

# 高層タワー構造物の 施工技術の変遷と開発事例について



専務取締役 営業本部長 西垣 登

私が1969年宮地に入社を希望したきっかけは、わが国の有数の橋梁建設に豊富な実績を有し、東京タワーを始めとする特殊鋼構造物を建設した宮地の高度な施工技術に興味を抱くと共に、この会社の大舞台で自分も活躍できたらと、熱い思いに駆られことにありました。

入社当時は高度経済成長期（1955～1973年）にあり、橋梁関連工事は首都高速・東名高速道路・国鉄新幹線他の交通インフラ建設が急ピッチに進められていました。

また国内産業の急速な発展を先導する為の電力事業関連工事、特に火力発電所（タービン・ボイラー棟鉄骨及び高さ200m級高層煙突）の建設は、鹿島臨海工業地帯・京葉工業地帯はじめ、全国的に建設されていました。

更に新放送網の整備事業として、NHK・民放各社の送信タワー高さ200m級の新旧建替え工事も進められていました。

この当時は、大型の移動式クレーンはあまり普及しておらず、主に三脚デリック・ガイデリック・ジンポール等のシンプルな設備で、職人のウインチワークの技量に頼るところが多く、「滑車・ワイヤーロープを如何に扱うか！！」知恵比べのようにも思いましたが、強度検討はしっかりと検証されていました。

1985年の創刊号の発行の際には、「下津井瀬戸大橋トンネルアンカーフレームの施工」について寄稿させていただきましたが、今回振り返ってみて、日本初、世界で2番目のトンネルアンカーフレーム工事（斜坑77m38度勾配吊り橋ケーブル定着部）のような高難度工事を、従来施工方法に捕らわれることなく、まだ20代後半の発想に委ね、シーソー型回転装置の開発と施工計画の立案、そして現場施工管理までを任せていただいた会社の方針に、私の技術屋としてその後の生き様・考え方に大きな影響を与えてくれた事と感謝しています。

今回「技術評論」の執筆依頼を受け、私にとって荷が重く思いましたが、橋梁技術については優れた研究開発事例が数多く報告されていますので、今回

は特殊鋼構造物に着目し、諸先輩方から伝承された技術を次世代に繋ぐためにも、高層タワー構造物の施工方法の変遷と、独自に工夫・開発した事例を報告させていただきます。

## 高層タワー構造物の実績と工法について

鉄塔・タワー工事で宮地の特筆すべき工事としては、今から約90年前の1929年（昭和4年）愛知県刈谷市に依佐見無線送信所高さ250m鉄塔8基を、シンプルなジンポールとウインチワークにより建設したことで、全国から引き合いが来るようになったとのことであります。

この鉄塔を1996年に解体する際には、私自身も計画から関わり、この無線鉄塔から、連合艦隊司令部の暗号電文「ニイタカヤマノボレー二〇八」が発信され、1941年12月8日真珠湾奇襲攻撃により、太平洋戦争が開戦されたと聞き、戦争への複雑な思いと鉄塔の歴史を知るきっかけとなりました。

1937年には、NHK川口ラジオ第1放送所支線式鉄塔（南・北塔）高さ312.7m当時東洋一の建方工事を行っています。その後、我々の世代に引き継がれ、1977年から1983年にかけて、埼玉県久喜市に東京ラジオ（第1）（第2）放送用鉄塔の建替え工事に伴い解体工事を行うなど継続していました。

放送技術の発達と共に、その主流がラジオからテレビに移り、最初の自立式テレビ塔は、当社が建方に参画し、1954年に完成した名古屋テレビ塔（高さ180m）であります。その後1958年には、世紀の大事業である東京タワー（高さ333m）を見事に完工し「タワーの宮地」としての特殊技術を確立して対外的な信用を高めることができました。

2012年完成の高さ634mの東京スカイツリー建方工事は、当社創業以来培ってきたタワー構築技術の集大成として、全社一丸となって建方工事を進めることができました。

また、シンボルタワーの先駆けとして、1963年神戸ポートタワー（高さ100m）・1971年PLランド大平和記念塔（高さ180m）建方工事の実績をもとに、

1989年水戸芸術館シンボルタワー（高さ100m）・1993年大分グローバルタワー（高さ100m）等の芸術的構造特性を有したタワーの建方にも、新しい工法・機械装置の開発を推進し工事を完工することができました。

その他にNTTドコモ埼玉タワー（高さ230m）・後樂園スペースタワー（高さ100m）・展望と通信を兼ねた福岡タワー（高さ294m）・東電姉ヶ崎火力発電所高層煙突（高さ230m）他実績は数多くありますが、その中から建方（解体）工法の紹介と開発事例について簡潔に記載いたします。

## 1 戦後復興のシンボル 東京タワー（ガイデリック並びに2ブームエレクター工法）

### 1) 工事概要

1958年12月23日（昭和33年）に完成した東京タワーは、エッフェル塔より13m高い地上333m、テレビの送信と観光タワーとし当時世界一の高さであった。（昭和33年333m・・・3の数字）戦後日本の復興の象徴として親しまれ、今年で60年がたった今も日本のシンボルである。2013年にはその歴史的建造物としての価値が認められ、国の有形文化財に登録された。5年に一度の塗り替え塗装を行うと共に、デジタル放送アンテナの増設もあり、現在の設計基準に照らし合わせ、制振ダンパーの設置他耐震補強工事も行われ、現在も改修工事が進められている。

### 2) 工法概要

当時の建方工法は、トラッククレーンなどは使用せず、ジンポール・ガイデリックなどのシンプルな設備と高度な職人の技術によるウインチワークにより、建方が行なわれていた。

更に高層部分はエレクター（エレクションクレーンの略称）により施工しているが、このエレクターはブーム2本設けたガイデリックと考えれば良く、2本のブームと滑車・ワイヤーロープを効率良く構成し、ウインチワークで昇降・旋回をする。この工法は我々の世代でも鉄塔建方で経験をしている設備である。

塔最上部のTV送信アンテナを据えるための支持塔（ゲイン塔）は、全長91m（差込み含む）のトラス部材を分割し、塔頂部に30mの仮設タワーと斜めケーブルクレーンを設置して吊り込み、一体型に接合し約90tの支持塔をワイヤーロープとウインチワーク（宮地式リフトアップ工法）によりせり上げ固定した。（写真-1）

また作業員の昇降は、斜めケーブルクレーンにゴ

ンドラをセットした昇降式ゴンドラ設備を盛替えながら工事を進めていた。当設備はゴンドラ構造規格に適合しており、その後の鉄塔工事でも有効に使用されていた。

表-1 東京タワーの概要

高さ：333m（塔体253m+アンテナ塔80m）	
塔脚部 経間：正方形（4脚） 80m/辺	
工期：15ヶ月	継手構造：リベット+ボルト
主構造：組合せ部材	鋼重：約4,000t

## 2 五重塔に学ぶ 世界一高い 東京スカイツリー

### 1) 工事概要

アナログ放送から地上デジタル放送に完全移行する為には、高層ビルの影響を受けにくい450m以上の送信施設が必要との事から、2003年「新タワー建設協議会」が発足され、首都圏から10か所を越える候補地が名乗りを上げ、当社も事前検討業務に取り組んできた経緯があり、2006年3月に「墨田区押上・業平橋地区」が建設地として最終決定された。

2009年に着工し2012年に竣工した東京スカイツリーは、「空へ伸びやかに立つタワーを樹木に見立てたユニークな名」が公募から選ばれ、どこまでも伸びる木、それは夢と希望の象徴で、新時代にふさわしいタワーとして名称が付けられた。

高さは東京タワーの2倍近い634m、塔柱脚形状は正三角形で脚径間は68mで3本の足でほっそりと立つデザインで、現在世界で最も高い送信タワーである。（634・・・ムサシ・武蔵）

このタワーの構造特性は、柱脚間隔は68mと東京タワーより狭くなっており、耐震性実現のために、古来の五重塔の耐震構造を取り入れ「柔らかく力を受け流す」心柱（RC造）をタワーの中心部に設け、タワー本体との間にダンパーを配置して、揺れを打ち消しあい低減できるなどの設計的工夫がなされている。

### 2) 工法概要

鉄塔の建方工法は、3台の大型クライミング式タワークレーンを塔体部に設置して、建方とクライミングを交互に繰り返し建方を進めた。塔体は極厚鋼管トラス構造で、現場溶接接合であるため、溶接作業が支配的の工程となっており、事前技量付加試験により技量の高い溶接職人を選び、最盛期約50人ほどの体制で作業を進め、厳しい工程を守ることができた。



写真-1 建設中の東京タワー



写真-2 建設中の東京スカイツリー

また現場溶接部分に、製作・建方誤差が発生することを想定し、仕口部分の誤差吸収を容易にできる、当社開発の「スチールバックキング工法」(特許第2666905号)を提案し、品質管理を確実に行うことができた。

ゲイン塔(アンテナ塔)は、全長156m(差込部含む)を有し、地上部より塔内中央部に鋼管部材を搬入・地組立を行い、PCストランドを用いたジャッキシステム(VSL工法)を採用して、順次継ぎ足しながら全体重量3,200tのリフトアップ作業を行った。

2011年3月11日リフトアップ最中にマグニチュード9の巨大な東日本大震災が発生したが、幸いにも作業員と塔体に異常は無く、3月18日にアンテナ頂部を高さ634mへ構築することができた。(写真-2)

表-2 東京スカイツリーの概要

高さ：634m：(塔体496m+アンテナ塔138m)	
塔脚部 経間：正三角形(3脚) 68m	
工期 34ヶ月	継手構造：現場溶接一部ボルト
主構造：鋼管部材	鋼重：約35,000t

### 3 絶縁ガイシ構成による高さ240m 支線式東京(第1)放送用鉄塔

#### 1) 工事概要

旧ラジオ放送鉄塔の老朽化及び放送アンテナ技術の革新もあり、建て替え工事が増加し、1975年札幌放送用鉄塔(第1)(第2)の新設工事に続き、1981年12月埼玉県久喜市に建設されたNHK東京第1放送用鉄塔(空中線)は、放送周波数594KHzである事から波長係数を考慮してアンテナ長すなわち塔の高さは265mとなるが、最頂部に頂冠と称する直径12mのリングを有するアンテナを構成することで約40mほど短くする事ができ、高さ240mとなっている。

アンテナ鉄塔の構成は、柱脚部に台ガイシを配し、その上に直径1.25m、長さ5.6mのフランジ付き鋼管部材をボルト接合して積み重ねこれを3方向平行7段支線で支持するが、アンテナ柱から誘起される電流を押さえる絶縁ガイシを組込み、空中に浮かした形態となっている構造がラジオ電波塔の特性である。

#### 2) 工法概要

鉄塔の建方は、地上25mまでをトラッククレーンで建て、それから上部はクライミングクレーンを鉄塔側面に添わせて鉄塔本体をガイド柱に利用しながら



らせり上げ頂冠までの建方を行った。

鉄塔の建方は、各本支線間毎に仮支線を張り安定形状を保ちながら、本支線を取り付ける。

本支線は地上で絶縁ガイシを組み込み、クライミングクレーンによる吊り上げと地上ウインチの引き込み作業によりアンカー部に定着するが、3方向の張力バランスを取りながら、慎重に引込み定着を行うと共に、建入調整を並行して進め、頂冠部材は部分面組形状で取り付けを行った。

クライミングクレーンの解体後、3方向7段支線（支線21本）の初期張力導入（最大約10t）と全体建入調整を行い電波塔の建方を完工した。（写真-3）

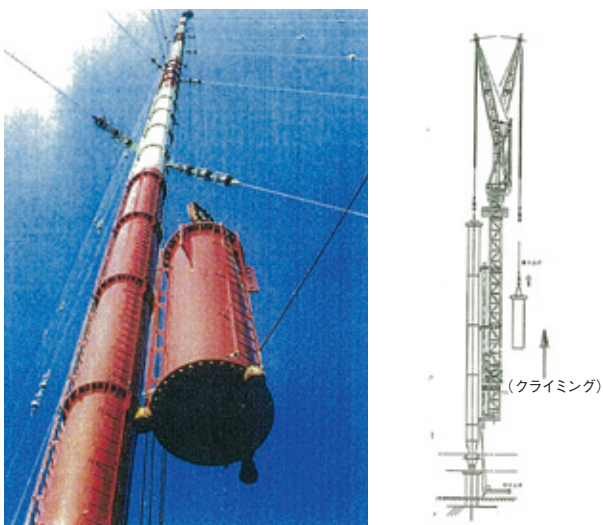


写真-3 支線式東京（第1）放送用鉄塔

#### 4 自動昇降式防護ステージと多機能式クライミングクレーンによるNTTドコモ埼玉タワー

##### 1) 工事概要

NTTドコモ埼玉タワーは、新都心の急進性を象徴するシンボリックなデザインでマルチメディア基地として北関東地区の中核を担う施設として建設された。

当工事は、地上100mのビルの上に約130mの通信タワーを建設し、高さ約230mの頂部には半円形にデザインされた飾り鉄骨と通信アンテナポストが設置されている。

鉄塔建方工事周辺は、都市部の狭隘な場所で、歩行者が工事現場直下を通行するような状況であり、自動昇降式防護ステージ設備と多機能式クライミングクレーンの開発により、建方作業の効率化と安全性の向上を図ることができた。

##### 2) 工法概要

鉄塔支柱は工場で亜鉛アルミ溶射を施し、現場継

手部の溶接後、常温アルミ溶射にて表面処理を行うため建方作業時の防風対策及び落下物養生設備として、塔体外周部に新たに考案した自動昇降式防護ステージを配置した。

さらに当社開発の多機能式クライミングクレーン（19t×7m）をタワー中央部のエレベーターシャフト内に設置し、建方作業は防護ステージの中で行うため、作業効率は大幅にアップする事ができた。

工事は防護ステージとクレーンのクライミングを繰り返し建方作業を進め、塔体高さ210mの建方完了後、クライミングクレーンの旋回台下部に、自ら水平走行用設備を装着し、水平走行ジブクレーンに仕様変更して、クレーンマストを切り離して約5m水平移動させ、頂部飾り鉄骨の取り付け・通信アンテナポストの取り付けを行った。（写真-4）

※多機能式クライミングクレーン（ME-130型）の特性について（特許第3104159号）

①鉛直クライミング ②壁面走行 ③水平走行の3機能を有する。）

- i) 運転席・カウンターウエイトを備えていないため、軽量でコンパクトな構造形式となっている。
- ii) 作業時の反力は、ガイドレールを介して、強固な鉄骨に伝達する必要がある。
- iii) クレーン操作は操作コードによる押釦方式である為、建方作業近傍及び地上部での操作ができる。
- iv) クライミングは、鉄骨側面にガイドレールを取り付け、マストに組み込まれている油圧ジャッキにより鉛直にセルフクライミングを行う。
- v) 旋回台下部に自ら水平走行装置を取り付け、クレーンマストを切り離し、水平走行ジブクレーンとして使用できる。
- vi) ガイドレールとガイドローラーを組み替える事で鉄骨壁面に添って、横方向に走行する事も可能である。

自動昇降式防護ステージは、軽量立体トラスで構成され、外形 縦15m×横20m×高17mの大型形状を有し外周は防災シートで覆い、8台の電動チェーンブロックと変位アブソーバー・ロードセルを用いた集中自動制御方式によりクライミング操作を行い、安全防護設備として高い評価を得ることができた。

更に自動昇降式防護ステージ工法については、愛知県稲沢市の三菱電機試験タワー建方工事へ水平展

開すると共に、運搬及び保管時のスペースを約70%縮小できる「折りたたみ式軽量立体トラス」(Mトラス)を開発し、現在も多目的に活用されている。

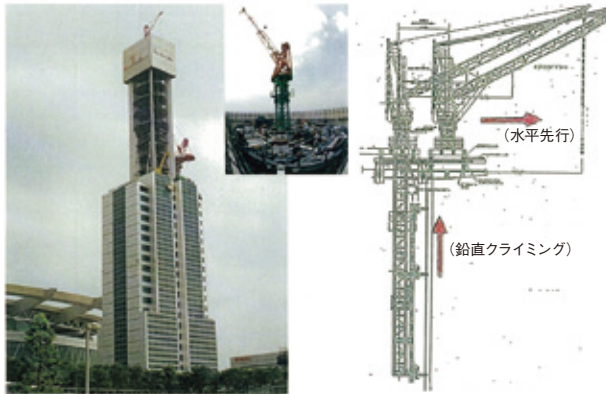


写真-4 NTTドコモ埼玉タワー

## 5 ダルマ落とし工法による高層煙突の解体 (磯子火力発電所高層煙突解体)

### 1) 工事概要

高度経済成長時代に建設された火力発電所は50年を過ぎ老朽化が進み、大きな地震も多発していることから建て替え工事が進められている。

※当煙突解体工事に於ける諸条件

- i) 構内は発電所として稼働しており、現場周辺には重要なパイプライン・各種タンク等が設置されており工事ヤードが狭い。
- ii) 煙突は排煙の影響を強く受けおり、鉄塔・筒身部材等に腐食が見受けられるなど強度面での調査・対策が必要である
- iii) 排煙する筒身内部には、耐熱・防蝕を兼ねたライニング(グラウトモルタル)が施され、剥落の危険性がある。

解体工事現場特有の諸条件を考慮して、当社独自の技術と特殊機械(多機能式ジブクレーン・ベアロックジャッキ他)を活用した「ダルマ落とし工法」を開発し、2003年に磯子火力発電所高さ140mの鉄塔支持型煙突の解体作業を安全かつ効率的に実施することができた。

### 2) 工法概要

最初に、仮設資機材の荷上げ設備として、斜ケーブルクレーンを設置し、多機能式ジブクレーンを塔上部(GL+115m)仮置き架台上に設置した。

次に、筒身をリフトダウン(ダルマ落とし)する為の、ロングシリンダー型ベアロックジャッキ(B/Lジャッキ)を地上25mの水平構面上に設置した。

更に筒身の板厚減少を考慮した、FEM解析を実施し、ジャッキでの吊り下ろしの為の反力受金具を約6mの間隔で筒身に溶接し、4セット8台のB/Lジャッキを設置し、切断からジャッキダウンのダルマ落としを繰り返し、筒身頂部が多機能式ジブクレーン仮置き位置に下がった時点で、ジブクレーンを筒身頂部に移動・固定して、筒身のジャッキダウンに並行して支持鉄塔の解体を行った。

また筒身内部のライニング撤去を研り作業で行うには、危険が伴うため切断方法については、予め工法選定のための実験を行い、外部からのアークエアガウジングにより帯板形状に切削・撤去し、外部からライニングを研り落とす方法を採用し、作業の安全性と効率化を図ることができた。(写真-5)

それ以降、当工事の経験を活かし 西名古屋火力発電所高さ230m高層煙突解体を行い、現在は、勿来火力発電所高さ150m高層煙突解体工事を進めており、これからも既設高層煙突解体工事は増加すると思われる。



写真-5 磯子火力発電所高層煙突解体

今まで関わった高層タワー構造物に於ける施工実績と工法及び開発装置について概要を記載しましたが、これらの実績は、当社の長い歴史の中で建設産業の好・不景気の波を乗り越えられた大きな要素のひとつであり、今後も限られた経営資源をこの分野に分配し、継続させる必要があると考えています。

ここ数年の間に、各産業界はロボット化・デジタル化・AIによる効率化が急速に発展しており第4次生産性革命(産業革命)の時代に入ったとも言われています。

建設産業も機械化が進んだとは言え、まだまだ労働力を必要とする産業であります。少子高齢化による担い手不足は喫緊の課題であり、労働時間の削減

と生産性の向上のための具体的な施策が求められています。

厳しい競争社会・変化の激しい時代を生き抜くためには、時代のニーズを先取りした技術開発が必要不可欠であります。

「温故知新」これまで培った技術・技能に学び、安全且つ効率的な架設システム、省人化装置等の開発に向け、「技術立社」を合い言葉に積極・果敢に挑戦し、次世代への道を切り開く勇気とたゆまぬ努力をお願いして筆をおくことと致します。