

フーティング型浮体群に働く潮流力に関する実験的研究

矢後 清和

An Experimental Study on Current Loads acting on Rows of Footing Type Structure supporting An Offshore-Platform.

By

Kiyokazu YAGO

Abstract

A field test using proto-type floating platform "POSEIDON" is going on at Japan Sea, approximately 3km west of Yura in Yamagata prefecture.

The field test is consisted of a part of the research project on the huge floating structure for ocean space utilization.

POSEIDON sometimes shows the large steady tilt and drift which are considered to be induced by current.

This report deals with an investigation of the form effect and the shielding effect among the members on current loads.

It is so difficult to get the theoretical estimation on such problems, that the rules of classification societies are generally applicable on the structural design.

Few research have been done on these problems of a row of footing type structure.

This paper describes the towing tests using 1/14.3 and 1/25 scale model of POSEIDON which the shielding and the form effects are observed on a component footing or tandem footings, then total forces, and the estimation of total forces using these experimental results.

The estimated forces are compared with experimental results of a global structure model and the calculation using rules, and the accuracy of the estimation is discussed.

目 次

1. まえがき	146
2. 要素浮体に働く潮流力	146
2.1 概要	146
2.2 水槽模型試験	147

* 海洋開発工学部

原稿受付：平成2年3月5日

(1) 供試模型	147
(2) 試験方法	147
(3) データ解析	148
2.3 試験結果と考察	149
2.3.1 姿勢変化	149
(1) 喫水変化の影響	149
(2) 傾斜変化の影響	149
(3) 着力点について	150

2.3.2 要素浮体間の遮蔽影響	150
(1) 浮体中心間位置の影響	150
(2) 前後浮体の喫水差の影響	152
3. 全体構造物に働く潮流力	153
3.1 概要	153
3.2 水槽模型試験	153
(1) 供試模型	153
(2) 試験方法	153
(3) データ解析	154
3.3 全体構造物に働く潮流力の推定	154
3.3.1 推定方法	154
3.3.2 試験結果と推算結果	154
(1) 水平方向力	156
(2) 上下方向力	156
(3) モーメント	156
4. あとがき	157
参考文献	157

1. ま え が き

当所では、大水深海域における大規模浮体式海洋構造物を設計・建造するのに必要な要素技術の開発研究に取り組んで来ている。特に、昭和60年度から平成2年度まで、これまでに蓄積した水槽試験および数値計算などの成果を実海域の場で検証する目的でプロトタイプの実験構造物「POSEIDON 号」を建造し、山形県鶴岡市由良港沖 3km の日本海で実海域実験を実施している。本研究は、これらの研究の一部と位置づけられる。

自然環境条件下で海洋構造物に働く外力として、一般に風、波、潮流による力が大きな要素として扱われる事が多いが、この内、潮流力は構造物の移動、傾斜といった復原性の評価および係留特性の評価をする上で重要なものとなる。本研究は、実験構造物を調査対象とし支持浮体群に働く潮流力の基本特性を水槽模型試験によって調査したものである。

実験構造物は大規模海洋構造物の一部を切り出したものという想定がされており、3行4列に等間隔に配置されたフーティング型浮体群を有する半潜水式海洋構造物である。このような海洋構造物に働く潮流力を実験的手法以外に厳密に算出する手法は殆んど提案されておらず、現状においては各船級協会の提案している規則を用いるのが一般的である。¹⁾²⁾

広く用いられている規則として DnV あるいは ABS のものがある。これらは各部材形状に応じた抗力係数を

与え、それから得られる力を積分して潮流力を求めている。フーティング型浮体は基本的に円柱部材として扱われ、その抗力係数はレイノルズ数の関数として与えられている。遮蔽影響については、DnV が算定式を提案している。しかし、フーティング型浮体は没水体を有し、その上下面における端部影響による揚力（沈下力）の推定については、DnV、ABS とも明確な提案は示されていない。

また、実験的研究について調べてみると、多行多列の浮体群について扱った論文は、有限長さの円柱群を一樣に配した浮体群に関するものがほとんどで、傾斜などの姿勢影響や、その時の遮蔽影響および端部影響の変化について扱ったものは見あたらない。

そこで、フーティング型浮体群の姿勢変化による潮流力の遮蔽影響、端部影響について調査するため、まず初めに1本の要素浮体に働く潮流力の姿勢影響と2本の要素浮体間の遮蔽影響に関する基本特性を水槽試験によって把握する。次に、構造物全体としての浮体群に働く潮流力を水槽試験で計測するとともに、要素浮体の基本特性の結果をもとにした推算を行い、その適用性について検討する。以上の実験結果を中心にして、一部、船級協会の算定式との比較を行いながら考察した結果について述べる。

2. 要素浮体に働く潮流力

2.1 概 要

研究対象となる実験構造物の概略図を図-2.1に、主要目を表-2.1に示す。

実験構造物は弛緩係留されており、潮流力を受けることにより定常変位するとともに定常傾斜をおこす。この時、上流に位置する支持浮体は沈下し、下流側は上昇す

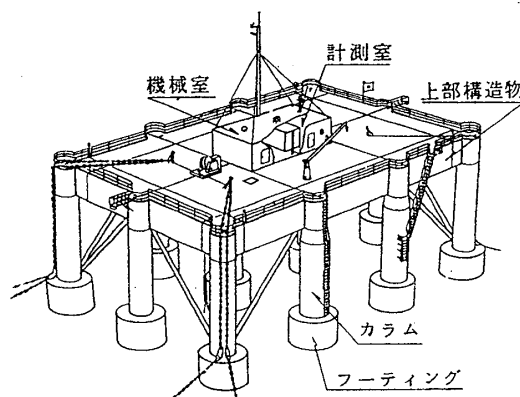


図-2.1 実験構造物の概略図

表—2.1 実験構造物の主要目

【全 体】 最大長さ：34.00m 最大幅：24.00m 最大高さ：26.00m 喫 水：5.50m	【上部構造物】 長さ：30.00m 幅：20.00m 高さ：2.50m
【支持浮体】 本 数：12本 高 さ：11.00m カラム直径：2.00m (一部 2.50m) カラム高さ：8.50m フーティング直径：4.00m 同高さ：2.50m	

る。同時に、各支持浮体は流体に対し形状を変化させた事になるため、潮流力も変化する。ここでは、上昇、沈下に伴う各支持浮体の喫水変化と傾斜変化による潮流力の変化を姿勢影響と呼ぶことにする。

また、上流側、下流側の支持浮体の相互干渉により潮流力の変化が起こり、さらに各支持浮体の姿勢変化が相互干渉に複雑な変化をもたらすと考えられるが、これらの現象を遮蔽影響と呼んで取り扱うことにする。

本節では、フーティング型浮体に作用する潮流力の最も基本的な特性を明らかにするという考えから、まず1本の要素浮体の喫水と傾斜を変化させた時の潮流力の変化について述べ、次に2本の要素浮体を用いて、喫水や流れに対する浮体間の位置を変化させた時の潮流力の変化について述べる。

2.2 水槽模型試験

(1) 供試模型

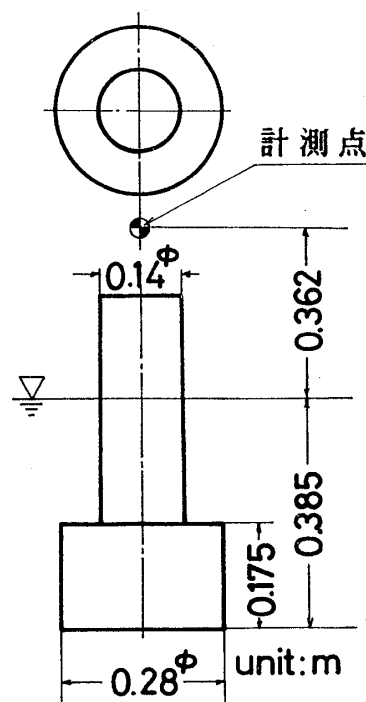
供試模型の概要を図—2.2に示す。この模型は実験構造物の1/14.3の縮尺を持ち、アルミ板を溶接加工して作られている。図中に示した喫水0.385mは実験構造物の平水中における標準喫水(5.5m)を示している。

(2) 試験方法

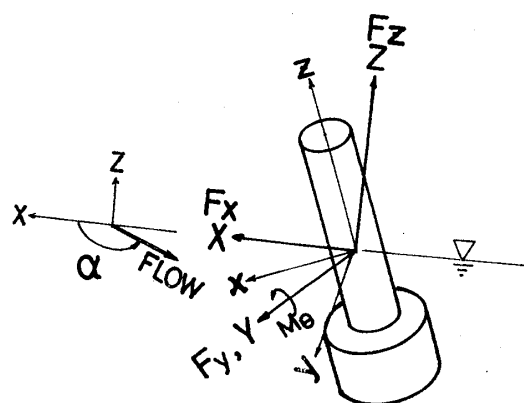
本試験は当所の中水槽において模型を曳航し、このとき流体から受ける3分力の定常成分を計測した。

実験に用いた座標系を図—2.3に示す。図中、大文字で示すのが空間固定座標、小文字で示すのが浮体固定座標である。潮流力の計測には、3分力計を用い、 F_x 、 F_z 、 F_θ を計測している。力の座標は、3分力計を曳引台車に固定したため、全て空間固定座標で定義する。

概要で述べたように、試験は姿勢影響試験と遮蔽影響



図—2.2 要素浮体模型



図—2.3 座標系

表—2.2 水槽試験の種類

① 要素浮体の姿勢影響試験

喫水	傾 斜 角 (deg.)						
	-7.5	-5.0	-2.5	0.0	+2.5	+5.0	+7.5
0.205m	○	○	○	○	○	○	○
0.295m	○	○	○	○	○	○	○
0.385m	○	○	○	○	○	○	○
0.475m				○			
0.565m	○	○	○	○	○	○	○

② 要素浮体の遮蔽影響試験

l_t	l_1						d_1	傾斜角	
	3·Dc	4·Dc	5·Dc	6·Dc	7·Dc	10·Dc		0°	5°
0.0·Dc	○	○	○	○	○	○	0.205m	○	
0.5·Dc	○		○		○		0.265m	○	
1.0·Dc	○		○		○		0.325m	○	○
1.5·Dc	○		○		○		0.445m	○	○
2.0·Dc	○		○		○		0.505m	○	
$d_1=0.385m \quad d_2=0.385m \quad Dc=0.14m$							0.565m	○	
							$d_2=0.385m \quad l_1=5 \cdot Dc$		

試験に大別される。それぞれの試験の種類を表-2.2に示す。姿勢影響試験は全体構造物が $\pm 7.5^\circ$ 傾斜した時を想定し、喫水変化はほぼその範囲を再現するように選んだ。

遮蔽影響試験は、図-2.4に示すパラメータを変化させて行った。検力計を取り付けた浮体の喫水 d_2 は標準喫水で一定とし、上流側の浮体の喫水 d_1 と位置 l_1 , l_t を変化させている。また、傾斜角は 0° を基本にしているが、姿勢影響を調べるため一部 5° の傾斜をつけた状態で実験を行った。

曳航速度は $0.1 \sim 0.4 \text{ m/s}$ の範囲で 0.05 m/s 間隔で7通りに変化させた。フルード則により実機に換算すると、約 $0.8 \sim 3.0$ ノットに相当する。

データ収録は、A/D 変換器によって行っている。サンプリング周期は 0.1 秒で 10 秒間計測を行い、その平均値をデータとして用いている。

(3) データ解析

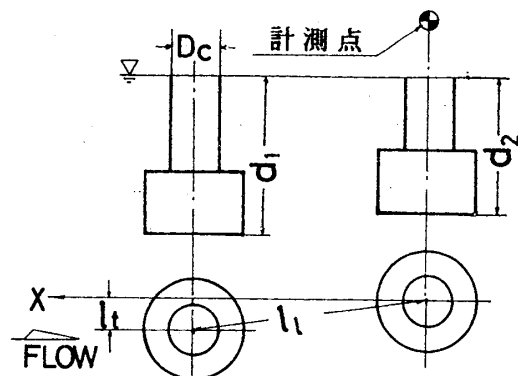


図-2.4 実験パラメータ

実験で計測したデータは、次式に示すような無次元化を行い、これらを抵抗係数と呼ぶことにした。

解析に当たって、各速度に対する力は全て速度の2乗に比例すると仮定し、最小2乗法により抵抗係数を求めている。

$$\begin{aligned}
 Cd_x &= -F_x / \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_x \cdot V^2 \right) \\
 Cd_z &= -F_z / \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_z \cdot V^2 \right) \\
 Cd_\theta &= +M_\theta / \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_z \cdot V^2 \cdot l \right)
 \end{aligned} \quad (2.1)$$

F_x : Y 軸方向の流体反力

F_z : Z 軸 " "

M_θ : Y 軸回りのモーメント

A_x : 浮体固定座標の x 軸に垂直な平面への投影面積

A_z : " の z 軸に " "

(没水体下面面積)

l : 座標原点から投影面積中心点までのレバー

ρ : 水の密度 V : 曳航速度

解析において、 M_θ は水面高さを中心として定義している。従って、計測点でのモーメントを換算して求める必要があるが、換算には F_x , F_z の着力点が判っていないなければならない。これらの着力点は計測点を2点以上にしてモーメントを計測し求める必要がある。

本実験での計測点は1ヶ所であるため、ここでは、浮体固定座標 z 方向の力が z 軸（浮体中心軸）上に作用するとして M_θ を求めている。

2.3 試験結果と考察

2.3.1 姿勢変化

(1) 喫水変化の影響

図-2.5は、喫水変化に対する抵抗係数の変化を示している。

Cd_x , Cd_θ は喫水が0.24mより浅くなるに従い減少する傾向を示すが、 Cd_z については喫水変化の影響は小さい事が判る。

浮体を円柱とみなし、DnVの算定方法に従った場合実験のレイノルズ数範囲では Cd_x は約1.2となる。しかし、フーティングの没水部の高さ・直径比は0.625と小さいため、端部影響が大きくなると考えられ、没水部を3次的にとらえる必要があると言える。

Cd_z の計測値については、曳引方向により差を生ず

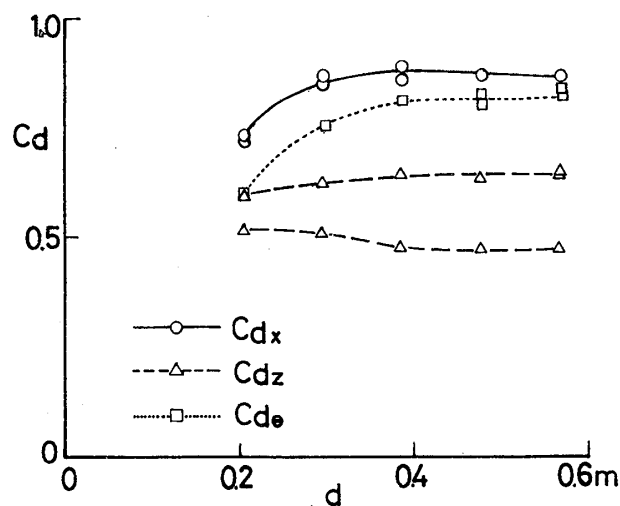


図-2.5 喫水に対する抵抗係数

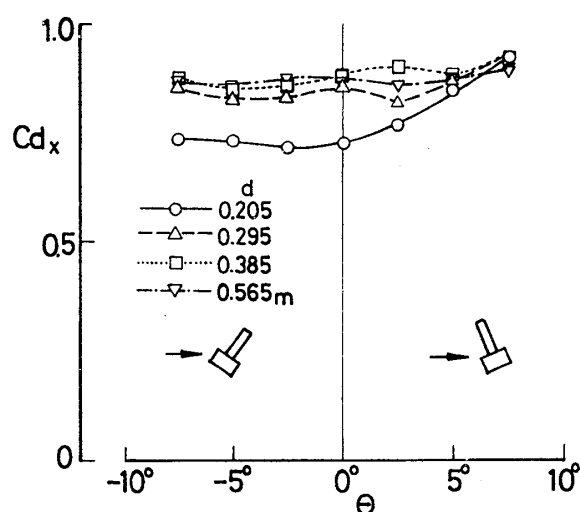


図-2.6 傾斜角に対する Cd_x

る事が判り、ここでは、そのままの解析結果を示すことにした。この原因は、模型の取り付け角の微小な誤差の影響、模型の没水体コーナーにある溶接部の製作誤差の影響などが考えられるが、現時点では不明である。しかし Cd_z は約0.5という値を示しており、 F_z は F_x と比べ、オーダー的には同等の大きさを有していると言えるが、船級協会規則を調べて見ると、 Cd_z に関する算定方法を明確に示したものは見あたらない。

(2) 傾斜変化の影響

図-2.6～図-2.8は、Y軸回りに傾斜させた時の抵抗係数の変化を示している。

Cd_z , Cd_θ の結果を見ると喫水が0.3mより浅い場合に抵抗係数が小さくなる傾向は(1)の実験結果と同様であるが、この範囲では傾斜角の変化に対応して抵抗係数が

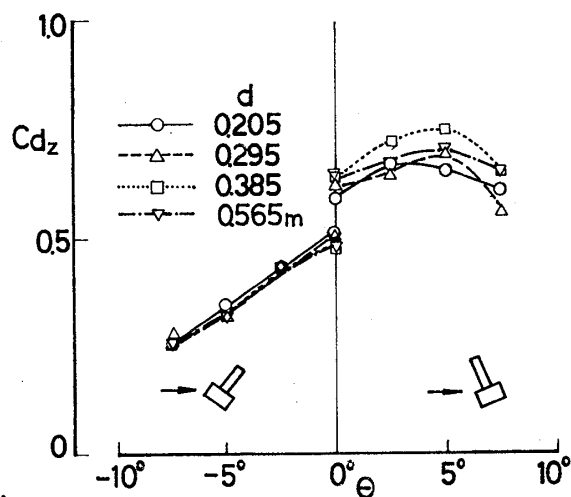


図-2.7 傾斜角に対する Cd_z

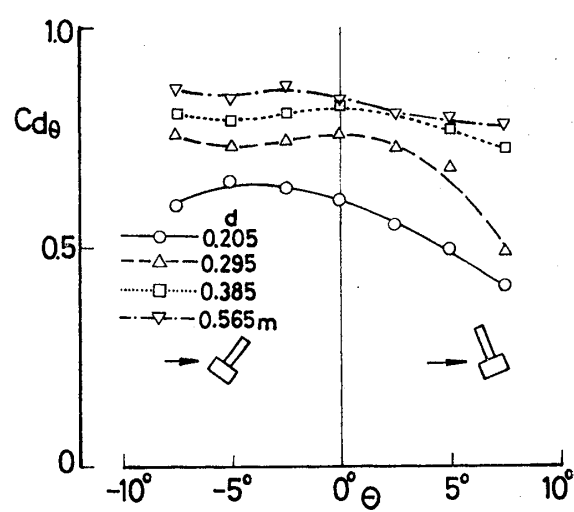


図-2.8 傾斜角に対する Cd_θ

大きく変化し、特に正の傾斜で顕著である。しかし、喫水が0.3mより深い範囲では傾斜角変化の影響は小さく、ほぼ一定の値と見なすことができる。

Cd_z については、喫水変化の影響は小さく、むしろ傾斜角の影響が大きい事が判る。また、傾斜の方向が正負の場合で Cd_z の変化の様子が異なり、正の傾斜角では0.7付近を中心とするゆるやかな変化を示し、逆に負の範囲では直線的に大きな変化を示している。負の傾斜の時、 Cd_z の値が減少するのは没水体上面の圧力が大きくなり浮体を押し上げる力が大きくなるためと考えられるが、実験の傾斜角範囲では沈下力が負になる事はなかった。

傾斜角 0° における実験値のギャップは(1)で述べた曳航方向の違いによる実験値の誤差である。

以上述べた結果は、主に没水体とカラムの相互干渉の影響にもとづく現象が多いと考えられる。船級協会規則の算定方法で、この相互干渉影響を扱えるものはなく、

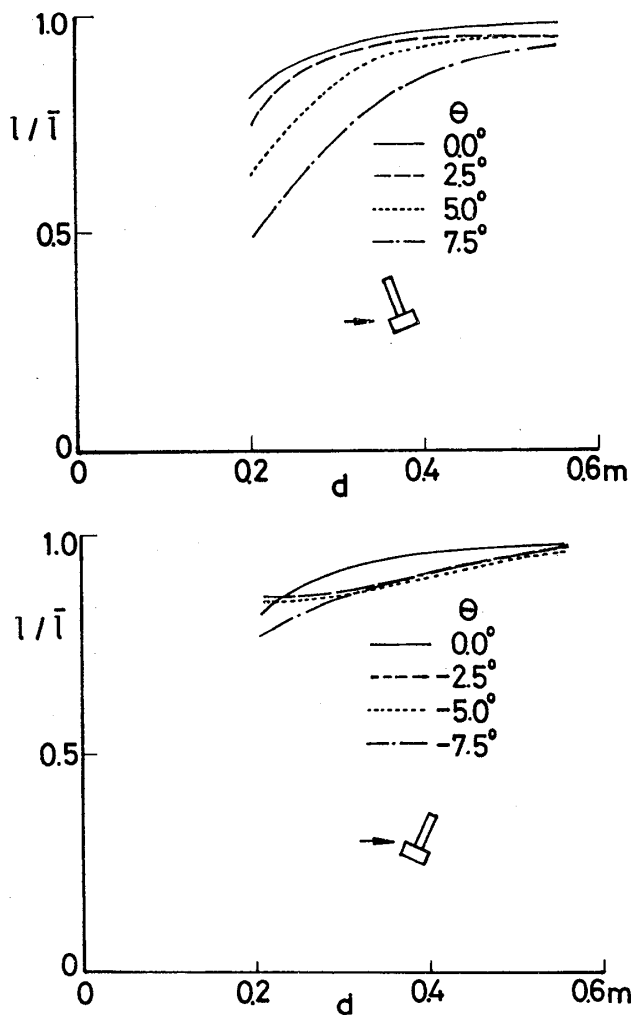


図-2.9 喫水による着点の変化

現状では水槽実験による手法が最も信頼できると言える。

(3) 着力点について

z 軸方向に働く力は、実際には z 軸からはずれた位置に作用すると考えられるため、本試験の方法では着力点を正確に求められない事は2.2(3)で述べた。これまで示した Cd_θ の実験結果は全て z 軸上に力が作用するという仮定のもとに解析を行っているため、解析方法の適用性について検討しておく。

z 軸の原点を水面上に置き、仮定に基づいて求めた着力点までの長さを l 、 x 軸方向の流れに対する投影面積中心までの長さを $\bar{l}$ とし、 $l/\bar{l}$ という無次元量を用いる。

図-2.9は喫水変化に対する $l/\bar{l}$ の変化を傾斜角毎に示したものである。

傾斜角が負の場合には $l/\bar{l}=0.8\sim 1.0$ の範囲に比較的一定した値を示すのに対し、正の傾斜角では変化が大きく、その傾向は傾斜角が大きい程大きくなる事が判る。図-2.8に示した Cd_θ について、正の傾斜角範囲で値が減少する現象は、上述の結果と一致しており、着力点変化に依存していると考えられる。

2.3.2 要素浮体間の遮蔽影響

(1) 浮体中心間位置の影響

図-2.10は、流れに直列に並んだ浮体の中心間距離 l_l に対する抵抗係数の変化を表す。

喫水は2本の浮体とも標準喫水0.385m、傾斜角は 0° である。

実験の中心間距離 $l_l/D_c=10$ までの範囲では、下流の浮体に対する遮蔽影響が大きく、10を越える範囲でも

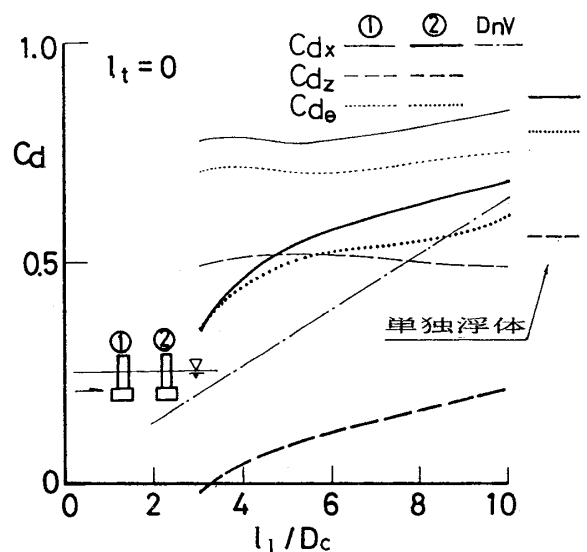


図-2.10 中心間距離に対する抵抗係数

遮蔽影響が残ると考える事ができる。

また、 Cd_z について、中心間距離が小さくなると、0 になる状態がある事が判る。

船級協会規則を調べてみると、本実験にあてはまるケースとして DnV の提案している算定式がある。

それによれば、複数の部材が流れの方向に並んで配置され、上流側部分の伴流中に入る部材が存在する時は、部材間の軸芯距離が部材幅の 7 倍以下ならば、はじめに与えられる形状係数を次式で計算される係数を用いて減少させる事としている。

$$1 - \frac{b_f}{b_s} \left(1 - \frac{l}{7b_f} \right) \quad \text{for } b_f \leq b_s \quad (2.2)$$

$$\frac{l}{7b_f} \quad \text{for } b_f \geq b_s$$

b_f : 上流側部材の断面幅

l : 部材の軸芯間距離

b_s : 下流側部材の断面幅

部材幅を没水体直径（カラム直径の 2 倍）とし、上式により算定した Cd_x を図中に破線で示す。実験結果と比較した場合、傾向的には一致するが実験の l_t の範囲では低い推算結果となっている。また、 Cd_z について上式を適用するのは無理があるといえる。式(2.2)では部材幅の 7 倍の距離離れば遮蔽影響が無視できるという事になるが、実験結果のカーブを外挿して考えた場合、この算定方法がかならずしも妥当とはいえないと考える。

有限円柱を用いた他の同様な実験においては、部材幅の 10 倍の距離でも遮蔽影響があるという報告³⁾がある。

また、一般の浮遊式海洋構造物では、ほとんどの場合主要部材が 7 倍までの距離内に入ると考えられ、全ての要素浮体が何らかの形で遮蔽影響を受けるものと思われる。

図-2.11~図-2.13は、下流側の浮体について、 l_t , l_l の両方を変化させた時の抵抗係数の変化を 1 つの図にまとめて示したものである。

それぞれの抵抗係数の変化のパターンは、よく似ており、次のような特徴をもつといえる。

- ① $l_t > 1.5D_c$ では、遮蔽影響は小さいとみなせる。
- ② $l_t = 0$ では l_l に対して 2 次曲線的な変化をする。
- ③ $l_l = 7 \cdot D_c$, $l_t = 0.8 \cdot D_c$ 付近で窪みを持つ。窪みの大きさは、遮蔽を無視した時と最も遮蔽影響を受けた時の Cd のほぼ平均に近い値となる。
- ④ その他の範囲では、上記の点を 3 次的に補間した値

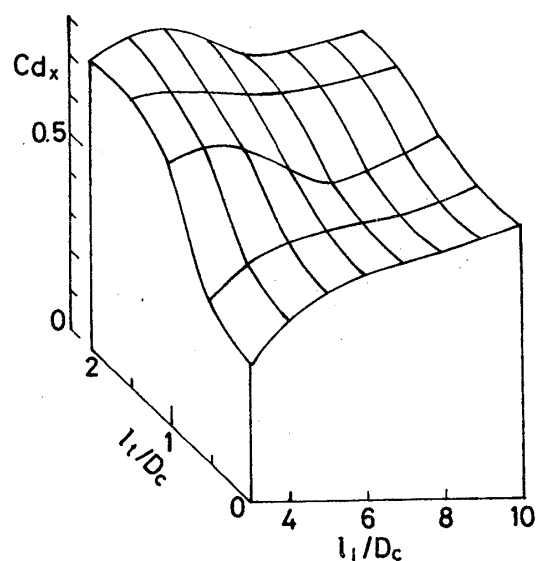


図-2.11 下流側浮体の Cd_x

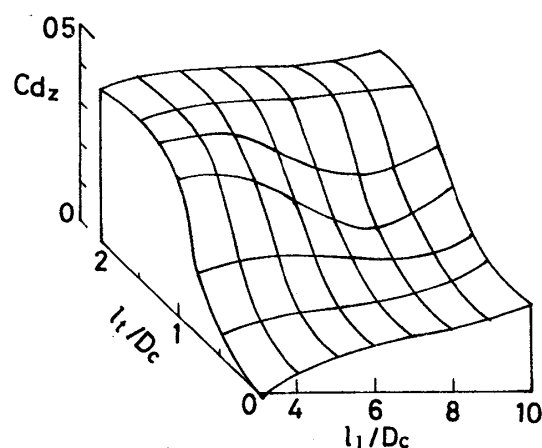


図-2.12 下流側浮体の Cd_z

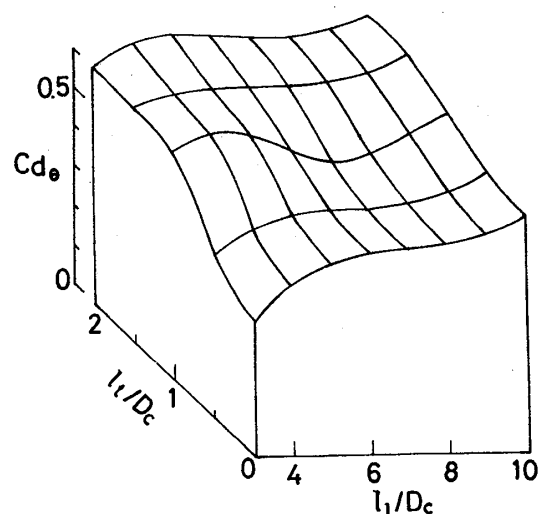


図-2.13 下流側浮体の Cd_θ

でほぼ近似できる。

以上の事から、 $l_t = 0$ における変化特性が求まれば他の状態の係数は、ほぼ推定できると考えられる。

これまで述べてきた抵抗係数の変化に対する物理的説明をするためには、周囲の流れの様子を詳細に調査する必要があるため、別の機会に実施することにし、今回は実験で得られた抵抗係数の特性について述べるに留めた。

次に、上流側の浮体の抵抗係数の変化について、下流側浮体の場合と同じ方法で図-2.14～図-2.16に示す。

図中、遮蔽影響を受けない状態における要素浮体の抵抗係数の値を細実線で囲って示す。これらの図から、上流側の浮体も下流側の浮体が存在する事による相互干渉を受け、ほとんどの場合抵抗係数が約90%程度に減少する。但し、 $l_t / D_c = 2$, $l_t / D_c = 3$ 付近のように元の抵抗係数より若干大きくなる場合もある。

(2) 前後浮体の喫水差の影響

本試験は、海洋構造物全体が傾斜した場合、各々の要素浮体の喫水が変化し遮蔽影響に何らかの変化が起こるであろうという想定のもとに実施したものである。

力を計測する下流側浮体の喫水は一定 (0.385m) で上流側浮体の喫水を変化させている。浮体は流れに直列に並び、 $l_t / D_c = 5$ である。

図-2.17に試験結果を示す。それぞれのカーブは、実験値の平均線である。 $d_1 = 0$ においては遮蔽影響がないという事であるから、単独の要素浮体の抵抗係数値を用いてカーブを結んでいる。

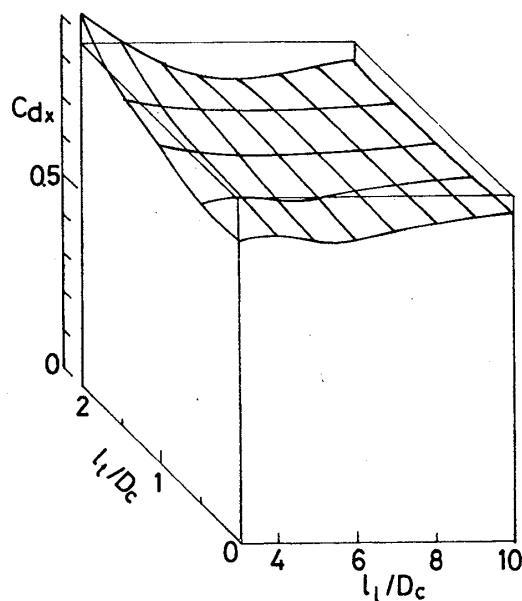


図-2.14 上流側浮体の Cd_x

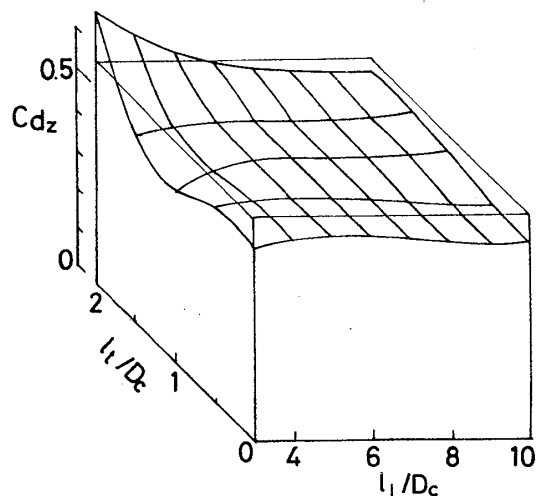


図-2.15 上流側浮体の Cd_z

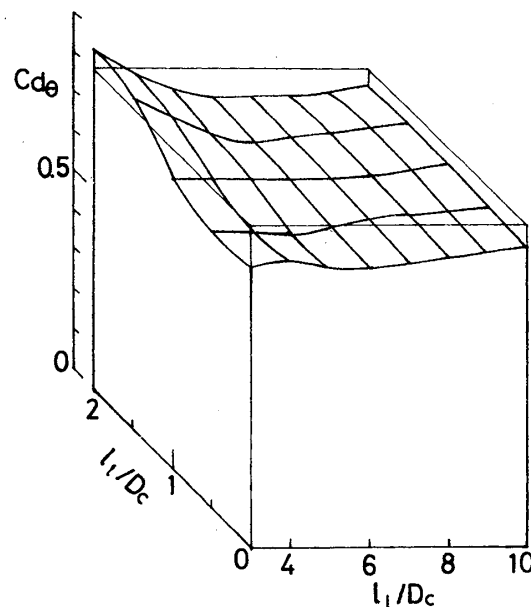


図-2.16 上流側浮体の Cd_θ

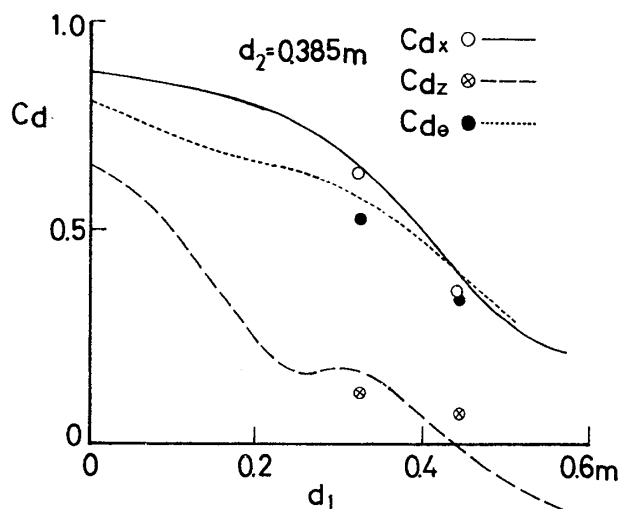


図-2.17 喫水差による抵抗係数の変化

全体的に喫水 d_1 が深くなるに従い抵抗係数は減少する事が判る。特に、 Cd_z は大きな変化の様子を示し、 $d_1 = 0.45$ 付近より深い範囲では負の値となる。図中、○⊗●のマークは浮体の傾斜角を上下流側とも 5° 付けた場合の結果である。喫水差による遮蔽影響に比べ傾斜による影響は小さいと考えられる。

3. 全体構造物に働く潮流力

3.1 概要

本節では、2 節までに求めた要素浮体に働く潮流力の特性を使い、「POSEIDON 号」に働く潮流力の推定を行う。また、「POSEIDON 号」の縮尺模型を用いた水槽試験から求めた全体に働く潮流力と推算値を比較し、推算法について検討を行う。

3.2 水槽模型試験

(1) 供試模型

供試模型は実験構造物「POSEIDON 号」の1/25縮尺槽型である。この模型は水槽において実海域実験を模擬した総合試験用に作られたもので、主要外形について実機を忠実に再現している。材質はアクリル樹脂で、ブレース、係留鎖ガイド装置はついているが、梯子、ケーブル取込パイプなど剥離を促進する要因となると考えられる付属物は一切付いていない。

(2) 試験方法

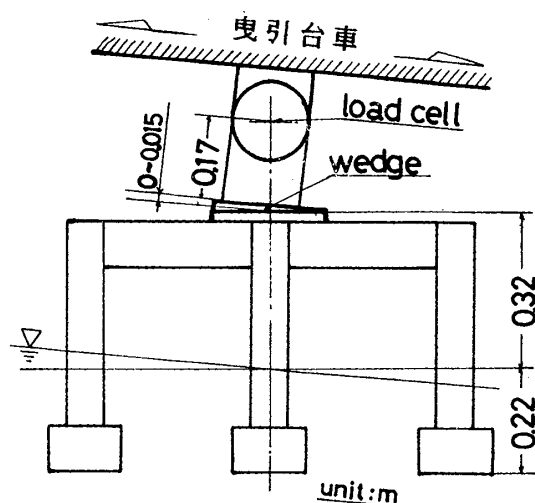
模型の甲板上中央に3分力計を設置し、曳航試験を行った。試験の概要を図—3.1に、座標系を図—3.2に示す。3分力計を曳引台車に固定する必要性から、力の向きは全て空間座標系を用いて定義した。

構造物の傾斜を変化させる場合には、甲板取付部にくさびをはさみ込んで固定し、流れとの出会い角を変化させる場合は甲板中央の固定ボルトを中心に模型を回転させた。

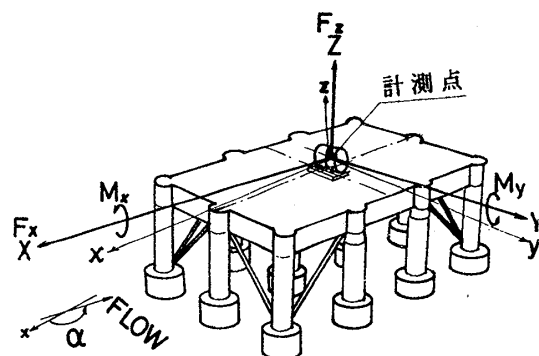
座標原点は要素浮体の場合と異なり、3分力計の検力中心部とした。これは、全体構造物の場合、支持浮体幅広い範囲に分布し、上下力によるモーメント成分が無視できなくなるため、 F_x 、 F_z の着力点を求める事が出来ず、モーメントの評価を検力部中心で行わざるを得ないためである。

試験の種類は表—3.1に示すように、流れとの出会い角と傾斜角（トリム角、ヒール角）を変化させた。

曳航速度は0.1～0.3 m/s の範囲で0.05 m/s きざみに変化させた。実機換算で約1～3ノットに相当する。



図—3.1 曳航試験の概要



図—3.2 座標系

表—3.1 全体構造物曳航試験の状態

出 会 角	H E E L (deg.)						
	-7.5	-5.0	-2.5	0.0	+2.5	+5.0	+7.5
180°		○		○		○	
195°		○		○		○	
210°		○	○	○	○	○	
225°		○		○		○	
240°		○	○	○	○	○	
255°		○		○		○	
270°	○	○	○	○	○	○	○

(3) データ解析

データの収録および解析方法は要素浮体の試験の方法と基本的に同じである。

抵抗係数を次のように定義した。

$$\begin{aligned} Cd_x &= -F_x / \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_x \cdot V^2 \right) \\ Cd_z &= -F_z / \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_z \cdot V^2 \right) \end{aligned} \quad (3.1)$$

F_x : X軸方向の流体反力

F_z : Z軸

A_x : x軸に垂直な面への浮体の投影面積×浮体数

A_z : z軸

ρ : 水の密度 V : 曳航速度

モーメント M_y については、要素浮体の場合と異なり着点レバーを明確に仮定できないので、無次元化はせず M_y / V^2 という有次元の形で取り扱うこととした。

3.3 全体構造物に働く潮流力の推定

要素浮体の曳航試験で得られた潮流力特性を用いて全体構造物に働く潮流力の推定を試み、試験結果との比較を行う。

3.3.1 推定方法

全体構造物では、遮蔽影響が大きな要素となると考えられるから、まず、浮体列の扱いを定める事にした。

列の与え方は、次に示す考え方に基き図—3.3のように定めた。

- ① 流れに対し、浮体が 15° までの範囲に並んだ状態では、 0° と同じ扱いをする。 $(180^\circ, 195^\circ, 255^\circ, 270^\circ)$ の場合が該当する。
- ② $45^\circ (225^\circ)$ の場合には、対角線上の浮体が流れの方向に直列に並ぶから、上流より順に列を数える。
- ③ $30^\circ \sim 60^\circ (210^\circ \sim 240^\circ)$ の範囲の場合は、 45° と同じに扱う。

上記の扱いはあくまで 15° 毎の角度について考えたものである。流れに直角方向に隣りあう浮体について DnV の規則等では閉塞影響を考慮しているが、ここではあくまで流れに平行な線上に近い位置に配列する浮体の遮蔽影響のみを考慮する事にした。すなわち、遮蔽影響を、2本の要素浮体の試験で用いた l_b, l_t の関数として扱っていく。

次に、2本の要素浮体の結果を3列目以降の浮体に対してどのように適用すべきかという問題が起こる。

この点については、多行多列の円柱群の遮蔽影響を扱った他の文献⁴⁾の結果を参考にした。

その結果によると、3列目以降の抵抗係数は1列目と2列目の減少比率のまま順次減少することではなく、3列目以降は、ほぼ2列目と同様な値を示す。よって3列目以降の浮体にはこの関係を適用し推算を進めることにした。

Cd_x の推算は、与えられた列の位置関係 l_b, l_t に対し、2本の要素浮体の実験結果から要素浮体の Cd_x を求め、1度それぞれの力 F_x にもどし、それらを積算して全体の係数を求めた。この方法による推算結果は実験結果より若干高い値を示すため、試みに第3列目以降の係数について順次0.8倍する補正を行ったところ実験値と良く一致した。後に示す結果はこの補正を行ったものである。但し、長大構造物など多列の要素浮体を有する構造物にこの補正法を適用した場合、後方の抵抗係数は0に近くなり正しい評価をしているか疑問が残る。本補正法は推算精度を考え適用したもので、適用の範囲は実験構造物程度の浮体列を有する構造物に対してであり、長大構造物に関しては文献⁴⁾などの結果を用いるのが妥当と考える。

Cd_z の推算は Cd_x の場合と同様に行ったが、0.8倍する修正は行わず3列目以降の Cd_z は2列目と同じ値を用いた。

モーメントについては、 Cd_x, Cd_z から求められる各要素浮体の F_x, F_z に計測点までのレバーを乗じ、それらの値を積算して求めた。この時、各要素浮体に働く力の着点力は F_x に関しては投影面積中心、 F_z については浮体軸芯上とした。

構造物が傾斜した状態での全体力の推定は、要素浮体の喫水差を考慮した遮蔽影響試験の結果を用いたが、実験状態が $l_t = 0$ の場合に限られているため、出会い角 270° 、ヒール角 5° のケースについて取り扱った。

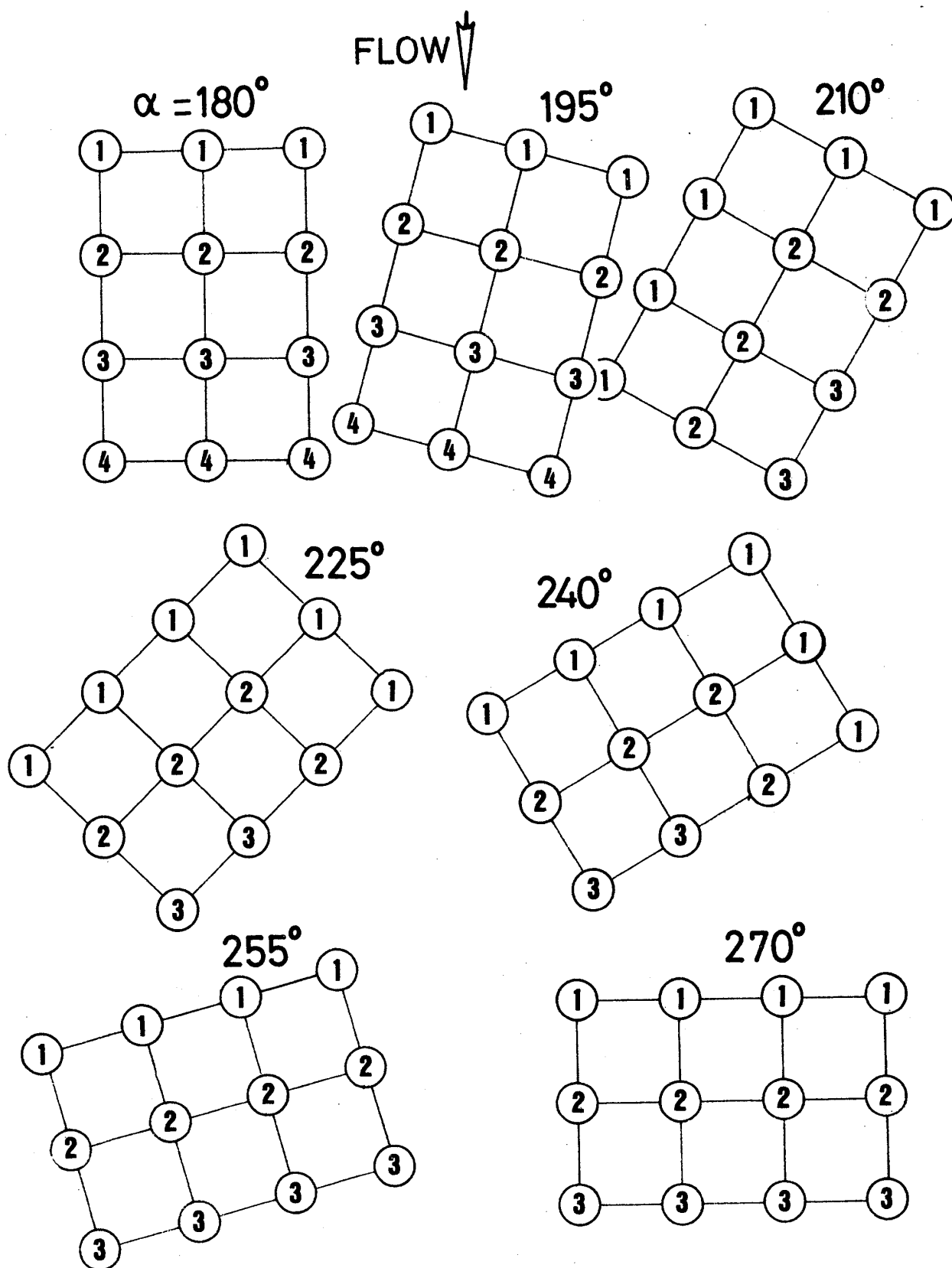
3.3.2 試験結果と推算結果

(1) 水平方向力

図—3.4に全体構造物の Cd_x の流れとの出会い角に対する変化を示す。

各ラインは実験値を結んだ平均線である。推算値を○△▽印で示す。両者は良い一致を示しているといえる。

ヒール角の影響は、試験の範囲においてはあまり大きいとはいえない。出会い角 270° における推算値を見ると実験値より若干低い値を示している。これは、ヒール 0° の場合にも言えることで、傾斜影響そのものについては実験結果と良い傾向の一致を示している。

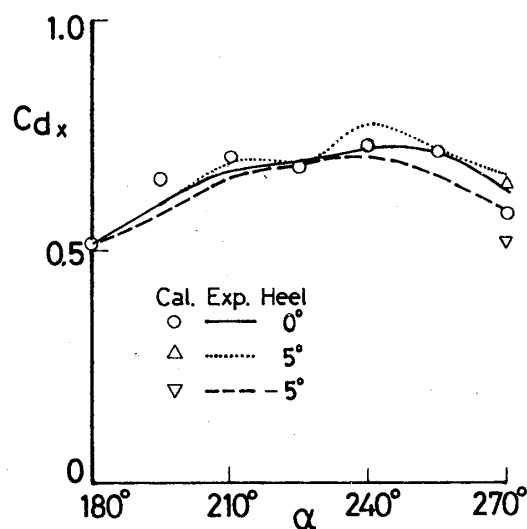
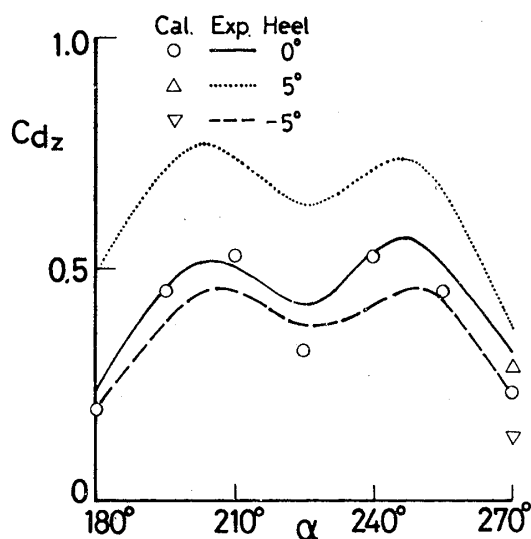


図—3.3 浮体列の与え方

(2) 上下方向力

図-3.5に出会い角に対する Cd_z の変化を示す。 Cd_x に比べ変化が激しく、出会い角の変化に伴う遮蔽影響が敏感に効いていると見られる。

実験値についてみると、ヒール角 $\pm 5^\circ$ の結果が、 0° の結果を中心に対象にはならず、また、出会い角 180° で一致するはずのデータが大きな誤差を示している。要素浮体の試験の場合にも曳航方向の違いにより誤差を持つ事を述べたが、上下力についての現象に不安定要素があるのか、計測上の欠点があるのか、ここでは明らかにできない。この点については今後詳細な調査が必要であるが、現時点では①これまで外力として考慮される事の

図-3.4 全体構造物の Cd_x 図-3.5 全体構造物の Cd_z

少ない上下力が水平力に比べ無視できるオーダーなのか？

②構造物の傾斜などによる変化がどうか？を明らかにする事に主眼を置いた実験であり、その意味において結果を示すものである。

推算結果については、ほぼ実験値と良い傾向の一致を示すが、 $225^\circ (45^\circ)$, $255^\circ (75^\circ)$, $270^\circ (90^\circ)$ 付近では低目の評価となっている。

ヒール影響は 5° 程度の比較的小さな角度であっても Cd_x などに比べ全体的に大きいと言える。

(3) モーメント

図-3.6は M_y について出会い角に対する変化を示している。

傾向として Cd_x に似た変化を示している。その原因として、計測点が甲板上的のかかなり高い位置にあることがあげられる。すなわち、 z 軸方向のレバーが大きくなるため、水平方向力によるモーメントの影響が上下方向力によるモーメントの影響より顕著に表れるからである。しかし、実際の構造物の重心位置はもっと水面に近い高さにあり、水平方向の影響は小さくなり、逆に上下方向力の影響が強く表われてくるものと考えられる。

推算結果については、実験値と良い一致を示している。また、ヒールにより若干モーメントの値が大きくなる傾向のあることが判る。

このモーメント成分は、主に構造物を傾斜させる要因となって働くものと考えられ、復原性能を評価する上で高い推算精度を求められるが、本算定方法により良好な結果を示せたと言える。

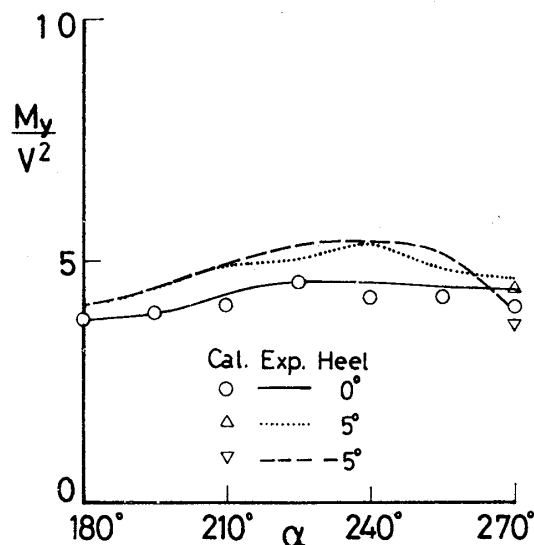


図-3.6 全体構造物に作用するモーメント

なお、以上の推算では出会い角を 15° 毎として行っているが、この程度の間隔で推算を行えば、その他の出会い角についても、推算値を補間して求めることができると考えられる。

4. あ と が き

本報告では、一様流中に置かれた浮遊式海洋構造物に働く潮流力の推算方法の精度向上を目的とし、フーティング型浮体群に働く潮流力の姿勢変化影響、遮蔽影響に関する実験的研究を行い、プロトタイプの実験構造物に働く潮流力の推定を試みた。

その結果、次のような結論を得た。

- ①フーティング型浮体は没水体とカラムの干渉により沈下方向力が働き、その大きさは水平方向力と同程度のオーダーを示す。
- ②喫水が浅くなると水平方向の抵抗係数が減少する。
- ③上下方向力は姿勢変化の影響を強く受ける。
- ④遮蔽影響については、 Cd_x , Cd_z , Cd_θ とも浮体間位置を関数として同様な変化のパターンを示し、流れに直列な配置における特性が判れば、他の状態も概ね推定できる。
- ⑤浮体間の喫水差がおよぼす遮蔽影響は、各抵抗係数に大きな変化をもたらす。前列浮体の喫水が深くなると抵抗係数は減少し、 Cd_z では負の値を持つ場合がある。
- ⑥要素浮体における遮蔽影響試験、姿勢影響試験の結果をもとに、全体構造物の潮流力の推定を行い、良好な結果を得た。
- ⑦全体構造物において、流れの向きにより上下方向力は大きく変化する事が判った。船級協会の提案している規則等では上下力の推算法が明確に示されていないが外力を評価する上で無視できないと考えられる。

本実験は、科学技術振興調整費による「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」(昭和60～61年度)および運輸技術研究開発費による「海洋構造物の沖合展開のための開発研究」(昭和61年度～平成2年度)の一環として行われている浮遊式海洋構造物「POSEIDON号」の実海域実験に関する研究の一部として、基礎資料を得る目的で行ったものである。

参 考 文 献

- 1) Det norske Veritas (DnV) : Rules for classification of Mobile Offshore Units part 3.

Chapter 1 (1982)

- 2) American Bureau of Shipping (ABS) : Rules for Building and Classing Offshore Mobile Drilling Units (1980)
- 3) Suzuki.N : Aerodynamic Force Acting on Circular Cylinders arranged in a Longitudinal Row. 3rd Int. Cont. Wind Effects on Buildings and Structures. (1971)
- 4) 定藤他 : 浮体工法による海上空港建設に係わる評価のための技術調査, 船舶技術研究所報告別冊第4号 (1983.3)
- 5) 前田他 : 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 (1984.12)
- 6) 関川, 松本他 : セミサブ型石油掘削リグ“BINGO 4000M”の運動性能, 日本鋼管技報, No.95 (1982)
- 7) ECOR 日本委員会 : 海洋構造物の係留技術 (1986.8)
- 8) 国際海洋科学技術部会 : 海洋構造物の振動問題 (1988.9)
- 9) 足達他 : 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), 船研報告, 第22巻 第6号 (1985.11)
- 10) 矢後他 : 定常傾斜について, 船研発表会講演集 (1988.12)
- 11) 矢後他 : 実海域における浮遊式海洋構造物の運動性能について, 日本沿岸域会議論文集No.1 (1989.3)
- 12) 田中 : 水面を直進する直立円柱の性質について, 日本造船学会誌, 第505号 (1971.7)