

漁船の荷役における許容動揺量と 許容波浪条件について

ALLOWABLE SHIP MOTIONS AND ALLOWABLE WAVE CONDITIONS FOR FISHING BOATS

佐藤典之¹・清野克徳²・佐伯 浩³
Noriyuki SATO, Katsunori SEINO and Hiroshi SAEKI

¹正会員 工修 北日本港湾コンサルタント(株)技術部 (〒003-0029 札幌市白石区平和通2丁目北11-18)

²正会員 北日本港湾コンサルタント(株)技術部 (〒003-0029 札幌市白石区平和通2丁目北11-18)

³フェロー 工博 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

A rate of effective working days is calculated by frequency of wave height which is lower than the allowable value. The allowable ship motions are necessary for calculating the allowable wave height. Both allowable values for cargo ship and tanker are proposed by Ueda, but those for fishing boat are not proposed.

The purpose of this study is to propose the allowable ship motions for fishing boats by questionnaire for fisherman, and the allowable wave height for fishing boats by simulation of ship motions. The investigation of questionnaire shows that the allowable ship motions of fishing boats in Hokkaido are $\pm 0.5\text{m}$ for surging, $+0.5\text{m}$ for swaying and $\pm 0.5\text{m}$ for heaving. And the simulation result of ship motion shows that the allowable wave height depends on size of ships and wave period.

Key Words : Allowable ship motions, allowable wave height, fishing boats, questionnaire, simulation of ship motions

1. はじめに

漁港においては港湾と同様に、岸壁前面での荷役稼働率が許容値を上回るように港湾形状が計画されている。一般に、荷役稼働率は岸壁前面の波高が荷役許容波高を下回る出現頻度から求められているが、この荷役許容波高は船舶の荷役許容動揺量から求める必要がある。両者の関係については、上田ほか¹⁾によって一般貨物船・タンカー等の大型船を対象とした研究がなされ、船型と周期・波向ごと荷役許容波高の提案値が示されている。漁船についても大型船と同様に船舶諸元と波浪条件によって荷役許容波高は変化することが予想されるため、荷役許容動揺量との関係が明らかとなれば、より合理的に漁港計画が行える可能性がある。また、荷役許容動揺量についても大型船に対する値はUeda et al.²⁾、佐藤ほか³⁾により提案値が示されているが、漁船など小型船に対する研究事例はほとんどみられないため、適切な値を設定するための調査・研究が不可欠である。

そこで本研究では、筆者ほか⁴⁾が昨年度実施したアンケート調査を元にさらに詳細な調査を行い、漁

船の荷役許容動揺量についていくつかの要因との関係を調べ、基準となる荷役許容動揺量の設定を行った。次に、船舶諸元と波浪条件を変化させて係留漁船の船体動揺シミュレーションを実施し、波高と動揺量の相関関係から荷役許容動揺量に対応する荷役許容波高を求めた。

2. 漁船の荷役許容動揺量

漁船の荷役許容動揺量は、コンテナ船やフェリーなどの大型船の研究事例と同様に、船の大きさ・係留方法・波浪条件・漁港利用者の特性・荷役形態など、様々な要因によって変化するはずである。そこで、昨年度実施した北海道内の24漁港を対象としたアンケート調査をもとに、さらに詳細な調査を行い、これらの要因が荷役許容動揺量に及ぼす影響について検討した。

調査の対象とした動揺成分は、昨年と同様に荷役作業への影響が大きいサージング・スウェイング・ヒービングの3成分とした。このうち、サージングとヒービングの許容動揺量は図-1に示すように初期

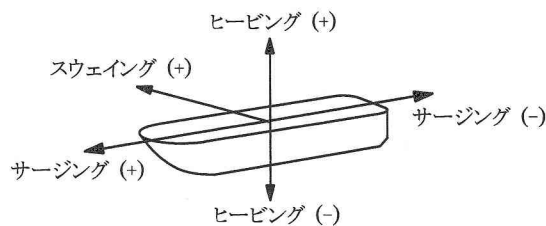


図-1 各動揺成分における動揺量の定義

の係留位置から+側と-側への移動量、すなわち振幅で評価している。また、スウェイングの許容動揺量については+側、すなわち岸壁から離れる方向の移動量で評価している。

以下に、本研究で明らかとなった特徴的な事項について示す。

(1) 船の大きさと許容動揺量の関係

図-2は、漁船を総トン数の階級ごとに分類し、それぞれの階級で許容動揺量の平均値を求めたものである。図-2に示すように、3つの動揺成分に共通して、船の大きさが大きくなるに従って許容動揺量が大きくなる傾向が見られる。なお、20t以上の許容動揺量が他の階級に比べ大きくになっているのは、回答が得られている漁船が全て180t前後と他の漁船よりかなり大型であるためと考えられる。

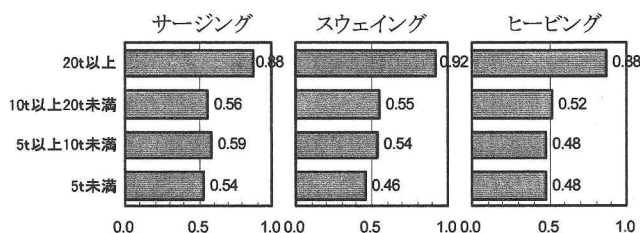


図-2 漁船の総トン数と許容動揺量(平均値)の関係

(2) 海域と許容動揺量の関係

アンケートを実施した北海道は、図-3に示すようにオホーツク海、太平洋、日本海という3つの海域に囲まれている。これらの海域における高波浪の出現時期をみると、大まかに分けてオホーツク海・太平洋側と日本海側とでその傾向は大きく異なっている。そこで、アンケートの対象漁港をこの2つの海域グループに分け、それぞれの海域での許容動揺量の平均値を求めたものが表-1である。表-1に示すように、3つの動揺成分に共通して、オホーツク海・太平洋側が日本海側よりも許容動揺量が多いという結果が得られた。

表-1 海域と許容動揺量(平均値)の関係

	サージ	スウェイング	ヒール
オホーツク海・太平洋	±0.60m	+0.55m	±0.54m
日本海	±0.54m	+0.45m	±0.43m

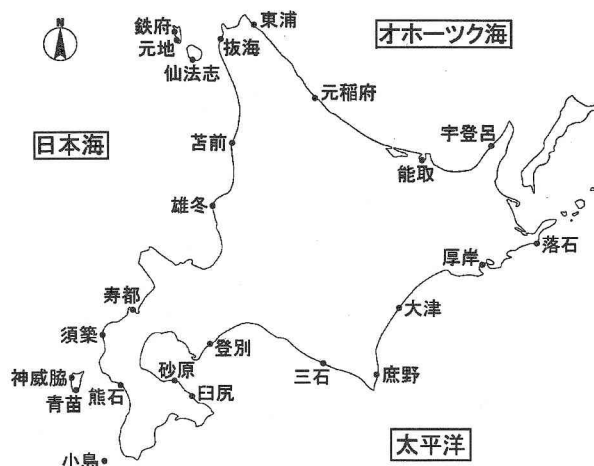


図-3 アンケート対象漁港と海域

(3) 漁船の動揺周期と許容動揺量の関係

図-4は、荷役障害発生時の動揺周期ごとに許容動揺量の平均値を求めたものである。3つの動揺成分に共通して、特にサージでは明確に、動揺周期が長くなるに従って許容動揺量が大きくなる傾向が現れている。これは、漁船においては、動揺周期の短い方が荷役作業の可否に与える影響が大きいことを示しているものと考えられる。

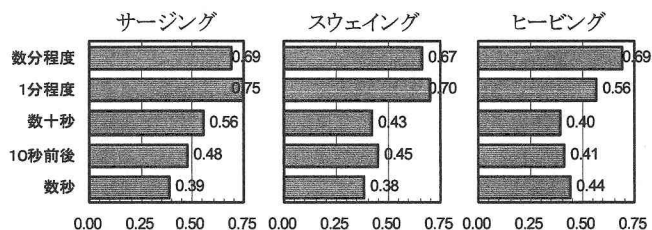


図-4 動揺周期と許容動揺量(平均値)の関係

(4) 漁業者の年齢と許容動揺量の関係

図-5は、漁業者を年齢の階級ごとに分類し、それぞれの階級で許容動揺量の平均値を求めたものである。3つの動揺成分に共通して、年齢が高くなるに

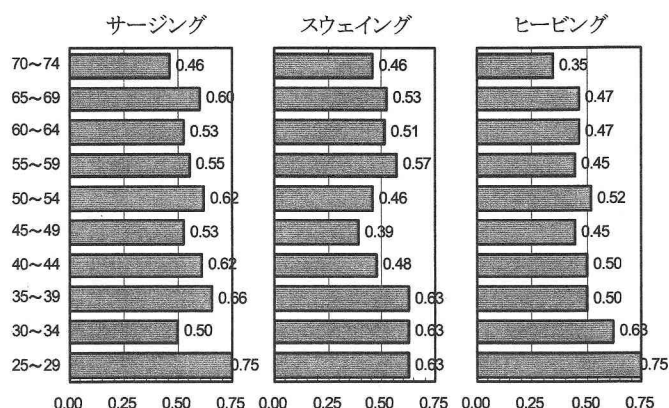


図-5 年齢と許容動揺量(平均値)の関係

従って許容動揺量が小さくなる傾向が現れている。このことは、漁港利用者の平均年齢が上がれば、荷役稼働率が低下する可能性があることを示していると考えられる。

(5) 漁船の荷役許容動揺量の設定

以上の結果が示すように、荷役許容動揺量は漁船の大きさ、海域の波浪特性、漁船の動揺特性、漁業者の年齢などと相関関係にあり、これらの要因によって変化することが明らかとなった。よって、荷役許容動揺量はこれらの特性を踏まえた上で、漁港ごとに設定することが合理的であると考えられる。

一方で、今回の調査範囲である北海道内においては、全体の荷役許容動揺量の平均値

サージング : $\pm 0.57\text{m}$
スウェイング : $+0.51\text{m}$
ヒービング : $\pm 0.49\text{m}$

に対して、総トン数20t以上の漁船に対する平均値を除くと、平均値の変動幅が $\pm 0.2\text{m}$ 程度の範囲内に収まっている。よって、本研究における荷役許容波浪条件を求めるための荷役許容動揺量としては

サージング : $\pm 0.5\text{m}$
スウェイング : $+0.5\text{m}$
ヒービング : $\pm 0.5\text{m}$

を基本的な値として設定することとした。

3. 漁船の荷役許容波浪条件

一般に、漁船の荷役許容波浪条件は波高のみで規定されているが、荷役許容波高は漁船の大きさ・係留方法・周期・波向などに依存して変化することが予想されるため、これらを考慮して設定するのが合理的である。そこで、アンケート結果を考慮して、漁船の大きさを総トン数で5t, 10t, 20tの3つに設定し、これら3船型ごとに周期・波向・波高を変化させて動揺量を計算することとした。計算結果は船型・周期ごとに整理し、波高と動揺量の相関関係から荷役許容動揺量に対する波高を求めて荷役限界波高を設定した。

(1) 船体動揺シミュレーション手法

船体動揺シミュレーション手法としては、上田⁵⁾による方法にならい、(1)式に示す船体重心位置での運動方程式を数値積分によって時間領域で解く方法を用いた。

$$(M+K)\ddot{x}+N\dot{x}+C\dot{x}|x|+B(x)+R(x)=F_0+F \quad (1)$$

ここに、 M は船舶の質量及び慣性モーメントマトリックス、 K は付加質量及び付加慣性モーメントマトリックス、 N は線形減衰マトリックス、 C は非線形減衰マトリックス、 B は静的復元力マトリックス、 R は係留系の剛性マトリックス、 F_0 は定常荷重を含む高次の荷重のベクトル、 F は変動荷重のベクトル、 x は6自由度の変位ベクトル、 $\dot{x}$ は速度ベクトル、 $\dot{x}|x|$ は速度の自乗のベクトル、 $\ddot{x}$ は加速度ベクトルである。

運動方程式における流体力係数はストリップ法によって求め、有義周期に対する値で代表させた。非線形減衰力はローリング成分が他成分に比べ顕著であるのでローリング成分のみを考慮し、久保ほか⁶⁾の実験結果から減減係数を $\alpha=0.1$, $\beta=1.9(1/\text{rad})$ と設定した。外力条件となる波浪はBretschneider-光易型の周波数スペクトルを持つ単一方向不規則波として与えた。また、係留索と防舷材の非線形変位復元特性を考慮して計算している。

計算のタイムステップは0.1秒として10分間の計算を行い、動揺量・係留索張力・防舷材圧縮量の時刻歴を統計解析した。動揺の統計値としては計算時間内の最大値ではなく、レーリー分布を仮定して有義値から求められる1000波中の最大期待値を用いることとした。

(2) 計算条件

a) 漁船の諸元

計算に用いた漁船の諸元は、聞き取り調査で得られた10t型の船舶諸元をもとに設定し、5t型と20t型は10t型の相似形として設定した。表-2に設定した漁船の諸元を示す。

表-2 漁船の諸元

総トン数	5	10	20
垂線間長 (m)	9.6	12.1	15.3
幅 (m)	2.4	3.0	3.8
空載喫水 (m)	1.3	1.6	2.0

b) 係留条件

岸壁の水深、係留柱の配置間隔、防舷材の取付間隔および諸元は漁港施設の設計で用いられている一般的な値を採用した。また、アンケート結果から係留索の材質は最も使用頻度の高いナイロンとして、径は漁船の大きさに応じた平均値を求めて設定した。なお、ナイロンロープは繰り返し荷重を受けると変位復元特性が変化するが、本研究においてはこの点を考慮せず初期の特性を用いている。

係留方法としては、図-6に示すように岸壁に横付

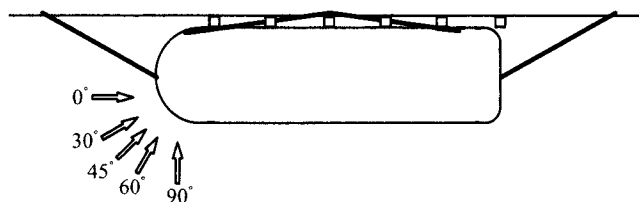


図-6 係留配置図

表-3 係留条件

総トン数	5	10	20
水深 (m)	2.5	3.0	3.5
係船柱の取付間隔 (m)	5.0	5.0	7.5
係留索の径 (mm)	20	25	30
係留索の破断強度 (kN)	85	133	191
防舷材の取付間隔 (m)	2.0	2.0	2.5
防舷材の高さ (m)	0.15	0.20	0.25
防舷材の反力 (kN)	121	162	202

けて荷役することを想定し、4本の係留索で係留されているものとして、各係留索には5%の伸びに相当する初期張力を与えた。以上の係留条件をまとめたものを表-3に示す。

c) 波浪条件

波の周期は、アンケートを実施した漁港の波浪出現頻度を参考にして、最も頻度の高い周期を中心に3s, 4s, 5s, 6sの4周期を設定した。また、波向については、図-6に示す5波向を設定した。

以上の条件に対して、波高を0.1m, 0.2m, 0.3m, 0.4mと変化させて計算を行い、荷役限界波高を求めた。

(3) 計算結果

計算結果を船型・周期ごとに整理するために、同じ船型・周期の条件において動揺量が最大となる波向を調べた。図-7は、20t型の船で周期6s, 波高0.4mの場合の計算結果で、波向と動揺量の関係を示したものである。なお、サージングとヒービングの動揺量は+側と-側のうち大きい方の絶対値で表している。図-7に示すように、同じ船型・周期の条件においては、サージングは30°、スウェイングとヒービングは90°の場合に動揺量が最大となることがわかった。この他の船型・周期・波高の条件においてもこの傾向は同様であるので、以降の計算結果は動揺が最大となる波向で整理した。

図-8、図-9、図-10はそれぞれ5t型、10t型、20t型に対する計算結果である。それぞれの図は、サージング、スウェイング、ヒービングについて波高と動揺量の関係を4種類の周期別に示している。図-8、図-9、図-10から明らかなように、動揺量は波高とほぼ比例関係にあり、周期が長くなるに従って大きくなっている。船型と動揺量の関係では、サージングは船が大きくなるほど、スウェイングは船が小さくなるほど動揺量が大きくなっており、ヒービングは船の大きさと無関係でほぼ一定である。

以上の結果から限界動揺量0.5mに対する波高、すなわち荷役限界波高を求めたものを表-4に示す。

図-8、図-9、図-10に示すように、いずれの船型においても荷役限界波高はスウェイングの動揺量で決まる結果となった。これは、想定した係留方法が

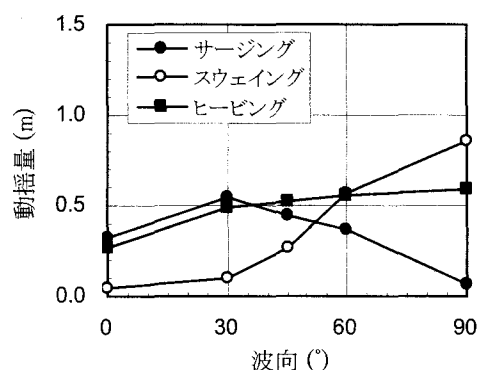


図-7 波向と動揺量の関係
【20t型, 周期6s, 波高0.4m】

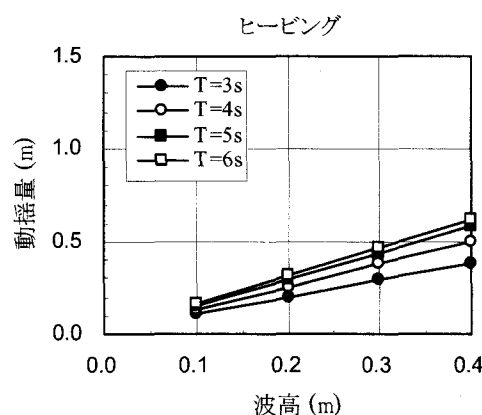
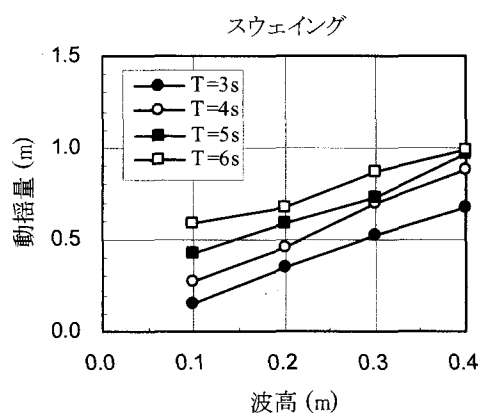
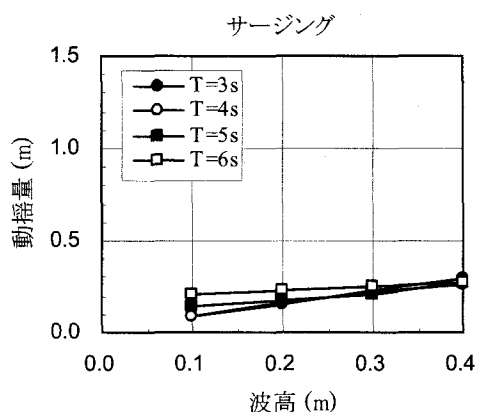


図-8 波高と動揺量の関係 【5t型】

図-6に示す4点係留で、サージング方向に比べスウェーイング方向の拘束力が弱いためである。

表-4に示すように、荷役限界波高は船型が小さくなるほど、また周期が長くなるほど小さくなっている。この結果は、上田ほか¹⁾による大型船の研究結果と同様の傾向を示している。したがって、本研究で検討した船形以外の漁船についても、荷役限界波高は周期が長くなるほど小さくなるという傾向は変わらないと考えられる。一般に漁港の荷役限界波高は岸壁の水深、すなわち船の喫水に応じて設定されているが、本研究の結果で明らかのように周期に応じても変化させることがより合理的であると考えられる。

表-4 荷役限界波高

船型 \ 周期	3s	4s	5s	6s
5ton	0.3m	0.2m	0.1m	0.0m
10ton	0.3m	0.2m	0.2m	0.1m
20ton	0.4m	0.3m	0.2m	0.2m

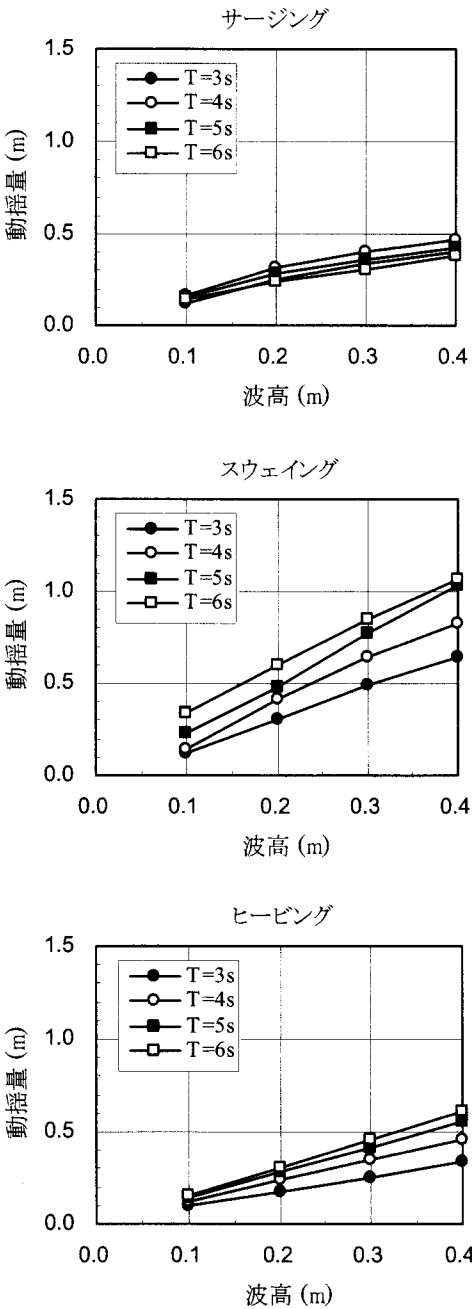


図-9 波高と動揺量の関係【10t型】

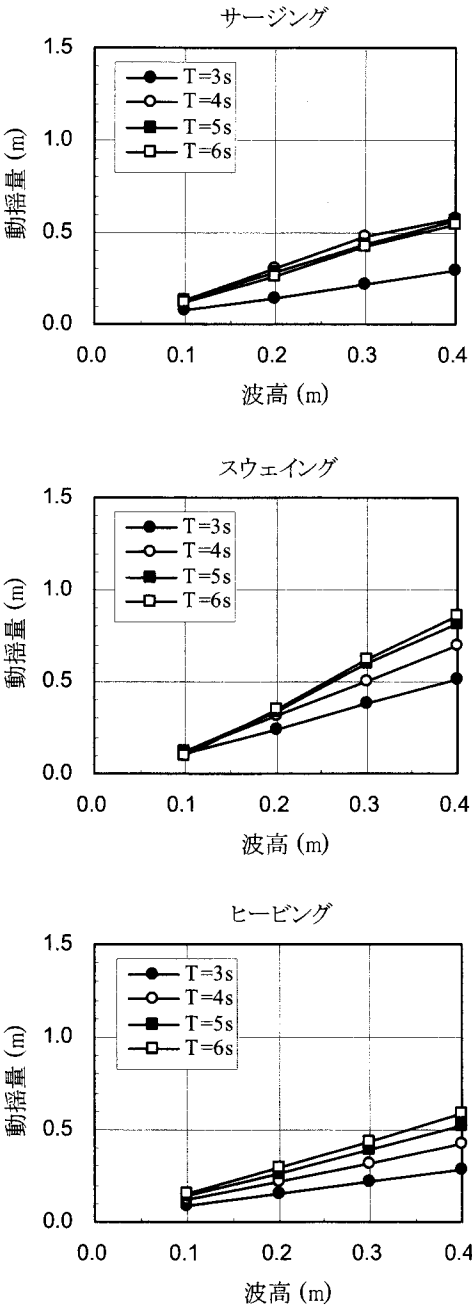


図-10 波高と動揺量の関係【20t型】

4. 結論

本研究における主要な結論は次の通りである。

- 1) 漁船の荷役許容動揺量は漁船の大きさ、海域の波浪特性、漁船の動揺特性、漁業者の年齢などによって変化することが明らかとなった。よって、荷役許容動揺量はこれらの特性を踏まえた上で、漁港ごとに設定することが合理的であると考えられる。
- 2) 本研究の調査範囲である北海道内においては、荷役限界動揺量の平均値に対する変動幅が少ないことから、20t未満の漁船に対して サージング： $\pm 0.5\text{m}$ 、スウェイング： $+0.5\text{m}$ 、ヒービング： $\pm 0.5\text{m}$ を設定した。
- 3) 設定した荷役許容動揺量に対し、動揺数値シミュレーションによって得られた荷役許容波高は、船が小さいほど、また周期が長いほど小さくなるという結果が得られた。この傾向は、大型船の研究成果でも現れていることから、荷役限界波高は船型や周期によって変化させること

がより合理的であると考えられる。

参考文献

- 1) 上田 茂・白石 悟・大島弘之・浅野恒平：係岸船舶の動揺に基づく荷役許容波高の提案及び稼働率，海岸工学論文集，第41巻，pp.916-920，1994.
- 2) Ueda, S. and Shiraishi, S.: The Allowable Ship Motions for Cargo Handling at Wharves, REPORT OF THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE, Vol.27 No.4, pp.3-61, 1988.
- 3) 佐藤平和・白石 悟・米山治男：コンテナ船およびフェリーの荷役許容動揺量の解析，海洋開発論文集，第19巻，pp.643-648，2003.
- 4) 佐藤典之・佐伯 浩：北海道の漁港における係留船舶の動揺の実態について，海洋開発論文集，第19巻，pp.637-642，2003.
- 5) 上田 茂：係岸船舶の動揺解析手法とその応用に関する研究，港湾技研資料，No.504，372p.，1984.
- 6) 久保雅義・斎藤勝彦・下田直克・岡本俊策：岸壁前面係留浮体の不規則波による船体運動の時系列解析について，第35回海岸工学講演会論文集，pp.687-691，1988.