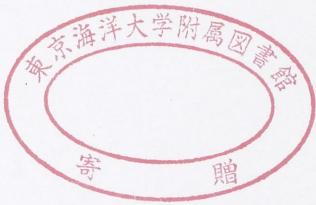


前進中の本船によるタグボートの実効推力への影響について

著者	池尻 洋亮
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2010
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00001311/



学位論文

題目 前進中の本船によるタグボートの実効推力への影響について

学籍番号 0855027

氏名 池尻洋亮

平成 22 年 7 月 30 日

2010/07/30



目次

諸言	3
2. 東京湾水先区における一般的なタグボートの運用法	4
2.1 タグボートへのオーダについて	4
2.1.1 角度の単位「時」の定義	4
2.1.2 タグボートの本船に対する位置のオーダ	5
2.1.3 タグボートの出力の方向のオーダ	6
2.1.4 タグボートの出力の大きさのオーダ	7
2.2 港内作業中のタグボートの位置、姿勢、速度について	8
2.2.1 タグボートの本船に対する位置	8
2.2.2 タグボートの本船に対する姿勢	9
3. 模型実験	11
3.1 座標系	11
3.2 実験装置	12
3.2.1 実験水槽	12
3.2.2 模型船	13
3.2.3 計測装置	13
3.3 実験条件	13
3.4 実験の結果	17
3.4.1 単独実験について	18
4. 考察	34
4.1 単独実験と押しモード実験の差について	34
4.2 実効推力についての考察	37
4.2.1 単独実験	38
4.2.2 押しモード実験	45
5. 結論	59

6.参考文献.....	60
7.謝辞.....	61

諸言

船舶の大型化に伴い、港湾はその姿を大きく変えてきた。

その中で、タグボートは安全で効率的な運航を求められる大型船操船者にとって、離着桟操船を始めとする船舶の港内操船を行ううえで、非常に重要な存在となっている。

その重要な役割を果たすために、タグボートは、出力の大きさと方向を素早く変更し得る独特な機関と推進器を発達させ、また、各地域において、その特殊性に応じた独自の運用法を確立させている。

操船者が安全と効率を追求して港内操船を行うためには、タグボートが運用上どこまで有効に働くかを知ることが欠かせないが、その特殊性から、その運用限界の判断は操船者の勘に頼るところとなっていた。

本論文では、東京湾のタグボート運用法と、その運用に対応して変化する、タグボートが本船に作用する位置と姿勢及び、本船速度に関するタグボート周りの流体力に注目し、その模型実験を行ったうえで、運用限界を考察したものである。

タグボートの姿勢、本船に作用する位置、本船速度の変化に応じたタグボート周りの流体抵抗について評価するため、本論文では、まず、操船者が一般的に用いるタグボートへのオーダーを調査し、そのオーダーに対応したタグボートの姿勢・本船に作用する位置と本船速度について定義を明確にした。

その上で、その運用手法に対応するタグボートの姿勢、本船に対する位置・速度について模型二船による抵抗試験を行い、その結果を解析し考察した。

2. 東京湾水先区における一般的なタグボートの運用法

本章では、東京湾水先区における一般的な港内操船の補助としての大型船操船者からみたタグボートの運用法の中で、操船者の運用法が直接表現されるオーダに注目して紹介する。

更に、オーダに対応した実際のタグボートの位置、姿勢、本船の速度を考察する。

これは、実験条件・解析条件を決めるにあたり、実際のタグボートがどのように本船に対する位置、姿勢、速度を取っているかを知るためである。

また、大型船操船者からみたタグボートの運用法は、東京湾水先区における水先現場訓練（2010年1月1日～2010年5月15日）における操船例をまとめたものである。

2.1 タグボートへのオーダについて

操船者のタグボート運用術が直接的に示されるのは、タグボートに対するオーダである。東京湾水先区では、

「(船名)、(本船に対する位置)、(出力の方向)、(出力の大きさ)で(引け/押せ)」
のようにオーダすることが一般的である。

なお、オーダの用語や用法に関しては、個人差も見られるが、本論文では一般的に用いられるものをまとめている。

2.1.1 角度の単位「時」の定義

オーダを出す際、非常に多く用いられることがある角度の単位「時」について述べる。

「時」は、本船の船体中心を原点にとった座標系で、12時を船首方向に決め1時、2時、3時と右回りに30deg単位で付けた角度の単位である(Fig.2-1)。

一般的に「時」の前に1～12をつけて「3時」などと表す。

尚、この呼び方をもって「3時の位置」などと言って、タグボートが本船にとりつく位置を表現する事もある。

以下、本論文中には「時」と表記する。

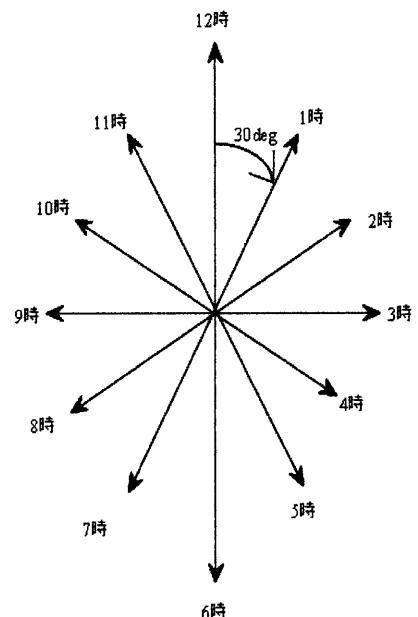


Fig.2-1 角度の単位「時」

2.1.2 タグボートの本船に対する位置のオーダ

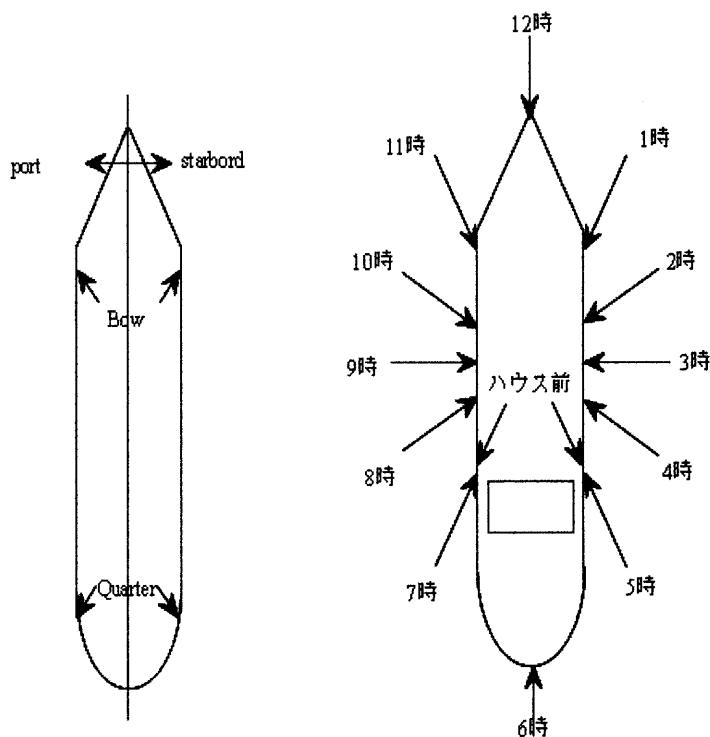
タグボートの本船に作用する位置は、一般的に左右位置を示す(Starboard/Port)と前後位置を示す(Bow/Quarter)の組み合わせで成る(Fig.2-2-1- (a))。

この(Starboard/Port)および(Bow/Quarter)の組み合わせによるオーダが、一般的に用いられる用語であるが、タグボートを3艘以上用いる場合や離着岸する桟橋によっては、前後位置は(ハウス前)や(「時」)でのオーダがなされる場合がある。

東京湾水先区において最も多くオーダされる位置は、Starboard/Portを問わず Quarterであり、次に Bow の位置が多い。

これは、港内操船に当たっては、タグボート1隻又は2艘を必要とする場合が多く、また、多くの船がバウスラスターを備えている現状においては、Quarterにタグボートを取ることが効果的であるからである。

また、「ハウス前」や「時」を用いてオーダする時は(Fig.2-2-(b)右)のような位置のオーダとなる。



(a)Bow,Quarter での位置のオーダ (b)「時」での位置のオーダ

Fig.2-2 位置に関するオーダ

2.1.3 タグボートの出力の方向のオーダ

タグボートの出力の方向に対する最も基本的なオーダは、「押せ」と「引け」である。

この「押せ」「引け」は、ほとんど全てのオーダに付けられるものであるが、その前に「9時に引け」など、「時」をつけて「押す」「引く」の方向も表現することが一般的である⁽¹⁾。

本論文に関しては、本船の船体中心に向かつてタグボートが積極的に力を作用させる力の方向を「押す」船体中心から離れる方向にタグボートが積極的に力を作用させる力の方向を「引く」と表記する(Fig.2-3)。

この他に、タグボートに前進方向にエンジンを使わずにタグラインにぶら下がるように付いてくるオーダである「ぶら下がり」がある。また、特に「6時に引け」「3時押せ/引け」な

ど、よく使われる組み合わせにおいては、地域において、特有の名称を持つものもある
(Table2-1)。

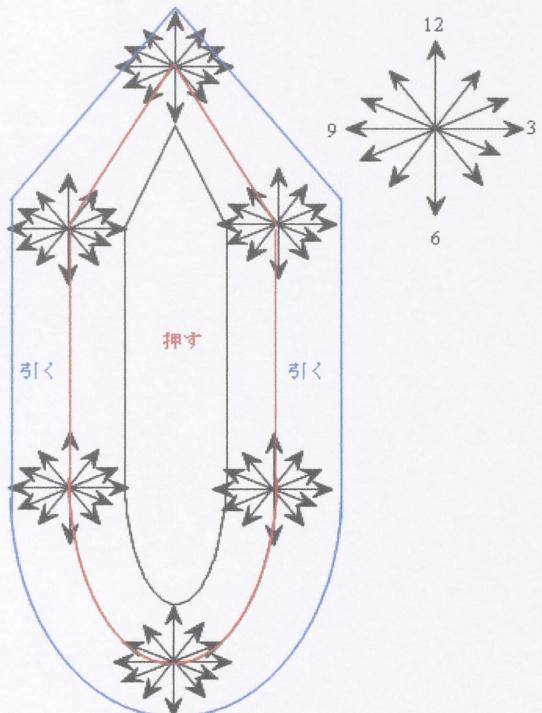


Fig.2-3 出力の方向のオーダ

Table2-1 各地域における出力の方向のオーダ

(「時」方向、引け/押せ)	旧東京湾水先区	旧東京水先区
(6時方向、引け)	単三声・単三	ブレーキ
(3・9時方向、引け/押せ)	-	真横(引け/押せ)
(3・9時方向、引け/押せ)	引き出せ/岸壁	-
(3・9時方向、引け/押せ)	(回頭する際) 右へ・左へ	-

2.1.4 タグボートの出力の大きさのオーダ

タグボートの出力の大きさの対するオーダには、一般の可変ピッチプロペラを持つ船舶のオーダと変わらず、Full. Half. Slow. Dead Slow. 及び Dead Slow 未満の出力にそれぞれ相当するオーダがあり、更に Emergency Full に相当する「一杯」というオーダがある(Table2-2)。

また、東京湾水先区において一般的に用いられているオーダは各地域において若干異なるが、本論文に関しては、「Dead Slow 未満の出力に相当するオーダ」に「Omega」というオーダを用いる。

Table2-2 各地域における出力の大きさのオーダ

エンジン出力 (%:100/Full)	旧東京湾水先区	旧東京水先区
110	一杯	一杯
100	Full	Full
75	Half	Half
50	Slow	Slow
25	Dead Slow	極く Slow
10	Omega	極く極く Slow

2.2 港内操船中のタグボートの位置、姿勢、速度について

実験条件を定めるために、前章で述べた本船に対する位置、出力の方向と大きさを指示するオーダに対して、タグボートが一般的にとる本船に対する位置、姿勢、速度及びタグボートの出力について述べる。

2.2.1 タグボートの本船に対する位置

(Fig.2-4)は一般的なタグの配置²であるが東京湾水先区では、一般的に「頭付け」の配置にする。

この場合、タグボートの位置は、Fig.2-5のように「押し」、「引き」の場合で異なる。

「押し」の場合の前後位置は、オーダの(Bow/Quarter)に応じて、本船船体中央平行部の前端部又は後端部周辺となる、これはタグボートが安全に作業できる位置は、船体中央平行部でかつ専用の構造部材のある位置の船体外板にマークされているからである。

「引き」の場合はオーダの(Bow/Quarter)に応じて、船体中央平行部前端部または後端部近傍のビットの位置となる。

タグボートの左右位置は、「押し」、「引き」の場合で異なる。

「押し」の場合は、本船外板付近に位置を取る。

「引き」の場合は外板より(80~200m)の位置をとる。

これは、タグラインの切断を防ぎ、更に引く力を効率的に発揮するように、①タグラインの仰角を少なくし^②②放出流の影響を少なくするためである³。

東京湾水先区におけるタグボートの本船に対する前後位置は、(Bow/Quarter)が一般的であった。

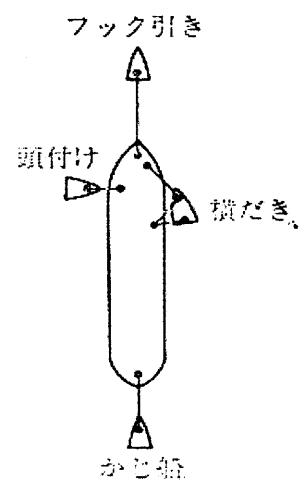


Fig.2-4 一般的なタグボートの配置

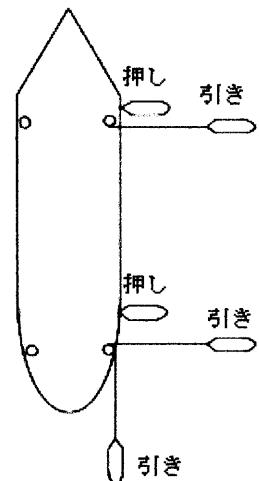


Fig.2-5 タグボートの位置

(1)仰角について

(Fig.2-6)に示すように、タグボートが水平方向に引く力の効率は仰角を θ とすると

$$\tan \theta = \frac{ft - fs}{\eta + \delta \eta}$$

で表わされる。

但し F :タグボートが引く力

θ :仰角

fs :本船フリーボード

ft :タグボートフリーボード

η :タグボート船首と本船外板との距離

$\delta \eta$:タグボート船首とラインドラム間の距離

$\cos \theta$ を、 $fs=15m$ $ft=1.5m$ で解析したものを Table3 に示す。

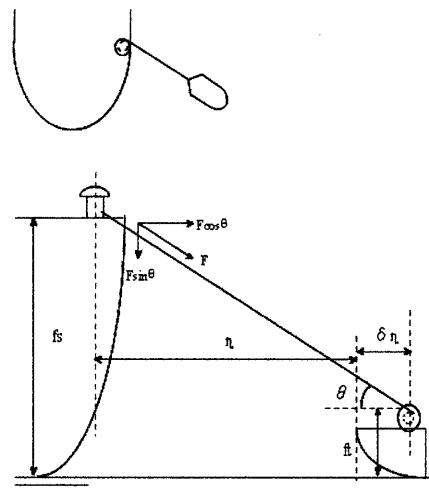


Fig.2-6 タグラインの仰角

Table3 $\cos \theta$ について

$n + \delta n$	10m	$\cos \theta$	0.595
$n + \delta n$	15m	$\cos \theta$	0.743
$n + \delta n$	30m	$\cos \theta$	0.911
$n + \delta n$	60m	$\cos \theta$	0.975
$n + \delta n$	120m	$\cos \theta$	0.993

2.2.2 タグボートの本船に対する姿勢

タグボートの本船に対する姿勢は、出力の方向のオーダに忠実になされる。

しかし、Bow の前後位置で本船船首方向に押すことと、Quarter の前後位置で本船船尾方向に押すことは困難であるために、その姿勢を取ることはなされない。

よって、(Fig.2-7)で示すように、押しのタグボートの取る姿勢は Bow/Quarter で範囲が異なる。

また、船首尾方向に押す場合を除き、タグボートの姿勢は、押す場合はタグボートの船首と本船の外板が触れている点を中心に変化し、引く場合は本船のボラード位置を中心に変化する。

即ち、タグボートの姿勢はタグボートの船首尾と本船の外板の交点を中心に変化することになる。

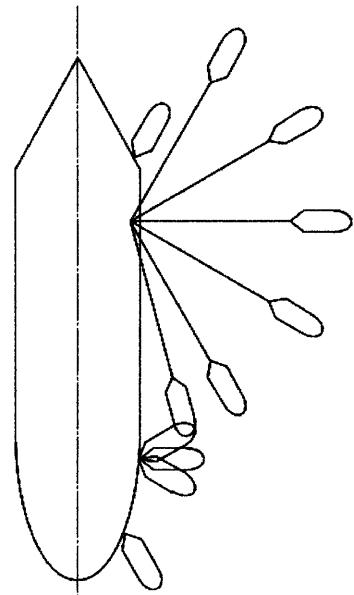


Fig.2-7 タグボートの姿勢

2.2.3 タグボートの本船に対する速度

タグボートの本船に対する速度に関して、それに対応するオーダはない。

これは、港内操船中のタグボートは一般的に、前進する本船と同じ速度で伴走しながら航行するためである。

以下において速度とは、本船の前進速度のことである。

3. 模型実験

前章において、東京湾水先区の本船操船者のタグボート運用法に対応する、タグボートの本船に作用する位置、姿勢、及び、本船速度を述べた。本章ではそれらを実験条件とした抵抗試験について述べる。

実験は、単独実験・及び押しモード実験を行った。

単独実験は、タグボート模型単独での抵抗試験。

押しモード実験は、本船模型の舷側部にタグボート模型を配置して行う抵抗試験である。

3.1 座標系

Fig.3-1 に本実験で用いた座標系を示す。 実験座標系

実験で扱う変数は、

G_{pp} : タグボートの船首尾線と本船

外板線が交わる点

θ : X 軸とタグボートの船首尾線が
なす角、

V : 本船速度

である。

これはそれぞれ、タグボートが本船に作

用する位置、姿勢、本船速度に相当する。

この時タグボートに関わる流体力の測定位

置 $G_t(x,y)$ は

$$G_t(x,y) = G_{pp}(x,y) + \overline{G_t G_{pp}}(\sin\theta, \cos\theta)$$

で表わされる。

なお、簡略な表記のため、 G_{pp} が本船船首側から 250mm にある場合を Fore Position (FP)、船尾側から 250mm ある

場合を Aft position (AP) と表記する。

単独実験には Fig.3-1 に示される本船模

型がないが、押しモード実験との対応関係を明確にするため、 G_{pp} 以外の変数に関しては押しモード実験の変数に対応したものを定義する。 G_{pp} に関しては定義しない。

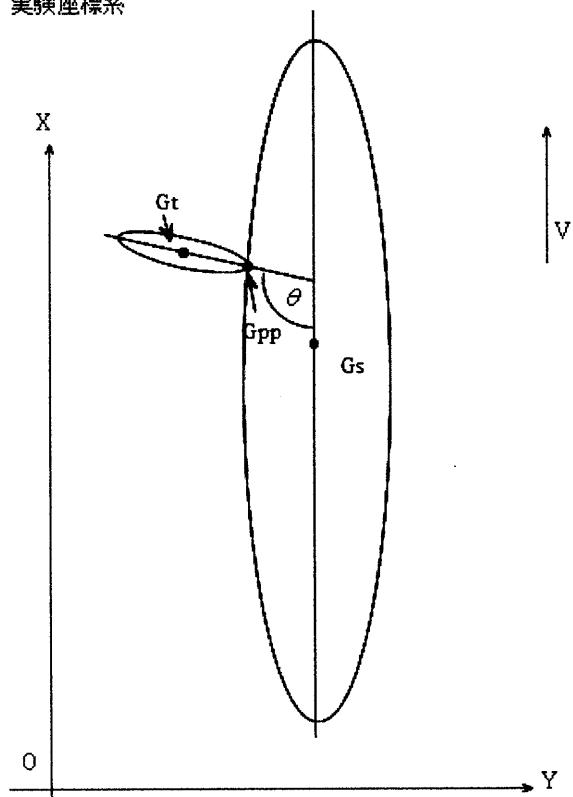
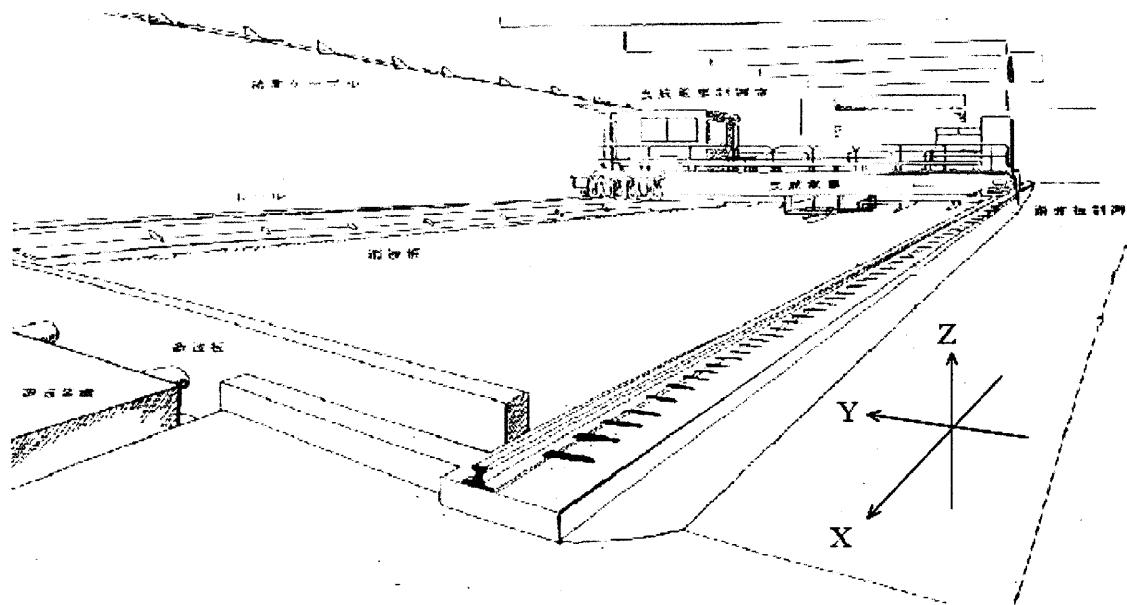


Fig.3-1 実験座標系

3.2 実験装置

3.2.1 実験水槽

実験に使用した水槽は、東京海洋大学越中島キャンパス船舶運航性能実験水槽で、その概要は Fig.3-2 のとおりである。



長さ：54m 幅：10m 水深：2m

Fig.3-2 船舶運航性能実験水槽の概要

本水槽には曳航電車が一台、東端に造波装置、西端に消波ビーチがあり、両側面には消波板が設置してある。曳航電車はボックスガーダ構造で中央部に計測機を搭載する計測レールが設置されており、サイリスタ・レオナードを電源とする直流モータで駆動され、その速度はデジタル方式により制御され、最高速度は 1.20m/s であり、閾速度は 0.01m/s である。

3.2.2 模型船

計測に使用した模型船は、タグボート模型（縮尺比 1/96）である。（Table 3-1）に、その要目を示す。

Table 3-1 タグボート模型諸元

Loa	33.8cm
Draft	2.95cm
Displacement	0.37kg
Breath	8.2cm

尚、タグボート押しモード実験に当たり、本船の模型として ESSO OSAKA 3m 模型を用いた。

3.2.3 計測装置

タグボート単独実験(Single Mode)

Fig.3-3 のように三分力計を取り付けたタグボート模型を計測レール台に台形骨組みを用いて固定した。また、三分力計とタグボートの接続はポールによって行い、タグ側ポールホルダにナット穴を設けて、ポールをナットで固定することにより、 θ （タグボート模型の姿勢）を必要に応じて変更し、固定できるようになっている。

タグボート押しモード実験(Push Mode)

Fig.3-4 に、計測装置の配置を示す。上下動装置に本船模型を固定して設置したものを、計測レール上に設置する。更に、三分力計を取り付けたタグボート模型を本船模型の左舷側に配置して、計測レール台に台形骨組みを用いて固定した。また、三分力計とタグボートの接続はポールによって行い、タグ側ポールホルダにナット穴を設けて、ポールをナットで固定することにより、 θ （タグボート模型の姿勢）を必要に応じて変更し、固定できるようになっている。本実験は、本船模型・タグボート模型共に運動を拘束する拘束模型試験である。

3.3 実験条件

本実験は、模型船の運動を固定した上で、タグボート模型に取り付けられた三分力計による抵抗をデジタルデータレコーダ DRF-1 とリニアレコーダに記録した。

実験の種類は、次の 4 種類である。

① タグボート押しモード実験

本船に作用する位置 Gpp:Fore Position

本船速度 $v=0.05\text{m/s} \sim 0.5\text{m/s}$

タグボートの姿勢 $\theta = 0\text{deg} \sim 135\text{deg}$ 每 15deg

② タグボート単独実験

本船に作用する位置 Gpp:Fore Position

本船速度 $v=0.05\text{m/s} \sim 0.5\text{m/s}$

タグボートの姿勢 $\theta = 0\text{deg} \sim 135\text{deg}$ 毎 15deg

③ タグボート押しモード実験

本船に作用する位置 Gpp:Aft Position

本船速度 $v=0.05\text{m/s} \sim 0.5\text{m/s}$

タグボートの姿勢 $\theta = 45\text{deg} \sim 165\text{deg}$ 毎 15deg

④ タグボート単独実験

本船に作用する位置 Gpp:Aft Position

本船速度 $v=0.05\text{m/s} \sim 0.5\text{m/s}$

タグボートの姿勢 $\theta = 45\text{deg} \sim 165\text{deg}$ 每 15deg

尚、全ての実験は平水中で行っている。

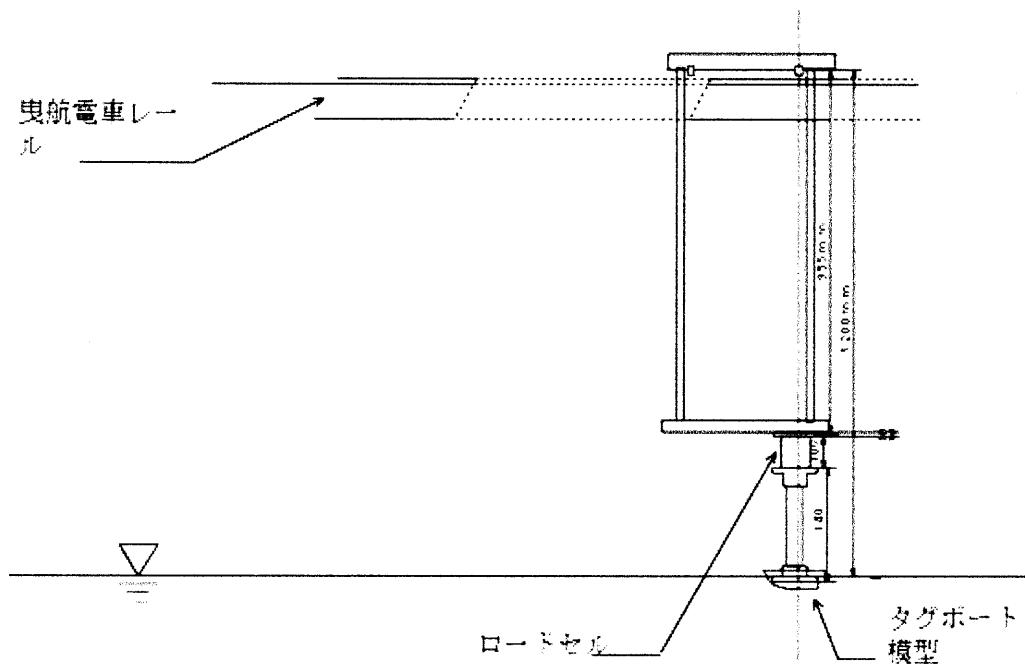


Fig.3-3 単独実験実験図

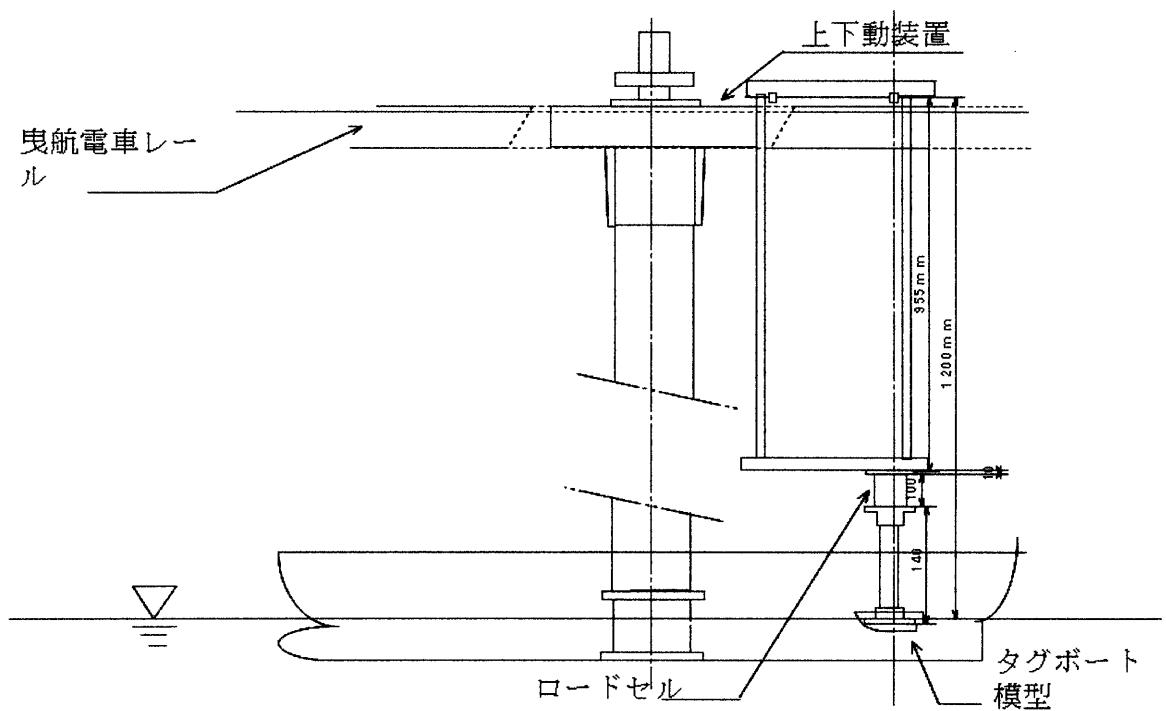


Fig.3-4 押しモード実験図

- ・三分力計

X,Y 軸方向の力 (kgf) と Z 軸周りのモーメント (kgf*m) を計測する装置で、ロードセル、ガイドフレーム、伝達軸などから構成されている。

タグボート模型に、下部ポールホルダと、それを支える台座を設置し、ポールを取り付けた三分力計に上部ポールホルダを設置し、ポールで接続する。三分力計にかかった力は模型船の抵抗であり、電圧をして出力される。

3.4 結果

タグボート模型により計測した抵抗値 F_x F_y を無次元化して、縦力係数 C_x 、横力係数 C_y を求め、それらをもとに合力係数 C_r 、合力と船首尾線のなす角 ξ 、実効推力を G_{pp} の位置・本船速度 v ・タグボートと船体のなす角 θ について解析を行う。

(Fig.3-5)にそれぞれのベクトル図を示す。

合力 F_r 及び合力と船首尾線のなす角 ξ については、夫々、

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\xi = \tan^{-1} \left(\frac{-F_y}{F_x} \right)$$

と表せる。

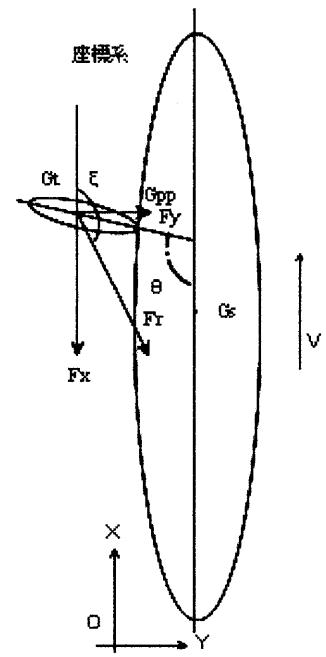


Fig.3-5 解析座標系

尚、解析中での縦力 F_x ・横力 F_y ・合力 F_r については次のように無次元化をした係数で表す。

$$C_x = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho L d v^2}$$

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{1}{2} \rho L d v^2}$$

$$C_r = \frac{F_r}{\frac{1}{2} \rho L d v^2}$$

但し $L:Loa(m)$

$d:draft(m)$

$v:$ 本船速度(m/s)

この時、 F_r は、タグボートが本船との位置、姿勢を維持して並走するために必要な力となる。

本章の実験結果のグラフに関しては、横軸を v, θ とするグラフを単独実験、押しモード実験についてグラフを描き、この順に考察する。

Fig.の表記については (Push、縦力係数 C_x 、 v 、 F_r) のように (実験種類、縦軸、横軸、前後位置) の順で表記する

3.4.1 単独実験について

(Fig.3-6-1),(Fig.3-6-2)は、単独実験の結果のうち、縦軸に縦力係数 C_x を、横軸にそれぞれ本船速度, v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

このグラフから以下のことことが言える。

縦力係数 C_x は θ によって増減し、 $\theta = 0\text{deg}$ で最小値をとり、 $\theta = 90\text{deg}$ において最大値をとった。

縦力係数 C_x は本船速度 v に関しては、一定の値をとり、縦力係数 F_x は本船前進速度 v の2乗に比例することが分かる。

(Fig.3-6-3),(Fig.3-6-4)は、単独実験の結果のうち、縦軸に縦力係数 C_x を、横軸にそれぞれ本船速度 v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

このグラフから以下のことことが言える。

横力係数 C_y は θ によって変化し、 $\theta = 135\text{deg}$ で極大値(を取り、 $\theta = 60\text{deg}$ 近傍で極小値を取る。

横力係数 C_y は本船速度 v に対しては、一定の値をとつて横力 F_y は、本船前進速度の2乗に比例することがわかった。

(Fig.3-6-5),(Fig.3-6-6)は、単独実験の結果のうち、縦軸に合力係数 C_r を、横軸にそれぞれ本船速度 v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

合力係数 C_r は

$$C_r = \sqrt{C_x^2 + C_y^2}$$

として解析したものである。

Table3-2 は、各 θ における縦力係数 C_x 横力係数 C_y 及び合力係数 C_r の平均値である。合力係数 C_r は、 $\theta = 90\text{deg}$ を挟むように $\theta = 75\text{deg}$ 及び 105deg で極大値をとった。

(Table 3-2) タグボート単独実験における C_x 、 C_y 、 C_r の平均値

θ	平均縦力係数 C_x	平均横力係数 C_y	平均合力係数 C_r
0.000	0.754	0.310	0.815
15.000	0.853	-0.531	1.004
30.000	1.890	-2.284	2.965
45.000	5.349	-5.044	7.352
60.000	7.770	-6.375	10.051
75.000	10.248	-4.645	11.252
90.000	10.255	1.113	10.315
105.000	10.562	3.595	11.157
120.000	9.198	6.095	11.034
135.000	6.561	7.358	9.858
150.000	3.422	4.502	5.655
165.000	1.295	1.688	2.128

(Fig.3-6-7),(Fig.3-6-8) 単独実験の結果のうち、縦軸合力と本船船首尾線のなす角 ξ を、横軸にそれぞれ本船速度 $v(\text{kt})$ 、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 $\theta (\text{deg})$ をとったグラフである。

ξ は $\theta = 15\text{deg}$ 、 30deg で最大値をとり、その後一定に減少する傾向がみられた。

合力 F_r は、タグボートと本船の船首尾線がたがいに平行になるにつれて流体力が x 軸方向に平行になっていく傾向があることがわかった。

Single Mode 縦力係数 C_x

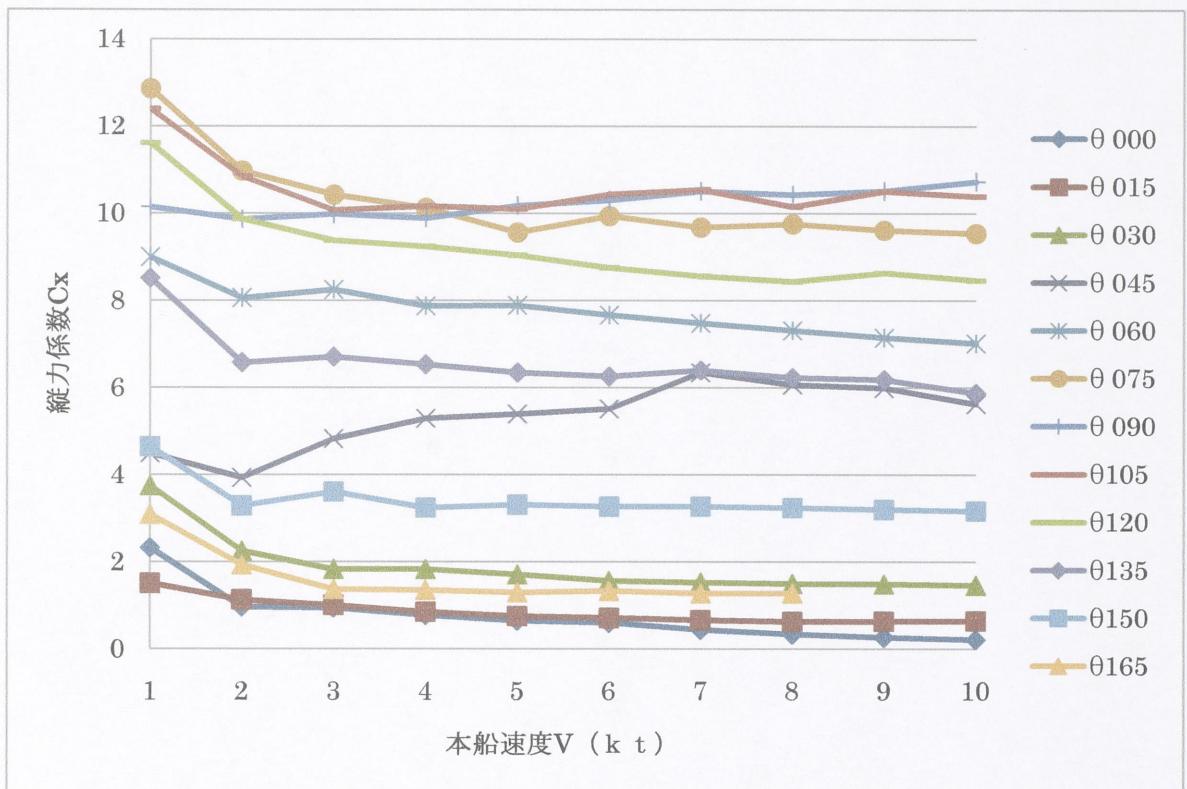


Fig. Fig.3-6-1: 単独実験における v に対する縦力係数 C_x

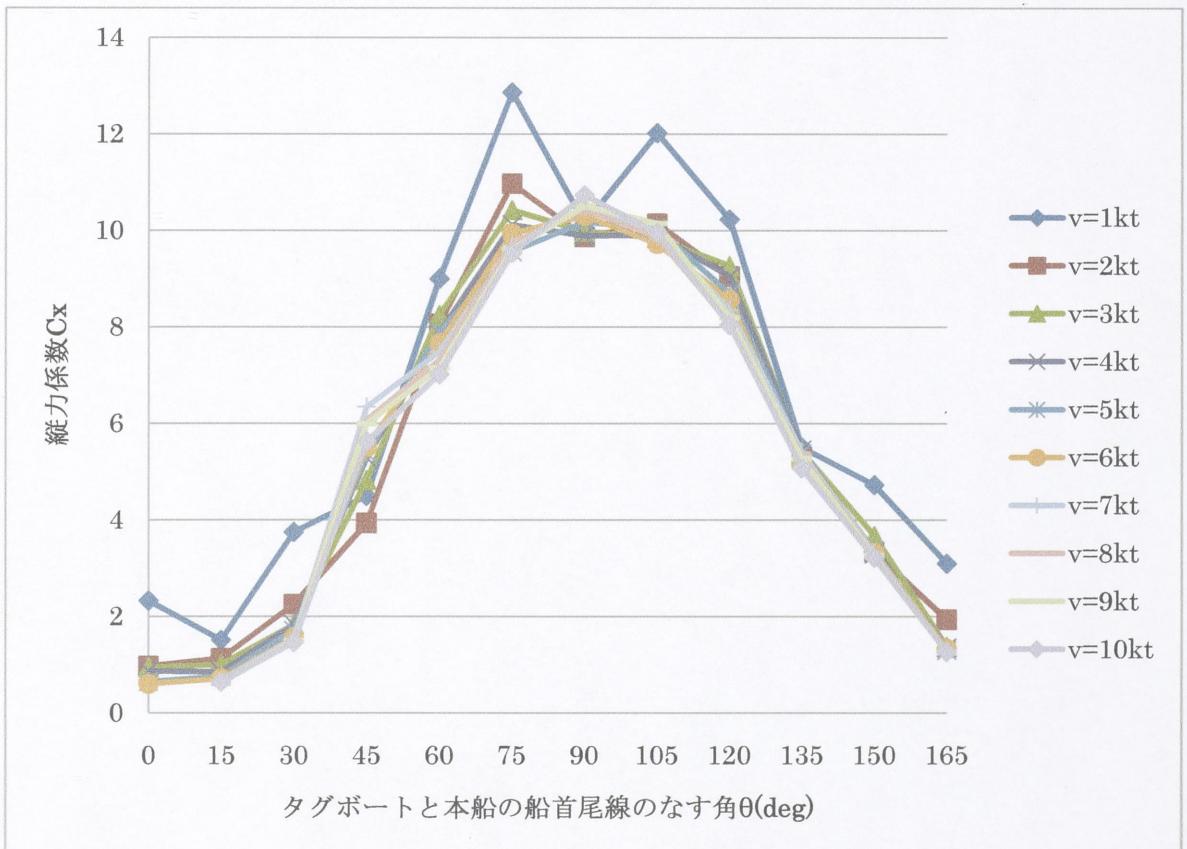


Fig. Fig.3-6-2 : 単独実験における θ に対する縦力係数 C_x

Single Mode 横力係数 Cy

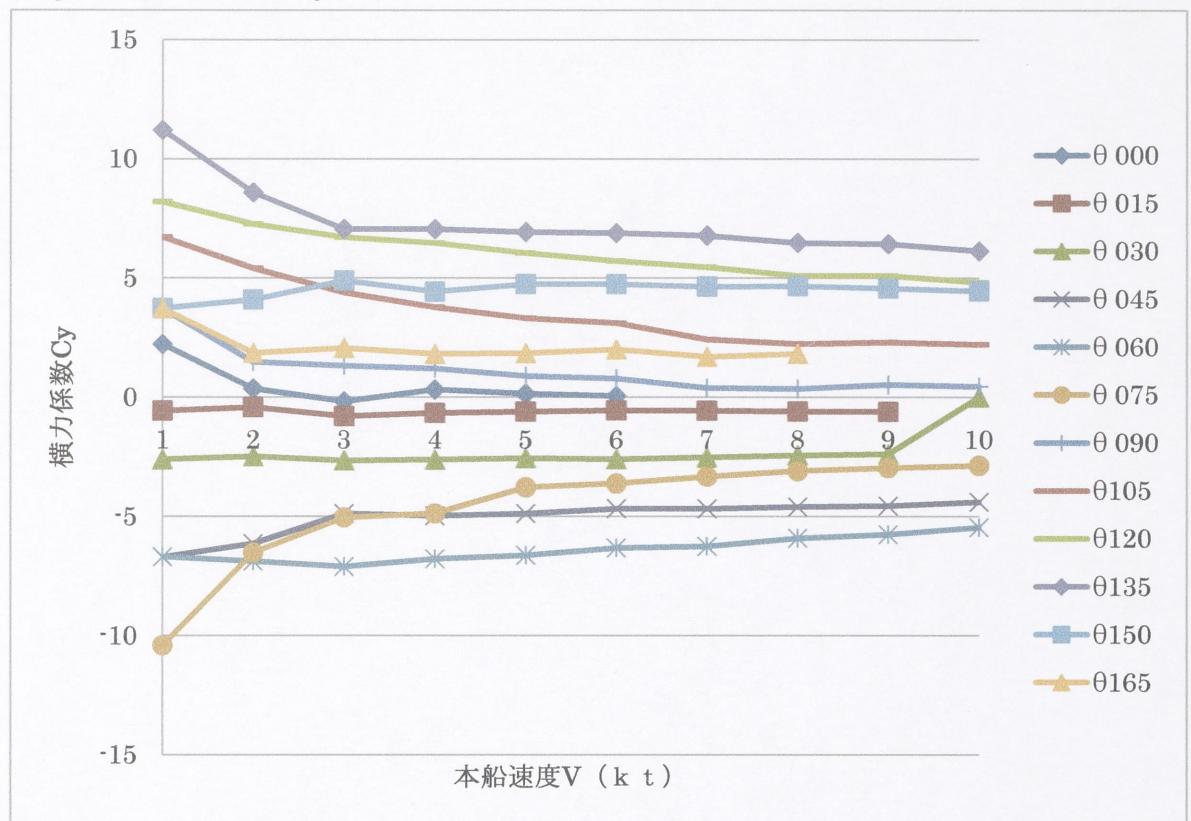


Fig. Fig.3-6-3: 単独実験における v に対する横力係数 C_y

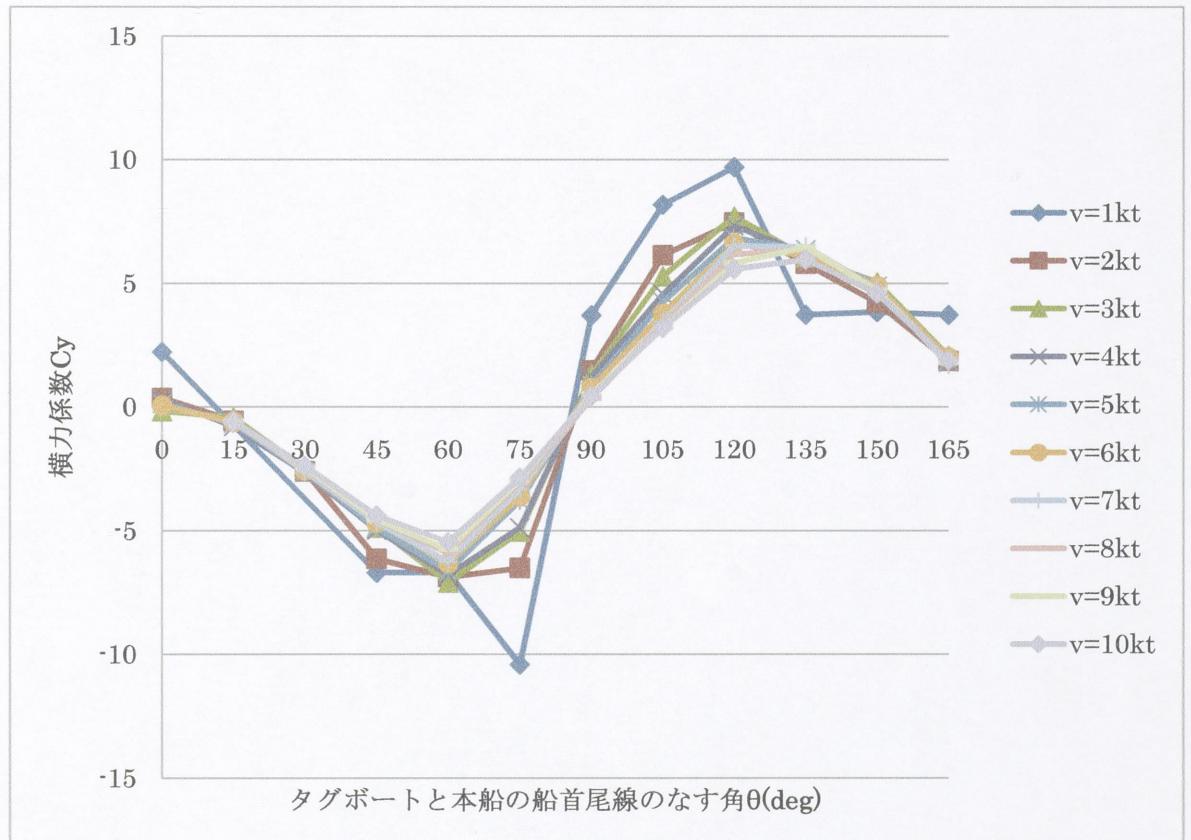


Fig. Fig.3-6-4: 単独実験における θ に対する横力係数 C_y

Single Mode 合力係数

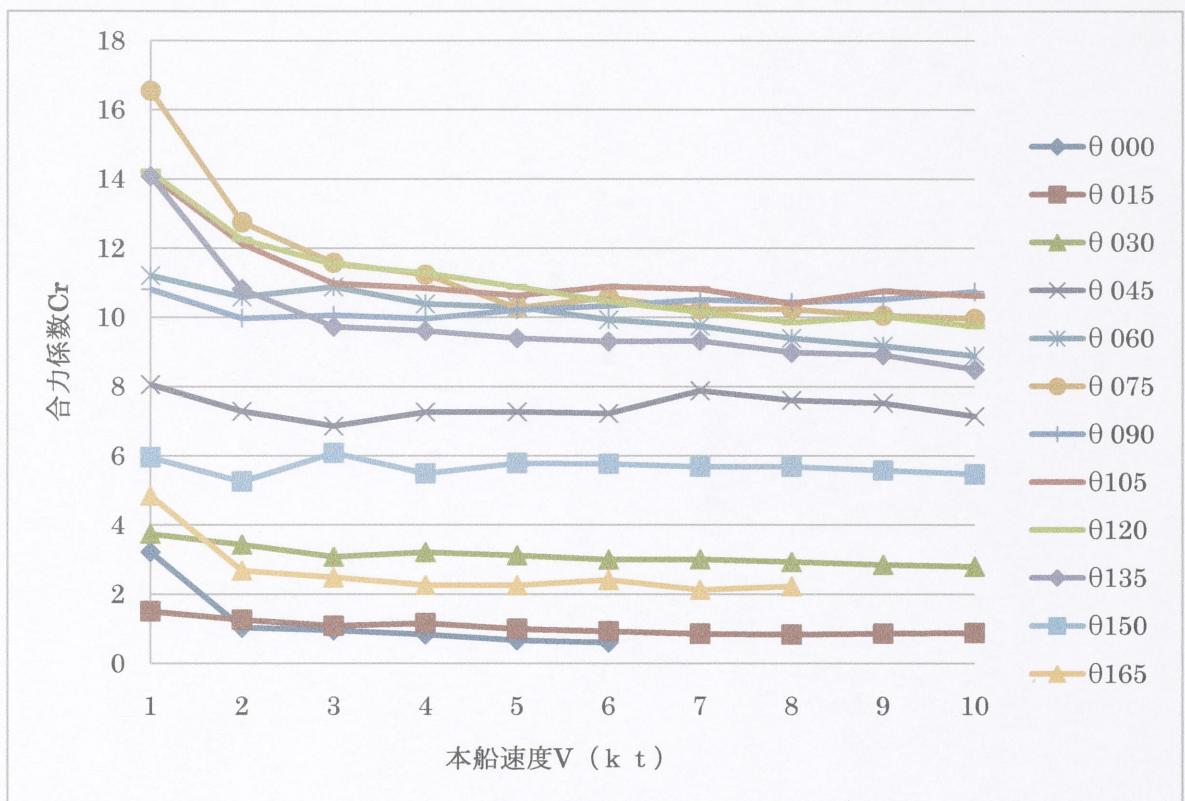


Fig. 3-6-5: 単独実験における v に対する合力係数 Cr

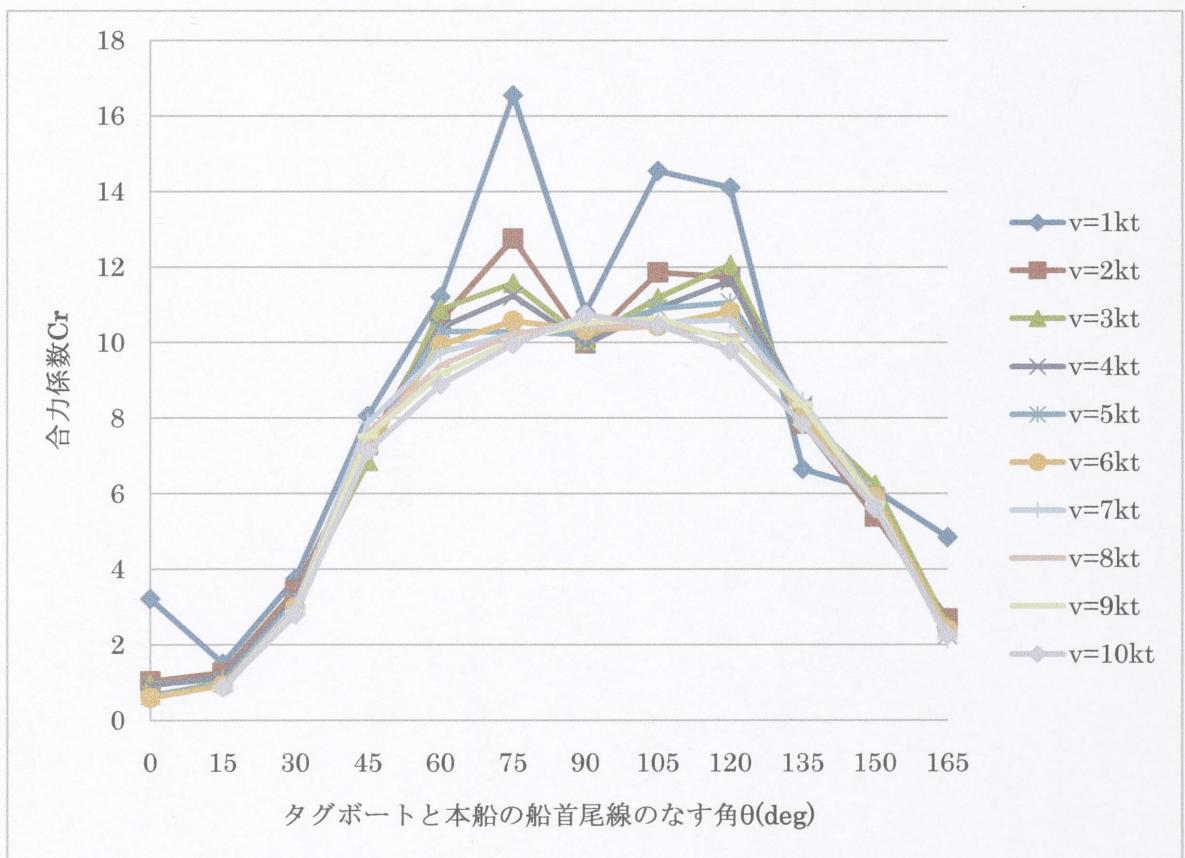


Fig. 3-6-6: 単独実験における θ に対する合力係数 Cr

Single Mode:合力のなす角 ξ

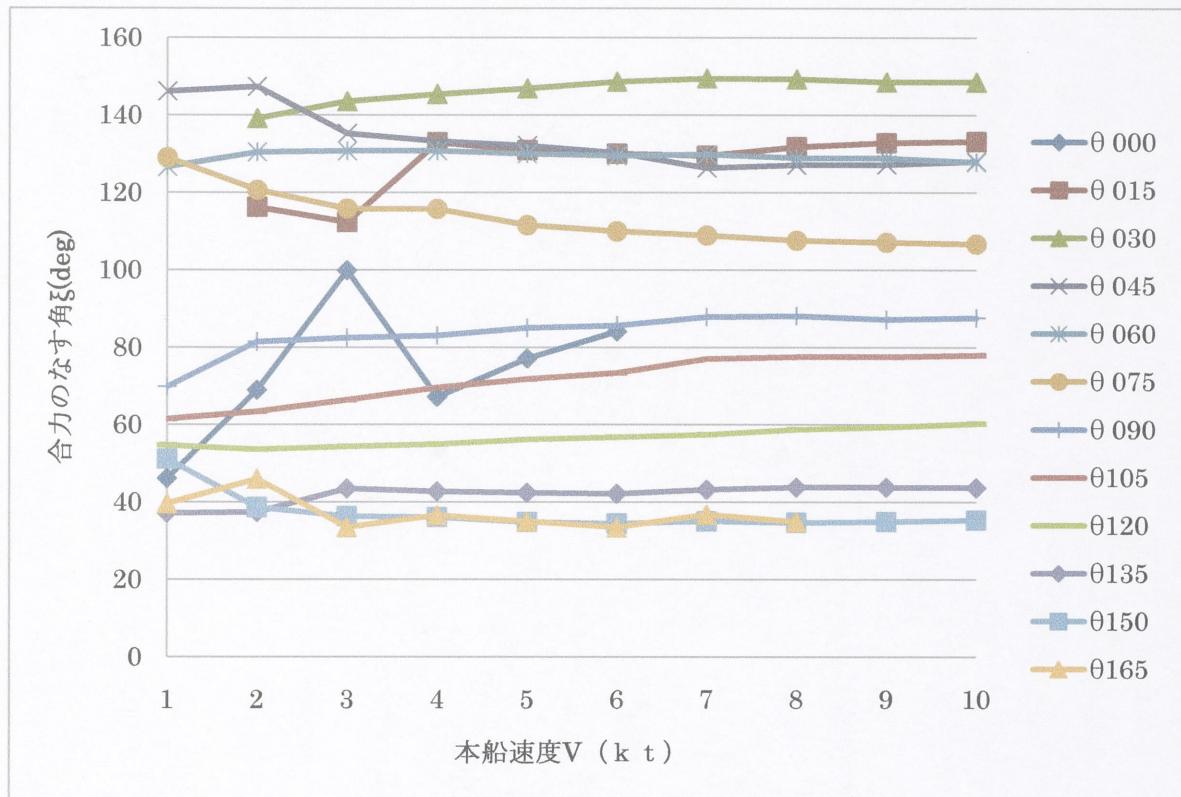


Fig.3-6-7: 単独実験における合力のなす角 ξ

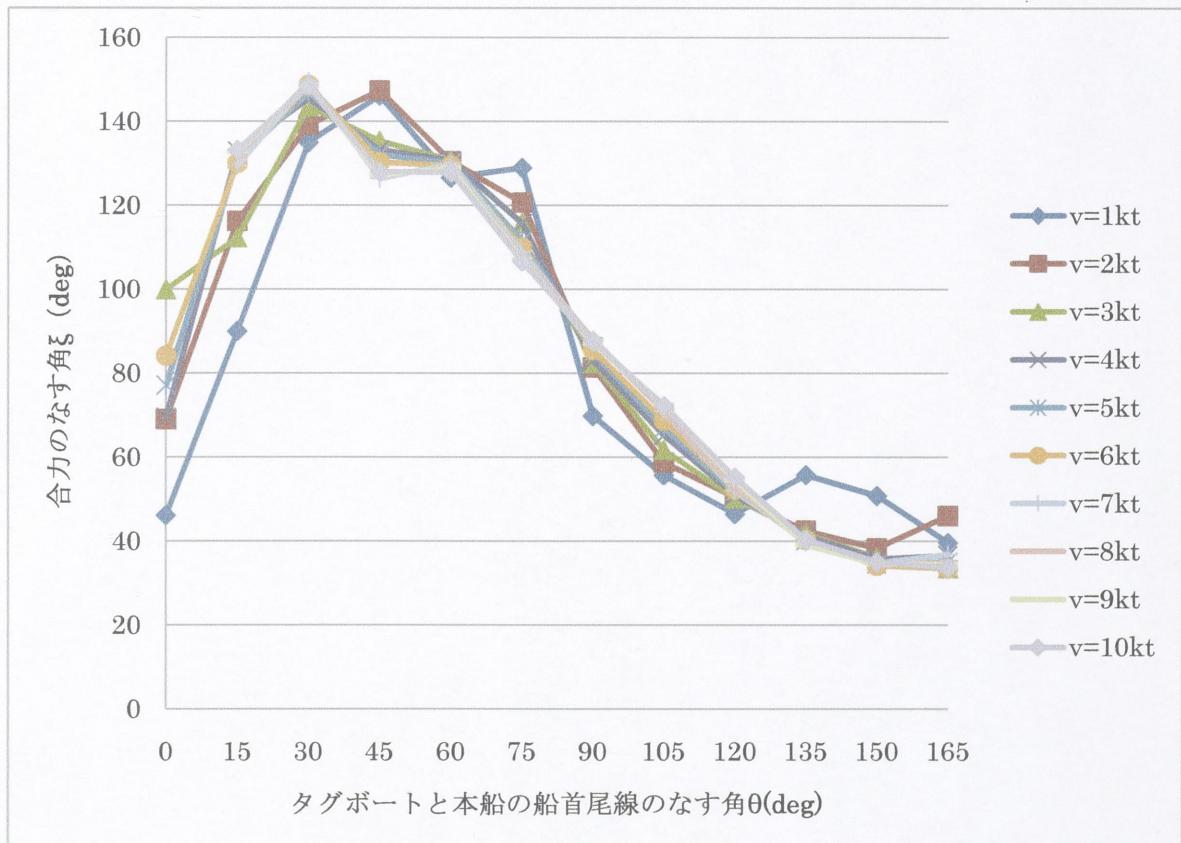


Fig.3-6-8 単独実験における合力のなす角 ξ

3.4.2 押しモード実験について

(Fig.3-7-1),(Fig.3-7-2)は、押しモード実験の結果のうち、FP(fore position)での縦力係数 C_x を縦軸に、横軸は、それぞれ本船速度, v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

このグラフから以下のことが言える。

縦力係数 C_x は θ の変化によって変化し、 $\theta = 90\text{deg}$ 、で最大値をとり、 $\theta = 165\text{deg}$ の時最小値をとった。

縦力係数 C_x は本船速度 v に対して一定をとり、 F_x は本線速度の 2 乗に比例していることが分かった。

(Fig.3-7-3),(Fig.3-7-4)は、押しモード実験の結果のうち、AP(aft position)での縦力係数 C_x を縦軸に、横軸をそれぞれ本船速度, v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

このグラフから以下のことが言える。

縦力係数 C_x は θ の変化によって変化し、 $\theta = 90\text{deg}$ 、で最大値をとり、 $\theta = 15\text{deg}$ の時、最小値をとった。

縦力係数 C_x は本船速度 v に対して一定をとり、 F_x は本線速度の 2 乗に比例していることが分かった。

(Fig.3-7-5),(Fig.3-7-6)は、押しモード実験の結果のうち、FP(fore position)での縦力係数 C_y を縦軸に、横軸は、それぞれ本船速度, v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

このグラフから以下のことが言える。

縦力係数 C_y は θ の変化によって明確に増減し、 $\theta = 90\text{deg}$ 、で極小値をとり、 $\theta = 135\text{deg}$ の時、極大値をとった。

縦力係数 C_y は本船速度 v に対して一定をとり、 F_x は本線速度の 2 乗に比例していることが分かった。

(Fig.3-7-7),(Fig.3-7-8)は、押しモード実験の結果のうち、AP(Aft position)での縦力係数 C_y を縦軸に、横軸は、それぞれ本船速度, v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

このグラフから以下のことが言える。

縦力係数 C_y は θ の変化によって明確に増減し、 $\theta = 60\text{deg}$ 、で極小値をとり、 $\theta = 120\text{deg}$ の時、極大値をとった。

縦力係数 C_y は本船速度 v に対して一定をとり、 F_x は本線速度の 2 乗に比例していることが分かった。

(Fig.3-7-9),(Fig.3-7-10)は、押しモード実験の結果のうち、FP(fore position)での合力係数 C_r を縦軸に、横軸は、それぞれ本船速度, v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

このグラフから次のことが言える

合力係数 C_r は θ の変化によって変化し、 $\theta = 120\text{deg}$ で極大値をとり、 $\theta = 15\text{deg}$ の時極小値をとった。

縦力係数 C_r は本船速度 v に対して一定をとり、 F_r は本線速度の 2 乗に比例していることが分かった。

(Fig.3-7-11),(Fig.3-7-12)は、押しモード実験の結果のうち、AP(fore position)での合力係数 C_r を縦軸に、横軸は、それぞれ本船速度, v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

このグラフから次のことが言える

合力係数 C_r は θ の変化によって変化し、 $\theta = 120\text{deg}$ で極大値をとり、 $\theta = 165\text{deg}$ の時極小値をとった。

縦力係数 C_r は本船速度 v に対して一定をとり、 F_r は本線速度の 2 乗に比例していることが分かった。

(Fig.3-7-13),(Fig.3-7-14)は押しモード実験の結果のうち、FP(fore position)での合力と本船船首尾線のなす角 ξ を縦軸に、横軸にそれぞれ本船速度 v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフであり、(Fig.3-7-15),(Fig.3-7-16)は押しモード実験の結果のうち、AP(fore position)での合力と本船船首尾線のなす角 ξ を縦軸に、横軸にそれぞれ本船速度 v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

ξ は θ の変化に対応して変化し、FP では $\theta = 45\text{deg}$ で最大値をとり、その後一定に減少して $\theta = 165\text{deg}$ で最小値をとった。AP では $\theta = 15\text{deg}, 30\text{deg}$ で最大値をとり、その後一定に減少する傾向がみられた。

合力 F_r は、タグボートと本船の船首尾線がたがいに平行になるにつれて流体力が x 軸方向に平行になっていく傾向があることがわかった。

また実験全体に関しては

$V=1\text{kt}$ の極低速域ではタグボート模型の抵抗値が小さいために、実験の誤差が非常に大きく出てしまうために、縦力係数 C_x 横力係数 C_y 及び合力係数 C_r のいずれのグラフにおいても、他の速度に比べて異なる傾向を持った。

Push Mode 縦力係数 Cx

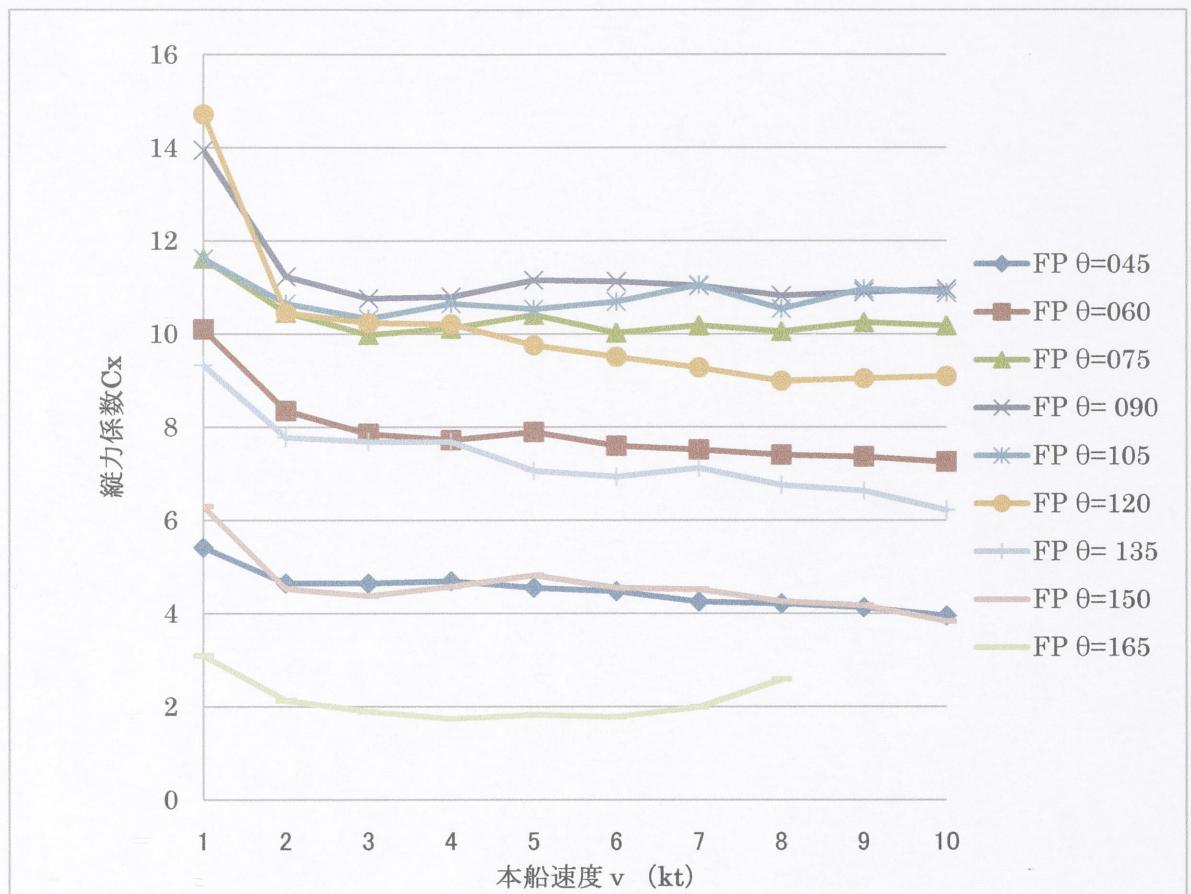


Fig.3-7-1:FP 押しモード実験における本船速度 v に対する縦力係数 C_x

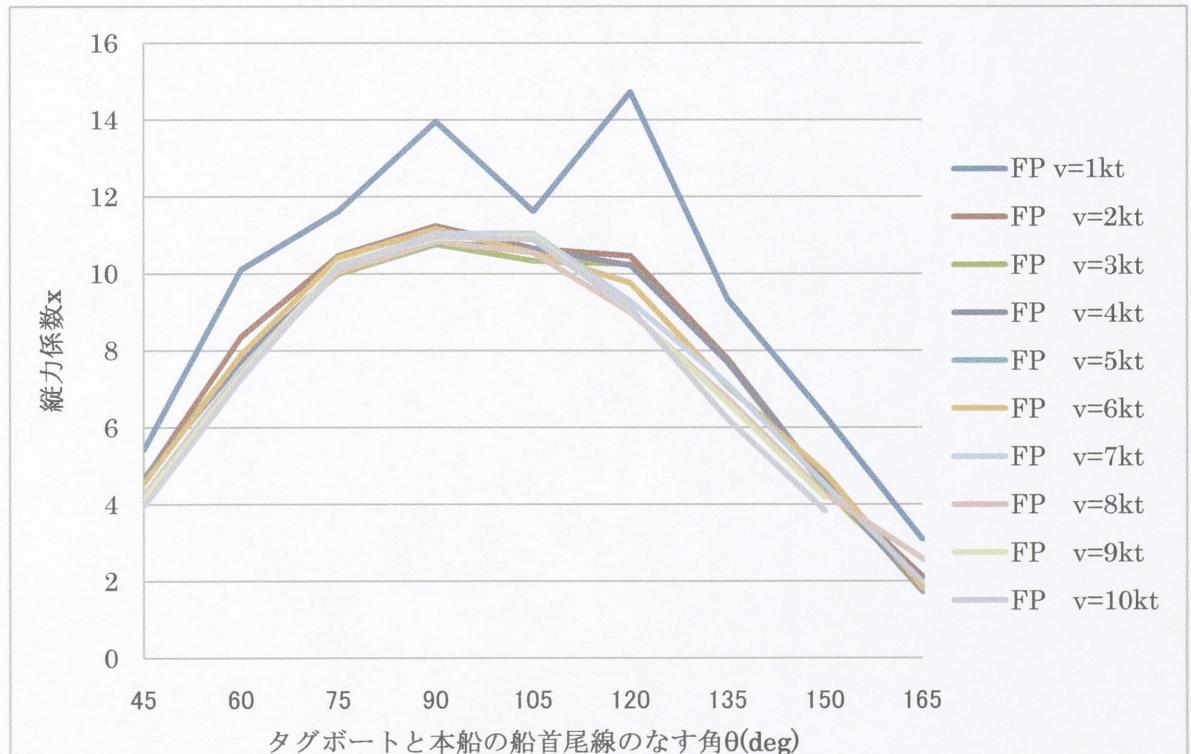


Fig.3-7-2 FP 押しモード実験における θ (deg)に対する縦力係数 C_x

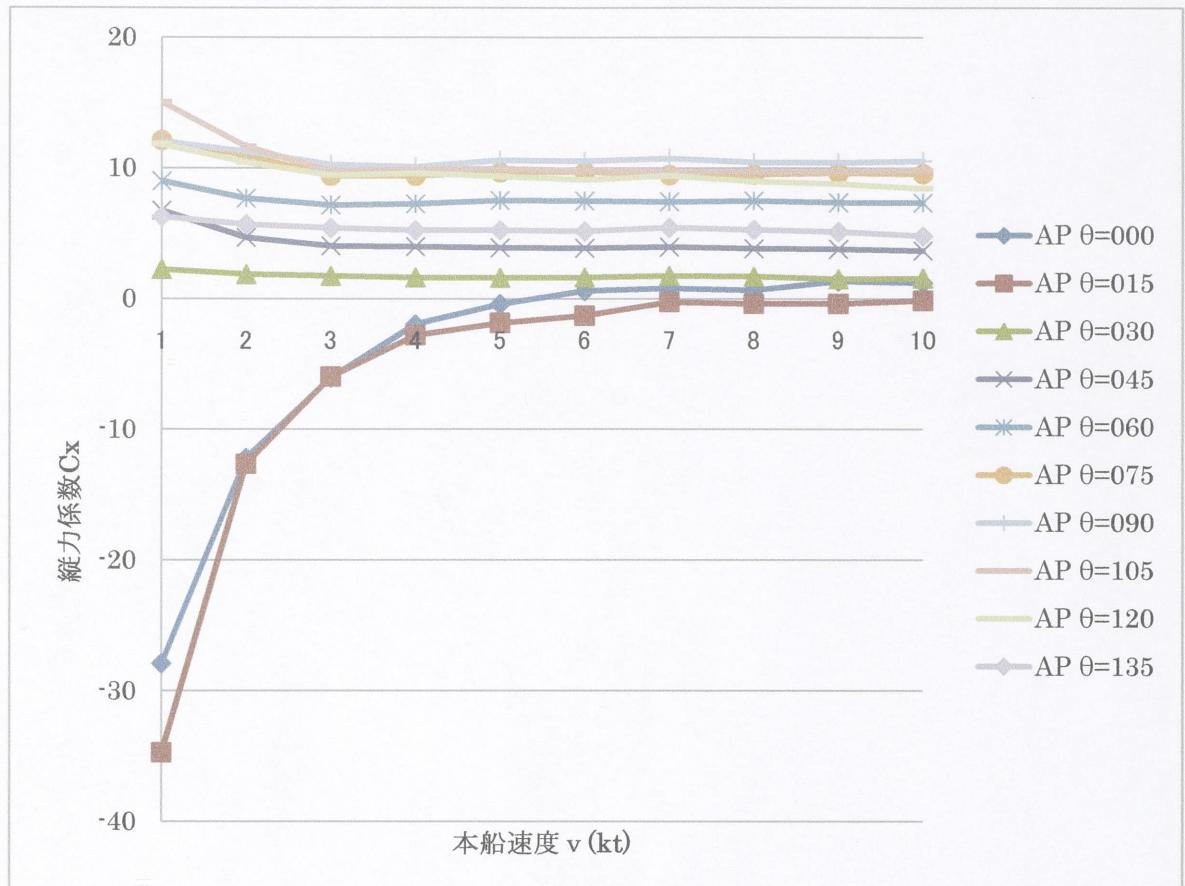


Fig.3-7-3 AP 押しモード実験における本船速度 v (kt)に対する縦力係数 C_x

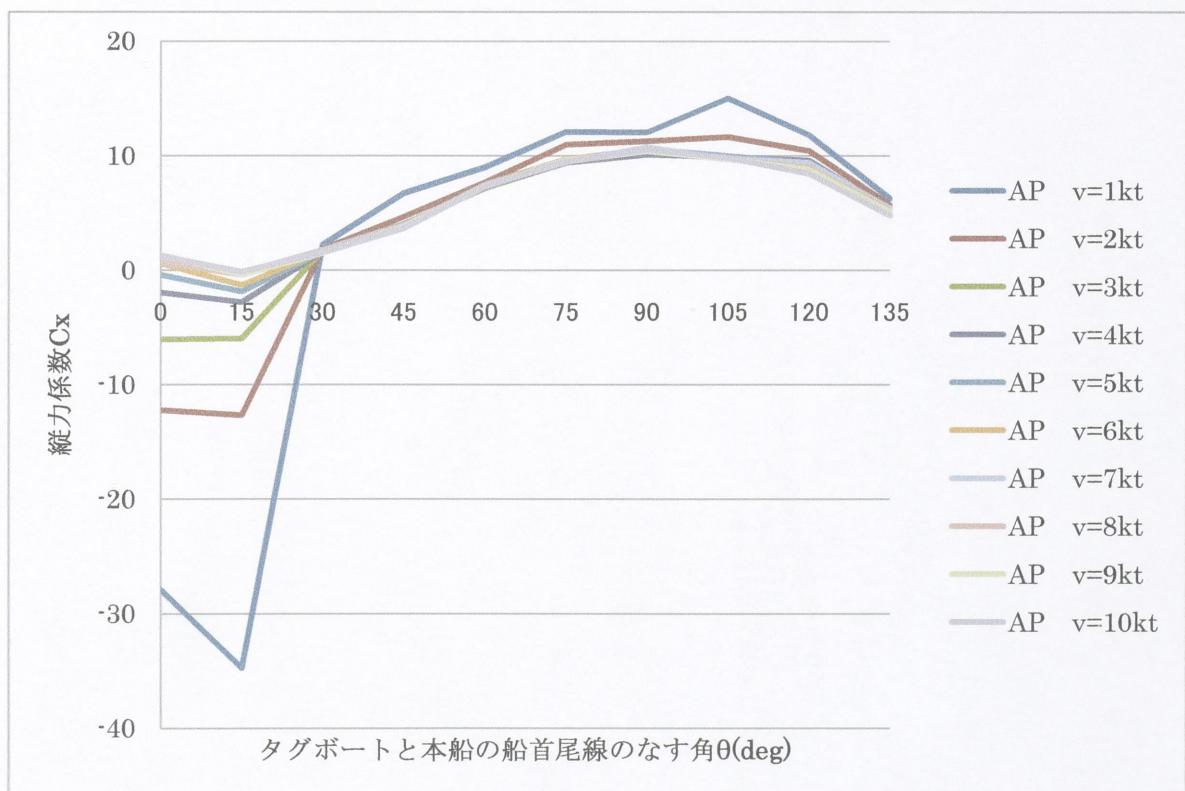


Fig.3-7-4 AP 押しモード実験における θ (deg)に対する縦力係数 C_x

Push Mode 横力係数 Cy

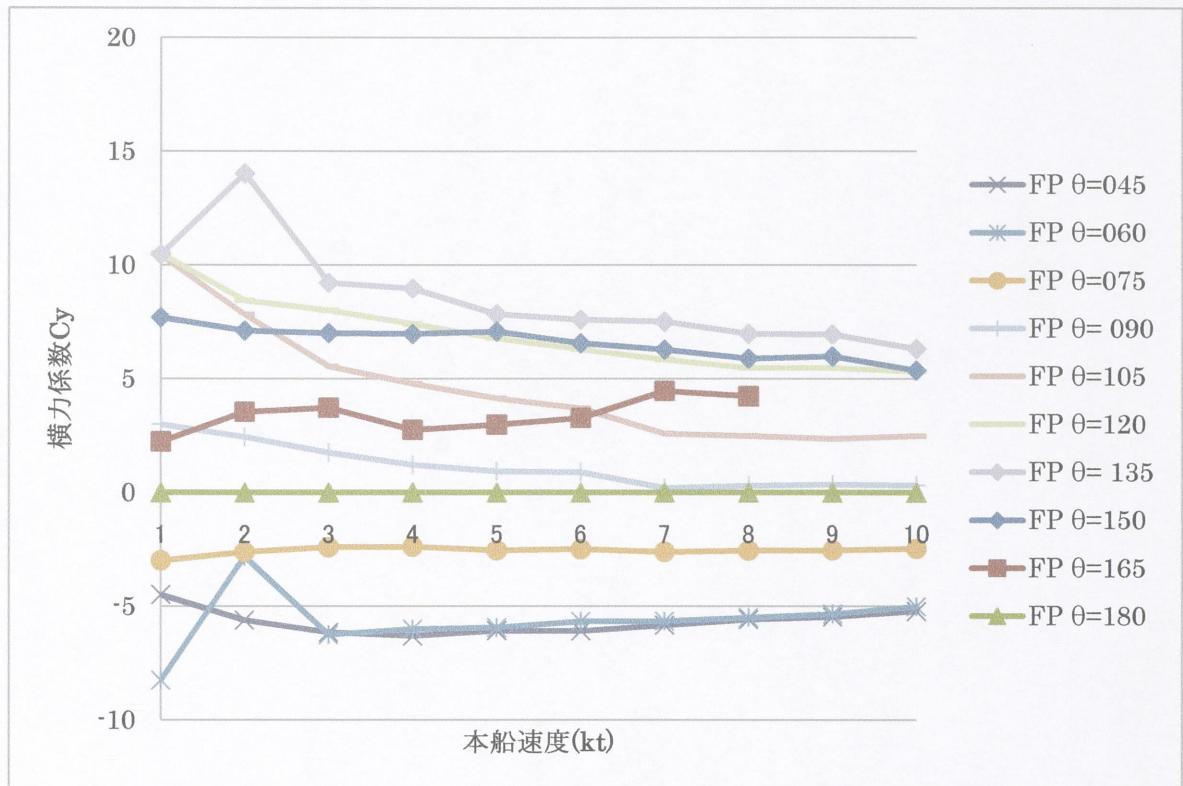


Fig.3-7-5 : FP 押しモード実験における本船速度 (kt) に対する横力係数 Cy

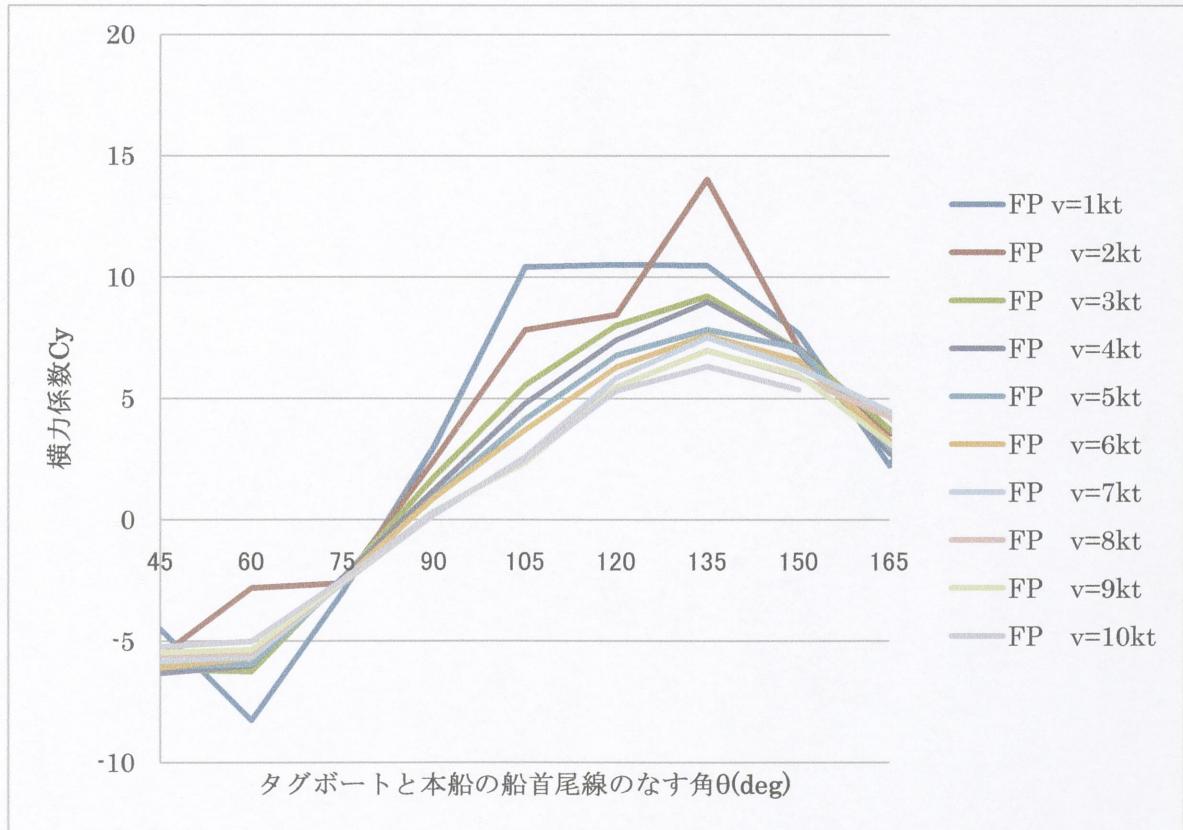


Fig.3-7-6 FP 押しモード実験における $\theta(\text{deg})$ に対する横力係数 Cy

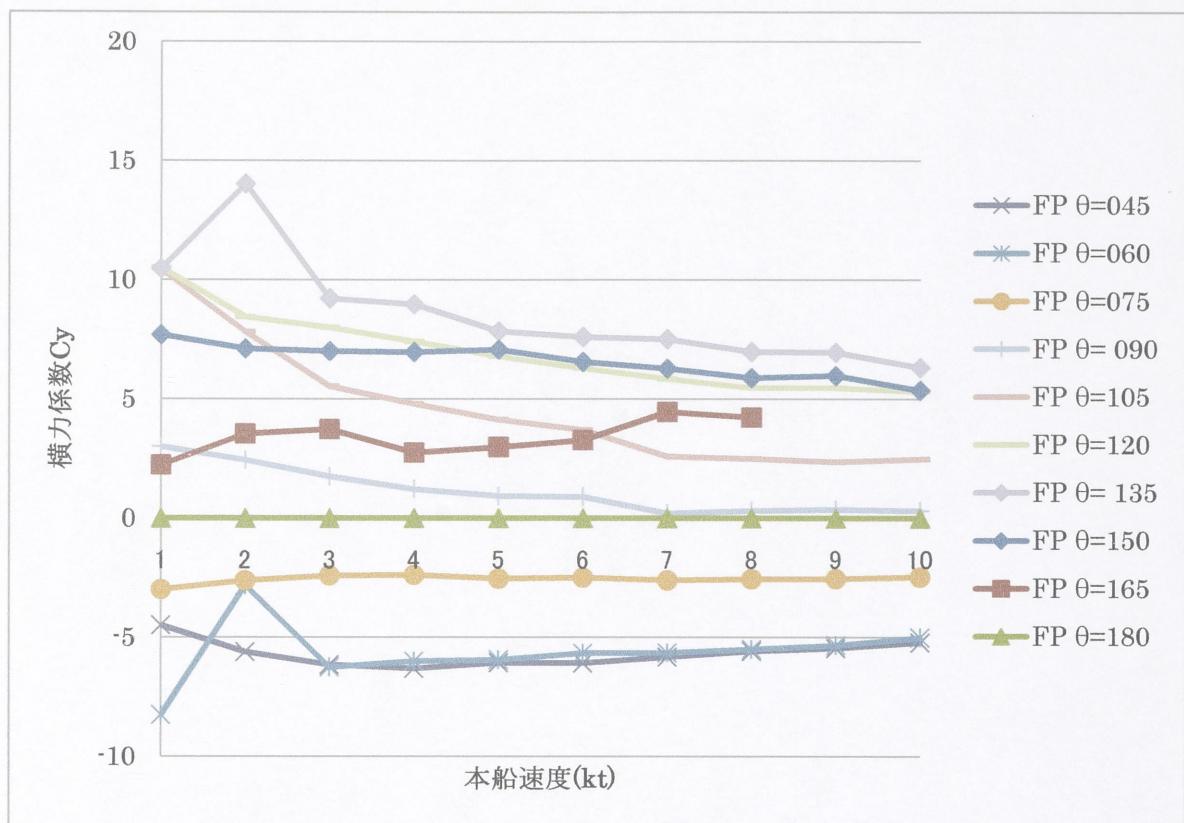


Fig.3-7-7 AP 押しモード実験における本船速度 v (kt)に対する横力係数 C_y

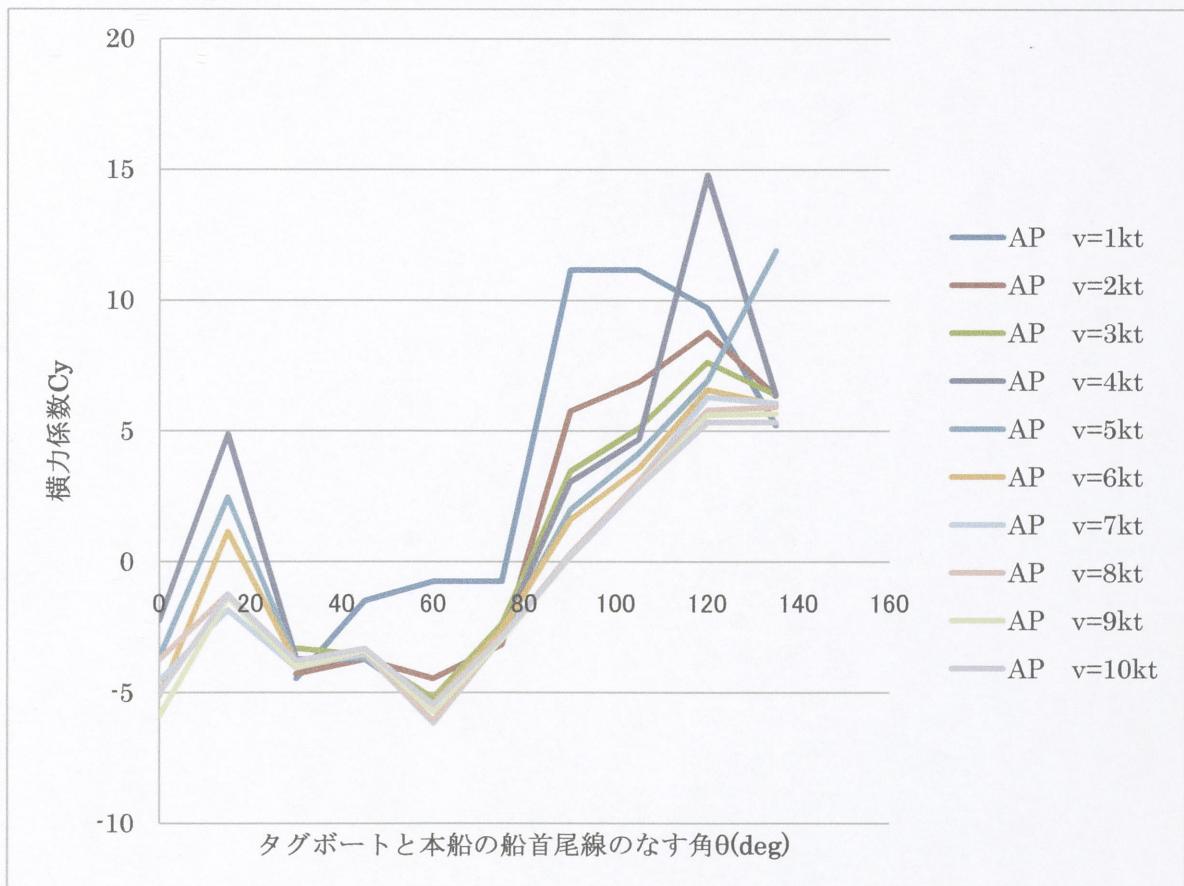


Fig.3-7-8 AP 押しモード実験における θ (deg)に対する横力係数 C_y

Push Mode 合力係数 Cr

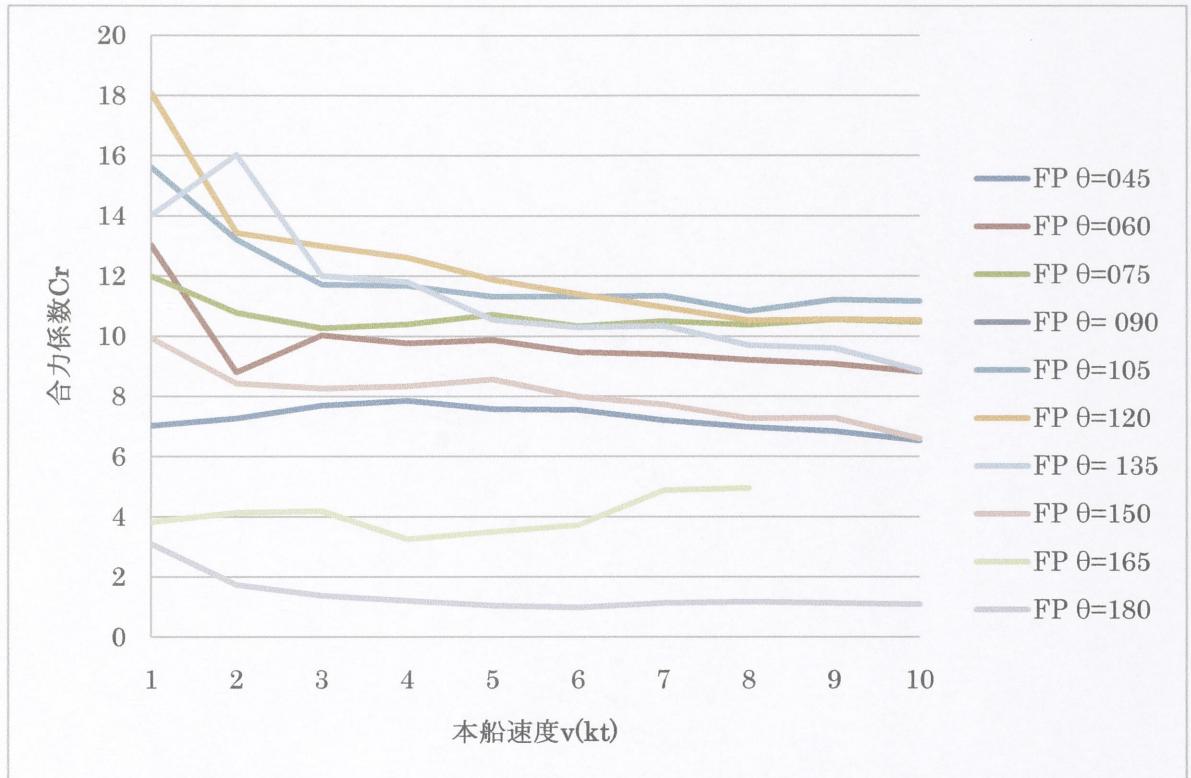


Fig.3-7-9 FP 押しモード実験における本船速度 v (kt)に対する合力係数 Cr

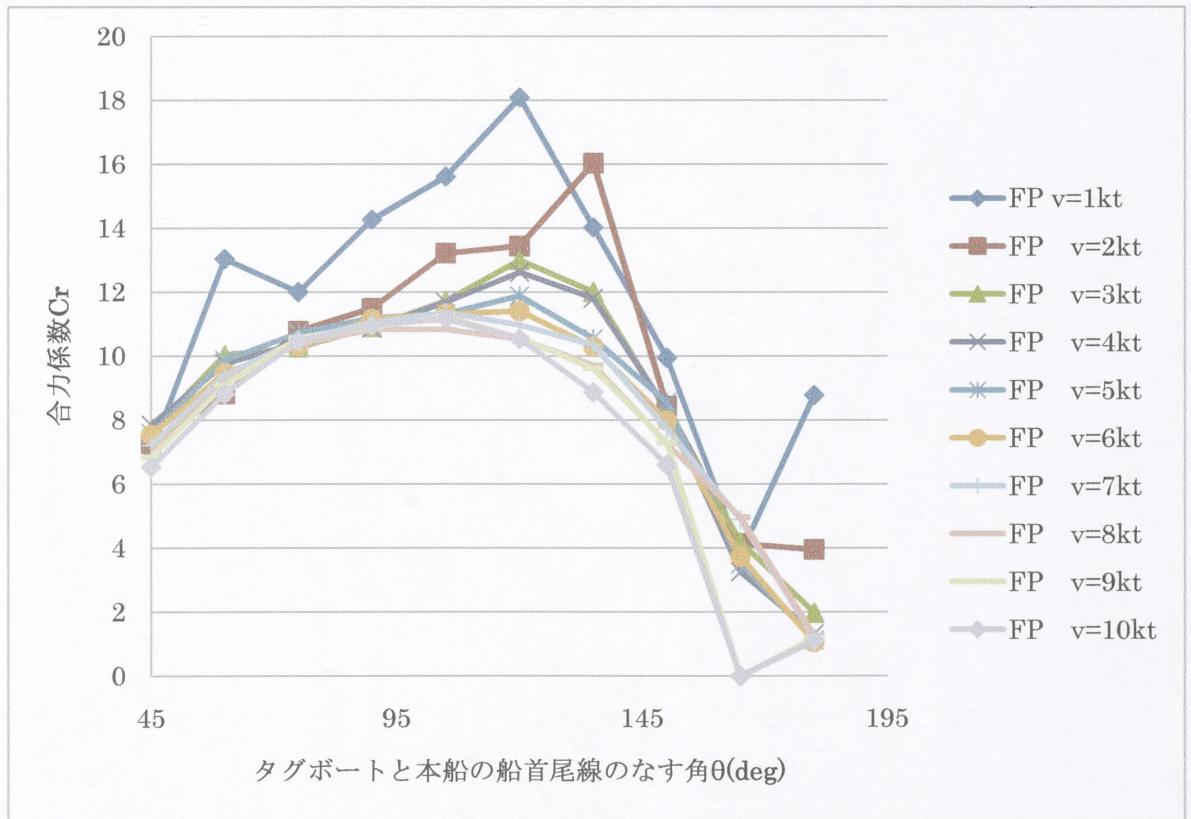


Fig.3-7-10 FP 押しモード実験における θ (deg)に対する合力係数 Cr

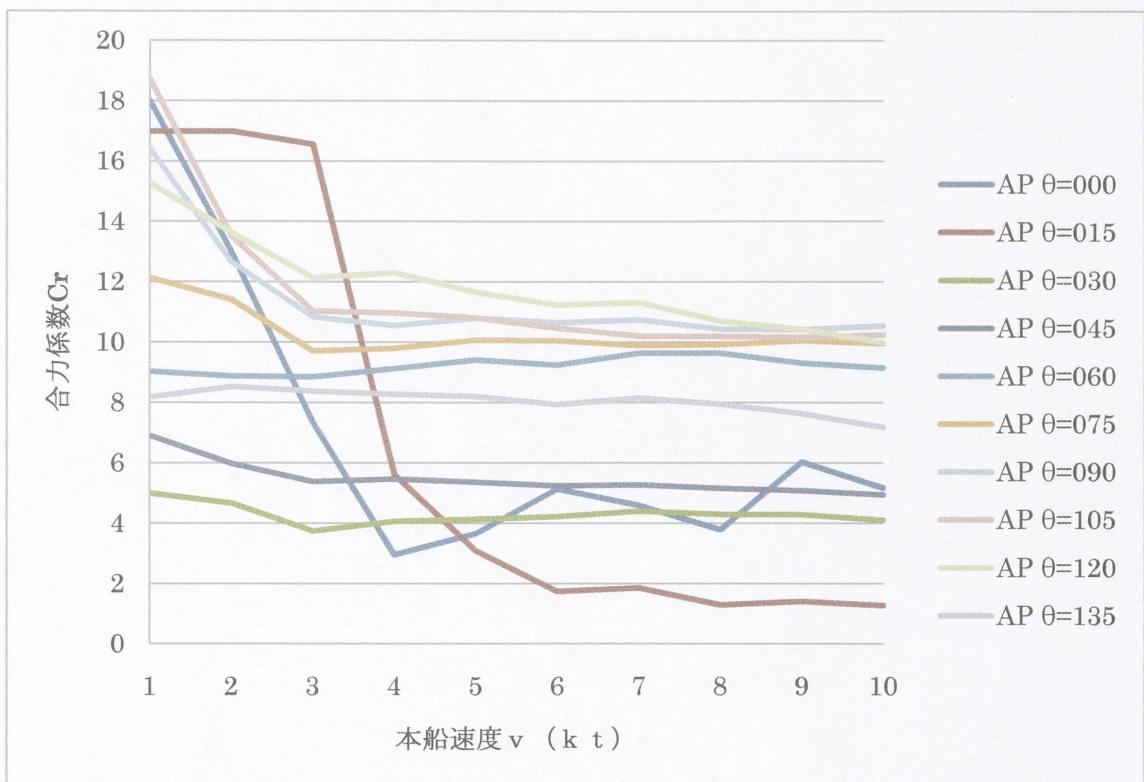


Fig.3-7-11 AP 押しモード実験における本船速度 v (kt)に対する合力係数 Cr

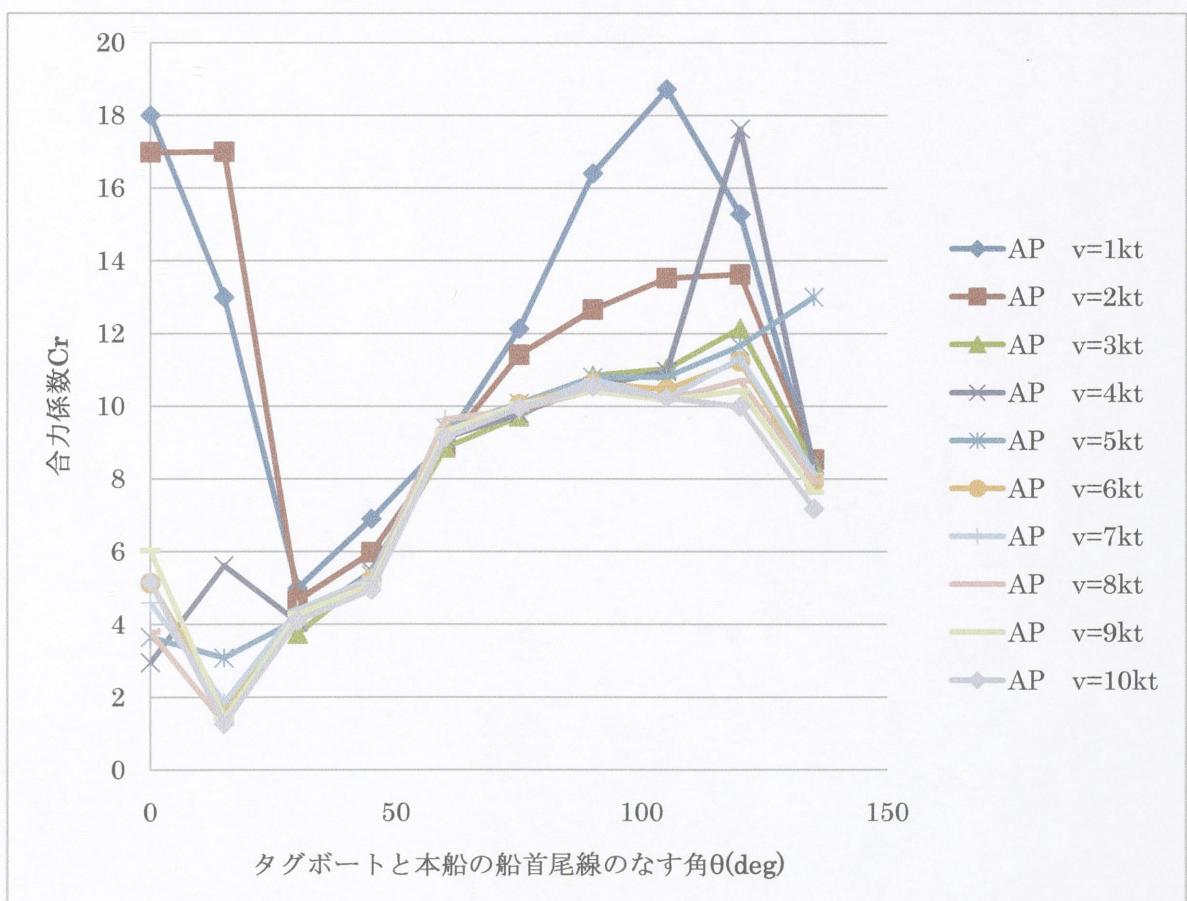


Fig.3-7-12 AP 押しモード実験における $\theta(\text{deg})$ に対する合力係数 Cr

Push Mode: 合力のなす角 ξ

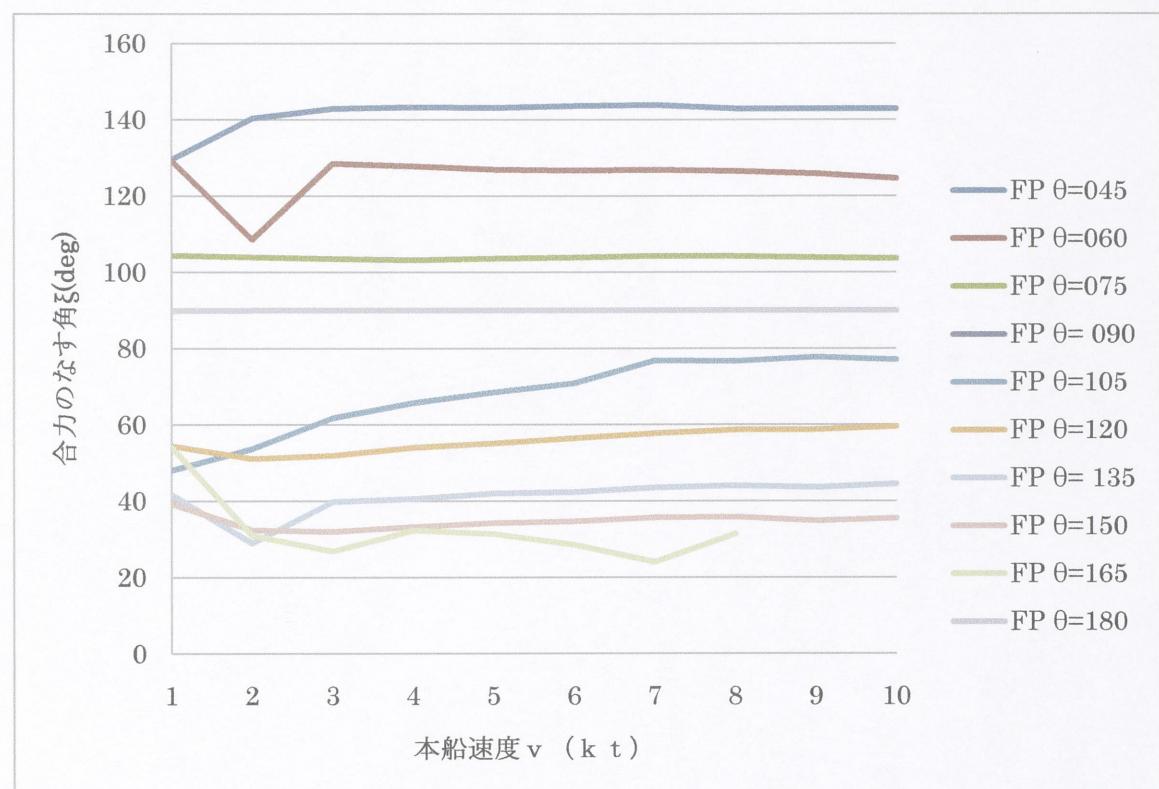


Fig.3-7-13 FP 押しモード実験における本船速度 v (kt)に対する合力のなす角 ξ (deg)

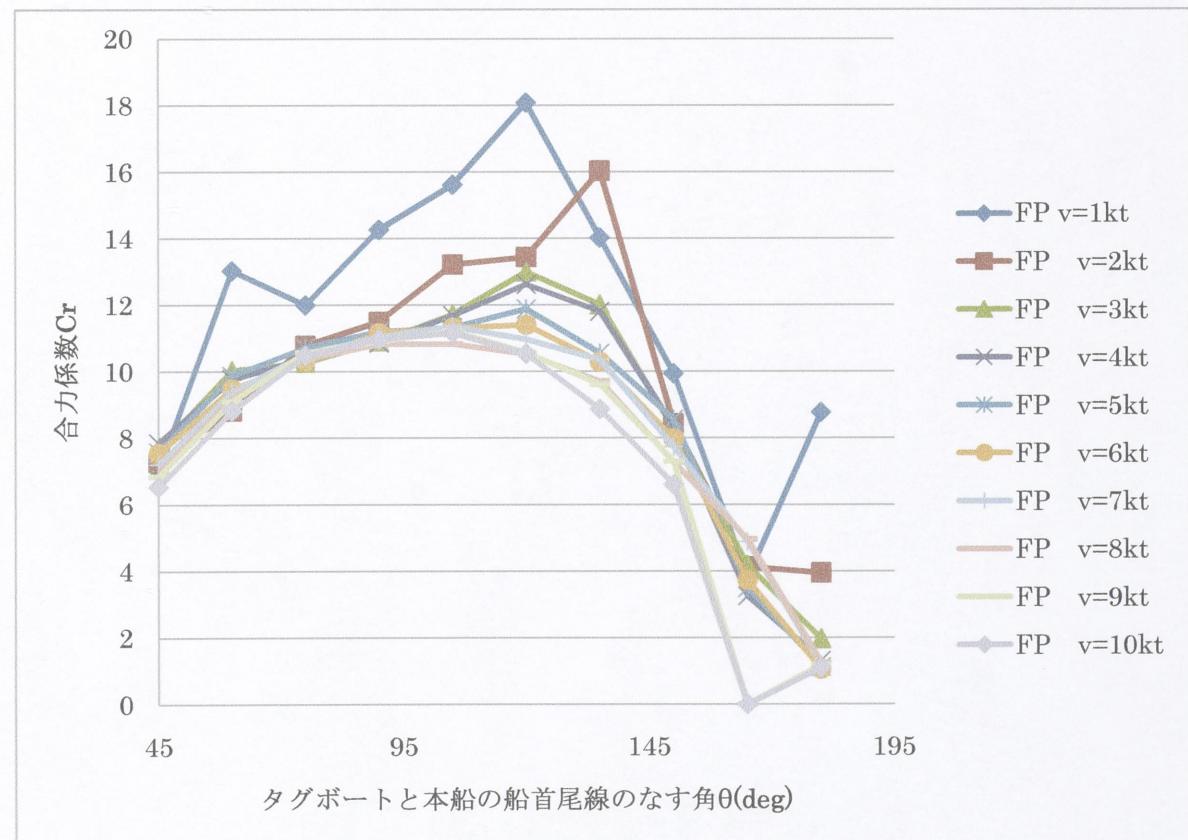


Fig.3-7-14 FP 押しモード実験における θ (deg)に対する合力のなす角 ξ (deg)

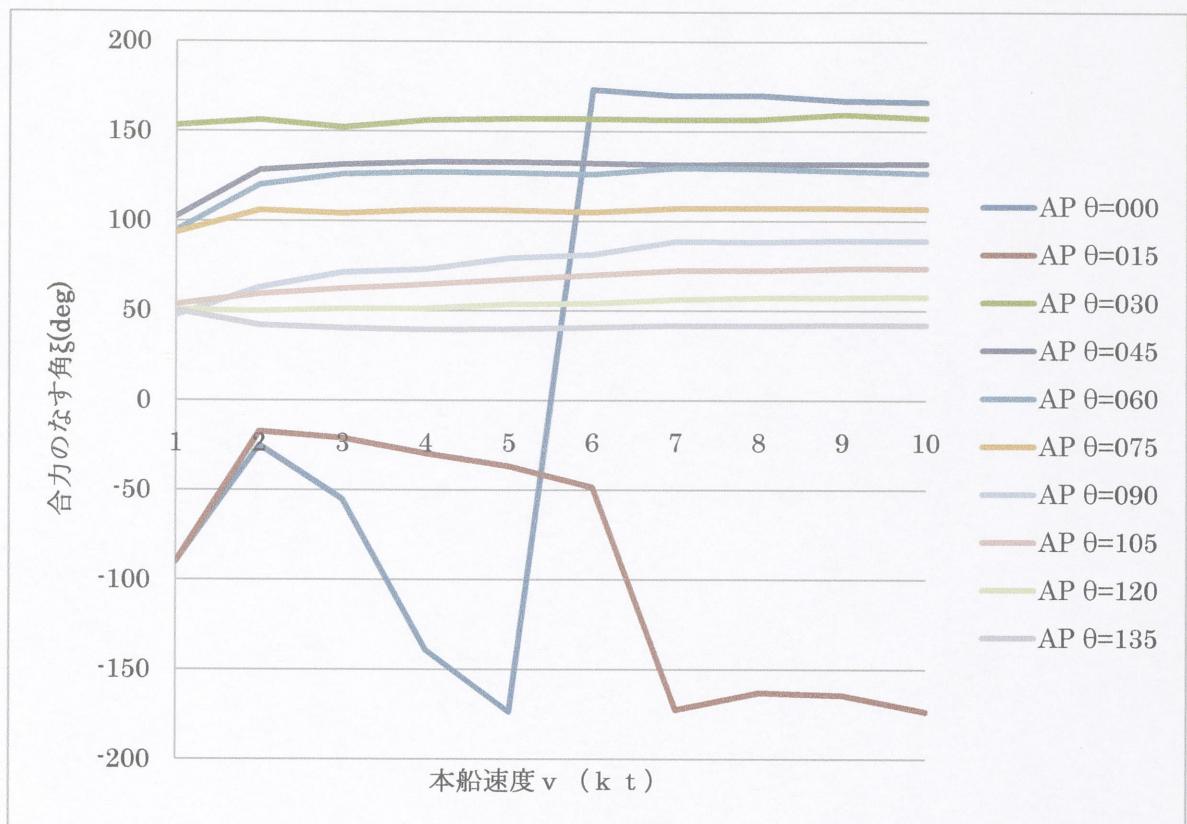


Fig.3-7-15 AP 押しモード実験における本船速度 v (kt) に対する合力のなす角 ξ (deg)

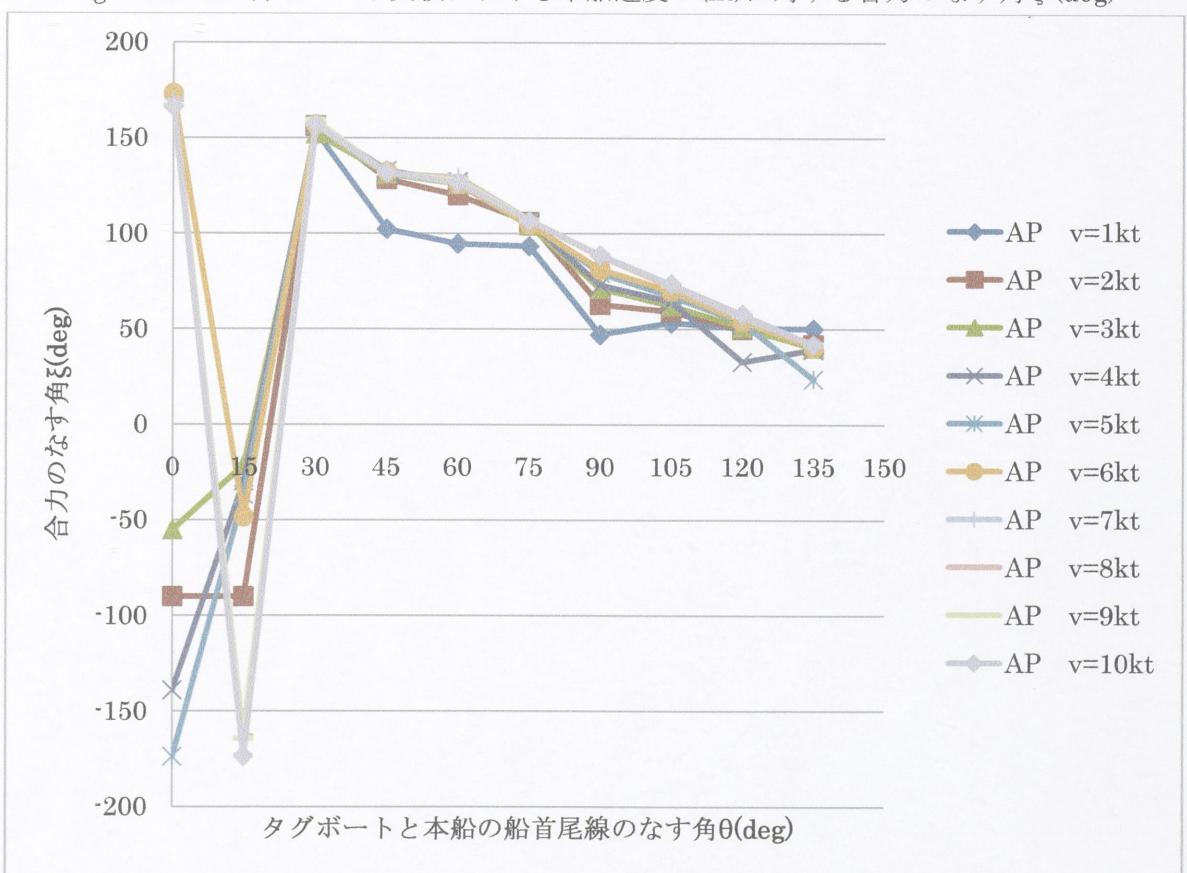


Fig.3-7-16 AP 押しモード実験における θ (deg) に対する合力のなす角 ξ (deg)

4 解析と考察

前章ではタグボート模型及び本船模型を使った抵抗試験について、その方法と結果を述べた。その結果、単独実験と押しモード実験とは、傾向はほぼ変わらないが、その数値には差異がみられた。この差異について本章で考察する。

また、前章の実験結果から、タグボートの実効推力を解析することができる。本章ではその解析方法及びその結果について考察し、タグボートの運用限界を求める。

4.1 単独実験と押しモード実験の差について

単独実験と押しモード試験では、同じ速度、同じ姿勢であっても実験の結果に差異がみられる。この差を本論文では、本船による流れの影響と考えて考察する。

ここでは、その影響を

$$\text{タグボートへの本船による影響}(\%) : \frac{\text{Cr(push)} - \text{Cr(single)}}{\text{Cr(single)}} * 100$$

但し $\text{Cr(push), Cr(single)}$ はそれぞれ押しモード実験、単独実験の合力係数

として解析した。

(Fig.4.1.1) (Fig.4.1.2) は、FP(Fore position)でのタグボートへの本船による影響 (%) を縦軸に、横軸にはそれぞれ本船速度, v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

このグラフから以下のことが言える。

タグボートへの本船による影響 (%) は $\theta = 165\text{deg}$ のとき最大値をとり、 $45\text{deg} \leq \theta \leq 135\text{deg}$ の時に、その絶対値は 15%未満であった。

即ち、FP では、タグボートと本船の船首尾線が平行になるにつれて影響は大きくなることが分かった。

また、本船速度 v に対しては、 $45\text{deg} \leq \theta \leq 135\text{deg}$ の時には一定の値を取ることが分かり、合力 Fr は、本船速度の 2 乗に比例する影響を受けることが分かった。

(Fig.4.1.3)(Fig.4.1.4)は、AP(Aft position)でのタグボートへの本船による影響 (%) を縦軸に、横軸にはそれぞれ本船速度, v (kt)、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

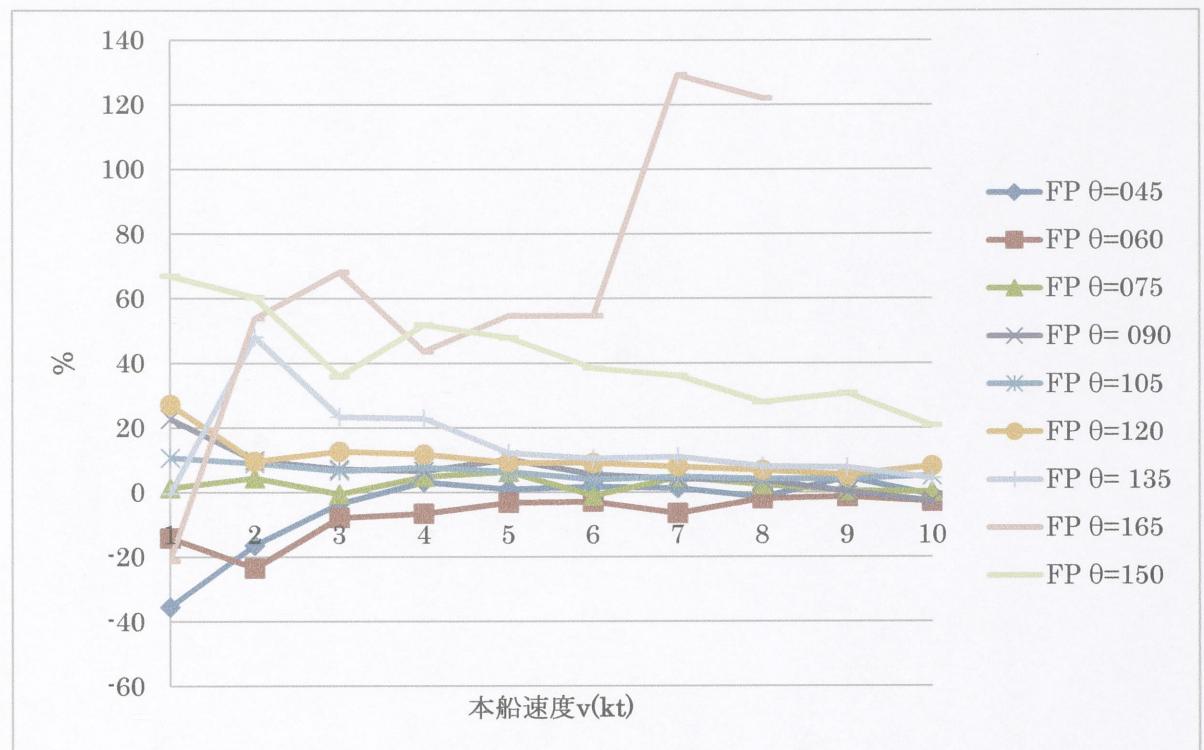
このグラフから以下のことが言える。

タグボートへの本船による影響 (%) は $\theta = 15\text{deg}$ で最大値をとり、 $45\text{deg} \leq \theta \leq 135\text{deg}$ の時に、その絶対値は 30%未満であった。

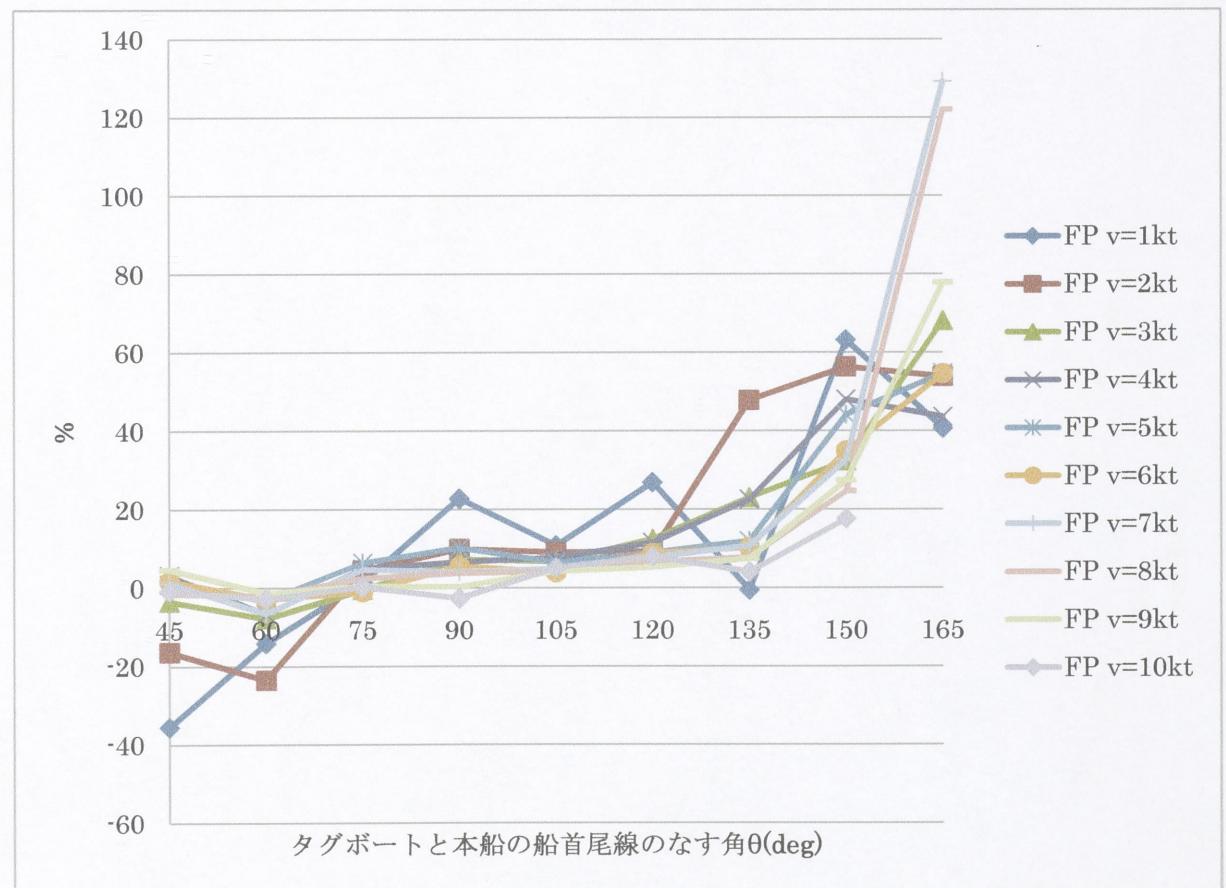
即ち、AP でも、タグボートと本船の船首尾線が平行になるにつれて影響は大きくなることが分かった。

また本船速度 v に対して、 $45\text{deg} \leq \theta \leq 135\text{deg}$ の時には一定の値を取る、これは合力 Fr は本船速度の 2 乗に比例する影響を受けることが分かった。

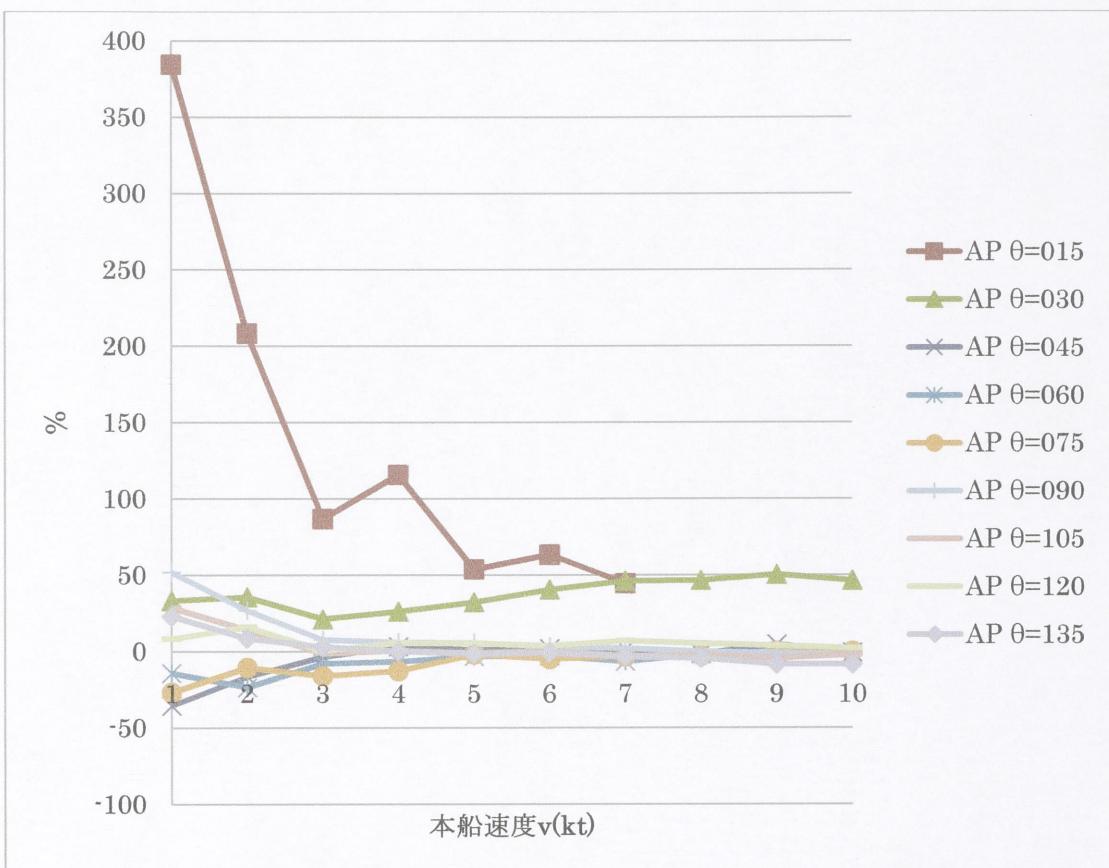
本船による流れの影響



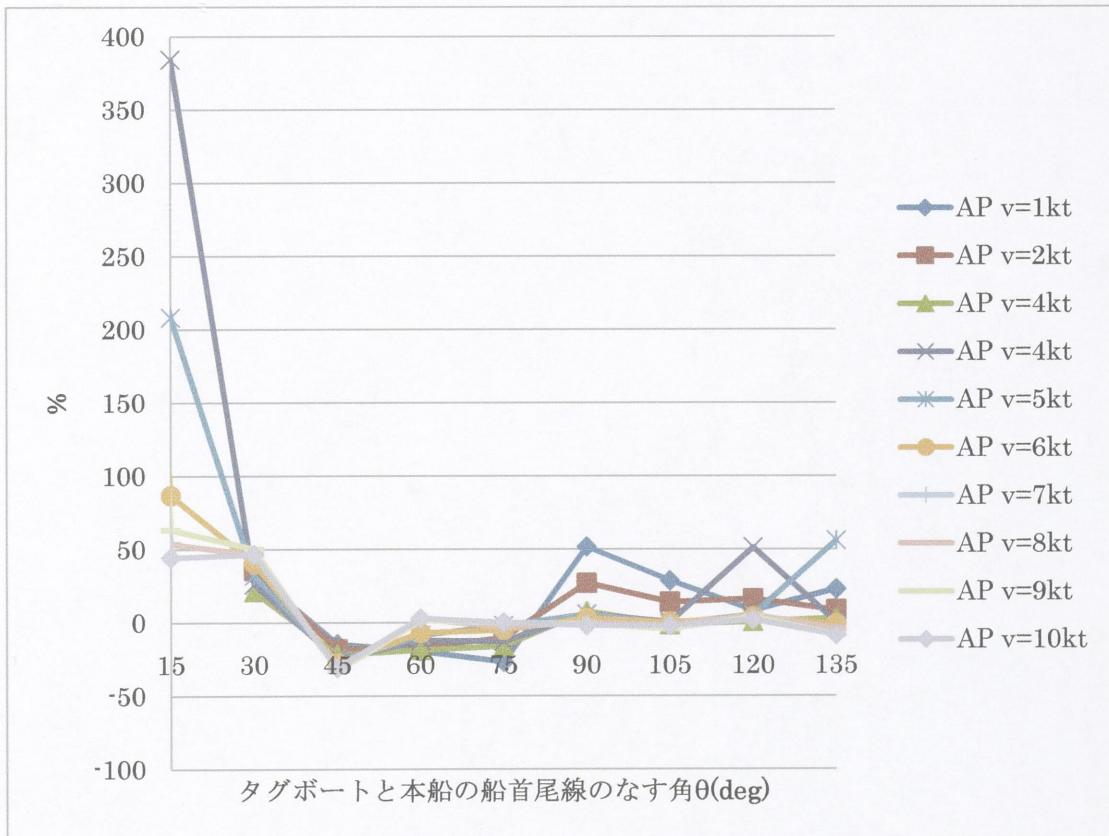
(Fig.4.1.1) FP 押しモード試験における本船速度 v (kt)に対する本船による影響(%)



(Fig.4.1.2) FP 押しモード試験における θ (deg)に対する本船による影響(%)



(Fig.4.1.3) P 押しモード試験における本船速度 v (kt)に対する本船による影響(%)



(Fig.4.1.4) AP 押しモード試験における θ (deg)に対する本船による影響(%)

4.2 実効推力についての考察

実効推力については、タグボートが本船と並走するのに必要な出力(ps)を Pr とし、実験で得られた合力 Fr を用いて

$$Pr = \frac{Fr * v}{75}$$

として求めた上で、3100ps 級タグボートの出力 Pt と

$$\text{実効推力}(\%): 100 * \frac{(Pt - Pr)}{Pt}$$

として評価した。

また、タグボートの運用限界は、本船速度 v 、タグボートの姿勢 θ がなす実効推力 ≤ 0 となる領域として考える。

タグボートの出力は、そのエンジンモーションを考慮して、Table4-1 のように Full、Half,、Slow、Dead Slow、Omega について解析した。

Table4-1 エンジンモーションと出力の関係

タグボートエンジンモーション	Pt:タグボート出力(ps)
Full	3100
Half	2300
Slow	1500
Dead Slow	800
Omega	310

また、解析で用いた 3100ps 級タグボートの諸元は Table4-2 のとおりである。

Table4-2 3100ps 級タグボート

Loa	32.7m
Draft	2.9m
Displacement	$310 \times 10^3 \text{kg}$
Breath	7.9m

4.2.1 単独実験

(Fig.4-2-1) から(Fig.4-2-5) は、単独実験の結果から解析した実効推力を縦軸にとり、横軸は、本船速度, v (kt)をとったグラフである。

(Fig.4-2-5) から(Fig.4-2-10) は、単独実験の結果から解析した実効推力を縦軸にとり、横軸は、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg)をとったグラフである。

更に、(Fig.4-2-11) に、タグボートの運用限界を示す。

これらのグラフから以下のことが言える。

1.全ての θ 及びエンジンモーションにおいて 1kt, はタグボートが有効に使える速度であった。

2.全ての θ においてタグボートを運用できる本船速度は

Full/half: $v=6$ kt 以下

Slow: $v=5$ kt 以下

Dead slow: $v=4$ kt 以下

Omega : $v=1$ kt 以下であった。

3.全ての θ においてタグボートを運用できる本船速度は、エンジンモーション毎に

Full $v=10$ kt であっても、 $0\text{deg} \leq \theta \leq 30\text{deg}$ 及び $150\text{deg} \leq \theta \leq 165\text{deg}$ であれば使用可能であった。

Half $v=10$ kt 以上であっても、 $\theta = 15\text{deg}$ 以外であれば使用可能であった。

Slow $v=10$ kt 以上

Dead Slow $v=7$ kt 以上

Omega $v=5$ kt 以上であった。

4.実効推力は $\theta = 60\text{deg}/120\text{deg}$ で極小値を取った。

Single Mode 実効推力

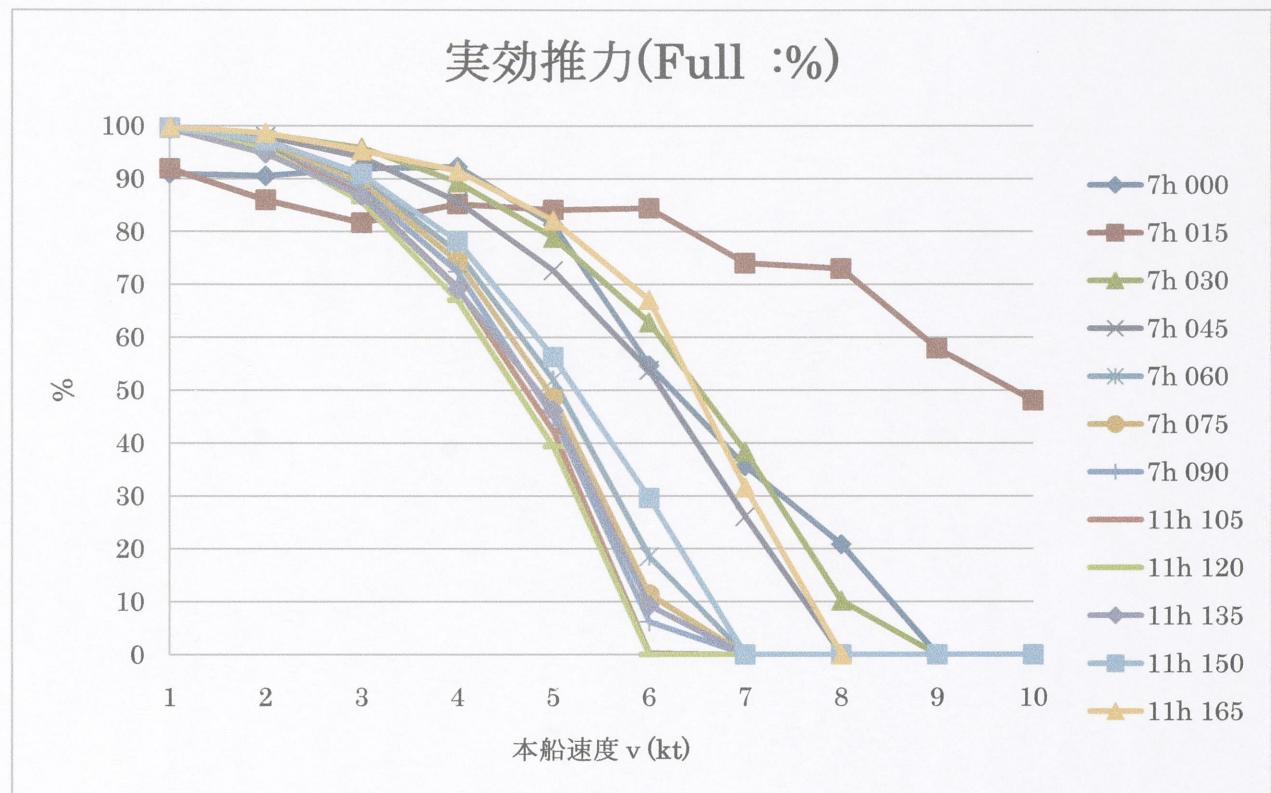


Fig.4-2-1 単独実験における本船速度 v(kt)に対するエンジン Full での実効推力(%)

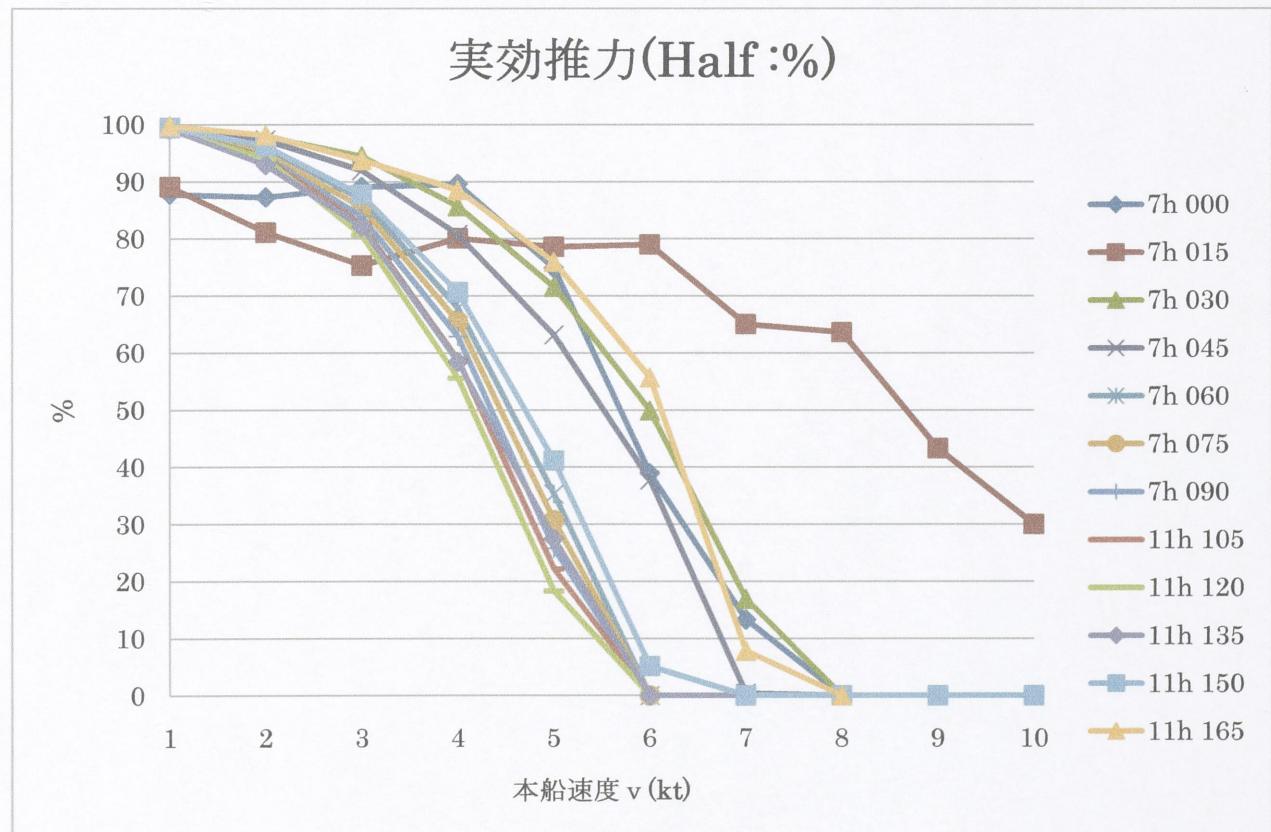


Fig.4-2-2 単独実験における本船速度 v(kt)に対するエンジン Half での実効推力(%)

実効推力(Slow :%)

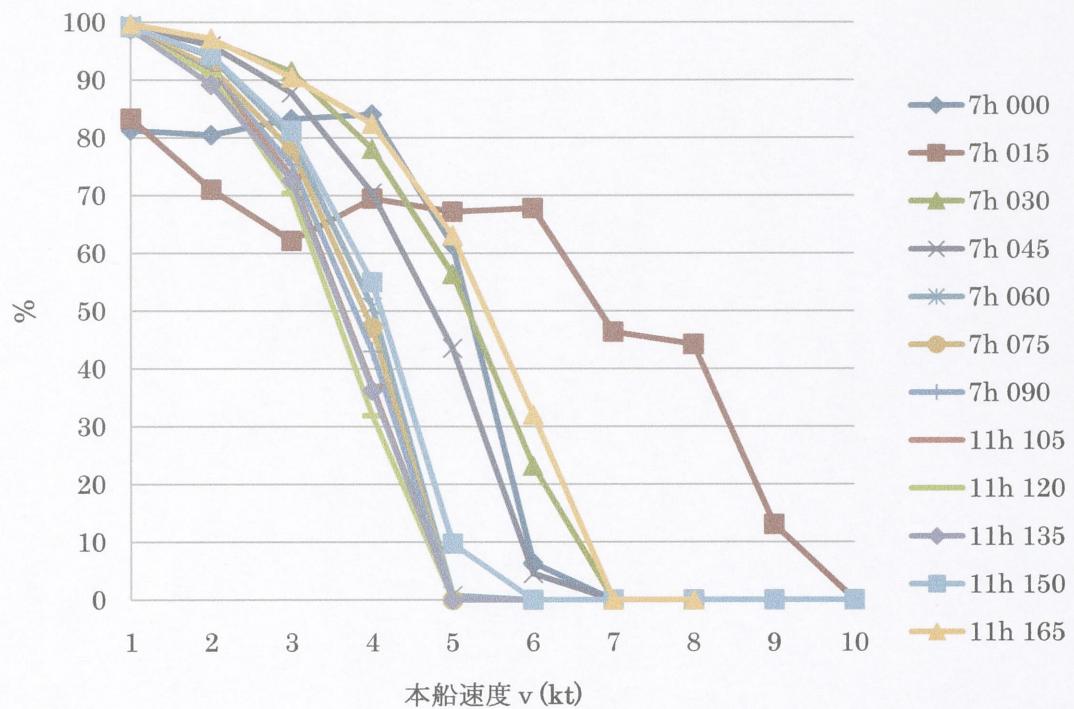


Fig.4-2-3 単独実験における本船速度 v(kt)に対するエンジン Slow での実効推力(%)

実効推力(Dead Slow :%)

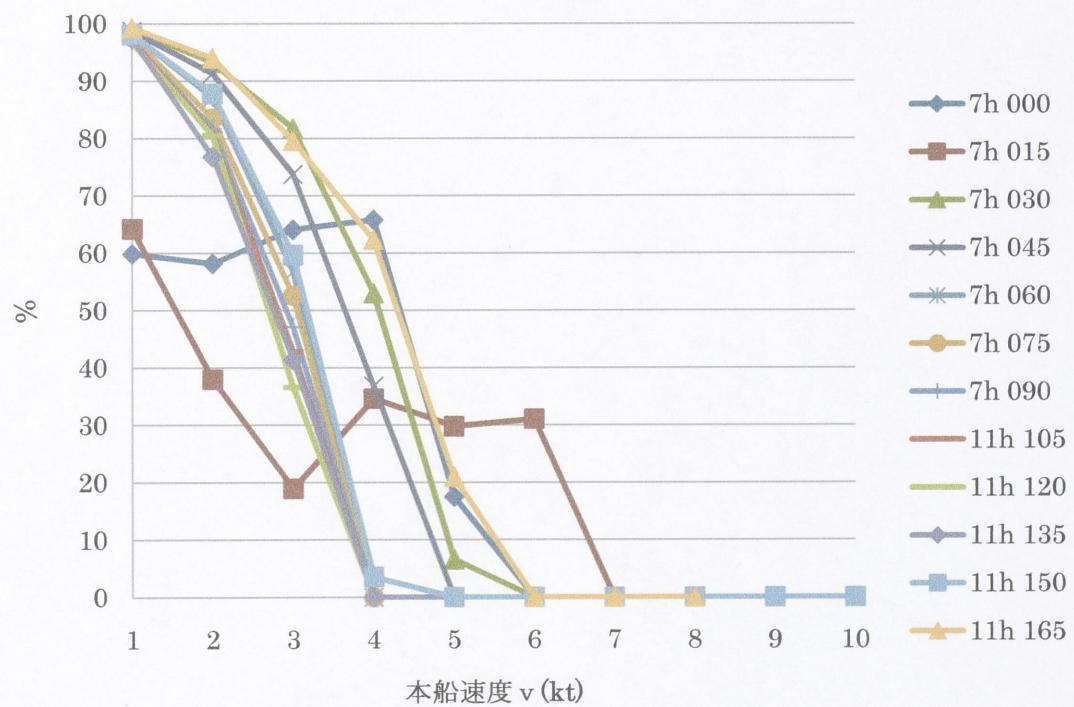


Fig.4-2-4 単独実験における本船速度 v(kt)に対するエンジン Dead Slow での実効推力(%)

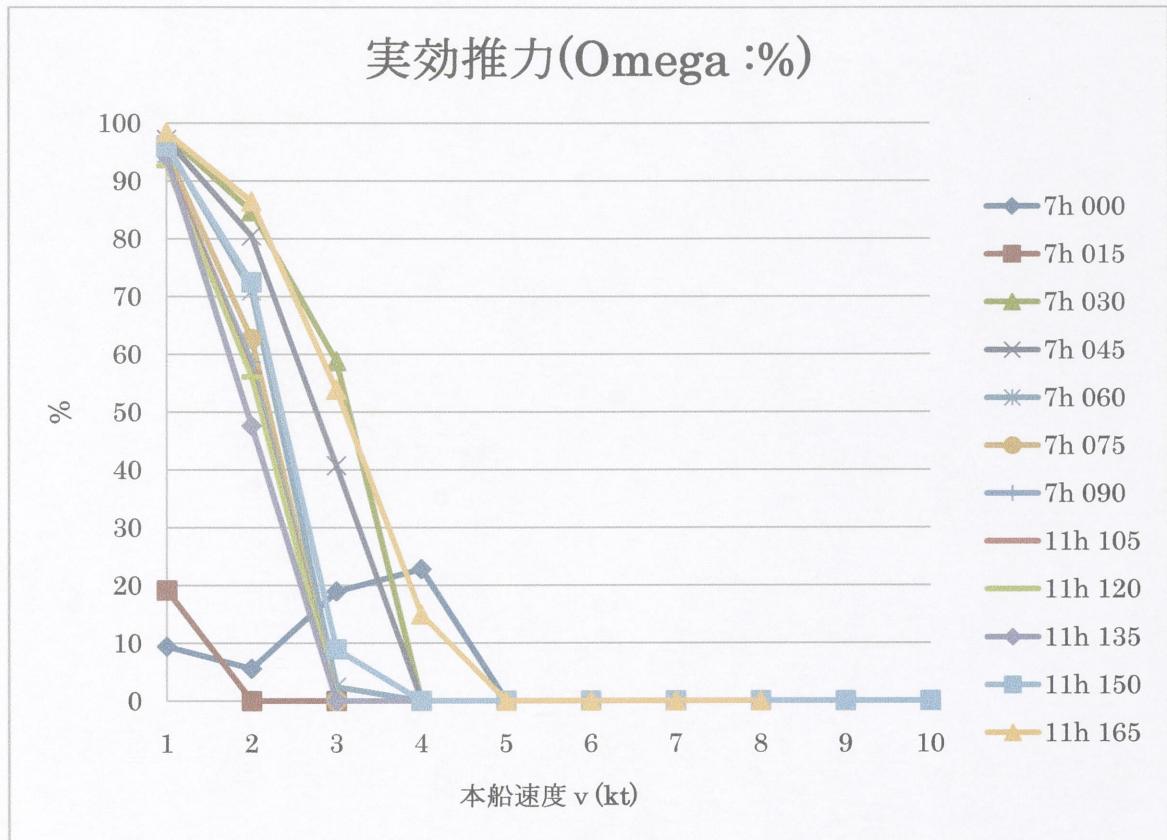


Fig.4-2-5 単独実験における本船速度 v(kt)に対するエンジン Omega での実効推力(%)

Single Mode 実効推力

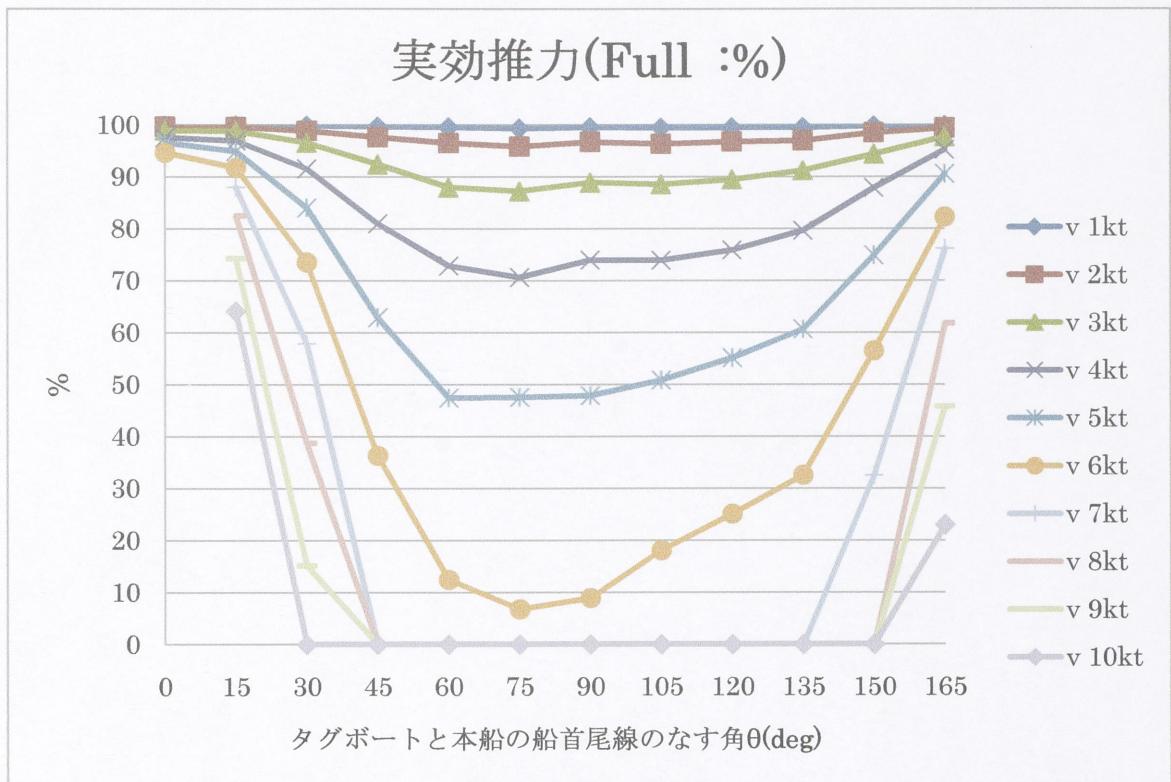


Fig.4-2-6 単独実験における θ (deg)に対するエンジン Full での実効推力(%)

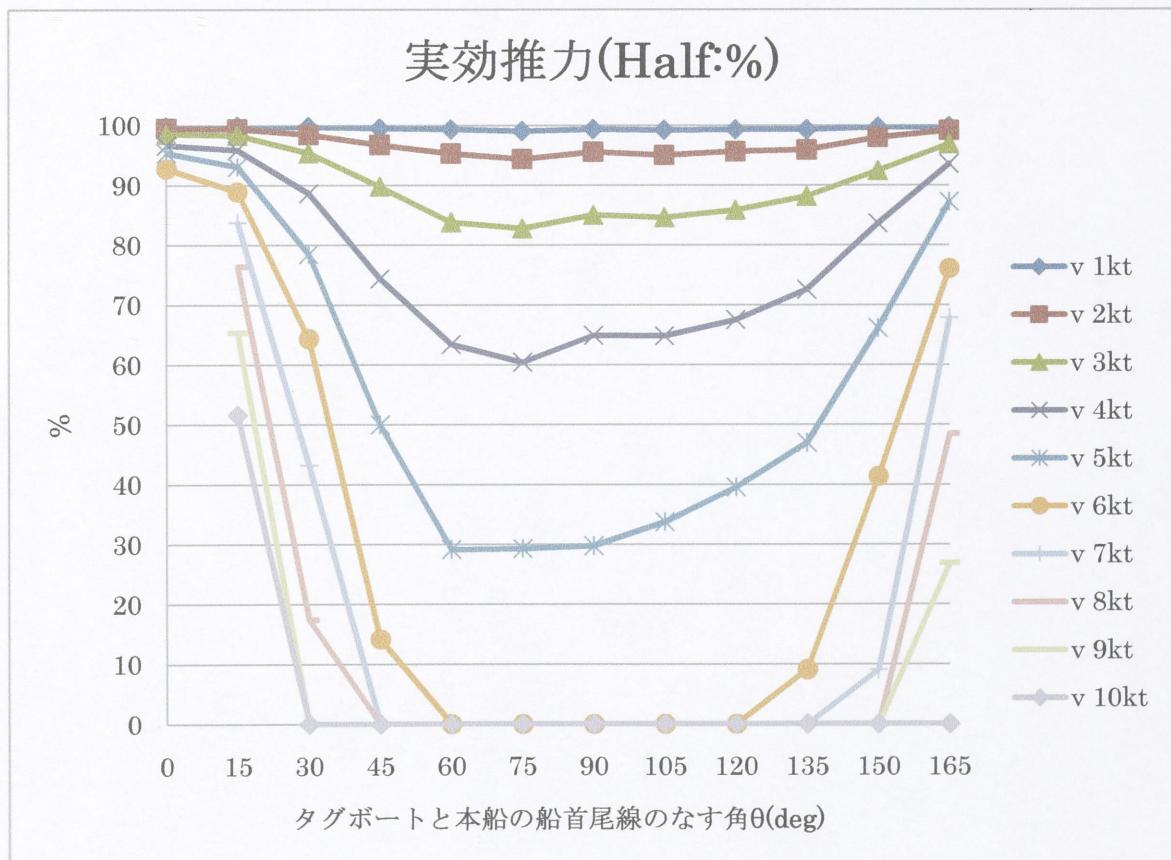


Fig.4-2-7 単独実験における θ (deg)に対するエンジン Half での実効推力(%)

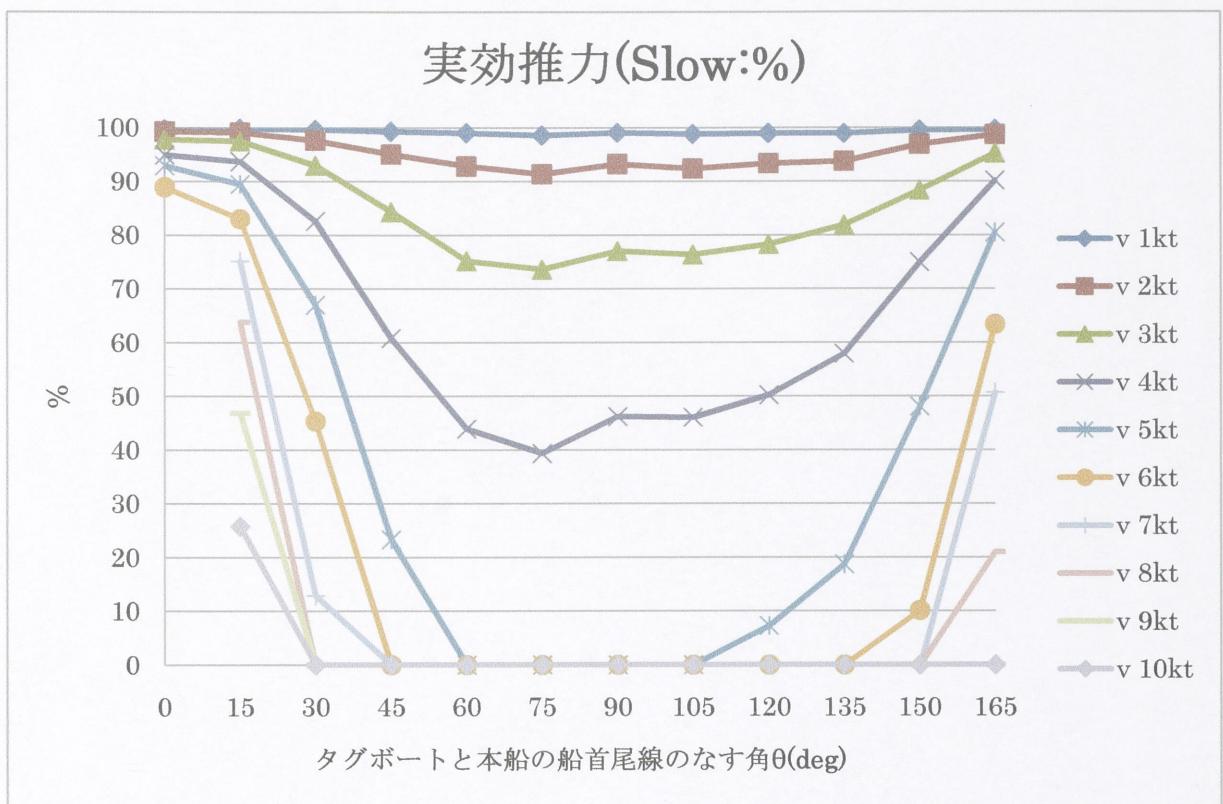


Fig.4-2-8 単独実験における θ (deg)に対するエンジン Slow での実効推力(%)



Fig.4-2-9 単独実験における θ (deg)に対するエンジン Dead Slow での実効推力(%)

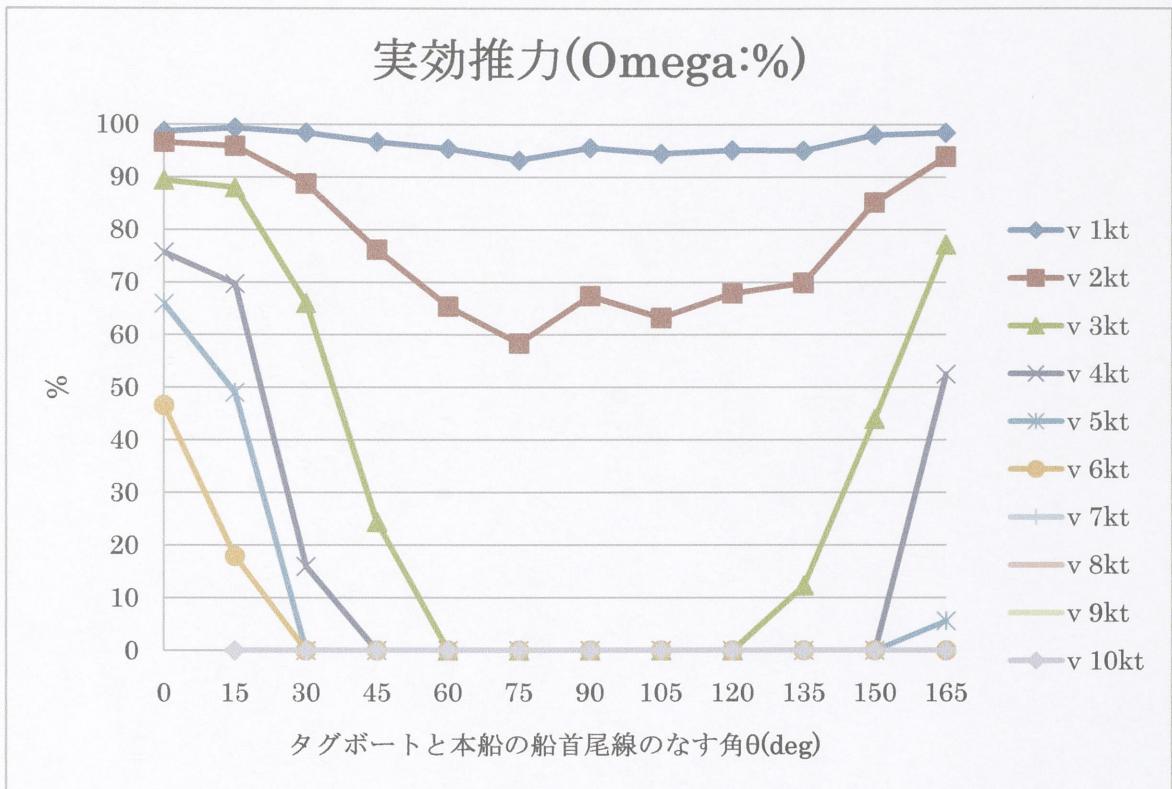
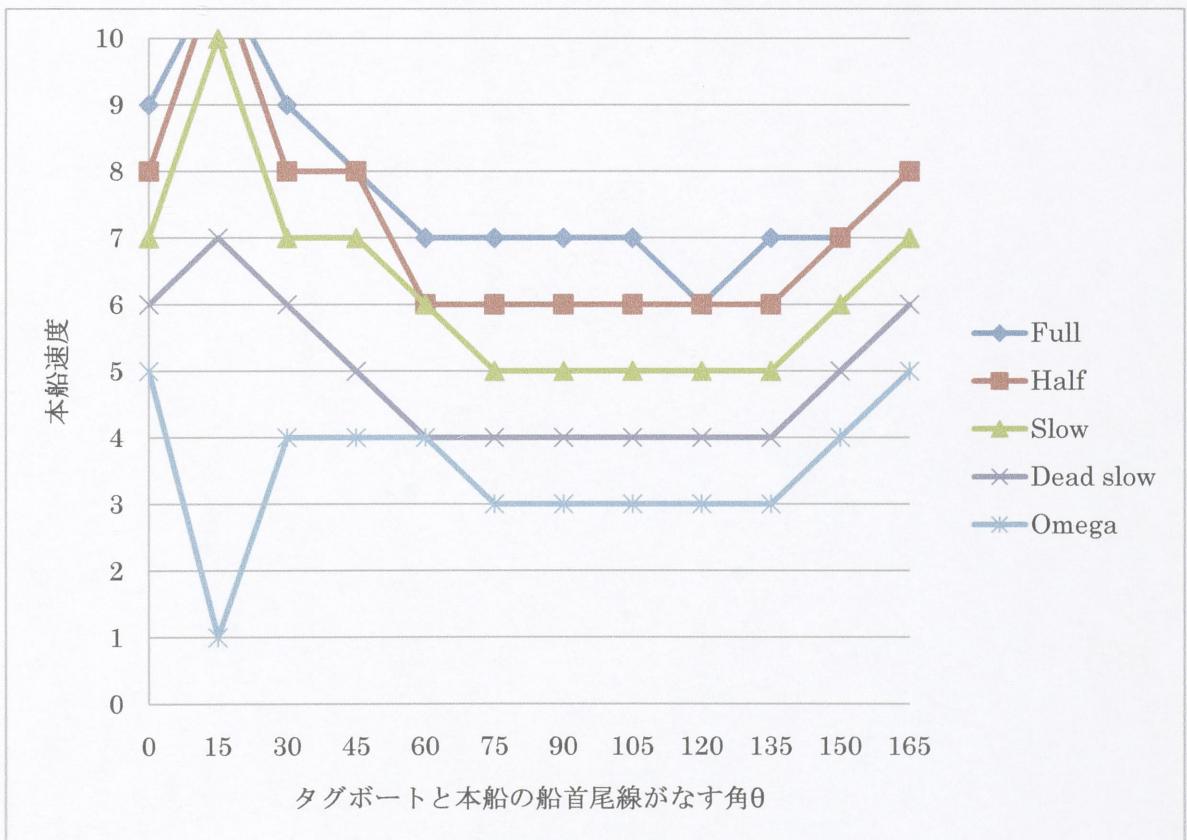


Fig.4-2-10 単独実験における θ (deg)に対するエンジン Omega での実効推力(%)



(Fig.4-2-11) 単独時タグボート運用限界における本船速度

4.2.2 押しモード実験

Fore Position(FP)における押しモード実験について

(Fig.4-3-1) から(Fig.4-3-5) は、押しモード実験の Fore Position における結果から解析した実効推力を縦軸にとり、横軸は、本船速度, v (kt)をとったグラフである。

(Fig.4-3-6) から(Fig.4-3-10) は、押しモード実験の結果 Fore Position におけるから解析した実効推力を縦軸にとり、横軸は、タグボートの船首尾線が本線の船首尾線になす角 θ (deg) をとったグラフである。

更に、(Fig.4-3-11)に、タグボートの運用限界を示す。

これらグラフから以下のことが言える。

1.全ての θ とエンジンモーションにおいてタグボートが有効に使える本船速度は 1kt,2kt であった。

2.全ての θ における本船速度による運用限界は

Full/Half:5kt 以下

Slow:4kt 以下

Dead Slow:3kt 以下

Omega : 2kt であった。

3.全ての θ において運用限界を超える本船速度 v は、エンジンモーション毎に

Full :10kt、 $150\text{deg} \leq \theta \leq 165\text{deg}$ であれば使用可能であった。

Half: 10kt 以上

Slow/Dead Slow:7kt 以上

Omega:6kt 以上であった。

4.角度の影響は $\theta = 165\text{deg}$ で最も少なくなった。

5.推力を最も減少させる角度は $\theta = 120\text{deg}$ であった。

Aft Position (AP) 押しモード実験について

(Fig.4-3-11) から(Fig.4-3-15) に、押しモード実験の Aft Position における結果から解析した実効推力を縦軸にとり、横軸は、本船速度, v (kt)をとったグラフを示す。

(Fig.4-3-16) から(Fig.4-3-20) に、押しモード実験の Aft Position における結果から解析した実効推力を縦軸にとり、横軸は、本船速度, v (kt)をとったグラフを示す。

更に(Fig.4-3-21)にそれぞれ解析されたタグボートの運用限界を示す。

これらグラフから以下のことが言える。

1.全ての θ とエンジンモーションにおいてタグボートが有効に使える本船速度は $v=1\text{kt}, 2\text{kt}$ であった。

2.エンジンモーションによる使用限界は

Full: $v=5\text{kt}$ 以下

Half: $v=4\text{kt}$ 以下

Slow/Dead Slow: $v=3\text{kt}$ 以下

Omega : 2kt 以下であった。

3.全ての θ において使えない本船速度は、エンジンモーション毎に

Full/Half : $v=10\text{kt}$ 以上

Slow $v=7\text{kt}$ 以上

Dead Slow $v=6\text{kt}$ 以上

Omega $v=4\text{kt}$ 以上であった。

4.推力を最も減少させる角度は $\theta = 120\text{deg}$ であった。

FP Push Mode 実効推力:

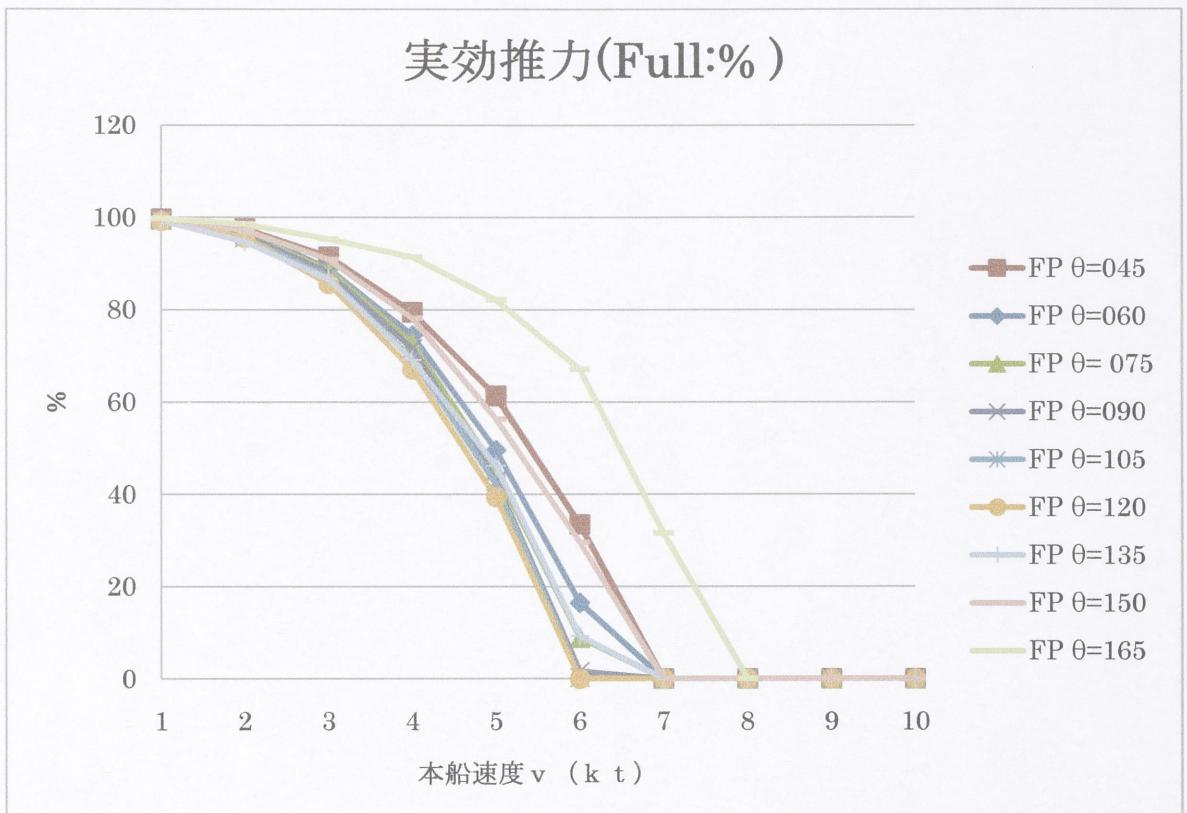


Fig.4-3-1 FP 押しモードにおける本船速度 v(kt)に対するエンジン Full での実効推力(%)

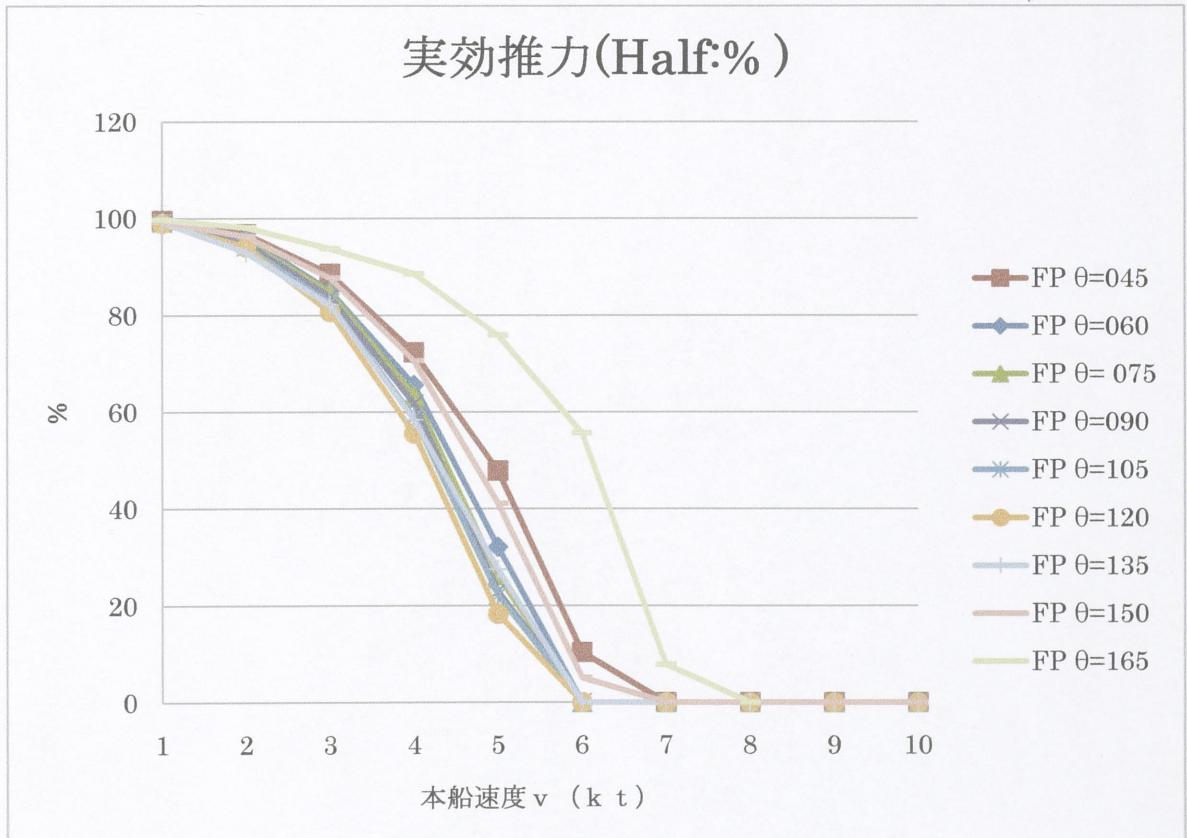


Fig.4-3-2 FP 押しモードにおける本船速度 v(kt)に対するエンジン Half での実効推力(%)

Push Mode 実効推力:FP

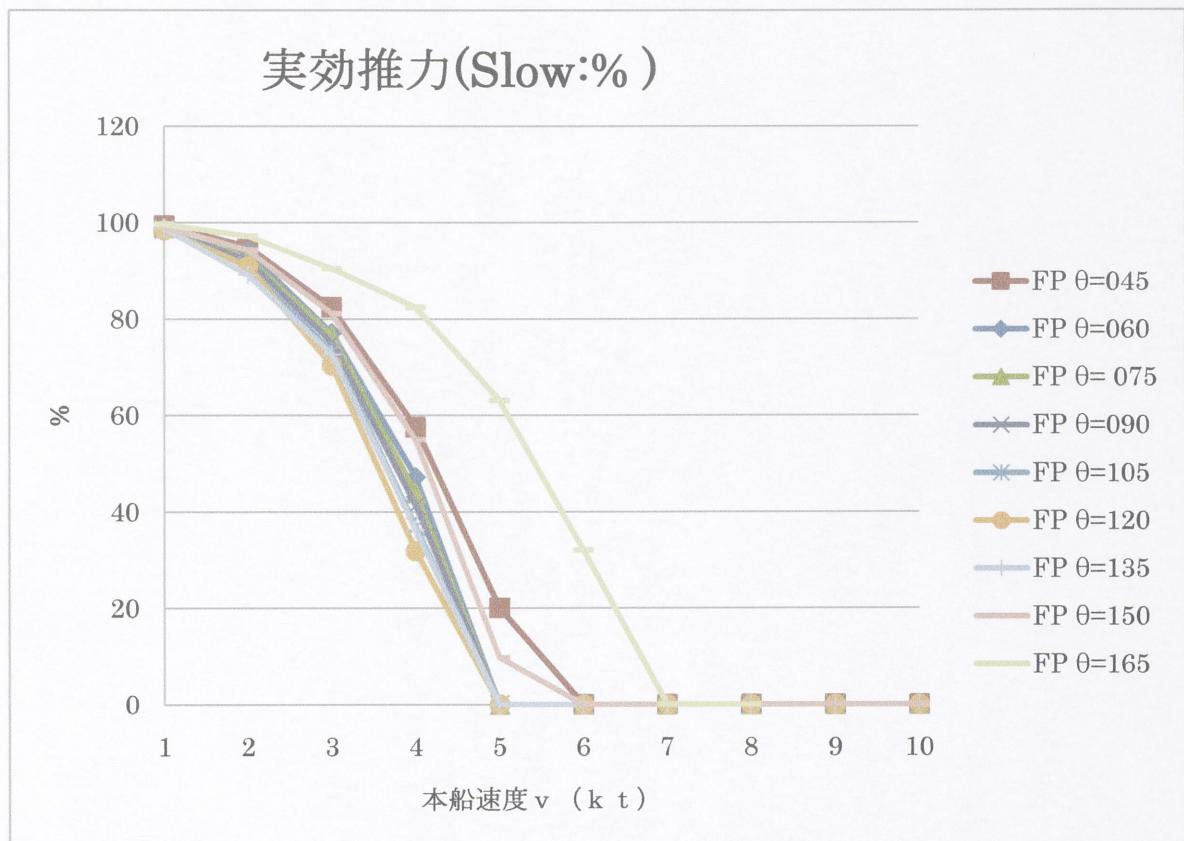


Fig.4-3-3 FP 押しモードにおける本船速度 v(kt)に対するエンジン Slow での実効推力(%)

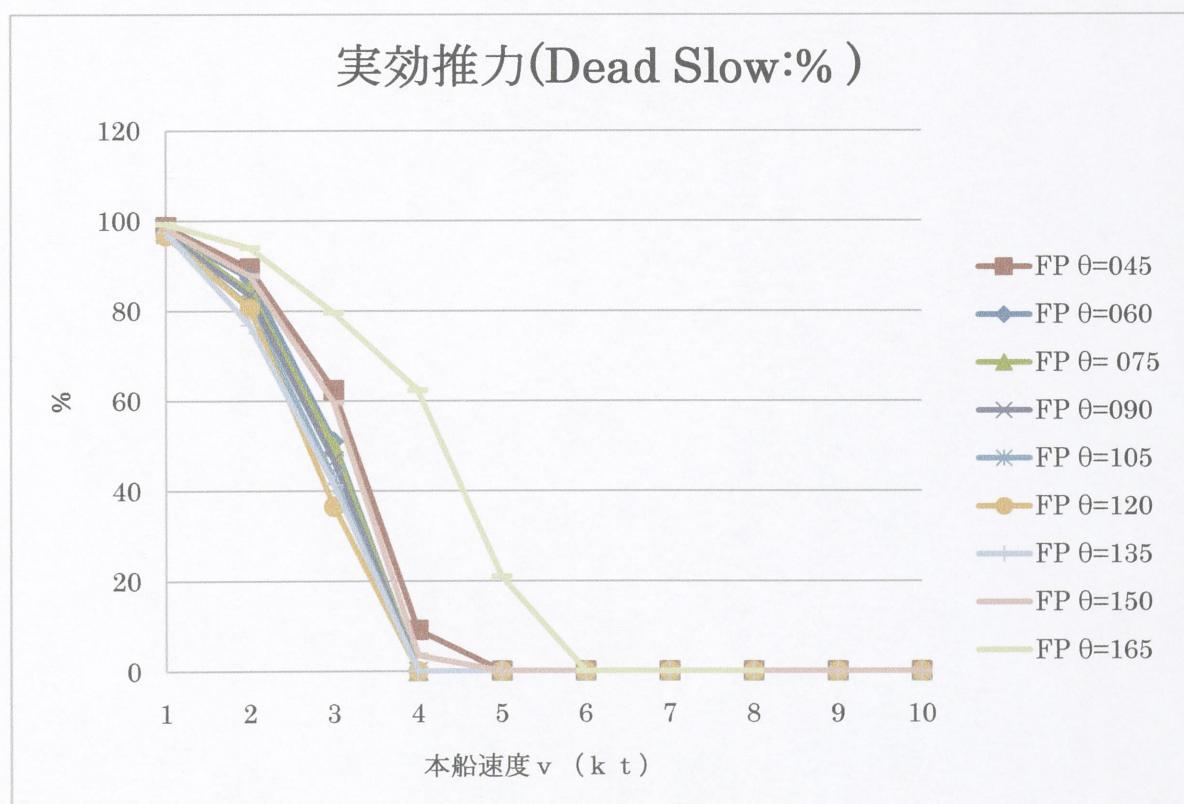


Fig.4-3-4 FP 押しモードにおける本船速度 v(kt)に対する DeadSlow での実効推力(%)

Push Mode 實効推力:FP

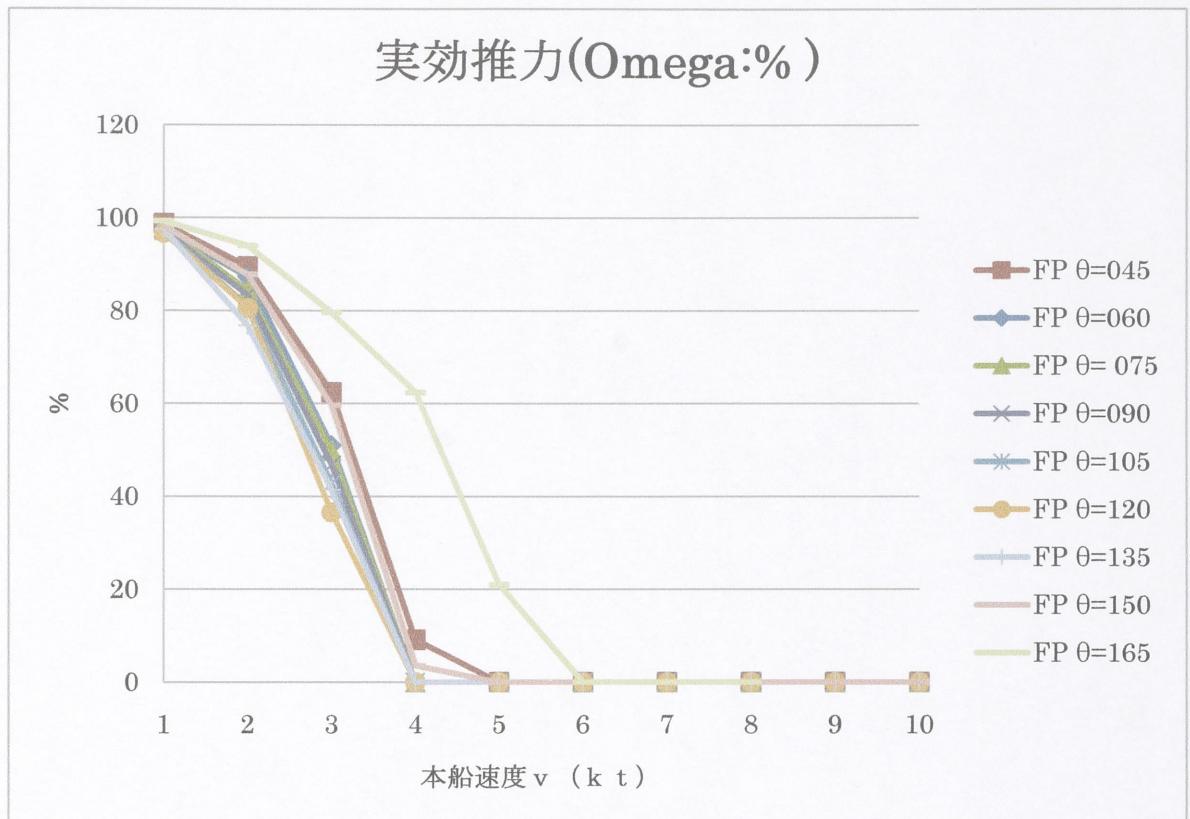


Fig.4-3-5 FP 押しモードにおける本船速度 v(kt)に対するエンジン Omega での実効推力(%)

Push Mode 実効推力:FP

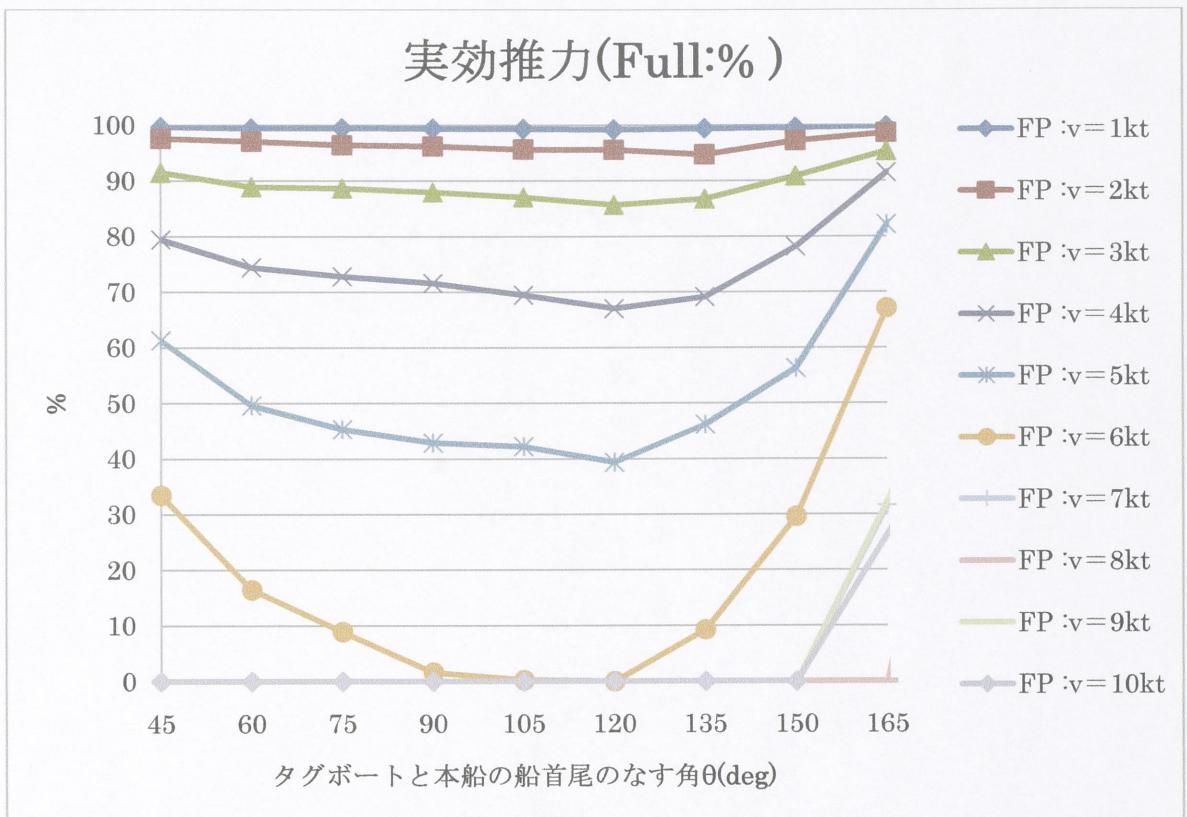


Fig.4-3-6 FP 押しモードにおける θ (deg)に対するエンジン Full での実効推力(%)

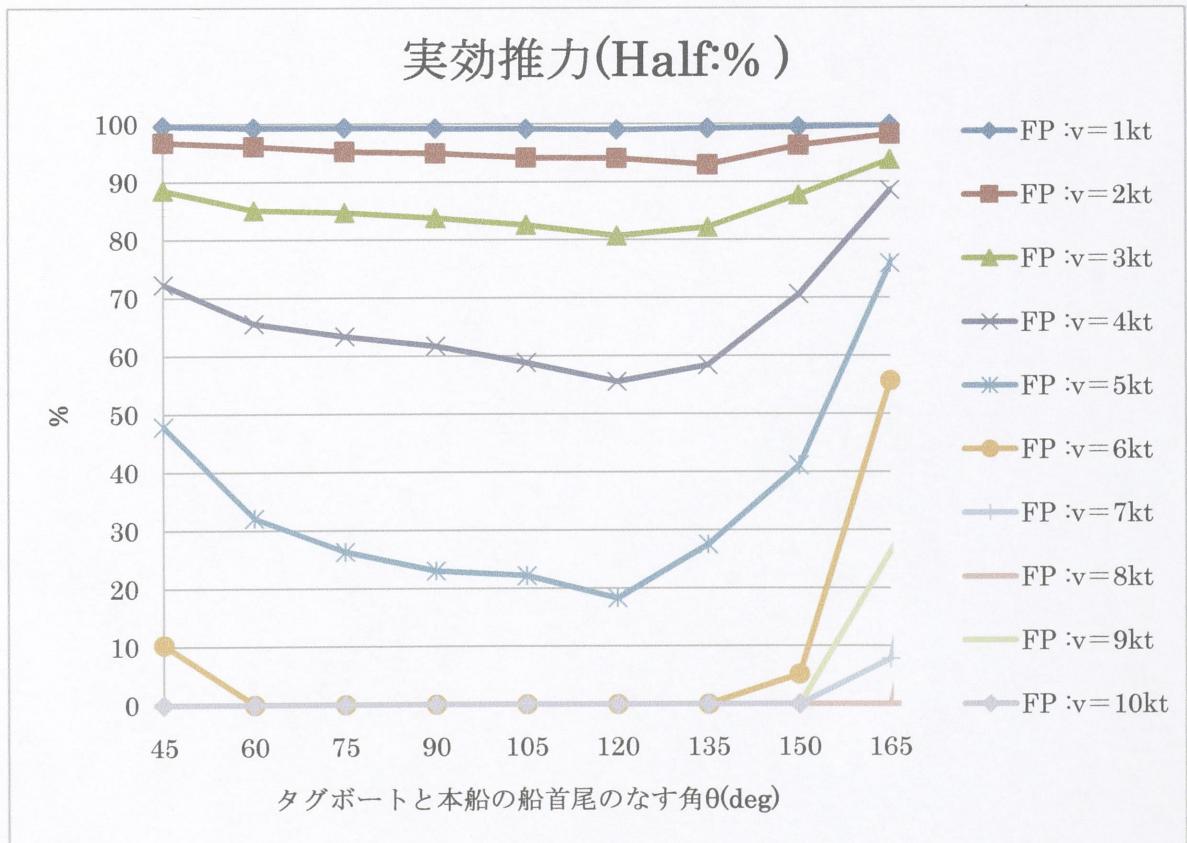


Fig.4-3-7 FP 押しモードにおける θ (deg)に対するエンジン Half での実効推力(%)

Push Mode 実効推力:FP

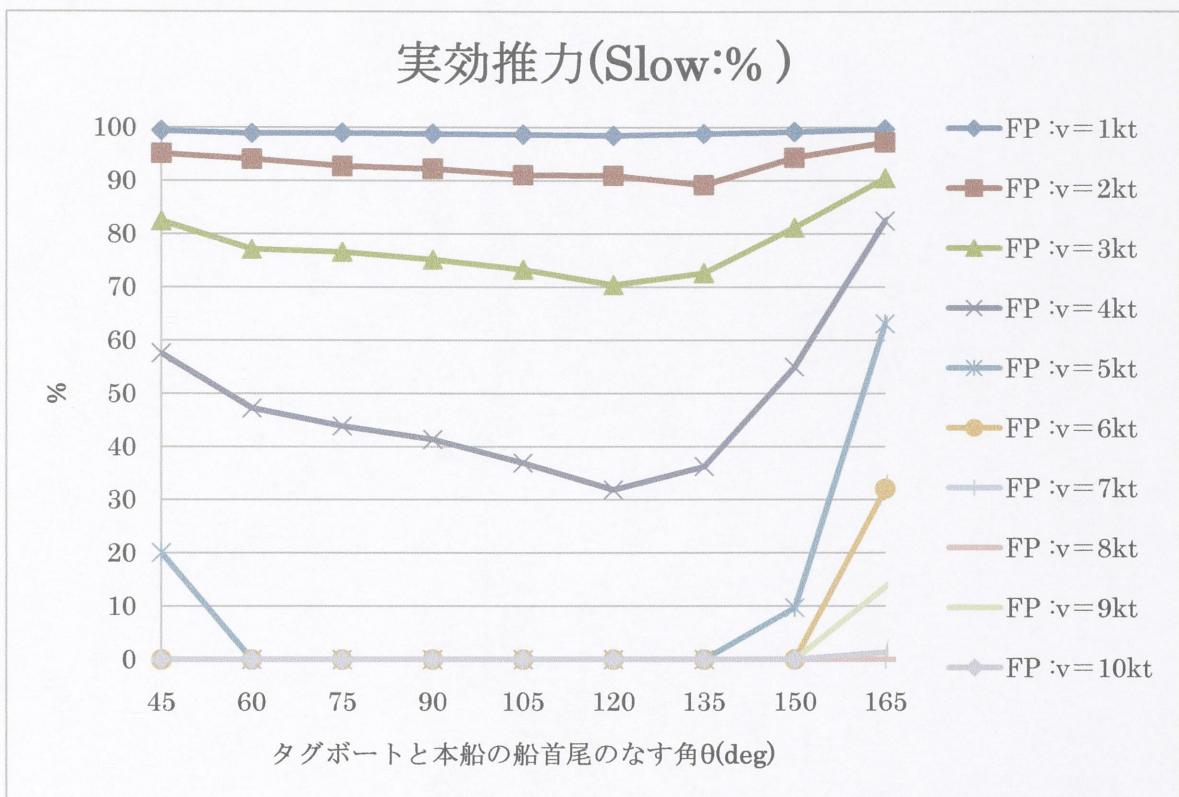


Fig.4-3-8 FP 押しモードにおける θ (deg)に対するエンジン Slow での実効推力(%)

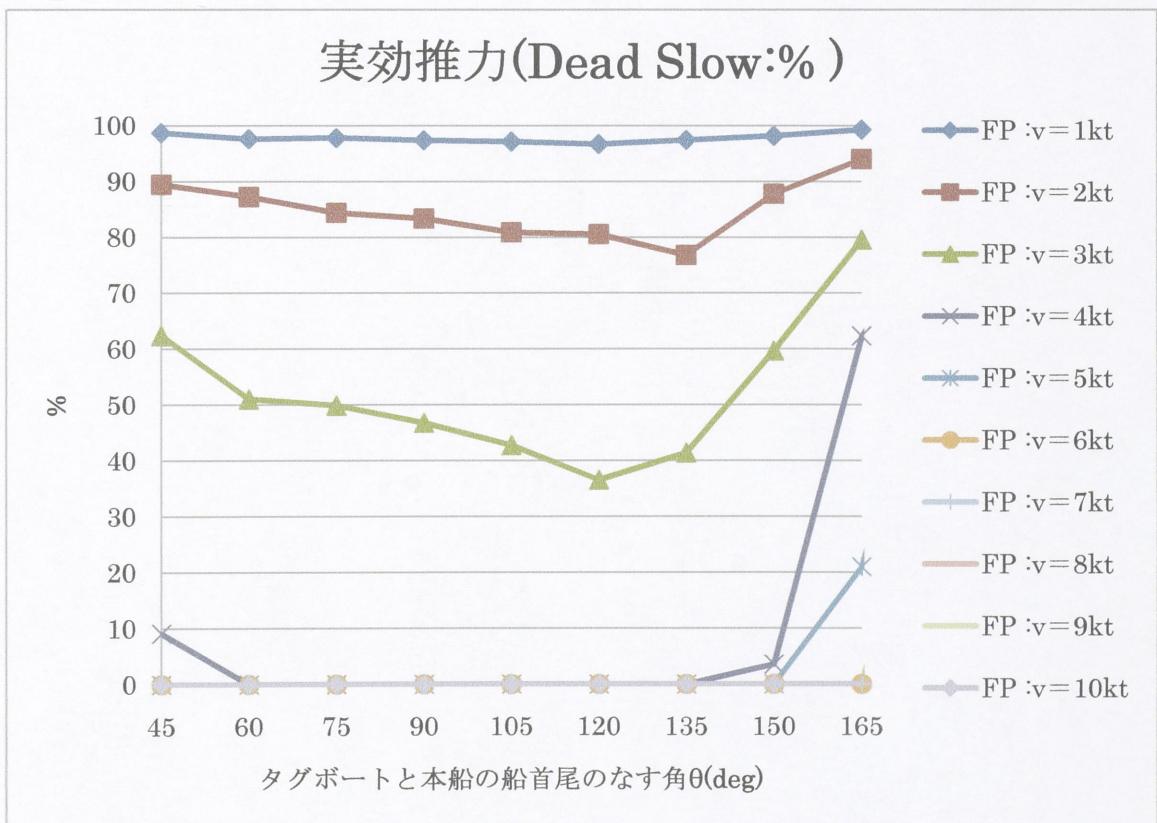


Fig.4-3-9 FP 押しモードにおける θ (deg)に対する Dead Slow での実効推力(%)

Push Mode 実効推力:FP

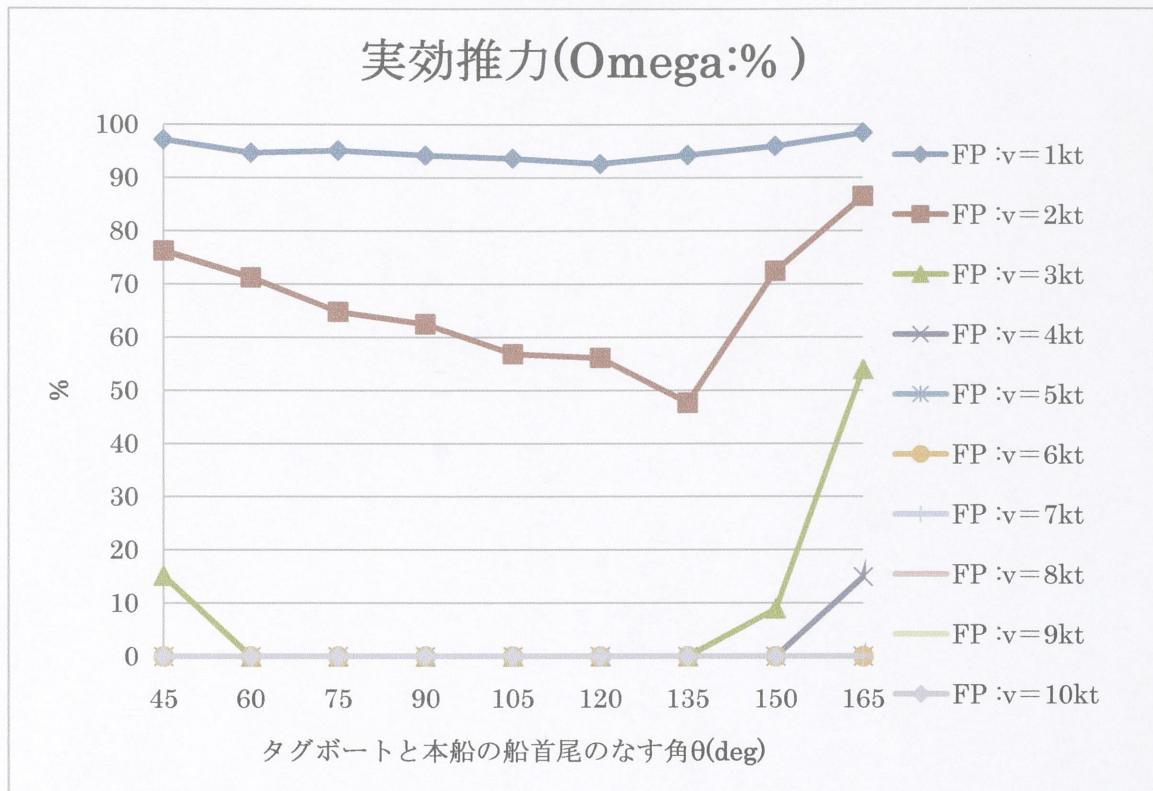


Fig.4-3-10 FP 押しモードにおける θ (deg)に対するエンジン Omega での実効推力(%)

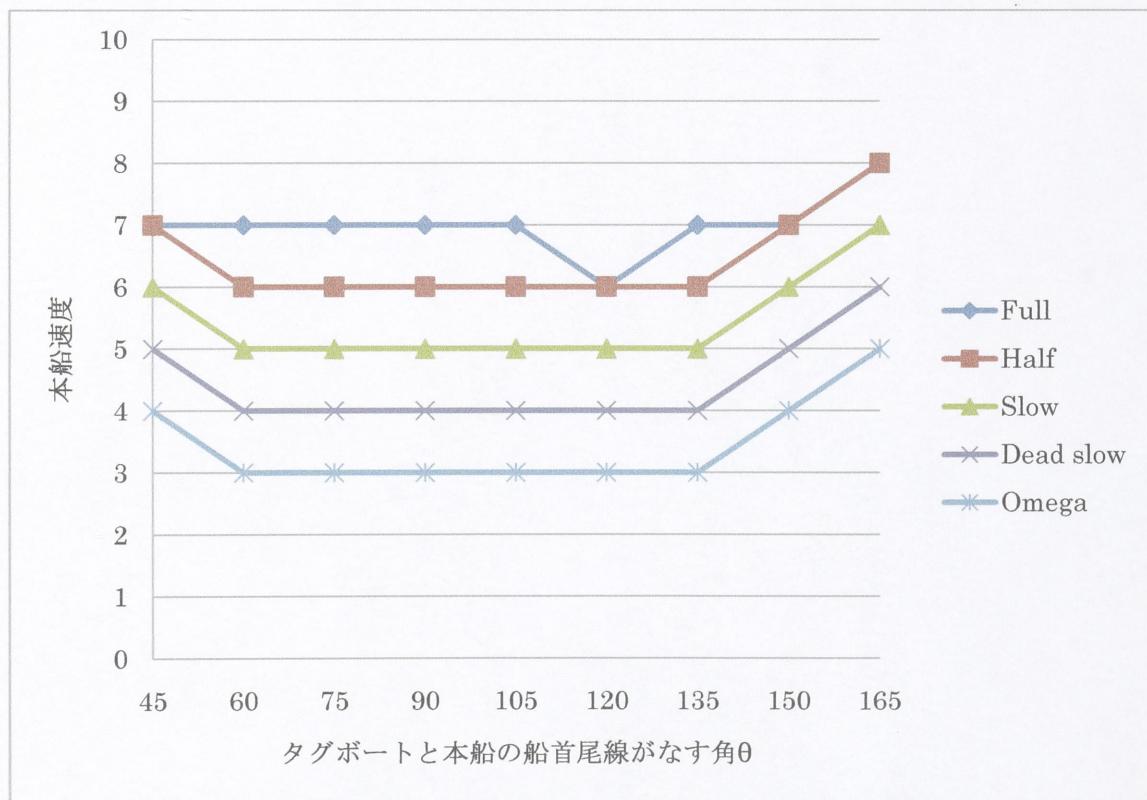


Fig.4-3-11 タグボート運用限界における本船速度(Push:FP)

Push Mode:実効推力:AP

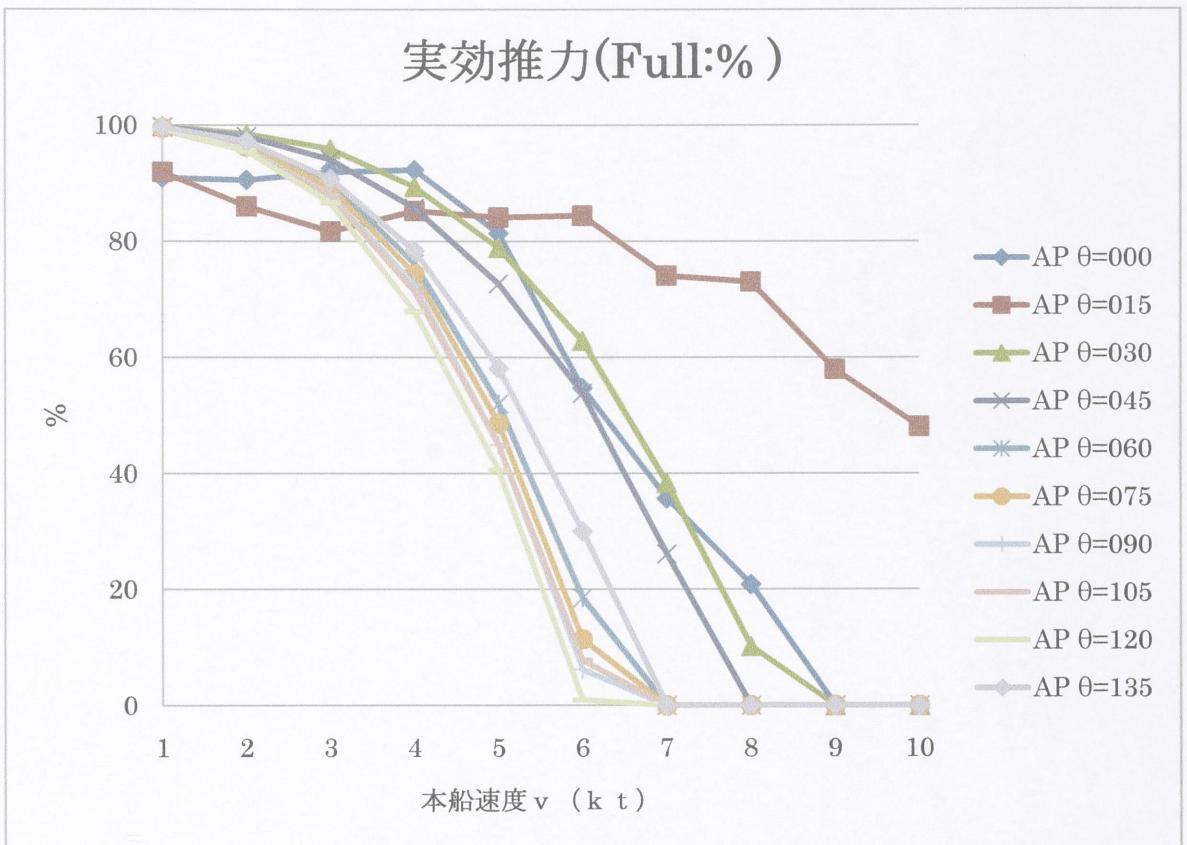


Fig.4-3-11 AP 押しモードにおける本船速度 v (kt)に対するエンジン Full での実効推力(%)

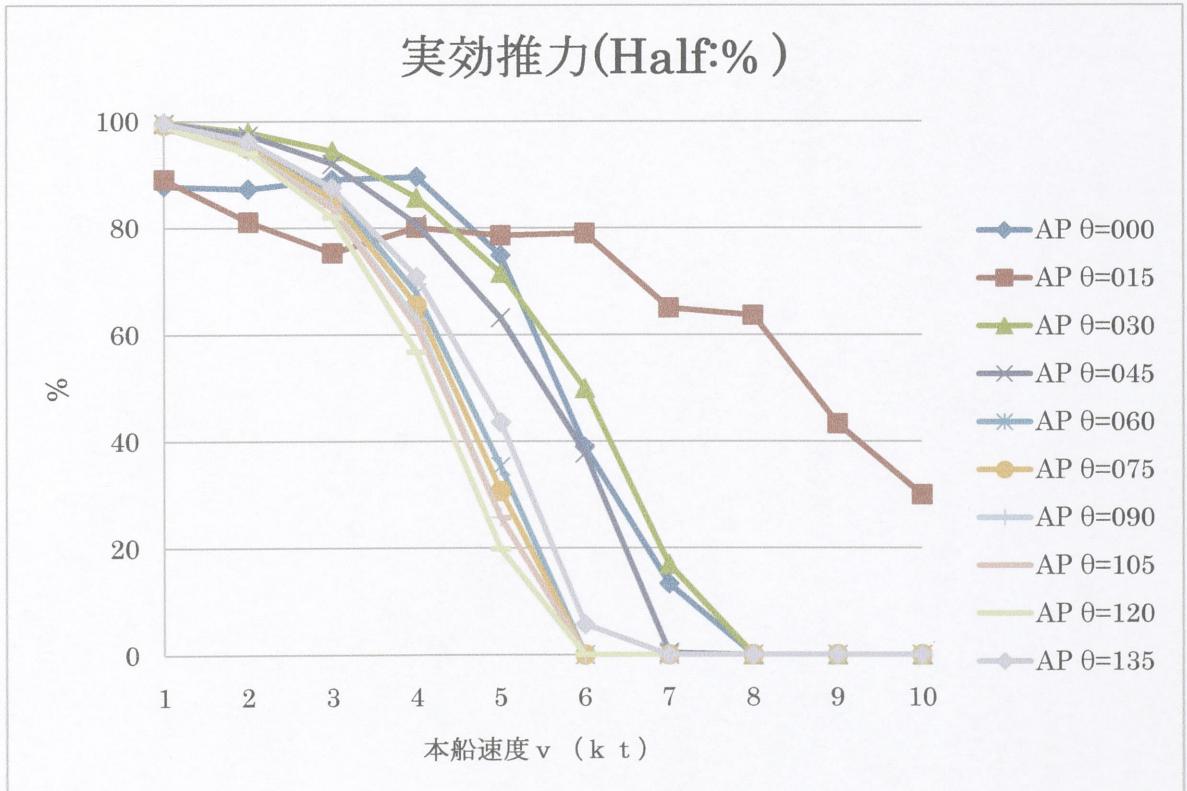


Fig.4-3-12 AP 押しモードにおける本船速度 v (kt)に対するエンジン Half での実効推力(%)

Push Mode:実効推力:AP

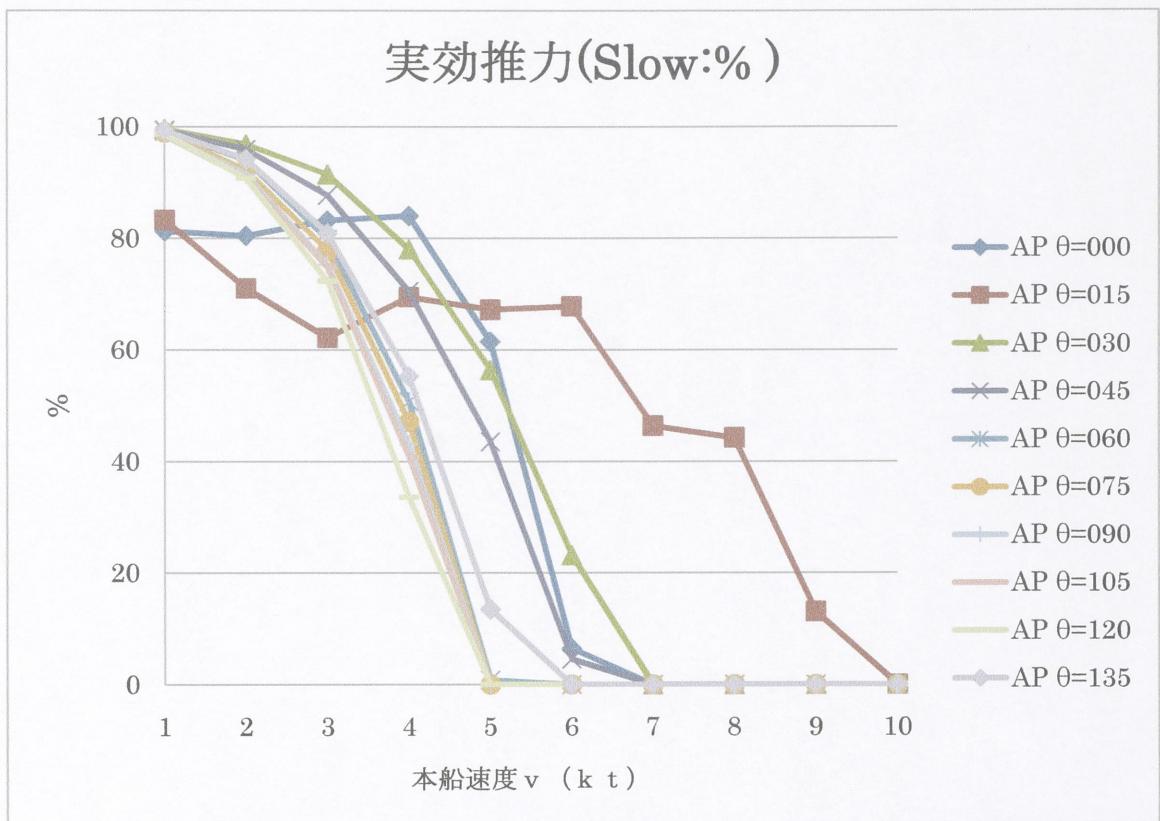


Fig.4-3-13 AP 押しモードにおける本船速度 v (kt)に対するエンジン Slow での実効推力(%)

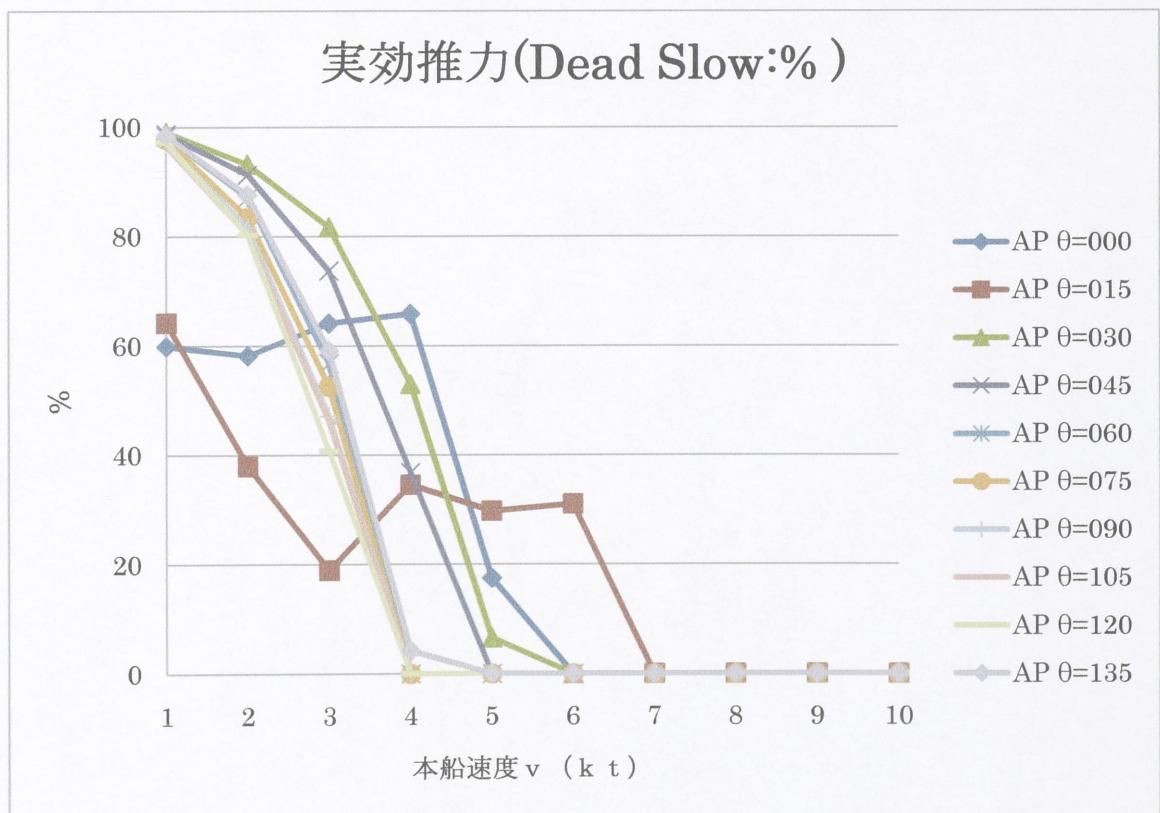


Fig.4-3-14 AP 押しモードにおける θ 本船速度 v (kt)に対する Dead Slow での実効推力(%)

Push Mode:実効推力:AP

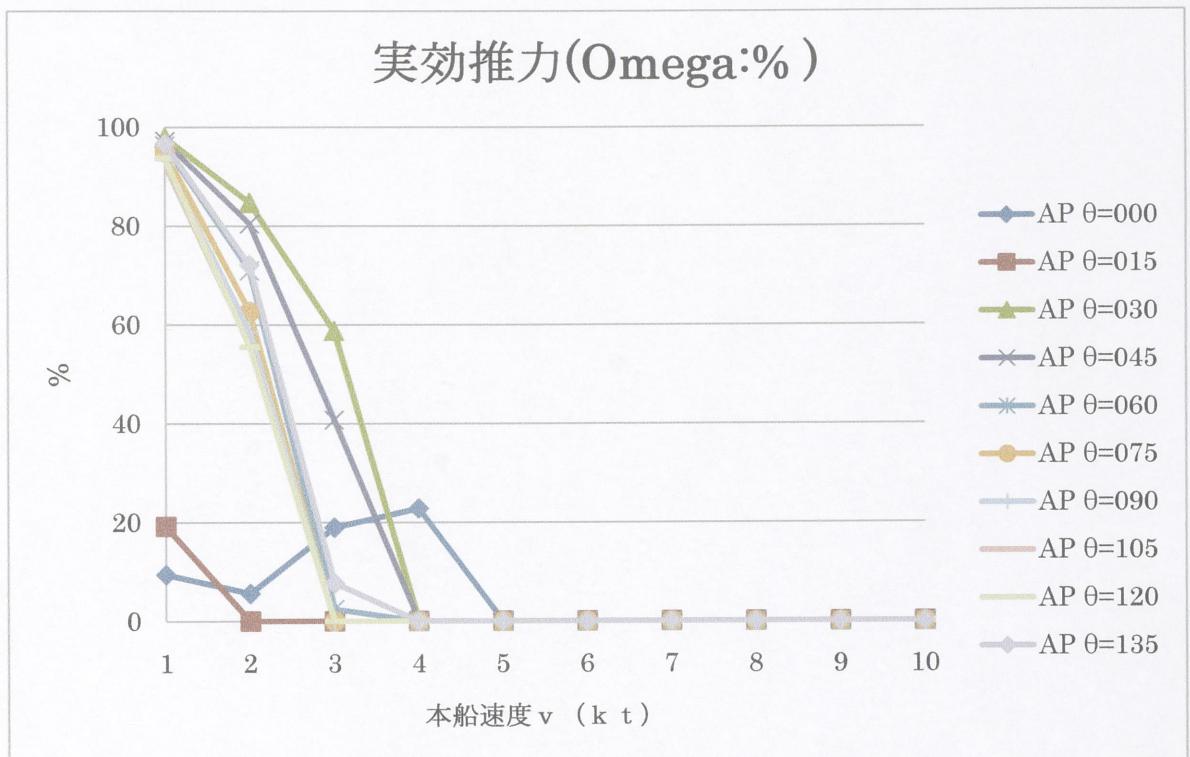


Fig.4-3-15 AP 押しモードにおける本船速度 v (kt)に対するエンジン Omega での実効推力(%)

Push Mode:実効推力:AP

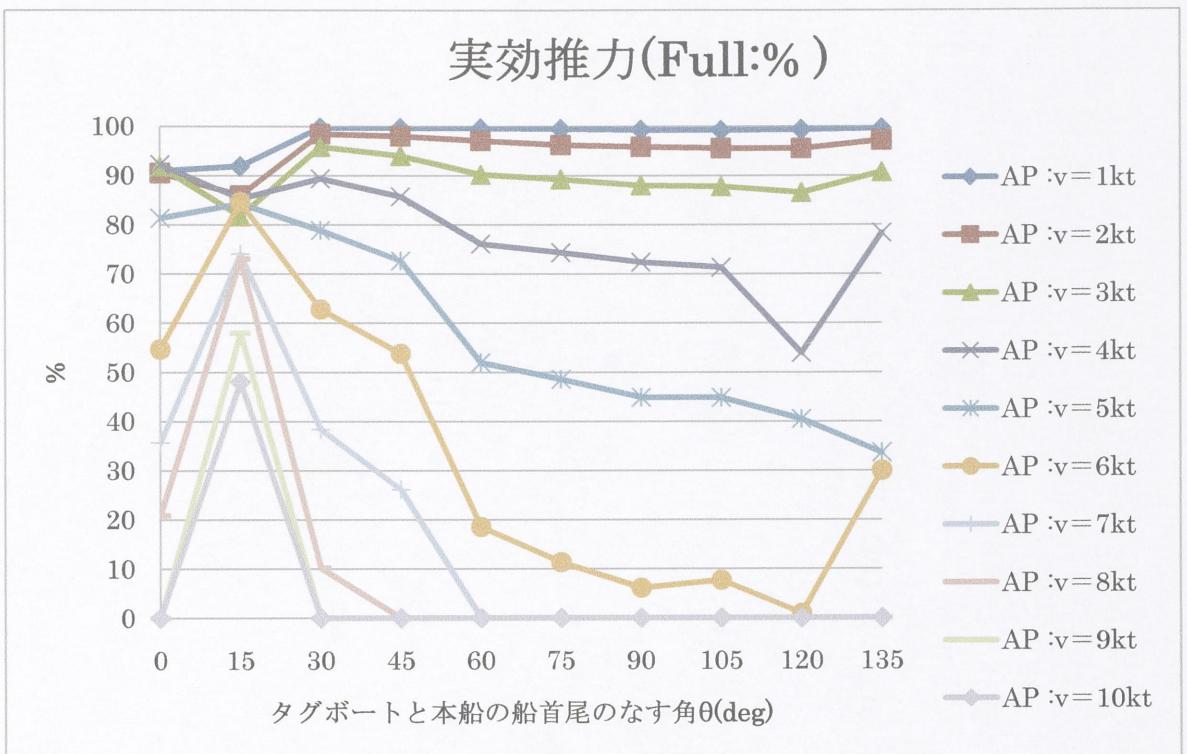


Fig.4-3-16 AP 押しモードにおける 0(deg)に対するエンジン Full での実効推力(%)

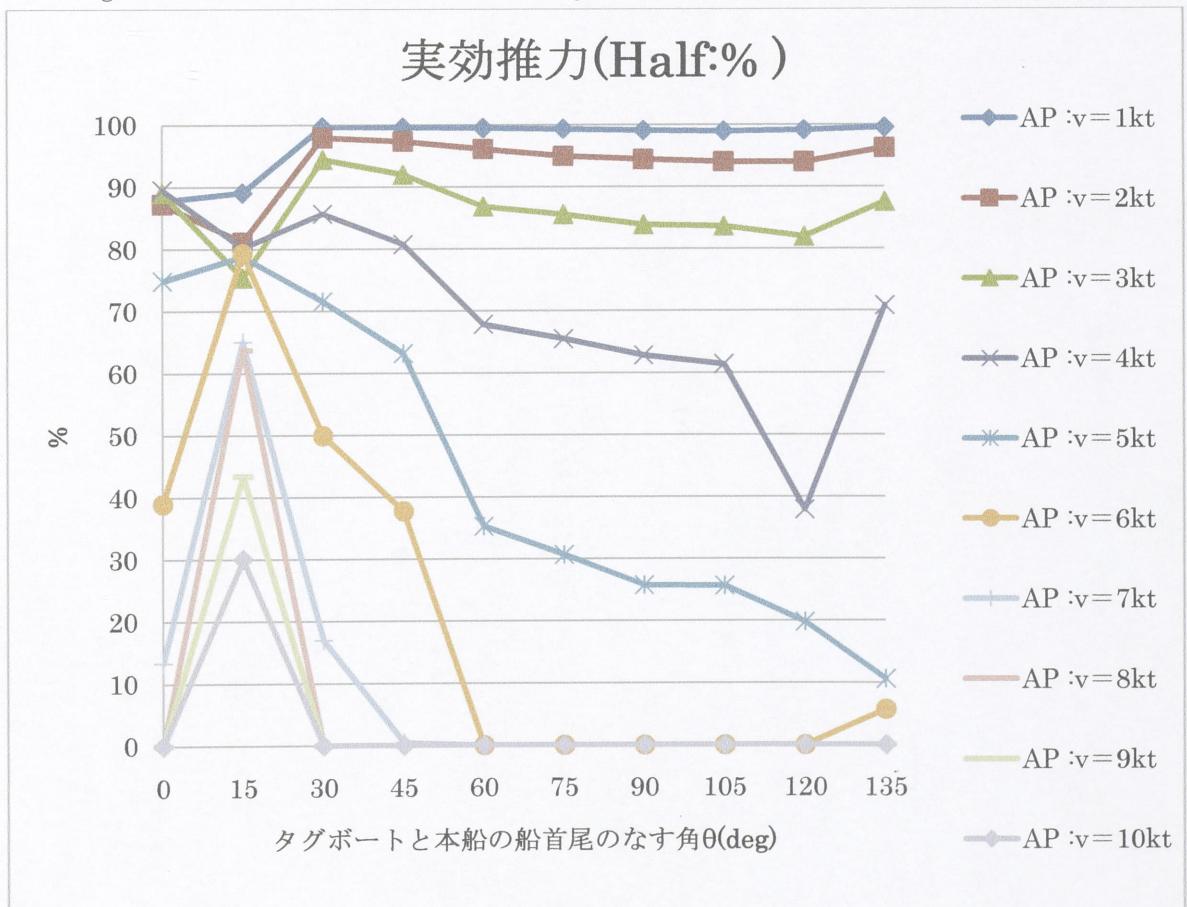


Fig.4-3-17 AP 押しモードにおける 0(deg)に対するエンジン Half での実効推力(%)

Push Mode:実効推力:AP

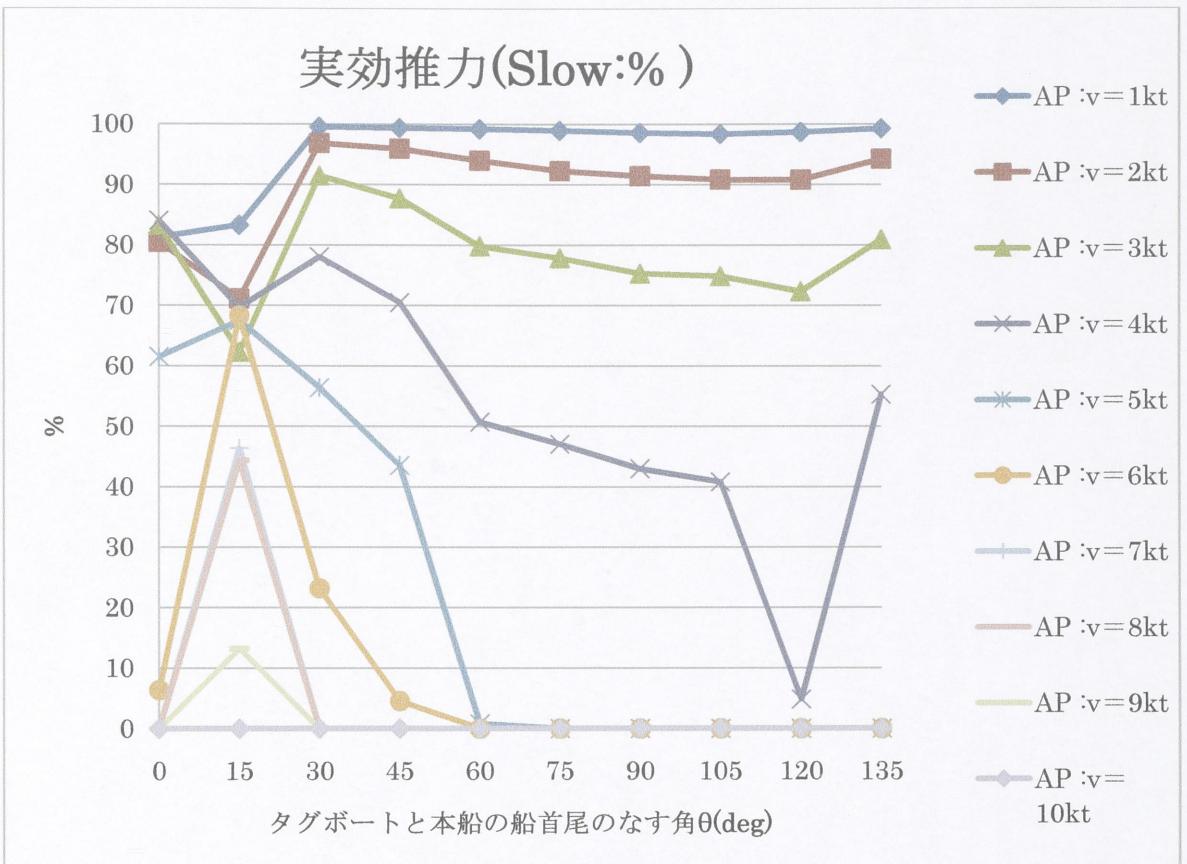


Fig.4-3-18 AP 押しモードにおける 0(deg)に対するエンジン Slow での実効推力(%)

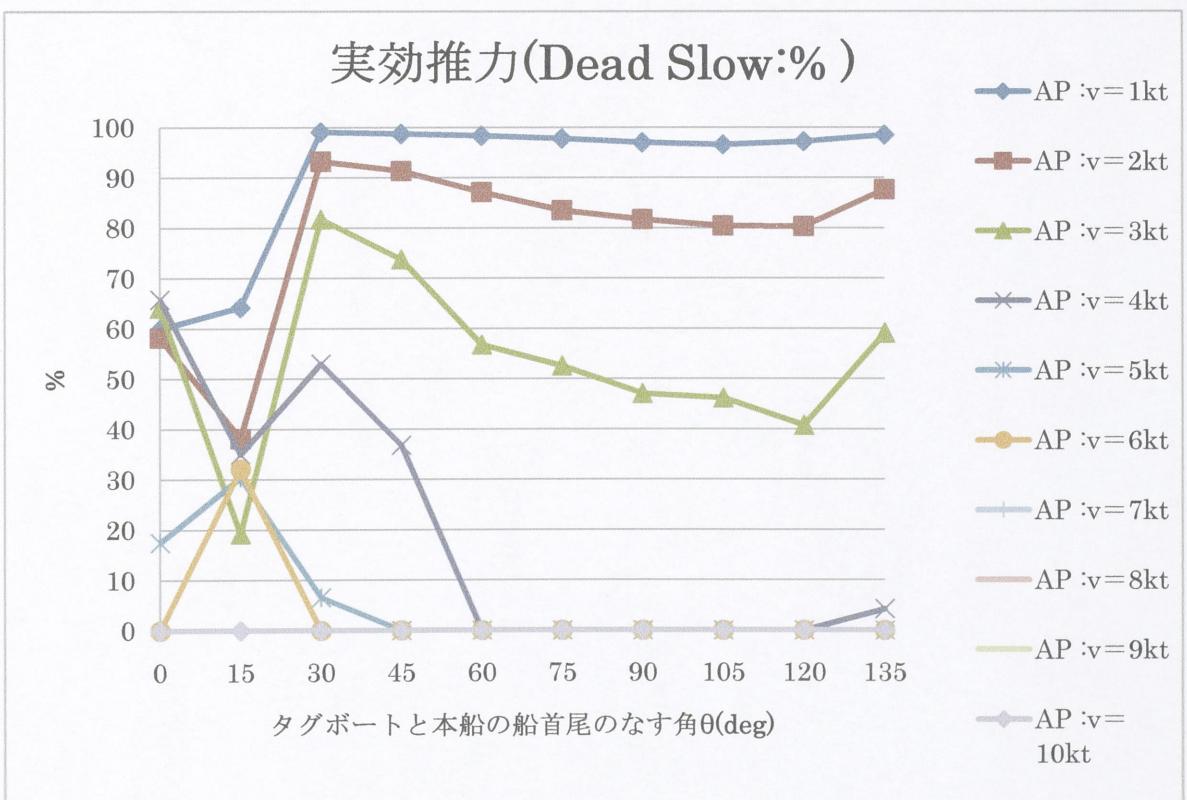


Fig.4-3-19 AP 押しモードにおける 0(deg)に対する Dead Slow での実効推力(%)

Push Mode:実効推力:AP

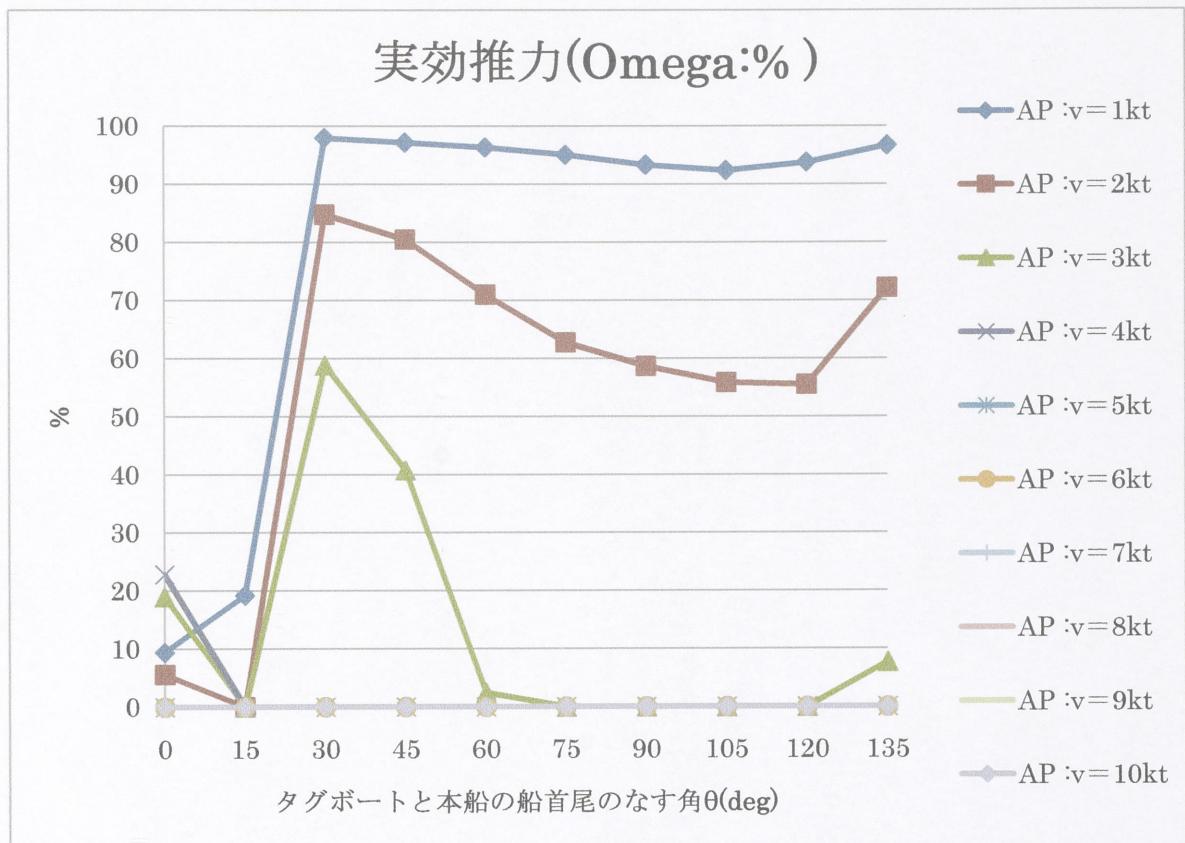


Fig.4-3-20 AP 押しモードにおける 0(deg)に対するエンジン Omega での実効推力(%)

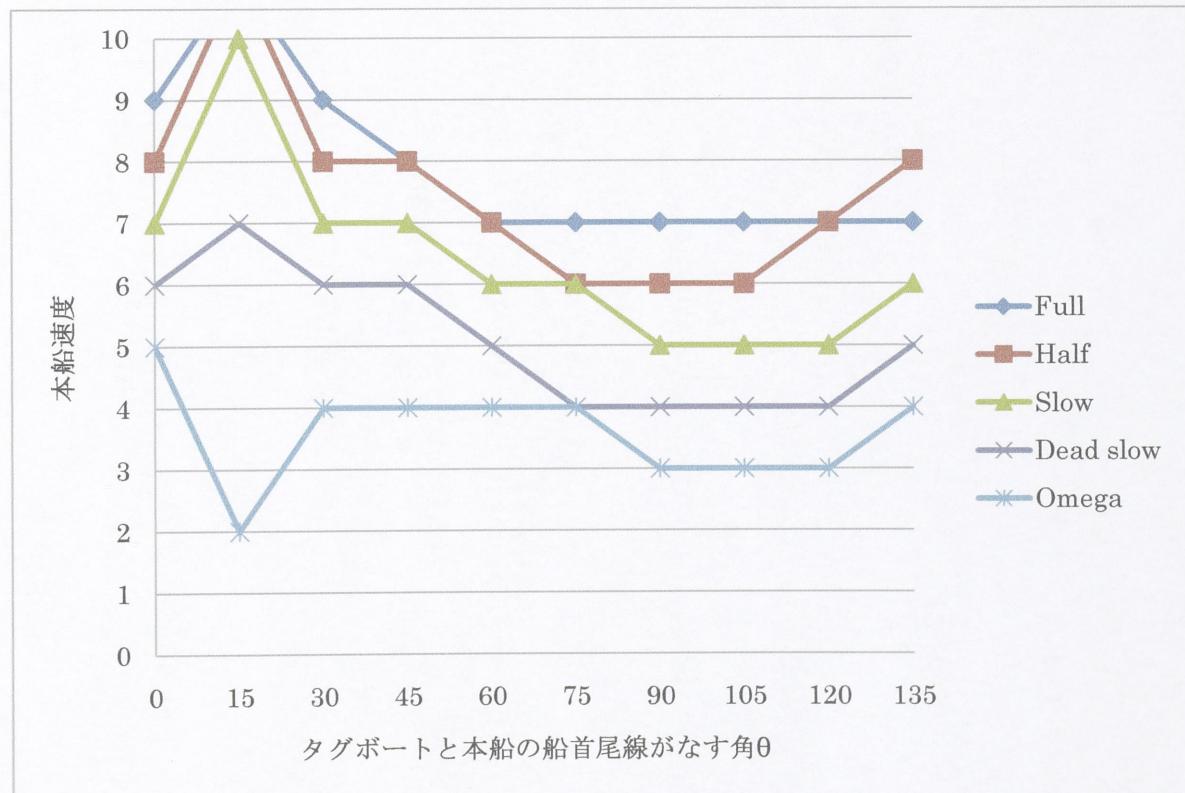


Fig.4-3-21 タグボート運用限界における本船速度(Push:AP)

5.結論

港内操船におけるタグボートの運用法は状況に応じて様々に変化する、本論文は東京湾水先区の典型的な港内操船に基づいたタグボートの位置・姿勢・本船速度について船舶性能実験水槽における抵抗試験を実施した。それを元に平水中のタグボートの全抵抗・実効推力を解析した結果、タグボート実効推力の減少と実効推力による 3100 馬力級のタグボートの運用限界を求めることができた。

その結果、以下のことが分かった。

大型商船の操船者が平水の港内操船において、主にタグボートを用いる操船をする場合、本船速度が 2kt 未満であればタグボートを用いる事が出来る。

本船速度が 2kt 以上では、タグボートの実効推力は、タグボート本来の出力の数十パーセント以下になるため、一段階上のエンジンモーションをタグボートにオーダーするか、本船を減速するかしなければ、タグボートを有効に使うことはできない。

また、本船速度が下がれば下がるほど、タグボートの実効推力は増加するため、如何に減速するかが、大型商船の港内操船において非常に重要になってくる。また、8kt 以上の本船速度では、ほとんど場合でタグボートは運用限界を超えるため、船体の制御にタグボートを用いることはできない。

大型商船の操船者が平水の港内操船において、主にタグボートを用いる操船をする場合、押す位置に対して最も多く用いるオーダーは「3 時」「9 時」であったが、その近傍のタグボートの姿勢、即ち、「2 時」「4 時」「8 時」「10 時」は最も実効推力の低下する角度であるため、通常用いる「3 時」、「9 時」の方向よりタグボートが効かないことがわかった。

即ち、タグボートを本船に対して真横方向に効かせながら、更に前後方向に働く方向を向かせようというときは、真横方向にのみ働くより大きなエンジンモーションをタグボートにオーダーする必要がある。

なお、本実験ではタグボートが船首位置にある場合より、船尾位置にある場合の方が実効推力の減少が大きく見られたが、実際の現場においては、前進中の本船に対しては、船尾位置より船首位置のタグボートのエンジン出力の大きさを大きく使う。この違いについては、本研究がから実効推力を解析したのに対して、船体の運動については、前進中の船体に加わる横方向の力は、船首にかかる力より、船尾にかかる力の方が大きなモーメントを発生するためである⁴⁾。

最後に、本実験では、風潮流等による外力の影響をまったく考慮しない実験を行ったが、実際の操船に当たっては風潮による外力影響が全くない状況は存在しないため、実際の運用限界は状況により変化することが考えられる。

6.参考文献

- (1) 海技振興センター :水先概論 p152 2008年9月 (財)海技振興センター
- (2) 橋本進・矢吹英雄 :操船の基礎第三版 p91 2001年3月 海文堂
- (3) 定兼廣行・金沢正則 :タグボート推進器交流による曳航力減少に関する検討
日本航海学会論文集第107号 pp115-120 2002
- (4) 元良誠三 :船体と海洋構造物の運動学 第5章 2.2 1992年6月 成山堂

7.謝辞

本論文の作成にあたり、指導教官として直接指導して頂きました庄司邦昭教授、南清和准教授に厚く御礼致します。

また、実験の実施にあたり多くの助言を頂いた三田重雄助手、手伝いをして頂きました庄司邦昭研究室の矢澤隆弘院生、吉田南穂子院生、上浦鉄平院生、康和平院生に深く感謝します。