

# 建築材料の UHF 帯と準マイクロ波帯における 平行二線線路による反射減衰量

## REFLECTION LOSS OF THE BUILDING MATERIALS IN THE UHF BAND AND THE SEMI-MICROWAVE BAND BY THE PARALLEL WIRE LINE

河 辺 伸 二<sup>\*1</sup>, 菱 田 幹 大<sup>\*2</sup>

*Shinji KAWABE and Mikihiro HISHIDA*

The electronic devices like a cell phone and a wireless LAN using the electromagnetic wave are rapidly widespread recently. The trouble in an architectural space by the electromagnetic wave has expanded on the other hand of the electromagnetic compatibility, too. In the improvement of an architectural space, the research of the electric wave characteristic of the building material is important. In this paper, the reflection loss of the building materials generally used for the building in the UHF band (550MHz-650MHz) and the semi-microwave band (1600MHz-2600MHz) is measured. As a result of the measurement, the following have been understood.

1. In the UHF band, when the lattice type ferrite microwave absorber was used, the reflection loss of 20dB was shown. When the roof tile or carpet was used, a high reflection loss was shown.

2. In the semi-microwave band, a little large reflection loss was shown by the lattice type ferrite microwave absorber, the rock fiber acoustic material, and the aluminum heat insulator.

3. Measured building materials divided into the following four kinds. 1) Material that shows the reflection loss in the UHF band. 2) Materials that shows the reflection loss in the semi-microwave band. 3) Material that shows the reflection loss in both frequency bands. 4) Material that doesn't show the reflection loss in neither the UHF band nor the semi-microwave band.

**Keywords:** Electromagnetic wave, UHF band, Semi microwave band, Reflection loss, Parallel wire line

電磁波, UHF 帯, 準マイクロ波帯, 反射減衰量, 平行二線線路

### 1. はじめに

建築空間で利用される電波利用機器の普及は、拡大しかつ多様化している。特にコードレス電話や携帯電話、無線 LAN システムの普及は急激である。また 2011 年には TV 放送が、アナログ放送からデジタル放送へと完全移行することになる。図 1 に示すように地上デジタル TV、コードレス電話の親機と子機、電子レンジなど建築空間内には多くの電波利用機器があり、我々はそれらの恩恵を受けている。一方で、建築空間内での電波の障害も存在している。例えば、TV 塔からの地上デジタル放送の電波(600MHz 帯)が壁やブラインドで弱められ室内アンテナで受信できないことや、コードレス電話の親機と子機間の電波(2450MHz 帯)の伝達距離が、壁、床、天井などの建築材料の材質により短くなることがある。また、電子レンジから漏れる不要な電波の干渉により、他の電波利用機器の通信速度の低下を招く障害もある。電波利用機器の普及が拡大するほど、建築と電波障害の関わりが深まっており、快適な電波利用機器の使用のためには、一般的な建築材料の電波特性として、反射減衰量と反射量・透過量・吸収量を明らかにすることが重要であると考えられる。

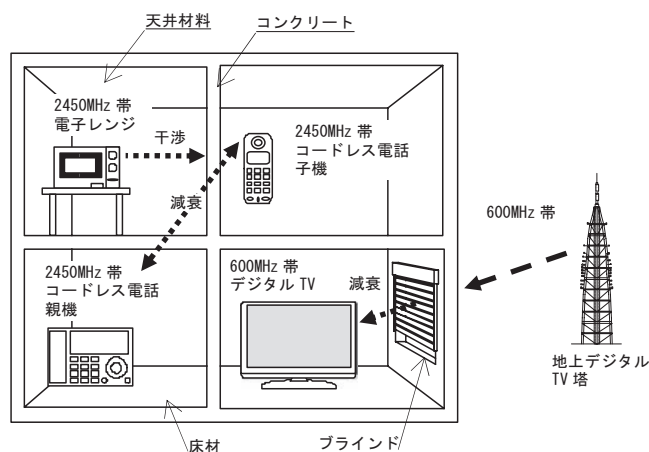


図 1 建築空間と電波利用機器

筆者らはこれまで建築材料の電波特性の測定方法として、平行二線線路測定法による独自の測定方法の提案を行い、次に示す電波

\*1 名古屋工業大学大学院 教授・工博

\*2 名古屋工業大学大学院 大学院生

Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.  
Graduate Student, Nagoya Institute of Technology

特性の評価を行ってきた。平行二線線路測定法による建築材料の電波特性に関する研究は、①垂直入射の反射減衰量<sup>1) 2) 5) 8)</sup>、②斜入射の反射係数<sup>7)</sup>、③垂直入射の反射量・透過量・吸収量の評価<sup>9)</sup>と展開してきた。また、現在までに④100MHz 付近の地上アナログ TV 放送の VHF 帯<sup>1) 2) 3)</sup>、⑤600MHz 付近の地上デジタル TV 放送の UHF 帯<sup>7) 8) 9)</sup>、⑥2450MHz 付近の無線 LAN や電子レンジの準マイクロ波帯<sup>4)</sup><sup>5) 6)</sup>と周波数帯域を拡大し、建築に関わりの大きい周波数帯について時代のニーズに合った研究を行ってきた。

そこで、本研究では一般に壁、床、天井に使用される建築材料を対象に、建築空間に主に用いられる重要な 2 つの周波数帯である 600MHz 付近の UHF 帯と 2450MHz 付近の準マイクロ波帯で垂直入射の反射減衰量の測定を行い、建築空間の電波障害の改善のために建築材料の電波特性の基礎資料を得ることを目的とする。本研究は建築材料について、UHF 帯の 550MHz～650MHz における反射減衰量を測定し、さらに準マイクロ波帯の 1600MHz～2600MHz における反射減衰量を測定する。

## 2. 測定方法の種類

電波特性の測定方法には、自由空間法<sup>10) 11)</sup>、同軸導波管法<sup>10) 11)</sup>、平行二線線路測定法がある。自由空間法ではUHF帯の測定において測定環境が大規模なものになり、同軸導波管法では大きな粒径の試料を扱うことができないなど、測定する周波数帯によっては測定できなくなるという不具合が生じる。以下に自由空間法、同軸導波管法、平行二線線路測定法の特徴を示す。

### 2.1 自由空間法

図2に自由空間法の測定装置の模式図を示す。自由空間法は、送信アンテナを供試体の前方に設置し、送信アンテナから供試体に電波を照射する方法である。供試体を透過した電波を、供試体の後方に設置した受信アンテナで受けたり、供試体で反射した電波を供試体の前方に設置した受信アンテナで受けたりすることで、電界強度レベルを測定し特性を評価する。この測定方法は、空間中に電波を放射させるため、壁、床、天井など測定対象である供試体以外で電波が反射されると、測定すべき供試体からの電波を正しく測定できない。そのため、測定は電波吸収体で内壁を覆った電波の反射がない電波暗室(自由空間)で行う。

自由空間法は、電波の伝搬に関して正確に測定することができるが、UHF帯の測定では供試体や送信アンテナ、受信アンテナは大型になり、大規模で高価な電波暗室が必要となる短所がある。

### 2.2 同軸導波管法

図3に同軸導波管法の測定装置の模式図を示す。同軸導波管法は中空円柱状の外部導体と、その中にある同じ中心軸を持つ内部導体で構成する同軸導波管内に供試体を充填し、測定する周波数帯の電波を照射して電波特性を測定する方法である。

同軸導波管法は、周辺環境からの電磁波の影響を受けることなく、短時間で容易に精度の高い測定ができる。しかし、UHF帯に最適な同軸導波管の寸法は、試料外径が38.8mm、試料内径が16.9mmと小さく、コンクリートに用いられる骨材のような粒径の大きな材料を混入することは不可能であるという短所がある。さらに、測定の際にはスペクトラムアナライザよりも高価なネットワークアナライザが必要になるという短所もある。

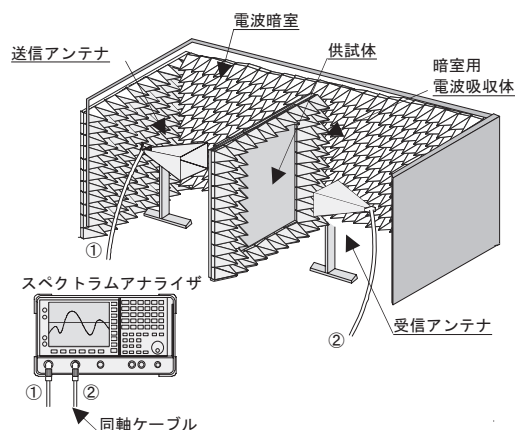


図2 自由空間法の測定装置の模式図

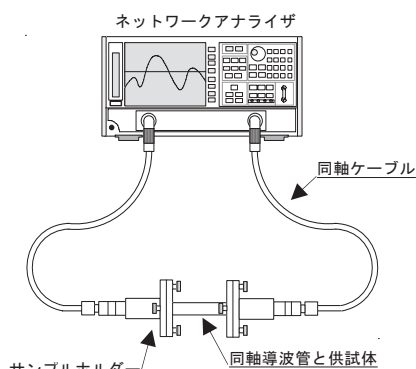


図3 同軸導波管法の測定装置の模式図

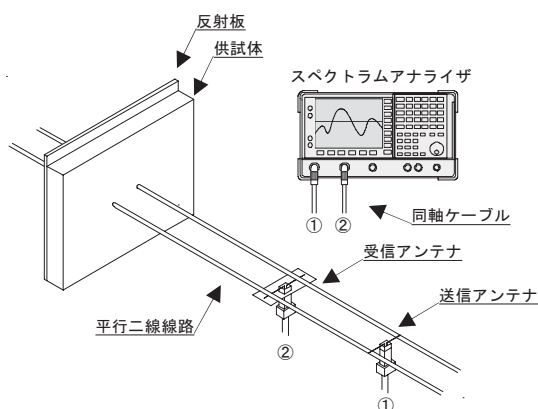


図4 平行二線線路測定法の測定装置の模式図

### 2.3 平行二線線路測定法

以上2つの測定方法の長所と短所を比べ合わせて考え、筆者らは平行二線線路測定法を開発した。図4に平行二線線路測定法の測定装置の模式図を示す。平行な2本の線路を供試体に通し、線路を介して供試体に電波を照射する。入射波と、供試体によって反射された反射波の合成波である定在波を測定することで、供試体の電波特性の評価を行う。他の2つの測定法と比べ、平行二線線路測定法は波長の長い、低い周波数帯を測定する場合であっても装置は小規模であり、周辺環境からの電波の影響を受けにくい長所を持ち、建築材料の電波特性の測定が容易にできる。また、比較的小型の供試体を扱うことができ、粒径の大きな材料が混入するコンクリートや、鉄筋を挿入した状態の測定が可能である長所がある。

2.4 平行二線線路測定法の理論

平行二線線路測定法は、供試体に対して入射電流が流れ、同じ線路に供試体からの反射電流が流れる仕組みである。これにより、線路沿いに入射波と反射波の合成波である定在波が発生する。この定在波の大きさを電圧として測定するので、電圧定在波と呼ぶ。入射波と反射波が同位相となる位置では電圧の大きさV(実効値)は、 $|A|$ (入射波)+ $|B|$ (反射波)で最大となる。この電圧を電圧最大値( $V_{max.}$ )という。また、逆位相となる位置では電圧の大きさVは $|A|-|B|$ となり最小となる。これを電圧最小値( $V_{min.}$ )という。最大値と最小値は測定周波数の波長を $\lambda$ とすると供試体前面から $\lambda/4$ ごとに生じる。電圧最大値と電圧最小値から、以下の(1)～(3)の手順で反射減衰量を算出する。

(1) 電圧定在波の最大値( $V_{max.}$ )と最小値( $V_{min.}$ )の比を電圧定在波比といい、式(1)のように $\rho$ で表す。この値が1に近いほど特性が良いことを示す。

$$\rho = \frac{V_{max.}}{V_{min.}} = \frac{|A| + |B|}{|A| - |B|} = 10^{\left(\frac{V_{max.} - V_{min.}}{20}\right)} \tag{1}$$

(2) この電圧定在波比  $\rho$  を用いて式(2)より反射係数 $|S|$ を求める。

$$|S| = \left| \frac{\rho - 1}{\rho + 1} \right| \tag{2}$$

(3) さらに、この反射係数 $|S|$ を用いて式(3)によって反射減衰量RLを求めることが出来る。

$$RL = -20 \log |S| \tag{3}$$

測定対象となる物体が電波吸収体として有効であるには、その物体に照射した電波をある基準値以下に減衰する必要がある。反射減衰量は電波吸収の程度を示す指標として用いられる。表1に反射減衰量と減衰率の換算表を示す。

2.5 反射波の種類

入射した電波が反射波として戻ってくるとき、次の3種類の反射波が考えられる。

- 反射波 A：入射波が供試体表面で反射する。
- 反射波 B：入射波が供試体を透過し、反射板で反射する。
- 反射波 C：入射波が供試体で吸収され、入射波の一部が反射板で反射する。

反射波 A、B、C を用いて、供試体に反射した電波の様子を図5～図7の3種類の場合に分類する。図5は、供試体に入射した電波が供試体表面で反射され、反射波 A として戻ってくる電波の場合を示す。図6は、反射波 A と反射波 B の合計した電波の場合を示す。入射波の一部は供試体表面で反射され、反射波 A として戻ってくる。一部は供試体を透過し、反射板で反射され再び供試体を透過し、反射波 B として戻ってくる。図7は、反射波 A と反射波 C の合計した電波の場合を示す。入射波の一部は供試体表面で反射され、反射波 A として戻ってくる。一部は供試体内で吸収され、反射板で反射され再び供試体内で吸収され、反射波 C として戻ってくる。図5、図6に示す場合は、入射した電波のほとんどがそのまま反射波として戻ってくるため、反射減衰量は0となる。図7に示す場合は、供試体内で電波が吸収されるため、入射波に対して反射波の合計が小さくなり、反射減衰量が大きくなる。

表 1 反射減衰量と減衰率の換算表

| 反射減衰量(dB) | 減衰率(%) | 反射減衰量(dB) | 減衰率(%) |
|-----------|--------|-----------|--------|
| 0         | 0.00   | 16        | 97.49  |
| 2         | 36.90  | 18        | 98.42  |
| 4         | 60.19  | 20        | 99.00  |
| 6         | 74.88  | 22        | 99.37  |
| 8         | 84.15  | 24        | 99.60  |
| 10        | 90.00  | 26        | 99.75  |
| 12        | 93.69  | 28        | 99.84  |
| 14        | 96.02  | 30        | 99.90  |

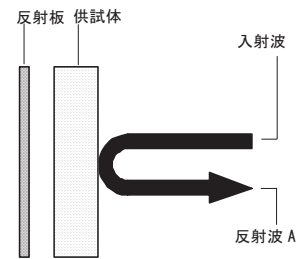


図 5 反射した電波 (反射波 A の場合)

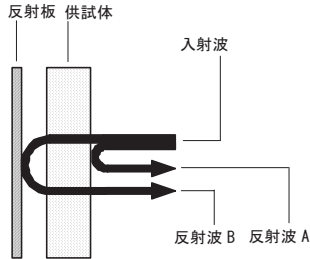


図 6 反射した電波 (反射波 A と反射波 B の場合)

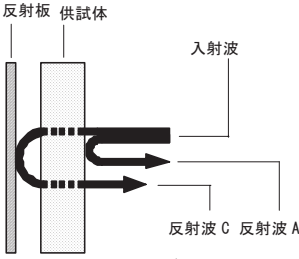


図 7 反射した電波 (反射波 A と反射波 C の場合)

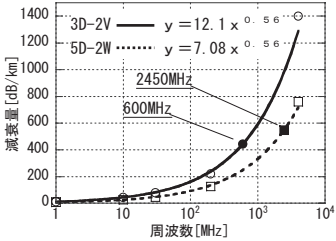


図 8 同軸ケーブルのケーブルロス

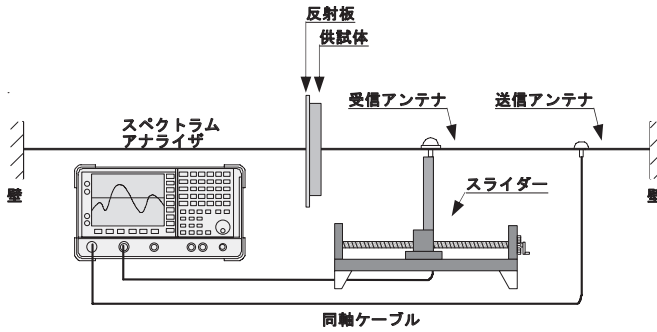


図 9 UHF 帯用垂直入射平行二線線路測定装置

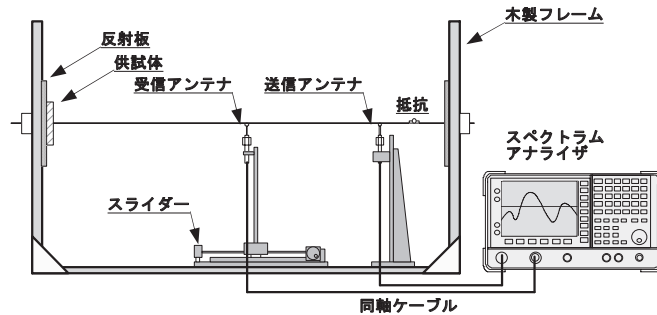


図 10 準マイクロ波帯用垂直入射平行二線線路測定装置

2.6 同軸ケーブルの種類

一般に電波の測定においては、同軸ケーブルは、インピーダンス 50Ω の二重シールドを施したシールド線を用いる。ケーブルロス、距離が長いほど、周波数が高いほど大きくなるため、測定時には線種の選定が重要になる。図 8 に、使用した同軸ケーブルのケーブルロスを示す。

2.7 UHF 帯用垂直入射平行二線線路測定装置

UHF 帯用垂直入射平行二線線路測定装置を図 9 に示す。送信アンテナは線路上に固定し、受信アンテナはスライダを用いて、線路に沿って自由に移動できるようになっている。送信アンテナと受信アンテナはそれぞれ同一仕様の同軸ケーブル (3D-2V) によってスペクトラムアナライザに接続されている。線路は、測定対象周波数である 600MHz を考慮し、直径 5mm の銅線とする。線路は壁に固定する。線路間隔は、波長の 1/10 を考慮して 50mm とする。また、供試体の背面に反射板を設置する。

2.8 準マイクロ波帯用の平行二線線路測定装置

準マイクロ波帯用垂直入射平行二線線路測定装置を図 10 に示す。送信アンテナと受信アンテナは、それぞれ同一仕様の同軸ケーブル (5D-2W) によってスペクトラムアナライザに接続されている。線路は、測定対象周波数である 2450MHz を考慮し、直径 1mm のピアノ線とする。線路は木製フレームに固定する。線路間隔は、波長の 1/10 を考慮して 10mm とする。また、測定時の安定性向上と線路を整合状態にするために送信側に線路の特性インピーダンスに等しい 390Ω の抵抗器を設置し、供試体の背面に反射板を設置する。

表 2 建築材料の種類

| 供試体番号 | 建築材料        | 種類                | 厚さ(mm) |
|-------|-------------|-------------------|--------|
| 1     | 電波吸収体       | 格子型フェライト<br>電波吸収体 | 30     |
| 2     | セメント<br>系材料 | コンクリート            | 44     |
| 3     |             | 1:2 モルタル          | 44     |
| 4     |             | 1:3 モルタル          | 44     |
| 5     |             | セメントペースト          | 44     |
| 6     | 無機材料        | 瓦                 | 17     |
| 7     |             | 石膏ボード             | 9      |
| 8     |             | 岩綿吸音材             | 12     |
| 9     | 有機材料        | 木質フローリング          | 12     |
| 10    |             | カーペット(ウール)        | 9      |
| 11    | 非鉄金属<br>材料  | アルミブラインド 0°       | 0.1    |
| 12    |             | アルミブラインド 45°      | 0.1    |
| 13    |             | アルミブラインド 90°      | 0.1    |
| 14    |             | アルミ断熱材            | 7      |
| 15    |             | アルミ吸音材            | 0.5    |

表 3 フェライトの成分 (質量%)

| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | NiO | CuO | ZnO |
|--------------------------------|-----|-----|-----|
| 68                             | 8   | 7   | 17  |

表 4 コンクリートの調合 単位量 (kg/m<sup>3</sup>)

| 水<br>W | セメント<br>C | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G | AE 剤<br>C×0.0035% | 高性能<br>AE 減水剤<br>C×0.35% |
|--------|-----------|----------|----------|-------------------|--------------------------|
| 175    | 407       | 697      | 1013     | 0.0142            | 1.42                     |

写真 1 格子型フェライト電波吸収体 (供試体番号 1)

写真 2 コンクリート (供試体番号 2)

写真 3 1:2 モルタル (供試体番号 3)

写真 4 1:3 モルタル (供試体番号 4)

写真 5 セメントペースト (供試体番号 5)

写真 6 瓦 (供試体番号 6)

写真 7 石膏ボード (供試体番号 7)

写真 8 岩綿吸音材 (供試体番号 8)

写真 9 木質フローリング (供試体番号 9)

写真 10 カーペット (ウール) (供試体番号 10)

写真 11 アルミブラインド(0°) (供試体番号 11)

写真 12 アルミブラインド(45°) (供試体番号 12)

写真 13 アルミブラインド(90°) (供試体番号 13)

写真 14 アルミ断熱材 (供試体番号 14)

写真 15 アルミ吸音材 (供試体番号 15)



### 3. 供試体

本研究で供試体として用いる建築材料の種類を表2に、供試体を写真1～15に示す。供試体の寸法は幅300mm×高さ250mm以上とする。

格子型フェライト電波吸収体は、フェライトを格子状に成形した電波吸収体である。表3にフェライトの成分を示す。

セメント系材料の供試体は、コンクリート、モルタル、セメントペーストである。打ち込み48時間後に脱型し、脱型後20±3℃で7日間気中養生した。その後、供試体を乾燥器に入れ100℃で乾燥させ、絶乾状態にした上で測定した。表4にコンクリートの調合を、表5にモルタル、セメントペーストの質量比による調合をそれぞれ示す。

コンクリート、モルタル、セメントペーストの厚さは44mmである。厚さd(mm)は式(4)を用い、600MHzの波長(λ=500mm)と、コンクリートの誘電率(ε=8)を考慮した。

$$d = \frac{\lambda}{4\sqrt{\epsilon}} = \frac{500}{4\sqrt{8}} = 44 \quad (\text{mm}) \quad (4)$$

反射減衰量は、供試体の厚さや含水率によって測定結果が変化するため、本研究で用いるセメント系材料の測定条件は、厚さ 44mm、含水率 0%(絶乾状態)とした。

アルミ断熱材は、2枚の多孔質シートがポリエチレンフィルムの上に積層され、アルミを被覆したポリエチレンを多孔質シートの外側に重ねたものである。アルミ吸音材は、0.5mmのアルミの有孔板にグラスウールを重ねたものである。アルミブラインドは、一般的なベネシャンブラインドである。水平に組まれたアルミ製の薄い羽根を回転させることで羽根の角度を調節できる。アルミブラインドの羽根が線路に対して、平行に開いた状態(0°)、斜めにした状態(45°)、垂直に閉じた状態(90°)の3種類の状態で測定する。

測定する材料には、線路を通すための孔を2箇所設ける。格子型

フェライト電波吸収体は、フェライトを避けるように孔を設ける。アルミブラインドは孔を設けず、ブラインドの隙間を利用して線路を通す。

### 4. 実験結果および考察

#### 4.1 金属板(反射板)と格子型フェライト電波吸収体

図11、図12に金属板(反射板)と格子型フェライト電波吸収体のUHF帯と準マイクロ波帯の反射減衰量を示す。

UHF帯では、金属板で入射した電波は全反射され反射減衰量は見られない。格子型フェライト電波吸収体は周波数が高くなるに従って反射減衰量が大きくなっている。格子型フェライト電波吸収体の場合、図7に示すように入射した電波が一部吸収体で吸収され、吸収体を透過した電波が金属板で全反射する。その後、もう一度吸収体で一部吸収され、さらに透過した電波が反射波となる。

準マイクロ波帯では、金属板の場合、2dB程度の反射減衰量が見られる。格子型フェライト電波吸収体は、高周波数側に移るにしたがって反射減衰量の山が小さくなっている。

#### 4.2 セメント系材料

図13、図14にセメント系材料の反射減衰量を示す。UHF帯ではこれらの材料に反射減衰量は見られない。

準マイクロ波帯では、どの供試体も同程度の反射減衰量を示している。今回の供試体の厚さ、含水率においては、どの周波数においても5dBを超えることはなかった。

表5 モルタル・セメントペーストの調合 (質量比)

|          | 水<br>W | セメント<br>C | 細骨材<br>S |
|----------|--------|-----------|----------|
| 1:2 モルタル | 45     | 100       | 200      |
| 1:3 モルタル | 57     | 100       | 300      |
| セメントペースト | 29     | 100       | —        |

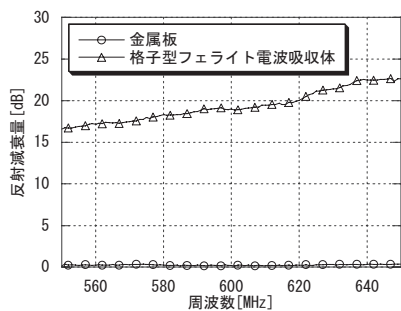


図11 金属板と格子型フェライト電波吸収体の反射減衰量 (UHF帯)

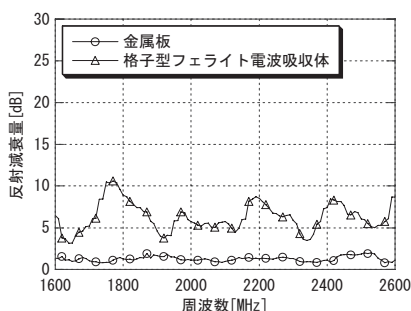


図12 金属板と格子型フェライト電波吸収体の反射減衰量 (準マイクロ波帯)

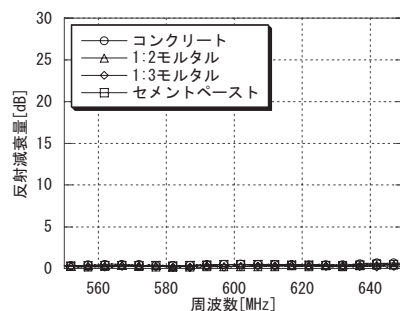


図13 セメント系材料の反射減衰量 (UHF帯)

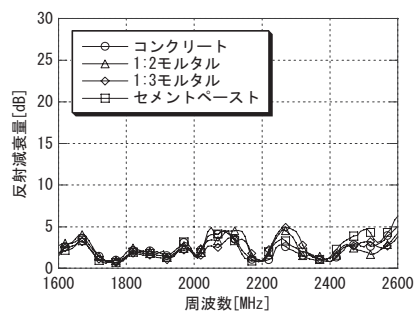


図14 セメント系材料の反射減衰量 (準マイクロ波帯)

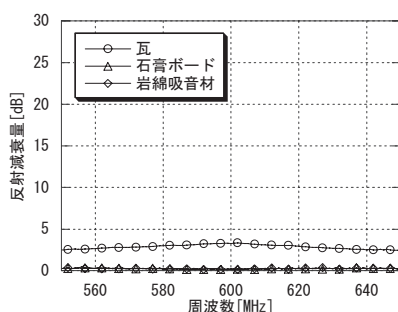


図15 無機材料の反射減衰量 (UHF帯)

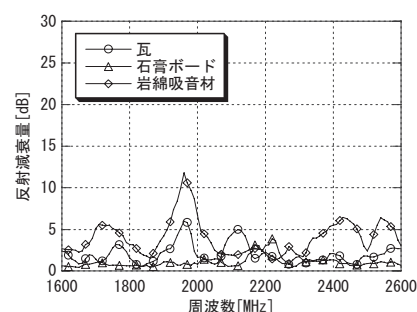


図16 無機材料の反射減衰量 (準マイクロ波帯)

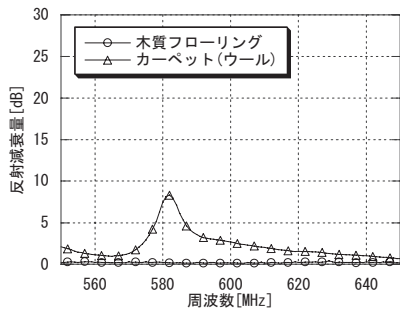


図 17 有機材料の反射減衰量 (UHF 帯)

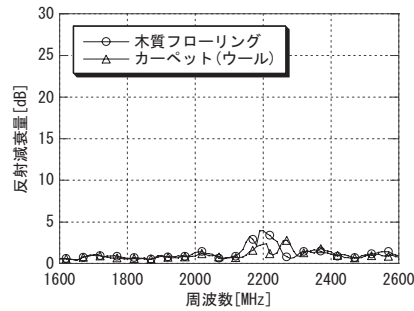


図 18 有機材料の反射減衰量 (準マイクロ波帯)

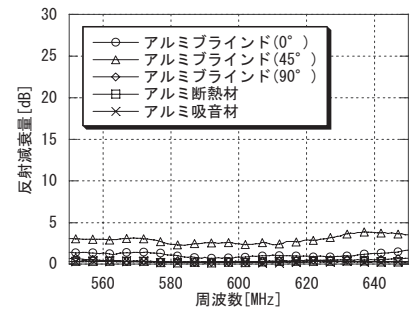


図 19 非鉄金属の反射減衰量 (UHF 帯)

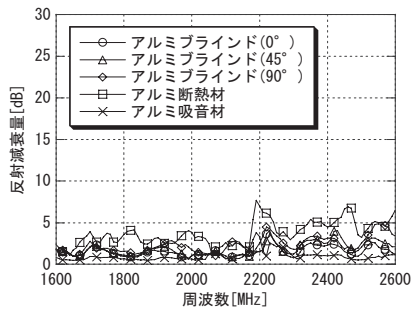


図 20 非鉄金属の反射減衰量 (準マイクロ波帯)



図 21 各建築材料の反射減衰量

#### 4.3 無機材料

図 15、図 16 に無機材料の反射減衰量を示す。UHF 帯では、瓦で 3dB 程度の反射減衰量が出ている。準マイクロ波帯では、岩綿吸音材が 1950MHz 付近で反射減衰量 10dB を超えた。瓦は 1950MHz 付近と 2100MHz 付近において 5dB 程度の反射減衰量を示した。瓦は測定面が曲面になるため、瓦と反射板の間に生じる空気層が瓦の結果に影響を与えたと考えられる。

#### 4.4 有機材料

図 17、図 18 に有機材料の反射減衰量を示す。UHF 帯ではカーペットが 580MHz 付近で 8dB 程度の反射減衰量を示した。

準マイクロ波帯では、どちらの供試体も 2200MHz 付近で反射減衰量が大きくなっているが、その値は小さく反射減衰特性はない。

#### 4.5 非鉄金属材料

図 19、図 20 に非鉄金属材料の反射減衰量を示す。UHF 帯ではこれらの材料に反射減衰量は見られない。

準マイクロ波帯では、アルミ断熱材が 2200MHz 付近で 7dB 程度を示した。どの周波数においても反射減衰量は UHF 帯より大きい。

#### 4.6 建築材料の反射減衰量

図 21 に各建築材料の 600MHz と 2450MHz の反射減衰量を示す。格子型フェライト電波吸収体は 600MHz で 19dB 程度、2450MHz で 8dB 程度の反射減衰量を示し、吸収体としての性能を発揮している。一般的に電波吸収体は、ある特定の周波数帯において吸収効果が

現れるように設計されている。今回測定した電波吸収体は、600MHz 帯において有効な吸収効果を示している。

セメント系材料、無機材料、有機材料は、格子型フェライト電波吸収体と比較して反射減衰量が小さい。これらの建築材料の場合、図 6 に示すように、入射した電波は材料を透過し、金属板で全反射され、再度材料を透過して戻ってくる。材料に吸収される電波の量が小さいため、反射減衰量は小さく電波吸収の効果も小さい。これらの材料は、種類によって吸収する周波数帯に違いがあり、瓦、カーペットは地上デジタル放送の電波を減衰させ、岩綿吸音材は電子レンジ、コードレス電話の電波を減衰させるといえる。

非鉄金属材料のアルミブラインド(90°)は図 5 に示すようにブラインド表面で電波が全反射している。アルミブラインド(45°)では、電波の入射面に対し、材料表面が 45° 傾いている。そのため、入射した電波の一部は材料表面で反射し、ブラインドに吸収されず空間に飛び出したと考えられる。この結果、アルミブラインド(45°)では反射減衰量が少し大きくなっている。これらは電子レンジやコードレス電話の電波を減衰させ、ブラインドの角度によっては地上デジタル放送の電波も減衰させる可能性がある。

非鉄金属材料のアルミ断熱材は図 6 に示すように、一部が材料表面で反射し、一部が透過し金属板で全反射される。全反射された電波の一部は再度材料表面で反射し、一部は透過する。この結果、2200MHz 付近で 7dB 程度の反射減衰量があったと考えられる。

## 5. まとめ

平行二線線路測定法を用いて UHF 帯と準マイクロ波帯における反射減衰量を測定し、以下のことが分かった。

- 1) UHF 帯では格子型フェライト電波吸収体で 20dB を超える反射減衰量が見られ、瓦とカーペットで少々大きい反射減衰量が見られた。
- 2) 準マイクロ波帯では格子型フェライト電波吸収体、岩綿吸音材、アルミ断熱材で少々大きい反射減衰量が見られた。
- 3) 今回測定した建築材料は、UHF 帯で反射減衰量を有するもの、準マイクロ波帯で反射減衰量を有するもの、両方の周波数帯に反射減衰量を有するもの、両方の周波数帯に反射減衰量を有しないものに分かれた。

これらの測定データは、良好な電波環境を構築するための建築材料の選択、電波特性を有する建築材料の開発に展開可能であると考ええる。

## 謝辞

本研究は、名古屋工業大学名誉教授池田哲夫工学博士のご指導と名古屋工業大学大学院生(当時)稲吉哲弥氏の協力により行いました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 池田哲夫, 河辺伸二, 岡島達雄: 平行二線線路によるTV電波吸収特性の測定方法の提案、フェライト混入モルタルのTV電波吸収特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No. 496、pp. 17-22、1997. 6
- 2) 池田哲夫, 河辺伸二, 下釜一男, 岡島達雄: 平行二線線路による鉄筋コンクリートのTV電波吸収特性の測定、フェライト混入モルタルのTV電波吸収特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No. 512、pp. 1-6、1998. 10
- 3) 河辺伸二, 下釜一男, 池田哲夫, 岡島達雄: フェライトとカーボンファイバシートの複合体の検討、フェライト混入モルタルのTV電波吸収特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No. 532、pp. 1-5、2000. 6
- 4) 河辺伸二, 池田哲夫, 安川猛行: フェライト及びカーボン混入セメントモルタルの準マイクロ波吸収特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No. 567、pp. 1-5、2003. 5
- 5) 河辺伸二, 池田哲夫, 観田典明: 平行二線線路による準マイクロ波帯電波吸収特性の測定方法、日本建築学会構造系論文集、No. 567、pp. 7-11、2003. 5
- 6) 河辺伸二, 池田哲夫, 若田佳希, 小西正夫: 準マイクロ波用電波吸収リサイクルボードの開発、日本建築学会構造系論文集、No. 579、pp. 1-5、2004. 5
- 7) 河辺伸二, 池田哲夫, 王大鵬: 斜入射用平行二線線路による反射係数の測定方法、日本建築学会構造系論文集、No. 584、pp. 9-13、2004. 10
- 8) 河辺伸二, 池田哲夫, 王大鵬: 平行二線線路によるUHF帯用電波吸収体の研究、日本建築学会構造系論文集、No. 592、pp. 1-5、2005. 6
- 9) 王大鵬, 河辺伸二, 池田哲夫, 松並良, 稲吉哲弥: 平行二線線路によるUHF帯電波の透過係数の測定方法、日本建築学会構造系論文集、No. 618、pp. 1-6、2007. 8
- 10) 内藤喜之: 電波吸収体、オーム社、1987. 4
- 11) 清水康敬他: 電磁波の吸収と遮断、日経技術図書(株)、1989. 1

(2009年4月8日原稿受理, 2009年9月4日採用決定)