

光通信用屋外密閉局舎（通信塔）の温度特性

保全施設部 電気通信課 桃 澤 宗 夫
同 部 同 課 野 村 正 則

まえがき

阪神高速道路には、高速道路上及びその周辺に発生する情報を管理センターへ伝送するための、各種通信端末設備が配置されている。特に1.5～2Km毎に集線集約される通信塔には、光通信端局等の重要通信端局類が集中して設置されることになる。大阪湾岸線においては、これらの設備によって周囲の環境条件は、大阪湾からの海風による塩分、湿気、さらに臨海工業地帯、船舶、車両からの煤煙、塵埃等を含んで、好ましくない雰囲気となっている。

本報告は、こういった環境から重要通信端局類を集合して保護、収納するための諸検討を行い、実用化した屋外密閉型局舎（通信塔）の温度低減効果についてまとめたものである。

一般に、通信用屋外局舎は、保温材を用いた断熱構造により外気温を遮断するとともに、内部の装置から発生する熱は外気通風冷却により、半導体などの能動部品の熱的保護を図る方式をとっている。この方式では、発熱部品の周囲は常に付近の外気にさらされることになり、大気雰囲気の悪い市街地域では、導体、部品類が腐食、変質されやすく、装置類の寿命を著しく短縮することになる。この対策として筐体外空気の入入口にフィルターを設ける手段が一般にとられているが、フィルター交換の手間が生じるばかりでなく、外気中の塵埃量によって通風機能に変化し、又フィルター効果の確実性に欠ける等の問題がある。又エアコンやヒートパイプ利用による場合は、この室

外機は有害ガスにより、寿命が短くなり長年の使用に耐えないという欠点を有する。

これらの問題点を解決するため完全密閉型でしかも局舎内部温度を装置可動温度以下におさえ、それ自体のメンテナンスを極力省力化した通信塔局舎について以下に報告するものである。

1. 光通信機器からみた周囲条件

局舎の検討に際してまず課題となるのは、内部に収納する通信機器、装置類の温度条件を設定することである。本局舎内に収容する機器類を概ね表-1に掲載したが、これらの機器から発生する熱量は総量で約1,000Kcal/hとなる。従来単体で分散配置してきたが、その時の周囲温度、湿度条件を参考のため掲載した。

表-1 局舎内収容機器温湿度条件

収納機器	使用電圧・容量	発熱量 Kcal/h	周 囲 温度条件	湿度 条件
ITV中継器	AC100V 300VA	240	-5～50℃	～90%
集成型車両検知装置 (TDM)	AC100V 200VA	160	-10～50℃	～90%
データハイウェイ 端局 (PCM)	AC100V 300VA	260	-5～50℃	～90%
電源装置	AC500V /100V 10回路	260	-5～50℃	～90%
配線盤 (MDF)	— —	—	-5～50℃	～90%
分電盤	— —	—	-5～50℃	～90%
その他	— —	—	—	—
〔総室内発熱量〕	— —	1,000	—	—

一般に通信装置類の中で温度条件がきびしいのは、半導体素子等の能動部品であるが、特に実証例の少ない光半導体素子が最もきびしい条件であると考えられるため、この検証を行う。このため、発光素子(E/O)、受光素子(O/E)を組み込んだ光送受信装置を図-1に示すヒートチャートに基づいて特性試験を実施した。各温度について、

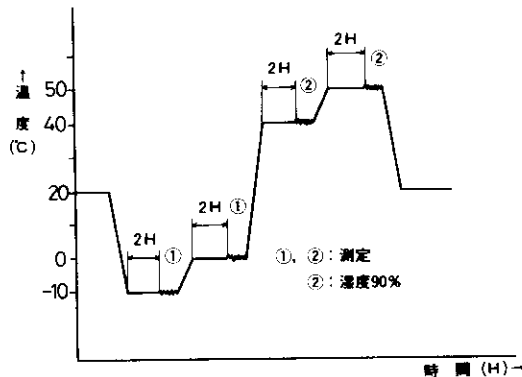


図-1 ヒートチャート

出力レベル、最低受光レベル、周波数特性、伝送損失レベル、信号対量子化雑音比特性、無信号時雑音レベル特性、漏話減衰量、インピーダンス特性、フレームスロープ、ラインスロープ、微分利得、微分位相等の各種特性を測定し、それぞれの温度変動に問題がないかを調べた。1例として、交通流監視テレビ装置の光伝送装置について振幅周波数特性を測定した結果を図-2に示した。同

図右下に工業用テレビジョン規格(4MHz)を示しているが、-10°C~50°Cの変動に対してこの規格内に収まっており、各種温度特性の結果も同様にこれら装置類を収納する温度条件として、-10°C~50°C(90%)が妥当であることを検証した。

内部発熱量は表-1の総計から1,000 Kcal/hとなる。この熱を適当な方法で外部へ放散することにより、局舎内温度を50°C以下に抑える必要がある。従来一般に外気通風冷却方式が採られているが、この方式による換気量は

$$Q = \frac{H}{0.28(t_i - t_o)} \text{ (m}^3/\text{h)}$$

H: Kcal/h、 t_i : 室内温度°C、 t_o : 外気温度°Cとなり、夏の最高気温を36~37°Cとすると、約274 m³/hが必要となる。ところで市街地の空気には、電子回路部品にとって有害な0.2 mg/m³以上の塵ばかりでなく、亜硫酸ガス、水素ガス等のガスが多種類含まれている。外気冷却方式では、電子回路部品は絶えずこの有害な外気にさらされることになる。

この対策として通気孔にエアフィルタを設ける方法がある。エアフィルタは、塵用としてポリエステル、ポリクラーレン等の簡単なものでも、通常市街地では毎月1回以上の洗浄再生を行う必要がある。またガス吸着用として活性炭フィルタがあるが、電子回路に有害となるガスは除去できない。フィルタは、塵による目づまりによって通気口の圧損となるが、フィルタ交換初期と最終では約10

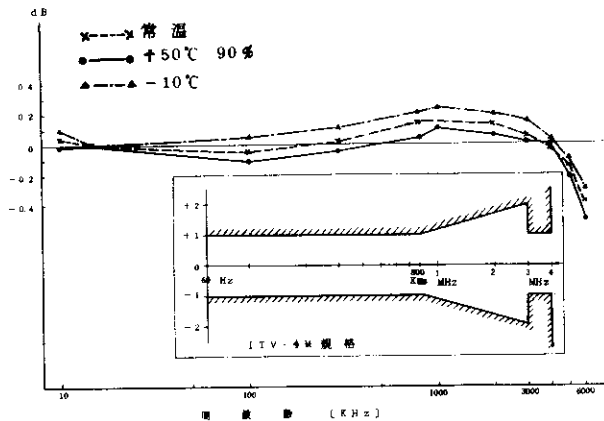


図-2 E/O-O/E 振幅周波数特性(例)

倍以上の差があり、換気能力及び通気口径を大きくしこす必要があり、厳密には設置場所周辺の環境毎に設計することになる。

以上の理由から本局舎は密閉構造を原則として、局舎内温度条件-10~50℃(90%)を満足するため、内部発熱の放散と外部からの遮熱の方式と構造を次項で検討する。

2. 予備実験および構造の検討

これまで、通信機器用の局舎で密閉構造のものは例がなく、参考になる文献、データ等も非常に少ないため、通信方式調査検討業務の一貫として密閉鋼板局舎(W 1.8 m×D 1.8 m×H 2.3 m)を試作し、種々の条件で予備実験を行い内部構造の検討を行った。以下にその概要を述べる。

2-1 局舎内の発熱量と温度上昇の検討

従来の通信用局舎の構造は、図-3に示すような外部からの熱を出来るだけ遮断する構造をしており、内部の発熱は強制換気方式で放熱するようにしている。もし、この局舎を換気せずに密閉にした場合、内部の温度上昇は以下の通り求められる。

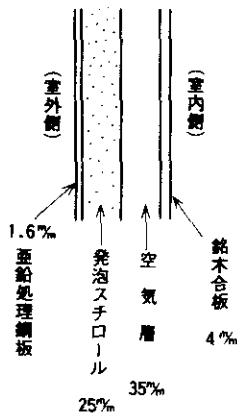


図-3 断面図

まず、壁断面の熱貫流抵抗Rは、

$$R = \frac{1}{\alpha_0} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_i} \quad \dots\dots(1)$$

で与えられる。¹⁾ ここで

α_0 : 室外側表面空気熱伝導率

$$(\alpha_0 = 7 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C})$$

α_i : 室内側表面空気熱伝導率

$$(\alpha_i = 20 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C})$$

α_1 : 壁内空気層熱伝導率($\alpha_1 = 20 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$)

λ_1 : 垂鉛処理鋼板熱伝導率

$$(\lambda_1 = 38 \text{ Kcal}/\text{m h } ^\circ\text{C})$$

λ_2 : 発泡スチロール熱伝導率

$$(\lambda_2 = 0.32 \text{ Kcal}/\text{m h } ^\circ\text{C})$$

λ_3 : 鉛合板熱伝導率

$$(\lambda_3 = 0.11 \text{ Kcal}/\text{m h } ^\circ\text{C})$$

d_1 : 垂鉛処理鋼板厚さ($d_1 = 1.6 \times 10^{-3} \text{ m}$)

d_2 : 発泡スチロール厚さ($d_2 = 25 \times 10^{-3} \text{ m}$)

d_3 : 鉛合板厚さ($d_3 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$)

それぞれの値を(1)式に代入し、 $R = 0.357 [\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{Kcal}]$ よって、熱貫流率kは

$$k = \frac{1}{R} = 2.801 [\text{Kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}]$$

となる。

このとき、壁体よりの取得熱量を1,000 Kcal/h、室内発熱量を1,000 Kcal/hとすると、室内発熱量の合計Hは、2,000 Kcal/hであり、室内外温度をそれぞれ t_i 、 t_o 、局舎表面積をAとすれば

$$H = kA(t_i - t_o) \quad \dots\dots(2)$$

より、室内外温度差は、

$$t_i - t_o = \frac{H}{kA} = 36.06 [^\circ\text{C}]$$

与えられ室外温度が40℃のとき室内温度は約78℃となることがわかる。これは、壁内に断熱材を入れたため内部の発熱が外部へ発散しにくくなっているのが原因である。

一方、断熱材を入れない鋼板のみの密閉局舎では、

$$R' = \frac{1}{\alpha_0} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_i} = 0.193 [\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{Kcal}]$$

$$k' = \frac{1}{R'} = 5.18 [\text{Kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}]$$

となり、室内外温度差は、

$$t_i - t_o = \frac{H}{k'A} = 19.5 [^\circ\text{C}]$$

となり、前例に比して約半分の上昇でおさえられるとはいえ、室外温度が40℃のとき室内温度は、約60℃となるため、まだ仕様を満足するまでに至らない。

そこで、鋼板のみの密閉局舎をベースに、種々の内部構造を検討し、それぞれについて試作実験を行いその効果を調べた。

2-2 実験方法及び結果

実験用局舎として、W 1.8m×D 1.8m×H 2.3mの鋼板製密閉局舎を製作し、その内部に発熱量1,200W(≒1,036Kcal/h)のヒータを設置し、以下に示す条件で、第1次実験を行った。

- (1)内部を黒色塗装とする。
- (2)屋根パネル内面に集熱板を取付ける。
- (3)屋根パネル外面に放熱板を取付ける。
- (4)室内空気を攪拌するため30cmファンを取付け熱対流させる。
- (5)壁内面に集熱板を取付ける。

以上の実験結果を表-2に示す。効果のある方

表-2 第1次実験結果

実験条件	局舎内外温度差	効果	累積効果	備考
対策なし	16.6℃	—	—	
内部黒色塗装	15.2℃	1.4℃	1.4℃	
屋根パネル内面に集熱板取付	12.5℃	2.7℃	4.1℃	
屋根パネル外面に放熱板取付	12.6℃	なし	—	
強制対流(ファン取付)	9.1℃	3.4℃	7.5℃	
壁面に集熱板取付	9.1℃	なし	—	

法としては(1)、(2)、(4)の3つであり、その累積効果は7.5℃、そのときの室内外温度差は、9.1℃であった。しかし、屋外設置した場合の種々の環境を考えると、もう少し温度余裕度が必要と考えられ十分な結果とは言えず、さらに第2次実験を行うことになった。

この実験は、第1次実験において効果のあった方法に加え、さらに

- (6)内装板を熱伝導率の高いアルミ打抜き板とする。

(7)直射日光の当たらない屋外に設置する。の条件で第2次実験を行うことになった。

なお、内装のアルミ板を打抜きとしたのは、断熱効果のある壁内空気層をつくらず空気を流通させるためである。実験結果を表-3に示す。

表-3 第2次実験結果

実験条件	局舎内外温度差	効果	累積効果	備考
対策なし	16.6℃	—	—	
アルミ打抜き板の内装	10.6℃	6℃	6℃	
強制対流(ファン取付)	10.3℃	0.3℃	6.3℃	
屋外設置(ファンなし)	10.7℃	—	—	風速1~2m
屋外設置(ファン取付)	6.5℃	4.2℃	10.1℃	風速1~2m

内装をアルミ打抜き板にした場合、実験条件(1)、(2)、(6)の累積効果が約6℃であり、これに(4)の強制対流を行っても、0.3℃の低減効果しかなかった。このことは、内装をアルミ打抜き板としたことが内部の熱伝導率を良くし、強制対流と同じような効果があったと思われる。しかし、局舎を屋外に設置し、強制対流を行った場合10.1℃の低減となり相乗効果があるものと思われる。

2-3 局舎の構造の検討

以上の実験結果から、局舎の構造は、鋼板製の密閉局舎を用い以下のように決定した。

- (1)局舎内部は、黒色塗装とし集熱効果を高める。
- (2)屋根パネル、壁パネル内面に集熱板を取付け集熱面積を増す。

(3)局舎の内装は、熱伝導率の良いアルミ板を使用し外壁パネルへの熱伝達効率を高めるために、空気の流通の良い打抜き板とする。

(4)室内は30cmのファンを2台取付け強制対流させ、温度の均一化を計る。

(5)局舎外部塗装は、取得熱量が少なくなるシルバー一色とする。

図-4に大阪湾岸線に導入した通信塔の構造を示す。

なお、通信塔の大きさは、W 1.9m×D 2.6m×H 2.3mと実験用局舎に比べて大きいため、その温度上昇をもう少し抑制できると考えられる。

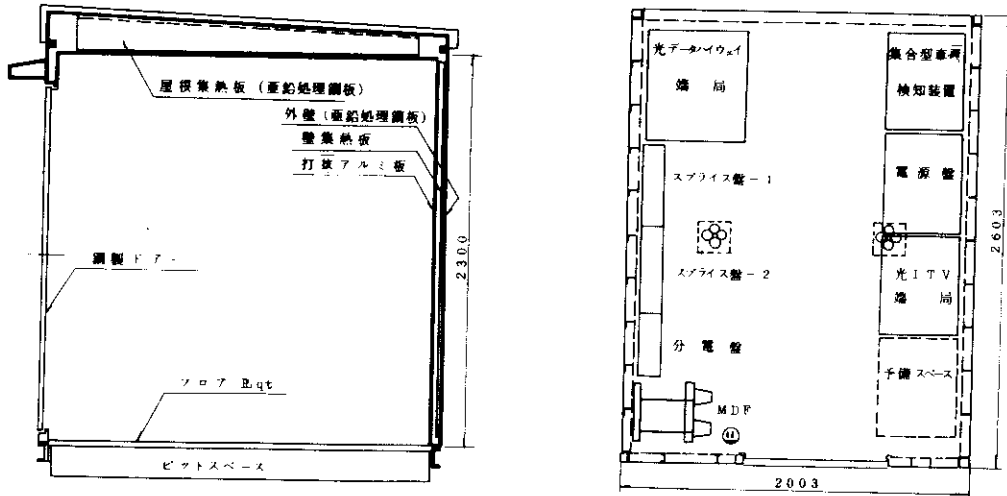


図-4 通信塔構造図

つまり、温度変化が単位熱容量に比例すると仮定すると、1,200Wのヒータを入れたとき、実験用局舎の熱容量 h_1 は、局舎体積で割って、

$$h_1 = 1,200W \div (1.8m \times 1.8m \times 2.3m) = 161W/m^3$$

同様に通信塔の熱容量 h_2 は、

$$h_2 = 1,200W \div (1.9m \times 2.6m \times 2.3m) = 105.6W/m^3$$

実験用局舎の温度上昇は10.3℃であるので、通信塔内の温度上昇は、体積換算すると

$$t = 10.3 \times \frac{105.6}{161} = 6.76[^\circ C]$$

となるが、屋外設置、直射日光等の現場条件でも大きな差は考えられず、7℃前後と推測される。

3. 現地での温度特性の測定

昭和57年9月に供用開始された大阪湾岸線には図-5に示すように5基の通信塔が設置されており、それぞれの設置条件は予備実験とはかなり状況が異なるところもある。そこで局舎内気温の上昇、通信塔の機能維持の確認及び今後の通信塔設計の技術資料を得るため実際に通信塔が設置されている現地での温度特性の測定が提案された。

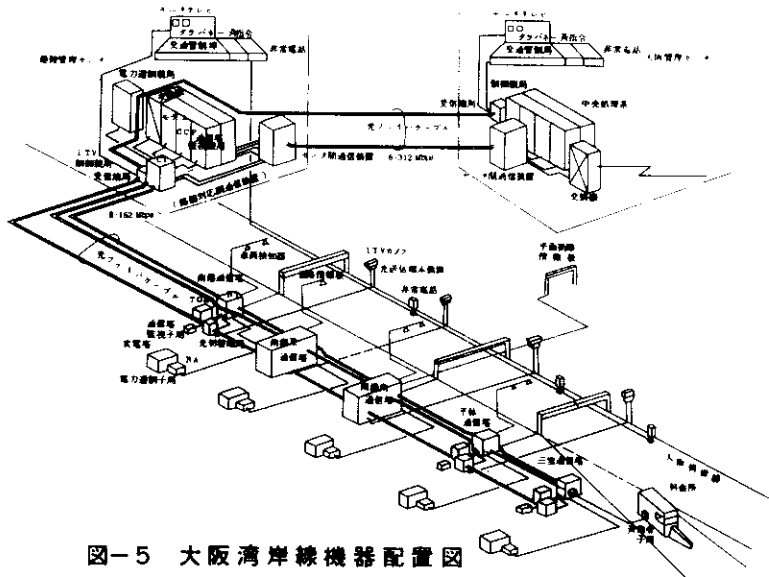


図-5 大阪湾岸線機器配置図

通信機器が稼動を始めた昭和57年8月3日より約1ヶ月間、通信塔内外の温度の測定を行った。なお、測定場所は、温度上昇では悪条件と考えられる日射時間が最も長い南港南通信塔（写真-1）を選んだ。



写真-1 南港南通信塔

3-1 測定方法

温度の測定は、表-4に示すように通信塔内外の12ポイントを選定し、各部の温度とあわせて風向、風速も測定した。測定の目的は、

- 1) 屋内温度は、屋外温度に比べて $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の範囲に入っているかの確認
- 2) 鋼板各面は、放熱面となっているかあるいは吸熱面となっているかの確認
- 3) 屋内の温度不均一性はどの程度かの調査の三点である。

表-4 温度測定場所

外気温度	通信塔より100cm離れた南西面と屋根面	3ポイント
鋼板外部表面温度	通信塔の西面、東面、屋根面	3ポイント
室内温度	床付近(床上10cm、室中央)	1ポイント
	天井付近(天井下30cm、室中央、電源装置直上)	2ポイント
	鋼板内部表面温度(屋根面)	1ポイント
	アルミ打抜き板表面(天井面、電源装置直上)	2ポイント

3-2 測定結果と考察

3-2-1 温度差の確認

測定期間中最も温度の高くなったのは、昭和57年8月25日であり、その日の屋外気温(屋根上1m位置)と屋内気温(天井下30cm位置)の変化を図-6に示す。屋外気温は14時に最高の 37.8°C を記録し、そのときの屋内気温は、 42.0°C であった。全体的に屋内気温は屋外気温より 2°C から 7°C プラス側に平行移動した形であり、第1番目の目的である「屋内気温は、屋外気温より $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の範囲に入っている事の確認」ができた。なお、測定期間中を通して屋外、屋内の温度差は最高 7.5°C 、平均 5°C であった。

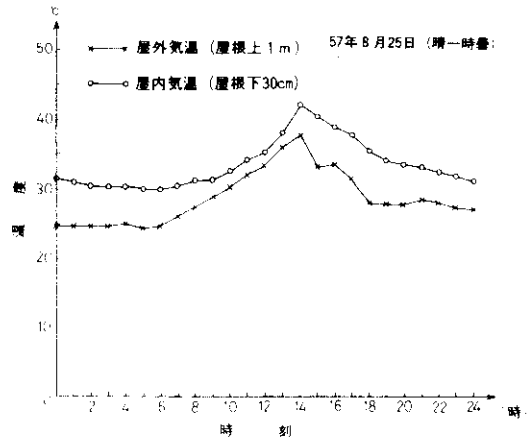


図-6 温度特性

3-2-2 鋼板パネルの温度

図-7に屋根鋼板パネル表面の温度変化を示す。

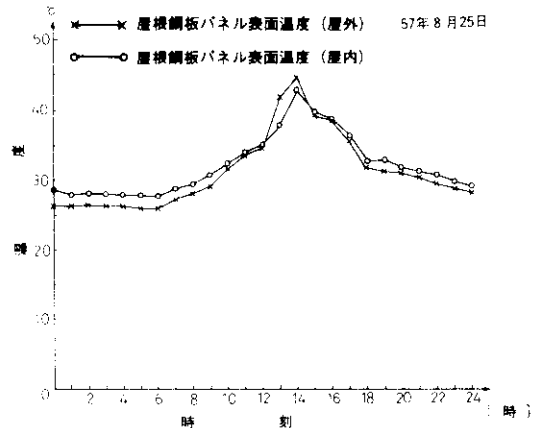


図-7 鋼板表面温度特性

12時から15時の直射日光の当たる時間帯は、屋外側の鋼板表面温度が屋内より高くなっており、それ以外の時間帯ではその逆である。このことは次のように推測できる。つまり、12時から15時間は、直射日光による屋外からの輻射熱量が屋内の発熱量よりも大きくなっており、この時屋根鋼板パネルは吸熱面となっている。逆にそれ以外の時間帯は、内部の発熱量が輻射熱量より大きく屋根鋼板パネルは放熱面となっている。このことは、図-8に示す屋外から屋内までの各点での温度分

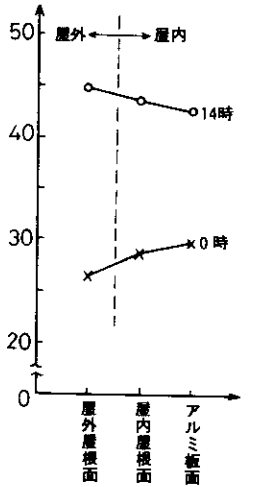


図-8 温度勾配

布の傾きが、0時と14時では、逆になっていることからよく理解できる。

測定期間を通して、屋外温度が高くなると屋根鋼板パネルが吸熱面に変わる現象が見られるが、33°Cで吸熱面になる場合や38°Cでも放熱面になっている場合等さまざまであり、放熱面から吸熱面に変わる温度は、周囲条件により変動する。

3-2-3 屋内気温の不均一性

屋内温度をできるだけ均一に保ち、また熱の対流を良くする目的でファンを取付け強制対流している。しかし予備実験ではそのファンのみの効果がどのくらいあるかは明確にはわからなかった。図-9にファン動作時および不動作時の屋内の最高温度を示す場所と最低温度を示す場所の温度差を時刻毎にプロットした。ファンが動作していない

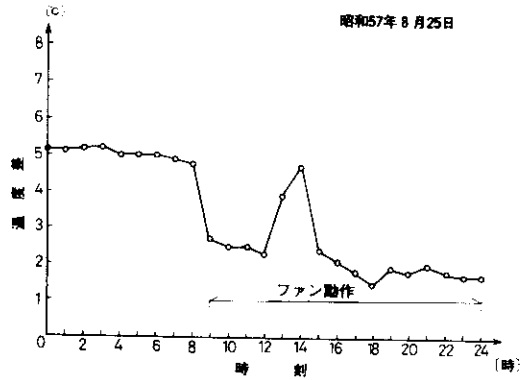


図-9 屋内最高温度と最低温度の差

時の温度差は、5°C前後であるのに対し、ファン動作時は、2°C前後であるので、ファンは室内空気を攪拌することにより屋内温度を均一化し、熱の対流を良くするのに有効であることがわかる。なおここで、13時から14時には、ファンを動作しても温度差は5°C程度と大きくなっているが、これはファンの能力不足であると思われる。

3-2-4 風の影響

一般に屋外設置した場合、風は温度を低減する要因の一つとして期待できる。図-10に0時と14時のデータについて、風速と局舎内外温度差の関係を示す。0時のデータについては、風速が0 m/secの場合が多くデータ不足であるが、風速が増すと温度差が小さくなる傾向がある。しかし、14時のデータでは、風速と局舎内外温度差の関係は見い出せない。このことは、昼間は、日射による影響の方が大きいためであり、本実験で得られた5~6 m/sec程度の風では、あまり温度差を少なくする効果を期待できない。

3-2-5 炎天下における温度上昇

3-2-1から3-2-4まで述べたように、大阪湾岸線に導入された通信塔は、8月の最も暑い期間において、局舎内外温度差を最高でも7.5°C、平均で5°C、局舎内最高温度42°Cと当初予想した通りの充分満足できる結果であった。しかし、設置場所の関係で直射日光が1日中当たる場合も想定され、炎天下でもこの通信塔が使えるかどうかの検討が必要となる。そこで58年度東大阪線に

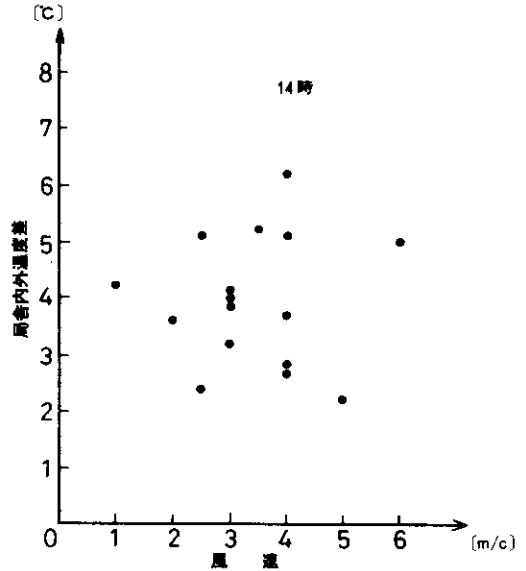
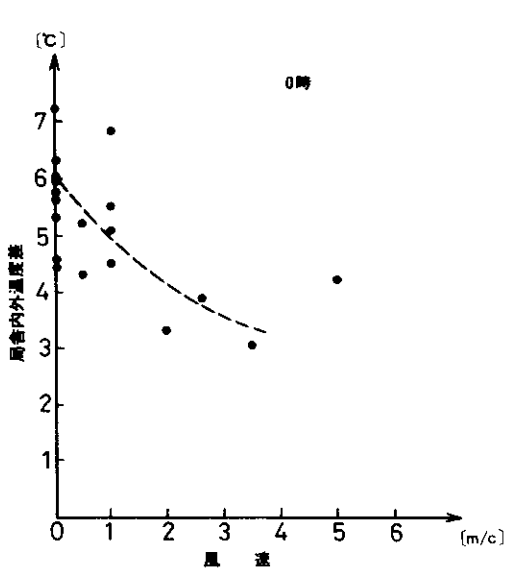


図-10 風速と温度差

導入される通信塔を用いて実験を行った。通信塔の基本構造は、湾岸線と同じであり、大きさはW 2.6 m×D 3.0 m×H 2.3 mとひと回り大きくするとともに3-2-3で述べたファンの能力不足を考慮して3台とした。

測定点は、湾岸線で現地実測した時と同じ12ポイントであり、通信塔内の発熱体としてヒータを設置した。600 Wのヒータを通信塔内に設置し、ファンを動作させない状態での屋内および屋外気温の変化を図-11に示す。屋内の最高気温は、13

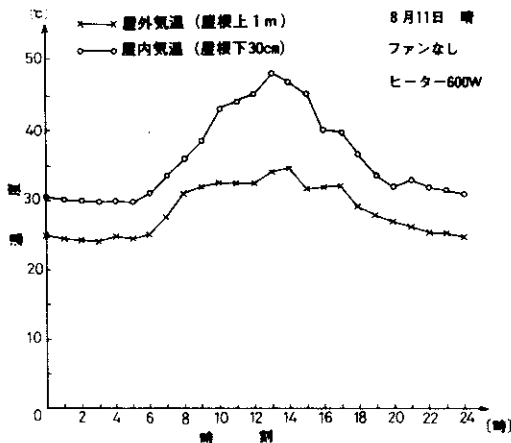


図-11 温度特性(ファンなし)

時において48.2°Cであり、そのときの屋外気温との差は14°Cであった。この場合、発熱量は600 Wであったが、これが1,200 Wになる通信塔内の温度は50°Cを越すことが予想される。一方、ヒータを1,200 Wにし、3台のファンを動作させたときの屋内および屋外温度の変化を図-12に示す。

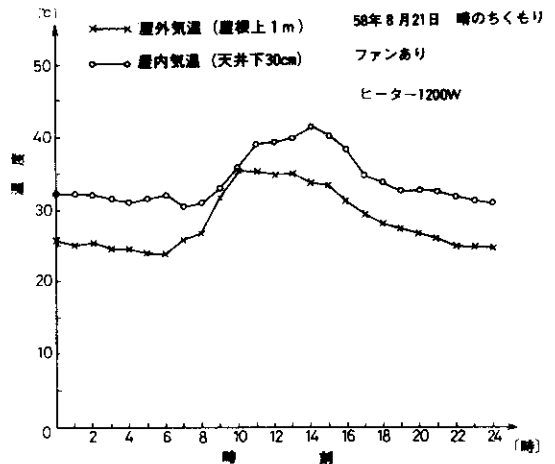


図-12 温度特性(ファン動作)

この日は、今回の測定期間中最も気温が高くなったにもかかわらず、屋内の最高気温は、ファンを動作させない時の最高気温の48.2°Cに対して6.8

でも低い41.4℃であった。このことから、ファンの効果は、設置場所が直射日光の当たるようなところでは、非常に大きくまた有効であることがわかる。また、屋内温度の不均一性は、ファンを動作させない時(600Wヒータ)で最高4.8℃であったのに対し、動作させた時(1,200Wヒータ)は、最高でも2.6℃であった。

なお、測定期間中を通じて屋根鋼板パネルは、ほとんど放熱面となっており、通信塔の大きさを大きくしたこと、ファンを1台多く取付けたことなどが、さらに熱の発散効果を良くした原因になっていると思われる。

最後に、直射日光を遮る目的で写真-2に

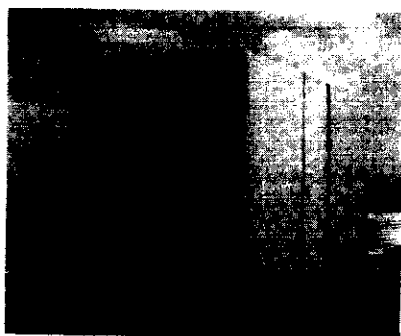


写真-2 通信塔と遮熱板

示すような遮熱板を設けて温度を測定したが、温度上昇に目立った変化がなく、あまり効果のないことがわかった。

3-3 結 論

予備実験、現場測定を通して得られた結論を列記すると以下の通りである。

- 1) 予備実験では、密閉構造の局舎を試作し、局舎内温度を低減する構造として、局舎内部を黒色・局舎内部を黒色塗装する
- ・屋根パネル内面に集熱板を取付ける
- ・内部にファンを取付けて室内空気を熱対流させる
- ・内装板をアルミ打抜き板にする。

の4点が有効であることがわかった。

- 2) 最終的な通信塔の構造として予備実験で有効であった方法に加えて、外部塗装を取得熱量の少ないシルバー色とした。

- 3) 現地での温度測定の結果、屋内の温度は、屋外気温に対して+10℃以下の範囲に入っていることが確認された。

- 4) さらに、通信塔にとっての最悪条件である屋外の炎天下において、屋内温度が50℃以下に保たれており、直射日光が一日中当たる場所でも使用できることがわかった。

あとがき

以上述べたように、本通信塔屋外局舎は、密閉構造にもかかわらず、内部の発熱を効率よく放散させる構造を取り入れることによって、直射日光のもとでも内部温度の上昇を一定に抑え、外気温との差は10℃以下で、通信機器類の温度条件-10℃~50℃を満たすことができる。これにより光通信端局をはじめとする通信設備類の周囲条件を良好な状態に保ち、腐食や変質を防ぐとともに、酷暑による半導体素子等の故障をなくしその信頼性の向上につながるものと確信している。またフィルタ交換、換気設備点検等がなく通信塔本体のメンテナンスの省力化をいっそう図ることができた。

最後に本通信塔局舎の予備検討をいただいた通信方式調査検討委員会の関係各位および阪神高速道路管理技術センター、実験に協力していただいた関係各位に対し感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 建設設計資料集成
- 2) 建築設計ポケットブック
- 3) 設備手帳
- 4) ヒートパイプ応用