分が護岸前面に落下する。落下する水塊は分裂して落ちてくることが多いため、打ち上がる時に比べて PIV において誤差が生じやすいと推測される。以上の考察から、本計測手法は風を作用させた場合において、より妥当な計測結果が得られると言える。

4. おわりに

著者らが考案した水理模型実験での越波量の計測手法は、風を作用させる実験において、より妥当な計測結果を示すことを明らかにした。

参考文献：1) 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.68, No.2, p.I_300-I_305, 2012.

2) 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, p.I_736-I_740, 2012.

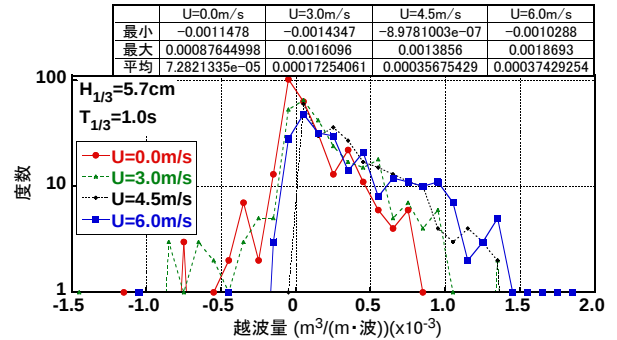


図-3 個別波の越波量の出現頻度分布

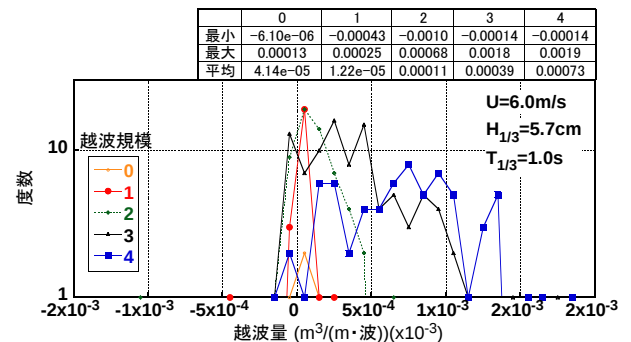
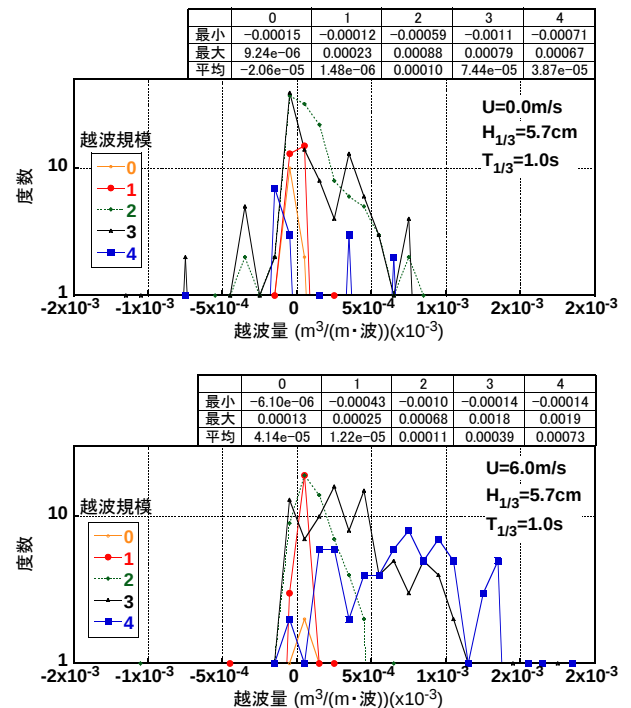


図-4 越波規模ごとの出現頻度分布