

東京タワー地上波デジタル放送用送信所設置工事における 塔体補強および送信所鉄骨建方工事報告

Reinforcement of the Tower Body and the Construction of a Transmitting Station Steel Frame for Ground-wave Digital Broadcasting on Tokyo Tower

松田 繁夫*¹ 大矢 亮*¹ 富谷 淳司*²
Shigeo MATSUDA Makoto OOYA Atsushi TOMIYA

Summary

Tokyo Tower was completed in 1958 and is one of the world's most prominent towers as well as a source of pride in Japan. To start testing digitalized TV broadcasting, the addition of an antenna and transmitting station for digital broadcasting on the Tokyo Tower was decided. Because the digital antenna will be installed on the top of the tower (the height is about 250m from the ground), the additional load will lead to a lack of strength of the tower body during an earthquake and hence the reinforcement of the tower has been scheduled.

The authors have calculated to verify the seismic and wind resistant performance of the tower using the Japan Building Standards Law. As a result, it was judged that the support tower of a super-gain antenna on the top of the main tower has only marginal seismic performance and thus requires some reinforcement. For this reason, a seismic damper was attached to a horizontally fixed portion of the antenna support tower to decrease the horizontal force acting on the support tower and the top of main tower during an earthquake. This report describes the reinforcement of the tower body for adding the digital broadcasting antenna and the construction work of steel frame for the transmitting station.

キーワード：東京タワー，耐震レトロフィット，制震ダンパー

1. まえがき

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。

完成から44年目を迎える現在でも、テレビ・ラジオはもちろん、今日ではケーブルテレビやインターネットの電波も発信しつづける、情報網の中核として重要な役割を果たしている。また、首都東京のランドマークとしても広く親しまれており、年間約250万人もの観光者が訪れる。（写真-1）

今回東京タワーは、テレビ放送のデジタル化にさきがけて試験放送を開始することとなり、デジタル放送用のアンテナと送信所を増設することとなった。

本文はこのデジタル放送用アンテナ増設に伴う塔体の補強と、送信所の鉄骨建方工事を報告するものである。

図-1に、デジタルアンテナと送信所の設置位置及び、塔体補強の部位を示す。



写真-1 東京タワー全景

*¹宮地建設工業(株)東京本店工事第二部

*²宮地建設工業(株)東京本店計画部

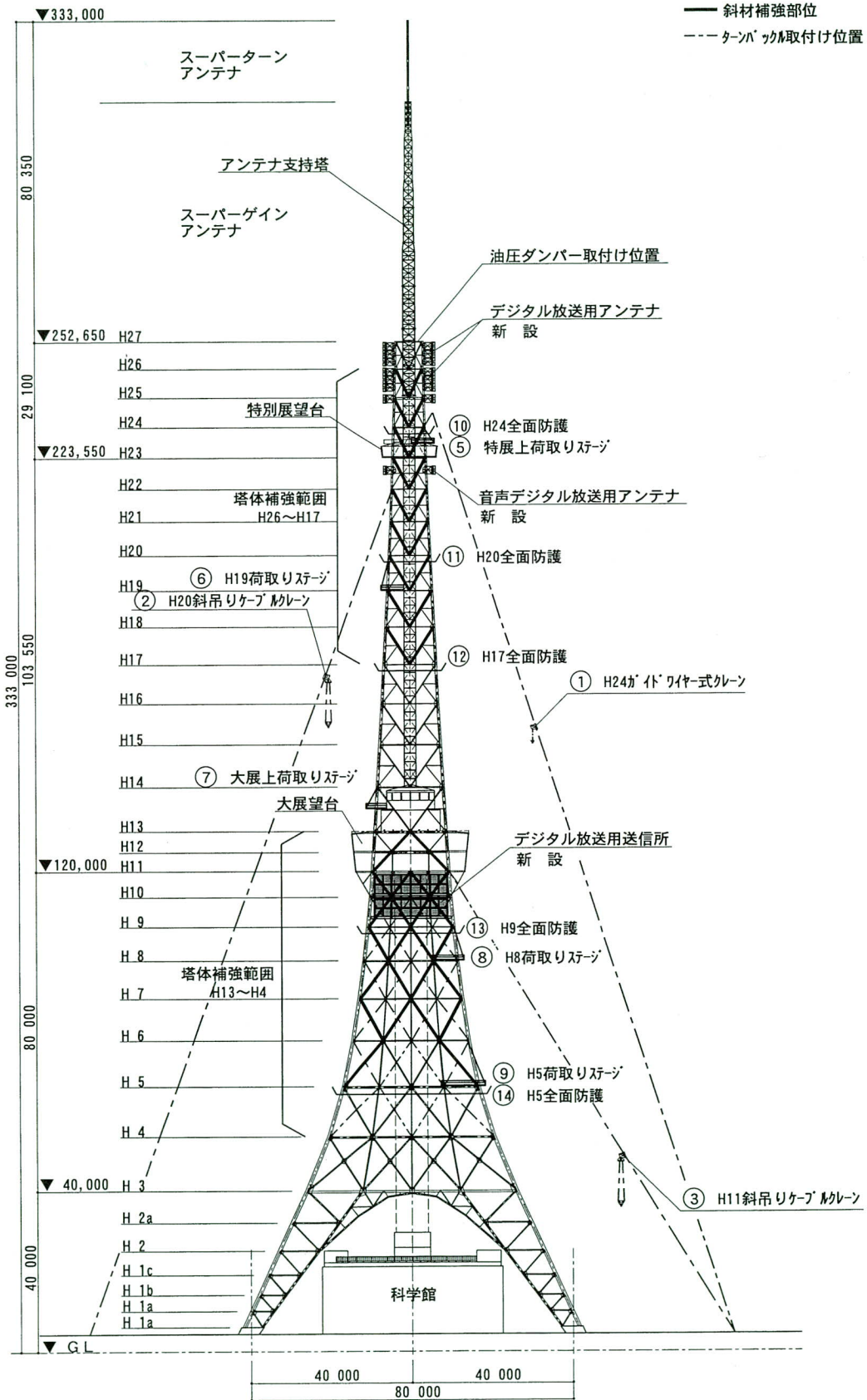


図-1 東京タワー全体図

2. 工事概要

(1) 塔体補強

今回の工事では、タワー頂部（H25～H27）に約80tのデジタルアンテナが設置される。この増加荷重は、現在の頂部の重量の約8割に相当するため、タワー全体の振動特性、つまりは耐震性能及び耐風性能に大きな影響を与えることとなる。

また、建設以後、耐震、耐風設計基準が改定されてきていることもあり、東京タワーが現行の建築基準法で要求される耐震性能及び耐風性能を有することを今回の工事にあわせて検証することとなった。

検証の結果、デジタルアンテナ設置後の東京タワーは、地震時において転倒モーメントを負担する柱材は十分な余裕度を有するが、層せん断力を負担する斜材の余裕度が一部不足することが判明した。このため余裕度の不足する斜材を補強することとなった。補強方法を図-2に示す。

(2) 送信所設置

デジタル放送用の送信所は、H10、H9面の2層に設置されることとなった。これは、送信所を下部のビル内に設置した場合、給電ロスが大きく、上記と比較してサー

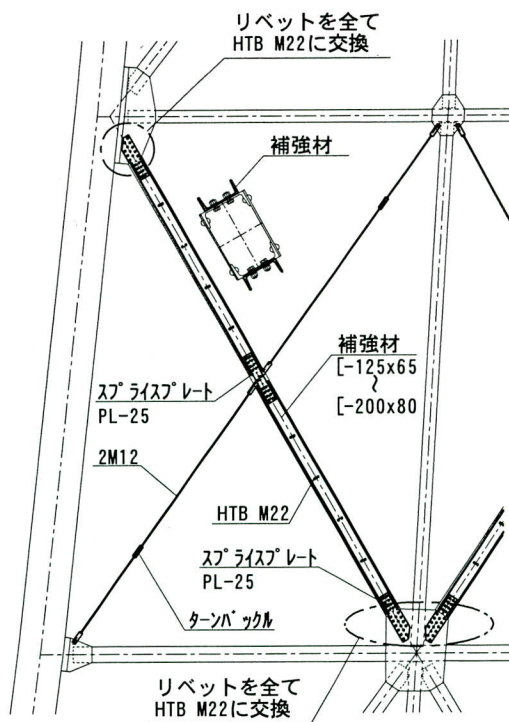


図-2 塔体保強方法

ビスエリアが半径約60kmから半径約50kmに狭まり、世帯数にして約100万世帯がサービスエリアから外れてしまい、これを補うためには中継所を数箇所設置する必要が発生するためである。

送信所の構造は、タワーの外面鉛直材と中央シャフト支持材の間に、H形鋼を架け渡して床組とし、壁面及び内装される放送用機械全ての荷重をこれに負担させる。

(図-3)

外面鉛直材は、鉛直構面全体でトラス構造を形成しており、シャフト支持材もH3～H4間の巨大なトラス（T1トラス）に支持されているため、鉛直支持能力は十分に確保される。

また、この送信所の設置にあたり、従来よりH10に設置されていた警察庁の無線機室は解体、撤去されることとなった。

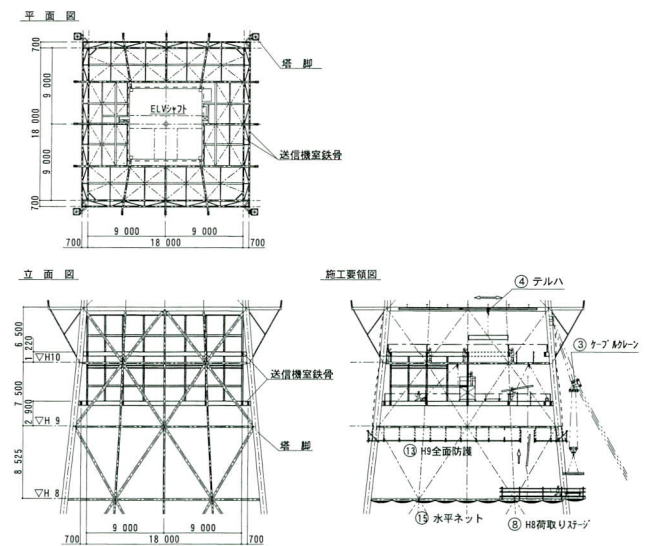


図-3 デジタル放送用送信所

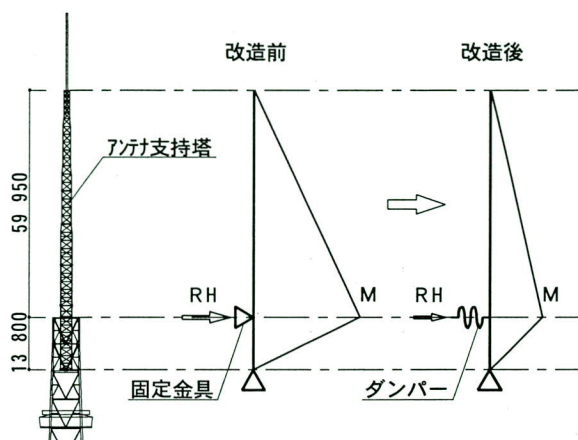


図-4 ダンパー取付け効果概念図

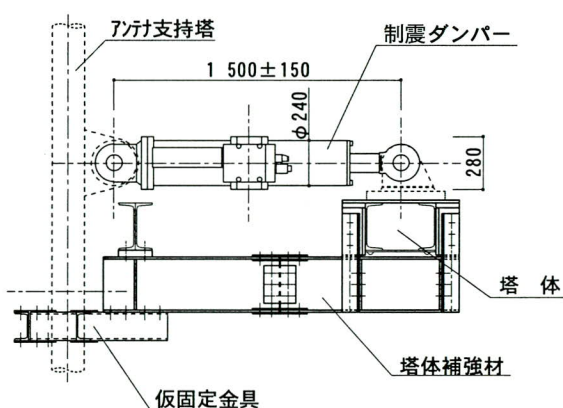
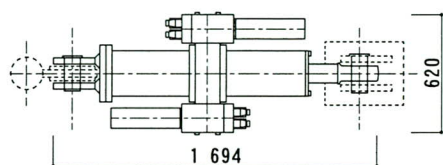


図-5 制震ダンパー形状図

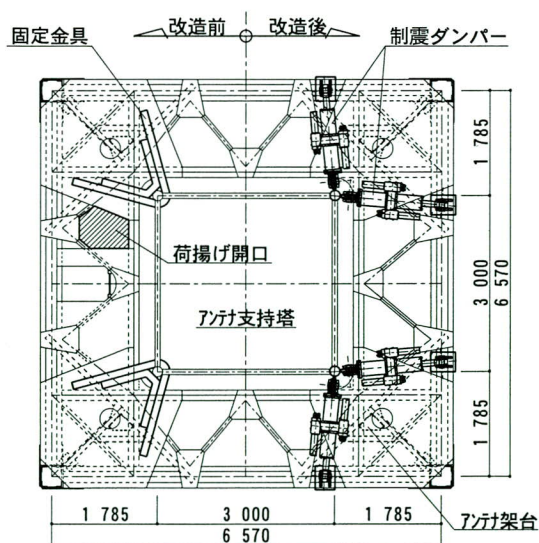


図-6 制震ダンパー配置図

(3) H27制震ダンパー取り付け

東京タワーの最上部には、スーパーゲイン及びスーパーターンスタイルのアンテナが取り付けられている。この支持塔はアンテナも含めて約100tの重量を有する。前記した耐震性能及び耐風性能の検証により、このアンテナ支持塔は現行の建築基準法に対して、耐震性能の余裕度が少なく、なんらかの補強が必要と判断された。

しかし、このスーパーゲイン及びスーパーターンアンテナは常時電波を発信し続けているため、補強が困難であると予測された。そこで、支持塔の水平固定部分に制震ダンパーを取り付け、地震時に支持塔及びタワー頂部に作用する曲げモーメント及び水平力の低減を図ることとなった。(図-4)

この制震ダンパーは自動制御により、

通常時：ロック（固定）状態

地震時：300kNにてロック開放、バイリニア特性制震ダンパー

となる。また、強風時には外部信号（手動操作）によりロック状態を保つ機構となっている。

図-5に制震ダンパーの形状、図-6に制震ダンパーの配置図を示す。

3. 揚重設備及び仮設設備

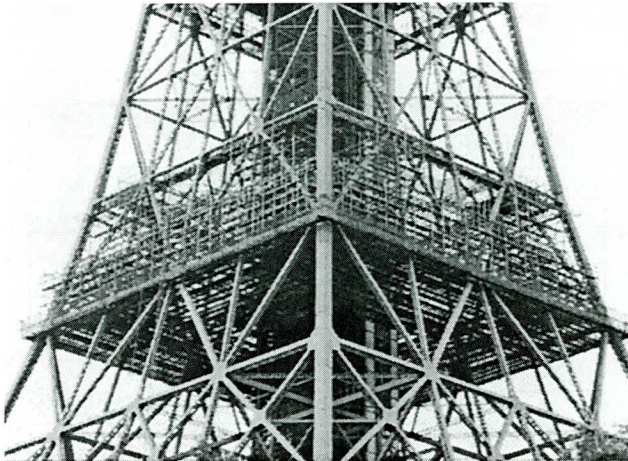
今回の工事にて設置、使用した揚重設備及び仮設設備を次に示す。(他工事との共用分を含む) (図-1参照)

(1) 揚重設備

- ①H24ガイドワイヤー式クレーン
定格荷重：0.7t 揚程：222.8m
- ②H20斜吊りケーブルクレーン
定格荷重：2.8t 揚程：185.9m
- ③H11斜吊りケーブルクレーン
定格荷重：1.0t 揚程：93.2m
- ④H11、H10テルハ
定格荷重：1.0t 揚程：20.0m

(2) 荷取り込みステージ

- ⑤特別展望台上部
- ⑥H19面
- ⑦大展望台上部
- ⑧H8面



写真一2 塔体保強用足場組立て状況



写真一3 足場基部ベース金物

⑨H5面

(3) 落下防護工及び作業足場

- ⑩H24全面防護
- ⑪H20前面防護
- ⑫H17全面防護
- ⑬H9全面板張り防護
- ⑭H5全面防護
- ⑮各H面水平ネット
- ⑯塔体補強用棚足場

全面落下防護及び、作業足場は主に丸太材を使用して組立てを行なった。丸太材を使用した理由としては、

1) 電波障害対策

東京タワーは工事期間中も稼動し、常時電波を発信している。特にFMアンテナは、塔体内部に設置されており、塔体を補強するにはその近傍に足場を設置する必要があるため、電気絶縁性を持つ材料を使用する必要があった。

2) 騒音対策

東京タワーは観光名所の一つでもある。日中は展望台等のタワー各施設が通常営業を行なうため、足場の組立、鉄骨の取り付けは営業時間前の早朝4:00から9:00までの時間に限られてしまう。(夜間22:00から4:00までは、アンテナ等の整備、補修の作業に割り当てられている)現場付近は住宅地であるため、大きな金属音等の発生を極力抑える必要があった。

3) 飛来落下対策

単管パイプを使用した場合、その緊結にはクランプが使用される。取扱う部品が多いほど、飛来落下災害を引

き起こす可能性が大きくなる。使用する部材を極力減らすことを検討した。

電波障害及び騒音対策に有効な足場材として、FRP製の足場材の使用も検討されたが、単管パイプと同様に緊結にはクランプが必要であり、かつ、使用数量も膨大となるため、丸太材を使用することとした。

なお、送信所を設置するH9面の防護工のみ、全体の作業量も多いことから強固な全面板張り防護としたため、単管パイプを使用している。(H9面は、FMアンテナが設置されていないため電波障害の問題は無い。)また、作業用の棚足場の基部は、大きな強度が必要とされるため、溝形鋼を塔体にボルト固定して、そのベースとした。(写真一2、写真一3)

4. 施工要領

(1) 塔体補強

塔体の補強方法は以下のとおりである。(図一2参照)

- ① 既存鉄骨(斜材)に溝形鋼を沿わせ、約750mm間隔で高力ボルトで縫い合わせる。
- ② 既存鉄骨の接合部のボルト及びリベットを取り外し、スプラインプレートにて既存鉄骨と補強材を連続させる。(写真一4)
- ③ 斜材の中間部にターンバックルを取り付け、緊張して斜材の座屈長を低減させる。(H4~H11間のみ、またH4はターンバックルのみ)

上記の補強を、塔体の内面と外面に行なう部位は、内面を先行して施工を行い、完了後、外面の施工を行なった。また、今回の補強工事はアンテナ取り付け後の耐震

性能の余裕度を向上させるものであるため、特に作業順序は問題にならないが、作業性やこの後のアンテナ取り付け工事を考慮して、

- ① H24～H26
- ② 特別展望台内部
- ③ H20～H23
- ④ H17～H20
- ⑤ 大展望台内部
- ⑥ H9～H11
- ⑦ H5～H9

の順序で施工をすすめた。なお、H4はターンバックルのみの補強となるため、以後の塗装工事の際にH3全面防護と足場を組み立てた後に施工を行った。

既存鉄骨への孔明けとリベットの抜取りには、超小型で軽量のポータブルマグドリル（携帯用磁気ボール盤）（写真-5）を使用して作業を行った。ポータブルマグドリルの仕様を表-1に示す。

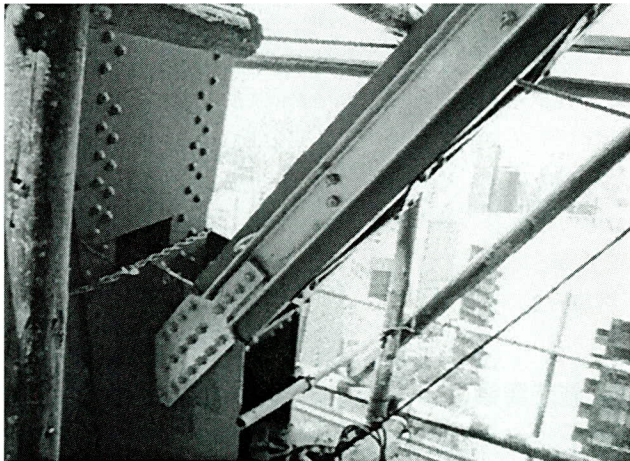


写真-4 塔体補強状況



写真-5 ポータブルマグドリル

表-1 ポータブルマグドリル仕様

型式	HMD-100
電源	単相交流100V 50/60Hz
定格消費電力	800W
穴あけ能力	穴径 6～11mm 最大板厚 6mm 穴径12～27mm 最大板厚19mm
本体寸法	長さ 280mm 幅 ハンドル有り 215mm 高さ グリップ無し 165mm グリップ有り 209mm
磁気ベース寸法	長さ180mm×幅100mm
本体質量	9.1kg（電源コード・グリップ含まず）
最大磁力	板厚 9mm 5,700N 板厚25mm 9,000N
最小吸着板厚	5mm

(2) 送信所鉄骨建方

送信所の設置位置（H10）には現在は使用されていない警察庁の無線機室があるため、鉄骨建方に先立って無線機室の解体を行なった。

無線機室は、H10よりも約1.5mほど高い位置に設置されているため、H10の鉄骨の上面に板張り防護工を設けシート養生を行った。さらに側面にもシート養生を施し、全体を覆った状態で解体作業を行った。

鉄骨の建方は、まず、塔体との取り合いとなるブラケットを先行して取り付け、続いて梁材の取り付けを行なった。（写真-6）

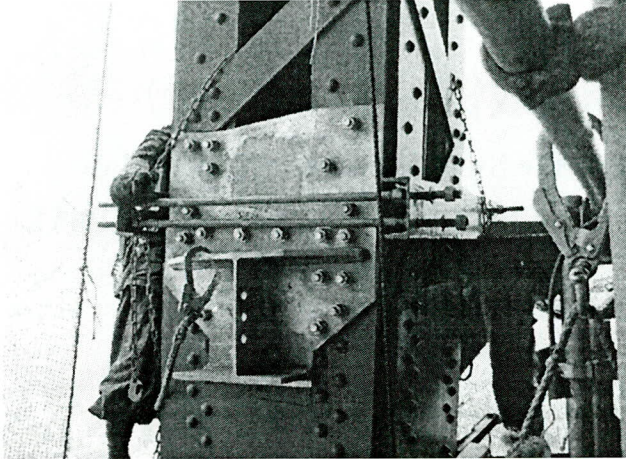
鉄骨は、H11から地上に取り付けた斜吊りケーブルクレーンにてH8に設けた荷取り込みステージに揚重し、ここから、H11、H10に設けたテルハにて吊り上げ、運搬して建方を行なった。（図-3参照）（写真-7）

鉄骨の建方は下段のH9から施工し、上段のH10の施工を行なった。この時テルハは進捗に合わせて、H10からH11に転用して作業を行った。

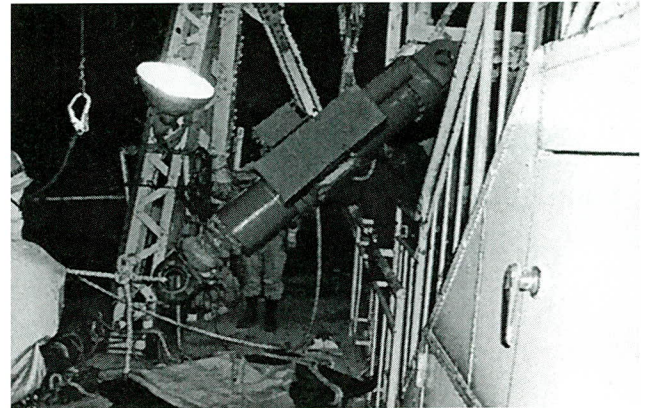
(3) H27制震ダンパー取り付け

制震ダンパー取り付け時の施工条件は、以下のとおりである。

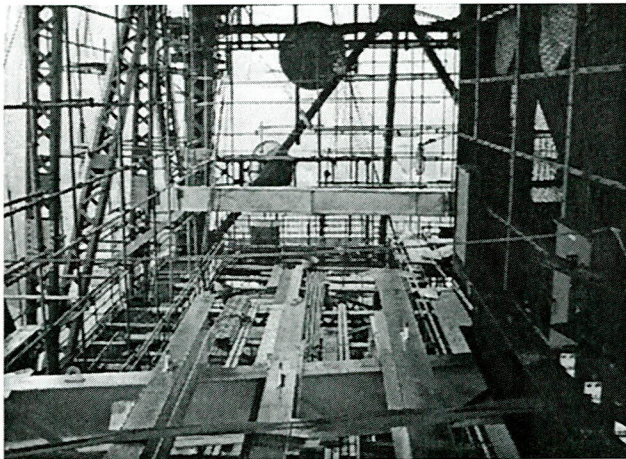
- ① 既存固定金具を撤去した後、同じ位置に取り付ける必要がある。（固定金具1台につき、制震ダンパー2台）
- ② 制震ダンパーはアンテナ支持塔の回りに合計8台取り付けられ、1台あたりの重量は約600kgである。
- ③ H27は地上よりの高さが約250m、広さは一辺約6.6mの正方形であるが、中央に一辺約3.0mのアンテナ支持塔、四隅に大型のアンテナ架台が設置されているため、



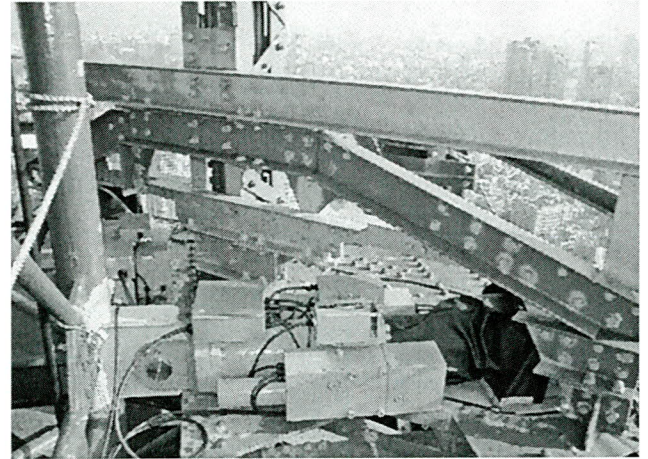
写真一六 塔体ブラケット取付け状況



写真一八 制震ダンパー取付け状況



写真一七 送信所鉄骨建方状況



写真一九 制震ダンパー取付け後

非常に狭いスペースでの作業となる。

- ④ タワー外周には、新設のデジタルアンテナが施工済みであるため、制震ダンパーはタワー内部を揚重する必要がある。

既存の固定金具は計4ヶ所であるが、固定金具を撤去し制震ダンパーを取り付ける作業は、一ヶ所ごとに行うこととした。さらに固定金具を撤去する前に、制震ダンパーの下方に取り付けられる塔体補強材を利用して、アンテナ支持塔の仮固定を行い作業を行った。(図一5参照)

H27はタワーの最上部であり、これ以上は常時稼働しているアンテナのみであるため、荷取り位置にジブポールを設置して吊り代を確保して制震ダンパーを揚重した。また、H27の鉄骨上にはローラーコンベアーを設置して、制震ダンパーの水平運搬を行い、取付けを行った。(写真一8, 写真一9)

5. あとがき

今回のデジタル化に伴う一連の工事は無事故で無事完工することが出来た。これも(株)日建設計ならびに(株)竹中工務店の皆様より監督・御指導いただいたことによるものと深く感謝する次第である。

世紀の大事業を成し遂げた諸先輩方、世界最高と称された鳶工の方々の技術力と情熱に、改めて敬意を表し、報告を終わる。

2002. 11. 18 受付