

### 3. 二層式低騒音舗装の破損実態と推移

#### Damage Status and Transition 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

東京都では、都道での沿道に対する騒音対策として、平成7年度から骨材最大粒径13mmとした一層タイプの低騒音舗装（以下13mmという）を、また平成17年度からは優先対策道路区間において、更なる騒音低減効果を確認した二層タイプの二層式低騒音舗装を導入してきた。二層式低騒音舗装は路面の最上層に小粒径（最大粒径5mm）の骨材を適用する事で騒音低減の効果を発揮するが、骨材飛散の経年変化や騒音値との関連において横断的に取りまとめられていなかった。そこで実際に供用されている二層式低騒音舗装の耐久性及び機能の経年変化を明らかにすることを目的として現在供用中の現道において、二層式低騒音舗装の路面性状調査を行い、主な破損要因である骨材飛散量の把握を行った結果と、過年度より調査してきた破損実態調査の結果を分析・考察した結果を報告する。

#### 2. 調査概要

本調査では、表-1に示す項目について実施した。

表-1 調査項目

工種	種別	備考
路面性状 現地測定	路面性状現地測定	路面性状測定装置による（測定は夜間）
	路面性状計算処理	わだち掘れ、路面のきめ、骨材飛散量
過年度調査データの 分析	過去4か年の骨材飛散量の経年変化分析	
	骨材飛散量の解析による大雪の影響分析	
	二層式骨材飛散量の経年変化	
	二層式路線の共用年数別の平均横断形状	
	わだち掘れ深さと骨材飛散量との相関分析	
	破損実態調査結果と路面騒音との関連分析	

また、過年度も含めた調査路線とその施工年度は表-2に示すとおりである。

表-2 調査区間

No.	道路名	調査区間		舗装種類	施工年度	方向	調査延長m
		区	町目				
1	環状七号線	目黒	柿の木坂1~碑文谷5	二層式	H17	外回り	100
2	王子金町江戸川	足立	栗原3~西新井栄町3	二層式	H17	外回り	100
3	環状七号線	大田	南馬込1~上池台4	二層式	H19	外回り	100
4	環状七号線	大田	北千歳1~目黒区南1	二層式	H19	外回り	100
5	環状七号線	大田	大森西2~大森北6	二層式	H20	外回り	100
6	環状七号線	中野	野方6~丸山1	二層式	H20	外回り	100
7	環状七号線	杉並	堀之内1~和田2	二層式	H21	外回り	100
8	環状七号線	大田	南馬込2~1	二層式	H22	外回り	100
9	環状七号線	大田	南馬込2~山王2	二層式	H23	外回り	100
10	環状七号線	江戸川	一之江2~一之江4	二層式	H23	外回り	100
11	環状七号線	杉並	和承1~方南1	二層式	H24	内回り	100
12	環状七号線	練馬	小竹町2~板橋区小茂根2	二層式	H24	外回り	100
13	環状七号線	江戸川	江戸川6	二層式	H24	内回り	100
14	環状七号線	北	十条仲原3~中十条3	二層式	H24	外回り	100
15	王子金町江戸川	足立	島根3~徳島2	二層式	H24	外回り	100
16	環状七号線	杉並	高円寺南4~中野区野方1	二層式	H25	外回り	100
17	環状七号線	板橋	東山町~南常盤台1	二層式	H25	内回り	100
18	環状七号線	江戸川	一之江1~一之江5	二層式	H25	外回り	100
19	環状七号線	北	上十条5~十条仲原2	二層式	H25	内回り	100
20	環状七号線	足立	椿2~江北5	二層式	H25	内回り	100
21	環状七号線	江戸川	大杉4~2	二層式	H26	外回り	100
22	環状七号線	江戸川	一之江7~西端江5	二層式	H26	外回り	100
23	環状七号線	大田	大森西2~大森北6	二層式	H28	外回り	100
24	環状七号線	中野	大和町1~野方3	二層式	H28	外回り	100
25	環状七号線	板橋	小茂根3	二層式	H28	内回り	100
26	環状七号線	練馬	豊玉南3~豊玉南2	二層式	H28	外回り	100
27	環状七号線	北	東十条4~東十条5	二層式	H28	内回り	100
28	東品川下丸子線	大田	山王2	13mm	H25	外回り	100
29	環状七号線	練馬	豊玉南2	13mm	H30	外回り	100
30	吾妻橋伊興町線	足立	関原3	密粒度	H13	外回り	100

#### 3. 路面性状現地測定

##### (1) 測定項目と使用機械

現地踏査を実施した箇所について路面性状測定車を用いて夜間に測定を行った。測定項目と測定内容は、表-3に示すとおりである。

表-3 調査項目

測定項目	縦断方向	横断方向	測定条件	測定速度
わだち掘れ	10 cm	4mm	路面乾燥	法定速度内
路面きめ深さ	10 cm	4mm		
骨材飛散量	10 cm	4mm		

測定に使用した車両および路面性状自動測定装置は、財土木研究センターが実施した性能確認試験に合格したものを使用した。路面性状測定車の外観は写真-1に示すとおりである

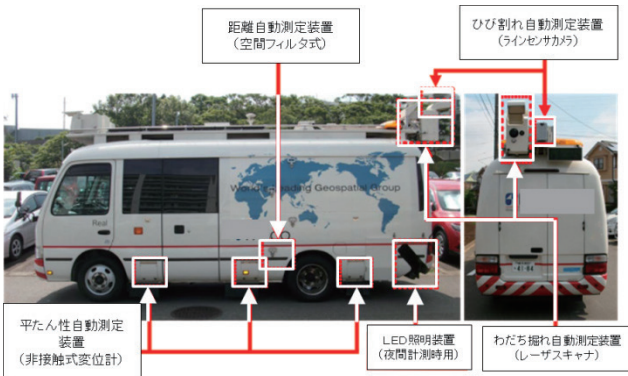


写真-1 路面性状測定車

## (2) 路面性状計算処理

路面性状測定後、わだち掘れ量、路面のきめ深さ、骨材飛散量は評価区間を 10m、100m の 2 種類で計算処理を行った。

### 1) わだち掘れ解析

わだち掘れは測定車によって記録された横断形状データと画像情報を用いて、専用の解析ソフトウェアにより解析を行った。解析ソフトウェアはレーンマーク間の横断形状を抽出し、図-1の要領で1断面に対し外側わだち部・内側わだち部のわだち掘れ量 ( $D_1$ ,  $D_2$ ) をmm単位で読み取り、いずれか大きい値を測定断面のわだち掘れ量とした。

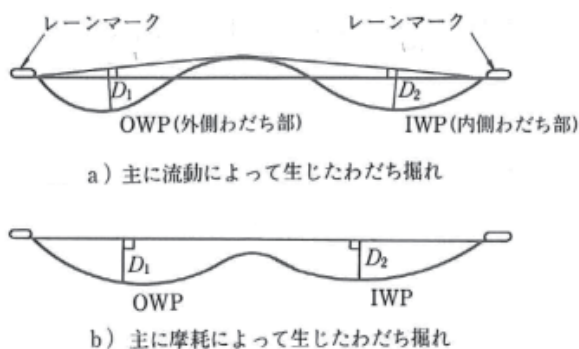


図-1 わだち掘れ量の定義<sup>1)</sup>

### 2) 路面のきめ深さの計算

路面のきめ深さは横断形状から求めた。横断形状における隣り合う測点の高さの差を求め、その上位 10%を除く平均値を路面のきめ深さとした。なお、上位 10%を除く理由は、ひび割れ、施工境、マンホール、落ち葉等の骨材以外の凹凸要因を排除するため

である。路面のきめ深さの計算に用いる横断形状は、横断方向 10mm 間隔に内挿したものを用いた。

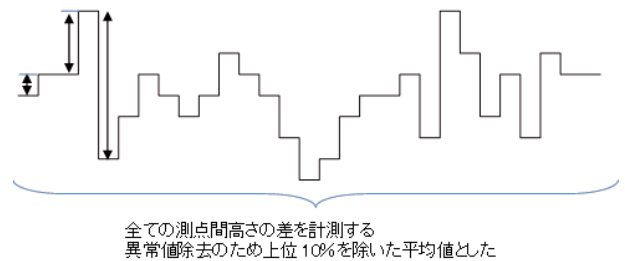


図-2 路面のきめ深さの求め方

### 3) 骨材飛散量の計算

骨材飛散量は測定した横断形状から、骨材飛散の損傷程度を面積等で数値化した。

横断形状は骨材による微細な凹凸とわだち掘れによる大きな凹凸から構成されるが、これまで、骨材飛散量は両者の合計を求めることで算出されてきた。本調査では従来の水系法 (図-3) による骨材飛散の評価の他に、ストレートエッジ法 (図-4) により骨材飛散の調査を行った。

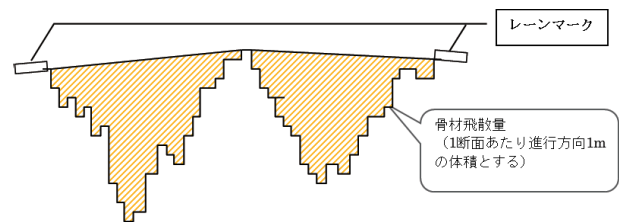


図-3 水系法による骨材飛散量評価概念図

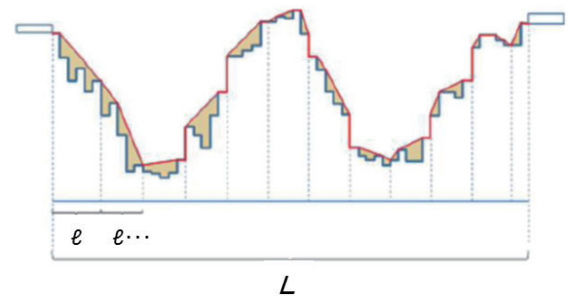


図-4 ストレートエッジ法による骨材飛散量評価概念図

ストレートエッジ法は図-4のとおり、幅員幅 L の横断形状を一定の区間幅 e で分割して、分割された各区間に対して水系法による骨材飛散量を計算し、各区間の骨材飛散量の合計をその横断形状の骨材飛散量とする評価法である。

#### 4. 調査及び分析の結果

ここで、調査及び分析の結果を示す。ただし、表-2 に示した調査路線のうち、No. 23、No. 24、No. 26 の調査は平成 29 年度に 1 度のみで、No. 25、No. 29 は調査期間中に補修が行われている。これらの路線は経年変化を観察する目的には適さないため、経年変化の分析から除外した。

##### (1) 過去 4 カ年の骨材飛散量の経年変化分析

本年度調査対象路線のうち補修された No. 29 を除いた箇所過去の 4 年間の骨材飛散量を算出した結果を図-5 に示す。全路線とも経年により骨材飛散量が増加していることが確認できた。

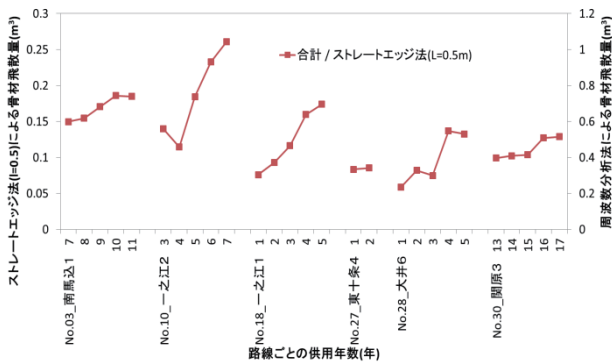


図-5 過去 4 年間の骨材飛散量

##### (2) 骨材飛散量の解析による大雪の影響分析

平成30年1月22日には東京で20cmを超える大雪が観測された。大雪の際には、路面に入り込んだ水分の凍結膨張や、車のチェーンによる打撃により骨材が飛散する可能性がある。それによる骨材飛散量の増分を本年度調査結果から分析した。

調査を行った6路線に対するストレートエッジ法(L=0.5m)による骨材飛散量の経年変化を図-6に示す。

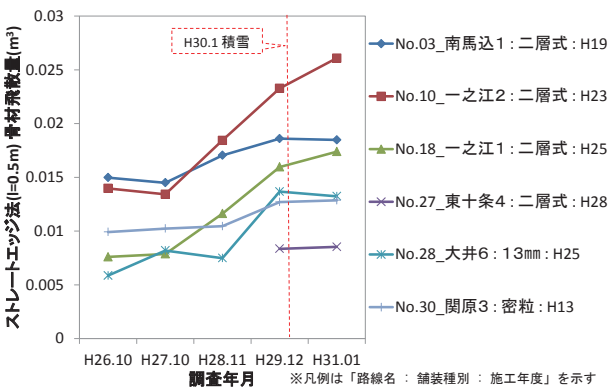


図-6 ストレートエッジ法による骨材飛散量の経年変化

調査の結果、サンプリングした 6 箇所では、平成 30 年度の積雪前後における骨材飛散量の急増などの大雪の影響は確認できなかった。

##### (3) 二層式骨材飛散量の経年変化

二層式路線全てを一つのグループとして、骨材飛散量と供用年数に伴う変化の関係を箱ひげ図として図-7 に示す。箱ひげ図は表-2 の調査区間において二層式路線平均の骨材飛散量の進行を表す。

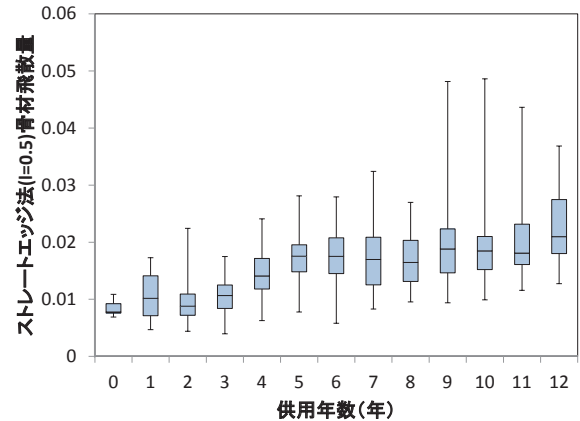


図-7 ストレートエッジ法による骨材飛散量の経年変化

箱ひげ図より供用年数 3 年頃までは骨材飛散量は少ないが、それ以降から増加し供用年数 7 年頃から骨材飛散量の増加は減速する。また、供用年数が大きくなるほど骨材飛散量が増加し、分布は広がる傾向にあることが読み取れる。

##### (4) 二層式路線の共用年数別の平均横断形状

二層式路線において、供用年数別に断面形状を平均した結果を図-8に示す。各断面の中心を合わせ、平均を行っているが幅員が異なるデータを平均しているため、データ数が限られる供用10~12年における端部の形状は不連続に変化している。

図-8から以下のことが読み取れる。

- ① 供用年数 3 年以内ではわだち部の摩耗があまり進行していないが、供用 4~6 年頃急速に進行する。
- ② 供用 7~9 年後にはわだち部の摩耗は上限に達する。その後はわだち部の摩耗にあまり変化は無いが、わだち部のアスファルトが流動したか、もしくは中央部以外の骨材が飛散して全体が下がった結果、供用 10~14 年後には中央部が盛り上がる横断形状となった。
- ③ 概ね 4. (3) で述べた骨材飛散量と同様の傾向がある。

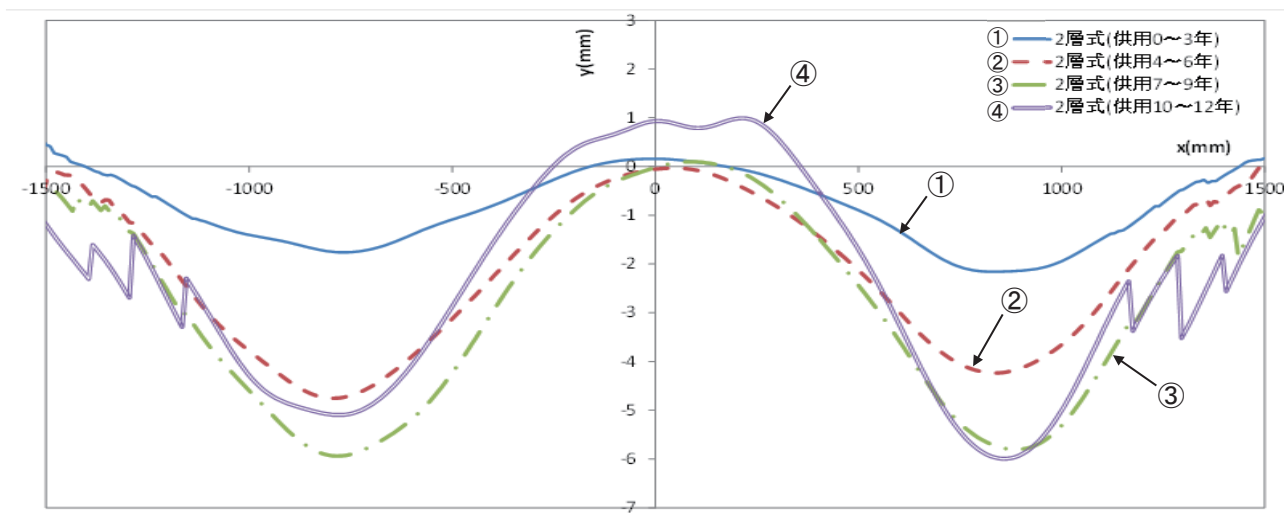


図-8 共用年数別の平均断面形状

### (5) わだち掘れ深さと骨材飛散量との相関分析

各路線、各調査年度における平均わだち掘れ深さとストレートエッジ法( $l=0.5m$ )による骨材飛散量の相関係数を表-4に示す。

表-4 わだち掘れ深さとストレートエッジ法( $l=0.5m$ )による骨材飛散量の相関係数

路線	H26.10	H27.10	H28.11	H29.12	H31.01
No.01_柿の木坂1	0.68	0.65	0.32	0.28	
No.02_栗原3	0.36	0.59	0.48	0.83	
No.03_南馬込1	0.62	0.32	0.91	0.28	-0.13
No.04_北千束1	0.76	0.76	0.79	0.52	
No.05_大森西2	0.16	0.65	0.02	-0.50	
No.06_野方6	0.92	0.54	0.66	0.60	
No.07_堀ノ内1	-0.51	0.79	0.78	0.82	
No.08_南馬込2	0.69	0.71	0.18	0.15	
No.09_南馬込2	0.74	0.71	0.58	0.34	
No.10_一之江2	0.86	0.26	-0.50	-0.03	-0.22
No.11_和泉1	0.85	0.49	0.46	0.79	
No.12_小竹町2	0.70	0.54	0.61	0.72	
No.13_江戸川6	0.38	0.62	0.67	0.69	
No.14_十条仲原3	-0.11	0.72	-0.05	-0.03	
No.15_島根3	0.32	0.92	0.32	0.28	
No.16_高円寺南4	0.69	0.97	-0.33	0.45	
No.17_東山町	-0.03	0.70	0.22	0.84	
No.18_一之江1	-0.47	-0.04	0.21	0.02	0.07
No.19_上十条5	0.60	0.75	0.12	-0.50	
No.20_椿2	-0.39	0.08	-0.34	0.74	
No.21_大杉4	0.19	0.25	-0.32	0.59	
No.22_一之江7		0.19	0.57	0.03	
No.23_大森西2				0.04	
No.24_大和町1				0.13	
No.25_小茂根3	0.77	0.56	0.38	0.80	
No.26_豊玉南3				0.58	
No.27_東十条4					0.09
No.28_大井6	0.10	0.18	0.19	0.68	0.30
No.29_豊玉南2	-0.44	0.07	0.16	0.35	0.63
No.30_関原3	0.72	0.90	-0.56	0.74	0.81

調査年度により相関係数は大幅に変化しているが、表-4における全路線、全調査年度の相関は0.66であり、わだち掘れ深さとストレートエッジ法による骨材飛散量は全体としては相関が認められた。

### (6) 破損実態調査結果と路面騒音との関連分析

#### 1) 目視による破損実態調査と路面騒音値の関連

過年度に実施した目視による破損実態調査結果と、路面騒音値を各路線について図-9に示す。なお、騒音値の記録が無かった路面種別が密粒や13mmや、二層式の一部の路線は除外している。

騒音値と目視ランクは年々悪化しており、騒音値と破損実態調査結果は、同じ傾向を示している。また、破損実態調査は、ランク2~3程度で頭打ちになる事が多い。(目視評価ランクは表-5参照)

表-5 目視評価ランクと評価の目安

目視評価ランク	評価の目安
1	損傷がない
2	判定範囲内に損傷がごくわずかに認められる
3	判定範囲の約1/4の面積に損傷がある
4	判定範囲の1/4~1/2の面積に損傷がある
5	判定範囲の1/2以上の面積に損傷がある

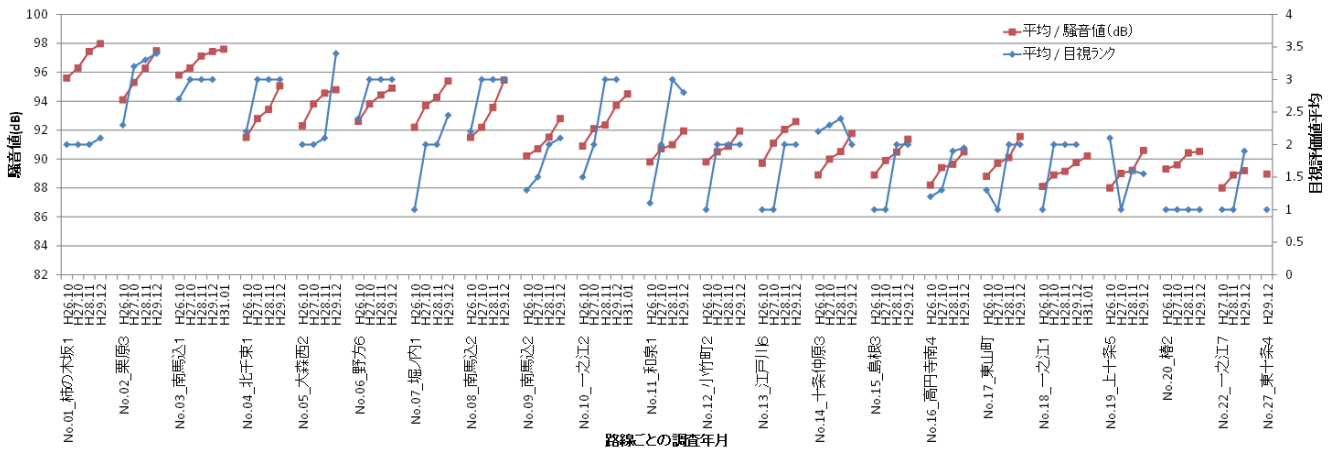


図-9 騒音値と破損実体調査評価値の変化

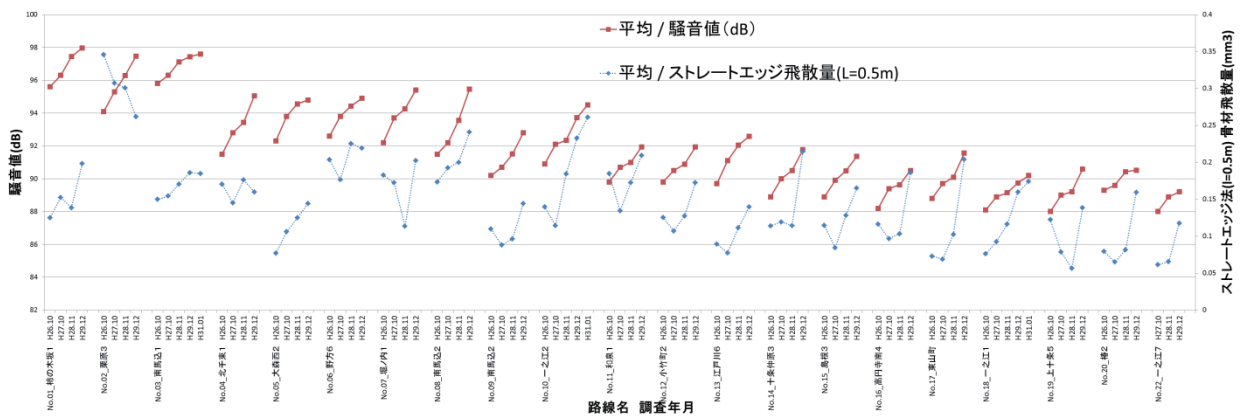


図-10 ストレートエッジ法 (l=0.5m) による骨材飛散量と騒音値の関連

## 2) 骨材飛散量と騒音値の関連

各路線、調査年度について、骨材飛散量と騒音値を図-10に示す。

概ね骨材飛散量と騒音値は同じ傾向を示している。

## 3) 重回帰による騒音値との関連分析

### ①変数間の相関行列による説明変数選択

騒音値が測定されている二層式路線において、騒音値と他の測定値との関係性を定量化するために、重回帰分析を行った。説明変数間に高い相関があると多重共線性により偏回帰係数の評価が困難になる。そのような説明変数を調べるため、変数間の相関行列を求めた結果を表-6に示す。

表-6 変数間の相関行列

	ひび割れ (%)	わだち掘れ量(mm)	平坦性 (mm)	大型車累積交通量	ストレートエッジ法 (L=0.5m) 骨材飛散量 (mm <sup>3</sup> )	水系法飛散量 (mm <sup>2</sup> )	供用年数 (年)	路面きめ深さ (mm)
ひび割れ (%)	1.00	0.25	0.31	0.40	0.28	0.22	0.37	0.31
わだち掘れ量(mm)	0.25	1.00	0.16	0.65	0.67	0.76	0.49	0.71
平坦性(mm)	0.31	0.16	1.00	0.47	0.02	-0.02	0.52	0.07
大型車累積交通量	0.40	0.65	0.47	1.00	0.49	0.41	0.78	0.57
ストレートエッジ法 (L=0.5m) 骨材飛散量 (mm <sup>3</sup> )	0.28	0.67	0.02	0.49	1.00	0.63	0.40	0.86
水系法飛散量 (mm <sup>2</sup> )	0.22	0.76	-0.02	0.41	0.63	1.00	0.29	0.57
供用年数(年)	0.37	0.49	0.52	0.78	0.40	0.29	1.00	0.46
路面きめ深さ(mm)	0.31	0.71	0.07	0.57	0.86	0.57	0.46	1.00

※ハッチング箇所は強い相関を示す

強い相関がある以下の説明変数は、似た性質を表す指標である可能性が高い。

- わだち掘れと水系法骨材飛散量の相関が高いため、

代表としてわだち掘れ量を用いる。

- ・大型車累積交通量と供用年数の相関が高いため、代表として大型車累積交通量を用いる
- ・ストレートエッジ法と路面きめ深さの相関が高いため、代表としてストレートエッジ法による骨材飛散量を用いる

以上より重回帰分析で用いる説明変数はひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性、大型車累積交通量、ストレートエッジ法骨材飛散量とした。

## ②重回帰分析の結果

式-1に示すように各説明変数及び目的変数 $x_i$  ( $i=0, 1, \dots$ )に対して、平均値 $\bar{x}$ を引き、標準偏差 $\sigma$ で割ると各変数は平均0、標準偏差1に標準化される。それにより重回帰分析結果に偏回帰係数が与える影響の大きさを相互に比較することが出来る。

$$\text{式-1} \quad \hat{x}_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

説明変数には路面性状値であるわだち掘れ量、ひび割れ率、平坦性に追加し、ストレートエッジ法骨材飛散量、大型車累積交通量を用いた。偏回帰係数の標準化を行った重回帰分析の結果を表-7に示す。相関係数Rは0.90、決定係数R<sup>2</sup>は0.80、p値の通り切片以外は有意水準1%以下で有意である。

表-7 各説明変数の偏回帰係数の標準化結果

説明変数	標準化偏回帰係数	p値※
切片	0.00	1
ストレートエッジ法(1=0.5m)骨材飛散量(mm <sup>3</sup> ) (a)	0.09	<0.01
大型車累積交通量 (b)	0.67	<0.01
わだち掘れ(mm)平均 (c)	0.13	<0.01
ひび割れ(%)計 (d)	0.06	<0.01
平坦性(mm) (e)	0.15	<0.01

※p値：標準化偏回帰係数が0である確率

重回帰分析の結果より以下のことが言える。

- ・説明変数の重みは、大型車累積交通量、平坦性、わだち掘れ量、ストレートエッジ法(1=0.5m)骨材飛散量、ひび割れ率の順に大きい。
- ・大型車交通量はH24及びH27交通センサスの値を用いているが、年度により大きく変化することは無い。そのため大型車交通量を年度で累積した大型車累積交通量は、表-6で示した通り供用年数と相関が高い。従って、大型車累積交通量の重みが最も大きい要因は供用年数に寄るのか、大型車の通行によるものか、その両方によるものかを分離する事は困難である。

## 5. まとめ

今回の調査から調査対象路線は限定的であるものの以下の知見を得ることができた。

①二層式の平均的な骨材飛散量の経年変化は、供用年数3年頃まで骨材飛散量が低い状態を維持しているが、それ以降増加する。しかし、供用年数7年頃になると骨材飛散量の増加は減速する傾向がある。

②わだち掘れ深さとストレートエッジ法による骨材飛散量の相関は、路線や調査年度によって全く異なるものの、全体としては相関が認められた(相関係数0.66)。

③破損実態調査結果と路面騒音との関連分析より、騒音値と骨材飛散量、目視による破損実態調査の評価は、類似の変化を示すことが解った。また、重回帰分析の結果、路面騒音の悪化は大型車累積交通量(又は供用年数)の影響が大きい事が解った。

以上の知見を今後の二層式低騒音舗装の耐久性面への課題に生かして行く予定である。

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。

## 参 考 文 献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧(平成19年度版)、第1分冊([1]-171)