

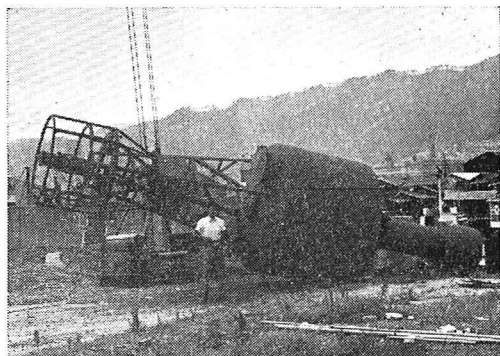
潮流のある海に用いる浮標に関する研究

永井 莊七郎*・小田 一 紀**

1. 緒 言

従来港湾工事に用いられている工船用挂灯浮標は一般に写真-1に示すような形状で、主浮体部は外径 2.0～2.5 m、高さ 2.0 m 前後の円筒で、浮標全重量 4.5～5.0 t 以上の相当大型なものが用いられてきた。しかし最近臨海工業地帯の造成や港湾の拡張、整備工事にともない簡易で、低廉な工船用挂灯浮標の開発が非常に要望されるようになった。

写真-1 一般の工船用挂灯浮標



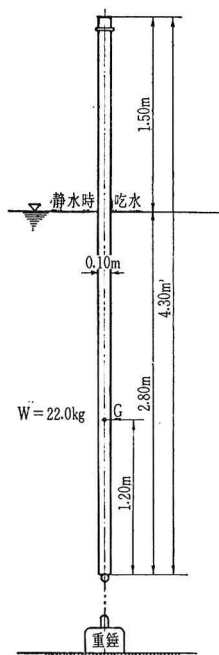
このような要望に答えて、流速がほぼ 1 knot 以下の海で用いる工船用挂灯浮標として図-1に示すような非常に簡単な対蝕アルミ製円筒の浮標が開発され、現在各地で多数使用されている。しかし流速の速いところでは上記の浮標は傾斜、沈没し十分にその使用目的を達し得ない。そこでわれわれは相当の潮流(2～5 knots)が作用するところでもほぼ鉛直に立ち、しかも標識としての条件を満足する簡易な強い潮流用挂灯浮標を設計し、実験および実測によってその設計理論を検討した。その概略をここに報告する。

2. 強い潮流用挂灯浮標に関する理論的考察

(1) 浮標の形状および寸法

浮標はその第1条件として水理学的に形状抵抗が少なく浮力の大きい主浮体部が必要である。つぎにできるだけ重心をさげ、復元力を大きくするため、主浮体部から相当下方に counter weight (兼方向翼)を設ける。また後述するように、浮標が直立するためにはロープ(緊索)

図-1 対蝕アルミ製円筒型挂灯浮標



を取り付ける点を中心として、浮標に働く諸力のモーメントがつり合わなければならない。そのためロープ取付点より下方に受圧板を設け、これに動水圧を働かせロープ取付点周りのモーメントをつり合わせるようにする。以上の3つの部分(counter weight 兼方向翼, 受圧板)は一体にし、細い円筒によって主浮体部と連結させる。さらに標識としての条件を満たすように灯部を備えた標識部を主浮体部上に設ける。

以上の諸部を備えた強い潮流用挂灯浮標としてわれわれは図-2に示すような形状の浮標を設計した。もっとも研究の重きをおくところは主浮体部の形状であるが、水理学的に有利な形状としては流線形や回転円体

などのものが考えられたが、種々実験した結果、製作的にも図に示すような形状のものがもっとも適しているという結論を得た。

図-2に示すⅠ型挂灯浮標およびⅡ型挂灯浮標は当初それぞれ 2～3 knots 用、および 3～5 knots 用として設計されたものであるが、余裕浮力の不足および標識としての効果を補うため同図 (b) および (c) に示す形状に改良したものである。

(2) 浮標の直立条件

いま図-3に示すように、流速 v の流れの中にロープで水底に緊留されて直立して浮かんでいる浮標に作用する力のつり合いを考える。

鉛直方向に作用する力として、浮標の中心軸に沿って浮標の全重量 W 、および浮標の水中部に働く浮力 ΣP 、また水平方向には浮標の各部に働く動水圧の合力 ΣF が働く。

以上の諸力がロープに作用する張力 T とつり合いを保っている。したがってこれらの間につぎの関係が成立する。

* 正会員 工博 大阪市立大学工学部教授
** 正会員 大阪市立大学工学部大学院学生

図-2 (a) I 型挂灯浮標
(実寸表示)

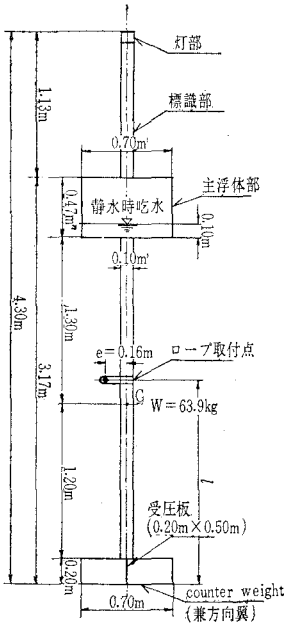


図-2 (b) 改良 I 型挂灯浮標

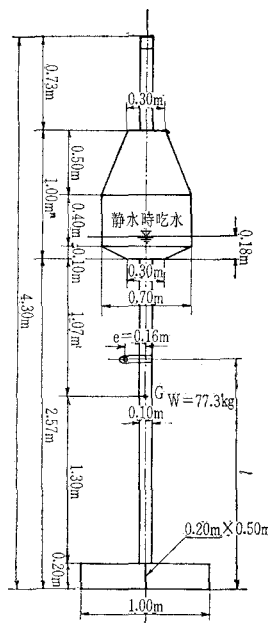


図-2 (c) II 型挂灯浮標

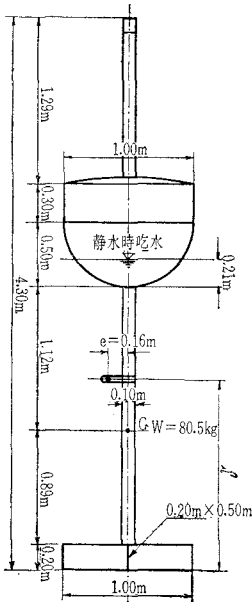
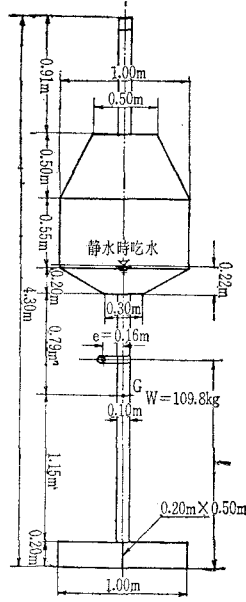


図-2 (d) 改良 II 型挂灯浮標



$$\Sigma H = 0 : T \cos \theta = \Sigma F \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Sigma V = 0 : T \sin \theta = \Sigma P - W \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに θ : ロープが水平となす角

さらに浮標が直立するにはロープ取付点の周りの力のモーメントが零でなければならない。ゆえにつぎの式が成り立つ。

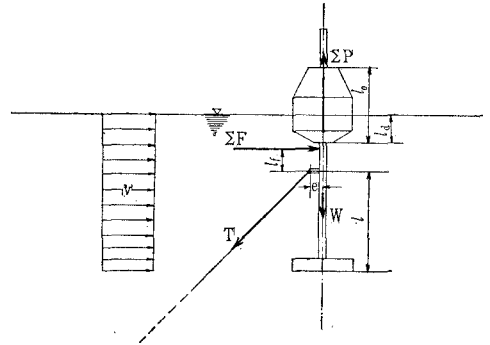
$$\Sigma M_0 = 0 : l_f \cdot \Sigma F = e \cdot (\Sigma P - W) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに l_f : ロープ取付点 O と動水圧の合力 ΣF との距離

e : ロープ取付点 O から浮標中心軸までの距離

しかし後にのべるように実験の結果、軸方向にさらにもう一つ浮標を沈めんとする鉛直下向きの力 N が主浮体下部に働いていることが明らかになった。し

図-3 浮標に作用する力のつり合い



たがって上で求めたつり合いの式 (1), (2), (3) はつぎのように書きかえられる。

$$\Sigma H = 0 : T \cos \theta = \Sigma F \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\Sigma V = 0 : T \sin \theta = \Sigma P - W - N \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\Sigma M_0 = 0 : l_f \cdot \Sigma F = e \cdot (\Sigma P - W - N) \\ = e \cdot T \sin \theta \quad \dots\dots\dots (6)$$

以上の諸式から流速 v のときにロープの傾きが θ で浮標が直立するための吃水 l_d , およびロープ取付点の位置 l が求められる。

3. 実験方法

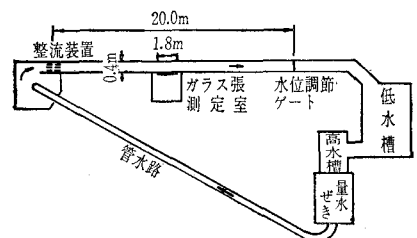
(1) 実験設備

実験設備の概略は図-4に示すとおりである。使用した水路は幅 40 cm, 高さ 80 cm, 長さ 20 m のコンクリートブロック, モルタル仕上げで, 水路中央部の側壁を一部ガラス張りにして, 浮標の観測を行なった。

(2) 実験方法

実験は Froude の相似率にしたがって行なった。すなわち浮標は実物の 1/10 の大きさに作り, 重量は実物の 1/1000 にし, 重心の位置は実物に合うように工夫した。また繫索としては後 0.2 mm のエナメル線を

図-4 実験設備概略



用いた。流速は現地の $1/\sqrt{10}$ になるよう水位調節ゲートおよび流量の増減によって調節した。流速測定はピット管で行ない、流速の横断分布が一樣になるように上流の整流装置を加減した。実験に際しては水路中心部の鉛直分布を測定し、浮標の水中部分に相当する流速の平均値をその浮標に作用する流速とした。実験時の浮標に作用する部分の流速はほぼ一樣とみなすことができ、実際の潮流の流れと比較的良好類似したものであった。

つぎに浮標に作用する諸力を求める方法についてのべる。浮標に作用する諸力を求める方法は以下のものが考えられた。

① 繫索の水平となす角 θ と浮標の吃水 l_d を測定することによって求める方法。

すなわち式 (1) および (2) から

$$\tan \theta = \frac{\Sigma F}{\Sigma P - W} \quad \dots\dots\dots (7)$$

が得られ、実験によって θ および吃水 l_d を測定することによって $\tan \theta$ および ΣP がわかり、式 (7) から ΣF が求められる。しかし式 (7) はすでにのべたように主浮体下部に働く負圧 N を考慮していないから、この方法では正しい ΣF は求められない。

② 繫索に作用する張力 T を測定し、その水平方向および鉛直方向の分力より式 (4) および (5) を用いて浮標に作用する動水圧の合力 ΣF および負圧 N を求める方法。

張力 T を求める方法としてつぎの2つが考えられた。

④ 水路床に鉄板を敷き、繫索を結びつけた錘り序々に軽くしていったときに、錘りが鉄板上を滑動する瞬間の最大静止摩擦力を作用する方法であるが、この方法は前もって錘りに作用する静水圧の状況および水中における鉄板と錘りの間の最大静止摩擦係数を求めておかなければならないし、特に流れを乱さないで錘りの重量を徐々に軽くして行く方法などに難点があり実験方法としては誤差の入る要素が多く適当でない。

⑤ 繫索下端にバネを連結し、直接バネの伸びから張力 T を測定する方法。

この方法は④の方法にくらべてはるかに簡単でかつ比較的正確に測定できるので、われわれはこの方法によって繫索に働く張力 T を測定し、式 (4) および (5) を用いて浮標に作用する動水圧の合力 ΣF および浮標を沈めんとする負圧 N を求めた。

なお浮標に作用する動水圧は $F = \zeta \cdot w_0 \cdot A \cdot \frac{v^2}{2g}$ で与えられるが、抵抗係数 ζ は Reynolds 数に關係するものであるから、抵抗係数を求める実験は Reynolds の相似率にもとづいて行なわれなければならない。しかしわれわれの実験は抵抗係数それ自体を求めることが直接の目的で

ないので、抵抗係数が Reynolds 数によってあまり変化しない範囲内で実験を行なえば実験と実測の相似性は保たれるものと考えられる。

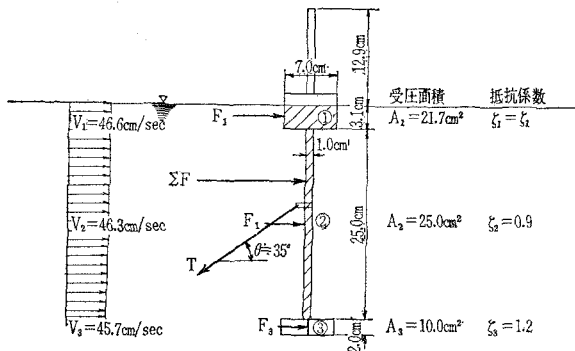
4. 実験結果

(1) 主浮体部の抵抗係数 ζ の値

浮標がほぼ鉛直に立っているときの各浮標主浮体部の抵抗係数 ζ の値を繫索に作用する張力 T を測定することによって式 (4) から求めた。

いまその具体的な計算例を図-5に示すI型挂灯浮標

図-5 主浮体部の抵抗係数 ζ_i の算定



について記せば、図に示すような流速分布に対し、部分①、②および③に作用する動水圧 F_1 , F_2 , F_3 は部分①の抵抗係数 ζ_1 を未知数とし、部分②の円筒の抵抗係数 $\zeta_2=0.9$ 、部分③の板の抵抗係数 $\zeta_3=1.2$ にとると、

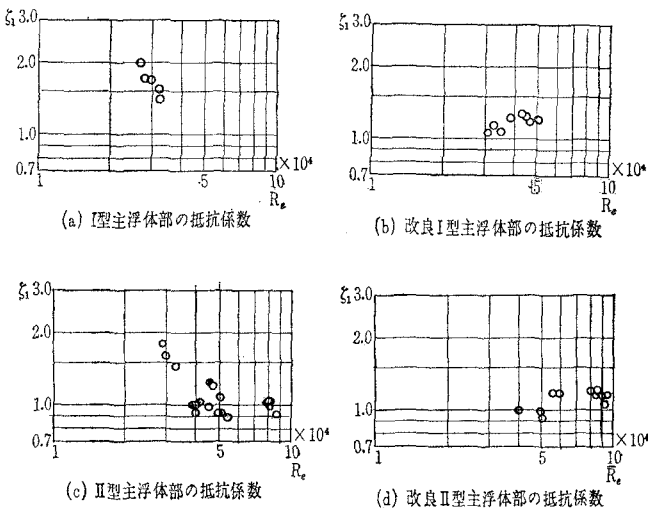
$$F_1 = \zeta_1 w_0 A_1 \frac{v_1^2}{2g} = \zeta_1 \times 1.0 \times 21.7 \times \frac{46.6^2}{2g} = 25.0 \zeta_1 (g)$$

$$F_2 = \zeta_2 w_0 A_2 \frac{v_2^2}{2g} = 0.9 \times 1.0 \times 25.0 \times \frac{46.3^2}{2g} = 24.6 (g)$$

$$F_3 = \zeta_3 w_0 A_3 \frac{v_3^2}{2g} = 1.2 \times 1.0 \times 10.0 \times \frac{45.7^2}{2g} = 12.8 (g)$$

$$\Sigma F = 25.0 \zeta_1 + 37.4$$

図-6 浮標主体部の抵抗係数 ζ_i



このとき張力 $T=98\text{ g}$, $\theta=35^\circ$, ゆえに式 (4) より

$$25.0 \zeta_1 + 37.4 = 98 \cos 35^\circ = 80.4$$

$$\therefore \zeta_1 = 1.72$$

となる。またこのとき $R_e = \frac{v_1 \sqrt{A_1}}{\nu} = \frac{46.6 \sqrt{21.7}}{0.008} = 2.72 \times 10^4$ である。

以上のように、部分②の円筒の抵抗係数 $\zeta_2=0.9$, 部分③の板の抵抗係数 $\zeta_3=1.2$ と仮定して求めた各浮標の主浮体部の抵抗係数 ζ_1 と Reynolds 数との関係を表わしたものが図-6である。

図-6 に表わされている主浮体部の抵抗係数はあくまでも円筒や板の抵抗係数を仮定することによって求められたもので、この点 図-6 に表わされている主浮体部の抵抗係数の値はそのまま信用しがたいものである。

なお各浮標の主浮体部には形状抵抗のほか建造波抵抗も働くが、建造波抵抗は形状抵抗にくらべ小さいので、特にこれを考慮しなかった。したがって上で求めた主浮体部の抵抗係数 ζ_1 は建造波抵抗をもふくんだものを表わし

ていると考えられる。

また Reynolds 数の比較的小さい実験によって得られた抵抗係数は、測定した張力 T および主浮体部の受圧面積 A_1 の絶対量が少ないので、これから計算された主浮体部の抵抗係数は比較的大きな誤差が大きいものと考えられる。

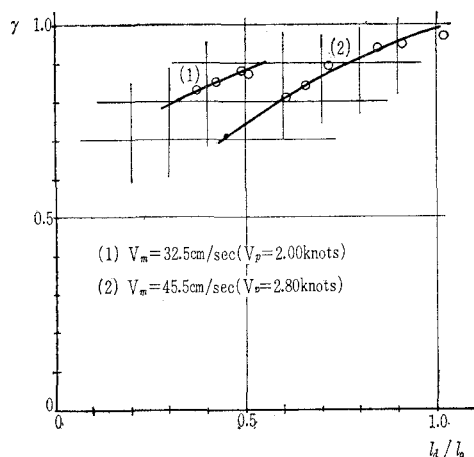
以上のべたように、主浮体部の抵抗係数に関してはまだ未知なものが多く、今後さらに検討を加える予定である。

(2) 主浮体部下部に働く負圧 N

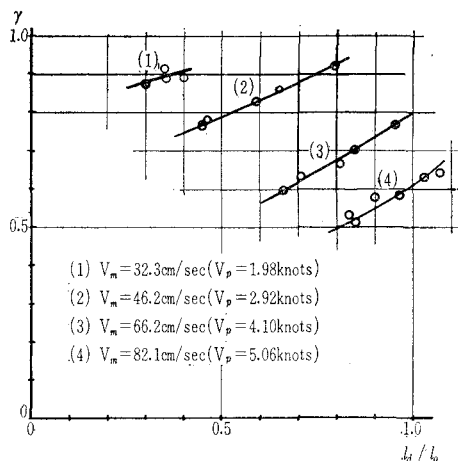
浮標に鉛直方向に作用する力は浮力、重力のほかさらに主浮体部下部に鉛直下向きにもう一つの力が働いていることが実験によって明らかになった。これを負圧 N とする。

たとえば前述の I 型挂灯浮標の計算の場合についてのべれば、緊索に働く張力 $T=98\text{ g}$, 緊索の傾き $\theta=35^\circ$, このとき吃水を測定することによって求めた浮力の合力

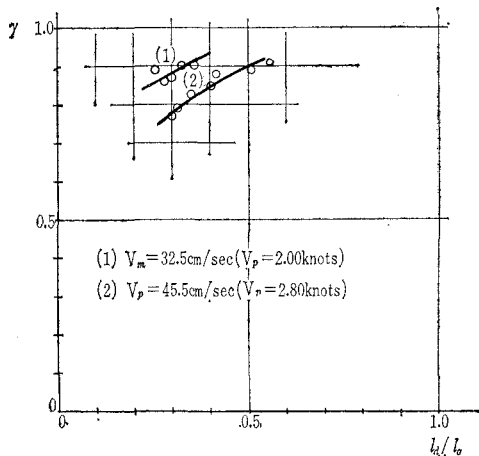
図-7 各浮標の $\gamma \sim l_d/l_0$ の関係



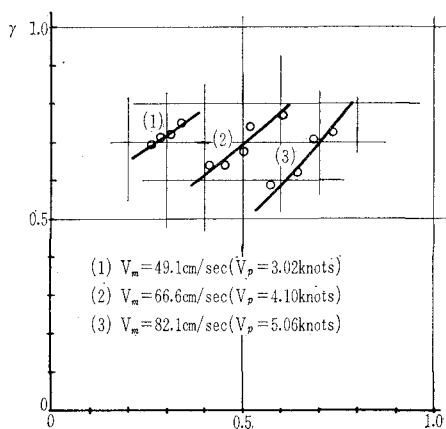
(a) I型浮標の $\gamma \sim l_d/l_0$ の関係



(c) II型浮標の $\gamma \sim l_d/l_0$ の関係



(b) 改良I型浮標の $\gamma \sim l_d/l_0$ の関係



(d) 改良II型浮標の $\gamma \sim l_d/l_0$ の関係

$\Sigma P=144$ g, 浮標の全重量 $W=63.9$ g, したがって浮標に働く鉛直方向の力の合力 ΣV は,

$$\begin{aligned}\Sigma V &= T \sin \theta + W - \Sigma P \\ &= 56.6 + 63.9 - 144 = -23.5 \text{ g}\end{aligned}$$

となり, $\Sigma V=0$ が満足されていない。これはもう一つ鉛直下向きの負圧 N が働いていると考えれば矛盾が起こらない。すなわち上の場合では鉛直下向きの負圧 $N=23.5$ g が浮標に作用していると考えれば,

$$\Sigma V = T \sin \theta + W + N - \Sigma P = 0$$

となる。いま $T \sin \theta + W = P_0$ とおくと上式は,

$$\Sigma P - P_0 = N \quad \dots\dots\dots (8)$$

あるいは $r = \frac{P_0}{\Sigma P}$ とおけば,

$$(1-r)\Sigma P = N \quad \dots\dots\dots (9)$$

となる。

各浮標の主浮体部の吃水 l_d を無次元化した量 l_d/l_0 (l_0 : 主浮体部の高さ) と r との関係を浮標に作用する流速を parameter として表わしたものが 図-7 である。

図-7 から明らかなように, N は浮標に作用する流速と主浮体部の形状とに関係するようであるが, この問題の正確な把握は今後の研究に譲ることにする。

5. 浮標が直立するためのロープの取付位置の決定

ロープの水平となす角 θ と流速が与えられれば, 浮標が直立するためのロープ取付位置は式 (4), (5) および (6) から決定することができる。

すなわち式 (4), (5) から

$$\tan \theta = \frac{\Sigma P - W - N}{\Sigma F} \quad \dots\dots\dots (10)$$

上式に式 (9) を代入すれば,

$$\tan \theta = \frac{r\Sigma P - W}{\Sigma F} \quad \dots\dots\dots (11)$$

が得られる。

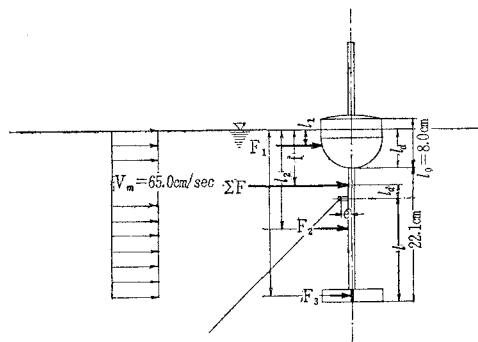
式 (11) において ΣP , ΣF および N は吃水によって変化するから計算によって式 (11) を満足する吃水を求める。式 (11) を満足する吃水が求まれば各部分に作用する動水圧が求まり, それらの合力 ΣF の作用点も求まる。また式 (6) より動水圧の合力 ΣF の作用点からロープ取付点までの距離 l_f が求められるから, ロープ取付点の位置は定まる。

いま 図-8 に示すように, 模型の II 型挂灯浮標について浮標が直立するための繫索取付位置を決定する方法をのべれば

$$\begin{cases} \text{条件 } \{ v_m = 65.0 \text{ cm/sec } (v_p = 4.0 \text{ knots}) \\ \theta = 45^\circ : \tan \theta = 1.0 \end{cases}$$

図-7 (c) より II 型挂灯浮標の主浮体部の抵抗係数 $\zeta_1 \approx 1.0$ ($R_e = (5 \sim 8) \times 10^4$ の範囲で), ゆえに各部分に働く動水圧は,

図-8 ロープ取付位置の決定方法



$$F_1 = 1.0 \times 1.0 \times A_1 \times \frac{65.0^2}{2g} = 2.15 A_1 \text{ g}$$

$$F_2 = 0.9 \times 1.0 \times 20.1 \times \frac{65.0^2}{2g} = 39.0 \text{ g}$$

$$F_3 = 1.2 \times 1.0 \times 10.0 \times \frac{65.0^2}{2g} = 25.8 \text{ g}$$

$$\Sigma F = 2.15 A_1 + 64.8 \text{ g} \quad \dots\dots\dots (12)$$

II 型挂灯浮標全重量 $W=80.7$ g, 条件より $\tan \theta=1.0$ であるから, 式 (11) より

$$r\Sigma P - W = \Sigma F$$

式 (17) を代入すれば

$$r\Sigma P - 2.15 A_1 = 145.5 \quad \dots\dots\dots (13)$$

式 (13) を満足する吃水 l_d は試算によって求める。

$l_d=6.2$ cm のとき, $\Sigma P=376$ g, $A_1=51.2$ cm², また $l_d/l_0 = \frac{6.2}{8.0} = 0.78$, $v_m=65.0$ cm/sec に対し 図-7(c) より $r \approx 0.68$, ゆえに式 (13) 左辺は

$$\begin{aligned}r\Sigma P - 2.15 A_1 &= 0.68 \times 376 - 2.15 \times 51.2 \\ &= 256.0 - 110.0 = 146.0\end{aligned}$$

これはほぼ右辺に等しい。ゆえに $l_d=6.2$ cm は式 (13) を満足する。

$l_d=6.2$ cm のとき, 各部分に作用する動水圧は,

$$F_1 = 2.15 A_1 = 110.0 \text{ g}$$

$$F_2 = 39.0 \text{ g}$$

$$F_3 = 25.8 \text{ g}$$

$$\Sigma F = 174.8 \text{ g}$$

それぞれの動水圧は各部分の受圧面の図心に作用するとすると, 水面から合力 ΣF までの距離 f は,

$$\begin{aligned}f &= \frac{l_1 F_1 + l_2 F_2 + l_3 F_3}{\Sigma F} \\ &= \frac{2.7 \times 110.0 + 16.3 \times 39.0 + 27.3 \times 25.8}{174.8}\end{aligned}$$

$$\approx 9.4 \text{ cm}$$

つぎに模型の II 型浮標の $e=1.6$ cm であるから式 (6) より,

$$l_f = \frac{e(\Sigma P - W - N)}{\Sigma F} = \frac{e \cdot \Sigma F}{\Sigma F} = e = 1.6 \text{ cm}$$

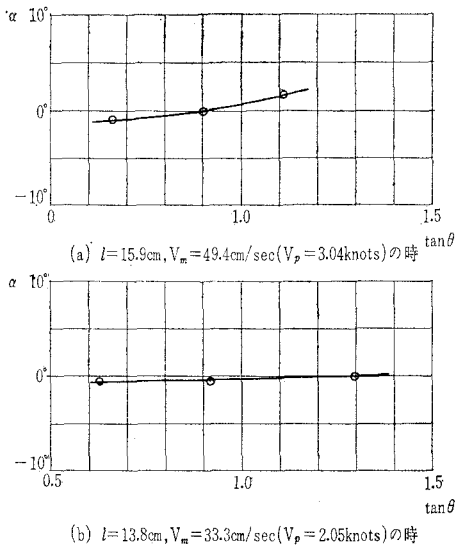
以上より $v_m=65.0$ cm/sec ($v_p=4.0$ knots), $\theta=45^\circ$ で

表-1 浮標が直立するためのロープ取付位置の計算結果

浮標種類	v_m	θ	l_d	l
I 型	cm/sec knots		cm	cm
	32.6 ($v_p=2.9$)	45°	2.1	13.8
改良 I 型	48.8 ($v_p=3.0$)	45°	3.5	15.9
	32.6	45°	3.0	13.0
II 型	48.8 ($v_p=3.0$)	45°	4.0	13.2
	65.0 ($v_p=4.0$)	45°	6.2	17.3
	81.2 ($v_p=5.0$)	30°	7.1	18.6
改良 II 型	48.8	45°	4.1	13.5
	65.0	45°	6.5	17.5
	81.2	30°	7.2	18.8

図-9 I 型浮標の傾き

(l は計算より求めた値)



凡 例

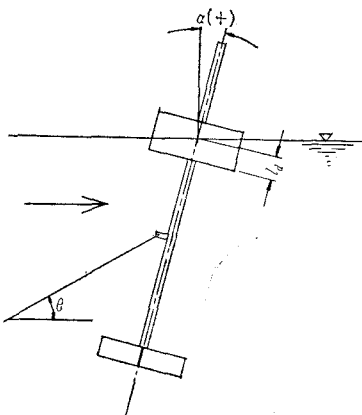


図-10 改良 I 型浮標の傾き

(l は計算より求めた値)

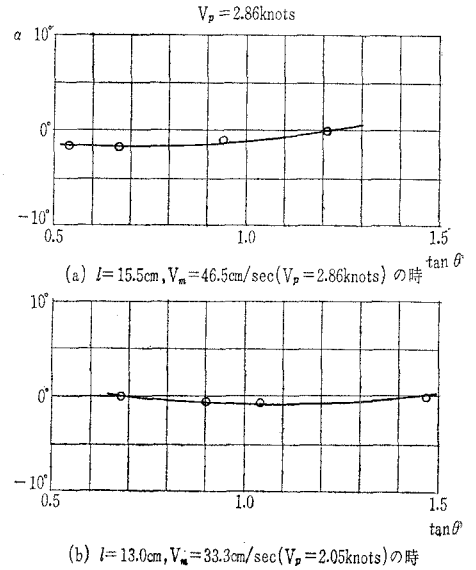
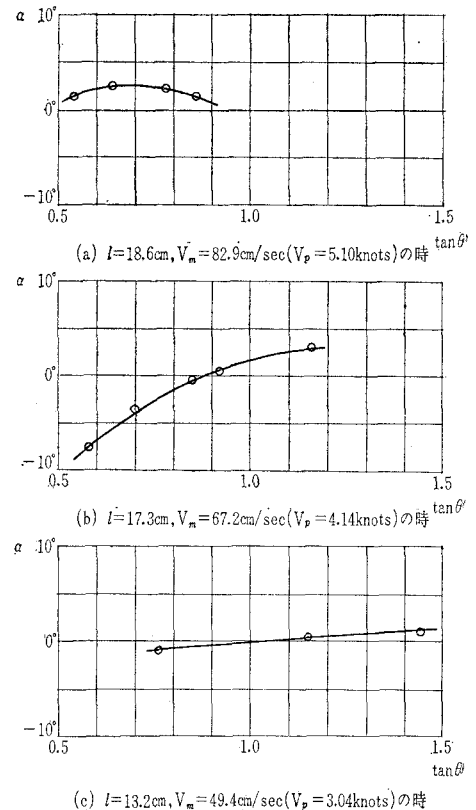


図-11 II 型浮標の傾き

(l は計算より求めた値)



浮標が直立するためのロープ取付点の位置は水面から、 $(f+l_f)=11.0\text{ cm}$ で、浮標最下端から $l=17.3\text{ cm}$ である。

以上のようにして、流速 v_m 、ロープの傾き θ のときに浮標が直立するためのロープ取付点の位置およびそのときの吃水 l_d を各浮標について計算した結果を表わしたものが表一1である。

図-12 改良 II 型浮標の傾き

(l は計算より求めた値)

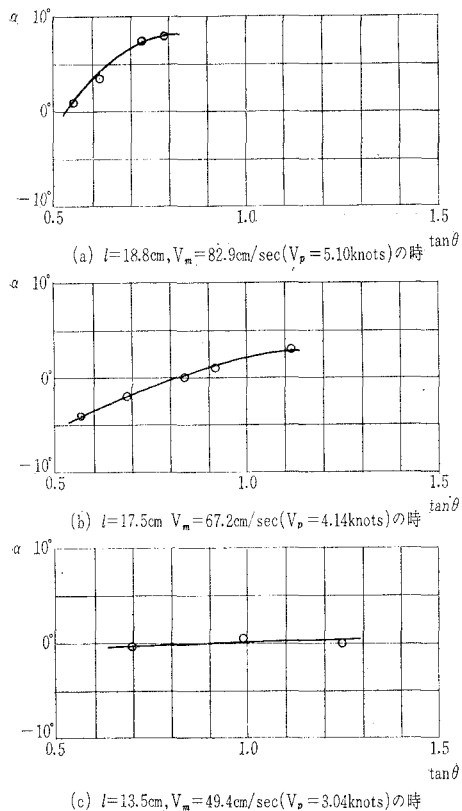


図-13 I 型浮標の吃水

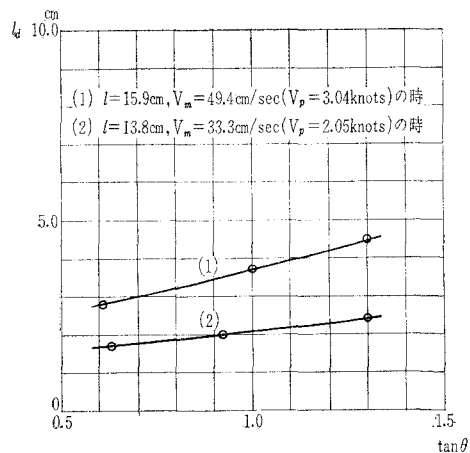


図-14 改良 I 型浮標の吃水

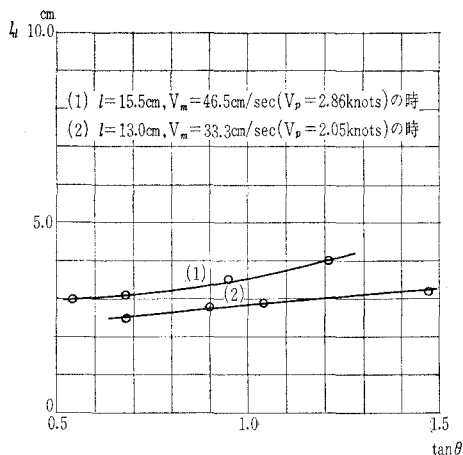


図-15 II 型浮標の吃水

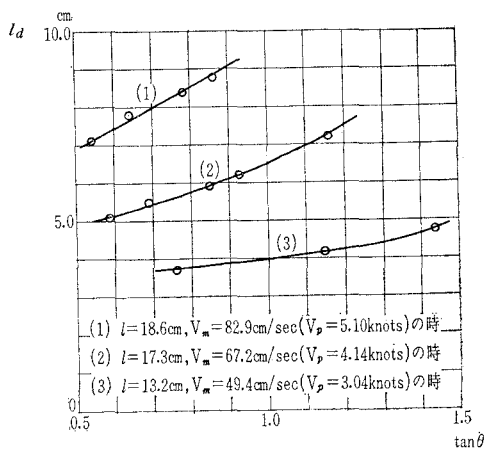
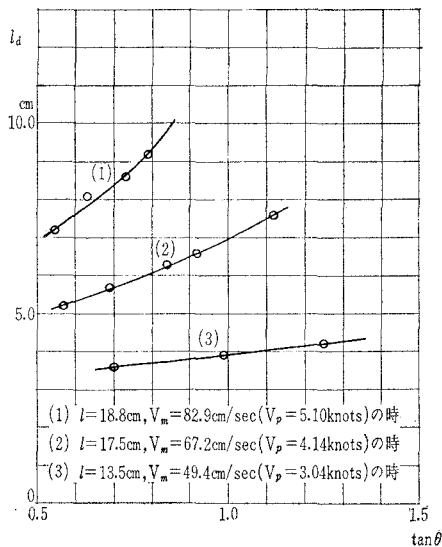


図-16 改良 II 型浮標の吃水



また計算によって求めた l を用いて実験した結果、ロープの傾き θ の正接 $\tan \theta$ と浮標の傾き α (流れの上流側に傾くときは負号をとる) の関係は 図-9, 10, 11 および 12 のようであり、また $\tan \theta$ と吃水 l_d との関係は 図-13, 14, 15 および 16 に示すとおりである。なお写真-2, 3, 4 および 5 はこのときの実験写真である。

実験時の流速は計算に用いた流速と多少異なっているが、計算によって求めた l を用いて実験したときの浮標の傾きはいずれもほぼ零度であることが図からよくわかる。

写真-2 I 型浮標の傾き

$l=13.8$ cm, $v_m=33.3$ cm/sec
($v_p=2.05$ knots),
 $\theta \doteq 45^\circ$ ($\tan \theta=1.0$) のとき $\alpha \doteq 0^\circ$

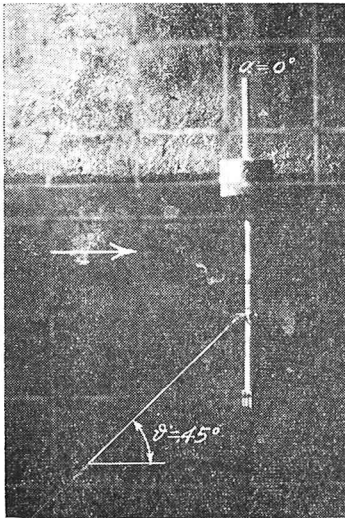


写真-3 改良 I 型浮標の傾き

$l=13.0$ cm, $v_m=33.3$ cm/sec
($v_p=2.0$ knots),
 $\theta \doteq 45^\circ$ ($\tan \theta=1.0$) のとき $\alpha \doteq 2^\circ$

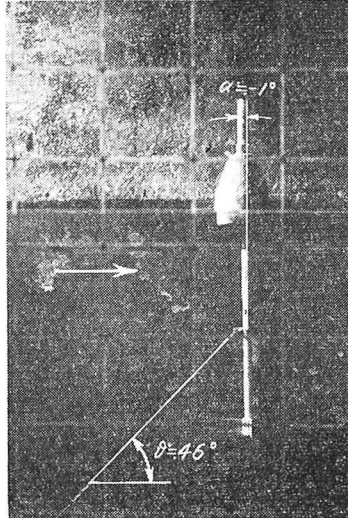


写真-4 II 型浮標の傾き

$l=17.3$ cm, $v_m=67.2$ cm/sec
($v_p=4.14$ knots),
 $\theta \doteq 46^\circ$ のとき $\alpha \doteq 1^\circ$

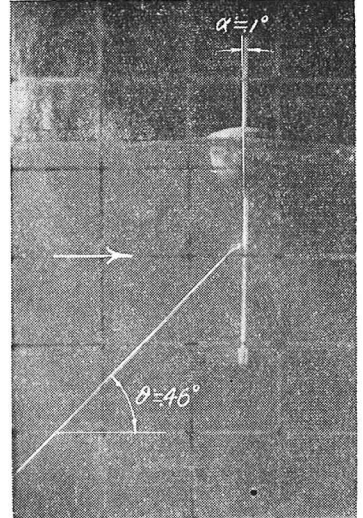


写真-5 改良 II 型浮標の傾き

$l=18.8$ cm, $v_m=82.9$ cm/sec
($v_p=5.10$ knots), $\theta \doteq 31^\circ$
($\tan \theta=0.60$) のとき $\alpha \doteq 2^\circ$

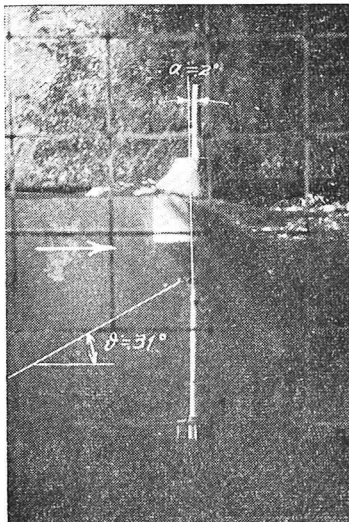


写真-6 改良 I 型挂灯浮標の

実測写真

$l=1.50$ m, $v_p \doteq 2.9$ knots,
 $\theta \doteq 31^\circ$ ($\tan \theta=0.60$) のとき $\alpha \doteq -7^\circ$

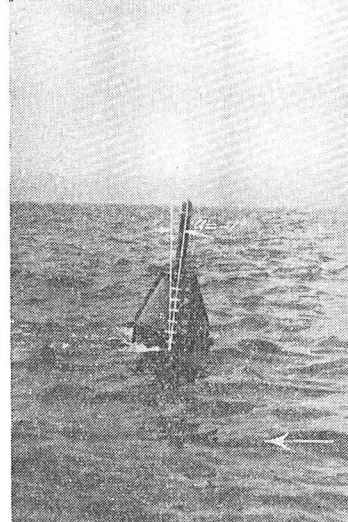
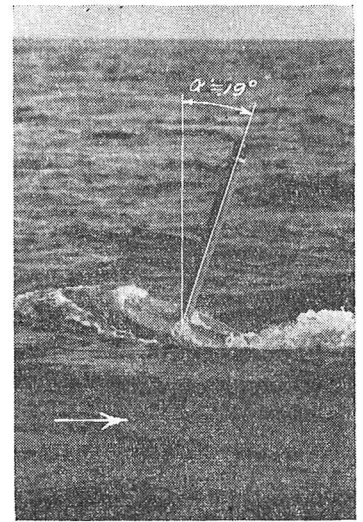


写真-7 II 型挂灯浮標の実測写真

$h_p=13.5$ m, $l=1.55$ m,
 $v_p \doteq 5.0$ knots, $\theta \doteq 35^\circ$
($\tan \theta=0.71$) のとき $\alpha \doteq 19^\circ$



6. 実験と実測の比較

写真-6 および 7 は兵庫県神戸市垂水沖合約 700 m の明石海峡で行なった実測写真である。写真-6 は流速 $v_p \doteq 2.9$ knots, 水深 $h_p \doteq 12.0$ m, $\tan \theta=0.62$ ($\theta \doteq 32^\circ$), ロープ取付位置 $l=1.50$ m のときの改良 I 型挂灯浮標の写真である。このとき浮標は鉛直線に対し上流側に約 7° 傾いている。これと比較するため、模型のロープ取付位置 $l=15.0$ cm, $v_m=47.4$ cm/sec ($v_p=2.9$ knots), 水深 $h_m=57$ cm ($h_p=5.7$ m), $\tan \theta=0.60$ ($\theta \doteq 31^\circ$) で実験

写真-8 改良 I 型挂灯浮標の

実測写真

$l=15.0$ cm, $v_m=47.4$ cm/sec
 $(v_p=2.9$ knots), $\theta \div 31^\circ$ ($\tan \theta$
 $=0.60$) のとき $\alpha \div -5^\circ$

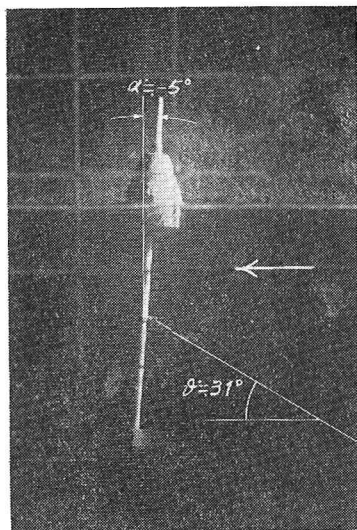
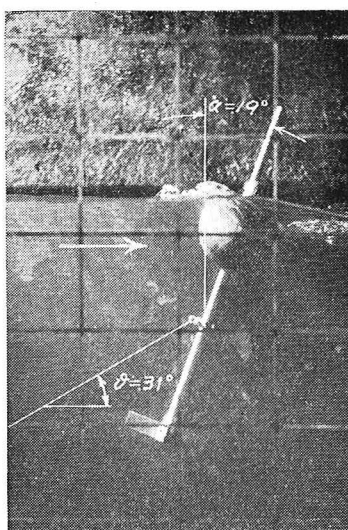


写真-9 II 型挂灯浮標の実測写真

$h_m=53.0$ cm ($h_p=5.3$ m)
 $l=15.5$ cm, $v_m=80.5$ cm/sec
 $(v_p=5.0$ knots), $\theta \div 31^\circ$ ($\tan \theta$
 $=0.60$) のとき $\alpha=19^\circ$



このときの浮標の傾きは下流側に $\alpha \div 19^\circ$ であり、この浮標についても実験と実測とはよく合っていることがわかる。

7. む す び

運動する水中にある物体に働く動水圧を取り扱う実験を Froude の相似率にもとづいて行なうということは実験の相似性自体に疑問が起こる。われわれの浮標の実験においてもこの点がもっとも問題となるところであった。

しかし実測と実験とを比較すると、Reynolds 数が大きい範囲内 ($R_e=10^4 \sim 10^5$), すなわち $\zeta \div 1$ 一定 である範囲内においては両者はかなり良く一致していることが明らかとなり、今後この方面の研究は模型実験が大いに役だつことが証明された。

つぎにわれわれに興味ある問題は、

を行なった。その結果は写真-8 に示すようである。この写真によれば浮標の鉛直線に対する傾きは上流側に $\alpha \div 5^\circ$ であって、実験と実測とがかなり良く合っていることがわかる。

また写真-7 は流速 $v_p \div 5.0$ knots, 水深 $h_p \div 13.5$ m, $\tan \theta = 0.71$ ($\theta \div 35^\circ$), ロープの取付位置 $l=1.55$ m のときの II 型挂灯浮標の写真である。このとき浮標は鉛直線に対して下流側に約 19° 傾いている。これとはほぼ同じ条件, すなわち $v_m=80.5$ cm/sec ($v_p \div 5.0$ knots), $h_m=53.0$ cm ($h_p=5.3$ m), $l=15.5$ cm, $\tan \theta=0.60$ ($\theta \div 31^\circ$) で実験した結果は写真-9 に示すとおりである。

固体が完全に水中に没しているときの抵抗係数は球や円筒のような単一な球状のものに関してはすでに求められているが、一部水中にあり、一部空気中に出ている、すなわち水面に浮んでいる固体に作用する力は一般にどのような特性を示すか、またいろいろな形状の固体を組み合わせた場合の抵抗係数の値に関してはほとんど研究されていないようであるので、これらの問題について今後研究をすすめるつもりである。

参 考 文 献

- 1) 石原藤次郎・本間 仁編：応用水理学。