

ポーラス舗装トップコート工法の 空隙詰まり特性に関する研究

大道賢¹・光安正純²・山之口浩³・丸山暉彦⁴

¹正会員 日進化成株式会社 工事部開発グループ (〒530-0027 大阪市北区堂山町 1-5)

²日進化成株式会社 工事部 (〒162-0825 東京都新宿区神楽坂 1-15)

³フェロー会員 工学博士 長岡技術科学大学講師 (〒940-2188 長岡市上富岡町 1603-1)

⁴正会員 工学博士 長岡技術科学大学教授 環境・建設系 (〒940-2188 長岡市上富岡町 1603-1)

ポーラス舗装におけるトップコート工法の透水性能向上や粉塵物質の空隙詰まり抑制効果について解明してきたが、施工上の基本となる樹脂散布作業における樹脂硬化前の界面特性も「空隙詰まり」に関係することがわかった。本研究では先に求めた施工後の硬化樹脂材と水との濡れ（水との界面張力、 γ_{sl} ）のほかに、施工時の硬化前樹脂材とアスファルト混合物表面との界面特性（付着濡れ仕事量、 W_a など）から検討することで、排水性トップコート工法の施工時空隙詰まり防止と施工後の粉塵物質回復性能（防塵機能）を解明し、本工法のより適切な施工方法に向けて検討した。

Key Word : porous asphalt, topcoat for porous asphalt, voids blocking, recovery performance, adhesional wetting

はじめに

排水性舗装は、当初は1980年代ヨーロッパで開発され普及してきたが、現在はむしろわが国でその施工面積を増大しており、この傾向は21世紀にも続くものと予想される。そしてそれは排水性トップコート工法を適用することで、ポーラス舗装としてより機能を高度化でき、また、より多様なニーズにも対応できる（多様化）こと¹⁾と無関係ではない。

ポーラス舗装トップコート工法は、排水性舗装の台頭しはじめた1990年初頭にすでに一部で試みられてきたが^{2) 3)}、本格的には、近年の骨材飛散（フレッキング破損）現象に対して⁴⁾技術開発と工法展開がはかられて、施工面積が2000年時点で30万 m^2 をこす実績となっている⁵⁾。これはその基本的な機能が評価されつつあると共に、種々の多様化へ向けての応用技術の研究がすすめられてきたためでもある。

先に⁶⁾、ポーラス舗装におけるトップコート工法の機能の高度化について検討してきたが、最近の排水性舗装の問題点は基本的な骨材飛散破損より、むしろ舗装体上部の空隙詰まりによる機能（騒音抑制、雨天時安全）の低下を生じること⁷⁾に移ってきている。そしてこの「空隙詰まり」は排水性トップコート工法を適用することによる散布樹脂膜と水との濡れ具合、界面

特性から考察して、その抑制効果の高いことを明らかにした⁶⁾。ここでは、これらをうけて、先に求めた散布後の硬化樹脂材と水との濡れ（水との界面張力、 γ_{sl} ）のほかに、散布時の硬化前樹脂材とポーラスアスファルト混合物表面との界面特性（付着濡れ仕事量、 W_a など）から空隙詰まり現象を検討することで、工法施工時の空隙詰まり防止や施工後（供用時）の粉塵物質に対しての空隙詰まり回復性能（防塵機能）を解明し排水性トップコート工法の適切な施工方法に向けて検討するものである。

1. 研究の目的

ポーラス舗装の「空隙詰まり」については、その現場状況は舗装体上部（表面部）2～3cm以内にあり⁷⁾、またその現実的には機能回復について種々の検討がなされている^{8～10)}。排水性トップコートを施工すると、その界面特性から空隙詰まり物質が付着しづらく、透水性の向上（透水係数変化率 k_f ）と空隙詰まりの抑制効果（残存透水率 k_r ）が改善される。しかしながらトップコート施工にあたっては、その散布量が多すぎる場合などは、舗装体下部（基面部）にまで樹脂が浸透し、それがダレとなって途中で空隙閉塞を生じている状態が想定される。つまり施工（散布）時点に

おける硬化前の樹脂材について、その界面特性を検討することが重要であり、排水性舗装の「空隙詰まり問題」は、トップコート工法適用において以下の条件下で考えなければならない。つまりその必要とされる性能と共に示すと以下の場合である。

- 1) 施工時・・・アスファルト（混合物）＋硬化前樹脂との界面問題（第1条件）
 - イ. 空隙閉塞（樹脂による空隙詰まり）防止特性
- 2) 施工後（供用後）・・・硬化樹脂＋水との界面問題（第2条件）
 - ロ. 土砂による空隙詰まり抑制能力
 - ハ. 空隙詰まり回復性能（防塵機能）

上記ロ. については、先に材料（樹脂）と水との界面張力、 γ_{sl} で説明できた⁶⁾。そしてハ. については、たとえ空隙詰まりが生じたとしても高圧洗浄などによる機能回復が効果的であると考えられている¹⁰⁾。ここでは第1条件である施工時の界面特性であるイ. について検討するものである。また施工時の因子としては厳密には以下が関係するが、ここでは①の材料因子のみに限定して、一部について舗装体空隙率を変えて実験した。

- ① 材料因子（樹脂の種類、界面特性）
- ② 散布条件（散布量など）
- ③ 外的条件（温度や舗装体空隙の量や質など）

そして、最適施工（散布）条件を定めるのに必要とされる材料（樹脂）の基本特性ならびに評価指標は以下のものを重要な因子と考えた。

- 1) ポーラス舗装体のすみずみまで浸透し均等にいきわたる
 - ダレのない膜厚の形成→散布時粘度¹¹⁾（ p ）
- 2) 浸透したものがよく濡れる
 - 液体（樹脂）の固体（アスファルト）への付着
 - 界面特性、付着濡れ仕事量¹²⁾ など（ γ_l 、 W_a ）
- 3) 均一な膜厚で硬化する
 - 異常硬化や硬化不良→ゲル硬化や可使時間

このうち3) については、樹脂材料の基本的な特性であり¹³⁾、極端に舗装体温度（気温）が高い場合、低い場合を除いてあまり問題になることがないので検討からはずした。従って今回の研究の主眼を1) 2) と考えて、空隙詰まり問題について樹脂材料の散布粘度（ p ）と界面特性の2つから考察した。ここで界面特性は、先の検討では、MMA樹脂などの硬化性樹脂

を用いた場合、水との濡れから考えて¹⁴⁾、空隙詰まり物質が付着しづらい指標である個体と液体の付着力を示す界面張力（ γ_{sl} ）を用いた。しかし、今回の実験では、樹脂散布時のアスファルト（個体）と樹脂（液体）の濡れやすさが問題であり、よって濡れの広がり示す付着濡れ仕事量（ W_a ）より評価を行った。

2. 試験方法

2-1 使用材料

1) 排水性混合物の配合とアスファルトの特性値

実験に使用した排水性混合物の配合を表-1に、排水性舗装用アスファルト（高粘度改質アスファルト）の特性値を表-2示した。

2) 使用樹脂の配合検討

実験に使用する樹脂材料は、散布樹脂粘度（ p ）と界面性状（付着濡れ仕事量 W_a ）を変化させ用いなければならない。しかし、付着濡れ仕事量（ W_a ）については直接求めることができないので、付着濡れ仕事量に關係し、直接求めることができる樹脂の表面自由エネルギー値（ γ_l ）と粘度（ p ）を調整し実験に供した。

表-1 実験に用いた排水性混合物の配合

使用材料名		配合No.		
		1	2	3
骨材 配合 率(%)	6号碎石	85	87.5	90
	砂	10	7.5	5
	石粉	5	5	5
アスファルト(%)		5	4.6	4.4
目標空隙率(%)		20	22.5	25
平均空隙率(%)		20.0	22.5	24.9

表-2 実験に用いた排水性舗装用高粘度アスファルト

性状項目	単位	測定値
針入度	1/10mm	45
軟化点	℃	97.5
伸度(15℃)	cm	100+
タフネス	N・m	31.4
テナシティ	N・m	23.9
60℃粘度	Pa・s	10.0+
表面自由エネルギー(γ_s)	(mN/m)	49.3
水との界面張力(γ_{sl})	(mN/m)	61.3

表-3 樹脂の希釈モノマー添加率と樹脂の表面自由エネルギー値（ γ_l ）の關係
(単位: mN/m)

(単位: mN/m)

No.	希釈モノマー	モノマー添加率 (%)					
		5	10	15	20	25	
I	高分子樹脂モノマー-1	31.6	30.8	29.9	29.3	分離	低い ↑ γ_l ↓ 高い
II	MMA樹脂モノマー	32.8	32	31.4	31	30.8	
III	スチレン樹脂モノマー	33.4	33.3	33.2	33.2	32.8	
IV	高分子樹脂モノマー-2	35.3	35.5	35.5	35.9	36	
高い ← 粘度 → 低い							
注、高分子モノマー-1: MMA樹脂のメチル基をC12のアルキル基と置換したモノマー 高分子モノマー-2: MMA樹脂のメチル基を芳香族が付加したアルキル基と置換したモノマー							

ここで、排水性トップコート工法に使用される樹脂は、ビニルエステル樹脂とMMA樹脂モノマーを混ぜ合わせた基本となる樹脂（ベース樹脂）に粘度調節用樹脂としてさらにMMA樹脂モノマーを添加し、製造している。そこで、今回の実験で使用する樹脂を決定するため、まずこの基本となる樹脂に数種の希釈用モノマーおよびその希釈率を変化させて添加し製造し、粘度の概略値（0.2Pa・s）をベースにし樹脂の表面自由エネルギー値（ γ_l ）を測定することにより、調整を行うことにした（表-3）。また粘度（p）の調整は、各希釈モノマーの添加率により、求める粘度に調整した。

3) 使用樹脂の決定

上記2) にもとづいて、実験に使用する樹脂を以下の2グループとした。

グループ1：粘度（p）の変化を確認するためのもの

樹脂散布時の表面自由エネルギー（ γ_l ）を一定とし、粘度（p）を変化させたもの（表-4）。ここで、排水性トップコートで使用される樹脂は、ベース樹脂に対する希釈モノマーにMMA樹脂が使用されており（希釈量は10%前後）、その標準的な γ_l は約32mN/mである（表-3のNoⅡ）。しかし、今回の実験ではスチレン樹脂モノマーが希釈率と γ_l との関係において一定した値を示したので、表-3のNoⅢの組み合わせを標準とし、 γ_l の基準値は33.2mN/mとした。

表-4 粘度変化による影響を調べるため希釈モノマー（スチレン樹脂）の添加率を変えた場合の γ_l とp（グループ1）

樹脂No.	希釈モノマー	モノマー添加率(%)	散布時粘度 (20℃)	表面自由 エネルギー
			P	γ_l
			Pa・s	mN/m
0-2	スチレン樹脂 モノマー	5.0	1.12	33.4
①		8.0	0.50	33.3
①-2		8.0	0.51	33.3
②		16.5	0.24	33.2
③		25.0	0.14	32.8
④		30.0	0.10	33.4
備考：樹脂No.0-2および①-2は2回目の実験で用いた樹脂。 (0-2は追加作成、①-2はブランク用)				

表-5 表面自由エネルギーの影響を調べるための希釈モノマーの種類と添加率における γ_l とp（グループ2）

樹脂No.	希釈モノマー	モノマー添加率(%)	表面自由エネルギー	粘度
			γ_l	P
			mN/m	Pa・s
⑤	高分子樹脂モノマー1	15	29.9	0.34
⑥	MMA樹脂モノマー	12.5	32.3	0.21
⑦	スチレン樹脂モノマー	16.5	33.2	0.24
⑧	高分子樹脂モノマー2	40	36.2	0.33
備考：樹脂No.⑦は②と同じ				

グループ2：付着濡れ仕事量（Wa）の変化を確認するためのもの

粘度（p）を一定とし、表面自由エネルギー値（ γ_l ）を変化させたもの（表-5）。ただし、現実には γ_l は30～36mN/mの範囲で、また散布時の標準粘度（P：0.2～0.35Pa・s）の範囲で一定にする必要があるが、この範囲に調整しようとした場合、樹脂の分離等の問題が生じたため、この結果散布時の標準粘度範囲の上限（バインダNo⑤、⑧）と下限（⑥、⑦）のもので、実験に使用した。

2-2 測定方法

測定に使用した機器類は以下のものである。なお樹脂による空隙閉塞の評価には透水係数変化率（kf）および空隙詰まり残存透水率（kr）を用い、これらの測定はすべて一定温度20℃で行った。

1) 散布時粘度（p）の測定

使用樹脂の粘度測定は汎用型のB型回転粘度計（JIS K 7117）を用いた。

2) 界面特性

①液体の表面自由エネルギー値（ γ_l ）の測定

樹脂の表面自由エネルギー値（ γ_l ）の測定には表面張力測定器（協和界面活性科学（株）DIGI-O-MATTIC ESB-IV（写真-1））を使用した。

②付着濡れ仕事量（Wa）の算定

個体表面に液体が付着する場合の濡れの仕事の形態には2つの型がある^{1,2)}。1つは個体に液体が付着した場合で濡れ角度 $\theta=0^\circ$ のときで、個体表面上を液体は濡れ拡がろうとする仕事の形態（Ws：spreading wetting）。もう一つは $\theta \leq 180^\circ$ のときで固体上の液体は濡れ角度を一定に保とうとする付着濡れ仕事の



写真-1 使用した液体の表面張力計

形態 (W_a : adhesional wetting) である¹²⁾。トップコート工法の場合の固体 (アスファルト) と液体 (樹脂) との濡れ、および硬化後樹脂と水との濡れの状態を写真-2に示したが、両者とも $\theta \neq 0^\circ$ である。

そしてこの固体表面上に付着した液体 (付着濡れ) が接触角度を一定に保とうとする力の働きを図-1に示す。ここで施工時の樹脂散布時の状態は、 $\theta \neq 0^\circ$ であるので付着濡れ (adhesional wetting) の型であり、このときの仕事量は式-1で表される。付着濡れ仕事量 (W_a) を求めるには、 γ_l は表-4、5で求まっており、また γ_s および γ_{sl} は先の検討⁶⁾ の方法を用いることにより測定することができる。しかし式-1に Young の式 (式-2) を代入すると式-3が求まり、付着濡れ仕事量 (W_a) は γ_l および固体と液体の接触角度 (θ) を測定するだけでよい。つまり式-3を用い、表-4、5に示した γ_l および、アスファルトと樹脂の濡れ角度を測定し W_a を求めた。

なおアスファルトと樹脂の接触角度は接触角度 (θ) は自動接触角計 (協和界面活性科学(株)FACE 自動接触角計 CA-Z 型) により測定した。

$$W_a = \gamma_s + \gamma_l - \gamma_{sl} \quad \dots \text{式-1}$$

$$\gamma_s = \gamma_l \cos \theta + \gamma_{sl} \quad \dots \text{式-2}$$

$$W_a = \gamma_l (\cos \theta + 1) \quad \dots \text{式-3}$$

ここで

θ : 固体と液体の接触角度 $^\circ$

W_a : 付着濡れの仕事量 (固体と液体の接触により両者の表面自由エネルギーが減少する量) mN/m

γ_l : 液体の表面自由エネルギー (液滴の表面積を小さくしようとする力) mN/m



写真-2 2つの場合 (施工時、施工後) の付着濡れ

($\theta \neq 0^\circ$) の状態

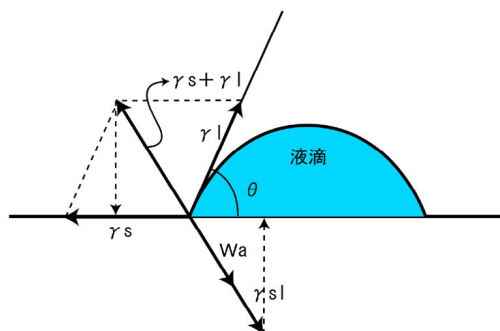


図-1 液体が固体に接触したときの界面特性 (接触角度 (θ) を一定に保とうとする力の働き)

γ_{sl} : 界面張力 (固体と液体の界面に残存する自由エネルギー) mN/m

3) 供試体の作製

供試体は、高粘度改質アスファルトを用いた表-1に示す排水性混合物について、表-4、5の各樹脂をトップコートし作製した。なお樹脂の散布量は施工時の上限側をとって 0.6kg/m^2 の2回散布とし、作製は 20°C の温度雰囲気下で行った。

2-3 空隙閉塞の評価指標

1) 透水係数変化率 (kf)

透水係数変化率 (kf) は樹脂散布前後の透水係数を室内透水試験器を用い式-4を用い算定した。透水試験方法は、先に⁶⁾行ったと同様の大川らが提案した方法を用い動水勾配2%での透水係数を求めた。

$$kf = (k_a / k_b) \times 100 \quad \dots \text{式-4}$$

ここで k_f : 透水係数変化率 (%)

k_a : 樹脂散布後の透水係数 (cm/sec)

k_b : 樹脂散布前の透水係数 (cm/sec)

2) 空隙詰まり残存透水率 (kr)

室内透水試験器を用い、粒度を調整した空隙詰まり物質を供試体表面から流し込む先に行ったと同様の方法で求めた。すなわち、流し込み回数5回ごとに乾燥を行い透水係数を測定し残存透水率 (kr) は式-5により求めたが、ここで重要となることは、その透水係数の測定方法である。空隙詰まりが進行するに従い透水係数が低下し、流速は 10^{-1}cm/sec 以下になり、流速が $10^{-2} \sim 10^{-1}\text{cm/sec}$ 以下では水の流れの状態が乱流から層流に変化し、層流域の透水係数は乱流域の透水係数よりかなり大きく求められる¹⁵⁾。したがって、通常の水頭差を固定した方法 (舗装試験法便覧5-3-5) では空隙詰まりを生じ、乱流域から層流域に透水係数が変化すると、この変化による透水係数が異なるため適切に評価できない¹⁶⁾。そこで透水試験の方法は水頭差を数点変えて流速を変化させ、乱流域から層流域まで評価できる大川らの方法を用いて透水係数 (水頭差2%) を求め評価を行った。

$$kr = (k_n / k_0) \times 100 \quad \dots \text{式-5}$$

ここで

kr : 空隙詰まり残存透水率 (%)

k_n : 流し込み回数n回目の透水係数 (cm/sec)

k_0 : 流し込み回数0回の透水係数 (cm/sec)

3) 空隙詰まり回復性能

空隙詰まりを生じポーラス舗装体の機能が低下した場合、高圧洗浄等により機能回復作業が行われている。この作業に対しトップコート工法の空隙詰まり回復効果（防塵機能）を確認するため、空隙詰まり残存透水率（kr）を測定したあとの供試体について、その表面の空隙つまり物質を掃除機による吸引により除去し（写真－3）、その表面状態を評価した。

3. 測定結果とその解析

3-1 各測定結果と付着濡れ仕事量（Wa）などの算定結果

作製した各樹脂の界面特性などの測定値、付着濡れ仕事量（Wa）などの算定値、および透水試験より求められた結果などを表－6に示す。なお、硬化樹脂と水との濡れ仕事量（Waa）および界面張力（ γ_{sla} ）についても求めた結果を備考に示す。

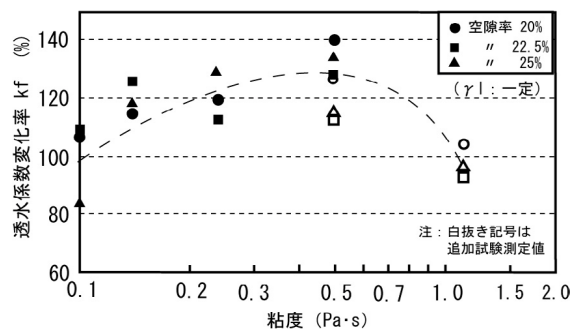


写真－3 空隙詰まり物質除去作業状態

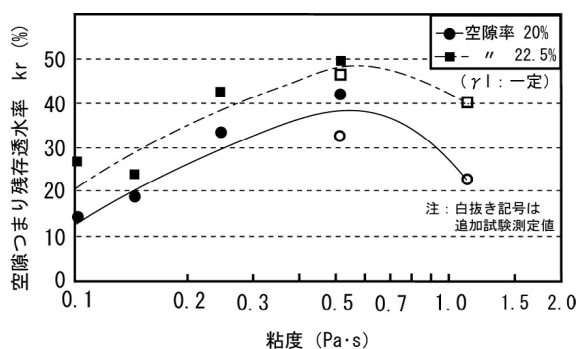
3-2 解析結果

1) 塗布時粘度（p）と透水係数変化率（kf）、空隙つまり残存透水率（kr）の関係

粘度（p）と透水係数変化率（kf）および空隙つまり残存透水率（kr）の関係を図－2、3に示す。なお、図2、3の白抜き記号は、kf と kr の下限側を求めて適正な粘度範囲を確認するため、 γ_l の値を一定（33.2mN/m）として、さらに高粘度の樹脂を作成し（表－4、6 参照）追加試験を行った測定値である。これより、樹脂の表面自由エネルギー値（ γ_l ）が一定の



図－2 粘度（p）と透水係数変化率（kf）の関係



図－3 粘度（p）と空隙つまり残存透水率（kr）の関係

表－6 作成した樹脂の各測定結果と算定結果

樹脂No.	粘度	表面自由エネルギー値	アスファルトと樹脂の濡れ角度	濡れの仕事量	界面張力	透水係数変化率(kf)			空隙詰まり残存透水率(kr)		備 考	
						%			%		硬化後樹脂と水の濡れの仕事量	硬化後樹脂と水の界面張力
	p	γ_l	θ	Wa	γ_{sl}	空隙率 (%)			空隙率 (%)		Waa	γ_{sla}
	Pa・s	mN/m	°	mN/m	mN/m	20%	22.5%	25%	20%	22.5%	mN/m	mN/m
グループ1												
O-2	1.12	33.4	71.6	43.9	38.8	104.8	91.8	95.2	22.9	40.8	70.9	62.1
①	0.50	33.3	61.4	49.2	33.4	139.8	128.6	134.0	42.2	49.8	67.8	59.5
①-2	0.51	33.3	61.8	49.0	33.6	126.3	113.4	116.7	31.8	46.1	—	—
②	0.24	33.2	53.3	53.0	29.5	119.5	112.4	128.8	33.8	42.8	66.6	55.9
③	0.14	32.8	47.3	55.0	27.1	114.9	125.6	117.8	19.3	24.2	66.5	49.0
④	0.10	33.4	45.6	56.8	25.9	107.3	108.7	82.9	14.8	27.1	57.3	47.7
グループ2												
⑤	0.34	29.9	42.6	51.9	27.3	109.2	121.9	98.9	28.2	38.2	72.0	50.8
⑥	0.21	32.3	45.2	55.1	26.5	104.5	124.3	105.3	21.6	32.8	70.9	52.3
⑦	0.24	33.2	53.3	53.0	29.5	119.5	112.4	128.8	33.8	42.8	66.6	55.9
⑧	0.33	36.2	46.5	61.1	24.4	99.7	103.4	86.6	16.5	24.3	96.5	44.4

備考：樹脂No.O-2および①-2は追加試験で用いた樹脂。(O-2は追加作成、①-2はブランク用)

備考：樹脂No.O-2および①-2は追加試験で用いた樹脂。（O-2は追加作成、①-2はブランク用）

場合、粘度 (η) は図-2, 3から k_f および k_r と関係があり、適正な粘度範囲で空隙閉塞の防止効果が高いことを示している。これは散布時粘度 (η) が低い場合樹脂のダレる量が増し、そのため空隙を詰まらすと考えられ、高すぎる場合は、樹脂がダレずに、舗装体上部を覆ってしまうためである。それは、写真-4に示すように散布する樹脂が適切な粘度範囲であれば空隙を閉塞せず良好な被膜状態を示すためであり、その適正な粘度は $0.25 \sim 0.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の範囲にある。

2) 界面特性、表面自由エネルギー値 (γ_l) と透水係数変化率 (k_f)、空隙詰まり残存透水係数 (k_r) の関係

樹脂の表面自由エネルギー値 (γ_l) と透水係数変化率 (k_f) および空隙詰まり残存透水率 (k_r) の

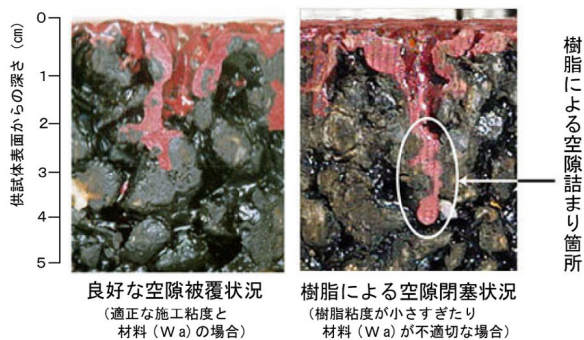


写真-4 散布樹脂の2つの被覆状態

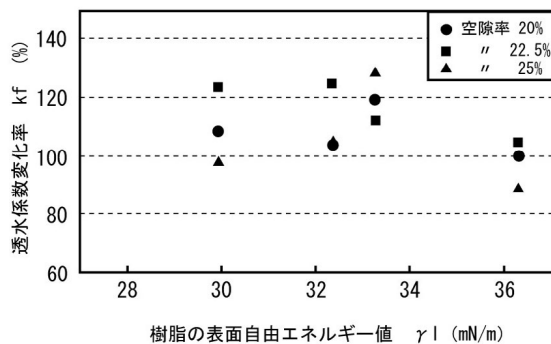


図-4 樹脂の表面自由エネルギー値 (γ_l) と透水係数変化率 (k_f) の関係

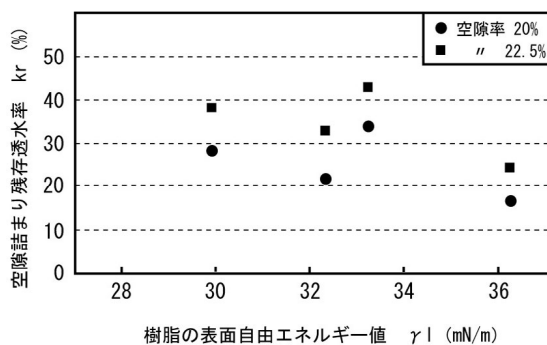


図-5 樹脂の表面自由エネルギー値 (γ_l) と空隙詰まり残存透水率 (k_r) の関係

関係を図-4, 5に示す。 γ_l は液体の界面特性を表す指標であり付着濡れ仕事量 (W_a) に関与するが、これらの図より γ_l と k_f および k_r との関係は明確ではなく、空隙閉塞の関係に大きく作用していないといえる。

3) 濡れの仕事量 (W_a) と透水係数変化率 (k_f)、空隙つまり残存透水係数 (k_r) の関係

濡れ仕事量 (W_a) と透水係数変化率 (k_f) および空隙つまり残存透水率 (k_r) の関係を図-6, 7に示す。なお、図中の白抜き記号 (表-6の0-2, ①-2) は、図2, 3と同様に k_f と k_r の下限側を求めるため、追加試験から求めた値をプロットしたものである。これより、空隙閉塞には濡れの仕事 (W_a) が関係していることがわかる。そしてこの関係は k_f よりも k_r の方が舗装体空隙率との関係がより明確で、同じ W_a なら空隙率が大きいほど k_r は大きい。

そして、図-7より、空隙閉塞防止にはアスファルトに対する付着濡れ仕事量 (W_a) は粘度と同じく濡れの仕事量 (W_a) の適正な範囲を示し、写真-4に示すように W_a が大きすぎると空隙閉塞を生じ (k_r が小さい)、あまり W_a が小さいと、濡れにくく浸透しにくいために残存透水率 k_r も小さくなり、適正な W_a は概略 $50 \sim 55 \text{ mN/m}$ と考えられる。

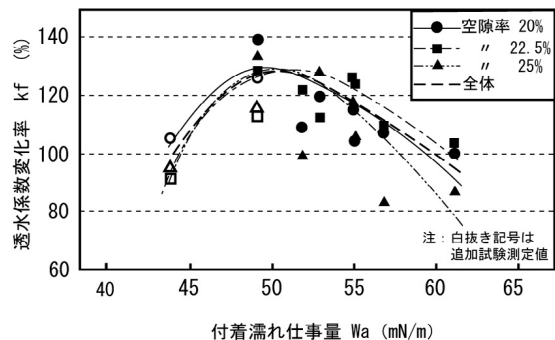


図-6 濡れの仕事量 (W_a) と透水係数変化率 (k_f) の関係

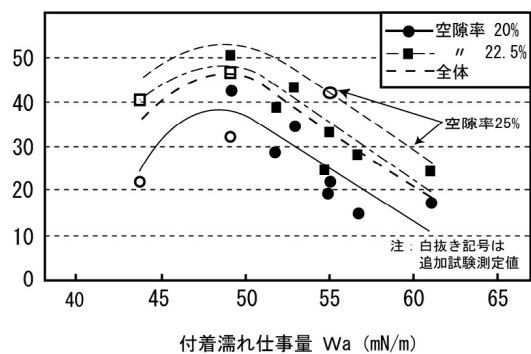


図-7 付着濡れ仕事量 (W_a) と空隙つまり残存透水率 (k_r) の関係

4) 透水係数変化率 (kf) と空隙詰まり残存透水率 (kr) の関係

空隙閉塞の評価指数、透水係数変化率 (kf) と空隙詰まり残存透水係数 (kr) の関連性をみたのが図-8である。図-2, 3や図-6, 7においてもkrの方がkfよりもいずれの関数に対してもバラツキが小さく、評価方法としては適切と考えられる。しかし試験の上で一次的手段としてはkfが有用であり、一連のデーターより、トップコートの有効性は $kf > 120$ ~ 130 とみることができそうである。

なお、図-7の中に空隙率25%をプロットしたものは図-8の関係をj用いて求めたものである。

5) 空隙詰まり回復機能と硬化樹脂の界面張力 (γ_{sla}) の関係

先の2-3.3)の空隙詰まり回復性能の観察を行いその結果を写真-5に示す。これより硬化樹脂の γ_{sl} が小さいほど土粒子の付着が認められなくなり、 γ_{sl} が大きいほど土粒子がバキュームでは吸い取られにくい結果を示す。これより空隙詰まり回復機能は硬化後の樹脂と水との濡れ仕事量 γ_{sl} により左右され、 γ_{sl} が小さいほどその機能が発揮できると考えられる。ここで硬化樹脂の濡れの仕事量 (Waa) について

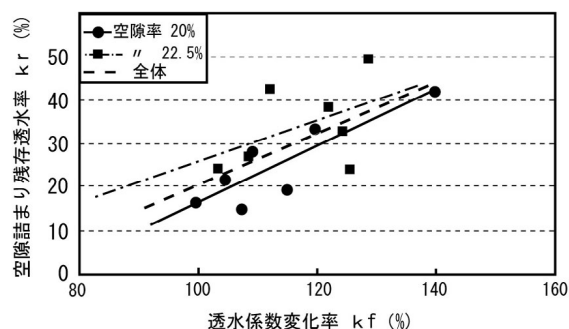


図-8 透水係数変化率 (kf) と空隙詰まり残存透水率 (kr) の関係

も同様な傾向があるが、硬化樹脂と水との界面張力 (γ_{sla})の方がより明確である。したがって先に⁶⁾、硬化樹脂と水との界面張力 (γ_{sl})が小さいほど空隙詰まり効果が高いことが判明したが、写真-5からも同じ傾向であるといえ、空隙詰まりを生じにくいものは、たとえ生じても回復が容易であるといえそうである。そしてその効果からは概略 γ_{sl} は50mN/m以下が望ましいようである。

4. 2層式トップコート工法への応用

本研究では空隙閉塞特性を、表面部2~3cmについて散布樹脂などがダレないで均質に樹脂被覆するためのトップコート工法の効果を検討してきた。これまでの施工経験から排水性トップコート工法は、経済性と共に空隙詰まり抑制能力と回復性能 (防塵機能) からにおいて、この表面部の樹脂被覆だけが重要である。しかしながらより高性能や高耐久性を考えたとき、より高空隙率 (たとえば25%以上) で、厚層 (例えば5~6cm) のポーラス舗装が要求されたとき、全厚 (基面部) についても、より均一な膜厚ですみずみまで浸透被膜させ、かつ表面部については種々の本来の機能を持たせるような排水性トップコート、いわゆる2層式トップコート工法の適用性が出てくる。舗装工法にあっても2層式の考えはある¹⁷⁾が、トップコート工法についてそれは現実には散布量を確保するなどのために2回散布を行なっていることから也容易に考えられる。これまでに検討した本工法の応用として、2層式トップコート工法の実例のいくつかを挙げる。なお、これらに使用される各種樹脂は、その目的に合致した施工粘度 (p) と界面特性 (W_a , γ_{sl} など) を持つ必要があり、水性化 (エマルジョンタイプ) や親水基 (光触媒タイプ) などの効果^{18)~21)}が関係する。

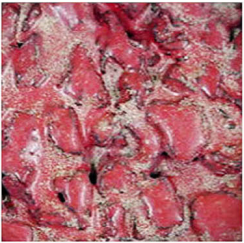
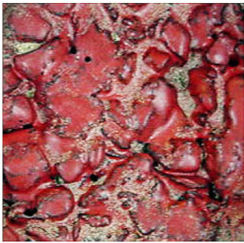
樹脂No.	①	②	③	④
空隙物質除去後の供試体表面状態				
γ_{sla} (mN/m)	59.5	55.9	49.0	47.7
Waa (mN/m)	67.8	66.6	66.5	57.3
備考	0.1~0.2mm程度の砂粒分および粘土粒分以下の付着が多く認められる。	①と比較し砂粒分の付着は減少するが、粘土粒分の付着は多く認められる。	砂粒分の付着はなくなり、粘土粒分の付着も減少する。	砂粒分および粘土粒分の付着がほとんど認められない。

写真-5 空隙詰まり回復性能効果 (防塵性能) の状態

1) 若返り再生（表面部）・耐水性強化（全層）トップコート工法

ポーラス舗装体の空隙にアスファルト乳剤と変性ポリアミン系剥離防止剤を主成分とするエマルジョンタイプ若返り剤を散布する¹⁷⁾ことで、舗装体強化と表面部再生をはかる。

2) 舗装冷却兼用耐久性トップコート工法（全層）

舗装直後のポーラス舗装体の交通開放を早めるため、冷却を兼ねたエポキシ樹脂エマルジョンを散布・浸透させて^{19) 20)}舗装体強化と空隙詰まり抑制効果をはかる。

3) NO_x除去用トップコート工法（表面部）

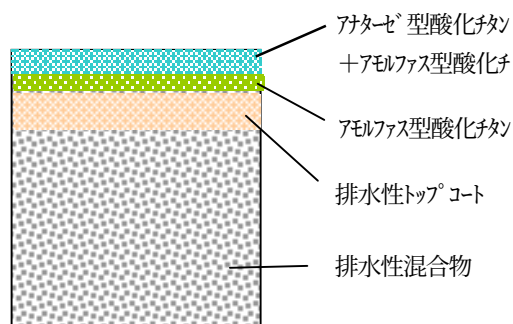
ポーラス舗装体表面部に排水性トップコートと組み合わせた光触媒酸化チタンを固定する²¹⁾ことで（図－12）NO_x低減効果の機能を持たせる。

4) その他、視線誘導等のための識別用明色トップコート工法（表面部）

明色トップコート工法は、高速道路サービスエリアのパーキングエリアの大型車両の区画標示等実績が多いが、今後車線区別など安全対策面での適用が期待され、表面部対処のトップコート工法の典型例といえる。

5. まとめ

ポーラス舗装トップコート工法における「空隙詰まり問題」は施工後（供用後）の硬化（固体）樹脂と水との界面特性（ γ_{sl} ）および施工時のアスファルト混合物（固体）と硬化前（液体）樹脂との界面特性（ p ）ならびに W_a ）の2つから考えなければならない。本研究では主として後者のアスファルト（固体）と樹脂（液体）との界面特性を測定して、その透水性向上（ k_f ）と空隙詰まり防止効果（ kr ）を検討した。また、空隙詰まりは表面部2～3cmにとどまるので、この部分についての界面特性をより確実に強化することが肝要であり、より合理的な排水性トップコート工法としての



図－9 光触媒を固定した排水性トップコートの断面図

2層式工法を提案した。

ここで得られた結果は以下である。

- 1) 散布樹脂のダレによる空隙閉塞を生じさせないためには噴射できる範囲内（ $p < 0.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ）で、その散布粘度は高い方がよい。舗装体表面部2～3cmを均一に膜厚形成させるに適切なトップコート樹脂の施工時散布絶対粘度の適正範囲は0.25～0.5（ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ）である。
- 2) 空隙詰まり特性（空隙つまり残存透水率 kr ）は散布樹脂（液体）の界面特性、即ち付着濡れ仕事量（ W_a ）と関係する。散布した樹脂がアスファルト混合物に均一な膜を生じ、空隙詰まり防止効果を発揮するにはその樹脂材の付着濡れ仕事量 W_a が適正な範囲でなければならず、その適正範囲は50～55（ mN/m ）である。それは舗装体の空隙率によっても左右され、空隙率を大きくできれば（22.5%以上）、濡れやすさ W_a は空隙率20%の場合より大きくてもよい。
- 3) 樹脂散布施工時のダレによる空隙閉塞を生じさせないためには、散布時の粘度（ p ）と散布樹脂材料の物性（ W_a ）の2つを適切に選定しなければならない。即ち、冬季施工においては、一義的にノズルの噴射のできる粘性の確保（ $P < 0.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ）が重要であり、また夏期においては温度が上がり粘度が低下しやすくなるので、適切な界面特性（ $W_a < 55 \text{ mN/m}$ ）を持つ樹脂材料を選択する必要がある。
- 4) 樹脂散布施工後の粉塵物質による空隙詰まり回復性能（防塵機能）は、先に求めていた硬化樹脂と水との界面特性 γ_{sl} で関係づけられそうで、 γ_{sl} が小さいほど空隙詰まりの回復性能も高い。これは先にえられた空隙詰まり抑制特性（空隙つまり残存透水率 kr ）と同じ結果であり、空隙詰まり抑制効果が高い、界面張力 γ_{sl} の値の小さい樹脂を用いた排水性トップコートは、たとえ空隙詰まりを生じて、その機能回復が容易であるということになる。定量的な評価は残るが、硬化樹脂の γ_{sl} は概略50 mN/m 以下が望ましい。
- 5) 表面部強化トップコート工法として2層式工法の実例を、エマルジョンタイプ（若返り再生用、舗装体冷却用など）、光触媒固定（NO_x除去用）や明色タイプ（安全、識別用）についてあげた。

あとがき

排水性トップコート工法の空隙詰まり特性を明らかにすることから、適切な施工方法を見いだすための足がかりを得た。

それはまず施工（樹脂散布時点）で、ダレによる閉塞を生じないこと（空隙閉塞防止）、次に施工後硬化樹

脂と水との界面で、透水性の低下が小さいこと（空隙詰まり抑制）、そして詰まっても、その機能回復が容易である防塵機能を持つこと（空隙詰まり回復）の3つである。

各条件下での界面特性から、それぞれの機能効果を求めたが、ここで得られたものは基本的な限られた条件下のものである。今後は、さらに樹脂散布量や舗装体空隙率の変化による界面特性に与える影響と共に、空隙詰まり防止機能の保持期間やその費用対効果を実道での試験施工を通じて調査をおこない、これらに適合する樹脂材料のさらなる基本的な解明と技術開発が重要である。またより合理的な排水性トップコート工法としての2層式工法の適合性などについても検討する必要がある。最後に実験にさいしていろいろとご助言を頂いた大日本インキ化学工業(株)関西ポリマー研究所の植野慎也博士と中川修博士に紙上を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 大道賢, 山之口浩, 丸山暉彦: ポーラス舗装の多機能性と高度化による適用性の検討, 第8回北陸道路舗装会議報告集, pp. 37-40, 2000.6
- 2) 根本信行, 向後憲一, 溝渕優: 排水性舗装機能高度化に関する一検討, 舗装 Vol.27, No.4, pp. 18-24, 1992.4
- 3) 佐藤友邦, 菅原賢司, 西海昌彦: 寒冷地における排水性舗装の摩耗対策(山形自動車関沢IC～山形蔵王IC間での追跡調査), 舗装 Vol.28, No.5, pp.23-29, 1993.5
- 4) 渡邊三男: タイヤチェーン装着車両による排水性舗装の骨材の剥奪・飛散被害, 舗装 Vol.33, No.10, pp.32-37, 1998.10
- 5) 田中徹夫, 山之口浩, 福富眞: 排水性トップコート工法の性能と適用性, 第23回日本道路会議一般論文集(C), pp. 260-261, 1999.10
- 6) 大道賢, 中川修, 山之口浩, 丸山暉彦: 排水性トップコート工法のポーラス舗装体における機能向上効果, 土木学会舗装工学論文集第5巻, pp.31-38, 2000.12
- 7) 田中俊彦, 打田久男, 加藤義輝: 排水性舗装に関する調査(九州地建の実例)(下), 舗装 Vol.35/No.3, pp.15-20, 2000.3
- 8) 増山幸衛, 草刈憲嗣, 福井洋二, 岡野博国: 排水性舗装の機能回復の現状, 道路建設No.581, pp.33-41, 1996.1
- 9) 根本信行, 秋葉國造, 植野慎也, 三田俊夫: 除塵性樹脂を利用した排水性舗装の機能維持方法の検討, 土木学会第54回年次学術講演会論文集, pp.352-353, 1999.6
- 10) 矢野安賞, 小林茂男, 光安正純: 高圧洗浄による機能回復後排水性トップコート工法の適用例, 第23回日本道路会議一般論文集(C), pp.356-357, 1999.10
- 11) 植木憲二: 塗料の選び方・使い方〔改訂2版〕, 日本規格協会, pp.73-87, 1998.2
- 12) 近藤保: 界面化学第3版, 三共出版, pp.63-67, 1992.3
- 13) 浅見高: プラスチック材料講座アクリル樹脂, 日刊工業新聞社, pp.24, 1970
- 14) 井本稔: 表面張力の理解のために, 高分子刊行会, pp.73-93, 1993.6
- 15) 帆刈浩三: 排水性舗装の透水特性と定水位透水試験方法, ポーラスアスファルト研究会第2回研究発表会試料III-1, 1996.3
- 16) 大道賢, 今井寿男, 齊藤丈司: 排水性トップコート工法の空隙詰まり抑制効果とその測定方法, 第24回日本道路会議一般論文集(C), pp.188-189, 2001.10
- 17) Bochovevan, Ir, G.G: ASPHALT(TWO-LAYERED)-OPTIMISING, 2nd E&E congress Barcelona-2000, Proc.0229.uk, 2000
- 18) 井上賢志: アスファルト舗装の構造およびその施工方法, 特開平6-4961, 1994
- 19) 井上賢志: 排水性舗装の施工方法およびその構造, 特願平10-117757, 1998
- 20) 北川和男, 島村哲朗, 松田嘉宗, 大道賢, 山之口浩: フェノール樹脂リサイクルから得られるエポキシ樹脂の排水性トップコートへの利用, 第56回土木学会年次学術講演会, 2001.10
- 21) 齊藤丈司, 帆刈浩三, 山之口浩: 光触媒を利用した排水性トップコート工法の開発, 第24回日本道路会議一般論文集, 2001.10

The study on characteristic on voids blocking of topcoat for porous asphalt

Masaru OHMICHl • Masazumi MITUYASU

Hiroshi YAMANOKUTI • Teruhiko MARUYAMA

In the previous study on the effect on improving water permeability and restraint of voids blocking of topcoat for porous asphalt, it was found that depend on the condition for the spray application of resin, there are oppositely some possibility to lead to accelerate voids blocking. In this study, in addition to wetting properties between the resin applied and water (surface tension against water, γ_{sl}), adhesional wetting properties (work load of water, W_a , etc.) between the resin and asphalt mixes surface during application were discussed, and the mechanism of the voids blocking during application and its recovery performance were investigated, and appropriate application methods were suggested.