

半没水型 フッティング 回転式 オーシャン・プラットフォーム
の 運動性能 試験 について

別所正利

内容

	頁
1. 目的	1
2. 模型と試験の種類	2
3. 結果と考察	3
i) 重心 について	3
ii) 舳上下揺れ	4
iii) 縦揺れ	5
iv) 操縦性	6
v) その他	10
4. 結論	12
参考文献表	13

データ・解析表 別冊

昭和 46 年 12 月

1. 目的

本方式のプラットホームの特徴は流りに対して抵抗の小さい型を採用し得ると同時に、それを能動的に制御して全身を操縦し得るから位置方向制御機能は固定式に比して格段に優れているであろうという点である。

又定回転機構は大変困難な問題を提設することでも一方向プロペラは従来のもので間に合うという利点を有する。と言うのはこのような装置のプロペラは位置制御の爲大推力が必要とされているが、通常のプロペラならば、直径を大きくするだけで格別開発の要なく、容易に大推力を得る事が出来るからである。

本報告は本方式のプラット・ホームが主として潮流中において位置と方位を制御する機能と性能を、急頭において、縮尺模型によって実際に各種の操縦をして、この機構の可能性を確認しようとしたものである。

その爲に模型は無線操縦とし、定は2ヶ宛2組を夫々別の舵取機で動くものとし、4ヶのプロペラで前進させるものとした。

これによって各種の操縦運動を試し、又現在船で行われているような、旋回、2-操舵試験等を行つてその大略の操縦性指数を求めた。

又これらの実験に附随して重心を定める爲の傾斜試験、動揺、抵抗、自航試験等を行つた。

なおここでは運動性能のみ取扱うが、この場合は実物との相似則はフルードのそれであるから次の関係がある。

量	長さ	重さ	時間	速度	力	角度無次元量
実物	100	10^6	10	10	10^6	1
模型	1	1	1	1	1	1

2. 模型と試験の種類

模型は合成樹脂製で足は2ヶ宛2組とし、2ヶの舵取機で別箇に無線操縦出来るものとした。¹⁾ 実施した試験は次の通りである。

項目	試験	目的	状態	水槽	データ表	備考
動揺性	傾斜	重心査定	軽荷・満載	A	別冊 K-13	
	自由上下	周期・減衰	" "	"	} 0-0-12	
	"縦横"	" "	" "	"		
操縦性	定常旋回	旋回半径	" " *	C, D	5-0~14	足回航 b-方式
	Σ-操舵	操縦性係数	" " *	D	8-0~34	* 足回航中心2種
	平行移動	斜行性	満載	D	—	足回航 a-方式
其他	波浪中	位置制御性	"	B	—	
	潮流中	" "	"	A	—	

言註 1) 水槽とその大きさ

A: 防大回流水槽 幅1.2^m × 開口部長さ約6^m

B: " 動揺 " " 2.5^m × 長さ5^m × 深さ2^m

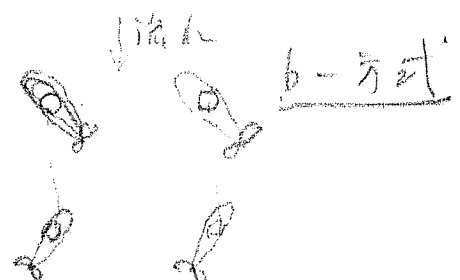
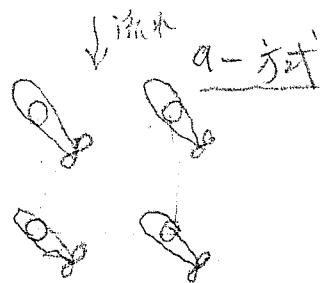
C: " 橋込プール " 2.5^m × 2.5^m

D: 橋波口大水槽 3.5^m × 長さ50^m

2) 足回航 a-方式とは足をすべて同時に同方向に動かす方式。(下図)

b-方式とは前後2ヶ宛同方向で前後の組は逆向きと在りもの、特記以外はすべてこの方式で試験した。

3) 試験要領, データ解析表は別冊, 模型自航試験は別報³⁾。データ中モーター電圧と速度の両値は別冊 M-10。



3. 結果と考察

i) 重心 について.

最初 12 重心を定める為には傾斜試験を行った。
その結果は K-0 にまとめて示してある。

満載時は妥当な値をこれから求める事が出来るが、軽荷時は少し傾いても「フッテイング」の水艀面積が大きく変るので妥当な値が得られない。

この為には空中で重心を定める試験を追加した。

軽荷時のメタセーターは傾斜角によって大きく変るので、これをあらかじめ計算して置かなければ「傾斜試験」をしてはあまり意味がない。又この場合安全性も問題になるから復原力計算は是非とも必要である。

重心位置は キール下面より以下

満載時	17.7 cm	
軽荷 "	23.5 cm	となった。

本型の重量配分の点から軽荷時の値は、これ以上も以下にも動かさしような値なのですべてこの儘で実験する事とした。この状態で「フッテイング」内のバラスト・タンクの一つに注水すれば略々満載状態になるよう計画したので、両状態の重心の移動は略々このタンク内の水の重量に基づくものとなっている。

ii) 自由上下揺れについて

重心を求めた後、自由上下、縦、揺ゆれ試験を行なり、
 δ m/m フィルムにて、それを読みとり、周期と減衰を求めた。
 自由上下揺れの運動方程式は、

$$(1+k_2) \frac{W}{g} \ddot{Z} + N_2 \dot{Z} + \rho g A_w Z = 0 \quad (1)$$

W : 排水量, $W = \rho g V$, V : 排水容積

k_2 : 上下動附加質量係数

N_2 : 減衰, $-N_2 = 2\pi n (1+k_2) W/g$, n : 解析表の記号

A_w : 水線面積

ρ : 水の密度, g : 重力の定数

Z : 上下動変位, ドットは時間微分

T : 固有周期, $\omega = 2\pi/T$, ω : 固有角

と与えられるとすれば"周期"の計測値から

$$\omega^2 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{\rho g A_w}{(1+k_2) W/g} \quad (2)$$

の関係によって k_2 の値を求めた事が出来る。

又波無し周期 (波の強制力のなくなる波長の周期) は略々固有周期に等しいので、その推定値も求められる。
 その波長は次式で与えられる。

$$\text{波なし波長 } \lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (3)$$

減衰のデータは反射波等の為あまりまとまらな
 が、一定 N_2 を一定と見なし g の平均値を半減ゆれ数 (つまり
 振幅が半減する回数 = $\log_e z^2/nT$) に直して示す。

結果は次表のようになる。(L: 全長 75cm)

状態	W	$\rho g A_w$	$A_w L / \Delta$	T	半減ゆれ数	$1+k_2$	λ
満載	12.68 kg	31.42 kg/m	1.87	1.55 sec	4.90	1.48	3.74 m
軽荷	9.73	56.88	4.38	0.80	2.58	0.90	1.00

軽荷時の k_2 は 値に なる 場合 が 悪い が これは 水線面積 が 大きく 変化する 要素 を 考慮 に 入れて いない 為 であらう。又 実際 に は その 為 動揺 は かなり 激しい 感じ である。

減衰係数の値はあまり信頼のおけるものではないが渦拮抗のようなものかかなりの部分を占めると思われるので実物ではこれらの値より小さくなるものと推定される。
この点は 縦揺れ、横揺れ に ついても 同様 である。

iii) 自由 縦、横揺れ について

同様 に て 縦揺れの 周期 と 減衰 を 求めた。

運動方程式は

$$I \ddot{\theta} + N_0 \dot{\theta} + W \overline{GM} \theta = 0 \quad (1)$$

$I = \frac{W}{g} x^2 L^2$: 慣性モーメント, xL : 慣性半径

L : 全長 : 175 cm

\overline{GM} : x の 位置 高さ : 実測値を用いた。

N_0 : 減衰, $N_0 = 2nI$, n : 解振数 の 記号

θ : 揺れ角

λ : 同調周期 に 対応する 波長, $\lambda = \frac{gT^2}{2\pi}$

T : 固有周期

固有周期 は やはり

$$\omega^2 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{W \overline{GM}}{I} \quad (2)$$

と 与えられる 故 ことから n が 求まる。

フックが 同軸対称 ならば 縦揺れ と 横揺れ は 同じ である が 今の 場合は そう なら ない。

しかし 満載 時は 略を 同じ と 考えられる ので 縦揺れ の み 計測 した。

又 船の 横揺れ と 違って、前後揺れ、左右揺れ の 併成 が

大きいので(1)式は「重心のまわりの運動方程式」と考えては具合が悪く、揺揺れの中心のまわりのものと考えなくては²⁾。
その中心は「重心と浮心の中間」であると考えてよかろう²⁾。

状態		W	GM	T	α	判感ゆれ数	λ
満載	縦ゆれ	12.68 kg	16.11 cm	2.19 sec	.585	3.72	150 cm
軽荷	縦ゆれ	9.73	39.41	1.47	.614	1.32	388
	横ゆれ	"	32.85	1.47	.561	3.40	388

iv) 操縦性について.

b-方式の「フットイン」操作をした時の操縦運動の方程式は⁵⁾

$$T\ddot{\psi} + \dot{\psi} = K\delta \quad (1)$$

- T (sec): 操縦性指数; 舵をとりた時の応答の速さを表す。
- K (1/sec): " ; 旋回性を示す。
- ψ : 方位角。
- δ : 舵角。

「フットイン」は作用する流体力が²⁾回転中心に働くようにと.

$$T' = T \frac{V}{L} = \frac{(2\alpha')^2}{(\frac{4}{3}\delta)} \left\{ \frac{2}{3} \frac{L}{L_c} \frac{\nabla}{AL_c} \right\} \quad (2)$$

$$K' = K \frac{L}{V} = \left(\frac{\alpha}{\frac{4}{3}\delta} \right) \left\{ \frac{\delta L}{3\sqrt{2} L_c} \right\} \quad (3)$$

L_c : 旋回中心 向隔 65 cm

A: 浸水部 側面積

$\alpha'^2 = \frac{J}{\rho L^2 \nabla}$, J: 垂直軸まわりの慣性モーメント。

$$\alpha = \frac{C_L}{2AV}, \quad C_L: \text{浸水部の揚力係数}, \quad \frac{v}{V}: \text{入の迎角}$$

$$\gamma = \frac{1}{2}(\alpha + C_D), \quad C_D: \text{抵抗係数}$$

$$\text{又} \quad \frac{K'}{T'} = \frac{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{(2K')^2} \left\{ 2\sqrt{\frac{ALC}{V}} \right\}, \quad \dots (4)$$

実験的には 区-操舵試験により, K, T を求める事が出来るが K については又定常旋回半径から求める事も出来る。この時は (1) 式において $\dot{\psi} = 0$ であるから

$$K = \frac{\dot{\psi}}{\delta} = \frac{V}{\delta R} \quad (\delta: \text{in rad.})$$

$$K' = K \frac{L}{V} = \frac{L}{\delta R}, \quad R: \text{旋回半径} \quad \dots (5)$$

となる。

実験においては 模型が小さく重量制限もきつかったのて船殻形状も市販の模型用のものを流用した為が又まありトルクも不足意味で全般的に精度が足りず, 又計器も乗せる余地もなかつたので記録はすべて 8mm フィルム讀取りとしたため, 一般にデータのバラつきは大きかつた。

又水槽幅が 3.5m と小さかつたので小舵角の定常旋回は出来ず, これは屋外プールの場合を示すか風に流されていったのと, 又調整試験中のデータの信頼性に乏しい。

解析の結果をまとめて示すと次の通りであつて, 定常旋回から得た K 値と 区-操舵によるものとほぼ一致していることから見て, データのバラつきも拘わらず, かなりの信頼性があると認められる。

操縦性指数

(定回轉中心位置より)

定回轉中心位置	状態	舵角	K'	T'	K'/T'
NORMAL	軽荷	10~20°	2.02	.0846	23.9
	満載	"	1.27	.0574	22.2
FORE	軽荷	12.5	2.01	.0608	33.0
	満載	20, 12.5	1.70	.1277	13.3

(定常旋回試験より)

定位置	状態	舵角	旋回半径	K'	速度
NORMAL	軽荷	5°	2.63 ^m	3.27	.44 ^{m/s}
	"	20	1.04	2.06	.16~.29
	満載	5	2.15	4.01	.20
	"	30	1.10	1.32	.16~.20

- 注1) 定回轉中心位置 Normal は略々浮心位置
FORE とはそれより 3cm 前方。
- 2) 定位置 FORE の定常旋回は舵取機トルク不足の爲か
うまく出来なかつたのでデータを取つていない。

全般的に言つて、当初の予想に比して、極めて保針性はよく (フットレグが縦長の爲であらう) 實際に操縦は楽であった。又舵利をば左右非対称であったが、これは残機の不備によるものか、本来的なものかよく判らない。

定回轉中心を前へずらした目的は保針性を増す (T'を大きくする) 事であったが表に見る通り満載時は確かに T'が著しい増加を示している。(軽荷時は逆であるがこれはデータが一つしかないの"信頼性に乏しい")

實際に操縦した感じでは仲々舵が利かたな印象が強くあつた。

勿論これは船取手のトルク不足に起因があるので軽々に判断するわけにゆかないが、いづれにしても水の力の中心が中心を遠くす"水"の巻定を回転させるトルクが大きくなって実際上不利となる事は明らかなので実験は早々に打ち切った。

いづれにしても船に比して大きく異なる点は T に較べて K の大きい事である(船の場合 K/T は 1 のオーダー) であるが、これは今の場合 フッティンがすべて船の役割をしている事から考えて妥当な結果であろう。

そこで、2 の実験値を (2), (3), (4) の推定値と比較して見よう。

α, γ の実験値はなにか

$$\left. \begin{aligned} \alpha &\doteq 2 C_D \doteq 2 \\ \gamma &\doteq \frac{3}{4} C_D \doteq 3/4 \\ \alpha' &< 0.5 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

の程度と考えられるので、それぞれこの式の中身を算出したものを計算して見ると下表のようになると、

状態	W	A	ALC/√V	(K')	(T')	(K'/T')
満載	12.68 kg	.1656 m ²	8.486	2.18	.0907	24.0
軽荷	9.73	.1276	8.524	2.18	.0903	24.1

実験値との対応は非常によいと言えよう。

従って更に足の流体力諸係数を求める実験を行えば操縦性能の推定はより正確に行えるであろう。

又小舵角のテストは行なえなかつたけれど、初場合の進路安定性には疑問が持たれるので今後調査の要がある。

レ) 其他

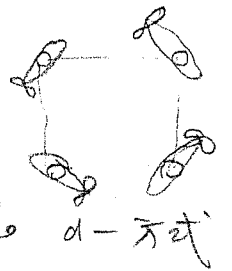
1) 平行移動について

操舵の形式は種々考えられるが、上記 b-方式の他に a-方式のものを実際に試してみた。

予想通り、この方法では、定の向いた方向に平行移動に行く。

しかし舵をとった反力で方位は僅かに曲がるので常に同じ方位を保つには時々後述の定を少し操作して方位を修正しなければならなかった。

この他に d-方式のようなものも考えられるわけであるが、これらのすべての方式が可能になるようにするには、舵取機は各足に別管に装備し且つ、360°回転させる必要がある事になる。これは実用上大きい問題であるから、実際の運用のシミュレーション等を行なって、種々検討の必要があるかどうか、潮流中で方位を制御するには、少なくとも a-方式だけではだめだ b-方式の要素を取り入れる。つまり前後2対の足を共に別管に操作出来る必要がある。



2) 位置制御について

位置制御性の試験には今回は何等計画も用意できなかったが、手動操作でどの程度可能でまたどんな風になったかを確かめる為に回流水槽で実物相当3~5倍の水を流し潮流中と見なして操縦して見る事、又波浪中(水深1.5~1.5m)で方位と位置が保てるかどうかを見る事とした。

その為にはフラットホームの中心に半径10cmの紙の円板を貼付け、水槽に固定した点から常にその中にあるように操縦して見る事とした。

どちらのテストでも必ずプロペラ回転数を増減して流さず、又行きすぎないようにする事が1で、あつてその為には与時に波の中では平均的に流される量を見て電圧を調整すれば簡単に定位置に止まらせる事が出来た。

一方方位を保つ事、また少し定位置からずれた時舵を操作して定位置にせよにはやはり模型の運動をある程度予想して舵を取らなければならぬようである。

いづれにしても少し、馴れれば数十秒位は方位と位置を保つ事が出来た。

なお波浪中のテストでは最初に漂流速度を測り、次にバネばかりでそれを止める為の力（一定漂流力の目安となると思われるが、計測結果から見てあまりまとまっていなから、これはバネと模型の連成運動の為、目的の量が得られていないものと思われるが大体の目安にはなると思われる）を測り最後にプロペラをまわして少しあつて舵をして平均して定位置に止まるようにし、その間に前後ゆれの幅を測つた。

上下ゆれ、縦ゆれはこの波浪範囲では非常に小さく、又前後ゆれの幅も前年度報告⁴⁾の例によく一致していた。（下表）

漂流速度は予想を越えて大きく、この速度に對する平水中抵抗は実物撈奪で100tonをはるかに越すものとなるが、これに逆らうための漂流力は波浪中のバネばかりのゆれ幅の中肉と思われやはり前年度報告⁴⁾の程度と推定される。

波周期	波長	波高	漂流速度	漂流力	前後揺れ幅	前後揺れ幅÷波高
.98 ^{sec}	1.50 ^m	69 ^{m/m}	.236 ^{m/s}	5~40 ^{gk}	3.5 ^{m/m}	.05
.84	1.10	48	.270	15~60	8	.17
.73	.83	60	.263	5~60	20	.33
.65	.66	35	.190	15~65	7	.20
.59	.54	49	.357	15~70	4	.08

4. 結論

以上のようにて、自由動揺試験から上下、縦横揺れの固有周期と減衰を求め、定常旋回、区操舵試験から操縦性指数を求めた。

先のついで点を書出して見ると

- 1) 重心査定、動揺試験は軽荷状態ではフットインが水に見えかくれする様な状態になる為注意が必要である。
- 2) 動揺の減衰は実物では模型より小さいと見なければならぬ。
- 3) 操縦性指数は簡単な推測値と大体一致する。
- 4) b-方式による操縦性は良好である。
- 5) フットインが回転中心を前にすると保針性は向上するが、応答が遅くなり全般的に操縦性は悪くなる印象を受けた。
- 6) 小舵角のテストは出来なかつたが、針路安定上問題がありそうに思われる。
- 7) a-方式で平行移動は可能であるが方位を保つにはやはりb-方式を加えなければならぬ。
- 8) 潮流中、波浪中でも、フットインが波、流水に立っている時はプロペラ回転数と舵によって手動で方位・位置を保つ事が出来る。

なお今回は子舵は全然操作しなかつたが、直進時等にはこれ至少し調整する事で僅かな針路の変更が可能である事は判つた。

以上

参考文献

- 1) 模型仕様書
- 2) 「半没水型位置制御方式 オーシャン・プラットフォーム (12) 回す」
流体力学的検討」 昭和46年6月
- 3) 「半没水式 洋上プラットフォームの耐抗試験結果について」
昭和46年11月
- 4) 日機運海洋残炭開発委「位置安定装置つき半没水式洋上自衛力極前システムの開発に関する調査報告書」
昭和46年5月
- 5) 造船学会操縦性能に関するシミュレーション・テキスト
第1回 昭和39年11月
第2回 " 45年 "