

低騒音舗装の供用性評価

峰岸順一¹・阿部忠行²

¹正会員 工修 東京都建設局道路管理部 (〒163-01 東京都新宿区西新宿2-8-1)

²正会員 東京都土木技術研究所技術部 (〒136 東京都江東区新砂1-9-15)

本研究は、低騒音舗装のわだち掘れ、ひびわれの供用性の現況評価と、騒音低減機能の効率的な評価方法に関するものである。本研究では、施工後0～6年の低騒音舗装施工箇所46箇所の路面性状調査を行うと共に、すべり抵抗、透水性、密度、空隙、吸音性および騒音低減機能について試験を実施し供用性現況と騒音低減機能に関する検討を行った。この結果、低騒音舗装は、改質アスファルトⅡ型を用いた舗装に比べ同等以上の供用性能が期待できることが把握できたとともに、①空隙状況は、通常測定される空隙率を適用すれば良い②透水性の評価は、コアを採取して定水位透水係数を求めなくても、現場透水量試験で十分対応できる③RAC車を用いた試験車走行による騒音調査は、低騒音舗装の騒音低減効果の初期および持続性能を外的要因に左右されずに効率的に把握できることなどがわかった。

*Key Words: porous asphalt for noise prevention, road traffic noise, air void content
field permeability test, road performance*

1. まえがき

東京都内の道路は、高い交通需要にあるが、道路交通騒音を取巻く環境は引続き厳しく、早急な対応が求められている。道路に対する要望は、道路交通機能の維持をはじめ、沿道の環境保全や道路景観の向上、道路空間の活用等多岐にわたっているが、自動車走行に伴って発生する騒音対策は、沿道環境問題の中でも重要な課題である。舗装からの騒音低減に対する方策として、都では「低騒音舗装」を昭和62年度に主要地方道環状七号線で我が国ではじめて試験施工した。低騒音舗装の施工実績は、昭和62年から平成6年までに試験施工を68,600m²行った。なお、平成7年度からは、「幹線道路の沿道整備に関する法律」にもとづき沿道整備道路として指定されている道路（環状七号線全線、環状八号線の一部）について、道路補修事業において低騒音舗装を本格的に実施した。さらに平成8年度からは、低騒音舗装の適用範囲を、沿道整備道路以外の道路交通騒音の著しい箇所にも実施することになった。平成7年度は113,900m²、平成8年度は223,700m²施工された。

しかし、低騒音舗装の管理上の課題としては路面性状の面からの耐久性と騒音低減機能の維持が挙げられ、路面性状と空隙つぶれや空隙づまりによる騒音低減機能および排水機能の低下について把握されていないのが現状

である。そこで、本研究では、試験施工も含め今までの施工箇所の追跡調査により供用後の耐久性と騒音低減機能持続性について調査し問題点の把握を行い、今後の低騒音舗装の管理方法を検討した。

また、低騒音舗装の騒音低減効果の評価手法として外的要因に支配されない効率的かつ定量的な評価指標の検討を行った。

これらの検討の結果、低騒音舗装は、改質アスファルトⅡ型を用いた舗装に比べ同等以上の供用性能が期待できることが把握できたとともに、①空隙状況は、通常測定される空隙率を適用すれば良い②透水性の評価は、コアを採取して定水位透水係数を求めなくても、現場透水量試験で十分対応できる③RAC車を用いた試験車走行による騒音調査は、低騒音舗装の騒音低減効果の初期および持続性能を外的要因に左右されずに効率的に把握できることなどがわかった。

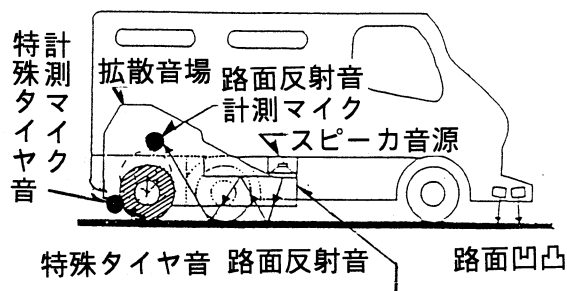
2. 研究内容

(1) 調査箇所

調査箇所および調査内容は表-1に示すとおりである。調査①では、都内で平成3年度から平成8年度に施工された低騒音舗装から46箇所の調査区間を選定した。低騒音舗装箇所は、すべてD交通で高粘度改質アスファルトを

表-1 調査内容

調査番号	調査目的	調査内容	調査箇所
①	路面性状	路面性状調査（ひびわれ、わだち掘れ、平坦性）	都内46箇所
②	すべり抵抗	回転式すべり抵抗測定：DFテスター（現場路面試験）	上記46箇所の中から施工後の経過年数0、1、0、1、2、2、0、4、2、5、1年の6箇所について実施。経過年数0年の箇所についてはRAC車による調査と自動車騒音の測定を実施した。その他の箇所は各項目ともOWP、BWPを機能回復機による洗浄前後について実施した。
	透水性	現場透水量試験（現場路面試験） 冠水型現場透水試験（現場路面試験）	
		定水位透水試験（切取りコアの室内試験）	
	密度	密度試験（切取りコアの室内試験）	
	空隙	空隙率試験（切取りコアの室内試験） 連続空隙率測定（切取りコアの室内試験）	
	吸音性	垂直入射吸音率試験（切取りコアの室内試験）	
	騒音低減機能	舗装性能測定車（RAC車）による特殊タイヤ音、路面反射音の測定 自動車騒音の測定	



スカート部に取り付けられており外部騒音の影響と外部への放射音を軽減させている。

図-1 RAC車

使用し、最大骨材粒径13mmである。調査②では、調査①の中から施工後の経過年数1.0、1.2、2.0、4.2、5.1年の5箇所を選定し、平成9年度施工箇所（施工後の経過年数0年）1箇所を加えて合計6箇所の調査を行った。

(2) 調査内容

a) 調査①

調査①では、路面性状測定車により、わだち掘れ、ひびわれ、平坦性の測定を行った。

b) 調査②

調査②では、現場路面試験としてすべり抵抗試験²⁾、現場透水量試験²⁾、冠水型現場透水試験³⁾、RAC（Road Acoustic Checker）を用いた試験車走行による騒音調査⁴⁾を行い、切取りコアの室内試験として定水位透水試験¹⁾、密度試験¹⁾、空隙率試験¹⁾、連続空隙率測定²⁾、垂直入射吸音率試験（JIS A 1405-1994）を行った。調査②については、高圧水による洗浄前後での測定も行い機能回復効果の確認を行った。各項目ともOWP（Outside Wheel Pass: タイヤ通過部）、BWP（Between Wheel Pass: タイヤ無通過部）について測定を行った。ただし、平成9年度施工箇所については、RAC車による騒音調査と自動車騒音の測定（JIS Z 8731）のみを行った。

試験車走行による騒音調査は、図-1に示すRAC車を

用いて行った。RAC車は特殊タイヤ音・路面反射音・路面凹凸の測定装置を掲載し、交通を規制することなく、特殊タイヤによるエアポンピング音の測定、スピーカ音源による路面反射音（路面反射音調査）および路面の凹凸測定ができる。特殊タイヤによるエアポンピング音は、一定速度（約50km/h）で走行しながら、車両後部に搭載された特殊タイヤを一定荷重250kgf(2.45kN)をかけて路面に降下させタイヤから発生するエアポンピング音の大小をタイヤ近接に設置した単一指向性のマイクロホンで暗騒音の影響もほとんど無く計測できる。路面反射音は、一定速度（約50km/h）で走行しながら、試験車に搭載した人工音源から一定パワーの音を路面に向けて放射し、路面と車両間で反射させた後の拡散音場空間の音を音場中央部に設置したマイクロホンで測定する。測定した音圧レベルは、周波数補正回路A特性（風切り音も影響を考慮）の騒音レベル（Leq：APレベル）および1/3オクターブバンド周波数について解析した。

3. 調査結果

(1) 調査①

路面性状調査の結果は、図-2に示すとおりである。施工後5年の区間でも低騒音舗装は、供用性に問題なく良好な路面性状であり耐久性は期待できると考えられる。図には都内の幹線街路である環状七、八号線における改質アスファルトⅡ型を用いた舗装の平成3年から平成8年に測定した上下各第1車線（中央分離帯側車線）の結果を施工後の経過年数との関係で示してある。環状七、八号線と比較すると、低騒音舗装の耐ひびわれおよび耐流動性は、改質アスファルトⅡ型を用いた舗装と同等以上に高いことがわかった。

(2) 調査②

a) すべり抵抗

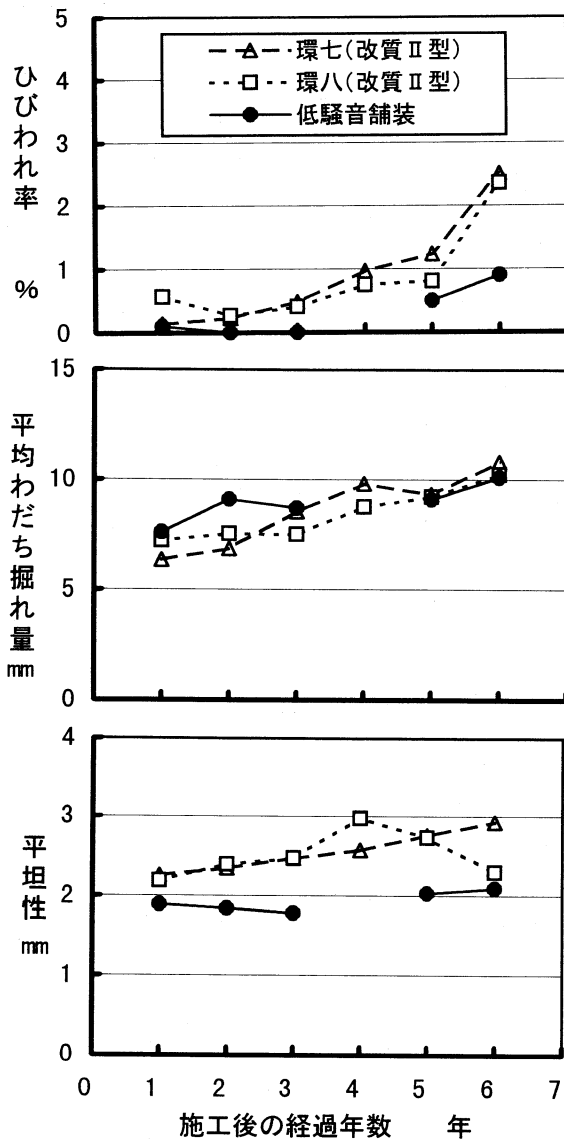


図-2 路面性状調査結果

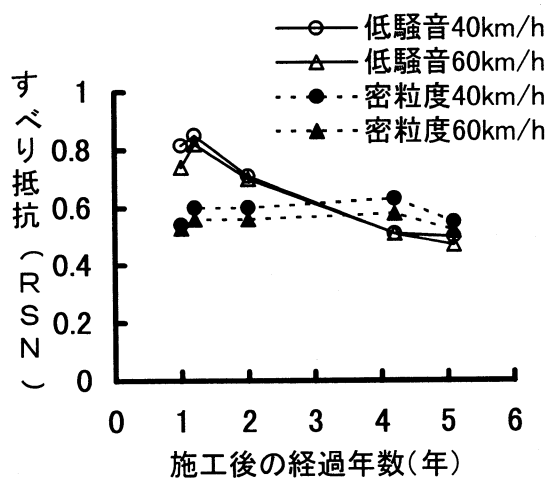


図-3 すべり抵抗試験結果 (OWP)

すべり抵抗と施工後の経過年数との関係は、図-3に示

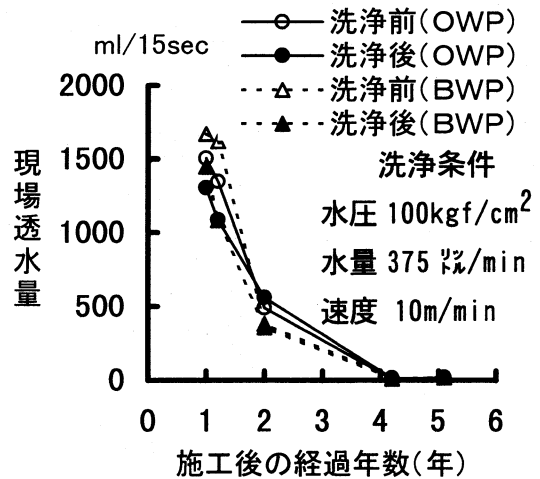


図-4 現場透水試験結果

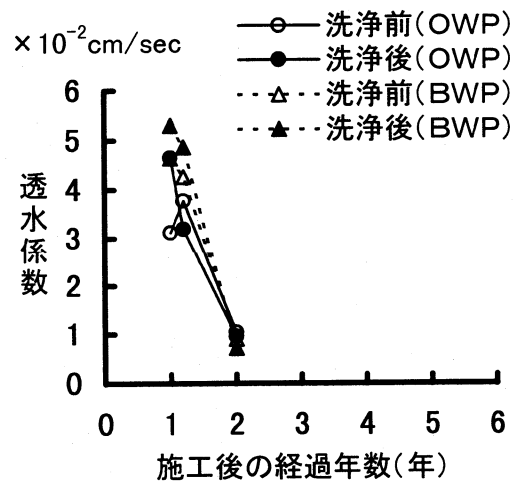


図-5 冠水型現場透水試験結果

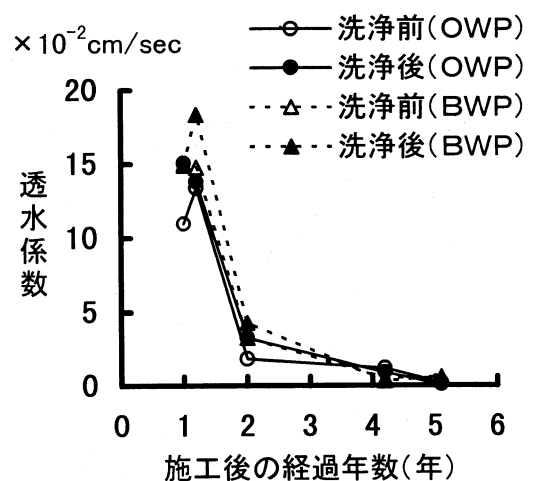


図-6 定水位透水試験結果

すとおりであります。施工直後の低騒音舗装は、OWP、BWPとも同様な傾向であり、回転式 (DFテスター) によるすべり抵抗(RSN)が約0.8と密粒度の舗装に比べ0.2~0.3

表-2 垂直入射吸音率試験による吸音特性

施工後の経過年数	吸音特性	
	周波数(Hz)	垂直入射吸音率
1. 0	630~1000	約0.40~0.80
1. 2	315~ 800	約0.30~0.85
2. 0	160~ 500	約0.25~0.48
4. 2	160~ 500	約0.25~0.40
5. 1	160~ 630	約0.20~0.45

密粒度アスファルト混合物の垂直入射吸音率は0.10~0.25である。
周波数は中心周波数のピーク周波数を示す。

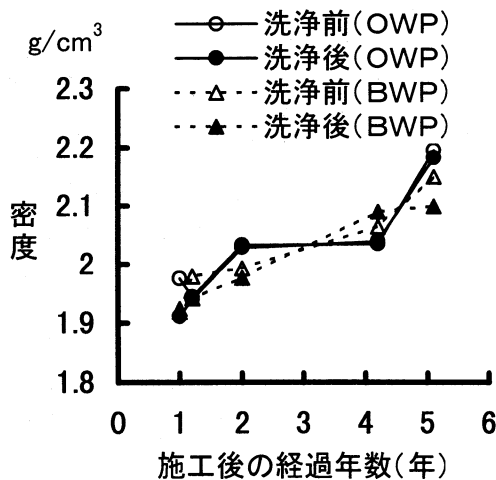


図-7 密度試験結果

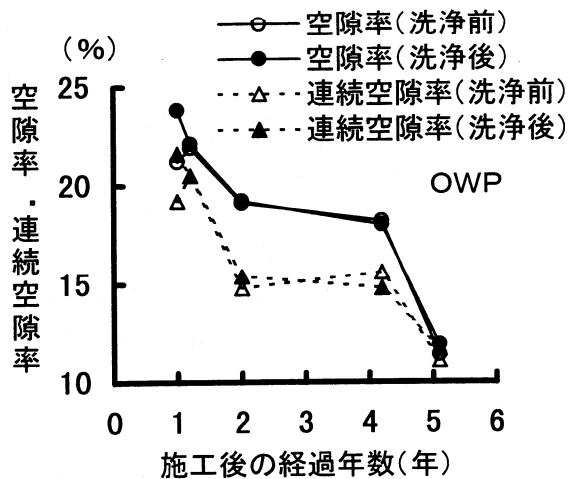


図-8 空隙率・連続空隙率測定結果

程度すべり抵抗性が高いが、施工後約4年を経過すると密粒度アスファルト混合物の舗装と同等のすべり抵抗となることが把握できた。

b) 透水性

現場透水量試験の透水量と施工後の経過年数の関係は、図-4に示すとおりである。OWP、BWPおよび洗浄前後のそれぞれに明確な差は認められなかった。経過年数2年以内では約500ml/15secの透水性を有するが、経過年数が約4年を越えるとほとんど透水性が認められなかった。

冠水型現場透水試験の透水係数と施工後の経過年数の関係は、図-5に示すとおりである。現場透水量試験と同様な結果であり、OWP、BWPおよび洗浄前後のそれぞれに明確な差は認められなかった。経過年数2年以内では 1×10^{-2} cm/secの透水性を有するが、経過年数が約4年を越えると測定不能であり透水性が認められなかった。

定水位透水試験の透水係数と施工後の経過年数との関

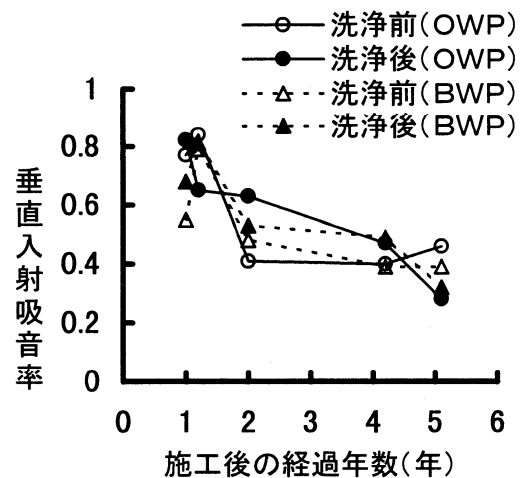


図-9 垂直入射吸音率試験結果

係は、図-6に示すとおりである。OWP、BWPおよび洗浄前後のそれぞれに明確な差は認められなかった。経過年数2年以内では 1×10^{-2} cm/sec以上の透水性を有するが、経過年数が約4年を越えると透水係数が非常に小さかった。

c) 密度

密度の測定結果は、図-7に示すとおり、経過年数が長いほど洗浄前の密度が大きかった。これは、空隙づまりによって細粒分が充填されたものと考えられた。洗浄前後では、洗浄後の方が僅かに密度が小さく、ある程度洗浄の効果が認められた。

d) 空隙

空隙率と連続空隙率の測定結果は、図-8に示すとおりである。OWP、BWPおよび洗浄前後のそれぞれに明確な差は認められなかった。施工後2年以内であれば、空隙率も20%以上であり、施工直後と同程度の値を保持していた。施工後4~5年では空隙率が13~17%程度と減少していた。連続空隙率についても、値として空隙率より1~4%程度小さく、空隙率と同様な傾向であった。

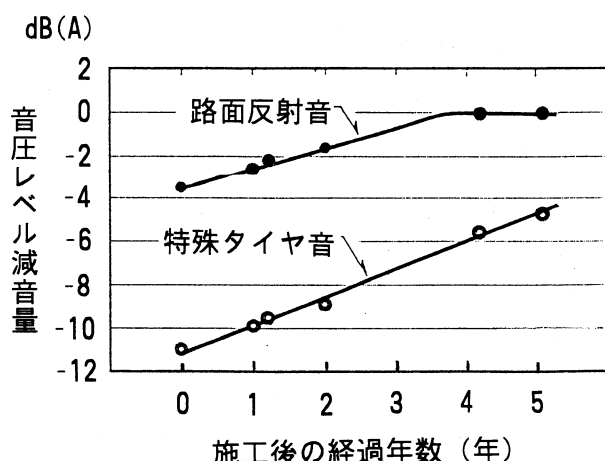


図-10 特殊タイヤ音・路面反射音減音量と経過年数の関係

e) 吸音性

洗浄前の経過年数と垂直入射吸音率とピーク周波数は、表-2に示すとおりである。経過年数とともに、垂直入射吸音率も低下し、周波数も小さくなる傾向であった。経過年数が5年での垂直入射吸音率は、0.2~0.45であり、密粒度アスファルト混合物（最大粒径13mm）層と比較して、0.1から0.2程度吸音性が高かった。

また、洗浄前後の経過年数と垂直入射吸音率の関係は、図-9に示すとおりである。経過年数約4年までは、洗浄による垂直入射吸音率の増加がみられるが、経過年数5年では、垂直入射吸音率の増加は見られなかった。これから、洗浄によって吸音性が回復できるのは、経過年数4年程度までであるといえる。

f) 騒音低減機能

RAC車の特殊タイヤ音と路面反射音について、低騒音舗装と密粒度混合物舗装との音圧レベル差を減音量として、この値と施工後の経過年数との関係を示したものが図-10である。なお、基準値となる音圧レベルは、調査②の中から低騒音舗装近傍の2地点の密粒度アスファルト混合物舗装区間（各3車線）を選定し、洗浄前の特殊タイヤ音、路面反射音を測定しその平均値を採用した。両計測値とも同一傾向にあり、施工後の経過年数とともに減音効果が徐々に減少した。特殊タイヤ音による減音効果は施工直後-11dB(A)であり、施工後2年程度までは、-8~-10dB(A)の騒音低減効果が認められ、施工後4年以上では-5dB(A)程度の騒音低減効果が認められた。車線別では、走行車線の方が追越車線よりも騒音低減が大きい傾向であった。

走行車線（第3車線）における特殊タイヤ音の音圧レベルの洗浄前後の比較を図-11に示した。経過年数とともに音圧レベルは大きくなり、洗浄後には音圧レベルが低下した。

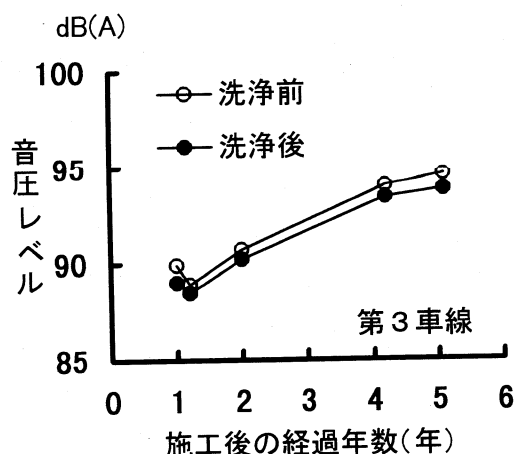


図-11 特殊タイヤ音の音圧レベル測定結果

走行車線における洗浄前後の特殊タイヤ音の周波数分析結果は図-12に示すとおりである。基準値と比較した騒音低減の差は、500Hz以上の周波数域に現れ、経過年数が多いほど騒音低減の差が小さい傾向であった。

路面反射音調査の結果、図-10に示したように低騒音舗装は密粒度アスファルト混合物の舗装に比べ、施工直後が-3.5dB(A)対して、施工後2年程度までは、-2dB(A)程度の騒音低減効果が認められた。施工後4年以上では騒音低減効果がほとんど認められなかった。車線別でも明確な差はみられなかった。

走行車線の路面反射音の音圧レベルの洗浄前後の比較を図-13に示す。経過年数と共に音圧レベルも高くなり、洗浄前後での差はほとんどなかった。また、走行車線における洗浄前後の路面反射音の周波数分析結果は図-14に示すとおりである。騒音低減の差は、500Hz以上の領域で現れるが、その差は小さいものであった。

g) 自動車騒音の測定

低騒音舗装施工前後の自動車騒音の測定は、表-3に示すとおりである。値は L_{50} で示してある。当初平成8年2月に内回り車線のみ低騒音舗装を施工し、その後平成9年3月に外回り車線の低騒音舗装を施工した。両方向とも低騒音舗装を施工していない平成8年1月と比較すると約8dB(A)の騒音低減効果が見られた。なお、測定位置、測定条件は同一とし、交通量の測定結果もほぼ同一であった。このことから、重交通の幹線街路においては、低騒音舗装を両方向全車線施工することによって約8dB(A)の騒音低減効果を期待できる可能性がある。

(3) 各調査結果の相互関係

各調査結果の相互関係を相関行列で示したものが表-4である。なお、特殊タイヤ音と路面反射音については、OWPの測定結果を用いた。表中、上段は洗浄前、下段は洗浄後の結果を示した。

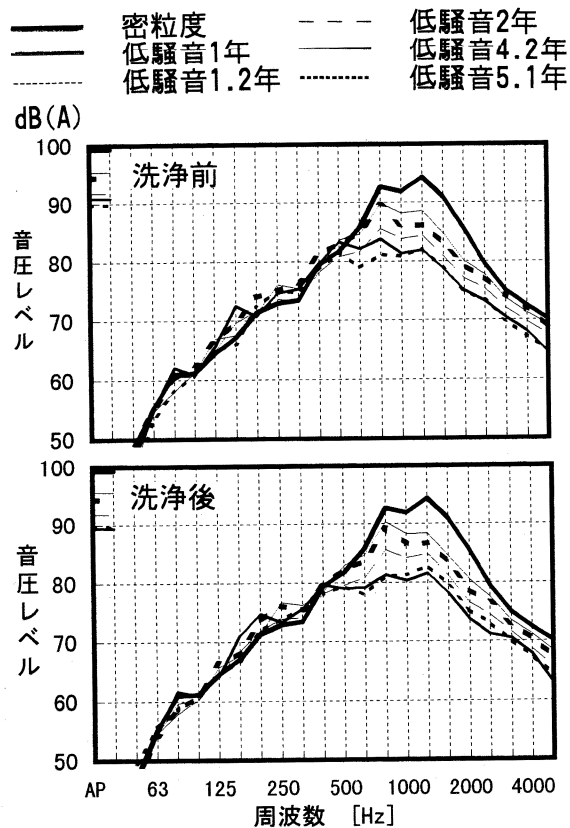


図-12 特殊タイヤ音周波数解析結果

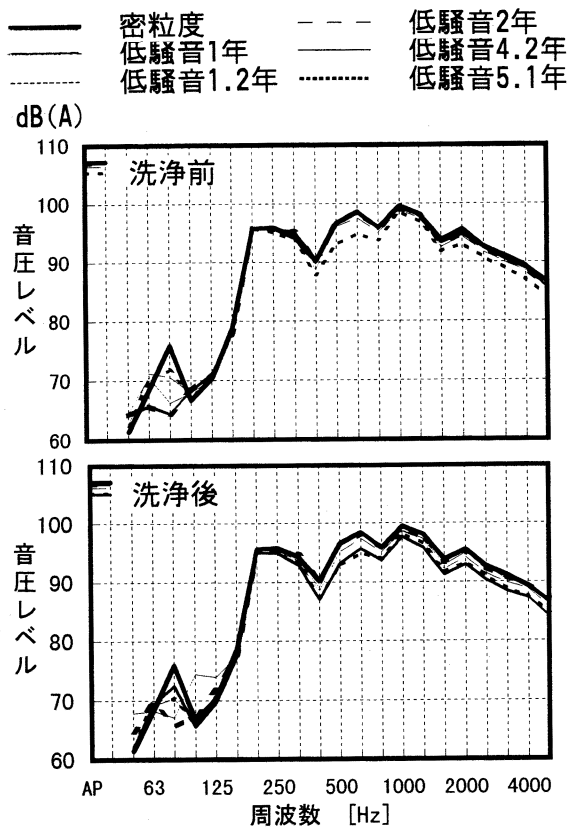


図-14 路面反射音周波数分析結果

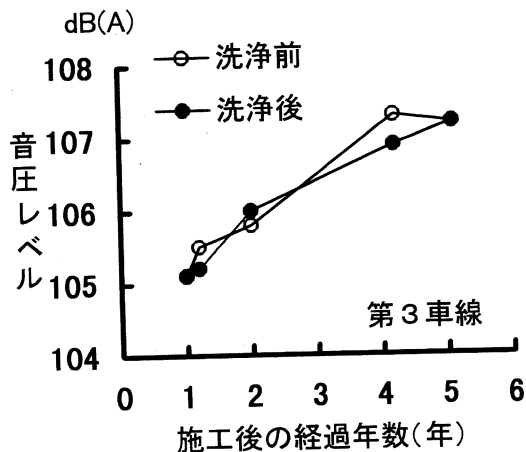


図-13 路面反射音の音圧レベル測定結果

表-3 自動車騒音の測定結果

	低騒音舗装施工前 (H8.1)	低騒音舗装内回り施工直後 (H8.2)	低騒音舗装内回り施工1年後 (H9.2)	低騒音舗装外回り施工直後 (H9.3)
外回り	0	-1.2	-0.1	-8.3
内回り	0	-5.2	-3.0	-7.5

低騒音舗装施工前 (H8.1) の騒音レベル (L_{50} dB(A)) を基準として騒音低減量で示した

a) 空隙率と連続空隙率

空隙率と連続空隙率の関係は、図-15に示すとおりである。相関係数は0.95と高い相関があり、空隙状況の調査は、通常用いている空隙率を適用すれば十分であると考えられる。

b) 垂直入射吸音率と連続空隙率

垂直入射吸音率と連続空隙率の関係は、図-16に示すとおりである。相関係数0.78であり、正の相関が高いことがわかった。連続空隙率が18%以上であれば、吸音率

が0.7以上と推定される。

c) 定水位透水係数と連続空隙率

定水位透水係数と連続空隙率の関係は、図-17に示すとおりである。相関係数0.88であり、正の相関が高いことがわかった。

d) 現場透水量と定水位透水係数

現場透水量と定水位透水係数の関係は、図-18に示すとおりである。相関係数0.97であり、正の相関が高いことがわかった。低騒音舗装の透水能を評価するには、コアを採取して定水位透水係数を求めなくても、現場透水量試験で十分対応できることが把握できた。

	空隙率	連続空隙率	垂直入射吸音率	定水位透水係数	現場透水量	特殊タイヤ音	路面反射音
空隙率		0.95	-	-	-	0.86	0.77
						0.88	0.92
連続空隙率	0.95		0.78	0.88	-	0.85	0.76
						0.90	0.96
垂直入射吸音率	-	0.78		0.87	0.86	0.77	0.75
						0.89	0.93
定水位透水係数	-	0.88	0.87		0.97	0.86	0.81
						0.91	0.96
現場透水量	-	-	0.86	0.97		-	-
特殊タイヤ音	0.86	0.85	0.77	0.86	-		-
	0.88	0.90	0.89	0.91			
路面反射音	0.77	0.76	0.75	0.81	-	-	
	0.92	0.96	0.93	0.96			

表-4 相関行列

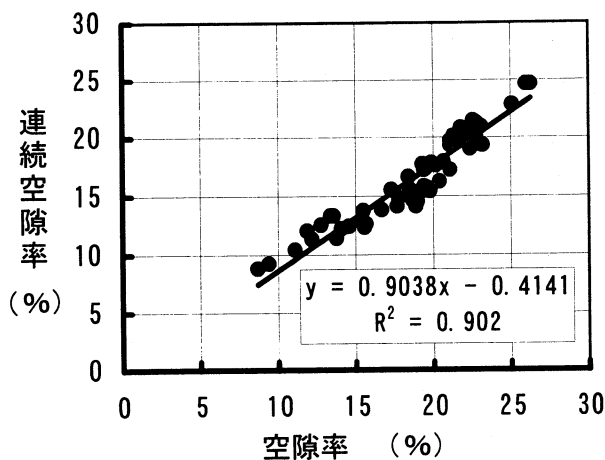


図-15 空隙率と連続空隙率

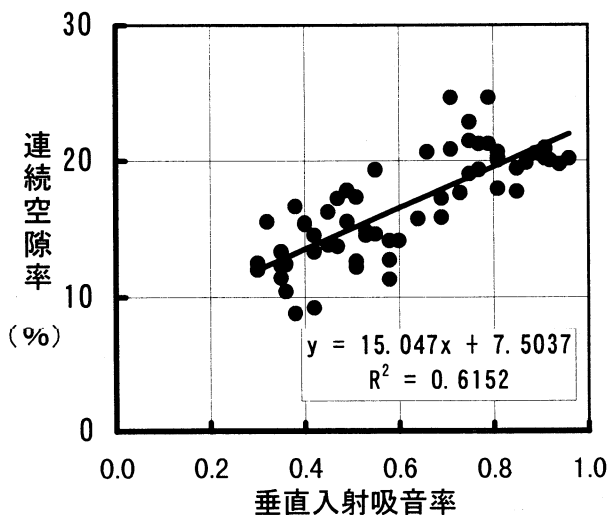


図-16 垂直入射吸音率と連続空隙率

e) 定水位透水係数と垂直入射吸音率

定水位透水係数と垂直入射吸音率の関係は、図-19に示すとおりである。相関係数0.87であり、正の相関が高いことがわかった。

f) 現場透水量と垂直入射吸音率

現場透水量と垂直入射吸音率の関係は、図-20に示す

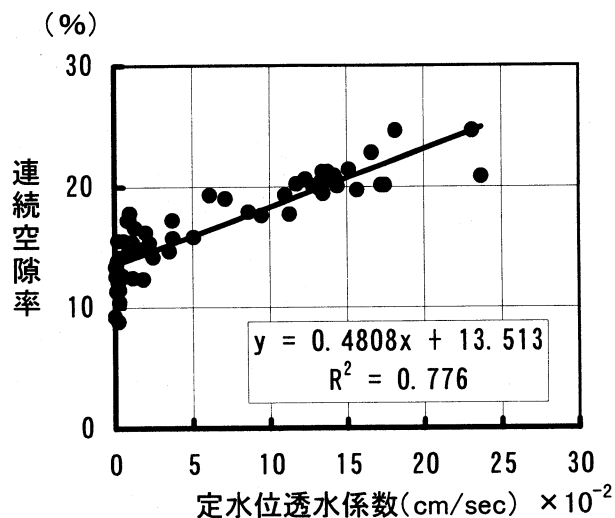


図-17 定水位透水係数と連続空隙率

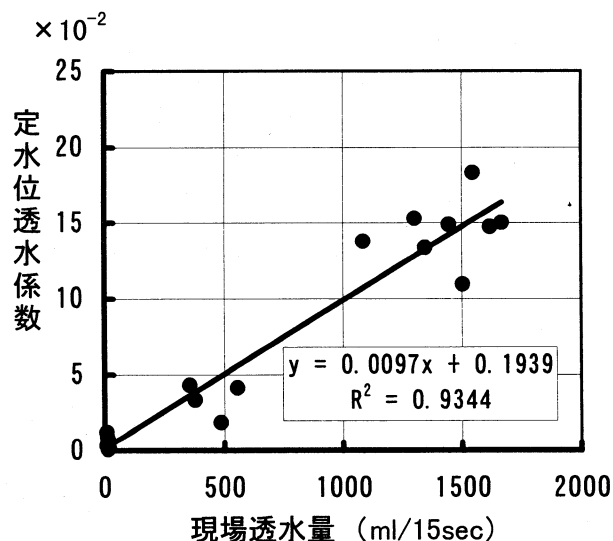


図-18 現場透水量と定水位透水係数

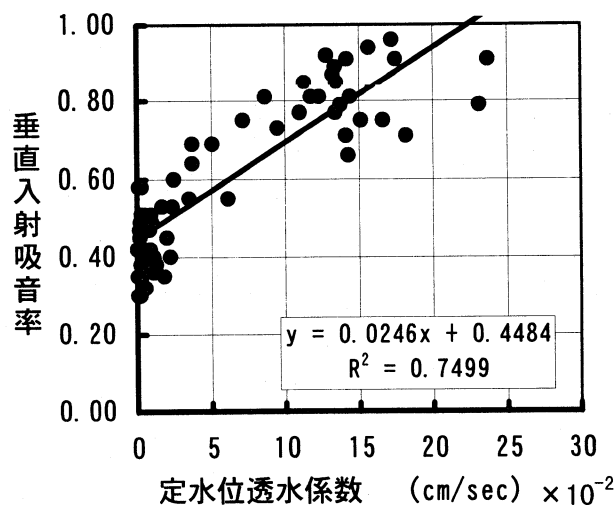


図-19 定水位透水係数と垂直入射吸音率

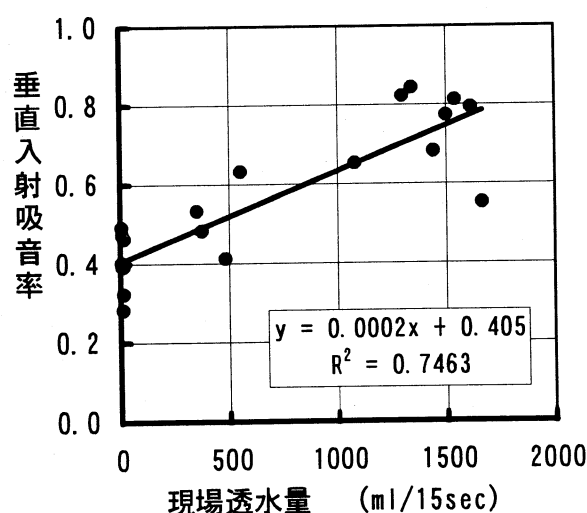


図-20 現場透水量と垂直入射吸音率

とおりである。相関係数0.86であり、現場透水量が増加すると吸音率も増加する傾向であった。

g) 特殊タイヤ音とその他調査結果との関係

特殊タイヤ音と垂直入射吸音率、空隙率、連続空隙率、定水位透水係数との関係は、図-21に示すとおりである。ここでは、OWPとBWPとが同様な傾向であったのでOWPについて示した。特殊タイヤ音と垂直入射吸音率、空隙率、連続空隙率、定水位透水係数とは、それぞれ負の相関が高いことがわかった。特殊タイヤ音を調査することにより低騒音舗装の混合物性状を把握できると考えられる。

h) 特殊タイヤ音とわだち掘れ、平坦性

特殊タイヤ音とわだち掘れ、平坦性には、明確な関係は見られなかった。

i) 路面反射音とその他調査結果との関係

路面反射音と垂直入射吸音率、空隙率、連続空隙率、定水位透水係数との関係は、図-22に示すとおりである。ここでは、OWPとBWPとが同様な傾向であったのでOWPについて示した。路面反射音と垂直入射吸音率、空隙率、連続空隙率、定水位透水係数とは、それぞれ負の相関が高いことがわかった。路面反射音を調査することにより低騒音舗装の混合物性状を把握できると考えられる。

j) RAC車調査の減音量と透水係数の関係

RAC車の特殊タイヤ音および路面反射音の減音量と定水位透水試験による透水係数との関係は、図-23に示すとおりである。特殊タイヤ音は、透水係数が 1×10^2 cm/secの場合とそれ以上の場合で減音効果が急激に変化していた。特殊タイヤ音による減音効果は、透水係数が約 3×10^2 cm/sec以上であれば、10~12dB(A)の一定値に近づく傾向であった。

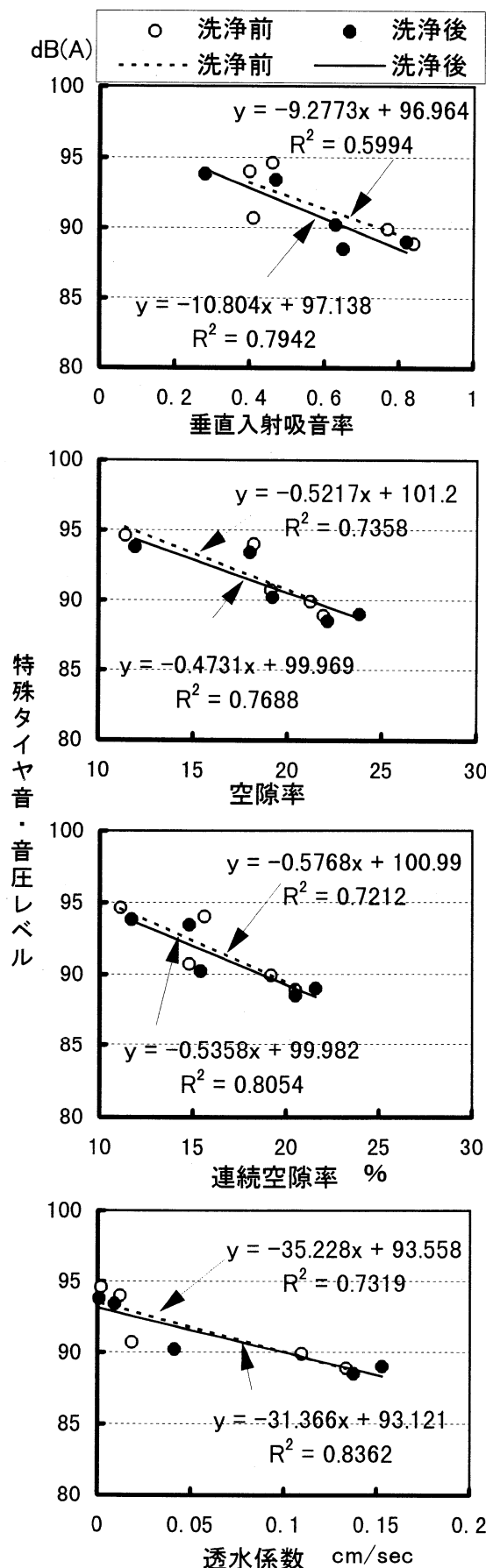


図-21 特殊タイヤ音とその他調査結果との関係

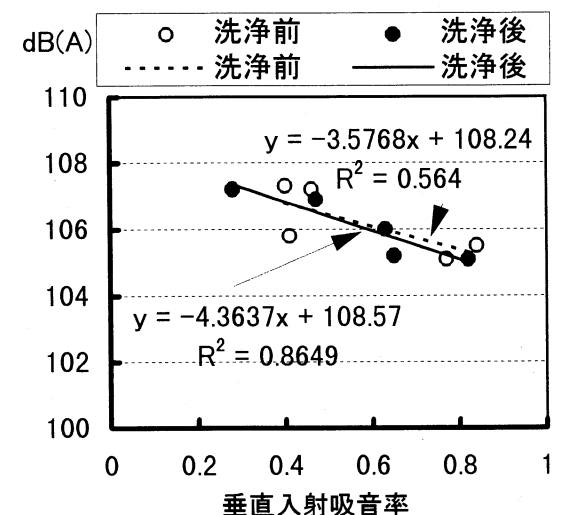


図-22 路面反射音とその他調査結果との関係

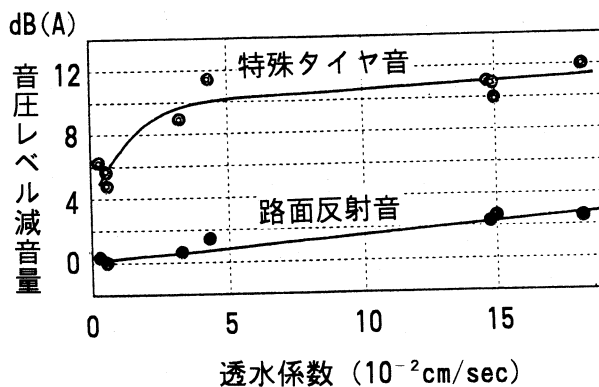


図-23 RAC車調査の減音量と透水係数

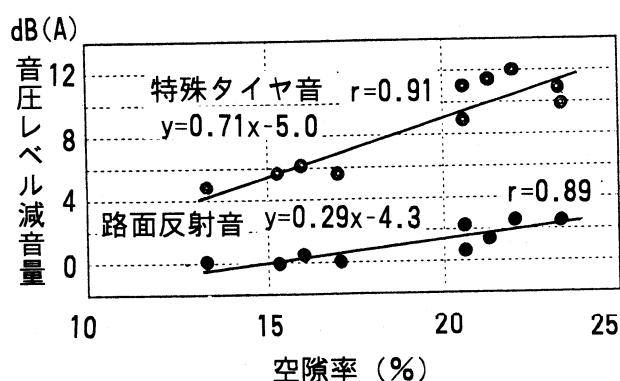


図-24 RAC車調査の減音量と空隙率

k) RAC車調査の減音量と空隙率

RAC車の特殊タイヤ音および路面反射音の減音量と空隙率との関係は、図-24に示すとおりである。両者は比例関係にあり、空隙率が20~23%の場合、特殊タイヤ音の減音量が10dB(A)程度、路面反射音の減音量が2dB(A)程度期待できることになる。

4. まとめ

本研究で得られた主な結果は、次のとおりである。

- ①低騒音舗装は、施工後の経過年数が5年の箇所、良好な路面性状を維持しており路面性状に関する耐久性は十分期待できる。また、改質アスファルトⅡ型を用いた密粒度アスファルト混合物の舗装箇所と比較しても同等以上の耐流動性、ひびわれ性状が期待できる。また、施工直後の低騒音舗装は、密粒度アスファルト混合物の舗装に比べ0.2~0.3程度すべり抵抗性が高いが、施工後約4年を経過すると密粒度の舗装と同等のすべり抵抗であった。
- ②透水性、密度、空隙、吸音性の調査から、低騒音舗装の初期の騒音低減機能を維持できるのは、2~4年程度である。
- ③空隙率と連続空隙率とは、非常に高い相関があり、空

隙状況調査は、通常測定される空隙率を適用すれば良い。
④定水位透水係数と現場透水量とは、非常に高い相関があり、低騒音舗装の透水能を評価するには、コアを採取して定水位透水係数を求めなくても、現場透水量試験で十分対応できる。

⑤RAC車は、特殊タイヤ音・路面反射音の測定装置を搭載し、低騒音舗装の騒音低減効果の初期および持続性能を外的要因に左右されずに効率的に把握できる。今回の調査では、特殊タイヤ音による騒音低減の差の把握は明確に行えたが、路面反射音では騒音低減の差は僅かであった。このことから、特殊タイヤ音による騒音低減効果の評価が適しているものと考えられる。このように、RAC車による測定値は、今後検討課題である機能回復を行う時期や舗装の補修時期の判定などに定量的かつ効率的に評価が行える。

⑥施工後2～4年以内の箇所では、高圧洗浄による機能回復効果は多少認められるが、施工後4年以上の場合洗浄効果はあまり期待できない。このことから、低騒音舗装の機能を維持するための高圧水による洗浄は、施工後2～4年程度の早いサイクルで実施する必要がある。

⑦自動車騒音の測定結果から、重交通の幹線街路においても低騒音舗装を両方向全車線施工することによって約8dB(A)程度の騒音低減効果が期待できる。

5. あとがき

現在、東京都に於いては、道路交通騒音対策として低騒音舗装に大きな期待を寄せている。本研究によって、低騒音舗装の路面性状の耐久性と騒音低減機能を含めた供用性評価をある程度明らかにした。しかし、まだ次のような課題が残っている。

- ①今後も舗装の耐久性、機能の持続性を含めた供用性状の追跡調査およびRAC車による評価を継続してデータ蓄積し検討する必要がある。
- ②騒音低減機能の長期持続性を有する舗装の開発。
- ③これまで施工した低騒音舗装の機能回復などを含めた維持管理手法の開発。
- ④騒音低減技術の拡大とコスト縮減の視点からの検討などである。

なお、この研究を実施するに当たってご協力頂いた東京都建設局道路管理部、各建設事務所および土木技術研究所の各位に対して、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：舗装試験法便覧、1988年11月。
- 2) (社) 日本道路協会：舗装試験法便覧別冊、1996年10月。
- 3) 東京都土木技術研究所：低騒音舗装に関する調査報告書、1994年3月。
- 4) 大久保、岩田、平野：都市内道路の低騒音舗装性能の測定方法について、日本騒音制御工学会発表論文、1996年9月。

(1997. 9. 1受付)

Performance evaluation of low noise porous asphalt pavements

Junichi MINEGISHI, Tadayuki ABE

This paper focuses on the road performance of porous asphalt pavements for noise prevention. The method to evaluate the noise reduction effect of porous asphalt is also developed by this research. From these investigations it is found that the low noise porous asphalt pavements are durable as well as the usual pavements using modified asphalt. The noise measurement using a running car which is called an RAC car reveals that it is useful to estimate the noise reduction effect of low noise porous asphalt pavements.