

# タイヤ / 路面騒音に及ぼす影響要因の検討

寺田剛<sup>1</sup>・源 厚<sup>2</sup>・伊藤正秀<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 主任研究員

(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

<sup>2</sup>非会員 株式会社渡辺組 技術研究所 第一研究室 室長

(〒300-0421 茨城県稲敷郡美浦村大字木原2801-1)

<sup>3</sup>正会員 独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 上席研究員

(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

現在、性能規定発注方式や総合評価受注方式等の騒音竣工検査に用いられている舗装路面騒音測定車は数が限られているため、各工事においては測定実施時期の調整に苦慮している。今後、施工段階、管理段階でのタイヤ / 路面騒音の評価を行う回数が更に増大するため、路面騒音を測定できる試験装置の開発の要望が高い。このため、土木研究所では、民間 17 社 7 グループと平成 13 年～15 年度の 3 年間に共同研究「タイヤ / 路面騒音測定装置の開発」を行った。

本報告では、この中で検討したタイヤ / 路面騒音測定に影響する要因について報告する。

**Key Words :** noise measurement, tire/road noise, the tire approaching method, influence factor

## 1. はじめに

近年、環境への負荷を軽減する舗装が求められており、騒音低減性能の高い低騒音舗装の整備が進められている。また、舗装工事の調達方式にも、タイヤ / 路面騒音を性能指標とした性能規定発注方式が数多く発注されている。

しかし現在、直轄国道の性能規定発注の竣工検査に用いられている舗装路面騒音測定車は数が限られているため、各工事においては測定実施時期の調整に苦慮している。今後、施工段階、管理段階でのタイヤ / 路面騒音の評価を行う回数が更に増大するため、路面騒音を測定できる舗装路面騒音測定装置に替わる試験装置の開発の要望が高い。

このため、土木研究所では表-1 に示す民間 17 社 7 グループと平成 13 年～15 年度の 3 年間に共同研究「タイヤ / 路面騒音測定装置の開発」を行った。

本報告では、この中で検討したタイヤ / 路面騒音測定に影響する要因について報告する。

## 2. 試験内容

### (1) タイヤ / 路面騒音測定に及ぼす影響要因の検討

タイヤ / 路面騒音測定を実施する際には、その測定に影響を及ぼす様々な要因が存在する。様々な機関がこれまで行ってきた測定から得た知見<sup>1)</sup>、また内外の騒音測定にかかわる規格で示されている測定法を参考にタイヤ / 路面騒音に影響すると思われる影響要因の抽出を行い、その影響についての調査・検討を行った。なお、今回検討を行った項目は、これまでに他機関等で

表-1 共同研究参加会社

| グループ | 会 社 名                                                                                       |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| A    | 東亜道路工業(株), 大林道路(株), 佐藤道路(株), 東京舗装工業(株), ニチレキ(株), 日本道路(株), 前田道路(株), (株)渡辺組, 福田道路(株), 大有建設(株) |
| B    | (株)パスコ, 大成ロテック(株)                                                                           |
| C    | (株)ガイアートT・K                                                                                 |
| D    | (株)NIPPOコーポレーション                                                                            |
| E    | 世紀東急工業(株)                                                                                   |
| F    | 石川島播磨重工業(株)                                                                                 |
| G    | (株)オリエンタルコンサルタンツ                                                                            |

検討を行っていない要因に絞って試験を実施し、タイヤ / 路面騒音測定方法に反映させた。

タイヤ / 路面騒音に影響する誤差要因は外的影響要因と内的影響要因に分けられる。

### a) タイヤ / 路面騒音測定に及ぼす外的影響要因

外的影響要因としては、表-2 に示すような要因が考えられるが、今回検討を行った項目は、表-2 に示すうち他機関等で検討を行っていない項目として、「測定環境に係わる要因」では 測定時の温度(気温、路面、タイヤ)、路面水分、測定速度、予備走行、併走・対向車両、道路側近の壁と「測定装置に係わる要因」では タイヤ溝深さと摩耗量、タイヤ温度の項目について調査・検討を行った。

表 - 2 タイヤ / 路面騒音測定に及ぼす外的影響要因

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

表-3 各工区に使用した表層混合物の種類

| 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。

#### b) タイヤ / 路面騒音測定に及ぼす内的影響要因

内的影響要因は、外的要因で解決できない測定値の精度に係わる要因であり、有効データ数、測定精度、測定回数等があるが、今回は「測定回数」について検討を行った。

#### (2) 検討を行った評価用路面

タイヤ / 路面騒音は、タイヤが接触する路面性状が大幅に影響することから、今回新しく土木研究所構内にある舗装走行実験場大ループの東側直線部分に評価用路面を構築した。

##### a) 表層混合物

今回施工した評価用路面には、低騒音舗装と比較するために密粒度、性能規定発注における評価値である、89dB・90dB 付近のデータを多く得るために、排水性舗装を4種類、騒音評価の幅を広げるために、排水性舗装よりもさらに高い騒音低減効果が期待できる多孔質弾性舗装の6種類の混合物を適用することとした。表層各工区に使用した混合物の種類は、表-3に示すとおりである。なお、各混合物の厚さは5cmである。

##### b) 施工箇所の平面図

施工した評価用路面の平面図を図-1に、概観を写真-1に示す。幅員2.8m×60mの走行レーンを3本確保し、各舗装は延長60mとした。

また、各表層混合物の配置にあたっては、タイヤ / 路面騒音測定時に、表層の種類が変わる中間のジョイント部分における残響音の影響を少なくするために、騒音値が小さいと想定されるものを車両走行方向に向か

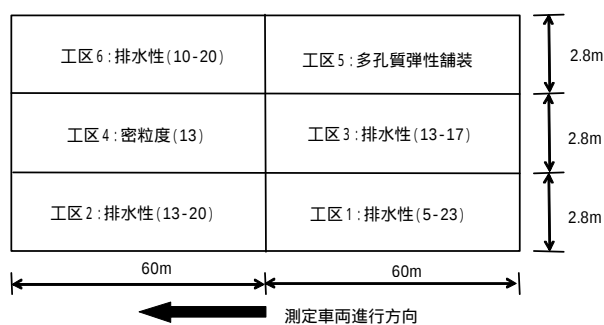


図-1 施工箇所平面図



写真-1 構築した評価用路面

て手前に大きいと想定されるものを奥に配置している。

#### c) 検討したタイヤ / 路面騒音測定装置

本共同研究で検討したタイヤ / 路面騒音測定装置は、14社14装置がタイヤ近接音測定装置、2社1装置が吸音特性測定装置（スピーカから路面に向けて音を反射し、吸音率と同様の吸音特性値によってタイヤ / 路面騒音を推定する装置）、1社1装置が反射音測定装置（スピーカから路面に向けてピンクノイズを反射し、帰ってくる音量を測定することによってタイヤ / 路面騒音を推定する装置）であるが、本報告では、このうちのタイヤ近接音測定装置の検討結果について報告する。

### 3. 試験結果

#### (1) 測定速度の影響について

測定速度を変化させて騒音測定を行ったA装置の一例を図-2に示す。各装置とも同様の傾向を示し、測定速度の増加とともにタイヤ / 路面騒音レベルは増加することが確認された。表-4に各装置毎に速度と騒音レベルから求めた回帰式の数値勾配を比較した結果を示す。各装置の密粒舗装の速度勾配が空隙を有する排水性舗装と比べて大きくなっている。また、各装置間の速度勾配は一定ではなく、車両やタイヤサイズの違い、或いはマイクロホンの取り付け位置の相違などによる測定車両固有の勾配と考えられる。

また、速度依存性があることが分かった。よって、必要に応じて速度補正をしなければならない。

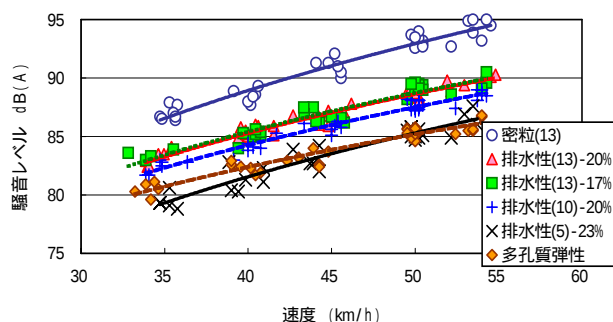


図-2 測定速度とタイヤ/路面騒音の関係  
(A 装置)

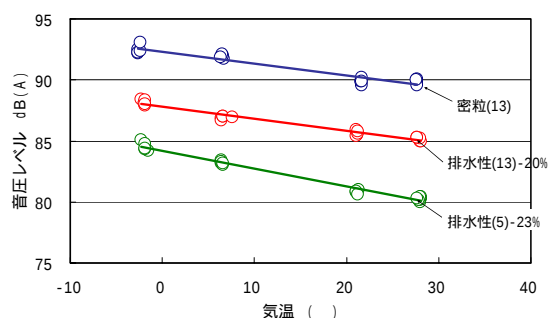


図-3 気温とタイヤ騒音の関係例(A 装置)

表-4 タイヤ/路面騒音の回帰分析結果(全装置)

| 舗装種 |      | 密粒13  | 排水性<br>(13)<br>20% | 排水性<br>(13)<br>17% | 排水性<br>(10)<br>20% | 排水性<br>(5)<br>23% | 多孔質<br>弾性<br>舗装 |
|-----|------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| 項目  | 速度勾配 | 41.11 | 31.44              | 32.41              | 31.19              | 32.23             | 32.422          |
|     | 最大値  | 47.08 | 36.73              | 36.31              | 35.41              | 39.4              | 35.465          |
|     | 最小値  | 36.88 | 25.76              | 23.97              | 26.42              | 24.88             | 27.82           |
|     | 標準偏差 | 2.383 | 2.861              | 3.087              | 2.544              | 5.01              | 2.194           |

表-5 各温度とタイヤ/路面騒音値との相関(A 装置)

| 工区             | 路面温度    |         | タイヤ温度   |         | 気温      |         |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | 回帰係数    | 相関係数(R) | 回帰係数    | 相関係数(R) | 回帰係数    | 相関係数(R) |
| 密粒度            | -0.0452 | -0.9470 | -0.0691 | -0.9286 | -0.1023 | -0.9261 |
| 排水性<br>(13)20% | -0.0549 | -0.8675 | -0.0793 | -0.8438 | -0.1442 | -0.9422 |
| 排水性<br>(13)17% | -0.0605 | -0.9209 | -0.0917 | -0.8988 | -0.1442 | -0.9547 |
| 排水性<br>(10)20% | -0.0553 | -0.8160 | -0.0899 | -0.8673 | -0.1322 | -0.9308 |
| 排水性<br>(5)23%  | -0.0624 | -0.7894 | -0.1127 | -0.8415 | -0.1824 | -0.9192 |
| 多孔質弾<br>性舗装    | -0.0461 | -0.8169 | -0.1003 | -0.8892 | -0.1448 | -0.9278 |

## (2) 測定時の温度影響について

1回の騒音測定終了後に気温、路面温度、タイヤ温度を測定した。また、騒音測定は、10分以上もしくは10km以上の慣らし運転を行い、タイヤ温度がほぼ一定になった状態で行った。気温、路面温度、タイヤ温度とタイヤ/路面騒音値の関係は表-5に示すとおり、いずれもタイヤ/路面騒音との相関が認められた。しかし、路面温度とタイヤ温度は、気温に比べて現地計測が難しく値がばらついていることから、表-5に示すようにタイヤ/路面騒音値との相関が気温に比べて低い結果となった。気温の関係は、図-3に示すように気温の増加とともにタイヤ/路面騒音レベルが減少することが確認された。よって、測定の容易さ、タイヤ騒音との相関の高さから、温度補正に気温を用いることにした。

なお表中、回帰係数が負の値(右下がり勾配)を示すのは、気温及び路面温度の上昇に伴ってタイヤ温度も上昇し、タイヤ構成材料の剛性が低くなり、パターンおよび路面加振音が低下すること

が原因と推測される。

また、温度依存性があることがわかった。よって、必要に応じて温度補正をしなければならない。

## (3) 舗装内に残留している水分の影響について

排水性舗装のタイヤ/路面騒音の測定では、降雨後の舗装内に残留している水分が騒音値に影響することが考えられる。暫定路面において、散水約12時間後と約36時間後に測定を実施し、騒音値の変化を調べた結果を図-4に示す。

騒音値の変化は、舗装種によって差異があり、10mmと13mmは24時間程度で最小となり、5mmと多孔質弾性は36時間程度で最小となっていることから、小粒径の混合物や空隙率が小さくなっている排水性の場合、小粒径の混合物や空隙率が小さくなっている排水性舗装の場合、36時間後でも水分による騒音値への影響が若干認められるが、降雨後24時間以上経過してから測定を開始すれば問題ないと思われる。なお、小粒径混合物の場合や

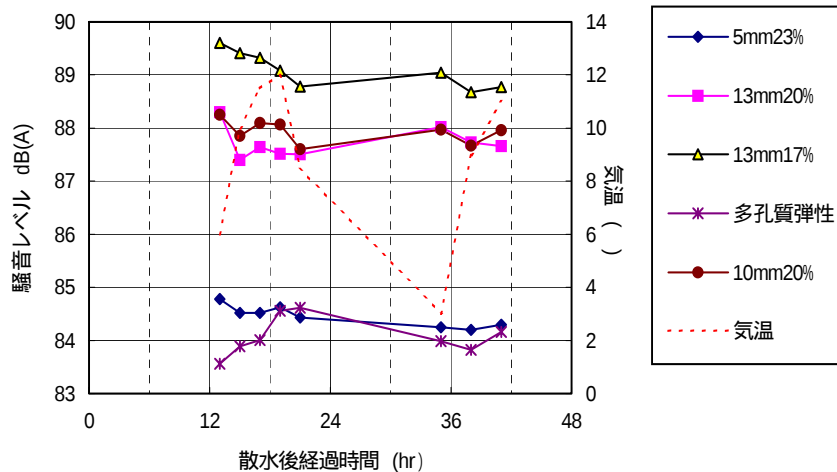


図-4 散水後のタイヤ/路面騒音値の変化(I装置)

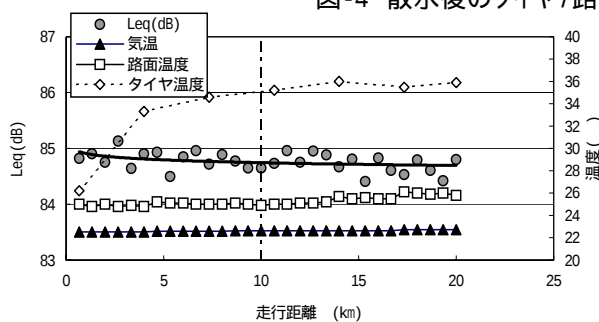


図-5 走行開始から距離と騒音値の関係(A 装置)

供用後の舗装を測定する場合、特に冬季では降雨後 36 時間以上空けて測定を行った方が良い場合がある。

#### (4) 予備走行について

タイヤが冷えた状態で測った場合と測定で暖まった状態で、騒音値に与える影響を試験した。

停止状態からの走行距離と騒音値の変化を調べた結果を図-5 に示す。20 km 走行後の気温は 22.5 から 22.7 、路面温度が 24.8 から 26.1 と殆ど変化がなかったが、測定車のタイヤ温度は 26.2 から 36 と 10 上昇した。この影響から騒音値も減少傾向が見られた。予備走行は、騒音値やタイヤ温度変化が概ね安定する 10 km 以上で行うことが良いことが分かった

#### (5) タイヤ溝深さの影響について

タイヤの摩耗が騒音値に与える影響として、タイヤのトレッド溝深さの摩耗量と走行距離の変化と騒音値の関係を調べた。タイヤのトレッド溝深さと騒音値の変化を調べた結果を図-6 に示す。タイヤ/路面騒音測定は、総合評価発注方式では  $\pm 0.2\text{dB(A)}$  以下の精度が要求されることから、騒音値の変化が無いことが望ましい。図-6 に示す結果から、排水性と密粒では若干の差はあるものの摩耗量が 0.3mm 位までなら変化が少なくと考えられることから、これを測定タイヤの使用限度の目

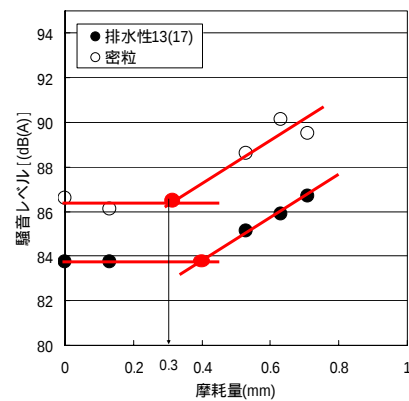


図-6 タイヤ摩耗量と騒音値の関係(N装置)

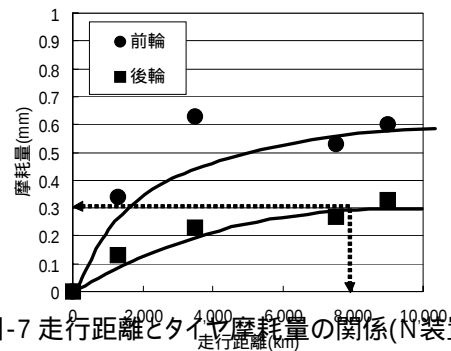


図-7 走行距離とタイヤ摩耗量の関係(N装置)

安とした。この摩耗量は走行距離にして、図-7 に示すとおり、測定タイヤ（後輪）でおよそ 8,000 km であった。

#### (6) 道路側近の壁の影響について

タイヤ近接音測定装置にはマイクロホンが舗装路面騒音測定車のように音響箱に覆われておらず、暗騒音の影響を受ける可能性がある。よって、この影響を調べるため、測定車線の左側に高さ約 1 m の木製パネルを設置し、測定車と壁との距離を変えた際の騒音値の変化を調べた。14 装置は音響箱に覆われていない同じ機構であるため、代表として A 装置を用いて試験した。その結果を図-8 に示

す。壁がない場合と比べて 2 m 程度までその反射音によって騒音値が 0.3 dB(A)程度大きくなることが確認された。また、右側に壁がある場合の測定も試みたが、明確な差異は確認できなかった。このような測定車線の側近に壁がある場合の測定では、除外区間にするのか、或いは一定数値で減じて評価していくのかなど、更に検討する必要がある。

## (7) 併走・対向車両の影響について

タイヤ近接音測定装置にはマイクロホンが舗装路面騒音測定車のように音響箱に覆われておらず、暗騒音の影響を受ける可能性がある。よって、大型車が併走した場合の影響を調べるため、一般道におけるタイヤ/路面騒音の測定例を図-9 に示す。測定は3回行い、2回は大型車の併走なし、1回は80～120mの区間だけ大型車が併走した。その間のタイヤ/路面騒音値は、併走車がない場合に比べて2 dB以上大きくなっていた。このような影響は対向車の場合でも大型ディーゼル車では影響するため、測定データから除外、あるいは再測定する必要がある。

また乗用車クラスのカソリン車の場合では、大型車のような明確な違いが把握できていないが、影響がありそうな場合は、測定回数を多くして他のデータと照合し、測定データとしての採否を判断することが望ましい。

## (8) 測定回数と精度の関係

タイヤ/路面騒音測定において、いくつかのデー

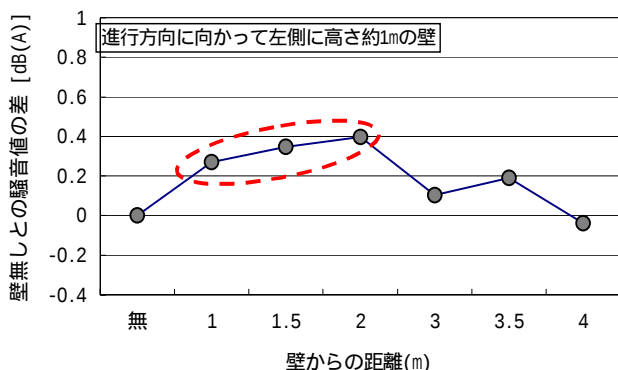


図-8 道路側近の壁と騒音値の関係(A装置)

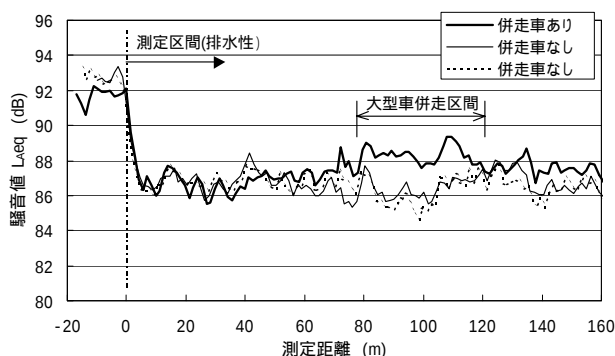


図-9 大型車が併走した場合のタイヤ/路面騒音測定

## 結果(J装置)

タを採取すれば、対象とする現場の騒音値（母標準偏差 $\sigma$ ）を統計上正確に表現しているか、統計的な検討を行い、採取する測定回数（データ数）について検討した。

母標準偏差 $\sigma$ を精度よく推定するにはデータ数は多い方がよいが、実際の測定、試験では様々な制約から、データの採取数が制限されてしまうのが現状である。したがって、必要最小限のデータ数を決めるために、目的とする統計的判定が可能であるかどうかについての検討を行った。

母集団から採取されたデータから求められるばらつき $\sqrt{v}$ （不偏分散平方根または標準偏差 $s$ とも呼ばれ、母標準偏差 $\sigma$ と区別されている）は、母標準偏差 $\sigma$ と以下の関係がある。

$$\sigma \text{ (推定値)} = \sqrt{v} / c_2^* \text{ (式 (1))}$$

式(1)の $1/c_2^*$ は、データの $\sqrt{v}$ の補正值で、データ数によって表-6のように決まっている。表から、補正值 $1/c_2^*$ が、データ数2～4個で大きく減少し、データ数は5個以上で緩やかに減少し1に近づいていくことが分かる。これは $\sqrt{v}$ が母標準偏差 $\sigma$ に近づいていくことと同じである。このようなことから、母標準偏差 $\sigma$ を精度良く推定できる必要最小限のデータ数は5個程度である。

表-6 データ数と $\sqrt{v}$ の補正值

| データ数              | $1/c_2^*$ | データ数 | $1/c_2^*$ |
|-------------------|-----------|------|-----------|
| 2                 | 1.253     | 14   | 1.019     |
| 3                 | 1.128     | 15   | 1.018     |
| 4                 | 1.085     | 16   | 1.017     |
| 5                 | 1.064     | 17   | 1.016     |
| 6                 | 1.051     | 18   | 1.015     |
| 7                 | 1.042     | 19   | 1.014     |
| 8                 | 1.036     | 20   | 1.013     |
| 9                 | 1.032     | 25   | 1.010     |
| 10                | 1.028     | 30   | 1.009     |
| 11                | 1.025     | 40   | 1.006     |
| 12                | 1.023     | 50   | 1.005     |
| 13                | 1.021     | 100  | 1.003     |
| データ数20以上 $1+1/4n$ |           |      |           |

表-7 測定データ(例)

| 日付    | 時刻   | d B   |
|-------|------|-------|
| 7月23日 | 5:34 | 89.46 |
| 7月23日 | 5:41 | 89.21 |
| 7月23日 | 5:43 | 89.46 |
| 7月23日 | 6:25 | 89.49 |
| 7月23日 | 6:32 | 89.39 |
| 7月23日 | 6:34 | 89.47 |
| 7月23日 | 6:36 | 89.78 |
| 7月23日 | 7:06 | 89.26 |
| 7月23日 | 7:09 | 89.55 |
| 7月23日 | 7:17 | 89.21 |
| 7月23日 | 7:48 | 89.26 |
| 7月23日 | 7:51 | 89.35 |
| 7月23日 | 7:53 | 89.51 |

表-8 測定データ(例)の統計量

| データ数  | 平均値   | $\sqrt{V}$ | $1 / c_2^*$ | $\sigma$ の推定値 |
|-------|-------|------------|-------------|---------------|
| 14    | 89.42 | 0.156      | 1.021       | 0.159         |
| 5     | 89.40 | 0.151      | 1.085       | 0.164         |
| 7月23日 |       | 7:55       | 89.50       |               |

次に共同研究の測定結果において、表-7 の全データ ( $n = 14$ ) とそこからランダムに 5 個抽出したデータの統計量を求めた。その結果を表-8 に示す。この結果ではデータ数 14 個と 5 個の平均値、ばらつき、 $\sigma$  (補正後) には差がなく、データ数 5 個でも十分な精度があると推察できる。

以上のことから、性能値の判定に必要な精度が得られる必要最小限のデータ数として測定回数を 5 回とした。

#### 4. まとめ

タイヤ / 路面騒音測定に影響する要因について、検討した結果をまとめると以下の通りである。

##### (1) 測定速度の影響について

測定速度とタイヤ / 路面騒音レベルの関係は相関があることが確認された。また、速度依存性があることがわかった。よって、必要に応じて速度補正をしなければならない。

##### (2) 測定時の温度影響について

路面温度とタイヤ温度は、気温に比べて現地計測が難しく値がばらついていることからタイヤ / 路面騒音値との相関が気温に比べて低い結果となった。よって、測定の容易さ、タイヤ騒音との相関の高さから、温度補正に気温を用いることにした。また、温度依存性があることがわかった。よって、必要に応じて温度補正をしなければならない。

##### (3) 舗装内に残留している水分の影響について

騒音値の変化は、舗装種によって差異があるものの降雨後 24 時間以上経過してから測定を開始すれば問題ないと思われる。

##### (4) 予備走行について

予備走行は、騒音値やタイヤ温度変化が概ね安定する 10 km 以上で行うことが良いことが分かった。

##### (5) タイヤ溝深さの影響について

騒音に影響するのは、摩耗量 0.3 mm、走行距離 8,000 km であり、これを測定タイヤの使用限度の目安とした。

##### (6) 道路側近の壁の影響について

壁がない場合と比べて壁との距離が 2 m 程度までは反射音によって騒音値が 0.3 dB(A) 程度大きくなることが確認された。

##### (7) 併走・対向車両の影響について

大型車が併走するとタイヤ / 路面騒音値は、併走車がない場合に比べて 2 dB 以上大きくなった。このため、騒音値に影響のある場合は測定データから除外、あるいは再測定する必要がある。

##### (8) 測定回数と精度の関係

性能値の判定に必要な精度が得られる必要最小限のデータ数として測定回数を 5 回とした。

#### おわりに

本報告は、共同研究の中で検討したタイヤ / 路面騒音測定に影響する要因の検討結果のみであり、共同研究の最終成果である検定方法、現場測定方法、開発したタイヤ / 路面騒音測定装置については、別の機会に報告する予定である。

#### 参考文献

- 1) 岡部俊幸、寺田剛：タイヤ / 路面騒音 (タイヤ近接法) の測定条件に及ぼす各種影響因子の検討、舗装、pp13 ~ 18、2003.vol.38、No.4
- 2) 新版品質管理便覧、日本規格協会、p794、1982.9

## A STUDY OF THE INFLUENCE FACTOR EXERTED ON TIRE/ROAD NOISE

Masaru TERADA, Atushi MINAMOTO, Masahide ITO

Since there are few tire/road noise measurement cars used for completion inspection of performance regulation formula construction, comprehensive evaluation formula construction, etc., the owner is anxious by adjustment of measurement time. Since the number of times which evaluates the tire/road noise in a construction stage and a management stage will increase further from now on, the request of development of the examination equipment which can measure tire/road noise is high. For this reason, in the Public Works Research Institute, joint research "development of tire/road noise measurement equipment" was performed in three years [2001- 2003] with 17 companies (7 groups). This paper reports the factor which influences the tire/road noise measurement considered in this development.