

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、着岸・離岸のための泊地規模についての定量的な記述はなされていない。また、実際問題として着岸・離岸における船舶の操船実態、さらにその実態を踏まえて泊地規模を把握することは容易ではない。このために、これまでは新たな算定式の提案は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、船舶の操船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および解析が可能となった。さらに、その他の国内外の海域におけるAISデータについても解析が可能となった。

そこで、本研究では実態観測がほとんどなされていない状況を踏まえて、NILIM-AISにより東京港および名古屋港のコンテナバースを対象として着岸・離岸のための操船実態の分析、必要な泊地規模について分析する。さらに、必要な回頭距離の算定に対する考え方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. 技術基準等における経緯と本研究の目的

2.1 技術基準等における経緯

最新の技術基準(2007)から遡って、技術基準上での着岸・離岸のための泊地規模(広さ)に関する記載について以下に整理する。以下に示すとおり、1979年に発行された最初の技術基準から最新の技術基準まで着岸・離岸のための泊地の広さについて定量的な記載がない。

なお、技術基準では着岸・離岸のための泊地は「係留・解らん泊地」とされている。

技術基準(2007)¹⁾

第4編 第3章 水域施設

3 泊地

3.2 性能規定

(1) 泊地の広さ (供用性)

② 船首の回転の用に供される泊地

(c) 係留・解らん泊地

係留・解らん泊地の性能照査における泊地の規模の設定に当たっては、対象船舶の回頭の形態、スラスターの有無、風及び潮流の影響、操船の容易さ等を適切に考慮する。

3.3 性能照査

(3) 操船の用に供される泊地の面積

係留・解らん泊地

① 一般には、港湾施設の効率的な配置及び利用の面から係留・解らん水面と航路とを同一水面で計画することができる。ただし、船舶の通行が稠密な場合には分離することが望ましい。

② 曳船による係留・解らん泊地の規模を検討する際には、文献2) 3)等を参考にすることができる。

技術基準(1999)⁴⁾

第6編 水域施設 第4章 泊地

4.2 泊地の位置と面積

4.2.3 操船の用に供される泊地の面積

(2) 係留・解らん泊地

係留・解らん泊地に関しては、曳船の有無、風、潮流の影響を考慮する。

〔解説〕

一般には、港湾施設の効率的な配置及び利用の面から、係留・解らん水面と航路とを同一水面で計画するが、船舶の通行の激しいところでは、これを分離する場合もある。

〔参考〕

係留・解らん泊地の規模を検討するには、岩井⁵⁾、本田⁶⁾の文献等を参考にすることができる。特に、曳船による

場合には、中島²⁾ 山縣³⁾ の文献等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

4.2.3 操船の用に供される泊地の面積

(2)係留解らん泊地

係留解らん泊地は、ひき船の有無、風、潮流の影響を考慮して、係留、解らんの操船に無理の生じないように慎重に定めるものとする。

〔解説〕

一般には、港湾施設の効率的な配置及び利用の面から、係留・解らん水面と航路とを同一水面で計画するが、船舶の通行の激しいところでは、これを分離する場合もある。

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

3.2.3 操船の用に供される泊地の面積

(2)係留解らん泊地

係留解らん泊地は、ひき船の有無、風、潮流の影響を考慮して、係留、解らんの操船に無理の生じないように慎重に定めるものとする。

〔解説〕

一般には、港湾施設の効率的な配置及び利用の面から、係留・解らん水面と航路とを同一水面で計画するが、船舶の通行の激しいところでは、これを分離する場合もある。

ここで示したように、これまでの技術基準では着岸・離岸のための泊地の広さについての定量的な記載は全くないものの、1981年(昭和56年)の新体系土木工学81「港湾計画」⁹⁾では、次に示すように着岸・離岸について定量的に記載されている。

新体系土木工学81 港湾計画⁹⁾ (1981)

4.2.3 泊地

泊地は、船舶の安全な停泊、円滑な操船および荷役を可能とするために、静穏で十分な広さを有し、かつ十分な水深が確保された水面であることが必要とされる。また泊地の海底地質は、錨がかりに適しているところが望ましい。

(1)泊地の位置と広さ

泊地の位置は、操船や荷役が安全かつ円滑に行われるよう、防波堤、ふ頭等の配置を考慮し、静穏度の確保が可能な地点で、かつ航路内の船舶航行に支障を与えない場所に

定める。また、危険物積載船のための泊地は、一般船舶と分離して配置することが望ましい。

泊地の広さは、以下に掲げる泊地の利用形態に応じて適切な規模とする。

- ①錨泊または浮標泊により停泊、荷役のために利用される泊地
- ②係留施設前面に設けられた停泊、荷役のために利用される泊地
- ③船舶の回頭のために利用される泊地

また、船舶の離着岸、泊地への進入の場合および錨泊地にあつては、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、保安距離を考慮しなければならない。

a.錨泊および浮標泊の場合の泊地の広さ

.....

b.係留施設前面の泊地の広さ

岸壁、係船杭、棧橋および浮棧橋前面に設けられる係留、解らん(網解き)のための泊地の広さは、地形、気象、海象、その他の自然条件および停泊・係留の形態、引船の有無等を考慮して、係留・解らんの操船が円滑に行えるものであることが必要である。そのうち、泊地の長さは、対象船舶の船長に対象船舶の幅を加えた値を標準とし、泊地の幅は、船舶の離着岸が安全かつ円滑に行えるよう、対象船舶の幅に離着岸操船を考慮した値を目安とする。

一般には、港湾施設の効率的な配置および利用の面から、係留・解らん水面と航路とを同一水面で計画するが、船舶の通行量が多い箇所では、できる限りこれを分離することが望ましい。

通常、係留施設前面の操船の形態によって、以下に示すような広さをとる。

i)入船つなぎの場合

船首を港口の方向と逆に向けて係留するのを入船つなぎと呼ぶ。風、潮流のない場合は、一般的に後進機関により船首が右に偏向するので、進入角度は左舷横着けよりも少なくなるとる〔図-2.1(a), (b)〕。また、船首から風、潮流を受ける場合、流されることを見込んで、風、潮流のない場合より予定位置から遠い点に向かって進入するため、風、潮流のない場合に比し広い操船水域が必要となる〔図-2.1(c), (d)〕。陸より風、潮流を受ける場合には、引船を使用しなければならないが、操船水域は船首より風を受ける場合と大差ない。

ii) 出船つなぎの場合

船首を港口の方向に向けて係留するのを出船つなぎと呼ぶ。出船つなぎは、沖より風、潮流を受けて入港する場合に、風、潮流を利用して係留する方法である〔図-2.1(e)〕。右舷横着けも左舷横着けとほとんど変わらない。

iii) 解らんの場合

風、潮流のない場合の解らんに要する水域は、**図-2.2**のようになる。風、潮流を陸から受ける場合には、操船が容易であるが、風、潮流を沖より受ける場合には、引船の使用が必要となる。

iv) スリップ

スリップ（突堤と突堤との間の泊地）の幅は、利用する船舶の船型、バース数、引船の有無等を考慮して突堤の片

側バース数に応じ決定する。すなわち、1本の突堤が3バース以下の場合には、スリップ幅は L を、1本の突堤が4バース以上の場合には、スリップ幅は $1.5L$ を確保する。ただし、船幅の船長に対する比が一般貨物船より著しく大きな船舶、あるいは給油船、給水船、はしけ等が利用する泊地については、利用実態に応じてさらに余裕を加える必要がある。また、スリップ内で回頭するような場合は、回頭に必要な幅を確保しておくことが必要である。

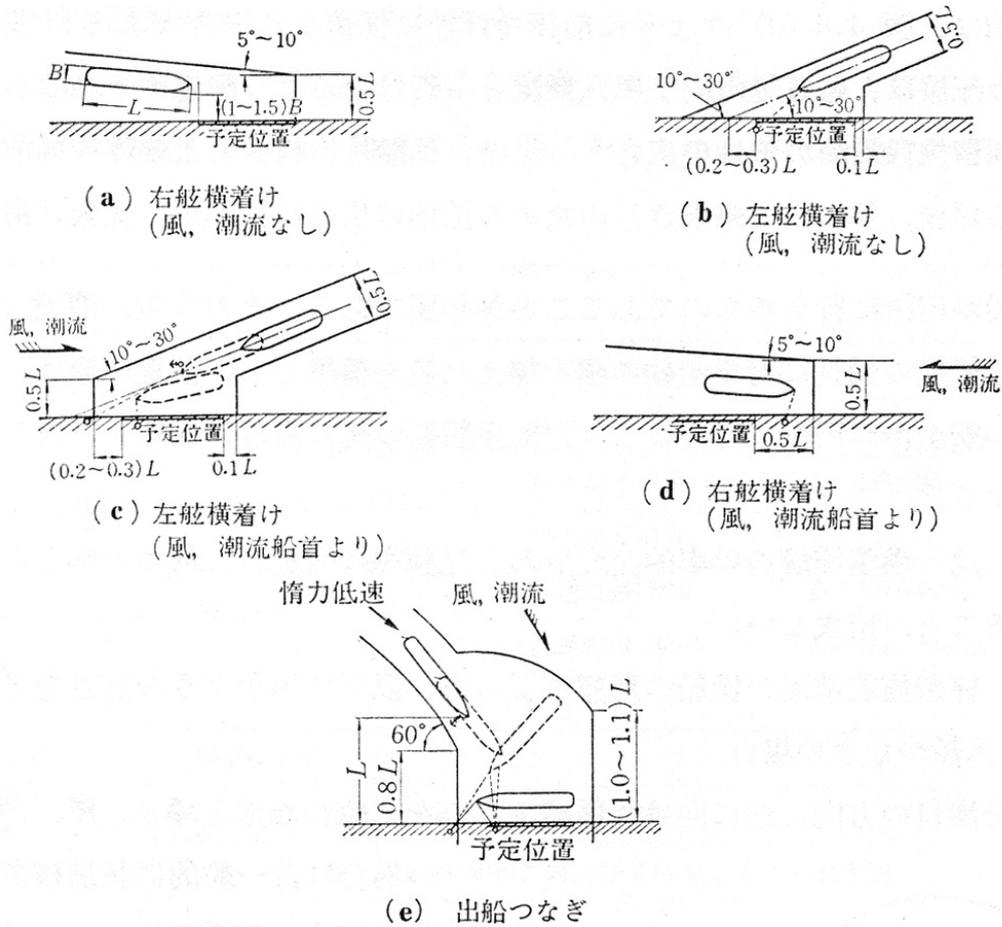


図-2.1 入船つなぎと出船つなぎ

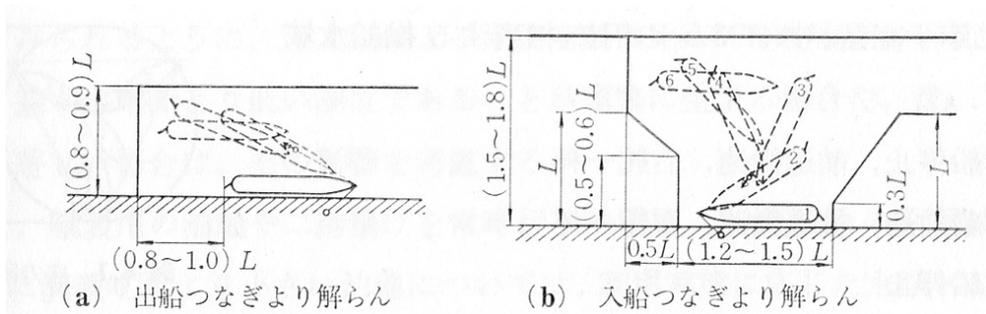


図-2.2 解らん

2.2 本研究の目的

着岸・離岸のための泊地の広さについては、前述のとおり一般の書籍（文献9）として公表されているが、技術基準には明確な記載は全くなかった。このために、技術基準の「船首の回頭の用に供される泊地」に関する記述がしばしば適用されている。

技術基準(2007)¹⁾

第4編 第3章 水域施設

3 泊地

3.2 性能規定

(1) 泊地の広さ（供用性）

② 船首の回転の用に供される泊地

(b) 安全な回頭に支障を及ぼさない広さ

1) 泊地の性能照査における泊地の広さの設定に当たっては、安全な回頭に支障を及ぼさない広さとして、以下の値を用いることができる。

なお、十分な推力を有するスラスターを利用した回頭の場合については、曳船を利用した回頭の場合に準じる。

- ・自力による回頭の場合には、対象船舶の全長の3倍を直径とする円
- ・曳船を利用した回頭の場合には、対象船舶の全長の2倍を直径とする円

バース前面の水域施設の整備に際して、着岸・離岸のための泊地規模の設計は非常に重要でもあるにもかかわらず、約30年間も新たな検討がなされていなかった。この原因として、バース前面とはいえ、着岸・離岸のための操船実態を正確に計測することが容易ではなかったことが考えられる。

近年、外航船・内航船ともに一定規模以上の船舶へのAISの搭載が義務化されたことで、着岸・離岸のための操船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った。また、その他の国内外の海域におけるAISデータについても解析が可能となった。

著者らは、このNILIM-AISを用いた分析結果を既に文献10)～13)において発表している。

したがって、これまでほとんど着岸・離岸の操船の実態把握がなされていない状況を踏まえて、東京港および名古屋港で観測されたAISデータについてNILIM-AISにより、着岸・離岸のための泊地規模について分析する。さらに、

新たな基準となる式についても検討する。なお、今回の研究ではコンテナバースのみを対象としている。

また、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10)、11)を参照されたい。

3. 解析対象および解析手法

3.1 解析対象

本研究では、東京港では図-3.1に示す大井埠頭・青海埠頭のコンテナバース（以下 大井・青海コンテナバース）を、名古屋港では図-3.2に示す飛島埠頭・金城埠頭のコンテナバース（以下 飛島・金城コンテナバース）を対象とした。

また、東京港については国総研港湾研究部で観測したデータを、名古屋港については中部地方整備局三河港湾事務所から提供して頂いた観測データを用いる。

具体的な解析は、各港それぞれ以下に示す火曜日～金曜日に着岸・離岸が確認されたコンテナ船を対象に実施している。

【東京港】

- ・2007年10月9日（火）～12日（金）
- ・2007年11月13日（火）～16日（金）
- ・2007年12月11日（火）～14日（金）

解析対象コンテナ船 : 70隻

【名古屋港】

- ・2008年3月4日（火）～7日（金）
- ・2008年3月11日（火）～14日（金）
- ・2008年3月25日（火）～28日（金）

解析対象コンテナ船 : 55隻

3.2 解析手法

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LMIU（Lloyd's Maritime Intelligence Unite）shipping Dataに基づき補填している。NILIM-AISを用いた、東京港における解析結果を参考図 T-1～70 に、名古屋港における解析結果を参考図 N-1～55 に示す。具体的な解析手法について、図-3.3（参考図 T-2）を事例として説明する。図ではコンテナ船の着岸から離岸までを、船長・船幅については実サイズである近似的なモデル船型により、1分間隔で表示させている。次に、この航跡を全て包含するとともにバース法線を一辺とする長方形（以下 着岸・離岸泊地）を描き、バースに対する法線方向の長さ（以下 法線方向回頭距離）とバースに対する直角方向の長さ（以下 直角方向回頭距離）を計測し、対象となるコンテナ船の全長（ L_{oa} ）に対する比率で表示している。その結果、この図-3.3（参考図 T-2）では法線方向回頭距離が $2.97 L_{oa}$ 、直角方向回頭距離が $2.31 L_{oa}$ となっている。ここで、多くの場合において直角方向回頭距離の位置特定する船首の回頭の終了箇所は、回頭後の船首方向がその後の進航方向の船首とほぼ同じと判断される箇所を選択している。

東京港と名古屋港で対象としたコンテナバースは、ともに対岸にバースが存在している。このように同様の形態であるために、当初は一体として解析することを想定していた。しかしながら、東京港では大井埠頭と青海埠頭の間が最大で約1400m、名古屋港では飛島埠頭と金城埠頭の間が最大で約700mであり、両者の距離が大きく異なっていた。図-3.4、3.5では、それぞれ港湾において対岸までに水深が確保されている距離を複数箇所について示している。この結果、4.での詳細な分析から明らかになるが、この距離が長い東京港では対岸の存在がそれほど制約になっていないのに対して、この距離の短い名古屋港では対岸の存在が制約になっていることが想定される。このため、4.では東京港と名古屋港を個々に分析を実施している。

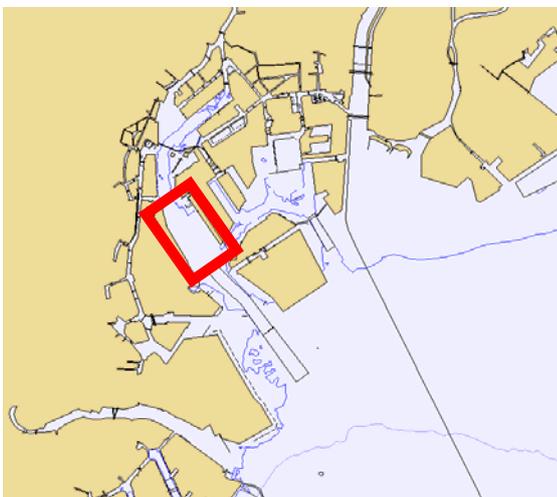


図-3.1 東京港 コンテナバース位置図

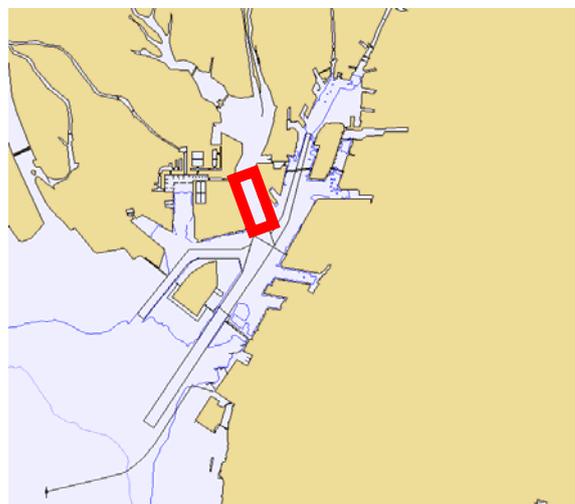


図-3.2 名古屋港 コンテナバース位置図

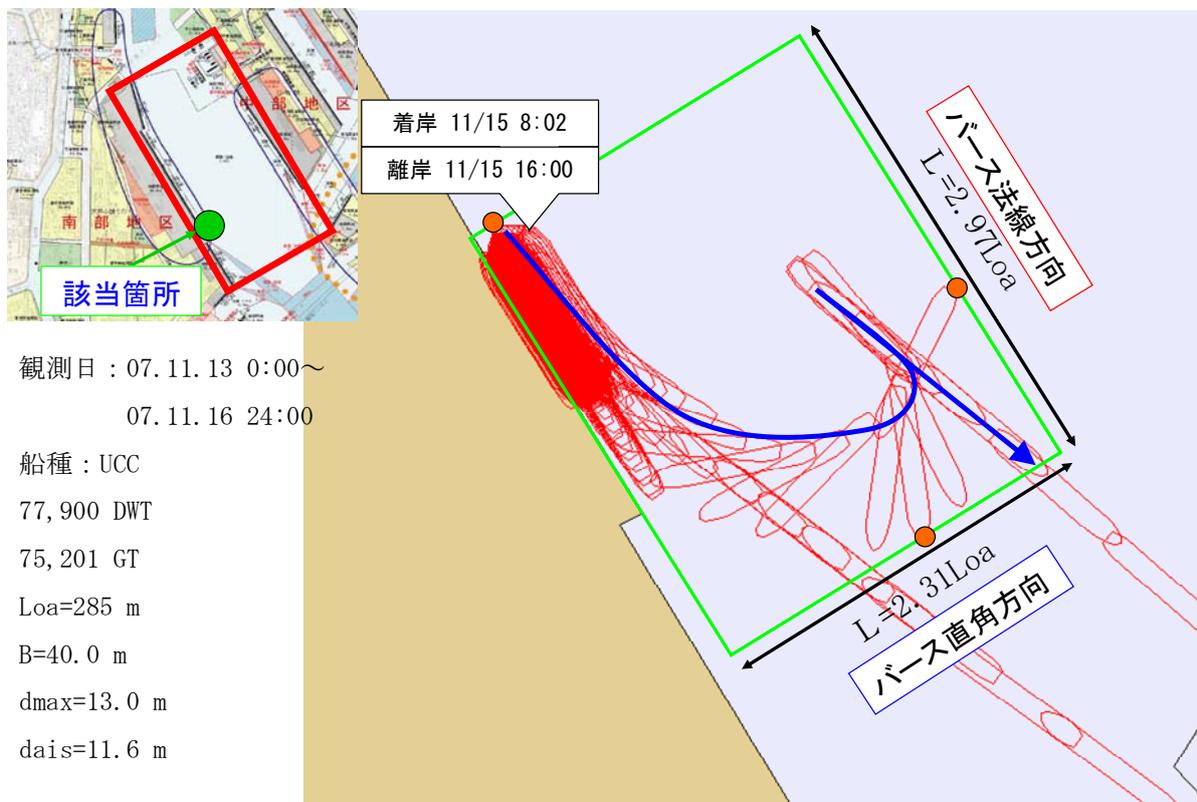


図-3.3 解析手法図

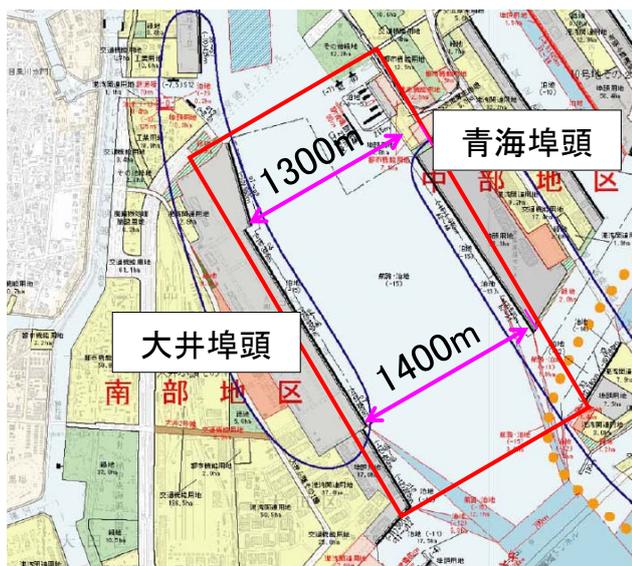


図-3.4 大井埠頭・青海埠頭コンテナバース

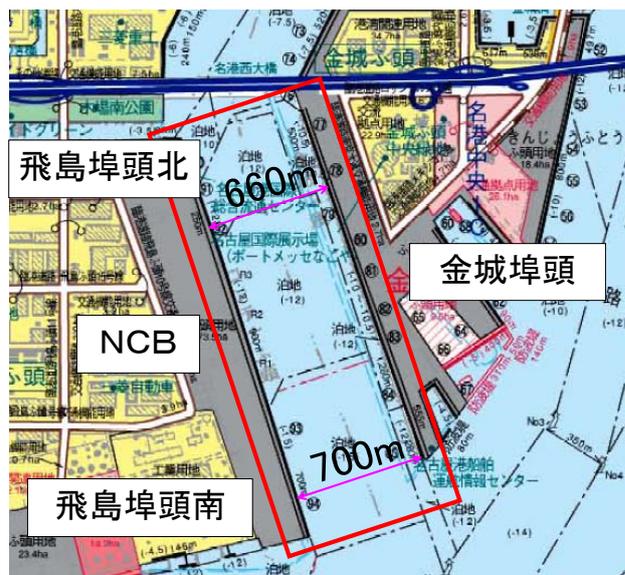


図-3.5 飛島埠頭・金城埠頭コンテナバース

4. 着岸・離岸泊地規模に関する分析結果

4.1 頻度分布分析

着岸・離岸泊地のバース法線方向回頭距離，バース直角方向回頭距離それぞれについて，Loaで無次元化した値についての頻度分析をおこなった。なお，ここでの分析では，回頭距離に影響する曳船，スラスター，気象・海象条件等については考慮していない。

(1) 東京港（大井・青海コンテナバース）

バース法線方向の分析結果を図-4.1に，バース直角方向の分析結果を図-4.2に示す。この結果から，バース法線方向については2Loa辺りをピークとした右裾に長い分布形状を，バース直角方向については2.6~2.8Loa辺りをピークとした右裾に長い分布形状を示していることが明らかになる。

(2) 名古屋港（飛島・金城コンテナバース）

バース法線方向の分析結果を図-4.3に，バース直角方向の分析結果を図-4.4に示す。この結果から，バース法線方向については2Loa辺りをピークとした右裾に長い分布形状を，バース直角方向については2.4Loa辺りをピークとした右裾に長い分布形状を示していることが明らかになる。ただし，東京港と比較して形状の尖り具合が緩やかになっている。

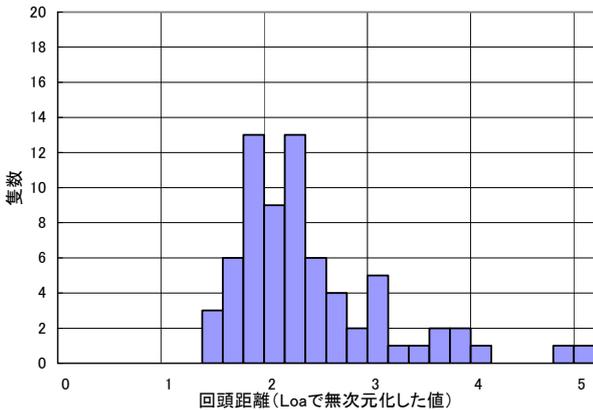


図-4.1 着岸・離岸泊地における回頭距離の頻度分析 (東京港 バース法線方向)

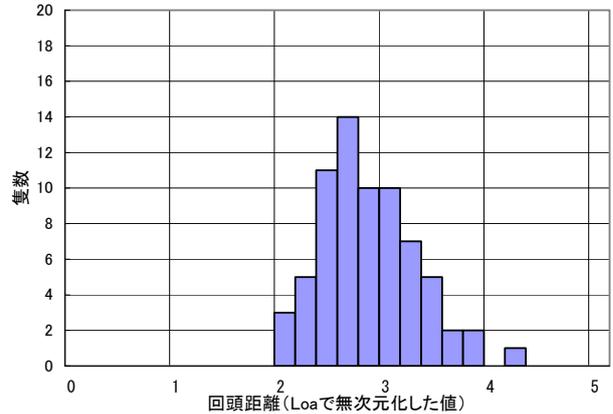


図-4.2 着岸・離岸泊地における回頭距離の頻度分析 (東京港 バース直角方向)

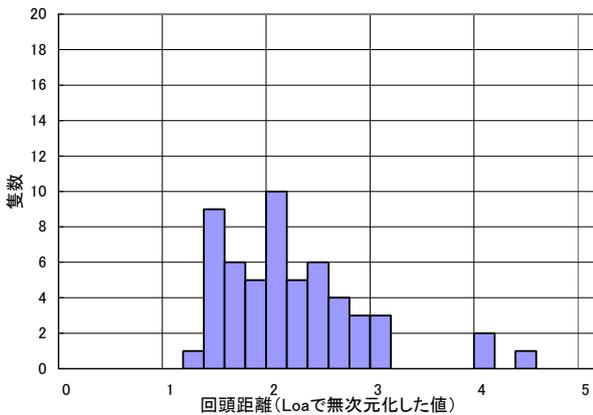


図-4.3 着岸・離岸泊地における回頭距離の頻度分析 (名古屋港 バース法線方向)

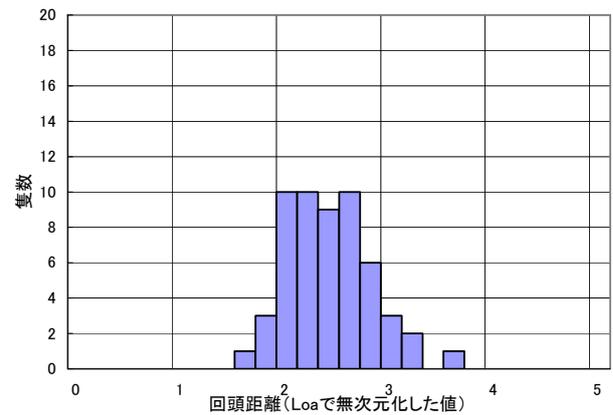


図-4.4 着岸・離岸泊地における回頭距離の頻度分析 (名古屋港 バース直角方向)

4.2 船型規模に対応した分析

4.1 での頻度分布では船型規模が評価されていない。このために、LoaとGTを指標として着岸・離岸泊地のバース法線方向回頭距離（Loaでの無次元化値）、バース直角方向回頭距離（Loaでの無次元化値）について分析をおこなった。

(1) 東京港（大井・青海コンテナバース）

バース法線方向についてLoaを指標とした場合の分析結果を図-4.5に、GTを指標とした場合の分析結果を図-4.6に示す。ここで、合わせて示している相関係数（R）からそれぞれの指標に対する相関が低いことが明らかになる。

一方で、バース直角方向についてLoaを指標とした場合の分析結果を図-4.7に、GTを指標とした場合の分析結果を図-4.8に示す。ここで、合わせて示している相関係数（R）から法線方向と比較するとそれぞれの指標に対する相関が高いことが明らかになる。

(2) 名古屋港（飛島・金城コンテナバース）

バース法線方向についてLoaを指標とした場合の分析結果を図-4.9に、GTを指標とした場合の分析結果を図-4.10に示す。ここで、合わせて示している相関係数（R）からそれぞれの指標に対する相関が低いことが明らかになる。

一方で、バース直角方向についてLoaを指標とした場合の分析結果を図-4.11に、GTを指標とした場合の分析結果を図-4.12に示す。ここでも東京港と同様に、合わせて示している相関係数（R）から法線方向と比較するとそれぞれの指標に対する相関が高いことが明らかになる。

さらに、Loa、GTともに東京港と比較して名古屋港のほうがより小さい値となっている。特に、相関の高いGTを指標とした場合には、平均的に0.3Loa小さくなっている。

このことは、3.2で示したように、東京港と比較して名古屋港における対岸までの距離の短さが要因であると考えられる。すなわち、着岸・離岸のための水域（回頭可能領域）に余裕がない場合には泊地規模が小さくなる傾向があると考えられる。

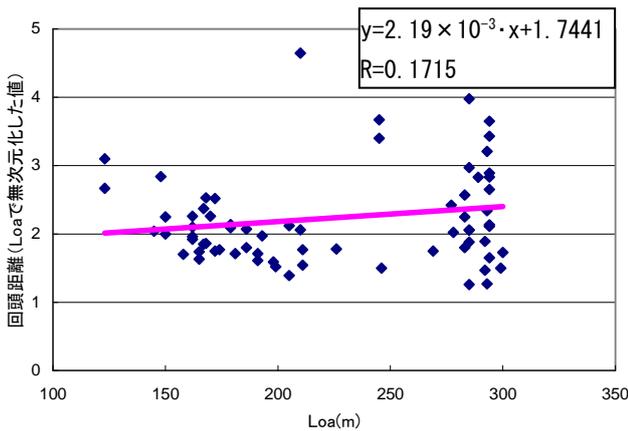


図-4.5 LoaとLoaで無次元化した必要泊地の関係
(東京港 バース法線方向)

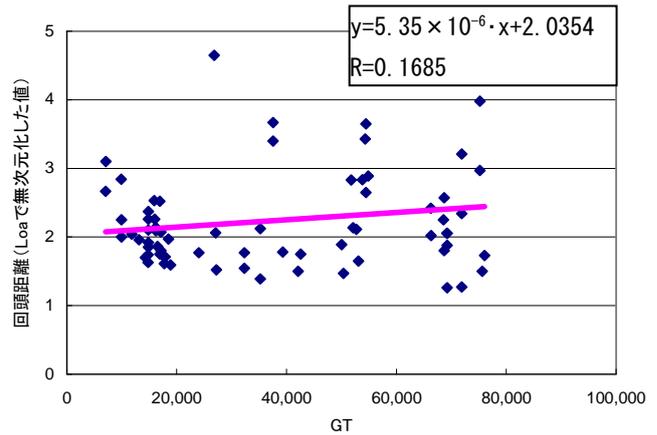


図-4.6 GTとLoaで無次元化した必要泊地の関係
(東京港 バース法線方向)

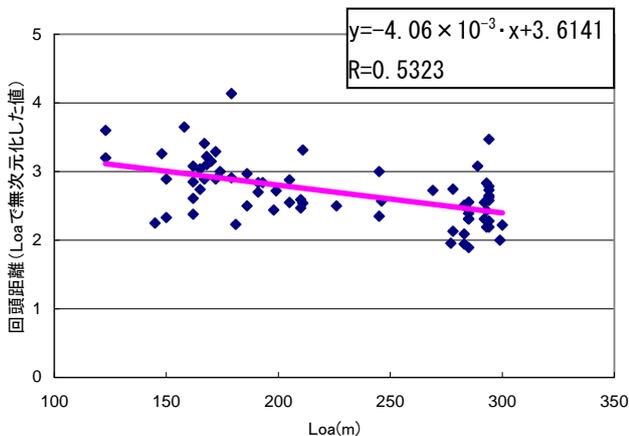


図-4.7 LoaとLoaで無次元化した必要泊地の関係
(東京港 バース直角方向)

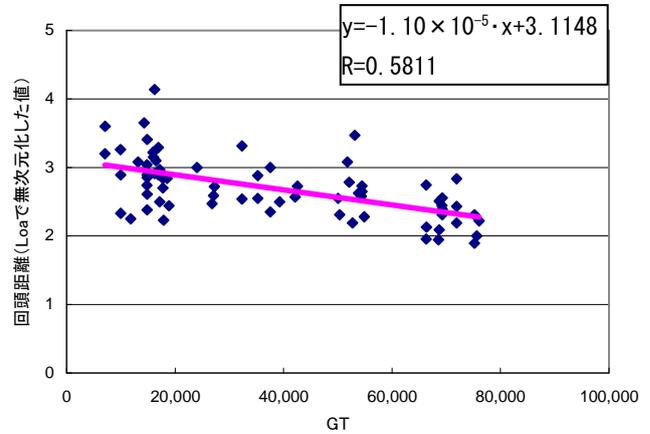


図-4.8 GTとLoaで無次元化した必要泊地の関係
(東京港 バース直角方向)

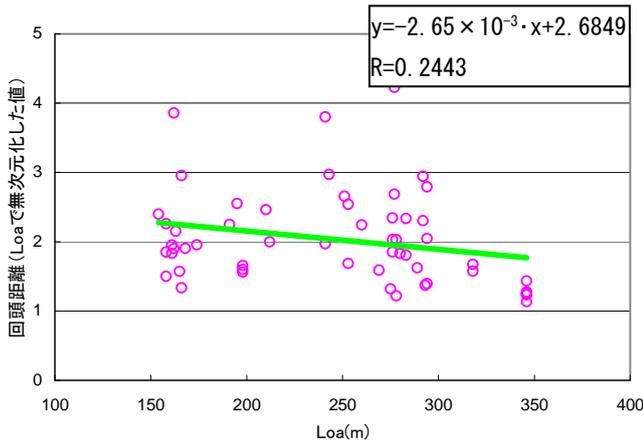


図-4.9 Loa と Loa で無次元化した必要泊地の関係
(名古屋港 パース法線方向)

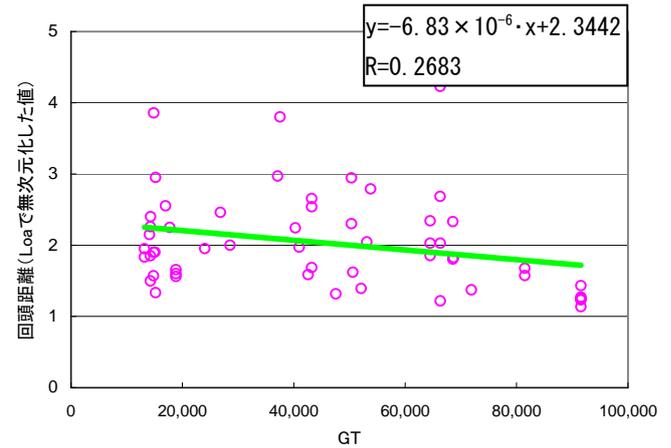


図-4.10 GT と Loa で無次元化した必要泊地の関係
(名古屋港 パース法線方向)

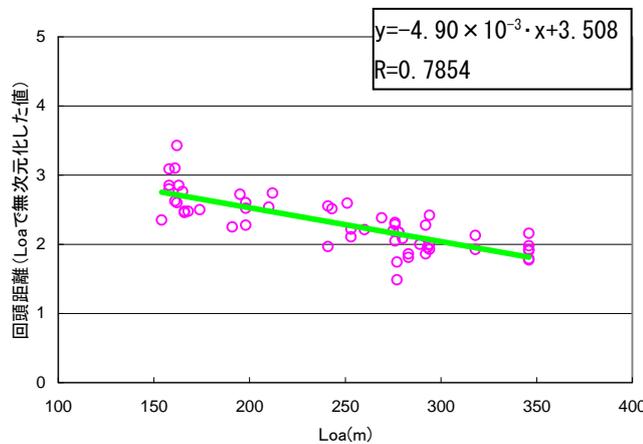


図-4.11 Loa と Loa で無次元化した必要泊地の関係
(名古屋港 パース直角方向)

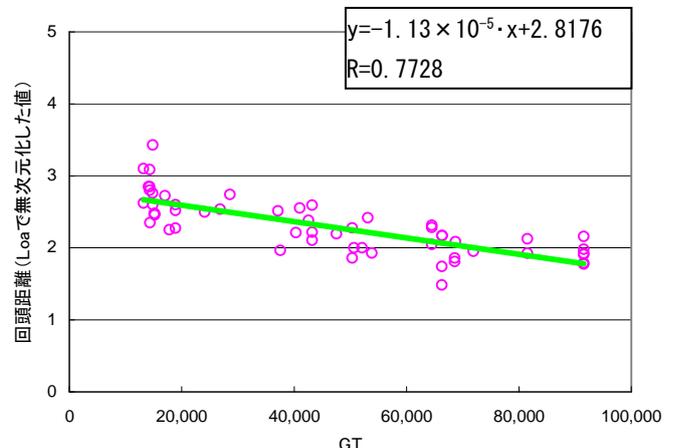


図-4.12 GT と Loa で無次元化した必要泊地の関係
(名古屋港 パース直角方向)

4.3 必要な回頭距離の算定

4.1 および 4.2 の分析結果は、必要な回頭距離を算定する際に有効となる。特に、図-4.7、4.8、4.11、4.12 で示す回帰式は、平均的な値を算定する場合に適用することができる。ただし、適用に際しては以下の点を考慮することが必要である。

- ①船型規模（船長、総トン数）の大型化にとまない、Loa で無次元化したパース直角方向の回頭距離は相対的に短くなること
- ②回頭可能領域に対する制約がパース法線方向及び直角方向の両回頭距離全体の傾向に大きく影響していること

なお、ここでの結果は東京港と名古屋港における特定のコンテナバースを対象としていることに留意することが必要である。

また、コンテナバース前面の回頭距離を最終的に決定するのは、着岸が想定される最大級のコンテナ船である。このため、今回の対象の中での最大コンテナ船（Loa=346m、

10 万 DWT 級、名古屋港）に関する結果についてさらに分析する。なお、このクラスのコンテナ船は、近年日本に寄港している最大級のコンテナ船でもある。

特に重要となるパース直角方向の回頭距離については、5 ケース（参考図 N-1, 2, 3, 5, 6）の観測結果が得られている。このうち、4 ケースが 2Loa 以下であり、2Loa を超えた 1 ケースにおいても 2.16Loa であった。一方で、最小値は 1.77Loa である。さらに、この 5 ケースは図-4.7、4.8、4.11、4.12 で示される他の領域と比較して分布が小さいことが明らかになる。

このことから、10 万 DWT 級の超大型コンテナ船のパース直角方向の回頭距離を 2Loa 程度、状況によっては 2Loa 以下を想定することも可能と考えられる。

5. おわりに

本研究では実態観測がほとんどなされていない状況を踏まえて、NILIM-AISにより東京港および名古屋港のコンテナバースを対象として着岸・離岸のための操船実態の分析、必要な泊地規模について分析した。さらに、必要な回頭距離の算定に対する考え方を検討した。

ただし、今回の分析は東京港と名古屋港のコンテナバースのみを対象としていることから、今後はより多くの観測データを取得・分析することで、基準となり得る回頭距離の算定式を検討することが必要であると考えます。

(2008年11月14日受付)

謝辞

本研究の実施に際しては、中部地方整備局三河港湾事務所の方々からAISデータの提供等の多大なご支援を頂きました。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) 中島利雄：曳船操船—そのテクニック—，海文堂，1979
- 3) 山縣一：曳船とその使用法，成山堂書店，1992
- 4) 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
- 5) 岩井聰：新訂操船論，海文堂，1977
- 6) 本田啓之輔：操船通論（増補五訂版），成山堂書店，1998
- 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) 藤野慎吾，川崎芳一：新体系土木工学 81 港湾計画，技報堂出版，1981
- 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資料 No.420，2007
- 11) 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資料 No.431，2007
- 12) 高橋宏直，後藤健太郎：NILIM-AISによる対北米コンテナ航路に関する分析—津軽海峡通過コンテナ船と東京湾寄港コンテナ船の比較—，国土技術政策総合研究所資料 No.476，2008
- 13) 高橋宏直，柳原啓二：NILIM-AISによる国内外主要海域の比較評価—航路，海峡等における輻輳度評価手法の検討—，国土技術政策総合研究所資料 No.477，2008