

作業地を滑り止めの試験舗装中間報告

東北地建仙台技術事務所 小 野 末 雄

○ 小 林 武

東北のような寒冷地では、冬の間車がチェーンをかけて走るため舗装表面のマモウに悩まされてきた。そこで、アスファルト舗装の表層に使われているトペカ、アスモルはタイヤチェーンによるマモウを少なくするためにアスファルト量およびフィラー分を従来より多くして密なものにした。

このため、この寒冷地タイプの路面はマモウに強くなったが、車は滑りやすくなったという声が現場から出てきた。そこで昭和41年度から仙台技術事務所では調査を始めた。

1 方 針

問題を次の三段階にわけて進めていくことにした。

- (1) 東北地建管内の各種舗装のすべり抵抗の実測データを集め、本当に滑りやすいのかどうか、どういう条件の時に滑りやすい状態になるのかを調べる。
- (2) 配合の面、または工法の面ですべり抵抗を減らすには、どの要因を改良してやればいいのかを、実験計画の手法を用いて室内実験および現地の試験舗装により明らかにする。
- (3) 最後に、どういう条件の時に、どれくらいすべり抵抗にするといいのか。耐マモウ性を損なうことなく、滑りを減少させるにはどういう配合、施工にすればいいのか、一般的な基準を作成したい。

2 管内アスファルト舗装のすべり抵抗値

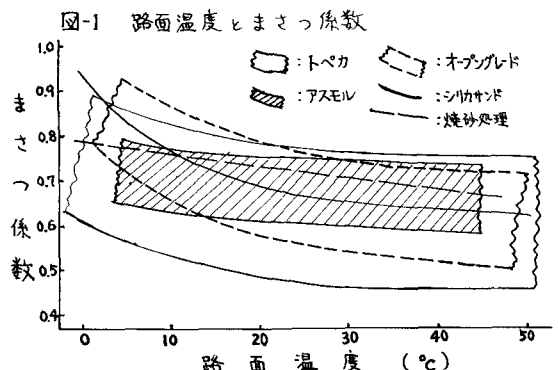
昭和41年9月より、アスファルト舗装の14工種60近くの地点で、スタンレー（英国製 Portable Skid Resistance Tester）により継続的に調査を行っている。測定はすべて湿潤状態でやっているが、主な調査結果を簡条書きにすると次のようになる。

- (1) アスモルと焼砂処理を除き、各種工法とも季節により大きく変動している。
- (2) どの工種もまざつ係数は0.5~0.6以上であるが、トペカだけは0.5を下回るものがトペカ全体のデータの1~2割に達する。

- (3) 路面温度とまざつ係数の関係は図-1のようであり、温度が高くなるとほぼ横ばい状態となる。

- (4) 施工後の経時や配合の違いによるまざつ係数の傾向は明らかでなかった。

したがって、トペカはある条件の下では、滑りやすい路面になるので、その原因の追求と対策が必要である。



3. 室内実験

アスファルト舗装のすべりに影響する要因が何であるかは、明らかにしたことはわかっていないが、一般には、アスファルトの量と質、 F/A （骨材およびフィラー中の0.075フルイ通過分の量とアスファルト量の比）、粒度、骨材の形状と質、締め固め圧と温度、養生および施工法、施工時期等が考えられる。このうち室内実験として取り上げた因子と水準は次の表-1のとおりである。

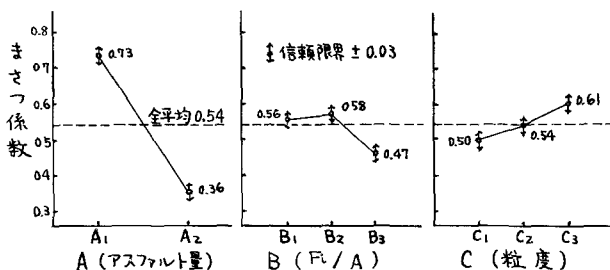
これをスツの直交配列表 L_8 に割りつけ16種類の配合で実験を行なった。供試体はアムスラード締め固め24時間水中養生の後、スタンレーで湿潤状態のままで係数を測定した。

データも分散分析した結果、アスファルト量、 F/A および粒度がきいていことがわかった。これらのままで係数への効果をグラフにすると図-2のようになる。これによつて、アスファルト量と F/A を大きくした寒冷地タイプA舗装は普通タイプより滑りやすくなっていることがわかる。

表-1 室内実験の因子と水準

因子	水 準
A: アスファルト量	A ₁ : 8% A ₂ : 10%
B: F/A	B ₁ : 1.0 B ₂ : 1.35 B ₃ : 1.7
C: 粒 度	C ₁ : 下限 C ₂ : 中央 C ₃ : 上限 (トペカの粒度範囲を表わす3点曲線に対して)
D: 締め固め温度	D ₁ : 90℃ D ₂ : 110℃
E: 110℃防凍剤の添加 (デハイドロ)	E ₁ : 0% E ₂ : 0.3%

図-2 室内実験の要因効果のグラフ



4 試験舗装の計画

室内実験の結果を確認し、更に施工時期による影響、ままで係数の経年変化を実地に把握するために、仙台工事事務所管内の国道48号線で（宮城県宮城郡宮城町作並）で厚さ3cmのトペカのオーバーレイを試験施工することにした。

4-1 因子と水準

室内実験で有意となった因子（アスファルト量・ F/A 粒度）の他に、土木研究所とも協議のうえ、新たにアスファルト針入度、粗骨材の質（硬さ）および施工時期の3因子を取り上げた。

各因子とも2水準とし、これを直交表 L_8 に割りつけ

表-2に示す8種類の配合を現地におとした。

表-2 試験舗装の配合表

配合 No	A アスファ ルト量%	B F/A	C 粒度	D アスファ ルト針入度	E 粗骨材	F 施工 時期
1	8	1.0	下限	60~80	硬岩	7月 と 10月
2	9.5	1.5	上限	"	"	
3	8	1.0	上限	"	軟岩	
4	9.5	1.5	下限	"	"	
5	8	1.5	下限	100~120	硬岩	
6	9.5	1.0	上限	"	"	
7	8	1.5	上限	"	軟岩	
8	9.5	1.0	下限	"	"	

施工時期は7月と10月にした。7月は施工后立即にフラッシュを受けず時期として、10月は施工後にフラッシュを受けず時期として選んだものである。これにより、フラッシュを受けた路面と受けなかった路面とのすべり抵抗に対する差を知ることができる。

4-2 現地わりつけ

現地舗装は1配合延長40mを上り下り車線にそれぞれ施工するのだが、交通処理および施工の便利を考へて図-3に示すように配列・施工することにした。

4-3 調査項目

東北地方建設局共通仕様書にもとづいて施工および品質管理を行なった外、すべり抵抗の測定、マモラ試験、気象観測および交通量観測を継続して実施する。すべり抵抗の測定は路面を湿潤状態にして、次の3方法で行なう。

- (1) ステンレ法・携帯用すべり抵抗試験器
- (2) 加速度計法：携帯用路面すべり計、(ハニ代製作所製MK-1型)で車速は30km/hと50km/hとする。
- (3) 土研式すべり計法：土木研究所舗装研究室の路面試験車SRM-1型により車速は30km/h, 40km/h, 50km/h, 60km/hとする。

調査時期は施工後、1日目・1週目・1月目・2月目 3月目 以下適宜実施する。

5. 施工経過

5-1 材料

表-3 骨材試験成績表

種別	硬岩	軟岩	粗砂	細砂
産地	高館産	相馬産	阿武隈産	茨城産
号数	6号	7号	6号	7号
比重	2.612	2.559	2.686	2.628
吸水率%	3.4	4.5	1.4	3.4
単位体積重量t/m ³	1.472	1.449	1.552	1.507
スリハリ減量%	15.7	12.7	26.7	32.6
軟石量%	0	0	0	0
耐久性%	10.6	—	5.5	—
ハフリ%	0	—	100	—

使用した骨材は表-3に掲げたとおり。

なお アスファルトはシェル石油製、石粉は宮城タンカル製である。

5-2 施工温度

アスファルト温度 160~165℃

骨材加熱温度 230~250℃

ホトビン(砂)温度 200~220℃

合材出発時温度 135~180℃

合材到着時温度 138~176℃

敷均し温度 110~135℃

マカダム転圧開始温度 80~100℃

9ヤロウ 40~60℃

5-3 No.4とNo.8のAs量の変更

No.4の合材がグレースアスファルト状でフィニッシャー施工困難となったので、検討のうえ、アスファルト量を8.5%から8.0%に下げたところ施工できた。No.8も同じ処置をとった。したがって、アスファルト量の水準は8%と8.25%と考えることになる。

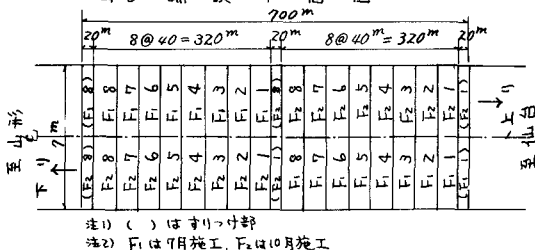
表-4 合材のマーシャル安定度試験結果表

配合No	設計As量%	供試体密度g/cm ³	理論密度g/cm ³	空隙率%	飽和度%	安定度kg	70-値1/100mm	備考
1	8	2.307	2.411	18.0	4.3	80.7	56	
2	9.5	2.244	2.348	20.8	4.4	82.5	66	
3	8	2.403	2.403	17.3	6.7	69.2	70.8	
4	9	2.320	2.368	20.4	2.0	91.2	52.6	安定度100以上
5	8	2.334	2.408	18.2	3.2	85.3	66.6	
6	9.5	2.198	2.346	20.4	6.4	76.3	60.6	
7	8	2.228	2.402	17.4	7.2	70.6	68.8	
8	9	2.319	2.374	20.4	2.3	87.8	58.0	

5-4 マーシャル安定度試験結果

プラント吐出口で採取した合材によるマーシャル安定度試験結果は表-4のとおりである。これで見ると、配合は実験計画法によってわかれたのであって、各々最良の合材とはならない。

図-3 舗設平面図



6 調査と解析

6-1 まさつ係数の測定データ

表-5にスタンレー法による、現在までの測定データを掲げてある。他の方法によるデータもほぼ同様の傾向を示している。

今回得られたデータによって、測定法の相関を調べたところ、どれも0.7以上の相関係数になり、直線式により相互に換算させることが確かめられた。

6-2 路面温度による測定値の補正

アスファルト舗装の路面のすべり抵抗は様々の条件によって影響されるが、ことに路面温度の影響の大きいことは季節によってまさつ係数が大きく変化することでも知られている。表-5においても配合によってまさつ係数が違うことはもちろんだが、路面温度と経時変化の影響が入っていることが十分に予想される。そこで、配合による変動を分析するためにはデータを同一路面温度の時のまさつ係数にそろえる必要がある。

このため7月施工分の1日、1週、1月目のスタンレー法のデータを用いて、路面温度 t と施工後の経時数 T とまさつ係数 μ の重相関回帰の計算を行なったところ、次のような結果が得られた。

- (1) μ と t と T の重相関係数は0.543 であり高度に相関性がある。
- (2) μ と t の偏相関係数は-0.376 (マイナスは負の相関つまり温度が上がる時まさつ係数が減少することを示す) で高度に相関あり、 μ と T は0.108 で相関なしであった。
- (3) 3者の相関式は
$$\mu = -0.00756t + 0.00761T + 0.847$$

ここに、 T は施工後1日目は1、1週目は3、1月目は5とした。

となる。この式は他の測定法および他の経時点においても良くあてはまることが確かめられた。

すなわち、施工後の経時数よりも路面温度がまさつ係数に大きく影響することがわかった。温度補正の方法は、0.00756の勾配の直線式によることにし、標準温度は東北地方の実情を考慮し20℃に決めた。したがって補正式は次のようになる。

$$\mu' = \mu + 0.00756(t - 20)$$

6-3 まさつ係数の経時変化

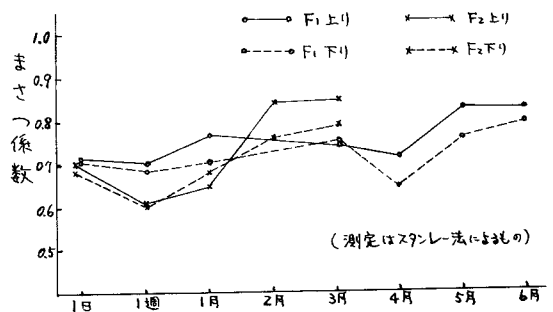
配合No.1~8を平均して考えると、各測定法に対して図-4のような図が得られる。これは経時変化から路面温度の変化による分を除いたものと考えられ、非常に複雑な変化をしていることがわかる。また施工後半年も経たないで済んだりしたことはいえないが、大まかに見て次のようなことが推察される。

- (1) まさつ係数は施工後1週目から1月目あ

表-5 スタンレー法によるまさつ係数 (平均値)

路面温度	経時数	1	2	3	4	5	6	7	8
F ₁ (7月施工)	24~30 1日	0.60	0.58	0.72	0.34	0.64	0.72	0.67	0.56
	29~46 1週	0.64	0.62	0.62	0.40	0.56	0.58	0.64	0.47
	21~26 1月	0.75	0.71	0.77	0.60	0.70	0.76	0.77	0.61
	13~22 3月	0.78	0.78	0.83	0.79	0.76	0.76	0.77	0.72
	9~15 4月	0.73	0.72	0.80	0.72	0.75	0.77	0.77	0.76
	1 5月	0.94	0.93	1.03	0.88	0.91	0.97	1.02	0.87
F ₂ (10月施工)	3~4 6月	1.02	0.98	1.01	0.82	0.88	0.94	0.98	0.90
	11~21 1日	0.77	0.77	0.87	0.48	0.67	0.88	0.81	0.63
	12~23 1週	0.68	0.64	0.74	0.40	0.54	0.73	0.81	0.55
	9~15 1月	0.75	0.72	0.78	0.67	0.72	0.78	0.80	0.66
	3 2月	0.98	0.91	1.03	0.85	0.90	0.99	1.01	0.95
	4 3月	1.00	0.98	1.06	0.85	0.88	0.94	0.98	0.87
	4 4月								

図-4 補正データによるまさつ係数の経時変化



たりまたは減少し、後少しづつ増加し落ち落ちてくという傾向が見える。これは施工時路面にあった油分が次第にとれてすべり抵抗を小さくし、次に車輪による路面の粗化のためにまた係数が漸増すると解釈される。

- (2) 加速度計法では現われないが、スタンレー法では12月～1月にまた係数が急増している。上り下りで差はないがタイヤチェーンによるマモウのせいと思われる。
- (3) 配合の違いによるまた係数の140mmは施工後1月目まではまだ大きい(標準偏差平均0.1)が、それ以降はやや小さくなっていく。そして冬にかかると再び増加している。つまりフラッシュやマモウ等の路面状態の変化によってバウツキが周期的に変動すると推測される。施工時期によるバウツキの差は明瞭とはない。

6-4 各要因の効果

各要因の効果を知るための分散分析は、施工時期毎と施工時期も因子に含めた場合について実施したが、表-6はスタンレー法のデータを使った分散分析結果表の一部である。他の測定法の結果も大同小異であった。

各因子毎に簡単に傾向を述べる。

- (1) アスファルト量は、室内実験と同じく現地試験においても、また係数に大きくさいている。しかし、影響度は時間の経過と共に小さくなっていくようである。真夏に再び寄与率が増すことも考えられる。一般にアスファルト量が増すと滑りやすくなる。
- (2) F/Aについては、施工後一週目までは少しさいている。しかしこれはスタンレー法の場合のみで、他の測定法ではほとんど影響は出ていない。
- (3) 粒度については、最も大きい寄与率(20～50%)を常に保っていることから、すべり抵抗を考える時に第1に考えるべき要因である。上限粒度、すなわち粗かとい滑りにくいことがわかり、下限粒度よりも、また係数は0.07～0.15 大きい。
- (4) アスファルト針入度は今回取り上げた水準に関しては大きな影響はないようである。
- (5) 粗骨材の質(硬さ)も、施工後しばらくはさいているが思ったほどでなかった。今回取り上げた碑石の石質の差が小さかったことも考えられる。
- (6) 施工時期はかなりのウエイトでさいている。具体的には、真夏における路面の軟化および冬のタイヤチェーンによるマモウが影響していると思われる。
- (7) 施工時期と他因子の交互作用は、アスファルト量(A×F)と粒度(C×F)が少し出ている。7月施工では10月施工にくらばアスファルト量のウエイトがやや大きく、相対的に粒度のそれは小さくなる。
- また、各因子の要素の水準の組合せ時のまた係数の推定式も求まるが、ここでは省略する。

表-6 分散分析結果(スタンレー法)

項目	経時	1日目	1週目	1月目	3月目	
平均まじり係数		0.708	0.653	0.704	0.789	
まじり係数の√		0.125	0.155	0.076	0.074	
各因子の寄与率 (%)	主効果	A(アスファルト量)	13.8 **	18.2 **	18.4 **	8.0 *
		B(F/A)	15.4 **	4.0 **	—	0.6
		C(粒度)	39.8 **	36.7 **	30.0 **	14.2 **
		D(針入度)	—	2.2 *	—	9.7 *
		E(石質)	2.0 *	8.1 **	—	—
		F(施工期)	—	12.3 **	19.8 **	23.6 **
	交互作用	A×F	—	1.7 *	—	—
		B×F	—	1.0	—	1.5
		C×F	—	3.0 *	—	2.2
		D×F	—	—	—	—
		E×F	—	—	—	—
	誤差		24.0	12.8	31.8	40.2

注1) 寄与率とはまた係数の変動の原因として各因子の占める割合(%)

注2) 数字の右肩の ** …… 非常にさいている因子 (1%有意)

* …… さいている因子 (5%有意)

印なし …… ありさいていない因子

— …… 全くさいていない因子

6-5 滑らない路面の設計

滑らない路面の限界まき係数は一般に0.40~0.50の間の値と考えられている。線形にもよるが予想される高い路面温度の時に、最高制限速度に対してこの値以上であればよいわけである。

実際にはこの他、施工後の経年変化、フラッシュヤモウ等による変化を考え、最も危険な時点の配合条件（アスファルト量・F/A・粒度）アスファルト量とまき係数の推定式を使って、限界まき係数に対する配合限界を知らなければならぬ。この場合限界まき係数は、使用する推定式の路面温度、車速に換算しなければならぬ。

たとえば、図-5のような図が書けるだろう。

6-6 マモウ量の試験と解析

舗装面より切り取った供試体によって、マモウ

リング試験を行なったところ表-7の結果を得た。そして、まき係数と同様に分散分析を行なった結

表-7 ラベリング試験結果

配合No	7月施工		10月施工	
	上り	下り	上り	下り
1	1.37	1.31	1.24	0.79
2	2.05	2.38	1.39	1.14
3	0.28	3.57	5.67	2.48
4	1.23	1.33	0.91	0.89
5	1.07	1.09	0.75	1.03
6	2.73	3.53	1.37	5.20
7	3.67	3.62	1.54	4.77
8	1.18	1.80	0.82	0.99
平均	2.23		2.25	

果、図-6に示すように、アスファルト量、F/A、粒度、粗骨材の質の4因子が有意となった。その傾向はまずいことに、粗骨材の質を除いてまき係数と並になっており、滑りとマモウの両立が難しいことを示している。

図-5 限界まき係数を保つ配合限界線

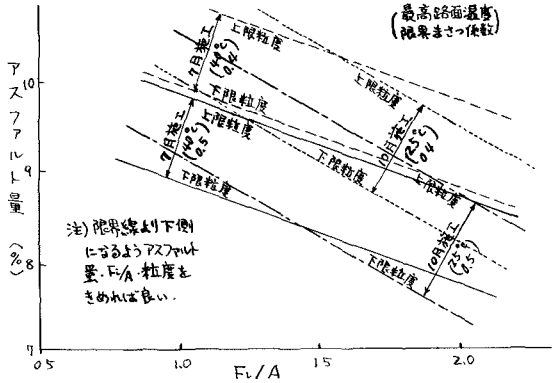
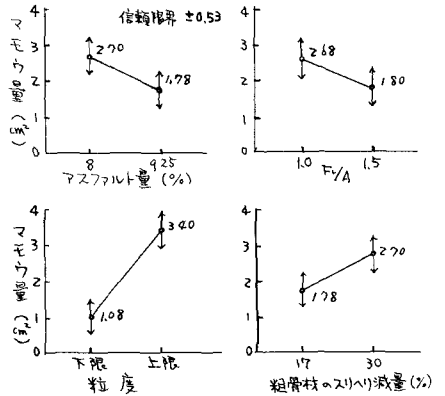


図-6 マモウ量の要因効果のグラフ



7. おわりに

以上、試験施工の概略を説いたが、今後とも、試験測定を重ね、耐マモウ性を考慮した滑らない路面の設計指針を作成したいと思っている。

今回の試験舗装にあたって、その推進にあたられた清水博道路計画課長、快く現場を提供してくださった仙台工務事務所、ならびに面割な施工を完遂された日本舗道（株）の方々に、また、終始御指導くださった土木研究所舗装研究室に厚く御礼申し上げると共に、これからますます御協力、御指導くださるようお願いいたします。