係留ロープの破断事例分析と繋離船作業の安全性向上に向けた係留施設の設計上の配慮事項

井山 繁¹・西岡 悟史²・宮田 正史³・米山 治男⁴・
辰巳 大介⁵・木原 弘一⁶

¹正会員 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: iyama-s2pu@mlit.go.jp

²国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: s_nishioka@toa-const.co.jp

³正会員 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: miyata-m92y2@mlit.go.jp

⁴正会員 港湾空港技術研究所 海洋研究領域 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: yoneyama@pari.go.jp

⁵正会員 国土交通省港湾局技術企画課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

E-mail: tatsumi-d28t@mlit.go.jp

⁶国土交通省港湾局技術企画課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

E-mail: kihara-h852a@mlit.go.jp

船舶が係留施設へ接岸または離岸する際の繋離船作業（船舶と陸上作業員の間で係留ロープを受け渡す作業）は港湾利用を支える基礎的な活動であるが、何らかの要因により係留ロープの切断事故が発生すると、繋離船作業等に重大な危険を及ぼす懸念がある。また、繋離船作業のうち陸上作業員が係留ロープを係船柱に掛け外しする作業では、それらの作業が安全かつ効率的に行われるように改善を図っていくことは重要な課題である。本研究は、繋離船作業の安全性の向上を図ることを目的として、過去の繋離船作業における係留ロープの破断事故の整理・分析を行うとともに、陸上作業員からのヒアリング等を踏まえて、繋離船作業の安全性に影響の大きい係留施設の附帯設備（係船柱、防舷材、車止め等）の設計の際、配慮すべき事項について検討したものである。

Key Words : mooring and detachment work, mooring rope, ancillary equipment, safety

1. はじめに

船舶が係留施設に接岸または離岸する際の繋離船作業は港湾利用を支える基礎的な活動であるが危険の多い作業でもある。特に何らかの要因により係留ロープが破断し、作業員に当たると重大な危険を及ぼす。実際に2009年3月にはコンテナ船の着岸時の繋船作業中に係留ロープが破断し、作業員2名が死亡する重大事故も発生している。一方で荷役作業の効率化等と異なり、繋離船作業の安全性向上のための十分な検討はなされてこなかったのが実情である。

繋離船作業の安全性向上に関しては、大きく2つの観点からのアプローチが考えられる。一つは繋離船時の操船方法や岸壁への円滑な近接を支援するパイロットの乗船等の運用の改善・変更等によるいわばソフト面での対応と、もう一つは繋離船作業時の陸上作業員の作業スぺ

ースの確保や係留ロープの引掛りを防ぐための施設形状や配置に配慮するハード面での対応である。

そこで本研究では、実際に繋離船作業を行っている事業者からの情報提供を基に過去の係留ロープ破断の事故原因を分析するとともに繋離船作業の従事者の作業の安全性・効率性の向上に資するよう、主に後者の観点から係船柱、防舷材等の係留施設の附帯設備の設計、施工上の改善事項について検討したものである。

本検討を行うにあたっては、日本繋離船協会から繋離船作業に関する情報の収集を行った。日本繋離船協会²⁾は、繋離船作業に関する情報交換、各港における繋離船作業に関する問題や課題に取り組むことを目的として1973年9月に発足した協会である。

また繋離船作業中の死亡事故をきっかけとして国土交通省港湾局と海事局及び日本繋離船協会が参画して、繋離船作業の安全対策に関する検討を行うための「繋

離船作業に係る安全問題検討会」¹⁾(以下、「検討会」という。)が2014年3月に設置され、繋離船作業における事故事例や課題等の情報が提供されており活用した。

さらに、2017年1月には著者らは日本繋離船協会の会員各社に対し、アンケート調査を行うとともに神戸港での繋離船作業の現地調査とアンケートを踏まえた日本繋離船協会との意見交換を行い、繋離船作業の従事者からの詳細な意見聴取を行った。

以下はこれらの情報に基づき検討したものである。

2. 繋離船作業の概要

(1) 繋離船作業の概要

繋離船作業とは、船を岸壁につなぐ繋船作業と岸壁から放す離船作業をあわせた作業のことをいう²⁾。

繋離船作業は、係留ロープの掛け外しの単純な作業に思われるが、船舶、陸上の両作業員の意思疎通が重要であり、係留ロープを掛ける係船柱の位置や順番、操船のタイミング等によっては過度の引張力がかかることによる係留ロープの破断等により重大な事故を招くこともある。また、大型船舶の係留ロープは重く、限られた作業スペースで悪天候の中でも迅速な作業が求められる困難な作業となっている。

(2) 船の体勢と係留ロープの名称と役割

ここでは以降の説明に用いる繋離船時の船の体勢及び係留ロープの名称や役割について概説する。

繋船時の船の体勢については、船の向きによって入船(いりふね)、出船(でふね)と呼ばれ、入船は船が係留施設に入ってきた向きでそのまま係留する方法をいう。一方、出船は船が入ってきた向きに対して反転し、船首が港の出港方向となって係留する方法をいう。

また、係留ロープは以下の6種類がある(図-1)³⁾。

①ヘッドライン(HL)

船体の前後運動や横方向の移動を抑制する効果があり、船首部から前方の係留施設にとる係留ロープ。係留作業の比較的早い段階でロープをとり、主にこのロープを巻き締めることで、船を岸壁に寄せる。

図-1 係留ロープの取り方や名称

②フォワード ブレスト ライン(FBL)

船体の横移動を抑制する効果があり、船首部から岸壁にはほぼ直角にとる係留ロープ。このロープは他の係留ロープに比べて短くとるので一般にバイト(船から送り出した係留ロープを岸壁の係船柱でターンさせて再び船に戻して係止する)にとる。干満の差が大きい港やうねりが進入する係留施設では常に長さの調整が必要となる。

③フォワード スプリング ライン(FSP)

HLと同様に船体の前後運動や横方向の移動を制御する効果があり、船首部から後方斜めにとる係留ロープ。このロープは船の位置を保持するほか、特に繋船時においてファーストライン(最初に係止する係留ロープ)として船の前進力を抑制する効果がある。また、離船時において、このロープ以外のものをすべてレッコ(解き放ち)してこのロープを最後まで残し、主機関と舵効きを併用して船尾を係留施設から離して船を後進させる出港操船にも利用されることがある。

④アフト スプリング(ASP)

FSPと同様の効果があり、船尾部から前方の係留施設に斜めにとる係留ロープ。

⑤アフト ブレスト ライン(ABL)

FBLと同様の効果があり、船尾部から係留施設に直角にとる係留ロープ。FBLと同様に一般にバイトにとる。

⑥スターン ライン(SL)

HLと同様の効果があり船尾部から後方の係留施設にとる係留ロープ。また、HLと同様に係留作業の比較的早い段階でロープをとり、主にこのロープを巻き締めることで、船を係留施設に寄せていく。

(3) 繋離船における船の体勢や係留ロープの利用

以下に係留ロープの破断事故と関係が深い繋船作業における係留ロープとその際の操船方法について述べる⁴⁾。

a) 旧操船方法による入船接岸

船が入港した向きで岸壁法線に対してある程度の角度を持って接近し、船首側の係留ロープをとってから船尾を寄せて接岸する方法で、総トン数20,000GT程度までの船舶で行われることが多い。以下のような手順で接岸が行われる(図-2)。

i) 船が入港してきた向きで速度を十分落とし、岸壁法線にある程度の角度を持って接近する。

ii) 船首を係留施設に寄せてから船首側の係留ロープ(FSP, HL)を先にとり、タグボート等により船尾側を押して係留施設に寄せる。

iii) 船尾側の係留ロープ(SL)をとり、係留ロープの巻き締め、サイドスラスタやタグボートの使用により接岸する。

b) 平行着岸による入船接岸

船が入港した向きで係留施設前面において岸壁から離

れた位置に、船体を岸壁法線に平行に停止させ、そのまま船体を寄せて接岸する方法で、総トン数 20,000GT を超える船舶で行われることが多い(図-3)。

- i) 船が入港してきた向きでごく小さな惰力で、岸壁法線にある程度の角度を持って接近する。
- ii) 係留施設から船幅1.5~2倍程度の位置で、船体が岸壁法線に平行になるように停止し、タグボートにより係留施設に寄せていく。
- iii) 船首側及び船尾側の係留ロープをとり、係留ロープの巻き締め、サイドスラスタやタグボートの使用により接岸する。

上記の他にも、アンカーを使用して船が入港した向きから反転して接岸する方法やタグボートを使用して船が入港した向きから反転して接岸する方法などもあるが、ここでは説明を割愛する。

(4) スナップバックについて

係留ロープは、繋離船作業中にかかる過度の張力や係留ロープの劣化等により破断する場合がある。伸縮性がある係留ロープが破断した場合、蓄積された静的エネルギーが瞬間的に放出され、係留ロープが跳ね返るがそれをスナップバックという⁹⁾。跳ね返った係留ロープに作業員が接触した場合、重大な事故となる。

スナップバックゾーンとは、係留ロープが破断した際の跳ね返りの危険予想範囲のことをいう(図-4)。各種の機材等により係留ロープが屈曲している場合、破断点によってスナップバックの危険範囲は更に広がる⁹⁾。

図-2 旧操船方法による入船接岸

図-3 平行着岸による入船接岸

図-4 スナップバックゾーン⁹⁾

3. 事故事例の整理及び分析

(1) 重大事故の事例

繋離船作業における重大事故の事例として、2009年3月に起きた死亡事故が挙げられる⁷⁾。

この事故は、定期コンテナ船（15,000GT）の着岸作業中に係船柱に係止していた係留ロープ（FSP）が破断し、陸上作業員2人に当たり、死亡したものである。当時は平均風速3.6~3.7m/s、最大瞬間風速9.8m/sの北東の風を右舷斜め後方から受ける状況であった。

事故原因は、スナップバックの危険範囲内で作業していたこと、係留ロープの損耗、舷側厚板屈曲部に接触する状態でウインチによる張力と本船の前進及び風圧による張力が重なってかかったことが考えられる(図-5)。

(2) その他の係留ロープの破断事故の整理及び傾向分析

係留ロープの破断事故についての傾向を把握するために、A港の事例（2009年4月から2014年3月の5年間90件）の係留ロープ破断事故の整理・分析を行った⁸⁾。

はじめに、船舶の総トン数ごとに係留ロープの破断事故の件数の分析を行ったところ、総トン数 9,000GT から10,000GT の船舶で多く、それよりも小型又は大型の船舶では事故件数は減少する傾向にある(図-6)。また、同一刻みの GT 別のデータがないため、2014 年の当該港湾への入港船舶隻数から事故率を推測すると、3,000GT 以

図-5 事故概要図⁹⁾

図-6 破断事故件数（全90件）

※総トン数 10,000GT 以上は 10,000GT 刻み⁸⁾

図-7 破断事故件数 (総トン数 10,000GT 未満) ⑧

図-8 破断事故件数 (総トン数 10,000GT 以上) ⑧

図-9 係留索ごとの破断事故件数
(総トン数 5,000GT から 20,000GT 未満) ⑧

上 10,000GT 未満の船舶の事故率は約 0.37% で 10,000GT 以上の事故率約 0.16% の倍以上となっている。これは A 港では、船舶の入出港時に操船サポート (パイロット乗船) が必要である船舶は総トン数 10,000GT 以上であるためであり、一般的にも操船サポートがない最大船型の船舶で、係留ロープに過度の張力がかかり事故が発生する可能性が高いことを示唆している。

次に、入出港のいずれの時点で係留ロープの破断事故が発生しているのかについてデータ整理を行った。図-7 は総トン数 10,000GT 未満、図-8 は 10,000GT 以上の船舶を対象としているが、いずれも入港時の事故が多い。また、総トン数 10,000GT 未満では入港時の次に出港時での事故が多いが、10,000GT 以上では係留中の事故の割合が高くなっており、船舶が大型化することに伴う風浪等による係留中の張力の増大が推測される。

続いて、係留ロープ別の破断事故の発生件数について整理した。図-9 は総トン数 5,000GT から 20,000GT 未満の船舶を対象に係留ロープの種類別に破断事故の件数を整理したものである。これによれば船首側の FSP 及び HL 等での事故割合が全体の 74% と高くなっており、特に FSP の破断事故が約 5 割と突出して多い。

(3) 事故事例に対する要因分析

係留ロープの破断事故は、船首側の係留ロープ (FSP 及び HL) の入港時の破断が多いことから、以下ではこのケース及び係留施設の附帯設備等の影響による係留ロープの破断に焦点を当て、事故の特徴について整理・分析を行う。

a) 操船等によるFSPの破断について

FSP は繫船時に最初にとられ、離船時も最後までつながらていることが多い。そのため、繫離船作業中に FSP が繋がった状態で船体が大きく動き、破断事故が多くなる。FSP の破断事故は以下のようなケースに分けられる⑧。

- ①入船で接岸する時に、速度が十分に落ちていない状態で FSP をとり、FSP をブレーキとして使用する際に過度の張力が働き破断する。これは 2. (3) a) の接岸方法 (旧操船方法による入船接岸) において発生しやすい。
- ②入港時に FSP をとった状態で、船尾を係留施設に寄せる場合等で、プロペラを使用して船体移動を行った際に過度の張力が働き破断する。
- ③入港時に船体を係留施設に寄せるために FSP 等をとった状態で、係留ロープを巻き締めていく際に、過度の張力が働き、FSP が破断する。これは他の係留ロープ (HL, SL) でも、同様に発生し得るケースである。
- ④入港時に係留ロープをとって係留施設に船体を寄せた状態で、船体の位置合わせのために前後進した際に FSP に過度の張力が働き、破断する。これは ASP でも同様に発生し得るケースであり、係留ロープの動きも大きいことから、附帯施設等との干渉の可能性も大きくなる。

b) 操船等によるHLの破断について

HL も FSP と同様、繫船作業の早い段階でとられることが多く、FSP に次いで破断事故が多い。また、HL は出船での接岸方法で最初にとられることが多く、破断事故の多いケースは以下のとおりである⑧。

- ①入港時に船体を係留施設に寄せるため、HL 等をとった状態で係留ロープを巻き締めていく際に、スラスターやタグボートの使用及び SL の巻き締めとのバランスで過度の張力が働き HL が破断する。
- ②出船で着岸する時に、HL がつながった状態で船体を反転させ、船尾を係留施設に寄せていく際に、HL に過度の張力が働き、破断する。この場合も船体の反転など係留ロープの動きが大きく、附帯施設等との干渉の可能性も大きくなる。

以上の係留ロープの破断事故は、操船方法が主な原因となっているが、以下の事例は係留施設の附帯設備等が主な原因となるケースである。

c) 附帯設備等によるFSPの破断について

FSPは、入港時は船体の前後移動の制御、出港時は船尾を離すためのブレーキとして使用される場合があるが、その際に防舷材等の附帯設備に引っ掛かる等して破断することがある⁹⁾。

①入港時にFSPをとってブレーキとして使用し、前方に出過ぎた場合に、後進する必要がある。その際にFSPが緩んで防舷材に引っ掛かり、そのままFSPを巻いて過度の張力やせん断力が働き、FSPが破断する。これは2.

(3) a) の接岸方法(旧操船方法による入船接岸)において、発生しやすい。

②出港時に船尾を離岸させるブレーキとして使用したFSPを係船柱から放した時に、スラスタ等の影響でFSPが防舷材の下に潜り込んで引っ掛かり、そのままFSPを巻いて過度の張力が働き、FSPが破断する。これはASPでも同様に起こるケースである。

(4) 係留ロープの破断事故の要因の整理

係留ロープの破断事故の要因は上記のとおり船舶の各種オペレーション等の問題と係留施設の附帯設備等のハード面の要因に分けられる。

a) 船舶の各種オペレーション・機材に関する要因

①操船方法

係留ロープの破断事故の一要因として操船方法が挙げられる。入港時の速度や出港時のサイドスラスタの使用のタイミングによって、係留ロープに過度の張力等が働き、破断原因となる。操船方法には、操船者技術の他、気象海象、サイドスラスタやパイロット、タグボートの使用の有無等、多くの要因を含む。

②船上係留設備の配置

係留ロープの破断事故では、船上係留設備の配置も一要因である。船上係留設備の配置によっては繫離船作業時の係留ロープの曲げが急角度となり、破断原因となる。

③係留ロープの保守管理

係留ロープの保守管理もロープ破断の要因である。係留ロープは紫外線や海水等による劣化、附帯設備や船上係留設備等との干渉による損傷等で劣化するが、これらによる強度低下や交換の判断に一律の基準を設けることは困難であり、運用に委ねられているのが現状である。

b) 港湾のオペレーションや附帯設備に関する要因

①陸上作業員の経験と知識

繫離船作業を行う陸上作業員は周辺の附帯設備に配慮しつつ作業を行う必要があり、作業完了後は速やかにスナップバックゾーンから退避する必要がある。

このように繫離船作業には、作業の経験と危険性への知識が必要であり、作業員の理解を深めるための定期的な安全教育を行うなどのソフト面での対策も重要である。

②係留施設の附帯設備等の形状や配置

繫離船作業では、防舷材等の係留施設の附帯設備が安全性に大きな影響を与える要因となる。

附帯設備に関しては、繫離船作業の従事者から防舷材、車止めや岸照灯への係留ロープの引っ掛かり以外にも係船柱周りでの作業足場が不安定、仕切りのフェンス等により作業スペースが不十分等、繫離船作業の安全に影響する問題が挙げられている。これらに関しては、係留施設の附帯設備等の設計時に配慮して整備するなどハード面での対策が必要となる。

4. 繫離船作業の安全性向上に向けた係留施設の設計上の配慮事項

繫離船作業では操船方法や作業員への教育等のソフト面の対応により安全性の向上が見込まれる課題とともに、係留施設の附帯設備について設計段階で配慮することによってハード面から安全性の向上に寄与できる課題がある。ここでは主に後者の観点から、係留ロープの破断の直接的な要因となる係留施設の附帯設備等と係留ロープの干渉を防ぐための設計上の主な配慮事項について提示することとする。設計上配慮すべき主要な附帯設備は、係船柱、防舷材、車止めの他、多数挙げられるがここでは紙面の関係から個々の附帯設備の具体的な配慮事項ではなく、その対策の趣旨、方向性を記載することとしたい。

主要対策は2つあり、繫離船作業時に係船柱と船の間の係留ロープが周辺附帯設備と干渉しないよう配置すること及び係留ロープがその他の附帯設備に引掛かることを避けるため附帯設備への器具等の付加による配慮である。

前者の対策は基本的なことであるが船舶と係船柱の間にその他の附帯設備が配置される余地をなくすために可能な限り係船柱を海側に配置することである。基本的なことである一方、繫離船作業に対する配慮があまりなされなかったことの証左として図-10のような事例で係留ロープによる車止めの破損等も起こっており、周知は重要である。

図-10 車止めへの係留ロープの引掛り

(a) 車止めの天端の連結

(b) 防舷材への係留ロープ
の引掛り防止対策

図-11 附帯設備における繋離船作業への配慮事例

後者の対策は船舶と係船柱の間に附帯設備が配置されている場合に係留ロープの動きによって干渉する可能性があることから、そのための機材の付加や形状への配慮を行うことで段差、角、突起等をなくし係留ロープの引掛りの可能性を排除することである（図-11 (a)）。

これらの附帯設備の設計に際しては、繋離船時の船舶の動静に対する係留ロープの動きも念頭に置く必要があり 2. (3) c)の操船例のロープが緩み再度張った際に引掛りを防止する対策も検討する必要がある（図-11 (b)）。

その他、係留ロープの破断以外の繋離船作業の安全性向上のためには係船柱、フェンスの配置への配慮による作業スペース確保や不使用となった荷役関連設備の撤去等による安全確保が重要である。

5. 結論

係留ロープの破断事故は、その発生時のデータから操船サポートがない最大船型が、速度の抑制やその移動を

係留ロープに頼る操船を行う場合に、発生する傾向にあることが明らかになった。また、繋離船作業の従事者に危険を及ぼす係留ロープの破断を主とする事象について係船柱、防舷材等の係留施設の附帯設備の設計時に配慮することにより改善が見込まれる事項を提案した。今後は国内の設計、施工の基準類への反映により、繋離船作業の安全性向上に寄与することとしたい。

謝辞：本研究を行うにあたり、日本繋離船協会から多くの情報提供を戴いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：繋離船作業に係る安全問題検討会（案），第1回繋離船作業に係る安全問題検討会 資料1, 2014.
- 2) 国土交通省港湾局：繋離船作業について，「第5回繋離船作業に係る安全問題検討会」の開催 報道発表資料 別紙1, 2016.
- 3) 矢野吉治：14. 船にはどうしてたくさんの綱が積まれているのですか？，関西造船協会 らん 第65号，2004.
- 4) 日本船主責任相互保険組合：港湾設備損傷防止と港内操船パート2, P&Iロス・プリベンション・ガイド 第32号，2014.
- 5) 国土交通省運輸安全委員会：運輸安全委員会ダイジェスト 第3号，2012.
- 6) 矢吹英雄：繋離船時の係留索の取扱いの安全について，第3回繋離船作業に係る安全問題検討会 資料1, 2015.
- 7) 国土交通省運輸安全委員会：船舶事故調査報告書，MA2011-4, 2011.
- 8) 国土交通省港湾局：過去の事例に基づく索切断事故の要因分析について，第2回繋離船作業に係る安全問題検討会 資料2, 2014.
- 9) 日本繋離船協会：第5回繋離船作業に係る安全問題検討会 資料1, 2016.

(2017.2.2 受付)

STUDY ON SAFETY CONSIDERATION OF MOORING DETACHMENT WORK IN INSTALLATION OF ANCILLARY EQUIPMENT OF MOORING FACILITIES

Shigeru IYMAMA, Satoshi NISHIOKA, Masafumi MIYATA, Haruo YONEYAMA,
Daisuke TATSUMI, Hirokazu KIHARA

Mooring and detachment work is a fundamental activity of the port. However, if an accidental disconnection of the mooring rope occurs due to some cause, it can be a serious dangerous work. It is very important that we make mooring work safe in an operation where land operators hang or remove mooring ropes.

We studied on consideration of installing ancillary equipments (mooring post, fender, car stop etc.) of mooring facilities for the purpose of improving mooring and detachment works safety. We summarized the results that can minimize these dangerous factors by provision of information, specifically, with regard to cases where safety mooring and detachment work is hindered due to the arrangement and shape of ancillary equipments of mooring facilities.