

電磁シールド性能を有する炭素繊維混入PCa版の開発

—— 電磁シールドビルへの適用 ——

笠井 泰彰 吉田 克雄

Development of Carbon Fiber Reinforced Pre-cast Wall Panel having Electromagnetic Shielding Performance

—— Application to Electromagnetic Shielding Building ——

Yasuaki Kasai Katsuo Yoshida

Abstract

Recently, as mobile communication instruments have spread, the electromagnetic environment around buildings has been worsening. Since countermeasures against emanation in the whole building are necessary, protection against the transmission of electromagnetic waves around buildings, in other words a building shield, is important. Furthermore, consideration of office space, adoption of a construction method that is similar to conventional ones without shielding, and cost reduction are important, too.

OBAYASHI and Osaka Gas have developed a pre-cast wall panel made of mortar with carbon fiber. Measurements of electrical characteristics and electromagnetic shielding performance confirmed that the pre-cast wall panel has adequate performance. Electromagnetic waves are greatly dumped by the carbon fiber mixture mortar, which is durable due to no rust the material is thus suitable for pre-cast wall panels having electromagnetic shielding performance.

Here, we describe a shielded building using carbon fiber reinforced pre-cast wall panels which we have already developed. We investigated the electromagnetic shield performance of the surface of walls after the completion and confirmed that it had good electromagnetic shield performance.

概 要

近年、公衆無線情報通信機器や建物内部で使用する事業所用PHS・無線LANなどの急速な普及に伴いビル内外の電磁環境は悪化し続けている。また、情報漏洩を建物レベルで対策する必要性も重要視されているため建物内外の電磁波の遮蔽、即ちビルシールドを行う必要がある。しかし単にビル全体をシールドするのではなくオフィス空間としてのアメニティも確保し、従来に近い工程で施工できる工法を採用し、なおかつ低コストでなければならない。シールド材料が軽量かつ高強度であることも重要である。

そこで(株)大林組と大阪ガス(株)とで、炭素繊維をモルタルに混入させたPCa版を開発し、その電磁気的特性と電磁シールド性能を測定し十分な性能があることを確認した。炭素繊維は導電性があるだけでなく、混入モルタルにした場合は内部での電磁波の損失が大きく、また錆びないため耐久性にも優れている。

今回は開発した炭素繊維PCa版を用いて、実際にシールドビルを計画し施工したのでこれについて報告する。竣工後に壁面の電磁シールド性能を測定し目標とした電磁シールド性能を満たしているかどうかについて調査した結果、十分な性能があることを確認した。

1. はじめに

高度情報化社会が進むにつれ、病院や工場などのオフィシャル空間から一般家庭などのプライベート空間にいたるまで、社会のあらゆる分野でコンピュータをはじめとする電子機器の利用が増大している。なかでも特にオフィス空間での電子機器・情報通信機器の利用は急速に拡大している。

我々の生活が豊かに便利になる一方で、建物内外の電磁環境は悪化し、電磁波が引き起こす誤作動や障害も増えてきている。このため、建物内外の電磁波の遮蔽が可

能な電磁シールドビルが必要とされるようになってきた。電磁シールドビルが必要となる主な理由は以下の3つである。

- 1) コンピュータ・ワイヤレスマイク等からの機密情報の漏洩防止
- 2) 建築物内部の各種機器の誤作動防止
- 3) 事業所用PHS、無線LAN等の電波の干渉防止と割り当て周波数の有効利用

これまでの電磁シールド工法は導電性の箔や不織布といった扱いにくい材料で空間を密閉するため、端部処理や施工管理が難しく作業工程も増えコストが高い。ま

た、部屋単位でシールド処理を行うことも多く各部屋が金庫の様な閉鎖空間になってしまうという弊害もあった。

単にビル全体を従来からの電磁シールド工法による金属系の材料で密閉空間とするのではなく、オフィス空間としてのアメニティも確保し、なおかつ低コストである電磁波シールド工法が望まれている。

(株)大林組と大阪ガス(株)は、炭素繊維をモルタルに混入させたPCa版を開発し、その電磁気的特性と電磁シールド性能を測定し十分な性能があることを確認した¹⁾²⁾。炭素繊維は導電性があるだけでなく、混入モルタルにした場合は内部での電磁波の損失が大きく、また錆びないため耐久性にも優れている。その他モルタルに均一に混入が可能というメリット等もあるため、電磁シールド性能を持つPCa版を構成する材料として非常に適している³⁾。

今回は開発した炭素繊維PCa版を用いて、実際にシールドビルを計画し施工したのでこれについて報告する⁴⁾。竣工後に壁面の電磁シールド性能を調査し、十分な電磁シールド性能があることを確認した。

2. 炭素繊維混入モルタルの電磁気的特性

炭素繊維を混入したモルタル組成物について高周波数下での透過損失(遮蔽特性)を測定し、電磁気的特性を検討した。

2.1 炭素繊維チョップ概要

モルタルに混入した炭素繊維は、炭素繊維原糸を3mm程度にカットしたものである(Photo. 1)。分散性に優れているため混合が容易であるだけでなく、素材に導電性を付与することが可能である。

2.2 試験体概要

測定に使用した炭素繊維混入モルタルの配合条件をTable. 1に示す。平均繊維長3mmの炭素繊維チョップを容積比で0% (混入なし)、0.5%、1.0% (2体)、2.0%量を混入し、混入水準は4水準とした。これらの配合をオムニミキサーで混練、養生は打設直後より湿潤養生、24時間後に脱型、5日の水中養生、その後3日の気中養生を行ったものを幅140mm×高36.5mm×厚25mmに加工したテストピース2個を1組とした。

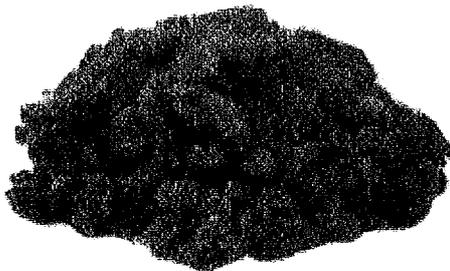


Photo 1 炭素繊維原糸
Carbon Fiber Raw Thread

Table 1 炭素繊維混入モルタルの配合条件
Mix Proportion Condition
of Carbon Fiber Mixture Mortar

		組成				
配合量 (重量比)	セメント	2000				
	珪砂6号	1000				
	混和剤	65				
	水	940				
	炭素繊維	32.6	32.6	なし	16.3	65.3
炭素繊維の容積比		1.0%	1.0%	0%	0.5%	2.0%
配合名		配合1	配合2	配合3	配合4	配合5

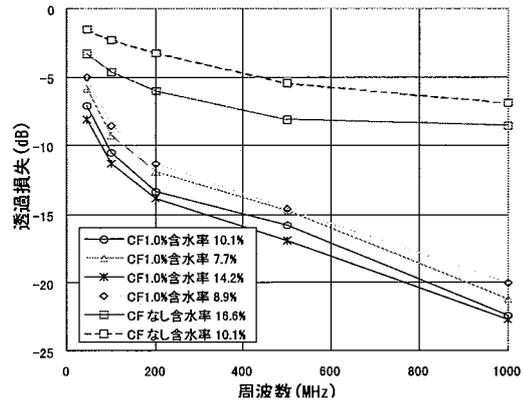


Fig. 1 炭素繊維混入モルタルの透過損失
(含水率による違い)

Transmission Loss of Carbon Fiber Mixture Mortar
(A Difference by Water Content)

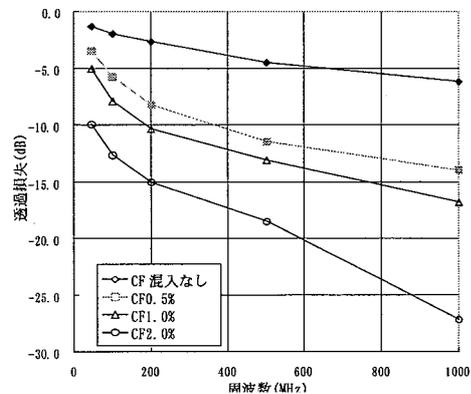


Fig. 2 炭素繊維混入モルタルの透過損失
(混入量による違い)

Transmission Loss of Carbon Fiber Mixture Mortar
(A Difference by a Quantity of Carbon Fiber)

2.3 測定方法

ネットワークアナライザーとストリップライン治具を用い、TRL校正・Sパラメータ解析により周波数45MHz～1000MHzにおける材料のS21パラメータを測定した。

2.4 測定結果

Sパラメータ解析で得られるS21は透過損失であり、いわゆる電磁シールド性能に相当する。測定結果をFig. 1に、また、配合1～5の実験結果より炭素繊維混入量と透過損失の関係をFig. 2にまとめた。

透過損失をみると、炭素繊維を混入したものは周波数の増大に従い電磁シールド性能が向上し1000MHzの周波数でみると1%混入で-17dB、2%混入で-27dBと有意なシールド性能が得られている。

炭素繊維の混入量増加に伴い、透過損失が大きくなる。材料に入射した電波は材料を透過する間に透過損失により内部で吸収を受けるので、電磁シールド効果は材料の厚みに比例する。

3. 炭素繊維PCa版小サンプルの電磁シールド性能と工法の検討

前章で検討した炭素繊維混入モルタルを用いて炭素繊維混入PCa版の小サンプルを作製し電磁シールド性能評価を行った。

3.1 測定試料概要

PCa版の単板のシールド性能を調べるために、Table 2に示す4ケースについて測定を行った。なお、炭素繊維メッシュはメッシュ交差角65°、メッシュ間隔10cm、炭素繊維チョップは長さ3mmで混入率は容積比1%とした。ケース4の概念図をFig. 3に示す。

3.2 測定方法

シールド性能の測定は試験体用の開口部を持つ電磁波シールドルーム実験室内で試料取付前後の電界強度レベルの差から挿入損失を求める方法で行った。

3.3 測定結果および考察

コンクリートのみおよびメッシュ筋のみのケース1および2ではシールド効果はほとんどなかったため、炭素繊維を混入したケース3および4の電磁シールド性能測定結果をそれぞれFig. 4, Fig. 5に示す。

コンクリートに炭素繊維チョップとメッシュ筋を両方とも入れたケース4ではシールド効果が大きく300MHz~1GHzで40dB以上、1GHz以上では50dB以上、無線LAN対応の2.45GHz以上では70dB以上(測定限界70dB)の高い性能があることが確認できた。しかし、チョップのみを混入したケース3の場合でも、このケース4と性能はほとんど変わらない。したがって、コスト的観点から見て最も優れているのはケース3のチョップのみ混入タイプである。

4. 炭素繊維混入PCa版を用いた電磁シールドビルの建築計画

4.1 適用建物の概要

Fig. 6に計画したビルの断面図を示す。今回はこのビルの9階全体に電磁シールドを施す計画である。Fig. 7に電磁シールドの対象となった9階のフロア平面図を示す。9階はさらに間仕切をし、プロジェクト室や会議室となる計画であるため情報セキュリティの確保やワイヤレスマイクの混信防止のための電磁シールドが必要となる。

Table 2 測定試料概要
Measurement Sample Scheme

測定試料	PCa版 (400mm×400mm×60mm)
ケース1	コンクリートのみ
ケース2	炭素繊維メッシュ入りコンクリート
ケース3	炭素繊維チョップ入りコンクリート
ケース4	炭素繊維メッシュ+チョップ入りコンクリート

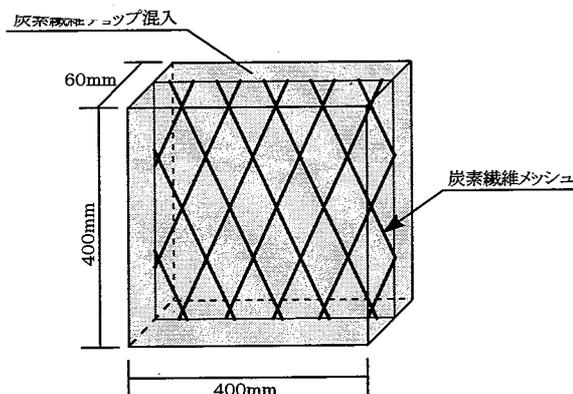


Fig. 3 単板PCa版試験体 (ケース4)
Pre-cast Wall Panel Test Piece
(Case 4)

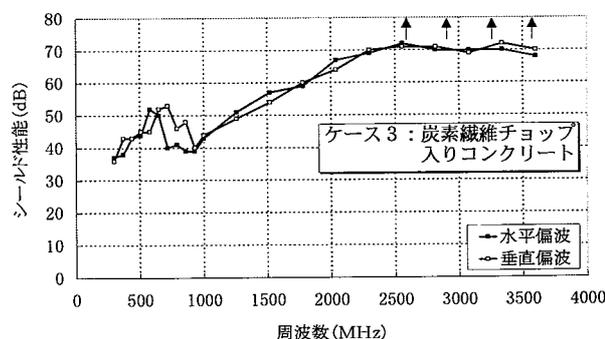


Fig. 4 単板PCa版電磁シールド性能 (ケース3)
Pre-cast Wall Panel Test Piece
Electromagnetic Shielding Performance (Case3)

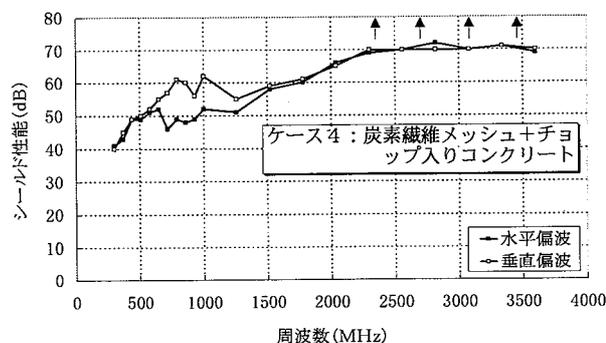


Fig. 5 単板PCa版電磁シールド性能 (ケース4)
Pre-cast Wall Panel Test Piece
Electromagnetic Shielding Performance (Case4)

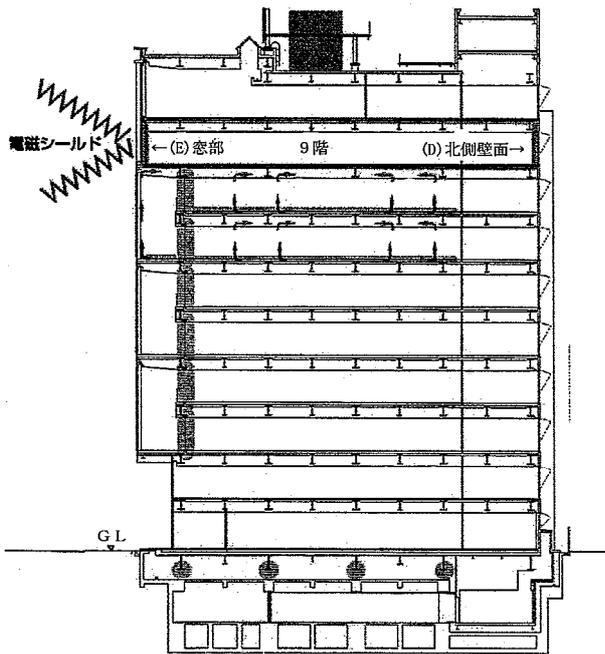


Fig. 6 計画した電磁シールドビルの断面図
Section
of Electromagnetic Shielding Building

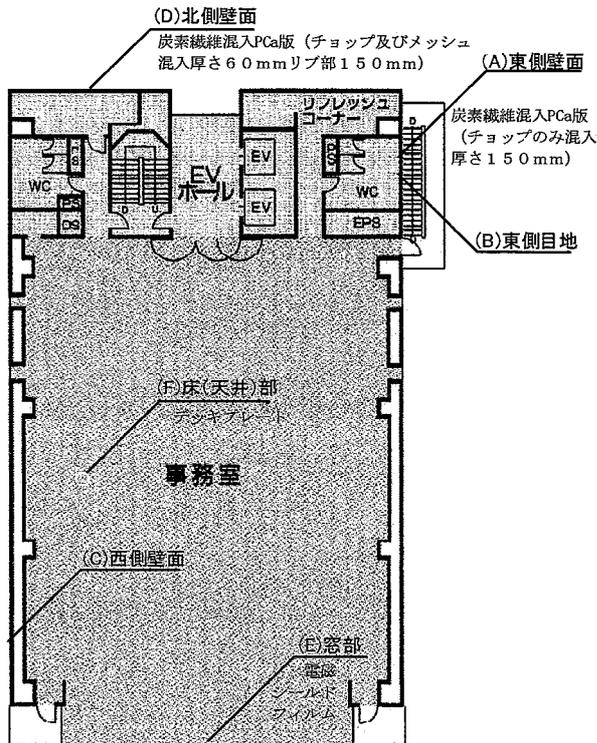


Fig. 7 電磁シールドを施す9階フロア平面図
Plan of The Ninth Floor Which is Excuted
Electromagnetic Shielding

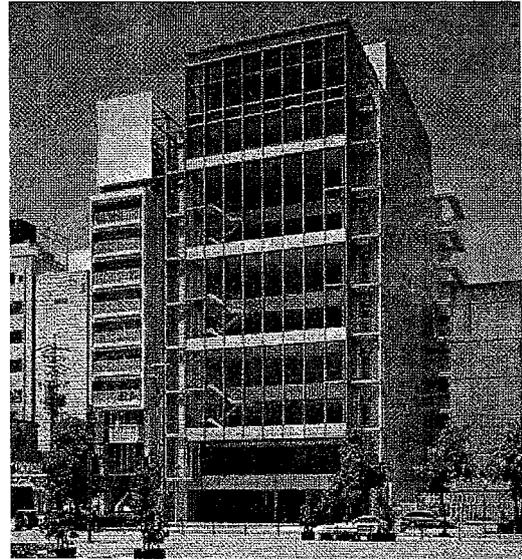


Photo 2 炭素繊維混入PCa版を用いた電磁シールドビル
The Electromagnetic Shielding Building
Used Carbon Fiber Reinforced Precast Wall Panel

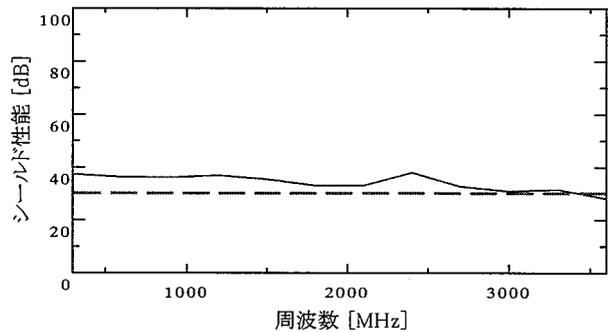


Fig. 8 電磁シールドフィルム単体性能(目地部)
Electromagnetic Shielding Film
Simplex Performance(Joint)

4.2 仕様

事業所用PHSによるデータ転送や無線LANを用いることになっても十分対応可能な性能も必要である。その他施工コストなども考慮して、電磁シールド対象周波数は300MHz~3GHz、目標シールド性能は30dBに設定した。

4.3 外壁を除く各部の電磁シールド

4.3.1 窓部の電磁シールド ガラスの色は非シールド階のもの大きく変えることが許されず、また同じサッシュを用いなければならなかったため、電磁シールドフィルムを採用した。Fig. 8が電磁シールド性能である。点線は目標シールド性能を示している。尚、Fig. 8は最も性能の弱いフィルム目地部分の性能である。

意匠制約、目標シールド性能(30dB)はともにクリアしている。サッシュやガラス色の制約が無い場合、あるいはビル全体をシールドする場合にはより性能の高い電磁シールドガラスおよびサッシュを用いることも可能である。

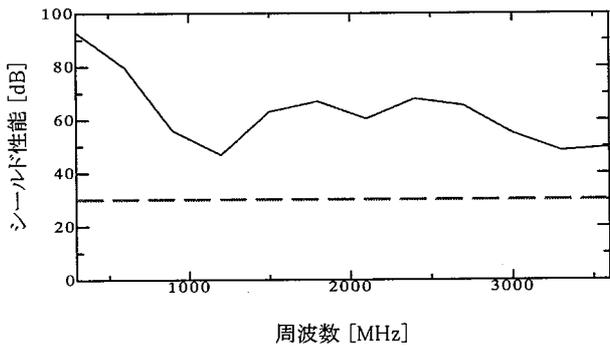


Fig. 9 デッキプレートの電磁シールド性能
Electromagnetic Shielding Performance
of Deck Plate

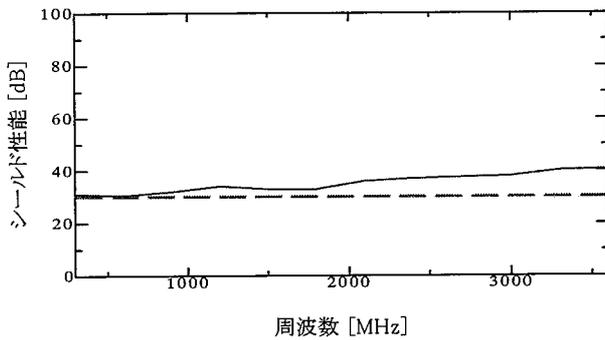


Fig. 10 炭素繊維フェルトの電磁シールド性能
Electromagnetic Shielding Performance
of Carbon Fiber Felt

4.3.2 床・天井の電磁シールド 床・天井は既存のデッキプレートを電磁シールド材として利用する。特別な電磁シールド処理が不要になり、コストダウンになる。Fig. 9にデッキプレートの目地部分（重ね合わせのみ）の電磁シールド性能を示す。垂直な目地に対し水平偏波で測定した。最も性能の劣る目地部分で目標シールド性能を大きく越える良好な結果が得られている。

4.3.3 各部取合いの電磁的な充てん PCa版どうしやPCa版とデッキプレート、サッシュとガラス等の接合部は、電氣的に隙間無く繋がっていただなければならない。隙間を塞ぐ充てん材としては、施工が簡単で切れたり破れたりしにくく、なおかつ目標性能を満たすフェルト系の材料を選定した。Fig 10は採用した炭素繊維フェルト（厚さ7mm）のシールド性能である。

5. 各部位の電磁シールド性能評価測定

炭素繊維を用いた電磁シールドビルの壁面としての電磁シールド性能を当該ビルの竣工後に測定した。

5.1 炭素繊維混入PCa版壁面

炭素繊維チョップのみを混入した厚さ150mmの壁面の電磁シールド性能をFig. 11に、チョップ及びメッシュを混入した厚さ60mmの壁面の電磁シールド性能をFig. 12に示す。Fig 11を見ると、水平偏波、垂直偏波ともに100MHz

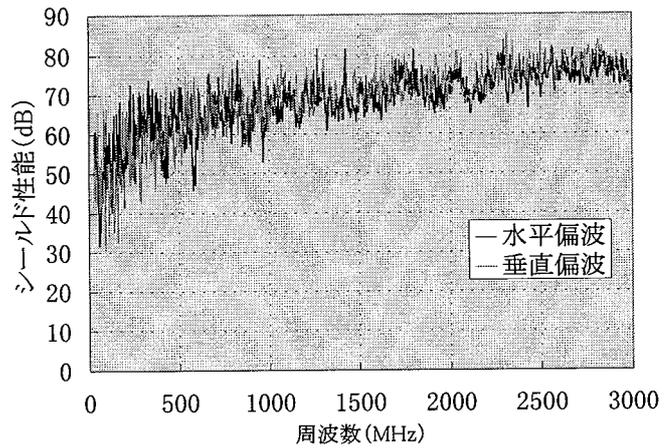


Fig. 11 炭素繊維チョップを混入した外壁（150mm厚）の電磁シールド性能
Electromagnetic Shielding Performance
of Exterior Wall (Thickness 150 mm)
Contained Only Carbon Fiber Chop

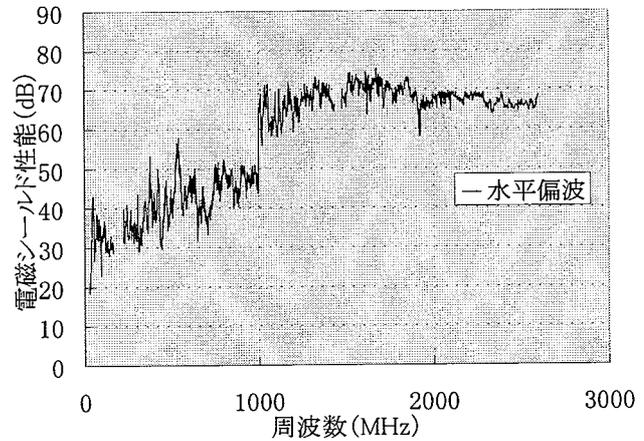


Fig. 12 炭素繊維チョップおよびメッシュを混入した外壁（60mm厚）の電磁シールド性能
Electromagnetic Shielding Performance
of Exterior Wall (Thickness 60 mm)
Contained Carbon Fiber Chop and Mesh

以上で50 dB以上の高い電磁シールド性能が得られている。厚さ60mmの試験体に較べ実際に使用したPCa版が150mmと厚かったため、良好な結果が得られた。

Fig. 12は炭素繊維チョップおよびメッシュを混入したPCa版の電磁シールド性能であるが、このPCa版はパネル部の厚みが60mm、リブ部が150mmの軽量化パネルであるため、電磁シールド性能は特に低い周波数帯域において低下し、50dBを下回っている。しかし、Fig. 12の電磁シールド性能であっても目標シールド性能を満たしている。

炭素繊維混入PCa版は版の厚みが電磁シールド性能に影響を与えることがわかる。

5.2 その他の部位

5.2.1 窓部（電磁シールドフィルム） 測定はFig. 7のE点にて行った。E点はガラス面の左右方向中央である。高さ方向も基本的にはガラスの中央となるようにしたが、サッシュとの取り合い部の性能を確認するためガラス下端のサッシュ部分についても測定を行った。

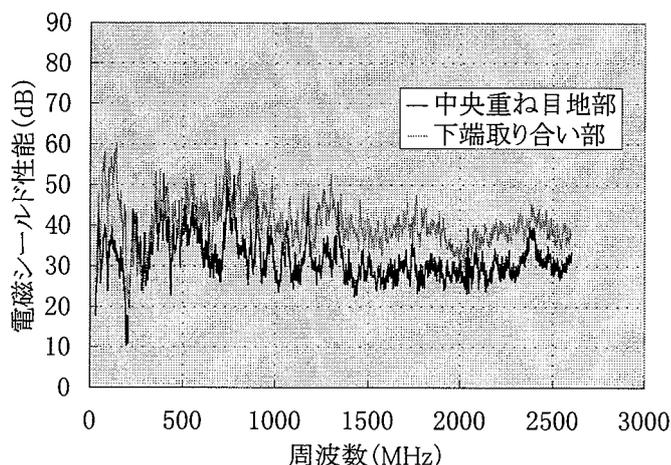


Fig. 13 南側窓面 (Fig. 7-E点) の電磁シールド性能
Electromagnetic Shielding Performance
of The South Side Window (Fig. 7- Point E)

Fig. 13に南側窓面の電磁シールド性能を示す。電磁シールドフィルムは、材料単体性能 (Fig. 8) を見てもわかるが絶対的に高性能なシールド材料ではない。Fig. 13の実測結果も全域で30 dB前後と高いシールド性能ではないが、当初の目標シールド性能はクリアできている。

5.2.2 床 (デッキプレート) 上下階の電磁シールド性能を把握するために、Fig. 7のF点床部の電磁シールド性能測定を行った。Fig. 14に9階床の電磁シールド性能を示す。500MHz以上で50dB以上、1GHz以上で60dB以上の高いシールド性能が確認された。低域で性能が低下しているのは、測定した9階の「F点」がシールド性能が相対的に弱い南側窓面に近く「8階窓→9階窓」の経路で回折して到来した電磁波の影響であると考えられる。これは周波数が低い電磁波ほど回折による減衰効果が小さいためである。

6. まとめ

炭素繊維混入モルタルおよび炭素繊維混入PCa版の開発を行い、その電磁シールド性能を検討した。また炭素繊維混入PCa版を用いて、実際にシールドビルに適用し計画・施工し、十分な電磁シールド性能があることを確認した。その結果以下のことが分かった。

- 1) コンクリートに炭素繊維を混入することにより、高い電磁シールド性能が得られることが確認できた。
- 2) 炭素繊維混入PCa版単板部分のシールド性能は炭素繊維チョップの混入率を上げることにより、シール

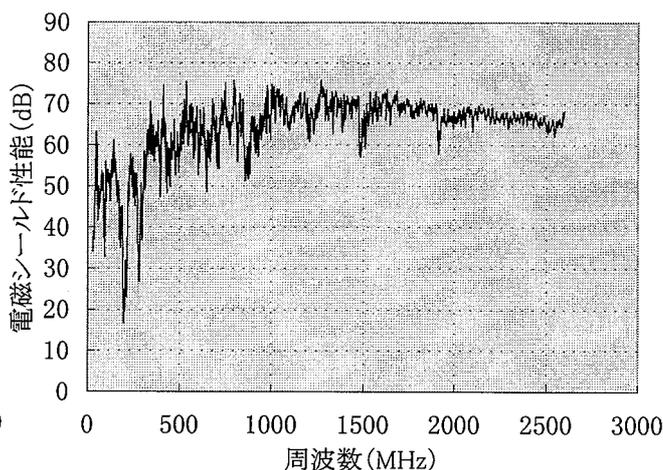


Fig. 14 床部 (Fig. 7-F点) の電磁シールド性能
Electromagnetic shield performance
of floor board (Fig. 7- Point F)

ド性能も上がる。今回テストした1%位の混入が目地、窓部分のバランスからすると妥当といえる。

3) 炭素繊維混入PCa版のコンクリート打放し部分の導電性をそのまま利用して、目地に柔軟性がありかつ導電性を持つ炭素繊維フェルトを詰めることで、PCa版相互のシールド性能が確保され、確実に外壁全面のシールド壁が構成される。

4) 以上によりPCa版を利用した外壁面のシールドが可能であり、デッキプレートを利用して建物全館あるいは特定階の電磁シールドを容易に構築できる。

今後は当工法を発展させ、さらに性能の向上、コストダウン、施工性の向上を目指す。

参考文献

- 1) 坂本, 岡田他: 「炭素繊維混入PCa版の電磁シールド性能」(その1), 日本建築学会大会学術梗概集, (1997, 9)
- 2) 吉田, 杉本他: 「炭素繊維混入PCa版の電磁シールド性能」(その2), 日本建築学会大会学術梗概集, (1997, 9)
- 3) 杉本, 吉田他: 「ビル外壁のPCa版による電磁シールド工法」, 日本建築学会電磁環境研究発表会資料集, (1998, 3)
- 4) 笠井, 吉田他: 「炭素繊維混入PCa版を用いた電磁シールドビルの計画」, 日本建築学会大会学術梗概集, (1998, 9)