

特集

世界一の高さへ挑戦

～新タワー（東京スカイツリー®）建設工事～

Fabrication of Massive Structures for TOKYO SKYTREE

蓮沼 聡

Satoshi HASUNUMA

川田工業㈱鋼構造事業部技術統括部栃木工場
生産技術課 課長

高橋 泰文

Yasufumi TAKAHASHI

川田工業㈱鋼構造事業部技術統括部栃木工場
工場長

小林 雄二

Yuji KOBAYASHI

川田工業㈱鋼構造事業部営業統括部
副統括部長

東京スカイツリー®は、東京タワーが位置する都心部における超高層建築物の増加に伴い、その影となる部分に電波が届きにくくなる問題を低減するほかに、ワンセグやマルチメディア放送といった携帯機器向けの放送を快適に視聴できるようにすることも建設目的のひとつとされています。

川田工業㈱では、塔体鉄骨とゲイン塔の製作を担当しましたが、過去に類のないサイズの極厚鋼管の採用と三次元のパイプトラスの構造の製作に対し、一般的な超高層ビルの鉄骨製作を超えた要求品質に対応するために、あらゆるノウハウを投入して、設計段階から製作、輸送に至るまで最適なものづくりを心がけました。本特集ではこれらについて紹介します。

1. 概要説明

(1) 計画概要

工事名称：新タワー建設工事

用 途：展望施設、放送施設等

事業主体：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：株式会社日建設計

施 工：株式会社大林組

構造形式：鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造、
鉄筋コンクリート造

敷地面積：36 844.39㎡（施設全体）

建築面積：32 221.47㎡（施設全体）

高 さ：634m

全体重量：約 36 000t（タワー地上部）

当社製作：5 720t

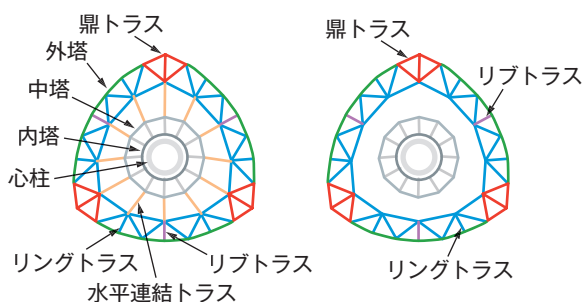
所 在 地：東京都墨田区押上一丁目

着 工：2008 年 7 月 14 日

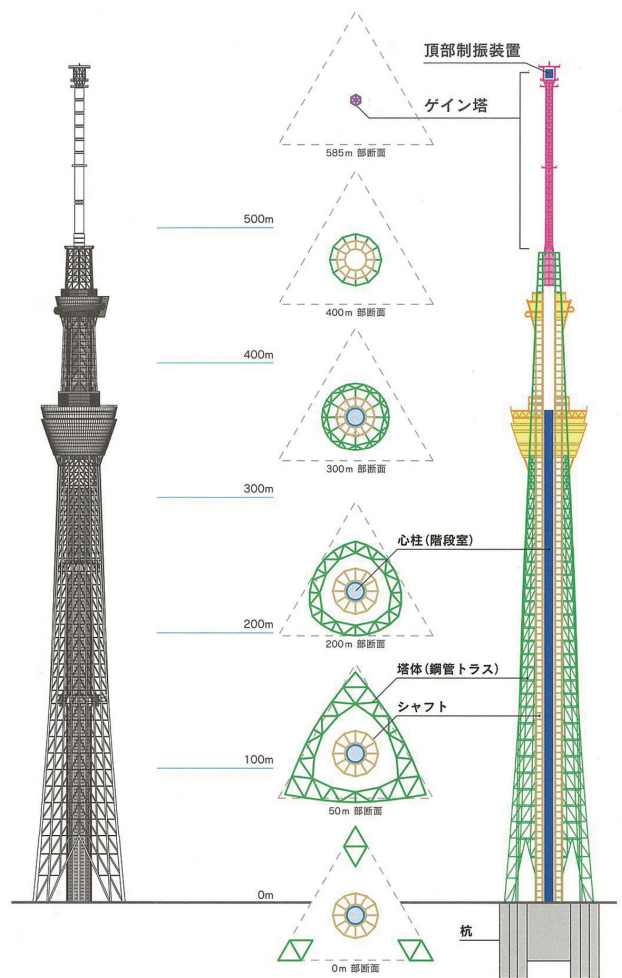
竣 工：2012 年 2 月 29 日

(2) 構造概要

塔体の足元は一辺が約 70m の三角形で構成され、上部に向かい徐々に円形になり、高さ約 300m で正円になる。

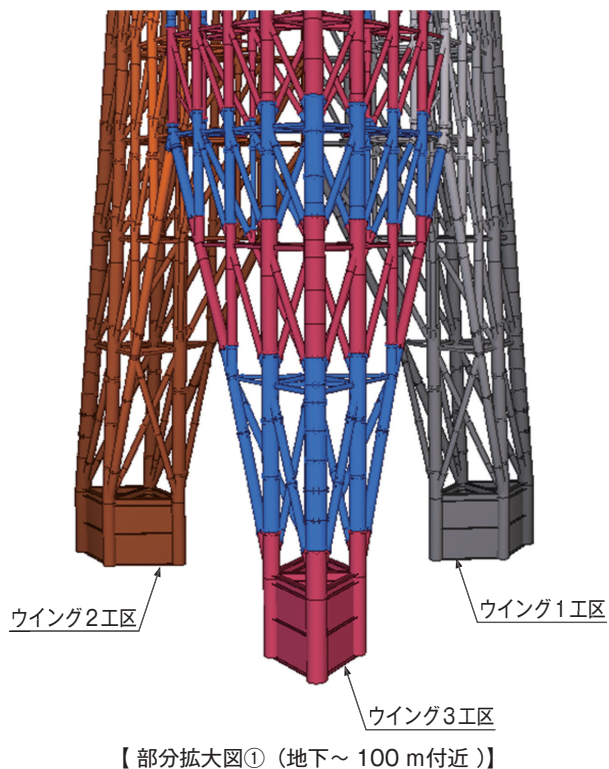
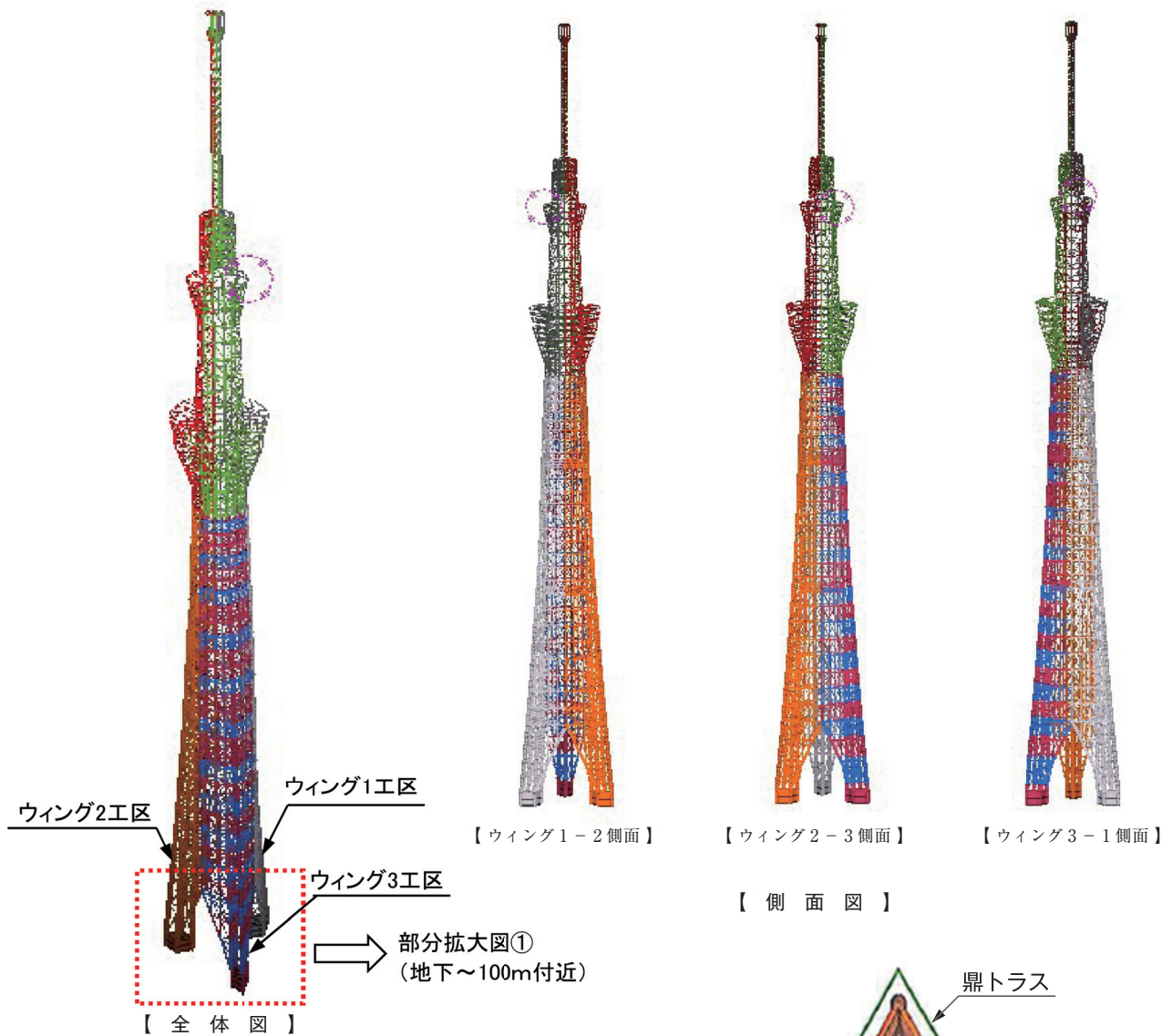


ります。4 本柱と斜材・水平材からなる鼎^{かんえい}トラスと、水平連結トラス、リングトラスで構成されています。



(提供：大林組)

【新タワー 外塔・リング塔のイメージ図】



当社の製作範囲は以下のようになっています。

- ①ウイング3工区(1節～44節のうち17節分 栃木工場)
- ②ウイング2工区の鼎トラス (栃木・四国工場)
- ③ゲイン塔 (四国工場)

製作総重量約 23 000t のうち、当社が担当した範囲は 5 720t となります。

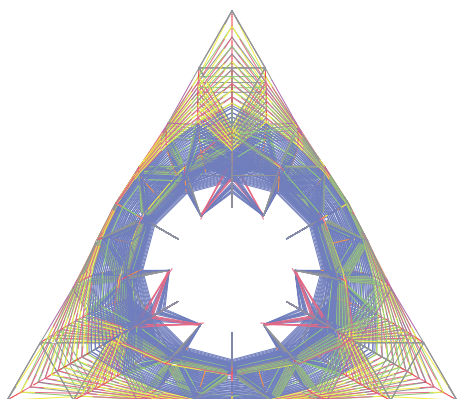
2. 三次元CAD（テクラ）の活用

パイプトラスの製作では、要求品質を満足させるためにあらゆる施策を検討・実施しております。今回の作図を進めるに当たって、三次元CAD（Tekla Structures; Tekla社、以下テクラ）を採用しましたが、その選定理由を下記に記載します。

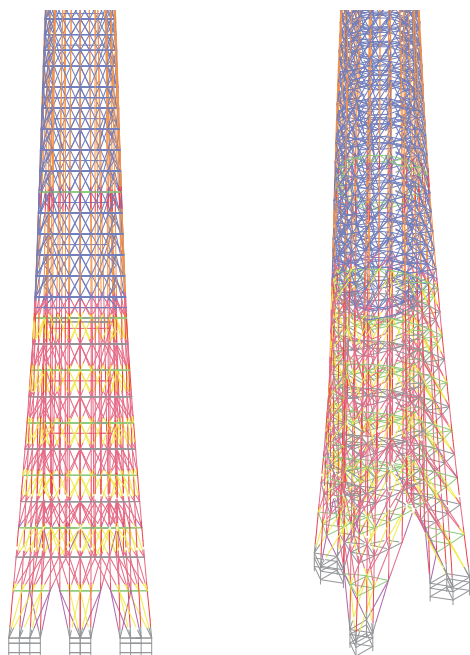
- ①客先および他社の使用する三次元CADがテクラであり、データの共有が可能となる。
- ②テクラで作図することで、個々の部材重量を算出し、工場クレーン能力・輸送限界を把握できる。また溶接数量も積算できるため、製造の工程予測が出来るメリットがある。
- ③複雑な構造物に適しており、今回のようなパイプ構造に有効なツールである。

(1) 基本芯線モデルの作成

外塔柱座標値より塔体全体の基本芯線モデルの作成を行いました。各社共通の情報をベースにしているのでデータの共有が出来ます。



【塔体芯線モデル 平面投影図】

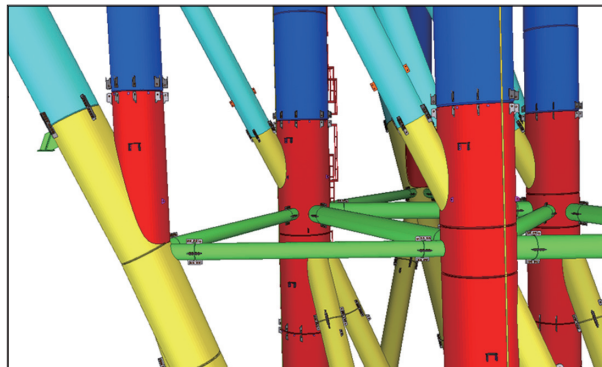


【塔体芯線モデル立面図】

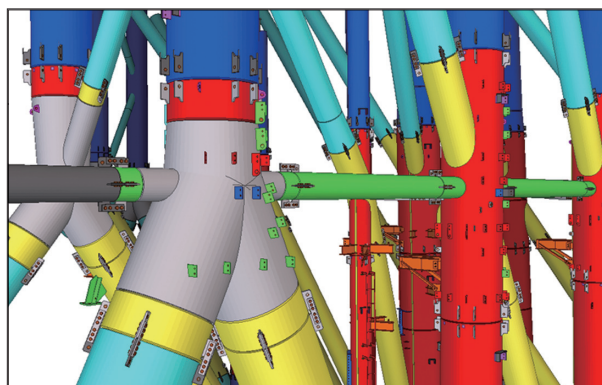
(2) 三次元構造モデルの作成

今回のトラス構造では、納まりが複雑なため部材の干渉チェックが重要な作業になります。

接合部の正確な形状を導き出す点を利用することでトラス接合部、分岐継手形状、仮設・付帯ピース等の干渉を検証することが出来ました。

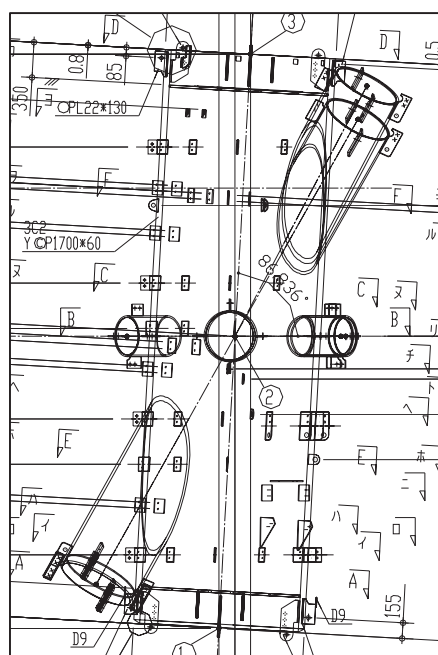


【トラス接合部】



【仮設・付帯ピース干渉検証】

各部位においてトラス接合部納まり、分岐管溶接作業性の検証を行い、ピース関係干渉も事前に解消し工作図を作成しました。

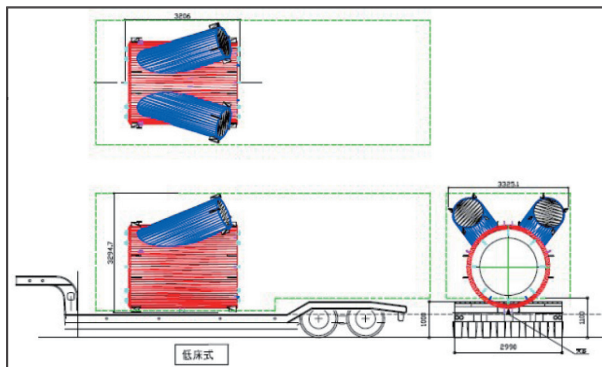


【単品工作図 C2 柱詳細図】

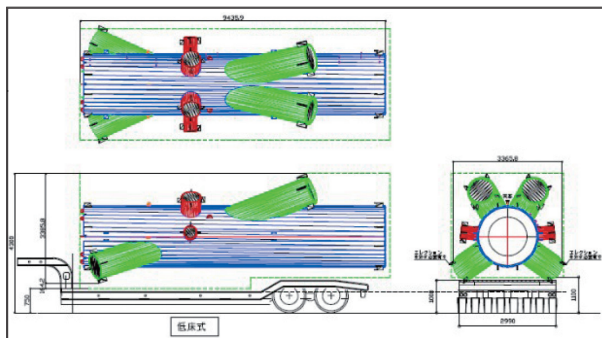
(3) 輸送計画の検証

大口径鋼管のトラス材ブラケットなどが取り付けられるため、輸送においては製品重量と部材寸法など輸送可否の検証を行いました。

この件は工作図作成前に解決しておく必要があり、三次元モデルを活用し、事前に輸送車両の検討・荷姿形状の検証を行いました。



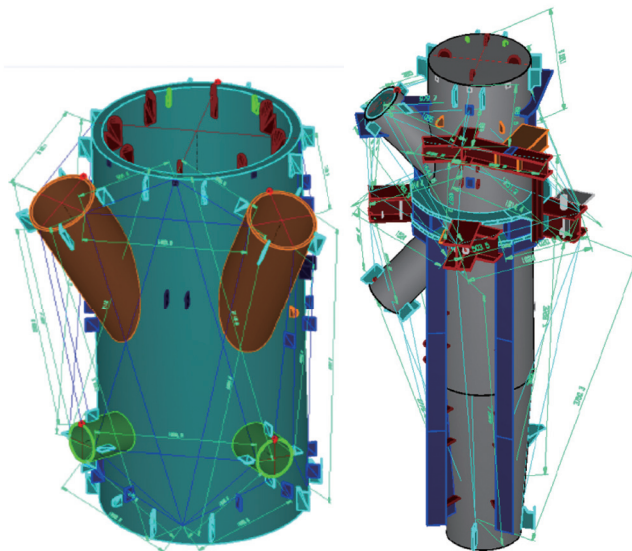
【C1 柱 輸送荷姿検討】



【C11 柱 輸送荷姿検討】

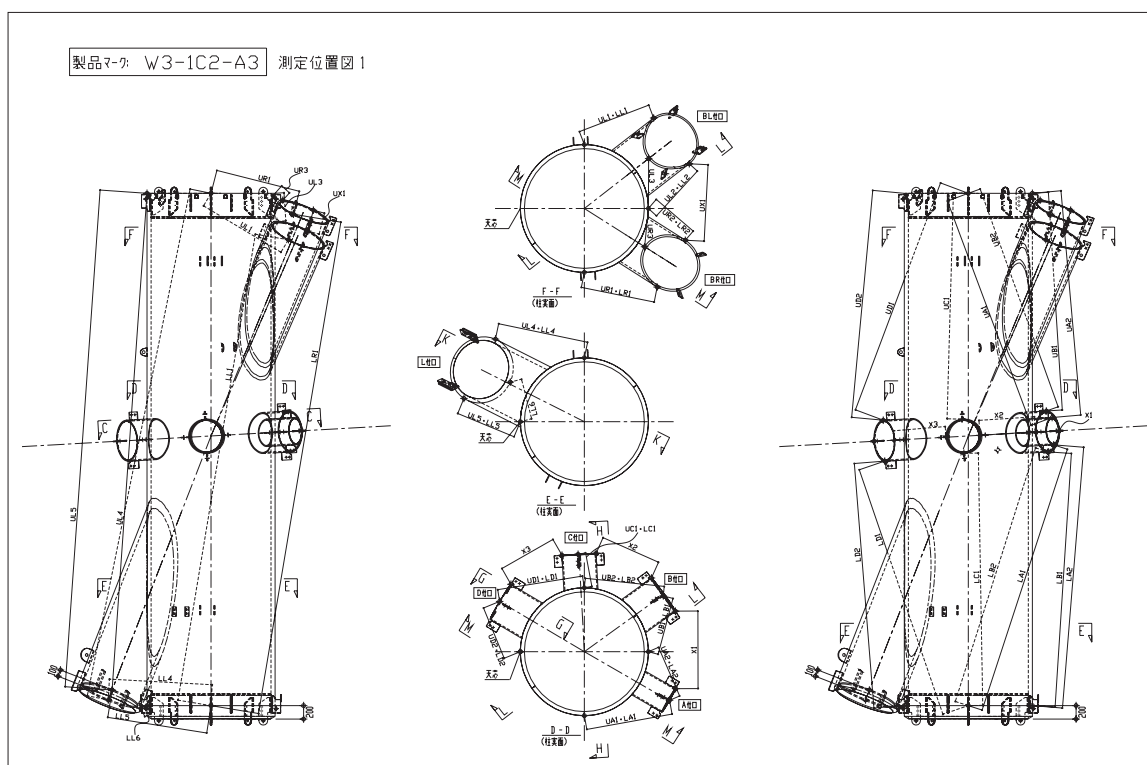
(4) 製品測定寸法の算出

工場組立時および完成品の寸法精度確認に必要なトラス材ブラケット、分岐管の継手位置等の測定寸法を三次元モデルより算出し実際の組立作業、製品検査時の寸法測定記録表へ反映しました。



【寸法計測位置の設計値算出】

上記要領により算出した寸法測定位置の設計値を元に下図に示す製品検査寸法測定記録表の作成を行いました。



【ウィング3工区 1節 C2 柱 寸法測定記録表】

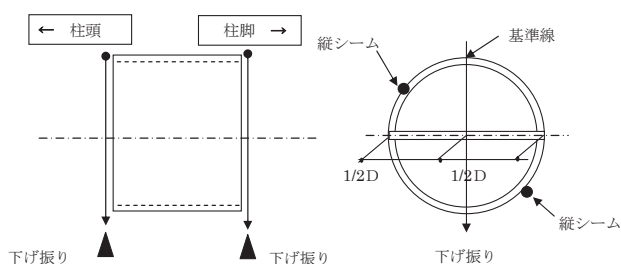
3. 鉄骨製作における対応について

(1) 大口径鋼管基準線の野書き要領

鋼管の基準線（四芯）が各部材取付け時の基本となるため、正確に野書くことが重要となります。

今回は下記に示す手順で野書き作業を行いました。

- ① 管をほぼ水平に置き、管の両側に下げ振り（レーザー墨出し器）を下げる。
- ② 下げ振りを下げる位置は、管径の1/2に、誤差1mm以内を目標に下げ、磁石で止める。
- ③ 管の上部側に下げ振りの糸部を「基準点」として管端部に墨を打つ。
- ④ 同様に下部側にも墨を打つ。
- ⑤ 管の両側に移された墨点を結び「基準線」とする。
- ⑥ 鋼管の円周上の4等分線の作業を完了する。



【基準線野書き要領】

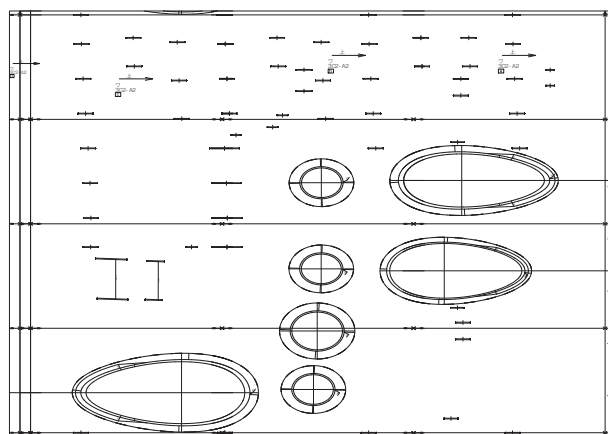


【レーザー墨出し器による野書き作業】

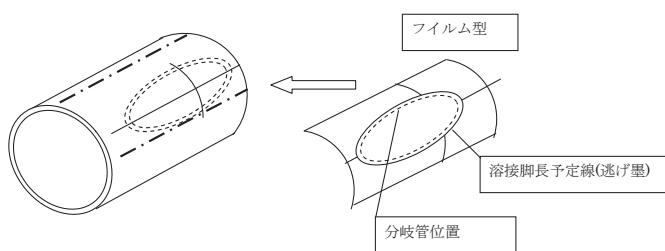
(2) 鋼管外面の野書き要領

鋼管外面に取り付けトラス材ブラケット、分岐管位置、仮設・付帯ピース等の野書き作業は、巻き型（フィルム）を使用し作業を行いました。

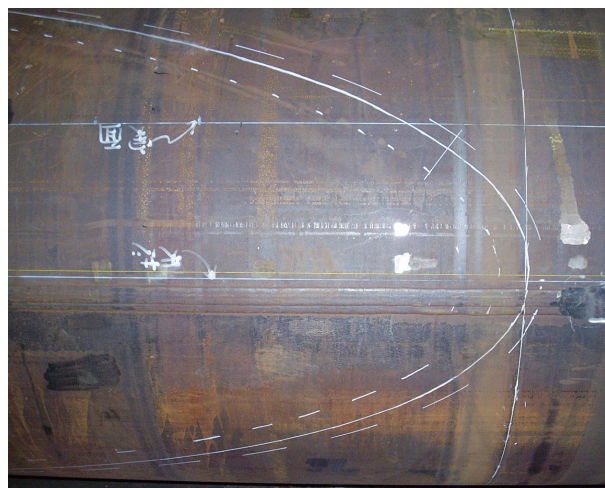
分岐管取付け位置は上記で野書いた合わせ線に、部分的なフィルム型を使用して分岐管の位置および溶接脚長予定線、逃げ墨の野書きを行いました。



【巻き型（フィルム）】



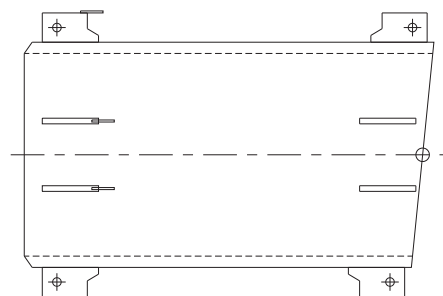
【溶接脚長予定線野書き要領】



【溶接脚長予定線野書き 拡大】

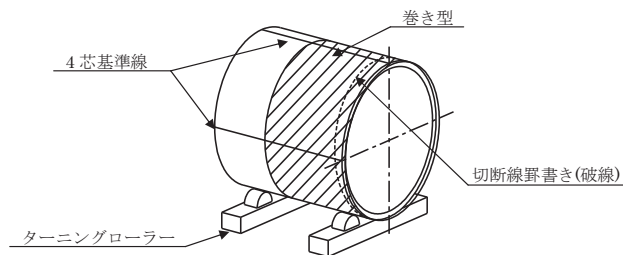
(3) 大口径鋼管切断・開先加工要領

塔体全体は塔頂部に向かって三角形状から正円形状に変化していくため、柱の現場継手部に折れ点を設けています。それによって鋼管の切断線は鋼管軸に対して斜め切断となります。



【鋼管斜め切断イメージ図】

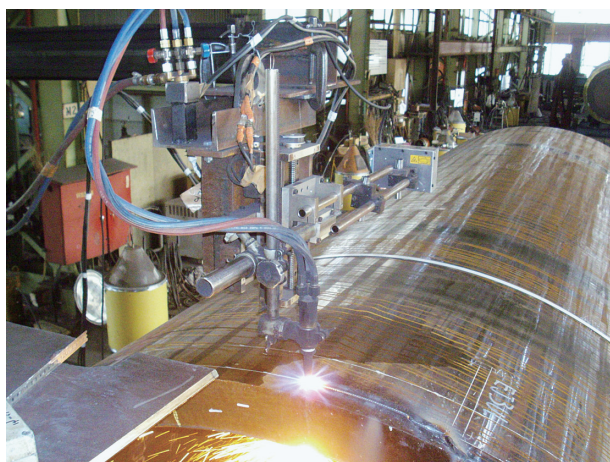
鋼管斜め切断位置は、巻き型を使用し鋼管外面へ罫書きを行います。鋼管をターニングローラー上に水平にセットし、切断位置の罫書きをセンサーで感知しながら、自動切断を行いました。



【鋼管斜め切断要領】



【鋼管切断状況写真 全景】



【鋼管切断状況写真 切断機】

(4) 分岐管の切断・開先加工要領

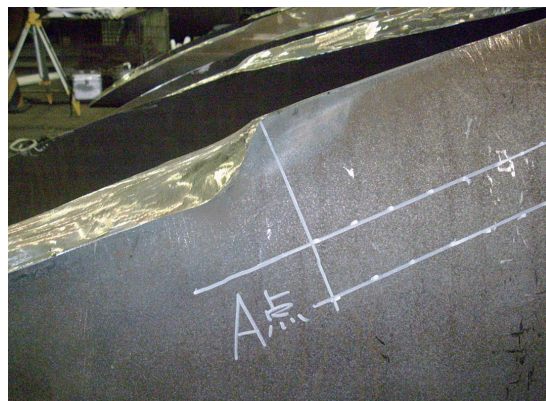
塔体柱に接合するパイプ斜材分岐継手の切断・開先加工についてパイプコースター切断機を使用し作業を行いました。分岐継手溶接部分は、部分溶け込み溶接、隅肉溶接、開先移行部など複雑な加工を要しました。また、交差角度が非常に狭い（最小交差角 23° ）ため、本プロジェクト用に開発した切断ソフトを使用しました。



【分岐管切断状況】



【分岐管開先移行部】

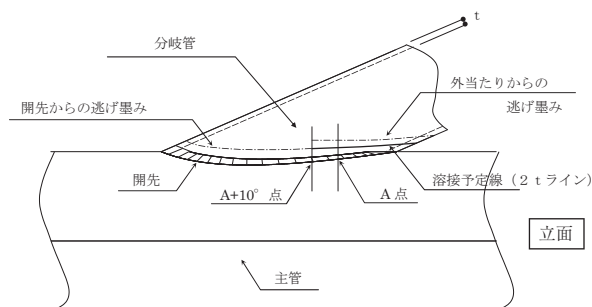


【分岐管開先移行部 拡大】

(5) 分岐継手部の溶接脚長（サイズ）の確認要領

① 分岐管の罫書き

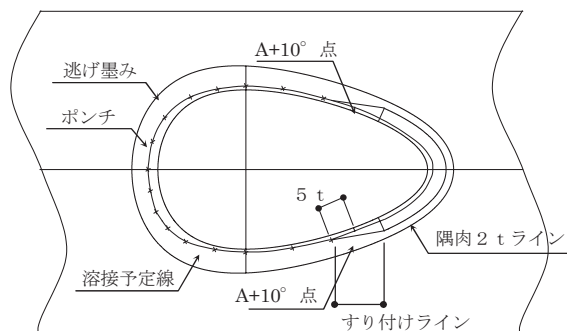
- ・分岐管にA点、 $A+10^\circ$ 点の罫書く。
- ・トゥ側からA点に開先からの逃げ墨を罫書く。
- ・ヒール側は $A+10^\circ$ 点まで溶接予定線（2tライン）を罫書き外側30mmに逃げ墨を罫書く。



【分岐管の罫書き要領】

②主管の罫書き

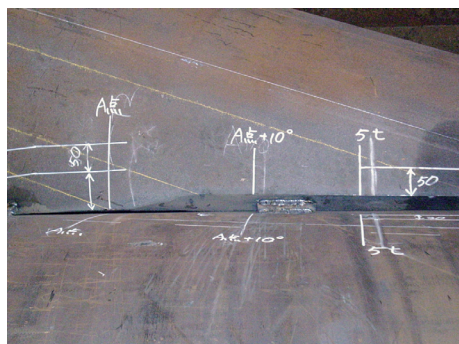
- ・ 所定の位置に組み付けられた分岐管の罫書きを基準に A点, $A+10^\circ$ 点の位置を罫書く。
- ・ $A+10^\circ$ 点からヒール方向に溶接予定線 (2tライン) を罫書き, その外側に逃げ墨を罫書く。
- ・ $A+10^\circ$ 点からトゥ部の溶接予定線は先行して罫書きしている分岐管からの延長とあっていることを確認して溶接予定線とする。予定線から外側に逃げ墨を罫書く。



【主管の罫書き要領】

③溶接脚長移行ルール

- ・ 分岐管溶接部の溶接サイズの決定は溶接脚長移行区間を A点 (隅肉溶接終了点) と $A+10^\circ$ にプラス 5t (t = 分岐管板厚) の範囲を脚長移行区間ルールとする。



【溶接脚長移行ルール 製品罫書き状況】

(6) 分岐管の組立作業

塔体柱に取合う分岐管の取り付け精度は, 現場建方を円滑に進める上で重要なポイントとなります。

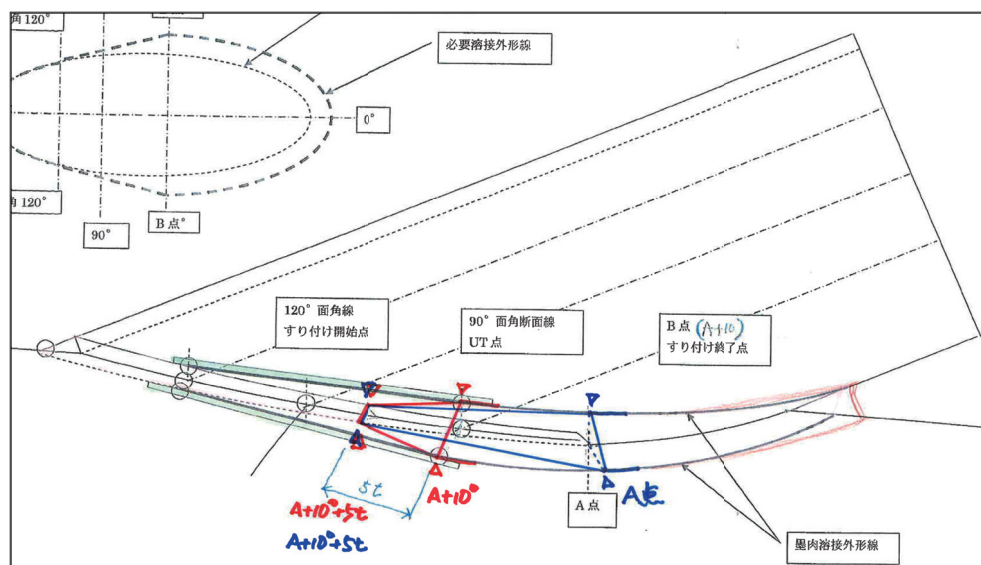
今回は分岐管組付け時にレーザー墨出し器を活用し取り付け精度の向上を計りました。



【分岐管の組付け作業】



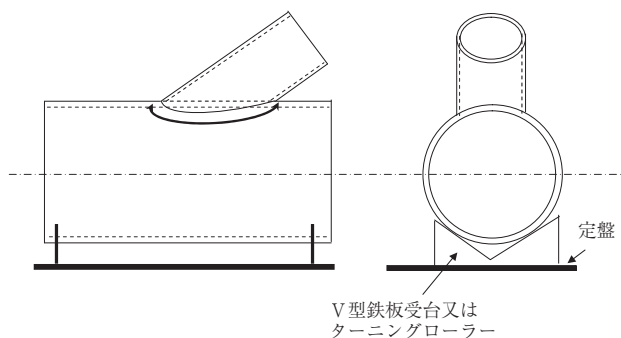
【レーザー墨出し器を使用した分岐管精度確認】



【溶接脚長移行ルール 打合せ資料】

(7) 分岐管の溶接作業

分岐管の溶接は分岐管を上側にして溶接する場合は水平姿勢に近い状態で溶接を行いました。



【分岐管の溶接要領】



【分岐管溶接作業】

(8) 分岐管溶接脚長確認

分岐管溶接完了箇所については、溶接前に罫書きを行なった溶接脚長確認用に逃げ墨から溶接ビードまでの寸法を計測し規定寸法より小さい場合は、必要脚長が満たされていることを確認しました。



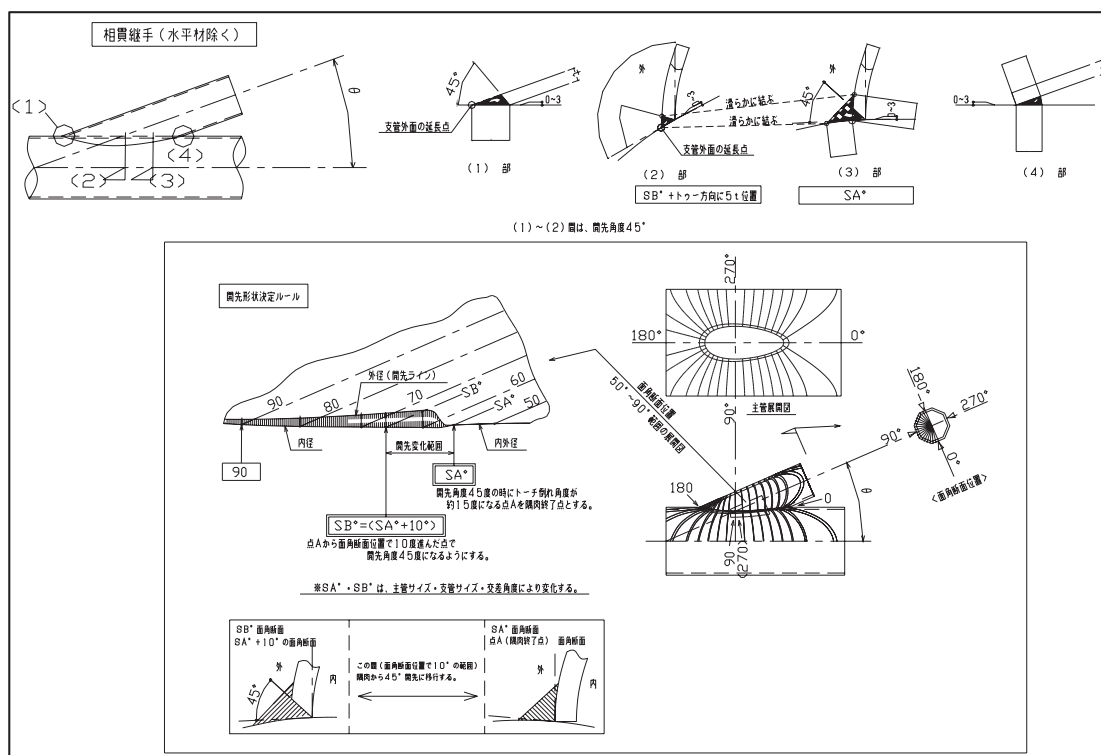
【分岐管脚長移行部】



【分岐管トウ側溶接外観】



【分岐管ヒール側溶接外観】



【分岐継手溶接基準図 抜粋】

4. 検査対応について

製作初期段階において施工者立会の中間検査を実施し組み立て手順、分岐管に取り付け精度等の確認を行いました。

製品検査時は、三次元モデルより算出した測定寸法を元に監理者および施工者立会で寸法精度ならびに溶接外観等の確認をしました。



【中間検査 分岐継手すき間計測】



【製品検査 分岐管寸法計測】



【製品検査 柱端面精度確認】

5. 塗装管理について

本工事の塗装に採用した重防食塗装は、大型橋梁でも実績のあるC-5系がベースになっています。

耐候性と環境性能をさらに向上させた、重防食厚膜形ふっ素樹脂塗装を採用しています。

長期的な防食性・耐久性を求められており、素地調整（ブラスト施工）の下地処理管理、また各層ごとの膜厚管理を適切に実施しました。

更に、施工者による素地確認検査・下塗り，上塗り検査を立会で実施しています。

【一般外部塗装仕様】

素地調整 ブラスト処理 ISO Sa2 1/2
下塗り 有機ジンクリッチペイント
中塗り 厚膜形 エポキシ樹脂塗装
上塗り 厚膜形 ふっ素樹脂塗装

【防錆ボルト接合部塗装仕様】

素地調整 ブラスト処理 ISO Sa2 1/2
上塗り 無機ジンクリッチペイント



【ブラスト素地確認】



【ブラスト素地確認】

塗装に当たり、作業環境に注意を払いました。

気温5℃以下の時、鋼材表面温度50℃以上の場合、または相対湿度が85%以上、無機ジンクの場合は50%以下の条件下では塗装作業を行わないようにしました。



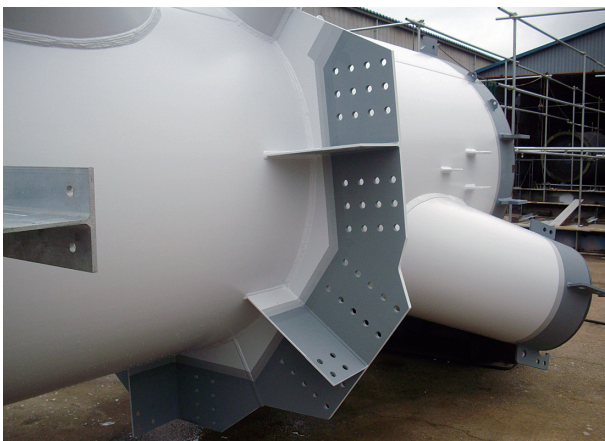
【下塗り塗装完了】



【上塗り塗装完了】



【塗装完了部材全景】



【防錆ボルト接合面塗装】

6. 製品輸送について

輸送において塔体柱はほとんどの製品が低床トレーラを使用し運搬を行いました。

三次元モデルを有効活用したことにより、輸送計画を早期に行い、低床トレーラの手配、特車申請等の手続きを円滑に進めることが出来ました。

輸送時間と交通ルールを厳守し無事製品を搬入することが出来ました。



【製品出荷状況】



【製品出荷状況】

まとめ

今回製作を行った大口径鋼管は今までに扱ったことの無いサイズなので試行錯誤を繰り返し、知恵を出し合いながら製作を行いました。特殊構造物については製作前の詳細検討・製作方法のディテール検証を十分に行うことが必須となります。今回培った技術を今後の鉄骨製作へ反映し、更なる技術力の向上に努めたいと思います。

最後に本工事の製作するにあたり、ご指導、ご協力いただいた関係者多数の方々に厚く感謝いたします。