

東京タワー耐震改修工事報告

Report on Seismic Renovation of Tokyo Tower



斎藤 直政^{*1}
Naomasa SAITO



大矢 亮^{*2}
Makoto OYA



貝瀬 正紀^{*3}
Masaki KAISE



富谷 淳司^{*4}
Atsushi TOMIYA



佐藤 雄一^{*5}
Yuichi SATO

要旨

東京タワーは1958年（昭和33年）12月に完成され、高さ333mを誇る世界でも有数の超高層タワーである。戦後日本の復興の象徴として、また高度経済成長の原点として広く親しまれている。2013年5月12日の地上波アナログ放送電波停止により、塔頂部の補強工事に着手することが可能になった。本稿は東京タワー耐震改修工事のうちで塔頂部耐震改修工事における、既存スーパーターン支柱の更新工事と既存スーパーゲイン塔の補強工事を報告するものである。

キーワード：ST支柱の更新、SG塔の補強・補修、制震ダンパーの更新

1. はじめに

東京タワーは1958年（昭和33年）12月に完成され、高さ333mを誇る世界でも有数の超高層タワーである。戦後日本の復興の象徴として、また高度経済成長の原点として広く親しまれている。2013年にはその文化的な価値を認められ、国の登録有形文化財に登録された。また電波塔としての機能は、2013年5月31日にNHK及び民放5局の送信電波が東京タワーから東京スカイツリーへと完全に移行され、現在では災害時にスカイツリーからの電波供給が途絶えた際の予備電波塔としての役割を担っている。

今回東京タワーは、塔頂部の地上波アナログ放送電波停止により、以前より検討されていた塔頂部の補強工事に着手することが可能になった。

本稿は主に東京タワー耐震改修工事の中の塔頂部耐震改修工事における、既存スーパーターン支柱（以後ST支柱）の更新工事と既存スーパーゲイン塔（以後SG塔）の補強工事を報告するものである。

2. 工事概要

工事名：東京タワー耐震改修工事

場 所：東京都港区芝公園4-2-8

工 期：2012年1月6日～2014年10月31日

発注者：日本電波塔株式会社

元請者：株式会社 竹中工務店

設計・監理者：株式会社 日建設計

建築用途：電波塔、展示場、事務所、店舗

最高部高さ：333m

工事数量：新設ST支柱	15.2t
SG補強フレーム	89.9t
合 計	105.1t



写真-1 東京タワー全景

^{*1} 建設事業本部 建設工事本部工事部工事グループ 現場所長

^{*2} 建設事業本部 建設工事本部工事部工事グループ 現場副所長

^{*3} 建設事業本部 工務・計画本部計画部計画グループ サブリーダー

^{*4} 建設事業本部 工務・計画本部計画部計画グループ サブリーダー

^{*5} 建設事業本部 工務・計画本部計画部計画グループ 副主任

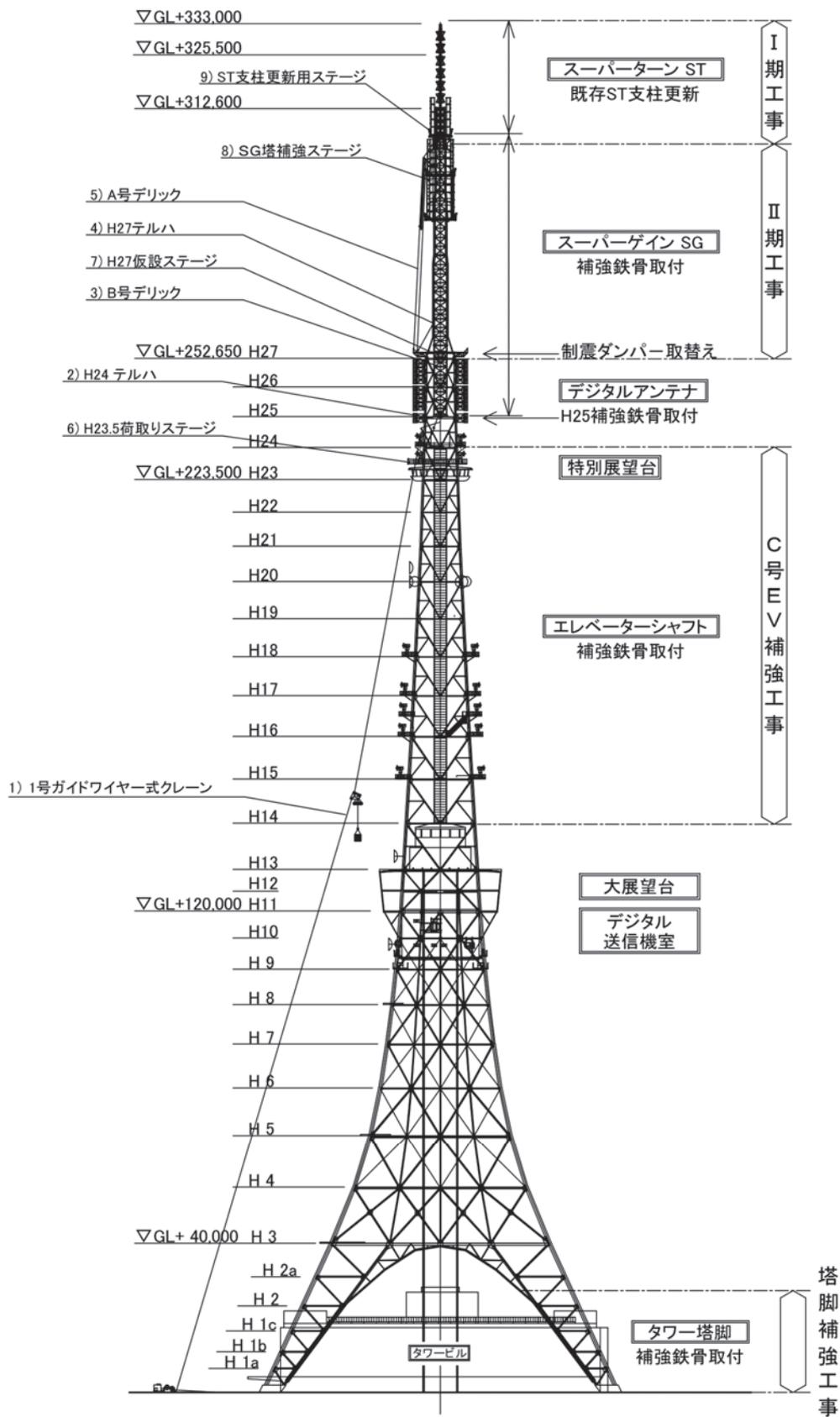


図-1 東京タワー全体図

(1) 既存ST支柱更新工事

平成23年3月11日の地震により塔頂部の既存ST支柱が変形した。(写真-2)地震時の解析によるとタワー頂部では鞭振り現象が起これ、ST支柱に対し非常に大きな水平力が生じたことがわかった。

本工事では既存ST支柱の解体と新設ST支柱の取付けを行った。

既存ST支柱の断面が165~435φの鋼管だったのに対し、新設ST支柱は□-450のBOX断面の角柱に更新することで耐震性能を向上させた。また、重量については既存の物が約7tであったのに対し新設が14tに増加した(写真-3)。



写真-2 ST支柱（更新前）



写真-3 ST支柱（更新後）

(2) SG塔補強工事

塔頂部の電波停止に伴いSG塔を覆っていたアンテナがすべて撤去され、既存SG塔の鉄骨の状態を確認することができるようになった。

そこで今回の補強工事では、既存SG塔への補強鉄骨の取付けと腐食部補修を行った。

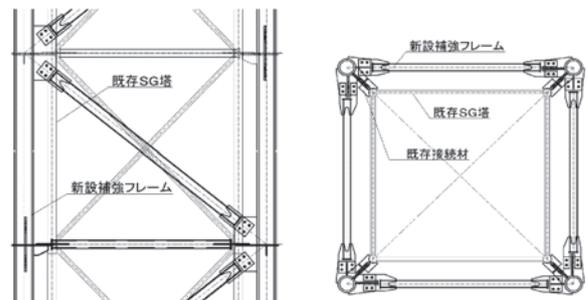
補強鉄骨は、既存SG塔の外周にフレーム状の鉄骨を被せる形状になっており(図-2)、既存SG塔と数箇所接続している。また下端部は後述する新設の制震ダンパー(鉛直ダンパー)と接続している。

既存SGの腐食部補修作業は、まず既存SG塔の古い塗膜をすべて除去し、塗膜内部の鉄骨の状態を全箇所確認し、各箇所の腐食の度合いに応じて溶接で補修盛りを行った。

(3) H27制震ダンパー更新工事

今回の耐震工事により塔頂部の重量が大幅に増加し、既存の制震ダンパー及び塔体とSG塔とを固定しているロック機構の更新が必要になった。

新設制震ダンパーは塔体側とSG塔を繋ぐように配置されており、SG柱1本に対し水平ダンパー2基、鉛直ダンパー1基と中立シリンダーにより構成されている。平常時は、中立シリンダーによって塔体とSG塔が固定され、風や小規模の地震等による水平力は各ダンパーを介さずにそのまま塔体側へ伝えられる。しかし、大型の地震時や台風などの強風により一定以上の水平力が中立シリンダーに加わると、中立シリンダー内のロック機構が解除され、SG塔の挙動が各ダンパーへと伝わり運動エネルギーを吸収するように作用する。



立面図

平面図

図-2 補強フレーム概要図



写真-4 H27制震ダンパー（更新前）



写真-5 H27制震ダンパー（更新後）

3. 揚重設備及び仮設設備

今回の工事にて設置、使用した揚重設備及び仮設設備を次に示す（他工事との共用分を含む）。（**図-1**参照）

(1) 揚重設備

- 1) H23.5ガイドワイヤー式クレーン
定格荷重：1.2t 揚程：222.8m
- 2) H24テルハ
定格荷重：1.5t 揚程：9.0m
- 3) B号デリック
定格荷重：0.8t 揚程：40.0m
- 4) H27テルハ
定格荷重：1.5t 揚程：6.0m
- 5) A号デリック
定格荷重：1.2t 揚程：57.3m

塔頂部までの資機材の運搬経路はH24～H27間のデジタルアンテナの発信する電波に影響を及ぼす懸念があり、アンテナよりも内側を通過する必要があった。資材揚重は塔体鉄骨内側の非常に狭い箇所を通過する為（**写真-6**）、新設ST支柱材や中立シリンダーの形状と重量は揚重開口の大きさと揚重設備の能力に合わせて設計された。

(2) 作業足場

- 1) H23.5似荷取りステージ
- 2) H27仮設ステージ
- 3) ST支柱更新用ステージ
- 4) SG塔補強用ステージ

各作業ステージについて、着工時の2012年1月から2013年5月12日までの間は東京タワーからデジタル放送の電波が送信されており、電波干渉の関係上鋼製の足場材を使用することができなかった。そのため本工事では杉板とFRPパイプ等、電気絶縁性のある足場材で計画した。

またSG塔補強用仮設ステージについては組立て時期がSG塔アンテナ撤去後の為、足場の材質については特に制限がなかった。そこで従来の単管足場ではなくジョイント部分にクランプを使用しないクサビ緊結式足場材を採用した。これは地上から250m以上の超高所作業という施工条件から、飛来落下による災害が重大事故につ

ながると予想されたため、クランプ等の小物の使用を最小限に抑えることで落下のリスクを減らすことを目的として計画した。



写真-6 B号デリック揚重開口
（新設ST支柱揚重時）



写真-7 塔頂部ステージ外観

4. 施工要領

(1) ST支柱の更新

① 既存ST支柱の解体撤去

ST支柱はSG塔の頂部（G-4レベル）から6m下がったG0レベルの水平材でSG塔と結合している。解体方法はST支柱の底部からダルマ落としの要領で支柱を細かく切り出し、解体材をSG塔側面の既存ブレースを取り外した仮設開口からSG塔の外へ取り出して、地上まで運搬した。解体材の部材長さはこの仮設開口から取り出せる大きさとして1m～2.5mの13分割のユニットに決められた。

解体開始時点ではST支柱の重心位置はSG塔頂部よりも上にあるため、SG塔に飲み込まれている部分のG-4～G-1の水平材に水平拘束設備（写真-8）を設置して油圧ジャッキによりST支柱の転倒を拘束した。

ST支柱の吊降ろしは、SG塔頂部に仮設構造体を設置し、そこに4台の7.5t吊り手動チェーンブロックを吊り下げて行った。荷重の偏りを防止するために、荷重検出器を用いて各チェーンブロックにかかる張力を常時計測し（写真-9）降下量を管理しながら吊降ろし作業を行った。

② 新設ST支柱の取付け

新設ST支柱の取付けは、既存ST支柱撤去時の逆手順で行われた。解体材に比べて新設材は断面も大きく重量もあるため、吊上げ時の荷重管理と水平拘束の操作を慎重に行った。

また新設ST支柱の組立てに関しては監理者側から精度管理を厳しく求められ、協議の上、全接合部について精度確認の結果を監理者に確認していただき、承認の後に溶接作業に着手する体制で施工した。取付け作業は以下のサイクルで進められた。

- 1) 夜間作業 ：新設材の取付け・調整
- 2) 早朝作業 ：精度確認、結果を監理者へ送付
- 3) 昼間作業開始前：監理者の承認
- 4) 昼間作業 ：溶接

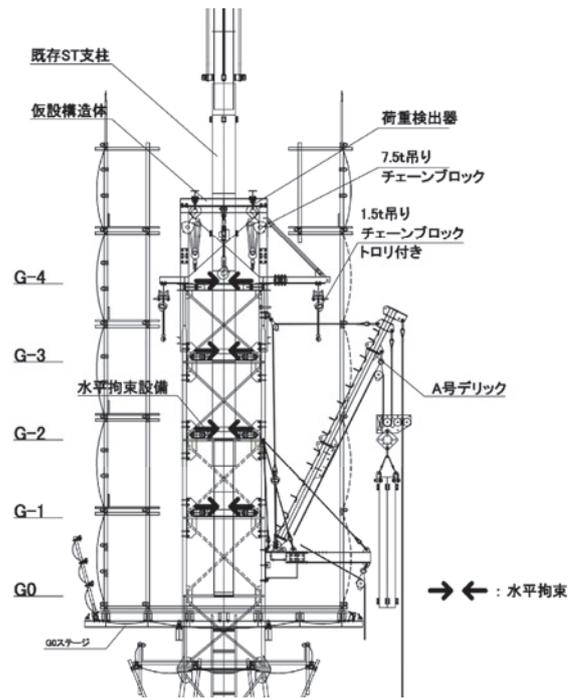


図-3 ST支柱撤去設備概要図



写真-8 水平拘束設備



写真-9 荷重表示状況（単位：t）

(2) SG塔の補強・補修

①新設SG補強フレームの取付け

既存SG塔頂部から下へ向けて取付けが進められた。取付け作業のサイクルについては前述のST支柱と同様で、夜間に鉄骨の組立てを行い昼間に溶接を行った(写真-10)。

②既存SG塔鉄骨腐食部補修

既存SG塔の塗膜除去後に鉄骨の状態の確認を行うと、無垢の鋼材に対して写真-11にあるような虫食い状の腐食が多数存在することがわかった。表面の錆やすす状の付着物を除去し健全な鋼材の表面まで清掃を行うと、腐食の激しいもので深さ12mmに及んでいた。各腐食部に対して付着物の除去を行い、腐食の激しいものについては溶接により補修盛りを行いグラインダーにて表面を一様に仕上げた。



写真-10 SG塔補強フレーム

(3) H27制震ダンパーの更新

制震ダンパーの更新手順は以下のとおりである。

- 1) 既存ダンパーの撤去
- 2) 塔体・SG側の既存ダンパー取合い部分を切断・撤去
- 3) 新設ダンパー取合い部分の取付け・溶接
- 4) 新設ダンパー及び中立シリンダーの設置

既存ダンパーの撤去作業中はH27レベルでのSG塔と塔体の接続がなくなるため、仮固定金物により固定した。ただし仮固定した状態ではダンパーによる水平力の低減ができなくなり、耐震性能上問題があるため更新作業は2箇所ずつ、最低でも2箇所の水平ダンパーがある状態を維持しながら作業を進めた。



写真-12 H27仮固定状況

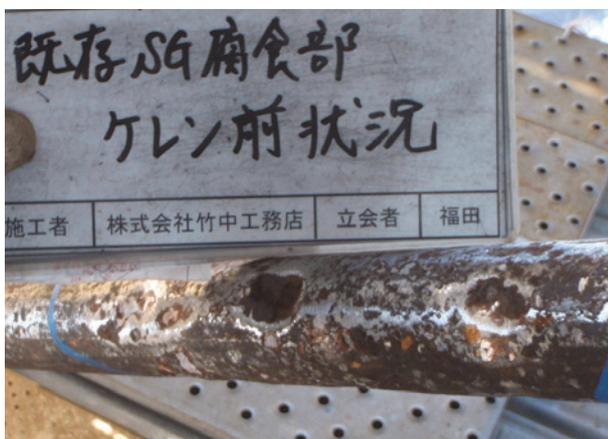


写真-11 既存鉄骨腐食状況



写真-13 既存制震ダンパー撤去状況

5. ブリストルブラスターによる現場摩擦面処理

H27制震ダンパー取付けに伴い、制震ダンパーと塔体側が取合うガセットは、めっき高力ボルトによる摩擦接合とされている。ガセット取付け箇所の既存鉄骨表面には溶融亜鉛めっき処理が施されており摩擦面処理を工事現場で施工する必要があった。この摩擦面処理にはブラスト処理面が形成可能な可搬式電動工具（商品名：ブリストルブラスター）を用いることを検討し、十分な摩擦面を得られるか高力ボルトすべり係数試験を実施して検証を行った。

(1) 工具概要

使用工具の概要を下表にまとめる。

表一 可搬式電動工具仕様

工具名	ブリストルブラスター
型式	MRX-2700X
電源	500W
定格消費電力	AC100V
無負荷回転数	3200rpm
本体重量	1.9kg

(2) 試験内容

試験体は、既存鉄骨側を溶融亜鉛めっきしブリストルブラスターにより現場で処理（写真-14）したものの、補強部材側を無機ジンクリッチペイント塗装したものを想定して実施した。摩擦面の粗さは、50~100 μ m Rzとし、試験体表面の測定点にて表面粗さ計で計測した。（図-4）摩擦面処理の結果、試験体の表面粗さは計測点の各点でばらつきがあるが、50 μ m Rz以上の値が得られた（表-2）。



写真-14 ブリストルブラスターによる摩擦面処理状況

日本建築学会推奨の試験方法にてすべり試験を実施した。試験の結果、3試験体ともに0.40以上の滑り係数が得られていることを確認でき、監理者と協議の上で本工事においてブリストルブラスターを使用した溶融亜鉛めっき面の摩擦面処理が認められた。

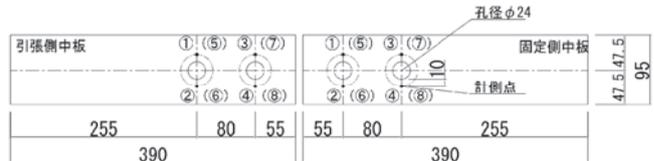


図-4 試験体表面粗さ計測点

表-2 表面粗さ測定表（試験体2）

目標粗さ：50~100 μ m Rz

製品マーク	①	②	③	④	平均値
引張側中板(表)	85.2	72.3	61.0	57.6	69.0
引張側中板(裏)	64.8	66.2	58.0	70.4	64.9
固定側中板(表)	83.1	72.3	55.7	83.8	68.7
固定側中板(裏)	71.2	67.4	60.8	74.0	68.4

(単位： μ m Rz)



写真-15 摩擦面処理現場施工状況

6.あとなぎ

今回の塔頂部耐震補強工事は東京タワー頂部の超高所に施工箇所が集中し、揚重条件の制限や物の落下リスクの大きさ等の厳しい条件での作業となりました。その中で本工事を工程が遅れることなく無事に完工できたことに対し、ご指導・ご協力いただいた発注者の日本電波塔(株)、設計監理の(株)日建設計、元請施工者である(株)竹中工務店の皆様に厚く御礼申し上げます。

2014.12.15 受付