

## 津波作用時における係留船舶の動揺特性

東野洋司\*・高山知司・林 秀和\*\*・津田宗男\*\*\*・大木泰憲\*\*\*

\* (独法) 港湾空港技術研究所

\*\* 京都大学大学院工学研究科

\*\*\* (株) 東亜建設工業

### 要 旨

本研究は、津波作用時における係留船舶の動揺特性と、船舶衝突時の係留施設の反力特性を明らかにすることを目的として水理実験を行った。実験結果から、Swayが顕著であり、Heaveは水面変位に同調し、Rollは防舷材衝突時に生じる程度であった。ドルフィン係留では係留索の破断や係留施設の損傷のおそれがある事が分かった。船舶衝突時の防舷材反力は衝突速度との相関が高いことが明らかになった。Swayの抑制に増索は有効であるが、衝突力ではケースにより増大するおそれがある。

**キーワード:** 津波, 係留船舶, 動揺特性, 反力特性, 水理実験

### 1. はじめに

日本は世界の中でも地震の多い国であり、地震によって起きた津波が多く来襲している。さらに、四方を海に囲まれているという国土の特徴上、輸入は空路や海路に頼らざるを得ない。特に、軽量で高価なものを除けば、ほとんどの物資は海路を通過して船舶によって運ばれてくる。このように多くの物資を海上輸送している我が国では、コンテナ船から大型タンカーまで大小さまざまな船舶が日々港湾施設に係留し、荷役を行ってきている。このような状況のもとで津波が来襲すると、岸壁に係留された船舶は動揺し、船舶それ自身の損壊や港湾施設の破損が予測される。具体的な被害として考えられるのは、引き波時の係留索の切断、船舶の衝突による防舷材の損傷、船舶の着底などである。また、船舶の大きなローリングが誘発されると、防舷材の正常な状態においても船底部が岸壁に衝突して岸壁が損傷することも考えられる。

このような被害を防ぐためには、津波来襲時に船舶が港外に退避することが最善であるが、大型船舶の場合にはすべての船が港外退避するのは非常に難しい。例えば、和歌山などの外港では、地震が起き

てから20分程度で津波が来襲するので時間的に困難である。また、大阪港などの内港では地震が起きてから津波が来襲するまでに時間はあるものの、大型船舶の場合には、船舶が自力で離岸することは不可能で、タグボートによる牽引を待たなければならない。船舶の数を考えると設備の面から全ての船舶を退避させることは困難であり、荷役中の船舶は地震による機械類の故障などで離岸できない可能性もある。さらに、ドルフィン施設の場合では、人だけを避難させるにしても時間や設備の都合上全員を避難させることは難しいと考えられる。

近年、東海・東南海・南海地震津波に対する警鐘やスマトラ沖地震津波による大規模な被災の報道を受け、巨大津波に対する被害の推定や対策法の確立が命題となっている。しかし、津波の特性や浸水予測、人的災害の研究は進められているが、主要なインフラである港湾の被害や対策についての研究は、まだスタートラインについたにすぎない。特に、避難できない係留船舶が津波によってどのような挙動を示すのか、また港湾施設にどのような損傷を及ぼすのか、未だに明らかにされていない。

係留船舶の動揺および衝突力に関する研究では、永井ら(1969)が、横波を受ける20万DWT級タンカー

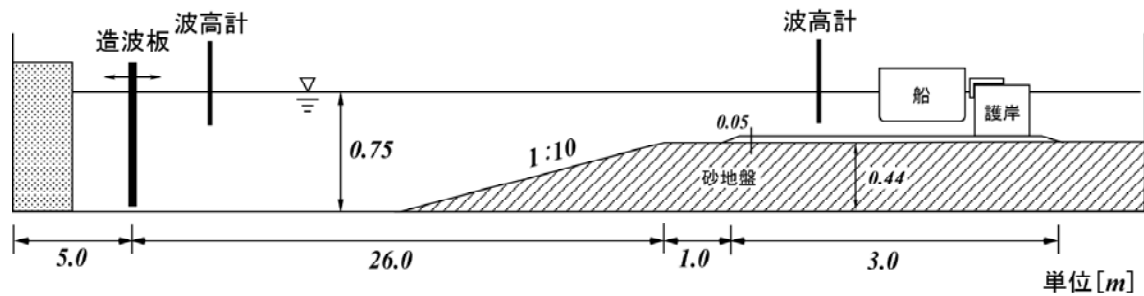


Fig.1 Experimental water channel profile

の動揺問題を実験的に検討している。また、伊藤ら(1972)は横波を受ける1万DWT級の貨物船の1/10の模型について動揺と係船岸への衝突力について検討している。これらのいずれもが、長周期波が船舶に対して $60^{\circ}\sim 120^{\circ}$ の範囲で作用すると船舶のスウェイングが増大することを指摘している。このことから、さらに周期が長い津波に対してもスウェイングに関する検討が必要である。また、係留施設における防衝工の設計を、接岸エネルギーの吸収だけではなく、係留中の船舶の動揺をも考慮して行う必要があることを示唆している。

津波による船舶挙動の研究としては、小林ら(2004)によって船舶の漂流に関する研究が行われているが、いずれも船舶が無係留状態でのものである。また、係留船舶の津波による水理実験は、池野ら(1999)が無ひずみ模型を用いて行っているが、この実験ではドルフィンリンク型の係留方法を用いた船舶に、ソリトン分裂波が作用した場合を対象としている。さらに、津波による船舶被害については、河田ら(2004)がその評価方法の提案を行っているが、船舶の座礁や乗り上げ、係留索の切断など船舶自体に影響があることしか述べられていない。このように、岸壁係留時の船舶挙動および岸壁やドルフィンに作用する衝突力を調べた実験はまだ行われていない。そこで本研究では、津波来襲時に岸壁、あるいはドルフィンに係留している船舶の挙動について実験を行った。

## 2. 実験の概要

実験は、神戸港岸壁に係留する7万DWT級の貨物船を対象とし、模型縮尺1/50として実施した。

### 2.1 実験水路

実験は、Fig.1に示すような京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー内の水路長50.0m × 幅1.0m × 高さ1.5mで、片側に全長15mのガラス面を有する2次元造波水路にて行った。水路の一端にはピストン型不規則造波装置(造波ストローク:  $\pm 1.0\text{m}$ )

が設置され、任意波を造波することができる。今回の実験においては、ストロークを長くにとって長周期の造波ができるよう、造波開始前に造波板位置を可動範囲の最端部に移動し、通常造波の倍のストロークを使って造波するような制御を行った。

地形条件として、造波板からの距離21.6mから26.0mの間を勾配1/10の斜路として、それより後ろ側は水平床とした。さらに、水路後方約5.0mから1/3程度の傾斜をつくり、その傾斜面上の水面付近にヘチマロンを置いて反射波の影響を軽減した。これらの地形はすべて砂によって形成し、その上に細かい穴のあいた高比重マットを被せて固定床とした。造波板から27.0mから30.0mの範囲で碎石を用いた高さ0.05mのマウンドをつくり、造波板から29.0m離れた位置に係留施設模型を設置した。

### 2.2 実験模型および計測器機

#### (1) 係留施設模型

係留施設は岸壁とドルフィンの2種類を用いた。この二つの大きな違いは、岸壁はその堤体部分で津波を止めるが、ドルフィンはその下を津波が通過するという点である。模型はどちらも大きさは幅0.35m × 高さ0.30m × 幅0.99mで、岸壁模型はコンクリート製であり、その躯体上に防舷材模型を2基取り付けたベースプレートで固定する構造としている。また、防舷材の反力特性を再現するために一部を中空にしてそこに重りを備え付けた。一方、ドルフィンは本来、基礎杭が複雑に入り組んだ構造となるが、模型では防舷材模型の重りを格納するスペースが必要であるため、大口径( $\phi 10\text{cm}$ )の鋼材円筒が2本と、ベースプレートを支持するための小径( $\phi 4\text{cm}$ )の円柱2本の4本で構成されている。ただし、波の透過率は実際のドルフィンと同程度は確保されている。また、ドルフィンの模型は重量が軽いため強い衝撃が加わると施設自体が動いてしまう恐れがあり、衝撃が加わっても動かないようにするため模型底部に重りを設置した。係留施設模型をPhoto 1に示す。



Photo 1 Model of mooring facilities.

### (2) 船体模型

対象とした船舶はパナマックス7万トン級であり、実験縮尺を極力大きくするため、船体模型は船体全長のうち中央部分を輪切りにした形状とした。そのため、本実験で対象とする船体挙動は、Sway, Heave, Rollの3項目となる。

船体模型の寸法は、幅 0.64m × 高さ 0.39m × 幅 0.99m であり、主に鋼板をつなぎ合わせて作製し、船底の角部に塩ビパイプで接続し、丸みをもたせた。さらに、鉄板の接合部には船体模型内への水の浸入を防ぐためにシリコンを用いた。満載時のケースにおいては、船体の内部に重しを積載し重量を調節した。この際、模型の重心を実船と一致するように発泡スチロール製の架台を用いて重しの位置を調節し、強い衝撃が加わっても重りが動かないように鉄板で抑えて固定した。船体模型の重量は空載時が105.92kg、満載時が150.0kgであり、重心は空載時が船底から0.134m、満載時は0.184mである。

### (3) 係留索模型

係留索は索径65mmのナイロンロープを対象とし

たが、船舶の係留に用いられる係留索の変位復元力特性は、伸びが大きくなるほど張力は急激に大きくなるような非線形性を有する。模型防舷材の場合と同様に、模型係留索で実物に似た変位復元力特性を発揮させようとする実物に用いられている素材をそのまま模型に用いたのでは不可能である。そこで、本実験ではPhoto 3のようにバネ定数が異なる3種類のコイルバネの組み合わせによって、3段階のカーブを近似するような模型を作製した。バネ定数が異なる3種類を直列に接続し、張力の小さい区間では、3種が同時に伸びるようにしている。ただし、それぞれのバネには中心に伸びを制限するためのワイヤーが取り付けられており、一定量以上には伸びない構造としている。これにより、張力の増大につれてバネ定数の小さいものから順に伸びが止まり、その曲線も変化していくようになっている。実験においては船長と本数との関係から、現地4本分を1本の索で表現した。

係留索にはヘッドライン、スターンライン、プレストラインの3種類があり、船舶を係留する際に常時用いられるのはヘッドラインとスターンラインの

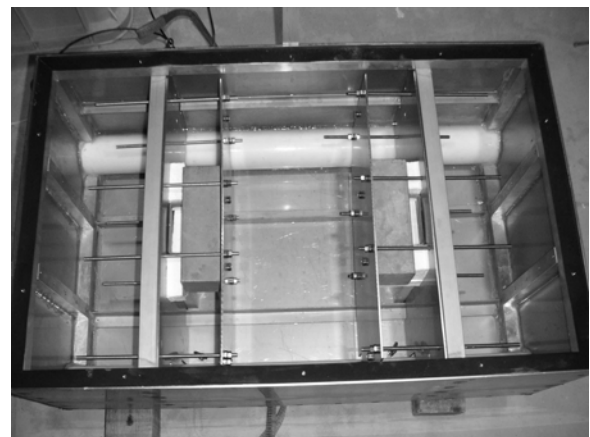
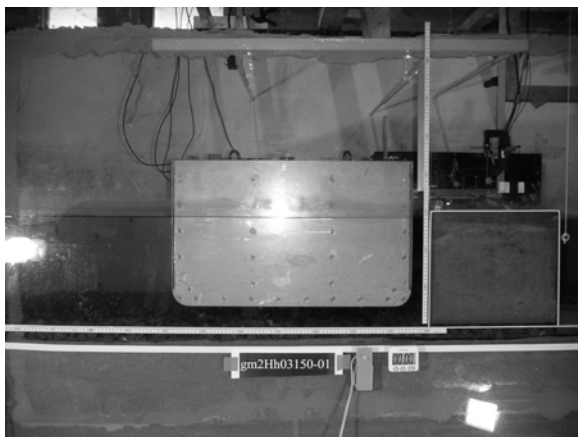


Photo 2 Model of mooring vessel

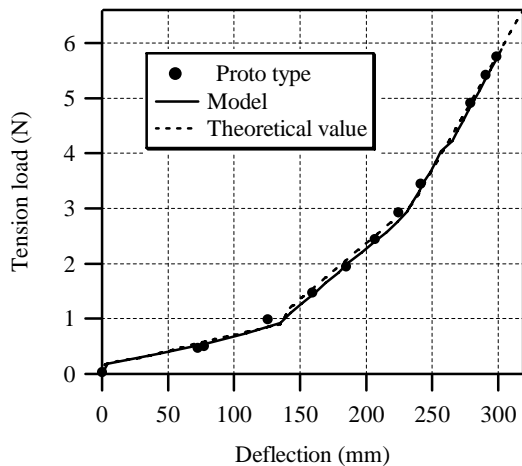


Fig.2 Characteristic of mooring rope

2つである。また、ブレストラインは増索して船舶をより強く係留し動揺を極力抑えるため、ヘッドライン、スターンラインと併用するものである。これらの張力特性と張力検定の結果をFig.2に示す。

また、係留索模型を船体上面に滑車を介して這わせ、その末端に張力計を取り付けて張力を計測している。

#### (4) 防舷材模型

係船岸に用いられる防舷材には、大別して定反力型と反力漸増型の2種類がある。本実験においては、対象岸壁に設置してあるFig.3に示すような定反力型の模型防舷材を用いて実験を行った。

模型防舷材を実物と同様にゴム材で用いて作製しようとする、変位復元力特性が硬めになって不都合であるため、本実験においては、コイルバネとスライダ、重錘を組み合わせで作製した。具体的には、定反力に至るまでの区間はコイルバネの特性により荷重と変位が線形的に上昇し、定反力区間になるとワイヤーを介して重錘を取り付けたスライダ

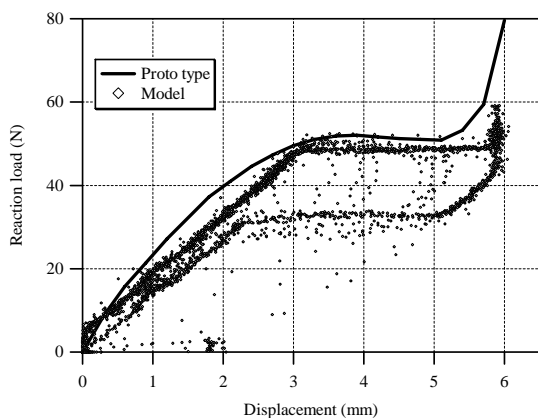


Fig.3 Characteristic of fender

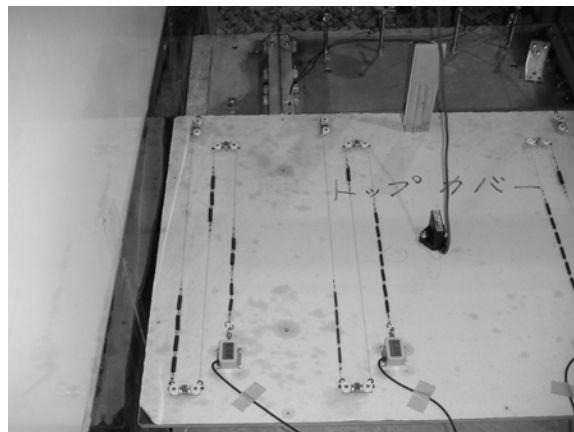


Photo 3 Model of mooring rope

がスライドすることによって、反力一定で変位が増大していく特性を表している。ストッパーによって止まる仕組みにすることで、最大変位量を超えようとする場合に荷重が大きく跳ね上がる特性を再現した。

実際の防舷材に相当する位置に、1基当たり上下2個の圧力計を取り付けて、船体が衝突したときの荷重を計測している。

Photo 4に模型防舷材の概観とFig.3にその変位復元力特性を示したものである。実線にて記入している曲線は、実物大防舷材の載荷時における変位復元力特性の1/50縮尺特性である。模型防舷材の変位復元力特性において、除荷の際にスライダの若干の摩擦力によってヒステリシスが生じているが、実際の防舷材においても、公開されていないものの、同様のヒステリシスは存在することから再現性は良いと言える。

#### 2.3 計測項目

実験で計測したのは、水面変位（沖・岸）、流速

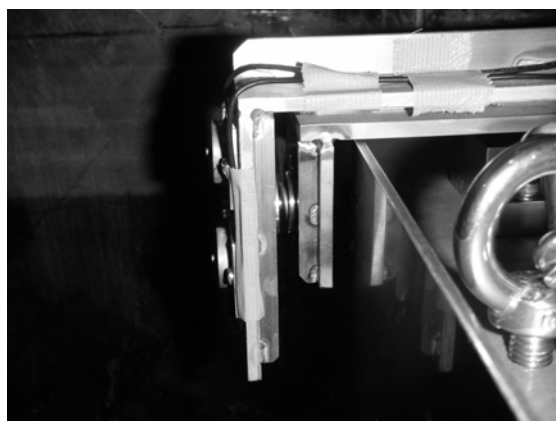


Photo 4 Model of fender facility

(船体沖側), 防舷材の反力(片側2箇所, 計4箇所), 係留索の張力(実験ケースにより, 2箇所または4箇所), 船体の変位である。なお, 船体の変位は, 鉛直方向2点, 水平方向1点をレーザー変位計にて計測し, Sway, Heave, Rollに換算した。また, サンプリング周期はいずれも100Hzとしている。

## 2.4 実験ケース

実験ケースは, 係留施設, 周期, 津波高, 潮位, 喫水, 係留状態を適宜組み合わせるとともに, 津波が引波で始まる場合(引波初動)と押波で始まる場合(押波初動)についても実施し, 各ケース3回ずつ繰り返し実験を行った。ケース名は係留施設を岸壁(g)とドルフィン(d)の二種類, 裁可状態を空載(k)と満載(m)の二種類, 係留状態をヘッドラインのみの常時の場合(2)とプレストラインを増索した場合(4)の二種類, 潮位をH.W.L(H)とL.W.L(L)の二種類, 津波が引波初動で始まる場合(h)と押波初動で始まる場合(o)の二種類を想定した。周期は現地換算において1分, 3分, 5分, 15分の四種類, 津波高さは現地換算において, 0.25m, 0.5m, 1.0m, 1.5mの四種類を想定した。なお, 括弧内の文字を使ってケース名を示した。以降も注記の無い限り現地スケールを用いた説明とする。

また, 事前検討により, 孤立波は実測における周期が比較的短いため, 正弦波を用いて造波を行った。

## 3. 実験の結果

### 3.1 船体の動揺特性

#### (1) 計測波形の一例

計測波形の一例として, gk2Hh03150のケースのデータをFig.4に示す。Sway, Heave, Rollのうち, Heaveは水面変位に同調していることが分かる。また, Roll

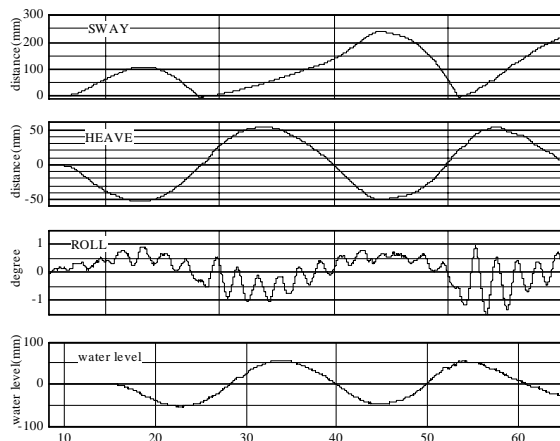


Fig.4 Profile of gk2Hh03150

に関しては振幅に違いはあるものの, いずれのケースにおいても概ね図と同様な挙動を示した。水平方向に移動している間にはほとんどRollはしておらず, 防舷材に衝突した際に衝撃により船体が振動してRollが生じている程度である。その後しばらくはRollしているが振幅は徐々に減衰していき, 再びほとんどRollしていない状態に戻る。これは, 津波は波長が長いので, 波長に対して船体模型の幅がかなり小さくなるので, 波の周期と船体模型の固有振動周期が大きく異なることが理由として考えられる。また, 全ケースでのRollの最大値は, 約5度である。

一方, Swayについては, 船体の重量や係留状態などの条件の違いにより, その特性が大きく異なる結果となり, 津波作用時の係留船舶の挙動では Sway が顕著になることが分かった。

#### (2) 船体の軌跡

Fig.5に岸壁係留, H.W.L, 常索, 引波初動, 周期3分, 津波高1.0mの場合の空載および満載の状態での各々の船体の軌跡を示す。空載の場合には, 水位の下降に伴って, 沖合に引き離された後, 水位の上昇が始まるとすぐに岸側へ戻り始め, 防舷材に衝突した後, その位置付近で再び波が引き始めるまで水位とともに上昇する。一方, 満載の場合には, 水位の上昇が始まってもすぐには岸側に戻り始めず, 波の峰近くになった時点で防舷材に衝突する。これは船体に作用する慣性力の大きさが関係していると考えられ, 重量の大きい満載時に慣性力が大きくなるため, より沖側へ引き出されることが考えられる。

ドルフィン係留の場合では, 防舷材に衝突した直後に跳ね返らないという特徴がある。これは, ドルフィンでは津波が通過するので, 船体模型が津波によってドルフィンに押さえつけられているためと考えられる。また, ドルフィン係留の場合は条件の変化によってHeave や Sway の値に変化はあるもの

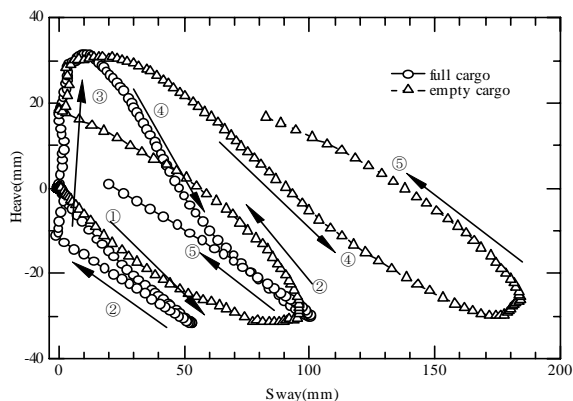


Fig.5 The track of center of gravity (g2Hh03100)

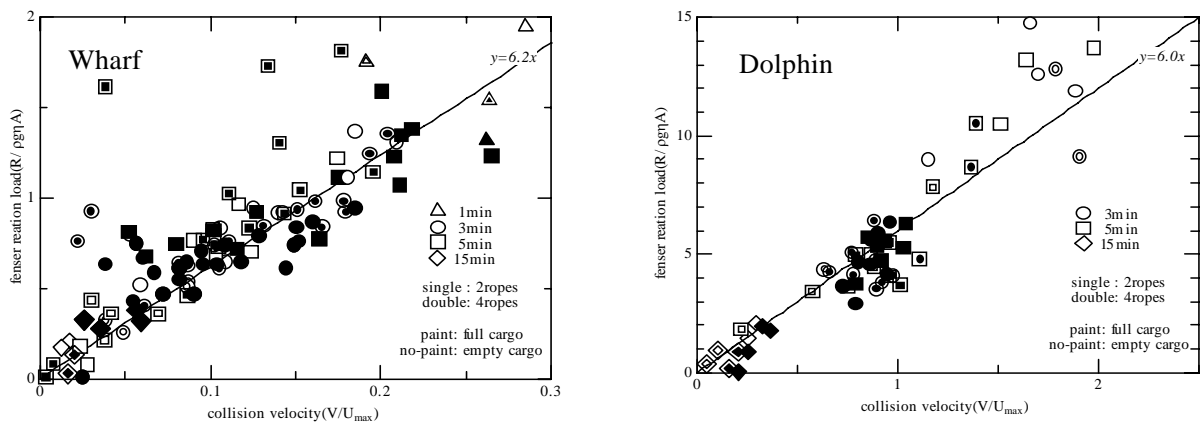


Fig.6 Relationship of collision velocity and fender reaction load

の、岸壁係留の場合と違い、津波の周期によって船体模型の軌跡が大きく変化するというのではなく、同様な軌跡をとる。

### 3.2 動揺特性間の相関

#### (1) 防舷材反力と衝突速度の関係

船体が防舷材に衝突する時の速度と、防舷材反力との関係をFig.6に示す。なお、衝突速度は、実験で得られた船体前面波高を用いて算出した水粒子速度の理論値で無次元化している。また、防舷材反力は、津波高さおよび没水面積を用いて無次元化している。

図には種々の条件下で得られた値を一括してプロットしているが、条件に関わりなく、衝突速度と防舷材反力には高い相関があることが分かる。また、その関係は、岸壁係留、ドルフィン係留いずれも似ており、防舷材反力は船体の衝突速度の6倍程度の値となっている。このことから、衝突速度を適切に推定し、ここで示した関係を適用すれば、防舷材反力を推定することが可能となる。

ただし、今回の実験で得られたデータからは、衝突速度との相関を明確に示すものが見あたらなかつ

た。衝突速度に関わる要素として、種々の要素が複雑に関わっており、実験値から推定することは難しいと考えられる。そのため、衝突速度に関しては数値シミュレーションによって算出する方法を取るのも一考である。

#### (2) 防舷材反力と衝突時の位相の関係

Fig.7は、船体が防舷材に衝突する時点の水面位相と防舷材反力の関係を示したものである。

ドルフィンの場合水を遮らないため、喫水やクリアランスによる付加質量の変化が小さいために、多様なケースを行っても衝突時の位相にはあまり差はなく、谷から静水面付近で衝突している。

一方、岸壁の場合は水を遮るという特性上、接岸時にはドルフィンに比べて喫水やクリアランスによる付加質量の変化が大きくなり、条件の変化が衝突時の位相に大きく影響を与えるため、衝突時の位相にばらつきが生じ、静水面付近から峰に近いところで衝突速度が速くなっている。これは、水粒子は静水面で最大になるが、船体移動速度は慣性力が付くことによって位相のずれが生じていると考えられる。

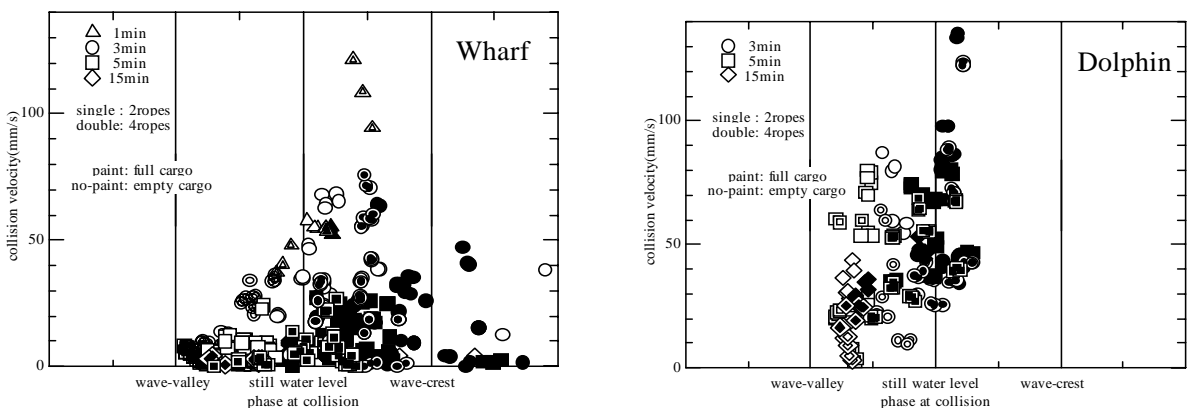


Fig.7 Relationship of collision velocity and phase at collision

### 3.3 条件の違いによる危険性

#### (1) 条件の違いによるSwayへの影響

Fig.8はSwayについて、条件ごとの比較を行ったものである。係留索に関しては横軸にヘッドラインのみの常索時のSway値、縦軸にプレストラインを増索した時のSway値を、潮位に関しては、横軸にL.W.L.のSway値、縦軸にH.W.L.のSway値を、船体重量に関しては、横軸に空載時のSway値、縦軸に満載時のSway値を表している。

まず、岸壁係留とドルフィン係留を比較した場合には、ドルフィン係留の場合の津波高は最大0.5mであることを考慮すると、岸壁係留に比べてSwayは大幅に大きく、係留索が伸びてきて破断する位置まで沖に流されるケースがいくつもあった。これは、ドルフィンの場合、水の動きを妨げるものが無く、船体の流れに乗って大きく移動するためである。

潮位の違いでは、岸壁係留の場合にはH.W.L.の方がSwayが大きくなる。これは、L.W.L.ではクリアランスが小さくなるために、岸壁によって水が遮られている場合は、船体の下を水が流れにくくなるので船体を動かす力が減少し、Swayの値が小さくなるのが考えられる。一方、ドルフィン係留の場合では、L.W.L.の方がSwayが大きくなり、岸壁係留の場合と違う傾向となっている。これは、ドルフィンの場合には流れを遮らないために、水位変化分を船体反対側へ移動させるために、質量保存則  $Q=AV$  から、クリアランスが小さくなると船体と水路床との間の流下断面積が小さくなるので、流速は速くなるため、L.W.L.の方がSwayが大きくなると考えられる。

次に、船体の载荷状態の違いで比較すると、空載に比べて満載の方がSwayが大きいたことが分かる。これは、前述したように、船体に作用する慣性力の違いによるもので、重量の大きい満載時の方が、より沖合に流されると考えられる。また、岸壁係留で満載の場合は空載よりもクリアランスが小さくなるにも拘わらず、満載の方がSwayが大きくなるのは、船体の挙動にはクリアランスより重量の方が影響するためと考えられる。

係留索の違いでは、プレストラインを増し取りした場合の方がSwayは小さくなる。これは増索する事によって、船体を岸側へ引っ張り戻す力が強くなるため、Swayが小さくなると考えられる。

#### (2) 条件の違いによる防舷材反力への影響

Fig.9は防舷材反力について、条件ごとの比較を行ったものである。全体を通して見ると、岸壁係留に比べてドルフィン係留の場合に、防舷材反力が大きいことが分かる。これは、水の動きおよびSwayの大

きさに関係しており、水が透過し流速が速くなることで船体の移動速度が速くなる上に、Swayも大きいため、それらが重なって防舷材への衝突力が大きいものとなるためである。

次に载荷状態の違いで比較すると、満載の場合に防舷材反力が大きくなっている。これはSwayの場合と同じ傾向であり、沖合に引き離される距離が長いほど、岸方向に戻り始めてから防舷材に衝突するまでの間に、船体の移動速度が大きくなるのが理由であると考えられる。

一方、係留状態の違いから比較すると、ドルフィン係留の場合では全てのケースで、プレストラインを増索した方が防舷材反力は小さくなり、増索してSwayを抑えることで、防舷材反力も小さくなると考えられる。しかし、岸壁係留の場合では、満載のケースでプレストラインを増索するにもかかわらず、防舷材反力がヘッドラインのみの常索と比べて大きくなる結果が見られた。Swayが小さくなるにもかかわらず、防舷材反力は逆に大きくなっている。この理由としては、係留索を取り増しすることで係留系全体としてのバネが固くなり、係留系の固有周期が津波の周期に近づき、衝突時の位相が静水面付近に移動したためであると考えられる。岸壁係留の場合には、船体に作用する流体力が小さいために、係留系が相対的に大きな影響を及ぼしたと考えられる。

このため、衝突力の軽減に有効な対策としては、増索を施すのが良いのかは一概には言えず、その検討には、前述の衝突速度と防舷材反力の関係より各条件に応じた衝突速度の簡便な推定方法の確立が課題となる。

### 4. まとめ

本実験によって得られた主要な結論は以下のとおりである。

(1) 津波作用時の係留船舶の挙動は、Swayが顕著であり、Heaveは水面変位に同調し、Rollは防舷材衝突時に生じる程度であった。

(2) 岸壁係留とドルフィン係留の両者で実験したところ、ドルフィン係留の場合に、津波高が0.5mと小さいにも関わらず、係留索が伸びて破断する位置まで沖合に流されるケースがいくつもあった。ドルフィン係留の場合には、水が透過するため流れを妨げるものが無く、船舶が流れに乗って大きく移動するためであり、結果として防舷材衝突時の反力も大きくなった。沖合のドルフィンでは接岸力から決まる

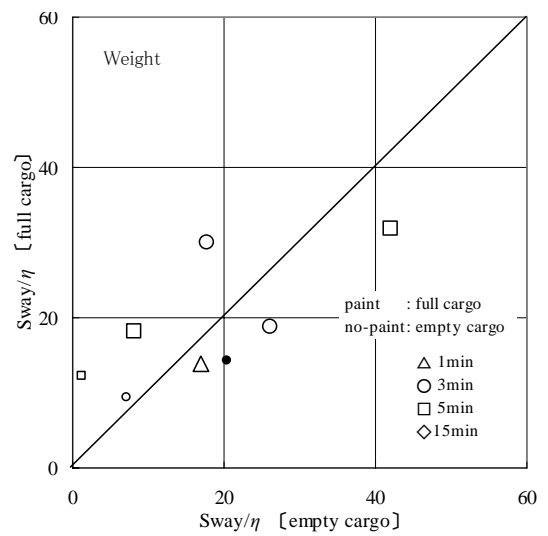
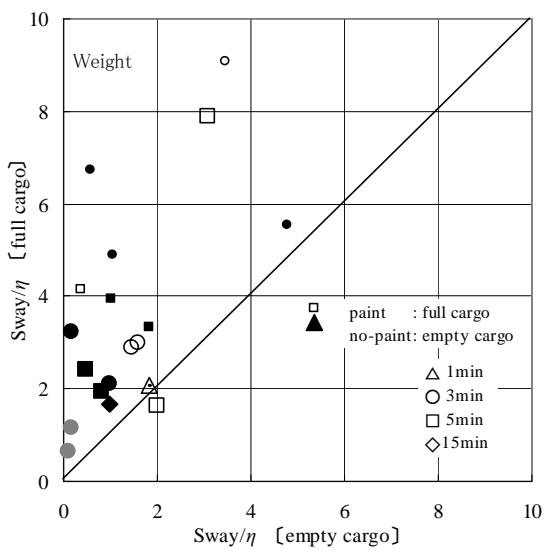
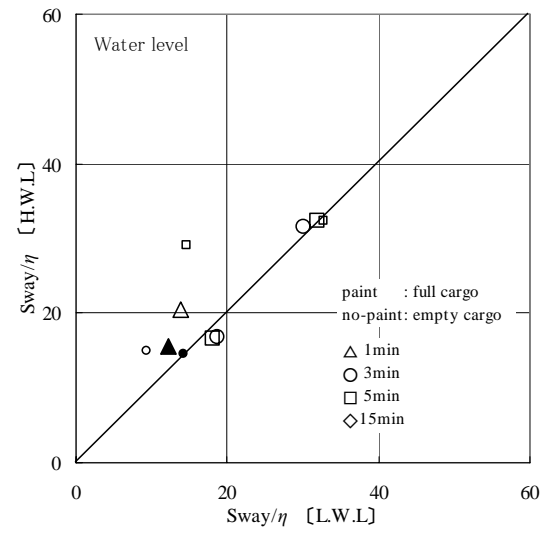
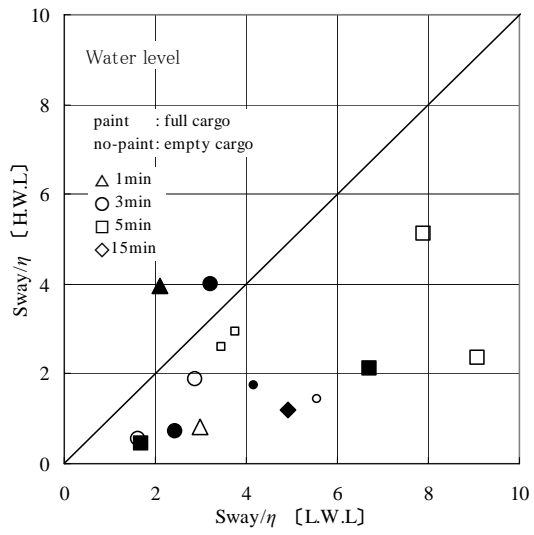
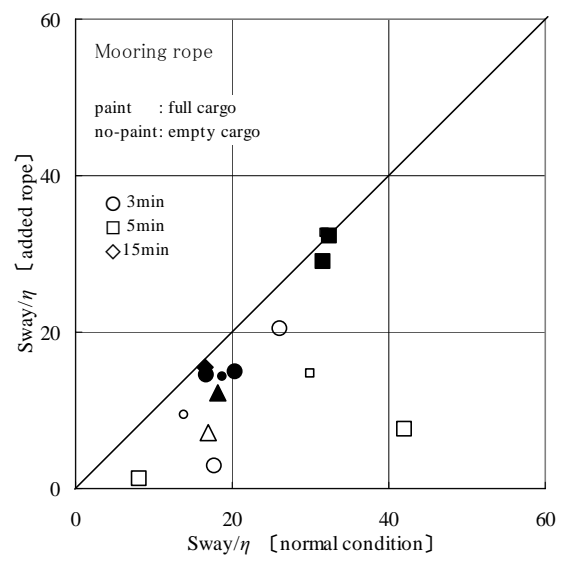
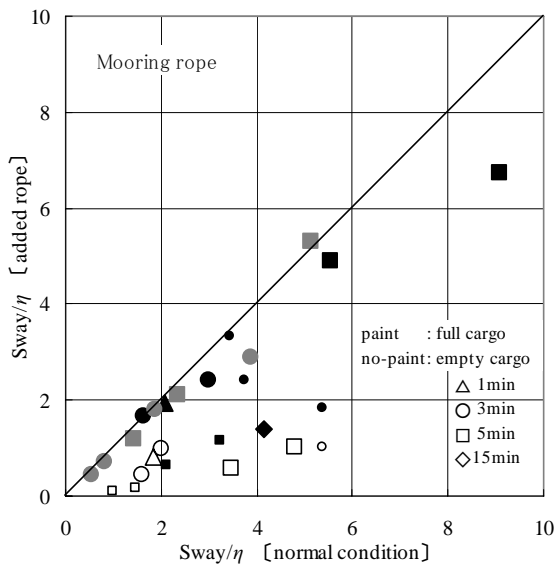


Fig.8 The relationship of Sway that compare with some condition  
Left side is wharf cases. Right side is dolphin cases



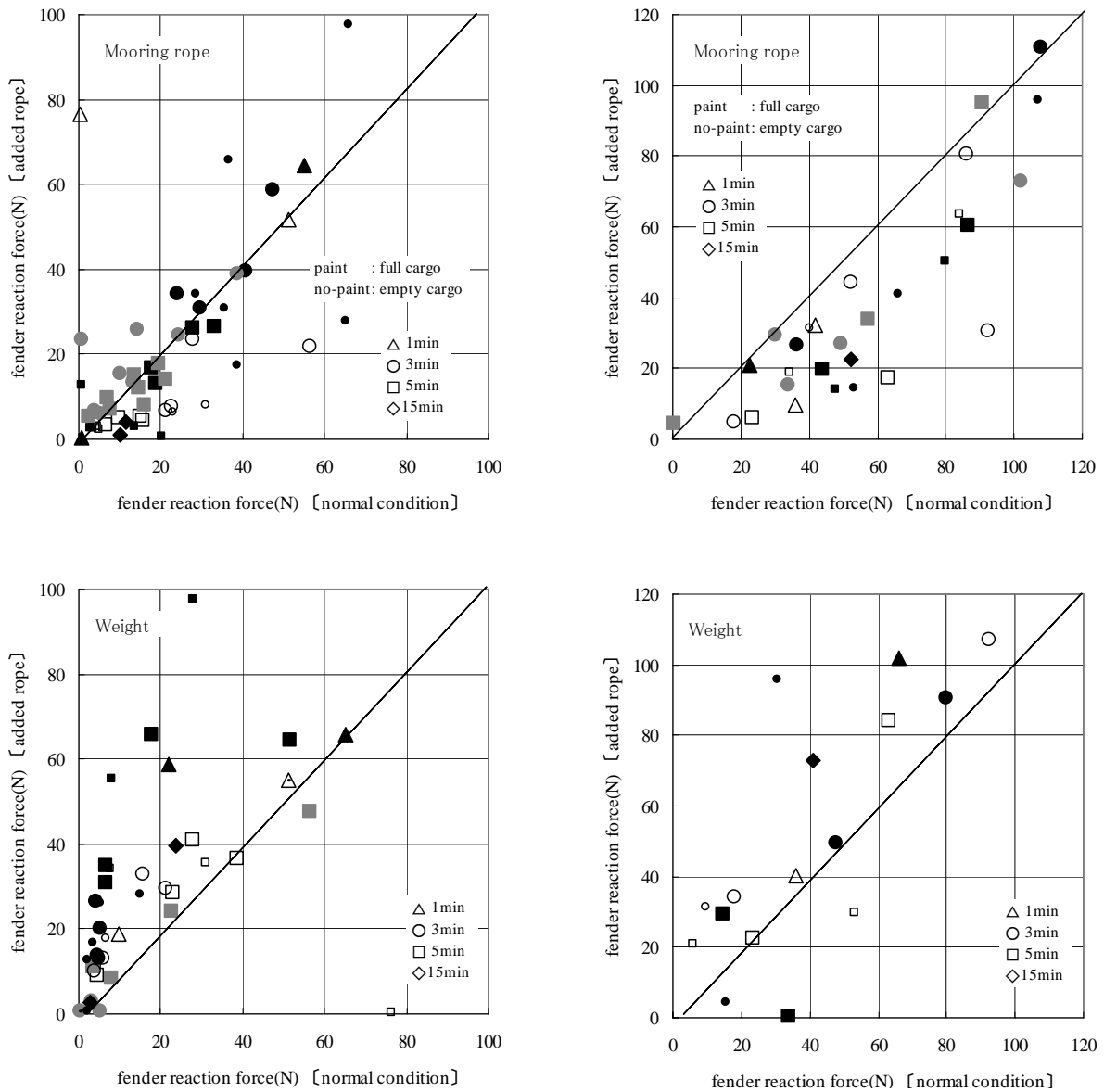


Fig.9 The relationship of fender reaction load that compare with some condition  
 Left side is wharf cases. Right side is dolphin cases

設計加重以上の力が作用する可能性があり、防舷材のみならず、ドルフィンの構造本体にも損傷するおそれもあり得る。

(3) 津波が引波で始まる場合よりも、押波で始まる方がSwayが大きくなる傾向が見られた。これは、押波で始まる場合、一度水面が高くなった状態から引いていくためであり、その分沖方向への力が大きくなるのが要因である。沖方向への力が大きくなると係留索によって厳しい条件となり、係留索の破断、船舶の漂流の可能性が高くなる。引波、押波のいずれから津波が始まるのかによって、被災の規模が異なることも考えられる。

(4) Swayを小さくするためにプレストラインを増し取りすることは、多くのケースで有効であった。しかしながら、岸壁係留の場合にSwayが小さくなったにも関わらず、防舷材反力は大きくなるというケースが見られた。これは、増し取りにより係留系の固有周期が津波周期に近づき、防舷材衝突方向への加重が増幅したためであると考えられる。このことから、係留索の破断、船舶の漂流防止に関しては、増し取りは効果があるものの、防舷材への衝突に際しては、逆効果となるケースがあり、船舶や係留索によっては増し取りが有効でないケースもあることに注意が必要である。

(5) 船舶衝突時の防舷材反力は衝突速度との相関が高いことが分かった。したがって、衝突速度を適切に推定してやれば、この関係から係留施設に作用する外力を算出することができ、構造部材の耐力検証などに利用することができる。

(6) 今回の実験で得られたデータからは、衝突速度との相関を明確に示すものが見あたらなかった。衝突速度には種々の要素が複雑に関わっており、実験値から推定することは難しいと考えられる。衝突速度に関してシミュレーションで算出する方法を取り入れることなどが今後の課題となる。

### 参考文献

池野正明・田中寛好・松山昌史 (1999) : 無ひずみ模型を用いた係留浮体の津波による3次元非線形挙

動特性, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.871-875.  
伊藤喜行・木原 力・久保正則・山本庄一 (1972) : 横波を受ける船舶の繫船岸への衝突力に関する実験, 港湾技術研究所報告, 第11号, 2号, pp.121-135.  
河田恵昭・新名恭仁・原田賢治・鈴木進吾 (2004) : 津波による船舶被害の評価手法の提案, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.316-320.  
合田良実 (1977) : 港湾構造物の耐波設計-波浪工学への序説-, 鹿島出版会, 210 pp.  
小林英一・越村俊一・久保正義 (2004) : 津波による船舶の漂流に関する基礎研究, 地域安全概要集, pp.69-72.  
永井荘七郎・小田一紀・重藤宗之 (1969) : 横波を受けるスーパータンカーのDrifting, Swaying, およびrollingによってドルフィンに働く衝撃に関する研究, 第16回海岸工学講演会講演集, pp.341-351.

## Motions of a Mooring Vessel in Tsunami

Hiroshi HIGASHINO\*, Tomotsuka TAKAYAMA, Hidekazu HAYASHI\*\*,  
Muneo TSUDA\*\*\* and Yasunori OOKI\*\*\*

\* Port and Airport Research Institute

\*\* Graduate School of Engineering, Kyoto University

\*\*\* Toa Corporation

### Synopsis

The purpose of this study is to clarify the oscillation properties of mooring vessel and reaction load properties of port facilities in tsunami. From experimental observation, it is found that sway at full load condition, H.W.L. and initial forward-rush wave is longer than ones at light load condition, L.W.L. and initial backrush wave. When the mooring cables are added more, sway is restrained. However, reaction load of fender beam are conversely increased at full load condition. It is necessary to use numerical simulation for examination of countermeasure.

**Keywords:** tsunami, mooring vessel, hydraulic experiment