

係留策の剛性が係留船舶の挙動に及ぼす影響について

日本鋼管(株)エンジニアリング研究所 正会員 神 宮 紀 夫

1. 緒 言

本論文では、岸壁に船を係留する際の係留索の剛性と船の揺れ及び係留策に生じる変動張力との間にいかなる関係があるかを検討する。先ず最初に厳密には6自由度系の連成問題である係留時の船の揺れの問題を1自由度系と見なして理論的に考察する。次に船長約120mの船を岸壁に係留し、横波が作用するときの船の揺れについて係留策の剛性を変えて6自由度系の数値シミュレーションを行い、1自由度系で考察した現象が生じるかを検証する。なお、数値シミュレーションは造船研究協会SR155部会で開発された手法で行った。

2. 理論考察

波浪中の係留船舶の動揺は係留策による連成力により厳密には6自由度の連成問題である。ここでは簡単に係留策の剛性影響を調べるためにFig.2-1に示す1自由度系で考察する。Fig.2-1の運動方程式は次の通りである。

$A \cdot Z + B \cdot \dot{Z} + C \cdot Z = F \cdots (1)$ 但し、A:振動系の質量、B:減衰係数、C:復原力定数

この式について、係留復原力の強い場合と弱い場合について比較してみる。波力を $F = F_0 \cdot \exp(i\omega t)$ 、変位を $Z = Z_0 \cdot \exp(i\omega t)$ とおく。(ただし、 F_0 、 Z_0 は、複素数)これを(1)に代入すると次のように展開できる。

$$-\omega^2 \cdot A \cdot Z_0 \cdot \exp(i\omega t) + iB \cdot \omega \cdot Z_0 \cdot \exp(i\omega t) + C \cdot \exp(i\omega t) = F_0 \cdot \exp(i\omega t) \cdots (2)$$

$$\therefore \{ (C - \omega^2 \cdot A) + i\omega \cdot B \} \cdot Z_0 \cdot \exp(i\omega t) = F_0 \cdot \exp(i\omega t) \cdots (3)$$

$$\therefore Z_0 = F_0 \div \sqrt{(C - \omega^2 \cdot A)^2 + \omega^2 \cdot B^2} \cdots (4)$$

係留が弱い場合の復原力を C_1 、動揺を Z_1 、動揺振幅を Z_{10} 、係留が強い場合の復原力を C_2 、動揺を Z_2 、動揺振幅を Z_{20} とすると、(4)式を使うと次の(5)(6)となり、この式を比較すると(7)式となる

$$Z_{10} = Z_1 = F_0 \div \sqrt{(C_1 - \omega^2 \cdot A)^2 + \omega^2 \cdot B^2} \cdots (5)$$

$$Z_{20} = Z_2 = F_0 \div \sqrt{(C_2 - \omega^2 \cdot A)^2 + \omega^2 \cdot B^2} \cdots (6)$$

$$\therefore Z_{20} (\text{係留強い動揺}) \div Z_{10} (\text{係留弱い動揺}) =$$

$$\sqrt{(C_1 - \omega^2 A)^2 + \omega^2 B^2 \div (C_2 - \omega^2 A)^2 + \omega^2 B^2} \cdots (7)$$

(7)式の値は ω の値により1より大きく、すなわち係留策の剛性が強い方が動揺が大きくなったり、逆に1より小さくなる。この ω の領域を分けるのは根号中の $\alpha \equiv C_1 - \omega^2 A$ と $\beta \equiv C_2 - \omega^2 A$ の大きさである。 α 、 β はFig.2-2に示すように $C - \omega$ 平面では上向き凸の二次曲線でこの図から、 $\omega > \omega_2 > \omega_3$ の領域で

は、 $\alpha^2 > \beta^2$ すなわち、(7)式の分子が分母より大きくなる。言いかえと、 ω が係留強の固有周期、すなわち ω_2 より大きい(周期が短い)ところでは、係留策の剛性が強い方が動揺が大きい。逆に、 $\omega < \omega_1 < \omega_3$ では係留策の剛性が小さい方が動揺が大きい。

3. 数値シミュレーション結果

日本造船研究協会SR155部会で作成されたプログラムにより10本の策で係留された船の動揺を計算した。結果をFig.3-1~3-4に示す。各々周波数域によっては係留策の剛性が強い方が動揺、変動張力が大きくなっており前節の考察通りである。なお、さらに前節考察を裏付けるに連成の影響を考察する必要がある。

4. 結 言

係留策の剛性が船の動揺にどのような影響を与えるかを考察し、周波数域によっては剛性が強い方が動揺と変動張力が大きくなること示した。

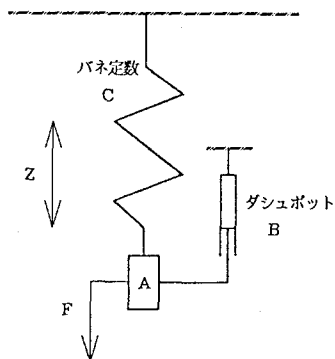


Fig. 2-1 Spring-Mass-Dashpot

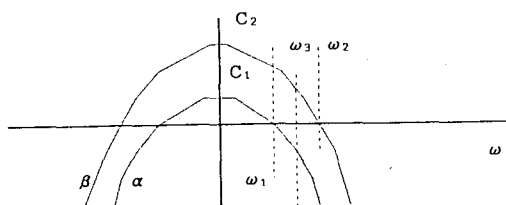


Fig. 2-2 α, β

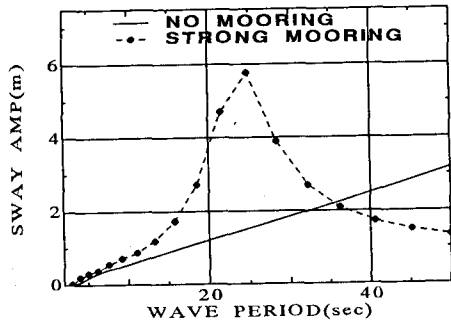


Fig. 3-1 R.A.O. of SWAY in beam sea

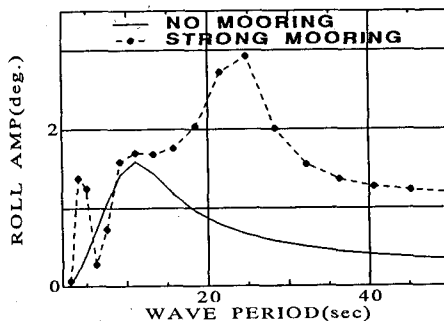


Fig. 3-3 R.A.O. of ROLL in beam sea

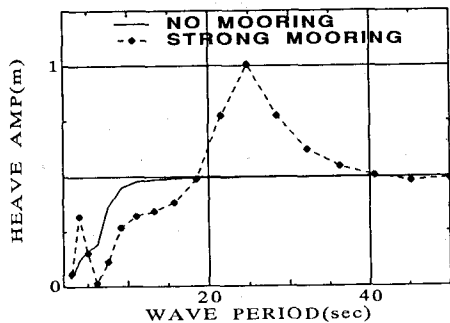


Fig. 3-2 R.A.O. of HEAVE in beam sea

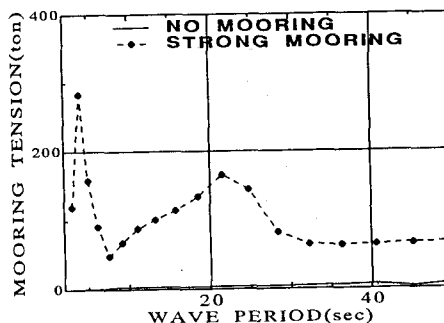


Fig. 3-4 R.A.O. of TENSION in beam sea