

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

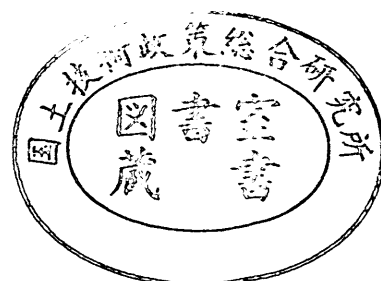
---

VOL. 37

NO. 2

June 1998

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第37巻 第2号 (Vol. 37, No. 2), 1998年6月 (June 1998)

## 目 次 (CONTENTS)

着底型杭状深層混合処理地盤の破壊挙動 .....北詰昌樹・山本浩司 .....	3
Stability of group column type DMM ground .....Masaki KITAZUME, Hiroshi YAMAMOTO	
ケーソンの安定性に及ぼす裏込めの効果 .....菊池喜昭・新舎 博・江口信也 .....	29
Effects of the back-filling to the stability of a caisson .....Yoshiaki KIKUCHI, Hiroshi SHINSHA, Shin-ya EGUCHI	
大阪湾洪積粘土の三軸せん断特性と大型護岸構造物の安定性 .....渡部要一・土田 孝・足立格一郎 .....	59
Undrained Shear Strength of Osaka Pleistocene Clay And Stability of Large Scale Seawall Structure .....Yoichi WATABE, Takashi TSUCHIDA, Kakuichiro ADACHI	
鋼管杭式棧橋の地震応答解析結果に基づく設計水平震度の考察 .....横田 弘・竹鼻直人・南 兼一郎・高橋邦夫・川端規之 .....	75
Consideration of Design Seismic Coefficients of An Open Type Wharf Based on Dynamic Response Analyses .....Hiroshi YOKOTA, Naoto TAKEHANA, Ken'ichiro MINAMI, Kunio TAKAHASHI, Noriyuki KAWABATA	
信頼性設計法による防波堤の全体系安全性 (第3報) ーレベル1, 2の設計法の適用性総括ー .....長尾 毅・大久保昇・川崎 進・林由木夫 .....	131
Evaluation of Safety of Breakwaters by the Reliability Based Design Method (3rd Report: Concluding the Applicability of Reliability Based Design Method) .....Takashi NAGAO, Noboru OKUBO, Susumu KAWASAKI, Yukio HAYASHI	
棧橋上部工の荷役機械荷重を考慮した疲労限界状態設計 .....長尾 毅・横田 弘・竹地晃一郎・川崎 進・大久保昇 .....	177
Fatigue Limit State Design Method for Superstructures of Open Type Wharves in view of Cargo Handling Machine Loads .....Takashi NAGAO, Hiroshi YOKOTA, Koichiro TAKECHI, Susumu KAWASAKI, Noboru OKUBO	

水中レーザー視認装置による画像化実験

……秋園純一・佐藤栄治・田中敏成・高橋義明・朝妻春和・小林 健・斎藤利貴 ……221

Imaging Experiments of Underwater Laser Viewing System

……………Jun'ichi AKIZONO, Eiji SATO, Toshinari TANAKA, Yoshiaki TAKAHASHI,  
Harukazu ASATSUMA, Takeshi KOBAYASHI, Toshitaka SAITO

歩行式水中調査ロボットの開発

－（第4報）歩容及び軌道の実時間計画法－

……………田中敏成・秋園純一・高橋英俊・佐藤栄治・鈴木健治・米田 完・  
金山 裕・Robert B. McGhee・竹内俱佳 ……259

Development of Aquatic walking Robot for Underwater Inspection

－（The 4th report）A Method of Real-time Gait, Trajectory and Path Planning－

……………Toshinari TANAKA, Jun'ich AKIZONO, Hidetoshi TAKAHASHI, Eiji SATO, Kenji SUZUKI,  
Kan YONEDA, Yutaka KANAYAMA, Robert B. McGhee, Tomoyoshi TAKEUCHI

## 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

長尾 毅\*・横田 弘\*\*・竹地晃一郎\*\*\*・川崎 進\*\*\*\*・大久保昇\*\*\*\*\*

### 要 旨

本報告は、栈橋上部工を限界状態設計法によって設計する際の荷役機械による疲労限界状態設計の方法を提案するものである。耐用期間中の取扱総貨物量を推計し、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、荷役機械荷重と反復作用回数の組み合わせの分布よりなるモデル荷重を提案した。ついでモデル荷重を用いた試設計を行い、モデルの妥当性を検証するとともに、栈橋上部工の荷役機械による疲労限界状態特性を検討した。栈橋上部工の床版の設計で問題となるトラックレーンアウトリガー反力などの部分等分布荷重の作用によって発生する断面力については、FEM解析を実施して従来より用いられてきたピジョウ (Pigeaud) の方法による値との比較検討を行った。

本研究により得られた主要な結論は以下のとおりである。

- ①栈橋上部工の疲労限界状態設計を行う際のモデル荷重を作成した。モデル荷重は、一般栈橋、コンテナ栈橋のそれぞれについて、代表的な荷役機械の荷重と作用反復回数の組み合わせの分布よりなるものである。
- ②トラックレーン、トラック、トレーラー、ストラドルキャリアなどの荷役機械については、現時点で想定している安全係数を用いた場合、変動断面力が最大断面力と比べて小さいため、疲労限界状態が支配的となる可能性は極めて低く、疲労限界状態設計を原則として省略できる。
- ③ガントリークレーンおよびフォークリフトの重量貨物対応機種などで、部材に発生する変動断面力が最大断面力に近い値を取る荷役機械荷重に対しては、疲労限界状態が支配的となるケースが生じることが考えられる。その場合には、本報告で提案した手法（モデル荷重）を用いることができる。
- ④版の部分等分布荷重に対する断面力算出方法として従来より用いられてきたピジョウの方法は、正負のモーメント最大値が同じ値となることから、栈橋上部工については特に負のモーメント作用に対して安全側となり、必ずしも適切とはいえない場合がある。このため、FEM解析などをもとにした新たな設計法を今後提案する必要がある。

キーワード：栈橋上部工，限界状態設計法，疲労限界状態，モデル荷重

- 
- \* 計画設計基準部 主任研究官  
(〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 PHONE/FAX : 0468-44-5037 E-mail : nagao@cc.phri.go.jp)
  - \*\* 構造部 構造強度研究室長
  - \*\*\* 計画設計基準部 設計基準研究室
  - \*\*\*\* 計画設計基準部 設計基準研究室研修生 ((株)名村造船所)
  - \*\*\*\*\* 計画設計基準部 設計基準研究室研修生 (福岡市港湾局)

## Fatigue Limit State Design Method for Superstructures of Open Type Wharves in view of Cargo Handling Machine Loads

**Takashi NAGAO \***  
**Hiroshi YOKOTA \*\***  
**Koichiro TAKECHI \*\*\***  
**Susumu KAWASAKI \*\*\*\***  
**Noboru OKUBO \*\*\*\*\***

### Synopsis

This present report aims at establishing the fatigue limit state design way for superstructures of open type wharves in view of cargo handling machine loads.

The main conclusions drawn from the study are as follows:

- 1) Model loads of cargo handling machines for the fatigue limit state design as to superstructures of open type wharves have been proposed. Model loads consist of distribution of variable cargo handling machine loads and number of loading during the life time of the structures.
- 2) Fatigue limit state design may be omitted as to the cargo handling machines such as trucks, trailers, straddle carriers, and truck cranes. Fatigue limit state will not be decisive for those cargo handling machine loads, because variable section forces are considerably smaller than maximum section forces.
- 3) Fatigue limit state design should be made as to cargo handling machines such as gantry cranes and fork lift trucks for heavy cargo. In that case, model loads proposed in this study are applicable.
- 4) Pigeaud's tables used for the estimation of the section force in the slab by the partial uniform loads are not necessarily applicable for the superstructures of open type wharves, because they tend to give the excessive negative bending moment.

**Key Words** : Superstructure of Open Type Wharf, Limit state Design Method, Fatigue Limit State, Model Loads

---

\* Senior Research Engineer, Planning and Design Standard Division

(3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 PHONE/FAX : 0468-44-5037 E-mail : nagao@cc.phri.go.jp)

\*\* Chief of Structural Mechanics Laboratory, Structural Engineering Division

\*\*\* Member of Design Standard Laboratory, Planning and Design Standard Division

\*\*\*\* Trainee of Design Standard Laboratory, Planning and Design Standard Division (Namura Shipbuilding Co., Ltd.)

\*\*\*\*\* Trainee of Design Standard Laboratory, Planning and Design Standard Division (The City of Fukuoka Port and Harbor Bureau)

## 目 次

1. まえがき	181
2. 疲労限界状態に対する安全性照査	181
2. 1 設計疲労強度	181
2. 2 マイナー則	182
2. 3 安全性照査方法	182
3. モデル荷重	183
3. 1 モデル荷重設定の考え方	183
3. 2 総貨物量の推定	184
3. 3 一般栈橋	185
3. 4 コンテナ栈橋	191
4. モデル荷重の影響度分析	194
4. 1 断面力算出方法	194
4. 2 検討方法	196
4. 3 一般栈橋	199
4. 4 コンテナ栈橋	205
5. 結 論	206
6. あとがき	208
参考文献	209
記号一覧	210
付録	211
A：荷役機械の荷重および移動現況調査	211
B：荷役機械の荷重アンケート調査	211
C：コンテナ荷重の現況調査	213
D：モデル荷重影響度分析結果	213

## 1. まえがき

鉄筋コンクリート港湾構造物の設計は、許容応力度法によって行われてきた。許容応力度法は長年にわたる実績により適用性が認められているものの、研究レベルではより合理的な方法として限界状態設計法がスタンダードな設計法として定着している。土木学会のコンクリート標準示方書<sup>1)</sup>には昭和61年制定版より限界状態設計法が位置づけられており、実構造物の設計においても鉄道構造物<sup>2)</sup>などで限界状態設計法が用いられはじめている。港湾構造物においても、限界状態設計法の導入が予定されている。このため、筆者のうち一人は、限界状態設計法による港湾構造物の鉄筋コンクリート部材設計法を検討してきた<sup>3, 4)</sup>。

本報告では、これまで未検討であった栈橋上部工の荷役機械荷重による疲労限界状態設計を対象としている。岸壁のうち、栈橋以外の構造形式の施設では地震の挙動が支配的な要因となることが多く、確率統計処理結果などにもとづく地震力を想定して設計が行われる。これに対して栈橋上部工は荷役作業時が支配的となるケースが多い。設計の段階では利用される荷役機械が明らかでないことも多く、そのような場合は利用が想定される荷役機械について設計が行われる。これまで用いられてきた許容応力度法では、最大応力度が発生する状態に対して安全性を確認すればよかったため、想定した荷役機械の最大輪荷重などを栈橋上部工に最も不利な状態で載荷した状態を考慮すればよかった。

限界状態設計法の検討項目のひとつである疲労限界状態の検討においては、構造物の耐用期間中に作用するすべての変動応力度と、その作用反復回数の組み合わせの分布をあらかじめ設定する必要がある。この作業は、専門埠頭のうち、取り扱う貨物の種類や荷重がほぼ常に一定である場合（石炭専用バースなど）に関しては比較的容易であるが、貨物荷重が一定でないバースの場合は困難を伴う。

例えば、これまで設計で用いてきた荷役機械の輪荷重は、最大輪荷重である。しかしながら、輪荷重は実際には常に最大輪荷重となるわけではなく、取扱貨物の重量や載荷状態によって変化する。また、作用反復回数については、対象とするバースで取り扱われる貨物量や、荷役機械の走行状態によって変化する。これらの影響を設計者は適切にモデル化したうえで設計を行う必要がある。

こうした背景のもと、本報告は、栈橋上部工の疲労限界状態設計の手法を提案することを目的とする。そのため、既往の荷役統計データなどをもとに、バースの規模

に応じた耐用期間中の取扱総貨物量を推計し、荷役機械の貨物の取扱量を現況調査やアンケート調査などをもとにモデル化したうえで、荷役機械荷重と反復作用回数の組み合わせの分布よりなるモデル荷重を提案した。ついでモデル荷重を用いた試設計を行い、モデルの妥当性を検証するとともに、栈橋上部工の荷役機械による疲労限界状態特性を検討した。また、栈橋上部工の床版におけるトラッククレーンアウトリガー反力などの部分等分布荷重の作用により発生する断面力については、FEM解析を実施し、従来より用いられてきたピジョウ (Pigeaud) の方法による値との比較検討を行った。

## 2. 疲労限界状態に対する安全性照査

### 2. 1 設計疲労強度

栈橋上部工を構成する材料の疲労特性は、材質、材料の形状および寸法などの影響を受ける。一般に疲労強度は材料強度、応力振幅、下限応力度、反復作用回数などの関数として表現される。異形鉄筋の場合はこのほかに、鉄筋のふしの部分に起こる応力集中の影響のため、鉄筋径にも依存する。

コンクリート標準示方書<sup>1)</sup>では、コンクリートの圧縮・曲げ圧縮、および異形鉄筋の設計疲労強度式として、それぞれ式(1)および式(2)を示している。

$$f_{r,d} = k_1 f_d \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right) \left(1 - \frac{\log N}{K}\right) \quad (1)$$

ここに、

$f_{r,d}$ : コンクリートの設計疲労強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$k_1$ : 0.85 (圧縮および曲げ圧縮の場合)

1.0 (引張りおよび曲げ引張りの場合)

$f_d$ : コンクリートの設計強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_p$ : 永久荷重による応力度 (N/mm<sup>2</sup>) ただし、交番荷重を受ける場合は一般に0とする。

$N$ : 疲労寿命 ただし、 $N \leq 2 \times 10^6$

$K$ : 10 (普通コンクリートで継続してあるいはしばしば水で飽和される場合および軽量コンクリートの場合)

17 (その他の場合)

$$f_{r,d} = 190 \frac{10^\alpha}{N^\alpha} \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_{sd}}\right) / \gamma_s \quad (2)$$

ここに、

$f_{r,d}$ : 異形鉄筋の設計疲労強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$$\alpha = \kappa_o(0.81 - 0.003 \phi)$$

$\phi$  : 鉄筋直径(mm)

$\kappa_o$  : 鉄筋のふしの形状に関する係数で、一般に1.0としてよい。

$N$  : 疲労寿命 ただし、 $N \leq 2 \times 10^6$

$\sigma_{ps}$  : 永久荷重による応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$f_{sd}$  : 鉄筋の設計引張強度(N/mm<sup>2</sup>)で、材料係数を1.05として求めてよい。

$$\kappa = 0.12$$

$\gamma_s$  : 鉄筋の材料係数(=1.05)

## 2.2 マイナー則

構造物に作用する変動荷重は一般に一定の値を保つこととはなく、様々な要因によって変化する。一方、設計疲労強度式は一定の変動荷重による載荷実験の結果に基づいて得られたものである。複数の変動荷重の影響を考慮するため、マイナー則が適用される。マイナー則は線形被害則とも呼ばれる。

マイナー則では、まず、変動応力度(図-1(a))を幾つかのランクの応力度に変換する(図-1(b))。i番目の荷重に対する疲労寿命を $N_i$ 、作用反復回数を $n_i$ とすると、i番目の荷重による損傷度は式(3)で表される。

$$M_i = n_i / N_i \quad (3)$$

式(4)で表される全ての荷重ランクによる損傷度の総和 $M$ が1.0以上になったとき、疲労破壊が生じると考える。

$$M = \sum_i M_i = \sum_i n_i / N_i \quad (4)$$

マイナー則によって、複数の応力振幅と繰り返し作用回数は、ある基準となる一つの応力振幅と作用回数に換算される(図-1(c))。基準となる応力振幅による応力度を設計変動応力度、換算された繰り返し作用回数を等価繰り返し回数と呼ぶ。

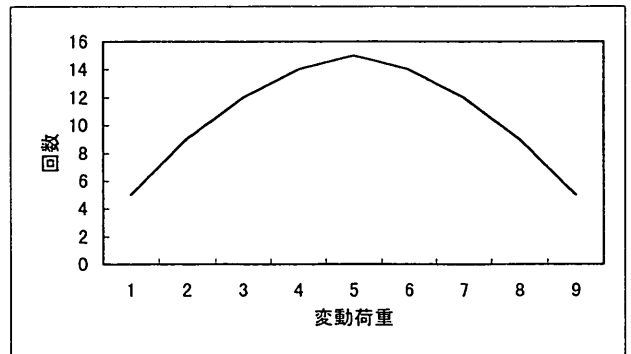
## 2.3 安全性照査方法

疲労限界状態の基本的な検討方法は以下のとおりである。

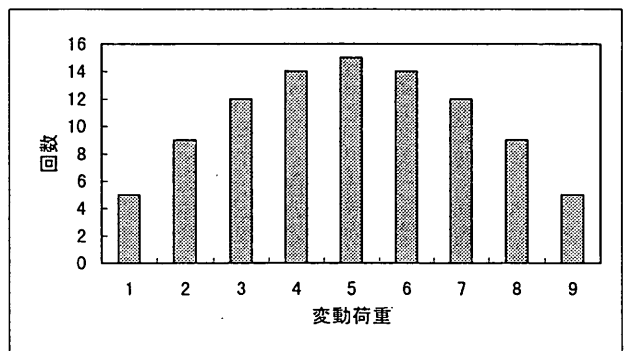
応力度の計算は線形解析に基づいて行う。応力振幅の計算に当たり、交番荷重を受ける場合は、コンクリートは引張応力度を無視した片振り繰返し応力度とし、鉄筋は両振り繰返し応力度として変動応力度を算出する(図

-2)。後者の場合、一般に $\sigma_{ps}$ は0とする。コンクリートの応力度については、三角形分布の応力度の合力位置と同位置に合力位置を持つ矩形分布に換算する(図-3)。

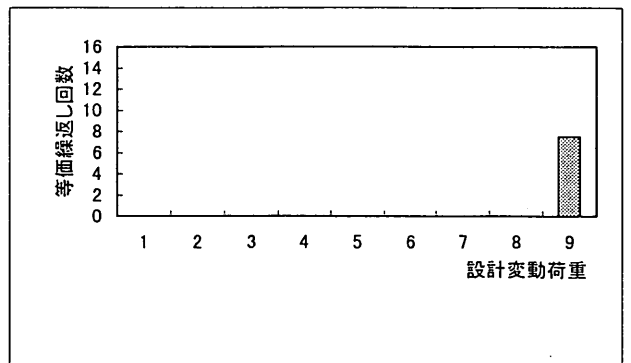
構造物に作用するすべての変動応力度を有限個の変動応力度( $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ )の組み合わせに変換する。設計変動応力度 $\sigma_{rd}$ を、変動応力度( $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ )の中の最大値 $\sigma_{max}$ とする。まず、微小な変動応力度の影響を過大に算定する危険を回避するため、疲労限度の照査を行う。式(1)の $f_{rd}$ および式(2)の $f_{s,rd}$ と変動応力度を等置し、 $N$ について解くことによって各変動応力度に対する疲労寿命を算出する。これまでの研究<sup>3)</sup>から、疲労寿命が $2 \times 10^6$ 回を超える変動荷重については、疲労破壊しないものとみなす。



(a)



(b)



(c)

図-1 マイナー則



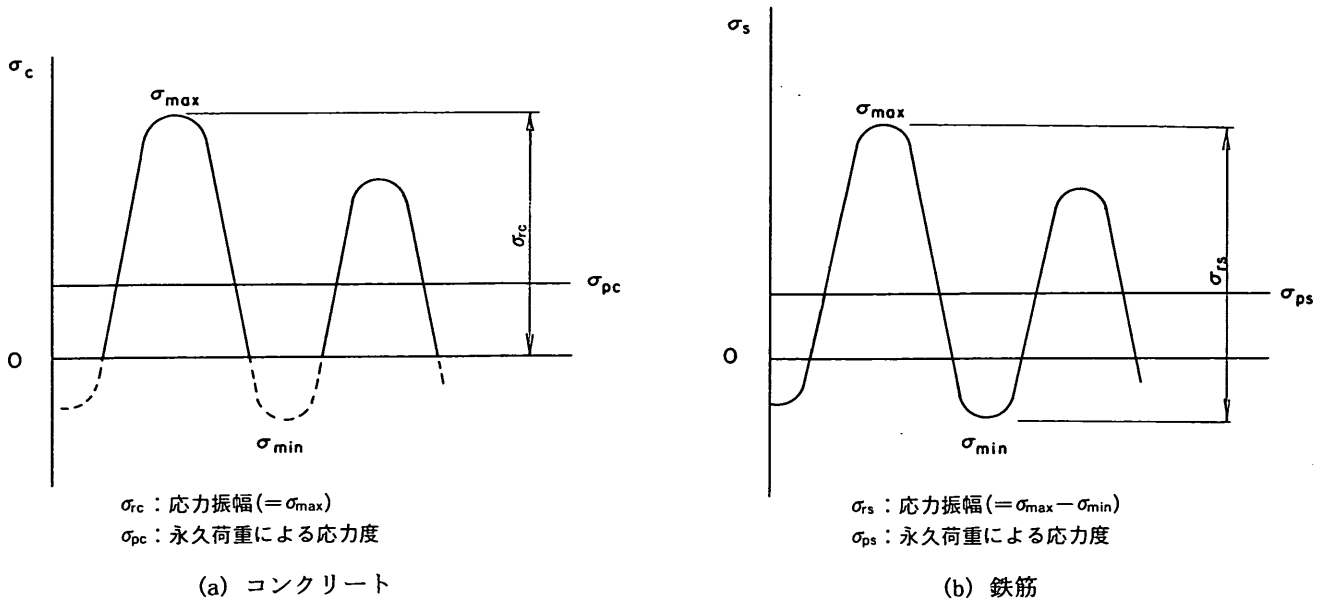


図-2 交番荷重を受ける場合の変動応力度

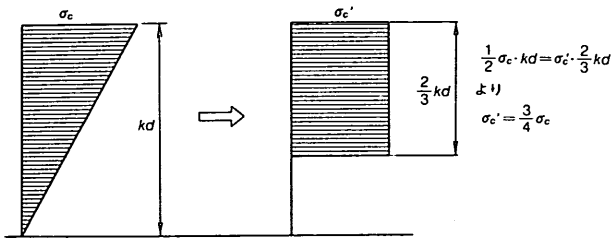


図-3 等価応力ブロック

次に、疲労寿命が $2 \times 10^6$ 回以下となる変動応力度のみを対象に、各変動応力度に対する等価繰返し回数 $N_i$ を、コンクリートの場合は式(5)、鉄筋の場合は式(6)により求める。

$$N_i = n_i \cdot 10^{B(\sigma_{r,i} - \sigma_{r,d})} \quad (5)$$

ここに、

$$B = K / k_1 f_d (1 - \sigma_p / f_d)$$

$K, k_1, \sigma_p, f_d$ の定義は、式(1)と同じ

$$N_i = n_i (\sigma_{r,i} / \sigma_{r,d})^{1/\kappa} \quad (6)$$

ここに、

$$\kappa = 0.12$$

全ての変動応力度に対する等価繰返し回数の総和 $N$ を式(7)を用いて算出する。

$$N = \sum_{i=1}^m N_i \quad (7)$$

等価繰返し回数の総和 $N$ に対する設計疲労強度を式(1)および式(2)により算出し、安全性照査を式(8)によって行う。設計疲労強度式(式(1)~(2))および安全性照査式(式(8))よりわかるように、応力振幅(設計変動応力度)の疲労安全性に対する影響度は大きく、反復作用回数の影響度は比較的小さい。

$$\gamma_i \sigma_{r,d} / (f_{r,d} / \gamma_b) \leq 1.0 \quad (8)$$

ここに、

$\gamma_i$ : 構造物係数 ( $\gamma_i = 1.0$ )

$\gamma_b$ : 部材係数 ( $\gamma_b = 1.0$ )

### 3. モデル荷重

#### 3.1 モデル荷重設定の考え方

栈橋上部工の荷役機械による疲労限界状態設計を行う際、類似の岸壁が供用されている場合は、事前にその実態を調査することによって実用的な荷重と反復回数の分布を得ることも可能であるが、実際には困難なことが多い。

本報告では、設計する栈橋の種類と規模に応じた、荷重の大きさや反復回数の組み合わせの分布(以下、モデル荷重と呼ぶ)を提案する。モデル荷重は、取り扱う貨物の種類や荷重がほぼ常に一定の専門埠頭については対象外とする。モデル荷重設定の考え方は以下の通りであ

る。

(1) 棧橋の類型化と定義

埠頭は、港湾計画上一般に、一般雑貨の荷役が行われる雑貨埠頭、コンテナ、木材、石炭などある特定の貨物に特化した荷役が行われる専門埠頭の2種類に分類される。

本報告では、この分類とは異なり、岸壁の種類を荷役機械、エプロン上での荷役形態、荷役貨物、取扱貨物量などによって分類し、コンテナ貨物船を対象とする棧橋とその他の貨物を扱う棧橋の2種類に分類する。以降、前者をコンテナ棧橋、後者を一般棧橋と呼ぶ。

(2) 総貨物量の推定

荷役機械荷重の反復作用回数を設定するためには、対象とする岸壁における耐用期間中の取扱総貨物量をまず推定する必要がある。このため、コンテナ棧橋、一般棧橋のそれぞれについて、構造物の耐用期間（例えば、50年）中に取り扱う総貨物量を統計データや港湾計画上の目標値などより推定する。

(3) 荷役機械荷重のモデル作成

各棧橋について、用いられる頻度の高い荷役機械を抽出し、その各々について、現地調査、アンケート調査などをもとに、実際の荷役作業時に生じると考えられる荷役機械荷重の分布のモデル化を行う。

(4) モデル荷重の設定

総貨物量および荷役機械荷重モデルをもとに、耐用期間中の荷役機械荷重と作用反復回数の組み合わせの分布（モデル荷重）を設定する。

3. 2 総貨物量の推定

耐用期間中の岸壁で取り扱われる総貨物量の推定にあたっては、過去の統計データや港湾計画上の目標値（港湾全体の値）などをもとに次のように設定した。

(1) 一般棧橋

一般雑貨を取り扱うバースに関しては、これまでの経験によれば、岸壁の整備水準は対象船舶1万トンあたり10m以上が望ましいとされている<sup>5)</sup>。この目標値を貨物取扱に関する統計データと照合したところ、ばらつきはあるものの、ほぼ現実と一致することが分かった。このため、本報告では年間の取扱貨物量としてこの目標値、すなわちバースの単位長さあたりの標準的な取扱貨物量として年間1000t/mを用い、これを実重量トンと考える。

我が国の港湾の大型船バースの標準寸法のうち、貨物船対象の場合、水深-7.5m以深のものは表-1に示すと

表-1 バースの標準寸法<sup>6)</sup>

	バースの長さ (m)	バースの水深 (m)	対象船舶 (重量トン)
貨物船	130	-7.5	5,000
	160	-9.0	8,000
	170	-10.0	10,000
	190	-11.0	15,000
	240	-12.0	30,000
	260	-13.0	40,000
	280	-14.0	50,000
	300	-15.0	70,000

おりである<sup>6)</sup>。ここで、水深を-7.5m以深のものに限定したのは、棧橋構造が採用されるのは経済性や施工性などの観点から基本的に水深-7.5m以深のケースがほとんどであると考えられるためである。水深-7.5mと-10.0mのバースを例にとり1年間の総貨物量を示すと、それぞれ13万t、17万tとなる。なお、バースによっては貨物量がこの値を大きく超える場合も考えられるので、類似のバースによる実績が明らかかな場合はその値を用いるのがよい。特に専用岸壁の場合は、貨物重量の推定は過去の類似バースにおける実績をもとに決定するのがよいと考えられる。例えば、自動車専用岸壁などでは取扱貨物量が4000t/m程度となる場合もある。

(2) コンテナ棧橋

我が国の港湾における外貿コンテナ岸壁の近年の実績として、東京港、横浜港、名古屋港、大阪港、神戸港などのコンテナバースの年間の取扱貨物量（空コンテナを含む）を調べた<sup>7)</sup>結果、1バース当たりの取扱貨物量は平均的に11万TEU程度であることがわかったため、本報告ではこの値を標準の取扱貨物量とし、計画水深とは無関係とする。ここに、TEUとは、Twenty feet Equivalent Unit の略で、コンテナ個数を20フィート換算したものである。

次に、コンテナの個数を算出するため、これらコンテナバースにおける取扱コンテナのサイズ別のシェアを図-4に示す。データの詳細については、付録Cに記したのでそちらを参照されたい。20フィートコンテナは全体の45%程度であり、40フィートのものは55%程度であることがわかる。45フィートコンテナの割合は少ない。この結果より、コンテナの総個数はTEU換算値の約65%となるため、11万TEUのコンテナ貨物個数は、約7万個となる。

以上の結果をまとめると表-2のとおりとなる。貨物量の設定は反復作用回数に反映されるが、ここでいう貨物量は平均的な値であって、安全側の値を取ったものではないことに注意が必要である。しかしながら、疲労限

表-2 取扱貨物量の設定

	バースの水深	年間取扱貨物量	適用
一般棧橋	-7.5m	13万トン	1千トン/m
	-10m	17万トン	1千トン/m
コンテナ棧橋	-	7万個	11万TEU

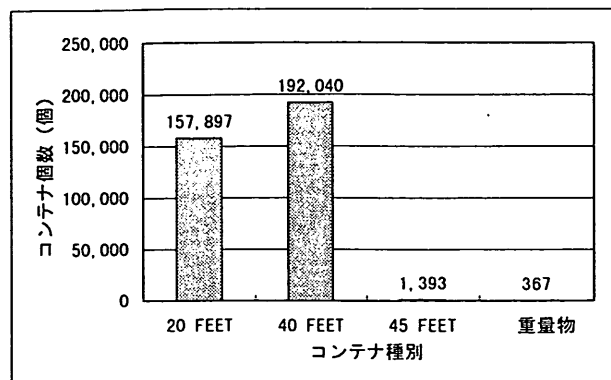


図-4 コンテナのシェア

界状態設計においては反復作用回数は設計疲労強度に対して比較的鈍感であること、また実際の反復作用回数が標準値を上回る危険性は、後述するように荷役機械の走行場所が構造物に最も危険となる部分に集中するという仮定を設けることで相殺されるため、通常のバースであれば十分安全側の設定であると考えられる。なお、コンテナ取扱量は扱う貨物の種類などにより、同じ港湾の中でもバースによってばらつきがあるため、一般棧橋と同様に、類似のバースによる実績が明らかな場合はその値を用いるのがよい。

### 3.3 一般棧橋

#### (1) 貨物・荷役機械の種類と荷役方式

荷役形態としては接岸荷役を想定し、沖荷役は対象外とする。荷役機械としては、雑貨埠頭に一般的に用いられる移動式機械を対象とし、アンローダや固定式機械は対象外とする。アンローダや固定式機械の場合は貨物の種類が特化されていることなどにより、設計段階で発生する断面力分布や取扱総貨物量を正確に把握することが可能であり、モデル荷重の設定も容易であると考えられる。

船積み・陸揚げに用いられる移動式荷役機械としては、トラッククレーン、タイヤマウント式ジブクレーン、ホイールクレーン、クローラクレーンなどがある。前3者で考慮する荷重はアウトリガー反力であり、クローラクレーンでは接地圧である。後述する「荷役機械の荷重アンケート調査」結果などをもとに、本報告ではこのうち、代表的な荷役機械としてトラッククレーンをモデル化の対象とする。

移送・積み降ろしに用いられる移動式荷役機械はフォークリフト、トラック、トレーラー、ログローダなどがあり、本報告では一般雑貨用の荷役機械として代表的な前3者を対象とする。

表-3 各荷役機械荷重の諸元の例

#### (a) トラッククレーン

最大つり上 荷重 (kN)	全装備重量 (kN)	本体主要寸法 (m)					アウトリガー	
		全長	全幅	全高	軸距	張出幅 (m)	フロート (m)	最大反力 (kN)
490	414.8	11.75	3.20	3.80	5.00	5.80	0.55×0.71	—
392	391.3	14.33	3.23	3.80	5.00	5.70	0.50×0.50	—
343	357.9	14.35	2.80	3.69	4.80	5.44	0.47×0.53	432.5

#### (b) フォークリフト

最大能力 (kN)	空車重量 (kN)	車体寸法 (m)			最大輪荷重 (kN)
		全長	全幅	全高	
392	490.00	10.45	3.75	6.80	216.00
245	373.60	9.33	3.83	3.96	138.86
196	333.00	8.33	3.83	3.96	111.11
147	230.50	7.02	2.87	3.30	85.22
98	137.00	5.53	2.22	3.00	55.21

#### (c) トラック

荷重	総荷重 (kN)	前輪荷重 (N)	後輪荷重 (N)	前輪幅 (cm)	後輪幅 (cm)	車輪接地長 (cm)
T-20	196	19,613	78,453	12.5	50	20
T-14	137	13,729	54,917	12.5	50	20

対象とする各荷役機械荷重の諸元の例を表-3に示す。

#### (2) 荷役荷重と反復作用回数の現況

先に抽出した荷役機械による荷重と反復作用回数の現況を調べるため、①荷役機械の荷重および移動現況調査および②荷役機械の荷重アンケート調査の2種類の調査を行った。以下に各調査の概要を示すが、調査の詳細は付録Aおよび付録Bに記した。

##### ① 荷役機械の荷重および移動現況調査

東京港、横浜港、川崎港の一般雑貨を扱うバースを対象に、荷役機械の種類、荷重の大きさ、荷役機械の移動回数を現地調査した。調査は1997年に実施した。調査期間は各港湾それぞれ4日間、1日1バースについて8時間の調査を行った。調査対象バースは、重量の大きな貨物の荷役が行われるバースを選定して行った。本調査という移動回数とは、疲労限界状態設計における反復作用回数であり、陸揚げの場合で説明すると、クレーン系機械についてはクレーンが貨物船上から貨物を吊り上げ、旋回してエプロンまたは荷役機械上に降ろす回数であり、フォークリフトなどの移送荷役機械については空荷の状態でもクレーンの近くに移動し、貨物が搭載されてからヤ

表-4 荷役作業実績

荷役機械	積載重量/ 定格荷重	1地点当たりの 1日の往復回数
トラッククレーン	17%~27%	163~506
マウントクレーン(タイヤ式)	49%~56%	184
トレーラ	83%~100%	7~98
11tトラック	80%~100%	6~46
10tダンプ	100%	14~74
フォークリフト	42%~100%	29~571

ードへ移動する回数である。

本調査により得られた荷役機械の取扱貨物重量の実績をまとめると表-4のとおりである。

クレーン系機械の場合、1回当たりの吊り貨物重量は、トラッククレーンについては貨物の種類によらず定格荷重の17~27%で、平均すると20%程度である。クレーンの吊り上げ可能荷重は作業半径と反比例の関係にあるため、実際の吊り上げ荷重は定格荷重に比べて小さい。製紙を扱うタイヤ式のマウントクレーンでは50%程度であった。

ダンプおよびトラックについては、作業の効率化・迅速化の観点から、どの種類の貨物についてもほぼ定格荷重に相当する重量の貨物を搭載して移動していることがわかる。トレーラについても、1回当たりの積載貨物重量はほぼ定格荷重に等しい。フォークリフトについては定格荷重の約40~100%とばらつきが大きい。このうち、重量物を扱った場合は、定格荷重の約75~100%であった。

荷役機械の移動回数についてみると、トラッククレーンは約200~500回と非常に移動回数が多い。ついで移動回数の多い場合があった機械はフォークリフトで、最大で550回以上の移動が観察された。最小値は30回程度と小さく、貨物の種類や機械の諸元によっても大きくばらつきがあることがわかる。また、トレーラ、トラック、ダンプなどの移動回数は50回程度を中心にばらつきがあることがわかる。

## ②荷役機械の荷重アンケート調査

一般雑貨を扱うエプロン上で実際に使用されている荷役機械の種類、各荷役機械の取扱貨物重量を調べるため、全国の港湾運送事業者を対象にアンケート調査を行った。調査は1991年に実施された。アンケート回答企業数は48社である。回答結果をもとに、荷役に用いられている荷役機械の種類をまとめると表-5のようになる。貨物搬送用の荷役機械としてはフォークリフトの占める割合が

表-5 荷役機械の種類

荷役機械	保有台数(台)
フォークリフト	250
トラクターショベル	3
ログローダー	12
トラッククレーン	25
ホイールクレーン	2
クローラクレーン	0
トラック	22
トラクター(含むキャリアカー)	72
トレーラ	32
その他	46
計	464

表-6 荷役機械荷重

荷役機械	積載重量/ 定格荷重	1地点当たりの 1日の往復回数
トラッククレーン	6%~50%	3~400
トレーラ	69%~100%	150
トラック	74%~100%	-
フォークリフト	20%~100%	24~500

圧倒的に多く、半数以上となっていることがわかる。ついでトラクター、トレーラの順である。クレーン系機械としてはトラッククレーンが最も回答台数が多い。荷役機械の種類に関しては、遠藤ら<sup>9)</sup>が1975年に同様のアンケート調査を実施しているが、基本的な傾向としては今回の調査結果と同様のシェアが得られており、荷役機械の構成は15年以上を経過した時点でもほとんど変わらないといえる。

荷役機械荷重および移動回数を機械別にまとめた結果を表-6に示す。これをみると、前述の「荷役機械の荷重および移動現況調査」と同様の傾向の結果が得られている。トラッククレーンの吊り荷重は最大で定格荷重の50%という回答があるが、最小値は6%で、平均的にはやはり20%程度と考えるのが妥当であると思われる。往復回数は最大400回という例があるが、最小値は3回であり、ばらつきが非常に大きい。トレーラやトラックについては定格荷重に等しい荷重を積載する場合があり、フォークリフトについては定格荷重の20~100%とばらつきが非常に大きく、往復回数についても大きくばらついている。

なお、本調査ではエプロン上の積載荷重についても調査を行っている。積載荷重の値は10kN/m<sup>2</sup>程度の値を取る場合が全体の約30%、20kN/m<sup>2</sup>程度の場合が全体の約

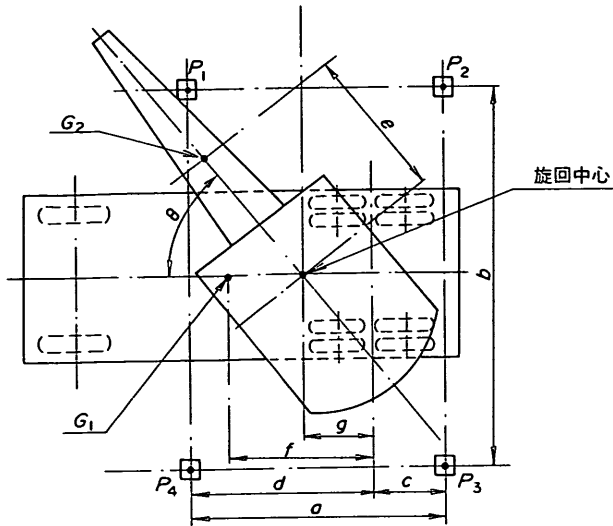


図-5 アウトリガー反力計算式説明図

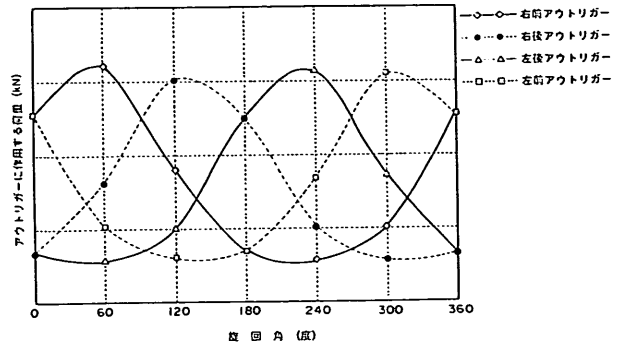


図-6 旋回角度とアウトリガー反力の関係

$$P_4 = G_1 \frac{c+f}{2a} + G_2 \frac{c+g+e \cdot \cos \theta}{a} \cdot \frac{b/2-e \cdot \sin \theta}{b} \quad (12)$$

20%などとなっており、载荷の回数は耐用期間を50年とすると1～3万回程度という結果が得られている。積載荷重は荷重の大きさとしては小さく、反復作用回数も比較的少ないため、疲労限界状態の検討にあたっては除外してよいものと考えられる。

(3) モデル荷重

①トラッククレーン

トラッククレーンの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、吊り荷を含む上部旋回体の重心位置および旋回角度に大きく依存する。JIS D 6302-1976「自走クレーンの仕様書様式」によると、アウトリガー反力は式(9)～(12)によって計算できる(図-5参照)。

図-6に、旋回角度とアウトリガー反力の変化の例を示す。4つのアウトリガー反力の大小関係、旋回角とアウトリガー反力の変化の度合いは機種によって異なるが、アウトリガー反力は、上部旋回体の旋回中心と吊り荷を結ぶ軸線がアウトリガー位置上にある時にほぼ最大値となる。

$$P_1 = G_1 \frac{c+f}{2a} + G_2 \frac{c+g+e \cdot \cos \theta}{a} \cdot \frac{b/2+e \cdot \sin \theta}{b} \quad (9)$$

$$P_2 = G_1 \frac{d-f}{2a} + G_2 \frac{d-g-e \cdot \cos \theta}{a} \cdot \frac{b/2+e \cdot \sin \theta}{b} \quad (10)$$

$$P_3 = G_1 \frac{d-f}{2a} + G_2 \frac{d-g-e \cdot \cos \theta}{a} \cdot \frac{b/2-e \cdot \sin \theta}{b} \quad (11)$$

ここに、

- $P_1 \sim P_4$  : アウトリガー反力(kN)
- $G_1$  : 下部走行体の重量(kN)
- $G_2$  : 上部走行体重量と吊り荷荷重の和(kN)
- $a, b$  : アウトリガーフロート位置寸法(m)
- $c$  : 複軸中心から後アウトリガー中心までの水平距離(m)
- $d$  : 複軸中心から前アウトリガー中心までの水平距離(m)
- $e$  : 旋回中心から上部旋回体と吊り上げ実荷重の重心位置までの水平距離(m)
- $f$  : 複軸中心線から下部走行体重心位置線までの水平距離(m)
- $g$  : 上部旋回体の取付位置寸法(m)
- $\theta$  : 上部旋回体の旋回角(°)

トラッククレーンのアウトリガー反力の最大値の目安は、トラッククレーン本体重量と吊り荷荷重の総和の70～80%といわれているが、機種によって当然異なる。

港湾荷役に用いられることの多い35t吊り機械式トラッククレーンの諸元およびアウトリガー最大反力の例を図-7に示す。ここで示した機種は、図-6に示した機種とは異なるため、アウトリガー反力の傾向は互いに異なっている。図-7に示した各最大反力は、 $P_1$ が最大値となる時の各反力の値である。ここでいう最大反力とは、ある機種について吊り荷重、作業半径をさまざまに変化させた時に想定されるアウトリガー反力の最大値の意味で、これまで設計で考慮されてきた値である。以下ではこの最大反力と、ある特定の吊り荷重・作業半径に限定

した際のアウトリガー反力の変動値のうちの最大値とを区別するために、前者を設計最大反力と呼び、後者を最大変動反力と呼ぶこととする。

反力が最大となる $P_1$ の値に着目して、作業半径および吊り荷重の変化によるアウトリガーの最大変動反力の変化の例を図-8に示す。この図は、旋回角度をアウトリガー反力が最大となる値に固定した上で、作業半径及び吊り荷重がクレーンの安定上許容される上限値をとった場合について最大変動反力の値などを描いたものである。図よりわかるように、作業半径が増加するにつれて吊り上げ可能荷重は反比例的に減少するが、吊り上げ荷重により発生するモーメントはほぼ一定であるため、アウトリガー最大変動反力はほとんど変化しない。機種により多少の差はあるが、全般的な傾向は機種によらず同じと考えて良い。

以上より、本報告においては、アウトリガー $P_1$ に着目した場合、上部旋回体が $P_1$ 側に旋回して貨物を揚降する場合は、吊り荷重、作業半径によらず最大変動反力は設計最大反力に等しいと考えることとする。また、1回あたりの吊り荷重は、前述の荷重現況調査結果より、定格荷重の20%とする。

実際の荷役の現場では、吊り荷の荷重は取り扱う貨物

の種類に依存するため、ある貨物船が着岸した際の1回の荷役作業において、荷役作業半径が短いときと長いときとで1回当たりの吊り荷重に大きな変化はないと考えられる。吊り上げ荷重が同じ時に、作業半径が機体の安定上許容される最大半径よりも短い場合は $P_1$ の最大変動反力は設計最大反力の値よりも小さいと考えられ、 $P_1$ 側に旋回する場合必ず設計最大反力をとるという仮定は安全側の仮定といえる。より合理的なモデルとするためには1回当たりの吊り荷重分布、クレーンの作業半径、1回ごとの揚降時のブーム・吊り荷重の重心位置変化などについて、貨物船および貨物の種類ごとに設定する必要があるが、現時点ではデータが不足している。また、これらの値はトラッククレーンの機種によっても異なるが、アウトリガー反力として設計者に示されるのは一般に図-7に示した値のみであり、設計者が詳細なデータを入力することが困難であることを考えると、いたずらに精緻なモデルを構築することはかえって設計を煩雑化させるだけであるとも考えられる。設計のバランスとしてもここで述べた方法が適切であると思われる。

次に、 $P_1$ の最小値について検討する。 $P_1$ の最小値も、吊り荷重、旋回角度、作業半径などによって変化する。ここでは、車体長軸を対称に $P_1$ と同方向に位置するアウトリガー反力 $P_2$ の、 $P_1$ が設計最大反力をとるときの値、

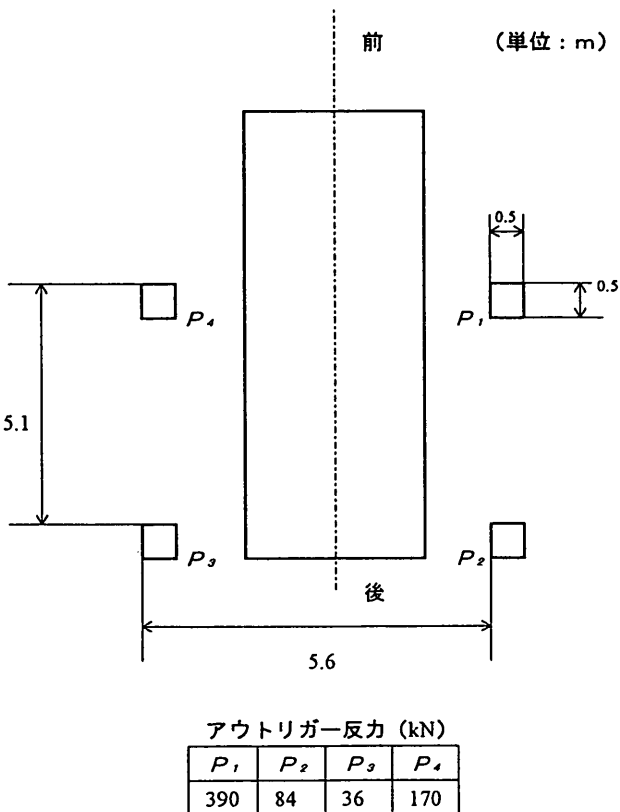
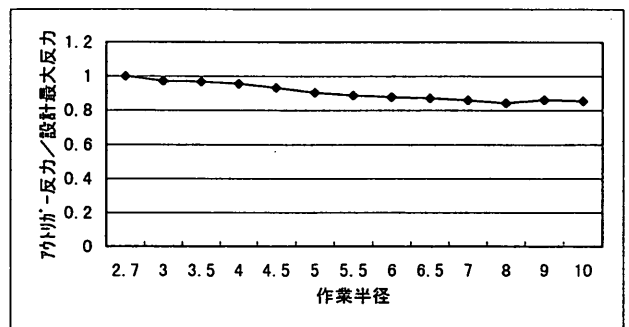
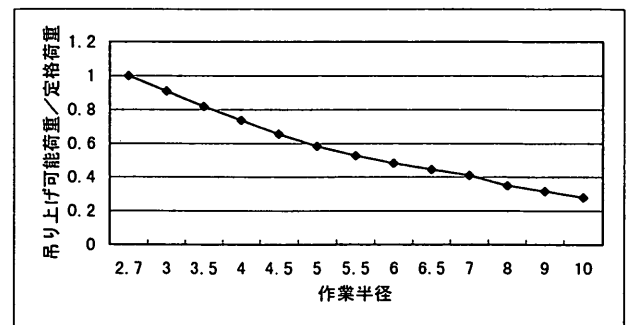


図-7 トラッククレーン(35t)諸元の例



(a) アウトリガー反力の変化の例



(b) 吊り上げ可能荷重の変化の例

図-8 トラッククレーン荷重の例

すなわち図-7に $P_2$ として示した値をとることとする。これは、数種類の荷役機械について調査したところ、実際の荷役作業時に想定される旋回角度の範囲における $P_1$ の最小値は、ほぼ $P_1$ が最大値をとるときの $P_2$ の値に等しいことがわかったためである。

クレーンの旋回作業は $P_1 \sim P_2$ 方向に限定されることは考えられないため、 $P_3 \sim P_4$ 方向についても考慮する必要がある。ここでは、数種類の荷役機械についての調査結果より、 $P_3 \sim P_4$ 方向に荷役が行われているときのアウトリガー反力の最大値は図-7の $P_4$ の値を、最小値は $P_3$ の値を取ると考える。

作用反復回数については、先に述べた「荷役機械の荷重および移動現況調査」から、トラッククレーンの平均的な吊り上げ荷重である定格荷重の20%の荷重で荷役が行われると考え、クレーンの旋回回数は総貨物量を定格荷重の20%の貨物荷重で除した値とする。これを $P_1 \sim P_2$ 方向と $P_3 \sim P_4$ 方向について同数場降すると仮定する。取扱貨物量が計画で定める値を超える可能性はあるが、1台のトラッククレーンによる荷役で、すべての荷役は同一位置、すなわち部材に最も危険となる位置にアウトリガーを接地するという仮定が含まれているため、総体的にはかなり安全側の反復作用回数が導かれると思われる。

以上をまとめると、トラッククレーンのアウトリガー反力のモデル荷重は表-7のようになる。なお、荷役前後のアウトリガー接地/離地時に生じる変動荷重については、荷役前であることから重心位置の偏心はほとんどなく、各アウトリガー反力はほぼ同等の値を取る。反力値は図-7に示した35tクラスのトラッククレーンで150kN程度と小さく、また作用回数も荷役の前後のみであるため荷役時と比較して非常に少なく、無視してよいと考えられる。

②フォークリフト

フォークリフトの代表的な機種について輪圧の諸元の例を示すと図-9のようである。前述したように、「荷役機械の荷重および移動現況調査」によると、フォークリフトの積載荷重は重量物を扱った場合は定格荷重の約75~100%である。これより、安全側の措置としては毎

回定格荷重を積載して荷役が行われると考えることもできるが、条件によっては安全側に過ぎる場合も考えられる。そこで、「荷役機械の荷重および移動現況調査」および「荷役機械の荷重アンケート調査」をもとに、フォークリフトの積載荷重を定格荷重別に整理した。結果を図-10に示す。図-10(a)は積載重量と定格荷重の比の値（以下、積載重量比と呼ぶ）についての分布図であり、図-10(b)は車体を含めた全重量と定格全重量の比の値（以下、全重量比と呼ぶ）の分布図である。これらよりわかるように、各重量比の値はフォークリフトの定格荷重には依存しないと考えられる。そこで、全てのデータを対象に、各重量比の頻度分布を描いたものが図-11である。図-11(b)より、設計に直接関係する全重量比の分布は正規分布として近似できることがわかる。全重量比の平均値は0.84、標準偏差は0.15である。この結果よりまず、荷重のモデルとして、全重量比で、1.0、0.9、0.8、0.7の4種類を設定する。全重量比が0.6以下の小さな輪荷重については疲労限界状態に対して問題とならないと考えられるためモデルから除外する。設計を行う

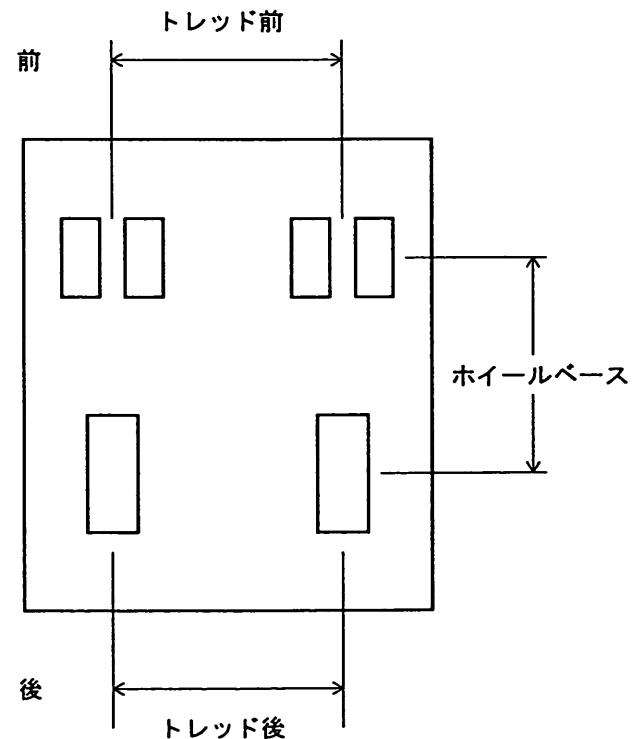


表-7 アウトリガー反力のモデル荷重

変動荷重	作用反復回数
$P_1 - P_2$	(取扱総貨物量 × 0.5) / (定格荷重 × 0.2)
$P_4 - P_3$	(取扱総貨物量 × 0.5) / (定格荷重 × 0.2)

機種	ホイールベース (m)	トレッド (m)		積載状態	自重 (kN)	輪圧 (kN/輪)		接地面積 (cm <sup>2</sup> /輪)			
		前	後			前輪	後輪	前輪		後輪	
								幅 (cm)	長 (cm)	幅 (cm)	長 (cm)
T-250	4.5	2.2	2.3	空	293.22	32.36	81.40	0.36	0.13	0.36	0.28
				定格荷重	538.39	120.62	28.44	0.38	0.37	0.38	0.11
				片側輪数		2	1				

図-9 フォークリフトの輪圧の諸元の例

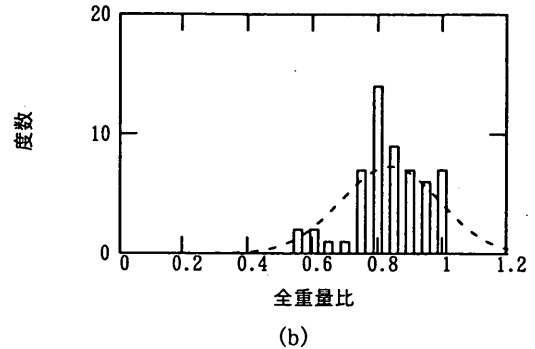
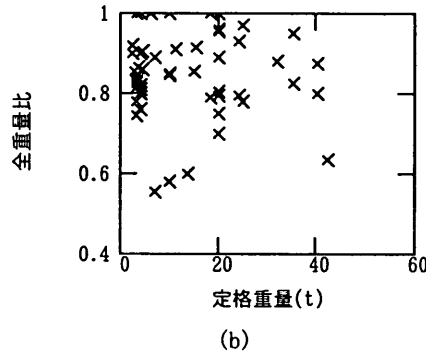
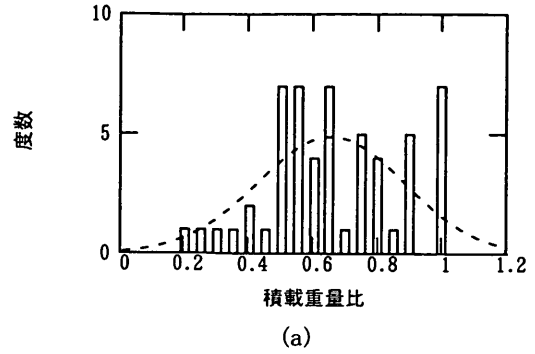
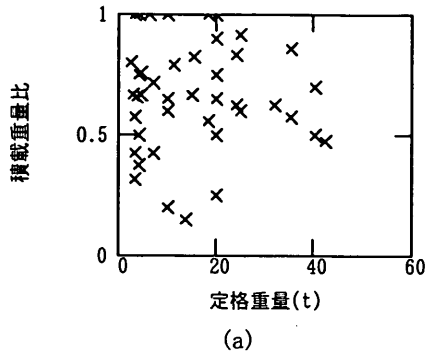


図-10 フォークリフトの重量比

図-11 フォークリフトの重量比

際は、全重量比に設計で考慮する最大の輪圧を乗じた輪圧を用いればよい。全重量比と最大輪圧の比の値は厳密には一定ではなく機械によって異なると考えられるため、設計時に使用する機械が明確になっている場合はその機械の特性に応じた形で各全重量比に対する輪圧を求めるのがよい。

次に各重量比の反復作用回数について検討する。全重量比の頻度分布にあてはめた正規分布を用いると、全重量比が0.95以上となる割合は23.2%、0.85~0.95となる割合は23.7%、0.75~0.85となる割合は24.9%、0.75以下となる割合は28.3%となる。疲労限界状態特性は最大変動応力度や静的荷重（部材自重）作用時の応力度の比の値などと相関性があり、この応力度の比の値が大きいほど、終局限界状態や使用限界状態に比較して、より疲労限界状態が支配的となる傾向にある。このため疲労限界状態設計のためのモデルとしては、全重量比が大きい部分について以上の結果を安全側に丸め、全重量比の発生頻度確率について、比の値1.0については25%、0.9について25%、0.8について25%、0.7について25%とする。

次に、積載重量比と全重量比の関係を示したものが図-12である。疲労限界が問題となる全重量比が0.8以上程度のデータに関して式(13)が回帰的に成立するため、この関係を用いて各全重量比に対する積載重量比を設定する。すなわち、全重量比が1.0の場合は、積載重量比は1.0、0.9の場合に0.75、0.8の場合に0.5、0.7の場合

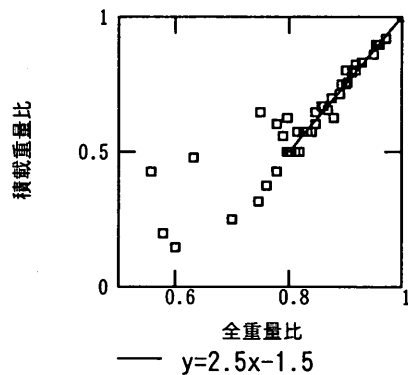


図-12 積載重量比と全重量比の関係

で0.25となる。これらの結果を用いて、反復作用回数は式(14)で計算するが、ここでは全ての重量比の発生頻度確率が等しいため、各重量比の反復作用回数はすべて総貨物量を定格荷重で除した値の0.4倍となる。

なお、梁の設計にあたっては、梁上の走行場所が問題となる。梁の検討においては、4. で述べるように、移動荷重が梁上を並列あるいは直列に走行すると考えて影響線を用いて断面力を算出する。疲労限界状態設計においても従来より用いられてきた方法を踏襲することが効率的であると考えられることから、1回の反復作用回数ごとに、移動荷重が梁上を並列および直列に1往復するものとする。



表-8 フォークリフト輪圧のモデル荷重

変動荷重	作用反復回数
最大輪荷重	(取扱総貨物量/定格荷重) × 0.4
最大輪荷重 × 0.9	(取扱総貨物量/定格荷重) × 0.4
最大輪荷重 × 0.8	(取扱総貨物量/定格荷重) × 0.4
最大輪荷重 × 0.7	(取扱総貨物量/定格荷重) × 0.4
空荷時輪荷重	(取扱総貨物量/定格荷重) × 1.6

$$\text{積載重量比} = 2.5 \times \text{全重量比} - 1.5 \quad (13)$$

$$\text{反復回数} = \frac{\text{総貨物量}}{\text{定格荷重}} \cdot \frac{\text{発生確率}}{\sum \text{発生確率} \times \text{積載重量比}} \quad (14)$$

以上の結果をまとめて、フォークリフト輪圧のモデル荷重は表-8のとおりとする。なお、複数の種類のフォークリフトの使用が見込まれる場合は、一般的には、輪荷重が大きいフォークリフトが全ての貨物を荷役すると考えて疲労限界状態設計を行えば安全側の結果を得る。ただし、T-250を上回るクラスの輪圧の大きなフォークリフトが設計対象荷役機械に含まれる場合は、実際の荷役において、やや機動性に欠ける大型機械がエプロン上の荷役に頻繁に用いられるかどうか疑問があり、この仮定は安全側に過ぎる結果を与えることが予想されるため、モデル荷重の設定にあたっては慎重に検討する必要がある。

### ③トラックおよびトレーラー

トラックおよびトレーラーはトラッククレーンやフォークリフトなどと比較すると輪荷重が比較的小さいため、設計断面力の計算に際して支配的となるケースは少ないと考えられる。前述の「荷役機械の荷重および移動現況調査」をみると、トラックやトレーラーについては、1回当たりの積載荷重は定格荷重の80~100%の範囲にあるため、毎回定格荷重を積載すると考えてモデル荷重を設定してよいと考えられる。梁上の走行については、前述フォークリフトと同様に、1回の反復作用回数ごとに梁上を並列および直列に1往復するものとする。トラックおよびトレーラーのモデル荷重を表-9に示す。

## 3.4 コンテナ棧橋

### (1) 貨物・荷役機械の種類と荷役方式

ガントリークレーンを用いる場合のコンテナ貨物の荷役形態は大別すると3種類<sup>9) 10)</sup>である。陸揚げの場合で説明すると次の通りである。

表-9 トラック、トレーラーのモデル荷重

変動荷重	作用反復回数
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

表-10 コンテナ棧橋の荷役機械荷重諸元例

#### (a) ガントリークレーン

機種	定格荷重 (kN)	レール間×脚内有効幅 (m)	車輪数		最大輪荷重 (kN)		重量 (kN)
			海面	陸面	海面	陸面	
-	544.3	30.5 × 16.4	16	16	380.5	369.7	7551

#### (b) ストラドルキャリア

機種	最大荷重 (kN)	コンテナ (ft)	全長 (m)	全幅 (m)	全高 (m)	軸距 (m)	車両重量 (kN)	輪荷重	輪数 (前/後)
-	314	20, 40	12.2	4.64	7.9	6	412	均等	4/4

#### (c) トレーラー

	全幅 (m)	連結全長 (m)	最大積載量 (kN)	軸重			車両総重量 (kN)
				P1 (kN)	P2 (kN)	P3 (kN)	
20ft用	2.48	11.310	199.271	39.668	96.399	151.415	287.482
40ft用	2.44	14.925	245.168	50.553	95.958	194.221	340.732
40ft用(専用)	2.60	15.840	298.907	47.170	130.880	226.239	404.309

### ① ストラドルキャリア方式

ガントリークレーンによりいったんエプロン上に降ろされたコンテナをストラドルキャリアがマーシャリングヤードに運搬する方式

### ② セミシャーシ方式

ガントリークレーンにより陸揚げされたコンテナはトラクターに牽引されたシャーシ上に直接積み、マーシャリングヤードに運搬された後、トランスファークレーンにより積み降ろされる方式であり、トランスファークレーン方式とも呼ばれる。

### ③ シャーシ方式

ガントリークレーンによりシャーシ上にコンテナを積み、コンテナはシャーシに載せたままでマーシャリングヤード上に配置される方式

現在、我が国で最も多く採用されている荷役形態はストラドルキャリア方式であり、ついでセミシャーシ方式である。荷役形態からわかるように、ストラドルキャリア荷重とシャーシ荷重が同じ棧橋上に作用することはない。以上により、コンテナ棧橋については以下の荷役機械を想定する。

- ・ガントリークレーン
- ・ストラドルキャリア
- ・シャーシ (トラクター・トレーラー)

各荷役機械荷重の諸元の例を表-10に示す。

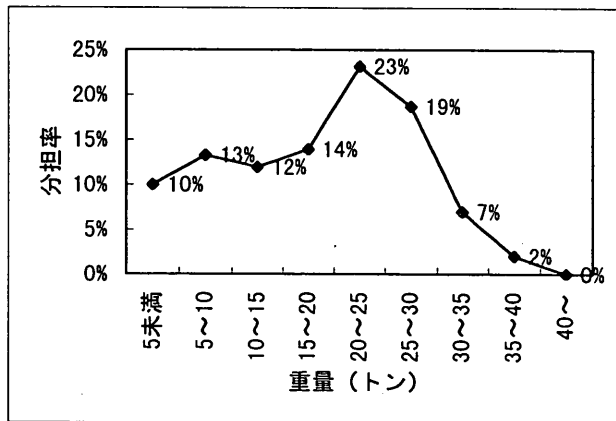
(2) 荷役荷重と反復作用回数の現況

① コンテナ貨物重量

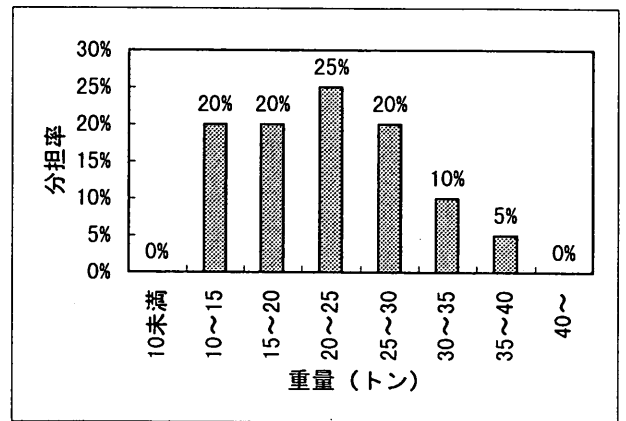
港湾統計データとして示されている貨物量はフレート・トン単位とするものである。フレート・トンとは、容積は1.113m<sup>3</sup>、重量は1000kgをもって1トンとし、重量または容積のいずれか大きい方をもとに算出される。コンテナ貨物の場合、基本的にコンテナの容積トンが重量トンを上回る場合がほとんどで、構造物の設計に必要な重量トンの値を港湾統計データより得ることはできない。

そこで、本報告では、東京港、横浜港、名古屋港などの主要なコンテナバースについて、ガントリークレーンに設置されているロードセルから得られたコンテナ貨物の実重量データを入手し、分析した。詳細は付録Cに示すとおりである。コンテナ貨物の実重量分布は該当するバースにおける取扱貨物の種類(品目)、実/空コンテナの比率などによって異なるが、図-13(a)、(b)に示す2種類の分布に大別することができる。この図を疲労限

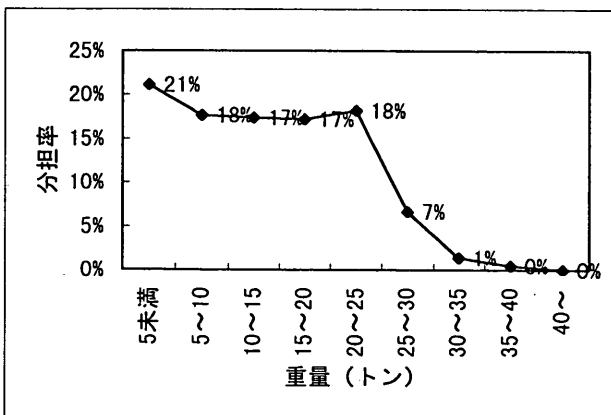
界状態設計上問題となる最大荷重付近の重量について安全側の設計となるようにまとめると、図-14が得られる。図の(a)、(b)はそれぞれ図-13の(a)、(b)にそれぞれ対応している。これをみると、最大荷重付近については大きな差がないことから、設計者が類別化を行う際の紛れを回避するため、疲労設計上安全側の図-14(a)を輪荷重算出のためのコンテナ貨物重量モデルとする。このコンテナ重量の分布は、すべての種類のコンテナについて総合して描いたものである。したがって、反復作用回数の算出にあたっては、前述したコンテナ総取扱個数(標準的なバースの場合7万個/年)に図-14(a)のコンテナ重量モデルの分担率を乗じ、さらに輪荷重作用のある1つのブロックへの集中度合を考慮する。1ブロックへの集中度合は、ブロック長と対象船舶長さの比で表現する。すなわち、ある特定のブロックにおいて揚降されるコンテナの個数は式(15)によって表される。1ブロックあたりのガントリークレーンによる揚降回数、ストラドルキャリアおよびシャーシの走行回数は式(15)による値



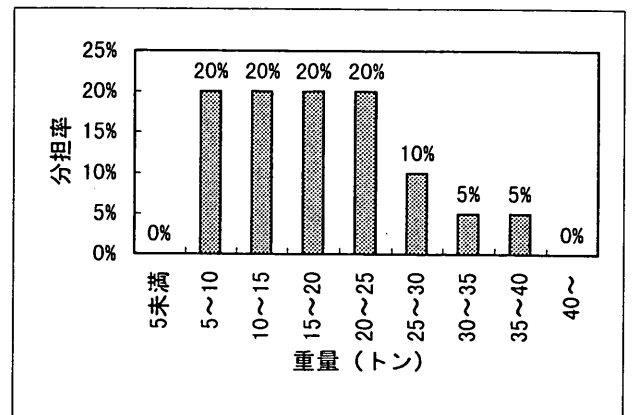
(a)



(b)



(b)



(b)

図-13 コンテナ貨物重量分布

図-14 コンテナ貨物重量のモデル荷重

表-11 ストラドルキャリア、シャーシのモデル荷重

変動荷重	作用反復回数(回/年)
最大輪荷重 × 車体重量 + コンテナ重量 車体重量 + コンテナ定格荷重	—
コンテナ重量 40t	総取扱コンテナ数 <sup>(注)</sup> × 0.05
コンテナ重量 35t	総取扱コンテナ数 <sup>(注)</sup> × 0.10
コンテナ重量 30t	総取扱コンテナ数 <sup>(注)</sup> × 0.20
コンテナ重量 25t	総取扱コンテナ数 <sup>(注)</sup> × 0.25
コンテナ重量 20t	総取扱コンテナ数 <sup>(注)</sup> × 0.20
コンテナ重量 15t	総取扱コンテナ数 <sup>(注)</sup> × 0.20
空荷時輪荷重	総取扱コンテナ数 <sup>(注)</sup>

注) 総取扱コンテナ数=7万×(ブロック長/対象船舶長さ)

を用いることとする。なおストラドルキャリアやシャーシについては、隣接するブロック上で荷役作業を行うために、対象とするブロック上を走行することが考えられるが、走行箇所はかならず部材にとって最も危険な位置とする仮定を設けることで、総体的には安全側の作用反復回数の設定となると考えられる。

コンテナ貨物を扱うストラドルキャリア、シャーシのモデル荷重は表-11のようにまとめられる。

$$\text{コンテナ個数} = 7 \text{ 万個} \cdot \frac{\text{ブロック長 (m)}}{\text{対象船舶長さ (m)}} \quad (15)$$

②ガントリークレーン

ガントリークレーンの移動は、コンテナを揚降する際のトロリの横行、荷役作業場所を変えるための走行とに分類できる。

設計上考慮されるガントリークレーンの輪荷重の一例を表-12に示す。表に示すアウトリーチとは海側最大位置にトロリが移動した状態であり、バックリーチとは陸側最大位置に移動した状態のことである。ガントリークレーンは、他の荷役機械と異なり、機械本体重量が数千トンにもおよぶため、貨物の重量は機体の重量の1%程度しかない。このため、ガントリークレーンの輪荷重は、

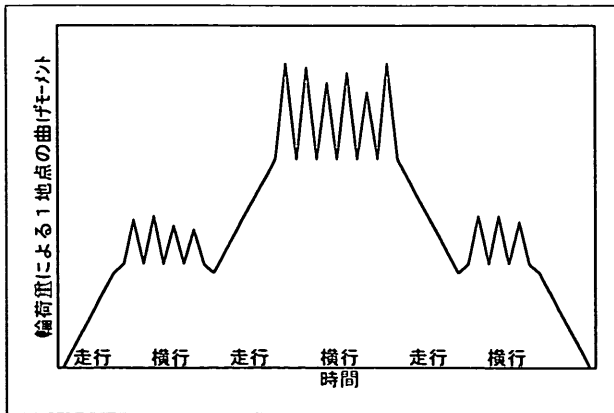


図-15 走行・横行による輪荷重の変化

表-12 ガントリークレーンの輪荷重の例

		(単位: kN)	
		トロリアウトリーチ	トロリバックリーチ
作業時 (ブーム下げ状態 定格荷重吊り上げ)	海側	458	306
	陸側	171	324
		トロリ休止位置	—
休止時 (ブーム上げ状態 吊り具のみ)	海側	294	—
	陸側	319	—
地震時 (kh=0.20)	海側	656	—
	陸側	510	—
暴風時 (風速 55m/s)	海側	661	—
	陸側	628	—

※作業時及び休止時の輪荷重は、風速16m/sの風荷重を考慮している。

コンテナ貨物の重量および揚降/静止の条件よりも、トロリの位置、ブームの状態などにより強く依存する。ガントリークレーンの走行・横行による輪荷重の変化の模式図を図-15に示す。

表-12に示したガントリークレーンの例では、部材に作用する輪荷重のトロリの横行による変動分は、アウトリーチからバックリーチまでトロリが移動した場合でも150kN程度であるのに対し、走行による変動分は、走行前後で荷役が行われていない場合で、トロリ休止位置における輪荷重の載荷/除荷による変動輪荷重が300kN程度、走行前後で荷役が行われている場合、海側輪荷重では、アウトリーチ～休止位置～走行による除荷を想定すると450kN程度の変動となり、走行条件の方が疲労特性に対しては支配的な要因となる。

以上より、ガントリークレーンの変動輪荷重については、横行条件についてはアウトリーチ～バックリーチの輪荷重の差を、また走行条件については、走行前後で荷役が行われている条件のうち最も厳しい条件を想定し、海側輪荷重についてはトロリアウトリーチ輪荷重を、また陸側輪荷重についてはトロリバックリーチ輪荷重を変動輪荷重とする。

次に、ガントリークレーンの走行回数について検討する。ガントリークレーンの荷役時の走行については、過去に奥山ら<sup>11)</sup>が調査を行った例があるものの、まとまった観察事例は皆無である。奥山ら<sup>11)</sup>の2つの観察事例をみると、1船につきガントリークレーン2台で荷役を行う際、クレーンの動きとしては1方向の場合が多いが、状況によってはある特定の箇所を数回往復する場合もある。これはあらかじめ決められるコンテナの積み降ろし位置などを勘案して定められるものであるため、数個の観察事例をもとに一般化を行うことは適切ではない。ここでは、ガントリークレーンは入港船1船につきパース上を1往復するものと仮定する。次に、我が国のコン

表-13 ガントリークレーンのモデル荷重

		変動荷重	作用反復回数(回/年)
横行	海側	作業時最大輪荷重-作業時最小輪荷重	総取扱コンテナ数 <sup>(注)</sup>
	陸側	作業時最大輪荷重-作業時最小輪荷重	総取扱コンテナ数 <sup>(注)</sup>
走行	海側	作業時最大輪荷重	600
	陸側	作業時最大輪荷重	600

注) 総取扱コンテナ数=7万×(700kg/対象船舶長さ)

テナバースにおける年間の入港コンテナ船隻数は、荷役が比較的頻繁に行われているバースで約130~400隻程度で、平均的には約275隻である<sup>7)</sup>ため、安全側のみで年間300隻の入港を想定すればよいと思われる。これより、年間あたりのガントリークレーンの移動回数は300往復、すなわち反復作用回数としては600回となる。以上をまとめると、ガントリークレーンのモデル荷重は表-13のようになる。

図-16に、A港におけるガントリークレーンの走行ブレーキ回数を示す。いま、水深14mの岸壁の対象コンテナ船を40000tとすると、標準船長は約260mとなる。いま20フィートコンテナのみを扱ったと仮定すると、1船につき1往復した場合の法線方向の移動回数は、600回×260/6≒26000回となる。図-16の走行ブレーキは荷役時のみならず、休憩時や作業終了時のブレーキ回数もカウントされている。また、荷役作業のため走行する際も、1回の移動につき必ずしも1回のブレーキ使用とは限らず、位置決めのために数回ブレーキを使用することも考えられるため、実際の移動回数よりも大きな回数が得られていると考えられる。ここで述べた方法による移動回数とブレーキ使用回数がほぼ一致することは、本報告で想定する移動回数は安全側の結果を与えることを示しているといえる。

また、横行の移動回数については、式(15)によって算定することとする。

#### 4. モデル荷重の影響度分析

##### 4.1 断面力算出方法

本節では、栈橋上部工について荷役機械荷重が作用した際の断面力の算出方法として現在一般的に用いられている手法を紹介する。

##### (1) 移動荷重による床版の断面力算出方法

###### ①前提条件

床版は、梁により固定された固定スラブないしは準固定スラブとして扱い、杭中心間隔をスパン長とする単独の版として解析される。床版の短スパンと長スパンの比が0.4より大きい場合は、4辺固定2方向版として扱い、0.4以下の場合には、2辺固定1方向版として扱う。

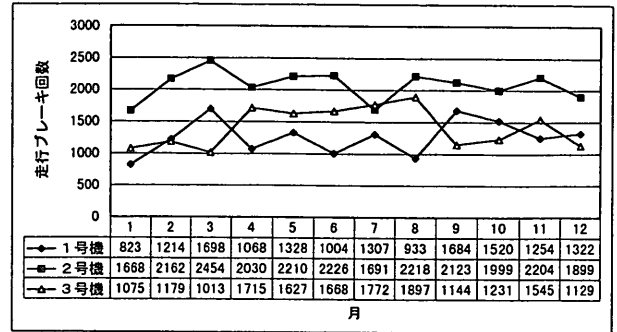


図-16 ガントリークレーンブレーキ使用回数

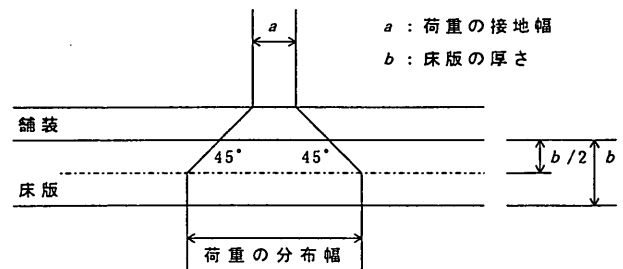


図-17 荷重の接地幅と分布幅の関係

##### ②4辺固定2方向版に対する断面力算出方法

トラックやトレーラーなどのように、1つの床版上で複数の機械による荷役が同時に行われる可能性のある荷役機械については、荷重を式(16)により等分布荷重に換算する。トラッククレーンのように、荷役機械の車線幅(有効幅)が短手方向のスパン長以上の場合には等分布換算しない。

$$W_i = \frac{P}{(0.5L + 0.25l)C} \quad (16)$$

ここに、

$W_i$ : 換算等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$P$ : 移動荷重1台の後輪分担荷重 (kN)

$L$ : 長手方向のスパン長 (m)

$l$ : 短手方向のスパン長 (m)

$C$ : 車線幅(有効幅) (m)

単数の荷役機械による断面力は、部分等分布荷重に換算して算出する。部分等分布荷重の算出にあたり、輪荷重等の分布幅を縦横方向ともに図-17に示すように、載荷地点から床版の中心まで45°の角度で分散させた分布幅を用いる。

等分布荷重による曲げモーメントは、港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>9)</sup>などに示されたモーメント係数を

用いて式(17-1)～(17-4)により算出する。

$\lambda \leq 1$  の場合

$$M_x = X \cdot q \cdot l_x^2 \quad (17-1)$$

$$M_y = Y \cdot q \cdot l_x^2 \quad (17-2)$$

$\lambda > 1$  の場合

$$M_x = X \cdot q \cdot l_y^2 \quad (17-3)$$

$$M_y = Y \cdot q \cdot l_y^2 \quad (17-4)$$

ここに、

$$\lambda : \text{辺長比} \quad \lambda = l_x / l_y$$

$M_x, M_y$  : 求める点での  $X$  方向,  $Y$  方向の単位幅当りの曲げモーメント ( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ )

$X, Y$  : 求める点での  $X$  方向,  $Y$  方向の曲げモーメント係数

$l_x, l_y$  :  $X$  方向,  $Y$  方向のスパン長 (m)

$q$  : 等分布荷重 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

スラブに等分布荷重が作用する場合、基本的に曲げが支配的となるが、せん断安全性を照査する方法としては、例えばピジョウ(Pigeaud)の近似式により式(18-1)～(18-2)のように算出する方法がある。

短辺中央

$$S_x = \frac{P}{2l_y + l_x} \quad (18-1)$$

長辺中央

$$S_y = \frac{P}{3l_y} \quad (18-2)$$

ここに、

$S_x, S_y$  :  $X$  辺,  $Y$  辺の中央部における単位幅当りのせん断力 ( $\text{kN}/\text{m}$ )

$l_x, l_y$  : 短辺, 長辺の長さ (m)

$P$  : 床版全体にかかる荷重 (kN)

$$P = q \cdot l_x \cdot l_y$$

ただし、 $q$  : 等分布荷重 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

部分等分布荷重に対する曲げモーメントは、ピジョウの計算図表及び以下に示す近似式(19-1)～(19-2)により算出する。係数0.8は版の固定条件を示す値で、棧橋上部工の場合、通常準固定条件として0.8が用いられる。また、ピジョウの方法による場合、支間中央及び支点の曲げモーメントは同一となり、支間中央で $+M$ 、支点で $-M$ となる。フォークリフトなどのように前輪と後輪がそれぞれ載荷される場合は、それぞれの影響を重ね合わせて曲げモーメントを計算する。

$$M_a = 0.8 (M_1 + \eta M_2) P \quad (19-1)$$

$$M_b = 0.8 (M_2 + \eta M_1) P \quad (19-2)$$

ここに、

$M_a$  : 短スパン  $a$  方向の単位幅当りの曲げモーメント ( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ )

$M_b$  : 長スパン  $b$  方向の単位幅当りの曲げモーメント ( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ )

$\eta$  : ポアソン比

$P$  : 版に作用する荷重の合力 (kN)

$$P = q \cdot u \cdot v$$

ただし、

$q$  : 部分等分布荷重 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$u$  : 部分等分布荷重の短スパン方向の載荷幅 (m), 図-18参照

$v$  : 部分等分布荷重の長スパン方向の載荷幅 (m), 図-18参照

$M_1, M_2$  : 曲げモーメント分配係数

曲げモーメント分配係数  $M_1, M_2$  は、辺長比に応じたピジョウの計算図表より、長短各スパン方向の載荷幅とスパン長の比の値  $u/a, v/b$  を指標として求める。参考までに、辺長比  $\rho = 0.9$  に対するピジョウの計算図表を図-19に示す。

せん断力は、等分布荷重と同様にピジョウの近似式により算出する。ただし、式(18-1)～(18-2)の短辺、長辺

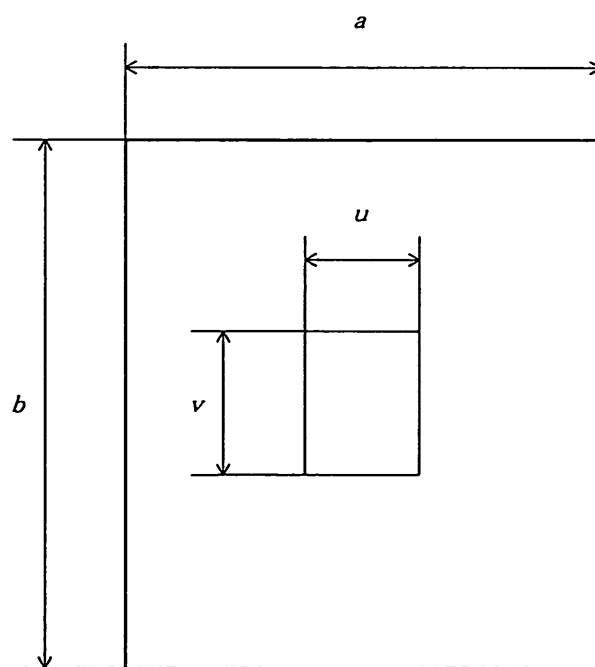


図-18 床版の部分等分布荷重載荷状態

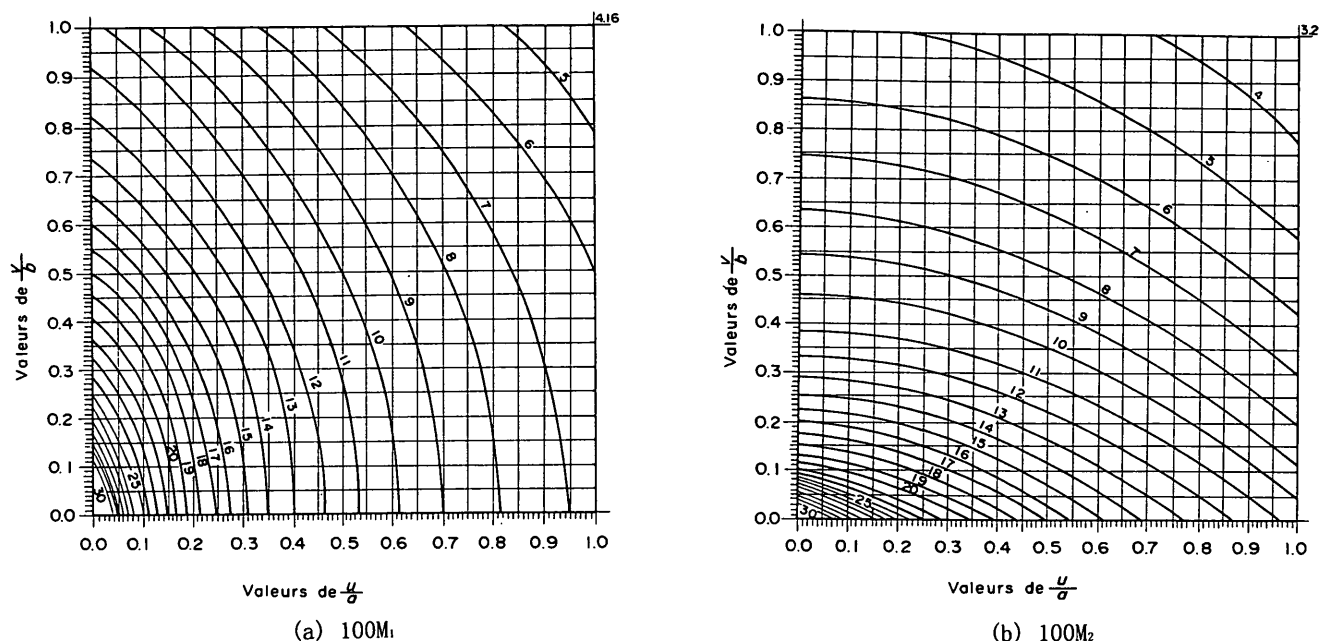


図-19 ピジョウの計算図表 ( $\rho = 0.9$ )

の長さ  $u_x$ ,  $u_y$  は、上述の部分等分布荷重の縦横方向の分布幅  $u$ ,  $v$  に置き換える。

③ 2 辺固定 1 方向版に対する断面力算出方法

上記②と同様に輪荷重等の分布幅を求め、部分等分布荷重を算出する。曲げモーメントは、式(20-1)～(20-2)により算出し、せん断力は、式(21)により算出する。

$$M_A = -\frac{W \cdot b}{24 \ell} (3 \ell^2 - b^2) \quad (20-1)$$

$$M_C = \frac{W \cdot b}{24 \ell} (6 a \ell + b^2) \quad (20-1)$$

ここに、

$M_A$  : 支点における単位幅当りの曲げモーメント (kN・m/m)

$M_C$  : 支間中央における単位幅当りの曲げモーメント (kN・m/m)

$W$  : 部分等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$b$  : 部分等分布荷重の分布幅の長辺 (m)

$\ell$  : 床版の短手方向のスパン長 (m)

$a$  :  $a = (\ell - b) / 2$  (m)

$$S_{MAX} = \frac{W \cdot b}{2} \quad (21)$$

ここに、

$S_{MAX}$  : 単位幅当りの最大せん断力 (kN/m)

$W$  : 部分等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$b$  : 部分等分布荷重の分布幅の長辺 (m)

(2) 移動荷重による梁の断面力算出方法

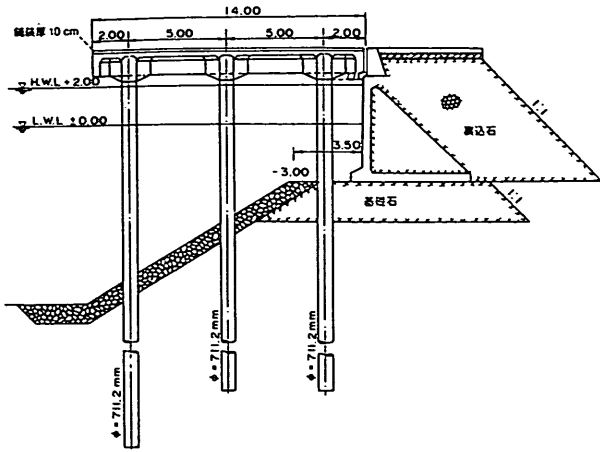
まず、移動荷重によって梁に作用する荷重を算出する。はじめに、計算対象とする梁と平行な左右梁までの範囲の床版をひとつの単純梁と考える。そして、計算の対象とする梁上の支点反力が最大となるように移動荷重を載荷し、その時の支点反力を梁に作用する荷重とする。ただし、移動荷重の並列走行、直列走行は考えるが、それらの組合せは考慮しない。また、梁に作用する荷重は、移動荷重が法線平行方向、法線直角方向に進行した場合の 2 ケース算出する。

断面力の算出は、梁は両端に張り出しを持つ連続梁として扱い、曲げモーメント、せん断力ともに影響線を用いて、移動荷重が法線平行方向、法線直角方向に進行した場合の 2 ケースについて算出する。

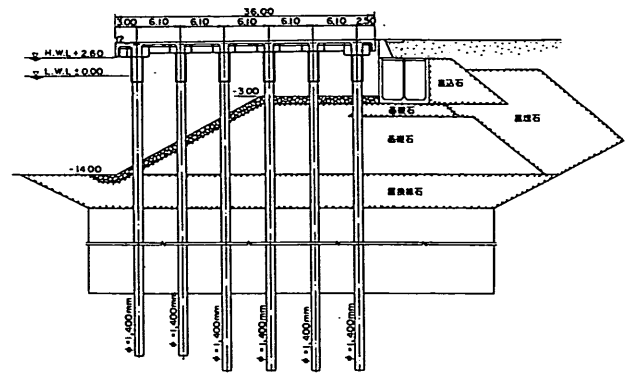
4. 2 検討方法

(1) 検討条件

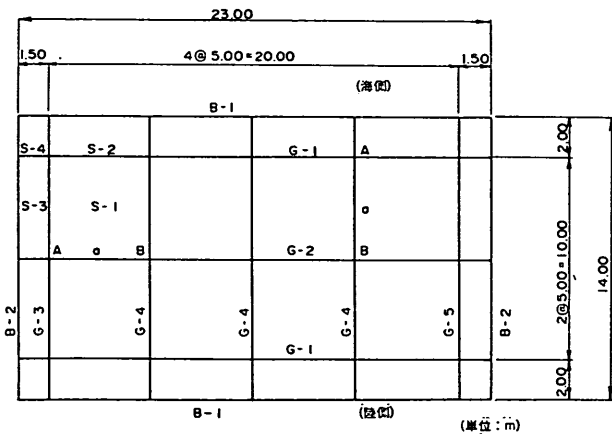
モデル荷重の影響度を分析するため、一般栈橋およびコンテナ栈橋のそれぞれについて、限界状態設計法によって試設計を行い、各荷役機械荷重による疲労限界状態特性を検討する。検討対象とする断面は、一般栈橋、コンテナ栈橋について、それぞれ図-20、図-21のとおりである。平面図の梁部に記した A, a, B などの記号は、断面力の算出ポイントを示している。断面諸元の設定に



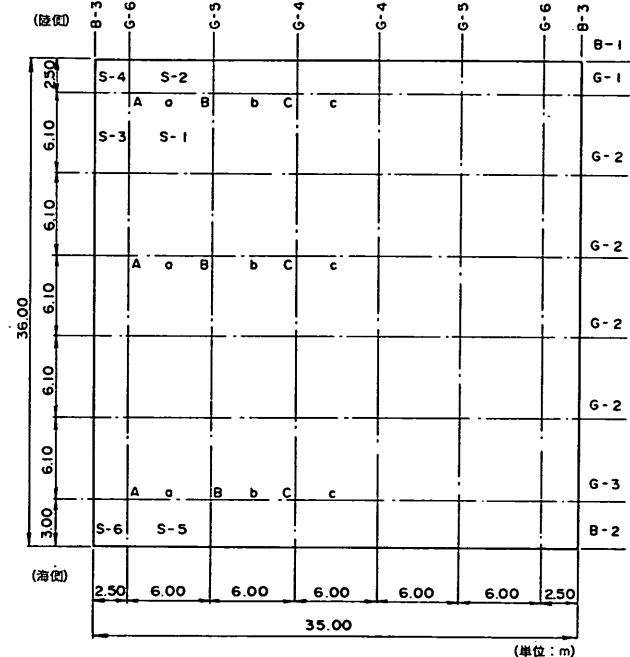
(a)



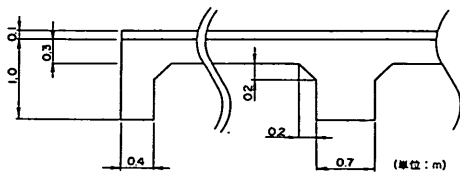
(a)



(b)



(b)

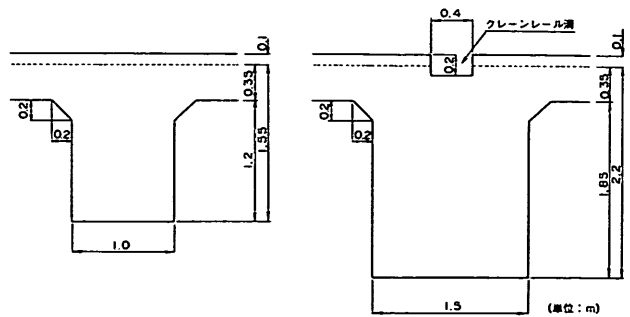


(c)

図-20 検討対象断面 (一般栈橋)

あたっては、老平ら<sup>12)</sup>による過去の設計事例による断面諸元の統計分析結果や、最近の設計事例の統計分析により、もっとも標準的と考えられる諸元を設定している。設計震度については、地震時が支配的とならないよう、0.1とした。

作用反復回数の影響を検討するため、一般栈橋については-7.5m岸壁および-10.0m岸壁を対象とするが、上部工の諸元は2つの岸壁で同一とする。また、コンテナ栈橋においては、取扱コンテナ個数は計画水深によらないため、モデル荷重の11万TEUに加えて、国内パースでの実績のほぼ最大値として想定される25万TEUを対象とし



(c)

図-21 検討対象断面 (コンテナ栈橋)

た. その場合, 25万TEUのバースにおける入港船隻数は, 取扱貨物量に比例すると考え, 年間あたり300隻×25万TEU/11万TEU=690隻とした. この設定はかなり安全側の設定といえる.

対象とする荷役機械は, 3. で検討した機種を対象とするが, トラッククレーンについては35 t吊りタイプを, フォークリフトについてはT-250, T-200, T-180を対象機種として想定した. その他の機種については, 現時点でもっとも一般的と考えられる諸元の機種を選定した.

荷役機械荷重の作用による断面力の評価方法については, 4. 1に述べた方法を基本的に用いるが, トラッククレーンのアウトリガー反力作用に対しては, 通常用いられるピジョウの方法に加えて, 後述するFEM解析を行った.

限界状態設計に用いる安全係数は表-14<sup>3)</sup>のとおりである. 終局限界状態設計は断面の終局耐力に関する安全性を照査するもので, 安全性照査式は式(22)で表現される.

$$\frac{M_d \cdot \gamma_i}{M_{od}} \leq 1.0 \quad (22)$$

ここに,

$M_d$  : 断面力の設計用値(kN・m)

$\gamma_i$  : 構造物係数(=1.2)

$M_{od}$  : 終局断面耐力(kN・m)

使用限界状態設計としては, ここではひびわれに関する安全性を照査する. 曲げひびわれに関する安全性照査式は, 式(23)で表現される. 曲げひびわれ幅は式(24)によって算定し, ひびわれ幅算定のための鉄筋の応力度は, 式(25)をもとにして求めた値を用いる. 許容ひび割れ幅  $w_{lim}$ (cm)は環境条件により異なり, 床版上側は0.0040C, 床版下側は0.0035C (C: かぶり(cm))とする. せん断ひびわれについては, 設計せん断力がコンクリートのせん断耐力の70%以下となるよう制御を行う.

$$\frac{w \cdot \gamma_i}{w_{lim}} \leq 1.0 \quad (23)$$

ここに,

w : 曲げひび割れ幅 (cm)

$\gamma_i$  : 構造物係数(=1.0)

$w_{lim}$  : 許容曲げひび割れ幅 (cm)

$$w = k_1 \{4C + 0.7(C_o - \phi)\} (\sigma_{s,s} / E_s + \epsilon_o) \quad (24)$$

ここに,

表-14 安全係数<sup>3)</sup>

安全係数		限界状態の種別			
		終局限界	使用限界	疲労限界	
材料係数 ( $\gamma_m$ )	コンクリート	1.3	1.0	1.3	
	鉄筋およびPC鋼材	1.0	1.0	1.05	
	上記以外の鋼材	1.05	1.0	1.05	
荷重係数 ( $\gamma_f$ )	常時	永久荷重	1.1(0.9)	1.0	1.0
		変動荷重	1.2(0.8)	1.0	1.0
	異常時	永久荷重	1.0~1.1 (0.9~1.0)	-	-
		変動荷重	1.0~1.2	-	-
		偶発荷重	1.0	-	-
		地震荷重	1.0	-	-
	施工時	波力	1.3	1.0	1.0
		永久荷重	1.1(0.9)	-	-
		変動荷重	1.0	-	-
構造解析係数 ( $\gamma_a$ )		1.0	1.0	1.0	
部材係数 ( $\gamma_o$ )		1.15~1.3	1.0	1.0	
構造物係数 ( $\gamma_i$ )		1.0~1.2	1.0	1.0	

注-1) 表中 ( ) 内の数値は荷重を小さく考えた方が危険な場合に適用する.

注-2) 終局限界状態検討時の部材係数は, 以下の値を用いる.

- ・曲げ及び軸方向耐力を算定する場合..... 1.15
- ・軸圧縮耐力の上限値を算定する場合..... 1.3
- ・コンクリートのせん断耐力分担を算定する場合..... 1.3
- ・せん断補強筋のせん断耐力分担を算定する場合..... 1.15

注-3) 構造物係数は, 終局限界状態の常時について1.2, その他について1.0とする.

w : 曲げひび割れ幅 (cm)

$k_1$  : 鉄筋の付着性状を表す定数(=1.0: 異形鉄筋)

C : 鉄筋のかぶり (cm)

$C_o$  : 鉄筋の中心間隔 (cm)

$\phi$  : 鉄筋径 (cm)

$E_s$  : 鉄筋のヤング係数 (=200kN/mm<sup>2</sup>)

$\epsilon_o$  : コンクリートの乾燥収縮およびクリープによるひび割れを考慮するための数値(=0.00015)

$\sigma_{s,s}$  : 鉄筋応力度の増加量 (N/mm<sup>2</sup>)

$$S_k = k_1 S_p + k_2 S_r \quad (25)$$

ここに,

$S_k$  : 使用限界状態の検討に用いる断面力の特性値

$S_p$  : 永久荷重による断面力

$S_r$  : 変動荷重による断面力

$k_1, k_2$  : 永久荷重と変動荷重のひびわれ幅と鋼材の腐食に及ぼす影響度の差を考慮するための定数 ( $k_1=1.0, k_2=0.5$ )

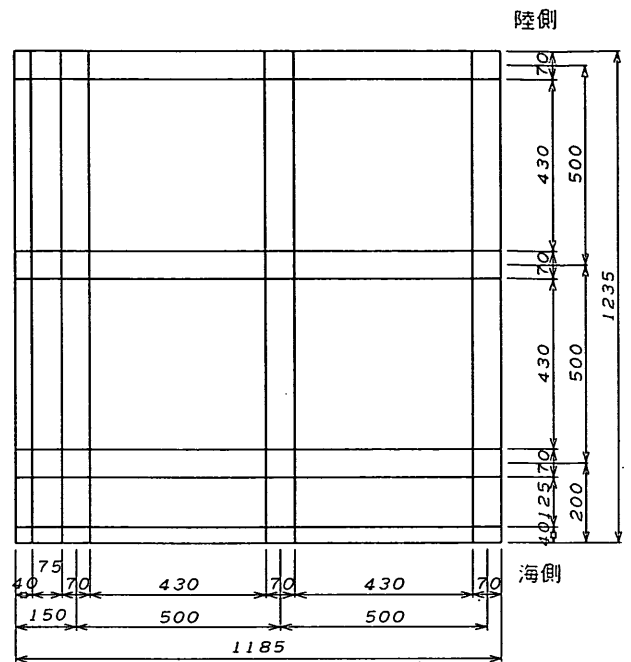
表-15に, 疲労限界状態設計で用いたモデル荷重一覧を示す.



表-15 疲労限界状態設計に用いたモデル荷重一覧

一般栈橋	荷重	作用反復回数(50年間)	
		水深-7.5m	水深-10.0m
トラッククレーン	$P_1-P_1$ $P_2-P_2$	465,000 465,000	608,000 608,000
トラック	最大輪荷重 空荷時輪荷重	839,000 839,000	1,097,000 1,097,000
トレーラー	最大輪荷重 空荷時輪荷重	233,000 233,000	304,000 304,000
フォークリフト			
T-250	最大輪荷重	104,000	136,000
	最大輪荷重×0.9	104,000	136,000
	最大輪荷重×0.8	104,000	136,000
	最大輪荷重×0.7	104,000	136,000
	空荷時輪荷重	416,000	544,000
T-200	最大輪荷重	131,000	171,000
	最大輪荷重×0.9	131,000	171,000
	最大輪荷重×0.8	131,000	171,000
	最大輪荷重×0.7	131,000	171,000
	空荷時輪荷重	524,000	684,000
T-180	最大輪荷重	145,000	189,000
	最大輪荷重×0.9	145,000	189,000
	最大輪荷重×0.8	145,000	189,000
	最大輪荷重×0.7	145,000	189,000
	空荷時輪荷重	580,000	756,000
コンテナ栈橋		110,000TEU	250,000TEU
ガントリークレーン			
横行時	アウトリガ～ ハックリチ輪荷重	623,000	1,415,000
走行時	最大輪荷重	30,000	69,000
シャシ・ ストラットキャリア	コンテナ40t	32,000	71,000
	コンテナ35t	63,000	142,000
	コンテナ30t	125,000	283,000
	コンテナ25t	156,000	354,000
	コンテナ20t	125,000	283,000
コンテナ15t	125,000	283,000	

平面図(1/10)



単位(cm)

図-22 解析モデル平面図

(2) 部分等分布荷重による断面力のFEM解析

ピジョウの方法による場合、前述のように、床版に作用する部分等分布荷重による断面力は床版中央と支承部とで正負のモーメント絶対値を同一と扱う。この仮定の妥当性を検証するため、トラッククレーンのアウトリガー反力作用によって発生する断面力について、断面力算定方法として最も信頼性が高いと考えられるFEM解析をあわせて実施し、ピジョウの方法による値と比較検討した。FEM解析はプログラムNASTRANを使用した静的線形解析(弾性解析)とした。

FEM解析においては、要素の選定、支承条件、要素の分割数、解析結果の精度等に留意して解析を行う必要がある。栈橋上部工の要素モデルとしては平板要素を使用し、支承条件は実際の構造物の状態を考慮し、杭位置での節点をz方向(鉛直方向)のみ固定し、xおよびy方

向(水平方向)は自由とした。解の発散を防ぐため1点のみ完全固定としたが、固定位置を変えても断面力はほとんど変化がなかった。FEMで構造解析を行う際には、前もって計算結果の精度を把握しておく必要がある。正方形版に対しては、一辺あたり8分割以上行えば、厳密解と計算結果との変位に関する差が2~3%以内となるといわれている<sup>13)</sup>。また、版の解析結果では、拘束(固定)辺付近では、曲げモーメントの値が要素内で大きく変化するため、曲げモーメントの値は在来設計法の値より小さくなる。これらのことを考慮して、要素の分割数は1辺あたり16分割とした。解析モデルの平面図を図-22に、メッシュ分割図を図-23に示す。トラッククレーンのアウトリガー4箇所を考慮できるように、張出部を含む4つの床版と梁をあわせてモデル化している。図-7に示した35t吊トラッククレーンのアウトリガー反力を部分等分布荷重として用い、床版上で作用位置を移動させ、断面力が最大・最小となる位置を探索した。

4.3 一般栈橋

以下では一般栈橋、コンテナ栈橋の順に解析結果について考察を加えるが、すべての解析結果の一覧は付録D

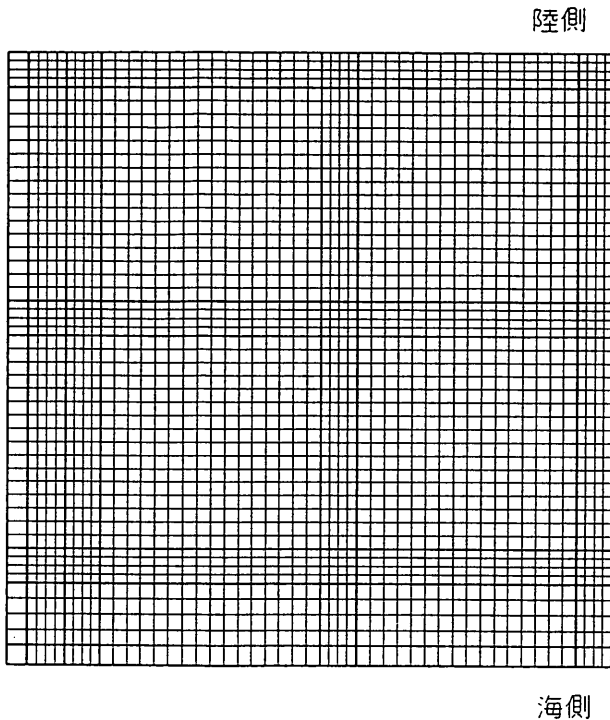


図-23 メッシュ分割図

に表形式でまとめて示した。

(1) 床版

一般栈橋の床版に関する検討結果のうち、表-16に、トラッククレーンアウトリガー反力について、ピジョウの方法による値とFEMによる値を比較して示した。

図-24には各荷役機械の種類別に、終局限界状態、使用限界状態、疲労限界状態の各安全性について、各荷役機械による変動断面力 $M_{r,i}$ を部材に作用する最大変動断面力 $M_{r,m}$ で除した値( $M_{r,i}/M_{r,m}$ )との関係で整理した。疲労安全性については、鉄筋についてのみ整理している。安全性とはこの場合、終局限界状態について式(22)、使用限界状態について式(23)、疲労限界状態について式(8)によって算出される値であり、1.0に近いほど安全性が低いことを示すものである。図-25には、部材別に疲労安全性と $M_{r,i}/M_{r,m}$ の関係を示す。図-24および図-25よりわかるように、 $M_{r,i}/M_{r,m}$ の値が大きいほど、疲労限界状態の影響度が相対的に高くなる。

解析結果よりわかるように、トラッククレーンアウトリガー反力に関しては疲労限界状態は支配的とならない。断面の決定要因としては終局限界状態が支配的であり、各限界状態に対する安全性の値はピジョウの方法による場合、終局限界状態が0.85~0.97、使用限界状態が0.84~0.94であるのに対して、疲労限界状態はコンクリートで0.37~0.64、鉄筋で0.66~0.75程度である。-7.5m岸

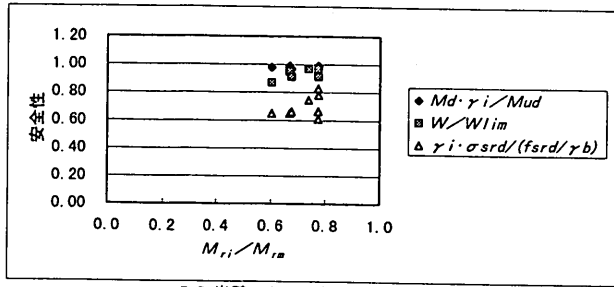
壁と-10.0m岸壁とでは反復作用回数に1.3倍程度の違いがあるが、疲労安全性に違いはほとんどない。設計変動応力度に対する疲労寿命は、鉄筋では $7.0 \times 10^6$ から $1.5 \times 10^7$ の範囲であり、コンクリートについては $10^9 \sim 10^{12}$ のオーダーであり、いずれの値についても疲労限度として想定している $2 \times 10^6$ 回を上回っており、疲労限界状態が問題とならないことがわかる。これは、アウトリガー反力最大値(390kN)の作用による断面力に比べて荷役作業時の変動荷重(306kNおよび134kN)による変動断面力が小さいためである。ここでは標準的な35t吊りタイプの機種を想定したが、100tを超えるアウトリガー反力の大きなタイプについても傾向は同様になると考えられ、トラッククレーンについては疲労限界状態設計は省略してよいと判断される。

つぎに、ピジョウの方法とFEMによる解析結果の違いについて考察する。FEMによる断面力の分布のうち、最大正曲げモーメント発生時の分布を図-26に、最小負曲げモーメント発生時のものを図-27に示す。栈橋上部工床版は厳密には完全固定条件とはいえず、発生するモーメントは法線直角・法線平行方向で対称とはならない。

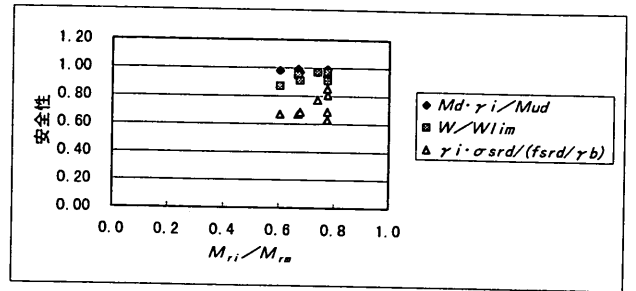
ピジョウの方法とFEMの断面力の特性値どうしの比の値は床版中央部で1.12~1.15、支承部で1.51~1.68となっており、ピジョウによる断面力の計算結果が、特に支承部で断面力を大きく評価することがわかる。この理由としては、栈橋上部工の支承条件が通常の準固定版の条件と異なることなどがあげられる。安全係数を乗じた設計用値については、ピジョウとFEMの計算結果の比の値は床版中央部で1.11~1.13、支承部で1.39~1.52となっており、比の値はやや減少するが、支承部ではやはり断面力を大きく評価する。その結果、FEMによる計算結果では、支承部においては試設計に用いた断面の場合、鉄筋のピッチを20cmとすることができるため、大幅に上側の鉄筋量を減少させることが可能となる。また、法線平行方向の中央部においても、鉄筋径をD16からD13に変えることができる。このため、床版全体でかなり鉄筋量を減少させることが可能になる。このようにピジョウの方法を用いた場合、栈橋上部工床版部では特に負の曲げモーメント作用に対して安全側となり、必ずしも適切とはいえない場合があることが分かる。設計を合理化する観点からは、FEM解析などのより合理的な設計法を適用することが適切であると考えられる。しかしながら、設計実務としては、断面設計を行う際に必ずFEM解析の実施を求めることは負担が大きいため、FEM解析結果に基づいた新しいモーメント数表などを今後早急に提案する必要がある。

表-16 解析結果

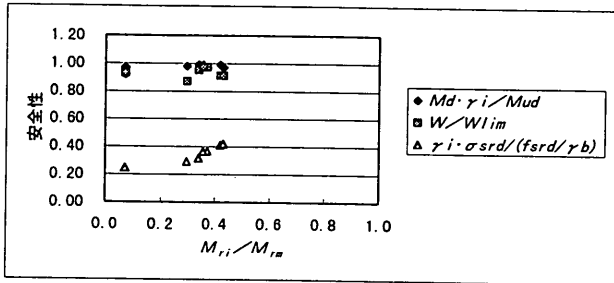
状態	諸値	単位	ピジョウ						FEM							
			法線直角方向		法線平行方向		法線直角方向		法線平行方向		法線直角方向		法線平行方向			
			中央部	支点部	中央部	支点部	中央部	支点部	中央部	支点部	中央部	支点部				
終局限界	必要鉄筋量 $A_{en}$	cm <sup>2</sup>	14.83	11.36	16.63	12.23	13.07	8.73	14.97	8.00						
	最小鉄筋量 $\rho_w > 0.002$	cm <sup>2</sup>	4.40	6.13	4.00	5.73	4.40	5.73	4.00	5.73						
	配筋	径 $\phi$	mm	D13	D13	D16	D13	D13	D19	D16						
		本数	本	5	5	5	5	5	5	5						
	鉄筋量	径 $\phi$	mm	D16	D13	D16	D13	D16	D16	D16						
		本数	本	5	5	5	5	5	5	5						
		ピッチ $c_p$	cm	10	10	10	10	10	10	20	10					
		$A_s$	cm <sup>2</sup>	16.27	12.67	19.86	12.67	16.27	12.13	16.27	12.13					
	有効高さ	$d$	cm	22.0	30.7	20.0	28.7	22.0	28.7	20.0	28.7					
		$B$	cm	100	100	100	100	100	100	100	100					
部材幅	$c$	cm	8	6	10	8	8	8	8	8						
	かぶり	cm	8	6	10	8	8	8	8	8						
使用限界	鉄筋比		0.0074	0.0041	0.0099	0.0044	0.0074	0.0042	0.0081	0.0035						
	$M_d$	kn·m	75.54	83.56	75.54	83.56	67.17	60.45	68.68	55.60						
	$M_{ud}$	kn·m	98.7	111.3	106.2	103.7	98.7	99.5	88.9	82.1						
	$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud}$	< 1.0	0.92	0.90	0.85	0.97	0.82	0.73	0.93	0.81						
	検討結果		O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.						
	$M_d$	kn·m	34.13	41.42	34.13	41.42	30.64	31.79	31.27	29.77						
	$\Delta\sigma_s$	N/mm <sup>2</sup>	105.5	115.3	96.4	123.6	94.7	99.0	106.8	112.4						
	$w$	mm	0.241	0.200	0.270	0.273	0.222	0.263	0.298	0.297						
	許容ひび割れ幅 $w_{lim}$	mm	0.258	0.215	0.322	0.295	0.258	0.282	0.328	0.288						
	$w / w_{lim}$	< 1.0	0.935	0.933	0.838	0.928	0.861	0.935	0.909	1.030						
疲労限界	検討結果		O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.						
	設計変動応力 $\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	5.4	3.5	5.8	3.9	4.7	2.6	5.7	2.6						
	等価繰返し回数 $N$	回	4.65E+05	4.67E+05	4.65E+05	4.66E+05	4.65E+05	4.72E+05	4.65E+05	4.73E+05						
	設計疲労強度 $f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	6.08E+05	6.09E+05	6.08E+05	6.09E+05	6.08E+05	6.13E+05	6.08E+05	6.14E+05						
	コンクリート	$\sigma_{rd} / f_{rd}$		0.58	0.37	0.64	0.42	0.50	0.28	0.62						
		疲労寿命 $N$	回	2.68E+10	6.56E+12	5.89E+09	1.89E+12	1.90E+11	6.96E+13	9.89E+09	8.26E+13					
	鉄筋	設計変動応力 $\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	140.2	126.2	128.1	135.3	123.4	94.6	139.7	102.9					
		等価繰返し回数 $N$	回	4.65E+05	4.65E+05	4.65E+05	4.65E+05	4.65E+05	4.65E+05	4.65E+05	4.65E+05					
		設計疲労強度 $f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	6.08E+05	6.08E+05	6.08E+05	6.08E+05	6.08E+05	6.08E+05	6.08E+05	6.08E+05					
		$\sigma_{srd} / f_{srd}$		0.71	0.66	0.66	0.72	0.62	0.51	0.71	0.56					
疲労寿命 $N$	回	7.87E+06	1.40E+07	1.53E+07	7.01E+06	2.51E+07	1.18E+08	7.86E+06	5.65E+07							



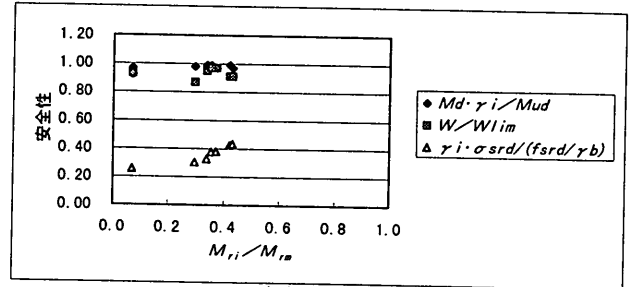
-7.5m岸壁・トラッククレーン・鉄筋



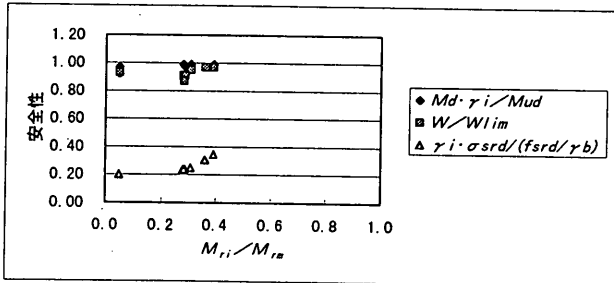
-10.0m岸壁・トラッククレーン・鉄筋



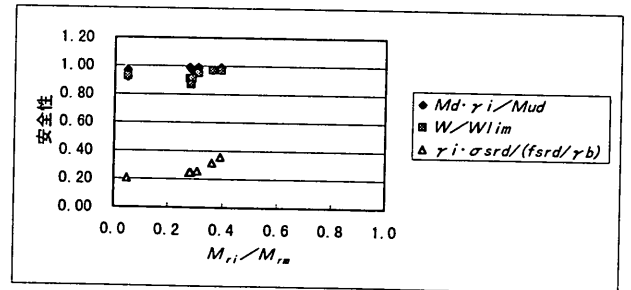
-7.5m岸壁・トラック・鉄筋



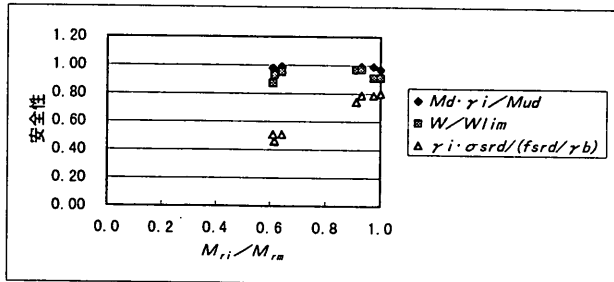
-10.0m岸壁・トラック・鉄筋



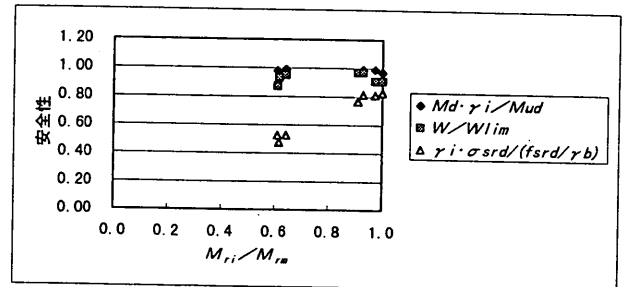
-7.5m岸壁・トレーラ・鉄筋



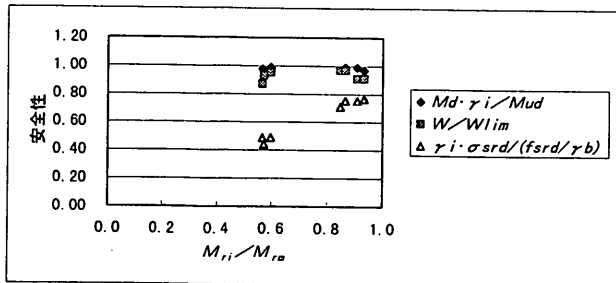
-10.0m岸壁・トレーラ・鉄筋



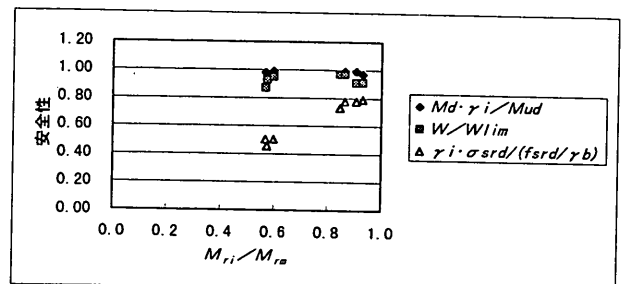
-7.5m岸壁・フォークリフト T-250・鉄筋



-10.0m岸壁・フォークリフト T-250・鉄筋

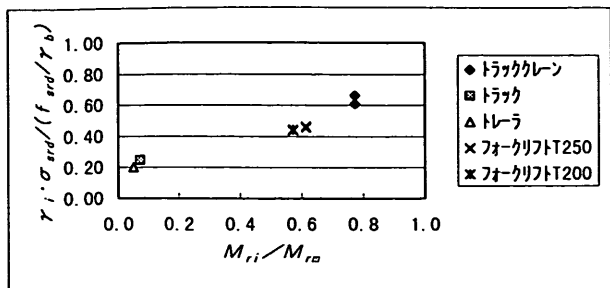


-7.5m岸壁・フォークリフト T-200・鉄筋

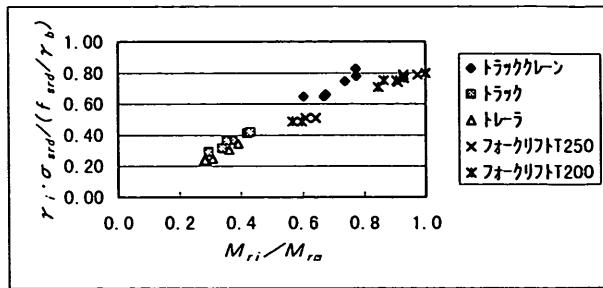


-10.0m岸壁・フォークリフト T-200・鉄筋

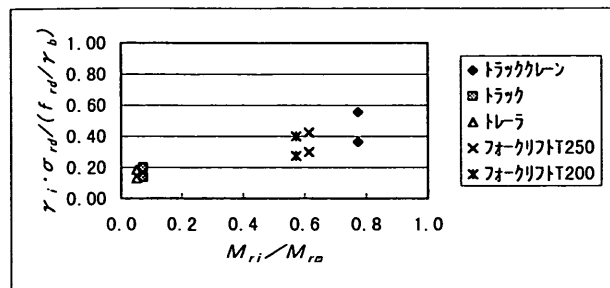
図-24 各限界状態の安全性比較



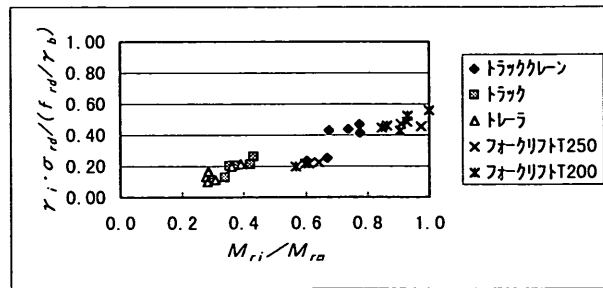
-7.5m岸壁・床版・鉄筋



-7.5m岸壁・梁・鉄筋



-7.5m岸壁・床版・コンクリート



-7.5m岸壁・梁・コンクリート

図-25 部材別の疲労安全性 (床版)

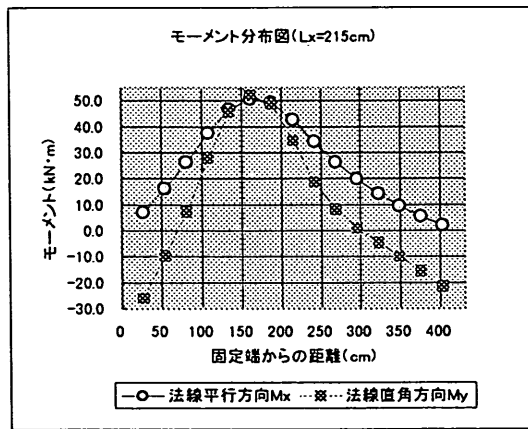
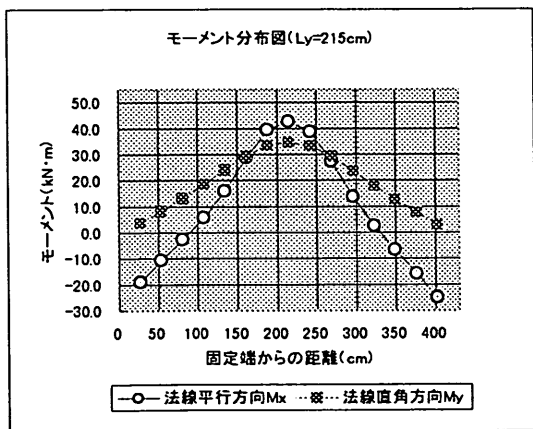


図-26 FEM解析結果 (最大正曲げモーメント発生時)

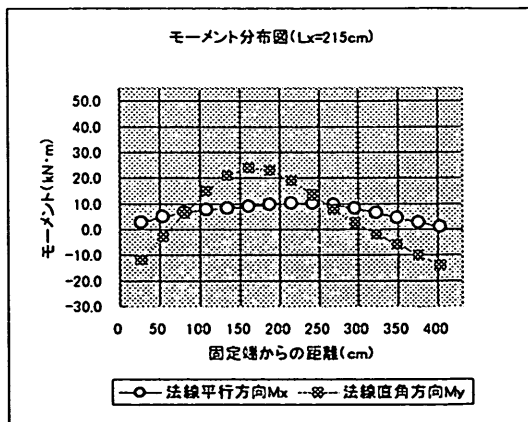
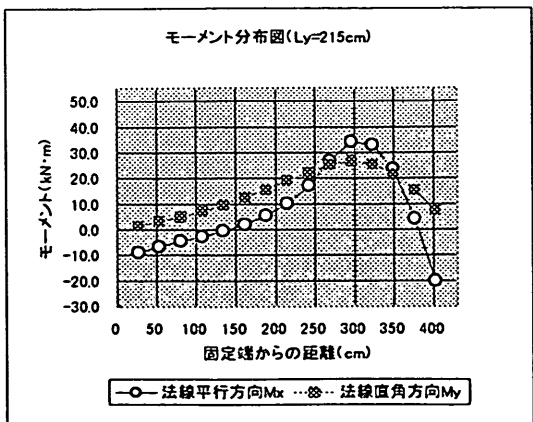


図-27 FEM解析結果 (最小負曲げモーメント発生時)

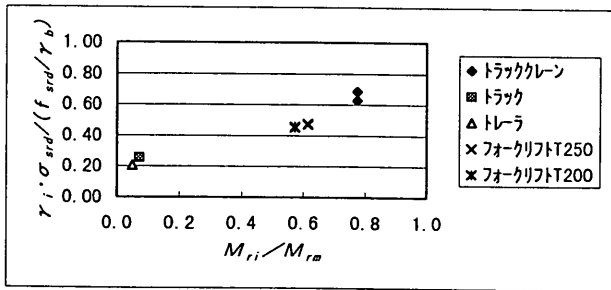
次に、トラック、トレーラーについての解析結果をみると、これらの荷役機械については疲労に対する安全性はきわめて高いことがわかる。すなわち、設計変動応力度と設計疲労強度の比の値が0.13~0.26と非常に低い。設計変動応力度に対する疲労寿命も $10^6$ 以上のオーダーであり、疲労限度を大きく上回る。この理由は、トラッククレーンと同様に、疲労限界状態設計で考慮する変動断面力が終局限界状態設計などで考慮される最大断面力と比較して小さいためである（図-24参照）。すなわち、トラッククレーンが使用されるバースにおいてはトラッククレーンのアウトリガー反力が支配的な荷重となり、トラック、トレーラーによる変動応力度は相対的に小さい。トラッククレーン類の使用を想定しない栈橋において、トラックおよびトレーラーが支配的な荷役機械荷重となるケースはほとんどないと考えられるが、そのような場合においても、通常は終局限界状態では1つの床版上に複数の荷役機械が満載貨物を搭載した条件で安全性が検討されるため、やはり疲労限界状態における変動断面力は最大断面力と比べて小さく、同様の結論が得られるといえる。

フォークリフトについても、今回の検討結果では疲労に対する安全性は高く、設計変動応力度と設計疲労強度の比の値は0.27~0.46と低い。設計変動応力度に対する疲労寿命も $10^6$ 以上のオーダーであり、疲労限度を上回っている。今回の検討断面において疲労限界状態が支配

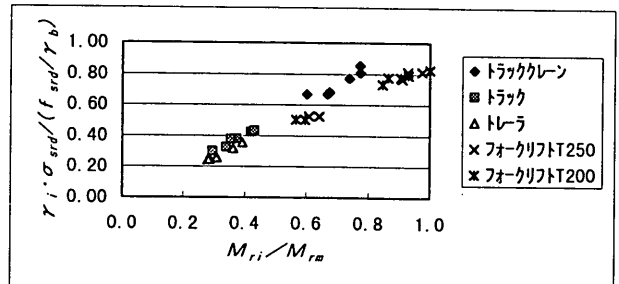
的とならない理由は、これまでと同様に変動断面力が最大断面力と比較して小さいためである。しかしながら、定格荷重が大きくなるにつれて疲労限界状態に対する安全性は低下する傾向にあることに注意が必要で、より定格荷重の大きなクラスの機械を用いる岸壁では、今回の検討結果以上に疲労限界状態が影響的となる可能性がある。また、フォークリフトについては、荷役形態や荷役時の貨物を含む車幅を考慮して、終局限界状態設計においても通常1つの床版上に1台のみのフォークリフトが載荷した状態を想定する。このため、トラッククレーン類の使用を想定しない栈橋で、フォークリフト荷重が支配的となる栈橋の場合、最大断面力と変動断面力に大きな差が生じないことから、疲労限界状態が支配的となるケースが生じることが考えられ、疲労限界状態設計を適切に行う必要がある。

(2) 梁

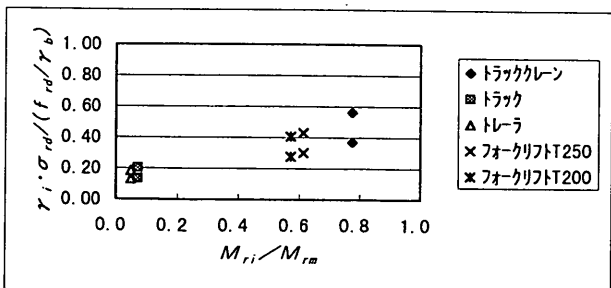
図-28に梁に関する部材別の $M_{ri}/M_{rm}$ と疲労安全性の関係を示す。支配的な限界状態は終局限界状態であり、疲労限界状態が支配的となることはない。梁の検討は通常、使用が想定される全ての荷役機械を対象に、機械の組み合わせによって部材に発生する断面力が最も大きくなる荷重を用いる。本解析も終局限界状態、使用限界状態についてその方法を踏襲した結果、最大断面力が変動断面力と比べて大きな値となったためこのような結果が得られたといえる。したがって、終局限界状態、使用限



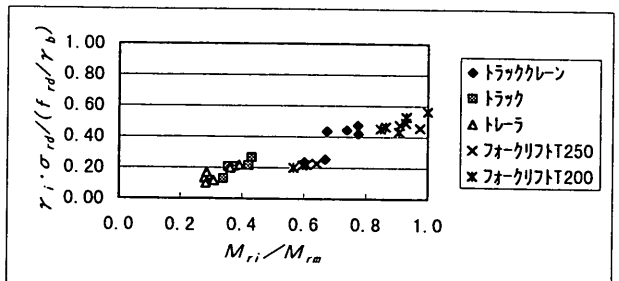
-10.0m岸壁・床版・鉄筋



-10.0m岸壁・梁・鉄筋



-10.0m岸壁・床版・コンクリート



-10.0m岸壁・梁・コンクリート

図-28 部材別の疲労安全性 (梁)

界状態を単一の荷役機械荷重の作用に対して考慮する場合、結果は今回示したものと異なることが考えられることに注意する必要がある。

まずトラッククレーンについての結果を見ると、疲労に対する安全性は鉄筋で0.65~0.85、コンクリートでは0.24~0.47の範囲にある。-7.5m岸壁と-10.0m岸壁で安全性にほとんど差はない。設計変動応力度に対する疲労寿命は $2 \times 10^6$ 回を下回る箇所はない。ここでの疲労安全性の検討方法は、部材にとって最も不利となる箇所において全ての荷役が行われる想定によっていることを考慮すると、トラッククレーンのアウトリガー反力については、梁に関しても疲労限界状態設計を省略してよいといえる。トラックおよびトレーラーについても同様で、鉄筋については疲労安全性は0.23~0.43、コンクリートについては0.11~0.26となる。設計変動応力度に対する疲労寿命についても $10^6$ 以上のオーダーであり、疲労限界状態設計は省略できる。

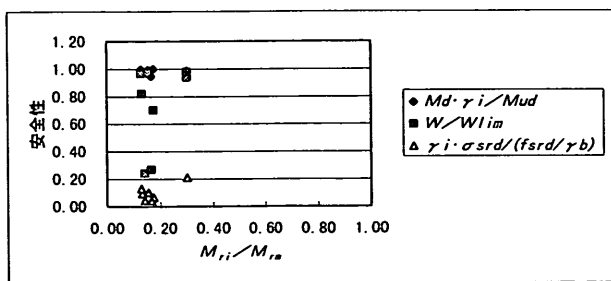
フォークリフトについては、T-200以下の機種については疲労に対して比較的安全であるといえるが、設計変動荷重と最大荷重が近い値を取るT-250については-10.0m岸壁の場合、設計変動応力度と設計疲労強度の比が、0.80となる箇所が存在する。設計変動応力度に対する疲労寿命の下限値は、 $1.1 \times 10^6$ である。実際にはT-250クラスの輪荷重の大きな機種によって全ての荷役が行われるケースはまれであると考えられ、また、設計震度が大きな栈橋では地震時が支配的となるため、相対的に疲労

に対してより安全となることも考えられる。しかしながら、トラッククレーンの使用を想定しないときや、大型機種のみでの荷役が想定されるときなどで、設計変動応力度が最大応力度に近い値を取る場合、あるいは標準的なパスよりも取扱貨物量が多いか、または1回あたり貨物量が定格荷重に近い割合がモデル荷重分布として示した割合よりも多いことが予想される場合には、疲労限界状態設計を適切に行う必要があるといえる。

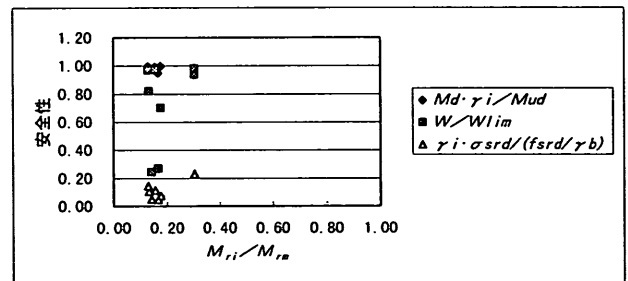
#### 4.4 コンテナ栈橋

##### (1) 床版

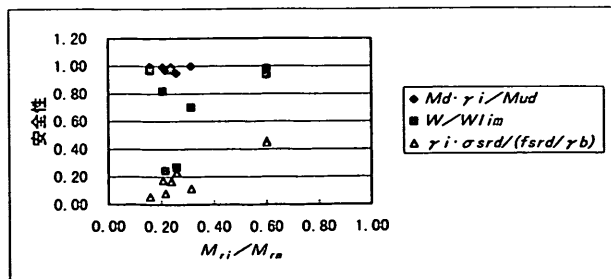
図-29にコンテナ栈橋のシャーシおよびストラドルキャリアに関する $M_{ri}/M_{rm}$ と、終局限界状態、使用限界状態、鉄筋の疲労限界状態の各安全性の関係を示す。図-30には部材別に $M_{ri}/M_{rm}$ と疲労安全性の関係を示す。解析結果より、支配的な限界状態としては終局限界状態が多いことがわかる。疲労に対する安全性は鉄筋で0.21~0.49、コンクリートで0.17~0.38であり、設計変動応力度に対する疲労寿命は $10^6$ のオーダーを上回っている。シャーシおよびストラドルキャリアに関する疲労安全性は非常に高く、疲労限界状態設計を省略できるといえる。この理由は、一般栈橋と同様に最大断面力に対して変動断面力が小さいため、シャーシ、ストラドルキャリアの双方ともに終局限界状態では1つの床版に複数の機械が载荷した状態を想定するが、疲労限界状態では1台の機械の载荷のみを想定するためである。



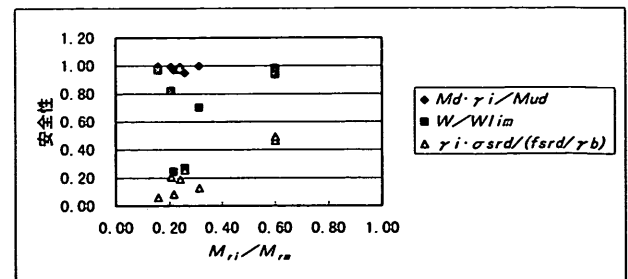
コンテナ岸壁11万TEUシャーシ・鉄筋



コンテナ岸壁25万TEUシャーシ・鉄筋

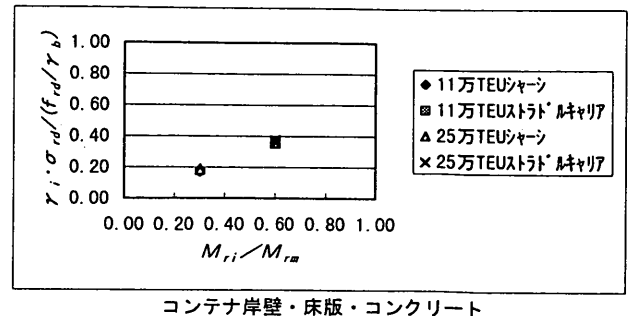
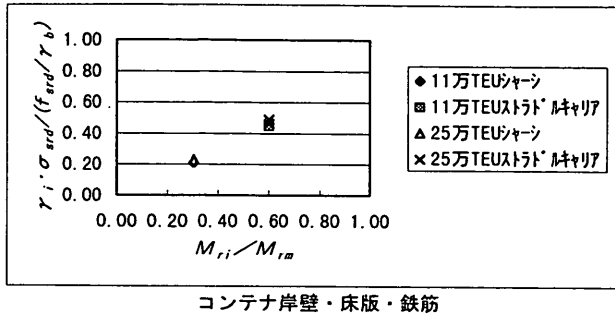


コンテナ岸壁11万TEUストラドルキャリア・鉄筋



コンテナ岸壁25万TEUストラドルキャリア・鉄筋

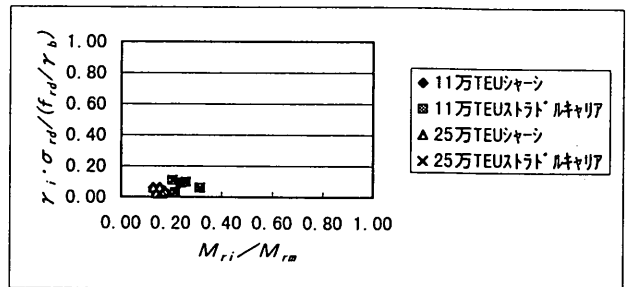
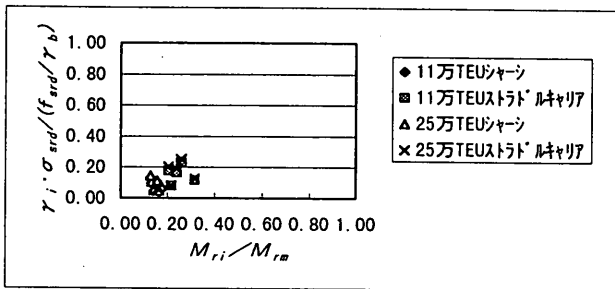
図-29 各限界状態の安全性比較



コンテナ岸壁・床版・鉄筋

コンテナ岸壁・床版・コンクリート

図-30 部材別の疲労安全性 (床版)



コンテナ岸壁・梁・鉄筋

コンテナ岸壁・梁・コンクリート

図-31 部材別の疲労安全性 (梁)

なお、疲労限界状態のみならず使用限界状態に関しても非常に安全な箇所があるが、これは揚圧力が支配的なポイントに関するもので、揚圧力は異常波浪時扱いとして終局限界状態のみを安全性照査対象としているためである。

## (2) 梁

コンテナ棧橋の梁に関する検討結果として、まずクレーン梁以外の梁について検討する。図-31に $M_{ri}/M_{rm}$ と疲労安全性の関係を示す。支配的な限界状態は終局限界状態である。疲労に対する安全性は非常に高く、設計変動応力度に対する疲労寿命は $10^9$ のオーダーを上回っている。これは床版におけるものと同様の理由による。床版と同様に梁についてもシャーシおよびストラドルキャリアに関する疲労安全性は非常に高く、疲労限界状態設計を省略できるといえる。

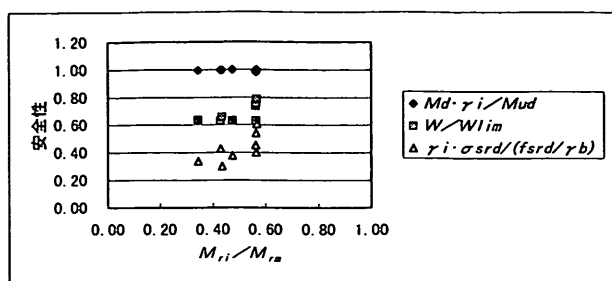
クレーン梁について、図-32に終局限界状態、使用限界状態、鉄筋の疲労限界状態の安全性と $M_{ri}/M_{rm}$ の関係を示す。また、図-33に $M_{ri}/M_{rm}$ と疲労安全性の関係を示す。クレーン梁において支配的な限界状態は、やはり終局限界状態である。疲労限界状態については、作業時と走行時のそれぞれの影響を検討するため、安全性をそれぞれ分けて記している。まず、作業時については、設計変動応力度に対する疲労寿命が $10^7$ のオーダー以上となっている。設計変動応力度が最大応力度に比べて小

さいことから疲労に対しては安全であり、作業時については疲労限界状態設計で考慮する必要はないことがわかる。つぎに走行時についてみると、陸側梁では標準的な貨物量に対する設計変動応力度と設計疲労強度の比の値は鉄筋については0.33~0.66、コンクリートについては0.24~0.46であり、25万TEUの貨物量の場合、鉄筋の安全性は0.36~0.72、コンクリートでは0.25~0.47となり、設計変動応力度に対する疲労寿命もほとんどの箇所ですべて疲労限度である $2 \times 10^6$ 回を上回る。これに対して海側梁では、変動輪荷重が陸側梁に比べて大きく、かつ最大輪荷重と等しいため、標準貨物量に対する疲労安全性は鉄筋については0.51~0.81、コンクリートについては、0.28~0.56となり、25万TEUの貨物量の場合、鉄筋の安全性は0.55~0.89、コンクリートでは0.29~0.58となる。このため、取扱貨物量が標準的なバースよりも多いことが予想される棧橋などについては、疲労限界状態設計を行って疲労に対する安全性を照査する必要があるといえる。設計変動応力度に対する疲労寿命は、 $10^4$ のオーダーの箇所が存在する。

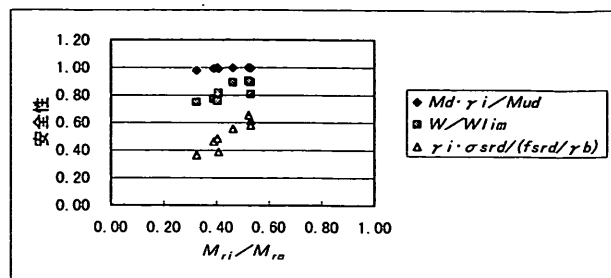
## 5. 結論

本報告においては、既往の荷役統計データなどをもとに、バースの規模に応じた耐用期間中の取扱総貨物量

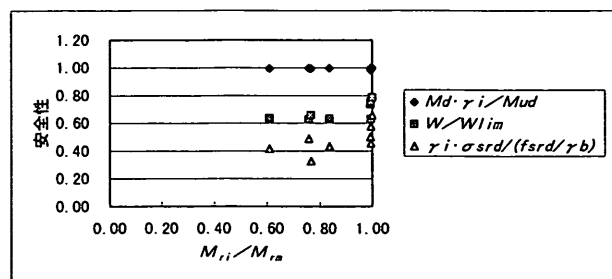




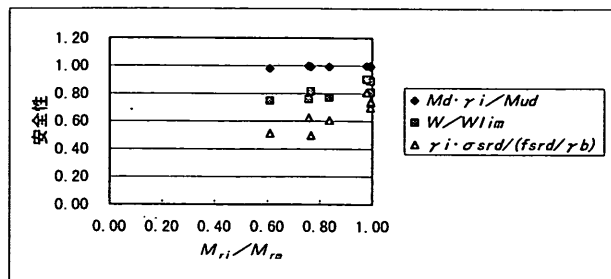
コンテナ岸壁11万TEUクレーン陸側作業時・鉄筋



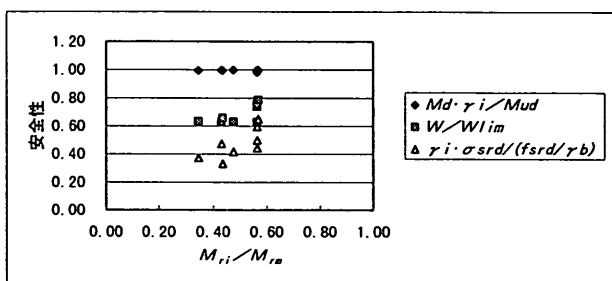
コンテナ岸壁11万TEUクレーン海側作業時・鉄筋



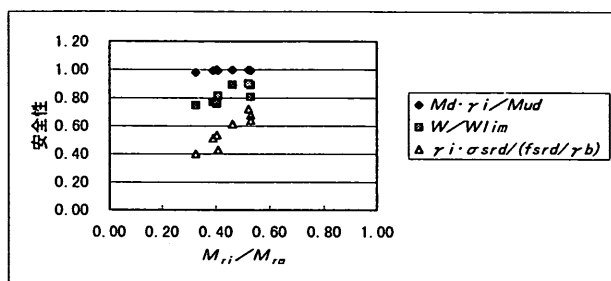
コンテナ岸壁11万TEUクレーン陸側走行時・鉄筋



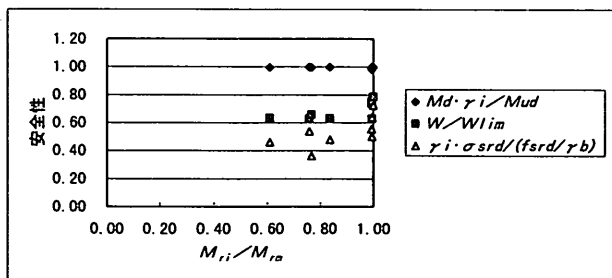
コンテナ岸壁11万TEUクレーン海側走行時・鉄筋



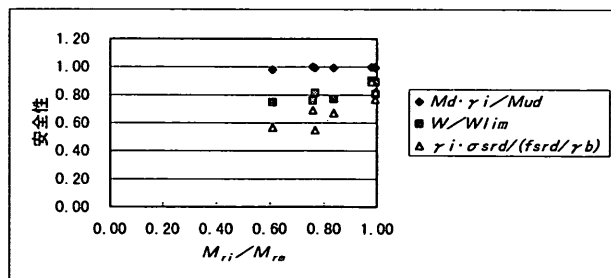
コンテナ岸壁25万TEUクレーン陸側作業時・鉄筋



コンテナ岸壁25万TEUクレーン海側作業時・鉄筋



コンテナ岸壁25万TEUクレーン陸側走行時・鉄筋



コンテナ岸壁25万TEUクレーン海側走行時・鉄筋

図-32 各限界状態の安全性比較 (クレーン梁)

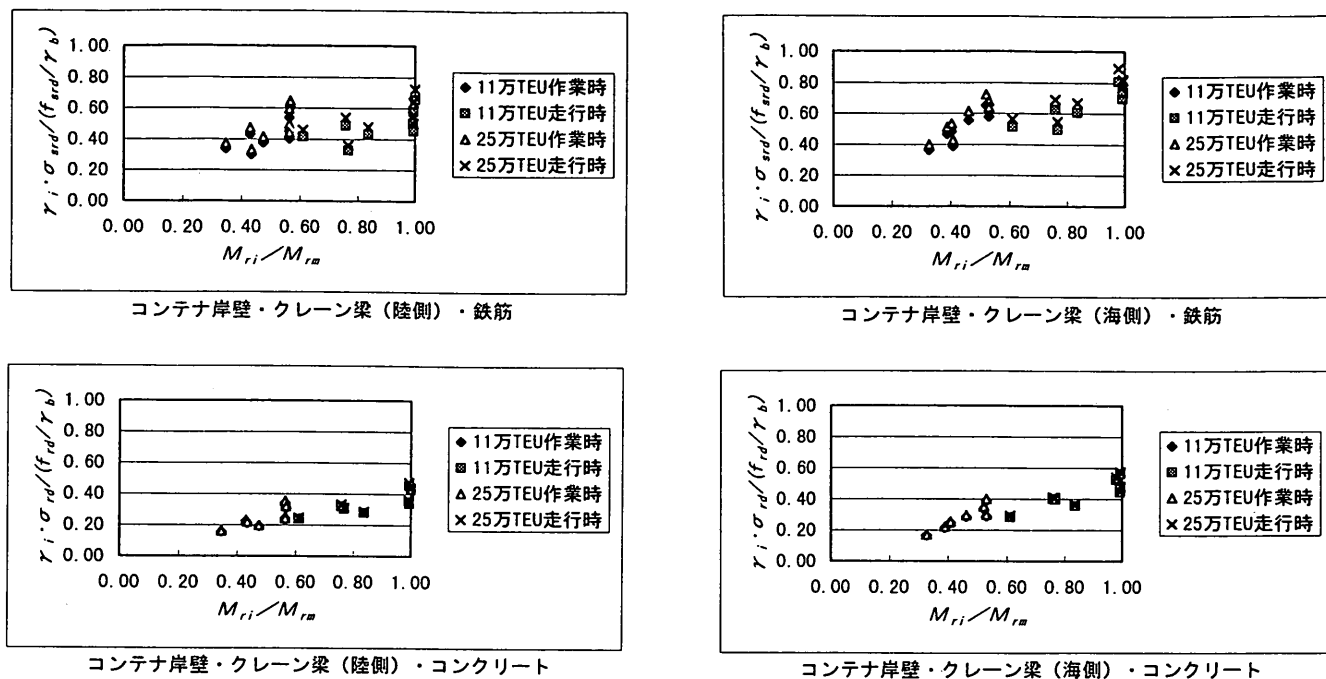


図-33 部材別の疲労安全性 (クレーン梁)

推計し、荷役機械の貨物の取扱量を現況調査やアンケート調査などをもとにモデル化したうえで、栈橋上部工の疲労限界状態設計に用いるモデル荷重を提案した。また、モデル荷重を用いた試設計によってモデルの妥当性を検証するとともに、栈橋上部工の荷役機械による疲労限界状態特性を検討した。本研究より得られた主要な結論は以下のとおりである。

①栈橋上部工の疲労限界状態設計を行う際のモデル荷重を作成した。モデル荷重は、一般栈橋、コンテナ栈橋のそれぞれについて、代表的な荷役機械の荷重と作用反復回数の組み合わせの分布よりなるものである。

モデル荷重の一覧を表-17に示す。

②トラッククレーン、トラック、トレーラー、ストラドルキャリアなどの荷役機械については、現時点で想定している安全係数を用いた場合、変動断面力が最大断面力と比べて小さいため、疲労限界状態が支配的となる可能性は極めて低く、疲労限界状態設計を原則として省略できる。

③ガントリークレーンおよびフォークリフトの重量貨物対応機種などで、部材に発生する変動断面力が最大断面力に近い値を取る荷役機械荷重に対しては、疲労限界状態が支配的となるケースが生じることが考えられる。その場合には、本報告で提案した手法 (モデル荷重) を用いることができる。

④版の部分等分布荷重に対する断面力算出方法として従

来より用いられてきたピジョウの方法は、正負のモーメント最大値が同じ値となることから、栈橋上部工については特に負のモーメント作用に対して安全側となり、必ずしも適切とはいえない場合がある。このため、FEM解析などをもとにした新たな設計法を今後提案する必要がある。

上記の結論②は、終局限界状態、使用限界状態の安全性を、複数の荷役機械の組み合わせによって部材に発生する断面力が最も大きくなる方法で照査する条件に対して得られたものであることに注意が必要である。終局限界状態、使用限界状態に対する安全性を、単一の荷役機械荷重の作用による断面力の最大値を用いて照査する場合は、②であげた荷役機械についても疲労限界状態が支配的となるケースが生じることが考えられ、疲労限界状態設計を行うことが適切である。

## 6. あとがき

本研究で提案したモデル荷重は、実際のエプロン上の荷役現況、荷役実績などの諸量をもとにして提案したものである。モデル荷重の設定あたっては、筆者が不案内な港湾荷役に関する様々なデータを詳細にわたり必要としたため、多くの関係機関の方々にご協力を頂いた。以下に記して感謝の意を表したい。福岡市港湾局 林 由木夫氏には設計基準研究室研修生としての在職期間中に

表-17 モデル荷重一覧

		変動荷重	作用反復回数(回/年)	
一般 棧橋	トラッククレーン	$P_1 - P_2$	$\frac{(\text{取扱総貨物量} \times 0.5)}{(\text{定格荷重} \times 0.2)}$	
		$P_4 - P_3$	$\frac{(\text{取扱総貨物量} \times 0.5)}{(\text{定格荷重} \times 0.2)}$	
	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	$(\text{取扱総貨物量} / \text{定格荷重}) \times 1.6$	
トラック、トレー	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	ガントリー クレーン	横行 海側	作業時最大輪荷重 - 作業時最小輪荷重	
		横行 陸側	作業時最大輪荷重 - 作業時最小輪荷重	
		走行 海側	作業時最大輪荷重	
		走行 陸側	作業時最大輪荷重	
	ストラドルキャリア、 シャーシ		最大輪荷重 $\times \frac{\text{車体重量} + \text{コンテナ実重量}}{\text{車体重量} + \text{コンテナ定格荷重}}$	総取扱コンテナ数 <sup>注)</sup>
			コンテナ実重量 40t	総取扱コンテナ数 <sup>注)</sup> $\times 0.05$
			コンテナ実重量 35t	総取扱コンテナ数 <sup>注)</sup> $\times 0.10$
			コンテナ実重量 30t	総取扱コンテナ数 <sup>注)</sup> $\times 0.20$
			コンテナ実重量 25t	総取扱コンテナ数 <sup>注)</sup> $\times 0.25$
			コンテナ実重量 20t	総取扱コンテナ数 <sup>注)</sup> $\times 0.20$
	コンテナ実重量 15t	総取扱コンテナ数 <sup>注)</sup> $\times 0.20$		
	空荷時輪荷重	総取扱コンテナ数 <sup>注)</sup>		

注) 総取扱コンテナ数 = 7万 × (ブロック長 / 対象船舶長さ)

荷役機械の移動現況調査の一部を担務して頂いた。北九州市港湾局 長部静之氏、(財)東京港埠頭公社 大貫行眞氏、(財)横浜港埠頭公社 中川英毅氏・久保誠一氏・岡本直樹氏、(財)名古屋港埠頭公社 市橋幸次氏、名古屋コンテナ埠頭(株) 堀 次雄氏、日本郵船(株) 中川敏氏、(株)ユニエックス 大家 晃氏には現場視察や、コンテナ荷役に関する情報収集についてご協力を頂いた。住友建機(株) 田中淳士朗氏、(株)タダノ 田中一幸氏・大久保一郎氏にはトラッククレーンのアウトリガー反力に関する貴重な情報を提供して頂いた。研究のとりまとめにあたっては、矢部計画設計基準部長から懇切なご指導をいただいたほか、山本設計基準研究室長からご助言をいただいた。これらの方々には深く感謝します。

(1998年3月31日受付)

参 考 文 献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書(設計編)，1996。
- 2) 運輸省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)，丸善，1992。
- 3) 長尾 毅：限界状態設計法の鉄筋コンクリート港湾構造物への適用に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol. 33, No. 4, 1994, pp. 69~113。
- 4) 長尾 毅：ケーソン式岸壁底版の地震時安全係数に関する事例解析，港湾技研資料，No. 867, 1997。
- 5) 藤野慎吾，川崎芳一：港湾計画，技法堂出版，1981。
- 6) 運輸省港湾局監修，日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1989。
- 7) 例えば，東京港港勢(東京都)，横浜港統計年報(横

- 浜市), 名古屋港統計年報 (名古屋港管理組合) など。  
 8) 遠藤 博, 笹田 彰, 石塚修次: 係船岸の上載荷重調査, 港湾技研資料, No. 268, 1977.  
 9) 中山茂雄: 港湾工学, 山海堂, 1985.  
 10) 港湾産業事典: 成山堂書店, 1993.  
 11) 奥山育英, 中井典倫子, 久保重美: コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察, 港湾技術研究所報告, Vol. 10, No. 3, 1971, pp. 159~236.  
 12) 老平武弘, 塩見雅樹: 直ぐい式横棧橋の構造諸元の統計的分析, 港湾技研資料, No. 749, 1993.  
 13) 横田 弘, 南兼一郎, 清宮 理: ケーソン式港湾構造物への有限要素法の適用, 港湾技研資料, No. 403, 1981.

記 号 一 覧

- $a$  : アウトリガーフロート位置寸法  
 $b$  : アウトリガーフロート位置寸法, 部分等分布荷重の分布幅の長さ  
 $c$  : 複軸中心から後アウトリガー中心までの水平距離, 車線幅 (有効幅), 鉄筋のかぶり  
 $c_0$  : 鉄筋の中心間隔  
 $d$  : 複軸中心から前アウトリガー中心までの水平距離  
 $E_s$  : 鉄筋のヤング係数  
 $e$  : 旋回中心から上部旋回体と吊り上げ実荷重の重心位置までの水平距離  
 $f$  : 複軸中心線から下部走行体重心位置線までの水平距離  
 $f_d$  : コンクリート強度の設計用値  
 $f_{rd}$  : コンクリートの設計疲労強度  
 $f_{srd}$  : 異形鉄筋の設計疲労強度  
 $f_{ud}$  : 鉄筋の設計引張強度  
 $G_1$  : 下部走行体の重量  
 $G_2$  : 上部走行体重量と吊り荷荷重の和  
 $g$  : 上部旋回体の取付位置寸法  
 $k_1, k_2$  : 鉄筋の付着性状を表す定数, 永久荷重と変動荷重のひびわれ幅と鋼材の腐食に及ぼす影響度の差を考慮するための定数  
 $L, l$  : スパン長  
 $l_x, l_y$  :  $X$ 方向,  $Y$ 方向のスパン長  
 $M$  : 全ての荷重ランクによる損傷度の総和  
 $M_1, M_2$  : 曲げモーメント分配係数  
 $M_A$  : 支点における単位幅当りの曲げモーメント  
 $M_s$  : 短スパン  $a$  方向の単位幅当りの曲げモーメン

- ト  
 $M_b$  : 長スパン  $b$  方向の単位幅当りの曲げモーメント  
 $M_c$  : 支間中央における単位幅当りの曲げモーメント  
 $M_d$  : 断面力の設計用値  
 $M_i$  :  $i$  番目の荷重による損傷度  
 $M_{rm}$  : 変動荷重による最大断面力  
 $M_{r,i}$  : 変動荷重による断面力  
 $M_{ud}$  : 終局断面耐力  
 $M_x, M_y$  :  $X$ 方向,  $Y$ 方向の曲げモーメント  
 $N$  : 疲労寿命, 等価繰返し回数  
 $N_i$  :  $i$  番目の荷重に対する疲労寿命  
 $n_i$  : 作用反復回数  
 $P$  : 荷重合力, 移動荷重 1 台の後輪分担荷重  
 $P_1 \sim P_4$  : アウトリガー反力  
 $q$  : 等分布荷重, 部分等分布荷重  
 $S_s$  : 使用限界状態の検討に用いる荷重の特性値  
 $S_{MAX}$  : 単位幅当りの最大せん断力  
 $S_p$  : 永久荷重による断面力  
 $S_r$  : 変動荷重による断面力  
 $S_x, S_y$  :  $X$ 辺,  $Y$ 辺の中央部における単位幅当りのせん断力  
 $u$  : 部分等分布荷重の短スパン方向の載荷幅  
 $v$  : 部分等分布荷重の長スパン方向の載荷幅  
 $W$  : 部分等分布荷重  
 $w$  : 曲げひび割れ幅  
 $W_s$  : 換算等分布荷重  
 $w_{lim}$  : 許容曲げひび割れ幅  
 $X, Y$  :  $X$ 方向,  $Y$ 方向の曲げモーメント係数  
 $\gamma_b$  : 部材係数  
 $\gamma_i$  : 構造物係数  
 $\gamma_s$  : 鉄筋の材料係数  
 $\epsilon_0$  : コンクリートの乾燥収縮およびクリープによるひび割れを考慮するための数値  
 $\eta$  : ポアソン比  
 $\theta$  : 上部旋回体の旋回角  
 $\kappa_0$  : 鉄筋のふしの形状に関する係数  
 $\lambda$  : 辺長比  
 $\sigma_i$  : 変動応力度  
 $\sigma_p$  : 永久荷重による応力度  
 $\sigma_{ps}$  : 永久荷重による応力度  
 $\sigma_{rd}$  : 設計変動応力度  
 $\sigma_{se}$  : 鉄筋応力度の増加量  
 $\phi$  : 鉄筋直径

付 録

A : 荷役機械の荷重および移動現況調査

表一付. 1 調査結果一覧

①調査概要

コンテナ岸壁2港（東京港，横浜港），一般岸壁3港（川崎港，東京港，横浜港）を対象に，移動荷重の現況を，荷役機械の種類，荷重の大きさ，移動回数等について現地目視および聞き取り調査を行った．対象バースは一般雑貨を扱うバースとし，各港湾それぞれ4日間，1日1バースについて8時間の調査を行った．調査は1997年に実施した．調査対象バースは，重量の大きな貨物の荷役が行われるバースを選定して行った．

②調査結果

調査の結果を表一付. 1に示す．表一付. 1の「実績(トン)」は，様々の種類の貨物の取扱いが行われた場合，一日のうちで最も1回あたりの取扱貨物量の大きかった荷役を対象としている．また，コンテナ貨物の値については，フレート・トンを示している．「1地点当たりの1日の往復回数」は，陸揚げ機械については貨物の吊り上げ回数を，運搬機械については貨物を載荷回数を示している．

B : 荷役機械の荷重アンケート調査

①調査概要

全国の港湾運送事業者を対象に，エプロン上で実際に使用されている荷役機械の種類，荷重の大きさ，移動回数等についてアンケート調査を行った．調査は，一般雑貨を取り扱うバースと，コンテナを取り扱うバースにおける利用事業者を対象に行い，一般バースは48社，コンテナバースは4社から回答が得られた．なお，本調査は1991年に実施した．

②調査結果

調査の結果を表一付. 2に示す．表一付. 2の「積載重量(トン)」は，平均的な積載重量はいくらかという設問に対する回答である．また，「実績率」とは，「積載重量(トン)」を「積載能力(トン)」で除した値である．

荷役機械	能力(トン)	実績(トン)	(実績) (能力)	港名	貨物品名	1地点当りの 1日往復回数
コンテナクレーン	40.60	30.48	75%	東京	コンテナ(雑貨)	193
	30.50	30.48	100%	〃	〃	99
	30.50	30.48	100%	〃	〃	143
	30.50	30.48	100%	〃	〃	153
	33.50	30.48	91%	横浜	〃	—
	33.50	24.00	72%	〃	〃	126
	30.50	30.48	100%	〃	〃	106
	30.50	30.48	100%	〃	〃	175
マウントクレーン	8.90	5.00	56%	川崎	0-1紙,古紙	184
	8.90	4.40	49%	〃	〃	184
トラッククレーン	35.00	8.20	23%	東京	鋼材	163
	35.00	9.50	27%	〃	〃	163
	35.00	6.00	17%	〃	砂利	506
トレー	32.00	30.48	95%	東京	コンテナ(雑貨)	193
	32.00	30.48	95%	〃	〃	99
	15.50	13.00	84%	〃	〃	133
	32.00	30.48	95%	〃	〃	73
	20.00	20.00	100%	横浜	〃	110
	32.00	30.48	95%	〃	〃	173
	32.00	30.48	95%	〃	〃	120
	20.00	20.00	100%	川崎	スクラップ	7
	19.25	16.00	83%	東京	シャーシ,0-1紙	98
	40.00	40.00	100%	横浜	アルミコン*ット	—
ストラト*ルキャリア	35.00	30.48	87%	東京	コンテナ(雑貨)	143
	35.00	30.48	87%	〃	〃	80
	35.00	30.48	87%	横浜	〃	—
	35.00	24.00	69%	〃	〃	105
	35.00	30.48	87%	〃	〃	106
10tク*ンプ	10.50	10.50	100%	川崎	珪砂	74
	10.50	10.50	100%	東京	砂糖	57
	10.50	10.50	100%	〃	砂	14
	10.50	10.50	100%	〃	砂利	52
フォークリフト	10.00	10.00	100%	川崎	製材品	571
	6.00	6.00	100%	〃	〃	571
	11.00	8.70	79%	東京	鋼材	112
	3.30	1.40	42%	〃	冷凍食品	420
	6.00	6.00	100%	横浜	梱包材	29
	3.50	3.40	97%	〃	袋詰砕石	47
11tトラック	4.50	3.40	76%	〃	〃	47
	11.25	9.00	80%	川崎	0-1紙,古紙	46
	11.25	11.25	100%	〃	スクラップ	6

表一付. 2 調査結果一覧

荷役機械	積載能力(トン)	積載重量(トン)	実積率	往復回数(回/日)
岸壁クレーン	20.0	8.0	40.0%	60
キャリアカー	140.0	78.8	56.3%	—
クランプリフト	6.0	3.0	50.0%	—
クレーン	15.0	7.5	50.0%	—
	120.0	60.0	50.0%	150
クレーン 天井走行	20.0	19.0	95.0%	120
クレーン (JBC)	15.0	5.0	33.3%	—
クレーン (L L C)	15.0	14.0	93.3%	—
	20.0	17.0	85.0%	—
	30.0	15.0	50.0%	600
クレーン (R T C)	20.0	10.0	50.0%	350
クレーン (S G C)	15.0	13.0	86.7%	—
クレーン (移動式)	35.0	10.0	28.6%	300
ショベル	6.0	4.0	66.7%	—
	8.0	5.0	62.5%	160
	8.0	5.0	62.5%	160
ショベルローダー	6.0	4.0	66.7%	500
	6.0	4.0	66.7%	500
ストラドルキャリア	30.5	20.0	65.6%	—
	30.5	24.0	78.7%	200
	30.5	24.0	78.7%	200
	30.5	25.0	82.0%	50
	30.5	25.0	82.0%	50
	35.0	30.0	85.7%	—
	35.0	32.0	91.4%	300
電動台車	20.0	9.0	45.0%	100
トラクター	80.0	57.8	72.3%	—
トラック	4.0	4.0	100.0%	—
	10.0	9.0	90.0%	—
	10.0	9.0	90.0%	—
	10.5	10.0	95.2%	—
	10.8	8.0	74.1%	—
	10.8	10.0	92.6%	—
	11.0	5.5	50.0%	80
トラッククレーン	15.0	3.0	20.0%	—
	20.0	4.0	20.0%	—
	25.0	2.0	8.0%	300
	25.0	2.0	8.0%	300
	35.0	2.0	5.7%	350

荷役機械	積載能力(トン)	積載重量(トン)	実積率	往復回数(回/日)
フォークリフト	3.5	3.5	100.0%	—
	3.5	—	—	225
	3.5	—	—	225
	3.8	2.5	65.8%	—
	4.0	1.5	37.5%	1500
	4.0	1.5	37.5%	1500
	4.0	2.0	50.0%	—
	4.0	2.0	50.0%	300
	4.0	2.0	50.0%	280
	4.0	2.0	50.0%	300
	4.0	2.0	50.0%	280
	4.0	3.0	75.0%	30
	4.0	3.0	75.0%	—
	4.0	3.0	75.0%	30
	4.0	3.0	75.0%	—
	4.0	4.0	100.0%	160
	4.0	4.0	100.0%	160
	4.5	3.0	66.7%	—
	6.0	6.0	100.0%	—
	7.0	3.0	42.9%	450
	7.0	3.0	42.9%	450
	7.0	5.0	71.4%	—
	10.0	2.0	20.0%	36
	10.0	2.0	20.0%	36
	10.0	6.0	60.0%	60
	10.0	6.0	60.0%	60
	10.0	6.5	65.0%	—
	15.0	10.0	66.7%	250
	15.0	10.0	66.7%	250
	15.0	—	—	—
	18.0	10.0	55.6%	100
	18.0	10.0	55.6%	100
	18.0	18.0	100.0%	—
	20.0	5.0	25.0%	—
	20.0	10.0	50.0%	80
20.0	10.0	50.0%	24	
20.0	10.0	50.0%	—	
20.0	10.0	50.0%	80	
20.0	10.0	50.0%	24	

荷役機械	積載能力(トン)	積載重量(トン)	実積率	往復回数(回/日)	
トラッククレーン	35.0	4.0	11.4%	—	
	35.0	5.0	14.3%	—	
	35.0	6.0	17.1%	—	
	35.0	8.0	22.9%	400	
	45.0	9.0	20.0%	—	
	45.0	20.0	44.4%	—	
	50.0	10.0	20.0%	250	
	50.0	10.0	20.0%	250	
	80.0	10.0	12.5%	—	
	160.0	—	—	3	
	160.0	—	—	3	
	200.0	30.0	15.0%	—	
	350.0	30.0	8.6%	—	
	トレーラー	35.0	30.0	85.7%	150
		35.0	30.0	85.7%	150
36.0		25.0	69.4%	—	
40.0		40.0	100.0%	—	
45.0		40.0	88.9%	—	
ニューマテックアンローダ	—	—	—	—	
ビューマットフォーク	15.0	13.0	86.7%	—	
ヒンジフォーク	7.5	5.0	66.7%	—	
	12.0	8.0	66.7%	300	
フォークリフト	2.5	2.0	80.0%	500	
	2.5	2.0	80.0%	30	
	2.5	2.0	80.0%	500	
	2.5	—	—	—	
	3.0	2.0	66.7%	—	
	3.0	2.0	66.7%	—	
	3.5	1.1	31.4%	1071	
	3.5	1.1	31.4%	1071	
	3.5	2.0	57.1%	50	
	3.5	2.0	57.1%	400	
	3.5	2.0	57.1%	400	
	3.5	2.0	57.1%	60	
	3.5	2.0	57.1%	—	
	3.5	2.0	57.1%	50	
	3.5	2.0	57.1%	400	
	3.5	2.0	57.1%	400	
	3.5	2.0	57.1%	60	

荷役機械	積載能力(トン)	積載重量(トン)	実積率	往復回数(回/日)	
フォークリフト	20.0	13.0	65.0%	—	
	20.0	15.0	75.0%	—	
	20.0	18.0	90.0%	—	
	20.0	18.0	90.0%	156	
	20.0	18.0	90.0%	250	
	20.0	18.0	90.0%	100	
	20.0	18.0	90.0%	156	
	20.0	18.0	90.0%	250	
	20.0	20.0	100.0%	150	
	20.0	20.0	100.0%	150	
	20.0	—	—	—	
	24.0	15.0	62.5%	—	
	24.0	20.0	83.3%	—	
	25.0	15.0	60.0%	300	
	25.0	15.0	60.0%	300	
	25.0	23.0	92.0%	—	
	32.0	20.0	62.5%	500	
	35.0	20.0	57.1%	—	
	35.0	30.0	85.7%	100	
	40.0	20.0	50.0%	150	
	40.0	20.0	50.0%	150	
	40.0	28.0	70.0%	150	
	42.0	20.0	47.6%	—	
	—	—	—	420	
	—	—	—	—	
	フォークローダー	5.0	4.0	80.0%	580
	ブルドーザー	953.0	—	—	—
		—	—	—	—
	ホイールクレーン	15.0	5.0	33.3%	—
		30.7	8.0	26.1%	65
リフト	15.0	10.0	66.7%	—	
ログローダー	9.0	7.0	77.8%	200	
	9.0	7.0	77.8%	200	
	10.0	6.0	60.0%	300	
	10.0	6.0	60.0%	300	
	10.0	7.0	70.0%	250	

C : コンテナ荷重の現況調査

①調査概要

東京港、横浜港、名古屋港のコンテナ岸壁を対象に、ガントリークレーンに設置されているロードセル等から得られる、実重量別取り扱いコンテナ個数、種類(20ft, 40ft等)別取り扱いコンテナ個数のデータを収集した。本調査は1997年に実施した。

②調査結果

調査の結果を表-付. 3, 図-付. 1および図-付. 2に示す。表-付. 3は、年単位の取扱コンテナの実重

量別、種類別個数である。図-付. 1は、年単位の取扱コンテナの実重量別の頻度分布である。図-付. 2は、年単位の取扱コンテナの種類別の頻度分布である。なお、取扱コンテナ個数は、各図表ともに、ガントリークレーン1機当たりに換算した値である。

D : モデル荷重影響度分析結果

4. で述べたモデル荷重の影響度分析結果の詳細を表-付. 4~表-付. 7に示す。

表-付. 3 コンテナ実重量別、種類別取り扱い個数

A港・1995年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)

重量(ト)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
5未満	4,740	1,434	13	2	6,190
5~10	4,437	3,842	89	1	8,368
10~15	3,165	4,666	151	0	7,982
15~20	5,923	3,962	147	0	10,033
20~25	11,854	4,156	48	0	16,058
25~30	5,533	6,714	48	0	12,295
30~35	1,020	2,785	16	0	3,821
35~40	281	626	4	0	911
40~	0	0	0	0	0
合計	36,954	28,185	517	3	65,659

B港・1995年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)

重量(ト)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
5未満	4,859	7,782	25	5	12,671
5~10	3,194	5,431	11	3	8,639
10~15	2,510	6,410	5	2	8,927
15~20	5,019	3,467	15	1	8,502
20~25	4,373	6,099	5	1	10,478
25~30	806	2,566	3	1	3,376
30~35	211	331	0	1	543
35~40	1	0	0	0	1
40~	0	0	0	0	0
合計	20,973	32,086	64	14	53,137

A港・1996年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)

重量(ト)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
5未満	4,139	1,111	10	6	5,267
5~10	3,287	3,385	111	0	6,783
10~15	2,258	3,382	101	0	5,742
15~20	3,325	2,916	100	0	6,342
20~25	8,195	2,524	25	0	10,745
25~30	4,495	4,526	20	0	9,041
30~35	792	2,621	5	1	3,419
35~40	242	828	1	3	1,074
40~	0	0	0	0	0
合計	26,734	21,293	374	11	48,412

C港・1996年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)

重量(ト)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
5未満	5,022	5,888	1	71	10,981
5~10	2,934	6,475	0	56	9,464
10~15	2,927	6,211	0	57	9,195
15~20	4,596	4,704	0	52	9,352
20~25	2,877	6,367	0	58	9,301
25~30	496	2,909	0	25	3,430
30~35	139	642	0	2	783
35~40	56	165	0	2	222
40~	0	0	0	0	0
合計	19,046	33,359	1	321	52,726

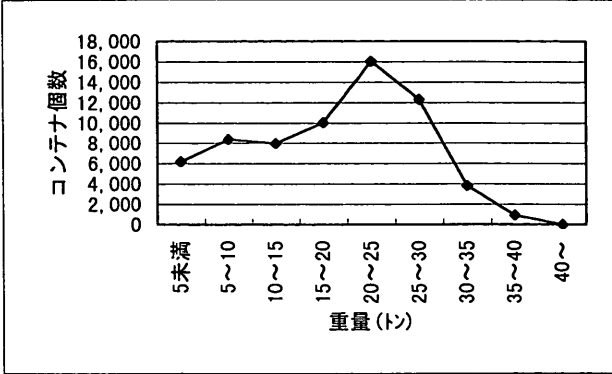
A港・1997年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)

重量(ト)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
5未満	4,005	664	2	12	4,683
5~10	3,165	3,032	57	3	6,257
10~15	2,210	3,160	150	1	5,521
15~20	3,003	2,903	145	0	6,051
20~25	7,776	2,648	44	0	10,468
25~30	4,326	4,352	29	1	8,708
30~35	772	3,141	5	0	3,918
35~40	245	1,039	1	0	1,285
40~	0	0	0	0	0
合計	25,502	20,939	433	17	46,891

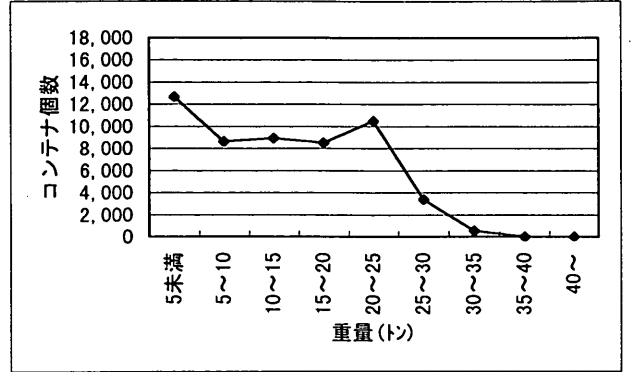
C港・1997年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)

重量(ト)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
5未満	7,383	9,205	0	0	16,588
5~10	4,039	11,534	1	0	15,573
10~15	4,039	10,986	1	0	15,026
15~20	7,145	7,809	2	0	14,956
20~25	4,963	9,925	0	0	14,888
25~30	735	5,102	1	0	5,837
30~35	203	1,120	0	1	1,324
35~40	182	496	0	1	679
40~	0	0	0	0	0
合計	28,689	56,177	4	2	84,872

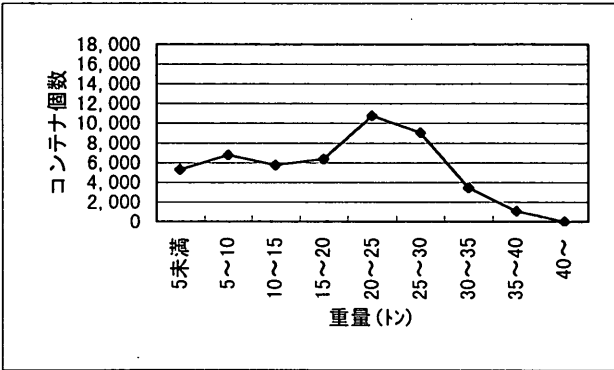
A港・1995年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



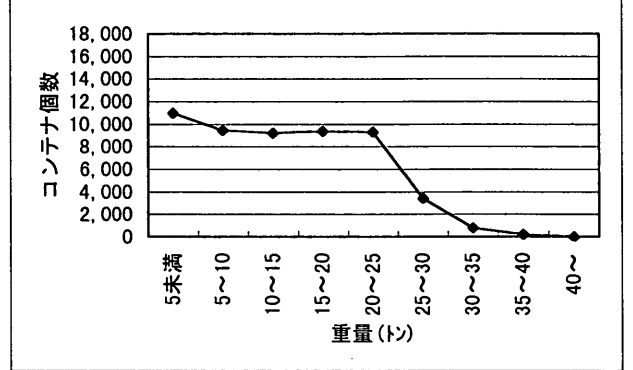
B港・1995年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



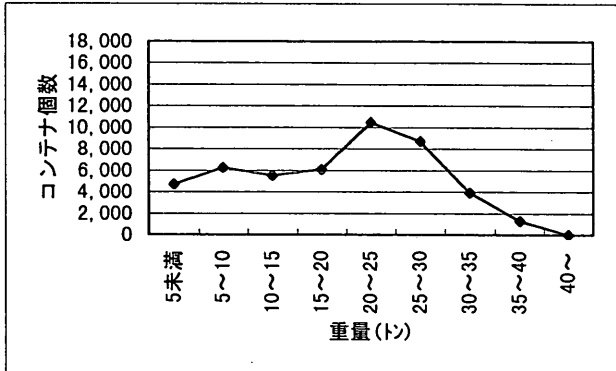
A港・1996年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



C港・1996年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



A港・1997年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



C港・1997年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)

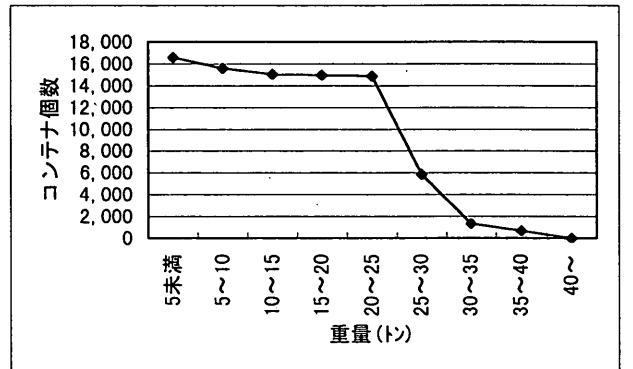
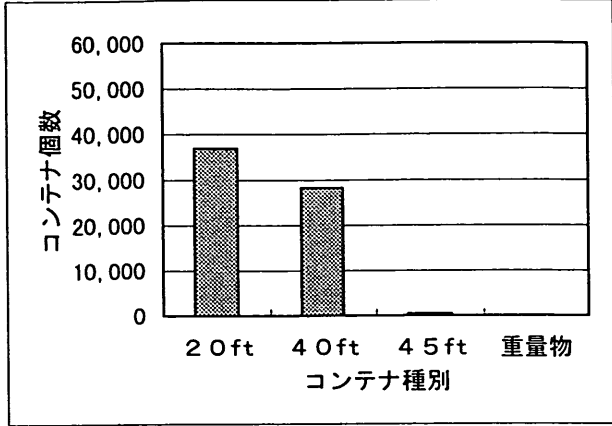


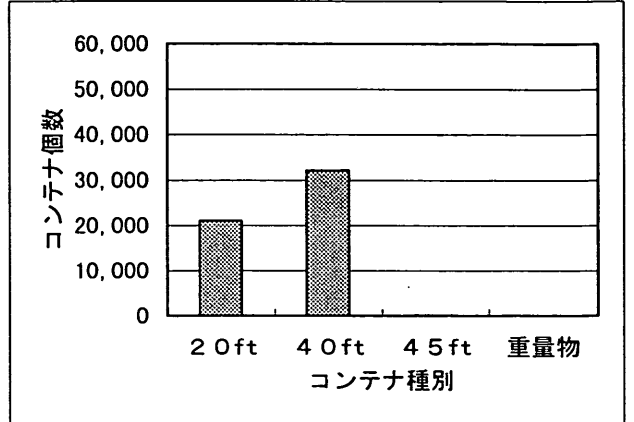
図-付. 1 コンテナ実重量別取り扱い個数



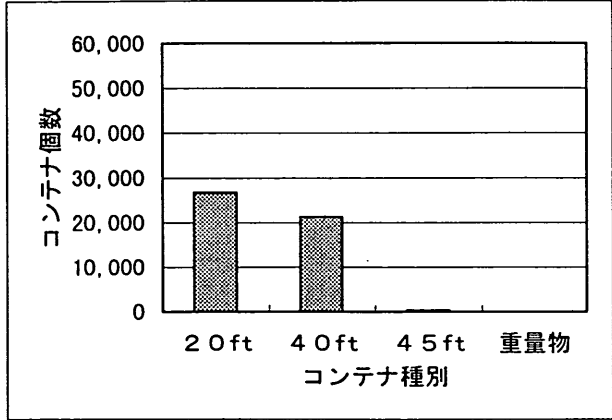
A 港・1995年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



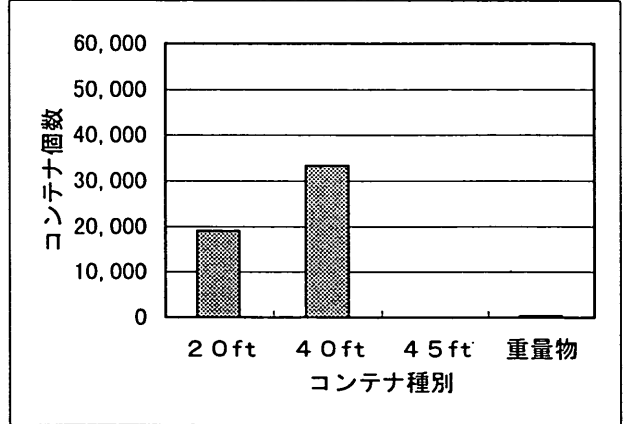
B 港・1995年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



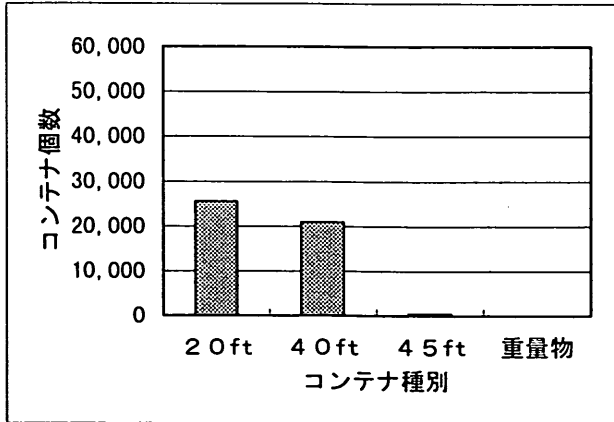
A 港・1996年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



C 港・1996年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



A 港・1997年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)



C 港・1997年 (取り扱いコンテナ個数/ガントリークレーン1機)

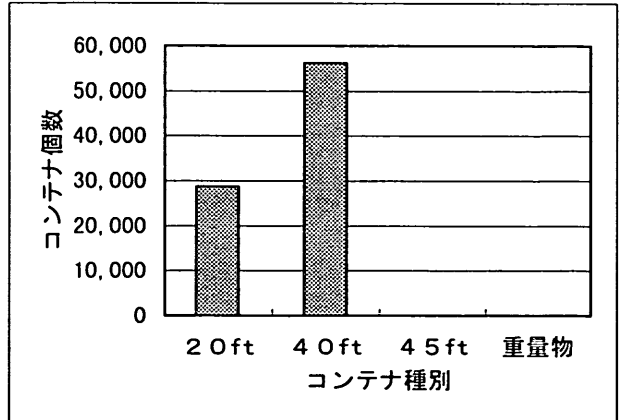


図-付. 2 コンテナ種類別取り扱い個数

表一付. 4 モデル荷重影響度解析結果

-7.5m岸壁・鉄筋

諸 値	単位	床 版		G-2梁			G-4梁			
		法直方向	法平方向	A	a	B	A	a	B	
		中央	支点	上側筋	下側筋	上側筋	上側筋	下側筋	上側筋	
鉄筋量	$A_s$	cm <sup>2</sup>	16.27	12.67	28.65	27.12	18.25	41.86	25.79	17.19
$M_d \cdot \gamma_i / M_{ud}$			0.92	0.97	0.99	0.97	0.99	0.97	0.99	0.98
$W / W_{lim}$			0.94	0.93	0.91	0.97	0.95	0.91	0.97	0.87
変動荷重による最大断面力	$M_{rm}$	kN·m	58.5	-58.5	-500.1	397.2	-304.0	-674.8	398.1	-328.5
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	45.3	-45.3	-387.6	293.4	-203.4	-456.0	308.0	-198.2
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	140.2	135.3	139.1	138.1	112.9	113.6	152.5	111.2
等価繰返し回数	$N$	回	465,167	465,168	465,172	465,172	619,279	465,172	477,279	930,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	196.8	187.4	178.2	185.1	174.3	171.6	184.6	171.7
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.71	0.72	0.78	0.75	0.65	0.66	0.83	0.65
疲労寿命	$N$	回	7.9E+06	7.0E+06	3.7E+06	5.3E+06	2.3E+07	1.4E+07	2.3E+06	3.5E+07
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	4.2	-4.2	-210.4	148.0	-103.1	-291.4	141.4	-97.1
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	49.2	47.4	75.5	69.7	57.2	72.6	69.9	54.5
等価繰返し回数	$N$	回	839,013	839,013	839,008	839,002	844,818	839,008	839,000	850,007
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	201.1	191.6	183.3	189.6	181.8	173.4	191.5	186.8
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.24	0.25	0.41	0.37	0.31	0.42	0.37	0.29
疲労寿命	$N$	回	1.0E+11	9.5E+10	1.4E+09	3.5E+09	1.3E+10	1.2E+09	3.7E+09	2.4E+10
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	2.9	-2.9	-139.4	143.4	-93.6	-193.0	155.7	-92.8
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	46.4	44.7	50.0	67.5	52.0	48.1	76.9	52.1
等価繰返し回数	$N$	回	235,980	235,987	235,955	234,777	261,681	235,976	233,000	233,115
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	234.1	223.1	213.5	220.9	209.2	201.9	223.3	218.2
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.20	0.20	0.23	0.31	0.25	0.24	0.34	0.24
疲労寿命	$N$	回	1.7E+11	1.6E+11	4.2E+10	4.6E+09	2.9E+10	3.7E+10	1.7E+09	3.6E+10
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	36.0	-36.0	-487.3	361.5	-195.3	-674.8	369.9	-200.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	111.3	107.3	174.8	170.2	108.4	168.1	182.8	112.5
等価繰返し回数	$N$	回	168,938	168,945	169,001	168,854	226,974	168,800	168,643	213,126
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	243.7	232.3	222.2	229.8	212.8	210.2	232.1	220.6
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.46	0.46	0.79	0.74	0.51	0.80	0.79	0.51
疲労寿命	$N$	回	1.2E+08	1.1E+08	1.2E+06	2.1E+06	6.3E+07	1.1E+06	1.2E+06	5.8E+07
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	33.5	-33.5	-453.5	336.4	-181.7	-627.9	344.3	-186.6
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	103.6	99.9	162.7	158.4	100.9	156.4	170.1	104.7
等価繰返し回数	$N$	回	213,518	213,104	212,828	212,664	285,654	212,665	212,622	267,876
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	236.9	225.9	216.1	223.6	207.0	204.4	225.8	214.6
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.44	0.44	0.75	0.71	0.49	0.77	0.75	0.49
疲労寿命	$N$	回	2.1E+08	1.9E+08	2.3E+06	3.8E+06	1.1E+08	2.0E+06	2.3E+06	1.1E+08

-7.5m岸壁・コンクリート

諸 値	単位	床 版		G-2梁			G-4梁			
		法直方向	法平方向	A	a	B	A	a	B	
		中央	支点	上側筋	下側筋	上側筋	上側筋	下側筋	上側筋	
鉄筋量	$A_s$	cm <sup>2</sup>	16.27	12.67	28.65	27.12	18.25	41.86	25.79	17.19
$M_d \cdot \gamma_i / M_{ud}$			0.92	0.97	0.99	0.97	0.99	0.97	0.99	0.98
$W / W_{lim}$			0.94	0.93	0.91	0.97	0.95	0.91	0.97	0.87
変動荷重による最大断面力	$M_{rm}$	kN·m	58.5	-58.5	-500.1	397.2	-304.0	-674.8	398.1	-328.5
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	45.3	-45.3	-387.6	293.4	-203.4	-456.0	308.0	-198.2
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	5.4	3.9	3.7	4.0	2.3	3.7	4.3	2.2
等価繰返し回数	$N$	回	465,044	465,700	465,729	465,471	669,320	465,620	472,431	930,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	9.3	9.2	8.9	9.1	9.1	8.6	9.2	9.4
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.58	0.42	0.41	0.44	0.25	0.43	0.47	0.24
疲労寿命	$N$	回	2.7E+10	1.9E+12	2.0E+12	1.0E+12	1.5E+14	1.3E+12	4.8E+11	2.5E+14
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	4.2	-4.2	-210.4	148.0	-103.1	-291.4	141.4	-97.1
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	1.9	1.3	2.0	2.0	1.2	2.4	2.0	1.1
等価繰返し回数	$N$	回	861,883	917,558	855,199	858,517	1,170,871	845,584	856,332	1,153,622
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	9.4	9.7	9.5	9.7	9.4	9.2	9.8	9.7
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.20	0.13	0.21	0.21	0.13	0.26	0.20	0.11
疲労寿命	$N$	回	7.1E+14	3.0E+15	4.7E+14	5.3E+14	4.0E+15	1.3E+14	5.6E+14	5.8E+15
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	2.9	-2.9	-139.4	143.4	-93.6	-193.0	155.7	-92.8
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	1.8	1.3	1.3	2.0	1.1	1.6	2.2	1.0
等価繰返し回数	$N$	回	276,393	308,396	312,275	261,334	470,585	277,572	237,282	312,521
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	9.9	10.2	9.9	10.2	9.7	9.6	10.3	10.2
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.18	0.13	0.13	0.20	0.11	0.17	0.21	0.10
疲労寿命	$N$	回	9.2E+14	3.0E+15	3.1E+15	5.3E+14	5.2E+15	1.2E+15	3.3E+14	7.5E+15
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	36.0	-36.0	-487.3	361.5	-195.3	-674.8	369.9	-200.5
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	4.3	3.1	4.6	4.9	2.2	5.5	5.1	2.2
等価繰返し回数	$N$	回	146,692	164,568	152,656	143,131	355,039	137,830	143,240	324,748
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	10.1	10.4	10.1	10.4	9.8	9.8	10.5	10.2
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.43	0.30	0.45	0.47	0.22	0.56	0.48	0.22
疲労寿命	$N$	回	1.4E+12	2.3E+13	4.4E+11	2.6E+11	2.7E+14	2.3E+10	1.8E+11	3.3E+14
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	33.5	-33.5	-453.5	336.4	-181.7	-627.9	344.3	-186.6
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	4.0	2.8	4.3	4.6	2.1	5.1	4.8	2.0
等価繰返し回数	$N$	回	200,572	260,277	196,983	183,203	429,306	176,252	181,257	436,165
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	10.0	10.2	10.0	10.3	9.8	9.7	10.4	10.1
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.40	0.27	0.43	0.45	0.22	0.52	0.46	0.20
疲労寿命	$N$	回	3.0E+12	5.2E+13	9.7E+11	5.8E+11	3.6E+14	6.9E+10	3.9E+11	5.6E+14

表一付. 5 モデル荷重影響度解析結果

-10.0m岸壁・鉄筋

諸 値	単位	床 版		G-2梁			G-4梁			
		法直方向	法平方向	A	a	B	A	a	B	
		中央	支点	上側筋	下側筋	上側筋	上側筋	下側筋	上側筋	
鉄筋量	$A_s$	cm <sup>2</sup>	16.27	12.67	28.65	27.12	18.25	41.86	25.79	17.19
$M_d \cdot \gamma_i / M_{ud}$			0.92	0.97	0.99	0.97	0.99	0.97	0.99	0.98
$W/W_{lim}$			0.94	0.93	0.91	0.97	0.95	0.91	0.97	0.87
変動荷重による最大断面力	$M_{rd}$	kN・m	58.5	-58.5	-500.1	397.2	-304.0	-674.8	398.1	-328.5
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	45.3	-45.3	-387.6	293.4	-203.4	-456.0	308.0	-198.2
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	140.2	135.3	139.1	138.1	112.9	113.6	152.5	111.2
等価繰返し回数	N	回	608,219	608,220	608,225	608,225	809,723	608,224	624,056	1,216,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	190.6	181.4	172.6	179.2	168.8	166.1	178.8	166.3
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.74	0.75	0.81	0.77	0.67	0.68	0.85	0.67
疲労寿命	N	回	7.9E+06	7.0E+06	3.7E+06	5.3E+06	2.3E+07	1.4E+07	2.3E+06	3.5E+07
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	4.2	-4.2	-210.4	148.0	-103.1	-291.4	141.4	-97.1
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	49.2	47.4	75.5	69.7	57.2	72.6	69.9	54.5
等価繰返し回数	N	回	1,097,017	1,097,016	1,097,011	1,097,002	1,104,607	1,097,010	1,097,000	1,111,392
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	194.7	185.6	177.5	183.6	176.0	167.9	185.4	180.9
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.25	0.26	0.43	0.38	0.32	0.43	0.38	0.30
疲労寿命	N	回	1.0E+11	9.5E+10	1.4E+09	3.5E+09	1.3E+10	1.2E+09	3.7E+09	2.4E+10
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	2.9	-2.9	-139.4	143.4	-93.6	-193.0	155.7	-92.8
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	46.4	44.7	50.0	67.5	52.0	48.1	76.9	52.1
等価繰返し回数	N	回	307,888	307,897	307,855	306,319	341,420	307,883	304,000	304,150
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	226.8	216.1	206.8	214.0	202.7	195.5	216.3	211.4
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.20	0.21	0.24	0.32	0.26	0.25	0.36	0.25
疲労寿命	N	回	1.7E+11	1.6E+11	4.2E+10	4.6E+09	2.9E+10	3.7E+10	1.7E+09	3.6E+10
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	36.0	-36.0	-487.3	361.5	-195.3	-674.8	369.9	-200.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	111.3	107.3	174.8	170.2	108.4	168.1	182.8	112.5
等価繰返し回数	N	回	220,919	220,928	221,001	220,809	296,812	220,738	220,533	278,703
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	236.0	224.9	215.2	222.6	206.1	203.5	224.8	213.6
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.47	0.48	0.81	0.78	0.53	0.83	0.81	0.53
疲労寿命	N	回	1.2E+08	1.1E+08	1.2E+06	2.1E+06	6.3E+07	1.1E+06	1.2E+06	5.8E+07
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	33.5	-33.5	-453.5	336.4	-181.7	-627.9	344.3	-186.6
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	103.6	99.9	162.7	158.4	100.9	156.4	170.1	104.7
等価繰返し回数	N	回	278,714	278,173	277,813	277,599	372,877	277,601	277,545	349,671
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	229.5	218.8	209.3	216.5	200.5	198.0	218.7	207.9
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.45	0.46	0.78	0.73	0.50	0.79	0.78	0.50
疲労寿命	N	回	2.1E+08	1.9E+08	2.3E+06	3.8E+06	1.1E+08	2.0E+06	2.3E+06	1.1E+08

-10.0m岸壁・コンクリート

諸 値	単位	床 版		G-2梁			G-4梁			
		法直方向	法平方向	A	a	B	A	a	B	
		中央	支点	上側筋	下側筋	上側筋	上側筋	下側筋	上側筋	
鉄筋量	$A_s$	cm <sup>2</sup>	16.27	12.67	28.65	27.12	18.25	41.86	25.79	17.19
$M_d \cdot \gamma_i / M_{ud}$			0.92	0.97	0.99	0.97	0.99	0.97	0.99	0.98
$W/W_{lim}$			0.94	0.93	0.91	0.97	0.95	0.91	0.97	0.87
変動荷重による最大断面力	$M_{rd}$	kN・m	58.5	-58.5	-500.1	397.2	-304.0	-674.8	398.1	-328.5
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	45.3	-45.3	-387.6	293.4	-203.4	-456.0	308.0	-198.2
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	5.4	3.9	3.7	4.0	2.3	3.7	4.3	2.2
等価繰返し回数	N	回	608,057	608,916	608,953	608,616	875,153	608,811	617,716	1,216,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	9.2	9.1	8.8	9.0	9.0	8.5	9.1	9.3
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.59	0.43	0.42	0.44	0.26	0.44	0.47	0.24
疲労寿命	N	回	2.7E+10	1.9E+12	2.0E+12	1.0E+12	1.5E+14	1.3E+12	4.8E+11	2.5E+14
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	4.2	-4.2	-210.4	148.0	-103.1	-291.4	141.4	-97.1
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	1.9	1.3	2.0	2.0	1.2	2.4	2.0	1.1
等価繰返し回数	N	回	1,126,920	1,199,715	1,118,180	1,122,519	1,530,924	1,105,609	1,119,662	1,508,371
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	9.3	9.6	9.4	9.6	9.3	9.1	9.7	9.6
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.20	0.13	0.21	0.21	0.13	0.26	0.21	0.11
疲労寿命	N	回	7.1E+14	3.0E+15	4.7E+14	5.3E+14	4.0E+15	1.3E+14	5.6E+14	5.8E+15
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	2.9	-2.9	-139.4	143.4	-93.6	-193.0	155.7	-92.8
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	1.8	1.3	1.3	2.0	1.1	1.6	2.2	1.0
等価繰返し回数	N	回	360,616	402,370	407,432	340,968	613,982	362,154	309,587	407,752
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	9.8	10.1	9.8	10.1	9.6	9.5	10.2	10.1
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.18	0.13	0.13	0.20	0.11	0.17	0.22	0.10
疲労寿命	N	回	9.2E+14	3.0E+15	3.1E+15	5.3E+14	5.2E+15	1.2E+15	3.3E+14	7.5E+15
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	36.0	-36.0	-487.3	361.5	-195.3	-674.8	369.9	-200.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	4.3	3.1	4.6	4.9	2.2	5.5	5.1	2.2
等価繰返し回数	N	回	191,829	215,205	199,628	187,172	464,281	180,239	187,314	424,670
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	10.0	10.3	10.0	10.3	9.7	9.7	10.4	10.1
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.43	0.30	0.46	0.48	0.23	0.57	0.49	0.22
疲労寿命	N	回	1.4E+12	2.3E+13	4.4E+11	2.6E+11	2.7E+14	2.3E+10	1.8E+11	3.3E+14
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	33.5	-33.5	-453.5	336.4	-181.7	-627.9	344.3	-186.6
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	4.0	2.8	4.3	4.6	2.1	5.1	4.8	2.0
等価繰返し回数	N	回	261,815	339,751	257,130	239,143	560,391	230,069	236,602	569,345
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	9.9	10.1	9.9	10.2	9.7	9.6	10.3	10.0
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.40	0.28	0.43	0.45	0.22	0.53	0.46	0.20
疲労寿命	N	回	3.0E+12	5.2E+13	9.7E+11	5.8E+11	3.6E+14	6.9E+10	3.9E+11	5.6E+14

表一付. 6 モデル荷重影響度解析結果

コンテナ岸壁・鉄筋

諸 値	単位	床 版		法線平行方向梁						
		法線直角方向		a		b		c		
		中央	支点	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	
鉄筋量	$A_s$	cm <sup>2</sup>	16.27	16.27	45.84	52.03	29.28	41.67	28.01	32.12
$M_d \cdot \gamma_i / M_{ud}$			0.94	0.99	1.00	0.99	0.97	0.99	0.95	1.00
$W/W_{lim}$			0.94	0.98	0.70	0.82	0.24	0.97	0.27	0.97
変動荷重による最大断面力	$M_{cm}$	kN・m	66.30	-66.30	903.80	-784.30	955.90	-291.50	808.90	-314.80
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	20.1	-20.1	158.5	-103.4	135.3	-45.4	134.3	-40.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	54.4	50.2	17.3	23.8	11.7	25.2	10.9	32.2
等価繰返し回数	$N$	回	102,000	102,000	100,000	101,000	106,000	101,000	109,000	100,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	257.6	242.7	257.4	250.0	260.9	243.2	260.1	244.7
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.21	0.21	0.07	0.10	0.04	0.10	0.04	0.13
疲労寿命	$N$	回	6.0E+10	1.2E+11	5.9E+14	3.3E+13	1.8E+16	1.6E+13	3.3E+16	2.2E+12
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	39.9	-39.9	284.1	-162.0	207.0	-69.9	209.2	-49.7
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	108.0	99.7	27.1	42.7	18.1	38.5	55.4	12.2
等価繰返し回数	$N$	回	202,000	201,000	200,000	200,000	195,000	200,000	203,000	205,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	237.4	223.8	236.8	242.5	224.1	231.3	241.4	224.5
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.45	0.45	0.11	0.18	0.08	0.17	0.23	0.05
疲労寿命	$N$	回	1.4E+08	1.7E+08	1.4E+13	2.5E+11	4.8E+14	4.7E+11	4.3E+10	7.1E+15
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	20.1	-20.1	158.5	-103.4	135.3	-45.4	134.3	-40.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	54.4	50.2	17.3	23.8	11.7	25.2	10.9	32.2
等価繰返し回数	$N$	回	229,000	228,000	225,000	226,000	238,000	226,000	244,000	225,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	233.8	220.4	233.5	227.0	236.8	220.8	236.1	222.0
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.23	0.23	0.07	0.10	0.05	0.11	0.05	0.15
疲労寿命	$N$	回	6.0E+10	1.2E+11	5.9E+14	3.3E+13	1.8E+16	1.6E+13	3.3E+16	2.2E+12
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	39.9	-39.9	284.1	-162.0	207.0	-69.9	209.2	-49.7
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	99.7	99.7	27.1	42.7	18.1	38.5	55.4	12.2
等価繰返し回数	$N$	回	453,000	453,000	452,000	452,000	441,000	452,000	457,000	463,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	215.4	203.0	214.8	208.9	219.9	203.2	219.0	203.6
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.46	0.49	0.13	0.20	0.08	0.19	0.25	0.06
疲労寿命	$N$	回	1.4E+08	1.7E+08	1.4E+13	2.5E+11	4.8E+14	4.7E+11	4.3E+10	7.1E+15

コンテナ岸壁・コンクリート

諸 値	単位	床 版		法線平行方向梁						
		法線直角方向		a		b		c		
		中央	支点	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	
鉄筋量	$A_s$	cm <sup>2</sup>	16.27	16.27	45.84	52.03	29.28	41.67	28.01	32.12
$M_d \cdot \gamma_i / M_{ud}$			0.94	0.99	1.00	0.99	0.97	0.99	0.95	1.00
$W/W_{lim}$			0.94	0.98	0.70	0.82	0.24	0.97	0.27	0.97
変動荷重による最大断面力	$M_{cm}$	kN・m	66.30	-66.30	903.80	-784.30	955.90	-291.50	808.90	-314.80
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	20.1	-20.1	158.5	-103.4	135.3	-45.4	134.3	-40.5
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	1.9	1.7	0.4	0.6	0.2	0.6	0.2	0.6
等価繰返し回数	$N$	回	263,000	270,000	1,082,000	722,000	1,436,000	645,000	1,405,000	729,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	10.3	9.7	10.1	10.3	10.0	9.9	10.0	10.0
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.18	0.17	0.04	0.06	0.02	0.06	0.02	0.06
疲労寿命	$N$	回	7.3E+14	9.4E+14	3.7E+16	2.2E+16	6.1E+16	2.1E+16	6.1E+16	2.1E+16
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	39.9	-39.9	284.1	-162.0	207.0	-69.9	209.2	-49.7
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	3.8	3.4	0.6	1.1	0.3	0.9	1.0	0.2
等価繰返し回数	$N$	回	202,000	186,000	571,000	502,000	626,000	668,000	524,000	626,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	10.3	9.9	10.4	10.4	10.4	9.9	10.4	10.0
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.37	0.35	0.06	0.11	0.03	0.09	0.10	0.02
疲労寿命	$N$	回	5.3E+10	8.8E+12	2.2E+16	6.3E+15	4.7E+16	9.6E+15	8.3E+15	6.0E+16
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	20.1	-20.1	158.5	-103.4	135.3	-45.4	134.3	-40.5
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	1.9	1.7	0.4	0.6	0.2	0.6	0.2	0.6
等価繰返し回数	$N$	回	594,000	610,000	2,454,000	1,633,000	3,279,000	1,459,000	3,201,000	1,649,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	10.0	9.4	9.8	9.9	9.7	9.6	9.7	9.7
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.19	0.18	0.04	0.06	0.02	0.06	0.02	0.06
疲労寿命	$N$	回	7.3E+14	9.4E+14	3.7E+16	2.2E+16	6.1E+16	2.1E+16	6.1E+16	2.1E+16
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN・m	39.9	-39.9	284.1	-162.0	207.0	-69.9	209.2	-49.7
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	3.8	3.4	0.6	1.1	0.3	0.9	1.0	0.2
等価繰返し回数	$N$	回	456,000	419,000	1,291,000	1,136,000	1,416,000	1,510,000	1,206,000	1,416,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	10.1	9.6	10.1	10.1	10.0	9.6	10.1	9.7
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.38	0.36	0.06	0.11	0.03	0.09	0.10	0.02
疲労寿命	$N$	回	5.3E+10	8.8E+12	2.2E+16	6.3E+15	4.7E+16	9.6E+15	8.3E+15	6.0E+16

表一付. 7 モデル荷重影響度解析結果

コンテナ岸壁(クレーン梁・陸側)・鉄筋

諸 値	単位	陸側クレーン梁								
		a		b		C		c		
		上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	
鉄筋量	$A_s$	cm <sup>2</sup>	115.27	130.47	124.04	166.78	198.55	149.73	97.68	127.07
$M_d \cdot \gamma_i / M_{ud}$			1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00
$W / W_{lin}$			0.63	0.74	0.63	0.76	0.66	0.63	0.63	0.79
変動荷重による最大断面力	$M_{rd}$	kN·m	-2720.9	2959.0	-3570.4	4249.3	-3898.0	3076.2	-2912.5	3498.5
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	-1291.2	1667.0	-1537.2	2396.7	-1695.6	1736.1	-1008.7	1985.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	65.5	75.9	72.7	86.2	51.0	69.3	60.0	95.7
等価繰返し回数	N	回	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	173.8	167.5	169.7	159.8	169.4	172.5	177.3	157.7
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_s) \leq 1.0$			0.38	0.45	0.43	0.54	0.30	0.40	0.34	0.61
疲労寿命	N	回	2.1E+09	4.6E+08	7.3E+08	1.1E+08	1.4E+10	1.2E+09	5.2E+09	5.2E+07
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	-2275.1	2937.2	-2708.6	4223.0	-2987.7	3059.1	-1777.3	3498.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	115.5	133.8	128.1	151.9	89.9	122.1	105.8	163.4
等価繰返し回数	N	回	42,000	40,000	40,000	36,000	33,000	33,000	63,000	55,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	266.5	266.1	262.6	262.5	274.0	268.7	253.9	249.3
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_s) \leq 1.0$			0.43	0.50	0.49	0.58	0.33	0.45	0.42	0.66
疲労寿命	N	回	4.5E+07	1.2E+07	1.6E+07	3.4E+06	3.6E+08	2.4E+07	9.3E+07	1.9E+06
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	-1291.2	1667.0	-1537.2	2396.7	-1695.6	1736.1	-1008.7	1985.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	65.5	75.9	72.7	86.2	51.0	69.3	60.0	92.7
等価繰返し回数	N	回	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	157.5	151.8	153.8	144.8	153.5	156.3	160.7	142.9
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_s) \leq 1.0$			0.42	0.50	0.47	0.60	0.33	0.44	0.37	0.65
疲労寿命	N	回	2.1E+09	4.6E+08	7.3E+08	1.1E+08	1.4E+10	1.2E+09	5.2E+09	5.2E+07
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	-2275.1	2937.2	-2708.6	4223.0	-2987.7	3059.1	-1777.3	3498.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	115.5	133.8	128.1	151.9	89.9	122.1	105.8	163.4
等価繰返し回数	N	回	97,000	91,000	92,000	83,000	75,000	77,000	145,000	126,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$	N/mm <sup>2</sup>	241.1	241.1	237.6	237.4	248.3	242.8	229.7	225.7
$\gamma_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / \gamma_s) \leq 1.0$			0.48	0.55	0.54	0.64	0.36	0.50	0.46	0.72
疲労寿命	N	回	4.5E+07	1.2E+07	1.6E+07	3.4E+06	3.6E+08	2.4E+07	9.3E+07	1.9E+06

コンテナ岸壁(クレーン梁・陸側)・コンクリート

諸 値	単位	陸側クレーン梁								
		a		b		C		c		
		上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	
鉄筋量	$A_s$	cm <sup>2</sup>	115.27	130.47	124.04	166.78	198.55	149.73	97.68	127.07
$M_d \cdot \gamma_i / M_{ud}$			1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00
$W / W_{lin}$			0.63	0.74	0.63	0.76	0.66	0.63	0.63	0.79
変動荷重による最大断面力	$M_{rd}$	kN·m	-2720.9	2959.0	-3570.4	4249.3	-3898.0	3076.2	-2912.5	3498.5
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	-1291.2	1667.0	-1537.2	2396.7	-1695.6	1736.1	-1008.7	1985.5
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	1.8	2.2	2.1	2.9	1.9	2.2	1.5	2.7
等価繰返し回数	N	回	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	9.4	9.0	9.4	8.5	9.0	9.4	9.6	8.7
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.19	0.24	0.22	0.34	0.21	0.23	0.16	0.31
疲労寿命	N	回	7.1E+14	1.8E+14	3.0E+14	1.5E+13	4.3E+14	2.4E+14	1.8E+15	3.2E+13
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	-2275.1	2937.2	-2708.6	4223.0	-2987.7	3059.1	-1777.3	3498.5
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	3.2	4.0	3.7	5.2	3.4	3.9	2.7	4.8
等価繰返し回数	N	回	41,000	37,000	39,000	33,000	33,000	33,000	68,000	53,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	11.5	11.4	11.5	11.4	11.2	11.5	11.3	11.2
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.28	0.35	0.32	0.46	0.30	0.34	0.24	0.43
疲労寿命	N	回	3.4E+13	4.4E+12	9.8E+12	1.9E+11	1.6E+13	6.0E+12	1.2E+14	5.5E+11
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	-1291.2	1667.0	-1537.2	2396.7	-1695.6	1736.1	-1008.7	1985.5
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	1.8	2.2	2.1	2.9	1.9	2.2	1.5	2.7
等価繰返し回数	N	回	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	9.1	8.7	9.1	8.2	8.7	9.1	9.3	8.4
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.20	0.25	0.23	0.35	0.22	0.24	0.16	0.32
疲労寿命	N	回	7.1E+14	1.8E+14	3.0E+14	1.5E+13	4.3E+14	2.4E+14	1.8E+15	3.2E+13
変動荷重による断面力	$M_{ri}$	kN·m	-2275.1	2937.2	-2708.6	4223.0	-2987.7	3059.1	-1777.3	3498.5
設計変動応力度	$\sigma_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	3.2	4.0	3.7	5.2	3.4	3.9	2.7	4.8
等価繰返し回数	N	回	95,000	84,000	89,000	76,000	77,000	76,000	155,000	123,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{rd}$	N/mm <sup>2</sup>	11.1	11.1	11.1	11.0	10.9	11.2	10.9	10.9
$\gamma_i \cdot \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1.0$			0.29	0.36	0.33	0.47	0.31	0.35	0.25	0.44
疲労寿命	N	回	3.4E+13	4.4E+12	9.8E+12	1.9E+11	1.6E+13	6.0E+12	1.2E+14	5.5E+11

コンテナ岸壁（クレーン梁・海側）・鉄筋

諸 値	単位	海側クレーン梁							
		a		b		C		c	
		上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋
鉄筋量	$A_s$ cm <sup>2</sup>	115.27	130.47	124.04	166.78	198.55	149.73	97.68	127.07
$M_d \cdot r_i / M_{ud}$		0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	0.98	1.00
$W / W_{lim}$		0.77	0.89	0.76	0.89	0.82	0.81	0.75	0.90
変動荷重による最大断面力	$M_{ed}$ kN·m	-3309.3	3598.8	-4342.3	5168.1	-4740.9	3741.3	-3542.3	4349.1
変動荷重による断面力	$M_{ei}$ kN·m	-1291.2	1667.0	-1757.5	2740.1	-1938.5	1984.9	-1153.3	2270.0
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	75.4	87.0	76.6	90.3	63.2	93.0	60.6	94.3
等価繰返し回数	$N$ 回	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	162.4	156.6	157.9	147.0	162.5	160.6	166.9	144.2
$r_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / r_k) \leq 1.0$		0.46	0.56	0.49	0.61	0.39	0.58	0.36	0.65
疲労寿命	$N$ 回	3.7E+08	8.3E+07	2.6E+08	3.6E+07	1.6E+09	5.9E+07	2.9E+09	2.1E+07
変動荷重による断面力	$M_{ed}$ kN·m	-2767.4	3572.8	-3294.7	5136.7	-3634.2	3721.0	-2162.0	4255.5
変動荷重による断面力	$M_{ei}$ kN·m	-1291.2	1667.0	-1757.5	2740.1	-1938.5	1984.9	-1153.3	2270.0
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	161.7	186.5	164.2	193.6	135.4	199.3	129.9	202.2
等価繰返し回数	$N$ 回	42,000	40,000	40,000	36,000	33,000	33,000	63,000	55,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	266.5	267.5	262.6	263.2	272.7	268.7	253.9	250.3
$r_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / r_k) \leq 1.0$		0.61	0.70	0.63	0.74	0.50	0.74	0.51	0.81
疲労寿命	$N$ 回	6.4E+05	1.5E+05	4.5E+05	6.3E+04	2.8E+06	1.0E+05	5.0E+06	3.7E+04
変動荷重による断面力	$M_{ed}$ kN·m	-1291.2	1667.0	-1757.5	2740.1	-1938.5	1984.9	-1153.3	2270.0
変動荷重による断面力	$M_{ei}$ kN·m	-2767.4	3572.8	-3294.7	5136.7	-3634.2	3721.0	-2162.0	4255.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	75.4	87.0	76.6	90.3	63.2	93.0	60.6	94.3
等価繰返し回数	$N$ 回	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	147.1	141.9	143.1	133.3	147.2	145.5	151.2	130.7
$r_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / r_k) \leq 1.0$		0.51	0.61	0.54	0.68	0.43	0.64	0.40	0.72
疲労寿命	$N$ 回	3.7E+08	8.3E+07	2.6E+08	3.6E+07	1.6E+09	5.9E+07	2.9E+09	2.1E+07
変動荷重による断面力	$M_{ed}$ kN·m	-2767.4	3572.8	-3294.7	5136.7	-3634.2	3721.0	-2162.0	4255.5
変動荷重による断面力	$M_{ei}$ kN·m	-1291.2	1667.0	-1757.5	2740.1	-1938.5	1984.9	-1153.3	2270.0
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	161.7	186.5	164.2	193.6	135.4	199.3	129.9	202.2
等価繰返し回数	$N$ 回	97,000	91,000	92,000	83,000	75,000	77,000	145,000	126,000
鉄筋の設計疲労強度	$f_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	241.1	242.4	237.6	238.1	247.1	242.8	229.7	226.6
$r_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{srd} / r_k) \leq 1.0$		0.67	0.77	0.69	0.81	0.55	0.82	0.57	0.89
疲労寿命	$N$ 回	6.4E+05	1.5E+05	4.5E+05	6.3E+04	2.8E+06	1.0E+05	5.0E+06	3.7E+04

コンテナ岸壁（クレーン梁・海側）・コンクリート

諸 値	単位	海側クレーン梁							
		a		b		C		c	
		上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋	上側筋	下側筋
鉄筋量	$A_s$ cm <sup>2</sup>	115.27	130.47	124.04	166.78	198.55	149.73	97.68	127.07
$M_d \cdot r_i / M_{ud}$		0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	0.98	1.00
$W / W_{lim}$		0.77	0.89	0.76	0.89	0.82	0.81	0.75	0.90
変動荷重による最大断面力	$M_{ed}$ kN·m	-3309.3	3598.8	-4342.3	5168.1	-4740.9	3741.3	-3542.3	4349.1
変動荷重による断面力	$M_{ei}$ kN·m	-1291.2	1667.0	-1757.5	2740.1	-1938.5	1984.9	-1153.3	2270.0
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	1.9	2.4	2.1	3.0	2.1	2.5	1.5	2.7
等価繰返し回数	$N$ 回	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000	623,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{cd}$ N/mm <sup>2</sup>	8.9	8.4	8.7	7.7	8.5	8.7	9.2	8.0
$r_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{cd} / r_k) \leq 1.0$		0.21	0.29	0.24	0.39	0.25	0.29	0.16	0.34
疲労寿命	$N$ 回	3.9E+14	6.2E+13	2.0E+14	4.4E+12	1.7E+14	5.8E+13	1.5E+15	1.5E+13
変動荷重による断面力	$M_{ed}$ kN·m	-2767.4	3572.8	-3294.7	5136.7	-3634.2	3721.0	-2162.0	4255.5
変動荷重による断面力	$M_{ei}$ kN·m	-1291.2	1667.0	-1757.5	2740.1	-1938.5	1984.9	-1153.3	2270.0
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	4.1	5.1	4.6	6.4	4.5	5.4	3.2	5.9
等価繰返し回数	$N$ 回	41,000	37,000	37,000	32,000	31,000	31,000	68,000	48,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{cd}$ N/mm <sup>2</sup>	11.5	11.5	11.5	11.4	11.4	11.6	11.3	11.3
$r_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{cd} / r_k) \leq 1.0$		0.36	0.44	0.40	0.56	0.39	0.47	0.28	0.52
疲労寿命	$N$ 回	3.6E+12	3.0E+11	1.0E+12	9.8E+09	1.1E+12	1.4E+11	3.4E+13	3.5E+10
変動荷重による断面力	$M_{ed}$ kN·m	-1291.2	1667.0	-1757.5	2740.1	-1938.5	1984.9	-1153.3	2270.0
変動荷重による断面力	$M_{ei}$ kN·m	-2767.4	3572.8	-3294.7	5136.7	-3634.2	3721.0	-2162.0	4255.5
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	1.9	2.4	2.1	3.0	2.1	2.5	1.5	2.7
等価繰返し回数	$N$ 回	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000	1,415,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{cd}$ N/mm <sup>2</sup>	8.6	8.1	8.5	7.5	8.2	8.4	8.9	7.7
$r_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{cd} / r_k) \leq 1.0$		0.22	0.30	0.25	0.40	0.26	0.30	0.17	0.35
疲労寿命	$N$ 回	3.9E+14	6.2E+13	2.0E+14	4.4E+12	1.7E+14	5.8E+13	1.5E+15	1.5E+13
変動荷重による断面力	$M_{ed}$ kN·m	-2767.4	3572.8	-3294.7	5136.7	-3634.2	3721.0	-2162.0	4255.5
変動荷重による断面力	$M_{ei}$ kN·m	-1291.2	1667.0	-1757.5	2740.1	-1938.5	1984.9	-1153.3	2270.0
設計変動応力度	$\sigma_{srd}$ N/mm <sup>2</sup>	4.1	5.1	4.6	6.4	4.5	5.4	3.2	5.9
等価繰返し回数	$N$ 回	95,000	84,000	85,000	73,000	72,000	72,000	155,000	111,000
コンクリートの設計疲労強度	$f_{cd}$ N/mm <sup>2</sup>	11.1	11.2	11.2	11.1	11.0	11.2	10.9	10.9
$r_i \cdot \sigma_{srd} / (f_{cd} / r_k) \leq 1.0$		0.37	0.46	0.41	0.58	0.41	0.48	0.29	0.54
疲労寿命	$N$ 回	3.6E+12	3.0E+11	1.0E+12	9.8E+09	1.1E+12	1.4E+11	3.4E+13	3.5E+10