

# 新形式鉄骨屋根構造

## New Type Steel Structural Roof Framing

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	Kazuhiro Seo
増田 博	シビルエンジニアリング部 土木建築設計室	Hiroshi Masuda
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	Yasuhiko Iida
沖 晃司	基盤技術研究所 都市工学研究部 建築チーム	Koji Oki
今野 和近	基盤技術研究所 都市工学研究部 建築チーム 主査	Kazuchika Konno
伊藤 茂樹	技術開発本部 主幹	Shigeki Ito
村田 潤一	エヌケーケープラント建設機 土木建築技術部	Jyunichi Murata

Kazuhiro Seo  
Hiroshi Masuda  
Yasuhiko Iida  
Koji Oki  
Kazuchika Konno  
Shigeki Ito  
Jyunichi Murata

大スパン屋根を有する建築物のコストダウンを目的として、新形式の鉄骨屋根構造を開発した。本構造は、山形鋼などで構成された平面トラスパネルを、一方向に山谷を形成させて連続接合したものである。従来構造に比べ大幅なコストダウンが可能となり、また工期短縮もできる屋根構造である。清掃工場のごみピット屋根を取り上げ、従来構造との製作面・施工面での比較を行い、その優位性を確認した。また、実大実験にて剛性と施工性の確認を行った。

*NKK has developed an economically reasonable large span roof-structure. The structure is constructed with standardized plane trusses of angle shapes, which are combined side by side as zigzag profile of folded sheet. Compared to the conventional steel structure, the structure is more competitive in both cost and period of construction. To make sure its advantages, the fabrication and construction process and structural performance are studied in case of roof structure for municipal incinerator, and real scale model was fabricated and loading test was conducted.*

### 1. はじめに

一般的に鉄骨構造の屋根構面は、桁行方向に任意のピッチで連続する大梁（トラス）の間に屋根材を支持するための小梁・母屋が設けられ、更に面内剛性を確保するための水平ブレースが適宜配置される（以下、従来構造と略記する）。当該部分のコストダウンを目的として、従来構造とは全く異なる屋根構面（以下、新形式トラス構造と略記する）を開発したので以下に紹介する。また、実大部分架構の載荷実験を実施し、せん断剛性を十分確保し得ることを確認するとともに施工性の確認も行ったので、それについても紹介する。

### 2. 新形式トラス構造の概要

新形式トラス構造は、Fig.1 に示すように弦材とラチス材で構成された同一平面トラスパネルを一定の角度を持った山谷形状に連続的に接合し、それが一体となって屋根構面を形成して、曲げ・せん断剛性を発揮するものである。平面トラスパネルの構成部材にはすべて廉価な山形鋼などを使用することによって、鋼材重量を削減するとともに製作単価低減によるコストダウンを図るものとしている。

新形式トラス構造を構成する平面トラスパネルに使用する山形鋼などの鋼材種類は3~4種類（弦材・斜材・束材・部分的な繋ぎ材）程度で済み、平面トラスパネルの幅や接

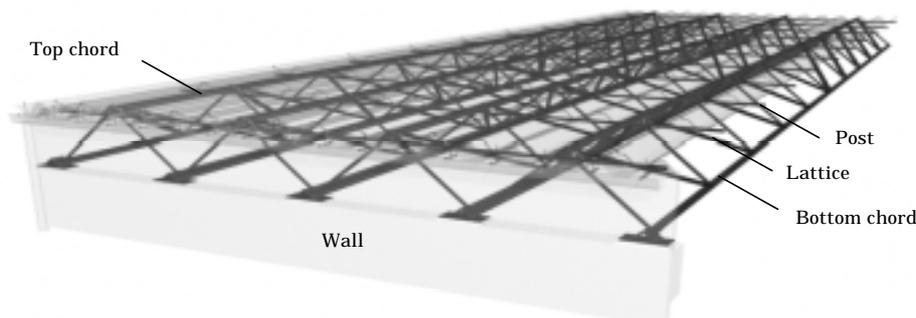


Fig.1 General view of roof framing

合角度により任意の高さ・強度・剛性を有する屋根構面を実現することもできるため、非常に汎用性が高い構造形式と言える。また屋根仕上材については特に限定されるものではなく、折板や ALC 版など一般的な屋根材料の適用が可能である。

施工は工場で作成した平面トラスパネルを現場にて所要のブロック単位で地組、そして揚重・軒梁への設置という手順になる。屋根仕上材や仮設材を地組の際に鉄骨ブロックに取り付けて揚重することも可能であり、従来構造の施工に比べて現場作業の省力化（足場範囲縮小、高所作業量低減など）を図ることができる。

### 3. 適用検討

#### 3.1 適用対象

大スパン屋根を有する建築物として、清掃工場建屋を取り上げ、そのうちのごみピット屋根部分への新形式トラス構造の適用を検討した。当該部分はスパン 20～25m 程度の大スパン屋根架構となり、通常、梁成 700mm 程度の H 形鋼大梁を主体とした構造となる。またごみピット上部外周は、鉄筋コンクリート/鉄骨鉄筋コンクリート耐震壁構造（以下、RC/SRC 造と略記する）または鉄骨ブレース構造（以下、S 造と略記する）となるが、これは屋根面に作用する水平力を耐震壁または壁面ブレースを介して下部構造に伝達することが構造上重要となり、本構造に適した部位であると言える。

#### 3.2 屋根材仕様および新形式トラス構造ディテール

屋根仕上材としては、清掃工場で一般的に使用されている、折板と ALC 版の 2 種類を想定した。その際、新形式トラス構造を構成する平面トラスパネルのディテールと屋根仕上材取り付けディテールの関係から、2 種類のトラス構造を考案した。

A タイプ（弦材上下面非フラット）は Fig.2 に示すように、平面トラスパネルの弦材山形鋼片辺がそのパネル平面方向に平行となるものである。このタイプは平面トラスパネル同士の接合角度が 90 度に限定されるが、弦材とラチス材との接合がシンプルになるため製作性は良い。ただし、屋根仕上材は折板に限定され、受け材が必要となる。

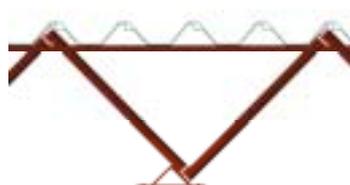


Fig.2 Roof structural system type-A

B タイプ（弦材上下面フラット）は Fig.3 に示すように、平面トラスパネルの弦材山形鋼片辺が屋根材敷設面に対して平行となるものである。このタイプは平面トラスパネル

の山谷の角度が限定されないため、任意の角度での接合が可能である。また屋根材敷設面がフラットとなることから、ALC 版などの成形パネル状の屋根仕上材をそのまま敷設することができる。

2 種類のトラス構造の違いは弦材の向きが違うことであるが、これは当該構造の耐力にはほとんど影響しない。



Fig.3 Roof structural system type-B

#### 3.3 新形式トラス構造の構成部材

Table 1 は既存の清掃工場建屋ごみピット屋根部分の従来構造を、屋根材仕様およびトラス仕様をパラメータとして新形式トラス構造に置換、三次元立体解析を行った上で部材を選定したものである。検討はごみピット上部外周の構造が RC 造のものと S 造のもの 2 物件について行った。この 2 物件は立地条件・設計荷重条件（屋根仕上材仕様および外力）が異なり、またスパンも異なるが、屋根単位面積当たりの鋼材重量でみると大差ないものとなった。

Table 1 Member list and steel weight

検討 CASE	現仕様概要	検討屋根材仕様	新形式トラス仕様		弦材	斜材	束材	単位面積当たりの鋼材重量(比)
			山ピッチ / 角度	平面トラスパネル構成				
1	M市清掃工場 スパン：23.0m	折板	1.0m / 60°	斜材"ハ"型配置	L-60×6	L-40×5	-	34.8kg/m <sup>2</sup> (0.67)
2	外周：RC造 屋根材：ALC100厚		2.0m / 60°	斜材"ハ"型配置	上弦材L-75×9 下弦材L-75×6	L-65×6	-	35.0kg/m <sup>2</sup> (0.68)
3	鋼材重量： 67.5kg/m <sup>2</sup> (1.00)		2.0m / 90°	斜材・束材"レ"型配置	上弦材L-90×7 下弦材L-90×6	L-90×6	L-50×6	36.0kg/m <sup>2</sup> (0.63)
4	51.7kg/m <sup>2</sup> (1.00) [同条件で折板屋根とした場合]	ALC 100厚	1.0m / 60°	斜材"ハ"型配置	L-65×6	L-40×5	-	38.2kg/m <sup>2</sup> (0.57)
5			2.0m / 60°	斜材"ハ"型配置	L-90×7	L-65×6	-	34.6kg/m <sup>2</sup> (0.51)
6	K市清掃工場 スパン：25.5m 外周：S造 屋根材：加工鋼板	ALC 75厚	1.5m / 53°	斜材"ハ"型配置	L-75×6	L-50×6	-	33.6kg/m <sup>2</sup> (-)

Fig.4 に新形式トラス構造の軸組図を示す。

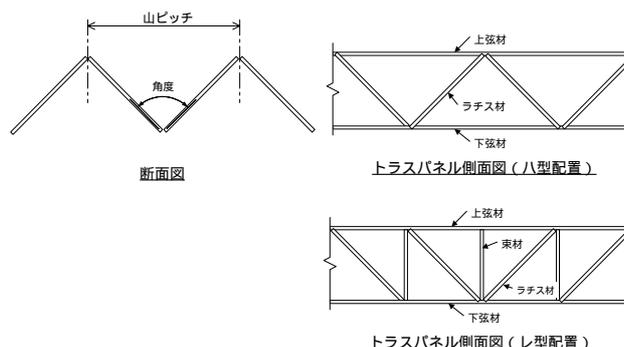
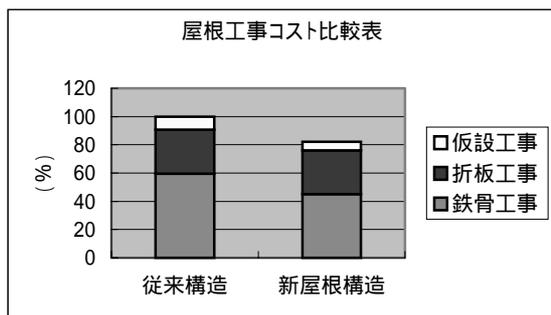


Fig.4 Framing elevation

### 3.4 コスト比較

新形式トラス構造を採用した場合の従来構造とのコスト比較を行った結果を Table 2 に示す。鉄骨工事費の算定に当たっては、部材選定の結果、どのケースもそれほど鋼材重量が変わらなかったこともあり、M 市清掃工場の現屋根材仕様を折板ベースとした場合とケース 3 の鋼材重量を比較対象とした。コスト比較の結果、屋根工事全体で従来構造に比べ約 20%のコストダウン効果を確認した。

Table 2 Comparison between usual type structure and new type structure



## 4. 実大実験

新形式トラス構造の面内せん断剛性の検証と屋根材の施工性の確認のため、Photo 1 に示す実大実験を実施した。

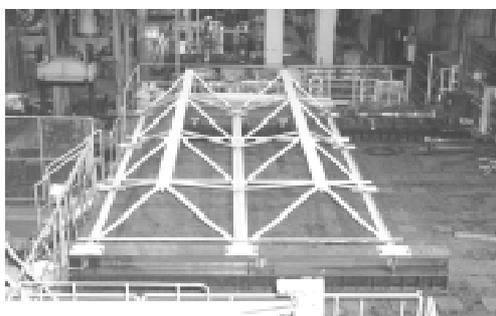


Photo 1 Loading test (type-B)

### 4.1 試験体

試験体は前述の A タイプおよび B タイプの 2 体で、形状は Table 1 のケース 3 に準じるものとし、寸法は Fig.5 に示すように幅 4m、奥行き 6.9m とした。また、実験項目は Table 3 のとおりとした。

Table 3 Series of loading test

Test #*	Test pattern				
	Truss type	Members	Load. Dir.	Load kN	Load** patt.
A_x	A	Top : L-90 × 90 × 7	Norm.	30	Mono
A_y		Bott.: L-90 × 90 × 6	Later.	20	Mono
B_x	B	Post : L-50 × 50 × 6	Norm.	30	Mono
B_y		Latt.: L-75 × 75 × 9	Later.	20	Cyclic

\* x : Normal loading (fig.5), y : Lateral loading (fig.5)

\*\* Mono : monotonic loading

### 4.2 屋根材の施工実験

A タイプは、屋根仕上材として折板を想定している。この場合 Fig.2 のようにタイトフレーム受けと上弦材の取り付けが複雑なため、Photo 2 に示すように施工実験を行った。施工は NKK 馳組折板 号 (山高 180mm) と、想定される最大サイズの上弦材 L-90 × 90 の組み合わせについて実施した。これにより上弦材については L-90 × 90 までの山形鋼が使用可能であることを確認した。



Photo 2 Test model with metal roofing (type-A)

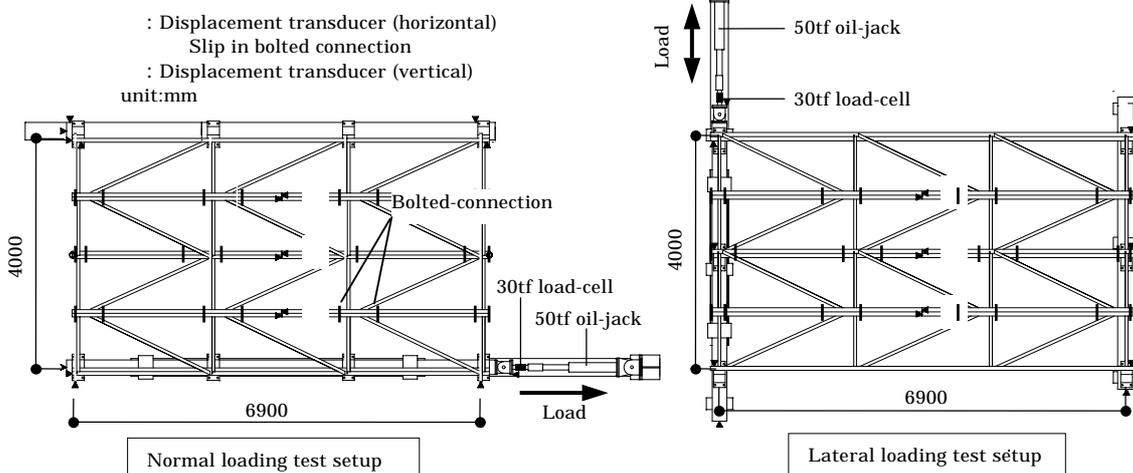


Fig.5 Test setup

4.3 実験方法

4.3.1 載荷荷重

スパン 23m × 柱間 11.5m × 軒高 30m の屋根架構が負担する張間方向の風荷重 (風圧 1522N/m<sup>2</sup>) によるせん断力 Q=87.4kN を試験体スパン長 6.9m に対して補正し 30kN とし、これを Fig.5 の Normal loading における載荷荷重とした。Lateral loading については、張間方向と等価なせん断力分布を再現するよう辺長比にて低減し 20kN とした。

B<sub>y</sub> は ±20kN で 5 ループの正負交番載荷を行い、その後の最終ステップで 60kN まで引張載荷を実施した。

4.3.2 載荷・計測

載荷パターンは Fig.5 に示す Normal loading, Lateral loading の 2 とおりとし、載荷は 50tf 油圧ジャッキにより実施した。

下記項目に着目し、図に示す および の位置にて、変位計測を行った。

- (1) トラスのせん断変形
- (2) トラス支持部の局所変形
- (3) トラスパネルの縦り合わせ部のすべり

4.4 実験結果

4.4.1 せん断変形およびせん断剛性

「せん断変形の実験値」と変形より算出した「回転剛性」、「せん断剛性」を Table 4 に示す。A タイプ、B タイプでは、ほぼ同じ変形・剛性となることが確認された。また、実験値より算出したせん断剛性は、両方向ともほぼ同程度の値となっており、A・B タイプについて純せん断状態の剛性が評価できた。

Table 4 Test results

Test #	Measured value		Rotational stiffness kN/rad.	Shear rigidity kN/rad · m
	P kN	Shear defom. rad.		
A <sub>x</sub>	30	0.00066	45455	6588
B <sub>x</sub>	30	0.00076	39474	5721
A <sub>y</sub>	20	0.00077*	25974	6494
B <sub>y</sub>	20	0.00075*	26667	6667

\* Corrected for the axial deformation of bottom chord

4.4.2 繰り返し載荷の影響

Fig.6 に繰り返し載荷実験の荷重 - 回転角関係図を示す。図が示すように、最終ループまで試験体はほぼ完全な弾性挙動を示した。また、縦り合わせ部について計測したすべり変位の計測値も、ほぼ弾性挙動を示しており、すべり・残留変形は認められなかった。これにより載荷荷重 60kN (15kN/m) までの弾性挙動が確認できた。

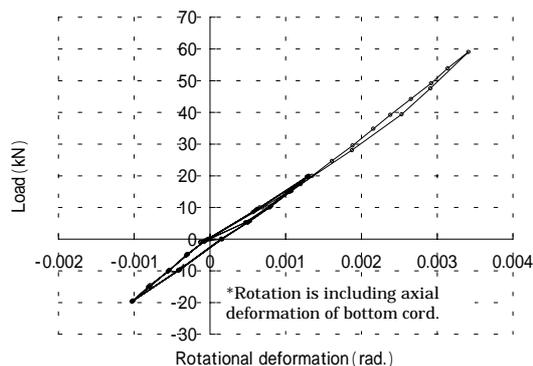


Fig.6 Load-rotation curve (B<sub>y</sub>)

4.4.3 トラスの評価モデル

三次元立体解析 (梁要素) により試験体のせん断変形の推定を試みた。解析モデルは Fig.7 に示すとおりで、寸法形状を試験体と同一とし、上下弦材は試験体同様山形鋼 2 丁の構成とした。また、縦り合わせ部は、3 軸方向の変位を互いに拘束し、回転を許す設定とした。特に、本構造では、部材接合部における付加曲げがせん断変形の主要な要素と考えられるため、解析モデルでは下記条件を実況に合わせて考慮することとした。

- (1) トラス節点の偏芯 (e1)
- (2) 縦り合わせ部の偏芯 (e2)

モデルの支持条件は、図に示すように長辺上側の加力方向の変位を解放、長辺下側の全変位 (3 方向) 拘束し、純せん断状態の変形を強制した。なお、変位拘束部の回転は 3 方向すべて解放とした。

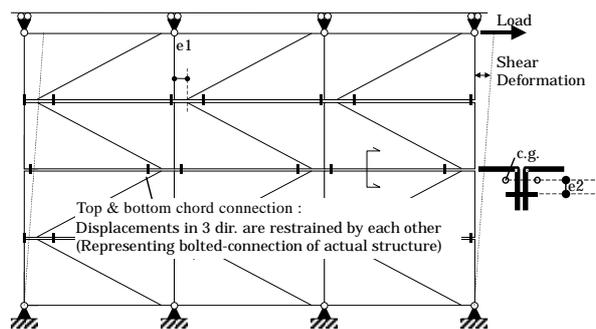


Fig.7 Analysis model (normal loading)

解析結果は Table 5 に示すとおりで、実験値と良く対応した。

Table 5 Comparison of test and analysis

Test #	P kN	Shear defom.		Test analysis
		Test rad.	Analysis rad.	
A <sub>x</sub>	30	0.00066	0.00077	0.86
B <sub>x</sub>	30	0.00076	0.0007	1.09

#### 4.5 適用検討

前項の評価モデルをもとに桁行き 36m 梁間 23m のトラス屋根につき、風荷重 (1522N/m<sup>2</sup>) に対して構面のたわみの評価を試みた。評価モデルは、前項で示した立体解析モデルの A タイプとし、試験体と同一の部材構成とした。モデルの境界条件は短辺の 3 軸方向変位を拘束、長辺は桁行き梁によって支持し、梁のトラス支持部となる節点に荷重を与えた。

解析結果は Fig.8 のとおりであった。図に示すように、最大たわみは 15mm (スパンの 1/2400) と小さく、構面が十分な剛性を保有することがわかる。

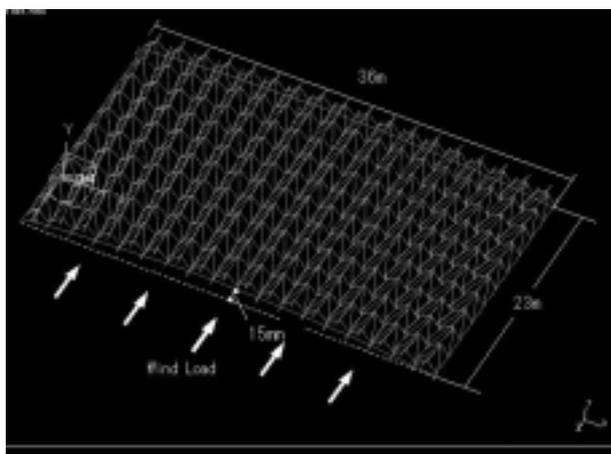


Fig.8 Analysis result of roof structure (36m x 23m)

#### 5. おわりに

屋根構面に新形式トラス構造を適用することで、従来構造に比較して、コストダウンと工期短縮が可能となることを確認した。また、本構造が十分な剛性を有していることと施工面でも問題のないことも確認できた。今後は清掃工場に限らず、大スパンを有する構造物全般に適用範囲を拡大して検討していきたいと考えている。

なお、本構造は Fig.9 に示すように、現在設計中のごみ処理施設の屋根構造に実適用の予定である。

<問い合わせ先>

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

基盤技術研究所 都市工学研究部

Tel. 044 (322) 6596 沖 晃司

okikoji@lab.keihin.nkk.co.jp

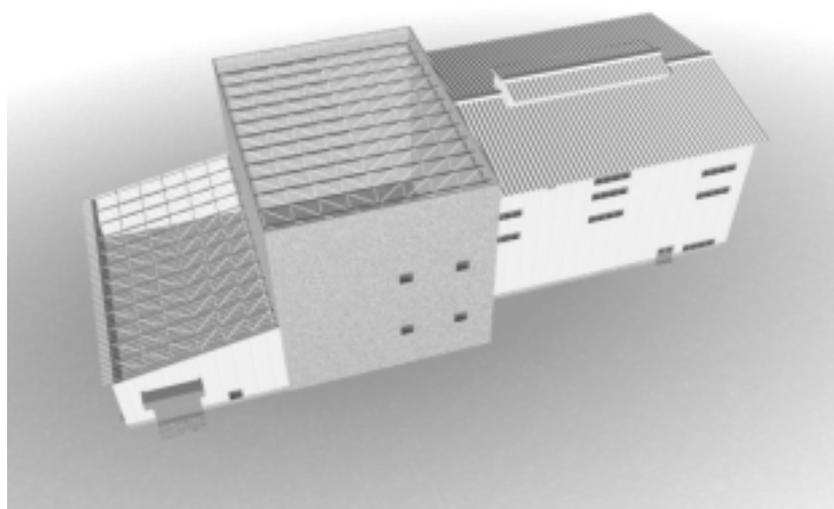


Fig.9 Application to the incinalation plant