錨の動的把駐特性に関する実験研究

鞠谷宏士*・及川清**
野村士平***

Experimental study on the characteristic of dynamical
holding ability of anchor

H. Kikutani, K. Oikawa
and S. Nomura

Abstract

When let go anchor and make it bring up or when moor on anchor in strong wind, the forces acting on anchor are dynamical ones caused by ships motion, so we have investigated the behaviours of anchors on sand bottom in such circumstances by model experiments.

The results of experiments are as follows:—

1) when we make anchor bring up, ship's speed affects on the behaviour of anchor biting into bottom. And if we can measure always the tension of anchor cable, it may be able to judge whether the anchor brings up effectively or not.

2) when the dynamical forces act on anchor having brought up effectively, the anchor is dredged quickly but it does not rotate or jump out the bottom. When the dynamical force is over, the anchor bring up effectively as in initial condition. The length of dredging is not so long as several times of anchor length.

The resistance of anchor in this circumstances, we could not analyze theoretically but we have to study hereafter experimentally or theoretically.

1. ま え が き

錨の把駐力については、今までに実船実験、模型実験が日本およびイギリス、アメリカなどで数多く行なわれている。その結果によると日本で現在多く使用されているJIS型錨は、把駐力係数3.5～5で、かき込み性能やスタビリティも悪く、荒天時に錨にたよることに不安が感じられる。

これ等の実験はすべて錨を定速度で引張り、錨の抵抗力を求める方法が取られている。ところが実際に錨泊している船により錨に加えられる力は、筆者等が荒天錨泊法に関する実験研究で示したように風圧等の外力により生じられた船のふれまわり運動にともなう慣性力がその主なものである。

室戸台風、伊勢湾台風等の例に見られるように、台風時に多くの船が走錨し大きな事故を起して

*,** 東京商船大学（東京都江東区深川越中島）

*** 鳥羽商船高等学校（鳥羽市池上町1の1）

いるが、そのかげには同じような環境にさらされながら事故に発展していない船もまた多くある。

このような状況の下で走錨するとはどういうことなのであろうか。残念ながら走錨についての機構はまだ全く解明されていない。そこで錨に船の慣性力に相当するような力を加えて走錨の機構を幾らかでも解明したいというのが本実験の目的である。

昭和37年に筆者等は東京商船大学の練習船汐路丸により、同目的をもつて実船実験を行なつたが、実船実験は計測が困難でありまた多くの日時と人手を要するので、今回は模型実験を行なうことにし、錨把駐力水槽に、錨に慣性力を加えられる装置を付設した。

この装置により、上記の目的にそう実験が行なえるほかに、投錨後ブローアップまでの状態も、船に行脚を持たせ慣性力によつて錨をかき込ませることなので、同様に実験することができる。

ここに昨年夏行なつた実験の結果について報告す。

2. 実験装置の概要

実験装置は錨把駐力実験水槽と、錨に慣性力を作用させるための台車走行装置よりなる。その概観を図2・1に示す。

図2・1 実験装置概観

2・1 錨把駐力実験水槽

この水槽は他の場所にみられる実験水槽と同様である (図2・2)。

図2・2 錨把駐力実験水槽

主要寸法

$L \times B \times D \times d$ $10.^m5 \times 1.^m5 \times 1.^m2 \times 0.^m7$

d は底質土の深さを示す。

鋼板製で片側側面にガラス窓を設けた。また上面に砂ならし装置を動かすためレールを敷いた。底質には普通の河砂を用いた。粒度分布を図2・3に示す。比重は1.54水中息角は $32.^{\circ}5$ である。

図2・3

定速度引張装置 錨の抵抗力を計測できるよう定速度引張装置を設けた(図2・4)。使用したモータは可変速リングコーン1馬力のもので、引張り速度は0.5~2.0cm/secである。

図2・4 定速度引張装置

張力計測装置 錨引張索(6^{mm}, 6×19 wire rope)の張力を計測するため水槽の錨引張側の端に計測装置用架台をもうけ、それに丸東プルービングリング(500kg)およびロードセルを直列に取付けた。

プルービングリングは遠隔指示読取式とした。ロードセルは動歪計に接続し、オツシログラフに自記させるようにした(図2・5, 2・6)

図2・5 錨索張力計測装置

図2・6 計測装置

錨移動速度計 錨の後端からピアノ線を速度計に接続し、錨の移動1 cm毎に発信させこれを時計とともにオツシログラフに自記させるようにした（図2・7）ピアノ線の張力は200～300gr.である。模型錨は10kgを標準としているので、ピアノ線の張力は無視できると考えている。

図2・7 錨移動速度計

図2・8 台車走行装置

2・2 台車走行装置

図2・1, 2・8にみられるように設定したレールの上を台車を走らせ、この台車に錨の引張索をつかまえて引かせることによつて、錨に慣性力を作用させようとするものである。

レールの全長は14メートルで、これを2つの部分に分け、初めの4 mには1/10の定勾配を与え、これによつて台車に初速度を与える。台車の引揚げ距離（台車の後輪中心までの距離を α とした）を変えることにより台車に230cm/secまでの速度が与えられる。

残りの10mを水平部とするが、この部分も0～1/100の範囲で勾配を変えることができるようにしてある。レールの上面までの高さは118cm幅は80cmである。

台車は $L \times B \times D = 1.5\text{m} \times 1.0\text{m} \times 0.5\text{m}$ で、前、後輪の中心の間隔は78cm、重量143kgである。台車の重量を調節するために10kgの鉄ナマコ100個を用意してある。台車の中央下部に引張索をかけるためのフックを設置してあり、この部分にもロードセルを設置して張力計測が可能にしてある。

この装置による引張索の導き方は図2・1に示す通りであるが、台車のフックに引張索をかけるためにレールの水平部の前端から4 mの範囲に、引張索のリングを仮止めする装置を取付けられるようにしてある。

台車の速度を検出するため、錨移動速度計と同型式のものを設備し、台車の1cm毎および10cmごとの移動をオツシログラフに自記させるようにしてある。

本実験で得られたオツシログラフ記録の一例を図2・9に示す。

図2・9 オツシログラフ記録

3. 本実験の相似則

実船と模型の各デイメンジョン等を次のように示す。

	長さ	重量	質量	速力	移動距離	時間
実船	L	W	M	V_x	x	t
模型	L_1	W_1	M_1	V_{x1}	x_1	t_1
	錨重量	錨質量	錨速力	錨移動距離		
実船	w	m	V_y	y		
模型	w_1	m_1	V_{y1}	y_1		

1) 錨の重さと台車重量

$$\frac{W}{W_1} = \frac{M}{M_1} = \frac{L^3}{L_1^3} \quad (3.1)$$

また錨の重量は艀装数によりきまり、艀装数は L^2 に比例するから

$$\frac{w}{w_1} = \frac{m}{m_1} = \frac{L^2}{L_1^2} \quad (3.2)$$

$$\therefore \frac{W}{W_1} = \left(\frac{w}{w_1} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.3)$$

実船の W 、 w および模型錨の重量 w_1 がきまれば(3.3)式により台車重量 W_1 が計算できる。

2) 台車の走行速度と実船の速度等の関係

本実験の状態を単純化し、台車の摩擦抵抗、高さ等を見捨てると図3・1のようになる。

図3・1

この装置では台車の運動エネルギーが、錨の運動エネルギー、錨の抵抗による仕事および索ののびによる仕事に変換されるから、次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \text{実船} \quad \frac{1W}{2g} V_x^2 &= \frac{1w}{2g} V_y^2 + \int R dy + \int T d(x-y) \\ \text{模型} \quad \frac{1W_1}{2g} V_{x1}^2 &= \frac{1w_1}{2g} V_{y1}^2 + \int R_1 dy + \int T_1 d(x_1-y_1) \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

ここに R 、 R_1 は錨の抵抗であり、 T 、 T_1 は索の張力である。

相似則が成立するためには、上記2式の各項の比が等しくなければならないから

$$\frac{W V_x^2}{W_1 V_{x1}^2} = \frac{\int R dy}{\int R_1 dy_1} \quad (3.5)$$

また

$$\frac{w V_y^2}{w_1 V_{y1}^2} = \frac{\int R dy}{\int R_1 dy_1} \quad (3.6)$$

$$\text{ここで } \frac{x}{x_1} = \frac{L}{L_1}, \quad \frac{W}{W_1} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^3, \quad \frac{w}{w_1} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^2$$

であり、錨の抵抗は錨の重量に比例すると仮定すると

$$\frac{R}{R_1} = \frac{w}{w_1} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^2 \quad \therefore \frac{\int R dy}{\int R_1 dy_1} = \frac{w y}{w_1 y_1}$$

ゆえに(6)式より

$$\frac{V_y^2}{V_{y1}^2} = \frac{y}{y_1} \quad (3.7)$$

これを變形して $\frac{y/t}{y_1/t_1} = \frac{y}{y_1}$

$$\therefore \frac{t^2}{t_1^2} = \frac{y}{y_1} \quad (3.8)$$

また (3.5) 式より

$$\frac{V_x^2}{V_{x1}^2} = \frac{L_1}{L} \frac{y}{y_1} \quad (3.9)$$

$V_x = x/t$ として變形し (3.8) 式を代入すると

$$\frac{y}{y_1} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.10)$$

$$\text{これより } \frac{V_x}{V_{x1}} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.11)$$

$$\text{また } \frac{V_y}{V_{y1}} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^{\frac{3}{4}} \quad (3.12)$$

$$\frac{t}{t_1} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^{\frac{3}{4}} \quad (3.13)$$

となる。

索張力 T に関しては

$$\frac{\int T d(x-y)}{\int T_1 d(x_1-y_1)} = \left(\frac{L}{L_1}\right)^{\frac{7}{2}}$$

この装置を考慮して、 $T = k(x-y)$, $T_1 = k_1(x_1-y_1)$ と考えられるから $\int T d(x-y) = k(x-y)^2/2 = T^2/2k$ であるから

$$\frac{T}{T_1} = \left(\frac{k}{k_1}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{L}{L_1}\right)^{\frac{7}{4}} \quad (3.14)$$

となる。

もし台車重量が (3・3) 式に示した相似則に従わないときは、相似則に従う台車重量を W_1 、その速度を V_{x1} 、従わないものをそれぞれ W_2 、 V_{x2} とすると

$$\frac{1}{2} W_1 V_{x1}^2 = \frac{1}{2} W_2 V_{x2}^2$$

でなければならないから

$$\frac{V_{x1}}{V_{x2}} = \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3 \cdot 15)$$

により換算できる。

4. 実験の概要と結果

実験は次の2つの場合に区別される。

- 1) 錨のかき込み状態に関する実験
- 2) かき込んだ錨に慣性力(動的荷重)が作用したときの錨の状態に関する実験

4・1 錨のかき込み状態に関する実験

この実験は投錨後船に行脚をもたせて錨をかき込ませる、すなわち Brought up 時の錨の状態に関する実験である。

国鉄における実船実験や最近大阪湾などにおいて練習船等を用いて行なわれた実船実験の結果によれば、底質が砂の場合でも、船上では Brought up したと判断されながら実際には爪がじゅうぶんかき込んでいなかったことが多く、底質泥の場合には爪が上を向いて100% かき込んでいなかったことが報告されている。

これは錨の形状が不満足であることも原因の一つであり、また投下された錨の海底における姿勢もその原因の一つであると考えられているが、そのほか brought up させるときの船の速度も影響していると考えられる。

今回の実験では錨を海底に水平に静置した状態から、台車の速力を種々にかえて錨がかき込む状態を調べた。

台車の速度の目安としてレール傾斜部の基点から引き揚げられた台車の後輪中心までの距離 α を取った。実験は同一の α について3～5回ずつ、11種類、43回の実験を行なった。

そのオツシログラフ記録から、索張力、台車および錨の速力変化を読み取った一例を図4・1に示す。

図4・1

実験の結果にはかなりのバラツキが見られるが、同一の α について平均した実験値、解析値を

プロットしたのが図4・2である。

図4・2

図4・1にみられるように錨は急速に動きはじめ、爪がかき込みはじめるときに head がもち上げられるので、まるで飛び上るようにみえる。

図には示されていないが $\alpha=110\text{cm}$ のときは錨はすべるだけでほとんどかき込まなかつた。 α をますにしたがつてかき込みが起こるが、 $\alpha=140\text{cm}$ までは爪が全部かき込むに至らないで、トリッピングバームから上は砂の上に露出していた。 $\alpha=150\text{cm}$ をこえると十分にかき込んだと見られる状態になった。

さらに α をますと錨はだんだん深く入るが移動距離の方が増加し、 $\alpha=190\text{cm}$ 以上ではかき込みの深さはかわらなかつた。

索張力 T の変化は図4・1にみられるようにどの場合も明瞭な2つの山がみとめられた。第1の山 T_1 は静置した錨が動きはじめるときにかかる荷重であり、第2の山は爪がかき込んだ後その抵抗によつて索に生ずる張力である。図4・2にみられるように T_1, T_2 は α が大きくなるとともに大きくなるが、 $\alpha=135\text{cm}$ までは $T_1 > T_2$ であり、 α が 150cm を超えると $T_2 > T_1$ となつてゐる。

先にのべた爪のかき込み状態と合せてみると、爪が十分かき込むのは α は 150cm 以上で $T_2 > T_1$ になる場合であるといふことができる。これは錨鎖の張力が常時計測できれば、これによつて錨が十分かき込んだかどうかを知ることができるようになるだろうという可能性を示してくれるものである。

速力は $\alpha=190\text{cm}$ 以上になると T_2 はあまりかわらず、移動距離が増すだけである。したがつてこの実験の結果よりみれば錨をかき込ませるのに必要な速力は α が 150cm から 190cm の範囲内にあるといふことができよう。

これを前述の相似則を用いて実船の速力に換算すると次のようになる。

〔例〕 日聖丸 錨重量 3,680 kg 軽荷状態排水量 6440 t

	実船	相似則に合う模型	模型実験
船の重量	6440 t	1034 kg	503 kg
w 錨の重量	3680 kg	10.9 kg	10.9 kg
$\alpha=150\text{cm}$ の場合の速力	127 cm/s	61 cm/s	88 cm/s
$\alpha=190\text{cm}$ の場合の速力	176 cm/s	84 cm/s	120 cm/s

〔注〕 $L/L_1=18.4$ $(L/L_1)^{1/4}=2.07$

なお本実験を通じて錨の爪が上を向いたり反転した場合は一度もなかった。しかし錨の初期姿勢が水平静置の状態にあつたこともこのような結果を生じた大きな理由かも知れないので、今後初期姿勢を実際の投錨状態に近付けて実験を行なう必要がある。またこの実験では引張索に wire rope を使用しているが、chain を用いた場合結果にどのような相違が起こるかもしらべる必要がある。

4.2 かき込んだ錨に慣性力が作用した場合の実験

錨泊している船に強い風が吹くと、船は振れまわり運動をし、風圧よりもむしろこの船の運動の慣性力によつて錨鎖に衝撃的な張力がかかり、これが走錨を起こす原因と考えられているが、はたしてこのような張力が錨鎖にかかったときに錨がどのような動きをするのかは明かでない。これを調べるのが本実験の目的である。

実験は台車の重量が503kgの場合と1,003kgの場合の二つについて行なつた。

i) 台車503kgの場合の実験

錨の初期条件であるかき込んだ錨の状態をつくるために、4-1の実験を参考にして、錨を水平に静置した状態から、 $\alpha=150\text{cm}$ としてまず錨をかせ、更にその状態の錨にもう一度 $\alpha=150\text{cm}$ から台車を走らせてかき込ませた。この状態を初期条件とし、 $\alpha=150\text{cm}$ から350cmまでを9段階に分け同じ α について連続して、3回ずつ計27回の実験を行なつた。

この場合のオツシログラフの記録の一例は図2.9のようであつて、この記録から、錨鎖張力 T 、台車および錨の移動速度 $\dot{x}$, $\dot{y}$ および台車、錨の移動距離 x , y を読み取つたのが図4.3である。

図4.3

各 α について実験値にかなりのばらつきが見られたが、その平均を取つて、索張力に値をもち始める時の台車の初速度 v_0 、索張力の最大値 T および錨の移動距離 y をプロットしたのが図4.4である。

図4.3に見られるように錨が1cm以下の動き（記録にはあらわれない）のうちに台車の移動によつて索張力は50kg~100kg（錨の重量の4.5~9倍）まで急速に増大し、錨が急に走り出す。錨の移動速度の変化は図4.3に見られるように最大速さが一度あらわれる場合と極大値（微小な変化を除いて）が二度あらわれる場合がある。1山の場合および2山の場合の第一の山は索張力が最大になる前にあらわれるのが普通である。2山の場合の第2の極大値は T の最大があらわれて

図4・4

後におこる。

索張力の最大値があらわれて後は錨の速度は台車の速度に近くこのまわりで上下に振れながら低下して行くのが普通の場合である。

台車の速度は cosine カーブに近い主な低下状態のまわりにゆるやかな速度変化が見られる。

台車および錨の速度が 0 に近付いた状態でも索張力は 50 kg ~ 75 kg (4.5 ~ 7.0 W) を保ちその後低下する。

α を増大し、台車初速度が増大するにつれて錨の移動距離も増大する (図4・4) が、索張力に

図4・5

注目すると $\alpha=150\sim 230$ までは α の増大につれて増大するが、 $\alpha=250$ で急激に索張力の最大値が低下し、 $250\sim 350$ の間ではまた増大して行く。このように最大張力の大きさに大きな断層があるがこの理由は明かでない。各状態での張力が最大に達する付近の変化を錨が移動しはじめた後について取つたのが図4・5であつて、この図では $\alpha=230$ 以下と250以上で索張力変化の山の尖り方が異なり、250以上では最大張力の山がまるくなっているのが見られる。このような変化が先程の断層を生じた理由であろう。

現象の変化が $1/2\text{sec}$ 以下で終つてしまうことが多いので、眼による観察では十分ではない。 α を増大するにつれて錨の移動距離は大きくなるが、錨が反転したり飛び出してしまつたりしたことは一度もなかつた。

台車を重くしてさらに大きな慣性力をかければどうなるかを調べるために、台車重量を1003kgに増大した。

ii) 台車重量1003kgの場合

初期状態は錨を水平に静置した状態から、 $\alpha=125\text{cm}$ で錨をかき込ませ、さらにもう一度で引張り十分に錨をかき込ませた状態とした。

この状態の錨を $\alpha=250, 270, 300, 350\text{cm}$ の4段階で、各 α について連続3回ずつ引張つた。

図4・4に索張力の最大値、台車の初速度 v_0 、錨の移動距離 y の各 α についての平均値をプロットしてある。

この図からわかるようにこの状態は台車503kgの $\alpha=250\text{cm}$ 以上の場合と比較して大きな断層をもっている。索張力は α を増大してもあまり変化がなく、 y が急激に増大している。索張力の変化の状況を錨が動きはじめて後について示したのが図4・6で、張力の変化は台形に近い。このような変化があらわれる理由もまた明かではない。

図4・6

錨の動きは台車503kgに比較して更に早くなるが、反転したり、飛び出したりすることはない、一度 anchor head に傾斜がみられただけである。

本実験における運動方程式は台車の摩擦抵抗、レールの高さを無視すると次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} M\ddot{x} &= -T \\ m\ddot{y} &= T - R \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

ここに M は台車の質量、 m は錨の見掛け質量、 R は錨が動くときの抵抗、 T は索張力、 x は台

車の、 y は錨の移動距離、である。

この式で M は定量的に定まるが、 m については錨のほか錨とともに動く土がふくまれるが、今のところこれを定めるような資料はない。

R についても今の所全く未知である。

T はこの場合 wire rope なので $T=k(x-y)$ ただし k はロープの索弾性係数と考えられるが、索張力が0から変化し、6 mm の wire rope (破断力1.7 t) で最大張力が250kg程度であるから、0～250kgの間では k の値は線型変化ではない。

我々は R の値を錨が動き出すまでは $R=gy$ とし、以後を $R=R_0$ として検討して見たり、 $R=g_1y$ として検討してみたりしたが、理論値と実験値にはなお大きな隔りがあつて、 R がどのようなものであるかを推定し得るまでには到っていないのは残念である。理論的な解析はなお今後の問題として検討して行きたいと考えている。

5. む す び

以上我々が行なつた実験の概要と結果についてのべて来たが、実験値にかなりのバラツキがあつて、実験回数の不足、実験状態の整備についての困難さを痛感するが、概要次のようなことが言える。

1) 錨を Brought up させるには船の速力が影響を及ぼす。もし錨鎖張力が常時計測できるならば、張力変化を調べることによつて十分錨がかき込んだかどうかを判定できる可能性がある。

海底が砂で錨が水平に静置されている場合には、船に適当な速力を与えれば確実にかき込む。

今後は錨の海底での投錨時の姿勢とかき込みの関係、錨鎖の影響を調査する必要がある。

2) Brought up している錨に慣性力が作用したときは、海底がゆるい砂の場合に錨は急速にすべり動くが、錨が反転したり飛び出したりして、動いた後の把駐性が悪くなることはない。錨の移動距離は慣性力が大きいほど大きい。よい面より見れば錨が動くことによつて錨鎖の衝撃力は緩和されると考えられる。

このような衝撃力がかかつた場合の錨の抵抗力については良くわからない。今後理論的、実験的、裏付けをして、抵抗力の性質を明かにして行く必要がある。

3) 本実験の相似則については、一応の考え方を示したもので、式の誘導、仮定の立て方に色々問題が残ると思われる。今後さらに検討を進めなければならない。

終りに本実験の実施および解析について、学生石橋 武、遠藤哲郎、丸山宙 3 君の協力を得また実験の準備、実施について 助手 川岸 東、小山荒雄両氏の協力を得たことに感謝する。

質 疑 応 答

1) 投錨または曳航等の場合、錨鎖なり曳航索のカテナリーは把駐力並びに曳索緊張に影響することが大きいと思われる。

そこで、実船実験を模型実験にした場合カテナリーの影響を如何に算出されるか。(阿土)

[答] この実験では曳索にワイヤー・ロープを使用したので、錨鎖の影響は入っていない。当然将来は錨鎖の影響も考えなければならないと思います。実験にこれを取り入れる方法も考えています。

この実験ではロープののびを考え $T=k(x-y)$ の形になりますが、錨鎖ではカテナリーの方がのびよりもきいてきますから、錨鎖張力と船、錨の移動距離の関係はもつと複雑になるでしょう。

2) $T_1 \cdot T_2$ の大小、間隔と走錨等に関係はないか (榎)

[答] T_1 , T_2 は錨のかき込み時の索張力の定性的変化から読み取れるもので、一応走錨とは無関係です。しかし船の運動量をもつと大きくなると関係がでてくるかも知れません。

かき込ませた状態に慣性力を作用させたときは、 T_1 , T_2 のような2つの顕著な山はあらわれません。図4・4で T_1 という文字をつかつたため誤解を生じ申し訳ありません。

3) 衝撃力を加えて、錨の運動を解析しようとされた着眼に敬意を表します。

相似則を導く考え方についておたずねします。相似則をエネルギー保存則から導出されておられますが、衝撃力を加えるためのハンマーは 0.5~0.7 sec. くらいで停止しているところから、むしろ力積の考えに立つべきではないかと考えられます。この点についての見解をお聞かせ下さい。(久々宮 久)

[答] 御討論有難うございます。模型実験では錨が移動をはじめてから止まるまでに 0.5~0.7 sec ですが、汐路丸における実験(荒天錨泊法に関する実験研究一錨の把駐力に関する実船実験昭37年商船大学研究報告13号)では衝撃的な力が作用している時間は4~8秒くらいになりますので、衝撃問題としてよいかどうか判断に苦しみます。

もし衝撃問題として解いたとすると、次のような相似則が得られます。

$$\text{運動方程式は } M\dot{v}_x = -T \quad m\dot{v}_y = T - R$$

です。 v_x は初速度 v_{x0} で終速度 0 ですから

$$Mv_{x0} = \int_0^t T dt \quad (1)$$

v_y は初速度 0, 終速度 0 ですが、台車の運動量によつて初速度が瞬間的に v_{y0} になつたと考えますと

$$mv_{y0} = \int_0^t T dt - \int_0^t R dt \quad (2)$$

と書けるでしょう(図参照)。したがつて①, ②式から

$$Mv_{x0} = mv_{y0} + \int_0^t R dt \quad (3)$$

となります。

③式と①式について、実船と模型に関して、式の各項の比が等しいとすると、次のような相似則が得られる。

$$\frac{M}{M_1} = \frac{L^3}{L_1^3}, \quad \frac{m}{m_1} = \frac{L^2}{L_1^2}, \quad \frac{R}{R_1} = \frac{L^2}{L_1^2}, \quad \frac{x}{x_1} = \frac{L}{L_1}$$

と仮定して

$$\frac{v_{x0}}{v_{x01}} = 1, \quad \frac{v_{y0}}{v_{y01}} = \frac{L}{L_1}, \quad \frac{y}{y_1} = \frac{L^2}{L_1^2}, \quad \frac{t}{t_1} = \frac{L}{L_1}$$

$$\frac{T}{T_1} = \frac{L^2}{L_1^2}$$

衝撃問題として相似則を求めますと、

本論文に示した相似則と変わってきますが、御批判を仰ぎたいと思います。

正 誤 表

日本航海学会創立20周年記念論文集下記の誤りを著者が指摘されましたので訂正御願ひ致します。

避航と衝突の確率について

ページ	行	誤	正
63	11	Value	value
64	11	1.2回	1.6回
64	11	0.5回	0.7回
66	25	$\int \int_{V_1 V_2}$	$\int \int_{\vec{V}_1 \vec{V}_2}$
66	32	$3\pi/8$	$3\pi/4$
67	2	$\vec{e}(\vec{V}_p - \vec{V}_{\text{mean}})^2/2\sigma^2$	$\vec{e} - (\vec{V} - \vec{V}_{\text{mean}})^2/2\sigma^2$
67	13	exp	exp
67	19	$\sqrt{\pi} \rho^2 D_r/2$	$\sqrt{\pi} \rho^2 D_r \sigma/2$
67	32	σ^2	p^2
67	33 (図2)	密度 σ	密度 ρ
69	5	ρ^2	ρ
69	表2	密度 $\text{km}^{-2}\text{h}^{-1}$	密度 km^{-2}