

室蘭工業大学 正員 尾崎 詔

同 上 正員 志村政雄

はじめに

スパイクタイヤによって、舗装路面の摩耗による道路の損傷と粉じん等による影響が北海道をはじめ積雪寒冷地における社会問題になっている。これらの問題を解決するには総合的な施策が必要であり土木技術の側からは舗装材料の耐摩耗性の向上やスパイクピンの改善、行政の側からはスパイクタイヤの使用期間の規制などの改善策がすでに出されている。

本学でも、昭和57年度に土木工学科のプロジェクト研究として実施した文部省特定研究¹⁾の一部として、この種の問題もとりあげた。本報告は、その中で著者らが分担した「コンクリート系舗装材料の耐摩耗性、および路面の滑り抵抗改善のための散布骨材に関する試験」の結果である。前者の課題では、耐摩耗性舗装材料としてセメントコンクリートを使用すれば摩耗量をアスファルト系舗装の場合の1/5程度に減少でき、これを鋼繊維で補強したり、樹脂を含浸させることによって摩耗に対する抵抗性をさらに向上できることを確認した。後者の課題では、期間規制の場合も含め、スパイクタイヤの使用を禁止^{すす}場合、交通安全上危険な凍結路面に塩化カルシュームなどの凍結防止剤を散布するとよいが、環境問題上これが許されないことを予想して、滑り防止のために散布する骨材の種類と散布量について試験をおこない、効果の程度を確認した。

各種コンクリートの摩耗試験

摩耗試験は、本学交通工学講座所有の促進スパイク摩耗試験機²⁾を借用して、-1/5℃の低温室内で実施した。この試験機は輪荷重40kg(タイヤ接地圧5.78kg/cm²)が作用するスパイクタイヤを5.36km/hrの回転速度(タイヤ回転数56rpm)で回転させながら、これと直角の横方向に10.6cm/minの速度でトラバースさせ、固定した供試体表面を幅20cm+タイヤ幅の範囲内で摩耗させることができる。なお、この試験機にとりつけたタイヤは5.20-10-4PRの軽自動車用のスパイクタイヤ(空気圧2kg/cm²)で、直径2.5mm、高さ1.2mmのスパイクピンが74本打ち込まれている。

実験に用いたセメントコンクリート供試体は、普通コンクリート、鋼繊維補強コンクリート、樹脂含浸コンクリート、樹脂含浸鋼繊維補強コンクリートの4種である。これらのベースになるコンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合

	普通 コンクリート	鋼繊維 コンクリート
粗骨材最大寸法	25■	20■
水セメント比W/C	45%	45%
細骨材率S/a	42%	50%
単 水 量 W	135kg	162kg
セメント量 C	300kg	360kg
位 細骨材量 S	831kg	913kg
粗骨材量 G	1122kg	893kg
AE 剤量 A	45g	54g
鋼繊維量 SF	—	78kg
周 スラップ	3c■	2c■
定 空気量	4.2%	4.0%

表-2 コンクリートの強度等

	単位容積重量 (kg/cm ³)	曲げ強度 (kg/cm ²)	圧縮強度 (kg/cm ²)
普通コンクリート	2460	74	435
鋼繊維補強コンクリート	2530	108	763
樹脂含浸コンクリート	2510	134	948
樹脂含浸鋼繊維コンクリート	2580	150	1121

表-3 コンクリートの摩耗量

(c ■³)

トラバース (往復) 数	タイヤ 通過回数	普通 コンクリート	鋼繊維補強 コンクリート	樹脂含浸 コンクリート	樹脂含浸鋼繊維 コンクリート
2	894	22.7	10.9	8.6	8.0
4	1788	26.1	14.5	10.3	8.8
6	2682	29.8	16.9	12.1	12.0
8	3576	34.4	20.0	16.6	12.5
10	4470	39.4	22.4	18.0	15.0
12	5364	40.3	25.3	19.7	16.2

これらのセメントコンクリートに用いた材料は、セメントが比重3.16の普通ポルトランドセメント、細骨材が比重2.73の白老産海砂、粗骨材が比重2.67の白老産碎石で、混和剤としてAE剤を用いた。鋼繊維コンクリートでは、アスペクト比57(長さ30mm、断面0.35×0.7mmの鋼板せん断タイプの鋼繊維を用いた。樹脂含浸コンクリートでは、モノマーとしてメタメチルアクリレート(MMA)を用い、重合開始剤にはアゾビスイソブチロニトリルをモノマー量の0.05%添加した。

セメントコンクリート供試体の製作は $1/5 \times 1/5 \times 53$ cmの曲げ試験用供試体型枠を用いて厚さ5 cmのコンクリートを打設し、これを横に合わせて平板状の $30 \times 30 \times 5$ cmの摩耗試験用供試体とした。樹脂含浸コンクリートの製作は28日間水中養生したコンクリート供試体を24時間 100°C で乾燥し、実際の現場施工を考慮して、これをMMAモノマーに浸して36時間自然含浸させ、ポリ塩化ビニルチューブで被覆した後 80°C の温水で18時間加熱してポリマー化させた。重量測定から推定したポリマー含浸率は約2%wtである。

これらの供試体の曲げ強度および圧縮強度を参考までに表-2に示す。

摩耗試験の結果は、上記摩耗試験機により12トラバース（タイヤ通過回数では5364回）までスパイクタイヤを回転させ、供試体の摩耗した部分の体積を標準砂でパッチして求め、表-3の摩耗量とした。さらに、これを表-4のように求めた供試体表面の摩耗部面積で除して平均摩耗深さと定義すれば表-5のようになる。

これらの結果のうち、コンクリートの摩耗量を図-1に、平均摩耗深さを図-2に示した。これによれば、コンクリートを鋼繊維で補強すれば摩耗を半分近くまで減少させることができ、樹脂を含浸すればさらに改善され、摩耗を普通のコンクリートの半分以下に減少させることができる。図-2では、比較のためにアスファルトコンクリートの実験例²⁾を点線で記入した。ただし、ここに参照したものは空隙率4.5%の密粒度アスファルトコンクリートの場合である。これによれば、摩耗の初期段階ではセメントコンクリート系とアスファルトコンクリートの差はそれほどでもないが（それでも3倍位の差はある）摩耗が進むにつれてその差が大きくなり、タイヤ通過回数が5000回にもなるとアスファルトコンクリートに比べて普通のセメントコンクリートでも5倍位、鋼繊維補強や樹脂含浸処理をしたセメントコンクリートでは約10倍も耐摩耗性が向上している。

このような結果をみると、この種の耐摩耗性材料を舗装材料としてもっと積極的に使用することが望まれる。

表-4 コンクリートの摩耗面積

(cm^2)

トラバース (往復) 数	タイヤ 通過回数	普通 コンクリート	鋼繊維補強 コンクリート	樹脂含浸 コンクリート	樹脂含浸鋼繊維 コンクリート
2	894	184	205	178	168
4	1788	211	210	187	168
6	2682	217	214	200	181
8	3576	238	218	201	186
10	4470	243	224	214	193
12	5364	249	234	218	203

表-5 コンクリートの摩耗平均深さ

(mm)

トラバース (往復) 数	タイヤ 通過回数	普通 コンクリート	鋼繊維補強 コンクリート	樹脂含浸 コンクリート	樹脂含浸鋼繊維 コンクリート
2	894	1.23	0.53	0.48	0.48
4	1788	1.24	0.69	0.55	0.52
6	2682	1.37	0.79	0.61	0.66
8	3576	1.45	0.92	0.83	0.68
10	4470	1.62	1.00	0.84	0.78
12	5364	1.62	1.08	0.90	0.80

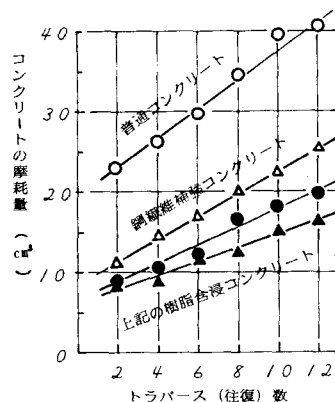


図-1 コンクリートの摩耗量

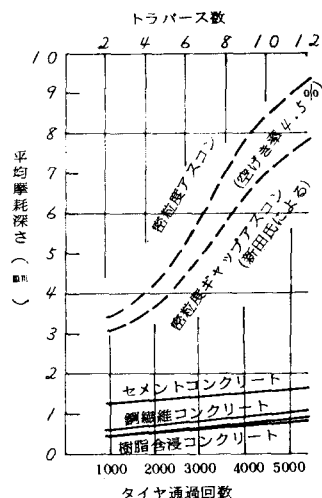


図-2 供試体の平均摩耗深さ

冬期路面の滑り抵抗改善のための骨材散布試験

耐摩耗性材料の使用により舗装路面の摩耗の問題を解決して行くことは別に、スパイクタイヤを禁止する場合の対応策を同時に考えて行かねばならない。路面の滑り抵抗改善の目的で従来おこなってきた塩化カルシューム等の凍結防止剤の散布は、農業等に対する影響のみならず、道路関連の構造物への影響もあって使われなくなることが予想される。そうなれば含水性の高い細粒部を含む砂の利用も難しくなるが、そもそも骨材の細粒部は粉じんの恐れや道路排水の点でも問題がありそうである。一方、大きな粗粒骨材は車のガラスや歩

行者を傷つける恐れもある。したがって、本実験では粒形も同時に考慮して / 0 mm 以下の碎石砂の利用を目標にし、スノータイヤによる静的滑り摩擦係数試験を学内で予備実験として後、実際の道路における走行時の滑り抵抗試験を実施した。

(おこなった)

静的滑り摩擦係数試験は、図-3のようにスノータイヤをつけた車輪の中心に鉛直荷重 (250 ~ 400 kg) をかけながら、車輪を回転させずにタイヤと路面の接触位置で水平方向に引張って、タイヤが動き出した時の双方の荷重を記録紙上で計測した。この時の水平荷重と鉛直荷重の比を静的滑り摩擦係数と定義した。この方法によって、圧雪あるいは氷結状態に加工処理した供試体路面の測定やこの面上に砂あるいは碎石砂を / m² 当り / kg の散布量だけ敷いた場合の実験をおこない、図-4のような結果を得た。

使用したタイヤは、後述の走行試験車に用いるものと同じ 5.50-13-8PR のスノータイヤで空気圧は 2 kg / cm² のものである。図-4の中で、砕砂 (粗) とあるのは 2.5 ~ 5 mm の粒度のものを表わし、碎石は 5 ~ / 0 mm のものを表わしている。試験時の温度は、氷の温度が - 5 ~ - 4 °C、雪の温度が / ~ 2 °C である。図中に示したように、外気温が比較的高い時期におこなっているので、タイヤのリブや骨材が路面供試体に溶け込む心配があった。

このような結果によれば、圧雪の場合には砂が有効であるが、氷の上では角ばりのある碎石砂や転炉スラグ碎石が滑り摩擦係数を高める効果が大きいようである。

道路における走行時の滑り抵抗試験は、上記予備試験の結果をもとに、室蘭市の協力を得て、室蘭市高平町八丁平中央通りで実施した。圧雪状態の道路をグレーダーで平滑に仕上げたつるつるの路面で試験をしたが、当日の気温は / ~ / °C で雪温は 0 ~ 0.7 °C であった。試験の方法は、40 km / hr の一定速度で試験車を走らせ、急ブレーキをかけ、制動停止距離や減加速度を測定することを同一地点で繰り返した。昭和 57 年度に実施した骨材の種類は砕砂と砂の 2 種類で、散布量は / m² 当り 0.5, 1.0, 1.5 kg の 3 種類である。

試験車はライトバン (54 年型ブルーバード) で車両重量は 1050 kg であるが、試験時には運転者のほか計測器およびその測定者 2 名が乗っていて、総重量は 1300 kg である。なお、試験車のタイヤは 5.50-13-8PR のスノータイヤで、空気圧は 2 気圧である。測定機器としては、車の床中央部に走向方向の加速度変換器 (± / G) をとりつけ、座席に積んだ動的歪計と電磁オシログラフによって制動時の減加速度の大きさとその変化を記録した。一方、試験車走行時には、コース沿いに待機した多数の観測者が各種の制動停止距離をそれぞれ分担して測定した。

試験はそれぞれの種類につき 2 ~ 3 回ずつおこなったが、失敗した試験結果を除き、結果を表-6に示す。

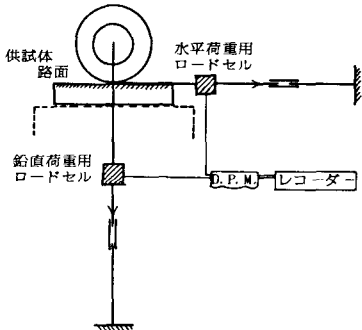


図-3 静的すべり摩擦係数試験

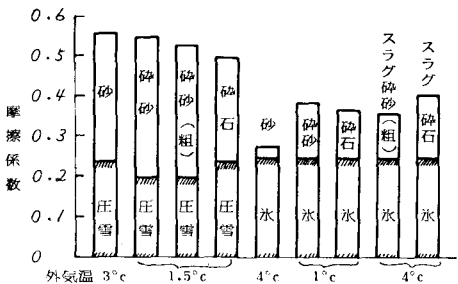


図-4 路面供試体によるスノータイヤの摩擦係数

表-6 圧雪路面におけるすべり抵抗試験結果

骨材散布量 (kg / m ²)		制動停止 距離 (m)	制動ランプ 距離 (m)	制動停止 時間 (秒)	減加速度 (×G)
砕砂	0	16.4	18.9	4.1	0.34
		16.0	18.0	3.9	0.38
		16.6	18.2	3.8	0.37
	0.5	12.7	14.8	3.2	0.48
		12.9	14.5	3.1	0.46
	1.0	11.2	12.7	2.8	0.51
		11.6	12.8	2.9	0.48
	1.5	11.1	12.4	3.1	0.47
		12.1	13.6	2.7	0.46
砂	0	18.2	19.4	4.6	0.34
		17.7	18.8	4.6	0.27
		16.9	18.4	4.4	0.32
	0.5	12.0	13.0	3.1	0.42
		12.5	14.0	3.1	0.49
	1.0	9.8	11.1	2.7	0.46
		11.7	13.3	3.1	0.45
	1.5	10.3	11.0	2.8	0.48

表一六の中の制動停止距離は車輪がロックしてから試験車が停止するまでの距離（m）、制動ランプ距離はブレーキを踏むことによってブレーキランプが点燈する位置から試験車が停止する位置までの距離（m）を示した。また、表中の制動停止時間と減加速度は記録紙上から読みとった値で、制動停止時間は減加速度の発生が開始してから終了するまでの時間（秒）、減加速度の値は制動時に発生した平均的減加速度（変動する値の最大・最小の平均）、（×G）を採用した。

これらの結果をもとに、制動停止距離あるいは制動ランプ距離から求まる、路面とスノータイヤ間の縦滑り摩擦係数は

$$f = v^2 / (2gs) - i = v^2 / (245s) - i$$

を用いて計算し、図一五と図一六にそれぞれ示した。上式中、v は制動開始前の速度（本実験では40 km/hr）、s は制動開始位置（本実験では車輪がロックした位置あるいは制動ランプが点燈した位置）から停止位置までの距離（m）、i は道路の縦断勾配（本実験では下り勾配を利用したので-0.003）である。一方、制動時間から求まる縦滑り摩擦係数は

$$f = v / (gt) = 0.0283 v / t$$

を用いて、減加速度から求まる縦滑り摩擦係数は

$$f = \alpha / g$$

を用いて計算できるので、後者の結果を図一七に示した。

これらの結果では、スノータイヤの場合でも0.3以上のかなり大きな滑り摩擦係数が得られ、砂あるいは砕砂を散布することによって0.45以上に改善された。ただし、この路面はつるつるに滑る圧雪とは言え、制動時のスリップこん跡が認められたので、もっと硬い凍結路面についてはわからない。なお、骨材散布量は / kg/m² で十分効果を発揮することがわかった。

おわりに

本研究はまだ問題提起の域を脱していないが、この分野の方がたに検討していただければと思い、報告した。

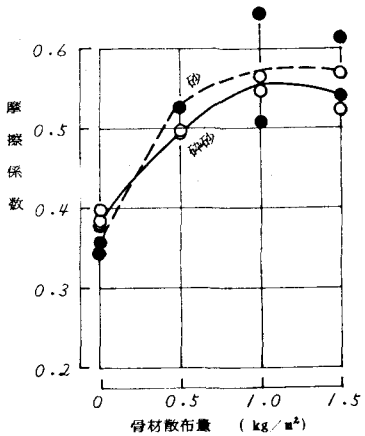
第一の課題である舗装の耐摩耗性については、セメントコンクリートの利用、さらには鋼繊維や樹脂との複合による高級材料の利用を期待している。

第二の課題である冬期における凍結路面の滑り防止については骨材散布システムの検討を期待している。

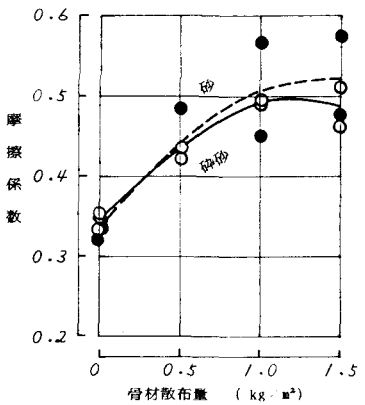
最後に、これらの試験を実施するにあたりお世話になった本学交通工学講座ならびに室蘭市の方がたに深く感謝の意を表します

参考文献（報告書）

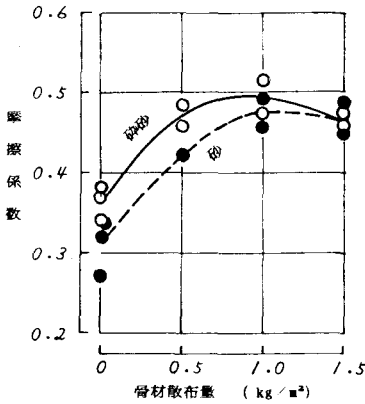
- 1) 尾崎 認（研究代表者）外9名：寒冷地における産業・生活基盤整備の諸問題に関する工学的研究，昭和57年度文部省特定研究経費実施経過報告書，昭和58年3月
- 2) 新田 登：寒冷地用アスファルト舗装の開発に関する基礎的研究，昭和57年度北海道科学研究費による一般研究報告（概要），昭和58年6月



図一五 制動停止距離から求めた摩擦係数



図一六 制動ランプ距離から求めた摩擦係数



図一七 制動時減加速度から求めた摩擦係数