

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。しかしながら、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い。

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、本研究ではこれまでほとんどリアルタイムでの荒天時の実態観測がなされていない状況を踏まえて、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の妥当性を検証する。さらに、新たな基準となる算定式についても検討する。

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、先に示したとおり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。

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

最新の技術基準(2007)から遡って、技術基準上での荒天時の泊地規模(広さ)に関する記載について以下に整理する。

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)の作成段階で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つて、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。

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。ただし、実際問題として、これまでは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、陸上でのAIS受信局ネットワークとAIS情報を解析するための機能を有する国総研船舶動静解析システム（NILIM-AIS）を構築した。その結果、東京湾でのAISデータの定常的観測および解析が可能となり、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。著者らは、この台風通過時の避泊実態に関する分析結果を既に文献9）において発表している。

そこで、本研究ではこれまでほとんどリアルタイムでの荒天時の実態観測がなされていない状況を踏まえて、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の妥当性を検証する。さらに、新たな基準となる算定式についても検討する。

なお、AISおよび国総研船舶動静解析システム（NILIM-AIS）の詳細については、文献9）、10）を参照さ

れたい。

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	$L+4D+145m$

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。」

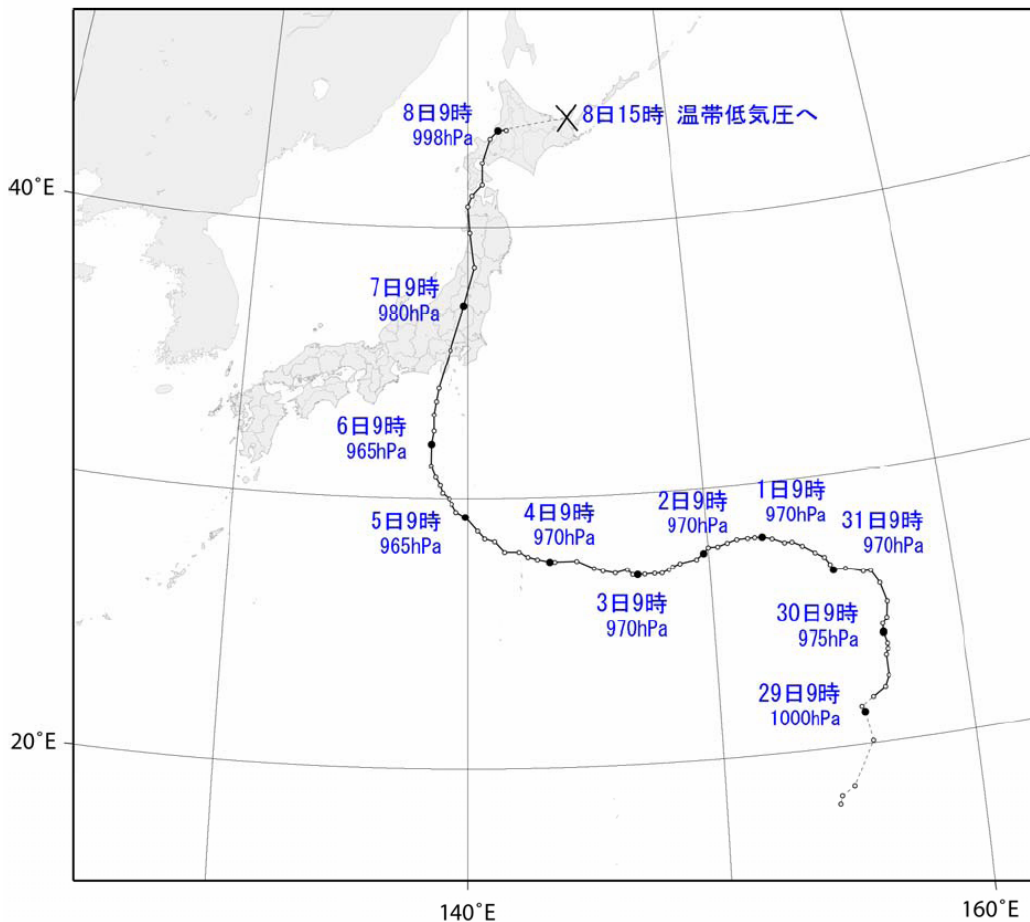


図-3.1 台風経路図（日時，中心気圧（hPa））¹¹⁾

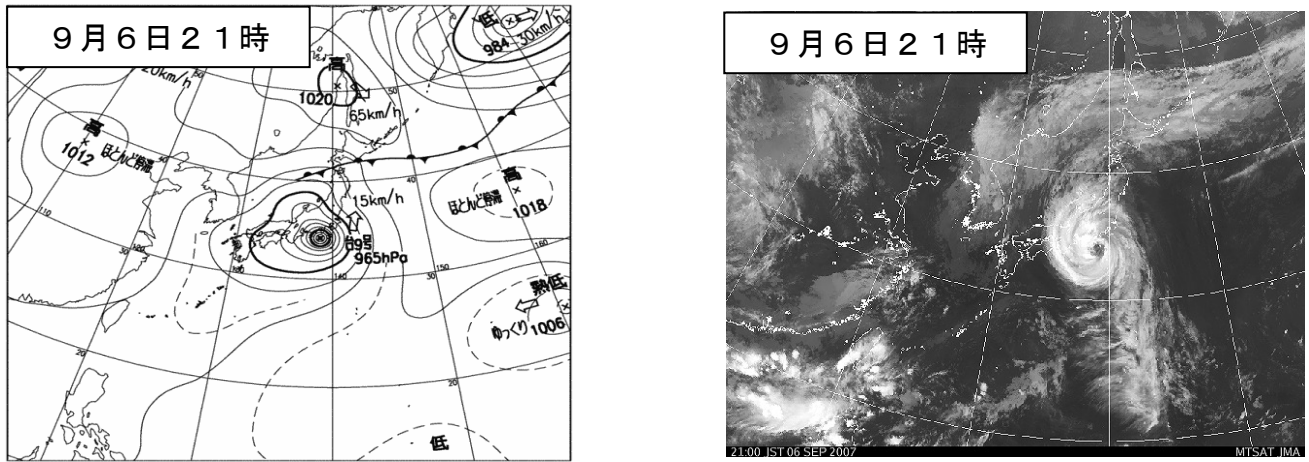


図-3.2 地上天気図および気象衛星「ひまわり6号」赤外画像¹¹⁾

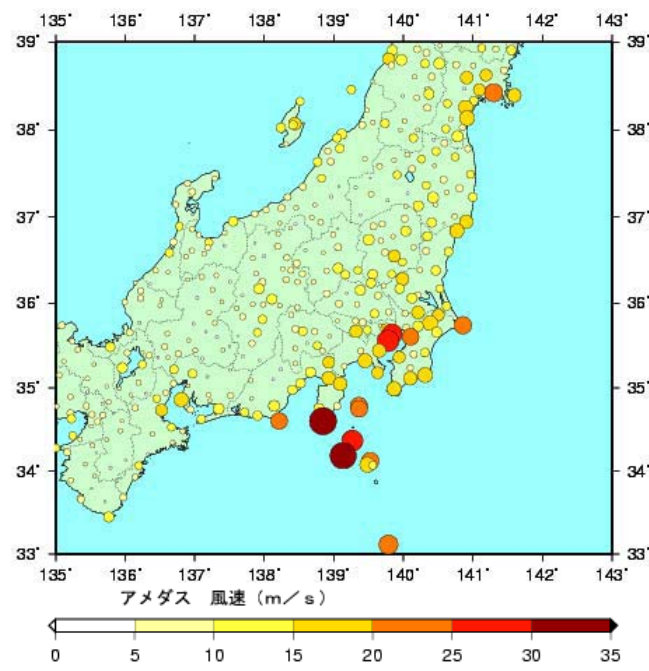


図-3.3 最大風速 (10分間平均風速の最大値) 分布図¹¹⁾

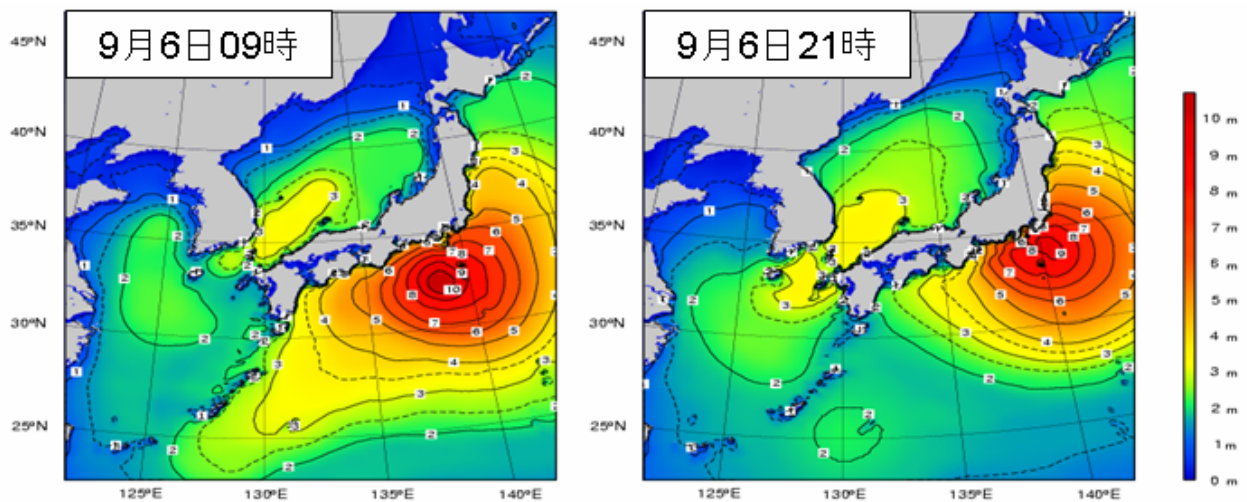


図-3.4 等波高線図¹¹⁾

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、近似的な船型での航跡を表示する機能を用いている。なお、船舶の諸元データが欠損している場合にはL M I U（Lloyd's Maritime Intelligence Unite）Shipping Dataに基づき補填している。

具体的な解析としては、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での避泊が観測された1,000GT以上の船舶115隻を対象として避泊状況を追跡した。このうち5,000GT以上の54隻について、GTの大きな順からの解析結果を参考図-1～54に示す。

例えば図-4.1（参考図-1）では観測された最大船舶（112,895GT, 227,183DWT）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-4.1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、例えば図-4.2（参考図-4）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-4.1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-4.3, 4（参考図-2～3）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。避泊の実態（1,000GT以上）としては、この錨泊タイプと転錨タイプのみであり係岸避泊は観測されなかった。

今回の解析対象とした115隻（1,000GT以上）のうち、錨泊タイプが47隻、転錨タイプが68隻であった。また、参考図-1～54に示した5,000GT以上の54隻では、錨泊タイプが24隻、転錨タイプが30隻であった。この5,000GT以上の54隻について、錨泊タイプの24隻の位置を一括して東京湾全体に表示した結果を図-4.5に示す。一方で、転錨タイプの

30隻については参考図-54までに整理された図での矩形位置を同じく一括して東京湾全体に表示した結果を図-4.6に示す。なお、図-4.6での矩形の大きさは避泊行動に対応しているが、図-4.5での丸印は位置のみを表示しており大きさに意味はない。

観測日 : 07.09.06 0:00
 ~07.09.07 14:00
 船種 : BBU
 227,183 DWT
 112,895 GT
 Loa=325 m
 B=52.0 m
 dmax=18.1 m
 dais=16.5 m
 水深=30.0 m
 観測結果による
 長・短直径=1,360 m

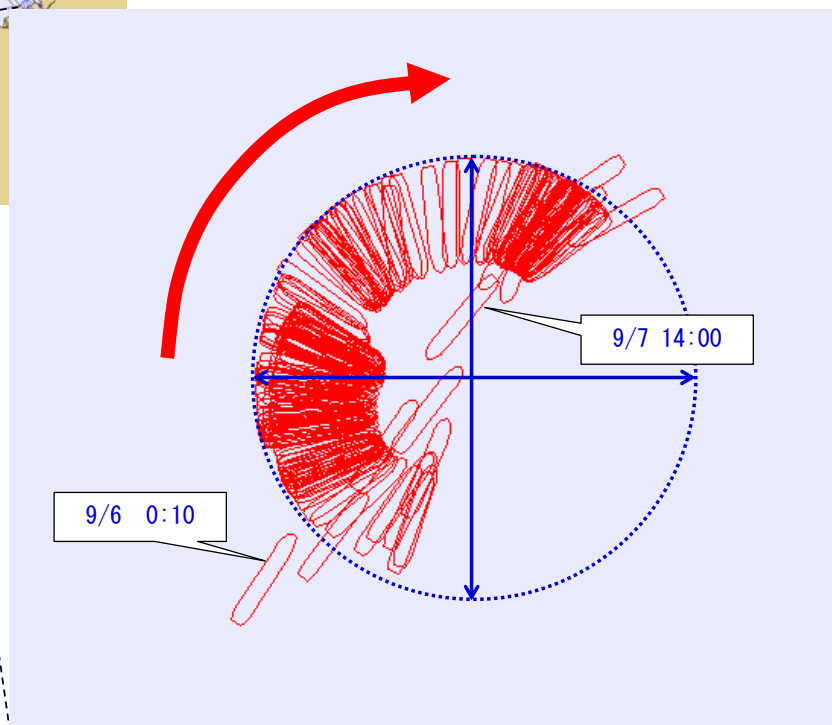
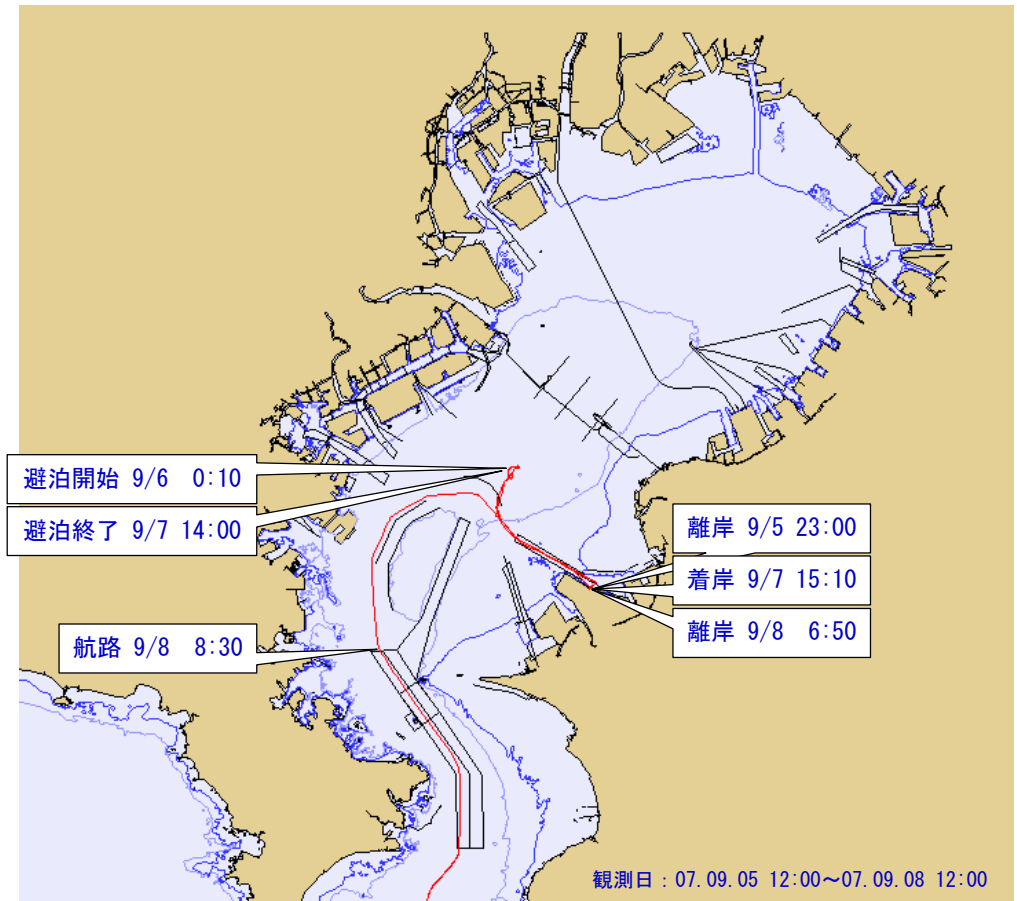


図-4.1 荒天時における船舶の避泊行動

観測日 : 07.09.05 17:00
 ~07.09.08 5:00
 船種 : BBU
 76,000 DWT
 39,900 GT
 Loa=225 m
 B=32.3 m
 dmax=12.2 m
 dais=8.8 m
 水深=32.0 m
 観測結果による
 長直径=1,010 m
 観測結果による
 短直径=900 m

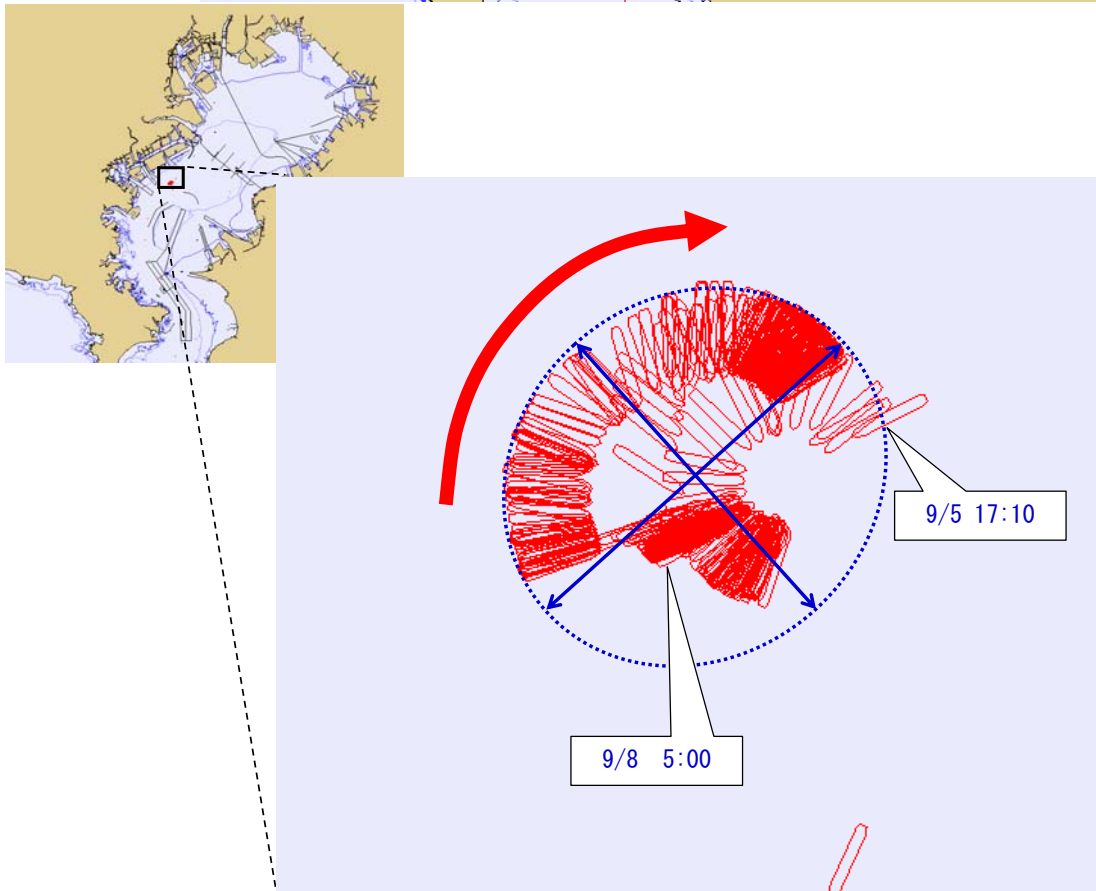
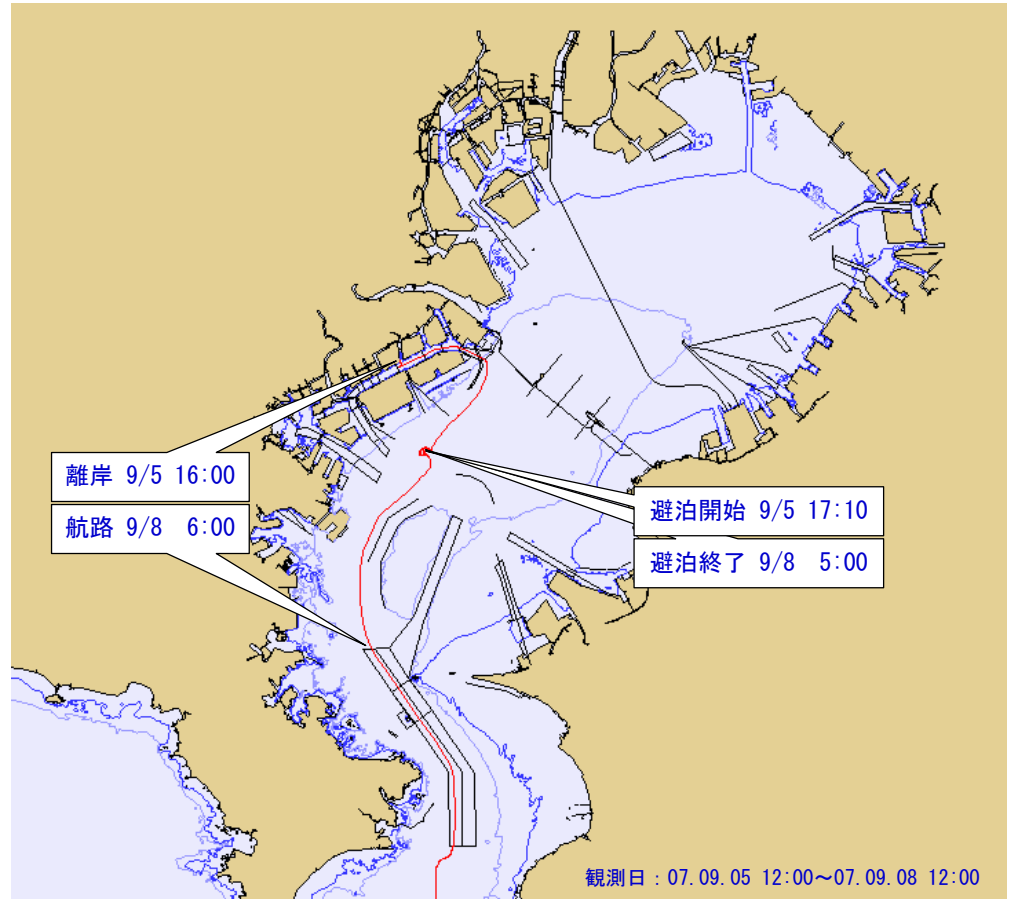


図-4.2 荒天時における船舶の避泊行動

観測日 : 07.09.05 21:00
 ~07.09.07 16:00
 船種 : UCC
 69,447 DWT
 66,278 GT
 Loa=278 m
 B=40.3 m
 dmax=14.0 m
 dais=12.1 m
 水深=33.5 m
 観測結果による
 長辺=8,270 m
 観測結果による
 短辺=2,220 m

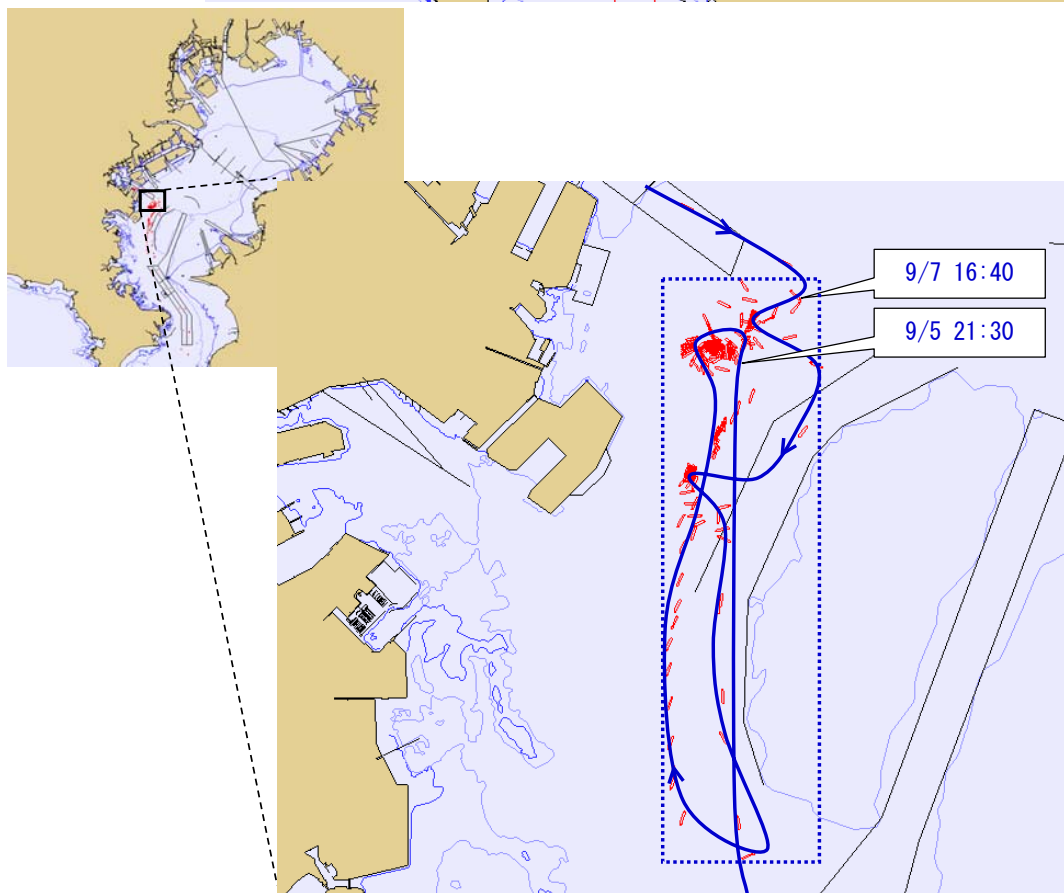
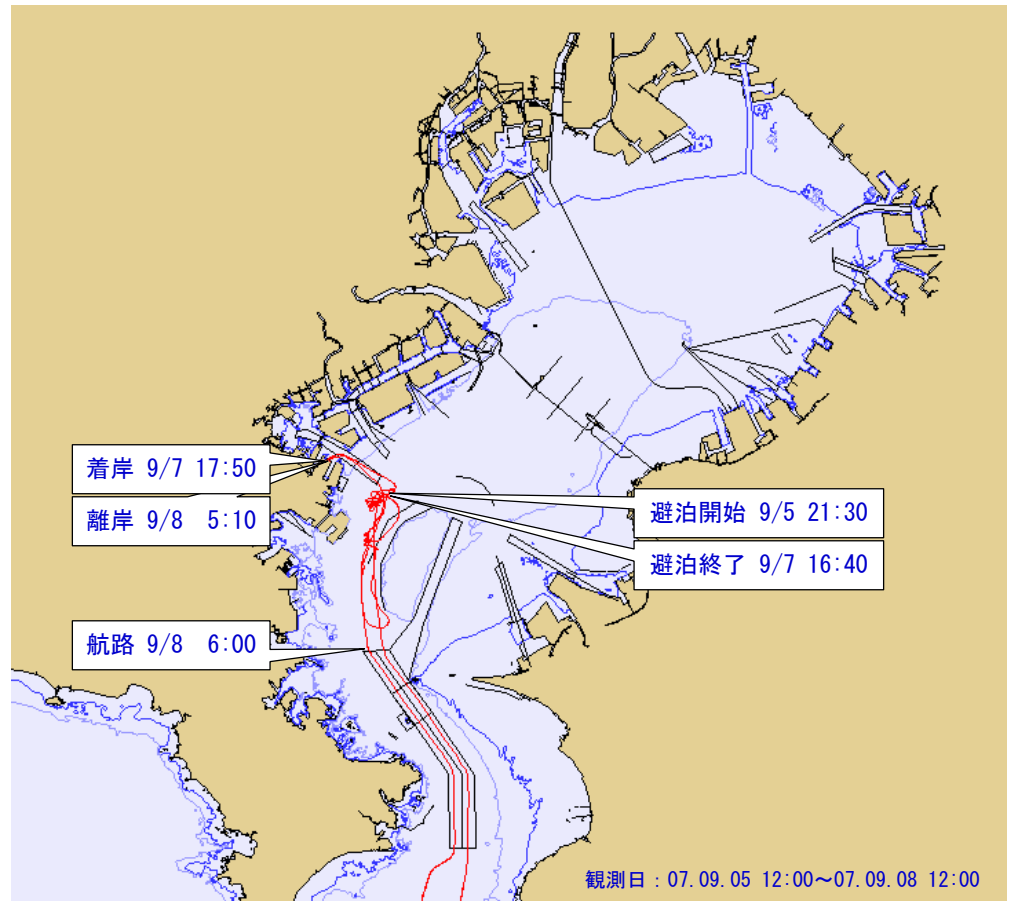


図-4.3 荒天時における船舶の避泊行動

観測日 : 07.09.06 10:00
~07.09.08 5:00
船種 : RRE
27,161 DWT
57,087 GT
Loa=210 m
B=38.0 m
dmax=9.2 m
dais=8.7 m

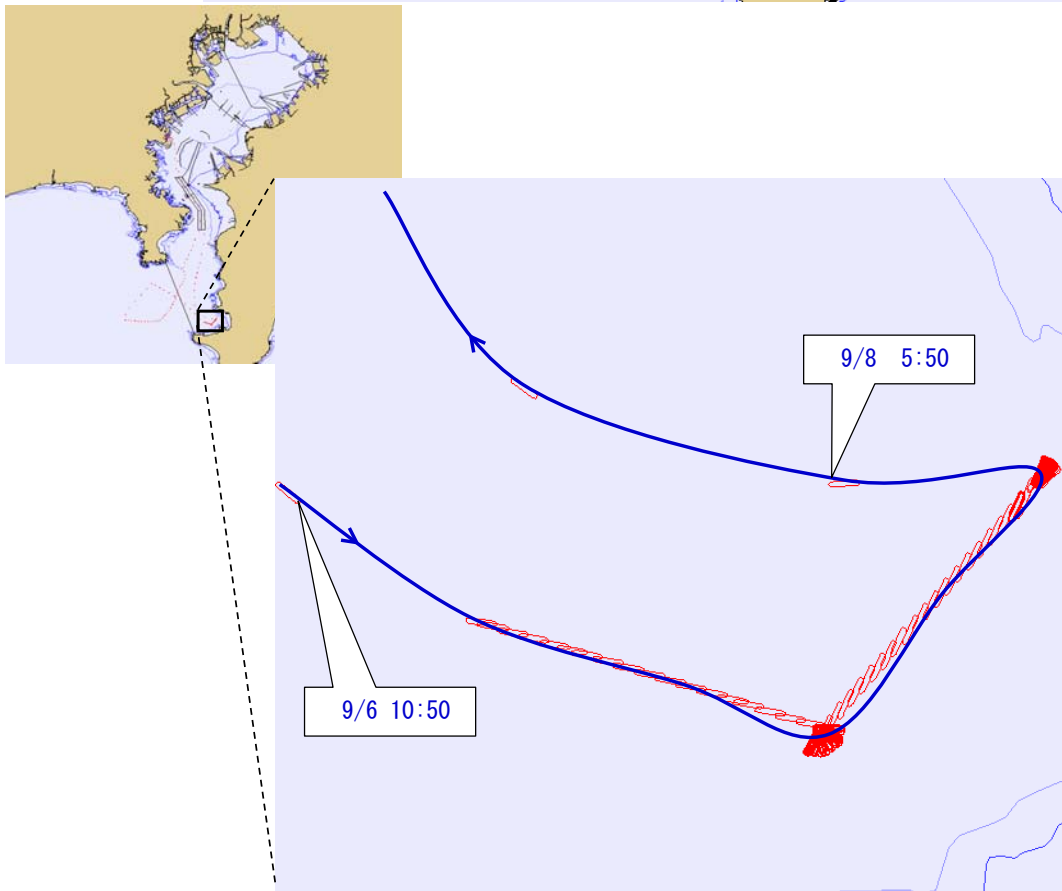
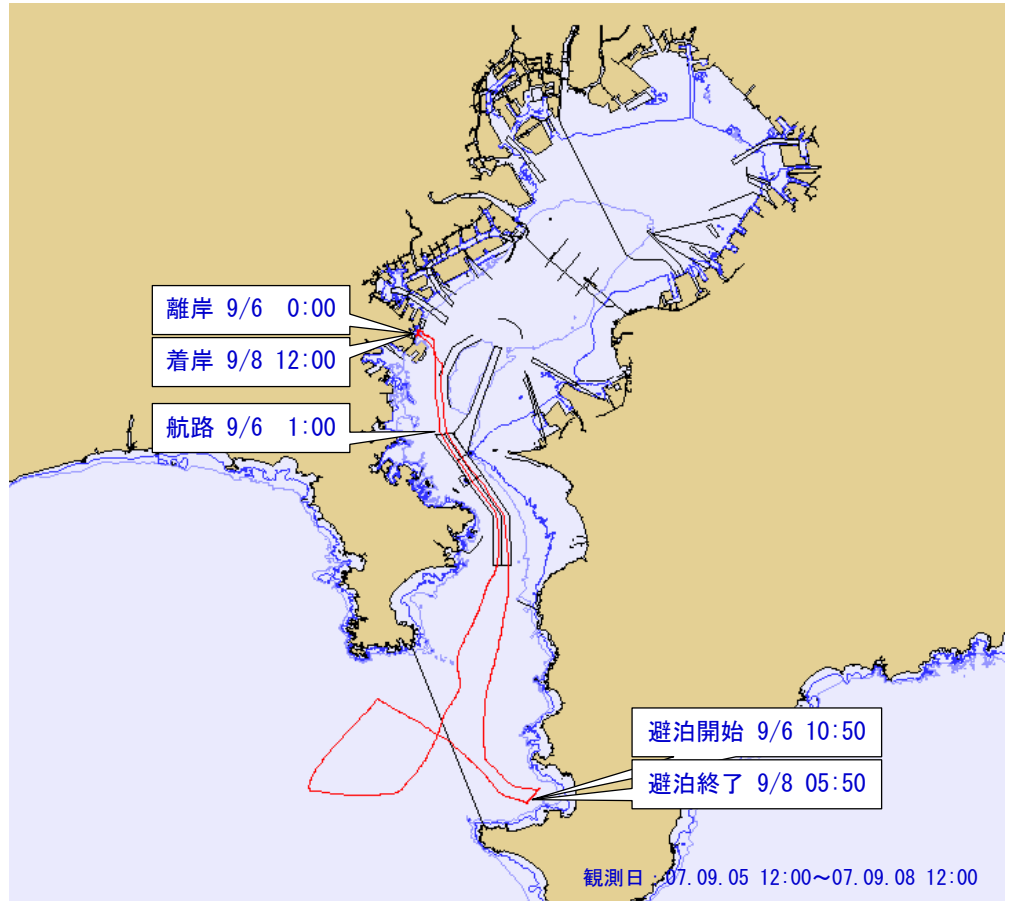


図-4.4 荒天時における船舶の避泊行動

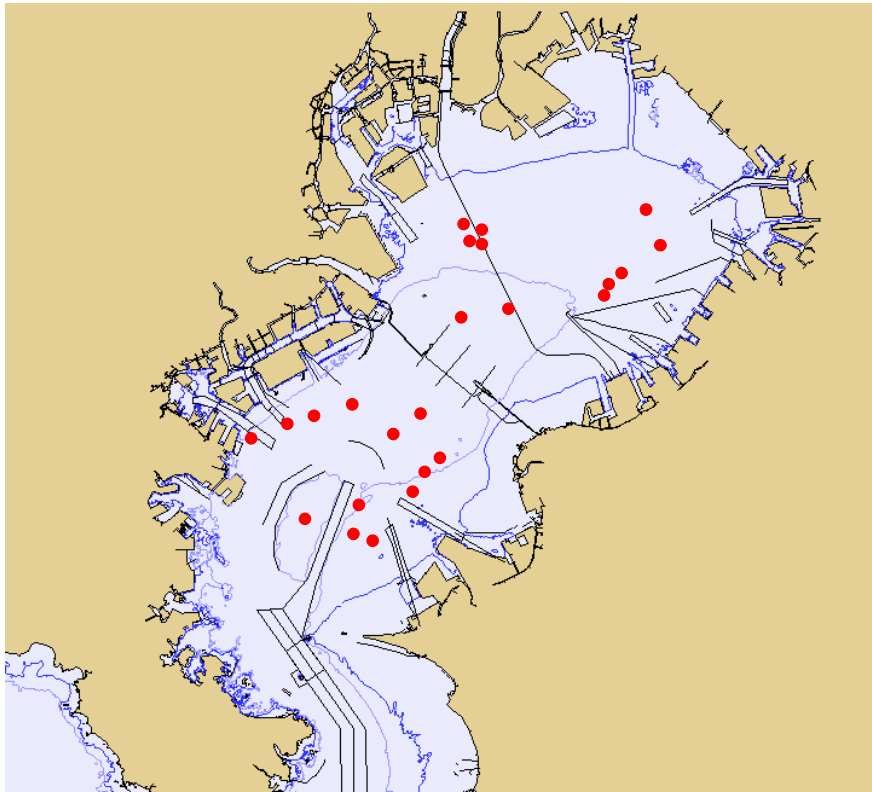


図-4.5 錨泊位置図

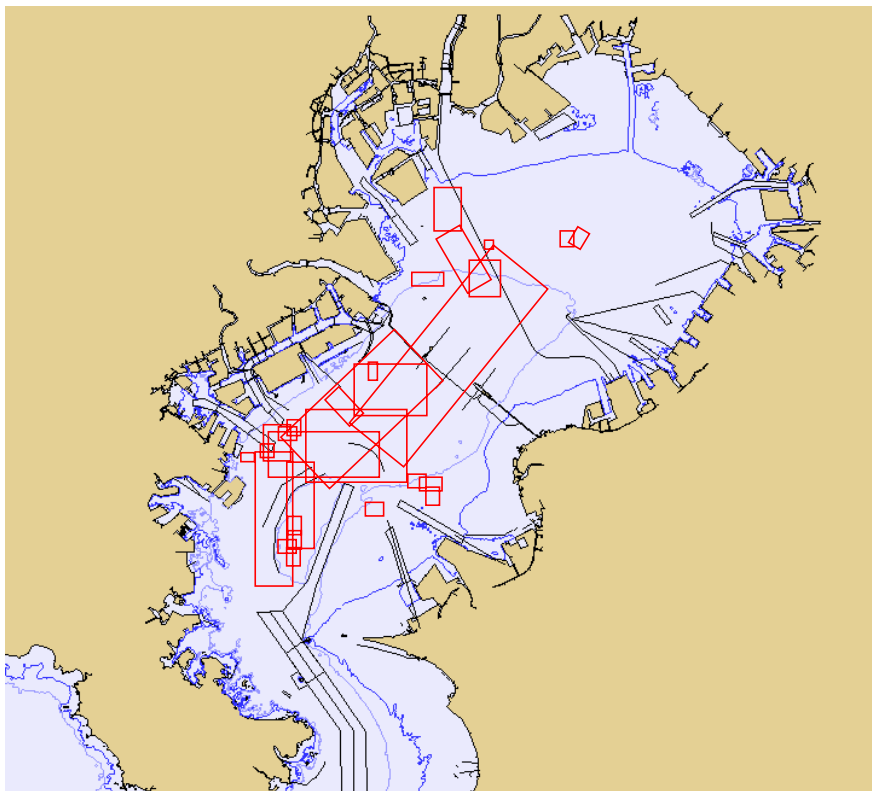


図-4.6 転錨位置図

4.2 従来の技術基準の内容に関する検証

(1) 検証1：荒天時の避泊行動

従来の技術基準（1999～2007）では荒天時の避泊方法として錨泊タイプのみを想定し、1ヶ所で錨泊するのではなく広範囲に移動する避泊行動としての転錨タイプを想定していなかったと考えられる。しなしながら、先に示したよ

うに1,000GT以上では半数以上が転錨タイプの避泊行動をしていたことが明らかになる。

船舶の規模（GT）別、船種別に避泊行動について分析した結果を図-4.7, 8に示す。なお、図-4.8では船種が確認された船舶のみを対象としている。

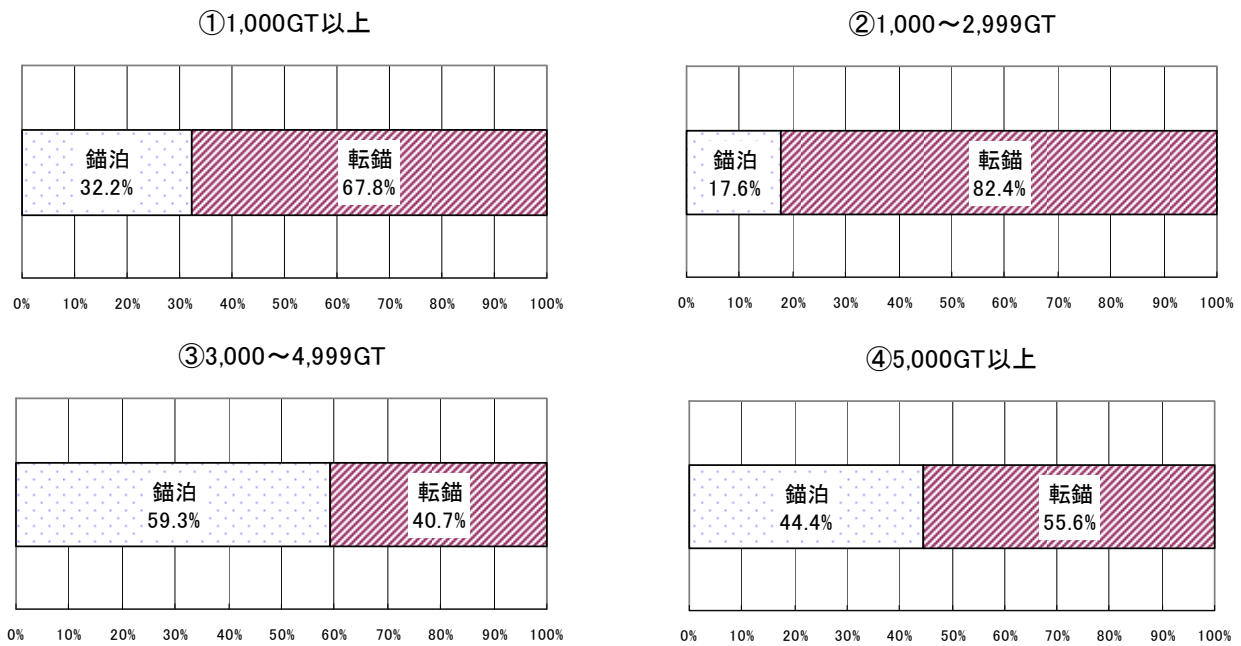


図-4.7 荒天時の避泊行動実態 (GT 別)

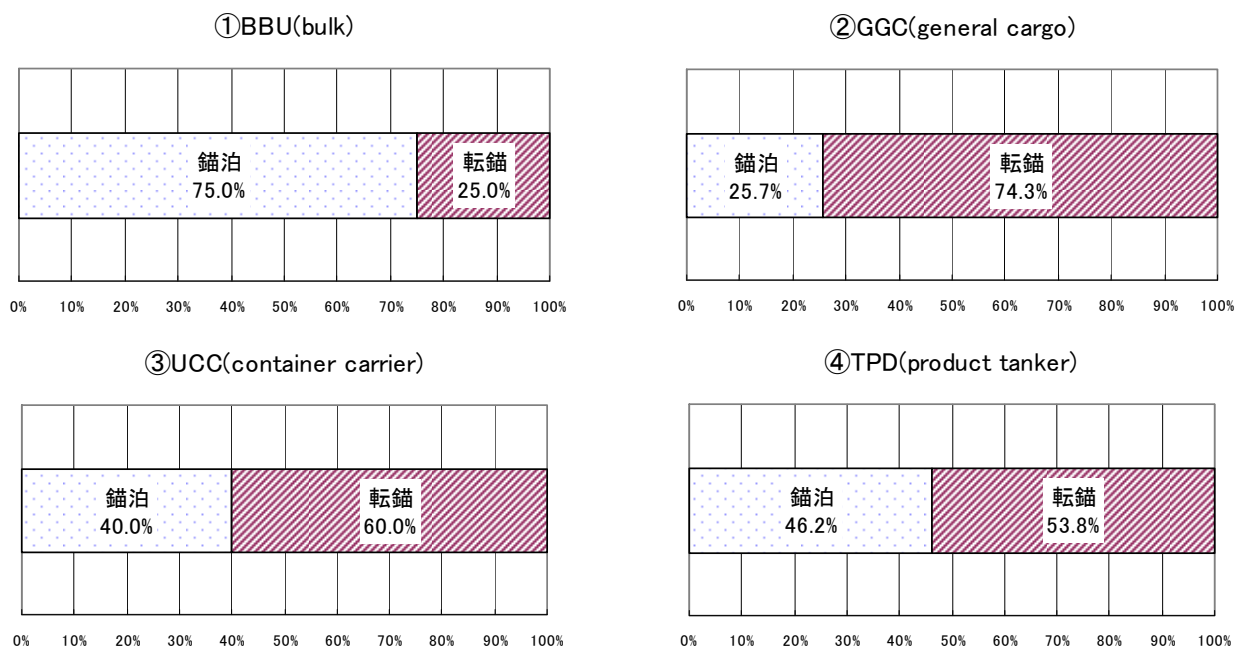


図-4.8 荒天時の避泊行動実態 (船種別)

(2) 検証 2 : 荒天時の泊地規模算定式の検証

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算定式について検証する。錨泊タイプの船舶について、図-4.9では1,000GT以上を対象として、図-4.10では5,000GT以上を対象として、横軸を荒天時の泊地規模の算定式(以下 旧基準式)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)として整理した結果を示す。ここで、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の読み取った値を用いている。

その結果、1,000GT以上全体では平均的には旧基準値と観測結果が等しくなっているのに対して、5,000GT以上では観測結果が平均的に旧基準値を12%上回る結果となっている。

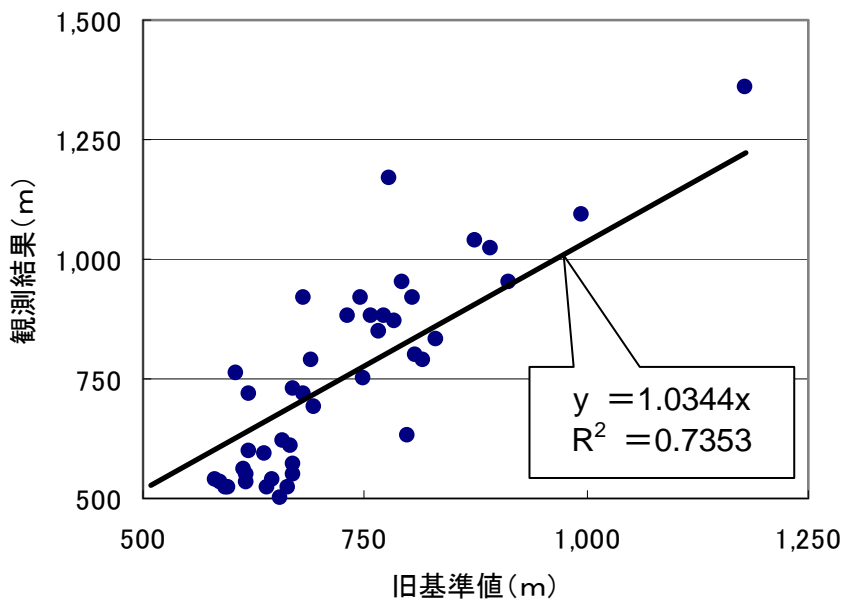


図-4.9 荒天時の泊地規模算定 (1,000GT 以上)

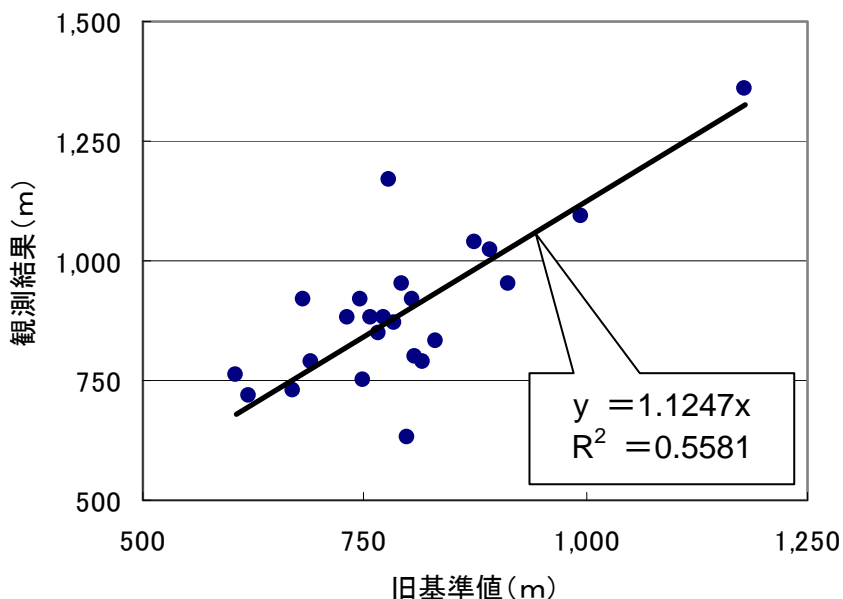


図-4.10 荒天時の泊地規模算定 (5,000GT 以上)

4.3 新たな基準となる算定式の検討

過去の技術基準（1979,1989）の表-2.1で示された旧基準式については、次の課題が考えられる。

- ①5,000GT以上を対象とした場合には、観測結果が旧基準値よりも平均的に10%上回る値となっている。
- ②旧基準式では、適用に際して水深値が必要となることから計画段階での適用における有効性が低い。

このため、今回の観測結果から新たな基準となる算定式として、観測結果を船長（Loa）に対する倍数を複数設定して表示した結果を図-4.11, 12に示す。この結果から、出来

るだけ簡易な以下の式を提案する。

荒天時（風速30m）における錨泊による泊地規模は以下を直径とする円を想定することができる

$$R = 6Loa \quad (Loa \leq 200m)$$

ただし、云うまでもなく、この提案式は4.2で示した東京湾という特定海域での特定台風（2007年台風9号）に関する分析結果に基づいている。したがって、今後より多く観測データに基づいて検討することが必要かつ重要である。

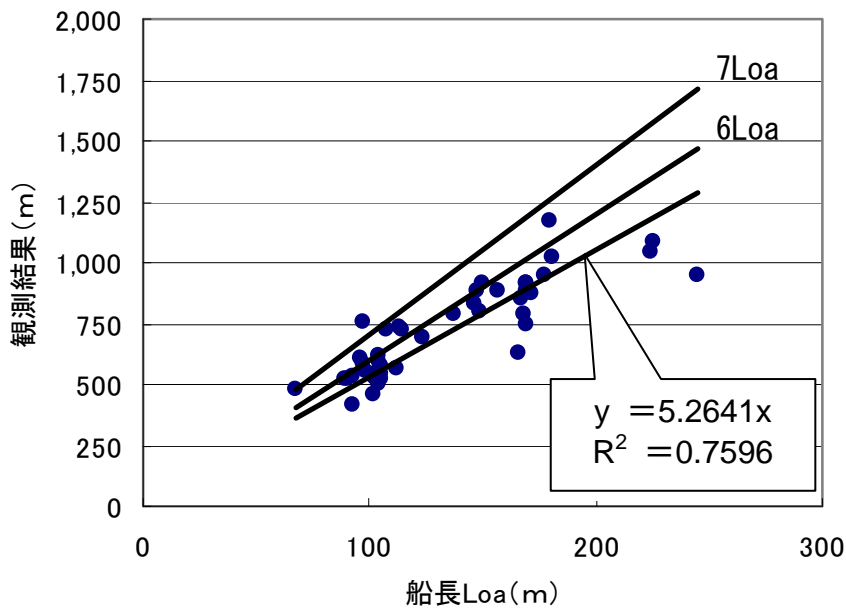


図-4.11 荒天時の泊地規模算定式の検証（1,000GT 以上）

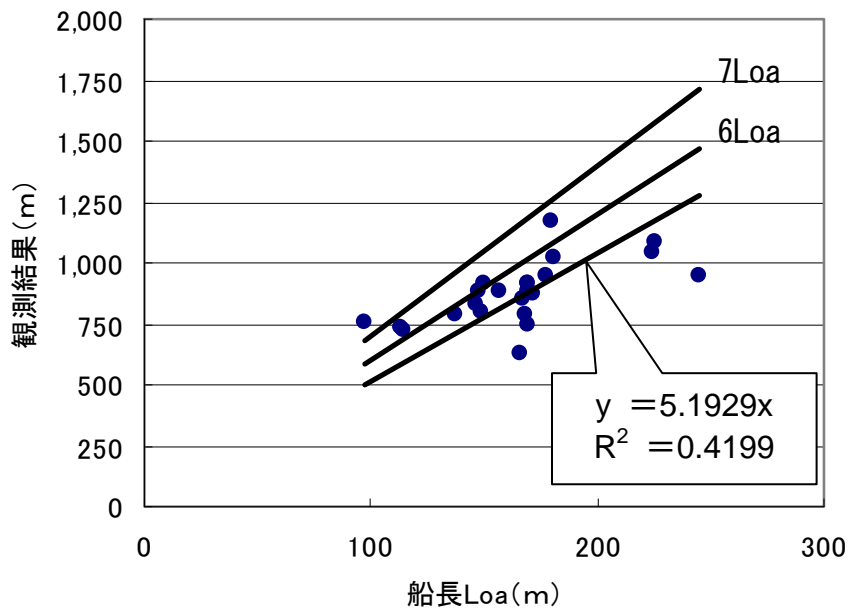


図-4.10 荒天時の泊地規模算定式の検証（5,000GT 以上）

5. おわりに

本研究では、これまでほとんど荒天時の実態観測がなされていない状況を踏まえて、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の妥当性を検証した。

その結果、避泊行動として2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、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としての転錨タイプの存在を示した。また、実際の荒天時の泊地規模は5,000GT以上の船舶については従来の技術基準での算定式から得られる値を10%上回る値になっていることを示した。

さらに、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を前提として、新たな基準となる算定式を検討した。

しかしながら、今後はより多くの観測データに基づいて、より妥当な基準式を検討することが必要であると考える。

(2008年11月14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