

アスファルト路面のすべりまさつ係数の測定結果について

正 員 高 橋 毅*

佐 々 木 政 男**

正 員 ○佐 藤 馨 一***

佐 藤 彪 式***

金 沢 勝***

1. ま え が き

昨今における交通事故多発の傾向はまことに憂慮すべき事態と言わなければならない。特に冬期間のみならず、夏の湿潤路面においてもスベリ事故がしばしば発生していることは道路管理者に大きな問題を投げかけている。

土木試験所道路研究室ではこれらの問題に対処するため、昭和 42 年度からすべり試験車の製作にとりかかり、43 年度の予備調査をへて、44 年度から本格的な調査を行ってきた。

本文は道路研究室が昭和 44 年度に測定した道内主要国道におけるアスファルト舗装路面のすべり抵抗値の結果をまとめたものである。その目的とするところは北海道におけるアスファルト舗装のすべり抵抗値の実態を明らかにし、その問題点を指摘して、安全でかつ耐久性の高い舗装体を実現することにある。

2. すべりまさつ係数の測定法

(1) すべり試験車について

道路研究室で開発したすべり試験車は日産マイクロバス GHC 240 型を一部改造し、第 5 輪方式によりタイヤと路面間の抵抗力を測定しようとするものである。

測定装置は車輪ユニット牽引装置、車輪載荷装置、車輪角度制御装置、散水装置ならびに記録器等より構成されている(図-1-1, 1-2, 1-3)。

路面とタイヤ間の抵抗力は車輪ユニット牽引装置に取り付けた差動トランスで検出し、その時の輪荷重は車輪載荷装置に取り付けた差動トランスで検出し、増幅器をとおしてペン書き記録計に記録させる仕組みとなっている。

本試験車の特徴は制動抵抗力と横方向力とを測定できることであり、第 5 輪方式を採用したことにより機動性が非

常に優れている。なおすべり率可変装置も取り付けられており、すべり抵抗値に関する広範な測定を行なうことが可能である。

(2) すべり試験車による測定法

試験車による測定は路面を散水によって湿潤状態とすることから始めた。これは無雪時における最悪状態を想定したためであり、一定速度のもとでブレーキ操作ならびに角度操作を行なって路面とタイヤ間の抵抗値を求めた。データ数はすべりまさつ係数のバラツキが(±0.02)以内におさまるに必要な試料数を計算から求め定めた。

予備調査により、道路研究室のすべり試験車では最少 8 個のデータが必要なことが判明した。そこで、5 箇所の測点を定めて 2 回往復し、10 個のデータが得られるようにした。

試験タイヤはブリジストン製 SKH-5.60-13-6pr の新品でないし、新品に近い状態のタイヤを使用した。測定時の標準輪荷重を 200 kg、標準空気圧を 1.8 kg/cm² とし、試験速度を 20 km/h、40 km/h、60 km/h と定めて測定を行なった。

なお、各測点ではポータブル・スキッド・テスターによる測定と路面温度の測定を同時に行なった。

(3) 測定値のとりまとめ

路面とタイヤ間の抵抗力はタイヤが静止した場合と、タイヤがある角度をもって回転している場合とに分けて考えなければならない。

タイヤが静止した時に得られる路面とタイヤ間の抵抗力は制動抵抗力と名づけられており、制動抵抗力を輪荷重で割った値を縦すべりまさつ係数と名づけた。

又、タイヤが車輛の進行方向に対してある角度をもって回転した時に得られる抵抗力は横方向力と呼ばれ、この横方向力を輪荷重で割った値を横すべりまさつ係数と名づ

* 北海道開発局土木試験所 道路研究室 室 長

** 北海道開発局土木試験所 道路研究室 副室長

*** 北海道開発局土木試験所 道路研究室 研究員

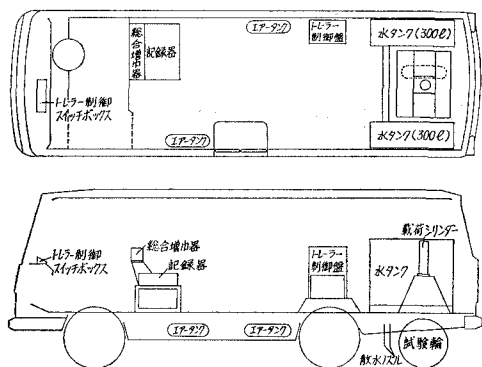


図 1—1 走行試験車計器類配置図

けた。

それぞれのまさつ係数は最小 10 個のデータの平均値をもって示した。又 t-分布法による母平均の信頼区間も求めている。危険率 α における母平均の信頼区間は次の計算によって得られる。

今母平均を μ 、標本平均を $\bar{X}$ 、標本標準偏差を s 、標本数を n 、 t_{α} を危険率 α における t-分布表の値とすると、信頼係数 $1-\alpha$ の μ の信頼区間は次のようになる。

$$\bar{X} - t_{\alpha} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + t_{\alpha} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

3. 縦すべりまさつ係数の測定結果

(1) 調査箇所および縦すべりまさつ係数の測定値

縦すべりまさつ係数の測定は北海道における代表的な表

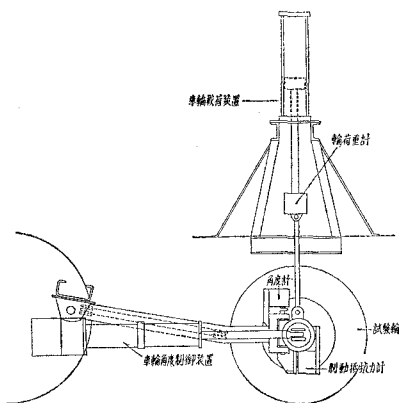


図 1—2 試験輪組立図 (1)

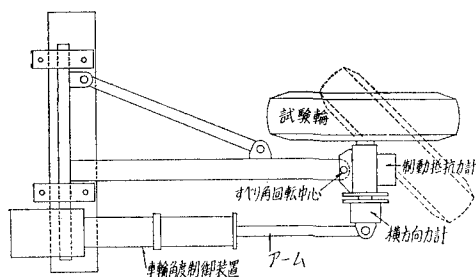


図 1—3 試験輪組立図 (2)

表—1 調査箇所及び設計配合表

調査箇所	舗装種別	施工年月日	交通量 (台/日)	設計配合表	
				アスファルト量 (%)	石粉 (%)
一般国道 230 号 定山溪	密粒式 アスコン (ストレート)	44. 7. 18	1700	7.0	14.0
一般国道 227 号 厚沢部町	混合式 スベリ止 (ストレート)	43. 9. 5	2723	7.7	13.1
	混合式 スベリ止 (ゴム入)	43. 8. 30	2723	6.17	11.0
一般国道 36 号 白老町	細粒式 アスコン (ストレート)	44. 6. 24	6072	8.4	15.0
	細粒式 アスコン (ゴム入)	44. 6. 25	6072	8.2	15.0
一般国道 241 号 上士幌町	アスファルト・モルタル (ストレート)	44. 8. 22	1490	12.0	20
	アスファルト・モルタル (ゴム入)	44. 8. 22	1490	10.45	18.4

調査箇所	設計配合表				マーシャル安定度試験			
	ゴム量 (%)	砂 (%)	砕石 (%)	F/A	理論密度 (g/cm ³)	実測密度 (g/cm ³)	安定度 (kg)	空隙率
一般国道 230 号 定山溪	—	35.5	43.5	2.00	2.46	2.34	1087	4.90
一般国道 227 号 厚沢部町	—	38.4	40.8	1.70	2.42	2.28	988	5.80
	0.33	32.2	50.3	1.69	2.46	2.29	1348	7.03
一般国道 36 号 白老町	—	54.4	22.2	1.78	2.43	2.32	303	4.6
	0.4	54.4	22.2	1.78	2.43	2.31	346	4.9
一般国道 241 号 上士幌町	—	68.0	—	1.67	2.25	2.15	483	4.6
	1.1	70.6	—	1.76	—	—	—	—

表—2 縦すべりまさつ係数の測定結果

調査箇所	舗装種別	供用期間(日)	20 km/h	40 km/h	60 km/h	B.P.N	路面温度(°C)
一般国道 230 号 定山溪	密粒式アスコン (ストレート)	18	0.57 $0.55 < \mu < 0.60$	0.47 $0.43 < \mu < 0.51$	0.29 $0.25 < \mu < 0.32$	58	35
		68	0.67 $0.64 < \mu < 0.71$	0.54 $0.51 < \mu < 0.57$	0.40 $0.37 < \mu < 0.44$	76	17
一般国道 227 号 厚沢部町	混合式スベリ止 (ストレート)	286	0.77 $0.75 < \mu < 0.78$	0.66 $0.65 < \mu < 0.67$	0.58 $0.57 < \mu < 0.60$	71	31
	混合式スベリ止 (ゴム入)	291	0.79 $0.77 < \mu < 0.82$	0.65 $0.64 < \mu < 0.67$	0.61 $0.60 < \mu < 0.62$	79	32
一般国道 36 号 白老町	細粒式アスコン (ストレート)	2	0.34 $0.32 < \mu < 0.37$	0.20 $0.18 < \mu < 0.22$	0.19 $0.17 < \mu < 0.21$	50	39
		17	0.41 $0.38 < \mu < 0.44$	0.26 $0.23 < \mu < 0.29$	0.19 $0.18 < \mu < 0.21$	49	41
		48	0.65 $0.64 < \mu < 0.66$	0.50 $0.49 < \mu < 0.51$	0.43 $0.42 < \mu < 0.44$	53	38
	細粒式アスコン (ゴム入)	1	0.45 $0.39 < \mu < 0.50$	0.22 $0.19 < \mu < 0.24$	0.21 $0.18 < \mu < 0.23$	40	40
		16	0.32 $0.28 < \mu < 0.36$	0.21 $0.19 < \mu < 0.23$	0.19 $0.17 < \mu < 0.22$	44	40
		47	0.63 $0.61 < \mu < 0.65$	0.45 $0.44 < \mu < 0.47$	0.40 $0.38 < \mu < 0.41$	48	37
一般国道 241 号 上士幌町	アスファルト・モルタル (ストレート)	4	0.46 $0.43 < \mu < 0.48$	0.33 $0.30 < \mu < 0.36$	0.22 $0.20 < \mu < 0.24$	51	22
		25	0.55 $0.48 < \mu < 0.61$	0.35 $0.32 < \mu < 0.38$	0.26 $0.23 < \mu < 0.29$	53	23
		60	0.60 $0.56 < \mu < 0.64$	0.38 $0.34 < \mu < 0.41$	0.27 $0.23 < \mu < 0.30$	50	11
	アスファルト・モルタル (ゴム入)	4	0.82 $0.80 < \mu < 0.84$	0.62 $0.59 < \mu < 0.66$	0.38 $0.35 < \mu < 0.40$	62	24
		25	0.79 $0.72 < \mu < 0.82$	0.60 $0.57 < \mu < 0.62$	0.46 $0.43 < \mu < 0.48$	67	13
		60	0.81 $0.75 < \mu < 0.87$	0.65 $0.59 < \mu < 0.71$	0.46 $0.41 < \mu < 0.50$	65	11

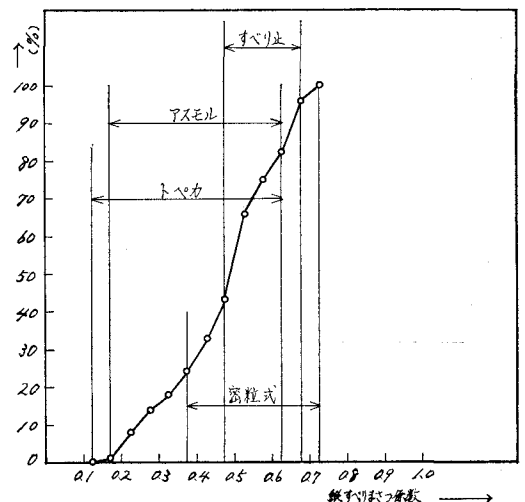
層、すなわち、アスファルト・モルタル、密粒式アスファルト・コンクリート、細粒式アスファルト・コンクリート(トベカ)、混合式スベリ止舗装において行なわれた。

主なる調査路線、調査箇所と設計配合表、マーシャル試験結果表および施工年月日は表-1にまとめてある。

又それぞれの調査箇所における代表的な測定値は表-2に掲げるとおりである。なお、ここで言う μ とは母平均を示し、B.P.N.とはポータブルスキッドテスターによる測定値を示す。

(2) 舗装の種類と縦すべりまさつ係数の関係

縦すべりまさつ係数が舗装の種類によってどのように異なるかを調べるため、測定値の頻度累計曲線を描いた(図-2)。頻度累計曲線は試験速度 40 km/h、路面温度 18~33°C の条件下における測定値を舗装の種類ごとにまとめ、さらにまさつ係数の階級区分をして、その頻度を調べ累計して描いたものである。



図—2 縦すべりまさつ係数の頻度累計曲線

すべりまさつ係数の頻度累計曲線から次のようなことが判明した。

すべりまさつ係数の最も安定しているのはスベリ止舗装であり、その値も他の舗装に比べて高かった。

トベカはまさつ係数のバラツキが最も大きく、測定値中の最小のすべりまさつ係数を示したものもあった。

密粒式アスコンは時間的な変化が非常に顕著であった。しかしこの差は試験舗装と本舗装による差であることも十分考えられるものである。

ゴム入のアスモルはすべりまさつ係数が高かった。

図-2のグラフにおいて、50パーセンタイルまさつ係数は0.5ほどであった。しかし、道路幾何構造要綱（第一次原案）におけるすべりまさつ係数の基準値（40 km/h で 0.38）に満たない路面が全体の20%以上も占めていることは非常に大きな問題と言わなければならない。

(3) 試験速度と縦すべりまさつ係数

湿潤路面における縦すべりまさつ係数は走行速度によって非常に大きな変化をすることが知られている。そこでこの変化を舗装の種類ごとに調べてみた。

図-3は施工後50～60日の、路面温度20～30℃のすべりまさつ係数の速度変化を各舗装ごとに調べてみたものである。この結果次のことが判明した。

混合式スベリ止舗装は最も高いすべりまさつ係数を有し、その上速度による変化もさほど大きくなかった。

アスモル（ストレート）のすべりまさつ係数は非常に小さく、速度による変化も一番大きかった。

アスモル（ゴム入）のすべりまさつ係数はストレートのものに比べて明らかに高くなっている。

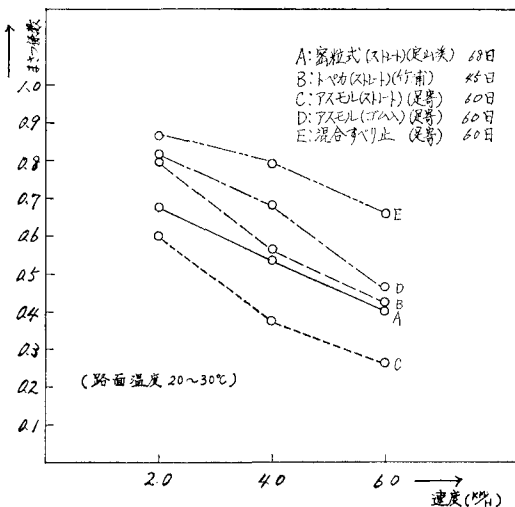


図-3 走行速度—縦すべりまさつ係数

(4) 縦すべりまさつ係数の時間変化

施工直後の路面と、交通に開放され、風雨にさらされた後の路面とではまさつ係数に差があることは容易に推測で

きよう。そこで、アスモルとトベカについてまさつ係数の時間変化を調べてみた。その調査結果は 図-4-1、4-2 に掲げるとおりである。

この図によるとまさつ係数の時間変化は明らかに存在することが分った。しかし、36号白老町竹浦における場合、2週間の時間経過後にもかかわらず、縦すべりまさつ係数が0.2～0.3程度しかないことは交通安全上大きな問題となつてこよう。

トベカの種類の差は認められず、4種類の路面ともほぼ同一の傾向を有していることが分った。

241号上土幌におけるアスモル路面では、時間変化よりも舗装の種類によるまさつ係数の差が目された。特にゴム入のアスモルが高いすべりまさつ係数を有していることと、混合式スベリ止舗装が最初低い値にあったにもかかわらず、時間の経過と共に高いまさつ係数を有してくること

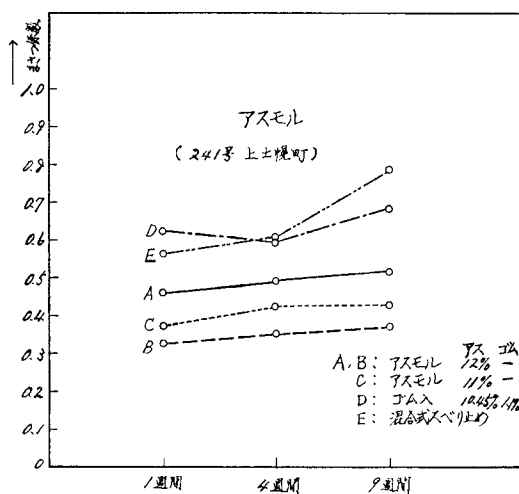


図 4—1 縦すべりまさつ係数の時間変化

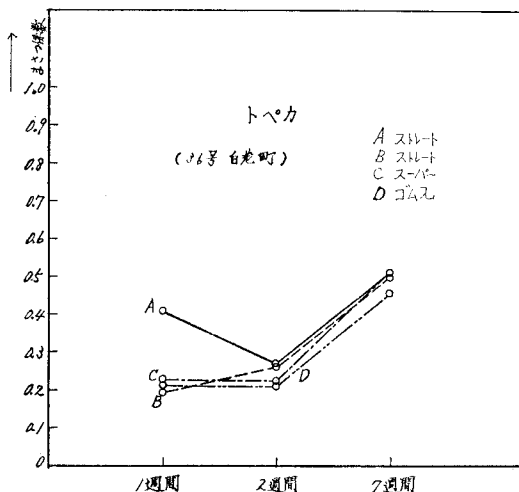


図 4—2 縦すべりまさつ係数の時間変化

が明らかにされた。

この調査は現在も続けられており、特に一冬の経過後どのような変化をもたらしかに興味を持たれている。

(5) 縦すべりまさつ係数とポータブル・スキッド・テスター値

ポータブル・スキッド・テスター値 (B.P.N) と試験速度 40 km/h での縦すべりまさつ係数の関係は 図-5 に示すとおりである。この図からも明かなように B.P.N と縦すべりまさつ係数の間には強い相関性があり、直線の回帰線が引けることが分った。その上 B.P.N と 20 km/h での縦すべりまさつ係数との間に引いた回帰線の勾配が 40 km/h での縦すべりまさつ係数のものと等しいことが判明した。

B.P.N は非常に広い縦すべりまさつ係数に対応しており、ポータブル・スキッド・テスターの使用にあたってはこのことを十分考慮しなければならない。

なお、ここで用いている B.P.N は一区間 9 測点で得ら

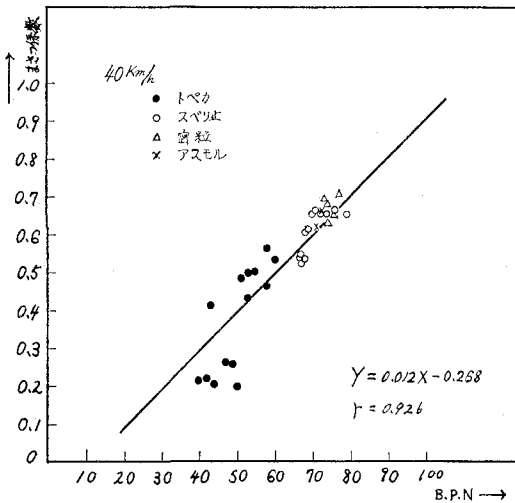


図-5 B.P.N と縦すべりまさつ係数 (40 km/h)

れた測定値の平均値である。又回帰直線の係数と、B.P.N と縦すべりまさつ係数との間の相関係数は次の通りである。

試験速度 40 km/h $Y = 0.012X - 0.268 \quad r = 0.926$
" 20 km/h $Y = 0.012X - 0.079 \quad r = 0.887$
但し X: B.P.N Y: 縦すべりまさつ係数

4. 横すべりまさつ係数の測定結果

(1) 直交表によるわりつけ

横すべりまさつ係数は自動車の走行性能を大きく左右するものであり、その影響因子も多く解析を複雑にしている。

そこで直交表を用いて、車輛の走行速度、空気圧、すべり角、タイヤが横すべりまさつ係数に及ぼす影響を調べた。

用いた直交表は L_{27} のもので、因子およびその水準は次のように定めた。

- A: 走行速度: (1) 20 km/h, (2) 40 km/h, (3) 60 km/h
B: 空気圧: (1) 1.0 kg/cm², (2) 2.0 kg/cm², (3) 3.0 kg/cm²
C: すべり角: (1) 10°, (2) 15°, (3) 20°
D: タイヤ: (1) 普通タイヤ(新), (2) 普通タイヤ(中), (3) スノータイヤ(新)

交互作用は走行速度×空気圧、走行速度×すべり角、空気圧×すべり角、を検出しようとしてわりつけた。

試験は一般国道 230 号定山溪の密粒式アスコン路面で行なった。

(3) 分散分析表および範囲図

前述の直交表にもとづいて実験を行ない表-3の分散分析表を得た。その結果有意となった要因は速度、空気圧、タイヤであり、スベリ角、速度×空気圧、速度×すべり角、空気圧×すべり角の交互作用は有意とならなかった。

そこで改めてこれらの分散を誤差項に含め、F-分布検定を行なった。又有意となった要因について寄与率を計算し、全体に及ぼす影響度を調べた。

その結果、タイヤの要因が最も大きく横すべりまさつ係

表-3 分散分析表

要 因	偏差二乗和	自由度	不偏分散	F_0	プ ール	F'_0	寄与率
速 度 A	0.055	2	0.0275	5.00	VE=0.0034 φ=16	8.09*	19.3
空 気 圧 B	0.026	2	0.013	2.363		3.82*	7.9
ス ベ リ 角 C	0.005	2	0.002	—		—	—
速 度×空 気 圧 A×B	0.002	4	0.0005	—		—	—
速 度×スベリ角 A×C	0.015	4	0.00375	—		—	—
空気圧×スベリ角 B×C	0.025	4	0.00625	1.136		1.84	5.1
タ イ ヤ D	0.094	2	0.047	8.545		13.82*	34.7
誤 差 e	0.033	6	0.0055	—		—	31.8
計	0.254	26				*: 有意 (5%)	100

数に影響を与えていることが分った。誤差の項の寄与率が大きいのは、ここでとり上げた要因以外にも影響を及ぼす要因のあることを示している。しかし今回の実験では、上り方向と下り方向のデータをもって2回の反復としたのでくり返し誤差が大きくなったものと思われた。

図-6-1, 6-2, 6-3は有意となった要因について各水準ごとの平均値とその信頼区間を示したものである。

これによると横すべりまさつ係数は速度の増加と共に直線的に減少してくることがわかった。

空気圧の要因では2.0 kg/cm²を最高として、それよりも高くても低くても横すべりまさつ係数は減少することが判明した。それゆえ、タイヤの空気圧は常に適正にしておかなければならない。

タイヤによる影響を調べてみるとスノー・タイヤでの横すべりまさつ係数が一番低いことが明らかにされた。このことは湿潤路面においてはスノー・タイヤはさしたる効果を有していないことを意味するものとして注目された。

すべり角が有意にならなかったのは、横方向力は10°～20°のすべり角の範囲では、ほぼ一定になるためだと思われる。

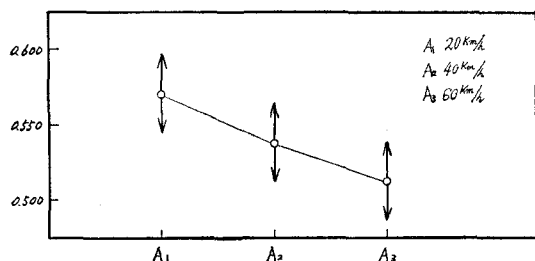


図 6-1 走行速度と横すべりまさつ係数

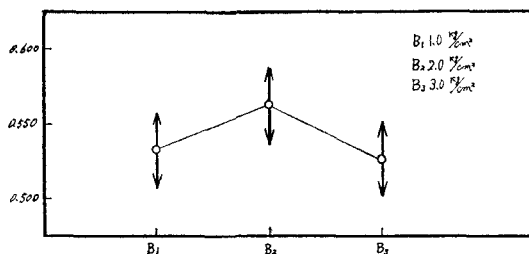


図 6-2 空気圧と横すべりまさつ係数

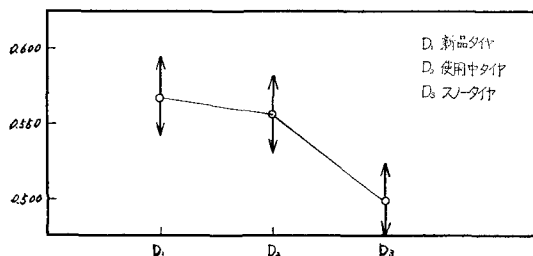


図 6-3 タイヤと横すべりまさつ係数

今後横すべりまさつ係数が路面の種類、状態によっていかに変化するかを調査研究して行く所存である。

5. ま と め

(1) 調査結果の総括

北海道における主要なアスファルト舗装のすべりまさつ係数を測定した結果、次のようなことが判明した。

i) 全体的にまさつ係数は小さく、特にアスモル・トベカ等においては非常に滑りやすい路面が多かった。

ii) 施工直後の路面はまさつ係数が非常に小さいので、約1カ月間位は何らかの手段を講じる必要があると思われる。

iii) 混合式スベリ止舗装はすべり止としての機能を十分有しており、まさつ係数のバラツキも余り大きくなかった。

iv) 密粒式アスコンはまさつ係数から見て優れたものもあり、ラベリングの問題と兼ね合わせて、さらに配合設計の改善を行なうことが望ましい。

v) ポータブル・スキッド・テスターによる測定値 (B.P.N) と試験車による測定値との間には直線の回帰式が引けることが判明した。しかし、B.P.Nのカバーする領域が広いので、その使用にあたっては十分注意しなければならない。

vi) すべりまさつ係数は路面温度によって変化することが知られている。しかし、その定量的な解析は非常に困難であるため、本文では路面温度が18°～33°Cにおけるまさつ係数を採択した。

vii) 横すべりまさつ係数は速度、空気圧、タイヤによって変化することが明らかになった。しかし誤差項の寄与率が大きかったため、取り上げる要因を再検討しなければならない。

(2) 今後の課題

道路研究室で開発したすべり試験車は北海道におけるアスファルト路面のすべり抵抗値の測定・解析において活躍した。今後さらに試験車の信頼性を高めると共に、次の諸点において調査研究を続けて行く考えである。

i) 縦すべりまさつ係数の直交表による測定

実験計画法にもとづく測定が非常に有効なことが分ったので、縦すべりまさつ係数の測定にもこの手法を適用し、現在調査を行なっている。とり上げた要因と水準は次のとおりである。

A: 路面:

(1) ストレート (2) ゴム入 (3) スーパ

B: タイヤ:

(1) 新品 (2) 中古品 (3) 古品 (トレッド消滅)

C: 走行速度:

(1) 20 km/h, (2) 40 km/h, (3) 60 km/h

D: 空気圧:

(1) 1.0 kg/cm², (2) 2.0 kg/cm², (3) 3.0 kg/cm²

E: 輪荷重:

(1) 100 kg, (2) 200 kg, (3) 300 kg

F: 路面温度: (1) 高温時, (2) 低温時

ii) まさつ係数の経年変化と温度変化について長期的な調査研究を行なうこと。

iii) すべり試験車による野外実験と、試験室における室内実験とを仲だちする実験装置を早急に開発すること。

iv) すべり試験法を統一すること

すべりまさつ係数は種々の要因に影響されるものであり、それゆえに統一的な測定法の確立が急がれる。

v) すべらなく、すりへらない舗装を実現すること。

参 考 文 献

1) 板倉忠三・加来照俊・塩田 衍: 「Sideway Force 法に

よる道路の滑り測定」. 昭和 42 年度研究発表会論文集 24 号, 土木学会北海道支部.

2) 市原 薫・越正 毅: 「路面の滑り」. 交通工学シリーズ 21, 技術書院.

3) 市原 薫: 「路面のすべり抵抗値に関する研究」. 土木研究所報告 135 号, 42 年 2 月, 建設省土木研究所.

4) 仙台技術事務所: 「アスファルト混合物のタイヤ・チェーンによる摩耗およびすべり抵抗に関する研究」. 建設省東北地方建設局

5) H. W. Kummer and W. E. Meyer: 「Tentative skid-Resistance Equirements For Main Rural Highway」. National cooperative Highway Research Program Report 37.

6) Hugh A. Ward: 「Skid Testing with An Automobile」. Kentucky Department of Highways Research Repore February, 1966.