令 6.都土木技術支援･人材育成センター年報
Annual Report
C.E.S.T.C., TMG 2024
ISSN 1884-040X

1. 低騒音舗装等における RAC 車による路面騒音評価法に係る代替手法の検証

Verification of Alternative Methods for evaluating Road Noise by Road Acoustic Checker(RAC car) on Low-noise Pavements, etc.

技術支援課　田村 哲也、○細田 修平

1. はじめに

東京都では、昭和 62 年に環七において国内初の低騒音舗装の試験施工を実施し、平成 5 年から平成 9 年には、低騒音舗装の効果を評価できる方法を検討した。その後、平成 10 年に低騒音舗装の効果を評価する方法として舗装路面騒音測定車(以下、「RAC 車」という。)を使用する方針とした。この測定方法は、RAC 車に装着された特殊タイヤと路面から発生する騒音を測定するものである。

国交省でも、RAC 車による騒音測定が適当であると判断され、平成 13 年から舗装の性能規定工事の増加に伴い、一時は国内に 20 台以上の RAC 車が存在した。

しかし、令和 5 年に国交省の性能規定工事が行われなくなったことから、一般社団法人 日本道路建設業協会（以下、「道建協」という。）が国内に現存する唯一の RAC 車を所有していたが、令和 5 年 5 月に廃車となった。

また、東京都では、都道沿道において騒音の環境基準超過区間が一定数存在していることから、舗設 5000 ㎡以上の遮熱性舗装及び低騒音舗装における RAC 車による路面騒音を品質管理項目として測定してきた。舗装供用後も低騒音舗装等の経年変化による性能を追跡するため継続的に測定している。

本稿は、RAC 車廃車後の騒音測定の代替として、測定用普通乗用車（以下、「普通車」という。）を用いた騒音評価方法の検証結果を報告するものである。

2. 調査概要

令和 5 年 5 月の RAC 車廃車に伴い、令和 4 年度に RAC 車と普通車により測定した路面騒音測定結果に基づき、騒音測定装置を搭載した普通車と装着している測定用普通タイヤ（以下、「普通タイヤ」という。）と路面から発生する騒音の等価騒音レベルを RAC 車による路面騒音の等価騒音レベルに換算し、換算式(以下、「普通車－RAC 車換算式」という。）を定式化することを目的として実施した。

表－１、表－2 は、令和 4 年～5 年に国立研究開発法人 土木研究所舗装路面騒音研究施設（以下、「検定路面」という。）において第 1 回共通試験と第 2 回共通試験で騒音測定を行った条件である。

表-1　第 1 回共通試験の測定データの条件

	第 1 回共通試験（旧検定路面）
測定舗装種	低騒音舗装（13㎜） 低騒音舗装（5㎜） 密粒度舗装
測定車両	RAC 車 1 台（特殊タイヤ、普通タイヤ） 普通車 8 台（普通タイヤ）
走行速度	40km/h, 45km/h, 50km/h
測定時期	①冬測定：令和 4 年 3 月 4 日～令和 4 年 3 月 1 日 ②春測定：令和 4 年 5 月 17 日～令和 4 年 5 月 19 日 ③夏測定：令和 4 年 7 月 26 日～令和 4 年 7 月 28 日
測定時間	早朝, 昼間（測定回数 5 回）
備考	

表-2　第 2 回共通試験の測定データの条件

	第 2 回共通試験検定路面（新検定路面）
測定舗装種	低騒音舗装（13mm，空隙率 20%） 低騒音舗装（5mm，空隙率 15%） 低騒音舗装（5mm） 密粒度舗装
測定車両	RAC 車 1 台（特殊タイヤ、普通タイヤ） 普通車 9 台（普通タイヤ）
走行速度	40km/h，45km/h，50km/h
測定時期	①夏測定：令和 4 年 10 月 4 日～令和 4 年 10 月 12 日 ②秋測定：令和 4 年 11 月 16 日～令和 4 年 11 月 18 日 ③冬測定：令和 5 年 1 月 30 日～令和 5 年 2 月 3 日
測定時間	早朝，昼間（測定回数 5 回）
備考	新検定路面へ打替え（令和 4 年 9 月 22 日～24 日）

なお、旧検定路面における 8 車の普通車による路面騒音は、古い測定用普通タイヤを装着していたため、測定値がばらついた。このことから「普通車－RAC 車換算式」は、新検定路面におけるタイヤと路面から発生する騒音値を用いて算出した。

また、以下の文章から下記のとおり表記する。

RAC 車に装着された特殊タイヤと路面から発生する騒音は、「RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音」とする。

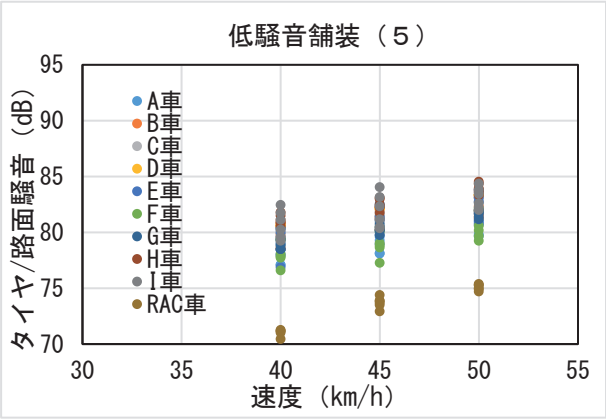
RAC 車に装着された普通タイヤと路面から発生する騒音は、「RAC 車（普通タイヤ）/路面騒音」とする。

普通車に装着された普通タイヤと路面から発生する騒音は、「普通車（普通タイヤ）/路面騒音」とする。

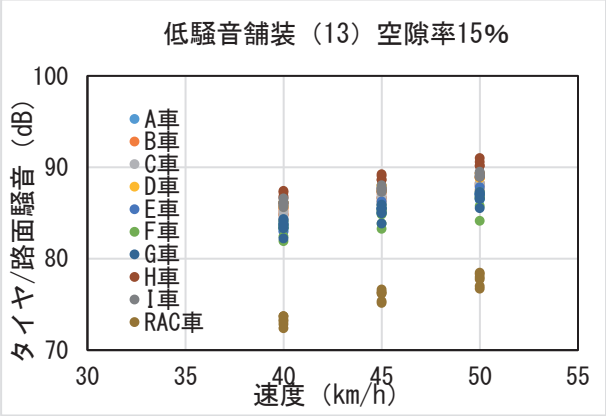
3. 測定結果の整理及び取りまとめ

(1)　9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音の比較

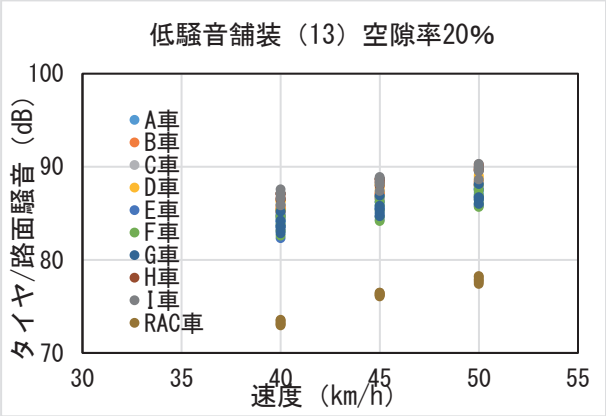
9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音を舗装種別に比較した結果を**図－1～図－4** に示す。その結果、排水性舗装（3 種類）では、9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音に比べて RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音が 10～15dB 程度低い結果であった。それに対して、密粒度舗装では、9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音は同程度であった。



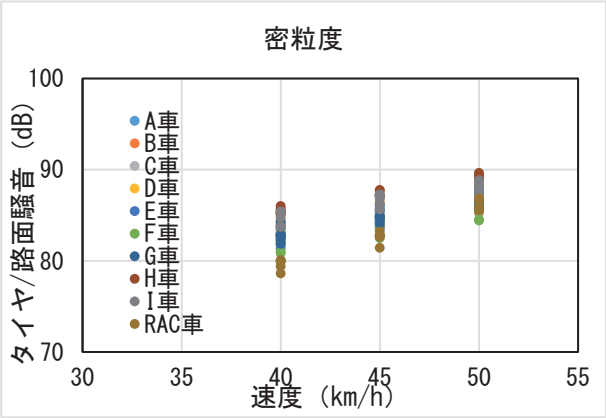
図－1　9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音の比較（低騒音舗装(5)）



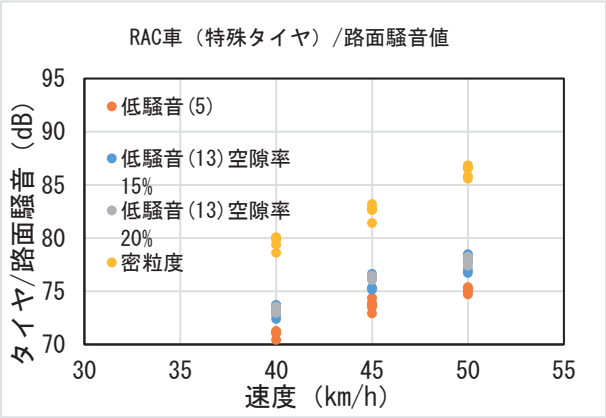
図－2　9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音の比較（低騒音舗装(13) 空隙率 15%）



図－3　9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音の比較（低騒音舗装(13) 空隙率 20%）



図－4　9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音の比較（密粒度舗装）

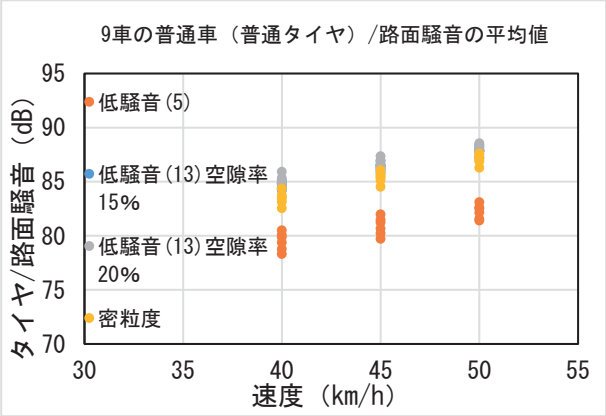


図－6　RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音の舗装種別比較

(2) 9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音の平均値と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音の舗装種別比較

9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音の平均値と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音の舗装種別に比較した結果を**図－5** と**図－6** に示す。

その結果、9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音の平均値は、低騒音(13)空隙率 20%≠排水性(13)空隙率 15%＞密粒度＞低騒音（5)の順番だった。これに対して RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音は、密粒度＞低騒音(13)空隙率 20%≠排水性(13)空隙率 15%＞低騒音(5) の順番だった。



図－5　9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音の平均値の舗装種別比較

4.　グラフィックイコライザーの故障後の騒音の評価方法についての検証

RAC 車（特殊タイヤ）による騒音測定では、特殊タイヤ音の低層音舗装と密粒度舗装の差を明確にするために周波数の調整及び設定を行っている。この周波数調整機器をグラフィックイコライザー（以下、「イコライザー」という）という。

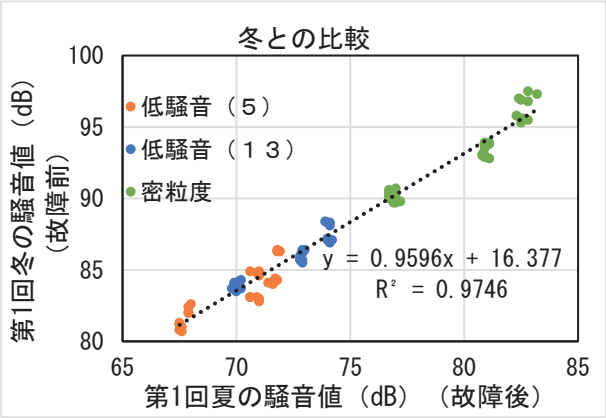
令和 4 年 7 月にイコライザーが第 1 回共通試験の夏測定前に故障した。RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音は、過去に蓄積されてきた RAC 車による騒音値と比較するためにイコライザー故障前の測定値で評価を行う必要がある。このため、イコライザー故障後の測定値をイコライザー故障前の測定値に換算する方法を検証した。

図－7 に故障前（冬測定）と故障後（夏測定）の測定値の関係を、**図－8** に故障前（春測定）と故障後（夏測定）の測定値の関係を示す。その結果、冬および春のいずれも 0. 97 以上の高い相関性を示しているが、相関性が高い春測定との相関式（1）を用いて、RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒を算出し普通車との換算式を検証することとした。

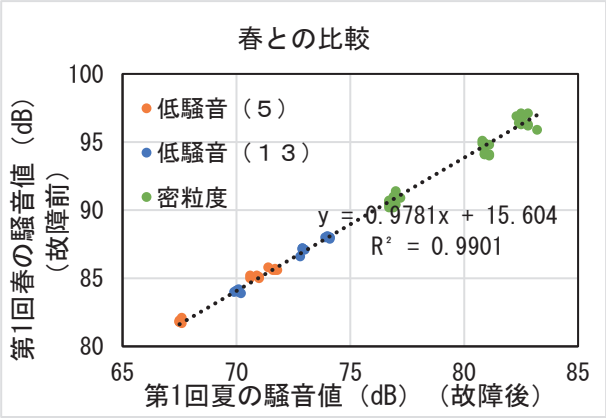
$$y=0.9781x+15.604 \cdots\cdots\cdots (1)$$

y：故障前の RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音

x：故障後の RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音



図－7　故障前の冬測定と故障後の夏測定の騒音値の関係



図－8　故障前の春測定と故障後の夏測定の騒音値の関係

5.　「普通車－RAC 車換算式」の定式化

(1)　舗装性能評価法に係る測定条件の検証

普通車及び RAC 車による騒音評価方法では、「舗装性能評価法（公益社団法人 日本道路協会）」に従い、速度補正（50km/h）及び温度補正（20℃）を行うが、本稿では、換算式の算出を単回帰または重回帰のいずれかの方法で行うか検証を行った。

①単回帰：速度補正式（２）と温度補正式（３）に従い速度補正後、温度補正を実施。

速度補正式…$L_{AeqN:S}=(\alpha_N \times \log(V_S/V)+L_{AeqN})$ ・・・・（２）

温度補正式…$L_{AeqN:ST}= L_{AeqN:S}+\beta_N \times (T-t)$ ・・・・・（３）

②重回帰：速度・温度補正式(4)に従い速度、温度を説明変数として重回帰分析を実施。

速度・温度補正式…$L_{AeqN:S}=a+\alpha_N \times V+\beta_N \times t$ ・・・・（４）

ここで、

$L_{AeqN:S}$：速度補正後の騒音値、α_N：速度勾配、

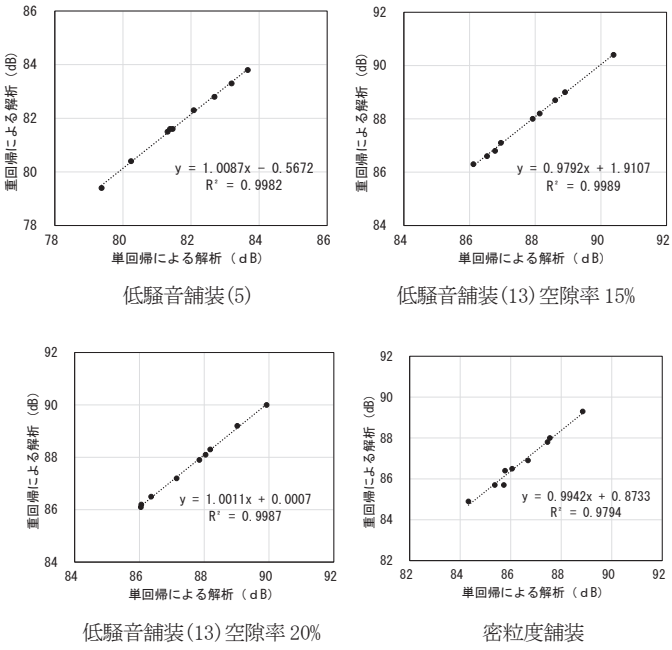
V_S：基準速度 50km/h、V：測定時の速度、

$L_{AeqN:ST}$：速度・温度補正後の騒音値、β_N：温度勾配、

T：基準温度 10℃、t：測定時の温度

(2)　単回帰または重回帰による換算方法の検証結果

上記の速度・温度補正式を用いて単回帰と重回帰で各車の騒音値を算出した舗装種別の相関の結果を**図－9** に示す。相関の結果、すべての舗装とも相関係数は 0.98 以上と高く、解析方法による解析結果に差がないため、舗装性能評価法と同様の単回帰分析による解析方法とすることとした。



図－9　単回帰と重回帰による換算方法の相関

(3)　舗装性能評価法に係る換算方法の検証

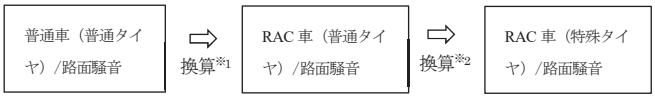
1)　新たな換算方法の検証

普通車（普通タイヤ）/路面騒音から RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音に換算する場合、「舗装性能評価法」では、**図－10** で示しているとおり、RAC 車（普通タイヤ）/路面騒音の測定値を検定路面で取得した基準値として、普通車（普通タイヤ）/路面騒音値から RAC 車（普通タイヤ）/路面騒音値への換算と、RAC 車（普通タイヤ）/路面騒音値から RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音値へ換算して騒音を評価することとなっている。

RAC 車の廃車に伴い、検定路面における RAC 車（普通タイヤ）/路面騒音値を基準とする代わりに 9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音の平均値を検定路面に与える基準値（以下、「検定路面に与える基準値」という。）として換算する方法を新たな換算方法として検

証した。

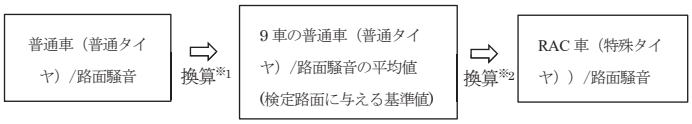
9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音の平均値を基準値とした方が同じ普通車（普通タイヤ）の騒音値であるため、換算がしやすいと考えたためである。**図－11** にその新たな換算方法を示す。



※1 普通車(普通タイヤ)/路面騒音と RAC 車(普通タイヤ)/路面騒音との換算式（検定路面等で取得）

※2 RAC 車(普通タイヤ)/路面騒音と RAC 車(特殊タイヤ)/路面騒音との換算式（検定路面等で取得）

図－10　舗装性能評価法による換算方法



※1 普通車(普通タイヤ)/路面騒音と検定路面に与える基準値

※2「検定路面に与える基準値」と RAC 車(特殊タイヤ)/路面騒音との換算式

図－11　新たな換算方法

2)　「検定路面に与える基準値」の算出

「検定路面に与える基準値」は、単回帰(50km/h, 20℃時）による各車の各路面の騒音から 9 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音の平均値を 4 種類の検定路面に基準値として与える騒音値とした。その結果を**表－3** に示す。

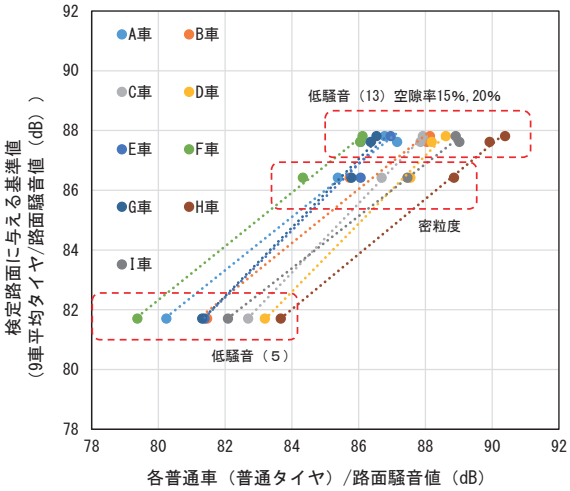
表－3　各舗装における検定路面に与える基準値

	低騒音 (5mm)	低騒音 (13mm・15%)	低騒音 (13mm・15%)	密粒度
A 車	80.2	86.8	87.1	85.4
B 車	81.5	88.1	88.0	85.7
C 車	82.7	87.9	87.8	86.7
D 車	83.2	88.6	88.2	87.6
F 車	79.4	86.1	86.0	84.3
G 車	81.3	86.5	86.4	85.8
H 車	83.7	90.4	89.9	88.9
I 車	82.1	88.9	89.0	87.5
9 車平均	81.7	87.8	87.6	86.4

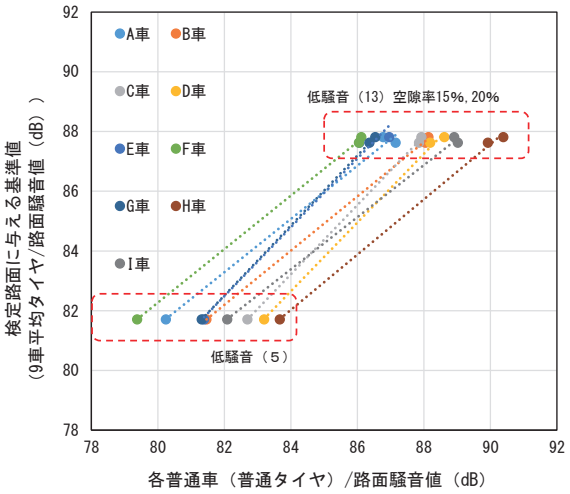
3)　各車の普通車から「検定路面に与える基準値」への換算式の算出

各車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音から「検定路面に与える基準値」へ換算する換算式を算出した。低騒音舗装（3 種類）と密粒度舗装の検定路面を考慮した相関図を**図－12** に示す。

密粒度舗装を考慮しない低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した相関図を**図－13** に示す。各車の換算式の相関係数は、密粒度舗装を除外した低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した場合、0.99 以上であり、密粒度舗装を入れた場合でも 0.97 以上と高い相関を示しており、どちらの換算式を用いても相関が高い結果であった。



図－12　低騒音舗装（3 種類）と密粒度舗装の検定路面を考慮した相関図



図－13　低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した相関図

下記に密粒度舗装を除外した低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した場合の各車の**普通車から「検定路面に与える基準値」への換算式は、下記の通りである。**

A 車　$L_{AeqNK}=0.89L_{AeqN:ST}+10.25$　（相関係数：0.994）
B 車　$L_{AeqNK}=0.91L_{AeqN:ST}+7.85$　（相関係数：0.999）
C 車　$L_{AeqNK}=1.16L_{AeqN:ST}-13.93$　（相関係数：0.999）
D 車　$L_{AeqNK}=1.15L_{AeqN:ST}-14.02$　（相関係数：0.998）
E 車　$L_{AeqNK}=1.15L_{AeqN:ST}-11.99$　（相関係数：0.985）
F 車　$L_{AeqNK}=0.90L_{AeqN:ST}+10.59$　（相関係数：0.999）
G 車　$L_{AeqNK}=1.17L_{AeqN:ST}-13.47$　（相関係数：0.999）
H 車　$L_{AeqNK}=0.92L_{AeqN:ST}+4.40$　（相関係数：0.999）
I 車　$L_{AeqNK}=0.87L_{AeqN:ST}+10.07$　（相関係数：0.998）

L_{AeqNK} ：検定路面に与える基準値
$L_{AeqN:ST}$：普通車（普通タイヤ）/路面騒音

4)　「検定路面に与える基準値」から RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音への換算式の算出

「検定路面に与える基準値」から RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音へ換算する換算式を算出した。低騒音舗装（3 種類）と密粒度舗装の検定路面を考慮した相関図を**図－14** に示す。また、密粒度舗装を考慮しない低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した相関図を**図－15** に示す。低騒音舗装（3 種類）と密粒度舗装の検定路面を考慮した換算式の相関係数は、0.231 と低い相関となった。これは、RAC 車の特殊タイヤは、通常のタイヤに比べエアポンピング音を増幅させて発生させることにより、低騒音舗装に比べ密粒度舗装の騒音値を、10dB 程度増幅させているためであり、相関が低くなったものと思われる。これに対して、密粒度舗装を考慮しない低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した換算式の相関係数は 0.998 と高い相関を示しており、これらの結果から、RAC 車の特殊タイヤへの換算は、密粒度舗装を考慮しない低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した換算式の方が良いと考える。また、この結果に合わせ、上記 3）で検討した各車の普通車から検定路面に与える基準値への換算式も「低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した換算式」の方が良いと考える。

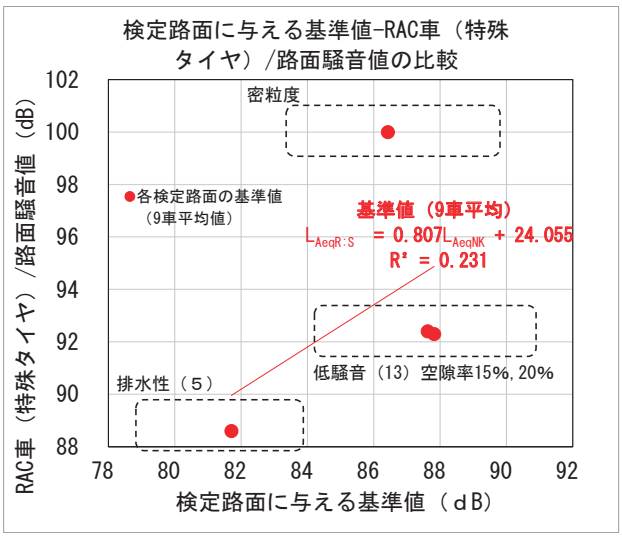


図-14　低騒音舗装（3 種類）と密粒度舗装の検定路面を考慮した相関図

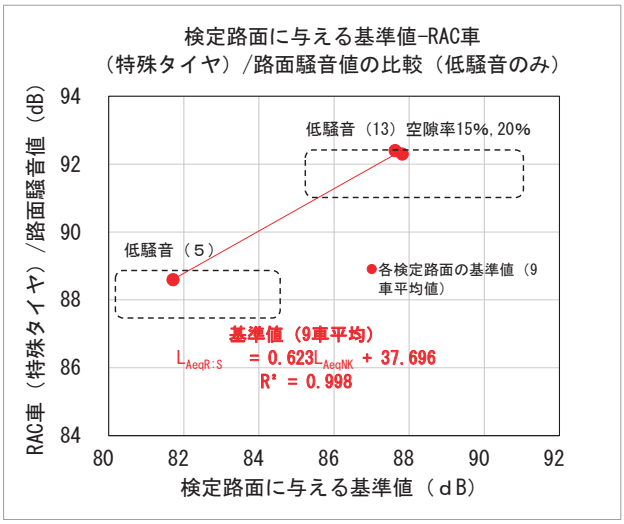


図-15　低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した相関図

下記に密粒度舗装を除外した低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した場合における「検定路面に与える基準値」から RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音への換算式は、下記のとおりである。

$L_{AeqR:S}=0.623\ L_{AeqNK}+37.696$　（相関係数：0.998）
$L_{AeqR:S}$ ：RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音

6.　普通車（普通タイヤ）/路面騒音から RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音への換算式の妥当性の確認

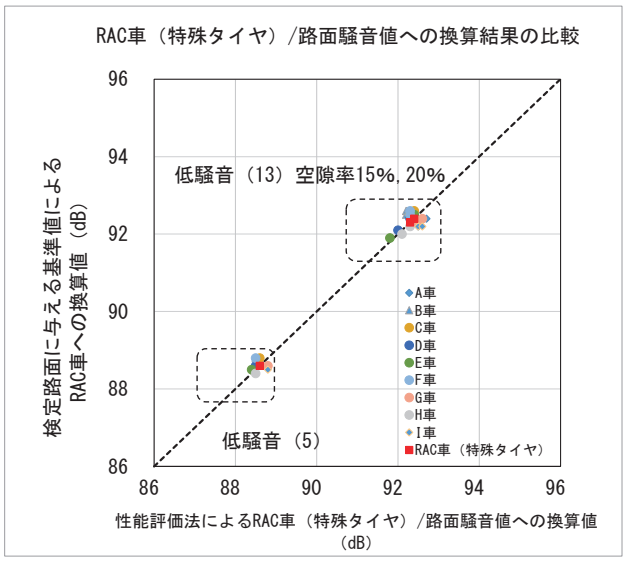
上記(3)4)で検証した**図－15** に示す普通車（普通タイヤ）/路面騒音から RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音

へ換算する換算式の妥当性を検証した。検証結果は以下のとおり。

(1)　舗装性能評価法の例と合っているかの検証

図－10 に示す舗装性能評価法による RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音への換算結果と本稿で提案する「検定路面に与える基準値」による RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音への換算結果の相関図を**図－16** に、各普通車の相関係数を**表－4** に示す。

換算結果を比較すると相関係数は、各普通車とも 0.99 以上であり、舗装性能評価法と概ね同等の換算結果であることから、本稿で提案する「検定路面に与える基準値」による RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音値への換算方法は、妥当であると考える。



図－16　舗装性能評価法と提案した「検定路面に与える基準値」による RAC 車への換算値の相関

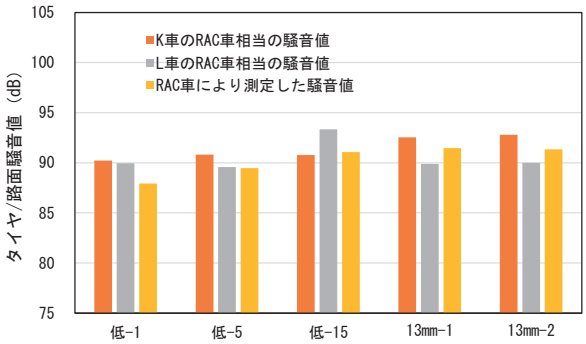
表-4　各普通車の相関係数

普通車	相間係数
A 車	0.992
B 車	1.000
C 車	0.999
D 車	1.000
E 車	1.000
F 車	1.000
G 車	0.999
H 車	0.999
I 車	1.000

(2)　過去の測定例から検証

供用中道路 5 箇所（低騒音舗装(二層式)：3 箇所、低騒音舗装(一層式･13mmtop)：2 箇所)において、K 車、L 車の 2 車の普通車と RAC 車で測定した結果を用いて、換算式の妥当性を検証した。

図－17 に RAC 車(特殊タイヤ)による測定結果と、本稿で提案する「検定路面に与える基準値」を用いて RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音に換算した結果を示す。**表－5** に各普通車(普通タイヤ)/路面騒音から RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音に換算した結果から RAC 車(特殊タイヤ)/路面騒音による測定値を引いた差(dB)を示す。その結果、K 車と L 車の結果では、最大で 2.3dB であり、RAC 車による測定値の約 2.5%と小さな誤差であった。このことから、本稿で提案する「検定路面に与える基準値」を用いて RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音に換算する方法は、概ね妥当であるといえる。



図－17　過去の東京都での測定例

表－5　各車の RAC 車との差（dB）

		K 車	L 車
①	低-1	2.3	2.0
②	低-5	1.3	0.1
③	低-15	-0.3	2.3
④	13mm-1	1.1	-1.6
⑤	13mm-2	1.5	-1.3

(3)　普通車（普通タイヤ）で低騒音舗装を新たに測定した騒音値から RAC 車（特殊タイヤ）へ換算可能か妥当性の検証

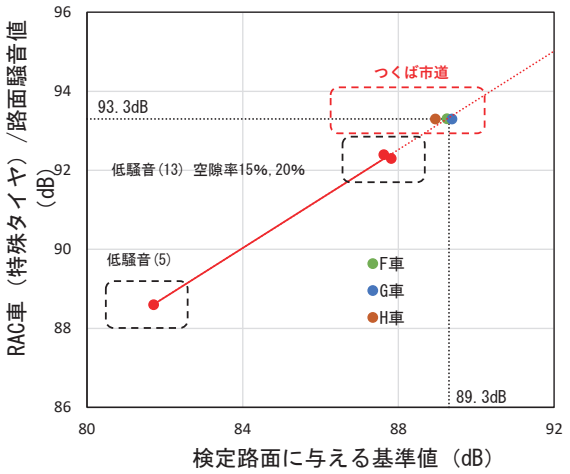
つくば市道に施工されている低騒音舗装を 3 車の普通車(普通タイヤ)/路面騒音と RAC 車(特殊タイヤ)

/路面騒音を測定した結果を本稿で提案する換算式に当てはめ、換算可能か妥当性を検証した。

図－18 では、本稿で提案する「低騒音舗装（3 種類）のみの検定路面を考慮した換算式」を用いて 3 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音を RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音に換算した結果と、RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音の実測値との結果を比較した。

また、**表－6** に 3 車の普通車（普通タイヤ）/路面騒音値と RAC 車（特殊タイヤ）/路面騒音値の実測値から「低騒音舗装（3 種類）のみを考慮した換算式」を用いて「検定路面に与える基準値」を算出し、結果を比較した。

その結果、3 車の普通車と RAC 車との差は、最大でも 0.4dB で、RAC 車と概ね同等の騒音値であることから、換算式は妥当であるといえる。



図－18　RAC 車への換算値結果

表－6　現場測定結果から提案した検定路面に与える基準値による RAC 車への換算結果

	普通車				RAC 車
	F 車	G 車	H 車	3 車平均	
(1)	87.4	87.9	91.9	89.1	93.3
(2)					89.3
(3)	89.3	89.4	88.9		
(4)	0.0	0.1	-0.4		

7.　まとめ

本稿は、RAC 車廃車後の路面騒音測定の代替として、今後の低騒音舗装等における普通車を用いた騒音評価手法について検証したものであり、「普通車－RAC 車換算式」は適用可能であると考えられる。