動圧式測程儀の発信誤差とその対策

重 川 亘*

On the Initial Error of the Pressure Log and the Preventive Procedure for it

W. Shigekawa

Abstract

With the lapse of time since the dry docking, ship's bottom becomes dirty and the zinc plates chip by corrosion. So the pressure log, generally installed on the ocean going ship, becomes to have error on the speed indication by the static pressure fluctuation.

The author made models of ship's bottom attachments and zinc plates deformation with rectangular plates and cylindrical plates, and made experiments in the wind tunnel jet stream.

When one of the ship's bottom attachments lies alone, the ship's Euler number is about 1.2 times as large as one gained on the wind tunnel experiments, but when several shaped attachments exist and they interfere one another the quantitative elucidation is difficult.

To exclude above initial error of the pressure log the author advocates the three holed Pitot tube.

1. 緒 言

現在舶用に広く使用される動圧式測程儀は、単孔ピトー管から総圧を、船底に直接あけた静圧孔から静圧を検出し、両者の差から速力と航程を求めている。本方式では出渠後の経過日数と共に静圧孔周囲に貝、海草類が附着し、また保護亜鉛が腐食欠損するため静圧孔附近の流れが乱され静圧が増加または減少し、計器指示に誤差を生じる。装置内部に仮に誤差がなくても、本誤差は必然的に存在する訳で筆者はこれを発信誤差と名付けた。

発信誤差を除去する一方法として筆者は3孔ピトー管の使用を提唱したい。2孔でもよいが3孔の方が装着誤差に対し鈍感である。

2. 実験装置

第2.1図の直線形風洞¹⁾で、

第2.1図 実験装置

* 海上保安大学校（呉市若葉町）

船底附着物や保護亜鉛変形の模形を矩形板、円環等で作し吹出流中においた平板の静圧孔より圧力変化をとり出した。なお軸流送風機要目は次ぎのとおりである。

羽根数 = 8, 羽根車径 = 330mm, 毎分回転数 = 1700,

送風量 = 34m³/min, 全圧 = 12mmAq

3. 静圧孔周囲の汚損変形

3.1 実験と実船との相似性

実船の状態を空気実験に置換える場合、流れを力学的に相似にするため Froude 数 (Fr), Reynolds 数 (Re) のいずれを実船と合わせるべきかが問題になる。これが決まれば Euler 数 $\Delta p / \frac{1}{2} \rho U^2$ (Δp = 圧力変化, U = 流速, ρ = 密度) は両者で等しくなる。

第3.1図の Condenser Scoop の実験 2)において水出口に邪魔円筒をつけたときの圧力降下量と $v_s/v_o=0$ 時の v_o とより Euler 数を求め、これと同一 $Fr \left(\frac{v_o}{\sqrt{Lg}} \right)$ における風洞実験より求めた Euler 数は実船の方が約20%大きい、しかし Re を同一としたときよりは相似性が満足される。よって風洞実験は Fr を同一にして行うこととした。

第3.1図 Condenser Scoop

第3.2図 圧力増加率 (矩形板風下)

3.2 汚損変形による圧力変化

3.2.1 静圧孔風下側に矩形薄板をおくとき

0.5mm 銅板で矩形板を作りその大きさ a (縦) $\times b$ (横) および静圧孔から板までの距離 r を変えて圧力増加率 $P_{s0} - P_s / \frac{1}{2} \rho U^2$ (P_s = 流れの静圧, P_{s0} = 板おいたときの圧力) を $r/\sqrt{ab}$ に対して片対数方眼紙上に置点した結果は第3.2図のとおりで、 $P_{s0} - P_s / \frac{1}{2} \rho U^2 = e^{-r/\sqrt{ab}}$ なる直線上に乗る。

3.2.2 静圧孔風上側に矩形薄板をおくとき

前項と同じく圧力変化率を $r/\sqrt{ab}$ に対し置点すると第3.3図のとおりで、 $r/\sqrt{ab} = 2.5 \sim 2.7$ で $\Delta p / \frac{1}{2} \rho U^2 = 0$, $r/\sqrt{ab} > 2.5 \sim 2.7$ で $P_{s0} > P_s$ となり凸, $r/\sqrt{ab} < 2.5 \sim 2.7$ で $P_{s0} < P_s$ となり

第3.3図 圧力変化率 (矩形板風上)

凹となる。また同一 $r/\sqrt{ab}$ では $Fr\left(\frac{U}{\sqrt{ab/r \cdot g}}\right)$ の小さい方が U が小さいため $|\Delta p/\frac{1}{2}\rho U^2|$ が小さい。

3.2.3 静圧孔と同中心に薄肉円環をおくとき

ブリキ板で円環を作り d_a^2/h (d_a =外径, h =高さ) をパラメータとして Fr に対し置点すると第3.4図のごとく, $P_{s0} < P_s$ であり同一 d_a^2/h に対しては $\Delta p/\frac{1}{2}\rho U^2$ はほぼ一定, d_a^2/h の小さい方が $\Delta p/\frac{1}{2}\rho U^2$ は大きい。 $Fr < \text{約} 1.2$ で急減するのは U の減少または d_a^2/h の増加により円環の影響が減るためである。

第3.4図 圧力減少率 (円環)

3.2.4 板厚の影響

(a) 矩形板

角木片で六面体を作り, 正面面積と厚さを変えて前記と同様の実験をした結果を第3.5.1図・3.5.2図に示す。風下側にあるときは厚さの影響はほとんどないが, 風上側にあるときは厚い方が $|\Delta p/\frac{1}{2}\rho U^2|$ が若干小さい。

第3.5.1図 板厚の影響 (矩形板風下)

第3.5.2図 板厚の影響 (矩形板風上)

(b) 円環

異径同高の円環の間にみつろうを流し込んで厚肉円環を作り, 上と同様の実験をした結果を第3.5.3図に示す。 $\Delta p/\frac{1}{2}\rho U^2$ は複雑に変化し $d_a=180\text{mm}$ と $d_a=150\text{mm}$ に対しほぼ同一代表寸法 $d_a \cdot d_i/h$ における圧力変化率にかなりの差が認められ $d_a=150\text{mm}$ の方が大きい。 $d_a=180\text{mm}$ についてみると同一 $d_a \cdot d_i/h$ では薄肉円環と同様に Fr にかかわらずほぼ一定であるが $d_a \cdot d_i/h$ の減少と共に減少しつつ $P_{s0} > P_s$ となり, 更に $d_a \cdot d_i/h$ が減少すると逆に $P_{s0} <$

P_s となる。

以上のように複雑に変化するのは肉厚、内径、高さの相互関係によるうずのスケールの大小によるものと思われる。

3・2・5 静圧孔に対し矩形薄板が偏在するとき

流れの方向に静圧孔と板中心が同一直線上にない場合を第3・6・1, 3・6・2図に示す。図で偏率 = $L/b/2$ である。偏率が増加すると $|\Delta p|/\frac{1}{2}\rho U^2$ が減少することがわかる。

第3.6.1図 矩形板偏在（風下）

第3.6.2図 矩形板偏在（風上）

板の影響の無くなる偏率は表3・1, 3・2のごとくで風速の減少と共に減少し、また同一面積では同一風速に対しほぼ等しい。

表3・1 偏在矩形板（風下側）

板の大きさ $a\text{mm} \times b\text{mm}$	$P_{s0}=P_s$ となる偏率	U m/S	r mm
30×120	約150/60=2.5	22.2	25~200
	〃 120/60=2.0	11.3	25~150
	〃 100/60=1.7	7.1	25~100
40×90	約130/45=3.0	22.2	25~200
	〃 105/45=2.3	11.3	25~150
	〃 85/45=1.9	7.1	25~100

表3・2 偏在矩形板（風上側）

$a\text{mm} \times b\text{mm}$	$P_{s0}=P_s$ となる偏率	U m/S	r mm
30×120	約130/60=2.2	22.2	20~280
	〃 105/60=1.8	11.3	20~280
	〃 95/60=1.6	7.1	20~230
40×90	約115/45=2.6	22.2	20~230
	〃 95/45=2.1	11.3	20~230
	〃 75/45=1.7	7.1	20~180

3.3 静圧取出部大きさの影響

代表寸法 d^2/h の等しい3種の静圧取出部模形における圧力変化は第3.7図のごとく、いずれも微少で、 d 、 h の大小が静圧に及ぼす影響はきわめて小さい。

$P_0 - P_s$ mmHg	0.10	0.15	-0.25	-0.20	-0.25	-0.15
U m/sec	16.1	7.7	16.1	7.7	16.1	7.7
$d^2 \times h$ mm	40×135	"	30×15	"	20×6.6	"
代表寸法 (mm)	60	"	"	"	"	"

第3.7図 静圧取出部大きさの影響

3.4 静圧取出部保護亜鉛の腐食、変形の影響

第3.8図のごとく実船とほぼ同大の静圧取出部を作り、周囲にみつろうを流し込んで保護亜鉛の模形を作り、これを種々変形して圧力変化を測定した。その結果は図示のごとくであるが、①風下側欠損すると吹きおろしによる動圧が作用して圧力上昇する。②風上側欠損するとうずの影響で圧力が低下する。③左右側欠損するときもうずの影響で圧力低下する。またいずれの場合も欠損が深いほど変動率が大い。

図番号	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
U m/sec	8.2 (16.2相当)	8.3 (16.2)	8.2 (16.2)	8.3 (16.2)	8.3 (16.2)	8.3 (16.2)
$P_0 - P_s$ mmHg	-0.012	0.012	-0.060	0.083	0.095	0.071
記 事	$P_0 = A$ 図における静圧, $P_s = B$ 図における静圧					

第3.8図 保護亜鉛欠損の影響

3.5 板の干渉の影響

前記の各状態が同時に存在し互に干渉するときの圧力変化を表3.3、3.4に示す。このときは変化が複雑で定量的な判定は困難であるが、定性的には $r/\sqrt{ab}$ の小さい板の単独時の変化率が支配的で、干渉時の変化率はその値に接近するといえる。保護亜鉛の変形は静圧孔にきわめて近く発生するので決定的のように思われるが、板側の $r/\sqrt{ab}$ が小さいときは必ずしもそうでなく矩形板の場合と同傾向を示す。

3.6 実験結果から実船の速度指示誤差を求める方法

$P'_d = P_t - (P_s \pm \Delta P_s) = P_d \mp \Delta P_s$ であるから $\Delta P_d = |P'_d - P_d| = \Delta P_s$ となる。 $(P_t = \text{総圧}, P_d = \text{動圧}, ' \text{ は船底汚損時, } ' \text{ ないのは船底清浄時を示す})$ よって動圧変化率 $\Delta P_d / P_d = \Delta P_s / P_d = \Delta (\frac{1}{2} \rho U^2) / \frac{1}{2} \rho U^2 = \frac{U^2 \sim U'^2}{U^2}$ となるから実船と同一 Froude 数で行った風洞実験で Euler 数 $\Delta P_s / P_d$ を求めれば、これ即ち実船の Euler 数であり上式より速度指示誤差 $\frac{U \sim U'}{U}$ が得られる。たとえば実船、実験にそれぞれ添字 w, a をつけると、 $U_w = 6\text{m/s}$ で静圧孔下流 10cm に $ab = 2\text{cm} \times 15\text{cm}$ の附着物を生じたときの速度指示誤差を求めると次ぎのごとくなる。 $(ab/r)_w = 2 \times 15 / 10 = 3\text{cm}$, $(U/\sqrt{ab/r \cdot g})_a = (U/\sqrt{ab/r \cdot g})_w$ より $U_a = U_w \times (\sqrt{ab/r})_a / (\sqrt{ab/r})_w = (\sqrt{ab/r})_a \times 346\text{cm/s}$ となる。本関係を満足する U_a , $(\sqrt{ab/r})_a$ の値を適当にたとえば $U_a = 7.4\text{m/s}$ とすると $(ab/r)_a = 4.56\text{cm}$ となるから $ab = 30\text{mm} \times 120\text{mm}$ とすれば $r = 79\text{mm}$ となる。よって $r/\sqrt{ab} = 1.32$ とな

表3.3 干渉

U m/sec	$\frac{b-a}{2}U^2$		$r/\sqrt{ab}$		板等の配置
	(a)	(b)	(a)	(b)	
8.5	$ab=30 \times 120$ -0.057	$ab=30 \times 60$ -0.285	-0.137	3.50	0.47
"	$"=30 \times 60$ -0.011	$"=30 \times 120$ -0.308	-0.114	3.78	0.33
8.4	$"=30 \times 120$ 0	$"=30 \times 60$ -0.416	-0.046	2.50	0.47
"	$"=30 \times 120$ 0.404	$"=30 \times 60$ -0.081	0.324	0.33	3.78
"	$"=30 \times 60$ 0.462	$"=30 \times 120$ -0.219	0.335	0.50	1.33
5.5	$ab=60 \times 60$ -0.033	(C)	-0.028	-0.028	3.33
"	$"=60 \times 60$ -0.055	(C)	0.027	3.33	
6.0	$"=30 \times 120$ 0.46	(b)	0.412	0.83	
"	$"=30 \times 120$ 0.46	(b)	0.023	0.504	0.83
7.5	$"=90 \times 90$ 0	(b)	-0.03	-0.015	2.55
"	$"=90 \times 90$ 0	(C)	0.15	0.09	2.55
1.9	$ab=30 \times 60$ -0.026	$ab=30 \times 120$ 0.72	0.44	4.25	0.42
4.8	$"=30 \times 120$ -0.145	$"=60 \times 60$ 0.425	0.052	3.33	0.42
"	$"=60 \times 60$ -0.155	$"=60 \times 60$ 0.425	-0.042	3.16	0.42
"	$"=30 \times 120$ 0.114	$"=30 \times 120$ 0.415	0.27	2.36	0.42
"	$"=30 \times 120$ 0	$"=60 \times 60$ 0.56	-0.05	2.50	1.18
"	$"=30 \times 120$ 0	$"=30 \times 60$ 0.497	-0.02	2.50	0.59

表3.4 干渉

板等の配置 (第1グループ)		干渉結果
(-)	(-)	(-)
(+)	(-)	(+)*
0	(-)	(-)
同上 (第2グループ)		干渉結果
(-)	(-)	(-)
(-)	(+)	(+)
(+)	(-)	(+)
(+)	(+)	(+)
0	(-)	(-)
0	(+)	(+)
同上 (第3グループ)		干渉結果
(-)	(+)	(+), (-)
(+)	(+)	(+)
0	(+)	(-)

るから第3・2図より $(\Delta Ps/Pd)_a = 0.26 = (\Delta Ps/Pd)_w$ となる。ゆえに $\frac{U^2 \sim U^2}{U^2} = 0.26$ より $\frac{U-U'}{U} = 0.14$ となるが、3.1節より $(\Delta p/p_d)_w = (\Delta p/p_d)_a \times 1.2$ と思われるので指示速度減少率 $\frac{\Delta U}{U}$ はこれより大で0.17となる。他の状態の場合もこれに準じて求められる。

4. 実船の速度誤差および船底汚損の例

巡視船 A

	入渠直前速力 kt				出渠直後速力		
	真速力	航程指示器速力	誤差 %		真速力	航程指示器速力	誤差 %
負荷区分	a	9.93	9.55	-3.8	11.35	12.61	11
	b	12.28	12.88	4.9	12.99*	14.43	11
	c	12.86*	13.64	6.6	13.81	16.31	18

船底清浄な出渠直後の速度誤差は器差のみによると考えられるのでこれを0と仮定すると、似た速力(たとえば*印)における誤差は船底汚損によるものであり $-(11-6.6) = -4.4\%$ である。

巡 視 船 B

	入 渠 直 前 速 力 kt				出 渠 直 後 速 力 kt			
	真 速 力	航程指示器速力	誤 差 %		真 速 力	航程指示器速力	誤 差 %	
負 荷 區 分	a	6.97	6.69	-4.0	7.55	7.14	-5.4	
	b	11.50	11.18	-2.7	12.21	12.24	0.2	
	c	14.30	14.43	0.8	14.83*	15.51	4.6	
	d	14.65*	14.52	-0.8	15.03	15.99	6.4	

出渠直後の方がかえって誤差が多いが、これは器差によると思われるのでこれを0と仮定すると、似た速力（*印）における船底汚損による誤差は-5.4%となる。

第4.1図は上記巡視船Aの汚損状態を示す。保護重鉛は中央部平たんゆえその影響はないと思われるが、静圧孔前後に附着物がありその関係が表3.3の第1グループに属する形で、干渉結果 $\frac{P_s - P_{s0}}{\frac{1}{2}\rho U^2} < 0$ になると判定される。

写真説明

静 圧 取 入 孔

第4.1図 船 底 汚 損 の 例

5. 3孔ピトー管

5.1 現用特殊ピトー管と30mmφ 3孔ピトー管の比較

現在高速艦艇にはたとえば第5.1図のような特殊な4孔ピトー管が使用され、船底汚損の影響を除去しているが、これは高速における強度保持のため断面が対称翼形でかつ大形である。そのため工作が厄介でコスト高であり、水密保持にも困難性を伴う。これに対し一般の中低速船では30mmφで強度は充分であるから、次ぎのごとく3孔ピトー管は充分実用に供し得ると思われる。

5.2 円形ピトー管の臨界角 θ 。

周知のように一様流中に円柱をおくと、流れに面する岐点には総圧が作用し、それより左右に角度 θ のところに流れの静圧が作用し、更に角度が大きくなると円柱表面の圧力は静圧より低くなる。この θ の大きさについては完全流体の二次元円柱につきたとえば M. Thomson の Circle Theorem³⁾による次の解がある。

$$\text{流れの複素ポテンシャル } w = U \left(z + \frac{a^2}{z} \right)$$

ただし U = 一様流速 a = 円柱半径

$$\text{ゆえに流れの複素速度は } \frac{dw}{dz} = U \left(1 - \frac{a^2}{z^2} \right)$$

$z = ae^{i\theta}$ とおくと $\frac{dw}{dz} = ie^{-i\theta} \cdot 2U \sin\theta$ したがって円柱表面の速度は $q = 2U \sin\theta$ となる。一様流の静圧を π 、円柱表面の圧力を p とするとベルヌイの定理より $p/\rho + 2U^2 \sin^2\theta = \pi/\rho + \frac{1}{2}U^2$

本式で $p = \pi$ ならしめる θ は $\sin^2\theta_c = \frac{1}{4}$ より $\theta_c = \pm 30^\circ$

実在流体では $\theta_c > 30^\circ$ であつて Re 、流れの乱れの程度、ピトー管径 D 、静圧孔径 d 等により異なり、同一ピトー管でも Re 増加すれば θ_c 小さくなりまた D が小さくなると同一 d/D 、同一 Re でも θ_c が大きくなる傾向がある。4)

θ_c の変化による圧力変化の様子は第5.2図のとおりで、図より $\Delta p_c / \frac{1}{2}\rho U^2 = 0.04/\theta_c$ であるから3.6節と同様に θ_c の変動 1° につき速度指示誤差は $\Delta U/U = 2\%$ となる。

第5.2図 臨界角附近の圧力傾斜（風洞）

船体前後傾斜に伴う誤差の例は第5.3図のごとくで、傾斜角度の増加と共に指示速度 U は小さくなるが、図示のように傾斜角 20° の場合でも指示速度減少率は最高6%程度で余り問題とならぬ。

5.3 だ円の臨界角

前節でピトー管が傾斜すると総圧は当然減少するが、静圧が減少するのは次ぎの理由による。傾斜すると流れの方向の円柱断面がだ円になるが、二次元だ円柱のまわりの流れの流速 q は $z =$

第5.1図 特殊ピトー管

第5.3図 ピトー管前後傾斜誤差（風洞）

$C \cosh \zeta$, $\zeta = \xi + i\eta$ とおき, Joukowski の写像関数 $z = Z + \frac{C^2}{4Z}$ を用いて Z 面の円のまわりの流れを z 面のだ円のまわりの流れに写像して

$$q^2 = \frac{U^2(a+b)}{a-b} \frac{\sinh^2(\xi - \xi_0) + \sin^2 \eta}{\sinh^2 \xi + \sin^2 \eta} \quad \text{となる。ただし, } a = \text{だ円の半長軸, } b = \text{だ円の半短軸, } U = \text{一様流速, } \xi_0 = \text{だ円の円周}$$

だ円の表面圧力を p , 一様流の圧力を π とするとベルヌイの定理より

$$p/\rho + \frac{1}{2} \frac{U^2(a+b)}{a-b} \frac{1 - \cos 2\eta}{\cosh 2\xi_0 - \cos 2\eta} = \frac{\pi}{\rho} + \frac{1}{2} U^2$$

本式の左辺第2項は上式で $\xi = \xi_0$ とおいて得られるだ円表面の流速である。本式で $p = \pi$ とおいて η を求め, $\zeta = \xi_0 + i\eta$ として得られる ζ を $z = C \cosh \zeta$ に代入して θ_0 位置を示す x, y が得られる。なお $\xi_0 = \frac{1}{2} \ln \frac{a+b}{a-b}$, $C^2 = \sqrt{a^2 - b^2}$ である。

110mm ϕ の円柱を $\theta_0 = 30^\circ$ として 20° 傾斜させたときの計算結果を第5.4図に示す。傾斜角度が大きくなるほど静圧孔が $p = \pi$ となる位置より後退するので, 静圧は低下する。実際は $\theta_0 > 30^\circ$ であるが傾向は同一である。また前方傾斜の方が静圧が高いのは円柱端の分岐流の影響と思われる。

第5.4図 だ円柱の静圧点 (110 ϕ , 20°)

5.4 3孔ピトー管の寸法と工作

- (1) 径は30mmとする。
- (2) $l/D > 0.5$ にしないと管端の影響が作用する。(l = ピトー管先端と測圧孔間の距離)⁴⁾
- (3) 測圧孔は工作上の便宜によつては孔が同一平面上にある必要はない。
- (4) 水中突出長さは摩擦伴流層の厚さより大きいことが必要である。摩擦伴流層の厚さ d はたとえば次ぎの Baker の式より略算出来る。

$d^2 + 1.5d = 0.02L_{WL}$ ただし L_{WL} = 船首よりピトー管位置までの水線長

30mm ϕ の長い丸棒に3本の圧力導孔を孔ぐりすることは工作上困難であるから, たとえば鉄棒表面に3本のみぞを切り, これに膨脹係数の大きい真ちゆうスリーブを焼ばめしてこれに測圧孔をあける等するとよい。

6. 試作3孔ピトー管による実測

臨界角は実船と同一 Re において風洞により求め得るが, 実船における流れは充発達した乱流であること, 船底外板とピトー管の干渉状況が風洞におけるピトー管と吹出流の関係と異なる等のため, 実船で実測することにより正確な値が求められる。第6.1図に示す試作3孔ピトー管で角度 θ が 36.5° , 40° , 42.5° , 44.5° , 46.5° のもの5本を製作し練習用巡視船こじまで実測した結果は第6.2図のごとくである。これは常用速力 15.8kt ($Re = 24.4 \times 10^4$) におけるもので $\theta_0 = 38.5^\circ$ で

第6.1図 試作3孔ピトー管

あることがわかる。空気の場合の5・2図と比較すると直線のこう配が大きい。また図の点線は6.7kt ($Re=10.4 \times 10^4$) 時のもので、 $\theta=36.5^\circ$ のピトー管で計測した速度誤差が -11% だったので、この点をとおり5・2図のごとく直線が平行であるとの仮定のもとに引いたものである。これより $\theta_c=41^\circ$ で、 Re の減少により θ_c が大きくなることがよくわかる。

同一ピトー管を使用する場合、速力が異なると誤差を生ずる(6・2図より $\theta_c 1^\circ$ の変化につき約2.5%で、5・2節に述べた空気の場合の2%より25%大きい。このことは3・1節に述べた Euler 数が風洞実験より約20%大きいことに一致する) 欠点があるが、常用速力に対する θ_c の位置に静圧孔をあけておけば実用上は大きい不便はないと思われる。

7. 結 言

現用動圧測程儀の船底汚損、静圧孔保護亜鉛欠損による静圧変化、したがって速度指示誤差を風洞実験におきかえて求めた。矩形状、円環状の附着物が単独で存在するときは風洞実験より得られる Euler 数の約1.2倍を同一 Froude 数における実船の Euler 数として、速度指示誤差を求め得ることがわかった。しかし実際の状況は種々不定の形状の附着物が互に干渉しあつた状態で附着しているので、これを定量的に求めることは困難であるが、定性的な判断は出来ることを示した。

上記発信誤差を除去する一対策として、円形断面の3孔ピトー管の使用を提唱した。これには次ぎの利点がある。

- (1) 船底汚損の影響を受けない。
- (2) 現用の諸装置をそのまま使用出来るので改装の必要がない。
- (3) 新造の場合は静圧用船底弁等が不要である。

ただし速力が常用以外の場合の臨界角の変動、あるいはピトー管装着時の取付角度の変化1度につき約2.5%の速度指示誤差を生ずるが、これ等に注意して取扱えば実用上大した不便はない。

参 考 文 献

- 1) 重川亘：試作直線型風洞の吹出流について(第1報)，海上保安大学校研究報告二部(1963)，P. 47.
- 2) E. F. Hewins and J. R. Reilly：Condenser Scoop, Trans. of S. N. A. M. E. (1946)，P. 283.
- 3) Milne Thomson：Theoretical Hydrodynamics, P. 154.
- 4) 重川亘：風洞吹出流中におけるピトー管の実験について，1)に同じ(1964)。

第6.2図 実 船 臨 界 角