

35. 画像解析を用いた水理模型実験における越波量計測システムの開発

知念卓

1. 目的

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。沿岸海洋工学研究室では、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開発した。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り、これまでに単純な規則波の条件について計測精度が検証されている。本研究では、越波量の算定手順に改良を加え、不規則波と風が同時に作用する場合について、本計測手法の妥当性を検証し、さらに個別波の越波量の出現特性について検討した。

2. 内容

2.1 越波量計測システムの概略

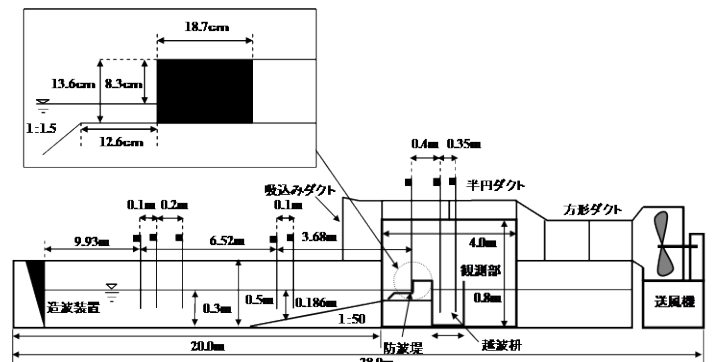
(1) 可視化実験と越波枡

図-1に実験装置を示す。断面二次元造波水路に設置した護岸模型の前面にトレーサーとしてマイクロバブルを混入し、グリーンレーザーシートを照射して流体運動（波の打上げや越波）を可視化する。撮影は高速カメラを用いてフレームレート400fps、シャッター速度1/500sで行う。加えて、護岸背後に図-1に示すような越波枡を設置し、枡内の水位変化を計測する。

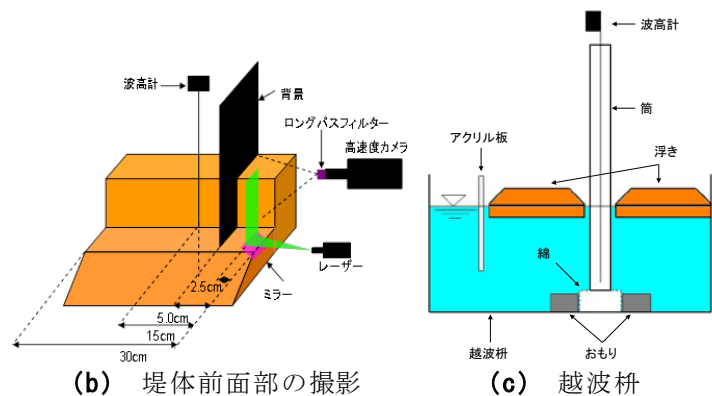
(2) 越波量の算定と補正

撮影した映像からPIV（Particle Image Velocimetry）により流速ベクトルを求める。図-2に示すように天端高に設定した検査ライン上での鉛直流速を抽出する。その鉛直流速を検査ラインについて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。

越波のような複雑な現象の場合、PIV結果に計測誤差や欠測が生じやすいため、得られた流速データに対し何らかの補正が必要となる。そこで本研究では、以下に述べる2段階の補正を行った。第1段階では、異常値を検出し前後のデータの平均値で置き換える。第2段階では、異常値を除いた流速から求めた累積越波量が、越波枡で得た累積越波量を平滑化したものと全体的に合うように、越波量算定の元となる流速を補正する。図-3に2段階の補正を行った鉛直流速の例を示す。



(a) 断面二次元造波水路



(b) 堤体前面部の撮影

(c) 越波枡

図-1 実験装置

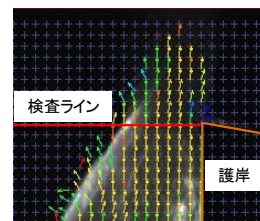


図-2 PIV結果例

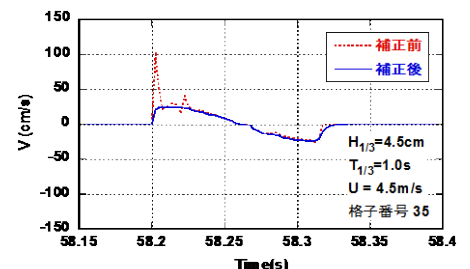


図-3 流速の補正の例

2.2 実験条件

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 $H_{1/3}=4.5\text{cm}$ および 5.7cm 、有義波周期はともに $T_{1/3}=1.0\text{s}$ 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、計 8 ケースについて実験を実施した。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、**図-1** に示すように、柵内の 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。

2.3 計測結果の検証

図-4 に $H_{1/3}=4.5\text{cm}$ 、風速 4.5m/s のケースについて、画像解析と越波柵によって計測した単位幅あたりの累積越波量を示す。なお、画像解析の結果は、補正なし、第 1 段階補正、第 2 段階補正の 3 種類を示している。越波柵による累積越波量は、水面の細かい振動が水位データに含まれるため、個別波の越波量を求めることは非常に難しいが、全体的な増加過程は妥当に表わしている。一方、本計測手法では個別波の越波量を算定しているため、階段状に増加する累積越波量が得られている。しかし、補正をしていない結果は多少過大評価となっている。

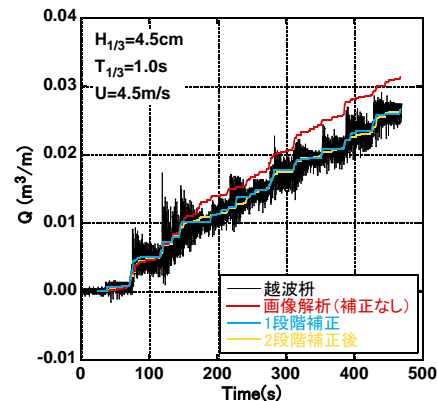


図-4 累積越波量の比較

異常値を除く第 1 段階の補正を行った結果は越波柵の累積越波量の中心を通っており、補正の効果が高いことが分かる。さらに第 2 段階の補正によって微調整されている。

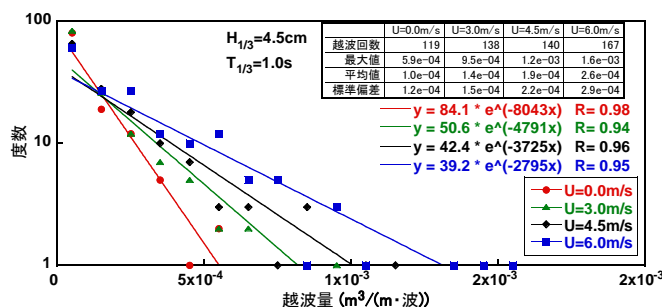


図-5 風による出現頻度の変化

2.4 越波量の出現頻度

図-5 に、 $H_{1/3}=4.5\text{cm}$ 、 $T_{1/3}=1.0\text{s}$ における個別波の越波量の出現頻度とその近似曲線を示す。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。また、風速が増加するにつれ、大きな越波量の出現頻度が増加することが分かる。**図-6** に風速に対する平均越波量の増加率を示す。風速が大きくなると平均越波量の増加率は入射波の波高によって若干異なる。また、**図-7** は平均越波量と不規則波の出現頻度の傾き（**図-5** 中に示す近似式における X の係数の絶対値）との関係を示したものである。この図より、入射波の波高によらず、平均越波量に応じて出現頻度分布の形状が決まることが分かる。

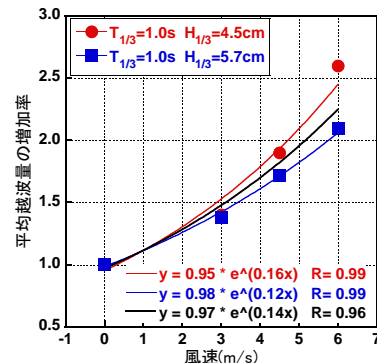


図-6 風速に対する平均越波量の増加率

3. 結論

画像解析と越波柵を併用した越波量計測システムを開発し、風と不規則波を同時に作用させた場合の個別波の越波量を計測して、越波の出現頻度特性について検討した。その結果、個別波の出現頻度分布の形状は平均越波量に強く関連しており、平均越波量は入射波の波高と風速に応じて決まるという越波量出現頻度に関する特性が明らかとなった。

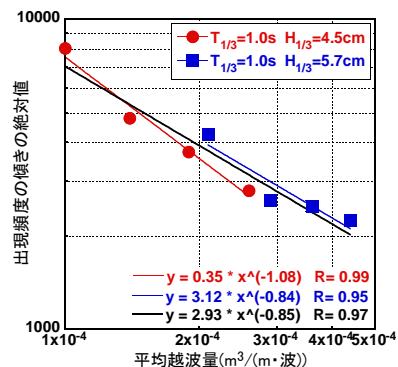


図-7 平均越波量に対する出現頻度の傾き