

实船试航译文集

(一)

《中国造船》编辑部

一九九二年十一月



前 言

鉴于出版经费等各项事宜须协调，特烦请镇江船舶学院党委书记、教授级高级工程师施国庆，海军装备技术部部长郑明，中国船舶科学研究中心所长、教授级高级工程师董世汤，《中国造船》编辑部主任、教授级高级工程师万廷镗，中国船舶科学研究中心高级工程师、中国造船学会扬州学术活动中心副主任陈继生等同志各方支持，以及各位助理、翻译、校对等同志的业余帮助，本集得以出版。特此感谢！

英语翻译：刘葆真 孙翠琴 杨森华 程有芝 陈飞舟

日语翻译：钱传声 王天奎 谢楠 邵建南

校 对：钱传声 王天奎 戴仁元 刘葆真 计志也 陈飞舟

助 理：陈娟芳 郝罗英

编 辑：顾薇

总负责人：顾薇 刘葆真

顾 问：施国庆

序

实船试验是研究舰船性能重要的环节之一。一艘舰船诸多性能，如舰船总体快速性、耐波性、操纵性、螺旋桨推进性能、结构、噪声、振动、稳性等都要经过实船试航才能得到最终判定，而船上的各个部门如武备、通讯、动力、雷达、声纳，以及各种防护、电气和自动化系统，也将通过实船试航进行全面检验。汇集各阶段的研究成果，使舰船的总性能得到不断改进和提高。

世界海军强国及造船先进国家，都有专门的实船试验队伍，专用的先进仪器设备，配以辅助船只、岸站、飞机、卫星等先进手段，保证海上试验测试精度不断提高，测试方法不断完善。

这是我国改革开放以来第一本专门收集国外实船试航资料的译文集，今后在可能的条件下，将尽快地逐集出版。

本集对舰船实船试验有较好的参考价值，我们希望这本译文集能对我国实船试验工作有所裨益，并对实船试航技术的发展起到积极的作用。

编者

一九九二年十一月

目 录

1. 紧急停船的实船试验及其分析	(1)
2. 波浪冲击载荷和船体结构响应的实船测量	(12)
3. 实船可调距桨桨叶应力测量	(24)
4. 降低船舶推进轴振动的方法	(33)
5. 毂帽鳍(PBCF)的研究开发	
—— 关于螺旋桨尾流研究和实船性能	(43)
6. 由常规航行简单试航测量船舶阻力、动力和操纵系数	(57)
7. 潜艇用闭式循环柴油机的试验	(97)
8. 关于“预旋叶轮和修正螺旋桨的实船试航”一文的评论	(99)
9. 实船精确湍流速度剖面的若干问题	(105)
10. CRP 系统在实用中证明了它们的优势	(114)
11. 美海军的新音响测量舰 T-AGOS-233 级	(117)
12. 苏联新航空母舰“梯比利斯”	(118)
13. 划时代的自动可调螺旋桨	(121)
14. 登陆作战舰艇	(123)
15. 高速艇	(125)
16. 现代海军动力装置实况	(128)
17. 美国防尖端项目研究局为攻击型潜艇研制新型潜望镜	(136)
18. 军舰推进的新发展	(137)
19. 沿海船用新型全方位控制的推进器	(141)
20. 第一艘 23 型护卫舰服役	(142)

紧急停船的实船试验及其分析

浜本刚实 末森胜 本田启之辅

一、前言

在有关以船舶的紧急打止距离和时间为研究的项目中,从一开始,就着眼于船的质量、阻力、制动推力、初期前进速度,且这些研究成果亦已汇总在第二届操纵性讨论会文集上(1970)。其后,因船舶大型化导致的操纵性能下降以及伴随海上航运量的增大而发生的碰撞事故,从而从航行安全性方面出发,船的停止性能成了重要课题,不仅研究从紧急打船发令之后直到打止的减速运动,而且也研究了有关包含横漂和转首运动的打止运动。有关诱发这个横漂及转首运动的螺旋桨逆转的附加横向力和附加转首力矩,藤野正在搞清其流体力学的特性。此外,随着船体打车后直航速率的下降,潮流、风等的外部扰动影响相对变大,这类现象也是横漂及转首运动的原因。在这样的状态下,螺旋桨尾流几乎不流到舵面上,舵无效果,操纵变得困难,这在操船上,也是个重要的问题。

因此,为了了解有关这种船的打止性能的运动力学特性,进行了实船试验和船模试验,并对其打止运动作了分析。

二、实船试验的计测结果

本实船试验是用神户商船大学的“深江-Ⅲ”号实施的。该船总吨位 449GT,主机为 1500PS 的柴油机并安有 4 个叶片的侧斜型可变螺旋桨。实船和模型的主要参数如表 1。模型船的线型如图 1 所示。此外,本船在船上的数据处理室内装备了微机,当输入船速、螺旋桨转数,首向角等各种数据后,通过其终端,便能获得必要的的数据。本试验所计测的项目和测定方法如表 2 所示。试验海域的海况为潮流 0~1.7kt,风速 1~5m/s,水深 50m 以上。由于本船装备了可变螺距桨,能在主机转数保持不变状态下短时间内完成前后进的变换。因此,在本试验中,为了求得在航海速度和操纵速度下前进的本船在紧急打船发令后的制动打止距离和制动推力的关系,实施了如表 3 所示的有关操作状态的试验。

表 1 实船和船模的主要参数

	实船	船模
L_{pp}	45.0m	3.00m
B	3.2m	0.2133m
d	10.0m	0.667m
C_D	0.53	0.53
C_F	0.621	0.621
C_m	0.854	0.854
C_w	0.732	0.732
螺旋桨	4 叶可变螺距	4 叶可变螺距
直径	2.1m	0.14m
螺距比	0.8533	0.8533
舵面积	3.647m ²	0.0162m ²

表2 测量项目

测量项目	测量方法	测量周期
对地前后速度	多普勒声纳	每1秒
对地左右速度	多普勒声纳	每1秒
回转角	陀螺仪	每1秒
回转角速度	回转角速度计	每1秒
真风向	船上风向计	试验之前
真风速	船上风速计	试验之前
潮流速度	船上潮流计	试验之前
潮流方向	船上潮流计	试验之前
螺旋桨转速		每1秒
波周期	船上波高仪	试验之前
浪高	船上波高仪	试验之前
CPP 桨叶安装角		每1秒
舵角		每1秒

表3 竹船操纵的主机工况

全速正车(13kt) (306rpm, 20°)	全速倒车(螺距角-15°)
全速正车(11kt) (227rpm, 20°)	全速倒车(螺距角-15°) 中速倒车(螺距角-12°) 慢速倒车(螺距角-9°) 低速倒车(螺距角-7°)
中速正车(9kt)	全速倒车(螺距角-15°)

在本试验中, 计测了有关各操作状态下从紧急打船发令后到打止为止的前进速度、横漂速度、转首角、螺旋桨螺距角的时间历程和船体重心的航迹。首先, 把在航海速力(Full sea ahead)直航下发生 Full sea astern 指令后的时间历程和航迹一律表示在图2。这种情况下的螺旋桨叶片上会突然受到很大的制动力, 故这样的指令是很少采用的。其次, 关于其他操作状态的例子表示在图3~7中。

以打止距离 S 与船长 L 的比 S/L 作纵坐标, 螺旋桨尾流 p_n 与船的入试速度 u_0 的比 p_n/u_0 作横坐标, 图8表示了以上的计测结果。从 Full ahead 到 Dead slow astern 状态, 打止距离变长, 从 Half ahead 到 Full astern 状态, 打止距离变短。

自航模试验

为了计测紧急打船发令后船运动航迹上的推进器制动力变化, 实施了自航模试验。模型试验以对应于表3所示的实船操作状态的前进速度进行。在模型试验中, 用固定螺距的螺旋桨计测了逆转时的制动力。首先, 把从 Full sea ahead 状态到 Full sea astern 状态发令后的时间历程和航迹表示在图9中, 同样, 把从 Full ahead 到 Full astern 状态发令后的情形表示在图10中。

可见, 当螺旋桨以相同转速从正转切换到逆转的同时, 推力的方向也变得相反, 但当螺旋桨转速达到一定后, 制动推力在模型船从减速到打止为止的过程中, 时大时小是脉动

的。

三、打止运动的解析及其运动方程式

在静水中船的操纵运动通常由前进、横荡及转首的偶合运动构成。在这种场合下，用如图 11 所示的把坐标原点设在船体重心 G 的船体固定坐标系 G-xyz，假设船的质量为 m，绕重心的惯性力矩为 I_{xx} ，前进、横荡及首摇的速度分别为 u、v、r，则有：

$$(m + m_x)\dot{u} + (m + m_y)vr - m_x ar^2 = -(1 - t_p)T_p - R - X_{vv}vr \quad (1)$$

$$(m + m_y)\dot{v} = -m_x ar - Y_v v + (Y_r - mu)r + Y_{NL} + Y_o \quad (2)$$

$$(I_{xx} + J_{xx})\dot{r} = -m_x av - N_r r - N_v v + N_{NL} + N_o \quad (3)$$

在这里： m_x 、 m_y 是前进及横荡的附加质量， a 是从重心到附加质量中心的距离， J_{xx} 是附加质量惯性矩， R 是船体阻力， T 是推力， t 是推力减额系数， Y_v 、 Y_r 是横荡、转首速度的流体动力导数， N_v 、 N_r 是其力矩的流体动力导数， Y_{NL} 、 N_{NL} 是各自的非线性流体动力， Y_o 、 N_o 是各自由螺旋桨逆转引起的横向推力、转首力矩。

再说，直航前进的船以加了制动推力到其打止为止的运动是由前进、横荡及首摇的偶合运动构成的。故通过解与此三者有关的运动方程式，解析地求得船到打止为止的航迹是基本点。但为了推断实船的制动推力，把问题简化，即假定船体不作转首运动，仅作直航前进，则运动方程式能表成下式：

$$(m + m_x)\frac{du}{dt} = -(1 - t_p)T_p - R(u) \quad (4)$$

这里 $R(u)$ 是船体阻力。

还有，在以速度 u_0 直航前进的船上加上制动力之后到船体打止为止的时间设为 t_s ，则(4)式能写成如下形式：

$$(m + m_x)\int_{u_s}^{u_0} u du = -\int_0^{t_s} T_p(1 - t_p)dt - \int_0^{t_s} R(u)dt \quad (5)$$

在这里，把船体阻力写成

$$R(u) = X_{uu}u^2 \quad (6)$$

并假定制动推力为一定，对应(5)式的等价推力能表示成：

$$T_p(1 - t_p) = \left[\frac{1}{2}(m + m_x)u_0^2 - \int_0^{t_s} X_{uu}u^2 dt \right] / t_s \quad (7)$$

在(7)式中， m_x 通过元良图谱求得， X_{uu} 由模型船的拖曳试验推定。加了制动推力之后到船体打止为止的时间 t_s 及其间的船速 u 用实船试验结果的值代入，就能够求得制动推力。

另一方面，由船体横荡及转首运动引起的流体动力导数用井上的估算式来推定的话，则如表 4 所示。

表 4 水动力导数

$m' + m'_x$	0.235+0.01363
$m' + m'_y$	船模 0.231+0.143
	实船 (0.235+0.143)
$I'_{xx} + I'_{yy}$	船模 0.0852+0.006
	实船 (0.0135+0.006)
$X'_{vr} = 0.7m'_y$	0.165
Y'_v	0.3576
N'_v	0.09796
$Y'_r - m'_u u'$	0.2
$Y'_r = -m'_y a'$	0.021
N'_v	0.055
$N'_r = -m'_y a'$	0.005
Y'_{rr}	-0.8966
Y'_{rv}	-0.1733
Y'_{rr}	-0.0701
N'_{rr}	-0.0232
N'_{rv}	-0.0702
N'_{rr}	0.0113

还有, 有关船体阻力 R 、螺旋桨逆转时的推力 $T_p(1-t_p)$ 以及附加流体动力 Y_0 及 N_0 通过模型求得。其结果如图 12、13 及 14 所示。

这样, 利用如上所推定的流体动力导数、船体阻力、制动推力、附加流体力, 就可以通过(1)、(2)、(3)式来推定模型船及实船的运动轨迹, 其结果与试验结果比较如下:

自航模试验与模拟计算的比较

用考虑前进、横荡和首摇运动 3 者的方程式推断紧急打船, 其同模型试验的结果比较如图 15、16。

实船试验结果同模拟计算的比较

实船航迹的模拟用与其对应的全阻力系数和对应的推力进行, 其结果同实船试验结果的比较如图 17、18。这个模拟例子是从 Full ahead 到 Full astern 状态的情形, 船作若干的右转首后, 船体便打止。与此对应的实船几乎没有发生首摇, 仅移向左舷侧约一个船长。从模拟计算的结果来看也不过是超过 1.5 个船长便打止了。象这样两者不一致的原因是在模拟计算中所利用的流体动力导数等推断误差所引起的, 且实船试验时的风和潮流可能也是很大的起因吧。

初始条件对紧急打船运动的影响

船的紧急打止运动因初始条件而受到怎样的影响呢? 现在为了使问题简单化, 设定船在开始制动运动时具有横荡速度和回转角速度, 并进行了模拟计算。使初始横荡速度变化情形的模拟结果如图 19 所示; 使初始回转角速度变化情形的模拟如图 20 所示。特别, 由两者合成的初始条件下模拟结果如图 21 所示。图 19 中的 V_0 即是初始所给的横荡速度。

这个值是负值的时候，船向左舷侧漂荡、并诱发向右的转首。还有， $|V_0|$ 变大的话，船的回转角急剧变大，船体的打止距离减少。另一方面，图 20 是初始回转角速度 r_0 在 $\pm 2^\circ/s$ 范围内变化的结果，可见初始回转角速度 r_0 对船的回转角及打止距离的影响比较小。

五、结语

(1) 在实际海面上实施有关紧急打止的实船试验，在实测了从紧急打止发令后到船打止为止的船的前进、横荡及回转运动的同时，还实测了试验海域的潮流及风速。

(2) 在试验结果的分析上，所用操纵运动方程的流体动力导数是用井上的估算方式推定的，紧急打止发令后的螺旋桨推力、附加横向力及其回转力矩是通过模型试验求得的。

(3) 利用这种准定常运动方程式来实施了打船运动的模拟计算，同实船试验的结果相比较可知能大略推断打船运动。

(4) 由上可知，打止距离及其向左右晃荡的距离极易受紧急打止之前初始横荡速度的影响。特别当加了随时间变化的潮流及风对船体运动的影响后，在实船试验的分析上该怎样考虑这些影响，将作为以后研究的课题。

本实船试验是在造船研究协会 RR742 的协助指导下完成的，在此，再一次向给与指点的小山主任及其委员，“深江”号的三好雄一船长及全体船员、以及在实船试验中给与通力协作的大阪大学研究生饭田隆君，表示诚挚的谢意。

参考文献

- 1) 谷初藏，藤井齐：船の急速停止について，第 2 回操纵性シンポジウム，昭和 45 年。
- 2) 藤野正隆，切田笃：プロペラ逆转にとる 制动時の操纵性について，第 1 报，关西造船协会志，第 169 号，昭和 53 年。
- 3) 藤野正隆，切田笃，西畑彰：プロペラ逆转にとる 制动時の操纵性について，第 2 报，关西造船协会志，第 173 号，昭和 54 年。
- 4) 芳村康男：増減速を伴う操纵运动の数学モデルとその应用，大阪大学博士论文，昭和 55 年 8 月。
- 5) 元良誠三他：船体と海洋构造物の运动学，成山堂书店，昭和 57 年。
- 6) 本田启之辅：操船通论，成山堂书店，昭和 61 年。
- 7) 平野雅祥，高井忠夫，松本宪洋：造船设计への操纵运动モデルの应用 II—実船の操纵性能推定—，第 3 回操纵性シンポジウム，昭和 56 年 12 月。
- 8) J. D. Hooft: The steering of a ship during the stopping manoeuvre, I. S. P. No. 190, 1970.
- 9) L. W. Smitt, U. S. Chislett: Course stability while stopping, J. M. E. S., Vol. 14, No. 7, 1972.
- 10) 仲渡道夫，小瀬邦治，寺本定美，鸟宗誠一：船の加減速运动に関する实验的研究，第 1 报，日本造船学会论文集，第 140 号，昭和 51 年。

11) 山崎裕作: 船の停止性能に関する基础的研究, 关西造船协会志, 第 168 号, 昭和 53 年。

讨 论

[讨论] 川崎重工 池渊哲朗

在(7)式中, 速度 u 是用实船结果的值代入的。表 2 中的实船测量值, 应是绝对速度, 而从(7)式本来的意思来考虑, 是否是应该用相对速度?

[回答] 感谢您的讨论, 从流体力学的角度看, 正如您指出的那样, 应该用相对速度。因为本试验选择了潮流影响小的场所和时间来测定绝对速度, 故可近似用此值。

邵建南译, 钱传声校。

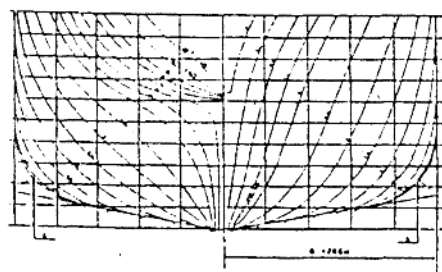


图 1. 船模横剖面线型图

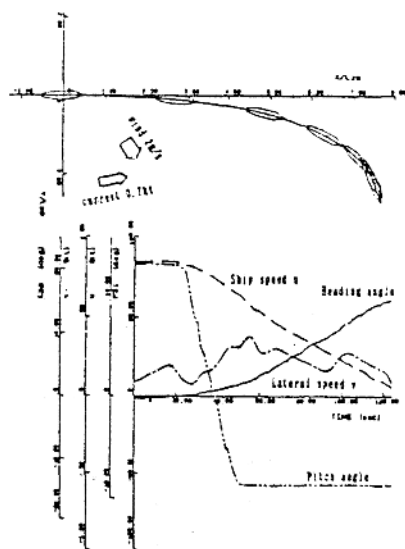


图 2. 实船紧急行止航迹和时间历程
(Full sea ahead to Full sea astern)

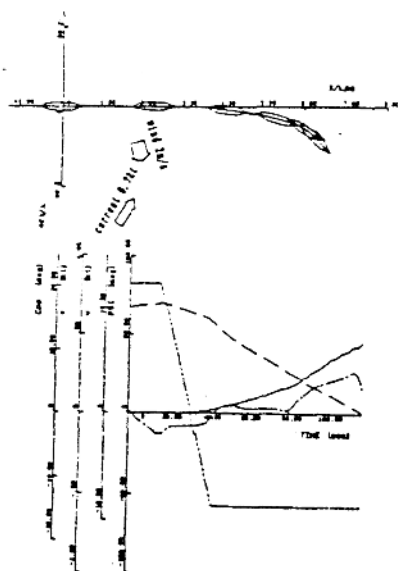


图 3. 实船紧急订止航迹和时间历程
(Full ahead to Full astern)

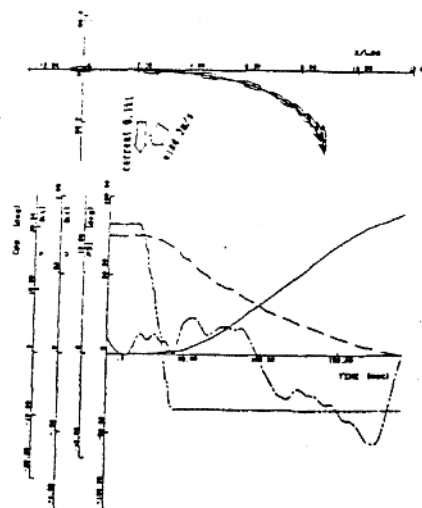


图 5. 实船紧急订止航迹和时间历程
(Full ahead to slow astern)

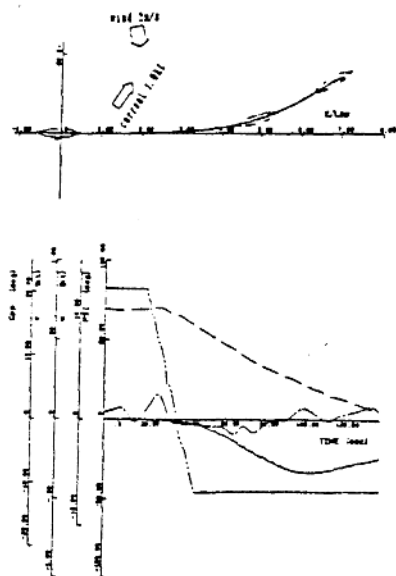


图 4. 实船紧急订止航迹和时间历程
(Full ahead to Half astern)

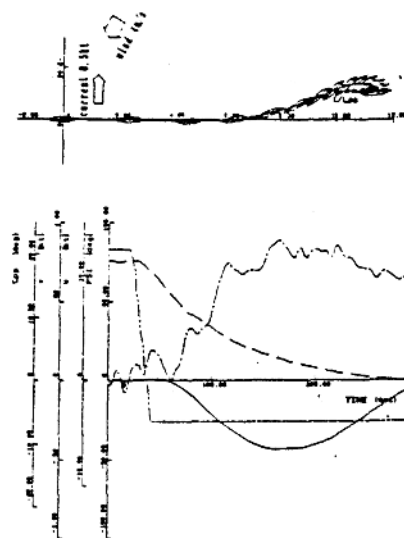


图 6. 实船紧急订止航迹和时间历程
(Full ahead to Dead slow astern)

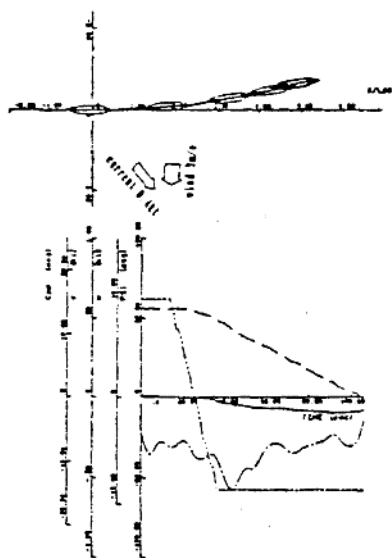


图 7. 实船紧急停航迹和时间历程
(Half ahead to Full astern)

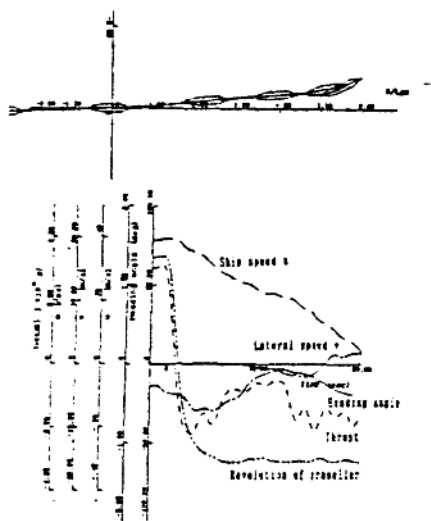


图 9. 船模紧急停航迹和时间历程
(Full sea ahead to Full sea astern)

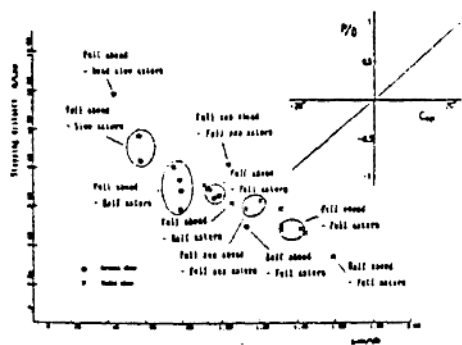


图 8. 实船和模型船的停船距离

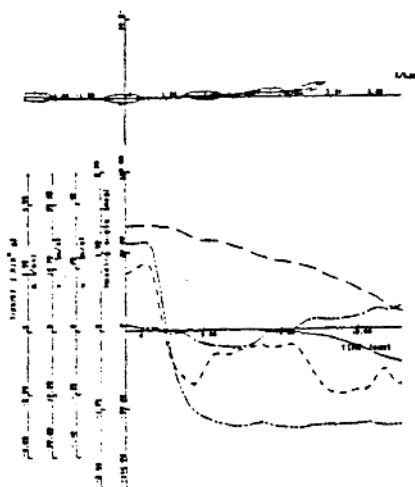


图 10. 船模紧急停航迹和时间历程
(Full ahead to Full astern)

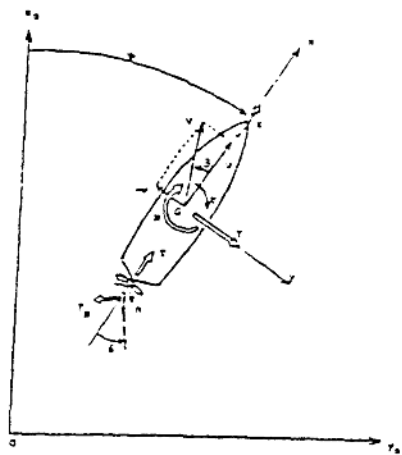


图 11. 坐标系

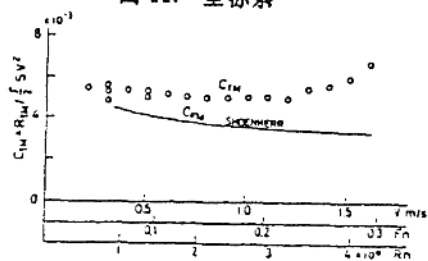


图 14. 船模总阻力系数

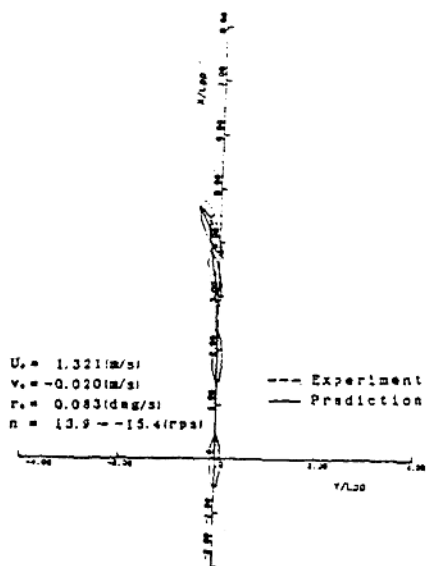


图 15. 船模停止航迹的比较

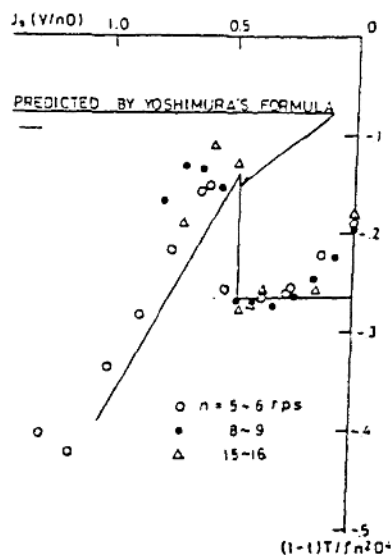


图 12. 螺旋桨制动力矩 J_z 的变化

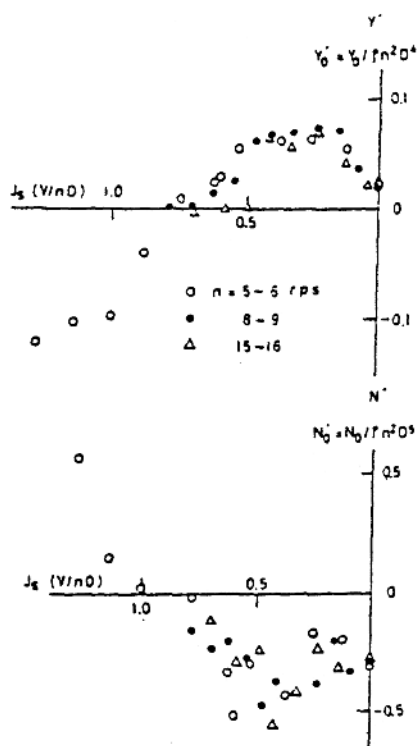


图 13. 不平衡水动力和力矩 J_z 的变化

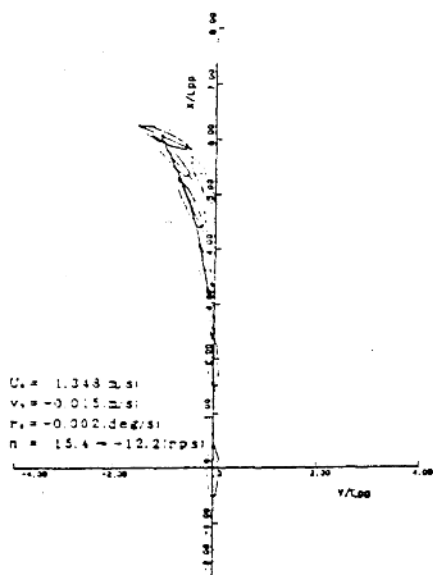


图 16. 船模行止航迹的比较

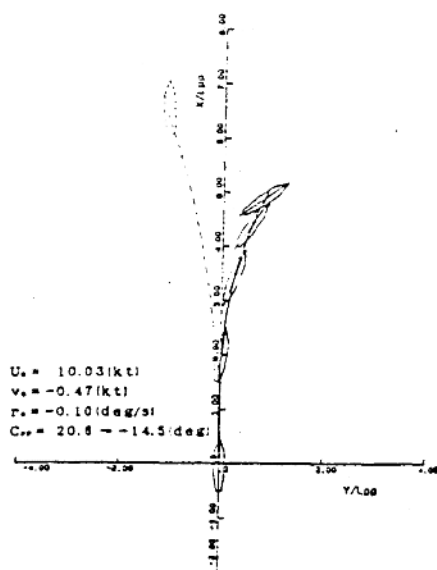


图 18. 实船行止航迹的比较

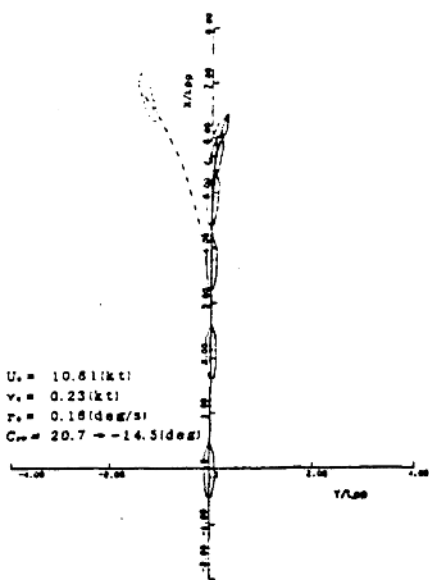


图 17. 实船行止航迹的比较

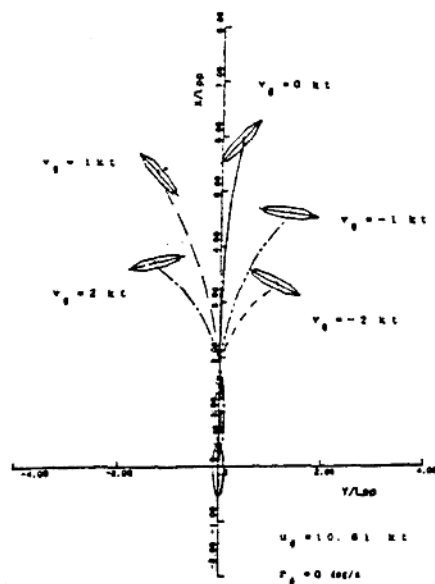


图 19. 实船紧急行止的模拟

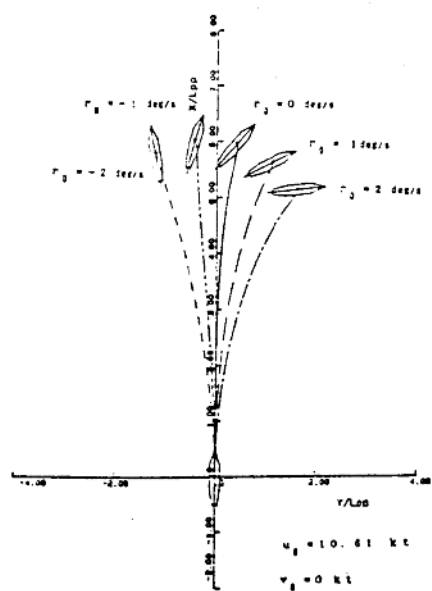


图 20. 实船紧急打止的模拟

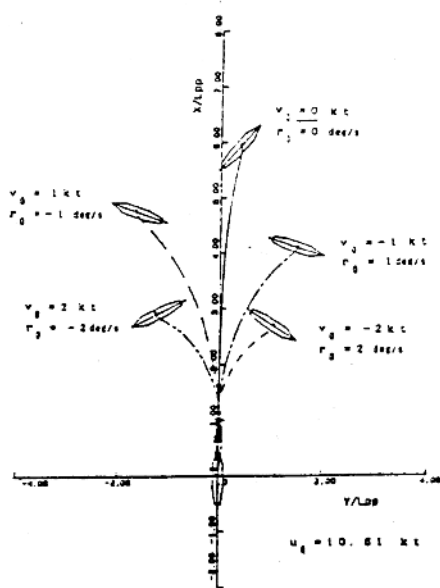


图 21. 实船紧急打止的模拟

波浪冲击载荷和船体结构响应的实船测量 (二)

竹本博安等

提要

对一艘排水量为 1300 吨的巡逻艇进行了波浪冲击载荷和结构响应的特色测量。试验时艇在恶劣的海况下以不同的浪向和航速运行。

在前一篇报告中对该实船试验的数据分析的一些结果进行了报道。讨论了船艏外飘砰击、艏部外飘上的冲击压力以及颤振对数衰减很大等问题。

本文介绍对该试验数据进一步分析的某些结果：

1) 船艏部外飘砰击在甲板上诱发了很高的弯曲应力。本文给出了在甲板上的应力分布，而且还讨论了局部应力与甲板之间的关系。

2) 船艏外飘引起颤振。对测量数据的仔细观察，认识了艏部外飘拍击是如何诱发颤振的，这意味着对在初始阶段颤振衰减快的机理有所认识。

3) 颤振应力与一般的波浪弯曲应力相比，其峰值之大和频率之高，将导致严重的疲劳问题。基于测量数据，对船体的疲劳强度进行了讨论。

一、绪言

对波浪中航行的船舶，由砰击产生的冲击载荷是个重要问题，它不但是船体底部和船艏外飘的局部损坏的原因^{1),2)}，而且在某些情况下甚至会危及船体本身³⁾。

关于砰击的研究，以前已经进行了许多^{4)~8)}，最近出现了考虑船体运动和外力非线性以及计及船体弹性的外载荷和结构响应的实用估算方法^{9)~11)}。另外也可以看到有关波浪冲击的实船测量分析结果的报告^{2)~6)}。

作者等在前一篇论文中⁵⁾就一艘巡逻艇的实船测量的概要、冲击水压力和颤振应力等有关的波浪冲击现象的分析结果进行了报道，还对砰击发生时的船体应力分布、颤振的衰减特性的机理以及由颤振应力产生的疲劳损坏的预报进行了探讨。

由于砰击引起的船体纵向弯曲应力在外飘拍击的场合具有很大的峰值，从船体结构响应上考虑其分布和随时间的变化都成为要考虑的问题。另外，由于本船的船体中部具有较大的上层建筑，通常比较担心的是其端部附近的应力集中，但由砰击产生的颤振峰值大、频率高，故对于疲劳是不能忽视的。本文基于颤振应力的测量数据，探讨应力集中部位因颤振而产生的疲劳损坏。

作者在上篇论文中根据测量的数据分析指出颤振应力的衰减率很大而且是变动的，其它的实船测量结果也有相同的结论^{3),6)}，但没有阐明机理。在进行砰击以及结构响应的模拟时，阻尼系数的设定对结果有直接的影响，因此有必要对此进行研究。

作者等研究了砰击的测量数据, 预报颤振的发生过程, 对船体艏部流体动力的阻尼机理作假定后, 根据简单的模型进行模拟计算, 得到了大致合理的结果。本文将对以上内容的探讨结果作一概要介绍。

二、实船测量概要

由于“尾道丸”号船在野岛崎海域遭受海难事故, 此后, 运输省实施了“异常海难防止系统的综合研究开发”^[16]的研究工作, 其中的一个环节就是对各种船舶进行实船测量。“希克莱”号巡逻艇的实船测量就是其中之一。关于其内容在上一篇报告中^[15]有详细叙述, 此处仅将特别有关的部分作一介绍。

1. 供试船、测量海域等

波浪中的实船测量使用海上保安厅, 第三管区海上保安本部所属的巡逻艇“希克莱”号, 于1984年2月26日、27日在伊豆诸岛三宅岛西面的海域上进行。“希克莱”号的主尺度如表1所示。图1是该船的剖面图。本船具有非常瘦的线型, 船艏外飘比较大, 因此有明显出现艏部外飘砰击的趋势。船首呈V字型, 船底的宽度非常狭, 故船首底部砰击很少发生。

表1 “希克莱”号的主尺度

Length, Width, Depth	77.8m, 9.6m, 5.3m
Displacement	1344ton
Speed	19.3kt(max.)
Main Engine	Diesel Engine, 3800ps × 2
Position	3rd Regional Maritime Safety Headquarter

表2是测量时的海况等。在实船测量时的目测波高为4~7m, 波长为40~60m。

表2 实船试验概况

DATE	TIME	ANGLE OF ENCOUNTER	SHIP SPEED	OBSERVED WAVE HEIGHT	RELATIVE WIND SPEED	WAVE LENGTH OF SWELL	SEA FORT SCALE	WIND DIRECTION	LOCATION OF SHIP	DATA
26.FEB	15:53~16:04	225°	9kt	7m	18m/s	50m	7	S		DT1.1
"	16:06~16:16	225°	14	7	18	50	7	S		DT1.2
"	16:19~16:29	225°	15	5	18	50	7	S		DT1.3
"	16:34~16:44	225°	17.5	4	15	50~60	5	S	33°~34°N	DT1.4
"	16:56~17:06	180°	9.5	4	15	40~50	5	WSW	38°~39°E	DT1.5
"	17:09~17:19	180°	13.5	4	18	40~50	5	WSW		DT1.6
"	17:22~17:32	180°	15	4	18	40~50	5	WSW		DT1.7
27.FEB	8:00~8:10	270°	15.5	5	15	50	7	NNW		DT1.7
"	8:13~8:23	270°	18	5	17	50	6	NNW		DT1.8
"	8:33~8:43	45°	18.5	5	17	50	6	NNW		DT1.9
"	8:51~9:01	8	28	5	17	50	6	NNW	35° 31' 30" N	DT1.10
"	9:25~9:35	225°	15	5	15	50	6	NNW	199°	DT1.11
"	9:37~9:47	225°	15	5	16	50	6	NNW		DT1.12
"	10:05~10:15	180°	13	5	23	50	6	NNW		DT1.13
"	10:16~10:26	180°	13.5	5	24	50	6	NNW		DT1.14
"	10:26~	180°	13	5	24	50	6	NNW		DT1.15
"	12:00~12:10	915°	14	5	22	50	6	NNW		