

半没水型位置制御方式 Ocean Platform
に対する流体力学的検討

別所正利

内容

1. 序論
2. 模型
3. 静的復原性と固有周期
4. 抵抗
5. 推進と footing の回転
6. 波浪中動揺性能
7. 操縦性能
8. 結論

別紙・実験方案

W-E

昭和46年6月24日

1. 序論

大陸棚における主として石油採掘を目的とする装置を考える時、その機能を実現する為の形態構造性能に関する問題はまさに山積している。

考えうる形態構成はまさに無数であつて、その各々について諸性能を詳しく検討する事は至難の業であらう。

ここでは半没式型に問題を限る事にしよう。この型の特徴についてまず考えて見よう。

この型では主要部を水中深く沈めて波等の水面近くの攪乱を避けて本体の姿勢位置等の変動を抑えるだけ小さく保つ。つまり buoy の特徴を改良発展せせようとするものであらう。

しかしその反面その形からして必然的に水抵抗は非常に大きくなり、潮流等の影響は大きく又自体が動く時にも移動は困難となる。つまり移動性の点では通常の船型の方がずっと有利である。

そこで問題は、この二つの機能の各々を必要なら満たした上で、技術的に容易で、経済的であり、且つ充分の安全性と信頼性を有するものは如何なる形式形態となるかと言う事になる。

所でこの二つの機能は上述のように流体力学的に見ただけでも互に相反する要素であると思われ、夫々の形と機能との間の関係を精細且つ定量的に調査研究し、一方では要求性能を正しく定量的に把握して、その結果に基づいて詳しく比較検討しそれを総合的に判断して設計を進めなければならぬ。

しかしながら現段階では文献資料等は殆ど手許にないので定性的にも定量的にも全く予測しかねる。

そこで以下 流体力学的側面について問題点を列挙し、定性的に概略的な検討を試み、問題点の所在を確かめて今後の研究調査の指針を採る事としたい。

2. 模型

あまり一般的に考えても面倒なばかりで概念的な議論に終って得る所がなくなる恐れがある。

そこで模型は原案のものを中心にして考える事にしよう。
しかし乍ら移動性(原案はこれを重視するのが要点である)について考えるならば脚の数は少ない程有利である。

何故なら N 本の脚を持つものを考えて排水量を一定とし一脚の抵抗を r とすると

$$r = \frac{\rho}{2} C_D v^2 V^2$$

ρ : 水密度, v : 1脚の排水容積, V : 水の流速
 C_D : 抵抗係数, $v = \frac{V}{N}$, V : 全排水容積
と表わされるから、全抵抗 R は

$$R = Nr = \left(\frac{\rho}{2} C_D V^2 \frac{V^2}{N^3} \right) N^{\frac{1}{3}}$$

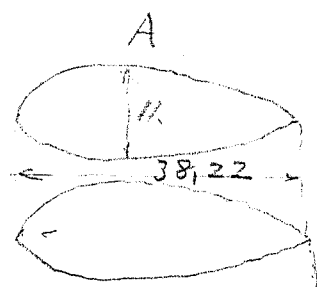
となつて $N^{\frac{1}{3}}$ に比例するから、 $N=1$ つまり一体型の船型が最も抵抗が小さい。

しかし一脚型、二脚型で半浸水型を考えるのは又大変性質の異なる問題になるように思われるので今回は考えない事にしよう。

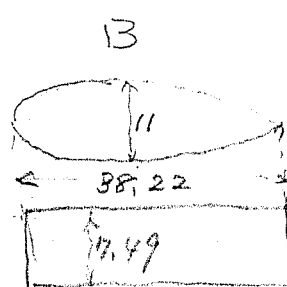
そうすると $N=3$ が最も抵抗が少なく、 $N=4$ の場合には比して抵抗は $(\frac{3}{4})^{\frac{1}{3}} \approx 0.9$ と約1割小さくなる。

従つて若し他の性能が同じならば3本の脚の方が有利になるので以下では $N=3$ の場合も考察の対象としよう。

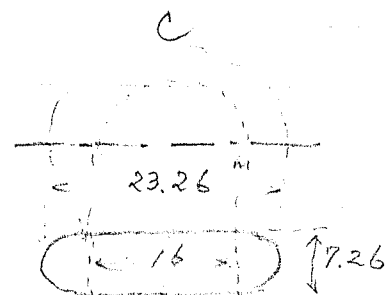
又 footing の形については原案の通り次の3種を考へ
A, B, C と名づけておこう。



$$V = 2,500 \text{ m}^3$$



$$V = 2,500 \text{ m}^3$$



$$V = 2,700 \text{ m}^3$$

A, B 両型の場合は 後に 7° ロペラと 船底がつくから、この船
は footing を回転させる為に使われるものとする。

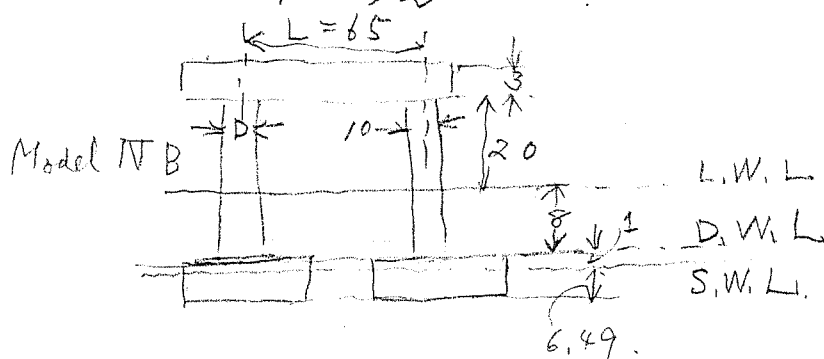
又 操縦性を論ずる時以外は 各 footing は 同じ方向
に向いているものとする。

従って 以下で考へる模型は次の 6通り とする。

Model IV A, IV B, IV C (4脚脚型 A, B, C)

" III A, III B, III C (3脚脚 " ")

吃水は 3種考へておく。

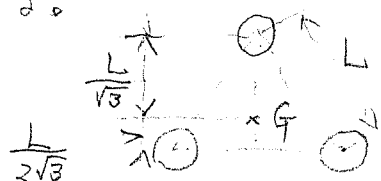


$$V(L, W, L) = 12,500 \text{ m}^3$$

$$V(D, W, L) = 10,000$$

$$V(S, W, L) = 8,664$$

Model III は 排水量は同じになるように計画するものとする
従って 各脚の寸法はすべて上記の $(4/3)^{1/3} \approx 1.1$ 倍になる
ものとするが 正三角形の 一辺の中心間長さ L は 今の計画
である。



次項のメタセータ位置を 概ね同じ
にする為には $L = \sqrt{3}(65) \div 87.8$
となる。(これは Model IV の対角線
の長 $\div \sqrt{2} \times 65 = 92 \text{ m}$ より 5% 小さい)

3. 復原性と動揺固有周期

先ず「静的復原性」について調べて見よう。これは安全性の意味から必要ではあるばかりでなく（てん覆の事例も多いと聞く）又曳航（自航）時において大きい傾斜をすると作業能率を阻害するであろうから適当な復原力と充分な予備浮力を持たねばならない事は大切であろう。

（これは2模型試験でも同じ事である）

従って実際には船の場合と同様な排水量について復原力曲線を求めて検討する必要があるが、ここでは模型試験との関係でメタセータ位置についてのみ考察する。

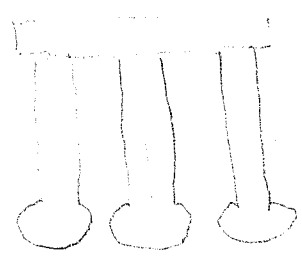
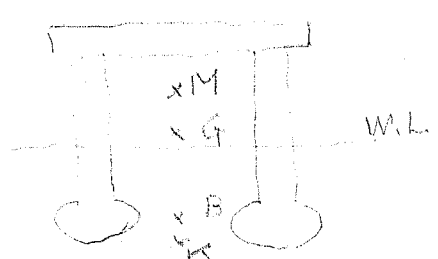
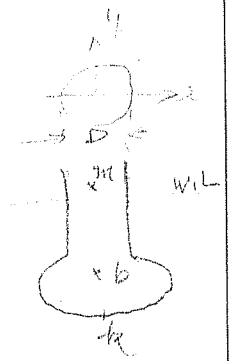
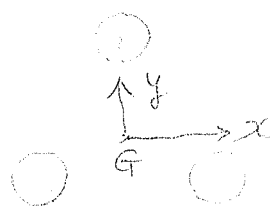
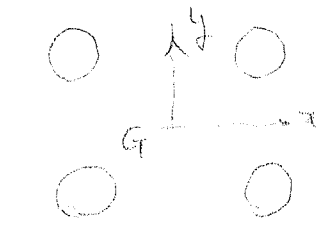
しかし重心位置の假定値がないので仮に全高の中央にありとするとするが、これが変れば又その後の議論も変わってくる。

さて S.W.L 以外では A, B, C で差があるし又あつたとしてもその差は小さいと考えられるので以下は C 型の floating を考えるものとする。（但し $\rho = 0.600$ とする）

1 本の柱 P については水線面の2次モーメントは

$$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} D^4 = \frac{a}{16} D^2 \quad a: \text{水線面積}$$

従って $b_m = i/v$



全体では L, W, L. or D, W, L における 2 軸モーメントは,

$$I_x = I_y = a(L^2 + \frac{D^2}{4}), \quad a = \frac{\pi}{4} D^3 \quad \text{for Model IV}$$

$$I_x = I_y = a \left\{ \frac{L^2}{2} + \frac{3}{16} D^2 \right\}, \quad \text{for Model III}$$

$$BM = I/V$$

となる。

2 軸モーメントはテンソル 系で"あつて"直交する 2 軸の値が同じならば"どの方向の I も等しい。"

今の場合は"どの方向の GM も等しく"で"モーメントが等しい"ならば"どの方向への傾斜角も同じ"になり、前記の場合と著しく違う特徴である。

Model A or B について 実際の数値を入えると、

L, W, L において

$$I = 339,686, \quad V = 12,500, \quad BM = \frac{I}{V} = 27.17 \text{ m}$$

$$KB = 6.30 \text{ m} \quad \text{であるから}$$

$$KM = 33.47 \text{ m}$$

となる。この場合バラスタタタの自由表面があるとすればそれは差引かねばならないがあまり大きくはないであろう。(これは全体の約 20% である。)

今上述のように $KG = 21 \text{ m}$ となると

$$GM = 12.47 \text{ m}$$

となる。

この仮定の下で、1 脚のバラスタタタ(容量 800 t と仮定)が空になる程度のモーメントによる傾斜は、

$$\tan \theta = \frac{20 \times d}{W \times GM} = \frac{800 \times 32.5}{12,500 \times 12.47} = 0.167$$

で $\theta \approx 10^\circ$ である。従って充分な GM を確保しないと傾斜角は過大になる恐れが大きい。

又特に D, W, L では KM は L, W, L とあまり変わらないが KG

は小さくなるので GM は減少するので注意が必要である。

最後に S.W.L. では水線面積が一挙に (B型で4倍) 増えるので BM もそれに比例して増え GM は充分大きくなる。

しかし一応少し傾斜したりはるかぶったりすると footing が水没する可能性が大きい。そうすれば D.W.L. の状態に突然なるので非常に危険である。

従って例えば B型のようにし、乾舷を出さなければ大まかに充分な予備浮力のある形がよからう。この脚型にすると free board も高くなり且つ全長が少し短くなるのでこの点も有利であらう。

いづれにしてもこの状態における安全性は大切な検討事項の一つであらう。

さてこのような状態で横揺れ周期はどの位と推定されるであらうか。(この場合復元力は方向によつて変わらないので横揺れも縦ゆれも同じである)

これはいづれの場合の中り動揺で考える問題であるがこのでは最も簡易な式で固有周期の概略値を推定しておこう。

周期 T は

$$T = \frac{2\pi \kappa L}{\sqrt{g GM}}$$

で与えられる。

ここで

$$\kappa L = \sqrt{\frac{I_x}{W}}, \quad I_x \text{ は } x \text{ 軸の回りの慣性モーメント, } W \text{ は重量}$$

不明な要素は「かりで」少し乱暴であるが Model IV について

$$\kappa = \frac{1}{2}, \quad GM = 12.4 \text{ "}$$

とすると

$$T = \frac{6.28 \times 32.5}{\sqrt{9.8 \times 12.4}} = 18.5 \text{ sec.}$$

となる。

この周期を持つ波の波長 λ は

$$\eta = \frac{9T^2}{2\pi} = \frac{9.8}{6.28} (18.5)^2 \approx 540 \text{ m.}$$

となり大洋層としてはかなり長い波と言えよう。

つまり揺揺れの固有周期は一般に非常に長く大洋層と同調する可能性は少ないが、片方から考えるとこれだけ揺揺れが小さく慣性が大さき事を意味するのだから波以外の外乱で周期の長いものに同調する危険がある事を意味している。

4. 抵抗

原案は footing の減少を目的としているが序言にも述べたように体積一定として footing の形を相似とすると脚の数の少なさが全抵抗が小さくなり、同様な理由で水面上のコラム部に働く風圧抵抗も小さくて有利である。

実際、流床によればローハル型と称するものの流れに平行な場合の抵抗は非常に小さい。

最初、footing を流線型にした時の得失を確認しておこう。

利点 1. 水流に向った時の抵抗が小さい。

2. フロペラを後部につける事が出来るので装備が容易であり又推進効率も増す。

3. フロペラ後部に舵をつけて footing を回転させる事が出来る。

欠点 1. 水流に直角に向った時の抵抗が大きく又流す力も大きいので常に抵抗の少ない方向に向くよう制御する必要がある。

さて抵抗は一脚につき次のように表わされるとしよう。

$$r = \frac{\rho}{2} A_D V^2 C_D \quad ; A_D \text{ 水面下正面投影面積}$$

今流速 $3 \text{ m/s} \approx 1.5 \text{ m/s}$ とすると フルード数 $Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \approx 0.15$ となり、この程度のフルード数では造流抵抗はあまり考える必要はなく円筒部の圧力分布は一様流中のものと略々同じと考えてよい (円筒面上の水面の形は各点の圧力分布と同じになる)

所で円筒の抵抗はよく知られている様にレイノルズ数 ($Re = VD/\nu$) $10^5 \sim 10^6$ の間で $C_D = 1.1 \sim 0.4$ のように大きく変化する。

今の場合実物では $Re = 1.5 \times 10 \times 10^6 = 1.5 \times 10^7$ であるから $C_D \approx 0.4$ 程度としてよからうか縮尺模型では $Re \approx 10^6$ としようとする実物に近い大きなものになるし又前後の脚の影響も考えると模型試験会によつて抵抗を推定する事は極めて困難である。

この所謂手法効果を上げる為にはなるべく大きい模型を使用する事が望ましい。

又 フルード数を合わせると流速が小さくなり、レイノルズ数も小さくなるので水面に於いて鏡像を考えた所謂二重模型を作って浸水させて高圧で抵抗を測定すれば高いレイノルズ数を確保出来る。(この時は風洞試験会でもよい)

概略的に言えば A 型の footing が最も抵抗が小さいであろう事は間違いないであろうが、又一層摩擦抵抗は表面積に比例するのでそれの小さくなることも悪くなりである。

ここで footing は浮力を負擔しているという役割以外に後に見る動揺では damper の役割を荷なっている事も忘れてはいけな。例えは C 型は上下動については好適な damping を与えるものの一つである。

なお作動時吃水においては抵抗の観点から考えれば、円筒部にカバー（或いはヒレ）をつける事によってそれを減らす可能性が残っているし、この事は又 後に出来るカルマニ渦によつて生じる横方向の振動的な力（これは抵抗と同じオーダーの力である）の振動数は

$Re = 10^5 \sim 10^6$ で ストローハル数 $S = \frac{U D}{\nu} = 0.2 \sim 0.4$ であるから、今の場合 $n = 0.03 \sim 0.06$ 、周期は 17 ~ 160 sec である）を軽減するのに有効である点は魅力的である。



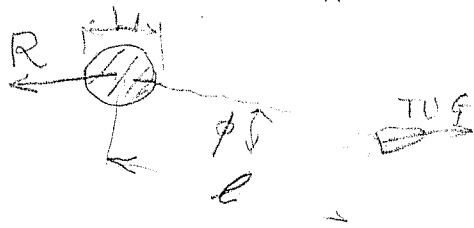
いづれにしても水抵抗は空物で 100 ton, $\frac{1}{100}$ 程度で（フルード数を合すると）100 gr. のオーダーであろう。

序でながら、船を曳航する時、下図のように揚力がいかに振れがひどくて困る事があると言われている。



が、そのような揚力が働かなくても、カルマニ渦が出来るような場合は、その周期と二重に

示す様な周期が同期すると、曳航は困難となる。



物体の抵抗を $R = \frac{1}{2} C_D A V^2$ 、
横断面積値を $M' = \rho (1 + k_2) V$ とおくと、図から運動方程式は

$$M' l \ddot{\phi} + R \phi = 0$$

この固有周期 T は

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{R}{M' l}} = \frac{V}{L} \sqrt{\frac{C_D}{2 C_p (1 + k_2)}} \left(\frac{L}{l} \right)$$

但し $\chi = A L C_p$ とする。これはかなり目立つ固有振動となる場合がある。

これはかなり目立つ固有振動となる場合がある。

5. 推進と fooring の回転

抵抗が決まれば 風圧抵抗, 波の力を考え, さらに位置制御に必要な動力等を加えると推力の要求性能が決められよう。

いづれにしても速力の小さい所で大きい推力が要求されるのであるから フローペラは自航時の深度を保持し得る限り直径は大きくとるべきであり, この点から エルト ノズルを装備する事は望ましい。

所要馬力は $V=3$ 結で 抵抗を 100 tons とすると,

$$EHP = \frac{100 \times 10^3 \times 1.5}{75} = 2,000$$

のオーダーとなり これは下限の目安となる。

いづれにしても効率率は船の場合と同じように書いて, フローペラ推力を T , その前進速度を V_a , 全抵抗を R , 船速を V とすると 推進効率率は

$$\eta = \frac{RV}{TV_a} = \eta_h \eta_p \eta_r$$

$$\eta_h = \frac{1-\alpha}{1-w}, \quad \alpha: \text{推力減少率}, \quad w: \text{伴流率}$$

η_p : 推進器単独効率, η_r : relative efficiency と考えられる。

こうすると fooring 後部にはフローペラを巻着る事により, 船と同じように $\eta_h > 1$ となり 有利となる。これらの値は船の場合の資料がそのまま適用出来るであろう。

さて フローペラ推力を T とすると その直後のスリット速度は無限後方のそれ (u とする) の半分である。一方運動量理論によれば

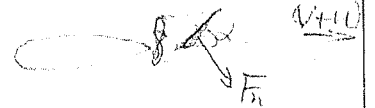
$$T = \rho Q u, \quad Q = A(V + \frac{1}{2}u)$$

A は フォーミングの Disc Area, V は 前進速度
 であるから

$$u = V + \sqrt{V^2 + \frac{2T}{\rho A}}$$

特に $V=0$ とおくと

$$u = \sqrt{\frac{2T}{\rho A}}$$



船には $\frac{u}{2}$ より少し大きい速度で水が当たるであろうが 安全側
 に見て $\frac{u}{2}$ とすると 船に働く直圧力は

$$F_n = \frac{\rho}{2} \left(\frac{u}{2}\right)^2 A_R C_n = \frac{T A_R}{\rho A} C_n(\alpha)$$

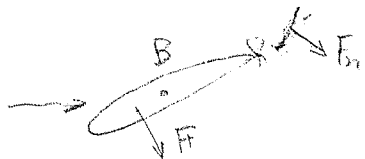
但し A_R は 船面積, C_n は 直圧力係数
 となる。今 $A_R = A$ とおき $\alpha = 30^\circ$ とすると $C_n \approx 0.8 \sim 1.0$
 (アスペクト比 1 として) であるから

$$F_n \approx T \quad (\alpha = 30^\circ)$$

この力で foating を回転させる事が出来るかどうかは
 所要の回転速度と foating の回転抵抗に比例する。
 又 前進速度にも関係する。

と言うのは 若し 前進速度がない ならば "foating の回転
 中心は 真中辺に下るものが 最も 回転抵抗が 小さいように
 思われる。

そこで例えは 原案のように 浮心 B を いる 位置
 としよう。 その時 これに 流速が 当たると 図のように



一般に どのような物体に 働らく 流
 体の中心は 前端より $\frac{1}{4}$ から $\frac{1}{3}$
 の所にあるので 今の場合は 不安定

モーメントとなり 船によって foating を 流れの方向に向け
 ようとしても 不可能になる場合がある。

従って 回転中心は 出来る限り 流体の着点
 に 置く 必要がある。 しかし そうすると 逆に 後進の時は
 操縦 不可能 である。

前方舵は例えば上図のような場合全く逆効果となり、一般にその操作と効果が複雑で研究が大変である。

従って今回の実験では模型も小さいので前舵はつけない事とし、又後舵も操作しない事とし、footingの角度を操縦するものとしよう。

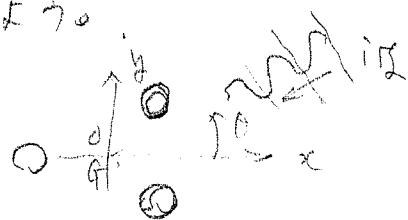
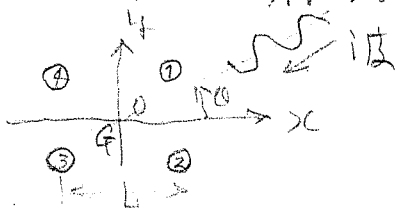
舵とfooting回転力の残能については充分大きい模型を作ってfootingに働く力の計測と共に別箇の実験を行って研究する必要がある。

6. 波浪中動力揺動性能

波中の動力揺動が問題になるのは主として作業時吃水であらう。

なおと復原性は前に見たように方向性がないので動力揺動にもあまり方向性がない。

さて前進速度はないものとし波はx軸とθの角度をなす方向から入射するものとしよう。



波高の方程式は

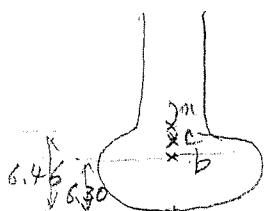
$$\eta = \phi_0 e^{i\omega t}, \quad \phi_0 = e^{iK(x\cos\theta + y\sin\theta)}$$

ここで $K = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega^2}{g} = \frac{1}{g} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$, λ : 波長, T : 周期
又 η は波の半波高とする。

前に見たように船体の動力揺動の固有周期は充分大きくて大洋波(風波)とは同相しようもないが $\lambda = L$ の近くではやはり波の強制力は大きくなると予想されるので詳細に検討する必要がある。

1本の脚に働く力を考えて見よう。

間隔はかなり大きいので相互の干渉はきつ"無視出来るものと仮定しよう。又波長は直径Dに比しかなり大きい所を考えると"よからうから



上下力 $f_z = \rho g h_w \{ a_w - K(1+k_3)v \} \phi_0 e^{i\omega t}$

$a_w = \frac{\pi}{4} D^2$, v : volume

k_3 : 上下方向の附加質量係数

左右力 $f_x = \rho g h_w K \cos \theta (1+k_1)v i \phi_0 e^{i\omega t}$

$f_y = \rho g h_w K \sin \theta (1+k_2)v i \phi_0 e^{i\omega t}$

k_1, k_2 は x, y 方向の added Mass coeff.

左右力の着点とはマセ=ター m と左右方向の附加質量の中心と (これは一般には x 方向と y 方向で違う) の中間であるから今の場合 m は非常に小さい (図中の数字は B 型の例) し、 C と又浮心の近くでどちらかと言えば"それより少し上"にありそうなので近似的に以下 f_x, f_y はその浮心に働くものと考えておこう。

これらの力を上の点における位相を考えて加え合えると Model IV では

上下力 $F_z = \rho g h_w \{ A_w - K(1+k_3)V \} \psi_1 e^{i\omega t}$

$\psi_1 = \frac{1}{4} \left[\underset{\text{足1.}}{e^{\frac{2}{3} \frac{KL}{\omega} (\omega \theta + \alpha \theta)}} + \underset{\text{足2.}}{e^{\frac{1}{3} \frac{KL}{\omega} (\omega \theta - \alpha \theta)}} + \underset{\text{足3.}}{e^{\frac{1}{3} \frac{KL}{\omega} (\omega \theta + \alpha \theta)}} + \underset{\text{足4.}}{e^{\frac{2}{3} \frac{KL}{\omega} (\omega \theta - \alpha \theta)}} \right]$

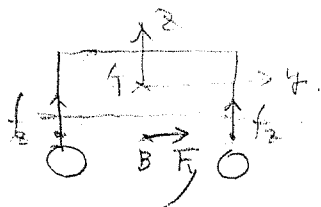
$= \cos\left(\frac{KL}{2} \cos \theta\right) \cos\left(\frac{KL}{2} \sin \theta\right)$

$A_w = 4v$, $V = 4v$

左右力 $F_x = \rho g h_w K \cos \theta (1+k_1)V i \psi_1 e^{i\omega t}$

$F_y = \rho g h_w K \sin \theta (1+k_2)V i \psi_1 e^{i\omega t}$

重心周りのモーメントは、右方向に正として、図のように F_y によるものと上下力によるものの和であつて、



上下力によるものは

$$\frac{\rho g L}{2} h_{uv} \{A_{uv} - K(1+k_3)V\} i \psi_2 e^{i\omega t}.$$

$$i \psi_2 = \frac{1}{4i} \left[\begin{array}{l} \text{定1} \\ \text{の phase} \end{array} + \text{定2} - \text{定3} - \text{定4} \right]$$

$$= \cos\left(\frac{KL}{2} \cos \theta\right) \sin\left(\frac{KL}{2} \sin \theta\right)$$

となるから F_y は上の仮定からいへば B 点に働くとすると

$$M_x = \rho g h_{uv} K \sin \theta (1+k_2) V \overline{GB} \psi_1 i e^{i\omega t}.$$

$$+ \frac{\rho g h_{uv} L}{2} \{A_{uv} - K(1+k_3)V\} i \psi_2 e^{i\omega t},$$

M_y は上式の $k_2 \rightarrow k_1$, $\cos \theta \rightarrow \sin \theta$, $\sin \theta \rightarrow -\cos \theta$ と置換するなりになる。

又ローリングモーメントは

$$M_z = \frac{\rho g h_{uv}}{2} KL \left[\sin \theta (1+k_2) V \psi_3 - \cos \theta (1+k_1) V \psi_2 \right] i e^{i\omega t}$$

となる。

$$\psi_3 = \sin\left(\frac{KL}{2} \cos \theta\right) \cos\left(\frac{KL}{2} \sin \theta\right)$$

従つて $k_1 = k_2$ ならば $\theta = 0^\circ, \pm 45^\circ, \pm 90^\circ, \pm 135^\circ$ で

$$M_z = 0$$

となる、 $k_1 \neq k_2$ としても $M_z = 0$ となる角度が $\pm 45^\circ, \pm 135^\circ$ は少しずれるが存在する。(footing の角度によつては厳密に言うと $0^\circ, 90^\circ$ も少しずれる)

Model IV についても同様の計算が出来る、 ψ_1, ψ_2, ψ_3 とモーメントの lever が違ふだけである。しかしそれ大変面倒で対称性が複雑になる。例へば

$$\psi_1 = \frac{1}{3} \left[e^{i \frac{KL}{\sqrt{3}} \cos(\theta - \frac{\pi}{3})} + e^{i \frac{KL}{\sqrt{3}} \cos(\theta + \frac{\pi}{3})} + e^{-i \frac{KL}{\sqrt{3}} \cos \theta} \right]$$

$$\frac{1}{2} \psi_2 = \frac{L}{2\sqrt{3} \times 3i} \left[e^{i \frac{KL}{\sqrt{3}} \cos(\theta - \frac{\pi}{3})} + e^{i \frac{KL}{\sqrt{3}} \cos(\theta + \frac{\pi}{3})} - 2e^{-i \frac{KL}{\sqrt{3}} \cos \theta} \right]$$

等となる。

さて 式(7) 上下動の運動方程式は damping を N_2 とすると

$$(1+k_2) \frac{W}{g} \ddot{Z} + N_2 \dot{Z} + \rho g A_w Z = \bar{F}_2$$

7"あるから

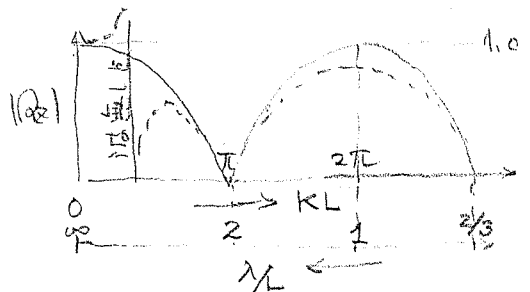
$$Z = h_w Q_2 e^{i\omega t}$$

とかくと

$$Q_2 = \left[\frac{A_w - K(1+k_2)\nabla}{A_w - K(1+k_2)\nabla + \frac{i\omega}{\rho g} N_2} \right] \gamma_1(\omega)$$

となる。

従って $N_2 \rightarrow 0$, $\theta = 0$ とおくと $Q_2 = \omega \left(\frac{KL}{2} \right)$ 7"ある。



実際には左図の点線のように、各定数は無し点 (固有周波数より大)

$$KL = \frac{A_w L}{(1+k_2)\nabla}$$

の付近で急激に振幅の変化がある

ので この点から (NB で $k_2=1$ とすると $KL=1.20$, $\lambda_L \approx 10\pi$) $1 \leq 2L$ まで Q は 1 より小さくなるが これは 今の場合 大洋洋のかなりの部分を食む 訳である。

しかし $\lambda = L$ の近くはどうしても 山 となるが $L=6.5$ m の波の最高は $L/10 = 6.5$ m であるので この程度の上下動振幅はあり得るであろう。

次に Sway と Roll, Pitch と Surge は共に Yaw と加わって 船体横揺動となるが $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ では Yaw の影響は少ないであろうから 無視する事とし, 又 θ を 90° 変えれば 基準は全く同じに取扱えるので 2.2 では Sway, Roll の船体横揺動のみ 残して 2.2 として 運動方程式は

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_x}{g} \ddot{\theta} + N_\theta \dot{\theta} + WGM \theta + C_Y &= M_x \\ (1+k_2) \frac{W}{g} \ddot{Y} + N_Y \dot{Y} + C \theta &= F_y \end{aligned} \right\}$$

となる。

$$\left. \begin{aligned} A \textcircled{H} + C Y &= M_x \\ B Y + C \textcircled{H} &= F_{ly} \end{aligned} \right\} \quad , \quad \Delta = AB - C^2$$
$$Y = \frac{1}{2} (AF - CM_x), \quad \textcircled{14} = \frac{1}{2} (BM_x - CY)$$
$$\frac{I_x'}{A_g} = (\chi L)^2 \nabla, \quad \chi^2 = \chi_0^2 + \frac{k_3}{4} + k_2 \left(\frac{G_B}{L} \right)^2$$
$$A = -\frac{\omega^2}{f} I' + i\omega N_0 + W G(1)$$

$$B = -\frac{\omega^2}{g} (1 + k_2) W + 100 \text{ N}_y$$

$$C = -\frac{1}{2} f \omega^2 \overline{G C} k_z V + i \omega / N_c$$

C 点は横方向の附加慣性の着地点。

このまゝでは複雑なので少し別けて考えよう。

その前に一度右辺が0つまり斉次方程式を考えると、
 式2から $Y = -\frac{C}{B}$ (14),

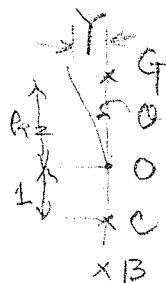
为1式+考虑之 $AB = C^2$

とならぬば"ならない。 100

この下の式は固有同期を示す式である。つまりこの時固有振数をしている筈であるがその時 Y と (14) は上式の
ようにおこっている。

この上で得る常数は、その値が ρ があまり大きくなるとすると

$$\frac{C}{B} = \frac{-\frac{\omega^2}{g} GC R_2 W + \dots}{-\frac{\omega^2}{g} (1+R_2) W + \dots} \xrightarrow{L \rightarrow \infty} \frac{R_2}{1+R_2} GC$$



となるから、左図において $\overline{GC}$ の向を1と仮
の土に於ける点Oは動かない事になる。
つまりOは自由樁揺れの時の
回転中心である。

3.7" 点の変位を y とし, 7.7)

$$y = Y - \frac{C}{B} \quad (14)$$

を新しく Sway 量として方程式に入めると, 式2式から

$$y = \frac{F_y}{B} = \frac{1}{B} Q_y e^{i(\omega t - \frac{\pi}{2})}$$

$$Q_y = \frac{\sin \theta \psi_1 / 10}{1 - \frac{i \omega M_r}{K(1+b)W}}$$

となって位相は 90° 遅っているが上下動の場合とよく似る Q を得る。

この場合は正無次元係数のようなものはないので入の大まかい所では Sway, Surge は heaving よりずっと大きくて波高の order になると予想される。

運動方程式から Y を消去すると傾ゆれの方程式は

$$A \quad (15) - \frac{C^2}{B} \quad (14) = M_{x0}, \quad M_{x0} = M_x - \frac{C}{B} F_y$$

と書ける。

有効な傾斜係数 γ を導入すると

$$M_{x0} = i \gamma G M W \theta_w e^{i \omega t} \quad (\theta_w = K \psi_w \text{ 傾斜係数})$$

と書け前式等から

$$\gamma = \frac{P \theta}{W G M} \left[\frac{L}{2} \left(\frac{4W}{K} - (1+b_3) V^2 \right) \psi_2 - \frac{b_2 G C}{1+b_2} \sin \theta (1+b_0) V^2 \psi_1 \right]$$

$$\text{又} \quad A - \frac{C^2}{B} = -\frac{\omega^2}{g} I' + W G M - \frac{\left(b_2 G C \frac{\omega^2}{g} W \right)^2}{-\frac{\omega^2}{g} (1+b_0) W + \dots}$$

となる。

γ の中に上下力が入るのは一見奇妙であるが ψ_2 は左右の壁に傾け力の位相差を表わしているの2"これはモーメント"である。

$K \rightarrow 0$ では $\gamma \rightarrow 1$ になる。

解は

$$\textcircled{4} = e_{in} Q_0 e^{i(\omega t + \frac{\pi}{2})}$$

$$Q_0 = \frac{\gamma WGM}{-\frac{\omega^2}{g} L + WGM + \dots} \approx \frac{\gamma}{1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2}$$

ただし ω_0 は固有周期であつて前にも見たように非常に小さいものであるから大洋波の波長では前者の式の近似が成立つものと思われるが γ はどのように複雑な量であるので簡単に見積れないが恐らく $|\gamma| \leq 1$ であるので $\textcircled{4}$ は e_{in} (最大で $1/10$) より小さいと予想され、そうすると数度以内にとまる事になる。

最後に yawing については前述のように懸念があるがこれは sway, surge と同じく復原力がなく又それらと相成運動をするのであるからかなり大きくなるように思われるがそれの最も大きいのは 45% の方向から来る時である。

以上のように波中の運動は複雑であるので詳しい計算と実験が必要であるがまとめると、

i) 上下動は各脚の波無し周波数と L の組合せを適当に選ぶと大洋波の波長の強どの範囲で小さく抑える事が出来る。この時充分 damping を保たせる為意が必要である。

ii) 左右の前後動は上下動の振幅と略々同じであろうが、波長の大きい節ではかなり大きく波高と略々同じになるので問題となる。

iii) 揺ゆれ(傾ゆれ)は複雑であるが固有周期が大きくてやはり大洋波と同調する危険は殆どなく、大体において傾斜より小さくなるようである。

iv) 船身ゆれについては考えなかった。

v) 3 脚脚について様子はいさし違ふが定性的には

7. 操縦性能

この問題は自航性、位置制御に關し、最も重要な部分であるが又不明な点も多い部分である。

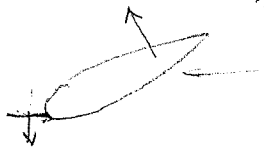
操縦性と言うと一般に旋回性と針路安定性の二つを意味するものが普通であるが、今の場合とどのように操作をするかと言う問題もあるのでまずそれについて述べ、後でやはり運動方程式によつて操縦性能について考えよう。

の前に機体の面から考えると3本脚と4本脚では明らかに3本脚の方が有利と思われ、又以下の検討は4本脚で行うが細かい差違を除いてこの程度の検討の範囲では操縦性能にも差はないと考えられるので、抵抗面の有利さを考えると総合的に3本脚が良いように思われる。

i) footling の操作法 (運動法)

5節で述べたように子船で footling を回転させるものとする。この場合 footling を固定して子船のみを操縦して本体を動かす事も考えられ、実際原案でも船面積は船の場合に比べて充分大きい。

しかし船の場合には船によつて旋回を始めると船体自身に大きい揚力が働きこれによつて旋回するのであつてこの段階では船体のかは小さいものである。



従つてもし子船のみで本体を旋回させるとすればこのような力を利用する為には footling の回転中心はその真中辺にかかなければ船面積は非常に大きくせざるを得ない。

しかしそうすると前にも見たように子船で footling を回転させる事は困難になつ来る。

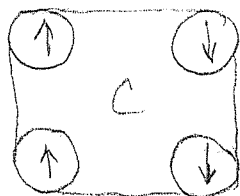
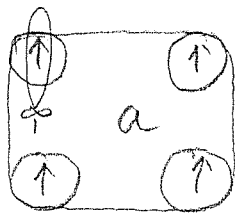
つまりこれは選択決定の問題になるが、ここでは以下 footling は回転するものとして考察して行く。

さて各脚をバラバラに動かす筈にもゆかないのでリンク
機構等で連動するような機構が必要であろう。

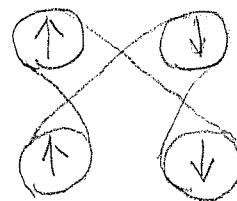
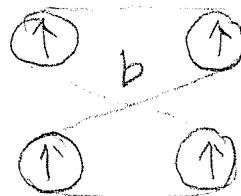
自航時の運動のみを考えれば"どれか一つだけ操作
するだけで大方の目的は達せられる"と思うが、原案のように
本体の方位角をも一定に保つとなると潮流の方向が
常に一定でない限り *footing* の向きはうねり続け2回転
せざるを得ず"もしそれが 360° 回転するものならば *footing*
も又 360° 回転出来る構造としなければ"ならない。

この連動法は全く勝手なものでよい訳であるが就中
簡単に代表的なものを以下に列挙してその特徴を
表示して見た。

Model IV では、二つのような4例を考えよう



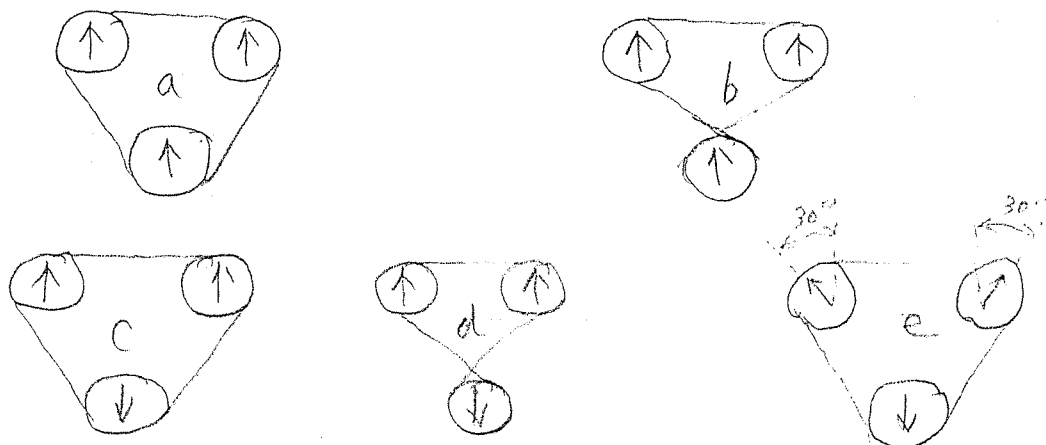
系とフーリで
連動せしめる
ものと考えた
矢印は *footing*
の向きを示す。



そうすると スラスト・トルクの働き具合は下表のようになる。

	a	b	c	d
スラスト	大	大	0	0
トルク	0	小	小	大
操 要	回頭 不能	其の場合回 頭不能	前進不能	

次に Model IV では、



	a	b	c	d	e
スラスト	大	大	小	小	0
トルク	0	小	中	大	大
制動	回頭 不能	其場同 回頭不能	前進座席小		前進 不能

このように整理して見ると b 案で前進回頭が可能であるが、其の場合回頭を望むなら更に footing を回転させる機構が必要になる。

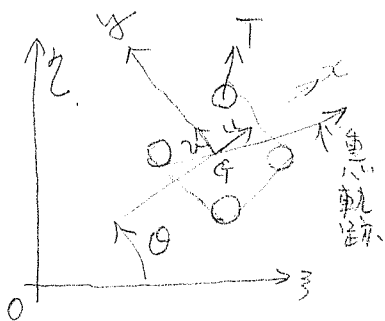
もし車体の方位角の制御が必要なければ b 方式の運動でよいし、又更に 1 組或いは 1/4 のみ回転式とし他は固定式としてもよい。

ここではスラストが一定と考えたが、勿論スラストを制御して回頭モーメントを得る方法も考えられる。

(ただし以下では一定推力はすべて一定として考える事にしよう。

ii) 操縦経路運動 (一般の初期運動)

車体に固定した座標軸に因する運動方程式は一般に次のように書ける。



$$\left. \begin{aligned} M_x \ddot{u} &= M_y v \dot{\theta} + X(u, v, \dot{\theta}, T) + T_x \\ M_y \ddot{v} &= -M_x u \dot{\theta} + Y(u, v, \dot{\theta}, T) + T_y \\ J_z \ddot{\theta} &= N(u, v, \dot{\theta}, T) + T_N \end{aligned} \right\}$$

M_x, M_y, J_z は大抵見掛け質量 および慣性

X, Y, N は流体力

T_x, T_y は土性力の成分

この方程式を一般的に解くのは極めて困難であるので、
= 欠陥では x 方向に定速で進んで"をり"を1周りに僅かに
変動する場合を扱う、ここでは静止時からイム
パルスによつて運動を起し始める場合について一寸考
えてみる。

$T_x = T_y = T_N = 0$ で且つ X, Y, N は運動の初期には小
さくて無視出来るとする。

$$\left. \begin{aligned} M_x \ddot{u} &= M_y v \dot{\theta} \\ M_y \ddot{v} &= -M_x u \dot{\theta} \\ J_z \ddot{\theta} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

これから

$$\left. \begin{aligned} J_z \dot{\theta} &= \text{const} \\ (M_x u)^2 + (M_y v)^2 &= \text{const} \end{aligned} \right\}$$

かえられ、これは 其に運動量保存則を示している。

又、このような初期運動から M_x, M_y, J_z を実験的に
求める事が出来る。

ii) 操縦性能

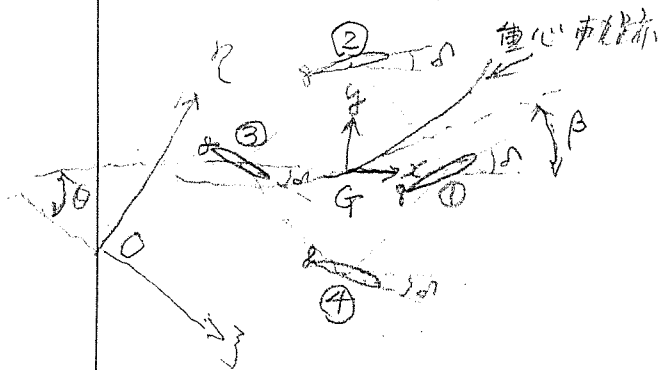
前項の運動方程式で x 方向に U なる速度で前進しながらこのために僅かな drift, 回頭が加わる場合は船の場合と全く同じでよく研究されている。

今の場合胴がどちらを向いていてもとにかくある方向に揃っている場合を扱うので"近似"の範囲内では全く同じ事になる。又 3 本胴でも同じ事である。

そこで Model NA or B の対角線の方を走っている場合について考えよう。

又 本体は止っていて水の方が定速で動く場合でも方程式は変わらない(空間に固定した座標軸を定速で平行移動させるだけだから)ので潮流のある場合の位置制御の問題にもある程度使用出来よう。しかし仮定として流速が操縦運動よりずっと大きいとしてあるので、そうなる時は種々困難な問題が生じよう。

さて、図において



x 方向速度 $U+u$

y " v

回頭角速度 $\dot{\theta}$

drift angle $\beta \approx v / (U+u) \approx \frac{v}{U}$

とし、 $u, v, \dot{\theta}$ は U に比べて小さいと仮定し、又 定は図のように b 式で運動するものとする。

そうすると各胴の対水速度は、

方向 \ 胴	1	2	3	4
x	$U+u$	$U+u - \frac{1}{\sqrt{2}}\dot{\theta}$	$U+u$	$U+u + \frac{1}{\sqrt{2}}\dot{\theta}$
y	$v + \frac{1}{\sqrt{2}}\dot{\theta}$	v	$v - \frac{1}{\sqrt{2}}\dot{\theta}$	v

footing を角度 δ (ラジアン) だけ回転させるとこれは近似的に $U\delta$ だけ y 方向の速度を増すのと同じであるから

それによる等価分速度は胴の向きを δ の正方向とすると次のようになる。

方向 \ 脚	1	2	3	4
y	U δ	U δ	-U δ	-U δ

各脚にかかる流体力は前述しをよう、その着地点に回転中心があるように設計するものとする。モーメントは零

$$X = \frac{\rho}{2} a U^2 C_D$$

$$Y = \frac{\rho}{2} a U^2 C_L = \frac{\rho}{2} a U \alpha v, \quad (C_L = \alpha \frac{v}{U})$$

(C型では $C_D = C_L$ となり $\alpha = 2C_D$ となる)

ここで a は脚の側面面積, U は主速度, v は y 方向の速度とする。

上に求めた分速度を入れて加え合わせると、

脚	$-X / \frac{\rho}{2} a C_D$	$-Y / \frac{\rho}{2} a U \alpha$	$-N / (4\sqrt{2})$
1	$(U+u)^2$	$v + \frac{L}{\sqrt{2}} \dot{\theta}$	Y_1
2	$(U+u - \frac{L}{\sqrt{2}} \dot{\theta})^2$	v	$-X_2$
3	$(U+u)^2$	$v - \frac{L}{\sqrt{2}} \dot{\theta}$	$-Y_3$
4	$(U+u + \frac{L}{\sqrt{2}} \dot{\theta})^2$	v	X_4
合計	$4(U+u)^2 + \frac{L^2}{2} \dot{\theta}^2$	$4v$	$Y_1 - Y_3 - X_2 + X_4$

Y_i, X_i は脚 i に働く分力とする。

更に2次以上の項を省略すると至る

$$X = -\frac{\rho}{2} A C_D U^2$$

$$Y = -\frac{\rho}{2} A \alpha U v$$

$$N = -\frac{\rho}{2} A U L^2 \dot{\theta}^2$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但し } \alpha &= \frac{1}{\sqrt{2}} (\alpha + C_D) \\ A &= 4a. \end{aligned} \right\}$$

を得る。

又 δ だけ脚を1回転させる車によつて、

$$X_R = 0$$

$$Y_R = 0$$

$$N_R = \frac{\rho}{2} A U^2 \alpha \delta \frac{L}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

ここで $\delta = 4$ であるがもし操縦脚の数を δ とすればこうなる。

但し $\delta = 1, 3$ とすると Y_R キ0 となる。今は $\delta = 2$ or 4 とし主として $\delta = 4$ を考えるものとする。

抵抗力は抵抗と平衡しているものとすると微小運動の方程式は

$$\left. \begin{aligned} M_x \ddot{\alpha} &= 0 \\ M_y \ddot{v} - Y_v v + M_x U \dot{\theta} &= 0 \\ J_z \ddot{\theta} - N_{\dot{\theta}} \dot{\theta} &= N_R \end{aligned} \right\}$$

と仮定。

こゝに

$$\left. \begin{aligned} Y_v &\equiv \frac{\partial Y}{\partial v} = -\frac{\rho}{2} A \alpha U \\ N_{\dot{\theta}} &= \frac{\partial N}{\partial \dot{\theta}} = -\frac{\rho}{2} A U L^2 \alpha \\ Y_{\dot{\theta}} &= N_v = 0 \end{aligned} \right\}$$

従つて x 方向および y 方向の運動に無関係に回頭する事になる。一般には x 方向は関係ないが θ と v とは相互に聯成運動を起す。

上の方程式は野本等に従つて次のように書く事が出来る。

$$\left. \begin{aligned} T_1 \ddot{\theta} + \dot{\theta} &= -K \delta \\ T_2 \ddot{v} + v + T_2 \alpha U \dot{\theta} &= 0 \\ (\text{or } T_1 T_2 \ddot{\beta} + (T_1 + T_2) \dot{\beta} + K_p \delta &= 0) \end{aligned} \right\}$$

さて

$$T_1 = -\frac{J_z}{N_{\dot{\theta}}} = \left(\frac{D}{U}\right) \cdot \frac{2 K_z^2}{\alpha} \left(\frac{\nabla}{A D}\right),$$

$$T_2 = \rho K_z^2 L^2 \nabla, \quad K_z^2 = K_{z0}^2 + \frac{k_z}{L}$$

が体自身のコ-インertia 慣性 $J_{z0} = \rho V L^2 K_{z0}^2$ となる。

$$\text{となり、又 } K = -\frac{N_R}{N_{\dot{\theta}}} = \left(\frac{U}{L}\right) \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{2}} \left(\frac{\alpha}{4\delta}\right),$$

となる。この K の意味は定常旋回を考えるとわかる。

今 $\dot{\theta} = 0$ とすると旋回半径 R は $\theta = U/R$ でありから上式から $K = U/R\delta$ となり、 K は旋回の強さを表わしている事が判る。上式を入れれば旋回半径は次式で表わされる。

$$\frac{R}{L} = \frac{U}{K\delta L} = \frac{1}{\delta} \left(\frac{4\sqrt{2}\alpha}{\alpha\delta}\right) = \frac{1}{\delta} \frac{\sqrt{2}(\alpha + c_0)}{\alpha\delta}$$

次に $T_2 = - \frac{M_y}{Y_v} = \frac{D}{U} \cdot \frac{\nabla}{AD} \cdot \frac{2(1+k_2)}{\alpha}$

また $M_y = \rho(1+k_2)\nabla$

となり $\frac{T_1}{T_2} = \frac{2K_2^2}{\gamma} \cdot \frac{\alpha}{2(1+k_2)}$

となるので 今の場合 恐らく $\frac{T_1}{T_2} > 1$ となるであろう。

最後に

$$K_\theta = T_2 \times K,$$

$$T_2 \times = T_2 \frac{M_y}{M_y} = \left(\frac{D}{U}\right) \left(\frac{\nabla}{AD}\right) \cdot \frac{2(1+k_2)}{\alpha}$$

となる。

さてここで T の意味を考えよう。

今 $\delta=0$ として $t=0$ の時に θ が急に θ_0 になったとすると方程式からその後には

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \theta_0 e^{-\frac{t}{T}} \\ \dot{\theta} &= \frac{\theta_0}{T} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \end{aligned} \right\}$$



なる解が得られ、 θ は速やかに 0 になる。この性質は 方向安定性 と呼ばれる。つまり T が小さいと速く θ が 0 に tend するので 方向安定 は良いと言う。又逆に T が大きいと θ はゆるやかに 0 になり θ の変化も大きくなるので 方向安定性 は悪いわけである。

もし脚に働く力の中心が回転中心に一致しないとならば上の方程式は変って θ は drift 角 に関係するようになるが船のような場合でも

$$T\ddot{\theta} + \dot{\theta} = K\delta$$

最終的には

とあって取扱がえる事が判っているので、 T, K を実験から求める事にすればこの式で考えて差支えなからう。

なお力の中心が回転中心の前方に来ると不安定モーメントが働いて旋回性は良くなるがこの T は大きくなるつまり 方向安定性 は損なわれる。この逆も又成立つ。(上の事は $Y_R \neq 0$ の時も言える)

そう言う所で以下 T の替りに T とのみ記す事にしよう。

そうすると

$$T\ddot{\theta} + \dot{\theta} = K\delta$$

が方程式となる。

θ が判ると空間に固定した座標系に対する Y 方向の変位は

$$Y = U \int_0^t \sin \theta dt \approx U \int_0^t \theta dt$$

と与えられるから、今の場合は drift の方程式は直接には不問である。

K は定常旋回から求める事も出来るが、一般には
2-試験等で T, K の双方を同時に求める方法が普及
している。この為には種の計器を必要とするので以下
イムパルス操舵による方法を記しておく。

$t=0$ で船中央より舵角 δ_0 を急に与えると

$$\dot{\theta} = K\delta_0(1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad t > 0.$$

次に $t=T$ で急に船中央に戻すと ($\tau \ll T$)

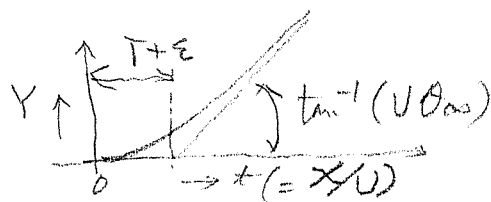
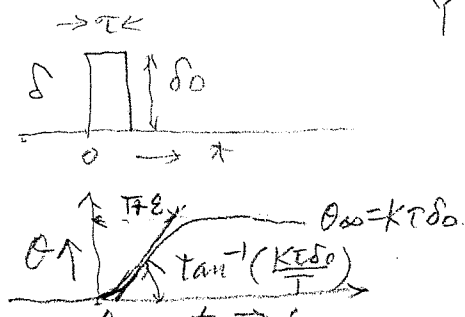
$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= K\delta_0(1 - e^{-\frac{T}{T}})e^{-\frac{t}{T}} \\ &\approx \frac{KT}{T}\delta_0 e^{-t/T} \quad \text{for } t > T. \end{aligned}$$

積分して

$$\begin{aligned} \theta &\approx KT\delta_0(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \\ Y &\approx UKT\delta_0[t - T(1 - e^{-\frac{t}{T}})] \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \theta &\approx KT\delta_0(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \\ Y &\approx UKT\delta_0[t - T(1 - e^{-\frac{t}{T}})] \end{aligned}} \right\} t \gg T$$

$t \rightarrow \infty$ とすると

$$\begin{aligned} \theta_{\infty} &\approx KT\delta_0 \\ Y &\approx U\theta_{\infty}(t - T) \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \theta_{\infty} &\approx KT\delta_0 \\ Y &\approx U\theta_{\infty}(t - T) \end{aligned}} \right\}$$



従って航跡を測る事だけでなく、 K 、 T を求める事が出来る。

最後に Model IV B について推測値を出してみよう。

$$\frac{AD}{V} = \frac{1,464 \times 10}{12,500} \approx 1.17 \text{ for L.W.L.}$$

$$= \frac{990 \times 10}{8,664} \approx 1.14 \text{ for S.W.L.}$$

$$U/D = \frac{1.5}{10} = 0.15$$

であるから $k_2 = 1$, $\alpha = 1$ とすると T は 30 秒前後 従って T_1 は数秒と考えられる。

足を C 型にする α の付に SCD を入れは "良いので", $\alpha > CD$ と考えられるから T は増えるつまり方向安定度が減ると言えよう。又 K も少し減りそうなので、胴を流線型にする事によって操縦性能は改善されると言えよう。これは直観的な考えに一致する。

なお模型試運転においてはフルード数 $U/\sqrt{gL}$ を実物に合わせるので $T \propto \sqrt{\lambda}$ (λ は縮率) となり時間軸を $\sqrt{\lambda}$ 倍に伸ばせば実物のそれになる。この時航跡は実物の場合と相似になる。(モーターの特性が実物と一般には違っているので速度低下率が異なってくる、厳密にはこう言えないが)

III) 位置制御

上の考察によつて $Y = U \int_0^t \sin \theta dt$ と与えられるから方向位置の制御は方位角 θ の制御によつて達せられる事がわかり、一緒に考える事が出来て便利になる。

従つて位置制御系は x 方向系と (y, θ) 系互に独立な 2 つの系について考えればよい。

さて X 方向の制御は推力の増減に頼らざるを得まい。この方法にはプロペラの回転数の増減と可変ピッチプロペラを使用する方法が考えられるが制御に必要な特定数と技術的制約からどちらかに決められよう。

(なおプロペラ駆動は電動機による事になろう)

いづれにしても damping は小さいので比例制御の時齊次方程式は

$$M \ddot{X} + AX = 0$$

となろうがこれは固有振動を有する事になり具合が悪いので必ず速度制御項を入れねばならない。

Y 方向位置の制御は方位角と同時に実行出来る。一般に $\frac{1}{s^2}$ と $K\delta = -(B\delta + C\dot{\delta})$ と比例制御を実行するだけでもかなりの女子成績が得られそうに思われるが船の場合のように角速度制御を加えるのもそう困難ではなからう。(この場合必ず C キロと選んだ方がよからう)

なお舵を回さないうで推力の制御のみで目的を果す事も出来るかも知れないが、その実際的な可能性は全く制御精度がどの程度要求されるかによって異なる。

結局外形の性格が定量的に明確になり、制御性能の要求が決まれば、始めてそれに対応する物体の流体力学的並びに技術的対応策が固まつて来る事になろう。

8. 結論

以上位置制御式自航式半没氷型 Ocean Platform の流体力学的性能を特に脚部を流線型にするとどうなるかと言う点に注目して検討し次のような結論に達した。

1. 静的復原性は(各脚の間隔で決まる訳であるが) 充分大きくする必要があろうか横揺れ同期にも関係するので波の中の動揺性能も考え合せて決めなければならぬ。なお自航時の footing の乾舷を充分とるよう留意すべきであろう。(安全性)
2. 抵抗および推進面では流線型 footing は有利である。又脚の数が少ない方がより有利である。
3. 波の中の動揺にも脚の間隔は大きい関係がある。

一般に半没氷型は上下動、縦揺れ、横揺れはあまり大きくなりえないと思われぬが横流れ、前後ゆれはかなり大きく目立つように思われる。

4. 操縦性の面でも流線型 footing は有利である。しかしその操縦機構は問題である。

子船体によって footing を回転させる方法では氷の力の中心と回転中心を合わせることが出来ない。

(この場合逆進の時は恐らく操作不能とならう)

5. 位置制御はスラスト制御と脚の操作によって出来るであろう。(操作脚の数はいくつでよい)

脚をまわさないで推力制御のみで目的を達する事も考えられるが、この点は制御に対する要求性能と推力の制御機構の制御特性に因りるので今後の検討を必要とするであろう。

6. 方位角の制御がもし必要なければ"footing"を固定式とし、常に潮流の方に向けて推力制御と子船(今日は効果が小さそうなので検討しなかった)がこのような目的に使う時は"footing"の回転中心は後方にもつてこなければならぬ)によって操縦は事も出来るように思われるがこれももう少し詳しく検討する必要がある。

このようにして流線型 footing は有利な場合が多いがしかし見て来たように設計上選択の枝も又非常に多く、一方その判断に必要な知識は少ない。

このような点を埋めて行くにはやはり一方向では試設計を行い問題点を拾いだし、片方では重要な疑問点について研究調査を続け、両者の結果に基づいて又次の段階に進むと言うようにやって行かねばならぬだろう。

以上.

本文の考察に基づいて設計に必要なデータを得る為には大凡次頁「1. 実験の種類」に示すような各種の試験が必要である。

しかし今年度においては定量的試験は行わず主に定性的試験に限る事とし、「2. 実施案」に示すような試験を行うものとする。

模型については軍艦による試験は満載並に軽荷時の鏡像之を模型とし、操縦性試験用模型の要求性能については「3. 操縦試験用模型の構造と性能」に示す。

1. 実験の種類

2. 実施案

3. 操縦試験用模型の構造と性能

1. 実験の種類

No. A2

機型	試験目的	項目、内容等	相似例	実施場所	
單脚	抵抗	水上模型の抵抗試験 2重模型	フルード レイノルズ	水槽 水槽 風洞	○
	推進 動揺	自航試験 (水上) 自由動揺 (縦、横、上下) 強制 " (") 波浪中 " (")	フルード "	水槽 水槽 "	
	操縦	三分力測定 強制動揺 (ヨーイング)	フルード	" "	
	航行特性	舵三分力測定 (舵單獨) 舵回転トルク " (舵全開)		" "	
全体	抵抗	抵抗試験 (水の力) " (風圧)	フルード	水槽 風洞	○
	推進 動揺	自航試験 自由動揺 (縦、横、上下) 強制 " (" + 左右) 波浪中 " (") 風浪中 "	フルード "	水槽 " " 風洞付 水槽	○ ○ ○
	操縦	三分力測定 強制動揺 (ヨーイング) 旋回試験 Zig-Zag " イムパルス操舵 "	フルード " フルード " "	水槽 " 運動性能 水槽 " "	○ ○ ○
	予備試験	プロペラ單獨試験 重量重心調整 " 慣性 (各軸) 調整 "		水槽 空中小さい 空中およい	○ ○ ○

2. 実施案

No. A 3

模型	系名	実験項目	計測項目	所要装置	実施場所	概要
單脚 (3種)	100	抵抗	抵抗	動力計 (既存)	回流水槽	吃水 2 種 2 種 不 良 型 浸水
全体 (1種)	150	抵抗	抵抗	動力計 (新組)	"	吃水 2 種 水上 模型 電源電圧 (回転部)
		自航	速度	ストップウォッチ	"	と速度の関係を 調べておく
		傾斜試験	傾斜角	遠望遠 金巻	"	重心調整の取
		自由横揺	周期	ストップウォッチ	"	慣性半径 (ヤコブ) の測定
		自由上下揺	"	"	"	復元し 周期の 測定
		旋回	速度, 旋回半径 舵角	ビデオ コーダー (ミキサー付) (タイマー用)	運動性能 水槽 (少くも 10x10')	
		インパルス 操舵	速度, 軌跡, 舵角, 方位角	"	"	

3. 操縦試験用模型

No. A4

の構造と性能

- 1) 縮尺は $1/50$ 程度とし 最大長 60 cm 程度とする
- 2) 1脚のみ 電動可付とし、他は空転可能 タープロペラ付。
動力プロペラは特製付ロッチとし モーター直結、
電源は電池、電圧を3~12Vに切換えて手動により速度制御
- 3) 各脚はプーリーと糸により運動可とし (回転方向の切換可) ラガス コントロールとする。トルク不足時はサーボモーター追加
- 4) 軽荷、満載の重量調整は主として footling 内にバラストタンクを設けてそれによる事。
- 5) 動力用電池は脚コラム内に收容の事。従って脚ははめ込み式とし 取外し可能の本。
- 6) コラムは プラットフォームの高さで ベアリングにより支持可。
- 7) footling 回転中心は前後に移動可能の事。コラムには水密の底板を設け、footling はゴムバンドでコラムにとめる。
- 8) 子船は 舵角調整可能の本。プロペラ、エラウドは固定
- 9) footling 回転角表示盤をつける。
- 10) プラットフォーム中心に $5 \sim 10 \text{ mm}$ の垂直に上下に通電するマストをつける。