413

#### (昭和56年11月 日本造船学会秋季講演会において講演)

# 局所的な分布荷重を受ける長方形板の挙動

正員本間康之\* 正員中村 靖\*\* 吉田 修\*\*\*

The Behavior of Rectangular Plate Subjected to Locally Distributed Load

# by Yasuyuki Homma, *Member* Yasushi Nakamura, *Member* Osamu Yoshida

#### Summary

The experiment and the analysis by the use of finite element method were carried on to study the local strength of the deck plate subjected to the large wheel load such as that of ferryboat, car-carrier and Ro/Ro ship. In studying, it is assumed that those deck plates can be regarded to the rectangular plate loaded with partially distributed pressure.

(a) Experiment

The steel plates used in the experiment were square with side length 800 mm and 2.0, 2.3, 2.6, 2.9, 3.2 and 4.5 mm in thick.

The tested plate was divided in three panels having 200 mm in width, 600 mm in length by supporting walls when the plate was fastened to testing apparatus. The behavior of the central panel was investigated.

The plates were tested in two ways of loading. In the first, the load was increased continuously and in the second, as shown in fig.8, the load was increased under repeating the process combined of loading, unloading and reloading.

We obtained the various behaviors of the panel, especially the pattern of the residual deflection after the load had been removed, and found the fact that the panel do not produce the collapsing due to forming the plastic hinge lines.

(b) Analysis

The calculated results were approximately consist with the experiment. It is shown that the behavior of the partially loaded panel can be predicted by finite element method.

(c) Proporsal for design

In can be considered that the deck plate subjected to large wheel load designed according to NK rule have the suitable scantling, but the method of designing on the basis of the actual behavior of the panel may be more reasonable than that assumming the plastic collapse.

# 1 まえがき

鋼船規則によると通常の甲板は等分布荷重が作用する ものとして設計される。そして荷重の大きさはそこに積 載される貨物の重量を用い、最小の比重を0.7としてい る。しかし、自動車運搬船、カーフェリーの車輛甲板や 荷役用車輛の出入する Ro/Ro 船の甲板では見かけの比 重は小さくとも車輛のタイヤを経て甲板に作用する荷重 は集中的に働らくため(輪荷重と呼ばれている)局所的 にはかなり大きな値となる。このため、輪荷重が作用す る甲板の設計については通常の甲板とかなり異なった配 慮が必要とされている<sup>1)</sup>。また,輪荷重が作用する甲板 の挙動はその荷重の大きさだけでなく荷重(タイヤの接 地圧)の分布形状に関連し,さらに荷重の大きさは静荷 重の他に船体運動による変動荷重も考慮する必要があ る。なお,船体運動による輪荷重の変動に対しては荷重 を1.5倍している<sup>1)</sup>。

輪荷重を受ける甲板の板厚に関しては,K.Haslum<sup>2</sup>, 宝田<sup>3)</sup>が論じている。また,外洋フェリーの性能に関す る調査研究報告書<sup>4)</sup>では輪荷重の性質(タイヤの接地圧, 接地面の形状,船体運動による荷重の変動量)を明らか にし,さらに次のような考え方で求めた板厚の計算式を 提案している。すなわち,輪荷重を受ける甲板に膜力を

<sup>\*</sup> 東京農工大学工学部

<sup>\*\*</sup> 日本海事協会

<sup>\*\*\*</sup> 三井造船(株)

考慮に入れた塑性関節線が形成される圧力と、微小変形 理論によって求めた降伏を生ずる圧力の比々を求め、一 方微小変形理論から得られる板厚と荷重、および応力の 関係式を、膜力の影響については々を用いて、また隣接 スパンの影響については板を連続梁と考えて修正し、板 厚の計算式を導いている。

また,鋼船規則に車輛甲板に関する規定があり,板厚 の計算式が示されている。この式は梁および桁で囲まれ た周辺固定の長方形パネルに輪荷重が作用し,このパネ ルが屋根形崩壊を生ずるとして求めたものと思われる。

輪荷重のような局所的な分布荷重を含めて一般に横荷 重を受ける平板は設計の基準を定めにくい性質を有して いる<sup>5)</sup>。したがって塑性崩壊理論を用い,これまでの経 験を参考にして板厚を決定することも已むを得ないであ ろうが,理論的には正確でない。

本研究では輪荷重のような局所的な分布荷重が作用す る平板の挙動を明らかにするため次に述べるような実験 および計算を行った。すなわち,寸法 600 mm×200 mm, 板厚 2.0,2.3,2.6,2.9,3.2 および 4.5 mm を有する周 辺固定の長方形パネルに輪荷重をモデル化した局所的な 分布荷重を加えて板の挙動(たわみ,ひずみおよび残留 たわみ)を測定した。また,有限要素法による解析を行 い実験とほぼ一致する結果を得た。さらに車輛甲板の板 厚に関する鋼船規則を検討するため,この規則にしたが って板厚を定めた周辺固定の長方形板に計画最大荷重を 加えたときの板の挙動を有限要素法によってしらべた。

# 2 タイヤ荷重

造船研究協会 第6基準部会<sup>4)</sup>ではトラック用タイヤ (1000-20-14 PR) について荷重時のタイヤの接地幅,接 地長さ,接地面積を測定しそれらに対する実験式を与 え,接地面の形状は六角形であるとし,接地圧分布を放 物線状に仮定している。文献<sup>6)</sup>によると接地面の形状お よび接地圧分布は荷重と空気圧によって変化し,通常の 状態では接地面の形状は隅角部が丸くなった長方形,ま た接地圧分布の形状は周方向,断面方向とも梯形となっ



Fig.1 Contact pressure of tire

ている。

著者らはタイヤ荷重の性状を知るため日本自動車研究 所・青木 章氏にトラック用大型タイヤの輪荷重分布と 接地形状の測定を依頼した。計測はタイヤの種類,内 圧,踏面の形をそれぞれ変えた6ヶースについて行わ れ,その一例をFig.1に示す。結果を見ると接地圧分布 は条件によって異なっているが通常の使用状態では放物 線ではなく,隅角部に丸味を帯びた梯形に近い形である。 そこで本研究では輪荷重の接地面の形状を長方形,接地 圧の分布を一様とした。

#### 3 模型 実験

模型は縮尺 1/3~1/4 を想定し試験パネルの寸法を 600 mm×200 mm とした。 周辺の固着条件は有限要素法に よる計算と比較するため周辺固定となるように計画し た。

#### 3.1 試験材

Fig.2 に示すように 900 mm×1,800 mm の鋼板から 800 mm×800 mm の寸法をもつ 2 枚の試験材と 4 枚の JIS 5 号材料試験片を採取し,各試験材の 15 点において 板厚を測定した。試験材の板厚および材料試験結果の平 均値を Table 1 に示す。

板厚 2.28 および 4.46 mm の材料は明瞭な降伏点を有 するが,これら以外の材料ではこのような性質は見られ ず,荷重と延びが比例する直線部分につづいて直ちにひ ずみ硬化が始まっている。この試験材については降伏後





Table 1 Thickness and material properties of models

Model	Thickness	Yield Point kg/mm	Young Modulus kg/mm <sup>2</sup>	Material Coefft.	
Number	mm			с	n
1,7	1.96	1 5.0	2.02 <sup>x 104</sup>	24.9	0.0767
2.8	2.28	21.8	2.03		-
3,9	2.56	16.7	2.04	27.7	0.0752
4.10	2.86	16.3	2.05	2 5. <b>8</b>	0.0686
5,11	3.14	17.5	2.00	2 5. <b>8</b>	0.0587
6,12	4.46	26.4	2.12	-	

 $\vec{\sigma} = c \left( \alpha + \vec{\epsilon}_{P} \right)^{n}, \quad \vec{\epsilon}_{P} \leq 0.02$ 

の応力-ひずみ関係に $\bar{\sigma} = C(\alpha + \bar{\varepsilon}_p)^n$ を当てはめ常数 C,  $\alpha$ およびnを定めた。その値を Table 1 に示す。

### 3.2 実験装置

実験用治具を Fig.3 に示す。溶接による変形を除くた め治具の下面を横フライスにより切削した。板厚 22 mm 幅 100 mm の鋼材と,40本の摩擦接合用高力ボルト(M 24)を用いて試験材を治具に固定する。その際荷重を加 えたとき固定面にすべりを生じないようトルクレンチ を用いて 5,600 kg-m の締付モーメントにより締付け た。

試験材は治具の支持材によって 600 mm×200 mm の 寸法を有する3個のパネルに分割され,中央のパネルを 実験の対象とする。なお,試験材1の実験を行ったとこ ろ治具の剛性が不足していると考えられたので補強を行 った。

全体装置図 Fig.4 に示すように治具を 200 トンアムス ラー型試験機のテーブル上に置き,油圧ラムを用いて各 パネルの中央 80 mm×65 mm の長方形部分に等しい荷 重を厚さ 10 mm ゴムパッドを介して加えた。



Fig. 3 Apparatus for test



Fig. 4 Testing system



Fig. 5 Points at which displacements are measured



Fig. 6 Points at which straines are measured

# 3.3 負荷方法,変位およびひずみの測定

同じ板厚の試験材について 1)荷重を単調に増加させる(試験材 1~6), 2)除荷と再負荷を反復しながら荷重を増加させてゆく(試験材 7~12)の2種類の負荷方法により実験を行った。いずれも板厚の2~3倍のたわみを生ずるまで荷重を 40~50 ステップに分けて漸増させ各ステップ毎に Fig.5 および Fig.6 に示す位置におけるたわみとひずみを測定した。さらに除荷と再負荷を反復した実験では Fig.8 に示すように除荷と再負荷の過程において荷重,ひずみおよびたわみを測定した。

また,周辺の固着度をしらべるため Fig.5 に示す 9 お よび 10 の位置において,板の面内変位をダイヤルゲー ジにより測定した。

実験が修了したあと試験材を横フライスのテーブル上 に固定し、フライスのヘッドにとりつけたダイヤルゲー ジにより残留たわみ分布を測定した。測定箇所は 91 点 である。これらの測定値から補間によって等高線を求 め、残留たわみを表わした。

#### 4 実 験 結 果

#### 4.1 荷重とパネル中心のたわみ

除荷と再負荷を反復しながら荷重を増加させた場合に 除荷過程と再負荷過程でパネル中心のたわみは Fig.8 に 示すようにループを生じているが,除荷を開始した荷重 まで再負荷するとほぼもとの点に復帰している。これら の点と荷重を単調に増加させた場合の荷重-たわみ関係 を比較して Fig.7 に示す。試験材1および7(板厚1.96),











Fig.7 c Relations between load and deflection at panel center, the maximum load defined by NK rule(Model-3, Model-9)



Fig.7d Relations between load and deflection at panel center, the maximum load defined by NK rule(Model-4, Model-10)



Fig. 7 e Relations between load and deflection at panel center, the maximum load defined by NK rule(Model-5, Model-11)



Fig. 7 f Relations between load and deflection at panel center, the maximum load defined by NK rule(Model-6, Model-12)

NII-Electronic Library Service

局所的な分布荷重を受ける長方形板の挙動







Fig.8b Loading, unloading and reloadingdeflection curves for Model-10 (experiment and calculation)



Fig. 8 c Loading, unloading and reloadingdeflection curves for Model-12 (experiment and calculation)

試験材2および8(板厚2.28) については荷重を単調に 増加させた試験材1および2のたわみが大きくなってい る。試験材1については既に述べたように治具の剛性が 不足していた,固着ボルトの締付トルクが十分でなかっ たことにより固着部で面内変位を生じたためと思われ る。試験材2と8の差については原因は明らかでない。 しかし板厚2.56,2.86,3.14および4.46の試験材に関し ては2種類の結果はよく一致した。

また, 試験材7,10 および12 について負荷, 除荷, 再 負荷させたときの荷重とパネル中心のたわみの関係を Fig.8 に示した。

4.2 たわみ分布

パネル長辺方向(y軸方向)の中心線上のたわみ分布 を Fig.9に示す。この図からたわみはパネルの中心から の距離が大きくなるにつれ急速に小さくなることがわか る。また、この論文では図示することを省略したが対称



Fig. 9 Distribution of deflection in longitudinal direction

418





の位置すなわち Fig.5 に示す点 6,7 および 8, ならびに 点3と5におけるたわみはそれぞれほぼ一致した。

#### 4.3 残留たわみ

除荷を開始した荷重と除荷後のパネル中心の残留たわ みの関係を Fig. 10 に示す。横軸は残留たわみと板厚の 比、縦軸は除荷開始時の荷重と(試験材の降伏点×負荷 面積)の比である。なお, Fig.7 および Fig. 10 に鋼船規 則にしたがって計算した計画最大荷重(腐食代 1.5 mm を含めない)を Defined Load として記入してある。

既に述べた方法によって求めた最終的な残留たわみの 一部を Fig.11 に示す。この図はパネルの中心をゼロと した等高線で表わされており、すべての試験材の残留た わみ分布の等高線は、いずれもこの図と同様楕円形に近 い形である。

負荷時のたわみ分布 (Fig. 9) および残留たわみ分布か らわかるように、たわみは主として荷重部分を中心とし



Fig. 11 Contour curves of residual deflection (Model-4, Model-6)

た限られた領域において生じている。 カ

4.4 応

計測したひずみから求めた応力の一部(試験材4およ び6)を Fig.12 に示す。これら以外の試験材を含むす べての試験結果について次のことがいえる。

対称の位置(Fig.6における点2と5, 点3と4)に おける応力および異なったパネルの同じ位置(点1と3, 4と6)における応力はそれぞれよく一致している。 点2および5における短辺方向(x方向)の曲げ応力は



Fig. 12 a Relations between load and membrane stress (Model-4)



Fig. 12b Relations between load and membrane stress (Model-6)



Fig. 12 c Relations between load and bending stress (Model-4)





荷重が大きくなるにつれて初めは急速に増加するが,あ る荷重に達するとほぼ一定となり,試験材によっては減 少する。一方膜応力は曲げ応力より小さいが荷重ととも に増加している。

長辺方向(y方向)の膜応力は他の応力に比べて小さ い。また、負荷領域からの距離が大きくなるにつれて (点 8, 12, 9 の各点)すべての応力(xおよびy方向の 膜応力および曲げ応力)は急速に減少し、鋼船規則で定 める計画最大荷重を加えたときの点9における応力は板 厚4.46の場合を除いて無視して差支えない程度である。

#### 4.5 面内変位

Fig.5 に示す点 9 および 10 における面内変位をダイ ヤルゲージによって測定し,短辺方向(9~9 間)および 長辺方向(10~10 間)における対辺間の相対変位を求め た。結果の一例を Fig.13 に示す。この図の縦軸は3個 のパネルに加えられた荷重の総和である。9~9間の相 対変位は3個のパネルの合計であることを考えると,計 画最大荷重を加えたときの長辺の面内移動量は無視でき



Fig. 13 Relative in-plane displacement between longitudinal edges

る。また最高荷重を加えたあとの残留変位も僅かであっ て,ボルト締めした固着面の辷りは殆んどないと考えて よかろう。

なお、短辺方向のたわみ形を式(1)と同じ形に仮定 し、長辺の面内移動がたわみに与える影響について検討 した。最高荷重を作用させたとき、もっとも影響の大き かった試験材の場合で、パネル中心のたわみが約6%増 加する程度である。

#### 5 有限要素法による解析

実験で得られたたわみ形状,応力および周辺の固着状 況から実験の対象としている中央パネルの境界条件は周 辺固定とみなすことができる。文献"を参考にして作成 した有限要素法プログラムを用いて局所的な等分布荷重 を受ける周辺固定の長方形状の挙動を求め実験結果と比 較した。要素分割を Fig. 14 に示す。また、降伏後のひ ずみ硬化については板厚 2.26 mm および 4.46 mm の試 験材はひずみ硬化率  $H'= + \nu / j^{\infty}/1,000$  とし、これら 以外の試験材に対しては引張試験から得られた応力とひ ずみの関係  $\bar{\sigma} = C(\alpha + \epsilon_p)^n$ を用いた。

5.1 パネル中心点のたわみ

Fig.7 は横軸にパネル中心のたわみを,縦軸に荷重を とって実験値と計算値を比較したものである。いずれの 試験材についても両者の傾向は一致しているが,試験材 1,2,8,6 および 12 では量的に差がある。実験に不備の あった試験材 1 は別としてこのような差を生じた原因は 明らかでない。ただ,板厚 2.28 mm (試験材 2,8) お よび 4.46 mm (試験材 6,12)の材料は応力とひずみの 関係が他の材料と異なっている。これらを除いた試験材 では実験値と計算値はよく一致している。またこの図に は塑性域の進展状況を示してある。図において黒い部分 は塑性化した領域を,ハッチングを施した部分は遷移領 域を,また白い部分は弾性域を表わしている。

また,パネルの長辺方向(y方向)中心線上のたわみ 分布の実験値と計算値を Fig.9 に示す。試験材によって は数量的にかなりの差を示すものがあるが,傾向はほぼ 一致している。

5.2 応 力

応力の計算値の一部(試験材4および6)を Fig.12



Fig. 14 Mesh division

420

#### 日本造船学会論文集 第150号

に示す。計算値はひずみ測定位置にもっとも近い要素の 重心点における値である。すべての試験材について,膜 応力の実験値と計算値はよく一致している。しかし,曲 げ応力に関しては定性的には一致しても定量的にかなり の差を生じている場合が多い。その原因としては曲げ応 力はその位置によって大きく変化し,既に述べたように ひずみを測定した位置と応力を計算した位置に差のある こと,また,この計算に用いた変位関数によって精度の よい曲げ応力の計算値が得られないとされていること, などが考えられる。

5.3 残留たわみ

任意の荷重から除荷したときの長方形板の挙動を有限 要素法によって追跡することができる。Fig.15 は試験 材8についてこのような計算を行った例である。しか し,このような計算を個々の荷重について行うためには 多大の計算時間を要する。そこで次のような近似計算を 試みた。

ある荷重から除荷させたときの板の挙動は弾性に近い と考え,除荷後の残留たわみを初期たわみとし板を弾性 として求めた荷重-たわみ曲線を除荷曲線とする。与え るべき初期たわみの形状については,実験から得られた 残留たわみの実測値を参考にして次のように表わす。

$$w_{0} = \frac{W_{0}}{64} \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi x}{a} \right\} \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi y}{b} \right\}^{5} \quad (1)$$

ここに

x:短辺に平行な座標

y:長辺に平行な座標

a:パネル短辺の長さ

b:パネル長辺の長さ

 $W_0$ :パネル中心の初期たわみ

近似計算結果の一例を除荷計算を行なった場合と比較





して Fig.15 に示す。両者は若干の差はあるが実用的に は近似計算によることができよう。試験材 7~12 につい てこのような計算を行なった。結果の一部を Fig.8 に示 す,一部に実験結果と差を生じているものがあり,また 全体として荷重が大きくなるにつれて差が拡大してい る。しかし実際の設計においてはこの近似計算によって 残留たわみを推定して差支えないと考える。

以上の実験結果と計算値との比較から,局所的な分布 荷重を受ける長方形パネルの挙動は,適切にえらばれた 材料常数を用いた有限要素法によって求めることができ ることがわかった。

#### 6 計画最大荷重の検討

鋼船規則によると,車輛甲板の板厚は付録式(A-1) で与えられる。この式の理論的根拠は次のとおりであ る。

周辺固定の長方形パネルのタイヤ接地面(長方形と仮 定する)上に一様な分布荷重が作用し、この荷重によっ てパネルが屋根型崩壊を生ずるものとして板厚と崩壊荷 重の関係式を導く。パネルのアスペクト比、タイヤ接地 面の長さとパネルの寸法比、船体運動の影響などについ て実船の数値を参考にして適当な値を設定し、さらに安 全率を2.0として係数Cの値を決める。対象とする甲板 が強力甲板でないとすると、Cの値は荷役専用車輛で 4.6、それ以外の車輛で5.2である。

実験および有限要素法による解析から明らかになった ように、甲板に輪荷重が作用するとき甲板パネルは屋根 型崩壊を生じない。また,式(A-1)はこの外にもいくつ かの仮定を含んでいる。既に述べたように局所的分布荷 重を受ける長方形板の挙動は有限要素法によってほぼ推 定できる。そこで鋼船規則に定められている規定が実際 の挙動に対しどのような関係になっているかを検討する。



Fig. 16 The behavior of actual panel and the maximum load defined by NK rule

局所的な分布荷重を受ける長方形板の挙動

パネル寸法	1,800×600			
板 厚	6, 8, 10, 12 および 14			
タイヤ接地面	a = 200  mm, b = 250  mm			
ヤング率	21, 000 kg/mm²			
降伏点	24 kg/mm <sup>2</sup>			
ひずみ硬化率	H' = E/1,000			

境界条件は周辺固定とし, Fig.14 に示す要素分割を用 いた。結果を Fig.16 に示す。この図には鋼船規則によ る計画最大荷重および近似計算によって求めた板厚の半 分の残留たわみを生ずる除荷径路を示してある。

## 7む す び

中心部に局所的な分布荷重を受ける周辺固定の長方形 板の挙動を実験および有限要素法により検討した結果, 次のことが明らかになった。

メッシュ分割および降伏後の材料常数を適切にえらぶ ことにより実験結果とほぼ一致する計算値を得ることが できる。

荷重とたわみの関係,荷重と残留たわみの関係が得ら れた。たわみは荷重の作用部分を中心とした限られた領 域(パネルの短辺の長さと同程度の拡がりをもつ領域) において大きな値を示し,パネル中心から離れるにつれ 急速に減少する。また,残留たわみの等高線は楕円形で ある。

パネル中心から短辺に向って離れるにつれて曲げ応力 は急速に減少し,短辺の長さの 75% の位置において中 央部付近の数分の1に低下している。

実験の対象としたパネルについては塑性関節線の形成 は見られず,塑性崩壊は生じないと思われる。

鋼船規則に定められている計画最大荷重について検討 した。試験材については計画最大荷重(腐食代 1.5 mm を除く)を加えたときのパネル中心のたわみおよび残留 たわみは Fig.7 および Fig.10 に示すとおりである。 つぎに, 1800 mm×600 mm, 板厚 6, 8, 10, 12 および 14 mm の周辺固定の長方形パネルの中央 200 mm×250 mmの部分に等分布荷重を加えたときの挙動を有限要素 法により求めた。Fig.16 に示すように最大計画荷重に対 する たわみ は 板厚 6 mm (板幅/板厚=100) のと き 5 mm, 板厚 14 mm (板幅/板厚=43) のとき 4 mm であ って板厚とほぼ無関係である。また, 残留たわみは板厚 が小さいとき零, 板厚が大きい場合に若干の残留たわみ を生ずるがその量は僅かである。試験材とこの設計例の 違いは,材料の降伏点の差および腐食代 1.5 mm の扱い 方の違いによるものである。

横荷重を受ける平板についてはある程度の残留変形を

許す設計も可能である。このような立場からすれば現行 の規定より大きな計画最大荷重を採用することもでき る。しかし、甲板の境界条件は周辺固定ではなく、また 過積、衝撃などによって計画より大きな荷重の作用する 恐れのあることを考えると、現在の規定は妥当な設計を 与えるものと考える。

この研究は"Ro/Ro 船の構造強度に関する研究"に対 し交付された科学研究補助金によって行われたものであ り,計算機は東京大学大型計算機センター,HITAC M-200 H を使用した。

この研究を行うにあたり、大型トラック用タイヤの接 地圧について実験をお引受け頂いた日本自動車技術協 会・青木 章氏,種々御助言を頂戴した日本海事協会・ 新田 顕氏,荒井宏範氏に厚くお礼申し上げます。ま た,実験について御協力下さった東京農工大学 上野正 道,小室宜司両技官ならびに機械工学科学生 高橋 渡, 山本鉄人両君に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 昭和 53 年版鋼船規則及び検査要領の改正点の解 説
- Kristian Haslum: Design of A Deck Subject to Large Wheel Load, European Shipbuilding, No.1 (1970), pp. 2~8.
- 3) 宝田直之助:長距離大型フェリーボート基本設計 ノート(その4),日本造船学会誌,第510号(昭 和46年12月),pp.624~634.
- 4) 日本造船研究協会,第6基準部会:外洋フェリー の性能に関する調査研究報告書,昭和49年3月.
- 5) 本間康之:隔壁板の設計法について,造船協会誌, 第44号(昭和41年8月), pp.335~340.
- 6) 馬庭孝司:自動車用タイヤの知識と特性,山海堂.
- 10 上田幸雄,他4名: 圧縮を受ける正方形板の最終 強度に関する研究(第1報),日本造船学会論文 集,第137号(昭和50年6月),pp.210~221.

# 付録 車輛甲板の板厚

パネル内の各車輪の接地面の中心間距離が 2S+a 以 上の場合

$$t = C_{\sqrt{\frac{2S-b'}{2S+a}}}P + 1.5 \text{ mm}^{-1}$$

 Cの値(船の中央部の強力甲板を除く)

 荷役専用車輛
 4.6

 荷役専用車輛以外
 5.2

 S:梁の心距(m)

 P:計画最大荷重(ton)

 b:梁に直角方向に測った車輪の接地長さ(m)

 a:梁に平行に測った車輪の接地長さ(m)

 b':bとSのいずれか小さい方