

## 4. 切削打換え工法で施工した低騒音舗装の性能履歴

### Performance of Low Noise Pavement Constructed by Resurfacing Method

技術調査課 田中 輝栄 小林 一雄

#### 1. はじめに

東京都（以下、都）は、低騒音舗装を昭和62年に国内で初めて実施して以降、技術を基準化し、着実に整備を図ってきた。近年、本舗装の更新時期を向かえる箇所が発生し始め、今後の更新改善の計画的な実施が必要となっている。

本文は、以上の認識の下に、計画的な更新改善を実施するために把握すべき本舗装の路面性状および騒音低減性能の履歴について、わだち掘れ量およびタヤ/路面騒音を性能指標とし分析整理した結果を報告するものである。

#### 2. 低騒音舗装実施の経過と現状

都では、道路交通騒音の道路内施設における抑制施策として、遮音壁や吸音板の設置、舗装路面の平坦性確保に努めている他、低騒音舗装の施工を積極的に推進している。

低騒音舗装は、ヨーロッパにおいて調査研究が進められていた舗装であり、都ではこれに着目し、昭和62年度に主要地方道環状七号線(第318号)環七通り大田区南馬込三丁目～山王四丁目地内にわが国で初めて試験施工を実施した。以後、試験施工と追跡調査を重ね、平成6年3月に「低騒音舗装に関する調査報告書」<sup>1)</sup>として、低騒音舗装に関する成果を取りまとめ、材料の仕様等を設定した。

以後、6年度も、引き続き、環状七号線で試験施工し、それらの追跡調査に基づき、低騒音舗装用材料を7年度の土木材料仕様書<sup>2)</sup>の参考材料(新材料)と

して標準的な値を定めた。なお、7年度からは、「幹線道路の沿道の整備に関する法律」に基づき沿道整備道路として指定している道路(環状七号線の全区間、環状八号線の一部)について、道路補修事業により低騒音舗装の本格的実施を開始した。さらに、8年度からは、低騒音舗装の適用範囲を、沿道整備道路以外の道路交通騒音の著しい箇所(夜間要請限度の超過箇所)においても拡張し実施することとなった。9年度には、道路工事設計基準<sup>3)</sup>および積算基準に構造等を規定し、かつ土木材料仕様書<sup>4)</sup>では新たに使用材料の規格値を設定した。さらに、16年3月に確定した“車道舗装の体系”に基づき、17年度からは、環境基準の超過箇所に拡張し実施している。

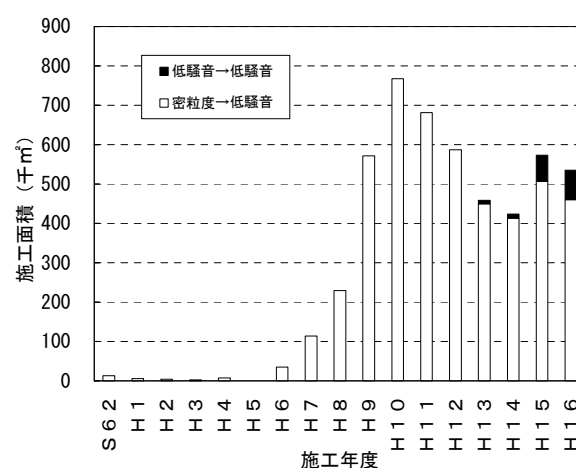


図-1 低騒音舗装の実施規模の推移

上記を背景として、図-1のとおり着実に実施規模は増大してきたが、初期に施工した箇所の更新が13年度から発生し始めている。16年度の単年度では実施面積535.3千㎡に対して74.9千㎡の14.0%、16年度

までの累積5009.9千㎡に対して161.5千㎡の3.2%が低騒音舗装から低騒音舗装への打換えとなっている。

今後、低騒音舗装から低騒音舗装への更新が本格化する中、限られた予算の下で効率的に更新していくためには、戦略的な更新計画が必要となる。そのためには、低騒音舗装の性能履歴の把握が不可欠である。

### 3. 分析の概要

#### (1) 分析対象とした性能と指標

分析で対象とした性能は、道路舗装として保有すべき性能と低騒音舗装としての固有の性能についてであり、その指標を表-1に示す。

表-1 分析対象とした性能と指標

性能		指標
道路舗装としての性能 (通常保有すべき 耐久性、安全性、快適性)	ひびわれの程度	ひびわれ率
	路面の平坦の程度	わだち掘れ量 (横断凹凸) 平坦性 (縦断凹凸)
低騒音舗装としての性能 (固有の性能)	騒音低減性能	タイヤ/路面騒音

#### (2) 分析方法

##### 1) 分析に用いたデータ

- ① ひびわれ率、わだち掘れ量、平坦性（以下、路面性状という）については、道路管理部保有の環状七号線に関する路面性状データを用いた。
- ② 路面性状データより、低騒音舗装の施工後できる限り長期間の供用がされている区間を抽出し、性能履歴の分析の対象とした。
- ③ 騒音低減性能については、土木技術センター保有のタイヤ/路面騒音データを用いた。
- ④ タイヤ/路面騒音データは、主として環状七号線におけるものであるが、施工直後のデータには他路線における測定データも含めて分析の対象とした。

##### 2) 分析の流れ

- ① 路面性状データから抽出した各区間の性能履歴データについて、時系列的に性能の変化を確認し、性能の管理目標値と比較し影響の小さい性能は分析から除外した。
- ② 路面性状データから抽出した性能履歴のパターンは

様々であり、このため主成分分析によりパターン分類を行った。

- ③ パターン分類の結果に基づき、路面性状データに対する性能履歴の分析を行った。
- ④ タイヤ/路面騒音データより、タイヤ/路面騒音の履歴を分析した。
- ⑤ 路面性状とタイヤ/路面騒音に対する性能履歴の分析結果より、低騒音舗装の修繕実施時期について考察した。

### 4. 路面性状の性能履歴の分析

環状七号線における路面性状データより、低騒音舗装の施工後できる限り長期間の供用がされている区間を抽出した。結果、切削打換え工法による供用期間7年の履歴をもつ50区間を抽出し、性能履歴の分析の対象とした。

#### (1) 抽出区間における路面性状

抽出区間の7年間の路面性状について、東京都の舗装の管理目標値と統計的に比較した。その結果は、表-2に示すように、ひびわれ率と平坦性は7年後においても修繕に影響するような値には達していない。このため、わだち掘れ量を修繕計画に必要な性能指標として、履歴の分析を行った。

表-2 7年間の路面性状の状況

性能の指標	ひびわれ率 (%)		わだち掘れ量 (mm)		平坦性 (mm)		
	管理目標値	15 %	25 mm	6 mm			
各指標の統計値	供用年数	1年後	7年後	1年後	7年後	1年後	7年後
	平均値	0.0	1.2	5.7	11.5	1.9	3.0
	標準偏差	0.18	1.96	1.32	5.08	0.32	0.82
	最小値	0.0	0.0	3.6	4.1	1.4	1.6
	最大値	1.2	10.6	11.0	30.3	2.7	4.7
	中央値	0.0	0.6	5.5	10.7	1.9	2.9

#### (2) わだち掘れ量履歴データに対するパターン分類

抽出したわだち掘れ量履歴データのパターンは様々であり、このため主成分分析によりパターン分類を行った。なお、主成分分析の対象としたデータは、抽出した供用期間7年間の50区間である。また、計算に当たっては、相関行列より行った。

##### 1) 主成分分析の結果

わだち掘れ量履歴データに対する主成分分析の結果を表-3に示す。

表-3から明らかなように、第2主成分までの累積寄与率は、0.970である。このことは、7年間におけるわだち掘れ量を変量とする履歴データ、すなわち7変量によって説明されていたデータが、第1および第2主成分だけで、97.0%を説明できるということである。このことから、3.0%の情報損失はあるが、第1および第2主成分からなる二次元で、わだち掘れ量履歴の検討を進めた。

表-3 主成分分析の結果

項目	主成分	
	第1主成分	第2主成分
固有値	6.098	0.691
寄与率	0.871	0.099
累積寄与率	0.871	0.970
固有ベクトル	第1変量	0.358
	第2変量	-0.549
	第3変量	0.359
	第4変量	-0.546
	第5変量	0.397
	第6変量	-0.135
	第7変量	0.385
	第1変量	0.385
	第2変量	0.145
	第3変量	0.269
	第4変量	0.393
	第5変量	0.385
	第6変量	0.350
	第7変量	0.409

## 2) 第1主成分の解釈

表-3に示した第1主成分に対する固有ベクトルから明らかなように、第1～第7変量の全ての変量に対する固有ベクトルの係数の符号は正である。

したがって、第1～第7変量の全ての変量が大きければ、第1主成分得点は、符号は正でその絶対値は大きい。

この場合は、

→「わだち掘れ量の進行が供用期間を通して大きい履歴となっている。」

また、その逆に、第1～第7変量の全ての変量が小さければ、第1主成分得点は、符号は負でその絶対値は大きい。

この場合は、

→「わだち掘れ量の進行が供用期間を通して小さい

履歴となっている。」

以上により、第1主成分は、「わだち掘れ量の時系列上の大きさの程度(サイズファクター)」を表すと解釈する。

## 3) 第2主成分の解釈

表-3に示した第2主成分に対する固有ベクトルから明らかなように、第1～第3変量に対する固有ベクトルの係数の符号は負である。第4～第7変量に対する固有ベクトルの係数の符号は正である。

したがって、第1～第3変量が大きく、第4～第7変量が小さければ、第2主成分得点は、符号は負でその絶対値は大きい。

この場合は、

→「わだち掘れ量が、前期には平均値より大きかったが、後期には平均値より小さくなっているという時系列的な傾向となっている。」

また、第1～第3変量が小さく、第4～第7変量が大きければ、第2主成分得点は、符号は正でその絶対値は大きい。

この場合は、

→「わだち掘れ量が、前期には平均値より小さかったが、後期には平均値より大きくなっているという時系列的な傾向となっている。」

以上により、第2主成分は、「わだち掘れ量の時系列上の進行程度(シェイプファクター)」を表すと解釈する。

## 4) わだち掘れ量履歴の評価

以上のように解釈した第1および第2主成分に対する固有ベクトルから求めた50区間の第1および第2主成分得点による散布図は、図-2のとおりである。

図-2より、次のことが明らかとなった。

① 第1-第2主成分平面上では、第1主成分の正の側から負の側に、第1車線の履歴、第2車線の履歴、第3車線の履歴の順に位置している。すなわち、この順に、わだち掘れ量の大きい履歴となっている傾向のあることを示している。

なお、車線番号は、中央分離帯側から第1、第2、第3である。

② 第1-第2主成分平面上で第1主成分の正の側に位置する履歴は、わだち掘れ量の大きい傾向にあるものであり、第1車線の履歴に多い。

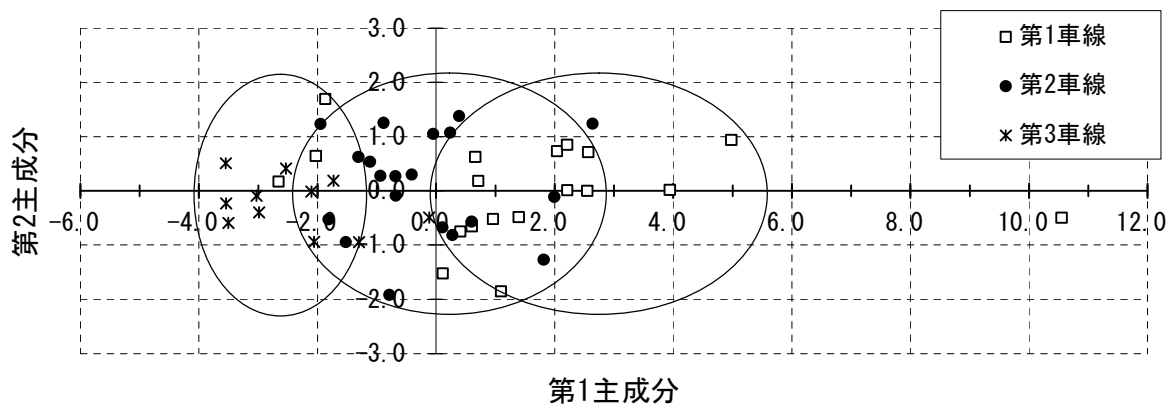


図-2 わだち掘れ量履歴の主成分得点

- ③ 第1-第2主成分平面上で第1主成分の負の側に位置する履歴は、わだち掘れ量の小さい傾向にあるものであり、第3車線の履歴に多い。
- ④ 第1-第2主成分平面上で第1主成分の中間に位置する履歴は、正側と負側のわだち掘れ量の大きさの中間の傾向にあるものであり、第2車線の履歴に多い。

(3) わだち掘れ量履歴の評価式の作成

わだち掘れ量履歴データに対するパターン分類の結果を考慮し、わだち掘れ量履歴の評価式を車線ごとに作成した。

1) 第1車線に対する評価式

第1車線におけるわだち掘れ量履歴を図-3に示す。この関係から、わだち掘れ量履歴に対する回帰式を求め、評価式とした。求めた評価式は、式(1)に示すとおりである。なお、各回帰係数の有意性および回帰式の分散分析表は、表-4、5のとおりであり、危険率1%で高度に有意である。

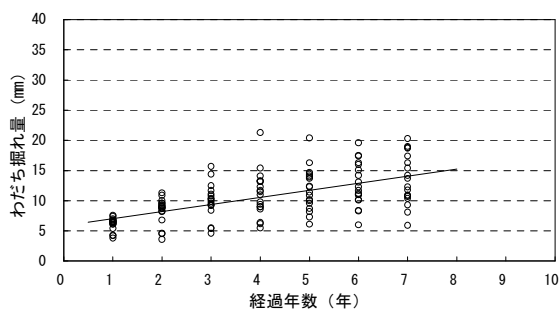


図-3 わだち掘れ量の履歴 (第1車線)

$$Y1 = 1.180 \cdot X1 + 5.823 \quad (1)$$

(r=0.600)

ここで、

Y1: わだち掘れ量 (第1車線)

X1: 経過年数 (年; 1~7年)

表-4 回帰係数の有意性 (第1車線)

変数	回帰係数	標準誤差	F値	t値
経過年数 (X1)	1.180	0.141	69.6	8.3
定数項	5.823	0.632	84.8	9.2

表-5 評価式の分散分析表 (第1車線)

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全体	125	1950.7		
回帰による	1	701.5	701.5	69.5
残差	124	1249.2	10.1	

2) 第2車線に対する評価式

第2車線におけるわだち掘れ量履歴を図-4に示す。この関係から、わだち掘れ量履歴に対する回帰式を求め、評価式とした。求めた評価式は、式(2)に示すとおりである。なお、各回帰係数の有意性および回

帰式の分散分析表は、表-6、7のとおりであり、危険率1%で高度に有意である。

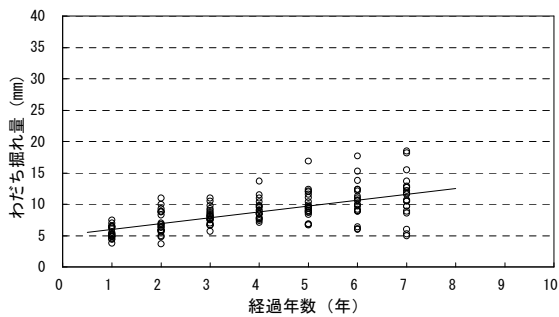


図-4 わだち掘れ量の履歴 (第2車線)

$$Y2 = 0.932 \cdot X1 + 5.063 \quad (2)$$

(r=0.639)

ここで、

Y2 : わだち掘れ量 (第2車線)

X1 : 経過年数 (年 ; 1~7年)

表-6 回帰係数の有意性 (第2車線)

変数	回帰係数	標準誤差	F値	t値
経過年数 (X1)	0.932	0.096	95.1	9.7
定数項	5.063	0.427	140.3	11.8

表-7 評価式の分散分析表 (第2車線)

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全体	139	1191.9		
回帰による	1	486.4	486.4	95.3
残差	138	705.5	5.1	

### 3) 第3車線に対する評価式

第3車線におけるわだち掘れ量履歴を図-5に示す。この関係から、わだち掘れ量履歴に対する回帰式を求め、評価式とした。求めた評価式は、式(3)に示すとおりである。なお、各回帰係数の有意性および回帰式の分散分析表は、表-8、9のとおりであり、危険率1%で高度に有意である。

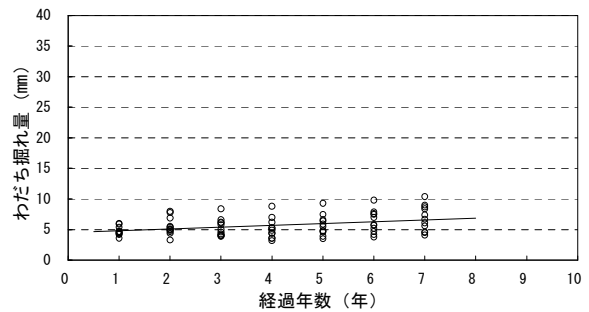


図-5 わだち掘れ量の履歴 (第3車線)

$$Y3 = 0.293 \cdot X1 + 4.496 \quad (3)$$

(r=0.352)

ここで、

Y3 : わだち掘れ量 (第3車線)

X1 : 経過年数 (年 ; 1~7年)

表-8 回帰係数の有意性 (第3車線)

変数	回帰係数	標準誤差	F値	t値
経過年数 (X1)	0.293	0.090	10.6	3.2
定数項	4.496	0.402	125.2	11.1

表-9 評価式の分散分析表 (第3車線)

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全体	76	212.8		
回帰による	1	26.4	26.4	10.5
残差	75	186.4	2.5	

### (4) わだち掘れ量履歴の評価

図-6~8は、作成した評価式の車線ごとの期待値と計測されたわだち掘れ量履歴の95%信頼限界について、経過年数20年までの外挿した結果を示したものである。

① 図-6~8に示すとおり、時系列上でわだち掘れ量履歴の期待値を表す評価式の勾配の大きさは、第1車線 1.180 > 第2車線 0.932 > 第3車線 0.293 という順にある。すなわち、中央分離帯側の車線は、わだち掘れの進行が速いということで

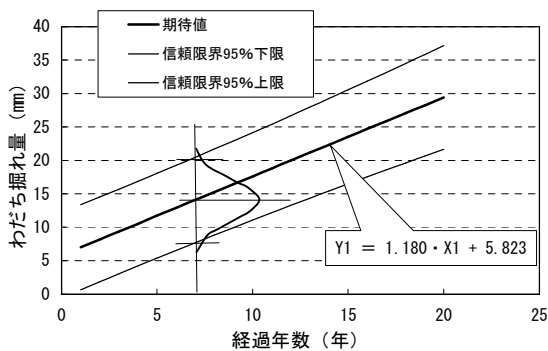


図-6 わだち掘れ量履歴の信頼限界 (第1車線)

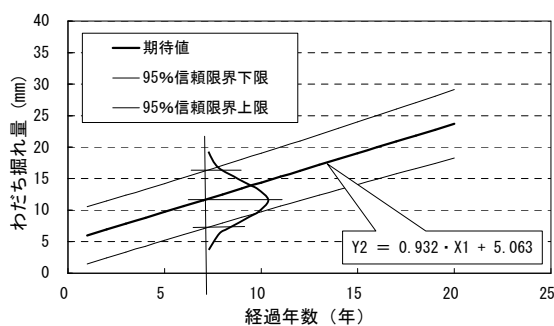


図-7 わだち掘れ量履歴の信頼限界 (第2車線)

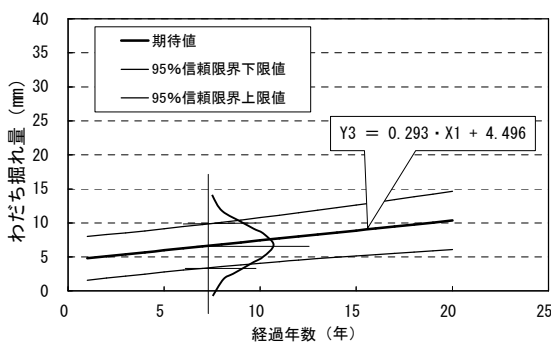


図-8 わだち掘れ量履歴の信頼限界 (第3車線)

ある。このことは、車線の交通量構成を考慮して、妥当な結果である。

- ② 図-6より、第1車線に対する期待値では、わだち掘れ量の管理目標値である25mmを超過するのに要する期間は17年であるが、95%信頼限界を考慮すると11年である。
- ③ 図-7より、第2車線に対する期待値では、わだち掘れ量の管理目標値である25mmを超過するのに要する期間は22年であるが、95%信頼限界を考

慮すると16年である。

- ④ 図-8より、第3車線に対する期待値および95%信頼限界とも、20年経過してもわだち掘れ量の管理目標値である25mmを超過しない。
- ⑤ 以上の結果を考慮し、舗装修繕の実施時期を考えるにあたっては、その時点での破損確率をできるだけ大きく取り安全側で修繕することを考慮すると、第1車線のわだち掘れ量履歴に対する評価式の95%信頼限界を適用することが考えられる。
- ⑥ なお、適用路線は、環状七号線と同等の交通形態を有する路線において、切削打換えにより施工された低騒音舗装に対するものである。
- ⑦ ⑤を導出する式を、式(4)に示す。

$$Y = Y1 + t_{5,124} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{1}{126} + \frac{(X1 - 4.0)^2}{126 \cdot 4.0} \right) \cdot 10.074 \right]^{0.5} \quad (4)$$

ここで、

Y : 信頼限界を考慮したわだち掘れ量 (mm)

Y1 : 第1車線のわだち掘れ量履歴の評価式

X1 : 経過年数 (年)

$t_{5,124}$  : 自由度124、危険率5%のt値

- ⑧ なお、以上の考察は、外挿によるものであることを常に考慮しておくべきことが重要である。

## 5. タイヤ/路面騒音履歴の分析

土木技術センターが計測・保有しているタイヤ/路面騒音データにより、タイヤ/路面騒音の履歴を分析した。タイヤ/路面騒音データは、主として環状七号線におけるものであるが、施工直後のデータには他路線における測定データも含めて分析の対象とした。

### (1) タイヤ/路面騒音履歴の評価式の作成<sup>5),6),7)</sup>

低騒音舗装のタイヤ/路面騒音の履歴を図-9に示す。

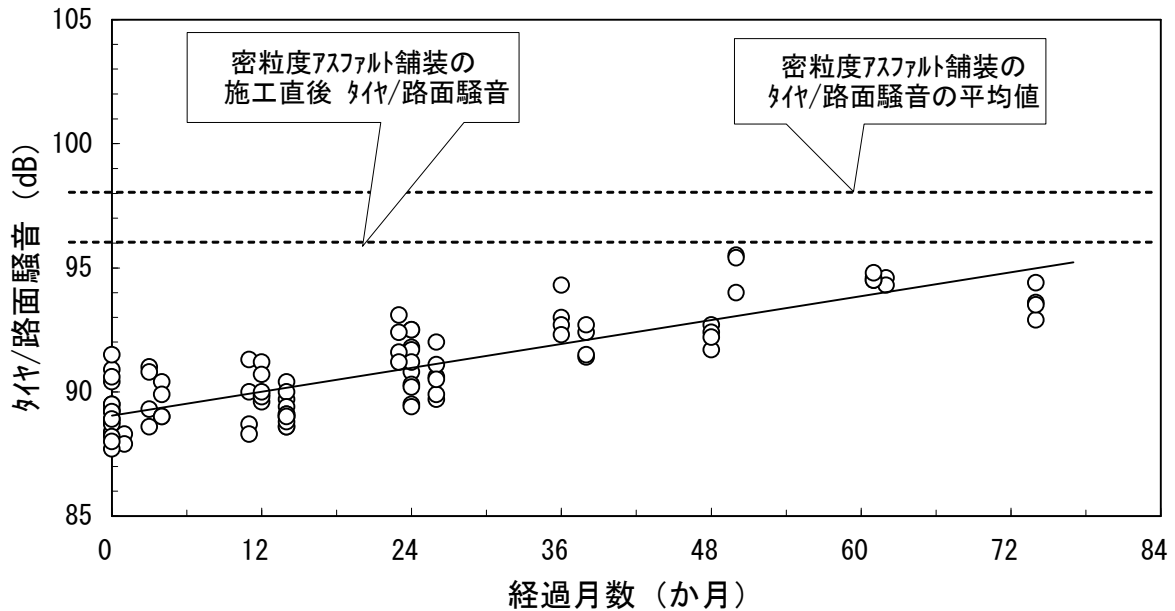


図-9 タイヤ/路面騒音の履歴

この関係から、タイヤ/路面騒音履歴に対する回帰式を求め、評価式とした。求めた評価式は、式(5)に示すとおりである。なお、各回帰係数の有意性および回帰式の分散分析表は、表-10、11のとおりであり、危険率1%で高度に有意である。

$$N = 0.080 \cdot X2 + 89.048 \quad (5)$$

(r=0.841)

ここで、

N : タイヤ/路面騒音 (dB)

X2 : 経過月数 (月 ; 0~74か月)

### (2) タイヤ/路面騒音履歴の評価

図-10は、作成した評価式の期待値と計測されたタイヤ/路面騒音履歴の95%信頼限界について、経過月数180か月(15年)までの外挿した結果を示したものである。

- ① 図-10より、期待値では、低騒音舗装のタイヤ/路面騒音が密粒度アスファルト舗装の施工直後のタイヤ/路面騒音96dBを超過するのに要する期間は90か月(7.5年)であるが、95%信頼限界を考慮すると60か月(5年)である。
- ② 同様に、期待値では、低騒音舗装のタイヤ/路面騒音が密粒度アスファルト舗装のタイヤ/路面騒音平均値

表-10 回帰係数の有意性 (タイヤ/路面騒音)

変数	回帰係数	標準誤差	F値	t値
経過年数 (X1)	0.080	0.005	225.4	15.0
定数項	89.048	0.162	300532.7	548.2

表-11 評価式の分散分析表 (タイヤ/路面騒音)

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全体	94	375.0		
回帰による	1	265.5	265.5	221.2
残差	93	109.5	1.2	

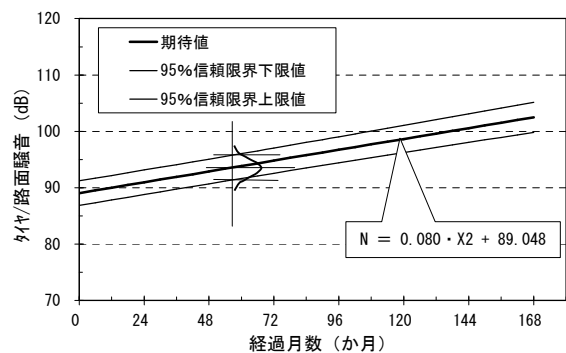


図-10 タイヤ/路面騒音履歴の信頼限界

98dBを超過するのに要する期間は114か月（9.5年）であるが、95%信頼限界を考慮すると72か月（6年）である。

## 6. 低騒音舗装の修繕実施時期

路面性状とタイヤ/路面騒音に対する性能履歴の分析結果より、環状七号線における低騒音舗装の修繕実施時期について考察した。

### (1) 管理目標値の設定について

修繕の時期を決定する管理目標値は、次のとおり設定する。

- ① 路面性状は、わだち掘れ量により評価し、管理目標値は現行の舗装管理マニュアルで規定している25mmとする。
- ② 騒音低減性能は、タイヤ/路面騒音により評価し、管理目標値は密粒度アスファルト舗装の平均的な騒音レベル98dBとする。
- ③ 公共空間としての走行の安全性を第一に考慮し、路面性状は、目標値に対して95%信頼限界で評価する。
- ④ 騒音低減性能は、期待値、すなわち管理目標値に対して平均値で評価する。言い換えると、50%確率での評価とする。

### (2) 評価結果について

設定した管理目標値に対する評価結果は、次のとおりである。

- ① 路面性状は、前記した①および③により、11年で管理目標に達することとなる。
- ② 騒音低減性能は、前記した②および④により、

9.5年で管理目標に達することとなる。

- ③ 以上を考慮すると、設定した管理目標値による管理方法に対する合意形成がなされることを前提として、走行の安全性および騒音低減性能の低減履歴は同程度に扱うことができるものと考えられる。すなわち、通常実施している路面性状の破損状況の把握により、舗装修繕の実施時期を判断することができるものと考えられる。
- ④ 沿道環境を最重要視し、騒音低減性能に対し高い信頼度の管理目標値を選択する場合には、性能の維持回復技術も含めた現行の騒音を低減する舗装に対する技術では、早期の修繕実施が必要となる。

## 7. おわりに

本文は、切削打換え工法により施工した低騒音舗装の性能履歴について分析、整理したものである。分析の基礎としたデータは、道路管理部が平成当初から継続調査を行い蓄積している貴重な路面性状データおよび土木技術センター保有のタイヤ/路面騒音データである。今後は、整理した履歴情報を汎用化し、交通形態の異なる路線への適用を図っていく。また、平成17年度から本格実施している二層式低騒音舗装の性能履歴評価のため、施工後の性能に関するデータ収集と蓄積を図っていく。

最後に、多大なるご協力をいただいた東京都建設局道路管理部保全課の各位に対して、深く感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 都土木技研(1994)：低騒音舗装に関する調査報告書、平成6年3月
- 2) 都建設局(1995)：土木材料仕様書、平成7年
- 3) 都建設局(1997)：道路工事設計基準、平成9年
- 4) 都建設局(1997)：土木材料仕様書、平成9年
- 5) 田中輝栄(1997)：低騒音舗装の機能評価、平成9. 都土木技研年報、91-102
- 6) 田中輝栄(1998)：低騒音舗装におけるタイヤ発生音と吸音率、平成10. 都土木技研年報、63-72
- 7) 田中輝栄(1999)：低騒音舗装の騒音低減効果の評価、平成11. 都土木技研年報、59-68