建造物からの反射強度の抑制

東京工業大学 教育工学開発センター 清水 康 敬
末 武 国 弘

テレビのゴースト障害を起こす建造物からの反射電波の抑制について解説した。まず、フェライト板などの電波吸収体について述べたが、電波的特性だけでなく、建材としても優れたものができる見通しがつき始めている。また、建造物形状は平面でなく、曲面構造としたり、電波散乱体を付けることによって、反射障害距離を非常に小さくできることを、事例とシミュレーション実験の結果を基に述べた。

1. ま え が き

わが国は国土が狭いため、土地の有効利用や都市機能の近代化のために、建築物の高層化や立体化が急速に進められている。たとえば、主要都市における4階建以上の建物の総数は昭和50年1月現在で18万棟であり、このうち東京都だけでも5万棟である。また、昭和38年に建築基準法が改正され、建物の高さの制限が廃止されてから高層化が進み、超高層ビルと呼ばれる高さ200m級のものが建設されている。

一方テレビは、現在の日常生活において欠かせない重要なものとなっている。すなわち、わが国は米国とともにテレビ大国であり、わが国におけるテレビの普及率は90%を越えている。ところで最近では、ゴースト像のためにテレビの画面が悪くなってきており、特に都心でゴースト像のない鮮明なテレビ画面を見ることは非常にむずかしいといわれている。このゴーストの原因は、建造物によってテレビ電波が遮蔽されたり（遮蔽障害またはビル陰障害）、反射したりする（反射障害）のために生ずるもので、原因となる建造物としては、高層ビル、高架道路、高架鉄道、送電線、鉄塔、石油タンク、ゴルフ練習場、大型クレーン等があげられる。

特に、新宿副都心などにみられる超高層ビルの影響による障害範囲は大きく、ビル陰となる遮蔽障害も大きい。反射障害はさらに大きい。たとえば新宿副都心の超高層ビル群の影響は、遠く千葉県や神奈川県まで及んでいる¹⁾。しかも、その障害範囲は新宿副都心から直線的

に帯状に伸びているのが特徴である。これは、ビルの外壁面が平面であるために、光が平面鏡で反射されるように、テレビ電波がビルの面によって反射されるためである。

ここで、現在における障害対策についてみると、遮蔽障害に対しては、現在のところCATVなどの方法によっている。しかし反射障害の方は障害範囲が広いために、具体的な対策が講じられていないのが現状である。

ところで、このゴーストを防止する方法としては、受信アンテナによる方法や、テレビ受像機の中で電子回路的にゴーストを除去あるいは軽減する方法などが検討されている。しかし、これに加えて、ゴースト障害を起こす原因となっている建造物に対する検討を行い、建造物からの反射電波を抑制できれば、障害の原因をなくするという点で大きな意義がある。

そこでここでは、建造物によって反射される電波を抑制する方法として、電波吸収体を建造物の壁面に張る方法と、建造物形状による反射波強度の抑制について解説する。特に後者については、小模型によるシミュレーションの結果を中心として述べる。

2. 電波吸収体などによる抑制

2.1 コンクリートの反射特性

最近では建造物の外壁面にアルミニウムなどの金属板を使用する場合があるが、この場合は、電波は建造物壁面で完全反射されるため、反射障害範囲は広い。これに対して、プレキャスト板のようなコンクリートによって外壁面ができていない建造物の場合は、反射障害範囲が狭くなる。この程度はコンクリートの種類や構造および周波数（チャンネル）によるが、コンクリートの反射損失は

"Suppression of TV-wave Reflection from Buildings" by Yasutaka Shimizu and Kunihiro Suetake (CRADLE, Tokyo Institute of Technology, Tokyo)

1~5 dB 程度である²⁾。したがって、通常のコンクリートによって反射障害をなくすことはむずかしい。

2.2 電波吸収体

電波吸収体とは、入射した電波を吸収して反射電波をあまり生じないもので電波暗室などに実用化されている。これを反射障害を起こしている建造物に張れば、障害範囲を非常に小さくすることが可能である。

電波吸収体についての報告はいろいろあるが、現在得られている材料としては、誘電体損失材料³⁾と磁性損失材料(フェライト)⁴⁾⁵⁾がある。しかし誘電体損失材料による VHF 帯の吸収体は厚さが厚くなるので、反射障害対策として有効なものはフェライト板である。

フェライトを建造物の電波反射防止用として使用するには、タイル状に成形したフェライト板を建造物の壁面に張るもので、その厚さが 8 mm 程度ですむため、従来の電波吸収材の中で最も実用性があると考えられる。基本的なフェライト吸収体は、図 1 (a)に示すように、金属板で裏打ちしたフェライト板で、適当な材料を用いればテレビ周波数帯においても非常に良い特性を示す。たとえば、図 2 は高さ約 7 m、横幅約 12 m の大型の電波吸収壁について行った野外実験の結果である⁶⁾。この図からわかるように、入射角 0~45° における反射減衰量は 10~20 dB 程度であり、直角入射と比較して著しい変化はない。なお、フェライト板に水滴が附着した場合の特性は、乾燥時とほとんど変化がない。

以上のフェライト吸収体は、建造物の表面にフェライトタイルを張らないと効果が少なくなってしまう。この場合、タイルの剝離などの安全性の点や、強度、耐水性や耐候性など建築材料として適切かなどの点が問題となるが、現在のところまったく解明されていない。

図 1 フェライト吸収体の構造

図 2 フェライト吸収体の特性⁶⁾

これに対して、東京電気化学工業で開発したもので、図 1 (b)に示すフェライト板をモルタル層の間にはさんだ構造のものは、実用性が高いと考えられる。実験によれば、この構造でもモルタル層の厚さなどを適当にすることによって、かなり良い特性のものが得られている⁷⁾。

なお、建造物の壁に利用することを考えると、重量などの点から厚さがさらに薄い吸収体が望ましい。現在、0.8 mm のスピネル型のフェライト吸収体で、テレビ周波数ではないが、700 MHz 用のものが得られている⁸⁾。

3. 建造物の形状効果の例

一般に、建造物の外壁面が平面状(特に金属製)となっていると、その平面は光における鏡と同じような作用をして、そこで反射されたテレビ電波は 30~40 km の遠方まで影響を与える。これに対して、球面や円筒面のように湾曲した壁面をもつ建造物に電波が到来した場合は、電波はいろいろな方向に分散して反射するので、建造物から少し離れると反射電波の影響は極端に小さくなる。そこで、ここでは、実際の建造物に対しての結果について簡単に述べる。

3.1 ホテル・ニューオータニ

四谷にあるホテル・ニューオータニビルは高さ 130 m の高層ビルであるが、この建物の影響による障害範囲は非常に狭い。ある調査によれば、この建物の障害範囲はわずか 1 km 以内と見られ、平面構造のビルのように 30~40 km 先までゴースト現象が起こることはない。このことは、後述するシミュレーション実験においても明らかとなっており、この結果については後で述べる。

3.2 川崎市の一例

また、川崎市内のあるメーカーが、高さ 72 m の塔状建造物を建設したところ、付近一帯にゴースト障害を起こしたことがある。これは、この塔の上部に 15 m × 17 m 平面金属壁面があったため、その影響が顕著であった。そこで反射障害対策として、10° 上向きに傾斜させた 30 mm メッシュの金網を取りつけ、これによって電波を障害の生じない上空に反射させて、地上の民家に与える影響を軽減できた。この場合の改善推定値は、ローチャンネルで 15 dB、ハイチャンネルで 18 dB である⁹⁾。

3.3 春江町住宅の例

文献 10) によれば、江戸川区の春江町住宅(高さ 35 m)では、4 チャンネル以上ではほとんど障害が発生していない。この建物の壁面は、窓ガラスが多く、またテラスがある構造のもので、コンクリート壁面は、モルタル刷毛引、リシンカーン吹付程度の処理がされている。この構造がハイチャンネルで障害を与えない理由は、電波が吸収されたためか、あるいは散乱されたためかは明らか

図3 1chの距離特性

でないが、いずれにしても建築物の形状を検討することによって障害の少ないものが得られる可能性を示唆している。

なお、同じ文献10)では、上記の住宅だけでなく、主都圏における既存建築物の受信障害を調査している。建築物の形状としては、壁面が平らな一般ビルのほか、円筒状、球状のものと、鉄板の集合体などの特殊建築物などである。これによると、壁面がほぼ平面であれば、反射波の指向性パターンは主方向に沿ったなすび形のものとなるが、壁面が凸面の建物の場合には、つぶれた半円形となって、障害距離は短くなっている。したがって、これからも曲面構造の建築物は遠方まで影響を与えないことがわかる。

3.4 電波反射原理実験の例¹¹⁾

NHK では、利根川の河川敷において建物のモデルとして大きな反射板を建設して、テレビ周波数に対する反射特性を測定している。反射板は金網でできており、幅12m、高さ7.2mのもので、反射形状の種類は平面、凸面、凹面および窓のモデルである。図3はその結果の一例で、第1チャンネルの場合の距離特性である。この図からわかるように、平面反射板と比較した凸面、凹面の反射波強度の低下は、測定範囲全体の平均で、凸面が-3.5dB、凹面が-3.0dBである。この結果は10チャンネルでもほぼ同様な結果となっている。

4. シミュレーション実験

4.1 概要

実際に建築物が完成してからそれが障害を起こしているとわかって、その建築物の壁面に電波散乱体や電波吸収体を設けることは、莫大な費用がかかるので、場合によっては不可能に近い。そこで、建築物の設計の段階でゴースト対策まで含めた検討ができることが望ましい。これには、建築物からの反射電波を理論的に検討すればよいとも考えられるが、複雑な形をした建築物からの反射の計算は容易でなく、電子計算機を用いても計算

時間などの点からも現在のところ不可能に近い。

そこで、建築物の小さな模型によるシミュレーション実験によって、その建物の障害の様子がわかれば費用は安いので非常にメリットがあると考えられる。したがって、この方法が完全に確立されれば、障害範囲の小さい建築物を設計することが可能となる。

ところで、電磁波の理論によれば、建物の1/nの模型に対するシミュレーション実験は、実際の周波数のn倍の周波数において測定すればよい。たとえば、1/100の模型について考えると、第1チャンネルの90MHzにおける建築物の反射特性を知りたい場合、9GHzにおいてシミュレーション実験すればよい。ただし、このシミュレーション実験において重要なことは、シミュレーション周波数における模型の面の反射係数が、実際の周波数における建築物面の反射係数に等しくする必要がある。したがって、表面が金属である建築物の場合は、金属表面の模型について測定すればよいが、コンクリート面の建築物に対しては、コンクリート面の反射係数が周波数特性をもっているため、コンクリート製の縮尺模型を作ればよいというわけにはいかない。

ところで、以下に説明するシミュレーション実験では、金属製の模型を作って測定しているが、これは次の理由による。まず、最近の建築物にはアルミ板のような金属板を用いた高層ビルが増えてきている。また、前述のように、コンクリートの反射係数はチャンネルによって異なり複雑であるためもあるが、鉄筋コンクリート面の反射はかなり大きい。さらに、よく知られているように、金属面からの反射は他の物にくらべて最も大きいので、金属製の模型について障害範囲を検討しておけば、実際の障害範囲はその実験結果より小さい。それゆえ、最大の範囲がわかるので、建築物の設計の際には大いに役立つ結果であると考えられる。しかし、将来において、障害を起こしている建築物の補償範囲をシミュレーションによって決定しようとする場合には、金属製の模型による結果を利用することには問題がある。したがって、建築物壁面の反射特性や窓の影響などを考慮したもっと正確なシミュレーション実験の検討が今後必要となる。

4.2 結果の一例¹²⁾

このような電波伝搬の実験は、電波暗室内において行うと信頼性の高い測定結果が得られる。そこで、東京工業大学の電波暗室内の回転台の上に模型を置いて、反射電波の強度や指向特性などを検討した。模型の縮尺は1/100であり、周波数10GHzにおいて測定した。

(1) 角柱ビル

現在国内で建設されているビルは、超高層ビルを含め

図4 角柱ビルの反射指向特性 ($\theta_{in}=50^\circ$)¹²⁾

て角柱（箱型）のものが多く、ここで測定した角柱ビルの寸法は、42 cm×69 cm の断面をもち、高さが1m のものであるが、反射電波の指向性の一例を図4に示す。図からわかるように、建物壁面のA面とB面による反射が別々に現われ、これは光学的に考えた方向と一致する。このように鋭い指向性をもった反射波は、ずいぶん遠くまで影響を与えることになる。

(2) 円柱ビル

円柱ビルは、光学的に考えてもいろいろな方向に電波を分散して反射するので、1方向に強い反射を生じない。したがってこれは障害を起こしにくい建物で、実際の場合の結果でも障害距離が小さい¹⁰⁾。ここで測定したものは直径が波長の約20倍のもので、前述の角柱ビルと同等の断面積をもつ円柱ビルである。

このように電波を散乱させる構造では、反射波の大きさは距離が遠くなるにしたがって急激に小さくなって、障害を与えなくなる。そこで、受信距離に対する円柱からの最大反射レベルを図5に示す。測定結果は、電波暗室の大きさの都合から、建物模型から7m（実際の700

図5 円柱ビルの受信距離特性¹²⁾

図6 ホテル・ニューオータニビルの反射指向特性¹²⁾

m) までしか得られていないが、建物から離れるにしたがって反射波の影響が小さくなることがわかる。

(3) ホテル・ニューオータニビル

ホテル・ニューオータニビルは、前述のように曲面構造のビルで、実際に障害をほとんど起こしていない。そこで、このビルの1/100 模型を作り反射特性を測定したところ、図6の例に示すように電波はかなり散乱されている。この模型に対して受信距離特性を調べたところ、ビルから1.5 km も離れば、障害は起こらないことが推論された。この結果は、実際の調査とも同程度である。したがって、このように曲面をもつビルは、障害を起こす距離が短い。

(4) 斜壁面体

一般に敷地の形状や有効利用の関係から、角柱型などの平面構造の建物が多い。そこで、建物の平面壁に斜壁面体を設けた構造について検討した¹²⁾。これは、斜面が一定の長さに分割されているもので、斜面の長さを長く

図7 段階状斜壁面体の受信距離特性¹²⁾

するほど、電波は空に向って反射されるので有利であるが、そうすると不要な空間が大きくなるので限度がある。実験では、建物の階高(実長 3.65m)を単位として、1階分から5階分までの5種類で、また、斜面の角度は 10° と 20° の場合について測定した。図7は、斜面角度が 10° の場合で、斜面の長さが1階分の場合はほとんど散乱効果がないが、2階分以上の分割をすれば散乱効果はかなりあることがわかる。

4.3 シミュレーション実験の信頼性

シミュレーション実験は、前述のようにいろいろな利点をもっているが、現実の場合との対応がつけられていないと、実験そのものがまったく意味をなさない。そこで前述の3.4節で触れたNHKの現場実験を基に、これに対するシミュレーションを行った。これは、金属製の1/40 模型を製作して周波数 3.65 GHz で測定した。図8の実線はその結果の一例で、凹面反射板に対する反射強度の距離特性である。また、1ch と記したものは、テレビ第1チャンネルに対するNHKの現場実験の結果から、横軸の距離を1/40 にスケールした値を示して

図8 シミュレーションと現場実験の比較

いる。

これからわかるように、縮尺モデルによるシミュレーション実験は、実際の測定値と非常に良い一致が得られている。したがって、前述のビル模型の結果も、現実に近い結果であることが推論される。

5. む す び

建築物による反射障害を少なくするために、電波吸収体と建築物形状の問題について解説した。この問題に関して今後に期待されることとして、建材として優れた電波吸収体の出現と、現実に最も適したシミュレーション実験法の確立があげられる。(昭和51年8月24日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 朝日新聞, 昭和50年6月12日夕刊
- 2) 水戸部, 伊藤: 建築用コンクリート壁面材のVHFテレビ電波反射特性, NHK技研月報, **17**, 3 (1974) 103-109
- 3) 清水康敬, 末武国弘: 誘電性損失材料による実用的広帯域電波吸収壁, 信学誌(B), **53-B**, 3 (1970) 143-150
- 4) Y. Naito and K. Suetake: IEEE Trans., **MTT-19**, 1 (1971)
- 5) 清水康敬ほか: 誘電体層および磁性体層を組合わせた電波吸収壁, 信学論(B), **53-B**, 7 (1970) 381-388
- 6) NHK 昭和51年技研公開資料
- 7) 解説; テレビのゴースト防止に決め手はあるか, 日経エレクトロニクス, No. 128 (1976) 50-66
- 8) 内藤喜之, 篠山誠二: 0.8 mm, 700 MHz フェライト, 信学誌(B), **58-B**, 6 (1975) 320-321
- 9) 伊藤士郎: 建築物による受信障害, テレビ誌, **29**, 4 (1975) 276-281
- 10) 嶋田勇ほか: 建築物によるテレビ反射障害に関する実測結果, テレビ学会無線技研資, RE 75-30 (1975.10)
- 11) 関秀作ほか: 建築物によるテレビ電波の反射実験, テレビ学会無線技術研資, RE 75-31 (1975.10)
- 12) 清水康敬ほか: 電波障害防止に関する実験的検討, テレビ学会無線技術研資, RE 75-32 (1975.10)