

---

重量物用高層ラック式立体自動倉庫の建設

Construction of High-Rise Rack Type Warehouse for Heavy Products

武元 弘之(Hiroyuki Takemoto) 橋本 順次(Junji Hashimoto) 小泉 秀夫(Hideo Koizumi) 一ノ瀬 満郎(Mitsuo Ichinose)

---

要旨：

千葉製鉄所西工場の北側に所内の物流合理化の一環として、製品出荷岸壁とその背面に立体自動倉庫を建設した。本倉庫は最大重量 11.4t のコイルおよびシートを 10 段に収納する軒高 28.4 m の、他に例を見ない重量物用高層ビル式ラック倉庫である。ラック構造に対しては、地震応答解析や実物大 1 ラック模型による振動実験により耐震性を確認しつつ設計を進めた。建設工事では鉄骨、外壁、仮設足場のプレファブ化工法を採用することにより品質管理の強化、工期の短縮、工事の安全化を図った。また外装材には耐候性に優れた当社の塗装ステンレス鋼版やはめ殺しステンレスサッシュを用いている。

---

Synopsis：

Kawasaki Steel have constructed an automatic-controlled rack-type warehouse as a part of the rationalization of the products transporting, handling and storage system at the Chiba Works. This warehouse is a high-rise rack-type one 10-storied and 28.4 m high, and stores heavy products including steel coils and sheets of a maximum weight of 11.4 t. The rack structures are earthquake-proof designed by the seismic response analysis and full-scale model vibration tests. Some pre-fabrication methods of structural steel work, metal wall work and scaffolding work around the roof were used during the construction work. This constructing system has brought about benefits such as the consolidation of quality control, shortening of the work schedule and safe operation.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

## Construction of High-Rise Rack Type Warehouse for Heavy Products



武元 弘之  
Hiroyuki Takemoto  
エンジニアリング事業  
部 建築技術部開発設  
計室 主査(部長補)



橋本 順次  
Junji Hashimoto  
千葉製鉄所 土建部土  
建工事課 主任部員(課  
長補)



小泉 秀夫  
Hideo Koizumi  
エンジニアリング事業  
部 建築技術部建築技  
術室



一ノ瀬 満郎  
Mitsuo Ichinose  
千葉製鉄所 土建部土  
建工事課

### 要旨

千葉製鉄所西工場の北側に所内の物流合理化の一環として、製品出荷岸壁とその背面に立体自動倉庫を建設した。本倉庫は最大重量 11.4 t のコイルおよびシートを 10 段に収納する軒高 28.4 m の、他に例を見ない重量物用高層ビル式ラック倉庫である。

ラック構造に対しては、地震応答解析や実物大 1 ラック模型による振動実験により耐震性を確認しつつ設計を進めた。建設工事では鉄骨、外壁、仮設足場のプレファブ化工法を採用することにより品質管理の強化、工期の短縮、工事の安全化を図った。また外装材には耐候性に優れた当社の塗装ステンレス鋼板やはめ殺しステンレスサッシュを用いている。

### Synopsis:

Kawasaki Steel have constructed an automatic-controlled rack-type warehouse as a part of the rationalization of the products transporting, handling and storage system at the Chiba Works. This warehouse is a high-rise rack-type one 10-storied and 28.4m high, and stores heavy products including steel coils and sheets of a maximum weight of 11.4 t. The rack structures are earthquake-proof designed by the seismic response analysis and full-scale model vibration tests. Some pre-fabrication methods of structural steel work, metal wall work and scaffolding work around the roof were used during the construction work. This constructing system has brought about benefits such as the consolidation of quality control, shortening of the work schedule and safe operation.

## 1 はじめに

今回建設された製品倉庫は、千葉製鉄所内の物流コスト低減および高品質製品対応のための倉庫、岸壁、荷役設備などの所内物流設備リフレッシュ<sup>1-3)</sup>の一環として計画されたものであり、鉄鋼製品のうちコイルおよびシートを収納する。

倉庫の全景を Photo 1 に示す。本倉庫は立体自動倉庫(以下ラック棟と略記)と平積倉庫(以下平積棟と略記)から構成される。

ラック棟は最大重量 11.4 t の製品を 10 段に収納する軒高 28.4 m の重量物用高層ビル式ラック倉庫であり、今までに例を見ない最大規模のものである。

本稿ではラック棟の耐震性の検討を主体とした構造設計ならびに建設工事に採用した種々の工法の概要について報告する。

## 2 倉庫の概要

倉庫は Fig. 1 に示すように千葉製鉄所西工場に建設された。倉

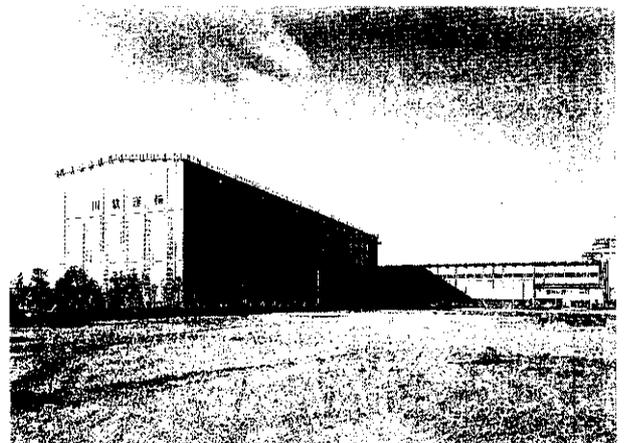


Photo 1 General view of warehouse

庫の諸元を Table 1 に、平面および断面を Fig. 2 に示す。

ラック棟はスパン方向が弦材に H 形鋼を用いたラチス柱によるラーメン構造、桁方向ブレース構造の鉄骨造である。基礎は鋼管杭支

\* 昭和61年6月24日原稿受付

持鉄筋コンクリート造であり、液状化対策のため転炉スラグによるコンパクションパイルを打設し地盤改良を行っている。平積棟との

接続部分は建屋、基礎ともにエクステンション構造としている。外装材には耐候性を考慮して当社の塗装ステンレス鋼板であるリバーライトカラーを、はめ殺しサッシュにはステンレスサッシュを用いている。

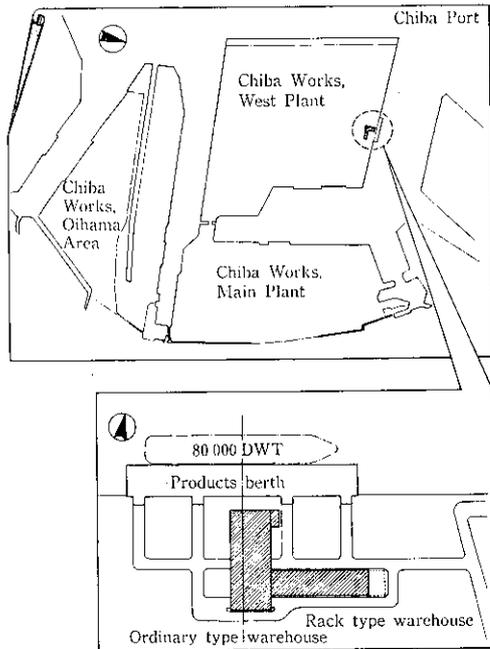


Fig. 1 Location and site plan

Table 1 Outline of warehouse

Item	Type	Rack type	Ordinary type
1. Area		4 333 m <sup>2</sup>	7 435 m <sup>2</sup>
2. Height		28.4 m	15.9 m
3. Storage capacity		32 000 t	9 000 t
4. Storage system		Rack	Floor
5. Handling equipment		6-stacker cranes	2-over head cranes
6. Structure		Steel	Steel
• Steel amount		3 570 t	1 070 t
7. Foundation		Steel pipe piles	Steel pipe piles
• Number of piles		266 sets	333 sets
• Pile length		48 m	48 m or 32 m

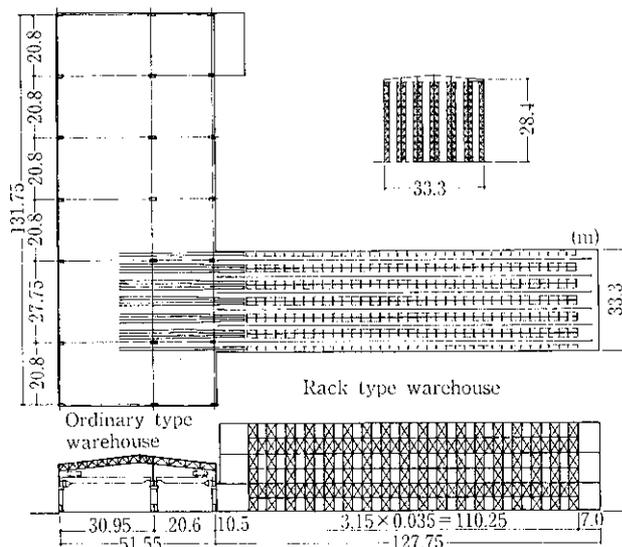


Fig. 2 Plan and sectional view of the warehouse

### 3 ラック倉庫の構造設計

#### 3.1 設計用積載荷重の設定

本構造は通常の建築構造とは次の点で異なる。

- (1) 収納製品重量が骨組自重に比して大きい。
- (2) 製品単重分布のばらつきが大きい。

Fig. 3 に1ラック当りの製品重量分布を示す。全ラックに対し最大重量を用いてラック構造を設計することが過剰設計であることは明らかであり、実状に即した設計荷重の設定に当たっては、Fig. 3の重量分布を持つ母集団から1~1000個のサンプルを抽出し、各ロットの平均重量のばらつきをシミュレーションにより求め、在庫量の変動により実際の荷重が設計荷重を超える確率がある値以下になるように設計荷重を設定した。

ラック構造の常時および地震時の設計用積載荷重を模式的にFig. 4に示す。Fig. 4は在庫量の変動にともなう1ラック当りの平均重量のばらつきを正規分布であるとして表示するとともに、今回設定した設計用積載荷重の値を併せて表している。ここでは、製品重量に梱包重量を加えて荷重を設定している。設定に際しての条件を以下に列記する。

- (1) 製品が乗るパレットを支持するブラケットには最大荷重(12.0t)とパレット重量(0.5t)の合計したものに、ラックへの収納時の衝撃を20%考慮して、15.0tの荷重を設定する。
- (2) ラックおよび基礎構造の常時鉛直積載荷重は、最大在庫時

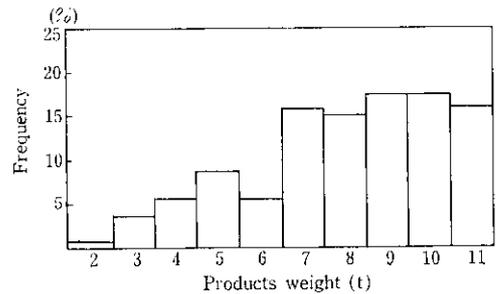


Fig. 3 Distribution of products weight per pallet

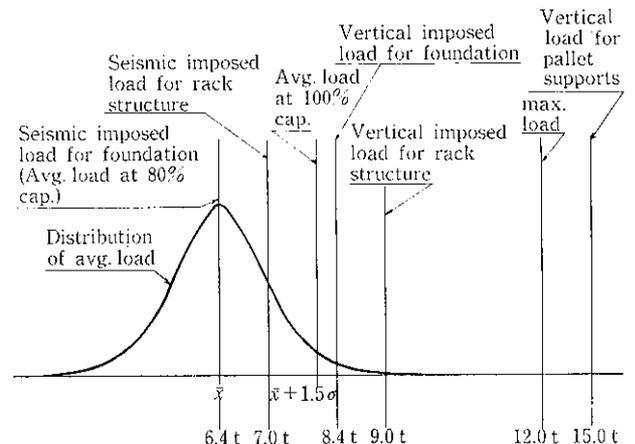


Fig. 4 Imposed load for rack structure design

(ラック充実率 100%) の重量分布から、ラックに対しては 10 個、基礎に対しては 60 個のサンプルを抽出し、その平均荷重のばらつきから、99% 安全側である荷重を設計荷重とした。その値はラックおよび基礎構造に対して各々 9.0t, 8.4t である。

- (3) ラック構造の地震時積載荷重は平均在庫時(ラック充実率 80%)の重量分布から、40 個のサンプルを抽出し、その平均荷重のばらつきから 90% 安全側である荷重 7.0t を設計荷重とした。
- (4) 基礎構造の地震時積載荷重は、杭頭が鉄筋コンクリート床版で固定され、全体が同じ挙動を示すと考えられるため、平均荷重 6.4t を採用した。

### 3.2 耐震性の検討

#### 3.2.1 地震応答解析

耐震設計は建築基準法および同施工令<sup>9)</sup>に従って行っているが、通常建築骨組とは異なり、床版による層の区分がないという構造の特殊性を考慮して、スパン方向構造を平面骨組として弾性地震応答解析を行った。

骨組の応答に大きな影響を与える要因として、

- (1) 地震波の周期特性
- (2) 収納製品の重量分布
- (3) 減衰の大きさ

があげられる。ここでは(1)(2)を解析のパラメータとし、地震波に EL CENTRO, TAFT, 千葉中部(1980, 千葉製鉄所西工場にて記録)の 3 波を最大加速度 200 Gal に基準化して用いた。収納製品の重量分布は一様分布, 下部偏在, 中央偏在の 3 種の場合を想定した。減衰定数は 2% を採用した。

Fig. 5 に一様分布の 1~3 次の固有振動モードと固有周期を示す。最外柱は他の柱と振動性状が異なり、変形が大きい。Fig. 6 に一様分布における各地震波入力に対するラック構造の応答層せん断力および骨組の初期降伏時、終局耐力時の層せん断力を示す。

地動 200 Gal の地震は気象庁震度 5~6 に相当するものであり、その再現期間は東京・千葉地域において 40~50 年<sup>9)</sup>と推定される。それら大地震に対しても、本構造は一部塑性化する可能性があるが、終局耐力は応答値を大きく上回っており、耐震性に関して十分な強度を有している。

#### 3.2.2 振動実験

ラック棟は高層で、重量物がパレットに乗った状態で収納されるため、地震時には収納製品が転倒、落下するおそれがある。また積載物が可動であり、骨組自重を上回る場合には振動時に有効質量が減少する<sup>9)</sup>。本実験は地震時の収納製品の挙動観察(シリーズ I)およびラック支柱に生じる応答せん断力の測定(シリーズ II)を目的とした振動実験を行うことにより、ラック棟の地震時の安全性を

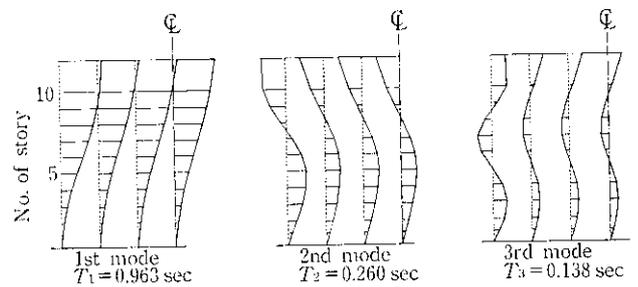


Fig. 5 Vibration mode

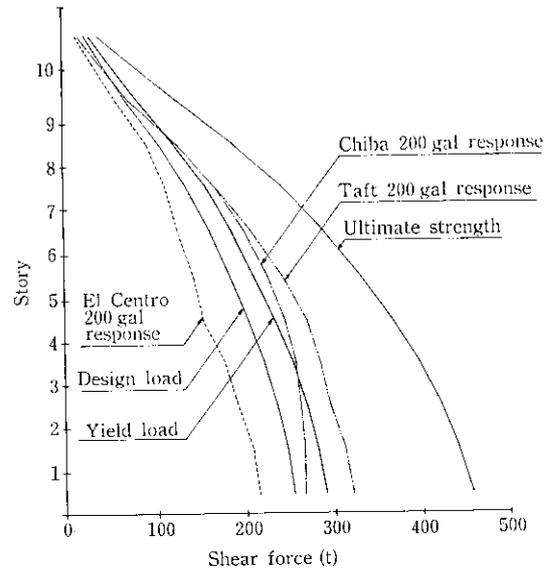


Fig. 6 Calculated story shear force

検討することを目的とする。

本実験のフローは Fig. 7 に示すように、前項で行った地震応答解析より得られた応答波を振動台に入力して、水平、上下同時加振により収納製品の地震時挙動を調べるといものである。

シリーズ I の実験供試体は実物大のラック模型、パレットおよび収納製品から構成され、シリーズ II ではシリーズ I で用いたラック模型の下に歪測定用フレームを取り付けたものを用いている。シリーズ II の実験装置を Photo 2 に示す。

シリーズ I では収納製品の形状、入力地震波、入力最大地動加速度をパラメータとし、収納製品には外径/幅比の異なる 3 種のコイルとシート、地震波には前項の 3 種の地震波、最大地動加速度には 100, 150, 200 Gal の 3 種を選び、計 17 ケースの実験を行った。

シリーズ I の実験結果の一例として、EL CENTRO 地動 200 Gal の応答波を入力した場合の振動台とコイルの加速度時刻歴を Fig. 8

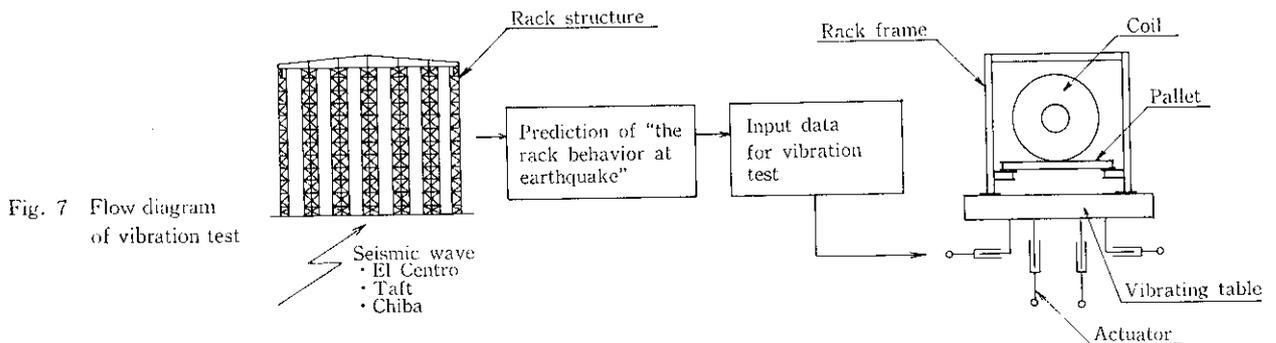


Fig. 7 Flow diagram of vibration test

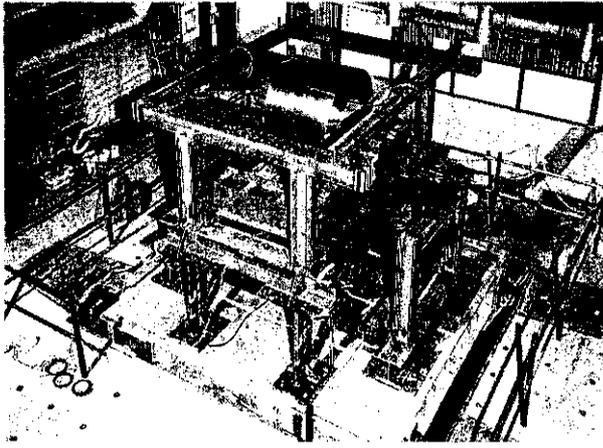


Photo 2 Vibration testing device

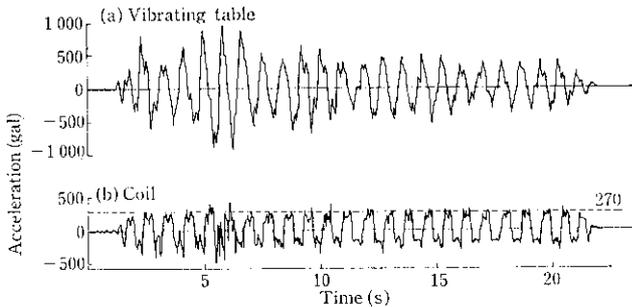


Fig. 8 Time history at vibration test (using El Centro response)

に示す。振動台には最大 938 Gal の加速度が入力されているにもかかわらず、コイルには衝突によるものを除けば、270 Gal 以上の加速度は生じていない。他の場合も同様であり、コイルとパレットがともに滑るためコイルに生じる加速度は平均 260 Gal と安定している。

挙動観察の結果、コイルの顕著なロッキングや転倒が生じなかったことから、コイルとパレット間の摩擦抵抗は小さく、コイルの転倒の危険性は低いと考えられる。

ラック棟の設計に際しては、万が一の場合を考慮して、製品またはパレットがスタッカークレーンの走行範囲へ落下することを防止するために下記の対策を施している。

- (1) パレット受材にパレット滑落防止用ストッパーを設ける。
- (2) パレットおよびコイルの滑り方向を制御するために、パレット受材を走行レーン側が高くなるように 1/150 傾ける。

シリーズⅡでの実験パラメータは、コイル、パレットおよびラック間の固定度であり、

- (1) コイル、パレットおよびラックがフリーな状態
- (2) コイルとパレットが固定された状態
- (3) コイル、パレットおよびラックが全て固定された状態

の 3 種の場合を設定し、正弦波を入力している。

Fig. 9 には、振動台の加速度とラック支柱の歪量を読み取り、単回帰分析を行った結果を示す。コイル、パレットおよびラック間の固定度が低下するほどラック支柱の歪量が減少し、フリー状態では全固定状態に比して、約 63% の歪量が減少している。

ラック構造の設計では、コイルおよびパレットの滑りによる地震応答せん断力の減少は考慮されていないが、本実験から得られた知見により、ラック構造の耐震性は Fig. 6 に示した以上に安全性が高いと考えられる。

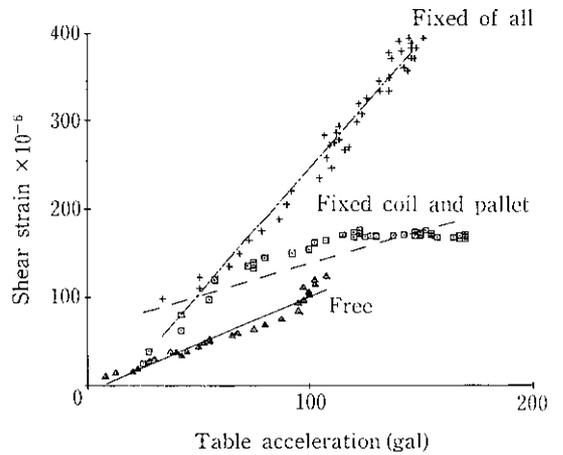


Fig. 9 Reduction of shear strain due to sliding of coil and pallet

## 4 建設工事

### 4.1 概要

ラック棟の工事面から見た主たる特徴は同じ骨組の繰り返しであること、スタッカークレーンの停止精度からラック構造の寸法精度が厳しく設定されていることである。また、設備稼動との関係から工期が厳しく、できる限り短工期で工事を行う必要があった。

そこで、倉庫建屋構成部材をプレファブ化し、品質管理を容易にするとともに、現場工程を短縮する工法を採用している。Fig. 10 に示すように鉄骨は出来るだけ地組を行い、壁面はパネル化することにより品質向上、工期短縮を図っており、屋根面は仮設足場や安全ネットのプレファブ化により工期短縮を図っている。これら工法の採用により建設工事の災害の中で最も多い墜落および飛来の削減、また落下による災害のもととなる高所での作業が大幅に削減が可能となった。

以下にそれら工法の概要を説明する。

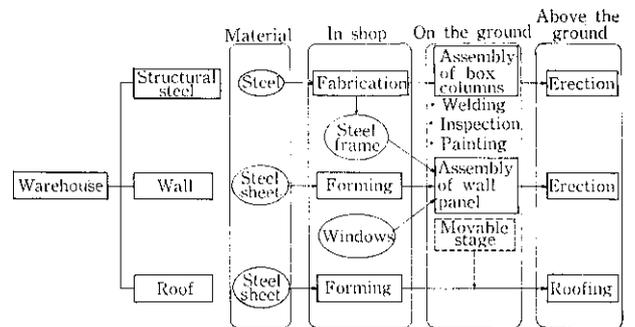


Fig. 10 Warehouse constructing system

### 4.2 ラック鉄骨大組工法

ファブリケータから搬入された鉄骨部材を、地上に設置した地組架台上で Box 形状に組立て仕上塗装まで終了した後、重量 24.5 t の Box 柱を容量 400 t の大型重機により吊り上げ据付ける工法である。大組工法の概念図を Fig. 11 に示す。地上組立により精度のチェック、溶接部検査などの品質管理が容易になるとともに均一な品質の鉄骨骨組を得ることができた。

本工法では地組において各職種の作業割当が半日きざみに設定さ

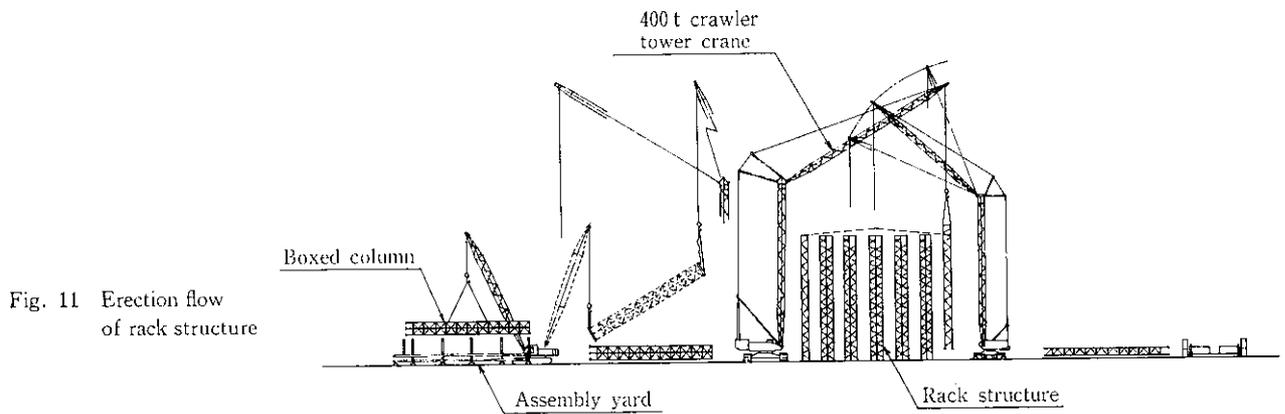


Fig. 11 Erection flow of rack structure

れていること、大型重機を必要とするため重機に遊びを作らないことなど工程管理を厳重に行う必要があり、進捗状況を毎日チェックしながら工事を進めた。

### 4.3 外壁パネル工法

外壁を構成する板金、サッシュを鉄骨枠に取り付けておき、重機により建屋鉄骨に取り付ける工法である (Photo 3)。パネル間の目地部には止水のための処理が施されている。

通常の工法で必要とされる外部足場が不要となり、仮設コストが低減されるが、パネル枠用鋼材量が増加する。

### 4.4 屋根面移動足場工法

屋根面工事前吊り足場および安全ネットのかわりに、移動式ステージを利用する工法であり、これら仮設材が不要となり、それにとりもなり架払いという危険作業も不要となる。概要を Fig. 12 に示す。

吊り足場、安全ネットが不要となるため仮設コストが低減され、

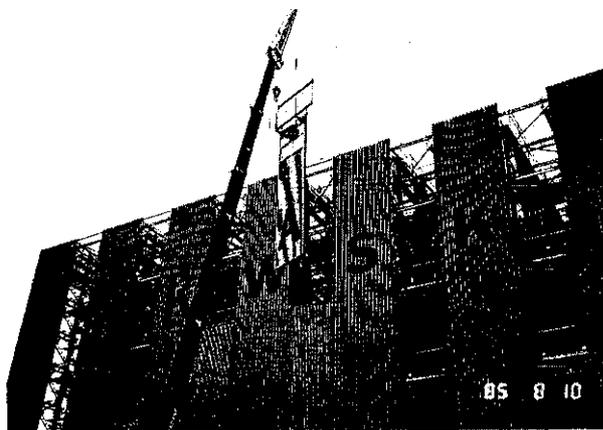


Photo 3 Panel erection

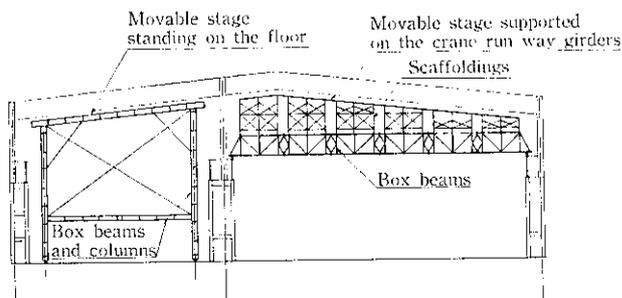


Fig. 12 Side view of movable stages

架払い、盛り替えという作業が不要となるため、安全面、工程面でのメリットが大きい。

## 5 まとめ

コイル、シートなどの重量製品を10段まで収納するラック倉庫は国内にもほとんど例がなく、特に耐震性については地震応答解析、振動実験により確認しながら設計を進めた。その結果、

(1) コイル、パレットは滑りやすく、転倒、落下の危険性は小さい。

(2) コイル、パレットの滑りによりラック支柱に生じる応答せん断が約63%減少する。

という知見が得られたが、未だ設計面に完全にフィードバックされていない。今後ラック倉庫の設計法を確立すべく、収納物の滑りを考慮したラック構造の応答解析プログラムの開発や、ラック棟に地震計を設置して実挙動を把握することにより、ラック倉庫の設計法の確立を目指す予定である。

今回採用した各種工法とも工程面、安全面で効果が大きく、より改良を進め、工事の安全化、工期短縮およびコストダウンを進めて行く予定である。

最後に、振動実験においてご指導頂いた東京大学生産技術研究所高梨晃一教授、ならびに共同研究のパートナーとしてご協力頂いた鹿島建設株式会社をはじめとした、設計・建設工事にご協力頂いた関係企業各位に心から感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 金沢 功, 真藤健一, 森田昭一郎, 池田 信, 高橋勝信, 芳田清茂: 「千葉製鉄所西工場の製品岸壁および倉庫設備の概要」, 川崎製鉄技報, 18 (1986) 4, 347
- 2) 剣持 徹, 木村 保, 奥村一郎: 「8万DWT級の船舶を対象とする製品岸壁の建設」, 川崎製鉄技報, 18 (1986) 4, 355
- 3) 高橋 暁, 田中春之, 市原 勲, 田原博信, 阿部俊男, 長谷川信男: 「製品岸壁および立体自動倉庫の操業管理システム」, 川崎製鉄技報, 18 (1986) 4, 366
- 4) 日本工業規格 JIS B 8940, 「立体自動倉庫システム設計通則」, (1978)
- 5) 建築基準法, 建築基準法施行令
- 6) 例えば「首都およびその周辺の地震予知」, 地震予知連絡会地域部会報告書, (1980)
- 7) 日本産業機械工業会: 「地震時立体自動倉庫の安全化に関する調査研究報告書」, (1981)
- 8) 山本 昇および滝沢章三: 「ビル式自動ラック倉庫の耐震性(その2, 振動実験による地震時水平力の評価)」, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, (1982)