

(12) 都市内熱環境・交通騒音問題改善について (透水性舗装の環境工学的意義)

IMPROVEMENT FOR THERMAL ENVIRONMENTAL CONDITION AND REDUCTION OF TRAFFIC ROAD NOISE IN URBAN AREA (APPLICABILITIES OF POROUS PAVEMENT IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING)

横川 貢雄*, 吉田 真悟*, 岩井 茂雄**, 三浦 裕二**
Tsuguo Yokokawa*, Shingo Yoshida*, Shigeo Iwai**, Yuji Miura**

ABSTRACT: There are many problems to make solve for urban environment, such as 1) noise and vibration, 2) thermal environment (ex. urban heat island phenomena), 3) air pollution, 4) solid and liquid wastes. By the way, porous pavement has developed and carried out to pave on a road, and has many merits as improving the hydrology, ecology and so on in urban area. Applicabilities of the porous pavement for the improvement of the thermal environmental condition and the reduction of the traffic road noise in urban area is shown in this paper. Some field test results are shown the applicabilities to improve and reduce the above problems.

KEY WORDS: thermal environment, tyre/road noise, porous pavement, heat balance, acoustic absorption

1. はじめに

近年、大都市は人口集中と自然環境や社会環境のアンバランスな共存により①都市内の熱環境悪化、②交通騒音・振動、③大気汚染、④多種多量の廃棄物の発生、など都市特有の公害の発生を招き、都市内での快適な生活を妨げる大きな要因となっている。上記の要因だけではなく都市環境問題は、複雑多岐にわたり、その解決にあたっては、体系的なアプローチが不可欠である。都市環境改善システムを構築するにあたっては、発生源、伝播経路そして、影響を受ける対象や範囲が重要となる。これらは、上記システムのサブシステムとして位置づけされる。

透水性アスファルト舗装（以下透水性舗装と称す）は粗粒度のアスファルト混合物を表層に用い、降雨水などの表面排水を舗装体内に浸透させる機能を持つ舗装として発達してきた。南アフリカ共和国、欧米の高速道路ではハイドロプレーン現象防止舗装（Friction Corse）として採用されている¹⁾。しかしこれは表面排水の表層を通して路側へ集中し処理するものであった。我国では、図-1に示すように降雨水を舗装体内に一時貯留させると同時に、路床を通して地中に浸透させる

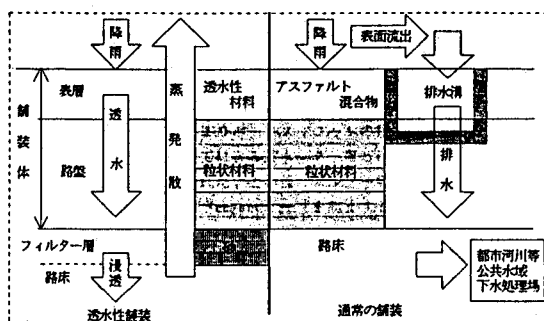


図-1 透水性舗装概念図

* 日本大学大学院理工学研究科 POST GRADUATED STUDENT. NIHON UNIVERSITY

** 日本大学理工学部交通土木工学科 DEPT. of TRANSPORTATION ENG. NIHON UNIVERSITY

構造を持つものを透水性舗装として、路面排水だけでなく雨水流出量の抑制機能を付加した舗装として普及してきた。

本研究は道路舗装に透水性舗装を適用した場合、都市環境改善システムのサブシステムに当たる都市内熱環境および、交通騒音改善に対する検討を目的とする(図-2)。

2. 透水性舗装の熱収支特性について

今日、大都市ではヒートアイランド現象や都市の砂漠化(高温・乾燥化)現象などがおこっている。これらの原因としては、人口集中・産業集中に伴う道路・建築物等による地表面の被覆率増加、緑地・水辺の減少、人工排熱の増加などが挙げられる。改善策として、エネルギー消費の抑制、公園面積確保などが挙げられるが、現象の発生源・伝播経路が複雑化しているためトータルの改善策はまだ無いというのが現状である。そこで、まずは各分野での問題解決が急務となっている。ここでは、路面に空隙を持ち蒸発散が可能な透水性舗装の熱収支特性について検討した。

2. 1 アスファルト舗装

道路は、都市面積の約10~15%を占める。道路舗装、特にアスファルト舗装は、日中太陽の日射を熱エネルギーとして舗装体内に蓄え、夜間にその熱を大気に放射する。これは、夏の熱帯夜の一因でもある。また、舗装上に降った雨は側溝から河川に排出されるため、自然の水循環機能が妨げられ、都市内乾燥化の原因にもなっている²⁾。そこで、舗装に空隙を持たせることにより、舗装の温度がどのように変化するかを実験的に調べた。

2. 2 透水性舗装の熱収支の測定および結果

舗装の表面構造の違いが、舗装体の温度特性にどれくらい影響するかを調べるために、図-3のようにアスファルト舗装部の空隙率だけを変化させ、下部構造を同一にした試験舗装を千葉県船橋市、日本大学理工学部習志野校舎内に施工した。舗装表層部は通常舗装と15%、20%、25%の連続空隙を持つ透水性舗装とし、表-1の項目について測定をおこなった。以下、通常舗装と透水性舗装(空隙率20%)についての比較・検討結果を示す。

図-4、図-5、および図-6は、平成元年6月2日の19:00から翌3日の19:00の各気象要因と表面温度および地中温度の測定結果である。気象要因が同一にもかかわらず表面温度、地中温度とも舗装表層部の違いによる差が見られる。表面温度差は、最大で約2.5℃(21:00)である。地中温度については地中50cmまでについて透水性舗装の方が全体的に低くなっている。これは、3日

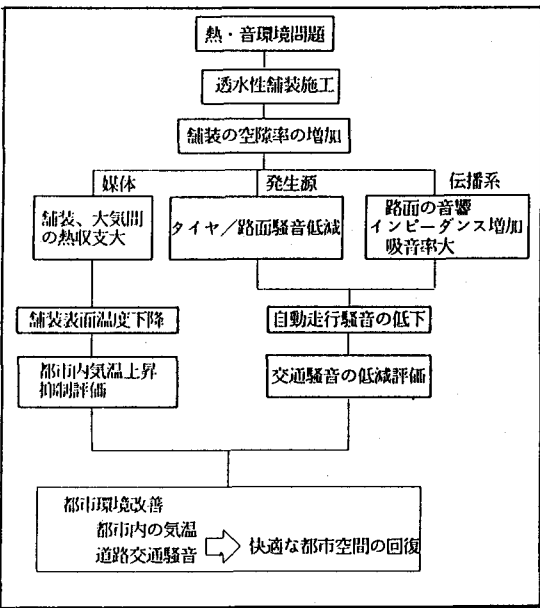


図-2 都市環境改善サブシステム

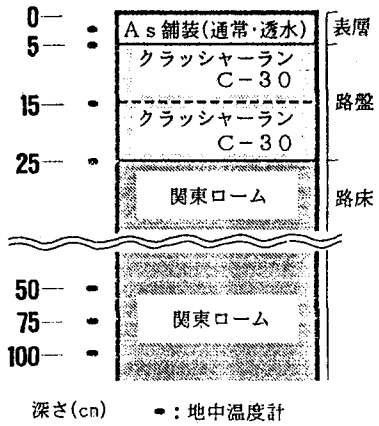


図-3 試験舗装断面図

表-1 測定項目一覧表

測定項目	
気象要因	気温・相対湿度・気圧・風速・日射量
地表・地中温度	各舗装の表面温度 各舗装の2.5cm・5cm・15cm・25cm・50cm・75cm・100cmの地中温度

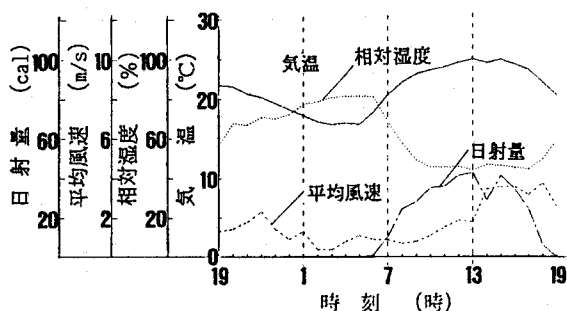


図-4 気象観測結果

前の降雨（10mm程度）の影響のためと思われる。50cm以下の地中温度については両舗装間に差はみられなかった。

図-7は、表面と地中5cm（表層部）との温度差で熱の移動量の試算結果である。図中の負符号は熱の吸収、そして正符号は熱の放射を示している。吸収・放射ともに透水性舗装の方が大きい値を示しており、大気との熱交換が大きいことを示している。この熱交換の際に透水性舗装は、舗装体内に含まれている水分を蒸発させ温度上昇を緩慢にしていると考えられる。

透水性舗装の熱特性について実験結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 透水性舗装の表面温度は、通常舗装に比べて暖まりやすく冷めやすいという特徴があり、全体的に低くなる。
- (2) 透水性舗装の地中温度は、通常舗装に比べて全体的に低くなる。
- (3) 透水性舗装は通常舗装に比べて大気との熱交換が大きい。

3. 自動車走行騒音

自動車走行騒音に対する住民からの苦情は、自動車交通量・都市内流入交通量の増大、大型車混入率の増大、道路・沿道施設整備の不完全さなどの要因により年々増加の傾向にある。これらの対策として、自動車の改良、交通流対策、道路構造対策、沿道対策などが実施されてきたが、いまだ決手手欠いている。

自動車走行騒音は、高速時において排気音、伝達系音、エンジン音、風きり音などに比べてタイヤと路面との相互関係によるタイヤ／路面騒音によって支配される。従って、安全・迅速・快適な移動を求める都市生活のなかで自動車走行騒音の主要な発生源である、タイヤ路面騒音の対策は、運転者、沿道住民にとって必要不可欠となっている。

3. 1 タイヤ／路面騒音低減および路面吸音効果

タイヤ／路面騒音は発生源構造が複雑である。近年、欧米諸国の研究者によりタイヤ／路面騒音は主とし

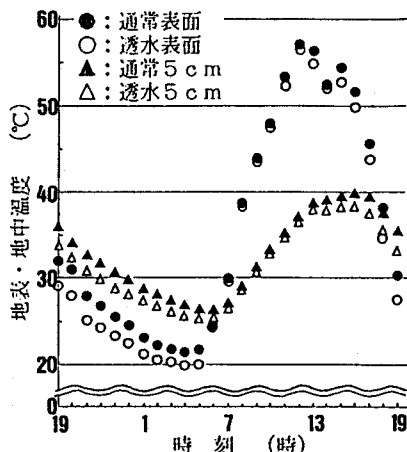


図-5 地表・地中温度測定結果

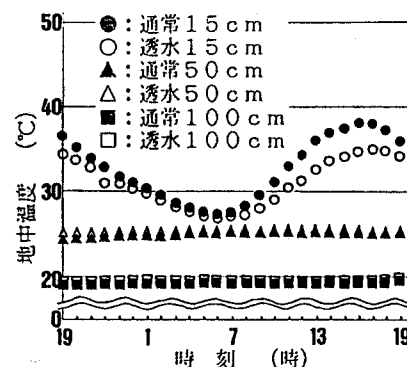


図-6 地中温度測定結果

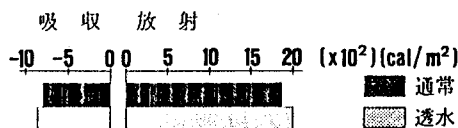


図-7 熱の移動量（吸収・放射）

てタイヤの振動、エアーポンピング、タイヤトレッドが路面に衝突する時に生ずる接線運動、不安定なトレッド曲げ運動、そして放射（ホーン増幅、ヘルムホルツ共鳴）により構成されており、騒音発生に路面性状が強い影響力を持っていることが報告されている³⁾。

Hecklの「静かなタイヤは危険である」という概念はすでに矛盾しており、空隙を持った路面の作用によって「安全なタイヤは静かである」ことが充分可能であることを示した³⁾。NelsonとAbottは、空隙のある路面について実験して「タイヤ騒音と路面滑り抵抗は相関性が大きい」とし、路面粗さが粗になっても普通車で5dB(A)、大型車で4dB(A)タイヤ騒音を減衰できると報告している²⁾。これらに加え、Sandbergは騒音伝播経路を空隙を持つ路面にすると吸音効果があることを示した⁴⁾。以上の共通する事項として、連続の空隙を持つ路面の場合、音源または伝播経路における音吸収が可能であることがあげられる。

通常、吸音材の吸音特性を測定する場合は残響室法（JIS-A-1409）か管内法（JIS-A-1405）が用いられる。しかしこれらは、音を垂直入射させる方法であり道路舗装の吸音特性を調べるのには非現実的である。また、音がさまざまな路面上を伝播する場合、幾何音響学における距離拡散減衰だけではなく路面（土、草、アスファルト舗装）の影響が大きい（超過減衰）ことが知られている。近年、多孔材のインピーダンスおよび伝搬定数を与えるモデル式（例えば、Delany-Bazley、Morse-Ingardの式）により、地表面での減衰特性を表現できることが報告されている⁵⁾。

3. 2 透水性試験舗装

空隙率、断面構造の違う3種類の透水性舗装を、2.2で述べた同じ敷地内に、騒音測定用の試験舗装として施工した。平面図、路面性状を図-8、表-2に示す。透水性舗装Aは1987年5月、透水性舗装B、Cは1988年7月に施工したものである。なお、透水性舗装Aは、1.

3. 3 タイヤ/路面騒音測定条件及び方法

騒音測定試験では普通貨物車（4ト）に7.50-16-14PR（リバターン）、7.50-14PR（リバターン）の2種、2000cc普通乗用車にサイズ175-14PR（リバターン）の1種のタイヤをそれぞれ装着した。走行速度として20、40、60、80km/hの4種を設定し、舗装路面は乾燥、湿潤（散水車により散水）の2条件とした。タイヤ騒音測定はJASO-C-606（騒音計設置位置：走行中心線より3m、6.75m、7.5m、高さ1.2m）の実車簡性走行試験法に基づいて実施した。

また、図-9のように走行車線だけでなく騒音伝播経路上の路面に透水性舗装を設定した場合の、路面の違いによる伝播騒音減衰量を測定した。

3. 4 測定結果

(A) 路面粗さと騒音レベル

図-10は路面粗さと騒音レベルとの関係である。図中、金泉らの測定結果⁷⁾は通常舗装のものであり、路面粗さが大きくなるにつれ騒音レベルが大きくなるのがわかる。それに対し、Nelsonらの測定結果⁴⁾である

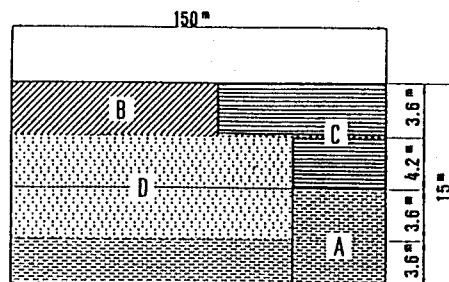


図-8 試験舗装平面図

表-2 試験舗装特性値

	通常舗装D	透水性舗装A	透水性舗装B	透水性舗装C
空隙率(%)	—	20	21	25
路面粗さ(ma)*	1.54	1.98	2.57	1.24
滑り抵抗値**	65	63	68	71

*)オット・バートン法にて測定

**)ギラツ・スキャットメータにより測定(BPN値)

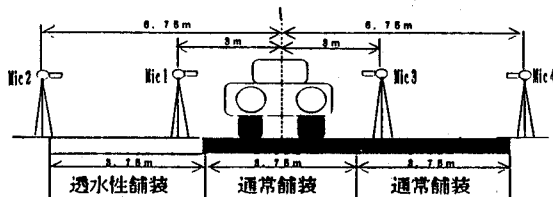


図-9 路面吸音効果試験

透水性舗装の騒音レベルは、75～80dB(A)間で多少ばらつきがあるものの路面粗さにはほぼ無関係となっている。また、著者らの透水性舗装の測定結果では騒音レベルの減少が顕著である。これは、透水性舗装の連続した空隙の影響であると考えられる。

(B) 速度と騒音レベル

図-11は4トン普通貨物車にサイズ7.50-16・14PR、リブパターンのタイヤを装着した場合は路面が湿潤状態についての速度と騒音レベルの関係を示した図である。透水性舗装3種は通常舗装Dに比べ全体的に騒音レベルが低減されており、透水性舗装Aは平均6dB(A)、透水性舗装Bは3dB(A)、透水性舗装Cは平均6dB(A)騒音レベルの低減が確認された。これは騒音エネルギーにして約50%～80%の低減を示している。このように特に湿潤時において透水性舗装の騒音レベルが低減しているのは、透水性舗装路面上に滞水現象が生じない（タイヤの水きり音がない）ためである。

(C) 周波数分析

図-12、図-13に乾燥時、湿潤時における1/3オクターブ周波数分析結果を示す。乾燥時では低周波数領域において、路面粗さが粗い透水性舗装3種が、通常舗装Dに比べ1～2dB(A)高い音圧レベルを示している。しかし中間周波数領域では通常舗装Dが逆に1～3dB(A)高くなり、高周波数領域になると透水性舗装3種の音圧レベルの低減が顕著である。この傾向は、Sandbergらの透水性舗装に対する報告と合致する³⁾。ここで、透水性舗装における1kHz以上の周波数スペクトルの低減は、タイヤ／路面騒音の主な構成要因であるエアープンピングノイズが低減したためである。エアープンピングノイズとは、タイヤトレッドブロックと路面との接触時にタイヤトレッド内に圧縮された空気が突発的に流出する音である。透水性舗装はこの圧縮された空気を、空隙に逃すため高周波数領域における音圧レベルを低減する。湿潤状態における通常舗装Dは、乾燥時と違って1kHzから高周波数領域にかけて音圧レベルの低減がなく、反対に増加の傾向を示す。それに対し透水性舗装B、Cは音圧レベルが減少の傾向にあり、通常舗装Dに比べ透水性舗装Bは1kHz

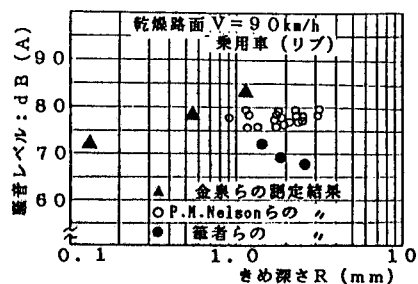


図-10 路面粗さと騒音レベル

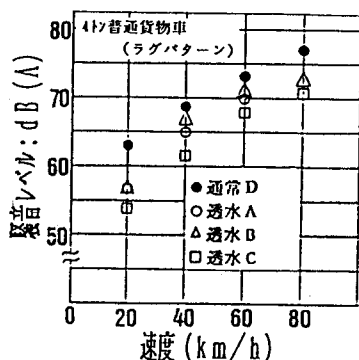


図-11 速度と騒音レベル
路面状態：湿潤

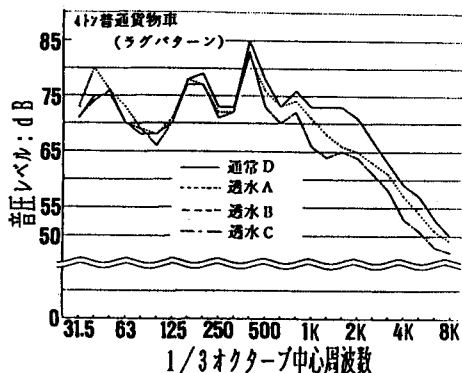


図-12 周波数分析 (路面状態：乾燥)

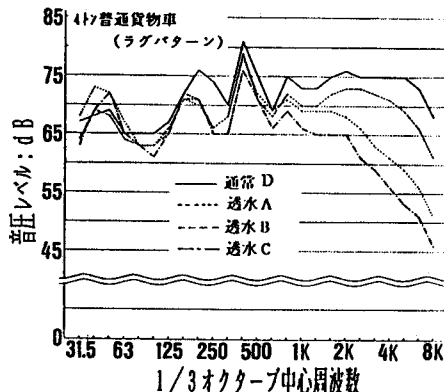


図-13 周波数分析 (路面状態：湿潤)

以上で平均 11dB (A)、透水性舗装 C は平均 14dB (A) の音圧レベルの差が見られる。透水性舗装 A は、1KHz 以上の周波数領域で若干増加の傾向があるが、通常舗装 D に比べ平均 4dB (A) 低減している。これらはタイヤの水きり音が、透水性舗装によって消失したための現象である。

(D) 吸音効果

図-14 は、図-9 におけるマイク 1,3 からマイク 2,4 へと音が伝播するときの騒音レベル減衰量である。透水性舗装 B・C は、低・中速度の 20, 40km/h において通常舗装 D に比べ 1dB (A) 多く吸音しているのがわかる。また、比較的高速度である 60、80km/h では 2dB (A) と差が顕著である。

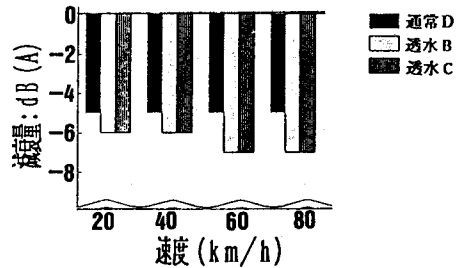


図-14 伝播経路路面の違いによる騒音レベル減衰量

以下、測定結果をまとめると次の通りである。

- (1) 路面粗さが大きくなると通常舗装は騒音レベルが上昇するが、透水性舗装はその傾向が見られず逆に下降する傾向が見られる。
- (2) 乾燥時の路面状態についてみると、透水性舗装 A、B、C の騒音レベルは通常舗装に比べて、それぞれ全速度平均 1、2dB (A) 低減した。また、湿潤状態のときは同じく 4、4、7dB (A) 騒音レベルが低減した。
- (3) 路面状態が湿潤時の周波数分析結果についてみると、透水性舗装 3 種は通常舗装に比べて、1KHz 以上の高周波数領域において音圧レベルの低減が顕著であった。
- (4) 幅員 3.75m の騒音レベル伝播経路において路面が透水性舗装の場合、通常舗装に比べ -1~-2dB (A) の吸音効果が確認された。

4. おわりに

今回の研究により透水性舗装は舗装表面温度低減、タイヤ/路面騒音低減、伝播騒音吸音効果があり、都市内熱環境・交通騒音問題改善の一手段となることがわかった。このことは従来、伝播系対策に偏りがちだった都市環境改善策に対し、土木技術から発生源対策に手がかりを得たことになる。更に、3日に1日は 1mm 以上の降雨が有る日本において、透水性舗装は都市環境問題改善というメインシステムのなかで更に重要性が増すものと考えられる。また、都市内に緑地帯を増やした場合の熱環境・交通騒音問題改善に対する妥当性は今回取り扱わなかったが、今後透水性舗装に加え、緑や水辺の影響を考慮した都市環境改善システムの構築を行なう必要がある。

本研究において試験舗装施工に協力していただいた東亜道路工業株式会社の川野氏、騒音測定用タイヤを提供して頂いた横浜ゴム株式会社島田、池田の両氏には、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Thelen, E. et al: Investigation of Porous Pavements for Urban Runoff, Control, U.S. Environmental Protection Agency, 1972
- 2) 高橋: 気候と人間、NHK ブックス 489, 1985
- 3) M. Heckl: Tyre Noise Generation, FRG, 1986
- 4) P.M. Nelson and P.G. Abbott: Low Noise Road Surface, TRRL, 1986
- 5) Ulf Sndberg: Road Traffic Noise-The Influence of the Road Surface and its Characterization, Applied Acoustics, 1987
- 6) 川井、中島、日高: 騒音伝播に及ぼす地表面の影響とそのインピーダンスモデル, 日本音響学会誌 38 巻 4 号, 1981
- 7) 金泉、金安: 交通騒音, 技術書院, 1976