

# 自動車運搬船の車両甲板における 貨物積載可否に関する一考察

学生会員○亀井 志聖(東京海洋大学大学院) 正会員 南 清和(東京海洋大学大学院)  
正会員 増田 光弘(東京海洋大学大学院)

## 要旨

自動車運搬船での輸送対象である乗用車やトラック、建設機械は時代のニーズと共に年々大型化され、それに伴う貨物単体の重量増加がすすんでいる。自動車運搬船の貨物積載甲板は甲板毎に船艙高さと甲板強度が定められており、貨物の船積み前に積載可否を検討する事は、荷主から預かった貨物を安全に輸送する上で極めて重要と言える。本研究では、船積みの可否を判断するために必要な各項目に対して検討し、貨物積載可否の判定を行った。

キーワード: 甲板強度、PCTC、車両甲板、積み付け計画

## 1. はじめに

近年、自動車船荷役中にリフトブルデッキが落下、人身・貨物損傷事故<sup>(1)</sup>やオーバーロードによる甲板の歪み・損傷の報告がなされている。



図1 過去の事故例

自動車運搬船での輸送対象である乗用車や建設機械の寸法や重量は、時代のニーズと共に年々大型化されており、それに伴い貨物の重量増がすすんでいるというのが現状である。

荷主から預かった貨物を安全に向け地まで輸送する事は船会社にとって掲げるべく最も重要な理念である。

また、貨物損傷事故における荷主が被る損害はもとより、オーバーロードによる本船の損傷は船会社にとっての損害も懸念され、これらの事故や本船の損傷を事前に防ぐために、積み付けプラン作成の段階で確認・検討をする事は極めて重要であると言える。

そこで本研究は自動車船(PCTC: Pure Car carrier & Truck carrier)の甲板強度及び積載能力に着眼し

た。本船建造時に予想されていなかった積載対象貨物の大型化・重量増が車両甲板に及ぼす影響を解析し、貨物積載可否の判定を行う。

## 2. 自動車船の積み付け計画

### 2.1 配船計画

船会社における配船は、一般的に本船の現在位置と船積み条件により都度決定される。次に荷主が希望する積荷日/積み台数/仕向け地を考慮し最適な船腹を割り出す。この船腹を割り出すに当たり、

- ・可能な限り満船に近づける
- ・バース混みや貨物待ちによる滞船を避ける
- ・寄港数を最小限に留める

等、採算向上を考慮の上、荷主の要望を極力満足させられるように検討される。

また船腹決定における確認事項として、

- ・船積み可能台数 (Loading capacity)
- ・甲板及びランプウェイの強度
- ・船艙の高さ (Clear Height)

等が重要となる。

### 2.2 甲板強度

甲板強度を考慮した貨物積載の可否は通常以下のような指標が用いられる。

- ① 平米強度 (Uniform Load) 単位: kt/m<sup>2</sup>
- ② 軸荷重 (Axle Load) 単位: kt/2w or kt/4w

上記①、②の値は各甲板で定められている。

例えば ① Uniform Load=0.2kt/m<sup>2</sup> ② Axle Load=1.0kt/2w という強度で指定されている甲板があったとする。船積み貨物を乗用車と仮定すると乗用車は通常は2軸なので、1台あたりの重量2ktまでの乗用車

は船積み可能であるが、2kt を超える乗用車は積む事が出来ない。これは1軸あたりの荷重が 1kt を超えてしまうと②で指定された条件を満たせず甲板に凹みが生じてしまう危険性があるからである。

次に船積みする HOLD の平米スペースが 800m<sup>2</sup> であったとすると、

$$0.2\text{kt/m}^2 \times 800\text{m}^2 = 160\text{kt} \quad (1)$$

となり、この HOLD には全量で 160t までしか船積み出来ないということになる。

### 2.3 積み付けプランの作成

配船計画にて作成された Cargo booking list(船積み貨物明細)に基づいて船積みに必要なスペースの確認をする。(これを席割りという。)

次に 2.1 配船計画で述べた確認事項に加え、積み地/揚げ地の順番考慮した積み付け場所、荷役効率、安全な GM, Trim, Heel 等を限なく検討し積み付けプランは作成される。

このように様々な確認事項や注意点を考慮して積み付けプランは作成されるが、配船予定本船の積載能力に当てはまらない貨物に対する船積み可否の検討が必要になる場合がある。

これは希望する積み/揚げ日を守りたい荷主と、可能な限り満船ベースにして運航し、より多くの運賃収入を得たいという船会社の意向による。各本船に与えられた積載能力の範囲内で常に満船に出来れば勿論問題は無いが、前述の通りここ数年の輸送貨物の大型化・重量増は目まぐるしく、多種多様な貨物に適した配船がいつも行えるかと問われれば、そこに至っていないというのが現状である。積み付けプランを作成するに当たり、このような検討貨物の船積み可否検討は最も難解かつ重要な課題と言えよう。

## 3. 積載可否検討対象とする本船及び貨物

### 3.1 対象本船

本研究では以下本船を対象とし貨物の積載可否を検討した。

表 1 対象本船の主要目

|        |                |
|--------|----------------|
| 船種     | PCTC           |
| 総トン数   | 43810GT        |
| 全長     | 180m           |
| 幅      | 30m            |
| 積載可能台数 | 3930 台 (乗用車換算) |
| 積載甲板数  | 10 層           |
| 甲板種内訳  | 車両甲板 8, 重量甲板 2 |

表 2 各甲板の高さ及び強度

| DECK NO. | CL.Height (m) | Uniform (kt/m <sup>2</sup> ) | Axle (kt/2w) |
|----------|---------------|------------------------------|--------------|
| NO.10DK  | 2.2           | 0.22                         | 1.3          |
| NO.9DK   | 2.2           | 0.22                         | 1.3          |
| NO.8DK   | 2.2           | 0.22                         | 1.3          |
| NO.7DK   | 2.2/1.7/0     | 0.22                         | 1.3          |
| NO.6DK   | 2.2/2.8/4.2   | 1.0                          | 15           |
| NO.5DK   | 2.2/1.7/0     | 0.22                         | 1.3          |
| NO.4DK   | 3.6/4.2/5.6   | 2.0                          | 35           |
| NO.3DK   | 2.2           | 0.22                         | 1.3          |
| NO.2DK   | 2.2           | 0.22                         | 1.3          |
| NO.1DK   | 2.2           | 0.22                         | 1.3          |

本船は 10 層の積載甲板を持つ自動車運搬船 (PCTC)であり、2 層の重量甲板、6 層の固定車両甲板と 2 層の可動甲板(リフトダブルデッキ)を持つ。各甲板に対する甲板高さ(CL.Height)と甲板強度 (Uniform & Axle Load)を表 2 に示す。

本研究ではリフトダブルデッキである NO.7DECK に貨物を船積みした際の積載可否について検討した。



図 2 リフトダブルデッキ

### 3.2 検討貨物

現在の各国内メーカーの乗用車輸出状況について、大排気量の RV タイプ車の需要が高い傾向にある。そこでメーカーからの出荷台数及び荷主からの船積み要望の多い RV 車を検討対象貨物とした。検討貨物の主要目を表 3 に示す。

表 3 検討貨物の主要目

|            |      |
|------------|------|
| 全長(m)      | 5.29 |
| 全幅(m)      | 2.08 |
| 全高(m)      | 1.93 |
| ホイールベース(m) | 3.08 |
| 車両重量(t)    | 2.85 |
| 前軸重(t)     | 1.46 |
| 後軸重(t)     | 1.39 |

## 4. 車両甲板への積載可否検討

### 4.1 検討項目

本研究では、貨物の車両甲板への積載に対して① CL.Height②甲板板厚③甲板梁④甲板横桁の4項目について検討し、その可否を判断する。

各検討項目に対する検討内容を表4に示す。なお、検討貨物の計算条件(Dimensions)は表3の数値を使用する。

表4 積載可否検討項目

| 検討項目        | 検討内容                                                       |
|-------------|------------------------------------------------------------|
| ① CL.Height | 積載甲板の CL.Height と車両全高の比較                                   |
| ③ 両甲板 板厚    | NK 鋼船規則検査要領 C17.3.5 に従い必要板厚を計算し、積載甲板の板厚と比較する。              |
| ④ 両甲板 梁     | NK 鋼船規則検査要領 C10.9.1 に従い、梁の必要断面係数を計算し、積載甲板を構成する梁の断面係数と比較する。 |
| ⑤ 両甲板 横桁    | 検討貨物の Uniform Load と積載甲板の Uniform Load を比較する。              |

#### 4.1.1 CL.Height

積載甲板の CL.Height=2.2m に対して検討貨物の全高 1.93m より、

$$2.2\text{m} - 1.93\text{m} = 0.27\text{m} \quad \therefore \text{CL.Height} = 0.27\text{m} \quad (2)$$

式(2)より検討貨物の積載に関して CL.Height の項目に問題無い事が確認できた。

#### 4.1.2 車両甲板 板厚

車両甲板の必要板厚は次の順序にて求める。

① 輪荷重(タイヤ1個に加わる荷重)を求める。  
前輪と後輪の軸荷重は異なるため、荷重の大きい前輪の軸荷重から輪荷重を求める。

$$1.46\text{t(前輪の軸荷重)} \div 2 = 0.73\text{t(前輪の輪荷重)} \quad (3)$$

② タイヤの幅を求める

$$\text{タイヤの幅} = 0.205\text{m} \quad (4)$$

車輪と直角方向のタイヤ接地長さを NK 鋼船規則検査要領 C 編 C10 の表 C.10.9.1-1 から求める。

$$1/20 \times \sqrt{P} = 0.134\text{m} \quad P = \text{計画最大輪荷重(kN)} \quad (5)$$

③ NK 鋼船規則検査要領 C 編 C.17.3.5 から検討貨物を積載するために必要な板厚を計算する。

$$\begin{aligned} \text{④} \\ T(\text{mm}) &= C \sqrt{K \{ (2S - b') / (2S + a) \times P / 9.81 \}} + 1.5 \\ &= 5.49(\text{mm}) \end{aligned} \quad (6)$$

$S$ =梁の心距,  $P$ =計画最大輪荷(kN),  $b' = \min.(b, S)$ ,

$b$ =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)

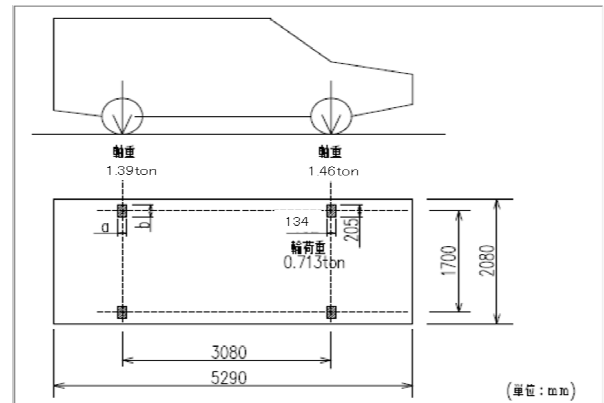


図3 タイヤの設置幅と輪荷重

$$5.5\text{mm(車両甲板の板厚)} > 5.49\text{mm(必要板厚)} \quad (7)$$

(7)式より本船車両甲板の板厚は検討貨物を積載するために必要な板厚の要求値を満たしている事が確認できた。

#### 4.1.3 車両甲板 梁

甲板横桁を支持点とした三連梁で梁の強度を以下順序にて計算する。

- ① 車両の長さや前後車間距離から車両配置を決定する。本研究では前後車間距離を 30cm に設定した。
- ② 輪荷重を求める。
- ③ ①で設定した車両配置から三連梁にかかる輪荷重位置を決める。
- ④ NK 鋼船規則検査要領 C 編 C.10.9.1 から車両甲板梁の必要断面係数を計算する。

$$Z=C_1C_2M=1\times 7\times 4.2=29.4(\text{cm}^3) \quad (8)$$

Z:必要断面係数

$C_1$ :梁の心距  $S$  と車輪の接地長さ  $b$  から求める係数。

$C_2$ :鋼船規則 表 C10.9.1-2 に定められた係数

M:三連梁の各々における断面二次モーメントの中で最大の値。

本船梁は  $100\times 75\times L$  型鋼であり断面係数 $=69(\text{cm}^3)$ である。

よって(8)式の必要断面係数は本船梁の断面係数の許容範囲内なので要求値を満たしていることが確認できた。

#### 4.1.4 車両甲板 横桁

車両甲板の甲板横桁に関する計算内容を以下に示す。

① 積載する甲板の設計 Uniform Load と検討貨物の Uniform Load を比較する。なお検討貨物の Uniform Load は表 3 の車両重量を車両の全長、全幅に左右前後の車間距離を加えた面積で産出する。本研究では左右(0.1m)、前後(0.3m)を車間距離として設定した。

② 検討貨物の Uniform Load

$$=2.85\text{kt}/12.19\text{m}^2=0.234\text{kt}/\text{m}^2 \quad (9)$$

③ 設計 Uniform Load－検討貨物の Uniform Load

$$=0.22\text{kt}/\text{m}^2-0.234\text{kt}/\text{m}^2=-0.0014\text{MT}/\text{m}^2 \quad (10)$$

(10)式より検討貨物の Uniform Load は設計 Uniform Load を超えてしまうため、積載不可。

④ ③で求めた結果の対応として、積み付け条件で左右車間を広げて検討貨物の Uniform Load を設計 Uniform Load より小さくする方法が考えられる。

$$\begin{aligned} (\text{必要左右車間距離}) &= 2.85(\text{t}) \div 0.22(\text{MT}/\text{m}^2) \div \\ &\{5.29(\text{m})+0.3(\text{m})\}-2.08(\text{m})=0.237(\text{m}) \end{aligned} \quad (11)$$

(11)式より左右車間距離を0.25m程度にして積み付ければ設計 Uniform Load 以下になり要求を満たす事が確認出来る。

## 5. 結び

本報告では、NK 鋼船規則検査要領に則り自動車運搬船の車両甲板における貨物積載可否について検討した。本船建造当時と比べ大型化・重量増化した貨物について検討した結果、4.1.4の検討項目に関して問題が認められたが、積み付け条件の変更をした対応策により船積み可能という結果を得る事ができた。

しかしながら、従来の積み付け条件による積載では本船の持つ積載能力をこえてしまっている事に注意しなければならない。本船の積載能力をこえた積み付けが定常化してしまうと、少しずつ甲板に歪みが発生するなどの危険性が懸念される。(図 4)



図 4 車両甲板歪みダメージの実例

これは貨物を船積みした際に車両甲板の歪みの最大変位が、車両甲板の許容応力度近辺であるため、徐々に甲板疲労を進めている事に起因すると思われる。

よって、貨物積載の可否を検討する際は、常に一定の安全率(Safety factor)を考慮して判定する事が必要である。

今後は、車輪の集中荷重が車両甲板に及ぼす歪みの測定・解析を行う予定である。(図 5)



図 5 歪み測定のイメージ

## 6.参考文献

- (1)国土交通省:船舶事故調査経過報告(H24,3,30)
- (2)三菱重工下関造船所:車両甲板搭載可否検討要領
- (3)一般財団法人 日本海事検定:NK 鋼船規則検査要領 C 編 船体構造及び船体艤装
- (4)㈱東京測器研究所:ひずみ測定講習会 教科書
- (5)玉田光一:やさしい自動車船の話