

斜航する船体に働く水圧力について (続, 制限水路影響)

辻 豊次* 森 信篤* 山内保文**

On the Force Acting on a Ship in Oblique Flow (Restricted Water Effects)

By

Toyaji Tsuji, Nobuatsu Mori and Yasufumi Yamanouchi

The huge-sized ship is usually operated under the support of tug boats in the harbor area. In order to conduct this operation with safety and certainty, the forces induced by the wind pressure as well as the fluid pressure should be evaluated, and the force necessary to be served by the work boats to overcome these forces should be estimated quantitatively.

In the previous work, one of the authors studied about the character of the fluid forces acting on the hull of a huge-sized ship moving obliquely in deep water. This work is an extension of the previous ones, and the effects of restricted water, especially shallow water effects and the buffer effects of the pier wall upon these forces were investigated. The followings were made clear:

1. While the ratio of water depth to ship draft is larger than 3.0, namely $h/d > 3.0$, the shallow water effect coefficient k is not so large, and is less than 1.1, if any, however when h/d becomes smaller than 2.0, k increases remarkably and k reaches even to 5.0 when $h/d = 1.1$. k keeps almost the same level when the angle of incidence of fluid φ ranges from 60° to 120° .
2. The existence of the Reynolds Number effect on the side force of this kind of ship form was ascertained, and the side force coefficient C_Y for actual ship, shifting athwartships in deep water, was found to be possibly less than $2/3$ of the measured value, $C_Y = 0.97$ for $\varphi = 90^\circ$, obtained in this model test at $Re = 5 \times 10^4$.
3. The centre of the pressure tends to shift towards the stem, when the depth of water becomes shallower, although the amount of shift is rather small.
4. The buffer effect of the pier was measured to be somehow sizable in model tests, where the approach speed was several times of that of the corresponding speed of the ship. However, for the actual huge-sized ship, this effect is assumed to be very small because of the rather higher permeability of the pier (not 0% as was in the model test), and lower shifting speed.

目 次

1. まえがき.....16	4. 試験の種数と方法.....17
2. 試験水槽と測定用計器.....16	4-1 試験の種類.....17
2-1 試験水槽.....16	4-2 試験方法.....17
2-2 水圧力測定用動力計.....16	4-2-1 試験速度.....18
3. 供試模型船.....17	4-2-2 水圧力の測定.....19

* 運動性能部 ** 運動性能部長 (現, 次長)

4-2-3 水圧力の棧橋構造による影響……………	19
5. 試験結果の表示法……………	20
6. 試験結果と考察……………	21

6-1 船体に働く水圧力……………	21
6-2 棧橋が水圧力におよぼす影響……………	24
7. むすび……………	27

1. ま え が き

最近船舶、特に油送船の大型化がより進むと共に、従来程度の大きさの船舶では、特に航行上の障害とならなかった、港湾、狭水道等においても、船の運動の点では制限水路として、考えなければならない場合が多くなってきた。特に安全性に大きな関連のある、港内操船を含めた操縦性能および離接岸時の操船等については、その影響を無視するわけにはいかない。

その中、大型船そのものの操縦性能については、最近かなり研究が進められ、資料の集積に多くの努力が払われているにもかかわらず、引船等による操船時の問題点については、安全性の確保、経済性の向上、という観点に立てば、前者と同程度の重要性を持つにもかかわらず、調査、研究の行なわれた例は極めて少ない。

我々はさきに、巨大船の一船型を用い、極めて深い水深で、斜航中の船体に働く水圧力を求め、その結果を発表した¹⁾。

今回、我々はさらにこれを発展させ、上記水圧力が水深や水路の制限によって、どう変化するか、すなわち、斜航中の船体に働らく流体力の、制限水路、特に浅水影響について、調査研究を行なった。この報告はその結果をとりまとめたものである。

巨大船が港に出入するとき、ごく特殊な場合を除き、離接岸時はもとより、自力で港内を航行する際にも、舵船としての作業船の援助のもとに行なわれるのが通例となっている。

しかるに、その作業量、いいかえれば、これをカバーする作業船の隻数、総馬力は、それぞれの港湾の特殊性を考慮した経験則によって定められている。すなわち経験則という形で、巨大船に働く外力として、風圧力、水圧力を勘案し、おおまかに決定しているのが現実の姿である。

ここでいう港湾の特殊性とは、水深、潮流、棧橋構造等の相違を指すもので、この報告の主眼も上記特殊性と、水圧力との関係、すなわち、水圧力に対する水深影響、岸壁影響をより数量的に明らかにし、経験則に代わるべき数量的な根拠となるものを求めることにある。

2. 試験水槽と測定用計器

2-1 試験水槽

試験は運動性能部所属の性能水槽で行なったが、同水槽はもともと水深が 4m と極めて深いため、水深を浅く (1.5m) し、浅水中での実験が行ないやすいよう、水槽全般にわたり、水平精度が $\pm 1\text{mm}$ の鉄筋コンクリート製の底を新らたに設けた。さらに水槽底、および側壁上適当な位置には、接岸作業時における棧橋の影響を調べるため、水流遮蔽板 (以下岸壁模型と呼ぶ) が取り付けられるような埋め込み栓を設けた。

2-2 水圧力測定用動力計

船体に働く水圧力の測定は、新らたに 3 分力測定用動力計を製作して行なった。

この動力計は、微小量まで精度よく測定できるように設計、製作されたもので、検定の結果動力計の感度は、横力が約 7g、抗力が約 10g である。以下にその構造の概要を説明する。

Fig. 1-1, 1-2 に示すように、各支点を一つの直線上に配置した、3 個の計測用スプリング⑤によって、 x, y 方向の運動を拘束し、被測定力に対応したスプリング⑤の変位を、差動トランス①によって検出する。なおスプリング⑤は、水圧力の大きさに応じて、強弱適当なものを選び、簡単に取りかえられる仕組みになっている。

さらに ④, ⑥, ⑦ には y 軸回りの「コロガリ」軸受け、⑧, ⑨ には x 軸回りの「コロガリ」軸受け、⑩ には「自在コロガリ」軸受けが、それぞれ組み込まれている。

模型船の上下動、縦揺れは、④, ⑥, ⑦ の「コロガリ」軸受けにより、拘束されることなく自由に行なうことができ、また横揺れも「コロガリ」軸受け ⑧, ⑨, ⑩ の働きで、自由を束縛されることはない。さらに「コロガリ」軸受け ④, ⑥, ⑦ は、模型船が上下動、縦揺れ、横揺れをした際、「バランス」用重錘によって、計測用スプリング⑤を常に水平に保持するためのものである。なお、「コロガリ」軸受け ④, ⑥, ⑦ によって自由に回転運動をする枠組みの必要部分には、まわり止めを組み込み、それぞれの自由度を独立に拘束して、計測が行なえる仕組みになっている。

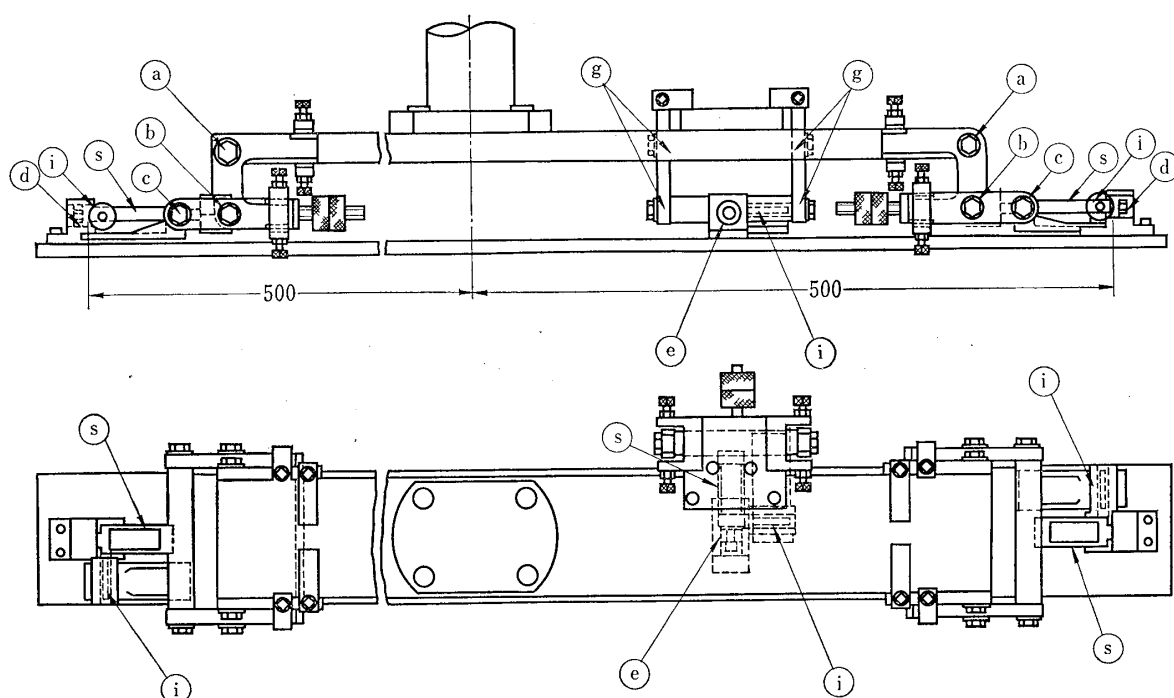


Fig. 1-1 Dynamo-Meter (Part of Measure)

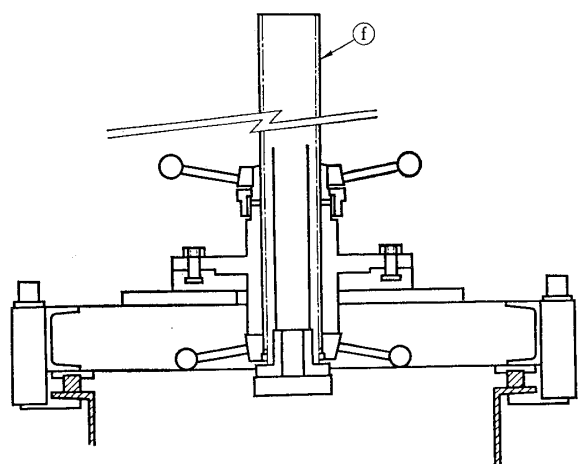


Fig. 1-2 Dynamo-Meter (Part of Support)

一方この計測部は、「ネジ」加工を施し、自由に上下し得る支柱①を通じ、回転機構を内蔵する固定台によって、曳引台車に固定される。

計測部を装着した模型船は、この固定台により進行方向に対し、任意の姿勢角をとれる仕組みになっている。

3. 供試模型船

試験には現在就航している、巨大船の一つの典型として、根岸丸（排水重量約12万トン）の3m木製模

型船を製作し使用した。その主要目を Table 1 に、正面線図および船首尾形状図を Fig. 2 に示す。

推進器は5翼一体型で、その主要目は Table 2 に示されるようなものである。

4. 試験の種類と方法

4-1 試験の種類

試験は水深を $h/d=1.1\sim7.0$ (h : 水深, d : 船の平均喫水) の範囲で、適当な間隔を選び、かつ、任意方向からの斜流による影響を調べるため、各々の水深で、船首方向 (0°) から、船尾方向 (180°) に至る、 $0^\circ\sim180^\circ$ の範囲にわたり、 $5^\circ\sim10^\circ$ 毎の細かい間隔の各角度で行なった。

また水流を完全に遮断する（透水率 0%）岸壁に向かって横移動中の船体に働く水圧力が、岸壁から受ける影響を水深と横移動速度をかえて調べた。これらをまとめて Table 3 に示す。

さらに、 $h/d=7.0$ の水深での真横移動時については、水圧力のレイノルズ数による影響を調べるため、船底にトリップワイヤーをつけた実験を行なった。

4-2 試験方法

全般を通じてできるだけ実態に近い状態で試験を行なうため、横揺れ、縦揺れ、上下動等の運動は拘束しないようにした。

Table 1 Principal Dimensions

	Full Load Condition		Ballasted Condition	
	Ship	Model	Ship	Model
Length bet. P.P. L_{pp} (m)	242.0	3.0		
Breadth Mld. B (m)	37.2	0.4612		
Depth Mld. D (m)	19.9	0.2467		
Draft Designed df (m)	14.86	0.1842	8.00	0.0992
da (m)	14.86	0.1842	9.00	0.1116
dm (m)	14.86	0.1842	8.50	0.1054
Trim	0	0	1.0	0.0124
Displacement	111,737 ton	213 kg	61,700 ton	117.66 kg
C_b	0.815	0.815	0.787	0.787
C_p	0.818	0.818	0.795	0.795
C_{Σ}	0.995	0.995	0.991	0.991
KG (m)	10.05	0.1246	9.68	0.120
ΣG (m)	-5.92	-0.0734	-6.17	-0.0765

Note, (-); the Bow side

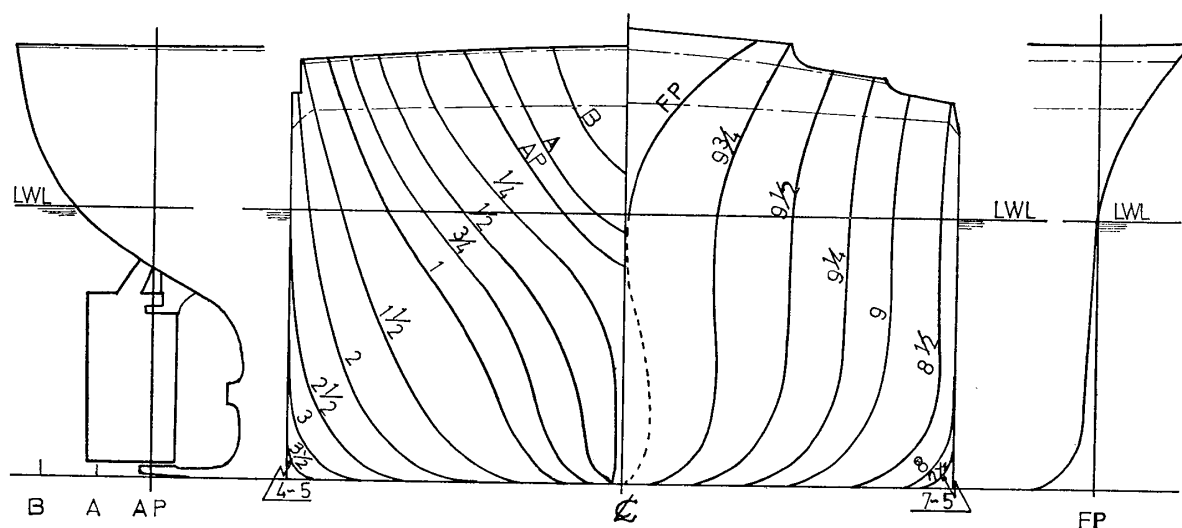


Fig. 2 Lines of the Model

4-2-1 試験速度

巨大船の接岸作業時に船体に働く水圧力を推算する基準には、横移動速度として、船の対地速度を 0.15 m/s とし、これに流速 0.10 m/s の逆潮を加えた、対水速度 0.25 m/s が採用されている²⁾。

根岸丸が 0.25 m/s の速度で横移動するときのフル

ード数は、船幅を長さの基準にとれば、 $F_n(V/\sqrt{gB}) = 0.013$ である。したがって、模型船の対応速度は 0.028 m/s という微小な値となり、これを水槽の曳引台車で正確に実現することは困難である。さらにこの速度における横力は、たかだか 50 g 程度で、これを高精度で計測することは極めてむづかしい。

このような制約から、やむを得ず、試験速度としては精度上許容し得る最低値として、0.10 m/s 前後で選ぶことにした。

しかるに、0.10 m/s の試験速度に対するレイノルズ数は、船幅を長さの基準にとれば、 $Re(VB/\nu) \approx 3.5 \times 10^4$ となり、根岸丸の横移動時におけるレイノルズ数 $Re \approx 6.8 \times 10^6$ にくらべ、はるかに小さい。そこで $h/d = 7.0, 1.5$ の2通りの水深で、レイノルズ数が横力

係数に与える影響を調べるため、速度が、0.08~0.30 m/s ($Re = 3 \sim 10 \times 10^4$) の範囲にわたって、横力測定試験を行ない、Fig. 3 に示す結果を得た。

Fig. 3 から、レイノルズ数が $5 \sim 10 \times 10^4$ の範囲では、レイノルズ数の変化に対し、水深が $h/d = 7.0$ と深い場合はもちろん、 $h/d = 1.5$ と極わめて浅い場合においても、横力係数はほぼ一定となっていることがわかる。

このことから、本試験では、全般を通じて、 $V = 0.14$ m/s ($Re \approx 5 \times 10^4$) の速度で試験を行なった。

4-2-2 水圧力の測定

船の動揺の中心は厳密には船体重心と一致するとはいえないが、船体重心に代表させても大差ないと考えられる。3分力動力計は、前項で説明した動力計の支柱④の中心が船体重心に、3分力測定素子の各支点が船体重心を通る前後軸 (x 軸) に合致するよう模型船に取りつけてある。

また、すべての実験を通じ、舵は舵角0度に、プロペラはプロペラと船体との相対位置を、5翼プロペラの1翼が、常に垂直下方を向くように固定して行なった。かくして、台車により曳航される模型船の船体に働く水圧力を、横力、抗力、重心まわりのモーメント

Table 2 Dimensions of the Propeller

Diameter (m/m)	88.02
Pitch Ratio	0.725
Pitch (m/m)	63.84
Expanded Area Ratio	0.557
Boss Ratio	0.1761
Blade Thickness Ratio	0.0634
Angle of Rake	80
Number of Blades	5
Direction of Turning	Right-handed

Table 3 Kind of Experiment

Permeability	100%	0%	100%
Condition of Model	Full Load Condi	Full Load Condi	Ballasted Condi
Depth of wata (h/d)	1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 2, 3, 5, 7,	1.5, 2.5, 5,	7,
Range of Attach Angle (φ)	$0^\circ \sim 180^\circ$	90°	$0^\circ \sim 180^\circ$

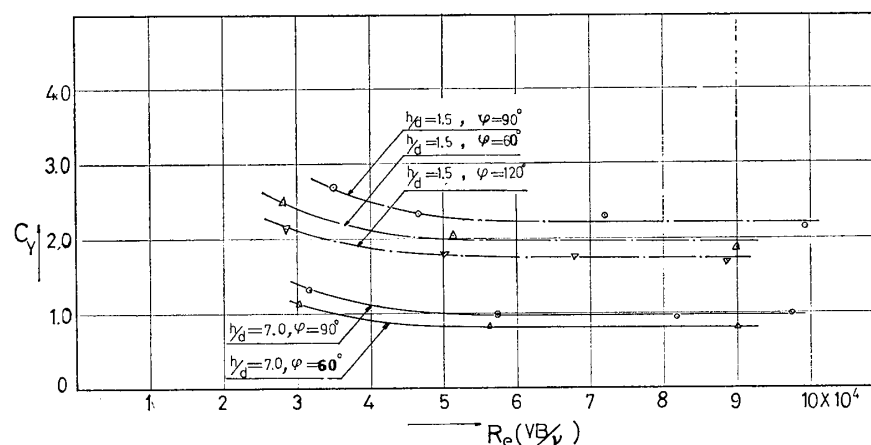


Fig. 3 Variation of Normal Force Coefficient (C_Y) due to Reynolds No.

(239)

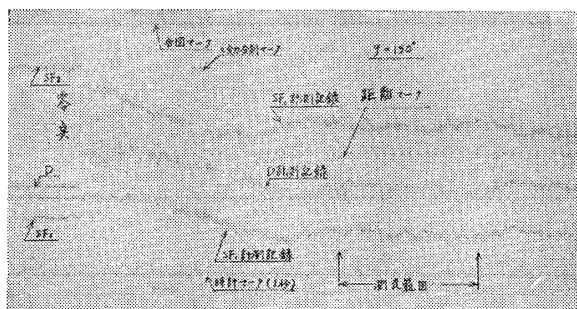


Fig. 4 An Example of Record

の3分力として検出し、他の測定要素と共にオッシログラフで同時記録した。記録の一例を Fig. 4 に示す。

なお、試験が3～4日にわたる場合には、区切りごとに試走を行ない、再現性を確かめた結果、極めて良好であった。

4-2-3 水圧力の棧橋構造による影響

岸壁に向つて船が横移動をするとき、刻々に変化する水圧力を、前項と同じ方法で計測した。すなわち、水槽内に固定された岸壁模型の受圧面（模型船進行側）を基点とし、一定の間隔で走行レール上に接点を設け、模型船の進行側の船体側壁と岸壁との距離を、前項記録紙上に同時記録させて、距離マークに対応した所での各分力の値を読みとった。なお、岸壁と船側の最短測定距離は 62 mm である。

5. 試験結果の表示法

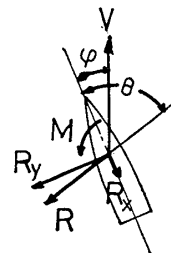
計測した試験結果は次式により無次元化した、水圧合力係数 C_R 、横力係数 C_Y およびモーメント係数 C_M

と、水圧合力角 θ を、それぞれ姿勢角 φ の関数として表示した。

$$C_R = \frac{R}{1/2 \rho V^2 L d}$$

$$C_Y = \frac{R_y}{1/2 \rho V^2 L d}$$

$$C_M = \frac{M}{1/2 \rho V^2 L^2 d}$$



さらに、水圧中心位置の船首からの距離 a を、 L の百分率であらわし、 φ の関数として表示した。また、岸壁による影響は、

$$\mu = \frac{C_{Yq}}{C_{Y0}} \quad (C_{Yq} = C_{Y0} + \Delta C_Y)$$

で表わした岸壁影響係数 μ を、 S/B の関数として表示した。

ただし、

R ; 船体に作用する水圧合力 (kg)

R_y ; 同 上 の横力成分 (kg)

M ; 重心回りのモーメント（図面上において反時計回りを正とする） (kg—m)

ρ ; 水の密度 (kg·s²/m⁴)

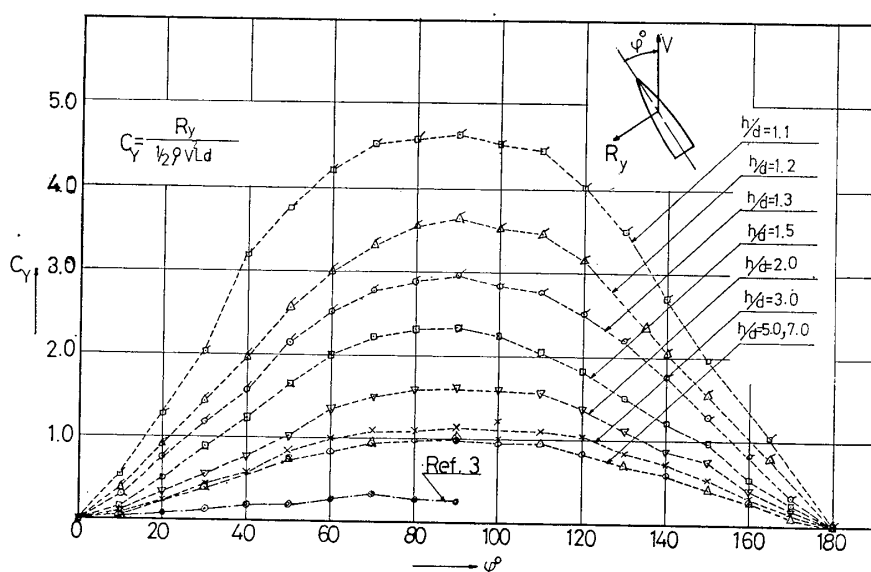
V ; 船の速度 (m/s)

L ; 船の垂線間長さ (m)

d ; 平均喫水 (m)

B ; 船の型幅 (m)

φ ; 船の前後軸 (x 軸) が進行方向となす角 (姿勢角) (deg)

Fig. 5 Relation between Attack Angle (φ) and Normal Force Coefficient (C_Y)

- a ; 船首から水圧中心までの距離 (m)
 C_{r0} ; 各水深における岸壁のないときの横力係数
 ΔC_r ; 岸壁による C_r の増加分
 S ; 岸壁受圧面と、船体中央部における側壁
 (模型船進行側) との距離 (m)

6. 試験結果と考察

6-1 船体に働く水圧力

巨大船の接岸作業時の横移動は、ごく微速で行なわれ、かつ潮流の流速が卓越する場合もあり得る。したがって、横移動速度を考える際には、潮流の影響を無視することはできない。

Fig. 5 は船体への水流の方向を姿勢角 φ であらわし、満載状態における横力係数 C_r を、各水深について計測した結果で、水深と喫水との比 h/d をパラメーターとして表示してある。なお参考のため、漁船の水線下模型による風洞試験結果³⁾ よりの換算値を載せた。

Fig. 6 は真横移動時 ($\varphi=90^\circ$) を選び、横力係数 C_r が、水深によって変化する様相を、横軸に水深 (h/d) を、縦軸に横力係数 C_r をとって表示したものである。

同図から、 $h/d=7.0$ 以上では、横力係数 C_r の値はほとんど変化しないことがわかる。したがって、これを深水での横力係数 C_r と見なすことができる。

よく知られた、円筒の実験結果によれば⁴⁾、臨界レイノルズ数 ($Re \approx 5 \times 10^5$) より大きいレイノルズ数における抵抗係数は、それより低いレイノルズ数における抵抗係数の、ほぼ 1/3 に減少している。

巨大船の船型に臨界レイノルズ数が存在するかどうか、存在するとして、どの位かは資料もなく不明である。

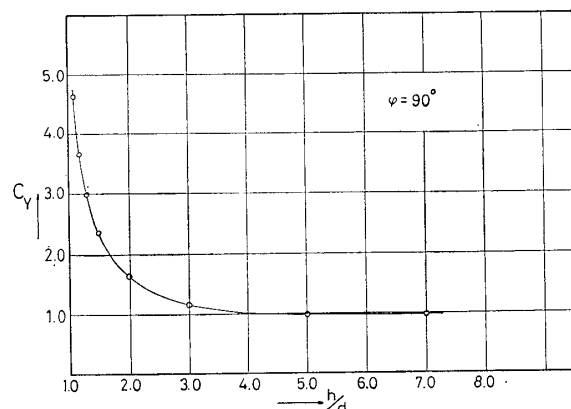


Fig. 6 Relation between Depth of Water (h/d) and Normal Force Coefficient (C_r) at $\varphi=90^\circ$

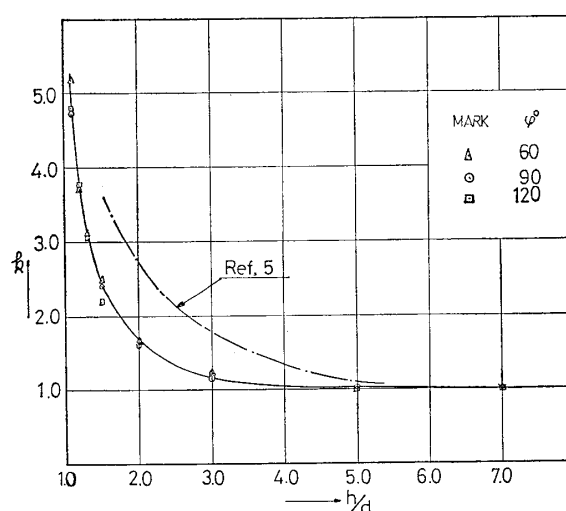


Fig. 7 Relation between Depth of Water (h/d) and Shallow Water Effect Coefficient (k)

る。しかし、円筒の実験結果から推して、Fig. 5 に示す横力係数 C_r の値を、そのまま実船に適用することは、水圧力を過大に見積るおそれがある。

しかし、深水における値との比 $C_{rn}/C_{r\infty}$ (ただし、 $C_{r\infty}$; 深水における横力係数、 C_{rn} ; 各水深における横力係数) をとれば、比の上では、レイノルズ数の影響は、それほど大きくないといてよい。

Fig. 7 に $k=C_{rn}/C_{r\infty}$ であらわした、浅水影響係数 k を、 h/d を横軸にとり、姿勢角 $\varphi=60^\circ$, 90° , 120° の 3 状態について表示した。

浅水影響係数 k は、姿勢角によって多少のばらつきはあるが、少なくとも、姿勢角 $60^\circ \sim 120^\circ$ の範囲では、ほぼ一本の曲線で代表させて大差ないようである。この図から、水深が喫水の 3 倍以上であれば、横力係数は、水深によって、それほど大きな影響を受けないことがわかる。しかし、喫水の 2 倍以下となると k は急激に増加し、 $h/d=3.0$ で、 $k=1.1$ 程度であったものが、 $h/d=1.5$ では、 $k \approx 2.5$ 、 $h/d=1.1$ で、 $k \approx 5.0$ となっている。なお、参考のため、文献 [5] の結果を一点鎖線で載せた。この曲線は、いろいろ異なる船型について、2~3 の水深で求めた計測結果の平均値であり、その点、われわれの得た値と若干異なる。

巨大船の横移動時のレイノルズ数は、 10^6 のオーダーであること、深水における横力係数 C_r の計測値が過大であることは、前にもふれた。

そこで、実船、模型船の相関を調べる試みとして、船底に乱流促進用トリップワイヤーをはりつけ、真横

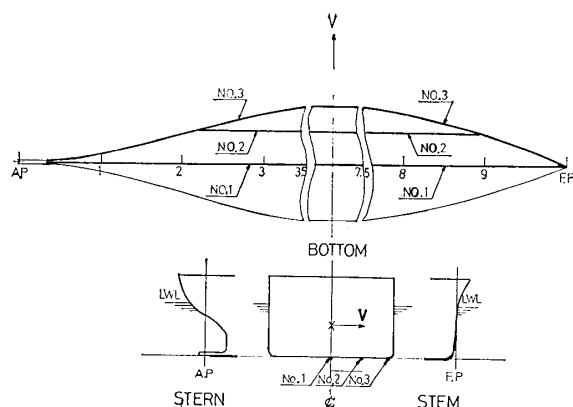


Fig. 8 Location of Trip Wire on the Hull

移動時 ($\varphi=90^\circ$) の横力成分を測定し、次のような結果を得た。

使用したトリップワイヤーは、直径 1 mm のピアノ線である。そのはり付け位置は、Fig. 8 に示すように、船体中心線上 (No. 1) と、模型船進行側の船体中央部における側面より計って $B/4$ の位置 (No. 2)、および、ビルヂサークルの始点上 (No. 3) の 3 ケ所の、太線で図示してある範囲である。

かくして、試験速度 $V=0.14$ m/s ($Re \approx 5 \times 10^4$) で、横力成分を計測した結果を Table 4 に示す。

トリップワイヤーのはり付け位置が、船幅の中央より、模型船の進行側に移るにしたがい、横力係数 C_Y

は徐々に増加して、トリップワイヤーをはり付けない値に近づく。これは、船幅が大きく、しかも船速がおそいため、一旦乱れを起こした流れが、再び層流になるためかとも思われるが、その原因を解明するまでにはいたらなかった。しかし、実船では横移動時の横力係数 C_Y の値が、今回得られた計測値のほぼ $2/3$ 、あるいはそれ以下になり得ることが確かめられた。さらに、トリップワイヤーの、はり付け位置の移動を広範囲におよぼし、流れの状態を確認する計画であったが、諸般の事情により、これについては、次の機会に譲った。

Fig. 9 は、水圧合力係数 C_R と、姿勢角 φ との関係を、Fig. 10 は、水圧合力角 θ と、姿勢角 φ との関係を表示したものである。なお、Fig. 10 には、参考のため文献 [3] からの換算値が載せてある。

計測結果によれば、横移動時水圧力の横力成分 R_y にくらべ、船首尾方向 (x 軸方向) の分力 R_x 、すなわち、抗力はわずか $2 \sim 5\%$ と非常に小さい。そのため、水圧合力係数 C_R は Fig. 5 で表示した、横力係数 C_Y とほとんど差がない。

一方、水圧合力角は、深水の場合、姿勢角 $\varphi=30^\circ$ で、 $\theta=70^\circ$ となって、水圧合力は、ほぼ真横に近い方向から船体に働くことになる。しかし、水深が $h/d=1.5$, 1.1 と浅くなるにしたがい、姿勢角 $\varphi=20^\circ$

Table 4

Location of Trip Wire on Hull	No. 1	No. 2	No. 3	Without Trip Wire
Normal Force Coefficient (C_Y)	0.65	0.83	0.92	0.97

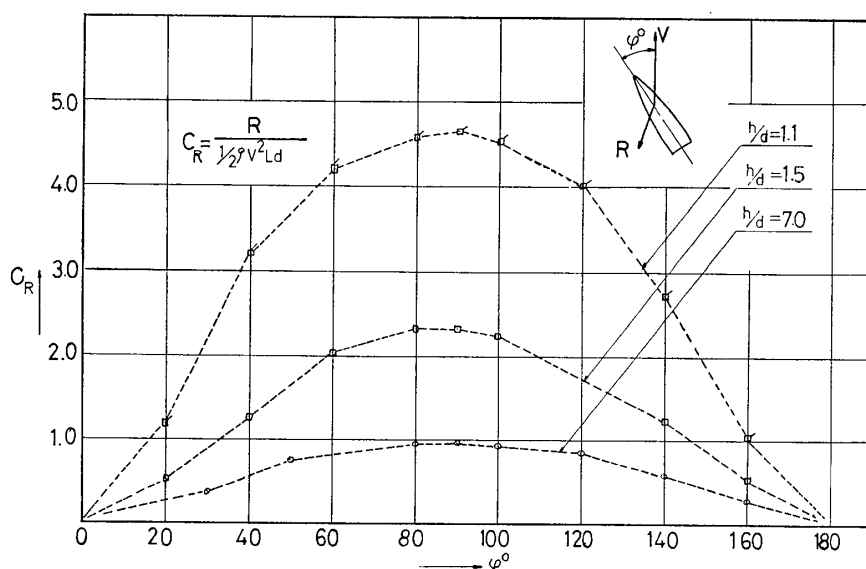


Fig. 9 Relation between Attack Angle (φ) and Resultant Force Coefficient (C_R)

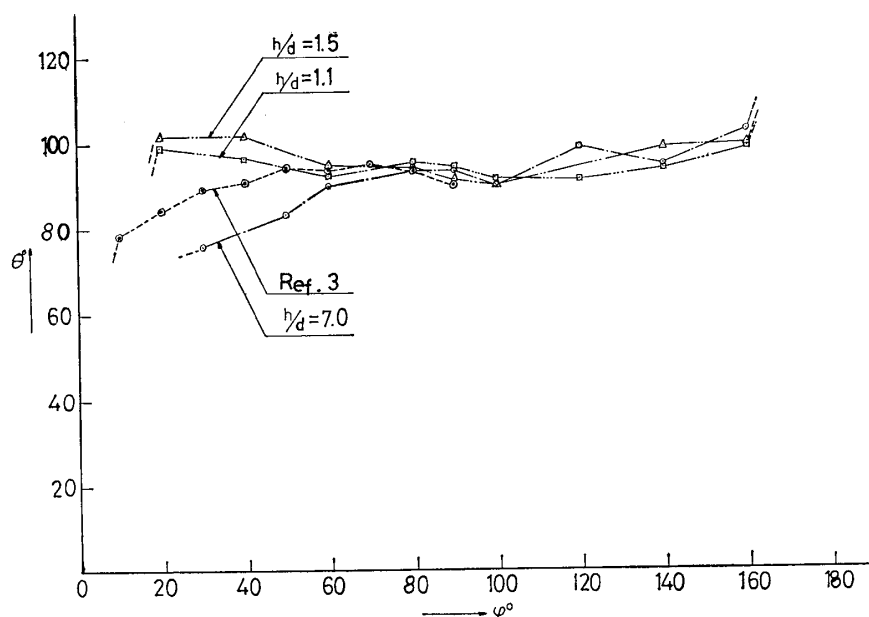


Fig. 10 Relation between Attack Angle (φ) and Resultant Force Angle (θ)

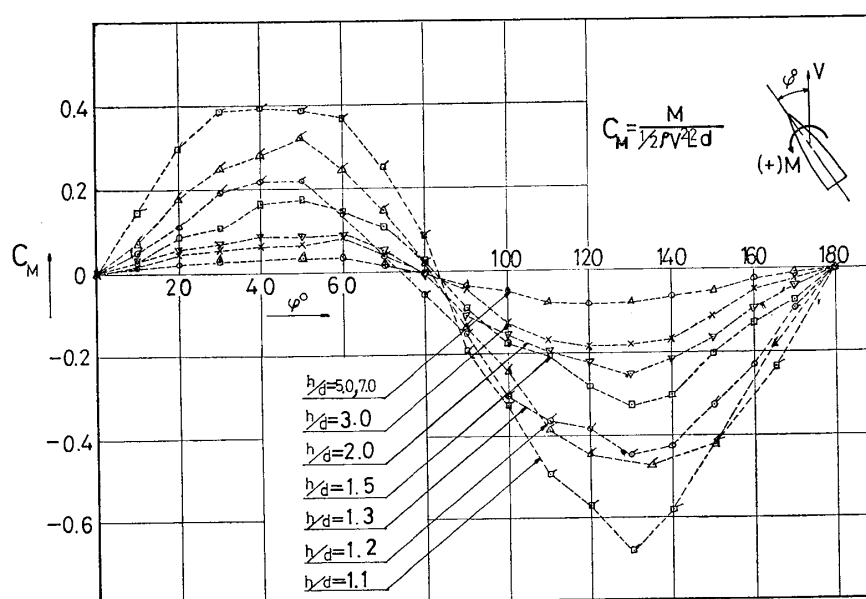


Fig. 11 Relation between Attack Angle (φ) and Moment Coefficient (C_M)

で、 θ は 100° 前後となり、その後姿勢角 φ が大きくなっても、ほぼ一定の値をとる。

このように、ごく浅水では姿勢角 $\varphi < 90^\circ$ の範囲で、その大きさはわずかであっても、抗力成分 R_x は、船尾から船首方向に向かって働いていることを示している。

巨大船の入港に伴う、接岸姿勢の整定、あるいは、接岸棧橋から出港進路への進入姿勢の整定には、港湾施設あるいは、航路幅等により、程度の差はあるが、主に引船の、押しまたは引き作業による、回頭運動を

伴う。

Fig. 11 は、巨大船が斜流によって受ける回頭モーメントの、水深による影響を調べた結果である。

巨大船が一樣水深の港内で、一定方向からの潮流を受けつつ、停止の状態から、回頭運動を始める際の回頭モーメントは、この試験結果より判断され、本船回頭に要する引船の総馬力が求まる。しかし、引船の本船に対する配置の決定には、水圧中心位置を考慮することも必要である。

Fig. 12 に、水圧中心位置 (a/L) と姿勢角 φ との

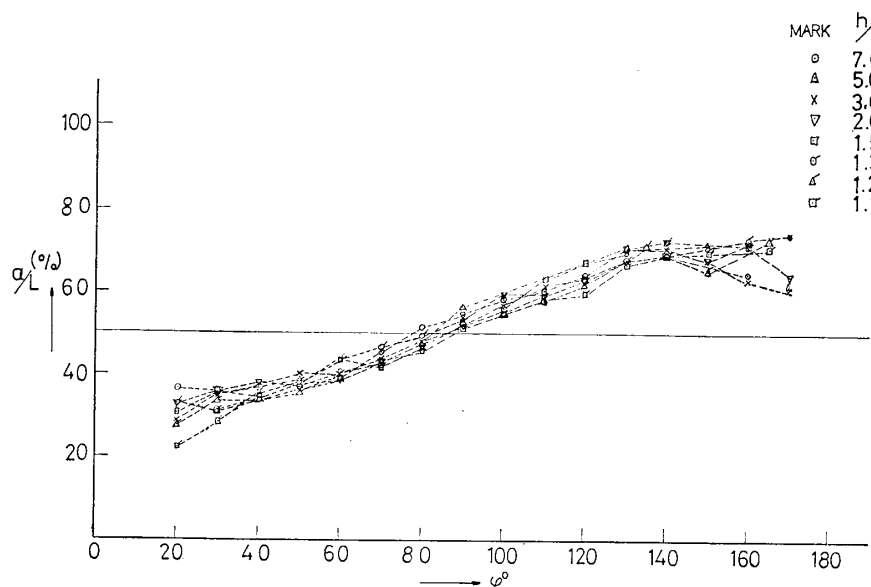


Fig. 12 Variation of Center of Fluid Force (a/L) due to Attack Angle (ϕ)

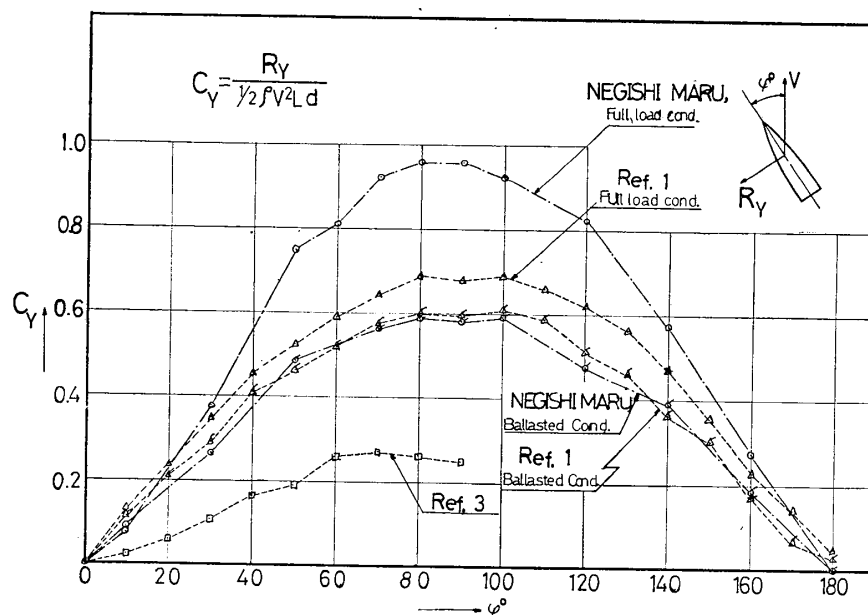


Fig. 13 Relation between Attack Angle (ϕ) and Normal Force Coefficient (C_Y) at Ballasted Condition

関係を、水深 (h/d) をパラメーターとして表示した。同図より、水圧中心位置は、水深が浅くなると幾分船首よりになる傾向があるが、水深がきわめて深い場合に比べ、その差はたかだか数%前後と小さく、ほぼ一本の曲線であらわして大差ないことがわかる。

さらに、根岸丸の場合、水圧中心と重心とが一致する姿勢角は、約 80° となっている。

Fig. 13, 14 は、バラスト状態での横力成分と、水圧中心位置の計測結果である。なお、参考のため、東京丸¹⁾ の計測結果が、点線で載せてある。

Fig. 13 から、バラスト状態で真横移動時の横力係

数 C_Y は、0.59 であり、これを満載状態における横力係数 $C_Y=0.97$ と比較すると、ほぼ 60% 程度となっている。しかし、この比較は、バラスト状態での横力係数 C_Y を求めるに、同状態での水線下面積を使用しているため、実際の横力はさらに小さくなる。

一方水圧中心位置は、船尾トリムの影響で、全般に船尾よりに移り、その傾向は真横移動時よりも、それ以外の斜航時に強くあらわれている。

6-2 棧橋が水圧力に及ぼす影響

接岸のため横移動中の巨大船が、岸壁に接近するにしがたい、船体によって押しやられる流体がせきとめ

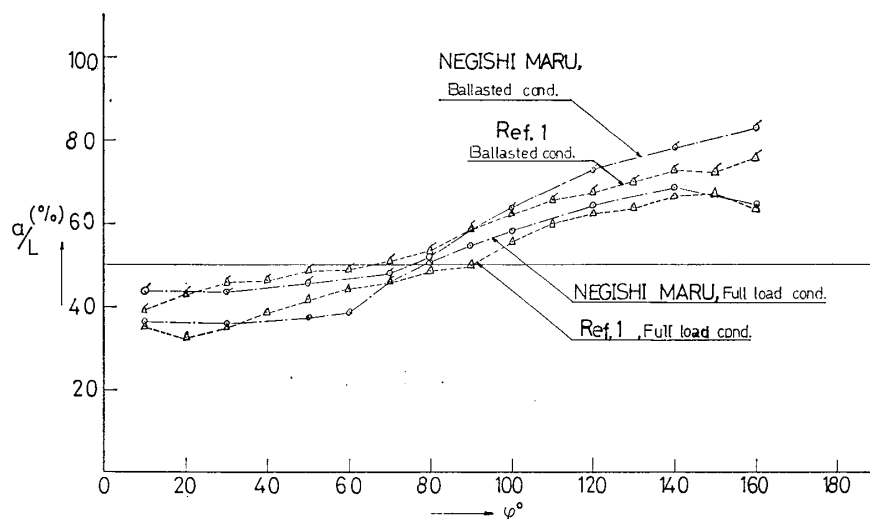
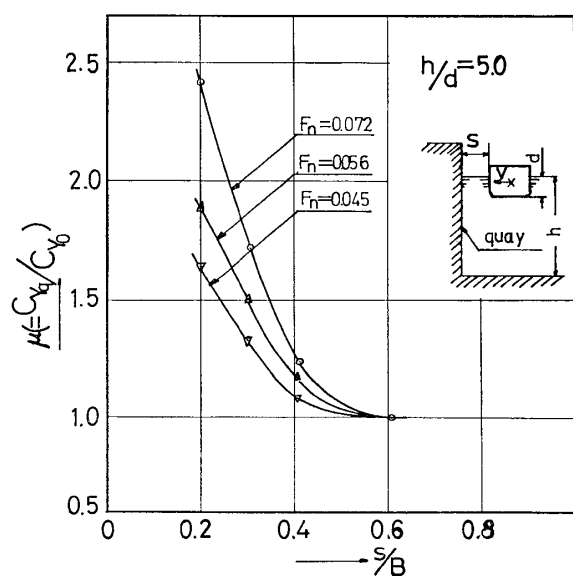
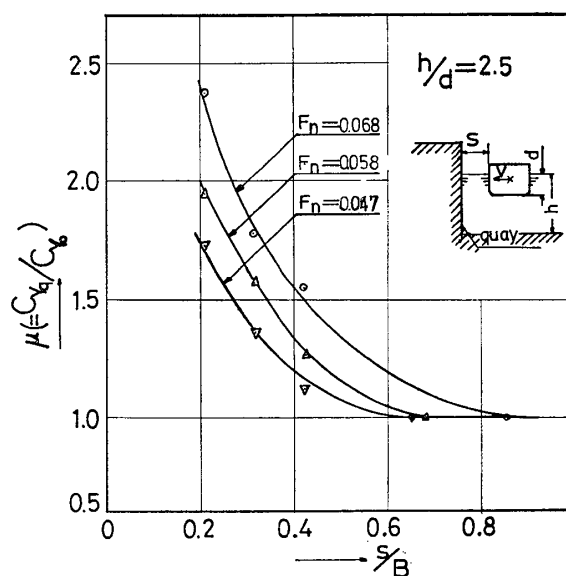


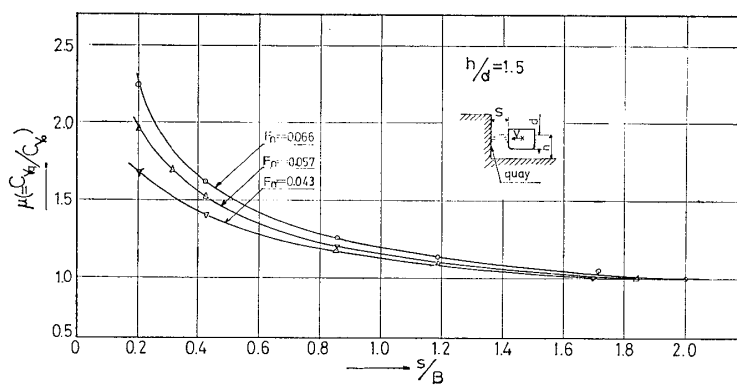
Fig. 14 Variation of Center of Fluid Force (a/L) due to Attack Angle (ϕ) at Ballasted Condition



15—1

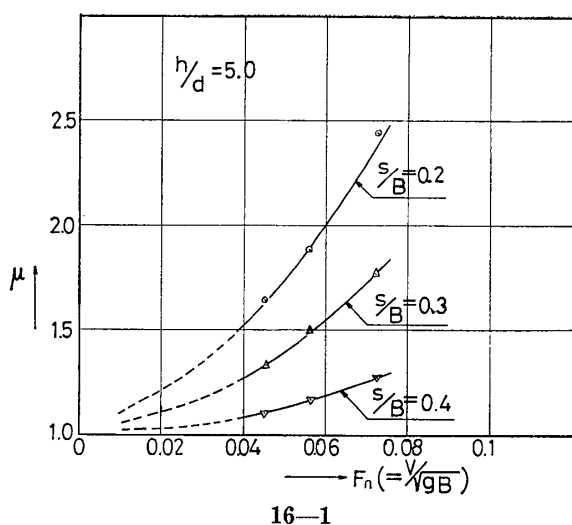


15—2

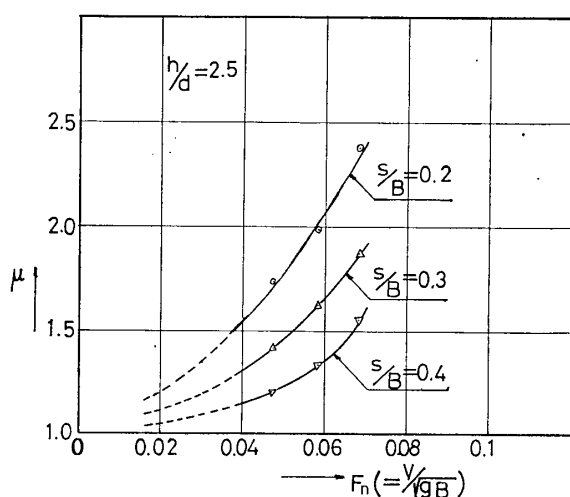


15—3

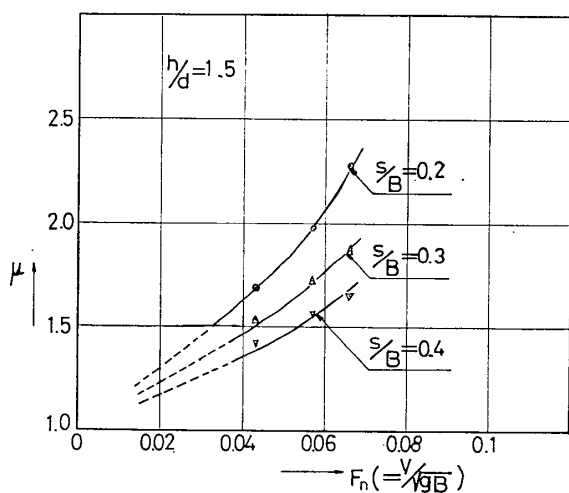
Fig. 15 Relation between s/B and Quay Effect Coefficient (μ)



16-1



16-2



16-3

Fig. 16 Variation of Quay Effect Coefficient (μ) due to Approach Speed

(246)

られる結果として、船体に働く水圧力が増大することは、概念的には良く知られている。さらにその影響は、横移動速度、水深等が同じ条件のもとでは、岸壁の構造、海底の起伏等、いいかえれば、水流をせきとめる程度（透水率）によって決まると考えられる。

われわれは 4-1 項で述べたように、まず透水率が 0% の岸壁による影響を調べ、前項の開水における試験結果と比較した。

Fig. 15, 1, 2, 3 は、5 項の表示法にしたがい、岸壁影響係数 μ と s/B との関係を、速度をパラメーターとして表示したものである。

船が横移動速度、 $F_n(V/\sqrt{gB})=0.07$ で岸壁に接近して行くと、 $s/B=0.2$ では、水深によって多少の差はあるが、岸壁影響係数 μ は、ほぼ 2.3 となり、透水率 0% の岸壁では、開水の場合の 2.3 倍の水圧力が船体に働くことになる。しかし、横移動速度が $F_n=0.045$ となると、水深にもよるが、ほぼ 1.7 倍程度で、 $F_n=0.07$ での 2.3 倍にくらべて 26% の減少となり、速度によってかなりの相異がある。そこで、横移動速度と、岸壁影響係数 μ との関係を、あきらかにするために、横軸にフルード数 $F_n(V/\sqrt{gB})$ を、縦軸に岸壁影響係数 μ をとって表示したのが、Fig. 16, 1, 2, 3 である。

実際の横移動はこの試験速度より、はるかに低い速度で行なわれる。そこで、実験点を結ぶ曲線を図上で外挿し、点線のように延長して、フルード数 $F_n=0.013$ (根岸丸の横移動速度 0.25 m/s に対応する数値)、 $s/B=0.2$ における μ を読みとれば、開水の場合にくらべて水圧力の増加は、 $h/d=5.0$ で 10 数 %、

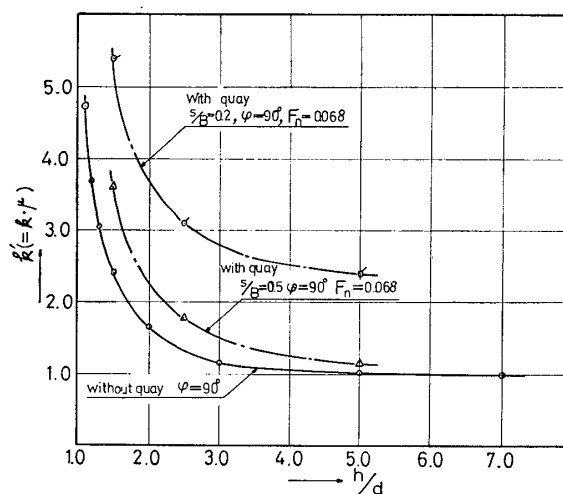


Fig. 17 Relation between Depth of Water (h/d) and k'

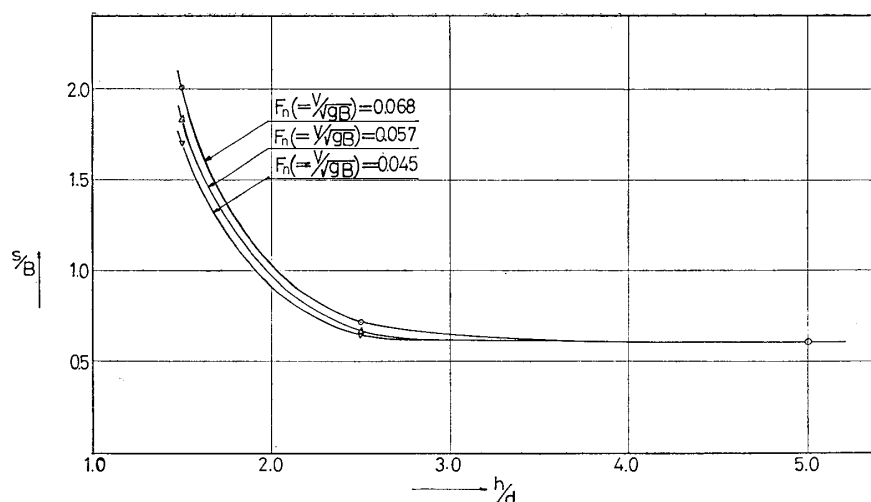


Fig. 18 Relation between Depth of Water (h/d) and s/B for $\mu > 1$

$h/d=1.5$ で 20% 程度である。しかし、 $s/B=0.2$ 付近における横移動は、これよりさらに低速で行なわれることから、実際にはこの値よりさらに小さくなると考えられる。

船が浅水中で岸壁に向かって横移動を始めると、船体に働く水圧力は、浅水影響とともに岸壁によっても影響を受けることになる。

Fig. 17 は、浅水影響係数に岸壁影響係数を乗じた常数 $k' = \mu \cdot k (= C_{Yq}/C_{Y\infty})$ の、水深 (h/d) による変化を示したものである。

透水率 0% の岸壁では、 $s/B=0.2$ まで船体が接近すると、 k' は増大して、浅水影響係数 k の 2 倍強となる。しかし、巨大船が接岸する棧橋は、シーバース、ドルフィンのいずれにしても、水面下の面積は、船体のそれに比べ、はるかに小さく、棧橋背後の海底の起伏を考慮しても、透水率はかなり大きいと見られる。そのため、 k' はむしろ浅水影響係数 k に近くなる。

Fig. 15, 1, 2, 3 によれば、岸壁影響係数 μ が 1.0 より大きくなる距離 s は、水深によって異なっている。この関係を示したのが、Fig. 18 で、横軸に水深 (h/d) を、縦軸に s/B をとり、速度をパラメーターとして表示してある。

同図から、たとえば、 $h/d=1.5$ の一様水深中を、透水率 0% の岸壁に向かって、フルード数 $F_n=0.045$ の速度で横移動中の巨大船は、岸壁との距離 s が、船幅の 1.7 倍位になれば、岸壁影響係数 μ が 1.0 を越えることがわかる。しかし、前述のように、実際の接岸作業時における横移動は、これよりはるかに低い速度で行なわれることから、この距離も相当短縮されるで

あろう。

7. む す び

巨大船の出入港時、引船の作業量を決定するために、巨大船の船体に働く外力を、的確に把握する必要があることは、前にも述べた。

本研究は、極わめて低速で航走中の巨大船の船体に働く水圧力の、制限水路影響、特に浅水影響を、船首方向から船尾方向にわたる、広範囲の斜流に対して、模型実験によって求めたものである。さらに巨大船が、棧橋に接岸する際の、水圧力におよぼす岸壁影響も調査した。その結果、次の諸点が明らかになった。

1. 横移動中の巨大船の、船体に働く水圧力におよぼす浅水影響は、水深 (h) が喫水 (d) の 3 倍以上あれば、浅水影響係数 $k=1.1$ 以下であるから、さほど大きくはない。しかし 2 倍以下になると、急激に増加し、 $h/d=1.1$ では、 $k \approx 5.0$ 、すなわち、横力係数 C_Y は、深水の場合にくらべ、ほぼ 5 倍にもなる。さらに、浅水影響係数 k は、少なくとも姿勢角 $\varphi=60^\circ \sim 120^\circ$ と極わめて広い範囲にわたり、ほぼ同じ値をとる。
2. 深水中で、真横移動時の横力係数 C_Y について、模型船、実船の相関を調べた結果、実船での横力係数 C_Y の値は、本研究での計測値 ($C_Y=0.97$ 、ただし $\varphi=90^\circ$) のほぼ 2/3、あるいは、それ以上になり得る。
3. 水圧中心位置は、水深が浅くなると、幾分船首よりにくる傾向があるが、深水の場合にしらべ、その差は、たかだか数%と小さい。
4. 透水率 0% の岸壁に、巨大船が接近すると、Fig.

17 に図示するように、岸壁の極く近くでは、船体に働く水圧力は、浅水影響と同程度の岸壁影響をさらに受ける。

しかし、実際に巨大船が接岸する棧橋の透水率は比較的大きく、むしろ、開水に近い状態の場合が多いことと、巨大船の横移動が、実験速度よりはるかに低い速度で行なわれることから、実際の岸壁影響は、非常に小さいと考えられる。

なお、2. のいわゆる、レイノルズ数の影響等については、今後に残された問題として、さらに研究を重ね、検討を加える必要がある。

終りに、実験に協力をいただいた、東京商船大学、久々宮助教授に感謝の意を表します。

なお、この研究は、日本作業船協会との、協同研

究によるものであることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 辻 豊治, 菅 信, 岩井 聡, 久々宮久, “巨大船の風圧力および斜航時の水圧力について” 船舶技術研究所, 研究発表会概要, 1967, 11.
- 2) 日本港湾コンサルタント協会, “大型オイルタンカーと引き船”, コンサルタント協会年報, Vol. 2, 別刷, 1966, 4.
- 3) 木下昌雄, 花岡達郎, 中島康吉, “鯉, 鮪漁船の操縦性におよぼす風圧影響について” 造船協会論文集, Vol. 86
- 4) Hoerner; Fluid-Dynamic Drag, 1965
- 5) Stuntz, G.R, Taylor, R.T, “Some Aspect of Bow-Thruster Design” Trans, S.N.A.M.E, Vol. 74, 1964