

# 電波吸収パネルの開発

中村裕介\* 浅野芳伸\*\*

## 1. まえがき

本研究開発は、建物を建設することにより発生する「テレビ電波反射障害」と、電磁波に関する研究・計測のための「電波暗室」を対象に、新しい電波吸収材とその使用方法を考案・実用化したものである。

「テレビ電波障害」対策にはCATV化が一般的だが、対策住戸が多い場合に補償費が高くなることや、障害エリア境界線付近での対策の要否をめぐる住民トラブルが起りやすいことから、近年の高層建物では電波吸収壁で建物の反射障害をなくす方法がとられることがある。具体的には電波吸収体であるフェライトタイルを、外装材背後に電波の磁界方向に連続させて配置するが、仕上げ材やコンクリートとの付着性能が悪く、位置保持や剥落防止のために複雑な納まりとなり、多大な労力・コストが掛かっている。

また、近年の電子製品・OA機器の進歩は著しく、普及は拡大しているが、その一方で機器からの電磁波が原因で起こる誤動作障害は、大きな課題となっている。そこで、これら電子機器に対するEMC（電磁波を出す側と受ける側の両立性）対策を行うことは必須である。これまで電子機器の測定評価は、屋外のオープンサイトで行っていたが、測定場を取り巻く電磁環境の変化や天候に左右されるため、現在では「電波暗室」の需要が非常に高い。ただし、室内全面にフェライトタイルを張る場合、フェライトタイル間の隙間による電波吸収性能の低下やタイルを一枚ずつ張る施工の煩わしさが問題となっている。

そこで、平成 12 年度より 2 年間、これら諸問題を解決する電波吸収パネルの開発を行ってきた。その結果、価格が従来品よりも 2 割程度安価で、自由度の高い形状や厚さのフェライトタイルを成形することができた。また、建物外観上の制約を受けないように、3 タイプの実大電波吸収パネル（4

章に各タイプ詳細を示す）を製作し、その施工性と電波吸収性能を確認することができた。

## 2. 電波吸収体および電波吸収パネルの開発概要

電波吸収体の開発にあたり検討した項目と実施内容を表 1 に示す。また、電波吸収パネルの開発工程を図 1 に示す。

前述の適用場面における対象周波数帯域は、30MHz ~ 1 GHz 程度であるので、入手できる原料の中から Ni-Zn 系ソフトフェライト仮焼品（平均粒径 80~150 μm）を選定した。これをプレス成形して、焼結したものが酸化鉄の一種であるフェライトタイルとなる。

開発したフェライトタイルの特徴は、凹凸を付けてコンクリートとの付着力を高めたことや、表面を加工して、それ自身が仕上げ材として成型できること、複数枚を連結ユニット化することである。これは、フェライトタイルどうしの接触箇所の不具合による性能低下の防止や、電波吸収パネル製作作業の省略化、パネル構成の簡素化によるコストを低減させる効果がある。

表 1 電波吸収体の開発検討項目

検討項目	実施内容
吸収体材料および製作方法の検討	調査、考案
吸収体の試作	試験体の製作実施
電波吸収性能試験	同軸管による性能試験
吸収体の形状・品質検討 壁面取り付け方法の検討	調査、考案
躯体コンクリートとの一体性	付着試験体製作
耐久性、耐候性検討	促進劣化試験

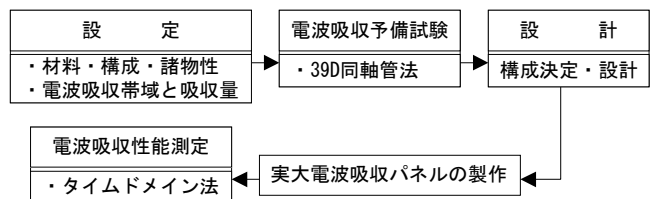


図 1 電波吸収パネルの開発工程

\*技術研究所 \*\*技術本部技術開発部

テレビ電波障害対策に必要なフェライトタイトルの電波吸収性能は、一般に 13~14dB 程度である。これは、NHKが障害予測を行うときに目安とする、**図-2**に示す、反射障害発生範囲の境界線となるDU比<sup>1)</sup>（直接波と反射波のレベル差）から求められる。例えば、直接波と反射波の遅延時間が 1.5 $\mu$ s（距離差 450m）の場合、DU比 23dB 以上で障害は起こらないと予測できる。さらに反射波の距離減衰や反射壁面での拡散、周囲の建物による減衰などを考慮すると、反射壁面で必要な電波吸収性能は 10 数 dB となることが多い。

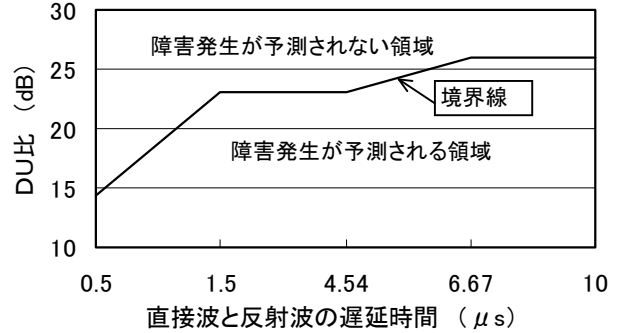


図-2 反射障害発生範囲の予測モデル<sup>1)</sup>

### 3. 電波吸収性能および建材としての性能評価

#### 3.1 予備試験概要

パネルの構成を決定するため、小供試体を用いる電波吸収性能確認予備試験を行った。測定は、**写真-1**に示す 39D同軸管とネットワークアナライザを用いた。供試体の一例を**写真-2**に示す。

測定は、フェライトタイトル単体およびフェライトタイトルの前後に外装材やコンクリートが配置される複層体における、各層の厚みと電界方向のギャップ率、磁界方向のスリット有無などをパラメータとして行った。

フェライトタイトル単体の焼成温度の違いによる吸収性能を**図-3**に、厚さの違いによる吸収性能を**図-4**に、吸収性能の算定に必要な材料定数を**図-5**に示す。

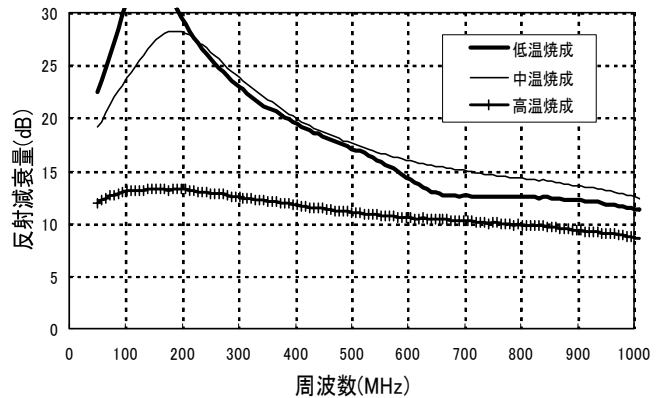


図-3 焼成温度による電波吸収性能の差

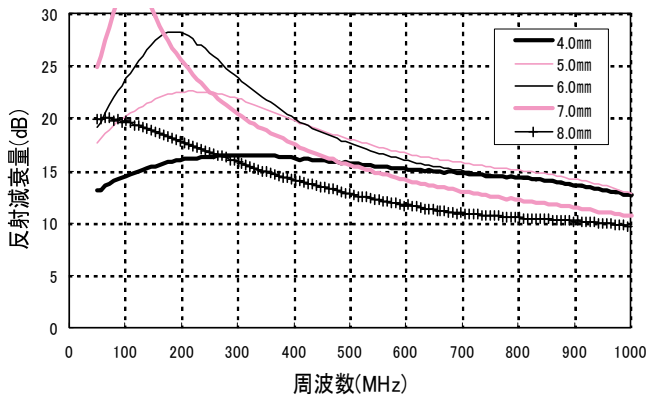


図-4 厚さによる電波吸収性能の差



写真-1 予備試験測定系全景 (39D 同軸管)



写真-2 同軸管供試体例

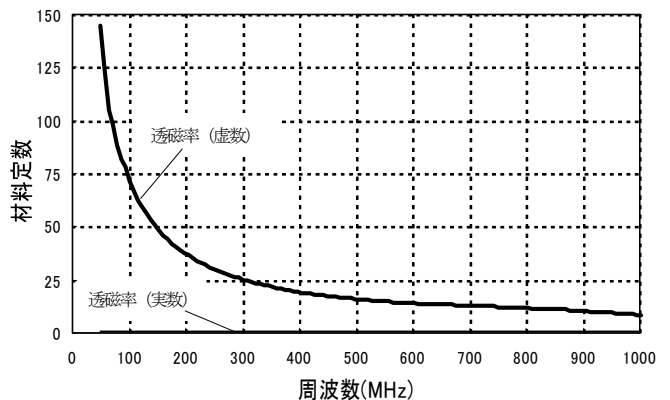


図-5 フェライトタイトルの材料定数

表-2 各電波吸収パネル用フェライトタイルの建材試験

	試験項目	試験方法	試験結果
外装兼用タイプ フェライトタイル およびパネル (4.1に掲載)	曲げ試験	JIS A 5209-1994	幅1cm当たりの曲げ破壊荷重 80N/cm以上(厚5.5mm以上)
	線膨張係数	JIS A 1325-1995	$7.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
	耐薬品性試験	JIS A 5209-1994	異常なし
	磨耗試験	JIS A 5209-1994	磨耗減量0.1g以下
	凍結融解試験	JIS A 1435 気中凍結水中融解法	300サイクルで釉薬タイル異常なし
	温冷繰り返し試験	都市公団タイルモルタル性能試験方法	モデル試験体温冷繰り返し後、 接着強度0.6N/mm <sup>2</sup> 以上
	接着性試験	建研式接着試験機による	0.6N/mm <sup>2</sup> 以上
外装材裏接着タイプ フェライトタイル およびパネル (4.2に掲載)	曲げ試験	JIS A 5209-1994	曲げ強さ25N/mm <sup>2</sup> 以上
	磨耗試験	JIS A 5209-1994	磨耗減量0.1g以下
	温冷繰り返し試験	都市公団タイルモルタル性能試験方法	モデル試験体温冷繰り返し後、 外装タイルの接着強度0.6N/mm <sup>2</sup> 以上
	接着性試験	建研式接着試験機による	0.6N/mm <sup>2</sup> 以上
電波暗室タイプ フェライトタイル (4.3に掲載)	曲げ試験	JIS A 5209-1994	曲げ強さ35N/mm <sup>2</sup> 以上
各タイプ共通	かさ比重	JIS A 5209-1994	5.0~5.3
	吸水率	JIS A 5209-1994	0.1%以下

3.2 実大試験概要

前述の予備試験では小試験体を用いるため、壁の目地処理等が含まれない。また、電波の垂直入射のみの性能評価であるため、斜入射時の評価も必要となる。そこで、実大パネルによる電波吸収性能試験を、図-6に示すタイムドメイン法<sup>2)</sup>によって行った。

測定手順は、はじめに電波吸収パネルの上面を金属シートで覆った全反射時の反射波強度をリファレンス値として測定する。次に、金属シートを取り除いたときの反射波強度を測定し、両者の差をパネルの吸収性能とする。入射角度は、垂直入射と30、40°斜入射とした。各試験体の大きさは、電波の電界方向となる地平面方向を3.0m、電波磁界方向となる鉛直方向を4.0mとして電波の1波長以上となるように設定した。

3.3 建材としての性能試験

開発した各電波吸収パネルに使用するフェライトタイルが建材として必要な性能を満たすことができるか確認するために行った試験項目と結果を表-2に示す。どのタイプのフェライトタイルも、一般建材としての使用に支障はないものと判断することができた。

4. 各電波吸収パネルの概要

4.1 吸収体外装兼用タイプ

これまででは、フェライトタイルに色付けし、外装材として使用することはできなかったが、メーカーのもつ施釉技術により可能となった。また、電波入射面の最前面に吸収体を配置することができるため、高い吸収性能が期待できる。図-7に、外装兼用タイプの電波吸収パネルの概要を示す。

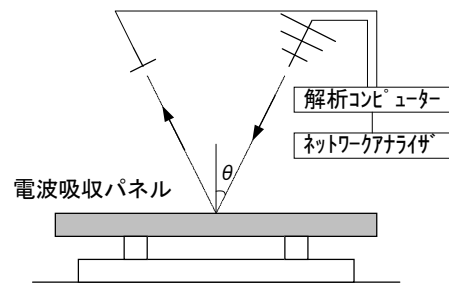


図-6 電波吸収性能試験概要(タイムドメイン法)<sup>2)</sup>

a. パネルの設計

本パネルの製作にあたり設定した材料と構成および吸収量とその周波数帯域の目標は次の通りである。

- i. 外装材兼電波吸収材として45二丁掛けの施釉フェライトタイルを目地幅5mmで使用する(磁界方向の不連続は電波吸収材の面積比10%)
- ii. 磁界方向の不連続性を補うため、磁界方向に連続する幅の狭いフェライト補助板を使用する
- iii. 反射率が98%以上となるように反射筋を径6mm、磁界方向@50mm、電界方向@100mmとする
- iv. 電波吸収量目標は15dB以上とする

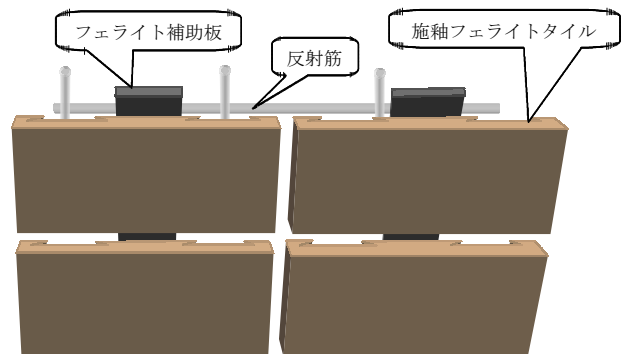


図-7 吸収体外装兼用タイプの構成概要

b. 吸収性能予備試験結果

- i. 厚さ6mmの施釉フェライト板で磁界方向連続と不連続性10%の場合で電波吸収量を測定した結果(図-8)から、不連続の場合、高周波帯域に電波吸収が移行することが分かった
- ii. 磁界方向の不連続性を補うため、施釉フェライト板厚さ5.5mm、補助板厚さ5mm及びコンクリート厚さ10mmの複層とし、補助板外径φ21、26、30mm(施釉フェライトタイル幅95mmに対してそれぞれ幅12mm、31mm、50mmに相当)の場合と、さらに、施釉フェライトタイルと補助板を離した場合の電波吸収量は、図-9に示すように、補助板の幅が大きくなるほどピークは高周波側へ移動することが分かった

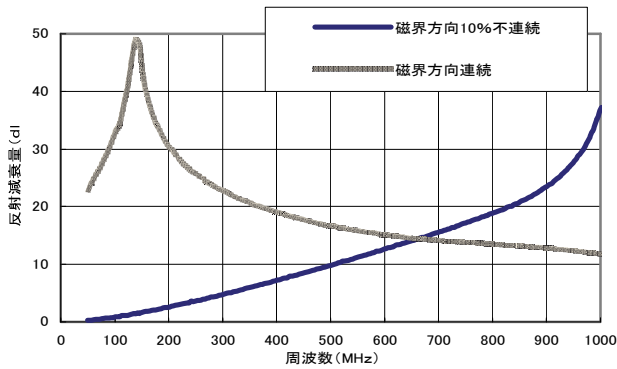


図-8 磁界方向連続性による電波吸収量の比較

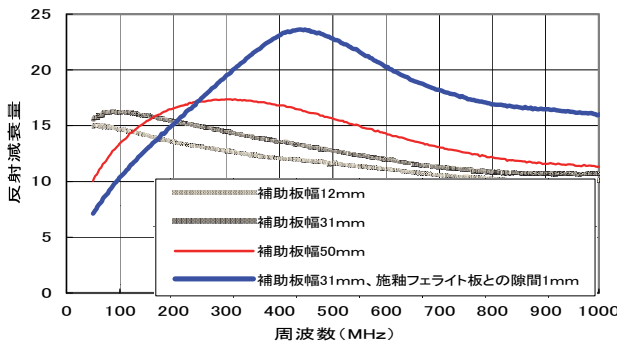


図-9 補助板の違いによる電波吸収量の比較

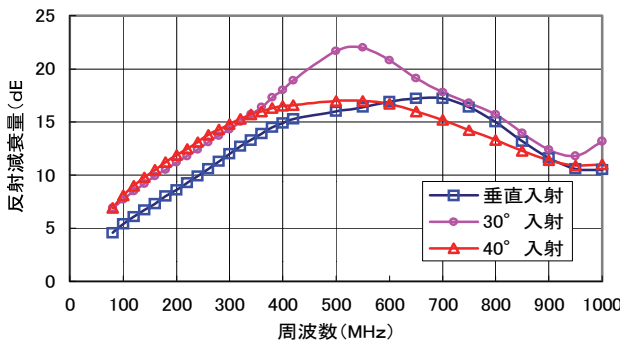


図-10 実大電波吸収パネルの吸収量

c. 実大電波吸収パネルの製作

パネルの製作手順は、①外装材として300mm×300mmにユニット化した施釉フェライトタイルを敷き並べ、②その裏面に接着剤で幅25mmの補助板をセット、③反射筋および構造鉄筋セット、④軽量1種コンクリートを打設、⑤蒸気養生後、強度を確認して脱型する。

d. 電波吸収性能の測定結果

図-10に3.0m×4.0mの実大パネルをタイムドメイン法で測定した結果を示す。UHF帯(470~770MHz)で目標の15dB以上の吸収性能があることを確認した。

e. まとめ

外装兼用パネルの特長である、①外観が磁器タイルと同じで外装材および壁としての性能を有する事、②電波吸収体としての垂直・斜入射に対して材料・構成を変えずに安定した吸収性能が得られることを確認した。従って、パネルの製作工程が簡略化できる。

今後の課題として、外装兼用タイルとその背後に配置する補助板が密着しないと、低周波帯域に対応できないことが判明したため、製作時の施工管理方法を確立させ、VHF帯(90~222MHz)にも対応させたい。

4.2 吸収体内蔵タイプ

建物外観のデザイン上から石材や磁器タイルなどを外装材とした場合の電波吸収パネルの開発を目的として、フェライトタイルを連結板によりユニット化したものを外装材の直裏に接着した吸収体内蔵タイプの電波吸収パネルを開発した。外装材に石材を使用した場合のパネルの断面構成例を図-11に示す。

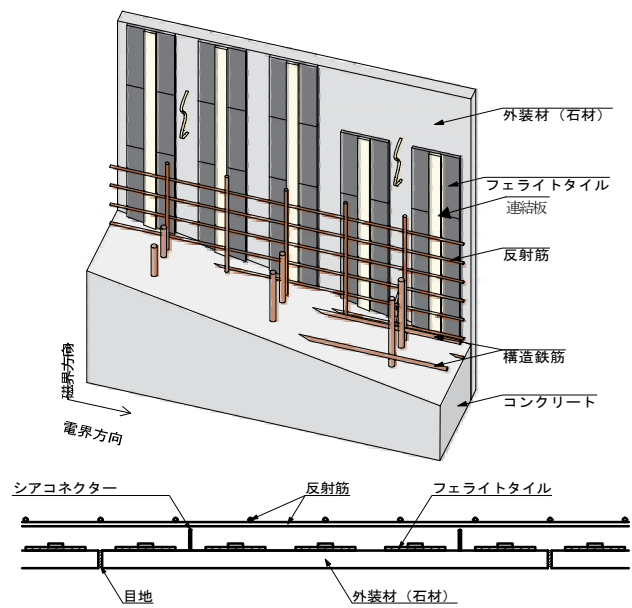


図-11 石仕上吸収体内蔵タイプの構成概要



a. パネルの設計

パネルの設計するにあたり、設定および目標とした条件は次の通りである。

- i. 外装材は石材（御影石、厚さ 25mm）とする
- ii. テレビ電波吸収の対象周波数帯域は VHF 帯域（90～222MHz）とする
- iii. 電波吸収性能は 15dB 以上を確保する

b. 吸収性能予備試験結果

目標とする電波吸収性能を確保するためのフェライトタイル厚さを確定するため、実際の電波吸収パネルを想定して、白御影石の厚さ 25mm、フェライトから反射筋までの離隔距離（コンクリート部分）を 30mm とし、フェライトタイルの厚さを 2, 4, 5, 6mm とした場合の電波吸収量を 39D 同軸管試験により測定した。測定結果を図-12 に示す。その結果、フェライトタイルの厚さを 5mm とした場合、VHF 帯域において目標とする 15dB 以上の電波吸収性能を得ることが確認できた。よって、電波吸収パネルの製作実験では厚さ 5mm のフェライトタイルを使用した。

c. 実大電波吸収パネルの製作

3.0m×4.0m のパネル製作にあたり、39D同軸管試験で確認したフェライト厚さ 5mm およびフェライトから

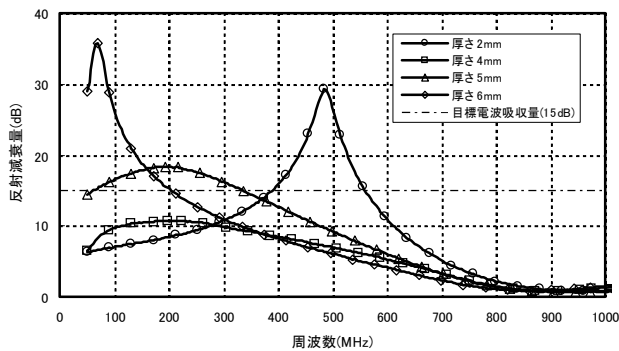


図-12 フェライト厚さの違いによる電波吸収性能

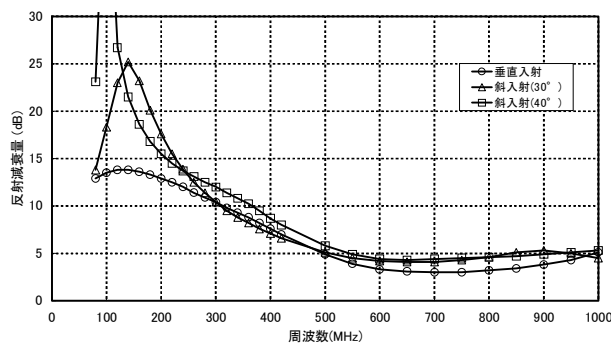


図-13 外装材裏接着タイプ電波吸収パネルの電波吸収性能（外装材に石材を使用した場合）

反射筋までの離隔距離 30mm により製作した。なお、ギャップ率は 33% とした。

パネルの製作手順例を次に示す。①石材をセットし、裏面処理剤の塗布、②石材の直上にフェライトタイルユニットを敷設、（敷設状況は写真-3参照）、③反射筋をフェライトタイルから所定の離隔距離を保持してセット、④構造鉄筋を所定の位置へセット、⑤軽量コンクリートを打設、⑥蒸気養生を行って所定の強度を發揮したことを確認後脱型

この結果、フェライトタイルをユニット化したことで、フェライト間の突合せ数が減り、磁界方向の連続性を確保するための作業手間が削減できた。

d. 電波吸収性能の測定結果

図-13 に、3.0m×4.0m の実大パネルをタイムドメイン法で測定した結果を示す。

測定の結果、VHF 帯の吸収性能は、垂直入射時で 12dB となり、目標値を満足できなかったが、斜入射時においては目標の吸収性能がほぼ得られたため、フェライトタイルの厚さを厚くすることにより、15dB 以上を十分確保できると思われる。また、実際の電波吸収パネルを想定して行った 39D 同軸管試験結果よりも若干電波吸収性能が劣ったが、フェライトタイル厚さおよびフェライトタイルから反射筋までの離隔距離の選択に再検討の余地がある。

e. まとめ

外装材の直裏に電波吸収体を配置した電波吸収パネルの製作方法と電波吸収性能を確認した。本パネルの特徴は次の通りである。①石材や磁器タイルといった外装仕上げ材に適用可能。②補強連結材を用いてフェライトタイルをユニット化することにより、磁界方向の連続性の確保が容易となり、施工性が向上する。③フェライトタイルの厚さやフェライトタイルから反射筋までの離隔距離を変えることで、周波数帯域と吸収性能を変化させることが可能である。



写真-3 フェライトタイルユニット敷設状況

### 4.3 電波暗室タイプ

電波暗室は室全面に隙間なく電波吸収体を張り付ける必要がある。そこで、従来の施工手間を大きく省略することができ、また、施工誤差や寸法精度から生じるフェライトタイル間の隙間による吸収性能低下を防止することを目的としたユニットパネルを開発した。パネルの断面構成例を図-14に示す。

#### a. ユニットパネルの設計

パネルの設計にあたり、設定した条件を次に示す。

- i. 対象周波数を広帯域の80MHz～1,000MHzとする
- ii. 電波吸収性能は、15dB以上を確保する
- iii. 1人で組立て可能な大きさ、重量とする

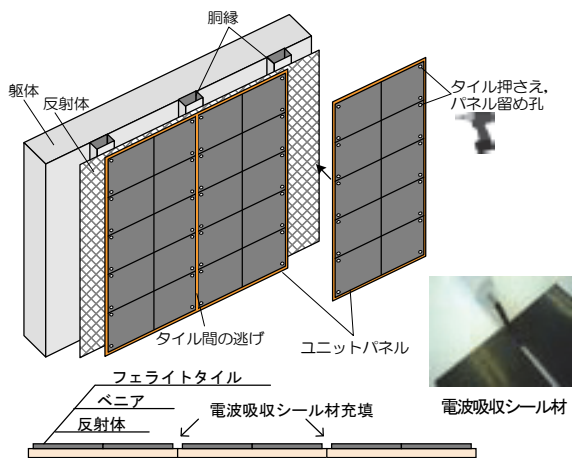


図-14 電波暗室タイプの構成概要

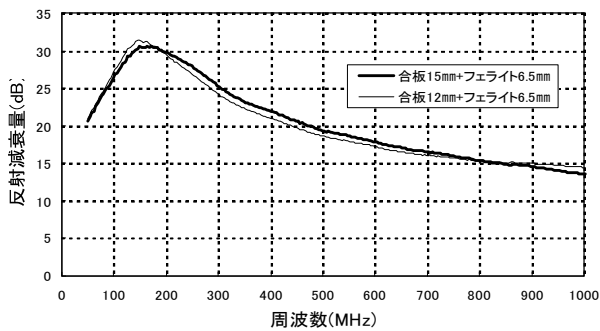


図-15 フェライトタイルパネルの吸収性能

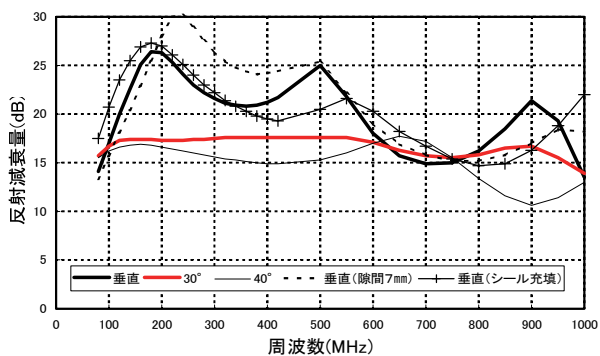


図-16 フェライトタイルパネルの吸収性能

#### b. 吸収性能予備試験結果

フェライトタイルと合板の複層時の吸収特性を図-15に示す。合板厚さの影響は少ないと判断できる。

#### c. 電波吸収ユニットパネルの製作と現場施工法

パネルの製作は、フェライトタイルの突き合わせ部分に隙間や不陸が無いように、精度よく成型したものを配置して、合板に接着する。

予備試験結果からフェライト厚さは6.5mm、合板9mmとし、大きさは通常用いられる胴縁ピッチに適合するように、W×H=330mm×810mmとした。ユニットパネルは1枚10kgとなった。

現場施工法として、胴縁に本パネルをビス留めすることを想定し、フェライトタイルにビス穴を設けることができる。また、合板は、フェライトタイルよりも若干大きくすることにより、搬送時のタイルの欠けを防ぐことができ、本パネル組み立て後にタイル間の目地となる。この部分にフェライト粒子含有のシール材を充填することで、吸収性能を確保することができる。

#### d. 電波吸収性能の測定結果

本パネルを3.0×4.0mに敷設して、タイムドメイン法で測定した結果を図-16に示す。垂直および斜入射で、高い吸収性能を得ることができた。また、パネル間に隙間を設けた場合の性能は低下したが、前述のシール材により、補償できることが分かった。

#### e. まとめ

フェライトタイル全面張りの場合、本パネルを用いることにより、従来の施工手間を大幅に削減できることが確認できた。また、目標とした電波吸収性能を確保していることを確認した。

## 5. あとがき

電波吸収体および電波吸収パネルに関する技術資料と設計・施工マニュアルを作成した。電波吸収が必要な場面での適用を検討したい。なお、本研究は当社と五洋建設、銭高組、大末建設、松村組、三井建設およびニッコーとの共同研究として実施した。

### 【参考文献】

- 1) NHK営業総局受信技術センター、「建造物障害予測の手引き」、日本CATV技術協会、p.36、1995
- 2) 日本建築学会、「電磁環境と建築設計」、丸善、p.121、2000