

外洋を航行するフェリー・RORO 船の貨物固縛方法について (ガイドライン)

1. 概要

平成 21 年 11 月、熊野灘を航行中のフェリーありあけ(7,910トン)が、航行中に船体が右舷側に大傾斜し、その後、三重県御浜町沖に乗り上げて横転状態となる事故が発生しました。同事故は、幸い迅速な救助等により乗客乗員が全員無事救助されたものの、我が国のフェリー事故としては近年に類を見ない重大な事故です。この事故は、連続した比較的大きな追い波により 25 度程度まで傾斜した後、貨物の横ずれで大傾斜につながったものと考えられます。

国土交通省では、本事故の重大性に鑑み、平成 22 年 5 月に「フェリー大傾斜事故防止対策検討委員会」を設置し、同委員会において事故時の状況等を踏まえた再発防止対策の検討を進めてきました。

同検討では、主に追い波中における大傾斜防止のための操船方法と、船体大傾斜時の貨物移動を防止するための固縛方法の検討を進めてきましたが、同委員会における検討の結果、フェリー等における貨物の固縛に関し、以下の 2 点について改善が必要と考えられるとの結論が得られました。

- ① 車輻甲板への直積みコンテナの固縛方法
(直積みコンテナの積載方法の改善)
- ② 車輻・シャーシの固縛方法
(特に貨物の横ずれ防止のための固縛装置の強度評価の実施)

このため、特に航行中に荒天に遭遇する可能性が高い、外航航路及び内航の長距離航路(300km 以上)を運航しているフェリー・RORO 船(※)の運航事業者の皆様においては、運航中の船体の大傾斜の可能性に備えて、2. 以下の事項を踏まえた貨物固縛の強度評価の実施と、強度評価の結果を踏まえた固縛方法の改善・マニュアルの整備を行っていただきますようお願いします。

但し、瀬戸内海のみを航行する船舶については、航路の特性から本ガイドラインの強度評価はなじまないと考えられます。このため、これらの航路のみを運航している運航事業者の皆様は、本ガイドラインの対象には含みません。

※ PCC 船型の船舶であっても、商品車以外の車輻(貨物を積載したトラック・シャーシなど)を輸送するものについては、フェリー・RORO 船に搭載した車輻と同様の貨物固縛を実施する必要があります。このため、これらの車輻に関する固縛方法について、本ガイドラインに従って強度評価等を実施していただきますようお願いします。

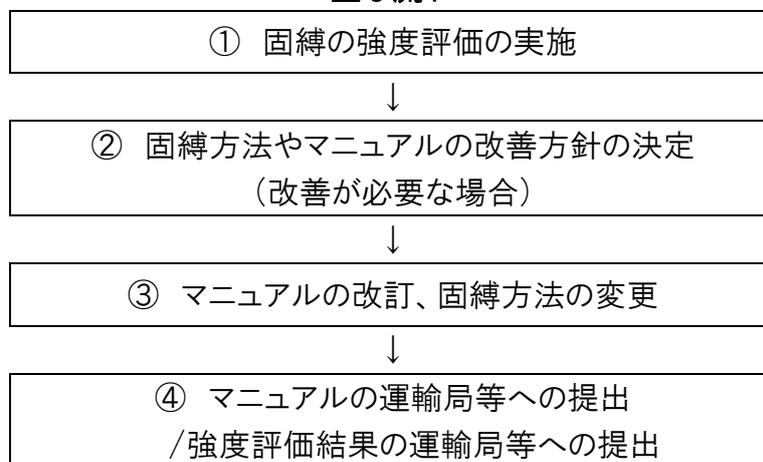
2. 貨物固縛の強度評価の実施(車輛・シャーシ)

【ポイント】

この項目で実施することのポイントは以下の通りです。

- 現在の貨物の固縛方法が、貨物の重さや船の揺れによって発生しうる力と比べて十分なものが否かを検証していただくのが目的です。
- 船の要目や貨物の重量、貨物の積載位置に応じて、必要な固縛強度は大きく異なります。実際に計算して確認してください。
- これまでの固縛強度の計算では、貨物の転倒のみを対象として計算を行っている事例もありましたが、今回の計算では、貨物の転倒と貨物の並行移動(横滑り)の両方について計算を行って頂きます。
- 現在、皆様が実施している固縛方法について、強度が十分か再評価をしていただくことが目的です。現行のマニュアルを全面的に改訂していただくことを求めるものではありませんので、強度評価の結果を踏まえて、必要に応じて、現在のマニュアルに追加・修正を実施してください。
- 強度評価は、本船が運航しうる範囲内の荒天の中で航行する際に、貨物に実施すべき固縛措置を明確にするために実施するものです。どのような天候においても強度評価結果に適合する固縛を実施することを求めるものではありませんので、本評価結果を踏まえつつ、比較的静穏な気象・海象を想定した固縛基準も定めていただいて差し支えありません。(但し、荒天時の固縛に対して、その他の気象・海象における固縛措置が著しく軽減されている場合は、設定根拠を確認させていただく場合がありますのでご了承下さい。)
- なお、商品車専用の自動車航送船やパルプ運搬用の RORO 船など、一定の荷主からの特定の貨物のみを輸送している場合で、当該貨物の積付け方法や必要な固縛装置の強度を独自に算定している場合は、このガイドラインに沿った強度評価を改めて実施していただく必要は有りませんが、4. に基づき、貨物固縛マニュアル及び強度評価結果の資料の提出をお願いします。

主な流れ



(1) 必要な強度の評価

自社の運航している船舶ごとに、別添の算定方法に従い、必要な強度の評価の算定を実施してください。

強度の評価基準は船舶安全法に基づき以下の通り定められています。また、別添の外力の算定方法は、「カーフェリーの安全性向上について(昭和 46 年 4 月 14 日付船査第 27 号)」の取扱い等について(昭和 46 年 8 月 16 日付船査第 254 号)の算定手法をベースとしています。

【船舶安全法で求めているフェリー・RORO 船の貨物の固縛強度】

縦揺れ:5 度・本船の縦揺周期、横揺れ:25 度・本船の横揺周期とする。

固縛装置の強度は、安全率 4 以上とする。

計算の実施にあたっては、特に重量のある大型トラックやシャーシほど、固縛装置の強度不足が発生する恐れがあるため、これらの重量のある車輛を対象に強度評価を実施してください。また、船内の位置(船の前後・左右の位置、デッキ高さ)によって作用する外力が大きく異なるため、①車輛甲板中のどのエリアにどういった種類の貨物(乗用車、大型トラック・シャーシ、重機等)を搭載するかを整理するとともに、②大型トラックやシャーシなどの重量物を積載するエリアの中で揺れの影響が最も大きくなる場所(上層の車輛甲板の前後左右端)に積載した車輛に作用する外力の算定を実施してください。

なお、別添の強度評価方法で対象としている固縛方法以外の固縛方法を講じている場合は、自社にて適切な方法で強度評価を実施してください。

(2) 強度評価結果の検証

船内位置や貨物の重量によっては、現在行っている固縛では強度が不足する試算結果が出る場合もあります。

この場合、以下の対応例を参考に、十分な固縛強度を有するよう固縛方法を改善するとともに、作業マニュアル等にも反映させてください。

(対応例)

① 固縛装置の本数を追加する

固縛強度が不足している場合、もっとも簡単な対応方法は、固縛装置の本数を増やすことです。固縛装置の本数分だけ強度が上がりますので、特に重量物を搭載する場合には、適切な本数の固縛装置を取り付けることが最もシンプルな対応方法です。

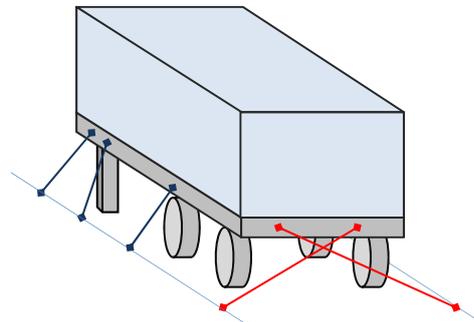
なお、一般的な大型のフェリー・RORO 船では、荒天の予想される状況下で 25 トンを超えるような重量のある車輛を輸送する場合は、使用してよい強度が 4 トン程度のベルトやチェーンを 8 本程度取ることが必要となると考えられます。

これよりも少ない固縛で運航している場合で、(1)の試算の結果、固縛の強度が不足する場合は、まずは固縛装置の追加を検討してください。

② 固縛装置や取付方法の変更を行う

①の方法は、固縛の強化を行う上では最も簡単な方法ですが、荷役時の作業が増大し、作業効率が低下する可能性があります。一方、貨物の固縛装置の強度は、大型の車輻向けのものでも、使用してよい強度が2～4トン程度と幅を持っています。固縛装置の強度が低いものを用いている場合、より強度の強い固縛装置を用いることも有効です。

また、以下の図のように車輻の前又は後で、たすき掛けで固縛を行うと、特に横方向の移動に対しては強度が上がります。長めのベルト・チェーンを用いたり、ベルト・チェーンの延長を行いたすき掛けの固縛を行うことも改善策の一つです。



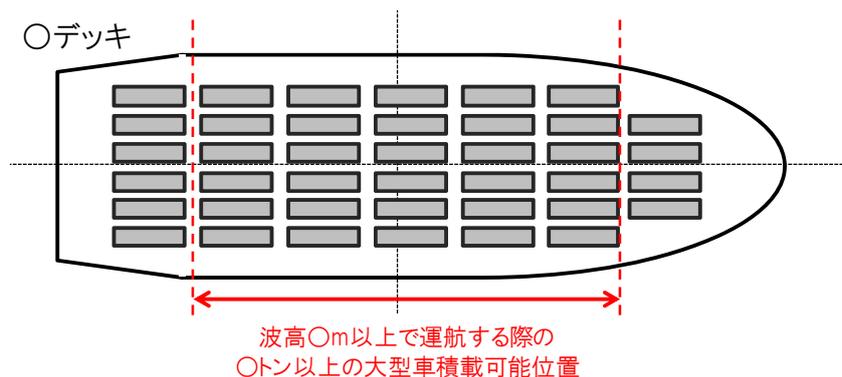
たすき掛けの固縛のイメージ(赤線)

③ 搭載する貨物の重量や荒天に応じた積付け等の制限を設ける

強度評価の結果からわかるように、船の揺れの影響は船の前後・左右の端に近い場所、より上方の甲板ほど大きく影響を受けます。より影響の大きいところに重いものを搭載した場合、固縛装置に加わる力は大変大きくなります。

貨物の種類や内容から、重量があると思われる車輻・シャーシについては、なるべく船の中央の下寄りのデッキに積載し、乗用車や小型のトラックなどの軽いものをその他の場所に積載する方法も有効です。

また、重量のある車輻・シャーシで十分な固縛が実施できない場合は、荒天が予想される航海においては積載しない、という制限を設けることが考えられます。具体的には、車輻・シャーシは、 $\times m$ 以上の波高が予想される場合は \times デッキの中央部のみ、 $\square m$ 以上の波高が予想される場合は搭載を禁止する、など、積載位置と気象・海象の観点から、運用上の制限を設けることが考えられます。



重量のある大型車の積載制限の例

本方法は、貨物の固縛強度が著しく不足する際に船の前後端など特に外力条件の厳しい場所への貨物の積載制限を設けるもので、その前提である貨物に作用する外力は、規則的に船体が揺れているという状況を仮定して推定したものとなっています。

長距離を運航する場合には、航行中の天候の悪化などにより、予想外の荒天や局所的な高波に遭遇し、船体が想定外の揺れを起す可能性があります。船体中央付近に積載する貨物への推定外力が小さいからといって、積極的に固縛措置を減じてよい、ということの意味するものではありません。

あくまで、十分な固縛措置を講じても固縛強度が不足する際の補完的な方法として捉えてください。

(3) マニュアルの整備と周知

2.(1)の強度評価と2.(2)の具体的措置を踏まえて、現行の貨物固縛マニュアルの改訂を行ってください。また、マニュアルの改正に併せ、特に以下のような事項が盛り込まれていない場合は、これらの事項を盛り込んでください。

- 甲板上の位置ごとの固縛の条件、搭載物の条件(設定を設ける場合)

また、今後、新たな船舶を導入した際や、固縛装置等の変更を行う場合に備えて、自社のマニュアルの参考資料として計算結果も保存してください。

なお、改正したマニュアルに基づき、適切な貨物固縛が行われることが必要です。作成したマニュアルについては、社内・船舶・荷役を行う作業会社を含め、関係する部署に広く周知し、実際の貨物固縛において徹底されるよう努めてください。

(4) 運用における留意事項

○固縛装置の固定方法

車輛・シャーシやコンテナの固定に用いる固縛装置は、甲板に垂直に固定するほど、横

方向への移動(横滑り)には効果が低くなります。また、車輻甲板とタイヤやゴムマットとの間の摩擦力は、一般に考えられるほど効果が高くないため、固縛装置で貨物を甲板に引っ張っても摩擦力(固縛力)が不足する場合があります。

このため、固縛装置を用いた固定を行う場合は、横方向への移動に対して効果を有するよう、船長方向・船腹方向のいずれも、なるべく甲板に斜めに角度を有するように固縛を行うことが必要です。

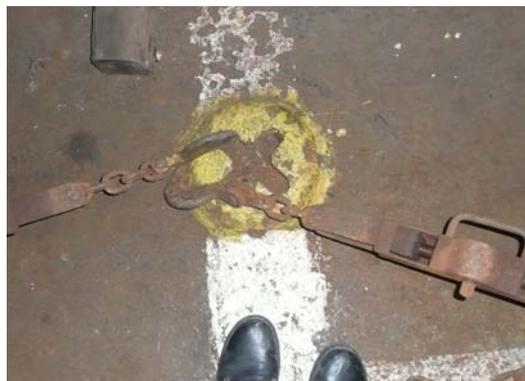
○適切な固縛装置の使用

(1)～(3)までの措置は、固縛装置が適切に使用されている場合を想定したものです。固縛装置が十分な強度を発揮するためには、固縛装置の適切な使用がなされ、車輻や車輻甲板上の固縛装置にしっかりと固定されていることが必要です。

一例として、固縛装置の形状があっておらずしっかりと金具が掛っていない場合や、しっかりと固定される場所に装置が掛っていない場合には、固縛装置の強度が本来の強度を発揮しないことがあります。例えば、以下の写真のようにクローバーリーフにフック型の金具を掛けている場合は、強度は半分程度になってしまいます、車輻甲板の固縛装置がクローバーリーフの型の場合には、専用の金具形状を有する固縛装置を用いることが必要です(下記参照)

このため、固縛装置の運用にあたっては、使用している金具の種類が合っているか、また、車輻・シャーシ側の固定場所が十分な強度を有するか、など、固縛の実施にあたっての注意事項を十分に周知・徹底することが必要です。

また、固縛装置は使用中に腐食・摩耗・変形・経年劣化等により強度が低下します。固縛装置についても、ドック入り等の際に定期的確認を行い、経年劣化等で強度が低下したと思われるものは交換を行って、常に十分な強度を有する固縛装置を使用することが重要です。



クローバーリーフにフック形式の固縛装置を掛けている例
(強度不足となる可能性があり不適切)



クローバーリーフに、専用の固縛装置を掛けることが必要

(3. は、車輻甲板にコンテナを直積みしている船社向けの項目です。車輻・シャーシのみを輸送(コンテナをオンシャーシで輸送している場合も、シャーシを輸送しているものと見なします)しており、コンテナを車輻甲板に直積みをしていない船社については、3. は飛ばして読んでください。)

3. 貨物の固縛方法の改善(コンテナ)

RORO タイプの車輻甲板を有し、フォークリフトでコンテナの積み下ろしをする方式でコンテナを輸送している場合は、これらの貨物の固縛方法についても改善する必要があります。

(1) 車輻甲板へのコンテナの直積み方式

特に長距離航路を運航しているフェリー・RORO 船において、車輻甲板への直積み方式によるコンテナ輸送を行っている場合の主な積付け方法は以下の通りです。

- ① 車輻甲板に設けられたコンテナ専用の固縛装置(ツイストロック等)を用いて固定している場合
- ② 特別な装置を設けていない車輻甲板にコンテナを積付け、ラッシングベルトやチェーンなどで固定している場合 (下図参照)

このうち、②の方式で積載している場合については、船体が大傾斜した際に固縛の強度が不足し、大きく荷崩れが発生する可能性があります。このため、②の方式でコンテナを輸送している場合は、本項を参照してコンテナの固縛方法の改善を図ってください。(①の方式で積載している場合には、積載・固縛方法等の変更を行う必要はありません。)

(なお、離島航路におけるコンテナの積付けにおいては、以下の事例のほか、車輻甲板の隅(船側等)にコンテナを密接させて積付けを行っている事例もあります。)



チェーンによるコンテナの固縛

(船が大傾斜した際に固縛装置が壊れてコンテナが動いてしまう恐れがある)

(2) 固縛方策の改善

ラッシングベルトやチェーンを用いたコンテナの固縛は、特に船体が傾斜した際に貨物が動き出すのを防ぐ上では非常に弱い固縛方法です。波浪等で船体が大きく傾斜した際に貨物の移動を防止するためには、コンテナの固縛方法の改善を図ることが必要です。以下の改善方法を参照して、コンテナの固縛方法の改善を図ってください。

(改善方法)

i) 車輻甲板にコンテナ用の固縛装置を設ける

車輻甲板に積載されたコンテナの固縛を目的とした専用装置による固縛です。これらの装置の中には、着脱式で車輻等を積載する場合には外せるものもあります。

これらの装置を用いるためには車輻甲板に専用の金具を設置する必要があるため、現在運航されている船舶で新たに用いるためには、車輻甲板への改造工事が必要となります。

車輻甲板で用いられているコンテナ固縛資材の例



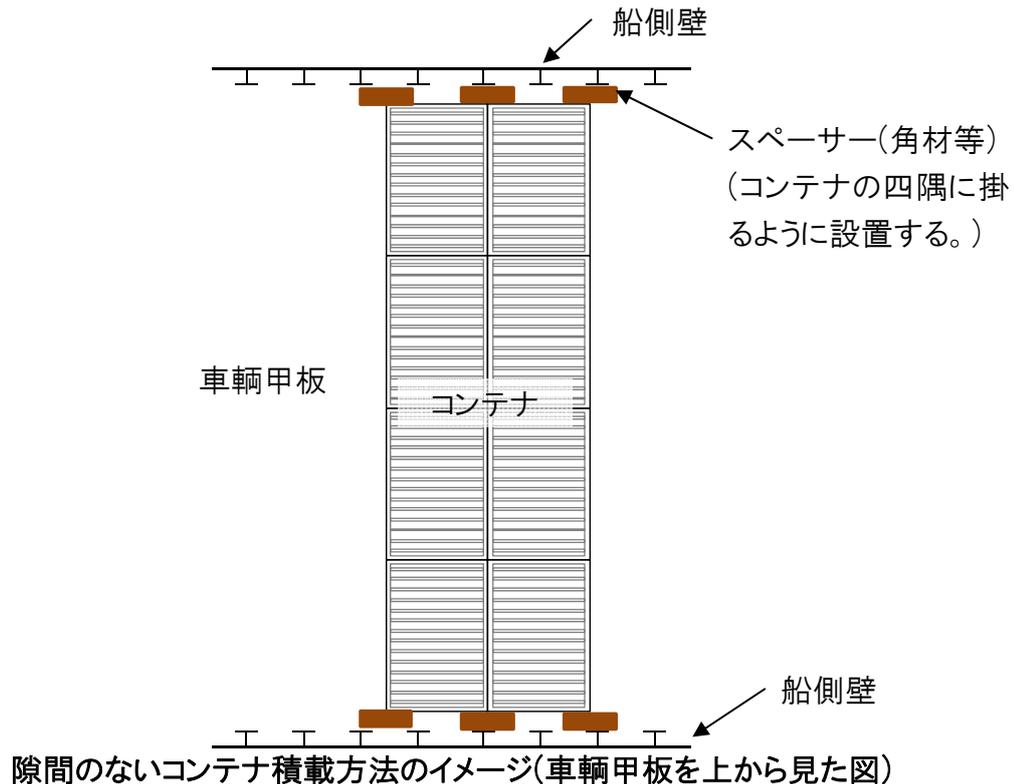
ii) 車輻甲板の横方向の全域にわたってコンテナを積載するとともに船側等に治具を設け、特に横方向のコンテナの移動を防止する。

車輻甲板にコンテナを直積みする方法は、甲板上を移動しやすく大変危険な方法です。このため、原則として上記の i) の方法によりしっかり固定することが必要です。

しかしながら、現存船に措置する場合には改造等が困難な状況となる可能性があります。このような場合に貨物移動を防止する方法として、車輻甲板の全域にわたってコンテナを積載する方法が考えられます。(具体的には、以下のような

形で積付けを実施することとなります。)

- コンテナとコンテナの間は密着させて積付ける。
- コンテナとコンテナの間やコンテナと船側の間に隙間がある場合は、移動防止のための角材等のスペーサーを設置する。(コンテナの側壁は強度が無いため、スペーサーを設置する場合は、コンテナの四隅のコーナー部分に設置する必要があります。)



この方法で積載する場合は、原則としてすべての航海において、特に横方向については、全く貨物の移動する余地のない状態で積み付けることが必要です。

なお、この方法は現存船で早急な積載方法の変更が困難な場合の緊急措置であって、車輻甲板に積載したコンテナの移動防止を図る上での最適の方法ではありません(スペーサーのずれなどによりコンテナが移動してしまう可能性があります)。

今後、新造船を建造する場合や大規模な修繕等を行う場合は、i)の方法でしっかり固定できるよう措置してください。



船側壁とコンテナの間などの移動防止措置のイメージ

(補足)コンテナの固縛方法

上記は、コンテナの固縛方法の改善策を示すために記載したもので、具体的な固縛方法を制限するものではありません。しかしながら、上記の方法以外の方法をとる場合、各事業者においてコンテナの固縛措置が十分な強度を有することを確認することが必要となります。各社で強度評価を実施して、十分な強度を有することを確認の上、当該計算結果を保存してください。(車輻甲板に積載する貨物に求められる固縛強度は、コンテナも車輻・シャーシも同じ基準となっています。2. を踏まえた適切な方法で確認を行ってください。)

なお、本ガイドラインの発出に併せ、フェリー・RORO における貨物固縛の強度に関する船舶安全法関連通達(船舶検査心得)の改正も行っています。このため、平成 23 年 10 月 1 日以降の最初の定期的検査時より、車輻甲板に直積みしているコンテナの固縛強度についても規則が適用されますので、車輻甲板への直積みコンテナを輸送している場合は、上記の期日までに固縛方法の改善を図ってください。

(3) マニュアルの整備と周知

3. (2)の具体的措置を踏まえて、現行の貨物固縛マニュアルの改訂を行ってください。なお、前述の通り、作成したマニュアルについては、関係する部署に広く周知し、実際の貨物固縛において徹底されるよう努めてください。

4. 結果の報告等

- 国土交通省では、本ガイドラインによる、各事業者の皆様における対策の実施状況を確認し、今後の更なる対策の必要性等の検討を行うことを予定しています。このため、各事業者の皆様において、平成 23 年 9 月 30 日までに本ガイドラインを踏まえた検討・見直しを行い、結果の運輸局への報告と固縛マニュアルの運輸局への提出をよろしく願います。(変更を行わない場合は、その旨の報告をお願いします。)
- 提出いただいたマニュアルについて、固縛方法の改善などが必要と思われる場合は、固縛方法の変更やマニュアルの変更をお願いする場合がありますのでご了承ください。
- なお、固縛強度の評価方法等に疑問点などがある場合は、お近くの地方運輸局(沖縄総合事務局)・運輸支局の運航労務監理官にお問い合わせいただきますようお願いいたします。

以上

参考1：フェリー等における大傾斜と貨物の損傷について

- 平成22年5月に国土交通省で実施した長距離航路を運航しているフェリー・RORO船における大傾斜事例の調査結果では、過去10年間で25件の大傾斜事例が報告されており、そのうち16件では、車輛の移動・損傷や固縛装置の損傷が生じています。(最近5年の例は以下の表のとおり。)
- 車輛の移動・損傷等が生じた事例の多くは、大型車向けのラッシングベルトやラッシングチェーンなどの固縛装置を6～8本取っていたにも関わらず発生しています。
- 自社の固縛方法は強度が十分に足りている、という先入観で捉えず、万が一の可能性に備えた十分な固縛措置の実施に努めてください。

フェリー等における船体大傾斜事例（過去5年、傾斜角25度以上）

発生年月	発生海域	波の向き	最大傾斜	生じた現象
H16 11	青森県 尻屋崎沖	右舷横	40度	波、うねりによる縦揺・横揺の増大により大傾斜が発生
H16 12	遠州灘	左舷前方	30度	荒天により激しい船体動揺(縦揺・横揺)が発生。動揺が収まった後にシャーシ等の移動を発見
H17 1	茨城県沖	後方	27度	海上模様好転の見込みにより入港を開始した際に、後方からの大波で船体大傾斜が発生
H18 10	茨城県沖	左舷後方	30度以上	荒天のため反転避難途上に左舷後方からのうねりにより大傾斜が発生
H18 10	茨城県 大洗港外	右船尾 30°方向	40度	追い波による復原力減少、強風の影響により40度以上の傾斜が発生し、その後、波による復原力増加で反対舷に20度以上傾斜し、車輛が移動
H19 11	岩手県 鮎ヶ崎沖	前方	25度	航行中の船体動揺によりラッシングベルトの破損、荷崩れが発生
H21 1	宮城県 金華山沖	左舷後方	25度	航行中に波高が高くなり大きな船体傾斜、貨物移動が発生
H21 4	青森県 鮫角灯台沖	右舷後方	25度以上	追いつ手からのうねりによる動揺に加えて前方からのうねりでパンチングが発生
H21 5	和歌山県沖	右舷 ～後方	26度	右舷船尾方向からの風により船体が切り上がり、船尾方向からのうねりにより大傾斜が発生
H21 11	沖縄県 宮古島北西	(記録なし)	25度	針路48度で航行中に針路20度に変針した際に20～25度の傾斜が3回発生

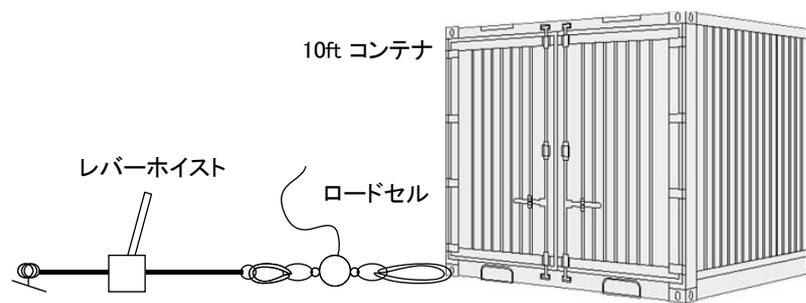
※H22は発生報告なし (注)H22年5月 国土交通省海事局調べ

参考2：破断強度と実使用において許容される強度の違い

- 一般にフェリー等の貨物の固縛に使用されているベルトやチェーンは、その強度ごとに“9tのワイヤー”や“16tのスピータンバー”といった形で呼ばれていますが、これは、新品をまっすぐにゆっくりと引っ張った際に壊れる力(破断強度(B.L.:Breaking Load))を示しています。
- 実使用では、想定外の衝撃が加わる可能性などがあるため、破断強度までの強度があることを期待せず、強度には余裕をみる必要があります。これが、安全率と呼ばれるもので、フェリー等の固縛装置では、船舶安全法関係法令に基づき、安全率は4以上と定められています(実際に使用してよい強度は破断強度の1/4まで)。
- このため、実使用において許容される強度は、一般に使用されている大型トラックやシャーシ用のベルトやチェーン(スピータンバー)などで4t、ワイヤー製のもので2t程度となっています。これ以上の力がかかることが想定される場合は、強度不足による事故を招く恐れがあるため、固縛の強化等を行う必要があります。
- 運航事業者の皆様においては、実際に使用している固縛装置の仕様を確認し、適切な状況での使用となるよう留意してください。

参考3：摩擦力（車輻甲板に敷いたゴムマット等の効果、水分の影響）

- 車輻甲板へのコンテナの直積み輸送を行う際に、ロープを用いたダンネージやゴムマット等を敷いて輸送している事例もあります。
- また、雨や雪の影響や、埃防止のための散水などで、車輻甲板が濡れることがありますが、濡れた車輻甲板(鉄板)の上は非常に滑りやすくなります(例えば、雨の日のマンホールや鉄板の上を自転車や自動車でする状況をイメージしてみてください)。
- このため国土交通省では、車輻甲板においたコンテナの滑りやすさを評価するため、RORO船の車輻甲板にコンテナを置いて、実際に引っ張る実験を行いました。(実験のイメージは下図を参照)
- 実験の結果、①車輻甲板にコンテナを直接置く場合、と、②ダンネージやゴムマット等を敷いてからコンテナを置く場合、では、滑りにくさ(摩擦力)に大きな差がない結果となりました(いずれも乾いた状態で摩擦係数0.6程度)。また、濡れた状態の車輻甲板にコンテナを置いた場合では、摩擦力は約半分(摩擦係数0.3程度)まで減少しました。
- ダンネージやゴムマットによるコンテナの移動防止効果は、皆さんがイメージしているほど期待できません。また、甲板が濡れてしまうとさらに滑りやすくなります。このため、車輻甲板に積んだコンテナは固縛装置などを用いてしっかりと固縛するようお願いします。



実験のイメージ

(車輻甲板においた 10ft コンテナを引っ張り、コンテナが動き出す力を計測)



実験時のコンテナの移動状況(ゴムマットの上を滑った)

参考4：貨物の移動による重心の移動量

- 車輻甲板にコンテナを積載する場合、コンテナの状況確認や冷凍コンテナへの配線等を行えるようにするため、コンテナ間に通路をあけて積載している例があります。
- しかしながら、フェリーありあけの大傾斜時では、コンテナとコンテナの間の通路やコンテナと船側の通路分だけコンテナが移動したことで、船が大きく傾くほど重心が移動してしまいました。
- 1m や 2m 程度であっても、貨物全体が移動すると重心位置が大きく移動します。コンテナを隙間なく積載して移動防止を図る場合は、この程度の間隙は大丈夫、と考えず、移動の余地がないようきっちり積載してください。

フェリー等における貨物固縛の強度評価の方法について

1. 算定条件

(1) 強度評価にあたっての算定条件 (共通事項)

フェリー等における貨物固縛の強度評価にあたっては、以下の算定条件により評価を行う。

- ・ 縦揺れ:5 度・本船の縦揺周期、横揺れ:25 度・本船の横揺周期とする¹。
- ・ 固縛装置の強度は、固縛装置の破断強度に対して安全率 4 以上とする。
- ・ 船体横方向の貨物の転倒モーメント・並行移動を想定して算定を行うものとする。(但し、船体横方向の貨物の転倒モーメント・並行移動以外のモードについても、当該影響が無視できないと推定される場合は計算を実施することとする。)
- ・ 車輦甲板と貨物の間で作用する摩擦力の評価のための係数は以下の通りとする。
 - 甲板(鋼) 対 タイヤ・ゴムマット(ゴム)の場合 摩擦係数 0.4
 - 甲板(鋼) 対 コンテナ(鋼)の場合 摩擦係数 0

(2) 強度評価にあたっての算定条件 (自社での決定事項)

- ・ 貨物の重量:自社で上限を設けて運用する場合は当該上限値を、上限値を設けずに用いる場合は、法定・規格に基づく重量を用いることとする。(トラック(自走車輦)は 25t、シャーシは、基準緩和なしで 28t、基準緩和ありで 36t が最大重量。コンテナは ISO 規格等で 10ft で 10t 程度、20ft で 24t 程度が最大重量。)
- ・ 甲板上の車輦の固定位置、デッキ高さは、それぞれ自社の船舶の要目より、取りうる最大の値(重量物(大型車輦、コンテナ等の 10t を超えるような貨物)を搭載する最も上層の車輦甲板の、前後・左右方向の最も隅に積載する貨物の重心位置)を与えることとする。
- ・ 固縛装置の取付位置(甲板上の取付位置と車輦上の取付位置との位置関係:下図の p_x , p_y , p_z)は、実測値を与える。

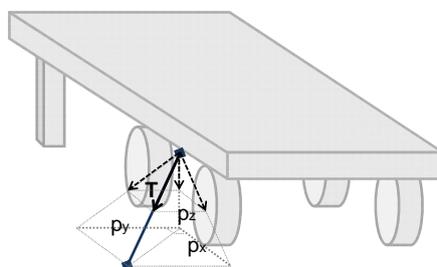


図 1 固縛装置の取付位置の図

¹ 但し、現行規則では、平水、限定沿海を航行区域とする船舶には緩和規定あり。(平水:横揺れ 5 度、限定沿海:横揺れ 10 度。いずれも縦揺れは考慮不要。)

注：以下では計算の流れの概略も記載していますが、数値を求める際は波線の式にそれぞれの数値を入れれば結果が求められます。

2. 評価の流れ

(1) 貨物に作用する外力の算定

① 船体動揺による加速度(力)の算定

貨物の固定に必要な固縛装置の強度を算定するためには、まず、貨物に加わる加速度(力)を算定する必要がある。ここでは、算定方法の簡略化を図るため、船が波などの影響で規則的に動揺している状況を想定して外力を算定する。算定する力のイメージは図1のとおり。

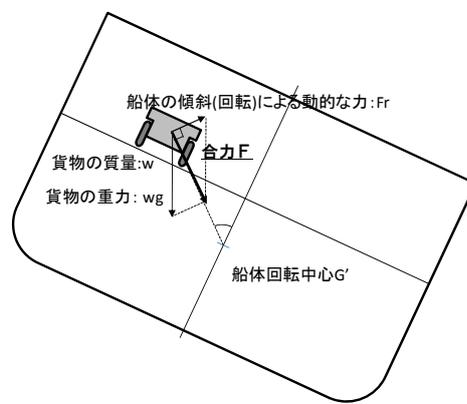


図2 船体に作用する外力のイメージ
(重力 wg と回転による力 Fr が作用する)

ここで、それぞれの記号は、これ以降の数式を含め、以下のとおりとする。また、これらの数値のイメージは、図2、図3のとおり。

- GMr :メタセンタ高さ(ローリング)(m)
- Lpp :垂線間長 (m)
- Tr :動揺周期(ローリング)(秒)
- Tp :動揺周期(ピッチング)(秒)
- θr :船体の横傾斜角(rad)
- θp :船体の縦傾斜角(rad)
- w :貨物の質量(kg)
- g :重力加速度(m/s^2)
- b :船体回転中心から貨物の重心までの幅方向距離(m)
- ℓ :船体回転中心から貨物の重心までの長手方向距離(m)
- h :船体回転中心から貨物の重心までの高さ(m)

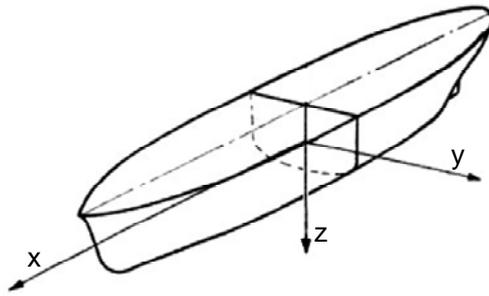


図3 本強度評価で用いる座標系

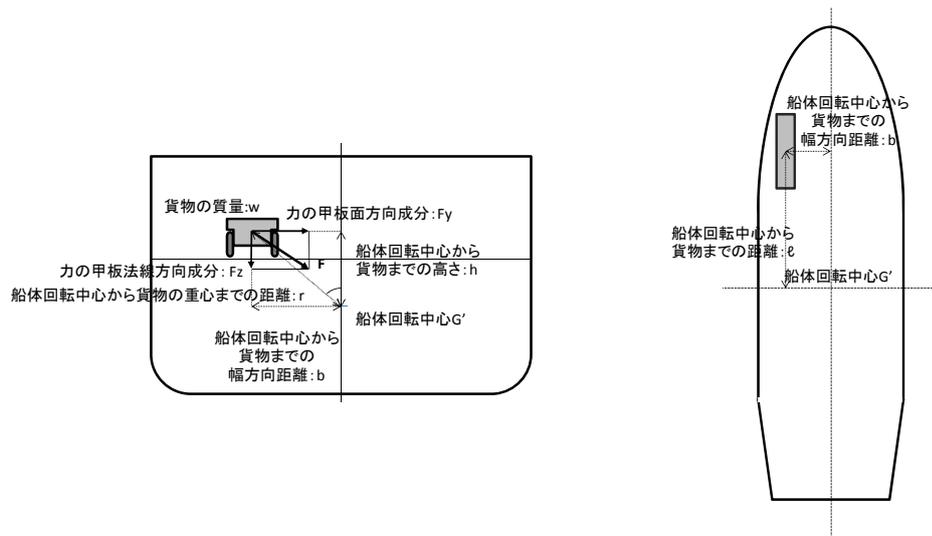


図4 船体の断面図・平面図と貨物位置の関係

まず、外力の算定にあたっては、船体の縦揺・横揺の周期を定めることが必要となる。以下の式により船体の横揺・縦揺の周期 T_r と T_p を求める。

$$T_r = \frac{0.7B}{\sqrt{GMr}} \text{ (秒)} [\text{近似式}] \text{ 又は } \underline{\text{実測値}} \quad (1)$$

$$T_p = 0.5\sqrt{L_{pp}} \text{ (秒)} [\text{近似式}] \text{ 又は } \underline{\text{実測値}} \quad (2)$$

続いて、貨物の重量 w (kg)、傾斜角 θ_r (rad)、 θ_p (rad)、貨物の位置 b (m)、 l (m)、 h (m) に基づき、以下の式により貨物に作用する外力を求める。

まず、船体の回転中心を求める。船体回転中心は以下のいずれかの式より算定する。

$$KG' = \frac{KG + KB}{2} \quad \text{又は} \quad KG' = 0.5 \times \left(\frac{D}{2} + d \right)$$

大傾斜が発生した際に作用する力に対して十分な強度を確保することが必要であるため、 $\theta r=0.436(\text{rad})(=25^\circ)$ 、 $\theta p=0.0873(\text{rad})(=5^\circ)$ として、以下の式にそれぞれの値を代入して外力を算定する。

$$F_y = \frac{1}{g} \left(w \cdot g \cdot \sin \theta r + 4\pi^2 \cdot w \cdot h \cdot \frac{1}{Tr^2} \cdot \theta r \right) \quad (3)$$

$$F_z = \frac{1}{g} \left(w \cdot g \cdot \cos \theta r - 4\pi^2 \cdot w \cdot b \cdot \frac{1}{Tr^2} \cdot \theta r - 4\pi^2 \cdot w \cdot l \cdot \frac{1}{Tp^2} \cdot \theta p \right) \quad (4)$$

(2) 貨物の固縛装置に作用する力

上記で求めた貨物に作用する加速度(力)をもとに、貨物の固縛装置に加わる力を算定し、固縛装置の強度の評価を行う。(以下では、甲板面横方向外力 F_y 、甲板法線方向外力 F_z から、船体横方向の転倒及び並行運動について算定した例を示す。)

なお、固縛装置の強度評価にあたっては、①転倒、②並行移動のそれぞれのモードについて、独立して強度の評価を行う。

① 転倒モーメントと固縛装置に加わる力

車輛等を剛体とみなして、片側の接地点の端を軸に転倒モーメントが作用するとした場合の固縛装置に加わる力を算定する。貨物の重心高さを h_c 、貨物の幅を b_c と表わすと、貨物の貨物に加わる転倒モーメントは以下の通り表わされる。(想定している力等のイメージは以下の図のとおり。)

$$MR = \left(h_c \cdot F_y - \frac{b_c}{2} \cdot F_z \right) \quad (5)$$

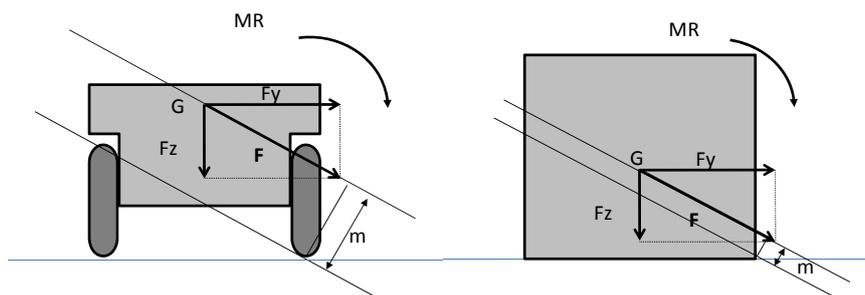


図5 貨物に作用する転倒モーメント
(船の幅方向の貨物の断面図)

(i) 貨物の側面から下方向へのラッシングのみの場合

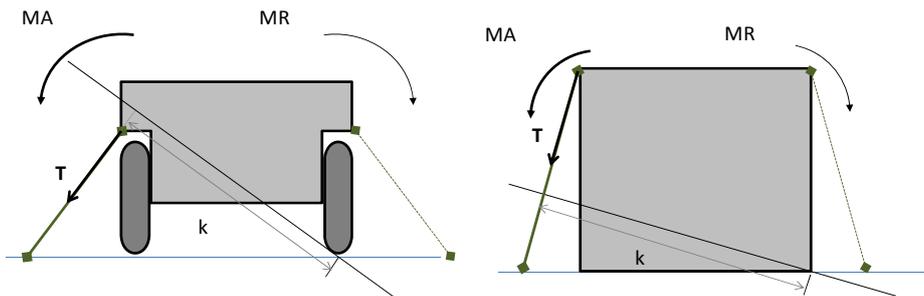
固縛装置 1 本による張力を T 、車輛・コンテナの片側に取り付けている固縛装置の本数を n (例:両側で6点取っている場合は $n=3$ となる。)、転倒モーメントの回転軸となる接地点(下の図の例では、甲板と設置している右の端点)から固縛装置の延長線上に垂線を下

ろしたときの距離を k 、固縛装置の長さを p 、固縛装置の甲板上位置と車輛上位置との距離のxyzそれぞれの方向の長さを p_x 、 p_y 、 p_z と表わすと、固縛による反転倒モーメント MA は以下のとおり表される。

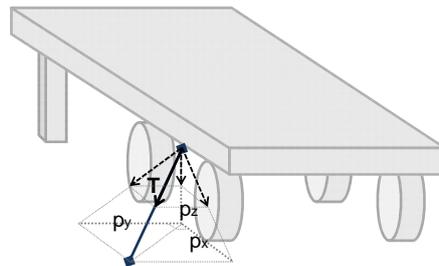
$$MA = \frac{\sqrt{p_y^2 + p_z^2}}{p} \times n \times T \times k \quad (6)$$

ここで、固縛による反転倒モーメントのこの長さ k は、貨物の幅を b_c と固縛装置の甲板上位置と車輛上位置との長さ p_x 、 p_y 、 p_z を用いて以下の通り表わされる。

$$k = (b_c + p_y) \frac{p_z}{\sqrt{p_y^2 + p_z^2}} \quad (7)$$



(図 6-1 船の幅方向の貨物の断面図)



(図 6-2 斜め方向から見た図)

図 6 貨物に作用する転倒モーメントと転倒防止方向に作用する固縛装置の張力
(貨物の側面から下方向へのラッシングのみの場合)

モーメントの釣り合いにより、 $MR=MA$ となることから、(5)式と(6)式を用いて転倒モーメントにより固縛装置に加わる力に変換すると、以下の通り表わせる。

$$T = \frac{P}{(b_c + p_y) \cdot n \cdot p_z} \cdot \left(h_c \cdot Fy - \frac{b_c}{2} \cdot Fz \right) \quad (8)$$

(ii) 車輛の側面から下方向へのラッシングに加えて、追加のラッシング(オーバーラッシングやたすき掛けのラッシングなど)を実施している、又は、前後のラッシングを傾斜を緩やかにして固定している場合 (模式図参照)

固縛装置 1 本による張力を T_1 、 T_2 、車輛・コンテナの片側の側面で下側に取り付けているラッシングの本数を n_1 、追加のラッシングの車輛・コンテナの片側の本数を n_2 、転倒モーメントの回転軸となる接地点から固縛装置の延長線上に垂線を下ろしたときの距離を k_1 、 k_2 、固縛装置の長さを p_1 、 p_2 、固縛装置の甲板上位置と車輛上位置との距離をそれぞれ p_{1x} 、 p_{1y} 、 p_{1z} 、 p_{2x} 、 p_{2y} 、 p_{2z} 、それぞれの弾性係数 E_1 、 E_2 、それぞれの固縛装置の断面積を A_1 、 A_2 とする。

まず、 T_1 と T_2 の関係は以下の通り表わされる。

$$T_1 = \frac{n_1 \cdot E_1 \cdot A_1}{p_1} \cdot \frac{p_{1z}}{p_1} \cdot \frac{p_2}{n_2 \cdot E_2 \cdot A_2} \cdot \frac{p_2}{p_{2z}} \cdot T_2 \quad (9)$$

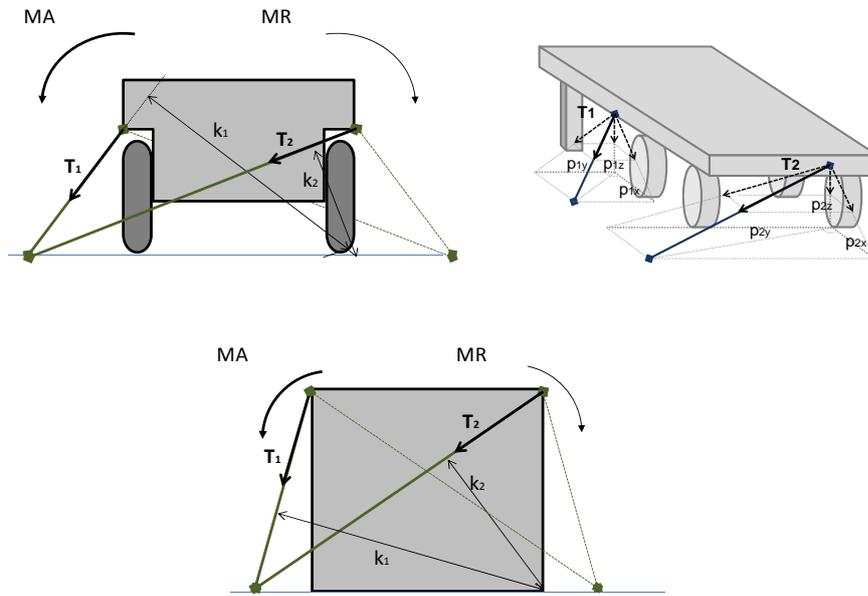
また、転倒モーメントの支点から固縛装置の延長線上に垂線を下ろしたときの距離をそれぞれ ℓ_1 、 ℓ_2 とした場合、反転倒モーメント MA は以下のとおり表される。

$$MA = \frac{\sqrt{p_{1y}^2 + p_{1z}^2}}{p_1} \times n_1 \times T_1 \times k_1 + \frac{\sqrt{p_{2y}^2 + p_{2z}^2}}{p_2} \times n_2 \times T_2 \times k_2 \quad (10)$$

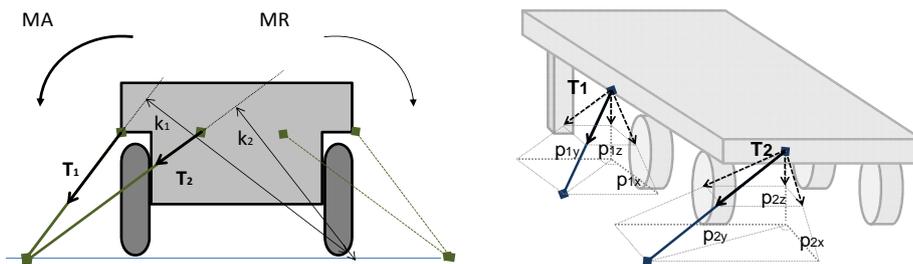
ここで、固縛による反転倒モーメントのためこの長さ k_1 、 k_2 は、貨物の幅を b_c と固縛装置の甲板上位置と車輛上位置との長さ p_x 、 p_y 、 p_z を用いて以下の通り表わされる。

$$k_1 = (b_c + p_{1y}) \frac{p_{1z}}{\sqrt{p_{1y}^2 + p_{1z}^2}} \quad (11)$$

$$k_2 = (b_c + p_{1y}) \frac{p_{2z}}{\sqrt{p_{2y}^2 + p_{2z}^2}} \quad (12)$$



(図 7-1 たすき掛けの固縛のイメージ)



(図 7-2 前後のラッシングを側面のラッシングより傾斜を緩やかにして固縛するイメージ)

図 7 貨物に作用する転倒モーメントと転倒防止方向に作用する固縛装置の張力

モーメントの釣り合いにより、 $MR=MA$ となることから、(5)式、(9)式、(10)式、(11)式、(12)式を用いて転倒モーメントにより固縛装置に加わる力に変換すると、以下の通り表わせる。

$$T_1 = \frac{n_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot p_1 \cdot p_2^3 \cdot p_{1z}}{n_1^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot p_2^3 \cdot (b_c + p_{1y}) \cdot p_{1z}^2 + n_2^2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot p_1^3 \cdot (b_c + p_{1y}) \cdot p_{2z}^2} \cdot (h_c \cdot F_y - \frac{b_c}{2} \cdot F_z) \quad (13)$$

$$T_2 = \frac{n_2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot p_1^3 \cdot p_2 \cdot p_{2z}}{n_1^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot p_2^3 \cdot (b_c + p_{1y}) \cdot p_{1z}^2 + n_2^2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot p_1^3 \cdot (b_c + p_{1y}) \cdot p_{2z}^2} \cdot (h_c \cdot F_y - \frac{b_c}{2} \cdot F_z) \quad (14)$$

同一素材の固縛装置を用いている場合は、E、A は同一となるため計算式から消去され、以下の通り変換される。

$$T_1 = \frac{n_1 \cdot p_1 \cdot p_2^3 \cdot p_{1z}}{n_1^2 \cdot p_2^3 \cdot (b_c + p_{1y}) \cdot p_{1z}^2 + n_2^2 \cdot p_1^3 \cdot (b_c + p_{1y}) \cdot p_{2z}^2} \cdot (h_c \cdot Fy - \frac{b_c}{2} \cdot Fz) \quad (15)$$

$$T_2 = \frac{n_2 \cdot p_1^3 \cdot p_2 \cdot p_{2z}}{n_1^2 \cdot p_2^3 \cdot (b_c + p_{1y}) \cdot p_{1z}^2 + n_2^2 \cdot p_1^3 \cdot (b_c + p_{1y}) \cdot p_{2z}^2} \cdot (h_c \cdot Fy - \frac{b_c}{2} \cdot Fz) \quad (16)$$

なお、異なる素材の固縛装置を用いている場合は、固縛装置ごとの伸びやすさの違いにより特定の固縛装置に力が集中してしまい、より小さな力で固縛装置が破断する可能性がある。(特に、引っ張られた際に変形の小さいものに力が集中する。)

このため、一つの貨物に対して異なる固縛装置を用いる場合は、メーカー等に問い合わせ固縛装置の特性を確認の上、自社で強度評価を実施することが必要である。

② 船体横方向への並行移動と固縛による反力

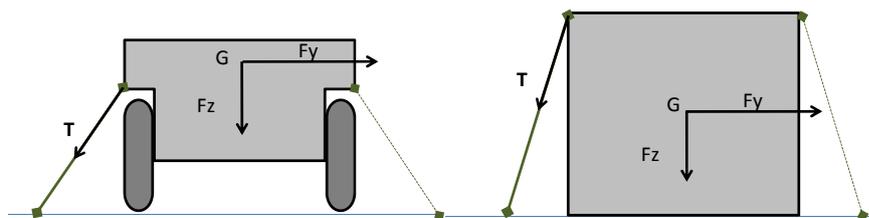
(i) 車輛の側面から下方向へのラッシングのみの場合

車輛甲板と貨物との摩擦係数を μ 、固縛装置 1 本による張力を T 、車輛・コンテナの片側に取り付けている固縛装置の本数を n 、固縛装置の長さを p 、固縛装置の甲板上位置と車輛上位置との距離を p_x 、 p_y 、 p_z とすると、甲板面方向の力の釣り合いから、ラッシングによる張力 T は以下の通り求められる。

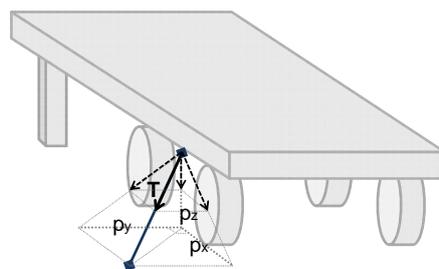
$$F_y = n \cdot \frac{p_y}{p} \cdot T + \mu(F_z + n \cdot \frac{p_z}{p} \cdot T) \quad (17)$$

これより並行移動により固縛装置に加わる力に変換すると、以下の通り表わせる。

$$T = \frac{1}{n} \cdot p \cdot \frac{F_y - \mu \cdot F_z}{p_y + \mu \cdot p_z} \quad (18)$$



(図 8-1 船の幅方向の貨物の断面図)



(図 8-2 斜め方向から見た図(再掲))

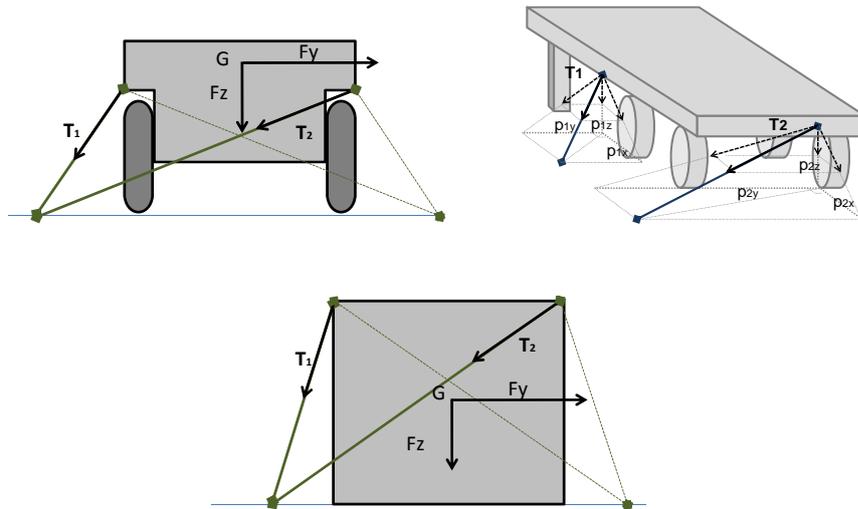
図 8 貨物に作用する並行移動外力と移動防止方向に作用する固縛装置の張力
(貨物の側面から下方向へのラッシングのみの場合)

(ii) 車輛の側面から下方向へのラッシングに加えて、追加のラッシング(オーバーラッシングやたすき掛けのラッシングなど)を実施している、又は、前後のラッシングを傾斜を緩やかにして固定している場合

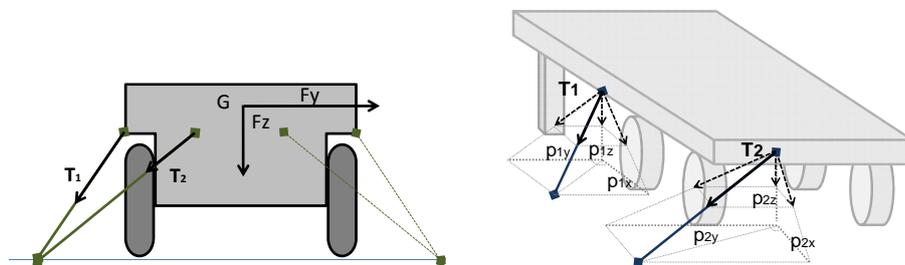
車輛甲板と貨物との摩擦係数を μ 、固縛装置 1 本による張力を T_1 、 T_2 、車輛・コンテナの片側の側面で下側に取り付けているラッシングの本数を n_1 、追加のラッシングの車輛・コンテナの片側の本数を n_2 、ラッシング資材の長さをそれぞれ p_1 、 p_2 、固縛装置の甲板

上位置と車輦上位置との距離をそれぞれ p_{1x} 、 p_{1y} 、 p_{1z} 、 p_{2x} 、 p_{2y} 、 p_{2z} 、それぞれの弾性係数 E_1 、 E_2 、とすると、 T_1 と T_2 の関係は以下のとおりとなる。

$$T_1 = \frac{n_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot p_{1y}}{p_1^2} \cdot \frac{p_2^2}{n_2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot p_{2y}} \cdot T_2 \quad (19)$$



(図 9-1 たすき掛けの固縛のイメージ)



(図 9-2 前後のラッシングを側面のラッシングより傾斜を緩やかにして固縛するイメージ)

図 9 貨物に作用する並行移動外力と移動防止方向に作用する固縛装置の張力

一方、甲板面方向の力の釣り合いから以下の式が求められる。

$$F_y = \mu \cdot F_z + \left(\mu \cdot \frac{p_{1z}}{p_1} + \frac{p_{1y}}{p_1} \right) \cdot n_1 \cdot T_1 + \left(\mu \cdot \frac{p_{2z}}{p_2} + \frac{p_{2y}}{p_2} \right) \cdot n_2 \cdot T_2 \quad (20)$$

(19)式と(20)式を用いて並行移動により固縛装置に加わる力に変換すると、以下の通り表わせる。

$$T_1 = \frac{n_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot p_1 \cdot p_2^3 \cdot p_{1y}}{n_1^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (\mu \cdot p_{1z} + p_{1y}) \cdot p_2^3 \cdot p_{1y} + n_2^2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot (\mu \cdot p_{2z} + p_{2y}) \cdot p_1^3 \cdot p_{2y}} (Fy - \mu \cdot Fz) \quad (21)$$

$$T_2 = \frac{n_2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot p_1^3 \cdot p_2 \cdot p_{2y}}{n_1^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (\mu \cdot p_{1z} + p_{1y}) \cdot p_2^3 \cdot p_{1y} + n_2^2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot (\mu \cdot p_{2z} + p_{2y}) \cdot p_1^3 \cdot p_{2y}} (Fy - \mu \cdot Fz) \quad (22)$$

同一素材の固縛装置を用いている場合は、E、A は同一となるため計算式から消去され、以下の通り変換される。

$$T_1 = \frac{n_1 \cdot p_1 \cdot p_2^3 \cdot p_{1y}}{n_1^2 \cdot (\mu \cdot p_{1z} + p_{1y}) \cdot p_2^3 \cdot p_{1y} + n_2^2 \cdot (\mu \cdot p_{2z} + p_{2y}) \cdot p_1^3 \cdot p_{2y}} (Fy - \mu \cdot Fz) \quad (23)$$

$$T_2 = \frac{n_2 \cdot p_1^3 \cdot p_2 \cdot p_{2y}}{n_1^2 \cdot (\mu \cdot p_{1z} + p_{1y}) \cdot p_2^3 \cdot p_{1y} + n_2^2 \cdot (\mu \cdot p_{2z} + p_{2y}) \cdot p_1^3 \cdot p_{2y}} (Fy - \mu \cdot Fz) \quad (24)$$

異なる素材の固縛装置を用いている場合は、固縛装置ごとの伸びやすさの違いにより特定の固縛装置に力が集中してしまい、より小さな力で固縛装置が破断する可能性がある。(特に、引っ張られた際に変形の小さいものに力が集中する。)

このため、一つの貨物に対して異なる固縛装置を用いる場合は、メーカー等に問い合わせ固縛装置の特性を確認の上、自社で強度評価を実施することが必要である。

(3) 固縛強度の評価と固縛の改善策の検討

(2)で求めた貨物の固縛装置に加わる力をもとに、固縛装置の強度の評価を行う。固縛装置の強度不足の有無は、固縛装置ごとにメーカーが定める値を用いて評価を行う。

なお、(2)①で求めた転倒に対する力と、②で求めた並行移動による力は、外力が加わった際にいずれかが発生するものであり同時に発生するものではないため、それぞれの力ごとに個別に評価を行う。

(1)固縛強度の評価

固縛装置の強度は、使用している装置の種類によって異なるため、自社で使用している固縛装置の強度*と比較して、強度の不足が無いかなら評価を行う。

*固縛装置の強度

- ・ 一般に固縛装置の強度の呼称として用いられている強度は、破断荷重をベースとしているものが多い（現在使用されている固縛装置で、“8トン”、“10トン”、“16トン”といった形で呼ばれているものはすべて破断荷重である。）。
- ・ 実使用では、想定外の衝撃が加わる可能性などがあるため、破断強度までの強度があることを期待せず、強度には余裕をみる必要がある。これが、安全率と呼ばれるもので、フェリー等の固縛装置では、船舶安全法関係法令に基づき、安全率は4以上(実際に使用してよい強度は破断強度の1/4まで)と定められている。
- ・ このため、実使用において許容される強度は、一般に使用されている大型トラックやシャーシ用のベルトやチェーンなどで4t、ワイヤー製のもので2t程度となっており、これ以上の力がかかることが想定される場合は、強度不足による事故を招く恐れがあるため、固縛の強化等を行うことが必要である。
- ・ 運航事業者の皆様においては、実際に使用している固縛装置の仕様を確認し、適切な状況での使用となるよう留意してください。

(2)強度評価結果を踏まえた固縛の改善策の検討

本評価で固縛装置の強度が不足する場合は、貨物の積付けや固縛方法の見直しを行うことが必要であるため、ガイドラインの2.(2)を踏まえ固縛方法の改善を図り、固縛強度が十分であることを確認する。

(以上)

(参考)本文中で用いられている記号一覧

GMr	:メタセンタ高さ(ローリング) (m)
Lpp	:垂線間長 (m)
Tr	:動揺周期(ローリング) (秒)
Tp	:動揺周期(ピッチング) (秒)
θ_r	:船体の横傾斜角 (rad)
θ_p	:船体の縦傾斜角 (rad)
KG	:船底からの重心高さ (m)
KB	:船底からの浮心高さ (m)
KG'	:船底からの回転中心高さ (m)
w	:貨物の質量 (kg)
hc	:貨物の重心高さ (m)
bc	:貨物の幅(貨物上の固縛点の幅) (m)
g	:重力加速度 (m/s^2)
μ	:車輦甲板上の貨物の摩擦係数
b	:船体回転中心から貨物の重心までの幅方向距離(m)
ℓ	:船体回転中心から貨物の重心までの長手方向距離(m)
h	:船体回転中心から貨物の重心までの高さ(m)
Fy	:貨物に加わる船腹方向の外力(kgf)
Fz	:貨物に加わる上下方向の外力(kgf)
MR	:船体運動により貨物に加わる転倒モーメント(kgf·m)
m	:船体運動により貨物に加わる転倒モーメントのてこの長さ(m)
MA	:固縛装置により貨物に加わる反転倒モーメント(kgf·m)

【以下は、側面から下方向へのラッシングのみの場合】

n	:固縛装置の本数(片側) (本)
T	:固縛装置に加わる力 (kgf)
p	:固縛装置の長さ (m)
p_x	:固縛装置の甲板上位置と車輦上位置との距離 (船の長手方向) (m)
p_y	:固縛装置の甲板上位置と車輦上位置との距離 (船の幅方向) (m)
p_z	:固縛装置の甲板上位置と車輦上位置との距離 (上下方向) (m)
k	:固縛装置による反転倒モーメントのてこの長さ (m)

【以下は、追加のラッシングを実施している場合】

n_1	:固縛装置(側面下向き)の本数(片側) (本)
n_2	:固縛装置(追加の固縛装置)の本数(片側) (本)
T_1	:固縛装置(側面下向き)に加わる力 (kgf)

- T_2 : 固縛装置(追加の固縛装置)に加わる力 (kgf)
- E_1 : 固縛装置(側面下向き)の弾性係数 (kgf/m²)
- E_2 : 固縛装置(追加の固縛装置)の弾性係数 (kgf/m²)
- A_1 : 固縛装置(側面下向き)の断面積 (m²)
- A_2 : 固縛装置(追加の固縛装置)の断面積 (m²)
- ρ_1 : 固縛装置(側面下向き)の長さ(m)
- ρ_{1x} : 固縛装置(側面下向き)の甲板上位置と車輦上位置との距離 (船長方向) (m)
- ρ_{1y} : 固縛装置(側面下向き)の甲板上位置と車輦上位置との距離 (船幅方向) (m)
- ρ_{1z} : 固縛装置(側面下向き)の甲板上位置と車輦上位置との距離 (上下方向) (m)
- ρ_2 : 固縛装置(追加の固縛装置)の長さ(m)
- ρ_{2x} : 固縛装置(追加の固縛装置)の甲板上位置と車輦上位置との距離 (船長方向) (m)
- ρ_{2y} : 固縛装置(追加の固縛装置)の甲板上位置と車輦上位置との距離 (船幅方向) (m)
- ρ_{2z} : 固縛装置(追加の固縛装置)の甲板上位置と車輦上位置との距離 (上下方向) (m)
- k_1 : 固縛装置(側面下向き)による反転倒モーメントのてこの長さ (m)
- k_2 : 固縛装置(追加の固縛装置)による反転倒モーメントのてこの長さ (m)