

Ⅳ-9

冬用タイヤと雪氷路面のすべりに関する研究

北海道開発局 開発土木研究所 正会員 ○及川 秀一
 同上 正会員 高木 秀貴
 同上 正会員 大沼 秀次

1. はじめに

平成2年度に「スパイクタイヤ粉塵の発生防止に関する法律」が施行され、平成4年の冬期から罰則を伴って実施されて以来、冬用タイヤとしてのスタッドレスタイヤは、その性能の進歩とともに現在の冬期道路交通にとって必要不可欠なものとなっている。一方、北米や北欧諸国の中には現在もおスパイクタイヤの使用を続けている国や州があり、スパイクピンの改良やその使用本数の制限等により舗装の摩耗対策を実施している。このように諸外国ではスパイクタイヤの使用規制を設けることで、現在もおスパイクタイヤの使用を継続している国が見られるのに対し、日本ではスパイクタイヤの製造・販売の中止もあり、現在は実質的にほぼ全面的にその使用が禁止されている状況にある。この規制は、スパイクタイヤが舗装の摩耗に及ぼす影響やその環境に与える影響、スタッドレスタイヤの制動に関する性能等を考慮して実施されたものではあるが、スタッドレス化以降、冬期間に発生する非常にすべりやすい雪氷路面の多発がスタッドレスタイヤの使用によって顕在化することは、ほとんど想定されていなかった。これまで、各種冬用タイヤ(スパイクタイヤ・スタッドレスタイヤ)の性能面の研究が進められてきているが、北海道における非常にすべりやすい雪氷路面の発生は、スタッドレスタイヤ装着車両自らの走行による雪氷路面の性状変化によるものであり、タイヤ自らが雪氷路面のすべりを助長してしまうという根本的課題がある¹⁾。そこで開発土木研究所は、車両走行の際に路面を粗面化させる適度の工夫をすることによって舗装摩耗による粉塵を発生させることなく、かつ、非常にすべりやすい路面の発生も回避可能な方策の検討の第一歩として、当研究所所有の凍結路面室内走行試験機を用いて、スタッドレスタイヤ装着車両の走行が非常にすべりやすい雪氷路面の発生に及ぼす影響と、スパイクタイヤ装着車両の走行が氷板路面の粗面化に及ぼす影響の検証を行った。今回はその試験結果の一部を報告する。

2. 試験概要

今回の試験は、当研究所所有の凍結路面室内走行試験機(写真-1)を用いて行った。この試験機は冬期間におけるタイヤと凍結路面とのすべり特性把握を目的に開発されたものである。この試験機を用いて室内実験をすることによって、気温・降雪・日射量といった気象諸条件の違いを克服し、一定の条件下での試験を可能とした。図-1のように直径4mのドラム内壁に氷、または圧雪を形成させたものを冬期路面に見立て、タイヤが走行することによる路面のすべり摩擦係数の変化を調べることが出来る。すべり摩擦係数の測定は、ドラムとタイヤ双方を同方向に回転させ、接地させたタイヤに100%の制動をかけることによって行った。すべり摩擦係数の測定に使用したタイヤは、冬期路面調査用標準タイヤ(以下、標準タイヤと言う)は、高速道路調査会・自動

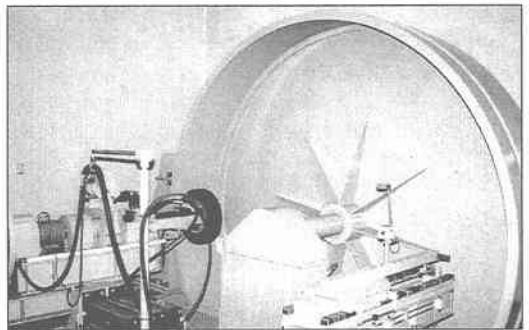


写真-1 凍結路面室内走行試験機

Effects of Passing Vehicles with Winter Tires on Snow-and-Ice-Covered Road Surfaces

by Shuichi Oikawa, Hideki Takagi, Koji Kawamura

車研究部会の規定によって定められた冬期道路のすべり摩擦係数測定用タイヤである。走行に使用したタイヤは、現在日本の市場で一般的に使用されているスタッドレスタイヤAと、北欧で普及しつつある軽量ピンスパイクタイヤを使用した。この軽量ピンスパイクタイヤは、スパイクタイヤ規制以前の日本において使用されていたものとは異なり、ピンの数が90本と、従来型より26%ほど少なく、また、ピンの材質・重量の小型軽量化を計ることによって、舗装の摩耗を軽減させることを念頭に開発された改良スパイクタイヤである。かつて日本においてもスパイクタイヤの舗装への摩耗影響を考慮して、(社)自動車タイヤ協会では昭和56年10月に、当時出回っていたスパイクタイヤのピン本数の最大値を以後のスパイクピン本数の最大値とする暫定基準を定め、ラジアルタイヤについては1本当たり154本と定めたのに続き、昭和58年には5月以降生産分のタイヤを対象として、ラジアルタイヤについては1本当たり122本とする一次基準を定めている。この122本という値は、ある程度ピン本数を減らしてもスパイクタイヤの性能を落とさない程度のピン本数ということで試験をした結果得られた値である。また、突出量についても最大2.0mmから最大1.5mmへと改訂されてる。それに対し、諸外国ではすでに1970年代前半からピンの突出量・ピン1本当たりの重量・フランジ直径・タイヤ1本当たりに打ち込まれるスパイクピン数などの制限がされており、寸法・重量などを小型化することによって舗装の摩耗対策を行ってきた。例をあげると、ノルウェーでは、1971年にタイヤ1本当たりのスパイクピン数を110本としており、それから10年以上経ってからの日本のスパイクピンの基準化の動向は、諸外国と比較すると期的に遅く、基準も緩かったことがわかる。このことは、我国においては、スパイクタイヤの舗装摩耗へ与える影響を考慮した対応が非常に遅れていたことを物語るものであり、そのことが諸外国に比べ我国の積雪寒冷諸都市でのスパイク粉塵問題が顕在化した大きな理由の一つとなっている。

走行影響試験に際しては、試験機の構造上、タイヤ1本で走行車両を再現させなければならないため、室温-5℃、走行速度30km/hの条件下で、1本のタイヤを約40cmの幅でサイドフォースを発生させない程度に横送りさせながら走行させ、ドラム2回転で車両1台の前後輪が通過したものと換算した。

表-1 試験機諸元

基本方式	ドラム内接型
ドラム寸法 (径・幅)	外径: φ4,196×W868mm 内径: φ4,000×W700mm
試験路面	氷板路面、圧雪路面
ドラム回転速度 タイヤ回転速度	0 km/h~80 km/h
接地荷重設定	空気圧制御方式 最大 29.4 kN
タイヤスリップ角	-15° ~ +15°
試験適応タイヤ	大型バス用タイヤ(φ1m) 普通乗用車用タイヤ

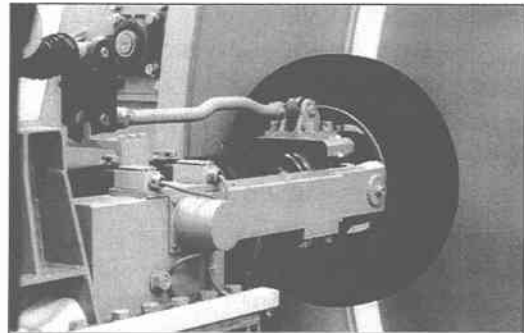


写真-2 試験機主要部分

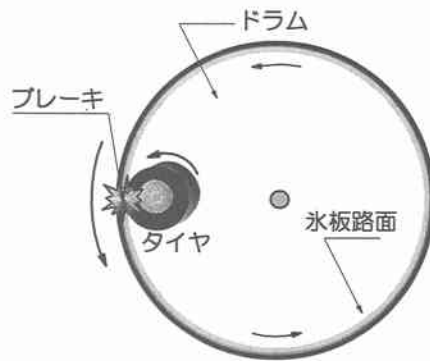


図-1 試験概要図

3. スタッドレスタイヤとスパイクタイヤの制動性能比較

図-2,3は、今回の走行試験に用いた標準タイヤ、スタッドレスタイヤA、及び軽量ピンスパイクタイヤの3種（左から順に写真-3の①、②、③）の制動性能を比較したものであり、制動時のすべり摩擦係数の経時変化を表している。ここで、制動をかけてからタイヤが完全にロックするまでの間に現れる山の最大値を μ_{max} とし、制動後のタイヤが完全にロックしてからのすべり摩擦係数値を μ_{lock} とする。この試験は、タイヤサイズ：165 80R13、空気圧 186 kPaのタイヤに約3.2 kNの接地荷重をかけ、時速30km/hで制動試験を行ったものである。

路面温度 -3°C 時は、標準タイヤで μ_{max} が0.18、 μ_{lock} が約0.05、スタッドレスタイヤA及び軽量ピンスパイクタイヤでは、 μ_{max} が0.19、 μ_{lock} が約0.10となっており、 μ_{max} についてはそれぞれすべり摩擦係数の違いは見られないが、 μ_{lock} においては、標準タイヤよりもスタッドレスタイヤAと軽量ピンスパイクタイヤで高い摩擦係数が得られていることがわかる。

路面温度 -15°C 時においては、スタッドレスタイヤAで μ_{max} が0.42、 μ_{lock} が約0.12、標準タイヤでは μ_{max} が0.37、 μ_{lock} が約0.08、そして軽量ピンスパイクタイヤでは、 μ_{max} が0.21、 μ_{lock} が約0.12となっており、 μ_{max} についてはスタッドレスタイヤA及び標準タイヤの方が高い摩擦係数が得られており、 μ_{lock} においては、軽量ピンスパイクタイヤよりも標準タイヤと軽量ピンスパイクタイヤで多少高い摩擦係数が得られている。結果、 μ_{max} では気温が低くなるほどスタッドレスタイヤの性能が著しく向上し、 μ_{lock} ではスタッドレスタイヤAがスパイクタイヤレベルの制動性能に近づいてきていることがわかる。 μ_{lock} での比較では、軽量ピンスパイクタイヤの方が多少ではあるが高いすべり摩擦係数が得られているが、低温時ではスタッドレスタイヤの方が氷板路面に対しての効きが現れていると言える。これは、低公害化に重点を置いて開発されたスパイクタイヤと、非常にすべりやすい路面への適応に向けて進歩したスタッドレスタイヤの

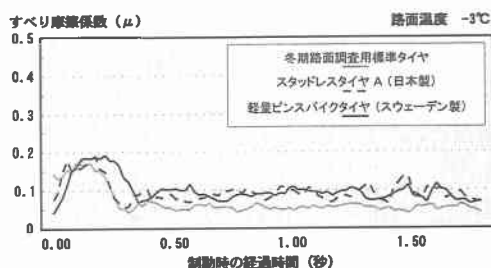


図-2 タイヤ別すべり摩擦係数比較 (-3°C)

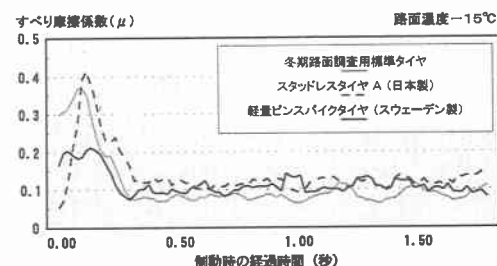
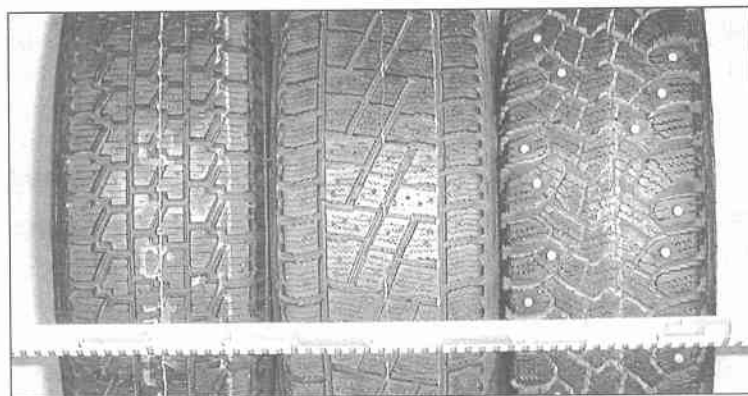


図-3 タイヤ別すべり摩擦係数比較 (-15°C)



①標準タイヤ ②スタッドレスA ③軽量ピンスパイク

写真-3 各種試験用タイヤ

違いを示している。特にこのスタッドレスタイヤAは、数年前のスタッドレスタイヤのゴム質やトレッドパターンを有した標準タイヤに比べ、 μ_{lock} が著しく向上し、その結果スパイクタイヤに近似した性能になってきていることがわかる。しかし、北欧などの冬用タイヤの比較研究では、まだスパイクタイヤとスタッドレスタイヤの性能差は著しいと考えられていること、かつ、スタッドレスタイヤは耐久性、つまりは性能の持続性に難点があるなどが指摘されている。³⁾

4. タイヤ走行による氷板路面のすべり摩擦係数変化

図-4,5は、それぞれスパイク装着車両とスタッドレス装着車両の走行台数（換算値）の違いによる氷板路面でのすべり摩擦係数の変化を表したものである。

図-4からは、スパイクタイヤ走行により、初期の μ_{max} 0.15前後の路面が走行100台で0.20程度に向上し、走行500台では0.23~0.30程度と、走行台数が増えるにつれすべり摩擦係数の向上がみられ、それ以降も全体的におよそ0.25前後の範囲に分布しているのが判る。また、 μ_{lock} については初期の μ_{lock} 0.06程度の路面が走行500台で0.10程度に収束している。全体的に見ると、スパイクタイヤ走行1000台（写真-4）まではすべり摩擦係数の向上が見られているが、それ以降は向上量が低下している。その原因として、走行台数1000台以上では、スパイクタイヤの走行によって粗面化された氷板表面の粗さが細かになりすぎ、すべり摩擦係数の向上量が若干低下していくことも考えられる。結果として、スパイクタイヤの走行により氷板路面は粗面化され、走行500台程度ですべり摩擦係数が十分向上することがわかった。

図-5では、スタッドレスタイヤ走行により初期の μ_{max} 0.17前後の路面が走行100台~500台では0.20前後の範囲に分布していることが判る。しかし、一見これは、スタッドレスタイヤ装着車両が走行することによって、すべり摩擦係数が上昇しているかのようにもとれるが、これは、初期の氷板路面を均一に平坦に作っているため、タイヤが走行するほど路面が平坦になってしまい、すべりの原因となるタイヤと路面との間に生じる水の影響よりも氷面の平坦さが引き起こす粘着性の影響が強くなってしまったものと考えられる。また、 μ_{lock} については、初期値が0.06程度と、最もすべり摩擦係数

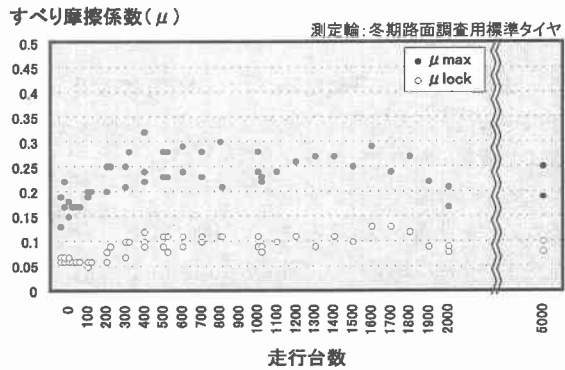


図-4 軽量ピンスパイクタイヤ装着車両の走行によるすべり摩擦係数変化

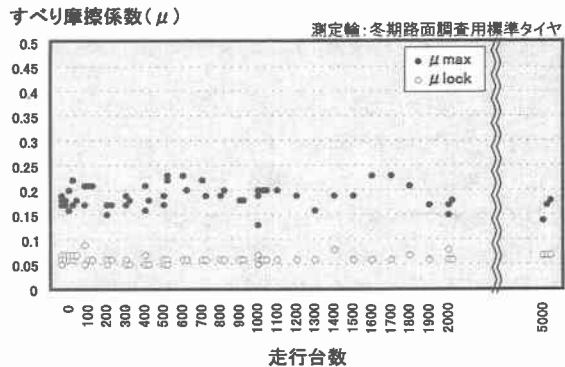


図-5 スタッドレスタイヤA装着車両の走行によるすべり摩擦係数変化

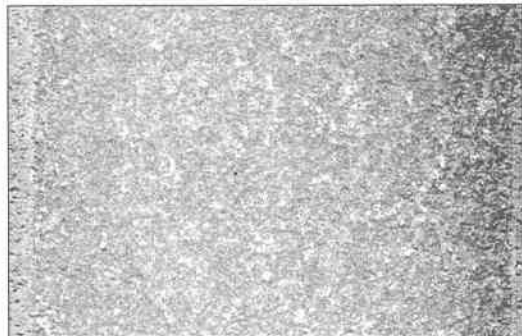


写真-4 スパイクタイヤ装着車両1000台走行後

の低い氷板面であるため、スタッドレスタイヤ装着車両の走行によるこれ以上の摩擦係数の低下が見られなかったものと考えられる。

このように図-4,5を比較すると500台程度のスタッドレスタイヤ装着走行車両とスパイクタイヤ装着走行車両の氷板のすべり摩擦係数に与える影響は μ_{max} については0.05~0.15程度の向上の差（スパイク/スタッドレ比 $\approx 1.4\sim 2.0$ ）が出ており、 μ_{lock} についても0.04程度の差（スパイク/スタッドレ比 ≈ 1.7 ）が出ており、スパイクタイヤ時代とスタッドレスタイヤ時代とでは、雪氷路面自体が、使用されている冬用タイヤの種類によって大きくすべり摩擦係数が変化していることが実証された。また、各タイヤ種別とも走行500台~1000台で氷板路面のすべり摩擦係数変化への影響がほぼ定常状態になることがわかる。

5. 走行車両による圧雪路面のすべり摩擦係数変化（スタッドレスタイヤの場合）

図-6は、圧雪路面におけるスタッドレスタイヤ装着車両の走行台数（換算値）の違いによるすべり摩擦係数の変化を表したものであり、氷板路面での試験と同じく制動には標準タイヤを使用している。通常の冬期路面で各路面分類毎のすべり摩擦係数の分布を調査した試験結果⁴⁾からは、圧雪路面のすべり摩擦係数は μ_{lock} の値で0.3程度であることがわかっており、今回作成した圧雪路面も μ_{lock} の値が0.3程度となっているため、現場における圧雪路面が再現できたとして試験を行った。

今回の試験は、スタッドレスタイヤ装着車両500台程度での走行で圧雪路面が非常にすべりやすい路面へと変化する確認を行ってから試験を行ったため、順番としては500台から順に0台、100台と試験を実施した。走行400台での試験では、すでに雪解けの時期に入っていたために降雪直後の雪の入手が困難であり、実際には、つぶ雪状態での試験となった。そのため、スタッドレスタイヤ装着車両400台の走行ではすべり摩擦係数が他のケースより高く出ている。このように、走行タイヤの影響下にある雪質により、スタッドレスタイヤ走行によるすべり摩擦係数の低下度には差異が見られることがわかるが、通常の降雪直後の雪については、わずかのスタッドレスタイヤ走行で急激にすべり摩擦係数が低下していくことが判明した。

走行100台までは比較的高いすべり摩擦係数を維持しているものの、走行200台（写真-6）程度から急激にすべり摩擦係数の低下が見られ、 μ_{max} では0.14、 μ_{lock} については0.06程度へと変化し、非常にすべりやすい路面へと変化している。この施設内で作られた圧雪路面の走行0台の時点での μ_{max} ・ μ_{lock} は、それぞれ0.39、0.31程度となっており、それと比較すると μ_{max} で0.25（約65%）の低下、 μ_{lock} も0.25（約80%）の低下となっている。このように、圧雪路面のような初期のすべり摩擦係数が大きい路面であっても、

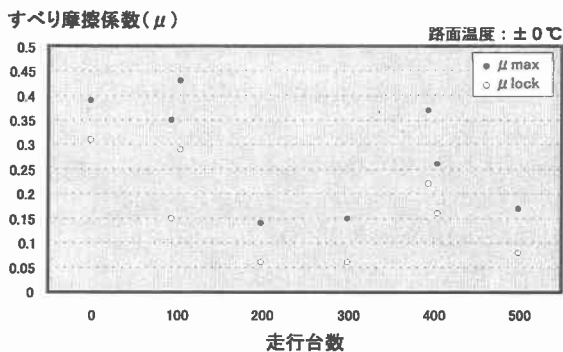


図-6 スタッドレスタイヤA装着車両の走行によるすべり摩擦係数変化



写真-5 スタッドレスタイヤ装着車両200台走行後

スタッドレスタイヤの走行により、急激に非常にすべりやすい氷板路面相当のすべり摩擦係数へと変化していくことがわかる。

6. まとめ

今回の試験は、室内走行試験機に氷板路面あるいは圧雪路面を作成し、スパイクタイヤ及びスタッドレスタイヤが雪氷路面のすべり性状の変化に与える影響について試験を行ったものである。氷板路面での試験結果からは、軽量ピンスパイクタイヤ装着車両の走行は氷板路面のすべり摩擦係数の保持あるいは向上に大きく影響し、一方、スタッドレスタイヤ装着車両が走行した場合におけるすべり摩擦係数は、最も滑りやすい氷板路面の状況を推移することが明らかとなった。圧雪路面での試験結果からは、0℃程度の気象条件下では、スタッドレスタイヤ装着車両の走行100台程度から圧雪路面のすべり摩擦係数が急激に低下し始めることがわかった。しかし、この圧雪路面での試験は、試験をする度に試験路面を作り直さなければならない、また、良質の雪の入手が困難であるため、現在のところデータの蓄積が不十分である。従って、各走行台数ごとのすべり摩擦係数変化の分布傾向をより的確に把握するため、今後ともより多くのデータの蓄積を行う必要がある。いずれにしても、路面のすべりはタイヤと路面との相互関係によるものであり、スタッドレスタイヤ走行による非常にすべりやすい雪氷路面の発生問題においては、冬用タイヤ（スパイクタイヤ・スタッドレスタイヤ）の改良による性能向上よりも、タイヤ走行による雪氷路面性状の変化の影響の方が著しく大きいことがわかった。

あとがき

スパイクタイヤの使用規制以降に出現した非常にすべりやすい雪氷路面は、現在もなお社会的問題となっている。そのため、北海道においては、これまでの除雪を主体とした路面管理に加えて凍結防止剤やすべり止め材を使用するなど新たな路面管理が行われてきているが、降雪量が多く降雪頻度が高いため、諸外国のように常に路面を露出させるのは非常に困難な状況にある。現在、北海道においては、人口集中区域である札幌圏等の幹線道路を中心に高度な路面管理が実施され、一定の成果を納めてきているが、都市圏域を構成する街路では、未だほとんどが圧雪路面となっている状況である。従って、北海道においては、より一層の安全で円滑な冬期道路交通の確保のためには、スパイクタイヤの規制による非常にすべりやすい雪氷路面の出現という問題に引き続き、道路管理面と走行タイヤの雪氷路面へ与える影響の両面から対策を検討していく必要があると考えられる。今後さらに、スパイクタイヤの混入率の違いや温度の影響など、様々な要素について冬用タイヤの雪氷路面性状へ与える影響について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 高木秀貴, 傳 章則; Winter Skidding Accidents on Road Surface Covered with Snow and Ice under Studded-Tyre Regulation, Xth PIARC International Winter Road Congress, Technical Report Volume 3, March.1998.
- 2) Nordstrom and Gustavson; Experience of Functional Testing of Winter Tyres for Passenger Cars and Heavy Vehicles by Means of the VTI Indoor Flat Bet Test Facility and a Mobile Tyre Test Vehicle, Xth PIARC International Winter Road Congress, Technical Report Volume 3, March.1998.
- 3) 美馬大樹, 高木秀貴, 川村浩二; 幹線道路における冬期道路管理水準の現状分析について, 開発土木研究所月報 No.523, 1996年12月