

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 285

March 2006

港湾のエプロン舗装の性能照査に用いる載荷重の作用回数の設定

小澤敬二・北澤壮介

Setup Method of Deciding Number of Loads by Cargo Handling Machine,
in Designing of Pavement Wharf Apron

Keiji KOZAWA and Sousuke KITAZAWA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

港湾のエプロン舗装の性能照査に用いる 載荷重の作用回数の設定

小澤敬二^{*}・北澤壮介^{**}

要 旨

本資料は、港湾のエプロン舗装の設計に用いる載荷重の作用回数を、取扱貨物量及び荷役の状況に基づいて設定する方法を提案するものである。ここで、載荷重とは荷役機械による荷重のことであり、検討対象としたのは、港湾のエプロンの主要な舗装形式であるコンクリート舗装とアスファルト舗装である。本検討では、載荷重の作用回数設定方法を提案し、その方法に基づいて舗装の試設計を行い、従来の設計との比較を行った。なお、載荷重の作用回数設定にあたっては、長尾らが栈橋上部工の荷役機械荷重に対する疲労限界状態の照査のために提案した各種荷役機械のモデル荷重及び作用回数の考え方を準用した。また、舗装の試設計においては、舗装設計施工指針（日本道路協会）に準拠し、設計供用期間における作用回数に対するコンクリート版厚及びアスファルト舗装厚について検討した。

本資料に提案した方法を用いることにより、荷役機械荷重の作用回数を考慮したエプロン舗装の設計が可能となる。

キーワード：エプロン，舗装，アスファルト舗装，コンクリート舗装，荷役機械

^{*}港湾研究部主任研究官

^{**}港湾研究部長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：0468-44-5029 Fax：0468-44-5081 e-mail：kozawa-k8310@ysk.nilim.go.jp

Setup Method of Deciding Number of Loads by Cargo Handling Machine, in Designing of Pavement of Wharf Apron

Keiji KOZAWA^{*}
Sosuke KITAZAWA^{**}

Synopsis

This note proposes the setup method of deciding number of loads by cargo handling machine, in designing of pavement of wharf apron. This research has been carried out for concrete pavement and asphalt pavement. Firstly, the setup method of number of the loads is examined with reference to the existing research. Secondly, the validity of the method is verified by trial design for several cases. In this case study, the method of road pavement is used as the method of considering number of loads. The method proposed in this paper allows designing of wharf apron, by considering number of loads.

キーワード : wharf apron pavement, asphalt, concrete, cargo handling machine load

* Senior Reseacher of Port Facilities Division, Port and Harbor Department
** Director of Port and Harbor Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone: +81-468-44-5029 Fax : +81-468-44-5081 e-mail: kozawa-k8310@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. まえがき	1
2. 舗装の設計法	1
2.1 現行の港湾のエプロン舗装の設計	1
2.2 その他の舗装の設計	2
3. 載荷重の作用回数を考慮した港湾のエプロン舗装の設計法	3
3.1 検討の背景	3
3.2 荷役機械による載荷重	3
3.3 載荷重の作用回数の設定法	3
3.4 コンクリート舗装の性能照査手法	7
3.5 アスファルト舗装の性能照査手法	9
4. 港湾のエプロン舗装の試設計	11
4.1 コンクリート舗装	11
4.2 アスファルト舗装	15
5. まとめ	18
6. おわりに	19
付録A 現行の港湾のエプロン舗装の設計法	20
付録B 道路舗装の設計法	23
付録C 空港舗装の設計法	25
付録D 港湾のエプロン舗装で考慮する載荷重	27

1. まえがき

現在、港湾の分野においても、規制改革や基準類の国際標準化の要請のもと、「港湾の施設の技術上の基準（以下、「技術基準」という）」の性能規定化のための検討が進められている。基準の性能規定化とは、一般的に、基準において、施設に要求される性能（以下、「要求性能」という）のみを規定し、施設の保有する性能が要求性能を満足していることを照査する具体的な方法を規定しないことを意味する。基準の性能規定化により、施設の保有する性能を非専門家に対してわかりやすく説明することが可能となるとともに、設計の自由度の確保や新技術の導入が容易となり、建設コスト縮減にもつながるとされている。

ここで、従来の設計体系を「仕様規定型設計法」、今後の性能設計体系を「性能規定型設計法」と呼ぶこととすると、それらの相違は以下のように説明することができる。

仕様規定型設計法：施設に対する作用の算定並びに安定性等の照査に用いる計算式及び係数等が、基準として定められており、設計者はそれらに従うことが求められる。施設が保有する性能は、必ずしも明示されていない。

性能規定型設計法：作用に対して施設が保有すべき性能が基準として定められており、その性能を照査するための計算式や係数は、設計者の判断に委ねられる。

このように、港湾の施設に関する設計体系が大きな変化を遂げようという状況のもと、防波堤、岸壁等の主要な港湾施設については、従来から性能設計体系の構築に向けた多くの研究・調査が行われてきており、技術基準の改正においてはそれらの成果が盛り込まれる予定であるが、港湾のエプロン舗装に関しては、必ずしも十分な研究・調査が進められてきたとは言い難い状況にある。

港湾のエプロン舗装に関しては、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾（以下、「基準・同解説」という）において仕様規定型の設計法が示されている。これは、エプロン上の荷役機械の挙動が極めて複雑で、載荷重のモデル化が容易ではないためと考えられる。現行の基準・同解説¹⁾に示された方法では、設計者が荷役機械荷重の種類（荷重ランク）のみを設定すれば、設計供用期間及び載荷重の作用回数といった設計パラメータを考慮することなく、舗装構成や舗装厚の設計を行うことが可能であ

る。しかし、このような仕様規定型の設計法によって設計された舗装は、載荷重の作用に対してどのような性能を有しているのか不明確であり、技術基準の性能規定化への対応が困難であると考えられる。

一方、道路や空港の舗装設計においては、施設の設計供用期間や載荷重の作用回数等が考慮されている。

このような状況を踏まえ、技術基準の性能規定化に向けて、港湾のエプロン舗装の性能照査法について検討し、従来の仕様規定型設計に代わる性能規定型設計の方法を提案することとする。具体的には、エプロンの要求性能は、「舗装の設計供用期間中の載荷重の作用に対して、舗装に、荷役及び荷役機械の走行等に支障を与えるような損傷が生じないこと」とし、エプロンに作用する載荷重の作用回数を適切に考慮したエプロン舗装の舗装構成及び舗装厚の照査手法を提案する。

なお、第2章では、現行の港湾のエプロン舗装の設計法、並びに道路及び空港のエプロン舗装の設計法を概説する。また、第3章では、載荷重の作用回数を考慮した港湾のエプロン舗装の設計法を提案する。ここでは、荷役機械による載荷重の作用回数の設定法の提案と、この方法を取り入れた港湾のエプロン舗装の性能照査法について述べる。さらに、第4章では、前章での検討に基づいた港湾のエプロン舗装の試設計を行い、従来の設計との比較を行った。

2. 舗装の設計法

2.1 現行の港湾のエプロン舗装の設計

現行の基準・同解説¹⁾に基づいて、港湾のエプロン舗装の主要な舗装形式であるコンクリート舗装及びアスファルト舗装の設計について概説する。

(1) 現行の技術基準

現行の技術基準では、港湾のエプロン舗装について、省令第11条と告示第94～100条に規定がある。省令では、荷役等が安全に行えること、適切に舗装されていること等が規定されている。告示では、エプロンの面積、幅員、勾配、設計荷重、舗装の構成及び目地の設置に関して、設定の考え方が規定されている。詳細は付録Aに掲載した。

これらは、仕様規定ではないが、具体的な作用に対する施設の具体的な性能の規定でもなく、設計において考慮すべき事項を総括的に表現した規定である。このため、実際に港湾のエプロン舗装の設計を行うためには、これらの規定のほかに具体的な設計法が必要であり、実務的には、基準・同解説¹⁾に示されている設計法が参照され

ている。

(2) 現行の設計法

① 概要

現行の基準・同解説¹⁾において、港湾のエプロン舗装の設計は、荷役機械荷重、交通量、路床の支持力、使用材料を設計条件として舗装厚を決定することとされている。しかし、実際には、設計者が載荷重の交通量（作用回数）を設定しなくても、舗装厚は仕様規定的に決定することができる方法が示されている。この方法は、簡便であるとともに、長年にわたる実績により適用性が認められているものと考えられるが、設計された舗装が保有する性能が不明確であり、施設の利用状況等に応じた合理的な舗装構造を設定することができないという問題がある。

② 舗装構成

コンクリート舗装の舗装構成は、図-1 に示すように路床上に路盤、コンクリート版を配置した断面構造を有している。

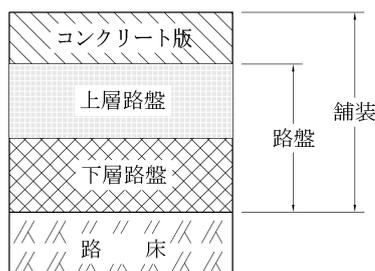


図-1 コンクリート舗装の舗装構成

アスファルト舗装の舗装構成は、図-2 に示すように路床上に路盤、アスファルト層（表層、基層）を配置した断面構造を有している。

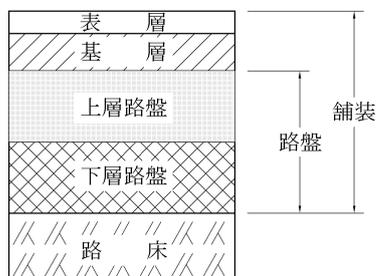


図-2 アスファルト舗装の舗装構成

③ 設計条件

港湾のエプロン舗装の設計条件として考慮する事項は、i) 設計荷重、ii) 交通量、iii) 路床の支持力、iv) 使

用材料、v) その他である。なお、このうち設計荷重は、対象となる荷重のうちで、コンクリート舗装については、コンクリート版厚が最大となる荷重を、アスファルト舗装についてはアスファルト舗装厚（換算舗装厚）が最大となる荷重を設定することとしている。

④ 舗装設計

コンクリート舗装については、路床の設計支持力係数に応じた路盤厚を示すとともに、各種荷役機械を4区分の設計荷重に区分し、それぞれの区分に対応するコンクリート版厚を参考値として与えている。

アスファルト舗装厚の設定についてもほぼ同様に、各種荷役機械を4区分の設計荷重に区分し、それぞれの区分及び路床の設計CBRに応じた舗装構成を参考として与えている。

すなわち、いずれの舗装形式についても、想定される荷役の状況（施設の利用状況）から荷役機械の種類と規格（能力）が決まれば、これに該当する設計荷重の区分からコンクリート舗装構成あるいはアスファルト舗装構成を決定することができる。

なお、これらの方法では、荷役機械による載荷重の作用回数が何らかの考え方により考慮されているものと推測されるが、そのことが明示されていないため、作用回数を考慮したより合理的な設計を行うことができない。

2.2 その他の舗装の設計

(1) 道路舗装の設計法

道路舗装においては、設計供用年数、舗装計画交通量等を定め舗装厚を決定する。舗装設計施工指針²⁾では、コンクリート舗装、アスファルト舗装ともに輪荷重の作用回数を設計条件として考慮して舗装厚の照査を行うこととされている。

① コンクリート舗装

コンクリート版厚は、設計期間において、輪荷重によりコンクリート版に生じる応力の繰り返し作用に対して、舗装の破壊規準として設定される疲労度が1以下を満足するように設計している。なお、詳細は付録Bに掲載した。

② アスファルト舗装

アスファルト舗装の設計においては、交通荷重が舗装の破壊に及ぼす程度はその荷重の大きさの4乗に比例するとの考えのもと、すべての輪荷重を49 kN (5tf) の輪数に換算した値が設計条件として考慮される。なお、詳細は付録Bに掲載した。

(2) 空港舗装の設計法

空港舗装構造設計要領³⁾ (国土交通省航空局監修) では、空港の舗装区域を滑走路、誘導路、エプロン等の利用形態に応じて5区分に分類し、設計荷重を利用する機種に応じて区分し、さらに、設計反復作用回数を航空機の利用状況に応じてアスファルト舗装の場合は5区分に、コンクリート舗装の場合は3区分に分類し、それぞれの組合せにより、コンクリート舗装の場合には各舗装区域に対するコンクリート版厚を、アスファルト舗装の場合には各舗装区域に対する基準舗装厚を与えている。なお、詳細は付録Cに掲載した。

3. 載荷重の作用回数を考慮した港湾のエプロン舗装の設計法

3.1 検討の背景

2.1 現行の港湾のエプロン舗装の設計にも記したとおり、現行の基準・同解説¹⁾においては、港湾のエプロン舗装の設計は、荷役機械荷重、交通量、路床の支持力、使用材料を設計条件として舗装厚を決定することとされている。しかし、これらの条件のうち荷役機械の交通量については、エプロン上の荷役機械の挙動が極めて複雑で、載荷重の作用回数を推定するのが一般的には容易でない。このため、現行の基準・同解説¹⁾では、設計者が、個別の施設のエプロン上における荷役機械による載荷重の作用回数を設定しなくても、舗装厚は仕様規定的に決定することができる方法が示されている。この方法は、長年の実績を有しているものの、性能規定型の設計に対応できず、エプロンの利用状況によっては必ずしも合理的な設計とはなっていない恐れがある。

このような状況を踏まえ、舗装の設計供用期間及び想定される荷役の状況をもとにエプロンに作用する載荷重の作用回数を設定する方法を検討・提案することとした。なお、本検討では、設定された載荷重の作用回数を考慮して舗装厚を照査する手法については、道路舗装の設計を参考とし、文献2)の方法を準用することとした。

3.2 荷役機械による載荷重

港湾のエプロン舗装の設計で考慮する載荷重としての荷役機械による載荷重の参考値を表-1に示す。これは、港湾における荷役機械の実態調査結果⁴⁾で得られたデータの統計処理を行って求めたものである。ここで、移動式クレーンとは、貨物の船積み・陸揚げ等を行うものでトラッククレーン、ラフテレーンクレーン、オール

テレーンクレーンのことをいう。また、移動式クレーン以外の荷役機械として、荷物の移送・積み降ろしを行うトラック、トラクタトレーラ、フォークリフトトラック、ストラドルキャリアについても整理した。なお、データの統計処理等の詳細は付録Dに示した。

表-1 港湾のエプロン舗装で考慮する載荷重としての荷役機械荷重の特性値

作用 (荷役機械荷重) の種類	アウトリガー1個又は車輪1個の最大荷重 (kN)	アウトリガー1個又は車輪1個の接地面積 (cm ²)	接地圧 (N/cm ²)	
移動式クレーン	20型	220	1,250	176
(トラッククレーン ラフテレーンクレーン オールテレーンクレーン)	25型	260	1,300	200
	30型	310	1,400	221
	40型	390	1,650	236
	50型	470	1,900	247
	80型	690	2,550	271
	100型	830	3,000	277
	120型	970	3,350	290
150型	1170	3,900	300	
トラック	25t積級	100	1,000	100
トラクタトレーラ	20ft用	50	1,000	50
	40ft用	50	1,000	50
フォークリフトトラック	2t	25	350	71
	3.5t	45	600	75
	6t	75	1,000	75
	10t	125	1,550	81
	15t	185	2,250	82
	20t	245	2,950	83
	25t	305	3,600	85
	35t	425	4,950	86
ストラドルキャリア		125	1,550	81

3.3 載荷重の作用回数の設定法

設計供用期間における載荷重の作用回数の設定方法としては、

- ①荷役機械の移動実態から設定する方法
- ②他の施設での実績から推定する方法
- ③取扱貨物量から推定する方法

等が考えられる。港湾のエプロン舗装の設計段階において、当該施設の荷役の状況が具体的に想定でき、上記①及び②の方法等により載荷重の作用回数が具体的に設定できる場合には、それらの方法によることが望ましい。しかしながら、実際には、上記①及び②の方法によることが困難な場合が多いと考えられるため、ここでは、③取扱貨物量から推定する方法について検討した。具体的な、載荷重の作用回数の設定方法の検討にあたっては、長尾ら⁵⁾により提案された栈橋上部工の疲労限界状態の性能照査を行う際の荷役機械荷重と作用回数の組合せの分布よりなるモデル荷重の設定方法 (以下、「長尾らの方法」) を参考にすることとした。以下に、長尾らの方法について述べる。

(1)長尾らの方法による作用回数の設定法

長尾らは、荷役機械の貨物取扱量分布を現況調査などをもとにモデル化したうえで、荷役機械荷重と作用回数の組合せの分布よりなるモデル荷重を表- 2 に示すとおり提案している。

表- 2 作用回数の推定⁵⁾

項目	変動荷重	作用回数 (回/年)	
一般 棧橋	移動式クレーン	P_1-P_2	$\frac{(\text{取扱総貨物量} \times 0.5)}{(\text{定格荷重} \times 0.2)}$
		P_4-P_3	$\frac{(\text{取扱総貨物量} \times 0.5)}{(\text{定格荷重} \times 0.2)}$
	フォークリフト	最大輪荷重	$(\text{取扱総貨物量} / \text{定格荷重}) \times 0.4$
		最大輪荷重 $\times 0.9$	$(\text{取扱総貨物量} / \text{定格荷重}) \times 0.4$
		最大輪荷重 $\times 0.8$	$(\text{取扱総貨物量} / \text{定格荷重}) \times 0.4$
		最大輪荷重 $\times 0.7$	$(\text{取扱総貨物量} / \text{定格荷重}) \times 0.4$
		空荷時輪荷重	$(\text{取扱総貨物量} / \text{定格荷重}) \times 1.6$
	トラクタ	最大輪荷重	取扱総貨物量 / 定格荷重
		空荷時輪荷重	取扱総貨物量 / 定格荷重
	コンテナ 棧橋	ストラドルキャリア トラクタトレーラ	コンテナ実重量:40(t)
コンテナ実重量:35(t)			総取扱コンテナ数 $\times 0.10$
コンテナ実重量:30(t)			総取扱コンテナ数 $\times 0.20$
コンテナ実重量:25(t)			総取扱コンテナ数 $\times 0.25$
コンテナ実重量:20(t)			総取扱コンテナ数 $\times 0.20$
コンテナ実重量:15(t)			総取扱コンテナ数 $\times 0.20$
空荷時輪荷重		総取扱コンテナ数	

注1) 総取扱コンテナ数=取扱コンテナ個数 \times (ブロック長/対象船舶長さ)

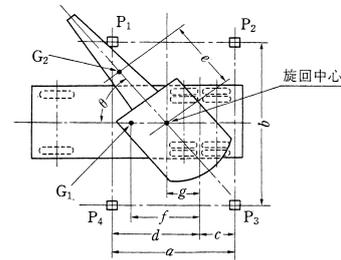
注2) コンテナ棧橋における変動荷重の算定は下式による

$$\text{最大輪荷重} \times \frac{\text{車体重量} + \text{コンテナ実重量}}{\text{車体重量} + \text{コンテナ定格荷重}}$$

ここで、表- 2 の移動式クレーン $P_1 \sim P_4$ はアウトリガー反力を表し、その位置は図- 3⁶⁾ に示すとおりである。

クレーンの旋回角度とアウトリガーに作用する荷重の関係の例を図- 3⁶⁾ に示す。例えば、この図においてブームの旋回角度が $0 \sim 120$ 度の場合では、 P_1 は旋回角度が 60 度の時に最大値 P_{max} をとり、 120 度の時に最大値の約半分の値をとっている。すなわち、この場合の例では、こ

の旋回角度の範囲におけるアウトリガー反力の変動成分 P_r は約 $0.5P_{max}$ となる。



a, b : アウトリガフロート位置寸法 (mm)
 c : 複軸中心から後アウトリガ中心までの水平距離 (mm)
 d : 複軸中心から前アウトリガ中心までの水平距離 (mm)
 e : 旋回中心から上部旋回体とつり上げ実荷重の重心位置までの水平距離 (mm)
 f : 複軸中心線から下部走行体重心位置線までの水平距離 (mm)
 g : 上部旋回体の取付位置 (複軸中心線から) 寸法 (mm)
 θ : 上部旋回体の旋回角 (度)
 P_1, P_2, P_3, P_4 : それぞれアウトリガフロートの支点荷重 (tf)
 G_1 : 下部走行体の重量 (tf)
 G_2 : 上部旋回体の重量とつり上げ実荷重の和 (tf)

$$P_1 = G_1 \frac{c+f}{2a} + G_2 \cdot \frac{c+g+e \cos \theta}{a} \cdot \frac{\frac{b}{2} + e \sin \theta}{b} \quad (\text{tf})$$

$$P_2 = G_1 \frac{d-f}{2a} + G_2 \cdot \frac{d-g-e \cos \theta}{b} \cdot \frac{\frac{b}{2} + e \sin \theta}{b} \quad (\text{tf})$$

$$P_3 = G_1 \frac{d-f}{2a} + G_2 \cdot \frac{d-g-e \cos \theta}{a} \cdot \frac{\frac{b}{2} - e \sin \theta}{b} \quad (\text{tf})$$

$$P_4 = G_1 \frac{c+f}{2a} + G_2 \cdot \frac{c+g+e \cos \theta}{a} \cdot \frac{\frac{b}{2} - e \sin \theta}{b} \quad (\text{tf})$$

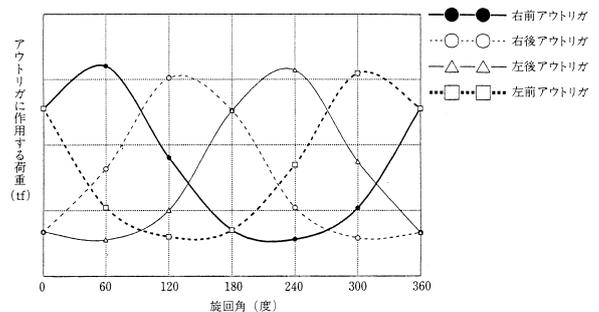


図- 3 アウトリガー反力説明図⁶⁾

(2)長尾らの方法の港湾のエプロン舗装設計への適用

①移動式クレーン以外の荷役機械

i)作用回数の設定

移動式クレーン以外の荷役機械 (フォークリフト, トラック, トラクタトレーラ及びストラドルキャリア) の作用回数は、表- 2 の推定方法により算定する。取扱貨物量については、港湾計画における取扱貨物量等を参考に設定することができる。

移動式クレーン以外の荷役機械は、移送・積み降ろしに用いられる移動式の荷役機械であり、空荷の状態でも積み込み場所まで移動し、載荷された状態で上屋や倉庫等の目的地まで貨物を運搬する、あるいはその逆と想定される。したがって、荷役作業による載荷重の振幅は、図-4に示すようにすべて独立した荷重振幅になるものと想定される。

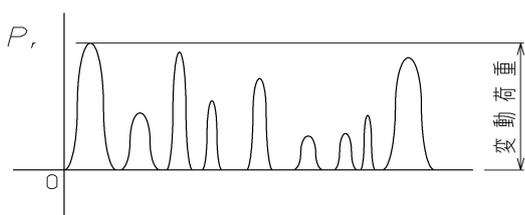


図-4 移動式クレーン以外の荷役機械の荷重振幅

ii) 荷役範囲の想定

長尾らの方法は、1隻の貨物船の荷役作業において、全ての貨物が棧橋の検討対象箇所を通行すると仮定している。これは設計として安全側の仮定であるが、実際には図-5に示したように、ある荷役範囲の貨物のみが設計対象箇所を通行するような荷役形態となり、たとえば複数の荷役機械が分担して荷役作業を行う場合が多いものと想定される。したがって、本検討では、ヤードの利用計画、上屋の配置等を参考に当該施設の荷役形態により、荷役範囲を適切に設定するものとする。荷役範囲を設定するという考え方においては、当該荷役範囲の貨物を取り扱うにあたって、荷役機械は空荷状態及び載荷状態とも必ずエプロンの設計対象箇所を通行すると仮定していることになる。

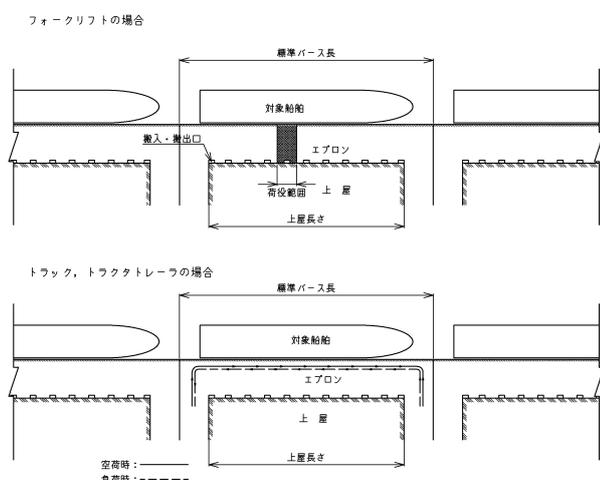


図-5 移動式クレーン以外の荷役機械の作業パターン

②移動式クレーン

i) 作用回数の設定

移動式クレーンは、機体の外側にアウトリガーを4箇所以上張り出して機体を固定した上で、荷役作業を行うため、載荷重としてはアウトリガー反力が対象となる。

移動式クレーンは、通常、荷役場所においてアウトリガーを固定した状態で荷役を行う。したがって、移動式クレーンによる載荷重の作用回数とは、走行回数ではなく、クレーンの吊荷位置の移動に伴うアウトリガー反力の作用回数として設定する必要がある。アウトリガー反力は、機体とアウトリガー位置などの諸元のほかに、吊荷を含む上部旋回体の重心位置及び旋回角度に依存する。

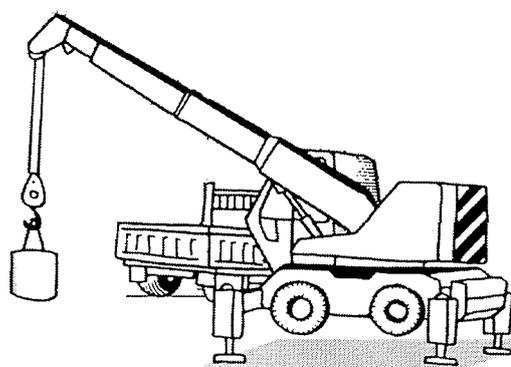
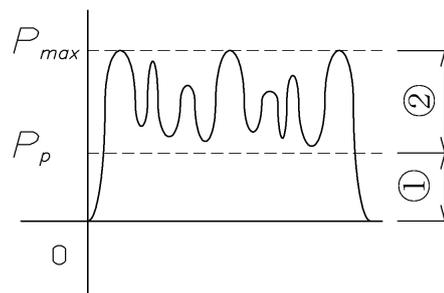


図-6 移動式クレーン荷役イメージ図

そのため、1隻の貨物船の荷役におけるアウトリガー反力による荷重振幅は、図-7に示すようになるものと想定される。この荷重振幅の特徴は、1回の荷役の開始から終了までの間、常に移動式クレーンの自重による反力が生じることである。そして、この間に荷役が行われ



- ①: 自重によるアウトリガー反力 P_p
- ②: 変動荷重によるアウトリガー反力 P_r

ただし、 $0 < P_r \leq (P_{max} - P_p)$

図-7 移動式クレーンのアウトリガー反力の荷重振幅

ることにより貨物の重量によるアウトリガー反力の変動

成分が作用する。したがって、図-7に示すような荷重振幅となる。

ii) 変動荷重の換算方法

移動式クレーンの場合は、図-7に示すように連続して荷重が作用するため、一連の変動する荷重振幅を独立した荷重振幅と作用回数に換算する必要がある。具体的な換算方法としては、レンジペア法⁷⁾がある。

レンジペア法による変動する荷重振幅の換算方法は以下の通りである。まず、最大振幅 P_{max} (図-8 a) に着目し、この振幅の山のすその部分以外の小振幅のみを選び出す(図-8 a 斜線部)。次に、選び出された残りの振幅より最大の振幅(図-8 b)に着目し同様の手順を繰り返す。以下同様のことを繰り返して独立した振幅 P_r を求める。

図-8では最大振幅 $P_{max}=8$ が1回、その他の振幅 P_r として振幅6, 3が1回、振幅2が2回、振幅1が5回となる。

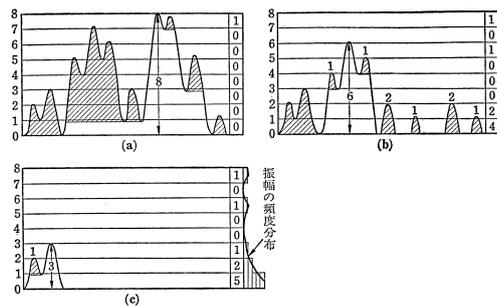


図-8 レンジペア法の説明図⁷⁾

iii) 船舶入港回数の設定

移動式クレーンは、船舶が着岸する度に、荷役作業のために所定の位置まで移動し、にアウトリガーを固定して荷役作業を開始し、荷役作業完了後にエプロン上から移動するという行程を繰り返すものと想定する。したがって、移動式クレーンのアウトリガー反力の変動成分の荷重振幅のイメージは図-9のようになる。

したがって、 P_{max} 及び P_r の作用回数は、次の通りとなる。

- P_{max} の作用回数： m 回
- P_r の作用回数： $(n-m)$ 回

iv) 移動式クレーンの荷役範囲の想定

移動式クレーンの荷役範囲は、図-10に示すようにブームの旋回範囲の貨物の船積み、陸揚げを行なうものと考えられるため、本検討では、移動式クレーンの荷役範囲は移動式クレーンのブーム長等を参考に想定すること

とした。

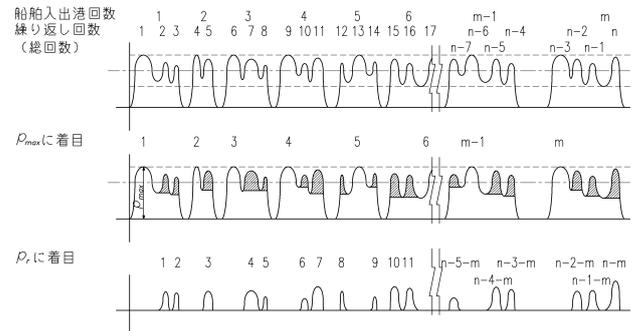


図-9 移動式クレーンのアウトリガー反力の変動成分の荷重振幅のイメージ図

ここで、図-9に示している記号の意味は次のとおりである。

- m : 船舶の設計供用期間中の入出港回数。
($=m' \times$ 【設計供用期間】)
- m' : 船舶の年間入出港回数。
例えば、週1回入港した場合は $365 \text{ 日} \div 7 \text{ 日/回} = 52 \approx 50 \text{ 回/年}$ とする。
- n : 総作用回数 (回) ($=n' \times$ 【1回の荷役におけるエプロン法線方向の荷役範囲 (m)】 \times 【設計供用期間 (年)】)
- n' : バース延長 1.0m 当たりの年間作用回数 (回/年/m)

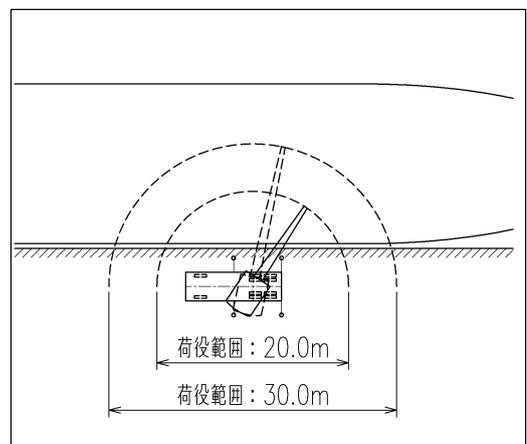
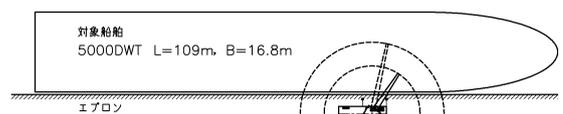


図-10 移動式クレーンの荷役イメージ

3.4 コンクリート舗装の性能照査手法

(1) 性能照査の手順

コンクリート舗装の性能照査の手順の例を、図-11に示す。コンクリート舗装の性能照査は、荷重条件、荷重の作用回数、路床の支持力条件から、路盤厚及びコンクリート版厚について行う。なお、路盤厚の照査については基準・同解説¹⁾に示されている現行の港湾のエプロン舗装の設計法を準用し、コンクリート版厚の照査については、載荷重の作用回数を考慮するために道路の舗装に用いられている舗装設計施工指針²⁾による方法を準用する。

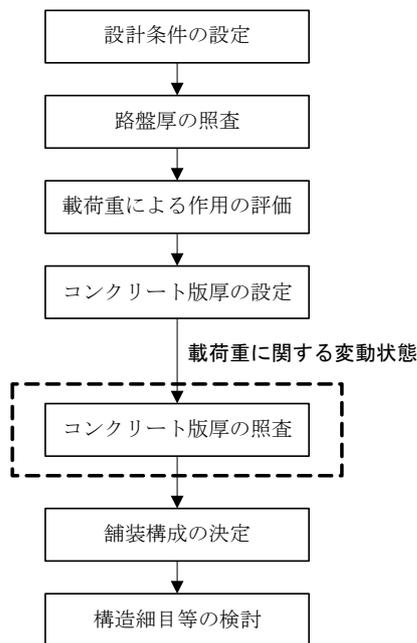


図-11 コンクリート舗装の性能照査手順の例

(2) 設計条件

a) 性能照査において考慮すべき設計条件

一般に、①設計供用期間、②作用条件、③載荷重の作用回数、④路床の支持力、⑤使用材料とする。

b) 設計供用期間

係留施設の利用条件等を考慮し適切に設定する。係留施設のエプロンにおけるコンクリート舗装の設計供用期間は、一般に道路の舗装を参考に20年とすることができる。

c) 作用条件

作用条件は、対象となる荷役機械による載荷重の種類の中から、コンクリート版厚が最大となるものを選定する。

d) 路床の支持力

現行の基準・同解説¹⁾に示された以下の考え方をを用いて、路床の支持力を、設計支持力係数 K_{30} として設定する。

①路床の設計支持力係数 K_{30} の設定にあたっては、JIS A 1215に規定にされている平板載荷試験により求めることができる。ここで、設計支持力係数 K_{30} は、一般に、沈下量0.125cmに対応する値として設定する。また、平板載荷試験は、岸壁等の法線方向50mに1～2箇所行うことが望ましい。

②同一の材質で路床が構成されている範囲の設計支持力係数 K_{30} の設定にあたっては、極端な値を除去した3箇所以上の実測値を用いて式(1)により求めることが望ましい。

$$\begin{aligned}
 (\text{路床の支持力係数 } K_{30}) = & \\
 & (\text{各地点の支持力係数の平均値}) - \\
 & \left\{ \frac{(\text{支持力係数の最大値}) - (\text{支持力係数の最小値})}{d_2} \right\} \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここに、

d_2 : 支持力係数の計算に用いる係数。

③路床が既に完成している場合の支持力係数は、最も湿潤な状態にある路床での平板載荷試験から求めることができる。ただし、このような時期に試験が行えない場合には、式(2)により平板載荷試験の値を補正して求めることができる。また、CBRは乱さない土の供試体に対する値である。

路床の支持力係数(補正)=

$$\text{実測値より算出した支持力係数} \times \frac{\text{CBR (4日間水浸)}}{\text{CBR (自然含水量)}} \quad (2)$$

e) 使用材料

各路盤材料の材質、粒度等は、舗装設計施工指針²⁾の規定に準ずるものとする。

f) 載荷重の作用回数の算定

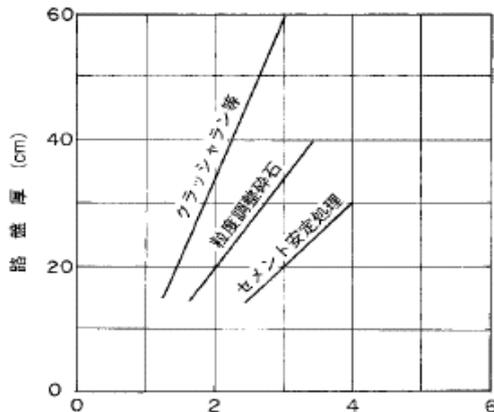
3.3 載荷重の作用回数の設定による。

(3) 性能照査方法

a) 路盤厚の設定

路盤厚の設定は、現行の基準・同解説¹⁾に示された以下の考え方をを用いる。

路盤厚は、試験路盤を作って支持力係数が $200\text{N}/\text{cm}^3$ となるように設定するのが望ましい。ただし、試験路盤を作ることが困難な場合には、図-12示す設計曲線を用いて路盤厚を直接に設定することができる。また、路盤の最小厚は、一般に、 15cm とする。各路盤材料の材質、粒度等は、舗装設計施工指針²⁾の規定によることができる。



$$\frac{\text{路盤の支持力係数}}{\text{路床の設計支持力係数}} = \frac{k_1}{k_2}$$

k_1 は路盤の支持力係数 k_{30} ($200\text{N}/\text{cm}^3$)である。
 k_2 は路床の支持力係数 k_{30} である。

図-12 路盤厚の設計曲線²⁾

b) コンクリート版厚の照査

i) コンクリート版の曲げ強度

現行の基準・同解説¹⁾に示された考え方を準用し、コンクリート版の曲げ強度は、一般に材令28日で $450\text{N}/\text{cm}^2$ とする。ただし、この強度は、JIS A 1132 コンクリートの強度試験用供試体の作り方及びJIS A 1106 コンクリート曲げ強度試験方法によって求めてもよい。

ii) コンクリート版厚と曲げ応力度との関係

曲げ応力度は、現行の基準・同説¹⁾に示されたアーリントン公式と称される式(3)を用いて算出する。

$$\sigma = \frac{10CP}{h^2} \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{a}{l}}}{0.925 + 0.22 \frac{a}{l}} \right) \quad (3)$$

ここに、

σ : コンクリート版の直角隅角部の最大応力度

(N/mm^2)

C : 係数、ダウエルバーを用いる場合は、 $C=3.36$ としている。

P : 荷役機械荷重 (kN)

h : コンクリート版の厚さ (cm)

a : 荷役機械荷重の接地半径 (cm)

$$l: \text{舗装の剛比半径 (cm)} \quad l = 4 \sqrt{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K_{75}}}$$

E : コンクリートの弾性係数 (N/cm^2),

通常 $E=3,500,000 \text{ N}/\text{cm}^2$ としている。

ν : コンクリートのポアソン比 通常 $\nu=0.15$ とする。

K_{75} : 路盤の設計支持力係数 (N/cm^3),

通常 $K_{30}/K_{75} = 2.8$ とし、

$$K_{75} = K_{30}/2.8 = 200/2.8 \approx 70 \quad \text{とする。}$$

iii) コンクリート版厚の照査

舗装設計施工指針²⁾では、設計供用期間におけるコンクリート版の輪荷重応力とその作用回数をもとに、コンクリート版の疲労特性を把握し、その結果と破壊規準である疲労度の関係からコンクリート版厚を設定する方法が示されている。コンクリート版厚の設定については、この舗装設計施工指針²⁾に準拠し、以下の方法によるものとする。

① 許容作用回数の算定

輪荷重応力に対する許容作用回数は、式(4)により算出する。

$$\left. \begin{aligned} N_i &= 10^{\{(1.0-SL)/0.044\}} & 1.0 \geq SL > 0.9 \\ N_i &= 10^{\{(1.077-SL)/0.077\}} & 0.9 \geq SL > 0.8 \\ N_i &= 10^{\{(1.224-SL)/0.118\}} & 0.8 \geq SL \end{aligned} \right\} (4)$$

N_i : 載荷重による応力 i に対するコンクリート版の許容作用回数

SL : 載荷重による応力/設計基準曲げ強度 (= $4.5\text{N}/\text{mm}^2$), ただし載荷重による応力は式(3)により算出する。

② 疲労度の計算

コンクリート版の疲労度は式(5)により算出する。

$$FD = \sum (n_i / N_i) \quad (5)$$

ここに、

FD : 疲労度

n_i : 載荷重 i の作用回数

N_i : 載荷重 i に対するコンクリート版の許容作用回数

③ コンクリート版厚の照査

コンクリート版の破壊規準には疲労度を用いる。コンクリート版厚は、疲労度 FD が 1.0 以下となるように設定する。

3.5 アスファルト舗装の性能照査手法

(1) 性能照査の手順

アスファルト舗装の性能照査の手順の例を図-13に示す。アスファルト舗装の性能照査は、路床の支持力と載荷重の作用回数から必要とされるアスファルト等値換算舗装厚を求め、これを下回らないように舗装構成を決定する T_d 法によるものとする。なお、この手法は、舗装設計施工指針²⁾ に示されている道路の舗装に用いられるものであるが、従来の港湾のエプロン舗装の設計で用いられてきた仕様規定型設計も、基本的にはこの考え方を準用している。

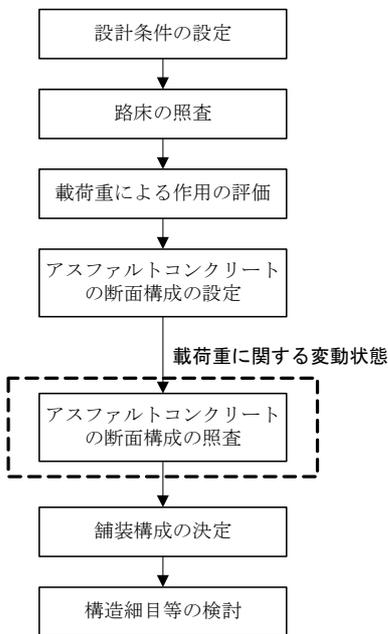


図-13 アスファルト舗装照査手順の例

(2) 設計条件

a) 性能照査において考慮すべき設計条件

一般に、①設計供用期間、②作用条件、③載荷重の作用回数、④路床の支持力、⑤使用材料とする。

b) 設計供用期間

係留施設の利用条件等を考慮し適切に設定する。係留施設のエプロンにおけるアスファルト舗装の設計供用期間は、一般に道路舗装を参考に10年とすることができる。

c) 作用条件

作用条件は、対象となる荷役機械による載荷重の種類の中から、アスファルト舗装厚が最大となるものを選定する。

d) 載荷重の作用回数の算定

3.3 載荷重の作用回数の設定による。

e) 路床の支持力

現行の基準・同解説¹⁾に示された以下の考え方をを用いる。

①設計の対象となる舗装区域の路床について、その設計 CBR を求める場合には、 CBR 試験は JIS A 1211 路床土支持力比 (CBR) 試験方法の規定により、路床土を自然含水量で突き固めて、4日間水浸後の CBR を求める。ただし、採取した路床土は 40mm 以上の骨材を除き、モールドに 3層に分けて入れ、各層 67回ずつ突き固める。路床が既に完成している場合には、一般に最も湿潤な状態にある路床での現場 CBR 試験から設計 CBR を求める。このような時期に試験が行えない場合は式 (6) により現場 CBR の値を補正した値を用いて求めることができる。なお、 CBR は乱さない土の供試体に対するものである。また、試料の採取は岸壁等の法線方向 50m ごとに 1~2箇所、完成路床あるいは路床土の土取場の露出面より 50cm 以上深い箇所で行うことが望ましい。

$$CBR(補正) = 現場 CBR \times \frac{CBR(4日間水浸)}{CBR(自然含水量)} \quad (6)$$

この CBR より、極端に異なる値を除いて式 (7) で設計 CBR を求めることができる。

設計 $CBR =$

$$各地点の CBR の平均 - \frac{CBR_{最大値} - CBR_{最小値}}{d_2} \quad (7)$$

ただし、 d_2 は支持力係数の計算に用いる係数の値である。

f) 使用材料

各路盤材の材質、粒度等の事項については、舗装設計施工指針²⁾の規定に準ずるものとする。

(3)性能照査方法

a) 舗装構成の照査

舗装構成は、設定した舗装断面のアスファルト等値換算断面が必要アスファルト等値換算断面を下回らないように決定する。必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A の算定は式(8)によるものとする。

$$T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \quad (8)$$

ここに、

T_A : 必要アスファルト等値換算舗装厚 (cm)

N : 設計供用期間における設計荷重の作用回数 n_i を 49kN 輪荷重に換算した数値で、式(9)によるものとした。

$$N = \sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{P_i}{49} \right)^4 \times n_i \right] \quad (9)$$

ここに、

P_i : 載荷重 (kN)

n_i : 載荷重 P_i の作用回数

m : 載荷状態の設定数

設定した断面のアスファルト等値換算舗装厚 T_A' の算定は式(10)によるものとした。

$$T_A' = \sum_{i=1}^n [a_i \times h_i] \quad (10)$$

ここに、

T_A' : 設定した断面のアスファルト等値換算厚 (cm)

h_i : 各層の厚さ (cm)

a_i : 舗装各層に用いる材料・工法の等値換算係数、表-3によることことができる。

n : 層の数

現行の仕様規定型設計においては、表層と基層を加えた最小厚さは、載荷重の作用条件に応じて 10 (5) cm 又は 20 (15) cm としている。なお、()

内の厚さは、上層路盤に瀝青安定処理工法を用いる場合に低減できる厚さを示す(舗装設計施工指針²⁾に準拠)。

表-3 等値換算係数

使用箇所	工法, 材料	条件	等値換算係数	備考
表層 基層	表層, 基層用加熱アスファルト混合物	—	1.00	AC I ~ ACIV
上層 路盤	瀝青安定処理	マーシャル安定度, 3.43 kN以上	0.80	A 処理材 II
		マーシャル安定度, 2.45-3.43kN	0.55	A 処理剤 I
	粒度調整	修正 CBR 80 以上	0.35	粒調材
下層 路盤	クラッシュラン, スラグ, 砂など	修正 CBR 30 以上	0.25	
		修正 CBR 20~30	0.20	粒状材

また、アスファルトコンクリートの種類及び材質は、表-4を用いることとする。

表-4 アスファルトコンクリートの種類及び材質

種類	AC I	AC II	AC III	AC IV
用途	表層用		基層用	
マーシャル安定度試験突固め回数	50回	75回	50回	75回
マーシャル安置度 (kN)	4.9 以上	8.8 以上	4.9 以上	8.8 以上
フロー値 (1/100cm)	20~40	20~40	15~40	15~40
空隙率 (%)	3~5	2~5	3~6	3~6
飽和度 (%)	75~85	75~85	65~80	65~85

(注) マーシャル安定度試験突固め回数を75回とするのは、接地圧が70N/cm²以上あるいは大型交通が特に多くわだち掘れが予想される場合に適用する。

現行の仕様規定型設計における舗装合計厚さ及び設定断面のアスファルト等値換算舗装厚さを付録Aに掲載した。なお、路床の設計CBRが2以上3未満の場合は、必要に応じ良質の材料で置き換えるか遮断層を設ける、また、2未満の場合は、置き換えて舗装厚さを別途設定する。

4. 港湾のエプロン舗装の試設計

4.1 コンクリート舗装

(1) 検討手順

コンクリート版厚の検討手順を図-14に示す。

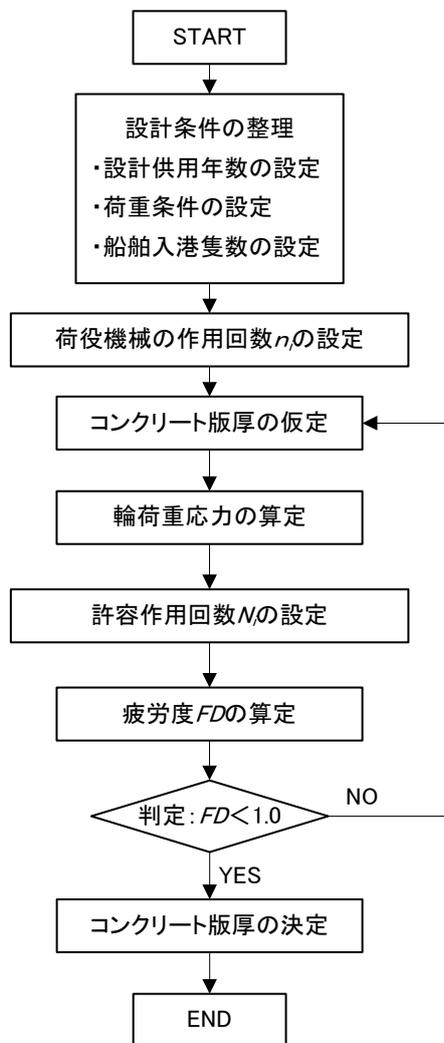


図-14 コンクリート版厚の検討手順

(2) 検討条件

a) 対象荷重

3.2 荷役機械による載荷重 表-1を参考に表-5に示す荷重を試設計用の荷重とする。

b) 設計供用期間

一般的な設計供用期間として20年とする。

c) 船舶の年間入出港回数

3.3 載荷重の作用回数の設定法のとおり、移動式クレーンの作用回数を設定するにあたり、船舶の年間入出港回数を設定する必要がある。試設計にお

表-5 対象荷重

荷重の種類	荷重 (kN)	接地圧 (N/cm ²)
移動式クレーン 20型	220	176
25型	260	200
トラック 25t積級	100	100
トラクタトレーラ 20ft用	50	50
40ft用	50	50
フォークリフト 6t	75	75
10t	125	81
15t	185	82
20t	245	83
ストラドルキャリア	125	81

いては、週1回入港すると仮定し、1年間あたりの入出港回数を365日÷7日/回=52≒50回/年とする。ただし、コンテナ船を対象とする場合はこの限りではない。

d) 年間取り扱い貨物量

実重量で1000t/mとする(注:ここで、貨物量及び荷役機械の規格については便宜上、重量単位系を用いている)。ただし、コンテナバースを対象とする場合は20万TEUとする。

e) 作用回数

① 移動式クレーン

移動式クレーンの設計供用期間中の作用回数は、3.3で示した方法により算出する。

P_{max} の繰り返し回数: m 回

P_r の繰り返し回数: $(n-m)$ 回

ここに、

P_{max} : 最大荷重 (kN)

P_r : アウトリガー反力の変動成分 (kN) (=最大荷重の1/2)

m : 船舶の設計供用期間中の入出港回数。
(= m' ×【設計供用期間】)

m' : 船舶の年間入出港回数 (=50回/年)

N : 総作用回数 (回) (= n' ×【1回の荷役におけるエプロン法線方向の荷役範囲】×【設計供用期間】)

n' : 1.0m当たりの年間作用回数

3.3の表-2に示す下式による。

$$20\text{型}: n' = \frac{(\text{総取扱貨物量} \times 0.5)}{(\text{定格荷重} \times 0.2)} = \frac{(1000 \times 0.5)}{(20 \times 0.2)} = 125 \text{回}/(\text{年} \cdot \text{m})$$

$$25\text{型}: n' = \frac{(\text{総取扱貨物量} \times 0.5)}{(\text{定格荷重} \times 0.2)} = \frac{(1000 \times 0.5)}{(25 \times 0.2)} = 100 \text{回}/(\text{年} \cdot \text{m})$$

エプロン法線方向の荷役範囲は、20m、30mの2ケースについて検討する。

また、移動式クレーン 20 型、25 型の設計供用期間中の載荷重の作用回数を表- 6 に示す。

表- 6(1) P_{max} の設計供用期間中の作用回数

荷重の種類	P_{max} の作用回数
20 型	50 回/年×20 年=1000 回
25 型	50 回/年×20 年=1000 回

表- 6(2) P_r の設計供用期間中の作用回数

荷重の種類	荷役範囲 (m)	P_r の作用回数
20 型	20	125 回/(年・m) × 20m × 20 年 = 1000 回 = 49000 回
	30	125 回/(年・m) × 30m × 20 年 = 1000 回 = 74000 回
25 型	20	100 回/(年・m) × 20m × 20 年 = 1000 回 = 39000 回
	30	100 回/(年・m) × 30m × 20 年 = 1000 回 = 59000 回

②フォークリフト

フォークリフトによる載荷重の 1m あたりの年間の作用回数は、表- 2 より算定する。

定格荷重 6t (最大荷重 75kN) を例に、変動荷重及び 1m 当たりの年間の作用回数を算定した結果を表- 7 に示す。

表- 7 フォークリフト (6t) の変動荷重及び 1m あたりの年間作用回数の算定結果

変動荷重	1m あたりの年間作用回数
最大輪荷重 =75kN	(取扱総貨物量/定格荷重) × 0.4 =1000(t/m)/6(t) × 0.4=67(回/m・年)
最大輪荷重×0.9 =75kN×0.9=67.5kN	(取扱総貨物量/定格荷重) × 0.4 =1000(t/m)/6(t) × 0.4=67(回/m・年)
最大輪荷重×0.8 =75kN×0.8=60.0kN	(取扱総貨物量/定格荷重) × 0.4 =1000(t/m)/6(t) × 0.4=67(回/m・年)
最大輪荷重×0.7 =75kN×0.7=52.5kN	(取扱総貨物量/定格荷重) × 0.4 =1000(t/m)/6(t) × 0.4=67(回/m・年)
空荷時輪荷重 =25kN	(取扱総貨物量/定格荷重) × 1.6 =1000(t/m)/6(t) × 1.6=267(回/m・年)

なお、設計供用期間中の作用回数は、表- 7 の作用回数に貨物の荷役範囲及び設計供用期間を乗じて算出する。

エプロン法線方向の荷役範囲は、30m、50m、100m、150m の 4 ケースについて検討する。

③トラック

トラックによる載荷重の 1m あたりの年間の作用回数は、表- 2 より算定する。

トラックの 1m あたりの変動荷重及び 1m あたりの年間の作用回数を、表- 8 に示す。

表- 8 トラックの変動荷重及び 1m あたりの年間作用回数の算定結果

変動荷重	1m あたりの年間作用回数
最大輪荷重=100kN	取扱総貨物量/定格荷重 1000(t/m)/25t=40(回/m・年)
空荷時輪荷重=50kN	取扱総貨物量/定格荷重 1000(t/m)/25t=40(回/m・年)

なお、設計供用期間中の作用回数は、表- 8 の作用回数に貨物の荷役範囲及び設計供用期間を乗じて算出する。

エプロン法線方向の荷役範囲は、30m、50m、100m、150m の 4 ケースについて検討する。

④ストラドルキャリア及びトラクタトレーラー

ストラドルキャリア及びトラクタトレーラーによる載荷重の 1m あたりの年間の作用回数は、表- 2 より算定する。

ストラドルキャリア及びトラクタトレーラーはコンテナバースを対象とすることから、取扱貨物量としては取扱コンテナ個数を設定することとなる。試設計では、1 バース当たりのコンテナバースの年間取扱貨物量を 20 万 TEU とし、長尾らの方法により、コンテナ個数の総個数は TEU 換算値の約 65% となることを準用し、コンテナ貨物個数を 13 万個に設定する。また、対象船舶長さ L を 266m (50000DWT のコンテナ船の標準船型) と想定して荷役範囲を設定して、取扱コンテナ個数を算定することとした。

ストラドルキャリアを例にした変動荷重及び 1m あたりの年間の作用回数を表- 9 に示す。なお、ストラドルキャリアの最大輪荷重は、表- 9 に示すとおり 125kN であるが、それ以外の条件は次の通りとする。

空荷時輪荷重	:	93kN
車体重量	:	60t
定格荷重	:	40t
対象船舶長さ	:	266m

なお、設計供用期間中の作用回数は、表- 9 の 1m あたりの年間の作用回数に貨物の荷役範囲及び設計供

表-9 ストラドルキャリアの変動荷重及び1mあたりの年間作用回数の算定結果

変動荷重	変動荷重	1mあたり年間作用回数(回/m・年)
コンテナ実重量 40t	$125\text{kN} \times (60\text{t} + 40\text{t}) / (60\text{t} + 40\text{t}) = 125\text{kN}$	$130,000 \text{ 万個/年} \div 266\text{m} \times 0.05 = 24$
コンテナ実重量 35t	$125\text{kN} \times (60\text{t} + 35\text{t}) / (60\text{t} + 40\text{t}) = 119\text{kN}$	$130,000 \text{ 万個/年} \div 266\text{m} \times 0.10 = 49$
コンテナ実重量 30t	$125\text{kN} \times (60\text{t} + 30\text{t}) / (60\text{t} + 40\text{t}) = 113\text{kN}$	$130,000 \text{ 万個/年} \div 266\text{m} \times 0.20 = 98$
コンテナ実重量 25t	$125\text{kN} \times (60\text{t} + 25\text{t}) / (60\text{t} + 40\text{t}) = 106\text{kN}$	$130,000 \text{ 万個/年} \div 266\text{m} \times 0.25 = 122$
コンテナ実重量 20t	$125\text{kN} \times (60\text{t} + 20\text{t}) / (60\text{t} + 40\text{t}) = 100\text{kN}$	$130,000 \text{ 万個/年} \div 266\text{m} \times 0.20 = 98$
コンテナ実重量 15t	$125\text{kN} \times (60\text{t} + 15\text{t}) / (60\text{t} + 40\text{t}) = 94\text{kN}$	$130,000 \text{ 万個/年} \div 266\text{m} \times 0.20 = 98$
空荷時輪荷重	93kN	$130,000 \text{ 万個/年} \div 266\text{m} = 489$

用期間を乗じて算出する。

エプロン法線方向の荷役範囲は、30m, 50m, 100m, 150m, 266m の5 ケースについて検討する。

(3) コンクリート版厚の照査

コンクリート舗装厚の性能照査は、3.4 に示したとおり、①最大荷重を含む変動荷重による輪荷重応力の算定、②輪荷重応力と設計基準強度の比により許容作用回数の算定、③最大荷重を含む変動荷重の作用回数と②で算定した許容作用回数の比により算定される疲労度の算定、の手順で行う。

以下に、移動式クレーン 20 型の貨物荷役範囲 20m におけるコンクリート舗装厚の照査例を示す。

a) 照査条件

移動式クレーン 20 型に対するコンクリート版厚照査条件は次の通りである。

P_{max}	:	220kN
P_r	:	110kN
P_{max} の作用回数	:	1000 回
P_r の作用回数	:	49000 回
接地圧	:	176N/cm ²
コンクリート版厚の設定値	:	34cm
設計基準曲げ強度	:	4.5N/mm ²

b) 輪荷重応力の算定

輪荷重応力の算定は、式 (3) による。

① 荷役機械荷重の接地半径

$$a = \sqrt{\frac{P \times 1000}{\text{接地圧} \times \pi}} = \sqrt{\frac{220 \times 1000}{176 \times \pi}} = 19.9\text{cm}$$

② 舗装の剛比半径

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K_{75}}} = \sqrt[4]{\frac{3,500,000 \times 34^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 70}} = 113.77\text{cm}$$

③ 輪荷重応力

P_{max} に対して

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{10CP}{h^2} \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{a}{l}}}{0.925 + 0.22 \frac{a}{l}} \right) \\ &= \frac{10 \times 3.36 \times 220}{34^2} \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{19.9}{113.77}}}{0.925 + 0.22 \times \frac{19.9}{113.77}} \right) \\ &= 3.62\text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

P_r に対して

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{10CP}{h^2} \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{a}{l}}}{0.925 + 0.22 \frac{a}{l}} \right) \\ &= \frac{10 \times 3.36 \times 110}{34^2} \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{19.9}{113.77}}}{0.925 + 0.22 \times \frac{19.9}{113.77}} \right) \\ &= 1.81\text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

c) 許容作用回数の算定

輪荷重により発生する応力に対する許容作用回数は式 (4) に示す疲労式により算定する。

$$N_i = 10^{\{(1.0-SL)/0.044\}} \quad 1.0 \geq SL > 0.9$$

$$N_i = 10^{\{(1.077-SL)/0.077\}} \quad 0.9 \geq SL > 0.8$$

$$N_i = 10^{\{(1.224-SL)/0.118\}} \quad 0.8 \geq SL$$

ここに、

N_i : 輪荷重応力*i*に対するコンクリート版の許容作用回数

SL : 輪荷重応力／設計基準曲げ強度(= 4.5N/mm²)、輪荷重応力は式(3)により算出する。

① P_{max} に対して

輪荷重応力 $\sigma = 3.62\text{N/mm}^2$ より $SL = 3.62/4.5 = 0.804$

$0.9 \geq SL > 0.8$ より

$$N_i = 10^{\{(1.077-SL)/0.077\}} = 10^{\{(1.077-0.804)/0.077\}} = 3511 \text{ 回}$$

② P_r に対して

輪荷重応力 $\sigma = 1.81\text{N/mm}^2$ より $SL = 1.81/4.5 = 0.402$

$0.8 \geq SL$ より

$$N_i = 10^{\{(1.224-SL)/0.118\}} = 10^{\{(1.224-0.402)/0.118\}} = 9249147 \text{ 回}$$

d) 疲労度の計算

コンクリート版の疲労度は式(5)により算出する。

$$FD = \sum (n_i/N_i) = \left(\frac{1000}{3511} \right) + \left(\frac{49000}{9249147} \right) = 0.285 + 0.005 = 0.290 < 1.0 \quad O.K$$

表-10に各荷役機械による荷重条件に対するコンクリート版厚の算定結果を示す。なお、表-10には、0.1cm単位で求めた必要版厚及び現行の基準・同解説¹⁾のコンクリート舗装における荷重の区分も併記している。

表-10(1) コンクリート版厚 移動式クレーン：20型

項 目	移動式クレーン：20型	
	20m	30m
荷役範囲 (m)	20m	30m
載荷重の作用回数	50,000	75,000
必要版厚 (cm)	33.1	33.1
必要版厚に対する疲労度 FD	0.907	0.917
設定版厚 (cm)	34	34
設定版厚に対する疲労度 FD	0.289	0.305
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分 (参考値)	CP ₄ : 35cm	

表-10(2) コンクリート版厚 移動式クレーン：25型

項 目	移動式クレーン：25型	
	20m	30m
荷役範囲 (m)	20m	30m
載荷重の作用回数	40,000	60,000
必要版厚 (cm)	36.3	36.3
必要版厚に対する疲労度 FD	0.903	0.910
設定版厚 (cm)	37	37
設定版厚に対する疲労度 FD	0.395	0.401
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分 (参考値)	CP ₄ : 35cm	

表-10(3) コンクリート版厚 フォークリフト：6t

項 目	フォークリフト：6t			
	30m	50m	100m	150m
荷役範囲 (m)	30m	50m	100m	150m
載荷重の作用回数	321,000	535,000	1,070,000	1,605,000
必要版厚 (cm)	20.9	21.4	22.2	22.7
必要版厚に対する疲労度 FD	0.959	0.986	0.969	0.962
設定版厚 (cm)	21	22	23	23
設定版厚に対する疲労度 FD	0.876	0.580	0.512	0.769
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分 (参考値)	CP ₂ : 25cm			

表-10(4) コンクリート版厚 フォークリフト：10t

項 目	フォークリフト：10t			
	30m	50m	100m	150m
荷役範囲 (m)	30m	50m	100m	150m
載荷重の作用回数	192,000	320,000	640,000	960,000
必要版厚 (cm)	26.2	26.8	27.7	28.3
必要版厚に対する疲労度 FD	0.921	0.960	0.992	0.987
設定版厚 (cm)	27	27	28	29
設定版厚に対する疲労度 FD	0.494	0.824	0.807	0.628
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分 (参考値)	CP ₃ : 30cm			

表-10(5) コンクリート版厚 フォークリフト：15t

項 目	フォークリフト：15t			
	30m	50m	100m	150m
荷役範囲 (m)	30m	50m	100m	150m
載荷重の作用回数	129,000	215,000	430,000	645,000
必要版厚 (cm)	30.9	31.6	32.7	33.4
必要版厚に対する疲労度 FD	0.965	0.986	0.979	0.957
設定版厚 (cm)	31	32	33	34
設定版厚に対する疲労度 FD	0.893	0.757	0.812	0.684
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分 (参考値)	CP ₃ : 30cm			

表- 10(6) コンクリート版厚 フォークリフト：20t

項 目	フォークリフト：20t			
	30m	50m	100m	150m
荷役範囲 (m)	30m	50m	100m	150m
載荷重の作用回数	96,000	160,000	320,000	480,000
必要版厚 (cm)	34.8	35.6	36.8	37.5
必要版厚に対する疲労度FD	0.951	0.970	0.967	0.994
設定版厚 (cm)	35	36	37	38
設定版厚に対する疲労度FD	0.835	0.760	0.863	0.765
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分 (参考値)	CP ₂ ：35cm			

表- 10(7) コンクリート版厚 トラック

項 目	トラック 25t積載 (T-25)			
	30m	50m	100m	150m
荷役範囲 (m)	30m	50m	100m	150m
載荷重の作用回数	48,000	80,000	160,000	240,000
必要版厚 (cm)	23.8	24.3	25.1	25.6
必要版厚に対する疲労度FD	0.925	0.966	0.939	0.936
設定版厚 (cm)	24	25	26	26
設定版厚に対する疲労度FD	0.761	0.508	0.448	0.672
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分 (参考値)	CP ₂ ：30cm			

表- 10(8) コンクリート版厚 ストラドルキャリア

項 目	ストラドルキャリア				
	30m	50m	100m	150m	266m
荷役範囲 (m)	30m	50m	100m	150m	266m
載荷重の作用回数	586,800	978,000	1,956,000	2,934,000	5,202,960
必要版厚 (cm)	27.5	28.3	29.5	30.2	31.4
必要版厚に対する疲労度FD	0.975	0.971	0.957	0.980	0.958
設定版厚 (cm)	28	29	30	31	32
設定版厚に対する疲労度FD	0.705	0.638	0.725	0.653	0.725
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分 (参考値)	CP ₃ ：30cm				

表- 10(9) コンクリート版厚 トラクタトレーラ

項 目	トラクタトレーラ				
	30m	50m	100m	150m	266m
荷役範囲 (m)	30m	50m	100m	150m	266m
載荷重の作用回数	586,800	978,000	1,956,000	2,934,000	2,989,680
必要版厚 (cm)	16.1	16.5	17.1	17.5	18.2
必要版厚に対する疲労度FD	0.905	0.945	0.990	0.996	0.926
設定版厚 (cm)	17	17	18	18	19
設定版厚に対する疲労度FD	0.328	0.546	0.416	0.625	0.486
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分 (参考値)	CP ₁ ：20cm				

以上より、今回想定した荷役範囲に対応する作用回数に対しては、従来の設計におけるコンクリート版厚

とほぼ同程度の結果が得られたことが分かる。

なお、条件によっては、必要コンクリート版厚が従来の設計における最小版厚 20cm を下回る場合が見られるが、このような場合には実績も考慮して慎重な判断が必要である。

4.2 アスファルト舗装

(1) 検討手順

アスファルト舗装構成の検討手順を図- 15 に示す。

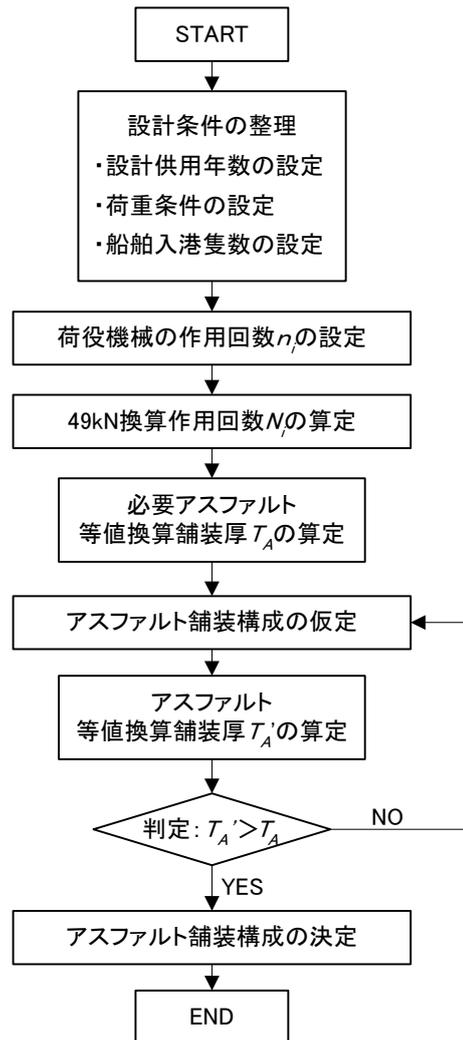


図- 15 アスファルト舗装構成の検討手順

(2) 検討条件

a) 対象荷重

3.2 荷役機械による載荷重の作用 表- 1を参考に表- 11 に示す荷重を試設計用の荷重とする。

検討対象とする荷役機械は、フォークリフト、トラック、ストラドルキャリア、トラクタトレーラとする。

移動式クレーンについては、アスファルト舗装での実績が少ないことからここでは除外した。

表- 11 対象荷重

荷重の種類	荷重 (kN)	接地圧 (N/cm ²)
トラック 25t 積級	100	100
トラクタトレーラ 20ft 用	50	50
40ft 用	50	50
フォークリフト 6t	75	75
10t	125	81
15t	185	82
20t	245	83
ストラドルキャリア	125	81

表- 12 フォークリフト 6t の変動荷重及び 1m あたりの年間の作用回数の算定結果

変動荷重	1m あたりの年間作用回数 (回/m・年)
75kN (最大輪荷重)	67
67.5kN (最大輪荷重×0.9)	67
60.0kN (最大輪荷重×0.8)	67
52.5kN (最大輪荷重×0.7)	67
25kN (空荷時輪荷重)	267

表- 12 の値より、定格荷重 6t のフォークリフトにおける 49kN 換算作用回数は次の通り算定することができる。

$$\left(\frac{75.0}{49}\right)^4 \times 67 + \left(\frac{67.5}{49}\right)^4 \times 67 + \left(\frac{60.0}{49}\right)^4 \times 67 + \left(\frac{52.5}{49}\right)^4 \times 67 + \left(\frac{25.0}{49}\right)^4 \times 267 = 866 \text{ 回/(年・m)}$$

なお、設計供用期間中の作用回数は、上記の値に貨物の荷役範囲及び設計供用期間を乗じて算出する。

b) 設計供用期間

一般的な設計供用期間として 10 年とする。

c) 船舶の年間入出港回数

本試設計においては、4.1 と同様に、1 年間あたりの入出港回数を 50 回/年とする。ただし、コンテナ船を対象とする場合はこの限りではない。

d) 年間取り扱い貨物量

実重量で 1000t/m とする。ただし、コンテナバースを対象とする場合は 20 万 TEU とする。

e) 作用回数

アスファルト舗装厚算定の条件となる作用回数の基本的な設定法は、3.3 による。式(8)に示すアスファルト等値換算舗装厚 T_A を算定する際の作用回数 N を求めるにあたって、最大荷重を含む変動荷重の全ての作用回数を 49kN の作用回数に換算する必要がある。換算は式(9)による。

なお、各荷役機械のエプロン法線方向の荷役範囲は、4.1 で設定した荷役範囲と同範囲(20m, 30m, 50m, 100m, 150m, 266m) について検討する。

① フォークリフト

フォークリフトによる載荷重の 1m あたりの年間の作用回数は、4.1 で算定した変動荷重及び 1m あたりの年間の作用回数の算定結果(例: 表- 7) を 49kN 換算することで求められる。

表- 12 に対象荷重のうち、定格荷重 6t (最大荷重 75kN) を例に、変動荷重及び 1m あたりの年間の作用回数を算定した結果を示す。

② トラック

トラックによる載荷重の 1m あたりの年間の作用回数は、4.1 で算定した変動荷重及び 1m あたりの年間の作用回数の算定結果(例: 表- 8) を用いて、49kN 換算することで求める。

表- 13 にトラックの変動荷重及び 1m あたりの年間の作用回数を算定した結果を示す。

表- 13 トラックの変動荷重及び 1m あたりの年間の作用回数の算定結果

変動荷重	1m あたりの年間作用回数 (回/m・年)
100kN (最大輪荷重)	40
50kN (空荷時輪荷重)	40

表- 13 の値よりトラックにおける 49kN 換算作用回数は次の通り算定することができる。

$$\left(\frac{100}{49}\right)^4 \times 40 + \left(\frac{50}{49}\right)^4 \times 40 = 737 \text{ 回/(年・m)}$$

なお、設計供用期間中の作用回数は、表- 13 の作用回数に貨物の荷役範囲及び設計供用期間を乗じて算出する。

③ ストラドルキャリア及びトラクタトレーラ

ストラドルキャリア及びトラクタトレーラによる

載荷重の1mあたりの年間の作用回数は、4.1で算定した変動荷重及び1mあたりの年間の作用回数の算定結果(例:表-9)を用いて、49kN換算することで求める。

表-14に対象荷重のうちストラドルキャリアを例に、変動荷重及び1mあたりの年間の作用回数を算定した結果を示す。

表-14 ストラドルキャリアの変動荷重及び1mあたりの年間の作用回数の算定結果

変動荷重	1mあたりの年間の作用回数 (回/m・年)
125kN(コンテナ実重量40t)	24
119kN(コンテナ実重量35t)	49
112kN(コンテナ実重量30t)	98
106kN(コンテナ実重量25t)	122
100kN(コンテナ実重量20t)	98
94kN(コンテナ実重量15t)	98
93kN(空荷時輪荷重)	489

表-14の値より、ストラドルキャリアにおける49kN換算作用回数は次の通り算定することができる。

$$\left(\frac{125}{49}\right)^4 \times 24 + \left(\frac{119}{49}\right)^4 \times 49 + \left(\frac{112}{49}\right)^4 \times 98 + \left(\frac{106}{49}\right)^4 \times 122 + \left(\frac{100}{49}\right)^4 \times 98 + \left(\frac{94}{49}\right)^4 \times 98 + \left(\frac{93}{49}\right)^4 \times 489 = 17537 \text{ 回/(年・m)}$$

なお、設計供用期間中の作用回数は、表-14の作用回数に貨物の荷役範囲及び設計供用期間を乗じて算出する。

(3)アスファルト舗装厚の照査

アスファルト舗装等値換算舗装厚 T_A の算定は式(8)により求める。なお、一例としてフォークリフト6tの貨物の荷役範囲を30m(49kN換算作用回数=866回/(年・m)×30m×10年=259,800回)とした場合のアスファルト舗装厚の算定を以下に示す。

CBR 3以上5未満の場合

$$T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} = \frac{3.84 \times 259800^{0.16}}{3^{0.3}} = 20.3\text{cm}$$

CBR 5以上8未満の場合

$$T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} = \frac{3.84 \times 259800^{0.16}}{5^{0.3}} = 17.4\text{cm}$$

CBR 8以上12未満の場合

$$T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} = \frac{3.84 \times 259800^{0.16}}{8^{0.3}} = 15.1\text{cm}$$

CBR 12以上20未満の場合

$$T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} = \frac{3.84 \times 259800^{0.16}}{12^{0.3}} = 13.4\text{cm}$$

CBR 20以上

$$T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} = \frac{3.84 \times 259800^{0.16}}{20^{0.3}} = 11.5\text{cm}$$

表-15に各荷役機械による荷重条件に対する必要アスファルト舗装等値換算舗装厚 T_A を示す。表-15には現行の基準・同解説¹⁾における荷重の区分及びアスファルト等値換算舗装厚 T_A' も併記した。

表-15(1) 必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A
フォークリフト:6t

項目		フォークリフト:6t				基準・同解説 ¹⁾ におけるアスファルト等値換算舗装厚 T_A' (cm)	
最大荷重 (kN)		75					
荷役範囲 (m)		30 m	50 m	100 m	150 m		
49kN換算作用回数		2.60E+05	4.33E+05	8.66E+05	1.30E+06		
必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A (cm)	設計CBR	3	20.3	22.0	24.6	26.3	25.8
		5	17.4	18.9	21.1	22.5	22.0
		8	15.1	16.4	18.3	19.6	19.3
		12	13.4	14.5	16.2	17.3	17.3
		20	11.5	12.5	13.9	14.9	16.3
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分		AP ₂					

表-15(2) 必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A
フォークリフト:10t

項目		フォークリフト:10t				基準・同解説 ¹⁾ におけるアスファルト等値換算舗装厚 T_A' (cm)	
最大荷重 (kN)		125					
荷役範囲 (m)		30 m	50 m	100 m	150 m		
49kN換算作用回数		1.18E+06	1.97E+06	3.95E+06	5.92E+06		
必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A (cm)	設計CBR	3	25.9	28.1	31.4	33.5	40.0
		5	22.2	24.1	26.9	28.7	34.8
		8	19.3	20.9	23.4	24.9	29.3
		12	17.1	18.5	20.7	22.1	28.3
		20	14.6	15.9	17.8	19.0	28.3
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分		AP ₃					

表- 15(3) 必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A
フォークリフト：15t

項 目		フォークリフト：15t				基準・同解説 ¹⁾ における アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	
最大荷重 (kN)		185					
荷役範囲 (m)		30 m	50 m	100 m	150 m		
49kN換算作用回数		3.85E+06	6.42E+06	1.28E+07	1.92E+07		
必要アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	設計CBR	3	31.3	33.9	37.9	40.4	40.0
		5	26.8	29.1	32.5	34.7	34.8
		8	23.3	25.3	28.2	30.1	29.3
		12	20.6	22.4	25.0	26.7	28.3
		20	17.7	19.2	21.4	22.9	28.3
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分		AP ₃					

表- 15(4) 必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A
フォークリフト：20t

項 目		フォークリフト：20t				基準・同解説 ¹⁾ における アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	
最大荷重 (kN)		245					
荷役範囲 (m)		30 m	50 m	100 m	150 m		
49kN換算作用回数		8.76E+06	1.46E+07	2.92E+07	4.38E+07		
必要アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	設計CBR	3	35.6	38.7	43.2	46.1	—
		5	30.6	33.2	37.1	39.6	—
		8	26.6	28.8	32.2	34.4	—
		12	23.5	25.5	28.5	30.4	—
		20	20.2	21.9	24.5	26.1	—
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分		—					

表- 15(5) 必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A
トラック

項 目		トラック25t積級 (T-25)				基準・同解説 ¹⁾ における アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	
最大荷重 (kN)		100					
荷役範囲 (m)		30 m	50 m	100 m	150 m		
49kN換算作用回数		2.21E+05	3.69E+05	7.37E+05	1.11E+06		
必要アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	設計CBR	3	19.8	21.5	24.0	25.6	40.0
		5	17.0	18.4	20.6	22.0	34.8
		8	14.7	16.0	17.9	19.1	29.3
		12	13.1	14.2	15.8	16.9	28.3
		20	11.2	12.2	13.6	14.5	28.3
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分		AP ₃					

表- 15(6) 必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A
ストラドルキャリア

項 目		ストラドルキャリア					基準・同解説 ¹⁾ における アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	
最大荷重 (kN)		125						
荷役範囲 (m)		30 m	50 m	100 m	150 m	266 m		
49kN換算作用回数		5.26E+06	8.77E+06	1.75E+07	2.63E+07	4.66E+07		
必要アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	設計CBR	3	32.9	35.7	39.8	42.5	46.6	40.0
		5	28.2	30.6	34.2	36.5	40.0	34.8
		8	24.5	26.6	29.7	31.7	34.7	29.3
		12	21.7	23.5	26.3	28.0	30.7	28.3
		20	18.6	20.2	22.5	24.1	26.4	28.3
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分		AP ₃						

表- 15(7) 必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A
トラクタトレーラ

項 目		トラクタトレーラ					基準・同解説 ¹⁾ における アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	
最大荷重 (kN)		50						
荷役範囲 (m)		30 m	50 m	100 m	150 m	266 m		
49kN換算作用回数		6.12E+04	1.02E+05	2.04E+05	3.06E+05	5.43E+05		
必要アスファルト 等値換算舗装厚 T_A (cm)	設計CBR	3	16.1	17.5	19.5	20.8	22.8	25.8
		5	13.8	15.0	16.8	17.9	19.6	22.0
		8	12.0	13.0	14.6	15.5	17.0	19.3
		12	10.6	11.5	12.9	13.7	15.1	17.3
		20	9.1	9.9	11.1	11.8	12.9	16.3
基準・同解説 ¹⁾ における荷重の区分		AP ₁						

荷役機械の荷役範囲を20m～266mと想定し、作用回数を算定して必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A を求めた結果、今回想定した範囲の作用回数では、ほとんどのケースで従来の荷重の区分で用いられてきたアスファルト等値換算舗装厚 T_A より小さな結果が得られた。

なお、必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A が従来の設計における最小値である16.3cmを下回る場合が見られるが、このような場合には、実績や道路の舗装設計施工指針²⁾に示されている舗装の各層の最小厚さを参考にし、適切な舗装構造とする必要がある。

5. まとめ

本資料で得られた成果を取りまとめると以下のとおりである。

(1) 載荷重の作用回数の算定

長尾らの方法⁵⁾を準用し、係留施設の取扱貨物量及び荷役範囲の設定に基づいて、港湾のエプロン舗装の性能照査に用いる荷役機械による載荷重の作用回数の実用的な設定方法を提案した。

(2) 試設計と現行の設計との比較

道路の舗装設計施工指針²⁾に準じる方法により、載荷重の作用回数を考慮して港湾のエプロン舗装の試設計を行い、以下の結果を得た。

① コンクリート舗装

試設計では、取扱貨物量及び荷役範囲(2～5ケース)を設定して載荷重の作用回数を算定し、必要とするコンクリート版厚を求めた。試設計により得られたコンクリート版厚は、現行の基準・同解説¹⁾に示されてる荷重の区分別の舗装厚の参考値と比較して、荷役機械によっては若干大きな値となっている場合もあるが、ほぼ、同程度であった。

②アスファルト舗装厚

コンクリート舗装と同様に，取扱貨物量及び荷役範囲（2～5 ケース）を設定して載荷重の作用回数を算定し，アスファルト舗装の等値換算舗装厚を求めた．試設計により得られた必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A は，現行の基準・同解説¹⁾ に示されてる荷重の区別のアスファルト等値換算舗装厚 T_A の参考値と比較して，ほとんどのケースで小さいという結果が得られた．このことから，載荷重の作用回数を適切に設定することにより，より合理的で経済的なアスファルト舗装の設計が可能となることが示された．

(3) 港湾のエプロン舗装の性能設計

提案した方法を用いることにより，設計供用期間や荷役の状況に応じた適切な港湾のエプロン舗装の性能照査が可能となり，実務への円滑な導入が期待できる．なお，荷役範囲のとり方によって作用回数が異なることとなるため，荷役範囲の設定にあたっては，上屋等の背後施設的位置及び想定される荷役作業の形態等を考慮して，慎重に検討する必要がある．

(4) その他

試設計では，道路の舗装設計施工指針²⁾ に準じて検討したことから，アスファルト舗装の設計において載荷重をすべて 49kN 輪荷重に換算して作用回数を求めている．しかしながら，港湾における載荷重は道路に比べて大きいものが多く，このような大きな載荷重の換算方法の妥当性については必ずしも明らかでない．また，港湾荷役においては荷役機械の発進，停止及び回転等が頻繁に行われるものと推測され，一般の道路舗装に比べてより過酷な条件におかれている可能性がある．このため，今後，港湾特有の諸条件について調査を行い，それらに対応したより信頼性の高い設計法の構築が望まれる．

6. おわりに

本資料で提案した港湾のエプロン舗装の設計法により，技術基準の性能規定化に対応して，舗装の設計供用期間や荷役の状況に応じた港湾のエプロン舗装の性能照査が可能となり，設計のより一層の合理化が図られるものと期待される．

なお，本検討を行うにあたり，(財) 沿岸技術研究センターの山本修司理事，同・中村俊智主任研究員のご協力を頂きました．ここに記し，感謝の意を表します．

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術基準・同解説，1999年
- 2) 日本道路協会：舗装設計施工指針，丸善，2001年
- 3) 国土交通省航空局監修：空港舗装構造設計要領，港湾空港建設技術サービスセンター，1999年
- 4) 田渕郁男：日本の港湾の舗装と荷役機械の実態調査結果について，国土技術総合研究所資料，No. 225，2005年
- 5) 長尾 毅，横田 弘，竹地晃一郎，川崎 進，大久保昇：栈橋上部工の荷役機械荷重を考慮した疲労限界状態設計，港湾技術研究所報告 Vol. 37 No. 2，pp. 177～220，1998
- 6) 日本建設機械化協会：移動式クレーン，杭打機等の支持地盤養生マニュアル，2000年
- 7) 石橋忠良・児島孝之・坂田憲次・松下博通：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 疲労，技法堂，1987年

付録A 現行の港湾のエプロン舗装の設計法

A.1 現行の技術基準

省令第11条

(岸壁、さん橋及び物揚場)

第11条 岸壁、さん橋及び物揚場の上面は、荷役又は乗降が安全かつ円滑に行えるものとする。

2 岸壁、さん橋及び物揚場の上面には、雨水その他の地表水が流れるように勾配を付するものとする。

3 岸壁、さん橋及び物揚場の上面は、載荷重に照らし、セメント・コンクリート若しくはアスファルト・コンクリート又はこれらに類するものにより適切に舗装するものとする。

告示第94～100条

第3節 岸壁、栈橋及び物揚場のエプロン (エプロン)

第94条 岸壁、栈橋及び物揚場の上面 (以下「エプロン」という。)の要件は、次条から第100条までに定めるとおりとする。

(エプロンの設置)

第95条 係留施設の法線とその背後の上屋又は野積場等との間には、貨物の積卸しのための仮置、荷さばき、荷物の搬出入、荷役のための車両の走行等が安全かつ円滑に行われるようにエプロンを設けるものとする。

2 エプロンは、荷役が安全かつ円滑に行われるように適切な面積を有するものとする。

(幅員)

第96条 エプロンの幅員は、係留施設の規模及び利用形態、背後の上屋又は倉庫の構造並びに利用形態等に応じて、安全かつ円滑な荷役に支障のない適切な幅とするものとする。

(勾配)

第97条 エプロンの横断勾配は、降雨強度及び背後の利用状況等を勘案し、荷役に支障のない適切な勾配とするものとする。

2 エプロンは、下部埋立土の吸出し及び圧密等による沈下の発生によって荷役及び車両の走行等に支障のないように、適切な対策を講ずるものとする。

(設計荷重)

第98条 舗装の構造の検討において、設計荷重は、取扱貨物の種類、荷役の形態等に応じ、トラック、

トラッククレーン、フォークリフトトラック、ストラドルキャリア等の荷重及び接地面積を勘案して舗装厚が最大となるように設定するものとする。

(エプロンの舗装の構成)

第99条 エプロンの舗装の構成は、適切に設定された路床の支持力に基づいて、舗装の種類に応じ、路盤等の構成及び使用材料の特性を勘案して設定するものとする。

(目地)

第100条 コンクリート舗装の場合においては、目地を設けることを原則とする。

2 目地は、エプロンの規模、係留施設の構造、目地の種類等に応じて適切に配置するとともに、目地の種類に応じた適切な構造を有するものとする。

A.2 現行の基準・同解説³⁾における設計法

(1) コンクリート舗装

表-A.1 岸壁等のエプロンでのコンクリート舗装の作用条件の参考値

荷重の区分	荷重の種類	荷重 (kN)	接地半径 (cm)
CP ₁	フォークリフトトラック 2t	25	10.6
	トラクタトレーラ 20ft, 40ft用	50	17.8
	フォークリフトトラック 3.5t	45	13.8
CP ₂	フォークリフトトラック 6t	75	17.8
CP ₃	トラック 25t積級	100	17.8
	フォークリフトトラック 10t	125	22.2
	ストラドルキャリア	125	22.2
	フォークリフトトラック 15t	185	26.8
CP ₄	移動式クレーン (トラッククレーン、ラフテレーンクレーン、オールテレーンクレーン) 20型	220	19.9
	フォークリフトトラック 20t	245	30.7
	移動式クレーン (トラッククレーン、ラフテレーンクレーン、オールテレーンクレーン) 25型	260	20.3

表-A. 2 コンクリート版厚の参考値

荷重の区分	コンクリート版厚 (cm)
CP ₁	20
CP ₂	25
CP ₃	30
CP ₄	35
栈橋スラブ上	10

(2)アスファルト舗装

表-A. 3 岸壁等のエプロンでのアスファルト舗装の荷重条件の参考値

荷重の区分	荷 役 機 械
AP ₁	トラクタトレーラ 20ft, 40ft
AP ₂	フォークリフトトラック 2t
	フォークリフトトラック 3.5t
	フォークリフトトラック 6t
AP ₃	フォークリフトトラック 10t
	フォークリフトトラック 15t
	トラック 25t 積級
	ストラドルキャリア
	移動式クレーン (トラッククレーン, ラフテレーンクレーン, オールテレーンクレーン) 20 型
AP ₄	移動式クレーン (トラッククレーン, ラフテレーンクレーン, オールテレーンクレーン) 25 型

表-A. 4 アスファルト舗装の舗装構成例

設計条件		舗装構成								
荷重の区分	路床の設計 CBR (%)	表層		基層		上層路盤		下層路盤	合計厚	
		種類	h ₁ (cm)	種類	h ₂ (cm)	種類	h ₃ (cm)	h ₄ (cm)	H(cm)	T _A ¹ (cm)
AP ₁	3以上 5未満	AC I	5	ACIII	5	粒調材	25	35	70	25.8
		AC I	5	—	—	A処理材I	25	35	65	25.8
	5以上 8未満	AC I	5	ACIII	5	粒調材	20	25	55	22.0
		AC I	5	—	—	A処理材I	20	30	55	22.0
	8以上 12未満	AC I	5	ACIII	5	粒調材	15	20	45	19.3
		AC I	5	—	—	A処理材I	15	30	50	19.3
	12以上 20未満	AC I	5	ACIII	5	粒調材	15	15	40	18.3
		AC I	5	—	—	A処理材I	15	20	40	17.3
20以上	AC I	5	ACIII	5	粒調材	15	15	40	18.3	
	AC I	5	—	—	A処理材I	15	15	35	16.3	
栈橋スラブ上	AC I	5	ACIII	4以上	—	—	—	9以上	—	
AP ₂	3以上 5未満	ACII	5	ACIV	5	粒調材	25	35	70	25.8
		ACII	5	—	—	A処理材I	25	35	65	25.8
	5以上 8未満	ACII	5	ACIV	5	粒調材	20	25	55	22.0
		ACII	5	—	—	A処理材I	20	30	55	22.0
	8以上 12未満	ACII	5	ACIV	5	粒調材	15	20	45	19.3
		ACII	5	—	—	A処理材I	15	30	50	19.3
	12以上 20未満	ACII	5	ACIV	5	粒調材	15	15	40	18.3
		ACII	5	—	—	A処理材I	15	20	40	17.3
20以上	ACII	5	ACIV	5	粒調材	15	15	40	18.3	
	ACII	5	—	—	A処理材I	15	15	35	16.3	
栈橋スラブ上	ACII	5	ACIV	4以上	—	—	—	9以上	—	
AP ₃	3以上 5未満	ACII	5	ACIV	15	粒調材	30	45	95	40.0
		ACII	5	ACIV	10	A処理材II	20	45	80	40.0
	5以上 8未満	ACII	5	ACIV	15	粒調材	25	30	75	34.8
		ACII	5	ACIV	10	A処理材II	20	20	55	35.0
	8以上 12未満	ACII	5	ACIV	15	粒調材	15	20	55	29.3
		ACII	5	ACIV	10	A処理材II	15	15	45	30.0
	12以上 20未満	ACII	5	ACIV	15	粒調材	15	15	50	28.3
		ACII	5	ACIV	10	A処理材II	15	15	45	30.0
20以上	ACII	5	ACIV	15	粒調材	15	15	50	28.3	
	ACII	5	ACIV	10	A処理材II	15	15	45	30.0	
栈橋スラブ上	ACII	5	ACIV	4以上	—	—	—	9以上	—	
AP ₄	3以上 5未満	ACII	5	ACIV	15	粒調材	40	60	120	46.0
		ACII	5	ACIV	10	A処理材II	20	70	105	45.0
	5以上 8未満	ACII	5	ACIV	15	粒調材	30	45	95	39.5
		ACII	5	ACIV	10	A処理材II	20	40	75	39.0
	8以上 12未満	ACII	5	ACIV	15	粒調材	25	30	75	34.8
		ACII	5	ACIV	10	A処理材II	15	35	65	34.0
	12以上 20未満	ACII	5	ACIV	15	粒調材	15	25	60	30.3
		ACII	5	ACIV	10	A処理材II	15	15	45	30.0
20以上	ACII	5	ACIV	15	粒調材	15	15	50	28.3	
	ACII	5	ACIV	10	A処理材II	15	15	45	30.0	
栈橋スラブ上	ACII	5	ACIV	4以上	—	—	—	9以上	—	

(注) 栈橋スラブ上の基層の欄は、間詰材及び基層を表わし、アスファルトコンクリートに限らない。

アスファルトコンクリートの種類及び材質は、表- 4)によることができる。

付録B 道路舗装の設計法

道路舗装は、設計供用年数、舗装計画交通量等を定め舗装厚を決定する。

舗装設計施工指針⁹⁾ (日本道路協会) では、コンクリート舗装、アスファルト舗装とも輪荷重の作用回数をパラメータとして舗装厚の照査を行っている。

B.1 コンクリート版厚の設計法

コンクリート版厚は、設計期間において舗装の破壊規準として設定する疲労度を満足するように設計する。以下は、理論的設計方法における輪荷重応力式、温度応力式の算定式を示したものである。

(1) 合成応力計算 (= 輪荷重応力 + 温度応力)

1) 輪荷重応力

縦自由縁部及び縦目地縁部の版中央位置、横目地縁部、横ひび割れ部の最多車輛通過位置における輪荷重応力は式 (B.1) によって算定する。

$$\sigma = (1 + 0.54\mu) \cdot C_L \cdot C_T \cdot P \cdot (\log L - 0.75 \log a - 0.18) / 100 h^2 \quad (\text{B.1})$$

ここで、

σ : コンクリート版自由縁部・目地部またはひび割れ部の輪荷重応力 (MP_a)

μ : コンクリートのポアソン比

C_L : 縦目地による係数 (縦自由縁部2.12, 縦目地縁部1.59)

C_T : 横目地の輪荷重伝達性能等による係数 (1.0)

P : 輪荷重 (N)

L : 剛比半径 (cm) ; $L = \{Eh^3/12 (1 - \mu^2) K_{75}\}^{0.25}$

E : コンクリートの弾性係数 (MP_a)

K_{75} : 路盤支持力係数 (MP_a/cm)

a : タイヤ接地半径

h : コンクリート版の厚さ (cm)

2) 温度応力の計算

コンクリート版に発生する温度応力は式 (B.2) によって算出する。

$$\sigma_t = 0.35 \cdot C_w \cdot \alpha \cdot E \cdot \Theta \quad (\text{B.2})$$

ここで、

σ_t : コンクリート版縦縁部・横目地縁部・横ひび割れ部の温度応力 (MP_a)

C_w : そり拘束係数

α : コンクリートの温度膨張係数 (/°C)

Θ : コンクリート版厚さ方向の温度差 (版上面温度 - 版下面温度, °C)

(2) コンクリート版の許容輪数

輪荷重応力と温度応力を合計した合成応力に対する許容輪数は式 (B.3) または式 (B.4) に示す疲労式より求める。

$1.0 \geq SL > 0.9$ では、 $N_i = 10^{((1.0 - SL)/0.044)}$

$0.9 \geq SL > 0.8$ では、 $N_i = 10^{((1.077 - SL)/0.077)}$ (B.3)

$0.8 \geq SL$ では、 $N_i = 10^{((1.224 - SL)/0.118)}$

$$\left. \begin{aligned} N_i &= 10^{((a - SL)/b)} \\ a &= 1.11364 + 0.00165P_f \\ b &= 0.09722 - 0.00021P_f \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.4})$$

SL : 合成応力 / 設計基準曲げ強度

N_i : 合成応力 i に対する許容輪数

P_f : 破壊確率 (%)

(3) 疲労度の計算

コンクリート版の疲労度は、式 (B.5) で算出する。

$$FD = \sum (n_i / N_i) \quad (\text{B.5})$$

ここで、

FD : 疲労度

n_i : 合成応力 i の作用度数

N_i : 合成応力 i に対するコンクリート版の許容輪数

B.2 アスファルト舗装の設計法

道路舗装では、交通荷重がアスファルト舗装の破壊に及ぼす程度は、その荷重の大きさの4乗に比例するものとして、すべての輪荷重を49 kN (5tf) の輪数に換算することが行われている。ただし、コンクリート舗装では、輪荷重をそのまま荷重条件としている。

アスファルト舗装では、必要アスファルト等値換算舗装厚 T_A は、式 (B.6) によって算出する。

$$T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \quad (\text{B.6})$$

N : 設計供用期間における設計荷重の作用回数 n_i を49kN輪荷重に換算した数値で、式 (B.7) による。

$$N = \sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{P_i}{49} \right)^4 \times n_i \right] \quad (\text{B.7})$$

設定断面のアスファルト等値換算舗装厚

設定した断面のアスファルト等値換算舗装厚 T_A' の算定は式 (B.8) によることができる。

$$T_A' = \sum_{i=1}^n [a_i \times h_i] \quad (\text{B. 8})$$

ここに、

T_A' : 設定した断面のアスファルト等値換算舗装厚 (cm)

h_i : 各層の厚さ (cm)

a_i : 舗装各層に用いる材料・工法の等値換算係数

n : 層の数

$T_A > T_A'$ になるようにアスファルト舗装厚を決定する。

付録C 空港舗装の設計法¹⁰⁾

C.1 舗装区域

空港の舗装区域は、滑走路、誘導路、エプロン、オーバーラン、ショルダー、ランプ車両通行帯等で、次の5つに区分けする。

- A 舗装区域—滑走路端部，全備重量の航空機が通過する誘導路，ローディングエプロン
- B 舗装区域—滑走路中間部，脱出誘導路，ナイトステイエプロン，ナイトステイエプロンに通ずる連絡誘導路
- C 舗装区域—メンテナンスエプロン，メンテナンスエプロンに通ずる連絡誘導路
- D 舗装区域—オーバーラン，ショルダー
- E 舗装区域—ランプ車両通行帯，機材置場

C.2 コンクリート舗装設計

- (1) A 舗装区域のコンクリート版厚は、路盤の設計支持力係数を $70\text{MN}/\text{m}^2$ 、コンクリートの設計基準曲げ強度を $5\text{N}/\text{mm}^2$ とした場合、表-C. 1 (1)に示すとおりである。
- (2) B 舗装区域のコンクリート版厚は、同様の場合(1)で求まるコンクリート版厚の90%とする。
- (3) C 舗装区域のコンクリート版厚は、同様の場合(1)で求まるコンクリート版厚の80%とする。
- (4) D 舗装区域のコンクリート版厚は、同様の場合(1)で求まるコンクリート版厚の60%とする。
- (5) E 舗装区域のコンクリート版厚は、同様の場合表-C. 1 (2)に示すとおりである。
- (6) 路盤の設計支持力係数 K_{75} が $70\text{MN}/\text{m}^2$ 以外の場合には、付録-12*を参照してコンクリート版厚を決める。
- (7) コンクリート版厚の最小値は15 cmとする。
- (8) 滑走路については、横断方向に図-4. 2*のようにコンクリート版厚を減ずる。ただし、誘導路については原則として横断方向の減厚は考慮しない。
- (9) (1)～(5)に述べた舗装区域の区分及び(8)に述べた横断方向の減厚は、図-4. 3*に示す平面形状になる。
- (10) 平行誘導路のない空港では、滑走路端部は全幅員を(1)で求まるコンクリート版厚と同一とし、滑走路中間部のみ両縁端帯はこれの80%とする。

*印の図等は本付録では省略した。

表-C. 1 (1) コンクリート版厚(設計荷重 LA-1～3)
(単位：cm)

設計荷重の区分	設計反復作用回数の区分		
	M	N	0
LA-1	37	42	45
LA-12	32	36	39
LA-2	30	34	36
LA-3	27	30	32

(注)グルーピングを施工する滑走路等では、表中のコンクリート版厚を1 cm増厚する。減厚した区域においても1 cmの増厚は同じである。

表-C. 1 (2) コンクリート版厚(設計荷重 LT-1～2)
(単位：cm)

設計荷重の区分	設計反復作用回数の区分		
	M	N	0
LA-1	21	23	25
LA-12	18	20	21
LA-2	15	15	15

C.3 アスファルト舗装設計

- (1) A 舗装区域の基準舗装厚は、表-C. 2 (1)に示すとおりである。
- (2) B 舗装区域の基準舗装厚は、(1)で求まる基準舗装厚の90%とする。
- (3) C 舗装区域の基準舗装厚は、(1)で求まる基準舗装厚の80%とする。
- (4) D 舗装区域の基準舗装厚は、(1)で求まる基準舗装厚の50%とする。
- (5) E 舗装区域の基準舗装厚は、表-C. 2 (2)に示すとおりである。
- (6) 滑走路については、横断方向に図-3. 1*のように基準舗装厚を減ずる。ただし、誘導路については原則として横断方向の減厚は考慮しない。
- (7) (1)～(5)に述べた舗装区域の区分及び(6)に述べた横断方向の減厚は、図-3. 2*に示す平面形状による。
- (8) 平行誘導路のない空港では、滑走路端部は全幅員を(1)で求まる基準舗装厚と同一とし、滑走路中間部のみ両縁端帯はこれの80%とする。

表-C. 2 (1) LA-1 の基準舗装厚

(単位：cm)

路床の 設計 CBR	設計反復作用回数の区分				
	a	b	c	d	e
2	256	269	288	307	328
2.5	226	238	256	275	295
3	202	215	232	249	268
3.5	184	196	210	227	245
4	168	180	195	210	227
4.5	154	165	180	195	210
5	143	153	169	183	199
6	125	134	148	162	176
7	112	121	132	145	158
8	101	109	120	131	144
9	92	100	110	120	132
10	84	92	101	110	122
12	73	80	87	95	106
14	64	70	78	85	94
16	58	63	70	76	84
18	54	58	64	70	76
20 以上	54	54	59	64	70

表-C. 2 (2) LA-12 の基準舗装厚

(単位：cm)

路床の 設計 CBR	設計反復作用回数の区分				
	a	b	c	d	e
2	215	234	246	265	284
2.5	190	204	219	236	253
3	170	181	195	211	228
3.5	153	164	178	194	208
4	141	151	165	170	192
4.5	131	139	152	167	179
5	122	129	141	154	165
6	107	114	125	136	147
7	96	102	112	123	132
8	86	92	102	111	121
9	79	84	93	102	110
10	72	77	85	94	102
12	63	67	74	82	90
14	56	60	66	72	79
16	53	54	59	64	72
18	53	53	54	59	66
20 以上	53	53	54	54	61

付録D 港湾のエプロン舗装で考慮する載荷重

田淵¹¹⁾は、現況の港湾荷役に使用されている荷役機械に関する資料収集・整理を行い、最大荷重、接地面積及び接地圧についてとりまとめを行っている。その中から今回の検討で取り扱うもののみを表-D. 1に示す。なお、表中の値は、それぞれの荷役機械の種類及び能力ごとの平均的な値である。

表-D. 1 荷重条件¹¹⁾

荷重の種類	能力	アウトリガー1個または車輪1個の最大荷重	アウトリガー1個または車輪1個の接地面積	接地圧	
	ton	kN	cm ²	kPa	
トラック系クレーン	20	180(200)	1070(1250)	1680(1600)	
	25	220(250)	1170(1500)	1880(1670)	
	30	260(290)	1270(1700)	2050(1710)	
	40	320(390)	1470(2000)	2180(1950)	
	50	390(490)	1670(2300)	2340(2130)	
	80	560(740)	2220(2850)	2520(2600)	
	100	680(900)	2550(3400)	2670(2650)	
	120	780(1060)	2870(3850)	2720(2750)	
	150	940(1310)	3300(4500)	2850(2910)	
トラック	T-25	50(100)	780(1000)	640(1000)	
トラクター	TT-44 前輪	40ft 30.5tタイプ	18(50)	280(1000)	640(500)
トラクター	TT-48 前輪	40ft 35tタイプ	25(50)	390(1000)	640(500)
トレーラー	TT44	40ft 30.5tタイプ	40(50)	630(1000)	640(500)
トレーラー	TT48	40ft 35tタイプ	50(50)	780(1000)	640(500)
一般用フォークリフト	2	25(25)	340(300)	730(830)	
	3.5	40(45)	520(500)	770(900)	
	6	65(70)	820(800)	790(880)	
	10	100(110)	1300(1400)	770(790)	
	15	150(170)	1900(2300)	790(740)	
	20	200(240)	2500(3150)	800(760)	
コンテナ用フォークリフト	25	250(300)	3110(3800)	800(790)	
	6	75(70)	1260(800)	600(880)	
	10	125(110)	1730(1400)	720(790)	
	15	185(170)	2320(2300)	800(740)	
	20	245(240)	2920(3150)	840(760)	
ストラドルキャリア	25	305(300)	3510(3800)	870(790)	
	35	425(440)	4690(5000)	910(880)	
	35	120(110)	1320(1200)	910(920)	

本付録では、田淵¹¹⁾のとりまとめ結果を踏まえ、港湾のエプロン舗装の設計で考慮する作用として、荷役機械の最大荷重、接地面積及び接地圧の設定を行った。

(1) 荷役機械の種類

ここでは、港湾における荷役機械としてもっとも一般的と考えられるトラッククレーン、ラフテレーンクレーン、オールテレーンクレーン（以下、移動式クレーンという）、トラック、トラクタトレーラ、フォークリフトトラック及びストラドルキャリアを対象とした。

(2) 載荷重の特性値

1) 移動式クレーン

主要メーカーの実績値に基づいて検討した。図-D. 1～図-D. 3に、吊り上げ能力とアウトリガー最大荷重の

関係、最大アウトリガー荷重とアウトリガー1個の接地面積との関係及び最大アウトリガー荷重と接地圧の関係をそれぞれ示す。

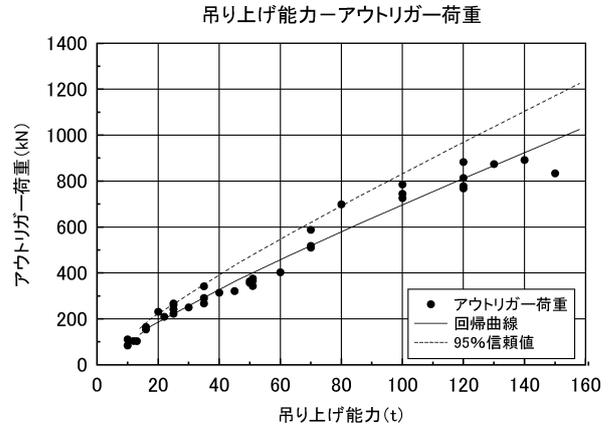


図-D. 1 吊り上げ能力とアウトリガー荷重の関係

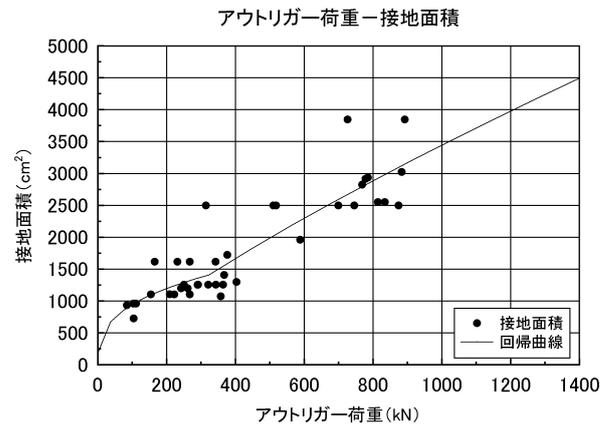


図-D. 2 アウトリガー荷重と接地面積の関係

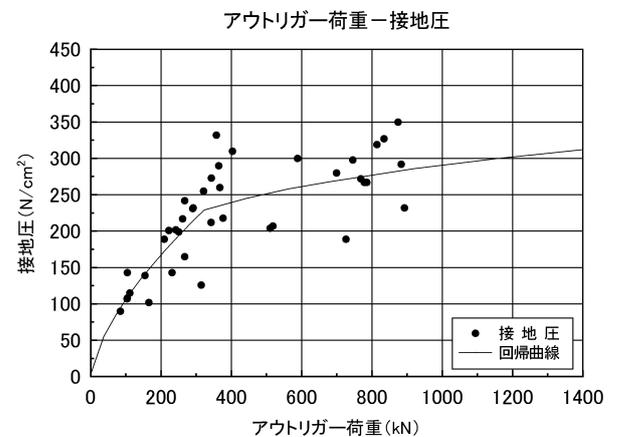


図-D. 3 アウトリガー荷重と接地圧の関係

図-D. 1には、船型解析¹²⁾においても使用されている以下の関数系による回帰曲線を実線で示している。

$$Y = \alpha X^\beta$$

ここに、

Y : 目的変数

X : 説明変数

α, β : 回帰係数

回帰曲線にて得られるアウトリガー荷重は、ある吊り上げ能力に対する平均的なアウトリガー荷重であり、これをそのまま設計荷重とすることは適切ではないと考えられる。

そこで、アウトリガー荷重については、ある吊り上げ能力の移動式クレーンにおけるアウトリガー荷重が95%の信頼度で評価されるように、図中の破線で示されるカバー率95%の回帰曲線により設定した。95%信頼値の詳細な算定法は、文献¹²⁾を参照されたい。

アウトリガー1個の接地面積と接地圧は、式(D.1)に示す関係にあることを考慮し、図-D. 2及び図-D. 3に示す回帰曲線に基づいて設定した。

$$\text{接地圧} = \frac{\text{アウトリガー荷重}}{\text{接地面積}} \quad (\text{D. 1})$$

なお、アウトリガー反力350kN付近を境に、それぞれの傾向が異なるため、350kN以上と未満とに区分して回帰曲線を設定した。

表-D. 2に移動式クレーンの各能力別のアウトリガー荷重、接地面積及び接地圧を示す。

表-D. 2 荷重条件：移動式クレーン

作用（荷役機械荷重）の種類	アウトリガー1個の最大荷重 (kN)	アウトリガー1個の接地面積 (cm ²)	接地圧 (N/cm ²)
移動式クレーン	20型	220	176
トラッククレーン	25型	260	200
	30型	310	221
ラフテレーンクレーン	40型	390	236
	50型	470	247
オールテレーンクレーン	80型	690	271
	100型	830	277
	120型	970	290
	150型	1170	300

2) フォークリフトトラック

フォークリフトトラックについては、一般用とコンテナ用とでは大きな差がないため合わせて検討した。図-D. 4～図-D. 5に、吊り上げ能力と車輪1個の最大荷重の関係、車輪1個の最大荷重と接地面積の関係及び車輪1個の最大荷重と接地圧の関係をそれぞれ示す。車輪1個の最大荷重、接地面積及び接地圧とも、移動式クレーンと同様の考え方により設定した。

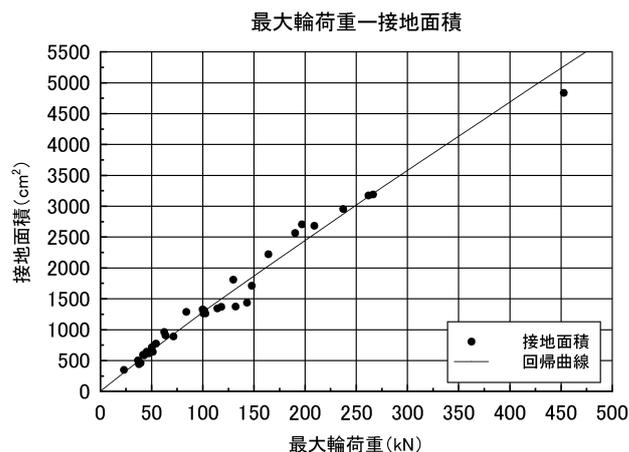


図-D. 4 吊り上げ能力と最大輪荷重の関係

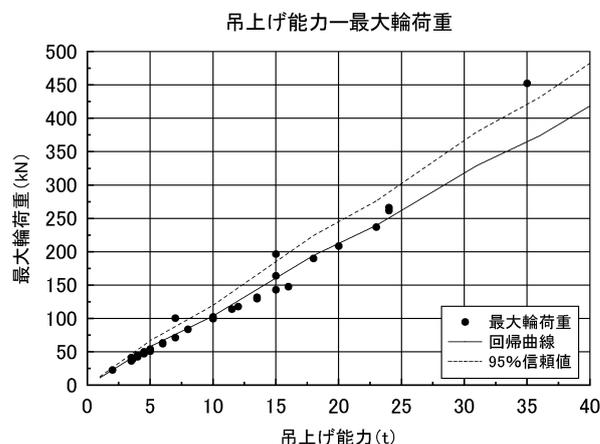


図-D. 5 最大輪荷重と接地面積の関係

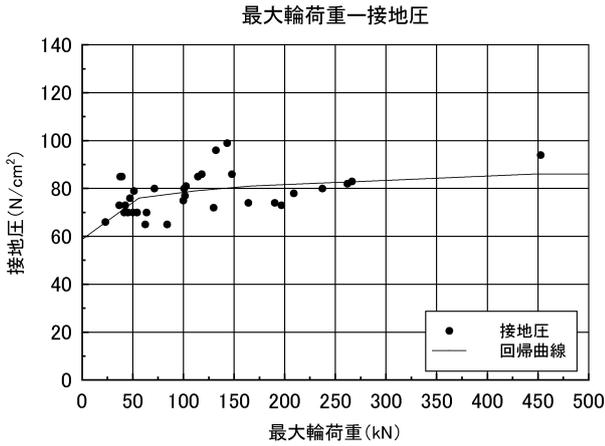


図-D. 6 最大輪荷重と接地圧の関係

また、空荷荷重は、港湾における荷役機械の実態調査結果より各能力の最大値を選定した。

表-D. 3 にフォークリフトの各能力別の最大荷重，空荷荷重，接地面積及び接地圧を示す。

表-D. 3 荷重条件：フォークリフト

作用（荷役機械荷重）の種類	荷 重 (kN)		車輪1個の 接地面積 (cm ²)	接地圧 (N/cm ²)	
	車輪1個の最大荷重	車輪1個の空荷荷重			
フォークリフトトラック	2t	25	9	350	71
	3.5t	45	16	600	75
	6t	75	25	1,000	75
	10t	125	35	1,550	81
	15t	185	56	2,250	82
	20t	245	72	2,950	83
	25t	305	85	3,600	85
	35t	425	204	4,950	86

3) その他

トラック，トラクタトレーラについては，最大荷重は現行の基準・同解説と同様に一般的な値を用い，空荷荷重は最大荷重の50%とした。また，ストラドルキャリアについては，最大，空荷荷重とも実績値に応じて示した。

表-D. 4 荷重条件：

トラック，トラクタトレーラ，ストラドルキャリア

作用（荷役機械荷重）の種類	車輪1個の最大荷重	荷 重 (kN)		車輪1個の 接地面積 (cm ²)	接地圧 (N/cm ²)
		車輪1個の最大荷重	車輪1個の空荷荷重		
トラック	25t積級	100	50	1,000	100
トラクタトレーラ	20ft用	50	25	1,000	50
	40ft用	50	25	1,000	50
ストラドルキャリア		125	93	1,550	81

4) 特性値一覧

以上より，港湾のエプロン舗装の設計で考慮する載荷重の特性値を表-D. 5 に示す。

表-D. 5 エプロン舗装で考慮する作用の特性値

作用（荷役機械荷重）の種類	アウトリガー1個又は車輪1個の荷重		アウトリガー1個又は 車輪1個の接地面積 (cm ²)	接地圧 (N/cm ²)	
	最大荷重 (kN)	空荷荷重 (kN)			
移動式クレーン (トラッククレーン ラフテレーンクレーン オールテレーンクレーン)	20型	220	—	1,250	176
	25型	260	—	1,300	200
	30型	310	—	1,400	221
	40型	390	—	1,650	236
	50型	470	—	1,900	247
	80型	690	—	2,550	271
	100型	830	—	3,000	277
	120型	970	—	3,350	290
	150型	1170	—	3,900	300
トラック	25t積級	100	50	1,000	100
トラクタトレーラ	20ft用	50	25	1,000	50
	40ft用	50	25	1,000	50
フォークリフトトラック	2t	25	9	350	71
	3.5t	45	16	600	75
	6t	75	25	1,000	75
	10t	125	35	1,550	81
	15t	185	56	2,250	82
	20t	245	72	2,950	83
	25t	305	85	3,600	85
	35t	425	204	4,950	86
ストラドルキャリア		125	102	1,550	81

参考文献

- 8) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1999年
- 9) 日本道路協会：舗装設計施工指針，丸善，2001年
- 10) 港湾空港建設技術サービスセンター：空港舗装構造設計要領，1999年
- 11) 田渕郁男：日本の港湾の舗装と荷役機械の実態調査結果について，国土技術政策総合研究所資料 No. 255 pp. 6～13，2005
- 12) 赤倉康寛，高橋宏直，中本 隆：統計解析等による対象船舶の諸元：港湾技研資料 No. 910 pp. 9～13，1998

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 285

March 2006

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019