



Title	荒天錨泊時の係留力の実験的検証
Author(s)	芳村, 康男; Yoshimura, Yasuo; 雨宮, 伊作 他
Citation	日本航海学会論文集, 121, 161-167
Issue Date	2009-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/44005
Rights	©日本航海学会
Type	journal article
File Information	yoshimura_121_1.pdf



荒天錨泊時の係留力の実験的検証

芳村 康男*・雨宮 伊作**・松川 英輔***・今 吾一****

Experimental Analysis on the Anchor Mooring Force in Heavy Storm Condition

Yasuo YOSHIMURA, Isaku AMEMIYA,
Eisuke MATSUKAWA and Goichi KON

Abstract

When a ship is anchoring in a stormy weather, the anchor often comes off due to the extreme overload of the mooring force. Then, the ship begins to run and sometimes causes aground, and this makes a serious disaster. The accident of "Toya-maru" was also one of them. There are still such accidents and lost many crew in these days. However, the mechanism of anchor mooring force in a stormy weather is complicated and not clear. Although the wind force to the superstructure becomes the major anchor mooring force, it may not be enough even if the wave drifting force is considered.

In this paper, the accident of the sail training ship "Kaiwo Maru" that was caused under the stormy weather by the large-scale typhoon off Hushiki-Toyama harbor in 2004 is investigated based on the model tests. Then, it is found that the peak mooring force becomes extremely larger even in the ahead condition against wind and wave when the ship is more strongly pulled by the wind force and wave drifting force. This may causes the some kind of deadlock condition that the windlass can not pull up the anchor but the anchor begins to walk, until at last the above mentioned accident may happen in the stormy weather.

Keywords : *Anchor mooring force, Storm weather, Sail training ship, Model test*

キーワード : 係留・錨泊、係留張力、走錨事故、大型練習帆船、模型試験

1. はじめに

荒天錨泊中の船舶が走錨することにより防波堤や浅瀬に乗揚げて損壊し、多くの貴い命が失われる事故が絶えない。古くは青函連絡船洞爺丸の海難事故がその一つであり、昨今では、平成 15 年の石狩新港における貨物船、平成 18 年鹿島港外における大型鉱石運搬船の走錨事故があり、いずれも多くの犠牲者が発生した。しかし、荒天錨泊中に作用する係留力のメカニズムは複雑で、その推定は容易ではない。アンカー、チェーンなどの係留装置の設計に際しては、船体上部構造物の風圧側面積などを重点的に艦

装数という形で係留装置の設計基準が確立されているが、これに波漂流力を考慮したとしてもなお十分でない可能性がある。

本論では、平成 16 年 10 月 20 日、富山港外にて錨泊中の練習帆船「海王丸」が大型台風 23 号による荒天下で走錨し、防波堤に座礁・損傷した事故例を取り上げる。荒天錨泊中の係留張力を、模型実験で詳細に検証することによって、走錨開始時の係留力を解明し、こうした事故を防止するための効果的な操船対策や運航管理に役立てる他、係留装置の設計や基準にもフィードバックしようとするものである。

* 正会員 北海道大学大学院水産科学研究院 (〒041-8611 函館市港町 3-1-1) y-yoshi@fish.hokudai.ac.jp

** 正会員 (独)航海訓練所教育部 (〒231-0003 横浜市中区北仲通 5-57) amemiya-i@kohkun.go.jp

*** 非会員 ユニバーサル造船株式会社 (研究当時 北海道大学水産学部)

****非会員 (独)航海訓練所教育部 kon-g@kohkun.go.jp

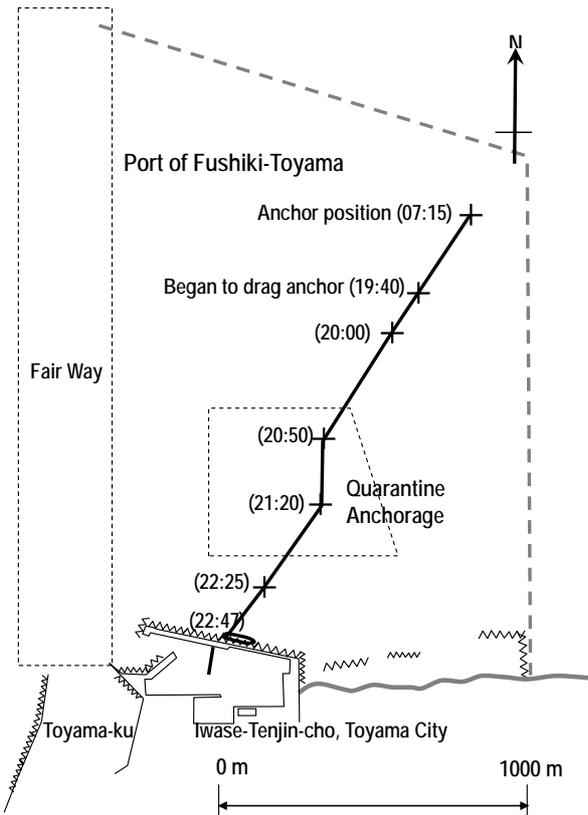


Fig.1 Trajectory of Kaiwo Maru before grounding.

2. 走錨・座礁に至った状況

海王丸は平成16年10月18日室蘭港を出港し、21日の伏木富山港入港を控え、20日午前7時15分に富山東防波堤灯台から038度、1、900m、水深17m、底質砂の位置に右錨を入れ、錨鎖7節に伸張した。

一方、10月13日にマリアナ諸島付近で発生した台風23号は、20日午後には四国に上陸し、その後も東進を続け、同日夜半には本州中部を横断して、富山湾にもっとも接近することとなった。

14時半頃、北東の風が15m/sec以上に強まってきたので、右錨鎖を9節に伸ばすとともに、左錨を投下して3節伸張し、振れ止め錨とした。

19時頃には風速が30～35m/secに達し、波高4～5m周期6～7秒⁽¹⁾となったので、船首の守錨直に一等航海士が立つとともに、船首を風位に立つよう両舷機関の使用を開始した。

19時半頃にはうねりが大きく発達し、そのうねりにより船首が上下に大きく動揺するようになった。

20時頃、船位が100m程風下に偏位していることが確認され、北東の風はさらに風速を強める傾向となったので、錨を巻き上げて航行に移るため、左錨鎖を巻き始めたが、2節となったところで揚錨機が過負荷により機能しなくなった。そこで、右錨鎖9節、左錨鎖2節で凌ぐこととし、わずかに前進速度を得る



Fig.2 Grounded "Kaiwo Maru"

程度に両舷機関を半速前進または全速前進として船首振り回りの抑制に努めていたが、うねりによって船首が上下に大きく動揺する際に走錨する現象が確認された。この頃、風速は30～40m/secに達していた。

21時頃には北北東の風、風速45m/sec(瞬間60m/sec)となり、両舷機関を使用しても舵効が現れなくなった。

21時半頃、うねりは6m程に達し、両舷機関を継続して全速前進としても舵効は現れず、うねりによるショックの度に風下に流された。

22時30分頃、触底と思われるようなショックを受け、機関室内の海水流入が確認された。

22時47分頃、防波堤に漂着した。(Fig.2参照)

3. 模型実験

前述の走錨を開始した状況を解明するため、この時点に対応する模型実験を行った。実験は北海道大学水産学部の造波・消波装置付きの船舶用長水槽(長さ×幅×深さ：50m×3.5m×2.0m)で行った。模型船を含む実験装置の縮率は全て1/50に設定した。

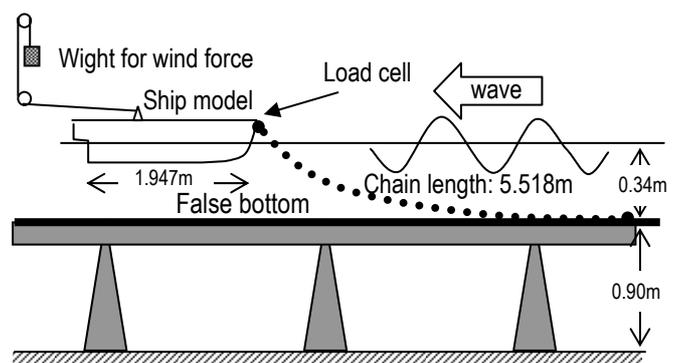


Fig.3 Arrangement of the experiment

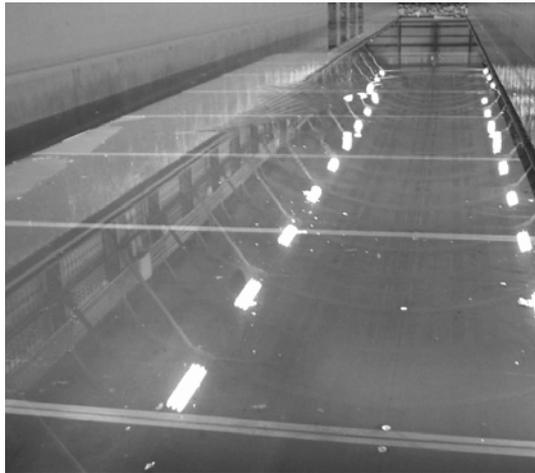


Fig.4 False bottom for shallow water

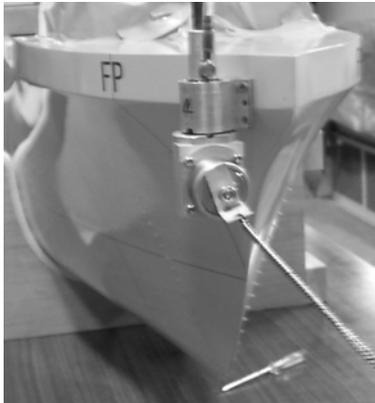


Fig.5 Load cell for measuring the mooring force

Table 1 Principal particulars of ship and chain model

船体		海王丸実船	模型船(1/ 50)
$L_{pp} (=L)$	m	86.0	1.720
B (molded)	m	13.8	0.276
d (molded)	m	6.2	0.124
∇	m ³	4,483	0.03586
Δ	t	4,595	35.86 kg
$x_G (= -Lcb)$	m	-0.160	-0.0032
κ_{yy}/L_{pp}			0.246
チェーン		ϕ 58.0mm	ϕ 1.2mm マンテルチェーン
全長	m	275.9	5.518
質量	kg	21,130.	0.188
伸び	m	0.326/(1225kN) (推定)	(実船相似+11.2%) 0.00743/(9.8N) (実船相似+13.9%)

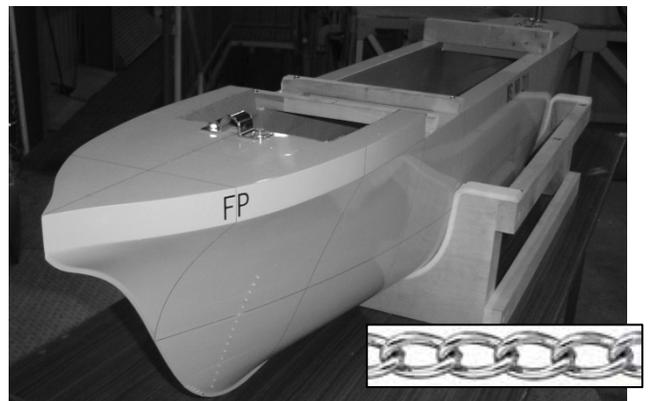


Fig.6 Ship and chain model for the experiment



Fig.7 Example of model testing

3.1 実験装置

実験装置の配置を Fig.3 に示す。荒天錨泊中の係留力を計測するに際して、本船の錨泊時の水深が 17m (模型換算 0.34m) と浅いため、水槽内に仮床を設置して実験を行った。設置した仮床の写真を Fig.4 に示す。模型船は実船相当長さの単チェーンで係留し、アンカー側の端部は仮床にボルトで固定した。船体側は、Fig.5 に示すように、右舷側船首のアンカーホース付近に防水型 2 分力計を取り付け、変動する係留張力を時々刻々計測した。船の運動は、船体重心に設置した慣性ジャイロによって船の縦揺れと上下加速度を計測した。なお、風圧力として、模型船の上下変位が比較的小さくなる模型船デッキ中央のやや後部を重錘で後方に引っ張る方式とした。なお、波高は水面上だけで計測可能なサーボ式波高計を使用し、船体による反射波の影響が少ない船首右舷側の離れた箇所に設置した。

3.2 模型船

実験に使用した海王丸模型船の主要目を Table 1 に示す。 $L_{pp}(=L)$ は垂線間長、 B は型幅、 d は満載型喫水、 ∇ は排水容積、 Δ は排水量、 x_G は船の重心の

前後位置(前方を正)、 κ_{yy} は船の縦慣動半径を表す。模型船は Fig.6 のように縮率 1/50 の木製で製作した。風圧力は前述のように別途与えるため、船体上部構造物は設けていない。また、係留チェーンを同図に示すが、質量と伸びが実船とほぼ力学的に相似となる家具用小型鉄製チェーンを用いた。

3.3 実験結果

実験中の写真の一例を Fig.7 に示す。この図に示すように、本供試模型船では振り回り運動などの横運動はほとんどなく、波に対してほぼ船首を向けた状態で縦運動のみを行う状況であった。なお、波長は事故時の波高と波長をカバーできるよう、波長は 1m と 2m、波高は 4 ~ 12cm の規則波について実験を行った。

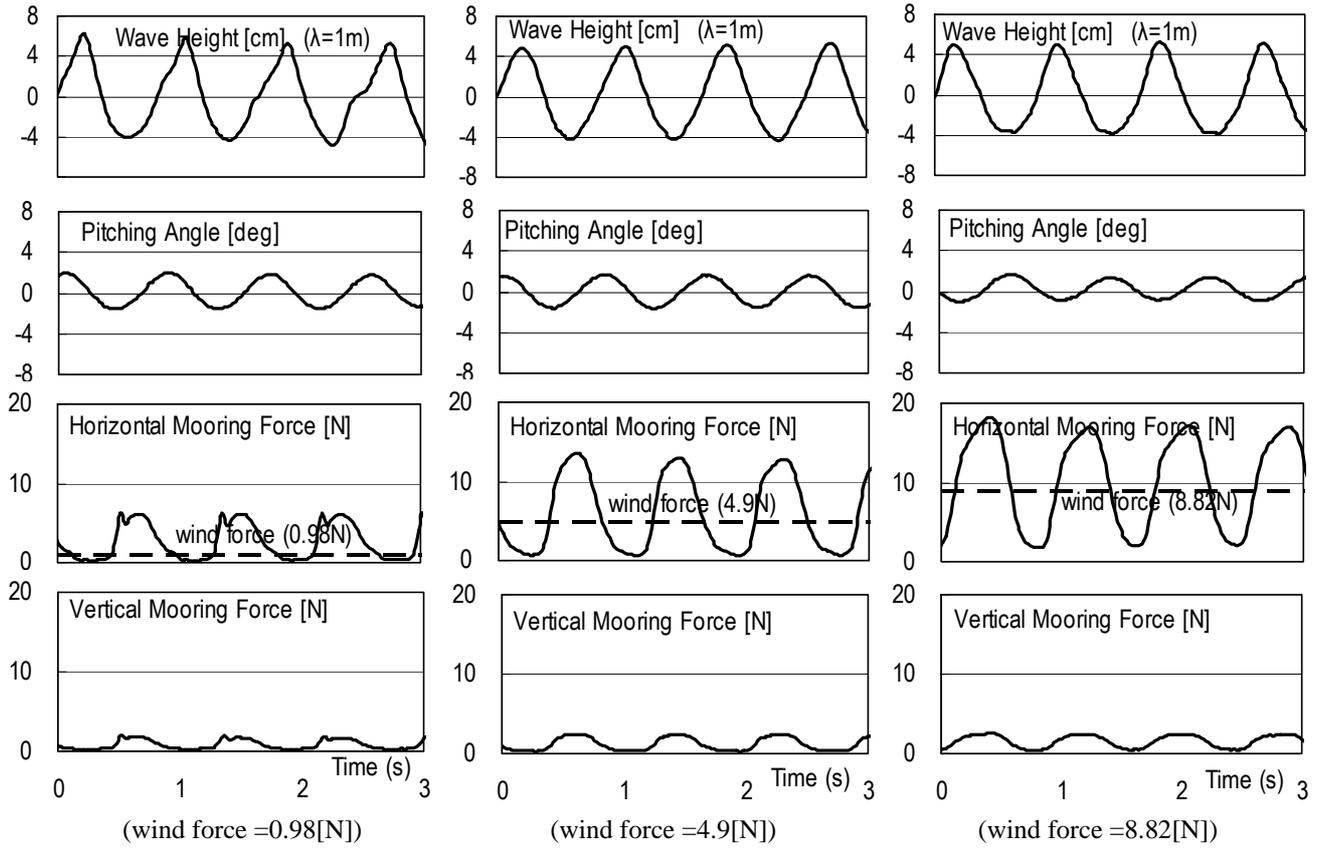


Fig. 8 Measured time histories of ship motion and mooring force ($\lambda/L=0.58$, wave height=10cm)

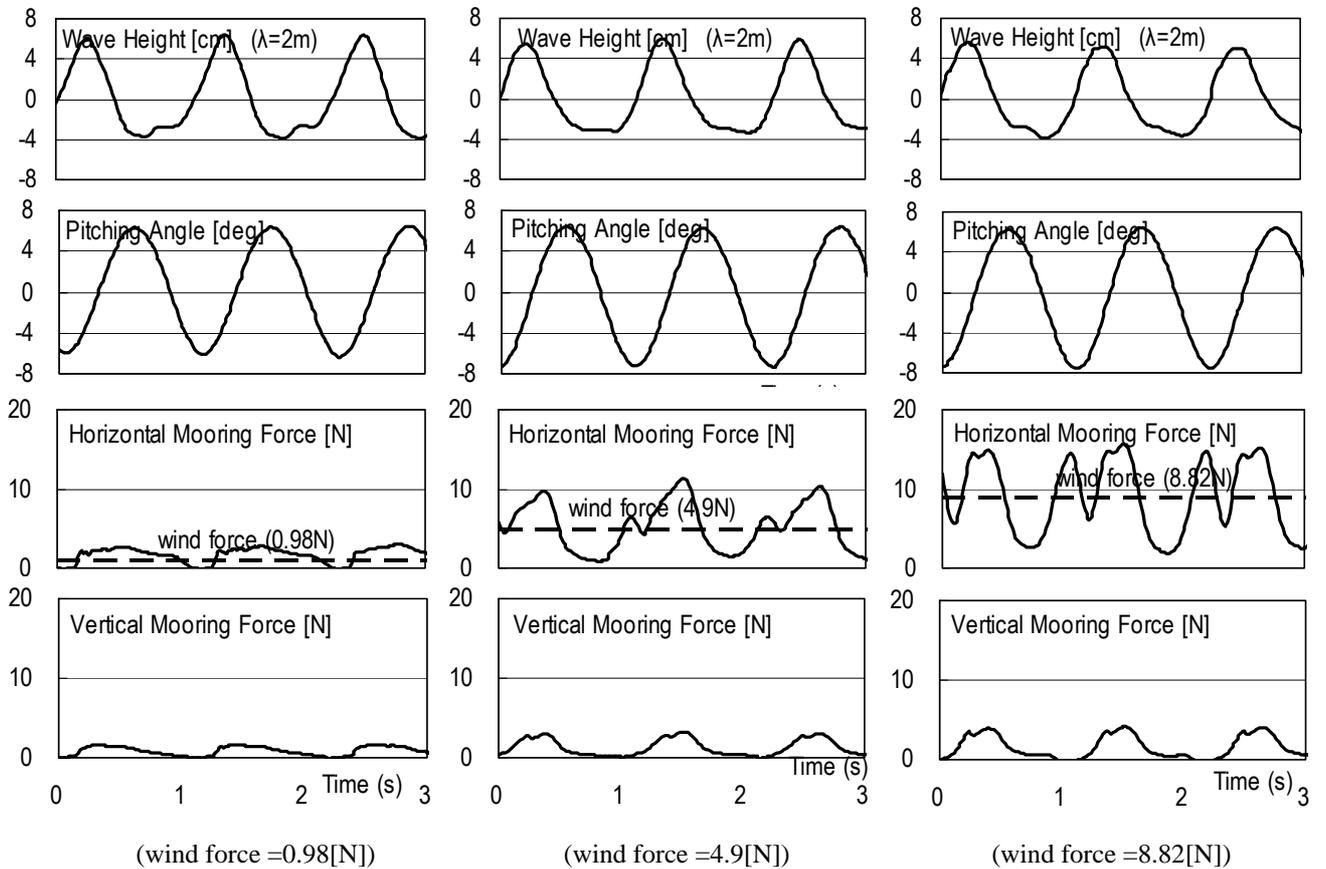


Fig.9 Measured time histories of ship motion and mooring force ($\lambda/L=1.16$, wave height=10cm)

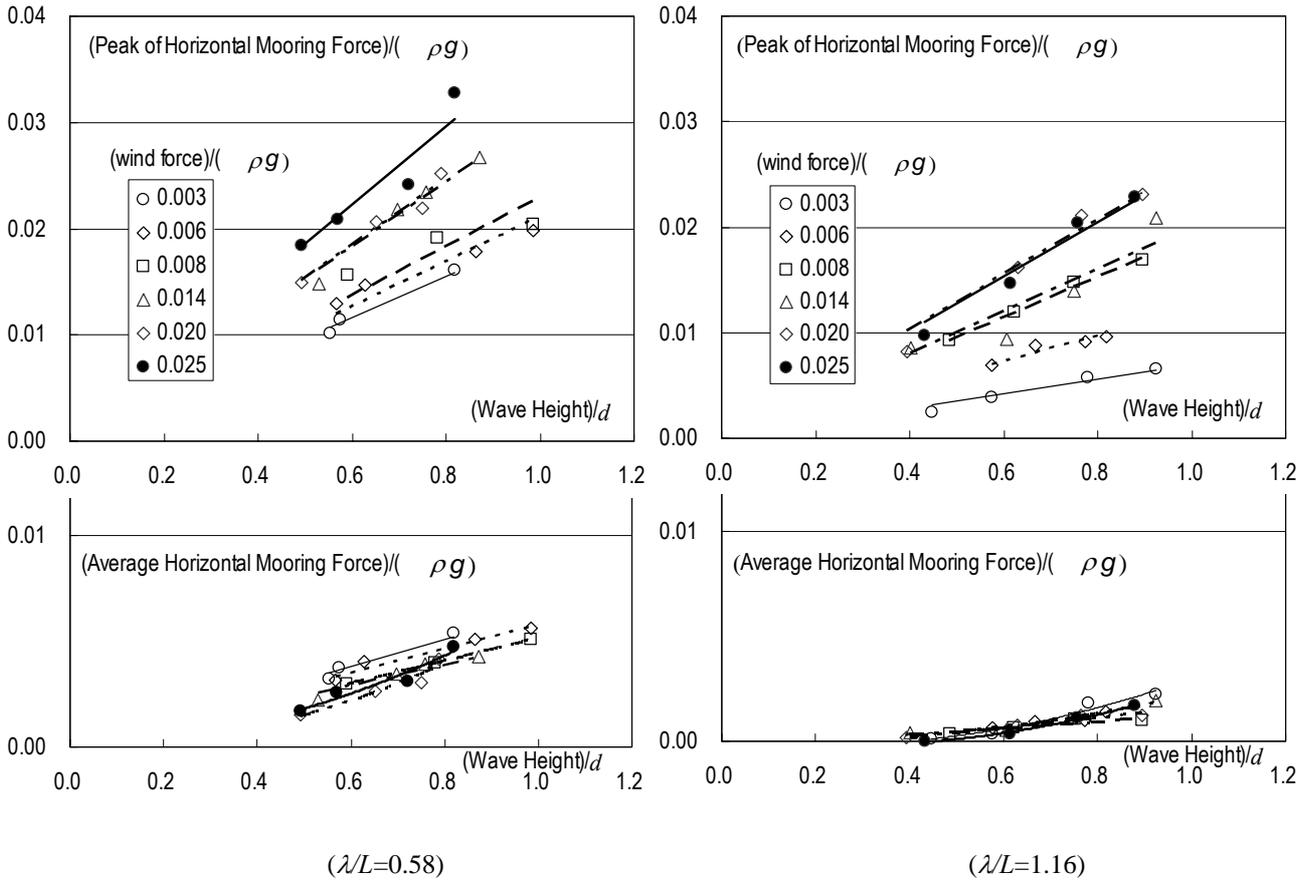


Fig.10 Non-dimensional measured peak and average of horizontal mooring force excluding wind force

Fig.8 には、波長 1m($\lambda/L=0.58$, λ :波長, L :船長)、波高 10cm における水平係留力の平均値とピーク値を排水重力(=排水容積 $\times \rho g$, ρ :水の密度, g :重力加速度)でそれぞれ無次元化して示す。左側から風圧力が 0.98N (0.1kgf)、4.9N (0.5kgf)、8.82N (0.9kgf) と順に大きくした場合の実験結果であり、上から波高、ピッチ角、係留力の水平成分、そして最下段に係留力の上下成分のそれぞれ時間的変化を示す。波高は浅海波になるため、波の頂部がやや鋭く、谷が広がっている。風圧力が増加すると、船の運動に係留力によって拘束されるためか、ピッチ角の振幅は風圧力の増加によって、振幅がやや減少するが、その変化はさほど大きくない。一方、係留力の水平成分の時間的変化は、振れ回り運動時に見られるような衝撃的な波形でなく、前述の波高やピッチ角と同様に比較的なだらかな周期的変化をし、その変動振幅は風圧力の増加と共に大きくなることを示している。また図中の破線は風圧力に相当する力を示しており、この値と係留力の水平成分の平均値の差が波浪や係留系の運動によって生じる平均的な外力であり、その大部分は波漂流力に相当する力と考えられる。係留力の上下成分の振幅も、風圧力の増加と共にやや増加する傾向にあるが、その変化は少ない。

Fig.9 には波高は 10cm のままで、波長を 2m ($\lambda/L=$

1.16) とした場合の実験結果を示す。この場合の船体運動や係張力の変化は、基本的には波長 1m の場合と大きな違いはないが、係留力の水平成分の時間的変化に高調波歪のような非線形的な変化が見られる。

これらの計測結果から、係留力の水平成分の時間的 average 値とピーク値を波高や風圧力に対して Fig.10 に示す。上段の図がピーク値、下段に平均値を示す。ただし、波長が 1m の場合を左図、波長 2m については右図に示す。いずれも風圧力に相当する力を差し引き、波浪荷重と係留系の運動による力とし、これを波高や風圧力の大きさに対して示している。ただし、力は全て船の排水重力(=排水容積 $\times \rho g$)で無次元化して示す。

風圧力を除いた係留力水平成分のピーク値は、ほぼ波高に比例し、かつ風圧力が大きくなるほど増加する。この傾向は波長が短い($\lambda/L=0.58$)方が顕著になっている。波長が長くなると Fig.8 に示したように係留力の水平成分に高調波成分が入り波形が歪むためか、最大値が低下していると考えられる。これに対して風圧力を除いた係留力水平成分の平均値は波高、あるいは波高の自乗に比例して増加し、波長が短いほど大きい。風圧力の大きさにはほとんど影響を受けないことを示している。

4. 海王丸の錨泊中の係留力の推定

前述の実験結果をもとに、海王丸が走錨を開始した時点の実船の係留力を推定する。なお、実船推定計算における風圧力や把駐力の推定値は航海訓練所調査研究時報第82号に掲載された値⁽²⁾を使用した。

(1) 風速35m/s、波高4m[事故当日20:00時点]

この状態における風圧力は340kN(34.7tf)と推定されており、これを排水重力(=排水容積× ρg 、 ρ :海水の密度、 g :重力加速度)で無次元化した値および(波高/ d)は以下ようになる。

$$\text{風圧力}/(\nabla \rho g)=0.0076$$

$$\text{波高}/d = 0.645$$

これらを Fig.10 の実験結果に適用して、係留力の水平成分の平均値とピーク値を求めると、

$$\lambda/L=0.58: \text{平均値}/(\nabla \rho g)=0.0033$$

$$\text{ピーク値}/(\nabla \rho g)=0.015$$

$$\lambda/L=1.16: \text{平均値}/(\nabla \rho g)=0.0008$$

$$\text{ピーク値}/(\nabla \rho g)=0.0126$$

と得られるので、実船の係留力は Fig.11 のように推定される。係留力として平均的な力のみを考えた場合が上段であり、本船の把駐力の推定値518kNを超えない。これに対して、ピーク値で見た場合を下段に示すが、上記のアンカーの把駐力をはるかに超えており、本論の冒頭に述べた「うねりによって船首が上下に大きく動揺する際に走錨する」状況を再現できていると考えられる。

この状態で、仮に本船の主機をフルに作動できたとしても、せいぜい300~400kN程度しかなく、波・風が真正面の状態でも装備されたウインドラス(巻き上げ最大能力177kN)でアンカーチェーンを巻き上げることは困難であったと推測される。実際この時点で、主機を発動して風上に向けようと努力したとの記録があるが、巻き上げることはできなかった。前述の推定計算結果では、この時点の風圧力や波浪による平均的な係留力だけで既に380~490kNとなっており、プロペラ翼角を下げてトルクリッチを回

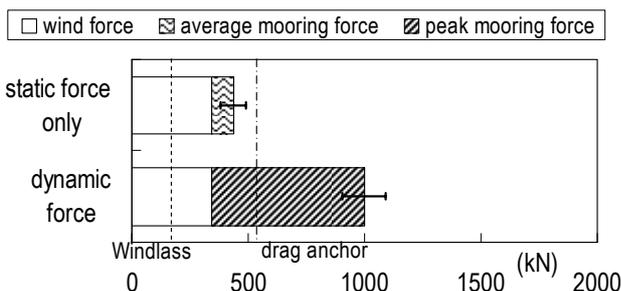


Fig.11 Estimated full-scale horizontal mooring force at wind speed=35m/s and wave height=4m

避しながら主機を全速前進とし、アンカーに向けてわずかながらも船を前進させ、本船がアンカー直上付近となった時点でウインドラスを巻き上げれば、あるいは抜錨できたかも知れないが、ぎりぎりの状況だったと推測される。

(2) 風速45m/s、波高6m[事故当日22:00時点]

その後、海象は益々悪くなり、風速45m/s、波高6mとなり、この状態における風圧力は563kNと推定されている。すなわち、

$$\text{風圧力}/(\nabla \rho g)=0.0125$$

$$\text{波高}/d = 0.968$$

これを前述と同様に Fig.10 の実験結果から、係留力の水平成分の平均値とピーク値を求めると、

$$\lambda/L=0.58: \text{平均値}/(\nabla \rho g)=0.0052$$

$$\text{ピーク値}/(\nabla \rho g)=0.026$$

$$\lambda/L=1.16: \text{平均値}/(\nabla \rho g)=0.0025$$

$$\text{ピーク値}/(\nabla \rho g)=0.020$$

となり、この場合の実船の係留力は Fig.12 のように推定される。Fig.11 と同様、上段が平均的な力のみの場合であり、下段がピーク値を考慮した場合であるが、既に風圧力だけでも把駐力の限界を超えており、この状況下では全く為すすべもなく、本船は走錨しながら富山港の防波堤に乗揚げる結果となったと推測される。

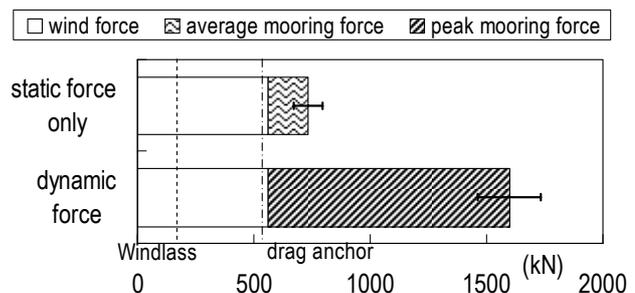


Fig.12 Estimated full-scale horizontal mooring force at wind speed=45m/s and wave height=6m

5. おわりに

荒天錨泊中の船舶が走錨するメカニズムを解明するため、練習帆船「海王丸」を供試船として、種々の風圧力や波高・波長に対する錨泊中の係留力を模型実験で計測・解析を行った。その結果、得られた結論を以下に要約する。

1) 係留中の縦運動については、ピッチングの運動振幅は波長によって異なるが、概ね波高に比例し、風圧力の違いによって生じる係留張力の大きさの影響は比較的少ないと言える。また、風圧力・波

浪荷重によって係留力が大きいためか、波向にする偏角やヨーイングは本供試船ではほとんど発生しなかった。

- 2) 風圧力を除いた係留力水平成分の平均値の大部分は波漂流力に相当する力と考えられる。この力は波高、あるいは波高の自乗に比例して増加し、波長が短いほど大きい。風圧力の大きさにはほとんど影響を受けない。
- 3) これに対して、風圧力を除いた係留力水平成分のピーク値は、ほぼ波高に比例し、かつ風圧力が大きくなるほど増加する。この傾向は波長が短い($\lambda/L=0.58$)方が顕著になっている。
- 4) 錨泊中の係留力は、船体の風圧力、波浪荷重、およびチェーンの慣性力を含む弾性応答に依存する。走錨する条件やウィンドラスを巻き上げる能力は、係留張力の平均値ではなくピーク値に依存するので、この力が重要になる。

以上のように今回の実験から、荒天錨泊中の係留力の大きさを検討するに当たって、平均的な風圧力や波漂流力は主たる力に相違ないが、係留によって生じるダイナミックな張力のピーク値が重要になる。今後、著者らは、これらの力学的メカニズムについて検討を進め、係留装置の設計基準や荒天錨泊における操船方法などについて検討を行う予定である。

さし当たっては、今回の事故に限らず、船舶の走錨に気づいた時点ではウィンドラスが既に作動不可能な状況に陥っている恐れが十分あり、主機を併用した早めの抜錨と回避が望まれる。

また、ウィンドラスの多くは油圧装置であり、巻き上げ速度と能力を切り替えることが可能になっているが、こうした荒天錨泊の局面でも対応可能なよう、更なる低速で巻き上げて荷重を格段に大きくできるメカニズムやその強度などの検討も必要と考えられる。

謝辞

本研究は、北海道大学、独立行政法人航海訓練所及び株式会社エム・オー・マリンコンサルティングの共同研究として実施中の研究成果の一部であることを付記し、関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- (1) 横浜地方海難審判庁：練習船海王丸乗揚事件（裁判），H17年横審第36号，(2006)
- (2) 中野弘也，飯田敏夫，雨宮伊作：練習帆船の安全な荒天避泊法について，航海訓練所調査研究時報，第82号，pp1-14，(2007)。

質疑応答

笹 健児(大島商船高専)：

実験中では規則波を対象とされていますが、波高が4~6mでは不規則波の波群中に伴う変動漂流力の影響が大きいと思われそうですが、この点についての見解をご教示ください。

雨宮伊作：

この係留力問題を検討していくためには、今後チェーンの弾性力を含んだダイナミックな運動の解析が必要と考えています。そのような意味で今回の実験はまず規則波のみを用いて行いました。その結果、規則波だけを取り扱っても、走錨を引き起こす係留力となることが明らかになっています。

佐藤治夫(東海大学海洋学部)：

海王丸走錨開始時の張力を518kNとされていますが、どのようにして求められた値でしょうか？

雨宮伊作：

海王丸の使用しているAC14型錨の把駐力係数を7、錨鎖の把駐力係数を1としてカテナリー長さを計算のうえ、算出しています。