

IV-15 舗装路面の性能評価法に関する研究

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 14～17

担当チーム：舗装チーム

研究担当者：久保和幸、寺田 剛、綾部孝之

【要旨】

「基準の内容が技術革新に対して柔軟に対応できるよう、仕様規定となっている基準については原則としてこれをすべて性能規定化するよう検討を行う」との平成 13 年の閣議決定を受け、平成 13 年 7 月に性能規定化をベースとした「舗装の構造に関する技術基準」（道路局長通達）が出され、舗装の性能指標として塑性変形輪数、平坦性、騒音値、透水量等が規定された。しかし、これら性能指標の評価法の開発が十分でないこともあり、性能規定化が現場に浸透していない。

そこで、舗装の性能規定を現場に浸透させるため、4つの性能評価方法について、舗装路面性能を適切に評価できる測定条件、評価方法について検討を行った。その結果、騒音値については、既に使用されている舗装路面騒音測定車と整合が取れ、簡便なタイヤ／路面騒音評価法、塑性変形輪数と透水量は、締め固め度や透水性の現場の条件を適切に評価できる評価方法、平坦性は I R I 等国际基準を考慮し、適切に評価できる方法を提案することができた。

キーワード：性能評価法、塑性変形輪数、平坦性、騒音値、浸透水量

1. まえがき

平成 13 年 7 月に性能規定化をベースとした「舗装の構造に関する技術基準」（道路局長通達）が出され、舗装の性能指標として塑性変形輪数、平坦性、騒音値、透水量等が規定された。しかし、これら性能指標の評価法の開発が十分でないこともあり、性能規定化が現場に浸透していない。

舗装の性能規定を現場に浸透させるためには上記性能評価方法について、舗装路面性能を適切に評価できる測定条件と評価方法を開発する必要がある。

そこで、騒音値については、簡便で安価な測定ができるタイヤ／路面騒音測定装置について、既に使用されている舗装路面騒音測定車と整合が取れる評価法の提案、塑性変形輪数と透水量は、締め固め度や透水性の現場の条件を適切に評価できる測定条件を検討した上で評価方法の提案、平坦性は現場での σ （3mプロフィールメータ）と I R I を測定し、相関関係を明らかにし、平坦性を適切に評価できる方法を提案した。以下にその結果を報告する。

2. 研究の概要

研究は、以下に示す 4つの性能指標の測定条件と評価方法について検討を行った。以下にその研究内容の概要を述べる。

- (1) 簡便な測定ができるタイヤ／路面騒音測定方法の提案
- (2) 現場の施工条件を適切に反映した塑性変形輪数評価法の提案
- (3) 維持管理にも適用でき現場の条件を適切に評価できる現場透水性評価法の提案
- (4) 平坦性と I R I との整合性の確認

3. 簡便な測定ができるタイヤ／路面騒音測定方法の提案

3.1 研究経緯

近年、舗装工事の調達方式として、騒音値を性能指標とした性能規定発注方式が数多く採用されている。直轄国道の性能規定発注の竣工検査には、特殊タイヤを装着した舗装路面騒音測定車が用いられているが、数が限られているため、タイヤ／路面騒音を測定できる舗装路面騒音測定車に替わる測定装置と測定方法の開発を行った。

3.2 研究方法

舗装路面騒音測定装置に替わる測定方法として、舗装路面騒音測定車のタイヤ／路面騒音を推定できる方法を検討した。検討は以下の項目について行った。

3.2.1 評価方法及び測定装置の検討

土木研究所舗装走行実験場の騒音評価用路面を使用して共通試験を行い、タイヤ／路面騒音値に影響す

る要因の排除、変換式の作成を行い、タイヤ/路面騒音を評価できる評価法の作成及び測定装置の開発を行った。

(1) 検討に用いた評価用路面

タイヤ/路面騒音値に対する各装置の差および測定に関する留意点などについての詳細検討を行うことを目的に、一定の騒音性能を有するタイヤ/路面騒音の基準となる暫定評価用路面を土木研究所舗装走行実験場内に構築した。建設した暫定評価用路面は、①密粒度、②評価値 89dB・90dB 付近の排水性舗装、③排水性舗装よりもさらに低騒音の多孔質弾性舗装の表-1に示す計6種類の混合物を適用した。

表-1 評価用路面の種類

工区番号	混合物の種類	目標空隙率 (%)	施工厚さ (cm)
1	排水性(5)	23	5
2	排水性(13)	20	5
3	排水性(13)	17	5
4	密粒度(13)	-	5
5	多孔質弾性舗装	-	2
6	排水性(10)	20	5

(注) 多孔質弾性舗装の下層には、排水性(13)を厚さ3cmで施工した。

(2) 検討した測定装置の概要

今回、舗装路面騒音測定装置に替わる測定方法として検討したタイヤ/路面騒音測定装置は、タイヤ/路面から発生する騒音を直接測定する装置(タイヤ近接音測定装置)、反射音を用いた装置および吸音特性を用いた装置の3種類17装置である。その概要を舗装路面騒音測定装置と比較した結果を表-2に示す。

表-2 測定装置の比較

装置の種類	舗装路面騒音測定車	タイヤ/路面騒音測定装置		
		タイヤ近接音測定装置	反射音測定装置	吸音特性測定装置
測定方法	路面/特殊タイヤ音	路面/普通タイヤ音	反射音	吸音率
予備走行	指定無し	15分または10km		
測定速度	50km/h	測定路線の指定速度以内で測定時の速度を0.5km/h単位で記録		
測定位置	車線OWP(外わだち)			
路面状態	舗装体内に滞水がないこと、降雨後は24h以上乾燥させる	舗装体内に滞水がないこと、降雨後24h以上経過していること		
外的要因	気温、路面、タイヤ温度は指定なし	気温25℃、速度50km/hに補正を行う		
	輪荷重、タイヤ溝深さは指定あり。	タイヤ: 摩耗量 0.3mm、または 8000km/hで交換		
サンプル間隔	0.1sec	0.1sec	1m	
サンプル個数	約70個/100m	L/(V * P) ここで、L:測定距離(m) V:測定速度(km/h) P:サンプリング間隔(sec)		
測定回数	① 性能指標値が整 ② 性能指標値	① 任意の速度で5回測定 ② 再現性√v:0.45以内		
L _{Aeq} (測定値)	音圧レベル:L _{Aeq}	土木研究所評価用路面において確認された方法により補正された値		

(3) 評価方法の検討

各測定装置の現状把握、精度向上、影響要因の確認、測定方法の確立等を行うため、評価用路面を用いて共

通試験を行った。また、タイヤ/路面騒音測定を実施する際には、その測定誤差に影響を及ぼす表-3に示す様々な要因が存在する。これら要因について検討試験を行い、評価法に反映した。

表-3 タイヤ/路面騒音測定に及ぼす影響要因

分類	要因	分類	要因
測定環境に係わる要因	①風向・風速	測定装置に係わる要因	①測定車両
	②気温・湿度・気圧		②輪荷重
	③温度(気温、路面、タイヤ)		③タイヤ空気圧
	④路面水分		④タイヤ溝深さと摩耗量
	⑤測定速度		⑤マイク位置
	⑥速度の精度		⑥タイヤ銘柄
	⑦予備走行		⑦タイヤサイズ
	⑧暗騒音		⑧タイヤゴム硬度
	⑨併走・対向車両		⑨タイヤ温度
	⑩道路側近の壁		⑩騒音計
	⑪測定除外区間		

3.2.2 精度の設定と確認

舗装路面騒音測定車に替わる測定装置を開発するため、精度の設定を行い、舗装路面騒音測定車と同等以上の精度があるか確認を行った。

3.3 試験結果

3.3.1 評価方法及び測定装置の検討

(1) 共通試験結果

評価路面を用いた共通試験結果を以下に示す。

1) 騒音測定結果

タイヤ/路面騒音測定装置の現状を確認するため行った第1回共通試験の結果、測定用タイヤの違いからデータにバラツキが生じることが確認された。第2回共通試験では、共通のタイヤを用いて試験を行った。

各測定装置のタイヤ/路面騒音と国土交通省関東技術事務所が所有する舗装路面騒音測定車(関東車)の測定結果を図-1に示す。その結果、各測定装置間では最大10dB程度の差がある結果となった。また、排水性(13-20)、排水性(13-17)、排水性(10-20)の結果は、各測定装置の測定値と関東車の特殊タイヤ音の間には比較的高い相関が見られた。しかし、密粒(13)、排水性(5-23)、多孔質弾性舗装では、各測定装置の測定値と関東車の特殊タイヤ音では異なる傾向を示した。この原因として、各測定装置の測定法が統一されていないため、タイヤ/路面騒音測定に及ぼす影響要因があること、また、特殊タイヤ音を推定する変換式(一次回帰式)があっていないことが原因と思われる。よって、タイヤ/路面騒音測定に及ぼす影響要因の検討を行い、測定方法を統一した。また、特殊タイヤ音を推定する変換式を再検討することとした。

2) 影響要因の検討結果

タイヤ路面/騒音に影響する影響要因について、共通試験により得られた結果を表-4に示す。その結果、定量化できる部分については、定量化し、その他の項目については、測定条件に規定できるように整理した。また、図-2と3に示すように速度依存性と温度依存性があることが分かったため、速度は50km/h、温度は20℃で補正することにした。

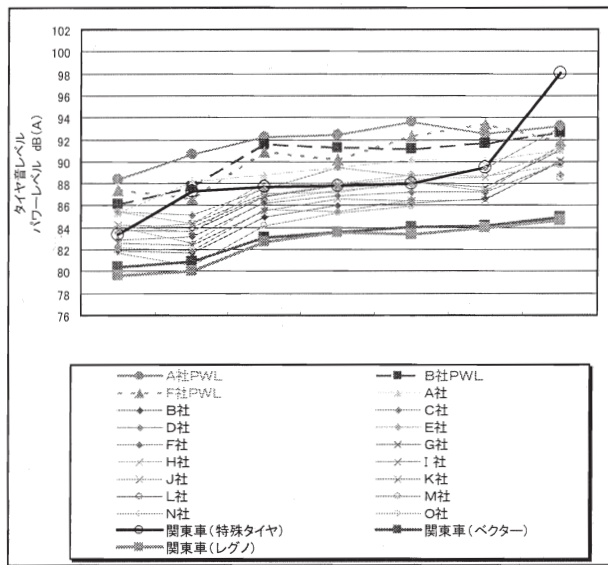


図-1 騒音測定結果

表-4 影響要因の検討結果

分類	要因	共通試験による成果
測定環境に係わる要因	① 風向・風速	風速5m/s以下で測定(JIS D 1024他)
	② 気温・湿度・気圧	気温で補正
	③ 路面温度	気温で補正
	④ 路面水分	散水後18時間までは影響なし
	⑤ 測定速度	速度の誤差は50±0.5km/h
	⑥ 速度の精度	光電管と試験車計測速度にて確認
	⑦ 予備走行	50km/hで15分(約10km)
	⑧ 暗騒音	タイヤ/路面騒音値より10dB以下
	⑨ 測定車以外の車両の影響	測定車以外の車両が併走しない
	⑩ 測定除外区間	ジョイント後10データ
測定装置に係わる要因	① 測定車両	任意(各測定装置毎に変換式作成)
	② 輪荷重	燃料や乗車人員等の重量変化がないように測定。
	③ タイヤ空気圧	常に適正空気圧で測定す
	④ タイヤ溝深さ	摩耗量0.3mm(走行距離8、000km)までは影響なし
	⑤ マイク位置	マイク位置が変化しない構造
	⑥ タイヤ銘柄	統一のタイヤを使用
	⑦ タイヤサイズ	今回未検討
	⑧ タイヤゴム硬度	温度管理により対応
	⑨ タイヤ温度	気温で補正
	⑩ 騒音計	JIS C 1502或いはJIS C 1505に適合する騒音計、風防装置を装備すること

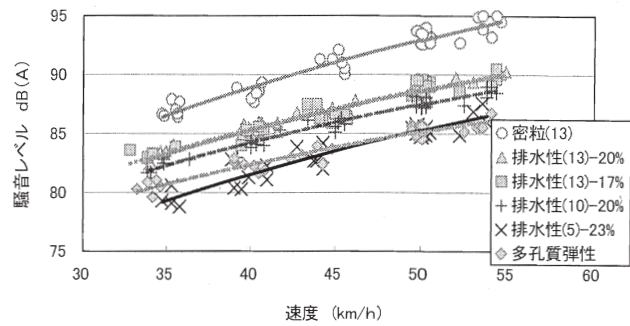


図-2 速度とタイヤ騒音の関係例(A装置)

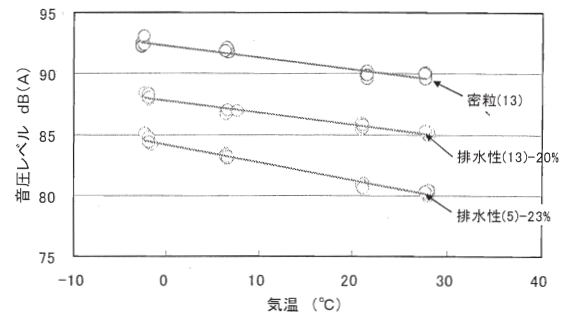


図-3 気温とタイヤ騒音の関係例(A装置)

3) 変換式の検討

共通試験の結果、変換式として一次回帰式の適用が不適当であることが判明した。そこで、測定値に対する複数の影響要因の中から説明変数を設定した、重回帰式の適用を検討した。

変換式に用いる説明変数は、タイヤ/路面騒音測定値と相関がある項目について回帰分析を行い、相関の高い測定値 X_1 、骨材最大粒径(以下、粒径) X_2 、大型車累積交通量 X_3 を選定した。

以下、各説明変数の詳細について示す。

① 測定値 X_1

タイヤ/路面騒音測定車で測定した騒音値(dB)。

② 粒径 X_2

図-4に示すとおり、粒径と騒音値の重回帰の結果、両者には正の相関が認められる。このことから粒径を第二の説明変数として選定した。なお、目的変数と説明変数の直線関係を重要視して、粒径をそのまま入力するのではなく、タイヤ騒音値と直線関係になるよう $\log(\text{粒径mm}/13)$ を用いることとした。

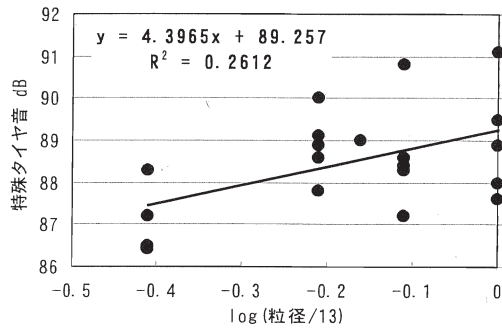


図-4 粒径mm/13と騒音値の関係

③ 大型車累積交通量 X_3

表面のテクスチャなどの路面性状とタイヤ/路面騒音レベルは相関があるため、路面性状の変化を反映させる第三の説明変数として、図-5に示すとおり騒音値と正の相関が認められた大型車累積交通量(または経過月数)を選定した。

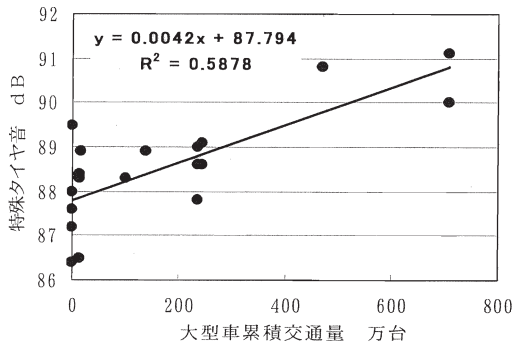


図-5 大型車累積交通量と騒音値の関係

2) 重回帰式

前述の説明変数を用いて、重回帰式(騒音値 $Y = aX_1 + bX_2 + cX_3$)を求めた。図-6に重回帰式から求めた変換値と特殊タイヤ音の散布図の例を示す。図-7から変換値と特殊タイヤ音がほぼ一対一に対応していることが分かる。

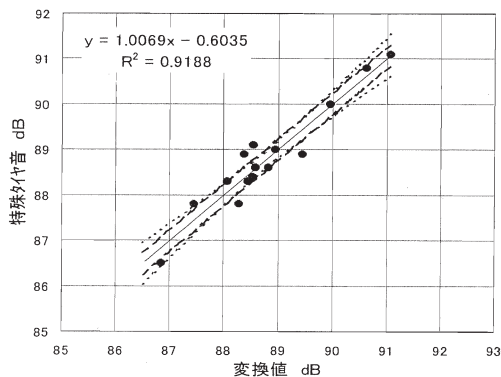


図-6 変換値と特殊タイヤ音の散布図の例

表-4に各社の重回帰係数および変換値と特殊タイヤ音の単回帰式の係数の最大、最小、および、中央値を示す。各社によるバラツキはあるものの、重回帰式の

寄与率 r^2 の中央値は0.9を越えており、各社各装置ともとりあげた説明変数が妥当であることが分かる。以上の結果から、各装置で構築した重回帰式とタイヤ/路面騒音測定車による測定値から特殊タイヤ音の推定が可能であることが確認できる。

表-4 各社の重回帰係数と回帰係数

装置	重回帰式の係数					回帰式の係数	
	定数項	X_1	X_2	X_3	r^2	X	切片
a	68.885	0.223	3.499	0.7143	0.9328	1.00035	-0.00805
b	56.985	0.364	1.364	—	0.8530	1.00107	-0.05693
C	44.842	0.492	1.911	0.4500	0.9606	1.00058	-0.01726
d	76.464	0.137	3.030	0.0029	0.8480	0.99474	0.46561
e1	55.559	0.378	4.943	0.0020	0.9369	1.00247	-0.17447
e2	70.167	0.218	4.882	0.0020	0.9960	1.03110	-2.68826
f	49.210	0.445	0.317	0.5810	0.7586	0.99916	0.04053
g	69.069	0.222	4.496	0.0031	0.9188	1.00690	-0.60348
h	70.593	0.189	2.067	—	0.7354	1.00002	-0.01325
i	74.249	0.166	5.217	0.0029	0.9295	1.00523	-0.42937
j	92.546	-0.043	5.884	0.0034	0.9257	0.99390	0.50691
K	89.346	-1.395	5.330	0.0032	0.9658	0.99959	0.03592
l	59.796	0.325	1.575	0.3870	0.7756	1.00145	-0.09164
m	56.447	0.371	1.296	0.2150	0.9502	1.00018	-0.00141
n	49.976	0.435	-0.537	—	0.4925	0.99996	0.00083
O	103.30	-0.164	5.953	0.0046	0.9483	0.99784	0.15400
p	62.259	0.299	4.491	0.1260	0.8442	1.00112	-0.04973
最大値	103.30	0.492	0.7143	0.9960	1.0311	0.50691	0.7143
中央値	68.885	0.223	0.0040	0.9257	1.0004	-0.0132	0.0040
最小値	44.842	-1.395	0.0020	0.4925	0.9939	-2.6882	0.0020

3.3.2 精度の設定と確認

(1) 精度の設定

1) 繰り返し再現性

タイヤ/路面騒音測定車で測定された5個の測定値のばらつき(\sqrt{v})が、母集団である舗装路面騒音測定車の母標準偏差($\sigma = 0.17$ dB)と違いがあるかどうかを母分散の検定(χ^2 の両側検定)で判定することにした。 χ^2 の両側検定から舗装路面騒音測定車のばらつき $\sigma = 0.17$ dBと等しいと考えられる5個の測定値のばらつきは $\sqrt{v} = 0.28$ dBと求まる。

2) 測定値のずれの許容範囲

舗装路面騒音測定車とタイヤ/路面騒音測定車の測定値のずれ($X - \mu$)の許容範囲は、母平均の検定式から求めると性能規定では0.24 dB、総合評価では0.21 dBとなる。

以上の考えから、タイヤ/路面騒音測定装置の繰り返し精度とずれの範囲を表-5に示すように設定した。

表-5 測定装置の精度と適合判定の精度

判定項目	性能規定 dB	総合評価 dB	摘要
繰り返し精度	0.28		母分散の検定(χ^2 検定)
測定値のずれの範囲	0.24	0.21	母平均の検定(U検定)
σ 母標準偏差	0.17		舗装路面騒音測定車

(2) 精度の確認

開発した各タイヤ／路面騒音測定装置が舗装路面騒音測定車と同等のものとして設定した精度を満足するか確認した。精度確認は、図-7に示す検定方法に従い、評価用路面における排水性舗装 5mm、13mm を用い、繰り返し再現性 ($\sqrt{V} \leq 0.28\text{dB}$) 及び基準値との差 ($\pm 0.24\text{dB}$ 、または $\pm 0.21\text{dB}$) を検証した。表-6に各社の繰り返し精度および測定値のずれを示す。この結果、繰り返し精度 0.28dB 以下は全社が、また舗装路面騒音測定車とのずれ 0.24dB 以下を排水性 5mm と 13mm の両方が満足したのは e1、e2、i、j、p の5装置であった。

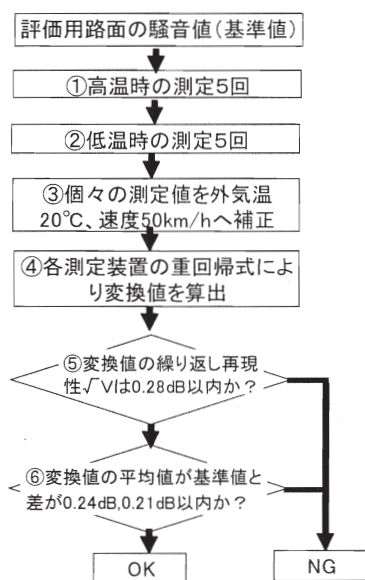


図-7 検定方法

表-7 各社の繰り返し精度および測定値のずれ

装置	繰り返し精度				舗装路面騒音測定車とのずれ	
	排水性 5mm		排水性 13mm		排水性 5mm	排水性 13mm
	高温時	低温時	高温時	低温時		
a	0.202	0.173	0.118	0.035	0.453	-0.145
b	0.121	0.116	0.116	0.146	1.070	-0.220
c	0.140	0.220	0.260	0.140	0.610	-0.130
d	0.090	0.088	0.052	0.053	0.699	-0.125
e1	0.080	0.038	0.043	0.041	0.140	0.180
e2	0.036	0.085	0.066	0.054	-0.130	0.210
f	0.070	0.080	0.090	0.140	1.310	0.100
g	0.190	0.060	0.170	0.160	0.210	-0.930
h	0.199	0.183	0.251	0.188	0.350	-0.090
i	0.061	0.049	0.078	0.025	0.106	-0.014
j	0.111	0.032	0.056	0.041	-0.024	0.181
k	0.002	0.032	0.008	0.012	0.470	-0.240
l	0.081	0.083	0.065	0.053	1.340	0.060
m	0.064	0.078	0.094	0.020	1.170	0.080
n	0.090	0.050	0.020	0.020	1.540	-1.300
o	0.235	0.094	0.108	0.142	0.370	-0.090
p	0.248	0.066	0.121	0.084	0.230	-0.170

3.4 結論

以上の成果をまとめると以下のとおりである。

- 1) タイヤ／路面騒音測定に及ぼす要因として速度・温度依存性があることが分かったため、それぞれ 50km/h、20°Cに補正することとした。
- 2) 舗装路面騒音測定車の騒音値に変換可能な重回帰式（目的変数は、騒音値、説明変数を測定騒音値(X1)、骨材最大粒径(X2)、大型車累計交通量または経過月数(X3))を作成することができた。
- 4) 舗装路面騒音測定車と同等以上の精度を有するタイヤ／路面騒音測定装置としてタイヤ近接音測定装置、吸音特性測定装置及び反射音測定装置計17装置の開発を行うことができた。
- 5) タイヤ／路面騒音測定装置を検定する検定方法(案)と以下に示すタイヤ／路面騒音測定方法(案)の作成を行うことができた。

【タイヤ／路面騒音測定方法(案)】

- 1) 測定条件
測定位置はOWP、測定は一定速度、路面は乾燥状態、交差点等を除外区間とし、データサンプリングの間隔は0.1秒または1m以下で行うことを条件とする。
- 2) 測定方法
準備作業として測定対象区間における測定位置及び定速走行を行うための交通条件の確認、測定装置の動作確認とタイヤを暖めるために予備走行を行う。
測定は、法定速度内で一定の速度で行い、外気温を記録しておく。また測定は5個のデータが採取できるまで行う。

3) 測定データの解析

測定データの解析は以下の手順で行う。

- ・測定位置の確認
- ・除外区間を除いたデータの抽出
- ・各測定区間における個々のデータを求めた後、5個のデータの平均値を求める
- ・平均値に対する 20°Cへの温度、50km/h への速度補正を行う
- ・タイヤ／路面騒音値に変換する

4) 報告事項

報告においては、現場を特定できる測定年月日や路線名などのほかに、測定の信頼性を高めるため、各測定におけるバックデータを提出する。

4. 現場の施工条件を適切に反映した塑性変形輪数評価法の提案

4.1 研究経緯

現行のWT試験は、室内作成混合物を使用し、締固め度 100%、厚さ 5cm、接地圧 0.627MPa (6.4kgf/cm²) で

試験することになっており、実際に施工された舗装の表層条件がこれ以外の条件の場合は評価できない。また、現在、WT供試体を作製するために必要なローラコンパクタが配備されているプラントはわずかであることから、ほとんどのプラントでは採取した混合物をローラコンパクタのある施設に運搬し、再加熱してWT供試体を作製することになると思われる。

そこで、①WT試験条件のうち締固め度、厚さ及び接地圧を変化させた時の塑性変形輪数（動的安定度）に及ぼす影響度合いの検討、②プラントで採取した試料を再加熱した場合の動的安定度（以下、DS）に及ぼす影響について検討を行い、実際に施工された舗装の塑性変形輪数を評価することが出来る試験条件及び加熱劣化の影響が少ないWT試験用供試体作製方法の提案を行った。また、提案を行った塑性変形輪数評価法が、実際の工事で問題なく評価が出来るか確認を行った。

4.2 試験方法

4.2.1 WT試験条件の検討

実際に施工された舗装条件を評価する必要があるため、その条件を想定して表-8に示す通り締固め度を96~100%、供試体厚さを4~6cm、載荷荷重は技術基準に定義されている49kNと現行の荷重条件でWT試験を行った。49kNは接地圧が0.539MPaになるよう接地面積をスタンプで確認し荷重を調整した。厚さの調整は4cmの場合は5cmの型枠に1cmの鉄板を敷き、6cmは10cmの型枠に4cmの鉄板を敷いた。締固め度の調整は、混合物の量で調整した。また、試験に用いた混合物は、表-9に示すとおりであり、目標塑性変形輪数が、現行の試験条件で500、1500、5000回/mmになるよう配合設計を行い作製した。それ以外の試験条件は舗装試験法便覧に準拠した。

表-8 WT試験条件

条件	荷重条件		厚さ(cm)	締固め度 (%)		
	載荷荷重	接地圧		96	98	100
現行	686N (70kgf)	0.627MPa (6.4kg/cm ²)	4	-	○	-
			5	○	○	○
			6	-	○	-
49kN相当	539N (55kgf)	0.539MPa (5.5kg/cm ²)	5	-	○	-

表-9 試験を行った混合物種類

	目標塑性変形輪数 (回/mm)	使用バインダー	アスファルト量 (%)	粒度
混合物Ⅰ	500	ストアス	5.6	密粒(13)
混合物Ⅱ	1500	改質Ⅰ型		
混合物Ⅲ	5000	改質Ⅱ型		

4.2.2 WT試験用供試体作製方法の検討

プラント練り落とし混合物を再加熱した時に熱劣化が少ないWT供試体作製方法を検討するため、プラントからWT試験を行える試験室まで運搬する方法を変えるなどして、再養生および再加熱の方法がDSに及ぼす影響を調べた。供試体作製条件を表-10に示す。舗装の種類はストアスのみで、目標締固め度を3種類とした。混合物の運搬方法とWT試験用供試体を作製する時の再加熱方法は、表-11に示す7条件とした。練落とし混合物の採取は実際の運搬と同じように、ダンプの荷台に直接排出した混合物をシートで覆った状態で試験室まで運搬する方法（試験室までの運搬時間は現場までの平均運搬時間と同じ1時間）と練落としした混合物をそのままプラントで作製する場合と練落としした混合物を酸化劣化させないようにすぐに図-8に示す保存箱に入れて保存した場合で検討した。また、再加熱方法は表-2に示すように養生（再加熱）温度と時間を変えて試験した。WT試験の試験輪の接地圧は技術基準に定義されている49kNに相当すると考えられる0.539MPa(6.0kgf/cm²)で行った。それ以外の試験条件は舗装試験法便覧に準拠した。

表-10 供試体作製条件

項目	内容
粒度	密粒度アスコン(13)
バインダーの種類	ストアス
目標締固め度	96, 98, 100%
供試体寸法	30cm×30cm×5cm
試料採取および供試体作製場所	試料採取 : プラント 供試体作製 : プラントおよび試験室(運搬後)

表-11 試験条件

条件	運搬方法	運搬時の保管容器	加温・加熱条件
①	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着直後、温度調整して作製
②	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着後、保存箱に入れ110℃の乾燥機で1.5h養生して作製
③	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着後、保存箱に入れ翌日まで放冷し、110℃の乾燥機で3.0h養生して作製
④	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着後、保存箱に入れ翌々日まで放冷し、110℃の乾燥機で3.0h養生して作製
⑤	なし(プラント作製)	大バット	・練り落とし直後、軽微な温度調整をして作製
			・110℃乾燥炉で1.5h養生後、温度調整して作製 ・110℃乾燥炉で3.0h養生後、温度調整して作製
⑥	なし(プラント採取)	保存箱	・保存箱内で翌日まで放冷した後、110℃の乾燥機で3.0h養生して作製
⑦	ダンプ	なし(荷台)	・試験室到着後、保存箱に入れ翌日まで放冷し、110℃の乾燥機で24.0h養生して作製

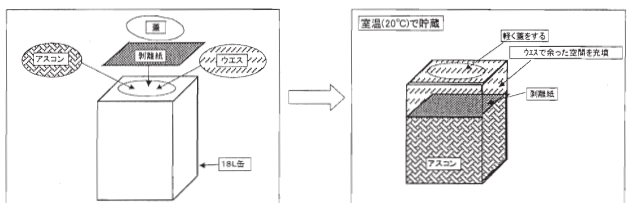


図-8 保存箱に混合物を保存する方法

4.3 研究結果

4.3.1 WT試験条件の検討

(1) 締固め度と塑性変形輪数の関係

図-9に締固め度を変えた時の塑性変形輪数の関係を示す。この結果、締固め度が小さくなると塑性変形輪数も小さくなることが分かった。締固め度100%を基準に締固め度が96%の時の低下度合いを比較すると、改質II型を使用した混合物IIIは約45%、改質I型を使用した混合物IIも約47%、ストアスを使用した混合物Iは約34%低くなった。これらのことから、締固め度が変わると塑性変形輪数も変化するため、締固め度に応じた塑性変形輪数の評価が必要であることが分かった。また、3種類の混合物とも締固め度と塑性変形輪数の関係はほぼ直線であり、96~100%の間であれば任意の締固め度における塑性変形輪数を推定できると思われる。

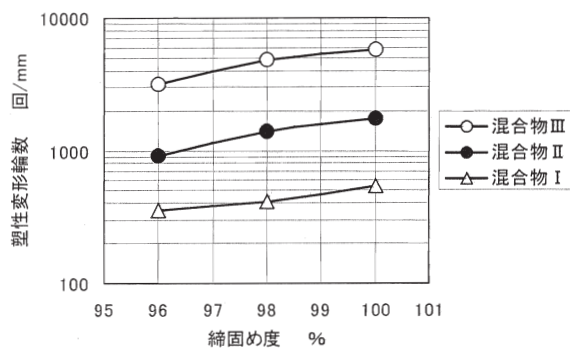


図-9 締固め度と塑性変形輪数の関係

(2) 厚さと塑性変形輪数の関係

図-10に供試体の厚さを変えた時の塑性変形輪数の関係を示す。この結果、改質II型を使用した塑性変形輪数が高い混合物III及び改質I型、ストアスを使用した塑性変形輪数が低い混合物II、Iとも、厚さが変わると塑性変形輪数も変化することが分かった。しかし、表層の厚さが異なっても、アスファルト混合物層(表・基層)全体で捉えると、塑性変形の生じる深さ(温度の影響範囲)はほぼ等しいと考えられることや、「技術基準」における塑性変形輪数の基準値は、厚さ5cmの供試体で実施したWT試験の結果に基づいて定められていることから、供試体の厚さは、現場における表層の厚さ(設計厚さ)に係わらず5cmとすることにした。

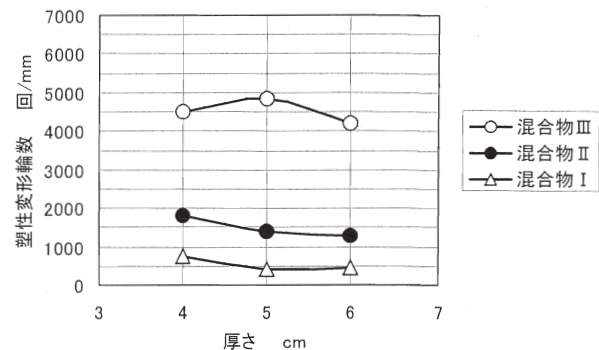


図-10 厚さと塑性変形輪数の関係

(3) 接地圧と塑性変形輪数の関係

図-11に接地圧を変えた時の塑性変形輪数の関係を示す。この結果、接地圧が小さくなると塑性変形輪数は大きくなることが分かった。現行試験条件である接地圧0.627MPaの時の塑性変形輪数に比べ49kN相当の接地圧が0.539MPaの時の塑性変形輪数は、混合物IとIIでは1.8倍、混合物IIIでは1.3倍になった。なお、49kNに相当する接地圧を今回は0.539MPaとしたが、実際の接地圧は実際の自動車の使用するタイヤ、空気圧等で異なる。

そこで、現在一般的に用いられている大型車両用タイヤの種類と空気圧から、既往の研究成果で得られている数式により49kNタイヤの接地圧を算出した。

トラック、バス用タイヤの販売比率²⁾は、ラジアルタイヤ81.7%、バイアスタイヤ18.3%となっており、「ラジアルタイヤ」が一般的である。「技術基準」で定められた49kNの大型車の車輪は一般に複輪であると想定されるため、複輪片側の1輪のみに着目すると輪荷重は24.5kNとなる。大型車用タイヤにおいては、輪荷重が24.5kNの場合も含め、空気圧は概ね0.7MPa(7.1kgf/cm²)³⁾である。

上記の条件を、池田らが提案した接地圧を求める式⁴⁾をSI単位系に換算した次式に代入すると、接地圧として0.59MPa(6.0kgf/cm²)が得られる。なお、数式はタイヤの溝を接地面積に含めない場合のものである。これより、WT試験により塑性変形輪数を評価する場合の接地圧は0.59MPa(6.0kgf/cm²)とすることにした。

$$\begin{aligned}
 p &= 4.70 \times 10^{-3}P + 0.36A + 0.22 \\
 &= 4.70 \times 10^{-3} \times 24.5 + 0.36 \times 0.7 + 0.22 \\
 &\approx 0.59 \text{MPa}
 \end{aligned}$$

ここに、 p : 接地圧 (MPa)、 P : 輪荷重 (kN)、 A : タイヤの空気圧 (MPa)

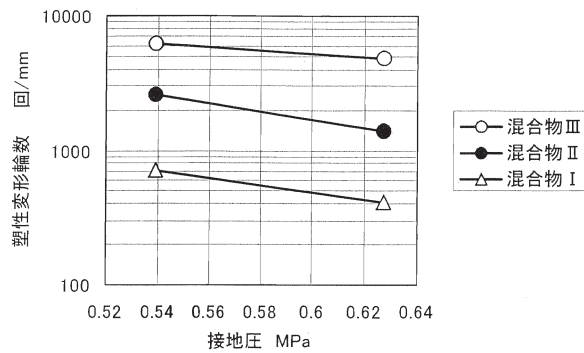


図-11 接地圧と塑性変形輪数の関係

4.3.1 WT試験用供試体作製方法の検討

(1) 締固め度と塑性変形輪数の関係

締固め度を変えた場合の7条件のWT試験の結果を図-12に示す。現場の舗設は、ダンプで混合物を運搬後すぐに舗設する。この条件と同じ条件①（運搬後放冷なしで温度調整のみですぐに供試体を作製）を基準（真値として仮定）として比べると、放冷時間、養生温度及び養生時間を変えた②～④及び⑦は、熱劣化を起し動的安定度は高くなっている。プラントで作製した⑤の条件のうち、放冷なしで当日すぐに作製した場合は、運搬中に生じる劣化がない分、DSは①より小さくなっている。ただし、養生を行うと養生時間に応じてDSは増加し①より大きくなっている。これらに対して、練落とした混合物をすぐに保存箱に入れた⑥は、3時間の再加熱を行っても、①の条件と同じDSであった。これは、プラントですぐに保存箱に入れ放冷するため、酸化および熱劣化を受ける時間が短いことによると思われる。また、図-13に締固め度を変えて試験した試験条件①～④までのDS結果を示す。この結果より、いずれの締固め度においてもその傾向は同じであり、条件①に比べ②～④のDSは高い値を示すことが分かった。

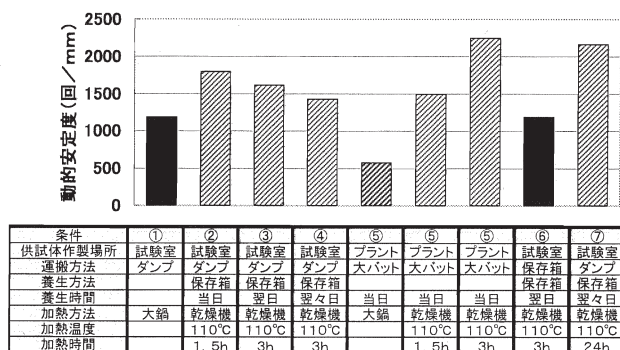


図-12 WT試験結果

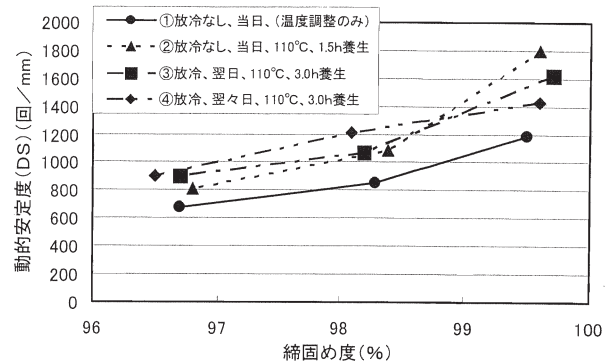


図-13 締固め度と塑性変形輪数の関係

4.4 結論

試験結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 締固め度が変わると塑性変形輪数も変化するため、締固め度に応じた塑性変形輪数を評価することにした。
- 2) 試体の厚さが変わると塑性変形輪数も変化するため、供試体の厚さは一律5cmとした。
- 3) 接地圧（載荷荷重）が小さくなると塑性変形輪数は大きくなるため、WT試験により塑性変形輪数を評価する場合の接地圧は0.59MPa (6.0kgf/cm²) とすることにした。
- 4) 熱劣化及び酸化劣化を受けにくく現場を再現できる供試体作製方法は条件⑥であった。
- 5) 以上の結果から熱劣化及び酸化劣化を受け難く現場を再現できる供試体作製方法と塑性変形輪数を評価する評価方法を以下のとおり提案する。

【熱劣化等の影響を受けにくい供試体作製方法(案)】

- ①試料はプラントで採取する。
- ②その場で保存箱（一斗缶）に入れ、はく離紙を敷設した後、ウェスで空隙を充填する。
- ③そのまま、放冷する。（最長でも2日間）
- ④室温まで低下した試料の入った保存箱を、混合温度-30°Cの乾燥炉で3時間養生する。
- ⑤所定の量の試料を計り取り、大鍋に移して攪拌しながら混合温度まで加熱する。
- ⑥混合温度になったら所定量を型枠に入れ転圧する。

【塑性変形輪数を評価する評価方法(案)】

WT試験による塑性変形輪数の評価は図-14のフローに従い、次の方法で実施する。

- ①試験練りまたは試験施工等で決定した現場配合によりプラントで練落とした混合物について、密度を3水準（基準密度に対する締固め度96、98、100%）変えて供試体を作製し、WT試験を実施する。なお、供試体厚さは、5cmとする。

- ②①の結果を、図-15に示すようにプロットし、密度と動的安定度の回帰曲線を求める。この回帰曲線を求める作業は、表層の厚さ及び材質が同一である区間毎に施工に先立って行う。
- ③施工時の品質管理として現場切りコアの密度測定を実施する。
- ⑤現場切りコアの密度測定結果を②の回帰曲線上にプロットし、当該密度における動的安定度を読みとって「塑性変形輪数」とする。

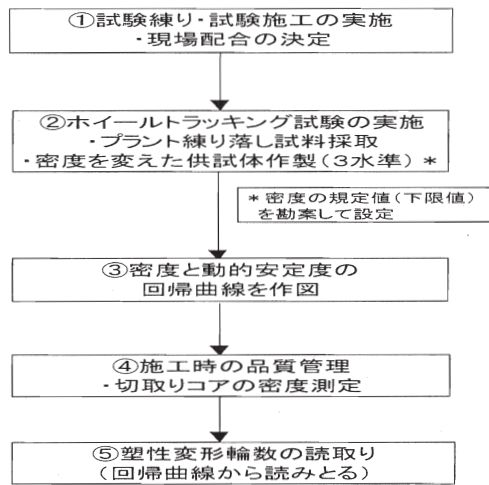


図-14 塑性変形輪数の評価方法 (案)

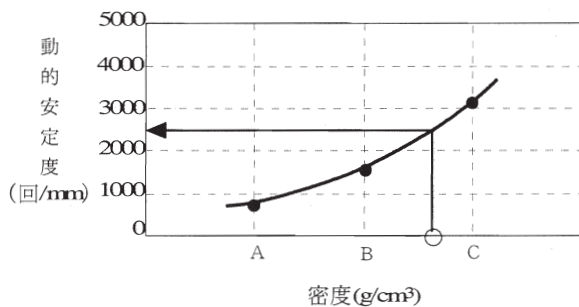


図-15 回帰曲線から塑性変形輪数を読み取る方法

5. 維持管理にも適用でき現場の条件を適切に評価できる現場透水性評価法の提案

5.1 研究経緯

現在、浸透水量を評価する方法は、図-16に示す現場透水性試験器を使用することになっている。しかし、この方法では、測定者によって止水のため使用する白パテや油粘土のパテ量が違うためパテ幅、有効径に違いが生じ透水時間に影響が出てしまう。また、現行の試験器で透水能力の大きい舗装体を測定した場合、バルブの径がφ8mmと小さいため透水能力が過小に評価されるといった問題が指摘されている。そこで、新設時の透水能力の大きい舗装の透水性能の評価、透水

機能が落ちた場合の舗装の維持管理の目安、打換えた舗装の透水性能の評価など、現場の舗装条件が違っていても適切に評価できる現場透水性評価法の提案を行った。

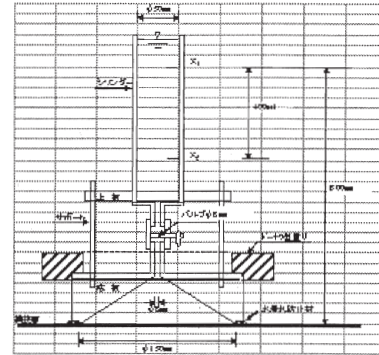


図-16 現場透水試験器の例

5.2 試験方法

試験は、現場透水試験を行う際に図-17に示すパテ幅と有効径を変えて試験した場合及び試験器のバルブの径を変えて試験した場合の透水時間に与える影響を調べた。

5.3 試験結果

5.3.1 パテ量と有効径を変えた場合の試験結果

現場透水試験法では、有効径は150mmと決まっているが、パテ量、パテ幅の規定はない。現状を確認するため測定者3人で11回試験を行ったところ図-18のようにパテ幅、有効径にばらつきが出た。また、パテ幅、有効径を変えて試験した結果を図-19と20に示す。この結果、パテ幅、有効径が異なると透水時間に影響が出ることが分かった。これより、パテ量及びパテ幅を統一した規定を設ける必要があることが分かった。現在、主に止水材として利用されている白パテや油粘土では、パテ幅や有効径を一定にすることは難しい。そのため、ある程度形状が固定され、試験器、路面に密着するシリコンマットなどを用いるのが良い。しかし、止水性に問題がある。また、底板に溝を掘る、パテ量を規定するなど、誰が試験を行っても有効径やパテ幅に大きな違いが出ないようにすることが必要である。

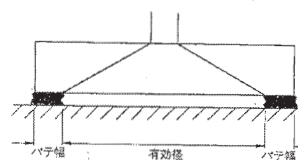


図-17 パテ幅と有効径

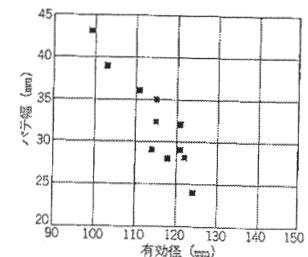


図-18 測定者の違いによるパテ幅と有効径

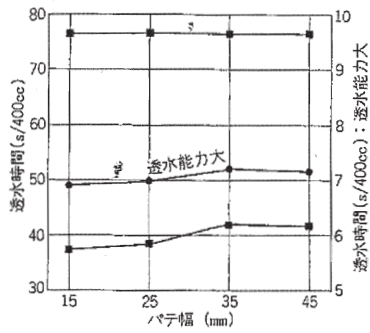


図-19 パテ幅と透水時間の関係

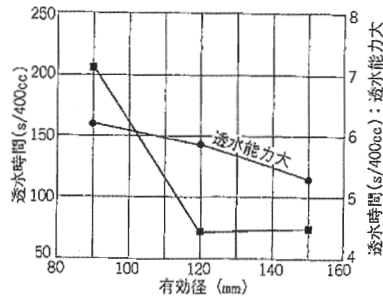


図-20 有効径と透水時間の関係

5.3.2 バルブ径を変えた場合の試験結果

透水能力の違う舗装6種類を用いて、透水試験機のバルブの径を7～25mmまで変えて透水試験を行った。その結果を図-21に示す。この結果、透水能力が大きくなるにしたがって、バルブの径による透水時間の違いが大きくなった。この理由は、通常、現場透水試験では、図-22の③に示すように、底板内部の空隙が水で満たされなければならないが、透水能力の大きい舗装の場合、図-22の①または②の状態となるため、正確な舗装の透水能力を評価することができないためと思われる。

新設舗装（排水性舗装(13)空隙率23%）を用いて、バルブ径を8～150mmまで変えて透水試験を行った。その結果を図-23に示す。この結

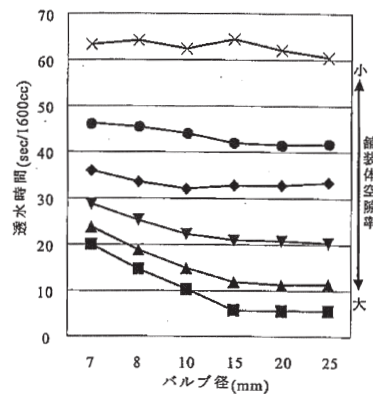


図-21 バルブ径の違いによる透水時間

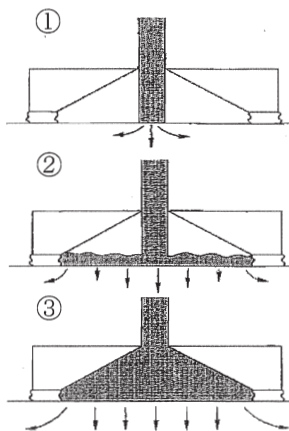


図-22 バルブ径の違いによる透水時間

果を見るとバルブ径φ20mm以下では正確な浸透時間を計測できないことが分かる。また、バルブ径φ8mmとφ20mmの現場透水性試験器で測定を行った結果を図-24に示す。この結果、約9s/400mlより透水能力の大きい舗装体においては、実際の透水能力よりも過小評価してしまう。

これらのことから、透水性を評価するには、バルブ径は最低でもφ20mm以上の現場透水性試験器が必要であることが分かった。

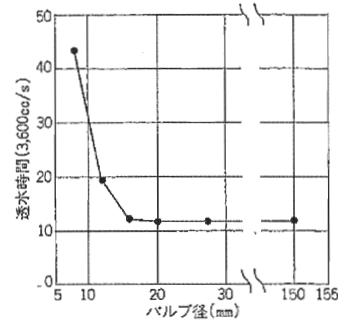


図-23 新設舗装のバルブ径の違いによる透水時間

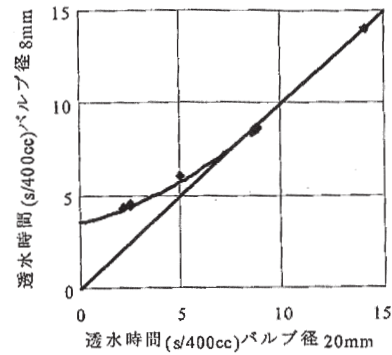


図-24 バルブ径φ8mmとφ20mmの透水時間の関係

5.4 結論

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 誰が試験を行っても有効系やパテ幅に大きな違いが出ない試験方法として、シリコンマットなどの使用、底板に溝を掘る、パテ量を規定するが良い。
- 2) 透水性を評価するには、バルブ径は最低でもφ20mm以上の現場透水性試験器が必要であることが分かった。

6. 平坦性とIRIとの整合性の確認

6.1 研究経緯

近年、世界各国において舗装の供用性能に乗り心地を取り入れる際の性能指標としてIRI（国際ラフネス指数）が採用される傾向にある。このIRIは、乗り心地の観点から舗装路面を評価するための世界共通指標として世界銀行から提案された指標である。しか

し、我が国においては、「舗装構造に関する技術基準」や「維持修繕要綱」で、平坦性が定められており、IRIについては、研究段階や試験的な導入段階である。

そこで、平坦性とIRIの整合性について確認を行うため、プロフィールメータから求めた平坦性(3mσ)、水準測量から求めたIRI、路面性状測定車から求めた平坦性(3mσ)とIRIについて、それぞれの平坦性とIRIとの相関性について検討を行った。

6.2 測定方法

測定は、つくば市内の現道で3mプロフィールメータ、水準測量及び路面性状測定車を用いて平坦性 3mσ及び縦断プロフィールを測定し、平坦性 3mσとIRIの相関関係を解析した。以下に測定条件を示す。

6.2.1 測定箇所

測定は、表-12に示すつくば市内の平坦な現道6箇所の道路で行った。なお、測定は各測定区間の外側わだち部(OWP)を測定した。

表-12 測定箇所

番号	平坦性レベル	調査延長	舗装種類
No. 1	小	300m	密粒舗装
No. 2	小	300m	密粒舗装
No. 3	中	300m	密粒舗装
No. 4	中	300m	密粒舗装
No. 5	大	300m	密粒舗装
No. 6	大	300m	密粒舗装

6.2.2 測定項目及び測定方法

測定項目及び測定方法は、表-13に示す平坦性測定(3mσ)、水準測量及び路面性状測定車で縦断プロフィール、平坦性、IRIを測定した。IRIは、水準測量と路面性状測定車から縦断プロフィールを求め、QCシミュレーションにより算出した。また、水準測量のサンプリング間隔は250mm、測定精度は0.5mmとした。相関を求めるために適当な評価単位(測定延長20m、50m、100m、200m、300m)の検討も併せて行った。

表-13 測定項目と測定方法

測定項目	測定方法	準拠する測定方法
平坦性測定(3mσ)	3mプロフィールメータ(レーザー方式)	舗装試験法便覧
水準測量(IRI)	測定間隔25cm	ASTM E950-98クラス3
路面性状測定車	縦断プロフィール	舗装試験法便覧及び各社の測定方法に準拠
	平坦性	
IRI	縦断プロフィールを測定し、QCシミュレーションによりIRIを算出	

6.2.3 路面性状測定車の測定条件

測定に用いた路面性状測定車は7台である。各車の平坦性及びIRI算出のための縦断プロフィールの測定条件を表-14に示す。

表-14 路面性状測定車の測定条件

測定車	平坦性測定(3mσ)		IRI算出のための縦断	
	測定速度(km/h)	計測間隔	測定速度(km/h)	計測間隔
A	20	1.5m	20	0.25m
B	30	0.25m	30	0.01m
C	40	1.5m	40	0.1m
D	50	1.5m	50	0.1m
E	40	1.5m	40	0.25m
F	30	1.5m	30	0.1m
G	50	1.5m	50	0.25m

6.3 測定結果

6.3.1 評価延長と相関係数の関係

評価延長20m、50m、100m、200m、300m毎の水準測量と路面性状測定車より算出したIRIの相関係数から適用可能な評価単位について検討した。その結果を、図-25に示しており、評価単位に比例して相関係数も大きくなり、各測定車の相関係数の分布も収束している。評価単位100mでは各測定車の相関係数は0.92以上で高い相関を示している。これより、管理指標として適用する評価単位は100mが妥当と考える。

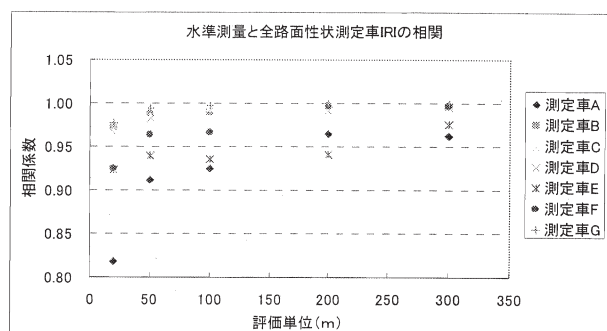


図-25 評価単位毎の水準測量と路面性状測定車によるIRIの関係

6.3.2 IRIと平坦性の相関結果

プロフィールメータから求めた平坦性(3mσ)、水準測量から求めたIRI、路面性状測定車から求めた平坦性(3mσ)とIRIについて、それぞれの平坦性とIRIとの相関性と平坦性3mσからIRIを求める変換式を求めた。一例として図-26に路面性状測定車によるIRIと3mプロフィールメータによる平坦性3mσの関係を示す。また、相関係数と変換式の結果を表-14に示す。その結果、どの組み合わせにおいても $R^2 =$

0.96 以上と高い相関性を示し、相関係数から変換式の適合性を判断すると、3m σ を測定し変換式により実用的な精度でIRIに変換することが可能と考える。

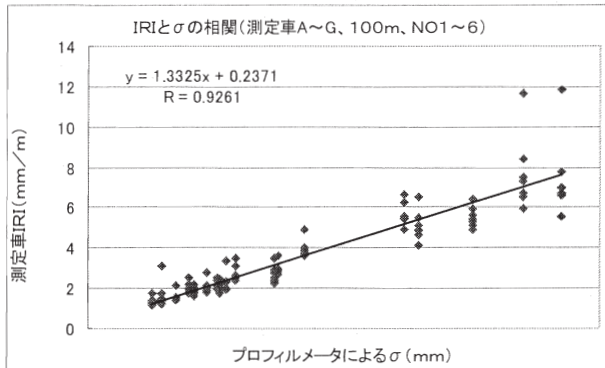


図-26 路面性状測定車によるIRIと3mプロフィールメータによる平坦性3m σ の関係

表-15 IRIと平坦性の相関結果

測定項目の組合せ	相関係数	変換式
水準測量IRIとプロフィールメータ3m σ	0.98	IRI=1.27 σ +0.28
水準測量IRIと測定車3m σ	0.97	IRI=1.30 σ +0.23
測定車IRIとプロフィールメータ3m σ	0.97	IRI=1.23 σ +0.28
測定車IRIと測定車3m σ	0.96	IRI=1.17 σ +0.39

6.4 結論

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) IRIを管理指標として適用する評価単位は100mが妥当と考える。
- 2) 平坦性とIRIとの相関性は $R^2=0.96$ 以上と高い相関性を示した。このことから平坦性とIRIの整合性は高いことが分かった。
- 3) IRIと σ は測定間隔・測定方法・波長域等が異なり、対象とする縦断プロファイルが異なるので、「 σ からIRIへの変換は無意味」との意見がある。しかし、今後IRIに移行するとしても過去の測定データからIRIを推定する変換式が必要であるため、更なる解析・検討が必要である。

7. まとめ

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

7.1 簡便な測定ができるタイヤ/路面騒音測定方法の提案

- 1) 舗装路面騒音測定車と同等の精度を有するタイヤ/路面騒音測定装置としてタイヤ近接音測定装置、吸音特性測定装置及び反射音測定装置計17台の開発を行うことができた。
- 2) タイヤ/路面騒音測定装置の検定方法(案)とタイヤ/

路面騒音測定方法(案)の作成を行うことができた。

7.2 現場の施工条件を適切に反映した塑性変形輪数評価法の提案

- 1) 熱劣化及び酸化劣化を受けにくく現場を再現できる供試体作製方法を提案した。
- 2) 現場の締固め度に応じた塑性変形輪数の評価方法を提案した。

7.3 維持管理にも適用でき現場の条件を適切に評価できる現場透水性評価法の提案

- 1) 誰が試験を行っても有効径やパテ幅に大きな違いが出ない試験方法として、シリコンマットなどを使用する、底板に溝を掘る、パテ量を規定するといった方法が良い。
- 2) 現場の透水性を評価するには、バルブ径は最低でも $\phi 20\text{mm}$ 以上の現場透水性試験器が必要である。

7.4 平坦性とIRIとの整合性の確認

平坦性とIRIとの相関性は $R^2=0.96$ 以上と高い相関性を示した。このことから平坦性とIRIの整合性は高いことが分かった。

本研究の成果は、平成18年1月に発刊された「舗装性能評価法」(社)日本道路協会)に反映されている。

参考文献

- 1) 共同研究報告書：タイヤ/路面騒音測定方法の開発、独立行政法人土木研究所舗装チーム、第317号、平成17年3月
- 2) 寺田他：排水性舗装の残存水分がタイヤ/路面騒音へ与える影響、土木学会第59回年次学術講演会、第V部門、2004.9
- 3) 寺田、伊藤、坂本：タイヤ/路面騒音に及ぼす影響要因の検討、土木学会H16舗装工学論文集、2004.12