

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 ～防舷材の品質が破壊確率に与える影響について～

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

港湾空港技術研究所 正会員 山本 修司
港湾空港技術研究所 正会員 白石 悟
(株)ブリヂストン 山瀬 晴義

1. はじめに

船舶接岸用防舷材の設計は、現行では最大船型もしくは標準船型に対して、接岸速度、仮想質量係数、偏心係数などを与え確定論的に行っている。しかし、防舷材の設計に係わる諸元の値は一定ではないので、現行においてもこれらの諸値を統計的に処理して適切な値を定めている。したがって、現行法で設計した防舷材の吸収エネルギーを超える事象が予想されるので、これまで上記の諸元の信頼値と超過確率の関係について検討してきた^{1), 3)}。本研究では防舷材の吸収エネルギーの変動特性を考慮して超過確率の検討を行った。

2. 船舶接岸用防舷材の破壊基準式

船舶接岸用防舷材は、船舶接岸エネルギー E_s が防舷材吸収エネルギー E_f を上回らないように設計されなければならない。ここで、防舷材規格値 E_{cat} は防舷材の品質のばらつき（防舷材係数 Z の下限値）を考慮して $E_{cat} = E_f / Z$ で算定される。また、船舶接岸エネルギー E_s は、船舶質量 M （排水トン数 DT ）と接岸速度 V_b の自乗に比例し、仮想質量係数 C_M と偏心係数 C_e 乗じて、 $E_s = M \cdot V_b^2 \cdot C_M \cdot C_e / 2$ で算定される²⁾。これより、防舷材の破壊基準式 G は、次式で表される。

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

本研究では、この破壊基準式 G を用いて、超過確率の算定と統計的手法による防舷材の設計を行った。

3. 防舷材の品質のばらつき

本研究では、船舶接岸エネルギー E_s に係わる諸元は、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^{1), 3)}。ここでは、防舷材の品質のばらつきについて検討する。図-1 は、ある種のゴム防舷材の規格値 E_{cat} に対する吸収エネルギー E_f の比を表したものである。この図から、防舷材の規格値に対する吸収エネルギーは、正規分布（平均値 $\mu = 0.997$ 、標準偏差 $\sigma = 0.031$ ）に従うことがわかる。ここで、吸収エネルギーが規格値と同一ならば $Z=1.0$ 、規格値の 90% なら $Z=0.9$ である。これまでの検討では超過確率の算定は、 $Z=0.9$ として行ってきたが、これは安全側である。そこで、まず防舷材係数 Z が正規分布しているものとし、 $0.9 \leq Z \leq 1.1$ の範囲であるものとして検討した。つぎに、防舷材係数 Z の下限値として $Z=0.95$ の場合及び、 $0.95 \leq Z \leq 1.1$ の範囲とする場合について超過確率を算定した。なお、比較のため、最低保証値の $Z=0.9$ とした場合の超過確率も算定した。

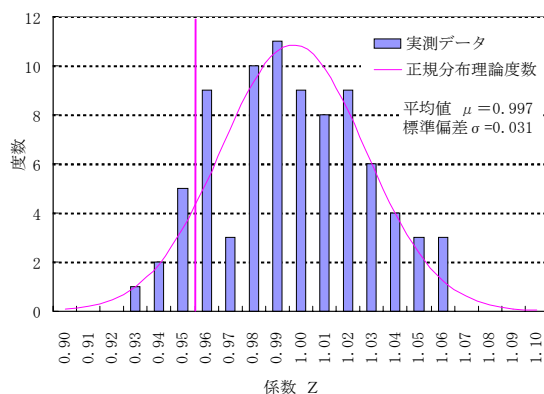


図-1 防舷材係数 Z の分布形

4. 防舷材係数 Z と超過確率の関係

ここでは、防舷材係数 Z と超過確率の関係を 35,000DWT コンテナ船と 15,000DWT 一般貨物船について検討した結果を示す。表中の 75% などの数値は、信頼度の水準を示す。現行はおおむね V_b は 95%、その他の諸元については 75%で行っている。表-1 に現行設計法に従って設計した防舷材の規格値を示す。

キーワード：船舶接岸用防舷材、統計的性質、接岸エネルギー、吸収エネルギー、超過確率、安全係数
連絡先（〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101 Tel : 0857-31-5286 FAX : 0857-28-7899）

図-2 は防舷材に対する超過確率を示したものである。図-2.1 は、 DT 、 C_M 、 C_e を 75%信頼値として、 V_b の信頼値を 75%、90%、95%としたときの超過確率を示したものである。 V_b を 95%とする現行法では、超過確率はコンテナ船及び一般貨物船ともに 0.029~0.042 程度であるが、 V_b の信頼値を 90%、75%とすることにより超過確率が大きくなる。図-2.2 は V_b を 95%信頼値として、その他の諸元については、75%、90%、95%として計算した結果を示したものである。すべて 95%信頼値とした場合の超過確率はコンテナ船及び一般貨物船ともに 0.017~0.027 になる。また、防舷材係数を $0.9 \leq Z \leq 1.1$ もしくは $0.95 \leq Z \leq 1.1$ とすると、超過確率が小さくなることわかる。

表-1 防舷材の設計例

各諸元の信頼度	一般貨物船 (15000DWT)				コンテナ船 (35000DWT)			
	V_b	DT	C_M	C_e	E_s (kNm)	E_{cm} (kNm)	E_s (kNm)	E_{cm} (kNm)
75% 75% 75% 75%	①	111	105	②	143	136		
90% 75% 75% 75%	③	168	159	④	216	206		
95% 75% 75% 75%	⑤	215	203	⑥	277	264		
95% 90% 90% 90%	⑦	240	227	⑧	301	287		
95% 95% 95% 95%	⑨	256	242	⑩	317	302		
備考			$Z=0.9$ $Z \geq 0.9$	$Z=0.95$ $Z \geq 0.95$		$Z=0.9$ $Z \geq 0.9$	$Z=0.95$ $Z \geq 0.95$	

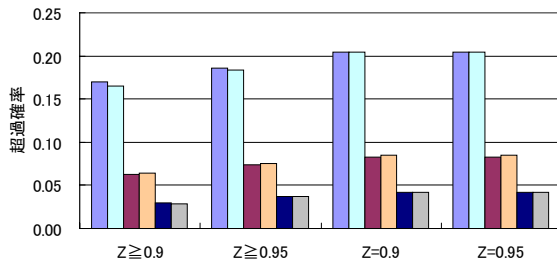


図-2.1 超過確率の算定結果

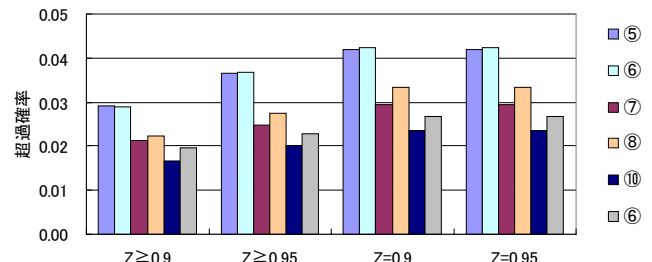


図-2.2 超過確率の算定結果

5. 統計的手法による防舷材の設計

ここでは許容超過確率 0.01 としてコンテナ船及び一般貨物船について安全係数を算定する。ここに安全係数は、 V_b 、 DT 、 C_M 、 C_e の任意の信頼値に対して設計した防舷材の吸収エネルギーに対し、超過確率を 0.01 以下にするのに必要な防舷材の吸収エネルギーの比である。図-3 はその結果である。これより、許容超過確率 0.01 を満足させるには、コンテナ船及び一般貨物船ともに現行の V_b 95%、 DT 、 C_M 、 C_e 75%信頼値で約 1.3~1.5 倍の吸収エネルギーを持つ防舷材が必要であるが、 V_b 、 DT 、 C_M 、 C_e のすべてを 95%信頼値で設計すれば、コンテナ船及び一般貨物船ともに 1.1~1.3 倍の吸収エネルギーを持つ防舷材でよいことがわかる。

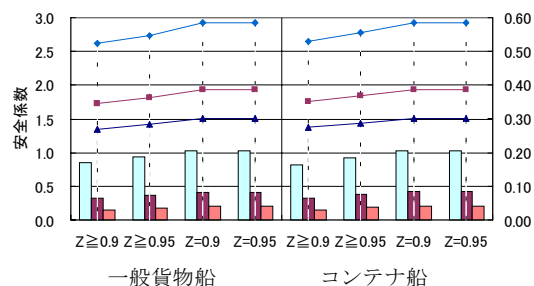


図-3.1 安全係数の算定結果

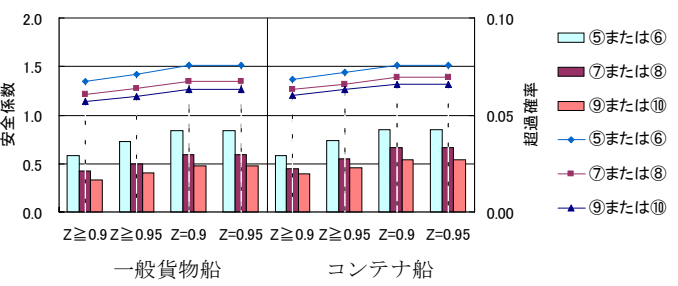


図-3.2 安全係数の算定結果

6. まとめ

- ① 現行設計法に多く用いられている V_b 95%、 DT 、 C_M 、 C_e 75%信頼値に対する防舷材は、コンテナ船及び一般貨物船ともに 0.029~0.042 程度となった。
- ② V_b 、 DT 、 C_M 、 C_e のすべてを 95%信頼値とすれば、超過確率はコンテナ船及び一般貨物船ともに 0.017~0.027 となった。
- ③ 確定論的な設計における各諸元の信頼値及び許容超過確率に対する安全係数が得られた。

【参考文献】

- 1) 上田茂・平野敏彦・寺崎誠・山本修司・白石悟・山瀬晴義(2001) : 船舶の統計特性に基づく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
- 2) (社) 日本港湾協会(1999) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説、pp.48-55.
- 3) Shigeru Ueda, Ryo Umemura, Satoru Shiraishi, Shuji Yamamoto, Seigi Yamase : Statistical Design of Fenders for Berthing Ship, 11th ISOPE, 2000, pp.583-588.