

SR 234

SHIP RESEARCH SUMMARY REPORT

船舶のカーゴセキュアリングシステムの研究 成 果 報 告 書

平成12年3月
社団
法人 日本造船研究協会

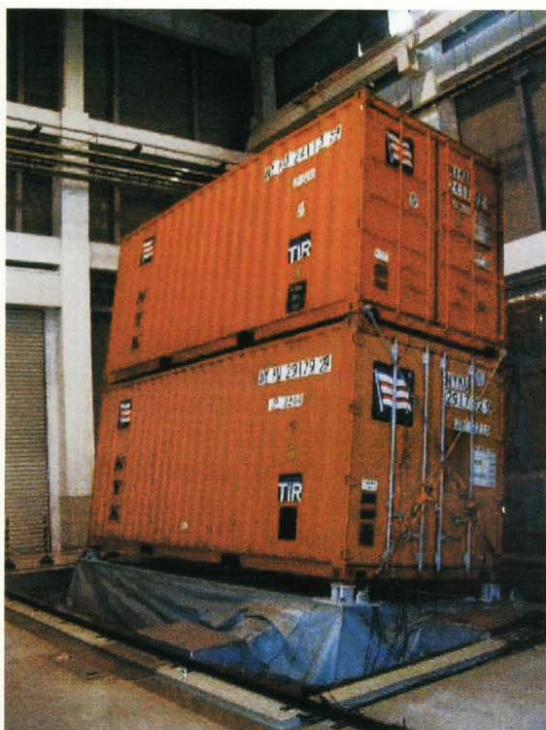


写真 1. 大型輸送環境再現装置による
コンテナ傾斜試験

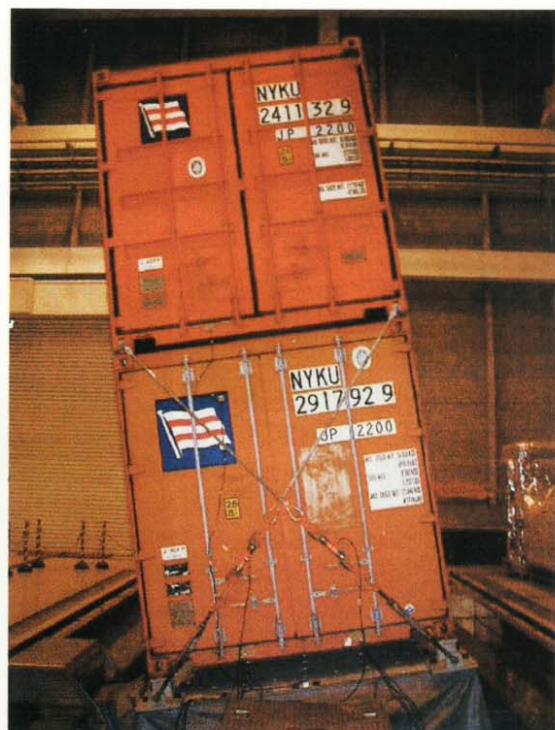


写真 2. 大型輸送環境再現装置による
コンテナ傾斜試験



写真 3. 大型輸送環境再現装置による自動車傾斜試験

大型輸送環境再現装置によるコンテナ及び自動車の固縛計算モデル検証の為の陸上試験。この試験によって固縛モデルのばね定数等を計測し、計算モデル開発の為のデータを取得すると共に、固縛計算モデルの検証を行った。

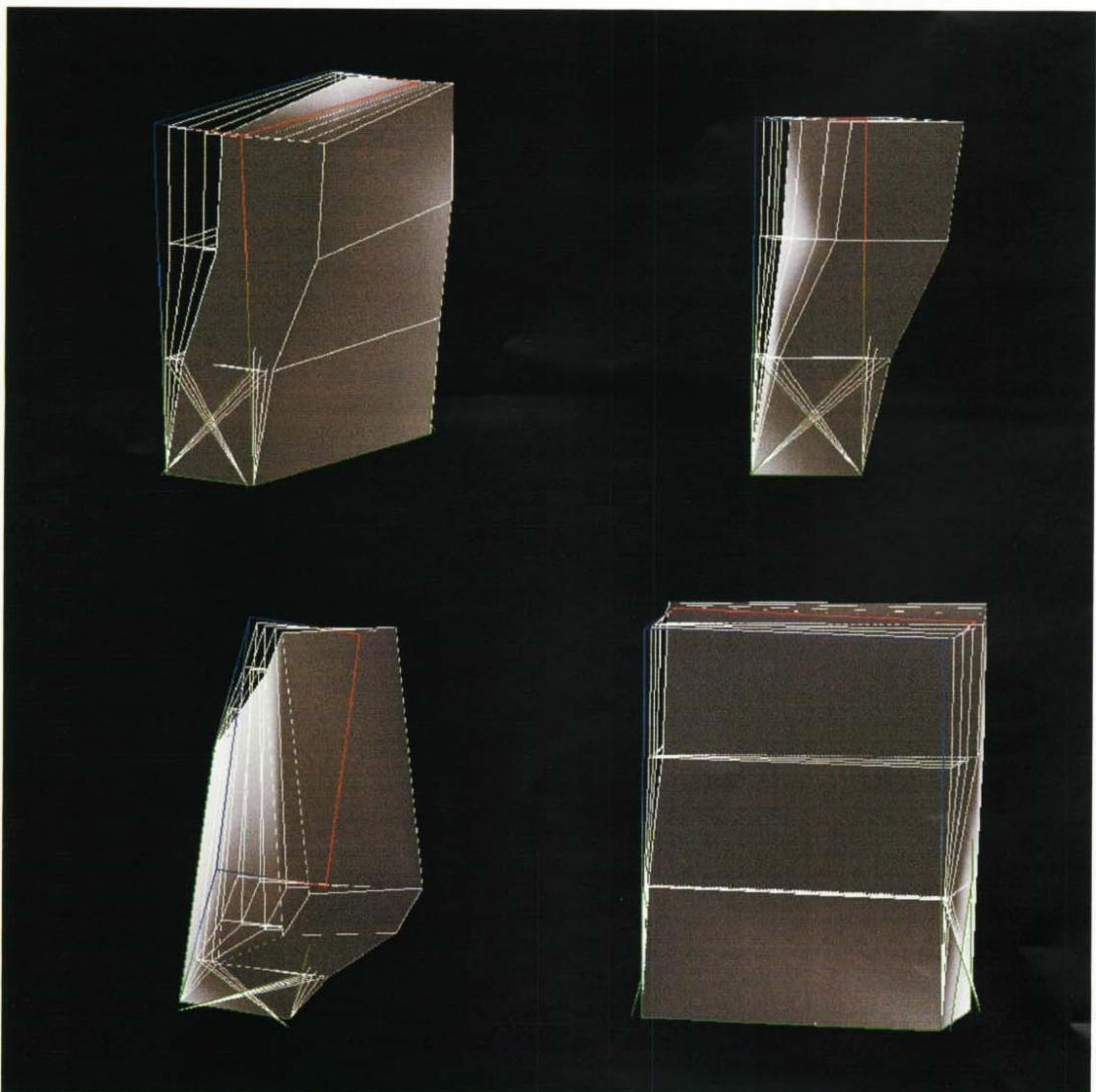


図1. コンテナ固縛シミュレーション計算結果可視化例1

上図は、実船計測に使用した甲板上3段積みコンテナ（single cross lashing）の場合をシミュレーション計算した結果の可視化例である。コンテナに加わる外力により、各段のコンテナの変位をシミュレーションしている。変位量は実際の100倍に拡大している。

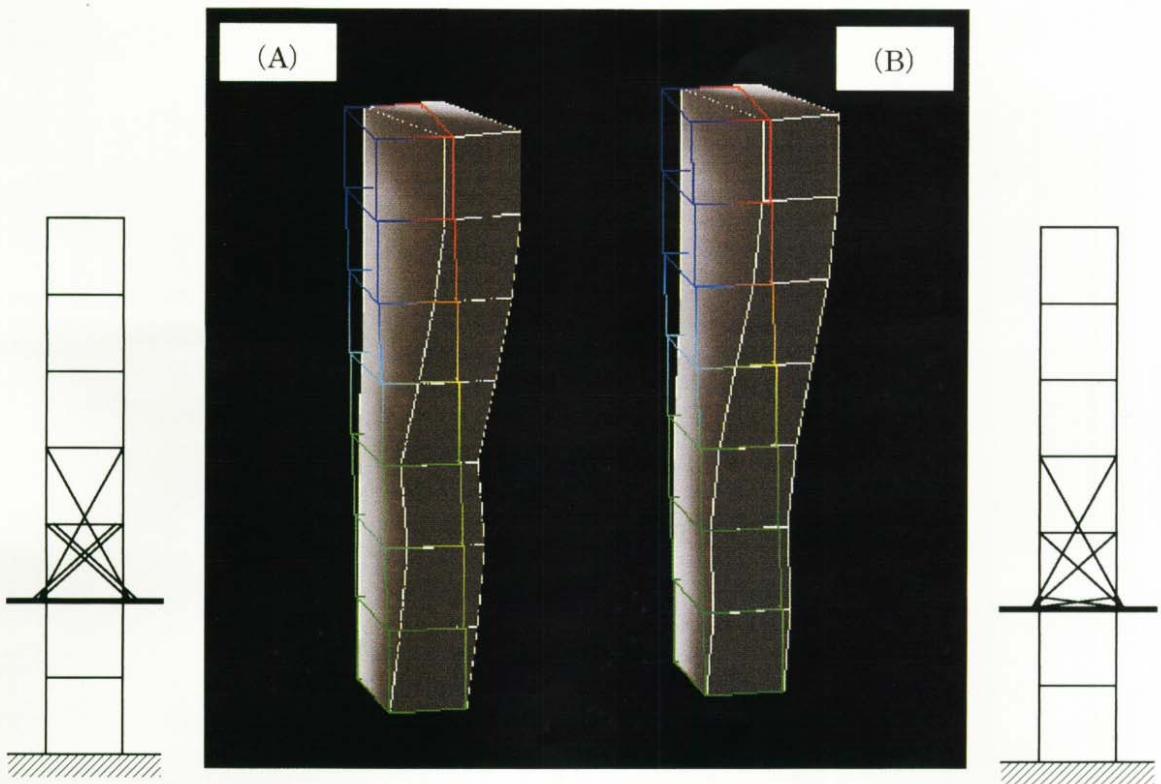


図2. コンテナ固縛シミュレーション計算結果可視化例2

3段目下部高さにラッシングブリッジを設置し固縛した7段積みコンテナの場合をシミュレーション計算した結果の可視化例である。コンテナに加わる外力により、各段のコンテナの変位をシミュレーションしている。変位量は実際の100倍に拡大している。

ラッシングパターンはそれぞれの図の横に示した。

(A) ; Parallel double cross lashing

(B) ; Horizontal + Double cross lashing

SR234 船舶のカーゴセキュアリングシステムの研究

要 約

Ship Research Panel 234

"Study on Cargo Securing System on Ship"

Summary

To reduce the risk of cargo losses, Cargo Securing Manual (CSM) is required since January 1,1998 by SOLAS Convention. To draw up CMS, the securing arrangements should be evaluated from the view point of actual forces acting on cargoes and securing devices.

To evaluate securing arrangements of container ships, several classification societies published the standards. Each standard involves its specific procedures as simplified formulae. These formulae are easy to use, however, their applicability to extraordinary sized ships and to new types of securing arrangements are not clear. For pure car carriers, there is no official formulae for evaluation of securing arrangements of cars established by IMO or classification societies. The purpose of the research project is to develop new method for evaluating securing arrangements of containers on decks and cars on pure car carriers.

To evaluate the methods of cargo securing, acceleration acting on cargoes should be estimated. To develop methods for estimating acceleration, we carried out experiments on container ships and pure car carriers for a long time. As a method for estimating the acceleration, we examined the applicability of the long-term distribution calculation of acceleration and acceleration ellipses/ellipsoids described in the IGC Code, based on the results of the experiments and long-term distribution calculation, i.e., the direct linear calculation, of the forces acting on cargoes and securing devices.

As the methods for evaluating forces acting on cargoes and securing devices under the given acceleration condition, we developed some numerical simulation programs taking the non-linear behavior of securing devices into consideration. Simultaneously, we carried out the experiments on the evaluation of forces acting on cargo securing devices using Multi Cargo Simulator, i.e., the large motion platform owned by NYK Logistics Technology Institute, and experiments in container ships and pure car carriers. Based on the results of these experiments, the effectiveness of the numerical simulation programs were confirmed.

Using the developed methods for evaluating securing arrangements, trial design of a large container ship and new securing arrangements of containers on the deck was carried out. Furthermore, effective securing method for cars in pure car carriers was investigated.

1. 研究の目的及び目標

現在、国際海事機関は船舶に貨物固縛マニュアルの搭載を義務づけているが、国際的に統一された貨物の固縛評価手法は未だ確立されていない。

貨物の固縛評価手法はコンテナ船を対象として多くの船級協会により示されているものの、評価手法がそれぞれ異なり、同一の条件であっても計算結果にかなりの差異が生ずること、基礎となる考え方が示されていないため、近年の大型コンテナ船で採用されている新しい固縛方式等への適用に難点であること、等の問題点がある。また、自動車専用船を始めとする他の船舶においては各船級協会による適当な評価手法が存在せず、船会社の 実績に基づいた積み付けが行われているのが実状である。

本研究は、これらの問題点を解決し、可能な限り明確な根拠に基づき、さまざまな固縛システムに適用可能な貨物の固縛評価手法を提案して、船舶の安全運航を前提とした輸送効率の向上に貢献することを目的としている。

2. 研究の内容

本研究では、固縛システムとして一般的に決まった固縛方法が用いられているコンテナ船と自動車専用船を対象として外力評価手法と固縛力評価手法の調査研究を行い、実船試験と陸上試験の助けも借りて新しい外力加速度並びに固縛力評価手法を提案し、新しい固縛システムを適用した大型コンテナ船にてその有用性を確認した。

(1) コンテナ船における外力評価手法の調査研究

各船級協会の外力評価式による加速度計算結果と直接計算による計算結果を比較した結果、各船級によって計算結果はかなりバラツキがあるものの、直接計算の結果と比較して大きく異なるものではない事を確認した。

実船試験により上甲板上に積載したコンテナに加わる加速度、並びに固縛装置の張力等を定量的に把握することができた。

直接計算は実船計測結果と概ねよい一致を示しており、良い推定結果を与えることを確認した。

(2) コンテナ船における固縛力評価手法の調査研究

各船級協会における固縛力評価手法について固縛力にどの程度の差異が生ずるかを確認した。

コンテナ固縛力計算モデルとして二次元と三次元でそれぞれ線形と非線形の計4つの計算モデルを開発した。

実船計測結果並びに大型輸送環境再現装置による傾斜試験結果と固縛力計算モデルの計算結果を比較したところ、加速度がある一定の値を超えない範囲では、三者はよく一致しているが、加速度がある値を超えると実測値が計算値より大きくなることがあることが確認された。

(3) コンテナ船における新しい外力・固縛力評価手法の提案

加速度の周波数応答関数計算から三軸方向加速度の長期予測値を求め、加速度楕円体を適用して外力加速度を評価する方法を提案した。

新しいコンテナ船の固縛力評価手法として三次元非線形モデルを提案した。

(4) 新型コンテナ船の試設計

新しい固縛システムを適用した世界最大級のコンテナ船の試設計を行い、新しい貨物固縛評価手法を使って従来にないコンテナ積み付け方法を合理的に解析できることを確認した。

(5) 自動車専用船における外力加速度並びに固縛力評価手法の調査研究

既存の外力評価手法による加速度計算と直接計算による加速度の計算結果を比較した。

実船試験により自動車に加わる加速度、並びにラッシングベルトの張力等を定量的に把握することができた。

(6) 自動車専用船における新しい固縛力評価手法の提案

三次元非線形の自動車固縛力計算モデルを開発した。

同計算モデルによる計算結果と大型輸送環境再現装置による傾斜試験結果並びに実船計測結果を比較し、三者は概ね良い一致を示していることを確認した。

自動車専用船の新しい固縛力評価手法として、上記計算モデルを用いて、固縛装置の張力、甲板上におけるタイヤの滑り等を評価することを提案した。

3. 成果の活用

本研究により、貨物に作用する加速度の評価手法及び所与の加速度条件下において貨物や固縛装置に作用する各種の力の評価手法を示した。

甲板上コンテナの新固縛評価手法は、従来とは異なる固縛方式にも適用可能であることから、大型コンテナ船や新固縛方式の設計に資すると考える。

自動車専用船の固縛においては、固縛装置に作用する力と足回りに作用する力の定量的な評価が可能になった。本研究で提案した自動車専用船の新固縛評価方法は、今後船級協会等が自動車専用船に関する固縛評価基準を作成する際の基礎となり得る。

はしがき

本成果報告書は、日本財團の補助事業として、日本造船研究協会第234研究部会において、平成9年度から平成11年度の3カ年計画で実施した「船舶のカーゴセキュアリングシステムの研究」の成果を取りまとめたものである。

第234研究部会 委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	藤野 正隆 (東京大学)	
代表幹事	保坂 治幸 (NYK輸送技術研究所)	
委員	影本 浩 (東京大学)	角 善晴 (日本郵船)
	横尾 雅俊 (商船三井)	大竹 輝幸 (商船三井)
	坂本 淳 (日本海事協会)	熊野 厚 (日本海事協会)
	形部 聖一 (日本海事協会)	齋藤 和彦 (日本海事協会)
	増田 恵 (日本船主協会)	上谷 秀雄 (三井造船)
	山口 信之 (三菱重工業)	平野 龍夫 (新来島どっく)
	川合 良穂 (新来島どっく)	佐々木 高 (今治造船)
	山上 和政 (石川島播磨重工業)	小山田 司 (川崎重工業)
	成行 英司 (川崎重工業)	小田 正 (光栄金属工業)
	太田 進 (船舶技術研究所)	坂本 宗彦 (NYK輸送技術研究所)
	安部 浩二 (NYK輸送技術研究所)	中村 朋宏 (NYK輸送技術研究所)

第234研究部会幹事会 委員名簿

(敬称略、順不同)

主査	保坂 治幸 (NYK輸送技術研究所)	
委員	藤野 正隆 (東京大学)	影本 浩 (東京大学)
	角 善晴 (日本郵船)	熊野 厚 (日本海事協会)
	上谷 秀雄 (三井造船)	

第234研究部会WG1委員名簿

(敬称略、順不同)

主幹	影本 浩 (東京大学)	
事務員	上谷 秀雄 (三井造船)	角 善晴 (日本郵船)
	保坂 治幸 (NYK輸送技術研究所)	大竹 輝幸 (商船三井)
	横尾 雅俊 (商船三井)	形部 聖一 (日本海事協会)
	坂本 淳 (日本海事協会)	山口 信之 (三菱重工業)
	齋藤 和彦 (日本海事協会)	川合 良穂 (新来島どっく)
	平野 龍夫 (新来島どっく)	小山田 司 (川崎重工業)
	佐々木 高 (今治造船)	
	成行 英司 (川崎重工業)	中島 喜之 (石川島播磨重工業)

小田 正 (光栄金属工業)
安部 浩二 (NYK輸送技術研究所)
中村 朋宏 (NYK輸送技術研究所)

太田 進 (船舶技術研究所)
坂本 宗彦 (NYK輸送技術研究所)

第234研究部会WG2 委員名簿

(敬称略、順不同)

主査	藤野 正隆 (東京大学)	
幹事	熊野 厚 (日本海事協会)	
委員	保坂 治幸 (NYK輸送技術研究所)	横尾 雅俊 (商船三井)
	大竹 輝幸 (商船三井)	増田 恵 (日本船主協会)
	山口 信之 (三菱重工業)	中島 喜之 (石川島播磨重工業)
	太田 進 (船舶技術研究所)	安部 浩二 (NYK輸送技術研究所)
	坂本 宗彦 (NYK輸送技術研究所)	中村 朋宏 (NYK輸送技術研究所)

討議参加者

中村 崇 (日本海事協会)	石橋 公也 (日本海事協会)
森田 幹 (商船三井)	富山 茂 (商船三井)
迫田 昌典 (日本船主協会)	黒田 敏一 (日本船主協会)
桜田 康夫 (三井造船)	森 英男 (三菱重工業)
梶原 史朗 (川崎重工業)	末岡 育人 (川崎重工業)
脇山 典広 (川崎重工業)	渡邊 博志 (石川島播磨重工業)
佐藤 和男 (石川島播磨重工業)	早間 和春 (光栄金属工業)

事務局(日本造船研究協会)

山内 康勝 村上 好男 武田 啓雄

目 次

1. 研究の目的および目標.....	1
2. 研究の内容.....	2
2.1 コンテナ船における外力評価手法の調査研究	2
2.2 コンテナ船における固縛力評価手法の調査研究	5
2.3 コンテナ船における新しい外力加速度・固縛力評価手法の提案	8
2.4 新型コンテナ船の試設計	10
2.5 自動車専用船における外力並びに固縛力評価手法の調査研究	13
2.6 自動車専用船における新しい固縛力評価手法の提案	13
3. 成果のまとめ.....	15
4. 成果の活用.....	17

1. 研究の目的及び目標

コンテナ船の甲板上に積載されたコンテナの流出事故の続発を契機として、国際海事機関 (International Maritime Organization) は固縛の不備による事故防止を目的として1998年1月1日以降、船舶に貨物固縛マニュアル(Cargo Securing Manual)の搭載を義務づけている。

この貨物固縛マニュアルの中には固縛装置の配置、数、固縛方法および固縛の安全性を定量的に評価した結果を記載する必要があるが、国際的に統一された固縛評価手法は未だ確立されていない。

現在、貨物の固縛評価手法はコンテナ船を対象として多くの船級協会により示されているものの、評価手法がそれぞれ異なり、同一の条件であっても計算結果にかなりの差異が生ずること、基礎となる考え方が示されていないため、近年の大型コンテナ船で採用されているラッシングブリッジを用いた新しい固縛方式等への適用に難点があること、等の問題点がある。

また、自動車専用船を始めとするその他の船舶においては各船級協会にも適当な評価手法が存在せず、船会社の実績に基づいた積み付けが行われているのが実状である。

本研究は、これらの問題点を解決し、可能な限り明確な根拠に基づき、さまざまな固縛システムに適用可能な貨物の固縛評価手法を提案して、船舶の安全運航を前提とした輸送効率の向上に貢献することを目的としている。

本研究の具体的研究目標は以下の通りである。

- ① 既存の外力評価手法について直接計算結果との比較によりその信頼性を評価する。
- ② 外力加速度評価式について新しい合理的な評価法を見出す。
- ③ コンテナ船と自動車専用船を対象として、新しい固縛力評価手法を提案する。
- ④ コンテナ船と自動車専用船を対象として、貨物を積載した状態で実船試験を行い、貨物に作用する加速度、固縛装置の張力等を計測する。
- ⑤ 新しい固縛力評価手法の計算結果を実船試験結果並びに大型輸送環境再現装置 (MCS) を用いた試験結果により検証する。
- ⑥ 新固縛システムを採用した大型コンテナ船に新固縛評価手法を適用し、その有用性を確認する。

2. 研究の内容

本研究では、固縛システムとして一般的に決まった固縛方法が用いられているコンテナ船と自動車専用船を対象として外力評価手法と固縛力評価手法の調査研究を実施した。

2.1 コンテナ船における外力評価手法の調査研究

(1) 各船級協会の外力評価手法

各船級協会による外力評価手法の特徴をより理解しやすくするために、フローチャートを作成した。図2.1-1に代表例としてロイド船級協会の計算フローを示すが、各船級の式ともまず船の主要寸法から外力加速度を求め、次に固縛力を求める流れになっていることを確認した。

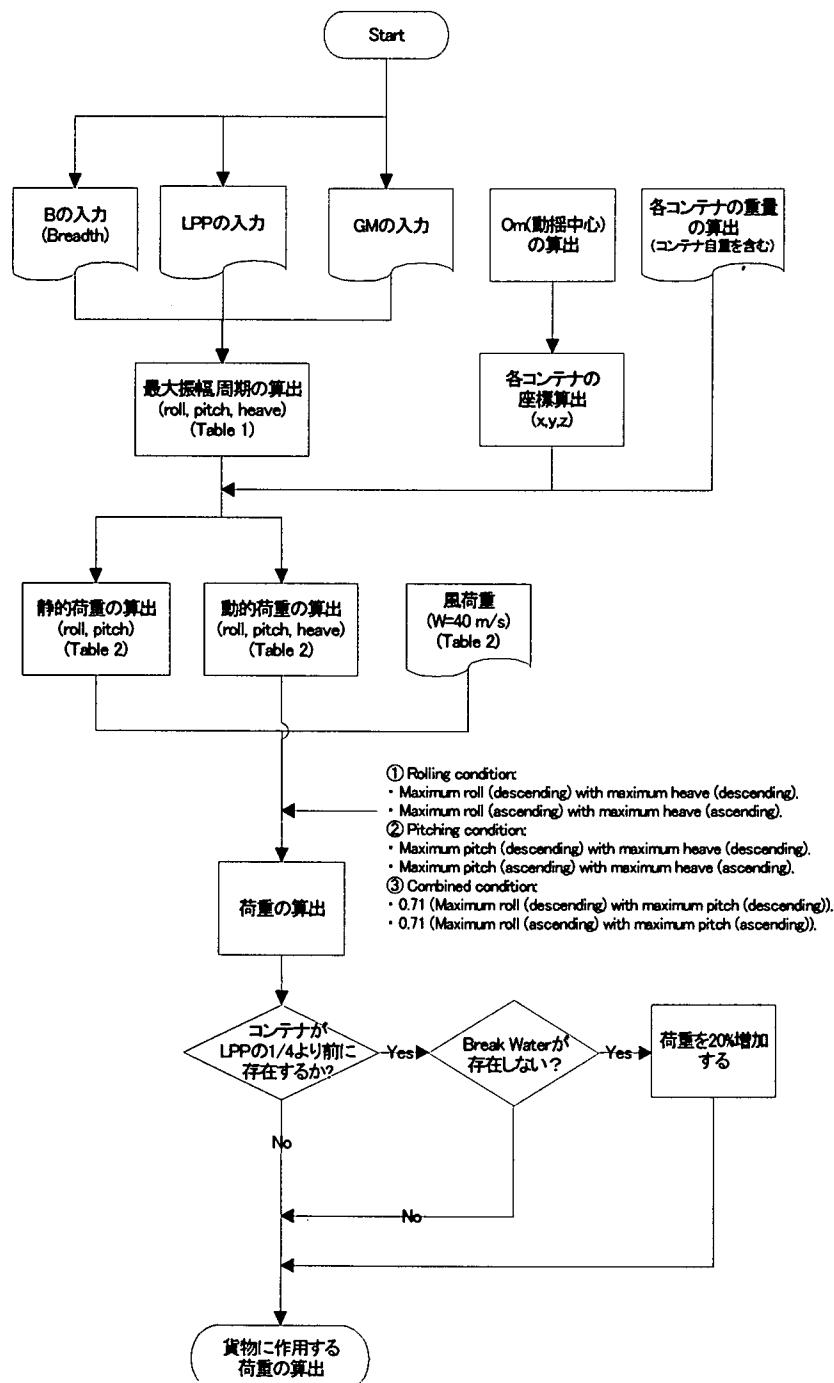


図2.1-1 ロイド船級協会の加速度計算フロー

(2) 各船級協会の外力評価式と直接計算結果の比較

実船計測を行ったコンテナ船を対象として、各外力評価手法による加速度の試計算を加速度の船長方向の分布、船横方向の分布などパラメトリックスタディにより行うと共に、ストリップ法を用いた直接計算による加速度の計算結果と比較した。

例えば、図2.1-2は船級協会の外力評価式と直接計算による加速度の計算結果を比較したものであるが、各船級の計算結果はかなりバラツキがあるものの、直接計算の結果と比較して大きく異なるものではないことを確認した。

また、表2.1-1に各船級協会の外力評価式と直接計算による加速度の各パラメーターへの依存性を纏めたが、いずれの場合も略同じパラメーターへの依存性を有することがわかった。

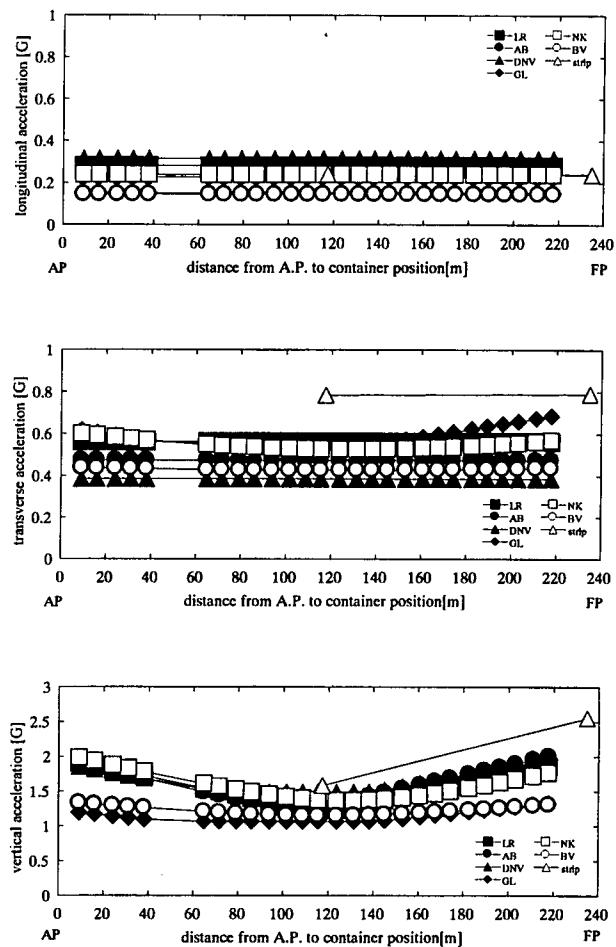


図2.1-2 既存の外力評価式と直接計算結果の比較例

表2.1-1 船級協会の外力評価式と直接計算の各パラメーターへの依存性

	LCG [m]			TCG [m]			VCG [m]			GM [m]			speed [knt]		
	longi. accel.	trans. accel.	verti. accel.												
LR	×	×	○	×	×	×	○	○	×	○	×	○	-	-	-
AB	×	×	○	×	×	×	○	○	×	○	×	○	-	-	-
DNV	×	×	○	×	×	×	○	×	×	○	×	○	×	○	○
GL	×	○	○	-	-	-	×	○	×	○	×	○	-	-	-
NK	×	○	○	-	-	-	○	×	×	○	×	○	○	○	○
BV	×	×	○	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×
strip	×	○	○	×	×	×	○	○	×	○	×	○	○	○	○

[1] longi. accel. : longitudinal acceleration

trans. accel. : transverse acceleration

verti. accel. : vertical acceleration

[2] ○ : パラメータに依存する

× : パラメータに依存しない

- : 該当するパラメータが外力評価式に存在しない

(3) 実船試験

従来、実際に貨物を積載した状態にてコンテナ船の上甲板上に積み付けられたコンテナに作用する加速度及び固縛装置の張力を定量的に系統だって計測した例は殆ど無かった。そこで本研究では、コンテナにダミーカーゴを搭載した状態にて実船試験を行い、その計測結果を用いて新規に提案する固縛力評価手法の妥当性を検証することとした。

実船試験は平成9年末から北太平洋航路に就航しているコンテナ船において実施した。当初の2航海は、船橋船尾側センターライン付近にシングルクロスラッシングで固縛したコンテナを3段に積み付け、船体運動、各コンテナに作用する加速度並びに固縛ロッドの張力を計測し、船体運動については引き続き約1年間計測した。



図2.1-3 コンテナ搭載要領

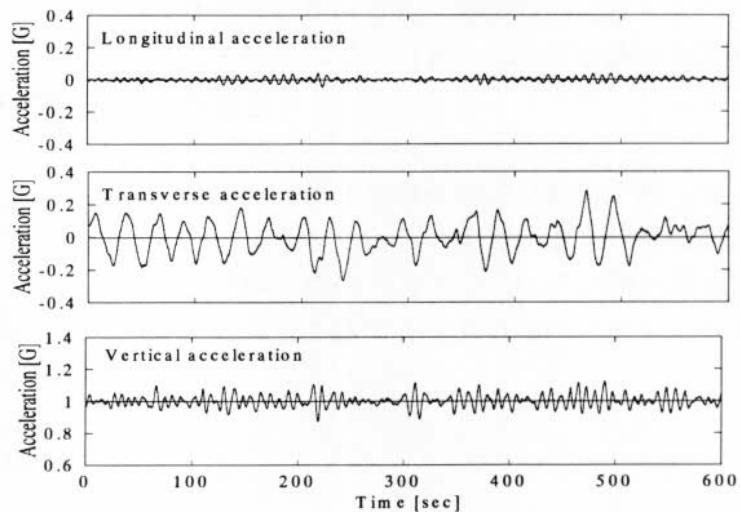


図2.1-4 実船試験の計測例（加速度の時系列）

(4) 実船試験に則した直接計算

実船試験を行ったコンテナ船を対象として、実船試験期間中の速度・波高・波周期・波向きなどが略一定値をとっている数日間の計測データを抽出してストリップ法による直接計算の入力とし、その計算結果と実船計測結果を比較した。

代表例として図2.1-5に1段目コンテナ位置での加速度の有義値を比較した結果を示す。

全体として、直接計算結果は実船計測結果と略よい一致を示しており、直接計算は精度の良い推定結果を与えることを確認した。

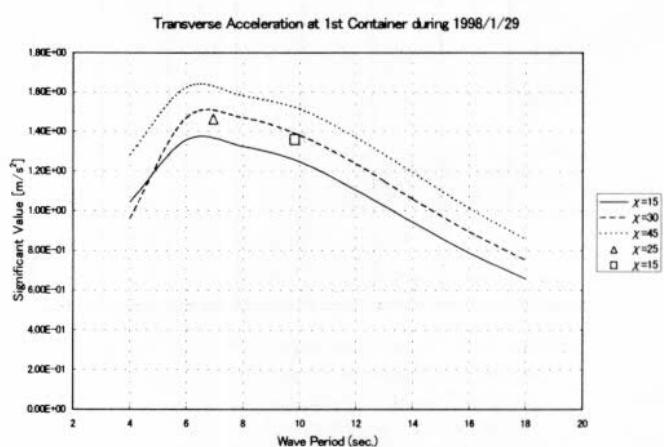


図2.1-5 直接計算結果と実船計測結果の比較例

2. 2 コンテナ船における固縛力評価手法の調査研究

(1) コンテナ固縛方式の調査

コンテナ船の貨物固縛計算手法の現状分析を実施するにあたり、現在採用されている固縛方式の現状調査を行い、図2.2-1に示すようなクロスラッシングロッドとツイストロックを組み合わせた方式が最も一般的に使われていることを確認した。

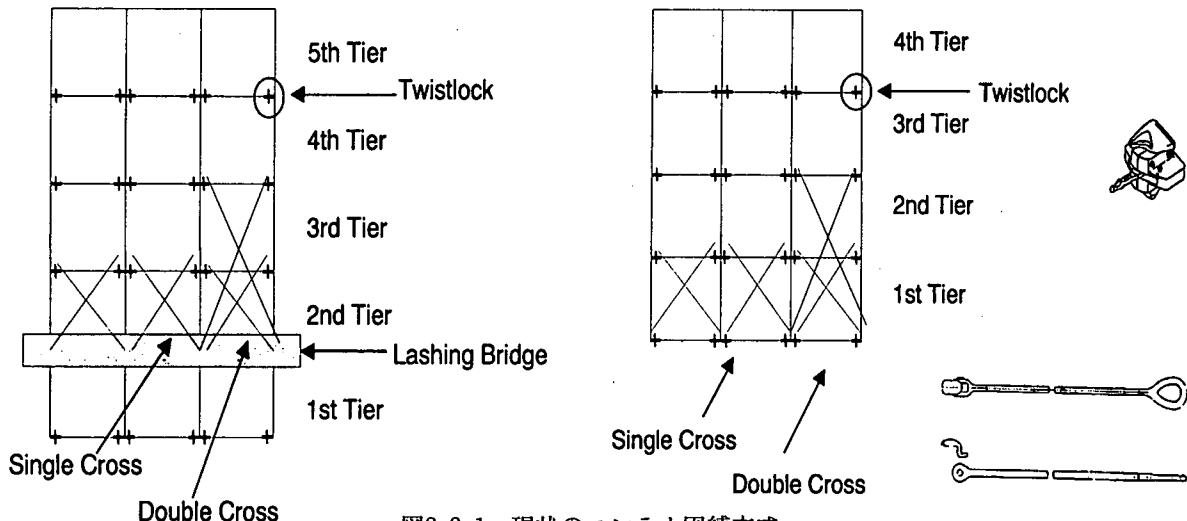


図2.2-1 現状のコンテナ固縛方式

(2) 船級協会における固縛力評価手法

各船級協会における固縛力評価手法についても、フローチャートを作成し、パラメトリックスタディを行った。

各船級の式とも与えられた加速度から外力を求め、コンテナのラッキング力、コンテナ支柱の圧縮力、ツイストロックの引張り／剪断強度について強度チェックをしていることを確認した。

また、各船級協会の固縛計算モデルに入力する加速度が同じ場合に、固縛力にどの程度の差異が生ずるかを調査した。

図2.2-2に計算条件、図2.2-3にDOOR ENDの計算例を示す。

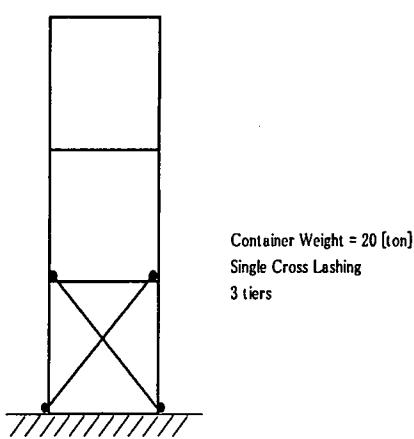


図2.2-2 固縛力試計算の計算条件

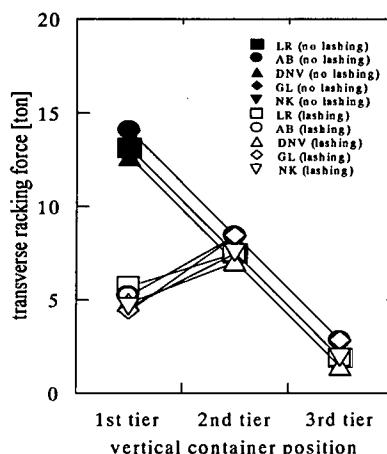


図2.2-3 船級協会の固縛力評価手法によるラッキング力

(3) 固縛力評価手法の開発

コンテナに作用する加速度が与えられた際に、コンテナ、固縛装置の特性を入力して固縛ロッドの張力等コンテナに作用する種々の力を計算するコンテナ固縛力計算モデルを開発した。

計算モデルは二次元と三次元でそれぞれ線形と非線形の計4つの計算モデルを開発した。

例えば、二次元非線形モデルでは、

- ① 各コンテナに作用する加速度による力はコンテナの前端と後端で1/2づつ受け持つものとする。
- ② コンテナの変形は横方向のラッキングによる変形のみを考慮し、コンテナ支柱の圧縮変形、天板及び床板の変形は無視する。
- ③ 固縛ロッドの剛性は非線形とする。即ち、張力のみ受け持ち、圧縮力は受け持たないものとする。
- ④ 横方向のコンテナのずれは無視する。

との仮定を設定した。

コンテナの設置方向及び部位の名称を図2.2-4に示す。

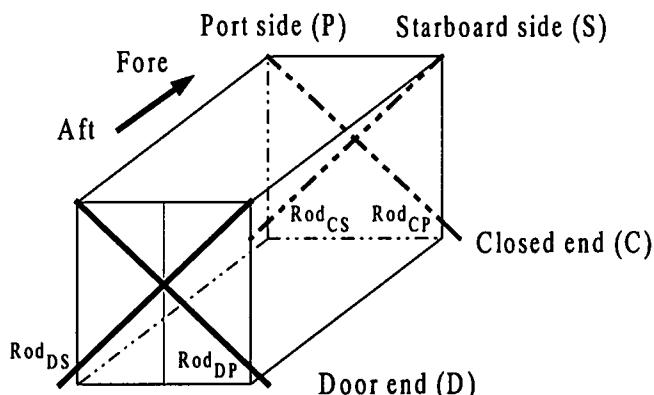


図2.2-4 コンテナの設置方向と部位の名称

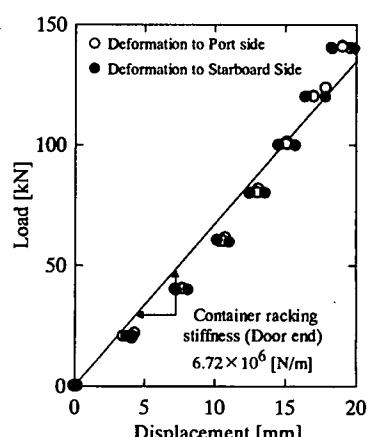


図2.2-5 コンテナの剛性

表2.2-1 コンテナの剛性

単位 : kN/mm

	LR	ABS	DNV	GL	NK	BV	実験値
Door End	3.441	3.727	3.850	3.704		4.000	6.721
Closed End	15.087	15.691	10.000	16.667	15.696	16.000	24.933
Side Wall	5.604	5.786	10.000				39.222

② ラッシングロッドのばね定数計測

実船試験で使用した固縛システム（ラッシングロッド+ロードセル+ターンバックル）及び通常の航海時の固縛システム（ラッシングロッド+ターンバックル）におけるロッドのばね定数を計測した。その結果を表2.2-2に示す。

表2.2-2 ロッドのバネ定数

単位：kN/mm

	LR	ABS	DNV	GL	NK	BV	実験値
Short Rod	12.924	13.059	14.256	18.828	-	21.518	14.710
Long Rod	6.353	11.668	12.561	12.561	-	10.578	-

(注) 実験値はラッシングロッド+ターンバックルの系で求めたもの

実船実験に使用したロッドの系はラッシングロッド+ロードセル+ターンバックル。

実験値は12.405

③ 大型輸送環境再現装置による陸上試験

コンテナ固縛力計算モデルを検証するため、大型輸送環境再現装置（MCS）を使ってコンテナの傾斜試験を実施した。

供試コンテナは実船計測にて使用した20feetの鋼製ドライコンテナを2段積みし、1段目コンテナは空、2段目コンテナはダミーウェイトを搭載し総重量16.5tとした。また、固縛システムとして、シングルクロスラッシングを施した。

図2.2-6に一例として試験結果と二次元固縛計算モデルによる計算結果の比較を示す。

この図では試験結果と計算結果とはよく一致しているが加速度が大きくなると差異が生ずる場合もある。

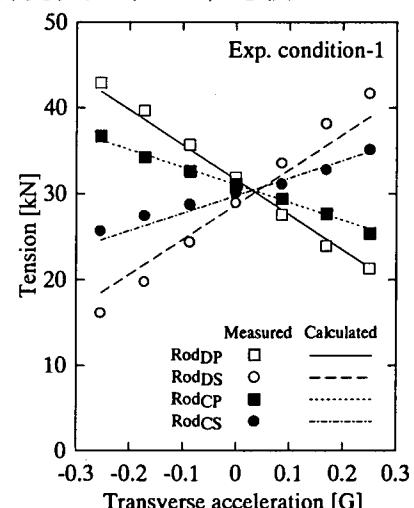


図2.2-6 陸上試験と計算モデルの比較

（5）実船試験

固縛計算モデルの妥当性を検証するため、前述のように実船試験を行った（2.1(3)参照）。

実船計測結果と固縛計算モデルの計算結果を比較した代表例を図2.2-7に示す。この図は横軸に時間、縦軸に固縛ロッドの張力を時系列でプロットしたものに二次元線形モデルの計算結果を重畠したものである。加速度が一定の値を超えない範囲で実船計測結果と計算値は良く一致しているが、加速度がある値を超えると実測値が計算値よりもかなり大きくなることがわかる。

この現象はDoor End, Closed End共発生しており、結果的にコンテナの剛性が零になる程の急激なロッド張力の増加が見られる。この原因としては、ポジショニングコーン乃至ツイストロックとコンテナ間で、トランク方向のズレが発生している事が考えられるが本研究に於ける実船試験、陸上試験では原因を特定できるところまでには至っていない。

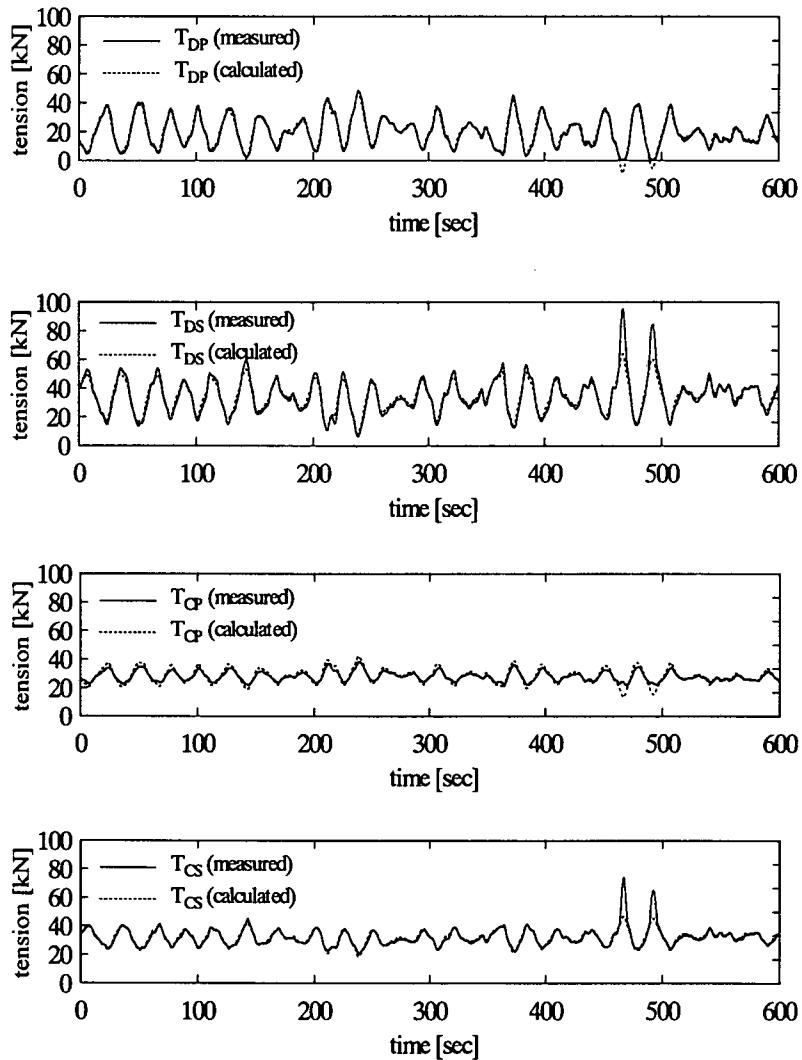


図2.2-7 実船試験における固縛ロッドの張力の時系列

2.3 コンテナ船における新しい外力加速度・固縛力評価手法の提案

(1) 新しい外力加速度評価手法の提案

① 新外力加速度評価手法のあり方

既存の加速度評価手法は、より精度が高いと考えられる直接計算と著しく異なる結果を与える訳ではないが、その根拠が明確でない部分も多いため、本研究では計算機を使った合理的で精度の良い新しい評価法を提案することとした。

② 新外力加速度評価手法の概要

コンテナ支柱に作用する圧縮力等の固縛力を評価する際には、三軸方向の加速度の組み合わせを用いる事が必要である。そのためガスキャリア等の構造設計で使用されているIGC Codeの考え方を取り入れ、図2.3-1に示すように加速度の周波数応答関数計算から三軸方向加速度の長期予測値を求め、加速度梢円体を適用して外力加速度を評価する方法を提案した。

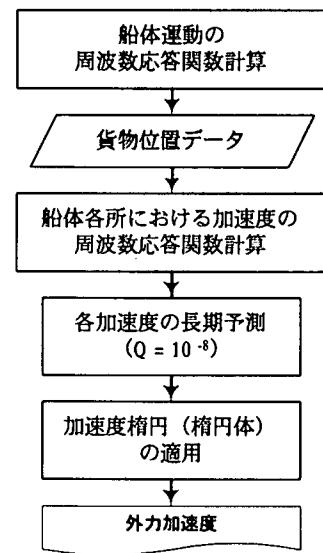


図2.3-1 外力加速度の流れ

③ 新外力加速度評価手法の詳細

船体運動の応答関数法としては、ストリップ法を用いることとした。加速度楕円による方法とは図2.3-2に示すように、各軸方向の加速度の長期予測結果に基づき、これらを長径及び短径とする楕円上での全ての加速度について評価を行うものである。

以上により求めた外力加速度に貨物の質量を乗じることにより外力が決定できる。

④ 加速度楕円の適用可否

加速度楕円の考え方とは、各軸方向の加速度の位相をある程度考慮したものであるが、こうした加速度の組み合わせの決定法が、固縛の評価において妥当か否かを固縛力の長期予測結果と比較することにより判定した。

固縛力の長期予測とは、ストリップ法により計算される船体運動の応答関数に基づき固縛力の応答関数を求め、波浪スペクトルを仮定し、波浪の統計値を用いて発現確率に応じた固縛力の最大値を求める方法である。

この方法は固縛装置が張力のみを受け持ち圧縮力を受け持たないことに起因する非線形現象を扱うことができないため、固縛方法によっては適用できない。しかし、船体運動の位相を合理的に評価できるという点で優れているため、加速度楕円による外力設定法が固縛力の評価に適用できるか否かの判定に用いることとした。

結論として、加速度楕円は固縛力の長期予測結果と殆ど差異が認められず、十分使用に耐えるものであることがわかった。

(2) 新しい固縛力評価手法の提案

本研究では新しいコンテナ船用固縛力評価手法として、三次元非線形モデルを提案することとした。

当該モデルは二次元非線形モデルの仮定のうち、コンテナの前端と後端で加速度による外力を1/2づつ受け持つとの仮定を除き、コンテナの変形は横方向並びに縦方向のラッキングによる変形を考慮するとの仮定に変更した。

図2.3-3に三次元モデルの座標系を示す。

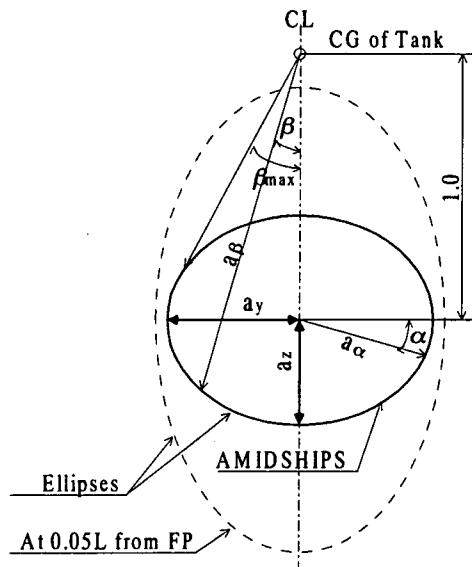


図2.3-2 加速度楕円

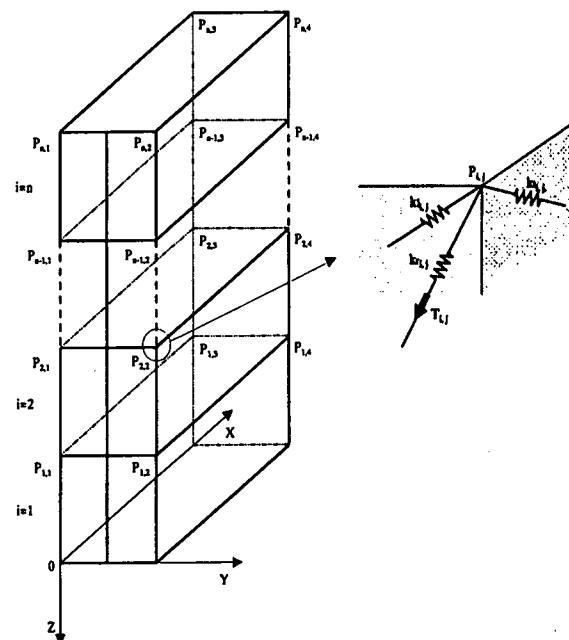


図2.3-3 三次元モデルの座標系

2.4 新型コンテナ船の試設計

(1) 設計方針

今後のコンテナ船大型化の傾向を考慮して世界最大級の約8000個積み以上のコンテナ船の試設計を行った。

コンテナの積み付けは新しい固縛力評価手法を使用して出来るだけ効率的な積み付けが出来るようにした。

(2) 新型コンテナ船の計画

従来のコンテナ船は上甲板上のコンテナ段数は最大で6段であったが、さらにもう1段加えて7段積みを検討することにした。

7段積みのためにはラッシング方法を考慮して、従来はコンテナ1段分の高さしかなかったラッシングブリッジをコンテナ2段分の高さで検討した。

また、幅方向は最近の陸上クレーンの大型化を考え18列とした。

(3) 上甲板上のコンテナ積載の検討

ラッシングブリッジを有するコンテナ船の上甲板上に積み付けられたコンテナの固縛評価については、従来の固縛評価法では十分な解析をすることが出来なかった。しかし、本研究で提案した新しい貨物固縛評価手法は従来にないラッシング方法を利用したコンテナの積み付け方法を合理的に解析することが可能となった。図2.4-1に本研究で検討するラッシングパターンの一例を示す。

(4) 貨物固縛計算例

貨物の固縛方式の優劣を比較するため、幾つかのラッシングパターンを選択し、コンテナに作用する種々の力を計算した。代表例として図2.4-2に示すラッシングパターンを有する新型コンテナ船について、コンテナ重量10t/7段積みした場合に、横方向の加速度のみを変化させたときの、コンテナの横方向ラッシング力並びにコンテナ上部引張力と圧縮力の変化を計算した結果を図2.4-3、図2.4-4に示す。コンテナ

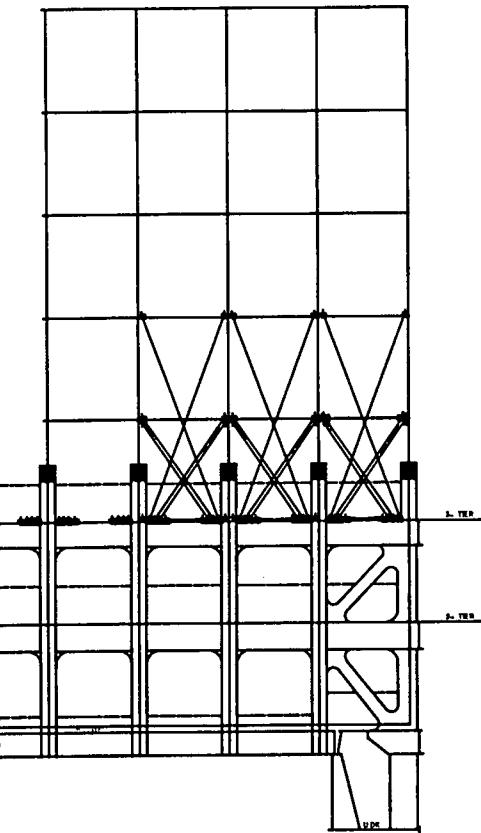


図2.4-1 ラッシングパターンの一例

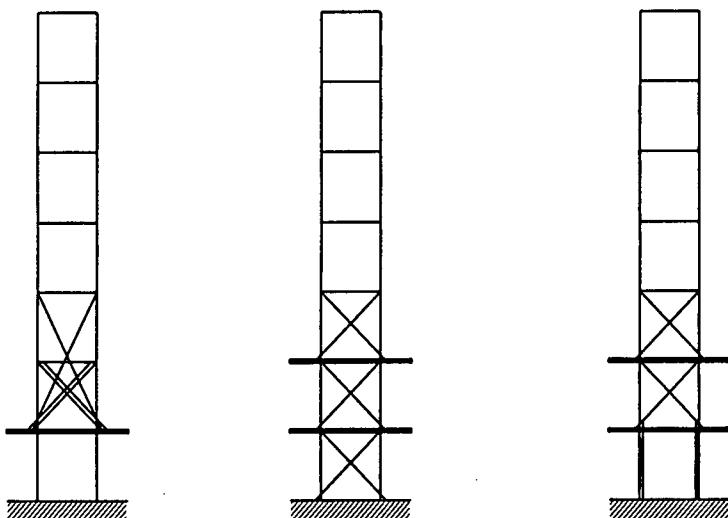


図2.4-2 ラッシングパターンの模式図
(左からケース1、2、3)

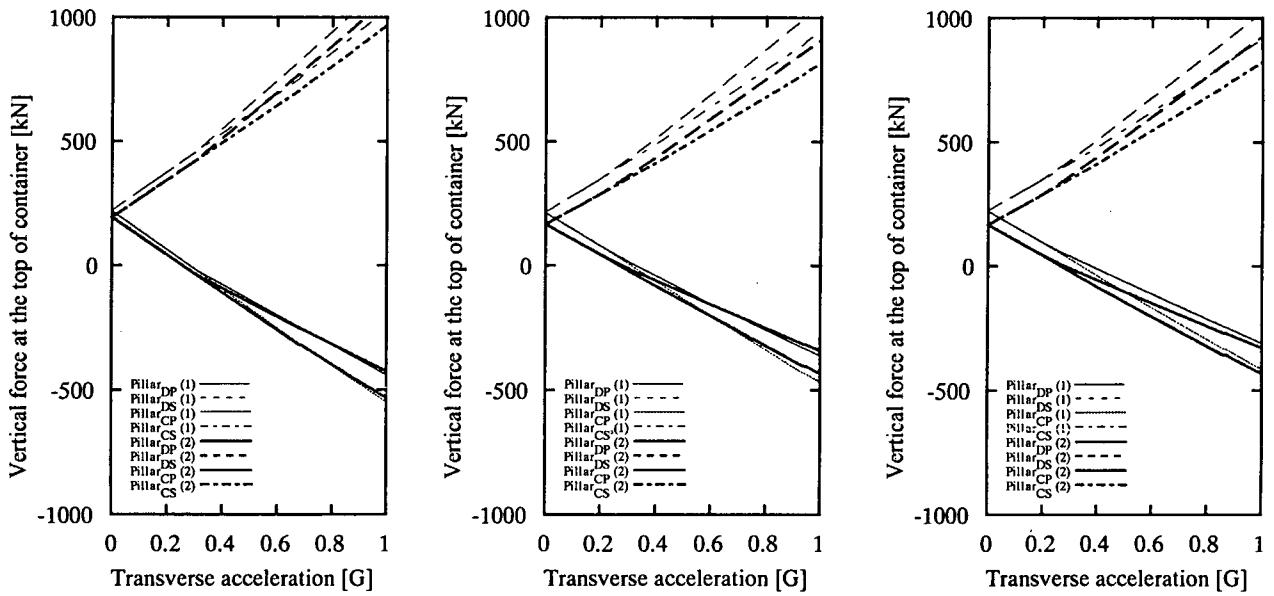


図2.4-3 横方向加速度とコンテナ上部引張力及び圧縮力の関係（左からケース1,2,3）

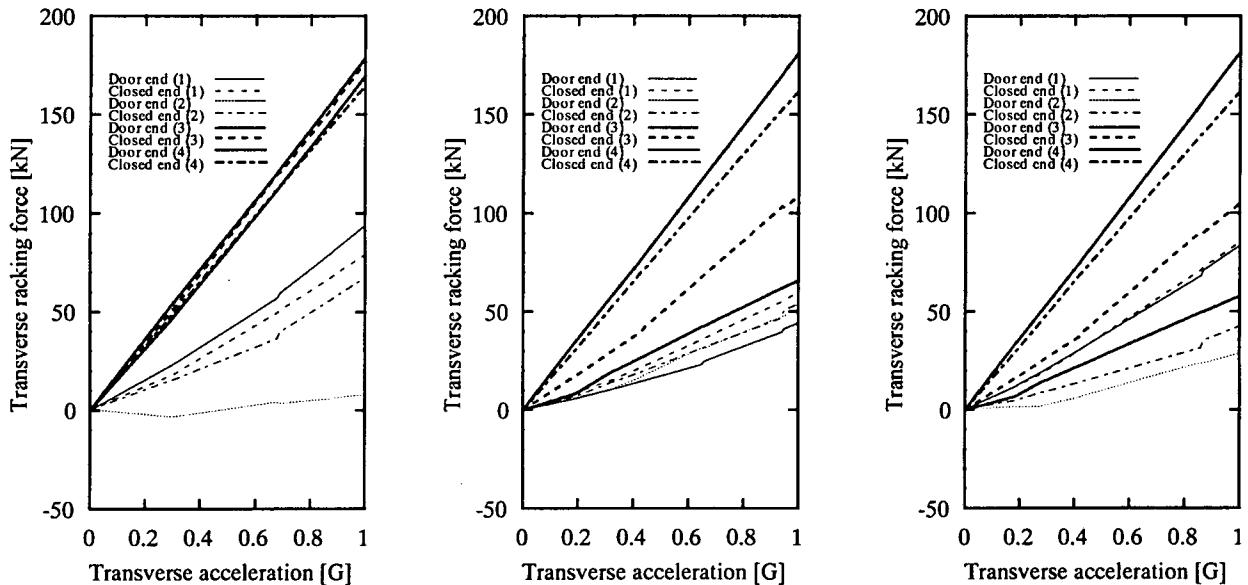


図2.4-4 横方向加速度と横方向ラッキング力の関係（左からケース1,2,3）

上部の引張力、ラッキング力とも、現在大型コンテナ船にて用いられているケース1よりケース2の方が小さいことがわかる。

なお、計算上固縛ロッドは殆ど初期張力分の引張力のみ分担するとしているが、実際にはコンテナが転倒モーメントにより浮き上がった場合は、固縛ロッドがコンテナとツイストロックとの間隙分の引張力を更に分担することになる点を考慮する必要がある。

（5）新型コンテナ船と従来型コンテナ船の比較

図2.4-5に本研究にて試設計を行った新型コンテナ船と従来型コンテナ船の大きさの違いを示す。新型コンテナ船は従来の最大船型であった6200TEU積みコンテナ船に比べ、船型的にはそれほど差はないがコンテナ積み個数が大幅に増えている。

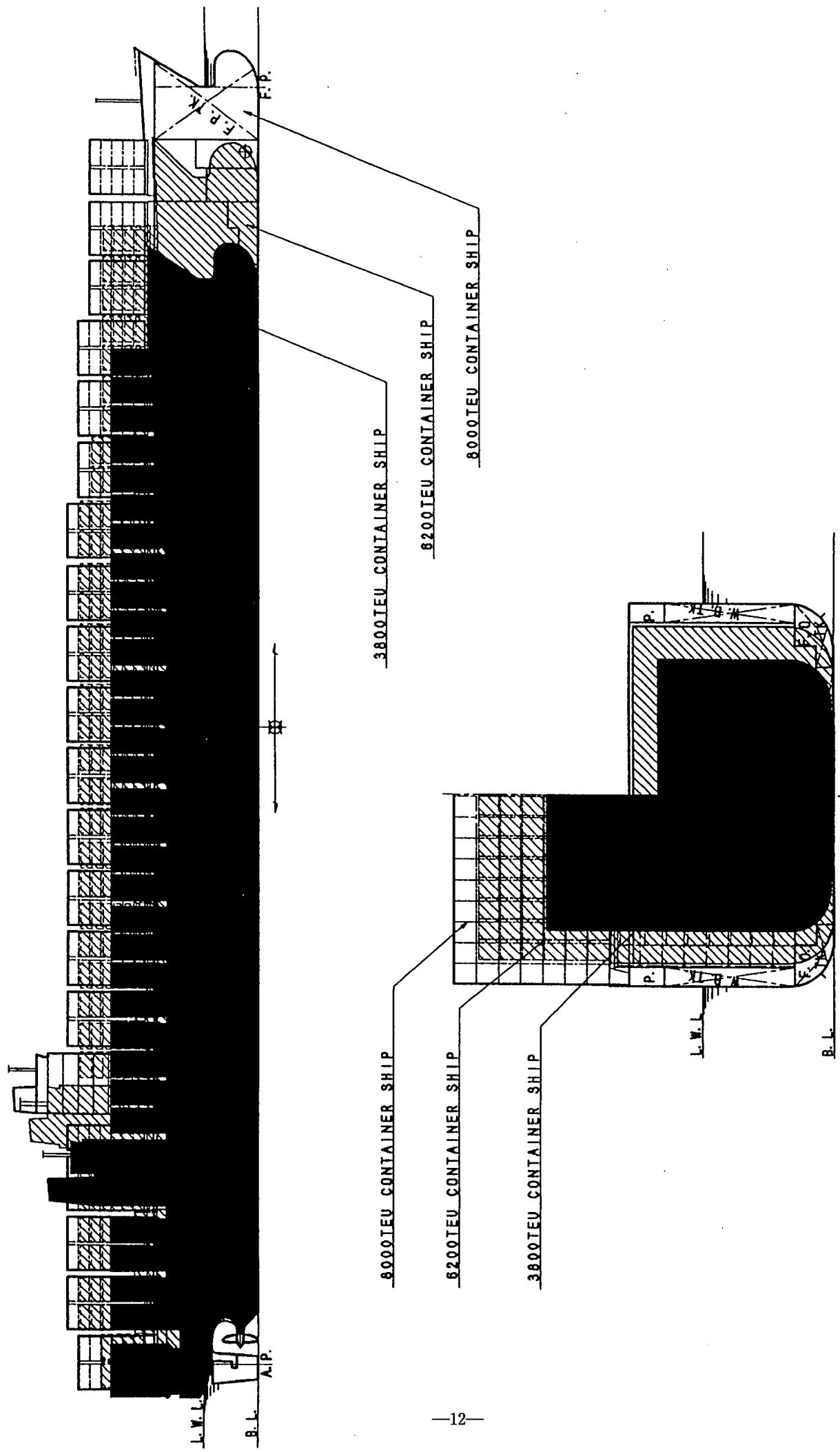


図2.4-5 新型コンテナ船と従来型コンテナ船の比較

2. 5 自動車専用船における外力加速度並びに固縛力評価手法の調査研究

(1) 既存の外力加速度評価手法と直接計算結果の比較

コンテナ船における各船級協会の外力評価式を用いて自動車専用船に積載した自動車に作用する加速度の計算を行い、その計算結果とコンテナ船の場合と同様の計算条件を使った直接計算結果を比較した。

対象船の要目、自動車の積み付け位置は以下の通り。

PCCの要目： $L \times B \times D \times d = 171 \times 32.26 \times 31.4 \times 8.52$

自動車の位置：

MIDSHIPから車中心までの距離 62.4 m (Fore)

船体中心線から車中心までの距離 12.5 m

キールから車中心までの距離 29.06 m

表 2.5-1に船級協会、船会社の式による外力加速度計算結果と直接計算結果を示す。

コンテナ船の場合と同様の計算結果であるが、TRANS方向の加速度が船級協会と直接計算では差の大きいことが確認された。

表 2.5-1 船級協会、船会社の式による外力加速度計算結果と直接計算結果 単位：G

方向・計算法	LR	ABS	BV	DNV	GL	NK	MOL	直接計算
VERTICAL	1.891	1.830	1.386	2.140	1.339	2.018	1.763	1.970
LONGITU	0.468	0.277	0.222	0.510	0.179	0.493	0.334	0.164
TRANS	0.542	0.561	0.476	0.390	0.803	0.678	0.668	0.982

(2) 実船試験

実船試験は平成10年末から約1年間にわたり北太平洋航路に就航している自動車専用船において実施し、船体運動と最上段デッキの最舷側に積み付けた自動車に加わる加速度並びにラッシングベルトに作用する張力を計測した。

2. 6. 自動車専用船における新しい固縛力評価手法の提案

(1) 新しい固縛力評価手法の開発

自動車に加わる加速度が与えられた際に、自動車の固縛装置（ラッシングベルト）に作用する張力並びに懸架装置に作用する力を計算する自動車固縛力計算モデルを開発した。本計算モデルは甲板及び車体は剛体とし、懸架装置は互いに直交する3本のバネで構成されるものとし、固縛装置は張力のみを受け持つバネと仮定した。即ち、三次元非線形固縛計算モデルとした。外力の計算においては、バネ下重量は無視し、加速度としては車体に作用する並進加速度のみを考慮した。

なお、加速度の組み合わせについては、コンテナ船の場合と同様に三軸方向の加速度の長期予測値を入力として、加速度楕円体を用いて求めるようにした。

図2.6-1は固縛モデルのイメージを二次元で示したものであり、ロンジ方向及びトランス方向とも共通である。

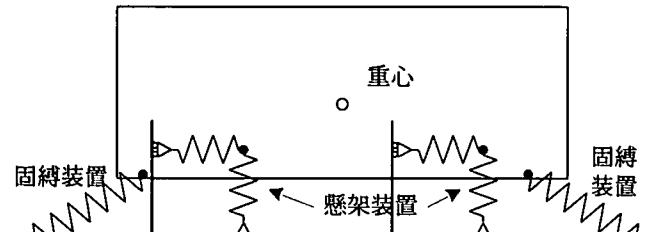


図2.6-1 固縛装置及び懸架装置のモデル

(2) 自動車固縛に関する陸上試験

自動車固縛装置(ラッキングベルト)の引っ張り試験をロードセルがある状態と無い状態で実施し、ラッキングベルトのばね定数と長さの関係を求めた。図2.6-2にロードセルが無い場合の固縛装置の長さとばね定数の関係を示す。

また、大型輸送環境再現装置(MCS)に実船試験で用いたものと同型の乗用車を搭載して、懸架装置のばね定数の計測と自動車固縛計算モデルの検証のため、傾斜試験を実施した。

(3) 固縛力シミュレーションモデルの検証

新しい固縛力シミュレーションモデルの妥当性を検証するため、張力の計算結果を、MCSによる傾斜試験結果及び実船試験結果と比較した。図2.6-3にMCS試験における横傾斜角度と張力の関係を示す。図中の曲線は計算結果であり、記号は試験結果である。

図2.6-4に実船試験結果と張力の計算結果を示す。この図は左右方向の加速度が大きく、一部の

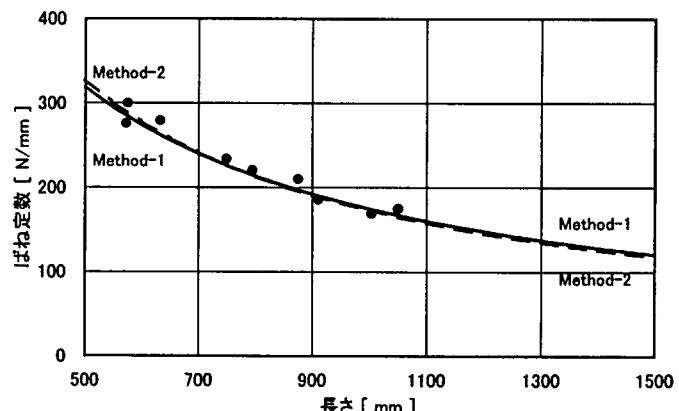


図2.6-2 固縛装置の長さとばね定数

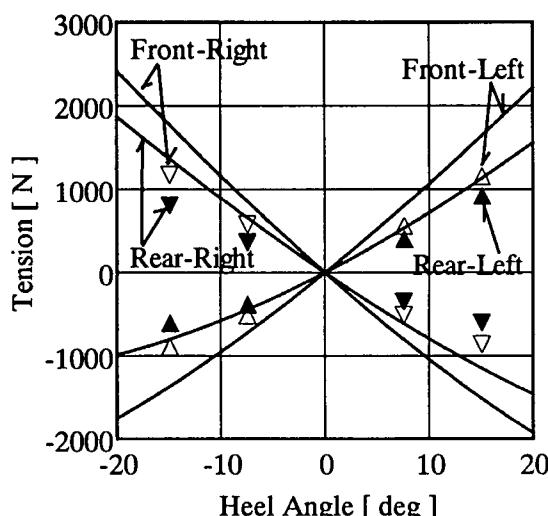


図2.6-3 MCS試験における横傾斜角度と張力

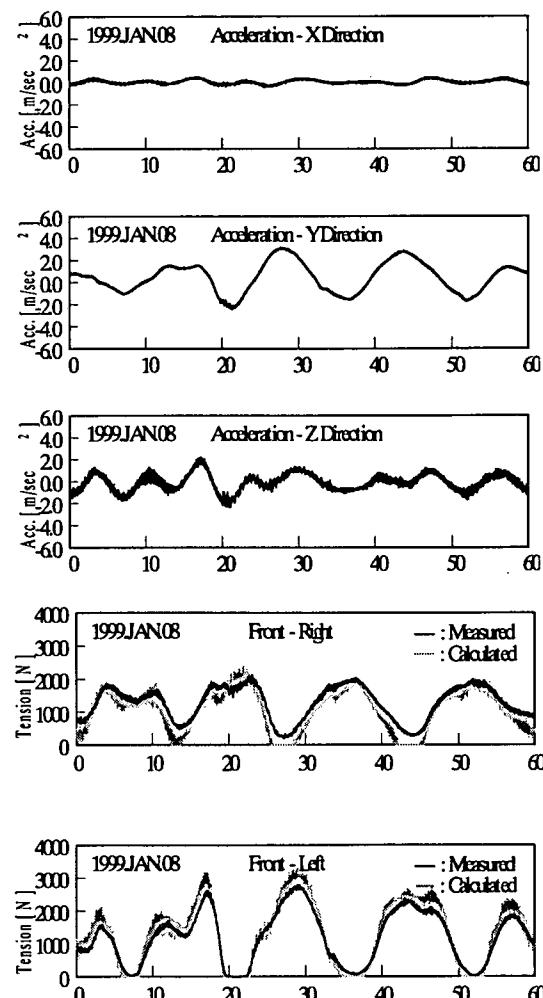


図2.6-4 実船試験結果と張力の計算結果

固縛装置の張力が概ね零に達している例であるが、計算結果と実船試験結果は概ね良い一致を示していると言える。

(4) 自動車専用船における新しい固縛力評価手法の提案

自動車専用船の新しい固縛力評価手法として、前述の自動車固縛力評価シミュレーション手法を用いて、固縛装置の張力の最大値、ハンドブレーキの滑り（懸架装置に作用する前後方向の力の和の最大値）、甲板上におけるタイヤの滑り（各タイヤに作用する水平方向の力の大きさと上下方向の力の比）等を評価することを提案した。また、この方法を用いて有効な固縛方法について検討した。

図2.6-5は、前後左右対称に固縛した車重1,000 kgの自動車に、上下及び左右1.0 G前後0.2 Gの加速度楕円体上の加速度が作用した場合の計算結果のうち、張力の最大値を示したものである。計算結果から、固縛装置は前後方向よりも左右方向に近い角度で、充分に長くして用いるべきであることが分かった。これは、左右方向の加速度が前後方向の加速度よりも大きいことが推定されるためである。

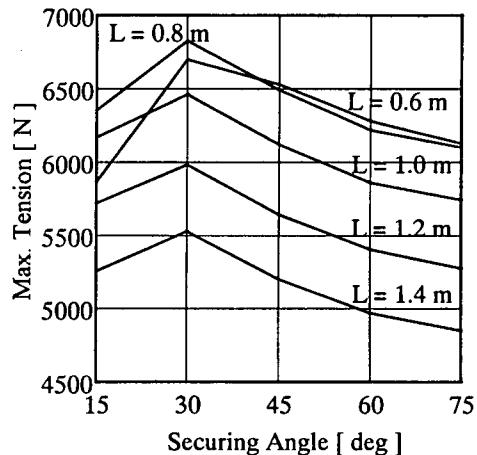


図2.6-5 固縛方法と最大張力

3. 成果のまとめ

(1) コンテナ船における外力評価手法の調査研究

- 各船級協会の外力評価式による加速度計算結果と直接計算による計算結果を比較した結果、各船級によって計算結果はかなりバラツキがあるものの、直接計算の結果と比較して大きく異なるものではない事を確認した。
- 直接計算は船級協会の場合と略同じパラメーターへの依存性を有することを確認した。
- 実船試験により上甲板上に積載したコンテナに作用する加速度、並びに固縛装置の張力等を定量的に把握することができた。
- 直接計算は実船計測結果と略よい一致を示しており、良い推定結果を与えることを確認した。

(2) コンテナ船における固縛力評価手法の調査研究

- 各船級協会における固縛力評価手法についてパラメトリックスタディを行い、固縛力にどの程度の差異が生ずるかを確認した。
- コンテナ固縛力計算モデルとして二次元と三次元でそれぞれ線形と非線形の計4つの計算モデルを開発した。
- 実船試験に用いたコンテナの剛性を計測した。
- 実船試験で用いたコンテナ固縛装置のばね定数を計測した。

- コンテナ固縛力計算モデルを検証するため、大型輸送環境再現装置を用いてコンテナの傾斜試験を行った。傾斜試験結果と固縛計算モデルの計算結果とはよく一致しているが加速度が大きくなると差異が生じる場合もある事を確認した。
- 実船計測結果と固縛力計算モデルの計算結果を比較したところ、加速度がある一定の値を超えない範囲では実船計測と計算値はよく一致していることがわかった。逆に、加速度がある値を超えると実船計測の値が計算値より大きくなることが確認された。その原因としては、コンテナのトランス方向のズレまたはコンテナの浮き上がりが発生している事が考えられるが本研究ではそこまでの確認をすることが出来ず、今後の課題とした。

(3) コンテナ船における新しい外力・固縛力評価手法の提案

- 加速度の周波数応答関数計算から三軸方向加速度の長期予測を求め、加速度橋円体を適用して外力加速度を評価する方法を提案した。
- 新しいコンテナ船の固縛力評価手法として三次元非線形モデルを提案した。

(4) 新型コンテナ船の試設計

- 世界最大級の約8000個積み以上のコンテナ船の試設計を行い、ラッシングブリッジをコンテナ2段分の高さで検討した。
- 新しい貨物固縛力評価手法を使って従来にない固縛システムを利用したコンテナ積み付け方法を合理的に解析することが可能となった。

(5) 自動車専用船における外力加速度並びに固縛力評価手法の調査研究

- 既存の外力評価手法による加速度計算を行うとともに、直接計算による加速度の計算結果と比較した。既存の外力評価手法による計算結果はコンテナ船の場合と同様に、かなりのバラツキがあることを確認した。
- 実船試験により自動車に作用する加速度、並びにラッシングベルトの張力等を定量的に把握することができた。

(6) 自動車専用船における新しい固縛力評価手法の提案

- 自動車に作用する加速度が与えられた際に、自動車の固縛装置に作用する張力並びに懸架装置に作用する力を計算する三次元非線形の自動車固縛力計算モデルを開発した。
- 実船試験で用いた自動車を使って前後方向及び左右方向の懸架装置のばね定数を計測するとともにラッシングベルトの張力と長さの関係を計測した。
- 上記計算モデルによる計算結果と大型輸送環境再現装置による傾斜試験、実船計測結果を比較し、三者は概ね良い一致を示していることを確認した。
- 自動車専用船の新しい固縛力評価手法として、前述の自動車固縛力評価シミュレーション手法を用いて、固縛装置の張力の最大値、ハンドブレーキの滑り、甲板上におけるタイヤの滑り等を評価することを提案した。

4. 成果の活用

本研究により、貨物に作用する加速度の評価手法及び所与の加速度条件下において貨物や固縛装置に作用する各種の力の評価手法を示した。

甲板上コンテナの新固縛評価手法は、従来とは異なる固縛方式にも適用可能であることから、試設計（2.4節参照）で示したように、大型コンテナ船や新固縛方式の設計に資すると考える。

これまで自動車専用船の固縛においては、固縛装置に作用する力と足回りに作用する力を定量的に評価していなかったが、本研究により、こうした力の評価が可能になった。本研究で提案した自動車専用船の新固縛評価手法は、今後船級協会等が自動車専用船に関する固縛評価基準を作成する際の基礎となり得る。

発 行 平成12年3月

発行所 社団法人 日本造船研究協会
〒105-0001 東京都港区虎ノ門一丁目15番16号
日本財團ビル

電 話 総務部 03-3502-2132
研究部 03-3502-2133

F A X 03-3504-2350

「本書は、日本財團の補助金を受けて作成したものを増刷し頒布するものです。」



The Shipbuilding Research Association of Japan