

ISSN 1346-7301

国総研研究報告 第5号

平成14年12月

国土技術政策総合研究所 研究報告

RESEARCH REPORT of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.5

December 2002

係留施設に作用する上載荷重の確率特性

森屋陽一・山本修司

Probability Characteristics of Surcharge acting on the Mooring Facilities

Yoichi MORIYA and Shuji YAMAMOTO

国土交通省 国土技術政策総合研究所

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

係留施設に作用する上載荷重の確率特性

森屋陽一*・山本修司**

要 旨

国際規格 (ISO2394) では、設計照査法として部分係数法を採用しており、部分係数に荷重の確率特性が反映されている。しかしながら、現在の日本の港湾構造物の設計法は、安全率に基づく方法あるいは許容応力度法が採用されており、すべての荷重が合理的に決められているわけではない。今後、国際規格との整合性を考慮し、部分係数法により港湾構造物を設計していくためには、荷重の確率特性を考慮して合理的に設計値を決める必要がある。現在、日本における港湾構造物の設計において、上載荷重は常時10~30kN/m²、地震時は常時の1/2としている場合が多いが、これらの値は経験的に決められたものであり明確な根拠がない。よって、本研究では、雑貨貨物、バラ荷貨物、コンテナ貨物を対象として上載荷重の現地調査および資料収集を実施し、上載荷重の確率分布を評価すると共に、常時および地震時の上載荷重の設計値の評価を試みた。

本研究結果より港湾構造物の設計に用いる上載荷重の確率分布として以下を提案する。また、現行の港湾の施設の技術上の基準・同解説も考慮し、ISO2394 (1998) に従って上載荷重の特性値および設計値を算出した結果をまとめると以下の通りとなる。ただし、設計実務への適用にあたっては、採用する設計手法や性能関数に応じて、適切な特性値および設計値を採用する必要がある。

- | | |
|---------------|---|
| 雑貨貨物 | 確率分布：対数正規分布，パラメタA：0.65，パラメタB：2.0，または正規分布，
平均：10kN/m ² ，変動係数0.6
特性値：30kN/m ²
常時の設計値：40kN/m ² (主たる荷重)，15kN/m ² (従たる荷重) |
| バラ荷貨物 | 確率分布：正規分布，平均：25kN/m ² ，変動係数0.4
特性値：45kN/m ²
常時の設計値：50kN/m ² (主たる荷重)，35kN/m ² (従たる荷重) |
| コンテナ貨物 | 確率分布：正規分布，平均：15kN/m ² ，変動係数0.2
特性値：20kN/m ²
常時の設計値：30kN/m ² (主たる荷重)，20kN/m ² (従たる荷重) |
| 雑貨，バラ荷，コンテナ貨物 | 地震時の設計値：0.0kN/m ² |

キーワード：係留施設，上載荷重，確率分布，特性値，設計値，部分係数

* 港湾研究部港湾施設研究室研究官

** 港湾研究部長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：0468-44-5029 Fax：0468-44-5081 e-mail: moriya_y92y2@ysk.nilim.go.jp

Probability Characteristics of Surcharge acting on the Mooring Facilities

Yoichi MORIYA*
Shuji YAMAMOTO**

Synopsis

In the design of structures, the determination of reasonable design values based on the probability characteristics of the action is important. The international standard (ISO 2394) for structural design introduces the partial factor method for verification of design. To design structures based on the partial factor method, the probability distribution of the action should be clarified for reasonably estimating the partial factors and the design value of the action.

In the current design of port structures in Japan, the surcharge acting on mooring facilities is set at 10 - 30kN/m² for normal conditions and 1/2 of that for earthquake conditions. The values were empirically determined, but there is no clear reason for setting the value for earthquakes at half of that for normal conditions. Therefore, we targeted the surcharge of general cargo, bulk cargo and container cargo acting on mooring facilities and conducted field observation to estimate the probability distribution of the surcharge. Then we also estimated the characteristic value and the design value of the surcharge.

We propose the following as the probability distributions of the surcharge and show the following as the characteristic values and the design values, based on ISO2394 (1998), of the surcharge.

General Cargo : Probability Distribution: Log-normal, A=0.65, B=2.0, or Normal, mean value=10kN/m², coefficient of variation=0.6 ; Characteristic Value=30kN/m² ; Design Value at normal condition=40kN/m² (Dominating load), 15kN/m² (Other load)

Bulk Cargo : Probability Distribution: Normal, mean value=25kN/m², coefficient of variation=0.4 ; Characteristic Value=45kN/m² ; Design Value at normal condition=50kN/m² (Dominating load), 35kN/m² (Other load)

Container Cargo : Probability Distribution: Normal, mean value=15kN/m², coefficient of variation=0.2 ; Characteristic Value=20kN/m² ; Design Value at normal condition=30kN/m² (Dominating load), 20kN/m² (Other load)

General, Bulk and Container Cargo : Design Value at earthquake condition=0.0 kN/m²

Key Words : mooring facilities, surcharge, probability distribution, partial factor, characteristic value, design value

* Researcher of Port Facilities Division, Port and Harbor Department

** Director of Port and Harbor Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-468-44-5029 Fax : +81-468-44-5081 e-mail:moriya-y92y2@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 設計値の算定法	1
2.1 確率分布のあてはめ	1
2.2 常時の設計値	2
2.3 地震時の設計値	3
3. 雑貨貨物の上載荷重	3
3.1 ビデオカメラを用いた調査概要	3
3.2 ビデオカメラを用いた調査結果の解析	5
3.3 資料収集のみによる調査概要	11
3.4 資料収集のみによる調査結果の解析	12
4. バラ荷貨物の上載荷重	19
4.1 バラ荷貨物に関する調査概要	19
4.2 バラ荷貨物に関する調査結果の解析	23
5. コンテナ荷貨物の上載荷重	29
6. まとめ	33
6.1 雑貨貨物	33
6.2 バラ荷貨物	33
6.3 コンテナ貨物	33
6.4 地震時の上載荷重	33
7. おわりに	34
謝辞	34
参考文献	34
付録A 各国基準類による上載荷重の設計値	35
付録B 実重量ランクのコンテナ個数	39
付録C 横浜港での撮影画像の例	42
付録D 木更津港での撮影画像の例	44
付録E 横浜港、神戸港、北九州港のエプロンの状況および貨物の例	46

1. はじめに

1996年に発効した世界貿易機関WTO(World Trade Organization)における“政府調達協定(Agreement on Government Procurement)”により、政府機関はもちろん都道府県や政令指定都市等が定める技術基準は、国際規格が存在する場合にはその使用が求められている。さらに、“貿易の技術的障害に関する協定(TBT協定: Agreement on Technical Barriers to Trade)”により、国内強制規格の基礎としても国際規格を尊重しなくてはならないことになっている。もしこれに違反した場合、協定違反として提訴されたり、ペナルティーを負わされる可能性がある。この国際規格として位置付けられているのがISO規格である。

構造物の信頼性に関する一般原則を記述した国際規格(ISO2394)では、設計の照査法として信頼性設計法の一つである部分係数法を採用しており、部分係数に荷重や耐力の確率特性を反映させることを推奨している。これに対して、現在の港湾構造物の設計法は、安全率に基づく方法あるいは許容応力度法である。今後は、国際規格で採用している部分係数法が国際標準になると考えられる。よって、国際規格との整合を図り、また、構造物の保有している性能を明確にするためにも、我が国の港湾構造物の設計法として、少なくとも部分係数法を採用していく必要がある。部分係数法により港湾構造物を設計していくためには、荷重や耐力などの確率分布を用いて部分係数や組み合わせ係数を算定し、合理的に荷重や耐力などの設計値を決める必要がある。

現在、港湾の施設の技術上の基準・同解説(1999)には、係留施設の設計において上載荷重は、“取り扱う貨物の種類、荷姿、量、取り扱い方法、積載期間を十分考慮して決定する”と記述されている。また、参考として、“過去の設計例を参考とするのがよい。”一般雑貨埠頭の場合には常時の上載荷重は $10\sim 30\text{kN/m}^2$ としている例が多い”と記述されている。地震時については、参考として“地震時の上載荷重は常時の $1/2$ にとることが多い”としている。このため、実際の設計においては、常時の上載荷重は $10\sim 30\text{kN/m}^2$ 、地震時は常時の $1/2$ とする場合が多い。

これまで、港湾の施設における上載荷重の実態調査は、ほとんど行われていない。唯一、遠藤ら(1977)が過去の上載荷重の設定値の調査やメモモーションカメラなどを用いて横浜港、名古屋港、神戸港、小松島港において現地調査を実施し、上載荷重の設計値の妥当性を検討している。遠藤らによると、当時の設計では、大型係船岸

で常時 $20\sim 30\text{kN/m}^2$ ($2\sim 3\text{tf/m}^2$)、小型係船岸で常時 $10\sim 20\text{kN/m}^2$ ($1\sim 2\text{tf/m}^2$)、地震時は常時の $1/2$ とする例が多く、調査の結果、当時の設計値は十分安全側であると結論付けている。しかしながら、遠藤らの検討では、上載荷重の確率特性の検討が不十分であり、前述した国際規格との整合を図っていくためには、上載荷重の確率特性を評価する必要がある。また、遠藤らが研究を行った1977年当時に比べ、貨物の形態も変化し、コンテナ貨物がかなりの比率を占めるようになっている。

よって、本研究では、雑貨貨物、バラ荷貨物、コンテナ貨物を対象として、上載荷重の従う確率分布の関数形を評価するとともに、確率論に基づいた方法であるISO2394(1998)に示されている方法に従って、合理的に上載荷重の特性値ならびに常時および地震時の上載荷重の設計値の推定を行った。

雑貨およびバラ荷貨物については、エプロン上に作用する上載荷重の現地調査を実施し、その結果得られたデータを用いて解析を行った。雑貨貨物に関しては、2000年9月～11月にかけて横浜港においてビデオカメラによるエプロン上の撮影と資料収集を行うとともに、2001年11月～2002年1月にかけて横浜港、神戸港、北九州港において荷役貨物に関する資料収集を行った。バラ荷貨物に関しては2001年10月～12月にかけて木更津港において、ビデオカメラによるエプロン上の撮影と資料収集を行った。コンテナ貨物については、東京港、横浜港、名古屋港のコンテナ岸壁における1995年～1997年のコンテナ貨物の個別の重量ランク毎の頻度データを用いて解析を行った。このデータは、長尾ら(1998)の付録にあるコンテナ荷重の現況調査結果から引用したものである。

本報告では、2章で確率分布のあてはめおよびISO2394に従った設計値の算定法について述べ、3章で雑貨貨物の上載荷重について述べ、4章でバラ荷貨物の上載荷重について述べ、5章でコンテナ貨物の上載荷重について述べる。最後に、6章でまとめとして、港湾構造物の設計に用いる上載荷重の確率分布および設計値を提案する。

2. 設計値の算定法

2.1 確率分布のあてはめ

データに対する確率分布のあてはめは、合田(1990)に示されている極値統計解析の手法に従い、最小自乗法により行った。プロテイングポジション公式の係数も合田(1990)に従った。あてはめを試みた分布型は、正規分布、対数正規分布、グンベル分布、ワイブル分布である。

正規分布の分布関数 $F(x)$ および密度関数 $f(x)$ を式で表せば、

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}A} \exp\left\{-\frac{(x-B)^2}{2A^2}\right\} \quad (2)$$

である。対数正規分布の分布関数 $F(x)$ および密度関数 $f(x)$ を式で表せば、

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt, \quad 0 < x < \infty \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax} \exp\left\{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}\right\} \quad (4)$$

である。グンベル分布の分布関数 $F(x)$ および密度関数 $f(x)$ を式で表せば、

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-B}{A}\right)\right\} \quad (5)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \exp\left\{-\frac{x-B}{A} - \exp\left(-\frac{x-B}{A}\right)\right\} \quad (6)$$

である。ワイブル分布の分布関数 $F(x)$ および密度関数 $f(x)$ を式で表せば、

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right\}, \quad B \leq x < \infty \quad (7)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right\} \quad (8)$$

である。ここで、(1)式～(8)式中の k , A , B は分布形状を表すパラメタである。

プロットングポジション公式は、データの大きい順に並べたデータの順位を m として、

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha'}{N + \beta'}, \quad m = 1, 2, 3, \dots, N \quad (9)$$

であり、 α' と β' の値は表-1に示す値を採用した(合田, 1990)。

表-1 プロットングポジション公式の係数

分布関数名	α'	β'
正規分布	0.375	0.25
対数正規分布	0.375	0.25
グンベル分布	0.44	0.12
ワイブル分布	$0.20 + 0.27k^{1/2}$	$0.20 + 0.23k^{1/2}$

最小自乗法による母数推定の手順は、

- ① データを大きい順に並び替え、順序統計量 $x(m)$ とする。なお、対数正規分布に関しては、順序統計量として $\ln\{x(m)\}$ を $x(m)$ とする。
- ② データ数 N を用いて(9)式により順序統計量 $x(m)$ に対する非超過確率 F_m を割り付ける。
- ③ それぞれの F_m に対する基準化変量 $y(m)$ を次式により計算する。

正規分布および対数正規分布

$$y(m) = \Phi^{-1}(F_m) \quad (10)$$

グンベル分布

$$y(m) = -\ln(-\ln F_m) \quad (11)$$

ワイブル分布

$$y(m) = \{-\ln(1 - F_m)\}^{1/k} \quad (12)$$

ここで、 Φ^{-1} は標準正規分布関数の逆関数である。

- ④ 順序統計量 $x(m)$ と基準化変量 $y(m)$ の関係が次式の直線回帰式で表せるとして最小自乗法を適用する。

$$x(m) = Ay(m) + B \quad (13)$$

- ⑤ 最小自乗法で得られた係数 A および B をそれぞれの分布型のパラメタの推定値とする。パラメタの推定精度は、簡便な次式のピアソンの積率相関係数 R を用いて評価した。

$$R = \frac{N \sum(x \cdot y) - \sum x \sum y}{\sqrt{\{N \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{N \sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \quad (14)$$

ここで、パラメタの推定精度を検定するために、 χ^2 検定を行うことも考えられるが、検定対象を分布型全体とするか、分布型の裾野のみとするかなどを決める必要があるため、本検討では χ^2 検定は行わななかつた。

2.2 常時の設計値

本研究では、ISO2394 (1998) を参照して設計値の評価を行った。以下に、ISO2394 (1998) の付録 (Annex) による常時および地震時の荷重の設計値の評価方法を示す。

常時の荷重はその特性値に荷重係数 (荷重に対する部分係数) を乗じることにより、設計値になる。常時の荷重の設計値 Q_d は、

$$Q_d = \gamma_Q Q_k \quad (15)$$

と表される。ここで、 γ_Q は荷重係数、 Q_k は荷重の特性値である。上載荷重は変動荷重であるため、その特性値

は、対象とする構造物の供用期間を50年であると考え、
と $1-1/50=0.98$ であるので、変動分（非ゼロ）のデータに
対する確率分布の98%フラクティル値をとる。つまり、

$$Q_k = F_Q^{-1}(0.98) \quad (16)$$

である。ここで、 F_Q は非ゼロの荷重のデータに対する確
率分布関数であり、上付の-1はその逆関数であることを
意味する。

荷重係数は、

$$\gamma_Q = F_Q^{-1}\{\Phi(\alpha \cdot \beta)\} / Q_k \quad (17)$$

である。ここで、 Φ は標準正規分布関数、 α は感度係数、
 β は構造物の目標信頼性指標である。

感度係数は、その荷重の構造物への影響度合いであり、
FORM (First order reliability method) や SORM (Second
order reliability method) などの信頼性解析により評価す
ることができる。しかしながら、上載荷重の感度係数は、
対象とする構造物の構造形式などにより値が異なるため、
ここでは ISO2394 (1998) に示されている標準値を用い
る。主たる荷重に対する感度係数の標準値は-0.7、従たる
荷重に対する感度係数の標準値は-0.28 である。ただし、
対象とする荷重が主たる荷重か従たる荷重かは、技術基
準の作成者や設計者などが判断する必要がある。

また、目標信頼性指標は構造物の目標とする破壊確率
に対応するパラメータである。目標信頼性指標の決め方に
は、

- ① 事故統計に基づく方法
- ② 現行設計法のキャリブレーションに基づく方法
- ③ 他の災害危険性との比較による方法
- ④ 人的損失に対する危険性回避に要する投資効果によ
る方法
- ⑤ 期待総費用最適化に基づく方法

がある（星谷・石井（1986）、長尾（2001）など）。各
方法の具体的内容は、参考文献を参照してほしい。これ
らの内、いずれの方法により目標信頼性指標を決めるか
は難しい問題である。現状での最も一般的な方法は、現
行設計法のコードキャリブレーションである。しかしなが
ら、現行設計法のコードキャリブレーションにおいても、
対象とする構造物の構造形式や破壊モード、設計条件に
より、評価される信頼性指標は一般的に異なる。

よって、本研究では、設計値を評価するための目標信
頼性指標として ISO2394 に示されている標準値を用い
ることとし、目標信頼性指標は破壊確率を 10^{-4} 程度に相当
する 3.8 を用いる。破壊確率 10^{-4} という値は、ほぼ 1 年
当たりの個人致死事故率に相当する。

(17)式に(16)式および α 、 β の標準値を代入すると、
対象とする荷重を主たる荷重 ($\alpha=-0.7$) と考えた場合、

$$\gamma_Q = F_Q^{-1}(0.9961) / F_Q^{-1}(0.98) \quad (18)$$

従たる荷重 ($\alpha=-0.28$) と考えた場合、

$$\gamma_Q = F_Q^{-1}(0.9503) / F_Q^{-1}(0.98) \quad (19)$$

となる。

2.3 地震時の設計値

地震時の荷重の設計値 Q_{Ed} は、

$$Q_{Ed} = \Psi_2 Q_k \quad (20)$$

と表される。ここで、 Ψ_2 は準永続値に対する組み合わせ
係数である。

準永続値に対する組み合わせ係数は、

$$\Psi_2 = F_Q^{-1}(1-\eta/q) / Q_k \quad (21)$$

により算定できる。ここで、 q は荷重が非ゼロである確率、
 η は全時間に対して荷重が Q_{Ed} を越えている時間の割合
である。ISO2394 (1998) に示されている η の標準値は
0.5 である。

3. 雑貨貨物の上載荷重

3.1 ビデオカメラを用いた調査概要

(1) 調査期間・場所

エプロン上に載荷される雑貨貨物の上載荷重の確率特
性を評価するために、2000年9月18日～2000年11月
20日の約2ヶ月間、横浜港においてビデオカメラを用い
た現地調査を行った。横浜港の中で雑貨貨物の取扱量が
多く、観測におけるカメラの電源や設置場所などが確保
できる山下埠頭7号バースにおいて観測を行った。

横浜港の山下埠頭7号バースは、表-2 および表-3 に示
すように、年間の貨物取扱量が約12万トン、月に平均し
て5隻程度の貨物船が着岸する。また、バース長180m、
バース幅20m、水深-11.2m、天端高+3.5mの直杭式栈橋
構造で、上載荷重の設計値は常時20kN/m²、地震時
10kN/m² である。

表-2 山下埠頭7号バース取扱貨物量実績

年	外貨貨物	内貨貨物	合計
1999年	96,734	16,092	112,826
2000年	115,178	6,800	121,978

単位：重量トン

表-3 山下埠頭7号バース船舶着岸実績 (1999年)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
内航	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
外航	4	6	6	6	3	5	5	1	6	5	0	0	47
計	4	6	6	6	4	5	5	1	6	5	0	0	48

単位：隻

(2) 観測方法

エプロン上の貨物のビデオ観測および参考資料の収集を行った。バース上の貨物のビデオ観測には、デジタルビデオカメラを使用した。ビデオカメラに遠隔操作および画像転送機器を接続し、携帯電話を経由して、他所のパソコンにてビデオカメラの操作および撮影した静止画像の受信を行った。図-1は、観測システムの構成の模式図である。ビデオカメラ、遠隔操作および画像転送機器はアウトドア用のドーム(写真-1)に入れ、バースが見渡せる鉄塔の高さ14.9mの位置に設置した(写真-2)。写真-3に撮影された画像の一例を示す。表-4に画像伝送システムの機材一覧を示す。ビデオカメラによる撮影時間間隔は、岸壁上で貨物の動きが活発な入船時には5分間隔、その他の日には30分間隔とした。また、調査期間中は毎日午前6時から午後5時まで撮影を行った。



写真-2 ビデオカメラの設置状況 2

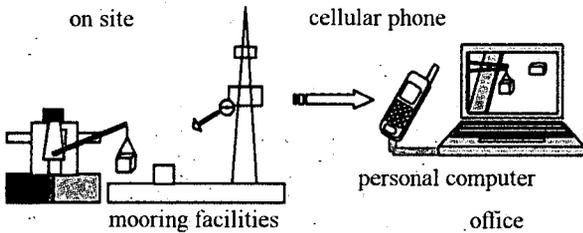


図-1 観測システムの構成の模式図

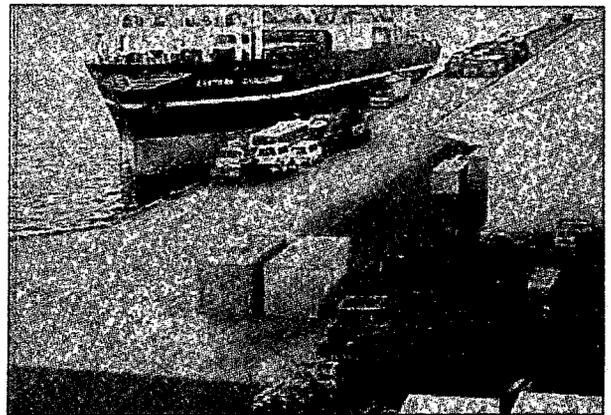


写真-3 撮影された画像の例

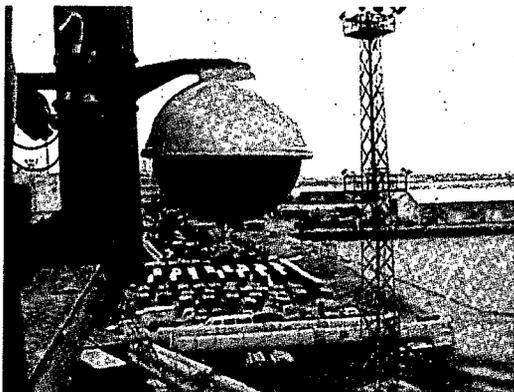


写真-1 ビデオカメラの設置状況 1

表-4 画像伝送システム機材一覧

品目	品名
パン・チルト一体型カメラ	SONY EVI-D30
画像伝送機器	NEC Media Point Mobile
データカード	NTT DoCoMo P-in
携帯電話	NTT DoCoMo P208
カメラ制御ケーブル	SONY TC1020-HW01
アウトドア用ドームハウジング	Super Dome Housing SDW16T

表-5 入船リスト

No.	船型 (GT)	全長(m)	着岸期間	揚卸貨物
1	—	—	00.09.18	パーツ,コイル,シート,他
2	6,264	101.0	00.09.20~09.22	重機,パーツ,コイル,他
3	3,405	108.0	00.09.27~09.28	重機,車両,パーツ,他
4	3,665	116.0	00.09.30~10.04	重機,パーツ,コイル,他
5	3,275	110.0	00.10.10~10.11	重機,パーツ,コイル,他
6	2,499	99.0	00.10.19	重機,コイル,シート,他
7	2,498	99.0	00.10.30	重機,車両,他
8	—	176.0	00.11.07~11.09	コイル,シート,他
9	2,498	99.0	00.11.13	重機,車両,コイル,他
10	8,397	152.0	00.11.18~11.20	コイル,シート,他

収集した資料は、横浜市港湾局から提供してもらった入船スケジュールと貨物の積みおろしに係わる代理店もしくは荷役会社から提供してもらった積荷目録や荷役書類である。これら資料により、入船日時、入船船舶諸元、荷役貨物の種類・寸法・重量、船体への積み込み位置などの把握を行った。収集した資料に記載されている寸法や重量の数値は、貨物の運賃の算定のために測定されたものであり、その信頼性は高いと考えられる。

(3) 観測期間中の状況

観測期間中、対象バースには表-5 に示す 10 船が入船した。船舶への荷役作業および上屋からの搬出入作業は、平日のおよそ午前 8 時過ぎから午後 5 時にかけて行われており、夜間作業および土日祝日作業は行われていなかった。

エプロン上で、貨物はほとんど海側に置かれ、上屋側は主に交通路として利用されていた。また、船舶が着いていないときも、荷さばきにエプロン上を利用していたが、トラックやコンテナへの積み込み作業は海側で行われていた。上屋側は、主として雨天時や海側に荷役貨物が積まれている場合に、上屋への荷物の搬出入に利用されていた。

岸壁上での取り扱い貨物は、主に重機、車両、木材、雑貨物などであった。重機や車両などの貨物は、船舶の積み込み作業前日に岸壁上に運び込まれ、夜間も置いたままになっている場合もあった。また、早朝から輸送車両が岸壁内に停車し、荷役・搬出作業を待つこともあった。

3.2. ビデオカメラを用いた調査結果の解析

(1) 上載荷重の経時変化

図-2 および写真-4 に示すように、岸壁のエプロン部分(200m×18m)を20m×9mの20領域に等分割し、それぞれにNo.1~No.20の領域番号を付けた。収集した参考

資料とビデオ画像から、エプロン上の貨物の置かれた領域、貨物の重量や寸法を評価した。

観測結果の上載荷重は、貨物の岸壁上への投影面積で除すことにより、投影面積あたりの荷重(圧力)として整理した。貨物が2つ以上の領域にまたがって置かれている場合には、面積比に基づいて荷重を配分した。

夜間の載荷状況については、エプロン上がライトアップされていないことから、ビデオ画像による評価ができないため、午後5時と翌朝の午前6時のデータから推測した。移動中のトラックやフォークリフトなどの活荷重については、調査対象外とした。

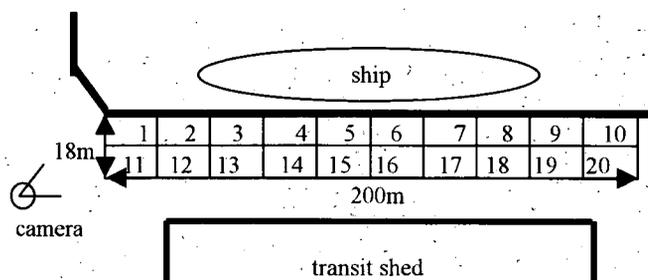


図-2 領域分け(領域番号)の模式図

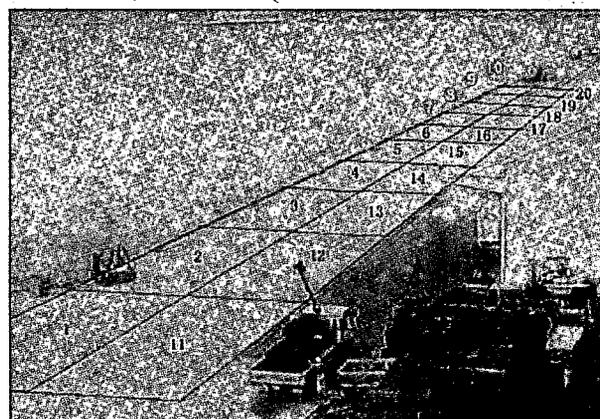
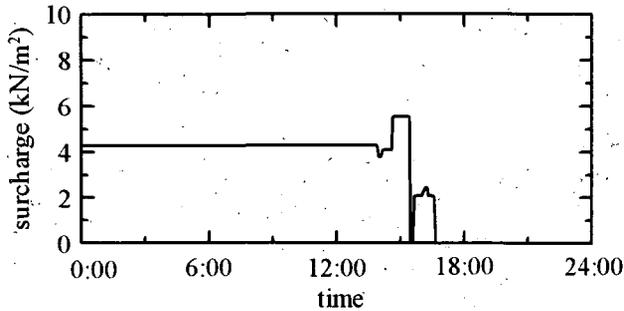
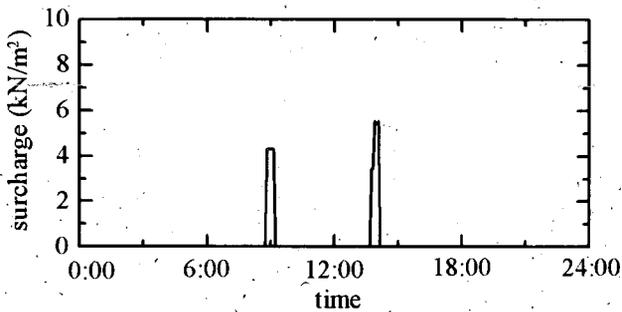


写真-4 ビデオ画像における領域分け

図-3は、2000年9月28日の領域 No.3 と No.13 の上載荷重の経時変化である。本研究では、同様の時系列が観測期間分、領域分得られた。



(a) 領域 No.3



(b) 領域 No.13

図-3 単位面積あたりの上載荷重の経時変化の例 (2000年9月28日)

(2) 上載荷重の空間分布

図-4に単位時間あたりの上載荷重の空間分布を示す。横軸は図-2で示した領域の位置を表し、縦軸は単位時間あたりの上載荷重であり、領域別に評価した上載荷重の経時変化の時系列の総和を取り、観測時間で除したものである。

No.11を除けば、貨物はほとんど海側に置かれていたことがわかる。No.1およびNo.11付近は、No.1を通路として使っていた場合が多く、上屋側であるNo.11には、空のコンテナなどが数段積まれていた。そのために、No.11は上屋側の他の領域 (No.12~No.20) に比べて大きな値を示している。

また、バース方向に着目すると、単位時間あたりの上載荷重の空間分布は、主として、船体上のクレーンの位置になるNo.5~7、通路となるNo.1で小さな値になっている。しかしながら、単位時間あたりの上載荷重は、全体的に見て、バース方向には変化は小さい。

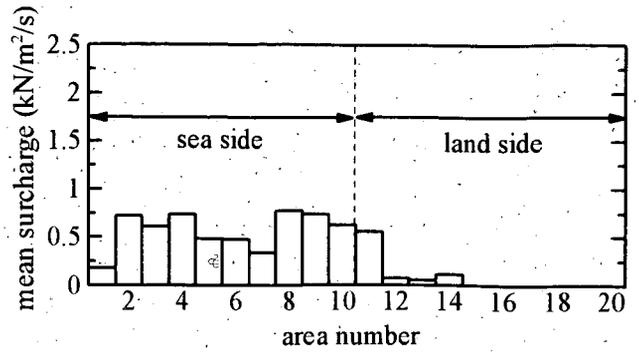


図-4 単位時間あたりの上載荷重の空間分布

続いて、海-上屋方向の上載荷重の分布特性を細かく調べるために、領域を細分して上載荷重を評価した。領域の分割は、図-4に示したNo.3とNo.13を合わせた領域を海-上屋方向に20m×1.8mの10等分とした。図-5は海-上屋方向の単位時間あたりの上載荷重の空間分布である。ここで用いたデータは、2000年9月28日の1日(24時間)分であるので、全観測期間のデータを用いて評価した図-4とは対応していない。図の横軸は海からの距離である。海側から5領域目以降は荷重が小さくなっており、使われているのは海側の7.2m程度であることがわかる。

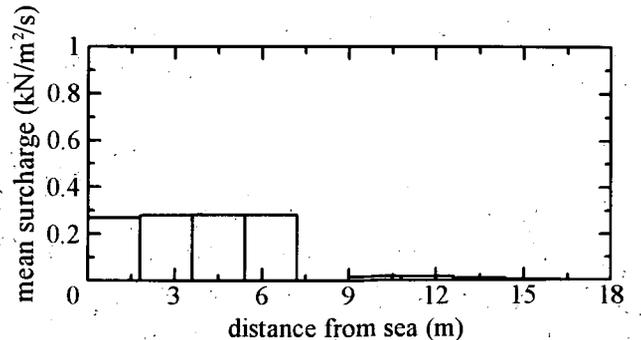


図-5 海-上屋方向の単位時間あたりの上載荷重の空間分布 (2000年9月28日)

(3) 上載荷重の確率密度

港湾構造物の設計は、通常、設計条件、地盤条件などが同一の範囲では同一の構造とし、構造物の単位幅に対して、その安定性の検討が行われる。実際の上載荷重は、図-4および図-5で示したように、空間的に一様ではない。しかしながら、設計において、上載荷重は、考えている断面のエプロン上に一様に分布しているものとして扱われる。そこで、設計に用いるための上載荷重の確率特性の検討にあたり、設定した各観測領域 (No.1~No.20) における上載荷重の載荷頻度は一様である (空

間的一様性)と仮定した。

この仮定により、領域毎に評価した上載荷重の値を20領域分すべてカウントし、エプロン上全体としての上載荷重の頻度を算定した。また、上載荷重がゼロのデータはゼロのデータのみで頻度をカウントしている。

表-6に評価した上載荷重の確率を示す。上載荷重ランクで、1.0 - 2.0などの記述があるが、これは1.0より大きく(1.0を含まず)2.0以下のデータを意味する。また、図-6にゼロであるデータも含めたエプロン上の上載荷重の確率分布を示し、図-7にゼロであるデータをカットしたエプロン上の上載荷重の確率分布を示す。

表-6 上載荷重の確率

上載荷重 (kN/m ²)	ゼロを含むデータ	ゼロを含まないデータ
0.0	0.903	0.000
0.0 - 1.0	0.001	0.010
1.0 - 2.0	0.032	0.331
2.0 - 3.0	0.020	0.210
3.0 - 4.0	0.007	0.072
4.0 - 5.0	0.005	0.048
5.0 - 6.0	0.007	0.076
6.0 - 7.0	0.014	0.144
7.0 - 8.0	0.005	0.055
8.0 - 9.0	0.001	0.014
9.0 - 10.0	0.002	0.016
10.0 - 11.0	0.001	0.007
11.0 - 12.0	0.001	0.005
12.0 - 13.0	0.001	0.009
13.0 - 14.0	0.000	0.001
14.0 - 15.0	0.000	0.000
15.0 -	0.000	0.001

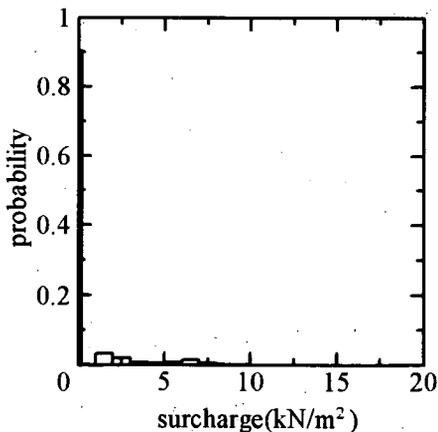


図-6 上載荷重の確率分布 (ゼロであるデータを含む)

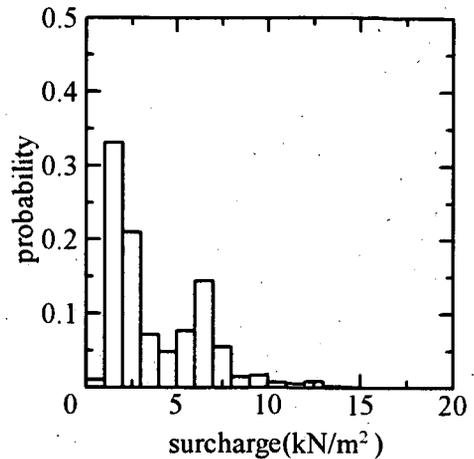


図-7 上載荷重の確率分布 (ゼロであるデータはカット)

上載荷重の確率の90.3%はゼロであり、今回の観測および整理方法では、エプロン上に上載荷重が作用していない時間が、全体の約9割を占めるという結果になる。上載荷重の最大値は26.2kN/m²であったが、そのランクの確率はゼロをカットして整理した場合でも0.0062と非常に小さく、ほとんどのデータは10kN/m²以下となっている。また、上載荷重の確率分布は、2山型になっている。これは、このバースで扱われている貨物が平均7kN/m²程度の重いもの(重機・車両)と平均2kN/m²程度の軽いもの(木材・雑貨)とに分かれるためであると考えられる。

(4) 確率分布のあてはめ

ゼロであるデータをカットした上載荷重のデータに、確率分布をあてはめ、上載荷重の母集団の確率分布の推定を行った。確率分布のあてはめは、合田(1990)に従い、最小自乗法により行った。あてはめを試みた分布型は、正規分布、対数正規分布、グンベル分布、ワイブル分布である。それぞれの分布型のあてはめ結果を表-7に示す。ワイブル分布のk=1.4の相関R²が最も高くなっている。また、あてはめ結果の確率密度関数を確率密度分布に重ねた結果を図-8~図-14に示す。

表-7 分布型のあてはめ結果

Distribution type	k	A	B	R ²
Normal	-	2.285	3.795	0.833
Log-normal	-	0.394	1.094	0.945
Gumbel	-	1.892	2.703	0.940
Weibull	0.75	1.431	2.167	0.884
Weibull	1.0	2.437	1.361	0.945
Weibull	1.4	3.712	0.412	0.957
Weibull	2.0	5.725	-1.448	0.947

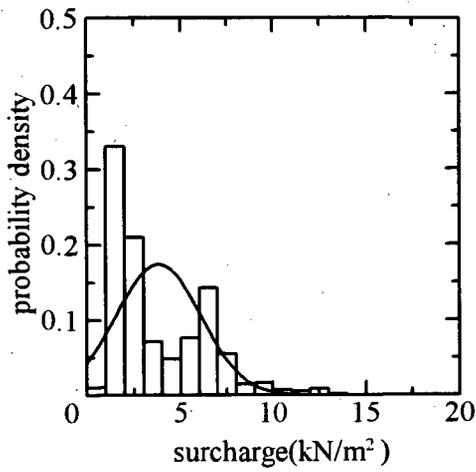


図-8 正規分布のあてはめ結果

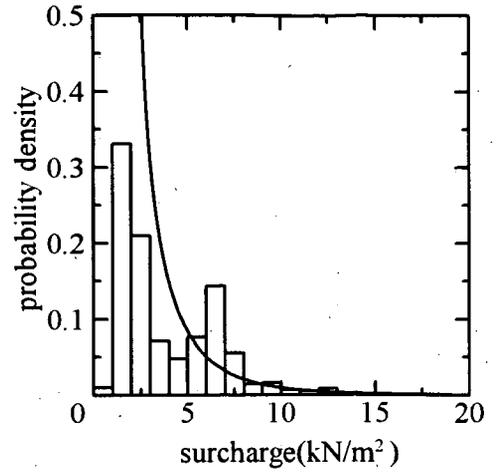


図-11 ワイブル分布 ($k=0.75$) のあてはめ結果

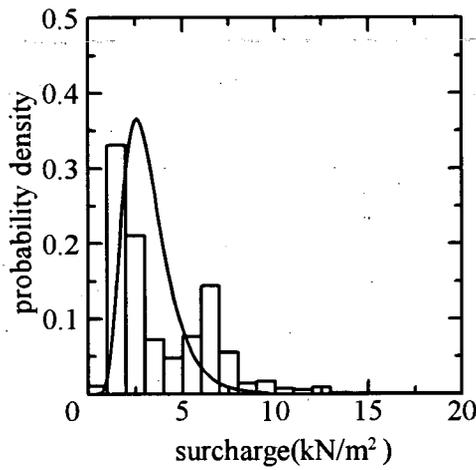


図-9 対数正規分布のあてはめ結果

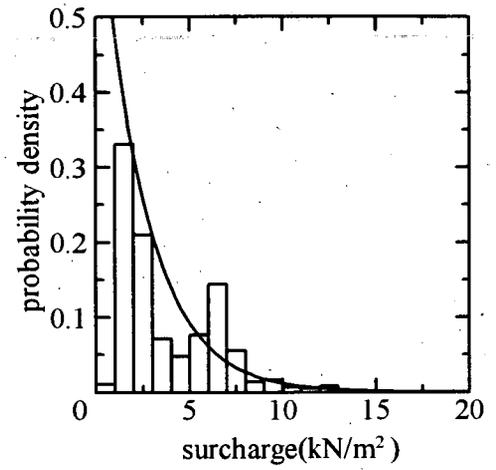


図-12 ワイブル分布 ($k=1.0$) のあてはめ結果

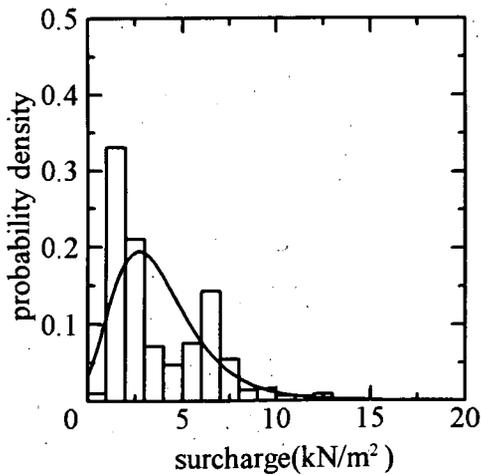


図-10 グンベル分布のあてはめ結果

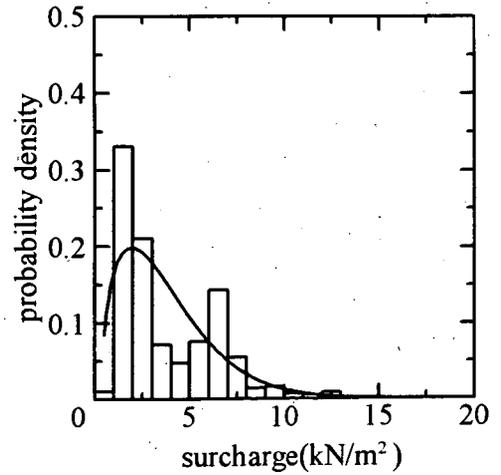


図-13 ワイブル分布 ($k=1.4$) のあてはめ結果

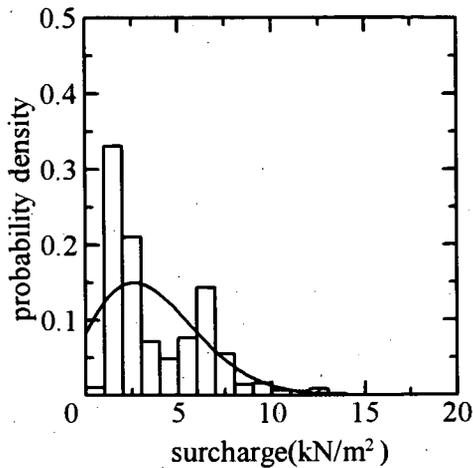


図-14 ワイブル分布 ($k=2.0$) のあてはめ結果

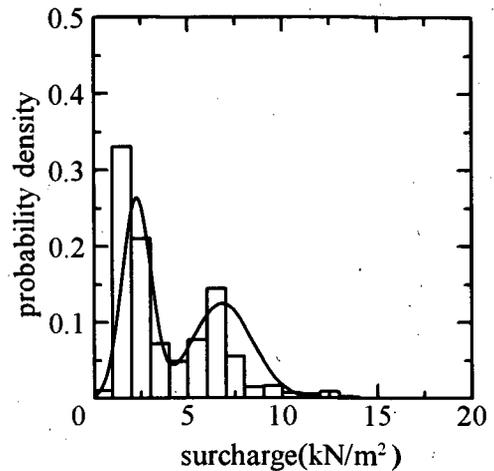


図-15 正規分布のあてはめ結果

データが二山型であるために、その境界の 4.9kN/m^2 でデータを分け、それぞれのデータについて別々に確率分布のあてはめも試みた。あてはめを試みた分布型は、正規分布、対数正規分布、グンベル分布、ワイブル分布である。合田(1990)では、ワイブル分布の母数 k を 0.75, 1.0, 1.4, 2.0 の 4 種類に固定しているが、ここではさらに母数 k を変化させてより適合度の高い分布形状の評価を試みた。それぞれの分布型のあてはめ結果を表-8 および表-9 に示す。

表-8 分布型のあてはめ結果 (4.9kN/m^2 未満)

Distribution type	k	A	B	R^2
Normal	-	0.762	2.257	0.855
Log-normal	-	0.319	0.756	0.921
Gumbel	-	0.623	1.897	0.943
Weibull	1.3	1.126	1.216	0.960

表-9 分布型のあてはめ結果 (4.9kN/m^2 以上)

Distribution type	k	A	B	R^2
Normal	-	1.606	6.798	0.728
Log-normal	-	0.210	1.888	0.879
Gumbel	-	1.383	6.000	0.888
Weibull	0.81	1.315	5.321	0.953

あてはめ結果の確率密度関数を頻度分布に重ねた結果を図-15~図-18 に示す。ここで、 4.9kN/m^2 未満、 4.9kN/m^2 以上に別々の関数形を採用することも考えられるが、図として示したのは、同一の関数形を重ね合わせたものである。

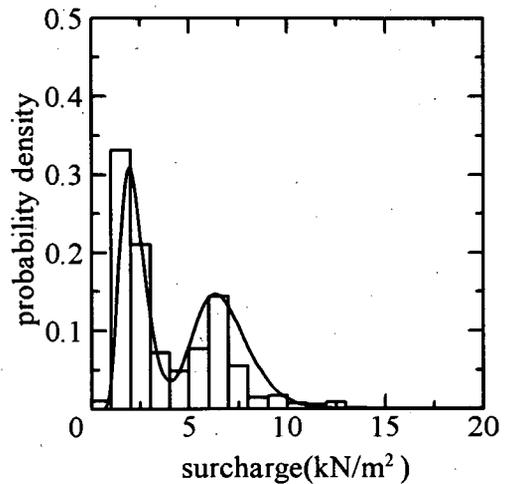


図-16 対数正規分布のあてはめ結果

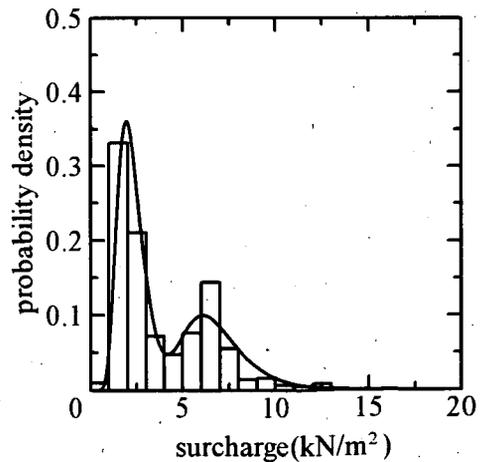


図-17 グンベル分布のあてはめ結果

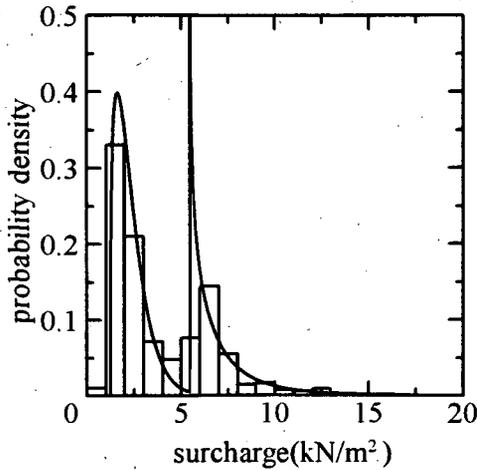


図-18 ワイブル分布のあてはめ結果

4.9kN/m²未満, 4.9kN/m²以上にあてはめた二つの分布型に重なる部分があるため, 二つの分布型を数値的に加え合わせて, 面積が 1 になるように正規化した分布を用いている. あてはめ結果としては, 4.9kN/m² 未満, 4.9kN/m² 以上のデータ共に, ワイブル分布の相関 R² が最も高くなっている. しかしながら, ワイブル分布は他の関数形に比べパラメタが多い上, 4.9kN/m² 以上のワイブル分布の母数 k は 1 以下になり, 分布形状がスパイク状になる. スパイク状の分布型は, 扱いが煩雑になるため, 以下の検討では, 4.9kN/m² 未満, 4.9kN/m² 以上共に, 次に相関係数が高いグンベル分布を用いることとした.

(5) 常時および地震時の設計値の評価

評価した上載荷重の確率分布関数により, 特性値, 常時および地震時の設計値の評価を行った.

ISO2394 (1998) に従うと, 特性値は(16)式で示したように, 建造物の供用期間を 50 年と考えると, 確率分布の 98%フラクタイル値を用いることになる. 上載荷重の設計値は, 建造物の破壊確率を 10⁻⁴とし, 上載荷重を主たる荷重と考えると 99.61%フラクタイル値, 上載荷重を従たる荷重と考えると 95.03%フラクタイル値となる. これらの値をあてはめた分布関数毎にまとめたものを表-10 に示す.

次に, 地震時の組み合わせ係数を評価する. 上載荷重が非ゼロである確率 q は 0.097 であり (表-6 および図-6 を参照), ISO2394 (1998) に従うと, η の準永続値に対する標準的な値は 0.5 であるため, (21)式中の 1-η/q が負になり(21)式の計算はできない. よって, 組み合わせ係数 Ψ₂ は 0.0 となり, (20)式より地震時の上載荷重の設計値は 0.0kN/m² となる.

表-10 上載荷重の特性値と常時の設計値

	50%フラクタイル値	特性値	設計値 (主たる荷重)	設計値 (従たる荷重)
Normal	3.8	8.5	9.9	6.2
Log-normal	3.0	6.7	8.5	5.7
Gumbel	3.4	10.1	13.2	8.3
Weibull (0.75)	3.0	11.0	16.2	8.4
Weibull (1.0)	3.1	10.9	14.9	8.7
Weibull (1.4)	3.3	10.2	13.0	8.6
Weibull (2.0)	3.3	9.9	12.0	8.6
Gumbel (二山型)	-	10.0	12.3	7.0

単位: kN/m²

(6) 組み合わせ係数に関する検討

観測結果から地震時の上載荷重の設計値は 0.0kN/m² となった. この理由は, 上述したが, 準永続値に対する組み合わせ係数である Ψ₂ の評価に際して, (21)式中の上載荷重が非ゼロである確率 q が η (=0.5) より小さくなるためである.

上載荷重が非ゼロである確率は, パースの使用頻度により異なる. そこで, 今回の観測により評価した上載荷重の確率分布関数 (グンベル分布, 二山型) を用いて(21)式中の上載荷重が非ゼロである確率 q を 0.0~1.0 と変化させ, 準永続値に対する組み合わせ係数 Ψ₂ の評価を行った.

図-19 は準永続値に対する組み合わせ係数 Ψ₂ と上載荷重が非ゼロである確率 q の関係を示したものである.

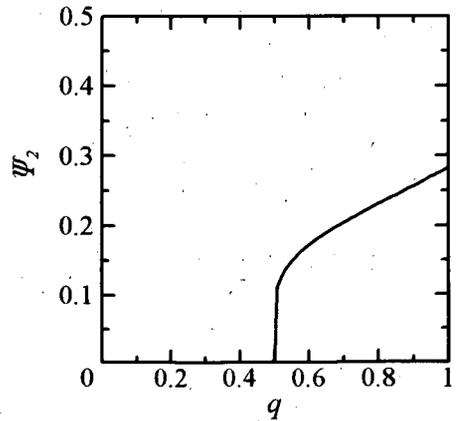


図-19 Ψ₂ と q の関係

当然, 上載荷重が非ゼロである確率 q が 0.5 より小さければ準永続値に対する組み合わせ係数 Ψ₂ の評価はできないため, その値は 0.0 となる. 上載荷重が非ゼロである確率 q が 0.5 より大きければ準永続値に対する組み

合わせ係数 Ψ_2 の評価は可能であり、上載荷重が非ゼロである確率 q が大きくなると準永続値に対する組み合わせ係数 Ψ_2 も大きくなる。しかし、上載荷重が常に岸壁に作用しているとして上載荷重が非ゼロである確率 q を 1.0 としても、準永続値に対する組み合わせ係数 Ψ_2 は 0.28 である。よって、今回の観測結果において、上載荷重が常に岸壁に作用していると考えたとしても、地震時の上載荷重の設計値は特性値の 0.28 倍であり、特性値が 10.0kN/m^2 であれば 2.8kN/m^2 であり、特性値が 30.0kN/m^2 (本研究における提案値) であれば 8.4kN/m^2 である。

3.3 資料収集のみによる調査概要

横浜港において資料収集とビデオカメラによる撮影により上載荷重の調査を行ったことに引き続いて、横浜港、神戸港、北九州港において、資料収集による上載荷重の調査を行った。

収集した資料は、各港の管理者から提供してもらった入船スケジュールと貨物の積みおろしに係わる代理店もしくは荷役会社から提供してもらった積荷目録や荷役書類である。これら資料により、入船日時、入船船舶諸元、荷役貨物の種類・寸法・重量、船体への積み込み位置などの把握が可能であり、船体への積み込み位置から、貨物がバース上に置かれる位置を推測した。

(1) 横浜港での調査

対象バースは、ビデオカメラを用いた調査と同様に、横浜港山下埠頭 7 号バースとした。観測期間は 2001 年 11 月 19 日～2002 年 1 月 16 日の約 2 ヶ月間である。

観測期間中、対象バースには表-11 に示す 9 船が入船した。

(2) 神戸港での調査

対象バースは、神戸港六甲アイランド北側 J.K.バースとした。観測期間は 2001 年 11 月 6 日～2002 年 1 月 3 日の約 2 ヶ月間である。

神戸港六甲アイランド北側 J.K.バースは、多目的バース(実質 3 つのバース)の一部として使われている。多目的バース全体としては、年間の貨物取扱量が約 31 万トン、年間 160 隻程度の貨物船が着岸する。

対象岸壁は、水深-10.0m、岸壁天端高+3.8m のケーソン式岸壁であり、上載荷重の設計値は常時 20kN/m^2 、地震時 10kN/m^2 である。

観測期間中、対象バースには表-12 に示す 9 船が入船した。

表-11 入船リスト (横浜港)

No.	船型 (GT)	全長(m)	着岸期間	揚卸貨物
1	6,178	100.6	01.11.19	車両,コイル,シート,他
2	4,767	96.2	01.11.28~11.29	コイル,シート,パイプ,他
3	5,601	98.2	01.12.01~12.04	重機,車両,他
4	8,739	112.0	01.12.06~12.11	コイル,パイプ,他
5	12,628	161.0	01.12.13~12.14	コイル,パイプ,パーツ,他
6	5,551	98.2	01.12.18~12.22	重機,パーツ,他
7	17,542	177.2	01.12.28~12.29	コイル,シート,他
8	4,736	96.7	02.01.10	パーツ,車両,他
9	4,364	91.7	02.01.16	スチールプレート

表-12 入船リスト (神戸港)

No.	船型 (GT)	全長(m)	着岸期間	揚卸貨物
1	8,889	124.2	01.11.05~11.06	車両,重機,コイル,雑貨,他
2	9,436	137.0	01.11.07~11.09	車両,重機,コイル,シート
3	14,499	160.5	01.11.16~11.17	車両,重機,コイル,パーツ
4	7,949	129.8	01.11.18~11.19	車両,重機,コイル,シート
5	8,579	112.0	01.11.25~11.26	車両,重機,コイル,シート
6	8,438	119.8	01.12.01~12.03	車両,重機,コイル,パーツ
7	8,588	116.9	01.12.09~12.11	車両,重機,コイル,パーツ
8	14,499	160.5	01.12.17~12.18	パーツ,コイル
9	9,436	137.0	01.12.27~12.28	車両,重機,コイル,シート

(3) 北九州港での調査

対象バースは、北九州港太刀野浦 28 号バースとした。観測期間は 2001 年 12 月 1 日～2001 年 12 月 29 日の約 1 ヶ月間である。

北九州港太刀野浦 28 号バースは、年間の貨物取扱量が約 25 万トンである。また、当該バースに入港する船舶は、主として韓国と日本（北九州港）を 2 日で 1 往復する韓国船籍の決まったセミコンテナ船（全長 101.6m、総トン数 3,671GT）であり、寄港日は毎週火曜日、木曜日、土曜日、荷役時間は 4～8 時間である。また、この他にも内航船の入港があり、2001 年度の入港実績は、外航船 168 隻、内航船 70 隻の合計 238 隻であった。

対象バースは、水深-10.0m、岸壁天端高+5.5m のケーソン式岸壁であり、上載荷重の設計値は常時 30kN/m²、地震時 15kN/m² である。

対象バースは、決まった船が入船する機会が多いため、荷役に使用しているモービルクレーンとハッチカバーはほとんど同じ場所に置かれる。また、モービルクレーンは、作業時のみエプロン上に設置される。

ここで、荷役作業に使われているモービルクレーンは重量 1,372kN、接地面積 42m² であるので、モービルクレーンの上載荷重は 32.7kN/m² であり、主として入港するセミコンテナ船のハッチカバーは、重量 49kN、接地面積 72m² であるので、ハッチカバーの上載荷重は 0.68kN/m² である。これらの荷重は、以降の解析では含めないものとする。

3.4 資料収集のみによる調査結果の解析

(1) 経時変化の評価

収集した資料から、入船日時、入船船舶諸元、荷役貨物の種類・寸法・重量、船体への積み込み位置などを評価した。エプロン上の貨物の位置は、ビデオカメラを用いた場合は撮影した画像から評価していたが、資料のみによる場合は、船体への積み込み位置から、積み込み位置に接するエプロン上のエリアに貨物が配置されると見なし解析を行った。解析において定義したエプロン上のエリア区分を図-20に示す。

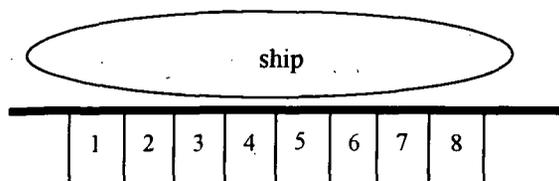
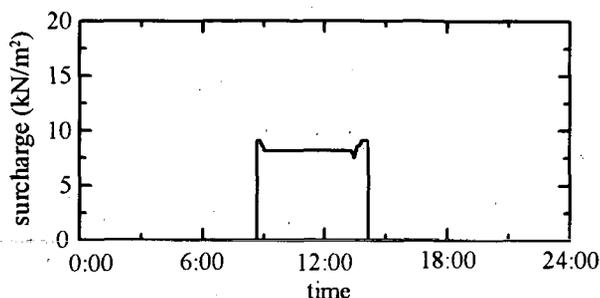


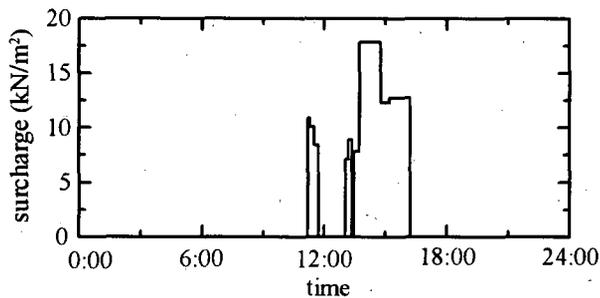
図-20 エプロン上のエリア区分 (8領域)

観測結果の上載荷重は、貨物の接地面積で除すことにより、接地面積あたりの荷重（圧力）として整理した。ビデオカメラを用いた調査と同様に、収集した資料から上載荷重の経時変化を観測期間分、領域分評価し、空間的・時間的一様性の仮定の下で、確率分布などを評価した。

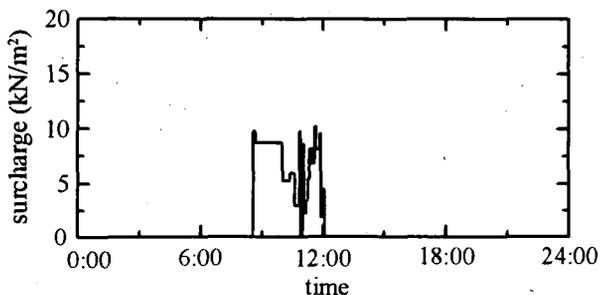
図-21(a)は 2001 年 12 月 21 日の横浜港の領域 No.3、(b)は 2001 年 12 月 25 日の神戸港の領域 No.3、(c)は 2001 年 12 月 22 日の北九州港の領域 No.6 の評価した上載荷重の経時変化である。



(a) 横浜港 (2001 年 12 月 21 日, 領域 No.3)



(b) 神戸港 (2001 年 12 月 25 日, 領域 No.3)



(c) 北九州港 (2001 年 12 月 22 日, 領域 No.6)

図-21 評価した上載荷重の経時変化の例

(2) 資料収集のみによる解析の妥当性

ビデオカメラを用いた観測データをその際に収集した資料のみで解析した場合に、どの程度精度が確保できるか検討を行った。解析に使用したのは、表-5 の No.3

(2000年9月27日～9月28日)の船で扱われた貨物データである。

表-13 および図-22 にビデオカメラの画像を用いた解析結果と資料のみによる解析結果のそれぞれについて、上載荷重の確率密度を示す。ここでは、上載荷重が 0.0 のデータはカットしている。上載荷重ランクで、1.0-2.0 などの記述があるが、これは 1.0 より大きく (1.0 を含まず) 2.0 以下のデータを意味する。

表-13 上載荷重の確率密度 (資料のみによる解析の精度の確認)

上載荷重 (kN/m ²)	資料のみ	ビデオ画像
0.0 - 1.0	0.000	0.000
1.0 - 2.0	0.000	0.003
2.0 - 3.0	0.000	0.033
3.0 - 4.0	0.170	0.005
4.0 - 5.0	0.253	0.210
5.0 - 6.0	0.371	0.440
6.0 - 7.0	0.138	0.226
7.0 - 8.0	0.000	0.016
8.0 - 9.0	0.000	0.008
9.0 - 10.0	0.000	0.000
0.0 - 11.0	0.034	0.025
11.0 - 12.0	0.000	0.003
12.0 - 13.0	0.002	0.009
13.0 - 14.0	0.033	0.000
14.0 - 15.0	0.000	0.009
15.0 -	0.000	0.022

ビデオカメラの画像を用いた解析結果と資料のみによる解析結果で、上載荷重の確率密度はほぼ同じ分布形状になることがわかる。

次いで、さらに詳細に検討するために、確率分布のあてはめを行った。表-14 は、評価した確率密度に対数正規分布をあてはめた結果である。正規分布、グンベル分布、ワイブル分布のあてはめも試みたが、相関係数が高く、スパイク状の分布型にならない対数正規分布の結果のみ示した。また、あてはめ結果の確率密度関数を観測結果の確率密度に重ねた結果を図-23 と図-24 に示す。

表-14 対数正規分布のあてはめ結果

	A	B	R ²
資料のみ	0.279	1.664	0.844
ビデオ観測	0.308	1.727	0.789

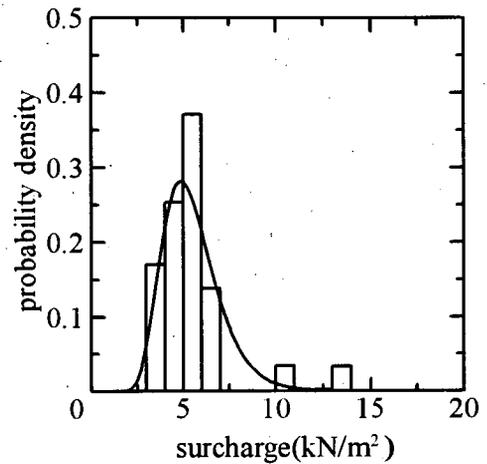


図-23 対数正規分布のあてはめ結果 (資料のみ)

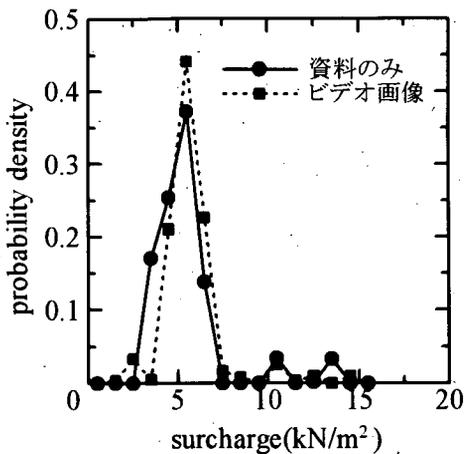


図-22 上載荷重の確率密度 (資料のみによる解析の精度の確認)

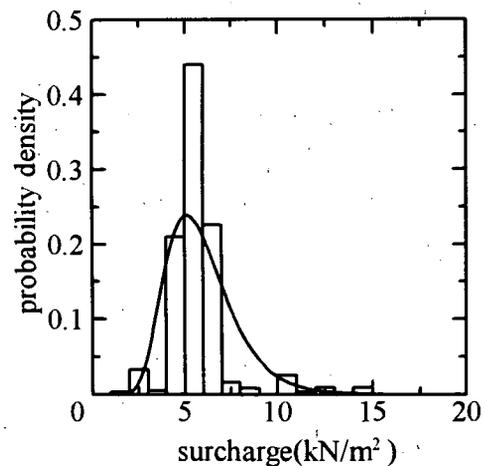


図-24 対数正規分布のあてはめ結果 (ビデオ観測)

あてはめた対数正規分布の50%フラクティル値と比較しても、資料のみが5.28kN/m²であるのに対して、ビデオ観測による結果では5.62kN/m²であり、ほぼ同じ値になる。

また、資料のみで上載荷重を評価した場合には、上載荷重が3.0kN/m²以下と14.0kN/m²以上のデータは、結果に現れてこない。収集した資料では、船に積まれない貨物に関しては把握できない。具体的に把握できない貨物は、上屋から出してエプロン上で梱包された上屋に戻される貨物や、エプロン上に仮置きされているが、係留中の船に積まれない貨物である。これらの貨物は、エプロン上の上屋側や海側でも船首および船尾付近に置かれていた。上載荷重が3.0kN/m²以下と14.0kN/m²以上のデータは、これらの船に積まれない貨物に相当しており、3.0kN/m²以下の軽い貨物は、上屋から出してエプロン上で梱包された上屋に戻される貨物であり、14.0kN/m²以上の重い貨物は、エプロン上の船首および船尾付近に仮置きされていた貨物であると考えられる。

上述したように、一船のみの比較では、ほぼ同じ値が得られたが、全データを対象に考えると、図-7に示したビデオカメラを用いた観測結果より評価した確率密度分布は、14.0kN/m²以上のデータはほとんどないが、3.0kN/m²以下のデータはかなりの確率を持っている。よって、資料収集のみによる解析で評価した上載荷重は、実際の上載荷重に比べやや大きい値（安全側）になると考えられる。

神戸港と北九州港の場合は、荷役状況の観測から、横浜港で行っていたようなエプロン上で貨物の積み替え作業は行っておらず、貨物の仮置きもほとんど行われていなかったため、資料収集による調査で、実際の上載荷重の状況を十分に評価できると考えられる。

(3) 上載荷重の確率密度

ビデオカメラを用いた観測結果の解析と同様に、上載荷重の確率特性の検討にあたり、設定した各観測領域(No.1~No.8)における上載荷重の載荷頻度は一様である(空間的一様性)という仮定をした。

この仮定により、領域毎に評価した上載荷重の値を8領域分すべてカウントし、エプロン上全体としての上載荷重の確率を算定した。

また、上載荷重がゼロのデータはゼロのデータのみで頻度をカウントした。表-15に示すように、横浜港での観測における上載荷重の確率の89.3%はゼロであり、神戸港での観測における上載荷重の確率の90.4%はゼロであり、北九州港での観測における上載荷重の確率の

81.6%はゼロであった。表-16、表-17および図-25は、評価した上載荷重の確率密度である。上載荷重ランクで、1.0-2.0などの記述があるが、これは1.0より大きく(1.0を含まず)2.0以下のデータを意味する。

表-15 上載荷重がゼロの確率

	確率
横浜港	89.3%
神戸港	90.4%
北九州港	81.6%

表-16 上載荷重の確率密度(横浜港)

上載荷重(kN/m ²)	確率密度(横浜港)
0.0 - 1.0	0.00000
1.0 - 2.0	0.00441
2.0 - 3.0	0.01751
3.0 - 4.0	0.02115
4.0 - 5.0	0.01729
5.0 - 6.0	0.02015
6.0 - 7.0	0.18689
7.0 - 8.0	0.57170
8.0 - 9.0	0.04548
9.0 - 10.0	0.01057
10.0 - 11.0	0.02401
11.0 - 12.0	0.00463
12.0 - 13.0	0.01046
13.0 - 14.0	0.02137
14.0 - 15.0	0.00022
15.0 -	0.04415

表-17 上載荷重の確率密度(神戸港, 北九州港)

上載荷重(kN/m ²)	確率密度(神戸港)	確率密度(北九州港)
0.0 - 5.0	0.02725	0.05603
5.0 - 10.0	0.11286	0.08957
10.0 - 15.0	0.03631	0.02402
15.0 - 20.0	0.00578	0.01662
20.0 - 25.0	0.00538	0.00431
25.0 - 30.0	0.00272	0.00286
30.0 - 35.0	0.00459	0.00204
35.0 - 40.0	0.00272	0.00087
40.0 - 45.0	0.00123	0.00000
45.0 - 50.0	0.00079	0.00070
50.0 -	0.00037	0.00397

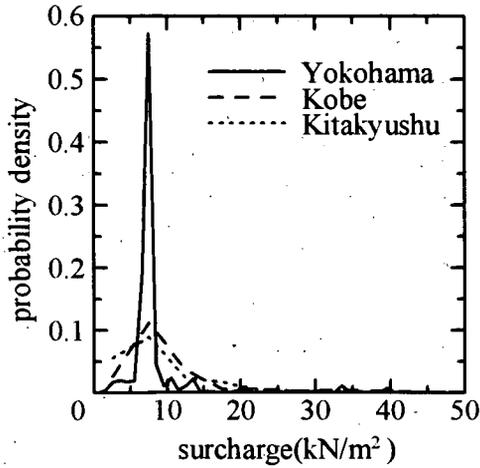


図-25 上載荷重の確率密度 (横浜港, 神戸港, 北九州港の比較)

横浜港, 神戸港, 北九州港共に上載荷重の確率密度の分布形のピーク値は, 5.0~10.0kN/m²程度である。しかし, 神戸港と北九州港の上載荷重の確率密度は, ある程度分散を持った分布形状になるが, 横浜港の上載荷重の確率密度は分散が小さく, 横浜港の上載荷重は 5.0~10.0kN/m²の範囲に集中している。

(4) 確率分布のあてはめ

上載荷重データに確率分布をあてはめ, 上載荷重の母集団の確率分布の推定を行った。確率分布のあてはめは, 合田 (1990) に従い, 最小自乗法により行った。あてはめを試みた分布型は, 正規分布, 対数正規分布, グンベル分布, ワイブル分布である。表-18 に横浜港, 表-19 に神戸港, 表-20 に北九州港の上載荷重データに対する分布型のあてはめ結果をに示す。また, 各港の観測結果の確率密度にあてはめ結果の確率密度関数を重ねた結果を図-26~図-46 に示す。

横浜港と神戸港の場合は, ワイブル分布の $k=0.75$ をあてはめた場合の相関が最も高く, 北九州港の場合は, 対数正規分布をあてはめた場合が最も相関が高くなった。

表-18 分布型のあてはめ結果 (横浜港)

Distribution type	k	A	B	R^2
Normal	-	3.631	8.285	0.394
Log-normal	-	0.318	2.009	0.654
Gumbel	-	3.433	6.303	0.579
Weibull	0.75	3.192	4.485	0.789
Weibull	1.0	4.776	3.510	0.681
Weibull	1.4	6.547	2.272	0.566
Weibull	2.0	8.589	0.673	0.473

表-19 分布型のあてはめ結果 (神戸港)

Distribution type	k	A	B	R^2
Normal	-	6.427	10.200	0.687
Log-normal	-	0.534	2.139	0.925
Gumbel	-	5.633	6.947	0.867
Weibull	0.75	4.717	4.569	0.957
Weibull	1.0	7.552	2.635	0.947
Weibull	1.4	11.051	0.115	0.883
Weibull	2.0	14.967	-3.077	0.799

表-20 分布型のあてはめ結果 (北九州港)

Distribution type	k	A	B	R^2
Normal	-	7.970	9.899	0.629
Log-normal	-	0.744	1.987	0.988
Gumbel	-	7.089	5.805	0.816
Weibull	0.75	6.070	2.669	0.941
Weibull	1.0	9.550	0.347	0.899
Weibull	1.4	13.810	-2.689	0.819
Weibull	2.0	18.580	-6.569	0.732

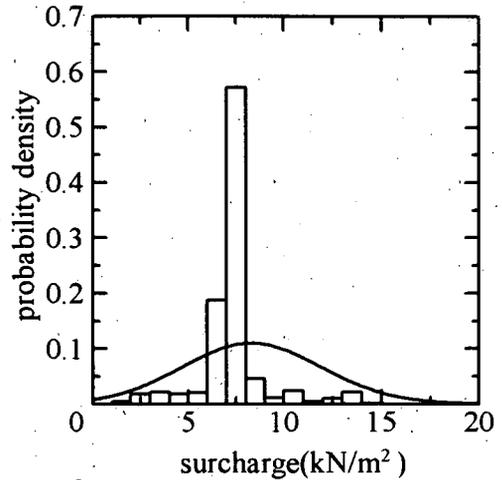


図-26 正規分布のあてはめ結果 (横浜港)

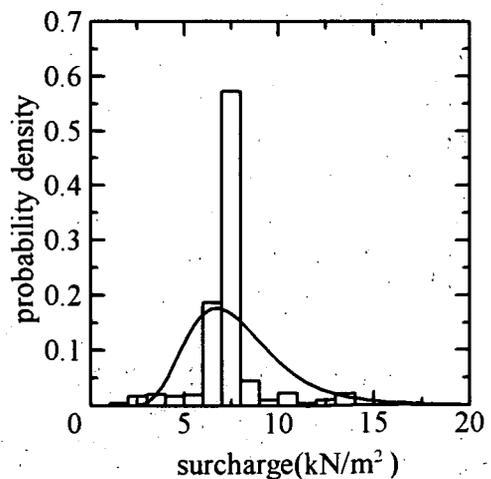


図-27 対数正規分布のあてはめ結果 (横浜港)

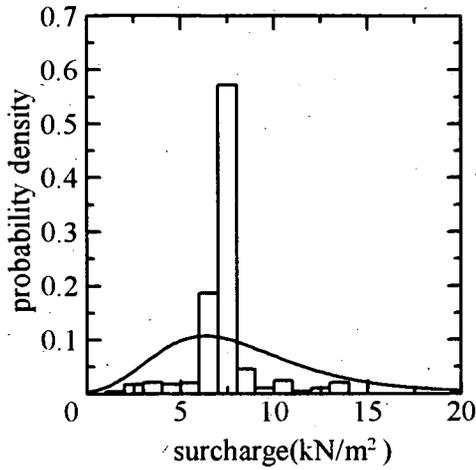


図-28 グンベル分布のあてはめ結果 (横浜港)

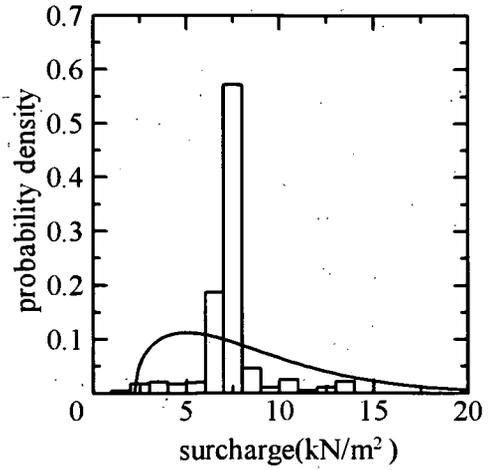


図-31 ワイブル分布 ($k=1.4$) のあてはめ結果 (横浜港)

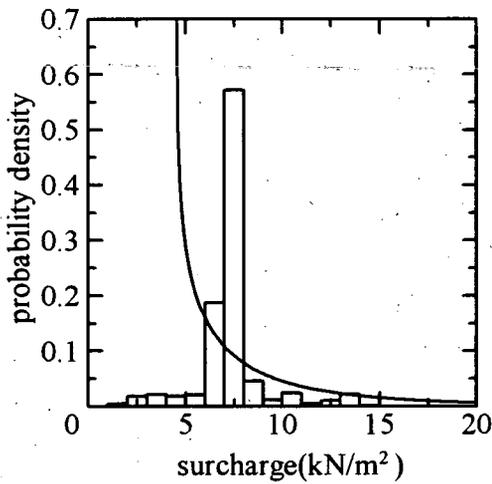


図-29 ワイブル分布 ($k=0.75$) のあてはめ結果 (横浜港)

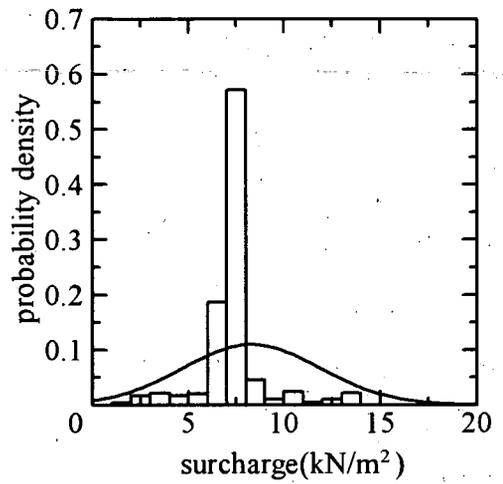


図-32 ワイブル分布 ($k=2.0$) のあてはめ結果 (横浜港)

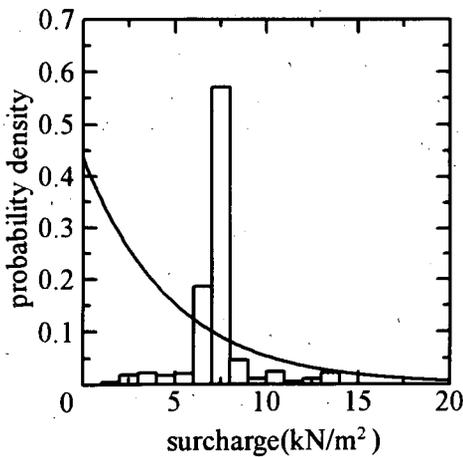


図-30 ワイブル分布 ($k=1.0$) のあてはめ結果 (横浜港)

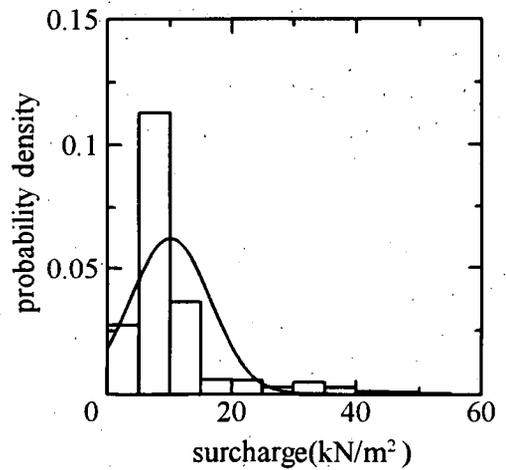


図-33 正規分布のあてはめ結果 (神戸港)

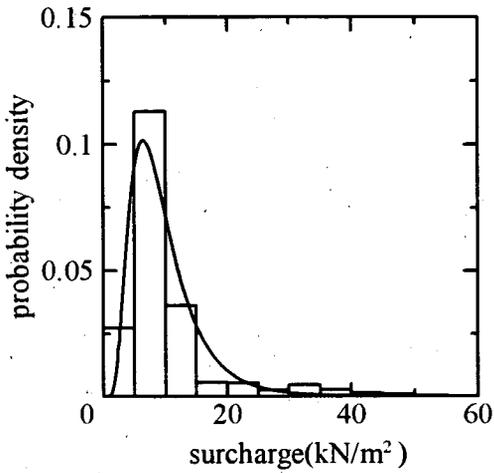


図-34 対数正規分布のあてはめ結果 (神戸港)

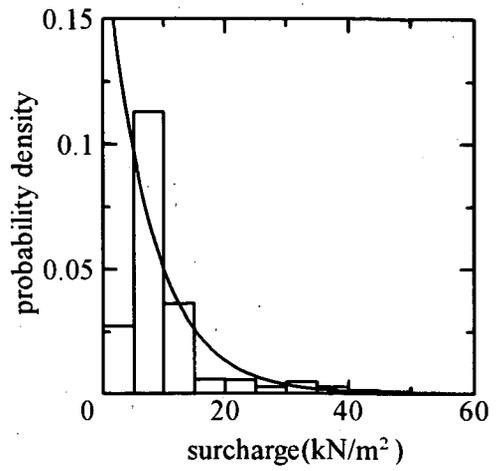


図-37 ワイブル分布 ($k=1.0$) のあてはめ結果 (神戸港)

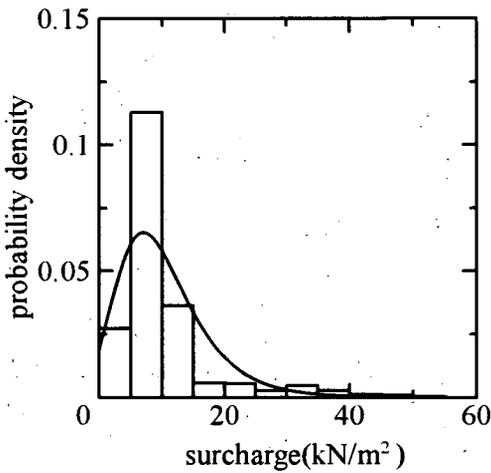


図-35 グンベル分布のあてはめ結果 (神戸港)

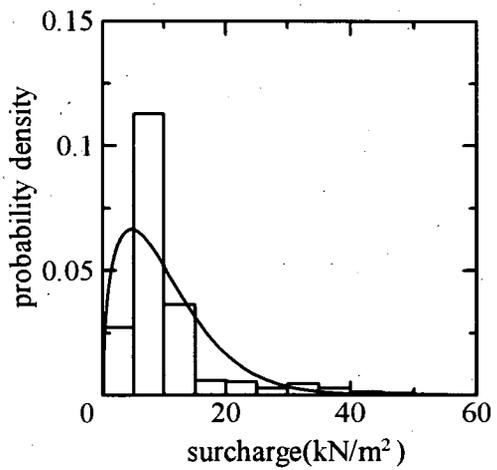


図-38 ワイブル分布 ($k=1.4$) のあてはめ結果 (神戸港)

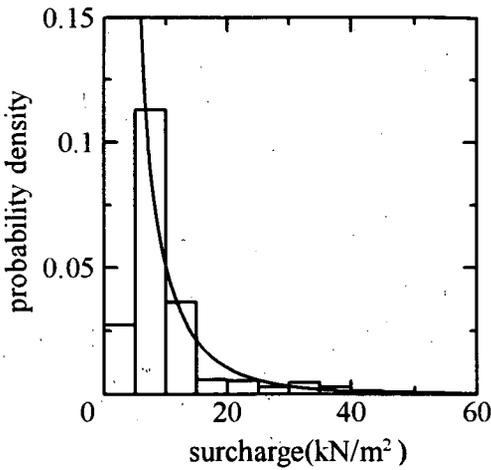


図-36 ワイブル分布 ($k=0.75$) のあてはめ結果 (神戸港)

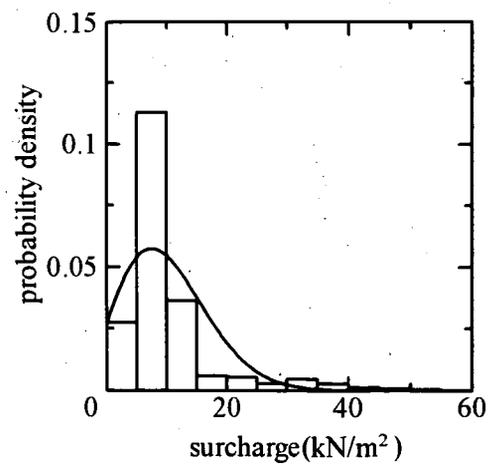


図-39 ワイブル分布 ($k=2.0$) のあてはめ結果 (神戸港)

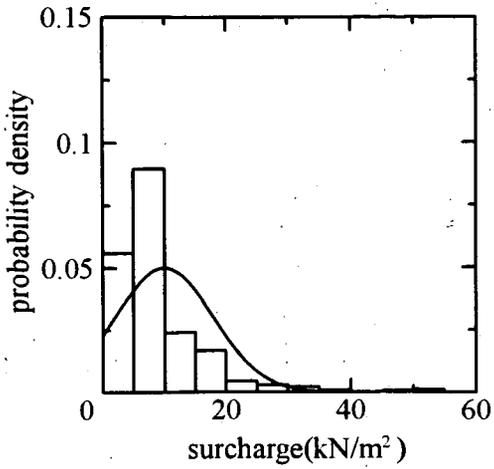


図-40 正規分布のあてはめ結果 (北九州港)

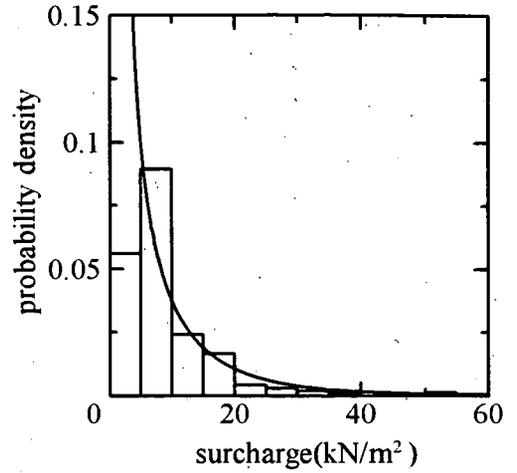


図-43 ワイブル分布 ($k=0.75$) のあてはめ結果 (北九州港)

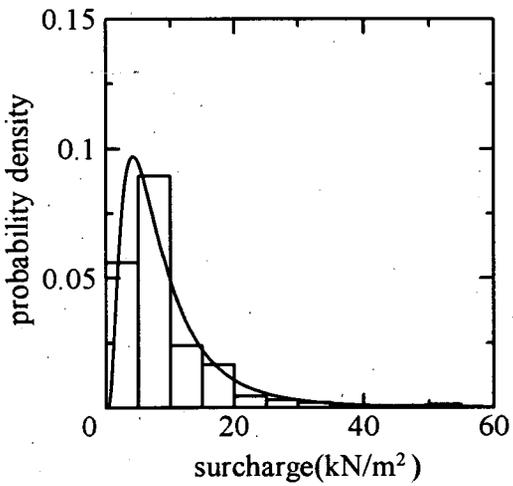


図-41 対数正規分布のあてはめ結果 (北九州港)

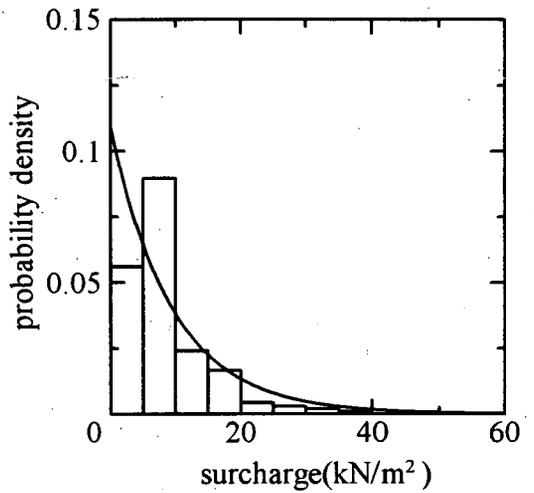


図-44 ワイブル分布 ($k=1.0$) のあてはめ結果 (北九州港)

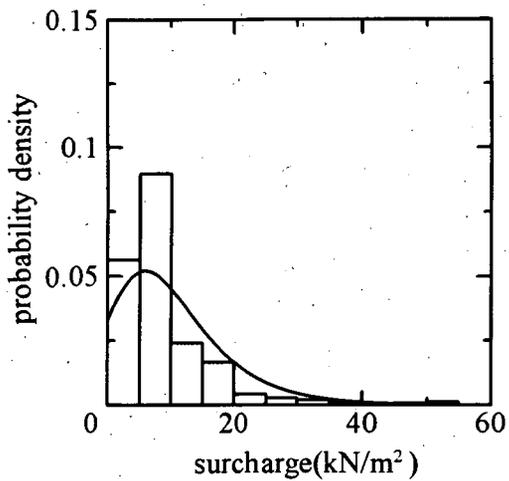


図-42 グンベル分布のあてはめ結果 (北九州港)

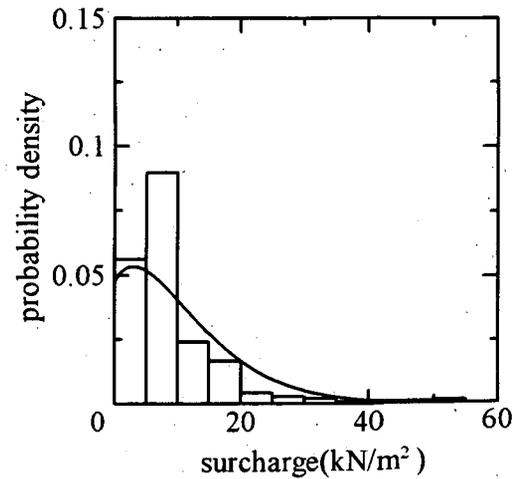


図-46 ワイブル分布 ($k=1.4$) のあてはめ結果 (北九州港)

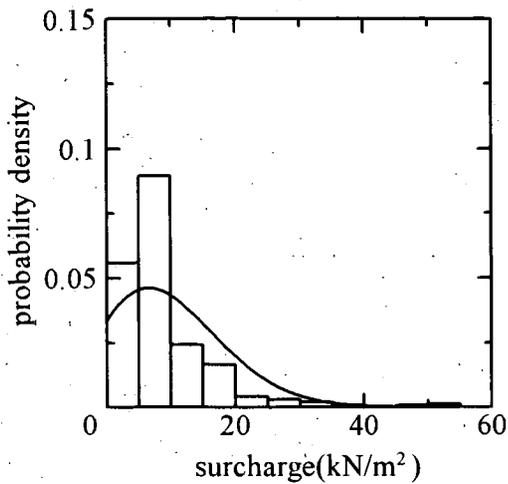


図-46 ワイブル分布 ($k=2.0$) のあてはめ結果 (北九州港)

(5) 常時および地震時の設計値の評価

評価した上載荷重の確率分布を用いて、ISO2394 (1998) に従い特性値、常時および地震時の設計値の評価を行った。具体的な評価手法は、ビデオカメラを用いた観測結果の解析と同様である。

各港毎に評価した常時の上載荷重の設計値を表-22～表-24 に示す。

次に、地震時の上載荷重の設計値を評価する。表-15 に示したように、上載荷重がゼロである確率は50%を超えており、上載荷重が非ゼロである確率 q が各港とも0.5以下になる。よって、ISO2394 (1998) に従うと、地震時の上載荷重の設計値はいずれの観測結果においても 0.0kN/m^2 となる。

表-22 上載荷重の特性値と常時の設計値 (横浜港)

	50%ワ クイル値	特性値	設計値 (主たる 荷重)	設計値 (従たる 荷重)
Normal	8.3	15.7	17.9	12.1
Log-normal	7.5	14.3	17.4	11.3
Gumbel	7.6	19.7	25.3	14.3
Weibull (0.75)	6.2	24.2	35.8	14.6
Weibull (1.0)	6.9	22.2	30.0	14.8
Weibull (1.4)	7.2	19.8	24.7	14.5
Weibull (2.0)	7.3	17.7	20.9	13.9

単位： kN/m^2

表-23 上載荷重の特性値と常時の設計値 (神戸港)

	50%ワ クイル値	特性値	設計値 (主たる 荷重)	設計値 (従たる 荷重)
Normal	10.2	23.4	27.3	17.0
Log-normal	8.5	25.4	35.2	15.0
Gumbel	9.4	28.9	38.2	17.4
Weibull (0.75)	7.4	33.6	50.9	16.0
Weibull (1.0)	7.9	32.2	44.5	17.3
Weibull (1.4)	8.5	29.4	37.7	17.9
Weibull (2.0)	9.4	26.5	32.2	17.8

単位： kN/m^2

表-24 上載荷重の特性値と常時の設計値 (北九州港)

	50%ワ クイル値	特性値	設計値 (主たる 荷重)	設計値 (従たる 荷重)
Normal	9.9	26.3	31.1	18.4
Log-normal	7.3	33.6	52.8	16.1
Gumbel	8.4	33.5	45.1	19.0
Weibull (0.75)	6.3	40.1	62.3	17.4
Weibull (1.0)	7.0	37.7	53.3	18.9
Weibull (1.4)	7.8	33.9	44.3	19.5
Weibull (2.0)	9.5	30.2	37.2	19.3

単位： kN/m^2

4. バラ荷貨物の上載荷重

4.1 バラ荷貨物に関する調査概要

(1) 観測期間・場所

エプロン上に載荷されるバラ荷貨物の上載荷重の経時変化を評価するために、2001年10月16日～2001年12月26日の約2ヶ月間、木更津港において現地調査を行った。木更津港の中でバラ荷を取り扱っている公共バースで、バース利用頻度が高く、観測におけるカメラの電源や設置場所などが確保できる木更津埠頭FバースのGバースよりにおいて観測を行った。

木更津埠頭Fバースは、表-25 および表-26 に示すように、年間の貨物取扱量が約33.5万トン、月に平均して48隻程度の船が着岸し、その内の24隻程度の船が荷役を行っている。また、バース長130m、バース幅20m、水深7.5m、天端高+3.6mの控え杭式鋼管矢板構造で、上載荷重の設計値は常時 30kN/m^2 、地震時 15kN/m^2 である。

対象バースは、砕石・砕砂およびその他の貨物の荷揚げ専用であるが、管理者が許可した場合は、この限りではない。管理者ではエプロン上への積載はあくまでも短時間の仮置きを原則とし、長時間の放置を禁止するとともに、積載高さを運用上4m以下に制限している。

表-25 2001年の木更津埠頭Fバースの貨物量実績

	内貨貨物	外貨貨物	合計
砕石・砕砂	275,285.0	29,032.6	304,317.6
ボーキサイト	0.0	5,057.0	5,057.0
シリコン	0.0	2,111.0	2,111.0
マンガン	0.0	4,355.8	4,355.8
マグネサイト	0.0	2,718.0	2,718.0
その他	636.0	16,129.9	16,765.9
合計	275,921.0	59,403.4	335,324.4

単位：重量トン

表-26 木更津埠頭Fバースの船舶着岸実績 (2001年)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均	合計	
内航	揚荷	11	28	5	18	12	16	11	12	18	23	22	199	16.58	199
	積荷	6	21		1	1	4			1	4	7	4	4.08	49
	係留	36	2	1	22	33	23	19	7	20	52	41	37	24.42	293
外航	揚荷	5	3		6	2	3	3	3	1	2		3	2.58	31
	積荷						1	2	1	1	1	2	1	0.75	9
	係留														0
計	58	54	6	47	48	47	35	23	41	82	72	68	48.42	581	

単位：隻

(2) 観測方法

エプロン上のバラ荷貨物に関するビデオ観測および参考資料の収集を行った。バース上のバラ荷貨物のビデオ観測には、2台のデジタルビデオカメラを使用した。1台(カメラA)はエプロン背後の休憩所横の電柱の高さ4.0mの地点に取り付け、もう1台(カメラB)は防砂ネットの支柱の高さ3.7mの地点に取り付けた。ビデオカメラの設置位置と撮影範囲を図-47に示す。ビデオカメラの設置状況を写真-5および写真-6に示す。また、撮影された画像の例を写真-7に示す。写真中の矢印で示された数字はビット番号である。ビデオ観測システムは、横浜港で雑貨貨物を対象に行ったときと同じである。

ビデオカメラによる撮影は、船舶が着岸してからエプロン上での作業が終了するまでとし、その間5分間隔で撮影を行った。

港湾の施設の技術上の基準では乾燥状態の砂、砂利、割ぐり石の単位体積重量は16.0kN/m³である。解析に用いるバラ荷の単位体積重量は、実測結果およびヒアリング結果をもとに決定した。砕砂および砕石の単位体積重量の実測結果は15.5~15.9kN/m³であり、船の積載計算に使われている単位体積重量は15.7kN/m³(1.6tf/m³)である。よって、解析に用いる砕砂および砕石の単位体積重量は15.7kN/m³とした。ボーキサイト、フェロシリコン、フロントクレイ、シリコンマンガンの単位体積重量と合わせて、解析に用いた単位体積重量の値を表-27に示す。

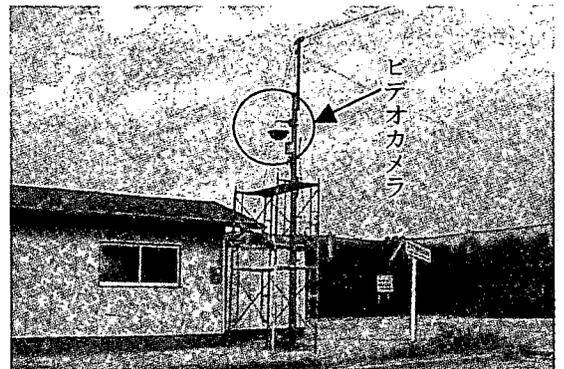


写真-5 ビデオカメラの設置状況 (カメラA)

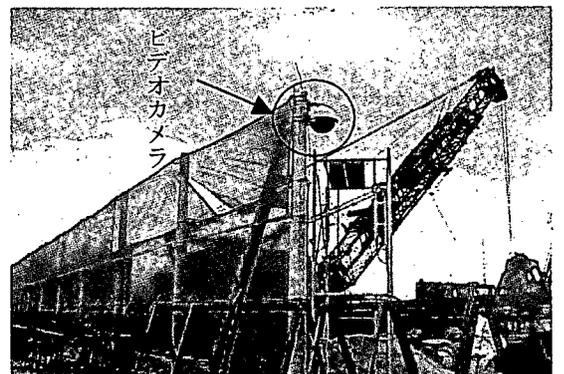


写真-6 ビデオカメラの設置状況 (カメラB)

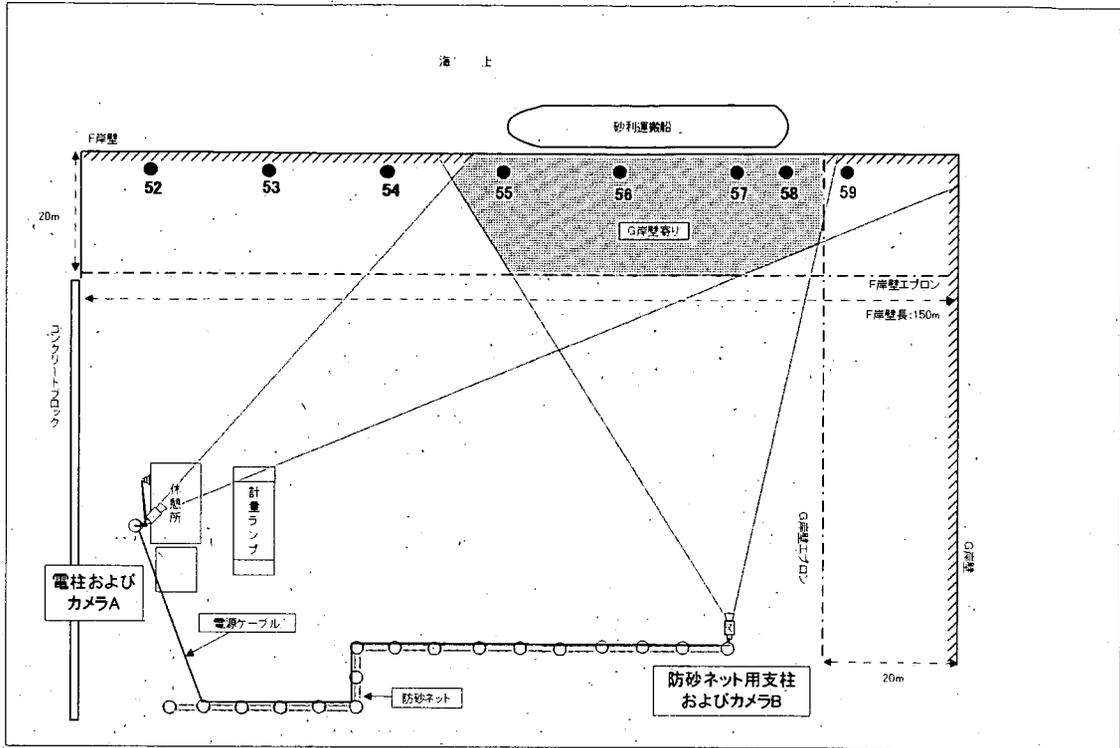


図-47 ビデオカメラの設置位置と撮影範囲

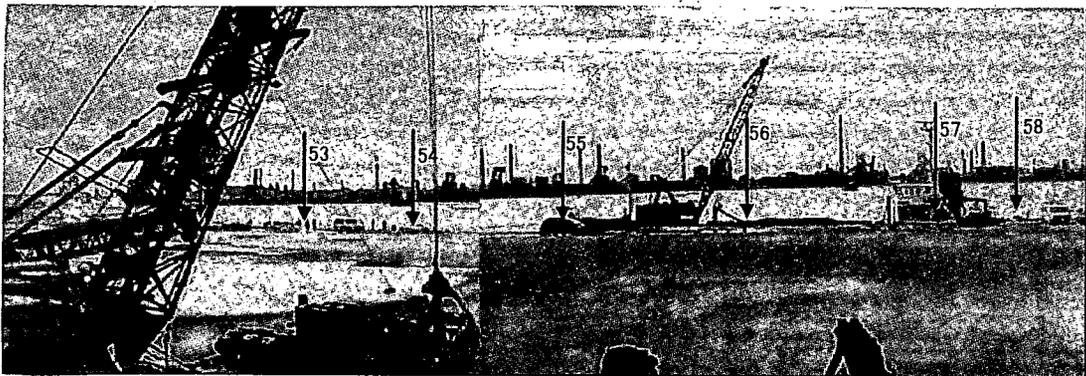
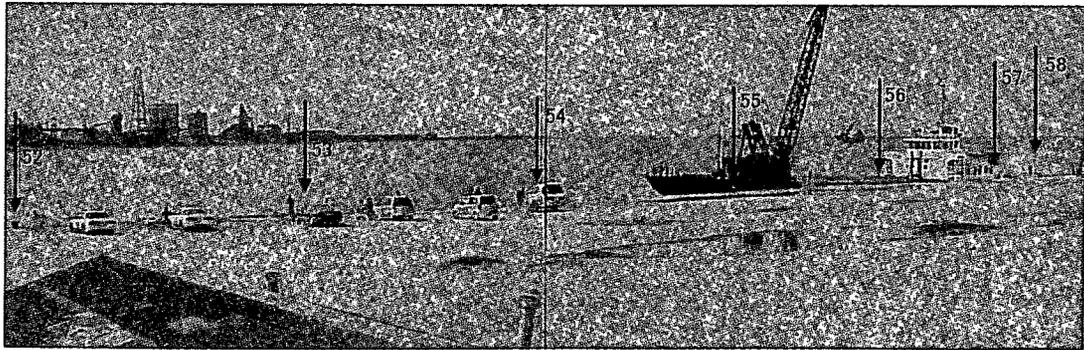


写真-7 撮影された画像の例 (上: カメラA, 下: カメラB)

表-27 解析に用いた単位体積重量

	単位体積重量(kN/m ³)
砕砂・砕石	15.7
ポーキサイト	17.2
フェロシリコン	18.6
フロントクレイ	18.6
シリコンマンガン	62.7

(3). 観測期間中の状況

観測期間中、対象バースには表-28に示す30隻の船が着岸し荷役を行った。対象バースはほとんど揚荷に使用されており、エプロン上に直接バラ荷を積載する荷役形態(土場切り)をとった船は8隻、他の22隻の船はバラ荷をダンプに直接積載する荷役形態(ダンプ取り)をとった。

土場切りの場合には、船舶上のクレーン(6~9トン/回)を使用し、エプロン上に積み上げられたバラ荷をホ

ールローダーによりダンプ積みされる。土場切りの場合の特徴は、係留時間は30分~3時間と短い、エプロン上にバラ荷が載荷されている時間は6~8時間と長い。ダンプ取りの場合には、陸上クレーン(2~2.5トン/回)を2基使用していた。ただし、ポーキサイト、シリコン、マンガンなどについては、使用した陸上クレーンは1基であった。ダンプ取りの係留時間とエプロン上での作業時間とはほぼ等しく、エプロン上での作業時間は荷揚げ量が1,500トンの場合で約3時間、2,000トンの場合で約4時間であった。

また、土場切りの場合には、エプロン幅(20m)全域が使用されるが、ダンプ取りの場合には陸上クレーンを船舶ハッチの前後部横のエプロン上に固定し、クレーン間にダンプを停止させ積載するため、荷役には海側の10m程度が使用され、他は通路として使用されていた。

表-28 入船リスト(木更津港)

No.	船型(GT)	全長(m)	着岸日	荷役作業時間	貨物	貨物量(t)	荷揚げ形態
1	421	63.56	10.16	6.5時間	砕石	500	土場切り
2	499	74.60	10.20	3時間	砕砂	1,500	ダンプ取り
3	489	65.30	10.25	9時間	砕石	300	土場切り
4	695	81.34	10.29	7時間	砕砂	1,500	土場切り
5	398	72.01	10.30	7時間	ポーキサイト	1,520	ダンプ取り
6	699	79.95	11.1	4時間	砕砂	2,000	ダンプ取り
7	498	75.15	11.2	3時間	砕砂	1,500	ダンプ取り
8	695	81.34	11.5	9時間	砕石	1,800	土場切り
9	699	74.08	11.7	4時間	砕砂	2,000	ダンプ取り
10	487	73.10	11.8	8.5時間	砕砂	1,500	土場切り
11	499	75.50	11.15	3時間	砕砂	1,500	ダンプ取り
12	387	58.30	11.17	8.5時間	砕石	300	土場切り
13	734	79.95	11.19	4時間	砕砂	2,000	ダンプ取り
14	494	74.60	11.20	3時間	砕砂	1,500	ダンプ取り
15	699	74.08	11.22	4時間	砕砂	2,000	ダンプ取り
16	497	75.49	11.26	3時間	砕砂	1,500	ダンプ取り
17	749	83.02	12.1	4時間	砕砂	2,000	ダンプ取り
18	479	77.00	12.2	2.5時間	砕砂	1,250	ダンプ取り
19	1,498(DWT)	76.70	12.4	4.5時間	フェロシリコン フロントクレイ	1,076	ダンプ取り
20	1,404(DWT)	68.90	12.10	6時間	キャストインク サント	1,500	ダンプ取り
21	499	75.97	12.11	3時間	砕砂	1,500	ダンプ取り
22	1,233(DWT)	69.70	12.12	7時間	シリコンマンガン	540	ダンプ取り
23	699	74.08	12.15	4時間	砕砂	2,000	ダンプ取り
24	749	83.02	12.16	4時間	砕砂	2,000	ダンプ取り
25	497	74.00	12.18	4時間	砕砂	1,500	ダンプ取り
26	499	74.99	12.21	4時間	砕砂	1,500	ダンプ取り
27	690	78.00	12.22	7時間	砕石	2,000	土場切り
28	734	79.95	12.24	4時間	砕砂	2,000	ダンプ取り
29	499	72.06	12.25	8時間	砕石	1,300	土場切り
30	488	73.10	12.26	3時間	砕砂	1,500	ダンプ取り

夜間荷役は行われておらず、おおむね午前6時以降に荷役が始まり、夕刻の日没までには終了していた。

4.2 バラ荷貨物に関する調査結果の解析

(1) 上載荷重の経時変化

土場切りの場合は、対象バースのエプロン上の47m×20mの領域を対象に、2台のビデオカメラによる画像から、載荷されているバラ荷の等高線を作成する。エプロン上の解析対象領域を1m×1mの格子(940領域)に分割し、この格子内の平均高さバラ荷の単位体積重量(表-27参照)を乗じることで、バラ荷の重量分布図を算定する。次に、観測結果の上載荷重は、エプロン上に積載されたバラ荷の重量を全接地面積で除すことにより、接地面積あたりの荷重(圧力)として整理した。

ダンプ取りの場合は、対象船のクレーンの揚荷重量がクレーンの回転時間毎にダンプ重量に加算し、ダンプの最大積載重量に達したら、揚げ荷を中断しダンプはエプロンを離れる。そして、次のダンプがエプロンに入り、揚げ荷が再開され、その繰り返しとなる。ダンプは、常に同じ位置に停止する。よって、ダンプ取りの場合の上載荷重の評価は、ダンプ自重にダンプの積載荷重を加えダンプの接地面積で除したものを1ダンプ分の上載荷重データとし、これをダンプの積載回数(揚げ荷総重量/ダンプ最大積載重量)分継続するとして評価した。

なお、解析において、移動中のダンプトラックやホイールローダーなどの活荷重については、調査対象外とした。

ビデオカメラによる画像の撮影時間間隔は5分であるが、経時変化の評価においては、線形補完することによりデータの時間間隔は1分とした。

図-48 および図-49 に土場切りとダンプ取りによる上載荷重の経時変化の例を示す。土場切りとダンプ取りで荷重特性が異なるので、以降の解析では、荷役形態が土場切り、ダンプ取り、土場切りとダンプ取りを合わせたものと3通りの解析を行った。

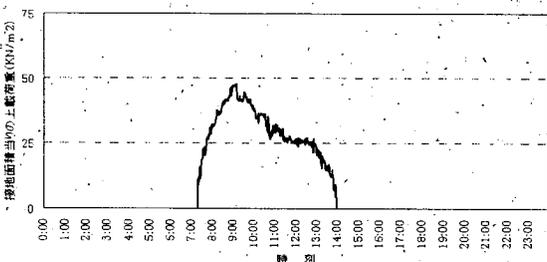


図-48 上載荷重の経時変化の例(2001年10月29日、土場切り)

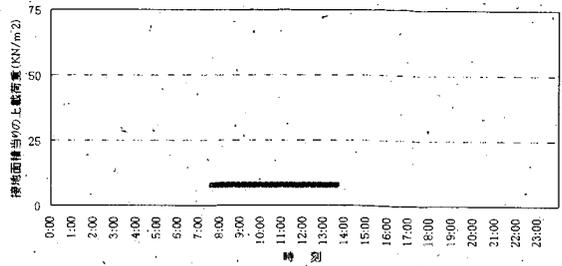


図-49 上載荷重の経時変化の例(2001年10月29日、ダンプ取り)

(2) 上載荷重の空間分布

図-50～図-52は各領域の上載荷重の全観測期間における時間平均値を示したものであり、それぞれ、荷役形態が土場切り、ダンプ取り、土場切りとダンプ取りを合わせたものである。

土場切りの場合は、エプロン上のほとんどの範囲に上載荷重が分布し、法線直角(横)方向の最大荷重が出現する位置は海より約14mの地点である。これに対して、ダンプ取りの場合は、海側の約7m程度にしか上載荷重は作用していないことがわかる。また、土場切りとダンプ取りを合わせた場合は、エプロン全体にほぼ一樣な上載荷重が作用していることがわかる。

(3) 上載荷重の確率密度

図-48 および図-49 に例として示した上載荷重の経時変化は、観測期間分評価される。その経時変化により上載荷重の確率を評価する。表-29 に観測期間中の上載荷重のゼロの確率を示す。

表-29 上載荷重がゼロの確率

荷役形態	確率
土場切り	83.8%
ダンプ取り	69.1%
土場切りおよびダンプ取り	79.9%

表-30 に土場切り、土場切りとダンプ取りを合わせた上載荷重の確率密度を示し、表-31 にダンプ取りによる上載荷重の確率密度を示す。上載荷重ランクで、10.0-15.0などの記述があるが、これは10.0より大きく(10.0を含まず)15.0以下のデータを意味する。

また、図-53～図-55 に土場切り、ダンプ取り、土場切りとダンプ取りを合わせた上載荷重の確率密度を示す。

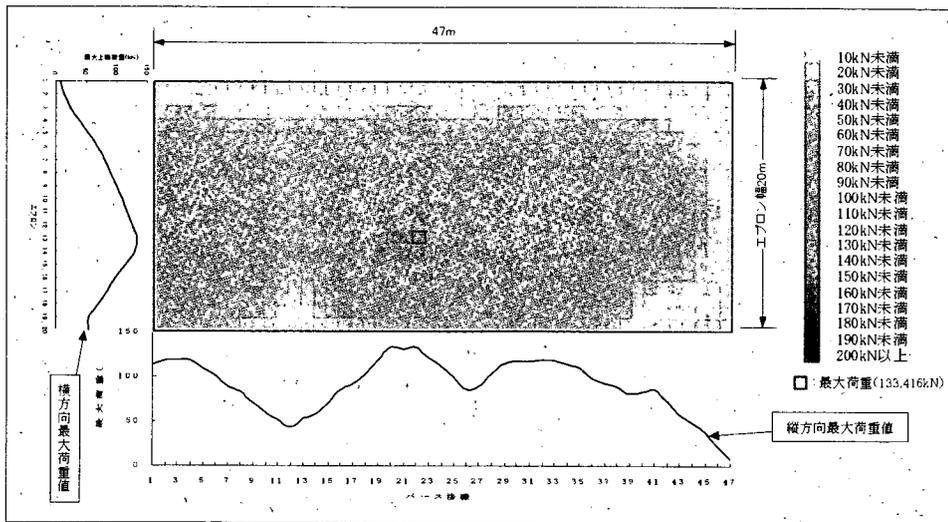


図-50 単位時間あたりの上載荷重の空間分布図（土場切り）

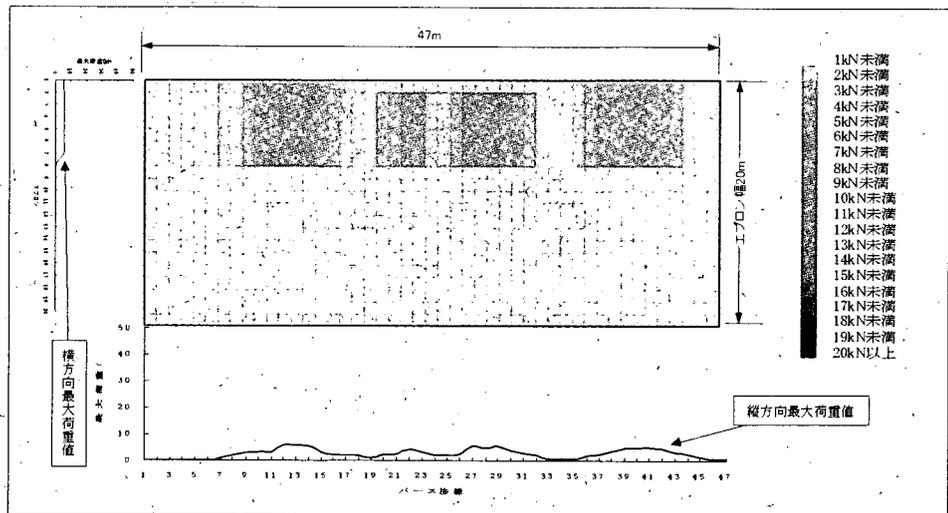


図-51 単位時間あたりの上載荷重の空間分布図（ダンプ取り）

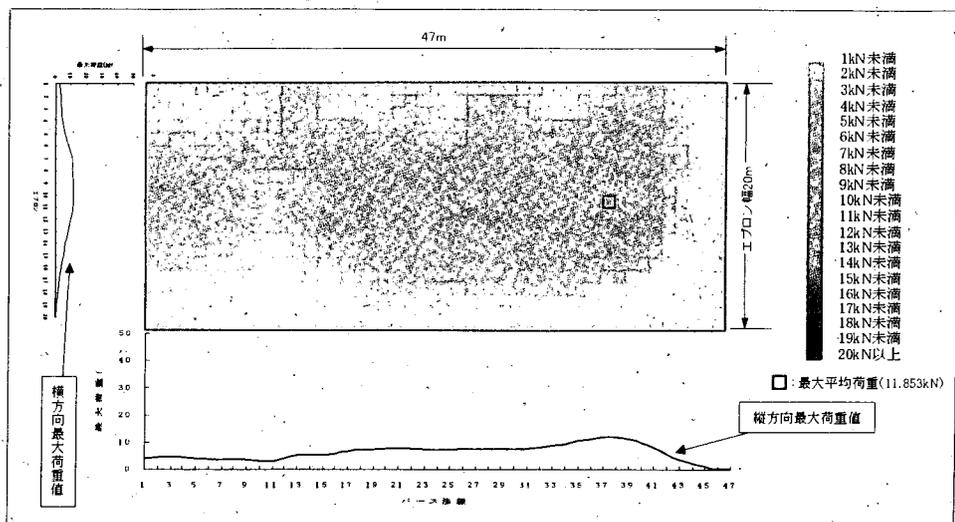


図-52 単位時間あたりの上載荷重の空間分布図（土場切り+ダンプ取り）

土場切りの場合は、上載荷重の確率密度の分布形状のピークは 20.0~25.0kN/m²であり、ある程度のばらつきを持った分布形状を示す。これに対して、ダンプ取りの場合は、ダンプトラックが何も積載せずに、エプロン上に停車している場合が、上載荷重の最小値として存在する。また、上載荷重の確率密度、そのほとんどが 6.0~9.0kN/m²であり、土場切りに比べて上載荷重のばらつきは小さい。

また、土場切りとダンプ取りを合わせた場合は、一山型の分布形状にはならない。ダンプ取りによる上載荷重 5.0~10.0kN/m²の確率密度が非常に大きく、土場切りによる上載荷重の確率密度が 10.0~50.0kN/m²の範囲に分布する。

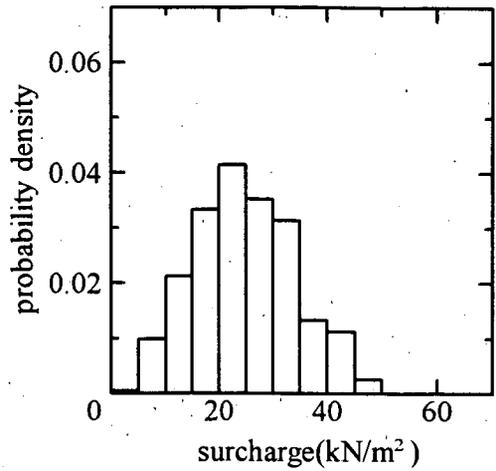


図-53 上載荷重の確率密度分布 (土場切り)

表-30 上載荷重の確率密度

上載荷重 (kN/m ²)	土場切り	土場切り+ダンプ取り
0.0 - 5.0	0.00045	0.00018
5.0 - 10.0	0.00979	0.11434
10.0 - 15.0	0.02121	0.01646
15.0 - 20.0	0.03325	0.01362
20.0 - 25.0	0.04141	0.01696
25.0 - 30.0	0.03533	0.01446
30.0 - 35.0	0.03145	0.01288
35.0 - 40.0	0.01333	0.00546
40.0 - 45.0	0.01125	0.00460
45.0 - 50.0	0.00253	0.00104
50.0 -	0.00000	0.00000

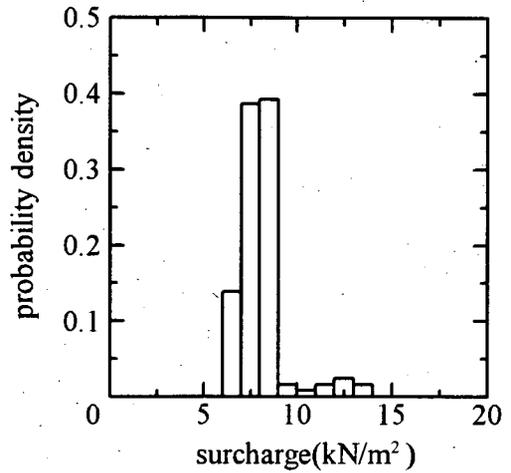


図-54 上載荷重の確率密度分布 (ダンプ取り)

表-31 上載荷重の確率密度

上載荷重 (kN/m ²)	ダンプ取り
- 5.0	0.00000
5.0 - 6.0	0.00000
6.0 - 7.0	0.13862
7.0 - 8.0	0.38643
8.0 - 9.0	0.39267
9.0 - 10.0	0.01638
10.0 - 11.0	0.00838
11.0 - 12.0	0.01638
12.0 - 13.0	0.02476
13.0 - 14.0	0.01638
14.0 - 15.0	0.00000
15.0 -	0.00000

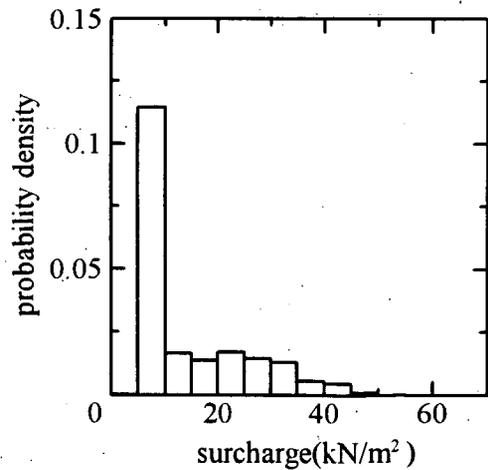


図-55 上載荷重の確率密度分布 (土場切り+ダンプ取り)

(4) 確率分布のあてはめ

評価した上載荷重の確率密度に確率分布をあてはめ、上載荷重の母集団の確率分布の推定を行った。

確率分布のあてはめは、合田(1990)に従い、最小自乗法により行った。あてはめを試みた分布型は、正規分布、対数正規分布、グンベル分布、ワイブル分布である。表-32に土場切り、表-33にダンプ取りに対する分布型のあてはめ結果を示す。また、土場切りおよびダンプ取りの上載荷重の確率密度にあてはめ結果の確率密度関数を重ねた結果を図-56~図-69に示す。

土場切りの場合は、正規分布をあてはめた場合の相関が最も高く、ダンプ取りの場合は、ワイブル分布の $k=1.0$ をあてはめた場合が最も相関が高くなった。

次いで、土場切りとダンプ取りを合わせた場合について、確率分布のあてはめを行った。土場切りとダンプ取りを合わせた場合は、二山形の確率密度分布になる。よって、土場切りおよびダンプ取りの上載荷重のデータそれぞれに対してあてはめた結果の分布型を数値的に重ね合わせ、面積が1になるように正規化した分布をあてはめた。ここで、採用した分布型は、土場切りについては正規分布、ダンプ取りについては、相関が高いのはワイブル分布の $k=1.0$ であるが、扱いやすさを考えて、グンベル分布とした。また、観測期間中の土場切りとダンプ取りの割合は、土場切り40.9%、ダンプ取り59.1%であり、数値的に重ね合わせる際にこの比率で重ね合わせた。図-70に土場切りとダンプ取りを合わせた場合についてのあてはめ結果を示す。

表-32 分布型のあてはめ結果(土場切り)

Distribution type	k	A	B	R^2
Normal	-	9.217	24.599	0.989
Log-normal	-	0.420	3.120	0.961
Gumbel	-	7.048	20.528	0.948
Weibull	0.75	4.851	18.819	0.707
Weibull	1.0	8.513	16.084	0.840
Weibull	1.4	13.626	12.178	0.938
Weibull	2.0	19.883	6.977	0.986

表-33 分布型のあてはめ結果(ダンプ取り)

Distribution type	k	A	B	R^2
Normal	-	1.095	8.150	0.761
Log-normal	-	0.125	2.088	0.842
Gumbel	-	0.924	7.617	0.889
Weibull	0.75	0.739	7.270	0.895
Weibull	1.0	1.203	6.947	0.916
Weibull	1.4	1.796	6.512	0.890
Weibull	2.0	2.483	5.949	0.839

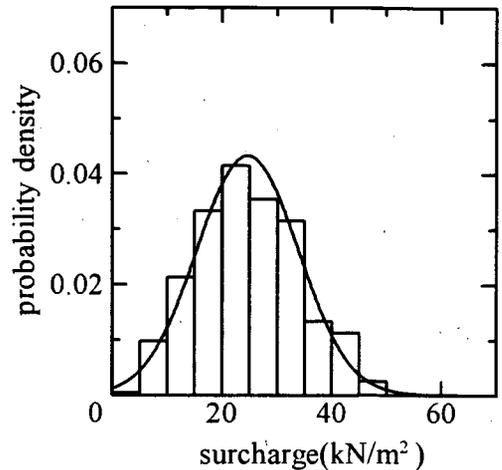


図-56 正規分布のあてはめ結果(土場切り)

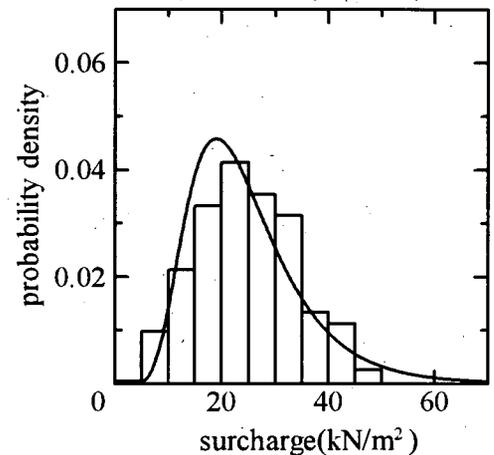


図-57 対数正規分布のあてはめ結果(土場切り)

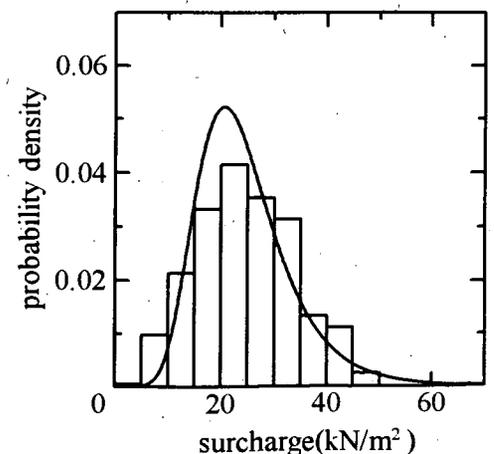


図-58 グンベル分布のあてはめ結果(土場切り)

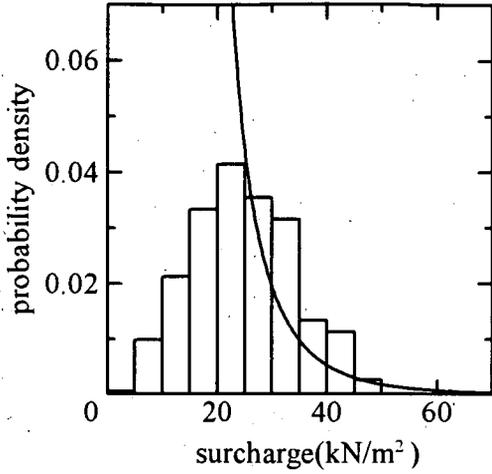


図-59 ワイブル分布 ($k=0.75$) のあてはめ結果 (土場切り)

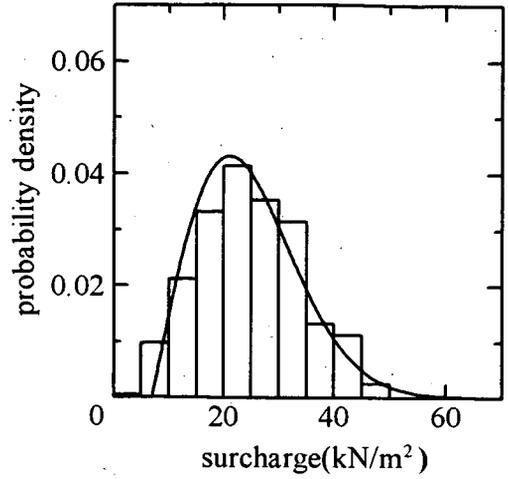


図-62 ワイブル分布 ($k=2.0$) のあてはめ結果 (土場切り)

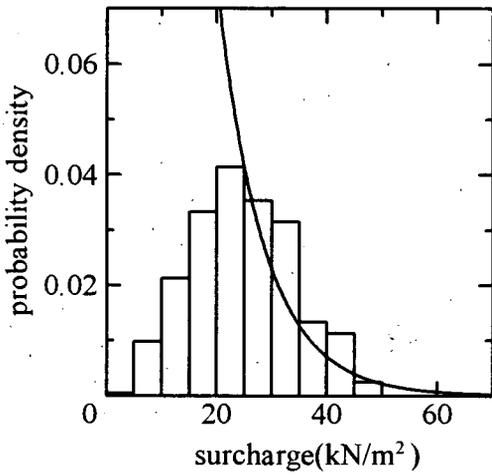


図-60 ワイブル分布 ($k=1.0$) のあてはめ結果 (土場切り)

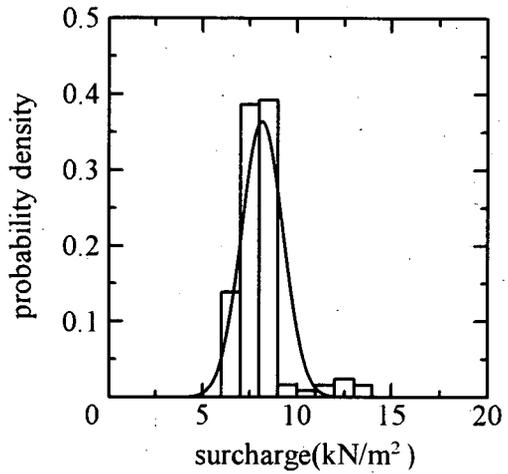


図-63 正規分布のあてはめ結果 (ダンプ取り)

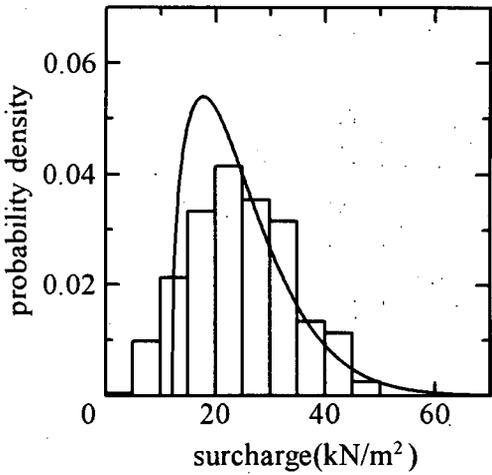


図-61 ワイブル分布 ($k=1.4$) のあてはめ結果 (土場切り)

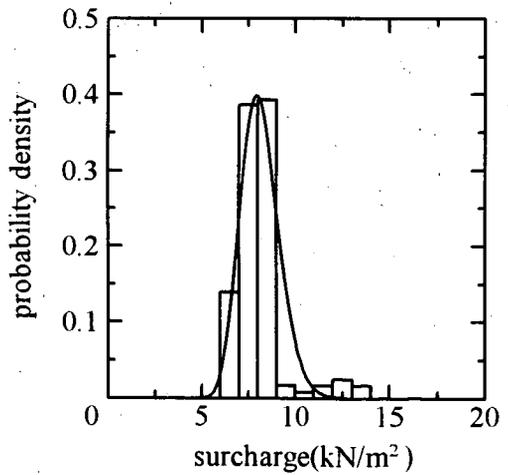


図-64 対数正規分布のあてはめ結果 (ダンプ取り)

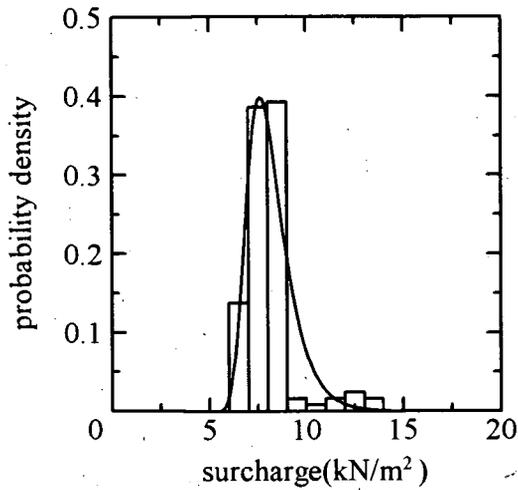


図-65 グンベル分布のあてはめ結果 (ダンプ取り)

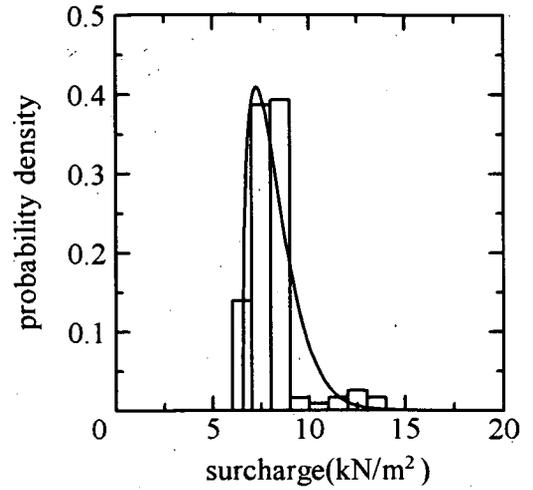


図-68 ワイブル分布 ($k=1.4$) のあてはめ結果 (ダンプ取り)

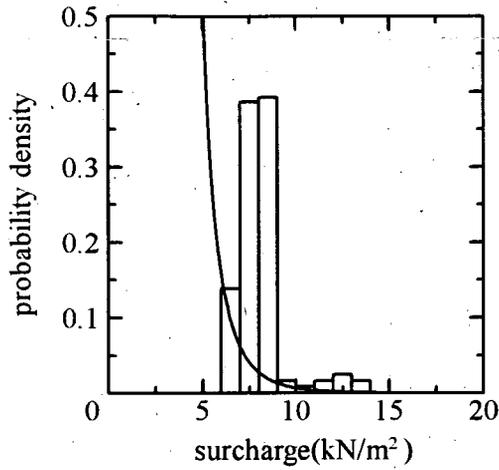


図-66 ワイブル分布 ($k=0.75$) のあてはめ結果 (ダンプ取り)

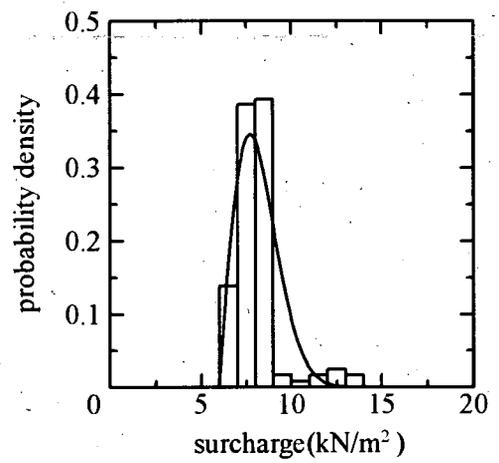


図-69 ワイブル分布 ($k=2.0$) のあてはめ結果 (ダンプ取り)

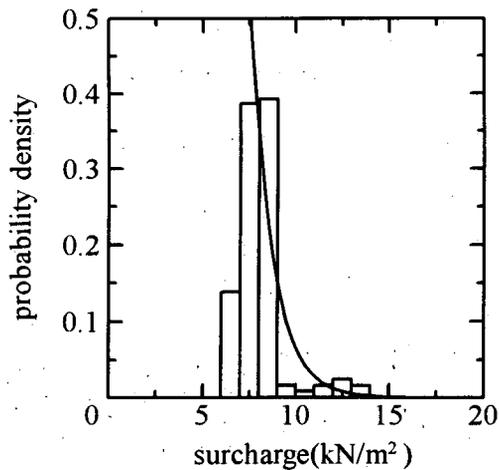


図-67 ワイブル分布 ($k=1.0$) のあてはめ結果 (ダンプ取り)

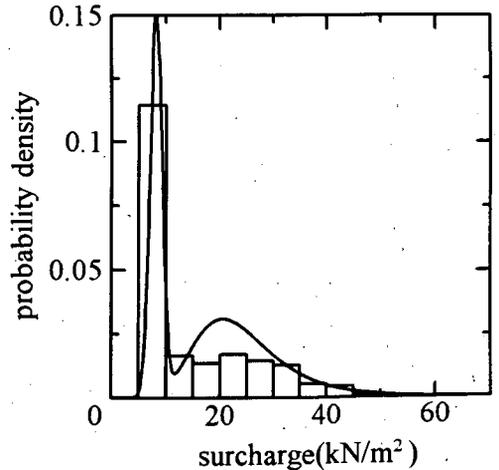


図-70 二山形のあてはめ結果 (土場切りには正規分布, ダンプ取りにはグンベル分布)

(5) 常時および地震時の設計値の評価

評価した上載荷重の確率分布を用いて、ISO2394 (1998) に従って特性値および設計値の評価を行った。具体的な評価手法は、雑貨貨物の観測結果の解析と同様である。

土場切りおよびダンプ取りに対する常時の上載荷重の設計値を表-34 および表-35 に示す。また、土場切りとダンプ取りを合わせた上載荷重の確率密度に二山の分布型をあてはめた場合の常時の上載荷重の設計値を表-36 に示す。土場切りとダンプ取りを合わせた上載荷重の観測データの平均値は 14.9 kN/m² であるが、二山型の分布型を用いた場合の 50% フラクタイル値は 9.0 kN/m² であり、観測結果の平均値と大きくずれる。これは、50% フラクタイル値は二山のつなぎ目になるためであり、全体としてのあてはめ精度はよいため、特性値や設計値は 50% フラクタイル値に比べて観測結果を精度良く評価できていると考えられる。

表-34 上載荷重の特性値と常時の設計値 (土場切り)

	50%フラク タイル値	特性値	設計値 (主たる 荷重)	設計値 (従たる 荷重)
Normal	24.6	43.5	49.1	34.4
Log-normal	22.7	53.7	69.3	43.3
Gumbel	23.0	48.0	59.6	39.9
Weibull (0.75)	22.1	48.7	66.5	37.8
Weibull (1.0)	21.8	49.4	63.3	39.8
Weibull (1.4)	22.7	48.3	58.5	40.5
Weibull (2.0)	23.4	46.3	53.8	40.2

単位: kN/m²

表-35 上載荷重の特性値と常時の設計値 (ダンプ取り)

	50%フラク タイル値	特性値	設計値 (主たる 荷重)	設計値 (従たる 荷重)
Normal	8.2	10.4	11.1	9.3
Log-normal	8.1	10.4	11.3	9.2
Gumbel	8.0	11.2	12.7	9.3
Weibull (0.75)	7.7	11.8	14.5	9.1
Weibull (1.0)	7.8	11.7	13.6	9.3
Weibull (1.4)	7.8	11.3	12.6	9.4
Weibull (2.0)	7.9	10.9	11.8	9.4

単位: kN/m²

表-36 上載荷重の特性値と常時の設計値 (土場切りとダンプ取りを合わせたもの)

	50%フラク タイル値	特性値	設計値 (主たる 荷重)	設計値 (従たる 荷重)
Normalと Gumbel	9.0	39.6	45.3	28.1

単位: kN/m²

次に、地震時の上載荷重の設計値を評価する。表-29 に示したように、上載荷重がゼロである確率は荷役形態にかかわらず50%を超えており、上載荷重が非ゼロである確率 q は0.5以下になる。よって、ISO2394 (1998) に従うと、地震時のバラ荷貨物の上載荷重の設計値は 0.0 kN/m² となる。

5. コンテナ貨物の上載荷重

(1) コンテナ貨物に関する解析

検討に使用したデータは、長尾ら (1998) の付録にあるコンテナ荷重の現況調査から引用した。この調査は、東京港、横浜港、名古屋港のコンテナ岸壁を対象にコンテナクレーンに設置されているロードセルから得られるデータを整理したものである。長尾ら (1998) の付録には、A port の 1995、1996、1997 年、B port の 1995 年、C port の 1996、1997 年について、20ft、40ft、45ft および重量物の実重量ランクのコンテナ個数が表として記載されている。記載されている数値とその合計に矛盾があるが、今回の解析では、表中の数値が正しいものとして扱った。解析に使用した実重量ランクのコンテナ個数は付録 B に示す。本研究では、20ft、40ft コンテナのみを解析対象とし、45ft コンテナやその他の重量は、その個数の占める割合が全体の 1%にも満たないので、解析対象外とした。

コンテナが岸壁上に上載荷重として作用する状況は、コンテナがコンテナクレーンにより船からトラクタトレーラー上に載せられ、トラクタトレーラーが発車するまでの短い時間である。また、上載荷重としては、トラクタトレーラーの重量とコンテナの重量をその岸壁上への投影面積で除したものと定義できる。

トラクタトレーラーの重量と投影面積に関しては、港湾の施設の技術上の基準・同解説 (1999) に 5 種類のトラクタトレーラーについての記述がある。ここでは、20ft、40ft コンテナ別々に、重量と投影面積の比の大きいトラクタトレーラーの値を使って解析を行った。また、20ft と 40ft コンテナのデータを合わせた解析も行った。その場合、トラクタトレーラーの重量と投影面積は、20ft と 40ft

コンテナに対して解析に使用した値の平均値を用いた。表-37 に解析に用いたトラクタトレーラーの重量と投影面積を示す。

表-37 トラクタトレーラーの重量と投影面積

	投影面積 A(m ²)	車両総質 量(t)	車両総重 量 W(kN)	W/A (kN/m ²)
20ft	30.639	30.4	297.92	9.72
40ft	39.569	34.21	335.258	8.47
20ft と 40ft の平均	35.104	-	316.589	9.02

(2) 上載荷重の確率

実重量ランクのコンテナ個数のデータおよびトラクタトレーラーの重量と投影面積から、上載荷重ランク毎の確率を評価した。表-38 および表-39 に 20ft および 40ft コンテナの港および年毎の上載荷重のランク毎の確率を示す。また、表-40 に 20ft と 40ft コンテナのデータを合わせた上載荷重のランク毎の確率を示す。表中の 9.72 - 11.32 などの記述は、9.72 以上 11.32 未満のデータを意味する。20ft と 40ft コンテナのデータを合わせた場合は、港および年毎の整理は行わなかった。ここで、上載荷重

ランクの下限値は、トラクタトレーラーの単位面積当たりの車両重量である。

これらのデータを用いて、コンテナの上載荷重の港毎の特性および年毎の特性を調べた。図-71 および図-72 は、A port における年毎の 20ft コンテナと 40ft コンテナに関する上載荷重ランク毎の確率である。コンテナ上載荷重の特性に年毎の変化は、ほとんどないことがわかる。

図-73 および図-74 は、港毎の 20ft コンテナと 40ft コンテナに関する上載荷重ランク毎の確率である。A port は 1997 年のデータ、B port は 1995 年のデータ、C port は 1997 年のデータを用いた。コンテナ上載荷重の特性は港毎に異なり、B port と C port はほとんど同じ特性を示すが、A port は B port および C port に比べて荷重の大きなコンテナが多いことがわかる。

図-75 は、20ft、40ft および 20ft と 40ft のコンテナを合わせた上載荷重のランク毎の確率を比較したものである。20ft コンテナは、40ft コンテナに比べて上載荷重の大きいコンテナが多いことがわかる。また、20ft と 40ft のコンテナを合わせた上載荷重のランク毎の確率は、当然のことながら、20ft コンテナと 40ft コンテナのほぼ中間値をとる。

表-38 20ft コンテナの上載荷重ランク毎の確率

上載荷重(kN/m ²)	A port, 1995	A port, 1996	A port, 1997	B port, 1995	C port, 1996	C port, 1997	Total
9.72 - 11.32	0.128	0.155	0.157	0.232	0.264	0.257	0.191
11.32 - 12.92	0.120	0.123	0.124	0.152	0.154	0.141	0.133
12.92 - 14.52	0.086	0.084	0.087	0.120	0.154	0.141	0.108
14.52 - 16.12	0.160	0.124	0.118	0.239	0.241	0.249	0.184
16.12 - 17.72	0.321	0.307	0.305	0.209	0.151	0.173	0.254
17.72 - 19.32	0.150	0.168	0.170	0.038	0.026	0.026	0.104
19.32 - 20.92	0.028	0.030	0.030	0.010	0.007	0.007	0.020
20.92 - 22.52	0.008	0.009	0.010	0.000	0.003	0.006	0.006
22.52 - 24.12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表-39 40ft コンテナの上載荷重ランク毎の確率

上載荷重(kN/m ²)	A port, 1995	A port, 1996	A port, 1997	B port, 1995	C port, 1996	C port, 1997	Total
8.47 - 9.71	0.051	0.052	0.032	0.243	0.176	0.164	0.136
9.71 - 10.95	0.136	0.159	0.145	0.169	0.194	0.205	0.175
10.95 - 12.19	0.166	0.159	0.151	0.200	0.186	0.196	0.181
12.19 - 13.43	0.141	0.137	0.139	0.108	0.141	0.139	0.134
13.43 - 14.66	0.147	0.119	0.126	0.190	0.191	0.177	0.165
14.66 - 15.90	0.238	0.213	0.208	0.080	0.087	0.091	0.136
15.90 - 17.14	0.099	0.123	0.150	0.010	0.019	0.020	0.055
17.14 - 18.38	0.022	0.039	0.050	0.000	0.005	0.009	0.016
18.38 - 19.62	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表-40 20ft と 40ft コンテナを合わせた上載荷重のランク毎の確率

上載荷重(kN/m ²)	20ft+40ft
9.02 - 10.41	0.161
10.41 - 11.81	0.156
11.81 - 13.21	0.148
13.21 - 14.60	0.157
14.60 - 16.00	0.205
16.00 - 17.39	0.122
17.39 - 18.79	0.039
18.79 - 20.19	0.012
20.19 - 21.59	0.000

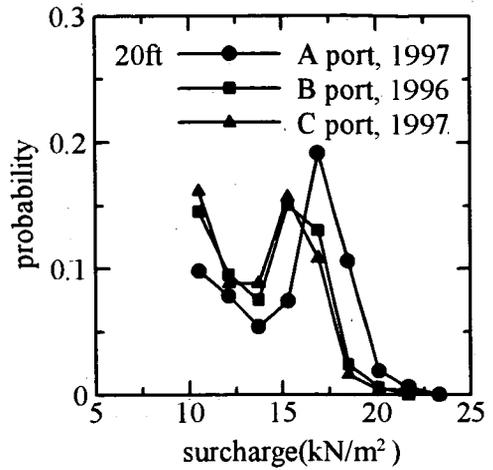


図-73 港毎のコンテナ上載荷重ランク毎の確率 (20ft)

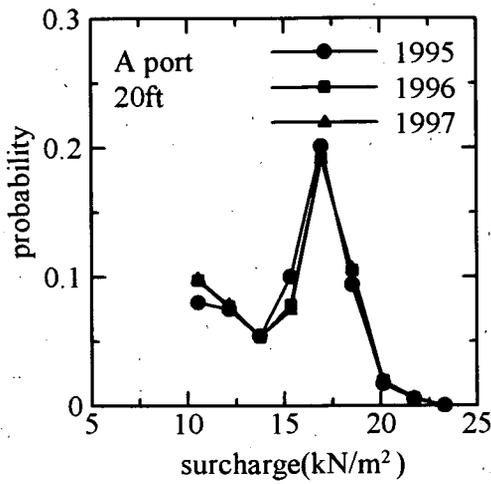


図-71 年毎のコンテナ上載荷重ランク毎の確率 (20ft)

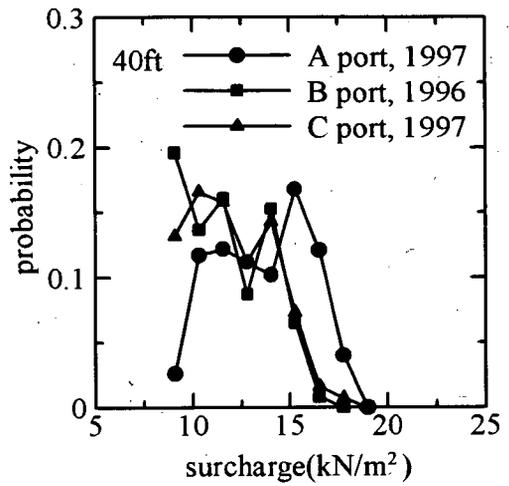


図-74 港毎のコンテナ上載荷重ランク毎の確率 (40ft)

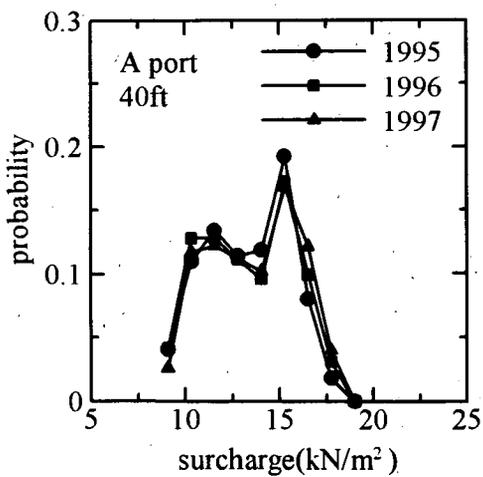


図-72 年毎のコンテナ上載荷重ランク毎の確率 (40ft)

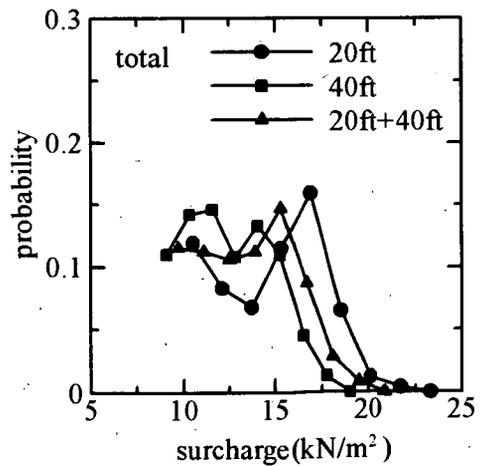


図-75 港毎のコンテナ上載荷重ランク毎の確率 (40ft)

(3) 確率分布の評価

次いで、20ft, 40ft および 20ft と 40ft のコンテナを合わせた上載荷重の平均値と標準偏差を評価した。表-41 は、評価結果の平均値、標準偏差、変動係数である。変動係数は、20ft コンテナ, 40ft コンテナ, それらを合わせたものも同じ 0.19 となる。また、コンテナ上載荷重ランク毎の確率に評価した平均値と標準偏差の正規分布を重ねた結果を図-76~図-78 に示す。

表-41 コンテナ上載荷重の平均値、標準偏差、変動係数

	平均値 (kN/m ²)	標準偏差 (kN/m ²)	変動係数
20ft	14.7	2.84	0.19
40ft	12.5	2.32	0.19
20ft+40ft	13.4	2.55	0.19

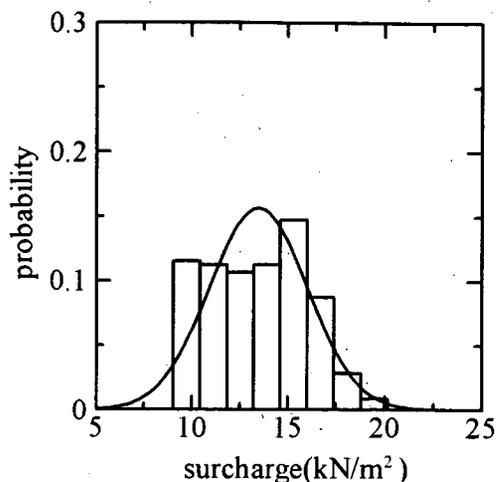


図-78 コンテナ上載荷重ランク毎の確率 (20ft+40ft)

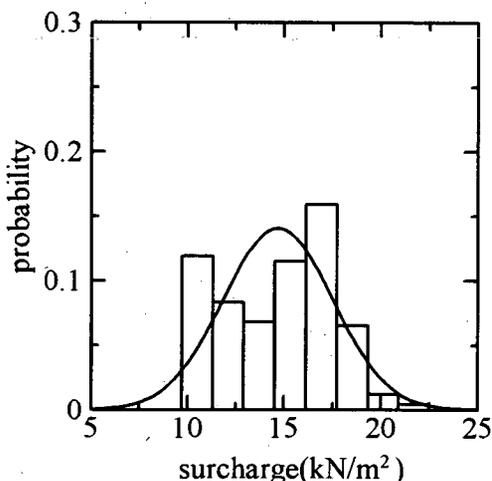


図-76 コンテナ上載荷重ランク毎の確率 (20ft)

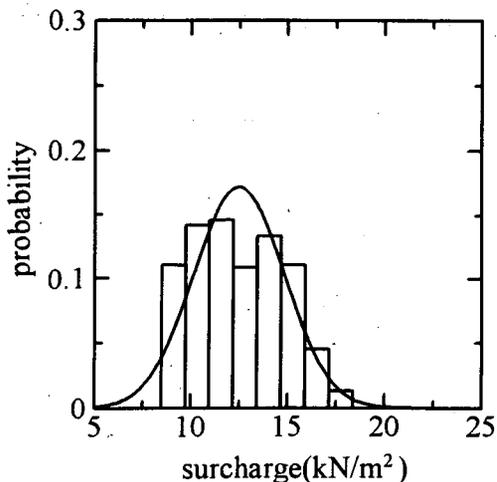


図-77 コンテナ上載荷重ランク毎の確率 (40ft)

(4) 常時および地震時の設計値の評価

評価した平均値および標準偏差より、ISO2394 (1998) に従って常時の設計値を評価した。具体的な評価手法は、雑貨貨物の観測結果の解析と同じである。

表-42 に評価したコンテナ上載荷重の平均値、特性値、設計値を示す。

表-42 コンテナ上載荷重の平均値、特性値、設計値

	平均値	特性値	設計値 (主たる荷重)	設計値 (従たる荷重)
20ft	14.7	20.5	22.2	17.7
40ft	12.5	17.2	18.6	14.9
20ft+40ft	13.4	18.7	20.2	16.1

単位: kN/m²

上記の値は、常時の上載荷重の設計値である。コンテナのサイクルタイム (一つのコンテナをコンテナクレーンが扱うのに要する時間) が約 90 秒であり、コンテナがトラクタトレーラーに載せられトラクタトレーラーが発車するまでの時間は長くても 10 秒と考えると、作業中に上載荷重が作用している確率は $10/90=0.111$ であり、非常に小さい。ISO2394 によると、地震力と上載荷重を組み合わせるような場合、上載荷重は準永続値となり、準永続値は作用している確率が 0.5 未満の時は 0.0kN/m^2 となる。よって、地震時のコンテナ貨物の上載荷重の設計値は 0.0kN/m^2 となる。

最後に、本研究ではエプロン上でのコンテナ貨物の取り扱い方式は、トラクタートレーラー方式を想定している。しかしながら、博多港などのようにストラドルキャリア方式を採用しているケースもある。ストラドルキャリア方式の場合、荷役効率を考慮してエプロン上にコンテ

ナを仮置きする場合がある。ヒアリングによると、エプロン上にコンテナを2段または3段積みにする場合もあるということである。この場合、上載荷重としてはかなり大きな値になると考えられることから、ストラドルキャリア方式を採用する場合の上載荷重の設定については注意が必要である。

6. まとめ

本研究結果より港湾構造物の設計に用いる上載荷重の確率分布を以下に提案する。また、現行の港湾の施設の技術上の基準・同解説(1999)も考慮し、ISO2394(1998)に従って上載荷重の特性値および設計値を算出した結果をまとめると以下の通りになる。ただし、設計実務への適用にあたっては、採用する設計手法や性能関数に応じて、適切な特性値および設計値を採用する必要がある。

6.1 雑貨貨物

確率分布としては、設計における扱いやすさから、単一の分布型を提案することとする。横浜港における資料のみによる観測結果の解析では、分布型のあてはめの適合度が悪いが、その他の結果を総合的に判断すると、対数正規分布の相関係数が相対的には高いと考えられる。また、横浜港においては 3.0kN/m^2 以下の貨物がかなりの確率を占めているが、これらは上屋から出してエプロン上で梱包し上屋に戻す貨物であり、船に積まれない貨物である。神戸港や北九州港ではエプロンの直背後に上屋はないため、梱包のためのエプロンを使用するという状況は生じない。よって、分布型のパラメタについては、資料収集のみによる神戸港と北九州港の観測の解析結果を参照し、それらのほぼ平均な値として、パラメタ $A=0.65$ 、パラメタ $B=2.0$ を提案する。

本研究では、雑貨貨物の上載荷重の確率分布として正規分布を仮定すると、そのあてはめの相関は非常に悪くなった。しかしながら、一般に、その扱いやすさから設計変数の確率分布として正規分布が採用される場合が多い。よって、本研究結果より、雑貨貨物の上載荷重の確率特性として正規分布を仮定した場合のパラメタの提案値も以下に示す。

特性値および設計値も資料収集のみによる神戸港および北九州港の観測の解析結果を参照し、これらの解析結果の平均的な値として、以下の通りとなる。

(1) 確率分布：対数正規分布

パラメタ $A: 0.65$, パラメタ $B: 2.0$

確率分布：正規分布

平均： 10kN/m^2 , 変動係数 0.6

(2) 特性値： 30kN/m^2

(3) 常時の設計値： 40kN/m^2 (主たる荷重), 15kN/m^2 (従たる荷重)

6.2 バラ荷貨物

ダンプ取りによる荷役形態の場合、上載荷重はダンプトラックの最大積載重量で規定され、土場切りによる荷役形態をとった場合の上載荷重に比べて小さくなる。よって、設計においては、土場切りによる荷役形態をとった場合の上載荷重の特性を考慮することとする。土場切りの場合の解析結果よりバラ荷貨物の上載荷重の確率分布としては、以下を提案する。また、特性値および設計値としては以下の通りとなる。

(1) 確率分布：正規分布

平均： 25kN/m^2 , 変動係数 0.4

(2) 特性値： 45kN/m^2

(3) 常時の設計値： 50kN/m^2 (主たる荷重), 35kN/m^2 (従たる荷重)

6.3 コンテナ貨物

解析結果をやや安全側に丸め、コンテナ貨物の上載荷重の確率分布としては、以下を提案する。また、特性値および設計値としては、解析結果および港湾の施設の技術上の基準・同解説(1999)も参考にすると、以下の通りとなる。

(1) 確率分布：正規分布

平均： 15kN/m^2 , 変動係数 0.2

(2) 特性値： 20kN/m^2

(3) 常時の設計値： 30kN/m^2 (主たる荷重), 20kN/m^2 (従たる荷重)

ただし、これらの値はトラクタトレーラー方式を前提としており、荷役効率を考慮してエプロン上にコンテナを仮置きする場合があるストラドルキャリア方式は想定していない。

6.4 地震時の上載荷重

本研究における調査では、貨物の種類や荷役形態にかかわらず上載荷重がゼロである確率は50%を超えており、上載荷重が非ゼロである確率 q が0.5以下になる。よって、ISO2394(1998)に従うと、貨物の種類や荷役形態にかかわらず地震時の上載荷重の設計値は 0.0kN/m^2 となる。

本研究では、地震時の港湾構造物の設計において、貨物の上載荷重を考慮しないことを提案する。

7. おわりに

現在、港湾の施設の技術上の基準は、国際規格との整合を図りながら、設計法として信頼性設計法の一つである部分係数法を採用する方向で検討が行われている。部分係数法で設計するためには、合理的に部分係数を決める必要がある。

本研究は、技術基準の改定やそれに伴う部分係数のキャリブレーション、また、実際の構造物の信頼性設計に資することを念頭におき、現地調査や既存のデータから上載荷重の確率特性を明らかにしたものである。

本研究で得られた上載荷重の確率特性やまとめに示した上載荷重の確率分布および ISO2394 (1998) に従って評価した特性値や設計値が、今後の港湾の施設の技術上の基準・同解説の改定やそれに伴う部分係数のキャリブレーション、また、実際の構造物の信頼性設計を行う際の一助となることを願う次第である。

(2002年9月2日受付)

謝辞

最後に、現地観測の実施にあたり、横浜市港湾局、千葉県土木部、神戸市港湾整備局、北九州市港湾局の関係各位および江口秀人前港湾施設研究室研究員に協力して頂いた。現地観測およびデータの解析においては、(株)

日本海洋科学の津金正典氏をはじめ多くの方に協力して頂いた。また、本研究をまとめるにあたり、田邊俊郎前港湾施設研究室長、長尾毅港湾施設研究室長、松本英雄港湾研究部主任研究員に有益な意見を多数頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 運輸省港湾局監修 (1999) : 港湾の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, 1181p.
- ISO (1998) : ISO2394, General principles on reliability for structures, 73p.
- 遠藤博・笹田彰・石塚修次 (1977) : 係船岸の上載荷重調査, 港湾技研資料, No.268.
- 星谷勝・石井清 (1986) : 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 208p.
- 長尾毅 (2001) : ケーソン式港湾構造物への信頼性設計法の適用に関する研究, 京都大学学位論文, 169p.
- 合田良實 (1990) : 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会, 333p.
- 長尾毅・横田弘・竹地晃一郎・川崎進・大久保昇 (1998) : 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, 港湾技術研究所報告, Vol.37, No.2.

付録 A 各国基準類による上載荷重の設計値

日本、イギリス、フランス、ドイツ、中国の基準類による上載荷重の設計値に関する記述をとりまとめた。ここでは、各国の基準類を基準としてひとまとめにしているが、国により法的拘束力があるもの (Standard) や推奨値が記述してあるもの (Recommendation) もあり、記載された値を使って問題が起きた場合の責任は使った人 (設計者) にあると明確に記述してあるものもある。

A.1 日本の基準 “港湾の施設の技術上の基準・同解説、1999”

日本の基準における上載荷重に関する記述を以下に記す。

・一般
港湾の施設の設計に際しては、必要に応じ上載荷重を考慮する。

・常時における積載荷重
常時における積載荷重は、取り扱う貨物の種類、荷姿、量、取扱方法、積載期間などを十分考慮して決定する。

[参考]

.....

一般雑貨ふ頭の場合、エプロン上の積載荷重として 10~30kN/m² 程度の値をとる例が多い。コンテナや鋼材などの重量の大きな貨物を取り扱うエプロンについては、利用形態を調査して積載荷重の大きさを決定するのがよい。

.....

・地震時における積載荷重
地震時における積載荷重は、設計条件で考慮した地震が発生する時点での積載荷重の存在状態を十分予測して決定する。

[参考]

.....

一般に岸壁の設計では、エプロン上における地震時の積載荷重は常時の積載荷重の 1/2 にとることが多い。

.....

A.2 英国の基準 “BS6394, Maritime structures, Part1 General criteria, 1984”

イギリスの基準である BS6394 では、部分係数法は採用しておらず、エプロン上の貨物の荷重をその積み上げる高さで単位体積重量で規定している。BS6394 に示されているエプロン上の貨物の高さの制限を表-A.1 に示す。単位体積重量は、種類別によりかなり詳細に値が紹介されており、最も軽いもので Tea の 3.14kN/m³ 最も重いものは Cooper ingots の 35.2kN/m³ である。

表-A.1 エプロン上の貨物の制限高さ

Cargo type	Stacking height (m)
General palletized cargo	5
Timber or timber products	6 - 7
Metal products	3
Containers	5 - 12
Fish	2.5
Vegetables and fruit	4
Bulk materials (commonly used values)	3 - 15

A.3 フランスの基準 “Recommandations pour le calcul aux etats-limites des ouvrages maritimes et fluviaux (version D + fichiers compresses), 1999”

フランスの基準は、部分係数法が採用されており、上載荷重の特性値、部分係数が経験的に決められている。フランスの基準における上載荷重に関する記述を以下に記す。

表-A.2 は上載荷重の経験値としての特性値である。経験値であることを記述してあることから、特性値を従来使われていた値から決めていることがうかがえる。

補足説明として、河川構造物および閘門やダムの後背盛土地区、また、貨物の貯蔵が想定されていない場合には、一般に 10~15kN/m² の値が特性値として設定できる、という記述がある。

表-A.2 上載荷重の経験値

ターミナルの種類		等価均等分布 とした特性値 (kN/m ²)
コンテナ	ヤード 2層	30
	ヤード 3層	45
	ヤード 4層	60
	予備ヤード(最 高2層)	20
	エプロン上	15
カーフェリー		30~50
重量物	冶金工業製品	80
	鉱石	100~300
	石炭	100~200
その他	林業商品	70
	一般商品	20~50

表-A.3 経験値と特性値の関係

TP_i が岸壁の供用期間 中における上載荷重の 期待極限值として非常 に不安全な評価と考え られる。	$TP_d=1.50TP_i$ $TP_k=TP_d/1.50=TP_i$ $\gamma_p=1.50$
TP_i が岸壁の供用期間 中における上載荷重の 期待極限值としてどち らかといえは不安全な 評価と考えられる。	$TP_d=1.30TP_i$ $TP_k=TP_d/1.30=TP_i$ $\gamma_p=1.30$
TP_i が岸壁の供用期間 中における上載荷重の 期待極限值として正確 な評価と考えられる。	$TP_d=1.125TP_i$ $TP_k=TP_d/1.30=0.86TP_i$ $\gamma_p=1.30$
TP_i が岸壁の供用期間 中における上載荷重の 期待極限值として非常 に安全な評価と考えら れる。	$TP_d=TP_i$ $TP_k=TP_d/1.2=0.83TP_i$ $\gamma_p=1.20$

また、構造物の増築や改良などのために、以前に設定された上載荷重の値がある場合には、以下の項目を考慮して代表値を決定すると記述されている。

① 経験(伝統)的値

② 対象岸壁の現実の操業条件による安全性

③ 対象構造物の操業条件の修正見込み

経験的値を TP_i とすると、特性値 TP_k は表-A.3 のように再構成される。

表-A.4 は部分係数の推奨値である。

表-A.5 は頻度値 ψ_1 および準永続値 ψ_2 に対する組み合わせ係数である。組み合わせ係数の値は、岸壁および背後地の予想操業条件に適合する必要がある。

表-A.5 で偶発荷重に対する準永続値の組み合わせ係数 ψ_2 が 0.0 になっていることから、フランスの基準においても地震時の上載荷重の設計値は 0.0kN/m^2 になると考えられる。

表-A.4 部分係数の推奨値

構造物の供用期間における貨物は 限定され、その限界値がわかっ ている。	$\gamma_p=1.20$
中間の場合	$\gamma_p=1.30$
構造物の供用期間における貨物の 種類の変化に不確実性がある。	$\gamma_p=1.50$

表-A.5 組み合わせ係数

	偶発的 荷重	中間的 場合	恒久的 荷重
ψ_1	0.30	0.60	0.90
ψ_2	0.00	0.40	0.80

A.4 ドイツの基準 “Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways EAU1996, 7th Edition, 2000”

ドイツの基準である EAU1996 は、部分係数法は採用しておらず、上載荷重の推奨する設計値が記されている。表-A.6 に上載荷重の推奨している設計値を示す。

一般貨物は上載荷重の設計値を 20kN/m^2 としており、現行の日本の基準で採用している値 $10\sim 30\text{kN/m}^2$ とほぼ一致している。

表-A.6 上載荷重の設計値

Kind of surcharge	Surcharge(kN/m ²)
Light traffic (car)	5
General traffic (truck)	10
General cargo	20
Containers : empty, stacked 4 high	15
Containers : full, stacked 2 high	35
Containers : full, stacked 4 high	55
Ro-Ro loads	30~50
Multi-purpose facilities	50
Offshore feeder bases	55~150
Paper	depending on the bulk/stacking height, calculating values of the weight density according to DIN 1055 part 4
Timber products	
Steel	
Coal	
Ore	

A.5 中国の基準 “Technical Codes for Port Engineering, 2000”

中国の基準では、部分係数法を採用している。中国の基準における上載荷重に関する記述を以下に記す。

上載荷重の設計値は、重要度係数×(組み合わせ係数×)荷重係数×荷重効果係数×上載荷重の特性値として算定される。荷重効果係数は、組み合わせる他の荷重との関係により決まる係数であり、明確な値は示されていない。また、上載荷重の組み合わせ係数は0.7としている。重要度係

数は表-A.7に、荷重係数は表-A.8に示す。

また、エプロン上の上載荷重の特性値を表-A.9に記す。中国の基準では、特性値はかなり細かく規定されており、エプロン上での取り扱い貨物の種類だけでなく、クレーンの有無、構造物の構造形式によっても場合分けしているほか、構造物の安定性に使う値と部材設計に使う値が別々に記述されている。また、エプロン上の海側 L_1 および陸側 L_2 の上載荷重の特性値 q_1 および q_2 を明確に分けている。エプロン上の海側 L_1 と陸側 L_2 の境界は、クレーンがないときはエプロン縁より10m、クレーンがある場合は実際の使用状況を考慮して距離を決めると記述されている。

中国の基準では、河川内における港湾構造物に関しても記述しており、河川内における港湾構造物の設計に用いる上載荷重の特性値は、表-A.9とは別の表が用意されている。

表-A.7 重要度係数

Safety class of structure	Collapse consequence	γ_0
Class I	Very serious	1.1
Class II	Serious	1.0
Class III	Not serious	0.9

表-A.8 荷重係数

Loads	Partial factor
Permanent load	1.2
General cargo	1.4
Container	1.4
Iron and steel	1.5
Bulk cargo	1.5

表-A.9 エプロン上の上載荷重の特性値

Kind of wharf	crane	Type of structure	Characteristic values of surcharge(kN/m ²)		
			Frontage q_1	Front storage yard q_2	
				Cal. of members	Cal. of integrity
General cargo	○ / ×	Not limited	20	40(60)	30(40)
Passenger cargo	×	Not limited	20	30	25
Metal ore	○	Open	20	100	80
	○	Solid	20	150	120
	×	Not limited	30(50)	70	60
Coal	○	Not limited	20	100	70
	×		20(30)	50	50
	×		5	20	20
Non-metal ore	○	Not limited	20	(80)100	60(80)
	×		20(30)	60	60
Salt	○	Not limited	20	90	60
	×			50	50
Steel	-	Not limited	30	80	60
Timber	○	Not limited	30	60	60
	×		20	30	25
Container	○	Not limited	30	60	60
Harbour boat berth	×	Not limited	10~20	10~20	10~20
Oil	×	Not limited	5~10(15)	-	-

付録B 実重量ランクのコンテナ個数（長尾ら（1998）より引用）

本研究の5章のコンテナ貨物の上載荷重の解析で使用したデータを表-B.1～表-B.7に示す。

表-B.1 実荷重ランクのコンテナ個数（A port, 1995）

重量(kN)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
49未満	4,740	1,434	13	2	6,189
49 - 98	4,437	3,842	89	1	8,369
98 - 147	3,165	4,666	151	0	7,982
147 - 196	5,923	3,962	147	0	10,032
196 - 245	11,854	4,156	48	0	16,058
245 - 294	5,533	6,714	48	0	12,295
294 - 343	1,020	2,785	16	0	3,821
343 - 392	281	626	4	0	911
392 - 441	0	0	0	0	0
合計	36,953	28,185	516	3	65,657

表-B.2 実荷重ランクのコンテナ個数（A port, 1996）

重量(kN)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
49未満	4,139	1,111	10	6	5,266
49 - 98	3,287	3,385	111	0	6,783
98 - 147	2,258	3,382	101	0	5,741
147 - 196	3,325	2,916	100	0	6,341
196 - 245	8,195	2,524	25	0	10,744
245 - 294	4,495	4,526	20	0	9,041
294 - 343	792	2,621	5	1	3,419
343 - 392	242	828	1	3	1,074
392 - 441	0	0	0	0	0
合計	26,733	21,293	373	10	48,409

表-B.3 実荷重ランクのコンテナ個数（A port, 1997）

重量(kN)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
49未満	4,005	664	2	12	4,683
49 - 98	3,165	3,032	57	3	6,257
98 - 147	2,210	3,160	150	1	5,521
147 - 196	3,003	2,903	145	0	6,051
196 - 245	7,776	2,648	44	0	10,468
245 - 294	4,326	4,352	29	1	8,708
294 - 343	772	3,141	5	0	3,918
343 - 392	245	1,039	1	0	1,285
392 - 441	0	0	0	0	0
合計	25,502	20,939	433	17	46,891

表-B.4 実荷重ランクのコンテナ個数 (B port, 1995)

重量(kN)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
49未満	4,859	7,782	25	5	12,671
49 - 98	3,194	5,431	11	3	8,639
98 - 147	2,510	6,410	5	2	8,927
147 - 196	5,019	3,467	15	1	8,502
196 - 245	4,373	6,099	5	1	10,478
245 - 294	806	2,566	3	1	3,376
294 - 343	211	331	0	1	543
343 - 392	1	0	0	0	1
392 - 441	0	0	0	0	0
合計	20,973	32,086	64	14	53,137

表-B.5 実荷重ランクのコンテナ個数 (C port, 1996)

重量(kN)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
49未満	5,022	5,888	1	71	10,982
49 - 98	2,934	6,475	0	56	9,465
98 - 147	2,927	6,211	0	57	9,195
147 - 196	4,596	4,704	0	52	9,352
196 - 245	2,877	6,367	0	58	9,302
245 - 294	496	2,909	0	25	3,430
294 - 343	139	642	0	2	783
343 - 392	56	165	0	2	223
392 - 441	0	0	0	0	0
合計	19,047	33,361	1	323	52,732

表-B.6 実荷重ランクのコンテナ個数 (C port, 1997)

重量(kN)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
49未満	7,383	9,205	0	0	16,588
49 - 98	4,039	11,534	1	0	15,574
98 - 147	4,039	10,986	1	0	15,026
147 - 196	7,145	7,809	2	0	14,956
196 - 245	4,963	9,925	0	0	14,888
245 - 294	735	5,102	1	0	5,838
294 - 343	203	1,120	0	1	1,324
343 - 392	182	496	0	1	679
392 - 441	0	0	0	0	0
合計	28,689	56,177	5	2	84,873

表-B.7 実荷重ランクのコンテナ個数 (上記の表-B.1~表-B.6の合計)

重量(kN)	20ft	40ft	45ft	重量物	合計
49未満	30,148	26,084	51	96	56,379
49 - 98	21,056	33,699	269	63	55,087
98 - 147	17,109	34,815	408	60	52,392
147 - 196	29,011	25,761	409	53	55,234
196 - 245	40,038	31,719	122	59	71,938
245 - 294	16,391	26,169	101	27	42,688
294 - 343	3,137	10,640	26	5	13,808
343 - 392	1,007	3,154	6	6	4,173
392 - 441	0	0	0	0	0
合計	157,897	192,041	1,392	369	351,699

付録C 横浜港での撮影画像の例



写真-C.1 横浜港 2000年9月28日 6時

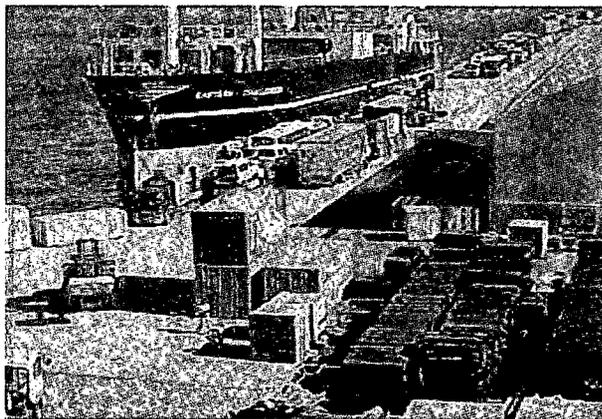


写真-C.2 横浜港 2000年9月28日 9時

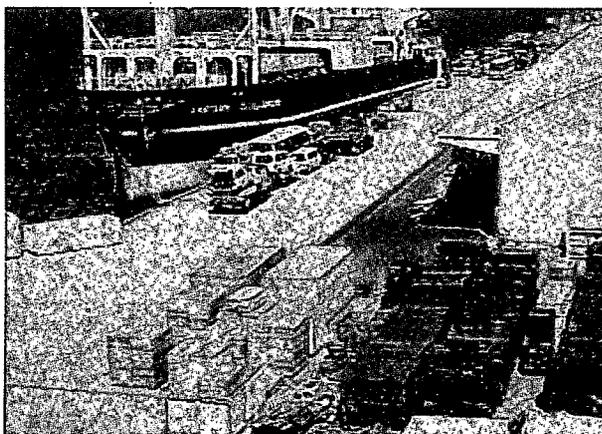


写真-C.3 横浜港 2000年9月28日 12時

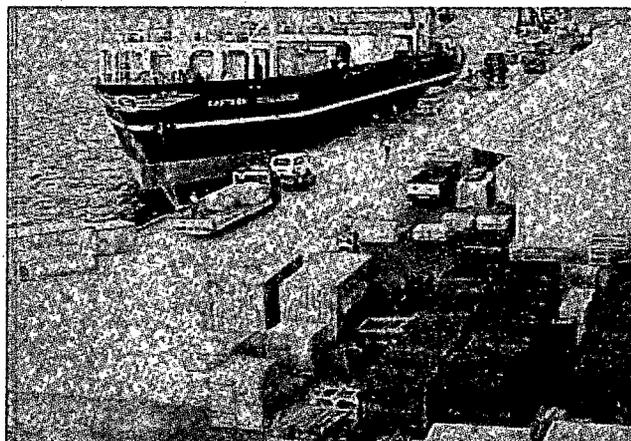


写真-C.4 横浜港 2000年9月28日 15時

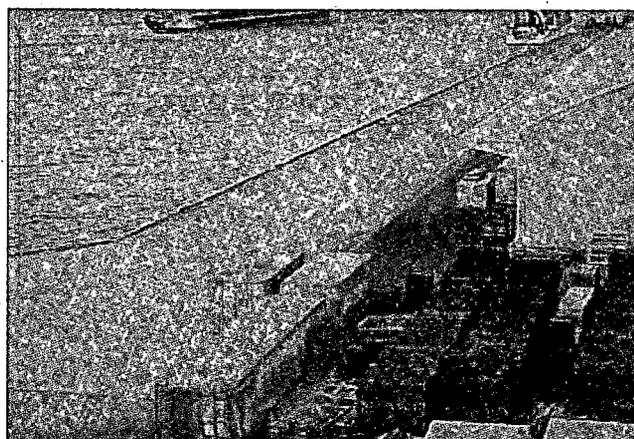


写真-C.5 横浜港 2000年9月28日 17時

付録D 木更津港での撮影画像の例

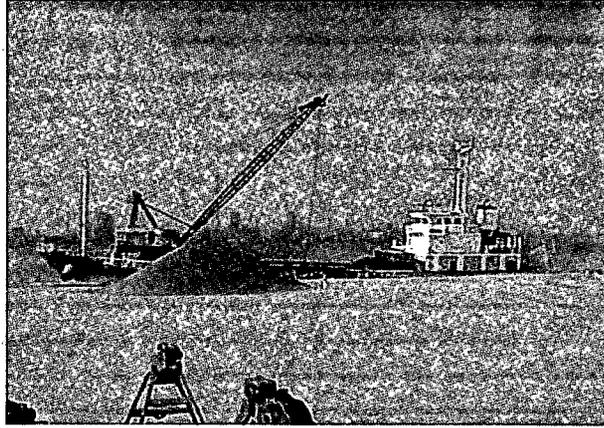


写真-D.1 木更津港 2001年10月16日 09:01

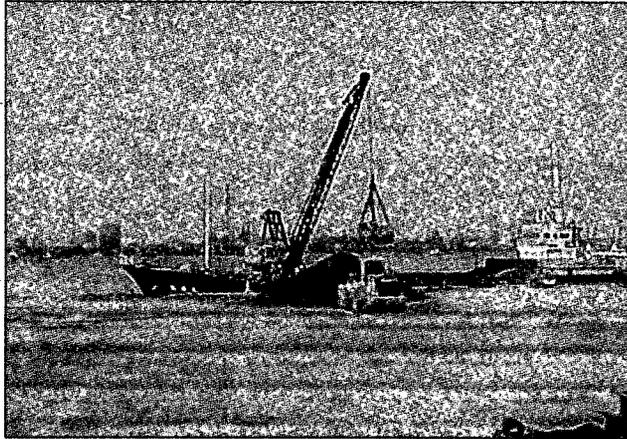


写真-D.2 木更津港 2001年10月25日 06:45

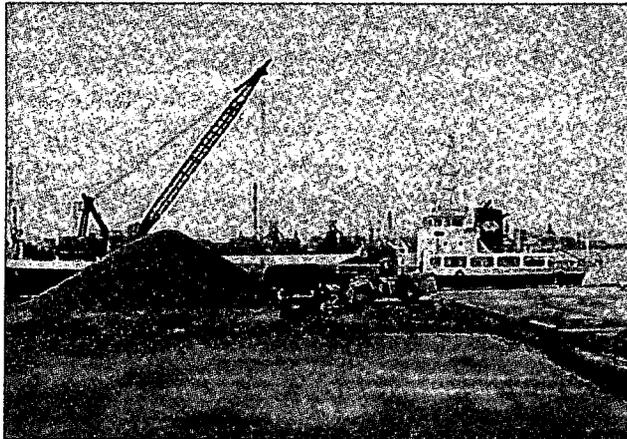


写真-D.3 木更津港 2001年10月29日 09:12

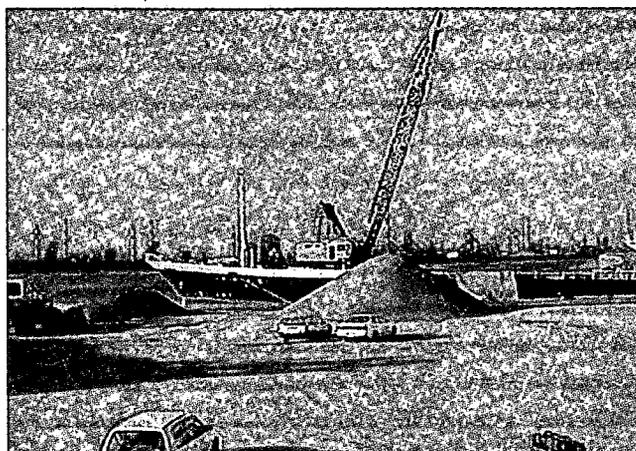


写真-D.4 木更津港 2001年11月05日 07:49



写真-D.5 木更津港 2001年11月08日 10:29

付録E 横浜港、神戸港、北九州港のエプロンの状況および貨物の例

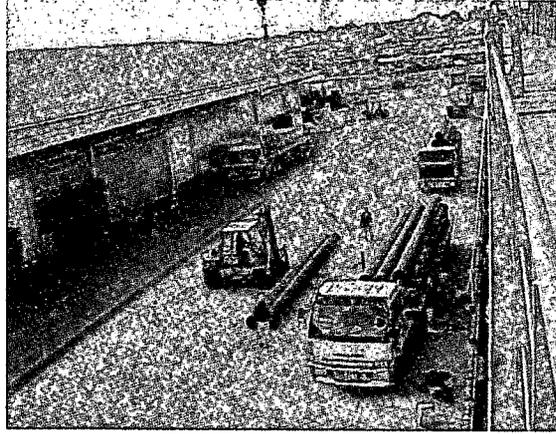


写真-E.1 横浜港 (エプロンの状況, 貨物: パイプ)

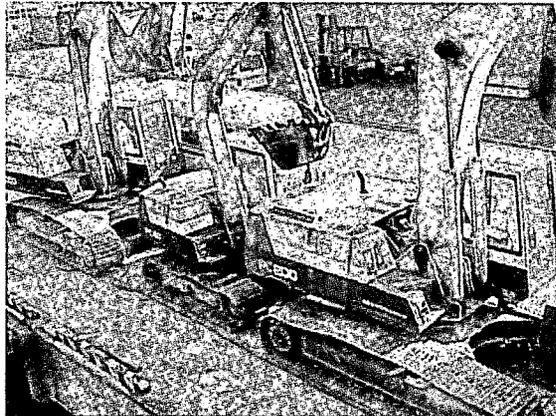


写真-E.2 横浜港 (貨物: 重機)



写真-E.3 横浜港 (貨物: トラック, コイル)

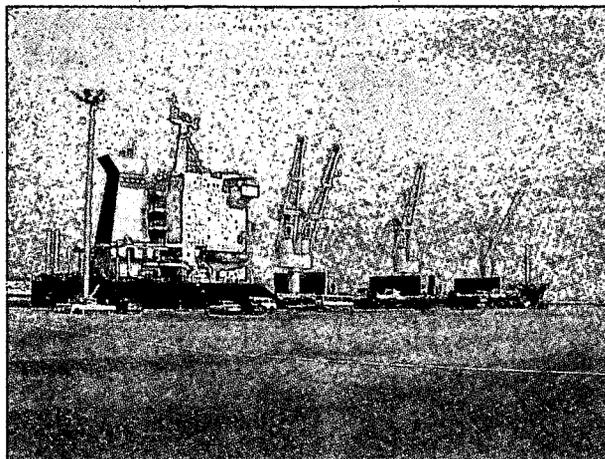


写真-E.4 神戸港 (エプロンの状況)

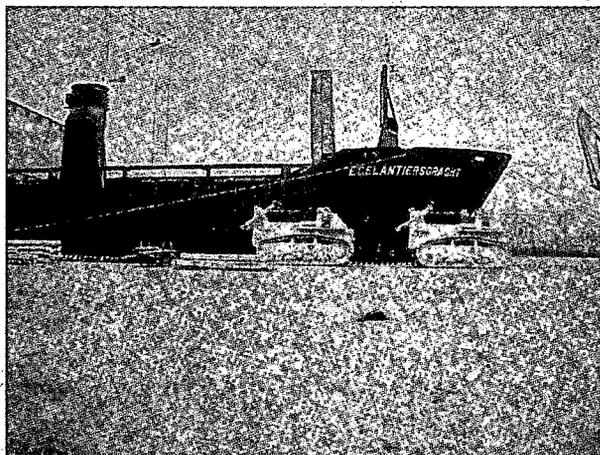


写真-E.5 神戸港 (貨物：重機)

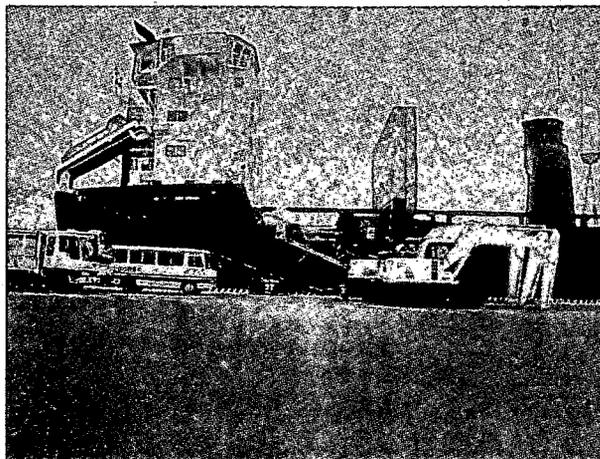


写真-E.6 神戸港 (貨物：重機)

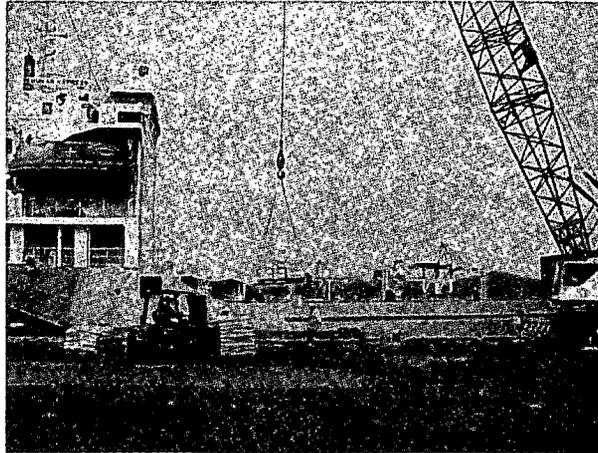


写真-E.7 北九州港 (エプロンの状況)

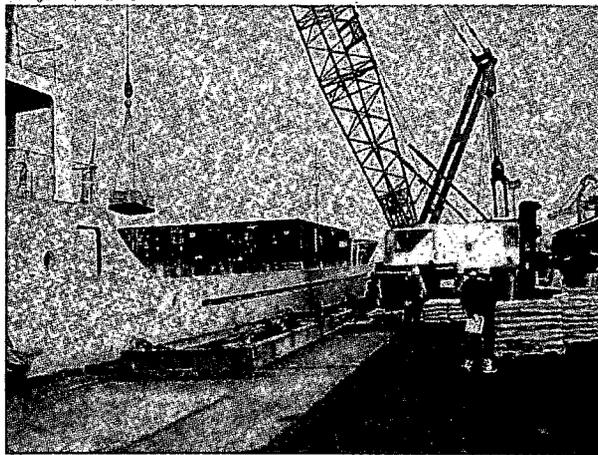


写真-E.8 北九州港 (エプロンの状況)

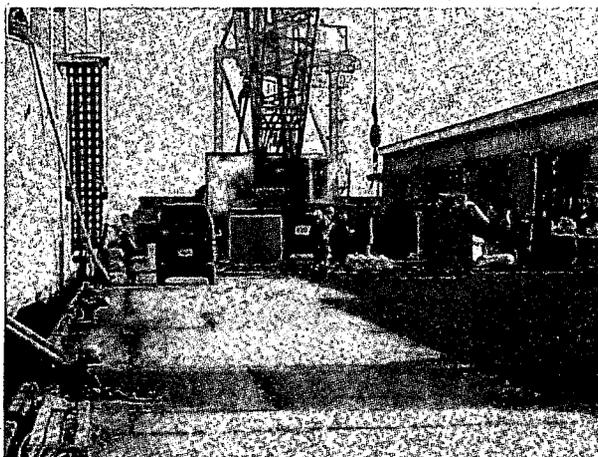


写真-E.9 北九州港 (エプロンの状況)

国土技術政策総合研究所研究報告

RESEARCH REPORT of NILIM

No.5

December 2002

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:0468-44-5018