

文章编号:1006-7329(2001)05-0056-05

海船法向靠岸速度数字模拟

杨成渝

(重庆交通学院河海建筑工程系,重庆 400074)

摘要:根据海船中较为典型的船型(1~5万t)的法向靠岸速度实测子样,采用蒙特卡洛法,通过计算机随机实验对其法向靠岸速度进行随机模拟,并经过统计检验求出法向靠岸速度最大值的分布和最大值的失效概率曲线,并与现行港口工程技术规范建议值及有关资料进行了比较。

关键词:海船;靠岸速度;随机模拟;概率模型;失效概率

中图分类号:U661.3,O242.1

文献标识码:A

从80年代初期至今,南京水利科学院、重庆交通学院等单位分别在不同时期不同场合下对船舶法向靠岸速度作过大量的现场观测和统计分析研究,在《港口工程技术规范》(1988)^[6]增订版中给出了不同船型法向靠岸速度建议值;并在新修《港口工程技术规范》时给出了新的建议值。在我国港口设计中,这些建议值曾起了很好的指导性作用。但由于过去受到多种因素的制约,加之各单位都是分散观测统计,要随时取得大量的实测资料又困难太大,因此,对海船法向靠岸速度概率模型的选取和失效概率的变化规律都研究得不够充分。随着我国海运业和港口建设的迅速发展,迫切需要对其概率模型进行更深入的研究。

本文就是为了进一步寻找有效的法向速度概率模型,和法向靠岸速度最大值的失效概率变化规律以及探寻在较少观测样本基础上的更有效的统计分析方法,根据实测样本构成一组概率模型,通过 Monte Carlo 试验来找出较优的概率模型及其变化规律。

1 原理和方法

船舶法向靠岸速度,是一个随时间变化的暂时性可变作用,它的取值大小受到多种相关因素的影响(风速,风向,波周期,波高,码头前沿水深,拖轮马力,驾引人员的操作水平,精神状态,码头结构型式等),其中,大多数相关因数很难量化或者在短时期内很难将其与法向靠岸速度建立起一种有效的相关函数,因此,通常只将法向靠岸速度进行单参数的数理统计。过去,各有关单位采用过随机变量分析(正态,对数正态,极值I型等分布)和随机过程分析(平稳二项过程和滤过泊松过程)等^[1,2,3,7,8],本文主要是在一个水文年的较小观测样本基础上,假设靠泊环境和靠泊的整个操作系统在设计基准期 $[0, T]$ 内基本不变的情况下,采用蒙特卡洛法,通过计算机随机模拟各个水文年的法向靠岸速度的样本,求出其年最大值,并对年最大值进行统计检验,确定出最适宜的分布函数,并以各个不同的失效概率进行反复模拟,最终求出在不同的失效概率时法向靠岸速度最大值均值的变化曲线。

1.1 法向靠岸速度样本

原始观测样本由我们现场实测所得,1~5万t船型实测样本共49个。

• 收稿日期:2001-08-30

基金项目:交通部规范资助课题(94-16)

作者简介:杨成渝(1957-),男,重庆市人,工程师,主要从事港口、海岸工程试验研究。

1.2 模拟样本分析方法

1) 数学期望,方差和标准离差采用极大似然法,并求出变异系数,三阶中心矩和偏态系数。信度取 0.05。

2) 采用反变换法,中心极限定理和分段线性回归导出极值 I 型,正态,对数正态和经验分布的随机数发生器。

3) 选用三种分布函数:极值 I 型、正态和对数正态分布。

4) 模拟样本的分布检验

首先由 0~1 之间的均匀分布随机数,根据中心极限定理,反变换法以及经验分布法构成各所需分布随机数发生器,产生 N 个随机数,再用 $K-S$ 法进行检验,判断是否为所需分布的随机数,并求出设计基准期内各组模拟样本的最大值,再将最大值样本进行数理统计,求出各特征参数,最后,用 $K-S$ 法对最大值样本进行检验,找出最适合的分布并求出该分布函数的分布参数。

2 模拟结果

在港口工程设计中,设计基准期 $[0, T]$ 一般确定为 50 年,即 $[0, 50]$ 。在假设 $[0, 50]$ 内靠泊环境和操作系统都不变的基础上对 1~5 万 t 海船法向靠岸速度进行了随机模拟。模拟的参数主要是各个水文年法向靠岸速度样本,并对每组样本分别进行分析检验,最后求出最大值以及对最大值样本进行分析检验,找出最适合的分布函数。本文采用了若干种失效概率来进行模拟,在每种失效概率下反复模拟五次,将五次的模拟结果再求取平均值作为最终结果。最后绘出法向靠岸速度的失效概率曲线。

2.1 1~5 万 t 海船模拟结果

2.1.1 特征值

本文对 1~5 万 t 海船的法向靠岸速度采用四种分布随机数进行了多次模拟,以下仅列出失效概率为 0.01 的模拟结果。实测样本统计特征值见表 1,实测截口分布函数和置信区间如下:

表 1 1~5 万 t 海船法向靠岸速度实测样本统计特征值

船型 (万 t)	期望 $E(X)$ (cm/s)	方差 $D(X)$ (cm/s) ²	标准差 S_x (cm/s)	变异系数 V_x	偏态系数 C_x
1.0~5.0	6.398 2	11.906 3	3.450 6	0.539 3	1.036 8

极值 I 型分布

$$F_I(X) = \exp\{-\exp[-0.3717(X_i - 4.8453)]\}$$

正态分布

$$F_Z(X) = \frac{1}{3.4506\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{X_i} e^{-\frac{1}{2}[(t-6.3982)/3.4506]^2} dt = \Phi\left(\frac{t-6.3982}{3.4506}\right)$$

对数正态分布

$$F_L(X) = \frac{1}{3.4506\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^T e^{-\frac{1}{2}[(\ln t - 6.3982)/3.4506]^2} dt = \Phi\left\{\frac{6.3982[\ln(X_i) - \lambda]}{3.4506}\right\}$$

式中: $\lambda = 1.71059$, $T = 6.3982(\ln X - 0.71059)$

期望的置信区间: [5.432 05, 7.364 36]

方差的置信区间: [8.466 114, 16.439 422 2]

以 0.01 的失效概率模拟,样本最大值的统计参数分别见表 2。

2.1.2 分布函数分析检验

模拟结果显示,用经验分布随机数模拟 1~5 万 t 海船的法向靠岸速度样本,其最大值的三阶

表2 (极值I型随机数模拟)最大值的统计特征值(表中单位为cm/s)

$E_m(x)$	$D_m(x)$	$S_m x$	V_x	M_3	C_1	$A_L F_m$	BD_m
16.952 1	17.144 8	1.182 7	0.216 7	79.537 5	1.087 0	0.306 6	15.069 8
16.752 0	7.588 7	2.782 7	0.166 1	5.650 8	0.262 2	0.460 9	15.499 6
16.548 6	9.884 8	3.175 9	0.191 9	21.464 4	0.670 0	0.403 8	15.119 3
17.394 4	8.284 2	2.907 5	0.167 5	33.293 4	1.354 6	0.441 1	16.085 9
6.593 2	8.066 7	2.872 6	0.173 1	8.738 6	0.368 7	0.446 4	15.300 3

矩和偏态系数都小于零,这说明其最大值的分布在小于期望方向上有长尾,由它模拟的年最大值呈反偏。因此直接采用实测小子样的经验分布来对1~5万t海船的法向靠岸速度进行中长期多样本的数字模拟,实际操作证明不是很好。用对数正态分布随机数模拟法向靠岸速度样本值,其最大值的三阶矩和偏态系数有时也出现负值,并且从表中可以看出,各次模拟的标准差与表1相比太小。标准离差偏小,说明模拟样本最大值的分布偏于集中,即最大值出现的概率偏小。而从实际经验看,子样的最大值往往较偏小,也就是说,总体分布超过子样最大值的概率常常是较大的。因此,采用对数正态分布随机数来模拟1~5万t海船的法向靠岸速度也不是很好。用正态分布随机数模拟其法向靠岸速度,最大值的标准差仍是偏小,故采用正态分布随机数模拟1~5万t海船的法向靠岸速度仍不很好。

在失效概率为0.01时,五次模拟法向靠岸速度样本最大值的累计频率和理论分布的最大差值见表3,当取 $[0, 50]$,即 $N_m=50$,信度取0.05时,由文献[5]查得临界值

$$D(50, 0.05) = 0.148$$

根据K-S法检验,由表3可见,除经验分布随机数模拟以外,其它三种分布随机数模拟的1~5万t海船法向靠岸速度样本最大值的累计频率与三种理论分布的最大差值均小于临界值 $D(50, 0.05)$,且一般情况下 D_{NI} 值为最小。故三种分布随机数的模拟结果均可用极值I型分布、正态分布和对数正态分布来拟合。

表3 1~5万t海船法向靠岸速度最大值累计频率和理论分布的最大差值

	$E_m(x)(cm)$	D_{NI}	D_{NZ}	D_{NL}
极值I型 分布随机数	16.952 14	6.489 378E-02	0.136 694 80	0.090 586 60
	16.751 96	8.723 521E-02	0.059 696 76	0.064 370 57
	16.548 60	8.108 163E-02	0.153 546 70	0.116 220 00
	17.394 42	7.858 896E-02	0.134 533 00	0.112 320 80
	16.593 17	8.951 230E-02	0.090 279 70	0.077 428 21
对数正态 分布随机数	14.996 81	7.698 363E-02	0.066 161 63	5.159 628E-02
	15.441 20	9.647 769E-02	0.137 985 50	11.976 610E-02
	15.351 77	14.275 620E-02	0.085 813 64	10.396 070E-02
	14.862 44	12.611 680E-02	0.074 934 07	7.715 654E-02
	15.126 66	5.841 784E-02	0.087 216 68	6.886 131E-02
正态分布 随机数	14.221 28	9.271 714E-02	0.136 793 0	12.089 970E-02
	14.286 91	7.164 326E-02	0.108 982 4	9.099 096E-02
	14.447 66	9.616 032E-02	0.115 227 4	9.266 883E-02
	14.146 33	9.090 459E-02	0.114 326 6	8.750 814E-02
	14.052 83	6.642 365E-02	0.101 971 3	7.292 438E-02

根据前面的分析、检验和表3可见,不宜采用经验分布随机数来对1~5万t海船法向靠岸速度进行中长期多样本的模拟,采用正态和对数正态分布随机数来模拟,结果也并不理想。相比之下采用极值I型分布随机数更好些。且极值I型分布对最大值的分布拟合得也更好些。文献[1,2,3,8]等通过不同的方法也得到类似的结论。

2.2 模拟结果分析

综上所述,本文采用了四种可能适宜的随机数来模拟每个水文年的 1~5 万 t 海船的法向靠岸速度样本值,每次按设计基准期[0,50]年模拟,即连续模拟五十个水文年(即 50 组随机样本),并求出各个水文年法向靠岸速度最大值的各特征值,每种分布随机数分别模拟五次,最后求出五次模拟结果的平均值,见表 4。

表 4 1~5 万 t 海船模拟法向靠岸速度最大值的 $E(E_m(X))$

随机数类型	失效概率	$E(E_m(X))$	失效概率	$E(E_m(X))$
极值 I 型	0.125%	20.455 7	0.5%	16.848 1
对数正态		16.967 8		15.155 8
正态分布		15.635 7		14.231 0
经验分布		22.527 7		19.579 1

由前面的分析检验可知,采用极值 I 型分布随机数来模拟 1~5 万 t 船舶的法向靠岸速度,较之另外三种随机数更好,并且极值 I 型分布对其最大值的拟合也较好。过去有文献认为海船的法向靠岸速度满足对数正态分布,现将两种随机数模拟的法向靠岸速度最大值的各理论分布 D_N 值的比较列于表 5。从表 5 中可以看出, D_{NI} 为最小的次数为 12 次,即 D_{NI} 为最小的总的概率为 0.600,而 D_{NL} 为最小的总概率仅为 0.20, D_{NZ} 为最小的总概率为 0.20。

采用极值 I 型随机数模拟时, D_{NI} 为最小的概率为 0.70, D_{NL} 为最小的概率为 0.20, D_{NZ} 为最小概率为 0.10。采用对数正态随机数模拟时, D_{NI} 为最小的概率为 0.50, D_{NL} 为最小的概率为 0.20, D_{NZ} 为最小概率为 0.30。

表 5 极值 I 型和对数正态 D_N 值的比较

船 型		1~5 万 t 海船				
模拟次数	模拟类型	失效概率 1.0%	失效概率 0.25%	模拟类型	失效概率 1.0%	失效概率 0.25%
1	极值 I 型 随机数	$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$	$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$	对数正态 随机数	$D_{NL} < D_{NZ} < D_{NI}$	$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$
2		$D_{NZ} < D_{NL} < D_{NI}$	$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$		$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$	$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$
3		$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$	$D_{NL} < D_{NZ} < D_{NI}$		$D_{NZ} < D_{NL} < D_{NI}$	$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$
4		$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$	$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$		$D_{NZ} < D_{NL} < D_{NI}$	$D_{NL} < D_{NZ} < D_{NI}$
5		$D_{NL} < D_{NI} < D_{NZ}$	$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$		$D_{NI} < D_{NL} < D_{NZ}$	$D_{NZ} < D_{NL} < D_{NI}$

由此可见,采用对数正态随机数模拟法向靠岸速度,则其最大值的分布可能在三种分布之间,显然极值 I 型分布拟合得好些,但优势并不十分突出,而采用极值 I 型分布随机数时,则其最大值的分布明显倾向于极值 I 型分布,即最大值的分布采用极值 I 型分布拟合得最好。另外根据文献[5]知:截口样本服从极值 I 型分布时,其最大值的分布也服从极值 I 型分布。因此采用极值 I 型随机数来模拟 1~5 万 t 海船的法向靠岸速度,并用极值 I 型分布拟合其最大值的分布较为理想。

失效概率为 0.5% 和 0.125% 时,1~5 万 t 船型模拟法向靠岸速度最大值各统计参数的期望和分布参数的期望见表 6。其分布函数均服从极值 I 型分布,即

$$F_I(X_m) = \exp\{-\exp[-\alpha_m(X_m - \beta_m)]\}$$

式中: $\alpha_m = E(\alpha_m)$; $\beta_m = E(\beta_m)$

表 6 最大值统计参数和分布参数的期望

船 型	失效概率	$E(E(X_m))(cm/s)$	$E(\sigma_m)(cm/s)$	$E(VX_m)$	$E(\alpha_m)$	$E(\beta_m)(cm/s)$
1~5 万 t, 极 值 I 型随机数	0.5%	16.848 1	3.184 3	0.189 0	0.411 8	15.415 0
	0.125%	20.455 7	3.223 8	0.157 7	0.402 8	19.004 8

取不同的失效概率,采用极值 I 型随机数进行反复模拟,最后绘出法向靠岸速度最大值均值的失效概率曲线,见图 1。

失效概率为 0.500% 和 0.125% 时模拟结果与文献[1,2,6,7]方法的比较见表 7。

表 7 模拟结果与各参考文献结果的比较(有掩护)

工程名称	1~5 万 t 海船法向靠岸速度最大值			
	$V_{nm}(m/s)$	失效概率	$V_{nm}(m/s)$	失效概率
随机模拟	0.168 5	0.500%	0.204 6	0.125%
平稳二项过程	0.143 9	0.510%	0.184 7	0.125%
滤过泊松过程	0.163 2	0.510%	0.202 5	0.125%
88 港工规范		0.05~0.15 (0.10) (m/s)		
98 港工规范		0.10~0.15 (0.12) (m/s)		

注:括弧内为 3~5 万 t 海船的上限值。

3 结论

1) 海船的法向靠岸速度可视为一种受多种因素影响的暂时性的可变作用,是一种随机过程,在靠泊环境和操作系统基本不变的情况下,可利用某个水文年的实测小子样来进行中长期多子样的单参数数字模拟。本文就是利用 1994 年一个水文年的实测小子样构成多个可能适应的概率模型来进行模拟。

2) 1~5 万 t 海船法向靠岸速度可采用极值 I 型,正态和对数正态分布随机数进行单参数中长期多子样模拟,相比之下,极值 I 型随机数更加有效。其最大值的分布也服从极值 I 型,正态和对数正态分布,极值 I 型分布拟合得更好些。实测小子样构成的经验分布,由于受其样本数的限制,不宜用来作为海船法向靠岸速度中长期多子样模拟的概率模型。

3) 对 1~5 万 t 海船在失效概率为 0.5% 和 0.125% 时法向靠岸速度最大值以极值 I 型作为概率模型的模拟结果见表 6,与文献[1,2,6,7]的比较见表 7。模拟结果与平稳二项过程和滤过泊松过程的分析结果相差都不大。

4) 对 1~5 万 t 海船的法向靠岸速度在不同的失效概率下,采用极值 I 型随机数多次反复进行模拟,绘出了法向靠岸速度最大值的失效概率曲线,见图 1。

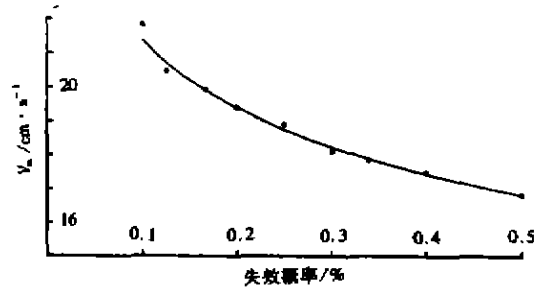


图 1 法向靠岸速度最大值均值的失效概率曲线

参考文献:

- [1] 吴宋仁,等.内河船舶法向接岸速度统计分析[J].重庆交通学院学报,1993,1(1):7-18.
- [2] 杨成渝,等.内河船舶接岸速度观测与研究报告[R].重庆交通学院,1992.
- [3] 杨成渝,等.内河船舶法向接岸速度的数学模拟[J].重庆交通学院学报,1996,(3):92-96.
- [4] 江裕钊,等.数学模型与计算机模拟[M].成都:电子科技大学出版社,1989.
- [5] 林忠民.工程结构可靠性设计与估计[M].人民交通出版社,1990.
- [6] 中华人民共和国交通部.港口工程技术规范[S].人民交通出版社,1988.
- [7] JTJ215-98.港口工程荷载规范[S].人民交通出版社,1998.
- [8] 张芹,等.湛江港五万吨级油码头靠泊速度、能量及角度统计分析[R].南京水利科学院,1990.

(下转第 109 页)

- [7] Junji Nakamura. Screening, isolation, and some properties of microbial cell flocculants[J]. *Agri Biol Chem*, 1976, 40(2): 377-381.
- [8] Kurane R. . Microbial flocculants[J]. *Bioindustry*, 1990, 7(1) : 8-13.

Screening of Microbial Flocculant—producing Bacteria and Examination of Floccular Effect for Related Waste Water

YANG Yan-mei

(Department of River & Ocean Eng. , Chongqing Institute of Communications, Chongqing 400074, China)

Abstract: Among 194 bacterial strains isolated from three representative sludge samples, 14 strains, which could produce efficient MBF, were obtained after screening and re-screening. These MBF had shown positive effects on treatment of four kinds of selected wastewater. However, after examining the hereditary stability of flocculation activity for bacteria, most of the strains lost their ability in producing effective MBF except for the I-41 strain. The I-41 is a bacillus G⁺ amphibacterium. Meanwhile, the model of MBF—producing bacteria is found in this trail program.

Keywords: microbial flocculant; bacteria strain; floccular activity

(上接第 60 页)

Numerical Simulation of Berthing Velocity of the Ship

YANG Chen-yu

(Department of Harbor and Waterway Engineering, Chongqing Institute of Communications, Chongqing 400074, China)

Abstract: Based on the field data of berthing velocity for the ship (10000t—50000t), the berthing velocities have been numerically simulated by using Monte Carlo method in this paper. After statistical tests, it shows that the maximum values of the berthing velocity follow a Gumber distribution and the probability curves of failure for the means of maximum values are also obtained. The present results have been compared with the ones determined by specification of harbor engineering both at home and abroad.

Keywords: ship; berthing velocity; numerical simulation; probability model; failure probability