

甲板打込水の可視化技術

海上安全研究領域

* 沢田 博史、辻本 勝、谷澤 克治

環境・エネルギー研究領域

星野 邦弘

1. まえがき

船舶が荒天中を航走する場合、打込水による衝撃的な荷重により甲板上構造物が被害を受けることがある。そこで、海技研では甲板打込水による衝撃荷重の高精度推定手法を開発することを目的とした研究「粒子法による船舶の波浪衝撃解析手法の開発」を、東京大学、横浜国立大学と一緒に実施している。海技研の担当は粒子法コードを定量的に検証するための水槽実験データを取得することで、打込水の可視化計測を実施し、撮影画像のPIV解析等から打込水の流場を求めている。

前報¹⁾では甲板打込水の3次元非定常流場計測の手始めとして、2次元水槽に設置した台上に打ち込む規則波の可視化計測およびPIVによる打込水速度場の解析を行い²⁾、その結果を報告した。

その後、前報の可視化計測手法を発展させ、規則波中を向波状態で航走する模型船の船首甲板への打込水の可視化計測技術を開発すると共に、水槽実験を実施して甲板への打込水の可視化を試みた³⁾。

本報ではこの可視化計測技術と得られた画像データについてその概要を報告する。

2. 可視化技術の概要

甲板上への打込水は船首甲板の外周部から打ち込む3次元的な奔流であり、短波長波中では船首による入射波の変形の影響が顕著でその挙動は複雑である。この複雑かつ非定常な3次元流を可視化するため、前報¹⁾では高速ビデオと同期するシート状ストロボ光を用いて3次元流から2次元断面を切り出し、シート光内の流場を可視化計測する手法について報告した。

この手法を航走する模型船の甲板上への打込水の可視化に用いるため、図-1, 2に示す可視化計測用



図-1 可視化計測用模型船

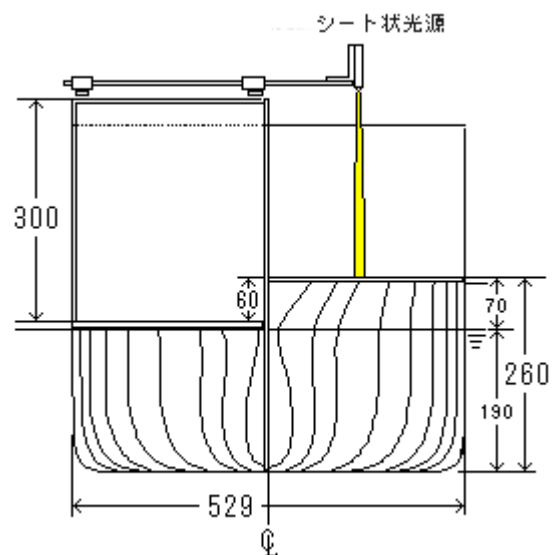
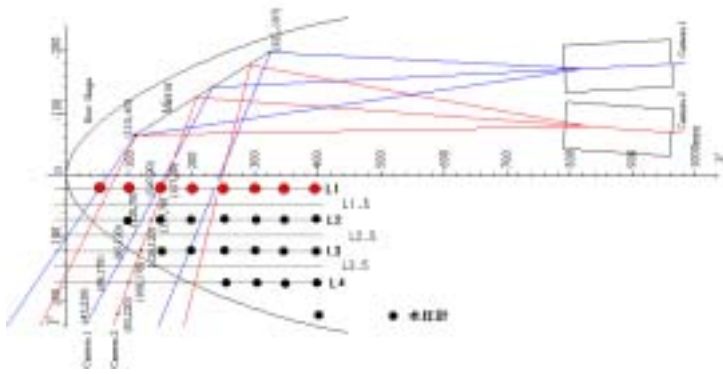


図-2 模型線正面図 (船型: VLCC)

船長 3m、船幅 0.529m、深さ 0.26m

喫水 0.19m、排水量 243kg



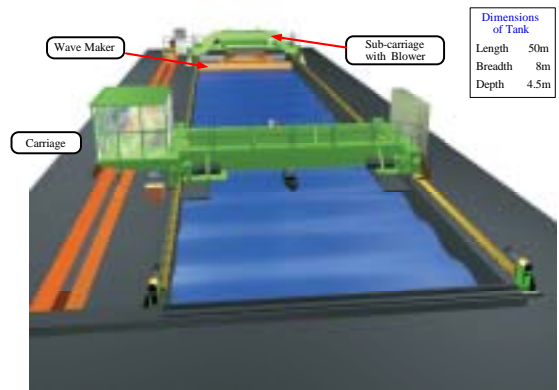
図・3 カメラの光軸と撮影範囲

の模型船を設計・製作した。本模型船には船体中心線上縦断面に透明アクリル製の整流板が、右舷には整流板と一体となった防水ケースが取り付けられている。防水ケース内には高速ビデオ2台とミラー1枚が設置され、ケース上にはシート光を照射するための円筒レンズとそのトラバーサが搭載されている。これらを用いて左舷甲板への打込水を撮影する方式である。正面向波中の打込水流場は左右対称であるので、整流板を鏡像面として左舷甲板上への打込水を右舷側のミラーに映し高速ビデオで撮影する。模型船は左右非対称であるが、上下揺と縦揺以外は拘束してあるため、横揺は発生しない。

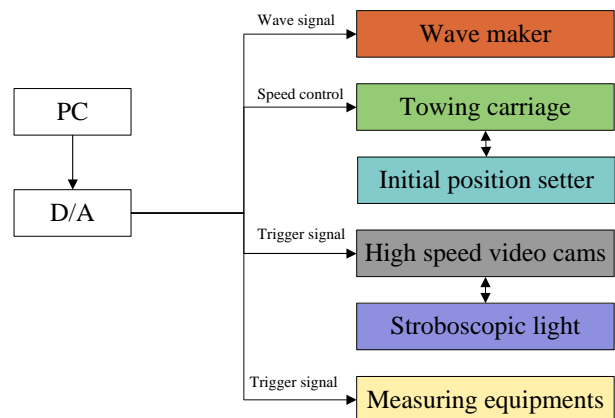
図・3にカメラの位置および撮影範囲を示す。2台のカメラを用いたのは、打込水をステレオ撮影するためである。図中にL1~L4で示す線は、シート光による照射断面で、シート光厚さは約20mmである。図中は水圧計取り付け位置で断面上にある。実験ではカメラとミラーを図より15cm後方に平行移動さ、打込水が流下する様子も撮影した。

実験は海技研1号館の動揺水槽(全長50m、幅8m、深さ4.5m)で実施した。試験水槽の全景を図・4に示す。本水槽はフラップ式造波機と曳航台車を有する。模型船は台車に設置した動揺計測装置を介して台車に取り付けられており、正面向波中を曳航される。実験では水槽全体を遮光し、シート状中に入ってくる打込水とトレーサー粒子をステレオ撮影することで断面内の流場を映像化した。撮影は毎秒250コマで連続8秒間行った。

入射波は波長船長比(L/λ)で0.7から1.5までの5状態、波高は11cmで一定とした。ただし、最も波長が短くなる $L/\lambda=0.7$ の場合は、波高が11cmで



図・4 可視化実験に用いた水槽



図・5 実験制御システム

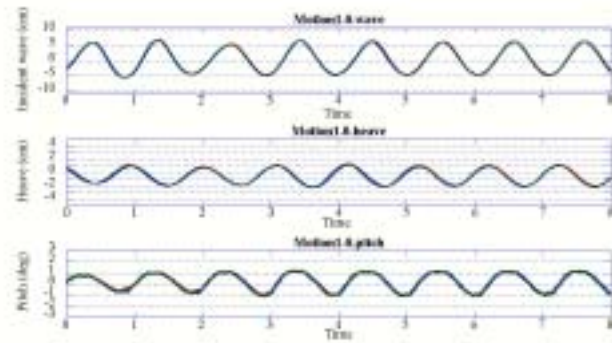
は打込水量が可視化をする上で不十分のため、波高を12.5cmとした。船速は0.724m/s($F_n=0.134$)で一定とした。

本実験は粒子法コードを定量的に検証するためのデータ取得が目的であるため、再現性が非常に重要になる。そこで、再現性を確保するため、造波機、曳航台車、高速ビデオ、船体運動および衝撃水圧の計測装置を一台のパソコンで制御するシステムを開発した(図・5参照)。実験は、再現性の検証のため、同一条件での航走を3~4回繰り返し実施した。

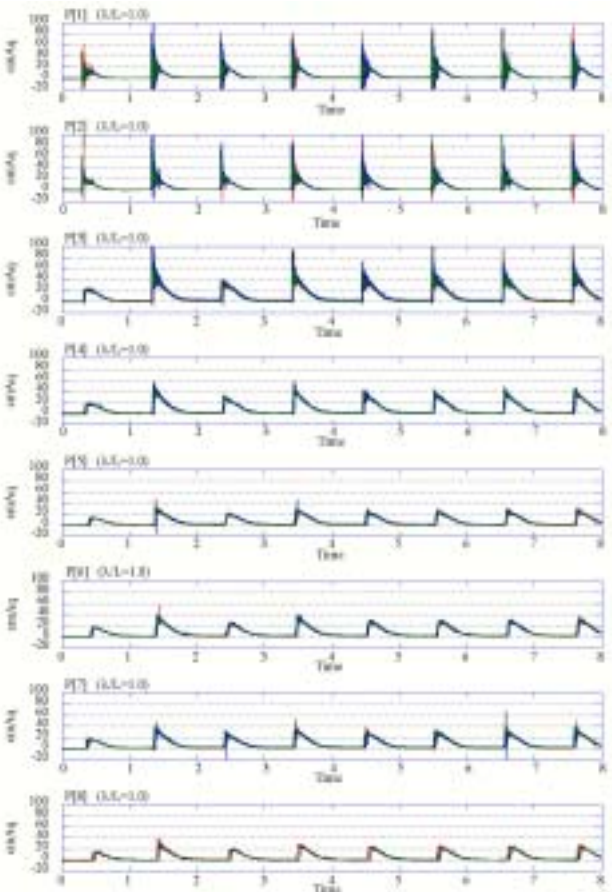
3. 実験結果

まず計測波形例を図・6(a)(b)に示す。(a)は入射波、上下揺、縦揺の計測波形である。縦揺れの波形に見られるピーク部分の歪みは、打込水の影響である。図には4回の航走で計測した波形が重ねてプロットされている。これらは互いに良く一致しており、実験に再現性のあることが確認できる。波形全体について相関係数を求めた結果、0.996であった。図・

6 (b)は、打込水による甲板上での衝撃水圧で L1 断面線上の船首側から P[1] ~ P[8]の 8 点で計測したものを代表として示した。この図にも 4 回の航走で計測した衝撃水圧波形が重ねてプロットされている。これらも互いに良く一致していることから、甲板上への打込水についても再現性があることを確認できる。P[1] ~ P[3]に見られる振動波計は、空気巻き込



(a) 入射波と船体運動



(b)甲板上衝撃水圧 L1 断面

図・6 船体運動と衝撃水圧の計測波形
($\lambda/L=1.0$ 、 $hw=11\text{cm}$ 、 $Fn=0.134$)

みによるもので、P[4]付近では空気が自由表面へ抜け出しているため、振動波形は見られない。

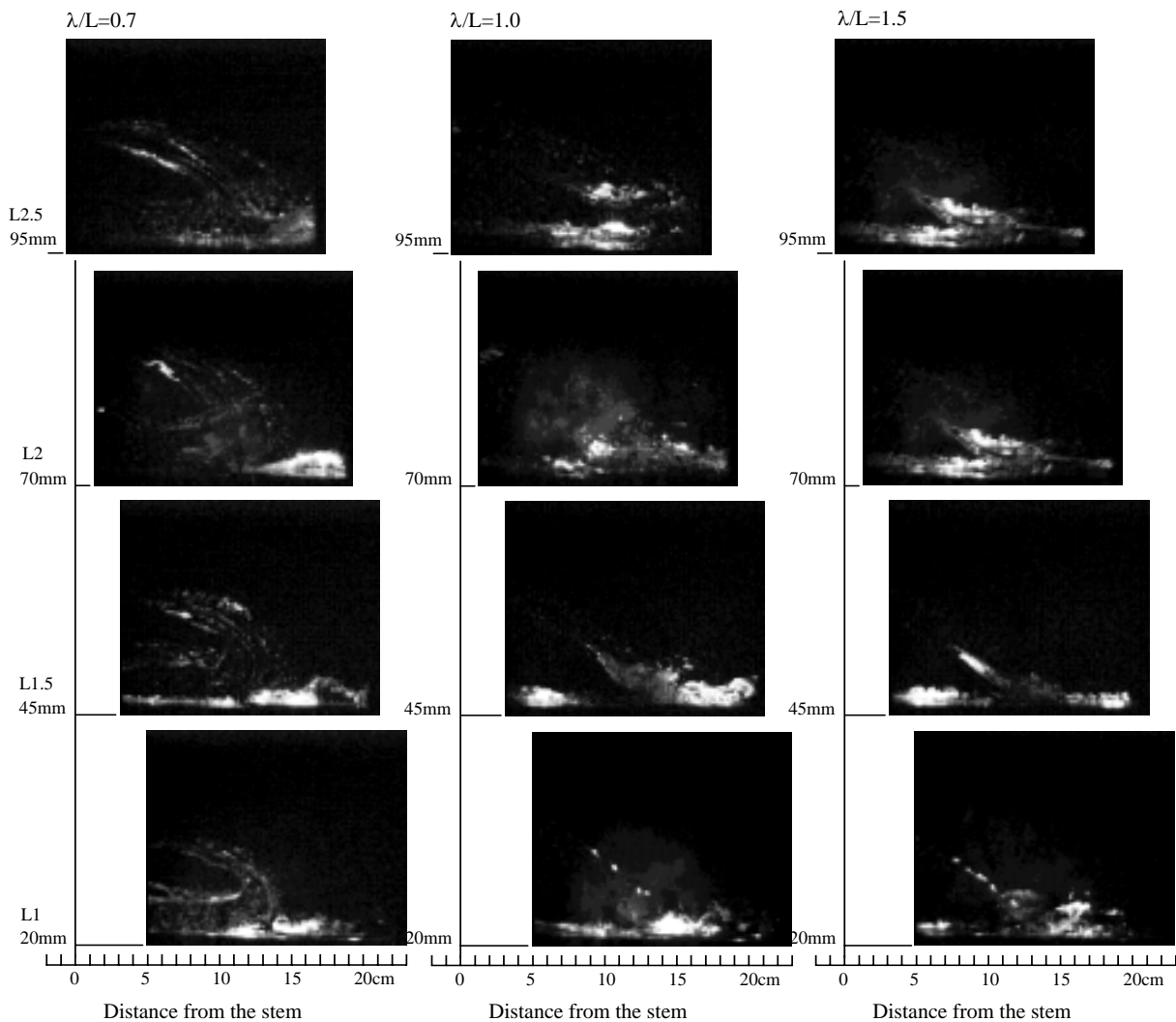
次に、図・7に甲板上の4断面(下から、L1、L1.5、L2、L2.5)でカメラ1により撮影された打込水の同時刻の画像を例示する。L1~L2.5断面は模型船中心線から、それぞれ20mm、45mm、70mm、95mm離れており、互いに平行である。画像の左側が船首で、打ち込み水は左から右へ走る。カメラと反射鏡との角度関係から、外側ほど撮影範囲が船首方向に移っており、船体中心線に近い断面では船首先端は画角に入っていない。撮影範囲は船体中心線に最も近い断面で約18cm x 16.6cmの大きさであり、これも外側ほど少し広がっている。また、長方形の撮影画像は実空間では台形状の領域を投影したものである。本報は打込水の可視化技術の説明が主目的であるため、生画像をそのまま掲載する。画像歪みの補正方法および流場のPIV解析については、本誌別報⁴⁾を参照して頂きたい。

さて、図・7には短波長波中(左列： $\lambda/L=0.7$)、運動の同調点付近の波長(中間： $\lambda/L=1.0$)、長波長波中(右列： $\lambda/L=1.5$)での打ち込み水の画像が示されている。

まず、短波長波中では船体運動は小さいが、入射波が船首で反射されて船の進行方向の巻波を形成し、それが甲板上で打ち込んでいる。画像中に見られる巻波形状がそれで、打ち込み水の挙動は3次元的で複雑である。運動の同調点付近の波長では、船体運動が顕著であり、船首部では入射波と船体との相対運動の振幅が大きく、叩き付けるような激しい打ち込みが発生している。船首側面からの打ち込み水が中心線に向かって流れ込み、中心線上で集中する挙動も観察されており、打ち込み水の挙動は2.5次元的である。また、大規模な空気巻き込みも観察されている。一方、長波長波中では、船首と波面との総体運動は小さく、船首での波の反射もほとんど見られない。打ち込み水は流れ込むようにして甲板上へ侵入し、船体後方へ流下している。しかし、このような打ち込みでも、船首側面からの打ち込み水が中心線に向かって流れ込むため、打ち込み水の幅方向の運動は無視できず、打ち込み水の挙動は2次元的である。

4. まとめ

本報では、規則波中を向波状態で航走する模型船の甲板上へ打ち込む入射波の打込水の可視化計測技術について概説し、打込水の可視化画像を紹介した。



図・7 撮影画像 (L1 ~ L2.5 断面、カメラ1)

得られた画像の観察から打込水の挙動は概ね次のようであることが分かった。

1) $\lambda \ll L$ の場合

- ・ 船体運動は小さいが船首での波の反射が顕著。
- ・ 打ち込み水の初期形状は入射波に反射波が重畳したものとなり、打ち込み水の挙動は3次元的で複雑。

2) $\lambda = L$ の場合

- ・ 船体運動が激しく、船首相対水位変動も大きい。
- ・ 叩き付けるような激しい打ち込みで、打ち込み水の垂直方向の運動も重要。
- ・ 空気巻き込みが顕著。
- ・ 打ち込み水挙動は2.5次元的

3) $\lambda \gg L$ の場合

- ・ 船首部での入射波の変形はあまり顕著でない
- ・ 入射波が流れ込むタイプの打ち込み
- ・ 打ち込み水の挙動は2次元的

謝 辞

本研究は、鉄道建設・運輸施設整備支援機構公募型研究「運輸分野における基礎的研究制度」により実施したものである。本研究を実施するにあたり、お世話になった関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 沢田博史他：2次元水路内に設置した台上への打ち込み水の可視化計測、第3回海技研発表会講演集、(2003)pp.357-358
- 2) 沢田博史他：高速度カメラを用いた甲板上打込水挙動のPIV計測第31回可視化情報シンポジウム講演論文集、(2003)pp.243-246
- 3) 谷澤克治：粒子法コード検証のための甲板冠水の可視化実験、日本造船学会論文集(第2号)(2003)pp.55-56
- 4) 星野邦弘他：画像解析による甲板打込水の流場計測、第4回海技研発表会講演集、(2004)