

## 製品紹介

東日本放送殿新社屋 ねじれ構造鉄塔  
(構造設計から製品製作) の紹介

牧羽 祥光\*      岡田 厚志\*  
吉岡 信昭\*\*    白田 雄一\*\*\*

### A Steel Tower with Twisted Structure on The New Building of Higashi Nippon Broadcasting Corporation (from Fstructural Design to Manufacturing)

*Akimitsu Makiba, Atsushi Okada, Nobuaki Yoshioka and Yuichi Sirata*

本稿は、株式会社東日本放送殿の新社屋屋上に搭載する四角断面 25m 鋼管鉄塔の設計・製作について紹介するものである。本鉄塔は、意匠性を高めることを目的に、主柱材を斜め配置するねじれ形状を採用しているため、主柱材配置により制約された鉄塔内空間を有効に活用することが求められた。そのため、設計・製作各段階において様々な協議・検討が重ねられ、製品構築が実現した。従来の鉄塔構造とは異なる特異な構造への対応であり、特筆される事例として紹介する。

This paper describes the design and manufacturing of a square cross section 25 m steel pipe tower to be installed on the roof of the new building of the Higashi Nippon Broadcasting Corporation. For enhancing the design, this tower adopts a twisted shape in which the main pillars are arranged diagonally. And it was required to effectively use the restricted space inside the tower. Therefore, various discussions and examinations were held at each stage of design and manufacturing, and the product manufacturing was achieved. This is a noteworthy example of a unique structure that differs from conventional steel tower structures.

## 1. はじめに

本鉄塔は、あすと長町社の広場公園に隣接する東日本放送殿新社屋屋上に建設され、建物意匠と調和した、ねじれ構造を東日本放送殿からのご指示で採用している。アンテナ支持を主目的とする鉄塔としては、意匠性重視による特異な構造となっている。

本鉄塔の最下部は、建物と正対しているが、2 節目より上部の主柱材を垂直に対して 5° 傾斜した構造とすることで、視覚的なねじれを表現している。そのため、主柱材に取り付く水平梁材が単純平面ではなく、立体的、3 次元的な方向に取り付くため、水平梁材の配置が高さにより異なる。鉄塔内に設置される階段の昇降ルート、アンテナケーブル布設用垂直ラックの保持材、及び鉄塔外面に設置される意匠

目的の目隠しルーバー材の位置決定においては、2 次元(平面)と 3 次元(立体)を融合した手法での設計・製作が必要であった。本稿では、設計から製作まで手法・内容を紹介する。

## 2. 設計クライテリアについて

### 2.1 構造概要

鉄塔の構造概要は、次の通りである。

- a) 構造形式：屋上式四角断面鋼管鉄塔
- b) 構造：ラーメン構造(最下部のみトラス構造) (溶融亜鉛めっき)
- c) 接合：溶接接合(最下部と水平材はボルトによる摩擦接合)
- d) 高さ：25.2 m (建物屋上面より)
- e) 根開き：9.0 m
- f) 脚部：ボルト接合方式(露出柱脚とした)
- g) 使用材料：

\* 中央統括部 技術部  
\*\* 支店統括部 仙台支店  
\*\*\* (株)デンコー 鉄構生産部

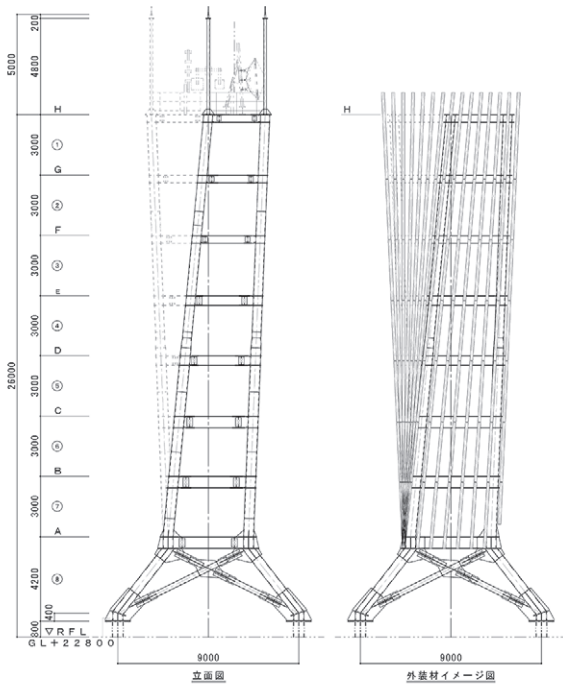


図1 鉄塔立面図

- 鋼材：建築構造用炭素鋼鋼管 JIS-G3475 (STKN490B)
- 一般構造用炭素鋼鋼管 JIS-G3444 (STK400)
- 建築構造用圧延鋼材 JIS-G3136 (SN490B, SN490C)
- 一般構造用圧延鋼材 JIS-G3101 (SS400)

図1, 図2に鉄塔設計図を示す。

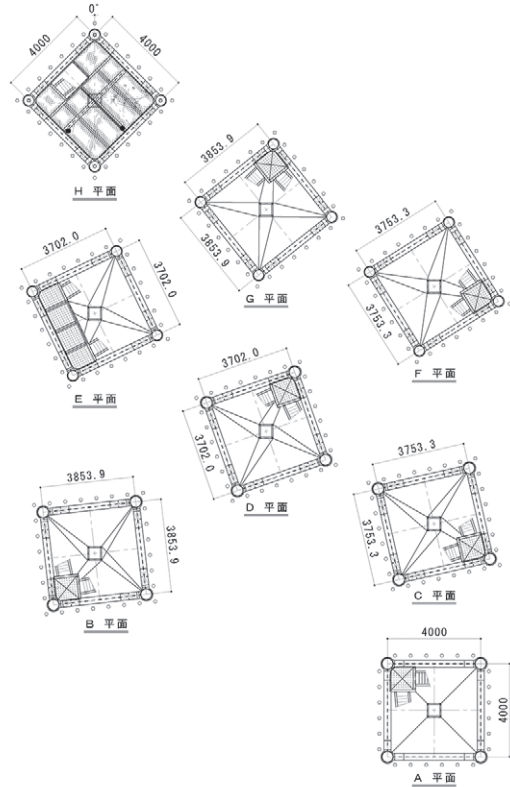


図2 鉄塔平面図

建物固有周期  $T$ ：鉄骨造のため、 $T = 0.68$  秒

鉄塔上部構造の設計目標は、次の通りとした。

長期荷重時：長期許容応力度以下

稀荷重時(暴風時)：短期許容応力度以下

極稀荷重時(地震時レベル2, 弾性設計)：短期許容応力度以下

## 2.2 鉄塔の強度計画

鉄塔は、耐風性、耐震性が求められ、外力に対して安全でなければならない。外力の諸元は、次の通りである。

- a) 風荷重：建築基準法，地上デジタル放送用送信設備設計共通仕様書に依る  
設計用地表面粗度区分：Ⅲ  
設計用基準風速：30 m/sec
  - b) 地震荷重：通信鉄塔設計要領・同解説(一社)建設電気技術協会に依る  
地震地域係数： $Z=1.0$   
標準せん断力係数： $Co=1.0$
- また、諸元は、以下の通りとした。  
鉄塔一次固有周期  $T_t$ ： $T_t = 0.504$  秒

特に、地震時の極稀荷重時においては、弾性設計、短期許容応力度以下を設計目標としているのは、極稀荷重時においても通信機能を損なわないためである。

## 3. 応力解析について

### 3.1 構造モデル及び応力解析モデル

鉄塔の構造モデルは、節点番号・部材番号・結合条件および境界条件により構成される立体骨組モデルとした。構造モデルの鉄塔基部接合形式は、ピン接合とした。

応力解析は、三次元任意形状フレームモデルの構造解析が可能な『STAN / 3D』を使用した。

応力解析モデルは、平面軸の X 軸, Y 軸を中心に

対称となる正方形断面を、最下節(A面)の図心を軸とし、2節目より上部平面を各節毎に左回りに45°回転させて構築した。鉄塔各層の座標点は、解析モデル図より座標点を抽出する手法を採用した。

図3に鉄塔解析モデル図を示す。主柱材を2節目

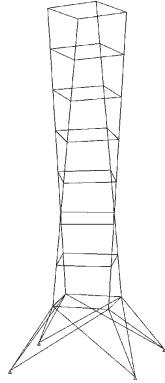


図3 鉄塔モデル図

表1 荷重ケース

荷重ケース	荷重方向
荷重ケース1	鉄塔自重及びアンテナ重量等の固定・積載荷重
荷重ケース2	風圧時0°方向
荷重ケース3	風圧時45°方向
荷重ケース4	地震時0°方向
荷重ケース5	地震時45°方向
荷重ケース6	ねじり力

表2 組合せ荷重ケース

組合せ荷重	荷重ケース
組み合わせ荷重ケース1	荷重ケース1 + 荷重ケース2
組み合わせ荷重ケース2	荷重ケース1 + 荷重ケース3
組み合わせ荷重ケース3	荷重ケース1 + 荷重ケース4
組み合わせ荷重ケース4	荷重ケース1 + 荷重ケース5

表3 通しダイアフラムの設計

TYPE	部材	H (mm)	B (mm)	tw (mm)	tf (mm)	bf (mm)	dc (mm)	td (mm)	ダイアフラム (mm)	
1	梁材	H390 × 300 × 10 × 16	390	300	10	16	300	447.7	18.6	PL-22
	柱材	φ 457.2 × 9.5	457.2	9.5						
2	梁材	H390 × 300 × 10 × 16	390	300	10	16	300	441.2	18.8	PL-22
	柱材	φ 457.2 × 16.0	457.2	16.0						
3	梁材	H-488 × 300 × 11 × 18	488	300	11	18	300	441.2	21.2	PL-25
	柱材	φ 457.2 × 16.0	457.2	16.0						
4	梁材	H-488 × 300 × 11 × 18	488	300	11	18	300	489.0	19.1	PL-25
	柱材	φ 508.0 × 19.0	508.0	19.0						
5	梁材	H-588 × 300 × 12 × 20	588	300	12	20	300	489.0	21.3	PL-25
	柱材	φ 508.0 × 19.0	508.0	19.0						
6	梁材	H-588 × 300 × 12 × 20	588	300	12	20	300	486.0	21.4	PL-25
	柱材	φ 508.0 × 22.0	508.0	22.0						

より傾斜させることによって、視覚的に鉄塔がねじれた印象をもたらしている。

応力解析を行う荷重ケースは、表1に示す6ケースとした。また、荷重ケースの組合せは、表2に示す4ケースとした。

### 3.2 断面算定について

本鉄塔は、柱と梁の剛性を考慮した断面算定を行う必要がある。断面算定に必要な柱の座屈長さは、日本建築学会「鋼構造許容応力度設計規準」P. 91の柱頭の水平変位が拘束されていない柱の強度とした。

### 3.3 柱梁接合部の検討

柱梁接合部は、溶接構造であるため通しダイアフラムを有する。通しダイアフラムの設計については、ダイアフラムと梁の降伏点を同一とする検討とした。

図4、表3に検討方法を示す。

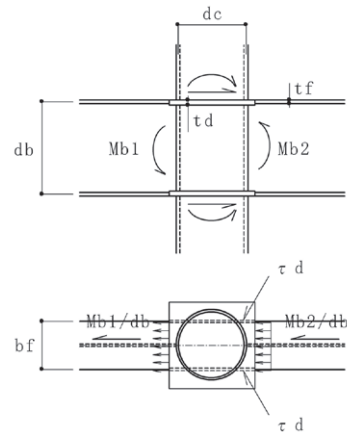


図4 通しダイアフラム概略図

### 3.4 最下層柱頭ダイヤフラムの軸力曲げ伝達

本鉄塔の構造モデル上、解析モデル基線と製作時基線に若干のずれが生じるため、基線のずれにともなう偏芯曲げを考慮し接合部パネルの検定を行う必要がある。

最下層柱頭の格点は、構造構成上、ダイヤフラム、補剛プレートが配置されている。

日本建築学会「鋼構造塑性設計指針」を踏襲し検定を行った。図5に解析モデル基線と製作時基線、表4にディテール検討を示す。

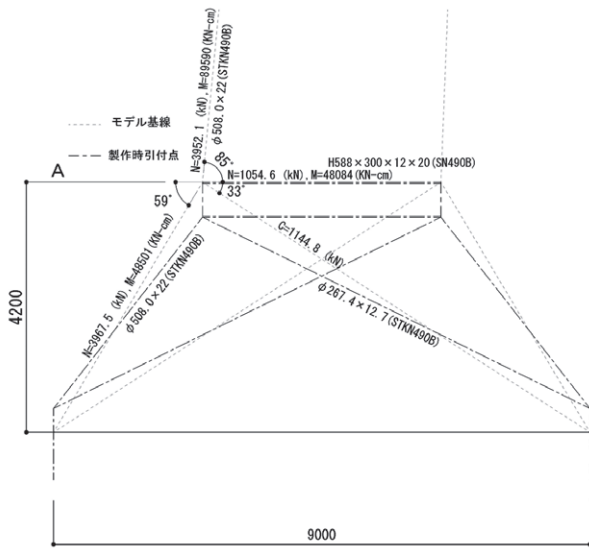


図5 モデル基線と製作時基線

表4 接合部パネルの設計

主材サイズ	φ508.0×22.0
材質	STKN490B
梁材	H588×300×12×20
材質	SN490B
・接合パネルモーメント	—
$pM = (bM_R + dbxN4) \times \sqrt{2}$	601835.48
$bM_R$ (KN・cm)	372688.99
$db$ (cm)	58.8
・全塑性モーメント	—
円形中空断面柱: $pM_D = Vex \sigma_v / \sqrt{3}$	2359331.714
$Ve = 2 \times dc \times db \times tp$	2573.792
$db$ (cm)	58.8
$tp$ (cm)	2.2
$de$ (cm)	48.6
全塑性モーメント比	3.920227045
$pMp > pM$	o.k

## 4. 図面, 現寸について

製作図面作成では、2次元CADと3次元CADを併用し、双方の利点を取り入れた。製作図面作成後に実施する現寸作業では、その3次元作図データを活用した。図6、図7にそれぞれ3次元CAD図を示す。

工事現場打合せでは、作成した3次元CAD図を活用した構造協議を重ねることで、元請け工事会社殿との検証をスムーズに行うことが可能となった。特に、鉄塔内部水平材の配置については、次に示す留意事項の確認を図面段階で行うことができた。

### a) 昇降階段有効高さの確保

本鉄塔の昇降は、鉄塔内部に設置された階段

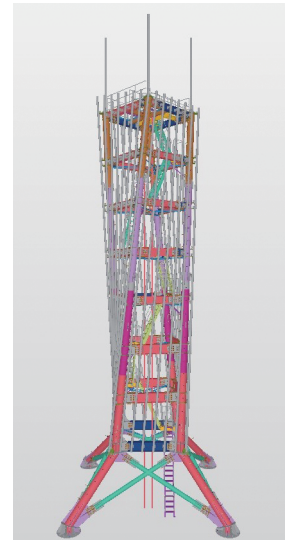


図6 立面モデル図(3DCAD)

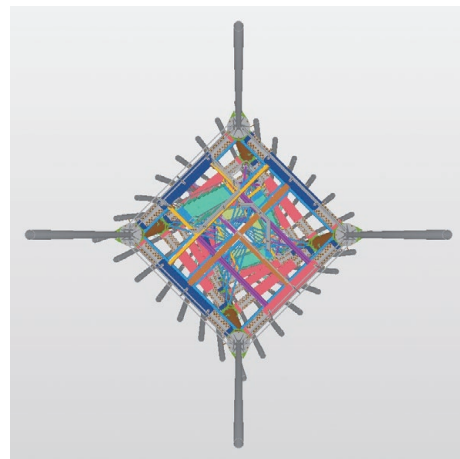


図7 平面モデル図(3DCAD)



を使用して行う。鉄塔材で囲まれた空間を利用して安全に昇降できる設計とする必要があるが、主柱材が傾斜して配置されているため、昇降スペースの確保、昇降のための階段有効高さの確保が必要であった。

b) 方杖材との干渉検証

鉄塔構造を構築するためには様々な部材を配置する必要がある。上側部材を下方から支える方杖材の配置は、構造上有効な位置への配置で、かつ、鉄塔内部空間の他部材との干渉を避ける必要があった。

c) 主柱材への溶接可能位置の見極め

本鉄塔は、鋼管材を主体に構成されている。鋼管材の格点は、溶接構造が多く採用されており、溶接可能位置の見極めは、構造構築において非常に重要である。3次元CAD図を活用することで、溶接可能位置の見極めを明確にすることができた。

## 5. 製作について

本鉄塔の製作は、従来の鉄塔に比べ、数多くの留意事項が存在する。代表的なものを次に示す。

- a) 主柱材が傾斜していることより水平梁の仕口が画一ではなく、3次元的な方向に取り付くため、主柱材の組み立てには、溶接施工が正確に行えるように、3次元CADデータを活用した様々なシミュレーションを行う必要がある。
- b) 主柱材は、鋼管材に様々な鋼板材を溶接して構成されている。主柱材が傾斜していることで、鉄塔構造を構築するためには、3次元CADデータを活用して、多数の対角寸法の設定を事前に行い、製造指示を行う必要がある。
- c) 最下節は、写真1に示す通り、建物柱位置から鉄塔2節目主柱材に向け、急激に傾斜した構造である。特に柱脚部と2節目主柱材との格点は、多くの鋼板が集中して配置され、主柱鋼管材に対して各種形状の鋼板の組立手順(仮付け溶接、本溶接)の明確化が重要である。

写真1～写真4に製品仮組立状況を示す。



写真1 最下節写真(建物との連結部)



写真2 中間部写真1(上側より撮影)



写真3 中間部写真2(下側より撮影)



写真4 頂部写真(上側より撮影)

## 6. む す び

鉄塔は、通常、アンテナの支持物として機能が求められるものである。本件のように意匠性が高い場合は、階段の昇降ルート、アンテナケーブル布設ルート、アンテナの取付け、建物との接合部の細部設計、応力解析、製作施工性へ配慮、製品品質の確保など、いずれも難易度が高く、製品構築のためには、数多くの協議・検証と高度な技術力が必要であった。

本鉄塔は、当社の扱う製品としては特徴的な構造体ではあるが、当社の設計、製作の技術力で高い精度の製品構築を達成できた。

今後も、本件同様に高い技量の求められる製品の構築や、鉄塔に限らず、新たな分野へのチャレンジを進めて行く所存である。

最後に、本製品構築に携わり、製品実現に邁進した関係者各位に感謝申し上げます。

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



**牧羽 祥光**  
平成 11 年入社  
中央統括部 技術部  
鉄塔等鋼構造物の設計業務に従事



**岡田 厚志**  
平成 5 年入社  
中央統括部 技術部  
施工管理及び鉄塔等鋼構造物の設計管理業務に従事



**吉岡 信昭**  
平成 30 年入社  
支店統括部 仙台支店  
鉄塔等鋼構造物の設計業務に従事



**白田 雄一**  
昭和 62 年入社  
株式会社アンコー  
鉄塔等鋼構造物の製作管理業務に従事