

実用化間近な二層式排水性舗装 — その減音メカニズムと諸特性 —

小柴 剛* 上坂克巳** 並河良治***

1. はじめに

道路交通騒音には、エンジン等の機械起源のものと、タイヤと路面の関係で生起するものがある。排水性舗装は主に後者のタイヤ路面音の低減対策として用いられる。排水性舗装は舗装内部に空隙があり、これによって自動車の走行騒音を低減する。排水性舗装は高速自動車国道では(「高機能舗装」という名称が使われている)標準的になりつつあり、減音機能と降雨時の高い安全性のため、着実に施工面積を増やしている(平成11年度までの累計で推定3,000万 m^2)¹⁾。

また、平成13年に道路構造令が改正され、「トンネルを除いた第4種(都市部の一般道路)の道路の舗装は、必要がある場合においては、雨水を道路の路面下に円滑に浸透させ、かつ、道路交通騒音の発生を減少させることができる構造とするものとする」と明記された。そのため、今後は都市部の一般道路において排水性舗装がこれまで以上に利用されることが予想される。

一方、従来の排水性舗装の減音効果は施工直後で2~4dB程度²⁾であり、騒音対策として十分とは言えない。しかも、その減音効果は空隙詰まりや空隙潰れによって次第に失われていく³⁾。そのため、施工直後の減音効果がより大きく、かつ、その効果がより持続する新しい低騒音舗装が求められている。

その有力な候補として二層式排水性舗装がある。二層式排水性舗装は1984年頃から主にオランダで研究が進められ、一般的な排水性舗装よりも減音効果が2dB程度大きいと言われている⁴⁾。また、デンマークでも試験施工され、減音効果の持続性に関する研究を行っている⁵⁾。日本では1999年頃から試験施工が開始されている。

本報告では、まず、日本で敷設されつつある二層式排水性舗装の特徴や減音メカニズムについて概説する。次に施工初期における減音効果、排水能力、耐流動性を、試験走路や実道路での測定結果か

ら定量的に示し、今後の課題についても考察する。

2. 排水性舗装と二層式排水性舗装の舗装構造及び減音メカニズムの違い

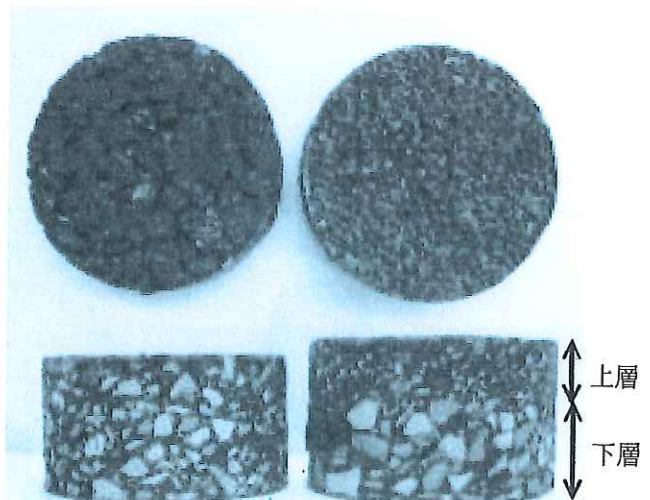
2.1 排水性舗装と二層式排水性舗装の舗装構造の違い

排水性舗装は不透水性の基層の上に空隙のある表層を設けた舗装である。そのため、雨水は表層内部を通過して基層に到り、基層上部に沿って道路の外に排出される。これが排水性舗装と呼ばれる所以である。日本では表層厚さ5cm、最大骨材粒径13mm、空隙率20%の仕様の排水性舗装(以下、一層式排水性舗装)が多く敷設されている(写真-1(a))。

二層式排水性舗装も不透水性の基層の上に空隙のある表層を設けた舗装である。しかし、一層式排水性舗装と異なり、表層が上層と下層の二つに分かれている。上層には、一層式排水性舗装よりも粒径の小さい、5mmあるいは8mmの骨材が使用されている(写真-1(b))。

2.2 一層式排水性舗装と二層式排水性舗装の減音メカニズムの違い

一層式排水性舗装の騒音低減に対するプラスの効果は、発生抑制と吸音の二つからなる。発生抑制効果は、路面とタイヤとの間に挟まれる空気



(a) 一層式排水性舗装 (b) 二層式排水性舗装
写真-1 一層式排水性舗装と二層式排水性舗装の構造

Double Layer Porous Asphalt Pavement Coming Into Use.
- Its Noise Reduction Mechanism and Characteristics -

圧縮・膨張が舗装の空隙により抑制される効果である。吸音効果は、騒音が車体下の多重反射時や伝播時に舗装の空隙により吸音される効果である。しかし、一層式排水性舗装は密粒舗装よりも表面が粗いため、タイヤの振動により騒音が大きくなる⁶⁾(マイナスの効果)。一層式排水性舗装が施工初期において2~4dBの減音効果を有するのは、上述のプラスの効果がマイナスの効果を上回るためであることが分かっている。

二層式排水性舗装では、一層式排水性舗装の上部を、下層と同程度の空隙を確保しつつ、より小さな粒径の骨材に置き換え路面を滑らかにしている。このことにより、一層式排水性舗装のプラスの効果は維持しつつ、マイナスの効果を改善している。そのため二層式排水性舗装は一層式排水性舗装よりもトータルの減音効果が大きい。

なお、二層式排水性舗装の下層に、一層式排水性舗装と同粒径の骨材を使用するのは、上層に小粒径の骨材を使用することによる耐流動性(わだち掘れ)の低下を軽減するためである。

3. 二層式排水性舗装の敷設方法と日本国内での普及状況

3.1 二層式排水性舗装の敷設方法の種類

二層式排水性舗装には、以下の2つの施工方法がある。

- (1) 排水性舗装を敷設する際に使用する機械を用いて上層と下層を別々に施工する方法(以下、各層施工)。主にヨーロッパで使用されている。
- (2) マルチアスファルトペーパ(MAP)と呼ばれる二層を同時に施工する専用敷設機械(写真-2)を用いて施工する方法(以下、MAP施工)。日本でのみ使用されている。

3.2 各層施工とMAP施工によって敷設された二層式排水性舗装の相違点

各層施工とMAP施工とでは二層式排水性舗装

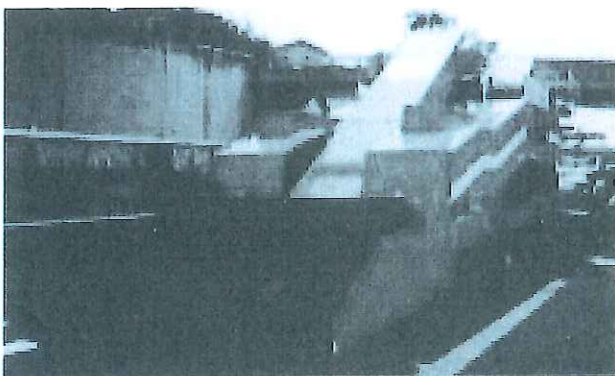


写真-2 マルチアスファルトペーパ(MAP)の外観

の施工時間に大きな差がある。各層施工では、同じ箇所でも二度敷設作業が必要なため、二層を同時に施工するMAP施工よりも施工時間が長くなる。また、各層施工とMAP施工とでは、敷設後の構造も異なる。両者の断面構造の違いを図-1に示す。各層施工の場合、下層が固まってから上層を施工するために、上層と下層の骨材の混合が少なく、その境が明確である。一方、MAP施工の場合、下層を締め固めないうちに上層を施工するため、上層と下層の骨材が混合し、空隙率の小さい層(以下、中間層)が生じる。

3.3 日本国内で施工されている二層式排水性舗装の仕様と普及状況

東北、関東、中部、北陸、近畿、中国、四国、九州地方整備局管内に施工された二層式排水性舗装の仕様と施工数のアンケート調査を平成13年6月に行った。その調査結果を表-1に示す。また、表-1にはオランダで試験施工された二層式排水性舗装の仕様も参考として載せている。

本調査結果によると、直轄国道での二層式排水性舗装の施工数は18件であり、これらはすべてMAP施工である。また、最も多く敷設された二層式排水性舗装の仕様は舗装厚さ：上層2cm、下層3cm、最大骨材粒径：上層5mm、下層13mmであった(8件)。

4. 施工直後における二層式排水性舗装の減音効果、排水能力、耐流動性

我が国で敷設されつつあるMAP施工の二層式排水性舗装の減音効果、排水能力、耐流動性を明らかにするため、国土技術政策総合研究所の試験走路に表-2に示す各種排水性舗装を敷設した。一層式排水性舗装の仕様は日本で最も多く施工されているものである。二層式排水性舗装はより大きな減音効果を得る目的で一層式排水性舗装よりも空隙率(23%)を大きくした。また、比較のため

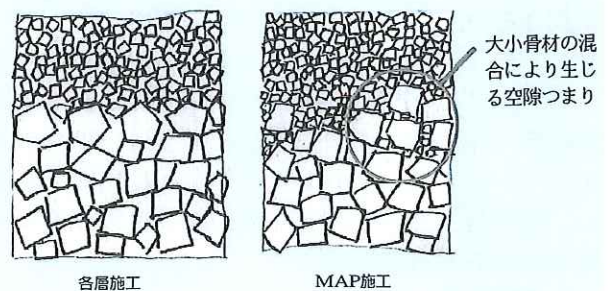


図-1 各層施工とMAP施工により敷設した二層式排水性舗装の断面構造の違い

表-1 日本国内で施工されている二層式排水性舗装の仕様と普及状況

| 地方整備局名 | 路線名 | 舗装厚 (cm) (上層/下層) | 空隙率 (%) 上層/下層 | 最大骨材粒径 (mm) (上層/下層) | 施工時期 | 施工方法 |
|--------------------|------|---------------------|------------------|---------------------------|--------|------|
| 関東 | R16 | 2/3 | 24/21 | 5/13 | H12.6 | MAP |
| | R246 | 2/3 | 20/20 | 5/13 | H12.8 | MAP |
| | R357 | 2/3 | 23/20 | 5/13 | H11.10 | MAP |
| 中部 | R1 | 1.5/4.5 | 23/23 | 5/20 | H12.2 | MAP |
| | | 1.5/3.5 | 20/20 | 5/13 | H12.2 | MAP |
| | | 2/4 | 25/20 | 5/13 | H12.9 | MAP |
| | R23 | 2/3 | 23/25 | 5/13 | H12.11 | MAP |
| | | 1.5/3.5 | 23/25 | 5/13 | H12.11 | MAP |
| R302 | 2/3 | 23/25 | 5/13 | H11.6 | MAP | |
| 北陸 | R7 | 2/3 | 20/20 | 8/13 | H12.11 | MAP |
| | R8 | 2/3 | 20/20 | 8/13 | H12.6 | MAP |
| | | 2/3 | 20/20 | 8/13 | H12.7 | MAP |
| | | 2/3 | 23/25 | 5/13 | H12.6 | MAP |
| 近畿 | R25 | 2/3 | 25/25 | 5/13 | H13.4 | MAP |
| 中国 | R2 | 2/4 | 23/25 | 5/20 | H12.3 | MAP |
| | | 2/3 | 24/24 | 5/13 | H11.12 | MAP |
| 四国 | R11 | 2/3 | 20/20 | 5/13 | H13.2 | MAP |
| | | 2/3 | 20/20 | 8/13 | H13.2 | MAP |
| (参考) | | 2.5/4.5 | | 8/16 | | 各層 |
| オランダ ⁶⁾ | | 1.5/3.5 | | 8/16 | | 各層 |
| | | 1.5/4.5 | | 8/16 | | 各層 |
| | | 2.5/4.0 | | 8/16 | | 各層 |
| | | 1.5/4.5 | | 4/16 | | 各層 |

表-2 各種排水性舗装の配合設計時の仕様

| 舗装種類 | 一層式 排水性舗装 | 二層式排水性舗装 | | | | |
|-------------|--------------|----------|---------|-----------|-----------|----|
| | | ① | ② MAP施 | | ③ 各層施工 | |
| | | | 上層 | 下層 | 上層 | 下層 |
| 舗装厚 (cm) | 5.0 | 1.5 | 3.5 | 1.5 (2.0) | 3.5 (3.0) | |
| 空隙率 (%) | 20 | 23 | 23 (20) | 23 | 23 | |
| 最大骨材粒径 (mm) | 13 | 5 | 13 | 5 | 13 | |
| 舗装延長 (m) | 80 | 40 | | 40 | | |

オランダ、デンマークで利用されている各層施工の二層式排水性舗装も併せて敷設した。これらの排水性舗装は、高粘度改質アスファルトよりも耐流動性を向上させたバインダーを使用している。なお、表-2の括弧内の値は、敷設後に切り取ったコアサンプル(各舗装で3個)の厚さや空隙率の測定結果の平均値であり、仕様と異なった場合のみ示している。なお、デンマークでの施工例⁵⁾に倣い、各層施工では上層と下層の間にアスファルト乳剤を散布しなかった。

4.1 実験方法

(1) 減音効果

各種排水性舗装の減音効果を算出するために

試験車のパワーレベル(試験車が放出する1秒間当たりの音のエネルギー)を測定した。パワーレベル測定は、車両走行中心線から側方7.5m、高さ1.2mの位置にマイクロフォンを設置して行った。試験車は乗用車と大型貨物車を用いた。走行速度は、乗用車では40~120km/h、大型貨物車では40~100km/hで10または20km/hきざみで変化させた。パワーレベルは各速度につき5回測定し、その平均値を算出(ピーク法)した。なお、減音効果を算出するため、一層式排水性舗装と隣接する密粒舗装でも同様の測定を行った。なお、ここで減音効果とは各種排水性舗装と密粒舗装のパワーレベルの差をいう。

(2) 排水能力

各種排水性舗装の排水能力を評価するために現場透水試験を行った。現場透水試験は、舗装試験法便覧別冊⁷⁾に準拠して行い、一つの舗装につき4箇所を試験を実施し、その平均値から15秒間で排出される水量を算出した。

(3) 耐流動性

各種排水性舗装の耐流動性を評価するためにホイールトラッキング試験を行った。ホイールトラッキング試験は舗装試験法便覧別冊⁷⁾に準拠して行い、一つの舗装につき供試体を施工箇所から3個切り出し、その平均値からDS値(4.2(3)参照)を算出した。

4.2 実験結果

(1) 減音効果

乗用車走行時の減音効果を図-2に示す。MAP施工の二層式排水性舗装による減音効果は4.5~7.9dBであり、全ての速度域において一層式排水性舗装による減音効果を上回り、その差は0.9~3.4dBである。

ここで、両者の減音効果に差異が生じた理由を、2.2で述べた両者の減音メカニズムの違いから説明するため、80km/h走行時におけるパワーレベ

ルの周波数分析結果を図-3 に示す。なお、従来の研究では、舗装が有する空隙による発生抑制及び吸音の効果は約 500Hz 以上で表われ 2kHz で顕著になる⁸⁾ と言われている。また、路面の粗さ(凹凸)の影響は 1kHz 以下で生じ、500Hz 付近で大きくなる⁹⁾ ことが示されている。

以下の点を踏まえて図-3 を見ると、一層式排水性舗装では、800Hz 以上では舗装の空隙によるプラスの効果を確認できるものの、500~630Hz では路面の粗さによるマイナスの効果がプラスの効果と相殺していると考えられる。一方、二層式排水性舗装では、一層式排水性舗装よりも路面が滑らかなため、マイナスの効果が顕在化せず、500~630Hz においても、密粒舗装に対する減音効果が確認できる。なお、この 500~630Hz は、騒音レベルのピークとなる周波数帯域であり、騒音レベルのオーバーオール値の低減に大きく関わっている。

一方、図-2 において、MAP 施工の減音効果は各層施工よりも小さくなった。これは、MAP 施工の中間層が吸音効果を低下させている可能性がある。ただし、舗装厚さが厚いほど吸音効果も大きくなるため¹⁰⁾、各層施工の上層の厚さが設計より厚く(1.5cm から 2cm) になったことも、各層施工の吸音効果が大きくなった原因の一つである可能性がある。

大型貨物車の減音効果を図-4 に示す。MAP 施工の二層式排水性舗装の減音効果は約 3dB であり、乗用車の減音効果よりも小さい。これは、大型貨物車は走行騒音に占めるエンジン音の寄与が大きいため、抑制効果が相対的に低下したことやタイヤ特性の違いが原因と考えられる。また、一層式排水性舗装と比較すると、各層施工の減音効果は約 1dB 向上したが、MAP 施工の減音効果は顕著な向上が見られなかった。

(2) 排水能力

各種排水性舗装の現場透水試験の実験結果を表-3 に示す。

MAP 施工および各層施工の二層式排水性舗装の排水量は、それぞれ 1,240ml/15s、1,290ml/15s であり、一層式排水性舗装の排水量 1,260ml/15s と比べて、大きな差は見られなかった。また、すべての舗装で排水性舗装の構造に関する技術基準¹¹⁾ で規定されている排水量の基準値 1,000ml/15s を上回った。また、MAP 施工と各層施工の排水量の差は小さく、中間層の排水量への影響は少ないと考えられる。

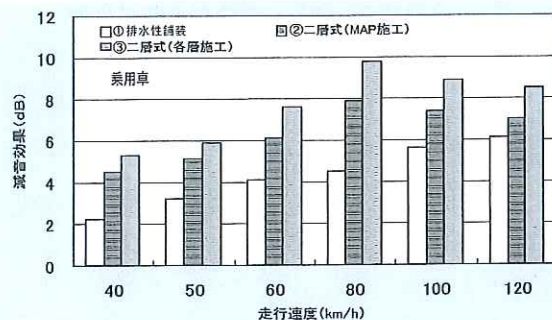


図-2 各種排水性舗装を走行する乗用試験車の減音効果

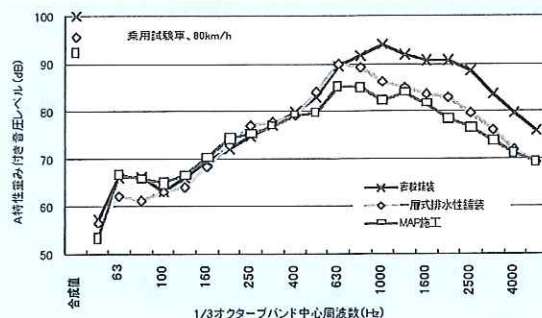


図-3 乗用車のパワースペクトル (80km/h)

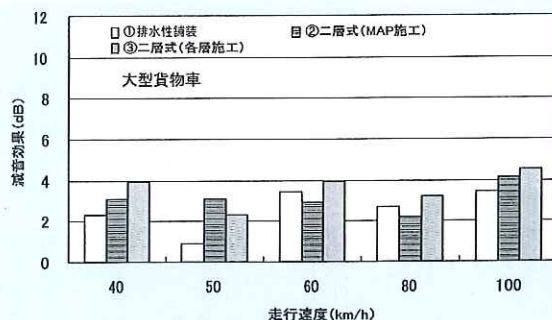


図-4 各種排水性舗装を走行する大型貨物試験車の減音効果

表-3 各種排水性舗装の排水量 (ml/15s)

| ① 排水性舗装 | 二層式排水性舗装 | |
|---------|----------|--------|
| | ② MAP 施工 | ③ 各層施工 |
| 1,260 | 1,240 | 1,290 |

(3) 耐流動性

各種排水性舗装のホイールトラッキング試験の実験結果を表-4 に示す。DS 値は舗装の耐流動性を表す指標であり、DS 値が大きいほど耐流動性が大きいことを示す。

各層施工および MAP 施工の二層式排水性舗装の DS 値は、それぞれ 2,670 回/mm、7,580 回/mm であり、各層施工と比べて MAP 施工では耐流動性が大きく向上している。これは MAP 施工の中間層によって上層と下層の骨材のかみ合わせが良くなったことが原因と考えられる。

また、排水性舗装技術指針(案)¹²⁾ に排水性舗

表-4 各種排水性舗装の動的安定度 (DS 値)

| 排水性舗装 | 二層式排水性舗装 | |
|------------|----------|--------|
| ① 13mm、20% | ② MAP 施工 | ③ 各層施工 |
| 8,330 | 7,580 | 2,670 |

装の DS 値の目標値が設定されている。目標値は大型車交通量によって異なり、大型車交通量の多い道路では 1,500 回/mm であり、大型車交通量が著しく多い道路では 3,000 回/mm である。各層施工の DS 値は 3,000 回/mm 以下であったため、大型車交通量が著しく多い道路には MAP 施工が適していると考えられる。

5. 実道に敷設された二層式排水性舗装のタイヤ近接音とその経時変化

4. で示した施工直後の二層式排水性舗装の減音効果は、特に乗用車で大きくなった。しかし、二層式排水性舗装の減音効果も、一層式排水性舗装と同様に空隙詰まりや空隙潰れによって、時間の経過とともに次第に失われていくことが考えられる。そこで、中部地方整備局中部技術事務所が行ったタイヤ近接音 (写真-3 のマイクロホンのある位置での時間平均騒音レベル) 測定結果を用いて、二層式排水性舗装を走行する乗用車のタイヤ近接音の経時変化を調べた。

5.1 試験方法

測定が行われた二層式排水性舗装の仕様を表-5 に示す。この仕様は日本で最も施工実績がある仕様である (3.3 参照)。なお、敷設箇所近辺の交通量は 24,000 台/日であり、大型車混入率は 18% である。



写真-3 タイヤ近接音のマイクロフォン設置位置

表-5 国道 302 号に敷設された二層式排水性舗装の仕様

| 路線名 | 舗装厚 (cm) (上層/下層) | 空隙率 (%) (上層/下層) | 最大骨材粒径 (mm) (上層/下層) |
|------|---------------------|--------------------|------------------------|
| R302 | 2/3 | 23/25 | 5/13 |

タイヤ近接音測定は施工直後、7ヶ月後、15ヶ月後に行い、三回とも同じ乗用試験車とタイヤを使用した。試験車の走行速度は 50km/h (定常走行) であり、測定回数は 3 回である。また、4. で示した国総研の MAP 施工の二層式排水性舗装上でも、本測定と同じ試験車とタイヤを使用して同様のタイヤ近接音測定を行い、実道路の二層式排水性舗装との比較を行った。

5.2 タイヤ近接音の経時変化 (施工後 15ヶ月まで)

図-5 に二層式排水性舗装を走行する乗用車のタイヤ近接音の経時変化を示す。試験走路と施工直後の実道路のタイヤ近接音はそれぞれ 84.2dB、84.9dB であり、同等の値となった。また、実道路のタイヤ近接音は施工 7ヶ月後で 3.4dB 上昇するものの、その後はそれ以上大きくなり、安定する傾向が見られた。また、二層式排水性舗装の施工 15ヶ月後のタイヤ近接音は、同期間経過した一層式排水性舗装 (今回測定した実道の二層式排水性舗装に隣接) のタイヤ近接音よりも 2.1dB 低いことが確認されている¹³⁾。

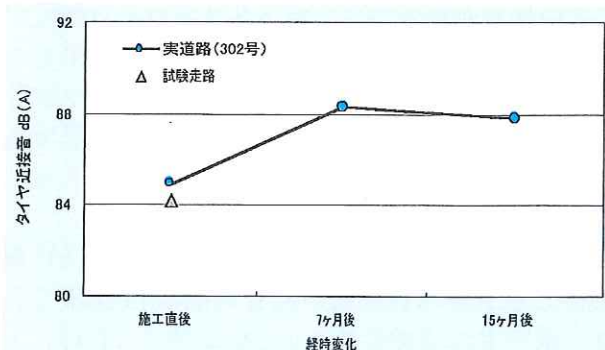


図-5 二層式排水性舗装を走行する乗用車のタイヤ近接音の経時変化

5.3 高圧洗浄による二層式排水性舗装の減音効果の回復

5.2 のタイヤ近接音の経時変化は、機能回復のための高圧洗浄を行わなかった場合である。高圧洗浄をした場合の経時変化に関する研究は、オランダで行われている。その結果、二層式排水性舗装の減音効果が 1 年に 2 回の高圧洗浄で長い間持続すると報告¹⁴⁾している。

同報告では減音効果が持続した理由として以下の二つをあげている。(1) 二層式排水性舗装は上層に小粒径の骨材を使用するため、内部に流入する土砂径に対し下層の空隙径が大きくなり、土砂の排出が容易になる (フィルター効果)。(2) 土砂が溜まったとしても、その大部分は上層に溜まるため高圧洗浄により取り除きやすくなる。

しかし、日本では MAP で二層式排水性舗装を

敷設しているため、中間層が下層への土砂の排出を妨げ、その効果が得られない可能性がある。

6. おわりに

日本で施工実績がある MAP 施工の二層式排水性舗装の施工初期の減音効果、耐流動性について検討を行ない、以下の点を明らかにした。

- 1) 減音効果は乗用車で特に大きく、80km/h では一層式排水性舗装よりも 5.3dB 上回る。
- 2) 耐流動性を表す DS 値は 7580 回/mm が得られ、大型車交通量が著しく多い道路でも敷設できると考えられる。
- 3) 各層同時施工のため、各層を別々に施工する場合と比べ施工時間が短縮でき、供用道路での敷設に適している。

以上より、MAP 施工の二層式排水性舗装の実用化は間近だと考えている。ただし、今後の主な課題として、以下のものが考えられる。

- 1) 性能規定発注を行なう場合の騒音の測定方法や規定値が明らかにされていないこと
- 2) 減音効果の経時変化が明らかにされていないこと。特に日本では MAP 施工によって二層式排水性舗装を敷設するため、中間層による下層への土砂排出の阻害が原因で、減音効果の低下が各層施工よりも早まる可能性がある。

二層式排水性舗装は新道路技術五箇年計画の重点開発項目として位置付けがされている。このような観点からも、現場においても積極的に実証試験を行い、そのデータをできるだけ多く提供して頂けると幸いである。提供頂いたデータは、特に上述の課題を解決するために活用していきたいと考えている。また、本報に対する質問・意見を頂けると幸いである。

< e-mail : koshiba-t92de@nilim.go.jp >

謝辞

写真-2 を提供して頂いた世紀東急工業(株)、実

道でのデータを提供して頂いた中部技術事務所、海外における二層式排水性舗装に関する有益な情報を頂いた Ulf Sandberg 氏、C.J. Padmos 氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岡部俊幸、入江大輔：低騒音舗装の経年変化に伴う騒音特性，舗装，36-10，pp.4-9，2001.
- 2) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，Vol.55，No.4，pp.303-305，1999.
- 3) 小柴剛、上坂克巳、並河良治、大西博文、近藤升：排水性舗装の騒音低減効果の経年変化について，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，pp.301-304，2001.
- 4) C.J. Padmos：Development of low noise surfacing in the Netherlands，International Conference on roadside noise abatement，pp.1-9，1995.
- 5) Bendtsen, Hans, Larse, Lars Ellebjerg, Kragh, Jogen：Two-layer Drainage Asphalt -Noise Reduction and Clogging，inter noise 2001，2001.
- 6) 小柴剛、上坂克巳、大西博文、近藤升：排水性舗装における車両の手動変速機の変速段の違いによるパワーレベル-低速域で走行する大型貨物車と乗用車の騒音低減効果の違い-，日本音響学会講演論文集，春季，pp.739-740，2001.
- 7) 日本道路協会：舗装試験法便覧別冊，pp.14-19，1997.
- 8) 小柴剛、大西博文、近藤升：排水性舗装の空隙率と自動車騒音の低減効果との関係に着いて，日本音響学会講演論文集，秋季，pp.589-590，2000.
- 9) 押野康夫：タイヤ/路面騒音とその測定方法に関する国際動向，日本音響学会誌，49 卷，pp.293-299，1993.
- 10) 山口道征：排水性舗装の吸音効果について，日本音響学会誌 54 卷第 4 号，pp.320-326，1998.
- 11) 日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説，p.9，2001.
- 12) 日本道路協会：排水性舗装技術指針(案)，p.34，1996.
- 13) 石川賢一、石渡俊吾、植田知孝、山崎孝、上坂克巳：二層式排水性舗装の騒音低減効果について(第二報)，日本音響学会講演論文集，秋季，pp.855-856，2001.
- 14) G.G. van Bochove, F. van Gorkum:Two layered porous asphalt -A new concept, Civil technical properties and experiences, 1997.

小柴 剛*



国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部道路環境研究室研究官
Tsuyoshi KOSHIBA

上坂克巳**



同 道路環境研究室主任研究官
Katsumi UESAKA

並河良治***



同 道路環境研究室長
Yoshiharu NAMIKAWA