

東京スカイツリー® の鉄骨製作技術の紹介

INTRODUCTION OF STEEL FABRICATION TECHNOLOGY IN THE TOKYO SKY TREE PROJECT

小林光博¹⁾
Mitsuhiro Kobayashi

塚本勝雄²⁾
Katsuo Tsukamoto

1. まえがき

自立式電波塔としては世界一の高さ 634m となる東京スカイツリー®。当社としてもこのような大型鋼管トラス構造物を手掛けるのは初めてであった。本稿では、この特殊建築物の製作における当社の取り組みについて紹介する。

2. 東京スカイツリー®の概要

構造形式 パイプトラス構造
高さ 634m
事業主 東武鉄道株式会社
東武タワースカイツリー株式会社
設計・監理 株式会社日建設
施工 株式会社大林組

3. 鉄骨製作の課題確認

鋼管トラス構造という、当社として経験が少ない鉄骨を製作するにあたり、まず製作対象の難易度と当社の既存の生産技術・設備・技能者などにどれほどのギャップ（問題点）があるか？の視点で取り組みの全体像を描くことから入った。製作対象物の検討項目は以下である。

- ①大型鋼管トラス構造の工作図・現寸・製作・塗装・輸送方法の確立（生産計画）
- ②非常に高い寸法精度の要求に対応
- ③生産の平準化（工事専任作業員で賄う）
- ④生産設備の整備と新規導入

4. 3次元CADを活用した生産計画の立案

まず、3次元CAD（Tekla Structures）による構造モデルを作成し、そのデータを以下の検討に活用した（図-1）。

4.1 ディテール検証

トラス節点部分、仮設・付帯鉄骨の干渉有無を確認し、干渉するものは全て施工者・設計者と協議して解決した。

4.2 輸送計画

大径鋼管にブレースのブラケットなどが取り付くので、重量・寸法に関しては、輸送法令上の問題が懸念された。これらは

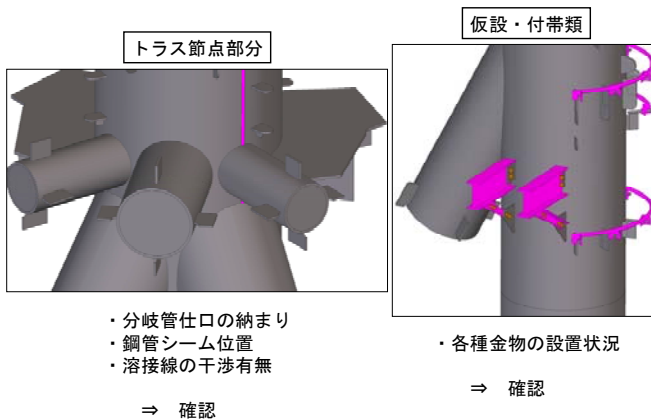


図-1 3次元CADによる事前検討

工作図の作図開始前に解決しなければならなかったが、3次元モデルを活用することで、輸送車両の選定、荷姿等をスムーズに決定することができた。

5. 製品精度要求への対応

5.1 製品精度確保への課題

現場建方精度を確保するには、大径鋼管における現場継手部直角度及びねじれ精度の確認が必要であった。更にトラス構造形式では主管に対し様々な方向で分岐管の取り合いが生じる。従って、かなり厳しい製品精度管理を行わないと、現場継手に食い違い等の障害を生じる恐れがあった。社内の寸法精度管理値及び溶接部の品質管理要求事項の一例を表-1に示す。

表-1 社内寸法精度管理値及び品質管理要求事項

項目	課題
1 大径鋼管、基準線の野書き精度	社内管理値 $e \leq 1\text{mm}$
2 大径鋼管の斜め切断	勾配 $a \cong 10 \sim 200\text{mm}$ に対応(図-2参照)
3 大径鋼管の切断精度	社内管理値 $e \leq D/1000$
4 大径鋼管現場溶接部の開先精度	管理値 $-0^\circ \leq \angle \alpha \leq +5^\circ$
5 分岐管の組立精度	社内管理値 $e \leq 2\text{mm}$ (図-3参照)
6 交差角 $22 \sim 30^\circ$ 、分岐管の溶接	トゥ(toe)部:PP溶接、のど厚 1t ヒール(heel)部:すみ肉溶接、脚長 2t
7 分岐管の製品精度	管理値 $e \leq 3\text{mm}$ (図-3参照)

1) 富津工場 生産技術部 技術課

2) 富津工場 鉄骨製作部 鉄骨課

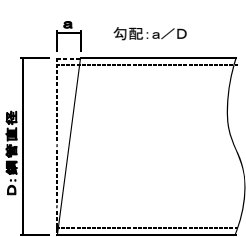


図-2 鋼管斜め切断の勾配

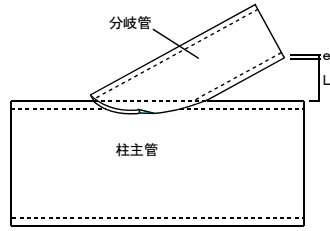


図-3 分岐管組立精度 (L: 設計寸法)

これらの品質要求事項に対し、各製作工程において、対処方法を提案、実践した。

5.2 罫書き

(1) 基準点・基準線の罫書き

罫書き線を正確に引くことは、製品寸法精度確保に不可欠なことであり、最重要ポイントとして捉えていた。調査・検討の結果、レーザー芯出し器を用い、高精度の罫書き線を確保することに成功した。図-4にその手順を示す。

高精度の罫書きをレーザー芯出し器により実現

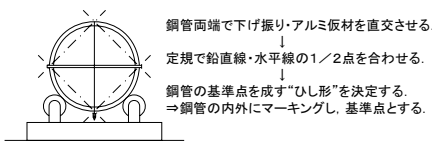


図-4 1次罫書き 基準点・基準線の決定



写真-1 基準点の決定

上記方法の採用により、

課題1：大径鋼管基準線罫書き精度の確保 $e \leq 1\text{mm}$ の問題解決ができた。

(2) 鋼管切断線の罫書き

レーザー芯出し器は、基準線に直交方向にもレーザーを照射しており、鋼管内部に基準線に直行するラインを照射している。これが鋼管切断線となる。同時に罫書き道具を用いて鋼管内部の罫書き線を鋼管外部に転記し、この罫書き線を基準に鋼管を切断することで、切断時の直角度を確保できた。図-5にその概要を示す。

レーザー芯出し器により円周状に鋼管切断線を表示

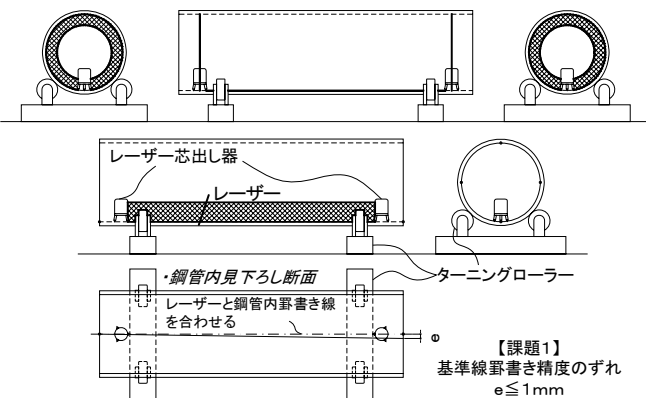


図-5 1次罫書き 鋼管切断線の罫書き



写真-2 1次罫書き 鋼管切断線の罫書き状況

罫書きの完了した時点で、罫書き線の間隔と対角寸法を確認して記録した。この後に、外側に切断線を写す。

5.3 鋼管の切断・開先加工

(1) 主管

本タワーの稜線は、「そり」「むくり」を組み合わせた湾曲形状のため、現場継手位置に鋼管柱の折れ点を設けている。そのため、鋼管の切断線は管軸に対して勾配が必要（斜め切断）となり、大径鋼管の切断・開先加工には大きな課題があった。コスト面も含めた検討の結果、オートバイク（ポータブル自動ガス切断機：小池酸素工業製）を適用することに決定した。既存品での大径鋼管の切断実績はなかったが、本工事に切断条件の改良を小池酸素工業に依頼し、ガイドレールは自作する事で解決した。図-6にその概要を示す。

主管の直角・斜め切断、高精度開先加工をオートバイク（ポータブル自動ガス切断機、小池酸素工業）により実現

- ・ガイドレールを用いた微い機構
 - 切断始端のズレ対策
 - 斜め切断への対処
 - ⇒大径鋼管の精密切断

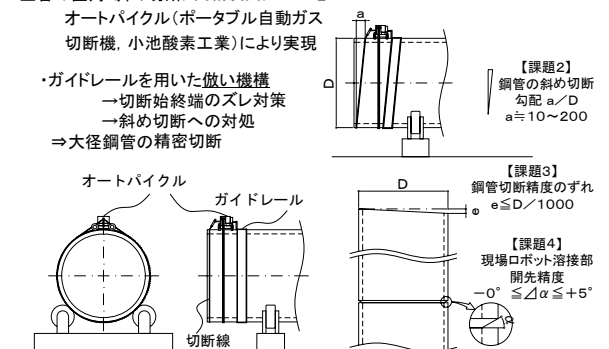


図-6 オートバイクによる鋼管切断・開先加工概要

オートバイクルの採用により、

課題2：大径鋼管の斜め切断

課題3：大径鋼管の切断精度 $e \leq D/1000$

課題4：鋼管現場溶接部開先精度 $0^\circ \leq \alpha \leq +5^\circ$

の問題を解決した。

(2) 分岐管

分岐管は斜め切断となること、また部分溶け込み溶接、すみ肉溶接及びその移行部で開先形状が異なる等、複雑な開先加工となるのでCNC制御のパイプコースター（丸秀工機製）の導入により対処した（図-7参照）。また、交差角が非常に小さい（最小交差角 25° ，切断時最小トーチ角 15° ）問題に関しては、本プロジェクトとして、特別な切断ソフトの開発をメーカー（丸秀工機）に依頼し対処した。

分岐管の3次元曲面切断（オートバイクル適用対象外）をパイプコースター（パイプ自動切断機、丸秀工機）により実現

【鉄骨詳細図・3次元現寸】

3次元CADデータにより分岐管データ抽出

↓

【分岐管データのコントロールパネル入力】

主管・分岐管外径、板厚、交差角、開先角度など
※開先角度は一つの切断面では異なる

↓

【パイプコースター作動】

鋼管芯線の自動野書き
鋼管の3次元切断

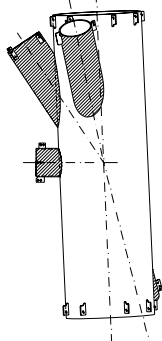


図-7 パイプコースターによる鋼管切断・開先加工概要

パイプコースターを使用することにより、分岐管の斜め切断部、部分溶け込み溶接部、すみ肉溶接部、開先角度移行部の開先加工に3次元CADデータを活用でき、切断、開先精度の向上を図った。

6. 組立・溶接方法

6.1 分岐管の組み立て

分岐管の取付け精度はスムーズな現場建方を実行するための最重点項目と捉え、レーザー芯出し器を活用し正確な位置を決定する方法を考案した。図-8に組み立て方法を紹介する。

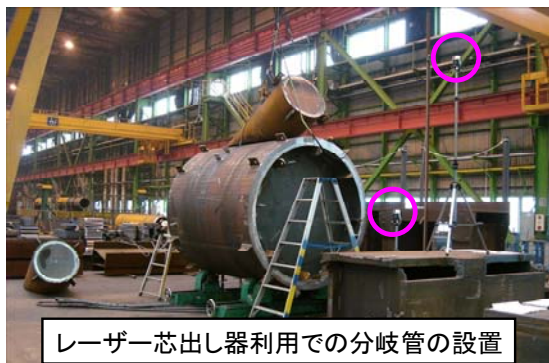
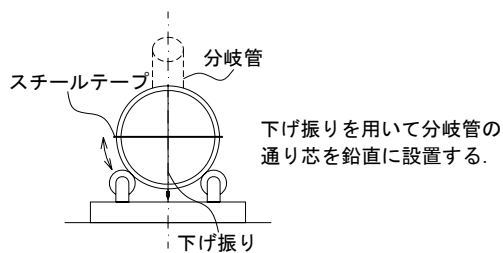
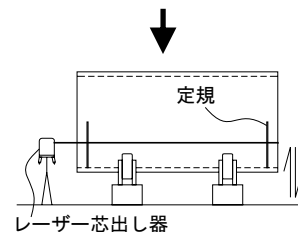


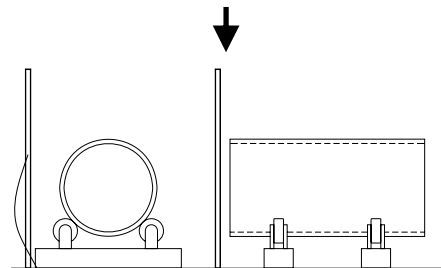
写真-3 分岐管の組み立て状況



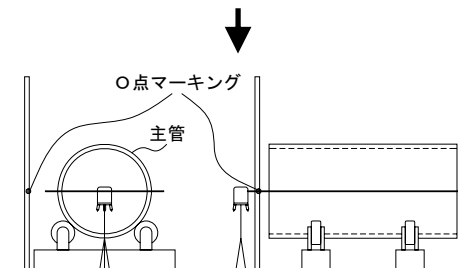
下げ振りを用いて分岐管の通り芯を鉛直に設置する。



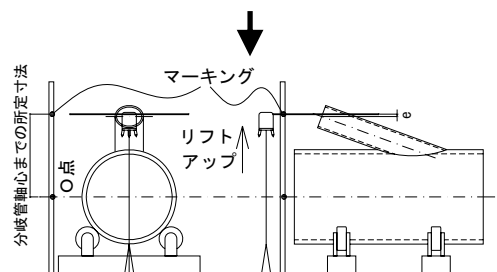
レーザー芯出し器を用いて鋼管の両端が同一レベルになるよう調整する。



高さ寸法定規（角材等にスチールテープをセット）を設置する。



レーザー芯出し器を主管の軸芯に固定する。



高さ寸法定規を基準にレーザー芯出し器を所定量リフトアップして分岐管の位置決めを行う。

図-8 分岐管の組み立て方法

レーザー芯出し器の活用により、

課題5：分岐管の組立精度社内管理値 $e \leq 2\text{mm}$ を満足することができた。

6.2 分岐管の溶接

分岐管の溶接は回転治具の活用により、作業性の良い溶接姿勢を確保するよう工夫した。分岐管の溶接は、横向姿勢を基本として実施した（写真-4）。



写真-4 分岐管の組み立て状況

分岐管部の溶接は図-9 に示すトゥ部、サドル部、ヒール部で溶接継手強度確保のための管理値が異なる。

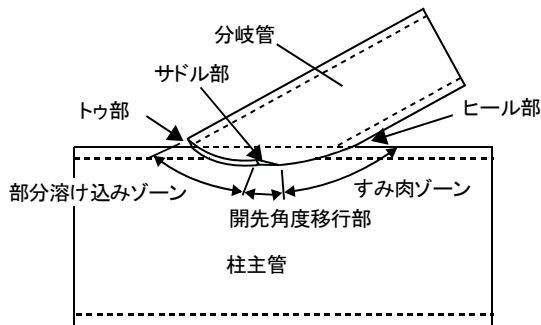


図-9 分岐管溶接部の開先形状

分岐管のヒール部は、すみ肉溶接部で脚長管理 ($2t$ 以上) , トゥ部とサドル部は部分溶け込み溶接で、のど厚 ($1t$ 以上) 管理、(※ t : 分岐管板厚) としている (図-10 参照) . ヒール部すみ肉溶接部の“脚長管理”については、規定脚長部の罫書き線と脚長検査用の罫書き線を製品に罫書き、管理を行った (写真-5) .

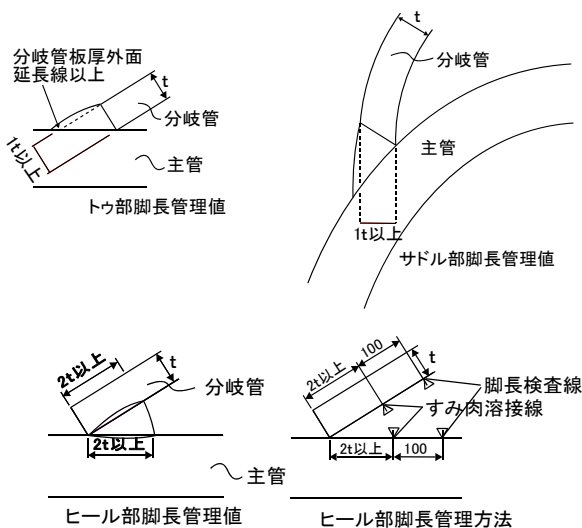


図-10 分岐管溶接部の脚長管理、のど厚管理

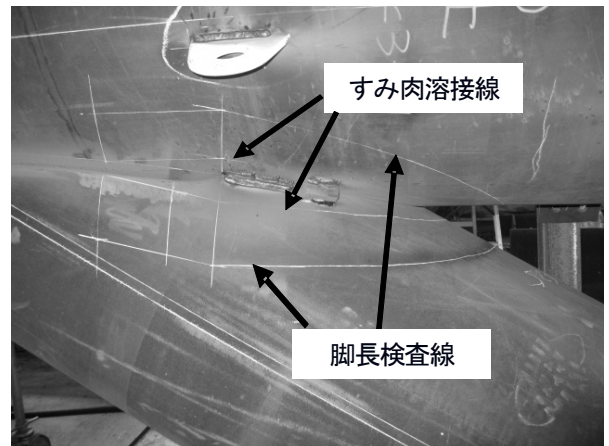


写真-5 分岐管すみ肉溶接部脚長検査用罫書き

トゥ部、部分溶け込み溶接部の“のど厚”管理については、分岐管の直径や分岐管の取り付け交差角、更に主管に接触する位置によって“のど厚”の限界線は微妙に変化する。仮に“のど厚”の検査に限界ゲージを作るとすると、一つの継ぎ手で数種のゲージが必要になる。そこで図-11 に示す市販の型取りゲージを採用することにより、一つのゲージで代用する事が出来た。

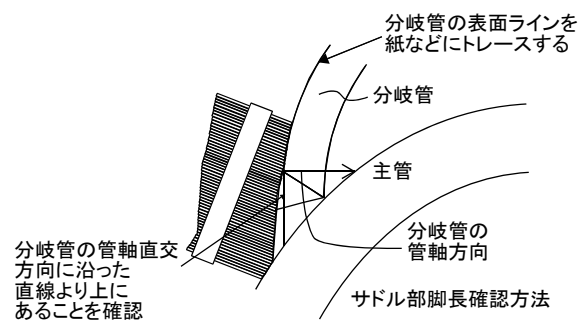


図-11 型取りゲージによる“のど厚”管理

使用方法は、図-11 に示すゲージを分岐管の表面と溶接面に押し当て、ゲージを離れた後確認した溶接表面の位置が分岐管の管軸直交断面に沿った直線よりも上にあれば合格と判定する。

検査装置の活用、検査罫書き線により、

課題 6 : 分岐管溶接部の管理
を実施し、各課題の積み重ねの成果として、

課題 7 : 分岐管の製品精度 $e \leq 3\text{mm}$
を満足する完成品とすることが出来た。

7. あとがき

東京スカイツリー®の製作に、当社が携わる事が出来たこと、また無事に全製品を現場に届けられた事に感謝をしたい。計画段階から実施段階における幾つもの難問をクリア出来たのも日建設計・大林組ならびに各鉄骨製作会社のご指導とご協力のお陰であると考えている。工事関係者が一致団結して、お互いにアイデアを出し合ったことで、非常に素晴らしい生産管理手法を確立することが出来た。今回の工事で培われた生産管理手法を、今後他物件についても生かして行きたいと思う。