

第三節 広域航路交差部管理の設計

(1) 管理方式決定手順

本節では、前節で得られた管理方式の決定手順に基づいて、広域に広がる航路交差部に対する管理方法を考える。管理方法の設計にあたっては、先ず、水深や各港の配置などから決定される航路体系の把握が必要である。

管理方法を決定する上で、重要となる航路体系の要素は、交差部間の距離である。港、あるいは、大洋から最初に遭遇する交差部に対する通過時刻の決定は、出港時間の調整や大洋中における長い調整距離の確保から比較的容易である。しかし、一度航路内に進入した船は、各交差部間の距離によって、交差部までの時間調整量は規定されるので、交差部間の距離は重要な要素となる。

一般に、現在使用されている航路は、自然発生的な面はあるものの水深や各港の配置などから生じた背景から、合理的な形状を成している面が大きい。この点からみても、管理設計は、現状における航路体系を基準として出発することが妥当であろう。新しい航路の決定や交差部の設定は、この点からも、十分に現状の航路体系に対する管理方法の検討を行った後にすべきと考える。

しかし、一方では、現状における航路は、自然発生的背景から、一定の航路幅をもって、固定的に規定することが困難な面もある。又、交差部も点と定義することが難しい面もある。このような実状は管理方法を検討するには適当でないので、航路体系全体を主要航路を基準として、単純化して議論を進める必要がある。

そこで本節では、先ず現実の多様な交差部形状を分類し、その管理方法について考えることとする。現実の交差部形状の代表的なものを(図 5-2)に示す。前章迄の議論において、航路の幅は700mを考えていた。これは現行の海上交通安全法における最小の航路幅を反映したものである。これに対し現実の交差部への船舶の到着経路の幅は、(図 5-2a)に示すように、交差部を目標として集中してくる形状が多くある。交差部にお

いては、航路幅を規定する必要はあるが、交差部手前の航路に対しては、航路幅を特に限定する必要はないであろう。この場合航行船は交差部通行時刻にしたがって、船間距離が確保されて交差部へ集中してくると思われる。従って、(図 5-2 a)の交差部形状は通常の十字交差部として扱えば良いと考えられる。この点から、(図 5-2 b)は合流と交差が同時に起こっているが、内容的には十字交差部として取り扱えば良いことになる。そして、交差部交通量はⅠ、Ⅱ、Ⅲの総和を考えることが妥当であろう。

(図 5-2 c)では、ⅠとⅡの交通流は交差の関係にあり、ⅠとⅢは合流の関係にある。Ⅰからみると、先ずⅡの交通流と交差しその後Ⅲの交通流と合流することとなる。ⅠとⅡが交差として通行管理が行われるとき、Ⅰの交通流にはⅡの交通流を処理するための船舶流の間隙が発生することになる。この時間帯を用いてⅢの交通流を処理することによってⅠの交通流はⅢの影響を受けないこととなる。Ⅲに比べⅡの交通量が多ければ、Ⅰの間隙は増加するので、交通流Ⅲの影響はほぼ無くなり、この交差部はⅠとⅡの交差を考えれば良いこととなる。更に、ⅢがⅠへ合流する地点が交差部から遠く離れている場合や、次の交差部である場合にはⅠとⅢはこの交差部で干渉し合う要素はなく、この交差部は完全にⅠとⅡの十字交差部として考えれば良いこととなる。

この考え方を延長することにより、(図 5-2 d)におけるⅢの交通流はCP2においてのみ交差をなすこととなり、交通流ⅢをCP1, CP2の十字交差部通過として扱うことは適当でないことが判る。十字交差として扱う必要があるのはCP1, CP2を確実に通行するⅠの交通流を対象とすればよいこととなる。

以上により、管理における制約条件としての航路体系の調査が完了したことになる。つづいて、具体的な管理方式検討に先立ち、交通状況の実態を把握しなければならない。特に、航行船種、交通量等は管理対象の特質として重要な要素である。この時、前節(図 5-1)で示した必要調整距離は一定の船種比率によって得られたシミュレーション結果であるから、現実の船種比率をこれに換算する必要がある。前述のごとく、不能船の発生

率がごく小さい場合には、面積対応による隻数換算が可能であることから、次の式によって、本論の結果を利用することができる。

$$N_s = N * \sum (\mu_i * (L_i / 50)^2) / \sigma$$

ここで

N_s : 本論分に提示された一日当り交差部通行隻数

N : 実海面における1日当り交差部通行隻数

L_i : 船長、 i クラスの船長

μ_i : 船長、 i クラスの通行船比率

σ : 本シミュレーションにおける通行船の50mへの換算比率

$$(\sigma = 2.8)$$

つづいて具体的な管理方式の設計に入るわけだが、その詳細は前節において述べられているので、ここでは省略する。以下に設計の手順の大筋を列挙する。

(設計手順)

- ① 対象海域における航路・交差部位置を特定化する。
- ② 交差部を使用する二航路の交通量を合計し、交差部における航行船舶数・船種を求める。
- ③ 各交差部における通行船舶数を本論における船種に対応し、換算船舶数を求める。
- ④ 各交差部の交通量に対応する必要調整距離を大型船、小型船に対して本論の結果(図5-1)より求める。
- ⑤ ④で求めた必要調整距離が、交差部間距離、あるいは交差部手前の航路長さとしてすべて満足されていれば、その交差部は単独管理可能と判断できる。
- ⑥ 交差部間距離が小型船の必要調整距離を満たし、大型船の調整距離を満たさない時は、大型船のみに対する系統式管理を考える。第一交差部手前の調整距離が、この時の必要調整距離を満たしていれば、大型船のみに対する系統式管理が可能となる。
- ⑦ 交差部間距離が小型船の必要調整距離を満たさない場合は、全船に対する系統式管理

を考えることになる。第一交差部手前の調整距離が必要調整距離を満たしていれば、系統管理によって二つの交差部は管理可能となる。

以上の手順に従い設計を進めることにより、管理方法が順次決定されることとなるが、⑥、⑦において、第一交差部手前の調整距離が条件を満たさない場合は航路体系の見直しや、交差部の移動を考える必要が生じる。しかし、ここに示した設計手順は、基本的なものであり、現実における多様な航路体系全てに対して、その特徴を考慮したものではない。この様な場合、本論において検討した内容を考慮することにより、基本的な設計手順を越えた管理方法を考えることが出来る。以下に、本節での検討範囲を越えた事項について述べることにする。

(二航路の交通量に著しい差がある場合)

第四章、第2節(2)の項に示した通り、「交差部交通量を一定とすると、二航路の交通量が等しい場合、交差部容量は最少となる。そして、二航路の交通量に差がある場合、交通量の比が大きくなるにしたがい、調整不能船の発生率は減少し、同一調整距離においても、交差部容量は増加する」こととなる。したがって、本論の設計手順は最も安全側の評価を行っている。そこで、本論の設計手順において、管理不可能と判断される場合でも、交通量に差がある場合は、これを考慮することによって、管理の可能性が変化する場合もあるので、各ケースに応じてシミュレーションを行い、詳細な検討をする必要がある。この点については、次節において具体例が示されることとなる。

(航路が密に配置されているために二つ以上の交差部が接近してある場合)

連続する交差部において、大型船は必要調整距離が長いために、管理方法の検討段階において問題となる場合がしばしば生じる。このような場合、大型船はこれらの交差部に対し、連続した通過時間の登録を行うことが考えられる。これにより、遠方の交差部に対して優先権を持つことになるが、前述の通り、大型船の数は少ないので、小型船に及ぼす悪影響は少なく、それを補償する調整距離を小型船へ与えることによって多くは解

決できるであろう。このように、極めて過密な航路体系においては、大型船の運航は体系内において連続的に管理することが有効になると思われる。先に述べたように、航行船の90%は小型船であり、この大半を占める船に対しては個別に管理を設定し、大型船は系統的に通航させてもその影響はかなりの部分許容できると考えられる。

(2) 東京湾船舶交通流に対する交差部管理

本項では、本論で得られた検討結果並びに前項の管制方法決定手順にしたがい、東京湾内における航路体系に対し、広域管制の計画案を作成する。

(図5-3a)は、東京湾における主要航路体系を示したものである。海上交通安全法による規制航路は、中央南北に通る浦賀水道と浦賀水道から延長する中の瀬航路等があり、これら法律により定められた航路を太い枠線で示している。その他の矢印により示された航路は、法律により定められたものではないが、何らかの形で推薦された航路、あるいは多くの船が通常航行する航路を示したものである。東京湾内における航路体系は周辺に大きな港が多く存在することから複雑な形状を示す代表的なものである。

湾外から進入した船舶は、浦賀水道を北上することとなる。浦賀水道北端付近まで進行した交通流は、ここで、行き先に応じてそれぞれ別々の航路へと向かう。主な流れは、東京、千葉へ向かう交通流であり、これは、中ノ瀬航路を通して北航することとなる。これに続く主要な交通流は、浦賀水道北端まで航路内を進行し、ここで大きく二つに別れる。一つは、そのまま直進して根岸に向かう交通流であり、他の一つは、針路を 30° 程右転して北航する交通流である。この交通流は、中ノ瀬航路の西側にある中ノ瀬と呼ばれる浅水域の西側を迂回して横浜沖まで北航し、ここで左転して横浜港へと入港する。一方、中ノ瀬航路を北上してきた、交通流の一部は木更津港へ向い、主要な交通流の一つは、中ノ瀬航路の北端をすぎた地点より左転し、横浜方面へと向っている。そして、他の主要な交通流は、そのまま北上して東京、千葉へ向かうこととなる。途中、川崎へ分岐する交通流があるが、80%の船舶は、東京、千葉へ向かっている。

一方、湾外へ向かう交通流は、東京、千葉を源とし、これに途中、川崎、木更津、横浜、根岸、からの出港船が加わりつつ南下し、浦賀水道を経て湾外へ向かうこととなる。

他方、これら全体の交通流に比べるとわずかな交通量ではあるが、横須賀へ入出港する船舶が存続している。

以上の交通状況より、東京湾南部における交通流には、五つの交差部があることが判る。

一つは、CP1で示され、木更津からの出港船と、東京、千葉、川崎への入港船との交差である。又、CP2は、東京、千葉からの出港船と川崎へ入港する船舶との交差である。CP3は、東京、千葉、川崎からの出港船に木更津からの出港船が加った南航の交通流と横浜への入港船が交差することとなる。なお、横浜への入港船には、中ノ瀬航路を経由した交通流に、中ノ瀬を迂回した交通流が加わって、CP3を横浜へ向かうこととなる。

続いて、CP4は、南航する前述の交通流に横浜からの出港船が加わり浦賀水道北端の北の地点で根岸への入港船と交差することとなる。さらに南航する出港船の交通流は、CP5で横須賀への入港船と浦賀水道航路内で交差し、その後は、浦賀水道を経て、湾外へと向っている。

以上の交通流の内容と前述の交差点における交通流の評価とを比較検討することにより、各交差点の管理の対象を決定する。各交差点における交通流の状態を(図5-3b)に示す。

CP1は、東京、千葉への北行航路と木更津出港船が該当し、典型的な十字交差点である。

CP2において、川崎からの出港船は、次のCP3を目標として進行することになるのでCP2の管理対象とならず、CP2の管理対象船は、東京、千葉からの出港船と川崎への入港船が対象となる。

CP3では、南航する船舶流として、東京、千葉、川崎、木更津からの出港船があり、これに交差する交通流として横浜への入港船が該当する、横浜からの出港船は、次のCP4で南航船に加わると考えられる。したがって、CP3の管理は横浜への入港船と東京、千葉、川崎、木更津からの出港船が対象となる。又、CP4では、これら全ての出港船と根岸入港船が管理対象となる。

CP5は、CP4を通過した出港船と横須賀入港船が対象となる。

(図5-4)は、以上の交通流の状況と主要港の出入港船舶隻数を示したものである。なお、ここに示す船舶数は、昭和49年の航行量調査をもとに船長75mの標準船に換算

して得られた隻数である。

(図5-4)より判るように、東京湾は1日当り約300隻の船が湾外より入港し浦賀水道、中ノ瀬水道を北上しながら随時分岐し各港へ向かっている。中でも横浜、川崎、東京、千葉へ向かう船が全体の70%を占めている。

一方南行する船は、これとは逆に湾口へ近づくに従い増加してくる。。この航路体系における問題点は、湾の西側にある港へ向かう船はすべて南向き航路と交差する点にある。さらに、湾の深部の港へ向かう船が多いために南向き航路は北に位置する川崎港以南において既に出湾船の2/3を占めそれ以南の交差部容量が全て大きくなってしまいう点にある。

(図5-4)をもととして、各交差部における交通量と、交差部間距離を示したものが、(図5-5)である。(図5-5)では、本シミュレーションデータとの対応を取るために、占有面積換算の交通量換算を行い、換算後の交通量を、四角枠内に示している。

(図5-5)において各交差部間に記された数字は現状における交差部間距離をkm単位で示している。設計手順に従い、各交差部に対する管理方法について(表5-2)により検討を進める。

(表5-2a) は、各交差部が単独管理可能か否かを検討するためのものである。一行目は、各交差部の番号を、二行目には各交差部の一日に通航する船舶数を面積換算による隻数で示している。三行目は二つの要素を表し、上段は交差部通航隻数に対応する大型船の必要調整距離、下段は小型船の必要調整距離を示している。交差部へ進入する航路の長さがこの値を超えていれば、その交差部は単独管理が可能ということになる。ただし、ここに示した値は、本論の第四章の検討によって得られたものであるから、現実としては、操船者の余裕を考え、この値の1.5倍以上の調整距離を設定する必要がある。

四行目以下の欄は、各交差部を使用する航路の状況を示している。先ず、各交差部毎に、使用航路の手前の交差部名を示している。手前に交差部がない場合は、その状況に応じて、港名、あるいは、外洋にあたるものとして湾外の表示をしている。

そして、各交差部、各航路毎に、時間調整に使用できる調整距離の長さを示している。

交差部手前が港である場合は、出港時間調整により、時間調整が可能であり、調整距離の制限がないことと同様に考えて良いであろう。また、湾外からの進入の場合も、同様に考えて良いと考えられる。このことから、手前が港の場合は、H、湾外の場合は ∞ の記号で示している。

問題となるのは、調整距離が明確に提起されている場合、即ち、交差部の手前に交差部がある場合である。各交差部について順番に検討を進めることとする。

CP1は、湾外から進入してきた船舶のうち、横浜、川崎、東京、千葉へ向かう船舶と木更津から湾外へ向かう船舶が交差する点である。木更津からの出港船は一日当たり、10隻と少ないが、交差部を形成することとなる。時間調整のために使用できる距離は、一方の航路は湾外からの長距離が与えられ、他方の航路は木更津港を控えている。この点から、この交差部の単独管理は可能と判断される。

CP2は、東京、千葉から湾外へ向かう船舶、湾外から川崎へ入港する船舶が通航する交差部である。この交差部を使用する一方の航路は、CP1と結合しており、交差部間距離は19.6 Kmである。大型船の必要調整距離が5.0 kmであるから、約4倍の余裕のある調整距離といえる。他方、東京、千葉からの航路も十分な距離を有しているので、この交差部も単独管理可能となる。調整距離から決定する交差部容量は現状の交通量をはるかに上回ったものとなるので、この交差部は大変余裕のある交通状況にあると言える。

CP3は、東京、千葉、川崎から湾外へ向かう船舶と、湾外から横浜へ向かう船舶、木更津から湾外へ向かう船舶が通航する交差部である。この交差部を使用する航路のうち、CP2から結ばれる航路は12 Kmあり、この航路については、調整距離に問題はないことになる。しかし、CP1と結合する航路は交差部間距離が5.5 Kmである。必要とする調整距離は大型船で5.6 Km、小型船で3.2 Kmであるから、大型船に対して十分な距離である。小型船に対しては、1.7倍の余裕をもって調整距離が確保できることになる。

以上のことから、この交差部は大型船に対しては単独管理不可能と判断されるので、さ

らに検討をすすめる必要がある。もし、CP3の航行船が全て小型船の場合には、交通量が現状の210隻/日から240隻/日と増加しても小型船は1.5倍の余裕をもって調整距離が確保出来ることになり、現状の交通量は最大交通量の87%の状態であると言える。

CP4は、根岸以北の港からの湾外へ向かう船舶と、根岸へ入港する船舶が通航する交差点部である。この交差点部も、関係する航路のうち、2航路は湾外、あるいは港を控えているので問題ない。CP3と結合する航路も9Kmあるので、大型船に対しても1.6倍の余裕をもって調整距離が確保でき、単独管理が可能となる。CP4の交通量が現状の222隻/日から264隻/日となっても、大型船は1.5倍の余裕をもって調整距離が確保でき、現状は最大交通量の84%の状態にあると言える。

CP5は、横須賀以北の港からの湾外へ向かう船と、湾外から横須賀へ入港する船舶が通航する交差点部である。この交差点部はCP4と結合する航路に問題があり、大型、小型船両船種に対して不十分な調整距離であるので、単独管理は不可能と判断される。

(表5-2a)において、交差点間距離に下線を引いた部分が、単独管理を不可能にしている原因となる部分である。CP3はCP1との距離が大型船に対して短いこと、CP5はCP4に近接していることが原因であることがわかる。

この四箇所の交差点部に対し、系統管理の可能性を検討する。CP3はCP1との系統管理を考え、CP4とCP5との系統管理を考えることになる。

(表5-2b)は、系統管理の可能性を検討するための表である。

第一行目には、系統管理の対象となる二つの交差点部番号が示されている。第三行目には、二つの交差点間距離が示されている。第四行目は、二つの交差点部を系統管理する時、その交通量と交差点間距離に対応した必要調整距離が示している。

四行目以下は、対象とする二つの交差点部を使用する航路の状況を示している。

CP1とCP3の交差点部の組合せについてみると、交差点部を使用する3航路のうち、2航路は、交差点部の手前が、湾外、あるいは、港であるので問題がない。他の一つの航路は、

CP2に接続する航路で、その距離は12Kmとなっている。必要調整距離7.7Kmに
対し、約1.6倍の余裕をもって、系統管理が可能と判断される。この時、系統式管理を
全船に対して行うか、大型船に限定して行うかは、交差点間距離と小型船の必要調整距離
との関係によって決まる。単独管理の可能性を検討した過程からわかるように、CP1と
CP3は、小型船に対しては十分な調整距離であったので、この交差点には大型船にたい
してのみ系統管理を行うことが適当であることになる。又、この二つの交差点を系統管理
する場合の最大交通量は240隻/日であるから現状の210隻/日は87%の交通量と
言え、13%の余裕があることとなる。

次に、CP4とCP5の交差点について検討すると、この二つの交差点を系統管理する
ときに必要な調整距離8.7kmに対し、CP3とCP4との距離が9.0kmと短く、
1.5倍の余裕をもって調整距離が確保出来ず、系統管理も不可能であることがわかる。

しかし、ここに示す必要調整距離8.7kmは一つ交差点を通行する船舶が二航路に半
数ずつ通行する状況に対して必要とする調整距離を示している。これに対し、CP4、C
P5における各二航路の交通量は、南行航路が圧倒的に多数であり、これを横切る根岸、
横須賀への入港船の数は、これに比べごく少数である。第四章、第二節(2)「二航路の
交通量が異なる場合の交通流特性」の項において示した通り、次のことが言える。「二航
路の交通量に差がある場合、調整不能船の発生率は両航路の交通量が同一の時最も大きく、
交通量の比率によって調整不能船の発生率は変化し、必要調整距離が変化する」。特に、
ここに対象とするケースのように交通量の差が著しい場合には、調整不能船の発生率は、
二航路同一交通量に比べ大きく減少し、それに対応して必要調整距離も減少すると考えら
れる。

そこで、二航路の交通量の差を考慮して、CP4とCP5の管理方法について考えるこ
ととする。

今、CP4における、全通行隻数は222隻であり、この交差点における二航路の通行
隻数比は $210:12=17.5$ である。又、CP5における全通行隻数は242隻であ

り、通行隻数比は、 $222:20=11.1$ である。

まず、両交差点を単独管理する場合を考えると、CP4は、先の単独管理に対する検討結果からも明かの通り、余裕をもって単独管理が可能と判断される。一方、CP5は調整距離3kmで有り、1.5倍の余裕を取る場合、最大2kmの調整距離において、交差点容量を確保する必要が生ずる。ところが、調整距離2kmでは二航路同一交通量において、交差点交通量240隻/日で25%の調整不能船が発生する。航行密度に差が生じるに従い、発生率は減少するものの、航行密度比11.1の状態においても、4.9%となり、CP5の単独管理は困難であることが判った。

そこで、CP4、CP5に対し、二航路の航行隻数の差を考慮した系統式管理方法について検討を行う。十字交差点において、二交差点を通行する航路上の船舶を著しく多く設定し、これを横切る航路上の船を少なくした場合の調整不能船発生率の変化を調べることとする。

(図5-6)は、これに対応して求めた航行隻数比の変化に対する調整不能船発生率の関係である。交差点間距離を3000mとし、調整距離を6000mの条件の下に交差点通行隻数が180隻、210隻、240隻、の各ケースについて示されている。本図から判るように、全交通隻数222隻、通行隻数17.5のCP4の状態も、全通行隻数242隻、通行隻数比11.1のCP5の状態も共に調整距離6000mにおいて、調整不能船の発生率は、本論の基準としている0.1%を下まわることとなる。

以上の事から、通行隻数の比を考慮することによってCP4、CP5についても、系統式管理を行う場合に必要となる調整距離は6km確保出来れば良いこととなる。従って、CP4、CP5は調整距離9kmを有するので1.5倍の余裕をもって系統管理が可能と判断することが出来る。

以上のように、東京湾南部の複雑な航路体系に対しても、本論に示す管理方式の設計手順を基本として管理方式案を提示出来ることが明かとなった。

現実の多様な航路体系についても、管理方式設計の基本は、本論の手順に従って進める

こととなるが、実際には、各航路体系に応じて本論の結果を用いることにより、次に示すような多様な展開を行うことが可能となる。

① 二航路の交通量が著しく異なる場合

本論の設計手順は、二航路交通量が等しい場合を基本とすることにより簡便でかつ安全側の評価を行っている。二航路の交通量が著しく異なる場合には、本節で示した様に交通流の詳細な検討を行うことにより、現実にもくした評価が可能となる。

② 十字交差点における交差点容量の向上

十字交差点の基準状態は、各航路の調整距離を等しく設定している。本論第四章第3節で示した様に二つの交差点を通行する航路上の船舶（従航路船）が二番目に通行する交差点では、他方の航路上の船舶（主航路船）は交差点間距離に対応する登録時間差により優先権が低下し調整不能船が多く発生する。そこで、主航路の登録時刻を従航路船と同等にするために、主航路の管理域を従航路よりも交差点間距離に相当する距離、拡張することにより、調整不能船の発生を減少させることができ、交差点容量の向上が可能となる。しかし、管理域の拡大は航行船の負担の増加を伴うものであるから、常に採用される方法ではなく、状況に応じて採用の判断を行う必要がある。

③ 十字交差点における二交差点の合体化

（図5-1）によると、同一の交差点容量に対して必要とする調整距離は、系統式管理では、単独管理に比べ3-5km長くなることが示されている。この事は、従航路の交通量がこれに交差する航路に対して、極端に多い場合には、二つの交差点を一体化することにより、交差点交通量はわずかに増加するが、必要調整距離は3-5km減少することを意味している。

例えば本論において、CP4とCP5は、東京湾の出口付近に位置するために、湾の奥からの出港船が90%を占め、その流れを横切る根岸、横須賀への出入港船は10%程度である事は先に述べた通りである。このことから、二つの交差点を合

体して一つの交差点としても、交差点交通量は元の値に比べて余り変化しないことがわかる。

今、二つの交差点を一体とした場合、面積相当による換算隻数は264隻になる。

新しい交差点を単独管理するために必要な調整距離は大型船に対しては、6 Km、小型船に対しては、4 Kmである。新しい交差点として、在来のCP4を用いれば、

1. 5 倍の余裕を持った単独管理が実施できることとなる。

交差点の移動に伴う、航路の延長が許される状況であるならば、この方法も有効な交差点容量の増加方法となる。

第四節 むすび

本章では、前章までの研究結果を統合し、現実の航路体系に対する交差部管理方式の設計方法について検討を行った。船舶の特性、通航船舶の内容、航路の実態等を考慮することにより、管理方式の基本を次のように整理した。

広域にわたる複数の交差部を対象として考える場合にも、管理方式の基本は各交差部を単独に管理することが望ましいことは明らかとなった。そして、航行船の特性とその内訳を考慮すると小型船とこれ以外の大型船は別個に取り扱い、各々独自の管理を設定することが適している。さらに、交差部の使用状況を均一化するために、小型船以外の大型船に対しては、管理域への到着規制を行う予備管理を併用することが適当と考えられる。予備管理により大型船の負担は増加する事になるが、負担の代償として通行の優先権が与えられることになる。又、小型船に対しては、特性に応じた管理域が設定されるので管理に伴う負担は軽減することとなる。

又、以上の管理方式の基本に従い、管理方式の設計を進めるとき、交差部同士の干渉により単独管理が困難な場合が生じる。本論では、このような状態に対する処置として、系統式管理を採用することを提案し、その採用の基準を示した。

つづいて、現実の航路体系、交差部における船舶の流れを検討し、広域航路体系に対する管理方式の設計手順を示した。そして、本章で示す設計手順に従い、東京湾中南部における航路体系に対し、管理方法の具体案を示した。東京湾中南部は、船舶交通量が多い代表的海域であるばかりでなく、湾周辺に大きな港が点在するために、出入港の航路は複雑で、互いに交錯している問題の多い海域でもある。検討結果によると、本論で示す管理方式の設計手順により、管理方式を提示できることが明らかとなった。

第六章 結論

海上交通の安全は衝突事故の防止と乗り上げ事故の防止により、大幅に改善されるといわれている。海上交通安全法の施行後、国内における輻輳水域では、航路指定により、行き合い状態での衝突事故が著しく減少した。その結果、衝突事故の大半は航路交差点における横切り状態の事故が占めることとなった。しかも、海難事故が減少する中で横切り状態における事故は、増加の傾向を示している。一方、海上交通安全法は、交通流の整流化に重点をおいたものであり、交差点交通流の安全性についての規定はごくわずかである。

航路交差点における航行の安全性は、交通量の少ない範囲では、個々の操船者の判断による変針避航を主とする現状の衝突回避操船で十分であろう。しかし、交通量が増加した場合は、可航水面の制約や、操船者の情報処理能力の限界により、現状の衝突回避操船では、十分な安全が確保できないこととなる。交通量が多い場合、異なる方向へ進む船舶が、一つの交差点を同時に使用することは、安全上きわめて問題がある。交差点航行の安全を確保するためには、交差点を占有する航路を、時間毎に切り換え、一定時間は一方の船舶流のみが交差点を使用する、時間分割使用が有効である。交差点の安全性を確保するために、航行する各航路の船舶に平等に通行時間帯を割り振り、かつ、交差点到着以前に通行時間帯を船舶に通報する事に、交差点航行管理の存在意義がある。

従来、限られた海域を対象とした航路設定は、海上交通の輻輳化に伴い、次第に広い海域にわたる航路のネットワークに進展してきている。本論文は、航路交差点の通行問題を一般化し、広域にわたる航路体系の中に存在する交差点を対象として、交差点を安全に航行するための交通管理方法を研究したものである。

はじめに、管理は、管理を受ける船舶の特性を反映する必要があることから、交差点管理の方法と、これに対応する船舶の動特性の関係を求めた。

交差点管理の方法としては、管理側はまず、管理域に入った船舶から交差点通航予定時刻の通報を受けることとなる。管理側は既に通報された他の船舶の交差点通航時刻を参照

して、該当船の交差部通航時刻を決定し、船舶へ通報する。

管理より指示された時刻が予定した交差部通航時刻と異なる場合、船舶は交差部へ到着する時間調整を行う必要がある。しかし、船舶が調整できる時間には限界があり、これを決定する要素としては次のものが挙げられる。

- (1) 船舶の加減速性能
- (2) 加減速操船方法
- (3) 時間調整のために使用できる航走距離
- (4) 船舶の初期速度
- (5) 交差部通過速度

連続する交差部を続けて通過する広域交差部を対象とする場合、交差部通航のための操船は、交差部を定められた時間内に通航する事と、次に通航する交差部に対する時間調整を行うための初期状態としての速力を確保する必要がある。この点から、交差部通航の操船モデルとして、交差部を定時に定速で通航する操船方法を考えることが適当である。そこで、本論文では、交差部通航の制御モデルとして定点定時定速通過操船を考えることとし、交差部を定速で定時刻に通過する、この制御モデルに対し、調整可能な時間を求めた。船舶操縦系の問題は、マンマシン系の問題として捉える必要があるが、本論ではまず、船の特性と時間調整の性能の関係を知らんとした。操船方法として、速力制御をBang-Bang制御によるものを基準として考え、4種類の船型に対し、初期船速、通過船速を各種変化し、時間調整に必要な航走距離（必要調整距離と呼ぶ）を求めた。

計算結果は最短時間制御則によって得られた調整距離であることから、特に必要最小距離と呼び、次の結果を得た。

- (1) 必要最小距離は交差部通過船速が増加すると増加する。
- (2) 必要最小距離は初期船速が通過船速に比べ小さい時激増する。
- (3) 必要最小距離に対する船型の影響は通過船速が大きい時、顕著となり、必要最小距離は大型船において著しく増加する。

以上の点が明らかとなった。

最適制御則に基づいて得られた結果の妥当性と操船者特性を調べる目的で操船シミュレータ実験を行った。この操船実験を通して次の点を確認することができた。

(1) 実験より得られた操船者の制御パターンは、時間的余裕のない場合は、ほぼBang-Bang制御の形をとり、余裕のある場合は、操作量の大きさを減少する形となる。

この点から、仮定した最短時間制御則は、操船者の加減速制御とよく対応している。

(2) 操船者が時間調整の操船を行うとき、最短時間制御則と同じに操作することはできない。このために、実際の操船時には、計算値以上の調整距離を必要とする。操船実験結果によると、人間の操縦において必要とする調整距離は、必要最小距離の1.5倍から2倍の距離を必要とすることがわかった。

以上の考察により、調整時間量とこれに必要な調整距離の関係が、操船者特性、航行船の加減速特性、航行速度、通行速度等を全て含んだ形で得られたこととなる。

続いて、現実の交差点部管理を考えた場合、航行船にどれほどの時間調整を要求しなければならぬかを知る必要がある。要求する時間調整量は次の要素が関係することとなる。

- (1) 交通量
- (2) 航行船種
- (3) 航行条件(並列航行の条件、追越しの条件)
- (4) 管理方式(通行時間の配分方法)

交差点部の交通流特性に影響を与える以上の各種要因と、交通流特性との関係を調べるために、デジタル・シミュレーションのシステムを作成した。そして、このシステムを用いて、次の交差点部形状について交通流特性を調査した。

- (1) 十字交差点部
- (2) 卐字交差点部
- (3) 井型交差点部

各要因と交差点特性の関係を示す評価量として、時間調整不能船の発生率を採用した。時間調整不能船とは、与えられた調整距離で調整できる時間量を超えて時間調整を要求される船である。時間調整不能船は、交通量が多く、待ち時間が長い場合や、調整時間に比べ、調整距離が短い場合に発生することになるが、一方では、管理方法によっても各船に対する調整時間は変化し、時間調整不能船の発生率は変化するものである。この様に、時間調整不能船の発生率は、交差点通航の効率を評価するのに有効な指標となっている。

先ず、二航路交差点については、各種交通要因に対して検討を行った。得られた結論は次の通りである。

単一交差点の基準状態としては十字交差点を対象とし、二航路の調整距離、交通量比等を一定として検討を進めた。そして、基準状態に対する変化として、交差点形状が合流である場合、二航路の調整距離や交通量が異なる場合、そして、航行船種の混合率が基準状態と異なる場合について検討を行った。これらの検討の結果、各種の交通要因と交通流特性の関係が明かとなった。特に、二航路の交通量が異なる場合でも交通流の特性は、交通量均一の時の特性を基準として評価することが基本となる。しかし、交通量が著しく異なる場合には交通量の差が増加するに従い調整不能船の発生率は減少することになるので交通状況に応じた交通容量の推定が必要である。又、航行船種の混合率が異なる場合も、面積換算の換算隻数によって交通流の特性は整理できること等が明かとなった。

続いて、連続する二つの交差点が接近しているために、短い交差点間距離で必要とする時間調整が行えない場合がある。このような場合、二つの交差点の通航時刻を船の特性に合わせて、系統的に配置することが有効となる。本論では、この管理方法を系統式管理方法と呼び、十字交差点を対象として検討を行った。得られた主たる結論を次に示す。

- (1) 系統式管理は交差点間距離の短い航路形状に大変有効に機能する。
- (2) 系統式管理を大型船に限定しても、小型船に与える影響は少なく、その有効性に変化はない。

続いて、交差点が複雑に結合する代表例として井型交差点に対し、交差点管理下での交

通流特性を検討し、本論の適用性と拡大利用の可能性を確認した。

以上の各種シミュレーションを通して、大型船の通航状況が交差点交通流の効率を左右する重要な要素となることが明らかとなった。要点を集めると次の通りである。

(1) 大型船は時間、速力調整が困難なことから、調整不能船になる可能性が高い。また、大型船が過大な時間調整を課せられると、交差点通航速力が低下し、交差点占有時間が増大し、後続の船列に調整不能船が高率で発生する。

(2) 交差点への大型船集中到着はしばしば交差点容量を超過する。この状況を改善するためには、大型船に対する予備管理を実施し、交差点使用の時間的均一化を図ることによって交差点容量を向上することができる。

以上の研究を通して交差点管理方式の設計のための基本的知見を得ることができた。つづいて、これまでの研究結果を統合し、現実の航路体系に対する交差点管理方式の設計方法について検討を行った。本論では次の三種の管理方式を提案し、各方式に対して、通行船の負担、管理の負担について比較検討を行っている。

①全船同等管理

②予備管理付き大小船型別管理

③予備管理付き船種別管理

航行船は管理域へ進入した時点から管理側の指示に従う必要があり、航行上の制約を受けることとなる。時間調整のために必要な調整距離に対して、管理下におかれる時間が著しく長い場合には、航行の制約は船舶にとって大きな負担となってしまう。この点から、管理域の広さは必要最低限であることが望ましいこととなる。このことは、広域の航路体系に対しても、全域を一括して管理するのではなく、できる限り分割して管理することが良いことになる。そして、管理域を分割することにより、副次的に管理方法の設計が系統

的に行える利点や、管理の運営において問題が発生した場合にも、その影響を局所的に制限できる利点を確保できることとなる。

結論として、広域にわたる複数の交差点を対象として考える場合にも、管理方式の基本は各交差点を単独に管理することが望ましいことになる。

次に管理域の広さの決定について考えると、時間調整に必要な調整距離は船舶の動特性によって決ってくる。船の性能に応じた管理域の決定が必要になり、性能の異なる小型船と大型船とは異なった管理域を設定する必要がある。一方、現実の海上交通を考えた場合、小型船は全通船舶の85—90%を占めることが普通である。15%以下に当たる大型船を基準として全通船舶の管理域を設定することは適当でなく、この点からも小型船と大型船とは別個に管理域を設定することが妥当となる。

また、管理の効率を向上するためには、交差点の使用を均一化する必要がある。このためには大型船に対し、管理域への到着規制を行う予備管理を併用することが適当となる。本論では、以上の検討結果より、予備管理付き大小船型別管理が、最も適した管理方式と判断している。この管理方式の基準に従い管理域を設定することにより、小型船はその動特性に応じた管理域が設定され、管理に伴う航行上の負担は最少となる。大型船は予備管理により負担は増加することになるが、小型船に比べ早期に通航登録がなされるので、通航時刻配分の上で、優先権が得られることとなる。

さらに本論では、以上の管理方式の基本に従い、管理方式の設計を進めるとき、交差点同士の干渉により全ての交差点に対して単独管理が困難な場合が生じる。このような状態に対する処置として、系統管理を採用することを提案し、その採用の基準を示している。

つづいて、提案した管理方式の設計方法の妥当性を検討するために、東京湾中南部における航路体系に対し、航路交差点の通行管理方法の設計案を示した。東京湾中南部は、船舶交通量が多い代表的海域であるばかりでなく、湾周辺に大きな港が点在するために、出入港の航路は複雑で、互いに交錯している問題の多い海域でもある。検討結果によると、本論で示す管理方式の設計手順により、交差点の管理方式を提示できることが明らかとな

った。

本論文は以上の通り、交差部航行管理方式を研究対象とし、先ず、交差部管理における管理対象である船舶の動特性について、操船者特性を含めてその特性を求めた。次に、各種の交通要因、管理方式に対する交通流の特性を求め、これらの検討結果に基づき管理方式の設計方法を提示し、その具体例を示しているものである。

謝

辞

本研究の遂行にあたって、研究方針、内容、さらには研究方法一般についても、幅広く御教示戴いた東京大学工学部船舶海洋工学科・小山健夫教授に対し、深甚なる感謝の意を表したいと思います。また、終始、温かい励ましを戴いた、東京商船大学・久々宮 久教授、広島大学・小瀬邦治教授、神戸商船大学・原 潔教授に対し心より謝意を表します。東京大学、石谷 久教授には交通管理の代表例としての最適経路問題についてご教示いただきました記して御礼申したいと思います

ならびに、本研究について、御討論戴いた東京商船大学・巻島 勉教授に感謝の意を表するものであります。

最後に、筆者に研究の機会を与えて下さり、かつ、研究の端緒より現在に至るまで長い期間に渡りご指導を頂いている東京商船大学名誉教授・谷 初蔵博士、ならびに大阪大学名誉教授・野本謙作博士に対し心より感謝の意を表したいと思います。

参 考 文 献

1. 藤井 弥平 : 海上交通工学 海文堂
2. 水城 他 : 海上交通事故の調査(そのⅡ) 日本航海学会論文集、第46号
3. 藤井 他 : 交通事故当量と交通危険度 日本航海学会論文集、第46号
4. 長沢 彰三 : 衝突の実態 日本航海学会論文集、第46号
5. 日本造船研究協会: 高度自動運航システムの研究開発 WG102 S 61
6. 海上保安庁監修: 海上交通安全法の解説 海文堂
7. 平野 新太郎 : 船舶の直交交差における 待ち時間及び交通容量について
日本航海学会論文集、第57号
8. 長畑 司 : 船舶の航路横断における待ちあわせ問題について
日本航海学会論文集、55号
9. 原 他 : 複線交差航路の解析とその応用例
日本航海学会論文集、第47号、S47. 5
10. 石谷、山本 : 2次元の自由移動体の管制方式に関する考察
日本造船学会論文集、第153号
11. 小山、荒井 : 東京湾航路体系のシミュレーションによる評価について
日本造船学会論文集、第140号
12. 小林、小山 : 海上交通管制からみた交差点通過問題
日本造船学会論文集、第148号
13. 小林、小山 : 井型交差点に対する航行管制について (第一報)
日本造船学会論文集、題153号
14. 小林、小山 : 井型交差点に対する航行管制について (第二報)
日本造船学会論文集、第154号
15. 小林、小山 : 航路交差点管制方法の検討
日本造船学会論文集、第157号

16・日本造船研究協会：SR175、加減速時における操船性能に関する研究、S53

17・神鳥 昭 : 関門海峡における衝突海難の分析

日本航海学会、航海 第45号

18・Fujii & Siobara : Study in Marine Traffic Engineering 英国航海学会誌

19・阿土、福井 : 来島海峡の安全通行に関する考察

日本航海学会、航海 第43号

20・大型船の海峡別海難発生率の期待値 日本造船協会 第106号

21・海上航行安全システム等に関する調査研究 日本海難防止協会(1971)

第一章

(表 1-1) 海上交通安全法が対象とする航路

(図 1-1 a) 浦賀水道航路、中ノ瀬航路

(図 1-1 b) 伊良湖水道航路

(図 1-1 c) 明石海峡航路

(図 1-1 d) 来島海峡航路

(図 1-1 e) 備讃瀬戸東航路、宇高東・西航路

(図 1-1 f) 水島航路、備讃瀬戸北・南航路

第二章

(表 2-1) 操縦特性定数

(図 2-1) 交差点における衝突危険発生確率を求めるための
交差点交通流モデル

(図 2-2) 交差点における衝突危険発生確立

(図 2-3) 交差点形状

(図 2-4) 交差点の時間分割使用時の待ち時間

(図 2-5) 連続する交差点に対する通過操船

(図 2-6) 定点定時定速通過モデル

(図 2-7) 定点定時定速通過モデル似たい刷る最短時間制御則

(図 2-8) 定点定時定速通過操船の状態変化 (1)

(図 2-9) 定点定時定速通過操船の状態変化 (2)

(図 2-10) 初期船速 (V_0)、通過船速 (V_p) に対する必要最小調整距離 (L_{min})

(船長: 50 m 船)

(図 2-11) 初期船速 (V_0)、通過船速 (V_p) に対する必要最小調整距離 (L_{min})

(船長: 150 m 船)

(図 2-12) 初期船速 (V_0)、通過船速 (V_p) に対する必要最小調整距離 (L_{min})

(船長：240m船)

(図 2-13) 初期船速 (V_0)、通過船速 (V_p) に対する必要最小調整距離 (L_{min})

(船長：300m船)

(図 2-14) 通過船速 (V_p)、初期船速 (V_0) と必要最小調整距離との関係

(図 2-15) 船長と調整距離の関係 (調整時間：5分)

(図 2-16) 調整距離に対する時間調整、速力調整誤差の関係 (50m船)

(図 2-17) 調整距離に対する時間調整、速力調整誤差の関係 (150m船)

(図 2-18) 調整距離に対する時間調整、速力調整誤差の関係 (300m船)

(図 2-19) 交差点通行時の時間、速力調整軌跡 (150m船)

(図 2-20) 交差点通行時の時間、速力調整軌跡 (300m船)

第三章

(表 3-1) 航行船の船種・船速

(表 3-2) 航行船の到着時間間隔

(図 3-1) 十字・井字交差点形状

(図 3-2) 井型交差点形状

(図 3-3) 先着船優先方式に対する通行時間配分の例

第四章

(図 4-1) 交差点形状

(図 4-2) 十字交差点における交通量、調整距離と調整不能船発生率の関係

(図 4-3) 船型別の交差点通行の平均調整時間 (調整距離：6000m)

(図 4-4) 二航路の交通量が異なる場合の調整不能船発生率

(図 4-5) 合流交差点における交通量、調整距離と調整不能船発生率の関係

(図 4-6) 十字交差点における航行船種と調整不能船発生率の関係

(図 4-7) 十字交差点において二航路の調整距離が異なる場合の
調整不能船発生率の関係

- (図 4-8) 指数分布による船舶の到着時間間隔の発生確率
- (図 4-9) 交差点管理を受けた後の船舶の到着時間間隔の発生確率
- (図 4-10) アーラン分布 ($K=2$) による船舶の到着時間間隔の発生確率
- (図 4-11) アーラン分布 ($K=5$) による船舶の到着時間間隔の発生確率
- (図 4-12) 到着時間分布と調整不能船発生率の関係 (調整距離: 6000m)
- (図 4-13) 十字交差点における交通量、調整距離と調整不能船発生率の関係
- (図 4-14) 十字交差点における交差点間距離、調整距離が
調整不能船発生率に与える効果
- (図 4-15) 十字交差点における航行船種と調整不能船発生率の関係
- (図 4-16) 調整不能船の船種別内訳
- (図 4-17) 十字交差点における全船系統管理と大型船系統管理の比較
- (図 4-18) 井型交差点における交差点間距離、調整距離と
調整不能船発生率の関係
- (図 4-19) 予備管理を行う場合の船舶の到着確率
- (図 4-20) 予備管理を行う場合の面積換算による船舶の到着確率
- (図 4-21) 予備管理を行った場合の調整不能船発生率 (十字交差点)
- (図 4-22) 予備管理を行った場合の調整不能船発生率 (十字交差点)
- (図 4-23) 予備管理を行った場合の調整不能船発生率 (井型交差点)
- (図 4-24) 交差点容量と調整距離の関係 (十字交差点)
- (図 4-25) 交差点容量と調整距離の関係 (十字交差点)
- (図 4-26) 交差点容量と調整距離の関係 (井型交差点)

第五章

- (表 5-1a) 交差点管理方法とその特徴
- (表 5-1b) 交差点管理方法とその特徴
- (表 5-2a) 交差点の単独管理の検討

(表 5-2 b) 交差部の系統式管理の検討

(図 5-1) 管理方法と必要調整距離

(図 5-2) 交差部形状と管理方法の分類

(図 5-3 a) 東京湾南部の主要航路体系

(図 5-3 b) 東京湾南部・主要交差部における交通流

(図 5-4) 東京湾南部の通行船舶数

(図 5-5) 簡略化した航路体系と換算交差部交通量

(図 5-6) 十字交差部において各航路の交通量が異なる場合の調整不能船発生率

付録

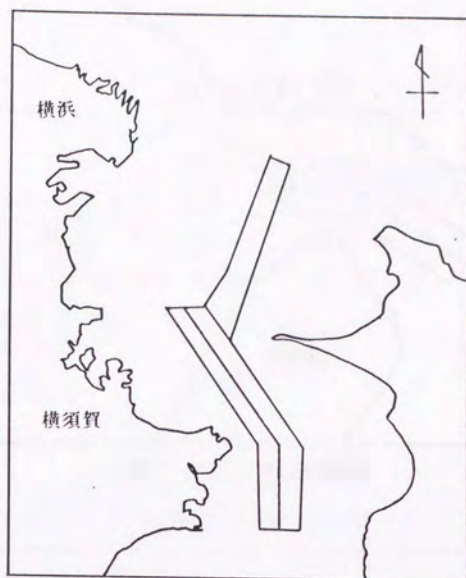
(図 付1) 操船シミュレータ平面図

(図 付2) 操船シミュレータ側面図

(図 付3) 操船シミュレータにおける情報の流れ図

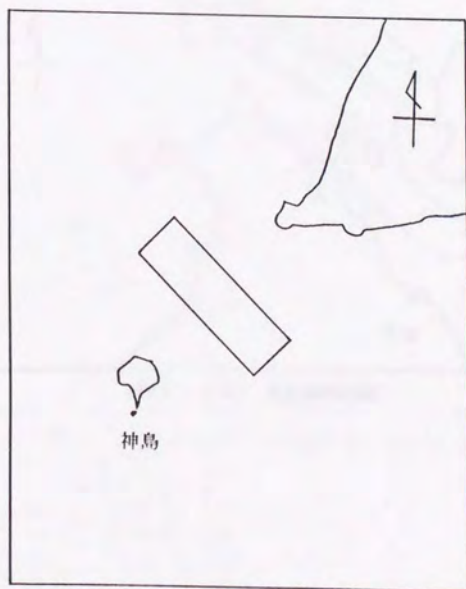
航路名	速力制限	通行方向	出入・横断の禁止
浦賀 水道 航路	全域	一方向×2	一部出入・横断の禁止
中ノ瀬 航路	全域	北航	なし
伊良湖水道航路	全域	両方向	なし
明石 海峡 航路	なし	一方向×2	なし
備讃瀬戸東航路	一部	一方向×2	一部横断禁止
宇高東航路	なし	北航	なし
宇高西航路	なし	南航	なし
備讃瀬戸北航路	一部	西航	なし
備讃瀬戸南航路	一部	東航	なし
水島 航路	全域	両方向	なし
来島 海峡 航路	なし	両方向	一部出入・横断の禁止

(表1-1) 海上交通安全法が対象とする航路



(図1-1a)

浦賀水道航路
中ノ瀬航路



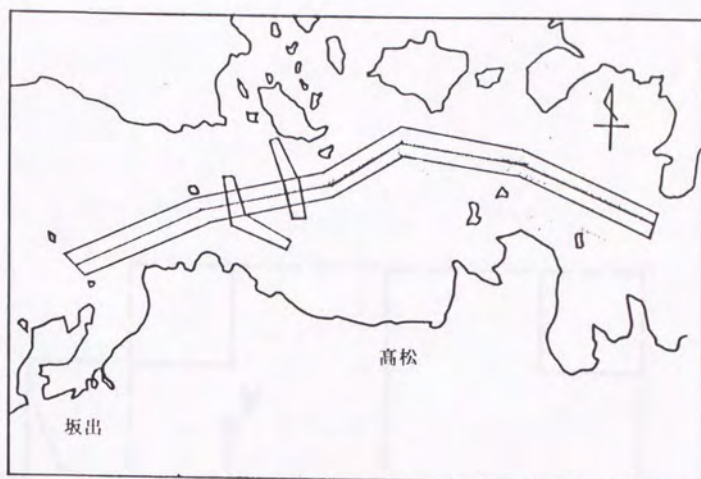
(図1-1b)
伊良湖水道航路



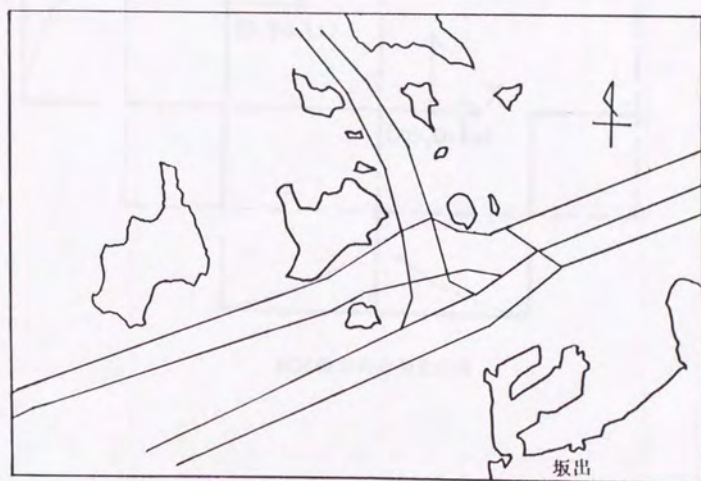
(図1-1c) 明石海峡航路



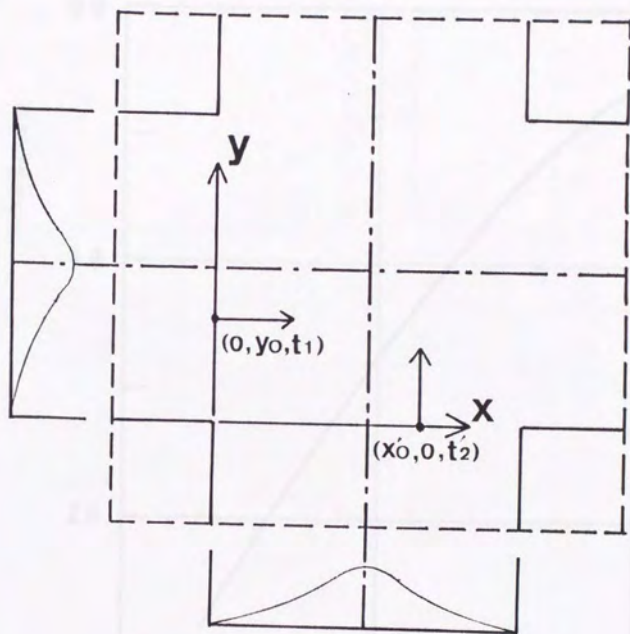
(図1-1d) 来島海峡航路



(図1-1e) 備讃瀬戸東航路、宇高東・西航路

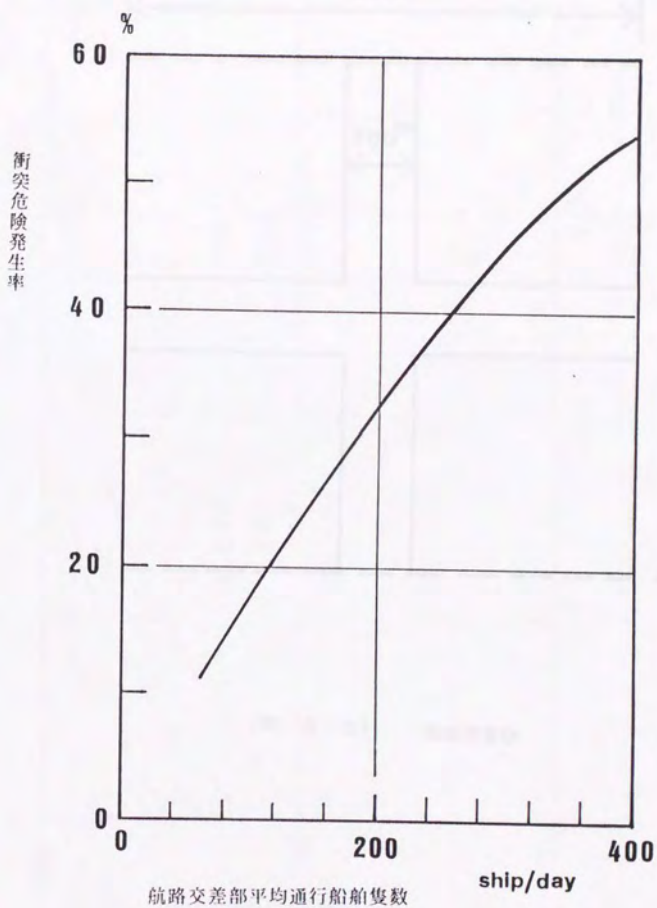


(図1-1f) 水島航路、備讃瀬戸北・南航路

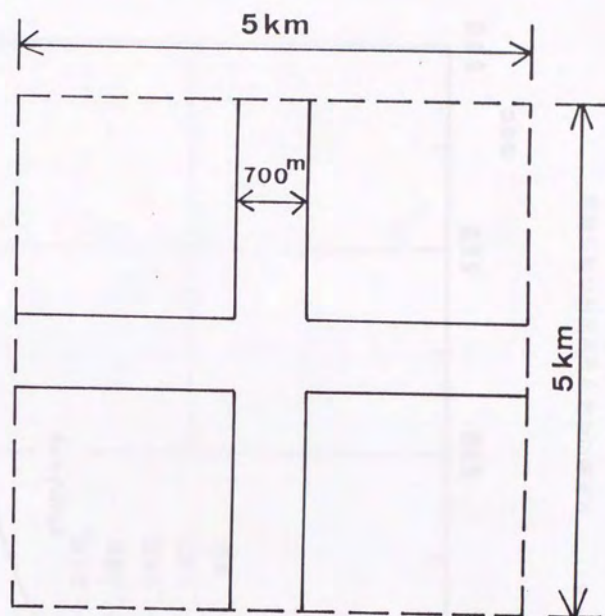


航路幅方向の発生分布

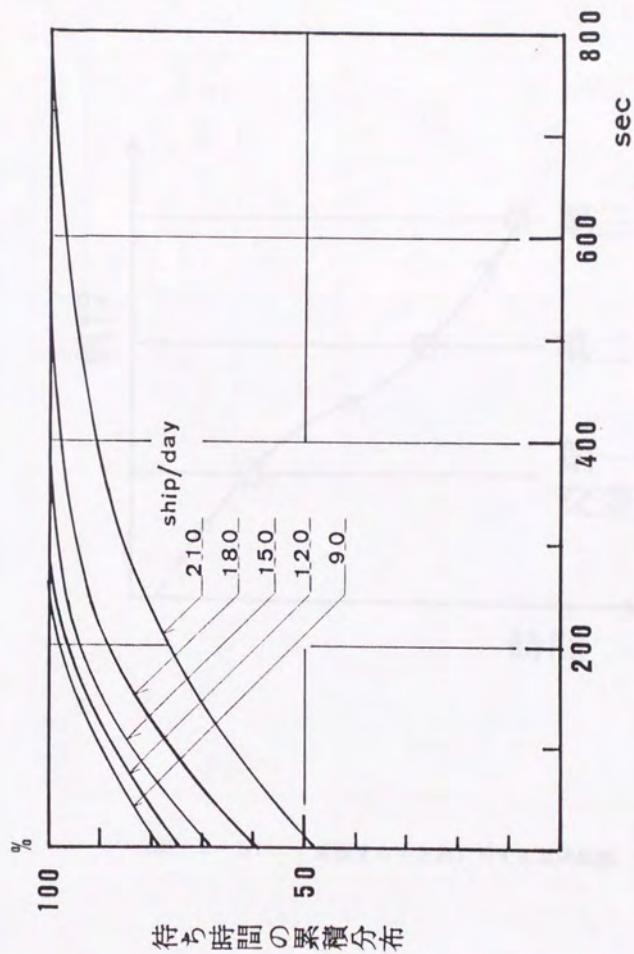
(図 2-1) 交差点における衝突危険発生確率を求めるための
交差点交通流のモデル



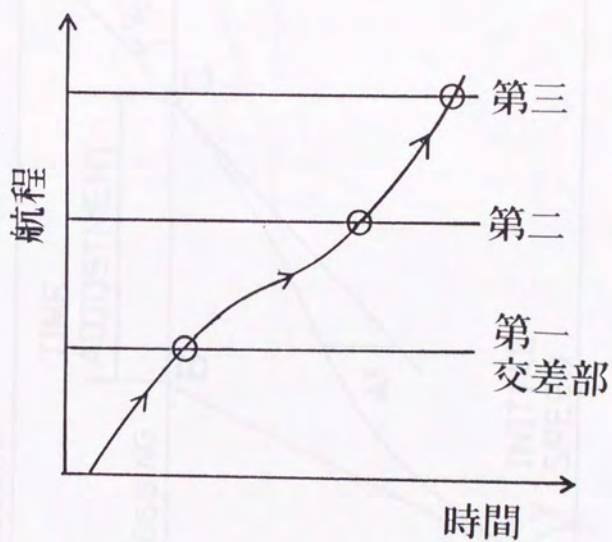
(図 2-2) 交差部における衝突危険発生確率



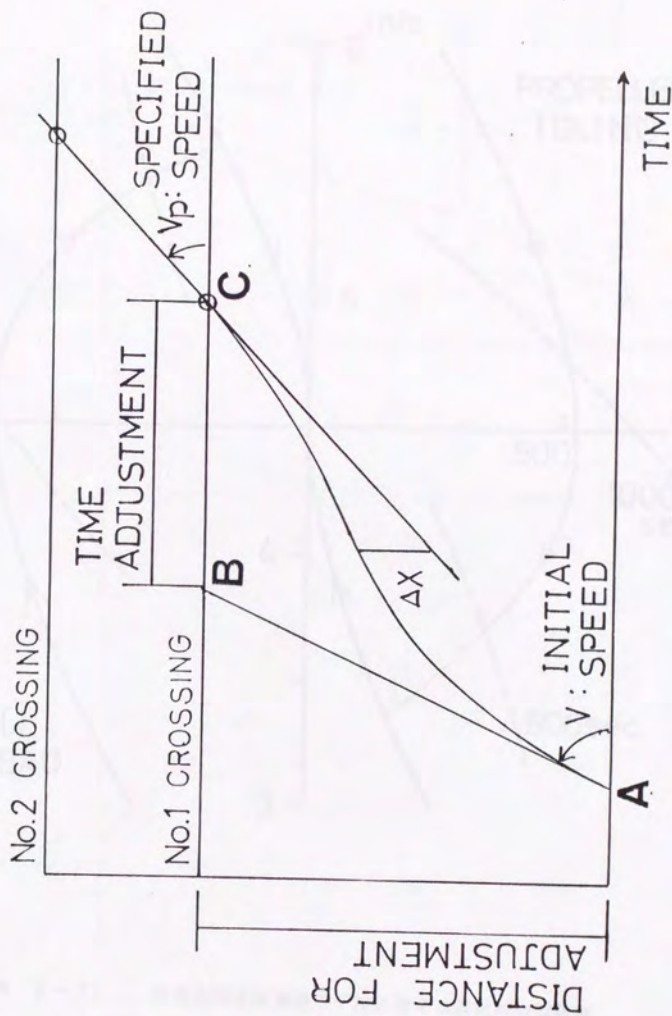
(图 2-3) 交差部形状



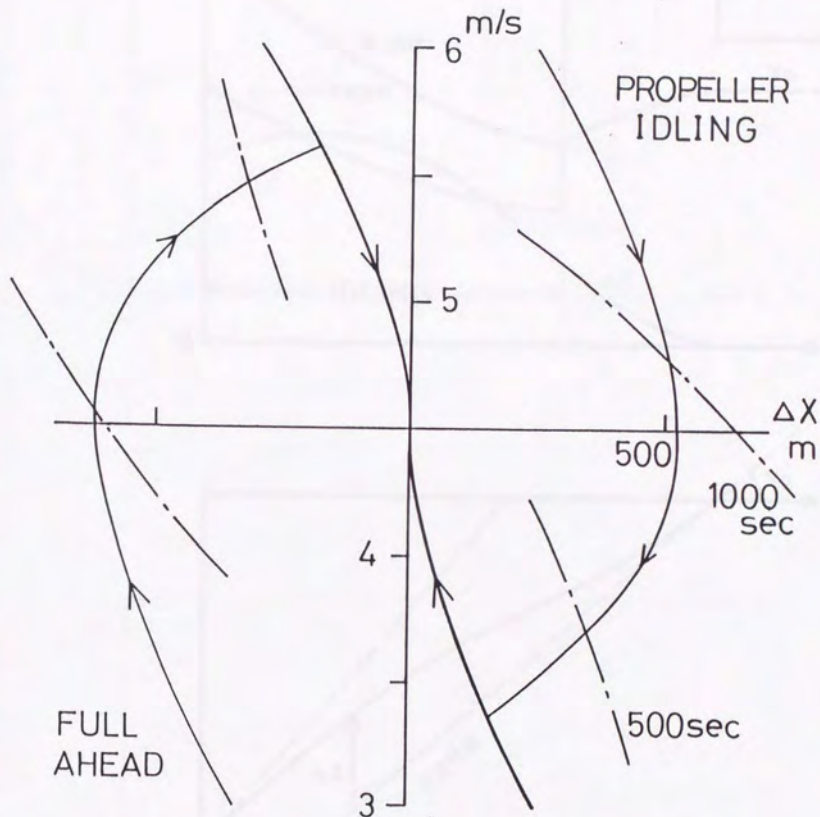
(図 2-4) 交差部の時間分割使用時の待ち時間



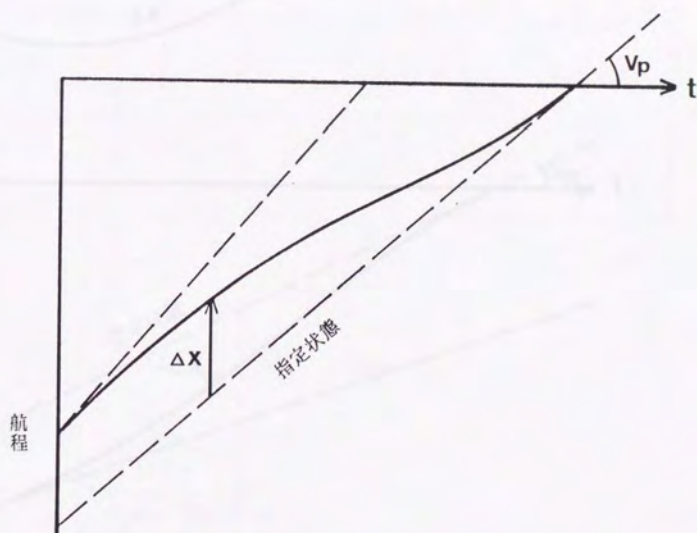
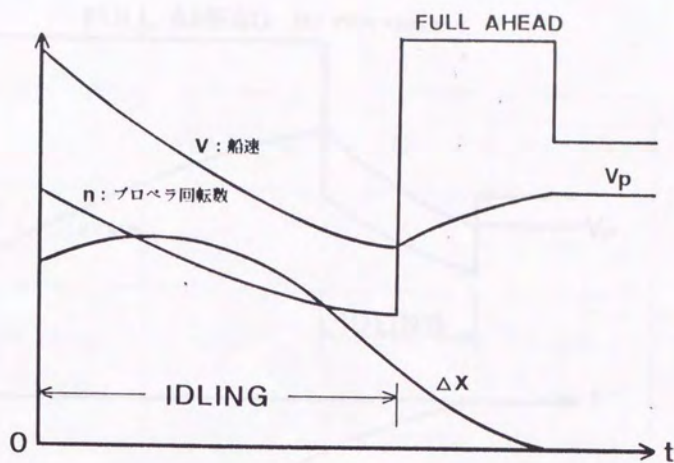
(図 2-5) 連続する交差部に対する通過操船



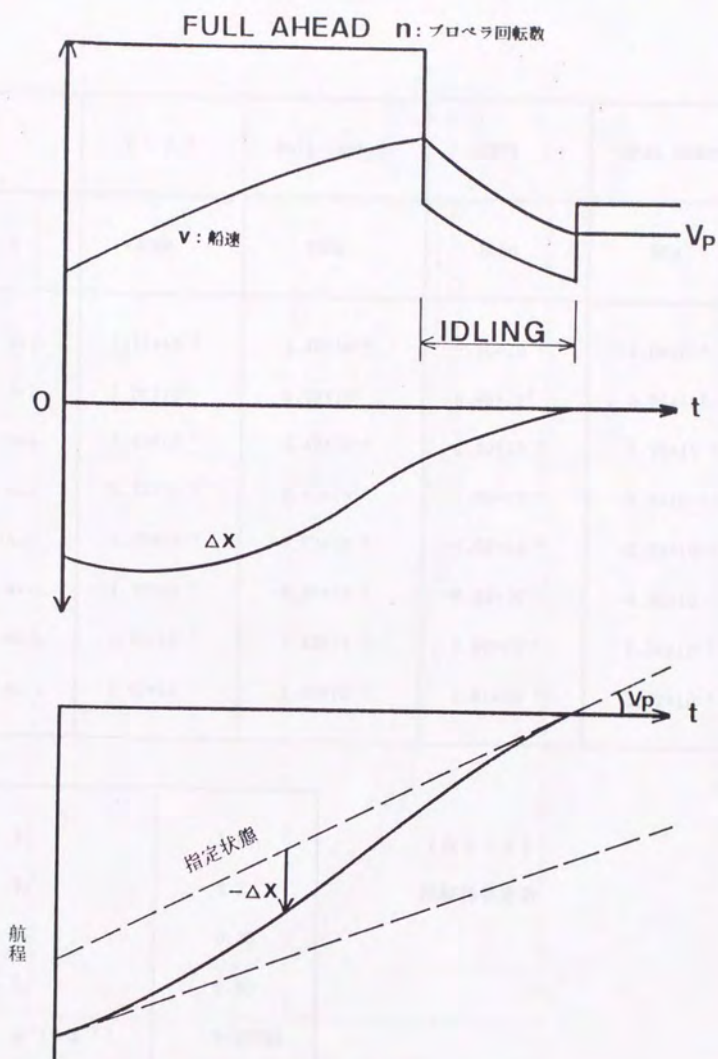
(图 2-6) 定点定時定速通過モデル



(図 2-7) 定点定時定速通過モデルに対する最短時間制御則



(図 2-8) 定点定時定速通過操船の状態遷移 (1)



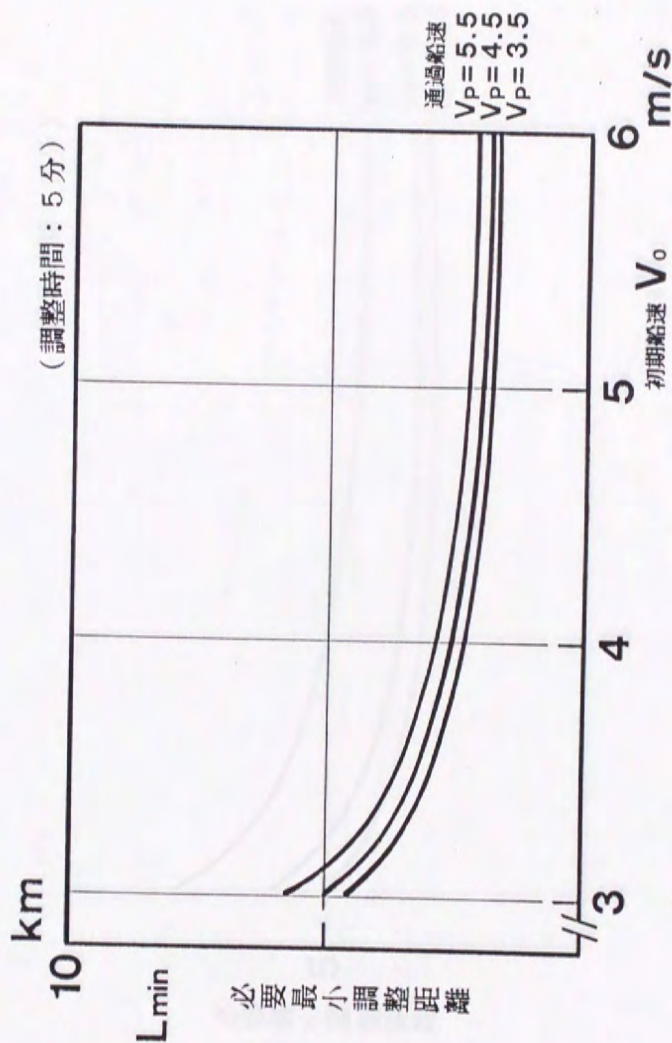
(図 2-9) 定点定時定速通過操船の状態遷移 (2)

	V.L.C.C	Bulk Carrier	LINER	SMAL CARGO
L	300m	240m	150m	50m
a_{vv}	$1.11 \cdot 10^{-4}$	$1.45 \cdot 10^{-4}$	$2.26 \cdot 10^{-4}$	$7.0 \cdot 10^{-4}$
a_{rr}	$2.28 \cdot 10^2$	$1.79 \cdot 10^2$	$9.99 \cdot 10^1$	$3.89 \cdot 10^1$
a_{55}	$3.43 \cdot 10^{-4}$	$4.45 \cdot 10^{-4}$	$1.63 \cdot 10^{-3}$	$2.66 \cdot 10^{-3}$
a_{nn}	$5.31 \cdot 10^{-3}$	$5.42 \cdot 10^{-3}$	$1.05 \cdot 10^{-2}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$
a_{nv}	$-6.13 \cdot 10^{-4}$	$-7.72 \cdot 10^{-4}$	$-1.69 \cdot 10^{-3}$	$-2.12 \cdot 10^{-3}$
a_{nn1}	$-4.26 \cdot 10^{-3}$	$-4.34 \cdot 10^{-3}$	$-8.43 \cdot 10^{-3}$	$-4.02 \cdot 10^{-3}$
a_{nn2}	$1.41 \cdot 10^{-3}$	$1.13 \cdot 10^{-3}$	$2.81 \cdot 10^{-3}$	$1.34 \cdot 10^{-3}$
a_{nv2}	$1.02 \cdot 10^{-3}$	$1.25 \cdot 10^{-3}$	$2.81 \cdot 10^{-3}$	$3.52 \cdot 10^{-3}$

K'	1.6
T_1'	3.2
T_2'	0.35
T_3'	0.60
$\alpha'(\text{deg}^{-2})$	0.00009
$T_E(\text{sec})$	2.5
$\delta_{max}(\text{deg/sec})$	3.0
$a'_R/T_1 \cdot T_2$	0.024

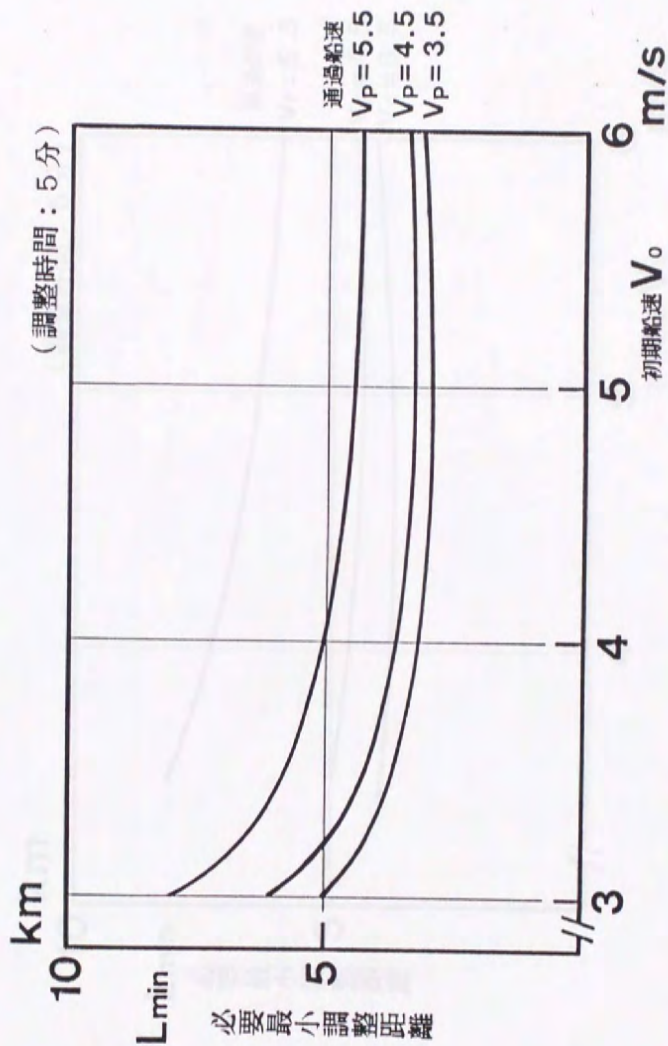
(表 2-1)

採縦特性定数

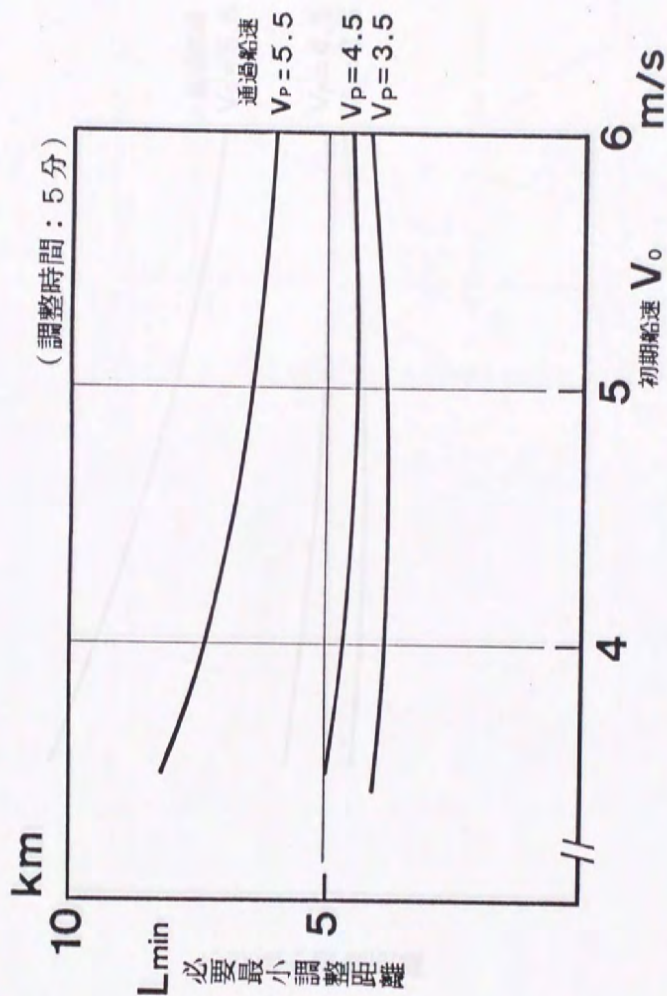


(船長：50 m)

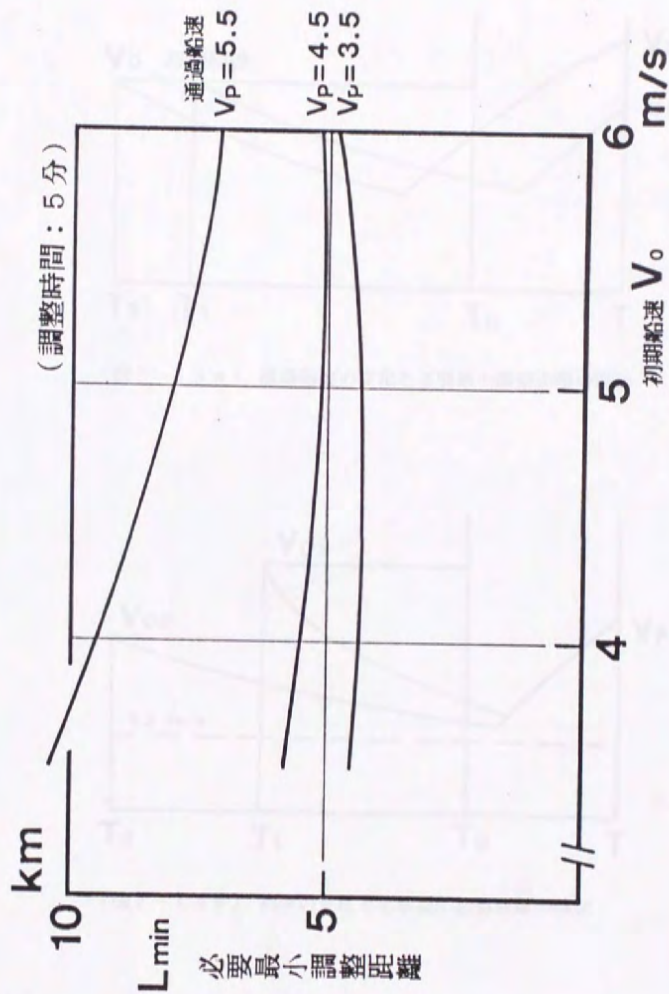
(図 2-10) 初期船速 (V_0)、通過船速 (V_p) に対する必要最小調整距離 (L_{min})



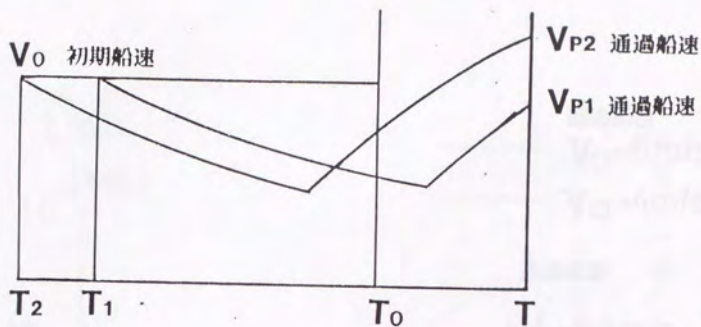
(図 2-11) 初期船速 (V_o)、通過船速 (V_p) に対する必要最小調整距離 (L_{min})
 (船長：150 m)



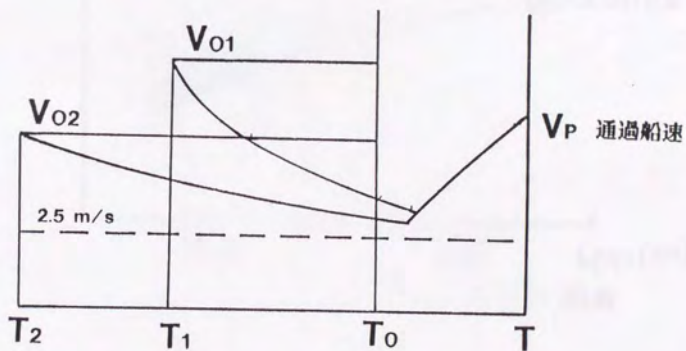
(図 2-1-2) 初期船速(V_0)、通過船速(V_P)に対する必要最小調整距離(L_{min})
 (船長: 240 m)



(圖 2-13) 初期船速 (V_o)、通過船速 (V_p) に対する必要最小調整距離 (L_{min})
(船長: 300 m)

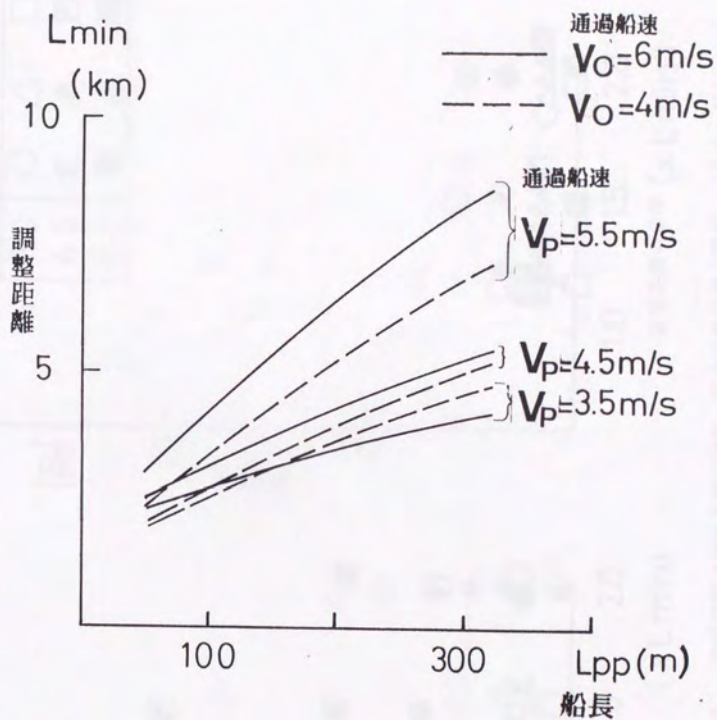


(図2-14a) 通過船速の変化と必要最小調整距離の関係

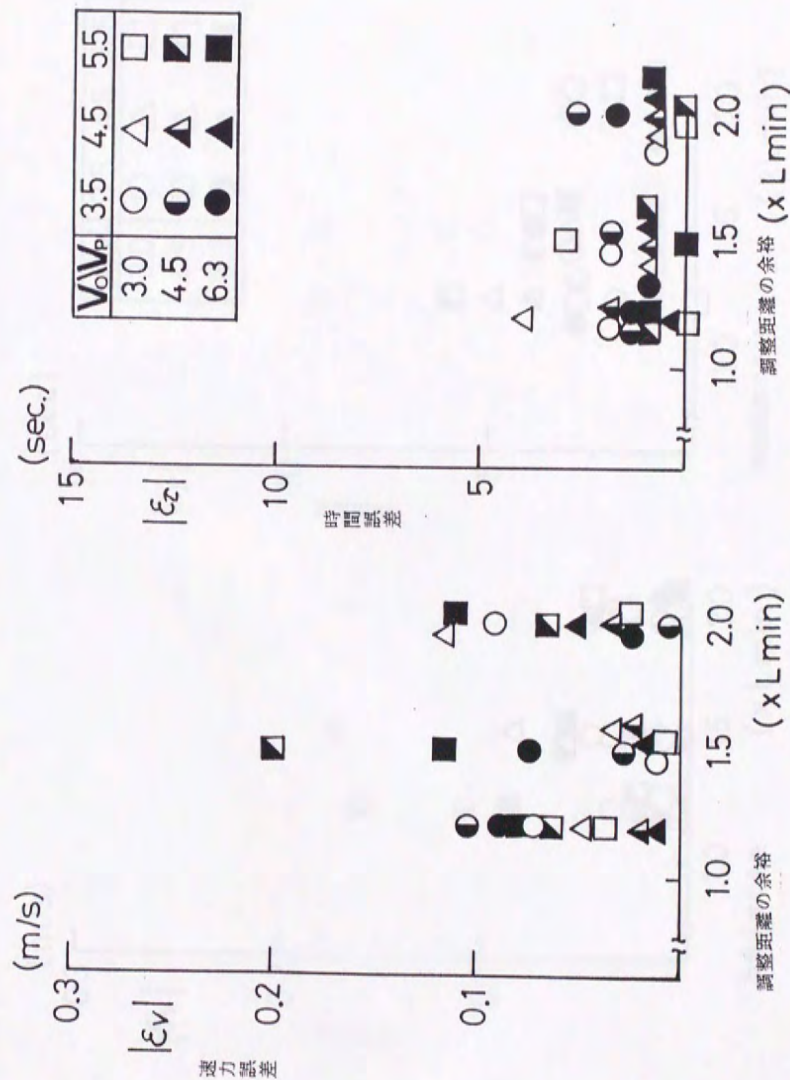


(図2-14b) 初速の変化と必要最小調整距離の関係

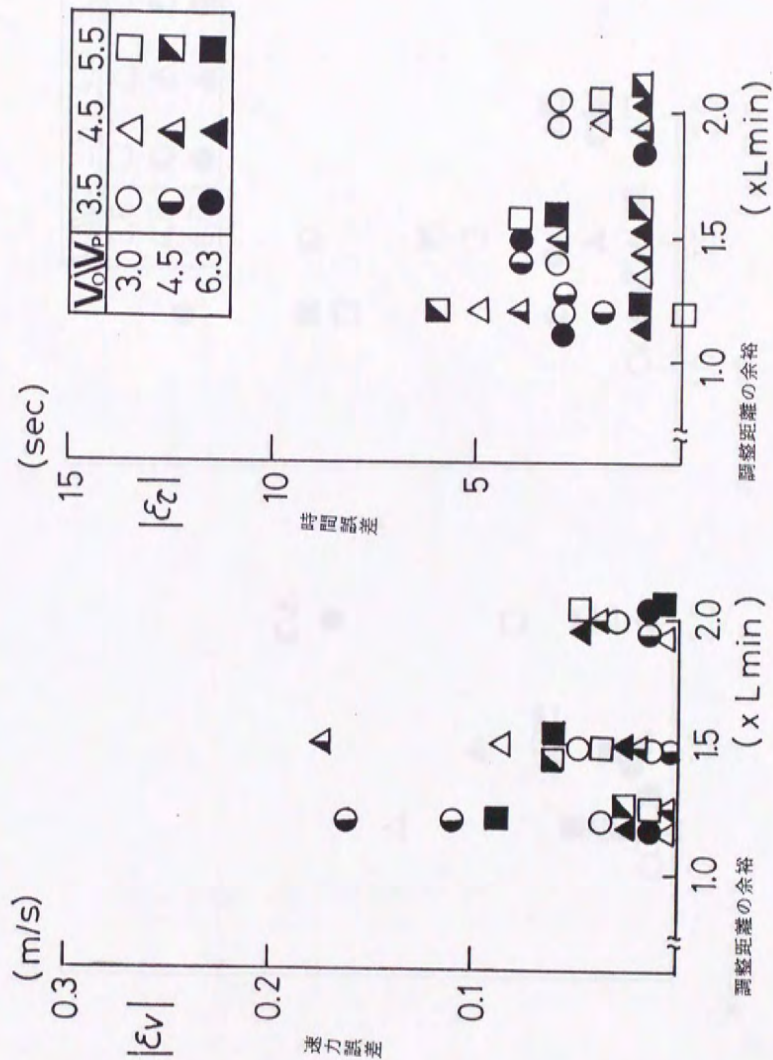
(図2-14) 通過船速 (V_P)、初期船速 (V_0) と必要最小調整距離 (L_{min}) との関係



(図 2-15) 船長と調整距離の関係 (調整時間 = 5分)



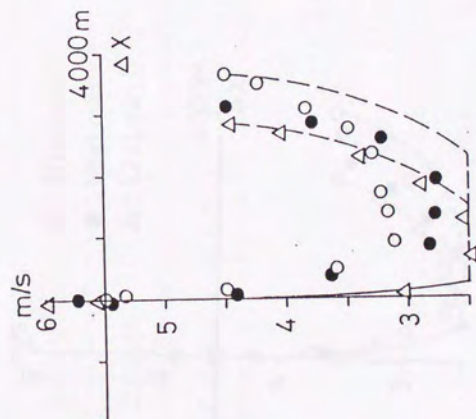
(図 2-16) 調整距離に対する時間調整、速力調整誤差の関係 (50m船)



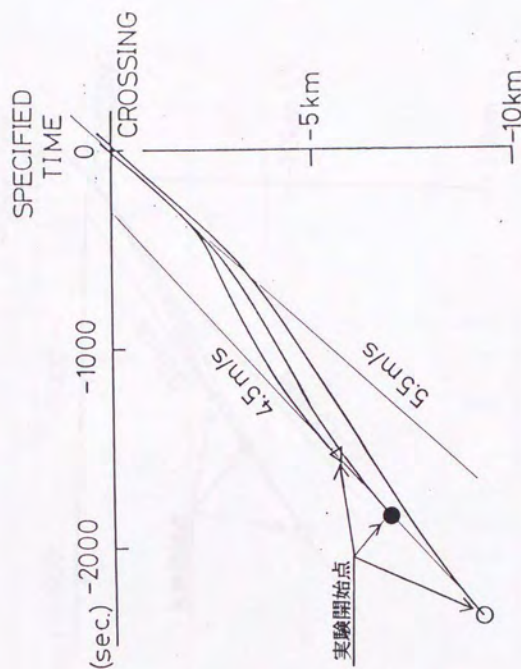
(図 2-17) 調整距離に対する時間調整、速力調整誤差の関係 (150 m船)



(図 2-18) 調整距離に対する時間調整、速力調整誤差の関係 (300 m 船)

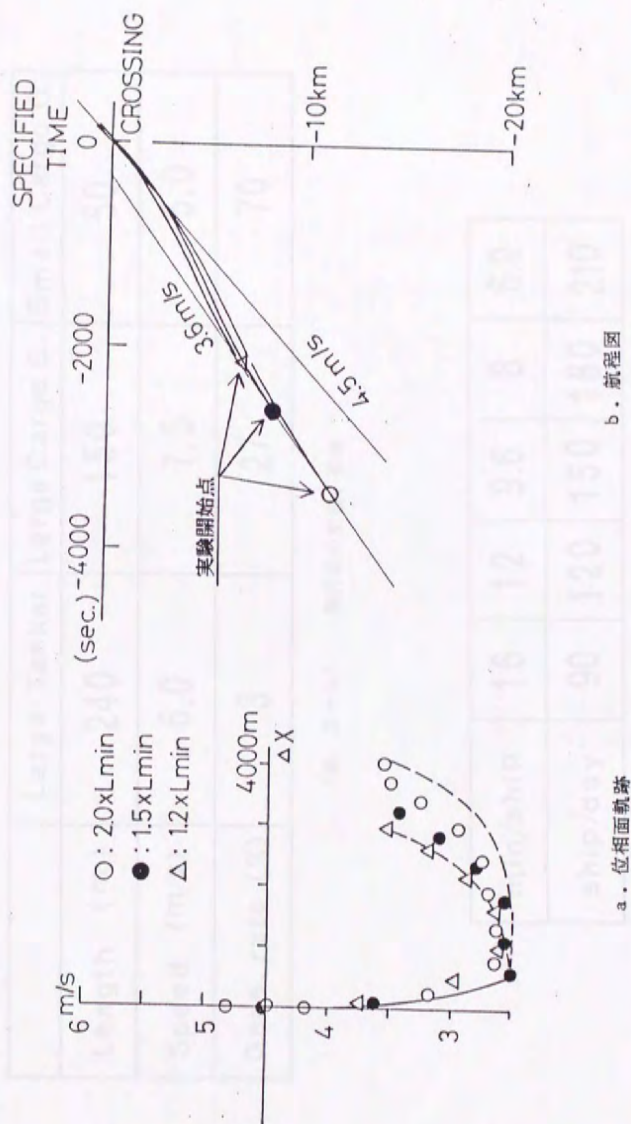


a. 位相面軌跡



b. 航程図

(図 2-19) 交差点通行時の時間、速度調整軌跡 (150 m 船)



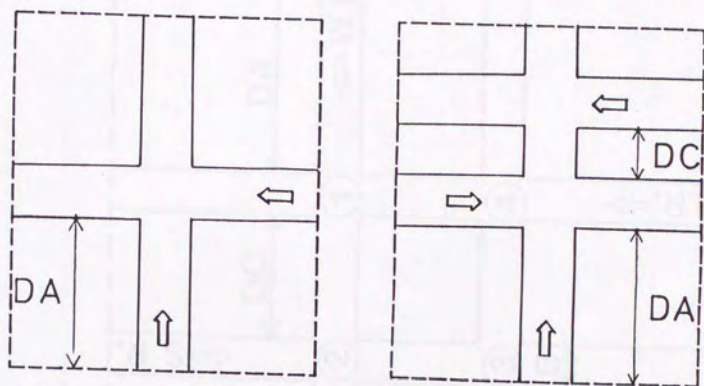
(図 2-20) 交差点通行時の時間、速力調整航跡 (3000 m 船)

	Large Tanker	Large Cargo C.	Small Cargo C.
Length (m)	240	150	50
Speed (m/s)	6.0	7.5	5.0
Gene. rate (%)	3	27	70

(表 3-1) 航行船の船種、船速

min/ship	16	12	9.6	8	6.9
ship/day	90	120	150	180	210

(表 3-2) 航行船の到着時間間隔



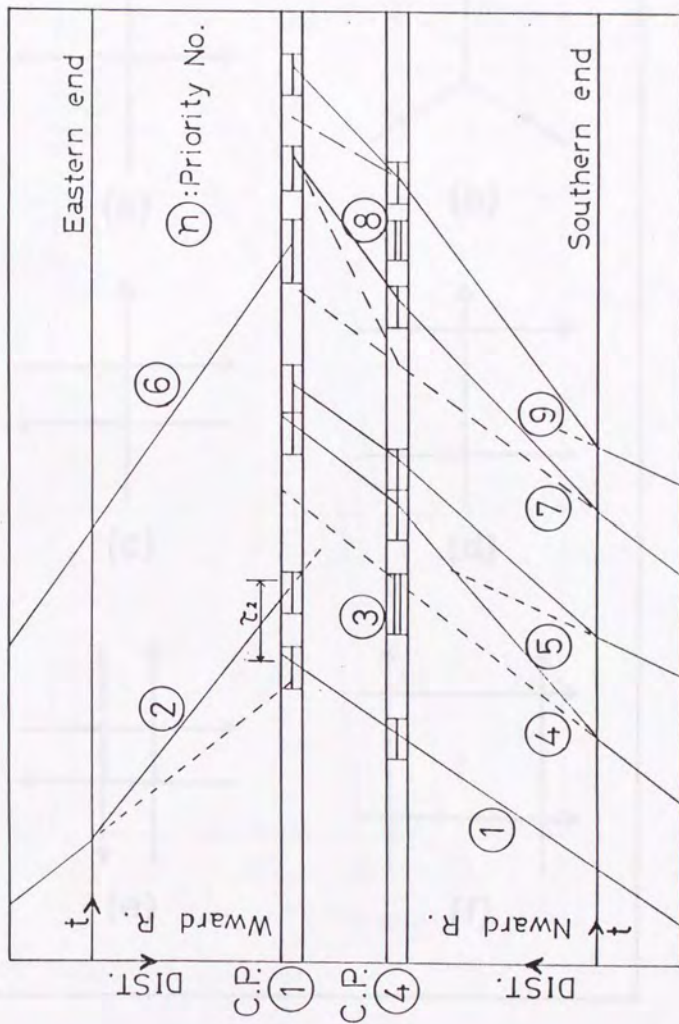
DA : 時間速力調整距離

DC : 交差部間距離

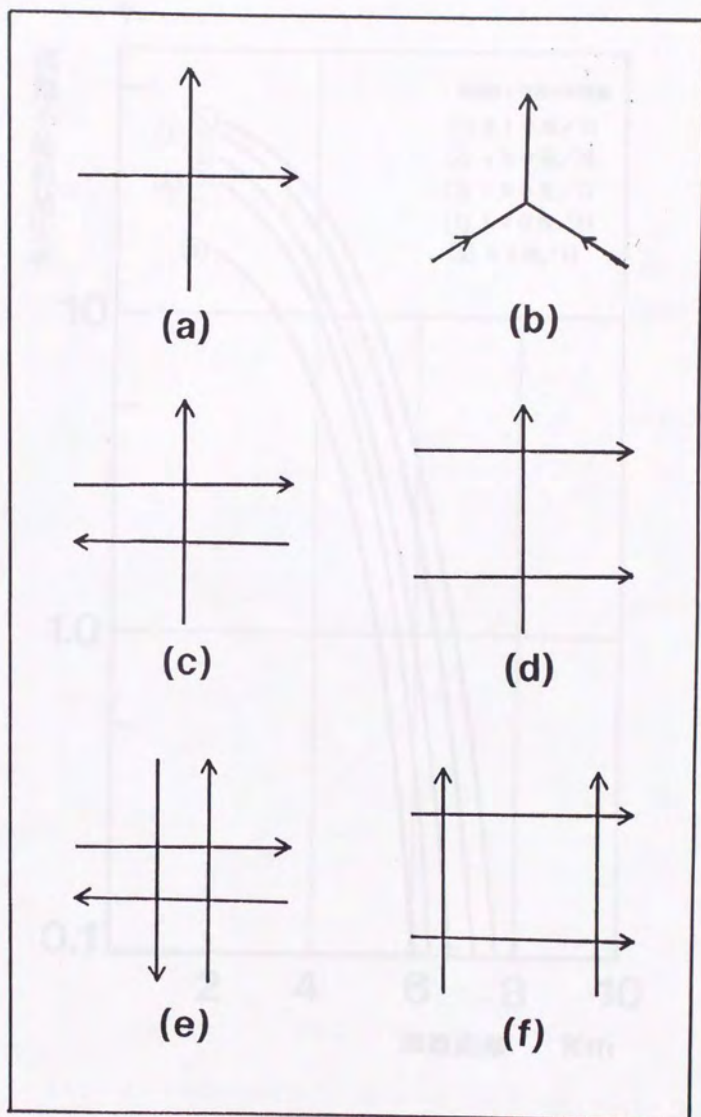
(圖 3-1) 十字・T字交差部形状



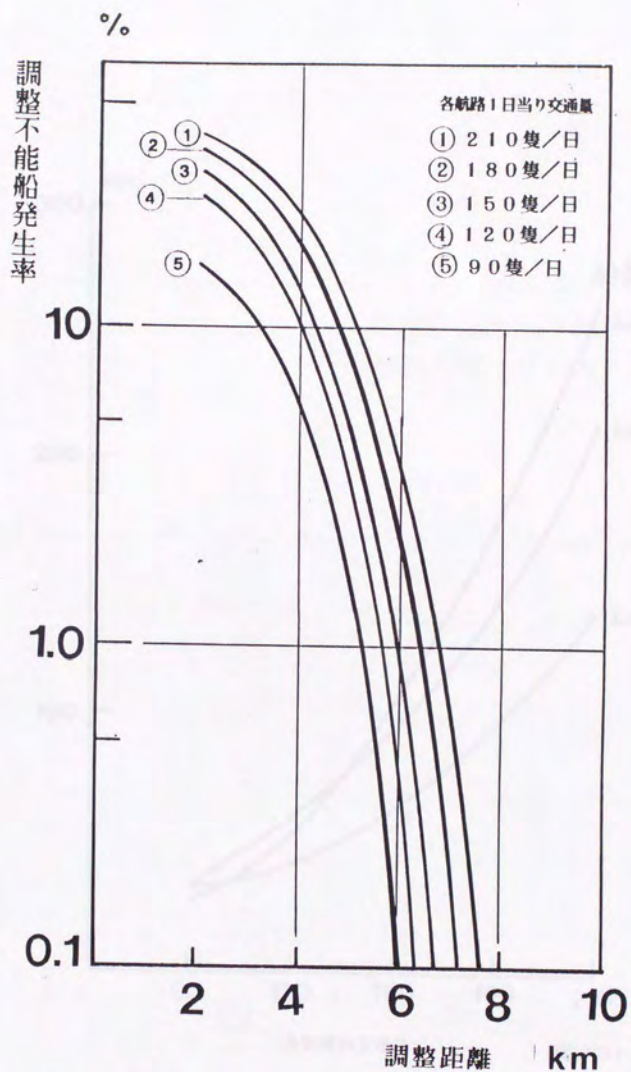
(图 3-2) 井型交差部形状



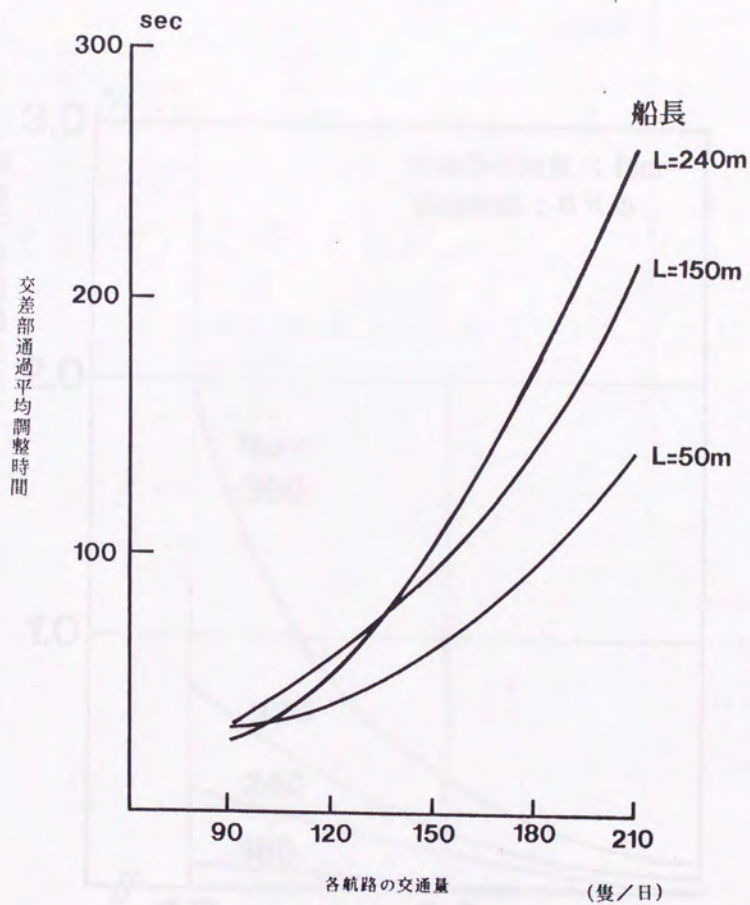
(図 3-3) 先着船優先方式に対する通行時間配分の例



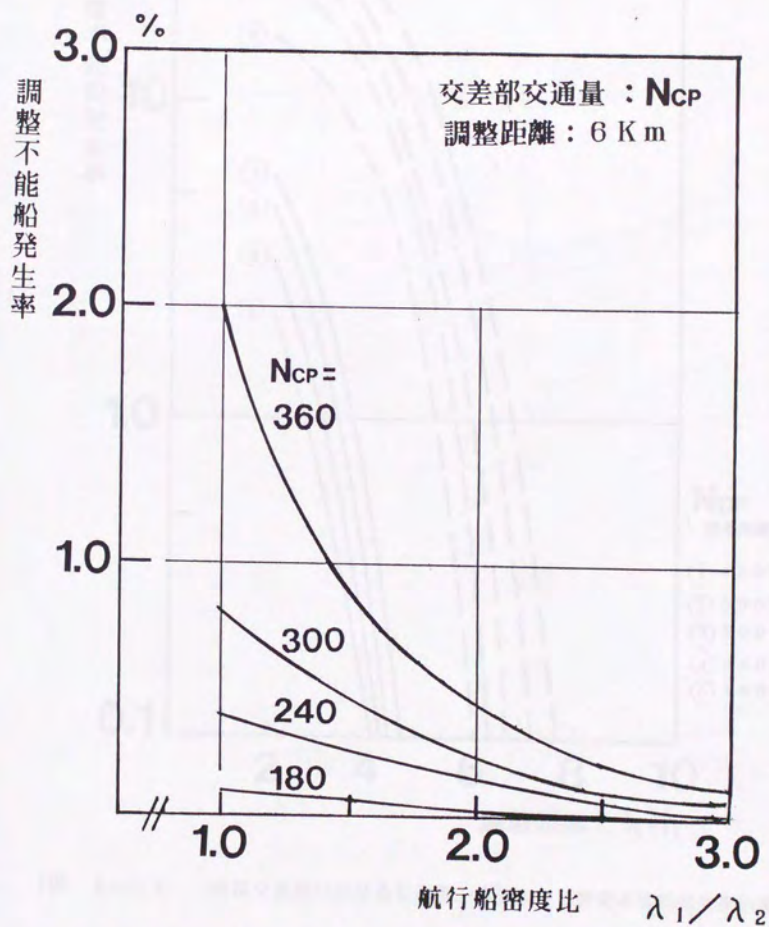
(图 4-1) 交叉部形状



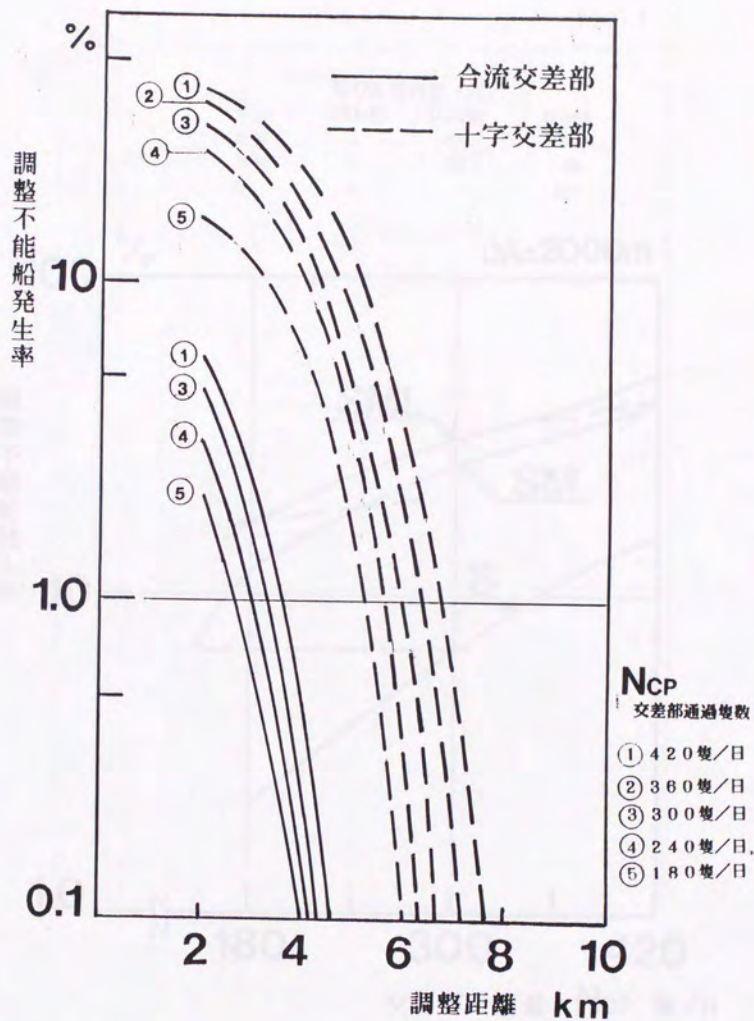
(図 4-2) 十字交差部における交通量、調整距離と調整不能船発生率の関係



(図 4-3) 船型別の交差点通行の平均調整時間 (調整距離: 6000m)



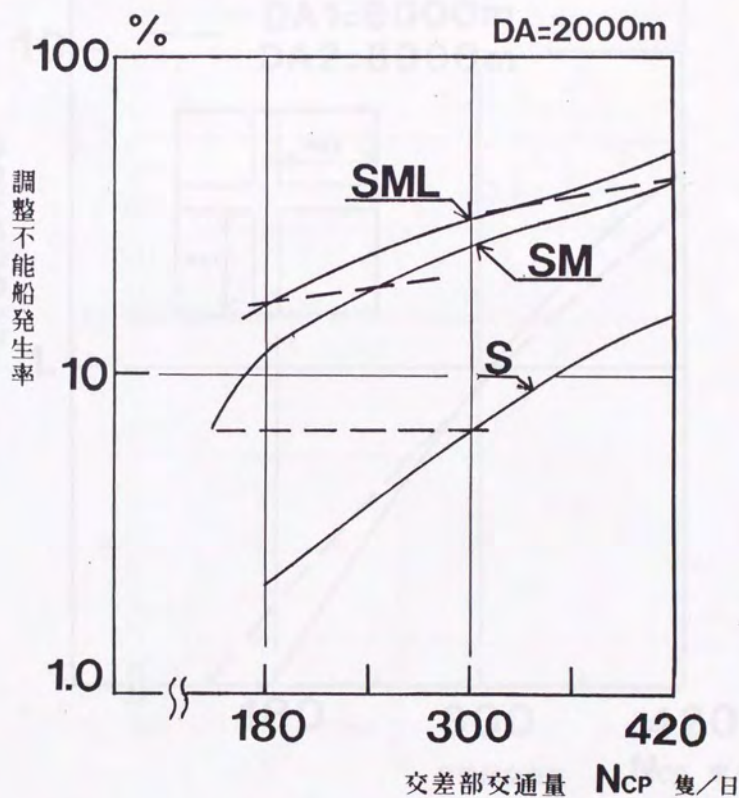
(図 4-4) 二航路の交通量が異なる場合の調整不能船発生率



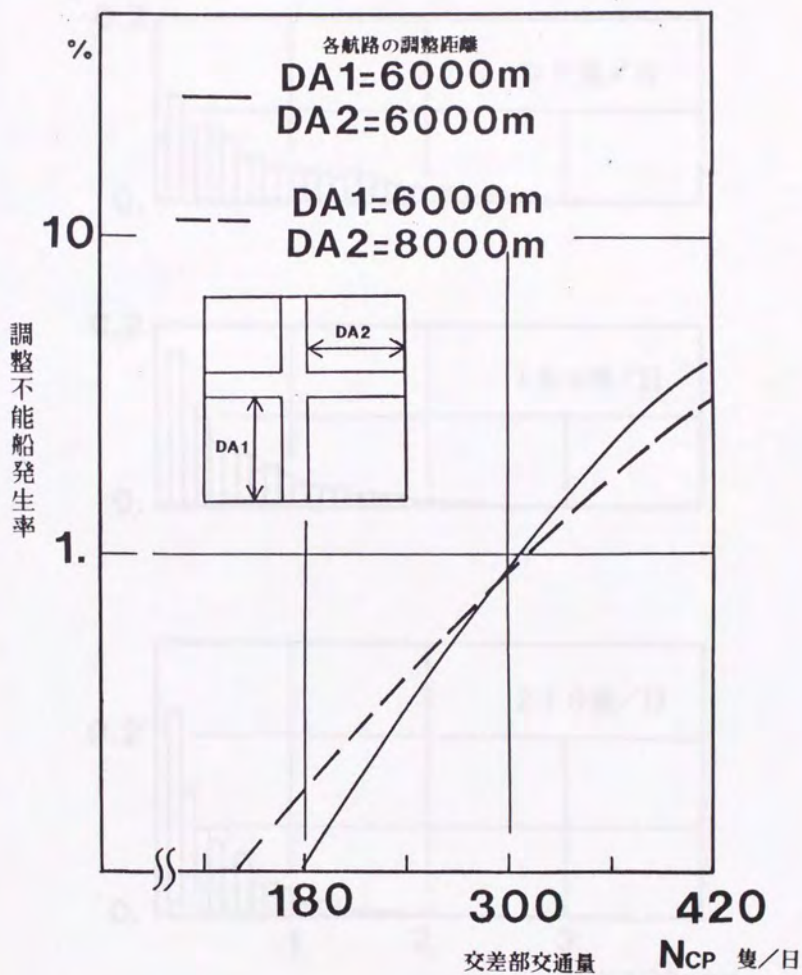
(図 4-5) 合流交差部における交通量、調整距離と調整不能船発生率の関係

航行船種内訳 (%)

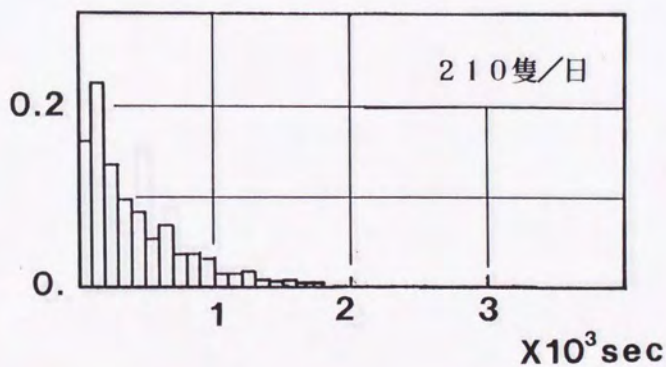
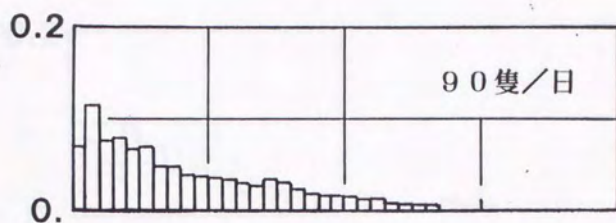
	240m船	150m船	50m船
SML	3	27	70
SM	-	20	80
S	-	-	100



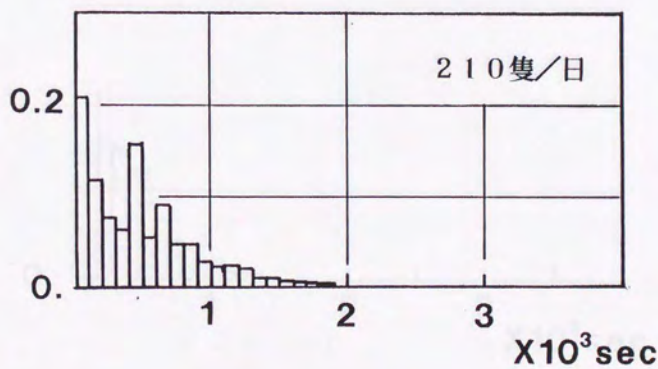
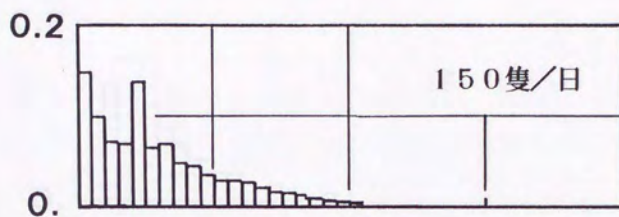
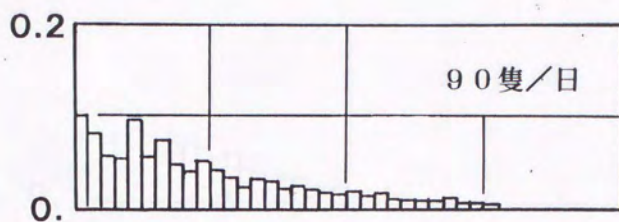
(図 4-6) 十字交差部における航行船種と調整不能船発生率の関係



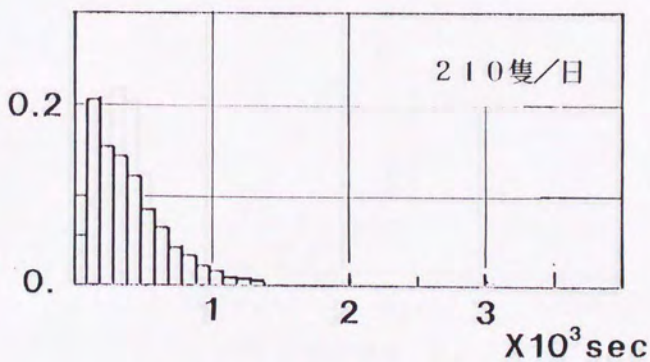
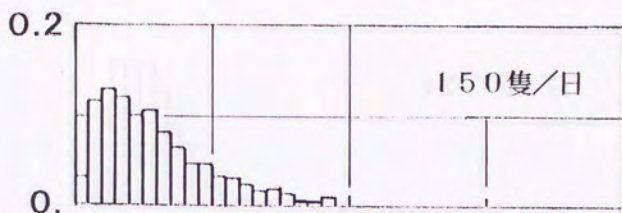
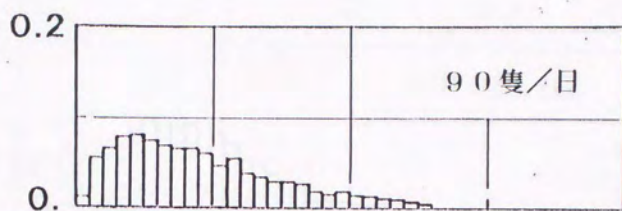
(図 4-7) 十字交差点において二航路の調整距離が異なる場合の調整不能船発生率の関係



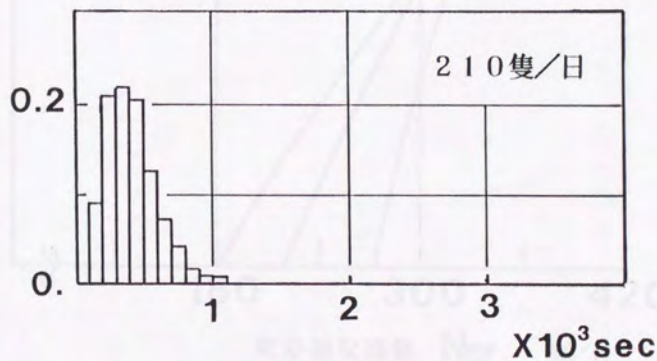
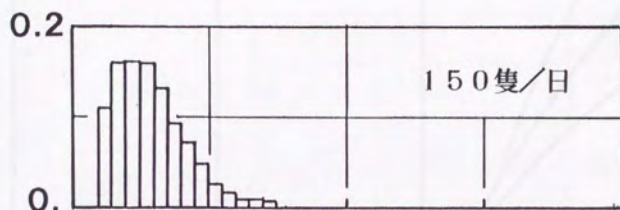
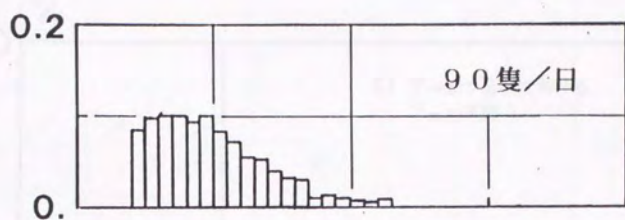
(図 4-8) 指数分布による船舶の到着時間間隔の発生確率



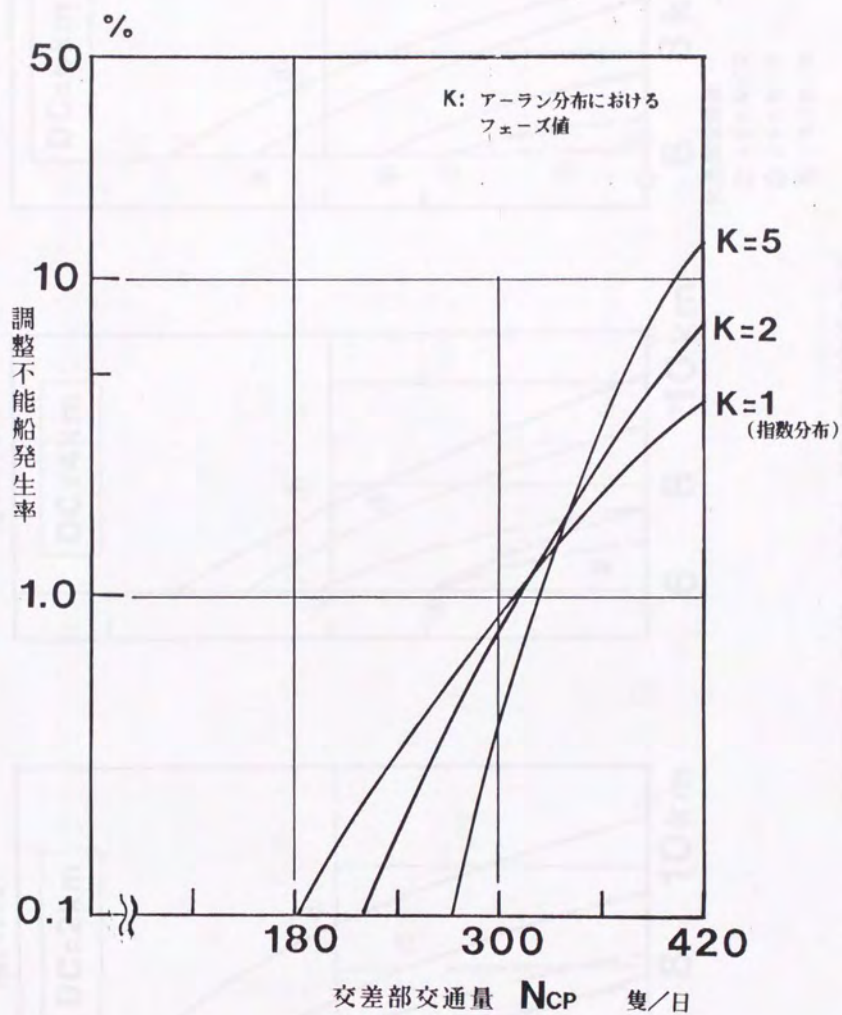
(図 4-9) 交差部管理を受けた後の船舶の到着時間間隔の発生確率



(図 4-10) アーラン分布 ($K=2$) による船舶の到着時間間隔の発生確率

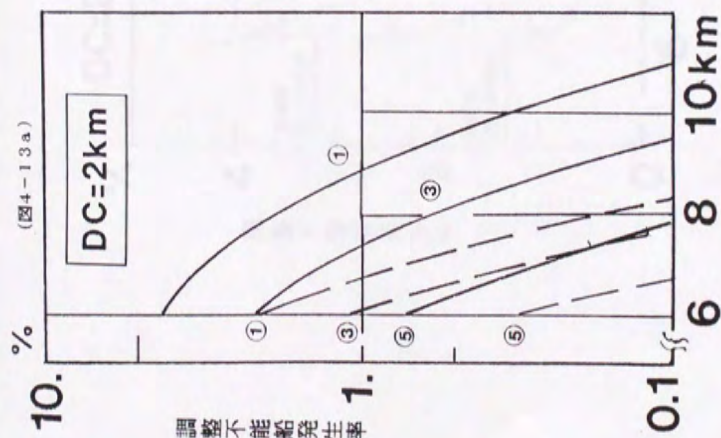


(図 4-11) アーラン分布 ($K=5$) による船舶の到着時間間隔の発生確率

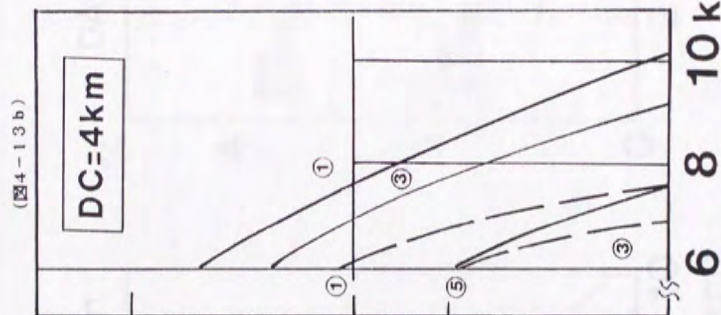


(図 4-12) 到着時間分布と調整不能船発生率の関係 (調整距離: 6000m)

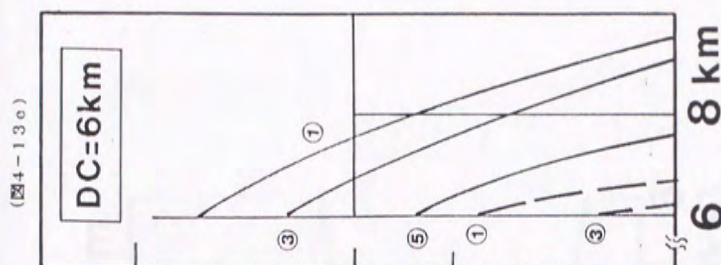
(図4-13a)



(図4-13b)



(図4-13c)



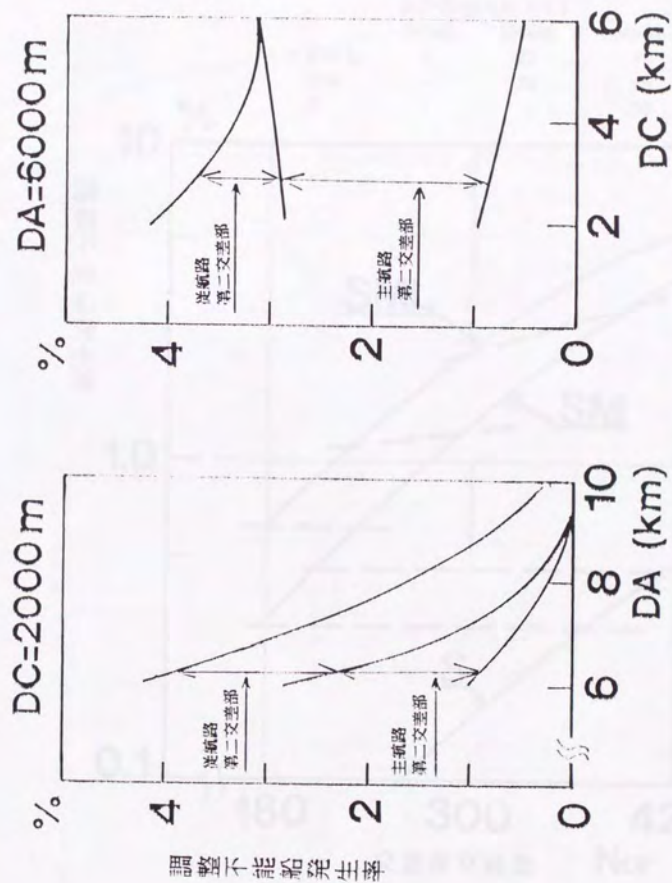
調整距離

① +20 隻/日

② 300 隻/日

③ 180 隻/日

(図 4-13) 十字交差部における交通量、調整距離と調整不能船発生率の関係

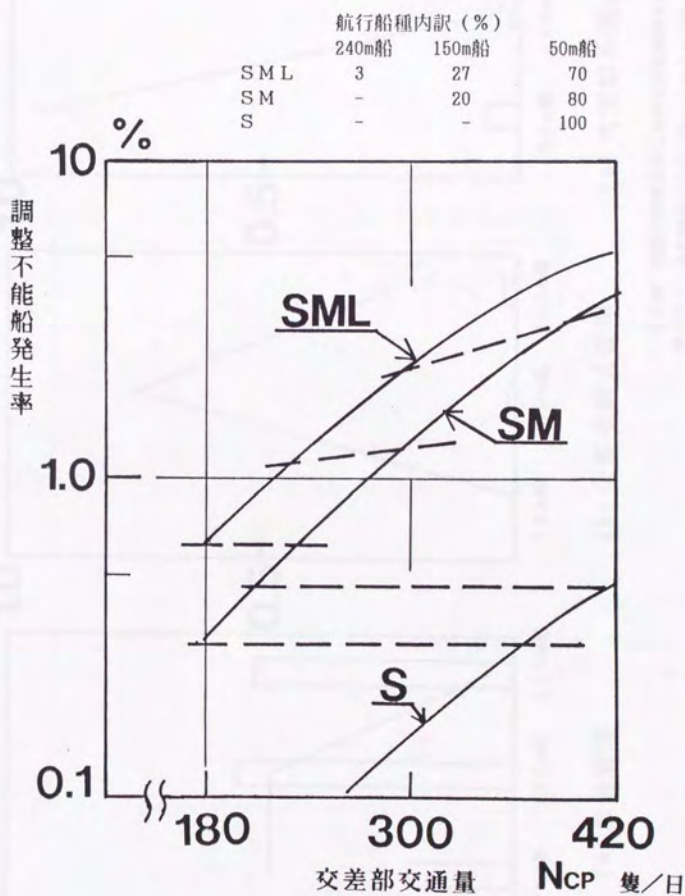


(図 4-1-a)

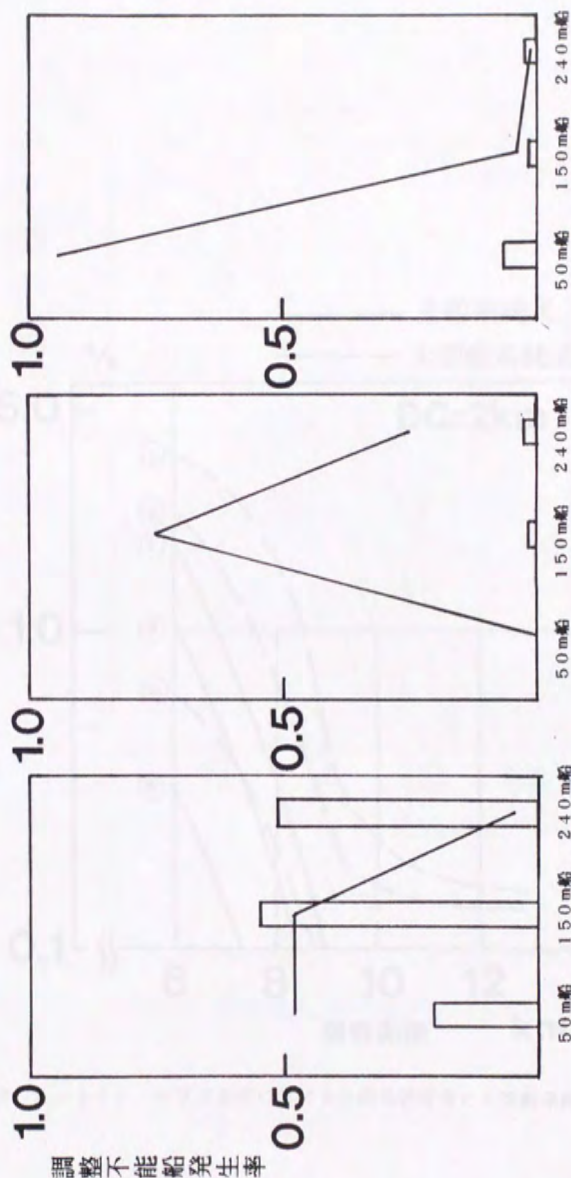
(図 4-1-b)

(図 4-1-a) = 字交差部における交差部間距離、調整距離が

調整不能発生率に与える効果



(図 4-15) 十字交差点における航行船種と調整不能船発生率の関係



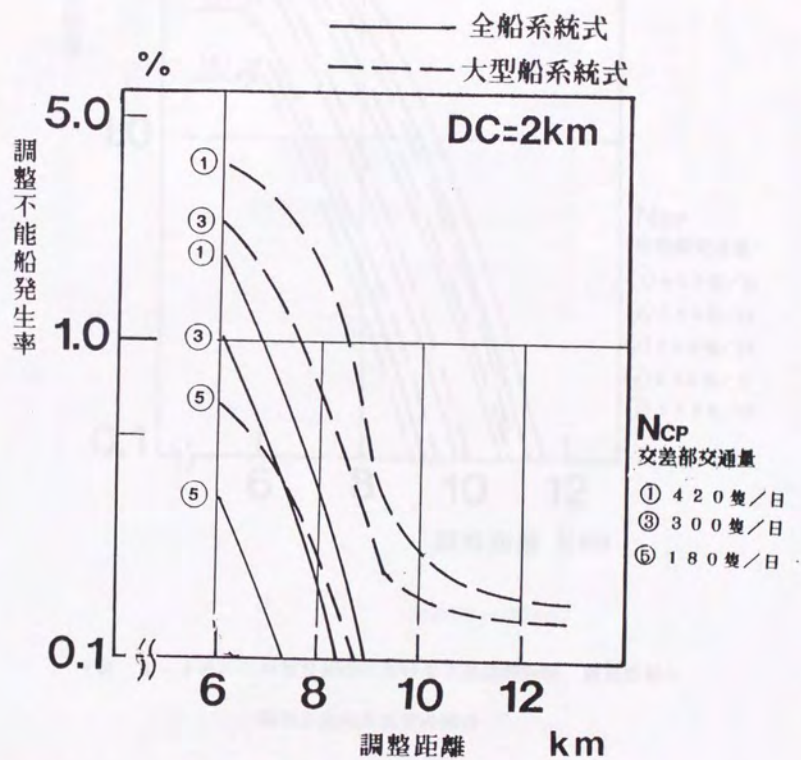
(a) 单独管理

(b) 全船系統式管理

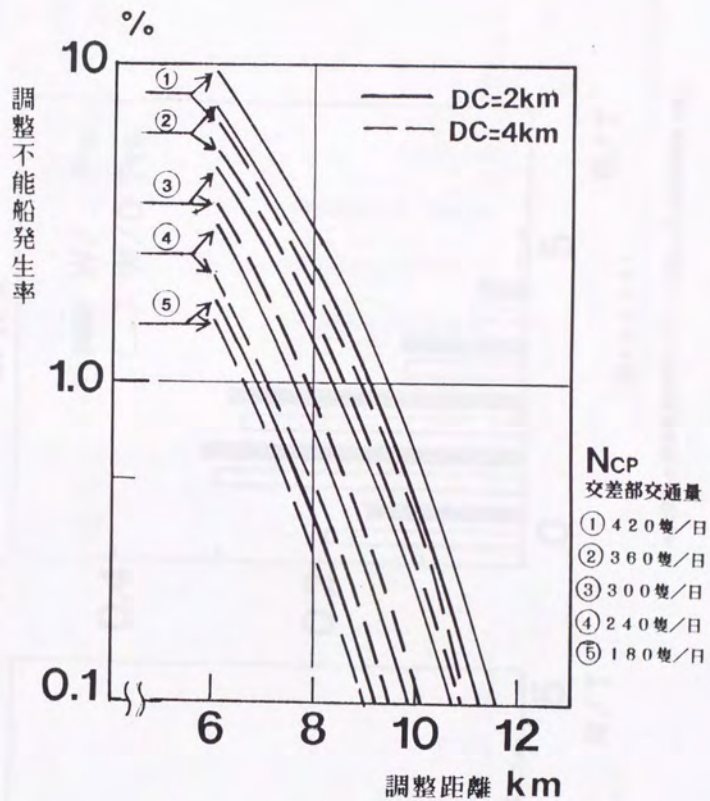
(c) 大型船系統式管理

折れ線：調整不能船全体に占める各船種毎の調整不能船の割合
 棒グラフ：各船種毎の全運行船に占める各船種の調整不能船の割合

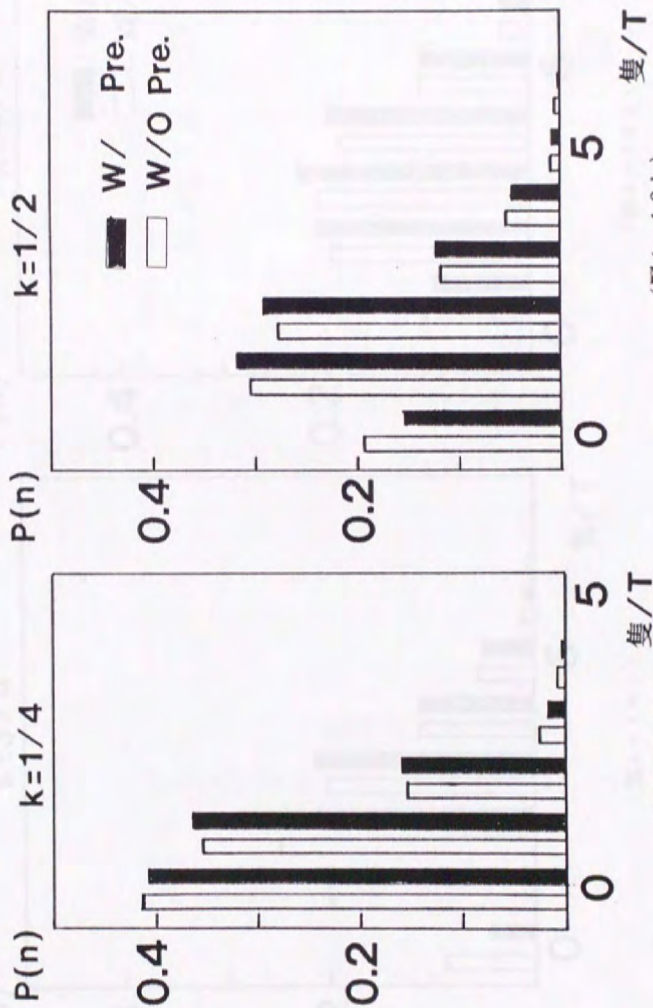
(図 4-16) 調整不能船の船種別内訳



(図 4-17) 十字交差点における全船系統管理と大型船系統管理の比較



(図 4-18) 井型交差点における交差点間距離、調整距離と
調整不能船発生率の関係

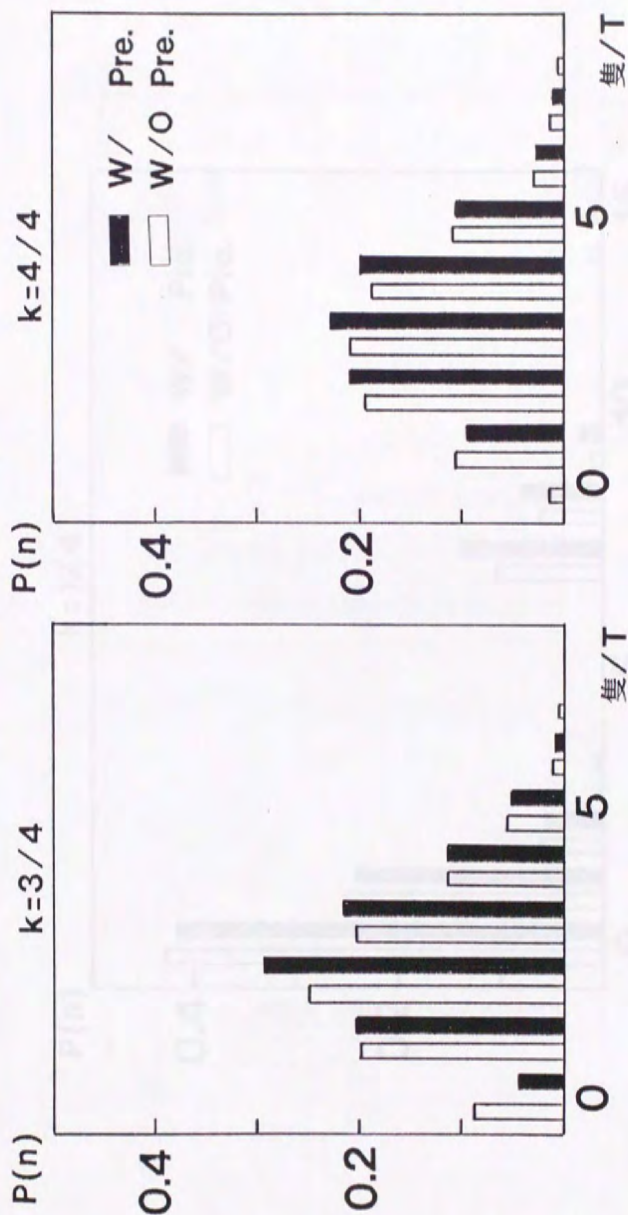


(図4-19a)

(図4-19b)

T = 大型船の到着間隔時間 $= k \times$ (大型船の平均到着時間々隔)

(図 4-19) 予備管理を行う場合の船舶の到着確率

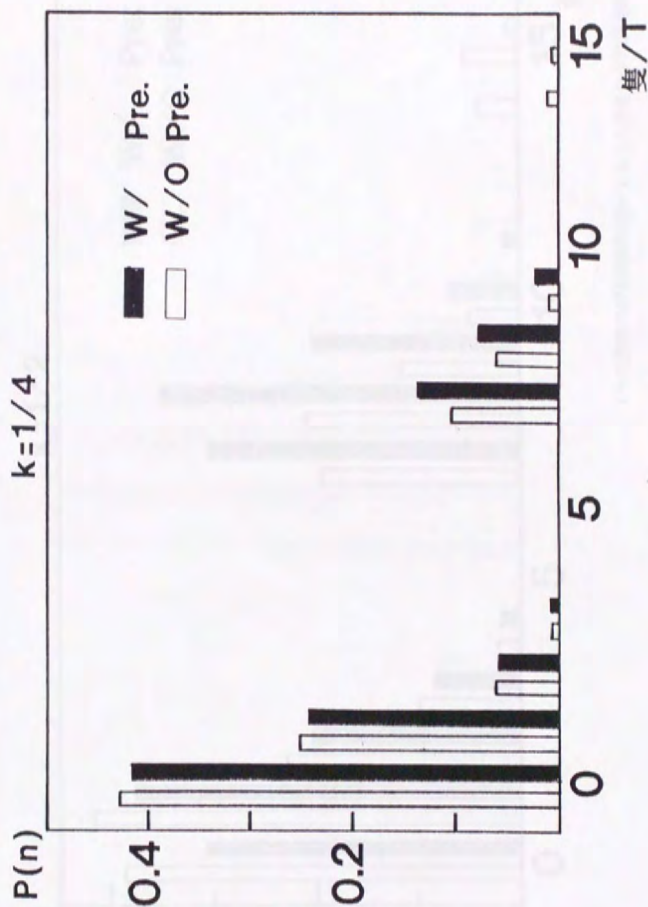


(図4-19c)

(図4-19d)

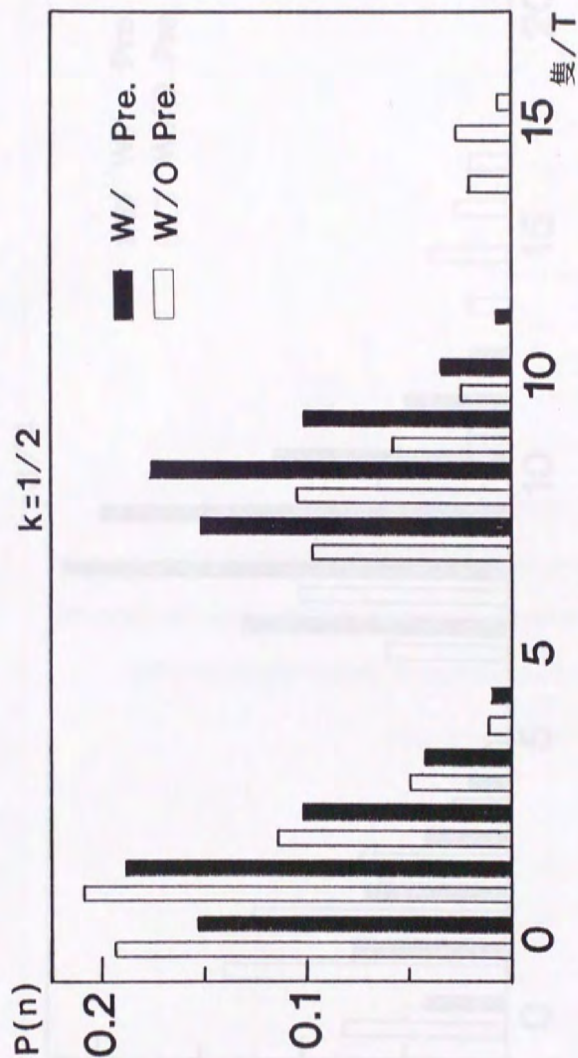
T = 大型船の到着間隔時間 = $k \times$ (大型船の平均到着時間 \times 艘)

(図4-19) 予備管理を行う場合の船舶の到着確率



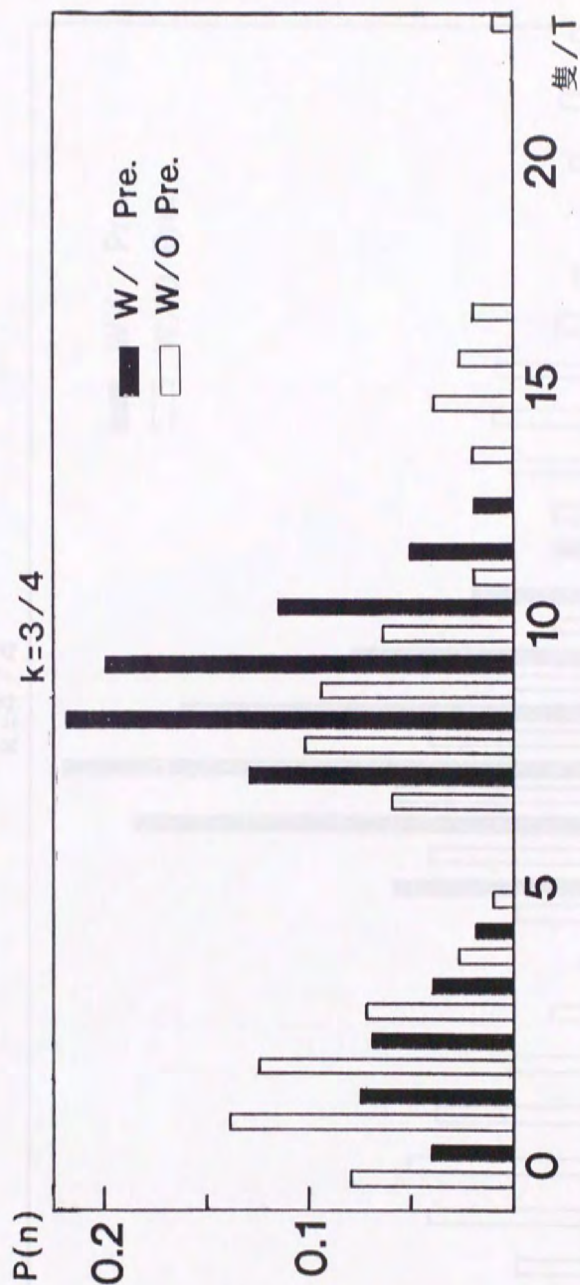
$T = \text{大型船の到着規制時間} = k \times (\text{大型船の平均到着時間} \times \text{隔})$

(図4-20a) 予備管理を行う場合の面積換算による船舶の到着確率



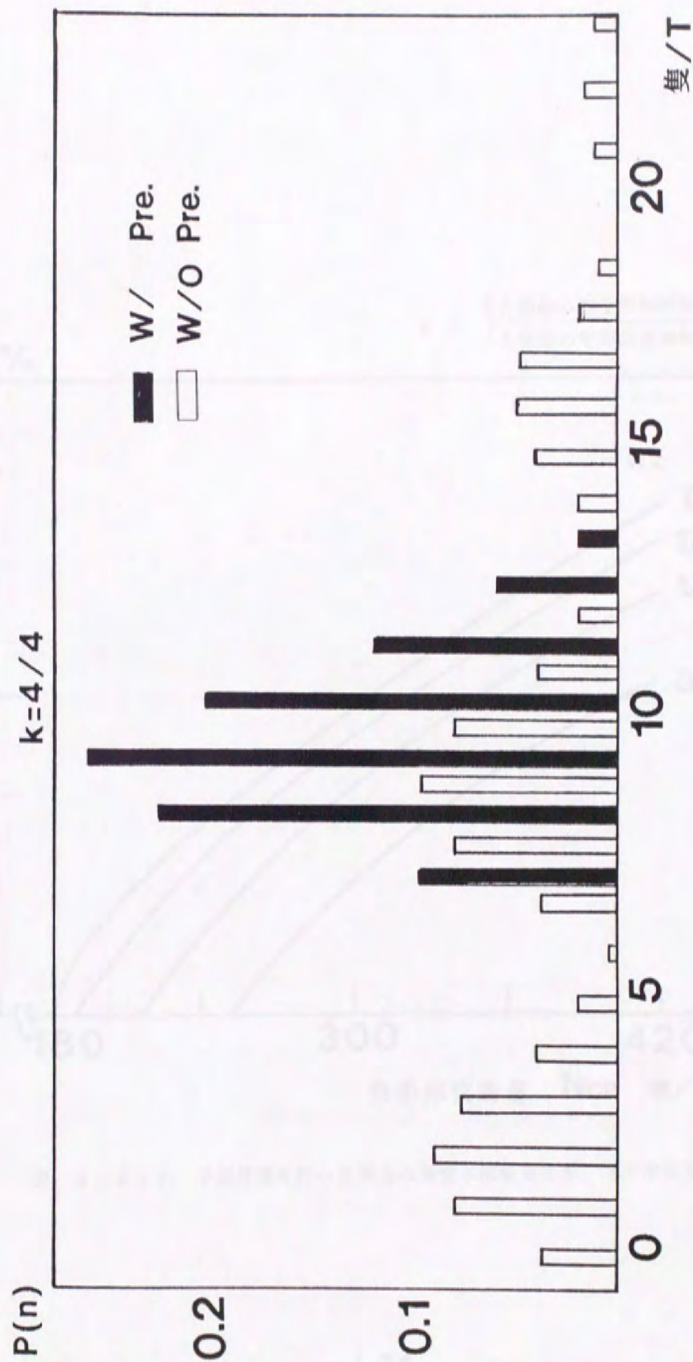
$T = \text{大型船の到着規制時間} = k \times (\text{大型船の平均到着時間} \times \text{渠})$

(図4-20b) 平穩管理を行う場合の面積換算による船舶の到着確率



$T = \text{大型船の到着規制時間} = k \times (\text{大型船の平均到着時間} \times \text{隔})$

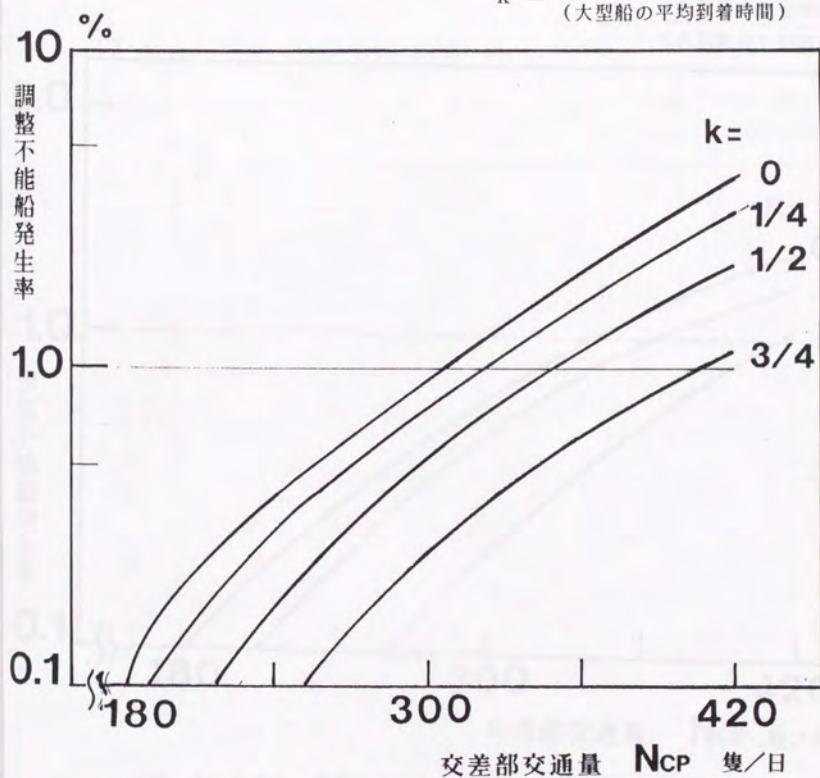
(図4-20c) 予備管理を行う場合の面積換算による船舶の到着確率



$T = \text{大型船の到着待ち時間} = k \times (\text{大型船の平均到着時間} \times \text{隔})$

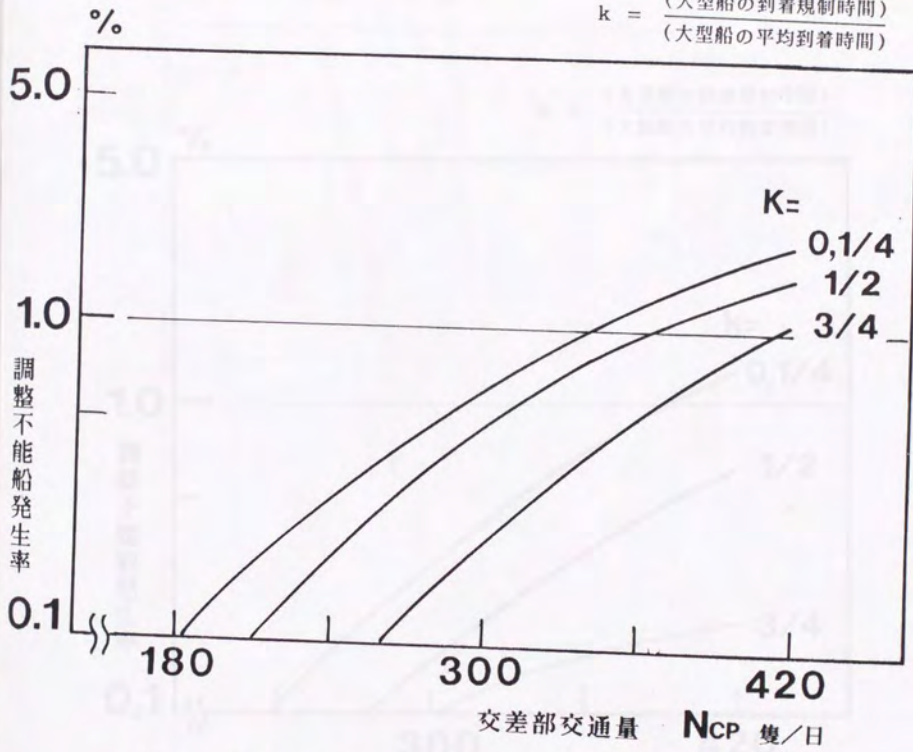
(図4-20d) 予備管理を行う場合の面積換算による船舶の到着確率

$$k = \frac{(\text{大型船の到着規制時間})}{(\text{大型船の平均到着時間})}$$

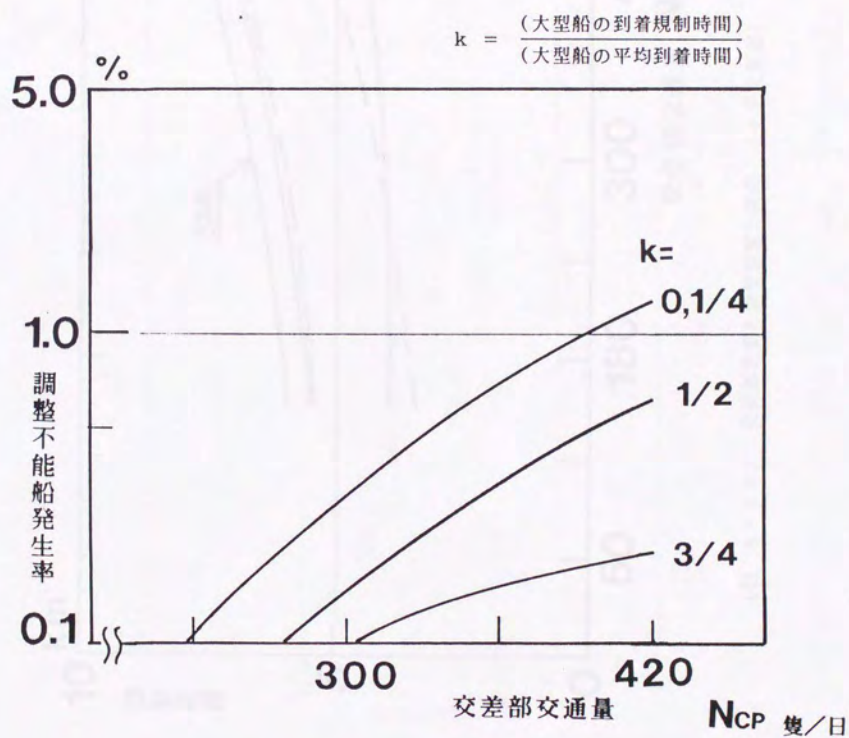


(図 4-21) 予備管理を行った場合の調整不能船発生率 (十字交差部)

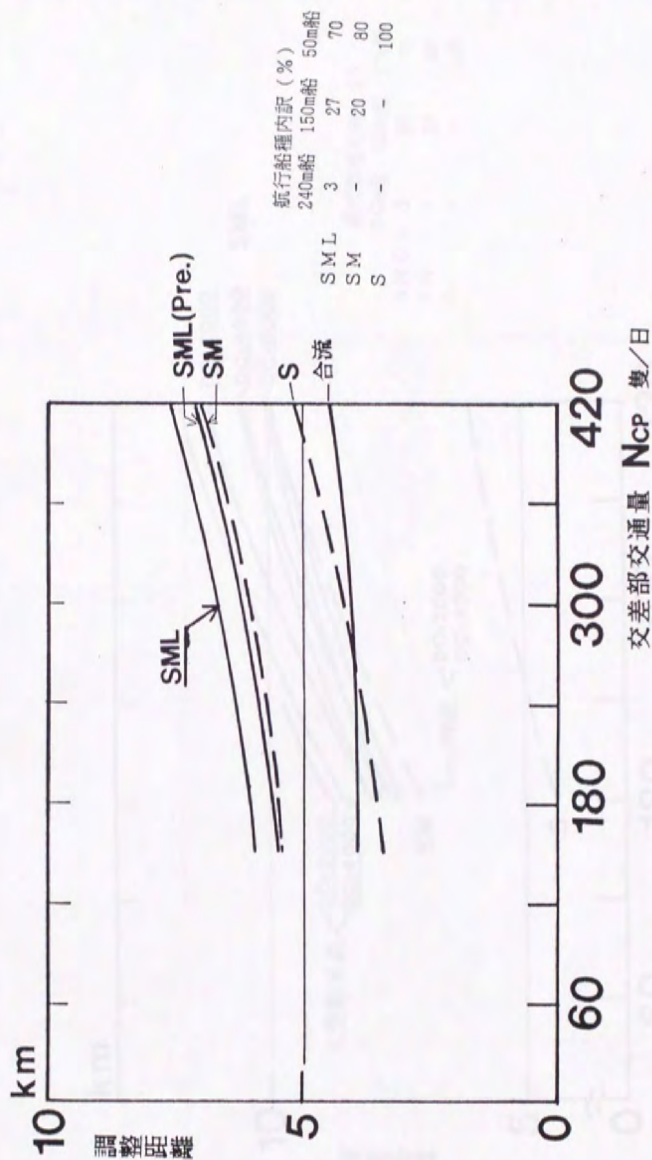
$$k = \frac{(\text{大型船の到着規制時間})}{(\text{大型船の平均到着時間})}$$



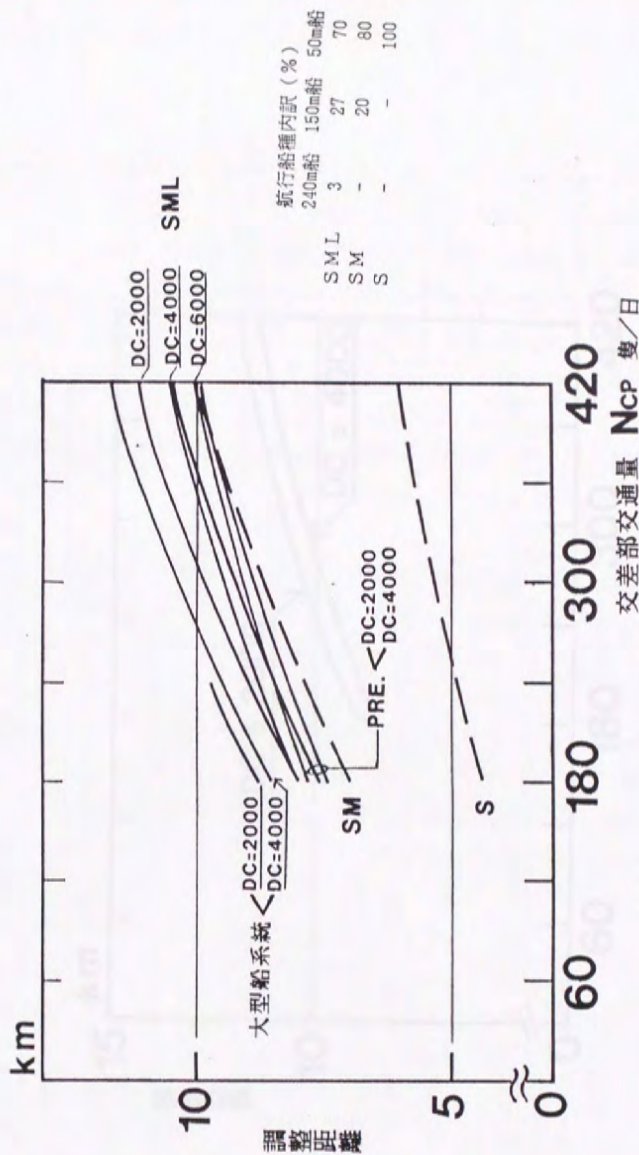
(図 4-22) 予備管理を行った場合の調整不能船発生率 (十字交差部)



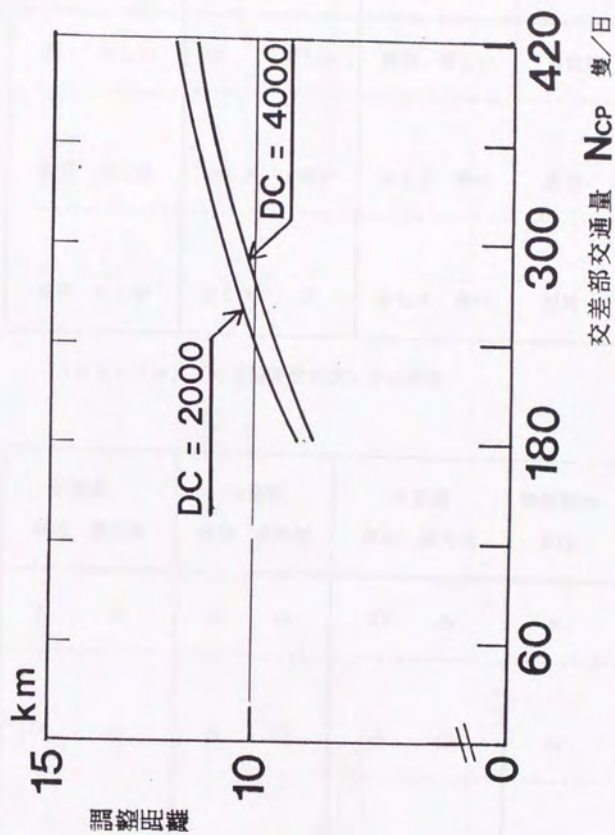
(図 4-23) 予備管理を行った場合の調整不能船発生率 (井型交差部)



(図 4-24) 交差点容量と調整距離の関係 (十字交差点)



(図 4-25) 交差点容量と調整距離の関係 (十字交差点)



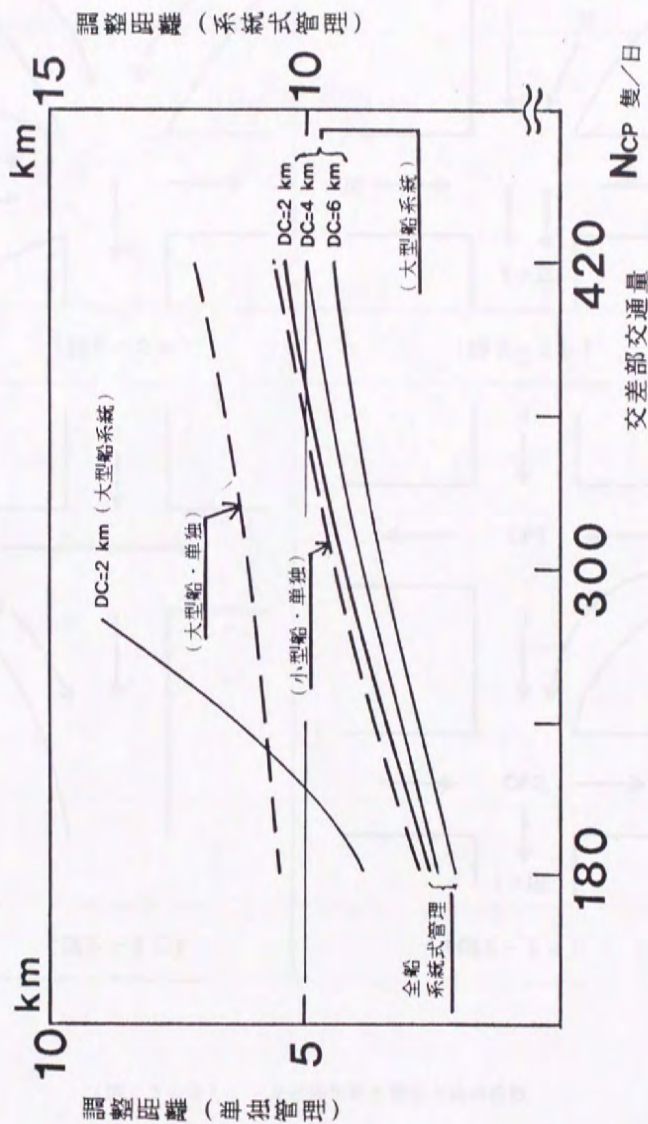
(図 4-26) 交差部容量と調整距離の関係 (井型交差部)

	小型船 負担 優先度	中型船 負担 優先度	大型船 負担 優先度	管理側の 負担
全船同等管理	大 等しい	中 等しい	妥当 等しい	多数船
予備管理付き 大小船型別管理	妥当 少し低	少し大 高い	少し大 高い	普通
予備管理付き 船型別管理	妥当 少し低	少し大 中	少し大 高い	複雑

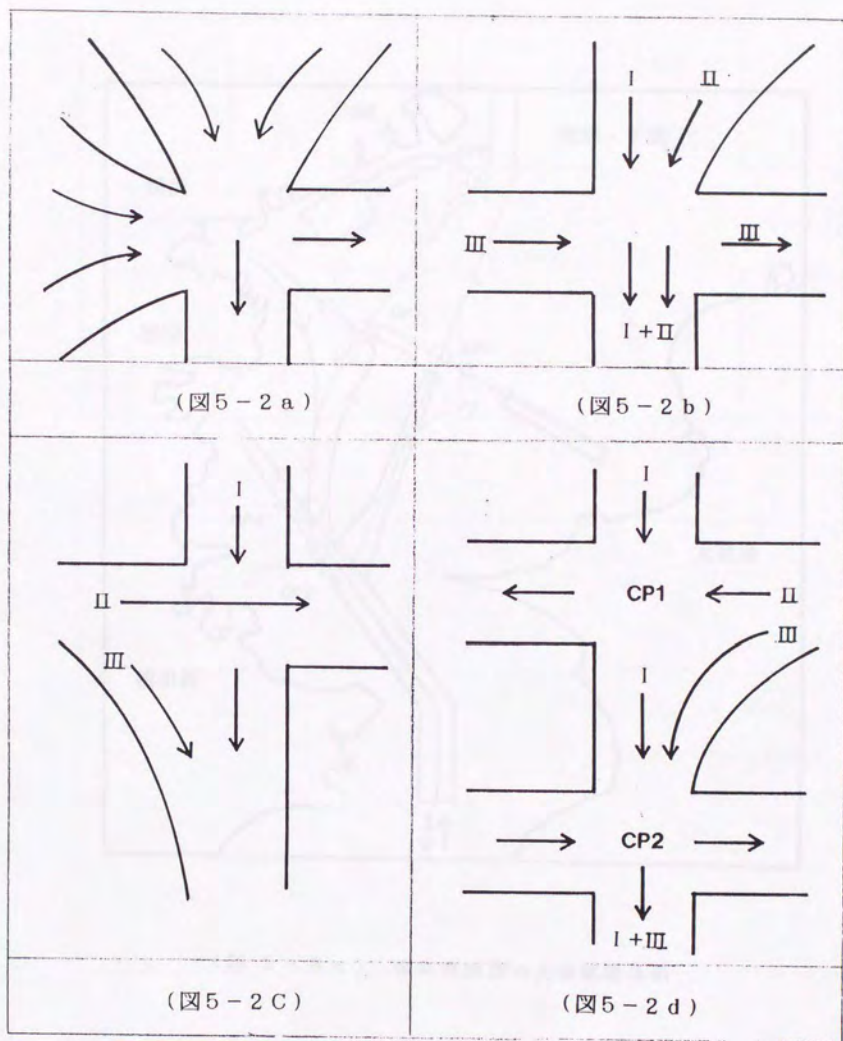
(表5-1a) 交差部管理方法とその特徴

	小型船 負担 優先度	中型船 負担 優先度	大型船 負担 優先度	管理側の 負担
全船同等管理	× △	△ △	○ △	×
予備管理付き 大小船型別管理	○ △	△ ○	△ ○	△
予備管理付き 船種別管理	○ △	△ △	△ ○	△

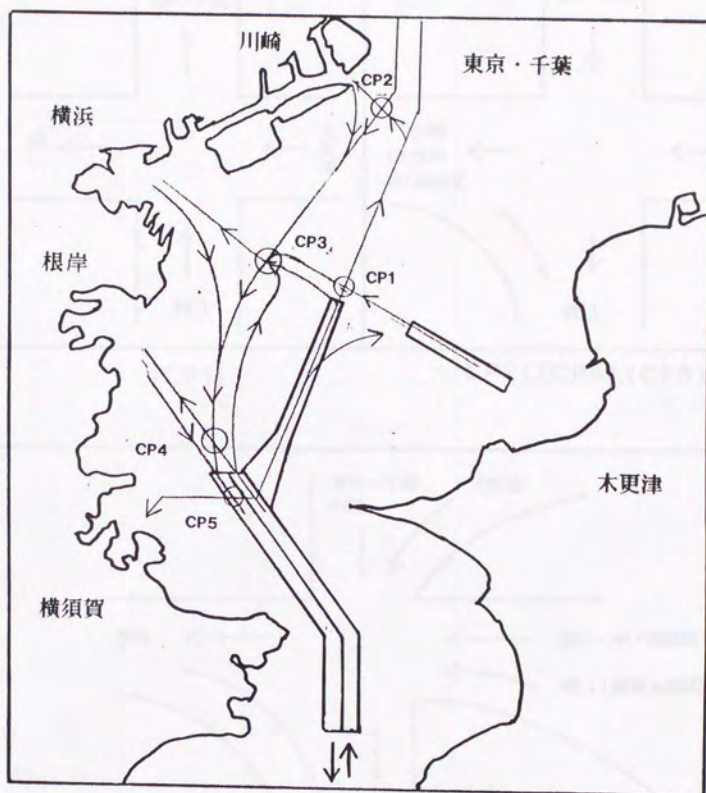
(表5-1b) 交差部管理方法とその特徴



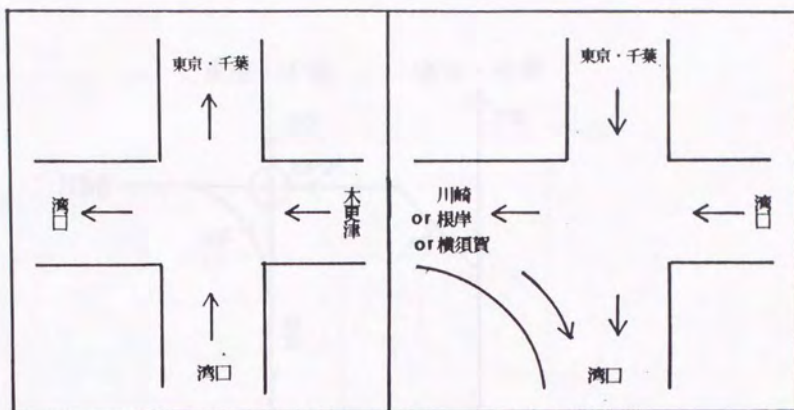
(図 5-1) 管理方法と必要調整距離



(図 5-2) 交差部形状と管理方法の分類

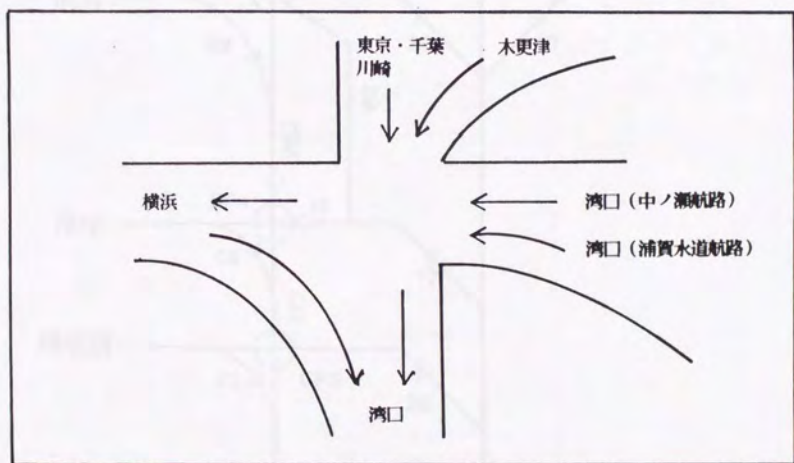


(図 5-3 a) 東京湾南部の主要航路体系



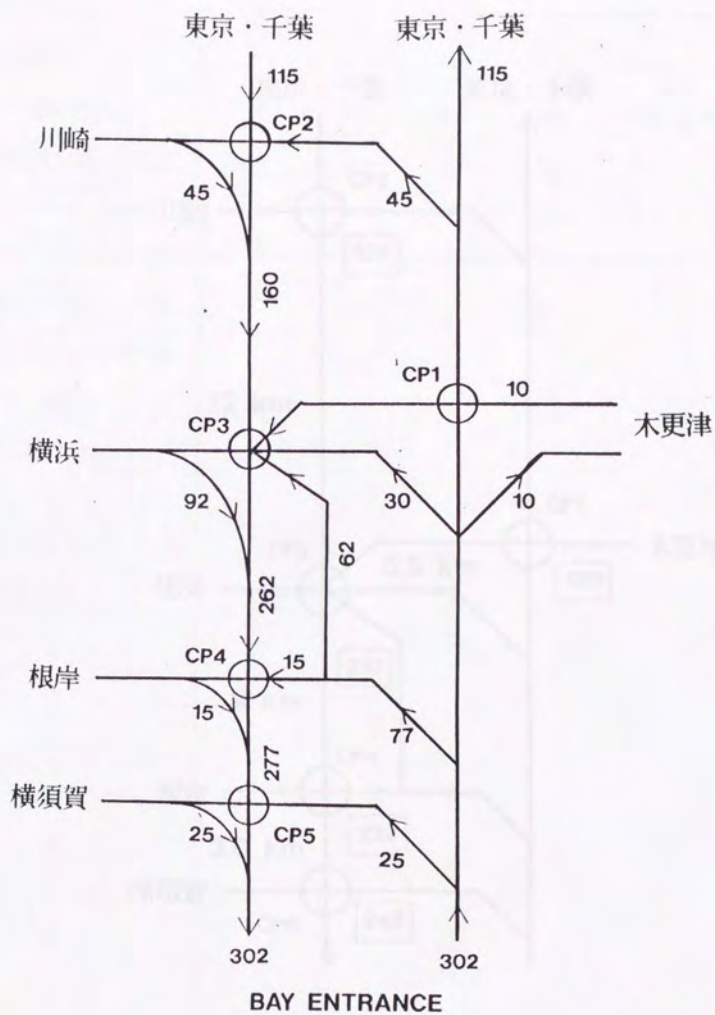
(CP1)

(CP2),(CP4),(CP5)

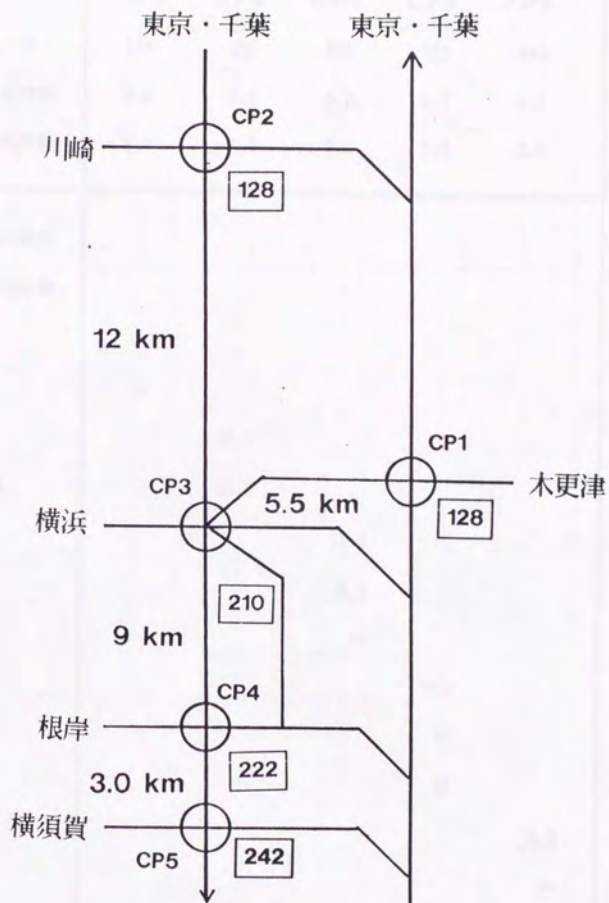


(CP3)

(図5-3b) 東京湾南部・主要交差点における交通流



(図 5-4) 東京湾南部の通行船舶数



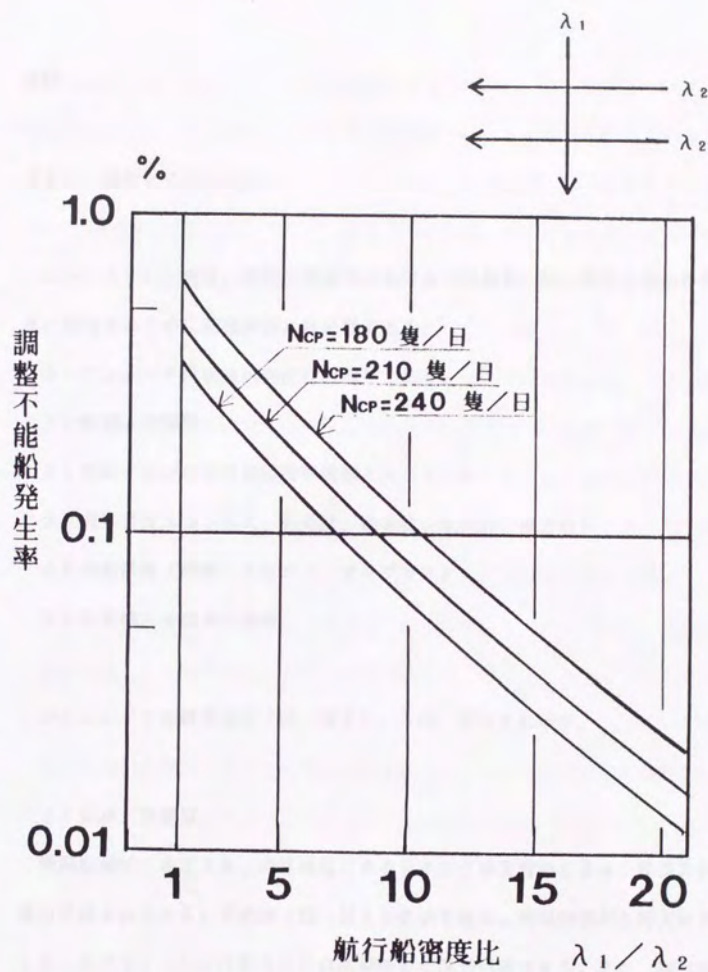
(図 5-5) 簡略化した航路体系と換算交差部交通量

交差部番号	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
交差部通航隻数/日	128	128	210	222	242
必要調整距離 大型船 (km)	5.0	5.0	5.6	5.7	5.7
小型船	2.0	2.0	3.2	3.4	3.7
交差部使用航路の前部の状況と交差部間距離					
湾 外	∞				
木更津	H				
CP 1		19.6			
東京・千葉		20.0			
CP 2			12.0		
CP 1			<u>5.5</u>		
湾 外			∞		
CP 3				9.0	
湾 外				∞	
根 岸				H	
CP 4					<u>3.0</u>
湾 外					∞
横須賀					H

(表 5-2 a) 交差部の単独管理の検討

交差部番号	CP 1 - CP 3	CP 4 - CP 5
交差部通行隻数/日	210	242
交差部間距離 (k m)	5.5	3.0
系統式管理		
必要調整距離 (k m)	7.7	8.7
湾 外	∞	
木更津	H	
CP 2	12	
湾 外		∞
CP 3		<u>9.0</u>
根 岸		H
横須賀		H

(表 5 - 2 b) 交差部の系統式管理の検討



(図 5-6) 十字交差点において各航路の交通量が異なる場合の調整不能船発生率

付録

(1) 操船シミュレータ

このシミュレータは、船舶の操縦系における（操縦者－船－環境）のかかわり合いを調査、研究するために開発制作した装置である。

本シミュレータの構成内容は次の通りである。

- 1) 船橋大型模型
- 2) 他船、並びに航路標識投影装置とスクリーン
- 3) 表示装置（コンパス、舵角計、船速計、風向計、風力計）
- 4) 操船装置（舵輪、エンジン、テレグラフ）
- 5) 計算機とその周辺装置

シミュレータの概要図を（図 付1）、（図 付2）に示す。

1) 船橋大型模型

模擬船橋は、高さ2 m、幅は両舷にあるウイング部を含めて8 m、船長方向に対応する奥行きは4 mである。平面図（図 付1）に示す通り、船橋内部から前方は5この窓を通して、スクリーン上に投影される自船周囲の状況が目視できる。また、側方は、左右各々3この窓を通してスクリーン映像を目視できる。船橋内部には、以下に示す表現装置、操船装置が設置されている他に、海図机等の一般商船の船橋内部に設置される備品を備えている。

2) 投影装置・スクリーン

スクリーンは、船橋内に設置されたベアリング、コンパス中心を中心とする半径4 mの円筒形で船橋周囲を取り囲んでいる。スクリーンの高さは、1.8 mあり、水平線位置を

基準として上方13度、下方12度の視角度をおおっている。スクリーンは、船首方向に対して、左右各100度、計200度の範囲をカバーし、側方を航過する物標の情報を操船者に与えるに十分な範囲を持っている。また、船橋前方には、船橋から見える自船船首の映像を投影するサブ・スクリーンを設置してある。シミュレーション対象の船種に対応し、ふさわしい船首映像を投影し、臨場感をあげている。投影装置は、海、空、雲、遠方の島島を投影するパノラマ投影装置である。

第二は、洋上で、自船と行き会う他船を投影する相手船装置である。この投影装置は、点光源の前方に極小型の立体船模型を置き、そのシルエットをスクリーン上に投影することにより、他船の姿勢、距離等の情報を操船者に与えている。このために、船の模型は三自由度のサーボ系により、方位、距離、他船の姿勢を表現しているパノラマ投影装置と相手船投影装置は同じ光源を使用している。点光源の位置は方位測定基準と一致しないと測定誤差を生じ、投影映像による測角が不正確となる。このために、パノラマ投影装置と相手船投影装置は、船橋上部に設置し、点光源はベアリング・コンパス中心の真上に設置されている。

第三の投影装置は、第二投影装置と同様に他船の投影や航路標識の撮映用に用いられる。航路標識のように見る角度によっても形状の変わらない物標の場合には、点光源の前方にスライド・フィルムを設置することにより、色付きの映像を投影できる。また、この投影装置の点光源位置もベアリング・コンパス中心と一致させる必要があるので、プロジェクタ位置を船橋前部の下部としている。

3) 表示装置

自船の運動状態や制御状態、環境状況を操船者に提供する表示装置は、実機あるいはその相当品を用いて、実船と同様に設置されている。その内容は次の通りである。

① ベアリング・コンパス

操船者が自船の回転運動の状態を計測したり、スクリーン上の映像方位を計測する時に使

用するコンパスで、船橋内前部に設置されている。

② マスター・コンパス

操舵手が、針路情報を得るために使用し、船橋内中央のコンソル・ボックス上部に設置されている。

③ 旋回角速度計

マスター・コンパス横に設置され、操舵手へ旋回角速度の情報を与える。

④ 舵角計

船橋内全面上部に設置され、刻刻の舵角量を表示する。

⑤ 船速計

舵角計横に設置され、刻刻の自船船速をノット表示している。

⑥ プロペラ回転数表示計

船速計横に設置され、刻刻の一分間プロペラ回転数を表示している。

⑦ 風速、風向計

この二つの表示計は舵角計の横に位置し、自船の運動を含む相対風速、相対風向を表示している。

⑧ レーダ表示装置

八個の物標の表示が可能であり、スクリーン映像に対応する物標の他、任意の物標の表示ができる。計測レンジカーソル機能は実機レーダと全く同じである。

以上の表示装置、スクリーン映像等は全て、計算機による運動計算結果に従い、制御され、当然のことながら全てが同期、整合している。

4) 操船装置

自船運動を制御する入力装置であり、一般商船と同様な舵輪と、プロペラ回転数を制御するエンジン・テレグラフがコンソル・ボックスに設置されている。

5) 計算機と周辺装置

計算機は、16ビット、64KBマイクロコンピュータ(PDP11/23)を用い、船の運動計算、投影装置の制御、表示装置の制御を行っている。操船者の制御量である舵角、プロペラ回転数の信号は各々ADC、PLUのインターフェイスを経て計算機に取り込まれ、時時刻刻の船体運動を数学モデルに従い計算される。計算結果はDACを経て、プロジェクター表示装置を駆動し、操船者に刻刻の運動状態を知らせる。計算周期は、1秒毎であるが、プロジェクター、表示装置は、平均的フィルタを使用しているので、その動作は滑らかに連続的である。別項に示す数学モデルに対応する計算所要時間は約0.1秒であり、計算速度は十分である。また、計算機の空き時間を利用して解析並びに、航海計器の制御を行うことが可能である。

以上の結果、信号の流れを(図 付3)に示す。

6) 数学モデル

エンジン・テレグラフによる主機操作は、船体の加減速運動に関する数学モデルは、本章・第二節に示したモデルを使用している。ここでは、操舵に伴う回転運動の数学モデルを示す。

(1) 回転運動の応答方程式

1. プロペラ正転の場合

$$\begin{aligned} T_1' T_2' \left(\frac{L}{V} \right)^2 \ddot{\psi} + (T_1' + T_2') \dot{\psi} + \alpha' \left(\frac{L}{V} \right)^2 \dot{\psi}^3 \\ = g(s) K \left(\frac{V}{L} \right) \{ \delta + T_3' \left(\frac{L}{V} \right) \dot{\delta} \} \end{aligned}$$

ただし

$$g(s) = \frac{1 + k s^{1.5}}{k = 3.2 \cdot \frac{1 + k s_{\theta}^{1.5}}{2}}$$

$$s : \text{プロベラ・スリップ比} \left(= 1 - \frac{V(1-w)}{n p} \right)$$

s_{θ} : 定常直進中のプロベラ・スリップ比

2. プロベラ逆転の場合

$$T_1' T_2' \left(\frac{L}{V} \right)^2 \ddot{\psi} + (T_1' + T_2') \left(\frac{L}{V} \right)^2 \dot{\psi}^3 = a R \left(\frac{L}{V} \right) / J_s^2$$

ただし

$$J_s = \frac{V}{n D}$$

3. 操舵機の応答特性

$$T_E \dot{\delta} + \delta = \delta^* \quad (|\delta^* - \delta| \leq \delta_c)$$

$$\delta = \text{sing}(\delta^* - \delta) |\delta_{\max}| \quad (|\delta^* - \delta| > \delta_c)$$

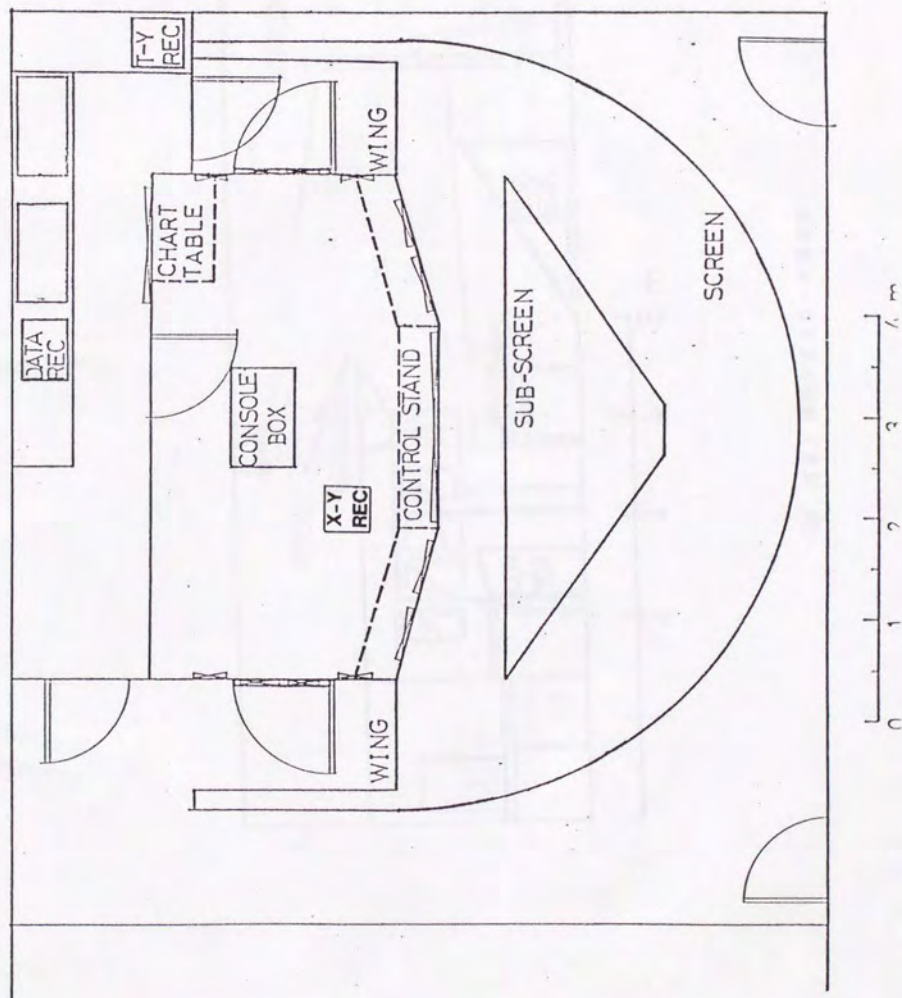
ただし

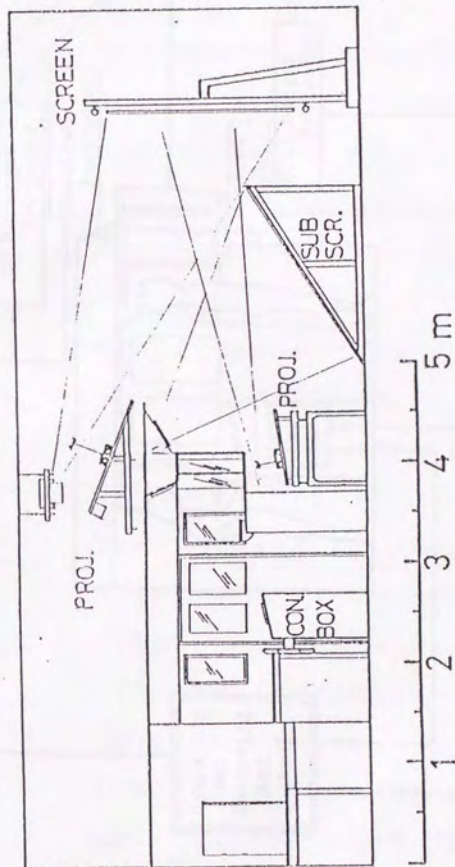
δ^* : 指令舵角

δ : 実舵角

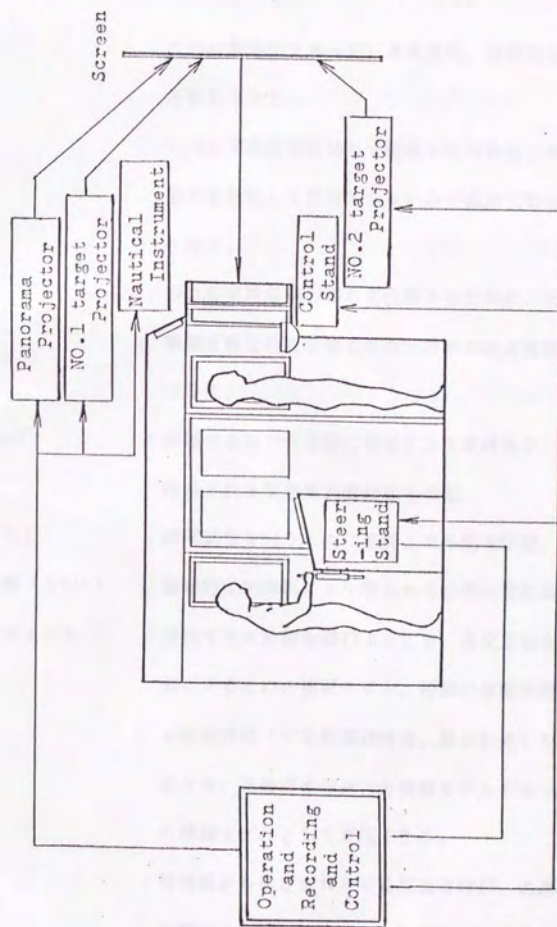
δ_c : 先進角 $(= |\delta_{\max}| \cdot T_E)$

(図 付1)
操船シミュレータ平面図





(圖 付2) 操船シミュレータ側面図



(図 付3) 操船シミュレータにおける情報の流れ図

(2) 用語と記号

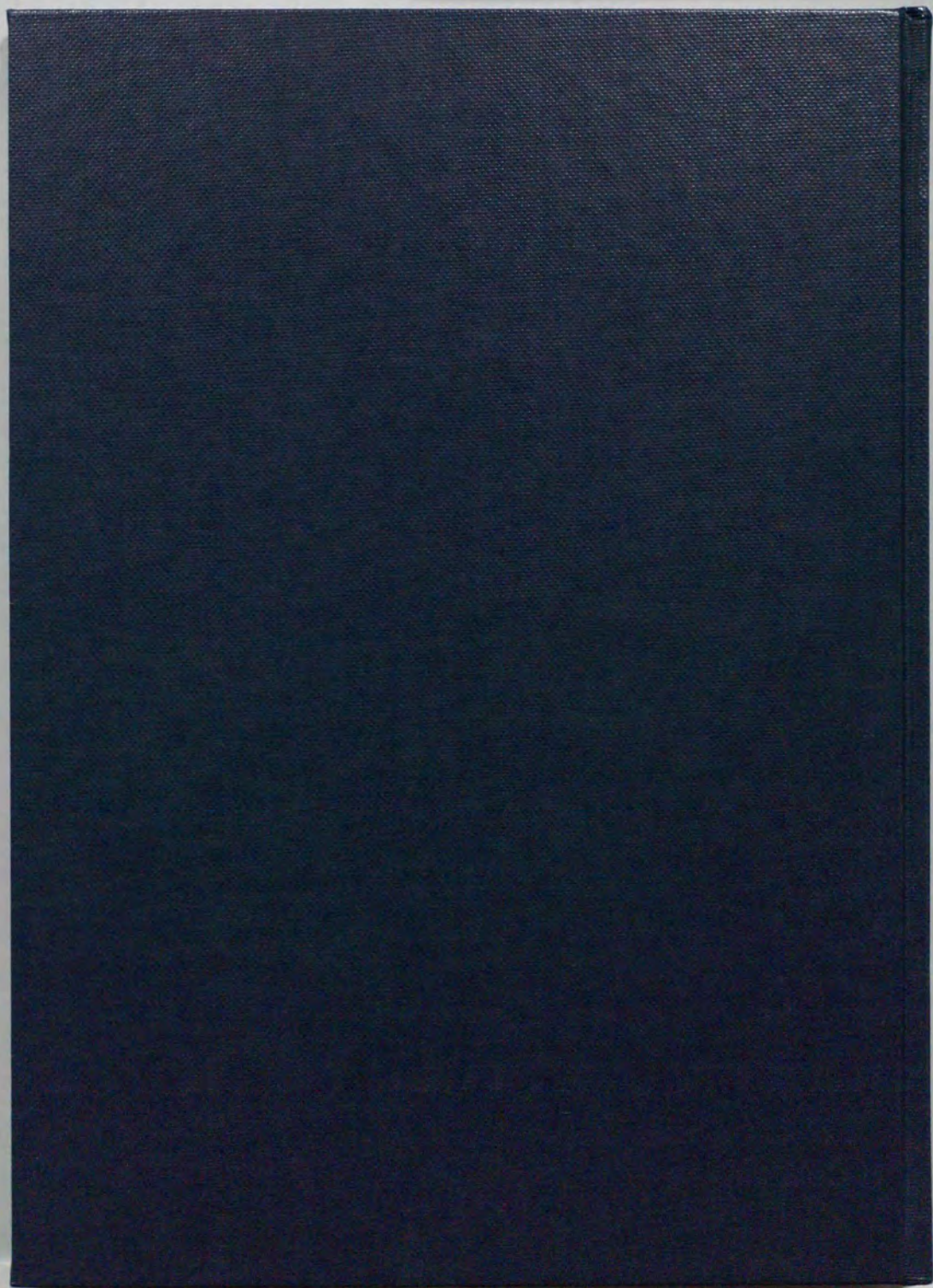
① 用語

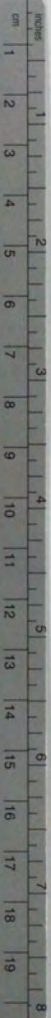
- 十字交差部 : 二つの航路が交わっている交差部。合流交差部とは異なる特性を示す。
- 卐字交差部 : 二つの交差部が近接して位置するために、それぞれの交差部を独立して管理できないので系統式管理を行うこととなる。
- 井型交差部 : 四つの交差部が近接して位置するために、それぞれの交差部を独立して管理できないので系統式管理を行うこととなる。
- 調整時間 (T_{\max}) : 原速のままで交差部に到着する予定時刻と、管理側より指示される交差部到着時刻との差。
- 必要調整距離 (L) : 時間調整を行うために必要とする航走距離。
- 必要最小調整距離 (L_{\min}) : 最短時間制御則により得られる必要調整距離。
- 定点定時定速通過モデル : 連続する交差部を通行するとき、各交差部を指定時刻に通行するための操縦モデル。初期の運動状態と目的とする運動状態(交差部通過時刻、通過船速)を決めることにより、連続交差部通行の操縦モデルが単一交差部通行の操縦モデルとして表現できる。
- 指定状態 : 管理側から指定された交差部通過時刻、通過船側の状態を現時点まで延長して得られる状態。(図2-6)のC点より延長される直線で示される。この線上の運動状態を保持することによって、管理側の指定を満足して交差部の通行が可能となる。

時間調整不能船	: 与えられた調整距離の航走によっては所定の時間調整を達成できない船舶
交差部容量	: 時間調整不能船の発生率が全通行船の0.1%となる時の一日当り交差部通行量
交通流特性	: 管理方法、交差部形状、航行船の条件などによって決まる航行船の調整時間量、調整不能船発生率、交差部容量等の特性
単独管理	: 一つの交差部を他の交差部とは独立して管理する方式
系統式管理	: 二つの交差部の通行時刻をそれぞれの交差部の空き時間状況により同時期に決定する管理方式
予備管理	: 船舶の集中到着を緩和するために、管理域手前を航行中の船舶に対し管理域への到着時刻を規制する管理方式

② 記号

CP	: 交差部
Ncp	: 交差部における一日当り通行船舶数
V	: 船速
V0	: 管理域到着時点での船速。時間調整を行うための初期状態。
VP	: 交差部の通過指定船速。
VP1	: 交差部が複数ある時、一番目の交差部の通過指定船速。
VP2	: 交差部が複数ある時、二番目の交差部の通過指定船速。
εV	: 交差部通過時における指定船速に対する船速誤差。
$\varepsilon \tau$: 交差部通過時における指定時刻に対する通過時刻誤差。
ΔX	: 指定状態からの位置の誤差
n	: プロペラ回転数
λ	: 平均到着率
λL	: 大型船の平均到着率
λS	: 小型船の平均到着率





Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM Kodak

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black



Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM Kodak

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

