

セメント系材料による電磁波吸収のための配合検討

摂南大学大学院 学生員 ○依田 駿作
村本建設（株） 正会員 高井 伸一郎
奈良県産業振興総合センター 林 達郎
摂南大学 正会員 熊野 知司

1. はじめに

コンクリートやモルタルに電磁波吸収性を付与することができれば、コンクリート構造物のみで電磁波を制御することが可能になる。既往の研究において水セメント比（以下、W/C）を 30%とし、導電性を有する炭素粉末（以下、CP）添加率を 3%と固定、静電容量を持つポリプロピレン（以下、PP）を 20, 32, 40, 50%に変化させた供試体を作製し、自由空間法である反射法を用いて、電磁波吸収性の評価を行った。その結果、PP 添加率を 32%とした場合に周波数 2GHz 付近において反射率が極小値を示すことを明らかにした。そこで、本研究では PP 添加率を 32%と固定し、CP 添加率を増加させた場合の複素比誘電率や反射法による電磁波吸収性の評価を行った。本論文は、一連の検討結果を報告するものである。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.15g/cm³）を使用した。また、CP の密度は 2.13g/cm³、PP は球と仮定した場合の平均粒径が 4.02mm、密度は 0.90g/cm³ のペレットを使用した。混和剤には、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤（SP）を使用した。表-1 にモルタルの配合を示す。W/C を 30%、PP をモルタルに対する体積比で 32%と固定し、CP の添加率を 3, 4, 5, 6%に変化させた。供試体の平面寸法は 300×300mm とし、厚さを 10mm とした。脱型後 28 日まで水中養生を行い、湿潤状態（W）で電磁波の透過率および反射率を測定した。その後、乾燥期間の 8 日後（8D）と 28 日後（28D）で同様の測定を行った。

3. 実験結果および考察

図-1 に周波数と透過率の関係を示す。図より、CP 添加率が 3, 4%のとき透過率は大きくなり、CP 添加率が大きくなると透過率は小さいほうへシフトすることがわかる。CP 添加率 5%と 6%を比較すると 6%の方が透過率は小さい結果となった。

図-2 に乾燥期間ごとの周波数と透過率との関係を示す。図より、W の透過率の波形が最も小さく、乾燥が進むと透過率は大きい方へシフトすることがわかるが、8D と 28D で透過率の波形はほぼ同一となった。

本研究では、透過法の測定結果をもとに式（1）を用いてニュートン法により複素比誘電率の推定値を求めた。

キーワード 電磁波、炭素粉末、ポリプロピレン、モルタル、複素比誘電率

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 摂南大学大学院理工学研究科社会開発工学専攻 TEL 072-839-9123

表-1 モルタルの配合

W/C (%)	PP (%)	CP (%)	単位量(kg/m ³)				C×%
			W	C	PP	CP	
30	32	3	316	1053	288	64	0.8
		4	311	1037		85	1.0
		5	306	1020		107	0.9
		6	301	1004		128	1.0

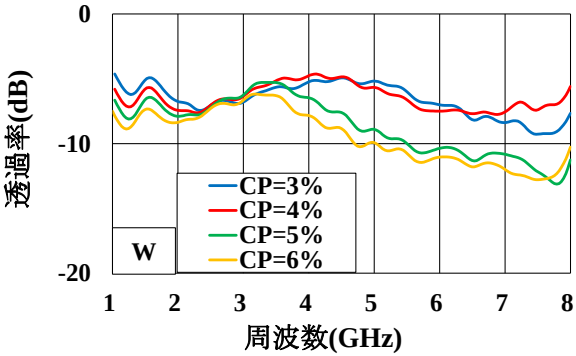


図-1 周波数と透過率の関係

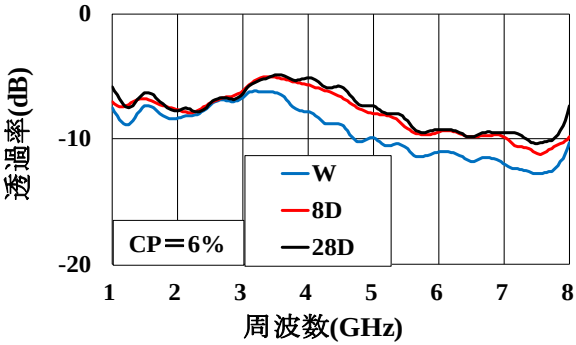


図-2 周波数と透過率との関係

$$T_s = 20 \log_{10} \left| \frac{\dot{T}_{12} \dot{T}_{23} e^{-j\dot{\gamma}_2 t}}{1 - \dot{R}_{21} \dot{R}_{23} e^{-j\dot{\gamma}_2 t}} \right| \quad (1)$$

ここに、 $\dot{R}_{21}$ 、 $\dot{R}_{23}$ ：各境界面での反射係数

$\dot{T}_{12}$ 、 $\dot{T}_{23}$ ：各境界面での透過係数

j ：虚数単位 t ：供試体厚さ

図-3 に周波数と複素比誘電率の関係を示す。図より、複素比誘電率は CP 添加率 3, 4% の場合は周波数 3GHz を超える範囲まで収束しているが、CP 添加率が大きくなるにつれて、解が収束する範囲が小さくなっていることがわかる。また、周波数 1~2GHz の範囲において複素比誘電率の波形が周波数によって上下していることがわかる。これは、測定治具の電磁波透過窓寸法と電磁波の波長が同程度であるため共振の影響による誤差が含まれたものと考えられる。これ以降、各ケースによる複素比誘電率は推定できた全周波数の平均値とした。

図-4 に複素比誘電率の実数部と虚数部の関係を示す。図中の無反射曲線は、伝送線理論による式 (2) において、反射をしない複素比誘電率の実数部と虚数部の解を求め、プロットしたものである。

$$1 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{sc}}} \tanh(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_{sc}}) \quad (2)$$

ここに、 ϵ_{sc} は複素比誘電率、 λ は波長、 j は虚数単位、 d は供試体厚さである。図より、乾燥期間が経過するにつれて、無反射曲線から離れることがわかる。また、CP 添加率が 6% の場合、いずれの乾燥状態においても無反射曲線に近づく結果となった。

図-5 に周波数と反射率の関係を示す。図より 28D の場合、2GHz 周辺では CP 添加率が 6% の場合に反射率-20dB を下回る結果となった。

図-6 に乾燥期間ごとの周波数と反射率との関係を示す。図より、CP=6% の場合、いずれの乾燥状態においても反射率-20dB を下回っていることがわかる。図-4 に示すように CP=6% が無反射曲線に近づいたことと関係している可能性がある。安定して電磁波を吸収する CP 添加率の暫定値として 6% とするのがよいといえる。

4. おわりに

電磁波吸収性として、W/C が 30% のとき反射率-20dB を目標とした場合、CP 添加率を 6% とするのがよいといえる。

参考文献

- 1) 依田駿作, 高井伸一郎, 林達郎, 熊野知司: セメント系材料による電磁波吸収性能に関する一検討, 第 77 回土木学会年次学術講演会講演概要集, V-248, 2022, 9
- 2) 橋本修: 電磁波吸収体のはなし, 日刊工業新聞社, pp.43-51, 2001

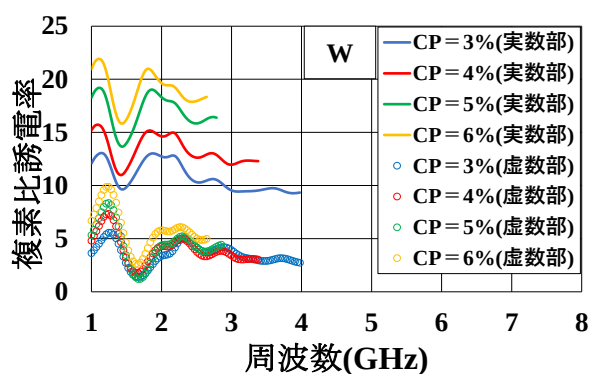


図-3 周波数と複素比誘電率の関係

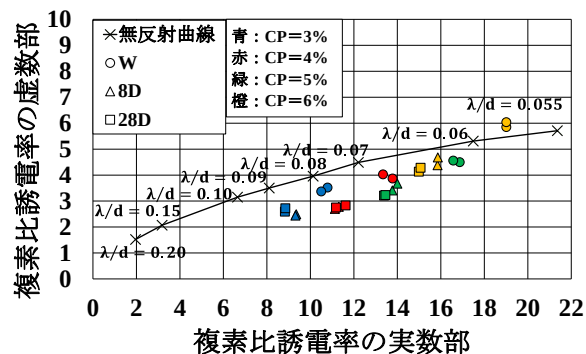


図-4 複素比誘電率の実数部と虚数部の関係

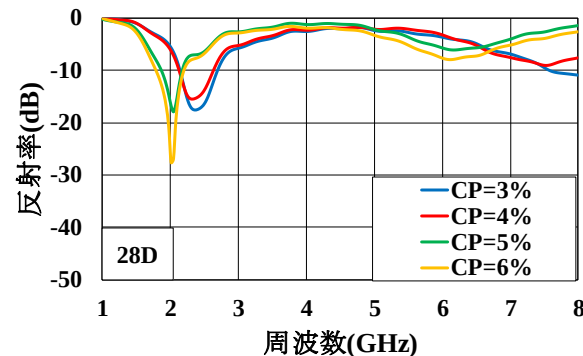


図-5 周波数と反射率の関係

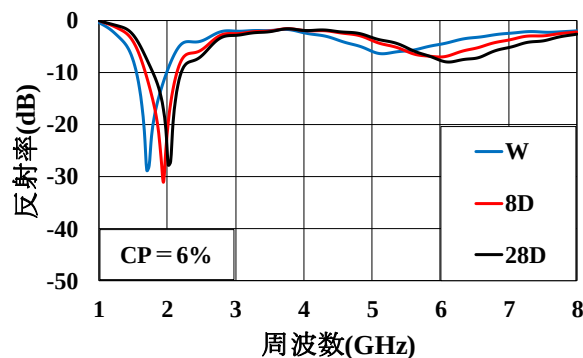


図-6 周波数と反射率との関係