

統計的手法を用いた防舷材の設計に関する研究

—一般貨物船に対する検討—

鳥取大学工学部 フェロー会員 上田 茂
 阪神高速道路公団 正会員 平野 敏彦
 鳥取大学大学院 学生員 ○岡田 達彦

1. はじめに^{1), 2)}

防舷材は、船舶の接岸エネルギーが防舷材の吸収エネルギーを超えないように設計されるが、現行では標準船型の重量トン数に対して、接岸エネルギーに関する各諸元を確定論的に算定している。しかし、実際にはこれらの諸元は任意の船舶の重量トン数に対して一定ではなく、ばらつきを有している。そのため、対象船舶の重量トン数以下を有する船舶が入港したと仮定しても、船舶の接岸エネルギーが防舷材の吸収エネルギーを超える可能性がないとはいえない。したがって、本研究では入港実績による統計データの特性から、接岸エネルギーに関する諸元のばらつきを考慮するために確率変数として扱い、設計に関する諸元の信頼度と超過確率の関係を検討した。なお、対象とする船舶は一般貨物船である。

2. 本研究の手順

防舷材は、接岸エネルギー E_s が吸収エネルギー E_f を超えないように設計される。そこで、破壊基準式は次式のように設定される。

$$G = E_f - E_s = Z \cdot E_{cat} - M \cdot V_b^2 \cdot C_M \cdot C_e / 2 \quad (1)$$

ここに、 Z :防舷材の吸収エネルギーのばらつきを考慮した係数（防舷材係数）、 E_{cat} :防舷材の吸収エネルギーの規格値、 M :船舶の質量（排水トン数 DT ）、 V_b :接岸速度、 C_M :仮想質量係数、 C_e :偏心係数である。

ここで、これら諸元は重量トン数との関係式を用いるなどして超過確率の算定を行うが、その際、各諸元が両自然対数軸上の任意の重量トン数に対して正規分布に従うと仮定する³⁾。また、統計的手法を用いて、接岸エネルギーに対し、任意の許容超過確率を満足するために必要な吸収エネルギーを算定し、それを満足するために必要な吸収エネルギーの比を安全係数として算定する。以上の手順を図1に示す。

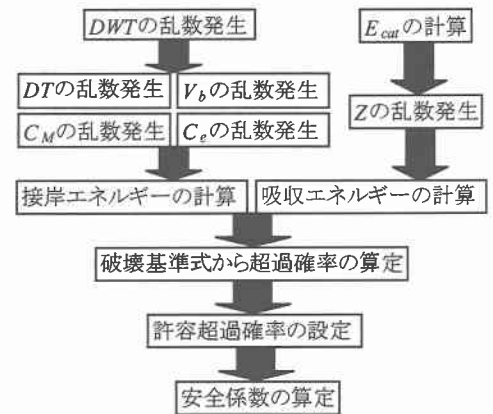


図1 本研究の流れ

3. 設計基準式に関する影響要因

(1) 接岸エネルギーに関する影響要因⁴⁾

接岸エネルギーに関する諸元と重量トン数の関係式は図2～4のように、統計データを回帰することによって算定する。排水トン数は、赤倉らの船舶諸元の統計解析³⁾より得られた重量トン数との関係式を利用し、それを表1に示す。

表1 排水トン数と重量トン数の関係

	10000DWT未満	10000DWT以上
信頼度50%	$DT=3.327DWT^{0.899}$	$DT=3.116DWT^{0.913}$
信頼度75%	$DT=3.551DWT^{0.899}$	$DT=3.367DWT^{0.913}$
信頼度90%	$DT=3.766DWT^{0.899}$	$DT=3.612DWT^{0.913}$
信頼度95%	$DT=3.901DWT^{0.899}$	$DT=3.766DWT^{0.913}$

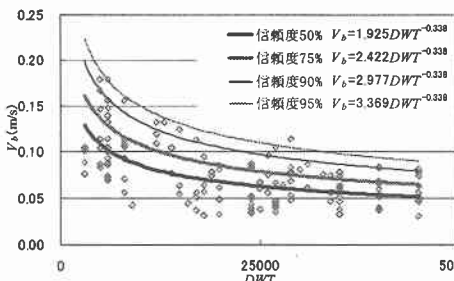


図2 接岸速度と重量トン数の関係

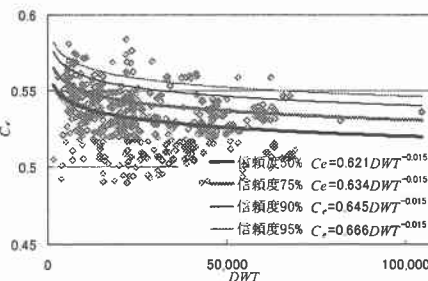


図3 偏心係数と重量トン数の関係

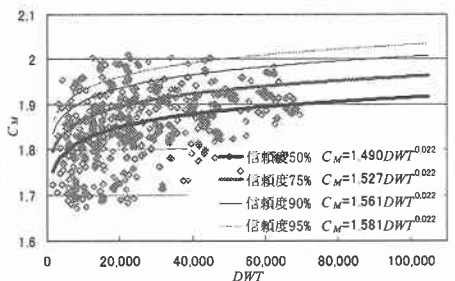


図4 仮想質量係数と重量トン数の関係

また、入港実績から重量トン数の確率分布の推定を行う。ここでは、一例として、対象船舶を 15,000DWT 一般貨物船とするバースの重量トン数分布の推定結果を図5に示す。

(2) 吸収エネルギーに関する影響要因

防舷材は接岸エネルギーを吸収するものであるため、防舷材の吸収エネルギーの設計値 E_d は接岸エネルギーと同様の式で算定される。

$$E_d = M \cdot V_b^2 \cdot C_e \cdot C_M / 2 \quad (2)$$

ここで、 E_{cat} は防舷材係数 Z の下限値 0.9 を考慮して、 $E_{cat} = E_d / 0.9$ で算定する。一例として、対象船舶 15,000DWT 一般貨物船での防舷材の確定論的な設計例を表2に示す。また、図6から防舷材の吸収エネルギーは正規分布に従う。

表2 防舷材の設計

V_b 信頼度	DT, C_e, C_M 信頼度	E_{cat} (kNm)
75%	75%	111
	90%	124
	95%	132
90%	75%	168
	90%	187
	95%	200
95%	75%	215
	90%	240
	95%	256

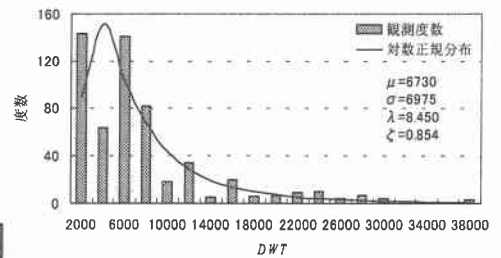


図5 重量トン数の度数分布

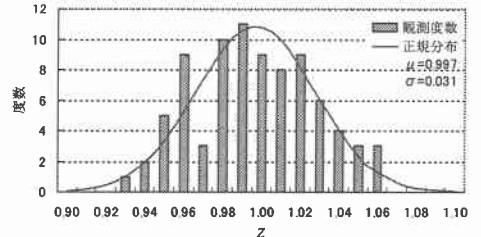


図6 Zの度数分布

4. 超過確率の算定

ここでは、モンテカルロシミュレーション法により防舷材に対する超過確率を算定する。ここでは一例として 15,000DWT 一般貨物船における算定結果を図7に示す。全ての諸元の信頼度を75%または95%とすると、超過確率はそれぞれ0.082、0.008となる。現行では V_b を95%、その他の諸元を75%信頼度としているが、その場合の超過確率は0.014である。また、図7より、 DT, C_e, C_M の信頼度が同時に高くなるより、 V_b の信頼度が高くなるほうが、超過確率の低下が大きいことがわかる。これは、防舷材の設計において、接岸速度の影響が大きいことを示している。

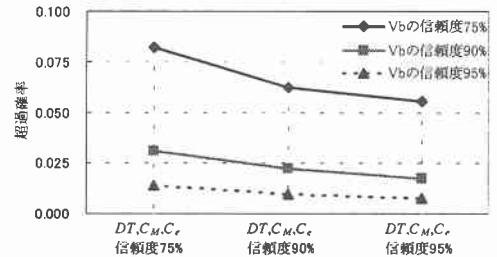


図7 超過確率の算定結果

5. 統計的手法を用いた防舷材の設計

ここでは統計的手法を用い、15,000DWT 一般貨物船において許容超過確率 0.01 を満足するために必要な安全係数を算定した。結果を図8に示す。全ての諸元の信頼度を75%または95%とすると、安全係数はそれぞれ2.15、0.93となる。 V_b を95%、その他の諸元を90%信頼度で設計すると安全係数はほぼ1.0になることがわかる。

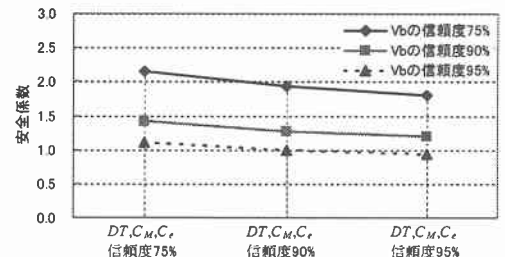


図8 安全係数の算定結果

6. まとめ

- 防舷材の設計において接岸速度の影響が大きいので、 V_b の設計用値の信頼度を高くするのが望ましい。
- V_b を95%、その他の諸元を75%信頼度で設計すると、超過確率は0.014、安全係数は1.11であるが、その他の諸元を90%信頼度で設計すると、超過確率は0.01、安全係数はほぼ1.0になる。
- 以上のことから、防舷材の統計は諸元の統計特性を考慮して行うことが重要であることが示された。

参考文献

- 1) 上田茂・梅村亮・山本修司・赤倉康寛・白石悟・山瀬晴義(2000)：統計的手法による船舶接岸用防舷材の設計に関する研究、第55回土木学会年次学術講演会
- 2) 上田茂・平野敏彦・寺崎誠・山本修司・白石悟・山瀬晴義(2001)：統計的手法による船舶接岸用防舷材の設計に関する研究、第56回土木学会年次学術講演会
- 3) 赤倉康寛・高橋宏直・中本隆(1998)：統計解析等による対象船舶の諸元、港研資料、No.910、pp.9-13
- 4) (社)日本港湾協会(1999)：港湾の施設の技術上の基準・同解説、pp.45-55