

## 海王丸の荒天錨泊中の係留力実験結果と事故の検証(要約)

2008/11/08

北海道大学水産科学研究院 芳村 康男

## 1. 概要

荒天錨泊中の船舶が走錨することにより座礁して損壊し、多くの貴い命が失われる事故が絶えない。古くは連絡船洞爺丸の海難事故その一つである。こうした事故のメカニズムを解明するため、平成16年10月18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、防波堤に座礁した事故を例とし、縮率1/50模型船を用いて種々の風圧力や波高・波長に対する錨泊中の係留力を計測した。本報では、この実験結果の概要を報告する。なお、本船の錨泊時の水深が17m（模型船水深換算0.34m）と浅いため、水槽内に仮床を設置して実験を行った。

## 2. 供試船の要目

実験に使用した海王丸模型船の主要目をTable 2.1 に示す。模型船は縮率1/50の木製で製作した。また、係留チェーンはFig.2.2に示す、重量と伸びが実船とほぼ力学的に相似となる模型用の鉄製チェーン（マンテルチェーン）を用いた。

Table 1.2 供試船の主要目

船体		海王丸実船	模型船(1/ 50)
<i>Lol</i>	m	97.367	1.947
<i>Lpp</i>	m	86.0	1.720
<i>B</i> (molded)	m	13.8	0.276
<i>d</i> (molded)	m	6.2	0.124
<i>trim</i>	m	0.	0.
	m <sup>3</sup>	4,482.9	0.03586
$x_G(=-Lcb)$	m	-0.160	-0.0032
$k_{yy}/Lpp$			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) (推定計算)	0.00743 /(9.8N) (実船相似+13.9%)



Fig.2.1 供試模型船



Fig.2.2 チェーン模型

### 3. 係留力計測実験

#### 3.1 試験・計測方法

係留実験はFig.3.1のように配置し、模型船船首（右舷側アンカーホース付近）に固定した防水型2分力計で係留張力を計測した。船の運動は、船体重心に設置した慣性ジャイロで船の縦揺れ、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小さい船体中央よりやや後方を重りで後方に引っ張った。

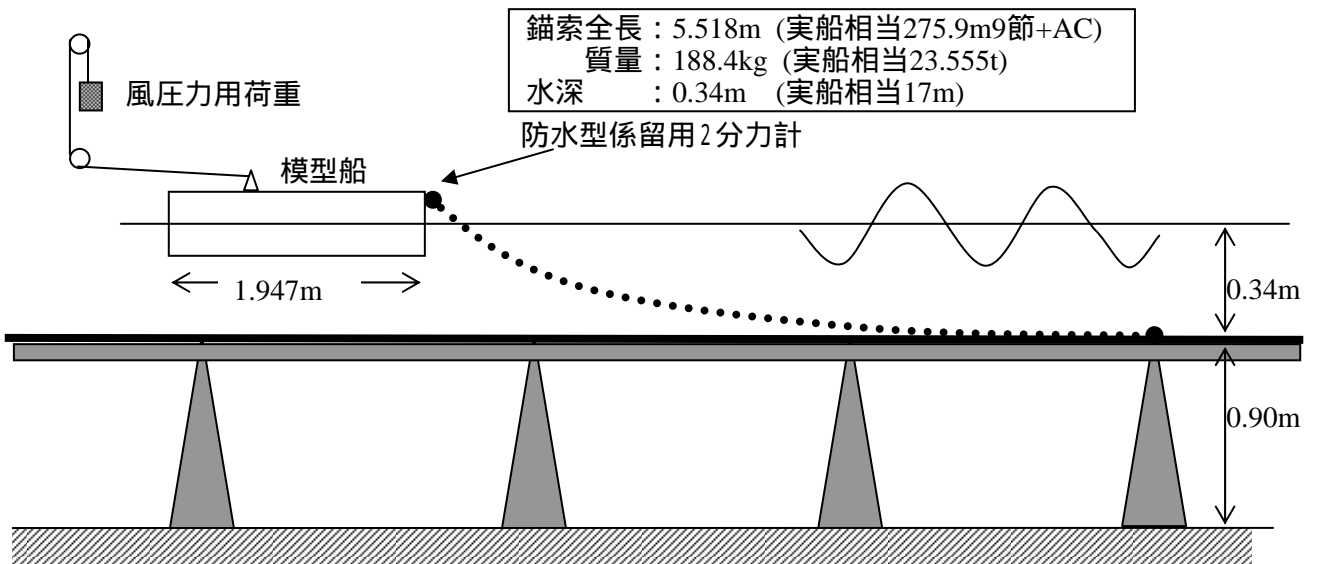


Fig.3.1 係留実験の配置図

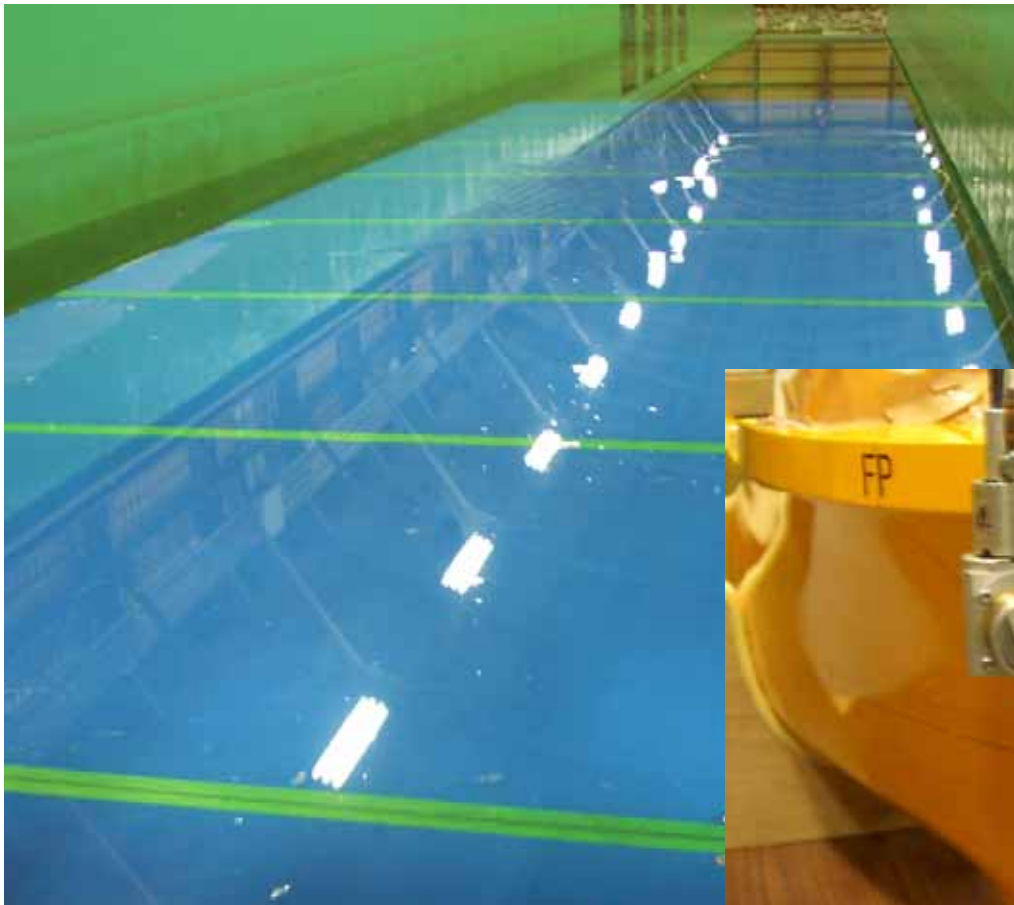


Fig.3.2 水槽に設置したフォールスボトム  
(仮床：10m×2.5m)



Fig.3.3 防水型係留二分力計

### 3.2 実験項目

#### 1) 波

波長	波高			
	6cm (実船相当3m)	8cm (実船相当4m)	10cm (実船相当5m)	12cm (実船相当6m)
1m (実船相当50m)				
2m (実船相当100m)				
3m (実船相当150m)		-	-	-

#### 2) 風圧力

模型船荷重(N)	0.98 (0.1kgf)	1.96 (0.2kgf)	2.94 (0.3kgf)	4.90 (0.5kgf)	6.86 (0.7kgf)	8.82 (0.9kgf)
実船相当荷重(kN)	122.5 (12.5tf)	245.0 (25.0tf)	367.5 (37.5tf)	612.5 (62.5tf)	857.5 (87.5tf)	1102.5 (112.5tf)

#### 3) 計測項目

- ・ 船体側係留力( $F_x$ ,  $F_z$ ) < 防水型係留用 2 分力計 : 日章電気 LMC-2269 >
- ・ 船体運動(上下加速度、ピッチング角速度、ピッチング角、ロール角)  
< 慣性ジャイロによる >
- ・ 波高 < サーボ式波高計による >
- ・ データ収録 12bit型AD変換器、サンプリング周波数50Hz、  
検力計増幅器ローパスフィルターの遮断周波数30Hz



Fig.3.4 係留実験中の写真 (波長1m, 波高12cm)

#### 4. 係留実験結果

##### 1) 水平係留張力の平均値

本船の荒天係留中に計測された水平係留張力の平均値をFig.4.2に示す。ただし、風圧力に相当する成分は除いている。この力は波浪による漂流力に相当する力であり、理論的には波高の自乗に比例し、また波長が短い1m(実船相当50m)で全般に大きくなる。波長1m(実船相当50m)の場合は、風圧力の大きさによって、やや違いがあるが、前節に示したように、船体縦運動に大きな差異がないので、この水平係留張力も大きな差異はなく、波長が2m(実船相当100m)では、風圧力の違いによる影響はほとんど認められない。

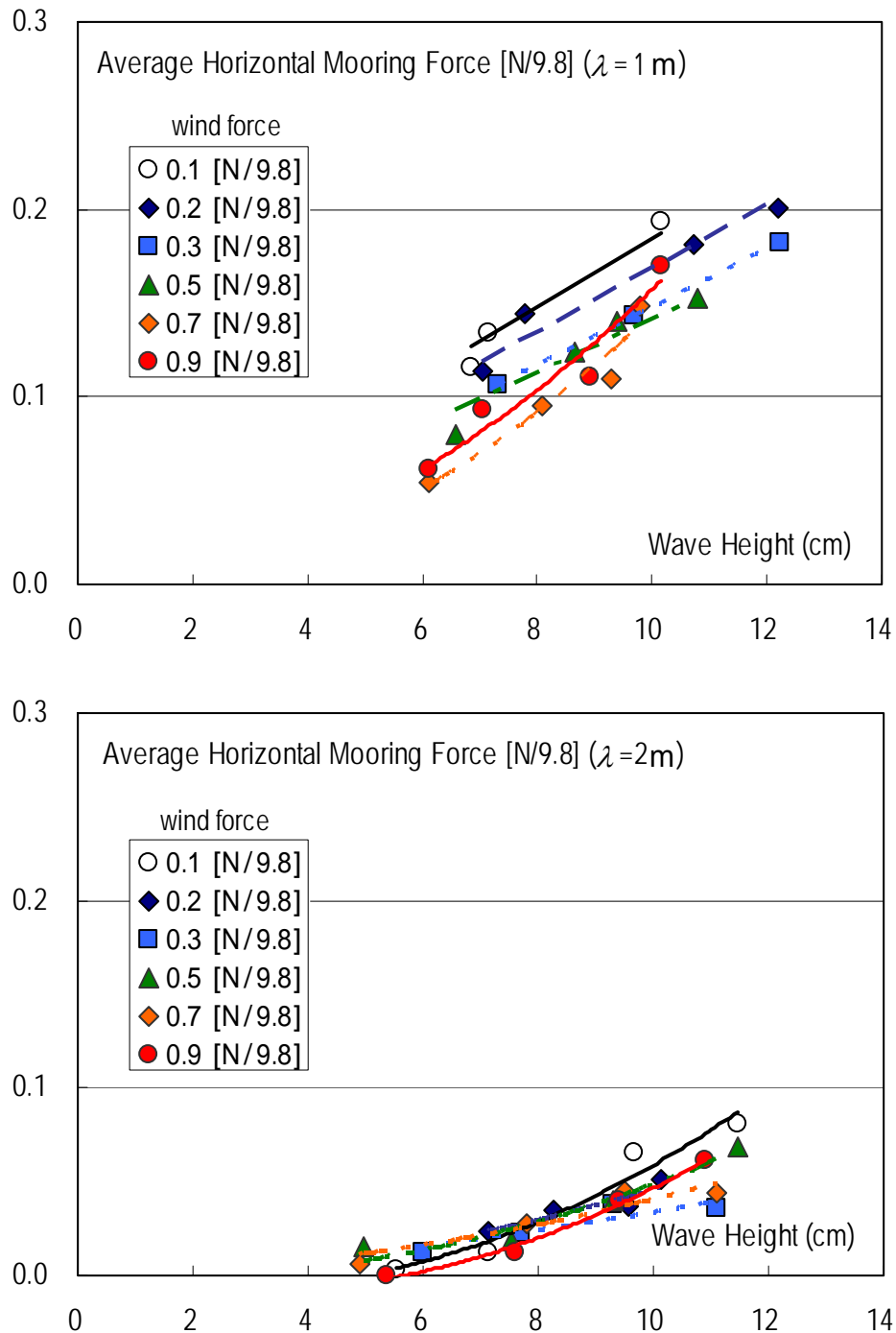


Fig.4.2 荒天係留中の水平係留張力の平均値

2) 波浪による水平係留張力のピーク値（風圧力成分を除く）

本船の荒天係留中に計測された水平係留張力の平均的なピーク値から風圧力に相当する力を差し引いた値をFig.4.4に示す。すなわち、波浪による変動を含めた最大水平張力である。この最大水平張力は波長によって異なるが、ほぼ波高に比例し、風圧力が増加するに従って大きく増加する。風圧力が2.94N(=0.3kgf、実船相当367.5kN(37.5tf))で波高10cm(実船相当5m)、波長が1～2m（実船相当50m～100m）の場合に約6Nとなり、この場合の波漂流力に相当する力(Fig.4.2より0.5～1.5N)と比較すると、波浪による最大水平張力は波漂流力の4～12倍になっていることがわかる。

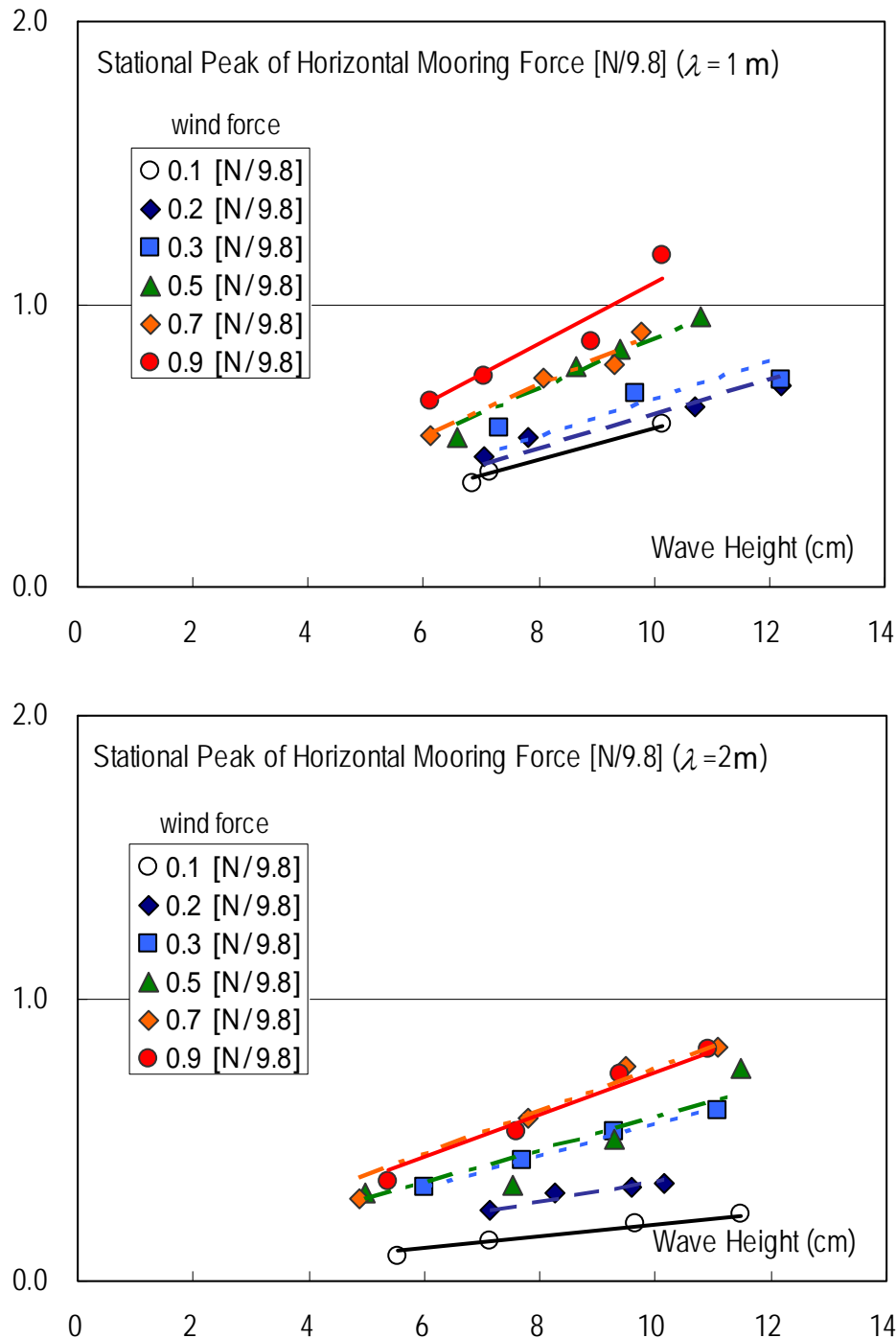


Fig.4.4 波浪による水平係留張力のピーク値（風圧力成分を除く）

## 5.まとめ

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計測した。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

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ほとんど発生しない。

### 2) 風圧力を除いた係留水平張力の平均値は、概ね波高の自乗に比例し、風圧力の大きさによってやや違いがあるものの、上記1)に示したように、船体縦運動に大きな差異がないので、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ほとんど認められない。

### 3) これに対して波浪による変動張力については、風圧力の増加により係留力が増大して船の前後運動が拘束されるため、相当大きくなる。

### 4) 波浪による係留水平張力の最大値

錨泊中の係留張力は、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最大値に依存するので、この力が重要になる。

風圧力に相当する力を差し引いた波浪による最大水平張力は波長によって異なるが、ほぼ波高に比例、かつ風圧力が増加するに従って大きく増加し、水平張力の平均値や風圧力の数倍になる。

以上の結果を踏まえて、海王丸の事故状況を検討すると以下ようになる。なお、実船推定計算は航海訓練所調査研究時報第82号に掲載された値を使用している。

#### (1) 風速35m/s、波高4m[事故当日2000時点]

	風圧力 (推定)	(波浪荷重の平均値)	風圧力を除いた 最大係留張力	風圧力を含む 最大係留張力
模型船	2.7N	(0.3～1.2N) (Fig.4.2より)	4.5～6 N (Fig.4.4より)	7.5 N
実船換算	<b>342 kN</b>	(38～150 kN)	<b>563～750 kN</b>	<b>905～1,092 kN</b>
(実船推定計算)	<b>342 kN</b>	<b>341 kN</b> (推定波漂流力)		<b>683 kN</b>

#### (2) 風速45m/s、波高6m[事故当日2200時点]

	風圧力 (推定)	(波浪荷重の平均値)	風圧力を除いた 最大係留張力	風圧力を含む 最大係留張力
模型船	4.5N	(0.8～1.8N) (Fig.4.2より)	8～11 N (Fig.4.4より)	12.5～15.5 N
実船換算	<b>562 kN</b>	(100～225 kN)	<b>1,000～1,375 kN</b>	<b>1,562～1,937 kN</b>
(実船推定計算)	<b>562 kN</b>	<b>926 kN</b> (推定波漂流力)		<b>1,488 kN</b>

以上の計算結果から、風圧力を含む最大係留張力は、風圧力の3倍程度となり、上記(1)の海象において、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177 kN）でアンカーチェーンを巻き上げることは困難である。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。この時点の風圧力や波浪による平均的な水平張力だけで既に380～492 kNとなっており、プロペラ翼角を下げてトルクリッチを回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でき、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。その後、海象は益々悪くなり、(2)の状況下では全く為す術もなく、本船は走錨しながら富山港外の防波堤に乗り上げる結果となったと推測される。

最後に今回の実験から、荒天錨泊中の係留張力の大きさを検討するに当たって、定常の風圧力や波浪外力の平均値は主たる力に相違ないが、最大の力となるのは、係留によって発生する波浪変動張力である。船舶の走錨に気づいた時点ではウインドラスが既に作動できない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、ウインドラスの多くは油圧装置であり、この特性を活かして、こうした荒天錨泊の局面に十分対応可能なよう、低速切り替え方式などで巻き上げ荷重を格段に大きくできるメカニズムが必要と思われる。

以上