

アスファルト混合物の粒度および二次転圧が 舗装のマクロテクスチャに及ぼす影響

玉井昭典¹・亀山修一²・笠原 篤³・Anderson D. A.⁴・斎藤和夫⁵

¹正会員 博士(工学) 金亀建設 技術営業部(〒791-3131 愛媛県伊予郡松前町北川原 79-1)

²正会員 博士(工学) 北海道工業大学助教授 工学部社会基盤工学科

(〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

³フェロー 工博 北海道工業大学教授 工学部社会基盤工学科

(〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

⁴Ph.D. Professor, Civil and Environmental Engineering, Pennsylvania State University

(221 Transportation Research Building, University Park, PA 16802, USA)

⁵フェロー 工博 室蘭工業大学教授 建設システム工学科(〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

表面処理を施した舗装を含む24種類のアスファルト混合物のマクロテクスチャをCTMによって測定し、得られたデータから算出されるMPD/RMSがマクロテクスチャの形状を表すことを明らかにした。室内において18配合のアスファルト混合物を作製し、粒度とマクロテクスチャの関係について解析した。その結果、(4.75mm 残留量/0.15mm 通過量)がマクロテクスチャに大きな影響を及ぼすことが分かった。また、この値が小さいアスファルト混合物ではゴム輪による二次転圧によってマクロテクスチャの形状が凸型に変化することを明らかにした。さらに、二次転圧の条件を変えてSMAの試験施工をおこない、試験施工から得られた二次転圧回数とマクロテクスチャの関係と室内試験から得られた結果を比較した。

Key Words : Hotmixed Asphalt Concrete, Macrotecture, Gradation, Second Rolling, CTM, MPD

1. はじめに

道路と車両は路面を介して接していることから、路面が有する特性は、道路利用者の安全性、快適性およびコストに大きな影響を及ぼす。通常、路面特性は路面プロファイルの波長によって特徴付けられる。世界道路協会(PIARC)は、路面のテクスチャを波長に応じてマイクロテクスチャ、マクロテクスチャ、メガテクスチャの3つに分類している¹⁾。

路面のマクロテクスチャは、波長が $5 \times 10^4 \sim 5 \times 10^2$ mの範囲であり、すべり抵抗、ころがり抵抗、タイヤ/路面の騒音などに影響を与える。特に、マクロテクスチャはすべり抵抗の速度依存性に大きな影響を及ぼすことが明らかにされており²⁾、近年開発された国際摩擦指標IFIは、スリップ速度60km/hにおける摩擦を表す摩擦ナンバF60に加え、舗装のマクロテクスチャから算出される速度ナンバ

Spで構成されている³⁾。

マクロテクスチャの測定方法は、サンドパッチ法、アウトフロー法、プロフィロメータ法に分類される。サンドパッチ法は、所定の容積の乾燥砂あるいはガラスビーズをストレートエッジにより舗装表面に広げ、その面積から平均プロファイル深さ(MTD: Mean Texture Depth)を求める方法である⁴⁾。アウトフローメータは、底面にゴムをつけた円筒を路面に設置し、円筒を満たした水がゴムと路面の隙間から所定量排出されるまでの時間を測定する方法である⁵⁾。プロフィロメータ法は、光学式レーザ変位計を用いて非接触で路面の凹凸(プロファイル)を測定する方法である。レーザ技術およびデータを処理するコンピュータの高度化にともない、近年では、プロフィロメータ法が広く用いられている。

プロフィロメータ法は路面のプロファイルを測定することから、サンドパッチ法やアウトフロー法よりも多くの情報を得ることが可能である。マクロテクスチャの評価にはプロフィロメータによって測定されたプロファイルから算出される平均プロファイル深さ（MPD：Mean Profile Depth）を用いることが一般的である⁶⁾。

現在、舗装の長寿命化や道路利用者の安全性・快適性の向上を目的として様々な配合のアスファルト混合物が用いられている。アスファルト混合物の最大粒径、粒度、空隙率と騒音やすべり抵抗などの関係については様々な解析が試みられているが^{7), 8)}、騒音やすべり抵抗などに影響を及ぼす舗装のマクロテクスチャとアスファルト混合物の粒度の関係について検討した例は少ない。

また、アスファルト混合物は高温において流動しやすいことから、施工時の転圧方法や転圧回数も舗装のマクロテクスチャに影響を及ぼすと考えられる。通常、アスファルト混合物の施工に当たっては、鉄輪ローラによる一次転圧の後、タイヤローラによる二次転圧がおこなわれる。タイヤローラによる二次転圧は、アスファルト層の深部まで締固めることを可能とすることに加え、舗装表面を密にする効果があると言われている⁹⁾。舗装表面が密になることは舗装のマクロテクスチャが変化することを意味するが、タイヤによる二次転圧によって舗装のマクロテクスチャがどのように変化するのか、アスファルト混合物の配合によってマクロテクスチャに及ぼす二次転圧の効果が異なるのかについては明らかにされていない。

本研究では、表面処理を施した舗装を含む 24 種類のアスファルト混合物のマクロテクスチャをサンドパッチ法と Circular Track Meter (CTM)¹⁰⁾によって測定し、MTDとMPDの関係を明らかにするとともに、測定プロファイルから得られるMPDと二乗平均平方根（RMS）の比（MPD/RMS）とマクロテクスチャの形状の関係について検討した。

また、室内において、同一のアスファルトと骨材を用いて 18 配合のアスファルト混合物を作製し、粒度とマクロテクスチャの関係について解析した。なお、供試体の作製に当たっては、現場転圧をシミュレートするために、ローラコンパクト（鉄輪）による締固めの後、タイヤローラと同じ材質のゴムを取り付けたローラコンパクトによって二次転圧をおこない、ゴム輪による二次転圧がマクロテクスチャに及ぼす影響についても検討した。

さらに、現場において二次転圧に用いるローラの

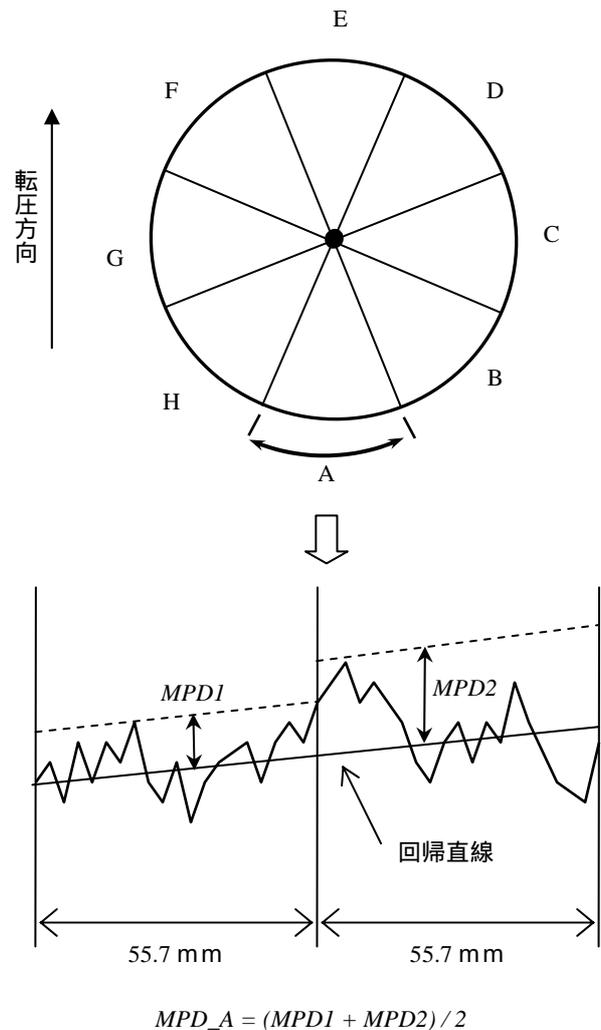


図-1 測定プロファイルからのMPDの算出

種類と転圧回数を変えて試験施工をおこない、試験施工から得られた二次転圧回数とマクロテクスチャの関係と室内試験から得られた結果を比較した。

2. Circular Track Meter (CTM)

CTMは、半径142mmの円形プロファイルをCCDレーザ変位計で測定する装置である¹¹⁾。プロファイルの長さは891mm、サンプリング数は1024であることからサンプリング間隔は0.87mmとなる。1回の測定に要する時間は約40秒であり、短時間でプロファイルを測定することができる。

CTMによって測定されたプロファイルを図-1に示すようにA~H区間（区間長111.4mm）に8分割し、各区間のMPDとRMSを算出する。A~H区間のMPDは、各区間の回帰直線と2等分されたプロファイルのピークの差であるMPD1とMPD2の平均値で表され¹²⁾、RMSはプロファイルと回帰直線

表-1 測定したアスファルト混合物

アスファルト混合物	作製	アスファルト	特徴
密粒度ギャップ	室内	改質 II 型	最大粒径 13mm 中央粒度
密粒	室内	ストアス 60/80	最大粒径 13mm 中央粒度
細粒ギャップ	室内	ストアス 60/80	最大粒径 13mm 中央粒度
細粒	室内	ストアス 60/80	最大粒径 13mm 中央粒度
SMA	室内	改質 II 型	最大粒径 13mm 中央粒度
ホットロールド A	室内	ストアス 60/80	散布骨材：砂岩 (13.2 ~ 9.5mm) 散布量 7.4kg/m ²
ホットロールド B	室内	ストアス 60/80	散布骨材：砂岩 (9.5 ~ 8.0mm) 散布量 7.4kg/m ²
ホットロールド C	室内	ストアス 60/80	散布骨材：砂岩 (8.0 ~ 4.75mm) 散布量 7.4kg/m ²
ショットブラスト A	現場	改質 II 型	母体：密粒ギャップ 球径1.4~1.7mm 速度1m/min
ショットブラスト B	現場	改質 II 型	母体：密粒ギャップ 球径1.4~1.7mm 速度2m/min
ショットブラスト C	現場	改質 II 型	母体：密粒ギャップ 球径1.4~1.7mm 速度3m/min
ショットブラスト D	現場	改質 II 型	母体：密粒ギャップ 球径2.0mm 速度1m/min
ショットブラスト E	現場	改質 II 型	母体：密粒ギャップ 球径2.0mm 速度2m/min
ショットブラスト F	現場	改質 II 型	母体：密粒ギャップ 球径2.0mm 速度3m/min
ニート工法 A	室内	ストアス 60/80	散布骨材：砂岩 (8.00 ~ 6.75mm)
ニート工法 B	室内	ストアス 60/80	散布骨材：砂岩 (6.75 ~ 4.75mm)
ニート工法 C	室内	ストアス 60/80	散布骨材：砂岩 (4.75 ~ 4.00mm)
ニート工法 D	室内	ストアス 60/80	散布骨材：砂岩 (4.00 ~ 2.35mm)
グルーピング A	室内	ストアス 60/80	母体：密粒 幅3mm 深さ 4mm 間隔30mm
グルーピング B	室内	ストアス 60/80	母体：密粒 幅3mm 深さ10mm 間隔30mm
グルーピング C	室内	ストアス 60/80	母体：密粒 幅6mm 深さ 4mm 間隔30mm
グルーピング D	室内	ストアス 60/80	母体：密粒 幅6mm 深さ10mm 間隔30mm
グルーピング E	室内	ストアス 60/80	母体：密粒 幅9mm 深さ 4mm 間隔30mm
グルーピング F	室内	ストアス 60/80	母体：密粒 幅9mm 深さ10mm 間隔30mm

ストアス60/80はストレートアスファルト60/80を表す。

の偏差の二乗平均平方根を表す。測定したプロファイルの MPD と RMS は A ~ H 区間の平均値で表される。なお、本研究では、1 箇所において 3 回の繰り返し測定を実施し、各測定から得られた MPD と RMS の平均値を以後の解析に用いた。

3. 表面処理を含む様々なアスファルト混合物のマクロテクスチャの測定

ショットブラストやグルーピングなどの表面処理を施した舗装やすべり止め舗装として用いられているニート工法などを含む 24 種類のアスファルト混合物を作製し (表-1)、サンドパッチ法および CTM による測定をおこなった。なお、粗骨材には砂岩を用い、アスファルトには表-1 に示したようなストレートアスファルト 60/80、改質 II 型アスファルト (針入度 40 以上) を用いた。また、室内における供試体の転圧にはローラコンパクタ (鉄輪) を、現場における転圧には鉄輪およびタイヤローラを用いた。

(1) MPD と MTD の関係

サンドパッチ法から得られた MTD と CTM で測定されたプロファイルから得られた MPD の関係を図-2 に示す。著者らは、1998 年と 1999 年にアメリカ航空宇宙局 (NASA) Wallops 航空施設内の滑走路において、2000 年にはドイツの Sprengberg のテストトラックにおいてのべ 69 箇所のマクロテクスチャをサンドパッチ法と CTM によって測定した¹³⁾。これらの調査から得られた MTD と MPD の回帰式も併せて図-2 に示す。今回測定したアスファルト混合物の MTD と MPD の相関は非常に強く、回帰式の R² 値は約 0.93 に達した。また、得られた回帰直線と Wallops と Sprengberg の調査から得られた回帰直線には大きな差は見られなかった。

CTM の測定データから得られた MPD と RMS の関係を図-3 に示す。ニートとグルーピングでは MPD と RMS の変動が大きいことから、ニートでは散布骨材の粒径、グルーピングではグループの幅、深さによって MPD と RMS が大きく変化することが分かる。一方、ホットロールドおよびショットブラストでは、散布骨材の粒径あるいはブラスト球径・照射速度を変えても MPD、RMS に大きな変化

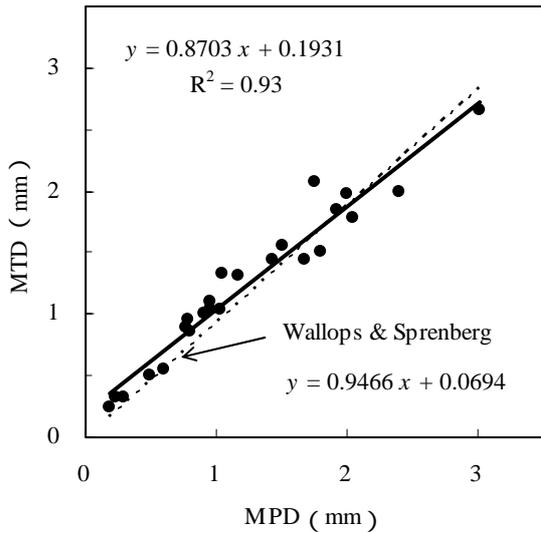


図-2 MTD と MPD の関係

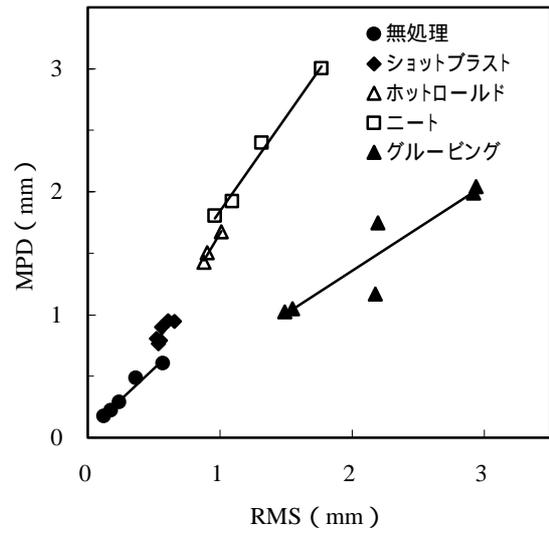


図-3 MPD と RMS の関係

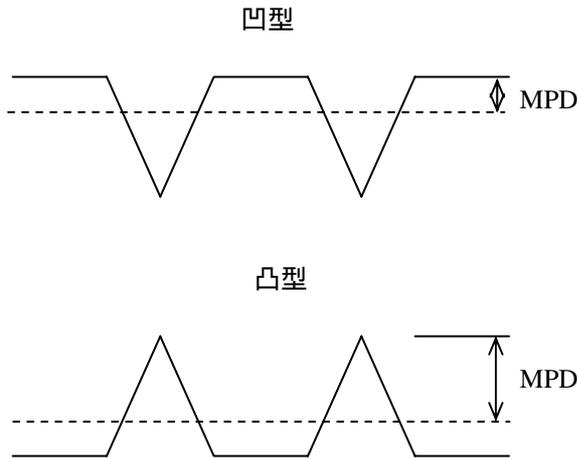


図-4 MPD / RMS とテクスチャの形状

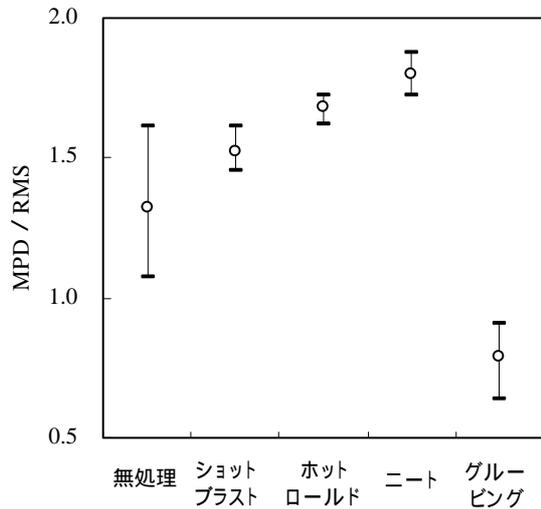


図-5 MPD / RMS の平均値，最大値，最小値

は見られなかった。密粒度，密粒度ギャップ，細粒度，細粒ギャップ，SMA を 1 つのグループ（無処理と呼ぶ）と考えた場合，無処理，ホットロール，ショットブラスト，ニート，グルーピングの各グループ内では，MPD と RMS の間に強い相関が見られた。

(2) マクロテクスチャの形状

WennikとGerritsenはMPDをRMSで除した値（MPD / RMS）はマクロテクスチャの形状と密接に関係することを指摘している¹⁴。例えば，図-4に示すような上下対象の凹型と凸型の2つのプロファイル

を考える。前述したように，RMS は回帰直線とプロファイルの偏差の平均平方値であることから両者の RMS 値は等しくなるが，MPD は回帰直線からピークまでの高さで表されることから凸型プロファイルの MPD が凹型よりも大きくなる。したがって，MPD / RMS はマクロテクスチャの形状（凹凸度）を表すと考えられる。

無処理，ホットロール，ショットブラスト，ニート，グルーピングの MPD / RMS の平均，最大値，最小値を図-5 に示す。グルーピングは，他のアスファルト混合物と比べ MPD / RMS が著しく小さいことから，マクロテクスチャが凹型であることが分

表-2 アスファルト混合物の粒度およびアスファルト量

アスファルト混合物		骨材粒径 (mm)									アスファルト量
		26.5	19.0	13.2	4.75	2.36	0.60	0.30	0.15	0.075	
開粒	下限	100.0	100.0	98.6	29.9	17.8	11.5	8.5	6.3	5.1	3.7
	中央	100.0	100.0	98.7	33.8	22.5	14.0	9.6	6.5	5.2	4.0
	上限	100.0	100.0	98.8	38.5	27.3	16.5	10.7	6.7	5.3	4.5
粗粒	下限	100.0	99.2	75.4	40.2	23.0	13.0	8.3	5.2	3.9	5.0
	中央	100.0	99.4	80.5	45.2	27.8	16.0	10.0	5.8	4.4	5.3
	上限	100.0	99.5	84.0	50.7	32.0	18.7	11.8	6.9	5.3	5.4
SMA	下限	100.0	100.0	98.5	39.3	27.3	22.3	16.8	13.0	10.7	7.1
	中央	100.0	100.0	98.5	40.3	30.0	22.6	16.8	13.1	10.8	6.8
	上限	100.0	100.0	98.5	41.5	32.7	22.6	16.5	13.1	10.7	6.5
密粒ギャップ	下限	100.0	100.0	98.7	36.6	31.9	21.9	13.6	7.2	5.4	4.7
	中央	100.0	100.0	98.8	39.4	35.0	23.1	14.5	8.2	6.2	5.1
	上限	100.0	100.0	98.8	42.3	37.9	25.7	16.1	8.9	6.7	5.5
密粒ギャップ(F)	中央	100.0	100.0	99.2	55.8	38.4	28.8	19.9	12.2	9.6	6.0
密粒	中央	100.0	100.0	99.3	63.5	43.1	24.5	14.7	8.3	6.2	6.2
密粒(F)	中央	100.0	100.0	99.3	62.5	50.1	34.5	21.6	11.3	8.5	7.0
細粒ギャップ	中央	100.0	100.0	99.4	67.9	58.4	45.0	28.3	14.1	10.4	7.5
細粒	中央	100.0	100.0	99.5	74.5	57.0	32.4	18.8	9.9	7.2	7.3
細粒(F)	中央	100.0	100.0	99.7	82.6	72.3	52.1	32.2	16.0	11.8	8.5

かる。一方、ホットロード、ショットブラスト、ニートの MPD/RMS は無処理よりも大きいことから、凸型のマクロテクスチャと判断できる。また、無処理の MPD/RMS のレンジは約 1.1~1.5 であり、ニート、ショットブラスト、グレーピングよりも大きくなった。したがって、アスファルト混合物の配合は、マクロテクスチャの形状に大きな影響を与えと考えられる。

4. アスファルト混合物の配合および二次転圧がマクロテクスチャに及ぼす影響

(1) 供試体の作製およびマクロテクスチャの測定

アスファルト混合物の配合とマクロテクスチャの関係を解析するために、同一のアスファルトと骨材を用いて表-2 に示すような 18 配合アスファルト混合物を作製した。なお、アスファルトにはストレートアスファルト 60/80 を用い、粗骨材には砂岩、細骨材には高炉水砕スラグと海砂、石粉には石灰岩粉砕を用いた。

供試体の作製に当たっては、現場における転圧をシミュレートするために、ローラコンパクト（鉄輪）によって 8.83kN（900kgf）で締固度が 100% になるように締固めた後¹⁵⁾、タイヤローラのゴム質と同じ材質のゴム（耐膨潤性改良ゴム、ゴム硬度 Hs68）を取り付けたローラコンパクトを用いて鉄輪



写真-1 ゴム輪による転圧

による一次転圧と同じ荷重で二次転圧をおこなった。ゴム輪による二次転圧の状況を写真-1 に示す。

CTM 測定は、鉄輪転圧直後およびゴム輪転圧の回数が 5, 10, 15, 20, 25, 30 回のときに実施した。

(2) 二次転圧がマクロテクスチャに及ぼす影響

CTM によって測定されたプロファイルから MPD, RMS, および MPD/RMS を算出した。全てのアスファルト混合物において、ゴム輪による二次転圧回数を増加させたときの MPD と MPD/RMS の変動を図-6 に示す。

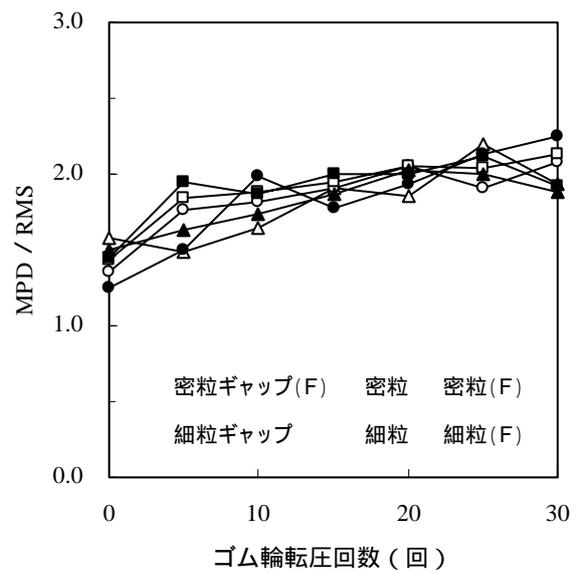
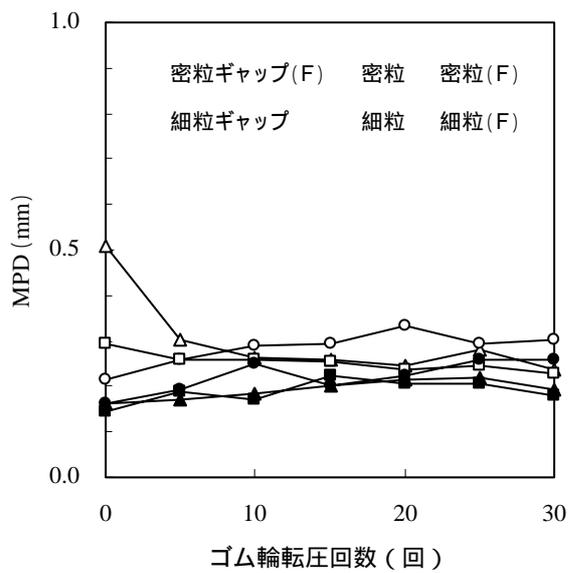
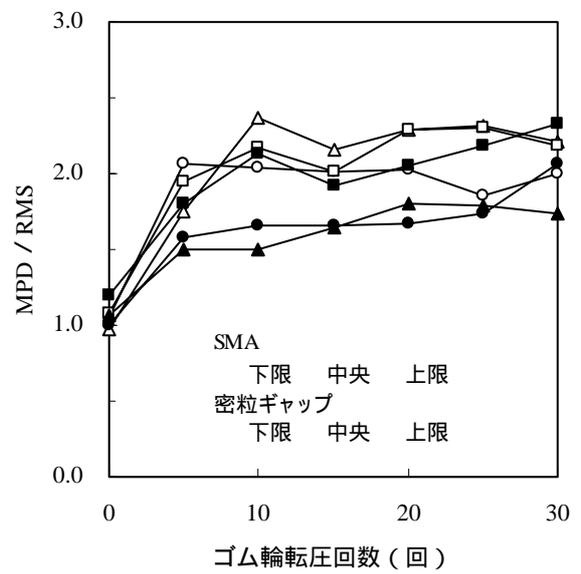
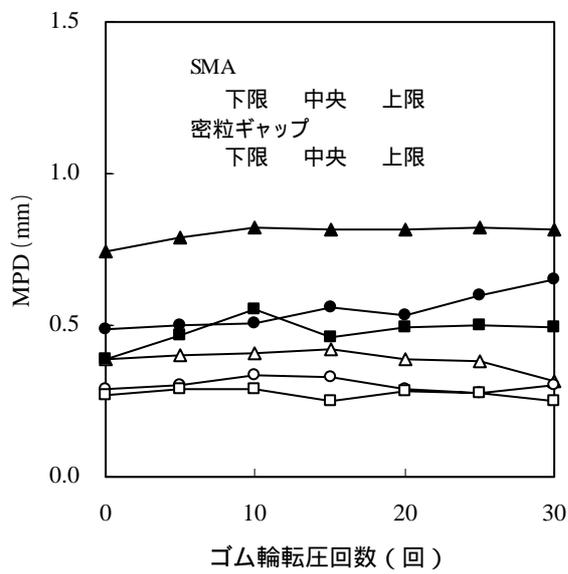
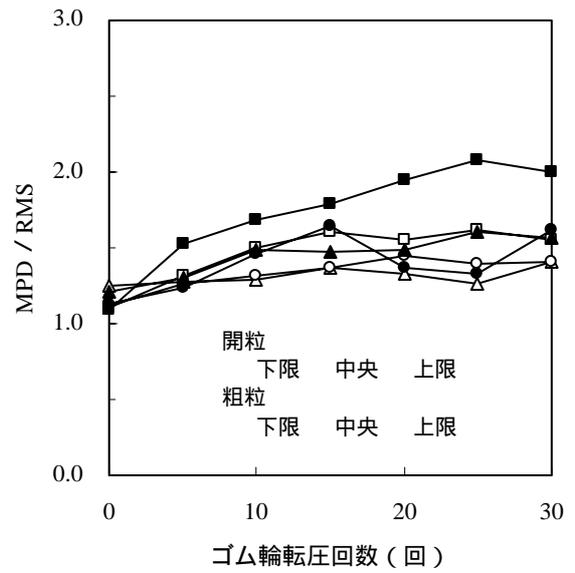
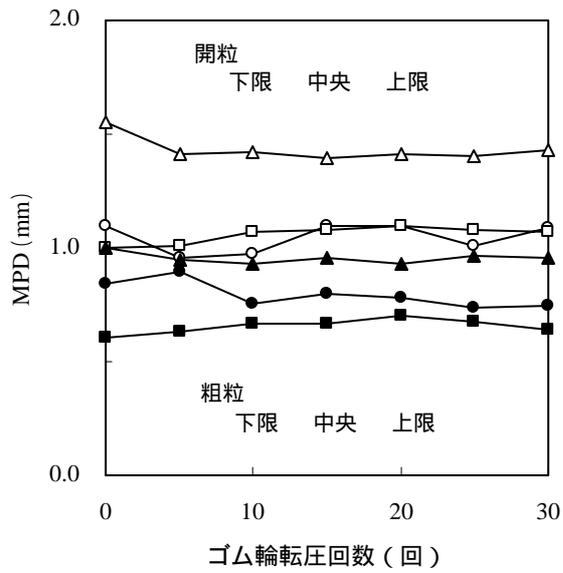


図-6 ゴム輪転圧回数と MPD , MPD / RMS の関係

3種類の粒度を設定した開粒，粗粒，SMA，密粒ギャップでは，下限粒度のMPDが最も大きく，次いで中央粒度，上限粒度の順となった．また，MPDの大きさは開粒，粗粒，密粒ギャップ，SMAの順であったが，これらのアスファルト混合物ではゴム輪転圧回数を増加させてもMPDに大きな変化は見られなかった．密粒ギャップ（F），密粒，密粒（F）では，MPDがほぼ同じレベルを示し，ゴム輪転圧回数を増加させてもMPDは大きな変化を示さなかった．細粒キャップ，細粒，細粒（F）のMPDは最も小さいレベルとなり，他のアスファルト混合物と同様，ゴム輪による二次転圧の影響はほとんど見られなかった．

開粒および粗粒のMPD/RMSはほぼ同じ範囲に分布しており，ゴム輪の転圧回数の増加にともないMPD/RMSに若干の増加傾向が見られた．SMAでは，ゴム輪転圧回数が10回までの間にMPD/RMSが大きく増加し，その後一定値を維持する傾向が見られた．ゴム輪転圧10回後のMPD/RMSは，鉄輪転圧後（ゴム輪転圧回数0）のMPD/RMSの約2倍に達したことから，SMAではゴム輪による二次転圧の初期段階においてマクロテクスチャの形状が凸型に大きく変化したと考えられる．密粒ギャップの場合，下限・中央粒度よりも上限粒度においてMPD/RMSの増加が大きく，SMAと同様の傾向を示した．密粒ギャップ（F），密粒，密粒（F），細粒キャップ，細粒，細粒（F）でもゴム輪転圧回数とともにMPD/RMSが増加する傾向が見られた．しかしながら，ゴム輪転圧の初期段階でMPD/RMSが大きく増加したSMAとは異なり，ゴム輪転圧回数の増加とともにMPD/RMSが緩やかに増加する傾向を示したことから，これらのアスファルト混合物では，ゴム輪による二次転圧によってマクロテクスチャが徐々に凸型に変化したと考えられる．

(3) アスファルト混合物の粒度とマクロテクスチャの関係

表-2に示した4.75，2.36，0.6，0.3，0.15，0.075mmの通過重量百分率およびアスファルト量とMPDの間には明確な関係が見られなかった．そこで，4.75mm残留量を0.6，0.3，0.15，0.075mm通過量で除した値とMPDの関係について求めた．これらの中で最も密接な関係が見られた（4.75mm残留量/0.15mm通過量）とMPDの関係を図-7に示す．また，この図に示した鉄輪転圧後およびゴム輪転圧20回後における（4.75mm残留量/0.15mm通過量）とMPDの回帰式を以下に示す．

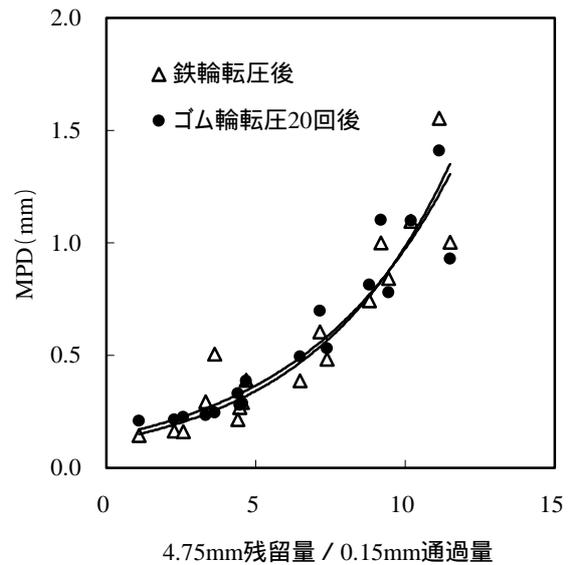


図-7 粒度とMPDの関係

鉄輪転圧後

$$y = 0.119 \cdot e^{0.211x}, \quad R^2 = 0.89 \quad (1)$$

ゴム輪転圧20回後

$$y = 0.138 \cdot e^{0.196x}, \quad R^2 = 0.94 \quad (2)$$

ここで，

y : MPD (mm)

x : 4.75mm 残留量 / 0.15mm 通過量

ゴム輪転圧回数が20回以外（5，10，15，25，30回）の場合においても同様に回帰式を求めたところ，得られた回帰式およびR²値と式（2）には大きな差は見られなかった．

鉄輪転圧およびゴム輪転圧のいずれにおいても回帰式のR²値は非常に高いことから，（4.75mm残留量/0.15mm通過量）が増加するにしたがってMPDが指数関数的に増加することが分かる．また，図-7から明らかなように鉄輪転圧後とゴム輪転圧20回後の回帰曲線には大きな違いが見られないことから，ゴム輪による二次転圧をおこなってもMPDはほとんど変化しないことが分かる．

（4.75mm残留量/0.15mm通過量）とRMSの関係を図-8に，鉄輪転圧後，ゴム輪転圧5回後，20回後における回帰式を式（3）～（5）に示す．

鉄輪転圧後

$$y = 0.092 \cdot e^{0.228x}, \quad R^2 = 0.89 \quad (3)$$

ゴム輪転圧 5 回後

$$y = 0.067 \cdot e^{0.234x}, \quad R^2 = 0.94 \quad (4)$$

ゴム輪転圧 20 回後

$$y = 0.060 \cdot e^{0.241x}, \quad R^2 = 0.94 \quad (5)$$

ここで、

y : RMS (mm)

x : 4.75mm 残留量 / 0.15mm 通過量

MPD の場合と同じように回帰式の R^2 値が非常に高いことから、(4.75mm 残留量 / 0.15mm 通過量)が増加すると RMS も指数関数的に増加すると言える。しかしながら、図-7 とは異なり、鉄輪転圧後とゴム輪転圧後の回帰式には差が見られることから、ゴム輪の二次転圧によって RMS が減少したことが分かる。また、鉄輪転圧後とゴム輪転圧 5 回後の RMS の差は、ゴム輪転圧 5 回後とゴム輪転圧 20 回の差よりも大きいことから、RMS はゴム輪による二次転圧の初期段階で減少し、その後転圧回数が増加しても RMS はほとんど減少しないことが分かる。

鉄輪転圧後、ゴム輪転圧 5 回後、ゴム輪転圧 20 回後における (4.75mm 残留量 / 0.15mm 通過量) と MPD / RMS の関係を図-9 に、回帰式を式 (6) ~ (8) に示す。

鉄輪転圧後

$$y = -0.021 \cdot x + 1.297, \quad R^2 = 0.23 \quad (6)$$

ゴム輪転圧 5 回後

$$y = -0.055 \cdot x + 1.893, \quad R^2 = 0.49 \quad (7)$$

ゴム輪転圧 20 回後

$$y = -0.073 \cdot x + 2.250, \quad R^2 = 0.64 \quad (8)$$

ここで、

y : MPD / RMS

x : 4.75mm 残留量 / 0.15mm 通過量

鉄輪転圧後では、(4.75mm 残留量 / 0.15mm 通過量) と MPD / RMS の間には相関が見られなかった。ゴム輪転圧 5 回後では、データのバラツキが大きいものの、全てのアスファルト混合物の MPD / RMS が鉄輪転圧後よりも増加したことから、ゴム輪転圧によってマクロテクスチャが凸型に変化したことが分かる。

ゴム輪転圧 20 回後は、ゴム輪転圧 5 回後と比べ

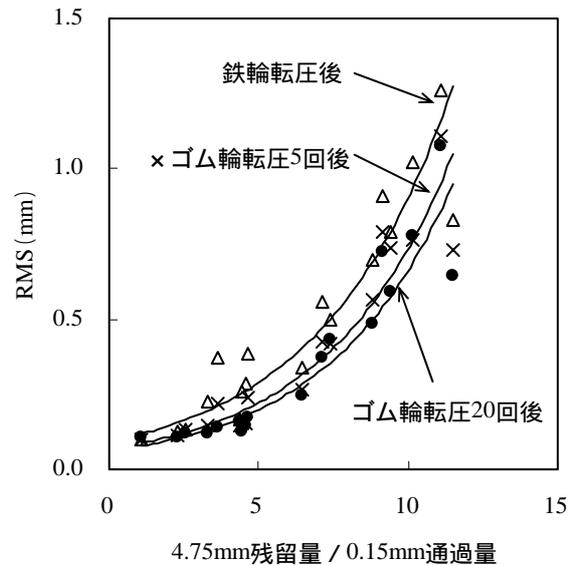


図-8 粒度と RMS の関係

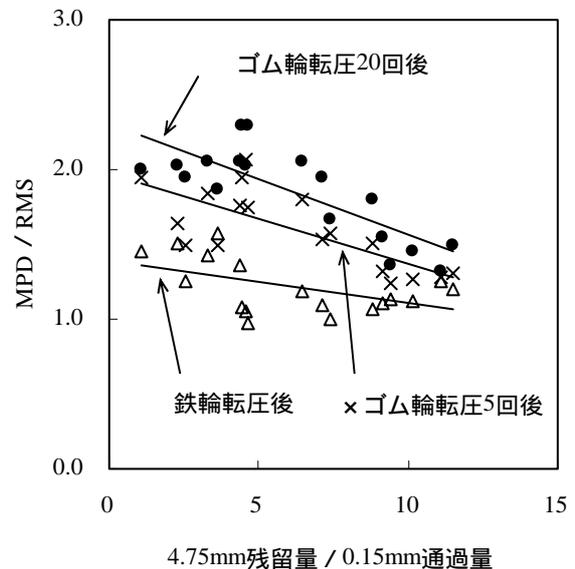


図-9 粒度と MPD / RMS の関係

データのバラツキが少なく、回帰式の R^2 値が増加した。ゴム輪転圧 20 回後の MPD / RMS は、ゴム輪転圧 5 回後の MPD / RMS よりも大きいことから、転圧回数の増加によってマクロテクスチャの形状がさらに凸型に変化したと言える。また、ゴム輪転圧 20 回後の MPD / RMS と鉄輪転圧後の MPD / RMS の差は、(4.75mm 残留量 / 0.15mm 通過量) が小さくなるほど拡大する傾向を示した。したがって、細粒分の多いアスファルト混合物では、ゴム輪による二次転圧によってマクロテクスチャの形状が凸型に変化する傾向が強いと考えられる。

表-3 試験施工に用いた SMA の粒度

粒径 (mm)	19.0	13.2	4.75	2.36	0.60	0.30	0.15	0.075
通過重量百分率 (%)	100.0	98.0	41.9	32.5	21.9	16.2	12.9	10.7

5. 現場における二次転圧がアスファルト舗装のマクロテクスチャに及ぼす影響

舗装施工時に用いるタイヤローラの二次転圧によってアスファルト舗装のマクロテクスチャがどのような影響を受けるのかを明らかにするために試験施工を実施した。試験施工に用いた SMA (アスファルト量 6.5%) の粒度を表-3 に示す。施工に当たっては、マカダムローラによる一次転圧 (転圧回数 4 回で均一) の後、タイヤローラおよび振動タイヤローラ¹⁶⁾によって表-4 に示すような 8 パターンの二次転圧をおこない、二次転圧終了後におけるアスファルト舗装のマクロテクスチャを CTM によって測定した。また、試験施工と同じ材料、配合を有する SMA を室内において作製した。なお、供試体の作製に当たっては、試験施工における転圧をシミュレートするために、前項 4 における供試体の作製方法と同様、鉄輪による転圧の後、ゴム輪による二次転圧を実施し、二次転圧回数が 4, 6, 8, 12, 15, 20, 25, 30 回後におけるマクロテクスチャを CTM によって測定した。

試験施工において測定された MPD と室内試験の MPD に差が見られたことから、ここでは、各転圧回数の MPD (MPD_n) を二次転圧 4 回後における MPD (MPD_4) で除すことにより正規化した値を求め、二次転圧回数の増加にともなう MPD の変化について検討した。二次転圧による MPD の変化を図-10 に示す。室内試験の結果では、MPD は二次転圧の初期段階において減少し、その後一定値に収束する傾向が見られた。試験施工の結果では、振動タイヤローラの方がタイヤローラよりも MPD の減少量が小さくなったが、いずれのケースでも室内試験の結果と同じように二次転圧の初期段階で MPD が減少する傾向を示した。

MPD/RMS についても、MPD と同様、各転圧回数の MPD/RMS を二次転圧 4 回後における MPD/RMS で正規化した値を求めた。二次転圧による MPD/RMS の変化を図-11 に示す。室内試験の結果では、MPD/RMS は二次転圧の初期段階で増加し、その後一定値を維持した。試験施工の結果は、MPD の場合と比べ室内試験結果との一致度は低いが、室内試験の結果と同様に二次転圧回数の増加と

表-4 試験施工の条件

工区	二次転圧	転圧回数
1	タイヤローラ	4
2	タイヤローラ	6
3	タイヤローラ	8
4	タイヤローラ	12
5	振動タイヤローラ	4
6	振動タイヤローラ	6
7	振動タイヤローラ	8
8	振動タイヤローラ	12

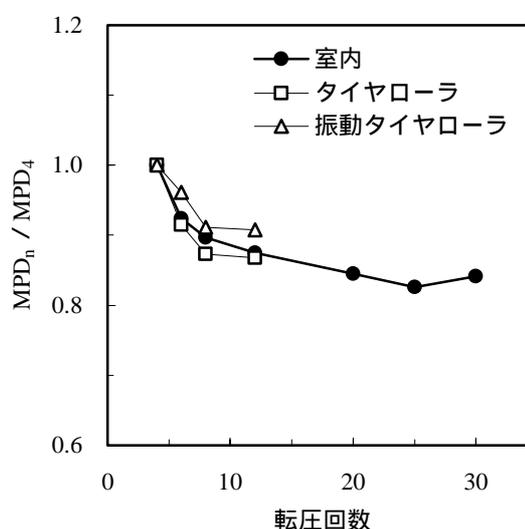


図-10 二次転圧による MPD の変化

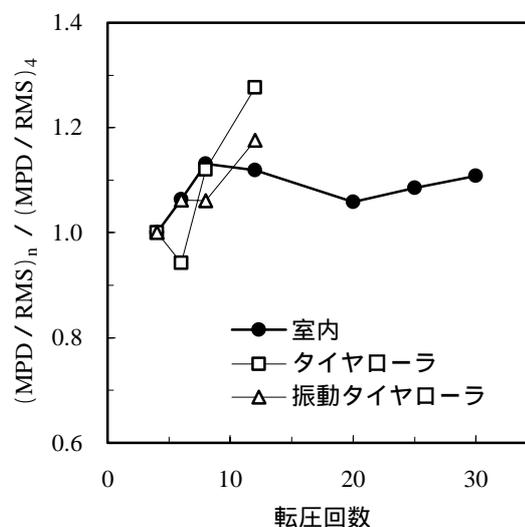


図-11 二次転圧による MPD/RMS の変化

ともに MPD/RMS が増加する傾向が見られた。したがって、現場施工においてもタイヤローラや振動タイヤローラによる二次転圧によってマクロテクスチャの形状が凸型に変化したと言える。

6. 結論

本研究では、アスファルト混合物のマクロテクスチャを CTM によって測定し、測定されたプロファイルから算出される MPD, RMS および MPD/RMS について解析した。また、現場施工をシミュレートした転圧方法によって室内供試体を作製し、アスファルト混合物の粒度とマクロテクスチャの関係およびゴム輪による二次転圧がマクロテクスチャに及ぼす影響について検討した。さらに、現場において二次転圧の条件を変えた下で試験施工をおこない、得られた結果と室内試験の結果を比較した。

本研究によって得られた結果を以下に示す。

- グルーピング、ショットブラストなどの表面処理を施したアスファルト混合物、ニート工法、ホットロードなどを含む 24 種類のアスファルト混合物のマクロテクスチャをサンドパッチ法と CTM によって測定した。その結果、サンドパッチ法から得られる MTD と CTM 測定から得られる MPD には非常に強い相関があることが分かった。また、CTM 測定から得られる MPD/RMS はマクロテクスチャの形状を表し、MPD/RMS が大きいほどマクロテクスチャが凸型であることを示した。
- 室内において 18 配合のアスファルト混合物を作製し、CTM 測定を実施した。なお、供試体の作製に当たっては鉄輪による一次転圧の後、ゴム輪による二次転圧をおこない、現場施工における転圧をシミュレートした。MPD は二次転圧の回数が増加しても大きな変化を示さなかったが、MPD/RMS は二次転圧によって増加する傾向が見られた。したがって、ゴム輪による二次転圧によってマクロテクスチャが凸型に変化することが分かった。
- 骨材の (4.75mm 残留量 / 0.15mm 通過量) が大きくなるにしたがって MPD, RMS は指数関数的に増加した。また、(4.75mm 残留量 / 0.15mm 通過量) が小さいアスファルト混合物では、ゴム輪の二次転圧によって MPD/RMS が増加する傾向、すなわちマクロテクスチャが凸型に変化する傾向が強いことが分かった。

- 一次転圧を同一条件とし、二次転圧を 8 パターンに変えて SMA の試験施工をおこない、舗装のマクロテクスチャを測定した。また、室内において試験施工をシミュレートした転圧方法で供試体を作製し、マクロテクスチャを測定した。試験施工における二次転圧回数と MPD の関係は、室内試験から得られた両者の関係とほぼ一致した。また、室内試験から得られた結果と同じように、現場においても二次転圧回数が多くなるほど MPD/RMS が増加する傾向、すなわち舗装のマクロテクスチャが凸型に変化する傾向が見られた。

参考文献

- 1) PIARC: *Technical Committee Report on Surface Characteristics*, 1978.
- 2) Lew, M. C. and Henry, J. J.: Prediction of Skid resistance as a Function of Speed from Pavement Texture, *Transportation Research Record*, No.666, TRB, pp. 7-13, 1978.
- 3) ASTM: Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface, *Standard No.E1960-98*, ASTM 2002.
- 4) ASTM: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique, *Standard No.E965-96(2001)*, ASTM 2002.
- 5) 市原薫, 小野田光之: 路面のすべりとその対策, 技術書院, 1997.
- 6) International Standard: Characterization of Pavement Texture Utilizing Surface Profiles, Part 1: Estimation of Mean Profile Depth, *ISO 13473-1*, ISO 1994.
- 7) 井原務, 井上武美: 路面テクスチャ / 路面騒音に関する検討, 舗装工学論文集, Vol. 6, pp. 225 ~ 230, 土木学会, 2001.
- 8) 七五三野茂: 高速域のすべり摩擦に与えるテクスチャの影響要因分析について, 舗装工学論文集, Vol. 3, pp. 1 ~ 8, 土木学会, 1998.
- 9) 高野漢: 舗装機械の使い方, 建設図書, 1995
- 10) 安部裕也, 亀山修一, 玉井昭典, 笠原 篤, 斎藤和夫: Circular Texture Meter (CTM) と DF テスタによる国際摩擦指標 (IFI) の算出, 舗装工学論文集, Vol. 4, pp. 15 ~ 22, 土木学会, 1999.
- 11) ASTM: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Properties Using the Circular Track Meter, *Standard No.E2157-01*, ASTM 2002

- 12) ASTM: Standard Practice for Calculating Pavement Macrotecture Mean Profile Depth, *Standard No.E1845-01*,ASTM 2002
- 13) Abe, H., Tamai, A., Henry, J. J. and Wambold, J. : Measurement of Pavement Macrotecture with Circular Texture Meter, *Transportation Research Record*, No.1764, TRB, pp. 201-209, 2001.
- 14) Wennick, M. and Gerritsen, W. : Detection of Changes of Pavement Texture Material Recognition, *Proceedings of SURF 2000*, pp. 153-172, PIARC, 2000.
- 15) 舗装試験法便覧：ホイールトラッキング試験方法，日本道路協会，pp.539-555，1992．
- 16) 三井晃，飯田 一郎：振動タイヤローラの開発，第22回日本道路会議一般論文集（B） ， pp. 274- 275, 1999 ．

EFFECTS OF GRADATION OF HOT-MIXED ASPHALT CONCRETE AND SECOND ROLLING ON PAVEMENT MACROTEXTURE

Akinori TAMAI, Shuichi KAMEYAMA, Atsushi KASAHARA
Anderson D. A. and Kazuo SAITO

The profile of twenty four types of asphalt concrete pavement was measured by Circular Track Meter. It was shown that the ratio of Mean Profile Depth and Root Mean Square of the profile indicated the type of macrotecture, that is, positive or negative texture. Eighteen types of hot-mix asphalt concrete with various gradations were compacted in the laboratory using a newly developed compaction method that simulates the rolling that occurs in the field during construction. It was found that the ratio of the weight of aggregate retained 4.75mm sieve and passing 0.15mm sieve (R4.75/P0.15) has a large effect on the macrotecture. Secondary rolling with a rubber-tired roller tends to change the texture to a positive value when R4.75/P0.15 is small.