

# 論文 鋼繊維を配置したモルタルの準マイクロ波帯における電波遮蔽特性

伊藤 洋介\*1・河辺 伸二\*2・渡邊 実\*3・大羽 慧\*3

**要旨：** 従来、電波遮蔽材料(以下、反射材とする)には、金属板が用いられている。融雪用発熱モルタルブロックシステムの発熱モルタルブロックに適した反射材を検討し、コストと施工性を考慮して、鋼繊維を用いた反射材を開発した。鋼繊維の長さや配置方法の変化が電波遮蔽量に及ぼす影響を、鋼繊維のみ、モルタルに挟んだ鋼繊維、モルタル内に配置した鋼繊維の場合について確認した。結果、いずれの場合も鋼繊維の長さや配置方法に影響を受けており、その傾向が分かった。これによって、任意の周波数の電波を遮蔽できる反射材の設計が可能となった。

**キーワード：** 鋼繊維, 電波, 準マイクロ波, 電波遮蔽, モルタル, 融雪

## 1. はじめに

電子レンジ等の普及により周波数 2.45GHz の電波（準マイクロ波）発振器が安価に入手できる。電気炉酸化スラグ<sup>1)</sup>にはこの電波を吸収し発熱するものがある。著者らはこの性質を利用し、図-1 に示す電気炉酸化スラグを用いた発熱材、普通モルタルの基材を組み合わせた融雪用モルタルブロックを開発<sup>2)</sup>してきた。当該ブロックは装置外への電波漏洩防止のため、電波反射による電波遮蔽材料(以下、反射材とする)が必要となる。

従来は電波の反射材として金属板が活用される。しかし金属板の性能は高いが高価であり、モルタルに埋め込む場合に施工性が悪いなどの問題がある。そこで、著者らは安価でモルタルと組み合わせて使用できる反射材を検討してきた<sup>3)~5)</sup>。一方、モルタルのひび割れを抑制するため引張強度を制御する目的で、安価なモルタル混入タイプの補強用の鋼繊維が用いられる。これは金属であるため、反射による電波遮蔽特性を得られると考える。

そこで本研究では準マイクロ波による融雪用モルタルブロックのために、鋼繊維を用いた反射材を開発する。

## 2. 測定概要

### 2.1 測定方法

シールドボックス測定装置を図-2 に示す。シールドボックス上部に設けられた開口を測定試料設置部とし、同軸ケーブルを用いて送信と受信の対向する 2 台のダブルリッジホーンアンテナをネットワークアナライザに接続する。アンテナから測定試料までの距離は 300mm とする。上方のアンテナから出力した電波を下方のアンテナで受信し、S パラメータ測定法<sup>6)</sup>により測定試料設置部を透過した電波を測定試料の有無で比較し、測定試料による電波遮蔽量(dB)を算出して、電波遮蔽性能を評価する。測定はアンテナの方向に対して測定試料の鋼繊維

が水平・垂直になる方向でそれぞれ行う。本研究では電波遮蔽量が十分に小さなスチレンボードを用いて、測定試料を支持する。測定周波数の範囲はアンテナの対応範囲である 1.5~3.0GHz とした。

### 2.2 鋼繊維

鋼繊維の概要を表-1 に示す。長さ 50mm, 70mm は補強用鋼繊維が手配できなかったため針金を用いた。

アンテナの方向に対して鋼繊維を水平に設置した場合、鋼繊維の長さを L とし、アンテナの方向に対して垂直方向の間隔を M、水平方向の間隔を N とする（以降、それぞれの長さ・間隔を示す際は L60mm のように各記号の後に寸法を示す）。鋼繊維の配置間隔を図-3 に示す。

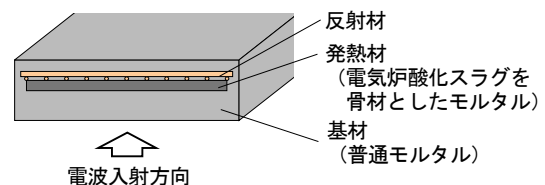


図-1 融雪用モルタルブロックの構造

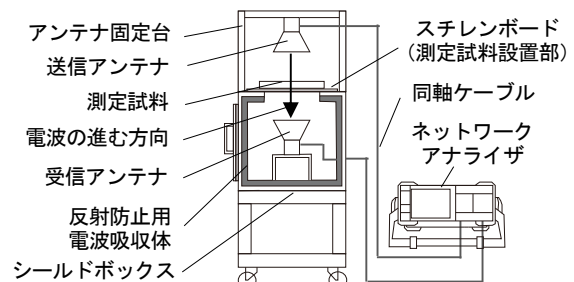


図-2 シールドボックス測定装置

表-1 鋼繊維の概要

長さ(mm)	直径(mm)	主な材質	種別
30	0.75	鉄	補強用鋼繊維
40	0.90	鉄	補強用鋼繊維
50	0.80	鉄	針金
60	0.75	鉄	補強用鋼繊維
70	0.80	鉄	針金

\*1 名古屋工業大学大学院 助教・修士(工学) (正会員)

\*2 名古屋工業大学大学院 教授・工博 (正会員)

\*3 名古屋工業大学 建築・デザイン工学科

## 2.3 測定試料

### 2.3.1 鋼繊維のみ

電波遮蔽量が十分に小さな紙に鋼繊維を配置したもの（以下、鋼繊維のみとする）を測定試料とする。

### 2.3.2 モルタル挟み込み鋼繊維

鋼繊維を紙の上に固定し、普通ポルトランドセメントモルタル(以下、普通モルタルとする)に挟んだもの（以下、モルタル挟み込み鋼繊維とする）を測定試料とする。吸水による電波特性の変化を最小限にするため、普通モルタルには防水剤を添加する。普通モルタルはモルタルを型枠に打設して気中養生1日した後脱型する。さらに水中養生1週間の後、100℃の恒温恒湿器で絶乾状態にする。モルタル挟み込み鋼繊維の構造を図-4に示す。普通モルタルの寸法は、縦300mm×横300mm×厚さ10mmとする。表-2に普通モルタルの調合、表-3に防水剤の組成を示す。

### 2.3.3 モルタル内配置鋼繊維

縦300mm×横300mm×厚20mmの普通モルタルの厚さ方向中心位置に鋼繊維を配置したもの（以下、モルタル

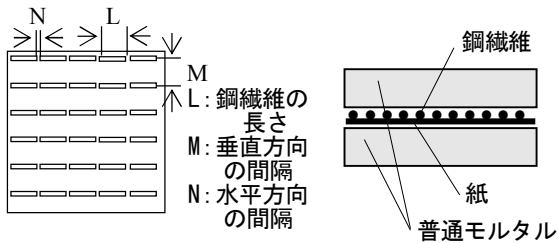


図-3 鋼繊維の配置

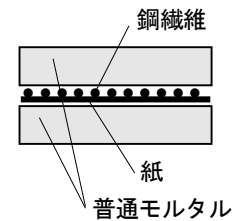


図-4 挟み込み構造

表-2 普通モルタルの調合（質量比）

セメント	川砂	水	防水剤
100	300	45	3.0

表-3 防水剤の組成（質量比）

高級脂肪酸塩等の混合物 ポリ(オキシレン)=ノニルフェニル	エーテル	水
30~35	<2.0	64~69

表-4 測定試料の条件

条件	L*(mm)	M**(mm)	N**(mm)
鋼繊維のみ	30~70	30~60	5~70

※Lは10mm、Mは15mm、Nは5mmごと測定を行った  
N5mmについてのみMは5~70mmまで5mmごと測定を行った

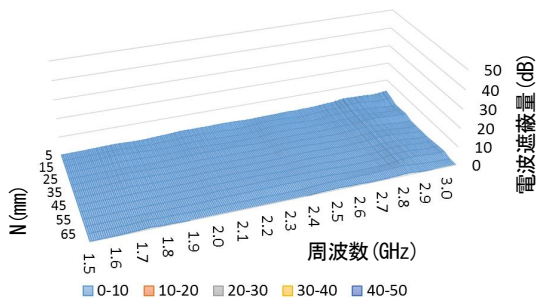


図-5 L40mm, M30mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係

ル内配置鋼繊維とする)、及び鋼繊維を配置しないもの（以下、ブランクとする）を作製し測定試料とする。

## 3. 鋼繊維の長さが電波遮蔽量に及ぼす影響の測定

### 3.1 測定条件

鋼繊維のみを用いる。測定試料の条件を表-4に示す。

### 3.2 測定結果と考察

測定範囲内において、アンテナに対して垂直方向に測定試料を配置すると、ほとんど電波を遮蔽しない。よって鋼繊維の電波遮蔽は電波の方向が影響すると考える。以降、特に言及が無ければ鋼繊維をアンテナに対して水平方向に設置したものについて述べる。

図-5にL40mm, M30mmにおけるNと周波数、電波遮蔽量の関係を示す。測定範囲内において電波をほとんど遮蔽しない。データを省略するがL30mm, 40mmの全ての測定においてほとんど電波を遮蔽しなかった。

図-6から図-8にL50mm, 60mm, 70mmのM30mmにおけるNと周波数、電波遮蔽量の関係を示す。測定範囲内において、鋼繊維が長くなるほど電波遮蔽量の著しく大きい周波数帯（以下、ピーク周波数帯とする）が低周波方向に推移する。

図-9から図-11にL50mm, 60mm, 70mmのN5mmにおけるMと周波数、電波遮蔽量の関係を示す。測定範囲内において、鋼繊維が長くなるにつれてピーク周波数帯がほぼ水平に低周波方向に推移する。

以上より、Lを調整することで、任意の周波数にピーク周波数帯をもつ反射材が設計できる可能性が示された。

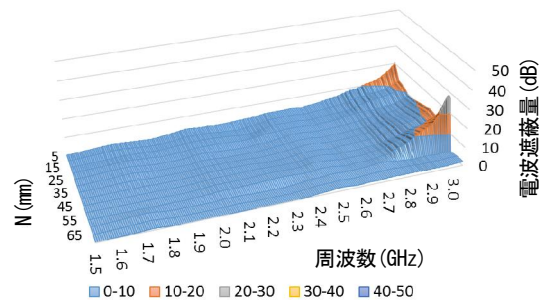


図-6 L50mm, M30mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係

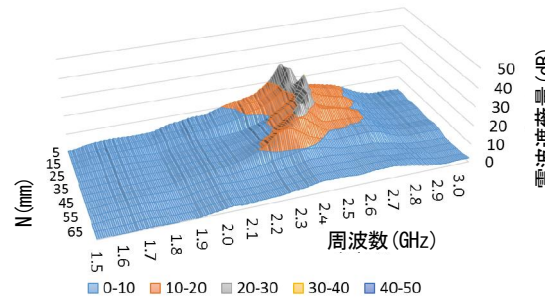


図-7 L60mm, M30mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係

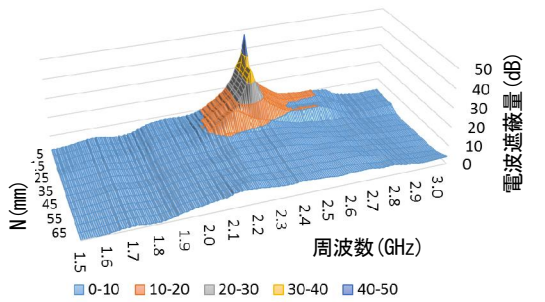


図-8 L70mm, M30mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係

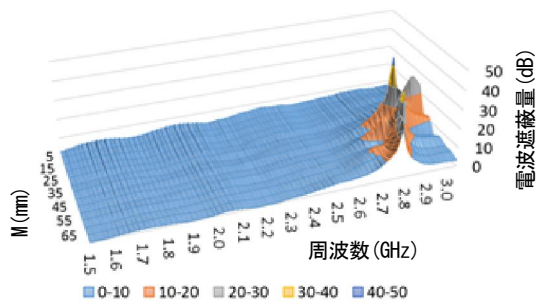


図-9 L50mm, N5mmにおける  
Mと周波数、電波遮蔽量の関係

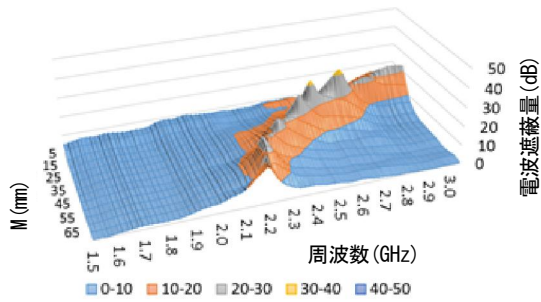


図-10 L60mm, N5mmにおける  
Mと周波数、電波遮蔽量の関係

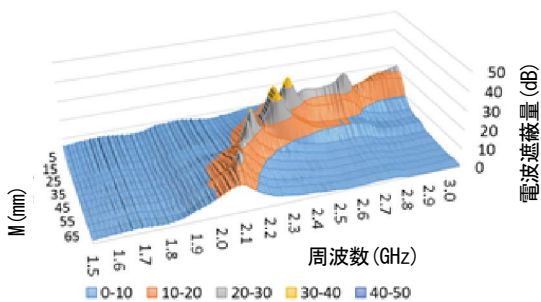


図-11 L70mm, N5mmにおける  
Mと周波数、電波遮蔽量の関係

#### 4. 鋼繊維の垂直・水平方向の間隔が電波遮蔽量に及ぼす影響の測定

##### 4.1 測定条件

前章の測定において一定の電波遮蔽量が確認できた鋼繊維のうち、補強用鋼繊維で対応できるL60mmの鋼繊維を用いる。測定試料の条件を表-5に示す。

##### 4.2 測定結果と考察

図-12から図-14にM15mm, 30mm, 60mmにおけるNと周波数、電波遮蔽量の関係を示す。測定範囲内において、Mが大きくなるほどピーク周波数帯が低周波方向へ推移する。

図-15から図-17にN5mm, 30mm, 60mmにおけるMと周波数、電波遮蔽量の関係を示す。測定範囲内においてピーク周波数帯は、Mが大きくなるほど高周波方向から低周波方向へ向かう曲線となる。N5mmから30mmではピーク周波数帯はあまり変化しない。しかしN30mmから60mmでは、Nが大きくなるほどピーク周波数帯における電波遮蔽量が小さくなり、N60mmの場合では、ほとんど電波を遮蔽しない。

以上より測定範囲内において、L60mmの場合N30mm以下とした上でMを操作することで、2.2~3.0GHzの任意の周波数に合わせた反射材を設計できると考える。しかし、高周波数帯の電波を遮蔽しようとするとMが小さくなるため、鋼繊維を密に配置する必要がある。これにより、施工性が低下することを考慮したい。この場合前章の測定結果を活用し、MとLを同時に調整することで、設計の幅を広げることができると考える。

表-5 測定試料の条件

条件	L(mm)	M <sup>*</sup> (mm)	N <sup>*</sup> (mm)
鋼繊維のみ	60	5~70	5~70

※M・Nは5mmごと測定を行った

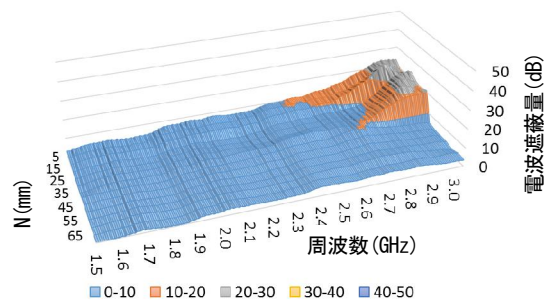


図-12 M15mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係

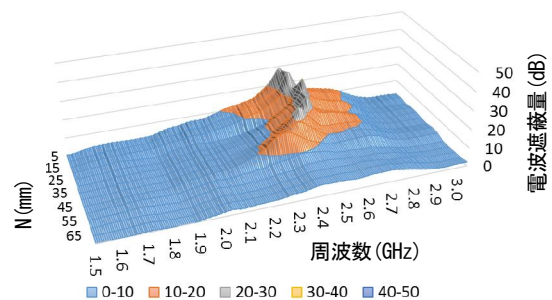


図-13 M30mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係



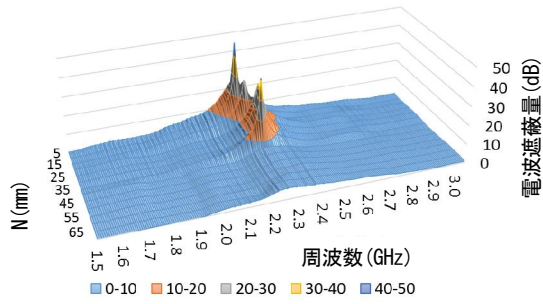


図-14 M60mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係

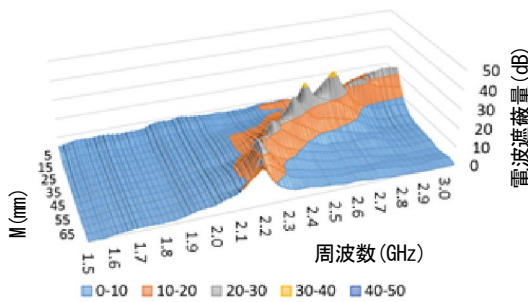


図-15 N5mmにおける  
Mと周波数、電波遮蔽量の関係

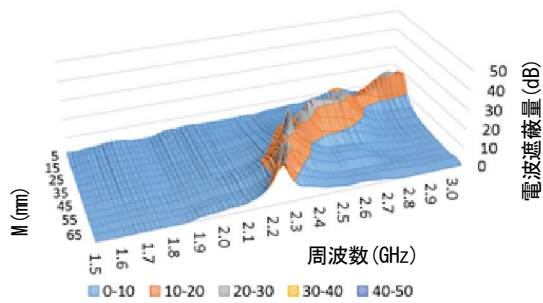


図-16 N30mmにおける  
Mと周波数、電波遮蔽量の関係

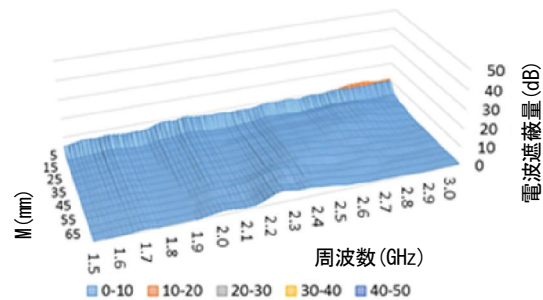


図-17 N60mmにおける  
Mと周波数、電波遮蔽量の関係

## 5. 鋼繊維のモルタルへの挟み込みが電波遮蔽量に及ぼす影響の測定

### 5.1 測定条件

モルタル挟み込み鋼繊維を用いる。表-6 に測定試料の条件を示す。

### 5.2 測定結果と考察

図-18 から図-20 に M5mm, 30mm, 60mm における N と周波数, 電波遮蔽量の関係を示す。測定範囲内においてピーク周波数帯は, M が大きくなるほど低周波方向へ推移する。

図-21 から図-23 に N5mm, 30mm, 60mm における M と周波数, 電波遮蔽量の関係を示す。測定範囲内においてピーク周波数帯は, M が大きくなるほど高周波方向から低周波方向へ向かう曲線となる。N が大きくなるほどピーク周波数帯における電波遮蔽量が小さくなる。

以上より, 測定範囲内において前章の測定結果と比較すると, 鋼繊維はモルタルに挟み込んだ場合においても M, N により同じような影響を受けピーク周波数帯が推移する。

表-6 測定試料の条件

条件	L(mm)	M*(mm)	N*(mm)
モルタル挟み込み鋼繊維	60	5~70	5~70

※M・Nは5mmごと測定を行った

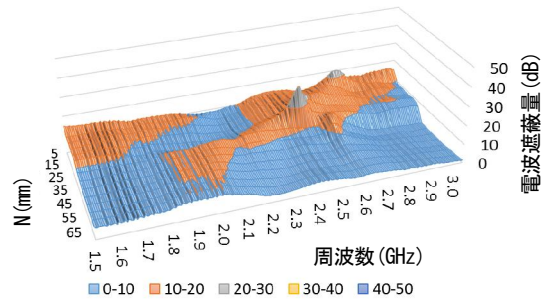


図-18 M5mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係

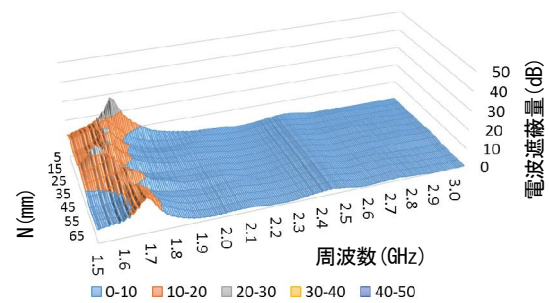


図-19 M30mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係

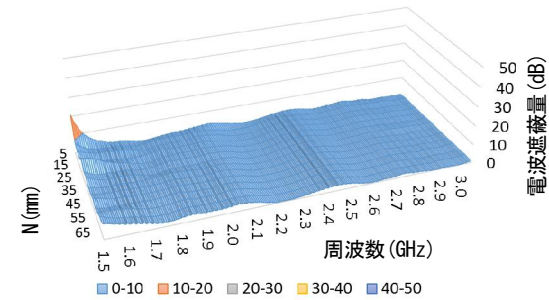


図-20 M60mmにおける  
Nと周波数、電波遮蔽量の関係

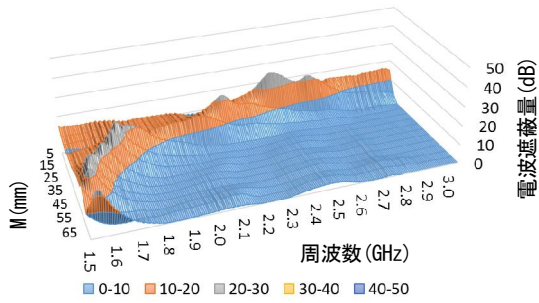


図-21 N5mmにおける  
Mと周波数、電波遮蔽量の関係

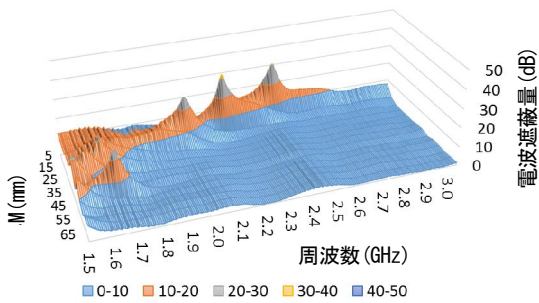


図-22 N30mmにおける  
Mと周波数、電波遮蔽量の関係

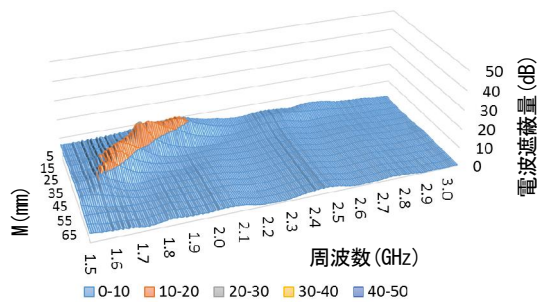


図-23 N60mmにおける  
Mと周波数、電波遮蔽量の関係

### 6.3 測定結果と考察

図-24に乾燥時間と含水率の関係を、図-25に周波数2.45GHzにおける乾燥時間と電波遮蔽量の関係を示す。測定範囲内において、ブランクは乾燥時間によらず電波をほとんど遮蔽していない。一方で、いずれの測定試料においても乾燥時間が24時間経過するまでの間に電波遮蔽量が著しく向上している。これより、モルタルの含水率によって鋼繊維による電波遮蔽特性が変化するとと言える。これは、鋼繊維のみの場合とモルタル挟み込み鋼繊維の場合とで電波遮蔽量が増加するのと同様、鋼繊維に接するモルタルの電波特性が含水によって変化したためであると考えられる。よって、モルタル内配置鋼繊維を反射材として用いる場合、含水による電波遮蔽量の低下をできるだけ少なくするために、モルタルに防水剤を添加したり、モルタル表面に防水処理を施したりすることが望ましい。

図-26から図-28に4章で用いた鋼繊維のみと、5章で用いたモルタル挟み込み鋼繊維、モルタル内配置鋼繊維、ブランクの周波数と電波遮蔽量の関係を示す。測定範囲内において、モルタル内配置鋼繊維のピーク周波数は2つある。いずれの測定試料もブランクよりも大きな電波遮蔽量が得られる。特に2.45GHzにおいてはN20mmで24.5dBの電波遮蔽量が得られ、最も良い性能を示した。また、モルタル挟み込み鋼繊維はモルタル内配置鋼繊維に対して、ピーク周波数帯が0.2~0.3GHz程度高周波側にずれている。モルタル内鋼繊維の設計は条件ごとモルタルを打設して確認しなければならず、手間が大きい。しかし、当該データより、モルタル挟み込み鋼繊維によってピーク周波数帯が目的とする周波数帯よりも高周波側となるよう設計し、これを基礎データとしてモルタル内配置鋼繊維を設計すれば、設計の手間を削減できる。

## 6. モルタルの含水量が電波遮蔽量に及ぼす影響と鋼繊維のモルタルへの配置が電波遮蔽量に及ぼす影響

### 6.1 測定条件

モルタル内配置鋼繊維を用いる。鋼繊維の配置は前章の測定範囲内において2.45GHzで最も電波遮蔽量の大きかったM5mmとし、Nは任意に設定した。表-7に測定試料の条件を示す。

### 6.2 測定方法

測定試料はモルタルを型枠に打設して気中養生1日後脱型する。さらに水中養生1週間の後、100°Cの恒温恒湿器で絶乾状態にする。絶乾状態までの電波遮蔽特性変化を確認するため、乾燥開始後、初期3時間は30分ごと、以後任意にシールドボックス測定装置で測定試料の電波遮蔽量を測定する。

表-7 測定試料の条件

条件	L(mm)	M(mm)	N <sup>*</sup> (mm)
モルタル内配置鋼繊維	60	5	20~30
ブランク			鋼繊維なし

※Nは5mmごと測定を行った

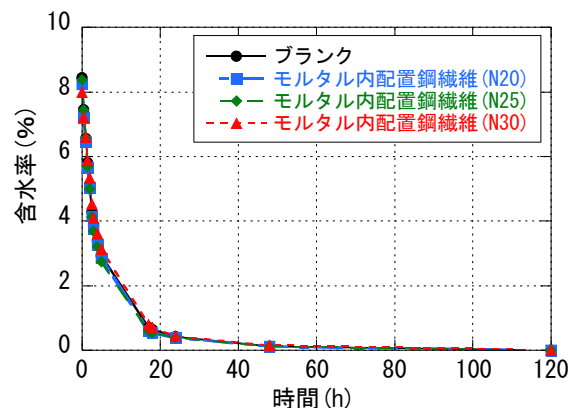


図-24 乾燥時間と含水率の関係

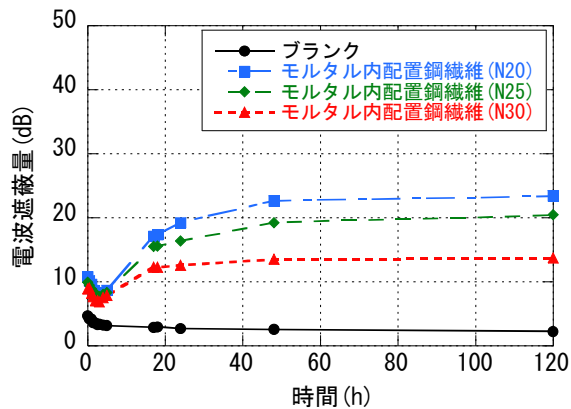


図-25 周波数 2.45GHz における  
乾燥時間と電波遮蔽量の関係

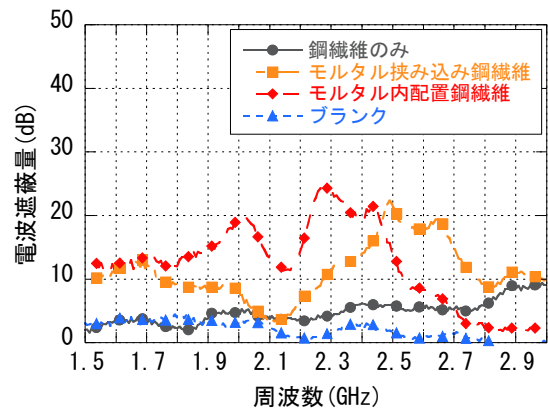


図-27 N25mm における周波数と電波遮蔽量の関係  
(L60mm, M5mm)

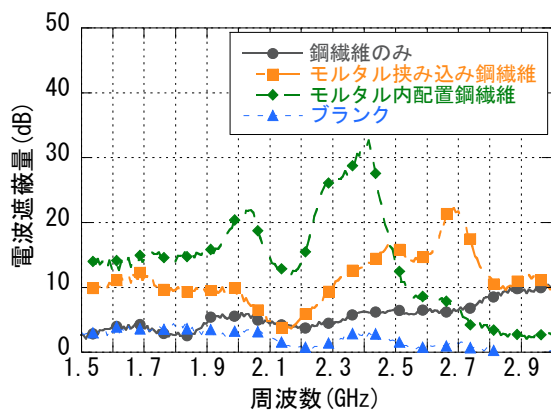


図-26 N20mm における周波数と電波遮蔽量の関係  
(L60mm, M5mm)

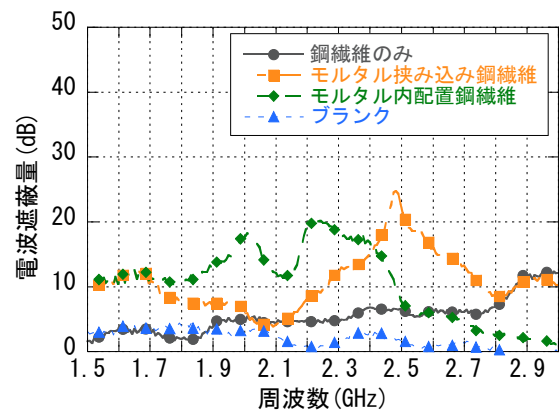


図-28 N30mm における周波数と電波遮蔽量の関係  
(L60mm, M5mm)

## 7. 結論

本研究において、鋼繊維を用いて電波遮蔽量の測定を行うことにより、以下のことが分かった。

- 1) L50mm 以上においてピーク周波数帯が現れ、L が長いほど低周波方向に推移する。
- 2) M が大きいほどピーク周波数は低周波方向へ推移する。N は一定以上でほとんど電波を遮蔽しなくなる。
- 3) モルタル内配置鋼繊維は、含水率が変化すると電波遮蔽性能が変化する。
- 4) モルタル内配置鋼繊維はピーク周波数帯が2つ現れ、鋼繊維のみと異なる電波遮蔽性能を示す。
- 5) モルタル内配置鋼繊維は、2.45GHz において N20mm で 24.5dB の電波遮蔽量が得られ、最も良い性能を示した。
- 6) モルタル内配置鋼繊維の設計にはモルタル挟み込み鋼繊維の測定結果を活用できる。

## 謝辞

平成 27 年度建設技術研究開発助成制度「政策課題解決型技術開発公募」(国土交通省)による助成金で行いました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 電気炉酸化スラグ骨材の特殊機能材としての利用技術、株式会社星野産商、2012.10
- 2) 河辺伸二、池田哲夫、伊藤洋介：準マイクロ波による融雪用発熱モルタルブロックの研究、日本建築学会構造系論文集、No.586、pp.1~5、2004.12
- 3) 内藤大成、河辺伸二、木村俊、三輪和弘：セメントモルタル内の炭素繊維の配置が 2.45GHz 帯の透過減衰量に及ぼす影響、日本建築学会東海支部研究報告書、第 52 号、pp.85-88、2014.2
- 4) 木村俊、河辺伸二、三輪和弘：炭素繊維と鋼繊維を混入したコンクリートの準マイクロ波帯における透過減衰量の測定、日本建築学会東海支部研究報告書、第 53 号、pp.33-36、2015.2
- 5) 三輪和弘、河辺伸二、伊藤公人：方形導波管測定装置による準マイクロ波帯用電波吸収リサイクルボードの研究、日本建築学会東海支部研究報告書、第 52 号、pp.81-84、2014.2
- 6) 電磁波の吸収と遮蔽編集委員会：電磁波の吸収と遮蔽、オーム社、2014.5