

## 第166 研究部会

# スチールコイル搭載船の船殻強度に 関する研究

## 報告書

昭和53年3月

社団法人

日本造船研究協会

本研究はスチールコイル搭載船の合理的な船殻設計、積付け方式及びダンネージの配置等の指針を確立することを目的として2ヶ年計画で実施した。

本報告書は昨年度実施した、模型実験、理論解析等の基礎的研究結果をもとに、スチールコイル搭載船の構造に関する設計指針のほか、スチールコイル及びその船積みの実態、ダンネージによる荷重の分散、コイルによる荷重等についてとりまとめたものである。

# は し が き

本報告書は、日本船舶振興会の昭和52年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として、日本造船研究協会が第166研究部会においてとりまとめたものである。

## 第 166 研究部会委員名簿

(敬称略, 五十音順)

部会長	山口 勇 男 (日本海事協会)		
幹事	嶋田 武 夫 (日本郵船)	萩原 孝 一 (三菱重工業)	
	山本 博 (日本海事協会)		
委員	阿野 良 彬 (石川島播磨重工業)	伊東 達 夫 (川崎汽船)	
	大浦 啓 義 (佐世保重工業)	金網 正 夫 (三井造船)	
	郷田 国 夫 (船舶技術研究所)	酒井 利 夫 (日立造船)	
	堺 由 輝 (川崎重工業)	酒戸 恒 男 (住友重機械工業)	
	鈴木 省 輔 (函館ドック)	辻 寿 一 (大阪造船所)	
	布村 信 昭 (昭和海運)	萩原 亘 (日本郵船)	
	原 洋 一 (日立造船)	森川 卓 (日本船主協会)	
	矢野 利四郎 (来島ドック)	米田 巽 (大阪商船三井船舶)	
	渡辺 明 (山下新日本汽船)	渡辺 勉 (日本鋼管)	
	渡辺 奉 昭 (住友金属工業)		

# 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. スチールコイル及びその船積みの実態 .....	2
2.1 スチールコイルについて .....	2
2.2 スチールコイル船積みの実態 .....	2
2.3 ダンネージの挙動 .....	4
3. ダンネージによる荷重の分散巾 .....	6
3.1 はじめに .....	6
3.2 荷重分布に影響を与える諸因子 .....	6
3.3 計 算 .....	6
3.4 計算結果 .....	7
3.5 荷重巾の設計式 .....	8
4. スチールコイルによる荷重 .....	12
4.1 荷重の性質 .....	12
4.2 荷重の大きさ .....	12
4.3 積み方の制限 .....	16
5. パネルの強度 .....	19
5.1 膜力の影響 .....	19
5.2 各種周辺支持条件と分布荷重によるパネルの撓みと応力 .....	19
5.3 パネルに作用する荷重に対する考察 .....	19
6. スチールコイル積船の積載方法及び構造設計に関する指針 .....	21
6.1 スチールコイルの積載方法 .....	21
6.2 二重底構造 .....	21
6.2.1 内底板の厚さ .....	21
6.2.2 内底板付肋骨 .....	22
6.2.3 肋板及び桁板 .....	23
6.3 船側構造 .....	23
6.3.1 船側横肋骨1本に加わる荷重 .....	23
7. 指針解説 .....	24
7.1 スチールコイルの積載方法 .....	24
7.2 内底板の強度 .....	24
7.3 内底板付肋骨の強度 .....	31
7.4 船側構造 .....	33

# 1. 緒 言

鋼材は、自動車、電気機器、船舶等と並んで、わが国の基幹産業の重要な一つであって、また、外国への輸出のウエイトも大きい。最近、鋼材を熱延コイルや冷延コイルの状態、いわゆる、スチールコイルの状態で輸出するケースが増え、また、スチールコイル自身も大型化する傾向にある。

一般に、コイル類の船積みでは、コイルの寸法や荷姿の関係上、貨物重量を比較的剛性の高い実体肋板や縦桁で直接支持することが困難なため、コイルの重量を木製のダンネージを介して、直接、内底板で支持するような積付け方法が採用されている。そのため、スチールコイル搭載船の二重底構造は、スチールコイルやダンネージの挙動を考慮の上、適当に補強されているが、これらの補強が十分でない場合は、内底板等に損傷をおこすことがある。

本研究は、スチールコイル搭載船の合理的な船殻設計、積付け方式及びダンネージの配置等の指針を確立することを目的として、昭和51年度に、模型実験及び理論解析等の基礎的研究を行ったが、本年度は、これらの研究結果をもとに、実用面への拡張を主眼として、スチールコイル搭載船の構造に関する設計指針等をまとめた。

以下、本年度の研究概要について述べる。

## 2. スチールコイル及びその船積みの実態

本項に関しては、昭和51年度報告書で詳しく説明したが、ここでは、その結果の概要をまとめて報告する。

### 2.1 スチールコイルについて

スチールコイルは熱延コイルと冷延コイルとに大別される。スチールコイル用スラブは、ホットストリップミルで、加熱→粗圧延→仕上り圧延→巻取りの連続的な諸工程を経て、熱延コイルとして製造される。コイルの機械的性質を確保するため、仕上り圧延機出口及び巻取りの温度を、それぞれ、800℃～900℃及び550℃～700℃にコントロールする。このようにして製造された熱延コイルは、その板厚も1.0mm～19.0mmと豊富で、材料強度、耐候性、耐海水性等に優れた性能をもち、強度部材や補強材等に利用されている。また将来、25.4mm程度の厚板コイルの製造計画もある。

一方、冷延コイルは、酸洗してスケールを除去した熱延コイルを常温で圧延機により必要な厚さに圧延したものであって、その板厚も0.15mm～3.2mmと薄板が主で、表面肌、寸法精度、加工性等に優れた特性を有し、主として、薄物製品に利用される。

さて、現在、どのような仕様のスチールコイルが生産されているかについて説明する。日本鉄鋼協会編鋼材マニュアルには、各製造工場別にその仕様等が記載されているが、これをまとめたのが表2.1である。

表2.1に示す厚さ及び幅は日本で生産可能な最大範囲を示し、コイルの重量もその最大値を示す。さて、どのような仕様のコイルが多く生産されているかを概説する。

熱延コイルの場合、板厚では、2.0～2.2mmのものが全体の40%程度でもっとも多く、1.0～6.0mm

のものが大半を占めている。また、コイルの幅では900～1,300mmのものが大半を占め、コイルの外径では、1,700～1,800mmのものが大半を占めている。スチールコイルの重量は、3～30トンまで種々生産されているが、現状では、これは、製鉄所の製造能力よりも、受入港の荷役設備能力に左右される。

スチールコイルは鋼板をコイル状に巻き込んだものであるので、これを船積み(1段積あるいは多段積)した場合、外径及び内径が伸び縮みするが、本研究部会の計測結果によると、その量は、外径1,200mm程度のコイルで2段及び3段積みの場合、わずか2～3mm程度であった。また、中空の円筒と仮定してその重量を比べた場合の空隙率は、圧延のままの場合で約4%、調質コイルの場合約2%であって、板と板との空隙は殆んどないものと考えてよい。

### 2.2 スチールコイル船積みの実態

スチールコイルを船積み輸送する場合、どのような船型の船が使用されているか、また、どのような積付けが行われているかについて概説する。一般的に、使用される船型や積付け法は多種多様であるが、これを、次のような3種類に大別することができる。

#### (1) ライナーにベスカーゴ(底荷)として積載する場合

この場合、在来のライナーであるから、船の大きさは6,000～15,000DWTの中高速船であって、多くの場合、ボトムシーリングを装備しているので、スチールコイル積載による二重底の損傷のおそれは少ない。

表2.1 スチールコイルの仕様

種類\仕様	圧延可能寸法		コイル最大重量
	厚さ	幅	
熱延コイル	1.0～19.0mm	500～2,200mm	45トン
冷延コイル	0.15～3.2mm	500～2,080mm	60トン

この種の船舶では、揚貨装置として5～10トンデリックが多いため、取扱うコイルも大型が多く、貨物単重及びロットも比較的小さい。

(2) 鋼材やコイル等の比率が大きいライナーの場合

このような船積みに適した船として、多目的のツインデッカーが使用されている。船の大きさは15,000～20,000 DWTの船尾機関型の中速船が多い。

この種の船では、大口徑鋼管、長尺物、重量物等の積載を考慮して、大型ハッチで、10～20トンクラスの揚貨装置を装備しているため、鋼材及びコイルの単重及びロットの大きなものを積載することができる。一般的にいて、この種の多目的船では、穀物や石炭等の積載とグラブ荷役に対する配慮がなされているので、ボトムシーリングがなく、コイル等の積載による二重底損傷のおそれがある。この種の多目的船は、今後、在来船のリプレースの中心となる可能性が多いといわれている。

(3) 鋼材専用船の場合

15,000～30,000 DWTクラスのツインデッカーまたはカーゴギヤ付バルクキャリアが中心であり、最近では50,000 DWTを越えるものも配船されるようになった。30,000 DWT以上の船では、鉄鉱石のオルタネートローディング可能なように補強された船もあり、一般的に、二重底構造は丈夫なものが多いが、鋼材を満載した場合、船の重心が下りすぎるため、揺れがひどくなるためのトラブルが懸念される。

次に、積付けの実態について概説する。

スチールコイルを船積み輸送する場合、荷主が製品を保護する立場から、日本鉄鋼協会では、“熱冷延コイル積付保定標準”を定め、ダンネージの置き方、ショアリング(コイルを保護するための支木)、チョッキング(コイルを保護するための板)、ワイヤーラッシング等について定めている(図2.1参照)。

一方、各船会社では、積荷及び船体の保護の立場から各社ごとの社内基準を作成している。ここでは、これらの社内基準から、基本的な共通的部分について説明する。

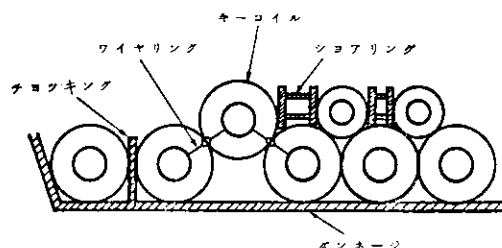


図2.1 スチールコイル積み付けの概念図

(1) 積付計画

(a) コイルはコイルのコアを船の長さ方向に積む。

(b) 積み方の段数は、二重底強度を考慮して決めるが、

一般的には、5トン以下のコイルは3段積み、10～15トンのコイルは2段積み、それ以上の重量のコイルは1段積みが多い。

(c) 貨物の保定には、ショアリング、チョッキング、ワイヤーラッシングを行うが、必ず、キーコイル(コイルの左右の移動を防ぐためのくさびの役目をするコイル)により、ローリングチョックを行う。

(2) 積荷方法

(a) 大型トレーラやバージ等で船側まで運送されたコイルは、本船の荷役装置を用いて船倉内に積み込まれる。ミルポートでは、岸壁クレーンを用いて積み込むこともある。また、ショアクレーン等により、船倉内にコイルを積み込む場合は、数本のダンネージを敷きつめた上におろし、フォークリフトやモービルクレーンで所定の位置に積み付ける。

(b) ダンネージは、通常、米松材であって、その大きさは、60mm×30mmあるいは80mm×40mmの断面であって、長さは3m前後のものが多い。ダンネージは、船主側が準備する場合と荷主側が支給する場合とがあるが、これは、運送契約による。

(c) ポッパー部やホールドフレーム下部のタンクサイドブラケット等の部分は、必要に応じて、ショアリング

を行う。

(d) コイルを積み込む場合、前後方向に100mm程度の余裕をとるが、これは、コイル端部の保護とラッシングワイヤーを通すためである。通常は、前後方向に4列程度で1つのグループとしてチョッキングを施し、スチールワイヤーでグループラッシングを行う。グループ間は約1m位の間隔をあけることが多い。

(e) 船の幅方向には、数コイルに1個ずつキーコイルを用いて、ローリングサイドのショックとして保定する。

### 2.3 ダンネージの挙動

前述のように、船にスチールコイルを搭載する場合は、木製のダンネージを敷き、その上にスチールコイルを搭載している。したがって、スチールコイルを搭載した場合の船体強度を検討するには、ダンネージの挙動を明らかにし、ダンネージがスチールコイルの荷重をどのように伝達するかを把握せねばならない。昨年度実施したダンネージの挙動に関する解析結果の概要を以下に述べる。

まず、川崎重工で開発した接触問題解析用FEMプログラムを使用して、弾性計算による解析を行った。この計算に使用したスチールコイルは、外径1,500mm、内径750mm、重さ15トンのもので、また、ダンネージは、幅130mm、厚さ30mmの米松材で、そのヤング率は $11.2\text{Kg/mm}^2$ とした。

スチールコイルのヤング率は $2.1 \times 10^4\text{Kg/mm}^2$ とその半分値との2種類について計算したが、両方の計算結果から、船体構造に及ぼす影響は殆んど変わらないことが判明した。また、スチールコイルは殆んど変形せず、ダンネージ内での荷重の水平方向の分散は殆んどないことが判明した。

これらの解析結果から、荷重分布を計算する際には、ダンネージをばねと考え、スチールコイルを剛体として、ダンネージはスチールコイルの形の通りに変形すると仮定した簡易計算法を導入し、この簡易計算法とFEMによる計算結果とを比較したところ、両者は非常によく一致することが判明した。

実船の使用済みのダンネージは、コイル搭載により、かなりの塑性変形を受けているので、上記の簡易計算法を塑性域まで拡張して、荷重の分布状況を計算した。その結果の一部を図2.3及び2.4に示す。

これらの計算では、応力と歪との関係を次の4種類にわけて計算した(図2.2参照)。

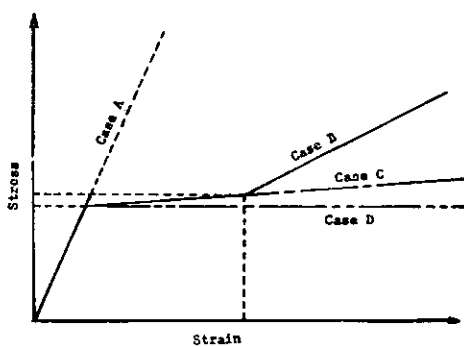


図2.2 計算に用いた応力-歪関係

- ケースA 完全弾性
- ケースB 弾塑性で歪硬化を考慮
- ケースC 弾塑性で歪硬化は無視
- ケースD 完全弾性と完全塑性

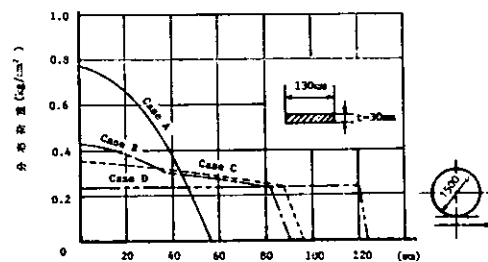


図2.3 ダンネージの荷重分布(1段積)

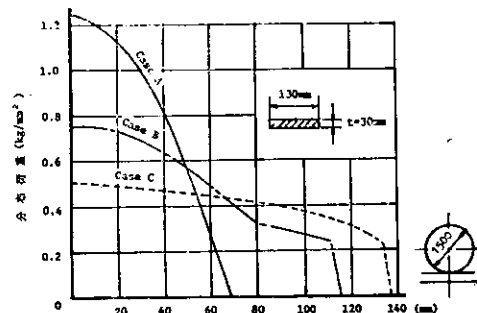


図2.4 ダンネージの荷重分布(2段積)



図 2.3 は 1 段積みの場合、図 2.4 は 2 段積みの場合の荷重分布を示す。

以上、ダンネージの荷重分布の計算結果の一例を紹介したが、今回行った研究結果から、ダンネージの挙動に関する結論をまとめると次のようになる。

- (1) スチールコイルは殆んど変形せずにダンネージにくいこむ。また、ダンネージ内での水平方向の荷重の分散はない。従って、スチールコイルを剛な円筒とし、ダンネージを単純バネ支持体とした簡易計算法で十分な精度が得られる。
- (2) スチールコイルの剛性が多少変化しても、荷重分布には殆んど差は生じない。
- (3) ダンネージの塑性化を考えると、荷重分布は一様分布に近くなる。
- (4) 荷重分布は、ダンネージの圧縮剛性により大きく変わる。
- (5) ダンネージの板厚を厚くすれば、荷重分布は広がるが、板厚の割には拡がり方は少ない。
- (6) スチールコイルの径の大小が荷重分布に与える影響は小さい。

### 3. ダンネージによる荷重の分散幅

#### 3.1 はじめに

船体にスチールコイルを搭載する場合のダンネージの挙動と荷重分布の詳細計算については、2.3に示すような検討を前年度行なった。本年度は、その結果を基にしてダンネージによる荷重分散幅の近似算定式を求めた。

#### 3.2 荷重分布に影響を与える諸因子

ダンネージ内の荷重分布幅に影響を与える諸因子としては、次に示すものがある。

1) スチールコイルの重量 (W)

(ここで、n 段積で、上下付加加速度  $a_v$  が働く時は、 $W = n(1 + a_v)W_0$  とする。  $W_0$  は、コイル1個の重量。)

2) スチールコイルの直径 (D)

3) ダンネージの板厚 (t<sub>d</sub>)

4) " 板幅 (b<sub>d</sub>)

5) " 本数 (n)

6) " 材料定数

本研究では、以上の諸因子の値を変えた、いくつかの状態について、荷重分散幅を計算し、これらの諸因子を変数とした荷重分布幅の近似式を求めた。

ただし、ダンネージの本数は、標準的なものとして2本を採用し、この場合のみを考えた。ダンネージの材料定数については、前年度の研究におけるダンネージ模型の圧縮実験結果より得られた荷重変位曲線(前年度報告書4.2.3)より求めた値を採用した。ダンネージの材料は米松である。

圧縮実験は、板厚10mmと30mmについて行なわれているが、ここでは、板厚30mmの結果を使用した。実験結果を図3.1に前年度報告書より転載するが、これに見られるように最初の圧縮と、第2回以後の圧縮では、荷重変位曲線にかなりの違いがある。即ち、一度圧縮すると木製ダンネージは硬化を起して、第2回以後は、非常に硬いものを圧縮することになる。したがって、状態を2つに分け、第1回目の圧縮の状態と第2回目以後の圧縮の状態について、材料定数を求めた。

材料定数の計算方法は、先ず適当に材料定数を仮定して、前年度報告書に示した方法により、荷重変位曲線を求め、これを繰返し、実験結果と計算結果が一致するような材料定数を求めた。得られた材料定数とこれによる荷重変位曲線を表3.1及び図3.2、3.3に示す。なお、図3.4には、前年度報告書で荷重分散幅を検討した時に使用した、米松の単純圧縮実験による材料定数(前年度報告書5.3、5.4)による応力歪曲線を示したが、これは表3.1の物性Ⅰに対する材料定数による応力歪曲線と良く一致しており、ここで求めた材料定数は、平均的な値を示しているようである。

表3.1 ダンネージの材料定数 (kg/mm<sup>2</sup>)

	E	E <sub>T1</sub>	E <sub>T2</sub>
物性Ⅰ (第1回の圧縮)	19.0	0.0	4.9
物性Ⅱ (第2回以後の圧縮)	4.9	21.1	21.1

#### 3.3 計算

計算は表3.2に示す状態を基準とし、因子をそれぞれ表3.3に示す値で変化させて、荷重分散幅を求めた。

表3.2 基準状態

スチールコイルの重量	W ton	15
スチールコイルの直径	D m	1.5
ダンネージの板厚	t <sub>d</sub> mm	30
ダンネージの板幅	b <sub>d</sub> mm	130

表3.3 基準状態より変化させた諸因子の値

スチールコイルの重量	W ton	10, 20, 30, 50, 70
スチールコイルの直径	D m	1.0, 2.0, 2.5
ダンネージの板厚	t <sub>d</sub> mm	20, 40, 50
ダンネージの板幅	b <sub>d</sub> mm	500, 100, 150

### 3.4 計算結果

計算結果を表3.4, 3.5及び図3.5～3.8に示す。

表3.4 計算結果 (物性I)

W ton	D m	t <sub>d</sub> mm	b <sub>d</sub> mm	C mm
15	1.5	30	130	151.1
10	1.5	30	130	105.9
20	"	"	"	197.5
30	"	"	"	287.4
50	"	"	"	321.4
70	"	"	"	342.5
15	1.0	30	130	148.7
"	2.0	"	"	153.2
"	2.5	"	"	155.2
15	1.5	20	130	148.9
"	"	40	"	153.2
"	"	50	"	155.2
15	1.5	30	50	306.1
"	"	"	100	192.8
"	"	"	150	132.6

表3.5 計算結果 (物性II)

W ton	D m	t <sub>d</sub> mm	b <sub>d</sub> mm	C mm
15	1.5	30	130	126.2
10	1.5	30	130	117.4
20	"	"	"	133.3
30	"	"	"	144.7
50	"	"	"	162.2
70	"	"	"	175.9
15	1.0	30	130	107.0
"	2.0	"	"	142.0
"	2.5	"	"	155.7
15	1.5	20	130	107.1
"	"	40	"	142.0
"	"	50	"	155.5
15	1.5	30	50	153.3
"	"	"	100	132.6
"	"	"	150	123.0

荷重幅Cを諸因子の一次式で表わす。

$$C = \alpha \times W + \beta \times D + \gamma \times t_d + \delta \times b_d + \epsilon \dots \dots (3.1)$$

計算結果(図3.5～3.8)を用いて、最小2乗法により式

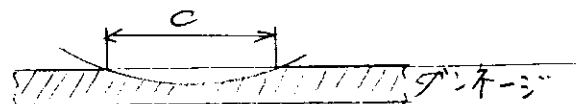
(3.1)の各係数を求めると、式(3.1)は式(3.2)、

(3.3)になる。

物性I

$$C = 9.04W + 3.53D + 0.17t_d - 1.81b_d + 241 \dots \dots (3.2)$$

ただし C ≤ 300 (下記参照)



物性Ⅱ

$$C = 0.97W + 31.7D + 1.58t_d - 0.32b_d + 58 \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

式(3.2)，(3.3)を用いて荷重幅Cを求め、それを図3.5～3.8に示す。同図より式(3.2)，(3.3)は、いずれも充分計算結果が近似していることが明らかである。

なお、物性Ⅰについては、くい込み深さがある値以上になると歪硬化域(図3.4での $\epsilon \geq 45\%$ )に入り、荷重幅Cの増加率は小さくなる。図3.5より、ダンネージの板厚が30mmでコイルの直径が1,500mmの場合、荷重巾が約300mmとなった時この現象を呈し始めるので、式(3.2)については  $C_{max} = 300\text{mm}$ とした。

### 3.5 荷重幅の設計式

式(3.4)，(3.5)により荷重分散幅を簡単に計算することは出来るが設計段階で、荷重分散幅を決定する諸因子を全てはつきり与えることは困難である。そこで、コイル重量だけ与えれば、平均的な荷重巾が求められるような設計式を提案してみる。

使用実績からは、ダンネージの板厚は30～50mm、ダンネージの板幅は60～130mmの範囲にあるが、標準的なものとして、前者は30mm、後者は100mmとできるだろう。

一方、スチールコイルについては、今年度実績を調査したところ、その重量と直径の間には図3.9に示すような関係があることがわかった。同図より平均的に重量と直径の関係は式(3.4)により表わせる。

$$\left. \begin{array}{l} W_0 \leq 20^T \text{の時, } D = 0.03W_0 + 1.19 \\ W_0 > 20^T \text{の時, } D = 0.004W_0 + 1.71 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.4)$$

ただし、 $W_0$ はコイル1個の重量。

$t_d = 30$ ,  $b_d = 100$ ,  $W = n(1+a_v)W_0$  及び式(3.4)を式(3.2)，(3.3)に代入すると式(3.5)，(3.6)が得られる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{物性Ⅰ: } W_0 \leq 20^T \quad C = 9.04n(1+a_v)W_0 + 0.106W_0 + 69.6 \\ \quad \quad \quad W_0 > 20^T \quad C = 9.04n(1+a_v)W_0 + 0.014W_0 + 71.4 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{物性Ⅱ: } W_0 \leq 20^T \quad C = 0.97n(1+a_v)W_0 + 0.951W_0 + 111 \\ \quad \quad \quad W_0 > 20^T \quad C = 0.97n(1+a_v)W_0 + 0.127W_0 + 128 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.6)$$

式(3.5)，(3.6)の微小項を整理すると

$$\left. \begin{array}{l} \text{物性Ⅰ: } W_0 \leq 20^T \quad C = 9.0n(1+a_v)W_0 + 0.1W_0 + 70 \\ \quad \quad \quad W_0 > 20^T \quad C = 9.0n(1+a_v)W_0 + 71 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{物性Ⅱ: } W_0 \leq 20^T \quad C = n(1+a_v)W_0 + W_0 + 111 \\ \quad \quad \quad W_0 > 20^T \quad C = n(1+a_v)W_0 + 0.1W_0 + 128 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.8)$$

これよりスチールコイルの重量、段数、上下加速度がわかれば、設計荷重幅を容易に求めることが出来る。

なお、式(3.7)は新しいダンネージにコイルを搭載した時の荷重幅を示し、式(3.8)は一度圧縮を受けたダンネージの荷重幅を示すが、実際の船では、船体運動によりダンネージとコイルが動くことも考えられるので、設計用には式(3.8)を使う方が、安全側で良いと思われる。

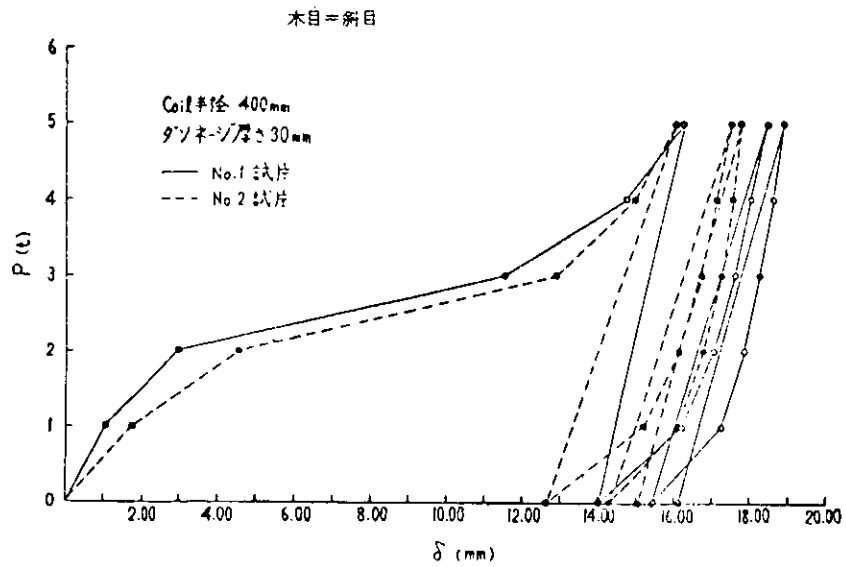


図 3.1 ダブネージ厚さ 30 mm のときの荷重変位曲線

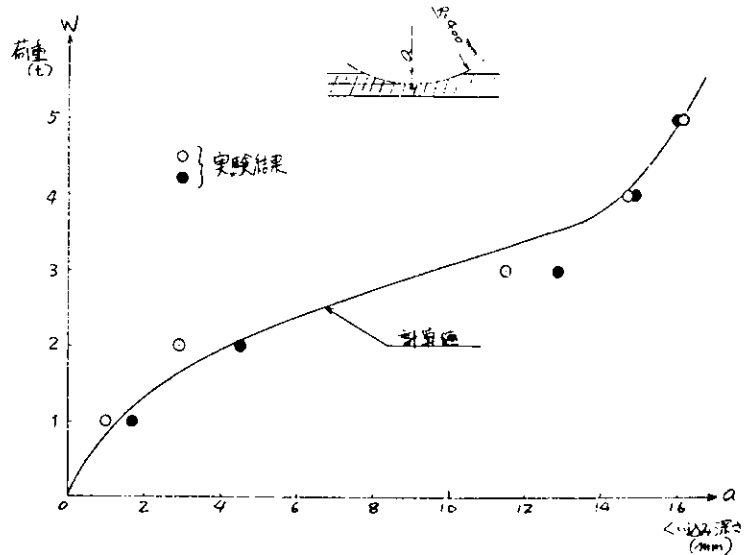


図 3.2 物性 I の荷重変位曲線  
(第 1 回目の圧縮)

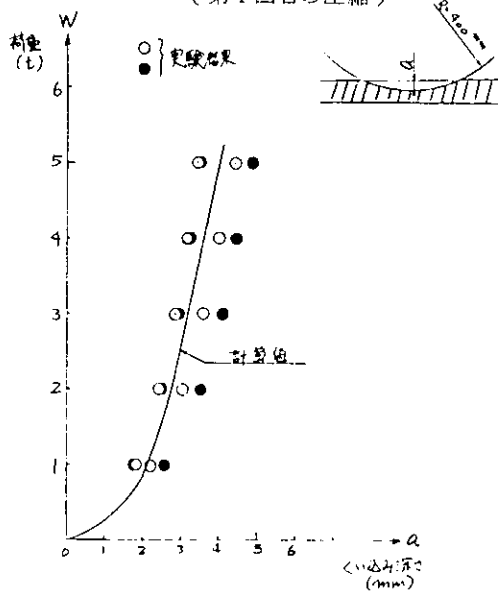


図 3.3 物性 II による荷重変位曲線  
(第 2 回目以後の圧縮)

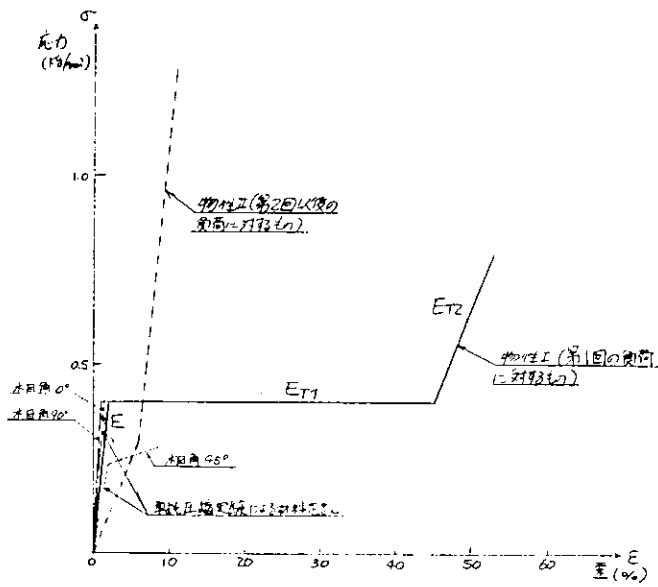


図 3.4 ダンネージの応力歪曲線

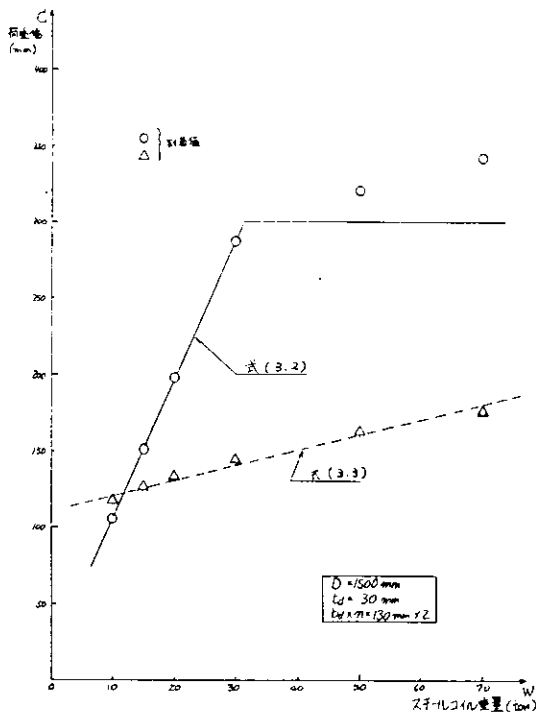


図 3.5 スチールコイル重量の影響

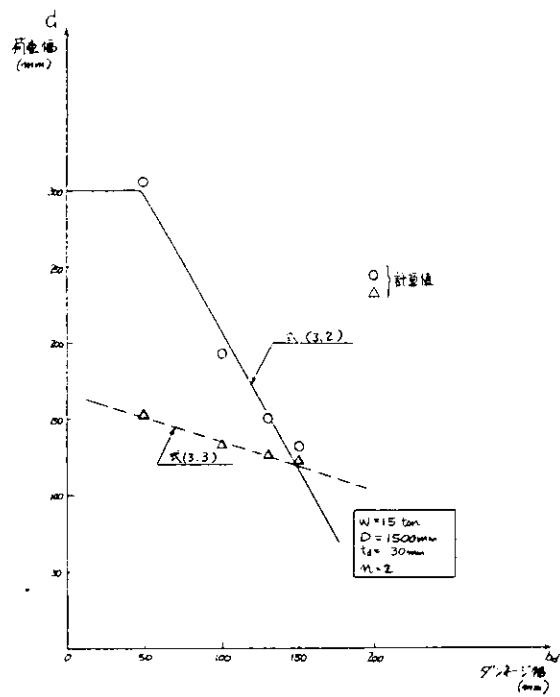


図 3.6 ダンネージ幅の影響

COIL WEIGHT vs COIL DIA の関係

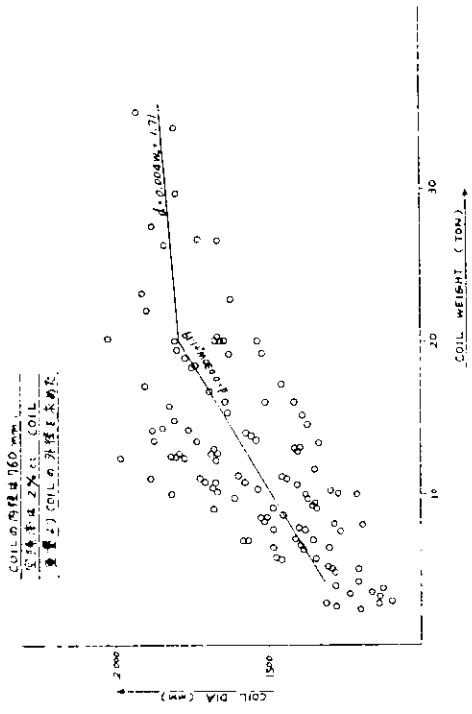


図 3.9 スチールコイル重量と直径の関係

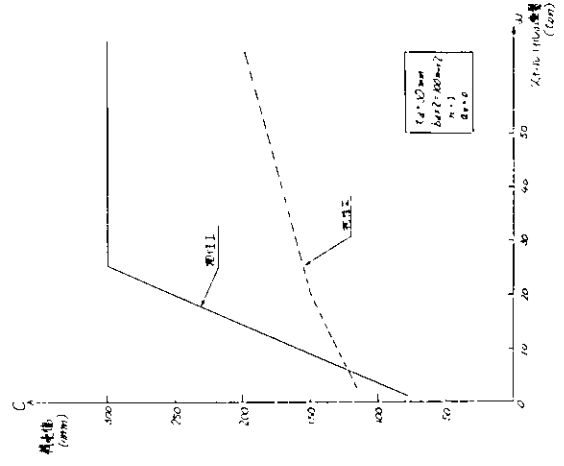


図 3.10 式 (3.7), (3.8) による荷重幅 - 重量直線

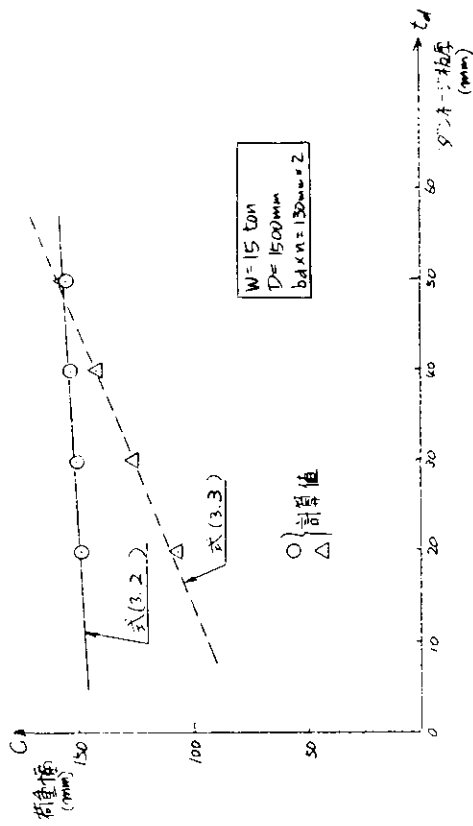


図 3.7 ダンネージ板厚の影響

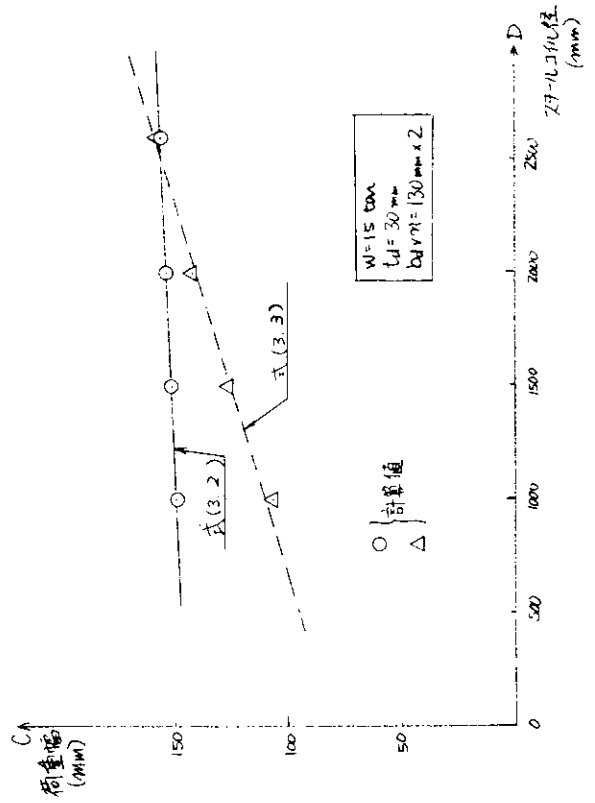


図 3.8 スチールコイル径の影響

## 4. スチールコイルによる荷重

### 4.1 荷重の性質

スチールコイルを積載したとき、船体に加わる荷重は数多くのコイルの間の力の伝達状態によって変化する。通常の場合、コイルは剛体と考えてすべり点を仮定して理論的に求めることができる。

実際には積載時の衝撃や船体振動によっても荷重が変わることが考えられ、これらを含めて安全率（又は荷重係数）を設定すべきである。

船体動揺の影響は、上下方向加速度は見掛け上比重が変化したとすればよく、水平方向の加速度は相当分だけ船体傾斜が変化したと考えればよい。

### 4.2 荷重の大きさ

#### 4.2.1 1段積の場合

##### (1) 計算式

図4.1の記号を用いて計算する。

##### 1) キーコイルとその両側のコイルに作用する力

コイル①の釣り合い

$$W \cos \theta = F_{1A} + f_{2A} - F_{3A} \sin \phi - f_{3A} \cos \phi \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

$$W \sin \theta = F_{2A} + f_{1A} - F_{3A} \cos \phi + f_{3A} \sin \phi \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

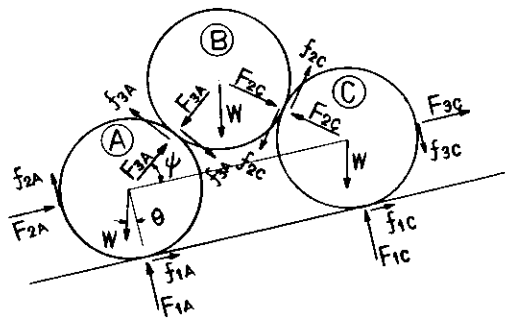
$$0 = f_{2A} + f_{3A} - f_{1A} \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

コイル②の釣り合い

$$W \cos \theta = F_{3A} \sin \phi + f_{3A} \cos \phi + F_{2C} \sin \phi + f_{2C} \cos \phi \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

$$W \sin \theta = F_{3A} \cos \phi - f_{3A} \sin \phi - F_{2C} \cos \phi + f_{2C} \sin \phi \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

$$0 = f_{3A} - f_{2C} \quad \dots \dots \dots (4.6)$$



キーコイル位置をm-nで表わす。

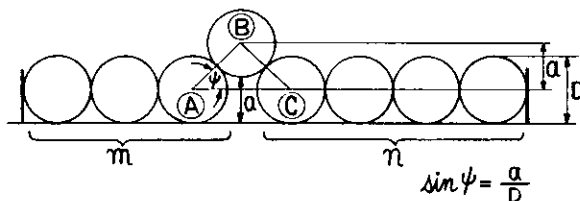


図4.1 記号



コイル①の釣り合い

$$W \cos \theta = F_{1C} - f_{3C} - F_{2C} \sin \phi - f_{2C} \cos \phi \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

$$W \sin \theta = f_{1C} - F_{3C} + F_{2C} \cos \phi - f_{2C} \sin \phi \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

$$0 = f_{2C} - f_{1C} + f_{3C} \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

これらの釣り合い式を、(2・A)点と(3・C)点がすべる条件で解く。

$$f_{2A} = \phi_1 F_{2A} \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

$$f_{3C} = \phi_1 F_{3C} \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

$\phi_1$  : コイル間の摩擦係数

それぞれの方は以下のように求められる。

$$F_{1A} = W \sin \theta \left[ \frac{3}{2} \cot \theta + \frac{1}{2} \tan \phi - \frac{3\phi_1}{1+\phi_1} \right] - \frac{1-\phi_1}{1+\phi_1} \phi_1 F_{3C} \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

$$f_{1A} = W \sin \theta \left[ \frac{1}{1+\sin \phi} \left( \frac{1}{2} \cos \phi \cot \theta - \frac{3}{2} \sin \phi \right) + \frac{3\phi_1}{1+\phi_1} \right] \\ + F_{3C} (1-\phi_1) \left( \frac{\phi_1}{1+\phi_1} - \frac{\sin \phi}{1+\sin \phi} \right) \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

$$F_{2A} = \frac{1}{1+\phi_1} \left[ 3W \sin \theta + F_{3C} (1-\phi_1) \right] \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

$$f_{2A} = \phi_1 F_{2A} \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

$$F_{3A} = \frac{1}{\cos \phi} \left[ W \left( \frac{1}{2} \cos \theta \cos \phi - \frac{3}{2} \sin \theta \sin \phi + 2 \sin \theta \right) + F_{3C} (1-\phi_1) (1-\sin \phi) \right] \\ \dots\dots\dots (4.16)$$

$$f_{3A} = \frac{1}{1+\sin \phi} \left[ W \left( \frac{1}{2} \cos \theta \cos \phi - \frac{3}{2} \sin \theta \sin \phi \right) - F_{3C} (1-\phi_1) \sin \phi \right] \quad \dots\dots (4.17)$$

$$F_{1C} = W \sin \theta \left[ \frac{3}{2} \cot \theta - \frac{1}{2} \tan \phi \right] + \phi_1 F_{3C} \quad \dots\dots\dots (4.18)$$

$$f_{1C} = \frac{1}{1+\sin \phi} \left[ W \sin \theta \left( \frac{3}{2} \sin \phi - \frac{1}{2} \cos \phi \cot \theta \right) + (\phi_1 + \sin \phi) F_{3C} \right] \quad \dots\dots (4.19)$$

$$F_{2C} = \frac{1}{\cos \phi} \left[ W \left( \frac{1}{2} \cos \theta \cos \phi - \frac{3}{2} \sin \theta \sin \phi + \sin \theta \right) + F_{3C} (1-\phi_1) (1-\sin \phi) \right] \\ \dots\dots\dots (4.20)$$

$$f_{2C} = \frac{1}{1+\sin \phi} \left[ W \left( \frac{1}{2} \cos \theta \cos \phi - \frac{3}{2} \sin \theta \sin \phi \right) - F_{3C} (1-\phi_1) \sin \phi \right] \quad \dots\dots (4.21)$$

$$f_{3C} = \phi_1 F_{3C} \quad \dots\dots\dots (4.22)$$

$F_{3C}$  はキーコイルの位置によって算出される。

すなわち、図 4.1 に示した状態でキーコイル②の右側に  $n$  個のコイルがある場合、(4.23) 式で与えられる。

$$F_{3C} = W \sin \theta \cdot \frac{1}{2\phi_1} \left[ 1 - \left( \frac{1-\phi_1}{1+\phi_1} \right)^{n-1} \right] + \left( \frac{1-\phi_1}{1+\phi_1} \right)^{n-1} F_0 \quad \dots\dots\dots (4.23)$$

ただし、右側の船側壁とコイルの間に作用する力を  $F_0$  で表わしている。

## 2) 船側壁に加わる荷重

船側壁に加わる荷重は、(4.14)、(4.15) 式で与えられる  $F_{2A}$ 、 $f_{2A}$  を用いて図 4.1 の状態で、順次左側のコイルに作用する力の釣り合いから求められる。コイルとコイルの接触点ですべるとした場合(4.24)

式となり、コイルと二重底フロア（ダンネージ）の接触点ですべるとした場合（4.25）式のようになる。

$$F = W \sin \theta \left[ \frac{2}{1-\phi_1} \left( \frac{1-\phi_1}{1+\phi_1} \right)^{m-1} + \frac{1}{2\phi_1} \left\{ 1 - \left( \frac{1-\phi_1}{1+\phi_1} \right)^{m+n-1} \right\} \right] + \left( \frac{1-\phi_1}{1+\phi_1} \right)^{m+n-1} F_0 \quad (4.24)$$

$$F = F_{2 \cdot m} \quad (4.25)$$

$$\left( F_{2 \cdot i} = W \sin \theta + F_{2 \cdot i-1} - \frac{\phi_2}{1+\phi_2} (W \cos \theta + 2f_{2 \cdot i-1}) \right) \quad (4.26)$$

$$\left( f_{2 \cdot i} = \frac{\phi_2}{1+\phi_2} W \cos \theta - \frac{1-\phi_1}{1+\phi_1} \cdot f_{2 \cdot i-1} \right) \quad (4.27)$$

ただし、 $F_{2 \cdot 1} = \bar{F}_{2 \cdot A}$ 、 $f_{2 \cdot 1} = f_{2 \cdot A}$

$\phi_2$  : コイルと二重底フロア（ダンネージ）の摩擦係数

なお、キーコイルを設けない場合は（4.23）式で直接計算できる。

## (2) 実験値との比較

以上の理論で得られた結果を実験値と比較して図 4.3 (a)~(c)に示す。また、この実験方法の概要を図 4.2 に示す。これらより、上述の理論計算法は十分な精度を有していることがわかる。

## (3) 設計荷重

(1)に述べた理論計算と実験により船側に加わる荷重は、ほぼ次のように与えられる。

$$F \approx 2.5 W \sin \theta \quad (4.28)$$

$W$  : コイル 1 個の重量

$\theta$  : 船体傾斜角

これはキーコイルが端から 3 個目以上に離れている場合の値であって、これが 2 個目である場合には

$$F \approx 4 W \sin \theta \quad (4.29)$$

以上となる場合も考えられる。

次に二重底に加わる荷重としてはキーコイル下のコイルからは  $\frac{F}{W} = 1.5$  が加わると考えるのが自然である。しかし、今実験によれば隣接コイルとの摩擦などのためこの  $\frac{F}{W}$  は多少小さくなって 1.34 ~ 1.43 程度となっている（表 4.1）。そこでキーコイルの位置が絶えず変化することも考えて最大値をとらずにこの実験値の平均をとり、

$$F = 1.4 W \quad (4.30)$$

程度でもよいと思われる。傾斜したときにはこの比はさらに 1.62 程度に増加することもあるが、横傾斜の大きいときには上下方向加速度が 0 に近いのが普通であるので、上下方向加速度による 1.5 倍の増加を考慮する場合の荷重としては上記 1.4 程度でもよいのではないと思われる。

以上の説明から明らかなように、これは 1 段積のキーコイルの場合のとり方である。1.5 段積または 2 段積以上の場合には実験例はないが、隣接コイルとの摩擦などによる軽減は期待できないので  $F = 1.5 W$  または  $2 W$  のように上方のコイルの荷重がそれと接する下方のコイルへ伝達するとして計算をするべきである。

## 4.2.2 多段積の場合

### (1) 計算式

2 段以上積載するときには一般には不静定構造となり、コイルの変形を考慮しなければ理論的にこれを求め

ることはできない。しかし、図 4.4 のように互いに横にあるコイルと直接接しないときには次に示すように簡単に計算できる。

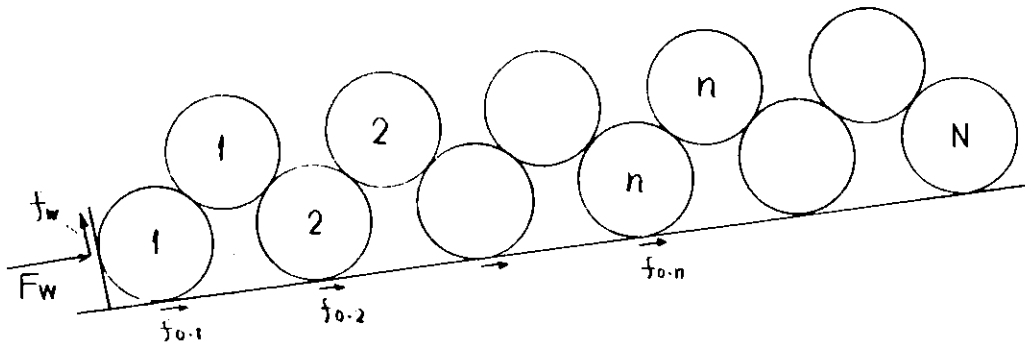


図 4.4

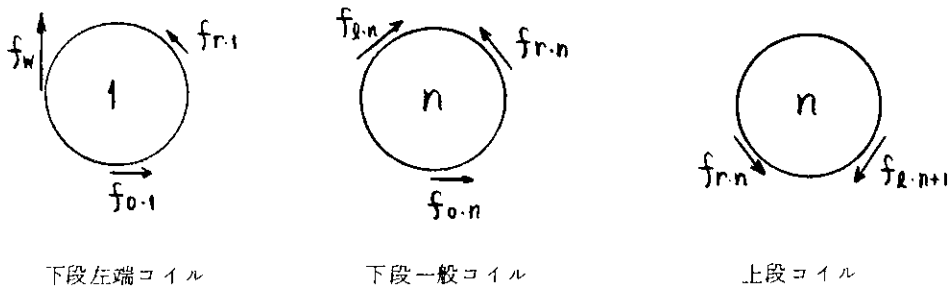


図 4.5

左側から上下各段別に図 4.4 のように番号をつける。このとき各コイルに加わる荷重を図 4.5 のように表わすと、各コイルのモーメントの釣り合いより、

$$\text{下段のコイル} \quad f_{l \cdot n} = f_{0 \cdot n} + f_{r \cdot n} \quad \dots\dots\dots (4.31)$$

$$\text{上段のコイル} \quad f_{r \cdot n} = f_{l \cdot n+1} \quad \dots\dots\dots (4.32)$$

したがって

$$f_w = f_{0 \cdot 1} + f_{r \cdot 1} = f_{0 \cdot 1} + f_{0 \cdot 2} + f_{r \cdot 2} = \dots\dots\dots = \sum_{i=1}^N f_{0 \cdot i} \quad \dots\dots\dots (4.33)$$

船巾方向の力の釣り合いより

$$F_W + \sum_{i=1}^N f_{0 \cdot i} = F_W + f_w = mW \sin \theta \quad \dots\dots\dots (4.34)$$

$$F_W = \frac{1}{1+\phi} mW \sin \theta \quad \dots\dots\dots (4.35)$$

m : 上下段を合わせたコイル数

以上は 2 段積の場合について記したが、3 段以上でも転がり可能な積み方の場合には同じ結果となる。ただし、実際には軽く柔いコイルの場合など、数が多くなると転がり摩擦の効果も多少は現われる苦である。

(2) 設計荷重

(1) に述べた方法によって計算すると船側に加わる荷重が非常に大きくなる。  $\phi \approx 0.4$  とすると

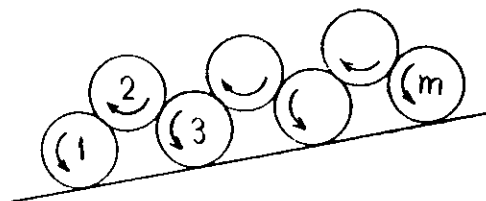


図 4.6

$$F_w = 0.7 m W \sin \theta \quad \dots\dots\dots (4.36)$$

これは船側がない場合、全コイルが図 4.6 に示すように下方にすべることなく転がり得るため船側における上下方向摩擦力  $f_w$  の波及によって二重底との間に生じる摩擦力の分が軽減されるだけとなる。したがって、このような運動が生じないように各コイル間の固縛を十分行なうべきである。

一般の積み方としては、まず最下段を密に並べその上に 2 段目を並べることが多いと思われる。この場合には水平力が大きくなれば最下段同志の接触力が強くなるため最下段コイル相互の摩擦力が大きいと思われ、(4.36) 式よりはかなり小さくなることが期待できる。

### 4.3 積み方の制限

キーコイルはそのはまり方が浅いと横方向に不安定となり、深すぎると落ち込んで左右に大きな力を生じる。実際の積み方は次のように行なう必要がある。

- (1) キーコイルのはまり方は図 4.1 の  $a/D$  を用いて

$$\frac{1}{6} < a/D < \frac{2}{3} \quad \dots\dots\dots (4.37)$$

とすべきである。コイルの弾性変形後の状態で

$$\frac{a}{D} \approx \frac{1}{4} \sim \frac{1}{2} \quad \dots\dots\dots (4.38)$$

程度が好ましいと考えられる。

- (2) これ以上深くなるときは近くのコイルに木材等をはさんで  $a/D$  を大きくするか、落ち込みをとめる手段を講じるべきである(図 4.7)。

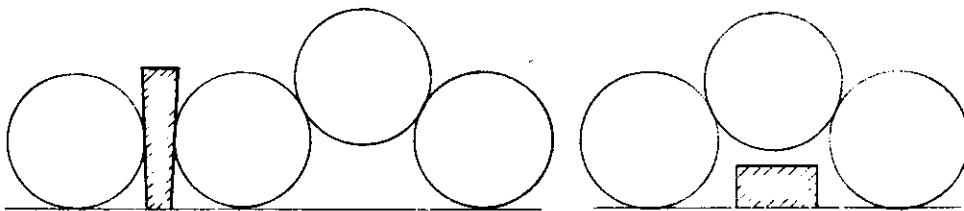


図 4.7

- (3) キーコイルはなるべくホールド中央に設けるべきである。

これが端に近づいた時に 4.2 に述べたように船側に加わる荷重が大きくなるので特にコイルの重量が大きいときには注意しなければならない。

表 4.1 キーコイル下側のコイルから底面に加わる荷重

キーコイル 位置 m-n	状 態	$a/D = \frac{1}{2}$			$a/D = \frac{1}{3}$			$a/D = \frac{1}{6}$			
		荷 重 (kg)	①に対 する比	②に対 する比	荷 重 (kg)	①に対 する比	②に対 する比	荷 重 (kg)	①に対 する比	②に対 する比	
3-3	① コイル自重	121	1.00	-	120	1.00	-	119	1.00	-	
	② キーコイル をのせた時	170	1.40	1.00	163	1.36	1.00	159	1.34	1.00	
	動揺4 回目の 値	B注)	177	1.46	1.04	180	1.50	1.10	182	1.53	1.14
		A注)	140	1.16	0.82	133	1.11	0.82	132	1.11	0.83
3-6	① コイル自重	124	1.00	-	115	1.00	-	117	1.00	-	
	② キーコイル をのせた時	169	1.36	1.00	162	1.41	1.00	167	1.43	1.00	
	動揺4 回目の 値	B	180	1.45	1.07	183	1.59	1.13	187	1.60	1.12
		A	135	1.09	0.80	131	1.14	0.81	135	1.15	0.81
理論計算値 (3-3と3-6は ほぼ同じ)	B		1.45			1.49			1.52		
	A		1.15			1.12			1.20		

注) B: 計測コイルがキーコイルの上側になる状態

A: 計測コイルがキーコイルの下側になる状態

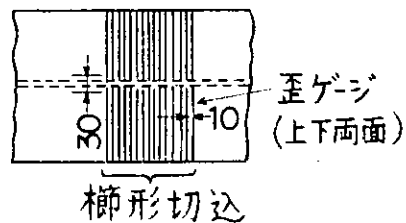
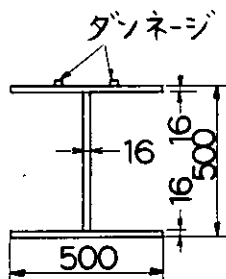
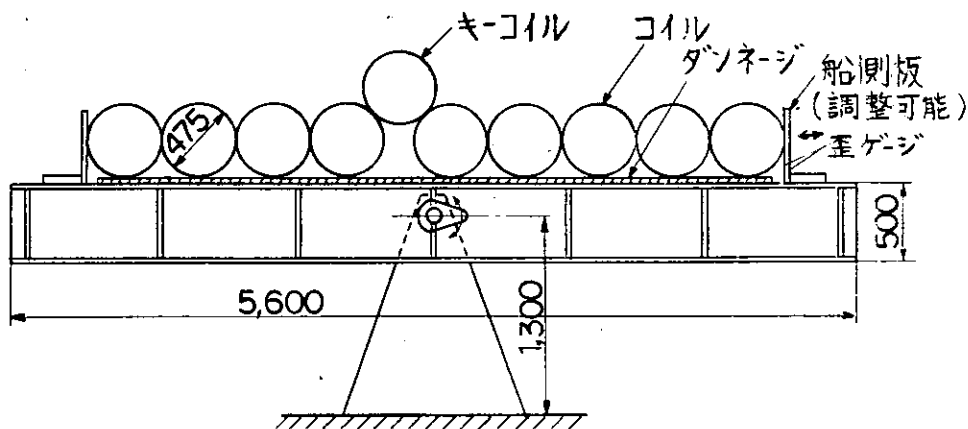
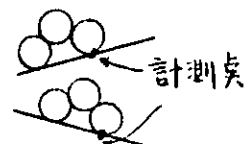


図 4.2 実験方法

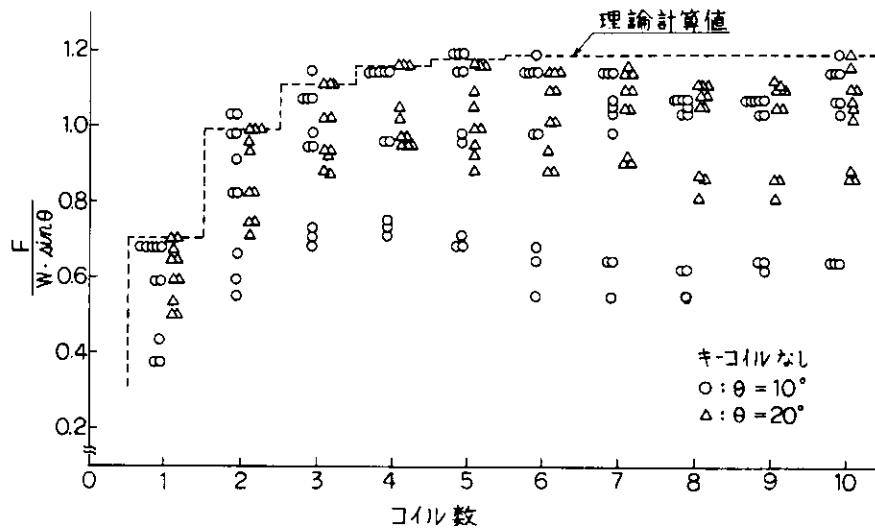


図 4.3 (a) 船側に加わる荷重 (キーコイルなし)

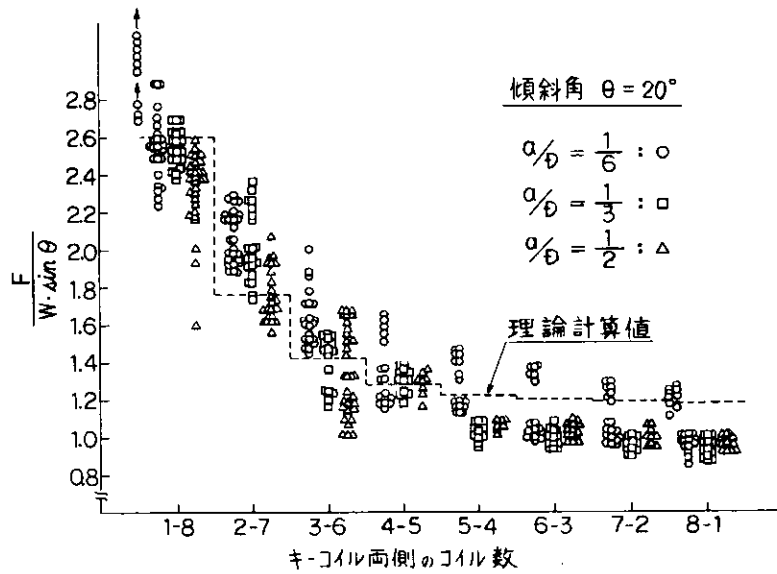


図 4.3 (b) 船側に加わる荷重, キーコイル位置の影響

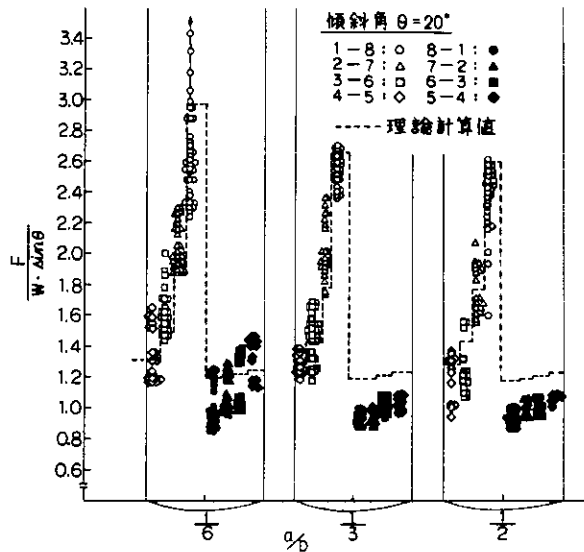


図 4.3 (c) 船側に加わる荷重, キーコイルはまり方の影響

## 5. パネルの強度

二重底内底板の凹損事故防止するために、内底板パネルの強度について検討された結果をまとめると次のようになる。

### 5.1 膜力の影響

図 5.1 に両端支持の帯板（ロンヂスペース 610mm）が中央に集中荷重 P を受ける場合の荷重 P と撓み  $W_e$  の計算例を示す。図中に、膜力を考えない弾性計算、膜力を考えた弾性計算、膜力を考えた弾塑性計算、塑性崩壊荷重、等が対比されている。同図より実船殻においては、塑性崩壊荷重以上の強度を持つことが期待され、膜力の効果は大きいと考えられるが、残留撓みをどの程度許容するかは今後の課題である。

### 5.2 各種周辺条件と分布荷重によるパネルの撓みと応力

膜力を考えない弾性計算<sup>1)</sup>によりパネルの曲げ応力と撓みを求めると表 5.1 になる。周辺支持の場合が最も弱くパネル中央の曲げ応力  $\sigma$  は次式で与えられる。

$$\sigma = \bar{\beta} \frac{W}{l^2} \quad \bar{\beta} \approx 1.35 \quad \text{ただし、表 5.1 の矩形分布荷重の場合}$$

表 5.1 によると、アスペクト比の影響は大きくなく、アスペクト比 1 では 2 よりも曲げ応力が 10% 程度増加するにすぎない。後記されるように、板パネルの塑性崩壊荷重の算式と同じ型の式で表示される。

### 5.3 パネルに作用する荷重に対する考察

内底板パネルの板厚を決定するのに、スチールコイル重量  $W_H$ 、その寸法（直径  $D_i$ 、長さ  $l$ ）とパネルに作用する荷重について定性的な理解を深めておくことは、設計上重要と考えられる。

通常、荷物を船倉に積む場合、できるだけ均一に二重底に荷物を積むことが望ましく、均一荷重の場合の二重底の設計水頭  $h_D$  (m) を受ける板パネル（アスペクト比  $\alpha$ 、ロンヂスペース  $S$ ）の場合には、パネルに作用する荷重  $W$  は  $1.025 \alpha S^2 h_D$  となる。しかしスチールコイルの荷姿の関係から  $D_i/S$  倍の荷重が作用することになり、コイル直径が大きいと荷重が大きくなる。

即ち

$$W = 1.025 \frac{D_i}{S} \times \alpha S^2 h_D \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

となる。

さて、スチールコイル（1 個当り重量  $W_H$ ）を  $n$  段積む場合のパネルに作用する荷重  $W$  は次式で近似して表示できる。

$$W = \frac{n W_H}{l} \times \alpha S \quad \dots \dots \dots (5.2)$$

従って、コイルを (5.1) 式以下に積む必要があり (5.2) 式と合せると

$$1.025 h_D > \frac{n W_H}{D_i l} \quad \dots \dots \dots (5.3)$$

となる。

(5.3) 式から判るように、コイル長さが小さい場合には段数を減らせるか、積み付を粗くする必要が出てくる。

1) 関西造船協会編、造船設計便覧、第 3 版、p113～115

これらの事柄から、大型コイルであると通常貨物に対する二重底設計水頭を越える荷重がパネルに作用する傾向が強くなり、コイルの寸法 ( $D_i \times \ell$ ) と積み込み要領に一層の配慮が望まれる。

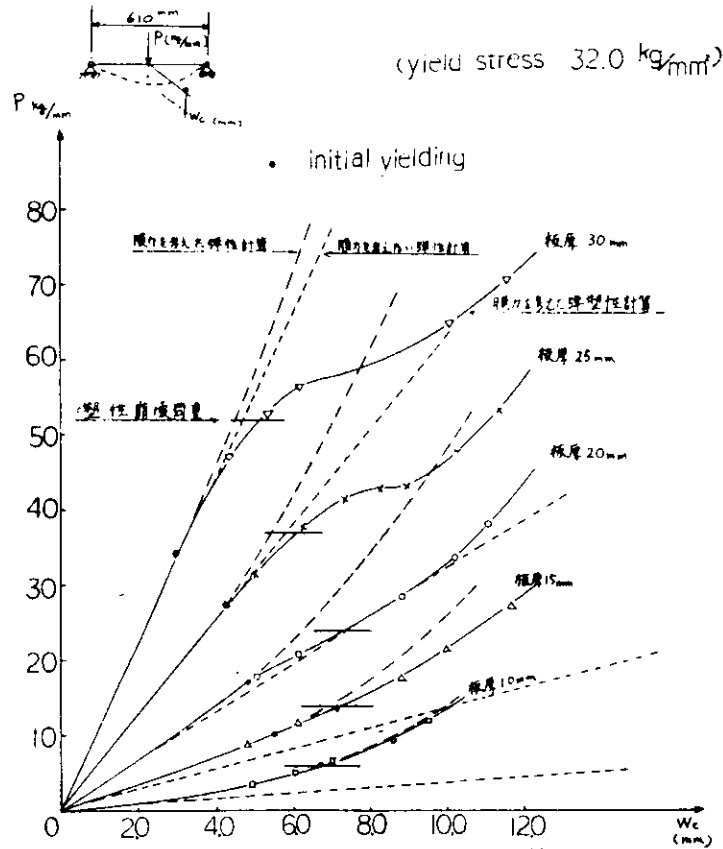
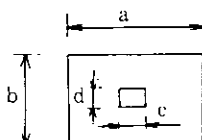


表 5.1 弾性解による撓み，曲げ応力とアスペクト比の関係

アスペクト比 (a/b)		1.0	1.4	2.0	備 考
荷 重	荷 重 分 布	撓み係数 : $\delta$			$\delta = 0.017 \delta \frac{W b^2}{E t^3}$
周辺支持	集中荷重	7.23	9.53	10.6	パネル中央
	矩形荷重	6.94	7.94	8.9	
	等分布荷重	2.65	3.24	3.27	
周辺固定	集中荷重	3.65	4.42	4.70	長辺中央
	矩形荷重	3.24	4.00	4.00	
	等分布荷重	0.82	1.00	1.00	
		曲げ応力係数 : $\beta$			$\sigma = \beta \frac{W}{t^2}$
周辺支持 中 央	集中荷重	$\infty$	$\infty$	$\infty$	パネル中央
	矩形荷重	1.30	1.35	1.35	
	等分布荷重	0.30	0.32	0.32	
周辺固定 長辺中央	集中荷重	0.82	0.96	1.00	長辺中央
	矩形荷重	0.81	0.96	1.00	
	等分布荷重	0.30	0.30	0.25	

注1 矩形荷重

$a/c = b/d = 0.2$



注2 W : パネルに作用する荷重

E : ヤング率

t : パネル板厚

$\delta$  : 荷重点の撓み

$\sigma$  : 曲げ応力



## 6. スチールコイル積船の積載方法及び構造設計に関する指針

### 6.1 スチールコイルの積載方法

- 1) 内張板を施さない船倉にスチールコイルを積載する場合は、内底板上面にスチールコイルの重量に応じて、1個のスチールコイルに対し2条ないし3条のダンネージ(主として米松材)を配置し荷重の分散をはかること。
- 2) 貨物の保定のためにキーコイルを用いてローリングショックを行なう場合、キーコイルはできるだけ船体中心線近くに設けること。
- 3) キーコイルの中心とキーコイルにより保定されるコイル群の中心間の垂直距離は、コイルの直径の $\frac{1}{4}$ から $\frac{1}{2}$ 程度とすることが望ましい。
- 4) スチールコイルが直接船体構造部材と接触する部分、例えば船側横肋骨、肋骨下部の肘板及びビルジホッパー斜板等には、内底板と同様ダンネージを設け部材を保護すること。
- 5) 内底板を施した上にスチールコイルを積載する場合は、スリーパー(根太)の配置に十分な考慮を払う必要がある。

### 6.2 二重底構造

#### 6.2.1 内底板の厚さ

- (1) 内底板の厚さは次の算式による値以上とすること。但し、フォークリフトによって積付けを行なう場合又はスチールコイル以外の貨物を積載することがある場合には、各々の条件の下で別途計算を行ない板厚を決めること。

$$t = \sqrt{kQ \{ (1.65\beta - 2.3)\alpha - 6\beta + 12.2 \} + 1.5} \quad (\text{mm})$$

kは、安全率で1.65とする。

Qは、肋板又は縦桁及び内底板付肋骨により支持される内底板1パネルに加わるスチールコイルの総重量(ton)で縦式構造の場合は-2による。

$\beta$ は、 $\frac{c}{a}$

$\alpha$ は、内底板のパネルのアスペクト比で $\frac{a}{b}$ 。但し、 $\alpha$ が3以上の場合は3とする。

aは、縦式構造の場合は肋板間の距離(mm) 横式構造の場合は縦桁間の距離(mm)

bは、内底板付肋骨間の距離(mm)

cは、内底板のパネルに加わる荷重点の中心間の距離(mm)で縦式構造の場合は-3による。(図6.1参照)

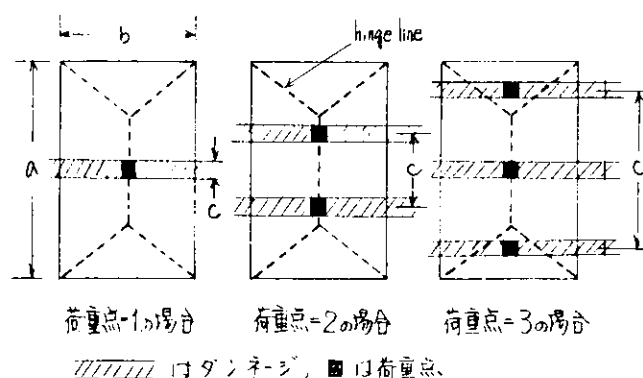


図 6.1 縦式構造の場合のCの割り方

(2) 縦式構造の場合のQの算定は次式による。

$$Q = \frac{W}{n_1} \times n_2 \times n_3 \quad (\text{ton})$$

Wは、スチールコイル1個の重量(ton)

$n_1$ は、1個のスチールコイルを支えるダンネージの条数。

$n_2$ は、1パネルに存在するダンネージの数(荷重点の数)で $n_1$ と $a/l_s$ の値により表6.1により求める。

$n_3$ は、スチールコイルの段数。

$l_s$ は、スチールコイルの幅(mm)

aは、(1)による。

表 6.1  $n_2$  の 値

$n_1 \backslash n_2$	2	3	4
1	$0 < \frac{a}{l_s} \leq 0.5$	$0 < \frac{a}{l_s} \leq 0.33$	$0 < \frac{a}{l_s} \leq 0.25$
2	$0.5 < \frac{a}{l_s} \leq 1.2$	$0.33 < \frac{a}{l_s} \leq 0.66$	$0.25 < \frac{a}{l_s} \leq 0.5$
3	$1.2 < \frac{a}{l_s} \leq 1.7$	$0.66 < \frac{a}{l_s} \leq 1.2$	$0.5 < \frac{a}{l_s} \leq 0.75$
4	$1.7 < \frac{a}{l_s} \leq 2.4$	$1.2 < \frac{a}{l_s} \leq 1.54$	$0.75 < \frac{a}{l_s} \leq 1.2$
5	$2.4 < \frac{a}{l_s} \leq 2.9$	$1.54 < \frac{a}{l_s} \leq 1.86$	$1.2 < \frac{a}{l_s} \leq 1.45$

(3) 縦式構造の場合のcの値は、 $n_1$ 及び $n_2$ の値により表6.2中の算式により計算する。

(4) 内底板に高張力鋼を使用する場合の内底板の厚さは、(1)の算式中のkの値に、高張力鋼の種類に応じて、次の値を乗じた値をkとして計算する。

高張力鋼32を使用した場合 0.78

高張力鋼36を使用した場合 0.72

表 6.2 縦式構造の場合のcの値 (mm)

$n_1 \backslash n_2$	2	3	4
1	実際のダンネージの幅		
2	$0.5 l_s$	$0.33 l_s$	$0.25 l_s$
3	$1.2 l_s$	$0.66 l_s$	$0.50 l_s$
4	$1.7 l_s$	$1.20 l_s$	$0.75 l_s$
5	$2.4 l_s$	$1.54 l_s$	$1.20 l_s$

但し、 $l_s$ は(2)による。

(5) スチールコイルを1段積みにして、キーコイルを用いてローリングショックを行なう場合の内底板の板厚は(1)のQの値に1.4を乗じて算定すること。

### 6.2.2 内底板付肋骨

(1) 内底板付肋骨の断面係数は、肋骨又は桁板の位置で固定、ストラットのある場合はストラットの位置で単純

支持されるとして、肋骨を単純梁と仮定し弾性計算でこれを求めること。

- (2) (1) における許容応力は次に示す値とする。

$$\text{縦肋骨} \quad (24 - 10.2 f_B) / 1.2 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\text{横肋骨} \quad 18 \text{ Kg/mm}^2$$

但し、 $f_B$ は船底に対する規定の横断面係数と実際の船の横断面係数との比。但し、0.85未満の場合は0.85とする。

- (3) (1) の計算の荷重は、肋骨直上にスチールコイルが載る場合の荷重とし、ダンネージの位置で集中荷重が働くものとする。

### 6.2.3 肋板及び桁板

肋板及び桁板はスチールコイルの荷重による圧縮座屈に対して十分な強度を有すること。特に、マンホール、艀目孔等の開口の位置にスチールコイルが載る場合は注意を要する。

## 6.3 船側構造

### 6.3.1 船側横肋骨1本に加わる荷重

- (1) スチールコイルを1段積みにした場合、船側横肋骨1本に加わる荷重は次式によって算定される。

$$2.5 \frac{k}{n} W \sin \theta \quad (\text{ton})$$

$W$ は、スチールコイル1個の重量(ton)

$\theta$ は、横傾斜角度で通常は $20^\circ$ とする。

$n$ は、1個のスチールコイルを支持する肋骨の数。

$k$ は、船体運動による横方向の加速度による係数で、通常は1.0とする。

- (2) 船側横肋骨の寸法は、(1)に定める荷重及び船側外水圧による荷重に対し、二重底の位置で固定、上甲板の位置で単純支持として弾性計算を行なうものとする。

この場合の許容応力は $20 \text{ Kg/mm}^2$ とする。

## 7. 指 針 解 説

### 7.1 スチールコイルの積載方法

スチールコイルの積載方法に対する指針は、一般に現在行なわれている方法で、船体構造上特に守る必要のある事項について記述したものである。

又、(2)及び(3)のキーコイルの位置に対する指針については4.3(積み方の制限)参照のこと。

### 7.2 内底板の強度

(1) スチールコイルの重量は、ダンネージを介して肋板又は桁板及び内底板付肋骨により支持される内底板のパネルに、部分矩形等分布荷重として働くものとする。

このような中央に部分矩形等分布荷重を受けるパネルが塑性崩壊する場合に対して安全率を1.1有するとして内底板の強度を求めた。

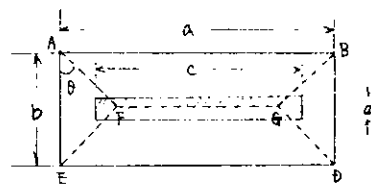
(2) 崩壊荷重

図7.1に示すような崩壊機構を考え、線分FGに沿っての撓みを $\delta$ 、角EAFを $\theta$ とすれば三角形AEFと台形ABGFとの間の角度は $\frac{2\delta}{b} \cdot \frac{1}{\sin\theta}$ で与えられる。

1) 内力のなす仕事

今、パネルの周辺条件を四辺支持とした場合、Hinge Line(塑性関節線)に沿って内力のなす仕事は、単位長さ当りの塑性モーメント $M_p$ と角変形量との積で与えられるので次式によって与えられる。

$$\begin{aligned}
 U &= M_p \times \left\{ 4 \cdot \frac{b}{2 \cos \theta} \times \left( \frac{2\delta}{b} \times \frac{1}{\sin \theta} \right) + (a - b \tan \theta) \frac{4\delta}{b} \right\} \\
 &= \frac{4\delta}{b} \times M_p \left( a - b \tan \theta + \frac{b}{\cos \theta \cdot \sin \theta} \right) \dots\dots\dots (7.1)
 \end{aligned}$$



部分矩形荷重を示す

図 7.1 パネルの崩壊形式

2) 板の撓み変形によって荷重のなす仕事

図7.1に示すように、パネルの中央に部分矩形等分布荷重を受ける場合の荷重のなす仕事は、板の最初の平面から、荷重部分の板の撓み面との間の容積と単位面積当りの荷重 $q$ との積で与えられる。

$$\begin{aligned}
 W &= 2 \left\{ \frac{1}{2} \left[ \frac{(a-c)}{b \tan \theta} + 1 \right] \delta \times \frac{b \tan \theta - (a-c)}{2} \times d - \frac{d^2 \tan \theta}{12b} \delta d \right\} q + \\
 &\quad \left\{ \left[ 1 + \left( 1 - \frac{d}{2} \times \frac{2}{b} \right) \right] \delta \times \frac{d}{2} \times \ell \right\} q \\
 &= \frac{d \delta q}{2b \tan \theta} \left\{ 2ab \left( 1 - \frac{d}{2b} \right) \tan \theta + \left( bd - b^2 - \frac{1}{3}d^2 \right) \tan^2 \theta - (a-c)^2 \right\} \dots\dots\dots (7.2)
 \end{aligned}$$

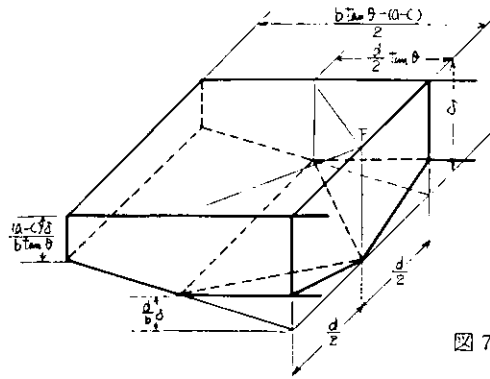


図 7.2 荷重の算定

3) 板厚の算定

1) 及び 2) で求めた U と W を等しいと置けば,  $M_p = \frac{\sigma_y t^2}{4}$  及び  $q = \frac{Q}{dc}$  として, 板厚に関する次式が得られる。

$$t^2 = \frac{kQ \left\{ 2ab \left(1 - \frac{d}{2b}\right) \tan \theta + \left(bd - b^2 - \frac{1}{3}d^2\right) \tan^2 \theta - (a-c)^2 \right\}}{2\sigma_y c (a \tan \theta + b)} \quad \dots\dots\dots (7.3)$$

但し, k は安全率

Q はパネルに加わる総荷重

$\sigma_y$  は降伏応力で軟鋼使用の場合は  $24 \text{ kg/mm}^2$  とする。

又, 崩壊に対して最小の荷重を与える  $\theta$  を求める為, (7.3) 式を Q について整理したものを  $\theta$  について微分して最小値を求めると  $\tan \theta$  は次式で与えられる。

$$\tan \theta = -\frac{b}{a} + \sqrt{\left(\frac{b}{a}\right)^2 - \frac{2\left(1 - \frac{d}{2b}\right) - \left(\frac{a-c}{b}\right)^2}{\frac{d}{b} - \frac{1}{3}\left(\frac{d}{b}\right)^2 - 1}} \quad \dots\dots\dots (7.4)$$

4) 以上は周辺支持の場合であるが, 板厚 t 及び  $\tan \theta$  を各周辺条件の下で同様に求めると表 7.1 のようになる。

表 7.1 板厚 t 及び  $\tan \theta$

条 件	$t^2$	$\tan \theta$
四辺支持	$\frac{kQZ}{2\sigma_y \beta \alpha (\alpha \tan \theta + 1)}$	$-\frac{1}{\alpha} + \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} + \frac{2\left(1 - \frac{\gamma}{2}\right)}{1 - \gamma + \frac{1}{3}\gamma^2} + \frac{\alpha^2(1 - \beta)^2}{1 - \gamma + \frac{1}{3}\gamma^2}}$
a 辺固定 b 辺支持	$\frac{kQZ}{2\sigma_y \beta \alpha (2\alpha \tan \theta + 1)}$	$-\frac{1}{2\alpha} + \sqrt{\frac{1}{4\alpha^2} + \frac{\left(1 - \frac{\gamma}{2}\right)}{1 - \gamma + \frac{1}{3}\gamma^2} + \frac{\alpha^2(1 - \beta)^2}{1 - \gamma + \frac{1}{3}\gamma^2}}$
a 辺支持 b 辺固定	$\frac{kQZ}{2\sigma_y \beta \alpha (\alpha \tan \theta + 2)}$	$-\frac{2}{\alpha} + \sqrt{\frac{4}{\alpha^2} + \frac{4\left(1 - \frac{\gamma}{2}\right)}{1 - \gamma + \frac{1}{3}\gamma^2} + \frac{\alpha^2(1 - \beta)^2}{1 - \gamma + \frac{1}{3}\gamma^2}}$
四辺固定	$\frac{kQZ}{2\sigma_y \beta \alpha (2\alpha \tan \theta + 2)}$	$-\frac{1}{\alpha} + \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} + \frac{2\left(1 - \frac{\gamma}{2}\right)}{1 - \gamma + \frac{1}{3}\gamma^2} + \frac{\alpha^2(1 - \beta)^2}{1 - \gamma + \frac{1}{3}\gamma^2}}$

但し,  $Z = 2x\left(1 - \frac{\gamma}{2}\right)\tan \theta - \left(1 - \gamma + \frac{1}{3}\gamma^2\right)\tan^2 \theta - x^2(1 - \beta)^2$

$\alpha = \frac{a}{b}, \beta = \frac{c}{a}, \gamma = \frac{d}{b}$

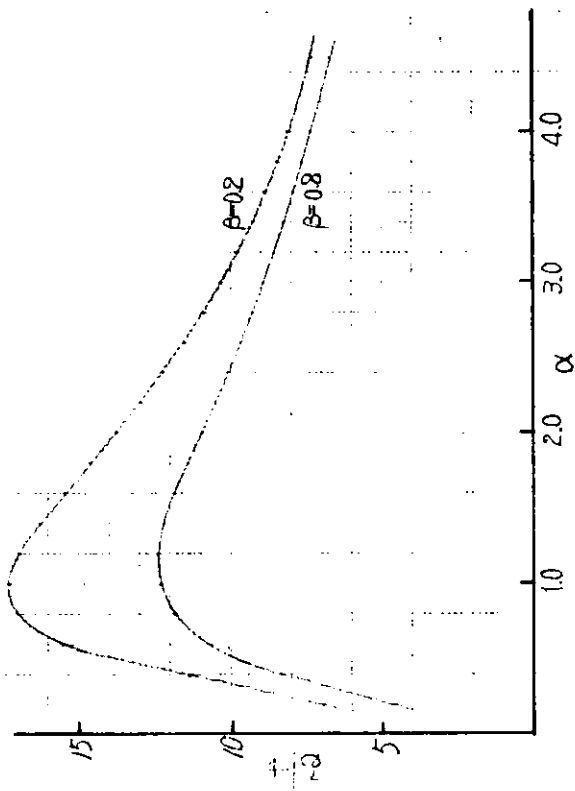


図 7.3 四辺支持の場合  
( $\gamma=0.3, \sigma_y=24 \text{ Kg/mm}^2$ )

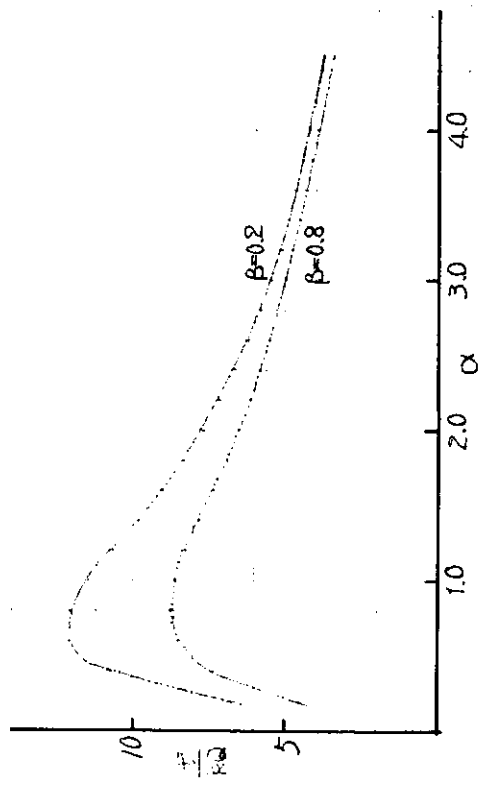


図 7.5 長辺固定短辺支持の場合  
( $\gamma=0.3, \sigma_y=24 \text{ Kg/mm}^2$ )

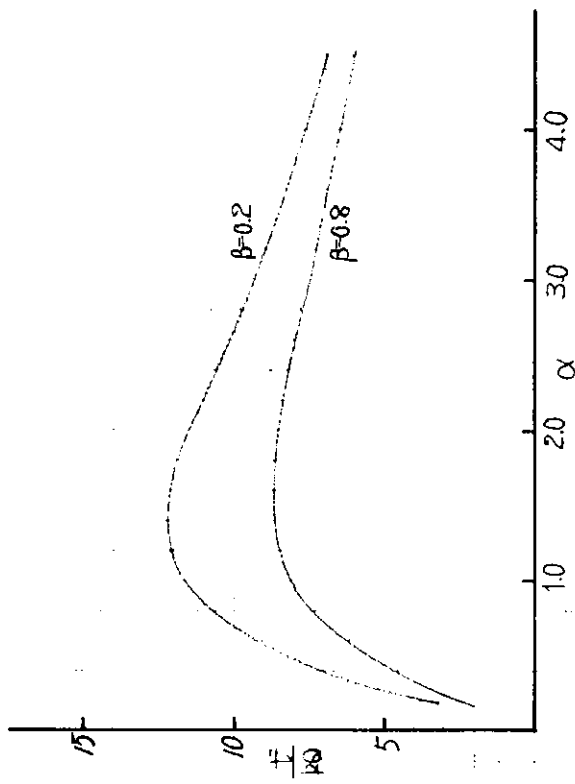


図 7.4 長辺支持短辺固定の場合  
( $\gamma=0.3, \sigma_y=24 \text{ Kg/mm}^2$ )

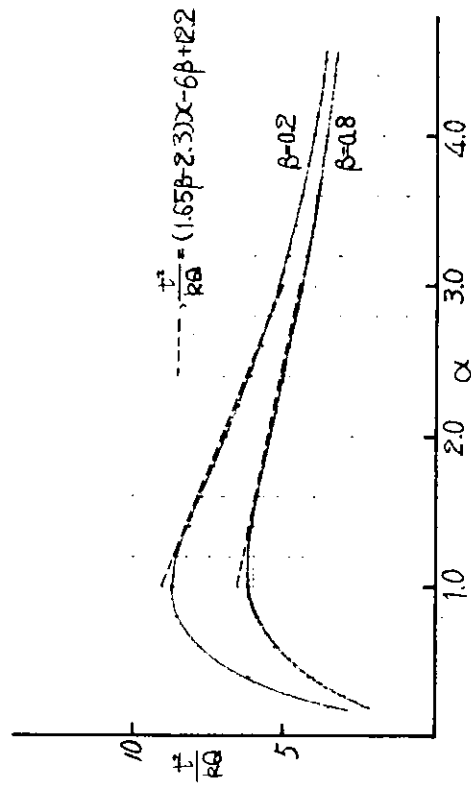
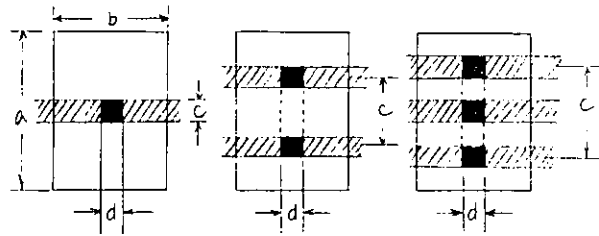


図 7.6 四辺固定の場合  
( $\gamma=0.3, \sigma_y=24 \text{ Kg/mm}^2$ )

表 7.1 を  $\delta$  と  $\alpha$  の関係で表わしたものが図 7.3 から図 7.6 である。

5) 内底板の板厚を与える略算式

スチールコイルの重量は、ダンネージを介してある接地面積で内底板への荷重として働く。今、図 7.7 に示すように実際の接地面積に働く荷重を荷重点間の距離  $c$  と接地幅  $d$  との間に等分布に働くものとする、パネルの周辺条件を四辺固定とし、 $\gamma$  の板厚に与える影響は小さいことから、 $\gamma = 0.3$  とおくと  $\alpha$  及び  $\beta$  をパラメータとして指針に示す式が得られる。



注) はダンネージ、 は荷重点を示す。

図 7.7 パネルに働く荷重

6) 安全率

最終崩壊荷重に対する安全率は 1.1 とするが、船体運動による変動荷重の増加を IMCO GAS CARRIER CORD の近似式による上下方向の加速度と重力加速度の比として、安全率の中に含めて  $k$  値とした。

IMCO 提案の近似式によれば、上下方向の加速度成分  $a_z g$  は次式で表わされる。

$$a_z = \pm a_0 \sqrt{1 + \left(5.3 - \frac{4.5}{L}\right)^2 \left(\frac{x}{L} + 0.05\right)^2 \left(\frac{0.6}{c b}\right)^2}$$

$$a_0 = 0.2 \frac{V_s}{\sqrt{L}} + \frac{34 - \frac{600}{L}}{L}$$

但し、 $x$  は船の中央から当該船倉のスチールコイルの重量を含む重心までの距離 (m) で船首側を正とする。

$g$  は重力の加速度で  $9.8 \text{ m/sec}^2$

$V_s$  は船の速度 (knot)

スチールコイルを積載する船の  $V/\sqrt{L}$  が通常 1.3 前後であることから、この加速度の船長方向の分布は図 7.8 のように計算される。但し図 7.8 の  $a_z$  には静荷重を含んでいない。

又、IMCO 提案式は、船体運動のコンピュータでの計算結果と比較してかなりの近似度を持つことが確認されており、 $10^{-8}$  の発現確率 (約 20 年間) で生じる最大期待値に相当している。その一例を表 7.2 に示す。

表 7.2 F.P. の位置における上下方向の加速度

$a_z \backslash V$	21 knot	15.75 knot	0 knot
IMCO 提案式による計算値	1.588	1.335	0.576
コンピュータによる計算値 ( $10^{-8}$ )	1.510	1.326	0.796

注1) 試供船;  $L \times B \times D \times d \times cb = 160 \text{ m} \times 24.2 \text{ m} \times 10.5 \text{ m} \times 9.1 \text{ m} \times 0.567$

注2) コンピュータによる計算値は all heading の値である。

スチールコイルを専用で運搬する船は少なく、ほとんどが一般貨物船やバルクキャリアにより不定期に運搬されることを考えると、 $10^{-8}$ の発現確率に相当するIMCOの提案式はかなり厳しいものとなる。そこで、ここでは、この値を若干緩和し船体運動による荷重増加分を静荷重の50%とし、安全率1.1との積としてのk値を1.65と定めた。

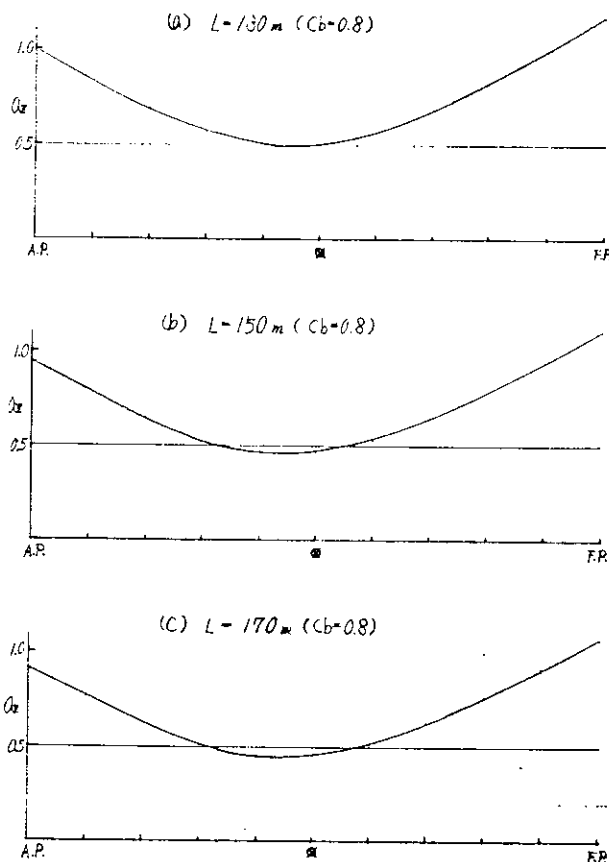


図 7.8 IMCO GAS CARRIER CORDによる上下方向の加速度

(3) 縦式構造におけるQ及びcの算定

1)  $n_1=2$  (1個のスチールコイルが2条のダンネージで支えられる)場合

図 7.9 に示すように、スチールコイルの前後の間隔をS、スチールコイルの幅を $l_s$ 及び1個のスチールコイルを支えるダンネージの間隔を $l_1$ とした場合、肋板の間隔aとこれらの大小関係は次のようになる。

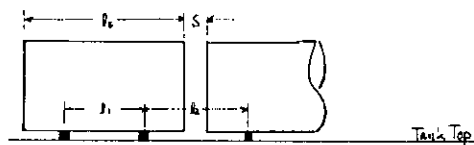


図 7.9  $n_1=2$  の場合

$n_2=1$	$a \leq l_1 \text{ or } l_2$
$n_2=2$	$l_1 \text{ or } l_2 < a \leq l_1 + l_2$
$n_2=3$	$l_1 + l_2 < a \leq 2l_1 + l_2 \text{ or } l_1 + 2l_2$
$n_2=4$	$2l_1 + l_2 \text{ or } l_1 + 2l_2 < a \leq 2l_1 + 2l_2$
$n_2=5$	$2l_1 + 2l_2 < a \leq 3l_1 + 2l_2 \text{ or } 2l_1 + 3l_2$

今、 $l_1=0.5 l_s$ 及び  $S=0.2 l_s$ と仮定すれば



$$\frac{\ell_1}{\ell_s} = 0.5, \quad \frac{\ell_2}{\ell_s} = 1 - \frac{\ell_1}{\ell_s} + \frac{S}{\ell_s} = 0.7$$

となり、これらの値を上記の算式に代入すれば指針の表 6.1 に示す値となる。

又指針 6.2.1 (3) の c の値は、上式中の左辺の小さい方の値で与えられる。(c の値が小さい方が板厚に対して厳しくなる)

- 2)  $n_1=3$  (1 個のスチールコイルが 3 条のダンネージで支えられる) 場合

$$n_1=3 \text{ の場合は、} \ell_1=0.33\ell_s \text{ 及び } S=0.2\ell_s$$

と仮定すれば

$$\frac{\ell_1}{\ell_s} = 0.33, \quad \frac{\ell_2}{\ell_s} = 0.54$$

となり、1) の場合と同様に a との大小関係を求めたのが指針表 6.1 である。又 c の値についても 1) と同様にして求まる。

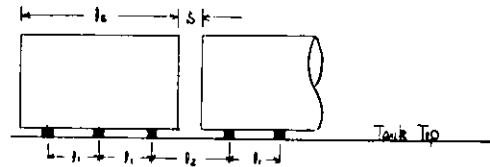


図 7.10  $n_1=3$  の場合

- 3)  $n_1=4$  (1 個のスチールコイルが 4 条のダンネージで支えられる) 場合

$$n_1=4 \text{ の場合は、} \ell_1=0.125\ell_s \text{ 及び } S=0.2\ell_s$$

と仮定すれば

$$\frac{\ell_1}{\ell_s} = 0.125, \quad \frac{\ell_2}{\ell_s} = 0.45$$

となり、1) の場合と同様に a との大小関係を求めたものが指針表 6.1 である。又 c の値についても 1) と同様にして求まる。

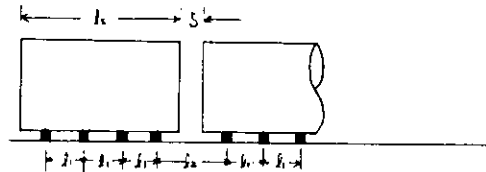


図 7.11  $n_1=4$  の場合

- (4) 高張力鋼を使用する場合の内底板の厚さ

高張力鋼の材料による係数 K は、軟鋼の場合を 1 として IMCO で次のように提案されている。

$$\text{高張力鋼 32 に対して} \quad 0.78$$

$$\text{高張力鋼 36 に対して} \quad 0.72$$

これらの値は、船体の甲板及び船底外板等縦強度部材に高張力鋼を用いた場合の規定の船体横断面係数に対して提案されたものであり、腐食減耗後の強度に対する安全率が軟鋼を使用した場合と同程度になるように定められている。従って、局部強度を規定する算式中に腐食予備厚が考慮されている場合には、腐食程度は軟鋼と高張力鋼でほとんど差がないことから上記の係数を使用した場合は安全側となっている。

内底板に高張力鋼を使用した場合の板厚は、材料による係数 K を IMCO 提案の値を使用して算式中の k 値に K を乗じた値を k 値と置き換えて与えることとした。

- (5) キーコイルが荷重に及ぼす影響

一段積みの場合、キーコイルによってローリングショックが行われるのが普通である。その場合、内底板に働く荷重は単純に考えると 1.5 倍となるが、実際にはコイル間の摩擦によりこの値は若干小さくなる。今、船体横傾斜角  $0^\circ$  の状態でキーコイルを載せた時の荷重を実験結果でみると表 4.1 のようになり 1.34 から 1.43 の間に分布している。この状態で横揺れを行なうと同表 B の欄に示すように荷重は増加するが、その程度は僅かである。横揺れ角が大ききときには、一般に横揺れは小さく上下動による加速度増加も小さくなる。

従って船底荷重の設計値としては、上下揺れが卓越したときを想定し、横傾斜角  $0^\circ$  の実験値の平均としスチールコイル 1 個の重さの 1.4 倍を取ることとし、これに上下方向の加速度増加分として 1.5 を乗じることとした。

表 7.3 内底板の板厚試算例

	主 要 寸 法			スチールコイル		ダン ク ス	構 造			板 厚		備 考		
	L (m)	B (m)	D (m)	d (m)	重量(t)		径×幅(m)	段数	条数	構造	肋骨 心距		肋板又は 桁板心距	アスペクト 比
A	15200	25.40	13.50	9.50	25	1.65×1.70	2	2	L	610	2700	4.43	22.35 <sup>HT</sup>	23.0 <sup>HT</sup>
B	14900	25.40	14.70	9.50	15	1.55×1.30	2	2	L	610	2700	4.43	20.00 <sup>HT</sup>	18.0 <sup>HT</sup>
C	13800	22.60	11.80	8.90	15	1.55×1.70	2	2	L	610	2700	4.43	19.78	18.0
D	15000	24.60	13.60	9.95	25	1.50×1.50	1	3	L	870	1500	1.72	18.92	18.0
E	14000	22.60	13.50	10.00	15	1.50×1.50	2	3	T	750	3280	4.37	16.16	21.0
F	14000	22.40	13.50	10.10	15	1.50×1.50	2	3	T	750	3345	4.46	16.18	19.5
G	15300	23.70	13.85	10.31	15	1.55×1.30	2	3	T	850	1520	1.79	12.76	21.0
H	14800	23.00	13.00	9.63	25	1.65×1.70	1.5	3	T	800	1550	1.94	13.83	20.5
I	15200	25.40	13.50	9.50	10	1.50×1.00	1.5	3	T	800	1550	1.94	10.60	23.0
J	14000	22.86	13.00	9.57	25	1.65×1.70	2	3	T	900	1520	1.69	16.25	23.0
K	17650	26.00	16.00	10.96	15	1.55×1.30	2	3	T	900	1520	1.69	12.91	20.5
L	16800	22.86	14.70	10.54	10	1.20×1.20	1.5	2	L	810	1500	1.85	15.28	20.5
M	16500	28.00	15.90	11.45	20	1.80×1.80	2	3	L	800	1600	2.00	20.72	18.5
N	13750	21.70	12.20	9.35	20	1.80×1.80	2	3	T	680	3150	4.63	15.89	18.0
					15	1.50×1.50	2	2	L	850	1700	2.00	19.31	21.0
					15	1.50×1.50	2	2	L	875	1700	1.94	18.21	22.0
					11	1.50×1.50	1.5	2	L	800	3000	3.75	16.99	18.5

注 1) 備考の値はFork Lift及びNK Ruleによって規定される板厚を示す。(mm)

2) D船の場合、スチールコイルは一段積みであるが、キールコイルの影響を考慮荷重は1.4倍として計算している。

ここで、最大値を取らずに平均値に近い値を用いたのはこのような条件下にあるコイルは数が少なく、それがパネル内の最悪条件下の点に一致する確率が、一般のコイルの場合に比べて小さい事を考慮したことによる。

#### (6) 内底板の板厚試算結果

指針で与えた計算式を、最近スチールコイル積載を計画した船に適用し、内底板の板厚を求め実際に使用された板厚と比較したものを表7.3に示す。

なお、指針で与えた計算式には下記の問題点が含まれており、これについては更に検討の余地がある。

即ち、三菱重工業で行なわれた実験によれば、スチールコイルによる荷重点間隔がパネルの短辺の長さ以上であれば荷重相互の干渉はなくなり、図7.12のパネル(a)、(b)及び(c)はどれも強度的には等しくなるということが報告されている。従って(a)、(b)及び(c)のパネルの板厚は、全て等しいようなもので良いと考えられるが、指針による算式によれば、板厚は(a)>(c)>(b)の順で与えられ、(a)の場合は(b)に較べて所要板厚はかなり厚くなる。

この理由は、(a)の場合指針の計算式では荷重相互に干渉することとし、荷重を矩形等分布に置き換え、ヒンジラインを図7.1のように簡単な屋根型に仮定しているのに対し、実際には、荷重点間距離が短辺以上になれば、荷重相互の干渉がなく、ヒンジラインは荷重毎に形成されるため、計算式のヒンジラインの長さ(即ち、パネルが吸収し得る歪エネルギー)が計算式では、実際より短く過少評価されているためであると考えられる。

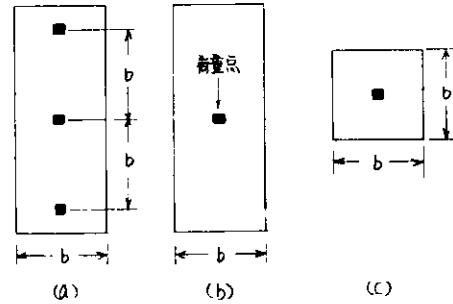


図7.12 パネルの強度と荷重

(b)の場合は逆に、ヒンジラインがパネル全体に広がると仮定しているのに対し、実際にはヒンジラインは荷重点回りの狭い範囲に限って形成されると考えられ、ヒンジラインの長さが実際より長く、過大評価され、パネルの強度が見かけ上強くなるためであると思われる。

### 7.3 内底板付肋骨の強度

#### (1) ストラットののない場合

肋板又は桁板の位置で固定とし、肋骨の位置に集中荷重が働くものとして弾性計算を行なうこととした(図7.13参照)。

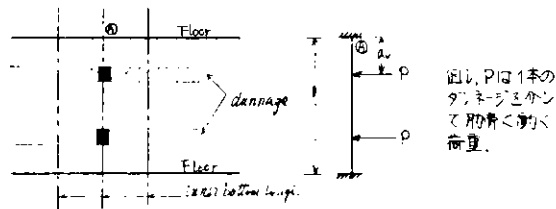


図7.13 内底板付肋骨のモデル化(縦式構造の場合)

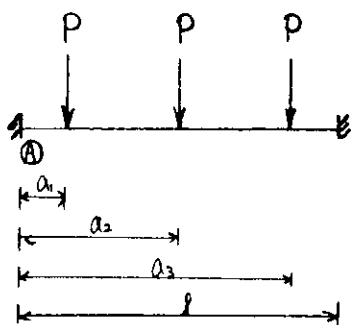
この場合の許容応力は、船体に働く縦曲げによる軸力の影響(内底板の位置で10.2 kg/mm<sup>2</sup>)を考慮して、又安全率を1.2(主として腐食係数)として、2.2(2)に示す値とした。

図7.13において(A)点のモーメントは次式で与えられる。

$$M_A = \frac{P \sum a_i (l - a_i)^2}{l^2}$$

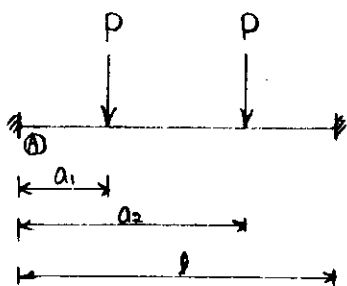
但し、 $a_i$ は①点より荷重点までの距離  
 突船における計算例を以下に示す。

Case 1 (横式構造, E船)



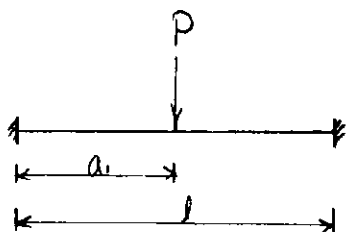
$$\left\{ \begin{array}{l} P = 1.0 \text{ TON} \\ a_1 = 0.14 \text{ m} \\ a_2 = 1.64 \text{ m} \\ a_3 = 3.14 \text{ m} \\ l = 3.28 \text{ m} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} M_A = 5.44 \text{ T}\cdot\text{m} \\ \sigma_a = 18 \text{ Kg}/\text{mm}^2 \\ Z_{REQ} = 302 \text{ cm}^3 \\ Z_{ACT} = 494 \text{ cm}^3 \end{array} \right.$$

Case 2 (縦式構造, L船)



$$\left\{ \begin{array}{l} P = 1.5 \text{ TON} \\ a_1 = 0.475 \text{ m} \\ a_2 = 1.225 \text{ m} \\ l = 1.7 \text{ m} \\ f_B = 0.85 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} M_A = 5.13 \text{ T}\cdot\text{m} \\ \sigma_a = (24 - 10.2 f_B) / 1.2 \\ \quad = 15.33 \text{ Kg}/\text{mm}^2 \\ Z_{REQ} = 335 \text{ cm}^3 \\ Z_{ACT} = 681 \text{ cm}^3 \end{array} \right.$$

Case 3 (横式構造, I船)



$$\left\{ \begin{array}{l} P = 16.7 \text{ TON} \\ a_1 = 0.76 \text{ m} \\ l = 1.52 \text{ m} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} M_A = 3.173 \text{ T}\cdot\text{m} \\ \sigma_a = 18 \text{ Kg}/\text{mm}^2 \\ Z_{REQ} = 176 \text{ cm}^3 \\ Z_{ACT} = 682 \text{ cm}^3 \end{array} \right.$$

(2) ストラットのある場合

ストラットのある場合は、肋板又は桁板の位置で固定、ストラットの位置で支持とし肋骨の位置に集中荷重が働くものとして弾性計算を行なうこととした(図7.14参照)。

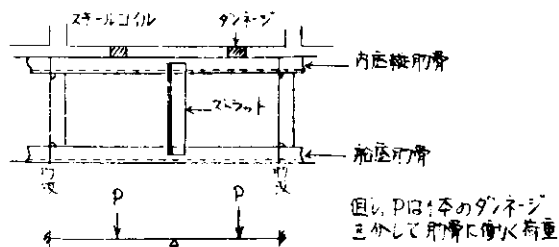
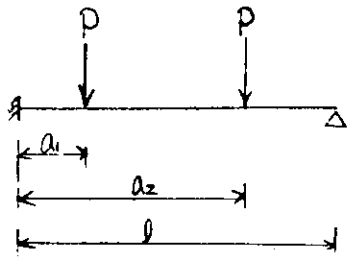


図7.14 内底板付肋骨のモデル化(縦式構造の場合)

この場合の許容応力は、ストラットのない場合と同様である。

突船における計算例を次に示す。

Case 1 (縦式構造, N船)



$$P = 8.25 \text{ TON}$$

$$a_2 - a_1 = 0.75 \text{ m}$$

$$l = 1.5 \text{ m}$$

$$\sigma_a = (24 - 102 f_B) / 1.2$$

$$= 12.775 \text{ Kg/mm}^2$$

$$Z_{ACT} = 721 \text{ cm}^3$$

この場合の最大モーメントは固定端に生じ、その値は約 3.5 TON-m である。又その時の  $a_1$  の値は 0.344 m である。従って所要断面係数は 273  $\text{cm}^3$  となる。

#### 7.4 船側構造

船側構造に加わるスチールコイルの荷重については、2 (荷重の大きさ) 参照のこと。又船側横肋骨の強度計算におけるモデルは簡単に二重底で固定、上甲板の位置で単純支持とし、許容応力を  $20 \text{ Kg/mm}^2$  と定めた。