

信頼性設計法を用いた防舷材の破壊確率の算定

中央大学理工学部土木工学科 ○学生会員 村田 直也
中央大学理工学部土木工学科 正会員 佐藤 尚次

1.はじめに

港湾施設は、国民生活や産業を支える重要インフラであり、常に最低限の物流機能維持のため構造的な性能を確保している必要がある。

現代では、公共事業の予算は減っている状況にあり、既存の構造物を長期にわたり使用していくことが不可欠である。性能設計の観点からも、現行設計では設計者が構造物の安全率の意味に対して注意を払うことが少なく、もたせた安全余裕が信頼性や耐久性にどんな影響をもつか認識していないことは問題である。また、構造物の劣化の進行を把握し、適切な時期に適切な補修を行うことにより、常に要求性能を満たすことが維持補修において重要である。これらのことを明確にするため、確率分布を使用した信頼性設計を行うことが効果的と思われる。

このような背景より、本研究では船舶係留施設の附帯設備にあたる防舷材に着目する。そして、信頼性設計法を用いて防舷材の経年劣化と破壊確率を把握することを目標とする。

2.防舷材の設計方法について

防舷材を設計する上で、船舶接岸力が大きく影響してくる。「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に順ずる現行設計法¹⁾では設計外力を決める際、計画船型として対象船舶最大級の重量トン数(DWT)を用いる。しかし、現実にはあらゆる船型が入港している。よって、任意の対象船舶の重量トン数を含め、船舶接岸エネルギーに関する諸元は、互いに独立な確率変数を有しており、表-1 に示す。²⁾ここで、対象船舶の平均・標準偏差と対総隻割合は、1997 年から 2006 年の大井コンテナ埠頭の入港数データを基に算出した。

防舷材の性能関数 G_1 は次式で表される。

$$G_1 = R - S \\ = Z \times E_{cat} - 1/2 \times M \times V_b^2 \times C_M \times C_e \quad \dots (1)$$

各変数については以下に示す。

- ・防舷材吸収エネルギー量：R
- ・船舶接岸エネルギー量：S
- ・防舷材規格値： $E_{cat}(kn \cdot m)$

<正規分布に従う変数>

- ・防舷材係数：Z

<対数正規分布に従う変数>

- ・船舶質量： $M = DT = P_{DT} \times DWT^{0.957} (DT) \dots (2)$
- ・接岸速度： $V_b = P_{Vb} \times DWT^{-0.338} (m/s) \dots (3)$
- ・仮想質量係数： $C_M = P_{CM} \times DWT^{0.022} \dots (4)$
- ・偏心係数： $C_e = P_{Ce} \times DWT^{-0.015} \dots (5)$

(1)～(5)式より性能関数は以下ようになる。

$$G_1 = R - S \\ = Z \times E_{cat} - 1/2 (P_{DT} \times P_{Vb}^2 \times P_{CM} \times P_{Ce}) DWT^{0.288} \dots (6)$$

表-1 パラメータの従う確率分布

		μ (平均)	σ (標準偏差)	対総隻割合
P_{DT} (船舶質量)		2.131	0.156	
P_{Vb} (接岸速度)		2.04	0.714	
P_C (仮想質量係数)		1.491	0.054	
P_{ce} (偏心係数)		0.621	0.019	
Z (防舷材係数)		0.997	0.031	
船 型 別	400～499ト	567	0	0.139
	500～699ト	766	0	0.029
	700～999ト	851	0	0.035
	1,000～1,999ト	1481	199	0.003
	2,000～2,999ト	3251	158	0.020
	3,000～3,999ト	4272	34	0.004
	4,000～4,999ト	5216	127	0.026
	5,000～5,999ト	6292	209	0.021
	6,000～6,999ト	7417	76	0.017
	7,000～7,999ト	8408	234	0.019
	8,000～8,999ト	9732	84	0.016
	9,000～9,999ト	10796	63	0.062
	10,000～19,999ト	17443	363	0.213
	20,000～29,999ト	30811	830	0.022
	30,000～39,999ト	39988	639	0.073
	40,000～49,999ト	50238	1036	0.222
	50,000～6,000ト	60000	1184	0.080

単位：総トン(GT)

単位：載貨重量トン数(DWT)

ここで、 $DWT = GT / 0.88$ の関係とする。¹⁾

3.破壊確率の算定

()式内の防舷材規格値 E_{cat} を定数と置き、劣化による性能の低下は考えないものとして、モンテカルロシミュレーション(以下、MCS)による設計を行う。シミュレーション回数は 100 万回とし、 $G < 0$ となる

キーワード：信頼性設計，維持補修，疲労劣化，港湾施設

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科

tel.03-3817-1816

回数を破壊回数とする。つまり、破壊確率は破壊確率をシミュレーション回数で除した値となる。

MCS により求めた防舷材規格値と破壊確率の関係を図-1 に示す。

4.経年劣化を考慮した破壊確率の算定

3.では、防舷材規格値 E_{cat} の性能低下を考えなかったが、実際の現象として経年劣化による性能低下は起きている。よって、これから経年劣化を考慮した防舷材の破壊確率を求める。

まず、V型防舷材の交換までの年数と件数の関係を表-2 に、そのヒストグラムを図-2 に示す。³⁾表-2 のデータは正規分布に従うことがわかった。また、このヒストグラムに沿う正規分布の確率密度関数 $f_N(x)$ を求めたので、以下に示す。

$$f_N(x) = \frac{1}{15.754} e^{-\frac{(x-17.951)^2}{79.008}} \cdots (7)$$

劣化による防舷材規格値の低下について、劣化の程度は直線式で表せると仮定する。各々の直線の傾き Z_d は(7)式に従うばらつきを有しており、(6)式内の R に乘ずる係数と置く。また、防舷材規格値が初期から15%低下した時に、防舷材を交換することとする。

これらの条件より性能関数 G_2 を以下に示す。

$$G_2 = Z_d \times R - S$$

$$= Z_d \times Z \times E_{cat} - 1/2(P_{DT} \times P_{Vb}^2 \times P_{CM} \times P_{Ce})DWT^{0.288} \cdots (8)$$

(8)式より MCS を行うことにより、経過年数ごとの破壊確率を求めることができる。この結果は発表会で述べる予定である。

5.考察

図-1 より、計算結果と近似直線はほぼ一致しており、防舷材規格値と破壊確率は指数関数に従うことがわかった。更に精度の高い解析を行うには、各バースにおいて表-1 の項目を実測する必要がある。ここで注意する点は計画船型が越えた船が入港することもあるので、載荷重量トン数を特に計測すべきである。

また、現在では防舷材の維持補修に関して、目視とスケールを用いて検査しており、アナログ的であり時間もかかる。経過年数ごとの破壊確率を求めることにより、劣化状態や交換時期を定量的に推測、評価することが可能になり、維持補修において効率の向上につながる事が期待できる。

6.謝辞

今回、データ提供していただいた東京都庁港湾局の関敏子氏、東京港埠頭株式会社の飯塚勇氏、防舷材についてご教授いただいた西武ポリマ化成株式会社の藤田裕介氏を始め、多くの方々のご協力を得て、論文をまとめた。ここに改めて感謝の意を表させていただきます。

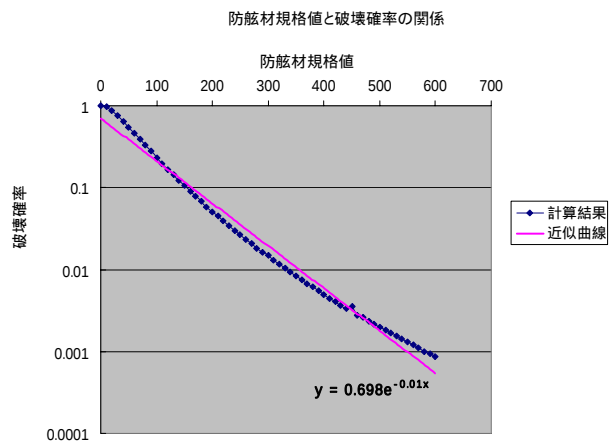


図-1 防舷材規格値と破壊確率の関係

表-2 V型防舷材の交換までの年数と件数の関係

交換年数分布(年)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
件数	0	1	0	0	0	1	0	2	5	3
累計百分率	0.00%	1.22%	1.22%	1.22%	1.22%	2.44%	2.44%	4.88%	10.98%	14.63%
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	6	2	2	2	3	3	7	4	6	6
	21.95%	24.39%	26.83%	29.27%	32.93%	36.59%	45.12%	50.00%	57.32%	64.63%
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	7	1	5	2	4	4	0	1	3	2
	73.17%	74.39%	80.49%	82.93%	87.80%	92.68%	92.68%	93.90%	97.56%	100.00%
										計 82

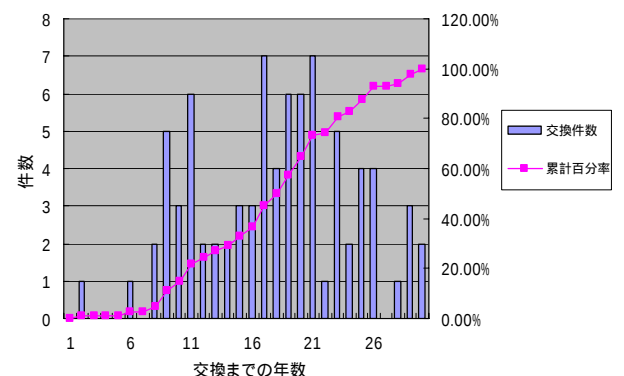


図-2 防舷材交換までの年数と件数のヒストグラム

<参考文献>

- 1)日本港湾協会「港湾の施設の技術上の基準・同解説」1999.4
- 2)国総研資料 No.63 長尾毅・岡田達彦・岩田直樹・松本英雄・石田誠・佐藤祐司「係留施設の船舶接岸時の性能設計法に関する基礎的研究」2003.3
- 3) 港湾技研資料 No.878 「防舷材の劣化実態と機能評価について」1997.7