

船体に働く横揺れ減衰力について (第1報)

—自由横揺れ試験結果—

高石敬史*・猿田俊彦*・吉野良枝*

Experimental Study on the Roll Damping of Ships —Part I. Free Rolling Tests of Model Ships—

By

Yoshifumi TAKAISHI, Toshihiko SARUTA and Yoshie YOSHINO

Summary

Damping of rolling motion was measured on various ship types, i. e. container ships, cargo liners, car ferry, roll-on/roll-off ship, nuclear ship, mathematical ship form, and fishing boat.

The models of these ships were towed by the carriage which constrained the model to move freely in rolling, pitching and heaving motions while the other modes of motions were restrained. The rolling axis were coincided with the longitudinal axis through the center of gravity of the model.

From the record of the decrement of the rolling amplitudes after the release of the initial heeling the linear and the non-linear coefficients of roll damping were determined.

The coefficients of roll damping are represented on the diagrams of this paper, and the effects of forward velocity are mainly shown. The effects of bilge keels, rolling period, loading condition are also shown according to the model test. Damping coefficients obtained from the free rolling tests are compared with those measured by the forced rolling experiments on a container ship model.

1. 緒 言

波浪中の船の運動性能, 耐航性能を推定する場合, 現在ではストリップ法と呼ばれる計算法が広く用いられている。この方法は, 船体に働く流体力を推定するのに, 船体の断面と同じ形状の2次元柱状体が水面で周期運動をする場合の流体力を, 線型ポテンシャル理論を用いて求め, これを船体全体に積分する方法である。ストリップ法計算による結果は, 斜め波中の模型実験と比較され, 大部分の運動に関しては, 通常の船型で, あまり高速でない範囲では, 両者の一致は良い¹⁾。しかし, 横揺れ運動については, 一般に両者の一致の具合が悪い。特に横揺れ運動で重要である同調動揺時の振幅の値での両者の不一致が顕著である。こ

の不一致の原因は, 横揺れ減衰力の推定方法の不充分さが最も大きい部分を占めている。即ち, 横揺れ減衰力を構成する流体力には, 理想流体のポテンシャル流による造波減衰力のほかに, 水の粘性に基づく減衰力, 即ち摩擦や造渦減衰力が大きい部分を占めているのに, ストリップ法では前者のみしか考慮しないためである。このような不具合を直すためには, 後者の流体力を推定する方法を導入しなければならない。しかしながら, 普通の船体に働く横揺れ減衰力は小さい上に, 船型, 船体付加物, 船の前進速度の影響が減衰力の種々の成分に対して複雑にからみ合っているため, 現在幾つかの代表的船型についての推定法は開発されているが, 載荷状態, 前進速度, ビルジキールの大きさ等各種の条件に合った適確な, 合理的な推定法は, 多くの研究にもかかわらず確立されるに至っていない²⁾。

* 運動性能部

原稿受付: 昭和54年4月27日

そのため、ストリップ法を用いて船体運動を計算する場合、対象船自体の模型か、同型船の模型を用いて横揺れ減衰力を推定してそのデータを計算に用いるか、或いはそのようなデータの集積と解析から得た実験式を使用するか等の方法が便宜的にとられている。

この様にすれば横揺れについての計算と実験の一致度は改善される。従って現在数多くの船型の横揺れ減衰力に関する実験値が望まれている。その場合、船体付加物の影響をはじめ、船の載荷状態や前進速度の影響も明らかにしておくことが重要である。また横揺れ減衰力を構成する成分のうち、動揺振幅に対する非線形性が大きいものもあるので、減衰力の非線形性を明らかにしておくことも必要である。

そこで横揺れ減衰力を出来るだけ多数の船型について実験的に求めることにした。

2. 自由横揺れ試験

2.1 供試模型船

自由横揺れ試験に用いた模型船は、高速貨物船、原子力船、カーフェリー、超高速コンテナ船、ロールオン・ロールオフ船、漁船、数式船型の7種で、そのほとんどが角水槽における斜め波中の実験に供されたものである。これらの船型の主要目、実験状態は Table 1-a~1-d に示す通りである。

特にこのうちの超高速コンテナ船 SR-108 船型については、模型船の大きさを 1.75, 3.0, 4.5, 5.0 m と変えた場合、満載状態で GM を変えた場合、載荷状態を変えた場合、L/B を変えて、L/B=8 と細長化した場合、また L/B=8 船型でプロペラ軸数を2軸にした船型の実験も行った。

2.2 試験方法

横揺れ減衰力を求めるための試験方法に自由横揺れ試験、強制横揺れ試験がある。前者は、減衰力が船速、横揺れ角、横揺れ角周波数の関数であることを考えると、同調周波数時のみの減衰力を取上げるため、その性質の一面のみを考慮しているに過ぎないといえるが、後者に比して試験方法、装置、解析法等も簡単なため多くの模型船に適用されている。

当所で実施してきた自由横揺れ試験では、模型船を種々の速度で自航させるか、曳航するかして行う2つの方法をとった。

(i) 曳航法による自由横揺れ試験

この方法は模型船の重心位置に、横揺れと縦揺れは

自由になるがその他の運動は拘束するジンバル装置を取付け、それを介して曳引台車で模型船を曳航しながら初期傾斜角を与え、自由横揺れ運動を測定する方法である。模型船については実験に先立って、排水量、重心位置、横揺れ周期等は計画値に合わせられている。

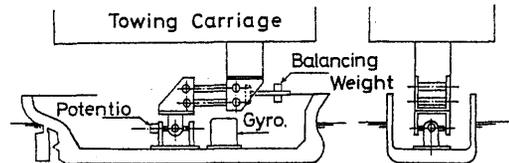


Fig. 1 Schematic figure of the free-rolling experiment

ジンバルを含めた曳航装置全体の概略図を Fig. 1 に示す。この装置は、模型船が曳航時に沈下もしくは浮上するので、その上下運動も自由になる様に考慮されている。横揺れ角の検出は船内に搭載されたジャイロ、又はジンバルのロール軸に取付けたポテンシオメーターによって行った。

この試験法は、曳引台車を利用している事から船速が任意にしかも正確に選べ、かつ定常状態で試験が行えること、模型船に与える初期傾斜角を大きくとれること等から具合が良い。また、ロール、ヨー、スウェーの連立方程式の横揺れ減衰力はこの方法によって求めることが出来る。

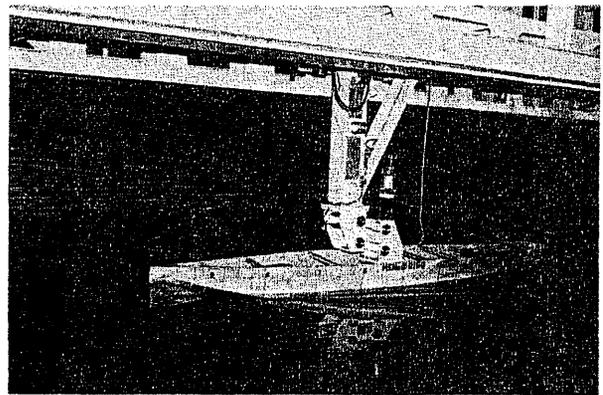


Fig. 2 Photograph of free-rolling experiment

Fig. 2 に試験中の写真を示す。

試験では、船速がフルード数 (F_n) で 0 から 0.35 付近までの範囲を行い、 $F_n=0$ の場合には水槽壁による反射の影響を除くため船の方向を水槽長さに対して直角となるようにして行った。

(ii) 自航法による自由横揺れ試験

この方法は、角水槽で模型船を平水中で直進するよう無線操縦しながら、何らかの方法によって強制横揺れモーメントを与えて初期傾斜角を発生させ、自由横揺れ減衰運動を測定する方法である。これは試験方法としては最も簡便であり実施しやすいが、露天での水槽実験にはつきものの気象条件を考慮して、即ち、風や波からの影響を最小限にする必要がある。更に、問題点はいかにして自由航走中の模型船に強制モーメントを与えるかということと、限られた水槽内で有効計測時間をいかに長くするかということである。

今回 2~3 の模型船については、舵、フィンを模型船の固有周期に合わせて周期的に操作したり、船内の重量物を移動させたりして行った。Table 1 で Roll axis の欄に「free」と記入してあるのはこの方法によるものである。

また自航中の横揺れでは、スウェー、ヨーを拘束できないため、これらの運動と横揺れの連成の影響が入る可能性がある。従って厳密な意味での横揺れではなくなるため、同一船を用いて両試験法の比較を行った。

計測法の詳細は省くが、検出器はジャイロでその信号はテレメーターで計測室内の記録器へ電送される。

3. 解析法

3.1 横揺れ減衰係数

船体の自由横揺れ運動方程式を単純化して、重心Gを中心とした純粋な横揺れと考えると、方程式は

$$I_{\phi}\ddot{\phi} + B_{\phi}(\phi) + C_{\phi}(\phi) = 0 \quad (1)$$

と表わされる。ここで I_{ϕ} は見掛けの慣性モーメント、 $B_{\phi}(\phi)$ は減衰力、 $C_{\phi}(\phi)$ は復原力、 ϕ は横揺れ角である。

る。

横揺れ減衰力 $B_{\phi}(\phi)$ については、W. Froude の表示式の他、幾人かの人によって関数形が表現されている。

いま $B_{\phi}(\phi)$ を ϕ について展開し、3次の項までとると、次式の様になる。

$$B_{\phi}(\phi) = B_1\phi + B_2\phi|\phi| + B_3\phi^3 \quad (2)$$

これを (1) 式に代入して、 I_{ϕ} で割ると

$$\ddot{\phi} + 2\alpha\dot{\phi} + \beta\phi|\phi| + \gamma\phi^3 + \omega_0^2\phi = 0 \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} 2\alpha &= \frac{B_1}{I_{\phi}}, & \beta &= \frac{B_2}{I_{\phi}} \\ \gamma &= \frac{B_3}{I_{\phi}}, & \omega_0^2 &= \frac{C_{\phi}}{I_{\phi}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

のように、非線形方程式となる。この方程式を解析的に解くことは困難なので、非線形減衰力をそれと等価な減衰力で置換し、方程式の線形化を計る。

即ち

$$B_{\phi}(\phi) = B_e\phi \quad (5)$$

と置き、(1) 式に代入して I_{ϕ} で割ると次式が得られる。

$$\ddot{\phi} + 2\alpha_e\dot{\phi} + \omega_0^2\phi = 0 \quad (6)$$

ここで α_e は、有効線形減衰係数で、(6) 式の解は

$$\phi = \phi_0 e^{-\alpha_e t} \sin(\omega_{\phi} t + \varepsilon) \quad (7)$$

$$\omega_{\phi} = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha_e^2} \doteq \omega_0 \quad (8)$$

となる。また非線形減衰係数との関係は、動揺角周波数、動揺角の関数で次式の様を表わされる^{2), 3)}。

$$\alpha_e = \alpha + \frac{4}{3\pi} \omega_{\phi} \beta + \frac{3}{8} \omega_{\phi}^2 \gamma \quad (9)$$

減衰係数 α_e の無次元表示は、

$$\kappa_e = \frac{2\alpha_e}{\omega_{\phi}}, \quad \kappa_{\alpha} = \frac{2\alpha}{\omega_{\phi}} \quad (10)$$

となる。

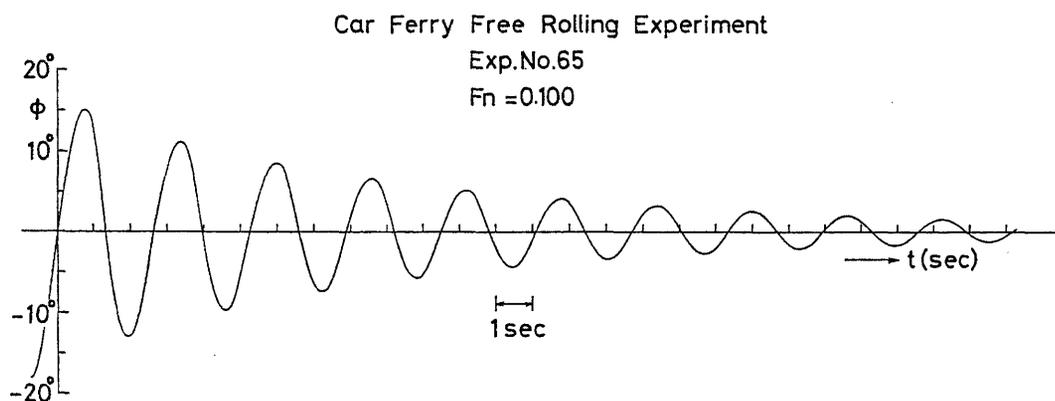


Fig. 3 Record of a free-rolling experiment

3.2 解析法

(i) 無次元減衰係数表示

自由横揺れの運動の記録の1例を Fig. 3 に示す。この様な減衰横揺れ運動を線形の方程式 (6) で表現するものとする。動揺の相隣る振幅を大きい順に $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots$ とすると次式

$$|\phi_{n+1}| = |\phi_n| e^{-\pi\alpha_e/\omega_\phi} \quad (11)$$

のように等比級数的に減衰する。そこで $|\phi_{n-1}| + |\phi_n|$ を横軸に、 $|\phi_n| + |\phi_{n+1}|$ を縦軸にとってプロットし、それらの点を直線で結べば Fig. 4 のようになる。

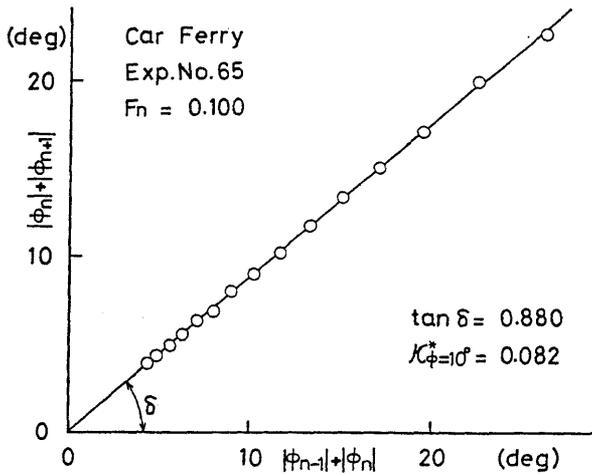


Fig. 4 Linear damping of rolling amplitudes of the free-rolling experiment

但し誤差の混入するのを防ぐため ϕ_0 と $\phi_n \leq 2^\circ$ のものを除いた。

同図中の直線の勾配 $\tan \delta$ は次式で

$$\tan \delta = \frac{|\phi_n| + |\phi_{n+1}|}{|\phi_{n-1}| + |\phi_n|} = e^{-\pi\alpha_e/\omega_\phi} \quad (12)$$

表わされ、これより減衰率 α_e が求まる。

$$\frac{\pi\alpha_e}{\omega_\phi} = \ln \tan \delta \quad (13)$$

この α_e を (10) 式により無次元化する。この方法で力に対する倍率 $\mu_m = 1/\kappa_e$ との関係は求めた無次元減衰係数 κ_e を Fig. 15, Fig. 16 に κ^* として表示した。 κ_e と横揺れ同調周波数に於ける同調振幅の外力に対する倍率 μ_m とは $\mu_m = 1/\kappa_e$ との関係がある。

(ii) 減衰係数又は非線形減衰係数を求める方法

前述した κ^* については、横揺れ運動方程式を線型と仮定したため、減衰係数の項に非線形項を含めた形となっている。しかし実際には船が大角度動揺する場合などには、非線形項を分離した取り扱いが必要であ

る。従って運動方程式は (3) 式を用いるべきであるが、単純化して次の様に仮定する。

$$\ddot{\phi} + 2\alpha\dot{\phi} + \beta\phi|\dot{\phi}| + \omega_0^2\phi = 0 \quad (14)$$

得られた実験記録から減減角 $\Delta\phi$, 平均横揺れ角 ϕ_m

$$\left. \begin{aligned} \Delta\phi &= |\phi_n| - |\phi_{n-1}|, \\ \phi_m &= (|\phi_n| + |\phi_{n+1}|)/2 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

を求め、 $\Delta\phi$ を ϕ_m に対してプロットしたものが減減曲線で、その例を Fig. 5 に示す。図中の実線は得られた実験点をもとに減減曲線を 2 次式

$$\Delta\phi = a\phi_m + b\phi_m^2 \quad (\phi_m; \text{deg}) \quad (16)$$

と仮定し最小自乗法によって計算したものである。

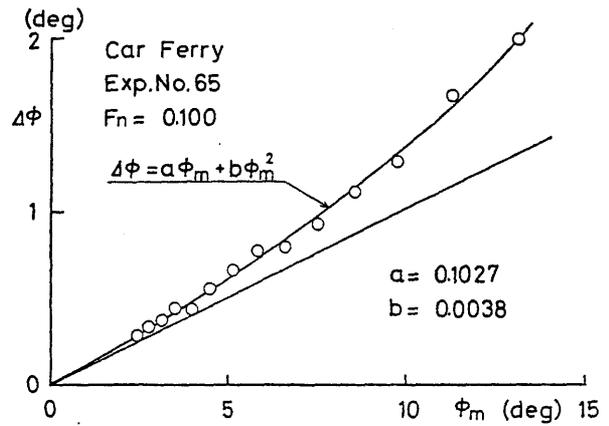


Fig. 5 Extinction curve of the rolling amplitudes

こうして求められた、減減係数 a, b と運動方程式 (14) との係数間の関係式は

$$\alpha = \frac{a}{\pi}\omega_\phi, \quad \beta = \frac{3}{4} \frac{180}{\pi} b \quad (17)$$

で $\kappa = 2\alpha/\omega_\phi$ であるから、振幅 ϕ_m に於ける有効減衰率 $\kappa_e\phi_m$ は

$$\kappa_e\phi_m = \kappa_a + \frac{8\beta}{3\pi}\phi_m \quad (\phi_m; \text{rad}) \quad (18)$$

となる^{3),4)}。ここで

$$\kappa_a = \frac{2}{\pi} a \quad (19)$$

である。また良く使われる Bertin の N 係数は

$$\Delta\phi = N\phi_m^2 \quad (\text{deg}) \quad (20)$$

で表わされ、減減係数 a, b が得られれば

$$N = \frac{a}{\phi_m} + b \quad (21)$$

から求められる。これは ϕ_m によって変わるので $N\phi_m$ と表示される。

自由横揺れ試験の解析法としては、主に (ii) の方法を用い、その場合、解析結果 $\kappa_e\phi_m$ は ϕ_m によって変

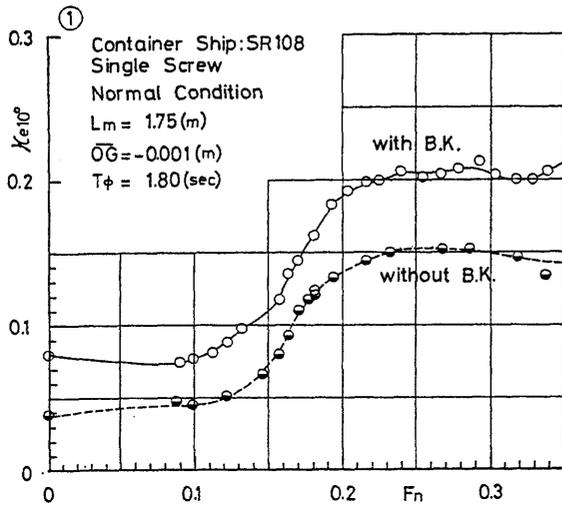


Fig. 6 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a container ship model

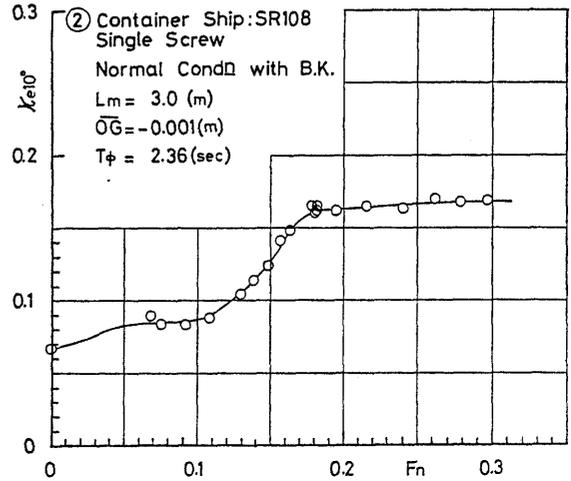


Fig. 8 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a container ship model

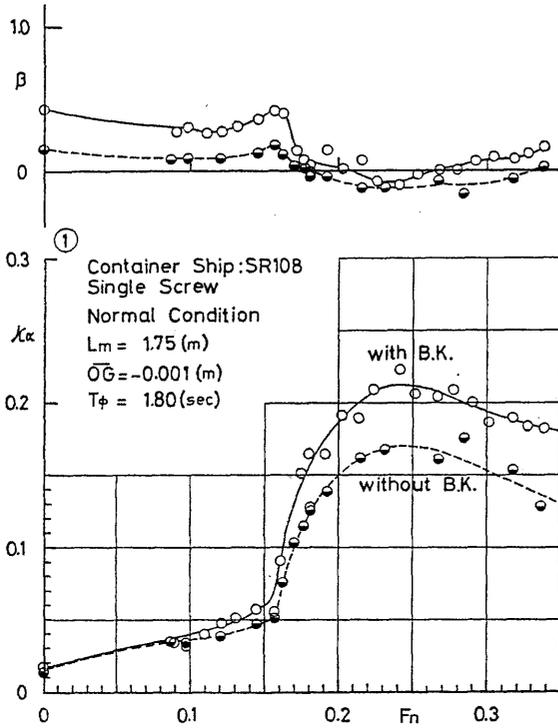


Fig. 7 Linear and non-linear coefficients of roll-damping for a container ship model

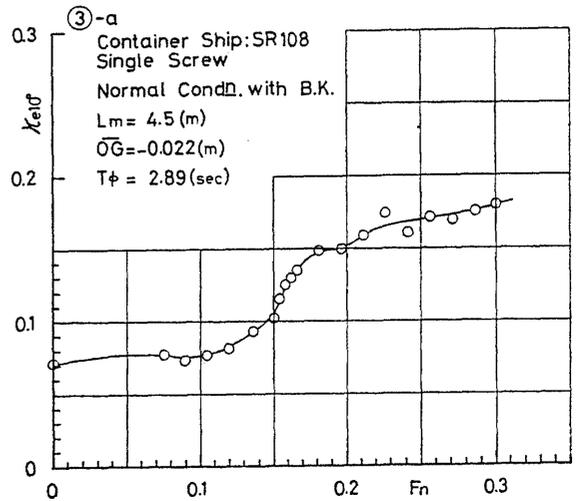


Fig. 9 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a container ship model

減衰率 κ を船速ベースに示した。これらの図から各種船型の減衰率が船速によってどう変わるかが判る。

Fig. 6~Fig. 13 までには1軸コンテナ船 SR-108 船型の相似模型を $L_m=1.75m \sim 5.0m$ まで変化させた場合の結果である。減衰率の船速に対する変化は、どの場合も似た様な傾向を示している。 $L_m=1.75m$ の減衰率が $F_n \approx 0.15$ を越えるとやや大き目に出ているがその理由は、はっきりしない。

Fig. 12 には同じコンテナ船型で重心位置を変えた場合の影響を調べたものであり、重心が高くなると減衰率も急に変化しているのが判る。

るので、一応 $\phi_m = 10^\circ$ に対する値 k_{e10} 並びに可能な限りこれを線形減衰率 κ_α と非線形減衰率 β とに分離して示した。

4. 試験結果及び考察

Fig. 6 ~ Fig. 29 に自由横揺れ試験で求めた無次元

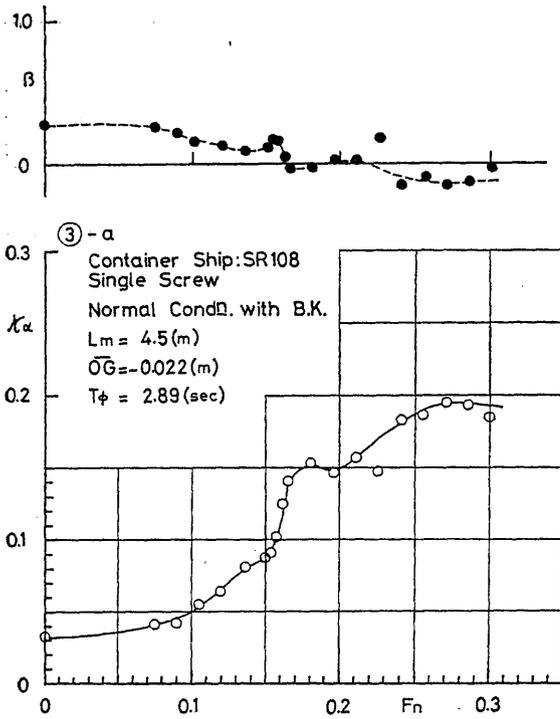


Fig. 10 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a container ship model

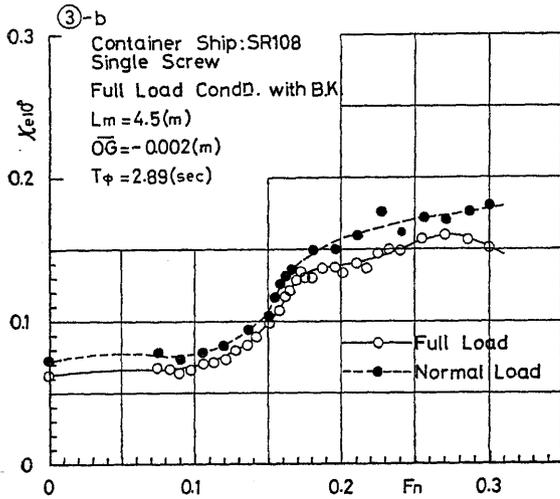


Fig. 11 Effect of load conditions on the roll-damping for a container ship model

Fig. 14 は同じ1軸コンテナ船 $L/B=6.9$ のフレームラインを変えないで $L/B=8$ に細長くした船型であるが Fig. 9 と比較してみても $L/B=6.9$ のと大差がない。

Fig. 15 は1軸コンテナ船 $L/B=8$ の模型船で、減衰率の試験法による差を調べたものである⁵⁾。図中に

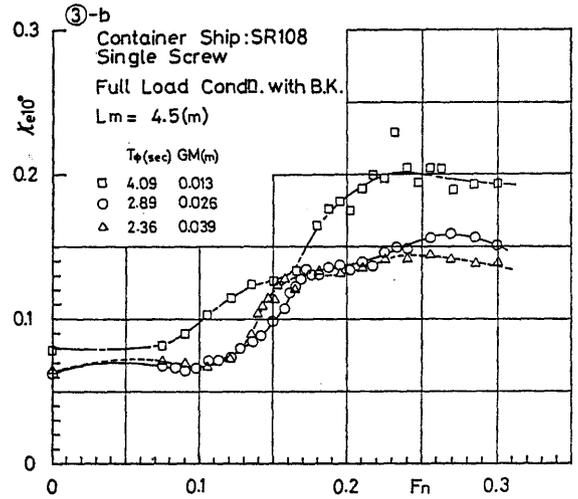


Fig. 12 Effect of GM or rolling periods on the roll-damping for a container ship model

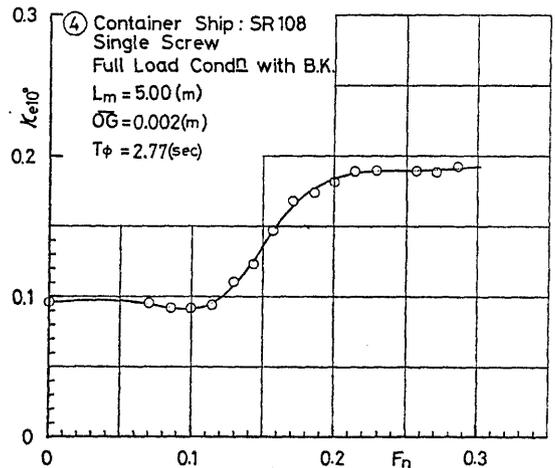


Fig. 13 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a container ship model

は前述の曳航法と自航法との結果が示されているが、後者の方が点のバラツキは大きいものの平均値で見れば、両者の差は大きくないといえよう。これは、この模型船の OG の値がほとんど零に近いと考えられる。また自航法では船内の重量物を移動するか、孤立波を船体に当てるかして初期傾斜を与えたため、その値が小さく、また一定でないことも実験点のバラツキの一因であろう。

Fig. 16 はコンテナ船 SR-108 船型 $L/B=8$ の2軸1舵の模型で、角水槽での自航試験の結果である。同じ船型の1軸船 $L/B=6.9$ と比較 (Fig. 13) すると k_{e10} と k^* との違いはあるが、 k^* の方がかなり低く

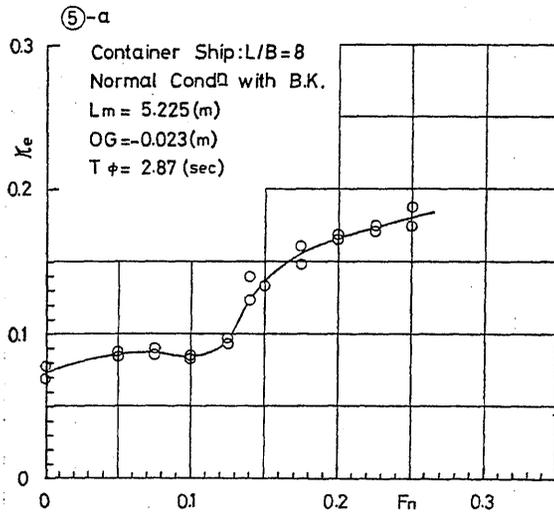


Fig. 14 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a container ship model

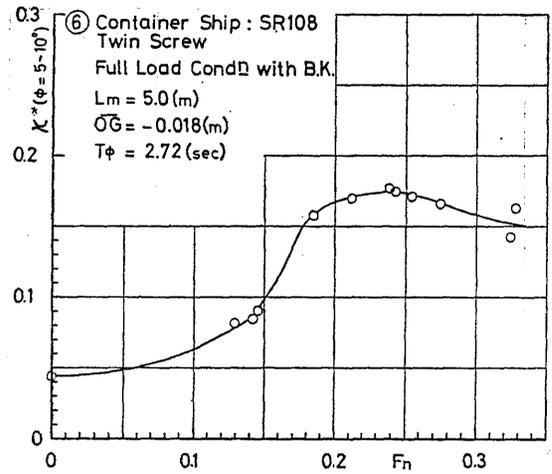


Fig. 16 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a container ship model

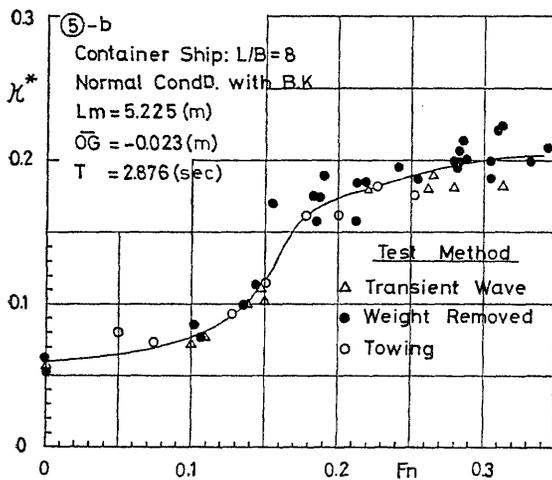


Fig. 15 Comparison of roll-damping obtained from various test methods

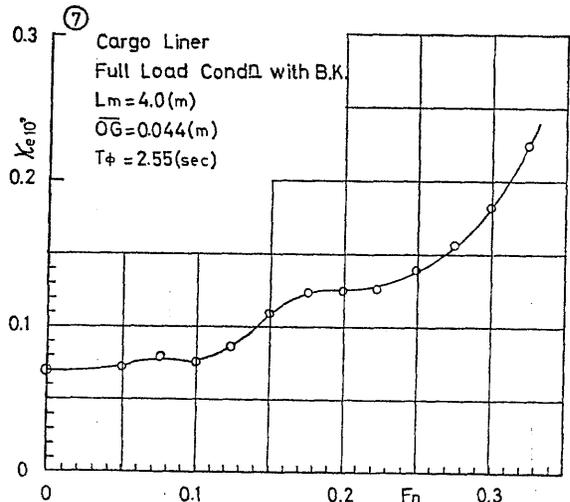


Fig. 17 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a cargo liner model

でている。更に $L/B=8$ の 1 軸船 (Fig. 14) と比較しても F_n の全域にわたって低目に出ている。

Fig. 17~Fig. 18 は高速コンテナ船の就航以前に就航した高速定期貨物船と超高速定期貨物船の結果である。両船型とも、 k_e の F_n に対する傾向及びその大きさは、文献 6) に示す Series 60, $C_B=0.7$ の傾向及び値に良く似ている。超高速定期貨物船は高速定期貨物船よりも一層やせ型で減衰率も小さい。

Fig. 19 は前述の超高速定期貨物船の 2 m 模型であるが、 k_e の値は Fig. 18 に比して全般的に高くなっている。

Fig. 20~Fig. 22 にはカーフェリー、ロールオン・

ロールオフ船の結果を示す^{7),8)}。これら両船に共通する特徴は、2 軸、2 艀で、浅吃水、幅広船型で船首尾のフレアーが大きいということである。前者は試験時には重心 G で曳航され、バウスラスターの開口部は設けてあるが何も装備されていないままで、プロペラは取外してあるのに対して、後者は完全な自航によるものである。カーフェリーの減衰率の船速に対する傾向は、 $F_n=0.2$ 以下では、今迄のコンテナ船 (Fig. 15) と同様な傾向であるが、それ以上では急に上昇している。

ロールオン・ロールオフ船は、 $F_n=0.2$ より低速時のデータが少ないが他の 2 隻の 2 軸船と同様の値を示

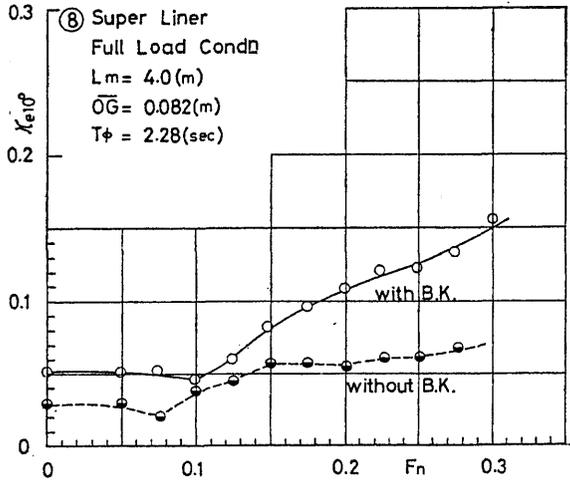


Fig. 18 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a super liner model

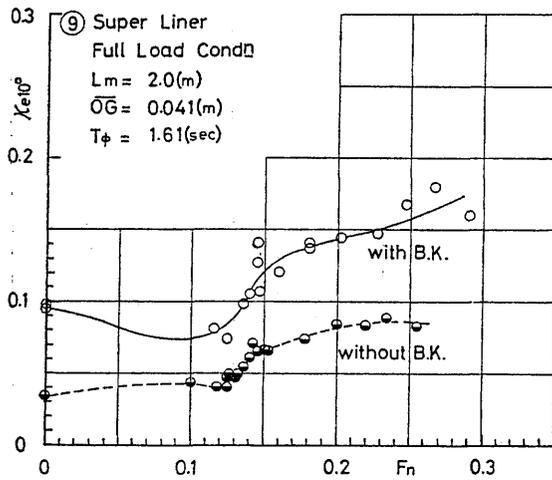


Fig. 19 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a super liner model

すものと推定される。またそれ以上の船速では、カーフェリーと比しても大きな値となっている。更にフィンを装備した場合には非常に大きな値となることもわかる。

Fig. 23~Fig. 24 には、原子力船「むつ」の 4m 模型の減衰力を示す。図中には計画満載状態と当初予定された実験航海状態の両方の値を併記してある。コンテナ船及びその他の船型と比較して低速時の値がかなり大きい。

Fig. 25~Fig. 26 には数式船型に対する実験値を示す⁹⁾。この船型は、前後、横方向、上下方向をそれぞれ x, y, z とすると

(250)

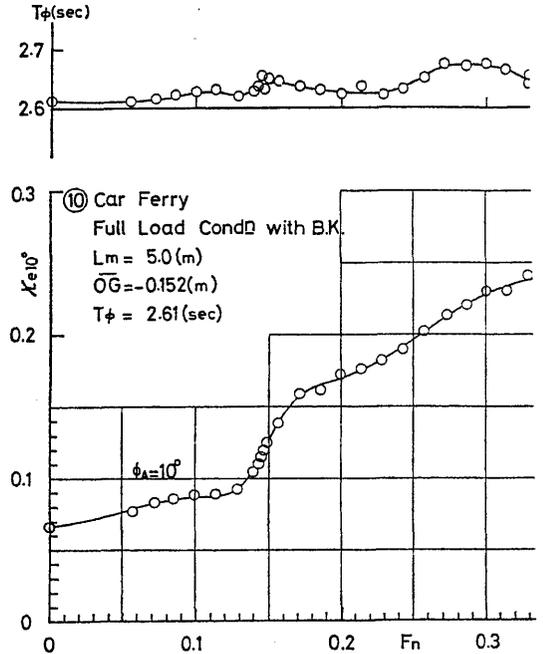


Fig. 20 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a car ferry model

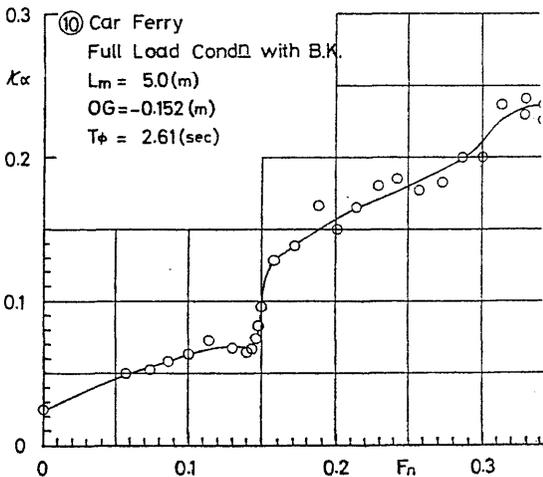
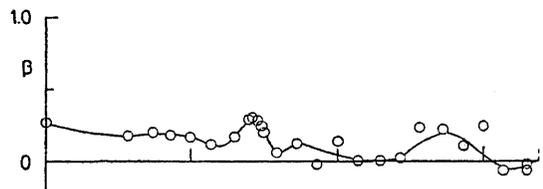


Fig. 21 Linear and non-linear coefficients of roll-damping for a car ferry model

$$y = \pm \left(\frac{B}{2}\right) \left\{ 1 - \left(\frac{2x}{L}\right)^2 \right\} \left\{ 1 - \left(\frac{z}{T}\right)^8 \right\} \quad (22)$$

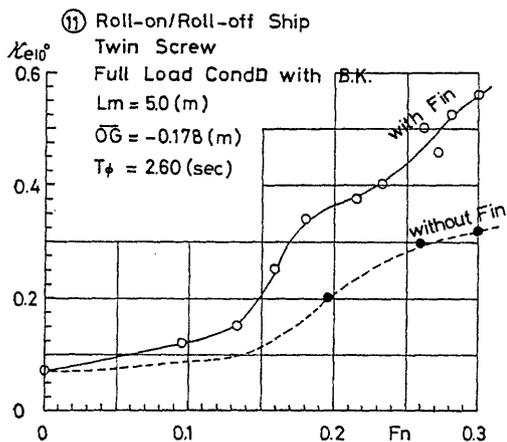


Fig. 22 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a roll-on/roll-off ship model

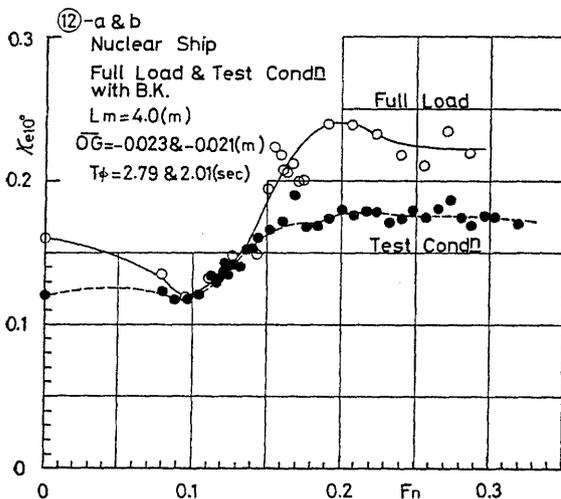


Fig. 23 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a nuclear ship model

で表わされる前後対称の数式船型である。

κ_e の値は通常船型に比べると全般的に低く、 κ_e が急増する位置が、 $F_n=0.1$ 付近と低速域にずれている。Fig. 26 は、この船型を浅水中で水深を変えて実験した結果である。 $F_n=0$ の場合であるが、水深が浅くなる程減衰力が増すのがわかる。

Fig. 27 は漁船船型に対する結果である。本船型はハードチェーンを持つ角型の横断面形状をもつ小型漁船船型で、減衰力はこの船型に比べて非常に大きく、特に低速域で著しいが、船速変化に対してはゆるやかである。復原力を増すために装着したバルジは、航走中の減衰力の増加には寄与しないで、むしろ約40%の減衰力を減らす働きをしている。

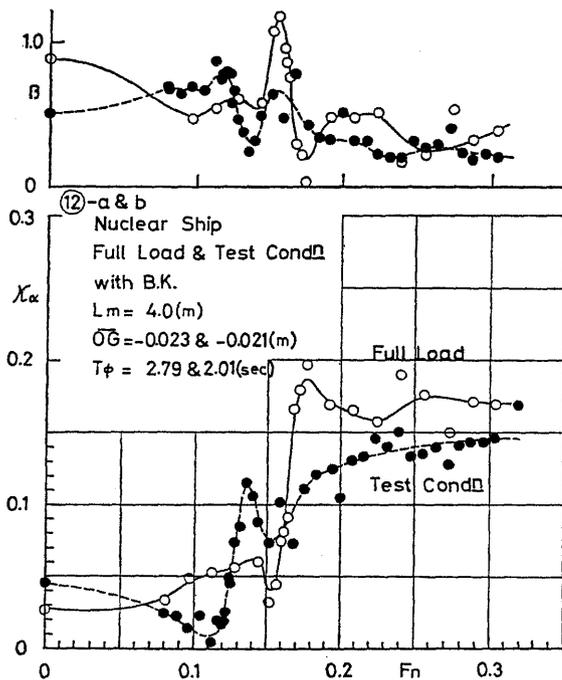


Fig. 24 Linear and non-linear coefficients of roll-damping for a nuclear ship model

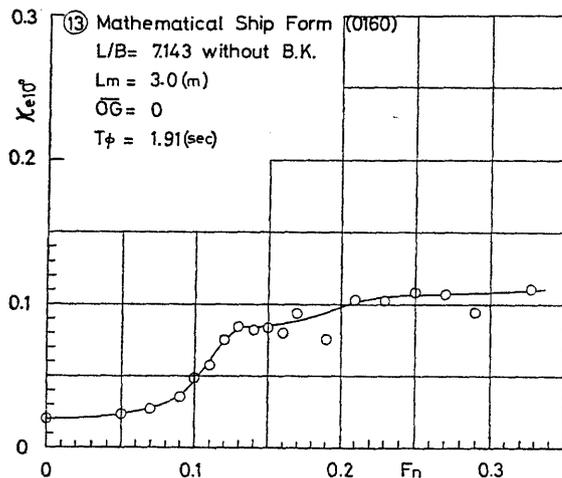


Fig. 25 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a mathematical ship form

Fig. 6, Fig. 18, Fig. 19 には、ビルジキールの有無の場合の比較が示してあり、 κ_e でみるとその効果は、船速に無関係でほぼ一定であり、Fig. 22 に示すフィンの効果とは違っている。Fig. 7 のように κ_e を線型、非線型減衰係数に分離してみると、 $\Omega=1/4 (F_n=0.171)$ 付近より低速域では非線型項に、それ以上では線型項にビルジキールの影響が表われているよう

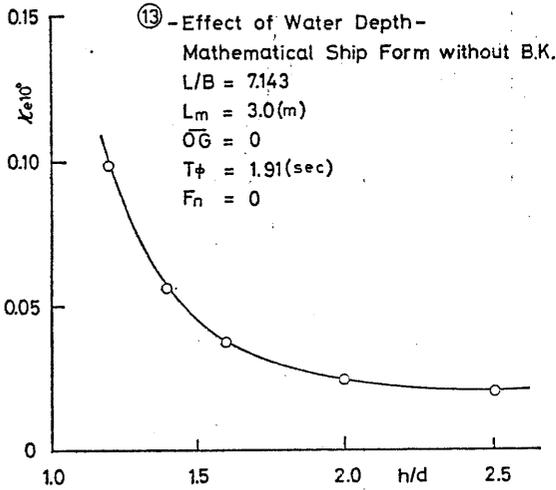


Fig. 26 Effect of water depth on the roll-damping for a mathematical ship form

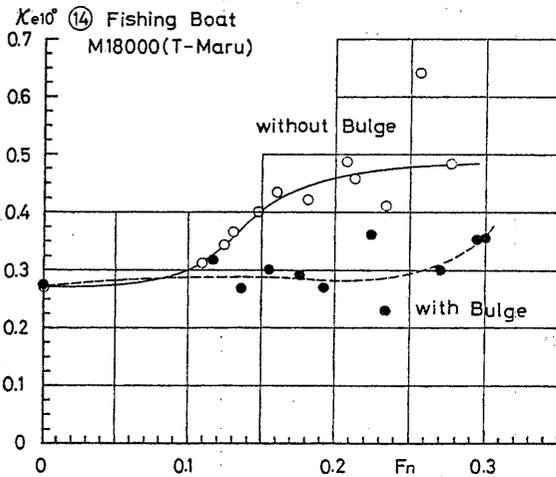


Fig. 27 Equivalent-linear coefficients of roll-damping for a fishing boat model

ある。

Fig. 28~Fig. 29 に自由横揺れ試験と強制横揺れ試験から求めた減衰率を比較した例を示す。これはコンテナ船 SR-108 船型 3m 模型で、船研が自由横揺れ試験、九大応力研が強制横揺れ試験を行ったものを比較したものであり、これから判断すると両者は近い値にあるといえよう。

強制動揺試験結果からの換算は次の方法によった。強制動揺の方程式を

$$I_\phi \ddot{\phi} + B_\phi(\dot{\phi}) + C_\phi \phi = M_\phi(\omega) \quad (23)$$

と表わし、減衰力は線形とすると

$$B_\phi(\dot{\phi}) = B_e \dot{\phi} \quad (5)$$

(252)

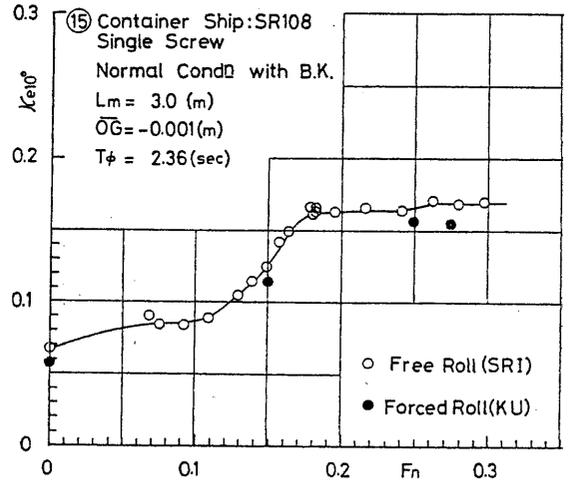


Fig. 28 Comparison of equivalent-linear coefficients of roll-damping obtained from the free-rolling and the forced rolling experiments

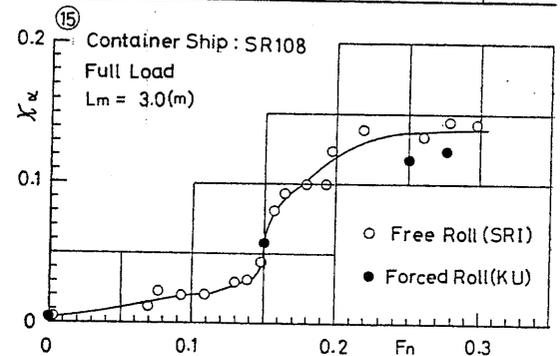
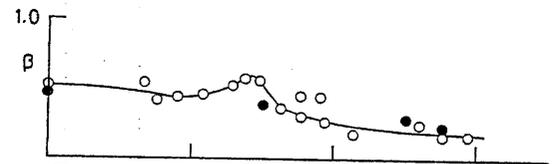


Fig. 29 Comparison of linear and non-linear coefficients of roll-damping obtained from the free-rolling and forced rolling experiments

強制動揺による実験値は、次式で無次元化されている。

$$\left. \begin{aligned} \hat{B}_e &= \frac{B_e}{\rho \sqrt{B}^2} \sqrt{\frac{B}{2g}} \\ \hat{\omega} &= \omega \sqrt{\frac{B}{2g}} \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

復原力係数は

$$C_\phi = \rho g \nabla GM \quad (25)$$

であるから、 $\omega = \omega_\phi$ のときの減衰係数の換算値を求める式は

$$\frac{B_e}{I_\phi} = \kappa_e \omega_\phi \quad (26)$$

より

$$\kappa_e = \frac{B_e}{I_\phi \omega_\phi} = \left(\frac{2B}{GM} \right) \dot{\omega}_\phi \bar{B}_e \quad (27)$$

となり、この値が Fig. 28 に●印で示されている。

次に、線形、非線形項に分離した場合には第2項までとると

$$B_e = B_1 + \frac{8}{3\pi} \omega_\phi \phi_A B_2 \quad (28)$$

と表わされ、無次元値は

$$\left. \begin{aligned} \bar{B}_e &= \frac{B_e}{\rho \nabla B^2} \sqrt{\frac{B}{2g}}, \quad \bar{B}_1 = \frac{B_1}{\rho \nabla B^2} \sqrt{\frac{B}{2g}} \\ \bar{B}_2 &= \frac{B_2}{\rho \nabla B^2} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

であるから

$$\bar{B}_e = \bar{B}_1 + \frac{8}{3\pi} \omega_\phi \phi_A \bar{B}_2 \quad (30)$$

これと (27) 式より次式が得られる。

$$\kappa_e = \left(\frac{2B}{GM} \right) \dot{\omega}_\phi \bar{B}_1 + \frac{8}{3\pi} \left(\frac{2B}{GM} \right) \dot{\omega}_\phi^2 \phi_A \bar{B}_2 \quad (31)$$

また、 κ_e の別の形の無次元表示式は (9), (10) 式より

$$\kappa_e = \kappa_\alpha + \frac{8}{3\pi} \phi_A \beta \quad (32)$$

が得られる。従って (31), (32) 式から

$$\kappa_\alpha = \left(\frac{2B}{GM} \right) \dot{\omega}_\phi \bar{B}_1 \quad (33)$$

$$\beta = \left(\frac{2B}{GM} \right) \dot{\omega}_\phi^2 \bar{B}_2 \quad (34)$$

が得られる。なお、上式で B は船の幅、 ∇ は排水容積、 ρ は水の密度、 ϕ_A, ω は強制動揺時の横揺れ角 (振幅)、及び角周波数である。

5. 結 言

船型が与えられた場合の横揺れ減衰力を推定する最も確かな方法は、模型試験を行うことであろう。

本報告では、当所で行った幾つかの船型についての試験結果を述べた。これらから各種船型の減衰力の前進速度による変化、減衰力のうちビルジキールのそれに寄与する割合、載荷状態を変えた場合の影響等を大略知ることが出来るし、また全体を通してみると各種船型による差違も知ることが出来る。

これらの実験を基にストリップ法による理論計算値を求め、角水槽での斜め波中の船体応答の実験値と比較した例もある。その場合の一致度は、減衰係数に線

形項のみならず非線形項を考慮すれば、より一層良くなる事が確かめられた⁵⁾。

同一船型で模型船の大きさを変えた場合に、値が幾分違った例がみられるが、これらは実験データの集積が数年にもわたったこと、その間に実験器材の改良も重なった点を考えると、それらの原因を推定することは難かしいけれども、実験技術上の問題が無かったとはいえないであろう。

試験の方法としては、自航による方法よりは曳航法が適しているし、自由横揺れ試験よりは、強制横揺れ試験の方が更に適している。

横揺れ減衰力を理論的に推定しようとする方法として成分組立法が研究されているが、その適用範囲によっては、なお問題点も残されている。従って更に多くの船型について、横揺れ減衰力のデータを集積し、理論計算に役立てると同時に推定法の改良にも、ひいては実船の設計や運航にも、直接利用出来るようにすることが必要であろう。

謝 辞

本研究のうち、高速コンテナ船に関する研究は、(社)日本造船研究協会第161研究部会との共同研究により実施された¹⁰⁾。種々の貴重な討論をいただいた同部会の中村彰一部会長はじめ委員の方々には謝意を表す次第である。

模型実験に際しては、当所運動性能部大松重雄技官、渡辺巖技官の協力を得たことを深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 高石敬史, 黒井昌明; 波浪中船体運動の実用計算法, 第2回耐航性に関するシンポジウム, 日本造船学会, (昭和52年12月)
- 2) 姫野洋司; 横揺れ減衰力, 第2回耐航性に関するシンポジウム, 日本造船学会, (昭和52年12月)
- 3) 高木幹雄, 田才福造; 横運動方程式の流体力について, 西部造船会会報, 第46号 (昭和48年)
- 4) 元良誠三; 船体運動力学, 共立出版 (昭和39年)
- 5) 高石敬史他; 高速コンテナ船の斜め波中に於ける動揺特性, 関西造船協会誌, 第144号 (昭和47年6月)
- 6) 田中紀男, 姫野洋司, 小倉雅人, 増山和雄; 航走中の横揺れ性能に関する実験, 関西造船協会誌第146号, (昭和47年12月)
- 7) 小川陽弘他; 外洋フェリーの運動性能に関する研究第1報, 船研報告第11巻6号 (昭和49年11月)
- 8) 高石敬史, 平野雅祥他; フィンスタビライザー及

- び舵の横揺れ軽減効果について，関西造船協会誌，第171号，（昭和53年12月）
- 9) 渡辺巖；数式船型に働く横揺れ減衰力の速度依存性について，日本造船学会論文集，第144号，（昭和53年12月）
- 10) 第161研究部会；船舶の波浪中性能推定の精度向上とその実証に関する研究，日本造船研究協会，昭和50年度報告書，研究資料，No. 257（1976）及び総合報告書，報告第90号，（1979）

Table 1-a Model particulars and test condition

Ship No.	①	②	③-a	③-b	④
Ship Model	Container	Container	Container	Container	Container
Experiment Tank	Oscillation Tank	do.	No. 2 Tank	do.	do.
L _{pp} (m)	1.750	3.000	4.500	4.500	5.000
B (m)	0.254	0.435	0.653	0.653	0.726
D (m)	0.154	0.264	0.396	0.396	0.440
dm (m)	0.095	0.163	0.219	0.244	0.271
t (m)	0	0	0.026	0	0
V (m ³)	0.242	0.122	0.361	0.410	0.562
C _B	0.572	0.572	0.562	0.572	0.572
C _M	0.969	0.969	0.966	0.969	0.969
C _W	0.712	0.712	0.686	0.712	0.712
GM (m)	0.010	0.017	0.026	0.026	0.033
OG (m)	-0.001	-0.001	-0.022	-0.002	0.002
l _{cb} (m)	-0.025	-0.043	-0.081	-0.081	-0.071
T ₀ (sec)	1.80	2.36	2.89	2.89	2.77
l _{BK} (m)	0.438	0.75	1.125	1.125	1.250
b _{BK} (cm)	0.45	0.77	1.16	1.16	1.29
Rolling Axis	G	G	G	G	Free
Appendages A _R (cm ²)	Rudder 27	Rudder 78	Rudder 176	Rudder 176	Rudder 217
Test Condition				0.013 GM =0.026 0.039	
Ship Form	SR 108 - Single Sc.	SR 108 - Single Sc.			
Test Condition	Full Load	Full Load	Normal Cn.	Full Load	Full Load
References	without Sc.	without Sc.	without Sc.	without Sc.	
Figure No.	6 7	8	9 10	11 12	13

Note: OG is downward positive, l_{cb} is forward positive.

No. 1 Tank; Manoeuvring and Seakeeping Tank (80 m × 80 m × 4.5 m)

Table 1-b Model particulars and test condition

Ship No.	⑤-a	⑤-b	⑥	⑦	⑧
Ship Model	Container	Container	Container	Cargo Liner	Super Liner
Experiment Tank	No.2 Tank	No.1 Tank	do.	No.2 Tank	do.
Lpp (m)	5.225	5.225	5.000	4.000	4.000
B (m)	0.653	0.653	0.625	0.535	0.600
D (m)	0.396	0.396	0.500		
dm (m)	0.219	0.219	0.208	0.240	0.253
t (m)	0.026	0.026	0	0	0
V (m ³)	0.419	0.419	0.365	0.328	0.353
CB	0.562	0.562	0.561	0.660	0.595
CM	0.966	0.966	0.980	0.951	0.947
CW	0.686	0.686	0.772	0.783	0.709
GM (m)	0.025	0.025	0.031	0.024	0.035
OG (m)	-0.023	-0.023	-0.018	0.044	0.082
lcb (m)	-0.094	-0.094	-0.125	-0.021	-0.064
T ϕ (sec)	2.87	2.87	2.72	2.55	2.28
lBK (m)	1.306	1.306	1.50	1.192	0.869
bBK (cm)	1.16	1.16	0.91	1.24	2.29
Rolling Axis	G	Free	Free	G	G
Appendages AR (cm ²)	Rudder 249	Rudder 249	Rudder 237	Rudder	Rudder
Test Condition					
Ship Form	Deformed	do.	SR 108 - Twin Scrw. Single Rud. Full Load	without Sc.	without Scrw.
Test Condition	SR 108 - Single Sc.				
References	Normal Cn. without Sc. 5)				
Figure No.	14	15	16	17	18

Note: OG is downward positive, lcb is forward positive.
No. 2 Tank; Large Towing Tank (400 m x 18 m x 8 m)

Table 1-c Model particulars and test condition

Ship No.	⑨	⑩	⑪	⑫ -a	⑫ -b
Ship Model	Super Liner	Car Ferry	Roll-on Roll-off	Nuclear Ship	Nuclear Ship
Experiment Tank	Oscillation Tank	No.2 Tank	No.1 Tank	No.2 Tank	do.
L_{pp} (m)	2.000	5.000	5.000	4.000	4.000
B (m)	0.300	0.803	0.734	0.655	0.655
D (m)				0.466	0.466
d_m (m)	0.177	0.211	0.160	0.238	0.223
t (m)	0	0	0	0	0.037
V (m ³)	0.0441		0.409	0.413	0.385
C_B	0.595	0.531	0.696	0.663	0.659
C_M	0.947		0.982	0.988	
C_W	0.709		0.863		
GM (m)	0.018	0.052	0.057	0.031	0.057
OG (m)	0.041	-0.152	-0.178	-0.023	-0.012
l_{cb} (m)	-0.032	-0.192	-0.202	-0.079	-0.124
T_{ϕ} (sec)	1.61	2.61	2.60	2.79	2.01
l_{BK} (m)	0.435	with BK	1.50	with BK	do.
b_{BK} (cm)	1.15		1.20		
Rolling Axis	G	G	Free	G	G
Appendages A_R (cm ²)	Rudder	Rudder 2 x 182	Rudder 2 x 100	Rudder 209	Rudder 209
Test Condition		without Fin Stab.	with and without Fin Stab.		
Ship Form Test Condition	without Scrws.	without Scrws.	with Twin Scrws.	Full Load without Scrws.	Test Condn. without Scrws.
References		7)	8)		
Figure No.	19	20 21	22	23 24	23 24

Note: OG is downward positive, l_{cb} is forward positive.
No. 3 Tank; Towing Tank (140 m × 7.5 m × 3.5 m)

Table 1-d Model particulars and test condition

Ship No.	⑬	⑭	⑮		
Ship Model	Mathemati- cal Model	Fishing Boat	Container		
Experiment Tank	No. 3 Tank	Oscillation Tank	Kyushu Univ. and SRI		
Lpp (m)	3.000	1.771	3.000		
B (m)	0.420	0.514	0.435		
D (m)	0.300	0.200	0.264		
dm (m)	0.160	0.154	0.163		
t (m)	0	0.086	0		
V (m ³)	0.120	0.114	0.122		
CB	0.593	0.813	0.572		
CM	0.889		0.769		
CW	0.667		0.712		
GM (m)		0.084	0.017		
OG (m)	0	-0.028	-0.001		
lcb (m)	0	-0.136	-0.043		
T ϕ (sec)	1.91	1.60	2.36		
l _{BK} (m)	0	without BK	0.75		
b _{BK} (cm)			0.77		
Rolling Axis	0	G	G		
Appendages A _R (cm ²)		Rudder with Skeg	Rudder 78		
Test Condition		without and with Bulge			
Ship Form Test Condition			SR 108 - Single Sc. Full Load without Sc.		
References	9)				
Figure No.	25 26	27	28 29		

Note: OG is downward positive, lcb is forward positive.
Oscillation Tank (50 m × 8 m × 4.5 m)

船舶技術研究所報告（和文）第16巻第5号の正誤表

頁	行	誤	正
16	左段下から 10行め	力に対する倍率 $\mu_m = 1/K_e$ との関係は	削除