

(昭和53年11月 日本造船学会秋季講演会において講演)

高速艇の船底衝撃圧発生のメカニズムについて

正員 元 良 誠 三* 正員 藤 野 正 隆*
 正員 寺 尾 裕** 正員 尼 子 清 夫**
 正員 桜 井 和 之***

On the Mechanism of Occurrence of Impact Pressure upon High Speed Boats in Waves

by Seizo Motora *Member*Masataka Fujino *Member*Yutaka Terao *Member*Kiyoh Amako *Member*Kazuyuki Sakurai *Member*

Abstract

It has been well known that high speed boats often suffer from excessive impact pressure on the bottom when they navigate among waves in high speed. This impact pressure is sometimes so high that it will cause excessive acceleration and may give damage to the crew and passengers, and may give damage on ship's hull structures.

In this paper, the authors deal with a simulation of motion of a high speed boat in waves taking into account of effect of impact force when the boat touches the wave surface. Based on this simulated motion and relative velocity of the boat and wave surface, the impact pressure upon the bottom of the boat is calculated by a modified Watanabe's method.

Results are compared with results of full scale measurement and model experiments conducted by Japan Small Craft Inspection. It was found that the results of simulation of motion agreed fairly well with model experiments. Particularly the range of wave length to ship length ratio and speed of the boat when the boat jumps over the waves agreed quite well.

Simulated impact pressure was found a little smaller than results of model experiment. However longitudinal and transverse distribution of the impact pressure agreed fairly well. From the results of simulation together with model and full scale experimental data, the mechanism of occurrence of impact pressure was clarified.

1 緒 言

高速艇の波浪中高速航行時には、非常に大きな船底衝撃圧が発生することが知られている。この衝撃力による船体運動の上下加速度の急激な変化は乗員の健康を害するほどの大きさとなり、また局部的に発生する大きな衝撃圧は船底外板やフレームを破損させる可能性がある。高速艇の耐航性および船体構造を決定する主要な因子となる。このような大きな船底衝撃圧は、主に高速艇が空中に飛び出し、着水するときが発生すると考えられる。

本論文では、高速艇が水中から飛び出すような場合について実際の船型を単純化したモデルにおきかえ、山本

ら¹⁾の手法によって着水時の非線形流体力を考慮に入れることにより、シミュレーションを行ない、さらにシミュレーションより得られた船体の姿勢と波面との相対速度より、衝撃圧の発生の位置、およびその大きさを修正した渡辺の式を用いて計算し、衝撃圧発生のメカニズムについて考察を行なった。

本文中に使用する記号は以下のとおりである。

$\zeta_w = \zeta_A \cos(kx + \omega_e t)$: incident wave

ζ_A : wave amplitude

$H_W = 2\zeta_A$: wave height

$k = \omega^2/g$: wave number

ω : wave circular frequency

$\omega_e = \omega + kV_S$: encounter frequency

$Z_d(x, \theta) = d + \zeta - (x - x_G)\theta - \zeta_w$: draft at (x, θ)

d : sectional draft in still water

x_G : coordinate of the center of gravity

* 東京大学工学部

** 東京大学工学系大学院

*** 東洋熱工業

M_H : sectional added mass for heave motion

N_H : sectional damping coefficient for heave motion

α : angle between bottom and wave tangential

β : rise of floor (in degree)

V_B : forward speed of ship

b : sectional breadth

ρ : density of water

v_w : relative velocity between wave surface and bottom

g : gravitational acceleration

λ : wave length

L : ship length

$\theta_w = \frac{d}{dx} \zeta_w$: wave slope

2 波浪中の高速艇の運動のシミュレーション

2.1 仮定

通常船型の船体運動を予測する方法として、O. S. M. (ordinary strip method) がある。別所²⁾はこれを用いて、フルード数が0.5以下までは、波浪中の高速艇の運動を定量的にも定性的にも予測しようという結果を示した。

また橋本、深沢³⁾らによってさらに高速域、つまりフルード数が0.6以上のものについては、船体の姿勢を考慮に入れることにより、船体運動の微係数の計算値と実験値がある程度的高速域まであうということが見い出されており、高速航走時の姿勢を考えればO. S. M.により運動の予測を行なうことが可能である。しかしながら、それ以上の高速になると艇体の跳躍現象が生じ、着水のときの衝撃力を考慮しなければならなくなる。ここでは、山本⁴⁾の手法を用い、船体が着水するときの衝撃力を付加質量の急激な変化による非線形流体力として取り扱い、この衝撃力を上記の艇の姿勢を考慮したストリップ法に加味してシミュレーションを行なった。

(1) 船型

跳躍運動の場合には吃水下の船体形状が大きく変化するので、チェーン幅の水線面積をもつ Wall Sided, Even Keel の単純化モデル (Fig. 1) をとって考え、また座標を Fig. 2 のようにとることとする。

(2) 衝撃力

船体が跳躍運動をするとき、着水時に加わる衝撃力として付加質量の時間変化による非線形流体力を取り入れ、空気巻き込みなどによる Bagnold 型の衝撃力は考えな

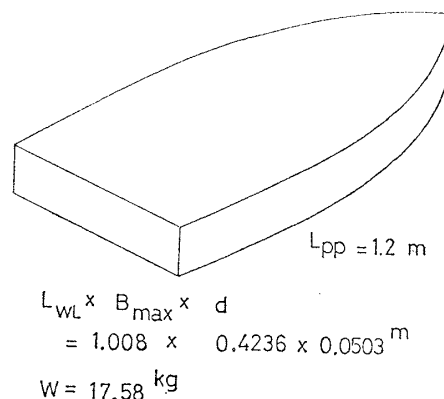


Fig. 1 Simulated model

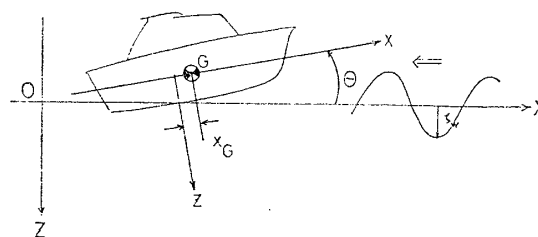


Fig. 2 Coordinate system

い。離水時の衝撃力について、山本⁴⁾はごく小さいとして省略しているが、一応確かめるため実験を行なった。

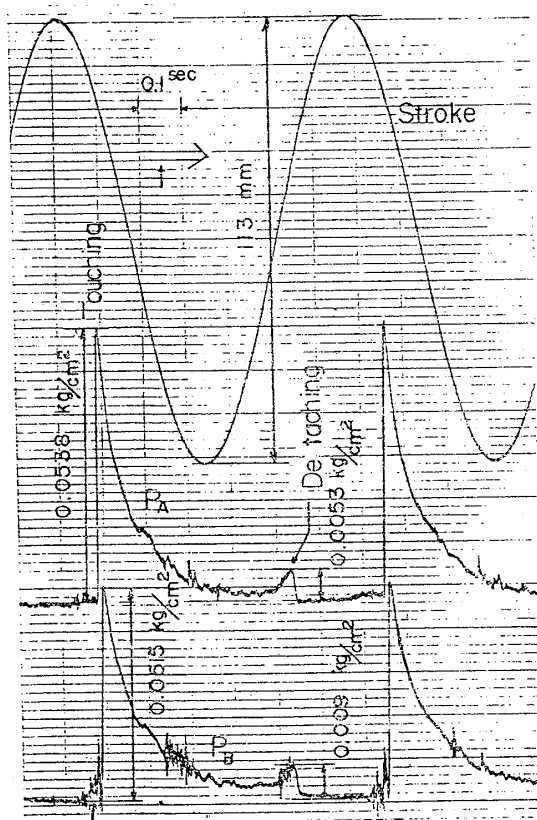
実験はくさび形2次元モデルを20°頭上げの状態とし、曳航しつつ強制的に上下動させて、水圧計が接水する時と離水する時の圧力を二つの位置で計測した。結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 は曳航速度 3m/sec, 上下動の周波数 1.5Hz の結果であるが、接水時には大きな衝撃圧が生じ、離水時にも小さいながら負でなくて正の圧力を生じている。これは Fig. 4 のように、船底外板上に $p(x')$ (x' は板の長手方向) の圧力分布を生じており、板が下方に動くところの圧力分布は左から右に圧力計 P の所を通過するので Fig. 3 の接水時のような圧力のタイムヒストリーを生じ、板が上向きに動くとき圧力は右から左に P 点を通過するので、離水時のようなタイムヒストリーとなるわけである。これより見て少なくとも負圧または負の衝撃力は発生しないと見られるので、今回も山本らの仮定と同じく、離水時には衝撃力は働かないとした。

(3) 定常航走時の揚力の補正

高速艇の高速航走時には底面に働く揚力のため静水航走時においても船体の姿勢^{4),5)}が大きく変化するので、揚力による力とモーメントを F_S, M_S として、静水面航走時の浮上量およびトリム角 ζ_S, θ_S より求め、航走時の外力の項に加えた (Fig. 5)。

つまり

$$\begin{bmatrix} A_{s13} & A_{s16} \\ A_{s23} & A_{s26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \zeta_S \\ \theta_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_S \\ M_S \end{bmatrix} \text{ at } \ddot{\zeta} = \dot{\zeta} = \ddot{\theta} = \dot{\theta} = 0 \quad (1)$$



Forward Speed = 3 m/s

Rise of Floor = 20°

Pitch Angle = 20°

Frequency = 1.5 Hz

Fig. 3 Records of forced heave motion
(Heave and impact pressure)

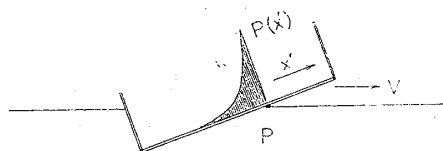


Fig. 4 Longitudinal pressure distribution

とし、 F_s , M_s に、橋本、深沢ら³⁾の行なったような航走時の姿勢の変化の影響をシミュレーションにとり入れたわけである。ただし、これらの F_s , M_s は艇が跳躍して水面から離れている間は働かないとした。

2.2 運動方程式

2.1 の仮定より Heave-Pitch の運動方程式はまとめて、

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{14} \\ A_{21} & A_{24} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\zeta} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{12} & A_{15} \\ A_{22} & A_{25} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\zeta} \\ \dot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{13} & A_{16} \\ A_{23} & A_{26} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \zeta \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ M \end{Bmatrix}$$

となり、各係数は

$$A_{11} = W/g + \int M_H dx$$

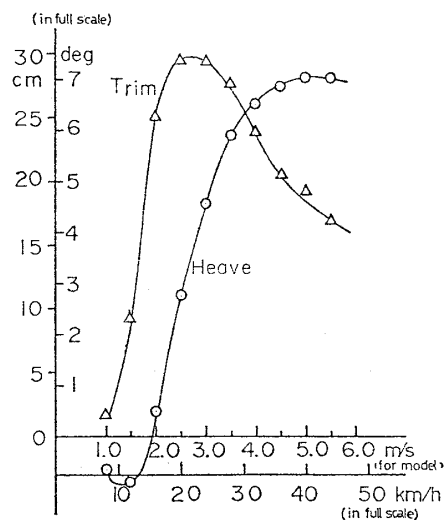


Fig. 5 Running trim and heave

$$A_{12} = \int N_H dx - V_S [M_H]_A^F + \int (\partial M_H / \partial t) dx$$

$$A_{13} = 2\rho g \int b dx$$

$$A_{14} = - \int (x - x_G) M_H dx$$

$$A_{15} = V_S \int M_H dx - \int (x - x_G) N_H dx + V_S [(x - x_G) M_H]_A^F - \int (x - x_G) (\partial M_H / \partial t) dx$$

$$A_{16} = -2\rho g \int (x - x_G) b dx$$

$$+ V_S \int N_H dx - V_S^2 [M_H]_A^F$$

$$+ V_S \int (\partial M_H / \partial t) dx$$

$$A_{21} = - \int (x - x_G) M_H dx$$

$$A_{22} = -V_S \int M_H dx - \int (x - x_G) N_H dx$$

$$+ V_S [(x - x_G) M_H]_A^F$$

$$- \int (x - x_G) (\partial M_H / \partial t) dx$$

$$A_{23} = -2\rho g \int (x - x_G) b dx$$

$$A_{24} = I/g + \int (x - x_G)^2 M_H dx$$

$$A_{25} = \int (x - x_G)^2 N_H dx - V_S [(x - x_G)^2 M_H]_A^F$$

$$+ \int (x - x_G)^2 (\partial M_H / \partial t) dx$$

$$A_{26} = -V_S^2 \int M_H dx - V_S \int (x - x_G) N_H dx$$

$$+ 2\rho g \int (x - x_G)^2 b dx + V_S^2 [(x - x_G) M_H]_A^F$$

$$\begin{aligned}
& -V_S \int (x-x_G) (\partial M_H / \partial t) dx \\
F = & \int M_H \dot{v}_w dx + 2\rho g \int b \zeta_w dx + \int N_H v_w dx \\
& -V_S [M_H v_w]_S^F + F_S + \int (\partial M_H / \partial t) v_w dx \\
M = & \int (x-x_G) M_H \dot{v}_w dx - 2\rho g \int (x-x_G) b dx \\
& - \int (x-x_G) N_H v_w dx - V_S \int M_H v_w dx \\
& + V_S [(x-x_G) M_H v_w]_A^F + M_S \\
& - \int (x-x_G) (\partial M_H / \partial t) v_w dx
\end{aligned}$$

ここで、各係数は吃水の変化によって時々変化するものとする。また、積分は吃水が正の範囲で行なうものとする。

2.3 計算方法

(1) 船体運動

船体運動はモデルを 20 等分して運動方程式を会周期の 1/300 の時間間隔で差分法によって解き、運動が周期的定常解となるまで計算を行なった。計算プログラムは山本ら¹⁾のものを借用した。

(2) 衝撃圧

衝撃圧は渡辺の方法に若干の修正をほどこして、船体の姿勢と波面との相対速度を考えて求めた。修正をほどこした点は渡辺⁶⁾の原論文では、

$$\left. \begin{aligned}
dc/dt &= w \tan \alpha_1 \tan \beta_1 / \sqrt{\tan^2 \alpha_1 + \tan^2 \beta_1} \\
u &= V (\tan \beta_1 + \tan \alpha_1 \tan \varphi) / \sqrt{\tan^2 \alpha_1 + \tan^2 \beta_1} \\
P &= \rho (u + c_1 dc/dt)^2 / 2
\end{aligned} \right\} \quad (2)$$

となっていたのを次式のように変えたものである。

$$\left. \begin{aligned}
dc/dt &= w \tan \alpha_1 \tan \beta_1 / \sqrt{\tan^2 \alpha_1 + \tan^2 \beta_1} \\
u &= V \tan \beta_1 / \sqrt{\tan^2 \alpha_1 + \tan^2 \beta_1} \\
P &= \rho (u + c_1 dc/dt)^2 / 2 \quad \beta + \beta_1 = \frac{\pi}{2}, \quad \alpha + \alpha_1 - \theta_w = \frac{\pi}{2}
\end{aligned} \right\} \quad (3)$$

v, w は船体と波面の相対速度で波面に対し垂直、水平速度、 c_1 は接水幅と岐点圧最大点までの比であり、 β は船底勾配、 α は $w-z$ 平面で切ったときの船体と水面とのなす角である。また θ_w は波傾斜である。

3 模型および実船試験

3.1 模型試験

模型試験は船舶技術研究所（以下船研と略す）の中水槽において実船の 1/5 のスケールモデルを用いて行なわれ、規則波および複合波中で運動および水圧が計測された。詳細は文献⁴⁾に記載されているが、ここでは必要な部分を引用した。模型および実船の要目を Table 1 に示

Table 1 Principal dimensions

	Actual	Ship	Model	Ship
LOA	5.99	m	120.0	cm
B	2.44	m	48.88	cm
d_f	0.375	m	7.51	cm
d_a	0.400	m	8.01	cm
W	2.187	ton	17.58	kg
G (above B.L)	0.428	m	8.57	cm
$\bar{x}_G$	0.700	aft	14.02	cm aft
Kyy			0.256	L

す。

3.2 実船実験

模型試験に対応する実船実験は、1975~77 年度にかけて、浜名湖および今切沖で行なわれた。実験海面を、Fig. 6 に示す。実船には計測台が設置され、船体からの衝撃を吸収し、計器類を衝撃より保護するようになっている。計測したのは運動 (Pitch, Roll) と、船首および船尾の加速度、圧力を 14 点 (Fig. 7)、さらに波高を容量式および投込式の波高計で計測しデーターレコーダーに記録した。実船試験結果も文献⁴⁾に詳細が記載されているので、ここでは必要な部分を引用した。

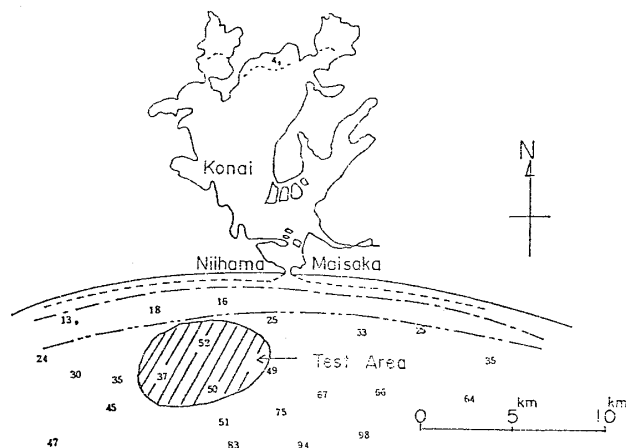


Fig. 6 Test area

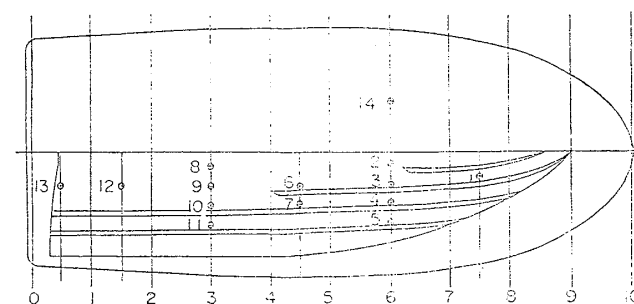


Fig. 7 Position of pressure gauges

4 計算と実験の比較

4.1 跳躍現象

船研の模型実験の結果をみると、跳躍現象が 2 種類あ

る。一つは Fig. 8 (A) のように一波ごとに規則的に跳躍するものであり、他の一つは Fig. 8 (B) のように、船体運動、衝撃圧とも大小二つの成分からなり、二つの周期の合計が波の周期の 2 倍になるものである。

実験的に求められた規則的な跳躍の起こる限界と、不規則な跳躍の起こる限界とを波長を横軸に、船速を縦軸に示したのが Fig. 9 で、実線が規則的跳躍限界線、点線が不規則跳躍限界線である。

一方、シミュレーションでも規則的跳躍と不規則的跳躍が現われるので、その結果を Fig. 9 にプロットしてある。この結果をみると、 $V=4\text{m/sec}$, $\lambda/L=1$ の場合を除いて、シミュレーションは現象をうまく再現しているように思われる。Fig. 10 には 1 例として船研の実験結果とシミュレーションの結果を heave と pitch のタ

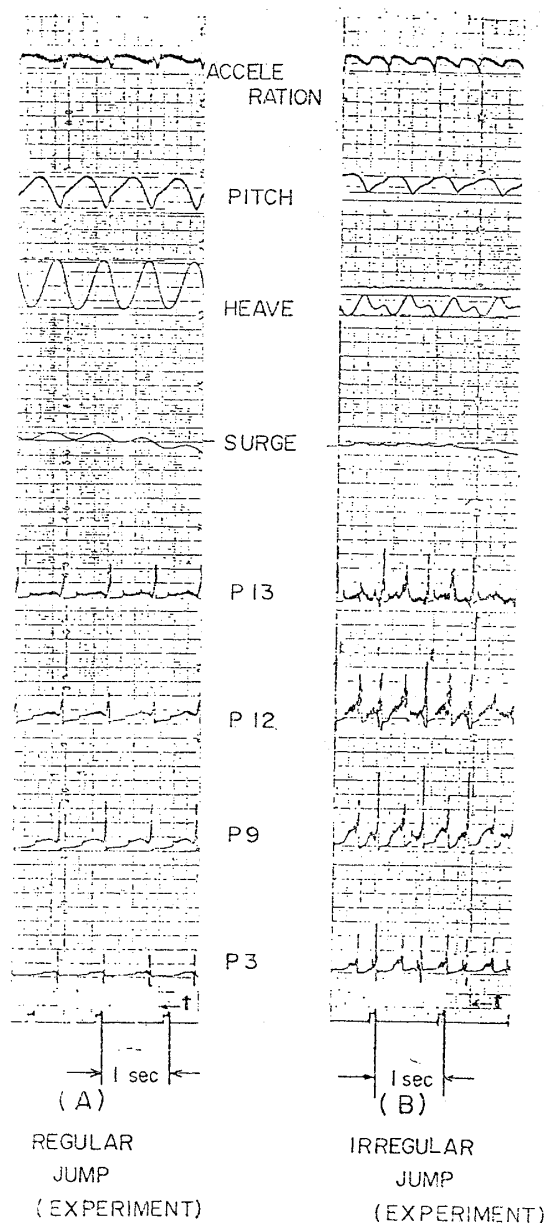


Fig. 8 Typical record of regular and irregular jump appeared in the model test

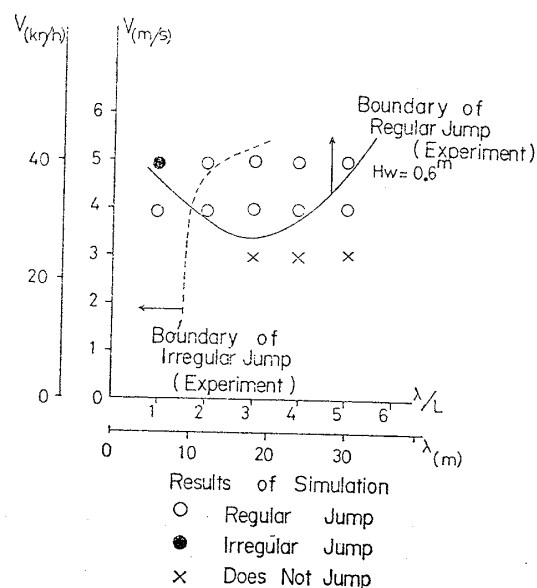


Fig. 9 Criteria of jumping

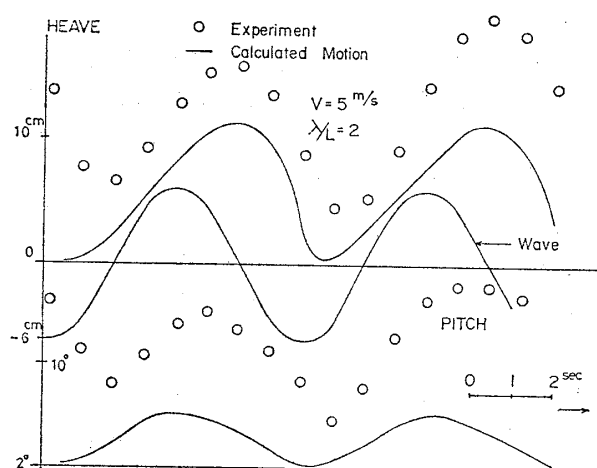


Fig. 10 Result of simulation near the boundary of irregular jump

イムヒストリーで示してあるが、これは Fig. 9 の不規則ジャンプの限界線の所であるため、実験ではやや不規則になり、シミュレーションでは規則的に出ている。

4.2 縦揺れおよび上下揺れ

Fig. 11~Fig. 13 にシミュレーションの結果と模型実験結果を示す。いずれもシミュレーションの結果は定量的にみると実験結果よりも低目ではあるが、同様の傾向を表わしているように思われる。

また、波と船体の運動の関係を Fig. 14(A), (B), (C) に示す。跳躍してから艇体が着水する場合に、まず後端から接水し、このときに船尾に発生する衝撃力のため急激な船首下げのモーメントが作用し、ついで接水位置が急速に前に移動し、衝撃圧も前に移り急激な船首上げに転ずる様子がよくわかる。

Fig. 15 に縦揺れと上下揺れの場合の波高に対する運動振幅比を模型の実験値との比較で示す。やはりどちら

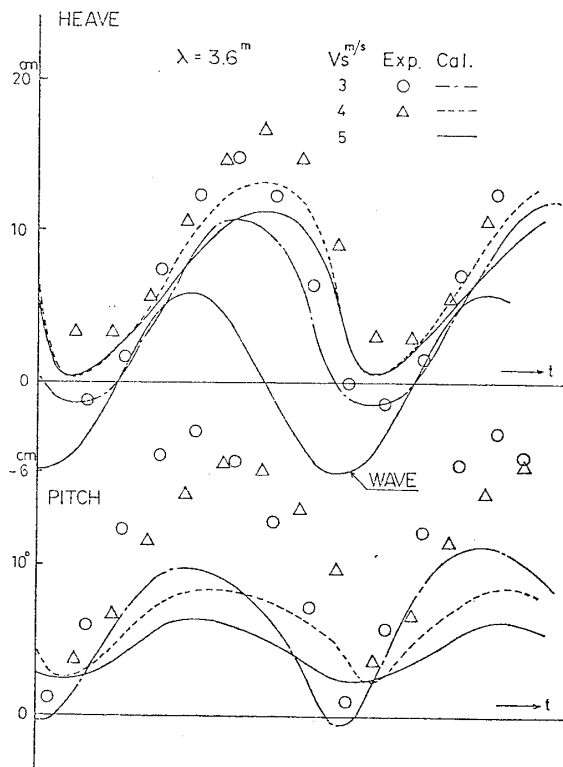


Fig. 11 Result of simulation and model test (1)

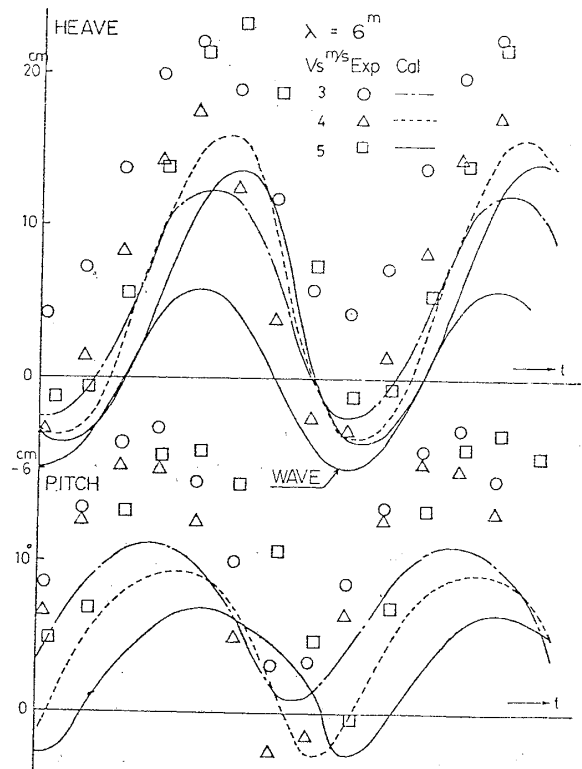


Fig. 13 Result of simulation and model test (3)

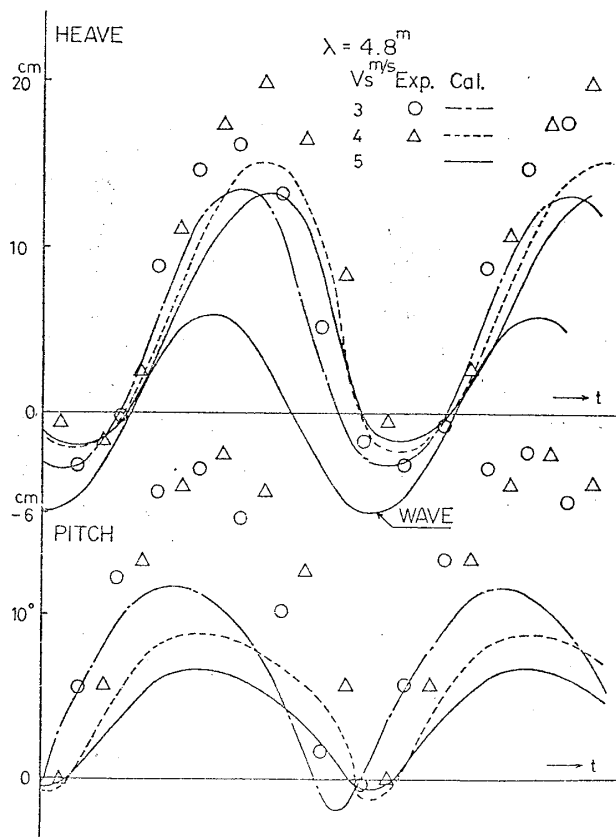


Fig. 12 Result of simulation and model test (2)

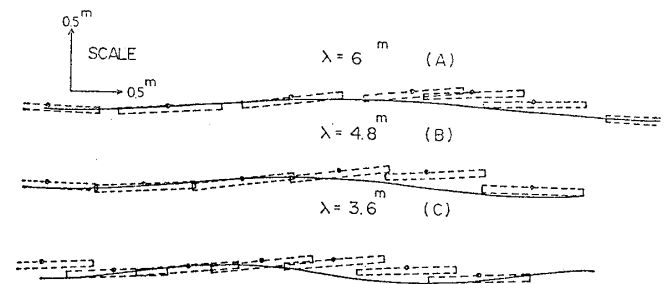


Fig. 14 Simulated ship motion in the head sea ($V_s=5\text{m/s}$)

の場合にもシミュレーションにより求められた値は小さ目であるが定性的な類似性は見とれる。

4.3 位相差

船体の運動が正弦運動と大きく異なるので、シミュレーションと実験との船体運動どうしの位相差を比較する場合には問題がある。

それぞれの運動をフーリエ解析して、それぞれの位相差をとる考え方もあるが、ここでは運動振幅の最大点と波面のピークとの差をとって波との位相差を定義して比較することにした。

結果を Fig. 16 (A), (B) に示す。Fig. 11~Fig. 13 においても見てとれるが、位相差についてはかなりうまくシミュレートできているように思われる。

4.4 衝撃圧

シミュレーションにより船体運動と波面との相対運動

が求められるので、修正された渡辺の式を用いて衝撃圧を計算することができる。得られた結果を船研の実験結果と比較すると Fig. 17 (A), (B), (C) となる。なお、圧力計 P9 より前方の圧力は、圧力計がストライプ近傍に取付けられている (Fig. 7) ので、着水時には流れの方向が大きく変えられると考えられる。事実実験の記録映画を見ると、スプレーの出ているのはストライプの所からであることから想像でき、rise of floor を考え渡辺の式で計算すると圧力は過小評価となるので、ここでは二次元的 ($\beta=0^\circ$) として計算した (Fig. 26 上図)。また α なる角度が小さいときには (3) 式による計算値は過大となるので、 $\alpha < 5^\circ$ では $c(\beta)$ として Chuang⁷⁾ の実験式を用いた竹川⁸⁾ の式により衝撃圧を計算した。

さらに実船試験と船研による模型実験の結果わかったことであるが、不規則波中の実船の船底衝撃圧の 1/3 有義値の大きさと分布の傾向は、その海面の 1/3 有義波高に等しい規則波高中の模型実験の値と分布の傾向に対応できそうである。シミュレーションは、ほぼ有義波高に対応する波高で行なっているので、実船の不規則波中の衝撃圧値と前述のシミュレーションの値とは一応の比較はできるわけである。

5 衝撃圧発生メカニズム

5.1 船体運動と衝撃圧の関係

(1) 艇が跳躍する場合

Fig. 18 に船研の模型実験で得られた波と船体運動と衝撃圧の時間的關係を示す。Fig. 19 に同じ状態でシミュレーションを行なった結果を示す。両者は非常に似た傾向を示しているのがわかる。

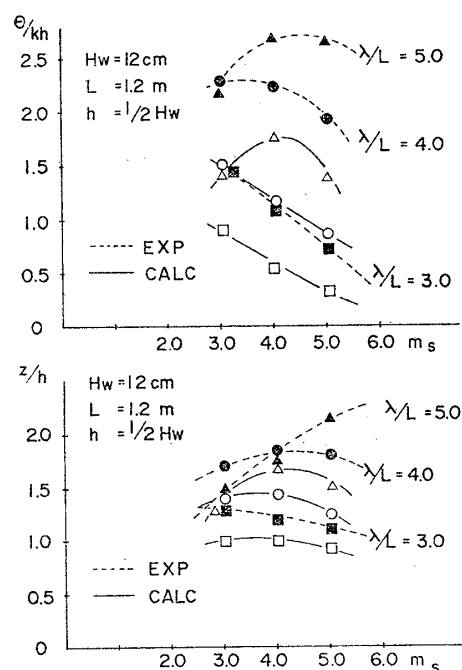


Fig. 15 Pitch and heave responses in waves

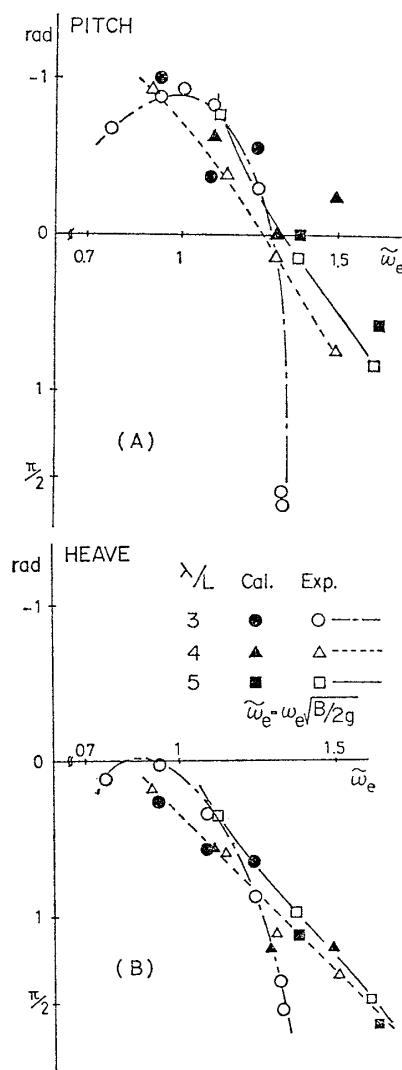


Fig. 16 Phase lags of heave and pitch

シミュレーションを行なった結果を示す。両者は非常に似た傾向を示しているのがわかる。

Fig. 19 について衝撃圧発生メカニズムを説明すると次のとおりである。まず艇は波に乗って上向きに加速され、A点で波面を離れて跳躍し、B点で船尾から着水する。A点よりB点の間重心の軌跡は放物線となり、トリムはやや頭下げとなる。B点で着水すると船尾に大きな衝撃圧を生じ急激な頭下げとなるが、衝撃圧は接水点が前に移動するにしたがって急激に前に移動し、強い頭上げのモーメントが働いてピッチングは頭上げに転じ再び波に乗る。

なお、艇が波から離れるときには、船首の方から離れて行くが、接水点では岐点圧があるために弱い衝撃的な圧力が接水点の移動とともに通過して行く。この岐点圧は着水のときと違って水と船体の相対速度が小さいので問題となるような大きさではない。

Fig. 20 に実船試験で得られた船体運動と衝撃圧の発生の関係の一例を示す。P13～P1 は水圧計の位置で、P13 が船尾で順次前に設置してある。

まず pitch に注目すると図では左から波に突込み、ついで頭上げに転じA点で跳躍するが、その前に艇が前の方から離水するため前の方の水圧計 P1 より順次後方の水圧計に弱い岐点圧を感じる。A点で跳躍後自由落下し、B点で船尾から着水し、まず船尾の水圧計 P13 に強い衝撃圧を感じ順次前方に衝撃圧が移ってゆく様子ははっきりうかがえる。

なお、加速度計の記録を見ると最大の加速度を生ずる

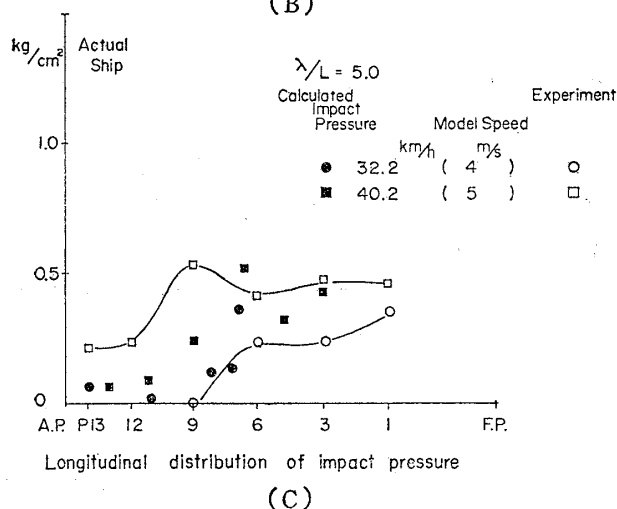
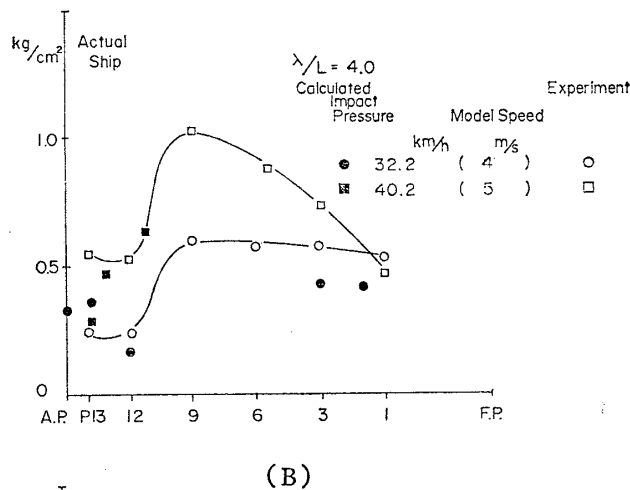
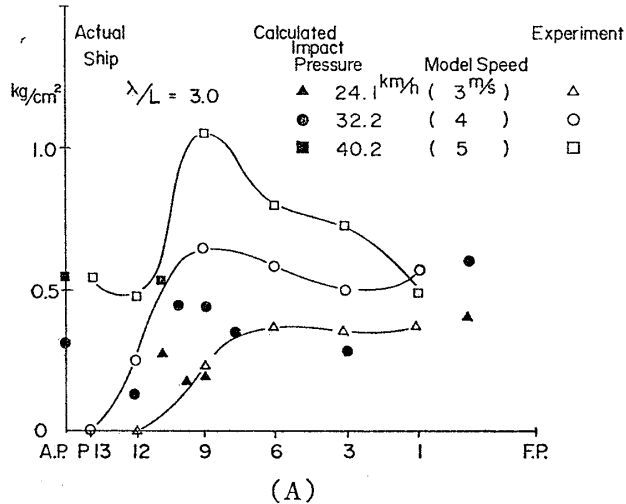


Fig. 17 Longitudinal distribution of a impact pressure

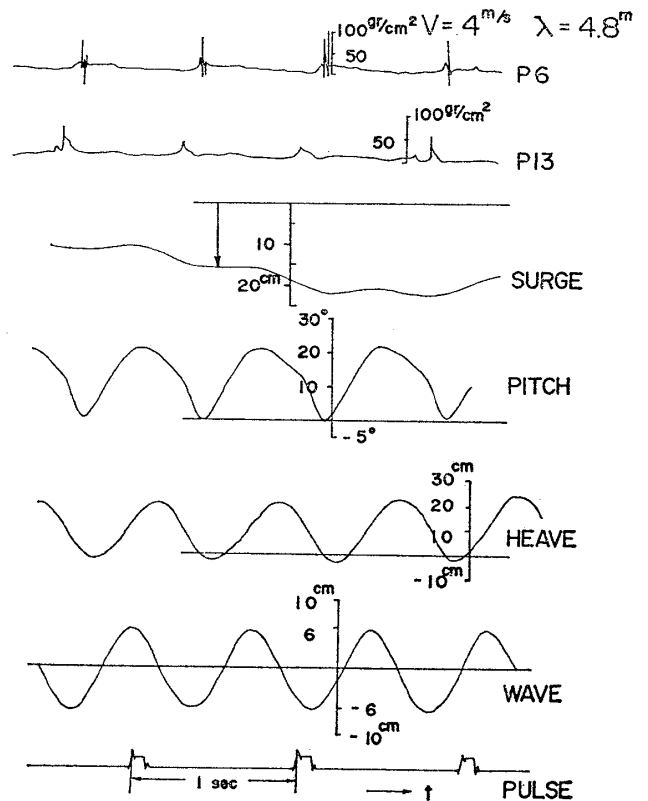


Fig. 18 Record of model test showing jumping phenomena

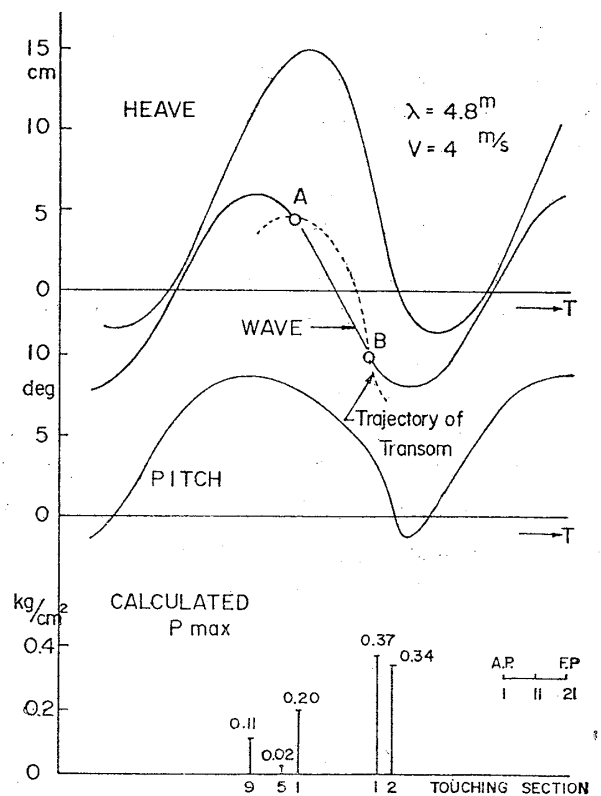


Fig. 19 Simulated jumping phenomena and calculated impact pressure

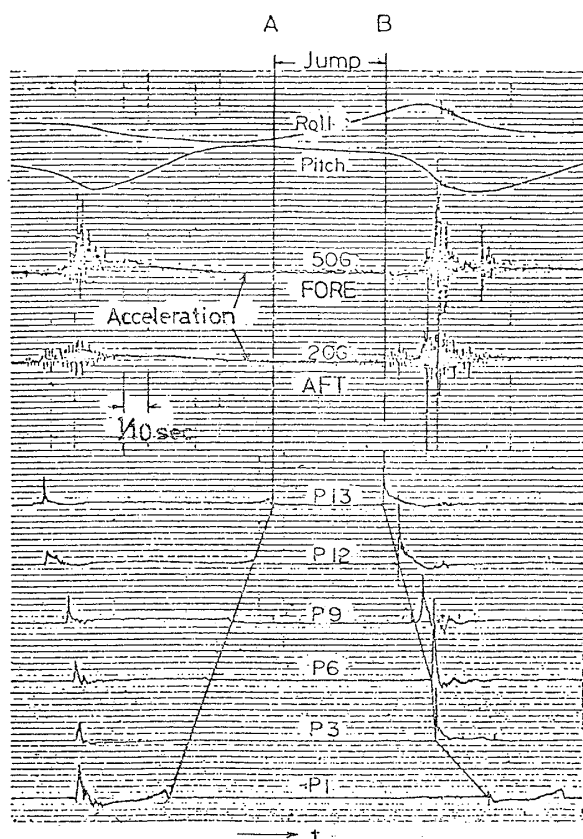


Fig. 20 Typical records of pressures, trim, roll and acceleration

のは船尾に衝撃圧を生じたときではなく、船体中央より前方に衝撃が移っていき、圧力計 P6, P3 が同時に接水したときであり、衝撃力としてはこの時期の方が大きいことがわかる。このときがちょうど pitch が急激に頭上げに転ずるときである。

これまでは艇が船尾から着水する場合について論じたが、まれに船首より着水することがシミュレーションでも実船実験においても起こる。この場合には当然着水場所に最初に衝撃圧が発生し、後部に移動していくわけである。

(2) 艇が跳躍しない場合

跳躍しない場合には当然船尾には衝撃圧は発生せず、水面から外に出た部分の後端から船首部にかけてスラミングと同じメカニズムで衝撃圧が発生する。この場合のシミュレーションの例を Fig. 21 に示す。

跳躍しない場合には一般に跳躍したときの衝撃圧に比べ小さい。

5.2 衝撃圧の分布

(1) 長さ方向の分布

シミュレーションによれば艇が跳躍する場合、衝撃圧は船尾から前に移動するに従って弱くなっていく (Fig. 22) が、この傾向は実船試験の記録でもはっきりうかがえる (Fig. 23)。これは最初に船尾が接水する時艇の落

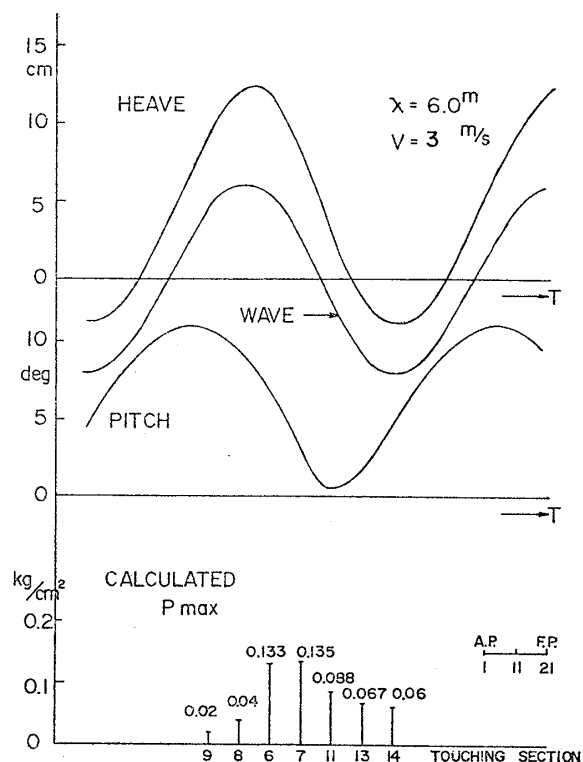


Fig. 21 Simulated ship motion (does not jump)

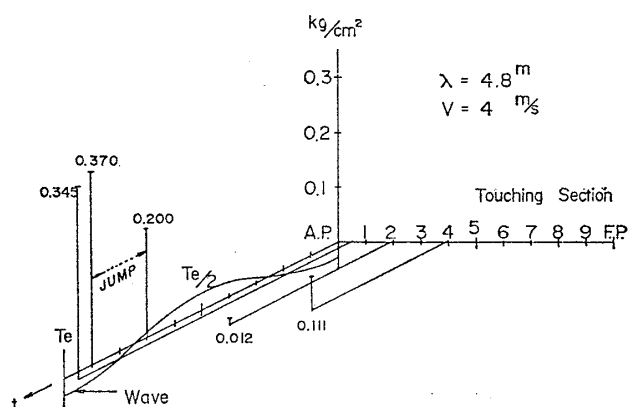


Fig. 22 Calculated impact pressure (jump)

下速度が一番大きく、順次船体が水に入っていくに従い衝撃力によってブレーキが掛かり落下速度が減少するためと考えられる。

艇が跳躍しないときは船体が水から露出した部分の後端に最も大きな衝撃圧が生じ、前に行くほど衝撃圧は小さくなっていく。

この場合のシミュレーション例を Fig. 24 に、実船実験結果を Fig. 25 に示す。

(2) 横方向の分布

衝撃圧は Fig. 26 のようなV字形線上に分布しつつ矢印の方向に移動するから、船体の断面で見るとキールラインにまず衝撃圧が発生し、船側に移動していく。また衝撃圧の強さも (1) の場合と同様の理由で、最初発生したキール部付近で大きく、船側に移るに従って小さく

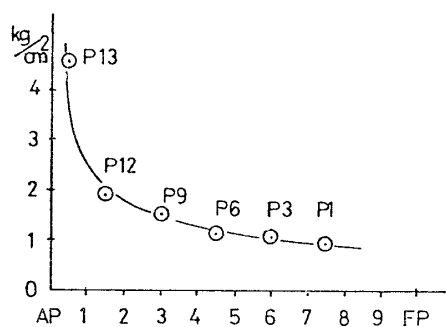


Fig. 23 Impact pressures of actual ship

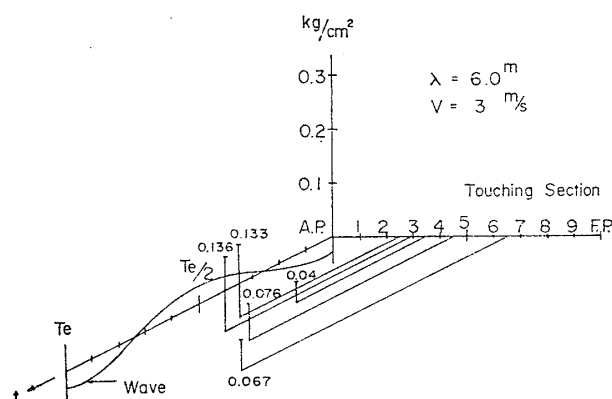


Fig. 24 Calculated impact pressure (does not jump)

なっていく。Fig. 27 に実船計測の例を示す。

またシミュレーションより求めた、船体が飛んだ場合の横方向への衝撃圧の分布を Fig. 28 に示す。Fig. 27 と同様な傾向が現われてくるのは興味深い。なお、ここではストライプの存在による圧力の修正は考えていない。

6 ま と め

(1) 高速艇の波浪中の運動、とくに跳躍現象について、着水時の衝撃力を取り入れたシミュレーションを行ない模型実験と比較した結果、定性的によい一致を見た。とくに艇が跳躍をする船速、波長、船長比の範囲についてはよい一致を得た。

(2) シミュレーションによる船体運動から求められた艇と水面との相対速度や艇の着水時の姿勢を用いて、渡辺の方法により衝撃圧を計算した結果、量的には多少

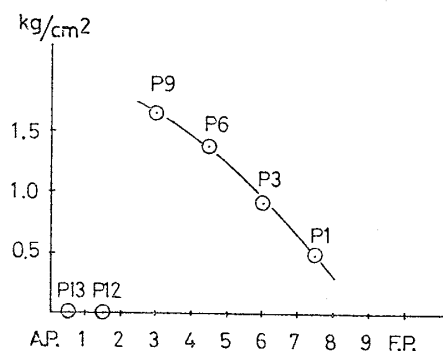


Fig. 25 Impact pressure of actual ship

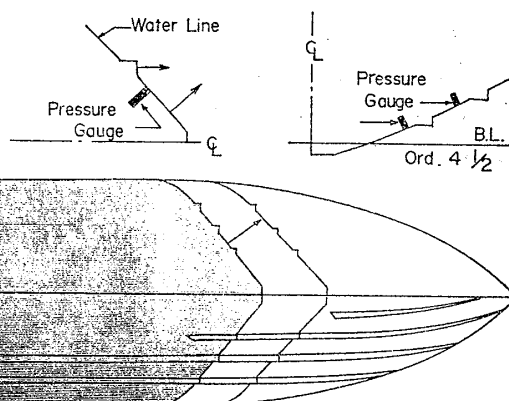


Fig. 26 Pressure transmission along with sinkage

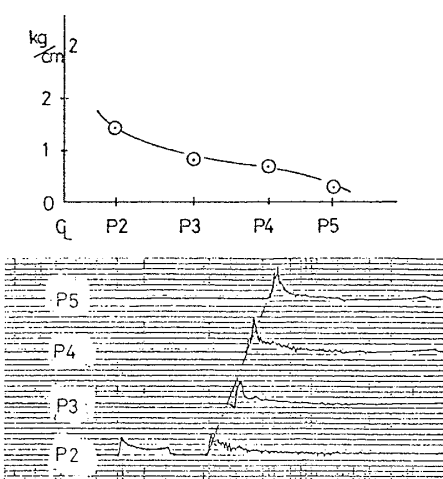


Fig. 27 Time histories of impact pressures in a transverse section of actual ship

ばらつきがあるが、発生位置、伝播の様子、分布などについてよい一致を見た。

(3) 船体運動と衝撃圧の発生の関係をシミュレーション

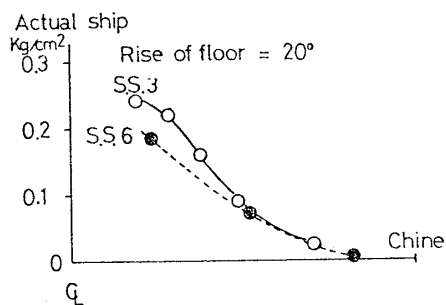


Fig. 28 Calculated impact pressure lateral distribution ($\lambda=6.0\text{m}$, $V_s=5\text{m/s}$)

ョンにより、詳細に求めることができ、衝撃圧発生メカニズムを明らかにすることができた。

謝 辞

本研究は日本小型船舶検査機構が、日本船舶振興会の補助事業として行なった「高速艇の船底衝撃に関する研究」の一環として行なわれたものであり、この研究に対し種々便宜を与えられた日本小型船舶検査機構の関係者ならびに同研究委員会の委員諸氏に厚く御礼申し上げます。また、実験および解析に協力された東京大学 小柳助手、江口助手、並びに計算プログラムを提供し、種々

アドバイスを与えていただいた東京大学大学院 深沢塔一氏に厚く御礼申上げたい。

参 考 文 献

- 1) 山本善之, 藤野正隆, 深沢塔一: 非線型性を考慮した波浪中の船体縦運動および縦強度, 造船学会, 52 年度春講演論文.
- 2) 別所正利, 小松正彦, 安生正明: 高速艇の規則波中縦運動の研究, 造船学会論文集, 135 号 (昭和 45 年 9 月).
- 3) 橋本州史, 深沢塔一: 高速艇の縦運動におけるストリップ法の適用上の諸問題について, 東京大学卒業論文 (昭和 51 年).
- 4) 日本小型船舶検査機構: 小型高速艇の波浪中における船底外板への衝撃に関する研究, (昭和 53 年 3 月).
- 5) 菅井和夫: 小型高速艇の耐航性, 第 2 回耐航性シンポジウム, 日本造船学会 (昭和 52 年 12 月).
- 6) 渡辺恵弘: 船底衝撃の機構について, 造船協会論文集, 93 号 (昭和 28 年).
- 7) Chuang, S. L.: Investigation of Impact of Rigid and Elastic with Water, NSRDC Report 3248, (1970).
- 8) 竹川正夫: 巨大船の船首波浪衝撃圧に関する研究, 東京大学博士論文 (昭和 50 年) (1976).