

# 建築鉄骨の製作技術

— 技報30年にみる変遷 —

千葉大学名誉教授

森 田 耕 次



## 1. 東京スカイツリー®の鉄骨

東京スカイツリー®が2012年5月に開業し、事業者の想定を超える大勢の入場者が訪れていることがテレビ・ラジオ・新聞などで報道されています。

訪れる観光客は、東京スカイツリーのそりとむくりを基調にした雅な形状が、古代の五重塔での心柱制振を構造設計に甦らせた耐震性に優れた構造体で、建設中であった2011年3月の東北地方太平洋沖地震でも無被害であったという報道を思い起こし、また、目のあたりにする構造体が（厚肉）大断面の円形鋼管で構成され、多数の鋼管が立体的に精度良く溶接接合されていることを見て、日本の構造設計と建設技術の進歩に感心し、改めて自信を感じていると思います。

最近の超高層建築は、東京スカイツリーを始めとし、建物の形態や空間用途の自由度が高い計画が多くなっています。構造設計者は多様な製造法により製造された厚肉大断面の建築構造用高性能高張力鋼材を、各種の制震デバイスと巧みに組み合わせて、適材適所に活用することにより、構造設計の自由度が格段に拡がり独創的な空間を創出しています。

鉄骨加工業者は、構造設計の流れに対応し、高張力鋼を用いた厚肉大断面の部材が立体的に複雑に取り合う構造に対し、充実した溶接プロセス管理を行い精度良く製作する技術と品質保証能力を着実に高めています。また、建設施工業者は高度な生産マネジメントと建設技術により、建設中の建造物の耐震性も確保して建設を進めております。

建物の形態や空間用途の自由度が高い構造は鉄骨構造の重要な特長であり、その実現には構造設計者、鉄骨製作技術者、および施工技術者の協力が不可欠であると考えます。

## 2. 鉄骨製作技術の変遷

1970年代の中頃に研究室の卒業生の一人が当時の（株）駒井鐵工所に就職して以来、研究室の大学院生および学部の卒論生と松戸市松飛台にあった東京工場

で建築鉄骨の製作工程を毎年見学する機会を作っていました。工場見学の後で、工場近くにありました厚生施設で工場の技術者と懇談会も開いて鉄骨製作について語り合いました。この機会のお陰もあってか鉄骨製作に関心のある卒業者が就職しました。研究室の卒業生達を通して（株）駒井ハルテックの建築鉄骨製作の技術動向について教えて頂いておりますが、この30年間で鉄骨製作の技術は大きく変貌して高度化しております。そこで、技報により技術の変遷の過程をみます。

a) 成田山新勝寺大塔建立工事 駒井技報 Vol.1,1982<sup>1)</sup>に鉄骨工事完了時の写真が掲載されています（写真-1参照）。高さ58.1mの仏塔の大屋根鉄骨は美しい曲面で形成されていますが、当時は、鉄骨製作に2次元CADも採用されていない時期で、工作図・現寸図は全て手書きであり、鉄骨の製作には大変な苦労が必要になったと考えられます。担当者は当時を次の様に振り返っています。

「大塔はGコラム柱、BH十字柱、BH・RH梁など多品種製品を使った鉄骨造です。

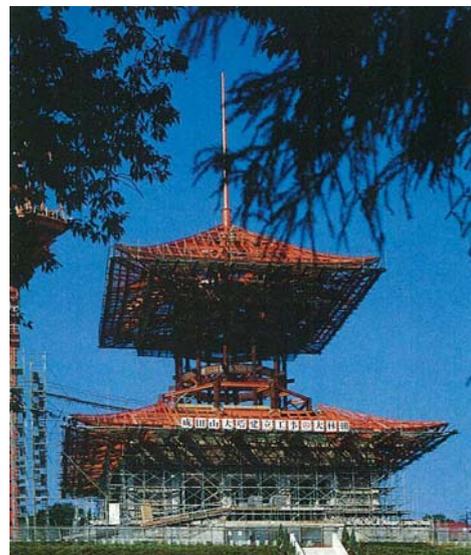


写真-1 成田山新勝寺大塔の鉄骨

社寺建築は屋根の曲線が命です。先端が下がったように見えない曲線や反り過ぎない安定した曲線等の独特の曲線が要求されます。大塔も二重の屋根部の曲線が重要であり、担当した宮大工が決定した曲線に鉄骨が納まるように現寸作業で確認しながら鉄骨を決めていくという内容でありました。

現場にてベニヤ板で大きな壁を作り、そこに宮大工が屋根曲線を書き全体を眺め、上がり下がりの指示をして曲線を決める方法でした。その曲線を現寸フィルムに写し取り、現寸場の床に落として鉄骨の収まりを確認しました。工作図作成、寸法の表現、製品検査の対応等、初めての経験で大変苦勞した記憶があります。

屋根梁や母屋材等の曲げ作業は特別な曲げ型を作成し、油圧プレスで細かに押し曲げて宮大工の求める曲線に納まるよう手作りの鉄骨製品が多くあり、経験豊富な技能者や熟練工に助けられた工事でありました。

工場には CAD をはじめ多くの最新生産設備が導入されていますが、技能者や熟練者の物づくりの経験や知識を活かし、設備をより効率的に活用して難易度の高い鉄骨構造物に取り組み、作業員の育成や技術力の向上に努めることの大切さを学べた工事として、強く記憶に残っています。」

工作図に 2 次元 CAD を採用し始めたのは、1985 年完成の新霞ヶ関ビルからだそうですが、この頃は部材に曲げ加工が必要で、取り合いディテールが複雑な箇所部分的に採用していたそうです。

**b) ボックス柱** この頃から超高層建築において、柱の角継手に大電流 2 電極サブマージアーク溶接法、柱のスキンプレートと内ダイアフラムの継手に立向溶接のエレクトロスラグ溶接法を採用したボックス柱が普及してきました。駒井技報 Vol.7,1988<sup>2)</sup>に鉄骨ボックス柱自動溶接施工マニュアルが紹介されています。この大電流 2 電極サブマージアーク溶接法の継手性能については、(財)日本建築センター、鋼構造評定委員会、「『札幌第一地方合同庁舎建築工事鉄骨工事』の角鋼管柱のかど継手溶接部に用いる大電流 2 電極タンデムサブマージアーク自動溶接 (1 層盛り) の継手性能」(BCJ-S773)として 1986 年 7 月に評価を受けています。

**c) J T 本社ビル (仮称)** 駒井技報 Vol.13,1994<sup>3)</sup>にスーパービームの製作記録が掲載されています。このスーパービームは地上高さ約 20m の吹き抜け空間を架ける全長 39m の断面せい 6.1m、幅 1.6m (最大板厚 70mm) の総重量が約 380ton のスーパービームです(写

真-2 参照)。この工事の工作図は手書きで、詳細検討は現寸作業で行ったそうです。担当者は当時を次の様に振り返っています。

「製作に際し、以下の点で課題がありました。①スーパービームの精度確保、②スーパービームにおける複雑な内ダイアフラム形状を有する部材の製作方法、③長さ 1600mm のエレクトロスラグ溶接への挑戦。

スーパービームの精度は、組立・溶接順序の工夫および端部削成による長さの決定などにより単品部材の精度向上を図り、また仮組立てを行って精度の確認を行いました。スーパービームにおける複雑な内ダイアフラム形状を有する部材については、模型を製作する等して、組立・溶接順序を計画し製作を行い、品質を確保しました。長さ 1600mm の内ダイアフラムの溶接には、1 電極式のエレクトロスラグ溶接の適用を図り、施工試験を経て採用しました。」

1990 年代には既に長さ 1600mm の内ダイアフラムのエレクトロスラグ溶接 (ESW) の施工技術が確立していたわけです。



写真-2 J T 本社ビル (仮称) のスーパービーム

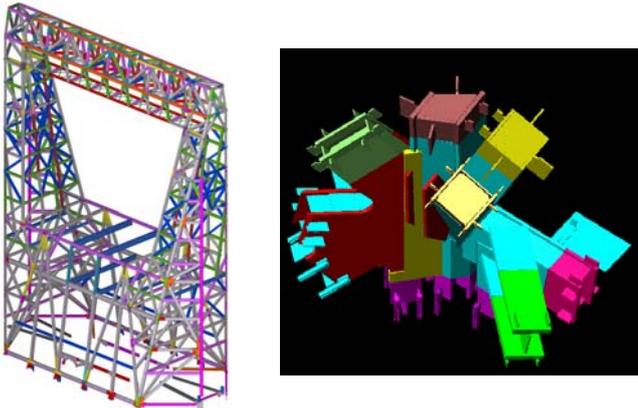
**d) 上海環球金融中心** KOMAI TECHNICAL REVIEW Vol.1,2008<sup>4)</sup>に上海環球金融中心で、多数の部材が立体的に複雑に取り合う頂部トラス部材の製作および寸法計測に 3 次元 CAD が活用されたことが掲載されています(図-1 参照)。

3 次元 CAD は 2 次元 CAD では製作が困難な箇所部分的に、東京湾横断道路川崎人工島換気塔 (1995 年) や横浜港国際客船ターミナル (2002 年) 等で採用されていたそうですが、本格的には上海環球金融中心で活用され始めたそうです。本工事の工作図の担当者は当時を次の様に振り返っています。

「頂部のガラスカーテンウォールは複雑な曲面により構成されていて、鉄骨を外観で美しく見せるために

は、ガラスカーテンウォールの曲面に沿って鉄骨のセットバック量を一定に保つ必要がありました。鉄骨は異形ボックス断面であり、一定のセットバック量を保つには部材向きの決め方およびジョイント部の食違い処理要領に苦労しました。」

この苦労した経験が東京スカイツリーの製作に引き継がれました。



a) 頂部トラス      b) 3次元CADによる作図例

図-1 上海環球金融中心の頂部トラス

**e) 東京スカイツリー®の鉄骨** 駒井ハルテック技報 Vol.1,2011<sup>5)</sup>に東京スカイツリー®の鉄骨製作技術の紹介が掲載されています(図-2、写真-3参照)。3次元CADを活用した工作図の担当者は当時を次のように振り返っています。

「通常のビル建物は通り芯および東西南北の四方向で部材の位置、向きを定義できます。東京スカイツリーは3次元パイプトラスのため、掴み所がなく、通常の方法では部材の向きを定義できません。そこで「天芯」という手法を取り入れました。天芯とは、パイプの表面上にあり、部材軸に平行して、天(そら)に最も近いラインのことです。水平面における天芯と絶対方向(北方向)との交角からパイプ部材の向きを定義することができました。設計・製作・建て方の各工程においては、この天芯は精度を決める要となります。三角関数を使えば手計算でも天芯を求められますが、大変な労力が必要となり、数万ピースもある東京スカイツリーのパイプ部材の天芯を手計算で求めるのは工程的には不可能であります。幸い現在の3次元CADは瞬時に天芯を見つけてくれるので、莫大な計算量を短期間で処理できました。

東京スカイツリーの足元に立って見上げる時に、「このパイプ部材の天芯はどこにあるだろう」と想像を巡らすのも楽しみのひとつではありませんか。」

また、鉄骨製作の技術担当者は当時を次の様に振り返っています。

「東京スカイツリーは、大きな特徴として、厚肉大径鋼管を用いたトラス構造であること、特殊な新規開発材である高強度鋼を使用していること等が挙げられます。このため、寸法精度の確保、輸送計画、鋼材および溶接部の品質確認を事前に検討していくことが、急務でした。

寸法精度に関して、大径鋼管の製作可能精度を事前に調査し、構造設計者、監理者、施工者に資料を提示して、実工事での製作許容差に反映して頂くことが出来ました。また、分岐管の溶接部のディテールが設計者より提示された際、実際に施工が出来るかを各社検討し、パイプコースターのソフトを本工事に開発させるなどの対応をしました。レーザー芯出し器を分岐管の組立精度、鋼管切断時の直角度確保のために活用し、顧客要求精度に対応することが出来ました。

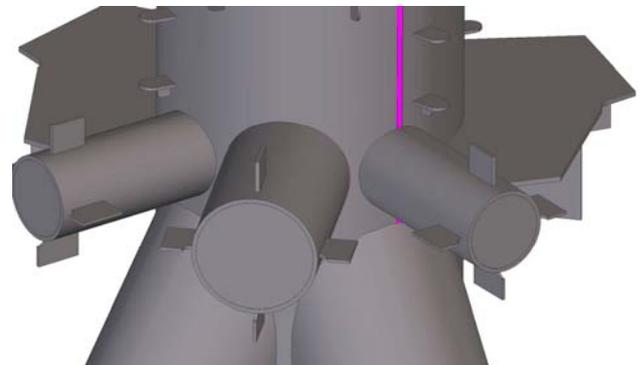


図-2 鋼管分岐継手



写真-3 分岐管の組立状況

輸送計画や納まり検討については3次元CADを活用し、設計段階から設計者、施工者と調整しながら現場継手位置を決定しました。また、接合部干渉確認を3次元CAD上で行い、納まりの検討を行いました。

新規開発材対応に関して、鋼種毎に材料試験、溶接施工試験、溶接技量試験を行ったため、過去に例の無いほど多くの試験立会を行ったのが大変でした。」

最近の超高層ビルでは公開空地、事務所、ホテル、劇場、店舗などの複合用途のものが多く、構造計画においては、空間用途の自由度を高めるため構造切替階により柱の割り付けを変化させることが多く、写真-4に示すように、高強度鋼材による厚肉大断面のボックス、円形鋼管、H形断面の部材が立体的に取り合う接合部ディテールが多くなっています。この様な鉄骨を高い品質を確保して、精度よく製作する技術の展開の一端を技報によりサーベイしました。

### 3. 高度な鉄骨製作技術を中低層建築に適用

建築鉄骨の95%以上は中低層建築に使用されています。中低層の鉄骨建築物が、1995年1月の兵庫県南部地震で甚大な被害を受けました。中低層建築の耐震性向上は、重要な課題であります。中低層建築の設計・製作に超高層建築で展開された構造設計手法、例えば制震デバイスを巧みに組み込むこと、および開発されてきた鉄骨製作技術を適用していくことが必要と考えられます。高度な鉄骨製作技術の適用例として、KOMAI TECHNICAL REVIEW Vol.2,2009<sup>6)</sup>に紹介されている図-3に示すノンダイアフラム形式接合部の開発が注目されます。この開発は、超高層建築の大電流2電極サブマージアーク溶接法によるボックス柱の製作技術を中低層建築の柱梁接合部の部品製作に適用するもので、この部品を使用することにより、柱梁の取り合い詳細が、特に取り合う複数の梁の梁せいが異なる場合など、顕著に単純化され、柱梁接合部の溶接施工性が良くなって建物の耐震性向上に貢献できると考えられます。この開発が成功し、事業化されることを期待しております。

### 4. 技術者の継続的な育成

駒井ハルテックの技報をサーベイし、担当者の当時の苦労を伺うと、工学部建築学科を卒業した技術者が、多様な建築鉄骨の製作を通して、鉄骨製作技術の高度化に誇りをもって貢献してきた努力が読み取れます。

鉄骨製作業界の活力は良き技術者の継続的な育成に懸かっていると考えられます。良き技術者には高い職業倫理と鉄骨製作技術、工程管理、品質改善活動に対する能力に加えて、鉄骨構造の設計に対する基礎知識をベースに持って設計者、施工者へ技術提案ができる折衝能力が必要であると私は思っております。この観点からも鉄骨製作業界には工学部建築学科を卒業した技術者の活躍の場が大きいことを、建築を学んでいる学生さんにアピールしていくことの重要性を痛感しております。



写真-4 構造切替階の鉄骨製作状況

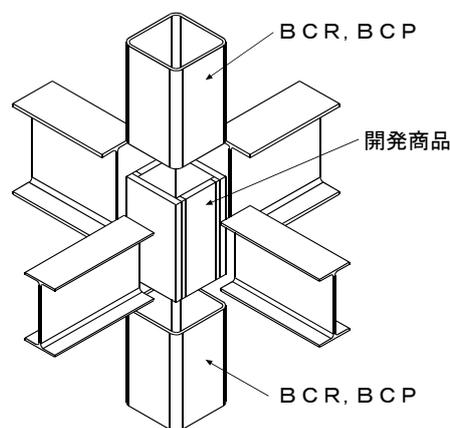


図-3 ノンダイアフラム形式接合部

#### [参考文献]

- 1) 駒井技報 Vol.1,1982
- 2) 駒井技報 Vol.7,1988 pp.61～66
- 3) 駒井技報 Vol.13,1994 pp. 34～41
- 4) KOMAI TECHNICAL REVIEW Vol.1,2008 pp.2,3,17
- 5) 駒井ハルテック技報 Vol.1,2011 pp.6,7
- 6) KOMAI TECHNICAL REVIEW Vol.2,2009 pp.30～33