

外洋性コンテナターミナルの係留設備の設計 および運用に関する基礎的研究

BASIC RESEARCH ON THE PLANNING AND THE OPERATION OF MOORING EQUIPMENT AT CONTAINER TERMINALS THAT FACES THE OPEN SEA

白石 悟¹・笹 健児²

Satoru SHIRAISHI and Kenji SASA

¹正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 構造部海洋構造研究室長 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)

²正会員 (株)日本海洋科学 調査第一部 (〒140-0004 東京都品川区南品川 2-3-6)

Moored ship motions due to long period waves become the serious problem, those phenomenon are happened in harbors which faces the open sea. Container terminals have been built in harbors at inside bay by now, however, some container terminals are planned and built in a harbor which faces the open sea area because of container carriers of larger sizes. Container carriers have more serious limit values of cargo handling than bulk carriers, tankers, etc. In this study, firstly, we research about the operation situation of container terminals which are working now and operational plans of new container terminals that which faces the open sea. Secondly, we examine about the design of mooring equipment of container terminals by using numerical simulations of moored ship motions considering long period waves, swells and winds. At last, we consider about the facility design of container terminals which faces open sea in the future.

Key Words: Container terminal, long-period waves, moored ship motions, harbors that faces open sea, numerical simulation

1. 研究の目的

従来、港湾は大都市圏に近く、かつ自然条件の穏やかな内湾部に主として立地していたが、産業立地あるいは環境面の理由等から高度経済成長期以後には外洋に面した海域にも港湾がいくつか建設された。外洋性の港湾では、内湾部の港湾に比べて海象条件は厳しく、荒天時または一見海面が静穏に見えるようなうねり来襲時に、係留船舶の荷役または係留が困難となる事例が各地で報告されている。このような現象が問題提起されたことから、波浪および船体動揺の現地観測等による調査研究が数多く行われた。その結果、外洋性の波浪中に含まれる周期 1~3 分程度の長周期波が港内に侵入することにより、係留船舶の固有周期と近接することにより共振を引き起こし、大振幅の長周期船体動揺が生じていることが明らかにされた。長周期船体動揺はそのほとんどが外洋に面した港湾で発生しているが、これまで大きく動揺したことが報告されているのは石炭船、穀物運搬船、タンカーあるいは一般貨物船といった船種が主であった。これは外洋性港湾の取り扱い貨物の多くが上記船舶の積荷に限定されていたことが理由である。しかし現在、外洋性港湾にもコンテナターミナルがいくつか建設されており、数年後のうちに順次供用が開始される予定である。コンテナ船は荷役形態上、係留時の許容動揺量が他

船型に比べかなり小さいため、長周期波等の影響で船体動揺が生じることにより、荷役稼働率が低下することが懸念される。本研究では、外洋に面した港湾におけるコンテナターミナルにおける係留設備の設計およびバース運用のあり方について、現地調査および数値シミュレーションによって検討した。

2. 研究の手順

本研究ではコンテナ船の動揺に着目し、コンテナターミナルにおける係留設備の設計について、以下の手順により検討した。

- ①外洋性港湾にコンテナ船が就航するにあたり、内湾におけるコンテナターミナルの運用状況を把握し、係留および荷役に関する問題点および課題についてとりまとめた。
- ②外洋性港湾に係留されたコンテナ船の長周期船体動揺に関する計算精度を確認するため、外洋性港湾で過去に石炭船が大きく動揺した時の現地観測データをもとに、数値シミュレーションによる再現計算を行い、シミュレーション精度の妥当性を検証した。
- ③外洋性港湾で 50,000DWT 型コンテナ船に係留されている状況を想定し、通常のコンテナ船が採用している係留状態において長周期波を含めた波浪荷重(港内波高 0.3

～0.5m) および風荷重を考慮し、係留中のコンテナ船の動揺を数値シミュレーションにより求めた。シミュレーション結果より、荷役および係留が困難と思われるケースについては、係留方法等を変更したケースを設定し、その効果を検討した。

④上記検討結果から、外洋性港湾におけるコンテナターミナルの係留設備の設計およびバース運用にあたり、検討すべき点について総合的に検討した。

3. コンテナターミナルの運用の状況および整備状況

海陸の複合一貫輸送および輸送の効率化・コスト削減を目指した貨物のコンテナ化により、コンテナ船が世界中で就航する形態が定着している。従来、我が国においては、大消費地である大都市に隣接した湾内の港湾で運用されているコンテナターミナルが多かった。そのため、波浪等の外力により船体が動揺する問題も顕在化しておらず、係留中の安全性が問題提起されることは少なかった。一方、コンテナ船の大型化が世界的な傾向で急速に進んでおり、これに伴いバースの水深も従来より大きなものが必要となってきた。また、全国的な海陸輸送体系の効率化の観点から、コンテナターミナルの分散的な配置も必要となっている。このような背景から、外洋に面した海域に大型コンテナ船を対象としたコンテナターミナルが計画されるようになり、現在そのいくつかが計画または建造中である。

ここでは、現在運用されている内湾部に位置するコンテナターミナルの運用状況を取りまとめた。まず荷役形態についてであるが、コンテナ船の場合にはターミナルに設置されているガントリークレーンによって荷役を行う方法が一般的である。このような荷役方法であると、クレーンのオペレーターの個人的技量にもよるが係留船舶の動揺量の許容値も他船型に比べ小さくなると考えられる。過去にコンテナ船の荷役時の許容動揺量は表-1 に示す値が Brunn によって提案された²⁾。Surge, Sway および Heave ともかなり小さい許容動揺量であることが分かる。

表-1 コンテナ船の許容動揺量

	surge	sway	heave
LO/LO	1.0m	0.3m	0.6m
RO/RO	0.6m	0.2m	0.2m

(注) Sway の許容値は沖側への動揺振幅、Surge および Heave は両振幅で示す。

港内における対象バースの静穏度を概算する方法として、従来からバース前の波高が 0.5m 以下となる確率で評価してきた。しかし、係留船の動揺を考える場合には波高だけではなく周期や波向も重要な要素となるため、船体動揺量に基づく指標で評価すべきであると考えられる。図-1 に 50,000DWT 型コンテナ船の動揺シミュレーション結果から、波向および周期ごとの荷役限界波高をプロットした結果を示す³⁾。ただし、このときの検討では周期 1～3 分程度

の長周期波は外力に考慮していない。

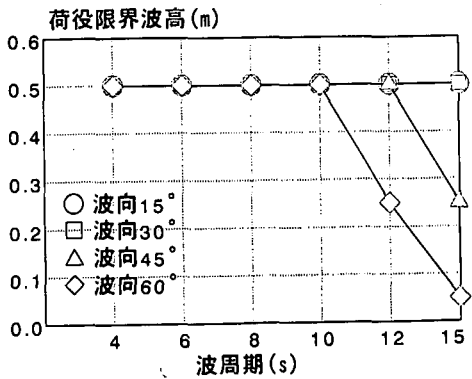


図-1 50,000DWT 型コンテナ船の荷役限界波高

上図より、波向が横方向に近い場合には周期 10s 以上で限界波高が 0.5m よりも小さくなっていることが分かる。コンテナ船の平均的な係留方法は図-2 に示すように、ヘッドラインおよびスターンラインが 4 本、船首尾スプリングが 2 本ずつの 12 本係留が一般的である。

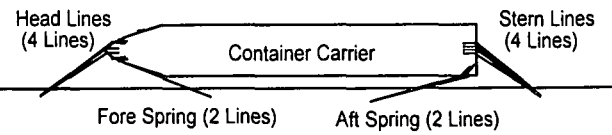


図-2 一般的なコンテナ船の係留方法

この係留方法では、前後方向の係留力はある程度確保されるが、左右方向の係留力が非常に小さいため、Sway や Yaw の動揺が抑制されにくいと考えられる。また、コンテナ船は風圧面積も大きいため、風速の大きな離岸風が作用した場合には船体が沖側へ離れやすい。超大型タンカー用のシーバースなどでは、ブレストラインを長く取ることによって左右方向の動揺に対する係留力を増強する配置としているが、コンテナターミナルの場合には岸壁上をガントリークレーンが走行する関係でブレストラインを有効に取れない配置となっているのが特徴的である。

一方、現在コンテナバースを計画中または建設中の港湾数港において現地調査を実施した。調査時期は 1999 年 1 月～2 月であり、コンテナターミナルの計画および建設の状況、将来の運用計画等についてヒアリング調査を行った。調査対象としたのはいずれも外洋に面した海域に立地している港湾とした。港湾およびコンテナ船の運用状況についての調査により得られた内容は以下のとおりであった。

- ①いずれの港湾も現在から数年のうちには供用を開始したいとのことであった。
 - ②防波堤などの外かく施設が建設途中の状態でも供用を開始する計画が多いため、供用開始後の静穏度が最終的な港形の値よりも低くなる。このためにバースの供用開始時の稼働率はかなり低くなる懸念される。
 - ③コンテナ船の場合、就航スケジュールが非常にタイトなため、港外で荒天沖待ち等を行うことが許されない。
- 以上から、外洋性港湾でコンテナ船の荷役活動を行って

行くにあたり、設計およびバース運用の両面で解決しなければならぬ課題が明らかとなった。

4. 長周期波による船体動揺の計算精度の検証

長周期波によって発生した船体動揺の問題については、いくつかの港湾で船体動揺から見た係留対策が詳細に検討され始めている。係留対策検討の方法として、数値シミュレーションが使用されるケースがあるが、長周期船体動揺を正確に再現できるかが重要となる。そこで、まずシミュレーション精度検証の目的で外洋に面した港湾内で観測された長周期船体動揺の事例について再現計算を行い、実測値と計算値を比較し、計算精度の検証を行った。

計算対象としたのは苫小牧港東港区に係留中であった 60,000DWT 型石炭船「Energy Pioneer (垂線間長 215m, 幅 32.2m, 喫水 7.28m, 排水量 40,677ton)」である。当該船舶は 1994 年 9 月 17～18 日の両日台風によるうねりが港内に侵入した影響で大きく動揺し、係留索が数本切断した後に係留不能となり港外避泊した。このときの避泊直前に至る約 10 時間の船体動揺および港内外の波浪について現地観測が行われた^③。図-3 に 60,000DWT 型石炭船の係留図を示す。係留索は全体で 16 本使用しており、全て合成繊維索を用いていた。

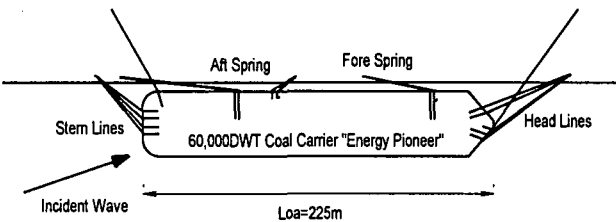


図-3 60,000DWT 型石炭船の係留図

数値シミュレーションについては、周波数領域での流体力・波浪強制力の周波数解析と時間領域での船体動揺を求める時系列シミュレーションから構成される。シミュレーション手法についてもいくつか現在までに提案されているが、ここでは流体力・波浪強制力の周波数解析は三次元特異点分布法^④、船体動揺の時系列シミュレーションは遅延関数を使用した運動方程式モデル^⑤を用いた。

現地観測は 10 時間連続で実施されているが、船体動揺 (Surge) が大きくなり始めた 18 日 4 時～8 時 30 分までの状況について動揺シミュレーションを実施した。図-4 に 1 時間ごとの Surge の動揺両振幅および動揺周期について、ゼロアップクロス法により求めた 1/3 有義値をプロットしたものを示す。

係留索の初期張力については、全索とも 49kN (5tf) 作用させた状態を基準とした。18 日 4 時～6 時までは動揺周期が実測値と計算値でほぼ合致しているが、動揺振幅は実測値を若干過大評価している。一方、動揺量が大きくなった 7 時付近では実測値の動揺周期 (約 140s) が計算値 (約 90s) よりもかなり大きいため、初期張力を全索ともゼロとした状態で再度シミュレーションを行った。これより、7～

8 時の時点における計算値の動揺周期は実測値にほぼ近い値となったが、動揺振幅は依然として実測値を若干過大評価していることが明らかとなった。

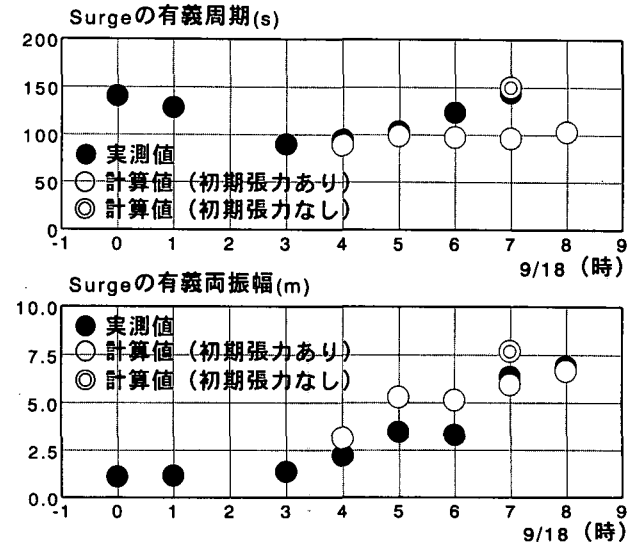


図-4 1 時間ごとの surge の周期および振幅の有義値

この原因については、シミュレーションにおける粘性減衰力および係留索のヒステリシス特性に起因する減衰力の係数設定において、500 トンクラスの小型船で調査された数値を使用しているために^⑥、ここで計算対象とした大型船型の真値とのずれの影響が考えられる。大型船型についての粘性減衰力の正確な係数は未だ不明であり、今後のさらなる解析が望まれる。以上から、数値シミュレーションによる計算結果は実測値をやや過大に評価する傾向はあるが、長周期船体動揺が発生する際の動揺周期を含めた全体的な再現度は良好であることが確認された。

5. 本研究における船型および係留条件

再現シミュレーションにおいて、長周期船体動揺が精度よく計算できることが確認できたので、ここでは外洋性港湾のコンテナターミナルに係留された大型コンテナ船の動揺について検討を行う。

検討対象として、今後の供用が予定されているある外洋性港湾のターミナルレイアウトとして設定した。また、係船柱および防舷材の配置・型式等については 50,000DWT 型コンテナ船の接岸エネルギーの計算結果等をもとに設定した。今後さらに大型化するコンテナ船の船型については決め難いが、現在運航しており、かつ 15m 岸壁に着岸する船型である 50,000DWT 型コンテナ船をここでは対象船型とした。表-2 にコンテナ船の船体要目を示す。船体コンディションについては、動揺が大きくなりやすい空載状態とした。またコンテナ船はコンテナによる風圧面積が大きいため、風圧力が船体動揺に与える影響も考慮する意味で空コンテナがデッキ上に 3 段ほど積まれている状態で風圧力を評価した。

表-2 50,000DWT 型コンテナ船の要目

全長	L_{OA}	280.0m
垂線間長	L_{PP}	264.0m
船幅	B	37.1m
型深	D	22.6m
喫水	d	8.29m
排水量	$Disp.$	48,801t
正面受風面積	AA	1,297m ²
側面受風面積	BB	7,479m ²

コンテナ船の係留状況については、全国の内湾部における港湾内のコンテナターミナルにおける係留方法をもとに設定した。図-5 に 50,000DWT 型コンテナ船の係留図を示す。係留索は索径 65mm の合成繊維索が 12 本使用されているものとし、防舷材については高さ 1250mm の定反力型とした。

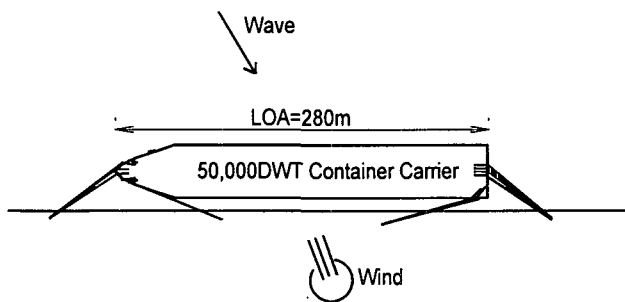


図-5 50,000DWT 型コンテナ船の係留図
(ケース A, B, C)

外力条件については、波浪（不規則波）および風（変動風）を考慮した。波浪については、長周期波成分の影響を考慮した標準スペクトル⁷⁾をもとに有義周期 10~15s 程度のうねりを対象とした。また、図-1 に示したように、荷役限界波高が小さくなると思われる波向 60° で検討する。波高については、港内での波高減衰を考慮しコンテナターミナル前面で 0.3~0.5m となる条件を設定した。図-6 はシミュレーションに用いた長周期波を含む波浪スペクトル ($H_{1/3}=0.5\text{m}$, $T_{1/3}=12\text{s}$) を示す。

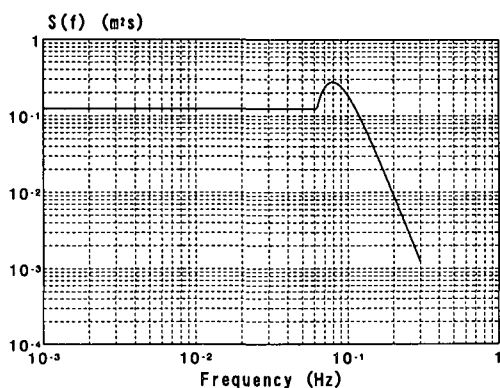


図-6 船体に入射するスペクトル

長周期成分については、港外波高が 3.3m (波高比 0.15)

であるとし、平石らの標準スペクトルで得られる長周期波成分がそのまま港内に侵入する状態とした。風については、係留索の張力が大きくなると考えられる離岸風（風向 110°）で設定した。

以上から、コンテナ船の動揺について、表-3 に示す外力条件下での船体動揺を数値シミュレーションにて求める。そして得られた船体動揺量、係留索張力および防舷材反力等の結果より、荷役および係留の可否について検討を行うものとした。

表-3 動揺シミュレーションでの検討ケース

ケース	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	長周期波	風速 (m/s)	ストーム ビット
A	0.3	10	考慮せず	10	なし
B	0.3	10	考慮	10	なし
C	0.5	12	考慮	10	なし
D	0.5	12	考慮	10	あり

ケース A および B において、長周期波成分の有無による船体動揺の比較を行い、長周期波による船体動揺への影響を明確にする。さらに波浪と風が作用した場合において、荷役または係留が困難と思われる場合については係留方法を一部変更した場合についても検討を行った。

6. 船体動揺の計算結果による係留設備の検討

図-7 にケース A および B のシミュレーション結果における Surge および Sway の有義振幅の比較を示す。これより、長周期波を考慮した場合には Surge, Sway および Yaw ともに動揺振幅が長周期波を考慮しなかった場合よりかなり大きくなっていることが分かる。

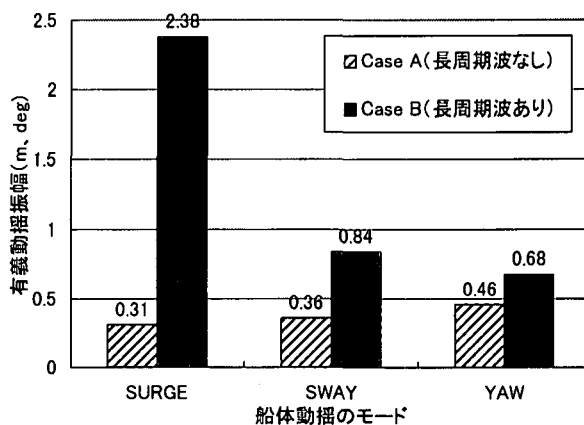


図-7 長周期波考慮の有無による船体動揺量の比較

これより、外洋性港湾におけるコンテナターミナルの荷役稼働率および係留中の安全性について検討する場合には、従来どおりの波高のみによる評価または長周期波の影響を考慮しない船体動揺の評価では実際の船体動揺の状況を正確に再現できていないことが分かる。よって、外洋性港湾では長周期波の影響を考慮した船体動揺に基づいて係留索

の設定および荷役稼働率の評価をしなければならないことが分かる。

図-8 にケース C (細線) および D (太線) における Surge および Sway の動揺波形を示す。これは長周期波を含めた波浪および風の影響を考慮した場合の結果であるが、Sway および Surge とも荷役時の許容動揺量を大きく上回っていることが分かる。なお、ケース D は後述する係留対策を実施した場合の検討ケースの結果である。

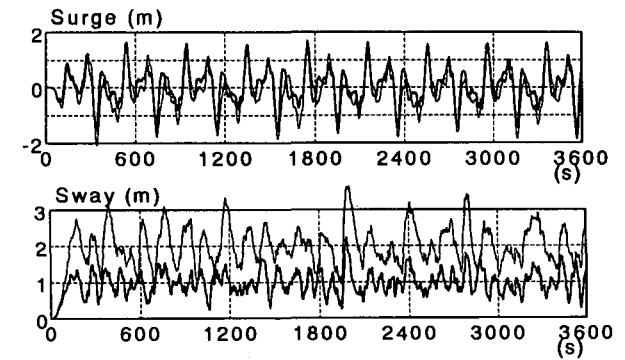


図-8 Surge および Sway の時系列波形 (ケース C, D)

さらに、シミュレーションにおいてもっと大きな張力が発生した係留索についての張力の時系列波形を図-9 に示す。

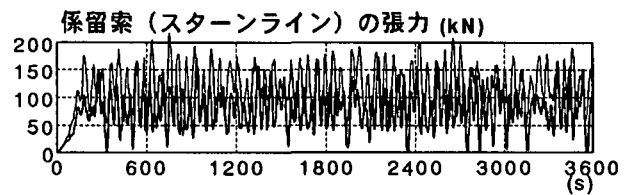


図-9 係留索張力の時系列 (ケース C, D)

図-9 より、ケース C においては、船体動揺量だけでなく係留索や防舷材といった係留装置にも長周期船体動揺の影響でかなりの荷重が作用している状況が再現された。全体的に Surge だけではなく Sway の動揺量がかなり大きいのが特徴であるといえるが、この理由の 1 つとしては、先にも述べたようにプレストラインがガントリークレーンおよびコンテナヤードによって有効に取れないためである。そこでこのような船体動揺に対して、外洋性港湾では何らかの対策を講じる必要があると考えられる。コンテナ船の係留では Sway および Yaw の動揺に対する係留力が弱いことから、仮にストームビットのようなものを設置した場合に船体動揺に対する抑制効果があるかを検討した。図-10 にストームビットを用いてプレストラインを前後 2 本ずつ増し取りした場合の係留図 (ケース D) を示す。なお、増し取りした係留索についてはボラードに巻き止めるため、初期張力は作用していないとした。

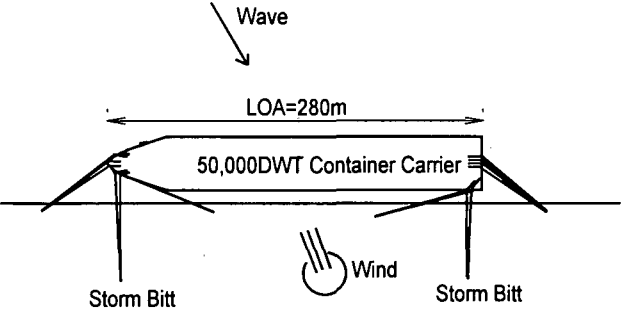


図-10 ストームビットを仮想的に設置した係留図

表-4 にケース C およびケース D のシミュレーション結果から求められた船体動揺量の有義値、係留索張力および防舷材歪みの最大値をそれぞれ示す。

表-4 通常係留時と係留対策実施時の結果比較		
	ケース C	ケース D
Surge (m)	4.26	3.63
Sway (m)	1.78	1.09
Yaw (degree)	2.05	1.44
係留索張力 (kN)	217.95	167.57
防舷材歪み (%)	43.3	29.2

これより、船体動揺については Surge, Sway および Yaw とも動揺振幅が係留索の増取りの影響でかなり低減されている結果となった。係留索張力は全体的に 50kN 程度、防舷材歪みは 15%程度と大幅に減少していることが分かる。ケース C および D で設定した外力条件下では、船体動揺は係留対策により低減しているが、表-1 と比較すると荷役可能となる動揺量にまでは至っていない。しかしながら、これよりも港内波高、周期および風速が小さな場合に荷役が可能となりうる範囲まで動揺が低減できることが期待される。また係留索張力や防舷材の歪みについては、上記の係留対策を実施することによって、うねり、長周期波および強風時の荷役および係留限界条件が幾分上昇することが期待される。ただし、コンテナターミナルでは、ガントリークレーンやコンテナヤードが配置上の制約となり、ストームビット等が設置しにくい状況にある。しかしながら、長周期波による動揺が荷役に及ぼす影響が大きいことから、外洋性港湾におけるコンテナターミナルの稼働率および係留中の安全性を検討する場合、港内波高などのパラメータだけでなく、係留中の船体動揺に基づく係留設備の検討が必要である。

7. 外洋性コンテナターミナルにおける係留設備の設計・運用に関する方向性

これまでの検討により、外洋性港湾におけるコンテナターミナルの係留設備に設計に関しては、長周期波を含めた波浪および風の影響を考慮した船体動揺によって検討する必要があることが明確にされた。ここでは今後供用が開始される外洋性コンテナターミナルの係留設備の設計また

は運用に関する方向性について考察した。

まず設計面についてであるが、従来から内湾部のコンテナターミナルで使用されているようなレイアウトは外洋性港湾では必ずしも望ましくないことが分かった。これより、岸壁側からみた係留設備の設計およびバース運用に関しては、コンテナ船の運航形態等を考慮・反映したものでなくてはならない。コンテナ船の運航および荷役形態の特徴としては、2. でも述べたとおり、以下の事項が課題と考えられる。

- ①運航スケジュールに余裕がなく、荒天に起因した入港不可あるいは係留作業不能による沖待ちが不可能であることから、入港および着岸といった操船上の問題点の検討
- ②荷役時の許容動揺量が他船型に比べて小さいため、船体動揺を抑制する係留装置類の研究開発

特に②については、船体動揺の固有周期を係留系によって変更し長周期波との共振を防ぐ方法⁸⁾や動揺時の減衰力をダッシュポットにより増加させる方法⁹⁾、船体の岸壁側と沖側に水圧差を発生させることにより係留船の離岸を防止する方法¹⁰⁾等が現在検討されている。防波堤等の外かく施設を延長し波浪を低減する方法が一般的に考えられてきたが、外かく施設が建設途中にある供用開始直後については、上記のような係留設備等の研究をさらに進め実用化することによって船体動揺の低減対策を講じる必要があると考えられる。

8. 研究のまとめ

本研究では、外洋性コンテナターミナルの係留設備および運用のあり方について、事例調査や数値シミュレーションを用いて検討を行った。これは今後の港湾計画上、極めて重要な問題であり、得られた結論は以下のとおりである。

- (1)係留船舶の長周期動揺を数値シミュレーションによって再現する場合の計算精度について、実測例に基づいて検証を行った。動揺量の計算値は実測値をやや過大評価しているものの、動揺周期を含めた長周期船体動揺の現象を概ね再現できていることが明らかとなった。
- (2)内湾で運用されているコンテナターミナルでのコンテナ船の係留方法では、sway および yaw といった長周期動揺を抑制しにくい。また今後供用予定の外洋性港湾のコンテナターミナルについては、防波堤等の外かく施設が建設途中の状態でも供用が開始されることもあるため、供用開始後の港内静穏度が港湾の最終形状のそれよりも低下することを考慮したバース運用を行う必要がある。
- (3)現状のコンテナ船の係留方法で長周期波を伴った波浪および風が来襲した場合の船体動揺を数値シミュレーションによって試算した。長周期波を考慮した場合には、しなかった場合よりも動揺量は大きくなる。またうねり、長周期波および離岸風が同時に作用した場合には、荷役だけでなく係留も厳しくなる状態が再現された。この状況に対し、仮にストームビットを増設した場合の効果をシミュレーションで検討した結果、船体動揺量、係留索

張力および防舷材歪みが低減できることが明らかとなった。よって港内波高の低減だけではなく、稼働率の向上のためには係留船舶の長周期動揺の抑制面からみた定量的な検討が不可欠であることが明らかとなった。

- (4)現地調査よりコンテナバースは荷役装置の制約上、ストームビットが設置しにくいことも分かった。このため、今後より有効な係留対策を検討し、現場における係留設備の設計およびバース供用後の運用基準に反映させていく必要があると考える。今後は外洋性港湾におけるコンテナターミナルにおいて、長周期波による船体動揺を低減させるために有効な係留設備および係留方法に関する研究を続けていきたい。

謝辞

本研究を実施するにあたり、コンテナターミナルの運用状況および将来計画について、関係者諸氏より貴重なコメントを頂いたことに深く感謝の意を表する次第である。また、本研究は著者の一人が運輸省港湾技術研究所の平成10年度受託研修生として実施したことを付記する。

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及び稼働率, 港湾技研資料, No.779, pp.1-44, 1994.
- 2)P.Bunn (1981): "Breakwater or Mooring System?", *The Dock and Harbour Authority*, pp.126-129, 1981.
- 3)神谷昌文, 渥美洋一, 菅沼史典, 小泉信男: 苫小牧東港における船体動揺に関する現地観測, 海洋開発論文集, Vol.11, pp.339-344, 1995.
- 4)F.John: "On the Motion of Floating Bodies II", *Comm. Pure & Appl. Math.*, Vol.3, No.1, pp.45-101, 1950.
- 5)W.E.Cummins: "The Impulse Response Function and Ship Motions", *Schiffstechnik*, Bd.9, Heft 47, pp.101-109, 1962.
- 6)久保雅義, 今枝彬郎, 奥村宗行 (1980): 長周期船体運動計測装置の試作と計測結果について, 神戸商船大学紀要, 第2類, 第28号, pp.289-298, 1980.
- 7)平石哲也, 河野信二, 玉城重則, 長谷川準三: 港湾構造物の設計に用いる長周期波の標準スペクトルについて, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.246-250, 1997.
- 8)白石 悟, 久保雅義, 上田 茂, 榊原繁樹: 係留システムに着目した長周期波に対する船舶の動揺抑制対策, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.941-945, 1995.
- 9)榎木 亨, 久保雅義, 青木伸一: Dash-Potによる短周期船体運動の低減化に関する一考察, 日本航海学会論文集, 第66号, pp.127-135, 1982.
- 10)久保雅義, 斎藤勝彦, 沖 剛志: 係留船舶の離岸防止に関する基礎的研究, 日本航海学会論文集, 第81号, pp.101-106, 1989.

(1999.4.19 受付)