

平成 26 年 9 月 10 日

## 過去の事例に基づく索切断事故の要因分析について

国土交通省港湾局

## 1. 索切断事故の検討内容(既往文献による)

- ・ 繫離船作業で生じる索の切断事故については、既往文献「大型船等の係留時における係留策取扱い上の留意点と作業上の注意(平成 23 年 3 月)(社)神戸海難防止研究会」(以下、既往文献)において検討されている。
- ・ 既往文献で整理されている事故要因や対策を抽出すると以下のとおりである。

## ①切断事故要因の分類

## 1) 索表面の摩耗・損傷

- ・ 索が車止めや船体と接触することにより摩耗を進行させてしまうことがある。
- ・ 索を使用する際の曲げ引張りの繰り返しの繰り返しにより、索内部の繊維が摩擦により損傷し、強度低下を引き起こす。また復元性が徐々に失われ、索が伸びきった状態となって強度低下を引き起こす。
- ・ 損傷のない索でも切断事故事例が存在する(過大な力が原因)。

## 2) 索にかかる過大な張力

- ・ 離接岸時、索に作用する力(船体制御時に作用させる超過荷重)
- ・ 強風時、索に作用する力(突発的に作用する風荷重)
- ・ 上記荷重が複合的に作用する力(複合的作用する力の場合、原因が特定しにくく、安全対策のための対応はケースバイケースとなる)。

## 3) 繫離船作業における問題点

- ・ 繫離船作業時に索が防弦材下へもぐり込み、過度な負荷がかかって切断
- ・ 繫離船作業時に索がスラスタに巻き込み、過度な負担がかかって切断 等

## ②切断箇所

・ 既往文献によれば、索が切断する箇所は、以下のとおり（破断実験による）。

### ○直線引張りが作用する場合

- ・ 荷重が集中するアイスプライス（係船柱側）で切断する傾向にある。
- ・ スナップバックは伸縮性のある混燃索で生じやすく、大型船に用いられるダイニーマ（高強度繊維索）では生じにくい。
- ・ ダイニーマは予告音やラインの状況変化もなく突然切断する傾向にある。

### ○曲げ引張りが作用する場合

- ・ 索が屈曲するフェアリーダー部分（船体側）で切断する傾向にある。
- ・ 索の曲げ角度が鋭くなるほど強度は低下する。

表 7.1.1 破断実験結果

実験 ケース	実験 方法	係留索仕様				破断実験結果				
		材 質	繊維名 (ロープ名)	索径 (mm)	試験長 (m)	(a) NK規格 強度 (kN)	(b) 引張り 強度 (kN)	(b)/(a)	伸び率 (%)	切断箇所
1	直線引 張り	ポリプロピレン系+ ポリエステル系	混燃索 (タフエーストール)	67	4.0	897	994.0	1.11	16.7	アイスプライス 終了部分
2	直線引 張り	超高分子量 ポリエチレン系	ダイニーマ (エースライン HD0268)	42	4.5	1,020	1,117.8	1.10	2.8	アイスプライス 加工部

※ 伸び率は初荷重から破断までの伸びを示す。

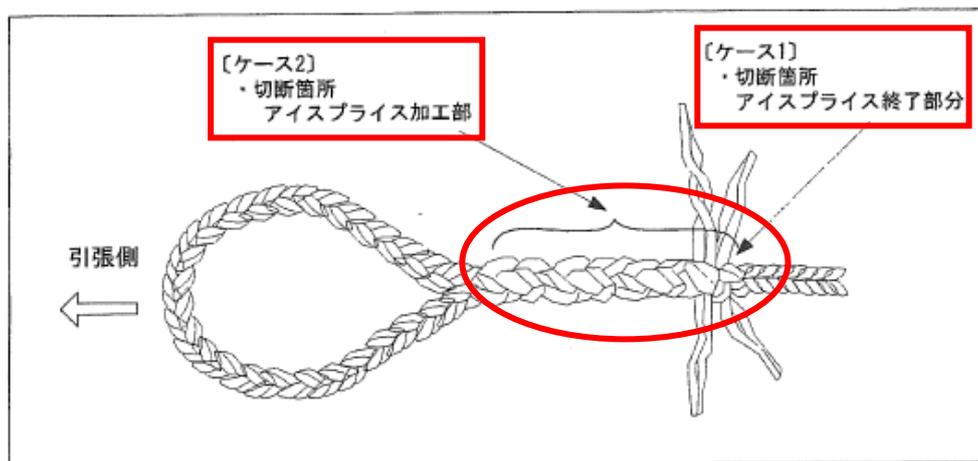


図 7.1.1 破断実験時の切断箇所

上表・上図 破断実験結果(直線引張り)  
※既往文献より引用

表 7.2.1 破断実験結果

実験 ケース	実験方法		係留索仕様				破断実験結果				
	引張り 方法	曲げ角度 $\theta$ (度)	材質	繊維名	索径 (mm)	試験長 (m)	引張 強度 (kN)	引張り強 度 (kN)	強度低下 率 (%)	伸び率 (%)	切断箇所
曲げ角度小	1	直線引 張り	ナイロン系	ナイロ ン	12	約2.0	31	37	0.0	25.7	アイスブリス 終了部分
	2	曲げ引 張り						172	37	-0.3	25.5
3	曲げ引 張り	168						33	10.1	24.5	アイスブリス 終了部分
4	曲げ引 張り	15						33	10.1	23.5	フェアリーダ ー部
5	曲げ引 張り	5						32	13.3	22.8	フェアリーダ ー部

(注1) 係留索径については、実態調査の結果から見ると50~60mmであるが、引張り試験機の限界引張り荷重が196 kNであるため、実験に使用する索径は12mmとした。

(注2) 引張強度31 kNはメーカー公称値。日本海事協会規格では27.4 kN。

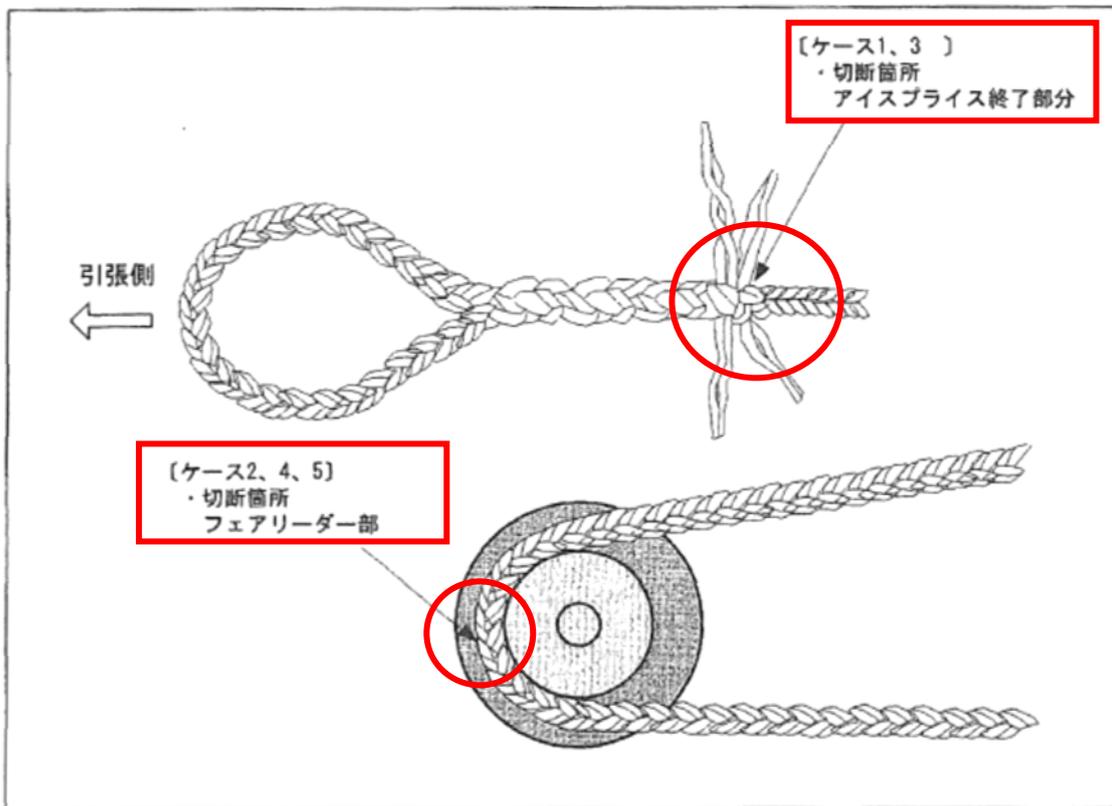


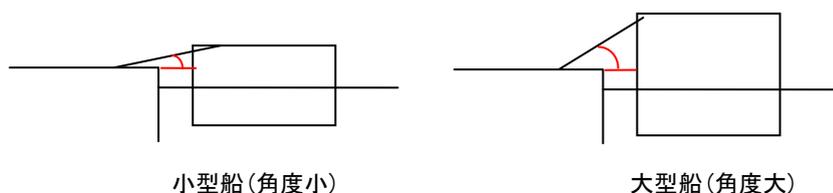
図 7.2.1 破断実験時の切断箇所

上表・上図 破断実験結果(曲げ引張り)

※既往文献より引用

### ③切断事故の特徴

- ・大型船よりも小型船(5,000~10,000総トンクラス)で事故発生頻度が高い。
- ・特に小型船での事故は、船首側スプリングラインでの切断事故が比較的多い。  
→係留索と船体の角度を岸壁断面で見た場合、大型船よりも小型船の方が、フェアリーダー位置が低く、船体と係留索の角度が小さくなるため。



- 大型船では、伸縮性の少ない太い索を使用することが多いため、切断しにくい。
- 接岸時及び離岸時の両方において、船体操船作業のために船首側スプリングラインを使用。船首側スプリングラインは多頻度に使用されるため切断事故発生頻度が高くなる。

※A社からの聞き取りによれば、最近では小型船の場合タグを使用せず、スラスタと船首側スプリングラインにより自力で操船し離接岸する傾向にあるとのこと(タグ費用の問題や早期の入出港のため)。このようなスラスタ使用による離接岸時の操船作業が、船首側スプリングラインの負荷頻度を多くさせている様である。

### ④船首側スプリングラインが切断する時の船体の移動距離

- ・切断事例が最も多いスプリングラインを対象とし、力学モデルを用いた切断荷重及び切断に至るまでの船体移動量との関係を計算した。
- ・計算結果、次項の表 4.2.1 のとおりであり、例えば、大型船で 5.7m(索長 35m の場合)、小型船で 2.9m(索長 9m の場合)で切断する。
- ・索長の違いにより切断するまでの船体移動量は異なるが、概ね 5m 程度の船体移動で係留索が切断する。

※大型船：78,000 総トン、小型船：749 総トンで計算

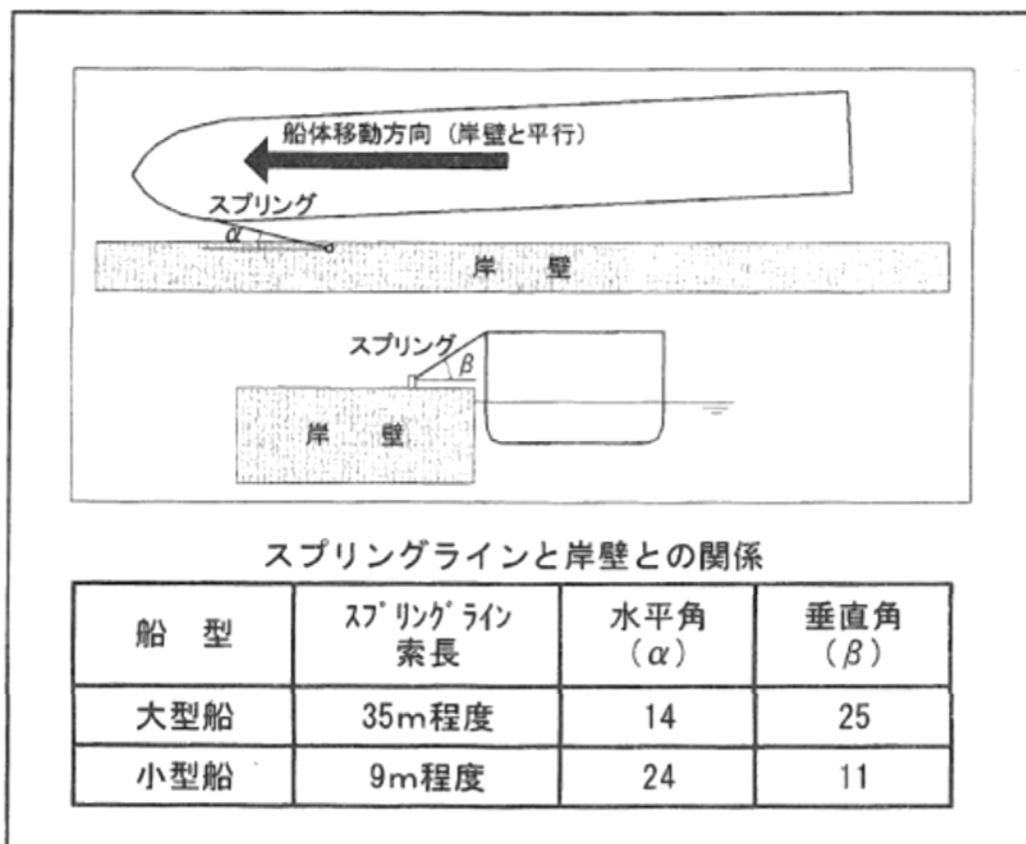


図 4.1.1 力学検討モデル

表 4.2.1 索が切断するまでの移動可能距離の目安

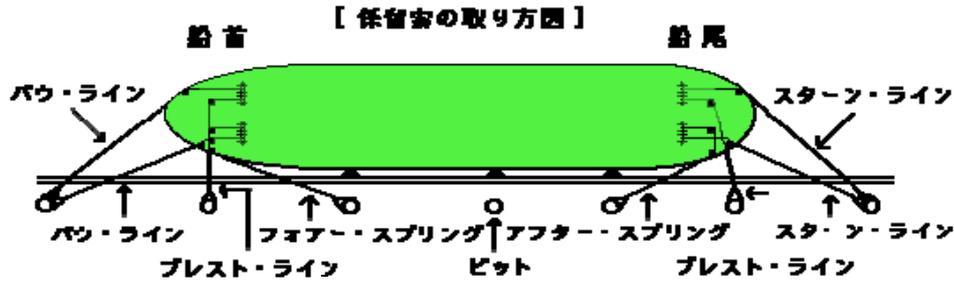
船型	係留索の特性			スプリングライン 索長 (m)	許容荷重 達するまでの 移動範囲 (m)	索が切断する までの制限 移動範囲 (m)
	材質	許容 荷重	切断 強度			
大型船 (78,000GT, コンテナ船)	混撚 (ホリフ・ロビレン+ ポリエステル) 70mm	36.0tf	72.0tf	30.0	2.7	4.9
				35.0	3.1	5.7
				40.0	3.5	6.4
				50.0	4.3	8.0
小型船 (749GT, コンテナ船)	ナイロン 55mm	21.9tf	47.5tf	9.0	2.0	2.9
				15.0	3.2	4.6
				20.0	4.2	6.0
				25.0	5.2	7.5

上図 力学検討モデルと計算結果  
※既往文献より引用

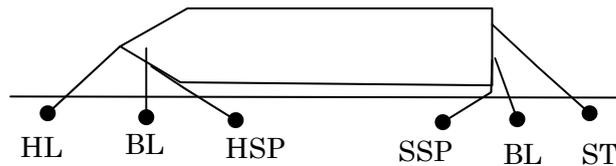
## 2. 索切断事故要因の実態分析

- ・ A港での事例(2009年(H21年4月~26年3月)の5年間90件)について、既往文献結果を踏まえて実態を分析した。
- ・ その結果、切断事故既往文献と同様の事故要因であった。

【参考：索の名称定義】



上図 船の豆知識: [http://www.nexyzbb.ne.jp/~j\\_sunami76/keisen\\_se.html](http://www.nexyzbb.ne.jp/~j_sunami76/keisen_se.html)



上図 A港の事故事例データにおける名称定義

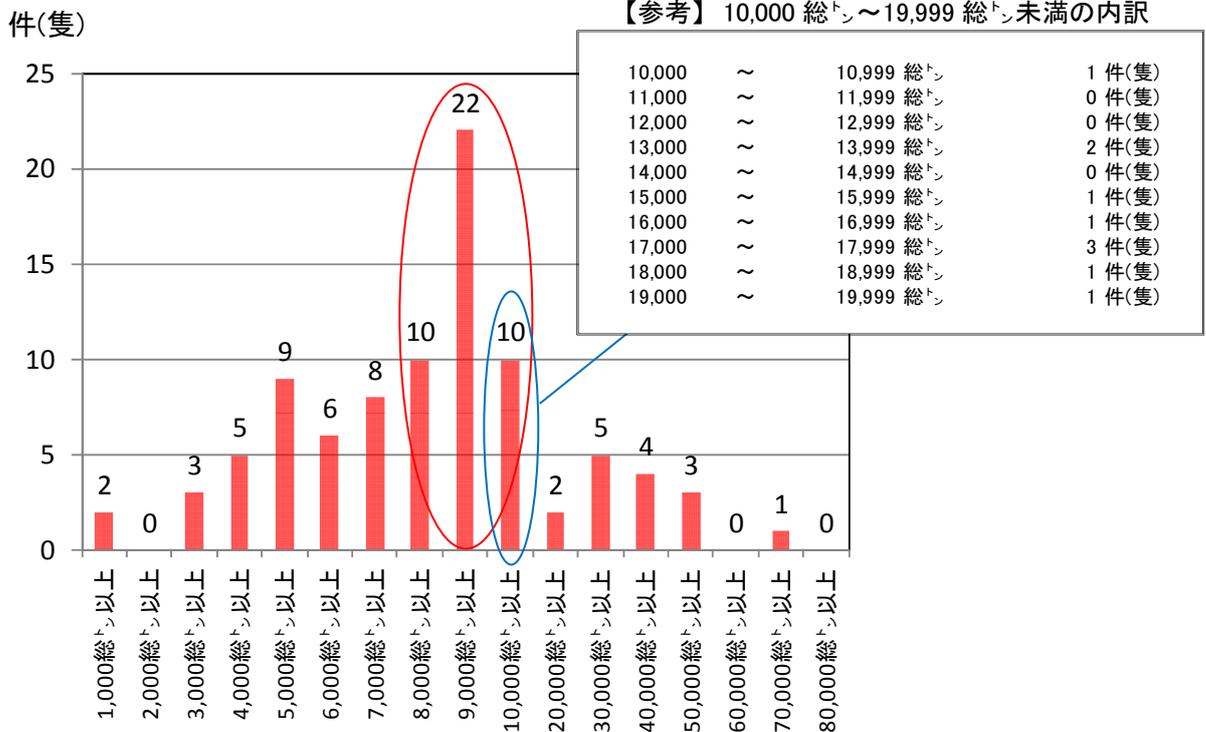


図-1 切断事故件数(全90件)  
※10,000 総トン以上は 10,000 総トン刻み

- 図-1 より 10,000 総トン未満の船舶で切断事故が多い
- 特に 9,000 総トン～10,000 総トンクラスの船舶で切断事故が多い

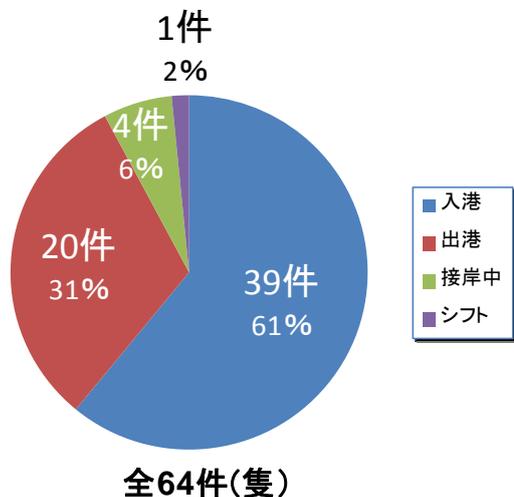


図-2 切断事故件数(10,000 総トン未満)

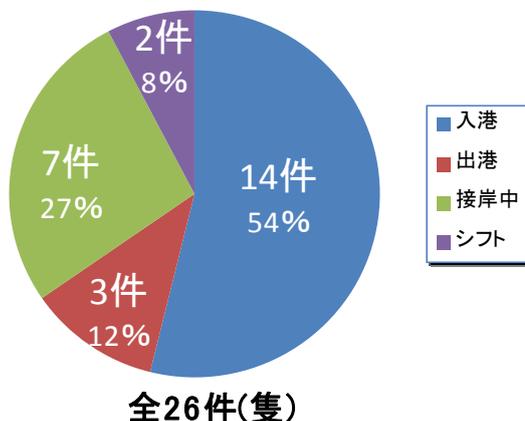


図-3 切断事故件数(10,000 総トン以上)

- 図-2 及び図-3 より入港時での切断事故が多い
- 10,000 総トン未満の船舶では入港時の次に、出港時での切断事故が多く、10,000 総トン以上の船舶では接岸中での切断事故が多い

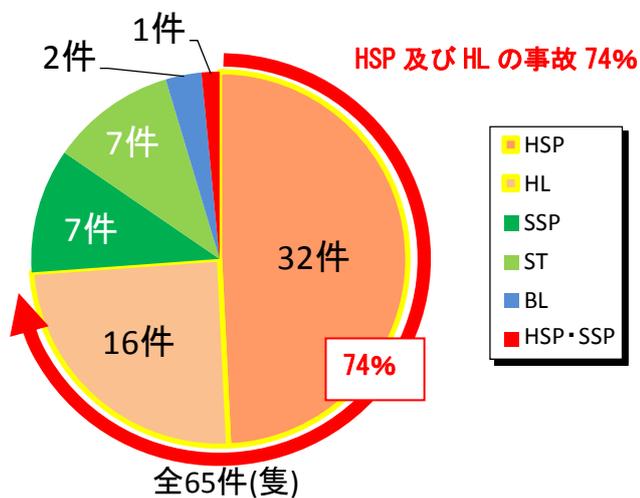


図-4 5,000 総トン～10,000 総トンクラスにおける切断事故件数

- 5,000 総トン～10,000 総トン規模(グラフでは 20,000 総トン未満で整理)船舶 65 隻の内、HSP 及び HL での切断事故 (74%) を引き起こしている。
- 特に HSP の事故が多い。
- 以下に HSP 及び HL での事故に着目して事故件数を整理した。

【10,000 総トシ未満抽出】

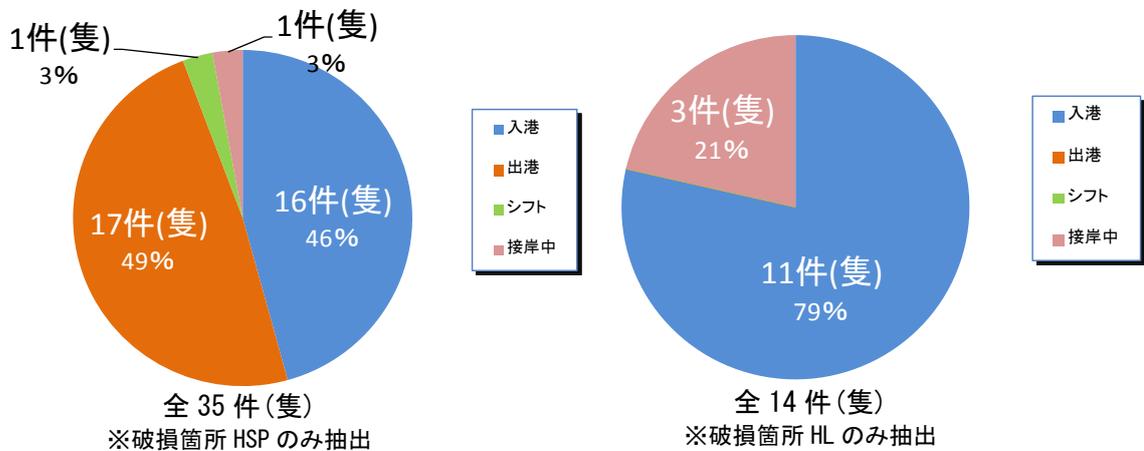


図-5 HSP 及び HL の切断事故件数(10,000 総トシ未満)

○10,000 総トシ未満の船舶の内、事故発生頻度が高い HPS 及び HL の事故件数を入港、出港、シフト、接岸中別に整理した。

○整理の結果、HSP における切断事故は、入港と出港が大半を占め、且つほぼ同じ件数であることが分かった。また HL における切断事故は、入港が大半を占め、接岸中の事故発生もあることが分かった。

【10,000 総トシ以上抽出】

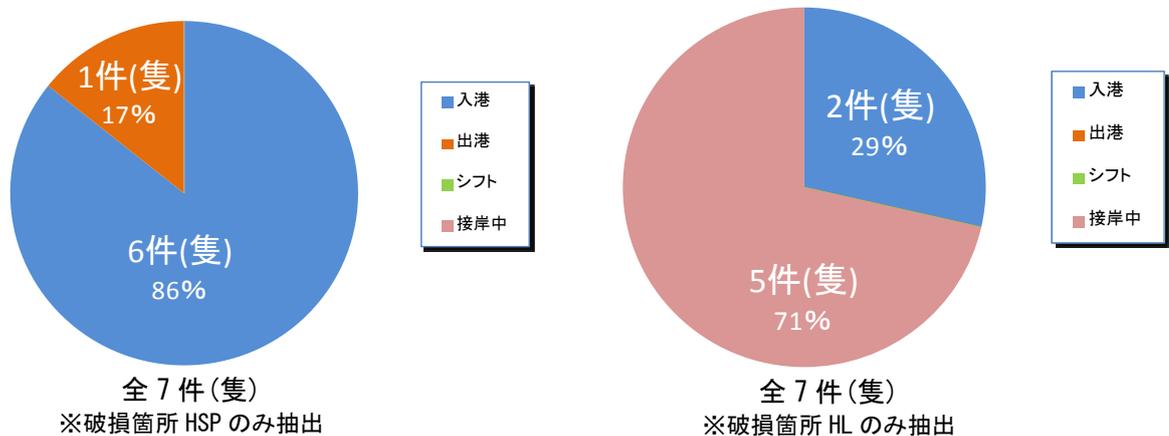


図-6 HSP 及び HL の切断事故件数(10,000 総トシ以上)

○10,000 総トシ以上の船舶の内、事故発生頻度が高い HPS 及び HL の事故件数を入港、出港、シフト、接岸中別に整理した。

○整理の結果、HSP における切断事故は、入港が大半を占めることが分かった。また HL における切断事故は、入港と接岸中に発生し、接岸中の事故発生が大半を占めることが分かった。

・以上をまとめると以下のとおりである。

- 10,000 総トン前後の船舶で切断事故が多い(特に 9,000 総トンクラス)。
- 10,000 総トン未満における HSP の切断事故は入港時と出港時に多い。
- 10,000 総トン未満における HL の切断事故は入港時に多い。
- 10,000 総トン以上における HSP の切断事故は入港時に多い。
- 10,000 総トン以上における HL の切断事故は接岸中に多い。



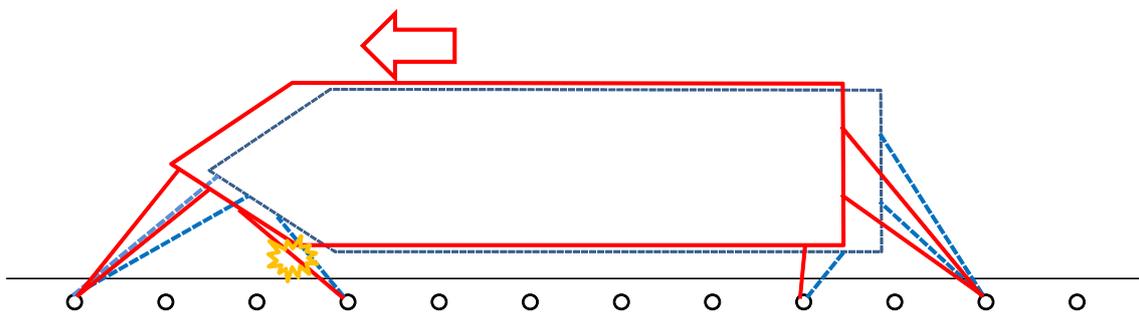
○9,000~10,000 総トンクラスにおける HSP 及び HL の事故対策を行うことが事故減少につながる。

### 【断事故のパターン整理】

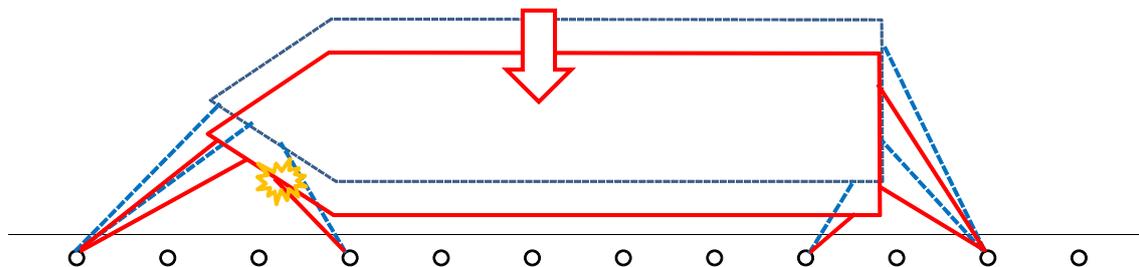
・切断事故の特徴的なケースを整理した。※A 港事故事例に基づき整理

○HSP 切断パターン

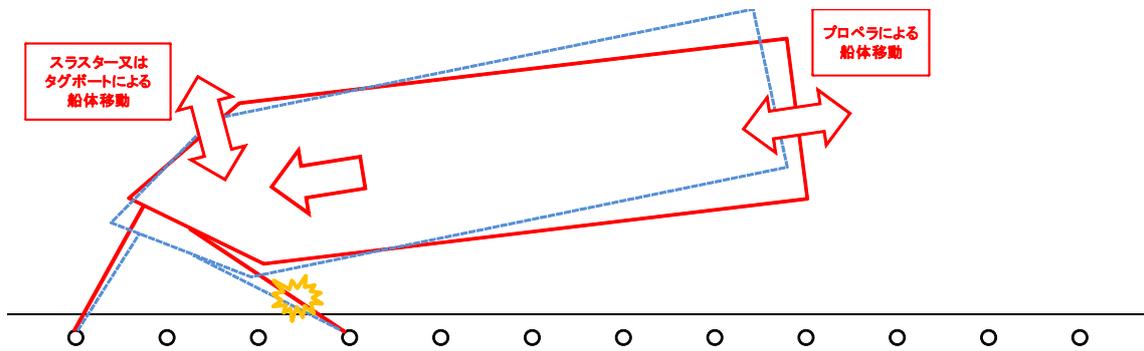
【HSP切断パターン①】 HSPを取った後、船体が前進する場合



【HSP切断パターン②】 HSPを取った後、船体を岸壁側に寄せるためにフェアリーダーでロープを巻き締める場合  
※HLが切断するパターンも同様

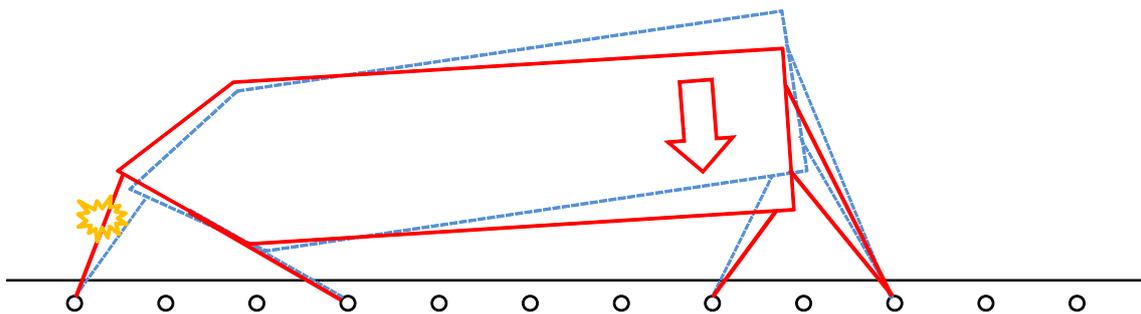


【HSP切断パターン③】 HSPを船体制御のためのブレーキとして使用する場合(フェアリーダーによるロープ巻き締めとスラスターの併用)

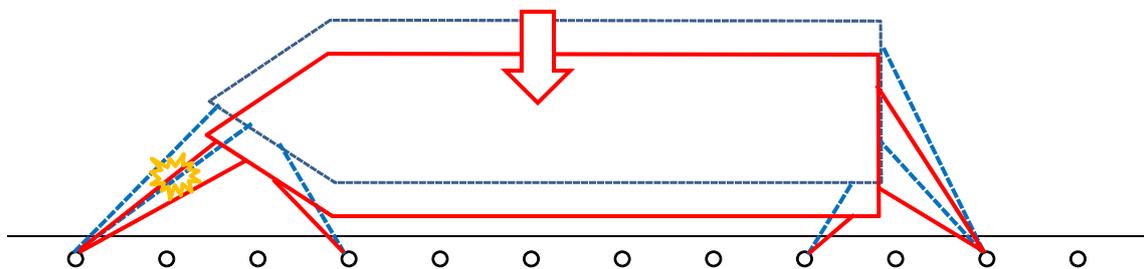


### ○HL 切断パターン

【HL切断パターン①】 船体を岸壁と平行になるようにするため、船首ロープを巻き締めた後、急に船尾側ロープを巻き締める場合



【HL切断パターン②】 HLを取った後、船体を岸壁側に寄せるためにフェアリーダーでロープを巻き締める場合  
※HSPが切断するパターンも同様



【SSP切断パターン①】 SSPを取った後、船体が後退する場合(HSPの効き過ぎによる反動でSSPが切断)

