

# 立体自動倉庫における新構造形式の適用事例

## Application of New Type Steel Structure to Racking with Roof and Wall

塩原 貞行 シビルエンジニアリング部 第一プロジェクト室 主査  
 飯田 泰彦 シビルエンジニアリング部 土木建築設計室 主査  
 瀬尾 一陽 シビルエンジニアリング部 土木建築設計室 統括スタッフ  
 加藤 嘉則 エヌケーケープラント建設機 土木建築技術部 室長  
 丁 豪 エヌケーケープラント建設機 土木建築技術部

Sadayuki Shiobara, Yasuhiko Iida,  
 Kazuhiro Seo, Yoshinori Kato and Ding Hao

立体自動倉庫のラック工事のコストダウンを目的として、鉄骨構造のラックの新構造形式を考案した。新構造形式は、ラック鉄骨の部材数を減らすことにより、製作・建方でのコストダウンを図った構造である。既存立体自動倉庫を新構造形式で再設計し、製作数量と建方数量について、従来構造と新構造形式との比較を行った。新構造形式の製作・建方に関わるほとんどの数量が従来構造を下回った。その後、製作性・建方性の観点からの改善を行い、新構造形式のコストダウン効果を確認した。次に、新構造形式を実施物件に適用し、実施物件でコストダウン効果を検証した。

The new type steel structure of racking with roof and wall was originated for the purpose of reducing the cost of racking work of automated storage and retrieval system. The new type structure is characterized by consisting of less steel members than usual type structure and reducing the cost of both shop work and field work. Quantities between the new type structure and usual type structure were compared by designing the existing racking as the new type structure. As a result, quantities of the new type structure were less than usual type structure in most items. In addition, details of the new type structure were improved and it was showed that the new type structure costs less. The new type structure was applied to the project and it was proved that the new type structure costs less by carrying out the project.

## 1. はじめに

当社の物流エンジニアリング部門は、立体自動倉庫を核として事業を推進している。立体自動倉庫の市場は、徐々に拡大化の方向に移っていきと考えられるが、その大部分が民需のため、受注競争は激化し、価格の低減化も依然進行している。

このような状況の中で、立体自動倉庫の競争力向上のために、その機能アップおよびコストダウンを図ってきた。立体自動倉庫の機能アップについては、制震ダンパーを使った制震構造の開発、温熱環境のシミュレーション手法の開発を行った。コストダウンについては、設計数量の最少化、施工単価の低減化（以下、従来型のコストダウンと略記する）を行ったが、立体自動倉庫の価格の低減化を先取りするところまでは至らなかった。

立体自動倉庫のおおよそのコスト比率は、10000棚程度の規模の場合、機械・電気工事が約40%、土木・建築工事が約60%であり、土木・建築工事（基礎、ラック、屋根、外壁および消防設備）の50%強がラック工事（製作と建方）と言われている。

そこで、立体自動倉庫全体のコストダウンのためには、コスト比率の大きいラック工事のコストダウンが必須であり、従来型のコストダウンでは限界があると考え、ラックの新構造形式を考案する方向に進んだ。

立体自動倉庫は、鉄骨構造のラック、スタッカクレーン

および入出庫ステーションで構成されている。ラックには、ビル式ラック（ラックの主要構造物に屋根および壁を取り付け、屋外に設置するラック）とユニット式ラック（建築物から切り離され、自立したラック）があるが、本報の対象は、前者のビル式ラックであり、パレット保管をする立体自動倉庫である。

1998年度に、ラックの新構造形式を考案し、設計、デザインレビュー、製作・建方コスト算出、製作性・建方性の観点からの改善を行い、実施物件に適用できる程度まで新構造形式を完成させた。

1999年度は、主に鉄骨詳細について新構造形式のブラッシュアップを行った。そして、2000年1月、N社立体自動倉庫を受注し、実施物件に新構造形式を適用するに至った。

本報では、ラック工事のコストダウンのために考案した新構造形式の特徴、従来構造との比較、適用事例、今後の課題について述べる。

## 2. 新構造形式の概要

### 2.1 ラック構造の概要

Fig.1に示すように、一般的なラックは、荷受材、柱、柱ラチス、水平材、鉛直ブレース、上部梁などの構造部材で構成されている。荷受材、柱、柱ラチスは角形鋼管、水平材は角形鋼管か鋼管、鉛直ブレースは平鋼か丸鋼、上部梁はH形鋼というように、それぞれの部材は、比較的軽量な

ものであるが、トラス状に接合され、組立材を形成している。組立材は、収納物の重量を支えるとともに、地震や風などの外力に対して抵抗可能な架構としての耐力と剛性を確保している。

組立柱（荷受材、柱、柱ラチスを溶接接合したもの。以下、パネルと略記する）は、工場で製作され、現場で、水平材、鉛直ブレース、上部梁などと高力ボルト接合される。

鉛直力と水平力とを負担するパネルをメインパネルと呼び、鉛直力のみを負担するパネルをサブパネルと呼ぶ。ラック構造には、Fig.1のような、すべてのパネルをメインパネルとする構造と、メインパネルとサブパネルとを交互に配置する構造とがある。

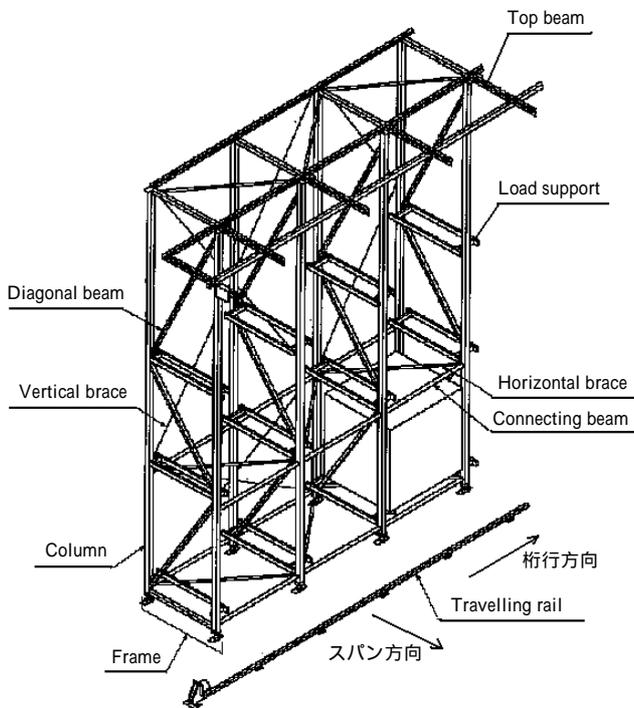


Fig.1 General view of usual type structure

2.2 新構造形式の特徴

2.1節で述べたように、ラックは数多くの部材で構成されている。従来型のコストダウンは、それぞれの部材のスリム化であった。新構造形式を考案する際に、立体自動倉庫を構成するパネルの総数に着目し、その低減化を図った。つまり、全体の製作パネル数が減れば、輸送パネル数が減り、建方での揚重ピース数も減り、製作・建方でのコストダウンが可能と判断した。

考案した新構造形式をFig.2に示す。また、従来構造の平面をFig.3に、新構造形式の平面をFig.4に示す。

新構造形式の特徴は、次のとおりである。

(1) メインパネルとサブパネルを交互に配置する構造である。

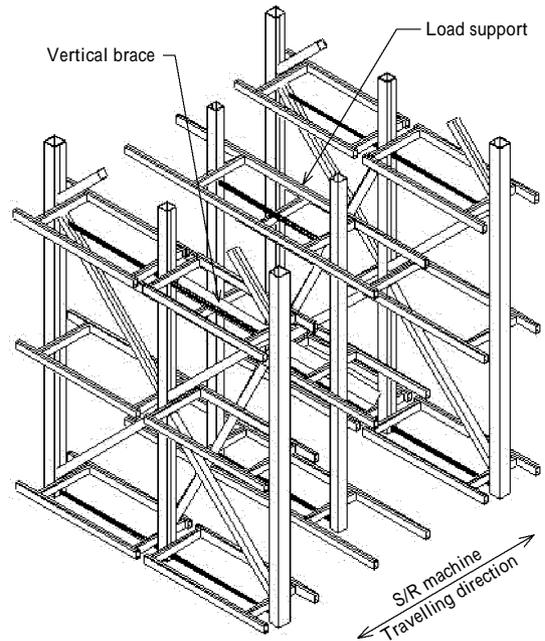


Fig.2 General view of new type structure

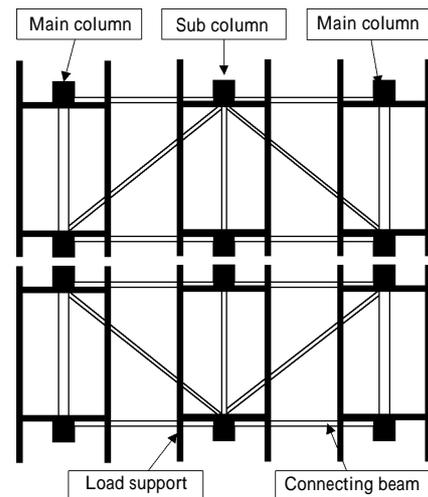


Fig.3 Plan of usual type structure

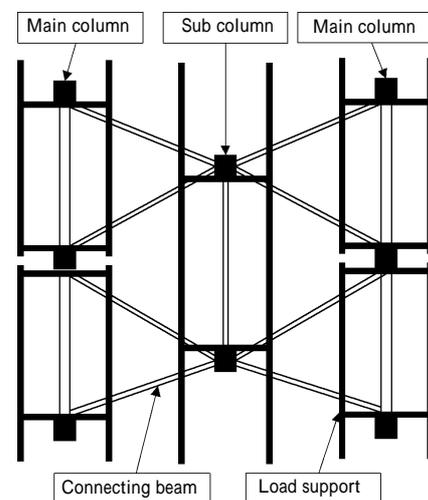


Fig.4 Plan of new type structure

(2) 従来構造ではパネル2枚で構成されている双列ラック(棚が平面的に背中合わせに配置されているラック)をパネル1枚とし、全体のパネル数を低減している。

(3) 従来構造では6本ある水平材を4本とし、全体の部材数を低減している。

また、製作性・建方性の観点から、次のような検討を行った。

(1) 従来構造に比べ新構造形式ではパネル幅が大きくなるが、製作上、輸送上の問題はないのか。

(2) 新構造形式では、鉛直ブレースがサブパネルの荷受材の内側を貫通するが、建方上の問題はないのか。

上記問題点を机上で検討し、解決策を得た。解決策の具体的な内容は、3.2節で述べる。

### 2.3 従来構造との比較

従来構造の既存立体自動倉庫のラック(一般的な収納物重量1tのタイプ)を新構造形式で再設計し、従来構造と新構造形式との製作・建方コストの比較を行った。

Table 1 に示すように、設計面ではラック鉄骨重量の低減、鉄骨製作面では製作工数の低減、施工面ではパネル数減による運搬費の低減や建方時のクレーン揚重回数の低減などのコストダウン効果を確認した。

Table 1 Comparison between usual type structure and new type structure

22列×1連×15段=330棚あたり			
	単位	従来構造	新構造形式 ( )内は左記に対する割合
1. 鉄骨重量	t	28.2	25.6 (91%)
2. 製作数量			
(1) 溶接ピース数	ピース	2830	2444 (86%)
(2) 溶接長	m	1068	712 (67%)
(3) 製作パネル数	枚	66	36 (55%)
(4) 塗装面積	m <sup>2</sup>	1176	1005 (85%)
(5) 輸送パネル数	枚	66	36 (55%)
3. 建方数量			
(1) 揚重ピース数	ピース	66	36 (55%)
(2) 水平材ピース数	ピース	462	322 (70%)
4. 工事費			
(1) 製作費			(93%)
(2) 建方費			(89%)
(3) 合計			(92%)

## 3. 適用事例

### 3.1 N社立体自動倉庫の概要

N社立体自動倉庫の外観をPhoto 1に、概要をTable 2に示す。

### 3.2 設計

2章で述べた新構造形式の設計手法をN社立体自動倉庫に適用する際に、両者の設計条件が異なるため、次のような問題点があった。

(1) 新構造形式は、単列ラック(棚が平面的に1つ配置されているラック)に比べ双列ラックが多い場合に効果が大きい。N社立体自動倉庫の単列ラック数：双列ラック数=



Photo 1 Appearance of the racking with roof and wall

Table 2 Outline of the automated storage and retrieval system

1. 設備概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2028棚(6列×20連×17段)</li> <li>・最大積載荷重1.5t/棚</li> <li>・スタッククレーン3基</li> <li>・入出庫設備一式</li> <li>・搬送設備一式</li> </ul>		
2. 建築概要	自動倉庫	搬送エリア	入出荷エリア
1) 建築面積	483.8m <sup>2</sup>	96.7m <sup>2</sup>	794.5m <sup>2</sup>
2) 高さ	30.06m	7.10m	14.65m
3) 構造	鉄骨構造 (新構造形式)	鉄骨構造	鉄骨構造
4) 基礎形式	杭基礎(支持層GL-13.5m)		
5) 仕上げ	屋根：折板 外壁：カラーシート成形板		
3. 工期	2000年1月～2000年9月		

2：2であり、新構造形式の効果が小さい。

(2) 新構造形式は、パネル数を減らすことによって、製作、輸送および建方の効果を上げている。N社立体自動倉庫の収納物の奥行きが大きいため、メインパネルの幅が大きくなるが、輸送上メインパネルを2分割することは避けなければならない。

(3) 新構造形式は、パネル数を減らすことによって、揚重ピース数を減らし、建方の効果を上げている。N社立体自動倉庫の収納物の荷重が大きいため、鉛直ブレースの断面が大きくなるが、鉛直ブレースを揚重しないで、地組みでできる構造、重量にしなければならない。また、新構造形式では従来構造と異なり、Fig.2に示すように、鉛直ブレースがサブパネルの荷受材の内側を貫通している。

次に、上記問題点に対して実施した対策を述べる。

(1) 6列×2連×17段=204棚について、従来構造と新構造形式の両方の設計を行った。その結果、従来構造22.4t、新構造形式21.6t(従来構造の96%)だった。

(2) 従来構造では、パネル幅が2.3m以下となるため、トラックで輸送する。新構造形式ではパネル幅が2.7mとなりトレーラーで輸送することになったが、パネル数が減ることにより輸送費が増えないことを確認した。

(3) 鉛直ブレースを2分割し(新構造形式では1本),サブパネルの荷受材部分にガセットプレートを配置し,メインパネルあるいはサブパネルに地組みして揚重できる構造とした。

### 3.3 施工

#### 3.3.1 製作

Photo 2 にサブパネルの製作状況を示す。

次に,製作実績について述べる。

(1) サブパネルは, Fig.2 に示すように支柱に荷受材を溶接しただけの構造であり,パネルとしての剛性が小さい。必要な製作精度が確保できるかどうか懸念されていたが,長方形のパネルが平行四辺形に変形することもなく,精度を確保することができた。

(2) サブパネルは,前述のように簡単な構造であり,製作工数削減に大きく寄与している。

(3) メインパネルは,当初背中合わせの2棚分の荷受材を1本の部材で通していたが,製作上それぞれの棚で分割し,2本とした(Fig.4 は2分割した後の図)。

(4) 鉄骨製作工場で収集した製作工数データから,N社立体自動倉庫の特殊性の要因を除くと,新構造形式の全体製作工数は従来構造とほぼ同じであった。

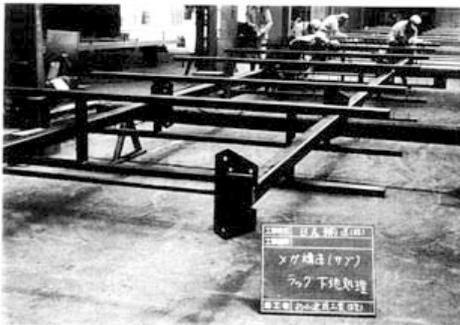


Photo 2 Fabrication of the racking

#### 3.3.2 建方

Photo 3 に建方の状況を示す。

次に,建方実績について述べる。

(1) 3.2節で述べたように,従来構造では1本の鉛直ブレースを2分割しており,従来構造に比べ高力ボルト接合箇所が増え,鉛直ブレースの本締めめに時間を要した。

(2) 3.2節で述べたように,サブパネルは剛性が小さいため,建入れ直しがむずかしい。

(3) 現場で収集したデータによると,パネル建方の能率は平均20枚/日,最大30枚/日で,従来構造とほぼ同じであった。しかしながら,鉛直ブレースの本締め,安全設備の整備に従来構造以上の時間がかかり,建方の全体工期は従来構造とほぼ同じであった。

#### 3.3.3 今後の課題

N社立体自動倉庫に新構造形式を適用し,設計・施工を行った結果から,今後の課題について述べる。

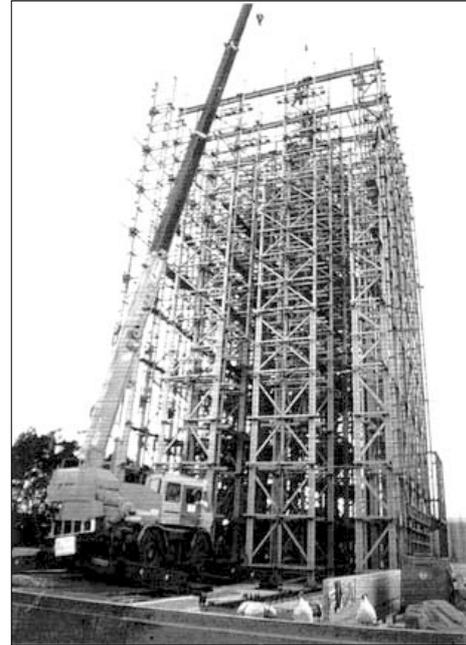


Photo 3 Field work of the racking

(1) 全体の製作工数を削減するために,メインパネルの製作工数を削減する。

(2) 鉛直ブレースの建方,本締め時間を短縮するために,鉛直ブレースの重量を下げ,構造を簡略化する。

## 4. おわりに

立体自動倉庫ラック工事のコストダウンのために考案した新構造形式の特徴,従来構造との比較,適用事例,今後の課題について報告した。

本報では比較的小規模の立体自動倉庫で新構造形式の検証を行ったが,通常の1tラックで,建物規模が大きい場合には,より一層構造上の有効性が発揮でき,鉄骨重量低減効果が出てくると考えられ,大幅なコストダウンを図ることが可能となる。

今後は立体自動倉庫の収益力向上や競争力アップのために,さらに改善を行いながら,新構造形式を積極的に活用していきたい。

最後に,本構造の適用に際してご協力いただいたエヌケーケープラント建設(株)田代所長殿,戸田建設(株)千葉支店殿ならびに杉山建設工業(株)殿に対し,心から感謝の意を表する。

<問い合わせ先>

シビルエンジニアリング部 第一プロジェクト室

Tel. 045 (505) 7726 塩原 貞行

Sadayuki\_Shiobara@ntsgw.tokyo.nkk.co.jp

シビルエンジニアリング部 土木建築設計室

Tel. 045 (505) 7722 瀬尾 一陽

Kazuhiro\_Seo@ntsgw.tokyo.nkk.co.jp