

NMRを利用したポーラスアスファルト混合物内部の間隙分布のイメージング

北海道大学工学部	正会員	姫野賢治
同	正会員	上島 壯
福田道路(株)技術研究所	正会員	帆苅浩三
(株)ブリヂストン	正会員	増田欽司
The Lovelace Institute	正会員	中川昌美

1. 緒言

ポーラスアスファルト混合物は、通常の密粒度アスファルト混合物とは異なり、骨材の細粒分を欠き、粗骨材を多用した混合物であるため、内部に連続した間隙を有する多孔質な構造体である。このような特徴を有するために、高い透水性と吸音性を有するが、この特性は、間隙率の値そのもののほかに、間隙の連続性とその幾何学的な性質が重要な役割を演じているであろうことは容易に想像できる。このような観点から、筆者らは、過去にポーラスアスファルト混合物にエポキシを注入して固化させ、切断することによって断面の画像データを集めて種々の解析を行ってきた。

しかしながら、この方法では、対象とする断面についての情報はかなり正確に得られるものの、カッターによる損傷がおおく、3次元的な情報を得るためには満足いくものではなかった。

このたび、NMRを利用して、ポーラスアスファルト混合物内部の間隙をイメージングできたので、報告をする。

2. NMRイメージングの原理

NMRは、Nuclear Magnetic Resonanceの略語で、核磁気共鳴と呼ばれており、これを利用した断層映像法が臨床医学を始めとしたさまざまな分野で大きな関心を集めている。これは、NMRイメージング、NMR-CT、MRIなどと呼ばれ、1) 非破壊的で対象に及ぼす障害が小さい、2) 物理情報のみならず化学情報も取得できる、3) 得られたデータの視覚的なイメージ化が容易である、などの特徴を有する一方、1) 対象が大きくなると装置が大かがりになる、2) 対象が金属を含むと映像が乱れる、などの欠点を有している。

NMRイメージングとは、測定の対象としている物質内の原子核の存在量を表すスピン密度や、原子核の動き易さを表す緩和時間などのNMRパラメータと呼ばれる信号強度を画像化することである。すなわち、対象物を磁場の中に置くと、プロトン(陽子)のように磁気モーメントをもつ物質は一定の周波数で歳差運動をするが、ここから得られる信号のスペクトルを観測することにより、そのプロトンの量と位置を知ることができる。

3. 実験方法

NMRによりイメージングを行うためには、ポーラスアスファルト混合物の間隙を水などのプロトンが豊富な物質で充填することが必要である。このため、切断法により断面を観察したときと同様に、真空装置で抜気することにより、すべての連続間隙を水で満たした。また、鉱物骨材中には、微量ながら金属が含まれ、予

備実験の結果、イメージングができなかったので、ここでは、アクリル樹脂による人工骨材を用いた。

供試体は、目標間隙率を変えて、マーシャル供試体の作製と同様な方法で合計18種類作製した。これらのうち、8枚を吸音試験、5枚を透水試験に、別の5枚をNMRイメージングに用いた。ただし、吸音試験用の供試体のみ、直径は85mmとした。また、利用したNMR装置は、アメリカのThe Lovelace Instituteが有するもので、分解能が約0.8mmで、プロトンの反応の強さを256諧調で検知することができる。得られたデータの型式をFigure 1に示す。

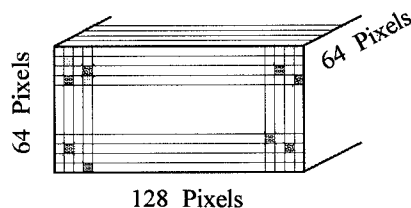


Figure 1 Array of NMR image data

4. 実験結果

4.1 イメージング結果

Photo 1に、得られた3次元的なデータを処理して描いたポーラスアスファルト混合物内部の水の分布のイメージ図を示す。黒いところは水との反応が弱いところで、骨材に用いたアクリルまたはアスファルトを示し、色の明るいところほど水、すなわち、混合物内部の間隙の存在の大きいことを表している。



Photo 1 A sample of graphics of NMR imaging

4.2 透水および吸音試験

Table 1 および Figure 2 に、透水試験結果と吸音試験結果を示す。これらより、間隙率と透水係数およびピーク吸音率との間には、具体的な数値に若干の特徴

が見られるものの通常のアスファルト混合物と同様な関係が認められ、骨材にアクリルを使用したことの積極的な弊害はなかったものと推定される。

Table 1 Results of experiments

No.	Measured void ratio [%]	Ratio of continuous void [%]	Peak acoustic absorptivity [%]	Frequency at peak absorptivity [Hz]	Coefficient of permeability [cm/s]
1	13.2	7.4	16	420	-
2	14.9	7.5	20	500	-
3	15.9	11.9	30	650	-
4	19.3	16.5	61	650	-
5	19.8	16.2	59	710	-
6	20.4	14.9	59	550	-
7	22.9	19.2	74	710	-
8	28.3	26.0	99	720	-
9	9.6	3.3	-	-	0.0652
10	10.5	2.7	-	-	0.0315
11	12.3	6.9	-	-	0.2941
12	16.3	12.5	-	-	0.5992
13	24.8	20.9	-	-	0.7929

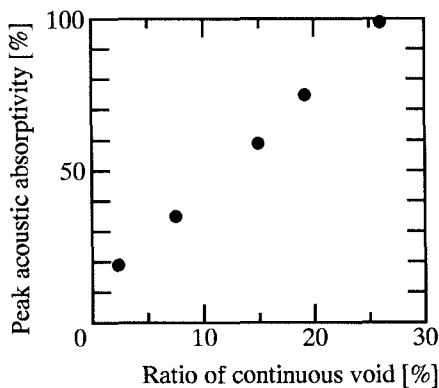


Figure 2 Peak acoustic absorptivity vs Ratio of continuous void

4.3 間隙分布のフラクタル次元

切断法のとときと同様に、供試体内部の間隙分布の質的な特徴を表現するために、フラクタル次元解析を実施した。解析方法は、スペクトル法を用いた。これは、対象が3次元的であるので、ボックスカウンティング法では解析が困難なためである。また、各ピクセルが水か否かを判断する際に256諧調のどこで区分するかについては、間隙率が実測値に一番近くなる値とした。

求められたフラクタル次元を Table 2 に、また、フラクタル次元と間隙率の関係を Figure 3 に示す。これより、今回の実験のように、一定の材料を用いる限り、間隙率とフラクタル次元の間には強い相関があり、どちらか1つの量が知れば、他方も推定できることになる。

Table 2 Results of fractal dimensions

No.	Measured void ratio [%]	Ratio of continuous void [%]	Fractal dimension
14	10.3	2.3	2.75
15	14.9	7.5	2.73
16	20.4	14.9	2.57
17	22.9	19.2	2.52
18	28.3	26.0	2.40

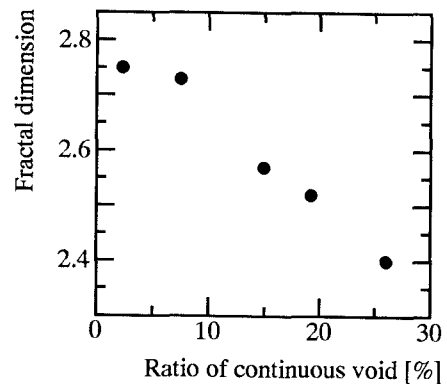


Figure 3 Peak acoustic absorptivity vs Fractal dimension

5. 結言

ポーラスアスファルト混合物の間隙の幾何学的な特徴をNMRイメージングによって初めて非破壊で捉えることができた。また、その特徴をフラクタル次元によって定量化することができた。今回は、一定の材料しか用いることができなかったが、骨材形状やアスファルト量などを変えることにより、同一の間隙率でも、フラクタル次元、すなわち間隙の質的性質が異なる可能性がある。ポーラスアスファルト舗装の種々の機能を論ずる際に、今後より詳しい見当が必要になるものと思われる。

なお、本研究は、ポーラスアスファルト研究会の活動の一貫で取りまとめたものである。謝意を表します。