

溶接技術の粋を集めて製作されている東京スカイツリー®

—製作現場見学雑感—

ロイド・レジスター・ジャパン

平井 征夫

東武タワースカイツリー(株)が建設中の東京スカイツリー (図1)¹⁾ は、(株)日建設計の設計・監理、(株)大林組の施工で2008年8月に着工され、2011年末に完成の予定である。高さ634mのタワーの品質も工程も、鉄骨製作とりわけ溶接技術で決まると言っても過言ではありません。



図1 東京スカイツリー全景 (2011.3.18に634mに到達)¹⁾

デザインとともに、より高い構造安全性が要求されることから、設計、鋼材及び施工法に新しいアイデアが取り入れられ、溶接技術者にとって注目される建築構造物である。部材加工は大手建築ファブ3社が担当しているが、各社ともWES特別級等として認証されている溶接管理技術者のもとで溶接管理システムを構築し、かつAW検定協議会に認定された優れた溶接技能者によって、信頼性の高い溶接構造物が短納期で製作された。日本溶接協会の各種部会・委員会等の多くのメンバーが、東武タワースカイツリー(株)、(株)日建設計、(株)大林組及び(株)駒井ハルテック殿のご好意によって建設中のタワー及び部材加工工場を見学させて頂いた。その概要について紹介する。なお、スカイツリーの作

り方については(株)大林組 HP に紹介されている。(http://www.skytree-obayashi.com/technique/basic/)

1. タワーの概要

タワー本体は鋼材約 34,000 トンを使用した鉄骨構造で、この大きな躯体を支える基礎は地下約 35m の RC 連続地中壁杭からなっている。同じ鉄骨造の東京タワー（1958 年竣工）が鋼材 SS41 をリベット接合で組立てられたのに対して、スカイツリー本体は新しい高張力鋼を使用した巨大な溶接構造物である。タワーの塔体は鋼管トラス構造で、その内側はシャフトと心柱（階段室）で構成されている。外観は地上近傍では三角形状であるが、300m 高さ以上では円形断面となっており、角度によってはねじれたタワーに見える。このため、部材加工において溶接変形と寸法精度の厳しい管理が要求されるものと推測される。

2. タワーの耐震設計

耐震性能を高めるために 3 種類の制振システムが採用されている。一つは日本古来の五重塔と同様の発想から生まれた制振構造を活用したもので、鉄筋コンクリート造の心柱と外周部の鉄骨造塔体を構造的に分離し、中央部の心柱上部を「重り」として機能させた新しい制振システムである。地震時などに、構造物本体とタイミングがずれて振動する付加質量を加えることで、本体と重りの揺れを相殺させて、構造物全体の揺れを抑制するもので、心柱を付加質量に用いた例は世界初とのことである。また、オイルダンパー、頂部制振装置を設置することでさらに耐震性が高められている。

3. 新しく開発された鋼材

タワー本体に使用されている約 34,000 トンの鋼材の大部分は高強度鋼管で、外径 500～2,300mm、管厚 19～100mm と幅広いサイズとなっている。塔体最下部（鼎トラス）には、最大サイズの外径 2,300mm、管厚 100mm、設計基準強度（耐力）が 500MPa の新開発極厚鋼管（例：BT-HT500C、P-500T）が採用された。また、ゲイン塔部には、国内の建築構造物では初めての耐力 630～700MPa 級超高強度鋼管（例：PHYP700PB、P-630T、KSAT630）が使用された。主柱の鋼管における設計基準強度は、一般建築物で使用される JIS 規格鋼管の 325MPa に対し、約 2 倍であり、国土交通大臣の認定を取得したものである。

4. 工場及び現地での溶接施工

高強度な極厚鋼管でかつ複雑な構造のために、製作に先立ってモックアップ試験体をはじめとして溶接施工法確認試験、溶接継手性能試験、溶接割れ試験等の多岐にわたる試験が各社で実施された。なお、これらの鋼管の母材、溶接部は高いじん性を有するとともに、高所での現地溶接作業環境においても低い予熱温度での溶接が可能ないように配慮されている。

1) 鋼管の曲げ加工と長手及び周溶接

まず、厚鋼板をプレスベンド方式で曲げ加工を行う。管長手方向の SAW 両面多層溶接を行って単管を製作し、これらを組み合わせて周方向の SAW 両面多層溶接が行われる。図 2²⁾ は塔体下部の主

柱に用いられる大径厚肉鋼管の例であり、径が大きいため鋼板の長手方向が管周方向となっている。ゲイン塔鋼管は径が小さいので、鋼板の長手方向は管長手方向と一致している



図2 塔体下部(鼎トラス)のYS500MPa級鋼管²⁾

2) 主柱鋼管とブレースの炭酸ガスアーク溶接 (TKY ジョイント)

主柱にブレースを取付けるために、鋼管端面にNCガス切断によっていわゆるTKYジョイントの開先加工を行う。TKYジョイント溶接は、全姿勢の半自動炭酸ガスアーク溶接で行われる。開先形状が位置によって複雑に変化するため、溶け込み不良・ブローホール等の欠陥が発生しやすく、溶接士には非常に高い技量が要求される。

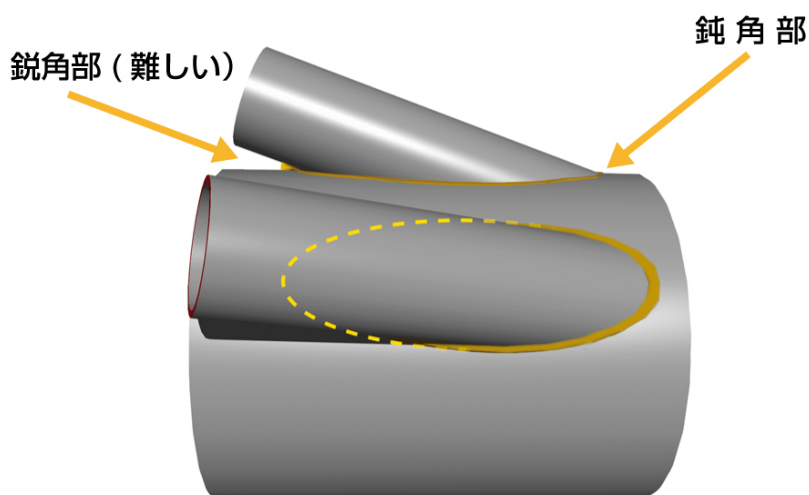


図3 TKYジョイント (工場溶接部)

建築では、ソリッドワイヤを用いた炭酸ガスアーク溶接が使用されるが、スカイツリーの鉄骨溶接にはフラックス入りワイヤを用いた炭酸ガスアーク溶接 (FCW) も使用されている。FCWはスパッタが少なくアークが安定し、複雑な形状の全姿勢でも溶接が容易で、かつビード外観も綺麗であるの

が特長である。ソリッドワイヤは溶込みが大きい利点があるので、対象部位によって使い分けられているようである。

図 4 は塔最下段の鼎トラスの多層溶接部の外観写真である。表面のビード幅は 100mm を超えて、数百パスの溶接が行われている。この部分は、開業後には一般客の目にも触れるために、製作各社のコンクールにもなっているように感じられた。巨大なビードと芸術的とも言える綺麗なビード外観にびっくりさせられる。選りすぐられた溶接士が、最善を尽くして行った、歴史的建造物に残る立派な成果である。

なお、溶接による変形を加味した部材寸法の確保も大きな課題であり、レーザー計測機器等を活用して個々の部材の寸法精度の確保が図られている。



図 4 鼎トラス（柱：直径 2.3m×厚さ 100mm の YS500MPa 級高張力鋼）の多層隅肉溶接（FCW 溶接）³⁾



TKY ジョイント／TKY joint ～日本溶接協会から発売中の「溶接用語事典」より～

ジョイントの形状をいう。鋼管構造（チューブラー構造）において T 型、K 型、Y 型等で交わる相貫体継手をいう。これら溶接継手の現場（エレクトション）溶接では、開先形状および溶接姿勢が位置により刻々と変わり、溶接条件や運棒法を複雑に変化させなければならない。鋼管構造による海洋構造物でよく使用される用語。

3) 現地溶接 (炭酸ガスアーク溶接)

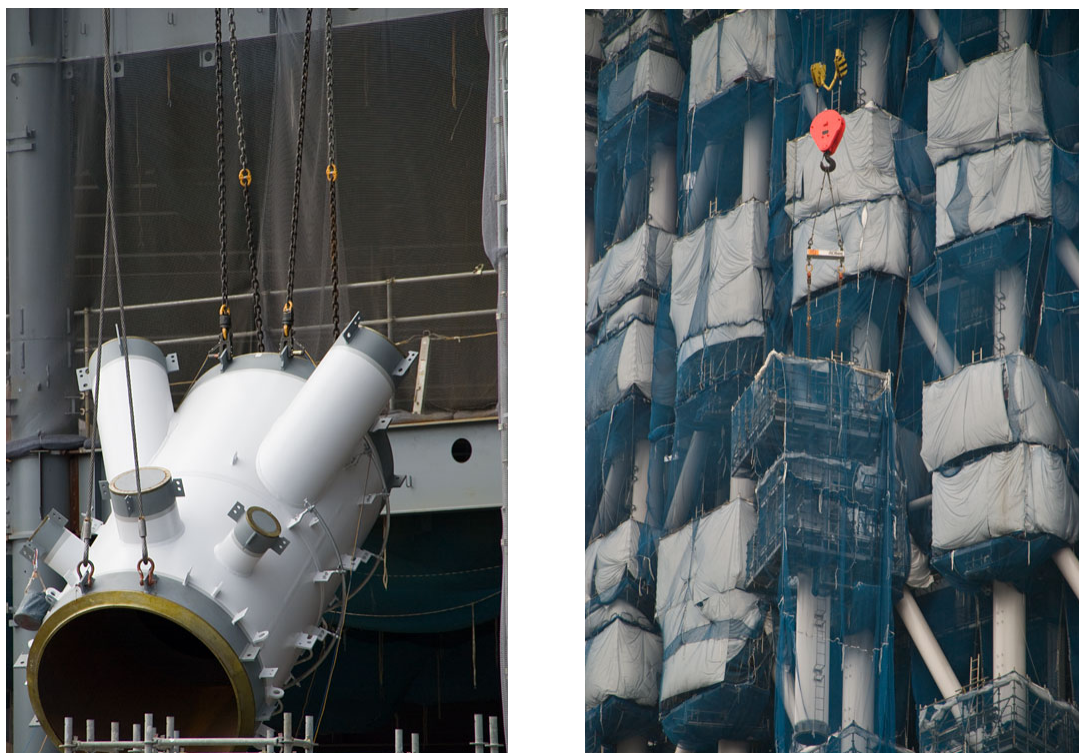


図5 主柱及びブレースの現地組立 (炭酸ガスアーク溶接)²⁾

— 右図, シートで覆われた箇所での現地溶接が行われる —

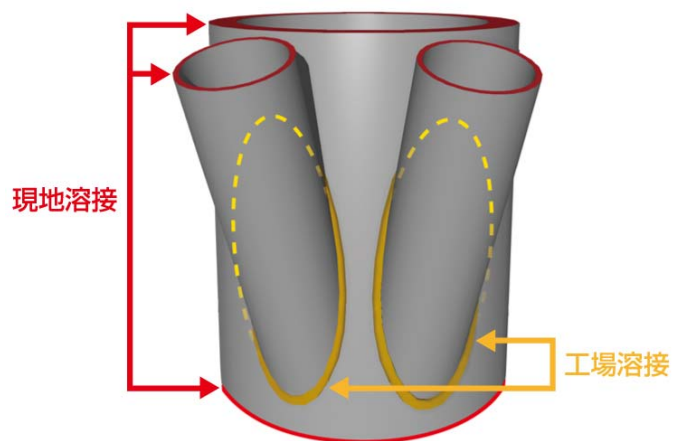


図6 現地溶接部

現地溶接では、溶接品質を確保しやすい鋼管同士の突合せ継手になっている。工場で製作された部材は、現地では防風設備のもとで炭酸ガスアーク溶接される。高所作業のため、溶接士は高所恐怖症でないことが絶対条件とされる。高所作業でしかも閉塞箇所での溶接もあるため、優秀な技量の溶接士でも欠陥発生率が高くなる。重要部位では溶接後の非破壊検査によって品質確認が行われている。

超高張力鋼でできたゲイン塔は、タワー下部の安定した場所で管と管を周溶接（Ar-CO₂ ガスシールドアーク溶接）して製作される。引張強さ 780MPa 級鋼管の溶接では、溶接部の靱性確保と水素割れの防止が最も重要である。このために、パネルヒーターによる予熱と溶接入熱量の管理が確実に実施される。中心部の空洞内で頂部から組み立て、それを順次引き上げながら周溶接して、アンテナ部がリフトアップされる（図 7）。このリフトアップ工法では、非常に高度の技術が要求される超高張力鋼配管の溶接が、地上近くの安定した塔内部で行われている。

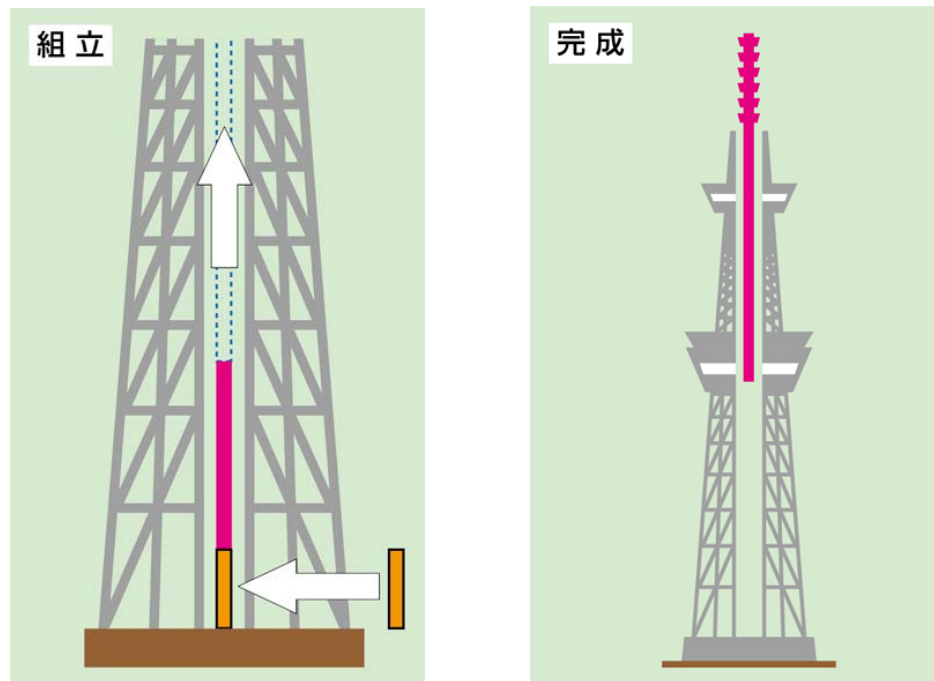


図 7 タワー内部でのゲイン塔の組立とリフトアップ工法

タワーは本年末に完成の予定である。

最後になりましたが、見学に際しましてご支援を戴きました(株)日建設計・加賀美安男殿、(株)駒井ハルテック・小牧知紀殿、小林光博殿、及び東武スカイツリー(株)と(株)大林組関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

参考資料

- 1) ©産報出版(株) 資料提供 写真掲載許可2011. 5. 11
- 2) ©TAKAYOSHI KOYAMA 資料提供 <http://512colors.blog120.fc2.com/> (div id="photo") 写真掲載許可2011. 5. 10
- 3) 東武タワースカイツリー(株)、(株)日建設計 写真掲載許可2011. 2. 4