
埠頭用超大形高速コンテナクレーン

Super Container Crane for High-Speed Port Operation

遠藤 伸一(Shin-ichi Endo) 近江 宗作(Sosaku Ohmi) 寺田 雄一(Yuichi Terada) 鈴木 征(Masashi Suzuki) 亀田 修(Osamu Kameda)

要旨：

神戸港六甲アイランドに新設された(財)神戸港埠頭公社のコンテナヤードに、従来のものとは比べ、構造物が大形化し、操作速度が高速化した日本最大のコンテナクレーンを納入した。設計に当たっては、大形化し高速化したクレーンにふさわしいハンドリング能力を発揮させるため、「巻上げロープたるみ防止装置」および「吊り荷の振れ防止装置」を新たに開発した。埋立地特有の地盤沈下の対策としては、脚高さとスパンを調製できる構造を考案した。また、工場完全組立後、一体吊りにて海上を現地に輸送、現地工事期間の大幅短縮を図るなど、従来あまり例のない工法も採用した。このほか、実負荷による構造部分の応力測定を実施し、クレーンとしての安全性を確認した。

Synopsis：

Three units of newly built container handling cranes having the largest dimensions and higher speed performance over the existing container cranes in Japan have been put into commercial operation at Kobe Port, Japan. Special design features incorporated in the cranes are "Hoist Rope Sag Prevention Device" to maintain container handling efficiency, "Anti-Sway Device" to control the amount of container swaying during high speed operation, and "Leg Height and Span Adjustment Device" to cope with possible extreme variations in the crane track foundation resulting from unstable soil conditions of the man-made island. Each crane, after having been fully erected and fitted out at the fabrication yard, was picked up in one piece by a 3000 t floating crane and transportation over the inland sea some 70 km to the installation site. The scene was televised nationwide.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Super Container Crane for High-Speed Port Operation



遠藤 伸一
Shin-ichi Endo

川鉄鉄構工業(株) 播磨工場 技術部長



近江 宗作
Sosaku Ohmi

川鉄鉄構工業(株) 播磨工場産業機械グループ 統括マネージャ・部長



寺田 雄一
Yuichi Terada

川鉄鉄構工業(株) 播磨工場産業機械グループ 設計主監



鈴木 征
Masashi Suzuki

川鉄鉄構工業(株) 播磨工場産業機械グループ 設計主幹



亀田 修
Osamu Kameda

川鉄鉄構工業(株) 播磨工場産業機械グループ 設計主任

1 緒 言

本コンテナクレーン⁽¹⁾⁽²⁾は、六甲アイランドの岸壁に設置されたもので、シーランド社のヤードシステムに必要な諸元を備えている。即ち、従来のコンテナクレーンに比べ、スパン、バックリーチが格段に大きく、加えて 40 000 DWT のコンテナ船を対象とし、45 フィート、40 t のコンテナも扱い、船上 5 段積コンテナをクリアする世界最大級のものである。各動作速度も大形化に伴って、従来の高速型を更に上回る仕様となっている。本機は 1984 年末に当社播磨工場で完全組立後、そのままフローティングクレーンで現地まで一体輸送し据付をしたもので、1985 年初頭より稼動を開始し、当初より順調に運転を続けている。なお、製作台数は合計 3 台で、六甲アイランドの 2 台に続き 1 台を隣のポートアイランド US ラインの岸壁に設置した⁽³⁾⁽⁴⁾。

以下に、新しく開発した技術の内容を中心に、本機の仕様および現地への輸送据付に至る概要を紹介するとともに、据付後実荷重下で実施した応力測定の結果についても報告する。

* 昭和60年11月5日原稿受付

要旨

神戸港六甲アイランドに新設された(財)神戸港埠頭公社のコンテナヤードに、従来のものと比べ、構造物が大形化し、操作速度が高速化した日本最大のコンテナクレーンを納入した。設計に当たっては、大形化し高速化したクレーンにふさわしいハンドリング能力を発揮させるため、「巻上げロープたるみ防止装置」および「吊り荷の振れ防止装置」を新たに開発した。埋立地特有の地盤沈下の対策としては、脚高さとスパンを調整できる構造を考案した。また、工場完全組立後、一体吊りにて海上を現地に輸送、現地工事期間の大幅短縮を図るなど、従来あまり例のない工法も採用した。このほか、実負荷による構造部分の応力測定を実施し、クレーンとしての安全性を確認した。

Synopsis:

Three units of newly built container handling cranes having the largest dimensions and higher speed performance over the existing container cranes in Japan have been put into commercial operation at Kobe Port, Japan.

Special design features incorporated in the cranes are "Hoist Rope Sag Prevention Device" to maintain container handling efficiency, "Anti-Sway Device" to control the amount of container swaying during high speed operation, and "Leg Height and Span Adjustment Device" to cope with possible extreme variations in the crane track foundation resulting from unstable soil conditions of the man-made island.

Each crane, after having been fully erected and fitted out at the fabrication yard, was picked up in one piece by a 3 000 t floating crane and transported over the inland sea some 70 km to the installation site. The scene was televised nationwide.

2 仕様および構造

2.1 仕様概要

本コンテナクレーンはセミローブトロリ式で、全体構造を Fig. 1 に、また主仕様を Table 1 に示す。稼動時のコンテナ取り扱いには、主として巻上げおよび横行動作で行うため、高速クレーンにふさわしい速度が設定されており、それらの制御には速度制御性能の良いサイリスタ制御を用いた。この仕様を Table 2 に示す。表中、巻上げ速度 50 m/min は定格負荷時、120 m/min は無負荷時の速度であるが、中間の速度は荷重の大きさによって自動的に変化させている。

2.2 構造概要

セミローブトロリ式とは、トロリがそれ自身に横行装置を有するトロリ自走式のコンテナクレーンで、巻上げ装置は機械室に設置されている。コンテナクレーン後方ヤードに船のハッチカバーとスタ

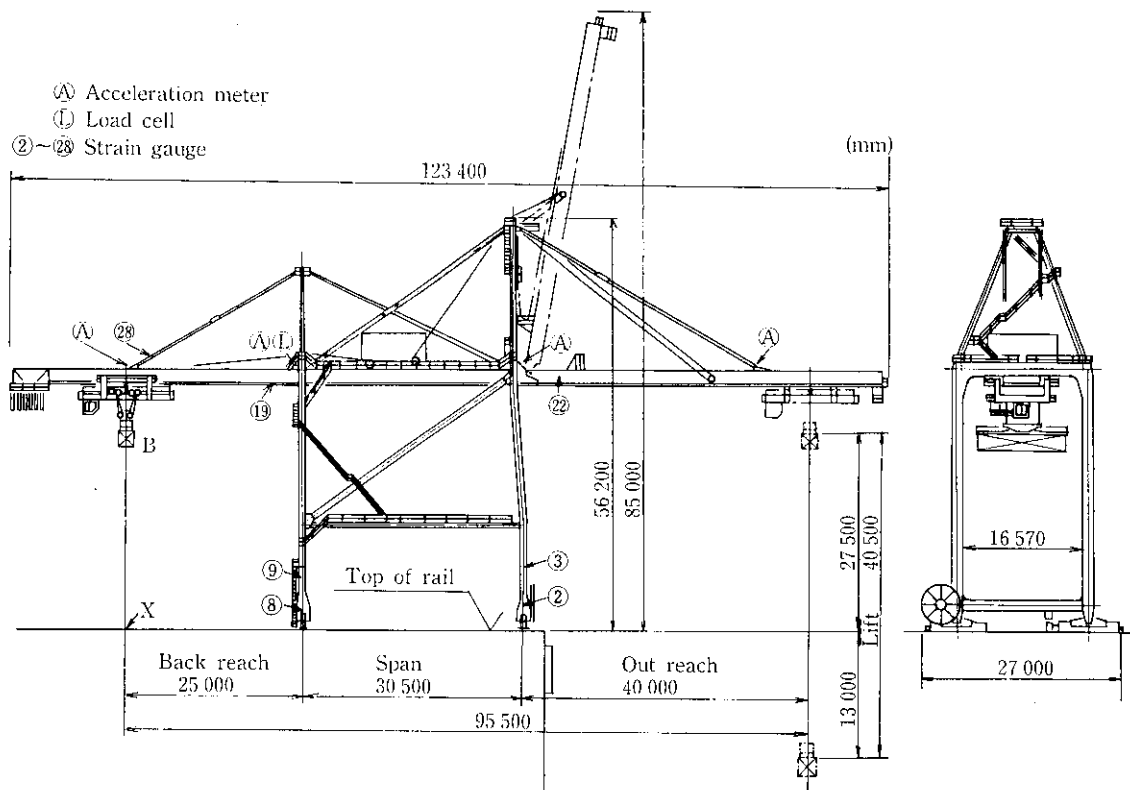


Fig. 1 General view and stress measurement points

Table 1 Specifications of the container handling crane

| | |
|---|-------------------------------------|
| 1 Type | Semi-rope trolley type gantry crane |
| 2 Max. ship size for container handling | 40 000 DWT container vessel |
| 3 Rated load | 40 tf container |
| 4 Lifting load with spreader (lifting beam) | 55.5 tf |
| 5 Travelling rail span | 30.5 m |
| 6 Travelling distance of spreader | |
| • Out reach from sea side rail | 40 m |
| • Back reach from land side rail | 25 m |
| • Total distance | 95.5 m |
| 7 Lifting height of spreader | |
| • Upward from top of rail | 27.5 m |
| • Downward from top of rail | 13 m |
| • Total lifting height | 40.5 m |

ッキングフレームを置いたり、ブームアップ時にスパン内および後方バックリーチ内でコンテナや一般貨物を取り扱うことを目的としたために、Table 3 に示すように従来の高速形と呼んでいる高性能コンテナクレーンと比較しても、バックリーチおよびスパンが格段に大きい。このためクレーンの全体的なサイズが巨大化した。それに対応してトロリの横行速度をアップして、荷役能率の低下をカバーしている。また、従来のコンテナクレーンにはなかったブームアップ時に陸上部のみで荷役作業が可能のように、ヒンジ部に、ブームをアップすると巻上げワイヤロープ転向シブが自動的に所定位置にセットされる構造を考案し設置した。クレーンへの給電は、平形キャブタイヤケーブルと海側脚に設置したケーブルリールよりなる給電装置とし、また、トロリへの給電はカーテンケーブル方式と

した。

以下、主要部分について、設備別に概要を述べるが、数々の新機軸を盛り込んだ使い易いクレーンとした。

2.2.1 鉄構部

(1) 構造

Fig. 1 に示すように、海上部の起伏可能なブーム、陸上部の固定ガードと門形架構上に組んだたすき掛けの上部フレームおよびテンションリンク（ブーム支持用）、バックスター（後部カンチレバーガード支持用）より構成されている。ガードはI形断面の板桁を組み合わせた経済的なモノガード構造で、ガード下部外側に横行レールを取り付け、トロリはガードを下からかかえるようにレール上を横行する形式とした。基礎条件およびコストダウンの観点から可能な限り軽量化に努めた。特に、主要構造部分のうち、脚構部は応力振幅による疲労強度の低下が問題にならないので、SM58Q, SM50 などのハイテン材を積極的に使用した。その結果、全体に非常にスリムな構造とすることができた。

(2) ピン構造

脚サイドの斜材、水平材、マストの基部などの主要部材の接合にはピン構造を多く用い、ボルト接合を減らし、組立を容易にすることで品質向上を図り、かつ重量を軽減した。

(3) パイプ材

脚サイドの斜材、水平材をはじめ、陸側のマスト、たすき掛けの斜材等には、パイプ材を用いて風圧の受圧面積を減らすと同時に加工工数の削減を図った。

(4) 機械室

門形架構中央部の脚間ガード上に設けられた薄板溶接構造の室である。内部には巻上げ装置、ブーム起伏装置、電気制御盤を収納しているほか、メンテナンス用にフックが地上まで達する高揚程の天井クレーンを設置した。

Table 2 Motions and controls

| | Speed | Motor | | | Control | Brake |
|---------------|--------------|--------------|--------|--|--|--|
| | | Out put | Rating | Type | | |
| Hoisting | 50-120 m/min | 230 kW ×2 | Cont. | <ul style="list-style-type: none"> • Shunt wound • Forced ventilation | Thyristor leonard speed control with field control | <ul style="list-style-type: none"> • DC magnet brake • Motor lifting brake for emergency • Dynamic brake for emergency |
| Traversing | 180 m/min | 60 kW ×2 | Cont. | <ul style="list-style-type: none"> • Shunt wound • Totally encl. • Fan cooled | Thyristor leonard voltage control | • DC Magnet brake |
| Travelling | 45 m/min | 19 kW ×8 | 30 min | <ul style="list-style-type: none"> • Shunt wound • Totally encl. • Self-cooling | Thyristor leonard voltage control | • Motor lifting brake |
| Boom hoisting | 8 min/cycle | 110 kW | 30 min | <ul style="list-style-type: none"> • Shunt wound • Forced ventilation | Thyristor leonard voltage control | <ul style="list-style-type: none"> • DC Magnet brake • Motor lifting band brake for emergency • Dynamic brake for emergency |

Table 3 Comparison of the features between the super crane for Rokko Island (A) and the conventional high speed crane (B)

| | A | B |
|---------------------------------------|------------|------------|
| Max. ship size for container handling | 40 000 DWT | 30 000 DWT |
| Rated weight of container | 40 tf | 30.5 tf |
| Travelling rail span | 30.5 m | 16 m |
| Out reach | 40 m | 36 m |
| Back reach | 25 m | 11 m |
| Total trolley traversing distance | 95.5 m | 63 m |
| Total lifting height | 40.5 m | 37 m |
| Total horizontal length | 123.4 m | 84 m |
| Total height with boom raised | 85 m | 75.4 m |
| Traversing speed | 180 m/min | 150 m/min |

2.2.2 機械部

(1) トロリ

それぞれ1モータ、1密閉減速機、マイタギヤボックスで構成される2組の横行装置をトロリフレーム上の両サイドに備え、全車輪を駆動する自走式である。フレーム上には、吊り荷振れ防止装置を構成するシーブ開閉装置を備え、フレーム下部後方には、スプレッドを見おろす位置に運転室が取り付けられている。

(2) 巻上げ装置

2モータ、2ドラム、1密閉減速機より構成され、各モータにはマグネットブレーキおよび非常用モータリフティングブレーキを備えている。各ドラムからは、それぞれ2本のワイヤロープが、ガード後端の転向シーブ（振れ止め装置を構成するイコライザシーブ）を経てトロリ上のシーブ（振れ止め装置を構成する開閉装置シーブ）に至り、吊具のシーブを通してさらにブーム先端のドラム（吊具傾転装置）に巻き込まれている。

(3) 起伏装置

1モータ、1ドラムと密閉減速機より成り、マグネットブレーキをモータ軸に備える。ドラムはコーン形状で、ドラム端には非常用バンドブレーキを備えている。バンドブレーキは電動油圧押し機で開放されるが、モータ回転数が、規定値を15%以上超えると自動的に電源が切れ、ウェイトで作動するよう安全策を講じた。

(4) 走行装置

門形架構下部の4隅には、それぞれ車輪8輪、モータ、ウォーム減速機より成る走行装置を備えており、8輪中4輪が駆動される。各モータは、モータリフティングブレーキを備え、波をかぶらない高所に位置する構造とした。

各イコライザビームには、暴風による逸走を防止する係留装置を組み込んであり（合計4箇所）、また海側、陸側各1隅の内側トラックには、レールクランプ台車を連結する構造とした。

(5) レールクランプ

強力なスプリングによりレール両側面を締めつける万力形で、油圧シリンダにより開放する構造である。突風（35 m/s）の風圧に耐えてクレーンの逸走を防止する。不時の停電や、非常押しボタンの作動によって、直ちに自動的にクランプ作用を行う。

(6) 吊り具傾転装置

傾いたコンテナに対して、スプレッドを追随して着床させるために、スプレッドを前後（短手）または左右（長手）に傾転させる装置である。ブーム先端に設置されており、巻上げロープエンドを巻き取るドラム、減速機、モータおよびブレーキより構成されており、巻上げロープ2系統2組からなっている。これら2つのドラムを同方向または、逆方向に回転させることで、吊り具の巻上げワイヤロープの長さに差を与え、それぞれ前後および左右の傾転を行わせる。

(7) ブームクランプ

海側マスト頂部に備え、ブームアップ時ブーム側に取り付けたクビレのある短冊状の鋼板をクランプするもので、クランプ後は強風によりブームがたつかない構造とした。解放は電動油圧押し機により、クランプのセットはウェイトによっている。

(8) 過荷重防止装置

陸側脚上部の巻上げロープシーブにロードセルを組み込んであ

り、125% 過荷重で巻上げの電源を切る安全装置である。

(9) 転倒防止装置

脚下部の4隅には、それぞれ走行レール両側にターンバックル式の転倒防止装置を備え、地上にセットしたアイプレートとピン連結することによって暴風時(60 m/s)の転倒に耐える。これは走行イコライザビームに組み込んだ係留装置とともに、暴風時の安全対策である。

(10) 吊りビームおよびスプレッダ⁰⁻⁹⁾

吊りビームは、手動によりスプレッダと連結する ISO 規格のツイストロックピンを4隅に備えている。ビーム上には給電用のケーブルバスケットおよび本船への搭乗デッキを備えている。

スプレッダ(客先支給品)は、伸縮式のコンテナ吊りビームで、4隅にコンテナをガイドするフリップと、コンテナと接合するツイストロックピンを備え、長さの異なるコンテナ全てに対応可能である。動きは全て油圧によっている。

以上のほか、電気設備を含め新しく開発した技術については以下に述べる。

3 新しい技術の展開

3.1 吊り荷振れ防止装置

高速で走っているトロリを停止すると吊り荷のコンテナが大きな振幅で振れる。これをすばやく減衰させることによって、吊り荷の正確な位置決めを可能とし、終局は荷役能率の向上に役立つことを狙いとしている。Fig. 2 に概念図を示すが、吊り荷を支持したロープの角度を変えるトロリ上のシーブ開閉装置およびガーダ後端にある転向シーブに組み合わせたダンパ装置からなっている。Fig. 3 はダンパ装置の油圧回路図を示す。荷振れが起これば、前後の巻上げワイヤロープに張力差が生じる。ワイヤロープの張力はトロリのシーブを介して、ガーダ後端部の転向シーブに伝達されるが、一対

の転向シーブは水平イコライズ運動を行う構造で、個々のシーブは中立点に対してそれぞれ反対方向に同距離だけ移動する。一枚のシーブに連結された油圧ダンパは、ワイヤロープの張力によるシーブの移動によって伸縮運動を行う。

トロリの減速・停止とともに振れ切った荷は振れの中心を目指して反対方向に動き出し、そのワイヤロープ張力差の変化を伝達されたシーブは移動を開始するが、シーブの運動エネルギーの大部分は油圧ダンパに吸収される。その後吊り荷は残ったエネルギーにより生ずる張力差で振れ運動を行う。このような運動を繰り返しながら荷の振れは急速に減衰する。なお、ダンパによる減衰は負荷時と無負荷時のいずれにも対応できるように自動的に減衰係数を変える方式とした。また、ダンパ装置には、シーブを常に中立位置に保持するために、アキュムレータを圧力供給源とした中立シリンダを設けた。

トロリ上のシーブ開閉装置は、スクリューロッドと駆動装置より成り、スクリューを回転させることによって、ナットにとりつけた

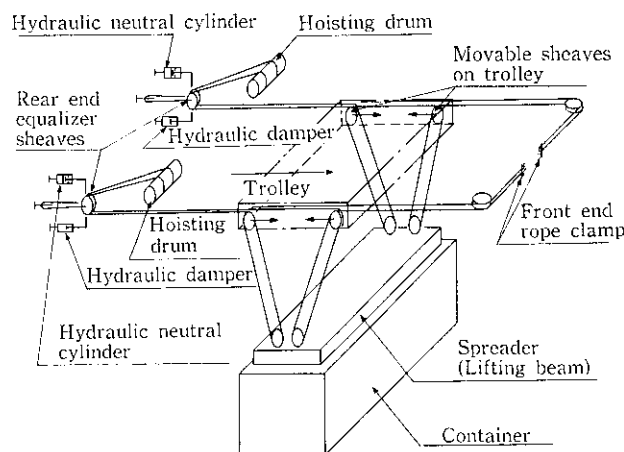


Fig. 2 Anti-sway system diagram¹⁾

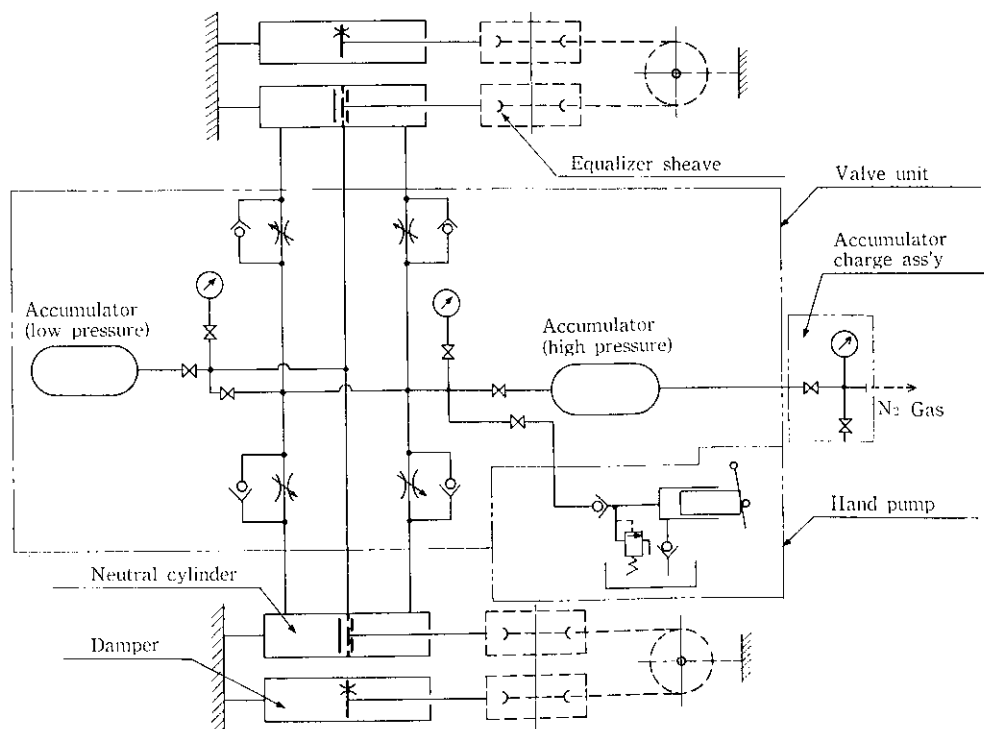


Fig. 3 Sway damping hydraulic system

シーブを移動させる。シーブ間隔を広げワイヤロープの張り方が逆三角形を形成すれば振れ止め効果が大きいが、船内荷役時はワイヤロープと他のコンテナとの干渉を防ぐためにシーブ間隔が自動的に縮小するようにした。

振れ止め性能の満足すべき条件というものは、ISO1A 形 (8×8×40 ft) コンテナを吊って走行レール面上 10 m の高さを、180 m/min で横行中にコントローラのハンドルを 0 ノッチにし、それ以後の振れ幅が以下の数値になることが必要である。

- (1) 5 秒後、最初に生じる振れの山と谷の幅が 50 cm 以内
- (2) 10 秒後、最初に生じる振れの山と谷の幅が 10 cm 以内
- (3) 10 秒以後は減衰して振れ幅は増大しない

Fig. 4 は実機テストによる実測値をプロットしたもので、上記の条件を十分にクリアさせることができた。

振れ止め装置は、吊り荷の運動系をモデル化し、運動方程式を導いてシミュレーションを繰り返し、最適なダンパ特性を採用して振れ止め効果を発揮させるものである。

さて、コンテナクレーンの機械式振れ止め装置には、巻上げ用ワイヤロープとは別個に、振れ止め用ワイヤロープを装置して振れを強制的に止める方法と、荷振れを巻上げワイヤロープの張力差に変換して、発生する運動エネルギーを吸収する方法とに大別することができるが、当社の場合には重量増の少ない後者の方式を採用した。しかし、振れ幅は横行減速度のばらつき、風の影響、シーブとワイヤロープの摩擦係数の変化等のほか、測定方法にも左右され、実測値は微妙に変化して満足のいく値を得るのは難しいものであった。

このほか、逆ハ形のワイヤロープの掛け方のために、吊り荷の重心まわりのトルクが発生し、回転運動が起こる。いわゆるローリン

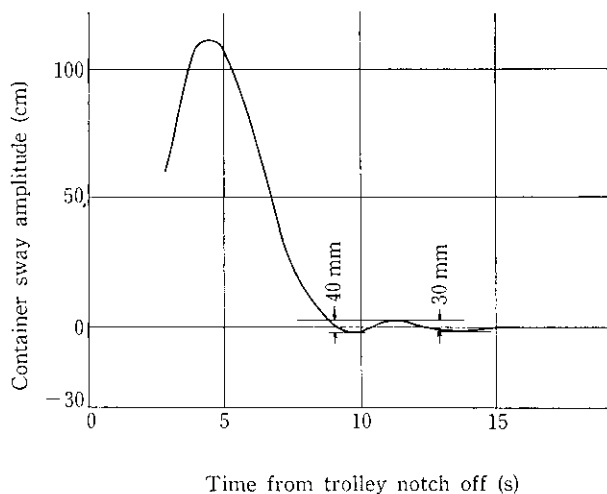


Fig. 4 Sway damping diagram

グ現象と呼んでいるが、そのために吊りビーム上のシーブと、吊りビームフレームの間に油圧ダンパを斜めに装備し、さらにワイヤロープの掛け方を工夫してこの問題を解決した。

振れ防止装置については実用新案公告済みである⁹⁾。

3.2 巻上げロープたるみ防止装置

トロリの全横行距離が 95.5 m と非常に長く、巻上げロープがトロリの前後で大きくたるむと、コンテナのハンドリングを阻害し、荷役効率を甚だしく低下させることになる。これを防ぐために、巻上げロープを支持するロープを取り付けた小形トロリを主トロリ (小形トロリと区別するためにここでは主トロリと呼ぶ) の前後に配し、主トロリの動きと連動して移動する装置を考案した。Fig. 5 にその概念図を示すが、2 台の小形トロリ、ブレーキ付ドラム (A, B) およびワイヤロープで構成される。A と B のドラムはガード上に設置され、通常作業では A ドラムのブレーキをかけてこれを固定し、B ドラムをフリー状態にすることによって、トロリの横行に連動して小形トロリはそれぞれ主トロリの横行距離の半分を移動し、主トロリと海側端または陸側端の中央に常に小形トロリを配することができる。ブームアップ時は、横行距離が短く、たるみ防止用の小形トロリが不要になるので、小形トロリが固定ガードの海側端と陸側端にある時、B ドラムにブレーキをかけ A ドラムをフリーにすることによって小形トロリを固定し、横行動作には無関係にすることができる。

なお、本装置は財団法人神戸港埠頭公社および川崎重工業株式会社と共同で、実用新案を出願した。

3.3 脚高さおよびスパン変動調整装置

六甲アイランドのコンテナバースは、従来の支持杭方式の短所を補うため、陸側レールとコンテナヤード舗装面が一体として働くよう計画されている。

将来の地盤沈下に対応し、クレーンの傾きを修正できるように、あらかじめある範囲の高さの調整板をクレーン脚部の各コーナに設けることによって、海側、陸側それぞれ 400 mm の高さ調整を可能にした。従って海側と陸側レールの高低差最大 800 mm まで対応可能である。

また、スパン変動に対応するため陸側車輪の踏面幅を 240 mm (標準の約 2 倍) とし、かつ走行装置全体の位置をレール直角方向に調整可能なように、調整板を設ける構造とした。これによりスパン変動最大 460 mm まで対応可能である。Fig. 6 に概念図を示す。

この 2 つの装置についても財団法人神戸港埠頭公社および川崎重工業株式会社と共同で特許を出願中である。

3.4 電気設備

3.4.1 概要

本コンテナクレーンは地上給電点よりケーブルリール式キャプタ

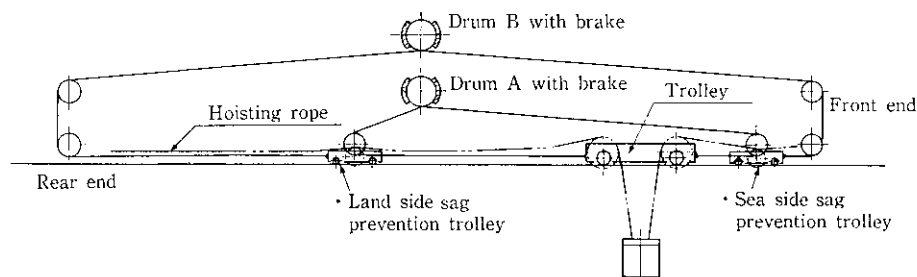


Fig. 5 Hoist rope sag prevention device diagram

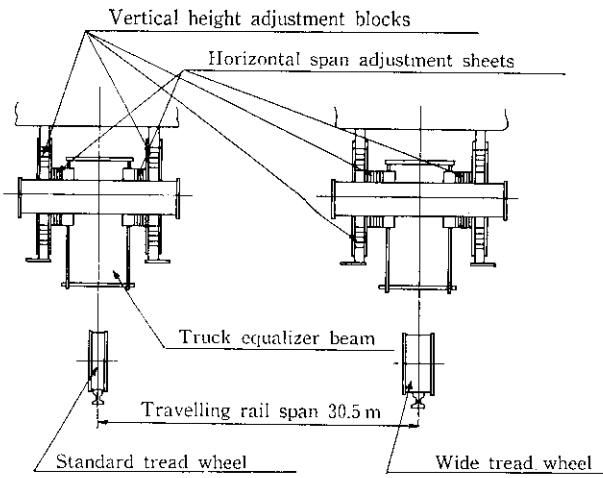


Fig. 6 Crane height and span adjustment device

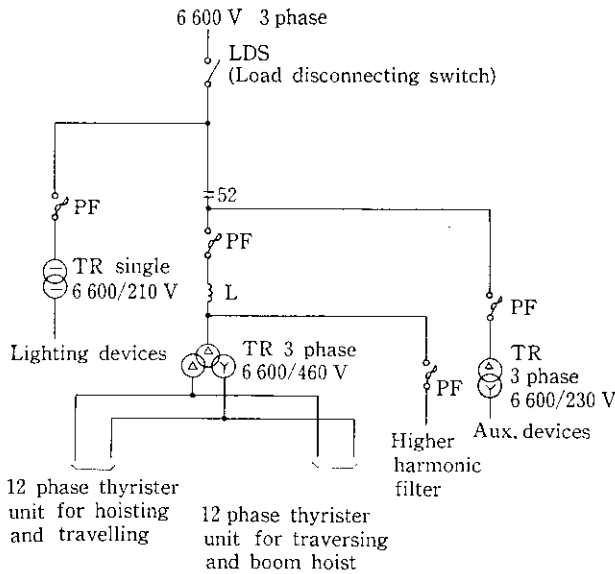


Fig. 7 Single line diagram

イヤケーブルを介して 6 600 V 3 相電源を受電し、クレーン機上の 3 台の変圧器（動力用、補機用、照明用）により降圧し各電気設備に電力を供給している。コンテナクレーンの主機能である巻上げ、横行、起伏、走行の各装置は 2 組のサイリスタレオナード装置により制御される。巻上げと走行とで 1 組のサイリスタレオナード装置を共用し、主幹制御器の指令に応じて回路を切り替えて運転される。横行と起伏も同様に他の 1 組を共用している。Fig. 7 に単線結線図を示す。

3.4.2 巻上げ制御

巻上げ装置はクレーンの機能を最大限に発揮させるために、通常の変電方式の速度制御に加えて界磁制御を併用した。荷重を吊って巻上げ動作を開始しモータの回転速度が基底速度に達した時、モータの負荷電流を自動的にチェックし、加速の可否を判別する。荷重が定格荷重以下の場合、荷重に応じて定格速度の 2.4 倍まで自動的にスピードアップするようにした。もちろん、主幹制御盤をノッチダウンすれば速度を下げることもできる。

3.4.3 高調波対策¹⁰⁾

本コンテナクレーンの主駆動装置、すなわち巻上げ、横行、起

伏、走行の各装置に、国内で初めて 12 相整流方式のサイリスタレオナード制御装置を採用した。従来からコンテナクレーンの主駆動装置には、ワードレオナード方式の制御装置が多く採用されてきたが、近年メンテナンス面での有利さからサイリスタレオナード方式が採用されるケースが増加してきた。これに伴い各地でサイリスタによる整流時に発生する電源周波数の何倍かの周波数をもった高周波による障害の事例が増加してきた。特に電力用進相コンデンサに対する障害が問題となり、これを無視できない状況になってきた。本コンテナクレーンの新設に当たっては、クレーンの 6 台同時稼働の条件で、バース受電点での電圧歪率を 3% 以下におさめることが必要条件とされた。そこで今回のコンテナクレーンでは、第 5 および第 7 高調波を発生しないように、従来の 6 相整流方式を改め 12 相整流サイリスタレオナード方式を採用し、さらに、第 11 高調波以上を吸収するフィルタを設置することで対処した。

3.4.4 シーケンサ¹¹⁾

コンテナクレーンとしては国内で初めてシーケンサを採用した。シーケンサ制御の複雑・多様化と高機能化の要求を満足させ、さらに将来のシステムの拡張性（モニタリングの充実など）を考慮して、従来のリレーによる制御回路構成をプログラマブルコントローラ（シーケンサ）を使用した制御回路に変更し、信頼度の向上、保守の簡素化を図った。また、安全性を従来の方よりさらに向上させるために十分な配慮をし、非常停止回路、重要なインタロックおよび保護回路については、従来の有接点リレーでシーケンサを構成して安全を図るとともに、制御回路にはさらにシーケンサ内部でインタロックを並行して機能させた。

3.4.5 照明設備

従来からナトリウム灯は振動に弱いとされ、原料荷役用アンローダの振動に匹敵するコンテナクレーンへの適用は困難と考えられていた。今回は稼働中のコンテナクレーンの振動状況を実測する一方、ナトリウムアマルガム封入量が少なく振動による立消えに強い発光管を採用して、省エネルギーの目的を果たした。

4 組立、輸送および据付

六甲アイランドは当社播磨工場の岸壁より近く、かつ航路は波のおだやかな瀬戸内海であるため、計画当初より工場内で完全組立後、一体で大形フローティングクレーンにより輸送し、現地に据付けるとの方針が進めた。大形埠頭クレーンの据付は 1975 年頃より、工事費と日数のかかるばら輸送・現地組立据付法より次第に脱皮して、大ブロック工法となり、現在では完全組立品の一体輸送が主流になった。当社がこれまでに実施してきた大ブロック工法の事例は次のとおりである。

- (1) 上下分割輸送・現地ドッキング：例えば Philippine Sinter Corp. 向けアンローダ¹²⁾
- (2) 上部完全組立、下部バラ輸送・現地組立：例えば川崎製鉄千葉製鉄所 J パースのアンローダ¹³⁾
- (3) 完全一体組立・ロールオンロールオフ方式：例えばレイテ島バサールおよびフィルフォス向けアンローダ¹⁴⁾

本コンテナクレーンは、工場内で上下別々に大組立を実施し、各種テストをすませた上で大形フローティングクレーンにて上部を吊り上げ、下部とドッキングさせ、脚添接部のボルトを締めた後、直ちに出港、海上輸送 6 時間、現地据付 1 時間で全てを完了した。これにより工期の短縮、高品質の確保、コストの切り下げ、工事の安全性向上などさまざまなメリットを得ることができた。Photo 1 に輸送状況を示す。

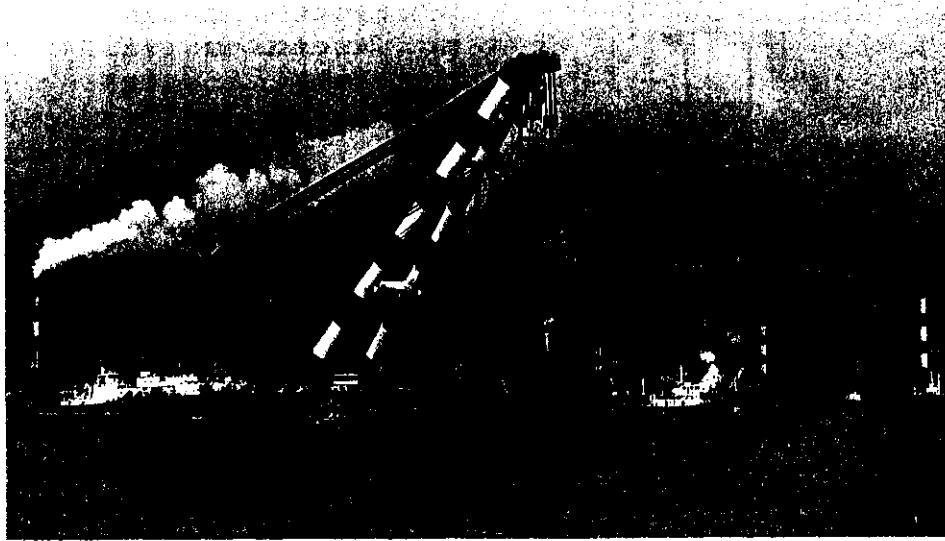


Photo 1 Transportation by floating crane

5 応力測定

クレーン構造物の設計では、想定される外力がその部材にとって最も不利な位置にある時に生ずる応力が、決められた許容値以下であることを確認し、さらに作業時における疲れ強さの安全性をチェックする。クレーンの鋼構造物部分の計算は JIS B 8821¹⁹⁾ の手順によっているが、コンテナクレーンはその作業条件による分類でⅢ群クレーンとされている。想定される外部からの荷重には、群によって決められた割増係数を乗じており、Ⅲ群クレーンでは、衝撃係数 $\psi=1.4$ 、作業係数 $M=1.1$ である。その他、作業時には、16 m/s の風荷重または地震荷重を、休業時には、55 m/s の風荷重を外力として加える。

JIS に規定された負荷状態 A、B および C のうち、屋外クレーンに適用される次の B および C の状態を考慮する。これら荷重の組み合わせにより生ずる応力のうち最も不利な値を採っている。

$$\text{負荷状態 B} = M(\psi(\text{巻上げ荷重}) + (\text{自重}) + (\text{水平荷重})) \\ + (\text{作業時風荷重})$$

$$\text{負荷状態 C} = (\text{巻上げ荷重}) + (\text{自重}) \\ + (\text{地震荷重または衝突荷重})$$

$$\text{または} \\ = (\text{自重}) + (\text{休業時風荷重})$$

このようにして得た応力も、コンテナクレーンについては実機による測定データはこれまでに公表されたものがない。稼働後の安全性を確認するために、現地据付後、実負荷による応力測定を次の観点から実施した。

- (1) 稼働時の主要構造部の発生応力の把握
- (2) 基礎不等沈下による主要構造部の発生応力の把握
- (3) 稼働時作用水平力の把握
- (4) 地切りおよび加減速による衝撃値の把握

鉄構部には静ひずみ計を 26 位置 57 点、動ひずみ計を 15 位置 54 点に貼り、衝撃係数は陸脚上の巻上げ用シーブにセットしてあるロードセルにより測定した。このほか、振動特性を把握するための加

速度計を 5 箇所セットした (Fig. 1)。この測定では、構造物の自重による応力や風荷重および地震荷重による応力は得られないが、設計時の想定値である水平力や、衝撃係数を確認できた。計測の結果については、調査資料が膨大であるため、ここでは設計者にとって最も関心のある衝撃係数について以下に示す。なお、Fig. 1 のゲージ位置およびトリ停止位置は、衝撃係数計測位置のみを示している。

巻上げ位置 X 点において地切りした場合の衝撃係数をロードセルにより測定し、各点の応力比と対比したものを Table 4 に示す。また、B 点および I 点で巻上げおよび巻下げ加速した場合の衝撃係数と応力比を Table 5 に示す。巻上げおよび巻下げ時の加速による衝撃については、ロードセルにより計測した値も、各部材に発生している応力比も、設計時の設定値 1.4 に近い値となった。また、地上よりの地切り時の衝撃については、一般的な地切り速度である 3 ノッチの速度で設定値に相当し、5 ノッチ (全速度) ではこれを上回る結果となっているが、この場合でも許容応力に対して十分な安全性を有している。

Table 4 Stress ratio and impact factor as container is picked up

| Meas. point (Fig. 1) | Hoisting speed (m/min) | | | | | |
|------------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| | 2.42 (1st notch) | 14.2 (2nd notch) | 25.9 (3rd notch) | 37.1 (4th notch) | 50.2 (5th notch) | |
| Stress ratio* | 8 | 1.25 | 1.27 | 1.30 | 1.37 | 1.54 |
| | 9 | 1.20 | 1.20 | 1.29 | 1.31 | 1.40 |
| | 19 | 1.14 | 1.18 | 1.25 | 1.42 | 1.53 |
| | 28 | 1.20 | 1.21 | 1.25 | 1.43 | 1.59 |
| Impact factor by load cell ① | 1.16 | 1.22 | 1.29 | 1.36 | 1.44 | |

$$* \text{ Stress ratio} = \frac{\text{Max. stress as container is picked up}}{\text{Static stress by hoisting load}}$$

Table 5 Stress ratio and impact factor as container is accelerated

| Trolley position (Fig. 1) Meas. point (Fig. 1) | | Lifting: 5th notch | | Lowering: 5th notch | |
|---|----|-----------------------|------|------------------------|------|
| | | B | I | B | I |
| Stress ratio | 2 | — | 1.42 | — | 1.43 |
| | 3 | — | 1.32 | — | 1.32 |
| | 8 | 1.43 | — | 1.38 | — |
| | 9 | 1.36 | — | 1.35 | — |
| | 19 | 1.46 | — | 1.42 | — |
| | 22 | — | 1.33 | — | 1.20 |
| | 28 | 1.50 | — | 1.44 | — |
| Impact factor by load cell ④ | | 1.40 | 1.44 | 1.33 | 1.38 |

6 結 言

財団法人神戸港埠頭公社に納入したコンテナクレーンは、45フィ

ート、40tfのコンテナを扱い、40000DWTのコンテナ船を対象とした超大形コンテナクレーンの国内第1号である。大形化を図るための新技術として、巻上げロープたるみ防止装置、吊り荷の振れ防止装置、脚高さおよびスパン変動調整装置などを開発した。また、工期短縮を図るために、工場組立後、海上一体吊り輸送を行った。

本コンテナクレーンは稼動開始後（本格稼動1985年3月）、順調な立ち上がりを見せ、現在では24時間稼動の体制にもかかわらず順調に稼動している。なお安全性については、応力測定のほか、地震応答解析も併せて実施し、危険のないことを確認した。

コンテナ船は今後さらに大形化の方向にあり、またヤードシステムの方からも種々な要求が出てくるものと思われる。それと同時にトータルのコストミニマムはメーカーに課せられた最大課題である。これらをふまえ、さらに技術的改良を図っていきたいと考えている。

本プロジェクトは、設計着手から現地での稼動開始に至るまで、財団法人神戸港埠頭公社、港湾荷役機械化協会各位には有効な御指導、御助言を頂き成功裏に完了した。紙面を借りて深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 長永 修: 「六甲アイランドコンテナクレーン概要」, 港湾荷役, 30 (1985) 1, 127-133
- 2) 港湾荷役機械化協会: 「日本に於けるコンテナクレーン一覽表」, (1985)
- 3) "Engineering-looking for a quantum leap", *Cargo System*, 12 (1985) 3, 43-47
- 4) "A sense of anticipation", *Cargo System*, 12 (1985) 5, 33-37
- 5) J. C. Rijsenbrij: "ECT Delta Terminal" 1~12, ed. by ect delta terminal
- 6) JIS Z1614, 「国際大形コンテナの外のり寸法及び最大寸法」
- 7) ISO 668-1979 (E), "Freight Containers-Classification-dimensions and ratings"
- 8) ISO 1161-1980 (E), "Freight Containers-Corner Fittings-Specifications"
- 9) 鈴木 征: 実公 60-22069
- 10) 「高調波対策特集」, OHM, 69 (1982) 10
- 11) 三菱電気編: 「シーケンサ・プログラマブルコントロール応用マニュアル」, [電気書院]
- 12) 遠藤伸一: 産業機械, No. 320 (1977), 38-40
- 13) 大橋卓朗, 小西春彦, 品川英一, 池田 信: 「新設原料岸壁 1800 t/h アンローダーについて」, 川鉄技報, 12 (1980) 2, 168-173
- 14) 越山佳明: 産業機械, No. 404 (1984), 16-18
- 15) JIS B 8821, 「クレーン鋼構造部分の計算基準」