

技術資料



Technical Paper

電気炉ダストを再溶解したスラグの電磁波吸収舗装への適用

齋藤章彦*¹, 正木儀憲*², 八木富一*³, 立石 亨*⁴, 大倉末代史*⁵

Development of Electromagnetic Wave Absorbing Pavement with DSM (Daido Special Recycling Process for Dust and Slag Melting) Slag for Intelligent Transport Systems (ITS)

Akihiko Saito, Yoshinori Masaki, Tomikazu Yagi, Toru Tateishi, and Sueyoshi Ohkura

Synopsis

The electronic toll collection (ETC) and the dedicated short range communication (DSRC) in intelligent transport systems (ITS) are realized. To improve electromagnetic environment of ITS beacon antenna, a wave absorbing pavement material consists of a carbon fiber has been developed. However, the oblique incidence characteristic of the pavement material that has been developed for the ETC is not enough to use for ETC and DSRC. Therefore, this research group is developing the wave absorbing pavement that mixed with DSM (Daido Special Recycling Process for Dust and Slag Melting) slag into asphalt. On the other hand, there was a base concrete layer under two asphalt layers. To design the wave absorbing pavement, we calculated with consideration of the impedance of the base concrete layer. In this paper, the relative complex permeability and permittivity of the pavement material were measured by the free space methods and the waveguide method. And the impedance of the base concrete layer was measured by the free space method. Then, the wave absorbing pavement of the oblique incidence characteristic was designed using the obtained material constants.

1. 緒 言

近年、交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に、最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報でネットワークに繋いだ、新しい交通システムとして、ITS (Intelligent Transport Systems) システムが構築されている (Fig.1). ITS は、ナビゲーションの高度化、自動料金収受システム、安全運転の支援などの9つの開発分野から構成されている (Fig.2)¹⁾.

ITSのうち、2001年秋から渋滞緩和を目的にサービスが始められた高速道路の出入口におけるETC(Electronic Toll Collection)は、当初予想されなかった通信エラーの問題が

明らかになってきた。この通信エラーは、ETC システムの5.8 GHzのマイクロ波がゲート下の道路面や付近の構造物により多重反射するため発生する (Fig.3)。これは ETC アンテナから発生した電波信号が舗装面と天井面で反射してしまい車両に届き誤作動を起こす。そして車両は、アンテナ方向に進むため、次に正常な電波を受け、再度動作してしまう可能性があるというものである。その多重反射を防止する目的で、著者らは、軟磁性金属粉末を混合した電磁波吸収舗装の開発²⁾にとりくみ成功した。一般的に、道路舗装は、表層、基層、基盤層、路盤層にわけられており、この電磁波吸収舗装は表層、基層へ施工することにより行われている。

2006年12月4日受付

* 1 大同特殊鋼(株)研究開発本部, 工博 (Dr., Eng., Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

* 2 大同特殊鋼(株)知多工場 (Chita Plant, Daido Steel Co., Ltd.)

* 3 大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

* 4 大同特殊鋼(株)省エネ・省資源プロジェクト (Environment Project, Daido Steel Co., Ltd.)

* 5 大同エコメット(株)環境事業部 (Environment Division, Daido EcoMet Co., Ltd.)

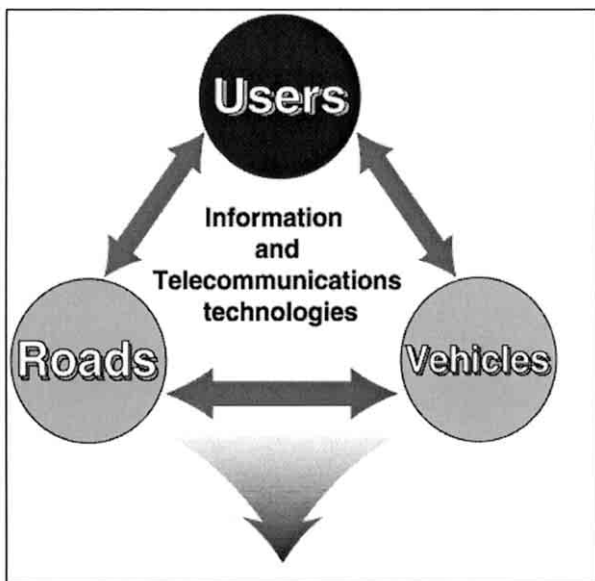


Fig.1. Improving safety increasing (improving) traffic efficiency improving comfortableness (convenience) contributing to the preservation of environment creating new industries/ business.

1. Advances in navigation systems
2. Electronic toll collection systems
3. Assistance for safe driving
4. Optimization of traffic management
5. Increasing efficiency in road management
6. Support for public transport
7. Increasing efficiency in commercial vehicle operations
8. Support for pedestrians
9. Support for emergency vehicle operations

Fig.2. Nine development areas of ITS (development).

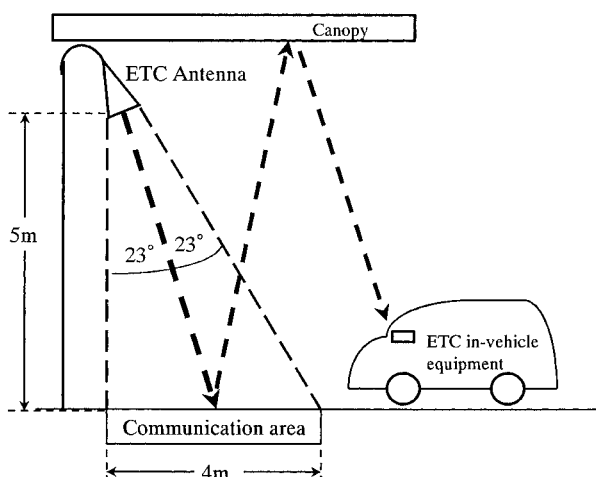


Fig.3. Reflection of electromagnetic wave at ETC gate.

一方、製鋼ダスト処理法で生成した DSM スラグは、その成分から電磁波吸収機能の可能性があると考えられる。しかし、現在は、表層、基層への骨材としての使用はなく路盤層に使用されている。

そこで、著者らは、開発した電磁波吸収材の設計手法を用い、DSM スラグを従来の天然骨材と置換し舗装表層部および基層部に用いることにより、電磁環境で問題のある ETC ゲート下の道路舗装への電磁波吸収材の適用を検討し、良好な結果を得たので報告する。

2. DSM スラグについて

2. 1 DSM プロセス

DSM (Daido Special Method of Dust Slag Melting) プロセスは、電気炉ダストと還元スラグを空気輸送により重油－酸素バーナーへ搬送し高温火炎内に吹き込み混合熔融させるプロセスである。このプロセスは電気炉ダストの主成分が Fe 酸化物、Zn 酸化物であること、そして還元スラグが CaO、SiO₂ を主成分としていることに着目し、両者を混合熔融して酸化スラグに改質することで安定化し路盤材とする。また、ダスト中の揮発成分である Zn を二次ダスト中に濃縮させ Zn 原料とすることにより、ダストの完全リサイクルを狙ったプロセスである^{3)～5)}。

2. 2 ダスト処理量

DSM プロセスは、スラグの Pb 低減技術、二次ダストの Zn 濃縮技術、原料混合比率、稼動形態適正化など、さまざまな技術開発や設備改善を行い、1996 年 1 月より実用化運転に入った。実用化運転以降、1998 年 10 月には大同特殊鋼株式会社（以下、当社という）知多工場で発生する電気炉ダストの全量処理（2500 t/月）を達成している。

3. 電磁波吸収舗装材について

3. 1 ETC ゲート付近の電磁環境の改善および電磁波吸収舗装の要求特性

高速道路の ETC ゲート付近の電磁環境を改善するには、電磁波吸収舗装を Fig.3 に示す通信領域に設置することが必要である。そして ETC アンテナから発する電波は 5.8 GHz の右旋円偏波であり、入射角は 23 度であるので、電磁波吸収舗装に求められる要求特性は、23 度入射の右旋円偏波をいかに多く吸収させるかである。

3. 2 電磁波吸収舗装材の施工方法

Fig.4 に電磁波吸収舗装の断面を示す。表層部は、舗装表面へ滞水を防止する目的でポーラスアスファルト舗装（高機能舗装タイプ）を用い、基層部は、空隙の少ないマ

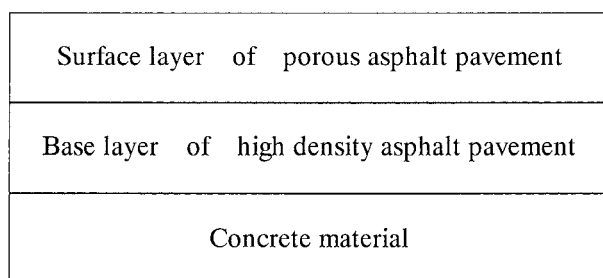


Fig.4. Cross section of electromagnetic wave absorbing pavement.

スティックアスファルト舗装を用いた。また Fig.5 に各舗装材の構造モデルを示す。

3. 3 電磁波吸収舗装材の設計

Fig.6 に電磁波吸収舗装材の設計手順を示す。まず最初に構成材料の複素比透磁率および複素比誘電率を把握し、次にその値から舗装の電磁波吸収特性の理論計算を行う。そして理論値と実測値と比較して、道路舗装材の最適設計を行う。

3. 4 舗装構成材料の複素比透磁率および複素比誘電率

3. 4. 1 骨材（天然砕石）

舗装材の骨材として、通常用いられる 6 号天然砕石を測定に用いた。砕石を $\phi 7\text{ mm} \times \phi 3.04\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ に加工

し、4 つの試料で同軸 S パラメータ法にて、複素比透磁率 μ_r および複素比誘電率 ϵ_r を測定した。砕石は $\mu_r = 1$, $\epsilon_r = 4.92 - 0.188i$ の誘電体²⁾である (Fig.7)。

3. 4. 2 アスファルト

舗装材の骨材の接着剤として用いたアスファルトバインダー（炭酸カルシウム 29[vol%] 含有）を導波管（WRJ5, 3.95 ～ 5.85 GHz, 厚さ 1 mm）に casting し、測定試料を作製した。導波管 S パラメータ法⁶⁾にて、複素比透磁率および複素比誘電率を測定した。アスファルトは $\mu_r = 1$, $\epsilon_r = 3.76 - 0.0492i$ の誘電体²⁾である (Fig.8)。

3. 4. 3 骨材（DSM スラグ）

DSM スラグ粉末をゴム中に混合したときの 5.8 GHz の複素比透磁率および複素比誘電率を測定した。

舗装骨材へ DSM スラグを置換するかわりに、比較的測定が容易なゴム中の骨材である炭酸カルシウムと置換し、そのゴムの複素比透磁率および複素比誘電率を測定した。DSM スラグは、5.8 GHz の周波数において、複素比透磁率および複素比誘電率を向上させる効果が認められた。

4. DSM スラグ含有電磁波吸収舗装材

4. 1 舗装骨材としての DSM スラグの意味

一般の舗装材は、骨材として天然砕石を用い、砕石と砕石の接着材としてアスファルトを用いる。砕石とアスファルトはともに誘電体であり、磁性体を混合するとより多く

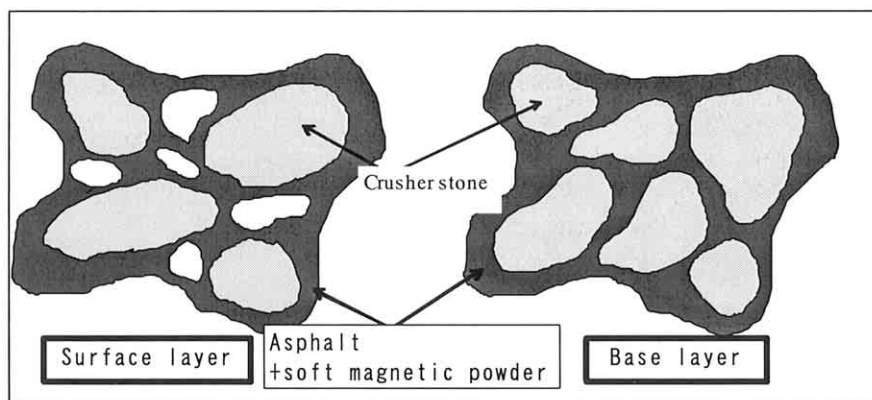


Fig.5. Structure of electromagnetic wave absorbing pavement.

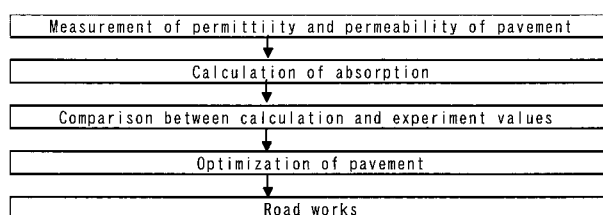


Fig.6. Design flow of electromagnetic absorbing pavement.

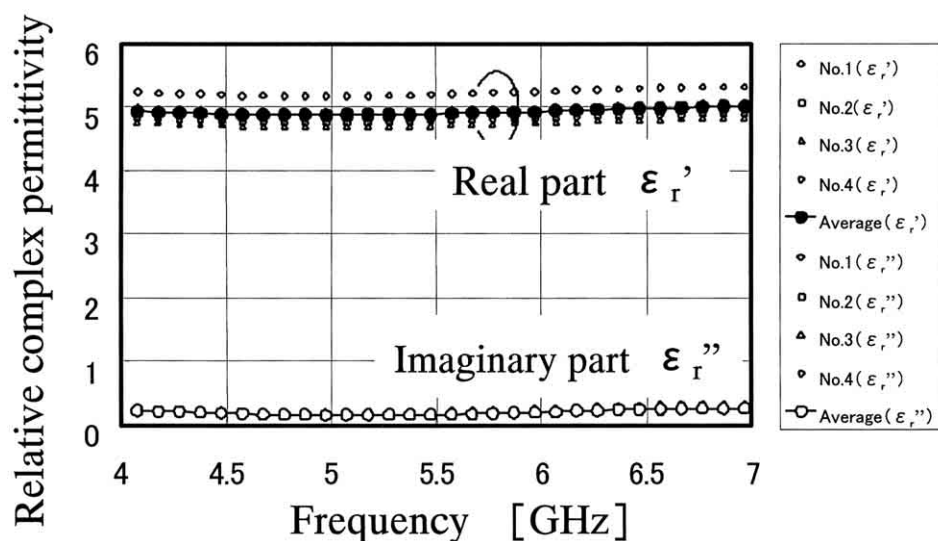


Fig.7. Relative complex permittivity of macadam.

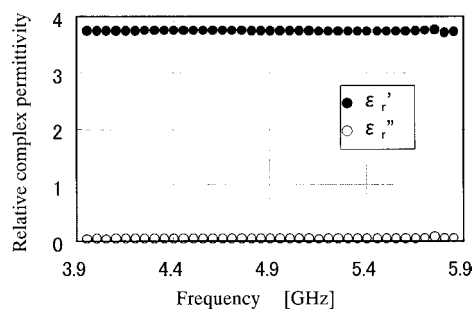


Fig.8. Relative complex permittivity of asphalt.

の電波を吸収するため、著者らは、磁性体である DSM スラグを骨材として、砕石と適量置換し、電磁波吸収機能を持たすことを考えた。また、DSM スラグは、路盤材として利用されており、舗装としての諸仕様は満足しており、舗装として用いるに支障はない。

4.2 DSM スラグ含有電磁波吸収舗装材の吸収特性

DSM スラグを天然砕石のかわりに、表層、基層のそれぞれ 25 % 置換した舗装材の電磁波吸収特性を Fig.9 に示す。ETC システムでは、使用している右旋円偏波が、舗装面で反射し、その反射波（右旋円偏波⇒右旋円偏波、右旋円偏波⇒左旋円偏波）を少なくすることが重要である。

円偏波の吸収量は、水平偏波、垂直偏波を舗装面に対して垂直から 30 度で入射し、その反射波を測定し、その値から算出した⁷⁾。Fig.9 において、特に実用上重要な電磁波吸収特性「入射波（右旋円偏波）⇒反射波（右旋円偏波）」は、約 96 %、入射波を吸収し、「入射波（右旋円偏

波）⇒反射波（左旋円偏波）」は、約 66 % 吸収していることがわかる。実用上、重要な送信側が右旋円偏波から受信側が右旋円偏波の場合、約 96 %（ほとんどの電波を吸収）の電波を吸収し、目標値 (68 %)⁸⁾ を達成することがわかった。周波数特性もフラットであり、このことは、舗装厚さにあまり依存しないことを示している。そのため、他の電磁波吸収舗装材の欠点である舗装の厚み制御がシビアでないため実際の施工に向いている。

5. まとめ

当社は、電気炉ダストと余剰分の還元スラグを混合溶融し、路盤材と Zn 原料とすることにより、ダストの完全リサイクルを可能とする「DSM プロセス」を開発・実用化した。

DSM スラグの用途開発として、高速道路などの ETC ゲート付近の電磁環境改善のために、電磁波吸収舗装への適用を検討した。実用上、重要な送信側が右旋円偏波から受信側が右旋円偏波の場合、約 96 %（ほとんどの電波を吸収）の電波を吸収することが確認できた。

今後は、普及が見込まれる ETC を用いた駐車場やガソリンスタンドなどへの適用を検討していく。

(文 献)

- 1) 国土交通省 道路局 ITS ホームページ <http://www.its.go.jp/ITS/j-html/index.html>
- 2) 齋藤章彦, 青柳貴洋, 国島武史, 月村将人, 岩田武史: 信学技法, EMCJ2002-46 (2002), 25.

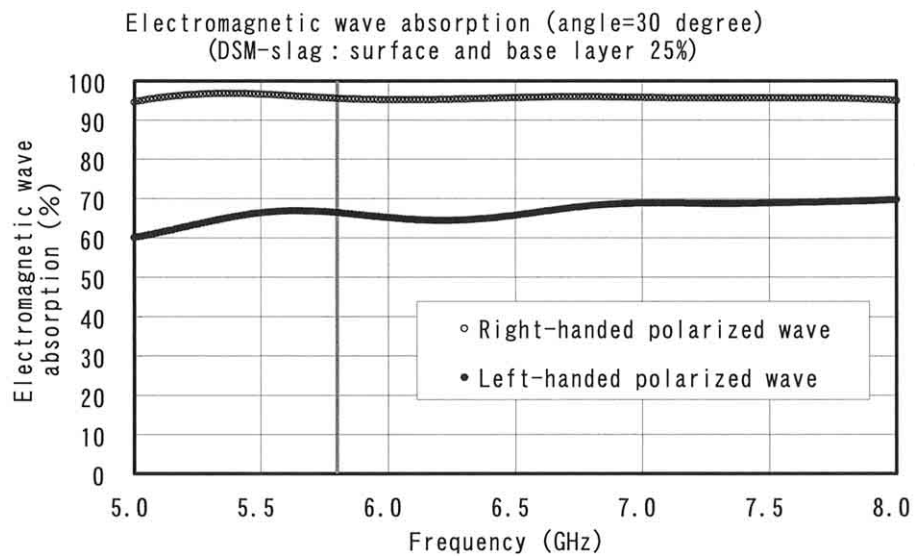


Fig.9. Reflection of measurement in case of the surface asphalt; 25 % DSM slag , the base asphalt; 25 % DSM slag and the base concrete.

- 3) 新貝 元, 津野雅英, 小川典宏: 電気製鋼, 68(1997), 295.
- 4) 新貝 元, 津野雅英, 本庄則夫, 迫間保弘, 坂田雅史: 電気製鋼, 68(1997), 287.
- 5) DSMカタログ2005年2月版.
- 6) A. Nishikata: MWE'99(1999), 151.
- 7) 畠山賢一, 細川幹夫, 坂井康彦, 戸川斉, 山内健次: 信学技法, EMCJ-102(2001), 85.
- 8) 岩田武夫, 国島武史: 月刊EMC, no.164(2001), 33.