大艫度規則向波中における船首船橋船の船橋への 海水打ち上げ速度 —水槽実験による調査—

定兼 廣行*・金 詰承**

On the Raising Velocity of Shipped Water to the Bridge of a Fore-Bridge-Ship in Head Regular Waves with High Steepness —An Examination by Model Experiment Using Water Tank—

Hiroyuki SADAKANE and Chol-Seong KIM

Abstract

The wheel house front glass of a fore-bridge-ship had been broken by the shipping of water in rough sea. It was an incredible accident because the ship had the bow freeboard about 2.5 times higher than that of ICLL Regulations, and because the front glass was positioned about 20m above the sea surface.

In this study, we carried out the water tank experiment using a model ship and regular waves with high steepness ($H/\lambda=1/15\sim1/10$), and examined ship motions and the water level overflowing the bow bulwark top by using video-cameras and a vertical wave probe put in the bow-end. And also the raising flow velocity at the position of the front glass was tried to measure. The results are summarized as follows:

- (1) We obtained a formula to estimate the raising flow velocity at arbitrary height above the deck.
- (2) From the analysis, the head velocity of the shipped water was about 1.3~1.5 times as fast as that led from the dam breaking theory.
- (3) The asymmetric phenomena significantly appeared in the ship motion. In particular, the degree of the asymmetry of bow vertical acceleration and relative wave elevation at bow were about $\pm 20\%$ of the average amplitude.

1. はじめに

荒天向波中において船首船橋船 (Ro-Ro船) の操舵室前面窓ガラスが打ち込み海水によって破損され、操縦不能に陥った事故が発生した。事故当時この船首船橋船の船首部乾舷は14.7mであった。これは現在規則の見直し作業⁽¹⁾が行われている1966年国際満載喫水線条約で定めている最小船首乾舷の基準より約2.5倍も高くなっており、また操舵室窓ガラスはそこからさらに高所に位置しているため、操船者にとっても予想し難い事故であると考えられ

る。そこで、前報⁽²⁾では規則波中の模型実験を実施し、波艫度が高い正面向波では船首部分から打ち込んだ水が船首甲板上の船体中心線上で収束現象を生じ、この収束流が高速で船橋前端面に衝突した後方向を変えて操舵室前面窓を越える高速上昇水流になることを現象的に確認した。

一般的に船首船橋船は船尾船橋船とは異なり、操船者は激しい海水打ち込みを目の当たりにするため精神的なストレスをより強く受け、また通常、船舶は船首部分の方が船尾部分より上下加速度の変動量が大きいため操船者は物理的な負担を強く受けると

* 正 会 員 神戸商船大学 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

**学生会員 神戸商船大学大学院 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

考えられる。また、上記の負担に加えて、船体の中で最も高い位置（事故船舶の場合は海面上約20m高さ）にある操舵室に海水打ち込みが発生することは操船者にとっても予想し難い現象であるから、この種の海水打ち込みはこれに直面する操船者の立場からぜひ調査研究する必要がある。

本研究では、まず大波岨度向波中における縦揺と船首部上下加速度の程度や特徴及び船首甲板上海水打ち込みの発生原因となる船首相对水位変動を水槽実験により調査する。次に、船橋窓ガラス等への衝撃に重要な関わりを持つ上昇流速の定量的検討を行うために打ち込み水の船首甲板上高さや窓ガラス高さにおける上昇流速との相関を実験的に求める。またダム崩壊モデルから導かれる甲板上流動水の先端流速に修正係数を導入し、これらを基に船橋任意高さにおける上昇流速を推定する実験式を求める。

2. 実験方法

水槽実験は神戸商船大学浅長水槽（60×6×1.5 m）の水深0.9mにおいて模型船を無線操縦により自由航走させて行った。使用した模型船はほぼ満載状態であり、その主要目は表1に示す。

船首相对水位変動と打ち込み水（以下、打込水）の甲板上高さは船首端に取り付けた抵抗線式水位計で、また上昇流速は図1に示すように操舵室前面に2組の検出針を鉛直方向に並べて設置し、水流の通過の時間間隔より流速が求められる抵抗型簡易流速検出装置を試作して計測した。船首上下加速度はF.P.前方の甲板上に取り付けた加速度計によって計測し、また同時に、ビデオカメラによって船体運動と船首相对水位変動及び操舵室への打ち込み状況などを撮影した。

実験船速は、荒天中の船速低下を考慮に入れ、実船で約5.0knots（ $Fn=0.075$ ）相当と船速影響を調

表1 船体の主要目と実験状態

縮率（1/118.5）

要目	実船	模型船
L_{pp} (m)	142.20	1.200
B (m)	24.00	0.203
D(上甲板) (m)	15.15	0.128
d_f (m)	5.21	0.044
d_a (m)	6.16	0.052
Δ (ton, kg)	11,200	6.72

図1 船首部の計測器配置

べるため船速が無い場合の2種類を選定した。波は正面規則波で、波長船長比 $\lambda/L=0.8\sim1.4$ 、また波高波長比は甲板上に打ち込みが発生する $H/\lambda=1/15\sim1/8$ を実験範囲とした。

3. 船体運動と船首相对水位の解析結果

3.1 縦揺及び上下加速度

縦揺はビデオカメラ（30コマ/秒、シャッター速度：1/500）の記録映像から解析を行った。なお、大波岨度で模型船を自由航走させた実験なので、応答振幅が必ずしも一定しなかった。このため応答振幅の解析に当たっては動揺の5周期分の極大値、極小値を求めて各々平均した。これら実験結果と共に、大波岨度中非対称運動の特徴を鮮明にするために線形計算（Strip法）の結果も示す。

図2は波岨度を $H/\lambda=1/10$ に固定して、波長船長比 $\lambda/L=0.8\sim1.4$ 範囲の船速の有無による縦揺れ応答特性を見たものである。縦軸は波面の最大傾斜角 $\kappa\zeta$ の倍率であり、 $\kappa(=2\pi/\lambda)$ は波数また ζ は入射波高の振幅である。図(a)の船速0の場合、縦揺れの応答が λ/L に拘わらず船首下げ止まり時の振幅（■印）が船首上げ止まり時（▲印）よりも小さくなる非対称運動の特徴が見られるが、非対称の程度は余り大きくない。図(b)の $Fn=0.075$ の場合も全般的な傾向と振幅は図(a)とほぼ同じであった。また $Fn=0, 0.075$ とも $H/\lambda=1/10$ の大波岨度であっても実験値は線形計算値とあまり差は見られなかった。

次に上下加速度の応答特性を図3に示す。横軸はやはり λ/L であり、縦軸は無次元加速度 $A_v \cdot L/g\zeta$ である。ここに A_v は上下加速度を表す。図(a)が船速 $Fn=0$ 、また図(b)が $Fn=0.075$ である。 λ/L の広い範囲において非対称の程度が大きく現れ、その差

図2 縦揺の応答特性 ($H/\lambda \approx 1/10$) 図4 波岨度による船首上下加速度の変化 ($\lambda/L=1.2$) 図3 船首上下加速度の応答特性 ($H/\lambda \approx 1/10$)

異は平均振幅の大略 $\pm 20\%$ にもなった。平均振幅は船速の有無によって相違するものの線形計算とはおおむね合う結果となった。次に、甲板上海水打ち込みが最も激しく起こる $\lambda/L=1.2$ に固定して、波岨

度 H/λ が上下加速度に及ぼす影響を調べると図4(a)と(b)に示す結果となった。 H/λ による上下加速度の平均振幅の変化は少なかった。また船首の下げ止まりと上げ止まりの各振幅差も H/λ の影響が余り強く現れなかった。ただし H/λ の減少と共に両振幅差が少なくなる傾向はうかがえる。平均振幅は図(a)と図(b)の比較から分かるように船速によって相違するが、意外にも線形計算結果とおおむね合っており、この計算の実用性をうかがうことができる。

3.2 船首相対水位

船首相対水位変動の応答値も3.1の手法に倣って解析した。相対水位は、船首下げ止まり状態では水位計が十分に没水するので船首端に取り付けた抵抗線式相対水位計で計測できるが、船首上げ止まりはこの水位計の計測部分が空中に出るため計測不能になり、この場合はビデオカメラの記録映像から読み取った値を使用した。

図5は λ/L による船首相対水位変動の振幅変化を見たものである。縦軸は相対水位変動の振幅 R_{zr} を入射波高の振幅 ξ で無次元化している。■印が船首上げ止まり時の振幅を、▲印は船首下げ止まり時の振幅を示す。また参考のため線形計算結果も●印で示す。計算値には船体の前進による静的及び船体動揺による動的水面盛り上がりなどの影響は考慮され

図5 船首相対水位変動の応答特性 ($H/\lambda \approx 1/10$)

ていない。図から分かるように相対水位には上下加速度と同じように非対称現象が顕著に現れた。この非対称の程度は平均振幅の約 $\pm 20\%$ にもなり、波呺度の低い波浪を用いた実験からは想像しがたい。しかし予想に反して、図中●印で示す計算値は実験非対称振幅の間に入っている。また計算値と実験値との間には一定の傾向があり、実験の船首上げ止まり振幅はやや大ながらも類似した振幅であるのに比べ、船首下げ止まり振幅は計算のそれよりかなり低目に現れる。次に、図(a)と図(b)から船速の有無の影響を詳細に見ると、図(a) $F_n = 0$ の場合は波長の長い $\lambda/L = 1.4$ の方で非対称の程度がやや大きいのに比べ、図(b) $F_n = 0.075$ の場合は λ/L が小さい方で非対称性が顕著に現れた。さらに甲板上海水打ち込みに関係がある、船首下げ止まり振幅▲印の値を見ると、(b)図の海水打ち込みが激しく起こる $\lambda/L = 1.2, 1.4$ の振幅が船速を減じることによって(a)図のように減少する。つまり、水面上ブルワークトップの高さを示す(a)図と(b)図中の◇印の値を考慮すると、甲板上打込水の高さ(両図中▲印と◇印の差)が $F_n = 0.075$ の時から $F_n = 0$ に減速、停止することにより、 $\lambda/L > 1.0$ では $1/2$ 以下に納まることが分かる。

非対称の変動幅が大きい $\lambda/L = 1.2$ につき、 H/λ に対する非対称振幅の変化傾向を見るために図6を

図6 波呺度による船首相対水位変動の変化 ($\lambda/L = 1.2$)

作成した。実験は $H/\lambda \geq 1/15$ (0.067) と大呺度範囲であるため、船首相対水位変動の両振幅値の非対称程度が大きく現れた。図(a)の $F_n = 0$ の場合は図4の上下加速度と同じように波呺度の増加と共に非対称両振幅の差異は多少増えるが、その増え方は緩やかであり、両振幅の差異は平均振幅の約 $\pm 20\%$ であった。図(b)の $F_n = 0.075$ の場合は H/λ が大きくなっても、非対称振幅の差異は余り変わらないが、それらの平均振幅は H/λ の増加と共にやや減少する傾向が見られた。非対称両振幅の差異は約 $\pm 17\%$ であった。

4. 船首船橋船の船橋への海水打ち上げ

4.1 操舵室窓ガラス高さにおける上昇流速

前報では操舵室前面窓ガラス高さにおける流速 V_b をビデオ映像で解析して求め、波呺度 $1/10$ 程度になると λ/L が 1.0 以上で窓ガラス高さでの上昇流速は波面の最大上昇速度の $3.0 \sim 3.5$ 倍になることを示した。この上昇流速は窓ガラス等への衝撃圧力に重要な関わりを持つので、この衝撃圧力の推定モデルを作るためには上昇流速の定量的検討が必要である。

本研究では図1に示す抵抗型簡易流速検出装置を用いて上昇流速を計測した。これは、上下 3 cm 間

図7 窓ガラス高さにおける上昇流速($H/\lambda \approx 1/12$)

隔に埋め込んだ2組の検出針の間を水流が通過する時間から流速を求める装置である。電気信号は2 msecのサンプリングタイムでA/D変換されてコンピュータに取り込み、解析される。求められる上昇流速は両検出針間の平均流速であるが、この流速を両検出針の中間高さにある窓ガラス高さ通過時の上昇流速と見なす。ただし上昇水流が有する運動エネルギーは、水流の上昇と共に運動エネルギーを消費するので、両針の中間位置での瞬時の上昇流速は平均流速よりやや大きい、この差は無視する。

図7は、 $H/\lambda \approx 1/10$ につき、 λ/L による上昇流速を波面の最大上昇速度 $\xi\omega$ で無次元化したものである。ここに ω は波の角周波数である。実験は $Fn=0$ と0.075の2種類の船速について行われた。図には各実験状態において発生する上昇流速のバラツキ幅とその算術平均値を示す。先ず船速が $Fn=0.075$ の場合(■印)は、前報の記録映像を基に解析した結果とほぼ同じように3.0~3.5倍になった。しかし一方、船速が $Fn=0$ の場合(▲印)は、 $\lambda/L=1.0, 1.2$ の時は上昇流速の倍率が約2.5前後に小さくなり、 $\lambda/L=1.4$ では窓ガラスに達する水流は発生しなかった。この発生しなかった理由は、甲板上打込水に支配的要因である船首相対水位変動が $\lambda/L=1.4$ で小さくなる(図5(a)▲印参照)ためであると考えられる。図5(a)と(b)中の◇印は水面上ブルワークトップの高さであり、相対水位がこのブルワークトップを越えるとき水の打込みが発生する。ブルワークトップを越える水位(図5の▲印と◇印の差異)量と図7の上昇流速とはよく対応している。次に上昇流速が大きく発生する $\lambda/L=1.2$ について、 H/λ による上昇流速の変化を見ると図8を得る。この図から上昇流速の無次元値は H/λ が大きくなるに従って明瞭に増加の傾向が見られ、窓ガラス高さに上昇水流が達する波岨度は■印の $Fn=0.075$ では $H/\lambda \geq 0.07$ ($\approx 1/14$)、▲印の $Fn=0$ で

図8 波岨度による上昇流速の変化 ($\lambda/L=1.2$)

は $H/\lambda > 0.084$ ($\approx 1/12$)と推定できる。図に示すように上昇流速は同じ実験状態にあってもその計測値のバラツキが大きい、波岨度と上昇流速の関係及びそれらのおよその量を知ることができた。

4.2 打込水の船首甲板上高さ h と上昇流速 V_b との相関

窓ガラス破損等の事故の再発を防止するためには操船者に操船指針となる資料が必要である。従来のように海水打ち込みについても、単に甲板上への打ち込みの有無の限界ではなくその厳しき、つまり窓ガラス破損事故の直接原因になる上昇流速がどのような条件下でどの程度となるかについての情報が必要であろう。これらの情報はできるだけ簡便な方法で推定できることが望ましい。しかし、4.1後半に述べたように規則波中同じ実験状態でもそのバラツキが大きい。しかしここでは、このようなバラツキには留意せず、先ずは打込水の船首甲板上高さ h と、窓ガラス高さ h_b における上昇流速 V_b との相関を実験的に調査する。

なお、打込水の船首甲板上高さ h は船首相対水位変動の最大値と船首端甲板の高さから求め、上昇流速は4.1で述べた方法に従った。なお上下一対の検出針の内、上部の検出針に水流が検出されなかった場合は、水流が弱いことでもあり、この場合の上昇流速は0とした。

先ず図9に $Fn=0.075$ における h と V_b との関係を●印で示す。図(a), (b)及び(c)はそれぞれ $\lambda/L=1.0, 1.2, 1.4$ の場合のものである。 $\lambda/L=1.0$ の図(a)の場合、横軸の h が $h > 0.015\text{m}$ で窓ガラスを越える上昇水流が発生しており、 $h \approx 0.02\text{m}$ で流速 V_b は模型船スケールで急に1.0m/s程度となり、以後 h の増加と共に V_b も増加する。図(b)の $\lambda/L=1.2$ の場合もほぼ同様であるが、より高い h の実験点が現れた。これは、 $\lambda/L=1.0$ よりもさらに激しい打込みが $\lambda/L=1.2$ で発生したことを意味する。図(c)の $\lambda/L=$

図9 波長船長比 λ/L による打込水の甲板上高さ h と上昇流速 V_b との相関 ($Fn=0.075$)

1.4の場合、 h が高い所で V_b は多少他の λ/L と比べて低目に現れたが、その差異は少ない。図中の実線は近似曲線であるが、これは4.3に述べる。

次に船速の有無による h と V_b との関係の差異を見てみよう。図10(a)が船速 $Fn=0$ 、図(b)が $Fn=0.075$ であり、 $\lambda/L=0.8\sim 1.4$ 、 $H/\lambda=1/15\sim 1/8$ の全データを対象にして h と V_b との相関を見たものである。 λ/L や H/λ の違いは考慮せず、単純に上昇流速 V_b は船首甲板上打込水の高さ h に依存して決まる、との考えの下に実験点を置点したものである。図(a)と図(b)の各実験点にはまとまりが見られるが、これらの実験点からは V_b に及ぼす船速の違いを明瞭に見出すことができない。しかし4.3で述べる実線の近似曲線を描くと、多少(b)図の曲線の方が高い V_b を与える。つまり船速が有ることによって上昇水流が増加する。

4.3 h と V_b の関係式表示

船首甲板上打込水の高さ h 等に支配されて生じる甲板上流動水の先端流速 V_b は、ダム崩壊モデル⁽³⁾から導かれる次式がしばしば使用される。

図10 打込水の甲板上高さ h と上昇流速 V_b との相関 ($\lambda/L=0.8\sim 1.2$, $H/\lambda=1/15\sim 1/8$)

$$V_d = 2\sqrt{gh} \quad (1)$$

ここに g は重力加速度を表す。しかし甲板上の流動水流速 V_d は激しい船体運動下では g の変動や縦揺運動などの影響を受ける。これらの影響を考慮するため修正係数 α を用いて(1)式を次式のように表すことにする。

$$V_d = 2\alpha\sqrt{gh} \quad (2)$$

一方、甲板上の流動水が持つ運動エネルギーは船首船楼を駆け昇る運動エネルギーと位置エネルギーに置き換え得ると単純に考えれば、この関係は次式のように表される。

$$\frac{1}{2}\rho V_d^2 = \rho gh_b + \frac{1}{2}\rho V_b^2 \quad (3)$$

ここに h_b と V_b は船橋窓ガラスの甲板上高さとその高さにおける流速を表す。(2)、(3)式より次式が導かれる。

$$V_b = \sqrt{4\alpha^2 g \{h - (h_b/2\alpha^2)\}} \quad (4)$$

図9と図10中の実線は(4)式を用いた近似曲線であり、修正係数 α の数値は図中に示す通りである。これら α の数値はダム崩壊モデルで推定される流速より1.31~1.46倍大きく、この数値は大波呺度中の船

体運動や打込水の収束現象によってもたらされたと考えるのが妥当であろう。これについては5章で一要因を議論する。図中の $|r|$ は相関係数であり、0.8~0.9の数値となった。

(4)式を利用することにより、船首甲板上打込水の高さ h が定まれば任意船橋窓ガラス高さ h_b における上昇流速を求めることができる。

5. 上昇流速の高速化の一要因

前章で打込水の上昇流が高速化した結果を示した。本章ではこの高速化の原因を船体運動と関連付けて考察し、高速化の妥当性を論じる。

4.3の最後の部分で、甲板上における打込水先端の流速はダム崩壊モデルで得られる流速よりも1.31~1.46倍になることを述べた。打込水の甲板上流速は船首甲板上打込水の高さ h だけでなく、船首部上下加速度や縦揺れ及び打込水の収束程度等によって違ってくると考えられるが、ここではこれらの中、船首部上下加速度の変動が4.3で導入した修正係数 α にどの程度の影響を及ぼしているかについて検討する。

図11に船首相対水位変動、上下加速度及び検出上昇水流の時系列データの1例を示す。これは $\lambda/L=$

1.2, $H/\lambda=1/10$, $Fn=0.075$ であり、上昇流速 V_b が模型船スケールで1.67m/sに達する相当大きい場合のものである。図から縦揺の船首下げ止まり（上下加速度の図中Aで示す点）になって暫くは船首の前方で水の壁が発生するがaの間はまだ甲板上に打込水は発生しない。その後水の壁が破れ、船首ブルワークトップを越えるc（「相対水位変動」の図中c）の間に一気に甲板上に打ち込む。「上下加速度」の図中bの間はまだ甲板上打ち込みが継続している時間であり、この間に下部検出針に水流が到達する。そして「上昇水流」の図中dの間に上部検出針に水流が到達する。以上の経過から、本例の場合、窓ガラスに上昇水流が達するのは船首打込水の甲板上高さが最大になったB直後になる。またcとdの時間の関係から上昇水流が窓ガラスを越えた後にも甲板上には打ち込みが続く。

図11中の上下加速度の変動を見ると、打込水が甲板上を流動しているbの間に上下加速度は急に減少するが、なお相当の上下加速度が生じている。これは見掛け重力加速度の増加となる。ここで例えば、甲板上打込開始から高所へ駆け昇る以前に発生する上下加速度の平均数値を大略0.5gと見ると見掛け重力加速度は1.5gとなるから、(2)式の修正係数 α は $\sqrt{1.5} \approx 1.22$ になる。この数値は図10(b)に示した $\alpha=1.41$ を十分に説明するものではないが、流動水に働く見掛け重力加速度は修正係数 α を決める上で重要と考える。

また、修正係数 α は図10で示したように $Fn=0$ と $Fn=0.075$ では相違し、それぞれ1.31と1.41を得た。この船速の有無による α 値の差異は、図3と図4に示した最大上下加速度の差異からも説明できる。つまり $Fn=0.075$ の最大上下加速度は $Fn=0$ のものより約1.5倍強く発生している。

6. おわりに

大波度における船首船橋船の水槽実験を行って以下の結果を得た。

- (1) 大波度における縦揺は波長船長比 λ/L に拘わらず両振幅の非対称特徴が見られるが、その程度は余り大きくなかった。しかし、船首上下加速度の場合は両振幅の非対称現象が明瞭に現れ、非対称の程度は船速の有無、 λ/L に因らず平均振幅の約 $\pm 20\%$ であった。
- (2) 船首相対水位には非対称現象が顕著に現れ、この非対称の程度は λ/L に因らず平均振幅の約 $\pm 20\%$ であった。ただし海水打ち込みが激し

図11 上昇水流発生過程の時系列の例
($\lambda/L=1.2$, $H/\lambda=1/10$, $Fn=0.075$)

く起こる $\lambda/L > 1.0$ では、船速を減速することによって船首下げ止まり振幅が相当減少することが分かった。

- (3) 船橋窓ガラス高さにおける上昇流速は、波嵎度 $H/\lambda \approx 1/10$ では、フルード数 $Fn = 0.075$ の場合は波面の最大上昇速度の約3.0~3.5倍になり、 $Fn = 0$ では約2.5前後に小さくなった。

次に打込水の上昇流速 V_b についてまとめると以下になる。

- (4) $Fn = 0.075$ の場合、打込水の船首甲板上高さ $h > 0.015\text{m}$ で窓ガラスを越える上昇水流が発生したが、 $h \approx 0.02\text{m}$ で上昇流速 V_b は急に大きくなり、以後 h の増加と共に V_b も単調に増加した。
- (5) 大波嵎度における甲板上打込水先端の流速はダム崩壊モデルで得られる流速よりも1.3~1.5倍になった。そしてこの高速化の原因は甲板上の流動水に働く、船首上下加速度による見掛け重力加速度の増加が一要因であることを確認した。
- (6) 上記の結果等を基に、船首甲板上打込水の高さから任意高さにおける上昇水流の流速を求める実験式を得た。

今回の規則向波中の実験より、船首甲板上打込水の高さが定まれば船橋任意高さにおける上昇流速を求める近似式が得られたので、今後不規則波中での実験を含め、高所への上昇流速の超過確率等の推定法についての研究を進める予定である。

最後に、本研究の実施に当たって神戸商船大学西尾茂助教授から温かい支援をいただきました。また実験に当たっては船舶工学研究室大学院生から多大な協力を得ました。ここに記して謝意とします。

参 考 文 献

- (1) 国際規則と船舶設計等との関連に関する調査研究, 日本造船研究協会研究資料, No.218R, pp. 206-236, 1995.
- (2) 定兼廣行・金詰承: 船首船橋船の打ち込み海水挙動に関する模型実験, 日本航海学会論文集第101号, pp.109-114, 1999.
- (3) 郷田国夫・宮本 武: 二次元模型実験による甲板水压の研究, 日本造船学会論文集第140号, pp.16-22, 1976.

質 疑 応 答

津金正典 (郵船海洋科学): 上昇流速に与える船体トリムの影響はどのようなものでしょうか。

金 詰承: 船体トリムが上昇流速にどの程度の影響を及ぼしているかについては具体的に検討しておりません。ただし、船体トリムを含め、船体運動(船首上下加速度、縦揺)及び甲板上打込水の収束現象等による影響は(4)式中の修正係数 α に現れていると思います。

林 美鶴 (神戸商船大学): 海水打ち上げを上昇水流の速度により評価しておられますが、上昇流速と船舶に与えるダメージは対応するのでしょうか。上昇流速で評価した意味は何でしょうか。

金 詰承: 操舵室窓ガラスの破損等には上昇水流の衝突によって発生する衝撃圧力が直積的な原因であると考えられます。そこで本研究ではまず窓ガラス等への衝撃圧力に重要な関わりを持っている上昇流速の定量的検討を行いました。なお、この流速と衝撃圧力との関係については別の実験を通じて検討しているところであります。