操艦技術や機関能力の相違，さらに転輪安定儀の有無によつて異るが大体共振限界角の 5〜7 割が動揺角の見当である。同じような図を作つてみると主力艦以外は風速 30 m/s 以上で限界線に接して特に水戦隊で著るしいのは，猛烈な海面のため操艦が困難に陥つたからであろう。またここで注意すべき事は風速が減ると動揺は下るとはいえず，むしろ大きくなるかあるいは一向に減少せぬという傾向がほとんど皆出ていることで，これは波が暴風の背面に発達するという事に関係があると思われる。なお艦底衝撃が特に水戦隊で激しかつたのはこの程度の巾の艦船は縦揺がひどくなり易い[4)]性質があるからであろう。

10. 語　　結

以上のごとく三陸沖台風を解析してその結果を概述したが，大体において当時の海面および動揺状況をそのまま説明することが出来た。特に強風域の脊面で急激な風速勾配のあるものは大濤を発生し易く，船に対して暴風最盛時よりその通過直後が最も危険である事が明らかになつた。本台風はその進行速度が異常に大きく* その上前線を曳行していたためこの性質が一層はつきり出て，折悪くその最も激烈な海面に最も小型の水雷戦隊が在つたのである。動揺については操舵保針力の存する限りこれを最小限にとどめる事が出来るが，漂流状態に至れば完全な限界動揺に達する。

なおこの台風が波長 350m m の津波を曳行していた事はその群速度 42 km/h から厚岸湾および単冠湾への到達時間を計算してみると中心が花咲半島へ上陸して後それぞれ 2 時間および 5 時間となる。これは比叡および渦風の記録そのままである。(昭和 30 年7月7日)

文　　献

1）元良誠三氏訳：“風波の生成と減衰及びその予報の理論” 造協会誌 (No. 309).

2）著者：“暴風圏内の波群の解析 (一)” 西部造船会講演会 (昭 29—12 月).

3）渡辺恵弘・山上直人・井上正祐・著者 “航洋船の復原安全性制定基準” 運輸省船舶安全法令改正準備室・第 4 輯 (昭 29—7 月).

4）著者：“暴風海面における横揺・縦揺及び上下揺の限界振巾とその速度・加速度” 西部造船会講演会 (昭 30—4 月).

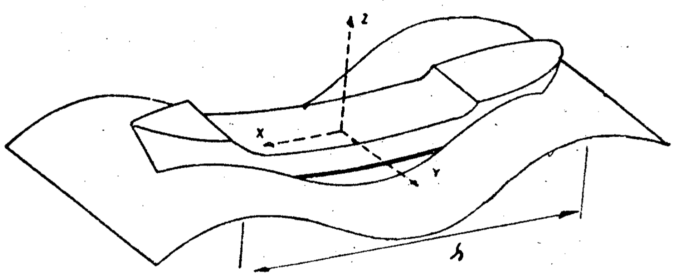
* 昭和 29 年の同月同日，第 15 号台風は能登沖を 100 km/h で進行している。本邦近海では普通は 50km/h 位。この様な大津浪を伴う台風は約 7 年おきに発現して居り，昭和 17 年7月及び昭和 23 年9月 (アイオン台風がそれであろう。(理科年表昭 30 年版)

資　　料

縦波による横揺

1. 緒　　論

船体中心線が二次元波の波頂線に直角に向つている時 (第1図)，ある状態では大きい横揺を起すということが

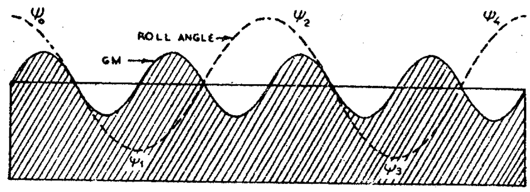


第　1　図

Grim によつて見出された [2]。船が直立状態の時は規則波により縦揺，上下動，前後動をするが，さらに水線面の形が変ることにより横メタセンターの位置が変る。即ち横復原力が変化する。この KM の変化は波が sine 波であれば sine 的である。

普通の状態では船に横揺角を与えてやると船は固有周期で揺れ，遂には減衰してしまうが，復原力変動周期と横揺周期が適当な比を取る時は横揺角が段々に増加していくということは実際に有り得ることである。

例えば第2図に示すように GM が横揺周期の 1/2 倍



第　2　図

の周期で変動する時には，横揺角が $\varphi_0<\varphi_1<\varphi_2\cdots\cdots$ となつて段々増加していく。

仕事が減衰力に打勝つて行われるためにはエネルギーを供給せねばならぬ。復原力は GM に比例するから M

の代りにGが動くと考えても問題は同じである。Gが上下する時船が横揺しないならば，上るのに要したエネルギーは下る時に得られるから外部からのエネルギーは必要としないが，一度横揺をすると外部エネルギーが必要でそれは横揺の位相に関係してくる。

この場合運動方程式の解は固有周期の 1/2 の倍数であることを示している。即ち

$$T/T_s=0.5,\ 1.0,\ 1.5,\ 2.0,\ \dots \tag{1}$$

T は復原力変動の周期，T_s は船の静水横揺周期である。

1. 海面における同調の状態

船と波との出会周期は，

$$\frac{\lambda}{v+c} \tag{2}$$

ただし λ＝波長

$$c=\text{波速}=\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \tag{3}$$

v＝船速

これらの関係は第3図にグラフで示してある。横揺が起るためには波長が船長にほぼ等しくかつ (1) の関係を満足する必要がある。

例えば横揺周期 16 秒で船長 400 ft の貨物船は第二同調を船速 12 ノットで追波の時に起すし，また横揺周期6秒で船長 100 ft の漁船は6ノットで向波の時第一同調を起す。もちろん波頂と任意の角をなす場合も考えればこれの起る可能性はいくらでもあるわけである。

II. KM 変化の計算

ある与えられた時刻における二次元非回転の小振巾の深海波の船度ポテンシャルは [1]

$$\phi=\frac{gr}{kc}e^{kz}\cos kx \tag{4}$$

ただし $k=\dfrac{2\pi}{\lambda}$　　λ＝波長

r＝波高の 1/2　　$c=\sqrt{\dfrac{g\lambda}{2\pi}}$

ベルヌーイの方程式より圧力は

$$P=\rho\frac{\partial\phi}{\partial t}-\rho gz \tag{5}$$

波の垂直速度が c に比較して小さい時は

$$P=\rho gre^{kz}\cos kx-\rho gz \tag{6}$$

波形は $z=z_0$ で $P=0$ とおくことにより

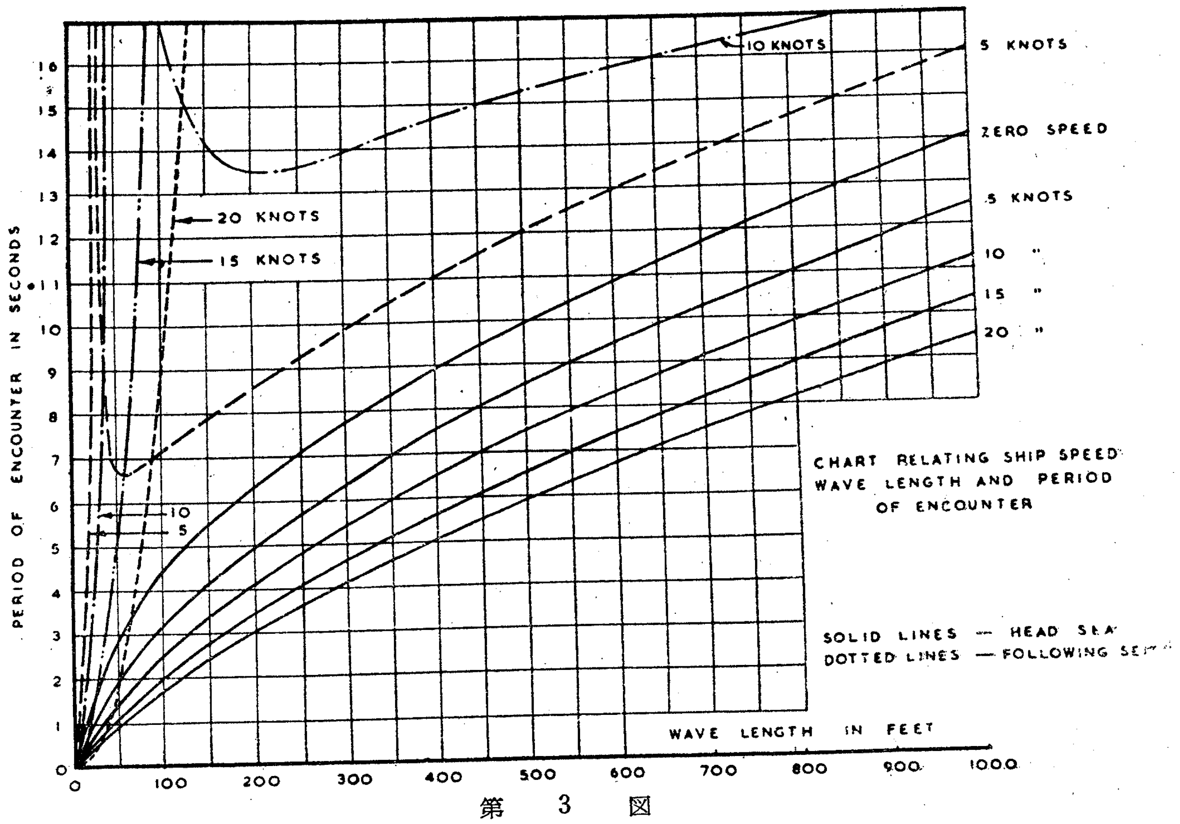
$$z_0=r\cos\frac{2\pi x}{\lambda} \tag{7}$$

水の有効密度は静，動圧の勾配の和であるから

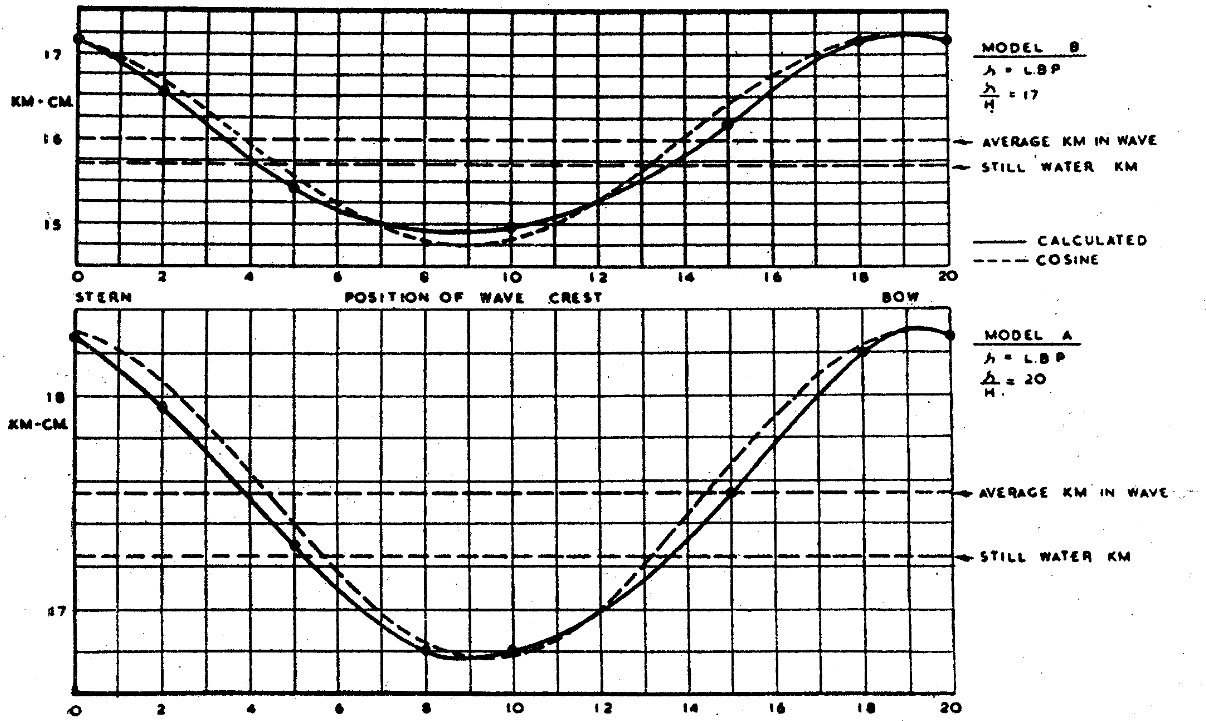
$$\gamma_E=\frac{\partial p}{\partial z}\gamma=\gamma(krc^{kz}\cos kx-1) \tag{8}$$

ただし　$\gamma=\rho g$

さらに γ_E は吃水に対して無視出来るとすれば，e^{kz} は一定と見なして平均の値を用いることが出来る。その



第 3 図



第　4　図

時の吃水に対する γ_E の変化は約 4％ で平均値の誤差は非常に少い。また船によつて波の圧力分布は変らぬものとする。

x 点における断面積を A とすれば単位排水量は

$$dV=\gamma_E A dx \tag{9}$$

吃水に対して γ_E の変化は無視出来るから，A の中心が浮心になり局部的メタセンター半径 BM は

$$\frac{dI}{dV}=\frac{1/3\,y^3dx}{Adx}=\frac{y^3}{3A} \qquad (10)^*$$

局部的メタセンター高さ KM は

$$KB+\frac{y^3}{3A} \tag{11}$$

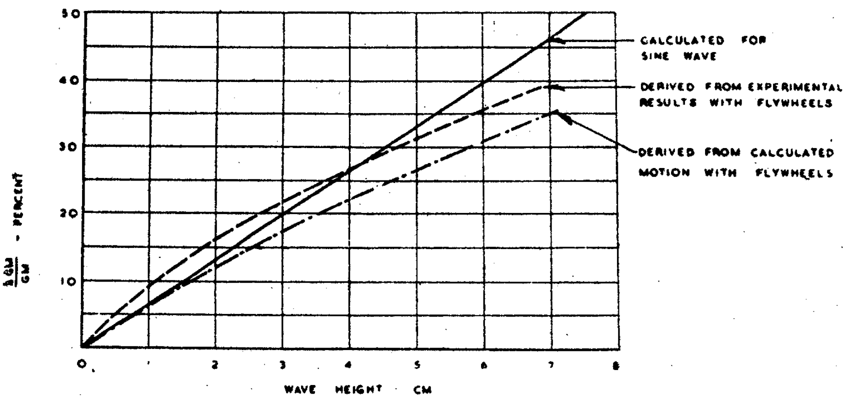
$$\therefore\quad KM=\frac{1}{V}\int_{-L/2}^{L/2}\left(KB+\frac{y^3}{3A}\right)\gamma_E A dx \tag{12}$$

ボンジャン曲線と KM の同じような曲線群とから γ_E が計算されれば，各部の KM が読みとれシンプソンで全体の KM が求まる。

第 4 図に結果を示す。最初は模型 B で GM の変動は約 60%，次が模型 A で約 40% である。両者ともこの変動は sine 的である。

ここに興味あることは波浪中の GM が静水中のよりも約 10% 大きいことである。従つて横揺周期は静水中とは異つてくる。

第三に実験との比較であるが実験の状態に従つてトリムと上下動は固定した。KM の最大最小をいくつかの波高について計算して第 5 図に示す。実験と計算の比較は後述する。



CHANGE IN STABILITY WITH WAVE HEIGHT

第　5　図

* この式は $\dfrac{2}{3}\dfrac{y^3}{A}$ の誤りで従つて後の結果も数値的には多少狂つてくる筈である。訳者註

III. 運動方程式の解

運動方程式一般の型は

$$J\frac{d^2\phi}{dt^2}+W\left(\phi,\frac{d\phi}{dt}\right)+R(\phi,t)=0 \tag{13}$$

ただし　J＝船と水の全慣性

W＝粘性と造波効果より成る減衰項

R＝角度と時間による復原力

III—1. 減衰しない時の解

復原挺は ϕ に対し線型的に変化し復原力変動は sine 的である。

$$J\frac{d^2\phi}{dt^2}+\gamma\Delta\left(GM-\frac{\Delta GM}{2}\sin 2\omega t\right)\phi=0 \qquad (14)$$

復原力変動は sine $2\omega t$ であるから一次同調では固有振動数 $\omega_0=\omega$ である。

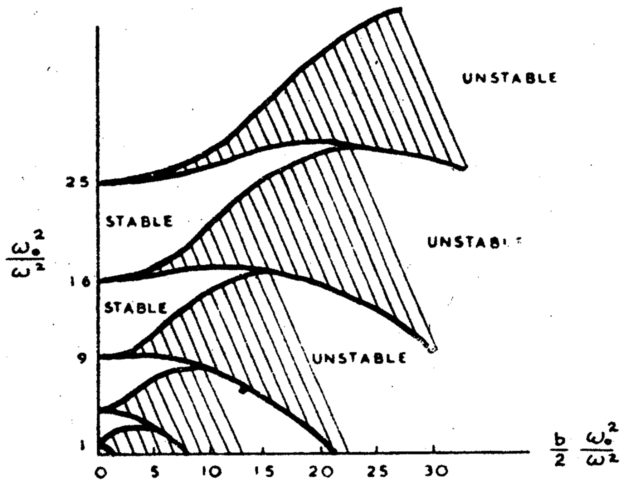
$$\omega_0^2=\frac{\gamma\nabla\cdot GM}{J} \qquad (15)$$

$$\frac{\Delta GM}{2GM}=b$$

とすれば (14) 式は

$$\frac{d^2\phi}{dt^2}+\omega_0^2(1-b\sin 2\omega t)\phi=0 \qquad (16)$$

これは Matthieu の微分方程式として知られている。厳密な解によれば方程式の定数によつて安定と不安定の区域がある。これを第 6 図に示す。[5]



第 6 図

図表から $\omega_0/\omega=1, 2, 3\ldots$ 即ち $T/T_s=1/2, 1, 3/2, \ldots$ の時に解が不安定であることが判る。

これからは第一同調の場合のみ取扱うことにする。

級数解を次のように仮定する。

$$\phi=A_1\sin\omega t+B_1\cos\omega t+A_3\sin 3\omega t+\ldots$$

最初の二項をとつて

$$\phi=A_1\sin\omega t+B_1\cos\omega t$$

$$\frac{d^2\phi}{dt^2}=-\omega^2A_1\sin\omega t-\omega^2B_1\cos\omega t$$

これらを (16) 式に代入してそれぞれ $\sin 2\omega t\sin\omega t$, $\sin 2\omega t\cos\omega t$ を次のように近似すれば (3ω の項は高次のため省略する)

$$\sin 2\omega t\sin\omega t=1/2\cos\omega t+\ldots$$

$$\sin 2\omega t\cos\omega t=1/2\sin\omega t+\ldots$$

sin ωt, cos ωt の係数を等しくおいて

$$\left.\begin{array}{l}A_1(\omega_0^2-\omega^2)B_1(1/2\,b\omega_0^2)=0\\ B_1(\omega_0^2-\omega^2)A_1(1/2\,b\omega_0^2)=0\end{array}\right\} \qquad (17)$$

A_1, B_1 の係数の行列式を 0 とおけば

$$\begin{vmatrix}\omega_0^2-\omega^2 & -1/2\,b\omega_0^2\\ -1/2\,b\omega_0^2 & \omega_0^2-\omega^2\end{vmatrix}=0 \qquad (18)$$

$$\therefore\quad \omega^2=\frac{2\omega_0^2\pm\sqrt{4\omega_0^4-4(1-1/4\,b^2)\omega_0^4}}{2}$$

$$=\omega_0^2\left(1\pm\frac{b}{2}\right) \qquad (19)$$

これは第 6 図の縦軸の $\omega_0^2/\omega^2=1$ を通り 1 の傾斜をなす 2 本の直線に対応する。これは b が小さい間は正しい。$\Delta GM/GM=30\%$ ならば $b=0.15$ で $\omega_0/\omega=0.9643$ と 1.0397 の時に周期的解が存在する。解によれば，不安定域の外側は横揺角は 0 で内側は無限大，境界線上で任意の最大角を取り得る。同調曲線は第 7 図に示す。

III—2. 線型的減衰

$$\frac{d^2\phi}{dt^2}+m\frac{d\phi}{dt}+\omega_0^2(1-b\sin 2\omega t)\phi=0 \qquad (20)$$

前と同様にして (17) 式は

$$\left.\begin{array}{l}A_1(\omega_0^2-\omega^2)-B_1(m\omega+1/2\,b\omega_0^2)=0\\ B_1(\omega_0^2-\omega^2)+A_1(m\omega-1/2\,b\omega_0^2)=0\end{array}\right\} \qquad (21)$$

行列式の解は

$$\omega=\sqrt{\omega_0^2-1/2\,m^2\pm\sqrt{-\omega_0^2m^2+1/4m^4+1/4b^2\omega_0^4}} \qquad (22)$$

再び $b=0.15$ と実験から定めた $m=0709$, $\omega_0=3,360$ を用いて，

$$\omega_0/\omega=0.9632,\ 1.0353$$

線型的減衰は同調曲線に影響がない。横波による動揺の時，$\omega_0/\omega=1$ においてのみ無限大角を生ずるが，これは線型減衰項が入つてくるとすぐ有限のものとなる。

III—3. 非線型的減衰

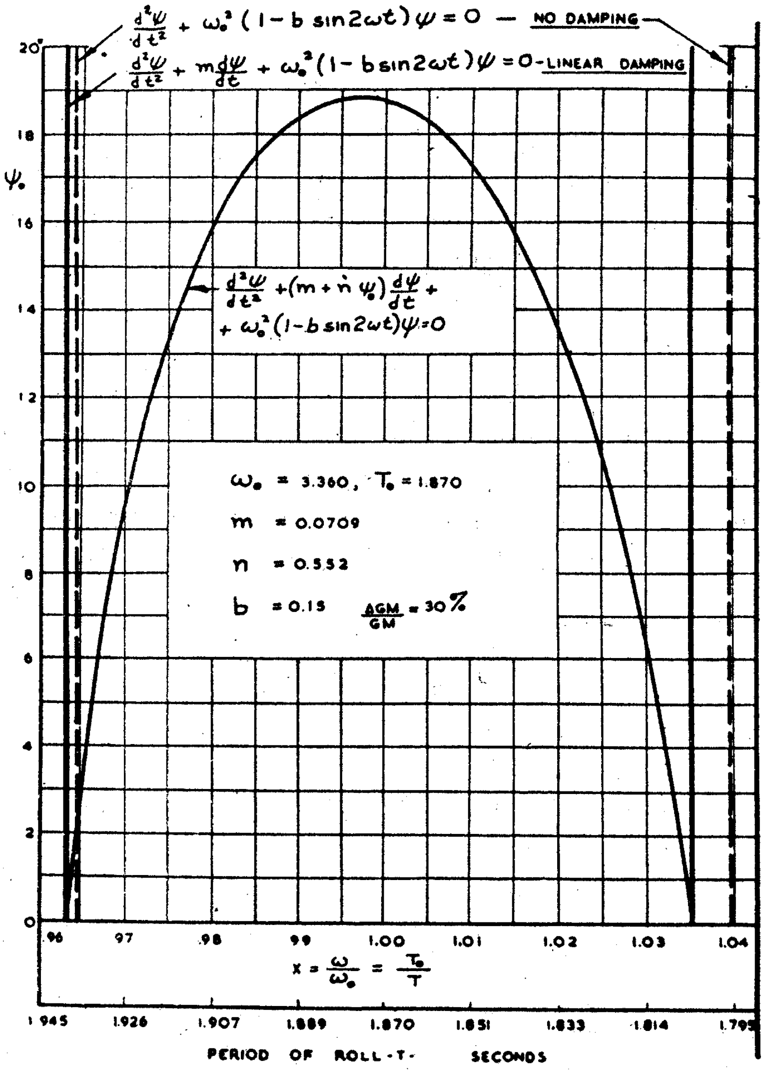
減衰項を $N\frac{d\phi}{dt}$ とする。N は最大横揺角による。この減衰係数は実験で最大横揺角 ϕ を変えて得られた。$N=m+n\phi_0$ と考えれば (21) 式は

$$\phi_0^2+\frac{2m}{n}\phi_0+\frac{m^2}{n}-\frac{1}{4}\frac{b^2\omega_0^4}{n^2\omega^2}+\frac{(\omega_0^2-\omega^2)^2}{n^2\omega^2}=0 \qquad (28)$$

ϕ_0 について解けば

$$\phi_0=\frac{\omega}{n}\sqrt{\frac{2}{x^2}+\frac{(b^2/4-1)}{x^4}-1}-\frac{m}{n} \qquad (24)$$

ただし　$x=\omega/\omega_0$



第　7　図

$x=1$ の同調の時は最大角は

$$\psi_0=\frac{b\omega}{2n}-\frac{m}{n} \tag{25}$$

同調曲線は第7図に示す。この解の重要な結果は b の値には限界値があり，それ以下では運動が起らないということである。その値は

$$b=\frac{2m}{n} \tag{26}$$

級数を2項の代りに4項とり，復原挺に非線型の項を加えればさらによい解が得られるであろう。

III—4.　エネルギー法による解

M の代りに G が移動すると考える。任意の時刻の動揺軸からの G の距離は

$$b\cdot GM_0=b_0\cdot GM_0\sin 2\omega t$$

次からは同調時のみを考えて subscript をとる。

同調時には運動は大体において

$$\psi=\psi_0\sin\omega t$$

横揺モーメントは

$$M=-GM_0\gamma\nabla b\sin\psi\approx -GM_0\gamma\nabla b\psi$$
$$=-GM_0b_0\psi_0\gamma\nabla\sin\omega t\sin 2\omega t$$
$$=-2GM_0b_0\psi_0\gamma\nabla\sin^2\omega t\cos\omega t$$

このモーメントによる仕事は

$$\int_0^{2\pi/\omega}Md\psi=-2b_0\psi_0^2\gamma\nabla\omega_0GM$$
$$\times\int_0^{2\pi/\omega}\sin^2\omega t\cos^2\omega t\,dt$$
$$=\frac{\pi b_0\gamma\nabla\psi_0^2GM}{2} \tag{27}$$

減衰モーメントによるエネルギーは

$$\int_0^{2\pi/\omega}JN\frac{d\psi}{dt}d\psi$$
$$=JN\psi_0^2\omega_0^2\int_0^{2\pi/\omega}\cos^2\omega t\,dt$$
$$=J\pi\omega_0N\psi_0^2 \tag{28}$$

これらのエネルギーを等しくおけば

$$N=\frac{b_0\gamma\nabla GM}{2\omega J}=\frac{b_0\omega}{2}=m+n\psi$$
$$\therefore\quad \psi=\frac{b\omega}{2n}-\frac{m}{n} \tag{29}$$

これは微分方程式から出た値と同じである。

III—5.　非定常状態の解

この種の横揺れ実験の時に角度が非常にゆるやかに増していくのが見られた。簡単のため同調時だけ考える。減衰はもはや最大角の函数と考えられないので次のように考える。

$$m'+n'|\psi| \tag{30}$$

復原力モーメントは前と同じで，減衰モーメントは

$$Jm'\frac{d\psi}{dt}+Jn'|\psi|\frac{d\psi}{dt} \tag{31}$$

半揺れのエネルギーは

$$D=J\left\{m'\int_0^{\pi/\omega}\frac{d\psi}{dt}d\psi+c'\int_0^{\pi/\omega}\frac{d\psi}{dt}|\psi|d\psi\right\} \tag{32}$$
$$=J\left\{m'\psi_0^2\omega^2\int_0^{\pi/\omega}\cos^2\omega t\,dt\right.$$
$$\left.+n'\psi_0^3\omega^2\int_0^{\pi/\omega}\cos^2\omega t\sin\omega t\,dt\right\}$$
$$=J\left\{\frac{\pi m'\psi_0^2\omega}{2}+\frac{2}{3}n'\psi_0^3\omega\right\} \tag{33}$$

復原エネルギーは

$$\frac{\pi}{4}bJ\omega^2\psi_0^2$$

ゆえに

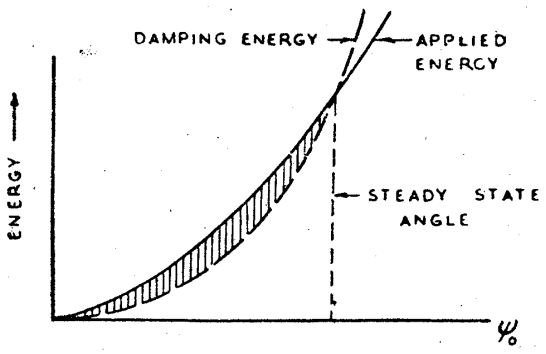
$$\psi_0=\frac{3\pi}{8}\,b\,\frac{\omega}{n'}-\frac{3}{4}\pi\frac{m'}{n'} \tag{34}$$

(29) 式と比較して

$$m'=m,\qquad n'=\frac{3}{4}\pi n \tag{35}$$

第8図は復原エネルギーと減衰エネルギーのカーブで，両者の交点が定常状態角になる。

半揺れの減衰エネルギーは



第 8 図

$$D=\frac{\pi J m'\omega\psi_0^2}{2}+\frac{2}{3}Jn'\omega\psi_0^3 \tag{33}$$

復原エネルギーは

$$A=\frac{\pi J\omega^2 b\psi_0^2}{4} \tag{36}$$

差は

$$\Delta E=\pi J\omega\psi_0^2\left(\frac{\omega b}{4}-\frac{m'}{2}\right)-\frac{2}{3}Jn'\omega\psi_0^3 \tag{37}$$

最大角のポテンシャルエネルギーは

$$P\cdot E=\gamma\nabla\cdot GM\cdot\psi_0=J\omega^2\psi_0 \tag{38}$$

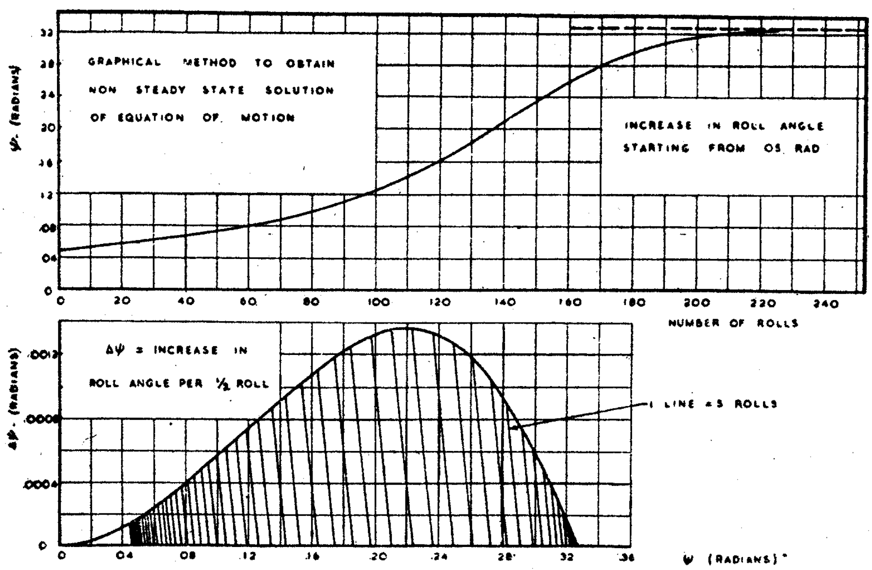
減衰エネルギーとポテンシャルエネルギーの増加が，ΔE になると考えると，角度増加が小さいならば

$$\Delta E=\frac{dP}{d\psi}\Delta\psi+\frac{d(P\cdot E)}{d\psi}\Delta\psi \tag{39}$$

$$\Delta\psi=\frac{\Delta E}{\dfrac{dD}{d\psi}+\dfrac{d(P\cdot E)}{d\psi}} \tag{40}$$

$$\frac{dD}{d\psi}=\pi Jm'\omega\psi_0+2Jn'\omega\psi_0^2 \tag{41}$$

$$\frac{d(P\cdot E)}{d\psi}=J\omega^2 \tag{42}$$



第 9 図

(40) に (41) (42) を代入すれば，

$$\Delta\psi=\frac{\pi\psi_0\left(\dfrac{\omega}{4}b-\dfrac{m}{2}\right)-\dfrac{2}{3}n\psi_0^2}{\pi m+2n\psi_0+\omega/\psi_0} \tag{43}$$

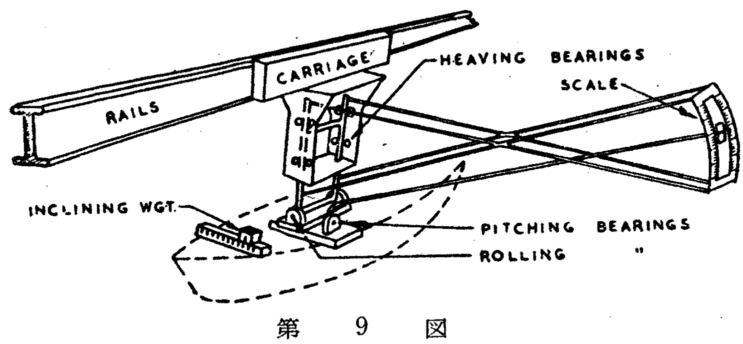
これは数値的に計算で得られる。(第9図参照)

IV. 実験結果

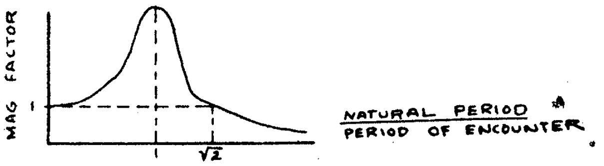
以上の理論に対応して行つた模型実験を以下順に述べる。

IV—1. 波の中での復原力の変化

波との出会周期が船の固有周期よりずつと大きい時は外力に対する船の運動は事実上静的なものである。その時は初期傾斜を与えた船の傾斜角は GM に逆比例して傾斜角の時間的変動が直接 GMの変動を指示することになる。出会い周期を長くするには船を波と同方向に走らせればよい。この装置を第 10 図に示す。指針は長さ約 1 m，アルミ管の骨組は補強して



第 9 図

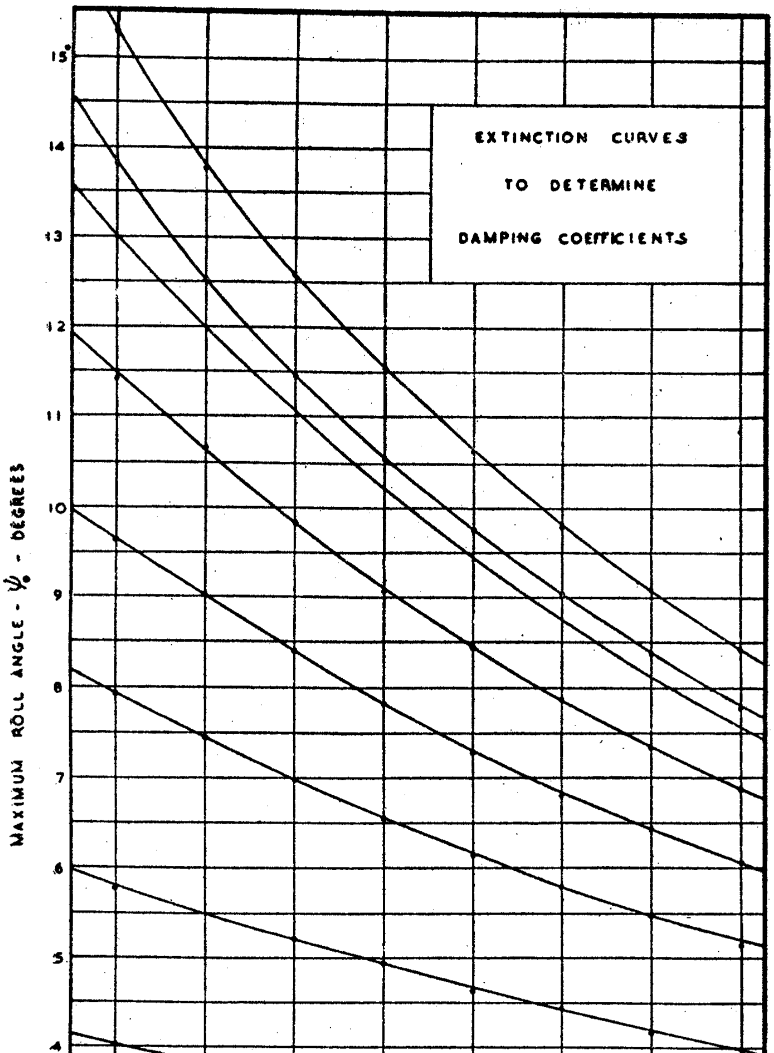


第 11 図

しつかりさせてある。目盛は heaving に対して，指針は heaving および rolling に対して自由だが両方共 pitching には自由でない。よつて指針は rolling のみを示しそれを写真にとる。

まず静水中で速力を変えて復原力の変化を求めた（第 11 図)。GM は速長比にして 0.8 位までは一定で以後急に増加する。今考えられている使用船速は速長比 1.2 位の所故，GM は速度に大いに左右される事になる。こんな理由で波の中での復原力変化をこの方法で求めた結果は余り良くなかつた。牽引車が定速で走れなかつたのでその速度変動による GM 変化が波による変化の中に割合大きく混入してしまつたのである。また模型を定常状態に保つて固有周期が出会周期の $\sqrt{2}$ 倍にした時の GM 変化も求めた。この点では船の応答は MAG Factor にして 1 である。がこの時の GM が高かつたので運動が小さく，一寸した障害の影響も大きい割合をしめて正確な値はとれなかつた（第 12 図)。

次に既知の GM 変動量が第一次の同調域で rolling を起させる事も行つた。同じ事を波でも行い，二実験を比べて復原力の変化（波の時の）を求めようとするのである。測定精度向上のため，模型は船体重心を通る縦通軸を二個のボールベアリングで支えて heaving, pitching に対して拘束した。そのベアリングはアングルでレールに直接固着した。アルミ指針は船体に取付け，目盛の方は水槽壁に付けた。目盛は黒地に白で 1° が 3cm になるような長さの指針をつけ，先端にランプをつけて読み取りや撮影の便に供した。この装置の精度は目測で 0.2°，撮影すると 0.02° である。既知の GM 変動量は前後方向の鉛直面内で逆向きに廻る 2 個の重錘を一組の減速ギヤを通じてモーターで駆動し得る。rolling の周期はリレー制禦のストップウォッチで測り，指針が直立の位置でリレーが切れ，回路が通じるようにした。10 回の振れの平均をとつた時のこの装置の誤差は ±0.002 秒であつた。

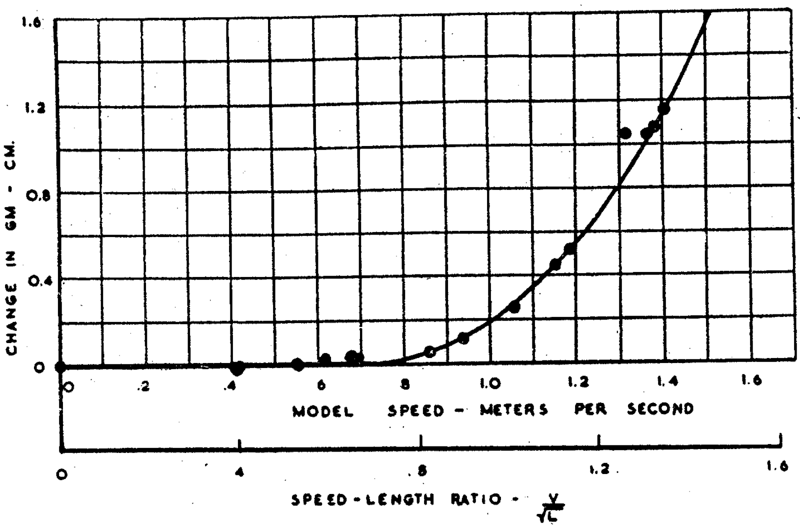


第 12 図

IV—2. 減 衰

減衰係数の値は減滅曲線から求めた。模型をある角度傾けて放し，傾斜の目盛を撮影した。針の動きを 5 回揺れる内シャッターを開放して連続的に記録した。各最大傾斜点で指針が一旦止るのでランプが明瞭な点に写り，ネガを投影して ±0.02° まで読みとつた。こうして求めた減滅曲線を一部分第 13 図に示す。

減衰量の求め方は次のごとくである。自由動揺の式および解は，



CHANGE IN GM WITH SPEED - STILL WATER

第 13 図

$$J\frac{d^2\psi}{dt^2}+W\frac{d\psi}{dt}+\nu\nabla GM\psi=0 \qquad (44)$$

$$\psi=\psi_0 e^{-\frac{Wt}{2J}}\cos\frac{2\pi t}{T} \qquad (45)$$

ただし，T は船の固有周期，ψ_0 は初期傾斜である。ψ_0 の次の最大値は $T/2$ の後に起り，

$$\psi_1=\psi_0 e^{-\frac{Wt}{4J}}$$

又 $$\Delta\psi=\psi_0-\psi_1=\psi_0'[1-e^{-\frac{WT}{4J}}]$$

より $$e^{-\frac{WT}{4J}}=1-\frac{\Delta\psi}{\psi_0}=1-\alpha$$

とおけば，

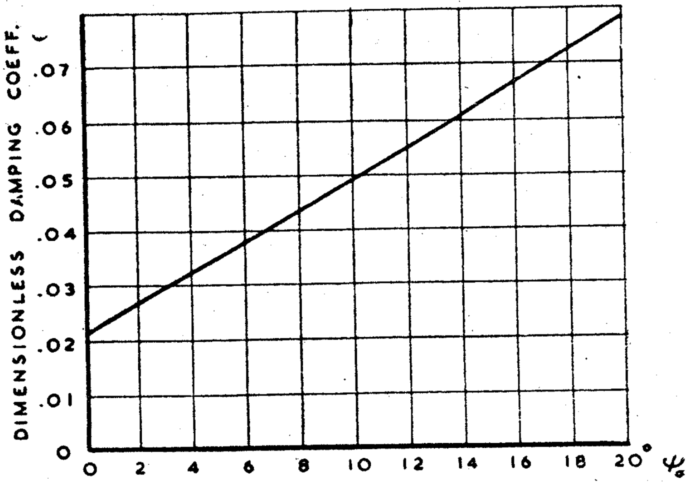
$$\frac{-WT}{4J}=\ln(1-\alpha)$$

$T=2\pi/\omega$ を用いれば無次への減衰量

$$\frac{W}{J\omega}=-\frac{2}{\pi}\ln(1-\alpha)$$

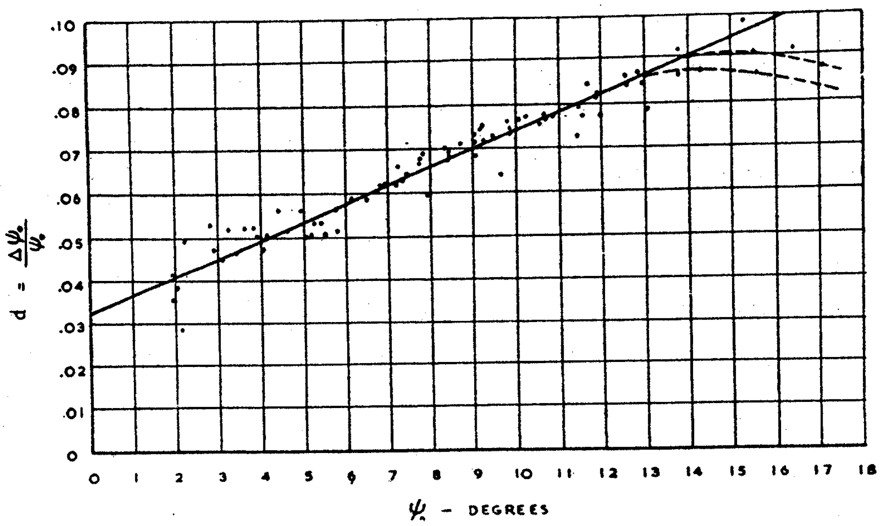
を得る。11 本の減滅曲線から ψ に対して α を plot して第 14 図を得た。点は多少バラツキがあるが図の範囲では直線で代表し得るようである。ここで最初の二揺れでは点が直線の下方にかたまるがこれは幾揺れかしている内に僅かな定常波が生成するそれ以後の点に対する差であろう。でこれらの点は直線を引く時も無視した。こうした α の代表値を用いて減衰係数を ψ_0 に対して図に書いたのが第 15 図である。

IV—3. 既知の GM 変動量による Rolling.

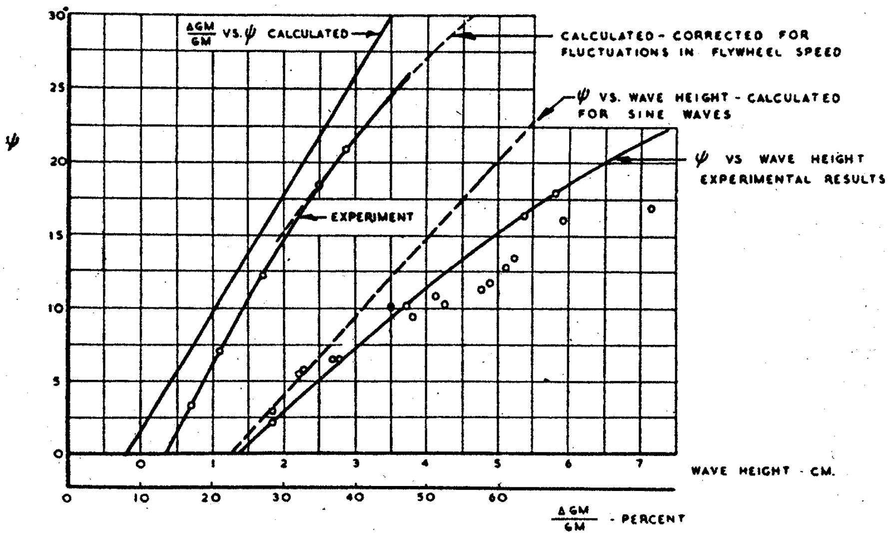


第 15 図

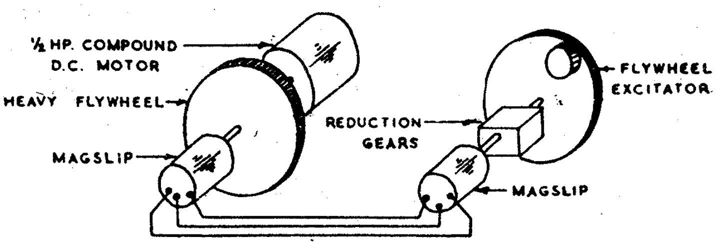
rolling の同調曲線は実験で定めた。GM変動は 1 で述べた機械的方法によつた。GMの変動を五通り変えて求めた同調最大角を第 16 図に示す。計算値も記入してあるが実験値より幾分大き目である。ここでフライホイールの回転は全く一定ではなかつた。駆動モーターは "magslip" 同期モーターである(第 17 図)。このモーターの界磁は水槽横の同じような同期モーターに結線され，さらにそれは大きな直流モーターで駆動される。従つて模型中のモータ



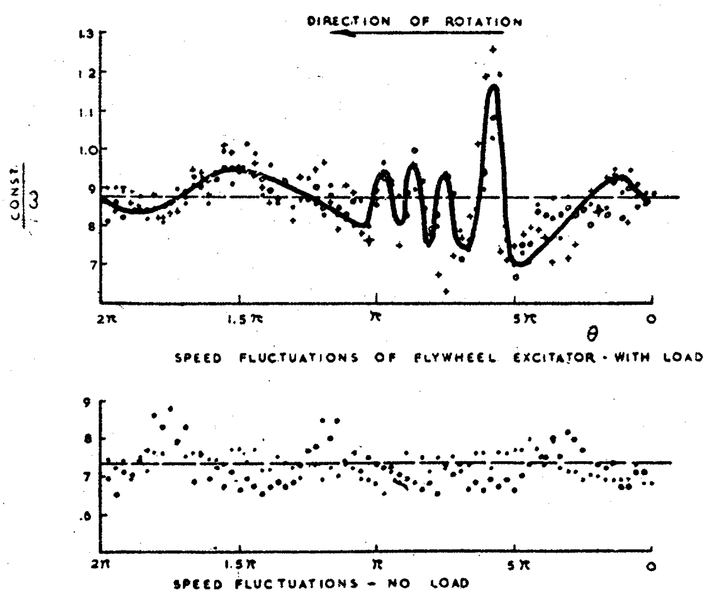
第 14 図



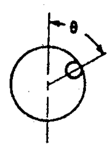
第 16 図



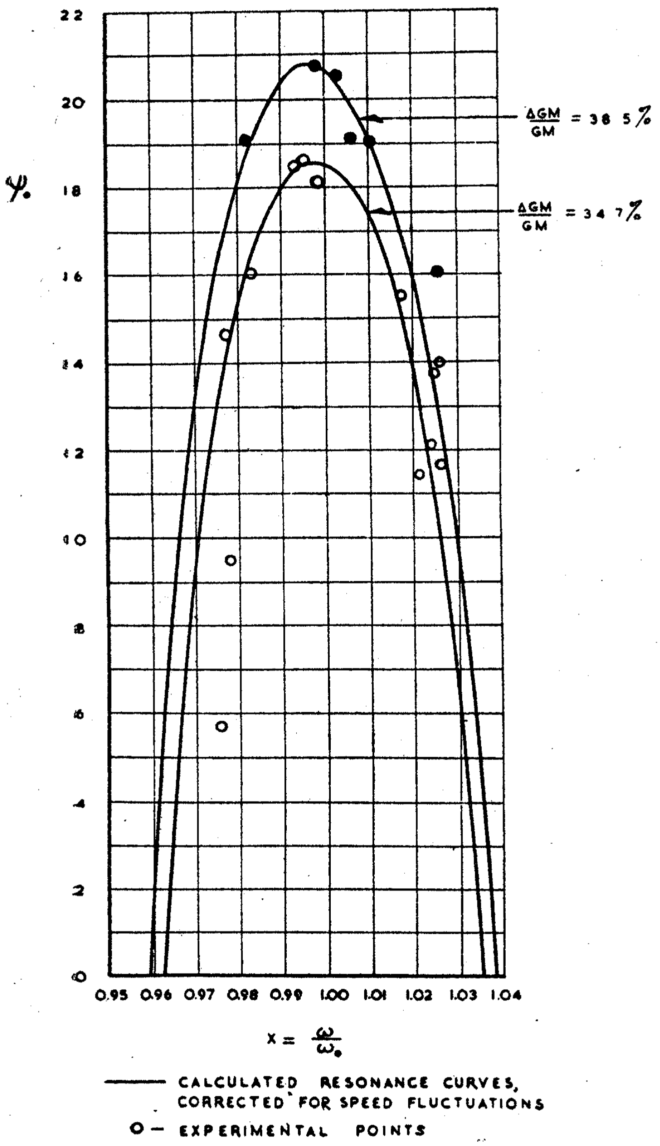
第 17 図



第 18 図



ーは直流モーターの運動に従う。フライホイールの回転ムラに対する検出方法としてフライホイールの偏心位置に可変電気容量の検出装置を取付けた。これによりフライホイールの回転と同周期の正弦波を取り出して，増巾してからオッシロスコープの水平軸に入れ一方発電機から取り出した正弦波形を垂直軸に入れた。両者の周期が同一ならばオッシロの映像面には楕円が出るがモーターの速度が変ると楕円ではなくなりすぐ発見される。これで調べた結果はフライホイールエキサイテイターが一廻りする内は全く定速だが以後時間につれて段々差が出て来た。次はエキサイテーターの回転そのものを調べる法をとつた。5° おきに放射線にスリットをあけた黒い円板をエキサイテーターにとりつけ，円板の両側に各々光源とゲルマニウム光電池とを置いてスリットが通過する度毎に光電池に起るパルス信号と既知周波数の時間軸と共にオッシロスコープに入れ映像面を写した。駆動はエキサイテーターの負荷をかけた時かけぬ時につき行つた。フイルムに出るパルスの間隔は回転角速度に反比例し，その結果を第 18 図に示した。精度はそう良くはないがフライホイールの運動の様子が少し解るだけでも十分である。図から何回もの結果を重ね合せて見ると無負荷の時は非周期的な変動はないように見えるが荷重時は明らかに周期的な型が認められる。その基本は回転と同周期の正弦波形であり，重錘が最高位置を通過直後でひどい振動がおきているがそれは耳でも聞える。これは結合部の動きや歯車の逆回転によるか，または同期モーターの振動によるものである。とにかく，直流モーターは定速と見なされたのだから原因は模型のモーターの方にあるのである。第 18 図によると，回転速度変動は 8.5% で動揺角に対する修正量は計算される。上の振動の影響は考えなかつた。このような修正をしたのが第 19 図に記入してあるが実験と理論とよい一致を示



第 19 図

している。第 19 図も実験と理論との同調曲線が二つ載せてあるが，これも良い一致を示している。ここで注意すべき事は GM 変動の周波数はごく微妙であつて 1% の誤差でも動揺角では 10% の誤差にもなり，3% の誤差で運動が消えてしまう事である。従つて同調曲線の極大値はもちろん同調域を求める事もごく大変である。さらにこの運動が行われるのに数秒もかかるのでモーターの回転の変動量がわかるのは数秒後になり，その時はすでにモーターは別の変動をしている現状も事情を悪くしている。

III—4. 波の中の Rolling.

観測は波高の異る一連の波につき行われた。船の固有週期は波長と船の長さが等しい所で同調が起るように調整された。最大横揺角は第 16 図に記入してある。図での相当のバラツキは簡単に説明される。即ち造波機から出る波の周期を整へ，定常状態にするのに 5 分はかかるがそれまでに波の反射や cross-wave の発生で波が変化し，正弦波からは程遠く，波の歪められた方もその時々に変化したからである。

図で実験値の高い方をとつて引いた曲線も計算値よ低目である。さて実験の曲線と既知の GM 変動量から出した動揺角曲線とを結びつけて波高による GM 変化の曲線が求められる。計算した曲線は正弦変化する GM 変動量から出したが実験の時の GM 移動は正弦ではない。第 5 図に見るように波高の低い時にこれら二つは各々計算された曲線の上下にある。ゆえにこの部分だけでも実験，計算曲線の GM 変動量の差異は実験時の波が厳密な正弦波でなかつたからといい得る。他にも計算曲線に含まれる誤差がある。即ち水圧力分布は船があつても不変との仮定である。しかしこれら二つの誤差は求め得ない。とにかく波中での実験から適当な大きさの波高に対して大動揺が生じる事が判然とした。

V. 結 論

前節まで前後からの規則波により大きい rolling が誘起される事が示された。この rolling は横復原力の周期的変動によるものであるが，その変動が知れれば正確に計算される。復原力の変動も求め得る。その結果は実験で完全に検証する事は出来ないがおおむね適当であるといえる。

次の段階は実際の海における船の運動の予測である。まず波は規則波——全く長時間波の周期が不変——であるとする。また船が出会う波では波長対波高比 20 位のものが多く，漁船等の小船ではそれ以上の波は普通出来ない。それでもし同調の条件が成立すると 30° 位の動揺はすぐ起る。普通の船ではここでは甲板縁は浸水する位でさらに風とかの条件でも加わると容易に転覆してしまう。しかし実際はもう少し好条件で完全な規則波など起らない。実験中観察された三つの要点 (1) 同調域はごく狭いこと，(2) 運動の位相が何かで少しずれるとすぐ 0 に減衰してしまい，また徐々に大きくなる，を用いると，実際の海で船が周期・位相共に 3 %位しか変らぬから規則波についての本文の解は実際的興味のあるものではないようである。

ある不規則波海面でここに述べたような rolling を起す不安定状態があるであろうか？ また少しは船に角度をもつて入つて来る波で二つの rolling の組合せで不安

定状態が生ずる事もあるだろうか？　その場合は第二次の同調域が問題になるであろう。斜め波の時は危険な動揺を起すような周期の横方向成分と縦方向成分をもつ波に相当長い間出会う事があるかも知れない。その可能性によつてでも今後この方向の研究を進める必要はあると考えられる。

模型船のデータ（縮尺 1/25）

普通の漁船の模型で，深さ 8 mm の Keel を全長にわたり有する。米杉製で実物に対応した船首楼，船尾楼，舷墻を有する。

$L_{WL}=123.4$cm,　$L_{pp}=118.5$cm,　$B=28.0$cm,
$\nabla=19.26\,\mathrm{dm}^3$,　GM$=4.1$cm,　$H_a=14.0$cm,
$H=8.12$cm,　$H_{\mathrm{mean}}=11.1$cm.

参　　考

1) Coulson, C.A.: "Wares-A Mathematical Account of the Common Types of Wave Motion" London, 1952.
2) Grim, Offo: "Rollschwinqungen, Stabilität und Sicherheit im Seeqang," Forschunqshefte für Schiffstechnik, Heft 1, 1952.
3) Hildebrand, F.B.: "Advanced Calculus for Engineers," New York, 1952.
4) Mc Lacblan, N. W.: "Ordinary Non-Linear Differential Equations," Oxford, 1950.
5) Mc Lacblan, N. W.: "Theory and Applications of Mathieu Functions," London, 1951.

（元良誠三）

N.S.M.B. の新航海性能試験水槽

Development of a Seakeeping Laboratory for the Netherlands Ship Model Basin. by W.P.A. van Lammeren and G. Vossers

実船の航海性能の研究に波浪中の模型試験が必要なことはいうまでもないが，従来の船型試験水槽では規則的な向い波または追波についての実験しか行うことが出来なかつた。しかし，N.S.M.B. では新型の造波機を採用して，実際の海面状態に非常に近い波を起せる試験水槽を建設中であつて，1956 年の春には実験が開始される予定である。本論文はこの航海性能試験水槽の建設計画の報告である。

1.　緒　　論

N.S.M.B. では波浪中の航海性能におよぼす風および波の影響を次の二つの方法によつて研究している。

1．実船就航時の記録の解析

2．航海性能試験水槽における模型試験

この二つの方法は相補的なものである。1. については Delft 工科大学で研究中であり，2. が本論文の対象になるものである。

2.　航海性能におよぼす風および波の影響

2.1　問題例

風および波が航海性能におよぼす影響は最も重要なもので，大洋を航海したことのある者は誰でも不快な船酔を経験しているであろう。しかし，波浪中の船の研究が重要なのは他の理由からである。

a.　波浪中の速度損失

軍事的な観点（速度は最も重要な武器である）と同様に経済的な観点（正しい予定）からも，平均航海速度を増す必要がある。天候状態による波浪中の速度損失は航海記録を解析することによつて得られる。Delft 工科大

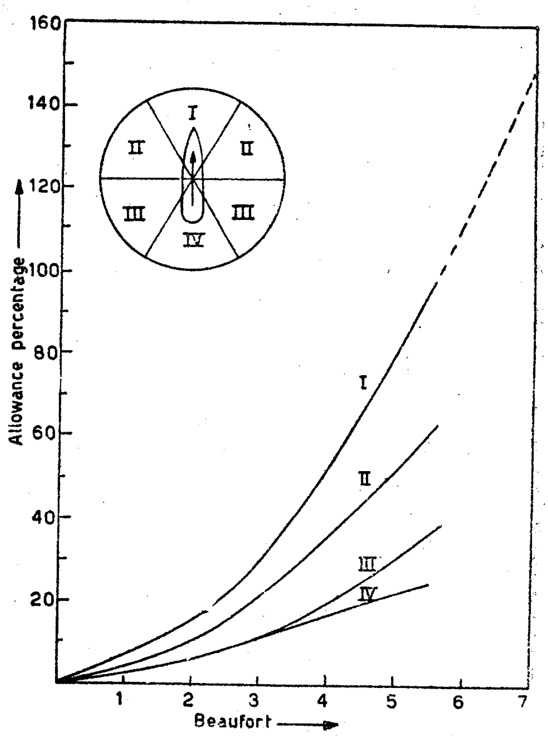


Fig. 1. Percentage allowance on d.b.P. (tank) for a motor tanker, due to wind, waves and steering-resistance for angles of incidence I-IV.

学の Bonebakker 教授があたえた風波の影響を示す図の一例を Fig. 1 に示す [5]。

Fig. 2 は縦の回転半径を変化させた同一の船に異つ