

透水性アスファルト舗装の車道への適用 に関する検討

吉中 保¹・根本信行²・幸田正裕³

¹正会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川3-32-34)

²正会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川3-32-34)

³正会員 日本舗道株式会社 中部試験所 (〒486-0925 愛知県春日井市中切町若原80)

雨水を路床以下に浸透させる透水性舗装は、水循環の保全や車両走行の安全快適性の確保といった効果が期待できる。これまで、歩道や駐車場などの比較的交通条件の厳しくない箇所、あるいは一部地域では車道にも適用されてきているが、重交通道路に一般的に使用されるには至っていない。

本研究は、透水性舗装の重交通路線への適用性について、試験施工を実施して検討したものである。ダンプトラックによる繰返し载荷を行った舗装体での、FWD によるたわみ量の測定および動的平板载荷試験による路床・路盤の支持力の測定結果から、雨水の浸透に対する構造的な耐久性の確保は可能であると判断できた。

KeyWords : permeable asphalt pavements, preservation of water circulation, heavy traffic road, loading test, structural durability, Falling Weight Deflectometer

1. はじめに

透水性舗装は、舗装体中に適度な空隙を確保することによって透水機能を付与し、雨水の地下水涵養といった環境保全、あるいは雨天時におけるハイドロプレーニング現象の抑制や水はね防止などの車両走行の安全性・快適性の確保からも有効であり、舗装機能として多くの利点を有する望ましい舗装構造であろう。また、特に都市圏におけるように、市街化に伴う雨水の流出形態の変化は、豪雨時など河川に急激な負担をもたらす場合があり、都市内面積のかなりの部分を占める道路を透水性舗装とすることは、総合的な治水の見地からも有効な対策となりうるものと考えられる¹⁾。しかしながら、わが国における透水性舗装の適用は、主として歩道や駐車場などの比較的交通条件の厳しくない箇所が多く、また車道部においては新潟市の標準工法として採用されているが²⁾、重交通道路に一般的に適用されるまでには至っていないのが現状と考えられる。

筆者らは、これまで透水性アスファルト舗装（以下、透水性舗装と称す）の車道への適用といった観点から、透水性舗装をシステムとしてとらえ、これに影響を与える外的および内的要因を考慮した舗装

構造の検討³⁾、そして舗装各層に使用する材料や混合物の耐久性に関する検討^{4) 5) 6)}、機能維持方法に関する検討⁷⁾などを行い、その結果を報告してきた。

本論文は、車道透水性舗装として特に重交通道路への適用を目的とした場合の耐久性について、試験施工を実施して検討した結果を報告するものである。

2. 透水性舗装の概要

(1) 適用効果

通常の舗装における降雨処理は、舗装表面の勾配を利用して排水溝や集水ますによって行われるのに対し、透水性舗装の場合は、舗装体中の空隙を利用して雨水を浸透貯水しながら路床以下に徐々に排水することによって行われる。その際の路床への雨水の排水速度は、対象となる路床土の透水性能（透水係数）の影響を受ける。また、雨水の一部は、舗装表面から蒸発散もされる。

このように、透水性舗装は、路床に雨水を浸透させることができること、雨天時における路面滞水を防止できること、路面からの蒸発散によって舗装体の温度上昇を抑制できること、および表層部の空隙



図-1 透水性舗装の適用効果

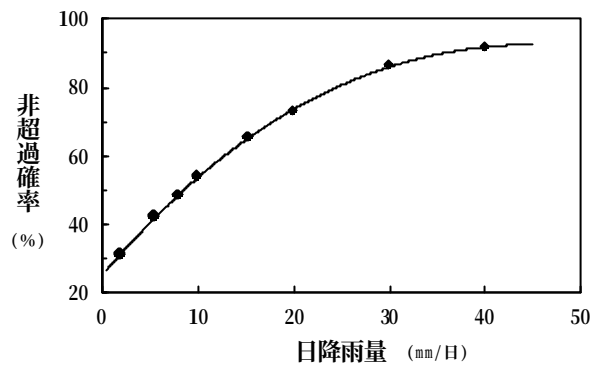


図-2 日降雨量と非超過確率の関係

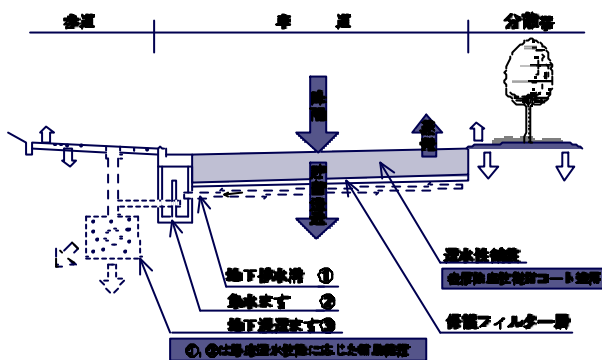


図-3 透水性舗装の構造概念

自体を利用できることなどで機能を発揮するものであり、図-1に示すような適用効果が期待できる。

(2) システムにおよぼす要因と車道舗装への適合性

車道用透水性舗装を、路床以下へ雨水を浸透させるためのシステムとしてとらえた場合、それに影響をおよぼす内的要因としては、舗装各層の厚さとその空隙率の積によって表される舗装体内の貯水可能量と、路床土の透水係数で示される排水速度があり、外的要因としては、対象とする降雨条件（降雨特性）が主なものとして挙げられる。つまり、透水性舗装の貯水能力と排水能力が設定した降雨特性に見合うものであれば、システムとしての機能は十分に果たせるものと考えることができる。

この降雨特性を表す指標としては、例えば降雨強度、降雨量、あるいは降雨継続時間などがあるが、舗装体の所要貯水量は降雨量の影響を大きく受けることから、日降雨量を設定してこれを基準にシステムの適合性を判断することが妥当と考えられる。過去の降雨量データを用いた指数分布による確率計算から日降雨量と非超過確率の関係を求め(図-2)、さらに降雨が日界をまたぐ場合を考慮して対象とする降雨量を設定すれば 36mm 程度（この場合の非超

過確率は 90%程度と推定される）が適切である³⁾。

車道への透水性舗装の適合性についてアスファルト舗装要綱⁸⁾に示されている通常舗装構造の範ちゅうで考えた場合、舗装体における有効な空隙率を平均で 15%とし、設定した降雨量 36mm を貯水するのに必要な舗装厚は 24cm であることから判断すれば、ある程度の空隙率を有して耐久性も確保できる舗装材料を使用すれば、交通量区分 L～D における現在の車道構造でも透水機能の付与は可能である。なお、貯水可能量だけからみれば、設計交通量が多く、路床の設計 CBR が小さい場合の方が、所要の舗装厚が厚くなるので有利な方向となる。

3. 試験施工による重交通道路への適用検討

ここでは、透水性舗装の重交通道路への適用性を検討するため、まず使用する路床土の条件と設計交通条件を基にして構造設計を行い、各層に使用する舗装材料の品質基準などを定めて配合設定し、構築した試験施工ヤードでの載荷実験によって耐久性などの確認を行った。

(1) 構造概念と基本方針

透水性舗装の構造概念は図-3に示すとおりである。雨水は、主として路床以下に浸透させるものであるが、路床の透水係数が 5×10^{-5} cm/sec (2(2)で設定した日降雨量 36mm をほぼ1日間で浸透できる透水係数) 程度以下の場合には、浸透ますなどの補助的施設を設けることが望ましい。

各層の舗装材料は、表・基層および上層路盤には開粒度アスファルト混合物（以下、開粒アスコンと称す）を、そして下層路盤には粒状材料を使用する。

また、供用後の透水機能の長期的な維持に関しては、表層に最大粒径 10mm の開粒アスコンを薄層

表-1 表層、基層、上層路盤用開粒アスコンの性状など

項 目		表 層 (10mmTop開粒アスコン)	基 層 (20mmTop開粒アスコン)	上層路盤 (30mmTop開粒アスコン)
アスファルトの種類		高粘度改質アスファルト	高粘度改質アスファルト	改質II型アスファルト
設計アスファルト量 (%)		4.3	4.6	4.5
骨材合成粒度	31.5 mm			100.0
	26.5		100.0	98.7
	19.0		98.2	91.8
	13.2	100.0	72.8	58.0
	9.5	91.6	—	—
	4.75	22.1	14.2	13.3
	2.36	14.8	12.7	12.9
	0.6	8.3	9.8	9.2
	0.3	6.4	7.7	6.8
	0.15	5.0	5.8	5.4
(%)	0.075	4.4	4.3	4.3
植物性繊維 (外割, %)		—	0.1	0.2
マシーナル試験	理論密度 (g/cm ³)	3.105	2.522	2.528
	実 際 密 度 (g/cm ³)	2.429	2.015	2.031
	空 隙 率 (%)	21.8	20.1	19.7
	安 定 度 (kN)	8.01	6.58	4.58
	フ ロー 値 (1/100cm)	31	32	32
	残 留 安 定 度 (%)	48hr	96.8	95.5
		96hr	89.5	85.3
品質・性能	透 水 係 数 (cm/sec)	2.29×10^{-1} (2.15×10^{-1})	3.66×10^{-1}	3.79×10^{-1}
	カンタプロ損失量 (%)	標 準	62 (47)	7.3
		水 浸	11.3 (64)	11.9
	動的安定度 (回/mm)	5,800 (8,900)	6,000	5,400
	ラベリック損失量 (cm ²)	1.05 (0.65)	—	—

注) 表層工の()は樹脂コートした場合の値である。

で適用し、空隙孔を小さくすることによって下方側への空隙づまり物質（以下、ダストと称す）の浸入を防止するフィルター層の役目を持たせ、さらに樹脂コート工法⁷⁾を適用することによってダストの付着抑制を図り、機能回復効率を向上させる方法によって行う。なお、表層開粒アスコンの小粒径化は、交通騒音低減の面でも寄与できる。

(2) 舗装材料の性状

各層に使用する舗装材料の品質基準および目標値を定め、これに基づいて配合試験を行った。表-1には表・基層および上層路盤用開粒アスコンの性状を、そして表-2には下層路盤およびフィルター層用材料と路床土の性状を示す。

なお、本試験施工では、産業廃棄物や副産物を有効に活用するという観点から、表層用開粒アスコンの粗骨材として電気炉スラグ、上層路盤用開粒アスコンの細骨材としてゴミ熔融スラグ砂、下層路盤にはアスコン砕を混入したクラッシャーラン、そしてフィルター層にはタイル砕とゴミ熔融スラグ砂の混合材を使用した。産業廃棄物については事前に溶出試験を行い、使用しても問題ないことを確認した。

表-2 下層路盤、フィルター層用材料の性状など

項 目		下層路盤 (再生クラッシャーラン)	フィルター層 (タイル砕＋熔融スラグ砂)	路床土 (真砂土)
粒 度	37.5 mm	100.0		
	26.5	95.2		
	19.0	80.2		100.0
	9.5	44.5	100.0	92.8
	4.75	27.0	97.3	80.9
	2.36	17.6	39.7	—
	0.425	6.3	12.6	35.5
	0.075	3.3	1.8	11.9
塑性指数 (PI)		N P	N P	N P
修正CBR (%)	17回	31.0	—	—
	42回	69.4	—	—
	92回	167.9	—	—
	修正CBR	56.0	—	—
路床CBR (%)		—	—	34.7
透水係数 (cm/sec)	17回	4.61×10^{-2}	—	—
	42回	1.13×10^{-2}	—	—
	92回	5.40×10^{-3}	—	—
	現場密度における透水係数	8.20×10^{-3}	—	—
透水係数 (cm/sec)		—	—	1.97×10^{-3}

(3) 試験施工断面

試験施工における舗装構造の設計は、アスファルト舗装要綱に示されている T_A法に基づいて行った。条件は、路床の設計 CBR を 20 とし、交通量は本検討が重交通路線での適用を目的としていることから

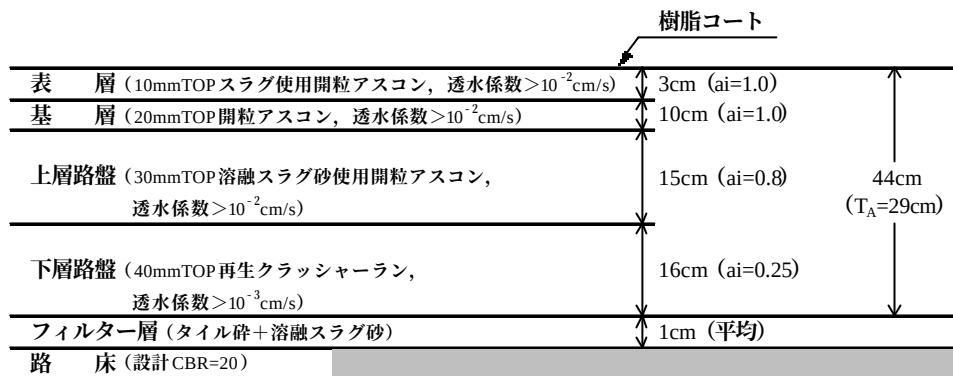


図-4 試験施工の舗装構成

累積5トン換算輪数 7000 万輪（D交通対応で設計期間 20 年を想定）とした。

これらの設計条件から、所要の等値換算厚（ T_A ）は 29cm となり、図-4に示す舗装構成とした。設計にあたっては、各層の等値換算係数を表・基層が 1.0、上層路盤が 0.8、下層路盤が 0.25 としたが、試験施工における FWD の解析結果から検討を加えることとした。なお、これに用いた解析システムは、FWD によって測定されたたわみ形状から、舗装各層の弾性係数を多層弾性理論による逆解析により推定し、その弾性係数から等値換算係数を計算し、その値と舗装各層の厚さとから、構造的価値としての T_A を求めるものである⁹⁾。

(4) 試験ヤードの構築

試験施工のヤードは、幅員 4m、延長 20m とした。まず現地盤を所定深さまで掘削した後、搬入した真砂土をブルドーザで敷均し、タイヤローラで転圧（締固め度 99.3%）して路床を構築した。

舗装各層は、通常のアスファルト舗装に用いられる汎用的な機械を使用して一層施工で舗設した。特に、上層路盤（ $t=15$ cm）および基層（ $t=10$ cm）の開粒アスコンとも、効率的な施工と各層内に水平方向の打継ぎ面をつくらないとの観点から、シックリフト工法で行ったが、このような厚層施工によっても高い締固め度（上層路盤 99.2%、基層 100.6%）が得られ、施工上の問題は特にみられなかった。また、各層間のタックコートおよびプライムコートは、舗装体の透水性能への影響を考慮して今回は施工していない。なお、室内実験では、開粒アスコン間の付着強度は、タックコート無しの場合でも 0.4 N/mm^2 程度であった。

表層開粒アスコンの舗設後、除塵性樹脂コートの施工を行った。構築した試験施工ヤードの路面性状を表-3に示す。

表-3 試験施工ヤードの路面状況

項 目			測 定 値
現場透水量 φ100 ² /15sec			1,277
すべり抵抗	BPN		68
	D F (μ)	40 km/h	0.95
		60 km/h	0.90
キメ粗さ (MIM, mm)			0.93



写真-1 舗装体への散水状況

(5) 荷重車走行試験による構造評価

透水性舗装の構造検討を行うため、ダンプトラック（総重量 20 トン）を荷重車として走行試験を実施した。走行試験の方法は、50mm の降雨に相当する散水（所要時間約 10 分）を舗装体に行い（写真-1）、終了直後から荷重車を 600 回走行（所要時間約 5 時間）させ、各段階における路面調査を実施した。この散水・走行・調査の 1 サイクルを 1 日で行い、合計 4 回繰返した。試験ヤードには、散水・走行を実施した箇所（散水走行箇所）の他、散水せずに走行のみ行った部分（無散水走行箇所）と散水も走行も行わない部分（非走行箇所）も設けた。なお、路床土および下層路盤材の含水比は、施工時ではそれぞれ 8.7%と 3.5%であり、走行試験後の開削調査時（散水箇所）では 13.4%と 4.9%であった。

表-4 FWDによるたわみ量および逆解析結果

測 線	荷重車走 行の有無	散水の 有 無	測 点	測 定 結 果								T _A 推定値 (μ m)
				測 定 たわみ量 (mm)	表・基層 (t=13cm)		上層路盤 (t=15cm)		下層路盤 (t=16cm)		路床 (∞)	
					弾性係数 (MPa)	等値換算 係数 a _i	弾性係数 (MPa)	等値換算 係数 a _i	弾性係数 (MPa)	等値換算 係数 a _i	弾性係数 (MPa)	
右わだち部 No.1)	無	無	①	0.245	8090	1.00	2150	0.80	80	0.18	160	27.8
	有	無	②	0.274	6660	1.00	1630	0.80	170	0.29	140	29.6
	有	無	③	0.245	8060	1.00	1660	0.80	200	0.30	150	29.9
	有	有	④	0.251	6130	1.00	1500	0.78	240	0.33	150	30.0
	有	有	⑤	0.289	8060	1.00	1320	0.73	190	0.30	110	28.7
左わだち部 No.2)	無	無	①	0.227	7330	1.00	1470	0.77	240	0.33	180	29.9
	有	無	②	0.246	8060	1.00	1320	0.73	250	0.34	160	29.3
	有	無	③	0.219	5070	1.00	1860	0.80	270	0.35	170	30.6
	有	有	④	0.242	5490	1.00	1340	0.73	260	0.34	150	29.4
	有	有	⑤	0.254	6040	1.00	1210	0.69	240	0.33	140	28.6
非わだち部 No.3)	無	無	①	0.246	17720	1.00	3470	0.80	580	0.35	100	30.6
	有	無	②	0.274	6530	1.00	1960	0.80	200	0.31	150	29.9
	有	無	③	0.240	6750	1.00	1350	0.74	230	0.32	160	29.2
	有	有	④	0.235	6130	1.00	1500	0.78	240	0.33	160	30.0
	有	有	⑤	0.268	6130	1.00	1500	0.78	210	0.31	130	29.7
平均値 No.1~3)	無	無	①	0.239	11050	1.00	2360	0.79	300	0.29	147	29.4
	有	無	②,③	0.250	6860	1.00	1630	0.78	220	0.32	160	29.8
	有	有	④,⑤	0.257	6330	1.00	1395	0.75	230	0.32	140	29.4
設定等値換算係数 a ₀				—	—	1.00	—	0.80	—	0.25	—	⑨)

注) 測定たわみ量は荷重直下 (D0) で温度補正後の値である。

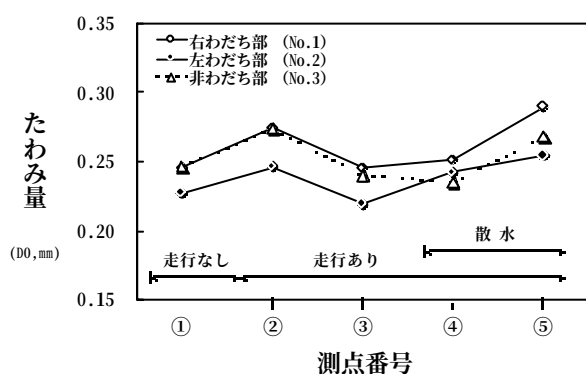
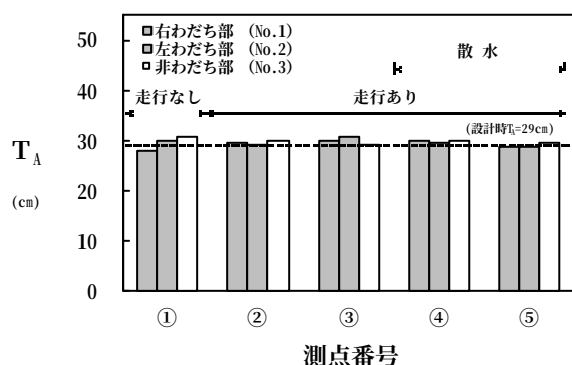


図-5 FWDによるたわみ量(D0)

図-6 FWD解析により推定したT_A

4回の走行試験後に実施した FWD (载荷重 5 トン) によるたわみ量の測定結果を、逆解析による弾性係数及びそれから求めた等値換算係数⁹⁾による等値換算厚 (T_A) も含めて表-4に示す。また、各測

表-5 路床および下層路盤の支持力係数

種類	項目	支持力係数 (K75, MN/m ³)			
		施 工 段 階		散水走行後 (開削調査)	
		個 々	平 均	個 々	平 均
路 床		69	82	66	82
		94		98	
下層路盤		120	137	116	151
		154		185	

点におけるたわみ量と T_Aを図-5および図-6に示す。

これらの結果から、FWD によるたわみ量は 0.3mm 以下であり、測定位置によって若干の変動はあるものの、非走行箇所と比較して、散水走行箇所および無散水走行箇所が特に大きくなるような傾向はみられない。また、弾性係数 (全平均値) は、表・基層の開粒アスコンが 7,480MPa、上層路盤の開粒アスコンが 1,680MPa、そして下層路盤の再生クラッシャーランが 240MPa であり、弾性係数を基にして求めた等値換算係数⁹⁾は構造設計において用いた値とほぼ同程度であった。

一方、路床および下層路盤の支持力を、施工段階と走行試験後に舗装体を開削し、動的平板载荷試験機 (ゲルハルト・ツォルン社製) で測定した結果 (散水走行箇所) を表-5に示す。この結果から、散水走行後でも路床および下層路盤の支持力は施工段階とほぼ同等であり、特に変化はみられない。

以上のことから、T_A法による設計で設定した各層の等値換算係数はほぼ妥当であり、また、たわみ量から判断して、舗装構造としても特に問題はない

ものと考えられた。また、散水走行試験前後のたわみ量や路床および下層路盤の支持力の測定結果から、今回の試験施工における限られた走行回数ではあるが、雨水の浸透による構造的な耐久性への影響も少ないものと判断できた。

4. まとめ

本研究における透水性舗装の車道への適用に関する検討から、以下に示すような結論を得た。

- ①透水性舗装の基層（ $t=10\text{cm}$ ）および上層路盤（ $t=15\text{cm}$ ）の開粒アスコンの舗設は、汎用的な舗設機械を用いたシックリフト工法による厚層施工が可能であった。
- ②T_A法による構造設計で使用した各層の等値換算係数は、高粘度改質アスファルトを使用した表・基層の開粒アスコンが1.0、改質Ⅱ型アスファルトを使用した上層路盤の開粒アスコンが0.8、下層路盤の再生クラッシャーランが0.25であるが、FWDの解析結果⁹⁾からみても妥当と考えられる。
- ③試験ヤードにおけるFWDたわみ量および動的平板載荷試験機による路床・路盤の支持力測定結果から、雨水の浸透が透水性舗装の構造的な耐久性に与える影響は小さいものと判断できる。

5. おわりに

水環境の保全にも寄与する透水性舗装が車道にも一般的に適用できるようになれば、道路舗装からの環境改善対策として貢献が期待できる。

ここでの重交通路線への適用を目的として実施し

た試験施工からは、雨水浸透下における透水性舗装の構造的な耐久性は確保できるものと判断されたが、現実的には対象となる路床土は多種多様であり、その性状によって雨水の舗装体内への滞水時間は影響されること、また、長期間の供用では路床土の移動によって支持力の変化も考えられることなどの課題があることを認識している。

今後予定されている実道での適用から、さらに検討を進め、車道用透水性舗装の技術の確立を図っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 守田優：都市の水循環と透水性舗装，アスファルト Vol.42No.203，pp.22～28，2000
- 2) 堀越重男，大竹和彦，木下銀二郎：新潟市における車道用透水性舗装について（第二報），第8回北陸道路舗装会議技術報告集，pp.151～154，2000
- 3) 笠原彰彦，根本信行：車道透水性舗装システムの検討，第17回日本道路会議一般論文集，pp.278～279，1987
- 4) 笠原彰彦，井原務，井上武美：吸音型透水性アスコンの耐久性，第17回日本道路会議一般論文集，pp.514～515，1987
- 5) 井上武美，小林利雄：舗装用路盤材料の耐水性の検討，第21回土質工学研究発表会講演集，pp.1783～1786，1986
- 6) 井上武美，小林利雄，根本信行：粒度調整碎石と瀝青安定処理路盤の耐水性，第22回土質工学研究発表会講演集，pp.1705～1708，1987
- 7) 根本信行，渡辺雅夫，斉藤徹：除塵性樹脂を利用した排水性舗装の機能維持の検討，第23回日本道路会議一般論文集(C)，pp.250～251，1999
- 8) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，pp.301～302，1993
- 9) 井原務，井上武美，陶山武彦：アスファルト舗装の評価診断・修繕設計支援システムの開発，道路建設 No.520，pp.44～53，1991

A STUDY ON THE APPLICATION OF PERMEABLE ASPHALT PAVEMENTS TO THE ROADWAY

Tamotsu YOSHINAKA, Nobuyuki NEMOTO and Masahiro KODA

Permeable asphalt pavements, which infiltrates rain water to the subgrade is expected to insure preservation of water circulation as well as safety and comfortability of vehicle operation and pedestrian. Until now, application of permeable asphalt pavements has been limited to places like sidewalks and parking areas, where traffic conditions are less severe compared to the roadway, which is generally not yet covered. This study performed and examined tests on the application of permeable asphalt pavements to heavy traffic road. Results from FWD deflection tests and dynamic plate bearing tests on subgrades and bases showed that the pavement system could assure its structural durability after repetitive dump truck loading.