

2. 二層式低騒音舗装の低燃費性能

Low Fuel Consumption Performance of Dual-layers Low-noise Pavements

技術支援課 橋本喜正、○日高智仁、狭間 博

1. はじめに

地球温暖化対策として温室効果ガス(二酸化炭素 CO₂ 等)の排出抑制が求められており、車両運行時に排出される CO₂ も対象となっている。この車両からの CO₂ 排出量を低減するための対策の一つとして低燃費舗装が着目されている。この舗装はタイヤと舗装路面間の転がり抵抗を指標の一つとするもので、既往の研究で転がり抵抗係数は走行燃費と相関が良いことが確認されており、転がり抵抗係数と燃料消費率の関係式が示されている^{1) 2)}。本稿では、この結果を適用して現在供用中の都道における転がり抵抗の現状を把握し、二層式低騒音舗装等をはじめとする各舗装と燃料消費率との関係を調査した結果について報告する。

2. 調査概要

(1) 調査箇所

調査箇所は二層式低騒音舗装(表層上層部の最大粒径5mm)5工区、一層式低騒音舗装(最大粒径13mm)3工区、密粒度舗装2工区、遮熱性舗装3工区の計13工区で、各工区延長100mで調査を実施した。調査箇所を表-1に示す。また、二層式低騒音舗装及び遮熱性舗装の構造表面を図-1・写真-1及び、図-2・写真-2に示す。

(2) 調査項目及び数量

表-1に示す箇所にて、以下の調査を実施した。

- ① すべり測定車による路面の転がり抵抗の測定
- ② 路面性状測定自動測定装置による平坦性及びIRI(国際ラフネス指数)の測定
- ③ CTメータ(CircularTextureMeter)による路面のきめ深さの測定

表-1 調査箇所一覧

工区	道路名		調査箇所		上下内外	調査延長(km)	舗設年月	舗装路面の種類
	通称名	区名	町名	丁目				
二-1	環七通り	中野区	野方6	丸山1	外回り	0.1	H30.9	二層式低騒音舗装
二-2	環七通り	杉並区	高円寺南4	中野区野方1	外回り	0.1	H25.10	
二-3	環七通り	練馬区	豊玉南3	豊玉南2	外回り	0.1	H26.2	
二-4	環八通り	大田区	矢口1	千鳥3	外回り	0.1	H30.2	
二-5	武蔵境通り(上り車線)	調布市	深大寺北町7	深大寺北町3	上り	0.1	H30.2	
低-1	環八通り	板橋区	小豆沢4		内回り	0.1	H30.2	一層式低騒音舗装
低-2	池上通り	大田区	山王2		下り	0.1	H25年度	
低-3	環七通り	練馬区	豊玉南2		外回り	0.1	H16年度	
密-1	明治通り	江東区	新砂1		上り	0.1	H30.2	密粒度舗装
密-2	尾竹橋通り	足立区	関原3		上り	0.1	H12年度	
遮-1	外苑東通り	新宿区	早稲田鶴巻町		下り	0.1	H22.1	遮熱性舗装
遮-2	内堀通り	千代田区	大手町1		外回り	0.1	H29.2	
遮-3	靖国通り	千代田区	神田須田町1~2		下り	0.1	H29.2	
						1.3		

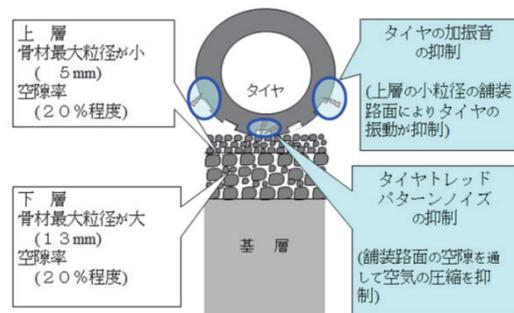


図-1 二層式低騒音舗装構造

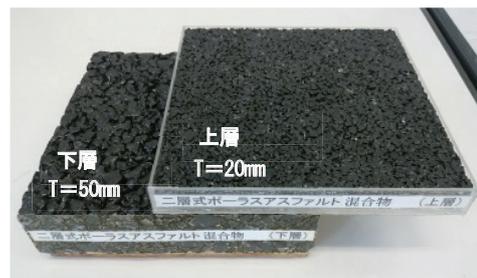


写真-1 二層式低騒音舗装 表面

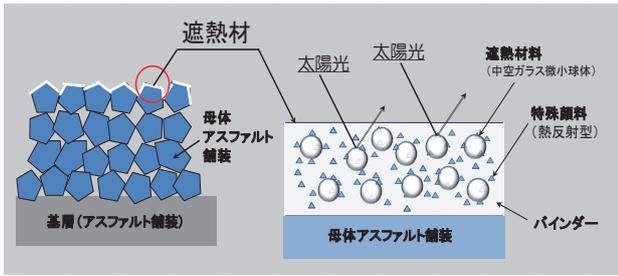


図-2 遮熱性舗装構造

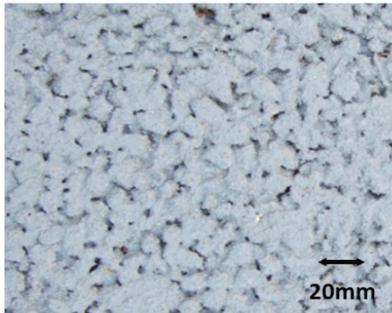


写真-2 遮熱性舗装 表面

調査項目及び調査数量を表-2に示す。

表-2 調査項目及び調査数量

調査項目	数量	単位	備考
転がり抵抗測定	13	箇所	測定回数5回
平坦性の測定	13	箇所	平坦性、IRI (クラス3)
路面のきめ深さ測定	39	地点	平均きめ深さ (MPD)

3. 転がり抵抗の測定

(1) すべり抵抗測定車の諸元

現地における舗装路面の転がり抵抗の測定は、(一財)土木研究センター所有の垂直昇降式縦横両用型すべり測定装置(写真-3)(以下、すべり抵抗測定車)を使用した。すべり抵抗測定車の諸元を表-3に示す。

表-3 土研センターすべり測定車の諸元

項目	内容
全長	11.990m
全幅	2.490m
全高	3.340m
車両総重量	161kN
エンジン出力	331kw
最大速度	140km/h



写真-3 すべり抵抗測定車

(2) 転がり抵抗測定方法

すべり抵抗測定車による転がり抵抗係数測定方法は、試験車が測定区間を一定速度で走行しているとき、試験車本体の走行とは異なる測定輪(第5輪タイヤ)に発生するけん引力をロードセル(TF:けん引力検出器)により検出し、転がり抵抗を測定した。

すべり抵抗測定車の構造を図-3に示す。

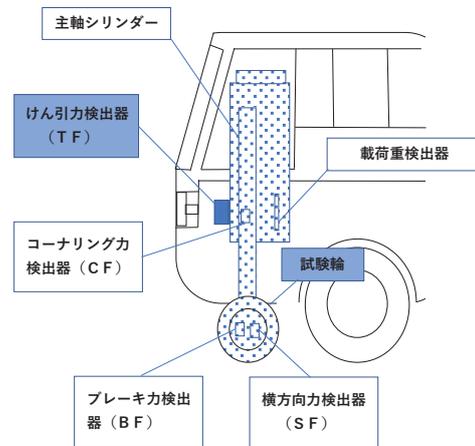


図-3 すべり抵抗測定車

(3) 転がり抵抗測定条件

転がり抵抗の測定条件を表-4に示す。

表-4 測定条件

項目	内容
測定車	土研センターすべり測定車
測定装置	垂直昇降式縦横両用型すべり計
路面状態	乾燥
測定工区	13工区
舗装路面種類	二層式低騒音舗装、一層低騒音舗装、密粒度舗装、遮熱性舗装
測定車線	各工区1車線
測定区間長	標準100m
測定速度	1速度(40km/h)
測定回数	1工区5回
測定位置	BWP
測定項目	トラクションホース(けん引力)、コーナリングフォース(コーナリング力)、サイドフォース(横方向力)
環境測定項目	タイヤ温度、気温、路面温度
測定タイヤ	すべり測定用標準タイヤ(リブタイヤ)
タイヤ条件	タイヤサイズ: 165-SR13、 タイヤ内圧: 0.176MPa(1.8kg/cm ²)
輪荷重	1輪あたり3969±98N(405±10kgf)
サンプリング間	0.01sec

(4) 転がり抵抗測定におけるデータ処理方法

1) 測定データの処理方法

すべり抵抗測定車の試験輪には図-4に示す力が作用する³⁾。測定項目は、けん引力(以下、TF)、輪荷重(以下、W)、車体直角方向に働くコーナリングフォース(以下、CF)、タイヤ直角方向に働くサイドフォース(以下、SF)であり、転がり抵抗を測定する場合は、タイヤを自由転動させたときのTF、W、CFを用いる。なお、測定中のタイヤ温度測定には、車載の非接触式温度計を用いた。

転がり抵抗測定フローは図-5に示すとおりである。

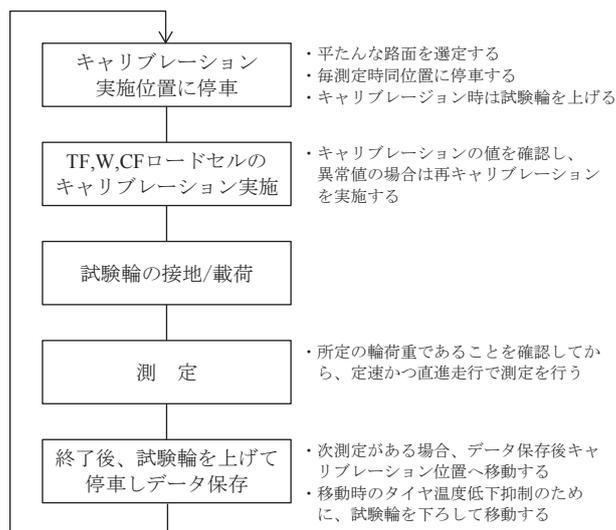
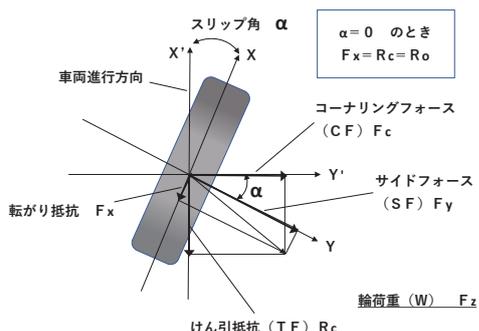


図-5 転がり抵抗測定フロー

さらに、図-6に示すフローにて転がり抵抗係数 C_R を算出する。

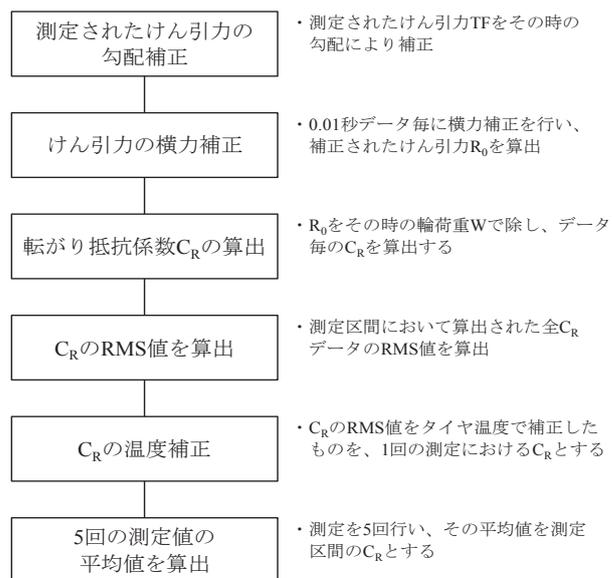


図-6 転がり抵抗係数算出フロー

2) 測定データの補正方法

転がり抵抗は自由転動するタイヤのけん引力 $R_c (=TF)$ であり、転がり抵抗係数 C_R は、けん引力 R_c をその時の輪加重 $F_z (=W)$ で除した値(式-1)で表される。

$$C_R = R_c / F_z \quad (\text{式-1})$$

しかし、タイヤが自由転動する時のけん引力は非常に小さな値であり、様々要因がその値に影響を及ぼすことが知られている¹⁾。そのため、これらの要因を考慮した適切な補正方法が必要となる。

本測定では下記の影響について補正を行った。

① 勾配による補正

勾配のある箇所における、すべり測定車の測定輪まわりの力のつりあいは、図-7に示すものと考えられる。図-7より、勾配のある箇所において、測定しているけん引力 (TF) には、転がり抵抗 F_x とジャッキ部の重量 Mg の斜面方向 (x方向) の分力 $Mg \cdot \sin \theta$ とが作用していることになる。この時、けん引力TFと勾配 $\tan \theta$ ($\equiv \sin \theta$) との関係は式-2で表される。

$$TF = F_x + Mg \tan \theta \quad (式-2)$$

ここで、ジャッキ部の重量 Mg は既往の検討結果⁵⁾より1448.4(N)とした。

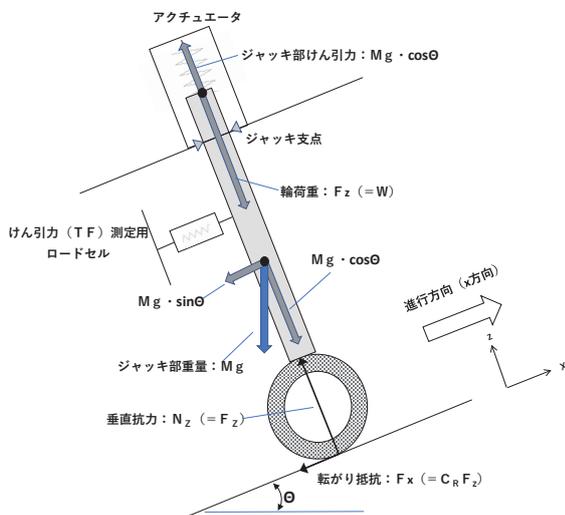


図-7 測定輪まわりの力のつりあい

② 横力による補正

転がり抵抗の測定は、直線道路を直進することにより測定する。しかし、横断勾配や平坦性の影響により、直進するためには、運転者は微小な操舵を行うことは避けられない。その操舵時にタイヤが受ける分力との関係は、前述の図-4に示すとおりである。操舵時の分力には、「転がり抵抗： F_x 」、「けん引抵抗 (=TF)： R_c 」、「CF： F_c 」、「W： F_z 」、「SF： F_y 」があり、タイヤにスリップ角がつくと F_c や F_y が発生し、 R_c が増加することがわかる。ここで、 F_x は操舵時のスリップ角が α° のときの転がり抵抗であり、 F_x 、 F_y 、 F_z には式-3³⁾に示すような関係がある。

$$F_x \approx R_0 \left\{ 1 + \left(\frac{F_y}{F_z} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (式-3)$$

ここで、 R_0 は横力 F_y がゼロのときの牽引力であり、 R_c から F_y の影響を除いた値である。したがって、転がり抵抗を適切に評価するには、 R_0 を算出することが必要である。そこで、式-3の変数をすべり抵抗測定車で実測可能な R_c 、 F_c 、 F_z に変数変換し、スリップ角 α が微小な角度である場合、 R_0 について解くと、操舵時の横力を補正するための式-4³⁾が得られる。

$$R_0 \approx \left(R_c - \frac{F_c^2}{k_y} \right) / \left\{ 1 + \left(\frac{F_c}{F_z} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (式-4)$$

ここで、 k_y はスリップ角 1° におけるCFであり、特にコーナリングパワーと呼ばれている。コーナリングパワーは路面種や速度に依存しないタイヤの種類やその剛性などに依存する固有の値である。 k_y はコーナリングパワー係数CC (以下CC) と F_z の積から求めることができる。本測定に用いたタイヤのCCの値については、既往の検討結果¹⁾より0.23とした。

③ タイヤ温度による補正

転がり抵抗係数 C_R はタイヤの温度 T にも影響することが知られている¹⁾。本測定においても測定時のタイヤ温度のばらつきがある事から、ある基準の温度 T_0 での転がり抵抗係数 $C_R(T_0)$ に補正して比較することとした。

C_R の基準温度への補正方法として、既往の検討¹⁾から式-5にて補正を行った。

$$C_R(T) = C_R(T_0) \exp \left(\frac{T - T_0}{T_1} \right) \quad (式-5)$$

ここで、 T_0 ：基準温度 (30°C)、 T_1 ：温度に関するタイヤの固有値 (°C)

なお、温度補正時の基準温度 T_0 および、 T_1 は既往の検討結果¹⁾からそれぞれ、 $T_0=30^\circ\text{C}$ 、 $T_1=-200^\circ\text{C}$ とした。

4. 路面性状調査の測定

(1) 平坦性、IRIの測定

現地測定は写真-4 に示す路面性状自動測定装置を使用し、平坦性、IRI（国際ラフネス指数）を測定した。側面の前輪および後輪を結んだ線上付近に1.5m 間隔で、配置した3個の非接触型変位計で路面との距離を測定することができる構造の車両で、車両に取り付けられた走行距離計により車両が1.5m 走行するごとに3個の変位計の測定値を同時に取り込む。使用する路面性状自動測定装置は（一財）土木研究センターの性能確認試験に合格した装置とし、測定は駐車車両や交通量の少ない夜間に測定を行った。



写真-4 路面性状自動測定装置

(2) CTメータによる路面のきめ深さの測定

測定は「舗装調査・試験法便覧（（社）日本道路協会）」の「回転式きめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法」に準拠した。使用するきめ深さ測定装置は写真-5に示すCTメータ(Circular Texture Meter)を使用し、乾燥路面上で測定を行い図-8のように定義されるMPD (Mean Profile Depth) を算出した。尚、測定の作業時間帯は、駐車車両や交通量の少ない夜間作業とした。



写真-5 CTメータ

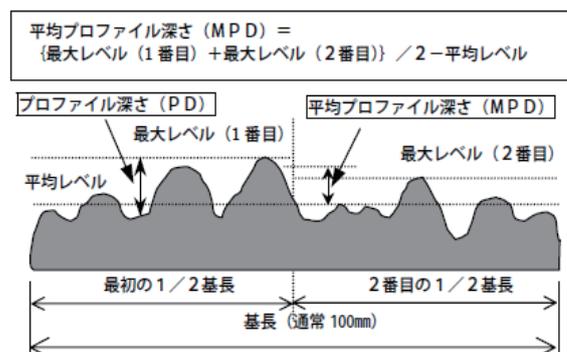


図-8 MPDの定義⁴⁾

5. 転がり抵抗・路面性状調査結果

(1) 転がり抵抗のデータの妥当性評価

転がり抵抗は、直線道路を直進することにより測定するため、通常、サイドフォース（以下、「SF」と示す）やコーナーリングフォース（以下、「CF」と示す）は過度に発生しない。調査路線は、概ね直線部分ではあるものの、調査区間に視認できるほどの曲線部や復旧の施工ジョイントを含んだ工区もあり、横力補正しきれないような部分的なCF 過度区間は控除した。

(2) 転がり抵抗係数

転がり抵抗係数の補正なしの係数と勾配、横力及び温度により補正した係数を図-9及び表-5に示す。なお、勾配補正に用いた縦断勾配は、デジタル勾配計により路面のきめ深さを測定した3地点において測定し、起終点と3地点の中間点を境界として各々の測定値を適用した。また、各工区の5データのうち、平均値から最も乖離したデータが、残りの4データの平均値+2σ 以上乖離していた場合には、工区の平均値から控除した。

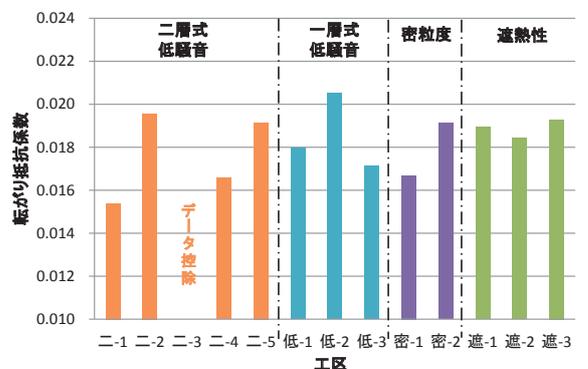


図-9 各工区の転がり抵抗係数

表-5 転がり抵抗係数

工区	道路名			施工箇所			建設事務所	比較検討区間	平均勾配 (%)	測定回数	速度 (km/h)	タイヤ温度 (℃)	転がり抵抗係数				
	路線名	番号	通称名	区名	町名	丁目							補正なし		勾配+横力+温度補正		
													測定値	平均値 (標準偏差)	補正值	平均値 (標準偏差)	
二-1	主	環状七号線	318	環七通り	中野区	野方6 ～ 丸山1	三建	0-100	1.7	1回目	41.2	12.8	0.0150	0.0143	0.0153	0.0151 (0.0001)	0.0154 (0.0001)
										2回目	41.1	13.4	0.0143	0.0155			
										3回目	40.9	11.3	0.0150	0.0152			
										4回目	40.5	12.6	0.0152	0.0152			
										5回目	41.0	12.1	0.0152	0.0152			
二-2	主	環状七号線	318	環七通り	杉並区	高円寺南4 ～ 中野区野方1	三建	0-100	0.6	1回目	40.2	11.5	0.0252	0.0200	0.0200	0.0247 (0.0005)	0.0196 (0.0005)
										2回目	40.2	9.4	0.0254	0.0192			
										3回目	40.3	9.6	0.0241	0.0190			
										4回目	40.0	9.3	0.0244	0.0189			
										5回目	39.9	9.3	0.0246	0.0189			
二-3	主	環状七号線	318	環七通り	練馬区	豊玉南3 ～ 豊玉南2	四建	-	1.9	1回目	41.0	10.5	-	-	-	-	-
										2回目	40.2	12.7	-	-	-		
										3回目	40.4	10.7	-	-	-		
										4回目	40.5	10.7	-	-	-		
										5回目	40.5	10.6	-	-	-		
二-4	主	環状八号線	311	環八通り	大田区	矢口1 ～ 千鳥3	二建	60-100	0.1	1回目	40.0	20.9	0.0194	0.0171	0.0171	0.0195 (0.0002)	0.0166 (0.0005)
										2回目	40.8	23.0	0.0192	0.0144	0.0167		
										3回目	39.2	22.0	0.0195	0.0168			
										4回目	39.9	21.8	0.0199	0.0158			
										5回目	40.3	20.1	0.0206	0.0158			
二-5	主	調布田無線	12	武蔵境通り	調布市	深大寺北町7 ～ 深大寺北町3	北南建	0-100	0.6	1回目	40.3	8.3	0.0235	0.0181	0.0193	0.0239 (0.0003)	0.0191 (0.0001)
										2回目	40.4	12.5	0.0243	0.0190			
										3回目	40.4	10.9	0.0240	0.0190			
										4回目	40.2	9.3	0.0239	0.0192			
										5回目	40.5	7.0	0.0247	0.0192			
低-1	主	環状八号線	311	環八通り	板橋区	小豆沢4	四建	50-100	0.5	1回目	40.5	9.7	0.0233	0.0182	0.0181	0.0231 (0.0001)	0.0180 (0.0002)
										2回目	40.5	9.9	0.0232	0.0181			
										3回目	39.7	10.0	0.0220	0.0179			
										4回目	40.1	9.5	0.0230	0.0177			
										5回目	40.7	7.0	0.0229	0.0177			
低-2	主	東品川丸子線	421	池上通り	大田区	山王2	二建	0-100	1.5	1回目	40.6	19.5	0.0290	0.0210	0.0214	0.0286 (0.0003)	0.0205 (0.0007)
										2回目	39.8	19.2	0.0291	0.0208			
										3回目	40.9	19.5	0.0286	0.0198			
										4回目	40.3	18.6	0.0286	0.0199			
										5回目	40.2	18.3	0.0281	0.0199			
低-3	主	環状七号線	318	環七通り	練馬区	豊玉南2	四建	0-90	0.6	1回目	39.7	11.7	0.0225	0.0174	0.0169	0.0223 (0.0001)	0.0171 (0.0002)
										2回目	40.2	12.9	0.0226	0.0171			
										3回目	40.6	12.5	0.0221	0.0172			
										4回目	39.1	10.5	0.0222	0.0172			
										5回目	41.1	11.3	0.0223	0.0172			
密-1	主	王子千住夢の島線	306	明治通り	江東区	新砂1	五建	0-100	0.4	1回目	40.4	19.6	0.0176	0.0166	0.0164	0.0176 (0.0001)	0.0167 (0.0001)
										2回目	40.8	20.1	0.0172	0.0167			
										3回目	41.1	20.7	0.0177	0.0168			
										4回目	40.6	20.2	0.0177	0.0167			
										5回目	40.7	20.1	0.0175	0.0167			
密-2	主	上野尾竹橋線	313	尾竹橋通り	足立区	関原3	六建	0-100	0.3	1回目	40.7	17.9	0.0234	0.0194	0.0177	0.0228 (0.0004)	0.0191 (0.0007)
										2回目	40.8	16.7	0.0222	0.0200			
										3回目	40.6	16.2	0.0246	0.0190			
										4回目	40.7	17.1	0.0227	0.0181			
										5回目	40.7	16.9	0.0228	0.0181			
遮-1	主	環状三号線	319	外苑東通り	新宿区	早稲田鶴巻町	三建	0-50	0.2	1回目	39.7	12.8	0.0248	0.0200	0.0193	0.0241 (0.0005)	0.0189 (0.0002)
										2回目	40.7	12.5	0.0237	0.0187			
										3回目	40.6	12.9	0.0235	0.0189			
										4回目	41.2	11.8	0.0243	0.0189			
										5回目	40.4	14.6	0.0227	0.0189			
遮-2	主	白山祝田町線	301	内堀通り	千代田区	大手町1	一建	70-90	0.4	1回目	40.6	19.4	0.0230	0.0192	0.0190	0.0233 (0.0003)	0.0184 (0.0006)
										2回目	40.1	19.1	0.0230	0.0185			
										3回目	39.9	16.9	0.0237	0.0176			
										4回目	40.4	18.0	0.0235	0.0178			
										5回目	40.0	18.0	0.0240	0.0178			
遮-3	主	新宿両国線	302	靖国通り	千代田区	神田須田町1～2	一建	0-100	0.3	1回目	40.2	20.0	0.0224	0.0194	0.0189	0.0223 (0.0004)	0.0193 (0.0003)
										2回目	40.5	18.5	0.0219	0.0197			
										3回目	39.7	18.7	0.0227	0.0195			
										4回目	40.9	18.7	0.0229	0.0189			
										5回目	40.8	19.9	0.0218	0.0189			

※各工区の5データのうち、平均値から最も乖離したデータが、残りの4データの平均値+2σ以上乖離していた場合には、工区の平均値から控除

(3) 路面性状調査

1) 平坦性（縦断凹凸）の測定

路面性状測定車で測定した平坦性とIRIを表-6及び図-10～図-11に示す。

各工区の平坦性は1.16mm～3.48mmの範囲で、二-2及び密-1工区は1.2mm程度と新設舗装に近い平坦性であった。一方、二-5、密-2及び遮-3工区は3mmを超過しており、平坦性の低下が見られる。

各工区のIRIは、1.88mm/m～3.85mm/mの範囲で、平坦性が新設舗装に近かった二-2と密-1工区に加えて、二-1工区も2mm/m以下と良好な状態であった。

表-6 路面性状測定車による平坦性とIRI

工区	舗装種別	平坦性 (mm)	IRI (mm/m)
二-1	二層式 低騒音舗装	1.56	1.88
二-2		1.20	1.94
二-3		2.51	3.65
二-4		2.42	2.32
二-5		3.17	3.85
低-1	一層式 低騒音舗装	2.19	3.81
低-2		1.64	2.44
低-3		2.44	3.48
密-1	密粒度舗装	1.16	1.88
密-2		3.48	3.55
遮-1	遮熱性舗装	2.30	3.28
遮-2		2.48	3.40
遮-3		3.27	2.80

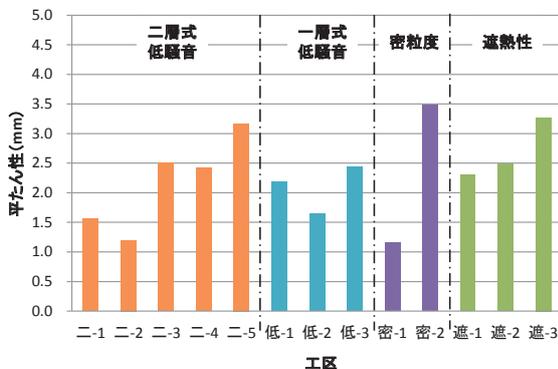


図-10 各工区の平坦性

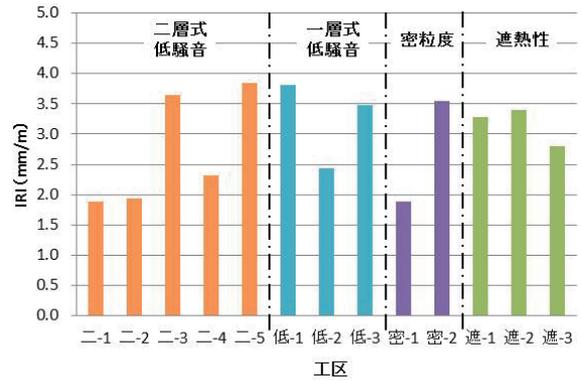


図-11 各工区のIRI

2) CTメータによる路面のきめ深さの調査

CTメータで測定した平均プロファイル深さ (MPD)を表-7及び図-12に示す。

二層式低騒音舗装のMPDは、0.73mm～1.08mmと近いきめ深さであったが、一層式低騒音舗装のMPDは、0.84mm～1.72mmと範囲が広く、特に低-3工区の0.84mmは低騒音舗装のきめ深さとしては非常に小さいものであった。逆に、密粒度舗装の密-2工区は0.91mmと大きく、面の荒れた路面を呈しているものであった。

表-7 CTメータによるMPD

工区	舗装種別	MPD (mm)			
		1	2	3	平均
二-1	二層式 低騒音舗装	0.75	0.82	0.73	0.77
二-2		0.98	1.26	1.01	1.08
二-3		0.89	0.86	1.02	0.92
二-4		1.29	0.86	0.95	1.03
二-5		0.86	0.70	0.64	0.73
低-1	一層式 低騒音舗装	1.36	1.47	1.45	1.43
低-2		1.74	1.70	1.73	1.72
低-3		0.83	0.82	0.86	0.84
密-1	密粒度 舗装	0.48	0.52	0.39	0.46
密-2		0.97	0.87	0.89	0.91
遮-1	遮熱性 舗装	2.03	1.78	1.65	1.82
遮-2		1.58	1.28	1.27	1.38
遮-3		1.60	1.34	1.40	1.45

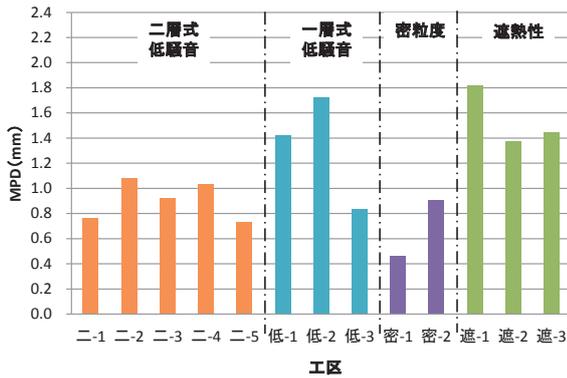


図-12 各工区の平均プロファイル深さ (MPD)

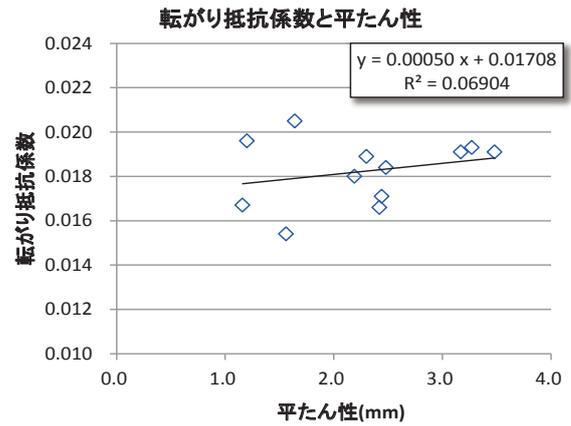


図-13 転がり抵抗係数と平坦性

6. データの分析

(1) 各調査データの関連性

転がり抵抗係数と路面性状調査の測定値一覧を表-8、転がり抵抗係数と各測定値との関係を図-13～図-15 に示す。

表-8 転がり抵抗係数と路面性状調査の測定値一覧

工区	舗装種別	転がり抵抗係数(補正值)	平坦性(mm)	IRI(mm/m)	MPD(mm)
二-1	二層式 低騒音	0.0154	1.56	1.88	0.77
二-2		0.0196	1.20	1.94	1.08
二-3		—	2.51	3.65	0.92
二-4		0.0166	2.42	2.32	1.03
二-5		0.0191	3.17	3.85	0.73
低-1	一層式	0.0180	2.19	3.81	1.43
低-2	低騒音	0.0205	1.64	2.44	1.72
低-3	舗装	0.0171	2.44	3.48	0.84
密-1	密粒度	0.0167	1.16	1.88	0.46
密-2	舗装	0.0191	3.48	3.55	0.91
遮-1	遮熱性	0.0189	2.30	3.28	1.82
遮-2	舗装	0.0184	2.48	3.40	1.38
遮-3		0.0193	3.27	2.80	1.45

①平坦性及びIRI

本業務で調査した区間は、平坦性が1.16～3.48 mm、IRIが1.88～3.85mm/mと狭い範囲に収集し、縦断凹凸が低下した箇所は含まれていなかった。そのため、転がり抵抗係数との相関は見られなかった。

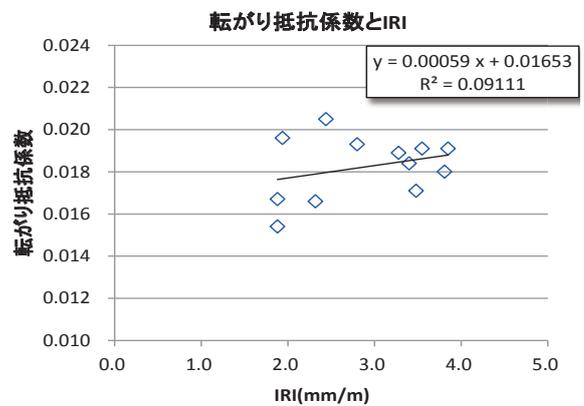


図-14 転がり抵抗係数とIRI

②MPD (平均きめ深さ)

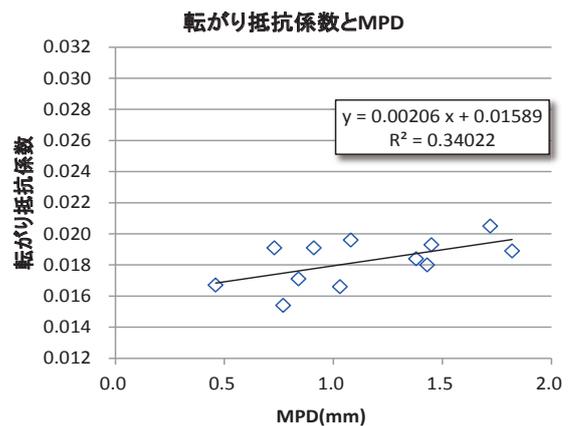


図-15 転がり抵抗係数とMPD

MPDと転がり抵抗係数との関係は、MPDが大きくなるに従い、転がり抵抗係数は大きくなる傾向が見られ、決定係数は0.34であった。

(2) 舗装種別による転がり抵抗係数の比較

転がり抵抗と路面の性能指標との関係について、路面のテクスチャが粗く、ラフネスが悪くなるほど、転がり抵抗係数は大きくなると報告されている²⁾。つまり、転がり抵抗は舗装の劣化の影響を受けるといことであり、各舗装の転がり抵抗の性能を比較するためには、これらの要素を排除する必要がある。ここで、今年度調査した各工区の施工年月と供用期間を表-9に示す。

表-9 各工区の施工年月と供用期間

工区	舗装種別	施工年月	供用期間
二-1	二層式 低騒音 舗装	平成30年9月	3ヶ月
二-2		平成25年10月	5年2ヶ月
二-3		平成26年2月	4年10ヶ月
二-4		平成30年2月	10ヶ月
二-5		平成30年2月	10ヶ月
低-1	一層式 低騒音 舗装	平成30年2月	10ヶ月
低-2		平成25年度	5年
低-3		平成16年度	14年
密-1	密粒度 舗装	平成30年2月	10ヶ月
密-2		平成12年度	18年
遮-1	遮熱性 舗装	平成22年1月	8年11ヶ月
遮-2		平成29年2月	1年10ヶ月
遮-3		平成29年2月	1年10ヶ月

各工区の供用年数は短いもので3ヶ月、長いものは18年と幅が広い。そのため、各舗装の供用期間が最短の工区をその舗装の代表工区として、舗装種別による比較を行った。各舗装の代表工区における転がり抵抗係数と路面性状を表-10に示す。

表-10 代表工区における転がり抵抗係数と路面性状

項目	二-1	低-1	密-1	遮-3
舗装種別	二層式低騒音舗装	一層式低騒音舗装	密粒度舗装	遮熱性舗装
施工年月	平成30年9月	平成30年2月	平成30年2月	平成29年2月
供用期間	3ヶ月	10ヶ月	10ヶ月	1年10ヶ月
転がり抵抗係	0.0154	0.0180	0.0167	0.0193
MPD (mm)	0.77	1.43	0.46	1.45
IRI (mm/m)	1.88	3.81	1.88	2.80

既往の報告²⁾では、各種舗装の転がり抵抗係数及びMPD、IRIを測定し、転がり抵抗係数の走行速度毎の重回帰式が示されている(表-11)。その報告時に示される排水性舗装(13)におけるMPD、IRIから表-11に示す重回帰式(走行速度40km)により算出した転がり抵抗係数を基準値(転がり抵抗0.0176、MPD1.80mm、IRI1.36mm/m)として、各舗装の転がり抵抗係数を比較すると、図-16のとおり二層式低騒音舗装は0.0154と12%の低減が見られた。他舗装については、一層式低騒音舗装は0.0180で同等、密粒度舗装は0.0167で5%低減、遮熱性舗装は0.0193で10%増大であった。

表-11 転がり抵抗係数の重回帰式

走行速度	重回帰式	重相関係数
20km/h	$Y=0.014083 + 0.000999 \ln(IRI) + 0.000895 MPD$	0.8518
40km/h	$Y=0.015541 + 0.001216 \ln(IRI) + 0.000938 MPD$	0.8478
60km/h	$Y=0.017801 + 0.003212 \ln(IRI) + 0.000617 MPD$	0.8450
80km/h	$Y=0.020333 + 0.002869 \ln(IRI) + 0.000723 MPD$	0.7097

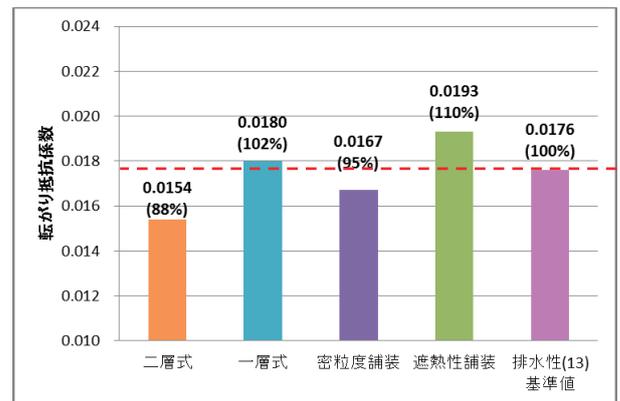


図-16 各舗装の転がり抵抗係数

また、転がり抵抗に影響を及ぼすIRIは、舗装の出来形であり、転がり抵抗に対する舗装の性能とは関係ない。そのため、排水性舗装(13)(MPD1.80mm、IRI=1.36mm/m)の転がり抵抗係数を重回帰式(表-11 40km/h)において算出しこれを基準値とし、各舗装のIRIのみを同重回帰式に代入し、求めた転がり抵抗係数と基準値の差を求め、それを今回測定した各舗装の転がり抵抗係数から控除し、舗装本来の性能比較を行った。その結果、表-12及び図-17に示すとおり、一層式低騒音舗装を基準として、転がり抵抗係数を比較すると、二層式低騒音舗装は10%の低減効果が見られた。

表-12 転がり抵抗係数の補正值

工区	舗装種別	転がり抵抗係数	IRI (mm/m)	転がり抵抗差分 (IRI=1.36との差分)	転がり抵抗補正值	一層式低騒音舗装との比率
二-1	二層式低騒音舗装	0.0154	1.88	-0.0004	0.0150	90%
低-1	一層式低騒音舗装	0.0180	3.81	-0.0013	0.0167	100%
密-1	密粒度舗装	0.0167	1.88	-0.0004	0.0163	98%
遮-3	遮熱性舗装	0.0193	2.80	-0.0009	0.0184	110%

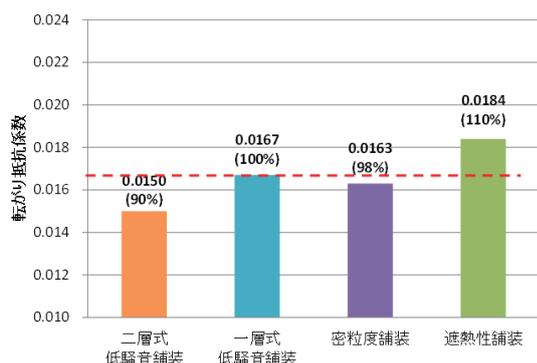


図-17 IRI補正による転がり抵抗の比較

(3) 二層式低騒音舗装の燃費性能

既往の検討²⁾では表-13に示す転がり抵抗係数と燃料消費率の関係式が示されている。一般国道や市町村道の平均的な走行速度に近い40km/hの式で前項(2)の補正した転がり抵抗係数を基に、一層式低騒音舗装を基準として燃料消費率を比較すると、表-14に示すとおり、二層式低騒音舗装は2.4%向上しており、従来の一層式低騒音舗装と比較し、低燃費であるといえる。

表-13 転がり抵抗係数と燃料消費率の関係式

走行速度 (Km/h)	転がり抵抗係数と燃料消費率の関係式
20	$Y = -153.78X + 11.158$
40	$Y = -167.36X + 14.858$
60	$Y = -264.22X + 18.685$
80	$Y = -141.35X + 14.780$

参考文献

- 1) 白井悠, 石垣勉, 川上篤史, 寺田剛, 藪雅行 (2016) : アスファルト舗装のタイヤ/路面転がり抵抗と自動車走行燃費の関係, 土木学会論文集E1 (舗装工学), Vol. 72, No. 3
- 2) 川上篤史, 寺田剛, 藪雅行, 白井悠, 石垣勉: 低燃費舗装に求められる性能と路面の性能指標の関係について, 第32回日本道路会議
- 3) 酒井秀男 (1987) : 改訂タイヤ工学 入門から応用まで, 気象庁測候時報, 第80巻, グランプリ出版
- 4) 橋本喜正, 新田弘之, 吉田武 (2002) : 路面性状からのタイヤ/路面騒音の予測に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第7巻
- 5) 東京都土木技術支援・人材育成センター(2018):平成29年度二層式低騒音舗装の転がり抵抗調査

表-14 各舗装の燃料消費率の試算

工区	舗装種別	転がり抵抗補正值	燃料消費率 (km/l)	一層式低騒音舗装との比率
二-1	二層式低騒音舗装	0.0150	12.35	102.4%
低-1	一層式低騒音舗装	0.0167	12.06	100%
密-1	密粒度舗装	0.0163	12.13	100.6%
遮-3	遮熱性舗装	0.0184	11.78	97.6%

7. おわりに

本調査では、現在供用中の都道における転がり抵抗の現状を把握し、低燃費舗装の判断指標に資することを目的に、舗装種4種類、13箇所の転がり抵抗と路面性状を測定した。この結果、供用年数1年未満の工区を劣化が少なく、舗装本来の性能だと仮定すると、既報²⁾の排水性舗装(13)の転がり抵抗係数と比較して、二層式低騒音舗装の転がり抵抗係数は12%低減した。また、二層式低騒音舗装は今回調査対象とした舗装の中で、転がり抵抗係数が最も低く、低燃費の傾向にある結果が得られた。

最後にこの調査に関する当センターとの合同検証者として多大なご協力をいただいている東京都建設局道路管理部保全課の各位に対して、深甚なる感謝の意を表する。