

船舶接岸用防舷材に作用する接岸力に関する研究

鳥取大学工学部 正会員 上田 茂
 鳥取大学工学部 正会員 池内 智行
 鳥取大学大学院 学生員 ○梅村 亮

1. まえがき 船舶接岸用防舷材の設計では、船舶の有効エネルギーを防舷材の変形により吸収するとしているが、船舶の有効接岸エネルギーは船舶の質量、接岸速度、仮想質量係数、偏心係数などの関数である。実際には、これらの大きさや頻度は確定できない統計量である。そこで、過去4年間の名古屋港コンテナバースに出入港した船舶の実測データから、これらの諸量を確率変数と考え、統計的手法による船舶接岸力の算定法を検討する。

2. 使用したデータ 入手した船舶のデータは、バース名、入出港日時、船名、全長 L_{∞} 、喫水 D 、総トン、重量トンである。喫水に関しては、前喫水、後喫水のデータの平均値を用いた。排水トン、垂線間長 L_{pp} 、船幅 B については取保データがないので次式¹⁾を用いて推定した。

重量トンと排水トンの関係式 $\log(DT) = 0.365 + 0.953 \log(DWT)$

垂線間長と重量トンの関係式 $\log(L_{pp}) = 0.516 + 0.401 \log(DWT)$

重量トンと船幅の関係式 $\log(B) = 0.262 + 0.272 \log(DWT)$

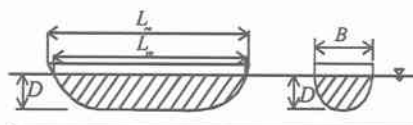


図1 船舶の諸元

3. 船舶の接岸エネルギー算定式 船舶の接岸エネルギー E の算定式は、船舶の排水トン、仮想質量係数、接岸速度、偏心係数の関数であり、 $E = \frac{1}{2} M \cdot V_b^2 \cdot C_M \cdot C_e$ で求めることができる。ここで、 M :船舶の排水トン、 C_M :仮想質量係数、 V_b :船舶の接岸速度、 $C_e = 1 / \{1 + (a/k)^2\}$ 、 a :船舶の重心と接岸点との距離のバース法線上の投影長[m]、 k :水平面における船軸の重心まわりの環動半径[m]

ン、 C_M :仮想質量係数、 V_b :船舶の接岸速度、 $C_e = 1 / \{1 + (a/k)^2\}$ 、 a :船舶の重心と接岸点との距離のバース法線上の投影長[m]、 k :水平面における船軸の重心まわりの環動半径[m]

4. 各変数の確率分布の推定法および推定結果

船舶の有効エネルギーに関する各確率変数の確率分布の推定を行った。それぞれの度数分布を調べ、その分布を正規分布、対数正規分布、指数分布、ポアソン分布に当てはめる。接岸速度については、極値I型分布、ワイブル分布($k=0.75, k=1.0, k=1.4, k=2.0$)に当てはめた。さらに各確率分布について理論度数を算定し、観測度数との相関係数を調べ最も相関係数が大きなものを妥当であるとした。ここでは、名古屋港バース名R1についての結果を示す。

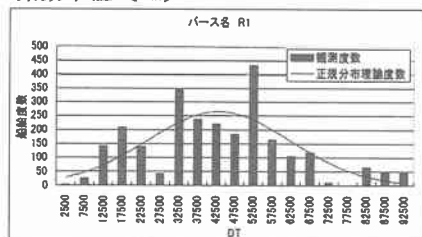


図3 排水トンの確率分布

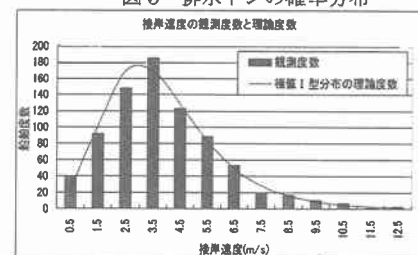


図4 接岸速度の確率分布

船舶の排水トンについては、推定したデータを階級5000DWT刻みとし度数分布を調べ、確率分布の推定を行った。その結果を図3に示すが、排水トンは正規分布が最も妥当と思われる。平均値は43161DT、標準偏差は19064DTであった。80000DTを超える船舶の入港は、ここ2年が多く、平均値より大きな排水トンの船舶の入港も十分考えられる。

接岸速度については、名古屋港コンテナバースの計測値を得ることができなかったため、京葉シーバース、鹿島石油シーバースで観測された大型タンカーの接岸速度データ³⁾を用いた。船舶の接岸は、はじめ船首もしくは船尾が接岸し、続いてもう一方が接岸する。1回目と2回目の接岸速度は、ほぼ同じであると思われるので両方とりまとめたデータから確率分布の推定を行った。その結果は、図4であり、極値I型分布であった。平均値は4.41cm/s、標準偏差は2.08cm/sで、パラメータは、 $\alpha=0.610$ 、 $u=2.963$ である。観測された最大接岸速度は13cm/sであった。

仮想質量係数については、次に示す2式を用いて算定を行い、それぞれについての確率分布型の推定を行うことにした。

バスコスタ式

$$C_M = 1 + 2D/B$$

上田茂式²⁾

$$C_M = 1 + \frac{\pi}{2C_b} \cdot \frac{D}{B}$$

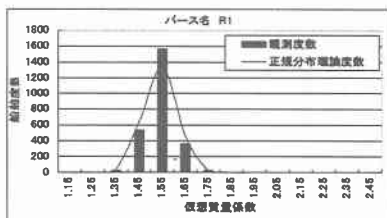


図5 仮想質量係数の確率分布(バスコスタ式による)

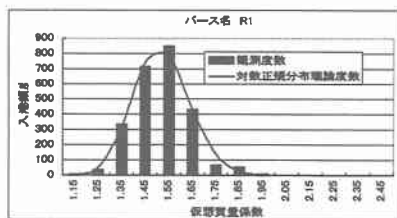


図6 仮想質量係数の確率分布(上田茂式による)

C_b : ブロック係数 ($M/L_{pp} \cdot B \cdot D$)、 ρ : 1.025 t/m^3

算定したデータを階級 0.1 刻みで度数分布を調べ、確率分布を推定した。結果は、図 5, 6 であり、バスコスタ式による仮想質量係数の確率分布は正規分布で、平均値は 1.54、標準偏差は 0.131 である。上田式による仮想質量係数の確率分布は対数正規分布で、平均値は 1.52、標準偏差は 0.121、パラメータは $\lambda=0.424$ 、 $\zeta=0.073$ である。上田氏の式にはブロック係数が含まれており、その分布は対数正規分布を示し図 7 のようになる。平均値は 0.83、標準偏差は 0.082、パラメータは $\lambda=-0.194$ 、 $\zeta=0.099$ である。図 7 より 0.9 以上のブロック係数が以外に多いのは、排水トン、垂線間長、船幅は推定した値を用いたためという可能性がある。

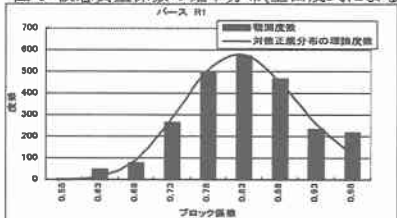


図7 ブロック係数の確率分布

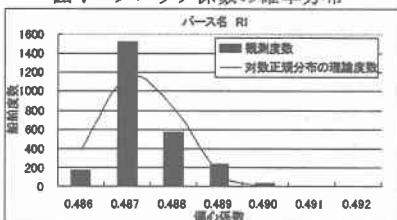


図8 偏心率の確率分布

偏心係数は、 $C_e = 1/\{1 + (a/k)^2\}$ で算定することができる。 a は、垂線間長と防舷材の設置間隔との関数であり、バース R1 の防舷材の設置間隔は約 11m と連続的に設置されているので $a = 0.3L_{pp}$ とした。また、環動半径に関しては船舶を長方形と仮定し ($k = \sqrt{(L_{pp}^2 + B^2)/12}$)、偏心係数を算定した。階級は 0.001 刻みとして度数分布を調べ、確率分布の推定を行った。結果は、図 8 であり、確率分布は対数正規分布であった。平均値は 0.486、標準偏差は 0.001、パラメータは $\lambda=-0.721$ 、 $\zeta=0.002$ である。最大値はおおよそ 0.5 であり、船舶の接岸時エネルギーは船舶の回転によりおおよそ 50% が消費される確率が最も高い。

5.まとめおよび今後の課題 表 1 は、船舶の確率密度関数およびパラメータをまとめたものであり、接岸有効エネルギー E に関する確率変数の統計的特性は推定できたことになる。一方、防舷材の吸収エネルギー E_f も防舷材の吸収エネルギー特性 E_{cat} 、接岸角度 f_θ 、ひずみ速度係数 f_v 、温度係数 f_T の関数 ($E_f = E_{cat} \cdot f_\theta \cdot f_v \cdot f_T$) であり、これらについても確定することのできない統計量である。これらについての統計的特性を確定できれば、表 1 に示した結果と

表 1 各確率変数の分布型とパラメ

	分布型	確率密度関数	パラメータ
排水トン	正規分布	$f_x(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{(x_i - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2}}$	$\mu=43161$ $\sigma=19064$
接岸速度	極値 I 型分布	$f_i(x) = a \cdot \exp[-a(x_i - u)] \cdot \exp\{-a(x_i - u)\}$	$\alpha=0.610$ $u=2.963$
仮想質量係数 (バスコスタ式)	正規分布	$f_x(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{(x_i - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2}}$	$\mu=1.54$ $\sigma=0.131$
仮想質量係数 (上田茂式)	対数正規分布	$f_x(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta_x x_i} e^{-\frac{(\ln x - \lambda_x)^2}{2\zeta_x^2}}$	$\lambda=0.424$ $\zeta=0.07$
偏心係数	対数正規分布	$f_x(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta_x x_i} e^{-\frac{(\ln x - \lambda_x)^2}{2\zeta_x^2}}$	$\lambda=-0.721$ $\zeta=0.002$

ともに用いて船舶接岸用防舷材の破壊確率および安全性指標を算定し、船舶接岸用防舷材の信頼性評価が可能となる。今後は防舷材のエネルギーに関する確率変数の統計的特性を調べ、信頼性理論に基づいて防舷材設計の確立を目指す。

《参考文献》1)Yasuhiro AKAKURA : Analysis of Ship dimensions for Fendering Guidelines

2)上田茂 : 大型タンカーの接岸力に関する研究