

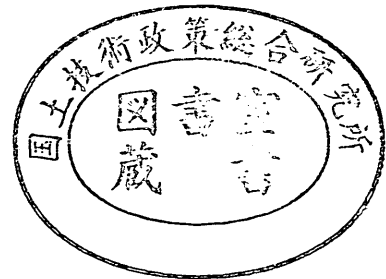
運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 33 NO. 2 JUNE. 1994

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I)

第33巻 第2号 (Vol.33, No.2), 1994年6月 (June.1994)

目次 (CONTENTS)

1. スペクトル形状による波群特性の変化
.....鈴木康正・河合弘泰・望月徳雄・松森孝弘..... 3
(Effect of Spectral Peakedness on Wave Grouping Characteristics
...Yasumasa SUZUKI, Hiroyasu KAWAI, Norio MOCHIZUKI and Takahiro MATSUMORI)
2. 衝撃碎波力に対する防波堤ケーソンの動的挙動
.....高橋重雄・下迫健一郎・上部達生 59
(Characteristics of the Dynamic Response of Composite Breakwater
against Impulsive Breaking Wave Force
.....Shigeo TAKAHASHI, Ken'ichirou SHIMOSAKO and Tatsuo UWABE)
3. 海中に設置された汚濁拡散防止膜の水理特性に関する研究
.....鶴谷広一・渡邊 弘・安岡大輔・工藤雅春 87
(Study on hydrodynamic characteristics of floating flexible barrier
.....Hiroichi TSURUYA, Hiroshi WATANABE, Daisuke YASUOKA and Massaharu KUDO)
4. 潜堤周辺の底泥の局所洗掘に関する実験的研究
.....鶴谷広一・吉永宙司・佐々木豊喜115
(Experimental Study on the Local Mud Scour near Submerged Walls
.....Hiroichi TSURUYA, Hiroshi YOSHINAGA and Toyoki SASAKI)
5. 合成版式ケーソンのフーチング部の力学特性と構造設計
.....清宮 理・山田昌郎141
(Mechanical Properties and Structural Design of Composite Footing
.....Osamu KIYOMIYA and Masao YAMADA)
6. コンクリート中の鉄筋のマクロ腐食と電気防食によるアノード,
カソードへ流入する電流および分極量
.....阿部正美・福手 勤・浜田秀則・三浦幸治181
(A Study of Current Density and Polarization Amounts by Cathodic
Protection for Macro Cell Corrosion of Steel Bars in Concrete
.....Masami ABE, Tsutomu FUKUTE, Hidenori HAMADA and Kouji MIURA)
7. 転圧コンクリートによる薄層オーバーレイ工法の開発
.....福手 勤・三浦幸治・浜田秀則・寺野宜成207
(Thin Bonded Overlay using Roller Compacted Concrete for Airport Concrete
Pavements
.....Tsutomu FUKUTE, Kouji MIURA, Hidenori HAMADA and Yoshinari TERANO)

8. 増粘剤を用いた高流動コンクリートの過密配筋部材への適用性
.....福手 勤・濱田秀則・三浦幸治231
(Applicability of super-workable concrete using viscous agent to densely reinforced
concrete members
.....Tsutomu FUKUTE, Hidenori HAMADA and Kouji MIURA)

3. 海中に設置された汚濁拡散防止膜の水理特性に関する研究

鶴谷広一*
渡邊 弘**
安岡大輔**
工藤雅春**

要 旨

浚渫や埋立などの海洋工事にともなう海水のにごりの防除のため、通常は汚濁拡散防止膜と呼ばれるフレキシブルな膜体構造物が使われている。

汚濁拡散防止膜は恒久的な構造物ではなく、工事中の限られた期間のみ設置され、工事の完成後は撤去される。このように、汚濁拡散防止膜は仮設物として扱われるため、膜の変形などの水理的に難しい問題を含んでいるにもかかわらず、その設計段階においては外力や変形に対する検討が必ずしも十分に行われていない。

本研究では、流れに対する汚濁拡散防止膜の変形(ふかれ)、膜に作用する流体力、膜周辺の流れ場などの水理特性を明らかにするとともに、実測から得られた抗力係数をもとにして、膜の変形に関するモデル化を行ったものである。

キーワード：汚濁拡散防止膜、ふかれ、流体力、抗力係数

*海洋水理部水理研究室長

**海洋水理部水理研究室

3. Study on hydrodynamic characteristics of floating flexible barrier

Hiroichi TSURUYA*

Hiroshi WATANABE**

Daisuke YASUOKA**

Masaharu KUDOH**

Synopsis

Floating flexible barriers are used for preventing pollution caused by marine construction works accompanied by reclamation, dredging and so on. The barriers, however, are only utilized under construction as temporally-used structures and they are usually removed after the completion of such construction works. Therefore their strength against exerting forces has not been necessarily examined for their designing.

In the present paper hydrodynamic characteristics of the barriers have been studied. Experimental results on the behavior and exerting force of barriers in a flow field were analyzed. Numerical model has also been suggested, based on drag coefficients obtained by experiments, for the prediction of their deformation.

Key Words : Floating flexible barriers, deformation of barriers, Fluid force, Drag coefficients

*Chief of Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

**Member of Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

目 次

要旨	87
1. まえがき	91
2. 理論的背景	91
2.1 相似則	91
2.2 抗力と抗力係数	92
2.3 投影面積	93
3. 実験方法と実験ケース	93
3.1 二次元実験	93
3.1.1 実験装置	93
3.1.2 流れによる変形	94
3.1.3 波による運動	95
3.2 三次元実験	96
3.2.1 実験装置	96
3.2.2 流れによる変形	97
4. 実験結果	98
4.1 膜周辺の流れ場	98
4.1.1 二次元実験	98
4.1.2 三次元実験	100
4.2 膜に働く流体力と膜の変形	103
4.2.1 二次元実験	103
4.2.2 三次元実験	107
4.3 波による膜の運動	108
5. 膜の変形計算	108
5.1 計算方法	108
5.2 実測値との比較	111
6. 結論	112
参考文献	113

1. まえがき

近年、わが国ではウォーター・フロントの開発はめざましく、海上空港の建設や埋立地の沖合展開など大規模海洋工事も行われるようになってきた。それと同時に海域環境の保護の観点から、浚渫や埋立などの海洋工事にもなう海水のにごりが周辺海域へ与える影響を極力少なくするために多大の努力がはらわれてきた。こうした工事に伴う汚濁防除のため、汚濁拡散防止膜と呼ばれるフレキシブルな膜状構造物が使われている。

汚濁拡散防止膜は恒久的な構造物ではなく、工事中の限られた期間のみ設置されるので、工事の完成後は撤去されるのが通例である。このように、汚濁拡散防止膜は仮設物として扱われるため、膜に働く流体力や変形などの水理学的に難しい問題を含んでいるにもかかわらず、その設計段階において外力や変形に対する検討が必ずしも十分になされていなかった。

榎木・青木(1987)は、実際の設置形態に合わせた状態で、流れの中に設置された汚濁拡散防止膜に働く流体力と部材力の算定法を示し、水理実験による検証を行っている。しかし、問題を三次元で取り扱っていることもあって現象が複雑であり、膜に働く流体力や展張ワイヤーの張力については実験による検証が十分に行われるまでには至っていない。その後、榎木ら(1988, 1989, 1990)は、波浪中に設置された自立式あるいは垂下式の汚濁防止膜に働く衝撃張力の検討を行っている。

また、小田ら(1990, 1991, 1993)は、実験と数値計算によって、汚濁防止膜の拡散防止効果の検討を行っている。しかし、膜は変形しないものとして扱われている。

汚濁拡散防止膜は、流れや波など外力により変形するために、外力と変形の相互関係に対する基礎的な検討を行う必要がある。

そこで、本研究では、流れに対する汚濁拡散防止膜の変形(ふかれ、ここでは、変形した後の膜の高さを”ふかれ高さ”と定義する)や膜の受ける流体力、膜周辺の流れ場などの水理特性を知るために、基本的な二次元実験と現地での設置方法に近い三次元実験を行った。また、実測から得られた抗力係数をもとにして、膜の変形に関するモデル化を行った。

2. 理論的背景

2.1 相似則

水理実験を行う場合、その実験が実際の現象を再現しうるか、また、得られた結果をどのような法則で現地量

に換算するかということが重要である。すなわち、模型と実際の現象(原型)との間には、力学的な相似が成り立っていないてはならない。

われわれの考える運動が、重力と粘性力によって規定されている場合には、その運動は次式のNavier-Stokesの運動方程式で表される。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \\ & \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \\ &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、運動は (x, z) 平面の2次元運動であるとし、 x 軸は静水面上水平方向にとり、 z 軸は鉛直上向きにとる。 u, w はそれぞれ x, z 方向の流速、 p は圧力、 ρ は流体の密度、 ν は流体の動粘性係数である。

いま、式(1)について相似則を検討する。模型および原型について生じる現象が相似であるためには、原型に関する式(1)と、模型に関する式(1)の対応する各項の比がそれぞれ等しくなければならない。そこで、原型と模型との関係を式(2)のようにおく。

$$\begin{aligned} l_r &= \frac{x_m}{x_p} = \frac{z_m}{z_p}, \quad u_r = \frac{u_m}{u_p}, \quad w_r = \frac{w_m}{w_p}, \\ t_r &= \frac{t_m}{t_p}, \quad \rho_r = \frac{\rho_m}{\rho_p}, \quad \nu_r = \frac{\nu_m}{\nu_p}, \quad p_r = \frac{p_m}{p_p} \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、添字の p は原型量を、添字の m は模型量を示し、添字の r は模型量の原型量に対する比を表す。

式(1)は原型について成り立つから、 u 成分について書くと、

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u_p}{\partial t_p} + u_p \frac{\partial u_p}{\partial x_p} + w_p \frac{\partial u_p}{\partial z_p} = -\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial p_p}{\partial x_p} \\ & + \nu_p \left[\frac{\partial^2 u_p}{\partial x_p^2} + \frac{\partial^2 u_p}{\partial z_p^2} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

となる。これに、式(2)を代入すると、

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u_m}{\partial t_m} + \left[\frac{l}{ut} \right]_r u_m \frac{\partial u_m}{\partial x_m} + \left[\frac{l}{wt} \right]_r w_m \frac{\partial u_m}{\partial z_m} \\ &= \left[\frac{\rho u l}{p t} \right]_r \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial p_m}{\partial x_m} + \left[\frac{l^2}{\nu t} \right]_r \nu_m \left[\frac{\partial^2 u_m}{\partial x_m^2} + \frac{\partial^2 u_m}{\partial z_m^2} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

となる。式(4)の関係が、模型に対しても成り立つためには、式(4)の各項のかつこで囲んだ係数の値がそれぞれ1になる必要がある。すなわち、

$$\left[\frac{l}{ut}\right]_r=1, \left[\frac{l}{wt}\right]_r=1, \left[\frac{\rho ul}{pt}\right]_r=1, \left[\frac{l^2}{vt}\right]_r=1$$

が得られる。したがって、

$$u_r = w_r = \frac{l_r}{t_r} \quad (5)$$

$$p_r = \frac{\rho_r u_r l_r}{t_r} \quad (6)$$

$$\nu_r = \frac{l_r^2}{t_r} \quad (7)$$

が成立しなければならない。

圧力が水圧で表される運動の場合、 $p_r = \rho_r g_r l_r$ で表されるから、式(6)は式(5)を用いると

$$\frac{u_r^2}{g_r l_r} = 1 \quad (8)$$

と書き直せる。これは、フルードの相似則と呼ばれる。一方、式(7)と式(5)からは

$$\frac{u_r l_r}{\nu_r} = 1 \quad (9)$$

が得られる。これは、レイノルズの相似則と呼ばれる。

フルードの相似則とレイノルズの相似則を、同時に成り立たせるようにするためには、地球上で実験する限り、式(8)の中の g_r は1なので、 $\nu_r = l_r^{3/2}$ となるような流体を選ぶ必要があり、これを満たすような流体を得ることはむずかしい。実際には重力、粘性力のうち、どちらか一方が卓越する現象がほとんどであるので、実験の対象となる現象に応じて、どちらかの相似則を満たすようにすればよい。

本実験のように、重力が卓越する現象については、フルードの相似則が適用される。通常、模型実験において原型との重力比 g_r が $g_r = 1$ であることを考えると、フルードの相似則を表す式(8)は

$$u_r = \sqrt{l_r} \quad (10)$$

となる。さらに、上式と式(5)から

$$t_r = \sqrt{l_r} \quad (11)$$

が得られる。

力の比を T_r と書くと、

$$T_r = p_r l_r^2 = \rho_r l_r^2 u_r^2 \quad (12)$$

表-1 実験ケース
(二次元実験・張力測定および流速測定)

		縮尺	模型	現地
模型 (カーテン)	高さ L (深さ)	1/15	0.67m	10.0m
			0.33m	5.0m
			0.20m	3.0m
材質	1/15	72gf/m ²	—	
		150gf/m ² ネット	—	
重錘	ウェイト	1/225	222.2gf/m	50.0kgf/m
			133.3gf/m	30.0kgf/m
			66.7gf/m	15.0kgf/m
			33.3gf/m	7.5kgf/m
流速	1/3.87	12.9cm/s	50.0cm/s	
		7.7cm/s	30.0cm/s	
		5.1cm/s	20.0cm/s	
		3.5cm/s	12.5cm/s	
		2.6cm/s	10.0cm/s	
水深	1/15	66.7cm	10.0m	

のように表せるから、フルードの相似則が成り立つ場合は、

$$T_r = l_r^3 \quad (13)$$

となる。

後述する表-1の中の縮尺はこれらの検討にもとずいて決定されている。ただし、膜の下部に取り付けられるウェイトの縮尺は、単位長さあたりで表示しているの、式(13)から $T_r/l_r = l_r^2$ となることに注意する必要がある。

2.2 抗力と抗力係数

粘性流体中に平板などの物体を配置した場合には、平板の前面と後面で流れが変化する。さらに、前面と後面では圧力差が生じ、この圧力差による力と粘性による摩擦力とが物体に働く流体力の主因となる。この圧力による流体力と摩擦力による流体力の双方を合わせた全流体力を抗力と呼ぶ。

流れの中に物体があるときに物体のはるか前面では一様であった流速 U が物体の後面で流速 u に変化したと考えると(図-1参照、萩原, 1986)、運動量の保存より、

$$F_x = \rho \int_A u(U-u)dA \quad (14)$$

が得られる。ただし、 F_x は物体に働く流体力の x 成分であり、 A は後流の断面積である。また、AB面とCD面で圧力が異なることによる影響を無視できない。ここで、AB面での流速を u_1 、圧力を p_1 とし、CD面でのそれらをそれぞれ u_2 、 p_2 とすると、

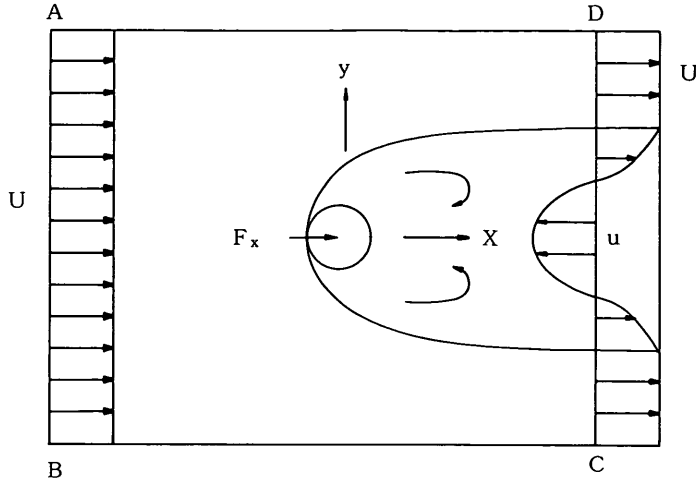


図-1 流れ中に物体があるときの流速と物体に働く流体力

$$F_x = \int_{AB} (p_1 + \rho u_1^2) dA - \int_{CD} (p_2 + \rho u_2^2) dA \quad (15)$$

となる。

物体が静止していれば、流体が物体に及ぼす流体力は、物体が流体に及ぼす抵抗力に等しい。一般的には、これらの全抵抗力は、抵抗係数 C_D を用いて、

$$F_x = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A_x \quad (16)$$

のように表されることが多い。ただし、 A_x は流れ方向に垂直な面に投影した物体の面積である。

抵抗係数 C_D は物体の形状によって定まる定数であり、球や円柱など限られたものを除いて、実験によって定めるのが通例である。

2.3 投影面積

図-2は、流れによって変形した模型の膜の模式図を示したものである。一方向からの定常流に対して、流れのないときに h_0 で垂下していた膜は、流れが作用することによって徐々に変形し、流れによる流体力とつり合ったところ ($h=h_i$) で静止する。このときの流れに対して垂直な投影面に対する膜の高さ (ふかれ高さ) を h_i とする。図の奥行き幅 B の模型膜に対して、流れ方向の投影面積 A_i を考えると、

$$A_i = h_i \times B \quad (17)$$

で表される。ここに、本実験では $B=1.5\text{m}$ である。

さらに、 P_i を膜の模型全体に働く流体力とし、2個の張

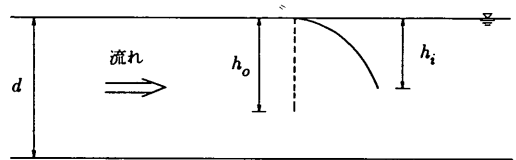


図-2 流れによる膜の変形の模式図

力計で測定された張力の和とする。これを流れ方向の投影面積で割った単位面積あたりの抗力を P_i と定義すると、

$$P_i = \frac{F_i}{A_i} \quad (18)$$

となる。

3. 実験方法と実験ケース

3.1 二次元実験

3.1.1 実験装置

実験には港湾技術研究所の水循環装置付大型風洞水路 (長さ58.5m, 幅1.5m, 高さ1.3m) を使用した。水路の状況を、写真-1に示す。また、水路の平面図を図-3に示す。この水路はバルブを操作することによって流れの向きを自由に変えることができるようになっている。水を循環させるためのポンプは、 $\phi 500\text{mm}$ の斜流渦巻ポンプで、流量は最大 $35\text{m}^3/\text{min}$ から最小 $6\text{m}^3/\text{min}$ の範囲で調整可能である。このポンプを駆動するモーターは、45kwのVSモーターで、リモート・コントロールによりカップリングを介して静止から最大555rpmまで回転数を連続的に制御できるようになっている。

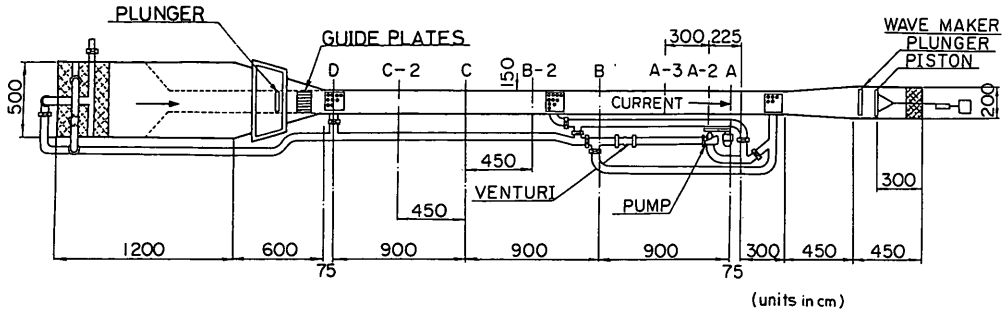


図-3 水路平面図

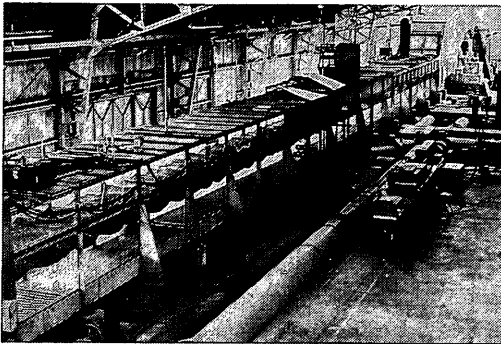


写真-1 実験水路

表-2 模型素材の材質と物性値

膜	材 質	物 性 値 (模型)		
		重さ(gf/m ²)	厚み(mm)	目 合
1	PET, タイター	72	0.12	
2	ビロン8310	150	0.29	
3	PET BKS0812D	125		2mm角目

模型膜による周辺の流れの変化を知るために、膜の高さが20cmと33cmのシートの2ケースについては流速の測定も行った。このときのウェイト重量は133.3gf/mとした。

水深(d)は66.7 cmの一定とし、張力の測定には、最大1.96N (200gf) まで測定可能な張力計を模型両端に用いた。流速の測定には、レーザー・ドップラー流速計(LDA: Laser-Doppler Anemometry) を用いた(図-4参照)。

汚濁防止膜模型は、縮尺1/15である。

幅方向に変形を生じさせないように膜上部に取り付けるフロートは両端を塞いだ中空パイプを用いた。

膜が流れないように固定するために、水路の上部から2本の支柱を水路両側面のガラスに沿わせて降ろし、支柱の先端に張力計を水平に固定して、これに重さの無視できる釣糸を介して膜模型と接続した。

この2個の張力計で膜に働く流体力を測定した。流れによる水平方向の張力のみを測定するために、張力計と膜上部のパイプが水平になるように支柱の高さを調整した。

解析の際には、膜に働く張力のみを求めるために、各流速でのパイプのみに働く張力を別途実験で求めておいて、張力計で測定された値から差し引いている。

② 流速測定および乱れ強度

実験は表-3に示す条件で行った。模型の素材は、膜1と膜3を用いた。水深(d)は、50.0cmの一定とし、流速を流れ方向にはふかれ高さの10倍程度の範囲を、水深方向には11~13点で測定した。ウェイト重量は、2.18N/m

流れを起こす場合は、モーターを起動して徐々にポンプの回転数を上げ、所定の流速に対応する回転数に達したところでマンメータの差圧を読むことにより、流量の微調整を行うという方法をとった。マンメータは水柱式(差圧水頭0~2m)を使用した。実験ではこの差圧を設定した値の±1mmAq以内になるように調整した。

水路の測定部は長さ28.5m、幅1.5m、高さ1.3mで、水路床から73cmの高さまでは両側面が厚さ12mmのガラス張りである。

実験は図-3に示す測点(A~D)のうち、C-2からCの区間で行った。流れは図-3の左から右へ流れるようにしたが、流れを整流するためにD点より上流側1.5mの位置にステンレス製の整流板(ガイドプレート、長さ1m、板の間隔6cm)を設置した。

3.1.2 流れによる変形

1) 単独展張

① 張力測定および流速測定

単独展張の状態では、張力および流速の測定を行った。その実験条件は表-1に示すとおりである。模型の素材は表-2に示すように、膜1と膜2が不透水性テント用膜材、膜3がネットである。

これらの材質を、この章では単に膜1,膜2,膜3で表す。

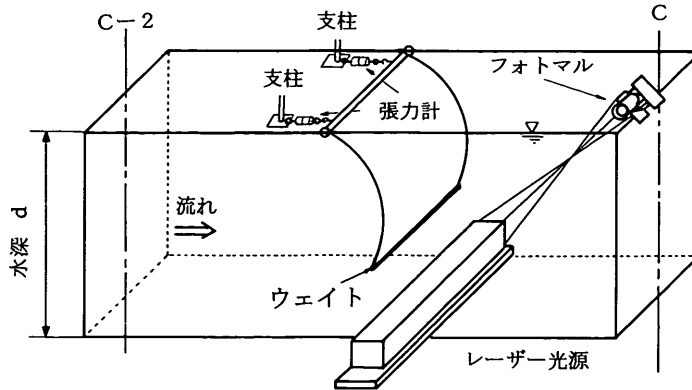


図-4 模型膜と測定機器の配置状況

表-3 実験ケース (二次元実験・流速測定と乱れ強度)

	縮尺	模型	現地
高さL (深さ)	1/15	0.50m	7.5m
		0.25m	3.75m
幅B	1/15	1.50m	22.50m
材質	1/15	テント素材 ネット素材	
重錘	ウェイト	1/225	2.18 N/m
			490.0 N/m
流速	1/3.87	7.75cm/s	30.0cm/s
		12.91cm/s	50.0cm/s
水深	1/15	50.0cm	750.0cm

流速2×ウェイト重量1×材質2×高さ2=8ケース
合計8ケース

表-4 素材別実験ケース

材質	流速 (cm/s)	高さ (m)	ケース
膜	50	7.5	1
		3.75	2
	30	7.5	3
		3.75	4
ネット	50	7.5	5
		3.75	6
	30	7.5	7
		3.75	8

(222.2gf/m)とし、膜1と膜3について流速別に乱れ強度の違いをみた。

2) 二重展張

実験条件は表-5に示すとおりである。模型の素材は、膜1を用いた。水深(d)は、66.7cmの一定値とした。

模型膜は二重展張とし、流れないように固定するため、水路の上部から2本の支柱を水路両側面のガラスに添わせて下ろし、支柱と重さの無視できる釣糸で接続した。張力測定では、1.96N (200gf) まで測定可能な張力計(図

表-5 実験ケース (二次元実験・二重展張)

模型 (カーテン)	縮尺	模型	現地	
			高さL	幅B
高さL	1/15	0.33m	5.0m	
	1/15	1.50m	22.5m	
材質		72gf/m ²		-
	重錘	ウェイト	1/225	133.3gf/m 66.7gf/m
間隔S	1/15	1.00m	15.0m	
		2.00m	30.0m	
		3.00m	45.0m	
		4.00m	60.0m	
		5.00m	75.0m	
流速	1/3.87	12.9cm/s	50.0cm/s	
		7.7cm/s	30.0cm/s	
		5.1cm/s	20.0cm/s	
		3.5cm/s	12.5cm/s	
		2.6cm/s	10.0cm/s	
水深	1/15	66.7cm	10.0m	

-5 参照)を用いた。このときの模型の縮尺は1/15とすると、水深は現地で10mとなる。2枚の膜の高さは33cm(現地で5m)に統一し、2種類のウェイトについて、膜の間隔を1,2,3,4,5m(現地ではそれぞれ15,30,45,60,75m)と変化させて、下流側の膜に働く張力を測定した。

膜の張り方は、単独展張と同じである。すなわち、汚濁防止膜は幅方向に変形が生じないように、膜上部に取り付けるフロートには両端を塞いだ中空パイプを用いた。

3.1.3 波による運動

実験条件は、表-6に示すとおりである。模型の素材は、膜1を用いた。水深(d)は、50.0cmの一定とした。図-6に示すように係留した場合と、係留しない場合について、3種類の周波数の波を作用させて、膜の挙動をビデオカメラで追跡した。また、実験時の膜の高さ(h₀)は33cm、膜からシンカー迄の距離(X₀)は1mである。

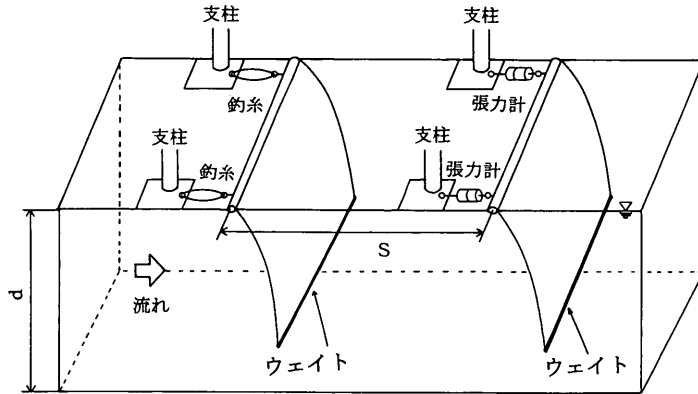


図-5 二重展張模型膜と測定機器の配置状況

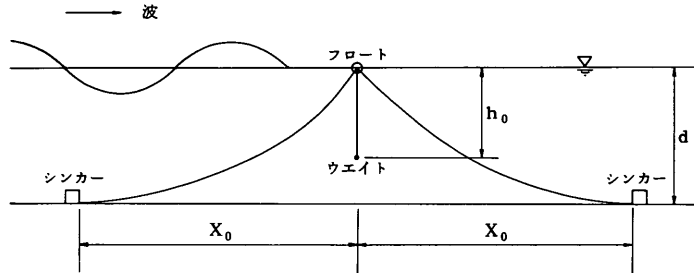


図-6 膜の係留状況

表-6 実験ケース (二次元実験・波による挙動)

		縮尺	模型	現地
模型 (カーテン)	高さ L	1/15	0.33m	5.0m
	幅 B	1/15	1.50m	22.5m
	材質		72gf/m ²	—
重錘	ウエイト	1/225	133.3gf/m	30.0kgf/m
	水深	1/15	0.50m	7.5m
波	周期 T		0.90s	13.50s
			0.95s	14.25s
			1.00s	15.00s

3.2 三次元実験

3.2.1 実験装置

三次元実験には、港湾技術研究所の大水深海洋構造物実験水槽(長さ50m,幅45m)を使用した。水槽の平面図と側面図を図-7に示す。水槽は移動可能な隔壁によって3分割されており、今回はこのうち大水深槽(長さ50m,幅20m)を使用して実験を行った。大水深槽の地下には還流水路が設けられており、これと上部水槽との間で図中の矢印で示す循環流の発生が可能である。この循環流を制御することにより、模型を設置する仮設床上において、所要の流れを得ることができる。

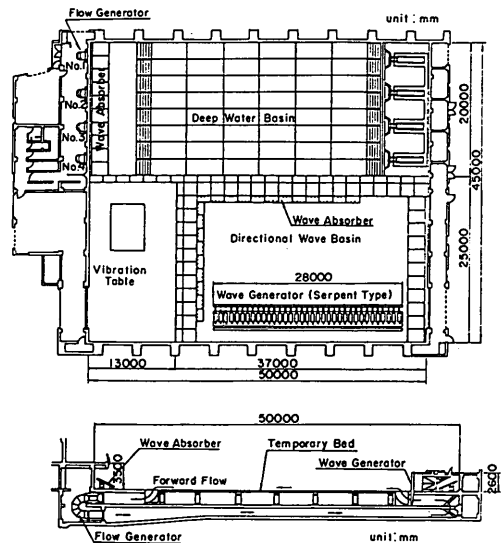


図-7 大水深海洋構造物実験水槽

流れ発生装置は水槽の端部に設置され、平面的には幅20mの大水深槽を4分割し、5mに1台、合計4台の軸流ポンプ(定格37kW)が備えられている。軸流ポンプは4

枚翼のインペラ（直径1,000mm）を使用し、その回転方向を変えることにより両方向の流れを発生できる。また、回転数も任意に変えることが可能であり、ポンプの回転指令はアナログ信号により与えることができる。

3.2.2 流れによる変形

実験条件は、表-7に示すとおりである。水深(d)は、1mの一定とした。縮尺は1/10とした。膜の模型は、幅2

m、高さ30cm、50cm、100cmの3種類を制作した。幅はいずれも2mとした(図-8参照)。実験では、より現地に近い状態を再現するため、各模型を3枚ずつすなわち、幅方向に6m分設置できるように製作した。模型上部のフロートは、発泡スチロールをゴムで巻いたものである。その下に、ゴムのテンションベルトを介して、汚濁防止膜が接続されている。張力の測定では、連結された3枚の膜の模型の接合部の上部2箇所と両端上部2箇所の合計4点に張力計を水平に取り付け、釣糸を介して水中に固定された4台の支持フレームに接続して測定した(図-9参照)。

図-9は、膜の模型と張力計の固定方法を模式的に示したものである。

用いた張力計は合計4台であり、両端は最大9.8N(1000gf)、内側は最大19.6N(2000gf)を測定できるものである。

表-7に示したように、膜を固定する間隔 L_0 を、1.6、1.8、1.9m(現地でそれぞれ16、18、19m)の3通りに変えて実験している。また、一部のケースについて流速の測定を行っている。測定には、2成分の電磁流速計(VM-201型)により水面から10cmと20cmの高さの流速の平面分布を求めた。

表-7 実験ケース (三次元実験)

		縮尺	模型	現地
模型 (カーテン)	高さ L (深さ)	1/10	1.00m	10.0m
			0.50m	5.0m
			0.30m	3.0m
	幅 B	1/10	2.00m	20.0m
固定間隔 L_0	1/10	1.60m	16.0m	
		1.80m	18.0m	
		1.90m	19.0m	
材質		72gf/m ²	-	
重錘	ウェイト	1/100	500.0gf/m	50.0kgf/m
			300.0gf/m	30.0kgf/m
			160.0gf/m	16.0kgf/m
			65.0gf/m	6.5kgf/m
流速	1/3.16	15.8cm/s	50.0cm/s	
		9.5cm/s	30.0cm/s	
		6.3cm/s	20.0cm/s	
		4.7cm/s	12.5cm/s	
		3.2cm/s	10.0cm/s	
水深	1/10	1.00m	10.0m	

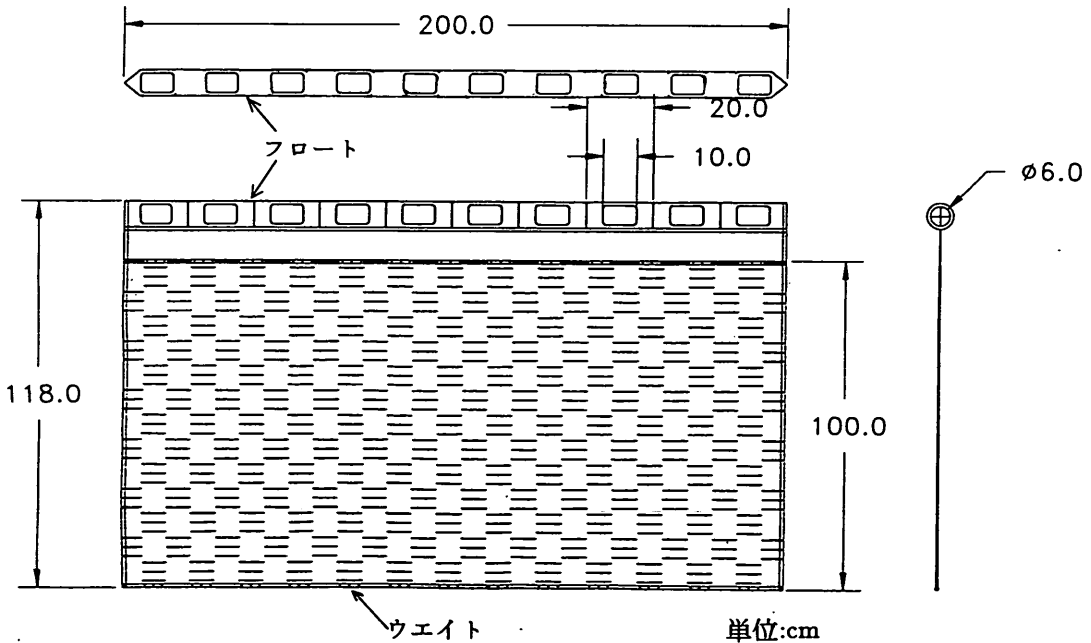


図-8 平面実験用模型 (一枚分)

4. 実験結果

4.1 膜周辺の流れ場

4.1.1 二次元実験

① 流速の鉛直分布図

図-10~12は実験水路内の水平流速成分 U_m の鉛直分布を示したものである。図-10が現地の流速10cm/sに、図-11が20cm/s、そして図-12が30cm/sに対応する。以後の図と説明はすべて実験室での値である。図中の白丸がレーザードップラー流速計で実測した流速であり、実線は次式で表される1/7乗則である。

$$U_m(z) = u_0 \left(1 + \frac{z}{d}\right)^{1/7} \quad (19)$$

ここに、 z 軸は水面をゼロとして鉛直上向きを正にとり、 $U_m(z)$ は高さ z での流速、 u_0 は水面での流速、 d は水深で、ここでは66.7cmである。図の説明文中の U は、表-1で示した現地での平均流速の値である。ただし、図の横軸の流速値は実験室での値である。例えば、図-12の

場合、現地での断面平均流速 (u_0) が30cm/sであるから、式(2)、(10)の関係より、実験での断面平均流速 (u_m) は、 $u_m = u_r u_0 = \sqrt{1/15} u_0 = 1/\sqrt{15} \times 30 = 7.7\text{cm/s}$ ということになる。

② 流速のベクトル図

膜の前後における平均流速分布の変化を流速ベクトル図によって示したものが図-13と図-14である。両図ともウェイト重量は133.3gf/m (現地換算30kgf/m) である。使用した膜は、表-1に示した素材と若干異なったもので、ポリエステルキャンバスシートを用いた。この素材の厚みは0.22mm、重さは130gf/m² であり、表-2の膜2とほぼ同じものである。図-13は膜の高さが20cm (現地換算3m)、断面平均流速7.7cm/s (現地換算30cm/s) の場合である。図-14は、膜の高さが33.3cm (5m)、断面平均流速5.1cm/s (20cm/s) の場合である。構造物の後流域では主流域、混合域、反流域の3つの領域に区分される。両図とも、流れが膜を避けるような形で下方に縮流されて主流域を形成し、膜からの剥離によって流速が負になるような反流域を形成している。

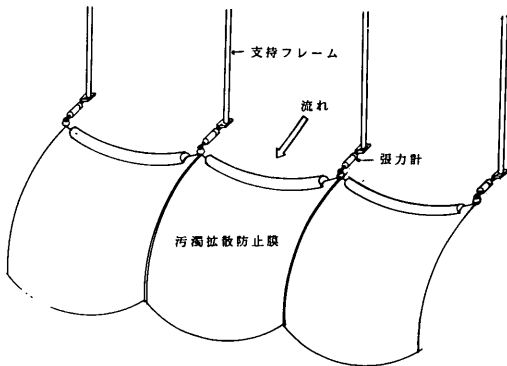


図-9 膜の模型と張力計の設置状況

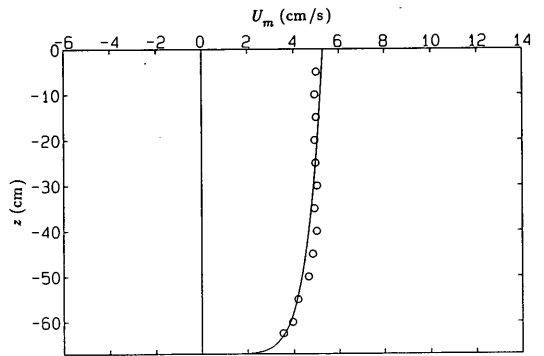


図-11 水平流速成分の鉛直分布 ($U=20\text{cm/s}$)

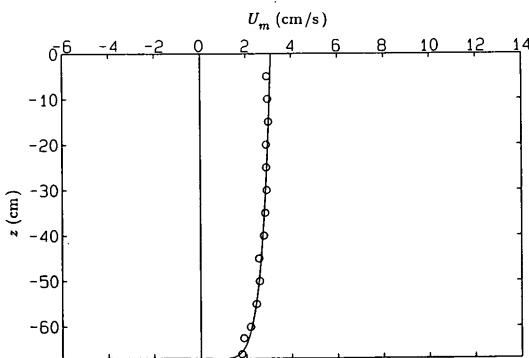


図-10 水平流速成分の鉛直分布 ($U=10\text{cm/s}$)

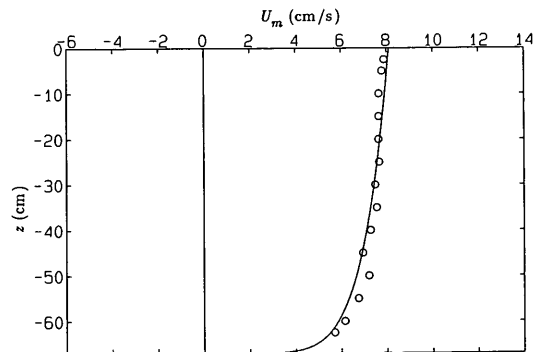


図-12 水平流速成分の鉛直分布 ($U=30\text{cm/s}$)

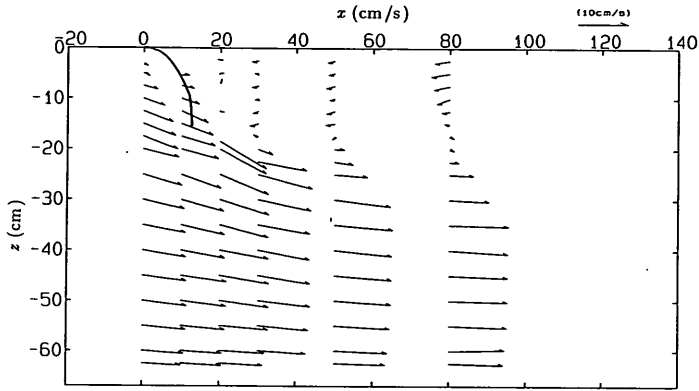


図-13 平均流速のベクトル図 ($L=3\text{m}$, $W=30\text{kgf/m}$, $U=30\text{cm/s}$)

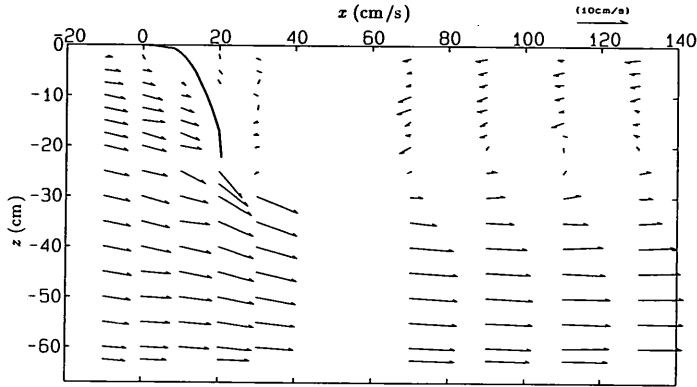


図-14 平均流速のベクトル図 ($L=5\text{m}$, $W=30\text{kgf/m}$, $U=30\text{cm/s}$)

③ ベクトル図と乱れ強度

図-15~22は、表-4のケース1から8に対応する流速のベクトルの分布図を示したものである。

ここで、水平方向 (x) の瞬間流速を U 、鉛直方向 (z) の瞬間流速を W とすると、

$$U = \bar{U} + u, W = \bar{W} + w \quad (20)$$

と表される。ここに、 \bar{U} はかなり長い時間 T にわたっての時間的平均値であり、

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T U dt, \frac{1}{T} \int_0^T u dt = 0 \quad (21)$$

である。式(21)と同様な関係は w 成分についても成り立つ。さらに、乱れ強度は、 u 成分については次式で定義される。

$$u' = \sqrt{u^2} = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

式(22)と同様な関係は w 成分についても成り立つ。

また、レイノルズ応力は次式で表される。

$$\tau = -\overline{\rho u w} \quad (23)$$

ここに、 ρ は水の密度である。また、レイノルズ応力は ρ を省略して $-\overline{uw}$ と表されることもあり、ここでもその表記法に従うことにする。

図-15と16を比較すると、膜の初期の高さは50cmと25cmで倍違うが、流れてふかれ高さ h_i (図-2参照) はケース1で約15cm、ケース2で約11cmと大きな違いがなくなる。その結果、背後の反流域は、ケース1で約150cm、ケース2で約100cmとそれぞれそのふかれ高さの約10倍までとなっている。

図中の矢印は平均流速のベクトルを示し、矢印の先端の楕円は、式(22)で示される乱れ強度を表す。すなわち、楕円の水平方向の軸の1/2が u' を表し、鉛直方向の半分が w' を表す。

全体的な流速ベクトルのパターンと乱れ強度について

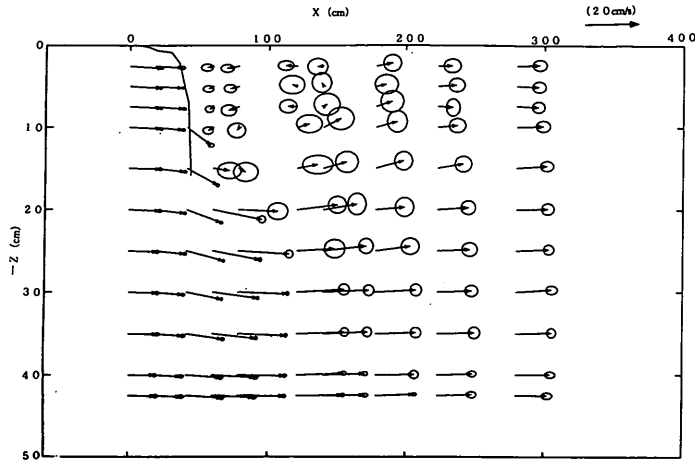


図-15 流速ベクトルと乱れ強度 (ケース 1)

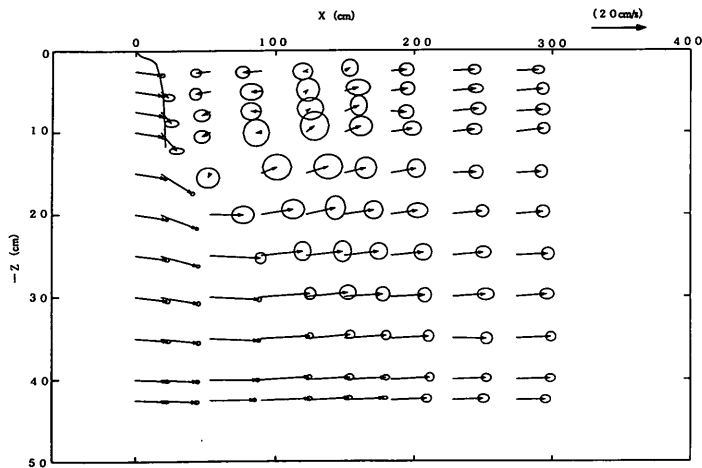


図-16 流速ベクトルと乱れ強度 (ケース 2)

はケース1,2で大きな差は見られない。しかし、反流域での乱れ強度を良くみると、ケース1よりもケース2の方がかえって大きめである。

ケース3,4は流速が小さいケースなので、ふかれ方が小さく、膜による遮蔽面積がケース1,2より大きくなる。したがって、反流域も若干広くなり、この場合も膜の高さの約10倍の後方の2m程度までとなっている。

ネットのケースを図-19~22に示す。膜とネットについて典型的な図-15と図-19を比較する。

同じ流速・ウエイト重量であっても、膜体に作用する流体力が異なるため、ふかれ高さは、膜(ケース1)で15cm程度であるのに対し、ネット(ケース5)では23cm程度になっている。さらに、ネット後方では膜の後方で見られた反流域は形成されない。

流れはネットを容易に通過し、乱れの増加も膜ほど顕著ではない。図-19~22によれば、乱れ強度の増加する高さはウエイトの高さに近い。これは、ウエイト部分が不透過であるため、その背後に乱れが形成されやすいためである。

4.1.2 三次元実験

膜の背後の流速分布を、水面下10cmについて図-23に、水面下20cmについて図-24に示す。膜の高さは30cmである。両図とも、距離や流速値は現地での値ではなく、実験値で示してある。流れは膜の背後で大きく回り込み、後流域を形成しているのがわかる。3枚の膜の展張幅(約6m)程度まで膜の後方に三角形の反流域が形成されていて、ここでは水が滞留するために汚濁物質の沈降が促進されるものと期待される。

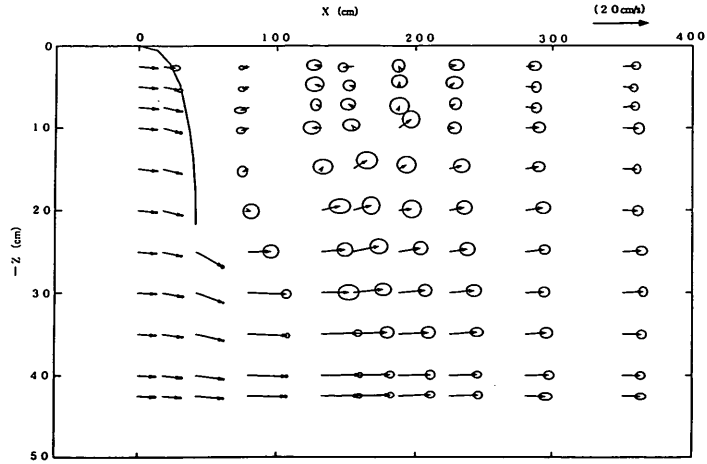


図-17 流速ベクトルと乱れ強度 (ケース 3)

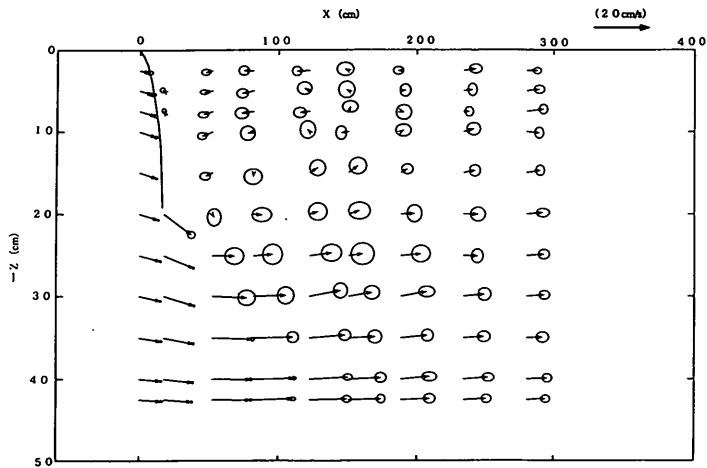


図-18 流速ベクトルと乱れ強度 (ケース 4)

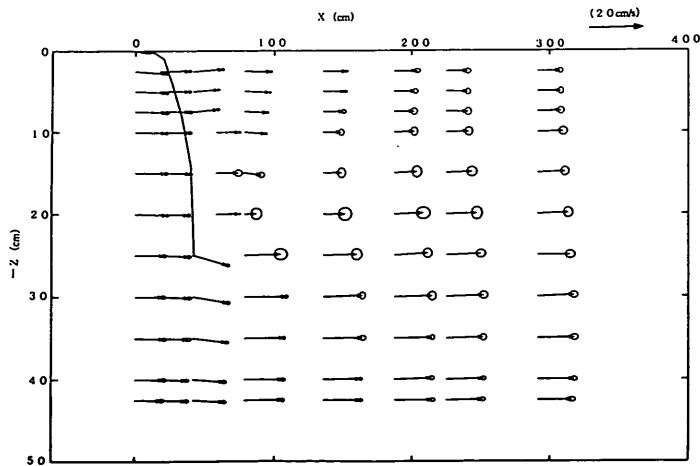


図-19 流速ベクトルと乱れ強度 (ケース 5)

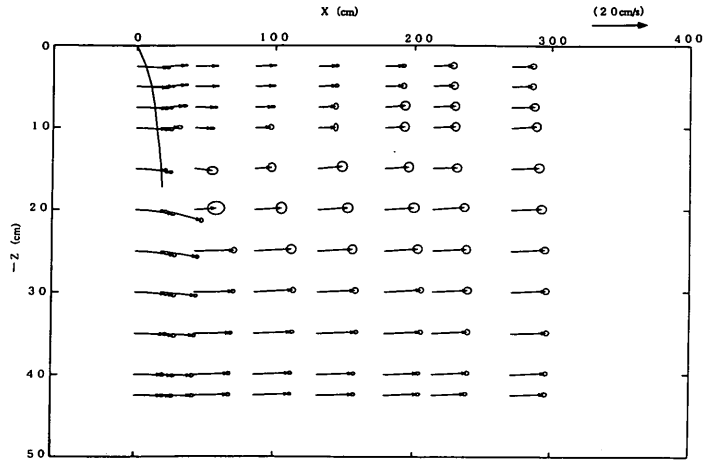


図-20 流速ベクトルと乱れ強度 (ケース 6)

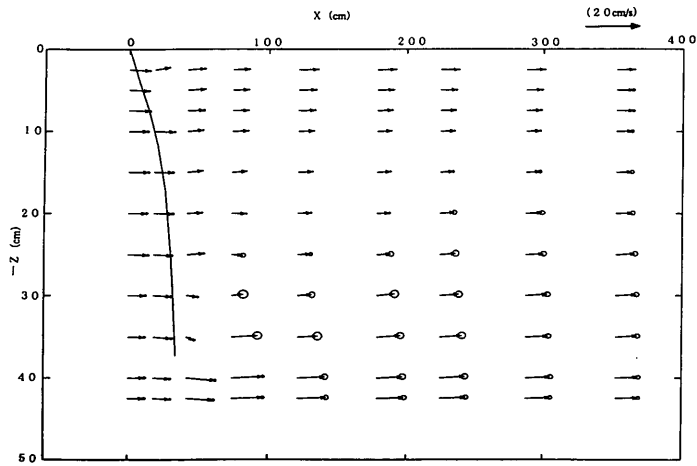


図-21 流速ベクトルと乱れ強度 (ケース 7)

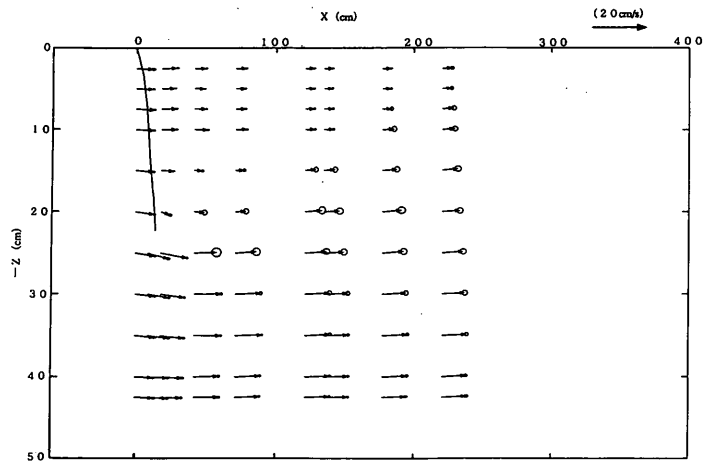


図-22 流速ベクトルと乱れ強度 (ケース 8)

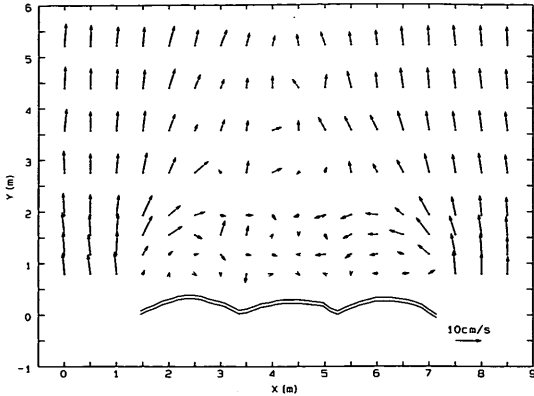


図-23 流速の平面分布 (三次元実験, 水面下10cm, 膜の高さ $h_0=30\text{cm}$)

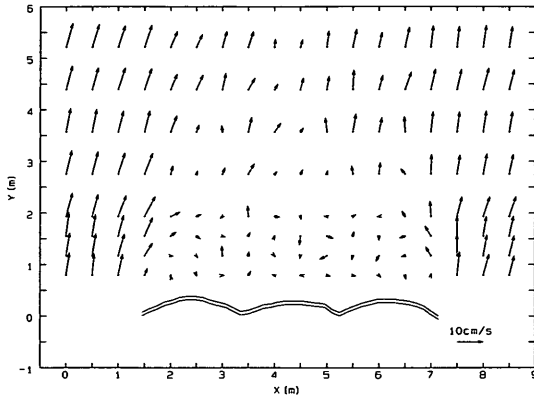


図-24 流速の平面分布 (三次元実験, 水面下20cm, 膜の高さ $h_0=30\text{cm}$)

4.2 膜に働く流体力と膜の変形

4.2.1 二次元実験

1) 膜に働く流体力

① 単独展張

図-25は、膜の高さが33cm (現地換算5m) の膜1と膜2について、膜に働く全応力 P_t と流速の関係を示したものである。図中の座標の添字の p は現地を、 m は実験値を表す。表-2に示したように、膜1の方が膜2よりも軽く、単位面積当たりの重量は約半分であるが、図-25によれば同じ条件に対して、膜1の方の P_t がやや大きくなっている。これは、膜2の浮力が約 0.04gf/cm^2 であるのに対して、膜1の浮力は 0.01gf/cm^2 と小さかったため、水中重量では膜2の方が膜1より軽くなったことによるものと考えられる。

図-25によれば、ウェイト重量が大きくなるほど全応力 P_t も大きくなっている。単位長さあたりのウェイト重量

が 133.3gf/m (現地換算 30kgf/m) と 222.2gf/m (現地換算 50kgf/m) の場合には、流速の小さなおとこで流速の増大とともに全応力も大きくなるが、流速が 5.1cm/s (現地換算 20cm/s) を越えると応力の増加はなくなる。これは、流速が大きくなると膜の変形 (ふかれ) により、受圧面積が小さくなるためであり、ふかさを許すような係留方法では、流速が増大しても、係留張力はある一定値に収束することを示している。ウェイト重量の小さい 66.7gf/m (現地換算 15kgf/m) と 33.3gf/m (現地換算 7.5kgf/m) の場合には、全応力はかなり小さく、また流速によってもほとんど変化しない。

図-26は、膜3 (ネット) についてプロットしたものである。単位幅当たりのウェイト重量が、 222.2gf/m (現地換算 50kgf/m) のデータについては、ネットに動く流れの流体力が十分でなく、全体にやや沈み気味で、張力計で正確な水平方向応力を測定できなかったために、ここでは省略してある。図-25の場合と違って、全流体力は流速とともにやや増加の傾向がある。

② 二重展張

二重展張は、相互の間隔をそれぞれ15, 30, 45, 60および75m (現地換算値) としたのに対し、ウェイト重量を 15kgf/m と 30kgf/m にして、上流側, 下流側の膜にこのウェイト重量の組合せを用いた。上・下流側とも 15kgf/m の重量を用いたものをケース1, 上流側が 30kgf/m で、下流側が 15kgf/m の場合をケース2, 上流側が 15kgf/m で、下流側が 30kgf/m の場合をケース3, 上・下流側とも 30kgf/m のウェイトを用いた場合をケース4とする。なお、測定した張力は全て下流側の膜のみである。

ケース1からケース4までの実験結果を図-27~図-30に示す。膜の高さ (h_0) は全て5mである。

図の縦軸は、膜に働く流体力で、2台の張力計の合計値であり、 P_{tm} が実験での値、 P_{tp} が現地換算した値である。横軸は流速を表し、縦軸と同様に、添字の m が実験値を、そして、 p が現地換算値を表す。

なお、各図中の黒丸印は、比較のために同一条件の単独展張の結果を示したものである。

ケース1では、二重展張の場合に、膜の間隔が45mのとき張力が最も大きくなっている。そして、間隔が15mの場合は他のどの間隔の場合よりも張力が小さく、しかも単独展張の場合よりも小さい。これは、上流側の膜で形成された後流域の中に、下流側の膜がうまく入ってしまったためと考えられる。

ケース2では、ケース1以上に二重展張の間隔が15mの場合に張力の低下が著しい。これは、ケース1と同様に、上流側の膜の影響と考えることができる。この場合

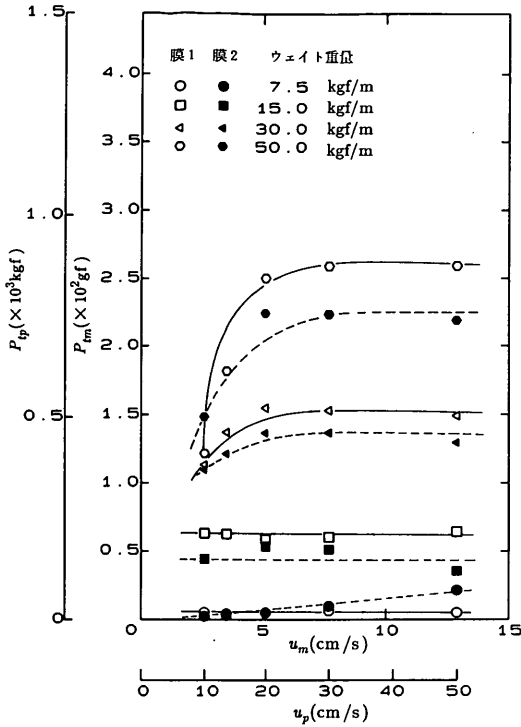


図-25 流速と P_t の関係 (膜1, 膜2)

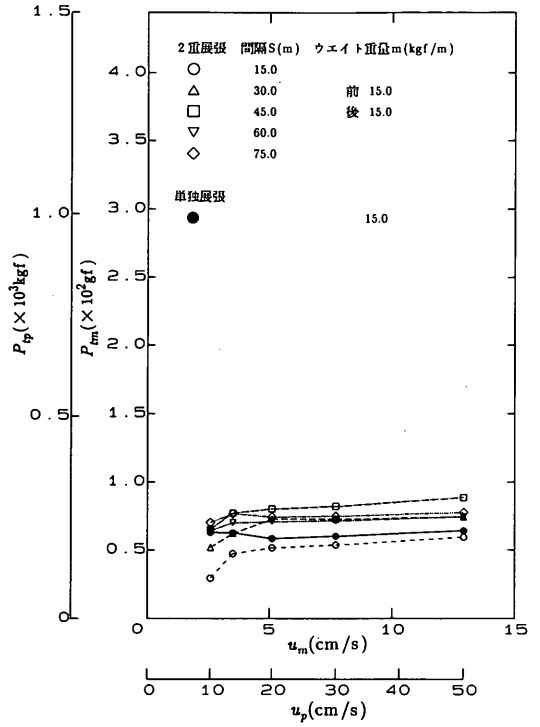


図-27 後ろ側の膜に働く張力と流速の関係 (ケース1)

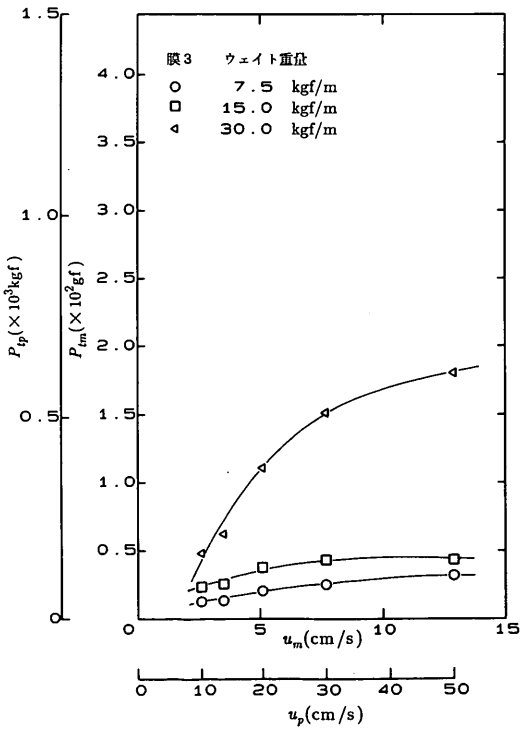


図-26 流速と P_t の関係 (膜3)

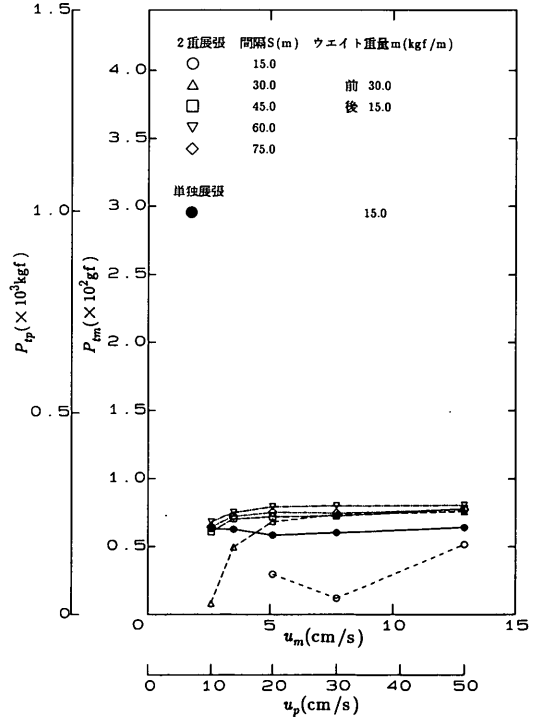


図-28 後ろ側の膜に働く張力と流速の関係 (ケース2)

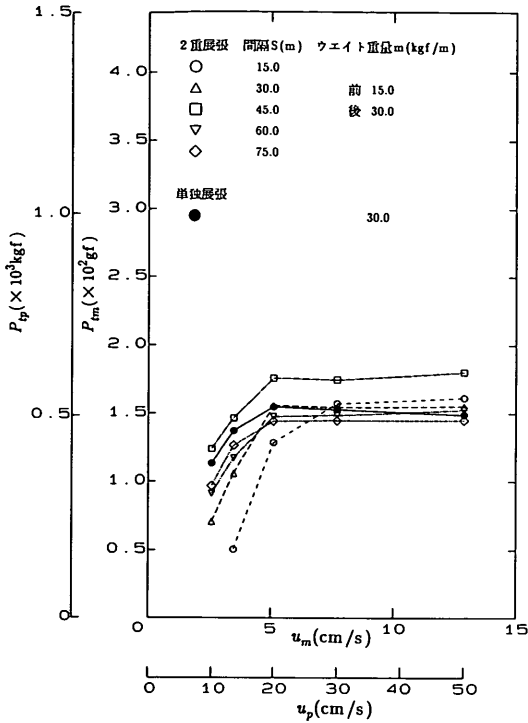


図-29 後ろ側の膜に働く張力と流速の関係 (ケース 3)

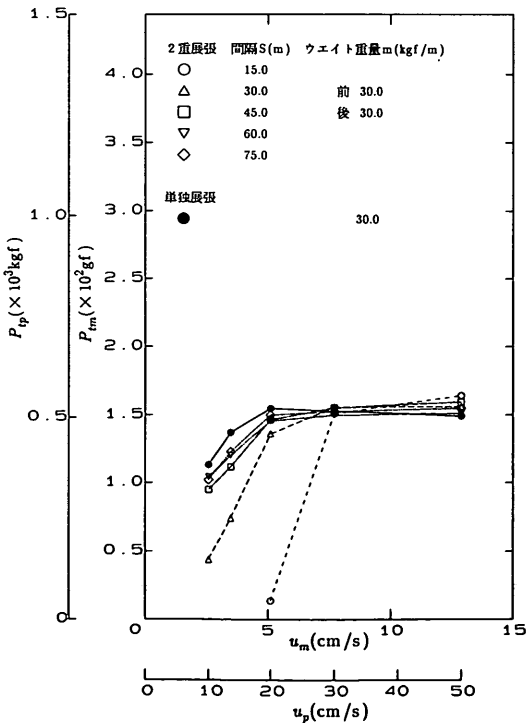


図-30 後ろ側の膜に働く張力と流速の関係 (ケース 4)

は、上流側の膜のウエイト重量が30kgf/mと大きく、ふかれ方がケース 1 よりも小さかったため、後流域の形成もケース 1 より大きくなったものと考えられる。

ケース 3 (図-29) では、上流側のウエイトが下流側の半分でしかないため、下流側の膜の張力は上流側の影響を余り受けていない。しかし、流速の小さいところでは、間隔が45mのケースを除いて二重展張の方が単独展張より張力が小さくなっている。

ケース 4 (図-30) では、流速が30cm/s以下では、二重展張の方が単独展張より張力が小さい。特に、間隔が30 m以下で、この傾向が顕著である。

二重展張に関しては、上流側の膜の変形が下流側の膜の張力に影響を与えることがわかったが、どの程度影響するかは膜の高さ、ウエイトの重量などで大きく変わるので、現在のところはここで行ったような実験に基づいて検討するしかない。ただし、水中に設置された直立壁の背後には、その高さの10倍程度後方まで反流域が形成されることがわかっている。

今回の実験では、流速が30cm/s以下で、膜の間隔が膜の高さの5～6倍(=30m)程度迄は、後方の膜の張力は小さくなるようである。

2) 抗力係数

水中に設置された膜体の投影面積あたりの流体力 P_i と抗力係数 C_D の関係を流速をパラメータとして膜 2 についての実験結果を図-31に示す。一定の流速に対しては、膜の長さが長くなるほど、あるいはウエイト重量が重くなるほど P_i と C_D はともに大きくなる傾向にある。図中のウエイト重量の違いは膜の長さが3mの丸印についてのみ凡例に示してあるが、膜の長さの異なる5m(三角印)と10m(四角印)についても、同様の塗りつぶし方でウエイト重量の違いを示している。膜の高さが10mで、ウエイト重量が50kgf/mのケースでは、流速が小さくなると P_i が小さくなるにつれて C_D が急に大きくなる。これは、2次元実験であるために、微小な流速でも流れは膜の下を抜けるしかなく、膜は必ずふかれ上がるために流れ方向の張力が検出されることによって生じたものである。実験では、ウエイトの鉛直下向きの応力を流体力が膜を変形することによって支え、膜の張力を水面上で張力計が水平方向応力として計測している。すなわち、流体力は膜を変形させることによって、ウエイトの重量を膜を通して張力計に伝えるので、ウエイトが重くなるほど張力計で計測される張力はウエイト重量が支配的となっている。

図-32,33にそれぞれ膜 1 と膜 3 の長さ10mのケースについてのみの結果を示す。

図-32を同一ウエイトごとにもとると、ウエイト重量が小

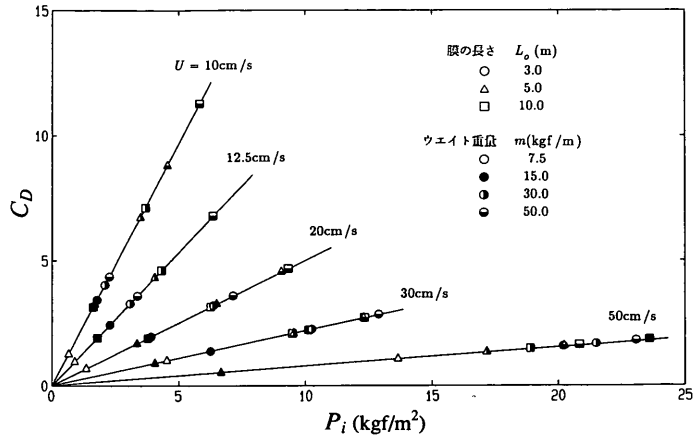


図-31 流速ごとの P_i と C_D の関係 (膜 2)

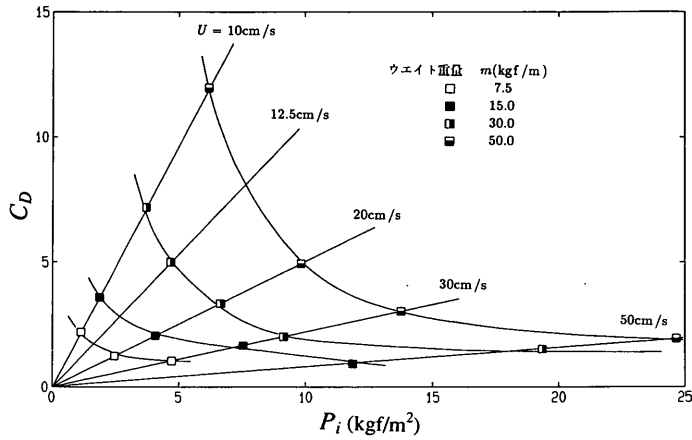


図-32 流速ごとの P_i と C_D の関係 (膜 1, 膜の高さ10m)

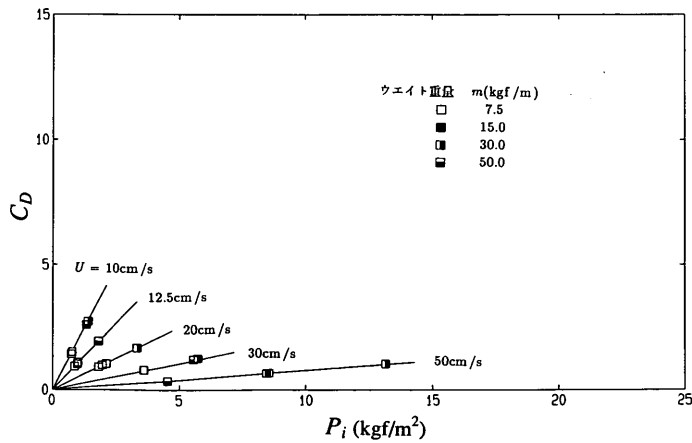


図-33 流速ごとの P_i と C_D の関係 (膜 3, 膜の高さ10m)

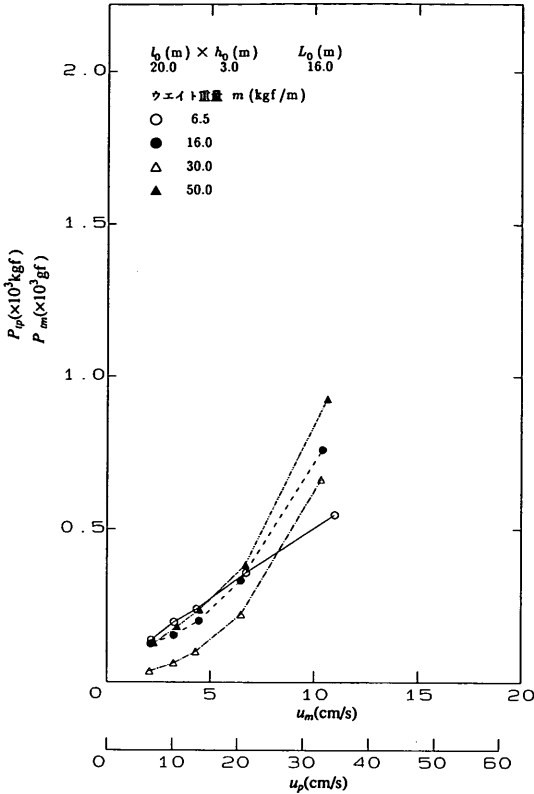


図-34 中央の膜に働く流速と流体力の関係
($L_0=16m$, $h_0=3m$)

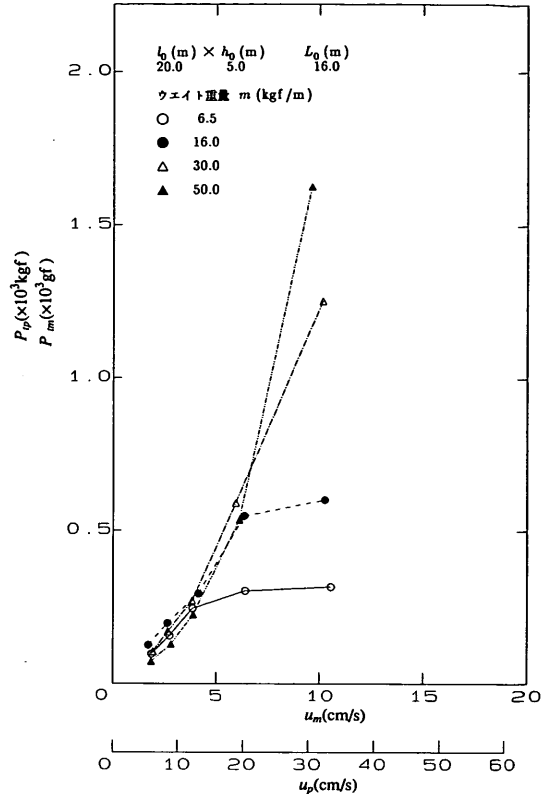


図-35 中央の膜に働く流速と流体力の関係
($L_0=16m$, $h_0=5m$)

さくなるにつれて抗力係数 C_D の変化の割合が小さくなっているのがわかる。そして、 C_D が2~3程度にまで下がると単位面積当たりの流体力 P_i が増加しても、抗力係数 C_D はあまり減少しなくなる。ネットの場合の図-31でも他の膜1,2と同様の傾向がみられるが、抗力係数 C_D の変動幅は小さく、ウェイト重量の影響が顕著に現れるということはなく、 P_i も図-32,33のケースに比べると、最大で6割ほどしか変わらないことがわかる。

汚濁拡散防止膜は、ウェイトや膜の重さ、流速などの条件によって図-2の h_i が変わるので、 C_D がわかっても、 h_i がわからなければ膜に働く流体力を推定することはできない。

4.2.2 三次元実験

1) 膜に働く流体力

図-34~36には、固定間隔が1.6m(現地換算16.0m)、膜の長さが0.3,0.5,1.0m(現地換算3,5,10m)の中央の膜に働く流れの流体力と流速の関係を示す。

図-34と図-35を見ると、特定のケースを除いて流速が大きくなるとともに、膜に働く流体力も大きくなって

る。これは、二次元の実験結果と異なる傾向を示している。

この原因として考えられることは、二次元実験の場合には膜による障害物に対し主流と直角方向の流れは水路の側壁によって拘束されているため側方に向かって流れることはなく、膜の下を通過するため、ふかれが大き目になること、さらに、この結果受圧面積が小さくなるため、流速が大きくなっても流体力が一定値に収束していたものと思われる。

図-35は、ウェイトの軽い $m=6.5\text{kgf/m}$ では流速が10数cm/sから流体力が流れとともに大きくなり、一定値に収束する傾向を示す。また、 $m=16.0\text{kgf/m}$ でも流速が20cm/s以上になると流体力はそれほど大きくなり、一定値に近づく傾向を示している。これは、二次元実験と同じように、膜がふかれ始めるためと考えられる。他のケースについても、ほぼ同様のことが言える。

2) 抗力係数

3スパンの内の中央の膜のふかれ高さ h_i を測り、これと膜の固定間隔 L_0 をかけて流れ方向の投影面積 A_i を求

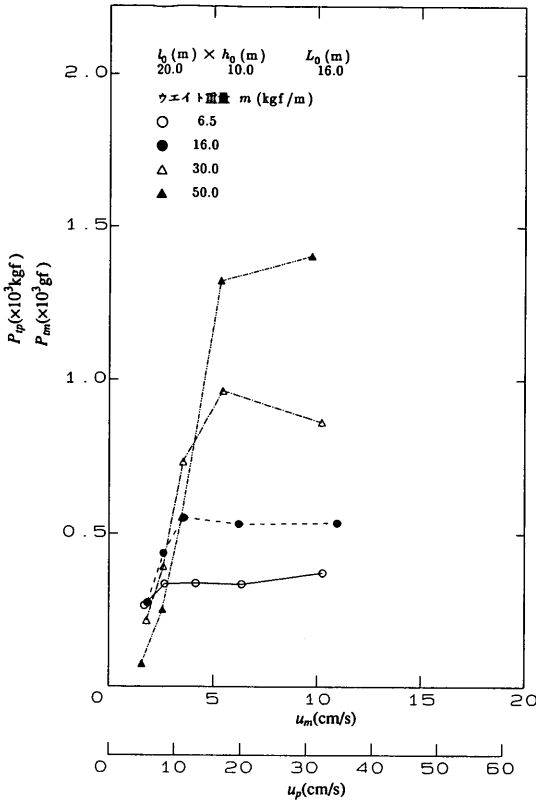


図-36 中央の膜に働く流速と流体力の関係 ($L_0=16\text{m}$, $h_0=10\text{m}$)

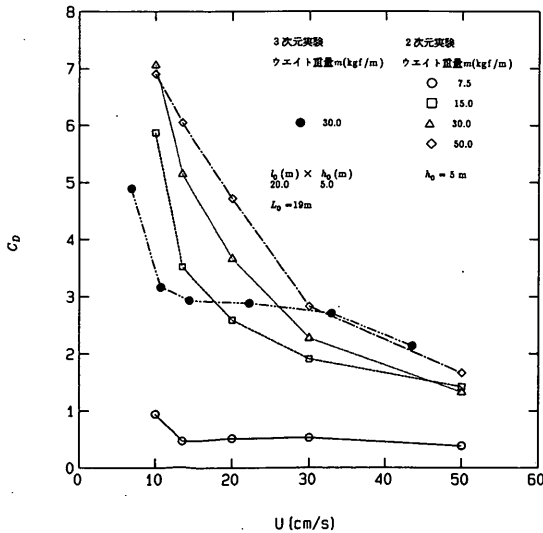


図-37 抗力係数と流速の関係

め、次式から抗力係数 C_D を求めた。

$$C_D = \frac{P_t}{\frac{1}{2} \rho U^2 A_t} \quad (23)$$

ここに、 P_t は膜に働く流体力、 ρ は流体の密度、 U は流速、 A_t は膜の流れ方向への投影面積である。

図-37の黒丸印 (●) は、こうして求めた抗力係数 C_D と、流速の関係を示したものである。三次元の膜の高さ h_0 は5m、ウエイトの重さ m は30kgf/mの模型に対応している。

比較のために、二次元実験の結果を白抜きの記号で示してある。同じウエイト重さの30kgf/mで二次元(白抜きの三角印)と三次元実験(黒丸印)の結果を比較すると抗力係数 C_D は流速が25cm/sのあたりを境として流速の小さいところでは三次元実験の方が小さ目、流速の大きいところでその逆となっているのがわかる。

図-37から、流速の広い範囲では3程度となっている。

4.3 波による膜の運動

図-6で示したように膜を係留して、周期0.90s, 0.97s, 1.00sの波を作用させた場合の膜の運動を1周期にわたって追跡した結果を図-38~図-40に示す。

波の進行方向は、図の左から右である。係留されているために波の山から谷に向かうあたりで、水面に近いところの膜が大きいたわむことがわかる。また、波の周期が小さいほど下端のウエイトの水平運動が小さくなっている。図-41~図-42は係留をはずして自由運動させた場合で、前の係留されケースと比較すると全体に円運動に近くなっている。

係留と非係留の膜の運動の比較から、係留時には波の山から谷に向かうところで波に対して上手側の係留部の拘束を受けて、フロートと膜上部周辺に衝撃的な力を受ける可能性があることがわかる。

5. 膜の変形計算

5.1 計算方法

これまでの、実験結果について述べてきたが、これまでの考察から明らかになったように、流速の大きさによって膜が変形するために、膜に働く流体力を求めようとする場合には、この変形量を何らかの方法で知らなければならない。本章では、数値計算によって膜の変形量を推定する手法について検討する。図-44に示すように、膜の下端に原点をとり、水平方向にx軸、鉛直上向きにy軸

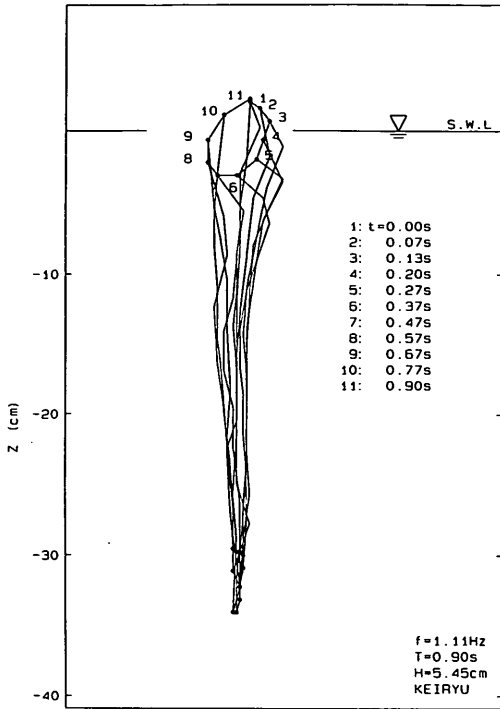


図-38 波による膜の運動 (係留, 周期0.90s)

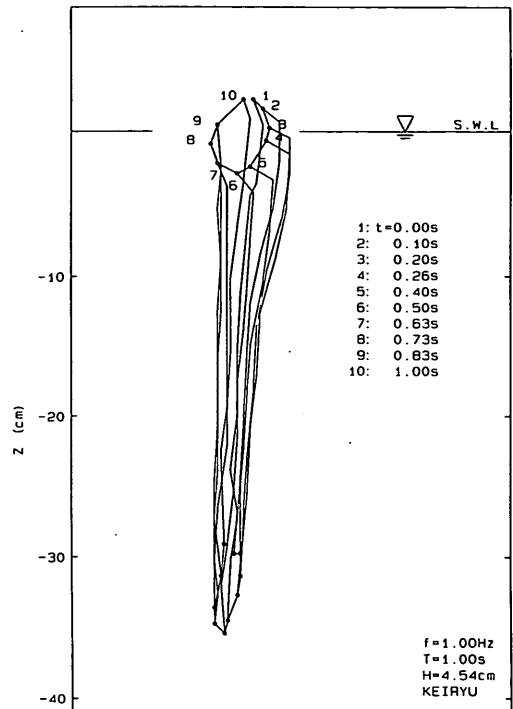


図-40 波による膜の運動 (係留, 周期1.00s)

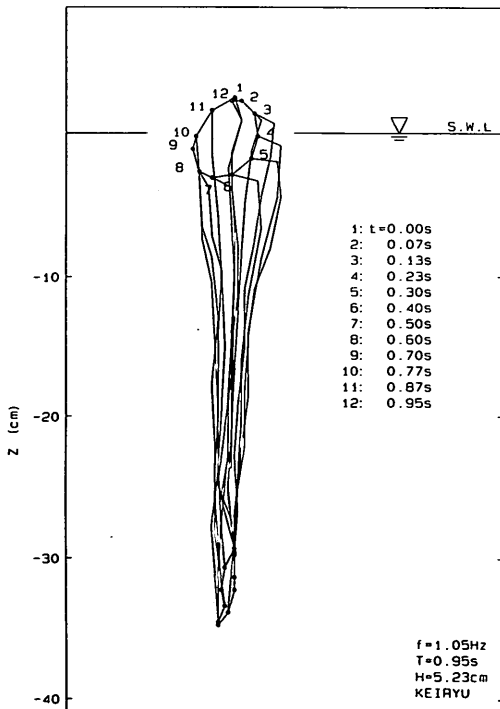


図-39 波による膜の運動 (係留, 周期0.95s)

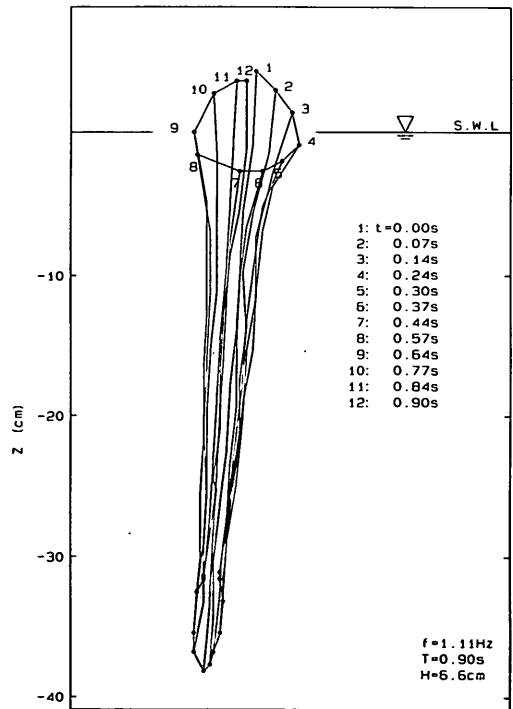


図-41 波による膜の運動 (非係留, 周期0.90s)

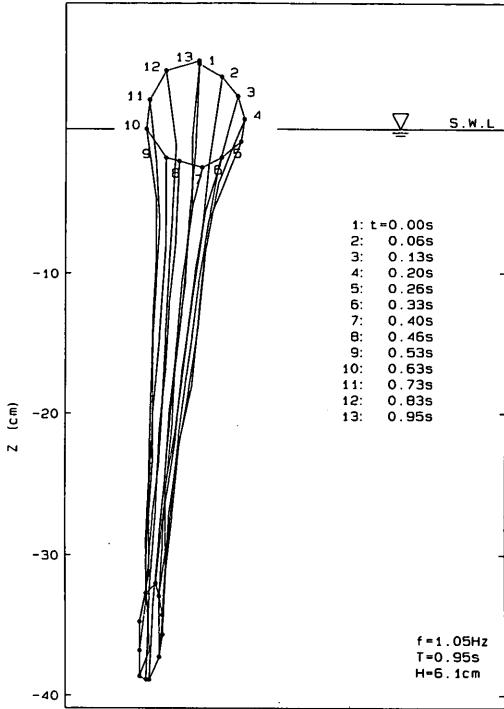


図-42 波による膜の運動 (非係留, 周期0.95s)

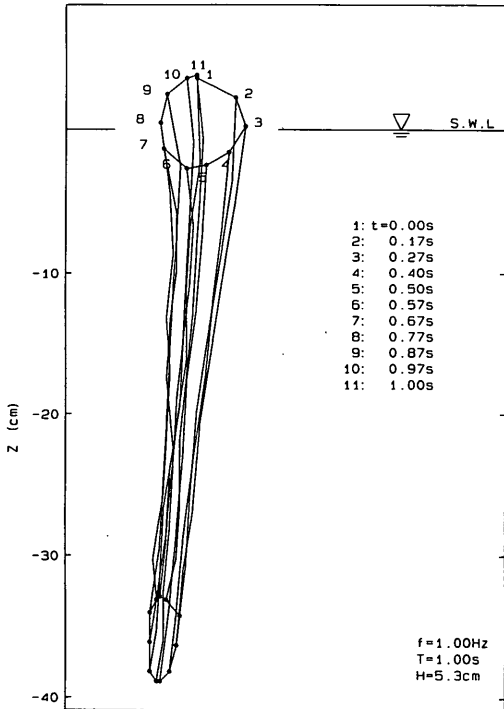


図-43 波による膜の運動 (非係留, 周期1.00s)

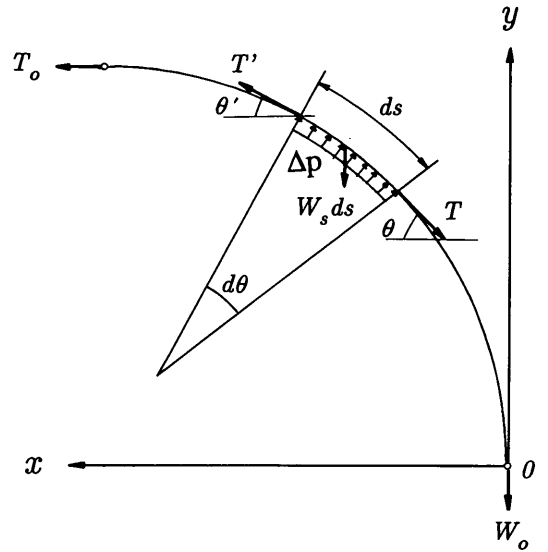


図-44 膜の変形計算に用いる座標系

をとる。任意の膜上の点 (x, y) で、膜の張力 T が x 軸となす角を θ とし、膜に沿って ds だけ離れた点での張力と x 軸となす角をそれぞれ T' 、 θ' とすると、図から $T' = T + dT$ 、 $\theta' = \theta - d\theta$ となる。また、単位面積当たりの膜の重さを W_s 、膜の下端のウエイトの単位長さ当たりの重さを m とする。流れによる圧力 Δp が膜の微小要素 ds に作用して膜が変形しているとする、膜の接続方向及びそれと垂直な方向における力のつりあいから以下の連立微分方程式が得られる。

$$\frac{\partial T}{\partial s} = W_s \sin \theta \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial s} = \frac{1}{T} (\Delta p - W_s \cos \theta) \quad (5.2)$$

実際の計算では、境界値としてウエイトの重さ m と膜の先端での角度を与える必要がある。ここで、図-37の Δ が今回モデル化したケースである。

この図から、ウエイト重量と流速をパラメータにした抗力係数を推測した。

$$C_D = \frac{20 \times m_m}{U_m} \quad (5.3)$$

しかし、抗力係数が次元をもっているために、縮尺 $1/l_r$ で現地に換算すると

$$C_D = \frac{20 \times l_r^{1.5} \times m_p}{U_p} \quad (5.4)$$

となる。

5.2 実測値との比較

図-45～49に、流れによって変形した膜の実測値と計算値の比較を示す。膜の長さは、25,50,66.7cm (3.75,7.5,10m), ウェイト重量 m は、66.7,133.3gf/m

(15,30kgf/m), 流速3.54,5.29,8.76cm/s (13.7,20,34 cm/s)とし、実測値を破線、計算値を実線で表した。図-44～47を見ると、図-45を除いては流速が大きくなったときの方が、実測値と計算値が比較的合うようである。これは数値計算の中で与えている初期張力の値は、二次元実験における素材は膜1,長さ33.3cm (5m) のケースで、ウェイト重量別に十分ふかれた状態での全流体力を与えているからである。しかし、膜の変形を論じるときに重要となってくるのはふかれ高さであって、変形の形

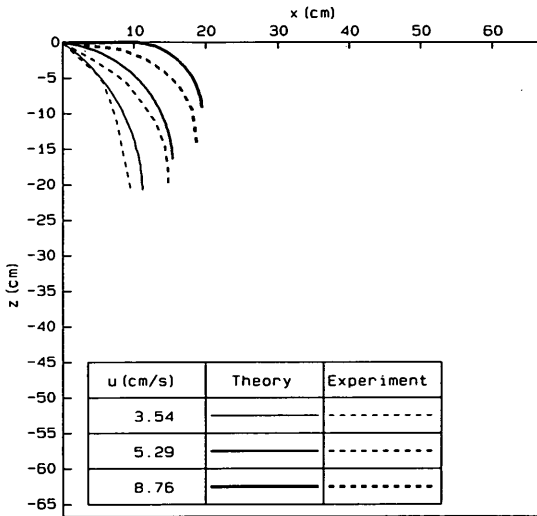


図-45 実測値と計算値の比較
($h_0=25\text{cm}$, $m=133.3\text{gf/m}$)

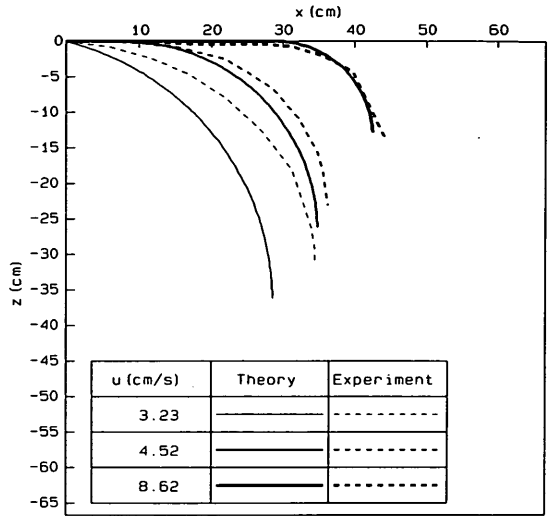


図-47 実測値と計算値の比較
($h_0=50\text{cm}$, $m=133.3\text{gf/m}$)

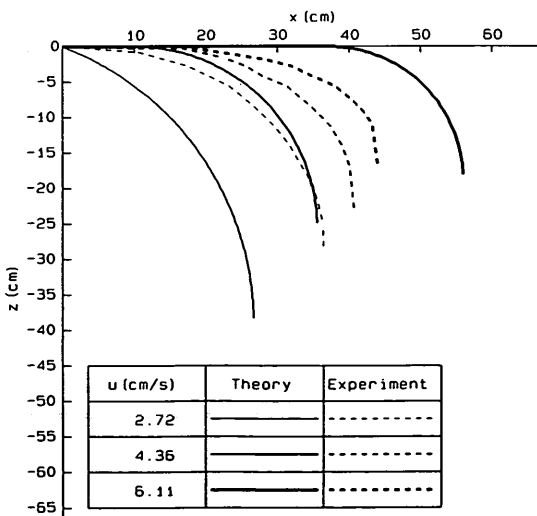


図-46 実測値と計算値の比較
($h_0=50\text{cm}$, $m=66.7\text{gf/m}$)

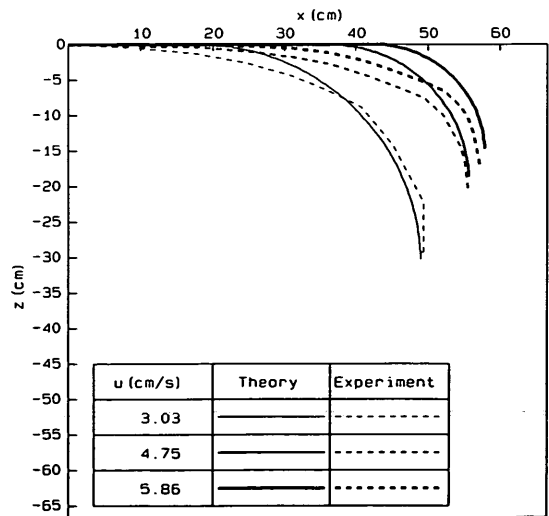


図-48 実測値と計算値の比較
($h_0=66.7\text{cm}$, $m=66.7\text{gf/m}$)

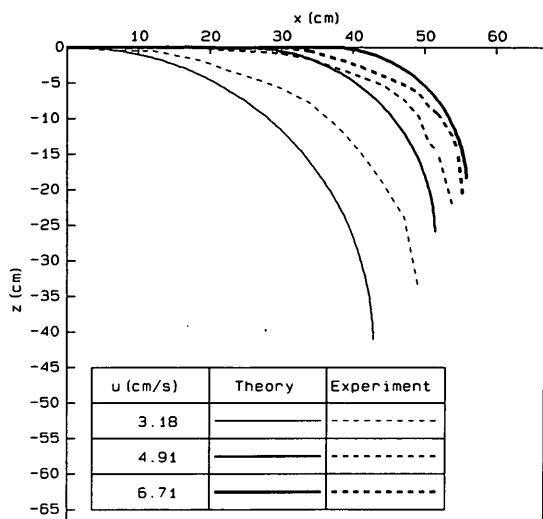


図-49 実測値と計算値の比較
($h_0 = 66.7\text{cm}$, $m = 133.3\text{gf/m}$)

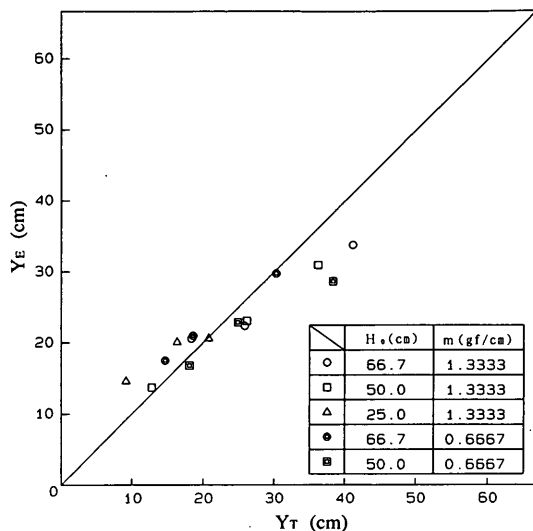


図-51 ふかれ長さのばらつき度

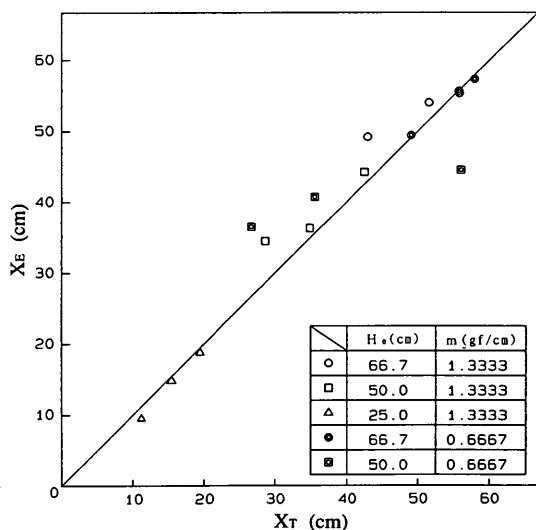


図-50 ふかれ高さのばらつき度

状が忠実に再現されていなくても設計上はあまり大きな問題にならない。ここで、図-50に膜の変形後の水平方向(x方向)の長さの実測値と計算値の比較を示す。また、図-51は鉛直方向(y方向)の実測値と計算値の比較である。それぞれの図に対して相関係数はx方向で0.9578,y方向で0.9525である。水平と鉛直方向それぞれの変位については、ここで示した方法でほぼ妥当な結果が得られている。ただし、ここで得られた結果は、膜の二次元的な変形について求められるものであり、実際の係留ではそれぞれの膜のユニットが横からの拘束も受けるため、

変形は二次元変形を仮定した本研究での計算結果よりもいくぶん小さめになるものと考えられる。

6. 結論

海中に設置された汚濁拡散防止膜の水理特性に関する研究を行った。主要な結論は次のとおりである。

- ① 膜の前後の流速測定によって膜の背後に明確な反流域ができることが確認された。この領域では、水が長時間滞留することになる。
- ② 膜に働く流体力は流速と共に大きくなるが、ある程度の流速以上になると膜のふかれと共に受圧面積が小さくなるため、一定値に近づく傾向にあることが二次元および三次元の水理実験により確認された。
- ③ 実測から得られた抗力係数 C_D をもとにして、膜の変形に関するモデル化を行った。

現在、沖合人工島の建設や空港・埋立地の沖合展開事業が進められている。関西新国際空港の第一期工事が行われ、中部新国際空港も構想段階から調査段階に進んでいる。関西新国際空港のような大規模な海洋工事が今後も継続して行われていく傾向にある。

本研究では、そのような背景をもとに、汚濁の拡散を防止する工法の確立をめざして、流れ中における汚濁拡散防止膜に働く流体力とその挙動、膜周辺での流速分布などの基本的な特性を検討し、数値計算により膜の変形を求める手法を開発した。今後は、膜の変形の三次元計算法の開発と、実験と数値計算の両方から汚濁拡散防止

膜の汚濁防止効果の問題を検討していく必要がある。

謝辞

本研究は、海洋工事汚濁防止協会の依頼により実施したものである。この報告のまとめに際して、水理研究室の中川康之研究官には貴重なご意見をいただいた。

以上の関係諸氏に対し、深甚なる謝意を表する次第である。

(1994年3月31日受付)

参考文献

- 1) 萩原国宏：流体力，新体系土木工学25，技報堂，1986，202p.
- 2) 小田一紀・重松孝昌・濱崎佳尚・山瀬晴義：汚濁拡散防止膜の効果に関する研究，海岸工学論文集，第37巻，1990，pp.843-847.
- 3) 小田一紀・重松孝昌・濱崎佳尚・中尾敦典・山瀬晴義：汚濁拡散防止膜周辺の鉛直2次元流れに関する実験的研究，海岸工学論文集，第38巻，1991，pp.876-880.
- 4) 小田一紀・重松孝昌・小林徹雄・岡本 寛・山瀬晴義：垂下膜・自立膜の近傍における沈降物質の拡散に関する鉛直2次元実験，海岸工学論文集，第40巻，1993，pp.976-980.
- 5) 榎木 亨・青木伸一：流れの中に張られた汚濁拡散防止膜に及ぼす流体力と有効深さの計算法について，海洋開発論文集，Vol.3，1987，pp.203-208.
- 6) 榎木 亨・青木伸一・安井章雄：波浪中に張られた自立式汚濁防止膜に発生する張力に関する水理実験，海洋開発論文集，Vol.4，1988，pp.313-318.
- 7) 榎木 亨・青木伸一・劉 海波：自立式汚濁防止膜による波の変形と波力の解析，海岸工学論文集，第36巻，1989，pp.559-563.
- 8) 榎木 亨・青木伸一・劉 海波・山下 真：波浪中に張られた垂下式汚濁防止膜の展張ケーブルに発生する衝撃張力の特性，海洋開発論文集，Vol.6，1990，pp.311-316.