

1. はじめに

2007年に改正された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾では、荒天時の泊地規模についての定量的な記述はなされていない。ただし、過去の港湾の施設の技術上の基準・同解説では定量的な算定式が記述されていたものの、1999年に港湾の施設の技術上の基準・同解説の改正の際に、その算定式の根拠が不明であったことから削除された経緯がある。実際問題として荒天時における船舶の避泊実態、特に泊地規模を把握するのは容易ではなく、その算定式の妥当性の評価のみならず、新たな算定式の提案もなされていなかった。

近年、外航船・内航船ともに一定規模以上の船舶へのAIS (Automatic Identification System : 船舶自動識別装置) の搭載が義務化されたことで、荒天時での避泊実態の把握が従来と比較して格段に容易になった。港湾研究部港湾計画研究室では、国総研船舶動静解析システム (NILIM-AIS) を構築することで東京湾でのAISデータの定常的観測を可能とし、2007年9月に東京湾を台風が通過した際の湾内での船舶の避泊実態を観測することができた。

そこで、著者らは国総研資料No.500においてNILIM-AISにより2007年9月の台風の通過時における東京湾内での5,000GT以上の船舶の避泊行動について分析し、従来の港湾の施設の技術上の基準・同解説で示された内容および荒天時の泊地規模の算定式について分析した。

本研究では、この台風が通過した際に観測された5,000GT未満の船舶も含めた全船舶を対象とし、先の国総研資料No.500の結果を踏まえた分析を行う。

2. 技術基準における経緯と本研究の目的

2.1 技術基準における経緯

最新の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(2007)から遡って、技術基準における荒天時の泊地規模(広さ)に関する記載について以下に整理する。なお本研究では、これまでの「港湾の施設の技術上の基準・同解説」を技術基準として、発行された年次とともに表記する。例えば、2007年に改正された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」については、技術基準(2007)として表記する。

ここから明らかになるように、技術基準(1989)までは表-2.1において示されていた荒天時の泊地規模が、それ以降の技術基準では示されていない。これは、技術基準(1999)を作成する段階で、この式の根拠・出典が確認されていないこと、またその式の妥当性を検証できるデータが得られなかった等の理由により削除された経緯がある。因みに、著者の一人である高橋が当時この式に関する根拠・出典を調査した際には、研究成果等に基づくものではない経験式であるとの見解が一般的であった。この状況はそれ以降も同じであったことから、技術基準(2007)の作成段階においても参考文献を提示するのみとなっている。

技術基準(2007)¹⁾

第4編 第3章 水域施設

3 泊地

3.3 性能照査

(2)停泊又は係留の用に供される泊地の広さ

⑦錨泊方法、荒天時の規模を検討する場合には、文献2)～5)を参考にすることができる。

技術基準(1999)⁶⁾

第6編 水域施設 第4章 泊地

4.2 泊地の位置と面積

4.2.2 停泊又は係留の用に供される泊地の面積

[参考]

(1)錨泊方法、荒天時の規模を検討するには、岩井²⁾、本田³⁾の文献等を参考にすることができる。また、超大型船に関して検討するには、日本海難防止協会の文献4)等を参考にすることができる。

(2)特に、荒天時の錨泊する場合の規模等の検討には、鈴木⁵⁾により提案されているモデルを参考にすることができる。

技術基準(1989)⁷⁾

第6編 水域施設 第4章 泊地

4.2 泊地の位置と面積

4.2.2 停泊又は係留の用に供される泊地の面積

(1)第5条第1項第1号の「停泊又は係留の用に供される泊地であって、岸壁、係船くい、さん橋及び浮さん橋の前面の泊地以外のもの」とは、びょう（錨）及び浮標泊の用に供する泊地である。「対象船舶の長さに地形、気象、海象その他の自然状況に照らし適切な値を加えて得た半径」とは利用の目的および方式に応じて表-2.1に定めることを標準とする。

表-2.1 泊地の面積

Lは対象船舶の船長(m) Dは水深(m)			
利用の目的	利用の方式	海底地質又は風速	半径
沖待ち又は荷役	単びょう泊	いかりがかりが良い	$L+6D$
		いかりがかりが悪い	$L+6D+30m$
	双びょう泊	いかりがかりが良い	$L+4.5D$
		いかりがかりが悪い	$L+4.5D+25m$
荒天時の避泊	—	風速毎秒20m	$L+3D+90m$
		風速毎秒30m	$L+4D+145m$

技術基準(1979)⁸⁾

第6編 水域施設 第3章 泊地

3.2 泊地の位置と面積

3.2.2 停泊又は係留の用に供される泊地の面積

(1)第5条第1項第1号の「停泊又は係留の用に供される泊地であって、岸壁、係船くい、さん橋及び浮さん橋の前面の泊地以外のもの」とは、びょう（錨）及び浮標泊の用に供する泊地である。「対象船舶の長さに地形、気象、海象その他の自然状況に照らし適切な値を加えて得た半径」とは利用の目的および方式に応じて表-2.1に定めることを標準とする。

2.2 本研究の目的

技術基準（1999）まで示されてきた荒天時の泊地規模を示す式については、その根拠・出典が不明であっても実際の観測データ等に基づきその妥当性が確認されるのであれば削除されることはなかったと考えられる。

そこで、著者らは国総研資料No.500において2007年9月の台風の通過時における東京湾内での5,000GT以上の船舶の避泊行動について分析し、従来の技術基準で示された内容および荒天時の泊地規模の算定式について分析した。

本研究では、さらに5,000GT未満の船舶を含めた観測された全船舶を対象とし、先の国総研資料No.500の結果を踏まえ、以下で以下の観点からの分析を行う。

①避泊タイプ（錨泊、転錨）での船階級別・空間的な分布実態の比較

②技術基準（1989）での表-2.1で示された泊地の面積算定式に対する船階級別での評価

③船長（Loa）を指標とした泊地面積（錨泊）の規模に対する検討

なお、台風通過時のデータを取得した2007年9月は未だ対象船舶に対するAIS搭載の経過期間中であつたので、AIS搭載義務船全てが把握していないことに注意することが必要である。

3. 対象とする台風9号の概要¹¹⁾

本研究で対象とする台風9号の概要を文献¹¹⁾から以下に引用する。

「台風9号は、8月29日15時に南鳥島近海で発生し北に進んだ。その後台風は進路を次第に西に変えて南鳥島近海を進み、9月4日に父島の北を通った後は進路を北に変え、6日には伊豆諸島の西を北上した。台風9号の中心は、7日02時前に、強い勢力を保ったまま神奈川県小田原市付近に上陸した。その後台風は関東地方・東北地方を北上し、8日には北海道函館市付近に再上陸した。台風の北上に伴い、5日から関東地方を中心に台風本体北側の発達した雨雲により強い雨が降り出した。その後台風の接近と共に、強い雨は関東甲信地方から東海地方を中心に広がり、台風が関東地方を通過する7日朝のうちにかけて、所々で激しい雨が降った。ここで、台風の経路を図-3.1に、6日21日の天気図、気象衛星の映像を図-3.2に示す。

降り始めの5日00時から7日24時までの総降水量は、伊豆半島や関東の山地の一部で500ミリを超え、静岡県伊豆市湯ヶ島で690ミリ、東京都奥多摩町小河内で683ミリ、神奈

川県箱根町箱根で651ミリを記録した。日降水量は、静岡県伊豆市湯ヶ島で595ミリ、静岡県御殿場市御殿場で524ミリを記録するなど、9月として観測開始以来第1位となった所があった。

風は、東海地方・関東地方の沿岸および伊豆諸島を中心に、最大風速20m/s以上の非常に強い風を観測した所があり、石廊崎で33.6m/s、東京都神津島村神津島で33m/sを記録した。最大瞬間風速は、伊豆半島や伊豆諸島を中心に40m/s以上を観測した所があり、石廊崎で54.6m/s、三宅島で50.7m/sを記録した。なお、軽井沢では27.7m/sを記録し、9月として観測開始以来の第1位となった。図-3.3には10分間の平均風速の結果を示す。東京湾周辺では非常に強い風が観測されている。

関東地方から東海地方にかけての海上では、台風の接近・通過に伴って波やうねりが高くなり、6日には6メートルを超える大しけの状態となり、特に伊豆諸島から関東の南海上では波の高さが9メートルを超える猛烈なしけとなった。図-3.4には6日9時および21時での等波高線図を示す。」

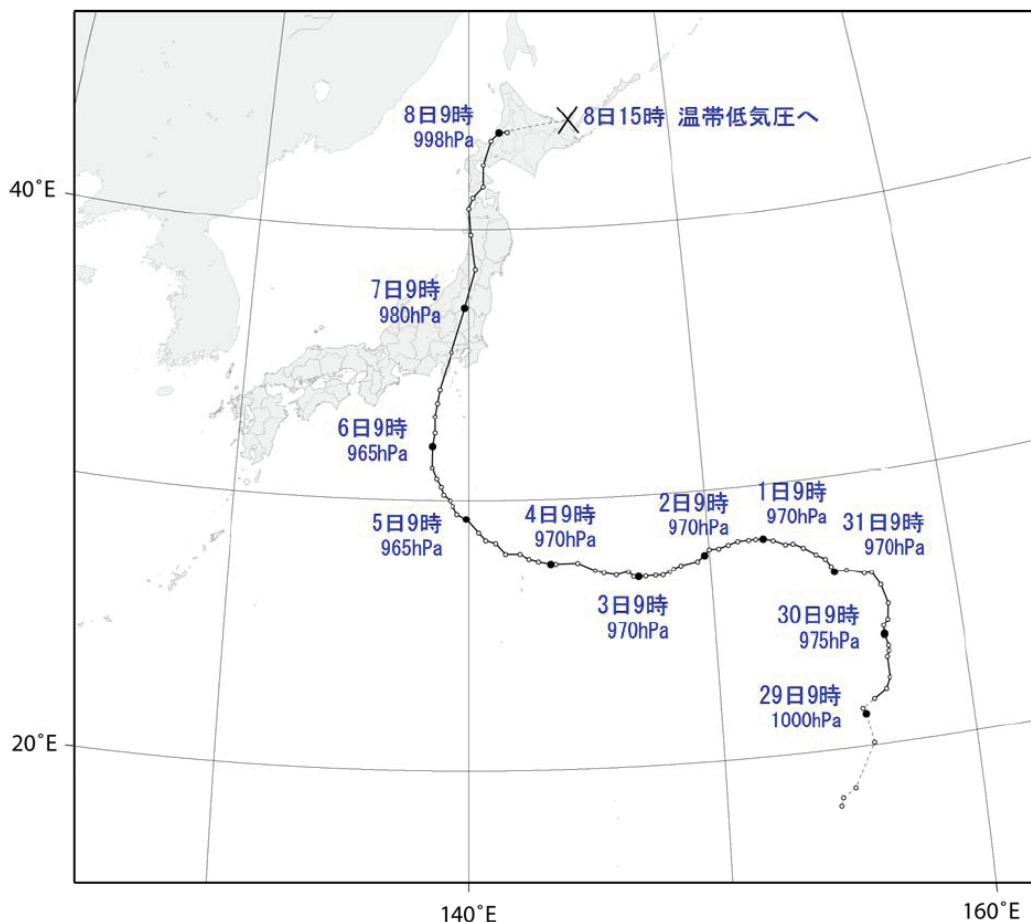


図-3.1 台風経路図（日時，中心気圧（hPa））¹¹⁾

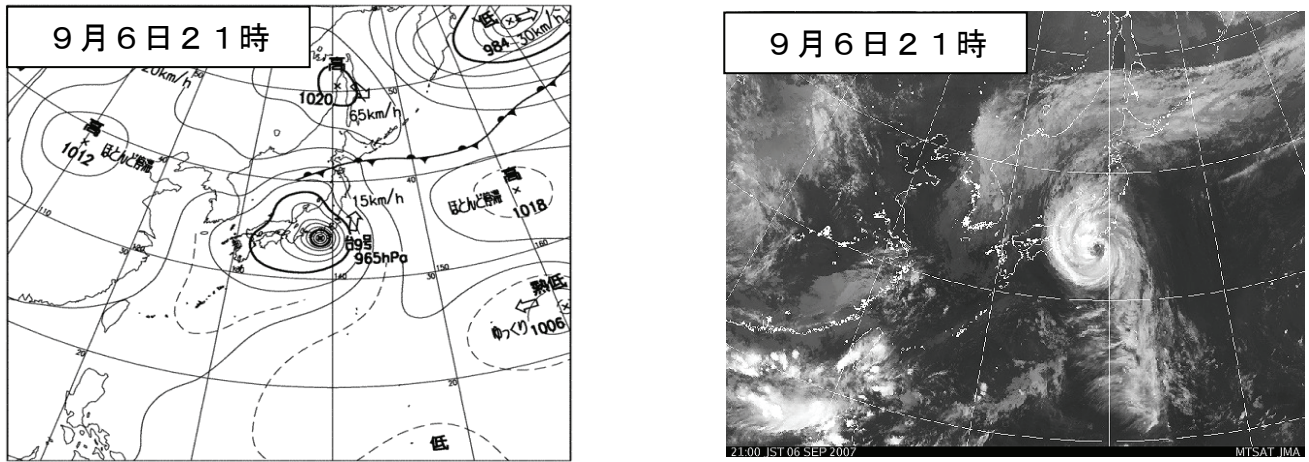


図-3.2 地上天気図および気象衛星「ひまわり6号」赤外画像¹¹⁾

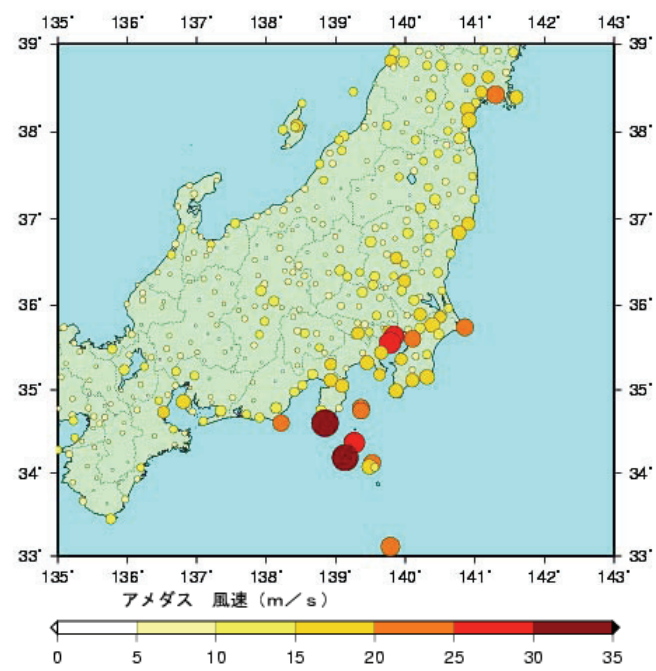


図-3.3 最大風速（10分間平均風速の最大値）分布図¹¹⁾

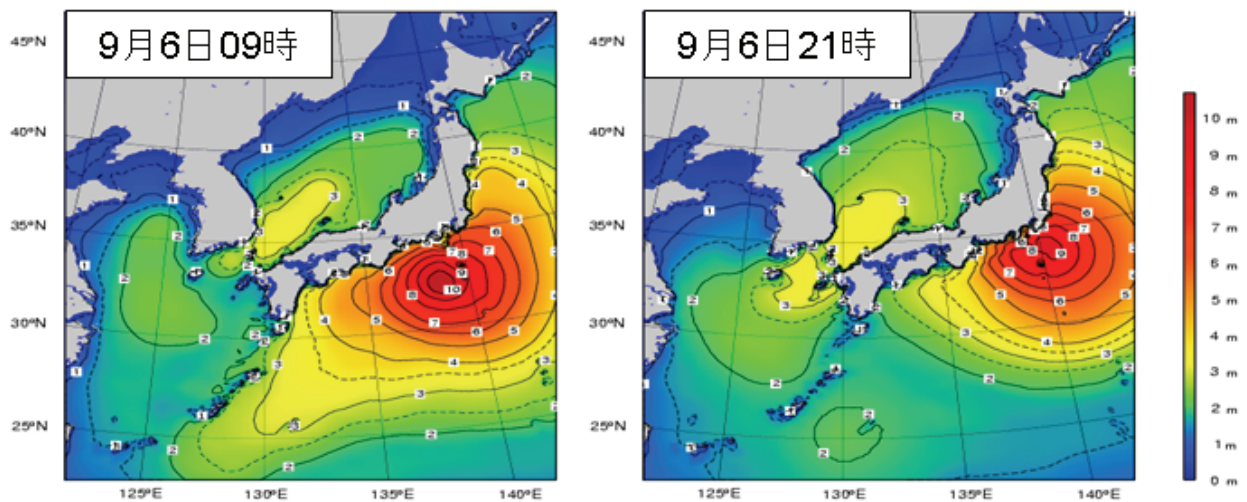


図-3.4 等波高線図¹¹⁾

4. 分析結果

4.1 荒天時における船舶の避泊行動分析

国総研船舶動静解析システム（NILIM-AIS）は「船舶動静リアルタイム観測機能」と「船舶動静取得データ解析機能」を有しているが、本研究では「船舶動静取得データ解析機能」のうち、AISデータから得られる船長、船幅により近似的な形状で船型を表示する機能を用いている。

台風が東京湾に接近した9月5日から影響が無くなる9月8日までの間に、東京湾内において185隻が観測された。このうちの32隻についてはLMIU（Lloyd's Maritime Intelligence Unite）Shipping Dataに基づきデータ補填をしてもらえなかった。このため、この32隻を除いた153隻を対象として避泊状況を追跡した（図-4.1）。

このうち5,000GT以上の54隻については、既に国総研資料No.500において解析結果を示していることから、本研究では5,000GT未満の99隻の船舶についてGTの大きな順からの解析結果を参考図-1～99に示す。

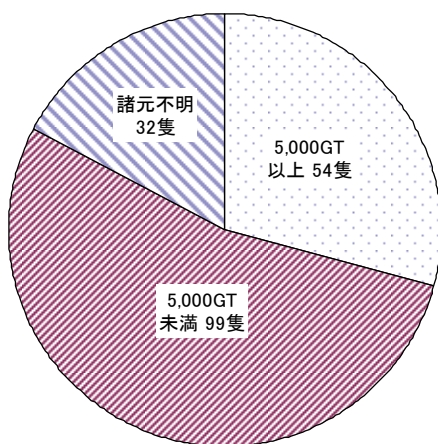


図-4.1 観測対象船舶の分布

4.2 船舶の避泊タイプ区分

図-4.2、4.3（参考図-13、8）では観測された錨泊タイプの解析結果を示す。解析結果の図では、下段に7日の午前を中心とした避泊の状態を、上段には避泊前後の動静を示している。また、下段では図-4.2のように一ヶ所で錨泊して中心点からの円形の触れ回りが観測された場合（以下このような避泊を錨泊タイプとする）には、船尾を包絡する円を描き、その直径を計測している。ここで、図-4.2、4.3（参考図-13、8）に示すようにその包絡線が楕円になる場合には長短の直径を計測している。また、船舶の動静から錨泊を開始および終了したと思われる時間を合わせて示している。なお、観測対象船舶の諸元については下段の左

側に示している。

図-4.2、4.3に示すような円形の観測結果が得られる場合とは別に、例えば図-4.4、4.5（参考図-5、18）に示すように1ヶ所で錨泊するのではなく広範囲に移動している避泊行動（以下このような避泊を転錨タイプとする）の観測結果も得られている。この転錨の原因として、①自船が走錨したので別の錨かきの良い場所に打ち直すことの場合、②他船が走錨してくるので衝突を避けるために錨を打ち直す場合、③自船の近くの錨泊船が増加したのもっと距離を取りたい場合等が挙げられる。

国総研資料No.500ではこの錨泊タイプと転錨タイプのみを示していた。しかし、今回の全船舶を対象としたことで図-4.6、4.7（参考図-69、84）に示すような係岸避泊をした船舶が観測された。係岸避泊として観測された船舶は、全て1,000GT未満であった。

今回の解析対象とした153隻のタイプ別分布は、錨泊タイプが62隻(40.5%)、転錨タイプが85隻(55.6%)、係岸避泊タイプが6隻(3.9%)であった。

なお、この参考図-1～99において、「錨泊タイプ」と判断した場合には円または楕円により、「点描タイプ」と判断した場合には矩形により表示している。また、参考図における記号の内容を表-4.1に示す。

表-4.1 記号の内容

船種	BBU	bulk
	BCE	cement
	GGC	general cargo
	GRF	ref
	LPG	lpg
	MVE	vehicle
	ODS	diving support
	OFY	ferry
	OPA	patrol ship
	OTR	training
	PRR	passenger ro/ro
	RRE	research
	TAS	asphalt tanker
	TCH	chem.tank
	TCO	chemical/oil carrier
	TPD	product tanker
	TTA	non specific tanker
	UCC	c.c.
	URR	ro/ro
dmax		満載喫水
dais		AIS情報から得られた航行時における喫水

観測日：07.09.05 14:00

～07.09.07 11:00

船種：TPD

4,999 DWT

3,790 GT

Loa=104 m

B=16.0 m

dmax=6.2 m

dais=5.1 m

水深=20.0 m

観測結果による

長直径=620 m

観測結果による

短直径=590 m

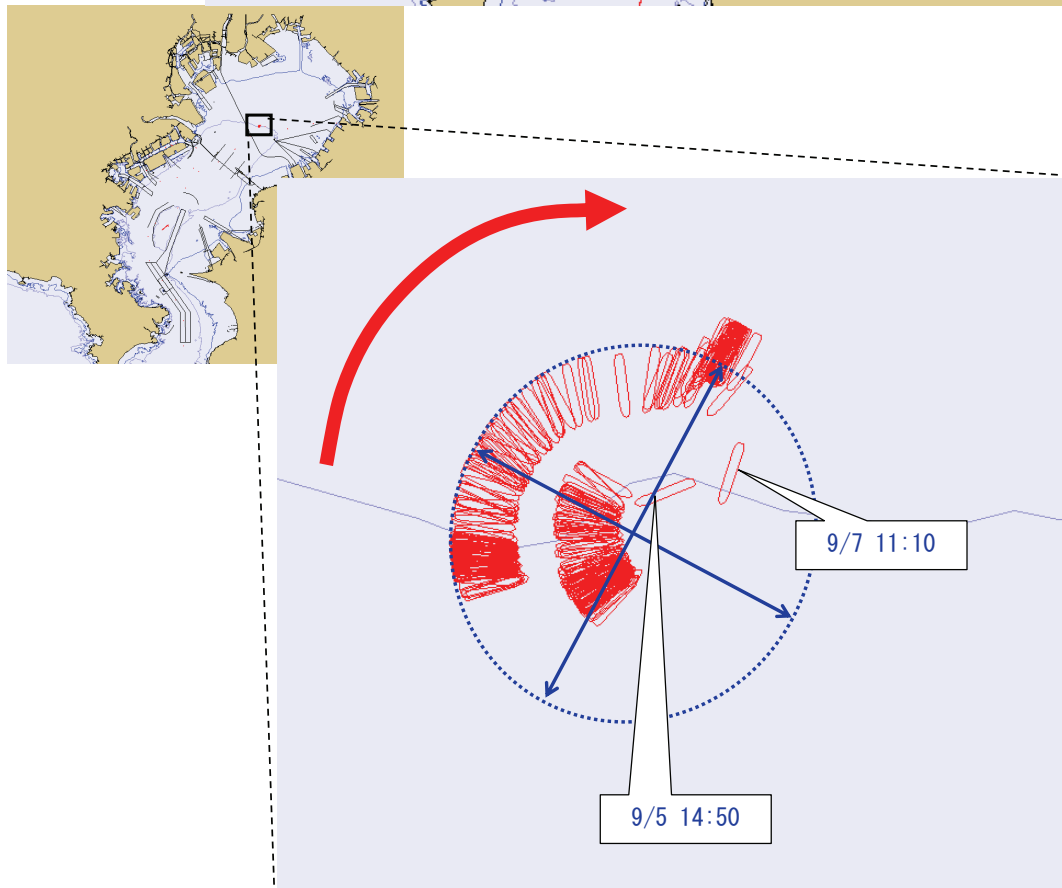
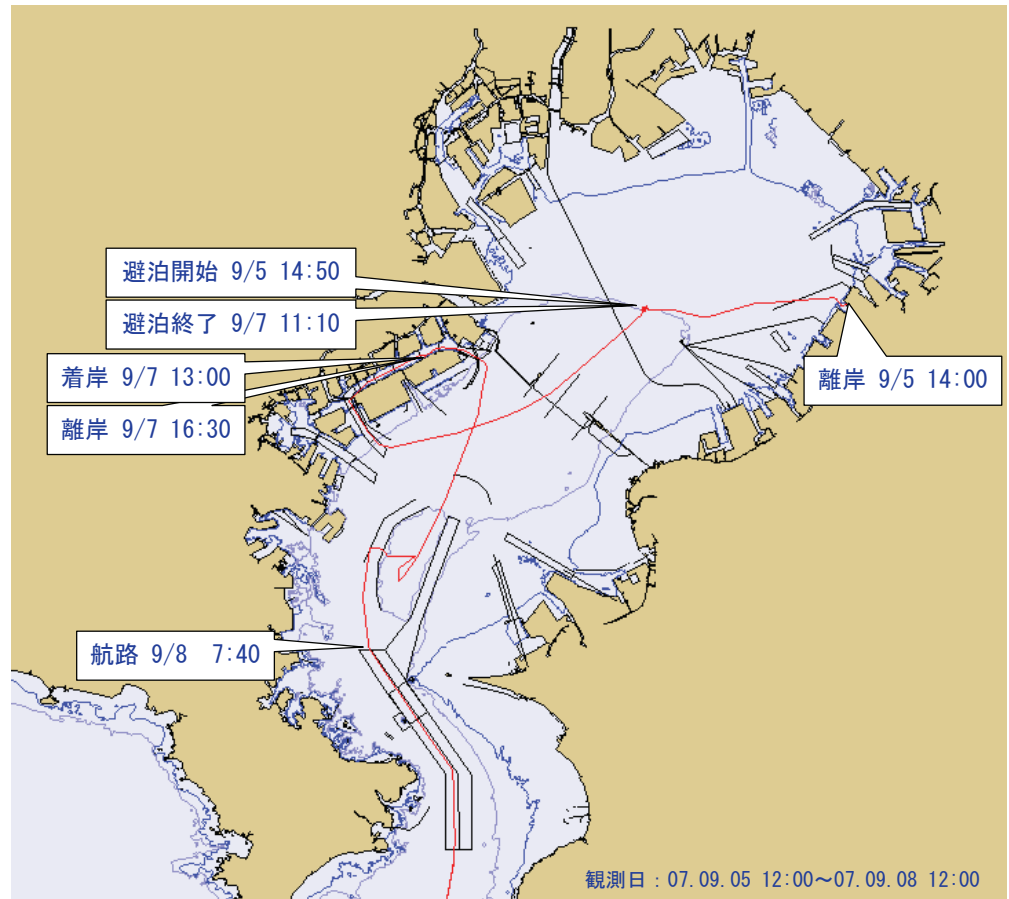


図-4.2 荒天時における船舶の避泊行動（錨泊タイプ）

観測日 : 07.09.05 21:00
 ~07.09.08 7:00

船種 : TPD

4,999 DWT

4,286 GT

Loa=105 m

B=17.2 m

dmax=6.6 m

dais=5.7 m

水深=20.5 m

観測結果による

長直径=520 m

観測結果による

短直径=380 m

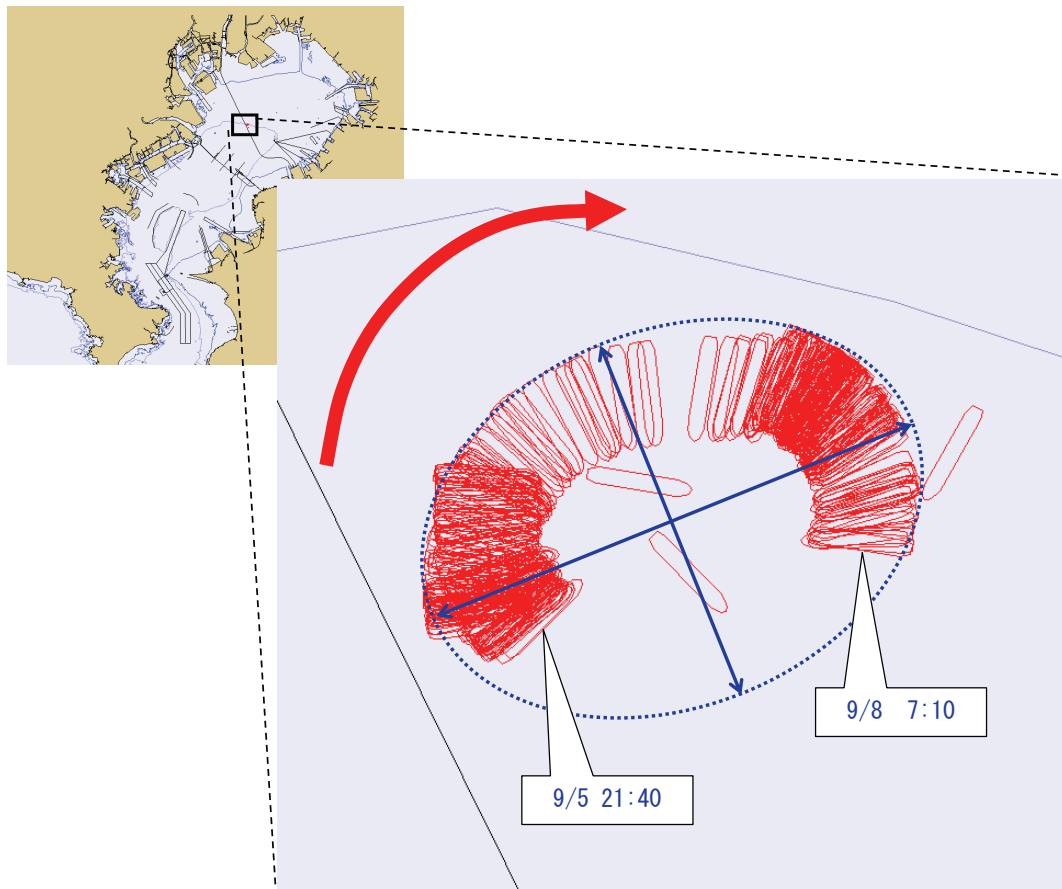
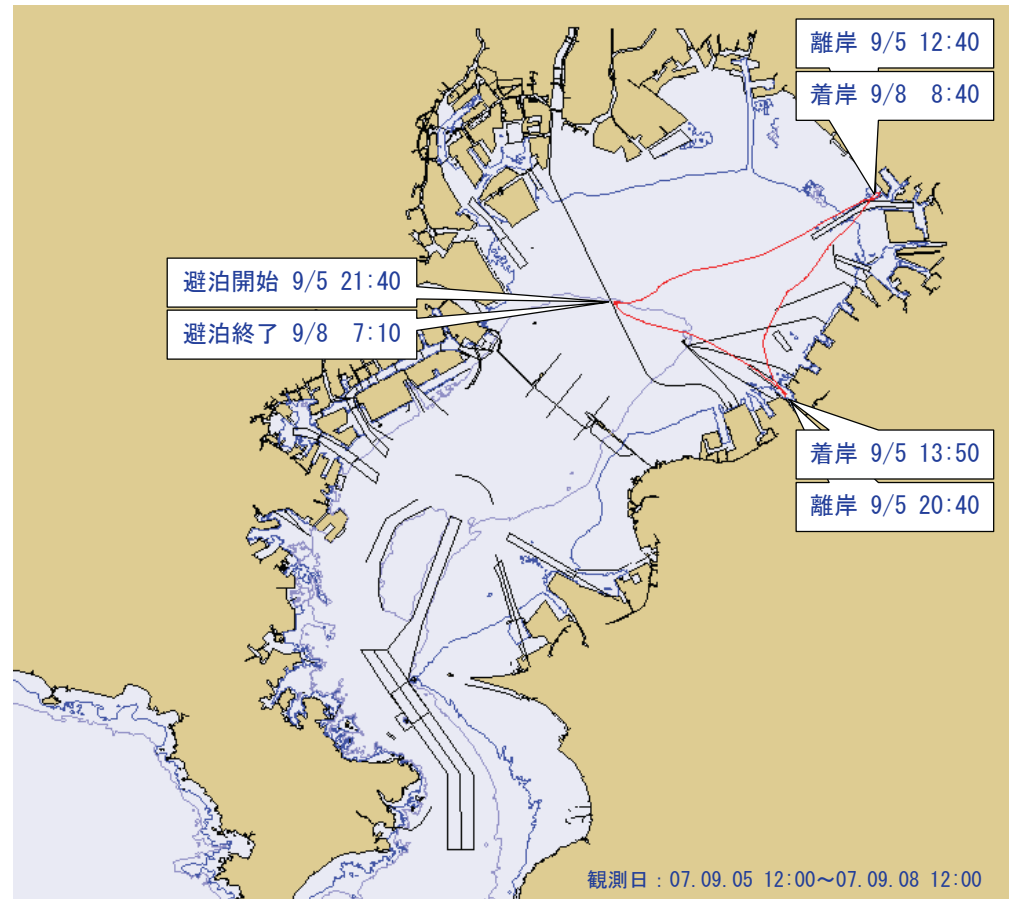


図-4.3 荒天時における船舶の避泊行動（錨泊タイプ）

観測日：07.09.05 18:00

～07.09.07 18:00

船種：GGC

6,223 DWT

4,697 GT

Loa=88 m

B=17.4 m

dmax=7.3 m

dais=7.5 m

観測結果による

長辺=760 m

観測結果による

短辺=470 m

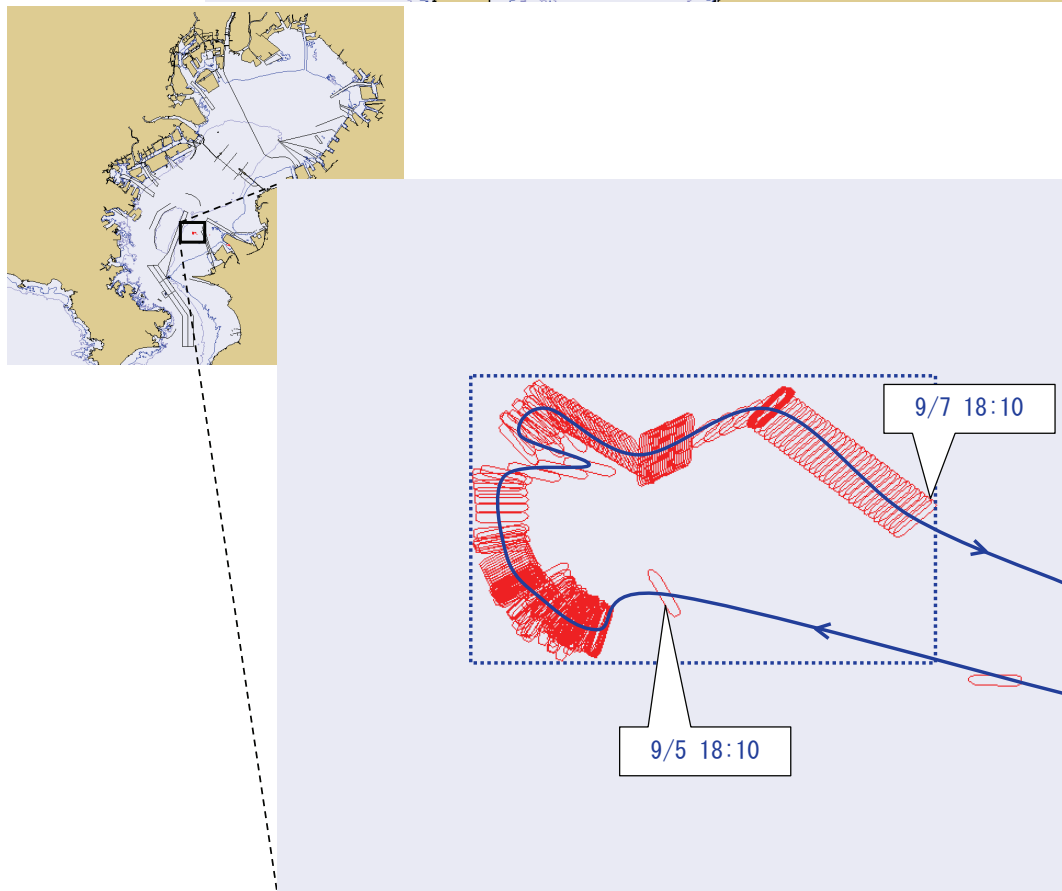
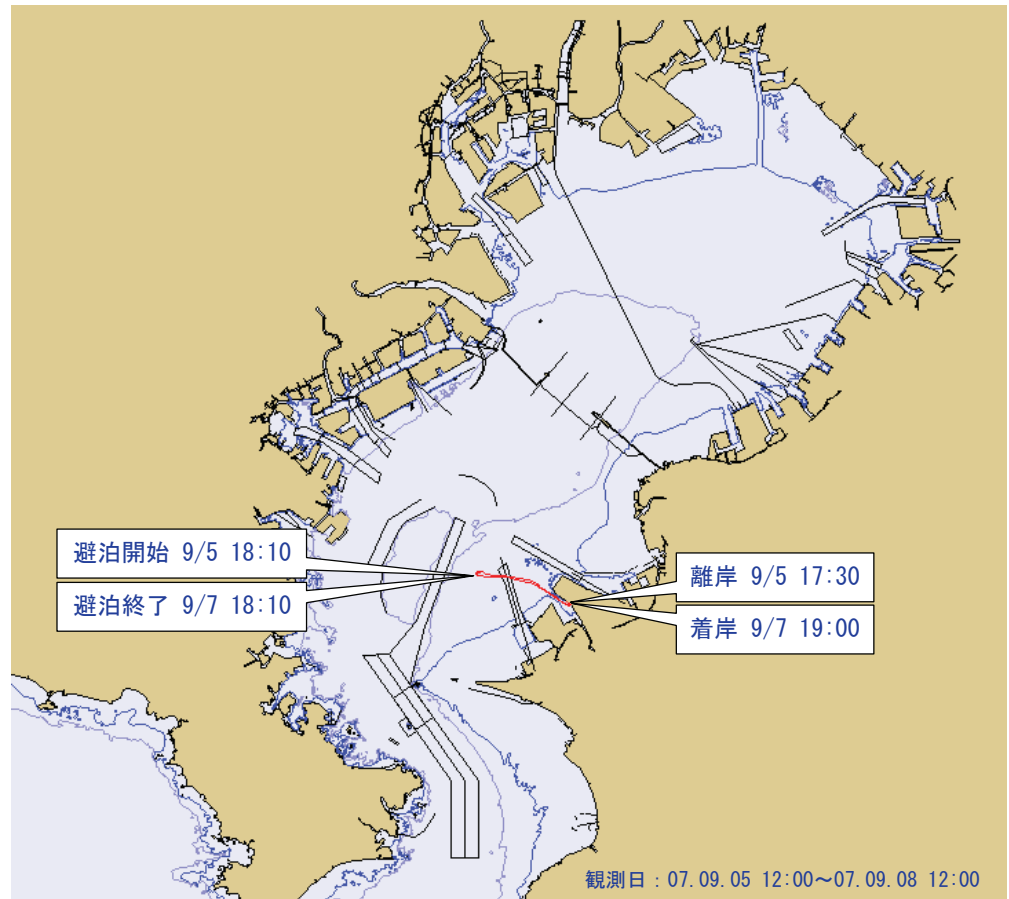


図-4.4 荒天時における船舶の避泊行動（転錨タイプ）

観測日 : 07.09.05 12:00

～07.09.08 12:00

船種 : TPD

5,522 DWT

3,675 GT

Loa=104 m

B=16.0 m

dmax=6.6 m

dais=5.3 m

観測結果による

長辺=1,280 m

観測結果による

短辺=450 m

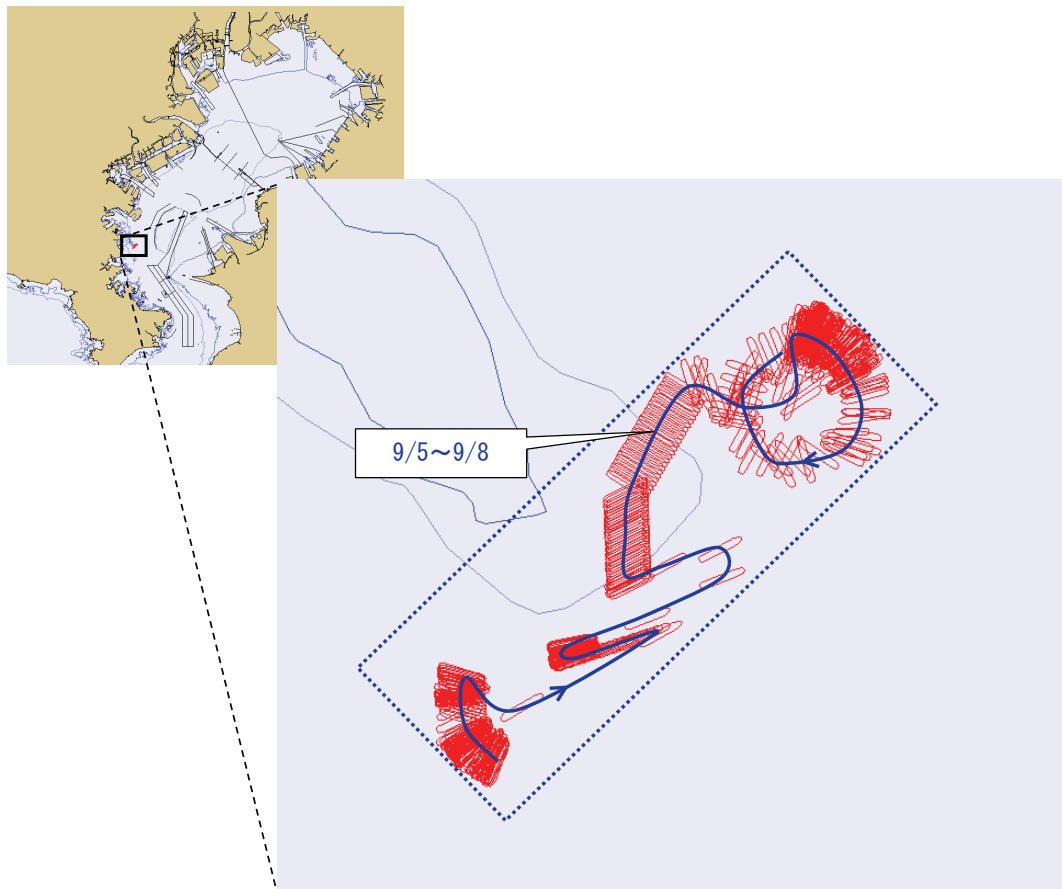
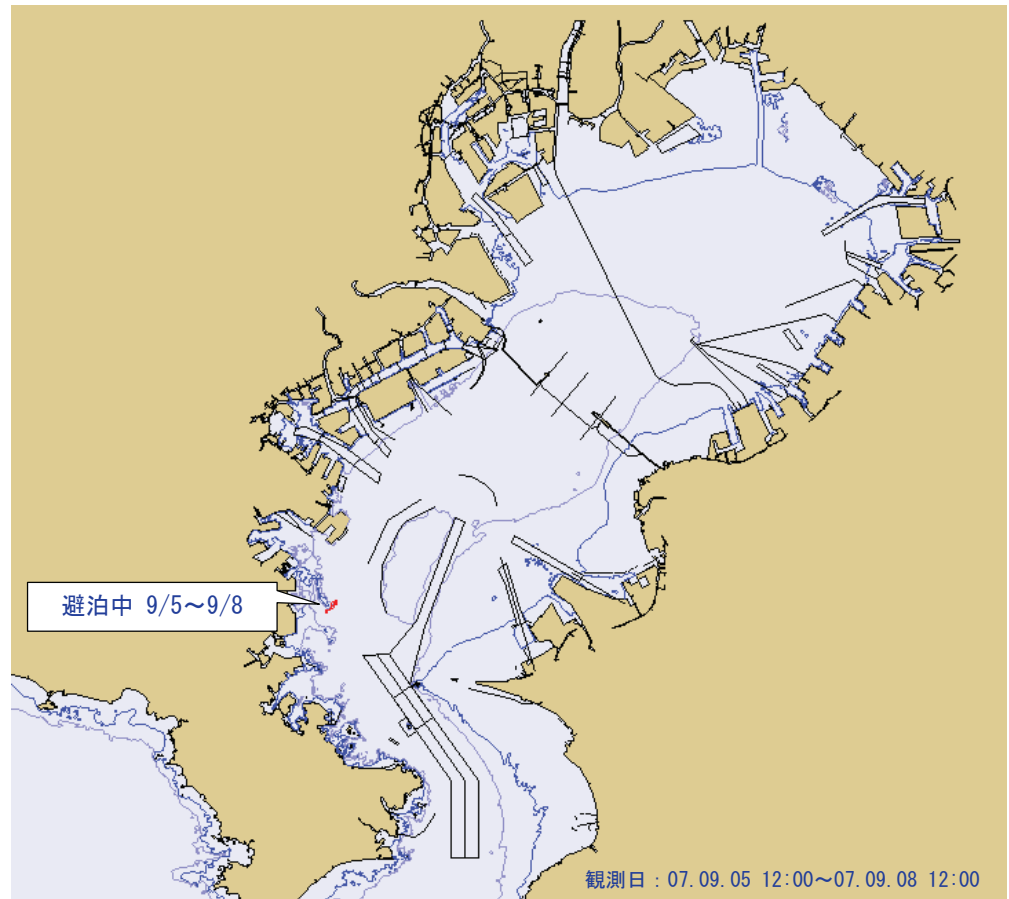


図-4.5 荒天時における船舶の避泊行動（転錨タイプ）

観測日：07.09.05 12:00

～07.09.08 6:00

船種：RRE

0 DWT

738 GT

Loa=56 m

B=9.6 m

dmax=3.8 m

dais=3.8 m

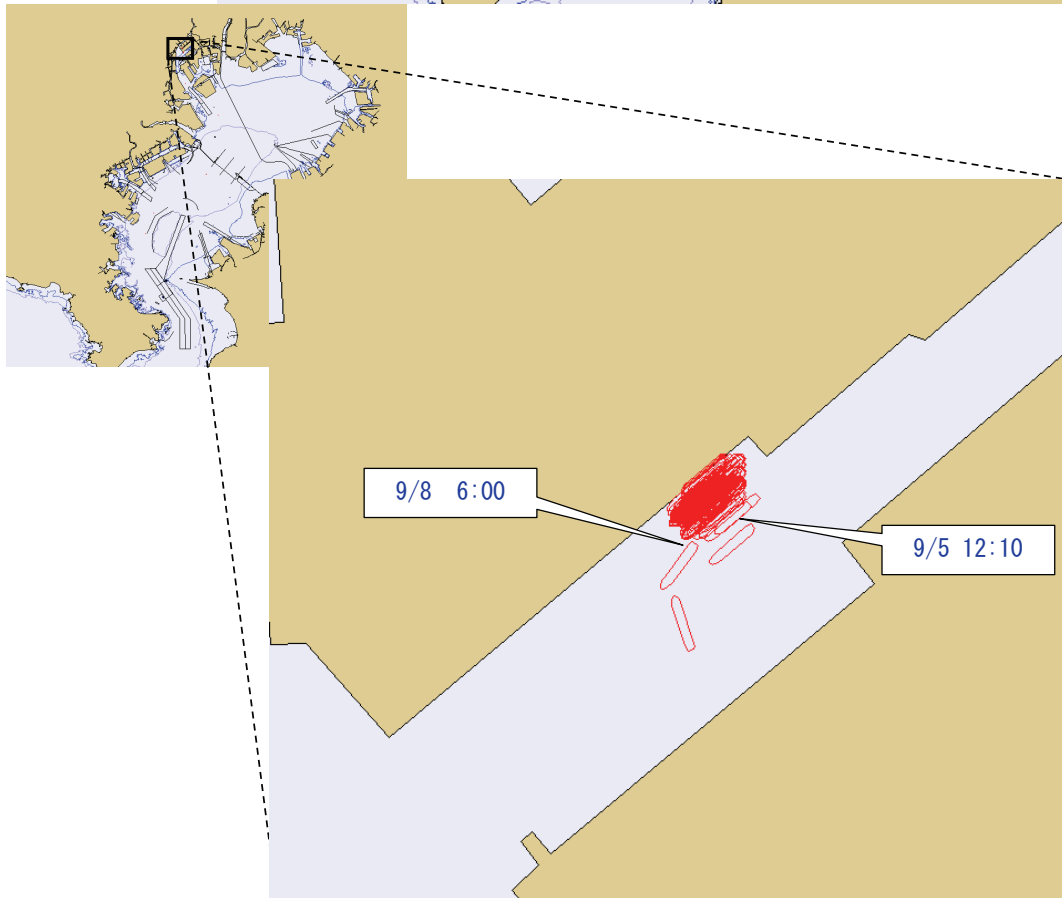
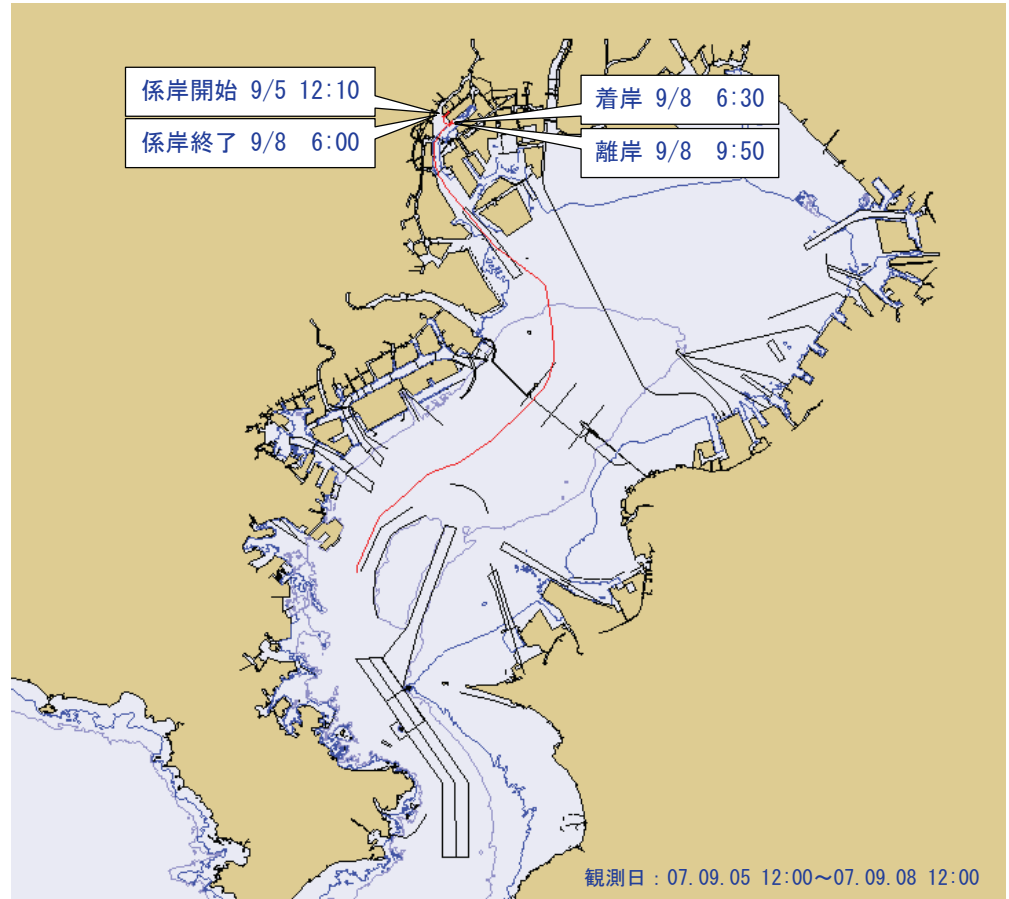


図-4.6 荒天時における船舶の避泊行動（係岸避泊タイプ）

観測日 : 07.09.05 17:00

～07.09.08 9:00

船種 : 不明

1,599 DWT

499 GT

Loa=74 m

B=12.4 m

dmax=6.8 m

dais=3.9 m

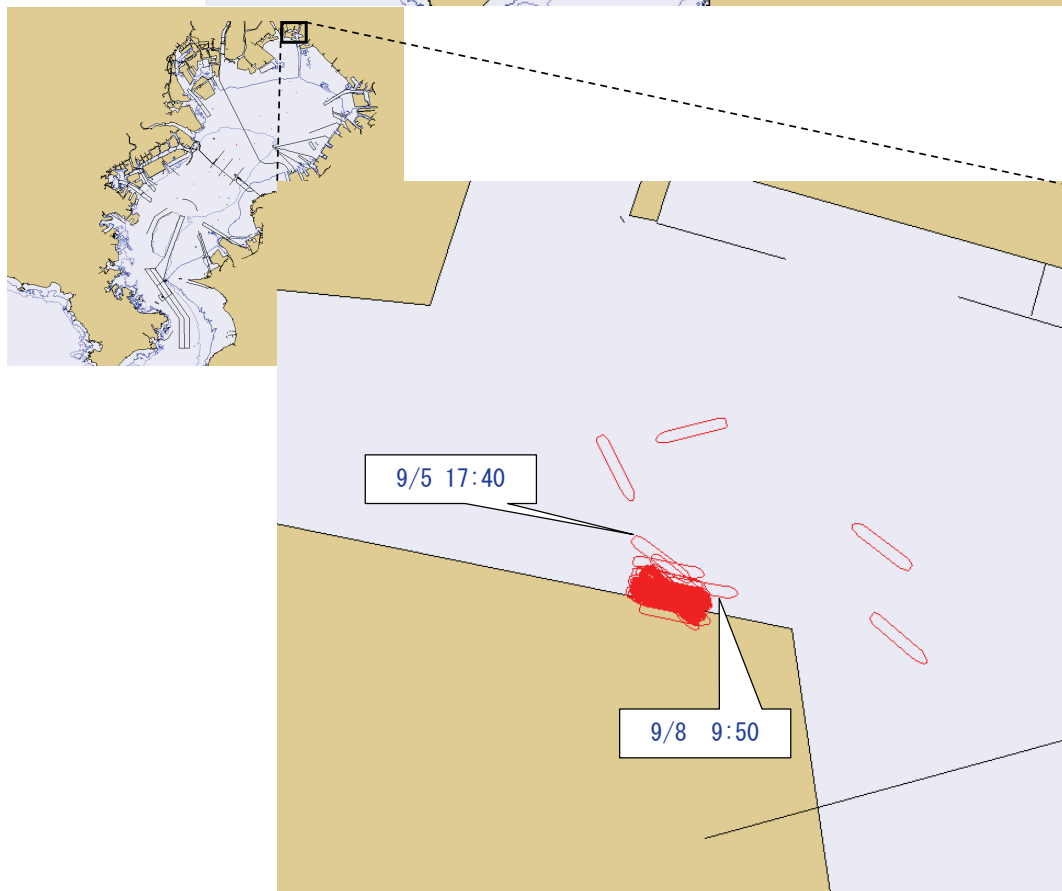
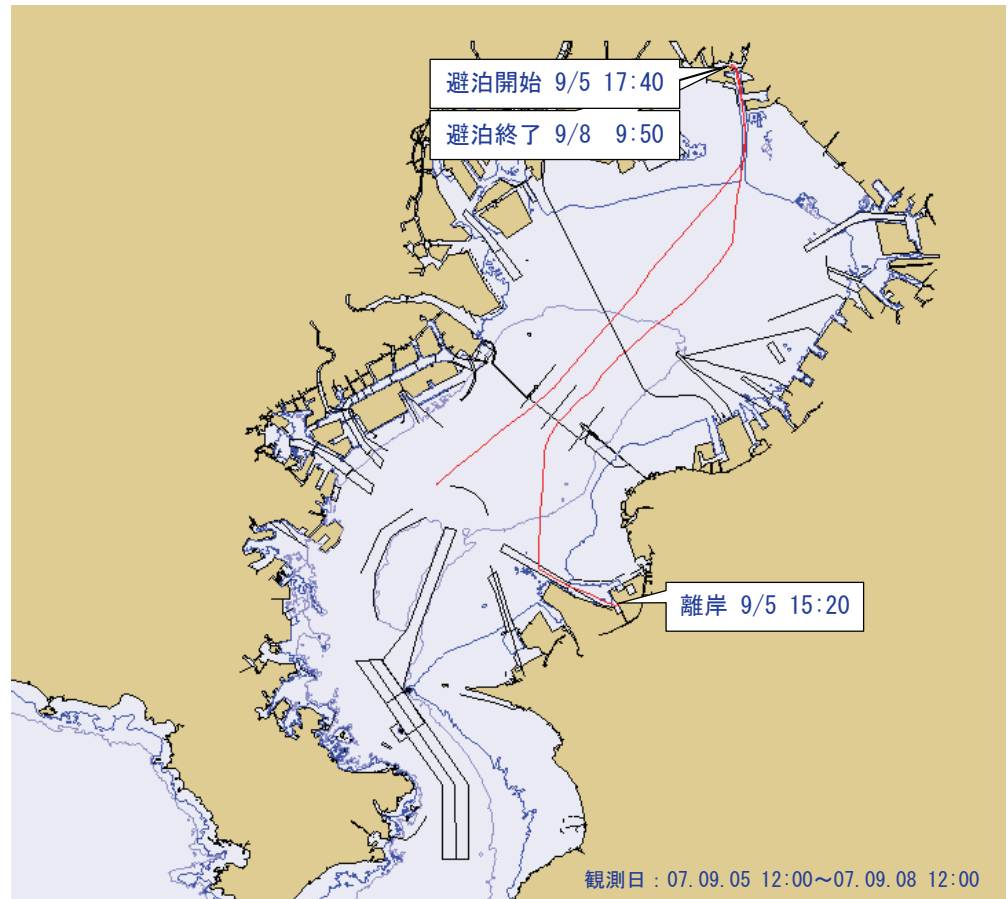


図-4.7 荒天時における船舶の避泊行動（係岸避泊タイプ）

4.3 船階級・船種別における避泊タイプ区分

図-4.8に船階級別における避泊タイプの区分結果を、図-4.9に全船舶を対象とした結果を示す。ここで、1,000GT未満の結果の場合にのみ先に示したよう係岸避泊タイプが観測されている。

この船階級別の結果から、必ずしも明確ではないものの大型船舶ほど錨泊タイプが多くなる傾向がみられる。

また、図-4.10に船種別における避泊タイプの区分結果を示す。図-4.10では船種が確認された船舶のみを対象としている。ここで、貨物船（GGC）では転錨が多く、バルク船（BBU）では錨泊が多い。一方で、コンテナ船（UCC）、製品タンカー（TPD）では両タイプが同程度となっている。

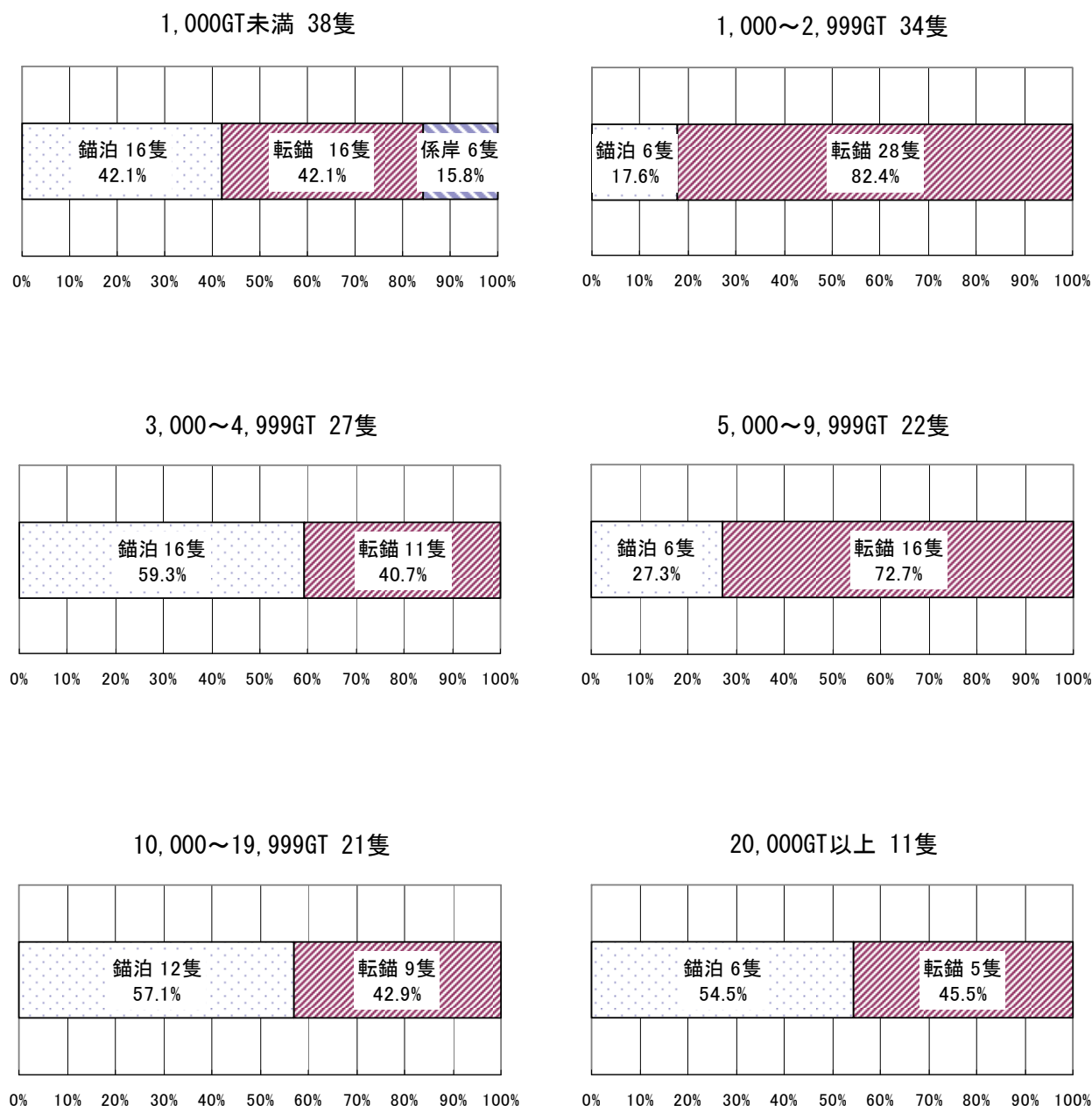


図-4.8 荒天時の避泊行動実態（GT別）

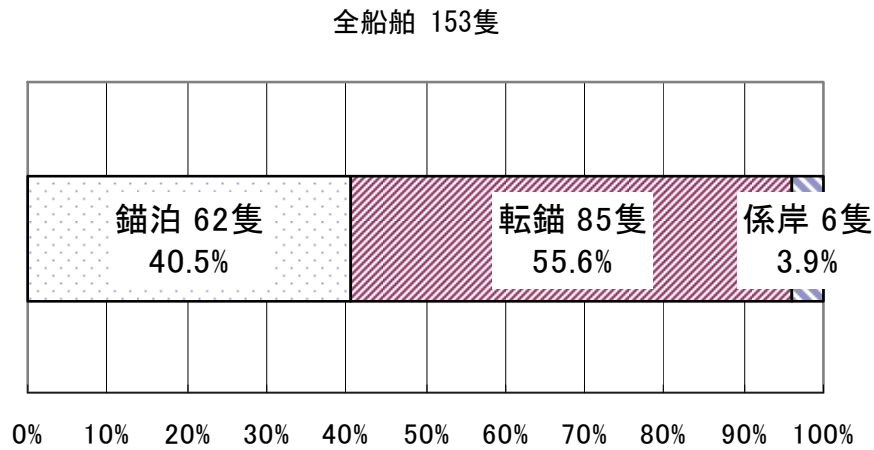


図-4.9 観測対象船舶の避泊タイプ区分

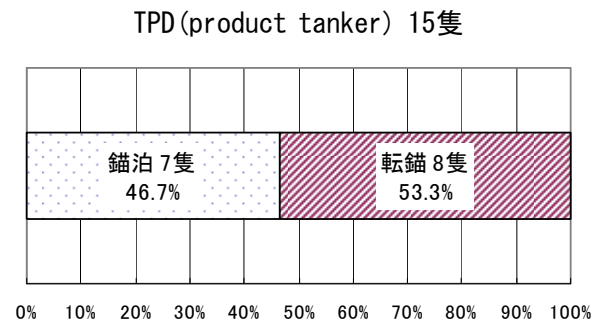
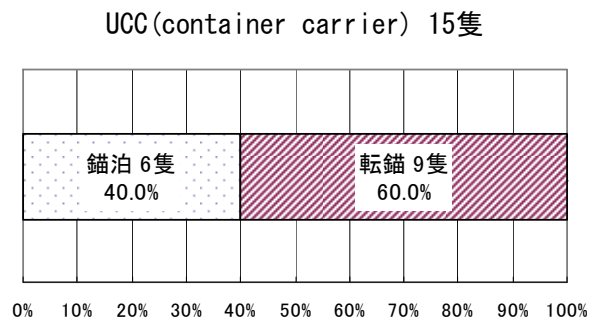
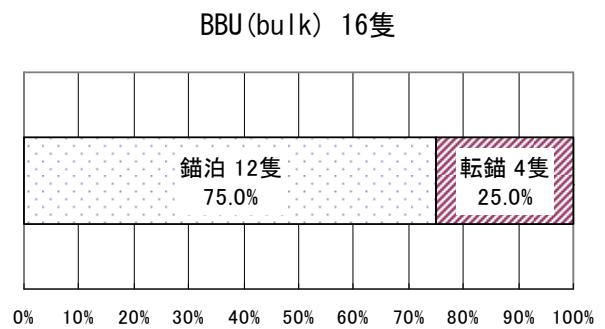
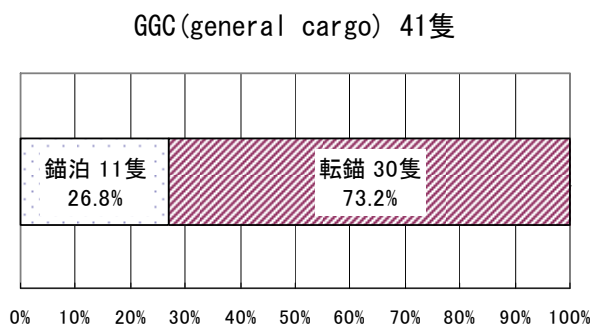


図-4.10 荒天時の避泊行動実態（船種別）

4.4 避泊タイプ別の船階級別・空間的な分布実態の比較

図-4.11に錨泊タイプについて、5,000GTを閾値とした場合での空間的な分布実態を示す。この結果から、5,000GT未満の船舶における錨泊の多くがアクアラインよりも湾奥で

観測されていることが明らかになる。

さらに、船階級を段階的に区分した結果を図-4.12に示す。この結果から、5,000GT以上では空間的な分布に顕著な特徴は見られない。

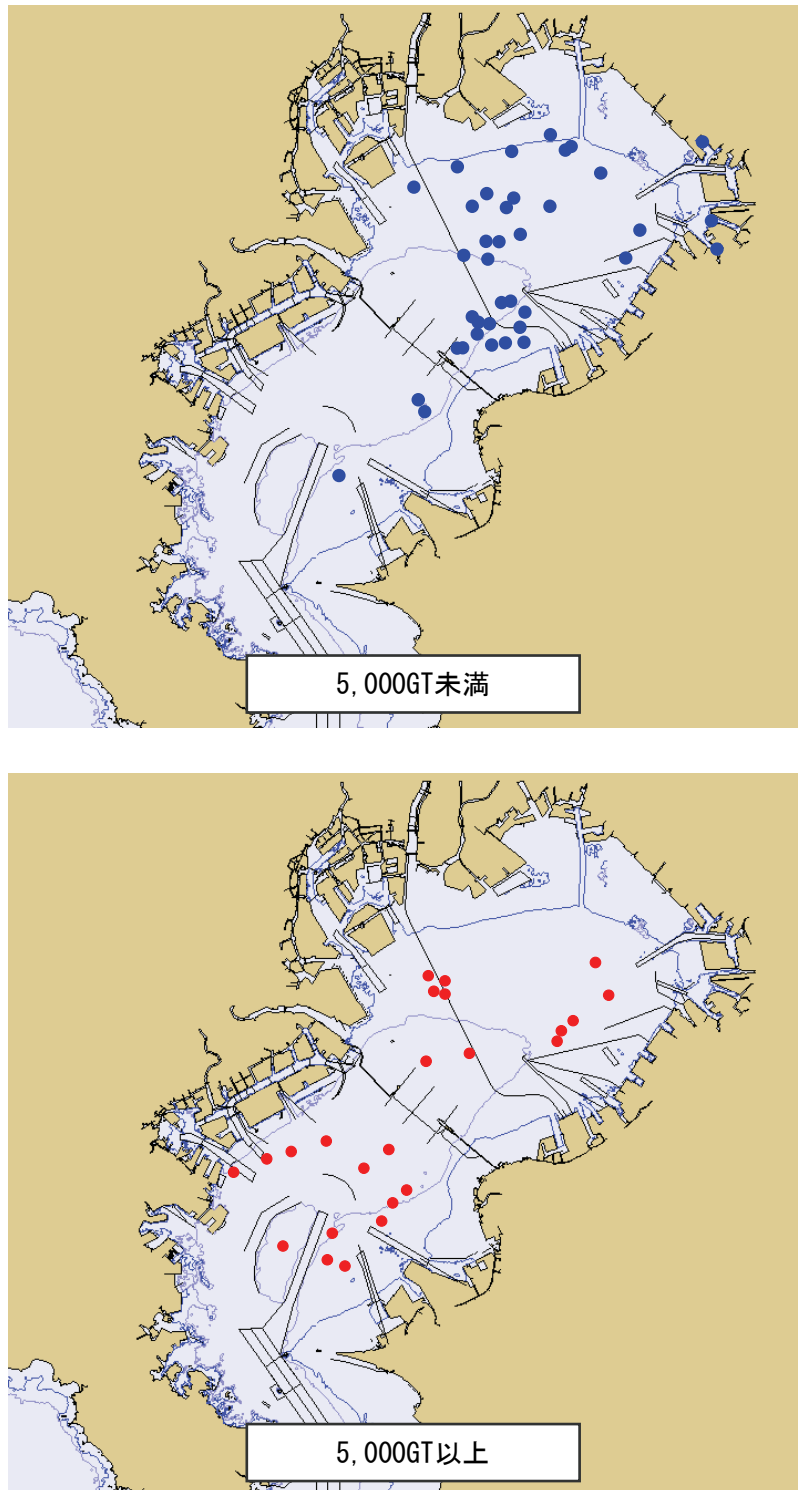


図-4.11 錨泊位置図

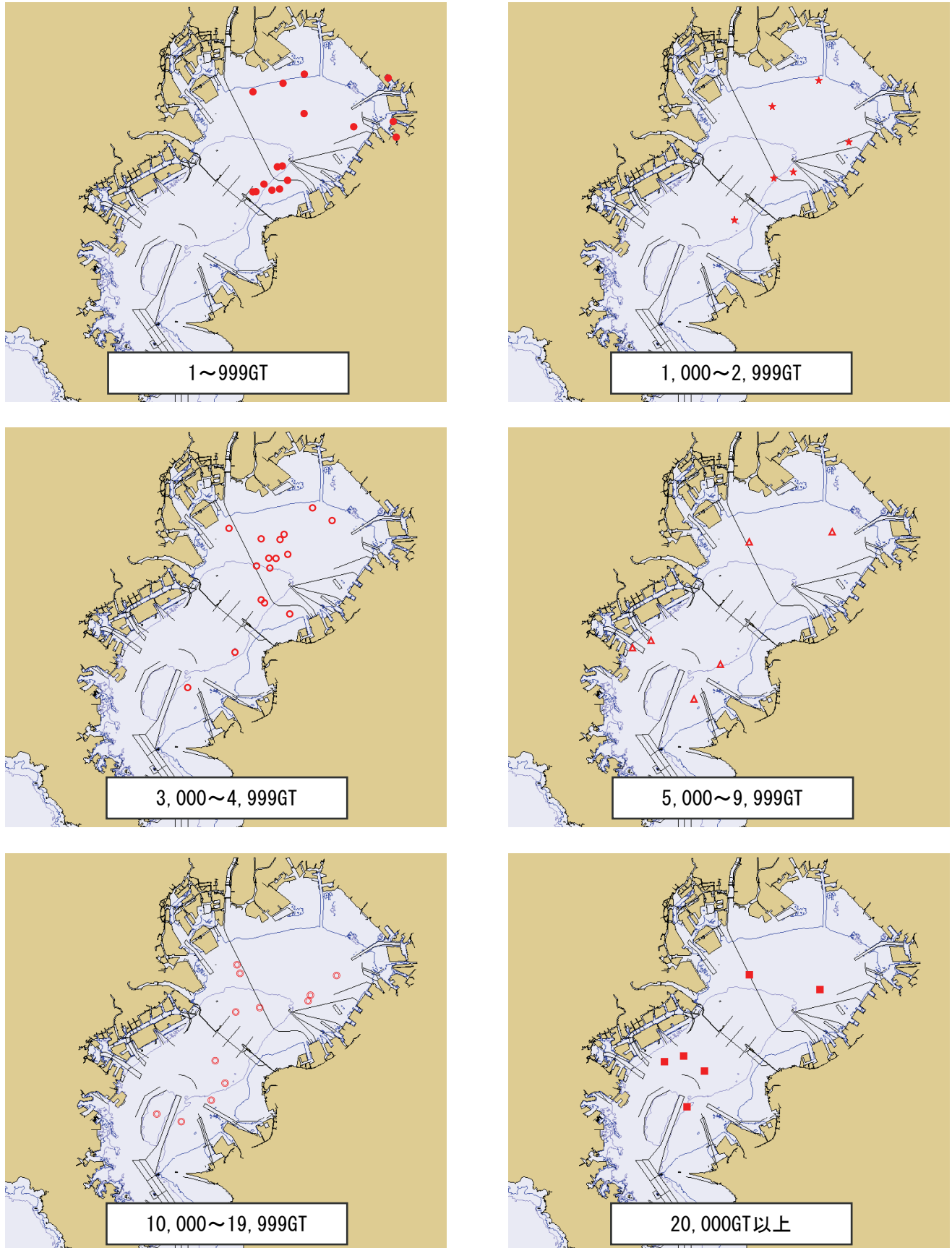


図-4.12 錨泊位置図 (GT 別)

4.5 転錨タイプ別の船階級別・空間的な分布実態の比較

図-4.13に転錨タイプについて、5,000GTを閾値とした場合での空間的な分布実態を示す。この結果から、錨泊タイプのように空間的な分布に大きな差異は明らかになってい

ない。

さらに、船階級を段階的に区分した結果を図-4.14に示す。この結果においても、各船階級において空間的な分布に顕著な特徴は見られない。

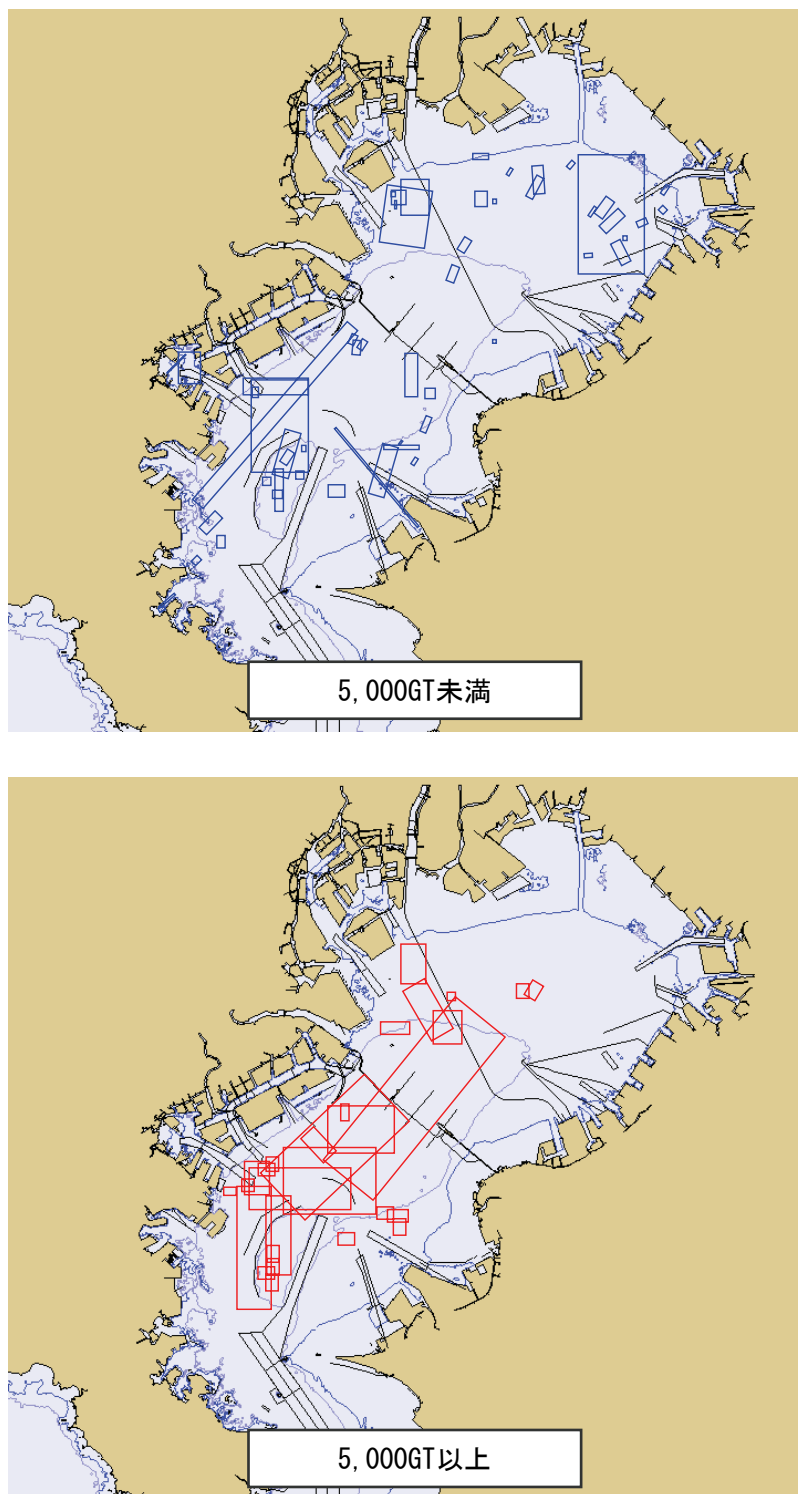


図-4.13 転錨位置図

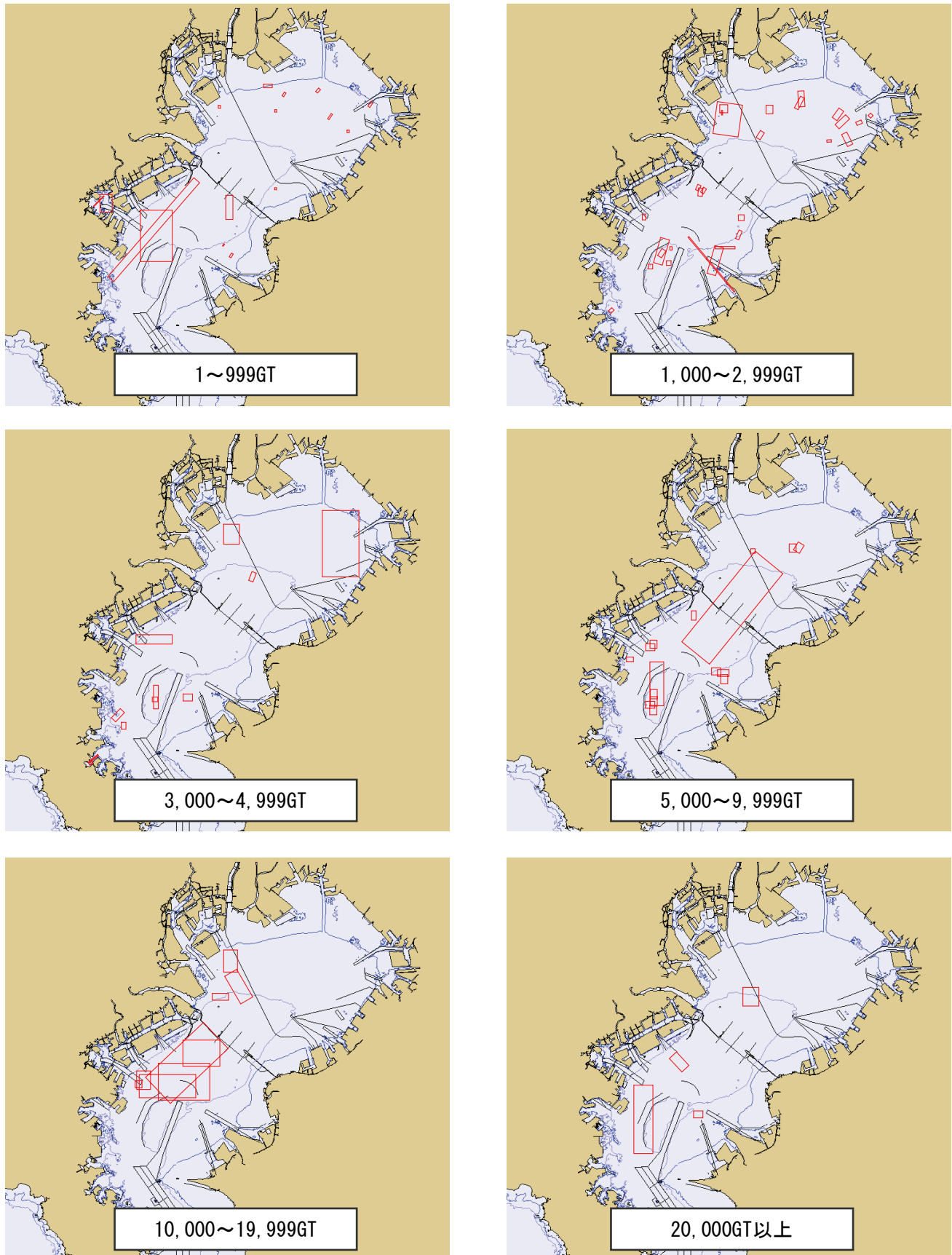


図-4.14 転錨位置図 (GT 別)

4.6 荒天時の泊地規模に関する分析

過去の技術基準（1979,1989）において表-2.1で示された荒天時の泊地規模の基準式について検証する。錨泊タイプの船舶について、図-4.15では全船舶を対象として解析した結果を示す。この図-4.15および以下の4.16～18では、横軸を荒天時の泊地規模の算定式で得られる値（以下 旧基準値）、縦軸を観測結果（楕円の場合には長軸の直径を対象）から得られる値（以下 観測値）として同一サイズで標記

して比較した結果を示す。また、合わせて旧基準値と観測値が同値となる場合（ $Y=X$ ）を直線で示す。なお、旧基準値は表-2.1での風速毎秒30mの式を対象とし、水深については海図から読み取った値を用いている。

この全船舶を対象とした図-4.15では決定係数が0.75と高い相関性がみられるものの、直径が700m以下では旧基準値が観測値よりも大きい傾向がみられる。

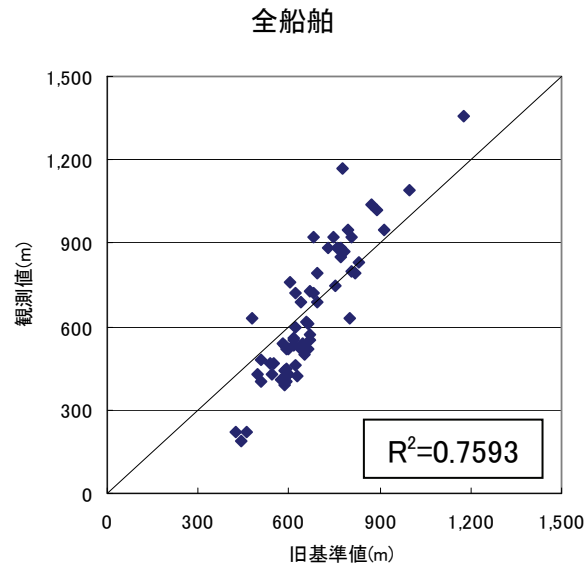


図-4.15 荒天時の錨泊規模に関する基準式と観測結果の比較検証（直径）

全船舶

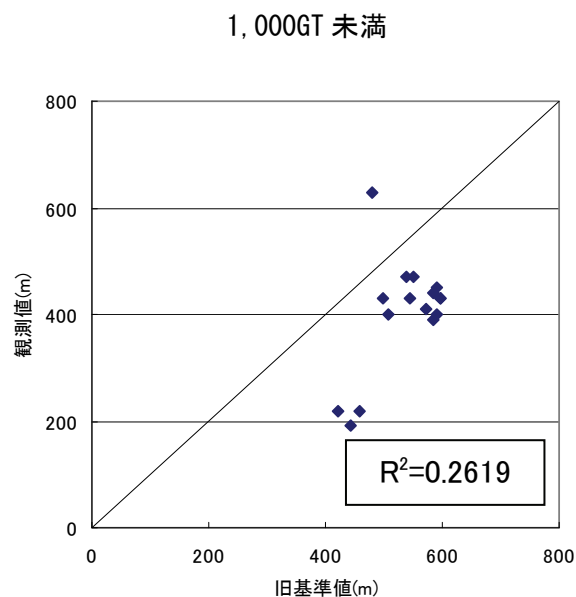


図-4.16 荒天時の錨泊規模に関する基準式と観測結果の比較検証（直径）

1,000GT 未満

一方で、直径が700m以上では基準値が観測結果よりも小さい傾向がみられる。このため、図-4.16では1,000GT未満を対象として、図-4.17では1,000GT以上5,000GT未満を対象として、図-4.18では5,000GT以上を対象として解析した結果を示す。ここでの図の表記方法は図-4.15と同じである。

その結果、大型船ほど相関性は高くなるものの、平均的

に旧基準値よりも観測値が大きくなる傾向が見られる。特に5,000GT以上を対象とした場合では、観測値が平均的に旧基準値を12%上回る結果となっている。

なお、図-4.15, 18の解析に際して他のデータと著しく乖離のあるデータ（国総研資料No.500 参考図-1）については除外している。

1,000GT 以上 5,000GT 未満

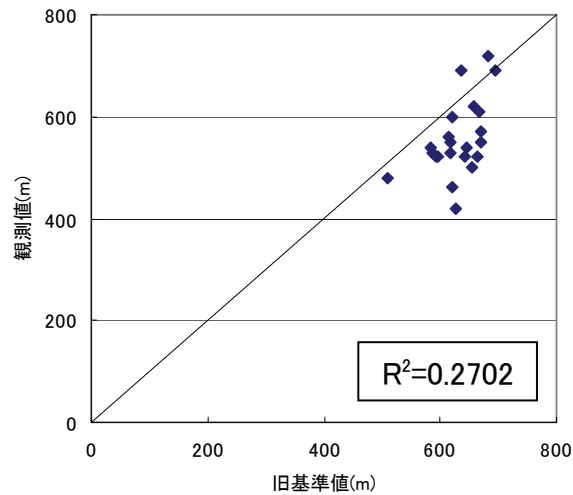


図-4.17 荒天時の錨泊規模に関する基準式と観測結果との比較検証（直径）
1,000GT 以上 5,000GT 未満

5,000GT 以上

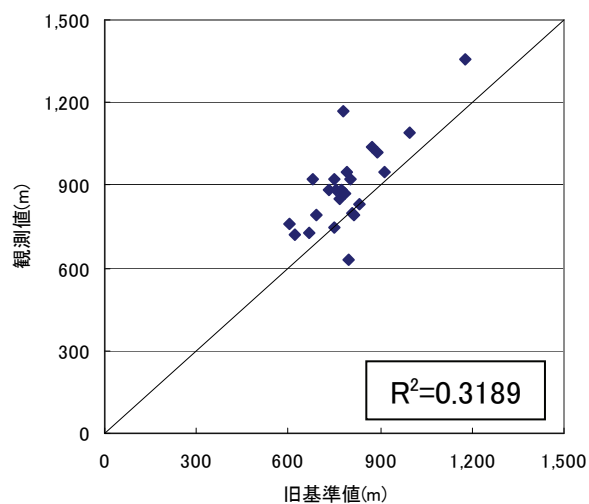


図-4.18 荒天時の錨泊規模に関する基準式と観測結果との比較検証（直径）
5,000GT 以上

4.7 錨泊における船長（Loa）を指標とした泊地規模の直径に関する分析

錨泊タイプにおける泊地規模の算定に際して、表-2.1で示した旧基準式を適用する場合には水深値が必要となる。このため、現場における有効性を考慮して船長（Loa）のみを指標とした回帰分析を行う。全船舶および図-4.15～17と同じ船階級についての解析結果を図-4.19～22に示す。ここでの回帰分析では、船長が0mの船舶の場合には泊地規模は存在し得ないので、定数項を有しない回帰分析を行っている。なお、図-4.19～22では直線回帰式の直線とあ

わせて全長の6倍および7倍とした場合の直線を表記する。

全船舶を対象とした場合には、船長を指標とすることで高い相関性を示しているものの、船階級別には必ずしも高い相関性が得られていない。なお、図-4.22から船長100～200m程度の船舶の錨泊の場合には、船長の概ね6倍の直径の範囲内となっていることがみられる。

なお、図-4.19, 22の解析に際して他のデータと著しく乖離のあるデータ（国総研資料No.500 参考図-1）については除外した。

全船舶

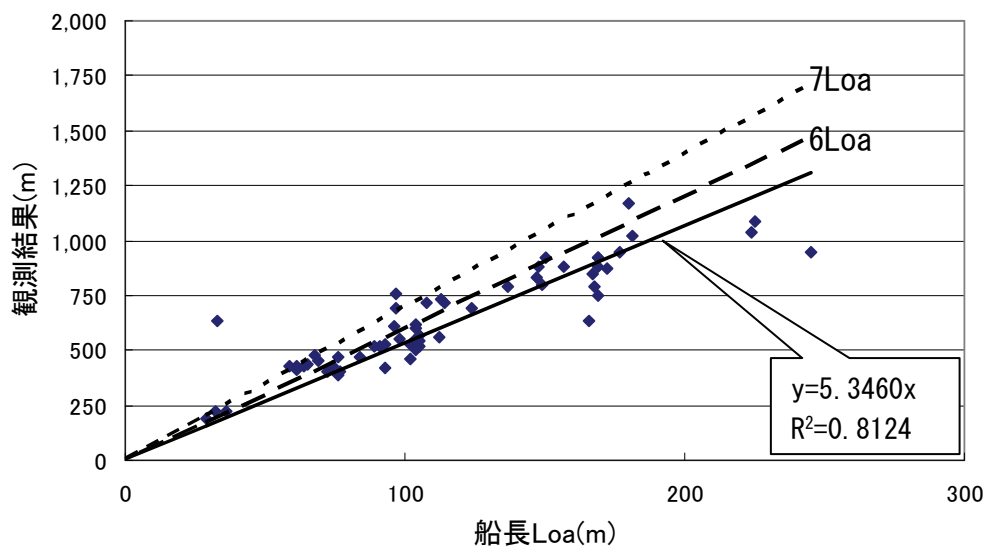


図-4.19 錨泊における船長（Loa）を指標とした泊地規模の直径に関する分析
全船種

1,000GT未満

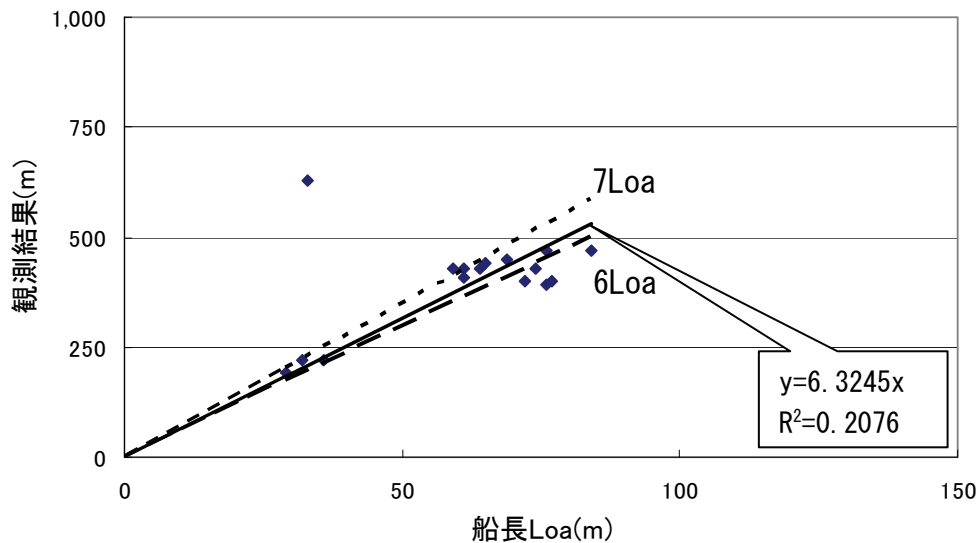


図-4.20 錨泊における船長（Loa）を指標とした泊地規模の直径に関する分析
1,000GT 未満

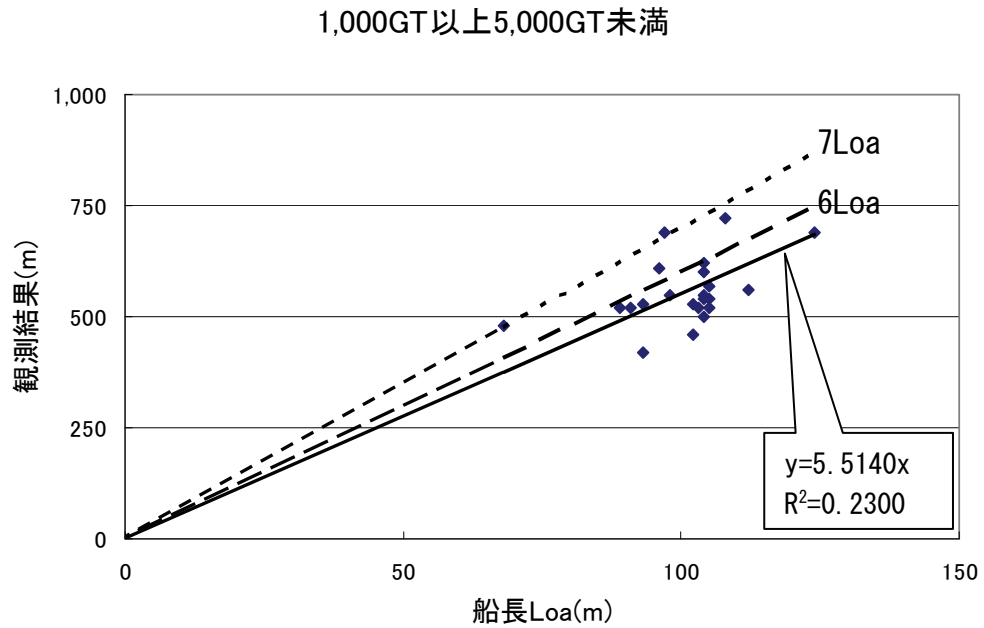


図-4.21 錨泊における船長（Loa）を指標とした泊地規模の直径に関する分析
1,000GT 以上 5,000GT 未満

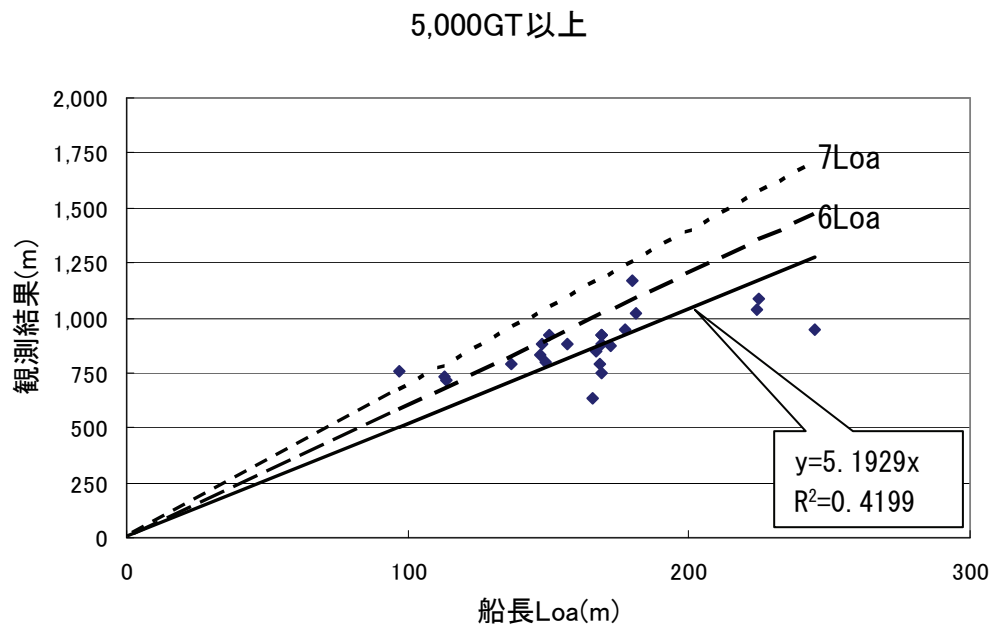


図-4.22 錨泊における船長（Loa）を指標とした泊地規模の直径に関する分析
5,000GT 以上

5. おわりに

本研究では、NILIM-AISにより2007年9月の台風の通過時における東京湾内での船舶の避泊行動について分析するとともに、従来の技術基準で示された荒天時の泊地規模の算定式との比較分析を実施した。

その結果、避泊行動として3つのタイプがあることを明らかにした。特に、従来の技術基準では荒天時の避泊方法として想定していなかったと考えられる錨泊タイプとは別に、広範囲に移動する避泊行動としての転錨タイプの存在を示した。さらに、係岸避泊タイプが1,000GT未満において存在することを確認した。

また、錨泊タイプを対象に過去の技術基準（1979,1989）において示された荒天時の泊地規模の基準式について検証を行った。その結果、全体としては高い相関性がみられるものの船階級別には同様の評価は得られなかった。特に、5,000GT以上を対象とした場合では、観測値が平均的に旧基準値を12%上回る結果となった。

なお、今回は東京湾という特定の海域での特定の台風に関してのみの結果であることから、今後はより多くの観測データに基づいた分析が必要である。

（2009年2月16日受付）

謝辞

本研究の実施に際しては、東海大学津金正典教授より貴重なご助言を頂きました。ここに記し、深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，港湾協会，2007
- 2) 岩井聰：新訂操船論，海文堂，1977
- 3) 本田啓之輔：操船通論（増補五訂版），成山堂書店，1998
- 4) 日本海難防止協会編：超大型船操船の手引き，成山堂書店，1975
- 5) 鈴木康正：一転係留ブイの設計法に関する研究，港湾技研資料No.829，1996
- 6) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，港湾協会，1999
- 7) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，港湾協会，1989
- 8) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，港湾協会，1979
- 9) 高橋宏直・後藤健太郎：NILIM-AISによる東京湾避泊実態（平成19年台風9号）に関する分析－浦賀水道航路の航行可能容量に関する考察－，国土技術政策総合研究所研究資料，No.431，2007
- 10) 高橋宏直・後藤健太郎：AISデータの港湾整備への活用に関する研究，国土技術政策総合研究所研究資料，No.420，2007
- 11) 東京管区気象台：平成19年9月 台風第9号に関する気象情報