

4. 遮熱性舗装のすべり抵抗の経年変化について

Secular Change of Solar Heat-Blocking Pavement' s Skid Resistance

技術支援課 橋本喜正、上野慎一郎、峰岸順一

1. まえがき

遮熱性舗装は、路面温度の上昇を抑制する効果があることから、都市部で発生している熱帯夜の原因であるヒートアイランド現象対策や、路面温度の上昇に起因する道路のわだち掘れ対策として、都心部を中心に施工面積を着実に伸ばしている。しかし、一部の舗装においては供用後の経年変化に伴いすべり抵抗性が低下するなどの事例も発生していることから、事前に室内による試験によりすべり抵抗性の良否を確認するなど、すべり対策の運用を平成 22 年度から開始している。

本報文では、平成 22 年度までに施工された遮熱性舗装のすべり抵抗性を確認し、経年変化を把握した結果を報告する。

2. 調査概要

表-1 および図-3~5 に示す平成 19 年度から平成 22 年度に施工された遮熱性舗装 44 箇所ですべり抵抗値を測定した。

すべり抵抗値の測定は、振り子式スキッドレジスタンステスト（図-1）と、回転式すべり抵抗測定器（図

-2）の 2 つを用いて行った。

なお、振り子式スキッドレジスタンステストの測定は、舗装調査・試験法便覧（(社)日本道路協会）の「振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定方法」に、回転式すべり抵抗測定器の測定は、「回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定方法」に従った。

振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗値は、測定したデータについて下記補正式を用いて温度補正を行った値（以下、「 BPN_{20} 」という。）にて評価した。

《温度補正式》

$$BPN_{20} = -0.0071t^2 + 0.9301t - 15.79 + C_t$$

BPN_{20} : 20°Cに補正した BPN 値

C_t : 路面の表面温度 t 時の BPN 測定値

t : 路面の表面温度(°C)

回転式すべり抵抗測定器によるすべり抵抗値は、測定したデータにおける 60km/h の値（以下、「 RSN_{60} 」という。）を用いて評価した。

測定箇所は OWP（外側車輪通過位置：車線を中心線から進行方向左側に 1 m 離れた箇所）とした。



図-1 振り子式スキッドレジスタンステスト



図-2 回転式すべり抵抗測定器

表-1 調査箇所概要

No.	年度	道路 通称名	竣工 時期	延長 (m)	面積 (㎡)	交通量(上下線計・12h)			ベース 樹脂	遮熱材	
						大型車	小型車	合計		散布骨材	
										1層目	2層目
1	19	外苑西通り	H20. 7.31	406.0	5,359	1,438	14,948	16,386	MMA	超硬質磁器骨材	超硬質磁器骨材
2	19	靖国通り	H20. 3.26	257.0	4,589	2,623	24,185	26,808	MMA	超硬質磁器骨材	無
3	19	新大橋通り	H20. 3.26	145.0	3,250	4,205	23,185	27,390	ビニルエステル	超硬質磁器骨材	再生ガラス骨材
4	20	新大橋通り	H20. 7.31	216.0	3,382	4,205	23,185	27,390	MMA	超硬質磁器骨材	無
5	20	晴海通り	H21. 2. 3	179.0	2,779	5,601	22,198	27,799	MMA	セラミック骨材	無
6	20	日比谷通り	H21. 2.13	370.0	7,605	3,601	27,770	31,371	MMA	超硬質磁器骨材	無
7	20	旧海岸通り	H21. 1.30	315.0	4,728	7,151	19,359	26,510	アクリル	超硬質磁器骨材	無
8	20	日比谷通り	H21. 6. 4	571.0	7,407	5,782	18,475	24,257	MMA	珪砂	アルミナ骨材
9	20	内堀通り	H21. 3.19	244.0	2,370	1,469	14,626	16,095	MMA	超硬質磁器骨材	無
10	20	(ソニー通り)	H21. 3.31	344.0	4,628	2,469	15,472	17,941	MMA	超硬質磁器骨材	無
11	20	靖国通り	H21. 3.30	262.0	4,027	2,623	24,185	26,808	MMA	超硬質磁器骨材	無
12	20	青梅街道	H21. 3.18	88.0	1,352	1,718	15,089	16,807	MMA	超硬質磁器骨材	無
13	22	明治通り	H22.10.7	299.7	4,124	2,586	16,885	19,471	低臭型MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
14	22	日比谷通り	H22.10.21	314.4	4,999	1,841	14,692	16,533	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
15	22	新大橋通り	H22.12.2	144.9	1,281	4,205	23,185	27,390	低臭型MMA	超硬質磁器骨材	珪砂
16	22	外苑東通り	H23.3.10	250.4	2,773	3,302	18,626	21,928	低臭型ポリウレタ	超硬質磁器骨材	珪砂
17	22	新大橋通り	H22.3.1	192.4	2,825	4,205	23,185	27,390	低臭型MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
18	22	日比谷通り	H23.3.29	339.8	4,279	3,601	27,770	31,371	MMA	超硬質磁器骨材	セラミック骨材
19	22	晴海通り	H23.3.28	299.7	3,419	5,601	22,198	27,799	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
20	22	昭和通り	H23.3.11	218.5	4,486	6,469	34,818	41,287	MMA	超硬質磁器骨材	アルミナ骨材
21	22	清澄通り	H23.3.25	284.9	4,717	2,723	17,242	19,965	低臭型MMA	超硬質磁器骨材	セラミック骨材
22	22	本郷通り	H23.3.25	130.6	1,879	1,841	14,692	16,533	低臭型MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
23	22	26号線通り	H22.10.14	254.7	1,833	867	6,041	6,908	MMA	アルミナ骨材	セラミック骨材
24	22	明治通り	H23.2.8	709.3	8,218	2,897	15,707	18,604	MMA	超硬質磁器骨材	セラミック骨材
25	22	井の頭通り	H23.3.23	608.2	7,694	3,036	25,427	28,463	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
26	22		H23.1.31	593.5	2,989	867	6,041	6,908	MMA	超硬質磁器骨材	アルミナ骨材
27	22	明治通り	H23.3.8	316.4	3,733	2,897	15,707	18,604	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
28	22	外堀通り	H23.3.16	387.2	3,299	2,702	24,924	27,626	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
29	22	大久保通り	H23.3.8	270.9	1,898	846	8,491	9,337	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
30	22	早稲田通り	H23.3.4	619.1	5,004	1,703	10,756	12,459	エポキシ	超硬質磁器骨材/珪砂	珪砂
31	22	目白通り	H23.2.23	206.9	1,441	2,333	16,349	18,682	低臭型MMA	超硬質磁器骨材	無
32	22	新目白通り	H23.3.4	287.5	1,828	4,383	25,842	30,225	低臭型MMA	超硬質磁器骨材	セラミック骨材
33	22	明治通り	H23.3.15	377.2	2,753	3,722	21,978	25,700	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
34	22	明治通り	H23.3.30	676.0	3,930	1,223	16,702	17,925	MMA	超硬質磁器骨材	セラミック骨材
35	22	三ッ目通り	H23.3.30	309.4	3,966	4,340	14,727	19,067	低臭型MMA	超硬質磁器骨材	セラミック骨材
36	22	永代通り	H23.3.30	237.4	3,498	5,987	32,808	38,795	低臭型MMA	超硬質磁器骨材	セラミック骨材
37	22	不忍通り	H23.3.30	338.8	3,701	1,589	12,720	14,309	低臭型ポリウレタ	超硬質磁器骨材	再生ガラス骨材
38	22	本郷通り	H23.3.31	356.0	3,757	3,124	16,892	20,016	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
39	22	外堀通り	H22.12.20	370.7	5,148	2,702	24,924	27,626	MMA	超硬質磁器骨材	無
40	22	明治通り	H22.12.20	188.2	2,547	2,897	15,707	18,604	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
41	22	明治通り 駒沢通り	H23.3.30	409.7	4,973	1,092	7,245	8,337	MMA	超硬質磁器骨材	セラミック骨材
42	22	外堀通り	H23.3.25	149.3	1,684	1,937	26,863	28,800	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
43	22	外堀通り	H22.1.26	431.7	5,142	1,937	26,863	28,800	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂
44	22	明治通り	H23.3.28	427.8	4,328	3,634	19,296	22,930	低臭型ビニルエステル	超硬質磁器骨材	セラミック骨材

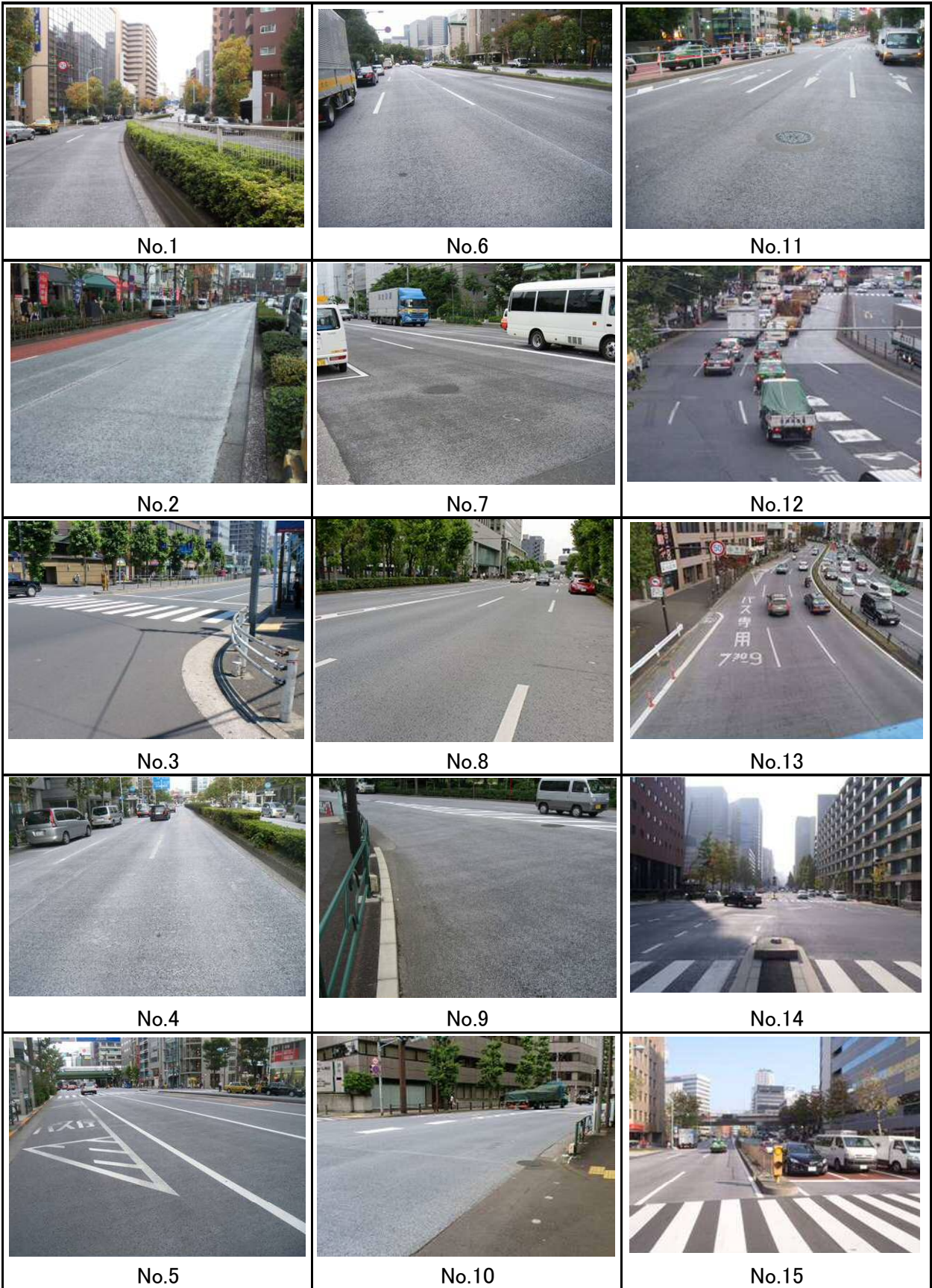


図-4 調査箇所 (1/3)

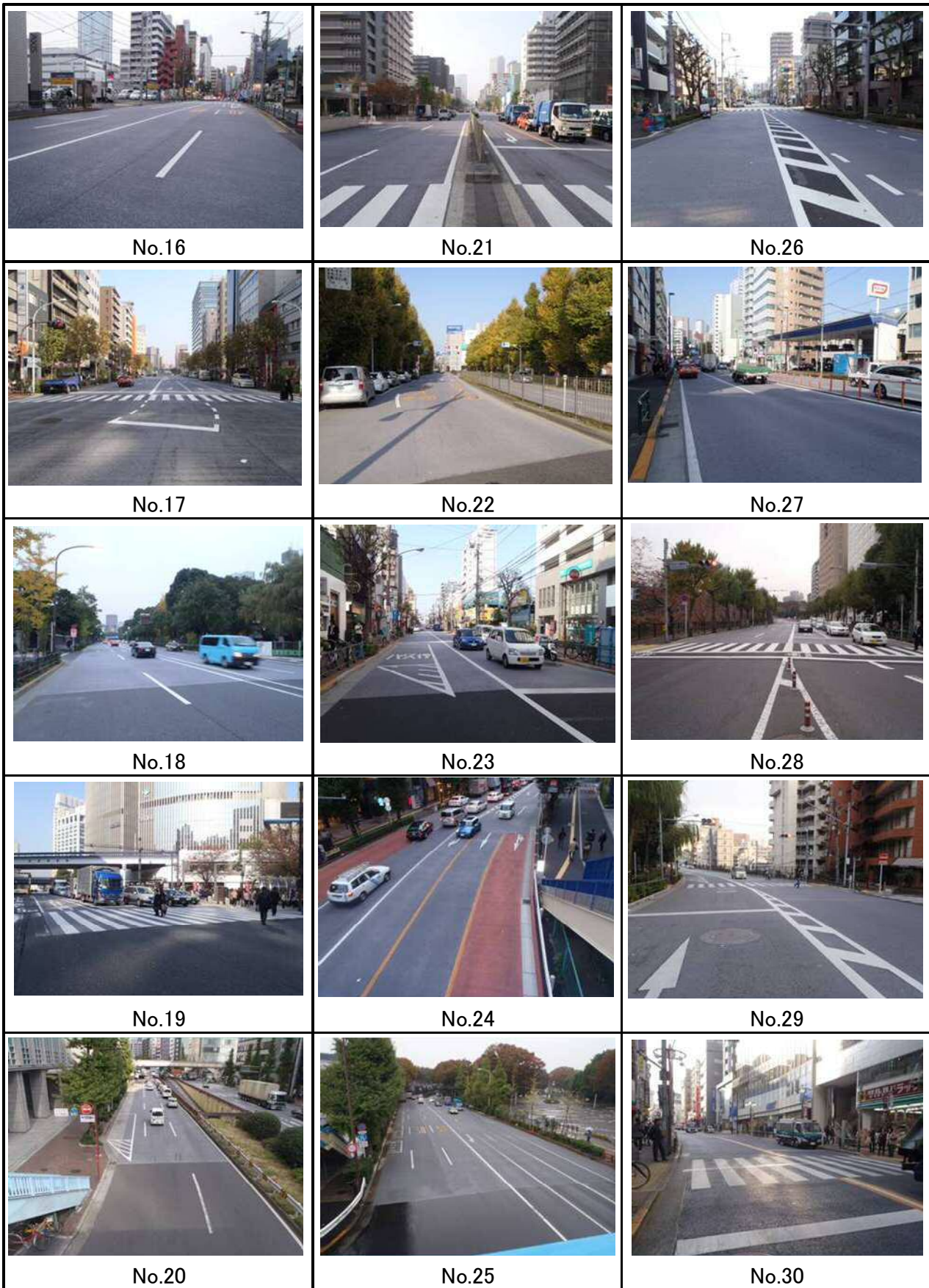


図-5 調査箇所 (2/3)

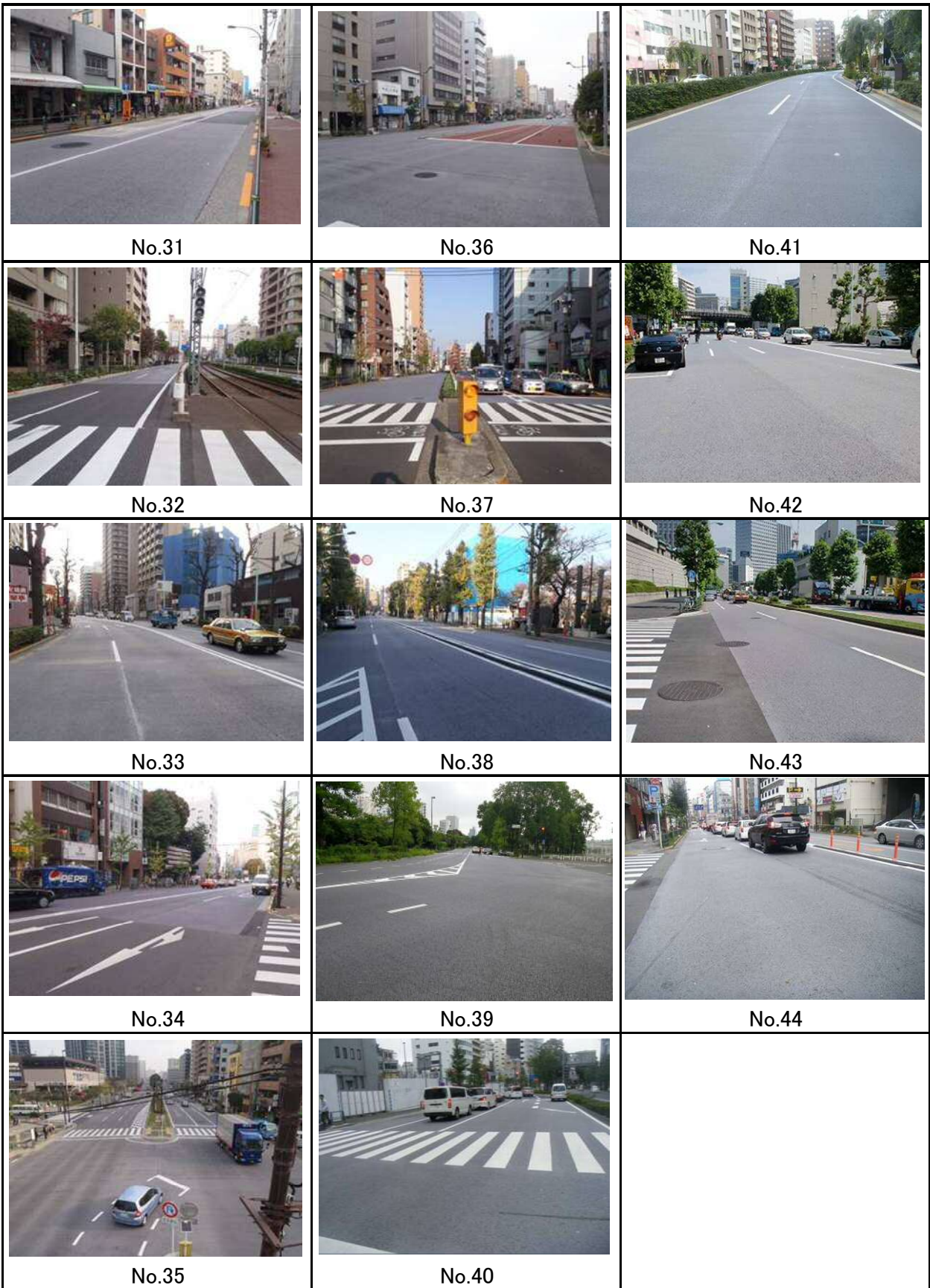


図-6 調査箇所 (3/3)

3. 追跡調査結果

(1) BPN₂₀の結果

BPN₂₀の測定結果を図-7に、経年変化をまとめたグラフを図-8に示す。

図-8の箱ひげグラフであるが、最小値、平均値-標準偏差、平均値、平均値+標準偏差、最大値をそれぞれ示している。

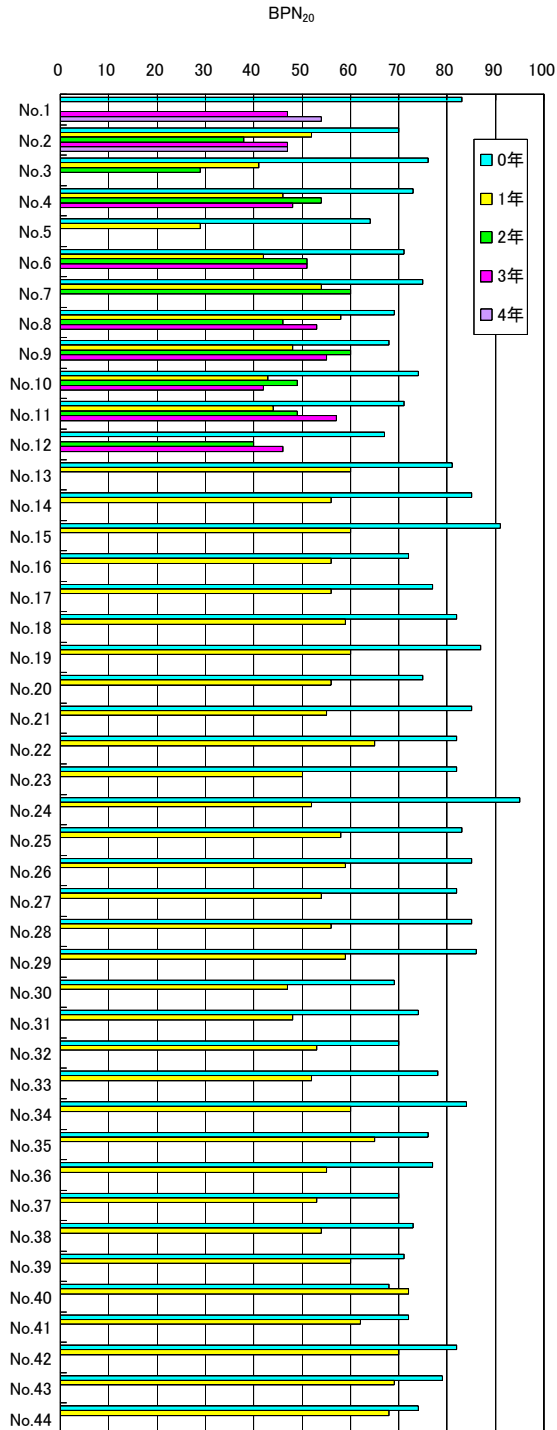


図-7 BPN₂₀測定結果

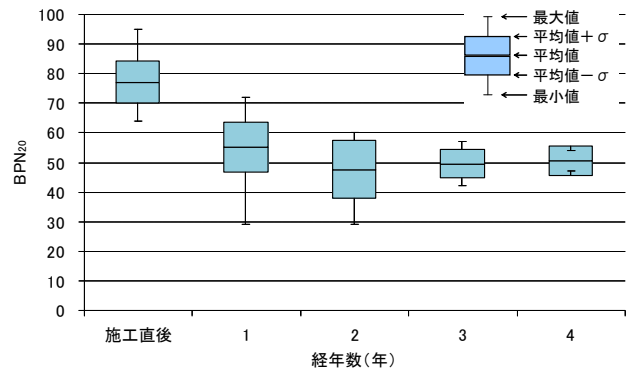


図-8 BPN₂₀経年変化

(2) RSN₆₀の結果

RSN₆₀の測定結果を図-9に、経年変化を図-10に示す。

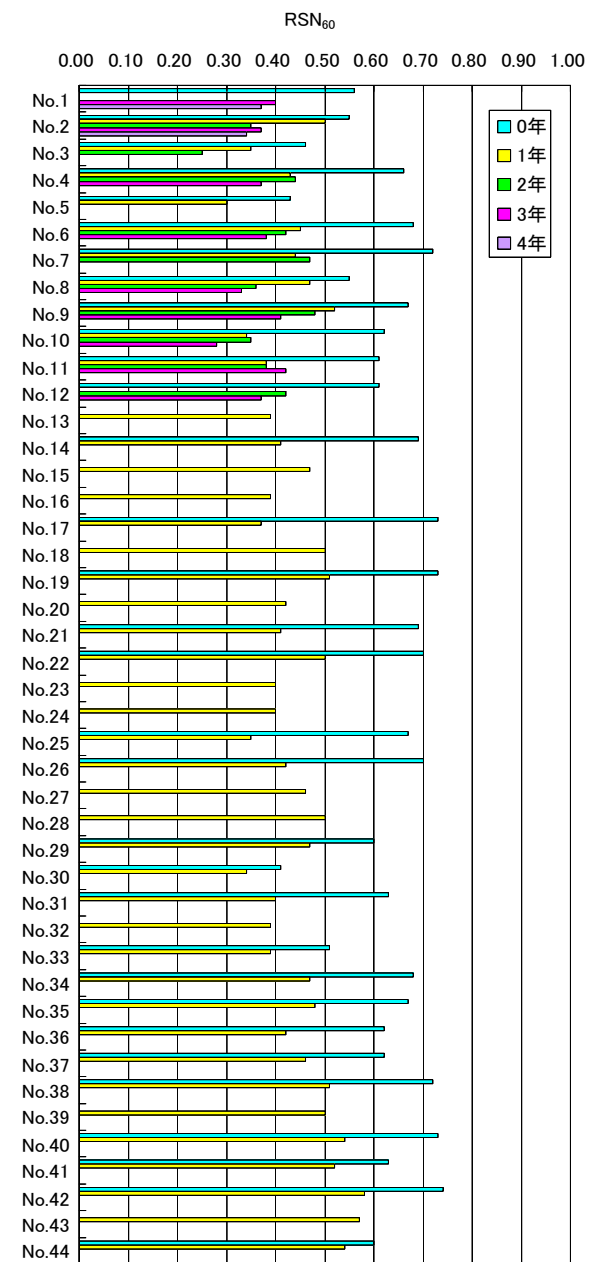


図-9 RSN₆₀測定結果

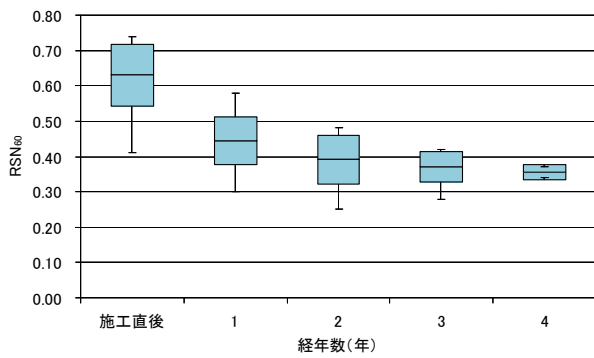


図-10 RSN₆₀経年変化

(3) すべり抵抗性能の経年変化

BPN₂₀によるすべり抵抗性能の経年変化であるが、施工直後から1年目までが最もすべり抵抗値の低下が大きく、平均で約12の低下がみられた。続いて1年目から2年目までは低下の程度が小さくなり約8の低下となった。

2年目以降は傾向が変わり、BPN₂₀が50程度で概ね横ばいになっている。

次にRSN₆₀によるすべり抵抗性能の経年変化であるが、BPN₂₀の結果と同様に施工直後から1年目までが最もすべり抵抗値の低下が大きく、平均で約0.2の低下がみられた。続いて1年目から2年目までは低下の程度が小さくなり約8の低下となった。

2年目以降についてもBPN₂₀と同様の傾向で、概ね横ばいになっている。

また、施工直後のすべり抵抗値の平均値を100%とした場合の経年数ごとの低減率を図-11に示す。

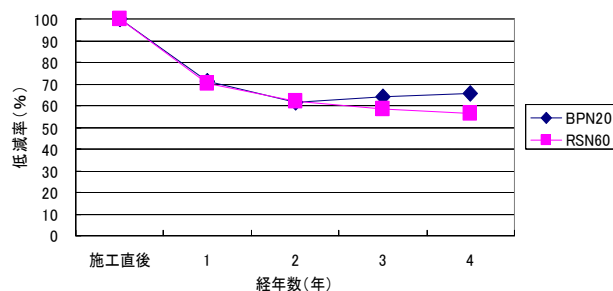


図-11 経年変化による低減率

この結果によると、BPN₂₀とRSN₆₀の傾向は概ね同様であり、施工直後から1年経過すると平均70%程度、2年経過すると62%程度まですべり抵抗が低下することが伺える。

図-12に、平成22年度に実施した、4種類の遮熱性

舗装供試体の促進摩耗試験におけるBPN₂₀の平均値のデータを示す。

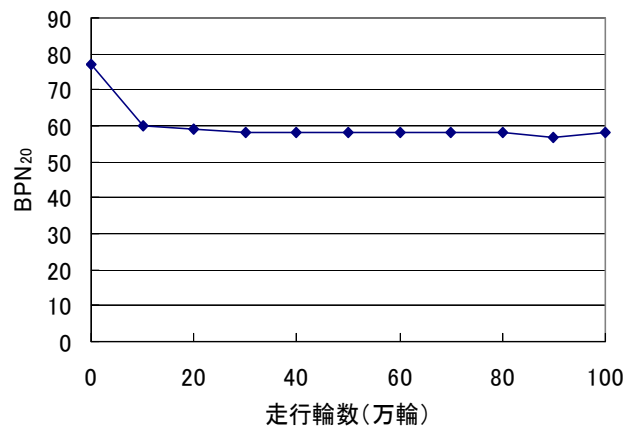


図-12 BPN₂₀と走行輪数の関係(室内)

この促進摩耗試験は、舗装調査・試験法便覧(社団法人日本道路協会)「ラベリング試験方法(回転スパイクチェーン型)」の試験機を用いて、現場の経年変化後の路面を再現するものである。

この室内試験における結果も現道における結果と同様の傾向を有しており、この促進摩耗試験については概ね現場の供用状態を再現できていると考えられる。

これらの結果から、遮熱性舗装の経年による変化の特徴として、初期に急激に低下したあと、徐々に低下の割合が低くなり、ある程度の時期に達すると一定の値で推移するということが分かった。これは、遮熱性舗装の材料特性から考えると、遮熱性舗装のすべり抵抗向上に使用する散布骨材が初期の段階で一定量摩耗または飛散することにより、初期のすべり抵抗の低下が起こるものと考えられ、最終的には舗装表面の塗料がはがれることにより、母体の骨材表面が露出し、最終的に母体のすべり抵抗に漸近するものと思われる。

(4) BPN₂₀とRSN₆₀の関係

同位置で測定したBPN₂₀とRSN₆₀との関係を図-13に示す。

この結果から、BPN₂₀とRSN₆₀については正の相関関係があるといえる。しかし、ばらつきを見る限り同じBPN₂₀の値、例えばBPN₂₀が55の時ではRSN₆₀で0.35から0.47と約0.1の範囲に分布が生じており、どちらかの値を換算して用いる場合には誤差を考慮するなど注意が必要であると考えられる。

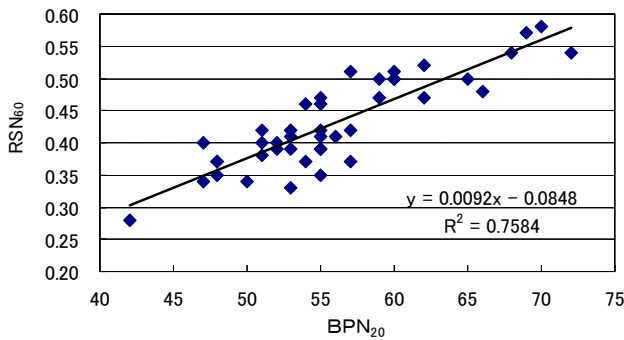


図-13 BPN₂₀とRSN₆₀との関係

(5) 平成20年度以前と平成22年度の差

平成20年度以前に施工された遮熱性舗装と平成22年度に施工された遮熱性舗装の施工直後から1年後のBPN₂₀を図-14に、RSN₆₀を図-15にそれぞれ示す。

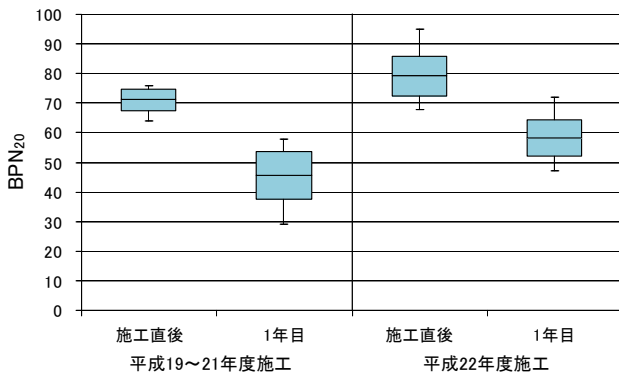


図-14 20年度以前と22年度の差 (BPN₂₀)

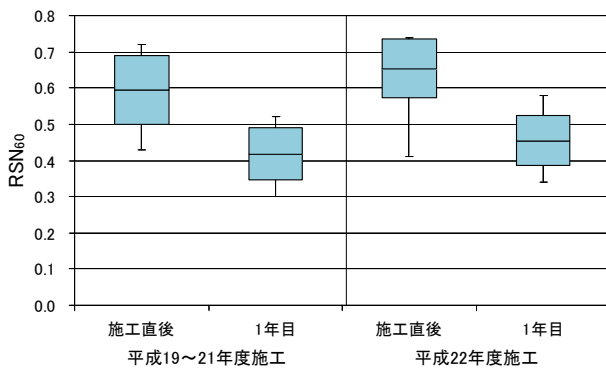


図-15 20年度以前と22年度の差 (RSN₆₀)

平成20年度以前に施工された遮熱性舗装と比較して、平成22年度に施工された遮熱性舗装のBPN₂₀は、施工直後の時点で平均して8高く、1年目の時点では12高くなっている。つまり、直後のすべり抵抗が高いだけでなく、経年による低減率も低くなっていることが分かる。

また、1年目の最低値も29から47と18高くなって

おり、全体的にBPN₂₀が向上しているといえる。

次にRSN₆₀であるが、BPN₂₀ほどの大きな差はみられない結果となったが、平成21年度以前のもものと比較して22年度施工のものの方が平均的にすべり抵抗が高いという傾向は同様であった。

この結果から、遮熱性舗装の材料や施工における技術検討により初期のすべり抵抗性能が改善してきているものと考えられる。

また、これについては東京都における遮熱性舗装のすべり抵抗に関する性能要件として、施工直後におけるBPN₂₀が60以上という基準値のほか、平成22年9月から新たに促進摩耗試験(20万輪走行後)のBPN₂₀が55以上という性能要件の基準値を設けたことも性能向上に影響を与えたことが想定される。

(6) 樹脂・骨材の違いによる影響

すべり抵抗の違いの主要因と考えられる遮熱性舗装の材料の影響を、ベース樹脂・骨材別に比較、分析した。なお、散布骨材については、厳密には粒度・素材が若干異なるものも同カテゴリとして分類した。

比較にあたっては交通量の影響がない施工直後とすべり抵抗値の低減量が大きい1年目のデータを用いた。また、データ数が多い平成22年度施工のデータを用いた。

このベース樹脂と散布骨材別の組み合わせパターンを表-2に、パターンごとの施工直後と、線形回帰により推定した1車線あたりに換算した累積交通量が100万台時点でのBPN₂₀の値を図-16に、RSN₆₀の値を図-17に示す。

表-2 ベース樹脂と散布骨材

	ベース樹脂	散布骨材		数
		1層目	2層目	
A	MMA	超硬質磁器骨材	無	1
B	MMA	超硬質磁器骨材	アルミナ骨材	6
C	MMA	アルミナ骨材	セラミック骨材	1
D	MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂	11
E	低臭型MMA	超硬質磁器骨材	セラミック骨材	4
F	低臭型MMA	超硬質磁器骨材	無	1
G	低臭型MMA	超硬質磁器骨材/アルミナ骨材	珪砂	3
H	低臭型MMA	超硬質磁器骨材	珪砂	1
I	低臭型ビニルエステル	超硬質磁器骨材	セラミック骨材	1
J	低臭型ポリウレア	超硬質磁器骨材	珪砂	1
K	低臭型ポリウレア	超硬質磁器骨材	再生ガラス骨材	1
L	エポキシ	超硬質磁器骨材/珪砂	珪砂	1

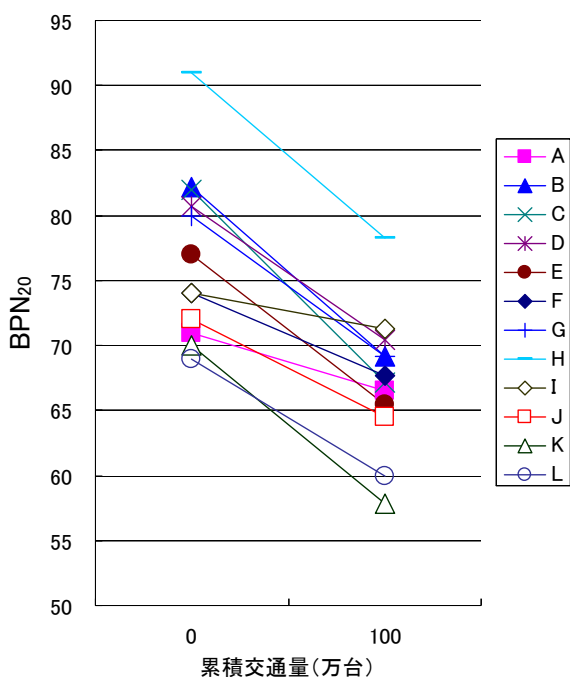


図-16 材料パターン別 BPN₂₀

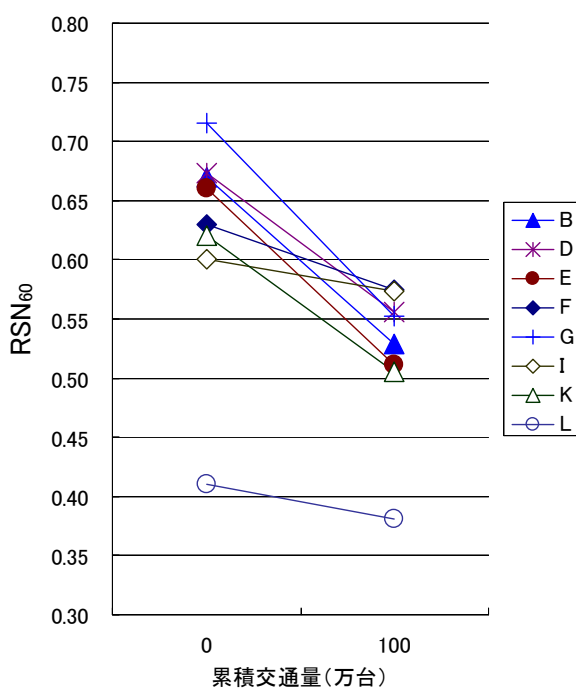


図-17 材料パターン別 RSN₆₀

なお、RSN₆₀は1年後の測定データがないものを除いている。

まず、散布骨材の比較であるが、2層目の散布骨材が無しのものについては、ベース樹脂にMMAを用いたもので比較すると、2層目の骨材散布を行ったものでは施工直後のBPN₂₀が概ね80と高い水準となっているが、骨材散布を行わなかったものは70程度と低くなっており、この傾向は低臭型MMAでも2層目の骨材散布

がないものが最も低い値となっており、同様である。

なお、東京都では初期のすべり抵抗低下の対策として、平成22年9月から、原則2層目の骨材散布を行うことを仕様で規定することとしたが、初期のすべり抵抗の確保には2層目の骨材散布が有効であるということがこの結果からも伺える。

また、パターンKが比較的すべり抵抗性が低い結果となっているが、ベース樹脂が同じ低臭型ポリウレアで、散布骨材の1層目に超硬質磁器骨材を用いているパターンJと比較すると、2層目に珪砂を用いているJが比較的すべり抵抗性が高いことを考えると、2層目に使用している再生ガラス骨材に何らかの原因（例えば骨材自身のすべり抵抗性が低い、散布骨材の剥脱が生じやすい等）があるものと思われる。

次に、ベース樹脂間の比較であるが、MMAと低臭型MMAについては大きな差がみられないが、低臭型MMAと低臭型ポリウレアでは、散布骨材がほぼ同様であるパターンHとJとの比較結果によると、低臭型ポリウレアの方が低い結果となった。

この他、ベース樹脂にエポキシを用いたパターンLが他と比較して低い結果となったが、パターンLについては、散布骨材が概ね同様なD、G、Hと比較してBPN₂₀が約10程度低いことを考えると、ベース樹脂であるエポキシに何らかの原因（例えば樹脂自身のすべり抵抗が低い、散布骨材の把握力が弱い等）があるものと思われる。

また、ベース樹脂に低臭型ビニルエステルを用いているパターンIは、他のパターンと比較して、供用後のすべり抵抗の低減率が低い結果となっている。同様の骨材を用いている他の樹脂と比較しても明らかに傾向が異なっていることから、この樹脂はすべり抵抗の低下率が低い特性を持っているものと考えられる。

4. まとめ

(1) すべり抵抗値は、施工直後から2年目の間で低下が見られ、施工直後から1年経過すると平均70%程度、2年経過すると62%程度まですべり抵抗が低下するということがわかった。しかし、2年目以降はほぼ横ばいで推移している。

(2) BPN₂₀とRSN₆₀については正の相関関係がみとめ

られるが、どちらかの値を換算して用いる場合には誤差を考慮するなど注意が必要である。

(3)平成 20 年度以前に施工された遮熱性舗装と、平成 22 年度に施工された遮熱性舗装のすべり抵抗を比較した結果、22 年度施工のほうが、直後のすべり抵抗が高いだけでなく、経年による低減率も低くなっていることがわかった。

(4) ベース樹脂・散布骨材による影響であるが、初期のすべり抵抗の確保には 2 層目の骨材散布が有効であるということや、使用しているベース樹脂、散布骨材によって比較的すべり抵抗の低いものが存在することがわかった。

5. あとがき

すべり抵抗性能については、本文で記述したとおり新たな基準値や仕様規定を設けるなど対策を行った結果として、初期の性能低下の問題については一定の改善が認められた。

ただし、対策後である平成 22 年度以降に施工された現場は、すべり抵抗が低下を続けている段階と考えられ、今後も継続して遮熱性舗装の性能の持続性を確認するとともに、その性能の向上のため、引き続き調査検討を実施していく必要がある。

最後に、調査に当たりご協力いただいた道路管理部保全課、各建設事務所の関係各位に紙面を借りて感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 上野慎一郎、峰岸順一 (2011) : 遮熱性舗装供用後の性能に関する追跡調査、平 23. 土木技術支援・人材育成センター年報、45-52