(昭和 48 年 11 月日本造船学会秋季講演会において講演)

船体縦運動における過渡応答法による船型試験

——その 4 変動水圧および波浪衝撃水圧——

正員 竹 沢 誠 二*

Testing Ship Models on Longitudinal Ship Motions by Transient Response Method

—Part 4 Hydrodynamic Pressure & Impact Pressure—

by Seiji Takezawa, *Member*

Summary

In the previous papers, the author showed the transient response method was effective for research on longitudinal ship motions in waves, wave exciting forces and hydrodynamic derivatives.

In this paper, at first, the transient response methods are applied to the hydrodynamic pressures in waves, diffraction pressures in waves and radiation pressures.

The following conclusions can be deduced from these studies.

- 1) Testing ship model in transient water wave is a useful method for study on ship hydrodynamic pressure in waves.
- 2) Transient forced oscillation is a useful technique for research on the radiation pressure.
- 3) The good correlation between the calculated values by Ordinary Strip Method and the experiment results is obtained with respect to the hydrodynamic pressures in waves and these components.

In the next place, testing ship model in high transient water waves is adapted for investigation on impact pressures acting on ship hull. Obtained results are as follows.

- 1) Phenomenal violent cruising conditions can be easily actualized by the testing in high transient water waves.
- 2) Very violent impact pressures on stem can be measured by the experiments in high transient water waves.
- 3) Measured highest impact pressure on stem reaches about 200m water head. It is considered that these very high impact are found out the phenomenon named "normal impact".

1 緒 言

船型試験への過渡応答法の適用に関して数編の論文^{3,5,6,7)}を発表して来たが、今回は変動水圧および波浪衝撃水圧を対象にした実験について簡単に報告する。

変動水圧に関する実験は、既発表のピッチ、ヒーブに関する論文と同様に変動水圧でも線型重ね合せが成立するかどうかを検討するのが主目的とした。正面向い波中のみを対象にしているが、波浪中自由航走時の変動水圧ばかりでなく、船体運動拘束時の波浪中変動水圧および強制動揺時 (Pure Heave および Pure Pitch) の変動水圧も取扱った。

波浪衝撃圧に関する実験は線型域を対象にした前論文^{2,9)}等の過渡水波中の試験と異なり、著者等の開発した任意過渡水波発生法⁴⁾とその使用経験を駆使して、特に大波高、大波傾斜の異常な過渡水波を生成し、その波の中を航走して模型船を出来る限り苛酷な波浪状況下に出会せ、その時の波浪衝撃圧 (船首正面衝撃、船底衝撃、

* 横浜国立大学 工学部

甲板衝撃)を測定し、波浪衝撃圧の極大値がどの程度のオーダーになり得るかをすることを主目的としている。前回までの実験がすべて線型重ね合せが適用可能な範囲内すなわち小波高の過渡水波中あるいは小振幅の強制動揺時についてのみ行われていたのとは全く対象的に線型過渡応答法が成立しないような大波高、大波傾斜中の極限航行状況の現出を目標にしている。このような極度に異常な状況の現出は集中性過渡水波中の実験によって可能性がある事は既に前論文¹⁾にも述べられているが、ここにその一実例とし波浪衝撃圧に関する実験を実施したわけである。

なお、今回の実験は日本造船研究協会の131研究部会の研究の一環として実施したものであるので、供試船型は笠木山丸で試験状態は本論と同様に131部会の研究として実施された文献^{11,12)}の場合と同一である。著者等が従来過渡応答法の研究^{2,3,5,6,7)}に一貫して使用してきた模型船とは異なるので注意して頂きたい。

2 変 動 水 圧

2.1 実 験 目 的

前論文^{2,3,5,6,7)}ではピッチ、ヒープあるいはそれらの生因である波浪強制外力、慣性力、減衰力などについても線型重ね合せが成立し、過渡応答法の適用が可能である事を細部にわたって検討した。

ピッチ、ヒープなどの船体運動は船体表面上の点に働く変動水圧の積分値であるトータル・フォース、モーメントによって起されるのであるから、上述のようにピッチ、ヒープなどに線型重ね合せの原理が適用できる場合には、船体表面の各点に働く変動水圧にも線型重ね合せの原理が適用可能であろうことが推察できる。不規則波中すなわち実海面での変動水圧の推定では線型重ね合せの原理が基本になっているので、この原理の変動水圧への適用が可能なることを過渡応答法を使用して確認することが本論の第一目的である。線型重ね合せが適用可能であるならば、過渡応答法によって変動水圧の周波数伝達関数をも短時間で求め得ることになるので、測定箇所が多いのが普通である変動水圧実験の場合には過渡応答法の効用は大である事は申すまでもない。

本論では波浪中をピッチ、ヒープしながら航走する時に働く変動水圧のみでなく、変動水圧の成分すなわち船体運動を完全固定にした時に働く波浪変動圧力および平水中を Pure Heave あるいは Pure Pitch させながら航走する時に働く変動水圧を、過渡水波あるいは、過渡的強制動揺法を用いて測定した。またこれらの実測特性を Ordinary Strip Method (O.S.M.) による理論計算値と比較することも目的の一つになっている。

2.2 実験法 (変動水圧)

供試模型船は前述のように笠木山丸(木製, 2m, 附加物なし)でその試験状態を Table に示した。変動水圧を測定した位置は Fig. 1 に示した6点であるが、本論では紙数の関係から Sq. St. $8\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ 上の各2点, 計4点のデータを掲げる。各断面上での測定位置は理論計算値と比較し易くするため $\theta=0^\circ$, 80° となっているが, θ は Lewis Form 換算時の半円上での角度(船底中心が 0°)である。

Pure Heave 時の強制動揺装置は前論文⁵⁾の Fig. 1 にほぼ同じであり, Pure Pitch させた時の強制動揺装置は前論文⁶⁾の Fig. 1 に同じである。船体運動固定時の変動圧力測定は Pure Pitch 時の装置を固定装置として

Table Principal Particulars of Tested Model

Items	Ship	Model
Length between P.P., L_{pp} (m)	247.0	2.0
Breadth (moulded), B (m)	40.6	0.329
Depth (moulded), D (m)	23.0	0.186
Draft (moulded), d (m)	16.0	0.130
Volume of Displacement, ∇ (m ³)	132,634	0.07041
Block Coefficient, C_b	0.8243	0.8243
Midship Coefficient, C_M	0.9975	0.9975
C.G. from Midship, $\overline{x}_G$ (m)	fore 7.301	fore 0.059
C.G. from Keel, KG (m)	12.280	0.099
Longitudinal Gyradius, K_L	0.2362 L_{pp}	0.2362 L_{pp}
Scale	1	1/123.5

使用した。波浪中をピッチ、ヒープしながら航走する場合の計測系統図は前論文⁸⁾の Fig. 1 に示されているが、ガイドは一本棒型のサブキャリッジ式の装置で、そのサージを固定しピッチ、ヒープを自由として使用した。後に示す Photo. にヒープ棒が上下する状況がよく撮られている。ピッチ、ヒープの検出器はポテンショ・メータである。なお、過渡水波中の実験では模型船の前方に設置した容量型波高計で出会い波高を計測した。

使用圧力計はストレーンゲージ式の共和電業製の PGM-2KC 型 (容量 2 kg/cm^2) および PML-500GC 型 (容量 0.5 kg/cm^2) であり、両者とも受圧膜が直接水に接するような取付法で船体に設置した。PML-500GC は本実験の実施中に新製品として発表された超小型 ($2.8\text{ mm}\phi$, 長 8 mm), 高出力の半導体ゲージ式圧力計であるが、次節の波浪衝撃圧実験では模型船の大きさおよび計測位置の関係から超小型である必要があるので、変動圧実験時に新製品のテストの意味を含めて、従来品である PGM 型との比較を行なった。結果としては両者から得られた変動圧の特性は一致したので、以後、小型、高出力なる長所を持つ PML 型を主として使用することとした。

各検出器からの出力は 7 チャンネルのアナログデータレコーダ (フィリップス, ANALOG-7 型) に記録した。記録の解析に使用した A-D 変換器, 電子計算機およびフーリエ変換を主とした数値解析法は前論文³⁾に同じである。

2.3 使用した過渡水波および過渡的強制動揺波形

過渡応答法では実験目的に応じて使用する過渡水波および過渡的強制動揺の波形を選定せねばならない。本節の実験目的は線型重ね合せの検討および線型周波数伝達関数を求めることにあるので、既に検討済みの過渡水波発生用信号および強制動揺用信号が使用できる。

具体的には、波浪中自由航走時および拘束航走時の実験で使用した過渡水波信号は前論文^{3,5)}に示されている振幅直線増加の信号にほぼ等しい。波の振幅特性は論文⁵⁾の Fig. 13 にほぼ同じで、小波高の過渡水波で、その集中前に船が出会うようにした。

Pure Heave と Pure Pitch の強制動揺試験に使用した信号は全く同じもので、前論文⁵⁾の Fig. 3 に示されている一定振幅の信号に類似しているが、側壁影響を小にするためこれの逆掃引になっており、高周波数から低周波数へと変化させている。強制動揺装置の駆動用シリンダストロークは Pure Heave, Pure Pitch 時とも約 $\pm 20\text{ mm}$ におさえた。したがって、Pure Heave の片振幅は吃水の約 15%, 船長の 1% であり、Pure Pitch の片振幅は約 1.6° である。なお、この振幅一定の信号を造波信号として使用した過渡水波中の実験も行なっている。

もちろん、規則波中の試験および正弦強制動揺試験も実施したが、これらの振幅は上述の過渡現象の振幅に、ほぼ合わせるようにした。

2.4 変動水圧の実験結果

実験船速はフルード数 (F_n) で 0.1, 0.15, 0.25 と広範に変化させたが、本論では $F_n=0.15$ の場合を例示するに止める。前述の 4 種類の実験結果をまとめて、測定位置ごとに 1 枚の図として、Fig. 2, 3, 4, 5 に示した。図中に○印で示されているのが過渡応答法による値で、一回の航走で図示の○印は全部求める。△印は正弦応答法による値であるが、△印は一回の航走によって 1 点しか得られない。なお、波浪中自由航走時の実験グラフにのみ○印および△印で別の機会に行なった実験値^{8,17)}を記入しておいた。

記入線は Ordinary Strip Method (O. S. M.) による理論計算値 (横浜国大で計算した値) を示す。波浪中変動圧に関しては田才法と郷田法¹⁸⁾による算出値を併記しておいた。なお、本図に使用した記号の定義は下記の通りである。

Z_{f0} : 強制 Pure Heave の片振幅

P_{Zf0} : 強制 Pure Heave (Z_f) によって生じた変動圧の片振幅

θ_{f0} : 強制 Pure Pitch の片振幅

l : 重心 (回転中心) から測定断面までの距離

Fig. 1 Locations of pressure gauges for hydrodynamic pressure measurement

Fig. 2 Hydrodynamic pressure amplitude at Sq. St. $8\frac{1}{2}$, $\theta = 0^\circ$ (bottom centre)

Fig. 3 Hydrodynamic pressure amplitude at Sq. St. $2\frac{1}{2}$, $\theta = 0^\circ$ (bottom centre)

$P_{\theta f_0}$: 強制 Pure Pitch (θ_f) によって生じた変動圧の片振幅

h_0 : 水波の半波高

P_{w_0} : 水波中の拘束船体表面に働く変動圧の片振幅

P_0 : 水波中をピッチ、ヒーブしながら航走する船体に働く変動圧の片振幅

ρ : 水の密度

g : 重力の加速度

ω_e : 出会い円周波数および強制動揺の円周波数

L : 船長

λ : 水波の波長

波浪中自由航走時の場合を除くと、他の場合はすべて縦軸の値が1.0である事は変動水圧の水頭がその断面位置での水位変化に等しいことを意味している。これらの特性は変動水圧周波数伝達関数の振幅部分を示しているが、たがいに位相差のある変動圧の成分 P_{zf} , $P_{\theta f}$, P_w の代数和が波浪中自由航走時の変動圧 P となる事を思い起して Fig. 2~5 を見ると興味深い。

△印の数すなわち規則的強制動揺時あるいは規則波中の試験数は、波浪中自由航走時を除くと少ないが、△印はいずれも○印の与える平均特性曲線の近くにあり、過渡応答法から得られた結果と正弦定常応答法による値は一致したとみなしてよいであろう。これらの特性は線型範囲内で注意深く実施された実験の結果であるから、両者が一致するのは当然であると思われるが、以上の実験結果から変動圧力およびその成分に関しても線型重ね合せの原理の適用が可である事が検証できたと言えよう。線型重ね合せの検討はタイムシリーズの予測波形と実測波形を比較する方法でもなされる。本論ではその結果は省略させていただくが、この方法でも線型重ね合せが成立する事が確認されている(文献18), 9) 参照)。

全般的に概括すると、線で示されている理論値と○あるいは△印で記入されている実測値はほぼ一致しているとみなせる。したがって、O. S. M. による理論計算値は線型範囲内の現象とよく一致するなる定説が、変動水圧およびその成分に関しても適用可能な事が本実験によって再確認された事を意味している。やや詳細を見ると理論と実測の一致度は、船底、 $\theta=0^\circ$ (Fig. 2, 3) ではどの実験でもほぼ完全であると言えるが、船側の水線附近、 $\theta=80^\circ$ (Fig. 4, 5) では波浪中自由航走時での不一致が目立つ。理論値と実験値の差の傾向は文献^{11,12)}で述べられている事と合致する。田才法と郷田法の差は正面向い波中では小であるので、優劣は明確でないが実験値は田才法にやや近いように思われる。

3 波浪衝撃水圧

3.1 実験目標

最近、肥大船で波浪衝撃によると推察される船首部の水線上下板の損傷が発生していると言われている。一方、損傷に結びつくような大なる波浪衝撃水圧、特に船首衝撃水圧を波浪中自由航走時の水槽試験で測定し得た例は聞いていない。本節の実験目的はこのような異常に大なる波浪衝撃圧が船体表面に作用する事があり得るかどうかを波浪中水槽試験で検討することにある。

波浪衝撃水圧が船体表面上のある点に発生するためには、渡辺の論文¹⁴⁾によると次の3条件を満足する必要がある。(a) その点が空中に露出すること。(b) 波面とその点近辺の船体表面の相対衝突角度が小であり、平行に近い事。(c) 波面とその点の相対衝突速度が限界値以上である事。波浪中を航走する船体でこの条件を満足する箇所として、船首底(特にバラスト状態時)、船首甲板(特に満載状態時)があげられるが、船首底衝撃による現象はスラミング、甲板衝撃は青波衝撃と呼ばれ、ともに Whipping の原因となり、また局部損傷を誘発するので従来から問題にされてきていた。この二者は正面向い波の規則波中実験で波浪を高くすれば典型的な状況を得ることができる。

これに対し、最近肥大船で問題になっている波浪衝撃はステムの水線上附近に生ずるもので、船首衝撃と呼ばれているが、この現象は規則波中の実験ではよい状況で再現できない。藤井、高橋の最近の研究¹³⁾では、短波長規則波中を長周期で強制ヒービングさせながら航走させる巧妙な方法で実験を行ない船首衝撃圧を得ているが、得られた衝撃圧の最大値は実船換算で約 80m 水頭で、この値は船長の約 1/4 倍であり、文献¹⁹⁾での並木山丸実船試験での実測最大値 58m 水頭に比すとさほど大なる値ではない。

相対衝突角度の条件がより満足されれば、渡辺の言う正面衝撃¹⁴⁾が発生し、より大なる波浪衝撃圧が発生するであろう。このような状況下に船体を置くためには大波高の集中性過渡水波の利用が考えられる。現実の海面でも極めて小なる確率ではあるが、集中性過渡水波の集中時のような海況は起り得る。そのような海面にたまたま船が遭遇したとしたら、船体は極めて苛酷な異常な状況下に曝されることになる。かくのごとき状況水槽中に現出し、その時の波浪衝撃圧を測定するのが本節の実験の狙いである。

なお、そのような状況下では船首衝撃ばかりでなく船底衝撃および甲板衝撃を併発するであろうから、3 者をあわせて計測することにした。

3.2 実験法（波浪衝撃水圧）

供試模型船および状態は変動水圧実験の場合と全く同じで、Table に示されている通りである。ただし、後掲の写真に見られるように、甲板およびヒービング棒のブリッジ状の囲いを透明プラスチック板で作り、大量の被波に備えた。本節では現実の航行状況に近い波浪中自由航走時（ピッチ、ヒーブが自由、サージは固定）の実験だけを行なった。ガイド装置は変動圧実験時のものと同一の装置を使用した。

最悪状況下での衝撃圧の最大値のオーダーを知るのが目的であるので、大衝撃圧が発生するであろうと思われる位置にのみ圧力計を配した。設置位置を Fig. 6 に示したが、以上の趣旨から甲板、ステム、船底とも船体中心線上のみとした。なお、変動水圧実験時との測定値の比較を行なうため、P. 12 (S. S. 8 $\frac{1}{2}$, Bottom Centre) を共通計測位置とした。使用圧力計は前述のように、すべて超小型圧力計である。これの取付け方法を Fig. 7 に示したが、文献^{12,13)}の場合と異なり、受圧膜が直接水に接しており、取付法に基因する周波数応答特性の低下を無くしたのが特色になっている。水線上に取付けた圧力計は空中から水中、水中から空中へと出入して水温と気温の差による温度影響を受ける事になるが、この影響は小であり充分な精度で測定可能なることが圧力計単体の予備実験で確認された。

Fig. 6 Locations of pressure gauges for impact pressure measurement

Fig. 7 Setting method of pressure gauge

波浪衝撃圧は高速現象であるので、船体運動、変動水圧の測定と異なり、検出器はもちろんであるが、増幅器、記録器に高周波数域まで応答できるものを選択せねばならない。今回、使用した計測器は超小型圧力計（共和電業、PML-500GC 型、固有振動数は 10kHz 以上）、増幅器（共和電業、DPM-6G、周波数応答上限 2,000Hz）、データ・レコーダ（フィリップス ANALOG-7、使用記録速度 15 inch/sec で 5,000Hz まで応答）、直記式電磁オシログラフ（三栄測器 FR-102、ガルバノメータ G-1000 型、700Hz まで応答、ただしデータレコーダを 1/4 倍で低速再生すると 2,800Hz まで、1/16 倍の低速再生すると 11kHz まで応答することになる）であるので、トータル・システムとしては感度一様な上限周波数は安全側に見積っても 1,000 Hz であったとしてよい。

3.3 使用した大波高の過渡水波

過渡水波は波形を変えつつ進行する。したがって同一造波信号を使用しても波と船の出会い位置によって出会い波形は変化する。過渡水波自体の再現性は良いが、出会い位置を正確に同一にする事は困難であるので、船体表面と波面の微小な出会い方の差によって発生する圧力が大きく変化する特質を持つ波浪衝撃圧実験の再現性はないと言えよう。得られる衝撃圧のパラッキは水面衝撃圧実験の本質的な面でもあるが、前記の 3 条件が衝撃圧発生必要条件であるので、ミクロ的状況の差によって上述のパラッキの発生は避け難いが、3 条件をより満足させることによってより大なる衝撃圧の発生が期待できる。

短波長、大波傾斜の波に衝突する時に船首衝撃が発生するとされている事を配慮し、波傾斜の大なる短波長の状況が模型船と出会え易い位置に綺麗に出る造波信号を選定し、造波機ストロークを大にしてやれば大波高の希望の過渡水波が得られる。これが集中前の波であれば、この短波長の状態の後に長波長の状況が続くので、その

中では船体運動は大となり、船体運動の大小が衝撃圧へ与える影響も見ることができよう。

このような意図のもとに作成された信号により発生した過渡水波のフーリエスペクトラムの型は前論文⁴⁾の Fig. 11 に示されている波傾斜一定の型に近いが、 ω の範囲を 3.5~12 としており、低周波域 ($\omega=3.5\sim5$) で振幅を一定にして、長波長成分の波高が大にできるように配慮されている。高周波域を波傾斜一定の型にしたのは、波振幅一定の型にすると大波高の過渡水波では集中前に波崩れが生じるからである。なお、フーリエスペクトラムの縦軸の値は約 150 mm·sec に達しており、前論文^{3,5)}などで線型域の実験に使用している波の約 3 倍になっている。造波信号は高周波から低周波へと一様速度で変化するが、その掃引時間は約 35 sec で、集中位置は造波機より約 20 m の位置である。なお船と波の出会い位置は集中直前を狙っている。

3.4 波浪衝撃圧の実験結果

実験は正面規則波中でも実施したが、その詳細は文献^{10,18)}を参照されたい。結果は同一船型による川上の実験¹⁸⁾とはほぼ一致した。得られた最大値はフルード数 $F_n=0.15$ で甲板上では半波高の 2.5 倍程度、ステム上で 4.5 倍程度の水頭であり、Fig. 2~5 に示した約 1 倍以内におさまっている変動水圧に比すと大であるが、直接損傷に結びつくような値ではない。なお、これらの値は船長の約 0.055 倍、0.10 倍の水頭に相当し、また吃水 (d) の約 0.9 倍、1.6 倍である。なお、満載状態であるため船底では衝撃圧は発生しなかった。規則波中の実験から得られる衝撃圧の波形はごく一部のピーク値の大なる場合を除き、形の歪んだ半波型の変動圧と言える様な波形で、衝撃あるいはインパクト、ショックなどの語から受けるイメージからは程遠い現象である場合が多い。

過渡水波中の実験はフルード数 0.10, 0.15 で実施したが、本論では変動圧に合せて $F_n=0.15$ の場合のみを示す。船首、船底、甲板上での実測値を同時に Fig. 8 に示した。過渡水波には一定の波高がないので、波浪衝撃圧 (P_I) を船長 (L) および試験時の吃水 (d) で割って無次元化した。甲板衝撃の代表として P. 1, P. 2 の値を示したが、後から追加した P. 13 の方がやや大なる傾向にあったが実験点が少ないので省略した。P. 4, P. 5 は船首衝撃、P. 9, P. 10 は船底衝撃の代表値として掲げたが、これらはそれぞれの部分で大なる値が得られた位置である。

まだ実験回数が少ないので、ここに示した値が最大値を与えているとは言えないが、この図から色々な傾向が読める。甲板衝撃圧の最大値は船長の約 0.3 倍、吃水の約 5 倍の水頭で、この値を単純に実船へスケールアップすると約 80 m 水頭となる。この値は規則波中での最大値の約 6 倍であり、過渡波中実験で異常な状況を現出できた事を物語っている。

船底衝撃の最大値は約 0.4 L、すなわち約 6 d で、規則波中では発生しなかったのに、過渡波中では甲板衝撃より大なる値を得ている。試験状態は満載であるから、このような大船底衝撃が発生しているという事は、相当に苛酷な船底露出を実現できた事を意味している。ちなみに、この最大値は実船では約 100 m 水頭に相当する。

Fig. 8 Peak values of impact pressure

興味のある船首衝撃圧の最大値は船長の約 0.9 倍、吃水の約 14 倍にも達しており、実船換算では実に約 220 m 水頭になる。この値は規則波中で得られた最大値の約 10 倍にもなっており、大衝撃圧発生のための過渡水波の効用が如実に示されている。高木、雁野¹⁵⁾の推定によると 200 m 水頭程度の衝撃圧は発生する可能性があるとされているので、この実測値も非現実的とは言えない。

衝撃圧波形の代表例を Fig. 9 に示した。これは船首衝撃 P. 4 の例で、Fig. 10 の時間軸を 80 倍に拡大した場合で、拡大点は Fig. 10 に ㊤, ㊦, ㊧ と記入されている所である。したがって、㊤ は Photo. 7 と 8 の中間、㊦ は Photo. 9 に近い、㊧ は Photo. 10 と 11 の中間の状況における P. 4 (ステム上, 22 m W. L.) での衝撃圧を示している。Fig. 9 には波浪衝撃圧 (P_I) の読み取り法を記入しておいたが、㊦, ㊧ では立上りの鋭い極短時間のまさに衝撃的な衝撃圧が得られている。ピークは 1/1000 sec のオーダーの時間内に収まっており、

ピーク値も大であるので、渡辺の定義¹⁴⁾による正面衝撃であろうと考えられる。この波形は文献 17) に示されている前田の実験結果 (図 4.1.6) に似ている。また、前田の実験結果から逆算すると約 2m の衝撃水頭が出るためには、約 1m/sec の突込速度が必要である。本実験での波面と船体表面の相対速度は 1m/sec のオーダーであるので、前田の強制水面衝撃実験との対応は良いと言えよう。また文献 18) の船研における実験での衝撃水圧波形 (Fig. 4.1.5, 4.1.6) との対応は、時間軸に関しては良好であるが圧力の値は船研の値がかなり大なるようである。このような極短時間の高衝撃圧が作用した時に船体外板はどのような応答を示すかは興味ある問題である。関係専門家の検討を要望したい。

④ の波形は Fig. 10 では一見 ③, ⑤ に近い衝撃的な波形に見えるが、拡大すると Fig. 9 の ④ ようになり、あまり衝撃的な波形でない事がわかる。Fig. 10 の ②, ③ あるいは P. 4 の ④ の次の山などは、Fig. 9 のように時間軸を拡大すると ④ よりもさらに衝撃らしくない波形になる。このような場合が渡辺のいう傾斜衝撃¹⁴⁾ではないかと推察される。Fig. 8 に記入されている点の低い値は、ほとんどこのような波形であるが、同じ測定位置で飛び抜けて高い点 (P. 2 の最高点, P. 4 の上から 2 点, P. 5 の上から 3 点, P. 9 の上から 3 点など) では、その衝撃波形は ③, ⑤ に類似しており、正面衝撃に近い現象である事が判った。Fig. 8 は高い値のオーダーを知るのが目的であったので低い値には省略されている点があるので、やや不明確になっているが、衝撃の性質によってピーク値も 2 グループに分かれそうな事が示されている。

Fig. 10 には船首に正面衝撃と思われる高衝撃が発生した場合の記録を示したが、このような記録はそう珍しい例ではない。この図の P. 4 の拡大図が Fig. 9 であるが、詳細を見ると ③, ⑤ のピーク値は Fig. 10 では Fig. 9 より小である。Fig. 9 はデータレコーダを 1/16 の低速再生にして書いた記録であるが、Fig. 10 は実験時のモニター記録であるので実時間再生時の記録である。電磁オシロのガルパノメーターが衝撃圧の実時間変化には追従できなくなって Fig. 10 では実際より小さな振幅を与えているのである。したがって正面衝撃のように立上りの鋭い現象は低速再生によらなければ正確なピーク値が得られない事がわかる。

この実験では、高速連続写真を撮影したので、その写真番号と記録の関係を記入しておいたが、その写真を Photo. として掲載した。写真の右下に書き込んだ数字が Fig. 10 の Photo. No. に対応している。撮影はニコン F2 モータードライブシステムを使用して行なった。撮影速度は 1sec あたり約 4 枚で、シャッターを切る時刻に同期して高速ストロボを発光させ、またその発光時刻をパルスにしてデータレコーダに記録した。写真で船首部の向う側に 2 本の棒として見えているのが容量式波高計で、その前側の棒が検出線で、これの位置が F. P. に合せてあるので、F. P. での船体側方の出会い波高が計測される。この記録が Fig. 10 に Wave Height at F. P. として示されている。なお、最大値の発生している P. 4 の記録は P. 2, P. 9 の記録の約 1/3 の感度になっているので注意されたい。

Fig. 10 と Photo. を注意深く対比して見ていただくと、どのような瞬間にどこに衝撃圧が発生するかが明確に理解できる。この航走状況では出会い波高は最高 265mm (約 2d), ヒービングの全幅は 120mm (約 0.9d), ピッチングの全幅は 18deg. にも達しており、甲板上へは大量の青波が上り、現実には極めて稀にしか起り得ない様な異常な状況であることが写真からわかって来る。

真に衝撃的な波浪衝撃圧 ③, ⑤ は、大傾斜の短波長波中を航走している時 (Photo. 9, 10, 11) に発生しているが、この時の船体運動は小であり、船首正面衝撃は何でもな航海状況下に突然起るなる乗組員の体験談の裏付け資料を提示している。一方、長波長時で船体運動が極めて大になり、乗組員が異常な航行状況であると感じるであろう時 (Photo. 14~18) には、船底露出 (Photo. 16) による船底衝撃 ④ は発生しているが、著しい船首衝撃は生じない。すなわち大運動時は波長が長く、そのような波は大波傾斜にはなり難いので、藤井が示したような波高の高い短波長波が重畳している場合を除くと、正面衝撃は発生し難い事をよく説明している。船首衝撃

Fig. 9 Expanded records of bow impact pressures (P. 4 in Fig. 10)

Fig. 10 Record in high Transient Water Wave
(This record correspond to Photo.)

Photo. Continuous photographs correspond to Fig. 10

は波傾斜の大なる波面にステムがほぼ平行な角度で衝突する時に発生するのであって、船体運動の大小とは直接的な関連はないとの定説を肯定する資料とも言えよう。

S. S. 9 $\frac{1}{2}$ での典型的な甲板衝撃①は③、④と同様な正面衝撃的波形であるが、Photo. 11~12で発生している。この間の青波は衝撃的であることがよく写真に捉えられている。正面衝撃的でない次の甲板衝撃②、③はPhoto. 13~14, Photo. 17~18で起っているが、これらの被波状況も激しいので、圧力測定位置 P. 2 の近くで①のような正面衝撃的圧力が発生しうる事が類推できよう。

4 結 言

過渡応答法を適用して、正面向い波中の変動水圧およびその成分に関する実験研究を行なった結果、次の結論を得た。

1) 波浪中航走時の変動水圧に関しては、ピッチ、ヒープ自由の場合および船体運動完全拘束の場合とも、規則波中実験結果と過渡水波中実験結果は一致した。すなわち、線型重ね合せの原理は縦波中変動水圧に関しても船体運動の場合と同様に特に大波高中でない限り成立する。

2) 平水中を強制的に Pure Heave あるいは Pure Pitch させながら航走する場合に船体表面に働く変動圧力に関しても、正弦的強制動揺によって得られた結果と過渡的強制動揺の結果は一致した。すなわち縦運動に関する Radiation Pressure についても線型系の適用が可であることが示された。

3) ストリップ法 (O. S. M.) によって算出された理論計算値と、1), 2) の実験値は一般的には一致しているとみなされる。

4) 変動水圧実験では多数の点での測定を要求される場合が多いので、過渡応答法による実験の効用は特に大である。

次に大波高、大波傾斜の過渡水波中自由航走試験によって、今までに例のない大きさの波浪衝撃圧を実測し得たが、本実験の結論をまとめると下記の通りである。

- 1) 異常に苛酷な波浪中航行状況を生現させるのに、集中性過渡水波中の実験は手軽な有効な手段である。
- 2) 最大の衝撃圧は船首衝撃で得られ、次に船底衝撃、その次が甲板衝撃であった。
- 3) 極めてシャープな立上りを示した異常に高い船首衝撃は、そのピーク値が水頭で船長程度にも達したが、その継続時間は極めて短く、渡辺¹⁴⁾が正面衝撃と定義した現象に対応していると思われる。
- 4) 船首での正面衝撃は船体運動が非常に大きく船底露出、大量の青波被波が生ずるような外観上苛酷な航行状況の時ではなく、船体運動は小であっても短波長の波と船が出会う時に発生し易い事が示された。
- 5) 船底および甲板衝撃でも相対衝突角度および速度の条件が満足されると船首衝撃で得られたような渡辺の正面衝撃が発生する可能性がある。

本論では衝撃圧の波形とピーク値を示すに止まったが、波面の衝突速度、衝突角度などの測定を行ない衝撃圧発生機構との関連を検討する実験を行なう予定である。

なお、得られた大衝撃圧は供試船型が与える特有の値ではなく、現象としての正面衝撃圧のオーダーを示すものと解釈すべきであろう。

本論の実験は、桜井、佐々木⁸⁾、青木、佐伯⁹⁾、粟津、皆川¹⁰⁾の諸君の卒業研究として実施されたものである。また、実験、解析にあたり宮川清、笠原和子、福沢千恵の各氏および大学院学生長谷川清一君のご協力に負う所が多い。ここに心から改めて感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 竹沢誠二、福原正彦、山下誠也：船型試験水槽で発生させた Transient Water Wave の特性について、日本造船学会論文集第 124 号 (1968. 12)。
- 2) 竹沢誠二：Transient Water Wave 中における船体運動の実測例について、日本造船学会論文集第 127 号 (1970. 6)。
- 3) 竹沢誠二：Transient Water Wave 中の船型試験法、日本造船学会論文集第 128 号 (1970. 12)。
- 4) 竹沢誠二、平山次清：任意過渡水波の発生について、日本造船学会論文集第 129 号 (1971. 6)。
- 5) 竹沢誠二、竹川正夫：船体縦運動における過渡応答法による船型試験、日本造船学会論文集第 130 号 (19

71. 12).
- 6) 竹沢誠二, 竹川正夫: 船体縦運動における過渡応答法による船型試験—その 2 Pure Pitch—, 日本造船学会論文集第 131 号 (1972. 6).
 - 7) 竹沢誠二, 竹川正夫: 船体縦運動における過渡応答法による船型試験—その 3 連成運動—, 日本造船学会論文集第 133 号 (1973. 6).
 - 8) 桜井謙一, 佐々木敬之: 縦波中にて運動する船体表面に働く変動水圧について, 横浜国大造船工学科昭和 46 年度卒業論文.
 - 9) 青木健作, 佐伯 惣: 縦波中にて運動する船体表面に働く変動水圧の成分について, 横浜国大造船工学科昭和 47 年度卒業論文.
 - 10) 粟津憲一, 皆川正広: 波浪衝撃圧に関する実験的研究, 横浜国大造船工学科昭和 47 年度卒業論文.
 - 11) 中村, 高木, 斎藤, 雁野: 斜波中の拘束船体に働く変動圧について, 日本造船学会論文集第 133 号 (1973. 6).
 - 12) 菅井, 郷田, 北川 他: 斜め波中の船体に働く波浪変動水圧に関する模型実験, 日本造船学会論文集第 133 号 (1973. 6).
 - 13) 藤井 斉, 高橋 進: 肥大船の船首衝撃に関する実験的研究, 日本造船学会論文集第 131 号 (1972. 6).
 - 14) 渡辺恵弘: 船底衝撃の性質と Whipping について, 西部造船会々報, No. 32 (1966).
 - 15) 高木又男, 雁野昌明: 波浪中を航行する船舶が受ける波浪衝撃圧の一推定, 日立造船技報, 33-2 (1972).
 - 16) 川上益男: 船体の青波衝撃強度について, 日本造船学会論文集第 125 号 (1969. 6).
 - 17) 第 131 研究部会昭和 46 年度報告: 波浪外力に関する水槽試験, 日本造船研究協会, 研究資料 No. 163 (1972. 3).
 - 18) 第 131 研究部会昭和 47 年度報告: 波浪外力に関する水槽試験, 日本造船研究協会, 研究資料 No. 176 (1973. 3).
 - 19) 第 124 研究部会昭和 46, 47 年度報告: 大型鉦石運搬船の船首部波浪荷重および鉦石圧に関する実船試験, 日本造船研究協会, 研究資料 No. 140, No. 152.
-