電磁波干渉による排水性舗装内の 空隙づまり検知法

稲垣 正晴1・池谷 公一2

¹正会員 株式会社ウォールナット 調査部 (〒190-0002 東京都立川市幸町一丁目19-13) E-mail:inagaki@walnut.co.jp

²非会員 中日本高速道路株式会社 横浜支社 小田原保全・サービスセンター (〒250-0863 神奈川県小田原市飯泉352) E-mail:k.ikeya.ab@c-nexco.co.jp

排水性舗装は種々の長所を持っている。しかし,空隙が砂などの細粒分によってつまりやすいという問題点もある.適切な機能回復作業を行うためには、排水性舗装断面のどの部分がどの程度つまっているかという情報を的確に把握する必要がある.

空隙づまりが均一に発生するのであれば,路面からの電磁波反射強度から容易に空隙づまり度を測定することができる.しかし,内部のつまり状況は不規則であるため一義的に決定することができない. 2種類のパルス幅を用いた電磁波法によって空隙つまり度と空隙づまり部位を同時に知るためのベクトルダイヤグラム法を考案し,実用上有効活用が可能であることを示した.

Key Words: drainage pavement, ground penetrating radar, wave interference, electric permittivity, pore packing

1.はじめに

排水性舗装は、内部に20%程度の空隙を持ったポーラスアスファルト混合物(以下ポーラスアスコンと表記)を用いて施工される.従来の密粒アスコン等とは異なり水を透過させるという特徴を持つ.ポーラスアスコンは、その空隙性ゆえに多くの長所を持っている.最大の特徴は、路面に水溜りができないためドライバーにとって視認性が良く、安全性の観点で優れていることである.また、吸音性がよいために騒音の軽減にも寄与する.しかし、ポーラスアスコンはこのような長所を持っている一方で、砂や土などの細粒分がつまり易いという欠点も持っている.空隙がつまることによって、本来持っている機能が発揮されなくなり、やがては打換が必要となる.打換までの期間が短いと、資源の有効利用の観点からは無駄が多く、アセットマネジメントの立場からも好ましくない.

空隙がつまり過ぎないうちに機能回復を行えば,舗装としての寿命を延ばすことが可能となる。空隙づまり度を調べる従来の方法は,透水量試験や吸音率試験あるいは路肩騒音の定点測定などである。これらの試験方法に共通するのは,非連続的測定であるということである。路肩騒音測定法において得られるのは,ある1固定点における測定値のみである。また,透水量試験のような方法では,測定箇所を移動させて複数点における観測が可

能であるが,道路規制は必要である.また,測定個数が限定されるという欠点もある.

道路の広い区間を連続的かつ迅速に測定することができれば,道路規制も不要でしかも広域のデータが取得できるため,空隙づまり分布が把握でき,管理上非常に好ましい.このような要求に対し,消音効果という性能に着目したタイヤ路面騒音測定法や音波反射法等が開発されているが,本論文では空隙づまり状況が比誘電率に反映されることを利用した非破壊法の一種である電磁波法の適用を考えた.

電磁波法は、トンネル覆工背面調査や路面下空洞探査、あるいは舗装構造調査等に広く利用されている非破壊物理探査法である、電磁波法は、層境界から帰ってきた反射波を捉え、層厚や空洞有無を調べる調査法であり、いわば層の幾何的情報を明らかにする方法である。しかし、空隙づまりの程度は幾何的情報ではなく物性情報であるため、従来通りの解析方法は適用できない。しかも、通常排水性舗装の施工厚は4~5cmと電磁波のパルス幅に比べて非常に薄く、舗装の内部情報を十分な解像度で分離把握するには特別に高い周波数の装置が必要である。これにはかなり高度な技術が要求され、さらに実際の空隙づまり状況が不規則であることを考慮すると、個々の内部反射を分析する方法はほとんど不可能と云わざるを得ない。

そこで,舗装内部から来る反射を個々に捉えるのではなく,むしろ分離できないがための干渉作用が表面反射強度に影響を及ぼすことを利用して空隙づまり度を知る方法を考案した.2種類の異なる幅を持つ電磁波パルスを使用することによって空隙づまり度と空隙づまり部位を同時に知る方法であり,逆解析法の一種と考えることができる.本論文では,この方法の理論的内容を詳細に紹介するとともに,初歩的な適用例について報告する.

2.原理

(1) 電磁波干渉と内部状況

電磁波は異なる物質の層境界で反射する.この性質を利用して,電磁波法は舗装厚測定に広く適用されている.舗装表面と背面の2箇所から得られた反射波の時間差から比誘電率を用いた較正によって舗装厚を求めるという方法である.アスファルト混合物(以後アスコンと表記)は,アスファルトと砕石の混合物であり,各要素の境界でも反射波が発生するはずである.しかし,通常使用するパルス幅に対して各要素は十分小さく均一に混合しているため,電磁波にとってアスコンは比誘電率が約510の均質な単一物質として振舞う.

ポーラスアスコンも,通常のアスコン同様混合物であるが,空隙があることから,アスファルト・砕石・空気の3要素で構成される.ポーラスアスコンも,各要素は十分小さいため,電磁波に対しては通常のアスコン同様単一物質として振舞う.もちろん混合物としての比誘電率が異なるのは当然のことである.またさらに,空隙づまり状態のポーラスアスコンになると,アスファルト・砕石・空気・つまり土砂(空隙置換)という4要素の混合物となるが,これも比誘電率の異なる単一物質として振舞うのは明白である.

比誘電率と表面反射係数の間には後述式(6)の関係がある.空気の比誘電率が1と既知であるため,表面反射波パルスの強度を測定すれば反射係数からアスコンの比誘電率を計算することができる.

具体的な値は後程示すが、舗設直後の健全なポーラスアスコンの比誘電率は、空隙があるため密粒アスコンよりも少し小さい・健全状態から空隙づまりが進行し、最終的に全ての空隙が細粒土砂の置換によって消滅した完全づまり状態まで、比誘電率は徐々に大きくなる・したがって、電磁波の表面反射係数から比誘電率を計算し、空隙づまり度を推定することが可能となる・

しかしながら,排水性舗装に発生する空隙づまり現象 は必ずしも均一ではなく,空隙づまり領域と健全領域が 分離した状態になる方が多いものと予想される.空隙づ まり領域は,アスファルト・砕石・空隙・つまり土砂が 混合した部分,健全領域は,アスファルト・砕石・空隙 から成る健全な部分である.前述のように,各領域は単一物質として振舞うが,領域の境界では反射波が発生する.例えば,排水性舗装の上半分が空隙づまり領域,下半分が健全領域という場合では,領域の境界である中央部で反射波が発生する.ところが,実際の空隙づまり領域と健全領域は完全な整層を成しているわけではなく,図-1に示すように不規則になっている方が自然である.このような状況では,たとえ使用するパルス幅を小さくして解像度を上げ,全ての反射波が分離取得できるようにしたとしても,各反射波強度の定量分析からミクロな空隙づまり領域の構造を描き,各領域の空隙づまり度を知るのは実用上不可能である.

そこで,各内部反射強度を個々に知ることはやめ,アスコン舗装厚程度のパルス幅をもった電磁波を用いることによってむしろ表面反射と内部反射を干渉させ,内部状況の統合的反映である干渉後の表面反射強度分析により空隙づまり状況を知る方法を考える.

舗装断面内で,空隙づまり領域の重心位置が舗装の上部にある状態を上づまり,下にある場合を下づまりと定義し,重心が中央にありかつ均一につまっている状態を均等づまりと定義する.空隙づまり領域と健全領域が入り組んで多数存在する構造であっても,平均重心が上にあれば,空隙づまり部位は上にあると表現する.

電磁波パルスを排水性舗装に放射すると,最初に路面からの表面反射波が受信される.その後,内部反射波が 受信されるが,互いに分離されることなく表面反射波と 干渉した合成波が観測される.合成波のパルス高は,空 隙づまり状態(空隙づまり度と空隙づまり部位)を反映 した特徴を内包しているものと考えられる.

この方法は,空隙づまり度と空隙づまり部位という2つの情報を引き出すために2種類のパルスを使用し,各パルスに対する干渉の違いを利用することによって導き出すという一種の逆解析法であり,これをベクトルダイヤグラム法と呼ぶ.

いうまでもなく,表面反射と内部反射がうまく干渉することが前提となる.使用するパルス幅が短すぎると干渉が十分に起こらず,また長すぎると内部の空隙づまり状況をうまく反映しない.内部反射の干渉を十分に受けられる程度のものを選択する必要がある.そこで,パルス幅が排水性舗装内で舗装厚程度であるもの(0.67ns;

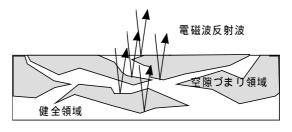


図-1 排水性舗装内部からの不規則反射

中心周波数1.5GHz)と,舗装厚の2倍程度のもの (1.33ns; 中心周波数750MHz)を使用する.

(2) 見かけの比誘電率

比誘電率は物質によって異なり、それぞれ固有の値を持つ、アスコンの比誘電率も要素の構成比が決まれば常に一定値となる。したがって、表面反射係数から固有の比誘電率が計算できるのは当然のことである。しかし、ポーラスアスコンの空隙づまり状況を知るために導入した干渉法では事情が少し異なる。内部状況に応じて反射波のパルス高が変化するため、パルス高から求められる反射係数も一定値とはならない、路面反射に比べて内部反射はパルス高が相対的に小さく、路面反射強度を大きく変えることはないが、空隙づまりの程度により路面反射のパルス高を10~20%程度変化させるものと予想される。干渉後の反射係数から計算した比誘電率を見かけの比誘電率と呼ぶ、見かけの比誘電率は、内部の空隙づまり状況を反映しており、ベクトルダイヤグラム法で用いられる重要な物理量である。

多層構造から受信される合成波のパルス高をどのよう に導出するのか一般的な考え方を以下に詳述する.この 方法は,空隙づまり状況分析に適用可能である.

一般に,物性の異なる薄層が複数重なった構造体表面に電磁波パルスを入射させると、各境界で反射波が発生し,少しずつ遅延はあるにしても,分離できない範囲にある反射波は全て互いに干渉して合成波を形成する(図-2参照).

いま,発信波パルスから各境界で発生する反射波パルスのうち i 番目に発生する反射波パルス時系列は式(1)で表される.

$$\Phi_i(t) = a_i \Phi_0(t - \tau_i) \tag{1}$$

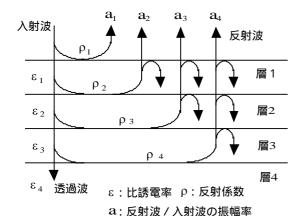


図-2 多層構造体に発生する反射波

ここに, $\Phi_0(t)$:発信波パルス時系列, $\Phi_i(t)$: i 番目境界からの反射波時系列(表面が 1 番目), τ_i : i 番目境界からの反射波の遅延時間(τ_1 = 0 とする), a_i : i 番目境界からの反射波の発信波に対する振幅比である.

各反射波が干渉し合った後の合成波パルス時系列は, 式(2)で表される(図-3参照).

$$\Phi(t) = \sum_{i} \Phi_{i}(t) \tag{2}$$

ここに $\Phi(t)$: 合成波パルス時系列である .

合成波のパルス高 (極大値と極小値の差) ϵr として、以下の表現により定義する.

$$r = \max \left(\Phi(t) \right) \tag{3}$$

一方,振幅比 a_i は、各層境界における反射係数によって以下のように表される.

$$a_i = \rho_i \prod_{i=1}^i (1 - \rho_i^2)$$
 (4)

ここに , ρ_i : i 番目境界における反射係数である . また , 反射係数は境界を挟む前後層の比誘電率によって以下のように決まる .

$$\rho_{j} = \frac{\sqrt{\varepsilon_{j-1}} - \sqrt{\varepsilon_{j}}}{\sqrt{\varepsilon_{j-1}} + \sqrt{\varepsilon_{j}}}$$
 (5)

ここに 、 \mathcal{E}_i : i 層目物質の比誘電率である . 式 (5) によって各反射係数が決まれば , 最終的に干渉 によって得られる合成波のパルス高r を知ることができる .

均質なアスコン層があるとき,表面反射係数を測定すればアスコンの真の比誘電率を求めることができる.例えば,式(5)において境界を形成する2物質のうちつつを空気(=1)とし,変形してもう一つの比誘電率についての式にすると式(6)が求まる.

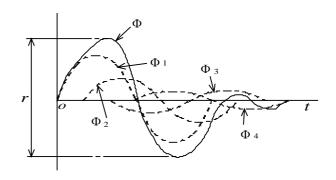


図-3 各反射波の合成波

$$\varepsilon_1 = \left(\frac{1 - \rho_0}{1 + \rho_0}\right)^2 \tag{6}$$

ここで,反射係数を測定値とすることによりアスコンの比誘電率が一義的に求められる.式 (6) の反射係数の代わりに合成波のパルス高r を入れると式 (7) のように比誘電率とパルス高の関係となる.

$$\varepsilon_a = \left(\frac{1-r}{1+r}\right)^2 \tag{7}$$

ここに , ε_a :見かけの比誘電率である .

ここで求まる比誘電率は,実際に排水性舗装層の持つ 固有の比誘電率ではなく,空隙づまり状況を反映した結 果求まった計算値,すなわち見かけの比誘電率である. 最大パルス高rの代わりに,見かけの比誘電率を用いて 空隙づまりの評価を行う.

3.シミュレーション

(1) 基本的現象

コン層

電磁波法による空隙づまりの評価を行う前に,干渉により具体的にどのような現象が起こりうるのかをシミュレーションで確認しておく必要がある.ベクトルダイヤグラム法では,空隙づまり度が同様でも空隙づまり部位によって見かけの比誘電率が異なること,また,空隙づまり部位が同様でも使用するパルス幅によって見かけの比誘電率が異なることを利用する.

図-4では,上づまりと下づまり状態のモデルに対し,中心周波数1.5GHzに相当する0.67nsのパルス幅を持ったモノサイクル型電磁波パルスを放射したときの受

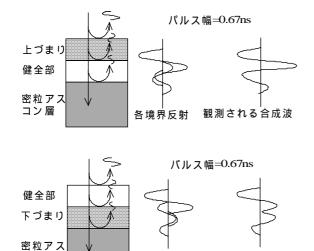


図-4 つまり部位による合成波パルス強度の違い

各境界反射

信波の様子を示す . 0.67nsのパルスは , アスコン内においてほぼ4cmのアスコン厚に匹敵するパルス幅を持つため , アスコン内の不均一性に敏感に反応することを期待して採用した .

上づまり,下づまりいずれの場合も,反射波は表面, 空隙づまり部/健全部境界,排水性舗装下端面の3箇所 で発生し,互いに干渉した後に合成波として受信される. 上づまりモデルの方が下づまりモデルよりも比誘電率の コントラストが少し大きいため,表面波反射強度が少し 大きい.一方,空隙づまり部/健全部境界あるいは健全 部/空隙づまり部境界からの反射波は,比誘電率の大き さが全く逆になるため,強度は等しいが極性が逆のパル スとなる.この反射波は、2cm分の時間遅れがあるので, 表面波への干渉がちょうど逆方向に起こる.その結果, 上づまりモデルでは合成波パルス高が大きくなるように、 下づまりモデルでは小さくなるように作用する.合成波 パルス高から反射係数を求め, さらに見かけの比誘電率 を計算すると,上づまり状態の方が下づまり状態より大 きな値を示す.空隙づまり状況は上記の例以外にも種々 変化するので、それに応じて見かけの比誘電率もいろい ろに変化することが類推される.

図-5は,空隙づまり条件が同じでも使用するパルス幅が異なるときの受信波の様子を示したものである.モデルとして図-4の上づまり状態を仮定する.パルス幅は,前述の0.67nsとその2倍である中心周波数750MHzに相当する幅1.33nsのパルス2種類を使用した.幅1.33nsのパルスは,4cm厚アスコン層の約2倍の幅を持っており,アスコン内部の不均一性に左右されない平均的物性に忠実に反応することを期待して採用した.

0.67ns, 1.33nsl \ずれのパルスに対しても強度,極性とも同一であるが,パルス幅が異なるため干渉するとき

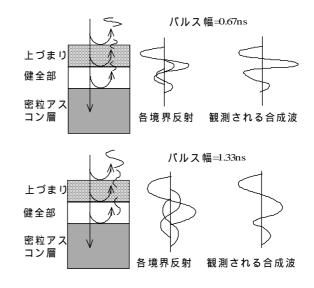


図-5 パルス幅による合成波パルス強度の違い

観測される合成波

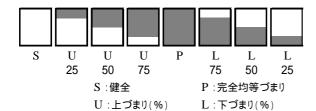


図-6 空隙づまりモデル

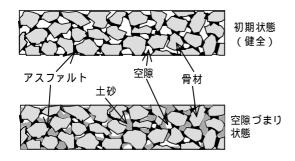


図-7 ポーラスアスコンの模式図

の相互の位相位置が異なり,結果として合成波パルス高 に違いが発生する.

(2) シミュレーションモデル

排水性舗装内の空隙づまり状態は,想像すれば無数に存在するが,ここでは,上づまり,均等づまり,あるいは下づまりが最も単純化された起こり易い状態と認識し,これらを系統的に並べたモデルを採用する.モデルを図-6に示す.層の中間がつまる場合や中間だけがつまっていない場合は,重心位置が均等づまりと同一条件となるにもかかわらず違いが懸念されるところである.しかし,これはベクトルダイヤグラムのあいまいさに関する検証の問題と捉え,煩雑となるので本論文では取り扱わない.シミュレーションにおいては,モデルに示された各空隙づまり部位の空隙づまり度を飽和状態のみならず数種類の不飽和状態についても計算し,後述のベクトルダイヤグラムを作成する.

(3) 物性

混合材料の比誘電率は,その混合材料を構成する各要素材の体積占有率ににしたがい,式(8)のような関係で合成し求められる.

$$\sqrt{\varepsilon_{mix}} = \sum_{i=1}^{n} \eta_{i} \sqrt{\varepsilon_{i}}$$
 (8)

ここに, \mathcal{E}_{mix} :混合材料の比誘電率 , η_i : i 番目材料の体積占有率 , \mathcal{E}_i : i 番目材料の比誘電率である .

排水性舗装に使用されるポーラスアスコンは,舗設直後,骨材・アスファルト・空気の3要素(n=3)で構成

表-1 ポーラスアスコンの比誘電率

構成材料	比誘電率	ポーラスアスコン	
		健全	空隙づまり
空 気	1	22%	0%
アスファルト	2.2	10%	10%
骨 材	6	68%	68%
土 砂	7.5	0%	22%
比誘電率		4.14	5.88

構成比率は全て体積%

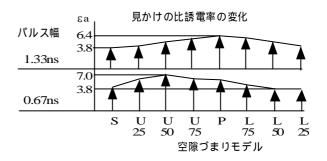


図-8 基本シミュレーション結果

される.空隙づまり状態では,さらに土砂を含めた4要素(n=4)で構成される.土砂が空隙を一部置換した状態が一般的な空隙づまり状態であり,空気が完全に置換されると完全均等づまりとなる.図-7にポーラスアスコンの初期状態と部分的空隙づまり状態の模式図を示す.また,表-1に新設時および細粒土砂飽和時におけるポーラスアスコンの比誘電率を示す.土砂の比誘電率は含水状態によって変化するが,含水率5%は極乾燥、10%はかなり湿潤状態であることと,同一箇所を3年間にわたり測定したところ,ほとんど同じ値が得られたことから,含水率は安定していると見做し,自然な標準値として7%を仮定した.

4 . ベクトルダイヤグラム

図-6のモデルに対して,2種類のパルスを入射波として作用させ,基本シミュレーションを行った.図-8に,代表として飽和状態における結果を示す.不飽和状態における結果もほぼ相似的に同一傾向を示す.

パルス幅1.33nsの場合では,見かけの比誘電率変化が 均等づまり状態で最大となっており,空隙づまり部分が 少ないほど小さな値を示している.上づまりと下づまり の違いはほとんど見られない.これは,1.33nsを使用し た場合は空隙づまり度の情報をよく反映することを示す. 一方,0.67nsの結果では,均等づまり状態で最大値には ならず,上づまりで最大,下づまりで最小となる傾向を持つ.これは,0.67nsを使用した場合は空隙づまり部位の情報を反映することを示す.したがって,単純に在来法である透水試験結果との相関を取ったとき,1.33nsのデータは良い相関を示すが,0.67nsのデータは理論的に良い相関を持たないことが予想される.

見かけの比誘電率は各パルス幅によって異なる傾向を 持っていることから、2つの値をベクトルの成分として2 次元座標上にプロットすると、各点は直線状ではなく長 円形状に分布する.図-9にプロット結果を示す.

図-8の結果は,100%空隙が消滅した完全づまり状態 の場合であるが、実際は0%から100%までの様々な中間 的不飽和状態が存在する. 例えば, 均等づまり状態を例 に取ると,空隙づまり度を0%から100%まで変化させた とき, 各点は長円形を横切るようにほぼ直線状に分布す る.同様に,他の空隙づまり状態に対しても空隙づまり 度を変化させてプロットしたとき,直線状に分布する. これらの各直線の始点は共通で,終点は長円形上にある ため,放射状に分布することになる.このとき,均等づ まりの最終点が空隙づまり度100%であるのに対し、上 づまりや下づまり状態では最終点が100%とはなってい ない.これは,空隙づまり部位内における相対的な飽和 度ではなく,空隙全体に対する絶対的な飽和度で表現し たためである.この場合,空隙づまり度と飽和度は同義 となる. 絶対的飽和度を用いた方が, 空隙を置換する土 砂の割合が直感的にわかり易く,実用上好ましいと考え 採用したものである.

このプロットでは,各放射線上の同一空隙づまり度を 結んだ線も表示してある.この同一空隙づまり度曲線は,

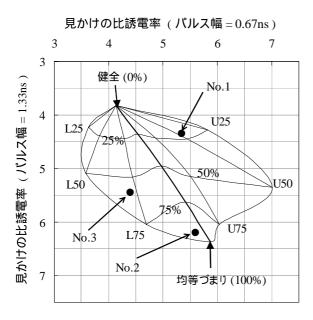


図-9 ベクトルダイヤグラム

ほぼ水平に左右に引かれ、最外側は図-8に示した値を結んだ長円形に一致する.このプロットは、空隙づまり部位と空隙づまり度を示す基本的な領域を表現しており、これがベクトルダイヤグラムである.ベクトルダイヤグラムの外郭形状は卵型をしており、様々な空隙づまり部位を表す各放射線と等空隙づまり度を結んだほぼ水平方向の曲線はくもの巣状を形成しているので、通称エグウェブ(Egalleb)と呼ぶ.

2つのパルス幅を用いて取得した見かけの比誘電率をベクトルダイヤグラム上にプロットすると、そのプロット位置から、空隙づまり部位と空隙づまり度を同時に読み取ることができる。例えば、図-9に3つの点(No.1, No.2, No.3)を打ってあるが、各点の示す空隙づまり状態はそれぞれ表-2に示す意味を持っている。

プロットの数値は定量的に求まるものであるが、様々な誤差要因を内包しており、数値自体厳密な精度を持つものとはいえない・実用上は、ベクトルダイヤグラム中に引かれたウェブ線に囲まれた範囲で分類できる程度を目標としている・分類としては、空隙づまり度が、ほぼ健全(25%以下)・ややづまり(25~50%)・つまり(50~75%)・つまり大(75~100%)、空隙づまり部位が、上(U50以浅)・やや上(U50~U75)・均等(U75~L75)・やや下(L75~L50)・下(L50以深)といった程度の判定に供することを目標としている・

5.試験測定

理論から予想される現象が実際にどのように起こるのかを観察するために,供試体を製作して確認試験を行った.供試体は端面効果を極力低減するために,500mm×500mmの広さを確保した.供試体種類は,健全,均等づまり,上づまり,中づまり,下づまりの5種類とした.~

の供試体は,薄い完全づまり供試体と健全供試体を別個に用意し,張り合わせて製作した.図-10にシミュレーションと測定の結果を共に示す.

シミュレーションから予想される理論値と測定値を比較すると,0.67nsの下づまりが見かけの比誘電率にして1以上異なっている.また,中づまりは約1,上づまりは約0.5異なっており,完全に一致するとは言えない.

表-2 プロット点が示す状態

点番号	空隙づまり部位	空隙づまり度
No.1	上	ほぼ健全
No.2	均等	つまり大
No.3	やや下	つまり

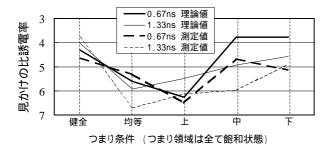


図-10 供試体による測定結果2)

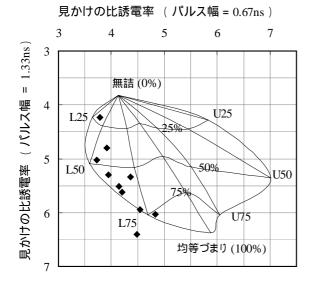


図-11 高速道路における試験測定結果

また,1.33nsについては,中づまりで約1,均等づまりと上づまりで約0.5異なっている.しかしながら,各供試体毎の測定値を結んだ線の変動形状は,0.67ns,1.33ns双方ともそれぞれのシミュレーションで予測される結果に類似しており,理論的に予測される現象が確かに起こっていることが認められる.

6. 実試験

(1) 電磁波法による結果

供試体試験により基本的現象が確認されたので,次に 実際の高速道路においてデータ取得を行った.データは 探査車を用いた連続走行測定法により取得した.結果を 図-11に示す.

この区間で測定された各点は,空隙づまり度25%から75%程度まで分布しているが,いずれも下づまりの傾向を示している.大部分が下4分の3から下半分程度がつまっていることを示す.

(2) 従来法との比較

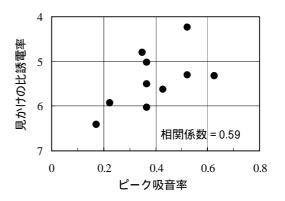


図-12 現場透水量試験結果との相関

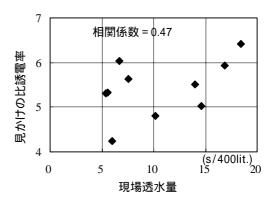


図-13 ピーク吸音率との相関

空隙づまり度推定のための従来法である透水量測定と吸音率測定を同一箇所で実施し、電磁波法の結果と照合した.これらの手法は、いずれも空隙づまり度の評価に適用され、空隙づまり部位を知るためのものではない、したがって、相関分析は空隙づまり度に対し比例的に反応するパルス幅1.33ns の測定値を使用した、結果を図-12、13に示す、相関係数は0.5~0.6程度であり、極めて良好というわけではないが、実用上十分な一致を示しているものといえる。

(3) コアサンプル

空隙づまり部位は,コアサンプルにより確認した.対象区間でコア削孔を行い,採取したコアサンプルの空隙中に着色した粘性材を圧入した後,スライスして写真撮影を行った.結果を写真-1に示す.

上部はスライスの原写真であり,下部は空隙領域と空隙づまり領域がよくわかるように作図で示したものである.この写真では上部に空隙が集中しており,空隙づまり領域は中央から下部に集中しているのが観測される.電磁波法による測定結果(図-11)でも下づまりであることが示され,スライス観測の結果とよく一致する.

図-14は,舗設直後の排水性舗装で測定した結果を

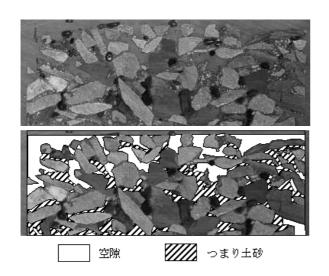


写真-1 舗装サンプルによる断面写真

ベクトルダイヤグラム上にプロットしたものである.ばらつきはあるが,理論値の周辺に分布しており,健全状態をよく反映している.

7.まとめ

電磁波法を利用して,排水性舗装の空隙づまり状況を知る方法を考案した.空隙づまりの不均質さによって内部反射が発生し,表面反射に干渉することによって表面波強度が影響を受ける現象を利用する方法である.このために考案されたのがシミュレーションにより作成したベクトルダイヤグラムである.2 種類のパルス幅を持った電磁波を用いて反射波を測定し,ベクトルの成分としてベクトルダイヤグラム上にプロットし,位置から空隙づまり度と空隙づまり部位を同時に決定する.試験測定と高速道路での実測定を実施した結果 , ばらつきはあるものの,実用的には状況推定が可能であることがわかった.

見かけの比誘電率 (パルス幅 = 0.67ns)

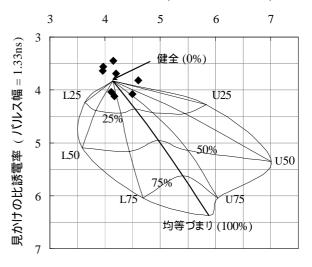


図-14 健全箇所のベクトルダイヤグラム

この方法は、電磁波の干渉現象を利用するという意味で過去に例を見ない方法であり、非破壊による排水性舗装の維持管理に有効性を発揮することが期待される.ただし、ベクトルダイヤグラムは、最も可能性の高い一連の空隙づまりパターンのみを前提モデルとしているため、より多層構造など、今回考慮しなかった種々の空隙づまりパターンが考えられる.さらなる実用化を図るためには、今後このようなパターンの影響も考慮したベクトルダイヤグラムの検証作業が必要である.

参考文献

- 関口幹夫,稲垣正晴:地中探査による舗装構造調査実施例, 舗装 vol. 29-7, pp33-38, 1994.
- 2) 山本稔 紺野義仁,池谷公一:音波・電磁波の反射特性による高機能舗装の空隙評価に関する研究、日本道路公団試験研究所報告, vol.39, pp29-39, 2002.

METHOD TO INSPECT PACKED AIR VOIDS IN DRAINAGE PAVEMENT BY INTERFERENCE OF ELECTROMAGNETIC WAVE

Masaharu INAGAKI and Kimikazu IKEYA

Drainage pavement has some beneficial functions. But it also has a disadvantage likely to lose its functions by having the pores become packed by fines such as soil and sand. We need to learn the condition, which are the portion and the degree of packing, in order to make a plan of appropriate recovery works. The actual packing condition is too complex to distinguish inner reflections. We made a concept by numerical simulation that the interfered compound reflection reflecting inner irregular conditions has characteristics due to pulse lengths. The simulation showed that the portion and the degree of packing could be determined by combination of each reflectivity by use of 0.67ns and 1.33 ns pulses. Experimental and field measurement demonstrated that this method is practically useful.