

## 消波装置設計に関する覚書

1. 序

詳細な検討の目安として又幾つかの所を言及す。

具体的な数値を考へるために

波周期  $T = 10 \text{ sec.}$  ,  $\omega = 1.628$  ,  $\frac{\omega^2}{g} = 0.262$

波長  $\lambda = 156.1 \text{ m.}$

を基準として考へよう。

2. 懸留について

次の3つの方法が考へられる。

a) 海底に固定した構造物からリンリ構造で支える。

b) 索又は鎖による緊張懸留。

c) // 普通のルーズな懸留。

a) の場合は建設者が高くつくがエネルギー

吸収装置の準備は簡単であり、特に構造物が波を全反射する壁とするならば

Milgram 方式となり、上下動又は左右動(のどちらか)だけで

波を消す事が出来るので一層簡単になる。

c) の場合は一般に懸留によつて重揺

運動は殆ど影響されないので近似的

には懸留索の事を考へないでよい。

しかしこの場合はエネルギー吸収装置を

内蔵しなければならぬがその残構と問題が残る。

長)の場合は繫留力によって浮体の運動を積極的に変化させる事を考える場合で当然その力は大きくなり 12-7°又は4E-2の強度が問題となってくる。

なお 繫留の場合の定常力は浮体の漂流力を支えれば足りるから 幅Lありて

$$F = \frac{\rho}{2} g a^2 \cdot L \quad \begin{array}{l} L=100m \\ a=1m \end{array} \rightarrow 50 \text{ tons}$$

エネルギー— 取出し装置は a)とc)の中間の難かしをしよう。

3. 同調させるための浮体の大きさ 形状  
 必ず"上下動の同調点"は

$$\frac{\omega^2}{g} W(1+k) = \rho g A_w$$

$W = \rho \nabla$  排水重量,  $\nabla$ : 容積,  $k$ : 附加質量係数

$A_w$ : 水線面積

$$\text{今 } \nabla = A_w \cdot d \cdot C_w, \quad d: \text{吃水}$$

よって

$$\frac{\omega^2}{g} d = K d = \frac{1}{(1+k) C_w}$$

したがって

$$d = \frac{g}{2\pi(1+k) C_w}$$

つまり(半浸)円筒では  $d = \frac{156}{6.28 \times 2 \times 0.785} = 15.8 \text{ m}$ .

で約はるの  $1/10$  とするかどうか少し浮体を小さく

する場合には  $k$  と  $C_w$  を大きくすればよい。

しかしそうすると波なし船型となって造形能力  
多量波を消すためには  
 が小さくなり、動揺振幅が大きくなるので

あまり吃水を小さくする訳には行かない。

実用海面を考えると半浸円筒では吃水の

深すぎ"るように思えるのでやはり、少なくとも箱船

程度あるいはそれ以上を装置したような

波なし船型が適当であろう。

この時 船幅は狭くなるので 適当に狭くすればよい。

横ゆれ周期をとるには 水線面の幅が充分大きければ 重心点を調整してやればよい。

しかし 排水量を小さくしようとすると 前述のように 水線幅は小さくなるので <sup>調整</sup>それが不可能 となって来るだろう。  
(×タセエターが狭くなる)

そのような時は <sup>静的</sup> 復原力の増加 ( $K_R$ の小さい波なし船型では 静的復原力が不足して 直立静正が不可能) の意味もかねて 又胴とする事が必要らしい。

この時は 間隔  $R$  が適当に大きければ 明らかに 横ゆれ周期は 上下動周期と同じになるので 上述の波なし船型を  $\rightarrow$  並べればよいだけである。

4. エネルギ — 増牧について  
繫留方式が 2 節 a) 及 b) の場合は

- i) リンク・歯車カム 伝導
- ii) 油圧 ポンプ (生研・ソルターダック)

等により容易に<sup>(効率よく)</sup>構成出来るように思われる。

しかし c) 方式では

- i) 空気タービン  
実用されているが、空気タービンの効率是最高でも 72.80% であり、尚々 数十% に止まると考えられ、効率の点では不満足であるが

機構的には簡單で保守も容易であろう。

- ii) 水タービン (イペラー)  
つまり水中にプロペラを入れる方式であるが、空気式と同様に効率は悪く、又空気式では空気の流速を速めてタービンの設計を樂にする事が出来るが、この方式では水と浮体の相対流速に対して設計する事になるので、プロペラの直径は大きく、浮体も軽くなり、機構的にも困難となり、又保守も困難で見込みはうすい。

iii) 可動重量による方式

これは浮体内に大きい可動重量を装着して

浮体の動揺によって生ずる加速度で加振して

これを動力として発電機をまわす方法である。

この際もこの可動重量の振動によって油圧(空)

ポンプを駆動しその油圧(空気圧)を使って

タービン・発電機をまわす方式と直接

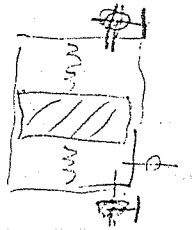
機械的に発電機をまわす方式と考えられる。

あるいは又波消しだけでエネルギーは取らない場合

は 図の如く 空気(又は水または油)槽

の中で可動重量はピストンとしバルブ

の調節により減衰を加減すればよい。



いづれにしても減衰又は外部への仕事量は

重量物の振幅が大きい程大きいから

可動重量にはバネを附して浮体の動揺と

同調させておく事が望ましい。

以下これについて少し考察する。  
なお重量物の往復運動のかわりに回転偏心重量  
も考えられこれは増速歯車により直接発電機を  
駆動出来るが弾み車の重量まで考えると重量の点で  
不利な場合がある。

可動重量の運動方程式は模式的に

$$\frac{w}{g} \ddot{\xi} + \mu \dot{\xi} + k \xi = -\frac{w}{g} \ddot{z}$$

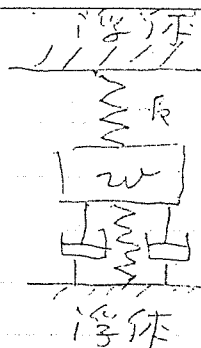
ここに  $w$ : 可動重量

$k$ : バネ定数

$\mu$ : 減衰

$\xi$ :  $w$  の浮体に対する相対変位

$z$ : 浮体の変位



浮体に働く力  $F$  は

$$F' = -(\mu \dot{\xi} + k \xi) = +\frac{w}{g} (\ddot{\xi} + \ddot{z})$$

であるが  $w$  が浮体と共に動く時の慣性力  $\frac{w}{g} \ddot{z}$

は浮体の運動方程式の方に入れて考えれば

するとそれを差引いた力  $F$  は

$$F = \frac{w}{g} \ddot{\xi}$$

となり又  $k$  は同調するよう

$$k = \frac{w^2}{g}$$

と選ぶことにすると

$$\ddot{\xi} = -\frac{2w}{g\mu} \dot{\xi}, \quad \dot{\xi} = -i \frac{\omega w}{\mu g} \xi$$

$$F = i \frac{w^3}{\mu} \left(\frac{w}{g}\right)^2 \xi$$

一周期の間に重量物の<sup>(単位時間)</sup>平均仕事率は

$$P = \frac{\mu}{T} \int_0^T \dot{\xi}^2 dt = \frac{\mu}{2} \omega^2 |\xi|^2$$

ここで表わすと

$$P = \frac{\mu}{2} \omega^2 \left( \frac{\omega}{\mu g} \right)^2 |z|^2 = \frac{\omega^4 \omega^2}{2\mu g^2} |z|^2$$

入射波 (幅  $L$  の方向) が単位時間当たり運んで来るエネルギー

は  $E_W = \frac{\rho g^2 a^2}{4\omega} L = \frac{\rho g^2 a^2 v_w}{4} L$ ,  $a$ : 振幅  
 $v_w$ : 波速

であるから、これを全部吸収するには

$$P = E_W, \quad \frac{\omega^4 \omega^2}{2\mu g^2} |z|^2 = \frac{\rho g^2 a^2}{4\omega} L$$

$$\frac{\omega \omega}{\beta g} = \mu = \frac{2\omega^5 \omega^2}{\rho g^4 L} \left| \frac{z}{a} \right|^2, \quad \omega^2 = \frac{\mu \rho g^4 L}{2\omega^5} \left| \frac{a}{z} \right|^2$$

$$\omega = \sqrt{\frac{\rho \mu L}{2\omega}} \cdot g a / |Kz|$$

それ故に所要質量  $\omega$  は  $Kz = \frac{\omega^2 z}{g}$ , つまりその加減速度

と重力の加減速度の比が大きければ小さくなり、 $\mu$  が小さい

程小さくてよい。

しかしこの後者の条件は  $\mu$  が小さいとき  $\omega$  が大きくなるので

ある制限を附す必要がある。

今  $\left| \frac{z}{a} \right| = \frac{\omega \omega}{\mu g} = \beta < 1$

とおくと

$$\omega = \frac{\rho g L a^2}{2\beta} \left| \frac{1}{Kz} \right|^2$$



したがって  $\beta = \frac{1}{2}$  ,  $\frac{|Kz|}{a} = \frac{\omega^2}{g} \frac{|z|}{a} = \dots$  ,  $a = 1m$  ,  $\lambda = 156m$

とすると  $w = \frac{100}{\frac{1}{2}} \text{ ton} = 10000 \text{ tons}$

となり非現実的つまり浮体の重量よりも大きく  
(10000ton程度)  
なり、不可能である。

そこで  $\beta > 1$  とし 船型は流さないで  $\beta$  を大きくして

$|Kz| = 1$  程度にしてもなお  $w = 1000 \text{ tons}$  のオーダー

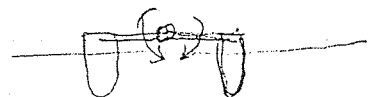
となり実現はむづかしい。

このような考察から結局のところ浮体自身の重量を  
使わねばならない事がわかる。

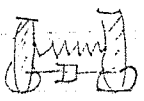
したがって浮遊式の場合は流さない双胴として  
動力揺振中も大きくし 双胴の相対運動  
によって発電機をまわす方式が望ましい。

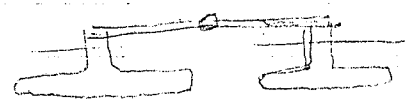
この時相対変位を大きく保つためには  
双胴間隔はかなり大きく 例えは  $\frac{1}{4}$   
位は離さねばならない。

この時既在の案(右図)のような  
形式では工合が悪いらさう。



この事を理解するには逆作用定理によって考えればよいため、逆にこの運動によって起きる力の大きさはあまり大きくならない。

それ故 hinge pt. は充分高くしておける。  のような風に運動させる方が得策であろう。

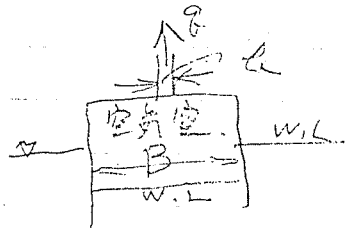
勿論、後のような浮体の場合は前頁のようなものかよいであろうか。その時は最初の考察から水線面積の大小と、形状とをやはり感じ  からいって上図の形式の方が造波性能はよりよいと思われる。

このように考えて来ると、浮遊式の場合エネルギー吸収の方法について充分検討の要がある。

つまり動揺の周期は大変大きく又振幅もさ程大きくないので、そのような運動によって波のエネルギーを吸収するには、大きい力又はモーメント（浮体の重量程度）を利用せざるを得ない点を充分考慮しておかねばならない。

そのような検討の例として先空気室式を考えて見よう。

図のように空気室があつて(断面に垂直方向  
に單位長さ) 空気は幅  $B$  のパイプを通じて



大気中に又はタービンに流入するものとする。

その損失又は仕事率は

$$P = \frac{1}{2} \rho a \int_0^T \int_0^b \bar{q}^3 dt = \frac{\rho a}{3\pi} \int_0^b \bar{q}^3 b$$

$\rho a$ : 空気密度,  $\zeta$ : 水頭損失係数

よって  $E_w = \frac{\rho}{4} \bar{q}^2 \frac{a^2}{\omega} \quad \lambda$  等しいとすると

$$\bar{q}^3 = \frac{3\pi \rho \bar{q}^2 a^2}{4 \omega \zeta \rho a} \quad \begin{array}{l} a=1, \rho=1.25 \\ b=1, \zeta=1 \\ \lambda=156 \text{ m.} \end{array} \rightarrow 3.2 \times 10^5$$

$$\bar{q} = 68 \text{ m/s.}$$

この時の空気室の圧力は(大気圧との差)

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \bar{q}^2 = 289 \text{ kg/m}^2 \quad (289 \text{ mm Hg})$$

この程度の水面変位は充分期待出来よう。

(又この程度では空気は非圧縮性と考えてよい)  
一方連箱の定理から水面変位を  $z$  とすると

$$\bar{q} b = \omega z B = \omega z B, \quad z = \frac{\bar{q}}{\omega} \frac{b}{B} = 108 \frac{b}{B} \text{ m.}$$

つまり  $B=20 \text{ m}$  としても  $z=5.4 \text{ m}$  となり一寸實現

しそうなもの。

よってこの方式ではこの点充分検討して置く必要

があるし、又空気室は充分大きくなければならない。

この場合は密度  $\rho_a$  を大きくしてもあまり変化はない。

ここで思い合わせ入るのは アンチローピングタンクの場合  
でその場合もあまり思わしくないので減衰が思うように  
大きくならないためである。

もう一つの例として消波の器に平板(幅  $B$ )の抵抗は  
よって  $\Delta C_D$  を得る方法を考えて見よう。

その抵抗係数を  $C_D$  とすると前同様 波エネルギーを  
吸收するには 振幅を  $z$  として

$$\frac{z}{3\pi} \rho C_D |\omega z|^3 B = \frac{\rho g^2 a^2}{4\omega}$$

$$z^3 = \frac{3\pi g^2 a^2}{4 C_D \omega^4 B} \quad \begin{matrix} B=10, a=1 \\ C_D=1.2 \end{matrix} \rightarrow 130$$

$$z \approx 5 \text{ m}$$

となるので一寸無理だろう。

又適当な値にするためには  $B$  を桁違いに  
大きくしなければならぬ。

この事は 波のエネルギーを渦減衰で消費する  
のは大変難しい事を示しているのだろう。

それ故 寧ろ消波装置では透過は  $0$  となる条件  
を利用する方がよさそう。

## 運動方程式の原点の選び方

左右対称な浮体では上下運動は独立でかつ

Sway と roll は干渉して.

$$\left. \begin{aligned} C_1 K X + f_{13} K \theta &= H_1^+ \\ C_3 K \theta + f_{13} K X &= H_3^+ \end{aligned} \right\}$$

$$C_1 = \nabla + f_{11}, \quad C_3 = \nabla + f_{33} - \frac{m \nabla}{R}$$

$$H_3^+ = -l_w H_1^+ \quad \text{で } l_w \text{ は 実 である (符号 地とが(符号))}$$

であるから  $H_1^+$  を消去すると

$$K X (C_1 l_w + f_{13}) + (f_{13} l_w + C_3) K \theta = 0$$

$$\text{つまり} \quad \frac{X}{\theta} = - \frac{C_3 + f_{13} l_w}{C_1 l_w + f_{13}} = -r$$

で "減衰のみ" は 2 のみ よるならば "は消し条件のあふは" )

これは 実 である。

今座標の原点を  $l$  だけ

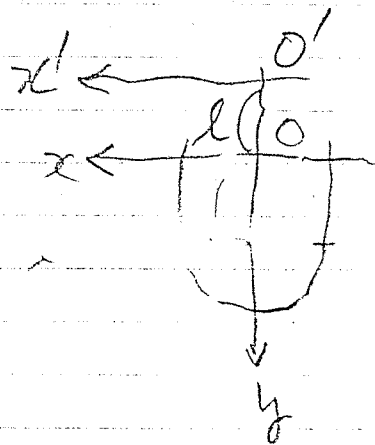
ずらすと  $O'$  の位置で sway は

$$X' = X + l \theta,$$

これを方程式に代入すると

$$\left. \begin{aligned} \left( \frac{f_{13} - C_1 r}{l - r} \right) K X' &= H_1^+ \end{aligned} \right\}$$

$$\text{or} \quad [f_{13} - C_1 r] K \theta = H_1^+$$



それ故  $l > r$  とすると

$$X' = X + r\theta = 0$$

となり  $O'$  点は左右に動かない点 (ローリング中心)  
この点で

であるから 浮体を左右に拘束しても運動に変化  
はない。

この時運動方程式は 従の式つまり

$$K\theta = H_1^+ / [f_{13} - C_1 r],$$

のみで  $X'$  は 0 であるから 出て行くいは

$$A_T - A_R = \frac{H_1^+}{H_1^+} + 2iK\theta H_3^+,$$

のようになる。

次に  $l = lw$  と置くと

$$KX'(C_1 lw + f_{13}) + K\theta(C_3 - lw C_1) = 0, \quad (?)$$

$$\text{即ち } X' = + (lw - r)\theta$$

$$KX' C_1' = H_1^+ //, \quad C_1' = \frac{C_1 r - f_{13}}{r - l},$$

のようになり  $O'$  点のまわりの回転によつていは

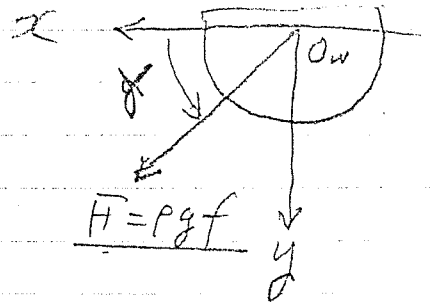
起きない (ローリング中心) ので 出て行くいはやはり

$$A_T - A_R = \frac{H_1^+}{H_1^+} + 2iKX' H_1^+,$$

となつて簡単になる。

Tight Mooring = 53 波消 12772

$$\left. \begin{aligned} -KX C_1 &= -H_1 + f \cos \delta \\ -KY C_2 &= -H_2 + f \sin \delta \end{aligned} \right\}$$



$$f = -K(X \cos \delta + Y \sin \delta) A$$

$$A = \frac{B + i\omega \mu}{K}$$

$$C_j = -i h_j^2 \sec \beta_j e^{i\beta_j} \quad \left. \begin{aligned} & \\ & \end{aligned} \right\} j=1, 2$$

$$H_j^+ = h_j e^{i\alpha_j}$$

$$h_j = |H_j^+|$$

$$KX = \xi, \quad KY = \eta$$

$$\left. \begin{aligned} i\xi h_1^2 \sec \beta_1 e^{i\beta_1} + h_1 e^{i\alpha_1} &= f \cos \delta \\ i\eta h_2^2 \sec \beta_2 e^{i\beta_2} + h_2 e^{i\alpha_2} &= f \sin \delta \end{aligned} \right\}$$

$$\xi h_1 \left( \frac{i h_1}{\cos \beta_1} e^{i\beta_1} + e^{i\alpha_1} \right) = \xi h_2 \left( i\eta \frac{h_2}{\cos \beta_2} e^{i\beta_2} + e^{i\alpha_2} \right) \cot \delta$$

$$\tan \delta = \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} \left( \frac{i\eta h_2 e^{i\beta_2} + \cos \beta_2 e^{i\alpha_2}}{i\xi h_1 e^{i\beta_1} + \cos \beta_1 e^{i\alpha_1}} \right)$$

波消条件は

$$\xi = \frac{i e^{i\alpha_1}}{2 h_1}, \quad \eta = \frac{i e^{i\alpha_2}}{2 h_2} e^{i\alpha_2} (i \cos \beta_2)$$

$$\begin{aligned} \therefore \tan \delta &= \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} \left( \frac{-e^{i(\alpha_2 + \beta_2)} + 2 \cos \beta_2 e^{i\alpha_2}}{-e^{i(\alpha_1 + \beta_1)} + 2 \cos \beta_1 e^{i\alpha_1}} \right) \\ &= \frac{H_2^+}{H_1^+} \frac{\cos \beta_1}{\cos \beta_2} \frac{e^{-i\beta_2}}{e^{-i\beta_1}} = \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} e^{i(\alpha_2 - \beta_2)} \end{aligned}$$

$\gamma$ : real  $z$  あり  $k$  の  $1/2$

$$\alpha_2 - \beta_2 - (\alpha_1 - \beta_1) = n\pi, \quad n=0, \pm 1, \pm 2.$$

$$f \cos \gamma = \left( -\frac{h_1}{2} \sec \beta_1 e^{i\beta_1} + h_1 \right) e^{i\alpha_1}$$

$$= \frac{h_1}{2} \frac{e^{i\alpha_1}}{\cos \beta_1} \cdot e^{-i\beta_1} \quad \cos \gamma$$

$$f \sin \gamma = \frac{h_2}{2} \frac{e^{i(\alpha_2 - \beta_2)}}{\cos \beta_2} \quad \sin \gamma$$

$$f = \frac{h_1}{2 \cos \beta_1} e^{i(\alpha_1 - \beta_1)} \cos \gamma + \frac{h_2}{2 \cos \beta_2} e^{i(\alpha_2 - \beta_2)} \sin \gamma$$

$$e^{i(\alpha_2 - \beta_2)} = e^{i(\alpha_1 - \beta_1) + i n \pi}$$

$$f = \frac{e^{i(\alpha_1 - \beta_1)}}{2} \left[ \frac{h_1}{\cos \beta_1} \cos \gamma + \frac{h_2 \sin \gamma}{\cos \beta_2} e^{i n \pi} \right]$$

$$= -A \left( \frac{3}{2} \cos \gamma + \frac{1}{2} \sin \gamma \right) = -\frac{iA}{2} \left( \frac{e^{i\alpha_1}}{h_1} \cos \gamma + \frac{e^{i\alpha_2}}{h_2} \sin \gamma \right)$$

$$A = i a e^{-i\delta} = \frac{1}{k} (i \mu \omega + k_2)$$

$$a e^{-i\delta} = \frac{e^{i(\alpha_1 - \beta_1)}}{\frac{e^{i\alpha_1}}{h_1} + \frac{e^{i\alpha_2}}{h_2}} \left[ -\frac{e h_1}{\cos \beta_1} \cos \gamma + \frac{h_2 \sin \gamma}{\cos \beta_2} e^{i n \pi} \right]$$

$$a e^{-i\delta} = e^{i(\alpha_1 - \beta_1)} \left[ \frac{\frac{h_1}{\cos \beta_1} + \frac{h_2}{\cos \beta_2} e^{i n \pi}}{\frac{e^{i\alpha_1}}{h_1} + \frac{e^{i\alpha_2}}{h_2}} \cdot \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} e^{i n \pi} \right]$$



$$\begin{aligned}
 a e^{-i\delta} &= e^{i(\alpha_1 - \beta_1)} \left[ \frac{h_1}{\cos \beta_1} + \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos^2 \beta_2} \right] \frac{h_1 \cos^2 \beta_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos^2 \beta_2} \\
 &= e^{-i\beta_1} \left[ \frac{e^{i\alpha_1}}{h_1} + \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} e^{i(\alpha_2 + \pi)} \right] \frac{h_1 \cos^2 \beta_2}{h_1 \cos^2 \beta_2} \\
 &= e^{-i\beta_1} \left[ \frac{h_1^2 \cos \beta_2}{h_1 \cos \beta_1} + \frac{h_2^2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} \right] \\
 &\quad \left[ 1 + \cos \beta_1 e^{i(\alpha_2 - \alpha_1 + \pi)} \right]
 \end{aligned}$$

$$a e^{-i\delta} = \frac{h_1^2 \cos \beta_2 + h_2^2 \cos \beta_1}{e^{i\beta_1} + e^{i\beta_2} \cos \beta_1} //$$

透過波が0に等しいのは

$$e^{2i\alpha_1} + 2i\beta h_1 e^{i\alpha_1} = e^{2i\alpha_2} + 2i\eta h_2 e^{i\alpha_2}$$

$$i\frac{h_1^2}{\cos\beta_1} e^{i\beta_1} + h_1 e^{i\alpha_1} = -ia e^{-i\delta} (\beta \cos\gamma + \eta \sin\gamma) \cos\gamma$$

$$i\eta \frac{h_2^2}{\cos\beta_2} e^{i\beta_2} + h_2 e^{i\alpha_2} = -ia e^{-i\delta} (\beta \cos\gamma + \eta \sin\gamma) \sin\gamma$$

$$i\beta \left( \frac{h_1^2}{\cos\beta_1} e^{i\beta_1} + a e^{-i\delta} \cos^2\gamma \right) + ia\eta \sin\gamma \cos\gamma e^{-i\delta} = -h_1 e^{i\alpha_1}$$

$$i\eta \left( \frac{h_2^2}{\cos\beta_2} e^{i\beta_2} + a e^{-i\delta} \sin^2\gamma \right) + ia\beta \sin\gamma \cos\gamma e^{-i\delta} = -h_2 e^{i\alpha_2}$$

$$\beta = \frac{i h_1 e^{i\alpha_1} B_2 - i h_2 e^{i\alpha_2} B_{12}}{B_1 B_2 - B_{12}^2} \quad \times 2i h_1 e^{i\alpha_1}$$

$$\eta = \frac{i h_2 e^{i\alpha_2} B_1 - i h_1 e^{i\alpha_1} B_{12}}{B_1 B_2 - B_{12}^2} \quad \times 2i h_2 e^{i\alpha_2}$$

$$\frac{-h_1^2 e^{2i\alpha_1} B_2 + h_2^2 e^{2i\alpha_2} B_1}{2(B_1 B_2 - B_{12}^2)} = e^{2i\alpha_2} - e^{2i\alpha_1}$$

$$\left( \frac{2h_2^2 B_1}{B_1 B_2 - B_{12}^2} - 1 \right) e^{2i\alpha_2} = \left( \frac{2h_1^2 B_2}{B_1 B_2 - B_{12}^2} - 1 \right) e^{2i\alpha_1}$$

$$\Delta = B_1 B_2 - B_{12}^2 = \left( \frac{h_1^2}{\cos\beta_1} e^{i\beta_1} + a e^{-i\delta} \cos^2\gamma \right) \left( \frac{h_2^2}{\cos\beta_2} e^{i\beta_2} + a e^{-i\delta} \sin^2\gamma \right) - a^2 \sin^2\gamma \cos^2\gamma e^{-2i\delta}$$

$$\Delta = \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1 \cos \beta_2} e^{i(\beta_1 + \beta_2)} + a e^{-i\delta} \left( \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} e^{i\beta_1} e^{i\alpha_1} + \frac{h_2^2}{\cos \beta_2} e^{i\beta_2} e^{i\alpha_2} \right)$$

$$2h_2^2 B_1 - \Delta = 2h_2^2 \left( \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} e^{i\beta_1} + a e^{-i\delta} e^{i\alpha_1} \right) - \Delta$$

$$= \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1} e^{i\beta_1} \left( 2 - \frac{e^{i\beta_2}}{\cos \beta_2} \right) + a h_2^2 e^{-i\delta} e^{i\alpha_1} \left( 2 - \frac{e^{i\beta_2}}{\cos \beta_2} \right)$$

$$e^{i\alpha_2} = \frac{h_2^2 e^{-i\beta_2}}{\cos \beta_2} \left[ \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} e^{i\beta_1} + a e^{-i\delta} e^{i\alpha_1} \right] \Rightarrow \frac{a h_1^2 e^{i\beta_1} e^{i\alpha_1}}{\cos \beta_1}$$

$$2h_1^2 B_2 - \Delta = 2h_1^2 \left( \frac{h_2^2}{\cos \beta_2} e^{i\beta_2} + a e^{-i\delta} e^{i\alpha_2} \right) - \Delta$$

$$= \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_2} e^{i\beta_2} \left( 2 - \frac{e^{i\beta_1}}{\cos \beta_1} \right) + a h_1^2 e^{-i\delta} e^{i\alpha_2} \left( 2 - \frac{e^{i\beta_1}}{\cos \beta_1} \right)$$

$$+ \frac{a h_2^2 e^{i\beta_2} e^{i\alpha_2}}{\cos \beta_2}$$

$$= \frac{h_1^2 e^{-i\beta_1}}{\cos \beta_1} B_2 - \frac{a h_2^2 e^{i(\beta_2 - \delta)}}{\cos \beta_2} \left| e^{2i\alpha_1} \right.$$

$$e^{2i\alpha_2} \left. \begin{aligned} 2h_2 B_1 - \Delta &= \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1 \cos \beta_2} e^{i(\beta_1 - \beta_2)} + a e^{-i\delta} \left( \frac{h_2^2 e^{-i\beta_2}}{\cos \beta_2} e^{i\alpha_1} - \frac{h_1^2 e^{i\beta_1}}{\cos \beta_1} e^{i\alpha_2} \right) \end{aligned} \right\}$$

$$e^{2i\alpha_1} \left. \begin{aligned} 2h_1 B_2 - \Delta &= \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1 \cos \beta_2} e^{i(\beta_2 - \beta_1)} + a e^{-i\delta} \left( \frac{h_1^2 e^{-i\beta_1}}{\cos \beta_1} e^{i\alpha_2} - \frac{h_2^2 e^{i\beta_2}}{\cos \beta_2} e^{i\alpha_1} \right) \end{aligned} \right\}$$

$$C = \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1 \cos \beta_2}, \quad D = \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} e^{-i\beta_1} e^{i\alpha_1} - \frac{h_2^2}{\cos \beta_2} e^{i\beta_2} e^{i\alpha_2}$$

$$C e^{i(2\alpha_2 + \beta_1 - \beta_2)} - a e^{-i\delta + 2i\alpha_2} D = C e^{i(2\alpha_1 + \beta_2 - \beta_1)} + D a e^{-i\delta + 2i\alpha_1}$$

$$a e^{-i\delta} (D e^{2i\alpha_1} + \bar{D} e^{2i\alpha_2}) = C (e^{i(2\alpha_2 + \beta_1 - \beta_2)} - e^{i(2\alpha_1 + \beta_2 - \beta_1)})$$

$$D e^{2i\alpha_1} + \bar{D} e^{2i\alpha_2} = \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} \mu^2 \gamma (e^{2i\alpha_1 - i\beta_1} + e^{i\beta_1 + 2i\alpha_2})$$

$$- \frac{h_2^2}{\cos \beta_2} \cos^2 \gamma (e^{2i\alpha_1 + i\beta_2} + e^{2i\alpha_2 - i\beta_2})$$

$$a e^{-i\delta} = \frac{e^{i(2\alpha_2 + \beta_1 - \beta_2)} - e^{i(2\alpha_1 + \beta_2 - \beta_1)}}{\frac{\cos \beta_2 \mu^2 \gamma}{h_2^2} (e^{i(2\alpha_1 - \beta_1)} + e^{i(2\alpha_2 + \beta_1)}) - \frac{\cos \beta_1}{h_1^2} \cos^2 \gamma (e^{i(2\alpha_1 + \beta_2)} + e^{i(2\alpha_2 - \beta_2)})}$$

$$\frac{\cos \beta_2 \mu^2 \gamma}{h_2^2} (e^{i(2\alpha_1 - \beta_1)} + e^{i(2\alpha_2 + \beta_1)})$$

$$- \frac{\cos \beta_1}{h_1^2} \cos^2 \gamma (e^{i(2\alpha_1 + \beta_2)} + e^{i(2\alpha_2 - \beta_2)})$$

$$\alpha_1 - \alpha_2 + \beta_2 - \beta_1 = \epsilon$$

$$2\alpha_1 - \beta_1 - 2\alpha_2 - \beta_1 + \beta_2$$

$$2\alpha_2 + \beta_1 - 2\alpha_2 - \beta_1 + \beta_2$$

$$a e^{-i\delta} = \frac{1 - e^{2i\epsilon}}{\frac{\cos \beta_2 \mu^2 \gamma}{h_2^2} (e^{2i\epsilon - i\beta_2} + e^{i\beta_2}) - \frac{\cos \beta_1}{h_1^2} \cos^2 \gamma (e^{2i\epsilon + i\beta_1} + e^{-i\beta_1})}$$

$$\frac{\cos \beta_2 \mu^2 \gamma}{h_2^2} (e^{2i\epsilon - i\beta_2} + e^{i\beta_2})$$

$$- \frac{\cos \beta_1}{h_1^2} \cos^2 \gamma (e^{2i\epsilon + i\beta_1} + e^{-i\beta_1})$$

$$= \frac{-i \mu^2 \epsilon}{\frac{\cos \beta_2 \mu^2 \gamma}{h_2^2} \cos(2\epsilon - \beta_2) - \frac{\cos \beta_1}{h_1^2} \cos^2 \gamma \cos(2\epsilon + \beta_1)}$$

$$\frac{\cos \beta_2 \mu^2 \gamma}{h_2^2} \cos(2\epsilon - \beta_2) - \frac{\cos \beta_1}{h_1^2} \cos^2 \gamma \cos(2\epsilon + \beta_1)$$

①  $a=0$  ならば  $\epsilon=0$  or  $\pi$

②  $f$  と  $i$  入れ替る  
 バネ, マスはあってもいい。  $\frac{1}{4} \mu^2 \gamma$  のみ

$$f = A = i \omega \frac{\mu}{R}$$

# 消波装置設計に関する覚書

1. 序

詳細な検討の目安として又幾ついた所を記す。

具体的な数値を考えるために

波周期  $T = 10 \text{ sec.}$  ,  $\omega = 1.678$  ,  $\omega^2 = 2.81$

波長  $\lambda = 156.1 \text{ m.}$

を基準として考えよう。

2. 懸留について

次の3つの方法が考えられる。

a) 海底に固定した構造物からリンリ装置で支える。

b) 索又は鎖による緊張懸留。

c) // 普通のルーズな懸留。

a) の場合は建設者が高くつくが「エネルギー」  
 吸収装置の装備は「<sup>おまじ</sup>簡単」であり、特に構造物が波を全反射する壁とするならば「<sup>のどちらか</sup>」  
 Milgram 方式となり、上下動又は左右動を「<sup>のどちらか</sup>」  
 消す事が出来るので「一層簡単」なる。

c) の場合は一般に懸留によつて重力振、  
 運動は殆ど影響が小さいので「近似的」  
 には懸留索の事を考えないでよい。

しかしこの場合は「エネルギー」吸収装置を

内蔵しなければ"ならぬ"がその残構と問題が残る。

b)の場合には繫留力によって浮体の運動を積極的に変化させる事を考える場合で当然その力は大きくなりロープ又はチェーンの強度が問題となってくる。

なお繫留の場合の定常力は浮体の漂流力を支えれば足りるから幅Lあたりで

$$F = \frac{\rho}{2} g a^2 \cdot L \quad \begin{matrix} L=100m \\ a=1m \end{matrix} \rightarrow 50 \text{ tons}$$

エネルギー— 取出し装置は a)とc)の中間の難かしをとらう。

前の波消しでは  $\delta$  が定まり条件は  $\epsilon = n\pi$  で

$\tan \delta$  の条件は  $r$  式の分母が 0 の条件である。

同様に  $r$  に反射係数が 0 (漂流力 0) の条件を  
見出すことができる。

この時  $f$  が  $\frac{1}{4} \text{ピッチ}$  を含むと反射係数が 0 なくとも漂流力はあるので  $f$  は  $\frac{1}{4} \text{ピッチ}$  を含みえない。

3. 同期させるための浮体の大きさ 円筒状  
 半管 上下動の同期周波数は

$$\frac{\omega^2}{g} W(1+k) = \rho g A_w$$

$W = \rho \nabla$  排水重量,  $\nabla$ : 容積,  $k$ : 附加質量係数

$A_w$ : 水線面積

今  $\nabla = A_w \cdot d \cdot C_w$ ,  $d$ : 吃水,

よって

$$\frac{\omega^2}{g} d = K d = \frac{1}{(1+k) C_w}$$

よって

$$d = \frac{g}{2\pi(1+k) C_w}$$

よって 半径 1.56 m の筒では  $d = \frac{156}{6.28 \times 2 \times 1.785} = 15.8$  m.

で 約 16 m の 吃水となるが とうとう 浮体を小さく  
 する には  $k$  と  $C_w$  を 大きく すれば よい。

しかし そうすると 波なし 船型 となって 造形能力  
と 浮力 係数を 減らす ため には  
 が 小さくなり、 動揺 振幅 が 大きくなる ので

あまり 吃水を 小さく する 訳には 行かない。

実用 海面を 考えると <sup>2</sup>の 半径 1.56 m の筒では 吃水 が  
 深すぎ るように 思える ので やはり、 少くとも 箱船  
 程度 あるいは 丸い バルジ を 設置 した ような  
 波なし 船型 が 適当 であろう。



この時 船幅は狭くなるので 適当に狭くすればよい。

横ゆれ同期をとるには 水線面の幅が充分大きければ 重心点を調整してやればよい。

しかし 排水量を小さくしようとするとき 前述のように 水線幅は小さくなるので <sup>調整</sup>それが不可能 となって来るだろう。  
(メタセターが狭くなる)

そのような時は <sup>静的</sup>復原力の増加 ( $K_R$ の小さい波なし船型では 静的復原力が不足して 直立静正が不可能) の意味もかわって 又 胴とる本が整まらぬ。

この時は 間隔  $R$  が適当に大きければ 明らかに 横ゆれ周期は 上下動周期と同じになるので 上述の波なし船型を 2つ 並べればよいわけである。

4. エネルギー 増強について  
懸置方式が 2節 a) b) の場合は

- i) リンク・歯車カム 伝達
- ii) 油圧 ポンプ (生油・ソルターダック)

等により 容易に構成出来るように思われる。  
(効率よく)

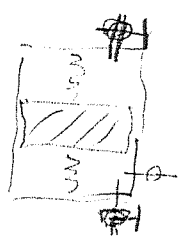
しかし c) 方式では

- i) 空気タービン  
実用されているが 空気タービンの効率は最高  
でも 72.80% であり 尚々 数十% に止まると考之  
られ、効率の点では不満足であるが  
機構的には簡單で保守も容易であろう。

- ii) 水タービン (イペラー)  
つまり 水中にプロペラを入れる方式であるが  
空気式と同程 効率は悪く、又空気式では  
空気の流速を速めてタービンの設計を樂にする本  
が出来るか、この方式では 水と浮体の相対流速  
に対して設計する本に於てプロペラの直径は大きく  
増値用軽くなり、機構的にも困難となり  
又保守も困難で見込みは悪い。

iii) 可動重量による方式

これは浮体内に大きい可動重量を懸着して、  
浮体の動揺によって生ずる加減速度で加減して  
それを動力として発電機をまわす方法である。  
この際もこの可動重量の振動によって油圧(空気)  
ポンプを駆動しその油圧(空気圧)を使って  
タービン・発電機をまわす方式と直接  
機械的に発電機をまわす方式と考えられる。  
あるいは又減衰しただけでエネルギーは取出不なり場合は  
は同様の空気(又は水または油)槽  
の中で可動重量は<sup>動的</sup>ピストンとしバルブ  
の調節により減衰を加減すればよい。  
いづれにしても減衰又は外部への仕事量は  
重量物の振幅が大きい程大きいから  
可動重量にはバネを附して浮体の動揺と  
同調させておく事が望ましい。

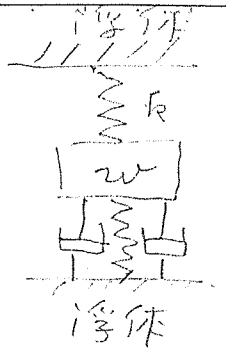


以下 2小について 少し考察する  
なお重量物の往復運動のかわりに回転偏心重量  
も考えられこれは増速歯車により直接発電機を  
駆動出来るが弾み車の重量まで考えると重量の点で

可動重量の運動方程式は模式的に

$$\frac{w}{g} \ddot{z} + \mu \dot{z} + k z = -\frac{w}{g} \ddot{Z}$$

ここで  $w$ : 可動重量  
 $k$ : バネ定数  
 $\mu$ : 減衰  
 $z$ :  $w$  の浮体に対する相対変位  
 $Z$ : 浮体の変位



浮体に働く力  $F$  は

$$F' = -(\mu \dot{z} + k z) = +\frac{w}{g} (\ddot{z} + \dot{z})$$

であるが  $w$  が浮体と共に動く時の慣性力  $\frac{w}{g} \ddot{Z}$  は浮体の運動方程式の方に入れて考える事にするとそれを差引いた力  $F$  は

$$F = \frac{w}{g} \ddot{z}$$

となり又  $k$  は同調する様に

$$k = \frac{w^2}{g}$$

と選ぶことにすると

$$\ddot{z} = -\frac{w}{\mu} \ddot{Z}, \quad \dot{z} = -i \frac{w}{\mu} \dot{Z}$$

$$F = i \frac{w^3}{\mu} \left(\frac{w}{g}\right)^2 \dot{Z}$$

一週間の間に質量物の単位時間に消費仕事は

$$P = \frac{\mu}{T} \int_0^T \dot{z}^2 dt = \frac{\mu}{2} \omega^2 |\dot{z}|^2$$

これを表すと

$$P = \frac{M}{2} \omega^2 \left( \frac{20}{\mu g} \right)^2 |z|^2 = \frac{\omega^4 W^2}{2 \mu g^2} |z|^2$$

入射波 (幅  $L$  の波) が単位時間当たり運んで来るエネルギー

は

$$E_W = \frac{\rho g^2 a^2 L}{4 \omega} = \frac{\rho g a^2 V_{ph} L}{4}, \quad \begin{array}{l} a: \text{波振幅} \\ V_{ph}: \text{波速} \end{array}$$

であるから、これを全部吸収するには

$$P = E_W, \quad \frac{\omega^4 W^2}{2 \mu g^2} |z|^2 = \frac{\rho g^2 a^2 L}{4 \omega}$$

$$\frac{\omega W}{\rho g} = \mu = \frac{2 \omega^5 W^2}{\rho g^4 L} |z|^2, \quad W = \frac{M \rho g^4 L |a|}{2 \omega^5 |z|^2}$$

$$W = \sqrt{\frac{\rho M L}{2 \omega}} \cdot g a / |kz|$$

それ故に所要質量  $W$  は  $kz = \frac{\omega^2 z}{g}$ , つまりその加速度と重力の加速度の比が大きいか小さくなる、 $\mu$  が小さいほど小さくなる。

しかしこの後者の条件は  $\mu$  が小さいとき  $z$  が大きくなるのである制限を附す必要がある。

今

$$\left| \frac{z}{a} \right| = \frac{\omega W}{\mu g} = \beta < 1$$

とおくと

$$W = \frac{\rho g L a^2}{2 \beta} \left| \frac{1}{kz} \right|^2$$

したが  $\beta = \frac{1}{2}$  ,  $\frac{K|z|}{R} = \frac{\omega^2}{g} |z| = \dots$  ,  $\omega = 1/m$  ,  $A = 186m$

とすると  $w = \frac{100}{\dots}$  ,  $t_{max} = 10000 tons$

とすると非現実的つまり浮体の重量が非常に大きく  
(10000t程度) となり、不可能である。

そこで  $\beta > 1$  とし 船型は流ないして  $z$  を大きくして  
 $K|z| \approx 1$  程度にしてもなお  $w \approx 1000 tons$  の「 $\beta$ 」  
となり実現はむづかしい。

このような考察から結局の所浮体自身の重量を  
使わねばならない事がわかる。


したが 浮遊式の場合は流ない双胴として  
動揺振動を大きくし 双胴の相対運動  
によって発電機をまわす方式が望ましい。

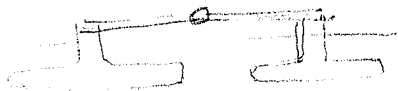
この時相対変位を大きく保つためには  
双胴間隔はかなり大きく 例えは  $\frac{1}{4}$   
位は離さねばならない。

この時既在の案(右図)のような  
形式では工合が悪いらしい。



この事を理解するためには逆時間定理によって考えればよいため、つまり逆にこの運動によって起きる波の大きさはあまり大きくなりそうもない。

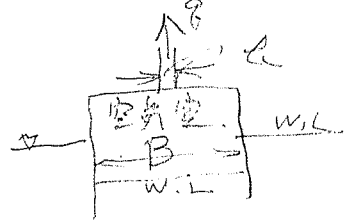
それ故 hinge pt. は充分高くしておける。右図  のような風に運動させる方が得策であろう。

勿論筏のような浮体の場合は前頁のようなものかよいであろうか。その時は最初の考察から水線面積が大きく変化する形状となりやはり感じ  からいって上図の形式の方が造波性能はよりよいと思われる。

このように考えて来ると浮遊式の場合エネルギーを吸収する方法について充分検討の要がある。

つまり動搖の周期は大変大きく又振幅もさ程大きくないので、そのような運動によって波のエネルギーを吸収するには大きい力又はモーメント(浮体の重量程度)を利用せざるを得ない点を充分考慮しておかねばならない。

そのような検討の例として空気の空気を考えて見よう。  
 図のように空気室があつて(断面は垂直方向  
 に厚さ \$a\$) 空気は幅 \$B\$ のパイプを通過して  
 大気中に又はタービンに流入するものとする。



その損失又は仕事率は

$$P = \frac{1}{2} \rho a v^3 \int_0^L \frac{1}{b} dt = \frac{\rho a}{3\pi} \int_0^L v^3 db$$

\$\rho a\$ : 空気密度, \$\int\$ : 水面損失係数

これから  $E_w = \frac{P}{\rho} = \frac{1}{4} v^2 \frac{a^2}{\omega} \int$  に等しいとする

$$\frac{v^3}{b} = \frac{3\pi \rho g^2 a^2}{4 \omega b \int \rho a} \quad \begin{matrix} a=1, \rho=1.25 \\ b=1, \int=1 \\ \lambda=1.66m \end{matrix} \rightarrow 3.2 \times 10^5$$

$v \approx 68 \text{ m/s}$

この時の空気室の圧力は(大気圧との差)

$$\Delta p = \rho v^2 = 289 \text{ kg/m}^2 \quad (289 \text{ mm Hg})$$

この程度の水面浮位は充分期待出来る。  
 (又この程度では空気は非圧縮性と考えてよい)

一方連続の定理から水面変位を \$z\$ とすると

$$\bar{v} z = \frac{1}{2} B = \omega z B, \quad z = \frac{\bar{v}}{\omega} \frac{1}{B} \approx 108 \frac{a}{B} \text{ m}$$

つまり \$B=20\text{m}\$ としても \$z=5.4\text{m}\$ と有り一寸実現

しそうなもの。

よってこの方式ではこの点充分検討して置く必要



があるし、又空気室は充分大きくなければならぬ。

この場合は密度  $\rho_a$  を大きくしてもあまり変化はない。

ここで思い合わせたいのは、アーチーピロウシグナルの例でその場合もあまり思わしくなりの減衰が思うように大きくなりなないためである。

もう一つの例として消波の巻に平板(幅  $B$ )の抵抗による少シピロウシグナルを得る方法を考えて見よう。

その抵抗係数を  $C_D$  とすると前同様消エネルギーを

吸収するには振幅を  $z$  として

$$\frac{z}{3\pi} \rho C_D |\omega z|^3 B = \frac{\rho g^2 a^2}{4 \omega^2}$$

$$z^3 = \frac{3\pi g^2 a^2}{4 C_D \omega^2 B} \cdot \frac{B=10, a=1}{C_D=1.2} \rightarrow 130$$

$$z \approx 5 \text{ m}$$

となるので一寸無理だろう。

又を適当な値にするためには  $B$  を桁違いに大きくしなければならぬ。

この事は波のエネルギーを渦減衰で消費するのは大変難かしい事を示しているのかもしれない。

それ故に消波構造では誘導渦がのこる条件を利用する方がよさそう。

# 運動方程式の原点の選び方

左右対称な浮体では上下運動は独立だから  
Sway と roll は干渉して.

$$\left. \begin{aligned} C_1 K X + f_{13} K \theta &= H_1^+ \\ C_3 K \theta + f_{13} K X &= H_3^+ \end{aligned} \right\}$$

$$C_1 = \nabla + f_{11}, \quad C_3 = I + f_{33} - \frac{m}{K} \nabla$$

$$H_3^+ = -l_w H_1^+ \quad \text{で } l_w \text{ は実である (符号他と少し異なる)}$$

であるから  $H_1^+$  を消去すると

$$K X (C_1 l_w + f_{13}) + (f_{13} l_w + C_3) K \theta = 0$$

$$\text{つまり } \frac{X}{\theta} = - \frac{C_3 + f_{13} l_w}{C_1 l_w + f_{13}} = -r$$

で "減衰が" は "のみよるならば" (は消 (条件のよるとき))

これは実である。

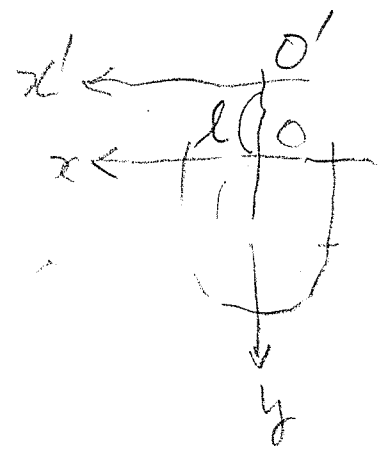
今座標の原点を  $l$  だけずらすと  $O'$  の位置で sway は

$$X' = X + l \theta$$

これを方程式に代入すると

$$\left( \frac{f_{13} - C_1 r}{l - r} \right) K X' = H_1^+ \quad \left. \vphantom{\left( \frac{f_{13} - C_1 r}{l - r} \right) K X' = H_1^+} \right\}$$

$$\text{or } [f_{13} - C_1 r] K \theta = H_1^+ \quad \left. \vphantom{[f_{13} - C_1 r] K \theta = H_1^+} \right\}$$



それ故  $l=r$  とすると

$$X' = X + r\theta = 0$$

となり  $O'$  点は左右に動かない点 (ローリング中心) であるから <sup>この点で</sup> 浮体を左右に拘束しても運動に変化はない。

この時運動方程式は 3 式の通り

$$K\theta = H_1^+ / [f_{13} - C_1 r],$$

のみで  $X'$  は 0 であるから出て行く波は

$$A_T - A_R = \frac{H_1^+}{H_1^+} + 2iK\theta H_3^+,$$

のようになる。

次に  $l = lw$  と置くと

$$KX'(C_1 lw + f_{13}) + K\theta(C_3 - lw C_1) = 0, \quad (?)$$

$$\text{即ち } X' = + (lw - r)\theta$$

$$KX' C_1' = H_1^+ //, \quad C_1' = \frac{C_1 r - f_{13}}{r - l},$$

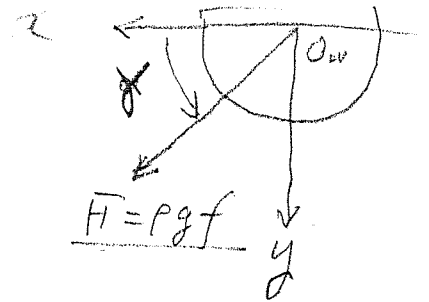
のようになり  $O'$  点のまわりの回転によって波は起きない (ローリング中心) ので出て行く波はやはり

$$A_T - A_R = \frac{H_1^+}{H_1^+} + 2iKX' H_1^+,$$

となって簡単になる。

Tight Mooring 1 = 5 12 13 12 12 12

$$\left. \begin{aligned} -KX C_1 &= -H_1 + f \cos \delta \\ -KY C_2 &= -H_2 + f \sin \delta \end{aligned} \right\}$$



$$f = -K(X \cos \delta + Y \sin \delta) A$$

$$A = \frac{R + i \omega \mu}{K}$$

$$C_j = -i h_j^2 \sec \beta_j e^{i \beta_j} \left. \begin{aligned} & \\ & \end{aligned} \right\} j=1, 2$$

$$H_j^+ = h_j e^{i \alpha_j}$$

$$h_j = |H_j^+|$$

$$KX = \xi, \quad KY = \eta$$

$$i \xi h_1^2 \sec \beta_1 e^{i \beta_1} + h_1 e^{i \alpha_1} = f \cos \delta$$

$$i \eta h_2^2 \sec \beta_2 e^{i \beta_2} + h_2 e^{i \alpha_2} = f \sin \delta$$

$$\xi h_1 \left( \frac{i \xi h_1}{\cos \beta_1} e^{i \beta_1} + e^{i \alpha_1} \right) = \xi h_2 \left( i \eta \frac{h_2}{\cos \beta_2} e^{i \beta_2} + e^{i \alpha_2} \right) \cot \delta$$

$$\tan \delta = \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} \left( \frac{i \eta h_2 e^{i \beta_2} + \cos \beta_2 e^{i \alpha_2}}{i \xi h_1 e^{i \beta_1} + \cos \beta_1 e^{i \alpha_1}} \right)$$

伝達条件は

$$\xi = \frac{i e^{i \alpha_1}}{2 h_1}$$

$$\eta = \frac{i e^{i \alpha_2}}{2 h_2}$$

$$e^{i \alpha_j} (i \cos \beta_j)$$

$$\therefore \tan \delta = \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} \left( \frac{-e^{i(\alpha_2 + \beta_2)} + 2 \cos \beta_2 e^{i \alpha_2}}{-e^{i(\alpha_1 + \beta_1)} + 2 \cos \beta_1 e^{i \alpha_1}} \right)$$

$$= \frac{H_2^+}{H_1^+} \frac{\cos \beta_1}{\cos \beta_2} \frac{e^{-i \beta_2}}{e^{-i \beta_1}} = \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} e^{i(\alpha_2 - \beta_2)} e^{-i(\alpha_1 - \beta_1)}$$

$\gamma$ : real  $\tau$  あり  $\alpha$  の  $1/2$

$$\alpha_2 - \beta_2 - (\alpha_1 - \beta_1) = n\pi, \quad n=0, \pm 1, \pm 2.$$

$$f \cos \gamma = \left( -\frac{h_1}{2} \sec \beta_1 e^{i\beta_1} + h_1 \right) e^{i\alpha_1}$$

$$= \frac{h_1}{2} \frac{e^{i\alpha_1}}{\cos \beta_1} \cdot e^{-i\beta_1} \quad \cos \gamma$$

$$f \sin \gamma = \frac{h_2}{2} \frac{e^{i(\alpha_2 - \beta_2)}}{\cos \beta_2} \quad \sin \gamma$$

$$f = \frac{h_1}{2 \cos \beta_1} e^{i(\alpha_1 - \beta_1)} \cos \gamma + \frac{h_2}{2 \cos \beta_2} e^{i(\alpha_2 - \beta_2)} \sin \gamma$$

$$e^{i(\alpha_2 - \beta_2)} = e^{i(\alpha_1 - \beta_1) + i n \pi}$$

$$f = \frac{e^{i(\alpha_1 - \beta_1)}}{2} \left[ \frac{h_1}{\cos \beta_1} \cos \gamma + \frac{h_2 \sin \gamma}{\cos \beta_2} e^{i n \pi} \right]$$

$$= -A \left( \frac{3}{2} \cos \gamma + \frac{1}{2} \sin \gamma \right) = -\frac{iA}{2} \left( \frac{e^{i\alpha_1}}{h_1} + \frac{e^{i\alpha_2}}{h_2} \right)$$

$$A = i a e^{-i\delta} = \frac{1}{K} (i \mu \omega + k)$$

$$a e^{-i\delta} = \frac{e^{i(\alpha_1 - \beta_1)}}{\frac{e^{i\alpha_1}}{h_1} + \frac{e^{i\alpha_2}}{h_2}} \left[ \frac{h_1}{\cos \beta_1} \cos \gamma + \frac{h_2 \sin \gamma}{\cos \beta_2} e^{i n \pi} \right]$$

$$a e^{-i\delta} = e^{i(\alpha_1 - \beta_1)} \left[ \frac{\frac{h_1}{\cos \beta_1} + \frac{h_2}{\cos \beta_2} e^{i n \pi} \times \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} e^{i n \pi}}{\frac{e^{i\alpha_1}}{h_1} + \frac{e^{i\alpha_2}}{h_2} + \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos \beta_2} e^{i n \pi}} \right]$$

$$\begin{aligned}
 a e^{-i\delta} &= e^{i(\alpha_1 - \beta_1)} \left[ \frac{h_1}{\cos \beta_1} + \frac{h_2 \cos \beta_1}{-h_1 \cos^2 \beta_2} \right] \quad h_1 \cos^2 \beta_2 \cos \beta_1 \\
 &= e^{-i\beta_1} \left[ \frac{e^{i\alpha_1}}{h_1} + \frac{h_2 \cos \beta_1}{h_1 \cos^2 \beta_2} e^{i(\alpha_2 + n\pi)} \right] \quad h_1 \cos^2 \beta_2 \\
 &= e^{-i\beta_1} \left[ \frac{h_1^2 \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} + h_2 \frac{\cos \beta_1}{\cos \beta_2}}{1 + \cos \beta_1 e^{i(\alpha_2 - \alpha_1 + n\pi)}} \right]
 \end{aligned}$$

$$a e^{-i\delta} = \frac{h_1^2 \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} + h_2 \frac{\cos \beta_1}{\cos \beta_2}}{e^{i\beta_1} + e^{i\beta_2} \cos \beta_1} //$$

透過波が0になるための条件

$$e^{2i\alpha_1} + 2i\frac{h_1^2}{3}e^{i\alpha_1} = e^{2i\alpha_2} + 2i\eta h_2 e^{i\alpha_2}$$

$$i\frac{h_1^2}{3}e^{i\beta_1} + h_1 e^{i\alpha_1} = -ia e^{-i\delta} (\frac{1}{3}\cos\delta + \eta h_1 \sin\delta) \cos\delta$$

$$i\eta h_2 e^{i\beta_2} + h_2 e^{i\alpha_2} = -ia e^{-i\delta} (\frac{1}{3}\cos\delta + \eta h_2 \sin\delta) \sin\delta$$

$$i\frac{1}{3} \left( \frac{h_1^2}{\cos\beta_1} e^{i\beta_1} + a e^{-i\delta} \cos^2\delta \right) + ia\eta \sin\delta \cos\delta e^{-i\delta} = -h_1 e^{i\alpha_1}$$

$$i\eta \left( \frac{h_2^2}{\cos\beta_2} e^{i\beta_2} + a e^{-i\delta} \sin^2\delta \right) + ia\frac{1}{3} e^{-i\delta} \sin\delta \cos\delta = -h_2 e^{i\alpha_2}$$

$$\frac{1}{3} = \frac{i h_1 e^{i\alpha_1} B_2 - i h_2 e^{i\alpha_2} B_{12}}{B_1 B_2 - B_{12}^2} \quad \times 2i h_1 e^{i\alpha_1}$$

$$\frac{1}{3} = \frac{i h_2 e^{i\alpha_2} B_1 - i h_1 e^{i\alpha_1} B_{12}}{B_1 B_2 - B_{12}^2} \quad \times 2i h_2 e^{i\alpha_2}$$

$$\frac{-h_1^2 e^{2i\alpha_1} B_2 + h_2^2 e^{2i\alpha_2} B_1}{\frac{1}{2}(B_1 B_2 - B_{12}^2)} = e^{2i\alpha_2} - e^{2i\alpha_1}$$

$$\left( \frac{2h_2^2 B_1}{B_1 B_2 - B_{12}^2} - 1 \right) e^{2i\alpha_2} = \left( \frac{2h_1^2 B_2}{B_1 B_2 - B_{12}^2} - 1 \right) e^{2i\alpha_1}$$

$$\Delta = B_1 B_2 - B_{12}^2 = \left( \frac{h_1^2}{\cos\beta_1} e^{i\beta_1} + a e^{-i\delta} \cos^2\delta \right) \left( \frac{h_2^2}{\cos\beta_2} e^{i\beta_2} + a e^{-i\delta} \sin^2\delta \right) - a^2 \sin^2\delta \cos^2\delta e^{-2i\delta}$$

$$\Delta = \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1 \cos \beta_2} e^{i(\beta_1 + \beta_2)} + a e^{-i\delta} \left( \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} e^{i\beta_1} e^{i\alpha_1} + \frac{h_2^2}{\cos \beta_2} e^{i\beta_2} e^{i\alpha_2} \right)$$

$$2h_2^2 B_1 - \Delta = 2h_2^2 \left( \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} e^{i\beta_1} + a e^{-i\delta} e^{i\alpha_1} \right) - \Delta$$

$$= \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1} e^{i\beta_1} \left( 2 - \frac{e^{i\beta_2}}{\cos \beta_2} \right) + a h_2^2 e^{-i\delta} e^{i\alpha_1} \left( 2 - \frac{e^{i\beta_2}}{\cos \beta_2} \right)$$

$e^{i\alpha_2}$

$$= \frac{h_2^2 e^{-i\beta_2}}{\cos \beta_2} \left[ \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} e^{i\beta_1} + a e^{-i\delta} e^{i\alpha_1} \right] - \frac{a h_1^2 e^{i\beta_1} e^{i\alpha_1}}{\cos \beta_1}$$

$B_1$

$$2h_1^2 B_2 - \Delta = 2h_1^2 \left( \frac{h_2^2}{\cos \beta_2} e^{i\beta_2} + a e^{-i\delta} e^{i\alpha_2} \right) - \Delta$$

$$= \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_2} e^{i\beta_2} \left( 2 - \frac{e^{i\beta_1}}{\cos \beta_1} \right) + a h_1^2 e^{-i\delta} e^{i\alpha_2} \left( 2 - \frac{e^{i\beta_1}}{\cos \beta_1} \right)$$

$$+ \frac{a h_2^2 e^{i\beta_2} e^{i\alpha_2}}{\cos \beta_2} e^{i(\beta_2 - \delta)}$$

$$= \frac{h_1^2 e^{-i\beta_1}}{\cos \beta_1} B_2 - \frac{a h_2^2 e^{i(\beta_2 - \delta)}}{\cos \beta_2} \left| e^{2i\alpha_1} \right.$$

$e^{2i\alpha_2}$

$$2h_2 B_1 - \Delta = \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1 \cos \beta_2} e^{i(\beta_1 - \beta_2)} + a e^{-i\delta} \left( \frac{h_2^2 e^{-i\beta_2}}{\cos \beta_2} e^{i\alpha_2} - \frac{h_1^2 e^{i\beta_1}}{\cos \beta_1} e^{i\alpha_1} \right)$$

$e^{2i\alpha_1}$

$$2h_1 B_2 - \Delta = \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1 \cos \beta_2} e^{i(\beta_2 - \beta_1)} + a e^{-i\delta} \left( \frac{h_1^2 e^{-i\beta_1}}{\cos \beta_1} e^{i\alpha_1} - \frac{h_2^2 e^{i\beta_2}}{\cos \beta_2} e^{i\alpha_2} \right)$$

$$C = \frac{h_1^2 h_2^2}{\cos \beta_1 \cos \beta_2}, \quad D = \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} e^{-i\beta_1} e^{i\alpha_1} - \frac{h_2^2}{\cos \beta_2} e^{i\beta_2} e^{i\alpha_2}$$



$$c e^{i(2\alpha_2 + \beta_1 - \beta_2)} - a e^{-i\delta + 2i\alpha_2} = c e^{i(2\alpha_1 + \beta_2 - \beta_1)} + D a e^{-i\delta + 2i\alpha_1}$$

$$a e^{-i\delta} (D e^{2i\alpha_1} + \bar{D} e^{2i\alpha_2}) = c (e^{i(2\alpha_2 + \beta_1 - \beta_2)} - e^{i(2\alpha_1 + \beta_2 - \beta_1)})$$

$$D e^{2i\alpha_1} + \bar{D} e^{2i\alpha_2} = \frac{h_1^2}{\cos \beta_1} \mu^2 \gamma (e^{2i\alpha_1 + i\beta_1} + e^{i\beta_1 + 2i\alpha_2}) - \frac{h_2^2}{\cos \beta_2} \cos^2 \gamma (e^{2i\alpha_1 + i\beta_2} + e^{2i\alpha_2 - i\beta_2})$$

$$a e^{-i\delta} = \frac{e^{i(2\alpha_2 + \beta_1 - \beta_2)} - e^{i(2\alpha_1 + \beta_2 - \beta_1)}}{\frac{\cos \beta_2 \mu^2 \gamma}{h_2^2} (e^{i(2\alpha_1 - \beta_1)} + e^{i(2\alpha_2 + \beta_1)}) - \frac{\cos \beta_1}{h_1^2} \cos^2 \gamma (e^{i(2\alpha_1 + \beta_2)} + e^{i(2\alpha_2 - \beta_2)})}$$

$$\alpha_1 - \alpha_2 + \beta_2 - \beta_1 = \varepsilon$$

$$\begin{aligned} &+ \beta_2 \\ &\geq \alpha_1 - \beta_1 - 2\alpha_2 - \beta_1 + \beta_2 \\ &\geq \alpha_2 + \beta_1 - 2\alpha_2 - \beta_1 + \beta_2 \end{aligned}$$

$$a e^{-i\delta} = \frac{1 - e^{2i\varepsilon}}{\frac{\cos \beta_2}{h_2^2} \mu^2 \gamma (e^{2i\varepsilon - i\beta_2} + e^{i\beta_2}) - \frac{\cos \beta_1}{h_1^2} \cos^2 \gamma (e^{2i\varepsilon + i\beta_1} + e^{-i\beta_1})}$$

$$= \frac{-i \mu^2 \varepsilon}{\dots}$$

$$\frac{\cos \beta_2}{h_2^2} \mu^2 \gamma \cos(2\varepsilon - \beta_2) - \frac{\cos \beta_1}{h_1^2} \cos^2 \gamma \cos(2\varepsilon + \beta_1)$$

① a=0 ときは  $\varepsilon = 0$  or  $\pi$

② ~~バネ~~ バネ, マスはあるわけではない。タコバノの双

$$A = i \omega \frac{M}{K}$$

前の波満しでは  $\gamma$  が空の条件は  $\epsilon = n\pi$  で

$\gamma = \pi$  の条件は  $r$  式の分母が 0 の条件である。

同様に反射波がない (漂流力 0) の条件を  
見出す事が出来る。

この時  $f$  が "4 $\pi$ -ク" を含むと反射波がなく  
とも漂流力はあるので  $f$  は "4 $\pi$ -ク" を含まない。

## 波の全透過又は全反射の条件

反射波の振幅を  $A_R$ , 透過波を  $A_T$  (入射波を単位振幅) とすれば

$$\left. \begin{aligned} A_T + A_R &= \frac{H_2^+}{H_1^+} + 2iKYH_2^+ \\ A_R - A_T &= \frac{H_1^+}{H_1^+} + 2iKXH_1^+ \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

R-ルと sway は同位相故 今  $2i$  sway で代替せし。

運動方程式から

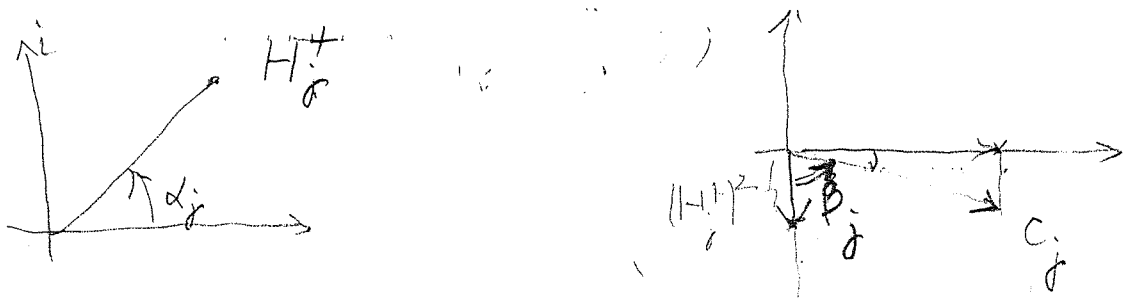
$$\left. \begin{aligned} KX &= H_1^+ / C_1 \\ KY &= H_2^+ / C_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \nabla + f_{11}c - \frac{R_1}{K} - i|H_1^+|^2 \\ C_2 &= \nabla + f_{22}c - \frac{B}{K} - i|H_2^+|^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

sway (2) (3) は 線原力が "なし" ので 新たなバネを附加する。

$$\text{今 } H_j^+ = |H_j^+| e^{i\alpha_j}, \quad j=1, 2, \quad (4)$$

$$C_j = -i|H_j^+|^2 \sec \beta_j e^{+i\beta_j} \quad (5)$$



故に

$$A_R + A_T = e^{2i\alpha_2} [1 - 2e^{-i\beta_2} \cos \beta_2]$$

$$A_R + A_T = -e^{2i(\alpha_2 + \beta_2)}$$

$$A_R - A_T = -e^{2i(\alpha_1 + \beta_1)} \quad \left. \vphantom{\begin{matrix} A_R + A_T = -e^{2i(\alpha_2 + \beta_2)} \\ A_R - A_T = -e^{2i(\alpha_1 + \beta_1)} \end{matrix}} \right\} \dots (6)$$

よって

$$A_R = 0$$

なるためには

$$e^{2i(\alpha_1 - \beta_1)} = -e^{2i(\alpha_2 - \beta_2)} \quad \left. \vphantom{e^{2i(\alpha_1 - \beta_1)} = -e^{2i(\alpha_2 - \beta_2)}} \right\} (7)$$

つまり

$$\alpha_1 - \beta_1 - (\alpha_2 - \beta_2) = \pm \frac{(2n+1)\pi}{2}, \quad n \text{ integer}$$

$$A_T = 0$$

なるためには

$$e^{2i(\alpha_1 - \beta_1)} = e^{2i(\alpha_2 - \beta_2)} \quad \left. \vphantom{e^{2i(\alpha_1 - \beta_1)} = e^{2i(\alpha_2 - \beta_2)}} \right\} (8)$$

$$\alpha_1 + \beta_1 - (\alpha_2 - \beta_2) = \pm n\pi, \quad n \text{ integer}$$

以上以外の減衰がないとこのように大要簡潔であって、

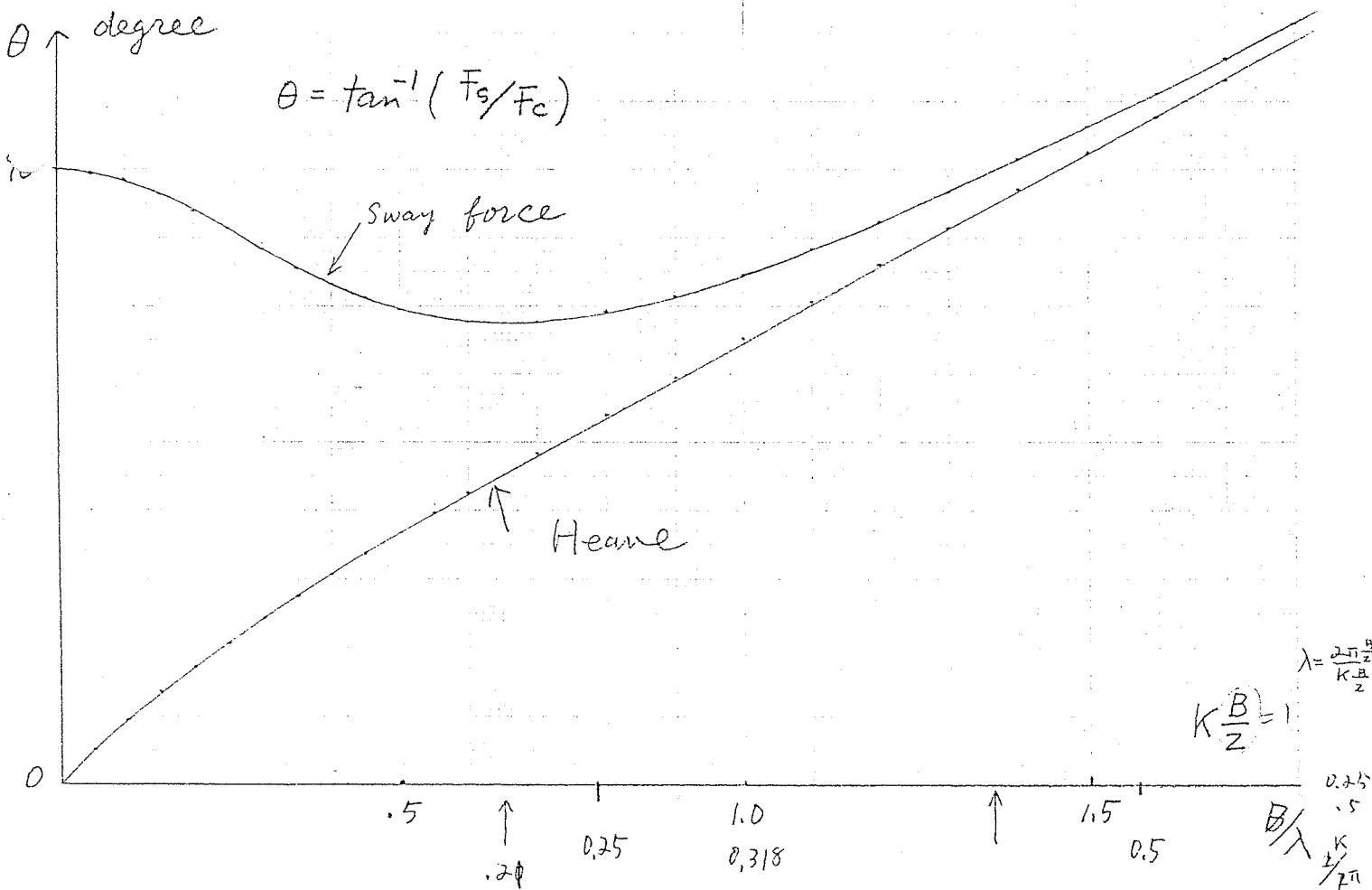
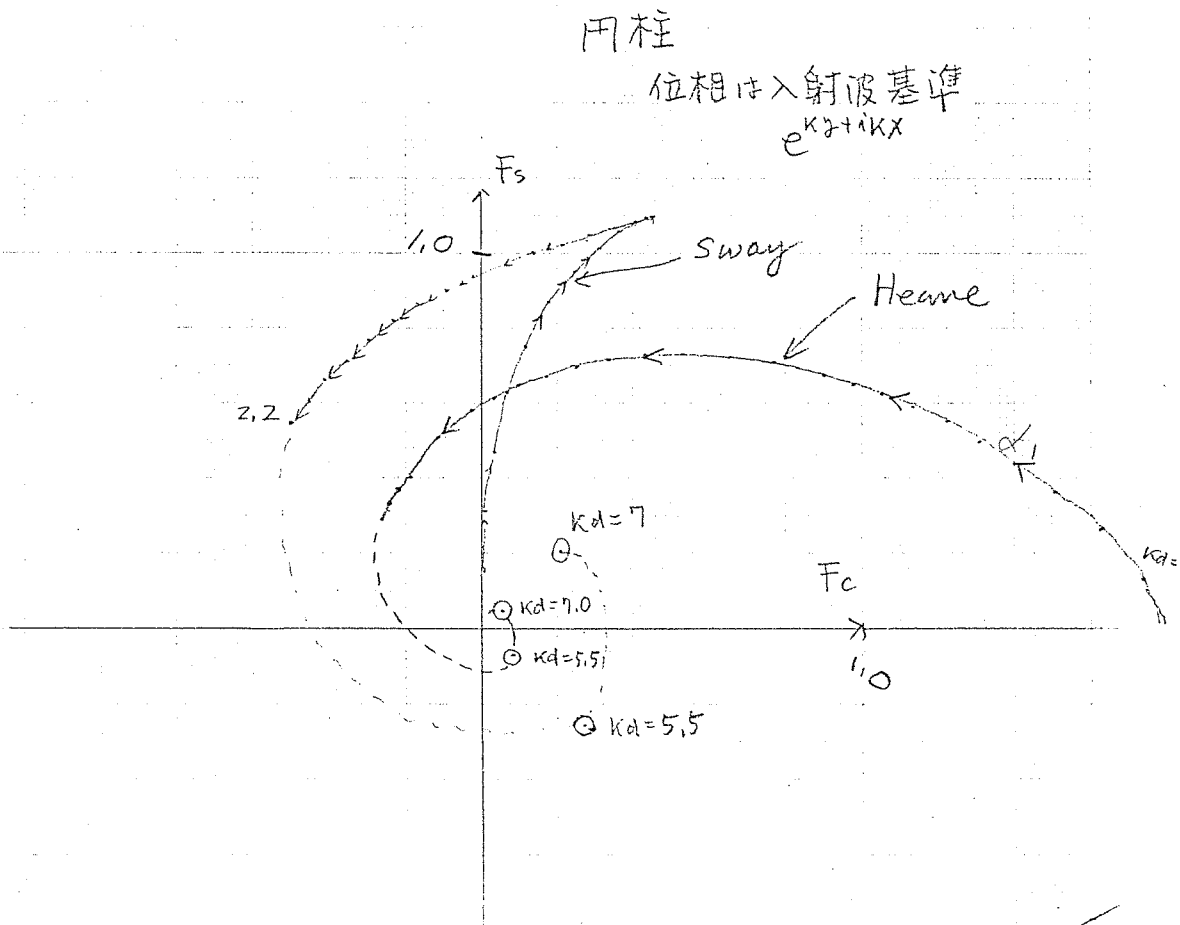
これらの式から結局今の場合ならバネ定数を

調整して全反射又は透過させる事が出来る

場合が多いように思われる。

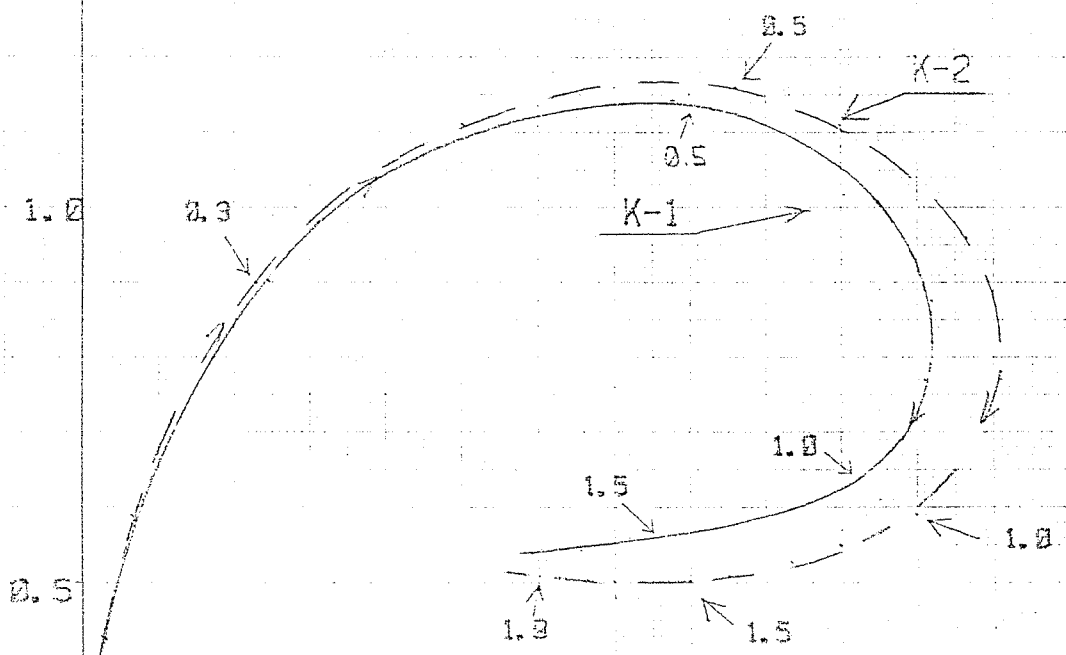
全透過すると漂流力はなくなる。

# 円柱の diffraction force



SWAY

$F_s$



0.5

1.0

$F_c$

HEAVE

$F_s$

0.5

K-1

0.1

0.5

1.0

K-2

0.05

1.0

1.5

1.5

-0.5

0.5

1.0

$F_c$

1.9

1.9

-0.05

