要約版

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.28 (1996) No.3

米国における大スパン構造の設計とスライディング工法

Engineering and Erection Ｕｓｉｎｇ Sliding Method for Large Span Roof Structure in the U.S.A

一ノ瀬　満郎(Mituo Ichinose) 藤澤　一義(Kazuyoshi Fujisawa) 小保方　廣美(Hiromi Obokata)

要旨：
1991 年 10 月に完成した米国ユタ州ソルトレイクシティの新アリーナ DELTA CENTER のスパン長 105mの屋根トラスには川崎製鉄が開発したプレストレスト・スチール・トラスによるスーパーウィング構法が採用された。DELTA CENTER は 16 ヶ月という短い工期での工事であったが，屋根トラスの架設にスライディング工法を採用することによりトラス架設と地上での作業が並行して可能となり，工期内に竣工した。海外では初めてのスーパーウィングの工事であったが，設計面では川鉄エンジニアリング(株)，スライディング工法では川鉄機材工業(株)と共同することにより，7 週間でトラス全体の架設を完了した。

Synopsis：
A unique long span structural system named “Super Wing” which was developed by Kawasaki Steel was applied to a 105 m-span roof structure in a new arena of “DELTA CENTER” in Salt lake City, Utah in the United States in October 1991. Sliding method for the erection of the roof trusses contributed to shortening of the construction period of the arena, since the sliding method enabled simultaneous works performed at roof and on the ground. Kawasaki Steel executed the Structural roofing work together with the subsidiaries of Kawasaki Steel, Kawatetsu Engineering, Ltd. and Kawatetsu Kizai Kogyo, under their cooperation in exchanging of engineering and sliding method of roof trusses, respectively. It took seven weeks for the erection of the entire roof trusses.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

川崎製鉄技報
28 (1996) 3, 181-186

米国における
大スパン構造の設計とスライディング工法*

Engineering and Erection Using Sliding Method for Large Span Roof Structure in the U.S.A.

一ノ瀬 満郎
Mitsuro Ichinose
エンジニアリング事業本部 建設事業部 建築技術部 主査(課長)

藤澤 一善
Kazuyoshi Fujisawa
建材センター 建材事業企画部 主査(掛長)

小保方 廣美
Hiromi Obokata
エンジニアリング事業本部 建設事業部 建築技術部 主査(部長)

要旨

1991年10月に完成した米国ユタ州ソルトレイクシティの新アリーナ DELTA CENTER のスパン長105 m の屋根トラスには川崎製鉄が開発したプレストレスト・スチール・トラスによるスーパーウィング構法が採用された。DELTA CENTER は16ヶ月という短い工期での工事であったが，屋根トラスの架設にスライディング工法を採用することによりトラス架設と地上での作業が並行して可能となり，工期内に竣工した。海外では初めてのスーパーウィングの工事であったが，設計面では川鉄エンジニアリング(株)，スライディング工法では川鉄機材工業(株)と共同することにより，7週間でトラス全体の架設を完了した。

Synopsis:

A unique long span structural system named "Super Wing" which was developed by Kawasaki Steel was applied to a 105 m-span roof structure in a new arena of "DELTA CENTER" in Salt Lake City, Utah in the United States in October 1991. Sliding method for the erection of the roof trusses contributed to shortening of the construction period of the arena, since the sliding method enabled simultaneous works performed at roof and on the ground. Kawasaki Steel executed the structural roofing work together with the subsidiaries of Kawasaki Steel, Kawatetsu Engineering, Ltd. and Kawatetsu Kizai Kogyo, under their cooperation in exchanging of engineering and sliding method of roof trusses, respectively. It took seven weeks for the erection of the entire roof trusses.

1 はじめに

世の中の大空間への要求はますます強くなってきており，それに対応すべく当社はプレストレスト・スチール・トラスを採用した大スパン構造“スーパーウィング構法”を開発した[1]。これまでに工場，物流基地，航空機用ハンガーなどの産業施設を中心に体育館やアリーナなど大スパンを必要とする施設18件に採用されている。

その中でも米国ユタ州ソルトレイクシティに建設された DELTA CENTER (**Photo 1**) の屋根鉄骨工事は海外における本構法の初めての実施例であり，本構法の新規性と油圧ジャッキを利用したスライディング工法の採用による短工期が米国においても評価され受注に至ったものである。

本報では DELTA CENTER の建設に関して，米国におけるスーパーウィング構法による大スパン屋根トラスの設計とスライディング工法を含めた大スパン構造の架設工法について詳述する。

2 工事概要

DELTA CENTER は米国西部ユタ州ソルトレイクシティにおいて，1988年より計画が進められ，1990年6月に着工，1991年10月に竣工したバスケットボール，アイスホッケー，コンサートなどの会場として利用される多目的アリーナであり，米国プロバスケットボール協会 (NBA) に所属する「UTAH JAZZ」の本拠地としても使用されている。収容人数は最大22 000人，延べ床面積約51 000 m², 軀体は鉄筋コンクリート構造であり，アリーナ部分は地上4階，地下2階である。この軀体上部に架設されるスパン105 m の屋根トラスにスーパーウイング構法が採用された。アリーナの断面図を **Fig. 1** に示す。

スーパーウィング構法を採用した屋根トラスの概要を **Table 1** に示す。

スーパーウィング構法は，鉄骨トラスの下弦材にプレストレスを導入することにより，トラス鋼材量を低減して経済的な大スパントラスを実現するものであり，特にソルトレイクシティのように積雪の多い地域では通常のトラスと比較してその有利さは一層拡大する。

屋根トラス架設におけるスライディング工法とは，アリーナの一端でトラスを上架し水平に送り出し，それに続くトラスの上架，緊結，送り出しを繰り返すことにより屋根トラス全体を架設する工法である。本工法の利点は上架用の架台，高所作業用ステージが最小限で済み，作業効率，安全性が飛躍的に向上することであり，屋根トラスが地上から高いほどその効果は大きい。

ことに本アリーナでは，22ヶ月は必要とされた全体工期を NBA の

* 平成8年9月20日原稿受付

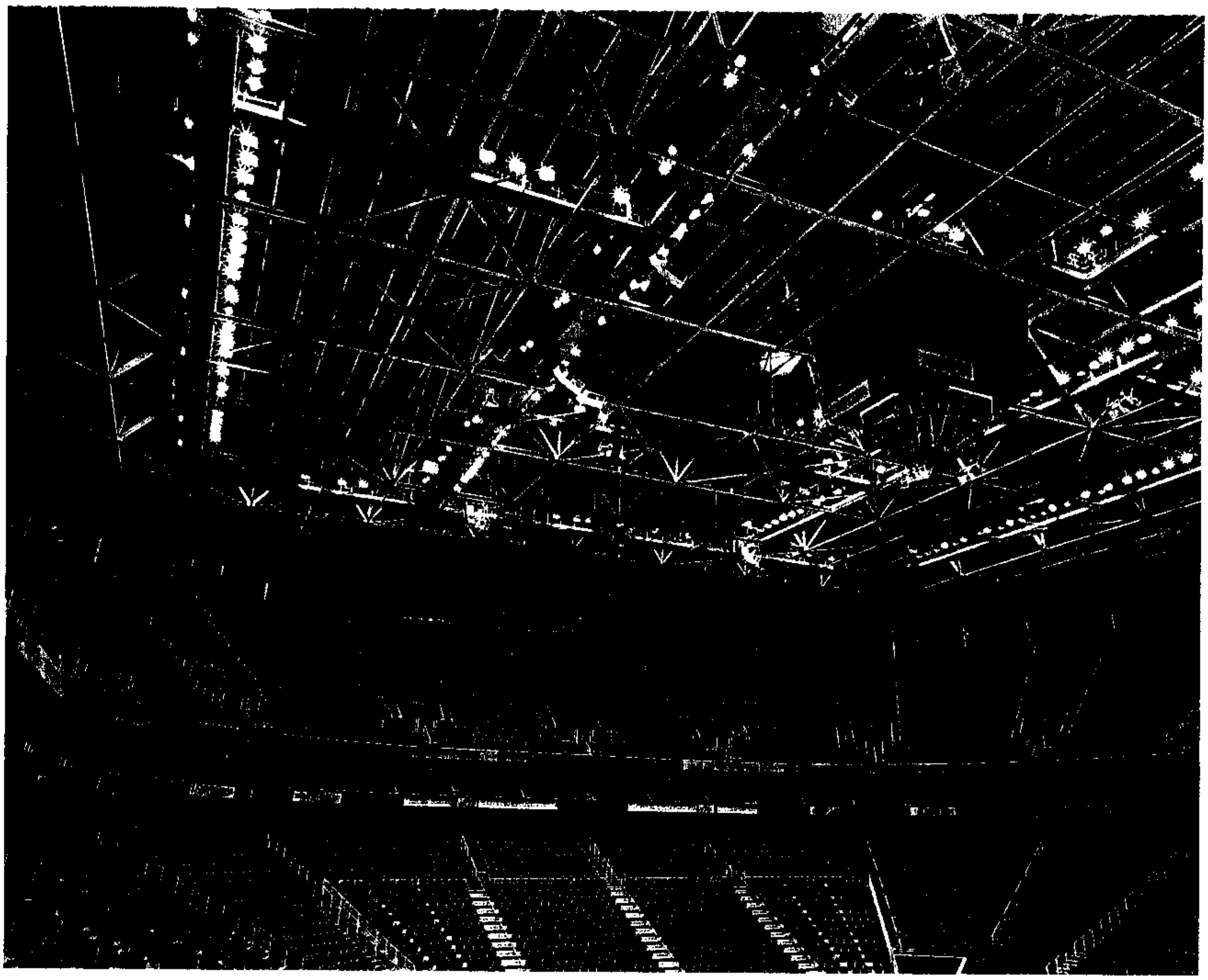

Photo 1 Interior view of DELTA CENTER

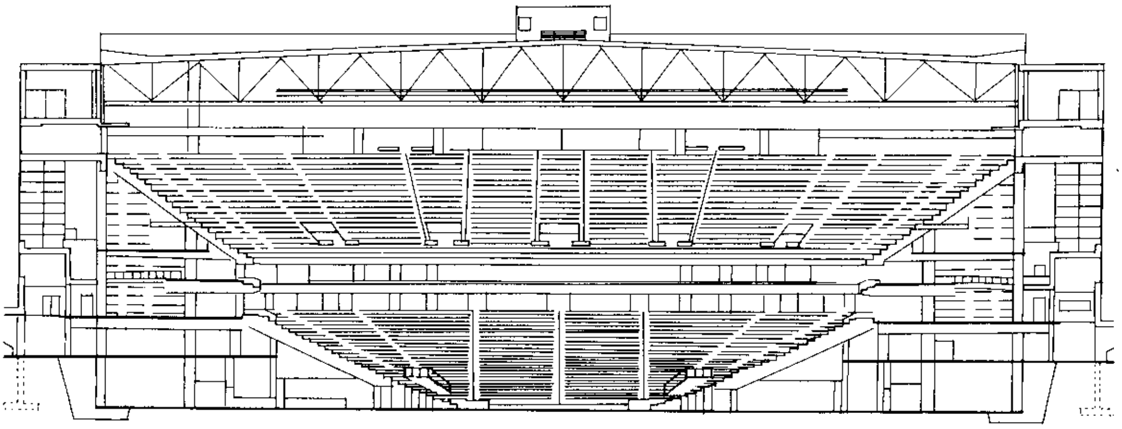

Fig. 1 Section of arena

シーズン開始にあわせるために 16 ヶ月で完了させせることになっており，通常は屋根トラス建方工事が完了した後に行う下部客席やアリーナ床面工事を，屋根トラスの建方と並行して実施できるスライディング工法の採用は必須のものとされた。

川鉄機材工業(株)の油圧ジャッキシステムを利用した当社のスライディング工法に関する提案は，ジャッキシステムの実績，信頼性が高い評価を得て受注に際しての大きな要因となった。

3 工事体制

米国の総合工事施工体制はわが国とは大きく異なり，実施設計を含めた実際の工事を各下請け工事業者が仮設，重機まで含めて施工

Table 1　Principal data of roof truss

Roof dimension	Span	(m)	105
	Bay	(m)	118
	Total area	(m^2)	12 390
Number of trusses			10
Dimension of roof truss	Length	(m)	105
	Depth	(m)	7.5
	Max. unit weight	(t)	83
Total weight of roof structure	Steel structure	(t)	1 313
	PC strand	(t)	27
	Total	(t)	1 340

Table 2　Loading condition for roof truss

Dead load	Truss & roof	(kg/m^2)	164
	Catwalk	(kg/m)	119
	Scoreboard	(kg)	18 143
	Ventilator	(kg)	20 411
	Curtain wall	(kg/m^2)	98
Live load	Concert load	(kg)	45 359
Snow load		(kg/m^2)	168
Seismic load		(factor)	0.1375
Wind load	Windward	(kg/m^2)	105
	Leeward	(kg/m^2)	66
	Upward	(kg/m^2)	92
Temperature fluctuation		(°F)	40

する。ゼネコンはコスト，工程，品質，安全に関する各下請け工事業者間および施主，行政との調整を主な業務とし，その対価としてフィーを得ている。当社は屋根トラス工事の設計から施工までを下請けとして請け負っており，設計，鉄骨加工，建方といった屋根トラス工事に関わる全ての責任は当社が負うことになる。

当社が受注した屋根トラス工事では，設計は川鉄エンジニアリング(株)と共同で行い，鉄骨加工，建方などは現地業者を起用した。また，主トラス弦材である極厚H形鋼とプレストレス導入のためのPCストランドは日本製を使用し，スライディング工事に使用するジャッキシステムについても前述の様に川鉄機材工業(株)のものを日本より持ち込んでいる。

4　設計概要

日米間の工事体制の差異については前節で述べたとおりであるが，設計，建築許可に関しても日米で事情は大きく異なる。設計，工事を含めて事業費は銀行からの融資でまかなうため，着手すれば金利負担の軽減のために工事の早期本格化と最短での竣工を図る。そこで考えられたのが「FAST TRACK」と呼ばれる手法であり，工事の進捗に合わせて詳細設計を詰めていくというものである。逆に言えば着工時の設計図は基本計画図（一般図，完成予想図など）が有るに過ぎず，構造図，詳細図はほとんど無い。詳細設計，構造設計はオーナーアーキテクトの要求に従って各下請け工事業者が行うこととなるが，本工事のように下部軀体と屋根トラスの工事業者が異なる場合には，建物全体での構造解析は工程面から実施が難しく，それぞれ個別に設計を行い建築許可を取得することとなる。

さて，米国では大別して3つの設計基準があり，各州または郡，市によりいずれかが採用されており，本工事では米国西部を中心に採用されているUBC CODE 88年版に従っている。屋根トラス設計用の荷重条件を**Table 2**に示す。

鋼構造設計規準はAISCによる許容応力度設計法(ASD)と荷重，耐力係数設計法(LRFD)の2つに大別されるが，いずれを選択するかは設計者の判断に委ねられていることも米国での設計に関する日本との大きな違いである。本工事では，設計法に対する習熟度や構造特性に対する我々の適応性を勘案し許容応力度設計法を採用した。

わが国においてはスーパーウイングのような新構法は個別の建設大臣認定を必要とされるが，米国においては建築許可の取得が必要なことに変わりはないものの，構造計算そのものは構造設計者の裁量に任されている。本構法に関してはすでに数多くの実験，解析によりスーパーウイングトラスの安全性を確認していることの他，日本においてすでに大臣認定を取得していることや日本における採用実績によりソルトレイクシティ市役所による審査を問題無く通過することができた。審査時に確認を求められたのは下記の3点であったが，全て問題の無いことを確認している。

（1）　PCストランド破断時のトラスの構造安定性
（2）　極低温時（－20℃）でのPCストランドの強度，靱性
（3）　火災時におけるPCストランドのポリエチレン被覆からの有毒ガス発生の危険性

5　実施設計

屋根トラスの実施設計開始時点ではすでに軀体部分の設計は終了し，建築許可も受けて工事に着手していたため，下部構造に影響するトラス支承部から過度のスラストを発生させないことが屋根トラスへの設計要求であった。スラストを作用させないためにトラスは，1端がピン支持，他端がローラー支持の単純支持とし，屋根面全体の水平方向の拘束は上下弦構面に配置される水平ブレースにより，また屋根面からの水平力はこれら水平ブレースを介して下部軀体8カ所に設けられた耐力壁に伝達させる設計とした。

ピン状態を実現し，かつスライディング時はもとより最終架設時においても安定な支承部とするために，トラス両端の支承部には1°までの回転を許容できる橋梁用支承を用いている。この支承の底部にはテフロンが埋め込まれており，軀体側に設置されたステンレスシートとテフロン間の低い摩擦係数により摩擦力によるスラストを発生させないすべり支承となっている。この支承は屋根トラス架設時の円滑なスライディングにも利用される。

PCストランドの定着部の耐圧盤は有限要素法による応力解析で安全性を確認し，桁構面については，スライディング時の牽引力を確実に伝達出来るように部材断面の算定と接合部の設計を行っている。

6　屋根トラスの製作

トラスを含めて屋根鉄骨の製作はソルトレイクシティの鉄骨加工工場でおこなった。全長105 mのトラスは，現場接合位置，施工性に加え，現場までの道路事情の調査をもとに，運搬可能な35 mの長さの部材に3分割して現場に搬入することにした。運搬状況を**Photo 2**に示す。

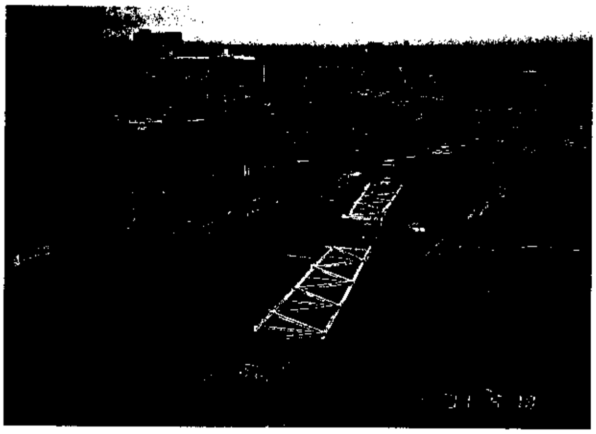

Photo 2 Transportation of truss

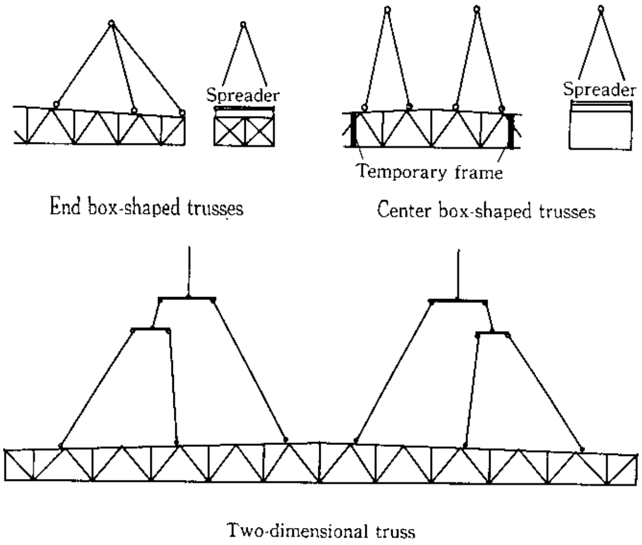

Fig. 2 Hoisting method

7 アリーナ屋根の施工

7.1 施工手順

全長105 mの鉄骨トラスは，それ単独では面外剛性が小さく自立できない。さらにスーパーウィング構法では下弦材にプレストレスを導入するため，屋根トラスの建方に際しては，トラスの安定性の確保が重要となる。

スライディング工法を組み合わせたスーパーウィング屋根トラスの建方の手順を下記に示す。

(1) はじめの2本のトラスを箱組みしてトラスの面外剛性を確保する。
(2) この2本のトラスにプレストレスを導入する。
(3) 箱形の2本のトラスを1スパン分送り出す。
(4) 次のトラスを面組して建方し，箱形トラスとはり・ブレースより構造的に一体化して面外剛性を確保した後，プレストレスを導入する。
(5) 1スパン分スライドさせる。
(6) 上記(4)(5)の手順を繰り返す。

以下に上記手順を詳述する。

7.2 鉄骨上架

トラスは3分割で現場に搬入されるため，まず地上で箱組または面組される。建方クレーンの容量から，箱組トラスは3分割で，面組トラスは一体で建方される。3分割箱組トラスは上架後に一体化されるが，そのためにはトラスの接合位置に支持構台が必要となる。この支持構台はアリーナ内部のスタンドに設置されており，建方時の自重およびプレストレスによるトラスの内部応力，変形制御のため油圧ジャッキを設置している。これは面組トラスの建方時にも同様に利用される。トラスの上架を行うアリーナ端部の1スパンには作業用プラットフォームが設置され，作業の安全確保，能率向上が図られている。

すでに述べたようにトラス自体はトラス面外の拘束がないため単独では不安定な構造である。上架時にも吊り方によってはトラス部材に圧縮力が作用し面外に座屈する。上架時の吊り方を **Fig. 2** に示すが，箱組トラスの上架に際してはつなぎ材の座屈を防止するためにスプレッダを介している。面組トラスについては建て起こしから上架へと移る際にワイヤー所要長さが変化するため，吊り治具としててこを利用することにより所要長さの変化に対応している。また，吊り位置については上架時に105 mという大スパントラスが面外に座屈しないように設定しているが，てこの利用は吊り荷重の均等化にもつながり座屈防止効果があったと考えられる。**Photo 3** に箱組トラスの上架状況及び作業ステージを，**Photo 4** に面組トラスの上架状況を示す。

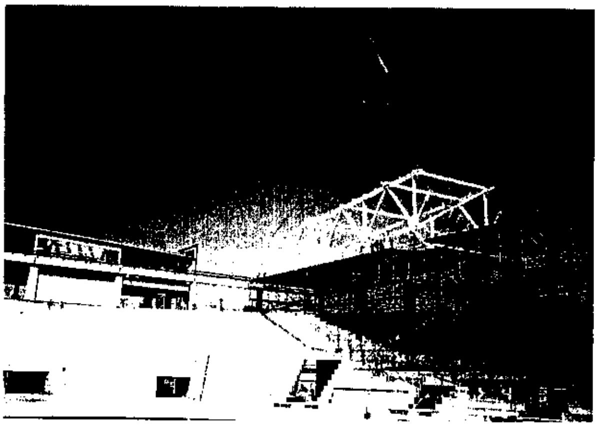

Photo 3 Hoisting boxed truss

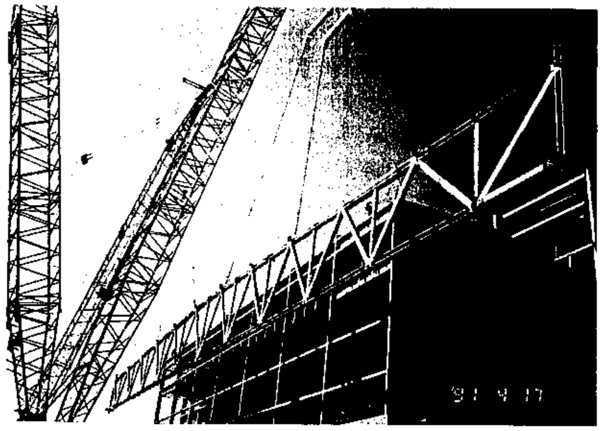

Photo 4 Hoisting assembled truss

7.3　プレストレス導入

上架されたトラスと既上架のトラス間のつなぎ材，ブレースといった二次部材が建て入れされた後，PCストランドを緊張する工事を行う。

PCストランドはトラス下弦材のウェブに沿わせて1本のトラスにつき2本設置している。荷重条件の違いにより，導入プレストレスは320 t（160 t/本）および237 t（118.5 t/本）の2種類であり，容量200 tの油圧ジャッキを2台使用し，2本のPCストランドに同時にプレストレスを導入した。

プレストレス導入管理はジャッキの油圧とPCストランドの見かけの伸び量（伸び量＋下弦材縮み量）を測定することにより行った。**Fig. 3**はプレストレス管理図の一例であるが，予め計算によって求めた油圧と伸び量の関係から乖離していないことを確認しながら，最終的には設計プレストレスに対応する油圧ならびに伸び量が0%～＋5%の範囲に入るように管理している。

7.4　スライディング工事

スライディング工事の各部概要を**Fig. 4**に示すが，トラス上架の反対側に設置されたスライド用油圧ジャッキはステップロッドと呼ばれる節の付いた鋼製ロッドを介しトラスとつながれている。スラ

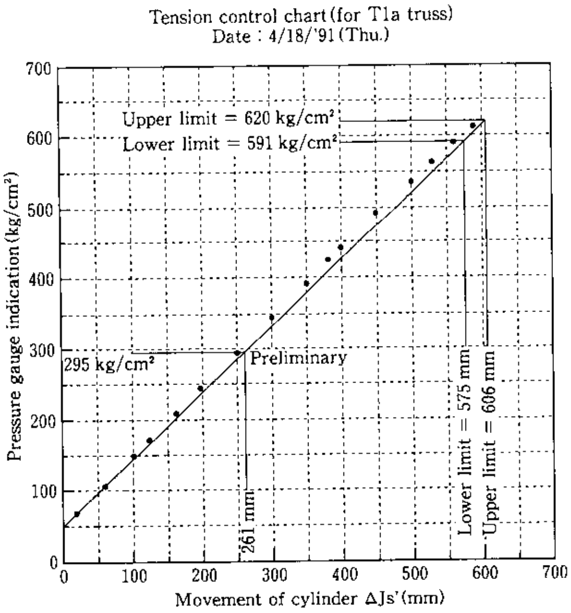

Fig. 3　Control chart for pre-stressing work

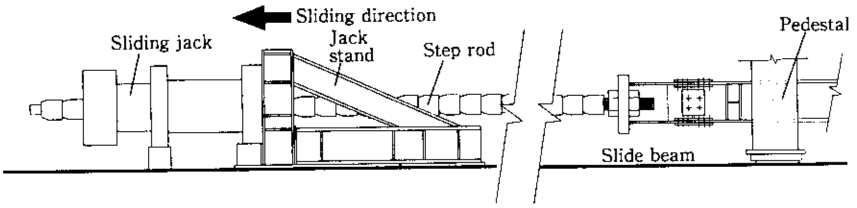

Fig. 4　Sliding equipment

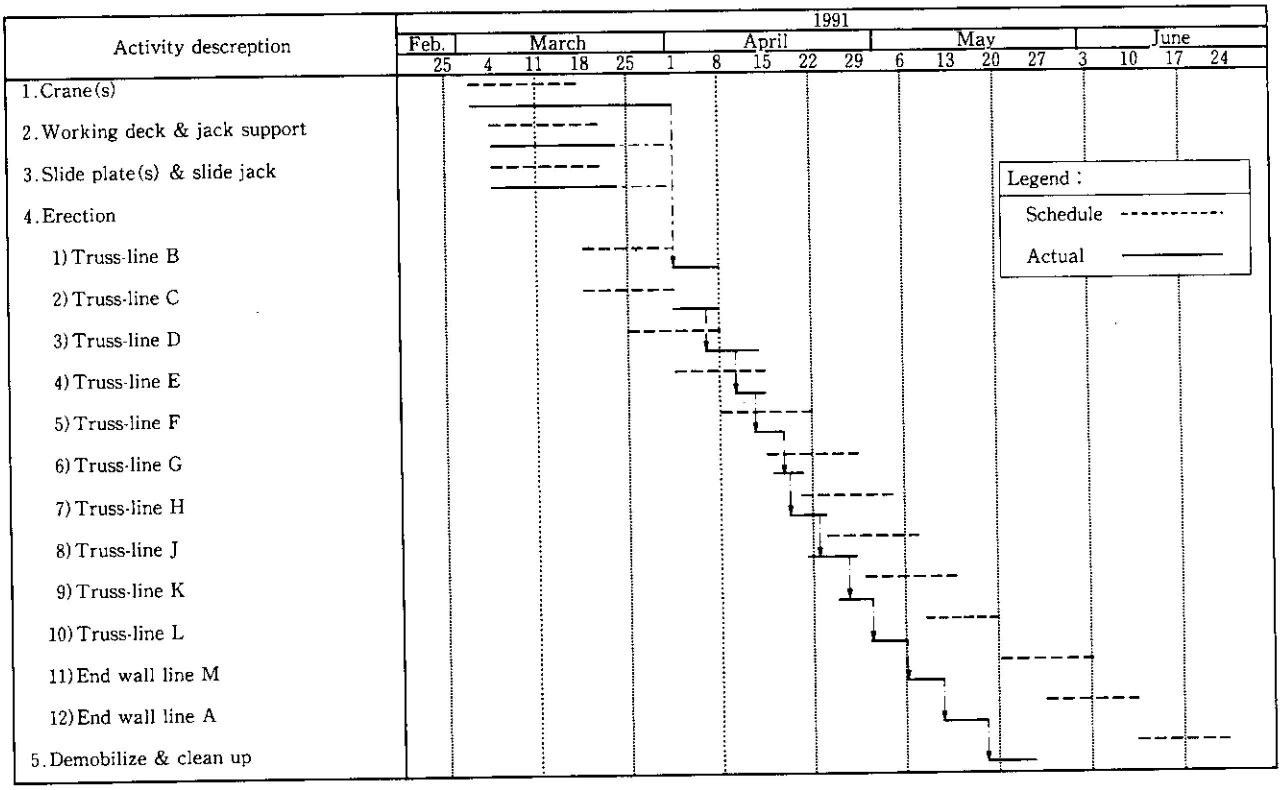

Fig. 5　Construction schedule of super wing truss

イド面にはステンレスシートが敷設されており，液体洗剤を塗布することにより，前述のトラス脚部に取り付けられているすべり支承底部のテフロン間との低い摩擦係数（0.1以下）によりスライディングに必要な荷重（牽引力）は低く抑えることができる。スライディング時に考慮すべき最大重量は約1 000 tであり，摩擦係数及び安全率を考慮して容量150 tの油圧ジャッキ2台を使用している。

スライディング工法における最大の課題は，105 m 離れたトラスの両端を個別の油圧ジャッキで牽引する際，両端のすべり抵抗が実際には異なるため，同一の力で牽引しても移動速度および移動量に差が生じ，結果としてトラスが蛇行してしまうことである。すなわち，スライディング時には移動速度と移動量の制御が重要である。

スライド機器の選定にあたっては現地調達可能なシステムについても検討したが，左右スライド量の制御機構の信頼性と機器の操作性から川鉄機材工業(株)製の油圧ジャッキシステムを採用した。このジャッキシステムはステップロッドとの併用により1ストロークのスライド量が150 mmと一定であり，左右のスライド速度が何らかの理由で差が生じた場合でも1ストロークごとの最終的な移動量に差が生じない機構となっている。移動速度の初期設定後の2台の油圧ジャッキの制御はコントロールパネルで一括して行うことができるため作業は容易である。各トラス脚部にはトラスの蛇行防止のためにガイドローラーを設置している。

1回のスライド量は10.7 mであり，これに要する時間は約2 hであった。スライディング工法を採用した結果，屋根トラスの架設は両妻面の骨組みも含め，架設工事のみで8週間，仮設ステージやクレーンの組立・解体を含めても12週間で完了することができた。実施工程表を **Fig. 5** に示す。

8　おわりに

川崎製鉄が米国ではじめて設計，施工したスーパーウイング構法を用いた屋根トラス工事について報告した。本工事は，川崎製鉄の建築および構造技術者を中心に，設計では川鉄エンジニアリング，スライディング工法では川鉄機材工業(株)と川鉄グループの技術を結集して実施したものである。また，トラス主部材となる極厚H形鋼やPCストランドについても川崎製鉄の製品を採用し，工事の品質確保に万全を期した。

今後も，設計や工法に一層の工夫をこらし技術的競争力を高めるとともに，川崎製鉄の総合技術を発揮できるスーパーウィングを利用した事業展開を図って行きたい。

参 考 文 献

1)　小阪　清，武元弘之，橋本順次，小泉秀夫，藤澤一善，山本　昇：川崎製鉄技報，20(1988)4，65