

## (19) 支線式鉄塔の現場工事の計画と施工

横河工事(株) 広田和彦

### 1. 予えがき

支線式鉄塔は 電線用鉄塔として数多く建設されている。九州の対馬に建設したオメガ送信局空中線用鉄塔は 高さ455mの支線式鉄塔と とも 頂部から半径1kmの円周上に配置したアンカーまで 傘の骨状に展開する16本の 空中線で構成されており、支線式絶縁鉄塔としては世界最大規模のものである。また、その敷地は、地形が複雑、かつ、広い海面を含み、施工の困難が予想されたが、空中線の鉋卒の案から、あえてこの地に堅定したのである。オメガ鉄塔一般諸元を図-1に、敷地平面図を図-2に示す。

このオメガ鉄塔の現場工事については、多数の罫子が使われている。規模が大である、敷地、地形が複雑である等の特殊な条件があり、架設方法、架設機材、建方管理等にフック様々な検討、工夫を行った。その結果は、一名の人身事故もなく、一個の罫子破損もなく、建方工事を終えることが出来、精度も十分満足出来るものであった。

オメガ鉄塔の現場工事の計画と施工についてその概要を以下に述べる。

### 2. オメガ方式とは

現場工事について述べる前に、このオメガ鉄塔が使われる電線航路のオメガ方式について説明する。

オメガ送信局は、日本の対馬に建設したものの以外に、北米のノースダコタ、中米のトリニダード、南米のアルゼンチン、太平洋のハワイ、オーストラリア、インド洋のラ・レユニオン、北極のノルウエーの新島局が建設されている。船や航空機は、世界中のどこにいても2-3局のオメガ電波を受信し、層間0.5海里、縦間1海里の精度で位置を決定することになるのである。世界に配置した8局で全世界をカバーするために、送信電波は超長波(10kHz帯)の電波でなければならず、鉄塔高さ、空中線長さや前記の規模になるのである。

図-1 オメガ鉄塔一般諸元

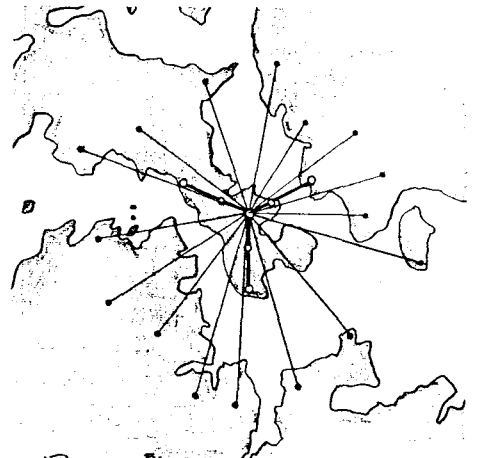
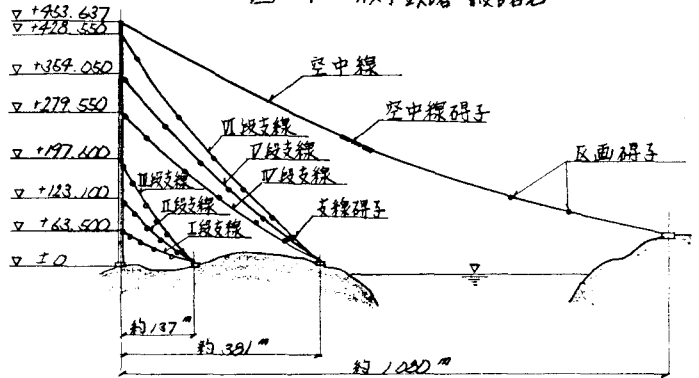


図-2 敷地平面図

### 3. オ人が鉄塔の構造概要

鉄塔本体：高さ45.5mの塔体は、直径3mの円管構造であり、内フランジを高力ボルトで結合する現場継手は、一般部で7、45mピッチ、支線取付部材は板厚が厚いため45mピッチを2分割する位置に設けられている。その結果、全ての円管ブロックは20セ以上である。内フランジ継手は、49%厚のフランジ同軸をM42の高力ボルト54本で接合するものと、61%厚のフランジ同軸をM48の高力ボルト48本で接合するもの。2タイプがあり、管体応力によって使い分けた。高力ボルトの設計軸力は、M42で46t、M48で48tであり、この締付作業のために最大締付トルク300kg・mの油圧締付機を開発して施行した。この内フランジ継手は、フランジの接合面が切削加工されておりブロックを積み上げるだけで精度が確保出来る、接合面が密着し防水性が良く、また、建方作業が管内で行えるため高所にかかわらず安全作業出来る等の長で優れている。

支線：支線鋼索にはⅠ段=74φ(設計張力=130t)、Ⅱ段=70φ(130t)、Ⅲ段=100φ(130t)、Ⅳ段=92φ(240t)、Ⅴ・Ⅵ段=100φ(300t)のロックドコイルロープを使用した。各支線と電気的に分離する支線碍子は鋼索と同等の強度が必要であることから磁着と鋼部品を複線に組合せたもので、Ⅲ段支線に使用したものは直径約1m、長さ約3.5m、重さ約5tである。支線は、この支線碍子6個と前記のロックドコイルロープで付いた構造で、本型。ものは長さ60.4m、重量78tの規模である。

空中線：設計張力40t、最大長さ1,150mの空中線は、空中線(アルミニウム線=35.2φ)、空中線碍子、31磁束(片寄り線=35.5φ)、区画碍子、引留束、区画碍子、引留束の順に構成されている。電波を放射する空中線と引留束の間の絶縁碍子である空中線碍子は、直径が約30mm、長さ約7m、重量が1tであり、取扱いと破損しやすい構造である。

台碍子：本鉄塔は、電波放射の効率を向上させるため、塔体自身をアンテナの一部として利用している関係で鉄塔基礎に台碍子を配置している。この台碍子は、最大作用力約3300tと大きいことから、直径約75cm、高さ1300mm、内厚90mmの円錐台形状の磁束を2段に重ねたものを1組とし、その6組を正六角形に配置している。

ターンバックル：3方向6段の18本の支線、16本の空中線の全ての地上アンカー側端末には、長さを調整するために最大設計張力に耐えるターンバックルを配置している。

昇降設備：積載量250kgのゴンドラを150mごと1基ずつ設け、3台のゴンドラを乗り継いで頂上部まで行くことが出来る。またゴンドラとは別に内部梯子が45.5mの全長にわたって設けられている。

アンホール：塔基部、各支線取付点、塔頂の8ヶ所とマンホールが設けられている。

### 4. 架設方法

鉄塔基部：鉄塔基部は、鉄塔基礎コンクリートの上に直径5mの基盤を載せ、その上に6組の台碍子を並び、さらにその上に台盤・カーブ座盤が載る構造である。基盤の据付はその精度で全てが決まるため、基盤コンクリートと基盤との間に100%のグラウトシートを設け、基盤を精密に据えたあと無収縮グラウト材を注入することにした。鉄塔基礎は、近くに配置された三脚クレーンで組立てた。

全工事終了までの間台車を落下物等から防護する目的で、鉄板を使った防護工を設けた。

下部鉄塔（5ブロック）：下部鉄塔は、3脚クレーンで組立て、塔心から約15mの半径上に配置したアンカーからの仮支線を保持しながら建上げを行った。

上部鉄塔（6ブロック）：6ブロック以後の塔体は昇降式のクレーンで建上げを行なうことにした。新設巻上時の風による振動は、塔体によって張られたガイドロープで防止した。

支線、空中線：支線、空中線の組成、張渡しは、もし現地の平らな敷地であれば、塔体より部材を順次組立て、地上に到着後は地上に並べた組成し、全ての部材を組立て終えたのち、彈子の下に台車をソリを配置し、アンカー側より支線、空中線の端末を引張って張り渡すこともできるが、今回の現地は複雑な地形で海面とかなり、台車、ソリが使えず、このような方法を採用することになった。そこで、本鉄塔では、塔とアンカー間にダブルクレーンを設置し、塔体によって組成した支線、空中線の先端をキャリヤーで吊つて引出すケーブルクレーン工法を採用することにした。

空中線とケーブルクレーンで引出す場合には、塔高は455mのため、塔体によって組成した空中線は地上に横たわる部分があり、そのままでは長さ2kmの空中線彈子を破壊なく張渡すことは困難であった。そこでケーブルクレーンには、ノ系統当たり3台のキャリヤーを配置して昇降の状態に空中線が地上や海面に接触することなく張渡すよう工夫した。支線の張渡し要領を図-3に、空中線の張渡し要領を図-4に示す。

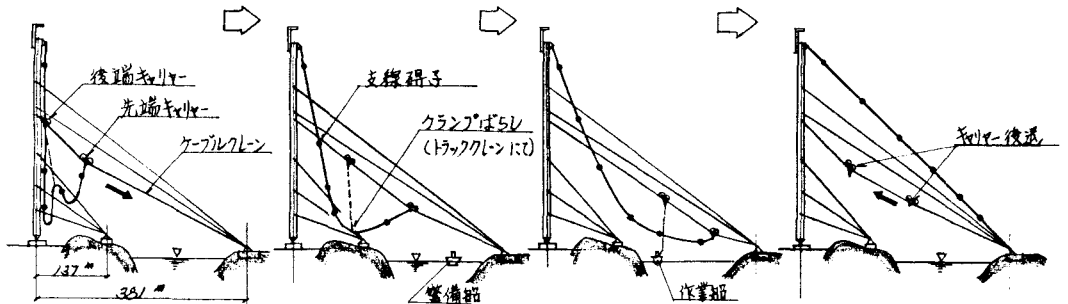


図-3 支線架設段階図 (V-B-1の例)

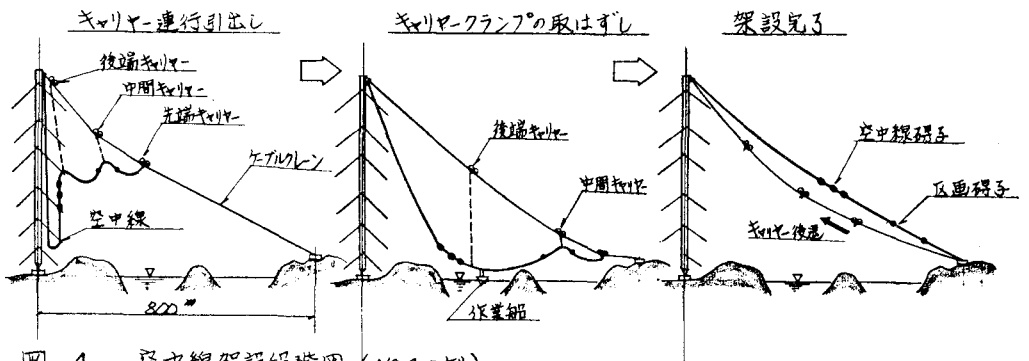


図-4 空中線架設段階図 (V04の例)

引出れば、支線については各段ともバランスを保つながら各段とも方向に同時に、空中線についてはバランスに留意しながら順次架設した。

支線・空中線の張設にケーブルクレーンを使用することとしたのは、1)そのまま使える塔とアンカーがある。2)橋梁架設でケーブルクレーンにないものがある。3)ケーブルクレーンの張設した長大吊橋のキャブソフトウェア架設でやる小さいロープから大きいロープへのモリ積み技術が使える等の判断からである。

## 5. 架設用機材

オメガ鉄塔の現場工事を前記の方法で施行するため、架設用機材として三脚クレーン・クリーパー・クレーン・支線用ケーブルクレーン・空中線用ケーブルクレーン・駆動ウインチ・巻取ウインチ等の架設用機材を新たに設計・製作し使用した。機材の仕様・特徴について以下に述べる。なお、架設用機材の使用状況は、表-1に示すとおりである。

三脚クレーンは塔体のブロックまでの組立をやりリーパー・クレーンで組立・解体に使用するとともに、塔下広場の全域をカバーする小運搬用クレーンとしても使用することと考えるため、吊荷重20t・作業半径50mの仕様とした。この三脚クレーンは、ボストだけ塔下作業用ために配置した。また、スチールのマンガーは後方の地山の土に配置し、塔下広場を有効に活用すべく工夫した。

クリーパー・クレーンは、塔体の建方や支線・空中線の組成等、他にケーブルクレーン・段取等と使用することとし、吊荷重も塔体の20tでなく、支線を組成する際に必要とする吊重として設計した。このクリーパー・クレーンの特徴は、セリ上げ回数が多いか、高い位置でのセリ上げであり安全、確実にセリ上げできることが要求され、その結果、ガイドフレーム方式を採用したことである。ガイドフレーム方式ではセリ上げ時に人が行う作業はボンの脱着や仮止めボルトの脱着だけでよく、

表-1 架設用機材の使用状況

| 名称<br>仕様      |              | 三脚クレーン            | クレーン               | 下給<br>ケーブルクレーン     | 上給<br>ケーブルクレーン     | 空中線用<br>ケーブルクレーン             | 駆動ウインチ               | 巻取ウインチ     | その他      |
|---------------|--------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|------------|----------|
|               |              | 吊荷重20t<br>作業半径50m | 23t×9m<br>(半径450m) | スパン135m<br>30t×1段吊 | スパン338m<br>30t×2段吊 | スパンMAX<br>1,080m<br>6.5t×3段吊 | 8.5t×17%<br>17t×8.5% |            |          |
| 本体<br>架設      | 定置・台石等       | 据付                |                    |                    |                    |                              |                      |            |          |
|               | 1段<br>5ブロック  | 小運搬<br>建上         |                    |                    |                    |                              |                      |            |          |
|               | 6~68ブロック     | 小運搬               | 建上                 |                    |                    |                              |                      |            |          |
|               | 上・中・下<br>支線  | 据付<br>組立取付        | 吊り上げ               | 張設                 |                    |                              |                      |            | 90t圧搾ポンプ |
|               | 上・中・下<br>支線  | 据付<br>組立取付        | 吊り上げ               |                    | 張設                 |                              |                      |            | 90t圧搾ポンプ |
| 架設用機材<br>組立解体 | 空中線          | 据付<br>組立取付        | 吊り上げ               |                    |                    | 張設                           |                      |            |          |
|               | 支線用ケーブルクレーン  | 小運搬<br>据付         | 据付                 |                    |                    |                              | ロープ<br>モリ積           | ロープ<br>モリ積 |          |
|               | 空中線用ケーブルクレーン | 小運搬<br>据付         | 据付                 |                    |                    |                              | ロープ<br>モリ積           | ロープ<br>モリ積 | ヘリコプター   |
|               | 三脚クレーン       |                   |                    |                    |                    |                              |                      |            | トラッククレーン |
|               | リーパー・クレーン    | 組立・解体             |                    |                    |                    |                              | 巻上装置                 | 巻上装置       |          |
|               |              | 1基                | 1基                 | 3系統3回使用            | 3系統3回使用            | 4系統4回使用                      | 7台                   | 5台         | 1台       |

ピンや仮止めボルトに落下防止索をつけることで安全を守れた。また、ワイヤーロープでなくネジ棒とナットを使ってセリ上げを行ったが、セリ上げ途中の安定性が良く、固定用ピンが脱着時の微調整が容易に行えた。クリーパークリーンのセリ上げ要領を図-5に示す。

支線用ケーブルクリーンは、Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ段支線用として下段ケーブルクリーン、Ⅳ・Ⅴ・Ⅵ段支線用として上段ケーブルクリーンの2種類で、下段ケーブルクリーンは30t吊キヤリヤー1台、上段ケーブルクリーンは30t吊キヤリヤー2台の2吊吊式である。

空中線用ケーブルクリーンは、図-6に示すごとく塔頂とアンカー間に2本のワイヤーロープが張設されているだけで、それに3台のキヤリヤーを組み、塔下に配置した巻取用の駆動ウインチ・送り出しドラムと送り出し用の駆動ウインチ・送り出しドラムを組合せて系統のシステムを構成されている。このケーブルクリーンが張設しは、まず人力で9φのワイヤーロープ2本を塔とアンカー間に渡し、アンカー側でシーブを介して折り返すようにしたのちケーブルクリーンの巻取装置と送り出し装置を使って9φ→12φ→20φ→28φの順にモリ替え、その後撤去は、張設しとは逆に、28φ→20φ→12φ→9φの順にモリ替えることで行えた。

特殊ウインチは、クリーパークリーンの巻上用ウインチ、支線用ケーブルクリーンの往行用ウインチ、空中線用ケーブルクリーンの巻取・送り出し用ウインチの全てに転用することを考え、視察から得る駆動用ウインチと大型ドラムを持つ巻取・巻モとレール用ウインチに分離した。駆動ウインチは直引力/クワ、巻取速度8.5%と、直引力8.5t・巻取速度1%の2段階が替えが可能であり、巻取・巻モとレールウインチは空中線用ケーブルクリーンの張設し時に14°の9φ、12φ、20φ、28φと斜度ワイヤーロープで12000m巻取ることが可能である。

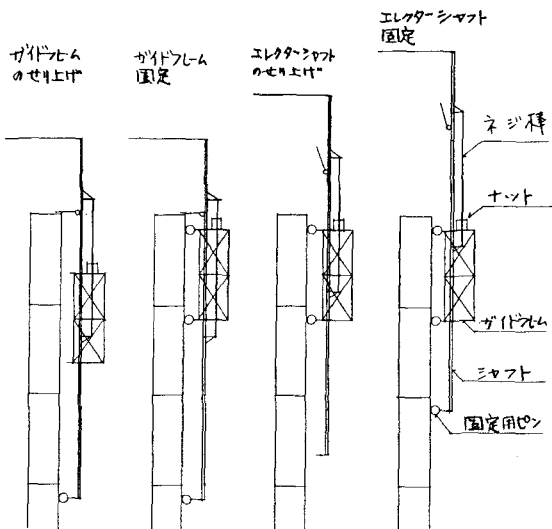
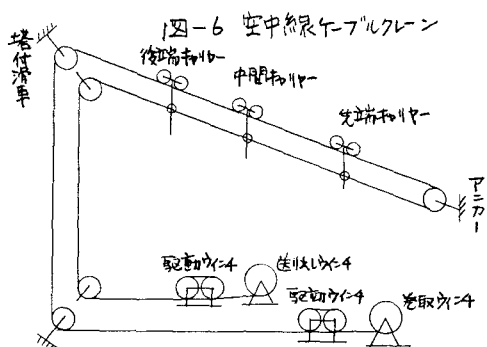


図-5 クリーパークリーンのセリ上げ要領



## 6. 是方管理

本鉄塔の初期張力は、無風時に鉄塔が鉛直に立ち、最大風圧時には鉄塔が直のまま倒れることを目標にくり返し計算して決定した。

是方管理は、鉄塔完成時に決められた建入れ、決められた初期張力にほよう管理しなければならぬ。鉄塔が決められた建入れで決められた初期張力となるべき支線・空中線・長さも正確に求め、その長さまで引込みを行う寸法管理方式を採用した。

寸法管理方式は、日射による鉄塔の曲り、風圧による鉄塔の倒れ、架設機材による鉄塔の倒れ等、無関係に施工出来るため、工期短縮の士で非常に有効であった。

実施に当っては、鋼索はグレインションを加えたのち精密に測長して両端ソケット止めを行う、鉄塔基礎と各アンカー間は光波測距儀で測長するなどして寸法管理方式での精度を上げることと努めた。完成後の建入値を、図-7に、支線張力を、表-2に示す。

表-2 支線張力

| 支線名 | 設計張力 (t) | 測定値                |                        |
|-----|----------|--------------------|------------------------|
|     |          | 張力 (t)             | %                      |
| VI  | B-1      | 108. <sup>25</sup> | 100. <sup>84</sup> 93  |
|     | B-2      | 108. <sup>83</sup> | 105. <sup>62</sup> 97  |
|     | B-3      | 108. <sup>97</sup> | 100. <sup>70</sup> 92  |
| V   | B-1      | 120. <sup>81</sup> | 111. <sup>15</sup> 92  |
|     | B-2      | 121. <sup>39</sup> | 128. <sup>70</sup> 106 |
|     | B-3      | 122. <sup>33</sup> | 106. <sup>80</sup> 87  |
| IV  | B-1      | 105. <sup>35</sup> | 106. <sup>47</sup> 101 |
|     | B-2      | 105. <sup>90</sup> | 106. <sup>33</sup> 100 |
|     | B-3      | 106. <sup>69</sup> | 96. <sup>73</sup> 91   |
| III | A-1      | 95. <sup>18</sup>  | 78. <sup>26</sup> 82   |
|     | A-2      | 87. <sup>41</sup>  | 68. <sup>36</sup> 79*  |
|     | A-3      | 97. <sup>65</sup>  | 97. <sup>87</sup> 100  |
| II  | A-1      | 42. <sup>99</sup>  | 38. <sup>86</sup> 90   |
|     | A-2      | 39. <sup>94</sup>  | 33. <sup>21</sup> 85   |
|     | A-3      | 43. <sup>76</sup>  | 39. <sup>71</sup> 91   |
| I   | A-1      | 59. <sup>67</sup>  | 61. <sup>90</sup> 104  |
|     | A-2      | 57. <sup>91</sup>  | 55. <sup>10</sup> 95   |
|     | A-3      | 61. <sup>02</sup>  | 60. <sup>12</sup> 99   |

\* 参考値

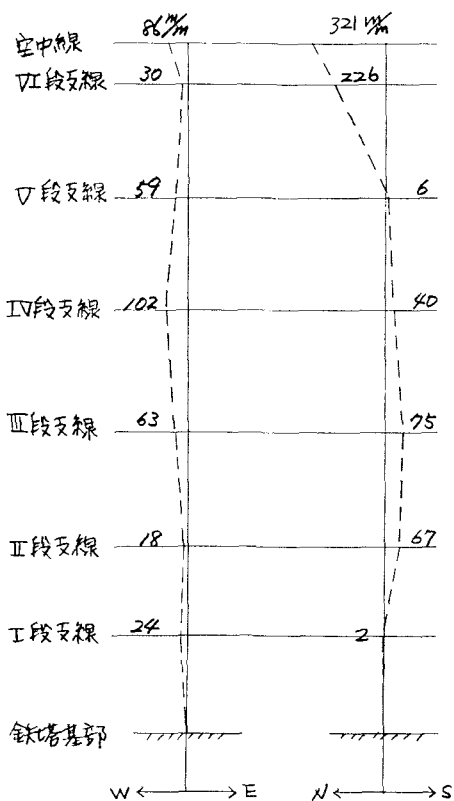


図-7 完成時鉄塔建入れ

## ク. 季節風による作業の中断

オメガ鉄塔建設においては、その規模が大きく、我々が今まで経験したことのない工事であるという認識の上で、計画の段階では様々な状態を想定して計画を進めた。しかし現実には予想もしなかった状態が発生した。それは円管柱および支線がすべて架設完了し、空中線の張渡しが昭和48年12月より初ったが、その時期となって季節風の吹まはじめ地上で無風の状態で日でも455mの塔頂では10m以上の風が常時吹く日が増え、空中線の組立て、張渡しが出来なくなったことである。このため最初の1本を引き出した後、空中線作業は1時中断し、季節風のあさましく翌年5月を再開した。その結果昭和49年11月に全工事を無事に終えることが出来た。

## 8. あとがき

以上オメガ鉄塔の構造・現場工事の面での特徴を述べてきたが、その主要点をまとめると下記の如く言える。

- 1) 支線式鉄塔は無風時および有風時において鉄塔が一直線となるよう初期張力を定めるのが基本である。
- 2) 鉄塔に円管柱を採用しその現場継手部を内フランジ継手としたことは建上げ精度の確保、雨水がおよび建方作業時の安全性の面で有効である。
- 3) 支線・空中線の張渡しに多英吊ケーブルクレーンを使ったが、地形が複雑でロープ碍子等の地上展開が出来ない場合は有効な方法である。
- 4) 建方管理方式としては寸法管理方式を採用したが、支線式鉄塔の如く不静定次数が高く、また変形の大い構造物・建方管理方式として最適である。
- 5) ガイドフーム方式のクリーパークレーンは、セリ上げを安全、確実に行うことが出来る。

## THE CONSTRUCTION OF CABLE STAYED TOWER

K. HIROTA\*

OMEGA ANTENNA TOWER consists of insulated steel tower with stay cables and 16 antenna cables stretched like umbrella ribs from the top of the tower to anchorages, which are on the circumference about 1 km. in radius of the tower. The reason for deciding the construction site, in spite of the difficulty of works due to its topographic complication (mountainous and including a lot of bays), is advantage of the working of antennas.

The tower consists of some steel pipes (3m. in diameter x 7.45m. in height), and has been jointed at site by high strength bolts at inside flange of the pipe. Erection was executed using a creeper crane (Cap. 23t. x 9m., 455m. in lifting ability), which was also used for the works of stay cables and antenna cables.

The stay cables consist of wire ropes with some large insulators, and the maximum one is 604m. in length, 78t. in weight. They were stretched in three directions at the sametime keeping the balance on every stage by two continuous carriers in one cable crane system.

The antenna cables consist of wire ropes with some insulators which are easy to break and the maximum one is 1,150m. in length. They were stretched taking account of balance of the tower by three continuous carriers in one cable crane system, which were provided four lines.

The works had been excuted under dimensional control method; calculating the lengh of every stay cables and antenne cable that might be get in their appointed tension at completion, becouse the tension control method would have been impossible by the reason of bend of the tower by the sunshine and its inclination by the wind. In order to get accuracy of dimensional control, we were required not only to survey between tower base and all anchorages, and to measure stay cables, antenna cables and tower pipes precisely, but also to make a computer program to calculate the figure of a cable with concentrated loads being stretched.

\* YOKOGAWA CONSTRUCTION CO, LTD.