



# 港湾における錨泊地の設計に関する研究

臼井, 英夫

---

(Degree)

博士 (商船学)

(Date of Degree)

2000-03-31

(Date of Publication)

2007-10-11

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0001

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3168274>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/DS100001>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



神戸商船大学  
博士論文

港湾における錨泊地の設計に関する研究

2000年1月

神戸商船大学大学院商船学研究科  
博士後期課程海上輸送システム科学専攻

白井英夫

# 目 次

第1章 序論	1
1.1 概説	1
1.2 研究の目的と概要	4
第2章 港湾における錨泊地とその現状	6
2.1 概説	6
2.2 港湾とは	6
2.2.1 港湾施設の建設に関連する法律と基準	6
2.2.2 港湾に関する業務に携わる人々	8
2.2.3 船舶運航から見た港湾	9
2.2.4 港湾計画の立案	9
2.2.4.1 港湾計画の役割、意義	9
2.2.4.2 港湾計画に定める事項	11
2.2.4.2 港湾計画の策定の手続き	12
2.2.4.3 港湾施設の規模及び配置	12
2.3 港湾における錨泊地の位置づけと現況	12
2.3.1 港湾における錨泊地の位置づけ	12
2.3.2 錨泊地の現況	13
2.4 港湾設計に関するこれまでの研究	13
2.5 錨泊地設計の現状	14
2.5.1 錨泊地の設計要素	14
2.5.2 錨地の規模、配置について	15
2.5.3 錨泊地の規模、配置について	16
2.6 結語	18
第3章 環境ストレスモデルによる困難性評価	19
3.1 概説	19
3.2 操船者を取り巻く環境とその評価	19
3.2.1 環境の種類とその構成	19
3.2.2 環境評価の考え方と従来の研究	19
3.3 操船環境と交通環境に起因する環境負荷の定量化	21
3.3.1 操船環境ストレスの概念とその定義	21
3.3.2 操船環境ストレス値の算定法	22
3.3.3 交通環境ストレスの概念とその定義	23
3.3.4 交通船環境ストレス値の算定法	23
3.3.5 操船環境と交通環境の同時評価の考え方	24
3.3.6 環境ストレスの値に関する操船者の許容感	25
3.4 結語	26
第4章 基本的な錨地配置のあり方について	27
4.1 概説	27
4.2 最適配置問題としての錨泊地設計	27
4.2.1 最適配置問題とは	27
4.2.2 板取り問題としての定式化	27
4.2.3 港湾施設の設計における最適配置設計の適用	29
4.3 本研究における錨泊地設計の考え方	29
4.4 操船困難性の検討と錨泊地設計要素の定量化	30
4.4.1 計算条件	30
4.4.1.1 船体条件	30
4.4.1.2 錨泊船の配置	30
4.4.2 2隻の錨泊船間航行	31
4.4.2.1 大きさが同じ場合	31
4.4.2.2 大きさが異なる場合	32
4.4.2.3 針路交角	35

4. 4. 3	3隻の錨泊船間航行	36
4. 4. 3. 1	大きさが同じ場合	36
4. 4. 3. 2	大きさが異なる場合	37
4. 4. 3. 3	錨泊船間航行と困難性の試算	38
4. 4. 4	航行船の速力	39
4. 4. 5	錨地の配置設計の例	39
4. 5	基本的な錨泊船配置のあり方	40
4. 6	結語	40
<b>第5章</b>	<b>指定錨地方式における錨地の配置とその設計</b>	<b>42</b>
5. 1	概説	42
5. 2	指定錨地方式における錨地の配置アルゴリズム	42
5. 2. 1	錨地の配置アルゴリズム	42
5. 2. 2	錨地と錨泊船との関係	44
5. 3	計算結果	45
5. 4	ケーススタディ	47
5. 4. 1	神戸港の場合	47
5. 4. 2	大阪港の場合	48
5. 5	指定錨地方式における錨泊地設計の考え方	49
5. 6	結語	50
<b>第6章</b>	<b>面錨地方式における錨泊地の容量とその設計</b>	<b>51</b>
6. 1	概説	51
6. 2	面錨地方式を対象とした錨泊地設計の考え方	51
6. 3	基本容量の推定	52
6. 3. 1	モンテカルロ法による錨泊地の容量推定	52
6. 3. 2	基本容量の計算結果	53
6. 3. 2. 1	同じ大きさの錨泊船の場合	53
6. 3. 2. 2	異なる大きさの錨泊船の場合	54
6. 4	実用容量の推定	56
6. 4. 1	錨地間離隔距離、錨泊船間航行を考慮したときの錨泊地容量	56
6. 4. 2	実用容量の計算結果	58
6. 4. 2. 1	同じ大きさの錨泊船の場合	58
6. 4. 2. 2	異なる大きさの錨泊船の場合	59
6. 5	基本容量と実用容量の関係	61
6. 5. 1	同じ大きさの錨泊船の場合	61
6. 5. 2	異なる大きさの錨泊船の場合	62
6. 6	面錨地方式における錨泊地設計の考え方	63
6. 7	結語	64
<b>第7章</b>	<b>錨地配置設計支援システム</b>	<b>66</b>
7. 1	概説	66
7. 2	錨地配置設計支援システムの機能	66
7. 3	錨地配置計画代替案設定後の微調整について	69
7. 4	結語	69
<b>第8章</b>	<b>港湾における錨泊地の配置設計</b>	<b>70</b>
8. 1	概説	70
8. 2	「錨泊地」の取扱い及び計算方法	70
8. 3	1隻の船舶が航行する際に必要となる錨泊地間隔	71
8. 4	複数の船舶の航行に関する検討	73
8. 5	錨泊地配置設計の考え方	76
8. 6	結語	77

<b>第 9 章</b>	<b>港湾計画における錨泊地設計のとりまとめ</b>	79
9. 1	概説	79
9. 2	港湾の施設提供者への設計指針	79
9. 2. 1	錨泊地の設計の手順	79
9. 2. 2	錨泊地の配置設計指針	80
9. 2. 3	指定錨地方式における錨地の配置設計指針	80
9. 2. 3	面錨地方式における錨地の配置設計指針	82
9. 3	結語	84
<b>第 10 章</b>	<b>結論</b>	85
	謝辞	87
	参考文献	88

# 第1章 序論

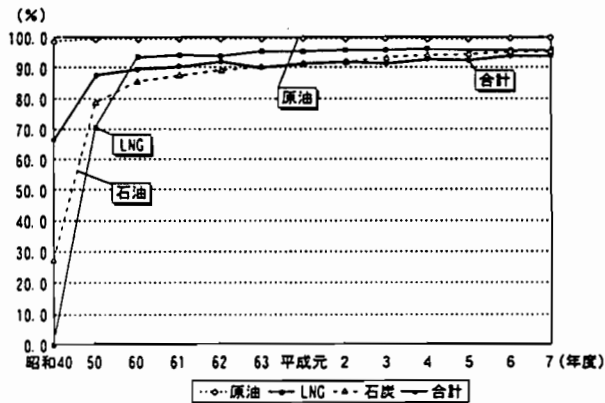
## 1.1 概説

港湾は、海上交通と陸上交通の結節点として、物流における重要な役割を果たしてきた。特に、四方を海に囲まれた日本では、図1.1、図1.2に示すように、生活に必要な物資の多くを輸入に依存している。このように輸入される物資の大半は港湾を経由しており、港湾の重要性、必要性は今後とも変わらないものといえる。

一方で、経済活動においては世界規模のグローバル化が進められており、国際的な競争時代となっている。海運においても例外ではなく、現在の国際海上物流の主力であるコンテナ輸送を見ても、図1.3に示すように近隣アジア諸港の占める割合が大幅に増加するとともに、コンテナ物流の中心は日本から近隣アジア諸国へとシフトし、相対的に日本の港湾の地位が低下しつつある。

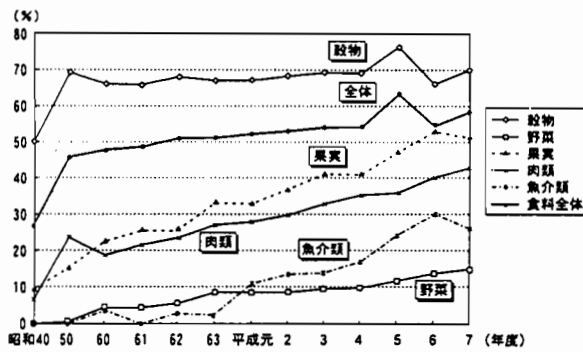
また、コンテナ船の船型は近年大型化する傾向にあり、「オーバーパナマックス」と呼ばれる、長さ300m以上、幅32m以上のコンテナ船が出現してきている。このような船型のコンテナ船の荷役を行うためには、15m以上の水深や広いヤードと高効率な荷役システムを有するコンテナターミナルが必要となる。

そこで、運輸省では、平成7年6月に長期港湾政策として「大交流時代を支える港湾—世界に開かれ、活力を支える港づくりビジョン—」を策定し、表1.1のような施策



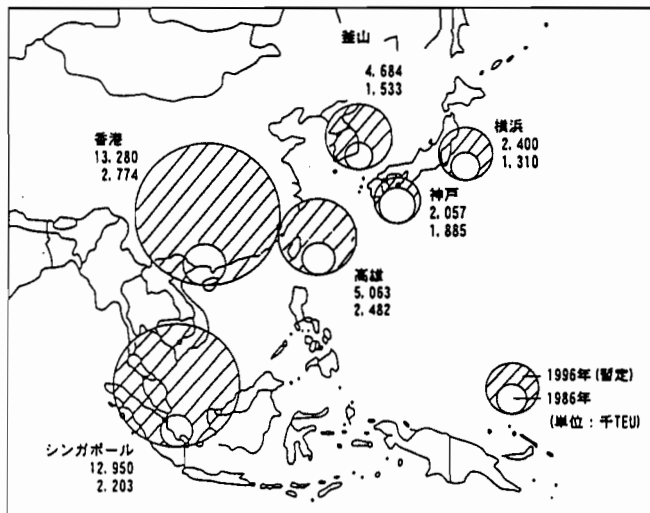
注 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に運輸省港湾局計画課作成

図1.1 エネルギーの海外依存率の推移<sup>(1)</sup>



(1) 農林水産省「食料需給表」を基に運輸省港湾局計画課作成  
(2) 食料全体は供給熱量ベース、他は重量ベース。

図1.2 食料の海外依存率の推移<sup>(1)</sup>



注 CONTAINERISATION INTERNATIONAL YEARBOOK(各年)による。

図1.3 勢力を拡大する近隣アジア諸港<sup>(1)</sup>

体系を掲げている。さらにこの政策の実現を目指して、平成8年度からの第9次港湾整備五箇年計画が立案され実施されてきている。

表1.1 「大交流時代を支える港湾」施策体系<sup>(2)</sup>

政策の柱	施策	主要プロジェクト等
大交流を支える港湾ネットワークの形成	国境を越えた経済活動を支える地域国際流通港湾の整備	●地域国際流通港湾の全国20地域程度の配置
	中核国際港湾における国際コンテナ港湾機能の競争力強化	●中核国際港湾4地域でのコンテナターミナル整備 ●中核国際港湾8地域でのコンテナターミナル整備 ●港湾のサービス水準の向上、情報化の推進
	技術革新を活かした複合一貫輸送を推進する国内物流基盤の充実	●内貿ユニットロードターミナルの充実 ●臨海部における貨物の集配拠点の整備 ●T S Lの実用化の動向を踏まえた対応
	港湾ネットワークの災害に対する機能の強化	●港湾ネットワークの多重化、代替機能の確保 ●広域防災基地機能の配置
	港湾ネットワークを活かした地域連携の促進	●内貿ユニットロードターミナル、内陸水運等の活用 ●文化施設、旅客ターミナル等の整備 ●圏域内における機能分担の実現
活力を支え安心できる空間の創造	多様な産業の誘導による地域活力の向上と雇用の場の確保	●優れた立地環境のインダストリアルパークの形成 ●産業空間における交流機能の整備 ●快適な職場環境、生活環境の確保
	親しみのあるウォーターフロント空間の新展開	●賑わいライトハウス等の整備 ●パブリックアクセス等の整備 ●マリーナ、プレジャーボートスポット等の整備
	地域活動を支える災害に強い港湾システムの形成	●防災技術、耐震性の向上 ●臨海部における地域の防災拠点の整備
	持続可能な発展を実現する沿岸域の環境創造と廃棄物への対応	●健全で豊かな海域環境の創造 ●リサイクルの促進と廃棄物処理場の確保 ●平成の森、渚の創造
	低・未利用地の再編による豊かな空間の創造	●物流・産業用地での質の高いインフラの創造 ●生活用地での交流空間の創造 ●将来のために確保する用地での暫定利用

表 1. 1 に示されている中枢国際港湾として、図 1. 4 に示すように東京湾、伊勢湾、大阪湾、北部九州において水深 15 m 級のコンテナターミナルの建設が進められている。また、北海道、日本海中部、東東北、駿河湾沿岸、中国、南九州の全国 8 地域に中核国際港湾として、国際海上コンテナターミナルの拠点整備を推進している。

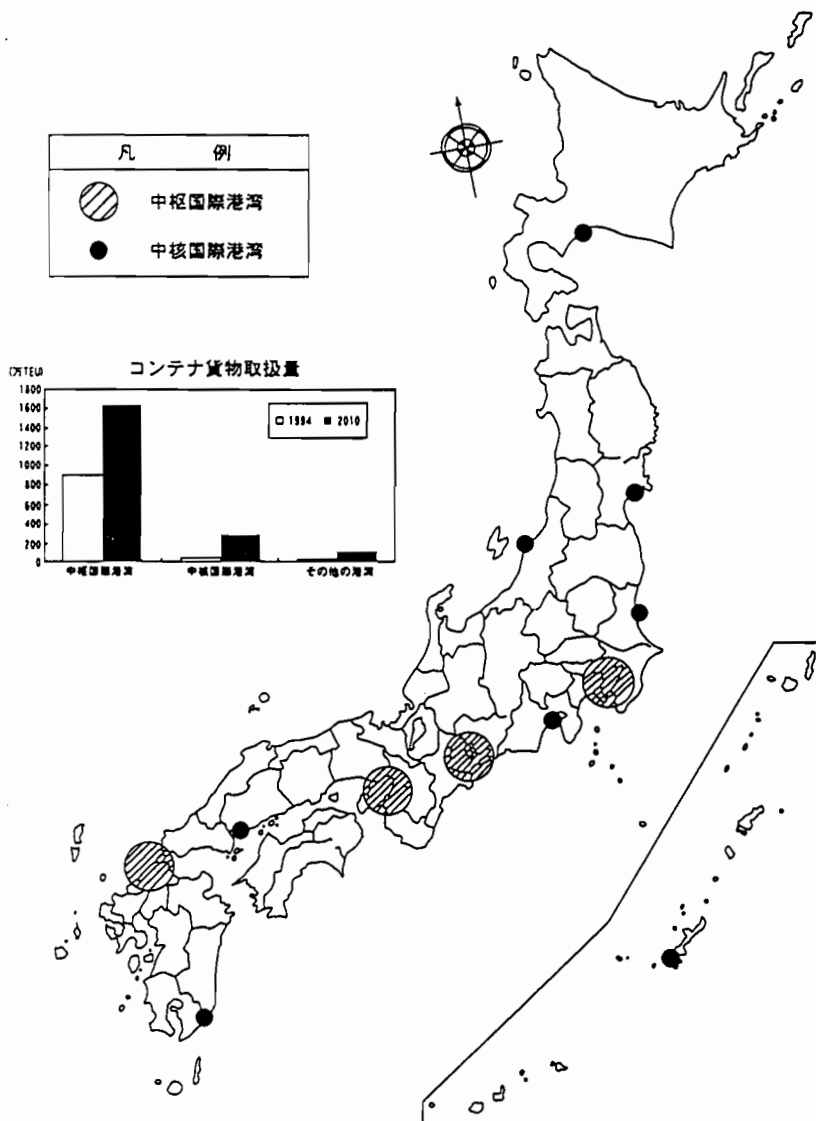


図 1. 4 中枢・中核国際港湾の配置<sup>(1)</sup>

しかしながら、日本の港湾の多くは神戸港や大阪港に見られるように良好な湾型を利用して、防波堤などで水域を囲って作られているため、一般的に 15 m より浅い水深となっている。そこで、建設が計画される大水深のターミナルは、新たに埋め立てにより立地されるものが多い。埋め立てられる場所は、従来入港船舶の仮泊や、沖荷役のための錨泊地として用いられてきた港湾水域内である。そのため、埋め立てられた結果錨泊地面積が減少し、錨地の移転、再配置という新たな問題が生じている。

従来、港湾の施設提供者にとって水域施設の設計のよりどころとなっている「港湾の施設の技術上の基準」<sup>(3)</sup>には、1 隻の錨泊船にとって必要とされる錨地の面積は規定され



ているものの、複数の錨地の配置の考え方や設計基準については定められていない。

また、泊地における錨泊船の分布に関しては、実態調査にもとづく解析的な調査研究がいくつか過去になされている<sup>(4)~(9)</sup>。しかし、本来錨地の配置が操船者にとってどのようにあるべきかについては明らかにされていない。

そのため、錨泊船の間を縫って航行する際に、航行船の操船者に課される困難感を許容範囲以内となるように考慮した錨地配置のあり方について検討し、港湾の施設提供者が行う錨泊地の配置の設計、計画に反映させる必要がある。

## 1. 2 本研究の目的と概要

まず、本研究で使用する用語について定義する。

### (1)錨地

図1.5に示すように、振れ回りを考慮し、錨泊している一隻の船舶が必要とする水域を、「錨地」と定義する。錨地は、錨位置を中心とする円で表される。

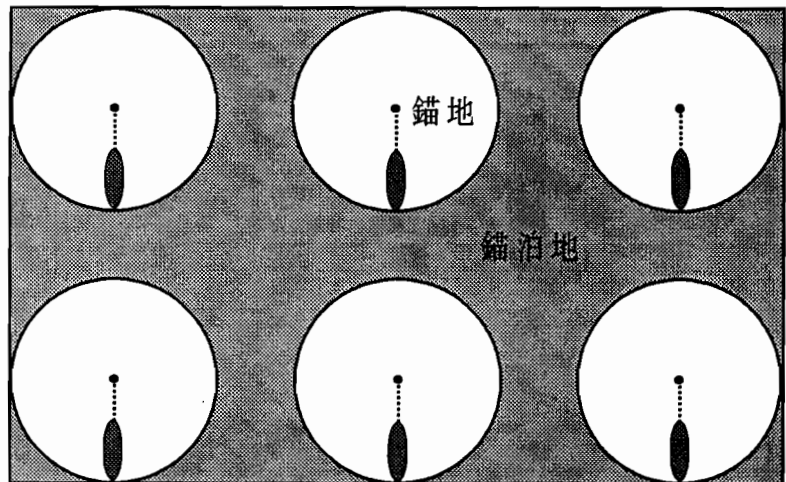


図1.5 錨地と錨泊地との関係

### (2)錨泊地

図1.5に示すように、港湾では、一定の範囲の水域に「錨地」を複数配置し、管理、運営している。

ここでは、複数の「錨地」

からなる一定の範囲の水域を、「錨泊地」と定義する。

### (3)指定錨地方式

港則法にもとづき、命令の定める特定港においては対象となる船舶に対して港長により停泊場所の指定がなされている。指定の際に、港湾の設計段階においてあらかじめ決められた特定の場所を指示される方式は、「指定錨地方式」又は「点錨地方式」と呼ばれている。

### (4)面錨地方式

港長から停泊場所の指定がなされる際に、指定錨地方式とは異なり、特定の場所ではなく、定められた範囲の錨泊地の中で、錨泊しようとする船舶の操船者自らが錨泊する場所を選択する方法がある。この方法は、「面錨地方式」と呼ばれている。

### (5)水路

船舶が航行する際に利用する、隣り合う錨泊地の間や錨泊地と他の施設との間の水域を、「水路」と定義する。

1.1で述べたような背景を踏まえ、本研究では、港湾を利用する船舶の操船者の視点に立ち、操船の困難性の観点から、港湾の水域施設の一つである錨泊地の設計手法について検討を行う。そして、港湾管理者が、港湾計画の変更に伴い錨泊地の設計を行うときに、

操船者にとって望ましい錨地の配置が可能となるための基礎的な資料を提供することを目的としている。なお、台風接近による荒天時には、船舶は港外に避難することが一般的に行われている。したがって、港域内の錨泊地は通常時の利用を条件として計画されている。そのため、本研究では通常時の利用を前提とした錨泊地の設計計画を対象とする。

図1. 6は、本研究における章構成とその位置づけを示している。そして、各章は次に述べるような内容で構成される。

まず第2章では、港湾の施設についての現状を明らかにするとともに、これまで行われている研究について述べ、その中で、操船者に課される困難感を考慮した錨泊地設計の必要性を説く。

第3章では、本研究において使用する、操船者に課される困難感を定量的に評価することのできる環境ストレスモデルの考え方を述べ、本研究における適用方法を述べる。

第4章では、錨泊地設計の手法のひとつとして考えられる最適配置問題としての解法と比較しながら、本研究における錨泊地の配置設計手法の考え方について述べる。具体的には、隣接する錨地間を船舶が航行する際に、操船者に課される困難感を許容範囲以内とするために必要な離隔距離を錨地配置の基本要件として検討する。

第5章では、第4章での検討をもとに、指定錨地方式における錨地配置設計の考え方について検討する。

第6章では、第4章での検討をもとに、面錨地方式における錨地配置設計の考え方について検討する。

第7章では、港湾の施設提供者が錨地配置設計を行う際に、設計作業が円滑に行えるよう支援するためのグラフィカルユーザインタフェースを持ったコンピュータシステムについて述べる。

第8章では、錨泊地配置設計の考え方について検討する。

第9章では、第4章から第8章までの検討をもとに、港湾の施設提供者が、港湾において錨泊地を設計計画する際の指針を総合的にとりまとめる。

最後に第10章において、本論文の結論を述べるとともに、今後の検討課題を示す。

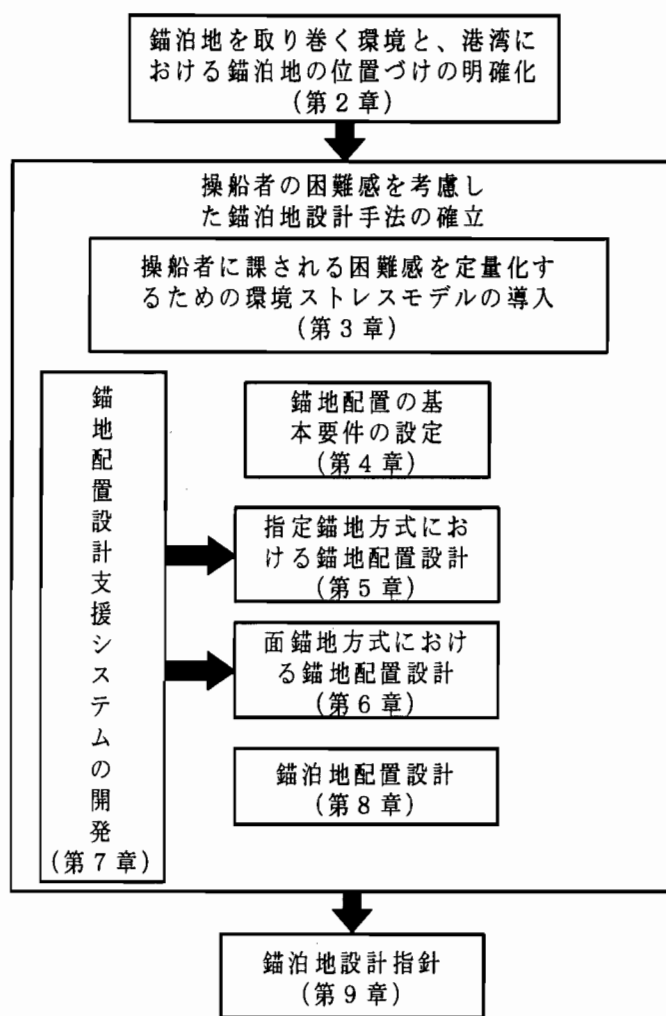


図1. 6 本研究の構成

## 第2章 港湾における錨泊地の現状

### 2.1 概説

第1章で述べたように、港湾において埋め立てを伴う構造物の建造が次々に行われている。しかしながら、水域施設としての錨泊地の観点からみた場合、船舶の運航者にとって安全性が十分担保されているかは明確ではない。そこでここでは、港湾における錨泊地の現状を見ることにより、錨泊地を設計する際の問題点を明らかにし、その中で本研究の対象とする操船者に課される困難感を考慮した錨泊地設計の必要性を説く。

まず、2.2では、港湾に関わる全体像を見ることにより、今後の港湾を考える上での基礎資料とする。2.3では、錨泊地の利用状況から、港湾における錨泊地の必要性を示す。2.4では、港湾設計に関するこれまでの研究を見ることにより、港湾設計の現状の問題点を明らかにする。さらに、2.5では、2.4を受けて、錨泊地設計の現状と問題点を明らかにするとともに、錨泊船の間を縫って航行する船舶の操船者に課される困難感を考慮した錨泊地設計の必要性を明らかにする。

以上のように、本章は本研究のテーマである、錨泊船の間を縫って航行する船舶の操船者に課される困難感を考慮した錨泊地設計の必要性を指摘して、本研究の位置づけを明確にしようとするものである。

### 2.2 港湾とは

#### 2.2.1 港湾施設の建設に関連する法律と基準<sup>(10)</sup>

港湾に関連する法律と管轄官庁を図2.1に示す。図2.1を見て分かるように、港湾にはさまざまな法規制が関係しているが、本研究では、船舶が出入港する港湾の建設に関して検討することとし、港湾法に着目する。

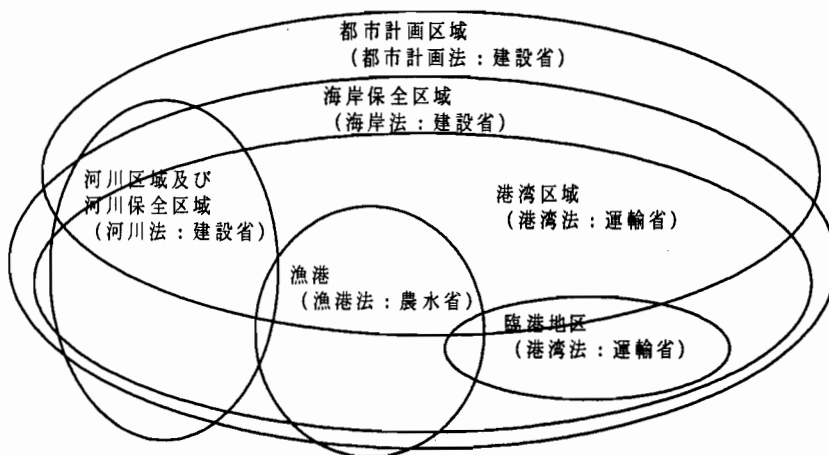


図2.1 港湾に関連する法律と管轄官庁<sup>(11)</sup>

港湾法では、港湾法第56条の2には、「水域施設、外郭施設、係留施設その他の制令で定める港湾の施設は、他の法令の規定の適用がある場合においては当該法令の規定によるほか、運輸省令で定める技術上の基準に適合するように、建設し、改良し、又は維持しなければならない。」と規定されている。港湾は、この運輸省令の規定に従って建設されることになる。この運輸省令が、「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」（以下、「省令」とする。）である。省令では、水域施設、外郭施設、係留施設、その他の港湾施設について規定しているが、考え方や指針を示したもので、例えば泊地の水深については、「泊地の水深は、対象船舶の波、風、潮流などによる動揺の程度に照らし、対象船舶の満載喫

水線以上の適切な深さとする。」というような内容となっている。

実際の港湾の設計、建設、保守などはこの省令に関して港湾局長から出されている省令の解釈や運用、具体的な基準を示した通達によってほとんど行われている。この通達では、省令に示されている泊地の水深についても、「省令第5条第2項においては、泊地の水深について規定したが、「適切な深さ」とは、工事中基準面下対象船舶の満載喫水のおおむね当該満載喫水の10%を加えた値を標準とする。(以下、省略)」のようになりにかなり実際的な内容となっている。

しかしながら、港湾局長通達でも、まだ説明不足の点や、解釈・運用に不明な点があるため、(社)日本港湾協会から「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>(3)</sup>(以下、「技術基準」とする。)という解説書が出されている。この技術基準には、通達の各項について詳細に解説してあり、港湾関係の技術者はこの技術基準により実際の仕事を行っている。したがって、港湾はこの技術基準のとおり設計・建設されていると考えられる。

また、「航路、港口、操船水面など操船上問題の多い施設の計画にあたっては、運航者、パイロットなど船舶関係者の意見を聴取して計画することが必要である。」とされている。これを受けて、海防審議の場で、港湾計画に対して運航者の立場からの意見を取り入れた検討がなされている。しかしながら、従来港湾の施設計画の検討においては、主として施設提供者の立場からの評価に重点がおかれることが多かった。これは、利用者、すなわち船舶の運航者側の施設計画に対する評価基準が明確でなかったためと思われる。

そのため、運航者が期待する港湾施設に対する安全性を定量的に評価し、具体的な評価基準のもとで、計画を立案する時点から運航者の意識を組み込んだ港湾の施設の設計計画手法の開発が必要である。

一方、国際的な基準としては、P I A N C (Permanent International Association of Navigation Congresses)等がまとめた「Approach Channels A Guide for Design」<sup>(12)</sup>に、水路の配置、幅や深さについての基準が示されている。その中で、P I L O T A G Eに関する検討という項目において、錨泊地の配置について以下の点を考慮しなければならないと指摘している。

- ・ berth location
- ・ transit speed and times
- ・ tidal characteristics
- ・ currents
- ・ weather data
- ・ sea bed composition
- ・ searoom for a ship to swing at anchor

しかしながら、錨泊地の具体的な規模、配置についての基準は示されていない。

また、I A P H (The International Association of Port and Harbors, 国際港湾協会)がまとめた「IAPH GUIDELINES FOR PORT PLANNING AND DESIGN」<sup>(13)</sup>には、港湾の施設に関する設計や配置について考え方が示されているものの、錨泊地に関する記述は見あたらない。

このように、国際的に見ても、錨泊地の配置設計に関する基準や指針はとりまとめられていないのが現状である。

## 2. 2. 2 港湾に関する業務に携わる人々

港湾に関する業務に携わっているものを図 2. 2 に示す。この中で、税関、検疫、荷主、港湾荷役は、船舶の運航そのものには関係が薄い。そのためここでは、港湾における船舶の運航に関係の深い船舶運航者(船社)、港湾管理者、港長に着目する。

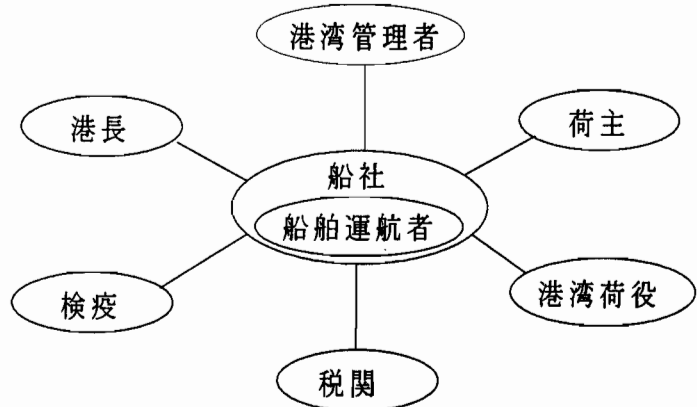


図 2. 2 港湾に関する業務に関連する主体

### (1)船舶運航者(船社)

船舶運航者は、船上にあって完全に船舶を運航することが求められる。また、関係各所への連絡、書類申請などは、船舶から直接行われることもあるが、代理店を通じて行われることが多い。一方、船主または船舶の安全に関して責任を有する者(会社)に対し、安全管理制度の確立、陸上安全管理担当者の選定、安全運航マニュアルの作成、緊急時の対応措置、船舶および装置の維持・管理などを義務づけるとともに、会社の定める安全管理制度が同コードの要件に合致するものであるかどうかを主官庁などが確認したうえ、承認の文書を発給することなどを内容とした ISM(International Safety Management)コードが平成 10 年 7 月 1 日より全世界的に適用された。具体的には、船主に対して安全管理システム(Safety Management System, SMS)の策定・実施、陸上担当者の選任、安全運航マニュアルの作成・船舶への備え付け、緊急事態への準備・対応手続きの確立、船舶・整備の保守手続きの確立を行わせる一方、船長に対して船内における安全管理制度の位置付け、主管庁等による安全管理システムの審査、寄港国政府の行う審査(Port State Control, PSC)等により、その実効性を担保しようというものである。

### (2)港湾管理者

港湾管理者には、一般的には地方公共団体になっており、港湾法にもとづき港湾の建設、維持、管理を行っている。そこで本研究では、港湾管理者を港湾の施設提供者として位置づける。

### (3)港長

港内は、広さが制限された水域に多数の船舶が頻繁に出入りし、しかも停泊、荷役の場所でもあることから、港内における船舶交通の安全及び港内の整頓をはかるため港則法が制定されている。同法では、船舶交通量が多いなどにより船舶交通などの規制を行う必要のある 501 港を適用港としている。これらの適用港のうち、大型船・外国船が出入りし、船舶交通が特に多いなどの理由によりいっそう厳しい規制を行う必要のある 86 港を特定港としている。適用港では、速力制限、港内での航法、工事作業の許可制といった規制が課されている。また、特定港ではそれらの規制に加えて、入出港の届出、航路航行義務、危険物荷役の許可制といった規制が課される。さらに、函館港、京浜港、大阪港、神戸港、関門港、長崎港、佐世保港の 7 港は、命令の定める特定港にされている。関門港若松区では 300 総トン以上の船舶が、それ以外の命令の定める特定港では 500 総トン以上の船

船舶は、港長より錨地の指定を受けなければならない。また、命令の定める特定港では、夜間入港が規制されている。

海上保安庁法第21条により、海上保安庁長官は、海上保安官の中から港長を命ずることが規定されており、また同法第21条の2に、港長は、海上保安庁長官の指揮監督を受け、港則に関する法令に規定する事務を掌ることが規定されている。

なお、港湾を定めている範囲としては、港湾法にもとづく「港湾区域」と、港則法にもとづく「港域」とがあるが、両者はおおむね一致するように定められているので、本研究では、「港域」という言葉で両者を代表させることとする。

### 2. 2. 3 船舶運航から見た港湾

船舶が港外に到着してから出港するまでの行動をフローチャートにしたものを、図2.3に示す。検疫の実施にあたっては、無線による検疫の他は、港湾内に特に設定された検疫錨地と呼ばれる錨地で行われる。そのため、検疫を受けようとする船舶は、検疫錨地に錨泊し、検疫を受ける。検疫を受けた後は、入港した港で荷役する場合と、他の港に向かう場合がある。また、危険物積載船では岸壁に着岸せず、沖合に錨泊し、より小型の船に積み替えを行うことがある。この場合には、危険物積載船用に指定された錨地に錨泊する。着岸しようとする船舶の目的としているバースが空いていなかったり、空いていたとしても規制が行われていて着岸できない時には、沖合の錨地に錨泊して待機する。バースが空き、入港可能になれば着岸し、荷役を行うこととなる。荷役終了後次の仕向港に向けて出港する。

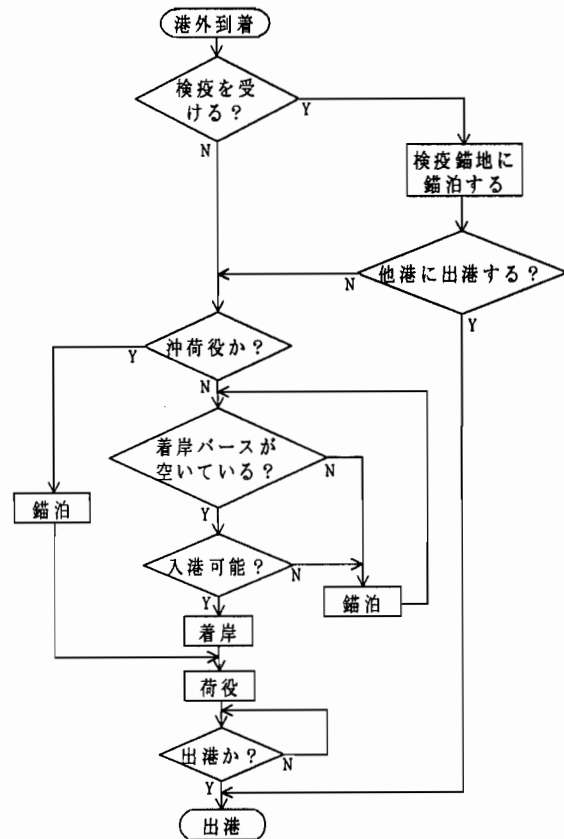


図2.3 港外到着から出港までのフロー

このように、錨地は船舶の停泊、荷役を行う場所として、船舶運航上重要な役割を持っている。

### 2. 2. 4 港湾計画の立案<sup>(14)</sup>

#### 2. 2. 4. 1 港湾計画の役割、意義

港湾における施設を表2.1に示す。港湾管理者が、表2.1に示される港湾施設の整備、保全などのために港湾計画を立案する際の基準となるのが、港湾法と運輸省令「港湾計画の基本的な事項に関する基準を定める省令」(以下、「計画基準省令」とする。)である。

表 2. 1 港湾における施設<sup>(2)</sup>

(a) 固定施設

基本施設	①水域施設／航路、泊地及び船だまり ②外かく施設／防波堤、防砂堤、防潮堤、導流堤水門、こう門、護岸、堤防、突堤及び胸壁 ③けい留施設／岸壁、けい船浮標、けい船くい、さん橋、浮さん橋、物揚場及び船揚場 ④臨港交通施設／道路、駐車場橋りょう、鉄道、軌道、運河及びヘリポート
航行補助施設	⑤航行補助施設／航路標識並びに船舶の出入港のための信号施設、照明施設及び港務通信施設
機能施設	⑥荷さばき施設／固定式荷役機械、軌道走行式荷役機械、荷さばき地及び上屋 ⑦旅客施設／旅客乗降用固定施設、手荷物取扱所、待合所及び宿泊所 ⑧保管施設／倉庫、野積場、貯木場、貯炭場、危険物置場及び貯油施設
役務施設	⑨船舶役務用施設／船舶のための給水施設、給油施設及び給炭施設（港湾役務提供用移動施設を除く）、船舶修理施設並びに船舶保管施設
港湾公害防止、 港湾環境整備施設	⑩港湾公害防止施設／汚濁水の浄化のための導水施設、公害防止用緩衝地帯その他の港湾における公害の防止のための施設 ⑪港湾環境整備施設／海浜、緑地、広場、植栽、休憩所その他の港湾の環境の整備のための施設
廃棄物処理施設	⑫廃棄物処理施設／廃棄物埋立護岸、廃棄物受入施設、廃棄物焼却施設、廃棄物破砕施設、廃油処理施設、その他の廃棄物の処理のための施設（港湾役務提供用移動施設を除く）
厚生、管理施設	⑬港湾厚生施設／船舶乗組員及び港湾労働者の休泊所、診療所その他の福利厚生施設 ⑭港湾管理施設／港湾管理事務所、港湾管理用資材倉庫その他の港湾の管理のための施設（港湾管理用移動施設を除く）
用地	⑮港湾施設用地／前各号の施設の敷地

(b) 移動施設

機能施設	⑯移動式施設／移動式荷役機械及び移動式旅客乗降用施設
役務施設	⑰港湾役務提供用移動施設／船舶の離着岸を補助するための船舶、船舶のための給水、給油及び給炭の用に供する船舶及び車両並びに廃棄物の処理の用に供する船舶及び車両
管理施設	⑱港湾管理用移動施設／清掃船、通船その他の港湾の管理のための移動施設

(c) その他の港湾の機能の高度化に資する施設

国際会議場施設、国際見本市場施設、港湾業務用施設、港湾文化交流施設
-----------------------------------

港湾計画は、一定の水深と陸域からなる港湾という空間について、これを計画的に開発、整備し、また開発、整備された港湾空間を適正かつ効率的に利用し、管理、運営、又は保全するために、それぞれの港湾ごとに港湾管理者が定めた、港湾の長期的な開発、利用及び保全に関する指針となる基本的な計画である。

港湾計画は、港湾法第3条の3に、「港湾の開発、利用及び保全並びに港湾に隣接する地域の保全に関する政令で定める事項に関する計画」と規定されている。

港湾計画は、一つには港湾管理者が、自ら港湾を開発、利用及び保全する場合の指針となるものである。もう一つには、港湾における港湾管理者以外の者の行為について、港湾管理者、もしくは港湾管理者の長が、規制、誘導などをする場合の指針（判断基準）となるものである。

港湾管理者の自らの指針としての側面では、

- ・港湾施設の整備（港湾法第12条）、港湾管理者の実施する埋立事業（港湾法第12条）
- ・港湾管理者の所有する港湾施設の管理、運営、規制、貸付（港湾法第12条）
- ・港湾区域を定めること（港湾法第4条）
- ・臨港地区の案の申し出（都市計画法第23条）

などについて、港湾計画に従って行う必要がある。

また、港湾管理者以外の者の行為の規制などの指針としての側面では、

- ・港湾工事等の許可（港湾法第37条）
- ・臨港地区内における行為の届け出（港湾法第38条の2）
- ・公有水面の埋め立ての免許（公有水面埋立法第4条）

などについて港湾計画に従って行う必要がある。

#### 2. 2. 4. 2 港湾計画に定める事項

港湾計画には、港湾法施行令第1条の5の規定により、次の5項目について定める必要があり、これらの項目は計画基準省令に適合することが基本である。

##### ①港湾の開発、利用及び保全並びに港湾に隣接する地域の保全の方針

次の事項に関する方針を一体的かつ総合的に定めるとともに、港湾計画の目標年次を定める。

- ・港湾の位置付け及び機能
- ・港湾施設の整備及び利用
- ・港湾における土地利用
- ・港湾の環境の整備及び保全
- ・港湾の安全の確保
- ・港湾に隣接する地域の保全

##### ②目標年次における港湾の取扱貨物量、船舶乗降旅客数などの「港湾の能力」

##### ③港湾の能力に応ずる水域施設、係留施設その他の港湾施設の規模及び配置に関する事項

- ・水域施設の規模及び配置
- ・外郭施設の規模及び配置
- ・係留施設の規模及び配置
- ・港湾の利用に必要な臨港交通施設の規模及び配置
- ・旅客施設、荷さばき施設及び保管施設の敷地の規模及び配置

##### ④港湾の環境の整備及び保全に関する事項

- ・港湾の環境の整備及び保全に関する事項
- ・港湾において処理する廃棄物の種類及び量
- ・主要な廃棄物処理施設の規模及び配置
- ・主要な港湾公害防止施設の規模及び配置
- ・主要な港湾環境整備施設の規模及び配置

##### ⑤その他港湾の開発、利用及び保全並びに港湾に隣接する地域の保全に関する重要事項

- ・災害を防止するために必要な施設の種類及び配置
- ・造成する土地の規模及び配置、土地利用の区分



- ・公共又は専用の別その他の港湾施設の利用形態

#### 2. 2. 4. 2 港湾計画の策定の手続き

港湾計画の策定の手続きについては、港湾法第3条の3第3項から第11項に定められている。港湾計画の標準的な策定のフローを、図2.4に示す。

#### 2. 2. 4. 3 港湾施設の規模及び配置

港湾の能力に応ずる港湾施設の規模及び配置については、計画基準省令において、次のように定めることとされている。

港湾の能力に応ずる港湾施設の規模及び配置に関する事項は、

- ・自然条件
- ・港湾及びその周辺地域への経済的及び社会的条件
- ・既存の港湾施設の利用状況
- ・港湾及び港湾に隣接する地域の保全等を考慮して、港湾の能力に応じて適切なものとなるように、

- ・港湾の施設の規模及び配置

を一体的かつ総合的に定めるものとする。

また、計画事項を次のように区分して、規模及び配置を定めることとしている。

- ・ふ頭計画
- ・水域施設計画
- ・外郭施設計画
- ・小型船だまり計画
- ・マリーナ計画
- ・臨海交通施設計画

なお、貨物、旅客を取り扱う施設である係留施設、荷さばき施設、保管施設、旅客施設は、一体として機能するものであり、個別に計画することに意味がないため、これらの集合体である「ふ頭」として港湾計画に位置付けられる。

以上から、港湾計画において、水域施設の一つである錨泊地については、港湾の能力に応じた規模と配置が求められている。しかしながら、計画基準省令において、具体的な錨泊地の規模や配置のしかたの考え方については基準として示されていない。そのため、現状では、港湾において港湾計画ごとに、錨泊地配置の規模や配置のしかたが検討されている。

### 2. 3 港湾における錨泊地の位置づけと現況

#### 2. 3. 1 港湾における錨泊地の位置づけ

港湾の施設としての錨泊地は、技術基準の中では、航路、船だまりとともに、水域施設

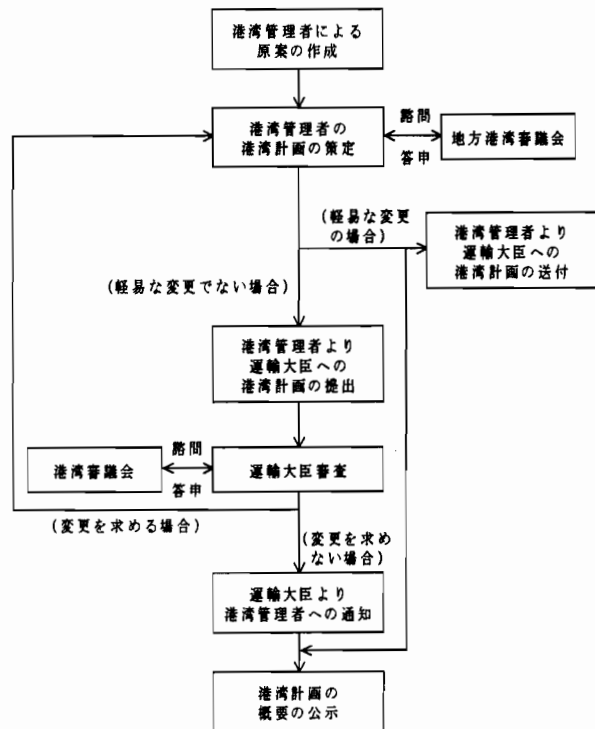


図2.4 港湾計画の標準的な策定フロー<sup>(14)</sup>

として取り扱われている。過去には、日本国内の港湾では、係留施設、荷役施設の不備から、防波堤内の水域に錨泊又は浮標係留して荷役が行われることが多く行われていた。そのため、防波堤内に水域を広くとって建設されていた。

現在では、コンテナ船、自動車専用船といった船舶の専用化が進み、係留施設、荷役施設においても整備が進められている。そのため、防波堤内の水域における錨泊、浮標係留する場所は設定されないことが多い。しかしながら、希望バースの空き待ちや入港制限などによる待機、検疫、危険物荷役を行うために錨泊することは行われている。そのための錨泊地として、現在では防波堤外の水域に設定されていることが多い。

### 2. 3. 2 錨泊地の現況

平成10年度の海上保安統計年報<sup>(15)</sup>による国内主要港におけるすべての船型の入港隻数に対する停泊場所の指定を受けた件数の割合を図2.5に示す。停泊場所の指定件数には、危険物積載船における岸壁係留による指定件数も含まれているため、すべてが錨泊場所の指定を受けた船舶とは言えないことに注意が必要ではあるものの、およそ10%から30%となっていることが分かる。また、平成3年に行われた神戸港の実態調査<sup>(16)</sup>の結果によると、入港

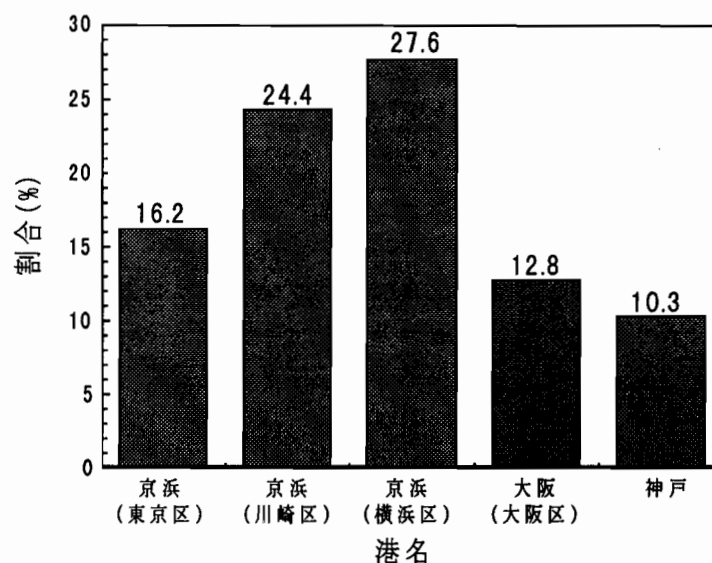


図2.5 国内主要港の入港隻数に対する停泊場所の指定件数の割合

船舶の38%が錨地を利用しており、錨地を利用した船舶のほとんどが神戸港岸壁に着岸、荷役している。近年、港湾の荷役の効率化のために、従来行われていた夜間入港の規制を無くした24時間入港や、日曜荷役が一部の港湾において実施されてきているものの、希望のバースの空き待ちのための仮泊や、夜間に到着し翌朝入港するまでの仮泊は減少していないと見てよい。さらに、港湾の沖合展開により錨泊地として利用できる水域の減少に伴い、錨泊船にとっての環境は悪化してきているといえる。

## 2. 4 港湾設計に関するこれまでの研究

船舶の運航から見たときの港湾の施設設計は、水域施設、係留施設、外郭施設を総合的に取り扱い、船舶の安全かつ効率的な停泊、荷役が可能となるようになされなければならない。岸壁、防波堤の構造や素材について、榎木<sup>(17)</sup>は、海岸・港湾構造物の設計の変遷と今後の課題について、歴史を追って構造物別にまとめている。また、港湾構造物の設計方法については港湾工学の分野において数多く研究され、多くの指針<sup>(17)~(22)</sup>が示されている。しかしながら、各施設ごとの設計の考え方については示されているものの、相互の関連性についてまで言及したものは見あたらない。さらには、船舶運航者の立場から検

討された研究はほとんど行われていない。岩井<sup>(24)</sup>は、船舶運航の立場から見た港湾の問題点を指摘するとともに、対応策について論じている。しかしながら、具体的な内容については示していない。井上<sup>(25)</sup><sup>(26)</sup>は、アンケート調査によって、港内での操船局面における水域施設のあり方に関して操船者の意識調査を行った。そして、水域施設の中で防波堤の配置形状、港内での前方余裕、港内における変針角、バースへの進入角、回頭水域についてアンケート調査の結果をもとに操船者の安全感覚にもとづく評価基準を策定している。井上・安田・田村<sup>(27)</sup>は、入港船舶数、港湾の規模、バース稼働状況、入出港時間制約などの付与条件と、設置すべき錨泊地の妥当な規模との関連性を考慮に入れたシミュレーションモデルを構築し、シミュレーションモデルを用いて錨泊地の適正規模配置のあり方について検討を行っている。井上・宮坂<sup>(28)</sup>は、ターニングバースンの設計に関して検討を行っている。ターニングバースンの設計要素として、「大きさ」と「配置」の二つの要素を示している。そして、回頭に必要となる物理的水域としての「大きさ」については、船種、船型、外力に応じてシミュレーションにより、必要となる大きさを整理している。また、操船者の心理的余裕を考慮した岸壁からどれだけ離して設置するかという「配置」については、ブラインドゾーンに着目し、このブラインドゾーンを基準として岸壁からの離隔距離を求める考え方を示している。井上・宇佐美・柴田<sup>(29)</sup>は、港内のように制約された水域において航行する船舶の操船者が、自船と他船や障害物に対して確保したい距離について、操船者に対するアンケート調査を行い、モデル化を行っている。

## 2.5 錨泊地設計の現状

### 2.5.1 錨泊地の設計要素

図2.6は、一定の広さの水域に複数の船舶が錨泊する場合の錨地の配置の一例を示している。このとき、(1)それぞれの錨地の大きさ、(2)錨地と錨地の中心間距離、(3)2つの錨地を結ぶ線とその間を通過する船の針路交角、(4)錨地と航路の離隔距離、(5)錨地と防波堤等との離隔距離、はそれぞれ錨泊地の設計要素を構成する。

(1)については、基本的には錨泊船の振れ回り運動から考慮すべき問題であると考えられ、これまでの研究について2.5.2で検討する。(2)、(3)の要素については、基本的な配置のあり方について第3章で検討する。そして、第3章での検討をもとに、第4章では指定錨地方式について、第5章では面錨地方式について、配置設計のあり方を検討する。さらに、

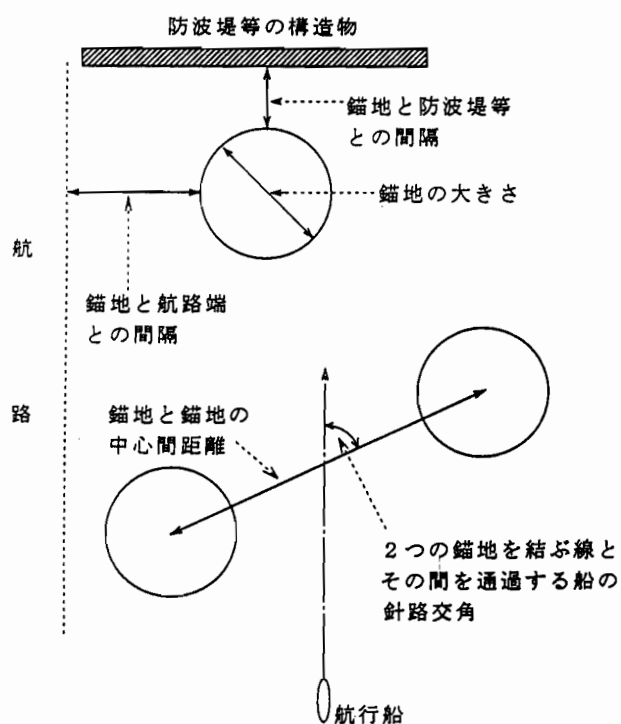


図2.6 錨泊地の基本要素

(4)、(5)については、第8章で検討する。

## 2. 5. 2 錨地の規模、配置について

錨地として必要となる水域の規模を求めるためには、錨泊している船舶がどのような振れ回り運動を行っているかを明らかにする必要がある。

錨泊船の振れ回り運動に関してはこれまでも多くの研究が行われており、船体の振れ回りの様子、錨鎖に加わる張力変動の様子など、定性的、定量的に明らかにされてきている。藤井ら<sup>(30)</sup>は、荒天時における実船の振れ回り運動を計測し、錨鎖張力の変動とともに示している。斉藤・横須賀<sup>(31)</sup>は、新しく錨鎖張力測定用の張力計を考案し、実船を用いた計測を行い、新しい張力計の妥当性を検証するとともに、振れ回り軌跡を示している。花房・佐藤<sup>(32)</sup>は、海底土の地質調査と実錨の曳引実験の結果をもとに、含泥率と錨及び錨鎖の把駐力の関係から錨地の評価を行っている。佐藤・鈴木<sup>(33)</sup>は、砂質地盤において錨が海底面上をすべる場合の把駐力について、実験水槽での模型実験から推定方法を示している。浦<sup>(34)</sup>は、実海域においてJIS型ストックレスアンカー、ストックアンカー、ARS-S型アンカーの把駐力特性に関する実験を行っている。井上<sup>(35)</sup>は、シミュレーションにより走錨する船の挙動を解析し、走錨後に所要の操船手段を講じた場合、その対策処置が走錨圧流を抑制する上でどの程度効果的であるかを検討している。鶴田<sup>(36)</sup>は、実船実験と水槽実験の結果をもとに海底での錨の状態についての解析を行っている。井上・臼井<sup>(37)(38)</sup>は、錨に加わる力が錨及び錨鎖による係駐力を越えたときに錨の移動が生じることに着目し、与えられた錨泊条件下で錨の移動という事態が生じる可能性をストレス・ストレングスモデルのもとで超過確率として求め、これを「走錨危険指数」と呼んで、錨泊の安全性を定量的に評価する方法を提案している。そして、走錨危険指数という指標のもとで、走錨に対し一定の安全レベルを維持するために必要な錨鎖伸出量を求めた。さらに、錨泊船の船種、船型、錨及び錨鎖の条件、錨泊方法、海底底質、水深、予想される風速条件に応じて必要な錨鎖伸出量を求められるよう工夫した操船者へのガイドラインを提示している。井上・臼井<sup>(39)</sup>は、錨泊の安全性をはかるものさしとして走錨危険指数<sup>(37)</sup>を用い、一定の安全水準に揃えるために必要となる錨重量について検討を行っている。さらに、錨を装備する際の基準として、「艀装数/満載排水量」を新たに提案している。土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会<sup>(40)</sup>は、海岸・港湾構造物に関する研究について広くレビューしている中で、錨泊船の振れ回り運動、錨及び錨鎖の挙動に関する解析方法について整理を行っている。

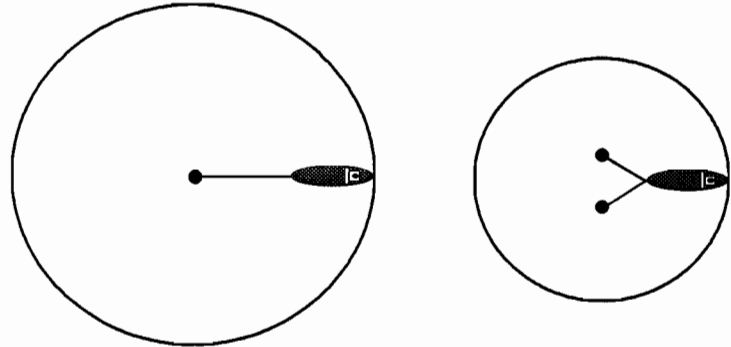
錨泊している船舶は、錨を中心として風軸にほぼ対称に振れ回り運動を行う。しかしながら、錨地を設計する段階においては、風向、潮向を特定することはできず、あらゆる方向に船首が向くことを考慮しなければならない。そのため、設計時には錨位置を中心とした円をもって錨地を構成されることが一般的である。このときの円の半径の考え方<sup>(17)~(22)</sup>の多くは、錨泊船の船長に水深の3から5倍を足した長さとするものである。技術基準<sup>(3)</sup>においては、次のような基準を示している。

- (1) 泊地の位置に関しては、防波堤、ふ頭、航路等の配置、静穏度の確保等に考慮して、適切な場所に確保する。
- (2) 錨泊又は浮標泊の用に供する泊地の面積の設定には、利用の目的、利用の方式、海底地質、風速、水深等を十分考慮する。

(3)泊地の広さについては、船舶の離着岸及び泊地への出入並びに錨泊地にあつては投錨誤差を、危険物を積載する船舶が利用する泊地にあつては、その保安距離を考慮する。

さらに、解説として、次のように示されている。

(4)船舶の錨泊の方法には、利用度が高い方法として単錨泊(図2.7(a))、双錨泊(図2.7(b))があり、それ以外の方法として、2錨泊、船首尾錨泊などがある。



(a)単錨泊

(b)双錨泊

図2.7 錨地の規模の考え方

(5)伸ばすべき錨鎖の長さは、船型、錨泊の方法、気象・海象条件等により異なる。このため想定される条件下において、船舶に働く力に抵抗できる係留アンカーの把駐力に加え、海底に横たわる鎖による把駐力を確保できる長さとする必要がある。なお、一般的に錨鎖を伸ばすほど、安定性は向上する。

(6)錨地の規模は、横たわる鎖の部分について考慮し、回転の中心となる点から船首までの水平距離に自船の長さを加えた値を半径とする円の大きさにより求められる。

(7)錨鎖の長さの算定に必要な諸元が不明な場合の通常時の錨地の規模は、表2.2を参考にすることができる。

表2.2 錨地の規模<sup>(3)</sup>

利用の目的	利用の方式	海底地質	半径
沖待ち又は荷役	単錨泊	いかりがかりが良い	$L + 6D$
		いかりがかりが悪い	$L + 6D + 30m$
	双錨泊	いかりがかりが良い	$L + 4.5D$
		いかりがかりが悪い	$L + 4.5D + 25m$

\* ) L : 錨泊船の船長 (m)、D : 水深 (m)

### 2.5.3 錨泊地の規模、配置について

技術基準<sup>(3)</sup>では、錨泊地の中に複数の錨地をどのように配置すべきか、どれだけの規

模が必要であるかの考え方については示されていない。また、2. 2. 4. 3に示したように、計画基準省令においても、考慮すべき条件について示されているものの、具体的な基準については示されていない。

錨泊地の中にどれだけの錨地が配置できるかという錨泊地の容量を求めるには、錨地としての円が錨泊地の中にどれだけ埋められるかを明らかにすることが必要となる。また逆に、必要とされる錨地の数を確保するためには、どれだけの錨泊地面積が必要かを明らかにする必要がある。

その方法として、長尾<sup>(18)</sup>は次の式を示している。

$$A = \sum \alpha \cdot \lambda \cdot t_b \cdot a \quad (2.5.1)$$

ここに、

A : 錨泊地の面積 [m<sup>2</sup>]

$\alpha$  : 2 ~ 2.5 をとる係数

$\lambda$  : 船級別、係留方法別の1日平均入港隻数 [隻/日]

$t_b$  : 船級別、係留方法別の1日平均係船時間 [日]

a : 船級別、係留方法別の所要面積 [m<sup>2</sup>]

(2.5.1)式は、沖荷役に必要な錨泊地の面積を算出する考え方であり、仮泊のための錨泊地に関してではない。しかしながら、2 ~ 2.5の範囲の $\alpha$ が、錨泊地に必要な余裕という考えに立てば、仮泊に必要な錨地についても同様の考え方で適応できると考えられる。

佐々木<sup>(20)</sup>は、錨泊地の面積について、船舶の数と1隻の船舶が必要とする面積によって決定されるとし、投錨時の位置の誤差、船舶間の余裕を考慮する必要を指摘しているが、具体的な基準は示していない。米川<sup>(21)</sup>は、収容船舶の種類、大きさ及び収容予定隻数から、係留方法を考慮した上で、1隻ずつの占有する水面積を、仮に紙に描いて算出する方法を提案しているが、どのように描けば良いかの具体的な方法については示していない。

永井<sup>(22)</sup>も、一時に港内に錨泊する船舶の最大数を相当の余裕を見込んで決定した上で、図上に描いて求める方法を提案している。しかしながら、どれほどの余裕を見込めばよいか、また、どのように描けばよいかについては示していない。

このように、錨泊地の規模、配置については、考慮すべき条件は示されているものの、錨泊地の中にどのように錨地を配置すべきかについて具体的な方法は明らかにされていない。これは、錨地の設定については、操船者によるところが多いものの、どのような錨地の配置が操船者にとって望ましいかを定量的に評価した上で、配置設計を行う視点からの検討がなかったためと考えられる。また、錨地配置のレイアウトを手で描かなければならないため、錨地配置の組合せを変えて試行錯誤的に検討を行うにも限界があり、さまざまな錨泊地配置計画案を比較検討することが難しい。

このような状況を解決するためには、錨泊地の設計を行うにあたって、操船者にとって、どのような錨地配置が望ましいかを明らかにすることが必要である。そして、操船者に課される困難感を考慮した上で、さまざまな錨地配置を比較検討でき、港湾施設の提供者が最適な錨地配置計画案を設定できるツールの開発が必要である。

## 2. 6 結語

本章では、本研究のテーマである、操船者に課される困難感を考慮した錨泊地設計の必要性を明確にするため、まず港湾における錨泊地設計の問題点を明らかにした。

まず、2. 2では、港湾に関わる法律、基準を示した上で、何がどこまで規定されており、どこまで規定されていないかを明らかにすることで、基準上の問題点を指摘した。また、港湾に関する業務に携わる主体を見ることにより、それぞれの主体の役割、主体間の関連性を明らかにし、主体から見た本研究の対象を指摘した。つぎに、船舶運航の観点から見た港湾の位置づけを明らかにすることにより、錨泊地の船舶運航上の必要性を指摘した。そして、港湾計画がどのように立案されているかを明らかにすることにより、現在行われている港湾計画の中での錨泊地の位置づけを示した。

2. 3では、過去に行われた実態調査から錨泊地の利用状況を示し、港湾における錨泊地の必要性を指摘した。

2. 4では、港湾設計に関するこれまでの研究を見ることにより、港湾設計において水域施設、係留施設、外郭施設を総合的に取り扱う必要性と船舶運航者の立場からの検討の必要性を指摘した。

さらに、2. 5では、錨泊地設計において、錨泊船の間を縫って航行する船舶の操船者に課される困難感を考慮した設計方法が具体化していない問題点を明らかにするとともに、操船者に課される困難感を考慮した錨泊地設計の必要性を指摘した。

以上のように本章では、第3章以降の操船者に課される困難感を考慮した錨泊地設計に関する研究の背景を示した。

### 第3章 環境ストレスモデルによる困難性評価<sup>(4.1)~(4.6)</sup>

#### 3.1 概説

第2章で示したように、港湾における設計計画において、計画当初から錨泊船の間を縫って航行する船舶の操船者に課される困難感を考慮する必要がある。しかしながら、これまでは合理的かつ定量的に操船者に課される困難感を表現するモデルをもっていなかった。本章では、最近井上らにより開発された、船と操船者を取り巻く環境がどれだけの負荷を操船者に課すかを定量的に表現することのできる環境ストレスモデルについて説明する。このモデルは、評価の基準をも備えているという特徴を持っている。

まず、3.2では、操船者を取り巻く環境の種類を分類し、その評価方法について述べる。3.3では、環境ストレスモデルによる困難性の定量化の概念及び具体的な計算手順について述べる。

#### 3.2 操船者を取り巻く環境とその評価

##### 3.2.1 環境の種類とその構成

船と操船者をとりまく環境の種類は、図3.1に示すような階層構造で表される。ここに、操船環境とは、風・潮流・波などの自然外乱、浅瀬・陸岸などの自然的な地形、護岸・防波堤・ブイなどの人為的に建設、設置された施設、漁網・漁船群・停泊船・浮遊物などの障害、等々のように自船の運動に物理的に影響を与えたり、自船の操船行動を物理的に制約するものをいう。そして、交通環境とは、自船の周囲に存在する他船や、それらの動きにより形成される交通流の条件により構成され、やはり自船の操船行動に制約を与えるものをいう。

また、情報社会環境とは、法律・規則・慣習などのように操船者の操船行動を律するものや、海上交通センター・操船支援情報などのように操船者の操船行動の判断を支援するものをいうが、本研究では検討対象としない。

##### 3.2.2 環境評価の考え方と従来の研究

図3.2に示すような【船-操船者-環境】で構成される連環システムにおいて、船と操船者を取り巻く周辺環境がどれほど好ましいレベルであるかを検討するためには、与えられた環境下で実行される操船のプロセスにおいて、《操船者がどれほどの困難を強いられるか、そして、どの程度の安全が確保できるか》を明らかにすることが必要である。これを合理的な指標のもとで定量的に示すことが、船舶運航システムにおける環境アセスメントである。

そして、このとき、アセスメントの出力レベルが要請される好ましさの程度とどう対応しているかを吟味することが重要であるが、そのためには指標出力値に対する評価の基準が備わっている必要がある。この評価基準が明確であればこそ、船舶運航の場の環境アセスメントのステップを、船舶航行空間の設計計画のステージへと進展させていくことができる。

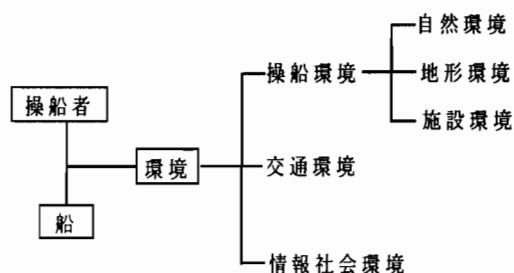


図3.1 船と操船者を取り巻く環境の種類とその構成<sup>(4.2)</sup>



操船者と船舶を取り巻く環境下において、周辺環境が操船の困難さの面において課す負荷の程度を評価しようとする指標は、これまでもいくつか提案されている。操船環境に着目し評価しようとしたものについては、潮流外乱化の変針操船を対象に、その間の操縦の困難さを船の回頭、横偏位に着目して評価しようとした小林・田

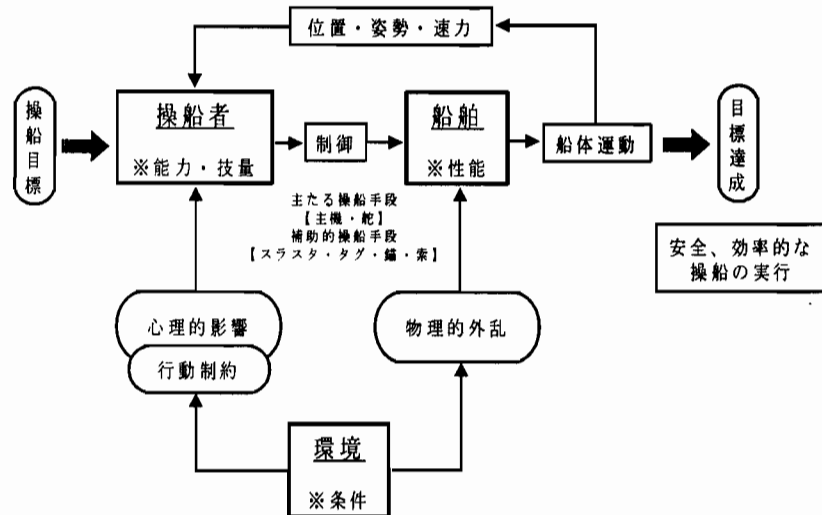


図3. 2 船舶運航における【船-操船者-環境】の連環システム<sup>(42)</sup>

中<sup>(47)</sup>の研究、操縦に要した操舵量の大小に着目して評価しようとした日當・小瀬<sup>(48)</sup>の研究、操船中に課した副次的作業の誤答率に着目して評価しようとした小林・竹内・内野<sup>(49)</sup>の研究、風潮流などの外力条件や船位等の状況把握誤差とを考慮した操船による偏位量に着目して評価しようとした中村・石岡・郭・小瀬<sup>(50)</sup>の研究などがある。これらの評価指標値は操船者の主観的困難感との対応付けの努力がなされてはいるものの、許容基準の設定には至っていない。このほか、浮標や防波堤などで可航域が制約されるときに操船者が視覚的に感じる困難感を定量表現することを試みた井上・原・柴田<sup>(51)</sup>の研究、井上・玉井<sup>(52)</sup>の研究などがある。この研究では、操船の困難さを表す指標値がどれほどになると操船者集団の何パーセントが許容できなくなるかというように、許容率の概念を導入して評価基準を設定する工夫がなされている。

交通環境に着目して評価しようとしたものについては、2船間の見合い関係において、方位変化の大きさと相手船との相対距離に応じた危険感を主体的な評価値としてファジー集合を用いて表現した原<sup>(53)</sup>の研究がある。この指標は操船者の許容基準との対応付けが可能な評価値である。しかし、この指標は1船対1船が対象であり、複数の他船が同時に衝突関係にある場合、周囲に存在する全ての船舶を対象とした総合的な困難感とは表現しづらい。また、避航操船において操船者が取ることのできる手段として変針、変速及びその組合せの2次元操作空間を考え、これらひとつひとつの操作を取ったときに生じる相手船との衝突の危険の程度を積算することにより、出会いの困難さの程度を表現しようとした長澤・原・井上・小瀬<sup>(54)</sup>の研究は、1隻ごとの他船に対しても、他船が複数存在する場合にも評価できる。しかし、評価基準が伴っていない。

以上の研究はあくまで操船環境、交通環境が操船者にもたらす困難感をそれぞれ個別に評価するもので、潮流外乱を受ける屈曲水路の場に他船との出会いが存在したり、逆に、他船との出会いの場に護岸や防波堤などが存在する場合には適用できない。現在のように港湾の埋立・沖出しにより海上交通が複雑化する中で、港湾操船の安全性や海上構造物の建設の是非を検討するためには、操船環境と交通環境とが操船者にもたらす困難感を同時

に合算評価できることが重要となる。

井上・宇佐美・世良<sup>(55)</sup><sup>(56)</sup>は、変針、変速の2次元操作空間上において、他船との衝突を避けるために自船に残された操作手段が、護岸や防波堤の存在により制約を受けるかどうかを考慮に入れ、交通環境の評価と同時に操船環境の評価をも可能となるように工夫を試みた。この評価指標では、他船との出会い、水域の制約、風潮流外乱、自船操縦性能等々の影響を組み込むことができる点が特徴的である。しかし、この方法では自船の周囲に他船がない場合、操船環境だけの個別の評価ができない。加えて、定量的に評価はなされるものの、指標値には依然基準が伴っていない点でなお問題を残している。

そこで本研究では、操船を実行する場が護岸や防波堤、その他の障害物などにより操船水域が制約され、また同時に、他船の存在やその場の交通流に起因する行動上の制約を受けるときに、操船者に課される負荷の大きさを定量的に表現できる評価の方法として、環境ストレスモデルを採用する。環境ストレスモデルでは、これまでの研究で欠けていた①操船環境、交通環境を同じアルゴリズムのもとで評価できること、②評価値には基準を伴っていることの2点を克服しているという特徴がある。

### 3. 3 操船環境と交通環境に起因する環境負荷の定量化

#### 3. 3. 1 操船環境ストレスの概念とその定義

操船環境ストレスとは、自然条件、地形条件、施設条件など操船者を取り巻く周辺環境が操船水域を制約したり操船上の行動を制約するなど、操船の自由を制約する場合、そのような環境が操船者に課す負荷（ストレス）の大きさを表す定量化指標である。

一般に、狭い水路を航行したり危険が間近かに迫る水域を航行するとき、操船者は危険対象から離れるようにコース取りをしたり、または、速力を減じる。これは、操船の自由度制約に伴い、操船者が危険顕在化までの時間余裕を手の内に確保することにより操船者自身に課される負荷を減じ、操船の困難さを克服しようとする行動の現れといえる。

このように、環境が操船者に課す負荷の大きさは、その環境下に潜在する危険が顕在化するまでの時間余裕と密接に関係している。いま、大洋航行中のように操船水域に何の制約もなく、自船針路の周辺いかなる方向に進航しようとも危険顕在化への時間が無限または十分にある場合は、そのような操船環境は操船者には何の負荷を課すこともなく、操船に困難は感じない。しかし、港内のように操船水域が護岸や防波堤によって制約され、どの方向に進もうとも危険顕在化までの時間余裕が少

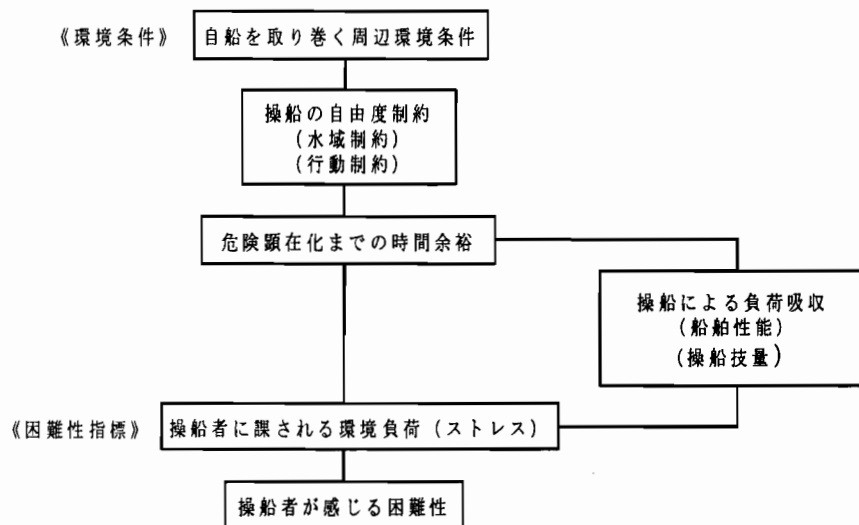


図 3. 3 困難性の指標化の概念<sup>(43)</sup>

ない場合は、そのような操船環境が操船者に課す負荷は大きく、操船には大きな困難を伴う。

操船環境ストレスは、このような概念に基づいて、自船を取り巻く操船環境が操船者に課す困難感を表現しようとした定量化指標である。図3.3に、操船困難性の指標化に関する概念をブロック図で示す。

### 3.3.2 操船環境ストレス値の算定法

操船環境ストレス値を具体的に求める手順は以下のとおりである。

- ①自船の周辺に現針路を中心に±90°の範囲の操船水域を考える。
- ②現針路を中心に±90°の範囲にわたり針路の刻み(Δφ)ごとに、危険顕在化(この場合は護岸など障害物への衝突)までの時間余裕を自船速力(V)と針路上の障害物までの距離(R)をもとに計算する。
- ③各針路刻み(Δφ)ごとに求めた危険顕在化までの時間余裕に対し、操船者がどのような危険感を抱くかについては、護岸への接近を模擬したビジュアル操船シミュレータ実験とアンケート調査を通じて求められた回帰式  $SJL=f(R/V)$  を用いて置換する<sup>4)</sup>。

$$SJL = \alpha (R/V) + \beta \quad (3.1)$$

ただし、

$SJL$  : 護岸接近に対して操船者が感じる危険感

$\alpha, \beta$  : 自船条件によって決まる係数

$R$  : 護岸までの距離

$V$  : 自船速力

なお、 $SJL$  の値と操船者が感じる危険感との対応関係は以下のとおりである。

- +3 非常に安全
- +2 かなり安全
- +1 やや安全
- 0 どちらともいえない
- 1 やや危険
- 2 かなり危険
- 3 非常に危険

- ④同じ障害物でも、それが自船船首方向にある場合と、側方にある場合とでは感じる危険感は異なると考えられる。このような障害物の存在方向により異なる感覚を方向重み関数を用いて修正する。

方向重み関数として、人間の視野の及ぶ範囲は通常左右110度とされていることから、自船正面で1、左右110度の方向で0となるような余弦関数を採用した。なお、 $SJL$  の値は±3の値を対応させて危険感を表現しているため、これを0～6までの値に尺度変換した後、各針路ごとの方向重みを掛け算する。

- ⑤針路刻み(Δφ)を1°にとり、④で求めた重み修正後の各針路ごとの  $SJL$  の値を±90°の針路範囲で総計して、その瞬間の操船環境ストレス値とする。ただし、操船環境ストレス値は、現針路を中心に左右90°範囲のどちらを向いても危険顕在化

までの時間余裕が十分な場合は、危険感最小の値0が180°範囲にわたって広がっている状態に相当するので、 $0 \times 180 = 0$ を最小、左右90°範囲のどちらを向いても直ちに危険が顕在化するような場合は、危険感最大の値6が180°範囲にわたって広がっている状態に相当するので、 $6 \times 180 = 1080$ を最大として割り当てる。

- ⑥  $S/L$  の値は、0を安全と危険の境界、-1はやや危険、-2はかなり危険、-3は非常に危険というように、操船者が感じる危険感との対応付けがなされている。したがって、現針路を中心に左右90°範囲にどのようなレベルの危険感を与える状態が広がっているかによって操船者に課される操船困難上の負荷の程度を分類することができる。具体的には、どちらを向いても同じレベルの危険感を与える状態が広がっている状況を基準状態として設定し、「非常に安全」と感じる状態から「安全と危険のどちらでもない」と感じる状態までの範囲(ストレス値では0~500の範囲)を”Negligible”と位置付ける。「安全と危険のどちらでもない」と感じる状態から「やや危険」と感じる状態までの範囲(ストレス値では500~750の範囲)を”Marginal”、「やや危険」と感じる状態から「かなり危険」と感じる状態までの範囲(ストレス値では750~900の範囲)を”Critical”、「かなり危険」と感じる状態から「非常に危険」と感じる状態までの範囲(ストレス値では900~1000の範囲)を”Catastrophic”と位置付け、この4つに分類した区分を用いて評価の基準とする。

### 3. 3. 3 交通環境ストレスの概念とその定義

交通環境ストレスとは、操船者と交通環境の関連に着目し、自船の周囲を航行する他船が形成する交通流が自船の操船上の行動を制約する場合、そのような環境が操船者に課す負荷の大きさを表す定量化指標である。

自船周辺に他船が存在するとき、自船がどの針路方向を向いてもいずれの船舶とも衝突の危険が生じないか、または、衝突の危険顕在化までの時間余裕が十分にある場合、このときの交通環境は操船者には何の負荷も課さず、操船に困難は感じない。しかし、自船の針路の取り方によって、周辺他船との間に衝突の危険が発生するときは、操船上の行動の自由が制約され、操船者には負荷がかかる。とくに、自船をどの方向に向けても、他船との衝突の危険顕在化までの時間余裕が少ない場合は、課される負荷も大きくなり、それだけ操船の困難さも増大する。

交通環境ストレスは、このような概念に基づいて、自船を取り巻く交通環境が操船者に与える困難性を表現しようとした定量化指標である。交通環境に起因する操船困難性の指標値化に関する概念についても、操船環境の場合と同様に、図3. 3のブロック図で示される共通のアルゴリズムで説明できる。

### 3. 3. 4 交通環境ストレス値の算定法

交通環境ストレス値を具体的に求める手順は以下のとおりである。

- ①自船の周囲に他船の侵入を許さない領域を考える。この領域については、港内や閉鎖水域など操船行動が制約される航行環境のもとで、一般的な操船者が持っている意識をモデル化した領域<sup>(45)</sup>を用い、形状は楕円で近似する。そして、自船からみた他船の相対針路ベクトルが自船周囲に設定した領域内に侵入する場合に、ニアミスを含め

衝突の危険が潜在すると考える。

- ②自船の現針路を中心に±90°の範囲の針路範囲を考える。
- ③現針路を中心に±90°の範囲にわたり針路の刻み(Δφ)ごとに、危険顕在化(この場合は周囲を航行する他船との衝突)までの時間余裕を求める。具体的には、他船を点とみなして、自船の周囲に設定した領域に侵入するまでの時間を求め、この時間を危険が顕在化するまでの時間余裕とする。
- ④各針路刻み(Δφ)ごとに求めた危険顕在化までの時間余裕に対し、操船者がどのような危険感を抱くかについては、アンケート調査を通じて求められた回帰式  $SJs=f(R/V)$  を用いて置換する<sup>(44)</sup>。

$$SJs = \alpha (R/V) + \beta \quad (3.2)$$

ただし、

$SJs$  : 衝突関係にある他船との相対距離に対する危険感

$\alpha, \beta$  : 自船条件によって決まる係数

$R$  : 他船との相対距離

$V$  : 相対速力

なお、 $SJs$  の値と操船者が感じる危険感との対応関係は以下のとおりである。

- +3 非常に安全
- +2 かなり安全
- +1 やや安全
- 0 どちらともいえない
- 1 やや危険
- 2 かなり危険
- 3 非常に危険

- ⑤以上の①～④の行程においては、自船の周囲に存在する全ての航行中の他船を対象とする。ただし、ある針路方向において同時に複数の他船について危険が潜在するときには、そのうちの危険感がもっとも大きいものを、その針路φにおける危険感として抽出する。
- ⑥針路刻み(Δφ)を1°にとり、求められた各針路ごとの±3の危険感を、+3を0とし、-3を6とする0～6の範囲に尺度変換し、±90°の針路範囲で総計して、その瞬間の交通環境ストレス値とする。交通環境ストレス値も、操船環境ストレス値の場合と同様に、 $0 \times 180 = 0$  を最小、また、 $6 \times 180 = 1000$  を最大として割り当てる。
- ⑦  $SJs$  の値も、0を安全と危険の境界、-1はやや危険、-2はかなり危険、-3は非常に危険というように、操船者が感じる危険感との対応付けがなされている。そこで、操船環境ストレス値の場合と同様に、交通環境ストレス値の0～1000の範囲を、“Negligible”、“Marginal”、“Critical”、“Catastrophic”の4つに分類し、評価の基準とする。

### 3. 3. 5 操船環境と交通環境の同時評価の考え方

湾内や港内のように操船水域が制約され、かつ、交通が輻輳する環境下での操船困難性

を評価するためには、操船環境に基づく負荷と交通環境に基づく負荷とが、共通の指標を用いて、同じアルゴリズムのもとで、統一的に評価できることが望ましい。

従来は、操船環境の評価と交通環境の評価とは個別に指標値が開発された経緯がある。したがって、それぞれに評価の手続きや思想が異なるために、また、指標値が異質なために、合理的な考え方のもとで互いに合算評価することが難しかった。

現在のように、港湾の埋立、沖出しにより海上交通が複雑化する中で、港内操船の安全性や海上構造物の建設の是非を検討するためには、操船環境と交通環境とが操船者にもたらす困難感を同時に合算評価できることが重要となる。ここで示した操船環境ストレスと交通環境ストレスを指標とする評価モデルは、この点を克服することが可能である。

同時評価を行うに際しては、「±90°の針路範囲の各針路刻みごとに、自船船首をその方位に向けたとしたときに潜在する護岸や防波堤などの障害物への衝突に対する危険感と、その方位に向けたとしたときに潜在する航行中の他船との衝突に対する危険感とを比較し、各針路ごとに危険顕在化までの時間余裕に基づく切迫の度合いからもたらされる危険感の大きい方の値を採用する。そして、これら大きい方の危険感の値で形成される包絡線に着目して、この包絡線の範囲を±90°の針路範囲で総計し、その結果を以てその瞬間の総合化された環境ストレス値とする」という考え方を取る。

### 3. 3. 6 環境ストレスの値に関する操船者の許容感

環境ストレスの評価モデルにおいては、環境ストレスの値の0～1000の範囲を、表3. 1に示すように区分して負荷の程度をランク付ける基準を設定している。さらに、操船者に対するアンケート調査により負荷の程度と許容感の対応関係を集約した結果<sup>(44)</sup>をもとに、4分類の評価基準と操船者の許容レベルとの対応付けがなされている。

表3. 1 環境ストレスの値と操船者の許容基準との関係<sup>(43)</sup>

環境ストレス値	負荷ランクの分類	操船者の許容感
0～500	Negligible	許容できる
500～750	Marginal	
750～900	Critical	許容の限界
900～1000	Catastrophic	許容できない

これによると、環境ストレスの値の0から750の負荷の範囲は、操船者にとっては許容可能な状態にある。しかしながら、環境ストレスの値の750から900の”Critical”のランクでは課される負荷は許容の限界にあり、環境ストレスの値の900から1000の”Catastrophic”のランクになると操船者にとっては許容不可能となる。

従来は、自船を取り巻く環境の変化がどのような状態にあれば操船者にどれほどの負荷

がかかり、その負荷がどれほどのレベルになれば操船者にとって許容できなくなるか、これらを明確に表現できる指標や基準を持ち合わせていなかった。しかし、負荷のランクと許容可否の関係の導入により、環境ストレスの値がどれほどになるとその環境が課す負荷の状態を許容できなくなるかを判定できる、いわゆる評価基準を備えた定量化指標を得たことになる。

### 3. 4 結語

本章では、港湾における設計計画において計画当初から錨泊船の間を縫って航行する船舶の操船者に課される困難感を考慮するために、合理的かつ定量的に操船者に課される困難感を表現するモデルとして環境ストレスモデルを取り上げた。

まず、3. 2では、操船者を取り巻く環境の種類を操船環境、交通環境、情報社会環境に分類し、操船環境、交通環境を同じアルゴリズムのもとで評価でき、評価値に基準を伴っているという環境ストレスモデルの特徴を説明した。また、3. 3では、環境ストレスモデルによる危険顕在化までの時間余裕に着目した困難性の定量化の概念と具体的な計算手順について説明した。

第4章以降では、本章で説明した環境ストレスモデルにもとづく操船者に課される困難感の定量化手法を適用し、錨泊地における配置設計のあり方を検討する。

## 第4章 基本的な錨地配置のあり方について<sup>(57)</sup>

### 4.1 概説

第2章で述べたように、錨泊地を設計する際に必要となる、複数の錨地の配置のあり方については、未だ明らかにされていない。そのため本章では、錨泊地設計を行うための考え方について述べる。まず、4.2では、最適配置問題について説明し、港湾施設の設計における適用を示すとともに問題点を明らかにする。そして、4.3では、4.2を受けて、本研究における錨泊地配置設計の考えを示す。

また、船舶が入港する際、バース待ちや沖荷役のために指定された錨地に投錨、錨泊することをしばしば経験する。このとき船混みの激しい港では、予定錨地に接近する際にすでに錨泊している船舶の間を縫って航行することを余儀なくさせられることがある。船舶が複数の錨泊船の間を縫って航行するとき、錨泊船と錨泊船間の水域空間が狭くなるほど操船は困難となり、操船者には緊張がもたらされる。このようなとき、先に停泊している錨泊船の配置の状況がどのようなであれば、操船者にもたらされる困難性がどれほどになるかについては、これまでのところその関連性を定量的に明らかにした研究例はみあたらない。そこで4.4では、錨泊船間航行の問題に第3章に示した環境ストレスモデルを適用し、錨泊船の配置の状況とこれら錨泊船の間を航行する際に操船者に課される困難性の関係を系統的に分析するとともに、この分析を通じて、錨泊船の間を縫って航行する際、操船者に課される困難性を許容範囲におさえることができることを条件として、錨地配置の設計要素の定量化を試みる。さらに、4.5では、4.4を受けて、第2章に示した錨泊地の基本要素の中で、錨地と錨地の中心間距離と、2つの錨地を結ぶ線とその間を通過する船の針路交角に着目し、操船面から望ましい配置条件について考察する。検討にあたっては、まず相隣り合う2つの錨地の望ましい関係を明確にした上で、これを基本として複数の錨地の配置について考察を加える。

### 4.2 最適配置問題としての錨泊地設計

#### 4.2.1 最適配置問題とは

一定の範囲の錨泊地の中に錨地をできるだけ効率よく配置する案を見出そうとする問題について、その解を求めようとするプロセスは、オペレーションズリサーチの分野において板取り問題(Cutting Stock Problem)と呼ばれる最適配置問題として扱うことができる。このように最適なレイアウトを求める問題としては、プラントの配置やVLSI (Very Large Scale Integrated circuit)の配置など多種多様なものがあり、鉄鋼、機械、生産、情報など数多くの分野において研究がなされ、利用されている。

最適な配置を求めるこれらの問題は、数多くの組合せを内在していることから、望ましい解を厳密な方法で求めることは容易ではない。そのため現在では、ヒューリスティック探索による手法が用いられ、モンテカルロ法<sup>(58)</sup>、<sup>(59)</sup>、模擬焼きなまし法 (Simulated Annealing, SA)<sup>(60)</sup>、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA)<sup>(60)</sup>などの確率的な最適手法が適用されることが多い。

#### 4.2.2 板取り問題としての定式化

ここでは、錨泊地における錨地の配置を対象として、板取り問題として扱った際の数学的な定式化についてまとめる。



まず、図4.1に示すような一定の幅  $B$  と一定の奥行き  $H$  をもつ錨泊地を想定する。そして、船型に応じた半径をもった円で示された錨地 $i$  ( $i=1,2,3,\dots,n$ ) を配置した際に、錨泊地の利用されていない領域を最小化する問題を考える。このような問題は、以下のように定式化することができる。

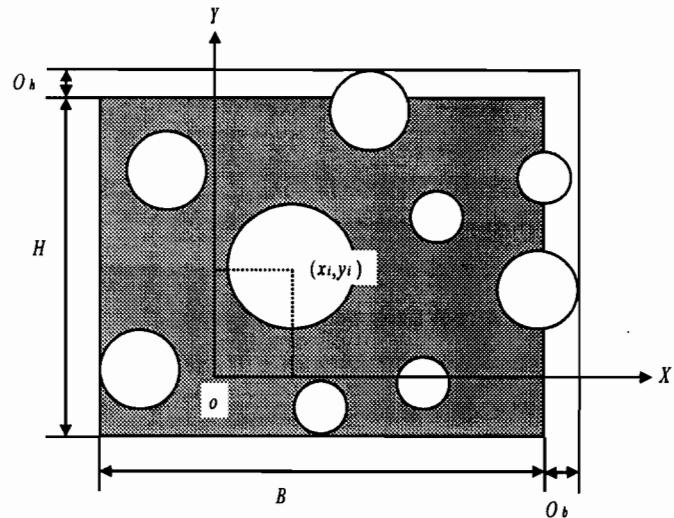


図4.1 錨地配置

(1)設計変数

各錨地を示す円の中心点の座標値  $(x_i, y_i)$  が設計変数となる。なお、これらの錨地が錨泊地に対してどのような位置関係にあるかについては、図4.1に示すように、定められた錨地の各位置に対して、

錨泊地左側の外形線が最も左側にある錨地に、錨泊地下側の外形線が最も下側にある錨地にそれぞれ接するように定めるものとする。また、錨泊地右側で錨地がはみ出る量を  $O_b$ 、錨泊地上側で錨地がはみ出る量を  $O_h$  とする。

(2)制約条件

制約条件としては、以下の二つを考える必要がある。

- ・錨地間の重なりを生じないための制約

錨地 $i$  と錨地 $j$  との重なりを  $overlap_{i,j}$  とすると、全体での重なりは、

$$Overlap = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n overlap_{i,j} \quad (4.1)$$

となり、本制約条件は以下のように定義することができる。

$$Overlap = 0 \quad (4.2)$$

実際には、単に重なりを判断するだけではなく、第2章で検討した各錨地間の離隔距離をとることが必要となるが、ここでは単純化して示している。

- ・錨地が錨泊地の範囲を超えないための制約

はみ出し量  $O_b$ 、 $O_h$  より、以下のように定義することができる。

$$O_b = 0 \quad (4.3)$$

$$O_h = 0 \quad (4.4)$$

(3)目的関数

目的関数には、錨泊地の中で使用されていない領域を最小化することを考える。これは、図4.1に示す諸量を用いることにより、次式として定義することができる。

$$\text{未使用領域} = (B+O_b) \times (H+O_h) - \sum_{i=1}^n a_i \rightarrow \min \quad (4.5)$$

ここで、 $a_i$  は、錨地 $i$  の面積を表している。なお、(4.5)式の  $(B+O_b)$  を  $B$  に、 $(H+O_h)$  を  $H$  にしない理由は、常に (4.3)式、(4.4)式の制約条件が満足されているとは限ら

ないためである。

別の目的として、配置される錨地の数の最大化というものもあるが、これは、錨地条件を種々変えて試行した結果得られるものである。

#### 4. 2. 3 港湾施設の設計における最適配置設計の適用

港湾の施設に関して最適配置設計として検討されたものとして、山本<sup>(61)</sup>の所定の港内波高比、泊地面積及び港口幅を満足し、防波堤の延長が最小となる防波堤の配置に関する研究、永岩<sup>(62)</sup>のフェリーポートへの自動車の積み付け時において船体の安定を考慮した上で積載数が最大となるような積み付け方法に関する研究、西村・今井<sup>(63)</sup>の公共バースへの船舶の割当に関する研究がある。

### 4. 3 本研究における錨泊地設計の考え方

4. 2. 1に示した板取問題においては、考えられる組み合わせを全て調べ、その中から最適解を求めることが必要となる。しかしながら、実際の港湾における錨地配置設計においては、錨泊地の利用効率が最大であればそれが必ずしも最適とは限らない。また、錨地の配置個数が最大であればそれが必ずしも最適とは限らない。

実際に施設提供者が指定錨地方式を対象とした錨地の配置設計を行なう際には、まず、その港湾の規模や能力に応じて船型ごとに収容すべき隻数を設計目標として設定する。そして、この前提条件を満たした上で、できるだけ錨泊地利用効率に優れる案、または、より多くの錨地配置が可能な案があればそれらも代替案として抽出する。そして、このようにして抽出された代替案を操船実務者との意見交換を行ないつつ、決定までの調整を図るのが普通である。

したがって、本研究では、すべての代替案のなかから錨地個数最大や錨泊地利用効率最大の条件を満足する解をコンピュータにより自動的に探索するという板取問題としての考えに立たない。まずは、錨泊船間を船舶が航行するときに操船者に操船上の困難感を与えないように錨地を配置するという操船者の意識を事前に考慮に入れたコンピュータアルゴリズムにより錨地配置設計代替案を網羅的に抽出した上で、その中から計画者が設定する前提条件のもとで錨泊地を効率的に利用できる案、または、その周辺の代替案を絞り込んでいく作業に計画者が参画することを考える。そして、計画者が設計作業をするにあたって、このような代替案の絞り込み作業を円滑かつ効率的に行なうために、計画者がグラフィカルなユーザインターフェースを通じてコンピュータシステムと対話的に操作しながら、与えられた錨泊地条件下で、錨泊船の船型と錨地の配置個数の任意の組み合わせを満足する代替案を計画者が選択できる支援システムの導入を検討する。支援システムについては、第7章において説明する。

また、施設提供者が面錨地方式を対象とした錨泊地設計を行うには、第一に現状または将来における利用状況から、港湾において錨泊地を利用する錨泊船の錨泊地に対する需要を明らかにすることが必要である。次に、設定した錨泊船条件（船舶の大きさ）と錨泊地条件（形状、面積、水深）の下で、錨泊地内に錨泊船を何隻収容できるかという錨泊地の容量を明らかにすることである。そして、錨泊地の容量が需要を満たしているかを判断することになる。4. 2. 1に示した板取問題の解は、最も効率よく配置された結果として錨泊地内に収容できる最大隻数を示すことになる。しかしながら、実際の港湾において

は、錨泊船の投錨位置の決定が操船者の判断に委ねられており、また種々の船型の船が錨泊地に到着した順序によって、結果として錨泊地内に収容可能な隻数は、板取り問題による解と異なることになる。

そのため、本研究では板取り問題による解とは異なるが、それに近い解が得られ、なおかつ極めて容易に錨泊地の収容隻数を推定する方法としてモンテカルロ法<sup>(58), (59)</sup>による推定法をとりあげる。この方法は、与えられた錨泊地条件、錨泊船条件の下で、ランダムに到着した船舶がランダムに錨地位置を設定していくと仮定し、モンテカルロ法を用いたコンピュータシミュレーションを行うことによって、収容隻数を明らかにする考え方である。

#### 4. 4 操船困難性の検討と錨泊地設計要素の定量化

##### 4. 4. 1 計算条件

###### 4. 4. 1. 1 船体条件

一連の計算を行うにあたって、航行船、錨泊船の船型として、便宜上Sタイプ、Mタイプ、Lタイプの3種類とした。そして、代表的なものとして、Sタイプを長さ130m、Mタイプを長さ200m、Lタイプを長さ280mとした。

また、環境ストレスモデルにより環境ストレス値を算出する際に総トン数が必要となる。船舶の全長、総トン数、重量トン数などの諸元の統計的な研究<sup>(64)~(66)</sup>は過去に多く行われているが、本研究では平成元年度に発行された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>(3)</sup>に示されている貨物船、コンテナ船、タンカーの全長と重量トン数との関係及び重量トン数から総トン数に換算する関係式より、全長から総トン数を推定する回帰式を以下のように得た。

$$\text{総トン数} = 3.11 \times \text{全長} - 2.85 \quad (\text{相関係数} : 0.996) \quad (4.6)$$

以下、この回帰式をもとに全長から総トン数を推定し、環境ストレス値の計算に用いた。また、いずれの場合においても、航行船の速力は6ノット一定とし、海域は錨泊船以外障害物がないようにオープンシーとした。

###### 4. 4. 1. 2 錨泊船の配置

###### (1) 2隻の場合

錨泊船が2隻の場合には図4. 2に示す座標系を用いる。一般に障害物の至近を通航するとき、操船者はその障害物に対して一定の離隔距離を確保しようとする。操船者が錨泊船の付近を航行する際にこれ以上近づきたくないという離隔距離については、「離隔距離 =  $0.89 \times$  航行船の全長」<sup>(44)</sup>なる関係式が得られている。そこで、環境ストレス値の計算にあたっては、物理的な衝突ではないものの、錨泊船の中心から錨泊船の周囲に下記の式で示される距離を半径  $r(m)$

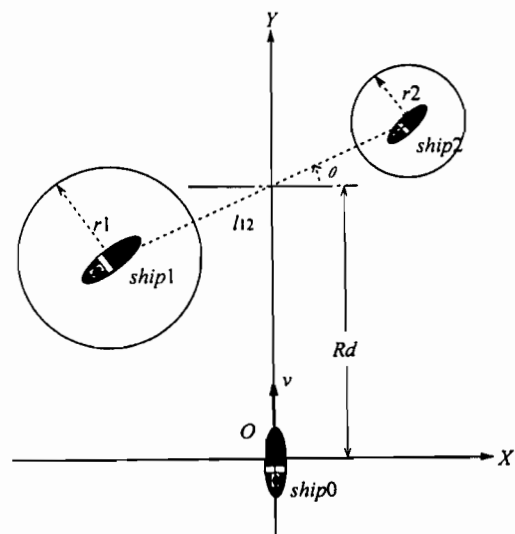


図4. 2 錨泊船2隻の場合の座標系

とするバリアがあるものとして計算を行った。

$$\text{半径 } r(\text{m}) = 0.89 \times \text{航行船の全長}(\text{m}) + 0.5 \times \text{錨泊船の全長}(\text{m}) \quad (4.7)$$

針路交角 ( $\theta$ ) については便宜上航行船の針路と錨地を結ぶ線が直交する場合を0度とし、左回りを正とする。また、錨泊船間距離 ( $l_{12}$ ) については、2隻の錨泊船の中心間距離をとる。残距離 ( $Rd$ ) については、原点から2隻の錨泊船の中心までの距離をとる。

#### (2) 3隻の場合

錨泊船が3隻の場合に用いる座標系を図4.3に示す。航行船の針路にship1とship2を結ぶ線が直交し、ship3が航行船の針路上に存在する2等辺三角形を基本の配置として考える。このとき、ship1とship2を結ぶ線とship1とship3を結ぶ線がなす角を底角 $\alpha$ とし、2等辺三角形の高さ $d$ は後方錨泊船までの距離に対応する。

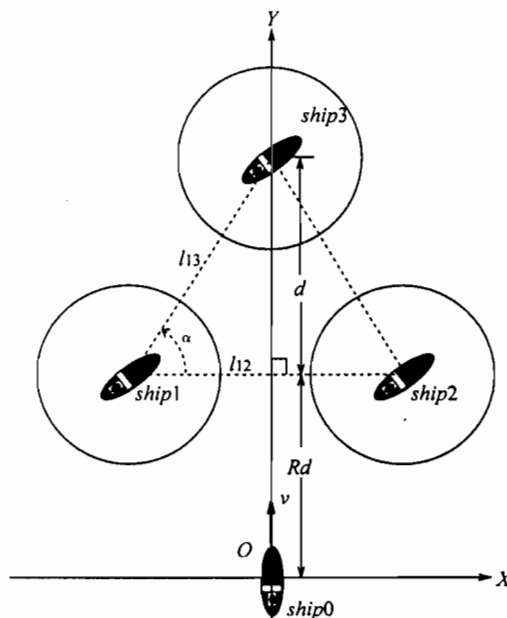


図4.3 錨泊船3隻の場合の座標系

#### 4.4.2 2隻の錨泊船間航行

##### 4.4.2.1 大きさが同じ場合

$\theta = 0$  の条件の下で、ship0がship1とship2を結ぶ線の中央を通過するとき、2隻の錨泊船の存在がship0の操船者に課す困難感を環境ストレスモデルを適用して求めた結果を図4.4に示す。この計算に際しては、ship0、ship1、ship2ともMタイプとし、ship1とship2の錨泊船間距離を600m、800m、1000m、1200mとした。図4.4より、錨泊船間距離が長くなるに伴い環境ストレス値のピークが低くなること、また、環境

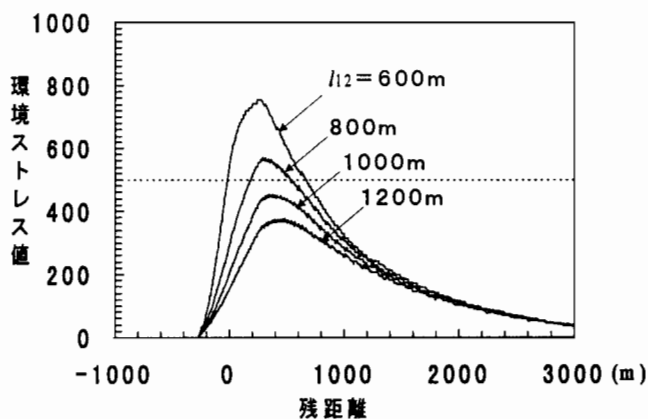


図4.4 錨泊船2隻の場合のストレス値の変化  
環境ストレス値がピークとなるのは2隻の錨泊船間を結ぶ線上に航行船が並ぶ直前であり、錨泊船間距離が変化してもその位置はほぼ一定であることが分かる。

環境ストレスモデルから出力される操船環境ストレス値は操船水域を制約する環境条件

が操船者に課す操船上の困難感を定量的に表現するものである。そして、その値が500以下であれば全ての運航実務者がその状況を許容し、750ではほぼ全体の3/4の運航実務者が許容でき、900では全体の3/4の運航実務者が許容できない状況であり、これを超えた場合にはもはや全ての運航実務者が許容できないといった基準と対応づけられている。<sup>(44)</sup>

錨地設計の観点からは、錨泊船間を航行する際、操船者に課される困難感の大きさは、全ての運航実務者にとって許容できるものであることが望まれる。そのため、ここでは運航実務者にとって課される負荷が"negligible"である環境ストレス値500を基準として、必要とされる錨地配置の設計要素のあり方を考える。

操船環境ストレス値が500となるような錨泊船間距離は、図4.4から2隻の錨泊船間を通過する際の操船環境ストレス値変化において、そのピークがちょうど500となるような錨泊船間距離を求めればよい。

図4.5は、2隻の錨泊船が同じ大きさの場合に、環境ストレス値が500となる錨泊船間距離を縦軸に、錨泊船の大きさを横軸にして、航行船の大きさをパラメータとしてプロットしたものである。

例えば錨泊船がSタイプ(長さ130m)の場合において、航行船がSの場合は所要の錨泊船間距離が600m、Mタイプ(長さ200m)の場合は800m、Lタイプ(長さ280m)の場合は1000mとなる。このように2隻の錨泊船の間を通過しようとする航行船が大きくなるほど2隻

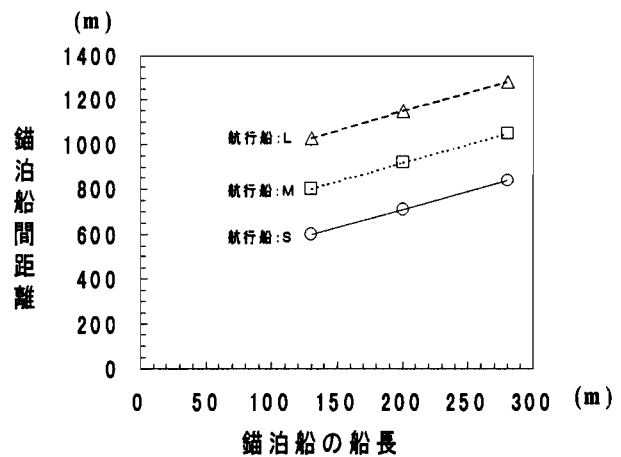


図4.5 大きさの同じ2隻の錨泊船の場合の必要錨泊船間距離

の錨泊船間距離は広く必要とされる。また、航行船がSタイプ(長さ130m)の場合において、錨泊船がSタイプ(長さ130m)の場合は所要の錨泊船間距離は600m、Mタイプ(長さ200m)の場合は700m、Lタイプ(長さ280m)の場合は800mとなるように、錨泊船が大型船であるほど必要な錨泊船間距離は長くなる。このように、必要な錨泊船間距離は航行船の大きさと錨泊船の大きさの両者に依存する。そこで、同じ大きさの2隻の錨泊船間航行に対し、航行船の全長及び錨泊船の船長を説明変数とし、所要の錨泊船間距離を被説明変数として重回帰分析を適用すると次式を得る。

$$\text{錨泊船間距離} = 2.91 \times \text{航行船の全長} + 1.64 \times \text{錨泊船の船長} + 5.0 \quad (4.8)$$

(重相関係数: 0.9999)

この回帰式を用いることにより、同じ大きさの2隻の錨泊船の間を任意の大きさの航行船が通過するとき必要とされる錨泊船間距離が得られる。

#### 4.4.2.2 大きさが異なる場合

隣り合う2隻の錨泊船が同じ大きさであれば、一般に操船者は2隻の錨泊船の中央を航行すると考えられる。しかし、2隻の錨泊船の大きさが異なる場合は操船者の意識として

小さい錨泊船側に近寄って航行すると考えられる。そして、このような時にはそれぞれの錨泊船から与えられる困難性が等しくなるようにコースを選択することが予想される。そこでここでは、大きさが異なる2隻の錨泊船間航行に際してはそれぞれの錨泊船が単独で存在したと考えた場合のそれぞれの船が課す操船環境ストレス値が等しくなるようなライン上を通航するものとして、2隻の錨泊船の中央から小さい錨泊船側に近寄る方向にコースラインを偏位させることとした。

どれだけ偏位させるかについては、まず、船舶が1隻の錨泊船の近くを航行する際、航行船の操船者に課される困難性が、錨泊船の周囲に設定したバンパの外縁までの距離の違いによって、どのように変化するかを求めた。そして、錨泊船の横を通過する際の環境ストレス値のピークをバンパの外縁までの距離によって

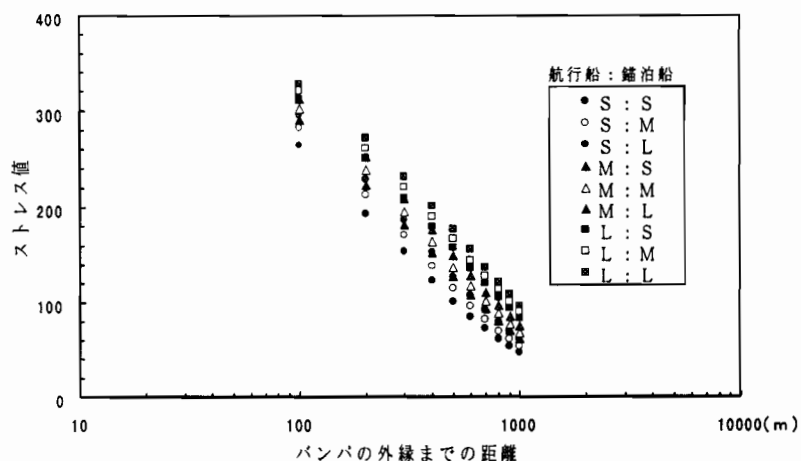


図4. 6 バンパの外縁までの距離の違いによるストレス値の変化

整理したものを図4. 6に示す。ここで、航行船条件及び錨泊船条件として、Sタイプ(長さ130m)、Mタイプ(長さ200m)、Lタイプ(長さ280m)とした。

バンパの外縁までの距離が近い場合は、錨泊船の大きさの違いによって環境ストレス値に差があるものの、バンパの外縁までの距離が遠くなるに伴い、錨泊船の大きさによる環境ストレス値の違いは少なくなっている。また、航行船が大きくなるに伴い錨泊船の横を通過する際の環境ストレス値は高くなっている。さらに、バンパの外縁までの距離が遠くなると、環境ストレス値は小さくなっている。

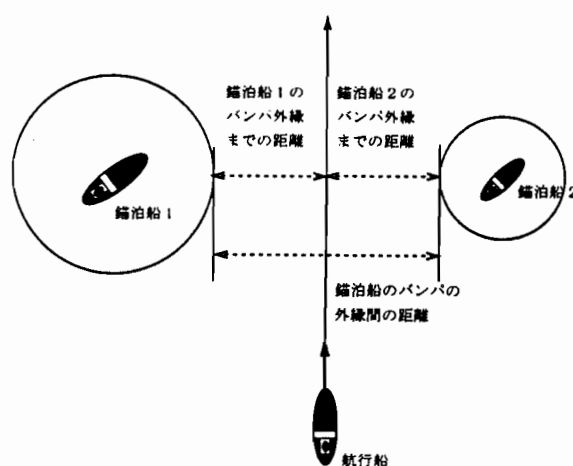


図4. 7 大きさが異なる2隻の錨泊船の場合のコースラインの設定

そこで、航行船の全長、錨泊船の全長、及びバンパの外縁までの距離を説明変数とし、環境ストレス値を被説明変数とする重回帰分析を適用し、次式を得た。なお、バンパの外縁までの距離については対数としている。

$$\text{環境ストレス値} = 0.307 \times \text{航行船の全長} + 0.140 \times \text{錨泊船の全長} \\ - 235.089 \times \log(\text{バンパの外縁までの距離}) + 683.568 \quad (4.9)$$

(重相関係数：0.998)

次に、大きさの異なる2隻の錨泊船の間を航行する際に、錨泊船間の中央からどれだけ偏位するかについては、それぞれの錨泊船から課される困難性が等しくなる点を求めることとし、より小型の錨泊船に近づけるようにした。具体的には、(4.9)式において航行船、錨泊船1の全長、錨泊船2の全長を代入して整理し、(4.10)式を得る。

$$0.140 \times \text{錨泊船1の全長} - 235.089 \times \log(\text{錨泊船1のバンパの外縁までの距離}) = \\ 0.140 \times \text{錨泊船2の全長} - 235.089 \times \log(\text{錨泊船2のバンパの外縁までの距離}) \quad (4.10)$$

そして、図4.7に示すように、2隻の錨泊船のバリアの外縁間の距離は、錨泊船1のバリアまでの距離と錨泊船2のバリアまでの距離の和であることから(4.11)式が得られる。

$$\text{錨泊船のバンパの外縁間の距離} = \text{錨泊船1のバンパの外縁までの距離} \\ + \text{錨泊船2のバンパの外縁までの距離} \quad (4.11)$$

(4.10)式及び(4.11)式を連立方程式としてその解を求めることにより、それぞれの錨泊船から課される困難性が等しくなるそれぞれの錨泊船のバンパの外縁までの距離がわかる。

(4.10)式を変形すると、

$$\log \left[ \frac{\text{錨泊船1のバンパまでの距離}}{\text{錨泊船2のバンパまでの距離}} \right] = \frac{0.134}{235.089} (\text{錨泊船1の全長} - \text{錨泊船2の全長})$$

となり、さらに変形して、

$$\frac{\text{錨泊船1のバンパまでの距離}}{\text{錨泊船2のバンパまでの距離}} = 1.00057^{(\text{錨泊船1の全長} - \text{錨泊船2の全長})} \quad (4.12)$$

となる。ここで

$$A = 1.00057^{(\text{錨泊船1の全長} - \text{錨泊船2の全長})}$$

とおく。(4.11)式より

$$\text{錨泊船2のバンパの外縁までの距離} = \text{錨泊船のバンパの外縁間の距離} \\ - \text{錨泊船1のバンパの外縁までの距離} \quad \text{航過距離} \quad 1$$

である。そこで、

$$\frac{\text{錨泊船1のバンパの外縁までの距離}}{\text{錨泊船のバンパの外縁間の距離} - \text{錨泊船1のバンパの外縁までの距離}} = A \quad (4.13)$$

となる。したがって、

$$\text{錨泊船1のバンパの外縁までの距離} = \frac{A}{A+1} \text{錨泊船のバンパの外縁間の距離} \quad (4.14)$$

$$\text{錨泊船2のバンパの外縁までの距離} = \frac{1}{A+1} \text{錨泊船のバンパの外縁間の距離} \quad (4.15)$$

となる。(4.14)式と(4.15)式により、錨泊船間の中央からの偏位量を求めることができる。

そして、2隻の錨泊船が異なる大きさの場合について錨泊船間航行中に課される最大の環境ストレス値が500となるような錨泊船間距離を、2隻の錨泊船と航行船がSタイプ、Mタイプ、Lタイプのあらゆる組み合わせについて求めた。その結果をまとめたものを図4.8に示す。この結果には2隻の錨泊船が同じ大きさの場合も含んでいる。図中の○、□、△印は航行船の大きさSタイプ、Mタイプ、Lタイプの分類をあらわし、図の横軸は

2隻の錨泊船の全長の平均をとっている。ここに、航行船の全長及び錨泊船の平均船長を説明変数とし、錨泊船間距離を被説明変数として重回帰分析を適用すると、次のような関係式を得る。

$$\text{錨泊船間距離} = 2.92 \times \text{航行船の全長} + 1.64 \times \text{錨泊船の平均船長} + 0.89 \quad (4.16)$$

(重相関係数 : 0.9999)

この回帰式により、航行船及び錨泊船の任意の大きさの組み合わせに対して必要とされる錨泊船間距離を求めることが可能となる。

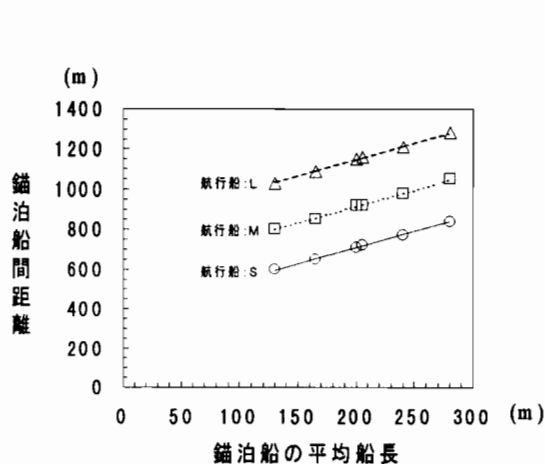


図 4. 8 大きさの異なる2隻の錨泊船の場合の必要錨泊船間距離

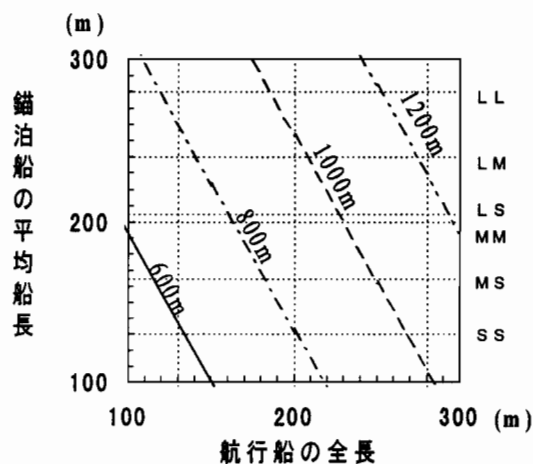


図 4. 9 2隻の錨泊船間の必要距離

図 4. 9 は、(4.16)式の回帰式をもとに航行船の全長を横軸に、錨泊船の平均船長を縦軸としてダイヤグラムの形で整理したものである。例えば航行船がMタイプの場合において錨泊船の組み合わせがLタイプとSタイプであれば錨泊船間距離は900m必要となることがこの図から読み取れる。今後、錨地の配置設計を行う場合、想定される航行船と錨泊船の組み合わせごとに必要となる2つの錨地間の距離を算定するのに、(4.16)式が役に立つ。

#### 4. 4. 2. 3 針路交角

図 4. 10 は、航行船及び2隻の錨泊船の大きさをそれぞれMタイプ、錨泊船間距離を1000m、 $\theta$ を0, 10, 20, 30, 40, 50度として、2隻の錨泊船が航行船のルートに対し斜めに配置されるとき、操船者に課される負荷の変化傾向を求めたものである。これによると針路交角が0度では2隻の錨泊船は一体のものとして認識され、2隻の錨泊船の間を通過する際に環境ストレス値のピークが1回現れる形の負荷が課される。針路交角が30度程度までは同様の傾向を示し、1回の環境ストレス値のピークの高さはほぼ一定である。しかし、針路交角が30度を超えると、2隻の錨泊船は1隻ずつ分離して操船者に負荷を課すようになりピークが2つに分かれるとともにピークの高さが増加するようになる。

図 4. 11 は、針路交角が大きくなる時、2隻の錨泊船間を通過する際の環境ストレス値のピークが500となるような錨泊船間の距離を針路交角との関係からとりまとめたものである。針路交角が30度程度までは必要となる錨泊船間距離は2隻の錨泊船が航行船



の針路に対し直角に配置される場合に必要とされる距離と同じであるが、針路交角が30度を超えると急激に必要とされる錨泊船間距離が増加することがわかる。つまり、2つの錨地の配置とその間を通過する船の針路との関係が0度±30度までの範囲であれば、操船者に課す困難性の観点からは両者が直交する場合と設計上同等とみなすことができる。

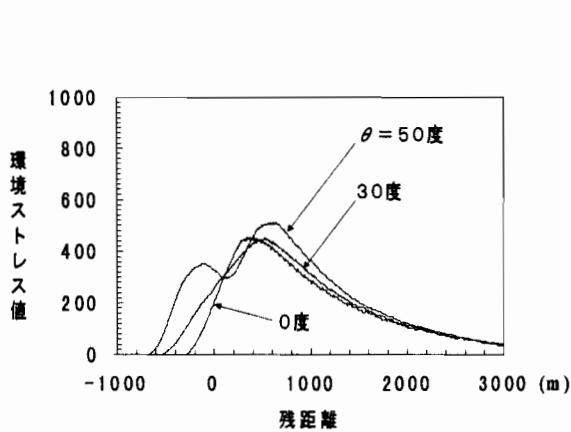


図 4. 1 0 錨泊船 2 隻の場合の針路交角の影響

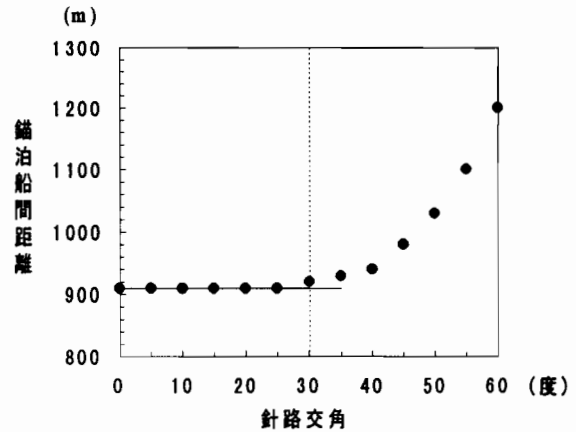


図 4. 1 1 錨泊船 2 隻の場合の針路交角による必要錨泊船間距離の変化

#### 4. 4. 3 3 隻の錨泊船間航行

##### 4. 4. 3. 1 大きさが同じ場合

図 4. 3 に示した座標系において、ship1 と ship2 の錨泊船間距離  $l_{12} = 1200$  m の条件の下で、後方錨泊船までの距離  $d$  を変化させたときに、3 隻の錨泊船の存在が ship0 の操船者に課す操船上の困難感の大きさを環境ストレスモデルを適用して求めた結果を図 4. 1 2 に示す。なお、この時 ship0 は ship1 と ship2 を結ぶ線の中央を通過することとした。また、ship0, ship1, ship2, ship3 ともすべて M タイプとして計算した。

環境ストレス値は ship1 と ship2 にほぼ並ぶ地点で一度ピークを迎え、その後はしばらく減少するものの、後方の ship3 に近づくにつれて再度増加傾向を示すようになる。ただし、ship3 を置く位置を遠く、つまり距離  $d$  を長くするに伴い、環境ストレス値のピークは減少傾向を示す。ここに  $d =$

1200 m の曲線に着目すると、このように  $d$  をある一定の距離以上に離しても環境ストレス値のピークの減少傾向は頭打ちの状態になる様子がみてとれる。これは、ship3 を置く位置が遠くなれば操船者に与える困難性は全体として減少するものの、ship3 を置く位置がある距離以上遠くなればそれ以上離しても環境ストレス値のピークの

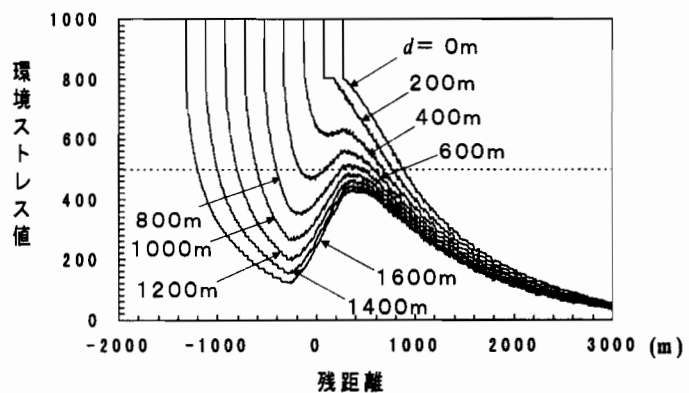


図 4. 1 2 錨泊船 3 隻の場合のストレス値の変化

値の減少に関してはほとんど効果が変わらないことを意味する。

そこで、この困難性がほとんど変わらなくなる位置に ship3 を置くことを3隻目の錨泊船配置の条件と考える。その上で手前2隻の錨泊船を含む合計3隻の錨泊船配置との関係から、航行中に ship0 に課されるピーク値が500となるような条件を満たす手前2隻の錨泊船間距離  $l_{12}$  と3隻目の錨泊船の位置  $d$  を求める。このようにすれば、錨泊船が3隻の場合の配置条件を決めることができる。この考え方のもとで錨泊船が3隻共同じ大きさの場合について手前2隻の錨泊船間距離  $l_{12}$  を求めたところ、4.4.2.1で述べた同じ大きさの2隻の錨泊船の間を同じ大きさの船が通過する時に必要とされる錨泊船間距離に比べて3隻の場合は概ねその1.3倍程度の間口の広さが必要となることがわかった。

次に、後方錨泊船 ship3 までの距離  $d$  と手前2隻の錨泊船間距離  $l_{12}$  の関係から底角  $\alpha$  を求めたところ、航行船が大きくなるのに伴い底角はやや小さくなるものの概ね60度となり、錨泊船が3隻でかつそれらが同じ大きさの場合、そこを通過する航行船の操船者に困難を課さない3隻の配置条件はほぼ正三角形と考えてよさそうである。

#### 4.4.3.2 大きさが異なる場合

航行船及び3隻の錨泊船の大きさがLタイプ、Mタイプ、Sタイプのあらゆる組み合わせについて4.4.3.1に述べたと同じ考え方のもとで、手前2隻の錨泊船間の間口の広さ  $l_{12}$  および底角  $\alpha$  を求めた。図4.13は、錨泊船が2隻の場合に必要な錨泊船間距離を基準に3隻の場合にはどれくらい広く必要となるかを比率をとって示している。これらの計算には3隻の錨泊船が同じ大きさの場合も含めて示している。航行船が大きいくほどその比率が大きくなるものの、概ね1.3程度であることがわかる。このことから、3隻の錨泊船を配置する場合に必要な錨泊船間距離  $l_{12}$  は、2隻の錨泊船の場合に必要な錨泊船間距離を1.3倍することによって求めることが可能であるといえる。

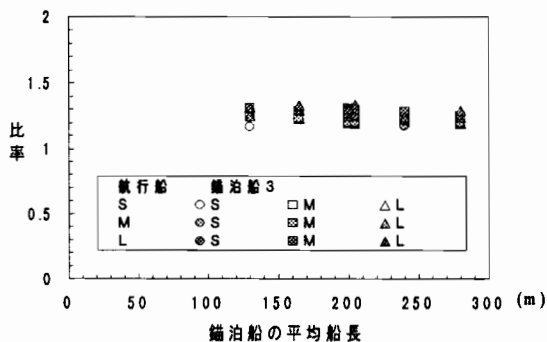


図4.13 錨泊船2隻の時の必要距離を基準とした錨泊船3隻の場合の間口の広さ

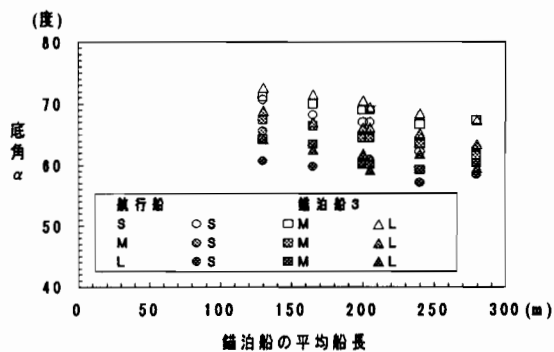


図4.14 錨泊船3隻の三角形の底角

また、底角  $\alpha$  については図4.14に示すように、航行船が大型船ほど底角は小さくなり、後方に配置される ship3 が大型になると底角は大きくなり、手前2隻の錨泊船の平均船長が長くなるほど底角が小さくなるといった傾向が見られる。そこで、航行船 ship0 の

全長、ship3 の全長、及び ship1 と ship2 の平均船長をそれぞれ説明変数とし、底角  $\alpha$  を被説明変数として重回帰分析を適用し、次のような関係式を得た。

$$\begin{aligned} \text{底角} = & -0.050 \times \text{ship0 の全長} + 0.015 \times \text{ship3 の全長} \\ & - 0.034 \times \text{ship1 と ship2 の平均船長} + 78.679 \end{aligned} \quad (4.17)$$

(重相関係数 : 0.950)

この回帰式により、任意の大きさの錨泊船の組み合わせについて、それぞれの錨地を配置する際の底角が求まることとなり、先に示した錨泊船間距離  $l_{12}$  とともに、これらの情報を用いることにより錨地の配置形状を決定することが可能となる。

#### 4. 4. 3. 3 錨泊船間航行と困難性の試算

3 隻の錨泊船の間を航行する際には、図 4. 15 に示すように手前 2 隻の錨泊船を航過した後どこか適当な位置で次の針路に変針することが必要となる。この場合の変針点をどこに設定すべきかについては、手前 2 隻の錨泊船を航過した後、後方の錨泊船に対する困難性の大きさが操船者にとって許容できる範囲にある間のどこか、すなわち環境ストレス値が 500 を超えない間のどこかの地点に変針点を設定することが妥当であろう。ここでは、各錨泊船を結ぶ線と直交するようにコースラインを設定した場合を考える。この時の変針点は幾何学的に見れば「外心点」ということになる。

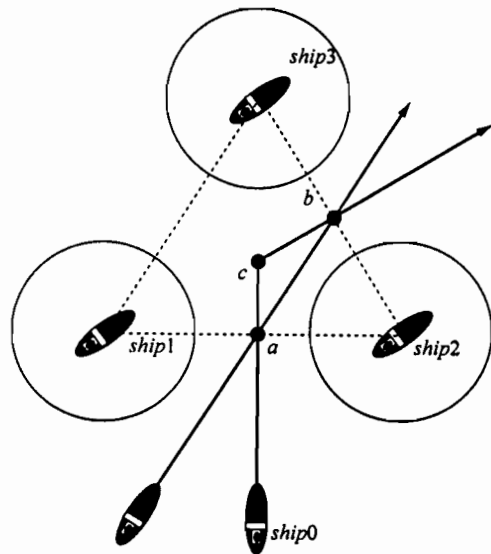


図 4. 15 錨泊船 3 隻の場合のコースラインの設定

この外心点を変針点とするようなコースライン上を航行して錨泊船間を通過する間の環境ストレス値の変化を図 4. 16 に示す。航行船を L タイプ、錨泊船を S タイプ、L タイプ、L タイプとした条件は操船上の困難性がさまざまな組み合わせの中でもっとも高いケースであり、航行船を S タイプ、錨泊船を S タイプ、S タイプ、L タイプとした条件は操船上の困難性がもっとも低いケースである。また、航行船を M タイプ、錨泊船を S タイプ、L タイプ、M タイプとした条件はその中間にある条件のひとつである。いずれ

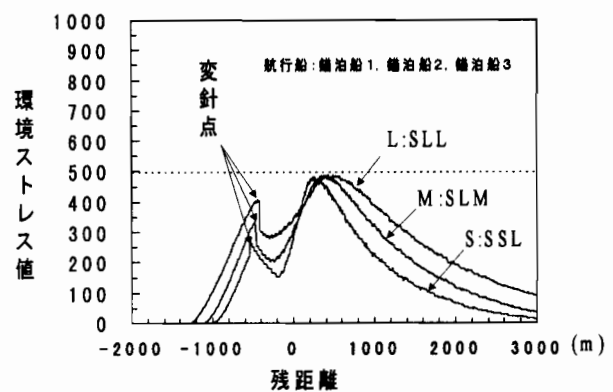


図 4. 16 外心点で変針した場合のストレス値の変化

のケースにおいても、ship1 及び ship2 を結ぶ線に並ぶ付近で環境ストレス値はピークとなるが、その後、後方の ship3 に接近するために環境ストレス値は再度ピークに向かうものの、その上昇途中で変針を行うこととなる。変針する手前までは ship3 に対する困難

性が対象であったものが、変針後は ship2 及び ship3 が困難性の対象となるため、変針直後に環境ストレス値は一旦大きくなるものの、その大きさは操船者にとって許容できる環境ストレス値 500 以下におさまっている。このことより、手前 2 隻の錨泊船を結ぶ線に直交して航行し、外心点を変針点としたコースライン上を航行する時は、これらの錨泊船間を航行する際に操船者に負荷をかけないこととなり、ここで提案した錨地のディメンジョンと配置に関する設計の考え方の妥当性を示すものである。

さらに、変針をせずに 3 隻の錨泊船間を直線的に航行する場合も考えられる。図 4. 15 に示した点 a、b は各錨泊船を結ぶ線の 2 等分点であるが、この a、b 2 点を直接結ぶ線をコースラインとした場合の環境ストレス値の変化を図 4. 17 に示す。航行船の組み合わせは、図 4. 16 の計算と同様に、操船上の困難性がさまざまな組み合わせの中でもっとも高いケースともっとも低いケース、およびその中間のケースをとっている。いずれのケースにおいても、環境ストレス値の大きさは操船者にとって許容できる 500 以下におさまっている。

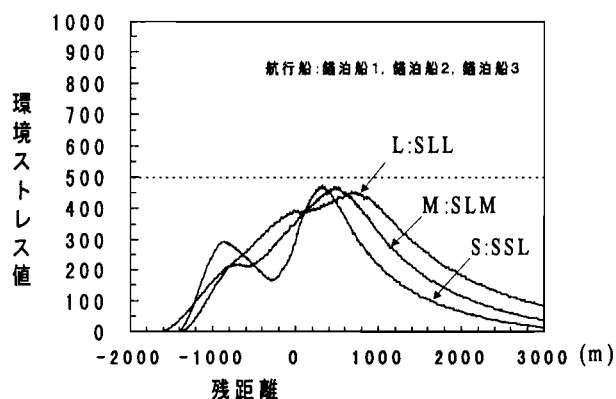


図 4. 17 2 等分点を結ぶ線上を航行する場合のストレス値の変化

また、a、b 点を結ぶコースラインを中心にして、a 点を支点に針路が左右に偏する場合の環境ストレス値の変化を求めたところ、錨泊船の大きさのどのような組み合わせの場合もその偏りが  $\pm 15$  度程度の範囲までなら環境ストレス値は 500 以下におさまる。このことから、手前 2 隻の錨泊船 ship1 と ship2 の中点 a、および ship3 と ship2 の中点 b を結ぶ線をコースラインとして航行する時、今回提案した錨地設計の考え方は  $\pm 15$  度以内のコースのずれに対してまで航行時の誤差を許容できるといえる。

#### 4. 4. 4 航行船の速力

ここまで航行船の速力はいずれの場合においても 6 ノット一定としてきた。しかしながら、実際にはそれ以上の速力の場合も想定される。このため、速力を 6、8、10 ノットとして速力による環境ストレス値への影響について検討したところ、錨泊船が 2 隻の場合も、錨泊船が 3 隻の場合も、6 ノットに比べ 8、10 ノットとなるほど錨泊船までの距離が遠い位置から環境ストレス値がやや高くなるもののピークとなる付近での値にはほとんど差はないとみてよい。

#### 4. 4. 5 錨地の配置設計の例

錨地の配置を設計する際の要素として、ここでは錨泊船間距離  $l_{12}$  と底角  $\alpha$  に着目し、その定量化について検討を行った。その結果、同じ大きさの錨泊船の組み合わせで航行船が L タイプの場合には、図 4. 18 に示すようにその形状は正三角形で、錨泊船が小型になると相似のまま各辺の長さが短くなる。しかしながら、航行船が L タイプの場合でも錨泊船の大きさがそれぞれ異なる場合には、図 4. 19 に示すように正三角形ではなく、(4.17)

式の回帰式で与えられるような底角 $\alpha$ を有する2等辺三角形になる。これらの図は三角形の面積が最も大きくなる場合と最も小さくなる条件を描いたものであり、錨泊船と航行船の大きさがLタイプ(長さ280m)、Mタイプ(長さ200m)、Sタイプ(長さ130m)のバリエーションのもとでは必要となる三角形の各辺の長さは概ね1300~1500mとなる。現状の港において各辺の長さが700~1000m程度であることと比べると、やや大きくなる結果となっている。

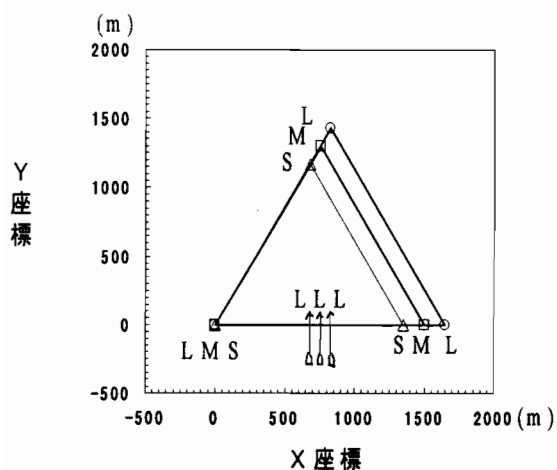


図4. 18 錨泊船の配置例(航行船をLとして、錨泊船が同じ大きさの場合)

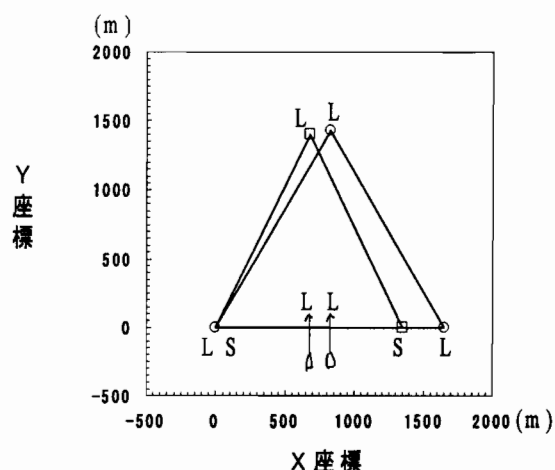


図4. 19 錨泊船の配置例(航行船をLとして、錨泊船が異なる大きさの場合)

#### 4. 5 基本的な錨泊船配置のあり方

錨泊船の間を縫って航行する際、操船者に課される困難感を環境ストレスモデルを適用して系統的に分析を行った。その結果、基本的な錨泊地配置のあり方として、以下のような指針を得た。

- (1) 2隻分の錨地の配置を設計する際には、航行船の全長と2隻の錨泊船の平均船長とによって、「錨泊間距離 =  $2.92 \times \text{航行船の全長} + 1.64 \times \text{錨泊船の平均船長} + 0.89$ 」から必要となる錨泊船間距離を求める。
- (2) 3隻分の錨地の配置を設計する際には、錨泊船間距離については、(1)に示した2隻分の錨地の場合に必要とされる距離の1.3倍とする。底角については、「底角 =  $-0.050 \times \text{航行船の全長} + 0.015 \times \text{後方に配置する錨泊船の全長} - 0.034 \times \text{隣り合う2隻の錨泊船の平均船長} + 78.679$ 」から求める。
- (3) 3隻分の錨地の配置については、その形状はほぼ正三角形を基本として考える。正確には錨地の対象船型により尖った三角形や扁平な三角形となるが、これは(2)に示した要素から詳細な形状を決定する。

#### 4. 6 結語

本章では、錨泊地を設計する際に必要となる、複数の錨地の配置のあり方について検討を行った。

4. 2では、最適配置問題について述べた上で、港湾施設設計における適用について示

した。

4. 3では、本研究における錨地配置設計についての考え方を示した。

4. 4では、隣接する錨泊船の間を航行する際に、操船者に課される困難感を環境ストレスモデルの考え方を適用して定量化する方法について示し、錨泊船の配置の状況とこれら錨泊船の間を航行する際に操船者に課される困難感との関係を系統的に分析するとともに、この分析を通じて、錨泊船の間を航行する際、操船者に課される困難感を許容範囲内におさえることができることを条件として、錨地配置の設計要素の定量化を行った。

4. 5では、錨地と錨地の中心間距離と、2つの錨地を結ぶ線とその間を通過する船の針路交角に着目し、操船面から望ましい配置条件について整理した。

本章で明らかとした錨泊船配置のあり方にもとづいて、第5章では指定錨地方式について、また第6章では面錨地方式について、錨泊地設計の考え方を検討する。

## 第5章 指定錨地方式における錨地の配置とその設計<sup>(6,7)</sup>

### 5. 1 概説

本章では、第4章の検討の上に立って、指定錨地方式において錨地の配置設計を行うための錨地配置アルゴリズムについて検討する。そして、港湾の施設提供者が指定錨地方式における錨地配置を設計計画する際の指針としてとりまとめる。

まず、5. 2では、指定錨地方式における錨地の配置アルゴリズムについて検討する。

そして、5. 3では、策定した錨地配置アルゴリズムにもとづいて錨地配置を行った結果に対して検証する。

5. 4では、ケーススタディとして、国内主要港湾における港湾計画にもとづく錨地配置案との比較を行う。

さらに、5. 5では、5. 2、5. 3、5. 4での検討をもとに、指定錨地方式における設計の考え方として整理する。

### 5. 2 指定錨地方式における錨地の配置アルゴリズム

#### 5. 2. 1 錨地の配置アルゴリズム

錨地の配置設計にあたって、基本条件を次のとおりとした。

- (1)錨泊地の形状、面積はあらかじめ与える。
- (2)錨泊船の大きさを便宜上S, M, Lの3種類とする。
- (3)航行船の錨泊地への進入方向は錨泊地手前からの1方向のみとする。
- (4)錨泊地の左奥から右へ、そして小型の錨地から順次配置する。

このとき、錨泊地の右奥から左へ配置することを条件とすることも可能である。どちらの条件を用いても、同じように錨地配置を行なえる。

錨地を配置するに際しては、このような基本条件のもとで錨泊船間を船舶が航行するときに操船者に操船上の困難感を与えないように錨地を配置することが必要な条件となる。錨地を配置するためのアルゴリズムは、以下のとおりである。

- ①図5. 1の(1)の錨地Aに示すように、錨泊地の左側の一番奥に1隻目の錨地を配置する。錨泊船1隻のための錨地の面積は、「港湾の施設の技術上の基準」<sup>(3)</sup>によると、単錨泊時の錨かきが良い底質の場合には、

$$\text{半径} = \text{錨泊船の船長} + 6 \times \text{水深 (m)} \quad (5.1)$$

とする円が必要であるとされている。図5. 1の中の円は、この半径を持った1隻の錨泊船が錨泊するのに必要な錨地の面積を示している。

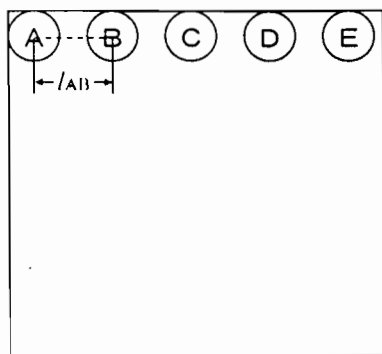
- ②次に図5. 1の(1)の錨地B以降に示すように、錨泊地の奥に右側に向かって錨泊地の端に沿って置けるだけ配置する。錨地Bに着目するとき、錨地Aと錨地Bの間の錨泊船間距離 $l_{AB}$ は、隣接する2隻の錨泊船の間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えないために必要な距離を確保するものとした。航行船の大きさの設定については、隣接する2隻の錨泊船のうち大きい方を、航行船の大きさとして設定した。

- ③横に1列配置した後、次の列に1隻目を配置する。この時、2列目以降の最初に配置する錨地と錨泊地の境界線との間を船舶が航行することを考慮せずに錨地を錨泊地の左端に詰める場合と、錨地と錨泊地の境界線との間を船舶が航行することを考慮した

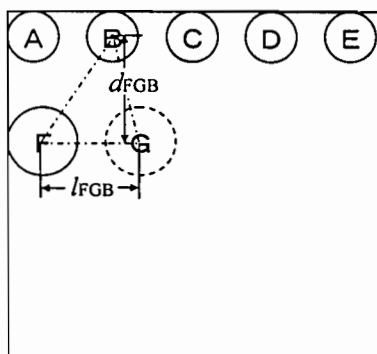
場合との2通りが考えられる。

そのうちの一つは、図5. 1の(2)に示す錨地F, G, Bにおいて、錨地Fとこれに隣接する錨地Gの間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えないために必要な錨地Bまでの距離  $d_{FGB}$  を離すという条件を与えて、錨地Fを錨泊地の左端に詰めて配置する方法である。

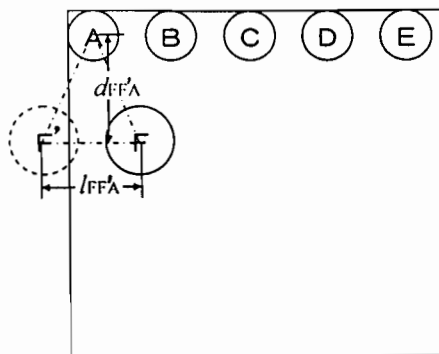
もう一つは、図5. 1の(3)に示す錨地F, F', Aにおいて、3つの錨地の配置が錨地Aを頂点とする二等辺三角形となるように、錨地Fとこれに隣接する錨地F'の間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えないために必要な錨地Aまでの距離  $d_{FF'A}$  だけ離れた位置に錨地Fを配置する方法である。



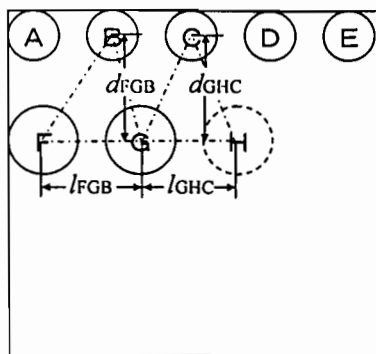
(1) 1列目の配置



(2) 2列目以降に配置する最初の錨地を錨泊地境界線に詰めて配置する場合



(3) 2列目以降に配置する最初の錨地と錨泊地境界線との間に距離を開けて配置する場合



(4) 2列目以降に配置する2隻目からの配置

図5. 1 錨地の配置アルゴリズム

④ 2列目以降も同様に錨地の右側に次の錨地を順次配置していく。その際に、図5. 1の(4)に示す錨地F, G, Bにおいて、錨地Fとこれに隣接する錨地Gの間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えないために必要な錨地Bまでの距離  $d_{FGB}$  と、錨



地G, H, Cにおいて、錨地Gとこれに隣接する錨地Hの間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えないために必要な錨地Cまでの距離  $d_{GHC}$  とを比較して、大きい方の距離をもって錨地Gを配置する。

又、錨地F, G, Bにおいて、錨地Fと錨地Gの離隔距離については、錨地Fとこれに隣接する錨地Gの間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えないために必要な錨泊船間距離  $l_{FG}$  だけ錨地Fから離して錨地Gを配置する。錨泊船の間を航行する船舶の大きさについては、錨地Bの錨泊船と同じ大きさとして設定した。

- ⑤横方向に錨地を配置できる間、④を繰り返す。配置しようとする錨地の位置が錨泊地の範囲を超え、その列に配置できなくなった場合、次列以降③、④を錨泊地内に錨地配置できる限り繰り返す。

### 5. 2. 2 錨地と錨泊船との関係

錨泊船の位置は、風や潮流の方向により錨を中心として円を描くように変化する。錨地配置の設計段階では、錨泊船の位置を特定することはできないため、5. 2. 1のアルゴリズム策定の段階では、1隻の錨泊船に必要な半径をもった円として扱った。一方、錨泊船の間を縫って航行する船舶の操船者にとっては、錨泊船そのものが困難感を課される対象であり、錨地としての領域を意識するものではない。錨地と錨泊船の関係を、図5. 2に示す。

図5. 2の中で、実線で描いた円は錨地の大きさを示している。また、破線で描き、ハッチングを行った円は、航行船の操船者がこれ以上錨泊船に近づきたくないとする領域<sup>(15)</sup>を示しており、操船者に課される困難感を算定する際の対象となる領域である。

それぞれの錨泊船は、独自の振り回り運動を行っているので、厳密には瞬時瞬時の位置は異なるものの、同じ風、潮流という環境にある場合、ほぼ同じ方向に存在しているものと考えられる。その場合、図5. 2に示したように、それぞれの錨泊船の中心を結ぶことによって得られる三角形と、それぞれの錨地の中心を結ぶことによって得られる三角形とは、錨泊船の大きさが異なる場合には若干いびつになるものの、ほぼ合同であると考えられる。

そこで本研究では、順次錨地の配置を進めていく段階においては、あたかも錨泊船が錨地の中心にあるような状態を設定する。そして、錨地の中心間距離が、錨泊船の間を航行

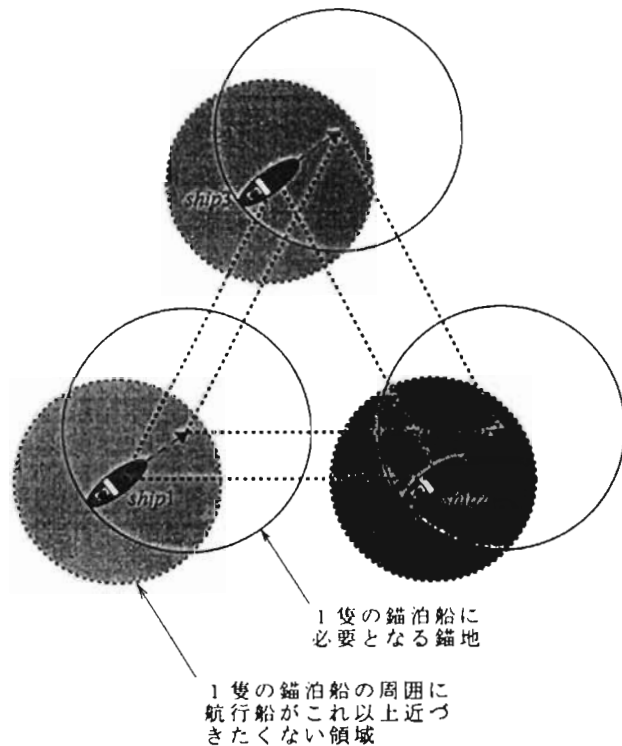


図5. 2 錨地と錨泊船との関係

する際に操船者に困難感を課さないために必要な距離となるように配置していくことを考える。

### 5.3 計算結果

5.2.1で示した錨地配置アルゴリズムにより、錨地S、M、Lのあらゆる組み合わせに対して作成された錨地配置計画代替案の一覧を、表5.1に示す。このときの計算条件として、錨泊地の条件を横3000m、縦3000mの正方形の形状とした。また、水深は20mとした。さらに錨泊船の条件として、錨地S、M、Lのそれぞれの船型について、Sタイプを長さ130m、Mタイプを長さ200m、Lタイプを長さ280mとした。表1には、錨泊地内に配置できた錨地の個数と、錨地を配置した際にできるデッドスペースに着目して求めた利用効率を示している。利用効率は、(5.2)式に示すように、実際に錨泊地として利用している水域の面積の割合を、錨泊地としてあらかじめ用意された一定の範囲の水域全体の面積を100としてあらわしたものである。

$$\text{利用効率} = \frac{\text{実際に錨泊地として利用している水域の面積}}{\text{錨泊地としての水域全体の面積}} \times 100(\%) \quad (5.2)$$

利用効率の数値が大きい程錨泊地を効率よく利用していることとなり、錨地配置計画代替案を選択する際の目安となる。

なお、錨泊地条件については、任意の形状、面積を設定することが可能である。

表5.1に示されている錨地配置計画代替案の中で最も利用効率の高い代替案における錨地配置の状況を図5.3に示す。図5.3の中の破線の内側は、錨地が配置された結果実際に錨泊地の中で利用されている水域を示している。破線の外側と錨泊地の境界線の間領域は、錨泊地の中で利用されていないデッドスペースとなる。

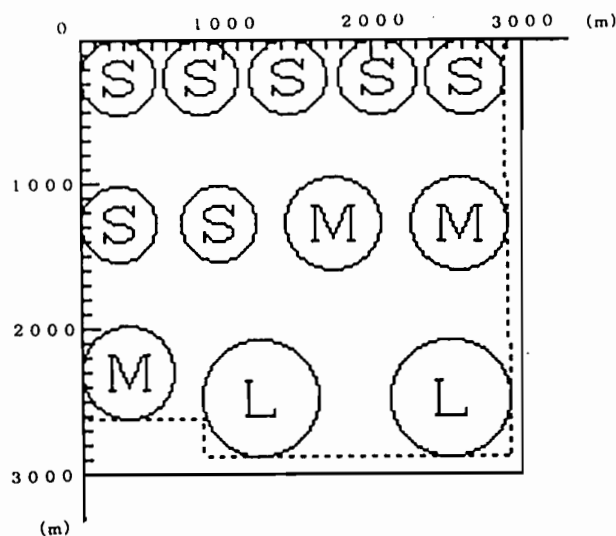


図5.3 錨地配置計画代替案の一例

今回の錨泊地条件、錨泊船条件の下では、図5.3に示した錨泊船Sタイプ（長さ130m）が7隻分、錨泊船Mタイプ（長さ200m）が3隻分、錨泊船Lタイプ（長さ280m）が2隻分の錨地を配置する錨地配置計画代替案が、利用効率の点から見ると最もよいものとなる。

表5.1より、港湾の施設提供者は、設計目標として設定した港湾の規模や能力に応じて船型ごとに収容すべき隻数という前提条件を満たした上で、できるだけ錨泊地利用効率に優れる案、または、より多くの錨地配置が可能な案があればそれらも代替案として抽出することができる。そして、これらの代替案は、錨泊船の間を縫って航行する際の航行船の操船者に課される困難感が、操船者の許容範囲以内となっている。

これにより、港湾の施設提供者は、指定錨地方式において錨地配置を計画立案する際、操船者に課される困難感を事前に考慮した上で、さまざまな錨地配置計画代替案を作成し、比較検討することが可能となる。

表 5. 1 錨地配置計画代替案

錨泊地の境界線に詰めて配置する場合

	S	M	L	隻数 合計	錨泊地 利用効率
Sのみ	13	0	0	13	75.81
SとM	12	1	0	13	77.177
	11	2	0	13	78.668
	10	2	0	12	71.891
	9	3	0	12	74.078
	8	4	0	12	75.984
	7	5	0	12	84.538
	6	5	0	11	77.094
	5	6	0	11	79.546
	4	6	0	10	76.077
	3	5	0	8	56.474
	2	5	0	7	53.658
	1	5	0	6	52.186
	1	4	0	5	40.557
Mのみ	0	6	0	6	53.898
MとL	0	5	0	5	41.464
	0	4	1	5	44.266
	0	3	2	5	47.481
	0	2	3	5	54.111
	0	1	3	4	52.147
Lのみ	0	0	4	4	54.45
SとL	12	0	1	13	79.258
	11	0	1	12	72.362
	10	0	2	12	77.182
	9	0	3	12	81.579
	8	0	3	11	85.512
	7	0	2	9	54.054
	6	0	2	8	47.273
	5	0	3	8	52.196
	4	0	3	7	46.872
	3	0	4	7	58.444
	2	0	3	5	43.569
	1	0	3	4	50.132
SとM とL	11	1	0	12	69.795
	10	1	1	12	74.511
	9	2	1	12	76.673
	9	1	2	12	79.359
	8	3	1	12	80.129
	8	2	2	12	82.683
	8	1	3	12	85.326
	7	4	1	12	87.356
	7	3	2	12	90.403
	7	2	2	11	74.714
	7	1	2	10	64.612
	6	4	0	10	66.457
	6	3	1	10	69.258
	6	2	2	10	72.497
	6	1	2	9	57.346
	5	5	0	10	68.071
	5	4	1	10	70.873
	5	3	2	10	74.115
	5	2	2	9	59.085
	5	1	2	8	49.449
	4	5	0	9	64.602
	4	4	1	9	67.404
	4	3	2	9	70.645
	4	2	2	8	54.965
	4	1	2	7	44.764
	3	4	1	8	58.963
	3	3	2	8	62.551
	3	2	2	7	50.248
	3	1	3	7	41.425
	2	4	1	7	56.477
	2	3	2	7	59.626
	2	2	2	6	43.698
	2	1	2	5	37.196
	1	3	1	5	43.359
	1	2	2	5	46.574
	1	1	3	5	52.977

錨泊地の境界線との間に距離を開けて配置する場合

	S	M	L	隻数 合計	錨泊地 利用効率
Sのみ	13	0	0	13	73.077
SとM	12	1	0	13	75.125
	11	2	0	13	77.238
	10	2	0	12	71.218
	9	2	0	11	63.204
	8	2	0	10	55.813
	7	3	0	10	58.843
	6	4	0	10	66.16
	5	5	0	10	67.838
	4	5	0	9	62.606
	3	4	0	7	48.62
	2	5	0	7	52.91
	1	4	0	5	39.997
	0	5	0	5	41.448
Mのみ	0	4	1	5	44.079
MとL	0	3	2	5	46.51
	0	2	3	5	53.112
	0	1	3	4	47.265
Lのみ	0	0	3	3	31.124
SとL	12	0	1	13	77.748
	11	0	1	12	69.668
	10	0	1	11	63.647
	9	0	2	11	68.571
	8	0	2	10	60.411
	7	0	2	9	53.452
	6	0	2	8	47.273
	5	0	2	7	39.334
	4	0	2	6	36.031
	3	0	3	6	47.718
	2	0	3	5	42.433
	1	0	3	4	46.64
SとM とL	11	1	0	12	67.061
	10	1	0	11	61.041
	9	2	0	11	63.22
	9	1	1	11	65.823
	8	2	0	10	55.83
	8	1	1	10	58.207
	7	3	0	10	58.86
	7	2	0	9	55.83
	7	1	2	10	63.971
	6	4	0	10	66.177
	6	3	1	10	68.426
	6	2	2	10	70.93
	6	1	1	8	44.601
	5	4	0	9	69.839
	5	3	2	10	72.351
	5	2	1	8	46.781
	5	1	2	8	49.101
	4	4	1	9	64.607
	4	3	2	9	67.053
	4	2	1	7	41.222
	4	1	2	7	43.293
	3	3	0	6	35.553
	3	2	1	6	38.37
	3	1	2	6	40.894
	2	4	0	6	37.826
	2	3	1	6	40.644
	2	2	2	6	50.272
	2	1	2	5	41.562
	1	4	0	5	40.014
	1	3	1	5	42.816
	1	2	2	5	45.584
	1	1	3	5	51.841
	0	5	0	5	41.464

## 5. 4 ケーススタディ

### 5. 4. 1 神戸港の場合

現在、神戸港において計画されている六甲アイランド沖の錨泊地での錨地配置計画案を図5. 4に示す。図5. 4の中の太い実線は、錨泊地として利用可能と考えられる水域を示している。錨地配置計画において各船型は、Sタイプとして長さ130m、Mタイプとして長さ200m、Lタイプとして長さ350mが設定されている。また、錨泊地の平均水深は15. 7mである。神戸港における錨地配置計画案では、Sタイプ（長さ130m）が1隻分、Mタイプ（長さ200m）が3隻分、Lタイプ（長さ350m）が2隻分の錨地を配置する計画案となっている。

神戸港における錨地配置計画案と同じ錨泊地条件、錨泊船条件の下で、あらゆる船型の組み合わせによる錨地配置計画代替案を、5. 2. 1で示した錨地配置アルゴリズムに基づいたコンピュータプログラムにより作成した。コンピュータプログラムの詳細については第7章で説明する。神戸港において計画されているSタイプ（長さ130m）が1隻分、Mタイプ（長さ200m）が3隻分、Lタイプ（長さ350m）が2隻分の配置個数を希望配置個数として、これを絞り込みの条件とした時にコンピュータプログラムにしたがって得られる代替案を図5. 5に示す。この錨地配置計画代替案の錨泊地利用効率は57%である。

ここで開発したコンピュータプログラムが作成した出力によると、Sタイプ（長さ130m）が1隻分、Mタイプ（長さ200m）が3隻分、Lタイプ（長さ350m）が2隻分の配置個数を確保した上で、さらにこれを上回る錨地を配置できる計画代替案は今回設定した錨地配置アルゴリズムの下では存在しない。このことは、錨泊地内にさらに新たな錨地を配置しうる余地が無いことを意味している。神戸港における錨地配置計画案は、神

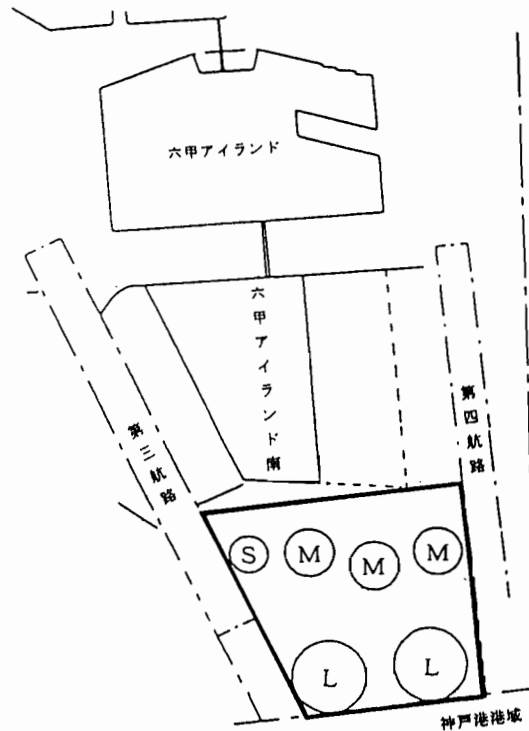


図5. 4 神戸港における錨地配置計画案

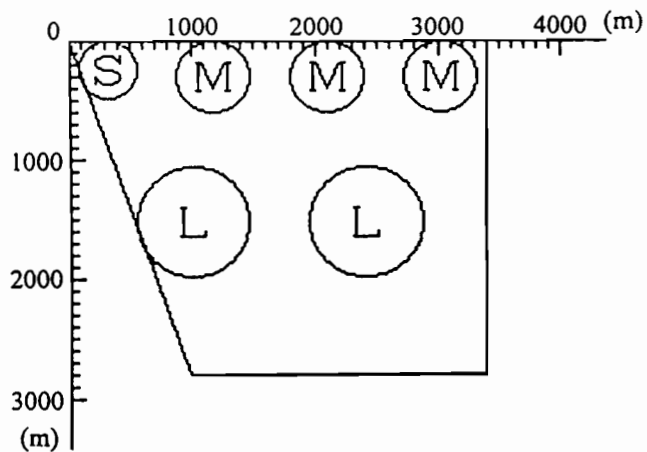


図5. 5 神戸港における錨地配置計画代替案

戸港における錨泊地条件、錨泊船条件、絞り込み条件の下で最も多く錨地を配置する計画案が提案されているといえる。

#### 5. 4. 2 大阪港の場合

これまでに示した例では、同じ錨泊地の形状、面積であれば、小型の錨地から配置していく方が、大型の錨地から配置していくよりもより多く配置できることから、錨泊地の奥から小型の錨地を配置していくアルゴリズムにもとづいて錨地配置計画代替案を作成した。一方、現実の港湾における計画の意図によっては、錨泊地の利用効率からみれば不利となるものの、大型の錨地から配置していくことが望まれることもある。

大阪港において現在計画されている錨地配置計画案は、大型の錨地から配置していく場合に該当する。大阪港における錨地配置計画案を図5. 5に示す。図5. 5の中の太い実線は、錨泊地として利用可能と考えられる水域を示している。錨地配置計画において各船型は、Sタイプとして長さ140m、Mタイプとして長さ200mが設定されている。また、錨泊地の平均水深は13.3mである。大阪港における錨地配置計画案では、Sタイプ（長さ140m）が3隻分、Mタイプ（長さ200m）が2隻分の錨地を配置する計画案となっている。

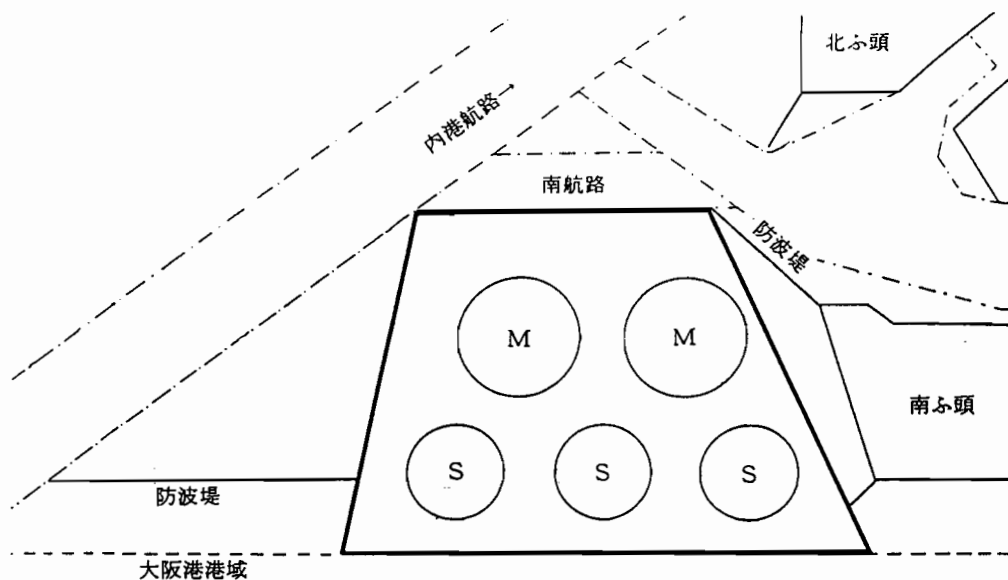


図5. 6 大阪港における錨地配置計画案

大阪港における錨地配置計画案と同じ錨泊地条件、錨泊船条件の下で、大型の錨地から配置する錨地配置計画代替案をコンピュータプログラムにより作成した。大阪港において計画されているSタイプ（長さ140m）が3隻分、Mタイプ（長さ200m）が2隻分の配置個数を希望配置個数として、これを絞り込みの条件とした時に、コンピュータプログラムにしたがって得られる代替案を図5. 6に示す。この錨地配置計画代替案の錨泊地利用効率は74%である。

ここで開発したコンピュータプログラムが作成した出力によると、Sタイプ（長さ140m）が3隻分、Mタイプ（長さ200m）が2隻分の配置個数を確保した上で、さらにこれを上回る錨地を配置できる計画代替案は今回設定した錨地配置アルゴリズムの下では

存在しない。このことは、錨泊地内にさらに新たな錨地を配置しうる余地が無いことを意味している。大阪港の錨地配置計画案についても、大阪港における錨泊地条件、錨泊船条件、絞り込み条件の下で最も多く錨地を配置する計画案が提案されているといえる。

以上のケーススタディにとりあげた神戸港と大阪港の錨地配置計画案は、すでに海防審議の場でパイロットや船長などの船舶運航実務者から手直しを受け調整がは

られた後に承認されたものである。このように船舶運航実務者の意見を反映した提示案と、ここに策定した船舶運航実務者の意識を事前に考慮に入れた錨地配置アルゴリズムによる策定結果が良い一致を示した。これはつまり、これまで経験的になされてきた錨地配置計画に対し、ここに策定した錨地配置アルゴリズムにもとづく錨地配置設計支援ツールは、基本的には実務的に代替できる可能性があることを示しているといえよう。

### 5. 5 指定錨地方式における錨泊地設計の考え方

これまでの検討から、港湾の施設提供者が、指定錨地方式における錨泊地を設計する際の考え方を以下に示す。

まず、錨泊地設計において施設提供者は、任意の形状、面積を持った錨泊地において、希望する錨泊船の大きさによる錨地規模の組合せのもとで、どれだけの数の錨地の配置が可能であるかを知ることが必要となる。そのためには、次の手順で錨地配置設計代替案の抽出を行う。

- (1)指定錨地方式の錨泊地においては、錨地位置の決定は、設計者が事前に行うことになる。そこで、与えられた錨泊地の形状、面積、水深及び船舶の大きさ、船型の組合せの下で、錨泊船の間を船舶が縫って航行する際に、操船者に困難感を与えないために必要な距離をもって配置する。その際には、錨地配置の基本要件をもとにする。
- (2)錨地配置の基本要件をもとに策定した指定錨地方式における錨地配置アルゴリズムを使用し、操船者に困難感を与えないことを条件とした錨地配置設計代替案を網羅的に得る。
- (3)そして、施設提供者が設定する前提条件のもとで錨泊地を効率的に利用できる案、または、その周辺の代替案を絞り込みながら、与えられた錨泊地条件下で、錨泊船の船型と錨地の配置個数の任意の組み合わせを満足する代替案を施設提供者は選択する。

一方、施設提供者は、与えられた船型にもとづく錨地規模の構成の下での希望する収容隻数を満足するためには、錨泊地の面積がどれほど必要であるかを知ることが必要である。そのためには、次のように錨地配置設計代替案の抽出を行う。

- (1)錨泊地条件を設定し、錨地配置の基本要件をもとに策定した指定錨地方式における錨地配置アルゴリズムを使用し、操船者に困難感を与えないことを条件とした錨地配置設計代替案を網羅的に得る。

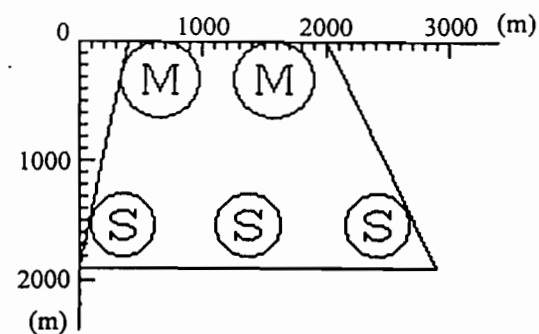


図5. 7 大阪港における錨地配置計画代替案

- (2)得られた錨地配置設計代替案の中に、希望する錨地規模の構成を満足している代替案を抽出する。抽出する際には、絞り込み条件を設定することによりコンピュータシステムが行う。
- (3)希望する錨地規模の構成を満足する代替案が得られない場合には、錨泊地条件を変更して、満足する代替案が得られるまで(1)と(2)の手順を繰り返す。

## 5.6 結語

本章では、港湾の施設提供者が錨泊地の設計を行う際に従来基準の定めが無かった複数の錨地の配置設計の問題について、環境ストレスモデルを適用し、錨泊船の間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えないことを条件とした、指定錨地方式における錨地の配置設計の考え方について検討を行った。

5.2では、錨泊船の間を縫って航行する際の航行船の操船者に困難感を与えないことを条件とした、指定錨地方式における錨地の配置計画代替案を作成するためのアルゴリズムを示した。

5.3では、5.2で策定したアルゴリズムを用いて、日本国内の代表的な港湾である神戸港と大阪港についてケーススタディを行い、5.2で策定した錨地配置のアルゴリズムの妥当性を示した。

## 第6章 面錨地方式における錨泊地の容量とその設計<sup>(6.8)</sup>

### 6.1 概説

港湾の施設提供者が面錨地方式を対象とした錨泊地設計を行うには、与えられた錨泊地条件、錨泊船条件の下で、錨泊地内に何隻の錨泊船を収容できるかという錨泊地の容量を把握することが必要である。錨泊地の容量を推定する方法については、錨泊船の振れ回り範囲を考慮して容量を推定する方法が過去の研究<sup>(4)~(7)</sup>において検討されている。しかしながら、複数の錨泊船の間を縫って航行する際に航行船の操船者に課される困難感を考慮した錨泊地の容量に関する研究は行われていない。そこで、本章では、面錨地方式において錨泊地の容量を推定する方法の検討を中心に分析をすすめる。

まず、6.2では、本研究における面錨地方式を対象とした錨泊地設計の考え方を示す。6.3では、モンテカルロ法を用いたコンピュータシミュレーションによる錨泊地の容量を推定する方法について示す。6.4では、実際の錨泊地における錨泊地の収容隻数である実用容量を推定する方法について示す。6.5では、基本容量と実用容量との関係を明らかにする。さらに、6.6では、6.3、6.4、6.5での検討をもとに、面錨地方式における錨泊地設計の考え方として整理する。

### 6.2 面錨地方式を対象とした錨泊地設計の考え方

港湾設計者が面錨地方式を対象とした錨泊地設計を行うには、第一に現状または将来における利用状況から、港湾において錨泊地を利用する錨泊船が何隻存在するかという錨泊地に対する需要を明らかにすることが必要である。次に、設定した錨泊船条件（船舶の大きさ）と錨泊地条件（形状、面積、水深）の下で、錨泊地内に錨泊船を何隻収容できるかという錨泊地の容量を明らかにすることである。そして、錨泊地の容量が需要を満たしているかを判断することになる。設定条件の下での錨泊地の容量が需要を満たしていないと判断される場合には、需要を満たすために錨泊地条件の見直しを行うことになる。そのためには、任意の錨泊地の形状、面積においてどれだけの数の錨泊地が配置できるかを把握することができる必要がある。また、希望する錨泊船条件のもとで、どれだけの錨泊地の形状、面積が必要とされるかを把握できる必要がある。

4.2で示したように、一定の範囲の錨泊地の中に錨泊地をできるだけ効率よく配置し、最も多くの収容隻数を見出す問題について、その解を求めるプロセスは、オペレーションズリサーチの分野において板取り問題(Cutting Stock Problem)と呼ばれる。この種の組合せ最適化問題においては、考えられる組合せを全て調べ、その中から最適解を求めることが必要となる。板取り問題には、緩和法、シミュレーテッドアニーリング法、遺伝的アルゴリズムなどという解法が用いられる。そのため板取り問題の解は、最も効率よく配置された結果として錨泊地内に収容できる最大隻数を示すことになる。しかしながら、実際の港湾においては、錨泊船の投錨位置の決定が操船者の判断に委ねられており、また種々の船型の船が錨泊地に到着した順序によって、板取り問題による解と結果として錨泊地内に収容可能な隻数は異なることになる。

そのため、4.3で示したように、本研究では、板取り問題による解とは異なるが、それに近い解が得られ、なおかつ極めて容易に錨泊地の収容隻数を推定する方法としてモンテカルロ法による推定法をとりあげる。この方法は、与えられた錨泊地条件、錨泊船条件



の下で、ランダムに到着した船舶がランダムに錨地位置を設定していくと仮定し、モンテカルロ法<sup>(58)・(59)</sup>を用いたコンピュータシミュレーションを行うことによって、収容隻数を明らかにする考え方である。そして、モンテカルロ法によるコンピュータシミュレーションの結果得られる収容隻数を錨泊地設計の基本要素として扱うことにし、ここでは錨泊地の「基本容量」と定義する。

一方、現実の面錨地方式による錨泊地においては、錨泊しようとする船の操船者は、隣り合う船舶との間に最少限離したい間隔以上の距離を離して投錨位置を決めるであろう。また、選択した投錨地点まで錨泊地外から錨泊船の間を縫って航行できるかどうかを考慮した上で投錨位置を決めるであろう。このような操船者の行動意識が反映された結果として、錨泊地内に実際に収容できる隻数を、ここでは錨泊地の「実用容量」と定義する。

### 6.3 基本容量の推定

#### 6.3.1 モンテカルロ法による錨泊地の容量推定

図6.1は、モンテカルロ法による基本容量の推定の手順を示している。基本容量の推定にあたっての基本条件は次のとおりである。

- (1)錨泊地の形状、面積、水深はあらかじめ与える。
- (2)錨泊船の大きさを便宜上S, M, Lの3種類とする。

また、既に存在している船の錨地と次に配置しようとしている錨地位置が重ならないことを必要条件とした。そして、錨泊地内に錨泊可能な余地が無いことを終了条件とした。錨泊可能な余地の有無については、錨泊地内を錨泊地規模に比べ十分小さい10mメッシュに分割し、各メッシュ毎に錨地位置が必要条件を満足するかどうかを判断することにより行う。

錨地位置の選択には、一様乱数を用いたコンピュータプログラムにより求めた錨泊地内の位置を用いる。なお、一様乱数の発生には、使用したワークステーションのC言語の数学ライブラリーに含まれる線形合同法にもとづく一様乱数発生関数を使用した。使用した関数の乱数発生状況については、 $\chi^2$ 分布にもとづく適合度の検定により一様性の確認を行った。また、乱数発生の周期性についても、今回の計算回数においては乱数発生アルゴリズム上問題が無いことを確認した。

基本条件と必要条件の下で、終了条件が成立するまで錨地位置の決定を繰り返し行うことにより、基本容量を推定する。

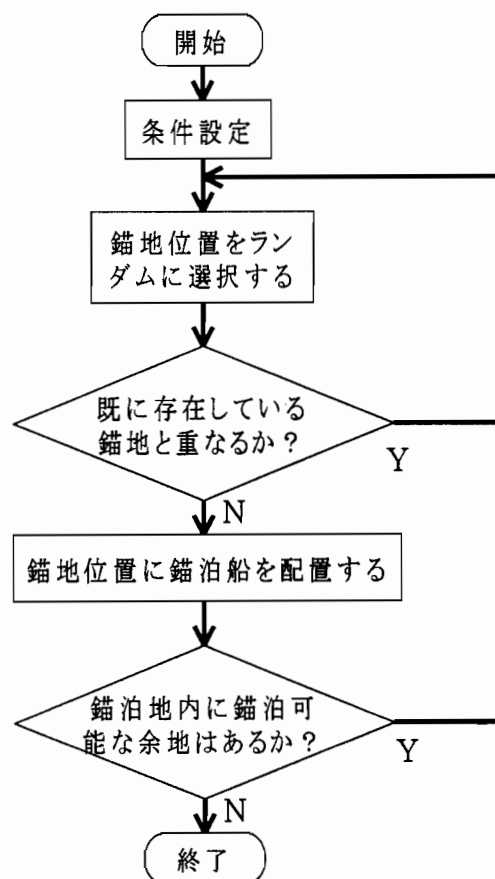


図6.1 基本容量推定手順

### 6. 3. 2 基本容量の計算結果

#### 6. 3. 2. 1 同じ大きさの錨泊船の場合

図6. 2は、6. 3. 1に示した手順により基本容量を推定した結果の一例を示している。このときの計算条件として、錨泊地条件を幅3000mの正方形で、水深を20mと

した。錨泊船条件として、錨地S, M, Lのそれぞれの船型について、Sタイプを長さ130m、Mタイプを長さ200m、Lタイプを長さ280mとした。図6. 2によると、Sタイプ（長さ130m）においては、最大値25隻、最小値19隻の範囲におい

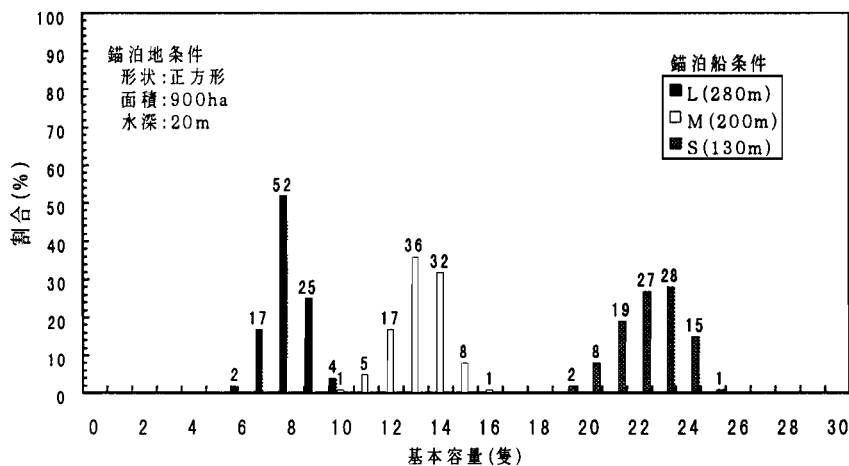


図6. 2 基本容量の計算結果

て分布をなしている。Mタイプ（長さ200m）においては、最大値16隻、最小値10隻の範囲において分布をなしている。Lタイプ（長さ280m）においては、最大値9隻、最小値6隻の範囲において分布をなしている。ここでは、設定した錨泊地条件、錨泊船条件の下での基本容量の平均と標準偏差を求め、基本容量の分布の様子を平均と標準偏差を用いて表すこととした。以後、基本容量の分布の平均を「平均基本容量」とし、基本容量の分布の標準偏差を「標準偏差（基本）」とする。

なお、基本容量の分布を求めるための試行回数を順次増やして計算を行った結果、試行回数100回以上では基本容量の分布の様子に差が見られなかった。そこで、今後の計算において試行回数は100回とした。

図6. 3は、図6. 2と同じ錨泊船条件の下で、錨泊地条件として形状を正方形とした上で面積を系統的に変えた時の錨泊地面積と平均基本容量との関係を示している。例えば、Sタイプ（長さ130m）において、錨泊地面積が100haの場合平均基本容量は2隻、錨泊地面積が400haの場合平均基本容量は9隻、錨泊地面積が9

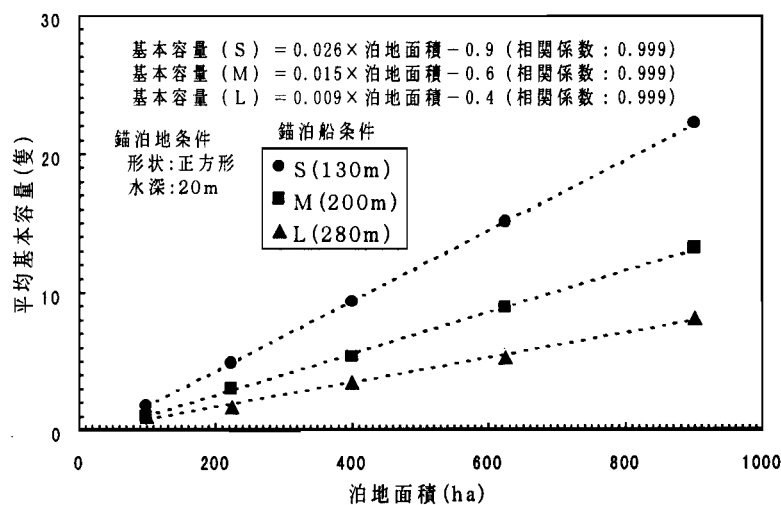


図6. 3 錨泊地面積と平均基本容量との関係

00haの場合平均基本容量は24隻となる。このように錨泊地面積が広がるほど一般に収容できる錨泊船の隻数が多くなり、結果として平均基本容量も多くなる。そのため、平均基本容量は錨泊地面積に依存することになる。そこで、錨泊地面積を説明変数に、平均基本容量を被説明変数に回帰分析を行った結果、次式を得た。

Sタイプ（長さ130m）：

$$\text{平均基本容量} = 0.026 \times \text{錨泊地面積} - 0.9 \quad (6.1)$$

（相関係数：0.999）

Mタイプ（長さ200m）：

$$\text{平均基本容量} = 0.015 \times \text{錨泊地面積} - 0.6 \quad (6.2)$$

（相関係数：0.999）

Lタイプ（長さ280m）：

$$\text{平均基本容量} = 0.009 \times \text{錨泊地面積} - 0.4 \quad (6.3)$$

（相関係数：0.999）

これらの関係式を用いることにより、計算条件としなかった錨泊地面積に対する平均基本容量を推定することができる。

図6.4は、平均基本容量と標準偏差（基本）との関係を示している。Sタイプ（長さ130m）、Mタイプ（長さ200m）、Lタイプ（長さ280m）のいずれも、平均基本容量が多くなる程錨泊船の配置される位置のばらつきも多くなり、結果として標準偏差（基本）が大きくなる。

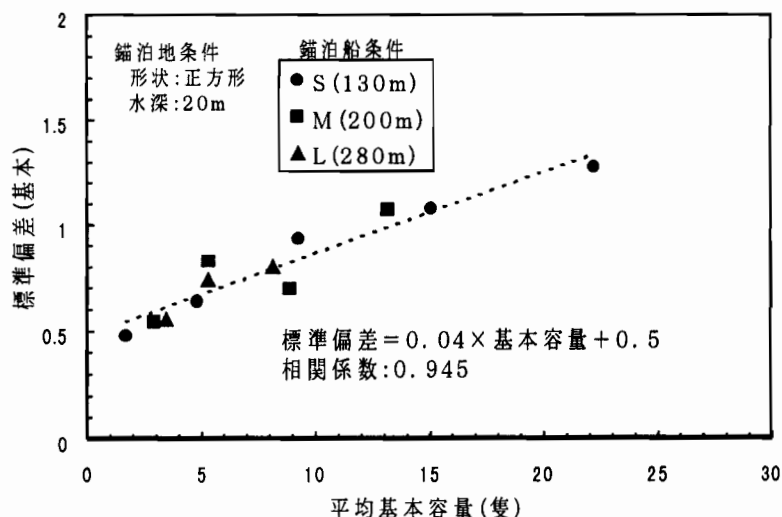


図6.4 平均基本容量と標準偏差（基本）との関係

また、船型のタイプに関わらず、標準偏差（基本）

は平均基本容量に依存することが分かる。そこで、S、M、Lの全ての結果について平均基本容量を説明変数に、標準偏差（基本）を被説明変数に回帰分析を適用した結果次式を得た。

$$\text{標準偏差（基本）} = 0.04 \times \text{平均基本容量} + 0.5 \quad (6.4)$$

（相関係数：0.945）

この関係式によると、標準偏差（基本）は平均基本容量の4%程度と見てよいといえる。

### 6.3.2.2 異なる大きさの錨泊船の場合

異なる大きさの錨泊船の組合せを錨泊船条件とした場合には、同じ大きさの錨泊船のみを錨泊船条件とした場合と異なり、収容隻数が同じであっても、錨泊地に配置されている船型構成が違うものであれば収容隻数をもって錨泊地の能力としてみることはできない。異なる船型の船舶が同一の環境を利用する際に生じるこのような問題について、海上交通

工学の分野では、標準の船型を設定し、標準船の船長によって基準化するL換算という手法がよく用いられている。標準船の船型としては、1000総トン、長さ70mが一般に用いられている。そこで、本研究においても、異なる大きさの錨泊船を組合せた場合の錨泊地の容量には、標準船型を長さ70mとしたL換算後の容量を検討することとした。

6.3.1に示した手順により求めた基本容量に対して、錨泊地に配置された船舶ごとにL換算を行った後の容量を「L換算基本容量」とする。さらに、L換算基本容量の平均を「平均L換算基本容量」とする。

図6.5は、船型の構成比率と平均L換算基本容量との関係を示している。このときの錨泊船条件及び錨泊地条件は、6.3.2.1での計算条件と同一のものとした。図6.5の横軸は、S, M, Lの各タイプの構成比率を示している。図6.5から、船型の構成比率を変えても、平均L換算基本容量はほぼ一定であることが分かる。このことは、平均L換算基本容量を用いることにより、船型の構成比率が異なっても、錨泊地の能力としての容量を統一的に表現できることを意味する。

図6.6は、錨泊地面積と平均L換算基本容量との関係を示している。平均L換算基本容量の計算には、同じ大きさの錨泊船の場合も含んでいる。同じ大きさの船の場合と同様に、錨泊地面積を説明変数に、平均L換算基本容量を被説明変数に回帰分析を行った結果、次式を得た。

$$\text{平均L換算基本容量} = 0.047 \times \text{錨泊地面積} - 1.0 \quad (6.5)$$

(相関係数: 0.999)

この関係式を用いることにより、計算条件としなかった錨泊地面積に対する平均L換算基本容量を求めることができる。

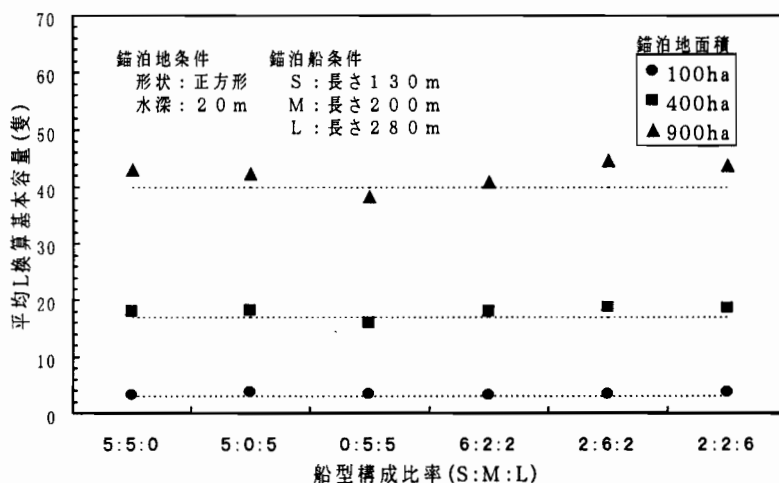


図6.5 船型構成比率と平均L換算基本容量との関係

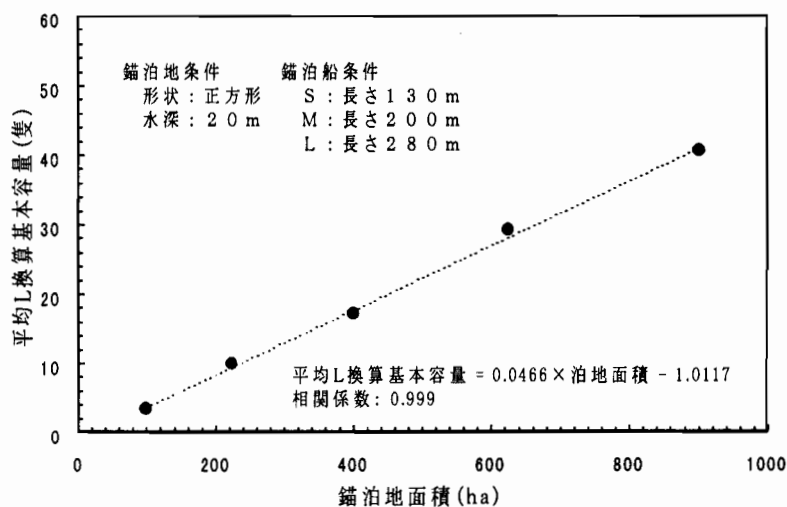


図6.6 錨泊地面積と平均L換算基本容量との関係

基本容量の標準偏差についてもL換算を行った場合、船型の構成比率が変わってもほぼ一定の値となった。そこで、基本容量の標準偏差についてもL換算を行ったものを用いることとし、これをL換算標準偏差（基本）とする。

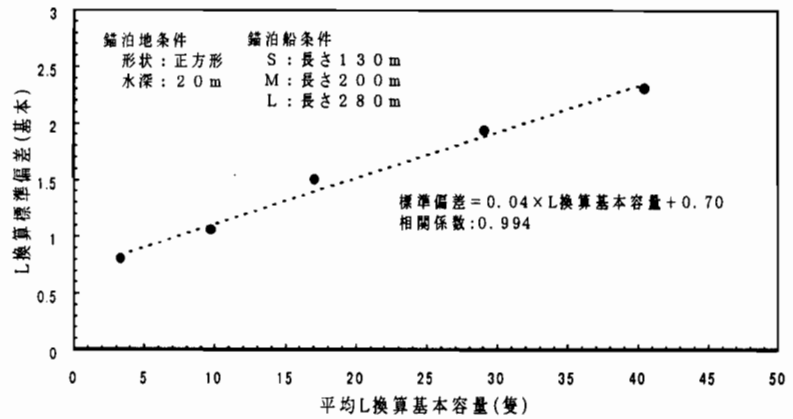


図6.7 平均L換算基本容量とL換算標準偏差（基本）との関係

図6.7は、平均L換算基本容量とL換算標準偏差（基本）との関係を示している。L換算標準偏差（基本）の計算には、同じ大きさの錨泊船の場合も含んでいる。同じ大きさの船の場合と同様に、平均L換算基本容量を説明変数に、L換算標準偏差（基本）を被説明変数に回帰分析を適用した結果次式を得た。

L換算標準偏差（基本）の計算には、同じ大きさの錨泊船の場合も含んでいる。同じ大きさの船の場合と同様に、平均L換算基本容量を説明変数に、L換算標準偏差（基本）を被説明変数に回帰分析を適用した結果次式を得た。

$$L \text{換算標準偏差（基本）} = 0.04 \times \text{平均L換算基本容量} + 0.7 \quad (6.6)$$

(相関係数：0.994)

この関係式によると、L換算標準偏差（基本）は平均基本容量の4%程度と見てよいといえる。

以上のことは、港湾施設提供者が錨泊地設計を行う際に、異なる大きさの錨泊船の場合であっても、対象とする錨泊船条件と錨泊地条件をさまざまに変えて、モンテカルロ法を用いてL換算基本容量を求めることにより、錨泊地内の収容隻数を推定できることを意味する。

## 6.4 実用容量の推定

### 6.4.1 錨地間離隔距離、錨泊船間航行を考慮したときの錨泊地容量

図6.8は、実用容量の推定の手順を示している。実用容量の推定にあたっての基本条件には、基本容量における基本条件に以下を加えたものとする。

(3)航行船の錨泊地への進入方向は錨泊地手前からの1方向のみとする。

さらに、既に存在している船の錨地と、次に到着した船が投錨しようとしている予定錨地との間に最低限離したい距離以上の間隔があることと、錨泊地外からその船の予定錨地までのルートがあることを必要条件とした。

既に存在している船の錨地と次の船の予定錨地との間に最低限離したい距離については、過去の文献<sup>(7)</sup>を考慮して設定した。具体的には、既に存在している船の錨地の円と次に到着した船の錨地の円との間隔が、既に存在している船の長さで次に到着した船の長さの平均以上あることを錨地選択の条件とした。

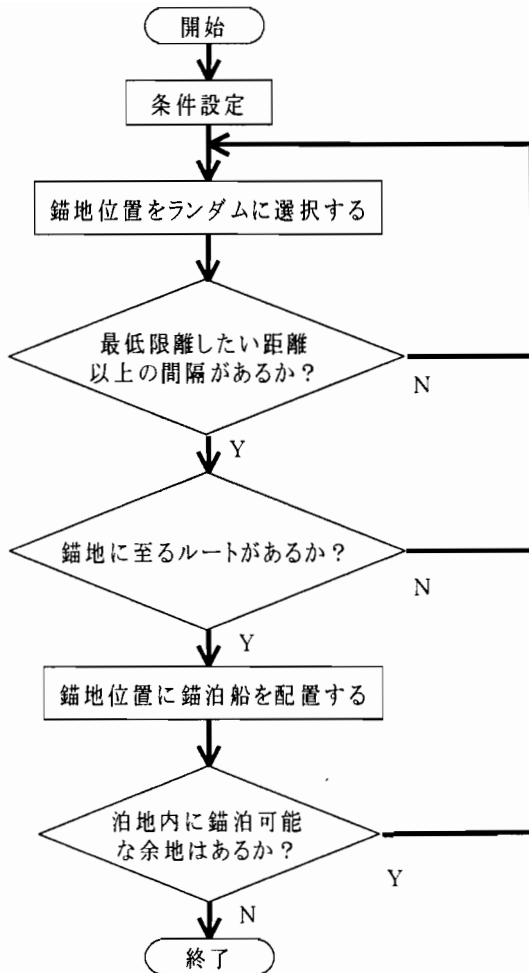


図 6. 8 実用容量推定手順

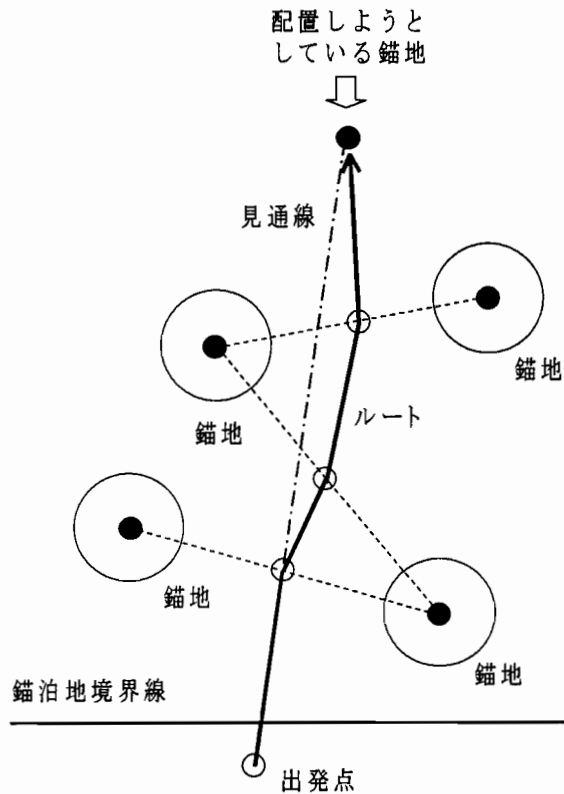


図 6. 9 ルートの設定方法

図 6. 9 は、錨泊地外から予定錨地までのルートの設定方法を示している。ルートの設定にあたっては、操船者の操船判断を考慮して、以下のような条件を設定した。

- ①隣接して存在している錨地の中心を結ぶ線上の、それぞれの錨地の円の間の等分点を変針点とする。
- ②予定錨地までの間に既存の錨地が無く、最初の変針点を通り、予定錨地を見通すことができる錨泊地外の位置を出発点とする。  
見通すことができる出発点がない場合はルートとして設定しない。
- ③針路は、出発点から予定錨地に向かうもののみとする。したがって、出発点方向に戻るような大回りとなるルートは設定しない。
- ④錨泊船間を航行する際の速力については、4ノット一定とする。

以上の条件により設定したルートを航行船が航行したとき、操船者に与える困難感の大きさを環境ストレスモデル<sup>(43)</sup>を適用して求め、環境ストレス値のピークの大きさが操船者にとって許容範囲内であることをルートの有無の条件とする。これは、環境ストレスモデルにおいては、錨泊船の間を船舶が航行する際の環境ストレス値が750以下であることを意味する。一般に障害物の至近を通航するとき、操船者はその障害物に対して一定の離隔距離を確保しようとする。操船者が錨泊船の付近を航行する際にこれ以上近づきたく

ないという離隔距離については、「離隔距離 = 0.89 × 航行船の長さ」<sup>(45)</sup>なる関係式が得られている。そこで、環境ストレス値の計算にあたっては、物理的な衝突ではないものの、錨泊船の中心から錨泊船の周囲に下記の式で示される距離を半径とするバリアがあるものとして計算を行った。

$$\text{半径(m)} = 0.89 \times \text{航行船の長さ(m)} + 0.5 \times \text{錨泊船の長さ(m)} \quad (6.7)$$

そして、錨泊地内に錨泊可能な余地が無いことを終了条件とした。基本条件と必要条件の下で終了条件が成立するまで錨地位置を決定することを繰り返すことにより実用容量を求める。本研究では、第7章に示す錨地配置設計支援システムを利用して、一様乱数を発生することにより錨地位置を選択することや、錨泊地を10mメッシュに分割して錨泊可能な余地の有無による終了の判断を行うことをコンピュータシステムが行い、ルート設定の可否の判断を人間が行うというコンピュータシステムと人間との協調作業によって実用容量を推定した。

#### 6. 4. 2 実用容量の計算結果

##### 6. 4. 2. 1 同じ大きさの錨泊船の場合

図6.10は、6.4.1に示した手順により、実用容量を推定した結果の一例を示している。このときの計算条件は、6.3.2.1において基本容量の推定の際に設定した条件と同一とした。ここでは、設定した錨泊地条件、錨泊船条件の下での実用容量の平均と標準偏差を求め、実用容量の分布の様子を平均と標準偏差を用いて表すこととした。以後、実用容量の分布の平均を「平均実用容量」とし、実用容量の分布の標準偏差を「標準偏差(実用)」とする。なお、実用容量の推定にあたっての試行回数については、基本容量と同様の100回とした。

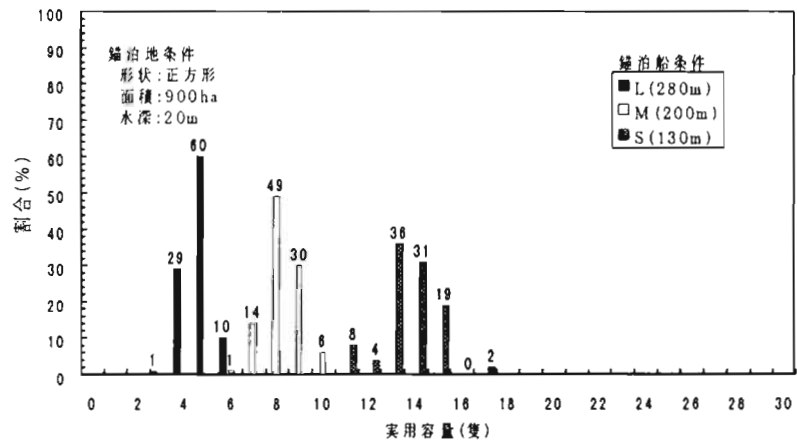


図6.10 実用容量の計算結果

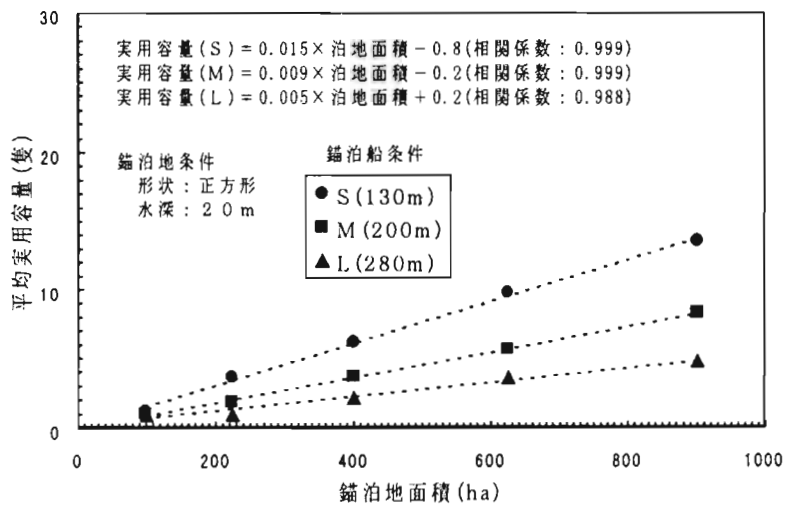


図6.11 錨泊地面積と平均実用容量との関係

図6. 11は、 錨泊地面積と平均実用容量との関係を示している。錨泊地面積を説明変数に、平均実用容量を被説明変数に回帰分析を行った結果、次式を得た。

Sタイプ（長さ130m）：

$$\text{平均実用容量} = 0.015 \times \text{錨泊地面積} - 0.8 \quad (6.8)$$

（相関係数：0.999）

Mタイプ（長さ200m）：

$$\text{平均実用容量} = 0.009 \times \text{錨泊地面積} - 0.2 \quad (6.9)$$

（相関係数：0.999）

Lタイプ（長さ280m）：

$$\text{平均実用容量} = 0.005 \times \text{錨泊地面積} + 0.2 \quad (6.10)$$

（相関係数：0.988）

これらの関係式を用いることにより、計算条件としなかった錨泊地面積に対する平均実用容量を求めることができる。

図6. 12は、平均実用容量と標準偏差（実用）との関係を示している。S, M, Lの全ての結果について平均実用容量を説明変数に、標準偏差（実用）を被説明変数に回帰分析を適用した結果次式を得た。

$$\text{標準偏差（実用）} = 0.06 \times \text{平均実用容量} + 0.3 \quad (6.11)$$

（相関係数：0.970）

この関係式によると、標準偏差（実用）は平均実用容量の6%程度と見てよいといえる。

#### 6. 4. 2. 2 異なる大きさの錨泊船の場合

6. 4. 1に示した手順により求めた実用容量に対して錨泊地に配置された船型ごとにL換算を行った後の容量を、ここでは「L換算実用容量」とする。さらに、L換算実用容量の平均値を「平均L換算実用容量」とする。

図6. 13は、船型の構成比率と平均L換算実用容量との関係を示している。図6. 13の横軸は、S, M, Lの各タイプの構成比率を示している。図6. 13から、船型の構成比率を変えても、平均L換算実用容量はほぼ一定であることが分かる。

図6. 14は、錨泊地面積と平均L換算実用容量との関係を示している。平均L換算実用容量の計算には、同じ大きさの錨泊船の場合も含んでいる。錨泊地面積を説明変数に、平均L換算実用容量を被説明変数に回帰分析を行った結果、次式を得た。

$$\text{平均L換算実用容量} = 0.027 \times \text{錨泊地面積} + 0.8 \quad (6.12)$$

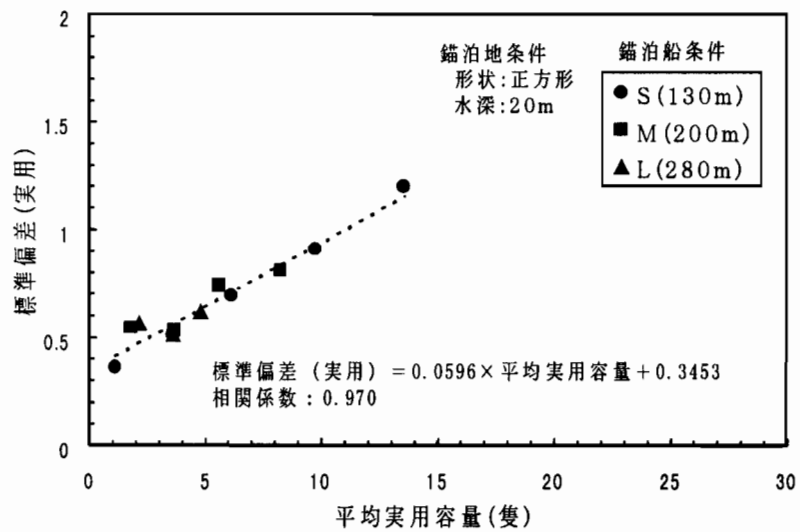


図6. 12 平均実用容量と標準偏差（実用）との関係



(相関係数 : 0.996)

この関係式を用いることにより、計算条件としなかった錨泊地面積に対する平均L換算実用容量を求めることができる。

実用容量の標準偏差についてもL換算を行った場合、船型の構成比率が変わってもほぼ一定の値となった。そこで、実用容量の標準偏差についてもL換算を行ったものを用いることとし、これをL換算標準偏差(実用)とする。図6.15は、平均L換算実用容量とL換算標準偏差(実用)との関係を示している。L換算標準偏差(実用)の計算には、同じ大きさの錨泊船の場合も含んでいる。平均L換算実用容量を説明変数に、L換算標準偏差(実用)を被説明変数に回帰分析を適用した結果次式を得た。

$$L \text{換算標準偏差(実用)} = 0.06 \times \text{平均L換算実用容量} + 0.6 \quad (6.13)$$

(相関係数 : 0.951)

この関係式によると、L換算標準偏差(実用)は平均L換算実用容量の6%程度と見てよいといえる。

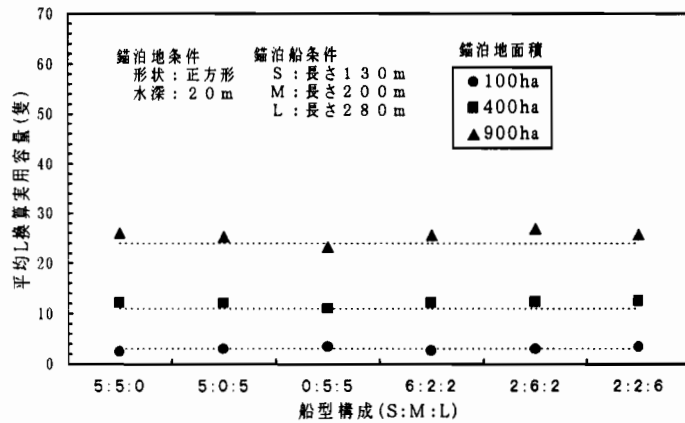


図6.13 船型構成比率と平均L換算実用容量との関係

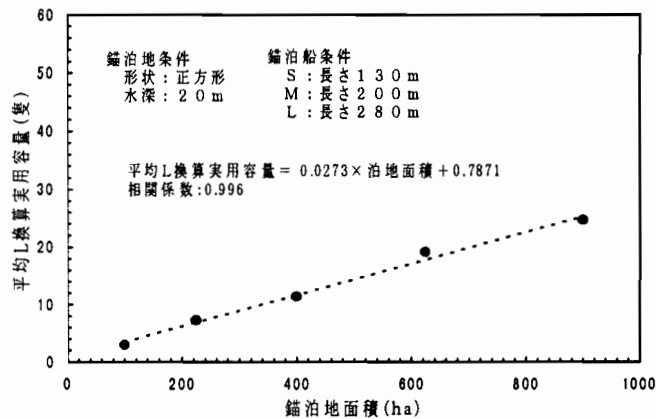


図6.14 錨泊地面積と平均L換算実用容量との関係

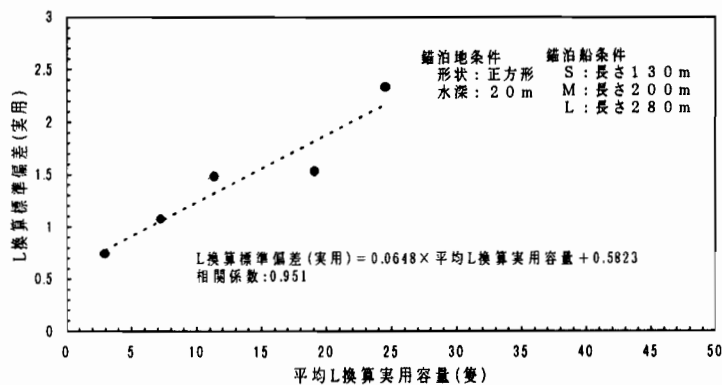


図6.15 平均L換算実用容量とL換算標準偏差(実用)との関係

## 6. 5 基本容量と実用容量の関係

### 6. 5. 1 同じ大きさの錨泊船の場合

6. 4に示した実用容量の推定手順により、与えられた錨泊地条件及び錨泊船条件の下での実用容量の推定を行ったが、実用容量の推定は長時間に渡り、多くの手間を必要とする。一方、6. 3で求めた基本容量と6. 4で求めた実用容量との間に一定の関数関係があった場合、基本容量から実用容量を推定することができることになる。基本容量は短時間で容易に推定できるため、さまざまな条件における実用容量を実務的に求めるには、実用容量そのものを求めるよりも基本容量から推定の方が有効であると考え。また、基本容量と実用容量の関数関係を求める際に設定した錨泊地条件と錨泊船条件の組合せが範囲に渡っていても、設定した条件の範囲内であれば基本容量から実用容量を推定できると考える。

図6. 16は、錨泊地面積と船型を種々変えて求めた平均実用容量を、同一条件のもとで求めた平均基本容量で除した比率を示している。錨泊面積が100haのときに、Mタイプ（長さ200m）及びLタイプ（長さ280m）における比率が1となるのは、この錨泊地面積ではMタイプ

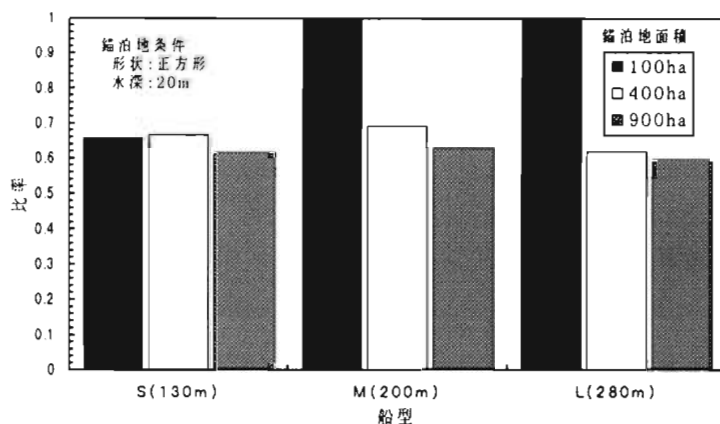


図6. 16 平均基本容量に対する平均実用容量の比率

（長さ200m）及びLタイプ（長さ280m）の錨地は基本容量と実用容量とも1隻分しか確保できないためである。このように、錨泊地面積と対象船舶の大きさとの関係により、平均基本容量が少なくとも2隻分の錨地を確保できないという場合は、平均基本容量に対する平均実用容量の比率は8割以上から10割となる。しかしながら、それ以外は、平均基本容量に対する平均実用容量の比率は6割から8割までの値という一定の関係にあることが分かる。このことより、平均基本容量に対する平均実用容量の比率を平均基本容量から平均実用容量を推定するための推定係数として用いることとする。なお、錨泊地内に錨泊船が一行に並ぶよう

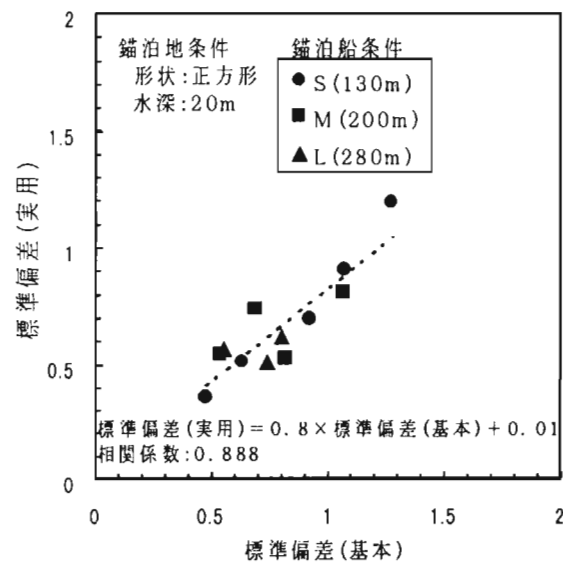


図6. 17 標準偏差（基本）と標準偏差（実用）との関係

な場合を除き、錨泊地の形状が変わっても、正方形の錨泊地と同じ傾向であることを確認した。

図6. 17は、錨泊地面積と船型を種々変えて求めた標準偏差（実用）と、同一条件としたときの標準偏差（基本）との関係を示している。Sタイプ（長さ130m）、Mタイプ（長さ200m）、Lタイプ（長さ280m）のいずれも、標準偏差（基本）が大きくなると標準偏差（実用）も大きくなるのが分かる。このように、標準偏差（基本）と標準偏差（実用）の間には一定の関係があるように思われる。そこで、S、M、Lの全ての結果について標準偏差（基本）を説明変数に、標準偏差（実用）を被説明変数に回帰分析を適用した結果次式を得た。

$$\text{標準偏差（実用）} = 0.8 \times \text{標準偏差（基本）} + 0.01 \quad (6.14)$$

（相関係数：0.888）

この関係式によると、標準偏差（実用）は標準偏差（基本）の8割程度と見てよいといえる。

### 6. 5. 2 異なる大きさの錨泊船の場合

図6. 18は、錨泊地面積と船型構成比率を種々変えて求めた平均L換算実用容量を、同一条件としたとき平均L換算基本容量で除

した比率を示している。

平均L換算基本容量が

3隻のときに比率が0.

9程度になるのは、こ

の錨泊地面積ではMタ

イプ（長さ200m）

及びLタイプ（長さ2

80m）の錨地は基本

容量と実用容量とも1

隻分しか確保できないた

めである。このように、

錨泊地面積と対象船舶の

大きさとの関係により、少なくとも対象とする錨泊船条件の内の最大船型の船舶の2隻分の錨地を確保できない場合は、平均L換算基本容量に対する平均L換算実用容量の比率は8割以上から10割となる。しかしながら、それ以外は、平均L換算基本容量に対する平均L換算実用容量の比率は6割から8割までの値というほぼ一定の値であることが分かる。このことより、船の大きさが異なる場合には、平均L換算基本容量に対する平均L換算実用隻数の比率をL換算推定係数とする。なお、錨泊地の形状の違いについては、同じ大きさの錨泊船の場合と同様であることを確認した。

図6. 19は、錨泊地面積と船型構成比率を種々変えて求めたL換算標準偏差（実用）と、同一条件としたときのL換算標準偏差（基本）との関係を示している。L換算標準偏差（基本）を説明変数に、L換算標準偏差（実用）を被説明変数に回帰分析を適用した結果次式を得た。

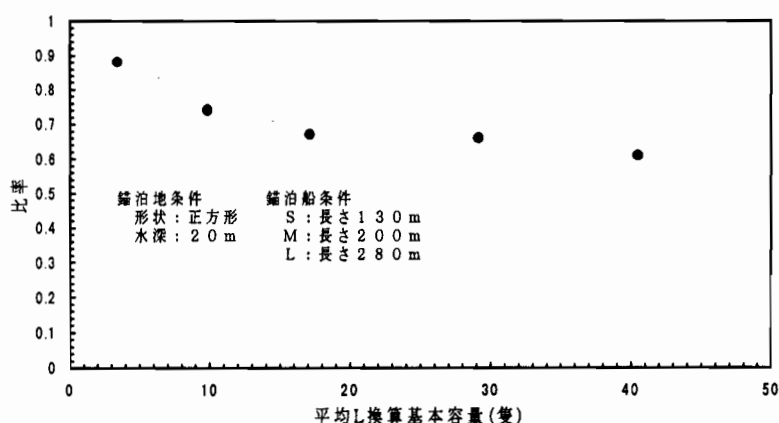


図6. 18 平均L換算基本容量に対する平均L換算実用容量の比率

$$L \text{ 換算標準偏差 (実用)} = 0.75 \times L \text{ 換算標準偏差 (基本)} + 0.20 \quad (6.15)$$

(相関係数：0.866)

この関係式によると、L換算標準偏差(実用)はL換算標準偏差(基本)の8割程度と見てよいといえる。

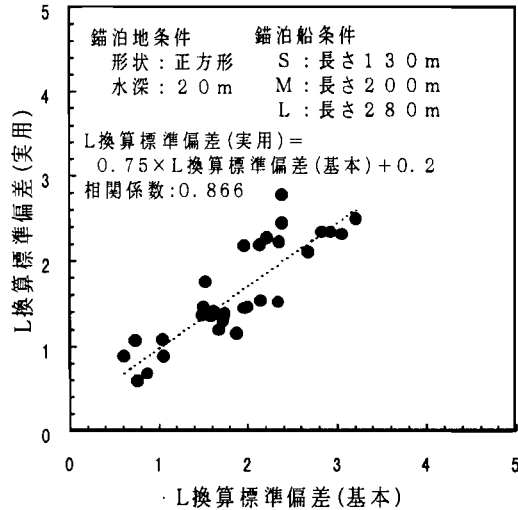


図6.19 L換算標準偏差(基本)とL換算標準偏差(実用)との関係

## 6.6 面錨地方式における錨泊地設計の考え方

国内主要港湾の錨泊地面積は、今回設定条件とした100haから900haまでの錨泊地面積の範囲に含まれている。そのため、今回求めた基本容量、実用容量は、国内主要港湾における錨泊地の設計に適応することが可能である。これまでの検討から、港湾の施設提供者が、面錨地方式における錨泊地を設計する際の考え方を以下に示す。

まず、錨泊地設計において施設提供者は、任意の形状、面積を持った錨泊地において、どれだけの数の錨地が収容可能であるかを知る必要がある。そのためには、次の手順で収容隻数を推定する。

- (1)面錨地方式の錨泊地においては、錨地位置の決定が操船者の判断に委ねられており、また異なる大きさの船が到着する順序によって錨泊地に収容できる隻数は異なることになる。そこで、与えられた錨泊地の形状、面積、水深及び船舶の大きさ、船型の構成比率の下で、ランダムに到着した船がランダムに錨地位置を設定していくと仮定し、モンテカルロ法を用いたコンピュータシミュレーションを行うことによって、収容隻数を明らかにした。ここではモンテカルロ法によるコンピュータシミュレーションの結果得られる収容隻数を「基本容量」と定義した。
- (2)一方、現実の錨泊地において、錨泊しようとする船の操船者が錨地位置を決定する際に考慮する条件として、隣り合う船舶との間隔や錨泊地外から予定錨地までのルートの有無が挙げられる。このような操船者の意識行動が反映された結果として、錨泊地内に実際に収容できる隻数を、ここでは「実用容量」と定義した。この実用容量は、錨地配置設計支援システム<sup>(67)</sup>を利用することにより、時間と手間を必要とするものの、操船者の意識行動を事前に考慮した実際に錨泊地に収容できる隻数を把握することができる。

- (3) 錨泊地に同じ大きさの船のみが錨泊する場合であれば、同一船型の収容隻数をもって錨泊地の容量とすることができる。しかしながら、錨泊地に異なる大きさの船が錨泊する場合については、単純にそれらの合計隻数をもって錨泊地の容量とすることはできない。異なる大きさの船が錨泊する場合には、それぞれの船の長さを標準船の長さで換算したL換算隻数で基準化して錨泊地の容量をあらわす。
- (4) 基本容量から実用容量を推定する場合、収容隻数がL換算隻数で8隻以上の場合、実用容量は基本容量の6割から8割と見てよい。収容隻数がL換算隻数で7隻以下の場合には8割から10割となる。
- (5) 収容隻数がどれほどのばらつきを持つかについては、基本容量の標準偏差は平均基本容量の4%程度、実用容量の標準偏差は平均実用容量の6%程度と見ることができる。また、実用容量の標準偏差は基本容量の標準偏差の8割程度となる。
- 一方、施設提供者は、与えられた船型の構成比率の下での希望収容隻数を満足するためには、錨泊地の面積がどれほど必要であるかを知る必要がある。そのためには、次の手順で錨泊地の面積を推定する。
- (6) 錨泊地に同じ大きさの船のみが錨泊することを想定する場合には、同一船型の収容隻数を用いることができる。しかしながら、錨泊地に異なる大きさの船が錨泊することを想定する場合には、それぞれの船の長さを標準船の長さで換算したL換算隻数で基準化した収容隻数を用いる
- (7) 図6. 14の錨泊地面積と実用容量との関係から、希望収容隻数を満足する錨泊地面積を推定することができる。図6. 14の設定条件は、錨泊地条件について水深を20mとしている。水深条件が異なるときには、錨地配置設計支援システムを用いて代表的な錨泊地条件から実用容量を推定し、図6. 14のような錨泊地面積と実用容量との関係を得ることにより、希望する収容隻数から錨泊地面積を推定することができる。
- (8) 希望収容隻数を満足する錨泊地面積を推定する簡便法としては、実用容量が基本容量の6割から8割と推定できるので、希望収容隻数から基本容量を逆算し、図6. 6の錨泊地面積と基本容量との関係から、希望収容隻数に相当する基本容量を満足する錨泊地面積を推定することができる。水深条件が今回の設定条件と異なるときには、モンテカルロ法を用いて代表的な錨泊地条件から基本容量を推定し、図6. 6のような錨泊地面積と基本容量との関係を得ることにより、希望する収容隻数に相当する基本容量から錨泊地面積を簡便に推定することができる。

## 6. 7 結語

本章では、港湾の施設提供者が錨泊地設計を行う際に従来基準の定めのない面錨地方式における錨泊地容量の推定の問題について検討を行った。

6. 2では、本研究における面錨地方式を対象とした錨泊地設計の考え方を示した。

6. 3では、面錨地方式における錨泊地設計の基本要件として、モンテカルロ法を用いたコンピュータシミュレーションにより基本容量を推定する方法を示した。

6. 4では、実際の錨泊地における錨泊地の収容隻数である実用容量を推定する方法を示した。

6. 5では、錨泊地条件、錨泊船条件の下での基本容量と実用容量との関数関係を求め、実用容量から基本容量とを推定する方法について整理した。

6. 6では、6. 2から6. 5までの検討をもとに、面錨地方式における錨泊地の設計の考え方を示した。

これにより、施設提供者は任意の錨泊地の形状、面積において、どれだけの数の錨地が配置できるかを把握することができる。また、希望する船型規模に供する錨地の組合せのもとで、どれだけの錨泊地の形状、面積が必要とされるかを把握することができる。

## 第7章 錨地配置設計支援システム<sup>(6,7)</sup>

### 7.1 概説

本研究では、4.3で示したように、すべての代替案の中から、操船者の意識を考慮せずに錨地個数最大や錨泊地利用効率最大の条件を満足する解をコンピュータにより自動的に探索するという考えに立つのではなく、まずは、錨泊船間を船舶が航行するときに操船者に操船上の困難感を与えないように錨地を配置するという操船者の意識を事前に考慮に入れたコンピュータアルゴリズムにより錨地配置設計代替案を網羅的に抽出する。そして、抽出された代替案の中から計画者が設定する前提条件のもとで錨泊地を効率的に利用できる案、または、その周辺の代替案を絞り込んでいく作業に計画者が参画することを考える。さらに、計画者が設計作業をするにあたって、このような代替案の絞り込み作業を円滑かつ効率的に行なうために、計画者がグラフィカルなユーザインターフェースを通じてコンピュータシステムと対話的に操作しながら、与えられた錨泊地条件下で、錨泊船の船型と錨地の配置個数の任意の組み合わせを満足する代替案を計画者が選択できる支援システムの導入を検討する。

7.2では、錨地配置設計支援システムが備えるべき機能について検討する。

7.3では、錨地配置計画代替案設定後の錨地の微調整について検討する。

### 7.2 錨地配置設計支援システムの機能

錨地配置設計支援システムの開発にあたっては、設計作業の流れに沿って、計画者がコンピュータシステムとマウスとキーボードを操作することによって容易に作業を行えるようにした。また、錨地配置計画代替案を設定するに至るまでには試行錯誤の繰り返しが数多く行われることが予想されるため、操作画面や結果表示画面の配置、ボタンのレイアウト、計画者からの情報入力が必要とするときにのみ表示されるポップアップウィンドウといったユーザインターフェースについて考慮した。その結果、計画者が任意の段階の作業に容易に戻ることで、円滑に作業を進めることができるようにした。さらに、計画者がコンピュータからの出力を直感的に認識できるように色使いにも工夫をした。

錨地配置設計作業の流れを図7.1に示す。図7.1に示した錨地配置設計作業の各段階における作業内容と、各段階における作業に対応した錨地配置設計支援システムの機能を以下に示す。

#### (1) 錨泊地条件の設定

錨泊地条件として、錨泊地の形状、面積及び水深を設定する。錨泊地の形状については、錨泊地の横幅、縦幅を入力することにより設定する。又は、あらかじめ作成しておいた錨泊地の形状データを読み込ま

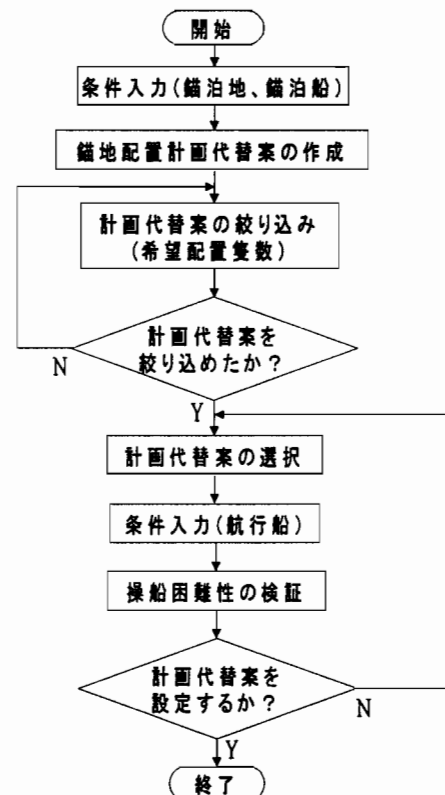


図7.1 錨地配置設計作業のフローチャート

せることにより設定することも可能である。水深については、錨泊地全体を均一な水深として取り扱う。また、錨泊地の境界線と左端に配置する錨泊船との間に航行船が航行できる間隔を設けるかどうかを選択する。

#### (2)錨泊船条件の設定

錨泊船の条件として、錨地 S, M, L の各船型の全長をそれぞれ設定する。

#### (3)錨地配置計画代替案の作成

設定された錨泊地条件及び錨泊船条件の下で、錨地配置アルゴリズムにもとづき錨地配置計画代替案をコンピュータプログラムが作成する。第5章、第6章において錨地配置計画代替案を作成したのは、このコンピュータプログラムである。

#### (4)錨地配置計画代替案の絞り込み

計画者が錨地 S, M, L の各タイプ毎に希望する配置個数を入力することにより、コンピュータプログラムが作成した錨地配置計画代替案の中から絞り込みを行う。コンピュータグラフィックスを用いた錨地配置の一覧表示により、計画者は絞り込みを行った結果を確認することができる

さらに錨泊地の利用効率など絞り込み条件を追加、変更することにより、計画者は満足できる錨地配置計画代替案が得られるまで絞り込み作業を行うことができる。また、絞り込み条件を満足する錨地配置計画代替案が得られなかったときには、計画者は過去に行った絞り込み条件の任意の段階に戻ることも可能である。

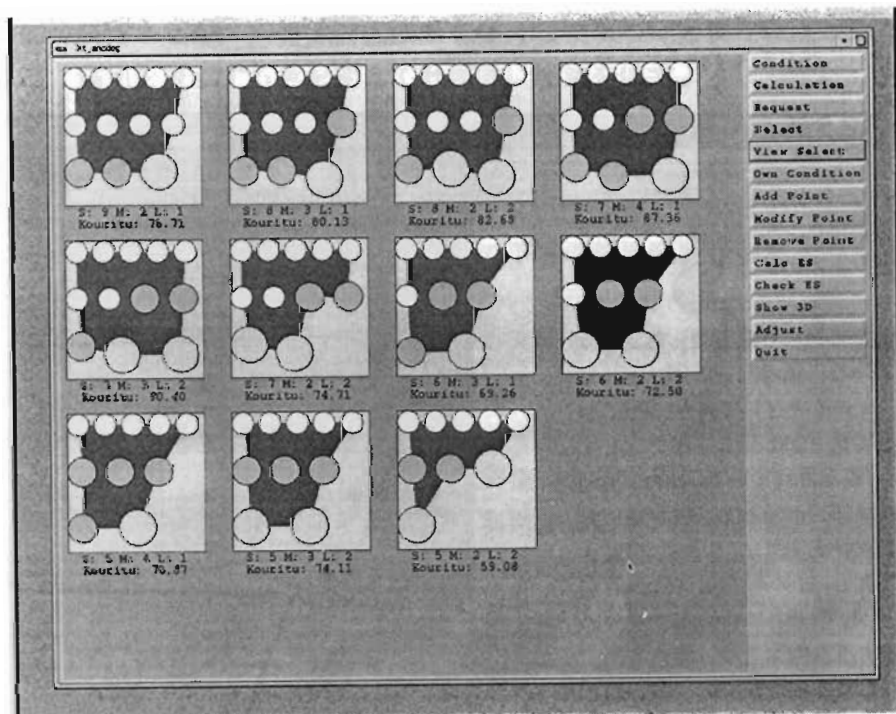


図 7. 2 錨地配置計画代替案の絞り込み

絞り込みを行った結果としての錨地配置計画代替案のグラフィックスによる一覧表示の



例を図7. 2に示す。それぞれの錨地配置計画代替案において、外縁に位置する錨地の中心を結んだ内側の領域を錨泊地内の利用水域として表示している。この領域は、錨泊地利用効率を求める際の錨地が配置された結果実際に錨泊地の中で利用されている水域とほぼ同じものである。

#### (5)錨地配置計画代替案の選択

絞り込まれた錨地配置計画代替案の中から、錨泊地内に配置を希望する錨地の個数及び錨泊地利用効率を参考にして、計画者が目標とする錨地配置に近い錨地配置計画代替案を選択する。

#### (6)操船困難性の検証

錨地配置計画代替案を作成する際に設定した錨地間の距離は、隣接する2隻ないし3隻の錨泊船に着目し、これら隣接する錨泊船の間を船舶が航行する際に操船者に課される困難感が"negligible"であることを条件としたものである。ここにいう"negligible"とは、環境ストレスモデル<sup>(43)</sup>においては、隣接する錨泊船の間を船舶が航行する際の環境ストレス値が500以下であることを意味している。

錨泊地内には多くの錨地が配置されている。そのため、錨泊地に進入しようとする航行船からみると目の前の錨泊船だけでなく、その背後や周辺にも停泊している錨泊船全体に対し困難感を感じることになる。そこで、隣接している2隻ないし3隻の錨泊船の間を航行する船舶の操船者が感じる困難感に関して、操船者にとってその困難感が"negligible"ではないが"acceptable"<sup>(43)</sup>の範囲にあるとされる環境ストレス値が750以下であることを条件として抽出された錨地配置計画代替案の錨泊地全体から操船者に課される操船上の困難性を検証する。

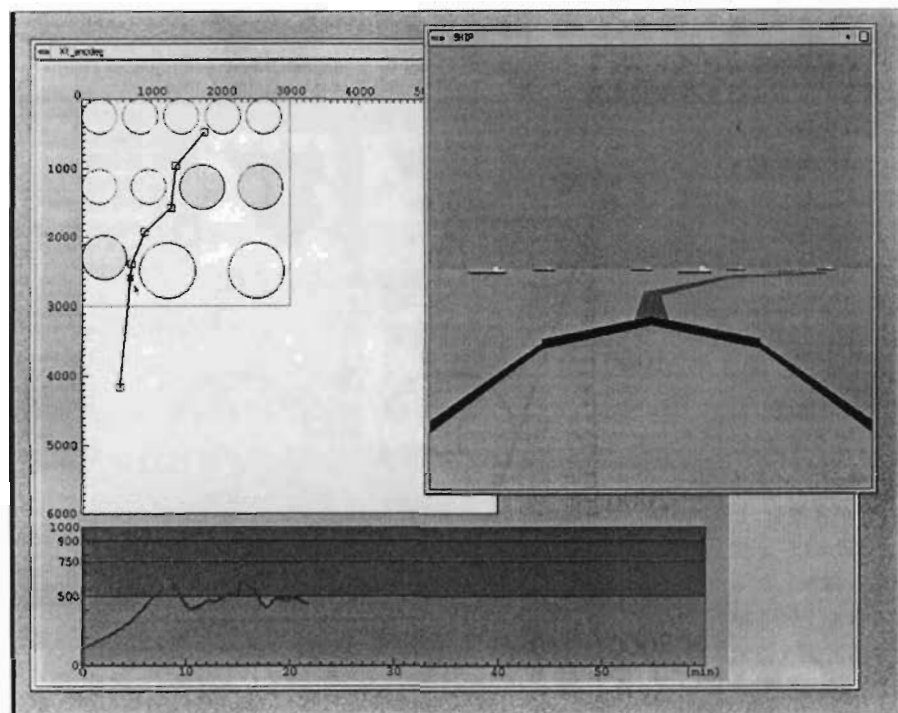


図7. 3 操船困難性の検証

操船困難性を検証するための航行船の条件設定については、既定のL, M, S各タイプを選択するか、任意の船長、船幅を入力して設定するかいずれでも可能である。そして、航行船の速力を設定し、また、錨泊地の中を航行船がどのように航行するかを、出発点、変針点、到着点を錨泊地の画面上にマウスを用いて入力することにより設定する。

設定された航行条件により、配置された錨地の間を航行する際に操船者に課される困難感を環境ストレス値として出力した結果を図7. 3に示す。この画面では、コースライン上の任意の地点をマウスを用いて指定することにより、その地点での環境ストレス値がどれほどの値になるかを時系列出力ライン上にプロットされる。また、同時にその地点において航行船の船橋から見える景観が3次元画像により表示される。そのため計画者は、設定したコースライン上において操船者に与える困難感がどの地点でどのようになるのか、その地点における景観はどのようなものであるかを総合的に確認することができる。

### 7. 3 錨地配置計画代替案設定後の微調整について

コンピュータプログラムにより作成された錨地配置計画代替案には、錨泊地の中に利用されていないデッドスペースが残されている。錨泊地の形状を最大限に利用する意味においては、錨泊船の間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えない条件を保ったまま、配置された錨地の位置を微調整する作業が考えられる。

本システムでは、微調整しようとする錨地をマウスにより計画者が指示することにより、その錨地と隣接する錨地との関係を示す領域と、錨地の移動に伴う利用水域の変化の様子を確認しながら、錨地の位置を微調整することができる。この時、錨地の移動により錨泊船の間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えないために必要な距離が保たれなくなった場合には、錨地を表示する色を変えて計画者に注意を促すようにした。

### 7. 4 結語

本章では、施設提供者が、錨泊船の間を縫って航行する際の操船者の困難感を事前に考慮した上で、希望する錨泊地条件、錨泊船条件の下での錨地配置代替案を得るために、対話的に利用できる錨地配置設計支援システムについて示した。

7. 2では、錨地配置計画の流れについて示すとともに、各作業段階において利用者を支援するために必要となるシステムの機能を示した。

7. 3では、錨地配置代替案設定後に錨泊地の中でデッドスペースになっている水域をなくすために、利用者の操作によって錨地を微調整できる機能について示した。

本章で開発した錨地配置設計支援システムを利用することにより、施設提供者は任意の錨泊地の形状、面積において、どれだけの数の錨地が配置できるかを把握できる。また、希望する船型規模に供する錨地の組み合わせのもとで、どれだけの錨泊地の形状、面積が必要とされるかを把握できる。

## 第8章 港湾における錨泊地の配置設計<sup>(69)</sup>

### 8.1 概説

港湾において錨泊地として設定される水域の周辺には、防波堤、護岸、航路などの施設がある。錨泊地と周辺に存在する施設との間にどれだけの距離を離せば良いかという問題について、荒天時の避泊時を想定した検討<sup>(70)</sup>はされているものの、航行する船舶の操船者に課される困難感の観点からの検討はこれまで行われていない。本章では、錨泊地に挟まれた水路を航行する船舶の操船者や、錨泊地と防波堤・護岸などの構造物との間を航行する船舶の操船者に困難感を与えないことを条件とした時に必要となる錨泊地と周辺施設との離隔距離の設定について環境ストレスモデル<sup>(43)</sup>を適用し、錨泊地条件、航行船条件、周辺施設条件の違いによってどれくらい離せばよいかを明らかにし、港湾において錨泊地を配置する際の考え方について検討する。

8.2では、錨泊地と錨泊地との間の水路を航行する際に操船者に課される困難感について環境ストレスモデルを適用し、定量化を行う方法について検討する。8.3では、1隻の航行船が錨泊地と錨泊地との間の水路を航行する際に、操船者に課される困難感を許容範囲内とするために必要な錨泊地と錨泊地との離隔距離について検討する。8.4では、複数の航行船が錨泊地と錨泊地との間の水路を航行する際に、操船者に課される困難感を許容範囲内とするために必要な錨泊地と錨泊地との離隔距離及び錨泊地配置設計の前提条件について検討する。8.5では、8.3、8.4の結果を受けて、錨泊地を配置設計を行う際の考え方について整理する。

### 8.2 「錨泊地」の取扱い及び計算方法

錨泊地内には複数の錨泊船が点在している。しかし、錨泊地と錨泊地との間の水路を航行する船舶の操船者から見ると、錨泊船を個別に扱うのではなく、図8.1に示すように一つの進入できない領域として錨泊地は存在することになる。そこで今回は、任意の形状、面積をもった一定範囲の錨泊地を、一つのかたまりとみた障害物として取り扱うこととした。錨泊地と錨泊地との間の水路を航行する際に、操船者に困難感を与えないために必要となる錨泊地と錨泊地との間隔を求める手順を以下に示す。

①錨泊地条件（錨泊地の形状、面積）と、航行船条件（航行船の長さ、速力）を設定する。

②設定した条件下での航行船の操船者に課される困難感について、環境ストレスモデルを適用し、環境ストレス値として求める。

③設定した条件と②により求められた環境ストレス値との関係から、操船者に困難感を

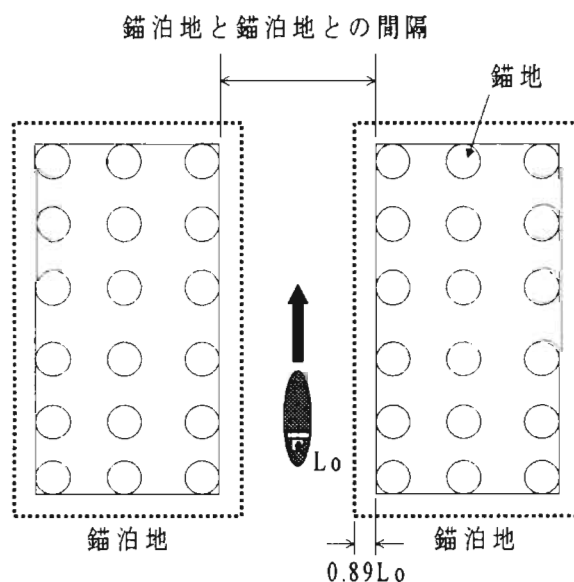


図8.1 錨泊地の設定

課さないために必要となる錨泊地と錨泊地との間隔を明らかにする。

一般に障害物の至近を通航するとき、操船者はその障害物に対して一定の離隔距離を確保しようとする。操船者が錨泊船の付近を航行する際にこれ以上近づきたくないという離隔距離については、「限界離隔距離 =  $0.89 \times$  航行船の全長」<sup>(45)</sup>なる関係式が得られている。そこで、図8. 1に示すように錨泊地の外縁に錨泊船が連なっていると考え、錨泊地の周囲に錨泊船における限界離隔距離だけ離れたバリアが存在するとした。そして、環境ストレス値の計算にあたっては、物理的な衝突ではないものの、バリアに衝突するまでの余裕時間をもって計算を行った。また、構造物についても同様に、これ以上近づきたくないという離隔距離については、「限界離隔距離 =  $0.69 \times$  航行船の全長」<sup>(45)</sup>なる関係式が得られている。そこで、構造物の周囲に限界離隔距離だけ離れたバリアが存在するとして環境ストレス値の計算を行った。

### 8. 3 1隻の船舶が航行する際に必要となる錨泊地間隔

図8. 2は、錨泊地と錨泊地との間隔を順次変えて計算を行った時の、地形制約が操船者に課す困難感の指標値である操船環境ストレス値 (ESL) の変化の様子を示している。設定条件として錨泊地条件は、最も困難な状況となるよう、幅及び奥行きとも無限の長さを持った錨泊地とした。航行船条件は、長さ200m、速力8ノットとし

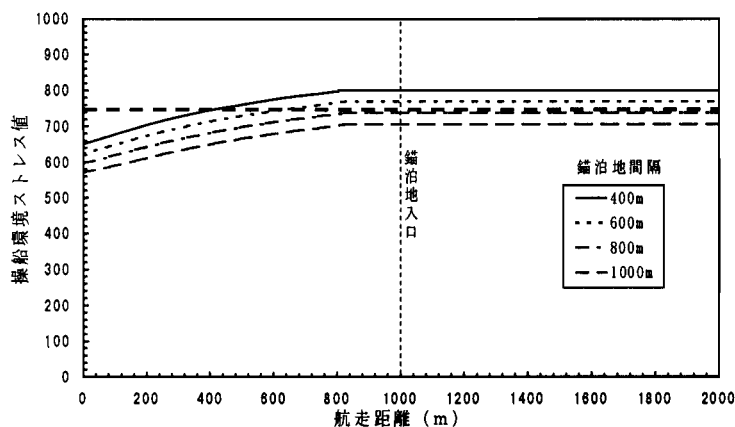


図8. 2 錨泊地間隔の違いによる操船環境ストレス値の変化 (船長: 200m, 速力8ノット)

た。図8. 2より、航行船の進行に伴い錨泊地の前縁部直前に達するまで操船者に課される困難感徐々に増大し、錨泊地の前縁部直前で困難感が最大になった以降は一定の大きさとなることが分かる。また、錨泊地と錨泊地との間隔を広げるにつれて、困難感の変化傾向は変わらないものの、環境ストレス値の最大値が減少していることが分かる。このことから、施設提供者が錨泊地の配置を検討するとき、設定した錨泊地条件、航行船条件の下で、二つの錨泊地に挟まれた水路を航行する船舶の操船者に困難感を課さないためには、環境ストレス値の最大値が操船者にとって許容できる範囲内に収まるような錨泊地と錨泊地との間隔を図8. 2より見つければ良いことになる。

今回は、操船者が許容できる困難感の基準となる環境ストレス値として、操船者にとってその困難感が"negligible"ではないが"acceptable"<sup>(44)</sup>の範囲にあるとされる環境ストレス値が750以下であることを条件とした。航行船の船長を200m、速力を8ノットとした場合、図8. 2より錨泊地と錨泊地との間隔は750m必要であるといえる。

ここでは水路の中央を航行する場合を検討したが、水路の中央からずれて航行した場合、

現実起こりうる偏位の範囲においては、環境ストレス値の最大値は、水路中央を航行したときとほとんど変わらないといえる。また、ここでは、錨泊地の入り口にまっすぐに進入する場合を検討したが、錨泊地入り口に斜めに進入する場合についても、まっすぐに進入する場合とほとんど変わらない。

図8.3は、航行船の長さ、速力を種々変えて計算を行い、設定条件の下で最大となる環境ストレス値が750以下となる錨泊地と錨泊地との間隔を示している。図8.3から、航行船の長さが長くなるほど、また速力が速くなるほど、必要となる錨泊地と錨泊地との間隔が広がること

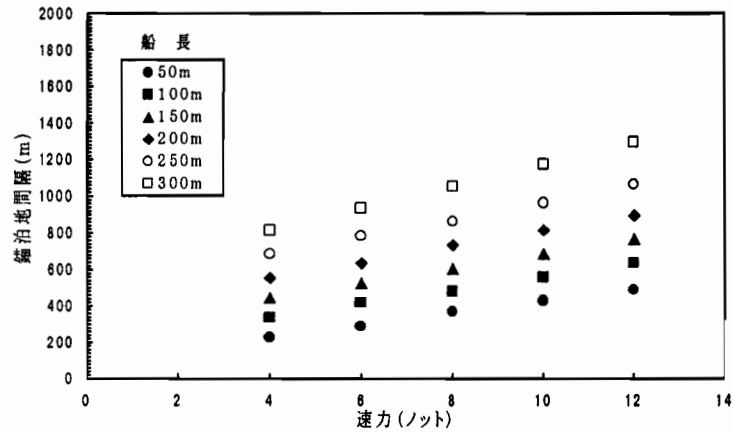


図8.3 操船者に困難感を与えないために必要な錨泊地と錨泊地との間隔 (ESmax ≤ 750)

各船長ごとに見てみると、速力の増加に比例して必要となる錨泊地と錨泊地との間隔の傾きが大きくなる。そこで、各船長ごとに、速力を説明変数とし、必要となる錨泊地と錨泊地との間隔を被説明変数として回帰分析を行った結果、次のような関係式を得た。

$$\text{船長 } 50 \text{ m} : \text{必要錨泊地間隔} = 33 \times \text{速力} + 97 \quad (\text{相関係数} : 0.999) \quad (8.3.1)$$

$$\text{船長 } 100 \text{ m} : \text{必要錨泊地間隔} = 37 \times \text{速力} + 190 \quad (\text{相関係数} : 0.999) \quad (8.3.2)$$

$$\text{船長 } 150 \text{ m} : \text{必要錨泊地間隔} = 40 \times \text{速力} + 287 \quad (\text{相関係数} : 1.0) \quad (8.3.3)$$

$$\text{船長 } 200 \text{ m} : \text{必要錨泊地間隔} = 43 \times \text{速力} + 384 \quad (\text{相関係数} : 0.999) \quad (8.3.4)$$

$$\text{船長 } 250 \text{ m} : \text{必要錨泊地間隔} = 47 \times \text{速力} + 497 \quad (\text{相関係数} : 0.999) \quad (8.3.5)$$

$$\text{船長 } 300 \text{ m} : \text{必要錨泊地間隔} = 60 \times \text{速力} + 574 \quad (\text{相関係数} : 1.0) \quad (8.3.6)$$

(8.3.1)式から(8.3.6)式で得られた各回帰式の傾きと切片とに着目して、船長をもとに整理したものを図8.4、図8.5に示す。回帰式の傾き及び切片は、いずれも船長が大きくなるに伴い、その値が比例して大きくなる傾向が見られる。そこで、船長を説明変数とし、回帰式の傾き及び切片を被説明変数として、それぞれ回帰分析を行い、次のような関係式を得た。

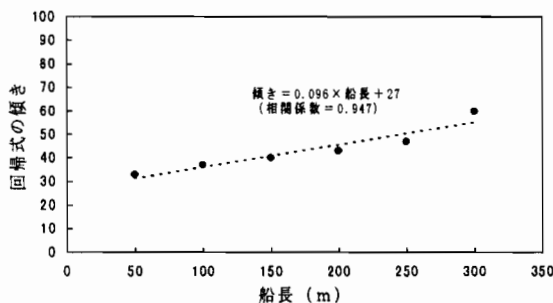


図8.4 船長と回帰式の傾きとの関係

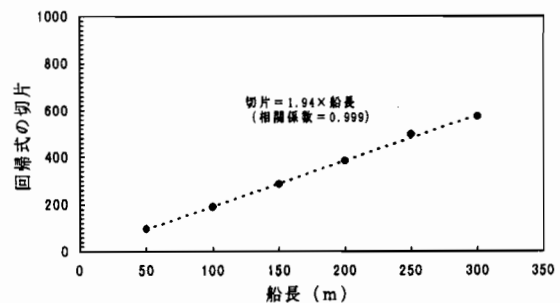


図8.5 船長と回帰式の切片との関係

$$\text{傾き} = 0.096 \times \text{船長} + 27 \quad (\text{相関係数} : 0.947) \quad (8.3.7)$$

$$\text{切片} = 1.94 \times \text{船長} \quad (\text{相関係数} : 0.999) \quad (8.3.8)$$

(3.7)式と(3.8)式から、必要となる錨泊地と錨泊地との間隔については、次のような関係式により求めることができる。

$$\text{必要錨泊地間隔} = (0.096 \times \text{船長} + 27) \times \text{速力} + 1.94 \times \text{船長} \quad (8.3.9)$$

(8.3.9)式より、必要となる錨泊地と錨泊地との間隔は、船長の約2倍に、船長と速力より求められる調整項を付加すれば良いことが分かる。

また、錨泊地と防波堤・護岸などの構造物との間の水路を航行する際に必要となる間隔についても同様の検討を行った。そして、操船者に課される困難感を許容範囲以内とするために必要となる錨泊地と構造物との間隔について、同じ航行船条件のときに必要となる錨泊地と錨泊地との間隔で基準化したものを図8.

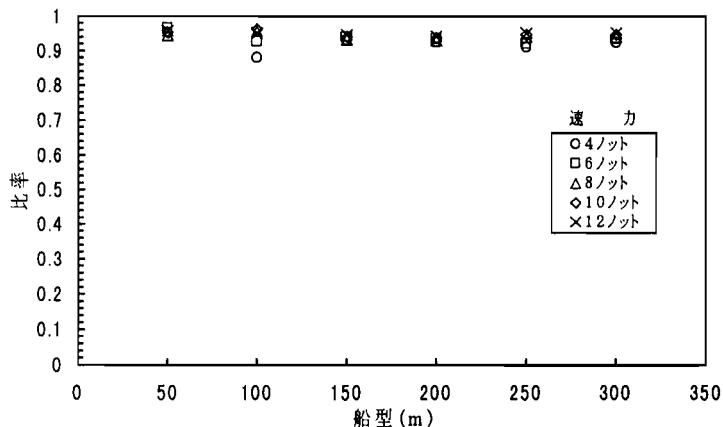


図8. 6 錨泊地と錨泊地との間隔に対する錨泊地と構造物との間隔の比率

6に示す。図8. 6を見ると、若干のばらつきはあるものの、必要となる錨泊地と構造物との間隔は、必要となる錨泊地と錨泊地との間隔の9割程度とすることができる。

以上の検討から、港湾の施設提供者は、港内において錨泊地の配置設計を行う際に、図8. 3または(8.3.9)式を用いることにより、操船者に課される困難感を事前に考慮した錨泊地の配置を行うことが可能となる。そこで、ここで得られた必要となる錨泊地と錨泊地との間隔を、港湾における錨泊地配置の基本要件とする。

#### 8. 4 複数の船舶の航行に関する検討

ここまでは、錨泊地配置のための基本要件として1隻の航行船において必要となる錨泊地間隔について検討を行った。一方、実際の航行環境においては、同航船や反航船が存在する。多くの船舶が輻輳する交通環境においては、錨泊地の存在と他船の輻輳との相互干渉が生じる。そのため、錨泊地の存在と他船の輻輳との相互干渉により、航行船の操船者に課される困難感が操船者の許容範囲以内となるためには、錨泊地と錨泊地との間隔をどれほど広げなければならないかを検討する必要がある。そして、施設提供者は、錨泊地の配置計画を立案する段階において、船舶の輻輳をどの程度見込むのか、その前提条件を明らかにする必要がある。

そこで、錨泊地の存在と船舶の輻輳との相互干渉により、操船者に課される困難感について、交通流シミュレーションを行い、評価値を求めた。そして、錨泊地と錨泊地との間隔と、設計の前提条件となる船舶の輻輳の程度との関係について検討した。具体的には、以下の手順により評価値を求めた。

- (1) 順次間隔を変えた二つの錨泊地に挟まれた水路に複数の船舶をシミュレーションにより航行させる。
- (2) 航行する船舶それぞれの操船局面を15秒ごとの時間断面に区切る。
- (3) 各時間断面毎に、環境ストレス値を算定する。
- (4) 環境ストレス値には、750以下を"acceptable"として操船者にとって許容範囲内である、また、750を超えるものを"unacceptable"として操船者にとって許容できないとするという基準付けがなされている<sup>(44)</sup>。そこで、(3)で求められた環境ストレス値を、この基準のもとで許容範囲内であったかをチェックする。
- (5) 時間断面の総個数について、許容できないとする状態の発生個数を求める。求めた許容できないとする状態の発生個数の、時間断面の総個数に対する割合を評価値とする。

図8.7は、計算対象となった時間断面の総個数の中で、操船者に課される困難感が許容できないことを意味する環境ストレス値の大きさが750を超えたものの発生個数の割合を示している。このとき、朝の入港時を想定し、航行船条件は全ての船舶の長さを200m、速力8ノット一定とした。そして、平均到着

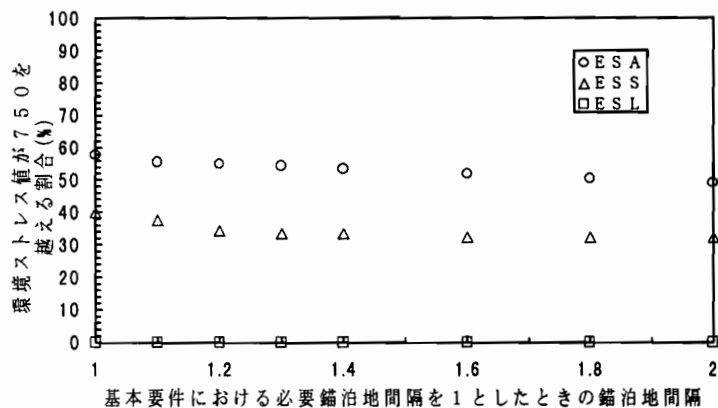


図8.7 錨泊地間隔と困難感との関係  
(船長：200m，速力8ノット)

時間間隔を5分とした。最小発生時間間隔については0分とした。最小発生時間間隔を0分としたことは、2隻以上の船舶が同時に並んで航行することがあることを意味する。最大発生時間間隔については平均発生時間間隔の3倍である15分とした。最大発生時間間隔を設定することにより、引き続く2隻の船舶の間隔は、少なくとも最大発生時間間隔以内となる。また、一方向の航行船のみで行き会いは無いものとした。錨泊地条件としては、4km四方の錨泊地とした。シミュレーション時間は6時間とした。

図8.7の横軸は、錨泊地と錨泊地との間隔を、錨泊地配置の基本要件とした1隻の航行船に必要とされる錨泊地と錨泊地との間隔を1としたときの比率で示している。錨泊地の存在が操船者に与える困難感を示す操船環境ストレス値(ESL)を見た場合には、いずれも環境ストレス値750を超えるものが出現していない。これは、基本要件とした必要錨泊地間隔以上の間隔を設定した場合、複数の船舶が航行しても、錨泊地の存在のみから航行船の操船者に課される困難感は許容範囲以内であることを意味する。一方、他船の存在が操船者に与える困難感を示す交通環境ストレス値(ESS)及び錨泊地と他船の両者が操船者に与える総合的な困難感を示す総合環境ストレス値(ESA)を見た場合には、環境ストレス値が750を超える割合はほとんど変化していない。これは、先行船と後続船との間に間隔をとらずに入港する場合、どれだけ錨泊地と錨泊地との間隔を広くしても、他船の存在が操船者に与える困難感は操船者にとって許容できないことを意味する。

したがって、錨泊地の存在と船舶の輻輳との相互干渉が生じている状況において、錨泊地と錨泊地との間隔を広げることによる困難感の低下への効果は少なく、操船者に課される困難感には、錨泊地の存在よりも先行船と後続船との関係による影響が大きいことが分かった。

そこで、航行船がそれぞれ船間間隔をとって航行した場合について検討を行った。錨泊地と錨泊地との間隔を基本要件の錨泊地間隔とした上で、最小発生時間間隔をパラメトリックに変化させたときの環境ストレス値が750を超える割合の変化を図8.8に示す。なお、最小発生時間間隔以外の設定条件は、図8.7で求めたときと同じ条件とした。

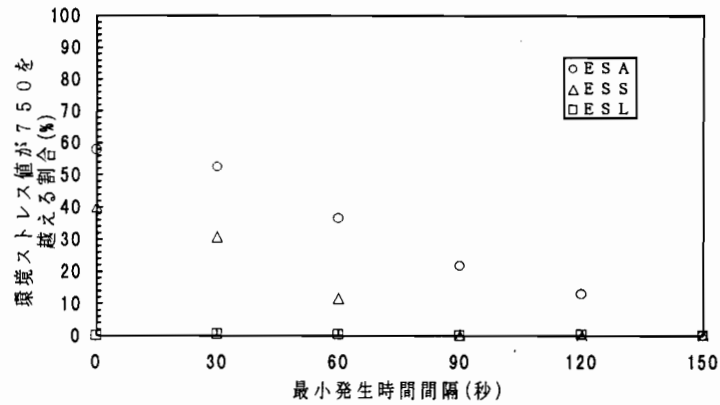


図8.8 最小発生時間間隔と困難感との関係  
(入港船、船長：200m、速力8ノット、基本要件錨泊地間隔)

ここで、最小発生時間間隔が0秒ということは、船舶が同時に発生することもあることを意味し、最小発生時間間隔が30秒ということは、少なくとも前に発生した船舶に引き続いて発生する船舶までの時間間隔が30秒以上間隔があいていることを意味する。図8.8によると、最小発生時間間隔が大きくなるとともに、ESS及びESAの環境ストレス値750を超える割合が少なくなる。そして、最小発生時間間隔が150秒になるとESAにおいて環境ストレス値750を超えるものが無くなることが分かる。

これより、航行船条件を長さ200m、速力8ノットとした場合、基本要件の錨泊地間隔のもとで航行船の操船者に課される困難感を許容範囲以内とするには、船舶の輻輳の程度として船間間隔を150秒以上あけることを錨泊地配置の前提条件とすればよいといえる。

次に、航行船の速力による影響について検討を行った。図8.9は、航行船条件として長さ200mとし、基本要件の錨泊地間隔のもとで速力を種々変化させたときの、先行船と後続船との間に最小限必要とされる船間間隔を示している。図8.9の縦軸は、対象船舶の船長で基準化している。

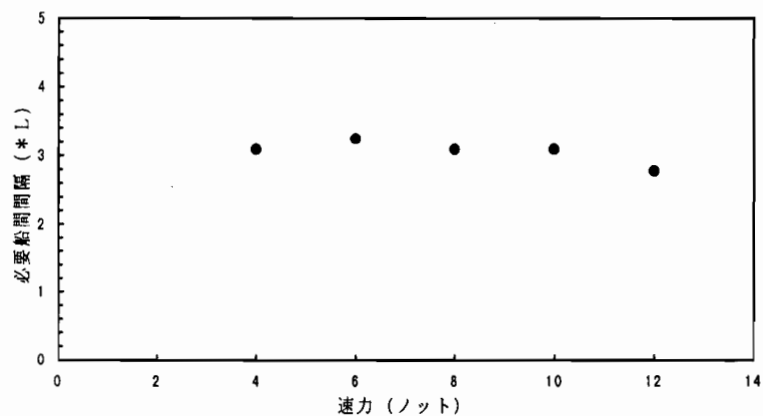


図8.9 航行船の速力と必要船間間隔との関係  
(入港船、船長：200m、基本要件錨泊地間隔)



図 8. 9 を見ると、同じ船長の航行船が同じ速力で、二つの錨泊地に挟まれた水路を同じ方向にのみ航行する場合、必要となる必要船間間隔はほとんど変わらないといえる。すなわち、船舶交通の流れが整っている状況においては、速力の違いによる影響は無いものといえる。

さらに、航行船の長さによる影響について検討を行った。速力については 4 ノットから 12 ノットの範囲であれば、必要となる船間間隔についてはほぼ同じと見てよいとの結果から、8 ノットとした。図 8. 10 は、基本要件の錨泊地間隔のもとで航行船の船長を種々変化させたときの、先航船と後続船との間に最小

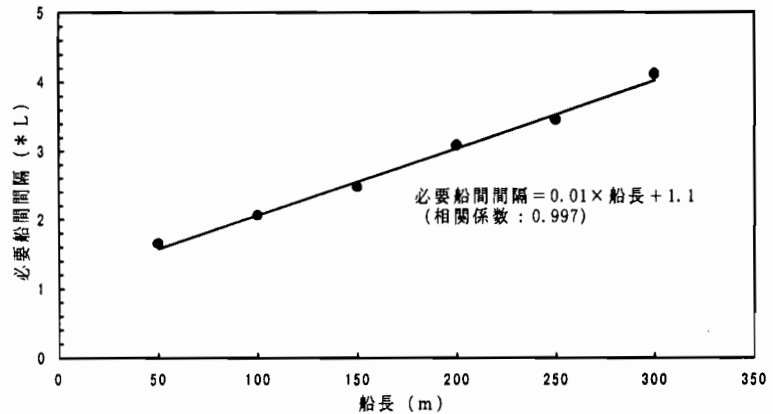


図 8. 10 航行船の船長と必要船間間隔との関係  
(入港船、速力：8 ノット、基本要件錨泊地間隔)

限必要とされる船間間隔を示している。図 8. 10 の縦軸は、対象船舶の船長で基準化している。図 8. 10 を見ると、船長の増加に比例して必要となる船間間隔が広がる。そこで、船長を説明変数とし、必要となる船間間隔を被説明変数として回帰分析を行った結果、次のような関係式を得た。

$$\text{必要船間間隔}(*L) = 0.01 \times \text{船長}(m) + 1.1 \quad (\text{相関係数} : 0.997) \quad (8.3.10)$$

(8.3.10)式から、基本要件の錨泊地間隔のもとで、航行船の操船者に困難感を許容範囲以内とするためには、先航船と後続船との間に少なくとも 1 L 程度の船間間隔が必要であることがわかる。

以上の検討から、港湾の施設提供者が錨泊地の配置を計画するに際して、行き会いのない入港船のみとした場合、(8.3.10)式によって求められる一定以上の船間間隔をあけて入港する状況を前提条件として、基本要件とした 1 隻の航行船にとって必要となる錨泊地間隔をもって錨泊地の配置を考えればよい。

## 8. 5 錨泊地配置設計の考え方

錨泊地と錨泊地との間の水路を航行する際に必要となる間隔の設定という錨泊地の配置の問題について、操船者に課される困難感は今まで考慮されていなかった。そこで今回は、港湾において錨泊地の配置を設計計画する際、操船者にとってはどのような間隔をもって配置されることが望ましいかを、操船者に課される困難感の観点から検討を行った。具体的には、錨泊地と錨泊地との間を航行する際に操船者に課される困難感について、環境ストレスモデルを適用して、錨泊地条件と航行船条件により必要となる錨泊地と錨泊地との間隔を推定する方法の検討を行った。国内の主要港湾において航行する船舶のほとんど全てが含まれる、船舶の長さを 50 m から 300 m までを対象として検討を行った。そのため、求められた錨泊地と錨泊地と間に必要とされる間隔は、国内の主要港湾の港湾計

画において適用可能である。そのため、港湾の施設提供者が港湾設計を行う段階において錨泊地の配置を検討するとき、操船者に困難感を与えない条件での錨泊地の配置を行うことが可能となる。

また、複数の船舶が航行する海上交通の場においては、航行船の輻輳の程度によって、操船者に課される困難感は異なってくる。そのため、施設提供者が港湾の施設を設計計画する段階において、航行船の輻輳の程度をどの程度見込んで設計の前提条件とするかについて検討を行った。その結果として、行き会いのない入港船のみが航行する状況においては、先行船と後続船の船間間隔の影響が大きいことを指摘した。

これまでの検討から、港湾の施設提供者が港湾計画において錨泊地の配置設計を検討する際の考え方を以下に示す。

- (1)操船者に困難を課さないために必要となる錨泊地と錨泊地との間隔は、1隻の船舶が単独で航行する場合には、「必要錨泊地間隔 $= (0.096 \times \text{船長} + 27) \times \text{速力} + 1.94 \times \text{船長}$ 」とする。
- (2)錨泊地と防波堤・護岸などの構造物との間に必要な間隔は、錨泊地と錨泊地との間に必要な間隔の90%とする。
- (3)航行船の輻輳の程度については、少なくとも1L以上の船間間隔をあけて入港する状況を前提条件とする。この前提条件の下で、(1)の錨泊地間隔を持って錨泊地を配置する。

一方、前提条件の下で、操船者に課される困難感が許容範囲以内となるように錨泊地の配置が設計計画された港湾の施設であっても、操船者が設計時の前提条件を越えた操船を行う場合、操船者に課される困難感は許容できないことになる。これについては、船舶運用上の対策等によって、操船者に課される困難感の減少を図ることが現実的であろう。

## 8.6 結語

本章では、錨泊地と錨泊地との間を航行する際に必要となる間隔の設定という錨泊地の配置の問題について、操船者に課される困難感を考慮し、環境ストレスモデルを適用して、錨泊地条件と航行船条件により必要となる錨泊地と錨泊地との間隔を推定する方法の検討を行った。

8.2では、錨泊地と錨泊地との間を航行する際に、操船者に課される困難感を定量化するために環境ストレスモデルを適用し、困難感を許容範囲以内とするために必要な錨泊地間隔を求めるための手順を示した。

8.3では、1隻の航行船が航行する際に必要となる錨泊地の間隔を、操船者にとって課される困難感が許容できる、すなわち環境ストレスの値で750以下となることを条件として、航行船条件、錨泊地条件を系統的に変化させて求めた。その結果をダイアグラム及び船長と速力を説明変数とする関係式に示した。

8.4では、複数隻の航行船が航行する際の錨泊地の配置において、錨泊地配置設計の前提条件としての航行船の状況について整理した。

8.5では、これまでの検討をもとに、港湾に錨泊地の配置を設計計画する際の考え方について整理した。

本章での検討から、港湾の施設提供者が港湾設計を行う段階において錨泊地の配置を検

討するとき、操船者に困難感を与えない条件での錨泊地の配置を行うことが可能となる。

## 第9章 港湾計画における錨泊地設計のとりまとめ

### 9.1 概説

第4章から第8章までの検討において、港湾計画において錨泊地を設計する際に、錨泊船の間を縫って航行する際の航行船の操船者に困難を課さないことを条件とした設計の考え方について整理した。そこで、本章では、これまでの検討をもとに、錨泊地設計の指針としてとりまとめを行う。

9.2では、港湾の施設提供者が錨泊地について設計計画を行う際の指針をとりまとめる。

### 9.2 港湾の施設提供者への設計指針

#### 9.2.1 錨泊地の設計の手順

錨泊地設計の手順を図9.1に示す。錨泊地の設計は、(1)港湾における錨泊地の配置、(2)錨泊地における錨地の配置、という2つの設計対象からなる。

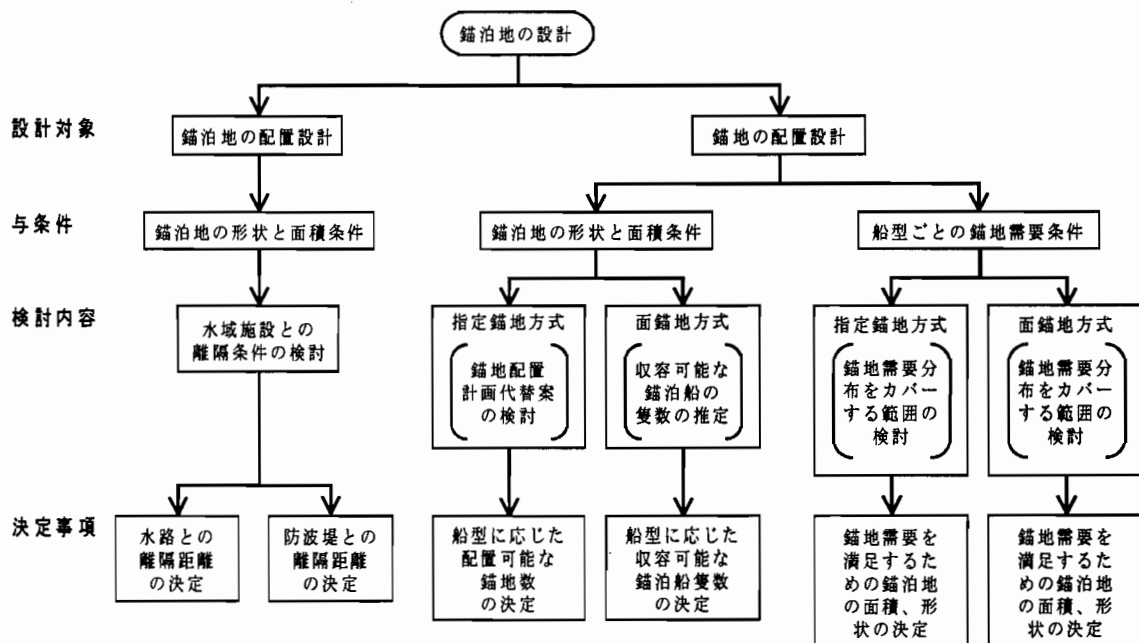


図9.1 錨泊地設計の手順

錨泊地の配置設計にあたっては、錨泊地条件（形状、面積）が与えられたときに、錨泊地と水域施設（水路、防波堤）との間にどれだけの離隔距離を必要とするかを決定する。

錨地の配置設計にあたって指定錨地方式においては、錨泊地条件（形状、面積）が与えられたときに、錨地配置計画代替案の抽出を行い、錨泊船の大きさに応じた配置可能な錨地数を決定する。また、錨泊船の大きさごとの錨地需要分布が与えられたときに、錨地需要を満足するために必要となる錨泊地の面積、形状を決定する。

錨地の配置設計にあたって面錨地方式においては、錨泊地条件（形状、面積）が与えられたときに、錨泊地に収容可能な錨泊船の隻数を推定し、錨泊船の大きさに応じた収容可能な錨泊船隻数を決定する。また、錨泊船の大きさごとの錨地需要分布が与えられたときに、錨地需要を満足するために必要となる錨泊地の面積、形状を決定する。

### 9. 2. 2 錨泊地の配置設計指針

#### (1)水路との離隔距離の決定

錨泊地と水路との離隔距離については、図9. 2に示すように、2つの錨泊地に挟まれた水路を航行する船舶の操船者に困難感を与えないために必要となる間隔として決定する。具体的には、以下の手順で求める。

- ①航行船の幅員の程度について、水路の中を一方向に同じ大きさ同士の船舶が航行する場合には、先行船と後続船の間に少なくとも対象船舶の船長以上の船間間隔をあけて入港する状況を錨泊地の配置設計の前提条件とする。
- ②①に示した前提条件のもとで、2つの錨泊地の間隔は、対象船舶の長さ $l$ と速力 $v$ から、「錨泊地間隔(m) = (0.096 × 船長(m) + 27) × 速力(ノット) + 1.94 × 船長(m)」とする。

#### (2)防波堤との離隔距離の決定

錨泊地と防波堤との離隔距離については、図9. 3に示すように、錨泊地と防波堤に挟まれた水路を航行する船舶の操船者に困難感を与えないために必要となる間隔として決定する。具体的には、以下の手順で求める。

- ①錨泊地と防波堤との間隔は、(1)に示した錨泊地間隔の90%とする。

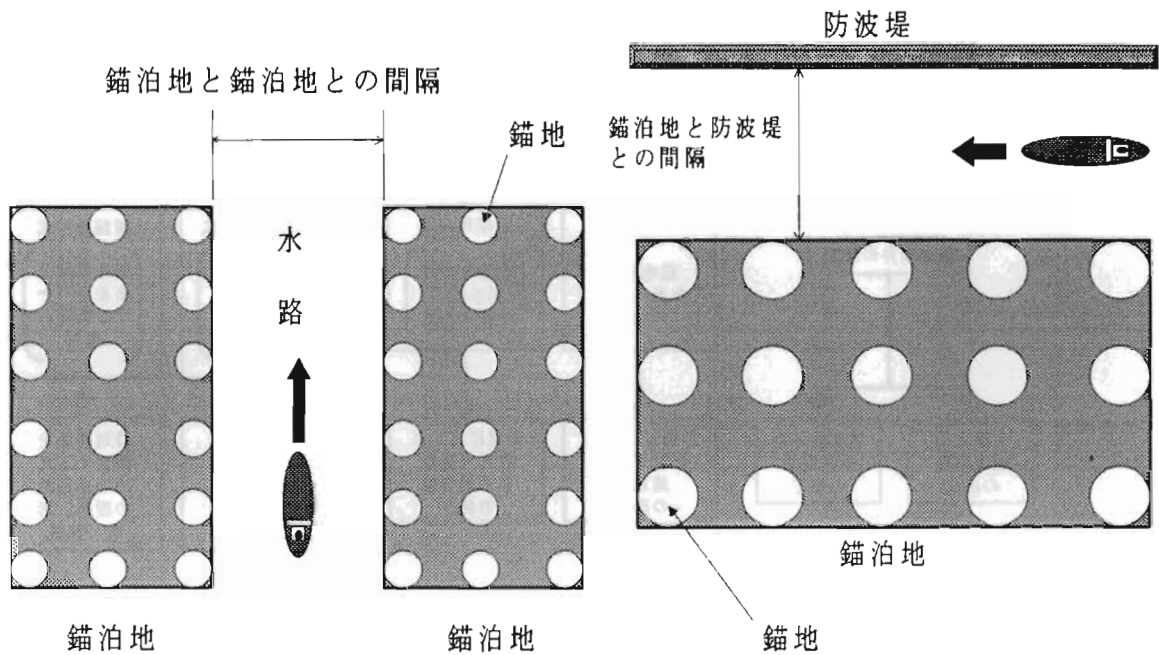


図9. 2 錨泊地と錨泊地との間隔の設定

図9. 3 錨泊地と防波堤との間隔の設定

### 9. 2. 3 指定錨地方式における錨地の配置設計指針

#### (1)錨泊船の大きさに応じた配置可能な錨地数の決定

指定錨地方式における錨地配置設計の手順を図9. 4に示す。任意の形状、面積を持った錨泊地において、どれだけの数の錨地が配置可能であるかを求める。具体的には、次の手順で求める。

- ①現在及び将来における港灣の利用計画から、錨泊地における錨地需要分布を設定する。
- ②錨泊船の大きさを船型別に大型、中型、小型に分類する。

- ③ 錨地需要の平均的な値や需要の変動をもとに、錨泊船の大きさごとに必要となる錨地の配置個数を設定する。<sup>(27)</sup>
- ④ 錨泊地の形状、面積、水深を設定する。
- ⑤ 操船者に困難感を課さないことを条件とした錨地配置の基本要件<sup>(57)</sup>をもとに、錨地配置設計支援システム<sup>(67)</sup>を利用して、②と③で設定した錨泊船条件及び④で設定した錨泊地条件の下での錨地配置設計代替案を網羅的に得る。
- ⑥ 錨泊船の大きさごとに必要となる錨地の配置個数を満たした上で、錨泊地をより効率的に利用できる案、または、その周辺の代替案をコンピュータとの対話方式により絞り込む。
- ⑦ 絞り込まれた錨地配置代替案の中から、錨泊船の大きさごとの錨地の配置個数及び錨泊地利用効率を参考に、目標とする錨地配置に近い錨地配置代替案を選択する。

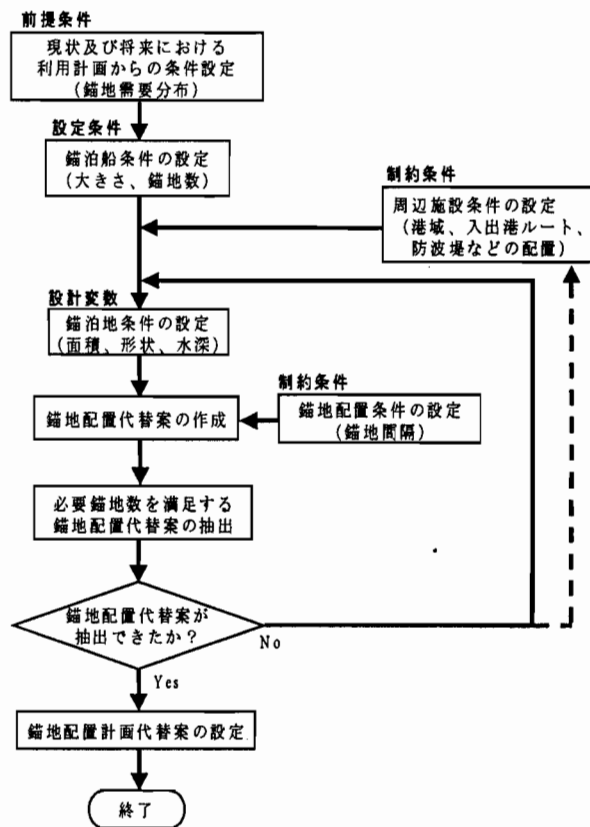


図 9. 4 指定錨地方式における錨地配置設計の手順

(2) 錨地需要を満足するための錨泊地の形状、面積の決定

錨泊船の大きさごとの錨地需要分布を満足するためには、錨泊地の形状、面積がどれほど必要であるかを求める。具体的には、次の手順で求める。

- ① 現在及び将来における港湾の利用計画から、錨泊地における錨地需要分布を設定する。
- ② 錨泊船の大きさを船型別に大型、中型、小型に分類する。
- ③ 錨地需要の平均的な値や需要の変動をもとに、錨泊船の大きさごとに必要となる錨地の配置個数を設定する。<sup>(27)</sup>
- ④ 錨泊地の形状、面積、水深を設定する。
- ⑤ 操船者に困難感を課さないことを条件とした錨地配置の基本要件<sup>(57)</sup>をもとに、錨地配置設計支援システム<sup>(67)</sup>を利用して、②と③で設定した錨泊船条件及び④で設定した錨泊地条件の下での錨地配置設計代替案を網羅的に得る。
- ⑥ 得られた錨地配置設計代替案の中から、錨泊船の大きさごとに必要となる錨地の配置個数を満足する代替案を抽出する。抽出する際には、絞り込み条件を設定することによりコンピュータシステムが行う。
- ⑦ 錨泊船の大きさごとに必要となる錨地の配置個数を満足する代替案が得られない場合には、錨泊地条件を変更して、満足する代替案が得られるまで④から⑥までの手順を繰り返す。

⑧港域や防波堤などによる制約から最大限設定できる錨泊地の形状、面積の下で、錨地の大きさごとに必要となる配置個数を満足する代替案が得られない場合に、新規に港湾を建設する際のように全ての港湾施設の配置を検討することが可能なときには、港域、防波堤などの配置について見直しを行う。

#### 9. 2. 4 面錨地方式における錨地の配置設計指針

##### (1)錨泊船の大きさに応じた配置可能な錨泊船隻数の推定

面錨地方式における錨地配置設計の手順を図9. 5に示す。任意の形状、面積を持った錨泊地において、どれだけの隻数の錨泊船が収容可能であるかを求める。具体的には、次の手順で求める。

- ①現在及び将来における港湾の利用計画から、錨泊地における錨地需要分布を設定する。
- ②錨泊船の大きさを船型別に大型、中型、小型に分類する。
- ③錨地需要の平均的な値や需要の変動をもとに、錨泊船の大きさの構成比率を設定する。<sup>(27)</sup>
- ④錨泊地の形状、面積、水深を設定する。
- ⑤②と③で設定した錨泊船条件及び④で設定した錨泊地条件の下で、モンテカルロ法によるコンピュータシミュレーションを行い、その結果得られる収容隻数を、投錨時の錨泊船間隔と港外から投錨予定地までの航行可否を考慮せずに錨泊地に収容可能な容量（基本容量）とする。

このとき、錨泊地に同じ大きさの船のみが錨泊する場合であれば、収容隻数をもって錨泊地の容量とする。

異なる大きさの船が混在して錨泊する場合には、それぞれの船の長さを標準船の長さで換算したL換算隻数で基準化して錨泊地の容量をあらわす。標準船の長さは70mとする。

- ⑥投錨時の錨泊船間隔と港外から投錨予定地までの航行可否を考慮した上で錨泊地に収容可能な容量（実用容量）を、⑤で求めた基本容量から推定する。実用容量を当該錨泊地の収容隻数とする。

収容隻数がL換算隻数で8隻以上の場合は、基本容量の6割から8割を実用容量とする。収容隻数がL換算隻数で7隻以下の場合は、基本容量の8割から10割を実用容量とする。

- ⑦⑥で求められた収容隻数は錨泊地の平均的な収容能力を示している。面錨地方式では、

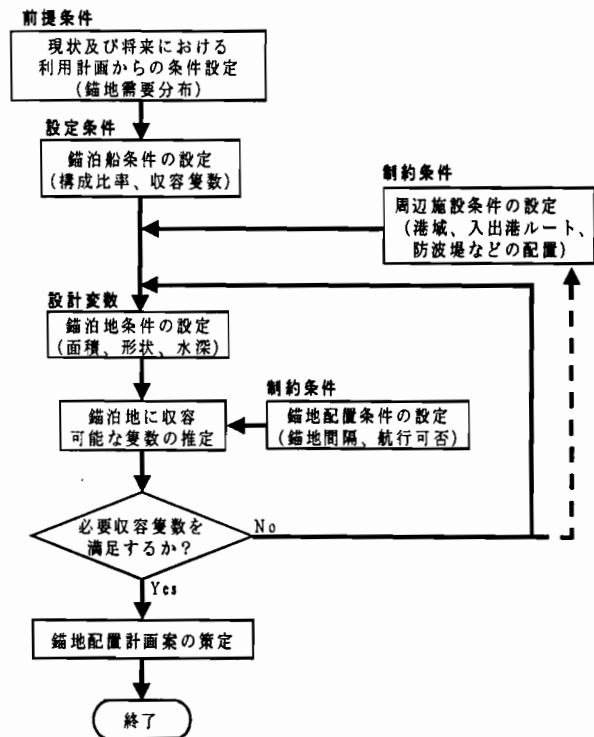


図9. 5 面錨地方式における錨地配置設計の手順

錨泊船の錨泊場所の位置取りや順序によって収容可能な隻数は変動する。錨地需要の変動にどれだけの範囲に渡って錨泊地が対応できるかについては、実用容量の分布から判断することができる。

実用容量の分布形状は、実用容量の平均と標準偏差によって決める。実用容量の標準偏差は、⑥で求めた収容隻数の6%程度である。

⑧詳細に実用容量を求めるには、錨地配置設計支援システム<sup>(67)</sup>を利用して、錨泊地条件及び錨泊船条件の下での実用容量を求める。

## (2)錨地需要を満足するための錨泊地の形状、面積の決定

錨泊船の大きさごとの錨地需要のもとでの希望収容隻数を満足するためには、錨泊地の形状、面積がどれほど必要であるかを求める。具体的には、次の手順で求める。

- ①現在及び将来における港湾の利用計画から、錨泊地における錨地需要分布を設定する。
- ②錨泊船の大きさを船型別に大型、中型、小型に分類する。
- ③錨地需要の平均的な値や需要の変動をもとに、錨泊船の大きさの構成比率を設定する。

(27)

④錨泊地の形状、面積、水深を設定する。

⑤錨泊地に同じ大きさの船のみが錨泊することを想定する場合には、同一船型の収容隻数を用いる。錨泊地に異なる大きさの船が混在して錨泊することを想定する場合には、それぞれの船の長さを標準船の長さで換算したL換算隻数で基準化した収容隻数を用いる。標準船の長さは70mとする。

⑥実用容量は基本容量の6割から8割と推定できるので、希望収容隻数から基本容量を逆算する。

⑦②と③で設定した錨泊船条件及び④で設定した錨泊地条件の下で、モンテカルロ法を用いてコンピュータシミュレーションを行い、代表的な錨泊地条件から基本容量を推定する。

⑧⑦で得られた錨泊地面積と基本容量との関係から、⑥で設定した希望収容隻数に相当する基本容量を満足する錨泊地面積を推定する。

⑨詳細に必要となる錨泊地面積を推定するには、錨地配置設計支援システム<sup>(67)</sup>を利用して、代表的な錨泊地条件から実用容量を推定する。そして、錨泊地の面積と実用容量との関係を得ることにより、希望する収容隻数から錨泊地面積を推定する。

⑩港域や防波堤などによる制約から最大限設定できる錨泊地の形状、面積の下で、希望する収容隻数を満足できない場合に、新規に港湾を建設する際のように全ての港湾施設の配置を検討することが可能なきには、港域、防波堤などの配置について見直しを行う。

## 9.3 結語

第2章から第8章では、従来定めがなかった錨泊地設計の考え方について検討を行った。錨泊船の間を航行する際に、操船者に課される困難感を許容範囲内とすることを条件とした錨地配置を基本要件として、指定錨地方式と面錨地方式における錨地配置設計の考え方を明らかにした。また、港湾内に錨泊地を配置する際の、錨泊地と錨泊地との間隔や、錨泊地と防波堤などの構造物との間隔について、操船者に課される困難感を許容範囲内とす



ることを条件としたときに必要となる間隔を求め、錨泊地配置の考え方を明らかにした。そこで、本章においては、これまでの検討を基礎として、錨泊地を設計するときの指針を示した。

9. 2では、錨泊地の設計指針として、錨泊地の配置設計及び錨地の配置設計の2つに分けた上で、配置設計の手順について整理した。そして、施設提供者が錨泊地の設計を検討する際の指針としてまとめた。港湾の施設提供者は、この指針にもとづき錨泊地の設計計画を行うことにより、操船者に課される困難感を事前に考慮した配置計画案を作成できることになる。

## 第10章 結論

港湾において錨泊地はバース待ちによる仮泊や沖荷役のために現在でも使用されており、錨泊地の必要性は今後とも変わらないものといえる。しかしながら、大水深のコンテナバースの計画、建設に伴い、従来錨泊地として用いられてきた水域が埋め立てられ、結果として錨泊地面積が減少し、錨地の移転、再配置という問題が生じている。

しかしながら、複数の錨地の配置の考え方や設計基準については従来定めがなかった。

また、錨泊地を利用する船舶の操船運用上の問題を、港湾計画における錨泊地配置に取り入れる方法については明らかにされていなかった。

そこで、本研究では、本来錨地の配置が操船者にとってどのようにあるべきかについて、操船者に課される困難感の観点から分析、評価し、港湾の施設提供者が操船者の意識を事前に考慮した錨地の配置の設計計画を行うための手法について検討を行った。この研究を通じて得られた成果について以下に取りまとめる。

第1章では、船舶の大型化、荷役形態の変化、及び港湾における交通環境の変化などにより、港湾における錨泊地の配置についての設計手法の確立が必要であることを述べた。

第2章では、港湾における錨泊地の位置づけを明確にするとともに、現状の錨泊地設計における問題点を指摘し、操船者の意識を考慮した錨泊地設計の必要性を明らかにした。

第3章では、錨泊船の間を縫って航行する際に航行船の操船者に課される困難感を定量的に表現することができるモデルとして環境ストレスモデルを取り上げ、その考え方を説明した。

第4章では、錨地配置設計の考え方について、本研究における考え方を述べ、そして、航行船の操船者に困難を課さないことを条件とした際の隣り合う2隻又は3隻分の錨地について、その配置設計上の基本要件を整理した。

第5章では、港湾の施設提供者が泊地の設計を行う際に従来基準として定めが無かった複数の錨地の配置設計を扱った。指定錨地方式を対象として、第4章での検討をもとに錨泊船の間を船舶が航行する際に操船者に困難感を与えないことを条件とした錨地の配置計画代替案を立案するためのアルゴリズムの策定を行った。

これにより、施設提供者は任意の錨泊地の形状、面積において、どれだけの数の錨地が配置できるかを把握することが可能となった。また施設提供者は、大型、中型、小型という錨泊船の船型に応じた大きさの錨地それぞれに希望する数を配置するためには、どれだけの錨泊地の形状、面積が必要とされるかを把握することが可能となった。

さらに、国内の主要港湾のひとつである神戸港と大阪港におけるそれぞれの次期港湾計画で提案されている錨地配置計画案と、今回策定したアルゴリズムによる錨地配置計画代替案とを比較し、今回策定したアルゴリズムによる錨地配置計画手法の実用性を検証した。

第6章では、港湾の施設提供者が泊地設計を行う際の、面錨地方式における錨泊地容量の推定問題を扱った。

一定の大きさの面積を有する面錨地に対して、環境ストレスモデルを適用して、錨泊船の間を縫って航行する際の航行船の操船者に課される困難感を許容範囲内とすることを条件とした時の錨泊船の収容隻数を明らかにし、これを実用容量として定義した。そして、面錨地の任意の形状、面積のもとで実用容量を推定するための算定式を提示した。これにより、施設提供者は任意の面錨地の形状、面積において、どれだけの数の船舶を収容でき

るかを把握することが可能となった。また施設提供者は、当該港湾における錨地需要を満足するためには、どれだけの面錨地の形状、面積が必要であるかを把握することが可能となった。

第7章では、錨地配置設計を円滑に行うことのできるよう、ユーザインタフェースに考慮した錨地配置設計支援システムの開発を行った。従来、港湾の施設提供者は、紙の上に錨地の大きさに応じた円を描くことによって、錨地配置を検討してきた。本システムを使用することにより、コンピュータシステムが提供する錨地配置計画代替案を取捨選択しながら、合理的に設計計画作業を進めることが可能となった。

第8章では、錨泊地と錨泊地との間を航行する際に必要となる間隔の設定という錨泊地の配置問題を扱った。操船者に課される困難感を考慮するために、環境ストレスモデルを適用して、錨泊地条件と航行船条件により必要となる錨泊地と錨泊地との間隔を推定した。

これにより、港湾の施設提供者が港湾設計を行う際に、操船者に困難感を与えない条件での錨泊地の配置設計が可能となった。

第9章においては、各章に述べた考え方を、港湾の施設提供者が港湾計画において錨泊地設計を計画立案する際の指針として総合化した。

以上、本研究では、港湾における錨泊地の配置設計の問題を取り上げ、操船者に課される困難感に着目して、港湾施設整備計画に際し船舶側の意向を計画の初期段階において取り入れるための考え方についてとりまとめた。

ここでは、環境が操船者に課す困難感を定量的に表現でき、操船者の許容可否の判断基準も備えた環境ストレスモデルを適用することにより、船舶側の錨地配置に対する設計基準を明らかにした。

本研究では、操船者に課される困難感の観点からの検討を行ったが、今後は、さらに操船上の負荷や潜在する衝突の危険という別の観点からの検討や、運航支援という運用上の方策について検討を行い、安全で利用しやすい港湾の形成を行うための研究を行ってきたい。

## 謝辞

本研究の遂行に際しては、多くの方々からご指導、ご協力をいただいたことに感謝します。

神戸商船大学教授、井上欣三先生には、本研究の遂行並びに本論文の執筆にあたり、終始、心温かなご指導とご支援を賜った。ここに、心から感謝します。

神戸商船大学助手、世良亘先生には、本研究を遂行するにあたり、有益なご助言、ご示唆をいただいた。ここに、厚く御礼申し上げます。

そして、本研究の遂行にあたり、資料整理にご協力いただいた神戸商船大学操船運用学研究室大学院生並びに神戸商船大学操船運用学研究室学部生の皆さんに深く感謝いたします。

最後に、本研究の遂行を物心両面から支えてくれた妻、浩美と娘、七海に深く感謝します。

## 参考文献

### 第1章

- (1)平成9年度運輸白書,pp.284～312,運輸省,平成10年1月
- (2)日本の港湾1997,pp.9～59,日本海事広報協会,平成8年12月
- (3)港湾の施設の技術上の基準・同解説,日本港湾協会,平成11年4月
- (4)大神弘,西谷芳雄:大阪湾における避泊錨地面積について,日本航海学会論文集37号,pp.71～76,昭和42年7月
- (5)西谷芳雄,岩崎敏寿:大阪湾における避泊船舶の分布,日本航海学会論文集46号,pp.141～146,昭和46年7月
- (6)巻島勉:群れをなして錨泊している船の分布について,日本航海学会論文集,第48号,pp.127～133,昭和47年12月
- (7)巻島勉:群れをなして錨泊している船の分布について－Ⅱ,日本航海学会論文集,第49号,p.67～71,昭和48年7月
- (8)神島昭,中田裕:港外仮泊船の動静に関する統計的研究－六連泊地をモデルとした錨泊船の調査・解析－,日本航海学会論文集,第68号,pp.95～102,昭和57年10月
- (9)斉藤正明:係岸避泊について,船長,第112号,pp.53～79,平成9年8月

### 第2章

- (10)斉藤正明:港湾計画と航行安全,船長,第111号,pp.46～69,平成9年2月
- (11)東京湾文化コリドール構想,国土庁大都市圏整備局,平成9年9月
- (12)Approach Channels A Guide for Design,PIANC,p.57,1997年6月
- (13)IAPH GUIDELINES FOR PORT PLANNING AND DESIGN,IAPH,1993年5月
- (14)港湾計画書作成マニュアル,日本港湾協会,平成9年7月
- (15)平成10年度海上保安統計年報,海上保安庁,第49巻
- (16)平成3年度水域利用計画(神戸港錨地利用調査)に関する調査研究報告書,神戸市,平成4年3月
- (17)榎木亨,海岸・港湾構造物の設計の変遷と今後の課題,水工学に関する夏期研修会講義集,Vol.33,pp.B-9-2～B-9-22,1997
- (18)長尾義三:港湾工学,共立出版,pp.196～206,昭和43年4月
- (19)佐藤昭二,合田良實:海岸・港湾 わかり易い土木講座17,彰国社,pp.232～233,昭和47年3月
- (20)長尾義三 監修/佐々木 伸 編著:港湾工学概論,共立出版,pp.98～99,1986年3月
- (21)米川實男:改訂増補 港湾施設の設計と計算例,風間書房,pp.51～55,昭和58年11月
- (22)永井正太郎:港湾工学(第6版),オーム社,pp.159～161,昭和55年3月
- (23)井上欣三:荒天時避泊の安全性解析と港湾施設計画への適用に関する研究,京都大学学位論文,昭和60年5月
- (24)岩井聡,新しい港づくり－船舶運航面からの展望－,船長,第108号,pp.28～43,平成7年8月
- (25)井上欣三,橘秀幸,操船者からみた水域施設のあり方に関する意識調査,神戸大学紀要,第2類第36号,pp.59～73,昭和63年7月

- (26)井上欣三,富久尾義孝,菅沼登紀子:操船者の安全感覚に基づく港湾水域施設の評価基準について,日本航海学会論文集,第85号,pp.83~92,平成3年9月
- (27)井上欣三,安田克,田村孝夫:港域内アンカレッジの適正規模配置に関する研究—港域内船舶流動シミュレーションによる研究—,日本航海学会論文集,第90号,pp.243~251,平成6年3月
- (28)井上欣三,宮坂真人:操船者から見たターニングベースンの設計に関する研究,日本航海学会論文集,第95号,pp.137~146,平成8年9月
- (29)井上欣三,宇佐美茂,柴田登紀子:制約水域における航過距離と離隔距離に関する操船者意識のモデル化,日本航海学会論文集,第90号,pp.297~306,平成6年3月
- (30)藤井照久,橋本進,大本直宏,松原昭一,岡辺光邦,古荘雅生,新井康夫:錨泊中の実船の振れ回り軌跡について,日本航海学会論文集,第62号,pp.145~151,昭和55年1月
- (31)斉藤重信,横須賀勇一:荒天錨泊に関する研究—錨泊中の実船における錨鎖張力の測定について—,日本航海学会論文集,第74号,pp.9~18,昭和61年3月
- (32)花房元顕,佐藤治夫,鈴木常夫:錨地の評価に関する一考察,日本航海学会論文集,第86号,pp.279~287,平成4年3月
- (33)佐藤治夫,鈴木常夫:砂質土における錨の把駐力の推定,日本航海学会論文集,第90号,pp.253~259,平成6年3月
- (34)浦環:アンカーの最大把駐力係数,日本航海学会論文集,第71号,pp.37~45,昭和59年9月
- (35)井上欣三:走錨する船の挙動解析と避泊安全対策,日本航海学会論文集,第78号,pp.129~138,昭和63年3月
- (36)鶴田三郎,錨泊について,船長,第103号,pp.10~17,平成5年1月
- (37)井上欣三,臼井英夫:走錨危険指数から見た錨泊の設計指針—風速、水深と錨鎖長—,日本航海学会論文集,第90号,pp.233~241,平成6年3月
- (38)井上欣三,臼井英夫:走錨危険指数から見た錨泊の設計指針—双錨泊の安全性検討—,日本航海学会論文集,第92号,pp.213~221,平成7年3月
- (39)井上欣三,臼井英夫,岩切茂:錨泊安全性から見たアンカー装備基準のあり方に関する一考察,日本航海学会論文集,第94号,pp.63~71,平成8年3月
- (40)土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会,海岸波動【波・構造物・地盤の相互作用の解析法】,土木学会,平成6年

### 第3章

- (41)井上欣三,原潔,金子光浩,増田憲司:操船者の危険感に基づく操船環境の評価—評価指標としての環境ストレス値の定義—,日本航海学会論文集,第95号,pp.147~153,平成8年9月
- (42)井上欣三,増田憲司,原潔,宮坂:操船者の危険感に基づく操船環境と交通環境の同時評価法,日本航海学会論文集,第97号,平成9年9月
- (43)井上欣三,増田憲司,世良亘:海上交通安全評価のための技術的ガイドライン策定に関する研究—I.—環境負荷の概念に基づく操船の困難性評価—,日本航海学会論文集,第98号,pp.225~234,平成10年3月
- (44)井上欣三,久保野雅敬,宮坂真人,原潔:危険の切迫に対して操船者が感じる危険感の定量化,日本航海学会論文集,第98号,pp.235~245,平成10年3月

- (45)井上欣三,宇佐美茂,柴田登紀子:制約水域における航過距離と離隔距離に関する操船者意識のモデル化,日本航海学会論文集,第90号,pp.297~306,平成6年3月
- (46)井上欣三,川瀬雅勇己,安田克,原大地:海上交通安全評価のための技術的ガイドライン策定に関する研究-Ⅲ. -困難性評価とフューマンファクタ,日本航海学会論文集,第100号,pp.191~198,平成11年3月
- (47)小林弘明,田中清隆:外乱下における変針制御について,日本航海学会論文集,第86号,pp.235~242,平成4年3月
- (48)日當博喜,小瀬邦治:閉塞された水路の航行危険度の評価尺度に関する研究,日本航海学会論文集,第91号,pp.51~59,平成6年9月
- (49)小林弘明,竹内昭文,内野明子:2nd' r y t a s kによる人間の作業負担評価について,日本航海学会論文集,第91号,pp.247~253,平成6年9月
- (50)中村紳也,石岡靖,郭壁奎,小瀬邦治:水域施設における船舶操船の安全性評価方法に関する研究,日本航海学会論文集,第88号,pp.153~160,平成5年3月
- (51)井上欣三,原潔,柴田雄治:可航域が閉塞されるとき操船行動に関するシミュレータ実験,日本航海学会論文集,第87号,pp.147~154,平成4年9月
- (52)井上欣三,玉井勝也:防波堤の配置計画に対する操船者の選好性評価-三次元視覚モデルの提案-,日本航海学会論文集,第89号,pp.99~107,平成5年9月
- (53)原潔:輻輳海域における避航操船基準の有効性,日本航海学会論文集,第85号,pp.33~40,平成3年9月
- (54)長澤明,原潔,井上欣三,小瀬邦治:避航操船環境の困難度-Ⅱ. -シミュレーションによる評価に向けて-,日本航海学会論文集,第88号,pp.137~144,平成5年3月
- (55)井上欣三,宇佐美茂,世良亘:避航操船の困難度評価指標の開発-操船環境総合化モデルの提案-,日本航海学会論文集,第89号,pp.187~195,平成5年9月
- (56)井上欣三,宇佐美茂,世良亘:制約水域における避航操船の困難度評価-操船環境総合化モデルの実用化へのアプローチ-,日本航海学会論文集,第91号,pp.213~220,平成6年9月

#### 第4章

- (57)井上欣三,臼井英夫:錨泊船間航行と操船困難性,日本航海学会論文集,第99号,pp.155~162,平成10年9月
- (58)津田孝夫:モンテカルロ法とシミュレーション -電子計算機の確率的応用- <三訂版>, 培風館, 1995年6月
- (59)茨木俊秀:アルゴリズムとデータ構造,昭晃堂,1989年12月
- (60)Colin R. Reeves編,横山隆一他訳:モダンヒューリスティックス 組合せ最適化の先端手法,日刊工業新聞社,1997年6月
- (61)山本修司:港湾防波堤等の最適設計,土木情報システム論文集,Vol.1,pp.159~166,1992
- (62)永岩健一郎,フェリーボートへの自動車の最適積み込み計画に関する研究-Ⅱ. -3目的(トリム、ヒール、追い越し)最適化モデル-,日本航海学会論文集,第97号,pp.141~147,平成9年9月
- (63)西村悦子,今井昭夫:遺伝子アルゴリズムを用いた公共バスの割当法,日本航海学会論文集,第100号,pp.181~189,平成11年3月

- (64)杉崎昭生,多治見伸好:日本船舶の統計的特性,航海,第44号,pp.30~42,昭和49年9月  
(65)寺内潔,港湾計画のための船舶主要寸法の変遷,船の科学,第30号,pp.88~102,1980年1月  
(66)有村信夫,山田一成,菅澤忍,池上二郎:船舶諸元特性の統計解析に関する一考察,日本航海学会論文集,第89号,pp.237~243,平成5年9月

#### 第5章

- (67)井上欣三,臼井英夫:港湾における錨地配置設計に関する研究,日本航海学会論文集,第100号,pp.169~179,平成11年3月

#### 第6章

- (68)臼井英夫,井上欣三:面錨地配置設計における泊地設計について,日本航海学会論文集,第101号,pp.151~160,平成11年9月

#### 第7章

#### 第8章

- (69)臼井英夫,井上欣三:錨泊地の配置設計について,日本航海学会論文集,第102号,論文審査中  
(70)井上欣三:走錨する船の挙動解析と避泊安全対策,日本航海学会誌,第78号,pp.129~138,昭和63年3月

#### 第9章

#### 第10章