

「コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン」の開発

開発部

1. はじめに

一般商船の目的は貨物の海上輸送であり、積載される貨物は、輸送中に損傷を蒙ることなく、安全に目的地まで運送されなければならない。貨物を安全に運送するためには、適切な操船はもちろんのこと、貨物の荷役に際して貨物の移動、集中、過積載等を防止するために適切な対策を講じることが重要である。

特にコンテナ船においては、近年における海上コンテナ貨物取扱量の増加を受け、大型コンテナ船の導入による運送効率の向上に加え、コンテナをより効率的に積載するために、様々なコンテナの積付け方法、固縛装具等が考案、開発されていることから、これらを合理的に評価する必要性が増している。

貨物の積付け及び固縛方法に関する指針として、本会は、1988年に当時の積付け及び固縛方法に関する知見を取りまとめた「貨物の積付け及び固縛に関する指針」を発行しているが、その後コンテナ規格等が改訂され、また、上述の通りコンテナの積付けや固縛方法も多様化したことから、それらに対応した技術指針が望まれていた。

そこで本会は、2008年度研究開発プロジェクトの一環として、最新のコンテナの積付け及び固縛方法について幅広く調査、検討を行い、新たに「コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン」を作成した。

本ガイドラインでは、コンテナに関する最新のISO規格を反映させるとともに、多様化した最新のコンテナの積付け及び固縛方法の具体例を掲げ、それらに対する評価手法を示している。また、コンテナの積付け及び固縛に関わる方々に、本ガイドラインの理解・利用の一助となるよう、巻末に計算例を掲載している。

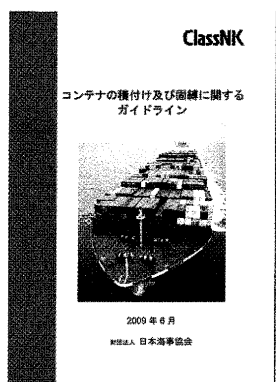


図1 コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン

2. 「コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン」の概要

本ガイドラインには、コンテナの積付け及び固縛に関する一般的な事項から強度評価手法といった専門的な事項まで幅広く掲載し、積付け及び固縛に携わる幅広い層の読み手を対象として技術資料の作成を行った。ガイドラインの目次を以下に示す。

- 1章 コンテナの積付け及び固縛の概要
- 2章 コンテナ及び固縛金物の強度
- 3章 積付け及び固縛における船体強度上の注意点
- 4章 積付け及び固縛についての強度評価手法
- 5章 積付け及び固縛強度検討に用いる設計荷重
- 6章 コンテナの積付け及び固縛強度評価
- 付録 コンテナの積付け及び固縛強度計算例
甲板上積付け

ガイドラインには、1～3章にコンテナの積付け及び固縛に関する基本説明、コンテナの規格及びコンテナ固縛金物の一般的な仕様、積付け及び固縛における船体強度上の注意点等の一般的な事項を取りまとめるとともに、4～6章に積付け及び固縛強度評価手法を掲載している。以下にガイドライン各章の概要を示す。

3. ガイドライン各章の概要

3.1 「1章 コンテナの積付け及び固縛の概要」

3.1.1 海上貨物の輸送形態と固縛の概要

船舶に積載される貨物には、静的荷重、動的荷重、風荷重等が外力として働く。これらの外力による貨物の損傷、荷崩れ、流出等を防ぐため、貨物を船上の所定の位置に適切に積付けし固縛を行う必要があるが、コンテナ及びコンテナ船の登場により、従来、一般貨物船で輸送されていた貨物がコンテナを用いて輸送されるようになったことによって、原則、船上において個々の貨物を直接固縛する必要がなくなった。また、規格化されたコンテナを用いることにより固縛装置も標準化され、従来の固縛方法に比べ、より確実かつ短時間で固縛を行うことが可能となった。

3.1.2 コンテナ船の概要

コンテナ船とは、一般に、コンテナを専用に輸送するために建造された船であって、貨物倉内及び甲板上にコンテナを

積付け、効率的な輸送が可能のように工夫がなされている。

近年、コンテナ船は大型化する傾向にあり、船型の大型化によって、復原性の問題による甲板上コンテナ積付け数の制約が緩和され、より高い位置までコンテナを積付けることが出来るようになった。また、固縛作業の効率化及びコンテナ積載重量の増加を目的としてラッシングブリッジ（図2）を設置したり、船倉内へのコンテナ積付け数を増加させることを目的に、ハッチ開口部にデッキガーダー（図3）を設けない「ガーダレス」の設計が採用されている。

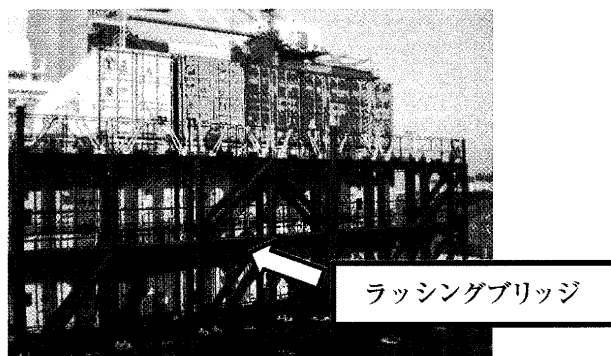


図2 ラッシングブリッジ

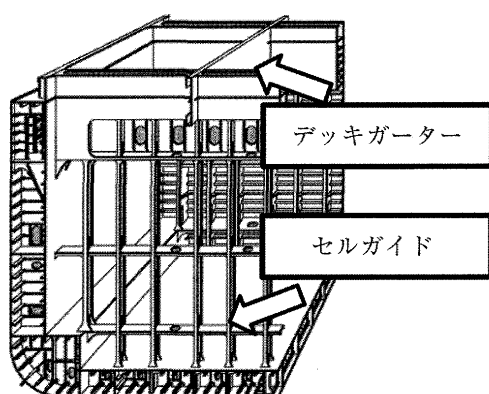


図3 コンテナ船倉内構造

3.1.3 海上コンテナの概要

海上輸送に用いられるコンテナはISO（国際標準化機構）規格、JIS（日本工業規格）等によって用語及び定義が定められている。また、海上コンテナの寸法及び強度についてもISO規格等で定められており、海上輸送に用いられるコンテナの多くは、ISO規格に従って試験、製造が行われている。

3.1.4 コンテナ積付け方法

(1) コンテナの甲板上積付け

甲板上及びハッチカバー上はセルガイド構造ではなくコンテナを固定する装備を備えていないため、航行中のコンテナの移動や転倒を防止するためにコンテナの固縛が行われる。コンテナの基本的な固縛の概念図を図4に示す。通常、船体上またはハッチカバー上に設けられたソケット上にコンテナを積付け、ツイストロックを用いてコンテナの移動を抑えている。加えて、船体またはハッチカバー上に

固着されたアイプレートとコンテナの隅金物をラッシングロッド、ターンバックル等を用いて固縛が行われている。

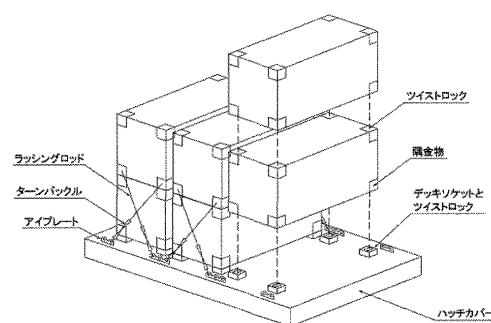


図4 コンテナの甲板上積付け

(2) コンテナの倉内積付け

コンテナ船の船倉内は、積付けるコンテナの大きさに合わせたセルガイド構造となっており、積付けられたコンテナはセルガイドによって支持されることから、原則として、コンテナに対する固縛は行われない。セルガイド構造は、コンテナの4隅を固定するためのアンクル材で構成され、荷役時はコンテナのガイドとして、航海中はコンテナを固定する役割を担う。

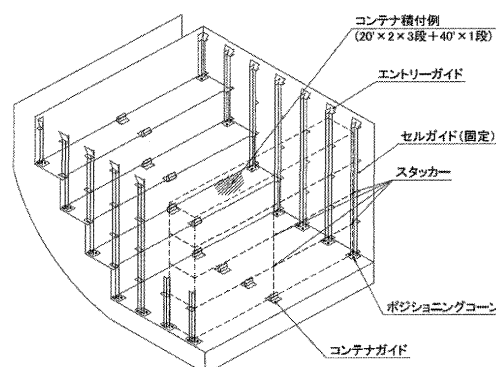


図5 コンテナの倉内積付け

3.2 「2章 コンテナ及び固縛金物の強度」

海上コンテナは、ISOによって規格が定められており、寸法、強度等の規格値が示されている。

3.2.1 コンテナの寸法

海上輸送に主に用いられる20'コンテナ、40'コンテナ、45'コンテナ等について最新のISO規格に定められている寸法を表1に示す。

表1 コンテナの寸法

種類	寸法(mm)			最大総質量, $R(kg)$
	長さ, L	幅, W	高さ, H	
1EEE	13,716	2,438	2,896	30,480
1EE			2,591	
1AAA	12,192	2,438	2,896	30,480
1AA			2,591	
1A			2,438	
1AX			<2,438	
1CC	6,058	2,438	2,591	30,480
1C			2,438	
1CX			<2,438	

(備考)

1EEE, 1EE : 45'コンテナ

1AAA, 1AA, 1A, AX : 40'コンテナ

1CC, 1C, 1CX : 20'コンテナ

1EEE, 1AAA : 背高コンテナ (高さ2896mm (9ft 6in))

1EE, 1AA, 1CC : 高さが2591mm (8ft 6in) のコンテナ

1A, 1C : 高さが2438mm (8ft) のコンテナ

1AX, 1CX : 高さが2438mm (8ft) 未満のコンテナ

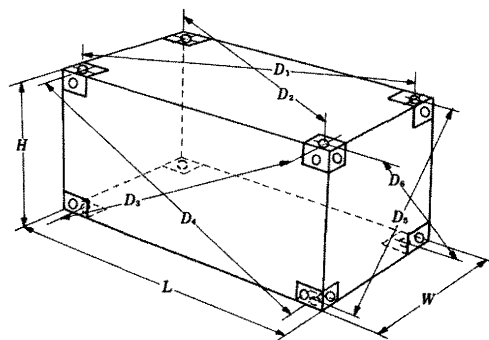


図6 コンテナの寸法

3.2.2 コンテナの強度

ISO規格では、船舶及び他の輸送機関に搭載されることを考慮に入れてコンテナの試験荷重が定められている。以下にISO規格に定められている主な試験荷重を示す。

(1) 積み重ね荷重

積み重ね荷重とはコンテナを積み上げた際に、最下段のコンテナに働く静的及び動的荷重のことを指し、最新のISOでは20'コンテナ、40'コンテナ、45'コンテナ共に3,767kNとしている。

(2) ラッキング荷重

ラッキング荷重とは、船体運動によって、コンテナの端壁及び側壁が内部の積荷及び上部に積付けられたコンテナから受けるコンテナを变形させるように働く水平方向荷重を指し、コンテナの端壁に対し150kN、側壁に対し75kNとしている。

3.2.3 コンテナ固縛用金物の種類と強度

コンテナの固縛用金物は大きく分けて、船体やハッチカバーに直接取り付けられる固定式固縛用金物とラッシングロッド、ツイストロック等の非固定式固縛用金物に分けられる。ガイドラインには固定式、非固定式金物に分けて各種固縛用金物の標準的な使用荷重及び破断荷重を示しているが、メーカー等によっては、これと異なる使用荷重及び破断荷重に基づいて試験される場合も少なくないことから、コンテナの積付け及び固縛に関する強度評価を行う際は、メーカーによって定められた使用荷重及び破断荷重を用いることとしている。

一般的に用いられている固縛用金物の概要を表2に示す。

3.3 「3章 積付け及び固縛における船体強度上の注意点」

3.3.1 甲板上にコンテナを積付ける場合の注意点

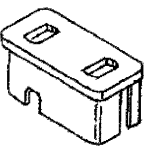
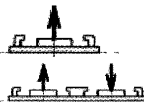
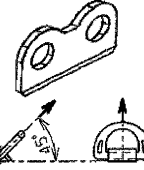
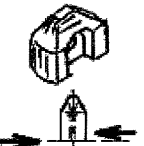
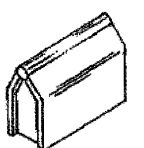
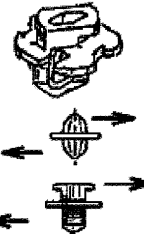
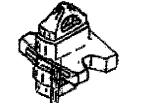
ハッチカバー、コンテナポスト及びそれらを支持する船体構造は、コンテナのスタックロードやラッシングロッドの張力等の荷重を考慮して補強が行われており、計画時に定められた範囲内で積付けを行う必要がある。また、コンテナには船体運動等により水平方向にも荷重が働くため、コンテナが積付けられる甲板及びハッチカバーにはモーメントが生じる。このモーメントの大きさはコンテナスタックの重心高さに依存することから、スタック高さ及びスタック内の重量分布をハッチカバーの設計条件とする場合がある。

3.3.2 船倉内にコンテナを積付ける場合の注意点

船倉内において、コンテナから受ける荷重の内、垂直方向荷重は二重底等により受け持たれ、セルガイドに働く水平方向荷重はセルガイドのサポートを介して船体構造に伝達される。

甲板上に積付けられたコンテナは、多くの場合、コンテナの積付け及び固縛強度によって制限を受けるが、船倉内はセルガイドによって固定されていることから、積付け及び固縛強度上の制約が少なく、甲板上に比べコンテナを多段に積付けることができる。各コンテナの規格上の積み重ね重量制限値に計画積付け段数を乗じた値を二重底等に対するスタックロードの制限値とすることが多い。また、40'コンテナベイに20'コンテナ2本を船長方向に並べて積付ける場合があるが、この場合、40'コンテナベイ中央部についても20'コンテナの計画積付け段数に応じて補強が行われている。

表2 固縛用金物の概要

名称	金物の概要	概略図
デッキソケット	コンテナの位置決め用の金物で、船体またはハッチカバー上に設けられ、ツイストロック等を用いて甲板上最下段のコンテナを固定する。	
スライディングベース	コンテナの位置決め用の金物で、コンテナを低い位置で積付ける場合に用いる。	
アイプレート	甲板やハッチカバー等の船体側に設置され、コンテナの移動を抑制するための固縛金物を連結使用できるような穴を持つプレート。	
ポジショニングコーン	コンテナの位置決め用金物で、最下段のコンテナを固定する。主に40'コンテナベイに20'コンテナ2本を積付ける場合に用いられる。	
コンテナガイド	40'コンテナベイに20'コンテナ2本を船長方向に並べて積付ける場合、セルガイドで固定されていないコンテナの移動を抑える。	
スタッカー	主に40'コンテナベイに20'コンテナ2本を積付ける場合に用いられ上下の20'コンテナの4隅に装備される金物で、上下の20'コンテナの水平方向の移動を抑える。	
ツイストロック	上下コンテナ4隅の隅金物間を上下方向、水平面内で固定する金物。	
ラッシングロッド	コンテナのラッキング及び浮き上がりを抑えるための金物で、通常、ロッドにターンバックルのような引っぱり装置を組み込み、コンテナの端壁に対角線上に用いられる。	
ターンバックル	固縛装置の緩みを取り、固縛のための張力を与える。	
アジャストフック	ラッシングロッドとターンバックルの中間に使用されるラッシング長さ調整のための金物。	

3.4 「4章 積付け及び固縛についての強度評価手法」

3.4.1 各コンテナに働く荷重の算定

本ガイドラインにおける強度評価手法では、コンテナに働く荷重として、静的荷重、動的荷重及び風荷重を考慮しており、検討対象船の主要目等から船体運動を算定し、それを基に船体加速度及びコンテナに働く慣性力を求めている。

風荷重に関しては、コンテナ各段において最舷側に積付けられたコンテナにのみ働くものとし、コンテナに働く風の正圧及び負圧を考慮している。

具体的な荷重の算定方法は「5章 積付け及び固縛検討に用いる設計荷重」において述べている。

3.4.2 コンテナの積付け及び固縛に関する強度評価概要

本ガイドラインの評価手法における強度評価項目は、コンテナ強度に加え、甲板上積付けの場合はコンテナ固縛金物強度、倉内積付けの場合は二重底のスタックロードとしている。また、コンテナ強度に関する評価項目として、甲板上に積付けられるコンテナに対しては、ラッキング力、せん断力、圧縮力及び浮き上がり力としているが、倉内に積付けられるコンテナに対しては、水平方向の荷重はセルガイドによって受け持たれると考えられるため、圧縮力及び40'コンテナベイに20'コンテナを積付けた場合のセルガイドで支持されないコンテナベイ中央部側の20'コンテナ端壁に生じるラッキング力のみを考慮している。

具体的な強度評価手法は「6章 コンテナの積付け及び固縛強度評価」において述べている。

3.5 「5章 積付け及び固縛強度検討に用いる設計荷重」

3.5.1 船体運動及び船体加速度

本ガイドラインにおける船体運動及び船体加速度は、本会の「コンテナ船の構造強度に関するガイドライン」を基に作成しており、設計条件は以下に基づく。

- (1) 波浪条件としては、約10⁸回（約25年）の波に遭遇することを考慮し、波浪テーブルに北大西洋をベースに作成されたIACSのデータを用いている。
- (2) 設計荷重を船舶が実際に遭遇する荷重に近づけるため、3次元影響及び大波高による非線形影響を考慮している。

また、横傾斜による静的荷重が、積付け及び固縛強度に大きく影響するため、安全代を確保するという観点から、ロールの傾斜角を20度以上としている。

船体運動及び船体加速度について、表3に示す試算データをを用いて行ったLR及びABS船級との比較計算結果を図7～9に示す。（グラフの横軸はデータ番号）

表3 試計算データ

データ番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
TEU	8600			8100			6500			4600			5000			5500		
船長(m)	313.8			302			283.8			282			281.4			262		
幅(m)	45.8			45.6			40			32.26			40			40		
深さ(m)	24.4			25			23.9			21.8			24.2			19.4		
方形係数	0.642			0.603			0.662			0.673			0.628			0.605		
メタセンタ高さ(m)	0.62	2.27	3.52	1.3	2.22	3.26	0.61	2.8	0.61	0.68	0.71	0.8	1.3	2.21	0.79	2.2	3.5	
航海速力(knot)	25			25.25			25			24.5			24.3			26.4		
データ番号	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
TEU	3100			2400			1700			930			560					
船長(m)	220			186			160			129.5			108.5					
幅(m)	32.2			30.6			27.6			25			18.5					
深さ(m)	17.1			16.8			14			11			8.8					
方形係数	0.609			0.634			0.684			0.637			0.732					
メタセンタ高さ(m)	0.68	1.25	1.7	0.62	0.72	0.79	0.89	1.33	1.44	1.6	1.78	0.36	0.45					
航海速力(knot)	22			21.5			19.7			17			15.5					

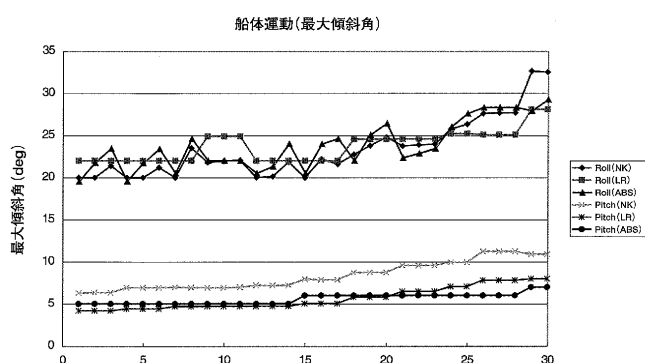


図7 船体運動（最大傾斜角）

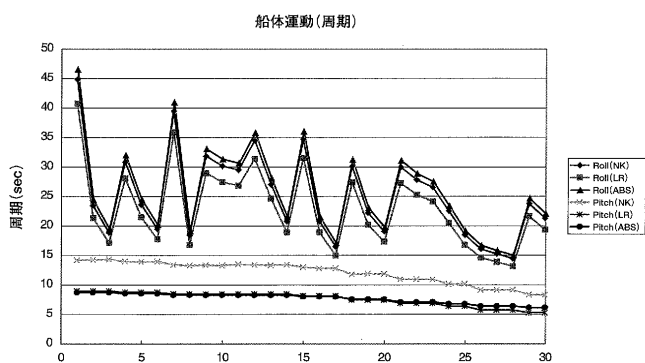


図8 船体運動（周期）

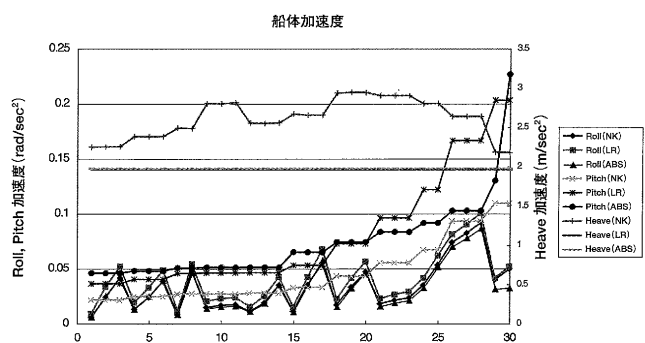


図9 船体加速度

3.5.2 コンテナに働く慣性力

コンテナに働く慣性力は、ピッチ、ロール、ヒープ等の船体運動の組合せから算定できるが、船体運動の同時性を考慮し、ピッチ及びロールが同時に最大となる場合は考えにくいことから設計条件として次の2条件を設定した。

（設計条件i）ピッチとヒープの組合せ（向かい波）

（設計条件ii）ロールとヒープの組合せ

（横波又は斜め追い波）

設計条件iは、ピッチ及びヒープの連成による上下方向加速度がほぼ最大となる短期海象、また、設計条件iiは、ロールによる船幅方向加速度がほぼ最大となる短期海象に基づいている。

上記2条件に基づく慣性力はいずれもヒープによる鉛直方向加速度とピッチやロールによる回転方向加速度の組合せによって算定することができ、鉛直方向加速度及び回転方向加速度の組合せは、以下の4ケースが考えられる。

- ① 鉛直方向加速度（上昇側）＋回転方向加速度（上昇側）
- ② 鉛直方向加速度（上昇側）＋回転方向加速度（下降側）
- ③ 鉛直方向加速度（下降側）＋回転方向加速度（上昇側）
- ④ 鉛直方向加速度（下降側）＋回転方向加速度（下降側）

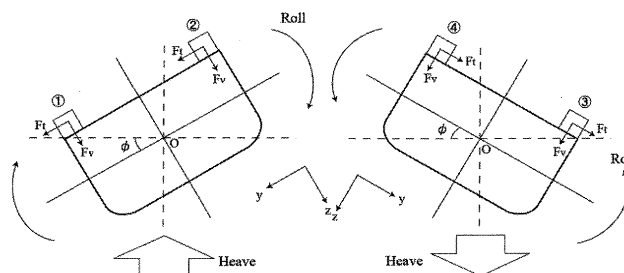


図10 鉛直方向加速度及び回転方向加速度の組合せ
（コンテナの船幅方向に対する評価）

本ガイドラインにおける強度評価手法では、コンテナの強度評価項目としてラッキング力、せん断力、圧縮力及び浮き上がり力を考慮しており、ラッキング力及びせん断力に対しては、水平方向荷重が最大となるケースが最も厳しいケースとなる。また、圧縮力及び浮き上がり力に対しては、垂直方向荷重に加えて、水平方向荷重による転倒モーメントを考慮する必要がある、圧縮力は垂直方向荷重及び水平方向荷重が最大となるケースが最も厳しくなる。浮き上がり力については垂直方向荷重が小さくかつ転倒モーメントが大きいケースが最も厳しい条件となるが、どのケースが最も厳しくなるかは一概には言えず船型、積付け条件等によって異なる。

以上より、本ガイドラインでは、上記4ケースの加速度の組合せを考慮することとした。(コンテナの各強度評価項目に関する算式等の解説は3.6.4に示す。)

参考として、強度評価項目毎に最も厳しくなると考えられる加速度の組合せケースを以下に示す。:

ラッキング力	: ①、②
せん断力	: ①、②
圧縮力	: ①
浮き上がり力	: ②、④

3.5.3 航路による慣性力の修正

本ガイドラインにおける船体運動及び船体加速度は、前述の通り IACS が定める北大西洋のデータに基づいている。これより穏やかな特定の航路を運航する場合、船体加速度等は最大波高に比例して小さくなるものと考えられる。ガイドラインには代表的な航路における最大波高及び波高の比を参考として示している。

3.5.4 コンテナに働く風荷重

風荷重は、固縛強度等に大きく影響を与える船幅方向のみ考慮している。また、コンテナ各段において最舷側以外に積付けられたコンテナに対する風荷重の影響は十分小さいものと考えられることから最舷側に積付けられるコンテナのみ風荷重を考慮している。

本ガイドラインでは、風荷重のうち、コンテナの風上側に働く荷重を正圧、風下側に働く荷重を負圧とし、負圧の大きさを正圧の半分としている。

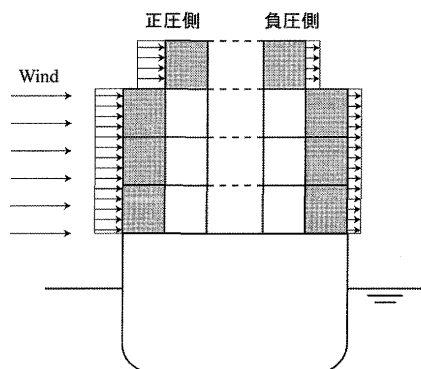


図11 コンテナに働く風加重

風荷重は、一般的に想定し得る条件を広くカバーするものとしてIMOのCode for the Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units (MODUコード)の関連規定を参考にして定めた。MODUコードでは、航行海域を制限されない船舶等の稼動状態に対し、36m/s以上の設計風速を用いて風荷重を検討している。本ガイドラインにおいても、特殊な海域、海象条件等により強い風を受けることが想定される場合は、個々に応じた設計風速を用いて風荷重を算定することを前提として設計風速を36m/s以上としている。

3.5.5 風荷重の働き方

本ガイドラインでは風荷重の正圧に加え、負圧を考慮しており、風荷重の働き方は、船体運動及びコンテナの積付け及び固縛強度上支配的な条件を考慮して、固縛強度上最も厳しくなるよう加速度の組合せケースに応じて正圧または負圧の働き方を以下の通り設定した。

- ① ヒープ加速度(上昇側) + ロール加速度(上昇側): 負圧
- ② ヒープ加速度(上昇側) + ロール加速度(下降側): 正圧
- ③ ヒープ加速度(下降側) + ロール加速度(上昇側): 負圧
- ④ ヒープ加速度(下降側) + ロール加速度(下降側): 正圧

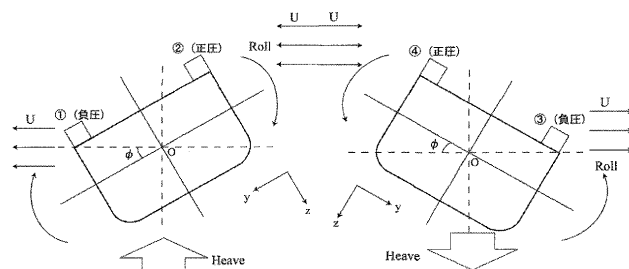


図12 加速度の組合せケースに応じた風荷重の働き方

参考として、強度評価項目毎に、風荷重を考慮して最も厳しくなると考えられる加速度の組合せケースを以下に示す。:

ラッキング力	: ②
せん断力	: ②
圧縮力	: ①、②
浮き上がり力	: ②、④

本ガイドラインでは、原則として、クロスラッシング(図13)やエクスターナルラッシング等の固縛方法を用いてコンテナを対称に固縛することを前提としているが、最舷側のコンテナスタックにおいては、風荷重による船体中央側へのコンテナの変形、倒壊等を防ぐことを目的として図14のようなロングロッドによる片側ラッシングが行われる場合がある。

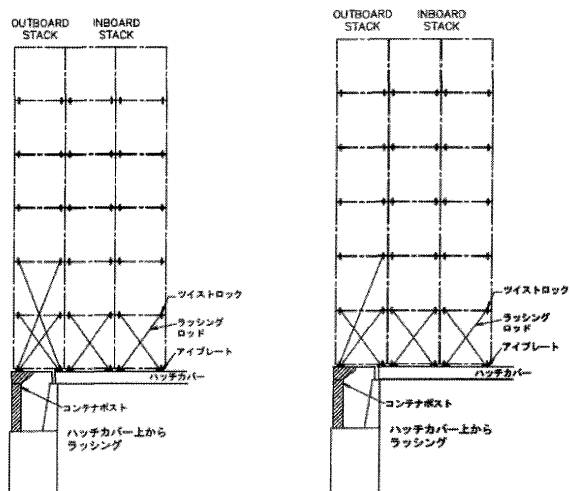


図13 クロスラッシング

図14 片側ラッシング

ラッシングロッドによる固縛では、原則として、ラッシングロッドの張力のみ考慮するため、片側ラッシングが行なわれた最舷側のコンテナスタックの強度評価を行う場合、加速度の組合せケースのうち、②及び④のケースでは、ラッシングロッドによる固縛力（張力）を考慮できるが、①及び③のケースでは固縛力を考慮せず強度評価を行う必要がある。

3.6 「6章 コンテナの積付け及び固縛強度評価」

3.6.1 コンテナ固縛強度評価に用いる剛性値

(1) コンテナの剛性値

本ガイドラインでは、固縛強度評価に用いる鋼製コンテナの剛性値の標準値を示しているが、これはNKが1988年に発行した「貨物の積付と固縛に関する指針」及び各船級協会の取り扱い等を参考に定めた。参考として、各船級協会で見られているコンテナの剛性値を表4に示す。

表4 コンテナの剛性値 (kN/mm)

	NK	LR	ABS	DNV	GL
Door end	3.7	3.43	3.73	3.85	3.70
Closed end	15.7	15.11	15.70	10.0	16.99
Side wall	—	5.59	5.79	10.0	—

(2) ラッシングロッドの剛性値

本ガイドラインでは、固縛に用いるラッシングロッドの剛性値 k_L を次式により算出している。

$$k_L = \frac{EA}{l} \quad (\text{kN/mm})$$

E：ラッシングロッドの弾性係数 (kN/mm²)

A：ラッシングロッドの断面積 (mm²)

l：ラッシングロッドの全長 (mm)

ラッシングロッドの弾性係数が与えられない場合を考慮し、弾性係数の標準値を102kN/mm²としている。これは、

日本造船研究協会（現在、日本船舶技術研究協会）「第234研究部会 船舶のカーゴセキュアリングシステムの研究」の報告書を参考に定めた。参考として、各船級協会において用いられているラッシングロッドの剛性値を表5に示す。

表5 ラッシングロッドの剛性値

		NK	LR	ABS	DNV	GL
ラッシングロッドの剛性値 (kN/mm)	ショートロッド	13.71	12.92	13.06	14.25	18.82
	ロングロッド	6.74	6.35	11.67	12.56	11.57
弾性係数 (kN/mm ²)	ショートロッド	102.0	96.1	97.1	106.0	140.0
	ロングロッド	102.0	96.1	176.6	190.0	175.0

(備考)

以下の寸法のラッシングロッドを用いて算定

ショートロッド：直径25mm 全長3,650mm

ロングロッド：直径22mm 全長5,750mm

3.6.2 コンテナの積付け及び固縛強度評価に用いる許容荷重

本ガイドラインに示すコンテナの許容荷重はISO規格に基づいているが、コンテナのコーナポストに働く引張荷重及びコンテナの長手方向のラッキングに対しては、これまでの実績及び各船級協会等の取り扱いを参考にISO規格に比べて緩和している。

また、ラッシングロッド等の固縛金物の許容荷重に関しては、多種のロッドが採用されていること、また、ラッシングパターンによってロッドに働く荷重等が異なることから、用いる固縛金物に対して金物メーカーが示す安全使用荷重を許容荷重として用いることとしている。

3.6.3 コンテナに働く荷重

荷重としては静的荷重、船体運動による慣性力及び風荷重を考慮しており、静的荷重及び慣性力はコンテナの重心位置に働き、風荷重は、コンテナの側面に一様に働くものとしている。コンテナに働く荷重は、コンテナのフレームを通じてコンテナの各部に伝達され、コンテナに働く水平方向慣性力を F_L 、垂直方向慣性力を F_V 、風荷重を P とするとコンテナに働く荷重は表6及び図15に示すようにコンテナ各部に伝達される。なお、風荷重は、甲板上の最舷側に積付けられたコンテナのみに働く。

表6 コンテナ各部に働く荷重

荷重の種類	荷重の作用点	コンテナ端壁/側壁	コンテナ端壁/側壁上面	コンテナ端壁/側壁下面
水平方向慣性力	重心位置 F_t	$\frac{F_t}{2}$	$h_t \frac{F_t}{2}$	$(1-h_t) \frac{F_t}{2}$
風荷重	コンテナ側面 P	$\frac{P}{2}$	$\frac{P}{4}$	$\frac{P}{4}$
荷重の種類	荷重の作用点	コンテナの各コーナーポスト		
垂直方向慣性力	重心位置 F_v	$\frac{F_v}{4}$		

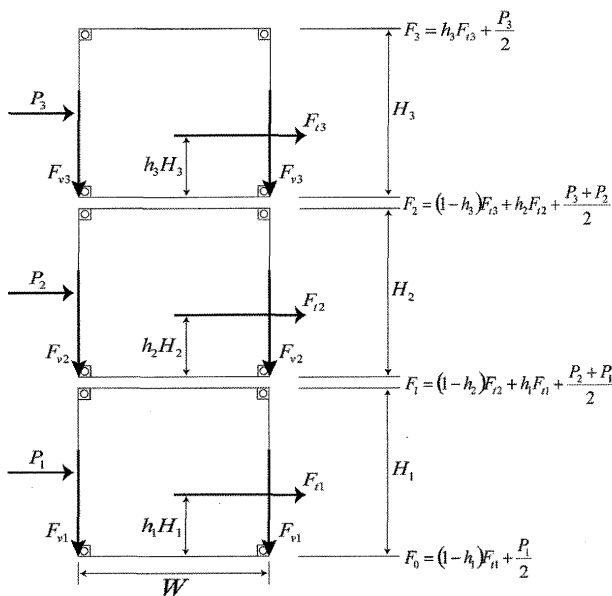


図15 3段積みの場合の荷重分布例（甲板上積付け）

3.6.4 甲板上に積付けるコンテナの積付け及び固縛強度評価

甲板上にコンテナを積付ける場合、強度評価の対象項目として以下の項目を考慮しており、各項目が許容荷重を超えないように積付け及び固縛を行う必要がある。なお、以下に示す算式は n 段積みのコンテナスタックにおける j 段目のコンテナに働く力を示している。

(a) ラッキング力

ラッキング力とは、船体運動等によって、コンテナの端壁及び側壁を変形させるように働く水平方向荷重を指す。コンテナスタック上部に積付けられたコンテナの横滑り荷重が下部に積付けられたコンテナのラッキング力として働くことから、ラッシングロッド等による固縛が行われない場合、コンテナスタック下部に積付けられたコンテナ程、働くラッキング力は大きくなる。

$$\text{ラッキング力} : \sum_j^n F_i$$

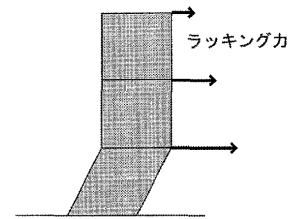


図16 ラッキング力

(b) セン断力

上下のコンテナ間に設けられたツイストロックには、コンテナから受ける水平方向荷重によってセン断力が生じる。

固縛を行わない場合、コンテナスタック下部に積付けられたコンテナ程、働くセン断力は大きくなる。

$$\text{セン断力} : 0.50 \sum_j^n (F_{ti} + P_i)$$

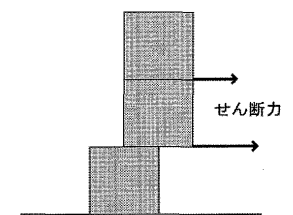


図17 セン断力

(c) 圧縮力

コンテナには、静的荷重、垂直方向の慣性力及び転倒モーメントが働き、コンテナのコーナーポストには圧縮力が生じる。

コンテナスタック上部に重いコンテナを積付ける程、転倒モーメントは大きくなることから、圧縮力は大きくなる。

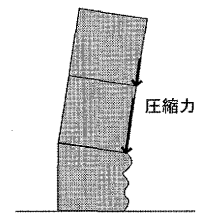


図18 圧縮力

$$\text{圧縮力} : \sum_j^n F_{vi} + \frac{F_n}{W} \cdot \sum_j^n H_i + \frac{F_{(n-1)}}{W} \cdot \sum_j^{n-1} H_i + \dots + \frac{F_j}{W} \cdot H_j$$

(d) 浮き上がり力

垂直方向荷重が小さく転倒モーメントが大きい場合、浮き上がり力が生じる。

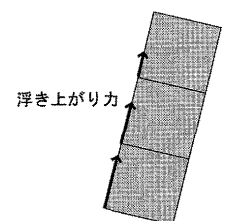


図19 浮き上がり力

$$\sum_j^n F_{vi} - \frac{F_n}{W} \cdot \sum_j^n H_i - \frac{F_{(n-1)}}{W} \cdot \sum_j^{n-1} H_i - \dots - \frac{F_j}{W} \cdot H_j$$

3.6.5 倉内に積付けるコンテナに働く荷重

倉内に積付けるコンテナに働く荷重は、原則、甲板上に積付けるコンテナに働く荷重と同様に算定する。ただし、倉内に積付けられていることから、風荷重は考慮しない。また、40' コンテナベイに20' コンテナを船長方向に2本並べて積付け、20' コンテナスタックの上部に1段以上の40'

コンテナを跨らせて積付ける場合、40' コンテナによって20' コンテナの移動及び変形等が抑えられることから、20' コンテナのセルガイド側とベイ中央側のセルガイドで支持されない端壁に対する船幅方向荷重の分担率は変わる。本ガイドラインでは、セルガイドで支持される側で2/3、セルガイドで支持されない側で1/3の荷重を受け持つものとしている。

3.6.6 倉内に積付けるコンテナの積付け及び固縛強度評価

甲板上とは異なり、倉内に積付けられるコンテナはセルガイドによって支持されており、多少の浮き上がりでは、コンテナの損傷、崩壊等に繋がらないことから、倉内に積付けられるコンテナに対して、浮き上がり力を強度評価項目としていない。

(1) 専用倉への積付け

20' コンテナや40' コンテナ専用倉へ専用倉の大きさと同サイズのコンテナを積付ける場合、水平方向荷重はセルガイドによって支持されること、また上述の通り浮き上がり力は強度評価項目としていないことから、強度評価の対象項目として圧縮力のみ考慮しており、圧縮力が許容荷重を超えないように積付け及び固縛を行う必要がある。なお、二重底に対するスタックロードに関しては、一般的に専用倉では各コンテナの規格上の積み重ね重量制限値に計画最大積付け段数を乗じた値を二重底等の設計荷重としていることから、計画積付け段数を超えた積付けを行わない限り、原則として、特別な配慮は必要ない。

(a) 圧縮力

コンテナの4隅はセルガイドによって支持されることから、コンテナに働く船幅方向の荷重はセルガイドによって受け持たれる。ただし、静的荷重、垂直方向の慣性力及び転倒モーメントは働くことから圧縮力が生じる。

$$\text{圧縮力} : \sum_j^n F_{vi} + \frac{F_n}{W} \cdot \sum_j^n H_i + \frac{F_{(n-1)}}{W} \cdot \sum_j^{n-1} H_i + \dots + \frac{F_j}{W} \cdot H_j$$

(2) 40' コンテナベイへの20' コンテナの積付け

40' コンテナベイへ20' コンテナを積付ける場合、強度評価の対象項目として以下の項目を考慮しており、各項目が許容荷重を超えないように積付け及び固縛を行う必要がある。

(a) ラッキング力

セルガイド側のコンテナ端壁はセルガイドによって支持されていることからラッキングに対する特別な考慮は必要ないが、ベイ中央側のコンテナ端壁ではラッキングに対する考慮が必要となる。

$$\text{ラッキング力} : \sum_j^n F_i$$

(b) 圧縮力

セルガイドで支持される側の端壁においても静的荷重、垂直方向の慣性力及び転倒モーメントは働くことから圧縮力が生じる。

$$\text{圧縮力} : \sum_j^n F_{vi} + \frac{F_n}{W} \cdot \sum_j^n H_i + \frac{F_{(n-1)}}{W} \cdot \sum_j^{n-1} H_i + \dots + \frac{F_j}{W} \cdot H_j$$

(c) 二重底のスタックロード

コンテナが積付けられる二重底やひな壇部分は、あらかじめ計画されたスタックロードに応じて補強されており、40' コンテナベイコーナ部及び中央部の積み重ね制限荷重は個船毎に定められている。従って、計画時と異なる積付けパターンを行う場合、特に注意が必要となる。

40' コンテナベイコーナ部の積み重ね荷重①：

$$(m_1 + m_2 + m_3 + \dots) / 4 + (M_1 + M_2 + \dots) / 4$$

40' コンテナベイ中央部の積み重ね荷重②：

$$(m_1 + m_2 + m_3 + \dots) / 4$$

なお、ガイドラインの表6.3及び表6.4では、40' コンテナベイに20' コンテナを積付ける際に、20' コンテナスタック最上部を40' コンテナでキャップする場合、キャップしない場合に分けて積付け可能なコンテナ重量を目安として示している。当該表は、表3に示す船型データを用いた試算結果に基づいて作成されており、試算時の条件は以下の通りとなっている。

- (1) 20' コンテナ及び40' コンテナの各段のコンテナ重量は同重量としている。
- (2) コンテナの許容荷重はISO 1496-1:1990のコンテナに対応したものを使用
- (3) 40' コンテナでキャップする場合、20' コンテナスタックを40' コンテナ1段でキャップしている。
- (4) コンテナベイ中央部の積み重ね制限荷重は120tonとしている。

参考としてガイドラインによる試算結果とLR規則との比較の一例を図20及び図21に示す。

積付け可能なコンテナの重量は、船体加速度にもよるが、積付け段数が少ない場合、ベイ中央部のスタックロードまたはラッキング力で決まり、積付け段数が多くなると圧縮力で決まる傾向がある。これは、ガイドラインの表が、各段に積付けるコンテナを同重量として算定していることから、積付け段数が多くなると転倒モーメントの影響が大きくなり、圧縮力が大きくなることに起因している。コンテナスタックの下部に重いコンテナを積付け、上部に軽いコンテナを積付ける場合、表に示す目安より多くの貨物をコンテナに積載することができる場合がある。

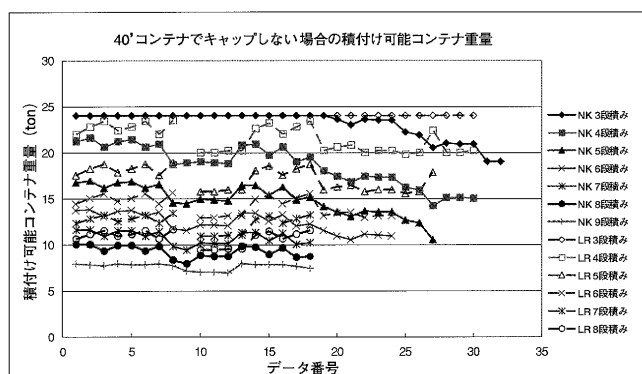


図20 40'コンテナでキャップしない場合の積付け可能コンテナ重量

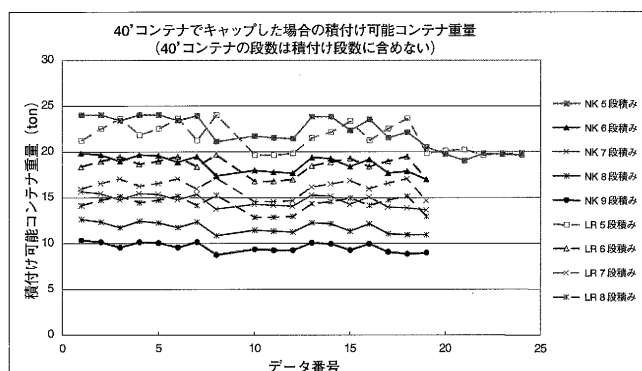


図21 40'コンテナでキャップした場合の積付け可能コンテナ重量

4. まとめ

本ガイドラインは、コンテナの安全かつ合理的な積付け及び固縛のための参考となるよう、2008年度研究開発プロジェクトの一環として開発が行われました。本ガイドラインが関係する方々に寄与できれば幸いです。

謝辞

本ガイドラインの作成にあたり、様々なご助言を頂いた横浜国立大学 井上特任教授に深謝するとともに、ガイドラインの開発及びレビューにご協力頂いた造船所、金物メーカー及び船主の皆様方に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本海事協会：貨物の積付けと固縛に関する指針 昭和63年 1988
- 2) 日本海事協会：コンテナ運搬船の構造強度に関するガイドライン 2003
- 3) 日本造船学会 造船設計・技術研究委員会 造船設計部会：P87 コンテナ船艙装の設計指針
- 4) 日本造船研究会 第234研究部会：船舶のカーゴセキュアリングシステムの研究平成11年度報告書（総合報告書）
- 5) Lloyd's Register: Rules and Regulation for the Classification of Ships
Cargo Securing Arrangements Part 3, Chapter 14
- 6) American Bureau of Shipping: Guide for Certification of Container Securing Systems