

学 位 論 文 題 名

自由水の動的作用下における小型漁船の横揺れ特性に関する研究

学位論文内容の要旨

甲板上への海水の打ち込みは，漁船の耐航性及び復原性に重大な影響を及ぼし，時には転覆に至らしめる主要な原因の一つと考えられる。このような甲板上の滞留水や空積を有するタンク内の液体は，自由に移動，変形が可能な自由表面を有するため自由水と呼ばれる。

本論文は，小型漁船の耐航性の評価について，復原性に重大な影響を及ぼす甲板上の自由水の動的作用を究明し，従来の船体動揺に関する解析法を再検討すると共にその問題点を補う手法の幾つかを提示した。

1. 小型漁船の自由横揺れ減衰について

自由横揺れ減衰特性を調べるための自由横揺れ減衰試験では，静水中で模型船にある初期傾斜角を与え，この状態から初速度0で解放し，動揺が十分に減衰するまでの横揺れ角を，模型船に取り付けた動揺計で測定した。また，模型船の甲板部に水を入れたタンクを設置し，同様な自由横揺れ減衰試験を行い，甲板上の自由水の影響を考察した。

1-1. 甲板上に自由水が存在する場合の横揺れ減衰の振幅依存性

甲板上のタンク内自由水の固有周期が小振幅時の船体動揺周期よりも長い場合，船体動揺周期は動揺振幅が減少するとともに短くなり，他方，甲板上のタンク内自由水の固有周期が小振幅時の船体動揺周期よりも短い場合，船体動揺周期は動揺振幅が減少するとともに長くなることが確認された。

1-2. 減衰係数の振幅依存性と減衰力関数の改良

上記の結果を考察するうえで、自由水が存在しない場合の横揺れ減衰力を考慮する必要があるが、張り出し甲板やハードチェーン等の形状的特徴を有する船形に十分適用できる減衰力関数は存在しない。このため適用可能な横揺れ減衰力関数を考察した。

「北進丸」、 「丸東丸」モデルと比較して船体断面形状が滑らかな「美登丸」、 「翔洋丸」モデルを用いた結果においては、従来示されている角速度の二乗項のみから構成される減衰力関数を用いて海水流入角近傍の大振幅時から小振幅時に至るまでの現象が、同一の係数で表わせることを確認した。

これに対して、「北進丸」モデルや「丸東丸」モデルのように、張り出し甲板、ハードチェーン等の形状的特徴を有する船形についての自由横揺れ減衰曲線の解析において、フルードの表現に代表される従来の減衰力関数を用いた場合、減衰係数の動揺振幅依存性が高く、同一の載貨状態であっても初期傾斜角に応じて諸係数を変化させねばならないという問題が生じた。

本研究ではこのような問題に対して、諸条件を考慮し、新たに導入した減衰力関数を用いることで実験値と良い適合を得ることを明らかにした。

1-3. 減衰曲線の極値間に見られる関係

減衰力の振幅依存性を考慮して適用範囲を選択した場合減衰曲線上のある極値 ϕ_n (絶対値) とその次に生じる極値 ϕ_{n+1} (絶対値) の間には次の関係が成立する。

$$\frac{2b_2\phi_{n+1}+1}{\exp(2b_2\phi_{n+1}+1)} = \frac{2b_2\phi_n+1}{\exp(2b_2\phi_n+1)}$$

更に、振幅の範囲を限定すれば ϕ_{n+1} は ϕ_n の一次式で表わせることを明らかにした。ここで b_2 は角速度の二次の項の減衰係数。

また、上記の考察結果と平均法を用いた近似解を併用することにより、動揺振幅が 4[deg] 付近の小振幅時のデータを用いて動揺

振幅が15[deg]以上の場合の減衰特性と定常状態での動揺特性を推定できることを明らかにした。

2. 動揺発生装置を用いた甲板上の自由水の挙動の考察

規則波的動揺を再現できる動揺発生装置の上に設置した、透明タンク内の水の挙動を解析し、船体動揺への影響を考察した。

2-1. 動揺するタンク内水の挙動の大別

タンク内水の挙動を次の2点を基準に大別した。第1点目として、定常波が生じるか或いは進行方向に質量輸送を伴う遷移波が生じるかという点を基準とした。第2点目としては、甲板上の自由水に対して、その量や重心の変化を船の横傾斜に応じて求め、各々の状態で甲板上の自由水を固形物とみなし、その影響を復原性基準に導入する従来の方法が適用できるか否かという点を基準とした。これらの基準を基に挙動を5つの型に分類した。

2-2. 挙動の特徴と数値シミュレーション

一次同調周期付近で、遷移波がタンク側壁に衝突した後巻き返りタンク底部に衝突する現象が確認された。任意形状の流体の挙動を扱うのに適したMAC法を用いることによりこのような現象を数値的にシミュレーションできた。また二次同調周期付近で、従来の非線形理論で示されているような定常波が生じず、逆方向に進行する2つの遷移波の衝突現象が現れることが確認され、この現象についても数値的にシミュレーションできた。

3. 小型漁船の規則波中動揺の特徴

以上の自由横揺れ減衰試験、動揺発生装置による実験及び数値シミュレーションより得られた結果を考慮して、諸条件を選択し規則波中動揺試験を行なった。

この規則波中動揺試験では、模型船を造波装置で発生させた波の進行方向に対して垂直に浮かべ、波によって生じる船体の横揺れ角変位及び船首揺れ角変位を模型船に設置した動揺計により測定した。甲板上の自由水の影響は模型船の甲板部に水を入れたタ

ンクを設置することにより調べた。実験は北海道大学水産学部大型水理実験水槽で行った。

その結果，従来の報告では揺れを抑制する減揺効果を作用するとされていた甲板上の自由水が以下の場合において，逆に揺れを助長することが確認された。また従来論じられることのなかった甲板上の自由水の存在と横揺れ・船首揺れの連成についても以下のような知見が得られた。

3-1. 甲板上の自由水と強制波の同調の影響

甲板上のタンク内自由水が少量で船体動揺周期に大きな影響を与えない場合でも，強制波の周期が甲板上のタンク内自由水の固有周期の $1/2$ (2次同調周期)付近の値のとき，甲板上の自由水の減揺効果はあまり生じず，自由水が存在しない場合と比較して，むしろ動揺振幅が大きな値を示す場合があることを確認した。

この場合の甲板上のタンク内自由水の挙動は，動揺発生装置を用いた実験及び数値シミュレーションで確認された，逆方向に進行する2つの遷移波の衝突現象に対応するものであった。

3-2. 甲板上の自由水の存在による船体動揺周期の変化の影響

甲板上の広範囲に自由水が存在する場合，船体の動揺周期が大きく変化し，船体横揺れの共振域が移動する。このため強制波の周波数がこの状態の船体動揺の1次共振周波数付近及び，2次の分周波共振周波数付近に至ったとき，自由水が存在しない場合と比較して動揺振幅が大きな値を示す場合があることを確認した。

3-3. 甲板上の自由水が存在する場合の横揺れと船首揺れの連成

通常，横運動における連成を考える場合，船首揺れの影響は左右揺れの影響に比べ小さいために無視される場合が多い。しかし自由水による減揺効果が大きく作用する場合に，横揺れに対する船首揺れの影響が無視できない場合があることを確認した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 天 下 井 清
副 査 教 授 烏 野 慶 一
副 査 助 教 授 木 村 暢 夫

学位論文題名

自由水の動的作用下における小型漁船の横揺れ特性に関する研究

甲板上への海水打ち込みは、漁船の耐航性及び復原性に重大な影響を及ぼし、時には転覆に至らしめる主要な原因の一つと考えられている。現に平成4年度から7年度の4年間における転覆、沈没の船舶海難数91件中42%の38件が自由水の影響によるとされ、この内22件が漁船であった。甲板上の滞留水や空積を有するタンク内の液体は自由に移動、変形が可能な自由表面を有するため自由水と呼ばれ、その挙動によって船体の力学的特性を変化させる。本論文は、特に自由水影響を問題とする小型漁船の耐航性の評価にとって重要な復原性に重大な影響を及ぼす甲板上の自由水の動的作用を究明し、従来の船体動揺に関する解析法を再検討し、その問題点を補う手法の幾つかを提示した。第2章では小型漁船の自由横揺れ減衰について、ハードチェーン、張り出し甲板を有する和船型漁船に対しては、自由横揺れ減衰曲線の解析において、フルードの表現に代表される従来の減衰力関数を用いた場合、同一の載貨状態であっても初期傾斜角に応じて諸係数を変化させなければならないという問題について、新たな減衰力関数を導入して問題を解消した。第3章では動揺発生装置を用いて甲板上の自由水の挙動について論じ、動揺する自由水の挙動を5つの型に大別し、動揺周期の変化によって自由水の挙動が変化する実験結果について、数値シミュレーションによっても現象を検証している。第4章では自由水タンクを装備した小型漁船模型を使用した規則波中動揺試験について論じている。その結果、従来の報告では揺れを抑制する減衰効果を発揮するとされていた甲板上の自由水がある条件下では逆に横揺れを助長する働きをすることを確認した。また従来論じられることのなかった甲板上の自由水の存在が、横揺れと船首揺れの連成についても無視し得ない影響を及ぼしていることに言及している。一般の大排水量の船舶と異なり少量の自由水の存在によって復原性能に大きな影響をこうむる小排水量の小型漁船にとって、特に甲板上の自由水の挙動及びその動的作用下における横揺れ特性について検討した本論文について審査員一同が評価した点は次の通りである。

1. 張り出し甲板、ハードチェーンを有する和船型漁船の自由横揺れ減衰曲線の解析において、従来用いられているフルードの表現に代表される減衰力関数では十分表現し得ない減衰係数の動揺振幅依存性について、4度程度の小振幅データより15度以上減衰特性と定常状態での動揺特性を推定できる方法を導いた。これは実船計測において

誠に有効である。

2. 動揺する自由水の挙動を実験的に5つの型に分類し、MAC法を用いることにより、このような現象を数値的にシミュレーションした。その結果二次同調周期付近で、従来の非線形理論で示されたような定常波が生じず、逆方向に進行する二つの遷移波の衝突現象が現れることを確認した。
3. 以上の結果に基づいて効率的に甲板上に自由水を有する模型船による規則波中動揺試験を行い、従来自由水の存在がむしろ横揺れを減揺する効果があるとされていたのに対して、自由水が少量で船体動揺固有周期に大きな影響を与えない場合でも、強制波の周期が自由水の固有周期の $1/2$ (2次同調周期) 付近で、自由水が存在しない場合と比較して、動揺振幅が大きくなることを確認した。この場合の自由水の挙動は先に明らかにした、逆方向に進行する二つの遷移波の衝突する場合であった。

以上の諸点は小型漁船にとって少量の自由水が転覆事故にとって無視し得ない存在であることを説明し、同調周期、2次同調周期を回避する操船が安全対策にとって重要なことを明確に示したものと高く評価することが出来る。従って審査員一同は、本論文が博士(水産学)の学位論文として価値があるものと認定した。