

船舶接岸用防舷材の信頼性設計に関する研究 ～バースの重要度を考慮した防舷材の設計について～

鳥取大学工学部

フェロー会員 上田 茂

国土交通省中部地方整備局

正会員 岡田 達彦

国土技術政策総合研究所

正会員 長尾 毅

1. はじめに

現行の船舶接岸用防舷材の設計は、最大船型または標準船型に対して接岸速度、仮想質量係数などの各諸量を統計解析に基づいて与え確定論的に行っている。しかし、この方法で設計した防舷材の安全性水準は明確でないという非常に大きな問題点を有している。そのため、筆者らはこれまで、上記の諸量の信頼値と破壊確率の関係について検討し¹⁾、さらに、防舷材の目標安全性水準を与え、レベル1信頼性設計法の検討を行ってきた²⁾。本研究では、レベル1信頼性設計において各諸量の特性値をかえて目標安全性水準を設定し、これと部分安全係数の関係を求める。また、レベル2信頼性設計において、各諸量の95%信頼値を設計値として求めた防舷材吸収エネルギーに対する設定目標安全性水準を満たすように設計した必要吸収エネルギーの比、すなわち安全係数を求める。この時、目標安全性水準はバースの重要度を考慮して設定する。

2. 船舶接岸用防舷材の性能関数

船舶接岸用防舷材は、船舶接岸エネルギーが防舷材吸収エネルギーを超えないように設計される。ここで、船舶接岸エネルギーは、船舶質量（排水トン数 DWT ）と接岸速度 V_b の自乗に仮想質量係数 C_M と偏心係数 C_e などの係数を乗じて算定される。防舷材吸収エネルギーは、規格値 E_{cat} で表されるが、製造誤差係数 Z を乗じて算定される。従って、防舷材の性能関数は、次式で表される^{1), 2)}。

$$G = Z \cdot E_{cat} - 1/2 \cdot P_{DT} \cdot P_{Vb}^2 \cdot P_{CM} \cdot P_{Ce} \cdot C_e \cdot DWT^{0.288} \quad (1)$$

ここに Z は正規分布、重量トン数 DWT は対数正規分布に従う確率変数であり、 P_x は両自然対数軸上の任意の DWT に対して正規分布に従う確率変数である。表-1 に各確率分布のパラメータを示す。

表-1 各確率分布のパラメータ

	平均値	標準偏差	95%特性値
Z	0.997	0.031	1.048
P_{DT}	2.131	0.156	2.387
P_{Vb}	2.040	0.714	3.214
P_{CM}	1.491	0.054	1.580
P_{Ce}	0.621	0.019	0.652
DWT	計画対象船型10,000DWT	9322	6886
	計画対象船型15,000DWT	12345	7650
	計画対象船型20,000DWT	13318	10234
	計画対象船型35,000DWT	30265	15117

3. 船舶接岸用防舷材のレベル1信頼性設計法

標準的な重要度の構造物に対してはレベル1信頼性設計が推奨されている³⁾。レベル1信頼性設計法による防舷材の性能関数は、各諸量の部分安全係数 γ_x と特性値 X_k で構成され、次式で表される。

$$G = \gamma_Z \cdot Z_k \cdot E_{cat} - 1/2 \cdot \gamma_{P_{DT}} \cdot P_{DT_k} \cdot (\gamma_{P_{Vb}} \cdot P_{Vb_k})^2 \cdot \gamma_{P_{CM}} \cdot P_{CM_k} \cdot \gamma_{P_{Ce}} \cdot P_{Ce_k} \cdot (\gamma_{DWT} \cdot DWT_k)^{0.288} \quad (2)$$

目標安全性指標を95%信頼値で設計した防舷材の平均安全性水準とすると2.203（許容破壊確率0.0138）となる。ここでは、信頼性設計法によって設計された各バースの防舷材の破壊確率の分散が、許容破壊確率に対して最小となるように最適な部分安全係数を算定した。表-1 に示す各パラメータの平均値および95%値を特性値として部分安全係数を計算し表-2 に示す。表中の()内の値は各諸量を95%特性値として求めた部分安全係数である。表-2 には、この部分安全係数を用いて設計される防舷材規格値とその安全性指標と破壊確率を示している。以上より、部分安全係数と特性値を用いて目標安全性水準に近い設計を行うことができる。

表-2 レベル1信頼性設計による部分安全係数と設計結果

計画対象船型 DWT	部分安全係数 γ_x						防舷材規格値 E_{cat} (kNm)	安全性指標 β	破壊確率 P_f
	Z	P_{DT}	P_{Vb}	P_{CM}	P_{Ce}	DWT			
10,000						1.513 (0.683)	234	2.233	0.0128
15,000	0.996	1.020	1.875	1.005	1.003	1.375 (0.681)	247	2.193	0.0142
20,000	(0.948)	(0.911)	(1.190)	(0.948)	(0.955)	1.549 (0.684)	261	2.242	0.0125
35,000						1.252 (0.687)	311	2.151	0.0158

キーワード：船舶接岸用防舷材、信頼性設計、破壊確率、安全性指標、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）

4. 船舶接岸用防舷材のレベル2信頼性設計法

ここでは、バースの重要度を考慮した船舶接岸用防舷材の設計法について検討する。入港船舶数が多いバースや重要度の高いバースにおいては、他のバースよりさらに高い安全性水準が求められる場合がある。そのため、レベル2信頼性設計によって、バースの重要度または入港船舶数を考慮して防舷材の目標安全性水準を設定する方法について考察する。バースの重要度として入港船舶数に着目する。ここでは、防舷材吸収エネルギーを超過して接岸する1年間あたりの許容入港船舶数を1隻とし、入港船舶数が多いバースほど目標安全性水準を高く設定することとした。表-3にはバースごとの年間入港船舶数と目標安全性水準の関係を示す。設定した目標安全性水準を満たすように、各諸量を95%信頼値で設計した防舷材吸収エネルギーに対する安全係数 γ 、安全性指標、破壊確率をモンテカルロシミュレーションと1次信頼性理論により算定する。この場合、防舷材の性能関数は次式で表される。

表-3 入港隻数と目標安全性水準の関係

計画対象船型DWT		年間入港船舶数	目標安全性指標	許容破壊確率
10000	(1)	154	2.484	0.0065
15000	(2)	69	2.428	0.0076
	(3)	240		
	(4)	249		
20000	(5)	172	2.605	0.0046
	(6)	298		
35000	(7)	332	2.795	0.0026
	(8)	369		
	(9)	419		
	(10)	440		

$$G = Z \cdot \gamma \cdot E_{cat} - 1/2 \cdot P_{DT} \cdot P_{vb}^2 \cdot P_{CM} \cdot P_{Ce} \cdot C_e \cdot DWT^{0.288} \quad (3)$$

表-4にその結果を示す。また、図-1と図-2は、表-4に示した結果を図示したものである。以上により、バースの重要度を考慮した防舷材の設計を行うことができることがわかる。

表-4 目標安全性水準を満足するための安全係数と設計結果

計画対象船型 DWT	95%信頼値				防舷材規格値 E_{cat} (kNm)	安全係数 γ		安全性指標 β	破壊確率 P_f
	DT (t)	V_b (m/s)	C_M	C_e		1次信頼性理論	モンテカルロシミュレーション		
① 10,000	16129	0.150	1.936	0.568	221	1.317	1.338	2.484	0.0065
② 15,000	23775	0.131	1.954	0.564	249	1.223	1.240	2.428	0.0076
③ 20,000	31311	0.118	1.966	0.562	270	1.332	1.368	2.605	0.0046
④ 35,000	53491	0.098	1.991	0.557	317	1.613	1.644	2.795	0.0026

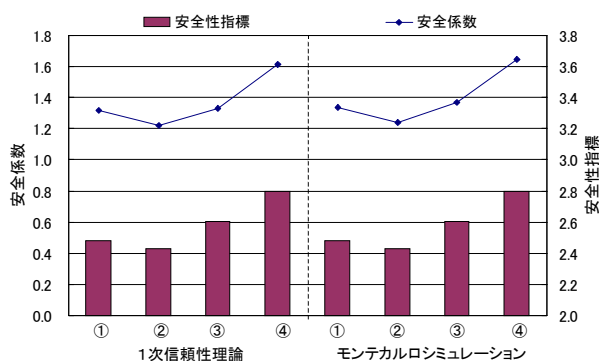


図-1 安全係数と安全性指標の算定結果

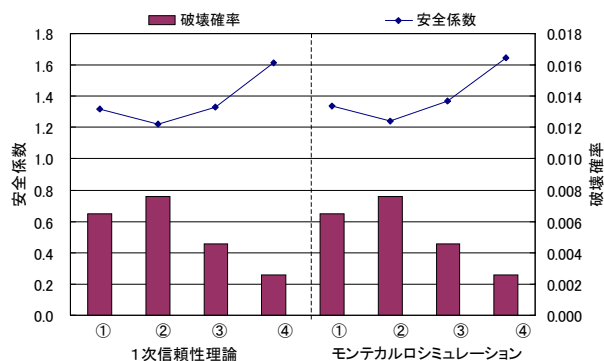


図-2 安全係数と破壊確率の算定結果

5. まとめ

- ① 防舷材の安全性水準を明らかにした設計を行うことができた。
- ② 任意に与えた目標安全性水準を満たす防舷材を適切に設計できることを示した。
- ③ バースの重要度を考慮した防舷材の設計を行うことができた。

【参考文献】

- 1) 上田茂・平野敏彦・岡田達彦・山本修司・白石悟・山瀬晴義：
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～、第57回土木学会年次学術講演会、2002年10月、pp.115-116
- 2) 長尾毅・岡田達彦・上田茂：FORMに基づく防舷材の信頼性設計法に関する研究、
第28回海洋開発シンポジウム、2003年7月、pp.671-676
- 3) 山本修司：港湾基準の国際化対応について－信頼性設計による性能規定型基準をめざして－、
国土技術政策総合研究所、2002年