

係岸船舶の動揺計算法と動揺の特性

上田 茂*・白石 悟**・出路康夫***・小島 晃****

1. 研究の目的

台風等の荒天時における港内での係岸船舶の安全性を検討するために、港湾技術研究所において波と風的作用を受ける係岸船舶の動揺計算法を開発した。また、水理模型実験を行い、係岸船舶の動揺特性を調べるとともに、模型実験結果と数値計算結果とを比較し、数値計算法を評価した。

本報告では、数値計算法の概要、係岸船舶の動揺におよぼす防舷材の影響、風速の影響、模型実験結果と数値計算結果との比較について述べる。

2. 数値計算法

係岸船舶は、サージ、スウェイ、ヒープ、ロール、ピッチ、ヨウの6自由度の運動を行う。運動成分の中にはたとえば、スウェイとロールのように連成の度合いが大きいものがある。従って、係岸船舶の動揺を表わす運動方程式は6元2階連立微分方程式となる。

図-1は数値計算法の概略のフローチャートである。ここで、船舶に作用する波浪荷重は、船体を約20の断面に分割し、ルイスフォーム近似した断面に作用する波力を求め、これを船長に沿って積分して求める。ただし、船舶の長手方向（サージに対するもの）は別途求める。不規則波の波力は、各成分波に対する波力を位相を考慮して重ね合わせて求める。不規則波を発生させる場合の波の周波数スペクトルとしては、Bretschneider-光易およびJONSWAPのスペクトルのほか、任意の形状のスペクトルを使用できる。また、やや計算が煩雑にはなるが、波の方向分散を与えることができる。

船舶に作用する風圧力は、Hughesの実験公式を用いて計算する。この場合、風の抗力係数は風洞実験から得られた値を用いる。変動風速の周波数スペクトルとしては、Davenport または日野のスペクトルを用いる。

船舶に作用する荷重としては、以上のほかに流れによる荷重や漂流力なども考慮することができる。

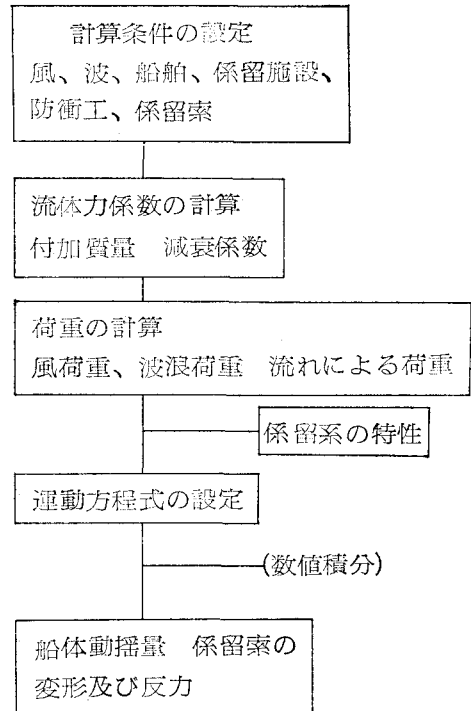


図-1

付加質量および減衰係数などの流体力係数は、船体が単位振幅の運動をした場合の造波抵抗力から求めている。

係留索や防舷材などの係留索の荷重変形特性は一般に非線形である。とくに防舷材についてはヒステリシスが大きいものがある。本報告で用いる数値計算法では、これらの非線形な特性も考慮しうる。

3. 模型実験

模型実験に用いた水槽は港湾技術研究所内の平面水槽(25m×20m×1m)である。図-2に示すように、この水槽には不規則波造波装置および送風機(可動式)が設置されており、規則波および不規則波中、また、定常風および変動風中における係留船舶の動揺問題に関する模型実験を行うことができる。模型船は10 000 DWT級の貨物船の1/30模型で、模型船の諸元は、船長440 cm、

* 正会員 運輸省港湾技術研究所構造部海洋構造研究室長

** 正会員 運輸省港湾技術研究所構造部海洋構造研究室研究官

*** 正会員 運輸省第三港湾建設局広島港工事事務所

**** 正会員 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所

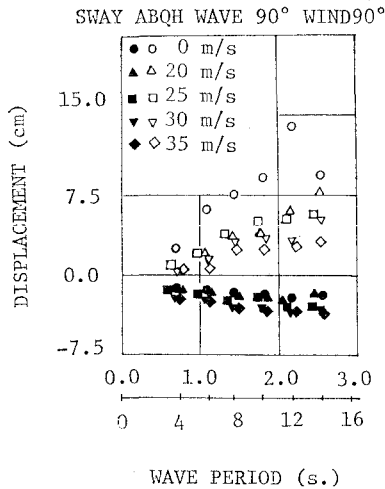


図-5

揺の平衡点が防舷材を圧縮する方向に移動し、次第に防舷材の変形量が増加する。ところが、動揺量は図-5に示すようにむしろ減少する傾向を示す。ただし、図-5はスウェイの動揺量について、岸壁から離れる側の動揺量と防舷材を圧縮する側の動揺量の最大値を示したものである。また、動揺周期はほぼ波周期に等しくなる。

これは、風速が増加するにつれて、風の定常力成分が増加し、この定常力に対応する防舷材の変形が生ずるが、この点があたかも動揺の平衡点となるような運動をするためである。ここで用いた模型防舷材は、風速 6.39 m/s の場合の風の定常力による防舷材の変形量が全高の 10% 以下になるように特性を定めているので、風速が増加するにつれて、先に述べた係留系の非対称性が緩和されていることになる。

5. 係留系の特性が船舶の動揺に及ぼす影響

図-6 は、空載時の模型船が、係留索とタイプ 1 またはタイプ 3 の防舷材で、係留されている時、波と風の作用を 90° の方向から受ける場合の、スウェイの動揺波形の時系列を示したものである。波は不規則波で、有義波高 1.67 cm、有義波の周期 1.83 s である。上の 2 例がタイ

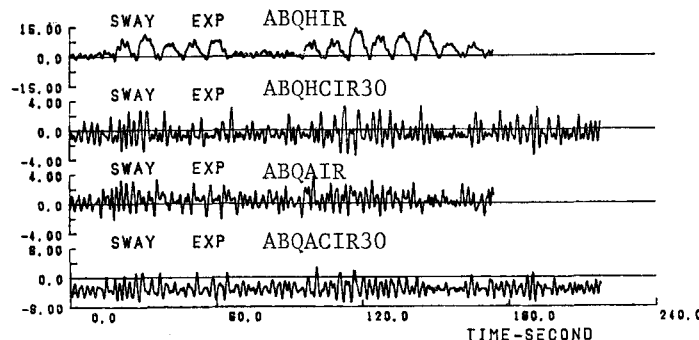


図-6

プ 1 の防舷材を用いた場合で、また下の 2 例がタイプ 3 の防舷材を用いた場合で、それぞれ、風速 0 m/s と 5.48 m/s の場合の動揺波形の時系列を示している。

風速が 0 m/s のときに、タイプ 1 とタイプ 3 の防舷材を用いた場合の動揺波形が極端に異なっていることが判る。この現象は、係留系の非対称性の影響によるもので、タイプ 3 の防舷材を用いた場合には係留系の非対称性が弱いために、タイプ 1 の防舷材を用いた場合に見られる、長周期でしかも係船岸から大きく離されるような動揺をせず、比較的波周期に近い周期で動揺し、その動揺量は大きくない。図-7 は、スウェイの動揺量について、岸

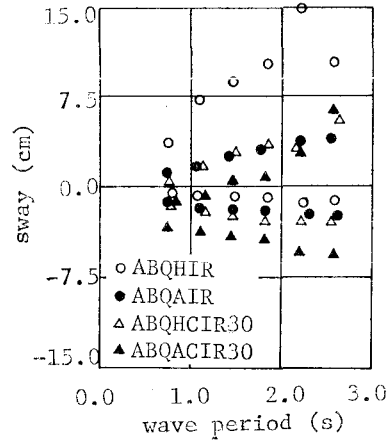


図-7

壁から離れる側の動揺量と防舷材を圧縮する側の動揺量の最大値を示したものである。ABQHIR (タイプ 1、不規則波、風速 0 m/s) の動揺量が大きいことが判る。また、タイプ 3 の防舷材を用いた場合の防舷材の変形量が大きいことが判る。

このような動揺特性の相違は、波周期、波高、風速、防舷材の特性と係留索の特性の差による係留系の非対称性などの要因の影響によって生ずるものであるが、風速が小さいとき、つまり、防舷材を圧縮する方向の定常力が小さい場合に、船舶の動揺特性におよぼす防舷材の影響が大きいことが判る。現実の問題としては、低気圧の通過前後の、風速が大きくなり、かつ周期の長いうねりが発生している場合にこのような現象が生ずる可能性がある。

6. 模型実験結果と動揺計算結果との比較

ここでは、前節で示した 4 つの実験ケースに対応する数値計算を行い、実験結果との比較をする。

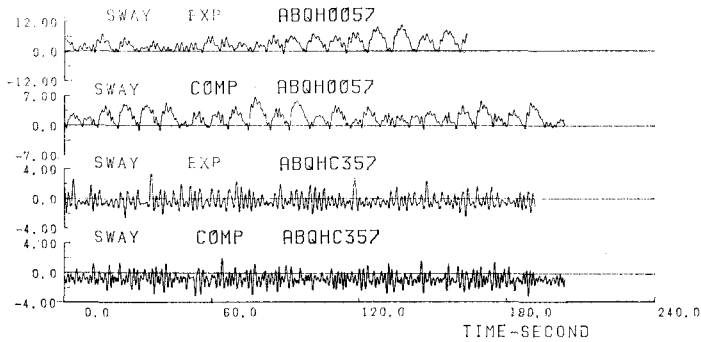


図-8 (a)

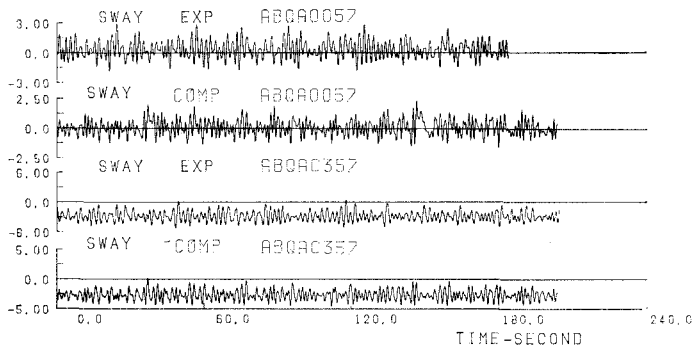


図-8 (b)

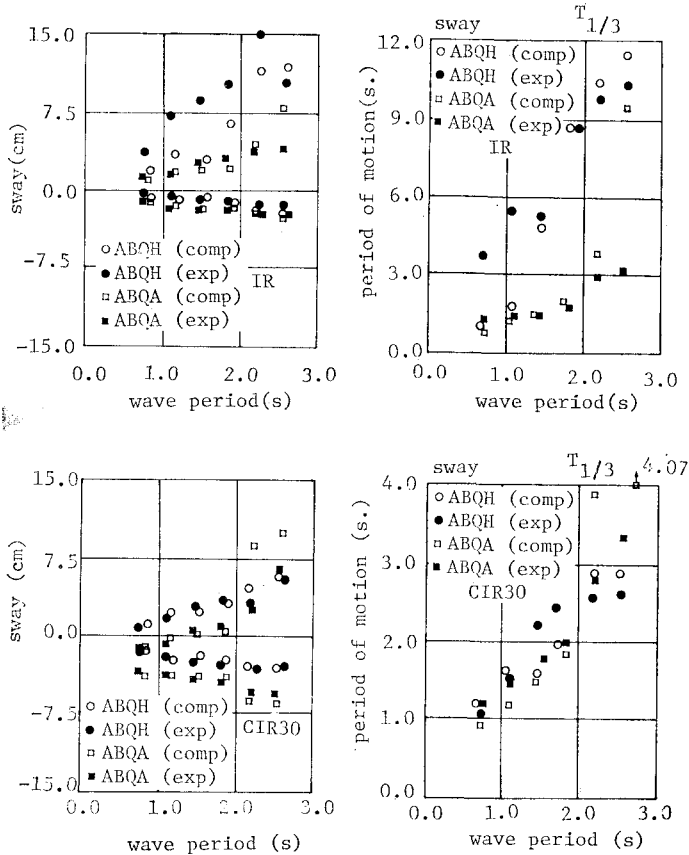


図-9

図-8 (a) は、タイプ1の防舷材を使用した場合で、波向 90° 、有義波高 1.67 cm、有義波の周期 1.83 s の不規則波と、風向 90° で風速 0 m/s または 5.48 m/s の定常風を作用させたときの、スウェイの動揺波形の時系列を実験値と計算値とで比較したものである。上の2例は風速 0 m/s の条件のときの結果を比較したものであるが、計算値においても先に示した長周期で岸壁から離される側の動揺量が大きい運動が現われている。また、下の2例は風速 5.48 m/s の条件のときの結果であるが、長周期運動は消滅し、計算値においても波周期に近い動揺成分が卓越していることが判る。図-8 (b) は、タイプ3の防舷材を使用した場合で、上と同じ条件で実験値を計算値とを比較したものである。風の作用の如何にかかわらず波周期に近い周期で動揺する状況が計算値にも現われている。

図-9 はタイプ1および3の防舷材を使用した場合の岸壁から離れる側と防舷材を圧縮する側の動揺量の最大値および動揺周期の有義値を実験値と計算値とで比較したものである。波と風の条件は図-8 の場合と同様である。実験値と計算値とは良い対応をしている。

7. 結 論

以上述べたように、波と風の作用を受ける係留船舶の動揺計算手法を開発したが、この手法を用いて得た船舶の動揺量は、模型実験の結果と良く一致した。また、係留船舶の動揺特性におよぼす、係留系の非線形性と風速の影響について明らかにすることができた。この動揺計算手法を用いることにより、港湾施設整備を進める上での重要な課題の一つである、台風等の暴風時における港内の係岸避泊に関する問題や、港湾荷役の稼働率と船舶の動揺に関する問題を詳細に検討することが可能であり、これらの諸課題に対し有効な解決策を見出すことができるものと期待される。

参 考 文 献

- 1) 上田 茂・白石 信：大型矩形浮体の波浪中の動揺と係留力に関する研究（第2報）、港湾技術研究所報告，第19巻第3号，pp. 105~143, 1980.
- 2) 高石敬史・黒井正明：波浪中船体運動の実用計算法，第2回耐航性に関するシンポジウム，pp. 109~133, 1977.