

◆ 報文 ◆

多孔質弾性舗装の走行安全性

池原圭一* 小林 保**

1. はじめに

多孔質弾性舗装は、騒音の低減を目的に開発を行っている特殊な舗装である。現在、騒音低減対策などで排水性舗装が広く普及しているが、その騒音低減量は種々の条件にもよるが概ね 3dB(A) 程度と言われている。これに対して、多孔質弾性舗装の騒音低減量は種々の条件にもよるが概ね 10dB(A) は期待できると言われている¹⁾。しかし、従来からあるアスファルトやコンクリート舗装は骨材を主体に構成されているのに対し、多孔質弾性舗装の表層版はゴムを主体に構成されていることから、従来の舗装とは異なるすべり摩擦特性を有することがわかっている²⁾。ここでは、多孔質弾性舗装の各種走行試験やすべり摩擦試験を行い、すべり摩擦特性等について検討する。

2. 走行安全性試験結果

平成 8~9 年にかけて多孔質弾性舗装の走行性を密粒度アスファルトコンクリート(以下、「密粒舗装」と略す)と比較した。多孔質弾性舗装は試験走路の 3 車線のうちの 2 車線、延長およそ 600m 区間に舗設されていたため、延長及び横方向の余裕幅に制約があることから以下の試験のみを行った。

- (1) 慢行試験
- (2) 直進安定性試験
- (3) 直進制動時の車両方向安定性試験
- (4) 制動停止試験
- (5) レーンチェンジ試験
- (6) 走行感覚試験

上記の(1)と(2)については両者の舗装にあまり大きな違いがなかったことから報告を省略し、以下には(3)~(6)についての結果を報告する。

2.1 直進制動時の車両方向安定性試験

a) 試験条件

- ・ 制動初速度 : 60, 100, 140km/h
- ・ 減加速度 : ロック制動を含み減速度を適当にばらつかせた

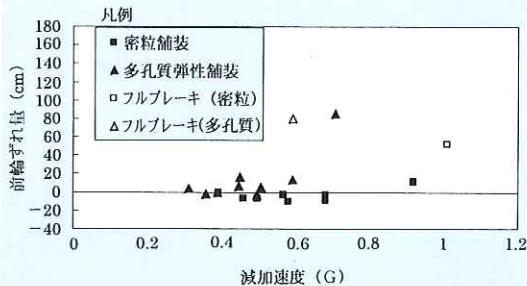


図-1 車両停止時の前輪ずれ量 (100km/h)

- ・ 試験車両 : 乗用車
- ・ 路面状態 : 乾燥
- b) 評価項目
 - ・ 停止時の基準線に対する車両のずれ量 (前輪位置、後輪位置)
 - ・ 停止時の車両の姿勢角

c) 試験方法等

- ・ 基準線に沿って走行後、制動操作を行う (保持状態)
- ・ 制動操作は完全に停止するまでブレーキ踏量一定

車両停止時の姿勢角は両者の舗装とも 1° 以内であり安定していた。そのため、前輪と後輪のずれ量にはほとんど違いがなかった。速度による違いもほとんどなかったため、図-1 には代表して走行速度 100km/h 時の前輪のずれ量のみを示す。両者の舗装に大きな違いはないが、やや多孔質弾性舗装の停止時のずれ量が大きくなっていた。

2.2 制動停止試験

a) 試験条件

- ・ 制動初速度 : 40, 60, 80, 100km/h
- ・ 制動 : ロック制動
- ・ 試験車両 : 乗用車
- ・ 試験タイヤ : 185/65R14
- ・ 路面状態 : 濡潤 (雨天時に実施)
- ・ 試験回数 : 1 条件 3 回

b) 評価項目

- ・ 制動停止距離

c) 試験方法等

- ホイールロックから停止までの距離を測定

試験結果を図-2に示す。多孔質弾性舗装の制動停止距離を道路構造令で制動停止視距を決める際に使われている設計値(反応時間と含まない)と比較すると、全速度で設計値よりも短くなった。

しかし、この設計値は十分安全な値(すべり摩擦係数)から計算されているため、平均的な密粒舗装との比較は3.2項で行う。

2.3 レーンチェンジ試験

a) 試験条件

- 走行速度：走行可能な最大速度、他3速度(最大速度から-10km/h刻み)
- 試験車両：乗用車
- 路面状態：乾燥
- 被験者：テストドライバー1名

b) 評価項目

- ハンドル操作角度
- 横方向加速度
- ドライバーフィーリング(アンケート)

c) 試験方法等

- ISOに準じて実施(ISO/TC22/SC9, 図-3)
- 試験にあたり、レーンチェンジ走行の練習を行い、両者の舗装の限界性を評価するための走行可能な最大車速を把握した。その結果、密粒舗装は105km/h、多孔質弾性舗装は100km/hであった。

図-4に最大車速時のハンドル角と横方向加速度を示すが、これらの走行データからは両者の舗装に大きな違いは見られなかった。しかし、アンケート結果では表-1に示すとおり、多孔質弾性舗装の評価が全体的に低く、コメントも「応答に遅れがある」、「尻振り量は少ないが收まりが悪い」などが得られた。

2.4 走行感覚試験

a) 試験条件

- 走行速度：20, 40, 60, 80, 100km/h
- 試験車両：乗用車
- 路面状態：乾燥
- 被験者数：21名

b) 評価項目

- 直進走行時の走行のしやすさ
(5段階評価)
- 車線変更時の走行のしやすさ
(5段階評価)

c) 試験方法等

- 各被験者に普段通りの運転を行ってもらい、各回の走行後に以下のアンケートを実施

評点5：十分走行しやすい

評点4：やや走行しやすい

評点3：中程度である

評点2：やや走行しにくい

評点1：かなり走行しにくい

試験走路の多孔質弾性舗装は、1m四方の表層版を車両進行に対して平行及び斜めに配置されて

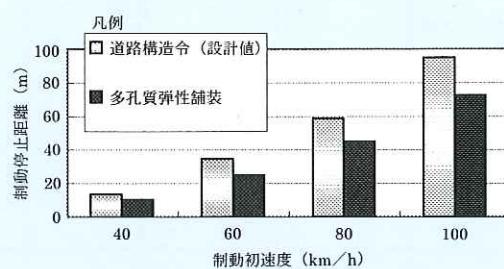


図-2 制動停止試験結果

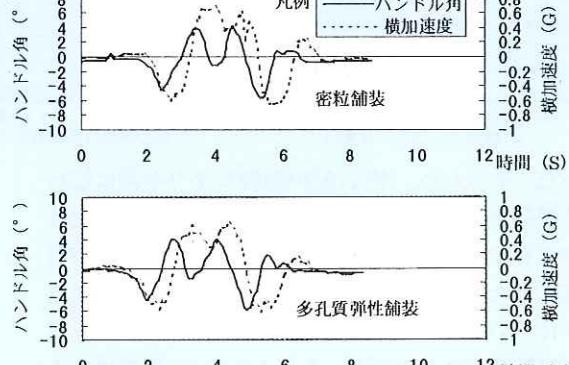
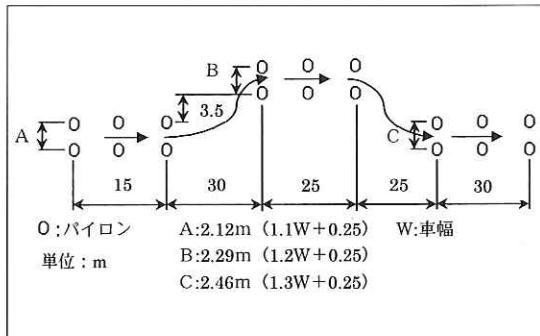


図-4 最大車速時のハンドル角と横方向加速度

表-1 テストドライバーのアンケート結果

評価項目	(最大車速)-(30km/h)		(最大車速)-(20km/h)		(最大車速)-(10km/h)		最大車速	
	密粒	多孔質	密粒	多孔質	密粒	多孔質	密粒	多孔質
	75km/h	70km/h	85km/h	80km/h	95km/h	90km/h	105km/h	100km/h
	評点		評点		評点		評点	
グリップ感	3	2.5 すべりだしの限界	3	2	3	1.5 多孔質はグリップ力、グリップの回復力ともに悪く、応答に遅れが発生し制御もしにくい	2.5	1 グリップ力、グリップの回復力ともに悪く、応答に遅れが発生し制御もしにくい
グリップ限界	3	2.5 グリップの限界	2.5 グリップの限界	2	2.5 グリップの限界を超えてい	1.5	2 グリップ力で車両を制御している感じではなく、車両の乱れを利用して制御する感じ	1.5
トレース性	3	2.5	3	2	2.5	1.5	2	1
コントロール性	5	2.5	3	2	2.5 限界を超えていが、制御可能	2	2	1.5
舵の効き	—	2.5 グリップ内でも遅れを感じる	—	2	—	1.5	—	1.5 遅がある分、効きが悪い
車線乗り移り時の安定性	—	3	—	2	—	1.5	—	1 リアのすべりだしに不安定なところがあり、収まり悪く不安定である
車線乗り移り時の応答性	—	2.5	—	2	—	1.5	—	1.5 遅がある
尻振り程度	3	3	3 フロントのすべりだしが発生	2.5	2.5 フロント、リア共にすべりだし発生	2	2 フロント、リア共にすべり、特にリアが大きく流れ出す	2 尻振り量は少ないが収まりが悪い
総合評価	3	2.5	3	2	3.5	1.5	4	1
総合コメント	限界内の速度なので挙動変化も少ない。ただしスキール音はやや発生する	グリップ内の速度においても応答遅れが発生し、ドライバーの意志よりも聞きがある			グリップ限界は超えているが、車両の乱れが感知できる範囲		制御の限界	不安定

注：1) 評点は、1~5の5段階。1：評価が低い、3：ふつう、5：評価が高いことを表す。

2) 無回答の場合、評価は—とした。 3) 総合評価は被験者による総合的な評価を評点であらわしている。

いた。そのため、平行/斜め配置により車両に伝わる振動が異なるため、直進走行時及び車線変更時の走行のしやすさが速度によって変わることが想定された(ある速度を超えると振動が気になり走りにくい等)。しかし、試験の結果からは平行/斜め配置及び各評価項目(直進走行時/車線変更時の走行のしやすさ)とともに各速度の評点に有意な差はみられなかった。

また、通常走行下を想定して従来の密粒舗装の走行のしやすさを評点3とし、それに対する多孔質弾性舗装の走行のしやすさを比較してもらったところ、評点2(やや走行しにくい)と答えた人が全体の75%、評点1(かなり走行しにくい)と答えた人が全体の25%であった。この原因としては、表層版の目地を乗り越えるときの振動や表層版が弾性体であることによる走行感覚の違いが影響し

ていると思われる。しかし、弾性体による影響は、走行中のグリップ感やトレース性等に影響すると思われるが、これらは表-1の結果を参考にすると限界に近い車両運動時に影響が出ているため、通常走行の範囲では目地による振動が評点を下げる要因として働いていると思われる。

3. すべり摩擦試験結果

すべり摩擦抵抗力の測定は、すべり摩擦測定車とすべり測定用標準タイヤ(建設省が主に路面管理用に使っている縦溝のみあるタイヤ)を使用している³⁾。写真-1に雨天時の試験状況とすべり摩擦測定車を示す。すべり摩擦抵抗力の測定は、走行中にナンバープレートの奥に設置されている試験輪(第5輪、すべり測定用標準タイヤを装着)のみに制動をかけ、そのときのブレーキ力等を計測している。以降で扱うすべり摩擦係数は、このブレーキ力を試験輪にかかる荷重で除して求めた係数である。

3.1 晴天時の測定結果

多孔質弾性舗装の表層版が完全に乾燥した状態のすべり摩擦係数を図-5に示す。図中の値はいずれも1回の測定結果であり、気温等によるバラツキはとらえられていないが、表層版が乾燥した状態のすべり摩擦係数は速度にあまり関係なく概ね0.8~0.9である。この値は一般的な密粒舗装とはほぼ同じことから⁴⁾、表層版が乾燥した状態では密粒舗装と同等のすべり摩擦特性を有していると言える。

3.2 雨天時の測定結果

図-6は平成7~9年にかけて行った雨天時のすべり摩擦試験の結果である。通常、路面を評価するときの規定水膜は0.5~1.0mmである。しかし、試験時の雨量は水膜厚にすると概ね0.5mm前後に集中していた。そのため、全体的に雨量が少なく若干大きめのすべり摩擦係数になっていると思われる。

当初、多孔質弾性舗装の表層版は30~40%程度の空隙を有していることから、路面上に水膜ができにくく、すべり摩擦係数のバラツキは少ないのではないかと考えられた。しかし、図-6のように非常に幅のあるデータが得られた。原因としては、表層版の物質構成(空隙率、ゴムチップ形状)や雨量の違いもあるが、それよりも測定時の路面



写真-1 雨天時の試験状況とすべり摩擦測定車

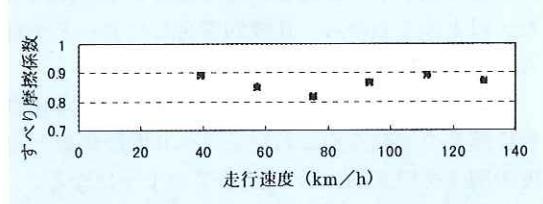


図-5 晴天時のすべり摩擦係数

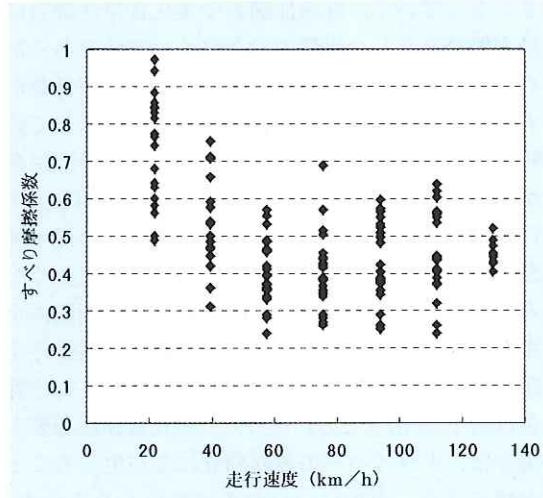


図-6 雨天時のすべり摩擦係数

状態に左右されていると思われる。平成7~9年は表層版が基層との接着不良を度々起こしており、度々補修を行っていた。そのため、表層版の端部にまで接着剤がつき、雨天時の排水能力に差を生じ、その結果データが安定していないと思われる。また、雨天時の表層版はスポンジのように水を吸収し、さらに保水する働きがある。保水された水は輪荷重によりしみ出してくるが、雨が降り出した直後から表層版内に水が飽和するまでは、一定の降雨量下を想定してもしみ出す水量は徐々に増

え、すべり摩擦係数は徐々に低下していくと思われる。そのため、雨の降り出しからどの時点で測定したかによってもすべり摩擦係数は異なった値を示していたと思われる。

3.3 従来舗装との比較

平成 10 年度には、基層との接着の問題も解決された。また、すべり摩擦抵抗力の測定は晴天時に行っているが、試験車の自力散水装置を使って規定水膜に達するように散水しているため、雨量条件を統一したことに等しい対応を行った。さらに、事前に試験区間を充分に散水し、表層版の下からしみ出す水の影響を再現できるように工夫した。以上のことから、比較的安定したデータが得られるようになった。

従来舗装である密粒舗装や排水性舗装と多孔質弾性舗装の湿潤路面におけるすべり摩擦係数と速度の関係を模式的に示すと図-7 のようになる。

密粒舗装は速度の増加に伴い、路面とタイヤの間に水膜が形成されるため、すべり摩擦係数は小さくなっていく。排水性舗装や多孔質弾性舗装は排水機能を有した水膜のできにくい舗装であるため、概ね 60~80km/h 以上ではすべり摩擦係数があまり変化しなくなる。密粒舗装を基準にして比較すると、排水性舗装は全体的にすべり摩擦係数が大きいが、多孔質弾性舗装は、概ね 60~80km/h 以下のすべり摩擦係数は小さい。そのため従来舗装に比べ多孔質弾性舗装の制動停止距離は長くなる。参考として、初速度 60km/h からの制動停止距離を比較すると、平均的な密粒舗装の制動停止距離を 1 とした場合、それに対して多孔質弾性舗装は約 1.31 倍となる。従って、多孔質弾性舗装の場合は、ドライバーの運転感覚に差が生じることが想定され、事故につながる可能性もあるため、雨天時のすべり摩擦向上は実用化への重要な課題となっている。

3.4 すべり摩擦向上のとりくみ

3.4.1 すべり摩擦の改善方法

タイヤと路面のすべり摩擦機構は、凝着せん断 (fa)、変形によるヒステリシス損失 (fb)、突起による破壊のための抵抗 (fc) で分担されている。通常路面（密粒舗装等）を想定した場合、乾燥では fa が摩擦の主体であり、湿潤では fa と fb が摩擦の主体となっている⁴⁾。多孔質弾性舗装の摩擦機構も基本的には同じであると考えられ、雨天時の

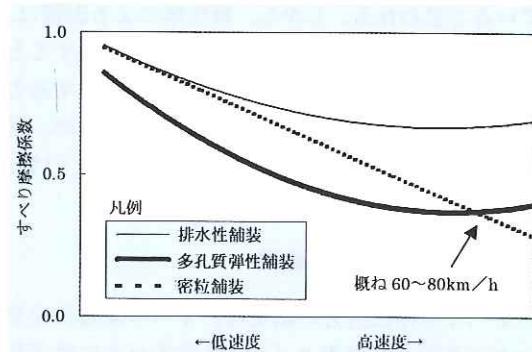


図-7 従来舗装とのすべり摩擦係数の比較

すべり摩擦向上には、fa と fb の働きを高めるような改良が必要であると考えられる。具体的な方策としては、次に示すような改良が有効ではないかと考えられる⁵⁾。

(1) 凝着せん断 (fa) を高める方法

表面に凹凸などを設けて雨天時にタイヤとの設置面積を増やす方法や空隙率を高めることで排水性を向上させる方法が考えられる。

また、硬質材料等の第三成分を添加することにより、表面上の水膜を切りやすくする方法が考えられる。

(2) ヒステリシス損失 (fb) を高める方法

舗装体そのもののヒステリシスをあげる方法として、ブチルゴムなどの高ヒステリシス・ロス材料の使用が考えられる。

平成 10 年度においては、以上のような改良の考え方などを参考に、すべり摩擦性能等に優れた新たな多孔質弾性舗装の表層版を開発する目的の共同研究を関連の民間会社と行った。その結果、幾つかの新たな表層版が試作された。

3.4.2 簡易的な性能評価方法及び新たな表層版の性能

すべり摩擦測定車による試験では、測定値の信頼性の面で優れているが、試験舗装を伴うなど大がかりな試験となってしまう。よって、新たに開発された表層版のすべり摩擦性能を簡易な方法で評価できるようにするために、従来から使われている DF テスターの多孔質弾性舗装における適用性を検討した。適用性の評価は、4 種の表層版を対象にして、すべり摩擦測定車と DF テスターの両者のすべり摩擦係数を相関分析して行った。

分析の結果、全速度域 (20~60km/h) で比較すると相関は高くないが（相関係数 : 0.595）、速度別

にみると 40km/h では相関係数 0.970、60km/h では 0.900 と高い相関が確認された。現段階では、比較したデータ数が少ないとことからあまり信頼性はないが、参考までに DF テスターの 40km/h のすべり摩擦係数を同速度のすべり摩擦測定車の値 (μ_{40}) へ変換する式は式(1)、同じく 60km/h の値 (μ_{60}) への変換式は式(2)となる。

$$\mu_{40} = 0.914 \times (\text{DF テスター値}) + 0.218 \quad (1)$$

$$\mu_{60} = 0.742 \times (\text{DF テスター値}) + 0.175 \quad (2)$$

この式を用いて、前述 3.4.1 の共同研究で新たに開発された表層版のすべり摩擦係数を示すと図-8 のようになる。その結果、表層版 A は 40km/h のすべり摩擦係数が 0.65、60km/h のすべり摩擦係数が 0.52 となり、平均的な密粒舗装に近い性能を有している。

なお、図-8 はすべり摩擦測定車で測定した値ではないことから、充分に信頼性のある値とは言えない。今後においては、すべり摩擦測定車による正確なすべり摩擦特性の把握が必要である。

4. おわりに

多孔質弾性舗装の走行安全性は、車両挙動の面では制動停止距離を除くと密粒舗装とほとんど変わらない結果が得られた。一方、走行感覚の面では密粒舗装との比較でやや走行しにくくと評価する人が多かった。また、レーンチェンジ試験の結果では、最大車速に近づくほど操舵に対する遅れ等に違和感が感じられるようであった。これらの原因に関しては、目地によって発生する振動や表層版が弾性体であることが影響していると思われるが、通常走行の範囲では目地による振動、限界に近い車両運動時では表層版が弾性体であることが影響していると思われる。今回の試験は、横方向の余裕幅の制約から車両の制御を失うような急ハンドルを想定した試験等は行っていないが、通常走行の範囲では、表層版の継ぎ目部分の改良または継ぎ目のない現場打ち施工等の対応をとることで密粒舗装に近い走行感覚が得られると思われる。

走行安全性の面での課題としては、雨天時の制動停止距離があげられる。平成 10 年度に行った共同研究では、すべり摩擦性能に優れた新たな

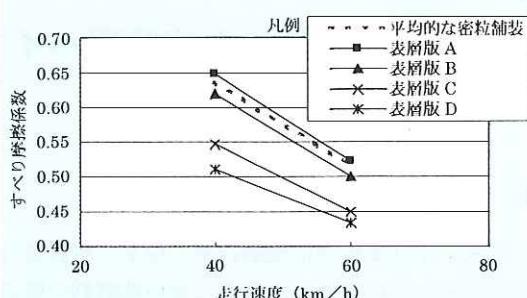


図-8 新たな表層版のすべり摩擦係数

表層版が開発されている。今後は新たに開発されたものを対象に、すべり摩擦性能の詳しい分析(制動時、車線変更時のすべり摩擦特性の把握)、すべり摩擦性能の耐久性の確認などを行う必要がある。

参考文献

- 1) 大西博文、南里吉輝：多孔質弾性舗装の開発、音響学会講演論文集, 1997.9
- 2) 大西博文、明嵐政司、小野田光之：多孔質弾性舗装のすべり摩擦特性に関する研究、交通工学, Vol.32 No.5, 1997.
- 3) 岡邦彦、池原圭一他：第 6 回路面すべり測定車合同比較試験結果、土木研究所資料、第 3142 号, p.5, p.28, 1992.3
- 4) 市原薰、小野田光之：路面のすべりとその対策、技術書院, pp.67-68, pp.12-15, 1997.3
- 5) 建設省土木研究所他：多孔質弾性舗装材料の開発に関する共同研究、共同研究報告書, 1999.(発刊準備中)

池原圭一*



建設省土木研究所
道路部道路研究室研究員
Keiichi IKEHARA

小林 保**



(前) 道路部総合交通安全研究官
Tamotsu KOBAYASHI