HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北星丸の伝達関数測定について
Author(s)	佐藤, 照夫; 佐野, 典達
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 15(3), 169-180
Issue Date	1964-11
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23229
Type	bulletin (article)
File Information	15(3)_P169-180.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北星丸の伝達関数測定について

佐藤照夫・佐野典達
(北海道大学水産学部練習船北星丸)
(北海道大学水産学部航海測器学教室)

On Measurements of Transfer Functions Related to the Fishing Training Ship "Hokusei Maru"

Teruo SATO and Noritatsu SANO

Abstract

Many research works concerned with the steering characteristics of ships have been published already from the point of view of naval architectural engineering.

Transfer functions method denoting steering characteristics of ships have been widely adopted in the above works, too, because steering characteristics can be determined by measuring the transfer function of ships as if the individual coefficients of the differential equation expressing the dynamic of ship were not clear.

By the use of this transfer functions method this work was undertaken to measure the steering characteristics of the fishing training ship "Hokusei Maru" whose excellent steering characteristics are required by reason of her quick and complicational steering operation in the fishing grounds. Main results obtained are as follows.

1) The value of dynamic stability on course "T" is better for steering angle 10° than other angles.
2) The value of quick responsibility "K" is better for steering angle 15° than other angles.
3) The steering quality is given optimum with steering angle 15°.
4) Wind force and wave force have no effect on steering quality indices K and T.

1 緒　　言

一般に船舶の操縦性に関しては，既に野本[1]，野本・田口[2]，谷[3]，元良[4] 等が船の伝達関数から操縦性指数を求めて，船舶設計上又は船舶運用上の資料とする研究を行ってきている。船の伝達関数から操縦性指数を求める方法は，船の運動方程式より運動性を解析する場合運動方程式の各係数が必ずしも明らかでないことからくる不便さに比べると，洋上における船の応答運動の計測から直接決定できるという長所のために，最近利用されることが多い方法である。

漁船では，漁具との関連で操業上操縦し易いという要求が強い。本研究は，本学部練習船北星丸の操舵角 (5°, 10°, 15°, 20°) に対する伝達関数を種々の気象条件下で測定し，操縦性能の判定を行ってみた。以下これについて述べる。

2 船の伝達関数について

一般に操舵に対する船の運動を常数係数線型微分方程式で表わすと次の如くである[5]。

$$T_1T_2\frac{d^2\dot{\theta}}{dt^2}+(T_1+T_2)\frac{d\dot{\theta}}{dt}+\dot{\theta}=K\delta+KT_3\frac{d\delta}{dt}\cdots(1)$$

ここで　θ: 針路偏差角　　$\dot{\theta}$: 旋回速度

δ: 操舵角

K, T_1, T_2, T_3: 船型や舵で決まる係数

(1) 式を Laplace 変換し，整理すると

$$G_s(S)=\frac{\dot{\theta}(S)}{\delta(S)}=\frac{K(1+T_3S)}{(1+T_1S)(1+T_2S)}\cdots(2)$$

ここで　$G_s(S)$: 船の伝達関数

実船の操縦性に就いては，伝達関数をもって表現できる。この伝達関数は船の運動を把握するために，比較的簡単な Z- 操船試験の実測によって解析できる。船の伝達関数は (2) 式において係数 K, T_1, T_2, T_3 で表示され，係数Kは定常旋回の角速度とそれに応ずる舵角の比，T_3 は舵をとる速さが初期の舵効きに与える効果で普通の船では，T_3も操舵速度も小さいため実際問題としてあまり重要ではない。針路安定な船では T_1, T_2 は殆んど実数で正，不安定な船では少くとも一方が負となる。針路に加えられる外力が消失する速さや，操舵角に応じた旋回が安定する速さは，共に T_1, T_2 で表わされ一般に $T_1>T_2$ である。伝達関数から誘導される係数 K 及び $T=(T_1+T_2-T_3)$ とした場合一次遅れの系として近似できる[2)3)]。

$$T\frac{d\dot{\theta}}{dt}+\dot{\theta}=K\delta(S)\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

ここで K, T は船型，舵面積，操舵速度等の関数であり，船の伝達関数 $G_s(S)$ は

$$G_s(S)=\frac{K}{(1+TS)}\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

操縦系全体の開ループ伝達関数 $G(S)$ は

$$G(S)=G_s(S)\cdot G_E(S)\cdot G_T(S)=\frac{K}{S(1+T_ES)(1+TS)}\quad(5)$$

ここで　$G_E(S)=\dfrac{1}{1+T_ES}$　$G_E(S)$: steering engine の伝達関数

$G_T(S)=\dfrac{1}{S}$　$G_T(S)$: gyro compass の伝達関数

となる。係数 K 及び T は船の操縦性指数と呼ばれ[4)]，K は旋回性能を表わす常数であり，T は追縦性及び保針性を表わす。

3 Z-操船試験法

実船の運動は非常に複雑であるが，近似的に線型な運

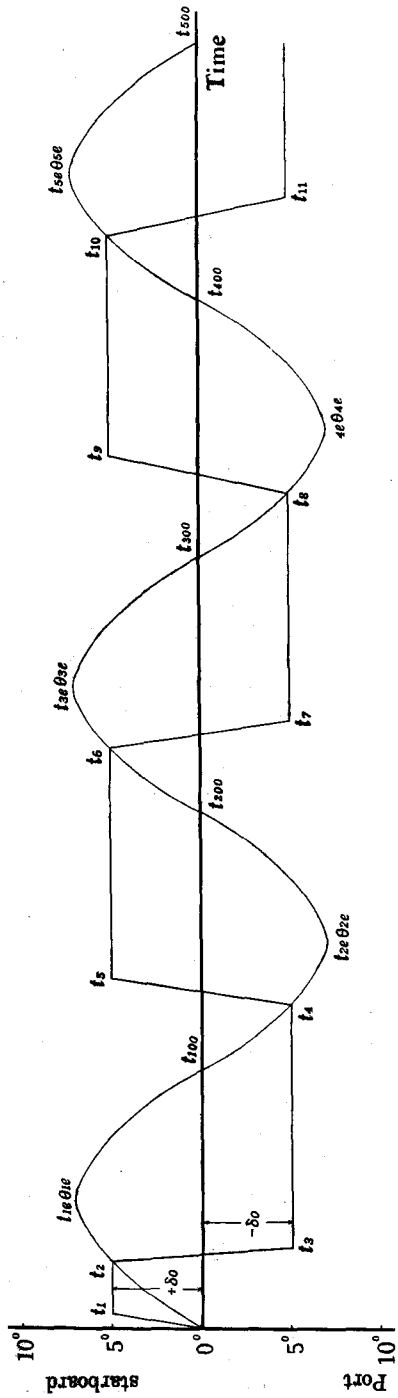


Fig. 1. Systematic diagram of zig-zag test by Kempf

動として船の伝達関数を一次系近似と仮定し Kempf の Z-操船試験法で実測する。この方法は実船の運動を針路偏差と時間の計測から得られる。今舵をある角度例えば 10 度右舷に操舵しその舵角を保つ。船首がその舵角に等しい角度だけ右舷へ振れたとき，舵を今度は左舷へ 10 度とり次いで船首が同じ角度だけ左舷へ振れたとき，舵を再び右舷へ同じ角度とる。この様な操舵を数回繰返して，舵角と船首の針路偏差角度及びそれに要する時間を計測する。この操舵は Fig. 1 で示され，梯形操舵を次々に重ね合せたもので船の運動もこの結果から計算によって算出できる[2]。一次系近似の運動方程式を用い針路の偏差が最大になる時刻を夫々 t_{1e}, t_{2e}, t_{3e} .... そのときの針路偏差角度を θ_{1e}, θ_{2e}, θ_{3e} .... とすれば，t_{1e}, t_{2e}, t_{3e} .... において $\dot{\theta}=0$ であるから（最初の 1 cycle は操舵上誤差を多く含む故消略）算式は次の通りである。

3-1 係数 T の算出式

$t_{2e}-t_z \geqq (t_4-t_z)+2t_a$ の場合

$$T[e^{-\{t_{2e}-t_z\}/T}-e^{-\{(t_{2e}-t_z)-t_a\}/T}-e^{-\{t_{2e}-t_z\}/T}+e^{-\{(t_{2e}-t_z)-(t_4-t_z)-2t_a\}/T}]=t_a$$

$$T[e^{-\{(t_{3e}-t_z)-(t_4-t_z\}/T}-e^{-\{(t_{3e}-t_z)-(t_4-t_z)-2t_a\}/T}-e^{-\{(t_{3e}-t_z)-(t_6-t_z)\}/T}+e^{-\{(t_{3e}-t_z)-(t_6-t_z)-2t_a\}/T}]=t_a$$

$$T[e^{-\{(t_{4e}-t_z)-(t_6-t_z)\}/T}-e^{-\{(t_{4e}-t_z)-(t_6-t_z)-2t_a\}/T}-e^{-\{(t_{4e}-t_z)-(t_8-t_z)\}/T}+e^{-\{(t_{4e}-t_z)-(t_8-t_z)-2t_a\}/T}]=t_a$$

$$T[e^{-\{(t_{5e}-t_z)-(t_8-t_z)\}/T}-e^{-\{(t_{5e}-t_z)-(t_8-t_z)-2t_a\}/T}-e^{-\{(t_{5e}-t_z)-(t_{10}-t_z)\}/T}+e^{-\{(t_{5e}-t_z)-(t_{10}-t_z)-2t_a\}/T}]=t_a \quad \cdots\cdots(6)$$

但し　$t_z=t_2+t_a$

t_a は与えられた舵角を操舵するに要する時間の平均値とする。(6) 式は方程式としては解けない故逐次近似法か cut and try 法により数値計算を行う。

3−2 係数 K の算出式

$t_{2e}-t_z \geqq (t_4-t_z)+2t_a$ の場合

$$\frac{1}{K}=\frac{\delta_0}{\theta_{2e}}\left\{-(t_{2e}-t_z)+2(t_4-t_z)+\frac{3}{2}t_a\right\}$$

$$\frac{1}{K}=\frac{\delta_0}{\theta_{3e}}\left\{(t_{3e}-t_z)+2(t_4-t_z)-2(t_6-t_z)-\frac{1}{2}t_a\right\}$$

$$\frac{1}{K}=\frac{\delta_0}{\theta_{4e}}\left\{-(t_{4e}-t_z)+2(t_4-t_z)-2(t_6-t_z)+2(t_8-t_z)+\frac{3}{2}t_a\right\}$$

$$\frac{1}{K}=\frac{\delta_0}{\theta_{5e}}\left\{(t_{5e}-t_z)+2(t_4-t_z)-2(t_6-t_z)+2(t_8-t_z)-2(t_{10}-t_z)-\frac{1}{2}t_a\right\} \quad \cdots\cdots(7)$$

(6), (7) 式からは右舷及び左舷方向への針路偏差データ各 2 組得られ，その平均値をもって伝達関数の係数 K 及び T の値と見做した。

4 測 定 方 法

測定に使用した北星丸の要目は Table 1 の通りである。測定方法としては，1963 年 11 月から翌年 2 月にかけての南方航海時に船速一定（主機関回転数一定，可変ピッチ・プロペラの翼角一定）に保ち，最初右舷操舵から始め右舷左舷操舵を 2〜3 回以上行い，操舵角に対する針路偏差及び時間を測定したがその結果の数例を Fig. 2 に示す。telemotor 系の右舷左舷動作にも多少差異あり，且つ外力（気象条件）及び船の航走状態も異るのでその点留意した。又操舵に関しては終始同一操舵手が同じ条件で操

Table 1. Particular sheet of "Hokusei Maru"

Length overall (L.O.A)	37.6 m
Length (registered)	33.0 m
Breadth (mld)	6.8 m
Depth (mld)	3.4 m
Draft (mld)	2.6 m
Gross tonnage	221.61 T
Net tonnage	95.37 T
Designed max. speed	11.09 Kts
Sea speed	9.4 Kts
Main engine	Diesel engine T-6V single motion 450 BHP, 350 R/Min. 6 cylinder
Steering engine	Kawasaki Hele-Shaw pump 1.5 HP
Rudder	Balanced side plate rudder
Rudder area	2.523 m^2
Screw	Variable pitch propeller
Compass	Sperry Gyro Compass MK.E 1

舵する様注意をはらった。操舵手の伝達関数については，谷[5]の研究があるが本測定では簡単化するため操舵員の伝達関数は線型で一定と仮定した。

北星丸では Z-操船試験法に従い，操舵角 5°, 10°, 15°, 20° における船首回頭とそれに要した時間の測定結果を Table 2 に示す。操舵角は rudder head angle indicator と照合した helm indicator の角度で与え，旋回速度は gyro compass の角度と stop watch で時間を測定し求めた。舵輪を回転し helm indicator で示される舵角を与え，その情報が telemotor 系を通じて steering motor を作動させるがその情報伝達に時間的遅れを要し，steering motor が作動して rudder head angle indicator が回転し，その角度が船橋の rudder angle indicator で指示されるまでに時間的な遅れがある。その情報伝達に要する時間を実側し平均値を Table 3 に示めした。この結果には操舵時における過渡現象をも含み，telemotor 系を使用する限りまぬがれえない現象である。北星丸は操舵角の大小に関係なく

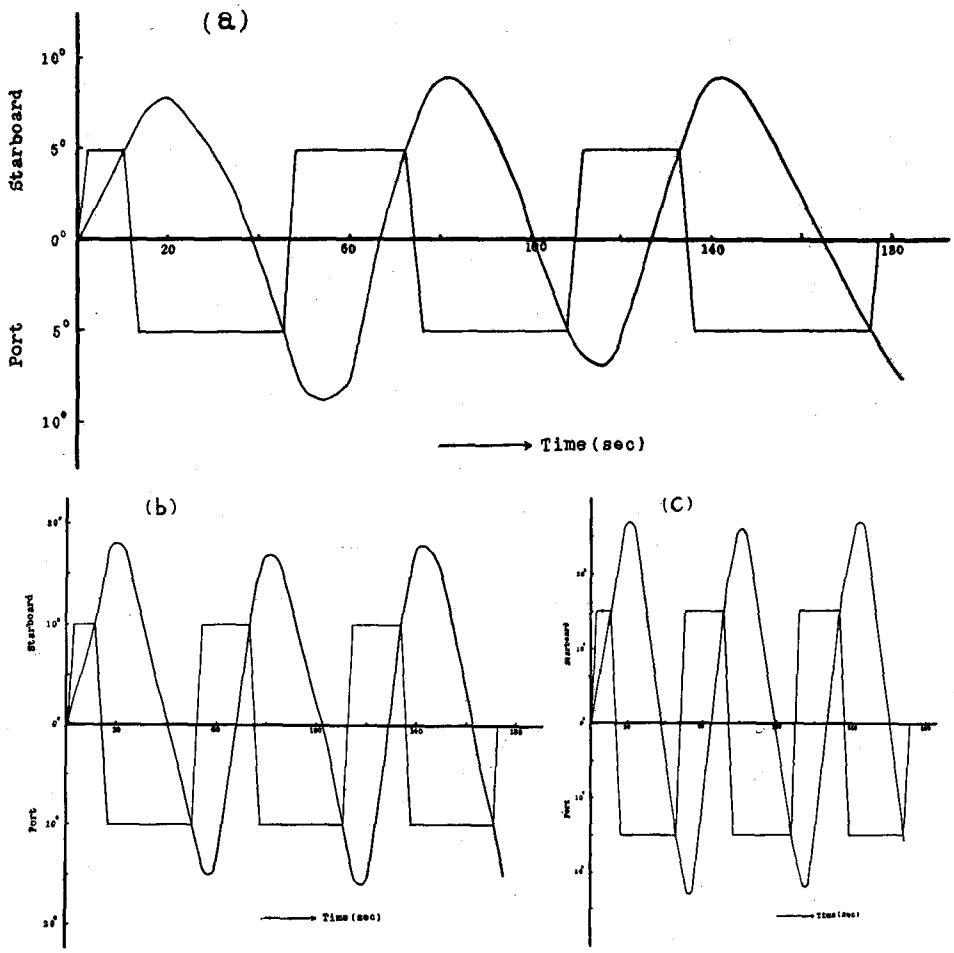


Fig. 2. Ship's motion due to Kempf's zig-zag test at various helm angles
a) Ordered helm angle 5°, co. 160°, speed 9.4 knot (blade angle 13.8°, 305 rpm), wind speed NE 10 m/s, Nov. 3, 1963
b) Ordered helm angle 10°, co. 170°, speed 9.4 knot (blade angle 13.8°, 300 rpm), wind speed ENE 2 m/s, Nov. 12, 1963
c) Ordered helm angle 15°, co. 170°, speed 9.4 knot (blade angle 13.8°, 300 rpm), wind speed ENE 2 m/s, Nov. 12, 1963

Table 2. Measured ship motion data on Kempf's zig-zag test

1) Ordered helm angle 5°

Date	Nov. 3 '63		Nov. 4 '63		Nov. 12 '63		Nov. 13 '63		Nov. 14 '63	
Position	35°-50′N 139°-45′E		31°-31′N 141°-23′E		5°-53′N 151°-24′E		2°-15′N 152°-06′E		1°-40′N 152°-40′E	
Index	Time (sec)	Actual course (deg)	Time (sec)	Actual course (deg)	Time (sec)	Actual course (deg)	Time (sec)	Actual course (deg)	Time (sec)	Actual course (deg)
t_1	2.5		1.5		2.1		1.5		1.4	
t_2	11.0		8.2		8.5		12.4		11.0	
t_3	13.8		11.8		11.2		14.8		14.1	
t_{1e}, θ_{1e}	19.5	+8	13.8	+8	19.5	+10	19.8	+8	17.8	+7
t_{100}	39.0		32.0		41.5		36.5		34.4	
t_4	45.5		41.7		65.5		47.6		42.3	
t_5	49.0		45.5		69.0		51.3		45.0	
t_{2e}, θ_{2e}	55.0	−9	48.5	−9	72.1	−6	54.2	−7	47.7	−7
t_{200}	67.5		59.4		79.0		62.4		58.2	
t_6	73.5		63.5		83.1		69.0		65.6	
t_7	76.5		66.4		88.0		72.4		69.3	
t_{3e}, θ_{3e}	82.5	+9	73.4	+9	93.0	+11	76.3	+8	73.1	+9
t_{300}	100.5		88.5		119.2		91.8		88.6	
t_8	108.5		96.0		132.0		105.0		95.4	
t_9	112.5		98.8		136.5		108.5		98.8	
t_{4e}, θ_{4e}	116.5	−7	105.5	−6	139.4	−6	111.4	−7	108.2	−7
t_{400}	126.5		112.5		144.3		116.8		112.8	
t_{10}	133.8		117.4		149.0		123.2		121.1	
t_{11}	136.8		120.0		151.8		126.2		124.5	
t_{5e}, θ_{5e}	142.6	+9	123.5	+10	161.1	+11.5	128.8	+9.5	129.4	+9.5
t_{500}	165.0		147.0		189.3		152.0		145.0	
t_{12}	175.0		156.5		207.6		162.6		156.2	
Wind direction	NE		ENE		ENE		NNW		NW	
Wind speed (m/s)	10		10		2		1		5	

Table 2. Measured ship motion data on Kempf's zig-zag test

2) Ordered helm angle 10°

Date	Nov. 4 '63		Nov. 12 '63		Nov. 13 '63	
Position	31°-31′N 141°-23′E		5°-53′N 151°-24′E		2°-15′N 152°-06′E	
Index	Time (sec)	Actual course (deg)	Time (sec)	Actual course (deg)	Time (sec)	Actual course (deg)
t_1	2.0		2.8		2.8	
t_2	15.0		11.4		12.2	
t_3	19.0		16.4		16.0	
t_{1e}, θ_{1e}	21.4	+21	20.8	+18	20.2	+17.5
t_{100}	40.0		40.5		36.5	
t_4	47.2		50.3		44.3	
t_5	51.2		54.3		47.5	
t_{2e}, θ_{2e}	53.7	−14	57.2	−15	51.3	−15
t_{200}	68.5		68.4		61.9	
t_6	74.7		73.5		67.4	
t_7	78.5		77.4		71.5	
t_{3e}, θ_{3e}	83.2	+17	81.9	+17	75.2	+17.5
t_{300}	100.0		102.8		92.7	
t_8	107.6		111.0		101.5	
t_9	111.5		114.9		106.0	
t_{4e}, θ_{4e}	113.8	−19	118.8	−16	109.0	−15.5
t_{400}	128.4		129.0		119.8	
t_{10}	134.8		134.2		125.8	
t_{11}	138.9		137.9		130.0	
t_{5e}, θ_{5e}	142.2	+18	141.8	+18	134.3	+17
t_{500}	162.0		163.0		150.0	
t_{12}	169.0		170.9		158.4	
Wind direction	ENE		ENE		ENE	
Wind speed (m/s)	10		2		1	

Table 2. Measured ship motion data on Kempf's zig-zag test

3) Ordered helm angle 15°

Date	Nov. 8 '63		Nov. 12 '63		Nov. 13 '63		Nov. 14 '63	
Position	18°-54′N 146°-51′E		5°-53′N 151°-24′E		2°-15′N 152°-06′E		1°-40′N 152°-40′E	
Index	Time (sec)	Actual course (deg)	Time (sec)	Actual course (deg)	Time (sec)	Actual course (deg)	Time (sec)	Actual course (deg)
t_1	2.8		3.6		3.4		2.8	
t_2	15.5		11.2		12.3		12.0	
t_3	20.5		16.4		17.9		17.4	
t_{1e}, θ_{1e}	23.2	+24	20.6	+27	20.8	+25	20.4	+24
t_{100}	39.0		37.8		38.0		35.8	
t_4	47.7		45.4		46.4		43.0	
t_5	53.3		51.1		51.7		48.5	
t_{2e}, θ_{2e}	57.2	−25	53.0	−23	54.6	−23	52.6	−23
t_{200}	70.3		64.4		66.8		63.5	
t_6	77.1		71.0		73.0		71.5	
t_7	83.0		76.5		79.2		76.5	
t_{3e}, θ_{3e}	85.2	+25	80.8	+26	82.4	+25	80.2	+23
t_{300}	101.8		98.4		97.6		94.9	
t_8	111.0		107.2		104.9		102.8	
t_9	116.4		112.4		110.4		108.6	
t_{4e}, θ_{4e}	119.6	−22	115.2	−22	112.8	−22	111.3	−23
t_{500}	130.0		126.4		124.3		124.3	
t_{10}	137.8		133.2		130.9		132.1	
t_{11}	145.2		138.4		136.5		137.6	
t_{5e}, θ_{5e}	145.5	+24	143.5	+27	139.3	+26	139.8	+24
t_{500}	162.8		160.6		156.7		156.3	
t_{12}	171.0		167.9		165.2		164.0	
Wind direction	NW		ENE		NNW		NW	
Wind speed (m/s)	5		2		1		5	

Table 2. Measured ship motion data on Kempf's zig-zag test
4) Ordered helm angle 20°

Date	Nov. 9 '63		Date	Nov. 9 '63	
Position	15°-52′N 147°-50′E		Position	15°-52′N 147°-50′E	
Index	Time (sec)	Actual course (deg)	Index	Time (sec)	Actual course (deg)
t_1	2.9		t_{300}	94.0	
t_2	11.0		t_8	112.5	
t_3	18.0		t_9	120.3	
t_{1e}, θ_{1e}	22.0	+35	t_{4e}, θ_{4e}	120.5	−31
t_{100}	38.3		t_{400}	133.3	
t_4	46.3		t_{10}	141.5	
t_5	52.5		t_{11}	149.5	
t_{2e}, θ_{2e}	58.3	−31	t_{5e}, θ_{5e}	153.0	+35
t_{200}	68.0		t_{500}	167.8	
t_6	76.8		t_{12}	176.0	
t_7	84.0		Wind direction	ENE	
t_{3e}, θ_{3e}	89.8	+35	Wind speed (m/s)	6	

Table 3. Time lag data due to transmit the ordered helm angle between helm indicator, rudder head angle indicator and rudder angle indicator

Ordered helm angle (deg)	Helm indicator (sec)		Rudder head angle indicator (sec)		Rudder angle indicator (sec)
		Time lag (sec)		Time lag (sec)	
5	1.8	1.4	3.2	0.6	3.8
10	2.5	0.8	3.3	0.5	3.8
15	3.2	0.6	3.8	1.4	5.2
20	3.7	0.8	4.5	1.3	5.8

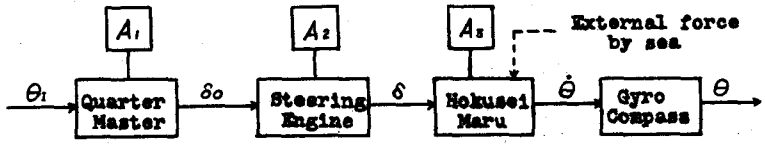


Fig. 3. Block diagram for measure to transfer function of the steering maneuvering system
θ_1: desired course; δ_0: ordered helm angle; δ: actual helm angle; A_1: helm indicator; A_2: rudder head angle indicator; A_3: rudder angle indicator; $\dot{\theta}$: turning angular velocity of ship; θ: actual course; θ_1–θ: deviation from ship course of zig-zag test

遅延時間は 0.5～1.4 秒の範囲内である。Z-操船試験法では，操舵の時間関数形を梯形で近似しているがこれで充分であろう。

5 気象条件の影響

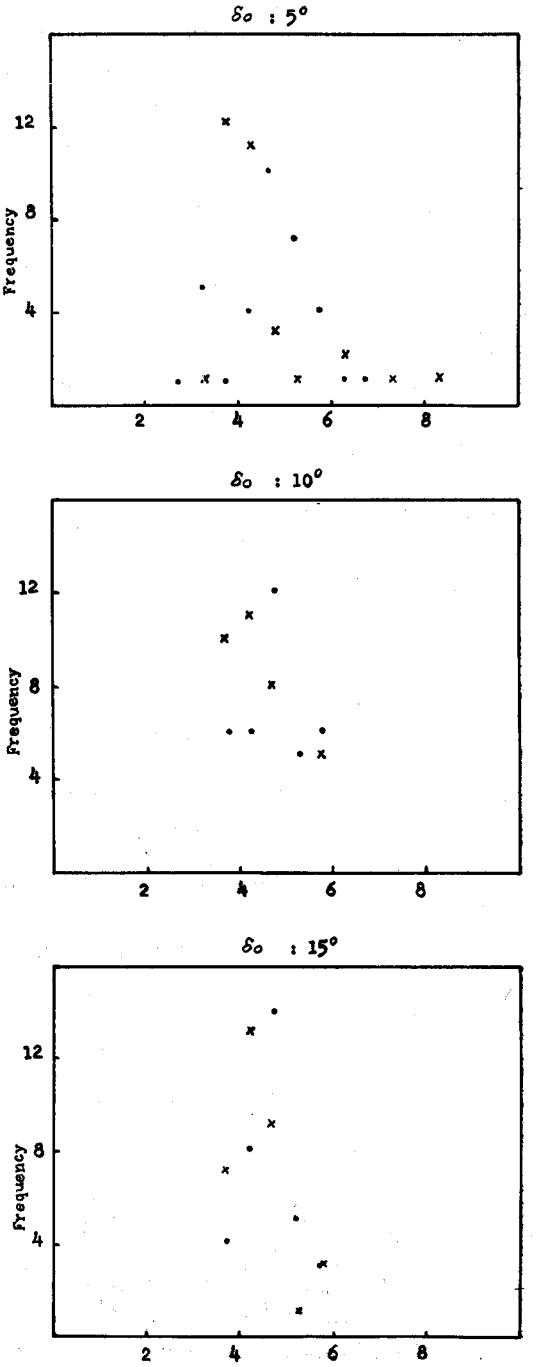
一般に実船の操縦系は Fig. 3 の如き block diagram で画かれる。船が一定の速度で直進しているとき，気象条件の影響として船は針路と速力に変化を受ける。Z-操船試験法では回頭による船速の変化に加えて，気象条件が外力として加わる為操舵角を与えて船の旋回速度 $\dot{\theta}$ を時間と回頭角（gyro compass の読取値 θ）から一次近似の操縦性指数 K 及び T を求めるが，実測で求める K, T の値は船の旋回時に加える外乱のため測定値の散ばりは免れない。旋回中における船速の変化が操縦性に及ぼす影響は，原針路からある helm angle を与えて Z-操船試験の $\frac{1}{2}$ cycle の間に船の前進距離と船の長さの比との頻度分布をみると，一般の船では 5 から 11 船長の間のものは一応操縦性良好とされており，Fig. 4 は北星丸の結果を示す。操舵角 5° の場合横軸の散ばり範囲が広く外力の影響が可成りあると考えられ，操舵角 10°, 15° では比較的散ばりは狭くこの程度の気象条件では船速には殆んど影響なく，且つ peak が横軸の 4 附近に存在するのは僅かの前進距離で充分旋回出来ることを示し helm angle が大となると前進距離が更に小さくなるのは当然である。

6 操縦性指数 K および T の算出

Z-操船試験法で得たデータを (4), (5) 式に代入し操縦性指数 K 及び T を算出した結果を Fig. 5 及び Fig. 6 に示す。

7 結果並びに考察

Fig. 5, Fig. 6 の結果から T の平均値は操舵角 10° のとき小さく quick responsibility を示し船における操舵の形は一定舵角まで一定の速さで操舵したのち一定舵角を保つという形で，普通この様な操舵の積み重ねであるから操舵に対する船の運動が一次系近似され



forward distance versus ship length
· Starboart × Port

Fig. 4. Distribution of forward distance versus ship length due to the steering angle

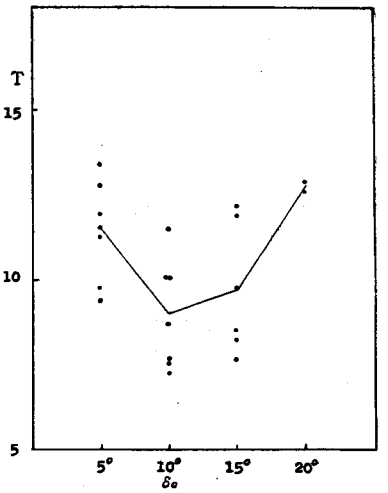


Fig. 5. Calculating value of T for transfer function due to data of Kempf's zig-zag test

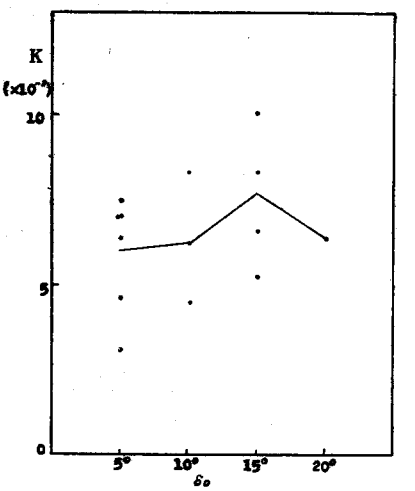


Fig. 6. Calculating value of K for transfer function due to data of Kempf's zig-zag test

るからどの様な操舵に対しても同程度の一次系近似が可能である。換言すれば比較的安定な船，即ち T の値の小さい船に対しては一次系近似は充分な精度をもつ。同一の船においても操舵角によって T の値は異るし，運動方程式の次数をあげても T の精度はあまりよくならない。精度の良い取扱いを要する場合は，操舵による速力の変化や旋回運動の発達に伴う抵抗係数の変化など，非線型要因による影響も考慮する必要がある。Fig. 5 で表わされた T は船の運動に存在する非線型要素の影響も加味して平均化した値であり，又実際の運動には過渡現象も含まれるので平均化した T の値に意義がある。綜合的にみれば K の値は大きく T の値は小なる程船の操縦性はよく北星丸で最も効果的な操舵角は 15° となり，K の値は小さく T の値も小さいときは quick responsibility として旋回の初めによい操舵角は 10° となり，K の値が大きく T の値も大きいときは旋回の終りにおいて優っており操舵角は 20° 近くとなる。実際の操縦ではこの様な基本的な操舵が相次いで行われるから操縦性の優劣は強い旋回力のみならず，その迅速な追縦性にも依存する。

北星丸で測定した操縦系の伝達関数は次式の通りである。

操舵角 5° の場合

$$G_s(S)=\frac{6.0}{S(1+1.4S)(1+11.5S)} \quad \cdots\cdots (8)$$

操舵角 10° の場合

$$G_s(S)=\frac{6.2}{S(1+0.8S)(1+9.0S)} \quad \cdots\cdots (9)$$

操舵角 15° の場合

$$G_s(S)=\frac{7.6}{S(1+0.6S)(1+9.7S)} \quad \cdots\cdots (10)$$

操舵角 20° の場合

$$G_s(S)=\frac{6.4}{S(1+0.8S)(1+12.8S)} \quad \cdots\cdots (11)$$

となる。以上の如く北星丸の操縦性を伝達関数法によって求めてみたが旋回性を要求するときは操舵角15°, 早い追縦性を要求されるときは操舵角は 10° のときに良好な結果を得た。綜合的にみるならば最適操舵角として 15° となり気象条件の影響は操舵角 5° のときに多少現われその他では舵効果が大で船の運航当事者として平素の慣習と一致する。

8 謝 辞

本研究は北星丸航海時に多大の便宜を与えられて行われたもので三島船長以下乗組員諸氏に深謝する。又本学部の石田教授及び川島助教授の有益な御助言に対しても深謝する。

参 考 文 献

1) 野本・田口・本田・平野 (1956). 船の操縦性に就いて (I). 造船協会論文集 99, 75～82.
2) 野本・田口 (1957). 船の操縦性に就いて (II). 造船協会論文集 101, 57～66.
3) 谷 初蔵 (1951). 船の保針性と操舵の効果について. 造船協会論文集 91, 25～33.
4) 元良誠三 (1958). 船の操縦性指数について. 造船協会論文集 104, 63～71.
5) 野本謙作 (1958). 自動操舵の安定性について. 造船協会論文集 104, 53～61.
6) 谷 初蔵 (1961). 操舵手動特性からみた船の操縦性指数について. 造船協会論文集 110, 51～56.