

セミサブリグに働く風, 潮流による転倒モーメントの推定法に関する研究 (その1)
—デッキおよびコラム付デッキに働く流体力—

足達宏之*, 高井隆三*

A Study on Estimation Methods for Overturning Moment on Semi-Submersibles due to Wind and Current Loads (Part 1)

— Forces Exerted on Deck and Columns —

By

Hiroyuki ADACHI and Ryuzo TAKAI

Abstract

The estimation methods for assessing the overturning moment acting on semi-submersible type rigs due to external forces such as wind, waves and current, have been sought in order to get an accurate estimation for the stability of semi-submersible in both the intact and the damaged condition. The accuracy of the estimation of overturning moment has become more rigorous than before since the disasters of A. Kielland and Ocean Ranger. Much efforts have been devoted to the exploitation of the techniques for the estimation for the forces and moments on semi-submersibles.

A research project, in which an attempt is made for establishing a method of estimation of the overturning moment due to wind and current loads on a floating body, has been performed as one part of the stability research project for semi-sub rigs. In this paper, some results from the project will be described. Especially the forces and moment acting on the decks and columns which are main constructive components of semi-submersible are studied and discussed. And about the possible estimation method for the forces on bluff components of structure the discussion will be focused.

1. まえがき

半潜水式浮遊型の沖合掘削装置およびこれに類似の装置(セミサブリグと呼ぶ)の海難事故により, 漂流または沈没, 転覆した例が, 近年幾つか生じており,^{1), 2)} 事故原因の究明のために広範な研究が各関係国の諸機関で企画され,^{3), 4), 5), 6)} 多くの実験および計算が現在進行中である。中でも復原性に関する研究は, 沈没または転覆現象を直接的に解明するものとして最も重要

視されている。

セミサブリグの復原性は, 洋上における風, 波あるいは潮の流れ等による, 様々な外力の作用下における浮体の釣合いに関する問題である。したがって, セミサブリグに働く諸外力の性質を知ることが, 復原性を推定する上で, 極めて重要な課題である。

セミサブリグに働く外力として, これまで風によるものが安全性規則⁷⁾の中で重要視されてきた。風以外にもセミサブリグの復原性に影響を及ぼす外力として, 波力, 潮の流れによるものおよび係留系の反力等は, 風と同時に重要となる場合もあると云われている。^{8), 9)}したがってセミサブリグに働く外力として, 風以外のもの

* 海洋開発工学部

原稿受付 昭和60年5月7日

のも考慮しなければならぬであろう。特にセミサブブリグの沈没・転覆現象を研究する際には、全ての外力について十分な知識と理解が必要とされる。

沈没・転覆に至る過程では、セミサブブリグは、事故の生起する以前の正常な姿勢と異なる、大変位・大傾斜の状態にある。このような状態におけるセミサブブリグに働く力の推定が、究極的な安全性の解明のために、必要である。大変位・大傾斜した場合でも、波による力は、その変化したセミサブの姿勢に対して線型理論を適用して、波による流体力を求めることで、一応の目的を達成することが可能であると云われている。¹⁰⁾ したがって、他の外力についても、波に対するのと同程度の精度でもって、推定できることが望まれている。

これまでもセミサブブリグに働く風荷重および潮流力の研究は数多くなされており、^{11), 12), 13), 14), 15), 16)} これらの力が復原性に及ぼす影響についても種々論ぜられている。また各船級協会の規則においても、復原性の観点からセミサブブリグの風洞等における試験により、風、潮流による力の推定を行うことを推奨しているところもあり、これらの外力によるセミサブブリグの転倒モーメントの推定は重要視されている。

しかしながら、セミサブブリグの大傾斜時の転倒モーメントに関して、実験的手法による方法以外で、これを推定する方法は殆ど提案されていないようである。実験的手法による結果も実機との尺度影響、また実機の事故時の完璧な詳細情報の把握およびその水槽等での模擬、等の問題もあり、十分な精度を要求することはできない。したがって許容される精度内で実験に依らない外力の推定が行えれば、模型実験の費用、時間を考えるとその利用価値は高いと思われる。

この報告で述べようとする研究は、セミサブブリグに対する風、潮流等による外力の推定を、正常状態のみならず沈没・転覆に至るまでのあらゆる姿勢に対して、行うことのできる方法を探るものである。風および潮流により生ずる力の推定は最終的には、セミサブブリグに働く転倒モーメントとして総合されなければならない。そしてそれは、セミサブブリグに働く諸種の外力による転倒モーメントの復原性に及ぼす影響の研究¹⁷⁾の一部として位置付けられる。

本研究ではセミサブブリグを構成する基本部材の一樣流中における流体力を扱う。基本部材としてローハル、コラム、ブレーシング、フラットプレートデッキ、デッキ上ハウスおよびデリッキを考える。(Fig. 1)実機では各基本部材に様々な付加物が載せられており、これらを忠実に模型に再現するには手間と費用を要し、

また主要部材の寸法に比べあまりに小さい付加物の流体力に及ぼす影響は少ないと考えられるので、これらは全て省くことにする。したがって基本的立場として、セミサブブリグを構成する基本要素について、風および潮流による流体力を調べておけば、これらに働く力の総合としてセミサブブリグの復原性に及ぼす影響を知ることができると思う。

本報告では主に、デッキ、コラムおよびこれらの組合せに働く力について述べる。そして、これまでセミサブブリグの風による転倒モーメントにおける揚力の役目について論議されていた問題に対して、考察を加える。

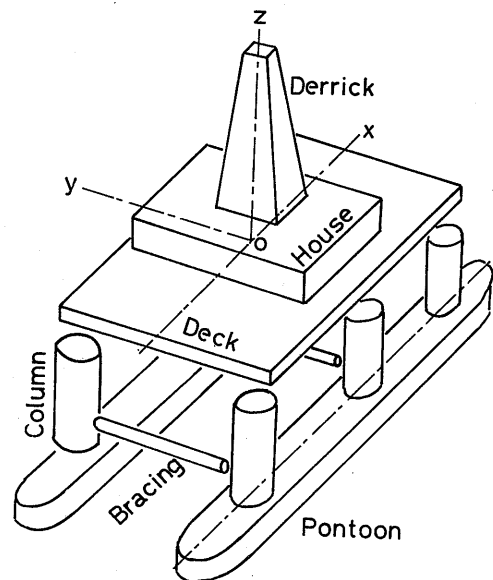


Fig.1 Schematic configuration of semisubmersible drilling rig unit.

2. 実験と解析のあらまし

2.1 実験の概要

実験では、セミサブブリグの基本構成要素のうち、その姿勢により流れから受ける力が最も影響を受けるとされるデッキについて、その形状の相違の影響、およびデッキにコラムの取り付けいた場合の調査を行うことを目的とした。

デッキの平面形状により流体力が変化することは、3次元翼理論でも知られているように、その揚力・抗力特性が翼の平面形状に依存することによる。したがって実験ではこれらの力を計測することにした。コラ

ムの付加された場合も同様な計測を行った。流体力の計測は3分力計(揚力, 抗力, モーメント)を用い, 供試模型を長水槽(L×B×D=140m×7m×7m)にて水中を一定速度で曳航することにより行った。

Fig. 2 に実験装置の概要を示しておく。

またデッキの表面圧力による圧力抗力の推定, およびデッキ表面の流れの様子を見るために, デッキ表面圧力分布の計測を Fig. 3 に示すシステムにより行った。

2.2 模型および計測

実験に使用したデッキ模型の要目を Table-1 に示す。デッキ形状は, これまでセミサブグリグに使用されたものから, 代表的な形状を選んだ。しかしデッキの形状は, その特徴的な形状による流体力を知るために,

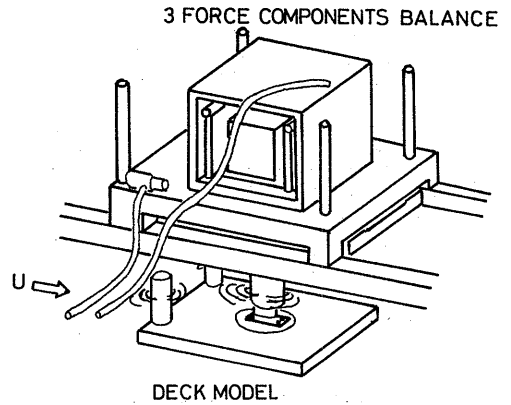


Fig. 2 Test arrangement for 3 force components measurement of a deck model.

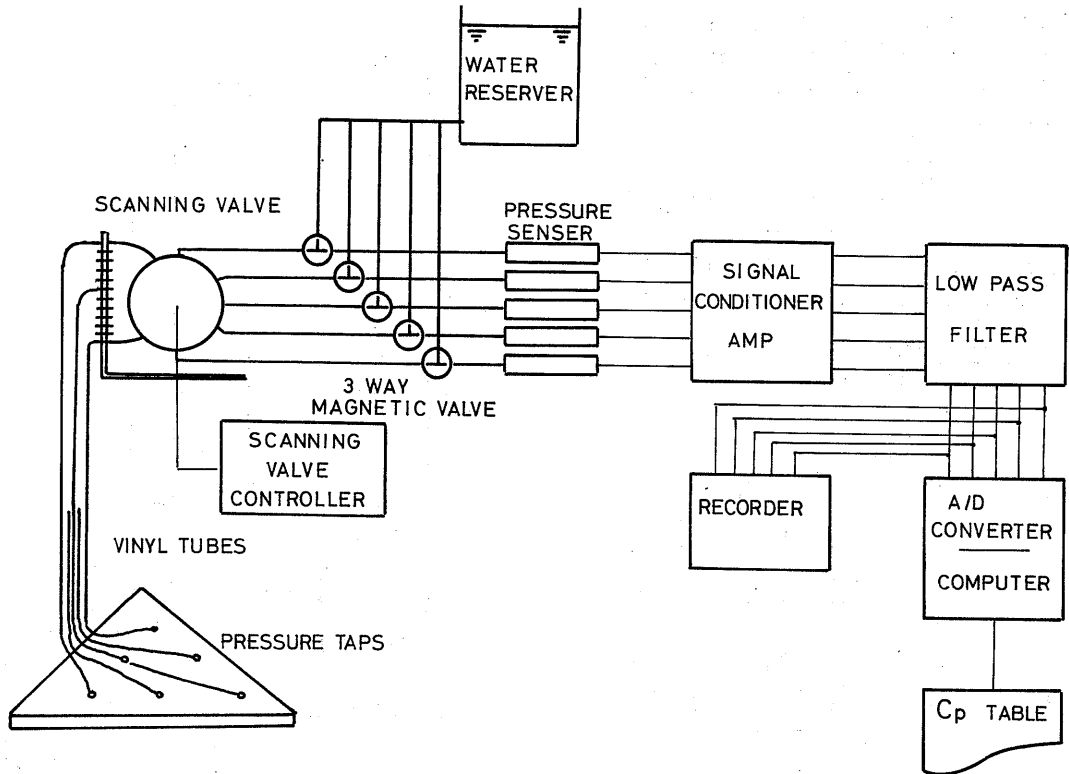
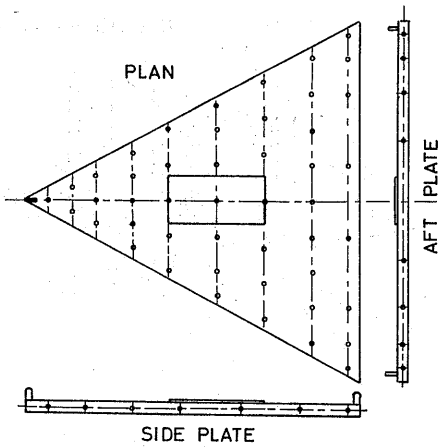


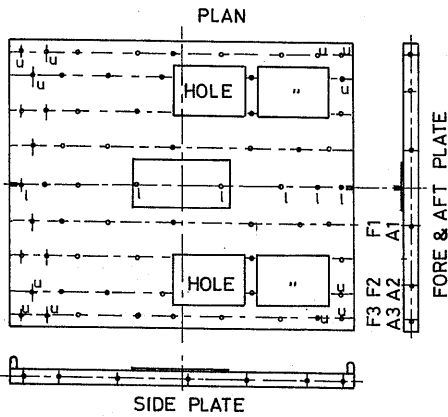
Fig. 3 Pressure measurement system.

実機に比べ非常に単純化してある。デッキ模型の中央部には3分力計への取り付け用ベットが設置されている。またこのベットはデッキ模型のヨー角を変化できる構造になっている。

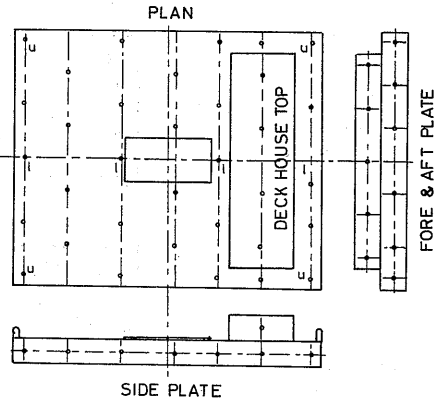
デッキ模型No 1, No 2 および No 3 を Fig. 4 に示す。各模型には表面圧力計測用の圧力タップが図に示す位置に設けられている。圧力タップからはビニール管で圧力を導き, スキャニングバルブを介して圧力センサー



(a) Deck Model No. 1



(b) Deck Model No. 2.



(c) Deck Model No. 3.

Fig. 4 Pressure tap distribution.

Table 1 Deck Model characteristic

	Deck No 1	Deck No 2	Deck No 3	Deck No 4
L (m)	1.400	1.430	1.430	1.430
B (m)	1.520	1.210	1.210	1.210
D (m)	0.045	0.060	0.120	0.090
Sw (㎡)	2.3397	3.6436	44294	3.9640
Sw* (㎡)		3.7876		
A (㎡)	0.04788	0.08798	0.24363	0.15573
A* (㎡)		0.10382		
l (m)		0.300**	0.300***	
b (m)		0.220**	1.000***	
d (m)			0.120***	

* without holes

** dimension of holes

*** dimension of deck house

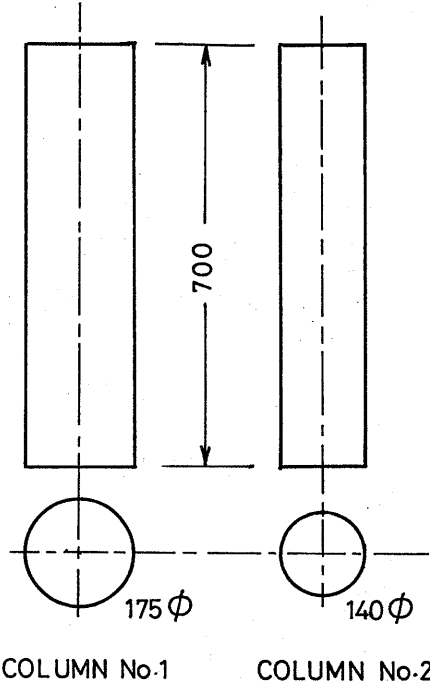


Fig. 5 Outlines of No. 1 and No. 2 Column.

に結ばれている。

デッキ模型 No. 4 はへん平矩形形状模型物体であり、この模型には 8 本の円柱コラムが取り付けられるようにしてある。コラムの数は 8 本以内で任意である。コラ

Table 2 Test parameters for 3-force component measurement

Test Configuration	yaw angle θ (deg)	Attack angle α (deg)	Velocity V (m/s)
Deck No.1	$\theta = 0^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.2 \sim 0.5$ step 0.05
Deck No.2	$\theta = 0^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.2 \sim 0.5$ step 0.05
Deck No.2 without holes	$\theta = 0^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.2 \sim 0.5$ step 0.05
Deck No.3	$\theta = 0^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.2 \sim 0.5$ step 0.05
Deck No.4	$\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.25 \sim 0.5$ step 0.05
Deck No.4 + 2 columns	$\theta = 0^\circ, 30^\circ$	$\alpha = -10^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.25 \sim 0.5$ step 0.05
Deck No.4 + 4 columns	$\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$	$\alpha = -10^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.25 \sim 0.5$ step 0.05
Deck No.4 + 6 columns	$\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.25 \sim 0.5$ step 0.05
Deck No.4 + 8 columns	$\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.25 \sim 0.5$ step 0.05

ムは直径が異なる2組のものが用意されている, その外観形状を Fig. 5 に示す。

3分力計による流体力の計測はヨー角 θ を固定し, 迎角 α を $-15^\circ \sim 15^\circ$ の間で 5° 間隔で変化させ, 同一迎角に対し曳航速度 V は $0.2\text{m/s} \sim 0.5\text{m/s}$ の間を 0.05m/s の間隔で変化させて行った。ヨー角は $\theta = 0^\circ$ を基準とし, 角度変化は $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ (前進方向), $210^\circ, 240^\circ, 270^\circ$ (後進方向)の場合を行っている。

デッキとコラムの組合せは Fig. 6 に示す4種類の

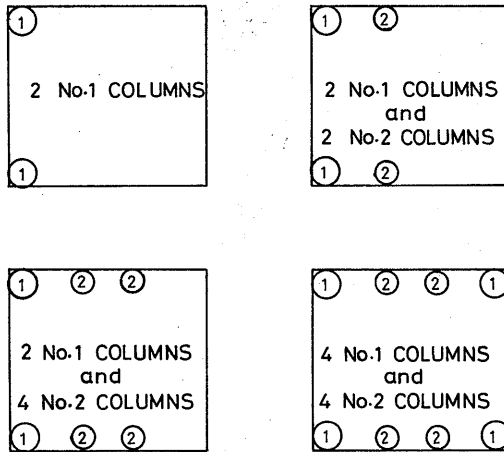


Fig. 6 Test compositions for Deck No.4 plus columns.

ものとした。以上の計測項目を Table-2にまとめて示す。

3分力の記録はペンオッシュロにて行い, デジタイザー等による読み取りの後マイコンによる処理を行った。

圧力分布の計測は, ヨー角 $\theta = 0^\circ$, $V = 0.5\text{m/s}$ の場合のみ, 迎角 α を $-15^\circ \sim 15^\circ$ で 5° づつ変化させ行った。計測は10秒間のアナログ記録をA/D変換し, その平均値を求めた。計測項目を Table 3 に示しておく。

Table 3 Test parameters for pressure distribution measurement

Model Name	yaw angle	Attack angle	Velocity
Deck No.1	$\theta = 0^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.5\text{ m/s}$
Deck No.2	$\theta = 0^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.5\text{ m/s}$
Deck No.3	$\theta = 0^\circ$	$\alpha = -15^\circ \sim 15^\circ$ step 5°	$V = 0.5\text{ m/s}$

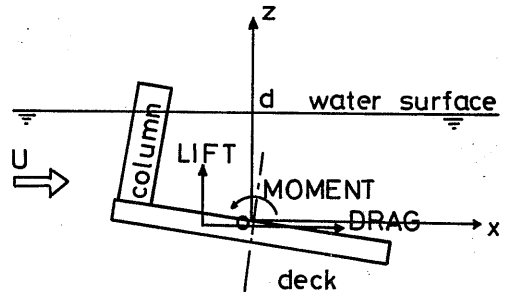


Fig. 7 Definition of forces and coordinates.

2.3 解析

3分力計により計測される力と模型に固定された座標および空間固定座標との関係を Fig. 7 に示す。力およびモーメントは空間固定座標に対して定義され, 単位はそれぞれ kg , $\text{kg}\cdot\text{m}$ である。揚力 L は水面に向う方向を, また抗力 D は流れの方向をそれぞれ正とする。モーメント M は水面方向に頭上げを正としている。

無次元化はデッキ長さ L , 浸水表面積 S_w を使用し, 力, モーメントは次に示す式で無次元化される。

$$C_L = \frac{L}{1/2 \rho V^2 S_w}, \quad \text{揚力係数}$$

$$C_D = \frac{D}{1/2 \rho V^2 S_w}, \quad \text{抗力係数}$$

$$C_M = \frac{M}{1/2 \rho V^2 S_w L}, \quad \text{モーメント係数}$$

また圧力については, 計測された圧力水頭 h の場合は

$$C_P = \frac{2gh}{V^2} \quad , \quad \text{圧力係数}$$

で無次元化する。その他の場合は無限前方の圧力 p_∞ を基準とした時の圧力係数を考える

$$C_P = \frac{p_\infty - p}{1/2 \rho V^2}$$

以上で、 ρ =水の密度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4$), g =重力加速度 (m/sec^2) である。

3. デッキ単体の流体力

3.1 デッキ抗力の成分の分離¹⁸⁾

付加物の無い単純化されたデッキ模型は、厚み一定の平板翼として見る事ができる。実験に使用したデッキ模型については、厚さと長さの比 d/L が 0.032 ~ 0.086, アスペクト比 $\lambda = 0.84 \sim 1.2$ の翼であると云える。しかし、これらの翼は各側面の端部は直角で

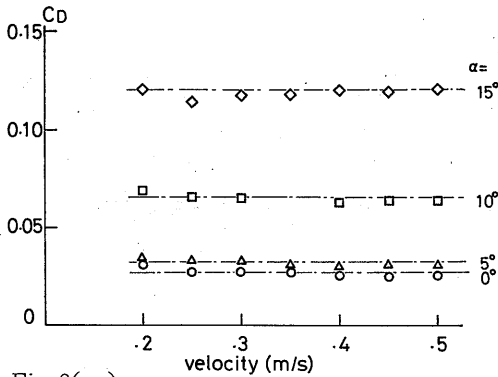


Fig. 8(a)

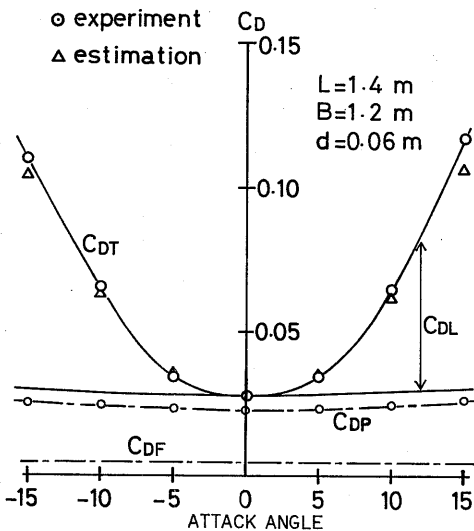


Fig. 8(b) Drag coefficient characteristics of Deck Model No. 2 with out holes. (446)

あり、流れに対してシャープなエッジ形状をしており、エッジ部で流れはハク離し易くなっている。このように翼の前後縁、両翼端から流れがハク離し、渦を伴うとき線型翼理論では説明できない非線型な特性を示すことが知られている。¹⁹⁾ すなわちデッキの流体力は、非線型な特性を有する小アスペクト比の翼としての流体力と類似な性質を示すであろう。以下に示す実験により得られたデッキの流体力の特性は、上に述べた翼の特性として説明され得ると思われる。

デッキ模型 No.2 の開口部を塞いだ場合 (矩形へん平行翼として扱える) の抗力特性を Fig. 8 に示す。抗力係数 C_D は迎角 α = 一定の時、速度 V に関係なく、ほぼ一定値を示す。また迎角 α に対しては、放物線に近似される変化をしていることが特徴的である。 C_D が速度 V に対して一定値 (α = 一定のとき) となる傾向は、他のデッキの場合でも同じであった。迎角 α に対する傾向は、デッキ模型 No.3 のように、デッキ形状が上下対称でない場合、放物線の形が偏奇する場合がある。Fig. 8 よりデッキ模型の C_D は α^2 に比例して変化していると云える。このように C_D が α^2 に比例するように変化するのは、抗力の中に揚力に起因する成分が存在することを示唆する。

一般に厚みのある箱型形状体の抗力には、前後端面に作用する圧力の差に起因する圧力抗力成分、および浸水表面に働く摩擦抗力成分が、上に述べた揚力による抗力成分の他に存在する。したがって、デッキ模型の抗力はこれらの成分に分離して考えることができる。

デッキ模型が水面下十分深い所にあり、(Depth/L = 0.32), デッキ長さ L を基礎としたフルード数 ($F_n = V/\sqrt{gL}$) も高々 $F_n = 0.135$ であるので、デッキの運動により水面に生ずる波による造波抵抗を無視できるとする。このときデッキの抗力 D は上に述べた3つの抗力成分の和によって表わされるであろう。

$$D = D_{\text{Friction}} + D_{\text{Pressure}} + D_{\text{Lift}} \quad (1)$$

以下に各抗力成分の求め方について考察を加えることとする。

摩擦抗力については、船の抵抗を通常求める手法²⁰⁾を踏襲して行う。すなわちデッキと同じ長さの相当平板の摩擦抵抗係数 C_{f_0} を用い、

$$D_F = \frac{1}{2} \rho V^2 S_w C_{f_0} = \frac{1}{2} \rho V^2 S_w C_{DF} \quad (2)$$

にて抗力とする。 C_{f_0} として Schoenherr の摩擦抵抗のテーブルより、デッキ模型 No. 2 の実験に対し、 $C_{f_0} = 4.89 \times 10^{-3}$ が得られる。

圧力抵抗は、端面における圧力による力の x 方向成分として、次式で求められる。

$$D_P = \frac{1}{2} \rho V^2 \int C_P n_x ds = \frac{1}{2} \rho V^2 S_W C_{DP} \quad (3)$$

Table-4 にデッキ模型 No.2 の端面圧力分布と(3)による圧力抵抗係数 C_{DP} を示す。(Appendix A)

Table-4 Pressure and pressure drag of Model No.2. Positions of pressure taps are designated in Fig. 4 (b)

α	Cp Fore Edge			Cp Aft Edge			C_{DP}
	F1	F2	F3	A1	A2	A3	
0	0.996	0.989	0.939	-0.135	-0.178	-0.163	0.0226
5	0.962	0.974	0.995	-0.208	-0.224	-0.221	0.0237
10	0.935	0.946	0.915	-0.325	-0.305	-0.332	0.0246
15	0.932	0.925	0.862	-0.450	-0.433	-0.458	0.0263
-5	0.987	0.942	0.962	-0.193	-0.200	-0.218	0.0232
-10	0.958	0.934	0.954	-0.258	-0.327	-0.320	0.0245
-15	0.850	0.834	0.851	-0.280	-0.473	-0.465	0.0253

揚力に起因する成分は、全抗力から D_F と D_P を差引いたものとなる。この成分については、翼理論²¹⁾で知られている、抗力と揚力に関する次の関係が成立すると仮定する。

$$\overline{C_{D_L}} = \overline{C_L}^2 / \left(\frac{d\overline{C_L}}{d\alpha} \right) \quad (4)$$

ここで $\overline{C_D}$ 、 $\overline{C_L}$ は浸水面積 S_W でなく、翼面積 S_0 ($=L \times B$) で無次元化された係数である。この式はまた次のように表わされる。

$$C_{D_L} = C_L^2 \left(\frac{d\alpha}{dC_L} \right) \left(\frac{S_W}{S_0} \right)^2 \quad (4')$$

この式では揚力特性が必要である。Fig. 9 にデッキ模型 No.2 の揚力特性曲線を示す。これより、 $\frac{dC_L}{d\alpha} = 1.003$

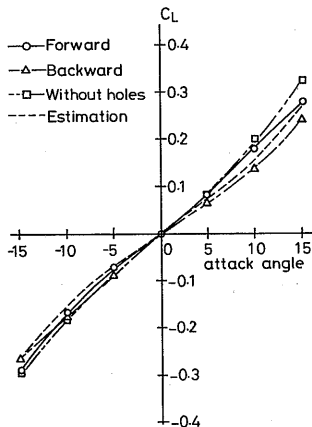


Fig. 9 Lift coefficient characteristics of Deck Model No.2.

と推算される。Fig. 9 の揚力係数 C_L の値を(4') に代入して C_{D_L} を求めたものを Fig. 8 b に C_{DF} 、 C_{DP} と共に推定値として示した。実験値と推定値は良好な対応を示していることがわかる。Fig. 10 に示すデッキ模型 No.1 の場合も同様な対応を示す。

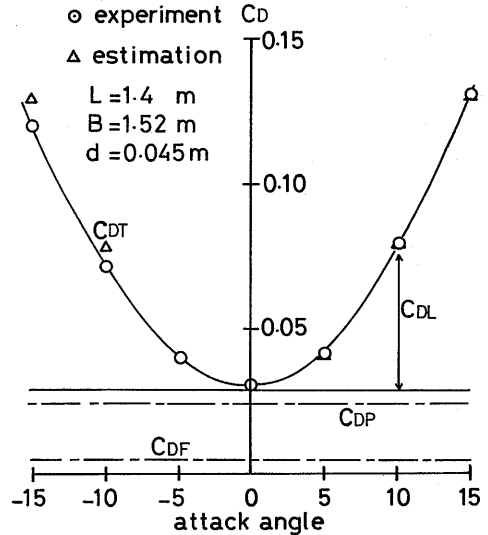


Fig. 10 Drag coefficient characteristics of Deck Model No.1.

これらの例に見られるようにデッキ単体の場合、抗力は(1)に示す各成分の和であると言っても良いであろう。

これまでデッキの抗力係数はデッキ模型の全浸水面積で無次元化されたものを考えてきた。しかし海洋構造物では抗力の無次元化を、流れの方向に直交する面に物体を投影した面積 S_{pr} を使う場合が多い。参照面積に何をを使うかの問題であるが、以下に述べる理由で投影面積でなく表面積を使用する無次元化係数をこの報告では採用することにした。

デッキの場合、投影面積は次式で表わされる。

$$S_{pr} = S_a \sin\alpha + S_e \cos\alpha \quad (5)$$

ここで S_e は端面面積 $= (B \times d)$ 、 S_{pr} による無次元係数は、 $C_D^* = D / 1/2 \rho V^2 S_{pr}$ 。迎角の小さい時 $S_{pr} \approx S_0 (\alpha + O(S_e/S_0))$ であり、抗力の揚力による成分 $C_{D_L}^*$ は S_{pr} で無次元化されるとき $C_{D_L}^* \propto \alpha$ と迎角の一次の関数となる。この関係は翼の流体力を考察する場合、一般的でなく便利が良くないと思われる。したがって抗力に揚力成分を含む場合は、特別の場合を除いて S_{pr} による無次元化表示を行わない。

3.2 抗力およびモーメントの揚力成分の推定

デッキの全抗力Dにおいては、迎角が大きくなると揚力成分 D_L の占める割合が大きくなる。したがって、この成分の推定は、デッキを持つ海洋構造物にとって、重要となるであろう。抗力の揚力成分は(4)から明らかなように、デッキの揚力および揚力勾配が、その推定のために必要である。

デッキの揚力を調べるために、線型理論と実験値との比較を行って見る。線型揚力面理論²²⁾で計算した揚力勾配を、アスペクト比 λ を横軸にして Fig. 11 に示

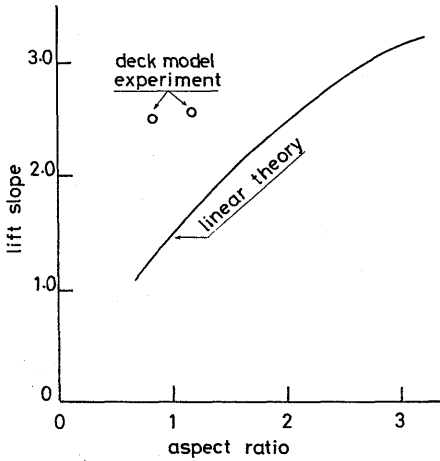


Fig.11 Lift slope against aspect ratio for flat rectangular wing.

す。またデッキの実験から求めた値を同図に丸印で示す。デッキの揚力勾配の実験値は、アスペクト比 λ の同じ翼の線型理論による値のほぼ 1.7 倍位の大きい値を示し、非線型な要素があることが明らかである。アスペクト比の小さい三角翼および矩形翼について、翼端形状の影響を調べた例¹⁹⁾によると、翼端ハク離が生ずる場合は、ハク離渦の影響により揚力が線型理論の場合より大きくなることもあり、これを説明するのに翼弦方向の各断面における cross flow (Fig. 12) の効果であるとした。そして cross flow の効果を考慮した次の近似式が実験を良く説明することが示された。

$$\overline{C_L} = \left(\frac{d\overline{C_L}}{d\alpha}\right)_0 \alpha + \overline{C_{Dc}} \alpha^2 \quad (\text{Delta Wing}) \quad (6)$$

$$\overline{C_L} = \left(\frac{d\overline{C_L}}{d\alpha}\right)_0 \alpha + \overline{C_{Dc}} \frac{\alpha^2}{\lambda} + 1 \cdot \alpha^2 \quad (\text{Rectangular wing}) \quad (7)$$

(448)

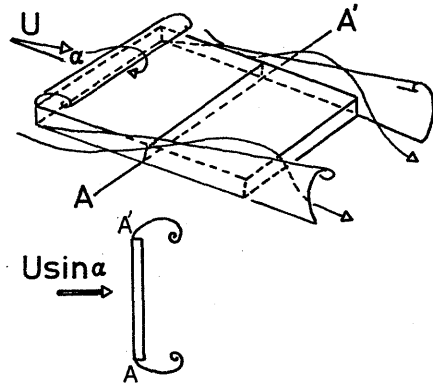


Fig.12 Schematic flow model around a rectangular deck with special attention to cross flow.

ここで $\left(\frac{d\overline{C_L}}{d\alpha}\right)_0$ = 線型理論による揚力勾配, $\overline{C_{Dc}}$ = cross flow 中の翼断面形状の 2 次元物体の抵抗係数。デッキ模型の場合、長さ/幅比 $= d/B \approx 0.05$ (デッキ模型 No.2 の場合) の矩形柱を流れに垂直に置いた時の抗力係数。Hoerner²³⁾, 中口等²⁴⁾ による矩形柱の抗力の実験値 Fig. 13 を利用すると、 $\overline{C_{Dc}} \approx 2.0$ として良いと思われる。Fig. 9 に(9)による推定値を点線にて示してある。

抗力の揚力成分の推定式は(6),(7)を使って、一般的に次のように書くことができる。

$$\overline{C_{D_L}} = \left(\frac{d\overline{C_L}}{d\alpha}\right)_0 \alpha^2 + 2\left(\beta \frac{\overline{C_{Dc}}}{\lambda} + r\right) \alpha^3 \quad (8)$$

ここで、 β = side edge 影響係数, r = leading edge 影響係数, である。矩形翼では $\beta = r = 1$, 三角では

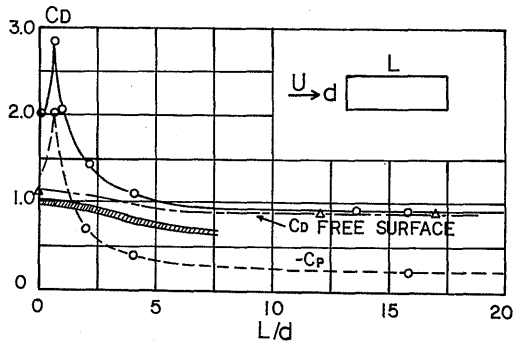


Fig.13 Drag coefficient of rectangular cylinder. Variation of drag and base pressure with L/d .

$\beta = 1, \gamma = 0$ である。

(6)(7)式は薄翼に対して求められたものであるが、デッキ模型のように厚みのある形状に対して有効であるように見える。これはデッキの厚さ/長さ比 ($d/L \approx 0.05 \sim 0.065$) が小さいこと、および cross flow モデルが有効であるためであろう。

矩形デッキ模型単体の場合、yaw angle $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ のときの抗力の推定には(8)式に示されるよう、デッキの断面に対する2次元矩形柱の抗力係数が必要であった。また、更にデッキの圧力抵抗成分も Fig. 13 の L/d の大きいときの漸近値 ($C_{Dp} \approx 0.9$) で推定される。

したがって矩形デッキに働く、揚力および抗力の各成分は、揚力面理論およびその非線型修正、および2次元矩形断面柱の抗力、から推定され、全抗力は(1)式で表わされる。

デッキに働くモーメントの中、揚力成分に基づくものの推定式は文献(19)の例にならって、次のように与えられる。モーメントは前縁周りのものとして、

$$\begin{aligned} \overline{C_M} = & \left(\frac{d\overline{C_M}}{d\alpha} \right)_0 \alpha - \left(\frac{x}{L} \right) \frac{\beta}{\lambda} \overline{C_{Dc}} \alpha^2 \\ & + 6 \left(\frac{d\overline{C_M}}{dC_L} \right)_0 \gamma \alpha^2 \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 x = 前縁から翼面積中心までの距離、 $()_0$ の量は線型理論によるものである。これより力の着地点を求めると。

$$\xi_p = \frac{\overline{C_M}}{\overline{C_L} \cos \alpha + \overline{C_D} \sin \alpha} \quad (10)$$

となる。Fig. 14 にデッキ模型 No.2 のモーメントを示す。(9)による推定値は実側値より小さいが、この傾向は Fig. 9 の揚力の推定値にも見られたものと同じであり、これは迎角 α の一次の項に比例する線型理論の揚力勾配が十分大きくないことに起因すると思われる。しかし(7)~(9)における非線型修正項は定性的な考察に基づくものであり、より精密な推定のためには、端部でのハク離現象を考慮できる理論により扱う必要がある。

力の着地点の実験値と推定値との比較を Fig. 15 に示す。実験値はモーメントがデッキ中心周りで計測されるので、

$$\overline{C_M} = \frac{L}{2} (\overline{C_L} \cos \alpha + \overline{C_{DL}} \sin \alpha) - \overline{C_{M0}} \quad (11)$$

で前縁周りのモーメントとして(10)式で着地点を求めた。 $\overline{C_{DL}}$ は、Fig. 8(b) の C_{DL} または実験値の揚力を使った(4)式にて求めている。また前後端面に働く圧

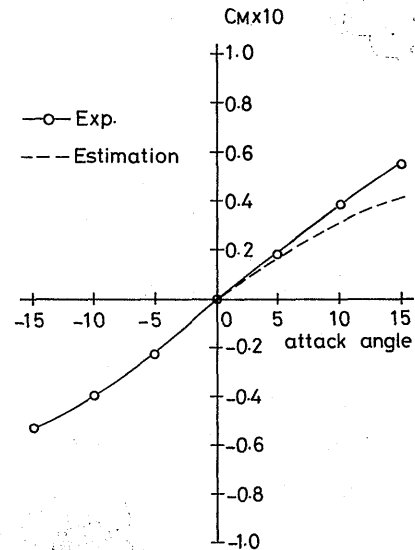


Fig.14 Moment coefficient characteristics of Deck Model No.2 without holes

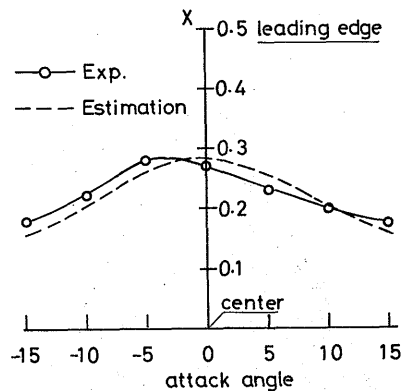


Fig.15 Point of reaction of force of Deck Model No.2 without holes.

力によるモーメントを修正しているが、迎角の小さい時はこの修正は無視され得る。

着地点は前縁より 20 ~ 30%L の所にあり、迎角が増加すると後方に移動する傾向を持つ。推定値と実験値の対応は良好である。これは、推定値の C_L, C_M の

の誤差が互に打ち消し合ったからであろう。

以上の考察より、単純な矩形デッキの流体力の揚力に起因する成分は、cross flow 効果を導入した翼理論ではば実用的に推定できるものと思われる。

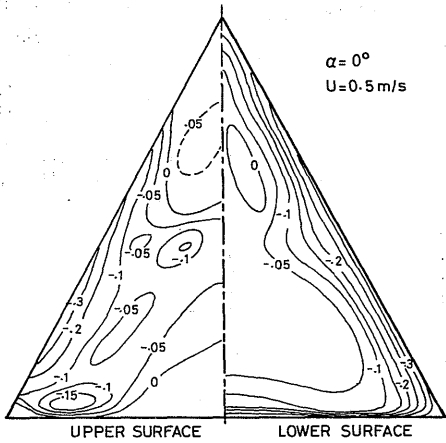


Fig.16(a) Pressure distribution of Deck Model No.1 $\alpha=0^\circ$.

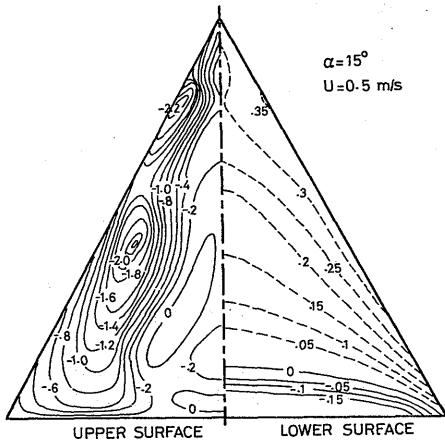


Fig.16(b) Pressure distribution of Deck Model No.1 $\alpha=15^\circ$.

4. デッキ表面圧力分布

デッキの各端部では、流れはハク離し易く、流れの方向に平行な軸を持つ縦渦、また矩形デッキの場合には、前縁ハク離渦等が存在すると考えられる。これらの流れの現象は流れの可視化等である程度明らかにさ

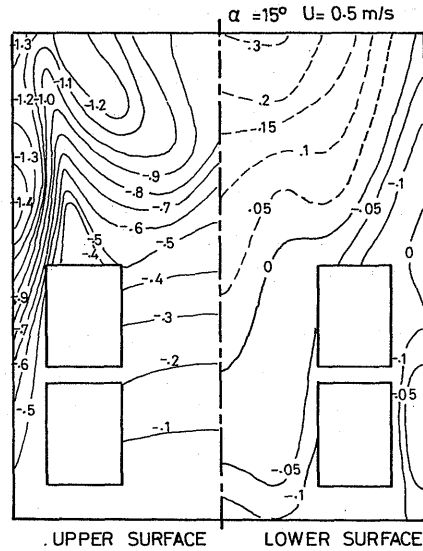


Fig.17(a) Pressure distribution of Deck Model No.2 $\alpha=0^\circ$.

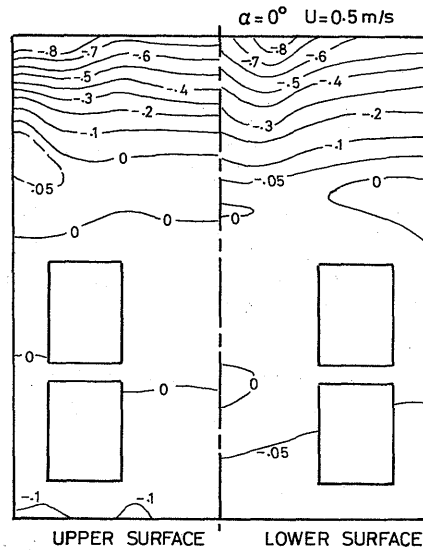


Fig.17(b) Pressure distribution of Deck Model No.2 $\alpha=15^\circ$.

れている。また流れの現象は物体表面圧力分布によっても推察することが可能である。

Fig. 4 に示すようにデッキ模型には数多くの圧力孔が設けられており、表面圧力分布を調べることが可能としてある。Figs. 16, 17 にデッキ模型 No.1 (三角形デッキ) と No.2 (矩形デッキ, 穴あり) の迎角 $\alpha = 0^\circ, 15^\circ$ の場合の圧力分布を示す。

$\alpha = 15^\circ$ の場合に、明らかに背面側には側面エッジに沿って強い負圧のピークがあり、また負圧の領域は背面全体に渡っている。矩形デッキの $\alpha = 0^\circ$ 場合には前縁に沿って負圧の部分があり、そこでのハク離が推察される。この流れの様子は Fig. 12 に示すような cross flow モデルの基礎となる

ものである。

デッキ模型 No.2 では、矩形の穴が4つデッキ面に設けてあり、これを薄い平板で覆うことができるようになっている。穴のある場合、穴の後方端面で流れはハク離し、穴の直後には局所的な負圧の分布が現われる。しかし、この穴がデッキの抗力、モーメントに及ぼす影響は顕著ではない。Fig. 9 に揚力特性を示してあるが、穴の位置が前、後方かで迎角の大きい所で5~10%の差が見られる。デッキ模型 No.2 の穴の影響は穴の近傍の負圧部分の局所的な影響が問題であり、全体の揚力、抗力にはあまり影響しないとして良いと思われる。

Fig. 18 にデッキの側面と前後端面の圧力分布

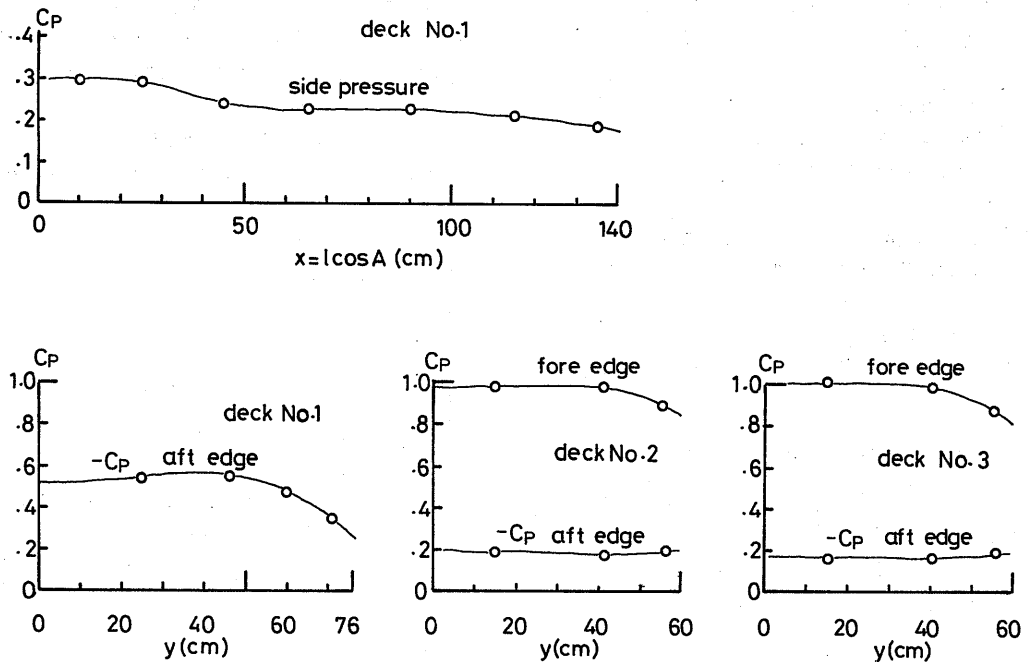


Fig. 18 Pressures of side surface of Deck Model No.1 and end surfaces of Deck Model No.1, No.2 and No.3.

を $\alpha = 0^\circ$ の場合について示す。ここでの圧力分布は(3)式により圧力抵抗を与えるものである。圧力は端面の中心線での計測であるので、前面圧力は Appendix A に述べる方法で面分布とし、後面圧力は計測された圧力値の一様分布としている。へん平箱型柱状体の後面圧力は Fig. 13 に示されているように長さ/厚さ比で異なる。デッキ模型 No.2 および No.3 の場合 ($L/d \approx 16 \sim 23$)、後面圧力係数 $C_{PA} \approx -0.2$ であり、背

面圧力の漸近値と一致していることが分る。

デッキ模型 No.3 ではデッキ上に矩形柱体の上部構造物 (ハウス) がある。この構造物はデッキ上の流れ (乱流境界層) の中に置かれた矩形柱であると考えられることができる。このような場合、矩形柱の前後端面の圧力は境界層の影響を受け²⁵⁾、Fig. 13 に示す一様流中の場合と異なる様子を示す。Fig. 19 にハウス前後面の計測された圧力値を示す。ハウスがデッキ上で、前

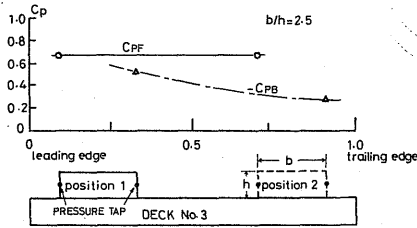


Fig. 19 Pressures of fore and aft surfaces of deck house of Model No. 3.

方にある場合と後方にある場合とで、前面圧力はほぼ同じであるが、ハウス後面の圧力は変化する。これは、境界層厚さの大きい流れほど矩形柱体後面の圧力は相対的に高くなる、という傾向²⁵⁾と一致している。しかし Fig. 19 で示す流れはデッキ前端でハク離しており、単純な境界層中の流れとは異なっていると思われるが、定性的傾向はせん断流れ中に置かれた場合として良いと思われる。

Fig. 13 中に斜線で示す部分は乱流境界層中の矩形柱の抗力係数の L/d による変化を示すものである²⁵⁾。ハウスの抗力もほぼ同じオーダーの値を示しており、Fig. 13 および Fig. 19 により、デッキ上のハウスの圧力抵抗を概略的に推算することが可能であると思われる。

5. デッキとコラムの組合せの抗力と揚力

デッキにコラムが付加される場合、コラム相互またコラムとデッキの相互の干渉により、要素部材単独の場合と異なる流力特性を示すようになる。2, 3 の例を以下に示そう。

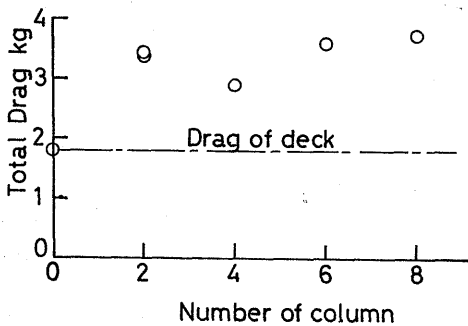


Fig. 20 Variation of drag with the number of columns for Deck Model No. 4 + column at $\theta=0^\circ$ and $\alpha=0^\circ$.

デッキとコラムは Fig. 6 に示すように、コラムの数と配置を変化させた構成をしている。コラム列の流れに直列に置いた時 ($\text{yaw angle } \theta = 0$)、デッキの迎角 $\alpha = 0$ の場合の全抗力を Fig. 20 に示す。デッキ部の抗力を一定とすると、抗力の変化はコラムの相互影響によるものである。最前列に 2 本コラムがある場合より、その後にはコラムを置いた場合抗力は少ない。これは明らかに後のコラムは推力を受けていることを示す。直列 2 本コラムの抗力について Hoerner²³⁾ が示す所と一致する。コラムが 8 本になった場合でも、2 本のときと抗力はあまり差がない。コラムの配置により抗力が大きく変化する例である。

次に 8 本コラム ($\alpha = 0^\circ$) で yaw angle を $\theta = 0^\circ$ と 90° にした場合の抗力と揚力を Fig. 21 に示す $\theta = 0^\circ$ のとき 2 行 4 列、 $\theta = 90^\circ$ のとき 4 行 2 列のコラム配置である。 $\theta = 0^\circ$ の場合は揚力は殆ど零であるが、 $\theta = 90^\circ$ では抗力の半分以上の揚力が存在する。また抗力も $\theta = 0^\circ$ の方が 6 割程度小さい。 $\alpha = 0^\circ$ であるので $\theta = 90^\circ$ の時の揚力はコラムの displacement 効

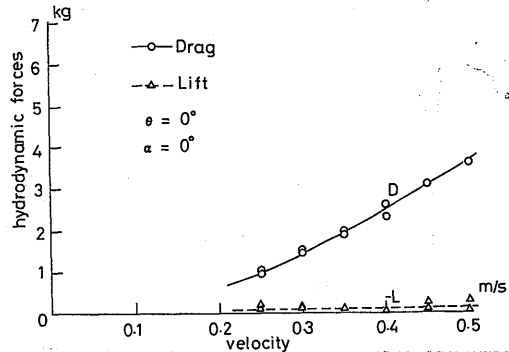


Fig. 21(a) Hydrodynamic forces of Deck Model No. 4 + 8 columns at $\theta = 0^\circ$.

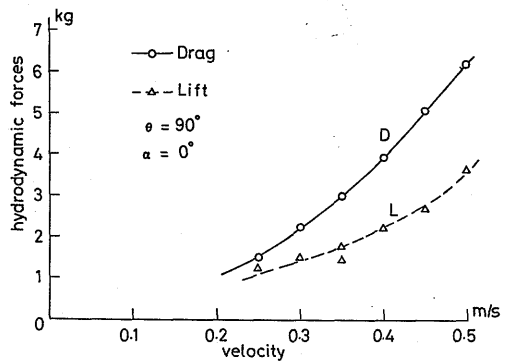


Fig. 21(b) Hydrodynamic forces of Deck Model No. 4 + 8 columns at $\theta = 90^\circ$.

果(コラムの水面との貫通部でコラムの周りの流速が一般流 V より大きく、近傍の圧力が負圧となり水面が下る。水面の下った分だけ排水量の変化が生ずる。)によるものである。 $\theta = 0^\circ$ の場合は、コラムの相互干渉により displacement 効果が打ち消され結果的にはこの効果が現われなかったと解釈される。物体を空間座標に固定して自由上下動を許さない状態では、displacement 効果による浮力分の見掛けの揚力が生ずる。浮遊式リグの場合は、この揚力変化に見合う変位があるが、固定式の場合 $\alpha = 0$ のときの上下力の存在は問題にされることがある²⁶⁾。

また § 3 で考察したデッキの端部の揚力に及ぼす影響も、コラムの存在により変化するとと思われる。

上に見たようにデッキとコラムを組合せた構造物に働く流体力は複雑であり、これの精密な推定は、風洞または長水槽等における実験に頼らざるを得ないと思われる。しかし、実験に頼らず流体力の推定を行えると都合が良い。ここにデッキとコラムの組合せに対する流体力の推定法を考察してみよう。

5.1 コラムの抗力

迎角 $\alpha = 0^\circ$ の場合、デッキはコラム柱体に対して端板の役目をすると考えられる。また水面も Froude 数の小さい範囲では剛体壁として良いので、この場合コラムは両端に端板を持つ柱体として扱うことが許されるであろう。

デッキとコラムの組合せの全抗力 $C_{D_{total}}$ からデッキ単体の抗力 $C_{D_{deck}}$ を差引いたものを、コラムの抗力 $C_{D_{column}}$ と考えることにする。

$$C_{D_{column}} = C_{D_{total}} - C_{D_{deck}} \quad (12)$$

この抗力は、上に述べた理由によりコラムを 2 次元柱体としたときのものともみなせるが、しかし実際にはデッキ端部からのハク離流れのために、コラムに流入する流速はデッキとの付根近傍で影響を受けるし、またデッキ後方のコラムは、デッキ上に発達する境界層のために 3 次元影響を受ける。しかしながら、結果から見ると、これらの影響は大きくなく無視しても大勢に影響しないと思われる。したがって(12)式で求められる抗力はコラムの単位長さ当りの量とするとき、2 次元円柱の抗力であるとして良いであろう。

$\alpha = 0$ のとき yaw angle θ およびコラム本数を変化させた実験結果より(12)式でコラムの抗力を求めたものを Table-5 に示す。ここで示す抗力係数 $C_{D^*} = D_{column} / 1/2 \rho V^2 A$ は、全てのコラムの流れの方向に対する前面投影面積 A による無次元係数であ

Table-5 Averaged drag coefficient of column. C_D for each columns

No of Column	yaw angle (deg)			
	0	30	60	90°
2	1.205	1.103		
4	0.442	0.796	0.913	
6	0.456	0.774	0.844	
8	0.386	0.758	0.777	0.797

る。

コラム本数 $n = 2$ の場合、 $\theta = 0^\circ$ のとき流れに対して 2 行 1 列であり、 C_{D^*} はこれまで知られている 2 次元円柱の抗力係数 $1.2 (Re \approx 10^5)$ と一致する。 $\theta = 30^\circ$ のときデッキの影響により抗力係数は少し小さくなっている。また $n = 4$ 、 $\theta = 0^\circ$ の場合は、2 つの直列に置かれた円柱が平行に 2 組ある場合に相当する。このような 2 つの直列円柱は円柱間の間隔により抗力が変化することが知られている²³⁾。実験値 $C_{D^*} = 0.44$ は Hoerner の与えた図から読み取れる値とほぼ一致する。このとき 2 つの円柱の中、後の円柱の抗力は零に近く、Fig. 20 に示された全体の抗力の減少を説明する。 $\theta = 90^\circ$ の場合 $C_{D^*} = 0.80$ は前後 2 つの円柱の場合に更に側方に円柱が存在する時の修正を考慮した値とほぼ一致するものとなっている。

コラムが流れに直列または並列に置かれた場合、デッキとコラムの組合せ構造物の(12)で定義される抵抗は、コラムを 2 次元柱体と仮定してこれまで知られている資料²³⁾で推定したものとほぼ一致することが示された。このことより迎角 $\alpha = 0$ の時、任意の yaw 角および任意個数のコラムを持つデッキの抗力は、(12)で分離され、コラム部の抗力はコラムの各配置に応じた 2 次元柱体の組合せの抗力であるとして良いであろう。

各コラムは他のコラムの影響を受ける。特に前方のコラムの伴流中のコラムは大きな影響を受ける。Fig. 22 に各 yaw 角に対する後流範囲の概念図を示す。この図を参考にしつつ Table-5 に示したコラムの全抗力係数を、個々のコラムの抗力係数に割り振った例を Fig. 23 に示そう。デッキの下段にある数値が個々のコラムの抗力係数である。

任意配列のコラムに対して、抗力の推定を理論的に行うことが望ましいが、流れがハク離し、かつその伴流中に 2 次元柱体が存在する場合、比較的簡便な手段による理論的方法は存在していない現状では、ここに考察した方法により半実験的に推定する他手段が無い

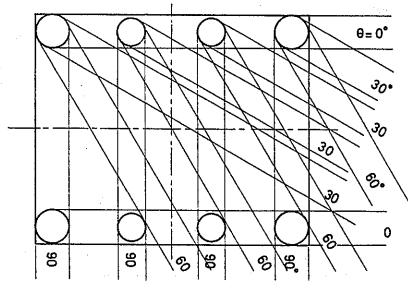


Fig.22 Schematic wake zone behind columns at front positicno.

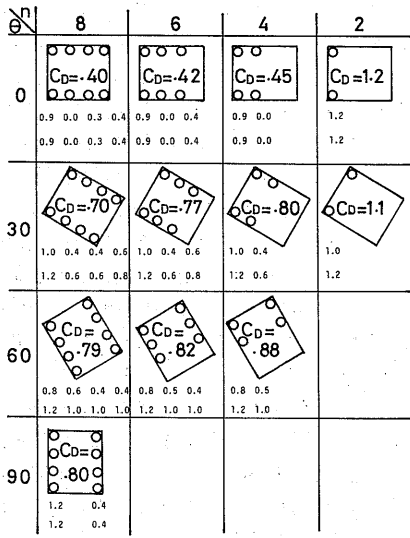


Fig.23 Allocation of drag to each column. Drags are derived from the experiments for Deck No.4 + n - columns at various θ at α = 0°.

のではないと思われる。Fig. 23 の配置に対するコラムの抗力係数の関係と Hoerner の 2 円柱の組合せの例を参考にして、一般の配置のコラムの抗力係数の推定を概略的に行うことは可能である。また迎角が変化する場合でも、この係数は単位長さ当りのものであり、あまり変化しないと、そのまま応用され得ると考えられる。

5.2 コラム付デッキの抗力

コラム付デッキの抗力の成分分離を § 3 で行ったものと同様な方法で行うことが考えられる。異なる点は、デッキ単体でなくコラムの抗力が加わることである。

しかしコラムの抗力は(12)式で推定ができることを前節で示した。コラム付デッキの迎角がある場合には、やはり揚力に起因する成分があり、これを迎角 α の自乗に比例する形であるとする。

$$C_{Dlift} = \left(\frac{dC_L}{d\alpha} \right) \alpha^2 \left(\frac{S_w}{S_o} \right) \quad (13)$$

ここで S_o = デッキ面積 ($L \times B$) , S_w = コラム付デッキの全表面積, $C_L = L / 1/2 \rho V^2 S_o$ である。

(13)式に現われる揚力勾配を実験から求めたものを Table-6 に示す。揚力勾配は、コラム付デッキの

Table 6 Experimental lift slope. Lift slope is defined by

$$\left(\frac{dC_L}{d\alpha} \right) \Delta\alpha = 0.349 \text{ rad} (= 20^\circ)$$

Condition	θ (deg)	dCL/dα		Wetted Area(mf)	dCL/dα		Deck Area
		α(deg)	α(rad)		α(deg)	α(rad)	
Deck No4 only	0	0.02180	1.2490	3.9640	0.04360	2.498	1.982
	30	0.02780	1.5928	"	0.05560	3.186	
	60	0.02780	1.5928	"	0.05560	3.186	
	90	0.02226	1.2754	"	0.04452	2.551	
Deck No4+ 2columns	0	0.01656	0.9488	4.3049	0.03597	2.061	
	30	0.02270	1.3006	"	0.04930	2.825	
Deck No4+ 4columns	0	0.01574	0.9018	4.5776	0.03635	2.083	
	30	0.02006	1.1493	"	0.04632	2.654	
	60	0.02032	1.1642	"	0.04693	2.689	
Deck No4+ 6columns	0	0.01430	0.8193	4.8503	0.03500	2.005	
	30	0.01800	1.0313	"	0.04405	2.524	
	60	0.01714	0.9820	"	0.04194	2.403	
Deck No4+ 8columns	0	0.01386	0.7941	5.1911	0.0363	2.080	
	30	0.01572	0.9007	"	0.04117	2.359	
	60	0.01642	0.9408	"	0.04300	2.464	
	90	0.01522	0.8720	"	0.03986	2.284	

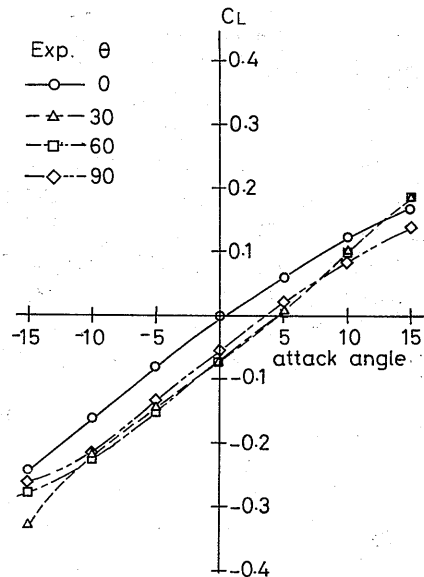


Fig.24 Lift coefficient characteristics of the combination of Deck No.4 + 8 columns.

揚力特性曲線 Fig. 24から, $\Delta\alpha = 20^\circ$ のときの勾配

$$\left(\frac{\Delta C_L}{\Delta\alpha}\right), \Delta\alpha = 0.3491\text{rad}$$

でもって定義されている。Fig. 25 に8本コラムの場合

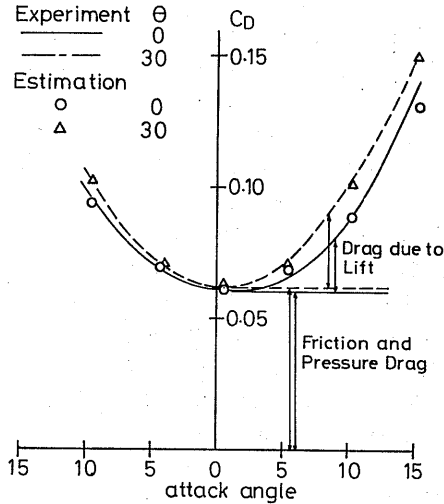


Fig. 25 Drag coefficient characteristics of the combination of Deck No. 4 + 8 columns.

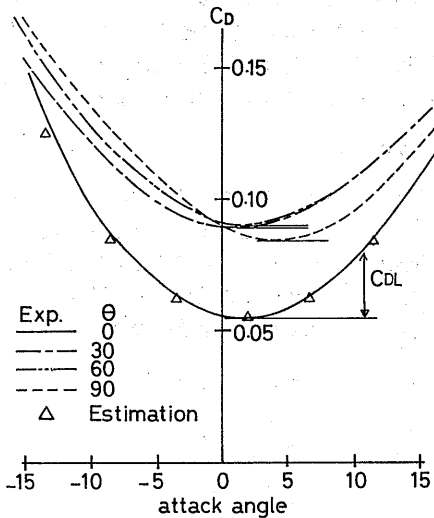


Fig. 26 Drag coefficient characteristics of the combination of Deck No. 4 + 2 columns.

の抗力特性曲線を示すが, 同図中に Δ 印で示すものが(13)による推定値である。コラム本数が2本の場合の例を Fig. 26 に示すが, この場合も(13)の関係が成立していることが分る。

(13)式はコラム付デッキの揚力が, コラムの影響を受けてはいるが, デッキ部分のみによるものとして導いたものであり。その意味で C_{DL} はデッキの揚力による抗力成分であると云える。このことは Fig. 27 に示す

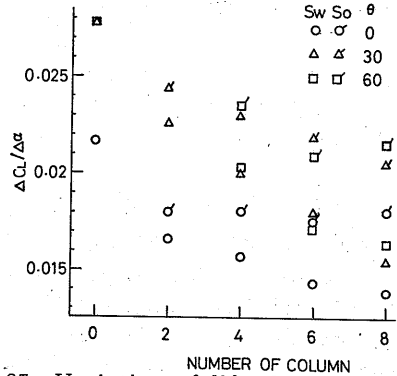


Fig. 27 Variation of lift slope with the number of columns. Lift slope is defined by $\left(\frac{\Delta C_L}{\Delta\alpha}\right)$ for $\Delta\alpha = 20^\circ$. Comparison of lift slope between nondimensional reference surface area S_w and S_o

揚力勾配のコラム本数による変化からも裏付けられる。この図は Fig. 24 に対応して揚力勾配 $\left(\frac{\Delta C_L}{\Delta\alpha}\right)$ を $\Delta\alpha = 20^\circ$ (deg) として表わしてある。すなわち $\theta = 0$ の揚力勾配で S_o で無次元化した揚力勾配はコラム本数に関係なくほぼ一定値を取ることより, コラムのデッキ揚力に及ぼす影響は最前部のコラムの伴流によるものが主なものと解釈され, コラム本数そのものはデッキ揚力に大きく影響しないと考えられる。 $\theta = 30^\circ, 60^\circ$ の場合は Fig. 22 に示されるように伴流範囲がコラム本数により変化し, デッキ表面圧力もそれに伴い変化するので揚力勾配の変化が生ずるものと思われる。

コラムのデッキ揚力に及ぼす影響について考察を加えておこう。 $\theta = 0^\circ$ のときコラムはデッキの翼端部に流れの方向に列を成す (Fig. 22)。コラムの伴流によりデッキのエッジ部の流れは影響を受ける。コラムが翼の背面側にくる時, エッジからのハク離渦 (Fig. 12) は, コラムまたはその伴流で変形を受けるであろう。この変形を(7)式に修正係数として導入すると,

揚力の式として

$$C_L = \left(\frac{dC_L}{d\alpha} \right)_0 \alpha + \beta C_{Dc} \frac{\alpha^2}{\lambda} + \gamma \cdot 1 \cdot \alpha^2 \quad (14)$$

が示唆された。この式は背面ハクリ渦に対する修正のみを考えると、コラムが翼の背面側にくる場合しか成立しないが、 β , γ を単なるコラムによる影響の修正係数と考えると、これをコラムが翼の正面側にくる場合にも拡張して適用することが可能である。(β , γ は迎角 $\alpha \geq 0$ で異なる。) (14) を $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ の実験値と合わせるとき、 $\beta = 0.5$, $\gamma = 1$ ($\theta = 0^\circ$ のとき), $\beta = 0.5$, $\gamma = 0.7$ ($\theta = 90^\circ$ のとき) が得られる。揚力の大略値を推定したい時は(14)式が利用できるものと思われる。抗力は(14)を(13)に代入して推定される。

以上よりコラム付デッキの抗力は、コラム及びデッキに働く摩擦抗力、それぞれの圧力抗力、およびデッキに働く揚力に起因する抗力に分けて推定することが可能であることが明らかにされた。揚力については線型揚力面に対する修正式が、コラムが背面のエッジ部にあるとき有効であることが示された。この方式の一般化によりコラム付デッキの任意の迎角に対する推定が考えられる。また yaw 角 $\theta \neq 0^\circ, 90^\circ$ の任意の場合については Fig. 27 に示された揚力勾配を利用し、(13)および(14)式を基に揚力、抗力の推定が可能であると思われる。

6. あとがき

本報告では、一様流中に置かれたデッキとコラムの組合せに働く流体力の研究を行い、抗力係数、揚力係数および着点の推定法を試みた。

実験を曳航水槽での曳航方式で行い、これを風洞における実験と同等なものとして解釈した。

次に述べる結果は、デッキおよびコラム付デッキの抗力、揚力特性であると結論され得るものである。

- 1) デッキの抗力は、摩擦抗力、圧力抗力および揚力に起因する抗力に分離され、それぞれを特定できる。
- 2) 圧力抗力は物体の前後端面の圧力の積分により求められる。揚力に起因する部分は、迎角の2乗に比例する主部分と3乗に比例する補正部分から成る。
- 3) デッキとコラムの組合せでは、コラムを2次元柱体として扱い、その抗力を推定して良いことが明らかになった。コラムを任意に配置した場合の抗力は、柱体の相互干渉、伴流の影響を考慮して推定する必要がある。推定の参考となる図表を用意した。
- 4) コラム付デッキの揚力特性は、コラムが背面側に

あるとき翼端の cross flow 効果を減少させると考えることで説明される。コラムがデッキの正面側にある時および任意コラム配置の場合の合理的推定法はないが、実験的修正係数を導入することで揚力の推定は可能であると考える。

- 5) コラム付デッキの場合も、迎角の大きいとき、揚力に起因する抗力も大きくなる。この抗力成分は迎角の自乗に比例するものとして4)の結果を利用して推定できる。
- 6) ここで扱う方法は力の着点位置を推定するのが可能なものである。したがって指定した軸周りのモーメントを計算することができる。
- 7) デッキ部を有する構造物が一様流中に置かれる場合、揚力の大きさ、その作用点および抗力への影響を明らかにした。特に迎角(セミサブの傾斜角)が大きい時、揚力の作用の定量的推定を可能とした。したがってコラム付デッキに限れば、一様風中における転倒モーメントに及ぼす揚力の影響は明らかにすることが可能である。

本研究は、デッキおよびコラムとの組合せ構造物の一様流中における流体力について述べたが、セミサブの一般的構造はデッキ上にハウスまたタワー等があるのが普通である。(Fig. 1) 次報でこれらの影響について触れたい。

本研究の諸段階で種々討論いただいた海洋開発工学部の方々、特に影本浩技官に感謝いたします。また揚力面理論による計算は、推進性能部小山鴻一氏によるものであり、ここに厚く感謝いたします。

Appendix A

2次元矩形柱体の前後端面の圧力および圧力抗力に関して、次のように仮定して良いと思われる。

- i) 後端面では流場はハク離伴流であり端面圧力は一様である。したがって後端面中央で計測された圧力 $C_{PA} = \text{一定}$ 。後端面に加わる抗力は、

$$\begin{aligned} D_{PA} &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{EA} C_{PA} n_x \\ &= -\frac{1}{2} \rho V^2 S_{EA} C_{PA} \quad (A-1) \end{aligned}$$

ここで S_{EA} = 後端面面積。

- ii) 前端面の圧力は中央部で $C_{PA} = 1.0$ であり、上下端部の近傍で急激に減少する。矩形柱体の前面では上下端部で流れはハク離し、矩形柱の前端面近くで上下面はハク離流れの中にあり、負圧を示す。

このような流れを平板周りの流れに置き換えて考える。すなわち矩形柱の前端面近くの上下面の負圧を背面圧とする平板周りの流れを考える。背面圧が与えられるとき正面圧力分布を計算することができる^{27), 28)}。背面圧の相異で正面圧力分布も変化するが、へん平柱体(デッキ模型)の前面近傍の上下面の計測された圧力を背面圧とすると、正面圧力を積分したものは

$$\int C_{PF} dy = 0.63 \quad (A-2)$$

となる。したがって、この値を使って前面圧力抗力を求めることにする。

$$D_{PF} = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{EF} 0.63 \quad (A-3)$$

iii) 圧力抗力は前後面の圧力抗力の和として

$$D_F = D_{PF} + D_{PA} = \frac{1}{2} \rho V^2 S_E (0.63 - C_{PA}) \quad (A-4)$$

で求める。

参考文献

- 1) Rusaas, S; "The Capsizing of "Alexander L. Kielland"" , Second International Conference on Stability of Ship and Ocean Vehicles, Tokyo, (1982)
- 2) Royal Commission on the Ocean Ranger Marine Disaster: Report One, "The Loss of Semisubmersible Rig Ocean Ranger and Its Crew", (1984)
- 3) Norwegian Hydrodynamic Laboratories, "The MOPS Project, Status Report", MOPS Report No. 14 (1983)
- 4) Praught, M. W., et al., "Industry Action on Stability of Mobile Offshore Drilling Units", OTC 4986, 17th OTC, Houston, (1985)
- 5) 日本造船研究協会, "SR-192 報告書", No. 373 (1984)
- 6) 日本造船研究協会, "RR-74 報告書", No. 140, (1985)
- 7) 例えば, DnV, "Rules for the Design, Construction and Inspection of Offshore Structures", (1977)
- 8) Numata, E., et al., "Assessment of Stability Requirements for Semi-submersible Units", Trans. SNAME, Vol. 84, (1976)
- 9) 宝田直之助, 他, "半潜式プラットフォームの係留状態における安定性について", 第6回海洋工学シンポジウム, (1982)
- 10) Bjerregaard, E. T. D., et al., "Wind Over Turning Effect on a Semi-submersible", OTC 3063, 10th OTC, Houston, (1978)
- 11) Bjerregaard, E. T. D., et al., "Wind Overturning Effect, Obtained from Wind Tunnel Tests with Various Semisubmersible Models", OTC 4124, 13th OTC, Houston (1981)
- 12) Boonstra, H., and Leynse, C., "Wind-tunnel Tests on a Model of a Semisubmersible Platform and Comparison of the Results With Full Scale Data", OTC 4252, 14th OTC, Houston, (1982)
- 13) Troesch, A. W., et al., "Wind Loads on a 1:115 Model of a Semisubmersible", Marine Technology, Vol. 20, No. 3, (1983)
- 14) Jacobson, P. and Dyne, G., "Reynolds Number Effects in Model Test With a Four-Column Semi-Submersible", Second International Symposium on Ocean Engineering and Ship Handling, SSPA, (1983)
- 15) 前田久明, 他, "セミサブ型リグに作用する風荷重, 潮流力の推定精密化に関する研究", 日本造船学会論文集, 第156号, (1984)
- 16) Rolfsman, H., et al., "Wind Forces on a Semisubmersible Equipped with Alternative Drilling Derricks", OTC 4531, 15th OTC, Houston, (1983)
- 17) 足達宏之, 高井隆三, "石油掘削リグの復原性について(その1)", 第44回船研講演会講演集 (1984)
- 18) 足達宏之, 影本浩, "海洋構造物の抗力特性—へん平箱形状体の抗力特性—", 第1回推進性能研究委員会シンポジウム, 日本造船学会, (1985)
- 19) Bartlett, G. E., et al., "Experimental Investigation of Influence of Edge Shape

- on the Aerodynamic Characteristics of Low Aspect Ratio Wings at Low Speeds", Jour. Aeronautical Science, Vol. 22, No. 8. (1955)
- 20) 例えば, "船型開発と試験水槽, 第2章", 試験水槽委員会第1部会シンポジウム, 日本造船学会, (1983)
- 21) Abbott, I. H., et al., "Theory of Wing Sections", Dover
- 22) 小山鴻一, "揚力面の数値計算について", 船研報告, 第13巻, 第1号, (1976)
- 23) Hoerner, S., "Fluid Dynamic Drag"
- 24) 中口博, 他, "矩形断面の柱の抗力に関する一実験", 航空学会誌, 第16巻, 第168号, (1968)
- 25) 有江幹男, 他, "乱流境界層の中にある長方形柱周辺の流れに関する研究", 日本機械学会論文集, 第41巻, 第343号, (1975)
- 26) 吉田宏一郎, 岡徳昭, "緊張繫留プラットフォームの風荷重の評価に関する研究", 第7回海洋工学シンポジウム, (1984)
- 27) Roshko, A., "A New Hodograph for Free Streamline Theory", NACA TN 3168, (1954)
- 28) Parkinson, G.V. and Jandari, T., "A Wake Source Model for Bluff Body Potential Flow", J. Fluid Mech., Vol. 40, part 3, (1970)