

ゴム弾性舗装の弾力性と低騒音性に関する検討

小林昭則¹，平川一成²，島 広志³，丸山暉彦⁴

¹ 正会員 大成ロテック(株)生産技術本部技術部(〒 365-0027 鴻巣市上谷 1456)

E-mail:akinori_kobayashi@taiseirotec.co.jp

² 正会員 工修 大成ロテック(株)生産技術本部技術研究所(〒 365-0027 鴻巣市上谷 1456)

³ 正会員 博(工) (株)ブリヂストン研究開発本部(〒 187-8531 小平市小川東町 3-1-1)

⁴ 正会員 工博 長岡技術科学大学 環境・建設系 教授(〒 940-2188 長岡市上富岡町 1603-1)

ゴム弾性舗装は，従来の排水性舗装より高い騒音低減効果が得られ，その騒音低減効果は，舗装体の吸音性，軟らかさ，衝撃吸収性およびこれらに影響を及ぼす舗装厚等に影響を受けると考えられる．今回，車両走行騒音，ショッピングカート騒音に及ぼす要因として後者の”衝撃吸収性”を取りあげ，室内試験ではゴム弾性舗装の衝撃加速度とタイヤ落下衝突音について，試験施工では衝撃加速度と普通車騒音および静的ばね定数とショッピングカート振動との関連について検討した．その結果，ゴム弾性舗装の衝撃加速度および静的ばね定数は，車両走行騒音やショッピングカート振動と密接な関係にあることを確認した．

Key Words : rubber elastic pavements, elasticity, spring constant, impulsive acceleration, tire/road noise

1. はじめに

タイヤリサイクルゴムチップ(以下，ゴムチップという)を主要材料に用いた多孔質なゴム弾性舗装は，ゴムチップと細骨材とバインダによる混合物を現位置で製造，敷設した舗装で，従来の排水性舗装より高い騒音低減効果を有し，効果の持続性も排水性舗装より長くなることが知られてる^{1),2)}．また，多孔質なゴム弾性舗装は，速度 30km/h 以下の低速走行騒音も大幅に低減できるとともに，普通車相当の騒音源であるショッピングカート騒音も大幅に低減できることが明らかになっている³⁾．これまでの研究から，ゴム弾性舗装の低騒音性は，舗装体の吸音性，軟らかさ，衝撃緩和性およびこれらに影響を及ぼす舗装厚などと密接な関係があると考えられるが，これら要因と低騒音性の関係は明らかになっていない．

今回，ゴム弾性舗装の軟らかさと衝撃吸収性(以降，これらを併せて弾力性と称す)に着目し，室内試験および試験施工から普通車走行騒音，ショッピングカート騒音と弾力性の関係について検討した．以下に，検討方法および結果について報告する．

2. 検討の手順

本検討では，室内試験によりゴム弾性舗装の弾力性とタイヤ騒音の関係把握を目的に，スチレン・ブタジエン・ゴム板(以下：SBR 板という)と多孔質なゴム弾性舗装材(以下：ゴム弾性という)の静的ばね定数と

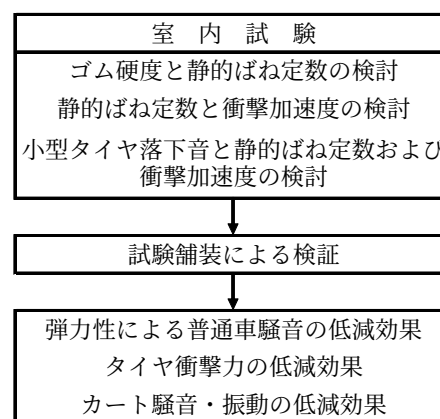


図-1 検討フロー

タイヤ落下衝突音および衝撃加速度とタイヤ落下衝突音の関係から，弾力性の影響について検討した．試験施工では，弾力性(軟らかさ，衝撃緩和性)が実車騒音やカート騒音・振動の低減効果に及ぼす影響について検証を行った．図-1に検討のフローを示す．

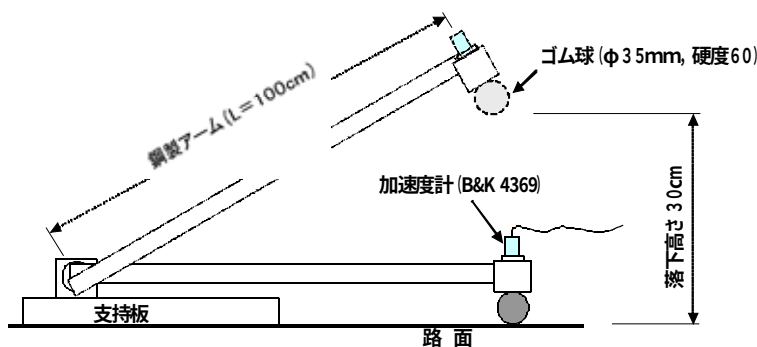


図-2 衝撃加速度測定装置

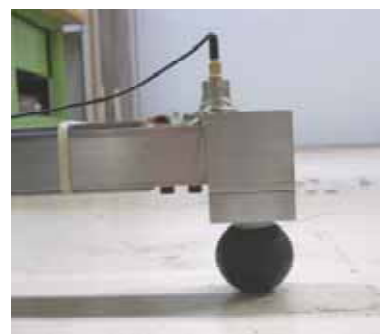


写真-1 試験装置ゴムヘッド

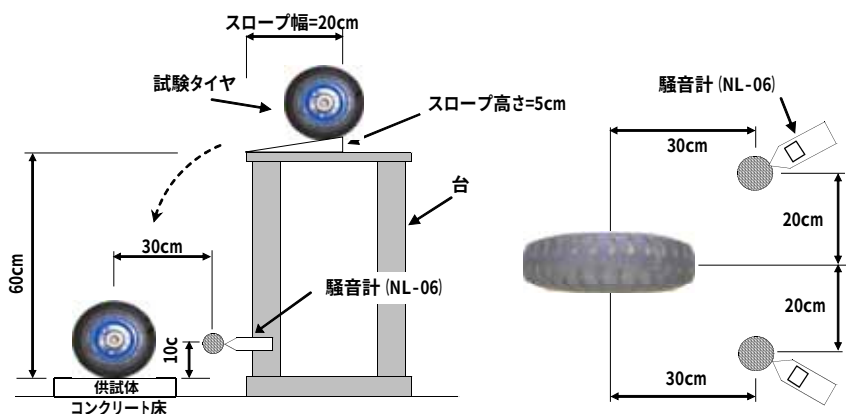


図-3 小型タイヤタイヤ落下試験方法



写真-2 試験タイヤ

3. 室内実験

(1) ゴム系弾性舗装材

室内実験に使用したゴム系弾性材料には、ゴム硬度が 40, 60, 80 で厚さが 15mm と 25mm の SBR 板および最大粒径 5mm のゴムチップと細骨材とバインダ（ウレタン樹脂）の容積配合比率が 56.3 : 18.7 : 25 で、厚さが 15mm と 25mm, 空隙率 30% のゴム弾性舗装材（以下、ゴムチップと細骨材の比率が 75:25 の配合をゴム弾性 G75 という）を用いた。

(2) 静的ばね定数試験方法

ゴム系弾性舗装材の 20℃における静的ばね定数を、防振ゴムの試験方法⁴⁾に基づいて求めた。なお、試験に用いた供試体は縦・横 300mm, 鋼製貫入棒の直径は 25.4mm である。また、試験にあたっては、載荷速度 4mm/min で 5 回測定し、結果を算術平均した。

(3) 衝撃吸収性試験方法

各舗装材の衝撃吸収性を評価する目的で「床衝撃音発生装置（JIS A1418-2）」を参考に図-2、写真-1に示す装置を考案し、20℃における SBR 板とゴム弾性 G75 について衝撃加速度を測定した。試験は、長さ 100cm の鋼製アームの先端に、直径 35mm の市販ドア取っ手用ゴム球（硬度 60：タイヤゴム硬度程度）を取り付

け、高さ 30cm より自由落下させた時の衝撃加速度を、先端に取り付けた加速度計（B&K4369）で測定するものである。なお、測定は 3 回行い結果を算術平均した。

(4) タイヤ落下試験方法

タイヤ落下試験法は、タイヤを一定の高さから供試体に落下させ、その時に発生するタイヤと路面の衝突音を測定するもので、排水性混合物の騒音低減効果を評価できるといわれている⁵⁾。今回、過去の研究例を参考に、ラグパターンの軽量小型タイヤ（タイヤサイズ：5.30-5, 空気圧：100kPa, 重量：3.5kg）を用いた簡易なタイヤ落下騒音発生装置を考案し、各舗装材の 20℃における SBR 板およびゴム弾性 G75 のタイヤ衝突騒音ピーク値を 5 回測定した。小型タイヤ落下試験方法の概要を図-3に、試験タイヤを写真-2に示す。

4. 室内検討結果

(1) ゴム系弾性材料の硬さと衝撃吸収性の関係

図-4に SBR 板の 20℃におけるゴム硬度と静的ばね定数の関係を示す。SBR ゴム板は、ゴム硬度が大きくなると静的ばね定数も大きくなる関係にある。また、SBR ゴム板の静的ばね定数は、ゴム硬度が同一でも厚さ 15mm と 25mm では薄い方が大きく、厚さにより静的ばね定数が変化する。これらのことから、ゴム系

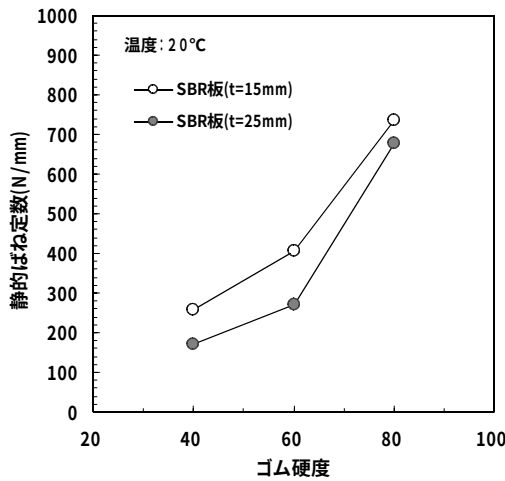


図-4 ゴム硬度と静的ばね定数の関係

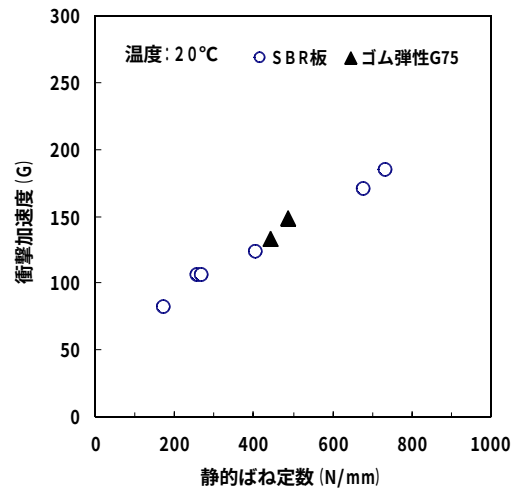


図-5 静的バネ定数と衝撃加速度の関係

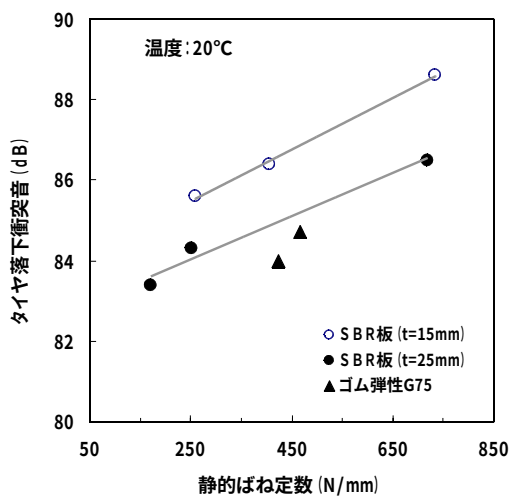


図-6 静的ばね定数とタイヤ落下衝突音の関係

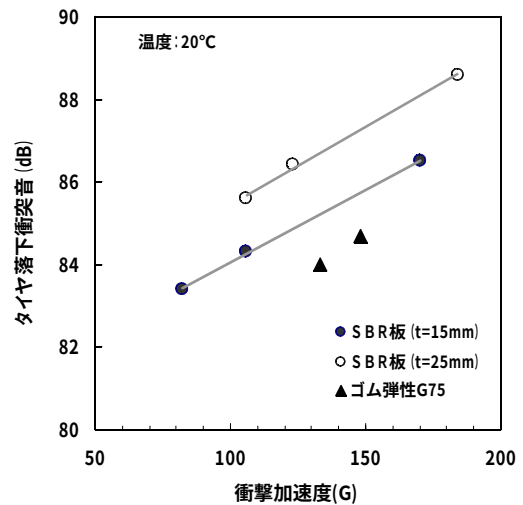


図-7 衝撃加速度とタイヤ落下衝突音の関係

弾性材料の硬さ評価には、静的ばね定数を用いることが適当と考える。図-5に、SBR板とゴム弾性G75(t=15mm, t=25mm)の20℃における衝撃加速度測定結果を示す。図より、“静的ばね定数と衝撃加速度の関係”は、SBR板およびゴム弾性G75とも、ほぼ同一直線上にある。また、静的ばね定数が大きくなるにしたがい衝撃加速度も大きくなることから、弾力性の一指標であるゴム硬度を衝撃加速度で評価できることがわかった。

(2) タイヤ落下衝突音の評価

20℃におけるSBR板およびゴム弾性G75の“静的ばね定数とタイヤ落下衝突音の関係”を図-6に、SBR板の“衝撃加速度とタイヤ落下衝突音の関係”を図-7に示す。図-6より、“静的ばね定数とタイヤ落下衝突音”には直線関係が認められ、静的ばね定数が大きくなるにしたがい、タイヤ落下衝突音も大きくなることわかる。また、回帰直線から見たSBR板のタイヤ

落下衝突音は、厚さ15mmと25mmでは約2dBの差が見られ、同じ静的ばね定数でも薄いタイヤ落下衝突音が大きくなると推察される。また、SBR板の衝撃加速度とタイヤ落下衝突音の関係は図-7に示すとおり、“衝撃加速度とタイヤ落下衝突音”にも直線関係が認められ、衝撃加速度によりタイヤ落下衝突音の評価が可能である。

一方、ゴム弾性G75タイヤ落下衝突音は図-6, 7に示すとおり、多孔質な舗装材の吸音性によりSBR板よりさらに小さくなることがわかった。

5. 試験施工による検証

(1) 試験施工の概要

a) 目的

室内試験により、弾力性に富むゴム系弾性材料の硬さ、衝撃吸収性およびタイヤ落下衝突音は、静的ばね定数や衝撃加速度により評価できることを確認できた。

表-1 普通車騒音測定用のゴム弾性舗装

舗装名	容積配合比 (%)		
	ゴムチップ	細骨材	バインダ
ゴム弾性G70	56	24	20
ゴム弾性G50	40	40	20
ゴム弾性G30	24	56	20

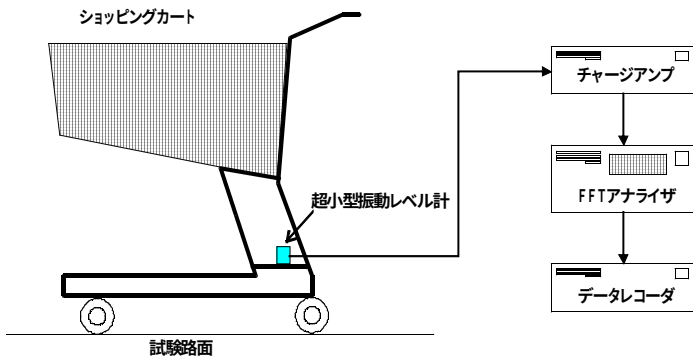


図-9 カートの振動加速度レベル試験方法の概要

そこで、実際の舗装路面における普通車騒音およびカート騒音等を測定し、静的ばね定数や衝撃加速度から見た効果の検証を試みた。

b) 普通車走行騒音測定用の試験舗装

普通タイヤ騒音の測定に用いた舗装は、ゴム弾性舗装が、最大粒径 5mm のゴムチップと細骨材とバインダ(ウレタン樹脂)の容積配合比率を変化させた表-1に示す 3 種類(空隙率約 32 ~ 34%)とした。また比較用には、最大粒径 13mm、厚さ 50mm の密粒度アスファルト舗装(以下、密粒(13)という)、最大粒径 13mm、空隙率 20%、厚さ 50mm の排水性舗装(以下、排水性(13)という)を用いた。試験舗装の規模は、ゴム弾性舗装 G70、G50、G30 が延長 25m、幅 3.5m、厚さ 3cm、密粒(13)と排水性(13)が延長 50m、幅 3.5m、厚さ 5cm である。

c) カート騒音測定用の試験舗装

カート騒音の測定に用いた舗装は、ゴム弾性舗装が最大粒径 5mm のゴムチップと細骨材とバインダ(ウレタン樹脂)の容積配合比率を 56.3 : 18.7 : 25(以下、ゴム弾性 G75 という)としたものを、また比較用には、隣接する密粒(13)を用いた。各試験舗装の規模は、ゴム弾性舗装 G75 が延長 25m、幅 3.5m、厚さ 2.5cm、密粒(13)が、延長 25m、幅 3.5m、厚さ 5cm である。

(2) 試験方法

a) 普通タイヤの騒音測定方法

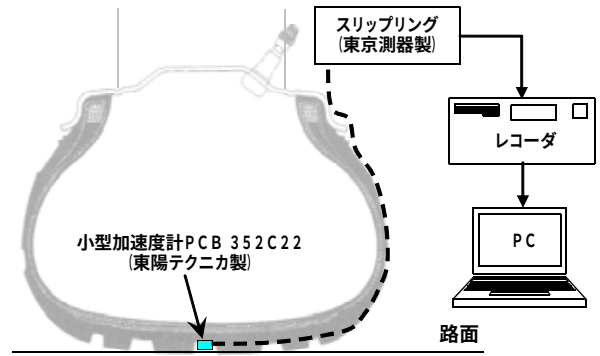


図-8 タイヤ側衝撃加速度測定方法の概要



写真-3 加速度計取付け状況

普通タイヤの騒音測定は通過騒音について行った。通過騒音は、普通車(タイヤサイズ：195/65R14、空気圧：196.2kPa、排気量 2000cc)を使用し、舗装中心(車両中心)から側方 7.5m で、高さ 1.2m の地点に騒音計(NL-06)を設置し、定常走行時(速度 50km/h)の通過騒音を 5 回測定した。

b) タイヤトレッドの衝撃加速度測定方法

タイヤと路面間の発生音には、タイヤと路面の接触によるトレッドパターン溝共鳴音、トレッドパターン加振音、タイヤ接地摩擦振動音、路面凹凸によるタイヤ加振音、エアポンピング音等がある⁹⁾。ゴム弾性舗装は、通常のアスファルト舗装に比べ軟らかいことから、タイヤ振動に伴う加振音も低減している可能性が高いと考えられる。そこで、タイヤへの衝撃力を測定するため、超小型加速度計をタイヤトレッド溝内(サイズ：195/65R14、空気圧：196.2kPa)に取り付け、ゴム弾性 G50 と密粒(13)を速度 50km/h(定常走行)で走行した時の加速度を測定した。測定方法の概要を図-8に示す。

c) 普通車試験路面の静的ばね定数および衝撃加速度の測定方法

各試験路面の静的ばね定数は、現場 CBR 試験装置の貫入棒直径を 25.4mm に変更し、室内試験と載荷速度で各 5 回測定した。また、衝撃加速度は室内試験と同一の装置を用いて各 5 回測定した。

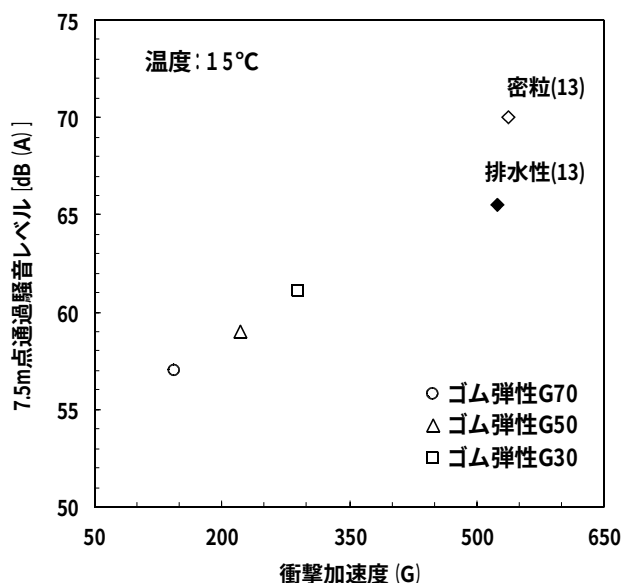


図-10 衝撃加速度と通過騒音レベルの関係

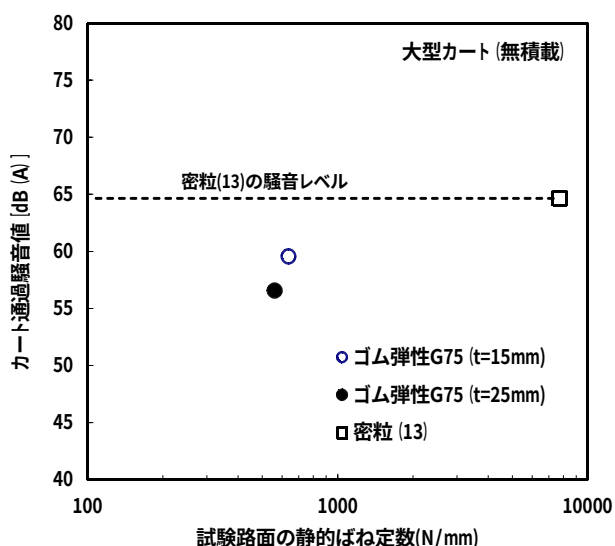


図-13 静的ばね定数とカート騒音値の関係

d) カートの騒音測定方法

カートの騒音レベルは、走行中心線から側方 2m、高さ 1.2m に設置した騒音計(NL-06)を用いて測定した。測定にあたっては、走行速度 4km/h(歩行速度程度)、無積載状態の大型カート通過騒音ピーク値を、ゴム弾性 G75(t=25mm, t=15mm)と密粒(13)について各 5 回計測した。

e) カートの振動加速度レベル試験方法

カートや荷さばき台車がゴム弾性舗装上を走行した場合には、密粒(13)に比べ 10dB 以上の騒音低減効果が得られている³⁾。そこで、ゴム弾性 G75(t=25mm, t=15mm)と密粒(13)について大型カートの振動レベルを測定し、ゴム弾性 G75 によるカート振動の低減効果について検証した。試験は、超小型の加速度計をカ

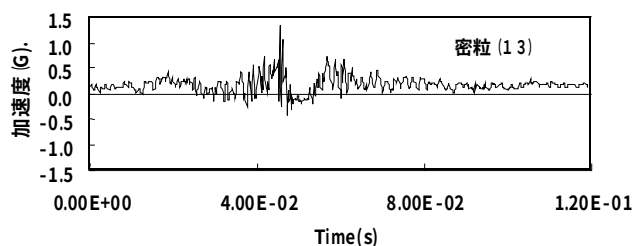


図-11 密粒(13) のタイヤトレッド加速度

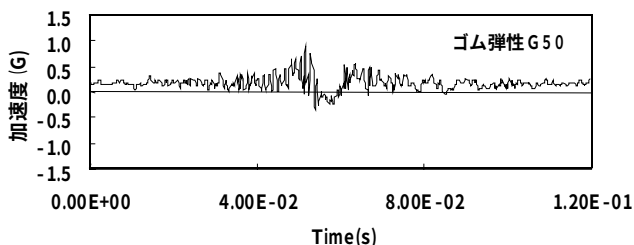


図-12 ゴム弾性 G50 のタイヤトレッド加速度

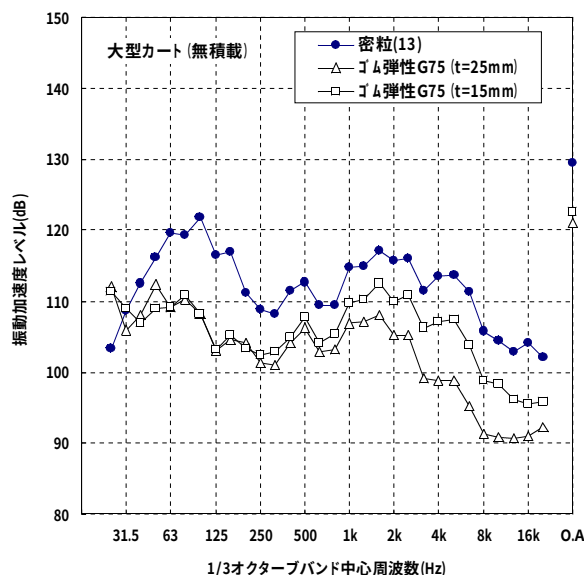


図-14 カート振動加速度の周波数特性

ート車輪近傍に取り付け、速度 4km/h (歩行速度) における振動加速度レベルピーク値を各 5 回測定した。図-9に加速度の計測方法の概要を、写真-3にセンサー取り付け位置を示す。

(3) 試験施工結果

a) 衝撃加速度と普通車騒音の関係

図-10に衝撃加速度と普通車通過騒音レベル(7.5m点)の関係を示す。図より、ゴム弾性舗装は衝撃加速度が大きい(ゴムチップの配合割合が小さい)ほど普通車の通過騒音レベルは大きくなり、ゴム弾性舗装の衝撃緩和性が通過騒音に影響を与えていることが認められる。また、密粒(13)と排水性(13)の衝撃加速度はほぼ同程度であるが、通過騒音レベルは密粒(13)の約

70dB に対し、排水性(13)は約 65dB と 5dB 小さい。これは排水性(13)の衝撃吸収性によるものではなく、ポーラスな構造による騒音低減効果によると考えられ、衝撃加速度による排水性(13)の低騒音性評価は適当でないと考えられる。以上の結果から、ゴム弾性舗装の騒音低減効果は舗装体の衝撃緩和性が大きく影響していることが確認できた。

b) タイヤへの衝撃力低減効果

図-11~12に、密粒(13)とゴム弾性 G50 を速度 50km/h(定常走行)で走行した時のタイヤトレッド溝に発生した加速度を示す。図より、密粒(13)の加速度のピーク値は約 1.4dB であるのに対し、ゴム弾性 G50 の場合は約 0.8dB とほぼ半減しており、ゴム弾性舗装はタイヤへの衝撃力も低減していることが確認できた。これは、タイヤ騒音の一つであるタイヤトレッドパターン振動音の低減に寄与していると推察される。

c) カート騒音の低減効果

密粒(13)とゴム弾性 G75($t=25\text{mm}$, $t=15\text{mm}$)におけるカート通過騒音と静的ばね定数の測定結果を図-13に示す。図より、密粒(13)の静的ばね定数は約 8000N/mm で、その時のカート通過騒音レベルは約 65dB(A)であった。一方、ゴム弾性 G75 の静的ばね定数は、 $t=25\text{mm}$ で約 550N/mm, $t=15\text{mm}$ で 650N/mm と 100N/mm の違いで、カート通過騒音レベルは、 $t=25\text{mm}$ で約 56dB(A), $t=15\text{mm}$ で約 60dB(A)と 4dB(A)の差が認められた。以上の結果から、ゴム弾性舗装におけるカート騒音低減効果は密粒(13)より大きいものの、ゴム弾性路面の静的ばね定数により、その効果には差があることがわかる。

d) カートの振動低減効果

密粒(13)、ゴム弾性 G75($t=25\text{mm}$, $t=15\text{mm}$)を走行した際の大型カート振動加速度レベルの 1/3 オクターブバンド周波数分析結果を図-14に示す。ゴム弾性 G75 での振動加速度レベルは、全周波数帯において密粒(13)より小さく、弾力性による振動低減効果が確認できた。また、ゴム弾性 G75 で比較すると、 $t=25\text{mm}$ より路面の静的ばね定数が大きい $t=15\text{mm}$ の方が振動レベルが大きくなることが確認できた。

6. 結論

(1) ゴム系弾性材料の硬さと衝撃吸収性

SBR ゴム板は、ゴム硬度が大きくなると静的ばね定数も大きくなるが、ゴム硬度が同一の場合でも、厚さの違いで静的ばね定数が変化する。このことから、ゴム系弾性材料の硬さ評価には、静的ばね定数を用いることが適当と考える。また、ゴム系弾性材料の静的ばね定数と衝撃加速度の間にもほぼ直線関係が認めら

れ、硬さと衝撃緩和性は密接な関係にあることがわかった。

(2) タイヤ落下衝突音の評価

ゴム系弾性材料の静的ばね定数とタイヤ落下衝突音の間には直線関係が認められ、静的ばね定数や衝撃加速度が大きくなるにしたがい、タイヤ落下衝突音も大きくなることがわかった。また、タイヤ落下衝突音は、厚さや吸音性の影響を受けることがわかった。

(3) 衝撃加速度と普通車騒音の関係

実車が走行した場合のゴム弾性舗装の騒音は、室内試験と同様に衝撃加速度で評価できることを確認した。また、ポーラスな構造を有する排水性(13)は、密粒(13)と同等の硬い路面であるにも係らず通過騒音レベルは密粒(13)より約 4dB 小さいことから、排水性(13)の低騒音性を衝撃加速度により評価することは適当でないと考える。

(4) タイヤへの衝撃力低減効果

ゴム弾性 G50 を走行した際のタイヤトレッド溝内の発生加速度は、密粒(13)を走行した場合のほぼ 1/2 で、ゴム弾性舗装がタイヤへの衝撃力を低減していることが確認できた。なお、今回排水性舗装についてはタイヤトレッド溝内の発生加速度を測定していないが、タイヤへの衝撃力低減効果を排水性舗装が有しているかどうかについても検証する必要があると考える。

(5) カート騒音の低減効果

ゴム弾性 G75 と密粒(13)におけるカート通過騒音と静的ばね定数の測定結果から、ゴム弾性 G75 の騒音レベルは、密粒(13)に比べ約 5 ~ 9dB(A)小さくなり、高い騒音低減効果が得られる。また、ゴム弾性 G75 の静的ばね定数が 100N/mm 異なると、カート通過騒音レベルは約 4dB(A)異なることから、ゴム弾性舗装におけるカート騒音の低減効果は、ゴム弾性路面の静的ばね定数により差があることがわかった。

(6) カートの振動低減効果

カートの振動加速度の周波数分析から、ゴム弾性 G75 での振動加速度は全周波数帯において密粒(13)より小さく、ゴム弾性舗装の振動低減効果が確認できた。

7. おわりに

普通車騒音、カート騒音に影響を与える要因としてゴム弾性舗装の弾力性を取り上げ検討を行った。その結果、ゴム弾性舗装における騒音値は、静的ばね定数

や衝撃加速度と高い関係にあり、ゴム弾性舗装の軟らかさや衝撃吸収性がこれら騒音値に大きく影響していることを確認した。なお、ゴム弾性舗装は温度により硬さが変化すると考えられることから、今後は低温域におけるデータ収集を行い、ゴム弾性舗装の弾力性と普通車騒音およびカート騒音との関係をより明確にしていきたい。

参考文献

- 1) 小林昭則, 藤田広志, 増田欽司: ゴムチップ舗装材の車道への適用に関する検討, (社)土木学会舗装工学論文集第5巻, pp.39-46, 2000.
- 2) 小林昭則, 吉田 武, 寺田 剛: 促進載荷試験によるゴムチップ舗装の耐久性, 土木学会第57回年次学術講演会概要集, pp.25-26, 2002.
- 3) 小林昭則, 平川一成, 島 広志, 丸山暉彦: ゴム弾性舗装の駐車場舗装への適用に関する検討, (社)土木学会舗装工学論文集第10巻, pp.153-160, 2005.
- 4) 日本規格協会: 防振ゴムの試験方法(JIS K 6385), 日本工業規格ハンドブック 28-2, p672, 2004.
- 5) 岡部俊幸, 林 信也, 門澤忠雄: タイヤ落下法による低騒音舗装の評価について, 第23回日本道路会議一般論文集, p18-19, 1999.
- 6) (社)日本自動車タイヤ協会: タイヤ道路騒音について, 第7版, p30, 2004.

A STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN REDUCTION OF TIRE/ROAD NOISE AND ELASTICITY OF RUBBER ELASTIC PAVEMENTS

Akinori KOBAYASHI, Kazunari HIRAKAWA, Hiroshi SHIMA and Teruhiko MARUYAMA

As for the rubber elastic pavement, a high noise reduction effect is provided than conventional porous pavement, and what can largely reduce the tire/road noise at the time of a low speed run and the shopping cart noise is found. It is thought that noise reduction effect of rubber elastic pavement is affected by noise absorption characteristics, thickness, the elasticity, impulsive relaxation characteristics of a pavement. In this study, it was examined the influence that the static spring constant as the elastic softness and the impulsive acceleration as impulsive relaxation characteristics of rubber elastic pavement gave to the vehicle tire/road noise and the shopping cart noise. As a results, it was found that the static spring constant and the impulsive acceleration of rubber elastic pavement were related to influence on reduction characteristics of the vehicle tire/road noise and the shopping cart noise.