WE 11-66

No. 1

Date 55.2.18
2.22 増

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気のついた所を記す。

具体的な数値を考えるために
　波周期 $T = 10$ sec. , $\omega = .628$, $\frac{\omega^2}{g} = .0402$
　波長 $\lambda = 156.1$ m.

を基準として考えよう。

2. 繋留について
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ク装置で支える。
b) 索又は鎖による緊張繋留
c) 〃 普通のルーズな繋留

a) の場合は建設費が高くつくがエネルギー吸收装置の装備(および桟橋)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) の場合は一般に繋留によって動揺運動は殆ど影響されないので近似的には繋留索のそれを考えないでよい。

しかしこの場合はエネルギー吸收装置を

内蔵しなければならないがその機構と問題が残る。

b)の場合は繋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来る。

なお繋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

$$F = \frac{\rho}{2} g a^2 \cdot L \xrightarrow[a=1m]{L=100m} 50 \text{ tons}$$

エネルギー取出し装置はa)とc)の中間の難かしさとなろう。

3. 同調させるための浮体の大きさ形状

まず上下動の同調点は

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

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

A_w：水線面積,

今 $\triangledown = A_w \cdot d \cdot C_v$, d：吃水,

とおくと

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

それ故

$$d = \frac{\lambda}{2\pi (1+k) C_v}$$

となり半没円筒では $d \fallingdotseq \frac{156}{6.28 \times 2 \times .785} = 15.8$ m.

で約波長の1/10となるがもう少し浮体を小さくする為にはkとC_v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波能力が小さくなり、与えられた波を消すためには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も行かない。

実用海面を考えるとこの半没円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それにバルジを装置したような波なし船型が適当であろう。

この時 船幅は関係ないので適当に狭くすればよい。

横ゆれ同調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(メタセンターが低くなり)それが調整不可能となって来るだろう。

そのような時には静的復原力の増加(Kdの小さい波なし船型では静的復原力が不足して直立静止が不可能)の意味もかねて双胴とする事が望ましい。

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2つ並べればよいだけである。

4. エネルギー吸収について

離脱方式が 2節 a) b) の場合は

i) リンク・歯車カム 伝導

ii) 油圧ポンプ (歯車・ソルターダック)

等により容易に効率よく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

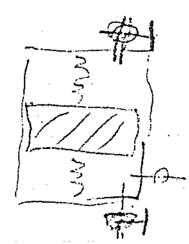
実用されているが空気タービンの効率は最高でも 70〜80% であり高々数十%に止まると考えられ、効率の点では不満足であるが機構的には簡単で保守も容易であろう。

ii) 水タービン (インペラー)

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楽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ペラの直径は大きく大変低回転となり、機構的にも困難となり又保守も困難で見込みはうすい。

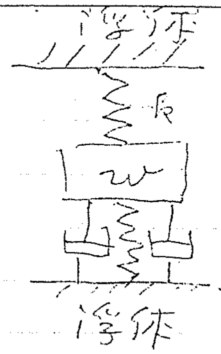
iii) 可動重量による方式

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
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。
あるいは又波消しだけでエネルギーは取出さない場合
は図のように空気(又は水または油)槽
の中で可動重量は自由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はりに回転偏心重量
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
不利なので考えない



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
μ; 減衰
ξ; 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る事に

するとそれを差引いた力 F は

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

となり又 k は同調するように

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

と選ぶ事にすると

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

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

一周期の間に重量物の単位時間になす仕事は

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

zで表わすと

$$P=\frac{\mu}{2}\omega^{6}\left(\frac{w}{\mu g}\right)^2|z|^2=\frac{\omega^4 w^2}{2\mu g^2}|z|^2$$

入射波（幅Lの間の）が単位時間当り運んで来るエネルギーは

$$E_w=\frac{\rho g^2 a^2}{4\omega}L=\frac{\rho g}{4}a^2 V_w L,$$ a：波振巾 V_w：波速

であるから これを全部吸收するには

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

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

$$w=\sqrt{\frac{\rho\mu L}{2\omega}}\,ga\Big/|Kz|$$

それ故所要重量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程小さくなり，μが小さい程小さくてよい。

しかし この後者の条件はμが小さいとζが大きくなるので ある制限を附す必要がある。

仍

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

とおくと

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

それ故　$\beta = \frac{1}{2}$，　$\frac{|z|}{a} = \frac{\omega^2}{g}\left|\frac{z}{a}\right| = .1$　，$a = 1m$, $\lambda = 156m$

とすると　$w = \frac{100}{.01}$ ton $= 10000$ tons

となって非現実的，つまり浮体の$\underbrace{\text{重量}}_{\text{(1000 ton 程度)}}$よりも大きくなる，不可能である。

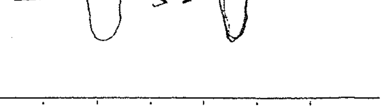
そこで $\beta > 1$ とし船型は浮なしにして z を大きくして $|z| \doteqdot 1$ 程度にしてもなお $w \doteqdot 1000$ tons のオーダーとなり実現はむつかしい。

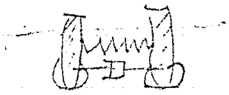
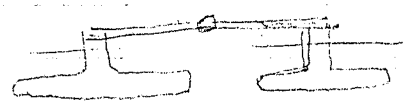
このような考察から結局の所浮体自身の重量を使わねばならない事がわかる。

それ故浮遊式の場合は浮なし双胴として動揺振巾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ば λ/4 位は離さねばなるまい。

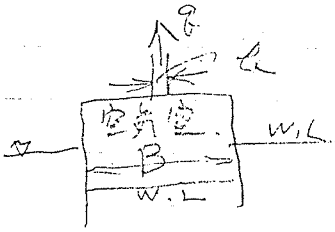
この時既在の案（右図）のような形式では工合が悪いだろう。



この事を理解するには逆陣同定理によって考えればよい。
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. は充分高くしてむしろ右図

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が
よいだろうが その時は最初の考察から水線面積の
大変小さい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いように
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 空気室式を考えて見よう。



図のように空気室があって(断面に垂直方向に単位長さ) 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

$$P = \frac{b\rho_a}{2}\xi\frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}}\bar{q}^3 dt = \frac{\rho_a}{3\pi}\xi\bar{q}^3 b$$

ρ_a：空気密度，ξ：水頭損失係数

これが $E_w = \frac{\rho}{4} g^2 \frac{a^2}{\omega}$ に等しいとすると

$$\bar{q}^3 = \frac{3\pi}{4}\frac{\rho g^2 a^2}{\omega b \xi \rho_a} \xrightarrow[b=1,\ \xi=1,\ \lambda=156m]{a=1,\ \rho=1/125} 3.2\times10^5$$

$\bar{q} \fallingdotseq 68$ m/s.

その時の空気室の圧力は(大気圧との差) 0.289

$$\Delta p = \frac{\rho_a}{2}\bar{q}^2 = 289\ \mathrm{kg/m^2}\ (289\ \mathrm{mm\ Aq})$$

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)
一方連続の定理から水面変位を z とすると

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

つまり $B=20m$ としても $z=5.4m$ となり一寸実現しそうもない。

それ故この方式ではこの点充分検討しておく必要

があるし，又空気室は充分大きくなければならない。

この情況は密度ρ_aを大きくしてもあまり変化はない。

こゝで思い合わされるのはアンチーピッチングタンクの例でその場合もあまり思わしくないのは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為に平板(幅B)の抵抗によってダムピング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収するには振巾をzとして

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

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

$$z \fallingdotseq 5\,m$$

となるので一寸無理だろう。

z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ない。

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であろう。

それ故 単なる消波装置では透過波が0となる条件を利用する方がよかろう。

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が

swayとrollは干渉して.

$$\left.\begin{aligned} C_1KX + f_{13}K\theta &= H_1^+ \\ C_3K\theta + f_{13}KX &= H_3^+ \end{aligned}\right\}$$

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

$H_3^+ = -l_w H_1^+$ で l_w は実である（符号他と少し違う）

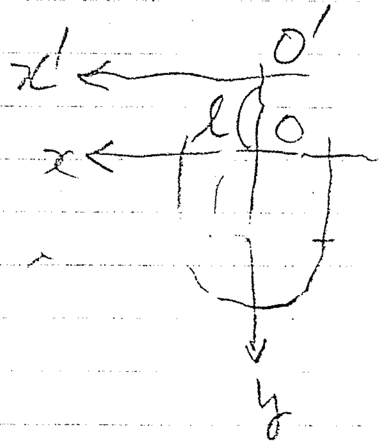
であるから H_1^+ を消去すると

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

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

で減衰が波にのみよるならば（波無し条件のあるなしも）

これは実である。



今座標の原点を l だけ

ずらすと O' に関する swayは

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

これを第1式に代入すると

$$\left.\begin{aligned} \left(\frac{f_{13} - C_1 r}{l - r}\right)KX' &= H_1^+ \\ \text{or} \quad [f_{13} - C_1 r]K\theta &= H_1^+ \end{aligned}\right\}$$

それなら $l=r$ 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 この点で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次の式となり

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

のみで x' は 0 であるから出て行く波も

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

のようになる。

次に $l = l_w$ と選ぶと

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

即ち $x' = +(l_w - r)\theta$

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

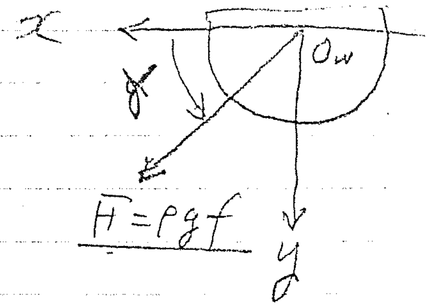
のようになり O' 点のまわりの回転によって波は起きない（ロール波なし点）ので出て行く波はやはり

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

となって簡単になる。

Tight Mooringによる波消について

$$\left.\begin{aligned}-KXC_1 &= -H_1 + f\cos\gamma\\ -KYC_2 &= -H_2 + f\sin\gamma\end{aligned}\right\}$$



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

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

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

$$h_j = |H_j^+|$$

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

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

sin
cos γ

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

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

波消し条件は

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

$e^{i\alpha_2}(i\cos\beta_2$

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

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

γ : real であるためには

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$\sin\gamma$

$\cos\gamma$

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

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

$h_1 \cos^2\beta_2 \cos\beta_1$

$h_1 \cos\beta_2$

$$= e^{-i\beta_1}\left[\frac{h_1^2\frac{\cos\beta_2}{\cos\beta_1} + h_2^2\frac{\cos\beta_1}{\cos\beta_2}}{1 + \cancel{}\cos\beta_1 e^{i(\alpha_2-\alpha_1+n\pi)}}\right]$$

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

透過 i は が 0 に なるためには

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

$$\left.\begin{aligned} i\xi\frac{h_1^2}{\cos\beta_1}e^{i\beta_1} + h_1 e^{i\alpha_1} &= -iae^{-i\delta}(\xi\cos\gamma + \eta\sin\gamma)\cos\gamma \\ i\eta\frac{h_2^2}{\cos\beta_2}e^{i\beta_2} + h_2 e^{i\alpha_2} &= -iae^{-i\delta}(\xi\cos\gamma + \eta\sin\gamma)\sin\gamma \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} i\xi\overbrace{\left(\frac{h_1^2}{\cos\beta_1}e^{i\beta_1} + ae^{-i\delta}\cos^2\gamma\right)}^{B_1} + ia\eta\overbrace{\sin\gamma\cos\gamma e^{-i\delta}}^{B_{12}} &= -h_1 e^{i\alpha_1} \\ i\eta\left(\frac{h_2^2}{\cos\beta_2}e^{i\beta_2} + \overbrace{ae^{-i\delta}\sin^2\gamma}^{B_2}\right) + ia\xi e^{-i\delta}\sin\gamma\cos\gamma &= -h_2 e^{i\alpha_2} \end{aligned}\right\}$$

$$\xi = \frac{ih_1 e^{i\alpha_1}B_2 - ih_2 e^{i\alpha_2}B_{12}}{B_1B_2 - B_{12}^2}. \qquad \times 2ih_1 e^{i\alpha_1}$$

$$\eta = \frac{ih_2 e^{i\alpha_2}B_1 - ih_1 e^{i\alpha_1}B_{12}}{B_1B_2 - B_{12}^2}. \qquad \times 2ih_2 e^{i\alpha_2}$$

$$\frac{-h_1^2 e^{2i\alpha_1}B_2 + h_2^2 e^{2i\alpha_2}B_1}{\frac{1}{2}(B_1B_2 - B_{12}^2)} = e^{2i\alpha_2} - e^{2i\alpha_1}$$

$$\left(\frac{2h_2^2B_1}{B_1B_2 - B_{12}^2} - 1\right)e^{2i\alpha_2} = \left(\frac{2h_1^2B_2}{B_1B_2 - B_{12}^2} - 1\right)e^{2i\alpha_1}$$

$$\Delta = B_1B_2 - B_{12}^2 = \left(\frac{h_1^2}{\cos\beta_1}e^{i\beta_1} + ae^{-i\delta}\cos^2\gamma\right)\left(\frac{h_2^2}{\cos\beta_2}e^{i\beta_2} + ae^{-i\delta}\sin^2\gamma\right)$$
$$- a^2\sin^2\gamma\cos^2\gamma e^{-2i\delta}$$

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

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

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

$e^{i\alpha_2}$

$$= \frac{h_2^2 e^{-i\beta_2}}{\cos\beta_2}\underbrace{\left[\frac{h_1^2}{\cos\beta_1} e^{i\beta_1} + a e^{-i\delta}\cos^2\gamma\right]}_{B_1} + \frac{a h_1^2}{\cos\beta_1}\sin^2\gamma\, e^{i(\beta_1-\delta)}$$

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

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

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

$$= \frac{h_1^2 e^{-i\beta_1}}{\cos\beta_1} B_2 - \frac{a h_2^2}{\cos\beta_2} e^{i(\beta_2-\delta)}\cos^2\gamma \quad \Big|\, e^{2i\alpha_1}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$2\alpha_1 - \beta_1 - 2\alpha_2 - \beta_1 + \beta_2 \quad (+\beta_2)$$

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

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

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

(a) $a=0$ では $\varepsilon = 0$ or $n\pi$

(b) ~~f~~ として ばね、マスはあってはいけない。ダンパーのみ

~~f=~~ $A = i\omega\frac{\mu}{K}$ //

No. 1

Date 55.2.18

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気のついた所を記す。

具体的な数値を考えるために

波周期 $T = 10$ sec. , $\omega = .628$, $\frac{\omega^2}{g} = .0402$

波長 $\lambda = 156.1$ m

を基準として考えよう。

2. 繋留について

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ク装置で支える。

b) 索又は鎖による緊張繋留

c) 〃 普通のルーズな繋留

a) の場合は建設費が高くつくがエネルギー吸収装置(および桟橋)の装備は簡単であり、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) の場合は一般に繋留によって動揺、運動は殆ど影響を受けないので近似的には繋留索のそれを考えないでよい。

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ないがその機構に問題が残る。

b)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ロープ又はチェーンの強度が問題となって来る。

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

$$F = \frac{\rho}{2} g a^2 \cdot L \xrightarrow[a=1m]{L=100m} 50\ \text{tons}$$

エネルギー取出し装置はa)とc)の中間の難かしさとなろう。

前の波消しでは γ が実の条件は $\varepsilon = n\pi$ で

$\tan\gamma$ の条件は 〃式の分母が0の条件である。

同様にして反射波がない(漂流力0)の条件を

見出す事が出来る。

この時 f がダムピングを含むと 反射はがなくとも漂流力はあるので f はダムピングを含みえない。

3. 同調させるための浮体の大きさ形状
まず上下動の同調点は

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

$W \doteqdot \rho \nabla$; 排水重量, ∇ ; 容積, k ; 附加質量係数,
A_w ; 水線面積,
今 $\nabla = A_w \cdot d \cdot C_v$, d ; 吃水,

とおくと

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

それなら

$$d = \frac{\lambda}{2\pi (1+k) C_v}$$

となり半没円筒では $d \doteqdot \dfrac{156}{6.28 \times 2 \times .785} = 15.8$ m.

で約波長の1/10となるがもう少し浮体を小さくする為にはkとC_v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波能力が小さくなり、与えられた波を消すためには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も行かない。

実用海面を考えるとこの半没円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それにバルジを装置したような波なし船型が適当であろう。

この時 船幅は関係ない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 それが調整不可能となって（メタセンターが低くなり）来るだろう。

そのような時には静的復原力の増加（Kaの小さい波なし船型では静的復原力が不足して直立静止が不可能）の意味もかねて双胴とする事が望ましい。

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2つ並べればよいだけである。

4. エネルギー吸収について
駆動方式が2節の(b)の場合は

i) リンク・歯車カム 伝導
ii) 油圧ポンプ (多翼・ソルターダック)

等により容易に(効率よく)構成出来るように思われる。

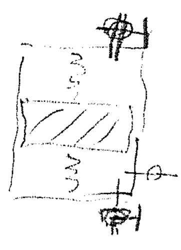
しかし c)方式では

i) 空気タービン
実用されているが空気タービンの効率は最高でも70〜80%であり高々数十%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単で保守も容易であろう。

ii) 水タービン (インペラー)
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楽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ペラの直径は大きく大変低回転となり、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

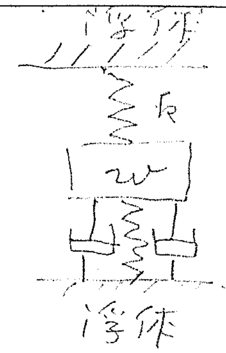
これは浮体内に大きい可動重量を装着して
浮体の動揺によって生ずる加速度で加振して
それを動力として発電機をまわす方法である。
この際もこの可動重量の振動によって油圧(空気)
ポンプを駆動しその油圧(空気圧)を使って
タービン・発電機をまわす方式と直接
機械的に発電機をまわす方式と考えられる。
あるいは又波消しだけでエネルギーは取出さない場合
は図のように空気(又は水または油)槽
の中で可動重量は(自由)ピストンとしバルブ
の調節により減衰を加減すればよい。



いず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

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
μ; 減衰
ξ; 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る事にすると それを差引いた力 F は

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

となり又 kは同調するように

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

と選ぶ事にすると

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

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

一週期の間に重量物の単位時間になす仕事は

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

zで表わすと

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

入射波（幅Lの間の）が単位時間当り運んで来るエネルギー

は $$E_w = \frac{\rho g^2 a^2}{4\omega}L = \frac{\rho g}{4}a^2 V_w L,$$ a：波振幅 V_w：波速

であるから之れを全部吸收するには

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

$\frac{\omega w}{\beta g}$

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

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

それ故所要重量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程小さくなり，μが小さい程小さくてよい。

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

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

とおくと $$w = \frac{\rho g L a^2}{2\beta}\left|\frac{1}{Kz}\right|^2$$

それ故　$\beta = \frac{1}{2}$,　$\frac{k|\xi|}{a} = \frac{\omega^2}{g}|a| = 1$,　$a = 1m$, $\lambda = 156m$

となると　$w = \frac{100}{0.01}\,ton = 10000\,tons$

となって非現実的。つまり浮体の重量よりも大きく
(1000ton 程度)
なる。不可能である。

そこで $\beta > 1$ とし 船型ははなしにて ξ を大きくして

$k|\xi| \fallingdotseq 1$ 程度にしてもなお $w \fallingdotseq 1000\,tons$ のオーダー

となり実現はむつかしい。

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。

それ故浮遊式の場合ははなし双胴として

動揺振巾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。

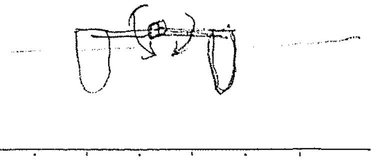
この時相対変位を大きく保つためには

双胴間隔はかなり大きく例えば $\lambda/4$

位は離さねばなるまい。

この時既存の案(右図)のような

形式では工合が悪いだろう。



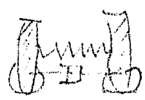
No. 10

Date

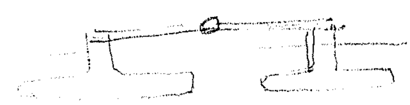
この事を理解するには逆偏同定理によって考えればよい。

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 むしろ右図のような風に運動させる方が得策であろう。



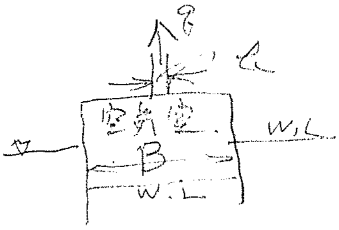
勿論筏のような浮体の場合は前頁のようなものがよいだろうが その時は最初の考察から水線面積の大変小さい形状となりやはり感じからいって上図の形式の方が造波性能はよいように思われる。



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空気室式を考えて見よう。



図のように空気室があって(断面に垂直方向に単位長さ) 空気は巾 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(なす)仕事率は

$$P = \frac{b\rho_a\zeta}{2}\frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} q^3\,dt = \frac{\rho_a}{3\pi}\zeta\,\bar{q}^3 b$$

ρ_a : 空気密度，ζ : 水頭損失係数

これが　$E_w = \frac{\rho}{8} g^2 \frac{a^2}{\omega}$　に等しいとおく

$$\bar{q}^3 = \frac{3\pi}{4}\frac{\rho g^2 a^2}{\omega b \zeta \rho_a} \xrightarrow[b=1,\ \zeta=1]{a=1,\ \rho_a=1/125} 3.2\times10^5$$

$\lambda = 156\,m$.

$\bar{q} \fallingdotseq 68\,m/s$.

その時の空気室の圧力は(大気圧との差)

$$\Delta p = \frac{\rho_a}{2}\bar{q}^2 = 289\,kg/m^2 \quad (289\,mm\,Aq)$$

この程度の水面変位は充分期待出来よう。
(又この程度ならば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 ξ とすると

$$\bar{q}b = \dot{\xi}B = \omega\xi B, \quad \xi = \frac{\bar{q}}{\omega}\frac{b}{B} \fallingdotseq 108\frac{b}{B}\,m.$$

つまり $B=20m$ としても $\xi = 5.4m$ となり一寸実現しそうもない。

それ故この方式ではこの点充分検討しておく必要

があるし、又空気室は充分大きくなければならない。
この情況は密度ρ_aを大きくしてもあまり変化はない。
こゝで思い合わされるのはアンチーピッチングタンクの例でその場合もあまり思わしくないのは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為に平板(幅B)の抵抗によってダムピング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収するには振巾をzとして

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

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

$$z \fallingdotseq 5\,m$$

となるので一寸無理だろう。
z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ない。
そ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であろう。
それ故単なる消波装置では透過波が0となる条件を利用する方がよかろう。

運動方程式の原点の選び方

左右対称な浮体では 上下運動は独立だが

swayとrollは干渉して．

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

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

$H_3^+ = -l_w H_1^+$ で l_w は実である（符号他と少し違う）

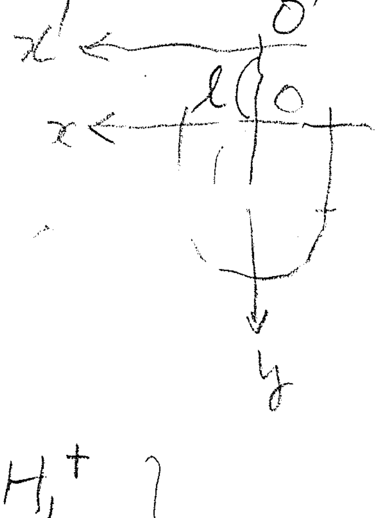
であるから H_1^+を消去すると

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

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

で 減衰が波にのみよるならば（波は消し条件のあるなしも）

これは実である。



今座標の原点を l だけ

ずらすと O'に関するswayは

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

これを第1式に代入すると

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

それなら $l=r$ 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 この点で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次の式のとおり

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

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 $l=l_w$ と選ぶと

$$KX'(C_1 l_w + f_{13}) + K\theta(C_3 - l_w^2 C_1) = 0, \ (?)$$

またら $X' = +(l_w - r)\theta$

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

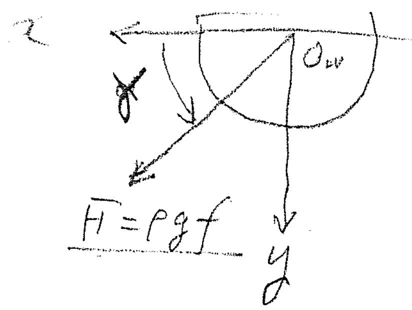
のようになり O' 点のまわりの回転によって波は起きない(ロール波なし点)ので出て行く波はやはり

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

となって簡単になる。

Tight Mooringによる波消について

$$-KXC_1 = -H_1 + f\cos\gamma$$
$$-KYC_2 = -H_2 + f\sin\gamma$$



$$f = -K(X\cos\gamma + Y\sin\gamma)A$$
$$A = \frac{k + i\omega\mu}{K}$$

$$C_j = -i h_j^2 \sec\beta_j e^{i\beta_j}$$
$$H_j^+ = h_j e^{i\alpha_j} \qquad j = 1, 2$$
$$h_j = |H_j^+|$$
$$KX = \xi, \quad KY = \eta$$

$$i\xi h_1^2 \sec\beta_1 e^{i\beta_1} + h_1 e^{i\alpha_1} = f\cos\gamma$$
$$i\eta h_2^2 \sec\beta_2 e^{i\beta_2} + h_2 e^{i\alpha_2} = f\sin\gamma$$

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

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

波消し条件は
$$\xi = \frac{i e^{i\alpha_1}}{2h_1}, \quad \eta = \frac{i e^{i\alpha_2}}{2h_2}$$

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

γ: real であるためには

$$\alpha_2-\beta_2-(\alpha_1-\beta_1)=n\pi, \quad n=0,\pm1,\pm2.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$a e^{-i\delta} = e^{i(\alpha_1-\beta_1)} \frac{\left[\dfrac{h_1}{\cos\beta_1} + \dfrac{h_2^2\cos\beta_1}{h_1\cos^2\beta_2}\right]}{\left[\dfrac{e^{i\alpha_1}}{h_1} + \dfrac{\cancel{h_2}\cos\beta_1}{h_1\cos\beta_2} e^{i(\alpha_2+n\pi)}\right]}$$

$h_1 \cos^{\frac{1}{2}} \beta_2 \cos\beta_1$

$$= e^{-i\beta_1} \left[\frac{h_1^2 \dfrac{\cos\beta_2}{\cos\beta_1} + h_2^2 \dfrac{\cos\beta_1}{\cos\beta_2}}{1 + \cancel{h_2}\cos\beta_1 e^{i(\alpha_2-\alpha_1+n\pi)}}\right]$$

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

透過波が0になるためには

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

$$\left.\begin{aligned} i\frac{\xi h_1^2}{\cos\beta_1} e^{i\beta_1} + h_1 e^{i\alpha_1} &= -iae^{-i\delta}(\xi\cos\gamma + \eta\sin\gamma)\cos\gamma \\ i\eta\frac{h_2^2}{\cos\beta_2} e^{i\beta_2} + h_2 e^{i\alpha_2} &= -iae^{-i\delta}(\xi\cos\gamma + \eta\sin\gamma)\sin\gamma \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} i\xi\Big(\overbrace{\frac{h_1^2}{\cos\beta_1}e^{i\beta_1} + ae^{-i\delta}\cos^2\gamma}^{B_1}\Big) + ia\eta\overbrace{\sin\gamma\cos\gamma e^{-i\delta}}^{B_{12}} &= -h_1 e^{i\alpha_1} \\ i\eta\Big(\overbrace{\frac{h_2^2}{\cos\beta_2}e^{i\beta_2} + ae^{-i\delta}\sin^2\gamma}^{B_2}\Big) + ia\xi e^{-i\delta}\sin\gamma\cos\gamma &= -h_2 e^{i\alpha_2} \end{aligned}\right\}$$

$$\xi = \frac{ih_1 e^{i\alpha_1}B_2 - ih_2 e^{i\alpha_2}B_{12}}{B_1B_2 - B_{12}^2} \qquad \times 2ih_1 e^{i\alpha_1}$$

$$\eta = \frac{ih_2 e^{i\alpha_2}B_1 - ih_1 e^{i\alpha_1}B_{12}}{B_1B_2 - B_{12}^2} \qquad \times 2ih_2 e^{i\alpha_2}$$

$$\frac{-h_1^2 e^{2i\alpha_1}B_2 + h_2^2 e^{2i\alpha_2}B_1}{\frac{1}{2}(B_1B_2 - B_{12}^2)} = e^{2i\alpha_2} - e^{2i\alpha_1}$$

$$\left(\frac{2h_2^2B_1}{B_1B_2 - B_{12}^2} - 1\right)e^{2i\alpha_2} = \left(\frac{2h_1^2B_2}{B_1B_2 - B_{12}^2} - 1\right)e^{2i\alpha_1}$$

$$\Delta = B_1B_2 - B_{12}^2 = \left(\frac{h_1^2}{\cos\beta_1}e^{i\beta_1} + ae^{-i\delta}\cos^2\gamma\right)\left(\frac{h_2^2}{\cos\beta_2}e^{i\beta_2} + ae^{-i\delta}\sin^2\gamma\right) - a^2\sin^2\gamma\cos^2\gamma e^{-2i\delta}$$

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

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

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

$e^{2i\alpha_2}$

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

B_1

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

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

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

$$= \frac{h_1^2 e^{-i\beta_1}}{\cos\beta_1} B_2 - \frac{a h_2^2}{\cos\beta_2} e^{i(\beta_2-\delta)}\cos^2\gamma \qquad \Big|\ e^{2i\alpha_1}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(1) $a=0$ では　$\varepsilon = 0$ or $n\pi$

(2) ~~f~~ としては バネ，マスはあってはいけない。ダムパーのみ

~~f=~~ $A = i\omega\frac{\mu}{K}$ //

前の波消しでは γ が実の条件は $\xi = n\pi$ で

$\tan\gamma$ の条件は 〃式の分母が0の条件である。

同様にして反射波が無い（漂流力0）の条件を

見出す事が出来る。

この時 f がダムピングを含むと反射波がなく

とも漂流力はあるので f はダムピングを含みえない。

波の全透過又は全反射の条件

反射波の振巾をA_R, 透過波をA_T (入射波は単位振巾)
とすれば

$$A_T + A_R = \frac{H_2^+}{H_2^+} + 2iKYH_2^+ \qquad (1)$$

$$A_R - A_T = \frac{H_1^+}{H_1^+} + 2iKXH_1^+$$

ロールとswayは同位相故 今はswayで代表させる。

運動方程式から

$$KX = H_1^+/C_1 \qquad \cdots(2)$$

$$KY = H_2^+/C_2$$

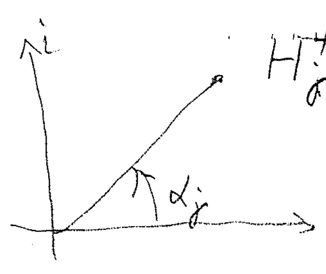
$$C_1 = \nabla + f_{11c} - \frac{k_1}{K} - i|H_1^+|^2 \qquad \cdots(3)$$

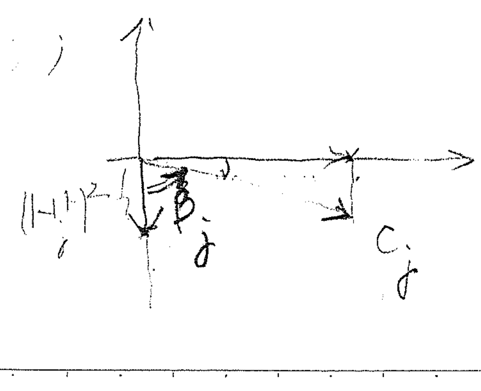
$$C_2 = \nabla + f_{22c} - \frac{B}{K} - i|H_2^+|^2$$

swayについては復原力がないので仮なるバネを附加する。

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

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





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

$$\left.\begin{aligned} A_R + A_T &= -e^{2i(\alpha_2-\beta_2)} \\ A_R - A_T &= -e^{2i(\alpha_1-\beta_1)} \end{aligned}\right\} \cdots (6)$$

それなら

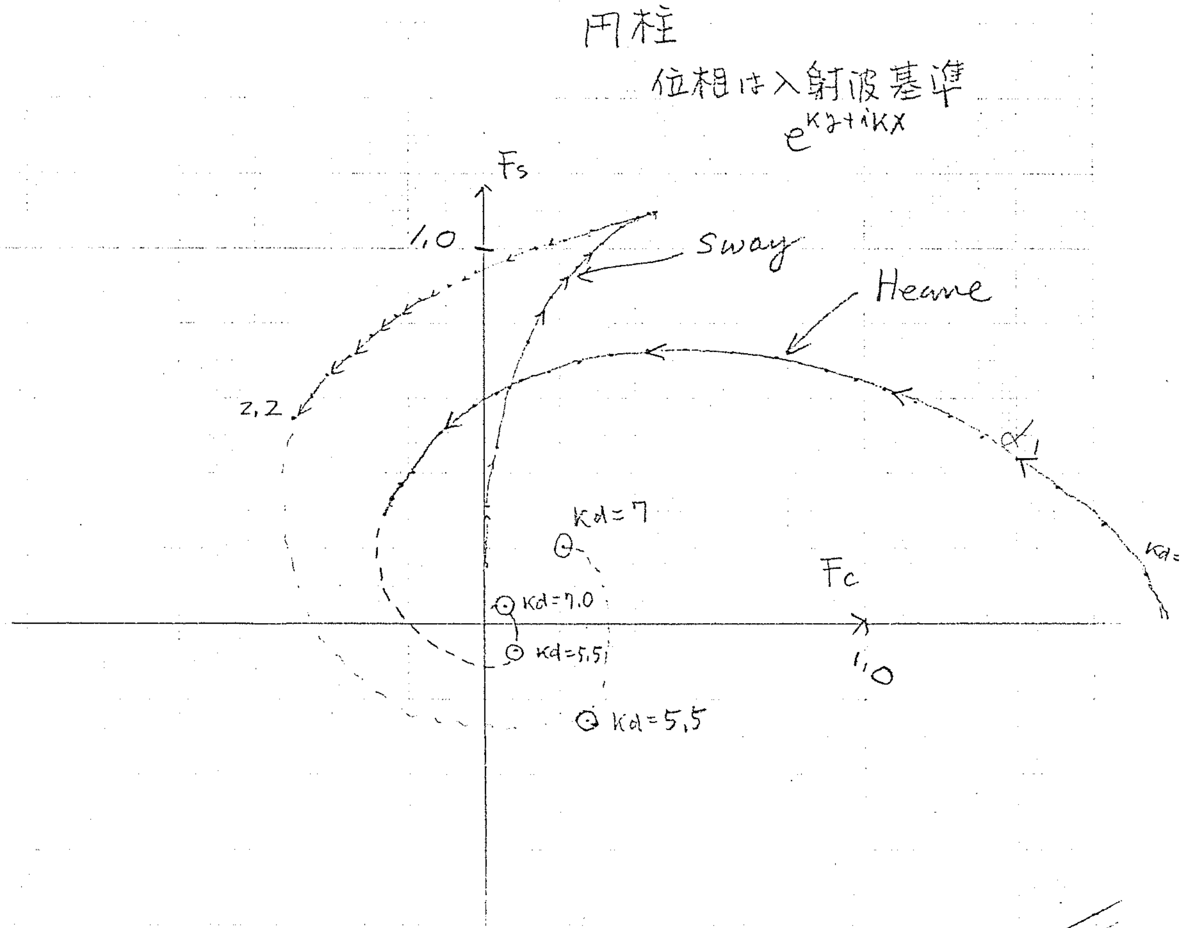
$$\left.\begin{aligned} &A_R = 0 \\ &\text{なる為には} \quad e^{2i(\alpha_1-\beta_1)} = -e^{2i(\alpha_2-\beta_2)}, \\ &\text{つまり} \quad \alpha_1-\beta_1-(\alpha_2-\beta_2) = \pm\frac{(2n+1)}{2}\pi, \ n \text{ is integer} \end{aligned}\right\} (7)$$

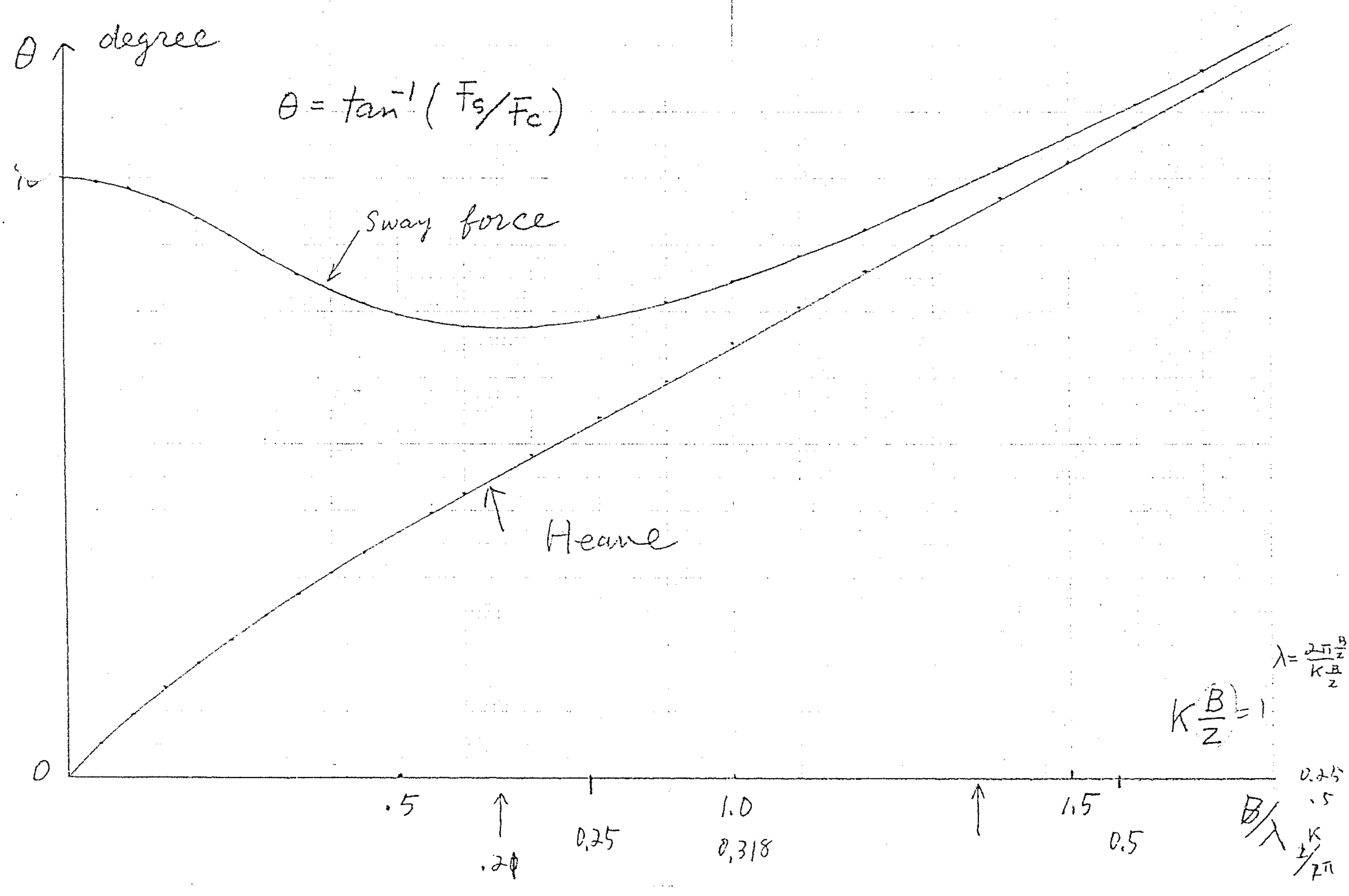
$$\left.\begin{aligned} &A_T = 0 \\ &\text{なるためには} \quad e^{2i(\alpha_1-\beta_1)} = e^{2i(\alpha_2-\beta_2)} \\ &\alpha_1-\beta_1-(\alpha_2-\beta_2) = \pm n\pi, \ n \text{ is integer} \end{aligned}\right\} (8)$$

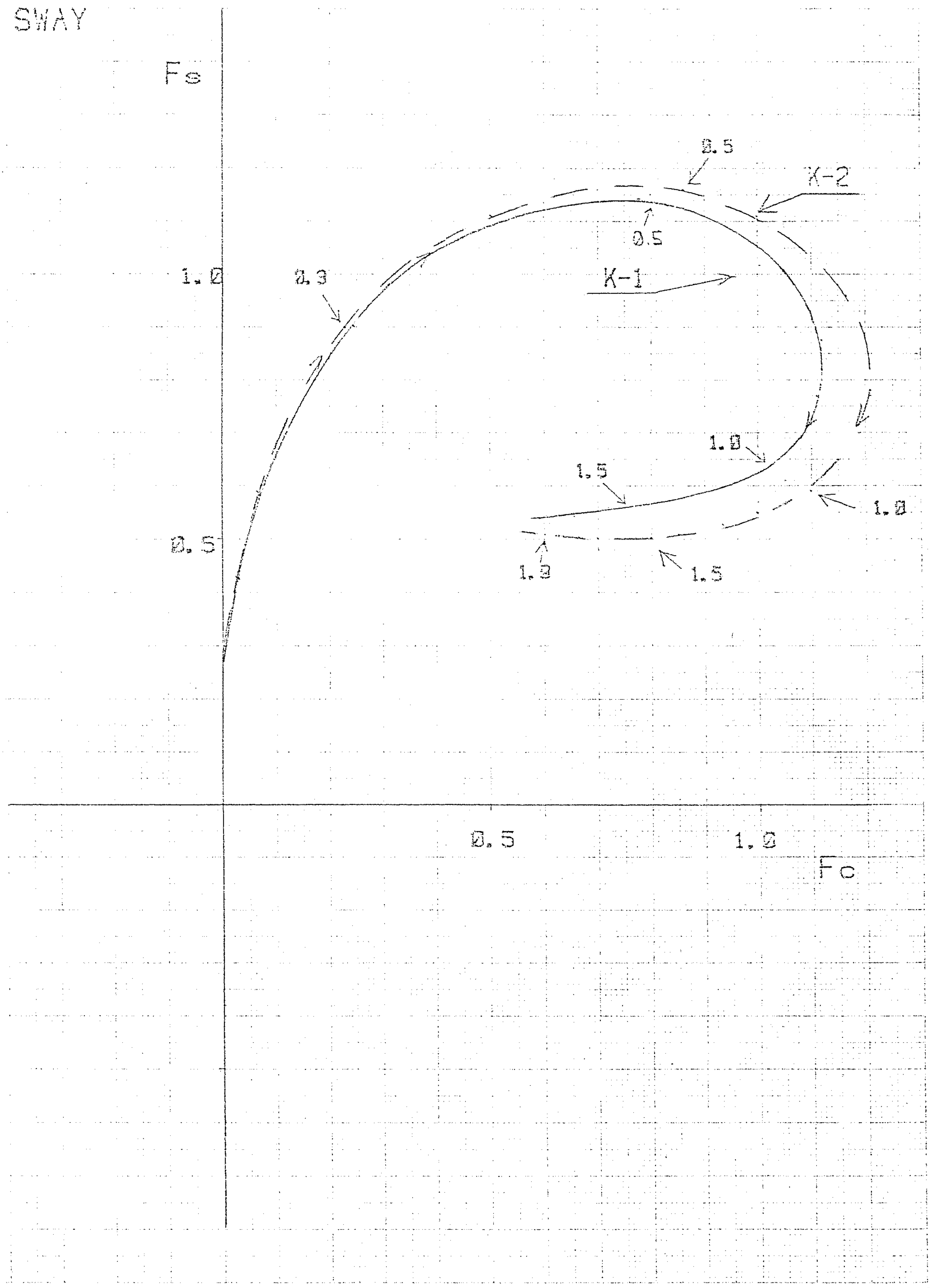
ばね以外の減衰がないとこのように大変簡単であって、これらの式から結局今の場合ならバネ定数 k_1 を調整して全反射又は透過させる事が出来る場合が多いように思われる。

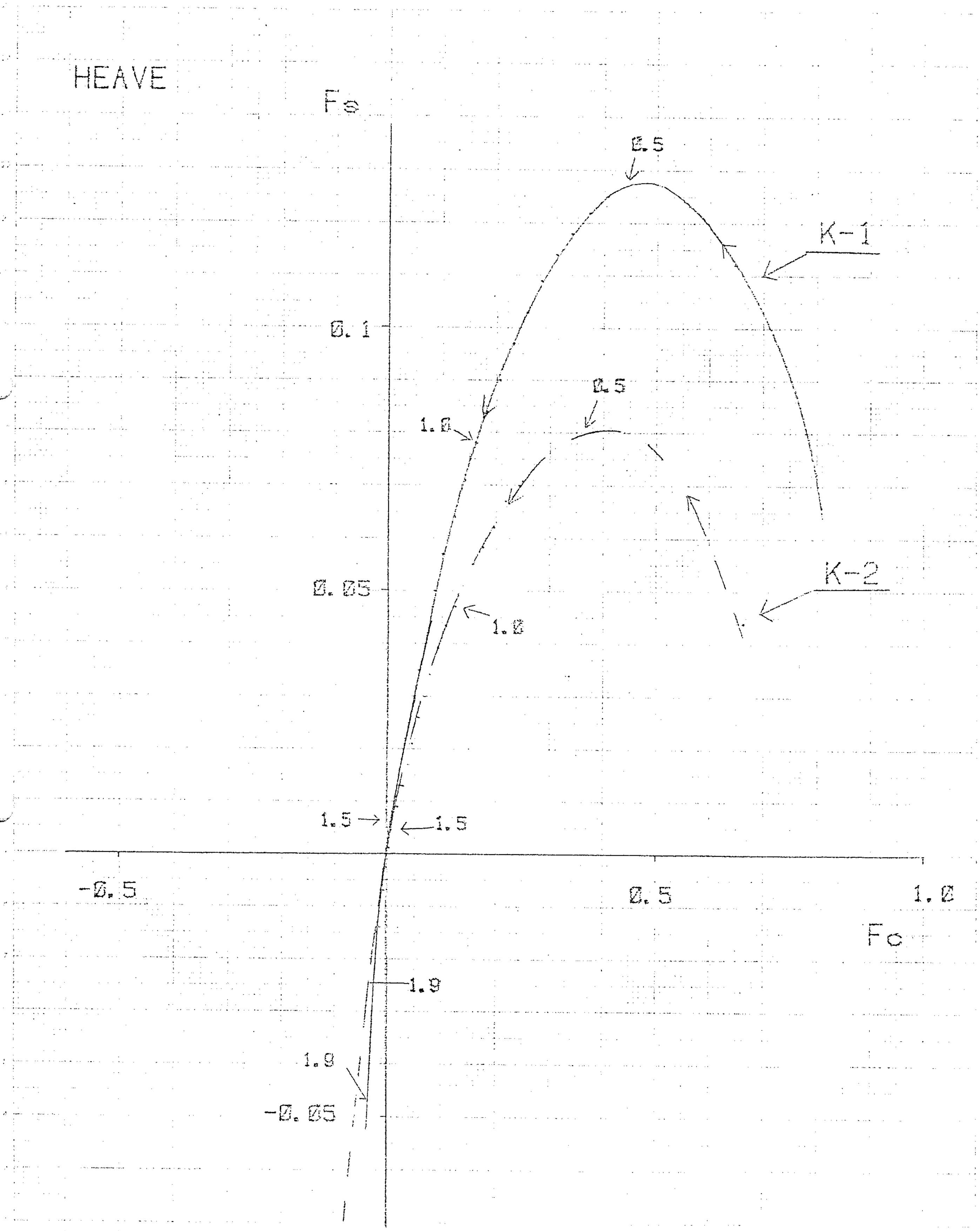
全透過すると漂流力はなくなる。

円柱の Diffraction force






SWAY
Fs
1.0
0.5
0.3
0.5
0.5
K-2
K-1
1.0
1.5
1.0
1.0
1.5
0.5
1.0
Fc


HEAVE
Fs
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
Fc
1.9
1.9
-0.05