

## 水理模型実験における直立堤での越波・打上げの画像解析

九州大学 学生会員 ○東 和弥 日高倫興 村上邦宏  
正会員 山城 賢 吉田明徳

### 1. はじめに

防波堤や護岸で生じる越波や激しい飛沫の打上げは一波毎に大きく異なり、近年では、沿岸防災を考えるうえで、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。しかし、一波毎の越波量や飛沫の打上げ高を把握するために水理模型実験を実施しても、それらを正確に計測することは容易ではなく、特に風を作用させた場合は非常に難しい。そこで、本研究では、可視化実験と画像解析により一波毎の越波量や飛沫の打上げ高を精度良く計測することを試みた。

### 2. 可視化実験と画像解析

#### 2.1 実験内容

実験には図-1に示す2次元造波風洞水路(長さ28m, 高さ0.5m, 幅0.3m)を使用した。この水路は不規則波と風を同時に発生させることが可能であり、また、越波や飛沫の発生状況をよく観察できるように、一部に広いガラス面(観察部)を有している。この水路内に、海底斜面および直立堤の模型を作成した。

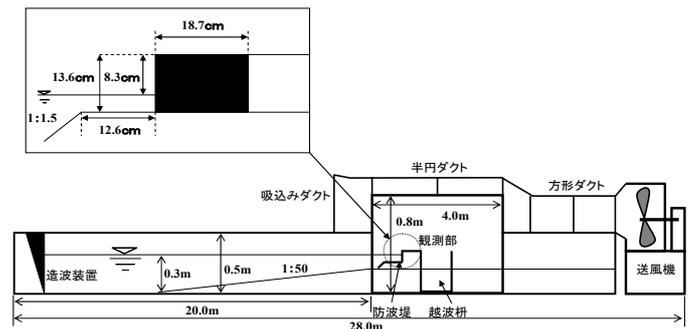


図-1 実験装置

なお、この模型は著者らが過去に飛沫の打上げの現地観測を実施した防波堤を対象としており、模型縮尺は1/70である。水深は30cmとし、入射波は有義波高 $H_{1/3}=5.41\text{cm}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=1.1\text{s}$ の修正Bretschneider-光易型スペクトルを有する不規則波とした。風は無風を含め数ケースの風速を設定した。

実験では、図-2に示すように、波と風を同時に作用させて越波や打上げの状況をビデオ撮影する可視化実験を行った。可視化のため流体(水)をウランインで着色し、さらにグリーンレーザーでオレンジに発光する蛍光トレーサー(FLUOSTAR: EBM社製)を混入した。ビデオ撮影にはVGA解像度で400fpsの撮影が可能な高速度カメラと一般のフルHDデジタルビデオカメラを使用した。高速度カメラでは堤体前面における打上げを詳細に撮影した。このとき、図-2および図-3に示すように、背景となる黒い板を設置し、ミラーを利用してグリーンレーザーシートをマウンドの下から照射し蛍光トレーサーを発光させた。また、高速度カメラにはレーザーの緑色をカットしてトレーサーの発光色であるオレンジのみを透過するロングパスフィルターを取り付けて撮影した。一方、デジタルビデオカメラでは、より広い範囲を対象に、飛沫が風で輸送される様子を撮影した。このとき、水路の反対側からブラックライトを当て、ウランインを発光させて撮影した。なお、デジタルビデオカメラにはUVカットフィルターを装着しブラックライトの光が映り込まないように工夫した。これらの可視化とビデオ撮影に加えて、堤体背後に大きな越波枡を設置した。また、波高計を図に示す3箇所に設置し、堤体前面の水位変動(1箇所)および越波枡内の水量の変化(2箇所)を計測した。

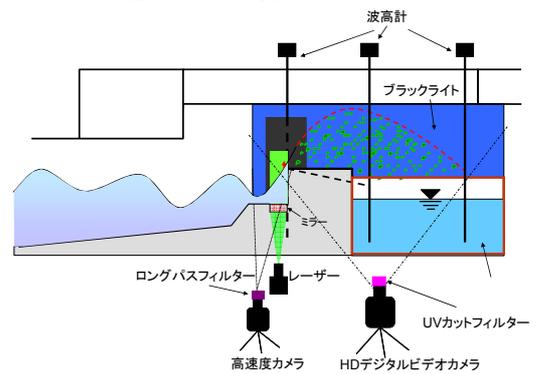


図-2 可視化実験の概略

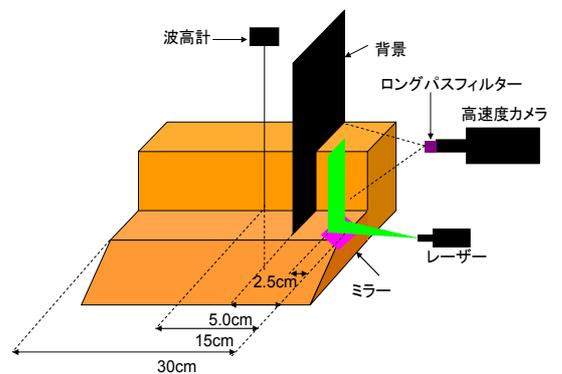


図-3 堤体前面部の撮影

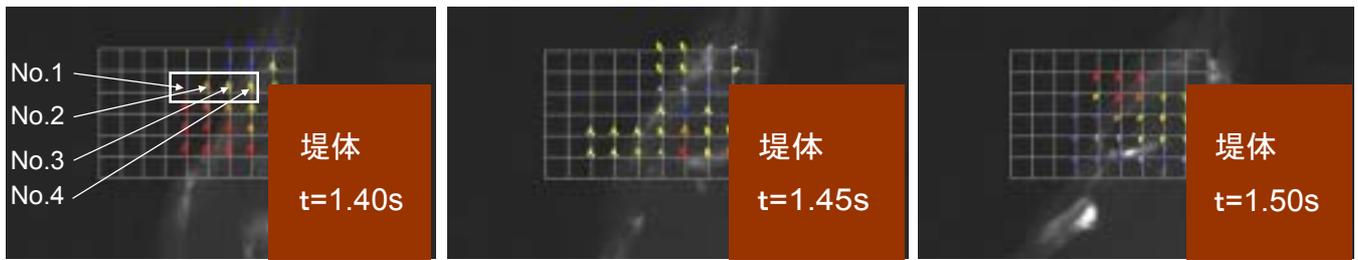


図-4 PIV 解析結果の例

2.2 画像解析

画像解析により一波毎の越波量や飛沫の打上げ高を精度良く計測するため、一波毎の越波量については、まず、高速度カメラの撮影画像から PIV (Particle Image Velocimetry) により時々刻々変化する堤体前面の流体の速度ベクトルを求める。この速度ベクトルをもとに、天端を越える流体の量 (越波量) を算定する。飛沫の打上げ高については、デジタルビデオカメラの映像から輝度解析を行い、飛沫が到達した最高点を特定する。

3. 解析結果

図-4 に高速度カメラで撮影した画像の例を示す。図には PIV により得られた速度ベクトルが示されている。PIV では設定した格子毎に速度ベクトルが算定される。図-5 は、図-4 に太枠で示す天端の高さの格子における鉛直方向流速の時系列を、ある一波について示したものである。この各格子の鉛直速度に格子幅を掛けて足し合わせると、図-6 に示す天端高を越えて上昇あるいは落下する水量の時系列が得られる。これを一波の期間で積分すれば、その一波における越波量となる。図に示した例では、一波による越波量は  $3.95 \times 10^{-4} \text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{波})$  と算定された。

図-7 はデジタルビデオカメラによる飛沫の打上げの撮影画像の例で、図中にはある部分について輝度解析を施した結果を示している。輝度解析では、画像上に格子を配置し格子内での平均輝度を算定する。図-8 は、図-7 に示した 3ヶ所 (A, B, C) における平均輝度の時間変化である。この平均輝度に変化した最も高い位置を特定することで飛沫の打上げ高を計測でき、図の例では、B の位置が輝度に変化した最も高い位置であり打上げ高は天端上 21.04cm となる。

4. おわりに

可視化実験と画像解析により一波毎の越波量や飛沫の打上げ高を計測する方法を示した。現在、波高計や越波柵による計測結果との比較により、本手法の計測精度について検討を進めており、その結果については講演時に発表する予定である。

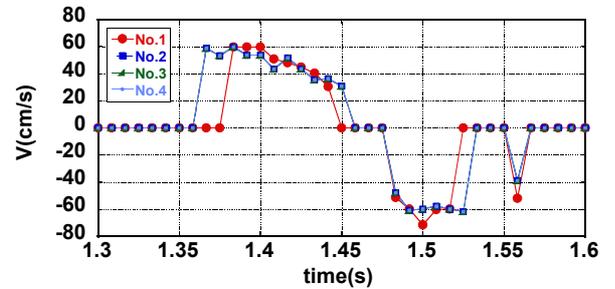


図-5 鉛直方向流速の時系列

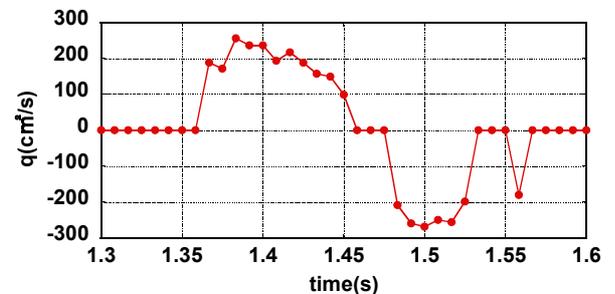


図-6 天端の高さを通る単位時間当たりの水量

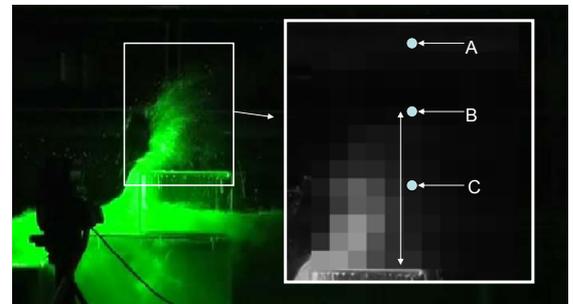


図-7 輝度解析結果の例

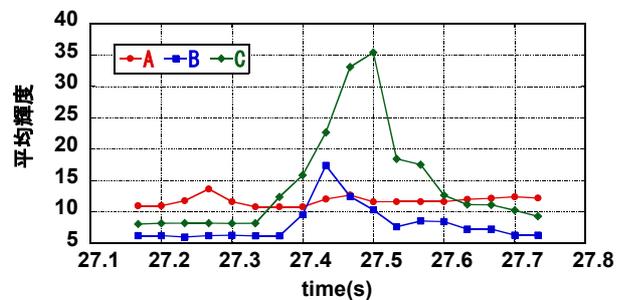


図-8 輝度の時系列変化