

溶融式トラフィックペイントを高速 道路上で用いる提案とその実用化

今田寛典¹・藤谷明文²

¹正会員 工博 呉大学助教授 社会情報学部社会環境情報学専攻 (〒724-07呉市郷原町2411-26)

²非会員 日立化成工業(株)山崎工場 開発部 (〒317日立市東町4-13-1)

高速道路で溶融式トラフィックペイントを用いるためには、区画線を薄く塗布する技術の開発が基本的な課題の一つである。本研究は、薄膜施工法の提案と薄膜区画線の耐久性、視認性、コスト、滑り抵抗、施工効果等について研究したものである。

得られた知見は以下のように要約できる。(1)薄膜化の追求は必要であるが、0.7mm程度の区画線が可能となった。(2)0.7mm程度の溶融式区画線の耐久性は0.2mm程度の加熱式区画線の約10倍である。(3)薄膜区画線の滑り抵抗値は加熱式区画線のものとほぼ同じである。(4)薄膜区画線のトータルコストは加熱式区画線のものより小さい。(5)高速道路での溶融式トラフィックペイントの実用化の可能性は高い。

Key Words : *thermoplastic traffic paint for expressway, thin road marks, durability, dynamic skid resistance coefficient, total cost*

1. はじめに

現在、高速道路で用いられているトラフィックペイント(以降ペイントと略す)は加熱用のものが大半であり、溶融式のそれは少数である。このような状況の中で、著者らは、高速道路で溶融式ペイントを用いることを検討してきている。

ところで、加熱用ペイントにガラスビーズを混入して塗布することは困難であるため、散布ガラスビーズが離脱すると、夜間における区画線の視認性は大きく低下してくる¹⁾。また、加熱用ペイントが乾燥するには5~10分を要するので、交通を規制したり、遮断する閉塞区間長は長くなり、施工時の交通渋滞や交通事故の危険性は大きな問題となる。

一方、溶融式ペイントにはガラスビーズを混入できるので、散布ガラスビーズが離脱した後も、混入ガラスビーズが区画線表面に現れ、夜間の視認性は加熱用のものより長期間持続する。さらに、溶融式ペイントの乾燥時間は加熱用のものよりはるかに短いので、交通を規制する時間や遮断する閉塞区間長は短くてすむ。これらの点に関して溶融式ペイントを用いるメリットは大きい。

しかし、これを実現するためには、まず2つの問題がある。一つは溶融式区画線表面の滑り抵抗の増大である。加熱用ペイントは0.25mm程度の薄さで均一に塗布されるため、路面の凹凸が区画線表面に現れるが、溶融式区画

線の膜厚は1.5mmから2.0mm以上もあるので、表面は平坦になり、溶融式区画線の滑り抵抗は加熱用ペイントのそれよりも小さい。二つ目は、施工コストの低減である。溶融式ペイントの施工単価は加熱用のものよりかなり高い。仮に溶融式区画線の膜厚を薄くできれば、溶融式区画線表面には路面の凹凸が現れ、湿潤時の滑り抵抗は大きくなる。さらに、膜厚が薄い分だけコストは低下する。

また、溶融式区画線の耐久性は加熱式のものより優れている²⁾が、これは区画線の膜厚が大きな影響を及ぼしているものと考えられる。

結局、溶融式ペイントを高速道路で用いるメリットの大きいことは分かったが、溶融式ペイントを用いて薄膜区画線を引くことが可能かどうか、耐久性が優れているかなど分からない点も多い。

そこで、本論文は、溶融式ペイントを用いた区画線の薄膜化とその特性について述べたものである。薄膜化の方法、区画線の摩耗性、滑り抵抗、視認性の継続、コスト等について論じている。

2. 溶融式ペイントの薄膜塗布法の検討と提案

(1) はじめに

著者³⁾らは、現行の溶融式区画線よりも1/3以上も薄い0.5mm弱で溶融式ペイントの塗布を可能にした。同時に薄膜化のための具体的な施工法も提案している。さら

表-1 コントロール因子の実験条件

コントロール因子	実験条件				
回転数(rpm)	4,414				
T (sec)	4 7 13				
G (mm)	0.1 0.3				
C (cm)	0.5 1.0 1.5 2.0				
H (cm)	10 15 20 25.5 30.5				

C : シャッター開閉度、A=15×C (W=15cm)

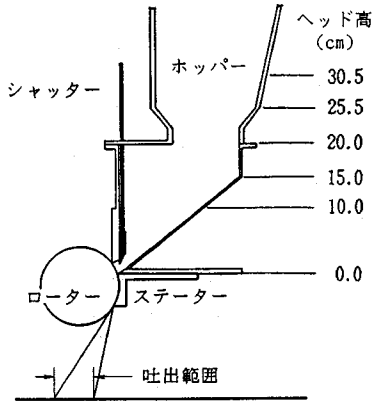


図-1 溶融式ペイントの塗布法

に、著者⁴⁾らは、薄膜化に適した溶融式ペイントに求められる特性として、溶融ペイントの粘性低下、硬化時間の短縮、流動性の向上、高速走行自動車の荷重に対する耐剥離性、耐摩耗性、耐破壊力、耐久性および脆さの向上等が重要であることを明らかにし、各特性を満足し、かつコスト上昇を最小に押さえた溶融式ペイントの構成を提案した。

区画線の薄膜化の一部については上述したように文献3)で議論しているが、本章ではそれらについて一部加筆し、溶融式ペイントの薄膜施工システムの提案と実用化について述べる。

(2) 溶融式ペイントを薄く塗布する方法

溶融式ペイントは可塑性、合成樹脂、体質材、顔料、ガラスビーズ等の混合物である。高温で溶融した溶融式ペイントを加熱用ペイントと同様にスプレー方式で噴霧化することは困難である。このため、著者らは図-1に示されるホッパー内の溶融したペイントをローターにより微粒化し、路面に投射することにした。ローターの回転数がトラフィックペイントの微粒化に大きな影響を及ぼすが、著者らの実験的経験によると、φ120のローターを用いた場合4000rpm以上が必要であった⁵⁾。

いま、区画線の幅をWcm、単位時間当たり吐出量をQcm³/秒、施工速度をScm/秒とすれば、膜厚Dcmは、

$$D = Q / (WS) \quad (1)$$

である。薄膜化を図るためには、QとSの自在化が求められる。さらに、均一な塗布表面を得るためには、溶融したペイントの均一な微粒化が要求されよう。

a) 溶融ペイント吐出量のコントロール

Qは、シャッター開閉面積Acm²、ホッパー内の溶融ペイント貯留ヘッド高Hcm、ローターとステーター間のギャップGmm、溶融ペイントの粘性Vpoise等の因子で

決まる。

吐出実験の詳細は文献3)に示されているが、溶融ペイントの吐出現象に、オリフィスからの流出計算の形を適用する。しかし、ペイントは水よりも粘性が高いので、オリフィス面積に該当するシャッター開閉有効面積をA-αVとする。

$$Q = a G^b H^c (A - \alpha V)^d \quad (2)$$

ただし、a、b、c、d、αはパラメータである。

ところで、粘性体のVを簡便な粘度指標T秒で知ることができる。特に、施工現場では簡単に、瞬時に粘性を知ることが重要である。著者らの実験によると、両者には、

$$V = \ln(T/2.66) \quad (3)$$

の関係がある。式(2)のVに式(3)を代入し、各パラメータをニュートン・ラプソン法で求めると、

$$Q = 60.8 G^{0.54} H^{0.49} \times \{A - 4.51 \ln(T/2.66)\}^{0.39} \quad (4)$$

となり、計算値と実測値間の相関係数は0.974であった。

結局、Dは次式で決定される。

$$D = 60.8 G^{0.54} H^{0.49} \times \{A - 4.51 \ln(T/2.66)\}^{0.39} / WS \quad (5)$$

ところで、薄膜施工を実用化するためには、Qを小さくすることが第1の条件であるが、因子の操作性も大きな課題である。特に、式(5)中のG(表-1)は非常に小さいので、細かく操作するより固定しておく方が操作上望ましい。式(5)によるとQはG^{0.54}に比例しており、G=0.1mmの場合のQは、G=0.3mmの約60%になる。このため、以下ではG=0.1mmについて検討した。

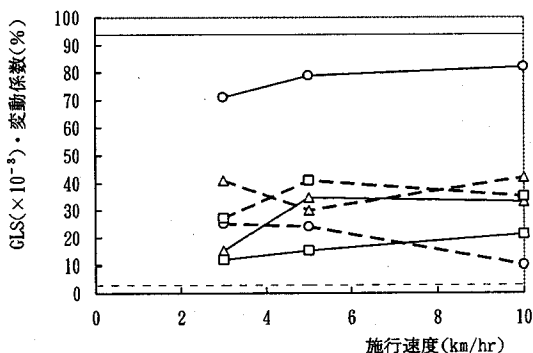
なお、表-1はA、H、G、Tの実験条件を整理している。したがって、式(5)は、Gも含めておよそ表の条件の範囲内で成立する。

b) 吐出範囲の狭小化と微粒化の均一性

吐出範囲が広くなると、微粒化したペイントの飛散量は多くなる。さらに、微粒化しないペイント量も多くなることが実験よりわかった。逆に、吐出範囲を狭くすると、均一な微粒化が得られることもわかった。したがって、吐出範囲をできるだけ狭くすることが重要である。

表-2 塊が落ち始める時の吐出量

粘度指標(sec)	4.0	7.5	13.5
吐出量(cm ³ /sec)	40~80	80~110	140~160



実線：平均，破線：変動係数
 細実線：現行の施工法で塗布した区画線の平均
 細破線：現行の施工法で塗布した区画線の変動係数
 ○：T=4sec，□：T=7sec，△：13sec

図-2 区画線表面の仕上がり評価

全体的に溶融ペイントの粘度指標が小さく、吐出量が多くなると、吐出範囲は狭くなる。逆に、同じ粘度指標でも吐出量が少なくなると、吐出範囲は広がる。

結局、粘度指標を小さくし、単位吐出量を多くすることが吐出範囲の狭小化と微粒化の均一性には重要である。特に、粘度指標に関しては以下のようにまとめられる。表-1に示される式(5)の成立範囲より望まし粘度指標は4秒であるが、薄膜化に適した溶融式ペイント自体について研究した文献⁴⁾によると、粘度指標は4秒よりも3秒の方が望ましいことが分かっている。したがって、粘度指標は4秒以下であることが望まれる。ただし、粘度指標が2秒になると、水とほぼ同じになり、著者らの実験よると施工は困難になる。

さらに、吐出状態を撮影したビデオを解析したところ、溶融ペイントが微粒化せず塊になる状態が認められるはじめる時の吐出量のあることがわかった。表-2に示されるようかなりの変動は認められるが、吐出量を少なくとも表中に示された量よりも多くしなければならない。

c) 薄膜表面の仕上がり評価

表面が平滑な板上に塗布した塗膜面の均一性および平滑性を評価するため、鏡面光沢度をJIS-K5400-1979の60°鏡面光沢度試験⁹⁾に準じて行う。基準面の輝度 L_s と塗膜面の輝度 L_m を測定すれば、光沢度GLSは、

$$GLS = L_p / L_m \quad (6)$$

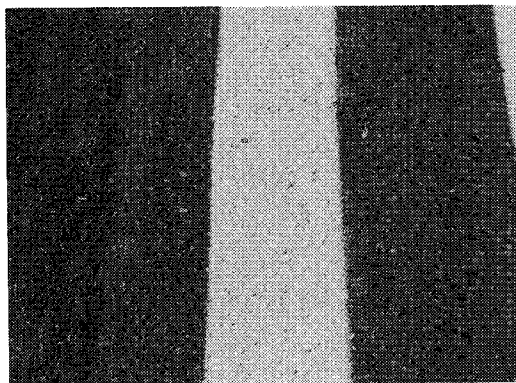


写真-1 0.5mm厚の区画線

で算出される。なお、15cm×15cmの塗膜面の9点で L_p を測定し、光沢度の変動係数も算出する。光沢度が高く、変動係数が小さいほど、塗膜面状態は良好になる。

図-2は、薄膜化と塗膜表面状態の評価結果を示す。実験条件は、膜厚が0.5mmになるように式(5)より設定したものである。

いずれの実験条件の場合も、実際に塗布して得られた膜厚は約0.5mmとなっており、式(5)の妥当性を示している。

さらに、溶融ペイントを厚さ1.5mm以上で塗布する現行の区画線の光沢度に近いものは、粘度指標が4秒のものである。同時に、4秒の場合の変動係数は他のものよりもかなり小さい。

全体的に施工速度が遅いと、塗膜表面状態は悪くなるようである。これは、施工速度が遅い場合には吐出量を少なくしなければならないので、微粒化の不均一が大きき原因である。しかし、粘度指標が4秒の場合には低速状態でも光沢度の高い塗膜が得られる。

(3) 薄膜化を目指した施工システムの開発

結局、溶融式ペイントを薄く塗布するためには、ギャップを0.1mm、ペイントの粘度指標を3~4秒、施工速度を8~10km/時とし、膜厚が0.5mmになるよう式(5)を基に他の因子をコントロールすればよい。

写真-1は、実路面に溶融式ペイントを塗布し、膜厚が0.5mm弱となった区画線である。区画線表面からも路面の凹凸がはっきりと認められ、仕上がりも良好である。

この実験では溶融ペイントを均一に微粒化するためにφ120のローターを4500rpmで回転させることが必要であった。また、薄膜施工には溶融温度とホッパー内の溶融ペイントのヘッド高の管理、破線が高速でも施工できる装置の搭載と仕上りの向上等が要求される。これらをシステム化し、ラインマーカー車に設置しなければならない。いま、φ120のローターを用いると、ラインマ-

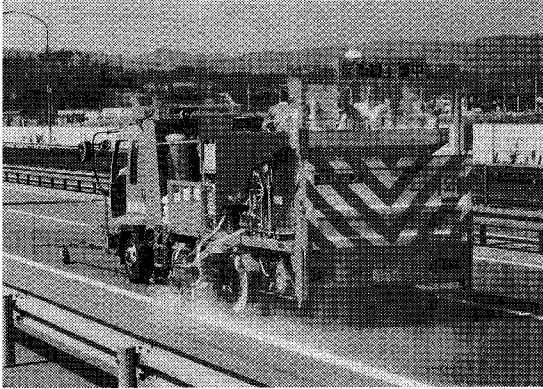


写真-2 薄膜施工システムを搭載したラインマーカー車

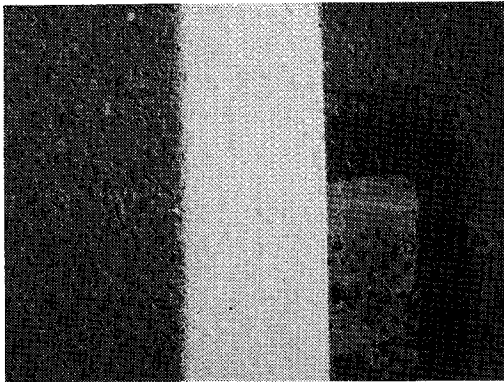


写真-3 0.7mm厚の区画線

カー車は大型車でなければならない。大型車では施工の機動性、車の占有率等の問題が生じる。そこで、φ80のローターを用いると、4t車で本システムの搭載が可能であった(写真-2)。しかし、φ80のローターの場合、厚さ0.5mmの薄膜区画線の仕上がりが表面の再現性はφ120を用いた場合よりも劣ることがわかった。これは、φ80のローターの接線速度はφ120のそれよりも低下すること、さらに、施工速度をオペレーターの能力に合わせて6~8km/時に落としたこと等が一因である。今後、さらなる薄膜化を追求する課題は残されたが、現時点ではローターの径よりもラインマーカー車の小型化を優先することとした。φ80のローターを用いた場合、0.7mmの再現性が高く、 0.7 ± 0.1 mmの施工精度が実用的である。

写真-3は本システムを用いて塗布した区画線表面である。路面の凹凸が区画線表面に現れている。

3. 熔融式ペイントと加熱用ペイントの耐久性比較

(1) はじめに

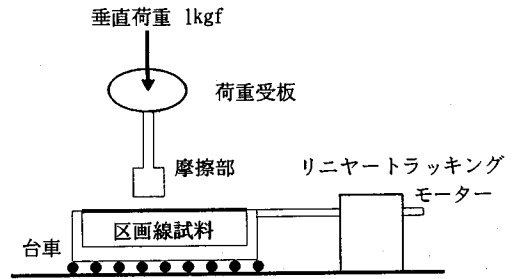


図-3 磨耗測定機の概略

熔融式区画線と加熱式区画線の耐久性を比較するには、実際の道路に両者を塗布し、車両を通過させる方法が一般的である。しかし、この方法であれば、車両荷重、通行台数、区画線の膜厚、区画線の摩耗量や視認性の変化等数値的に詳細な資料を得るのが困難である。そこで、これらを自由に操作できる実験を行うことにした。実験では熔融式区画線と加熱式区画線の耐久性を比較することに重点を置いているので、それぞれの区画線の耐久期間自体については議論の対象としていない。

実験では、区画線の摩耗重量と視感反射率(45度0度拡散反射率)を計測した。

(2) 実験の概要

図-3は区画線の摩耗試験機の概略を示している。区画線試料を摩耗試験機の台車に固定し、台車を往復運動させる。走行回数が0, 10, 50, 100, 以降100回毎に視感反射率および区画線塗料の摩耗重量を測定する。

a) 区画線試料の作成

18cm×18cm×3cmのアスファルトブロック上にプライマーを塗布し、その上に幅15cmの白色区画線を塗布した。なお、用いたアスファルトブロックは市販されており、表面は滑らかである。

熔融式区画線の場合、0.5, 0.8, 1.0mmのスリットを持ったハンドマーカーで熔融式ペイントを塗布した。一方、加熱式区画線の場合は、ノズル形式の施工機械を用いてペイントを1回塗り、2回塗り、3回塗りし、3種類の膜厚とした。さらに、それぞれのペイント表面上にはガラスビーズを40g/m散布している。

表-3はダイヤルゲージを用いて膜厚を測定した結果を示している。なお、表中の記号は、以降示される図中の記号と同じ意味である。

b) 模擬走行運動

区画線上を走行するタイヤに相当する部分は回転体とすべきであろうが、本研究では前述したように熔融式と加熱式区画線の耐久性を比較することが主目的であるため、タイヤをロックした状態で、かつ磨耗状態をできる

表-3 区画線試験片の膜厚(mm)とその記号

溶融式区画線		加熱式区画線	
記号	膜厚	記号	膜厚
□	0.43(0.5mmスリットのハンドマーカー使用)	△	0.19(1回塗布)
+	0.70(0.8mm ")	×	0.45(2回塗布)
◇	0.92(1.0mm ")	○	0.48(3回塗布)

注) 表中の記号は以降の図面の中でも用いられている

だけ早く知ることに努めた。そのため、タイヤと同質のゴムを用いるべきところを、本研究では研磨紙を用いた実験に用いた研磨紙はAA-40である。

台車は移動長107mm, 9往復/分の水平運動をする。

c) 垂直荷重

自動車負荷設計基準⁷⁾を参考にして小型乗用車の制動時の水平前後荷重(摩擦力)を求めると、244.5kgfになる。タイヤの接地面積を80cm²とすれば、単位面積当たりの摩擦力は3.1kgf/cm²である。

図-3に示される垂直荷重は上述のことを基に決定されねばならないが、本章の1節および2節のb)でも述べたように加熱式と溶融式区画線の比較が主目的であるため、本研究では厳密な荷重決定を考慮せず、荷重を1kgfとした。荷重を一定とし、区画線の磨耗量の変化を知ることが重要である。

なお、研磨紙の接地形状は1.9×0.7=1.33cm²の矩形である。また、垂直荷重1kgfを負荷した場合の研磨紙と区画線との静止摩擦係数は約0.9であった。

d) 磨耗量の計測

測定前に新しい研磨紙の重量 w_1 を測定し、摩擦部分に固定する。所定の回数になると、摩耗重量 w_2 、研磨紙の重量 w_3 を測定する。真の区画線の摩耗重量 w は、

$$w = w_2 - (w_1 - w_3) \quad (7)$$

で算出される。磨耗試験は下地のアスファルトブロックが現れるまで行われ、各試験片とも2回行われた。

e) 視感反射率の計測

視感反射率は、白色度の度合いを判定する指標⁸⁾として用いられる。この指標値が高いほど白色の視認性がよいと判断される。そこで、JISK5400に準じて視感反射率を測定する。これは磨耗量の測定と同時に行う。

いま、図-4に示すように区画線試料、標準白色板、光源、輝度計を配置し、輝度 L (cd/m²)、光軸に対する垂直照度 E (lx)を測定し、区画線の反射係数 R_m (cd/m²/lx)を算出する。同様に標準白色板の反射係数 R も算出する。そして視感反射率 P を求める。なお、光学測定は暗室で行われた。

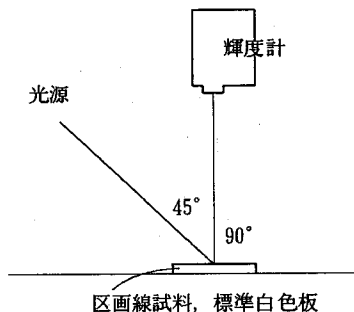


図-4 視感反射率測定の概略

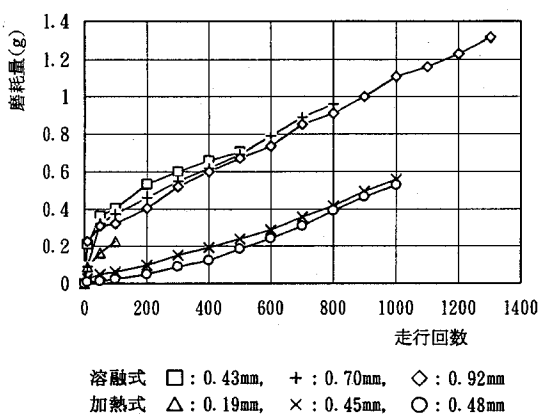


図-5 走行回数と磨耗量

$$P = \frac{R_m}{R} \quad (8)$$

(3) 実験結果

a) 摩耗重量

図-5は走行回数と摩耗重量の関係を示している。走行回数が100未満で摩耗重量が大きいのは、区画線表面に散布したガラスビーズの剥離が卓越しているためである。しかし、加熱式区画線の場合、膜厚が厚くなれば、初期のガラスビーズの剥離が認められない。これは、散布ガラスビーズが区画線内に沈降したためと考えられる。

散布ガラスビーズが剥離した後の摩耗量は走行回数に比例しており、いずれの区画線の磨耗度もほぼ一定である。

b) 視感反射率の変化

図-6は視感反射率と走行回数の関係を示している。初め視感反射率はおおよそ70%を保っているが、膜厚が薄くなり、アスファルト面が目視できるようになるとともに視感反射率も急激に低下してくる。視感反射率の継続は

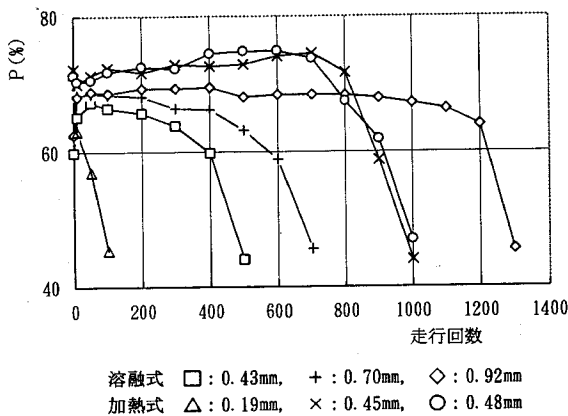


図-6 走行回数と視感反射率低下

膜厚が大きいほど有利であることがわかる。

c) 耐久性の比較

ここで、視感反射率が40%近くになるまでに要する走行回数を寿命回数Nと呼ぶことにする。ただし、視感反射率が40%程度という状況は下地であるアスファルトが部分的に現れ、少なくとも補修が必要な状態である。図-6からもわかるように膜厚が厚いほど寿命回数は増える傾向にある。そこで、膜厚で除した単位膜厚当たりの寿命回数 N_p を求め、膜厚との関係を図-7に示す。

溶融式区画線の場合、 N_p は膜厚とは関係なくほぼ一定である。すなわち、耐久性は膜厚に比例している。

一方、加熱式区画線の場合、膜厚が0.19mmと0.4mm以上とでは N_p に大きな差が認められる。これは、膜厚が厚い場合散布ガラスビーズは区画線内に沈降してしまい、区画線の耐久性が増したためと考えられる。他方、膜厚が0.19mm程度であると、散布ガラスビーズが剥離すると同時に区画線の磨耗度が急激に大きくなると考えられる。どの程度の厚さが N_p の違いの境界になるのかは明らかにはできなかったが、一般に施工されている膜厚の加熱式区画線の耐久性は非常に小さいといえよう。

ここで、加熱式の場合0.19mmと0.4mmとの間の N_p は明確ではないが、便宜上、膜厚xと寿命回数Nの関係を図-8に示す。

加熱用ペイントの寿命を延ばそうとすれば、膜厚を厚くすればよい。しかし、現行の膜厚を2倍にすれば、乾燥時間は約2~5倍長くなるので、加熱式区画線の膜厚を厚くすることは現実的ではない。

他方、溶融式ペイントはおおよそ0.5~0.7mmの厚さで塗布が可能である。図-8に示した理論値より、0.5~0.7mm厚の薄膜溶融式区画線の耐久性は現行の約0.2mm厚の加熱式区画線よりもおよそ5~10倍大きいことがわかる。

さらに、図-5より現行の加熱式区画線と溶融式区画線

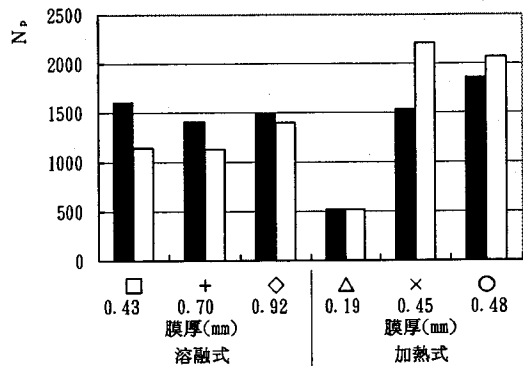


図-7 N_p の比較

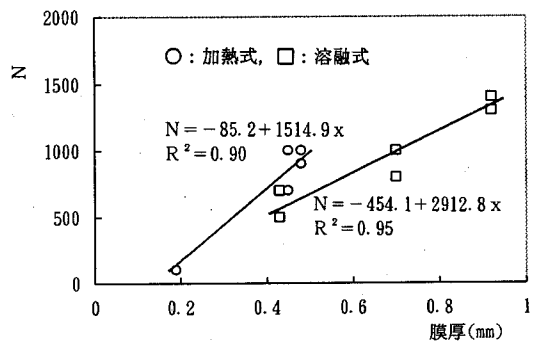


図-8 膜厚と N_p との関係

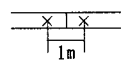
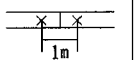
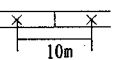
の散布ガラスビーズが剥離するまでの時間はほぼ同じである。加熱式区画線の場合散布ガラスビーズが離脱すると、夜間反射係数が急激に低下するが、ガラスビーズを混入した溶融式区画線は高い夜間反射係数が長期間継続することがわかる。また、報告例⁹⁾も多い。

著者等も山陽自動車道、北陸自動車道、日立市内の一般道等の一部に溶融式薄膜区画線と加熱式区画線の両者を引き、両者の夜間反射係数の経日変化を測定した。その結果を表-4に示している。いずれの区画線も施工直後の反射係数を100とする。

まず、日立市内の一般道の中央線は車に踏まれる機会が多いので、溶融式区画線の反射係数の比は、1ヶ月後67、3ヶ月後48、6ヶ月後44、1年後36と低下している。しかし、加熱式区画線の場合は1ヶ月後には既に55まで低下し、以降32、27、18のように溶融式よりも大きく低下している。

一方、高速道路の区画線は車に踏まれる機会が少ない。特に、外側線は車に踏まれる機会が少ないので、溶融式区画線の視認性は半年後もほとんど変化していない。し

表-4 夜間反射係数(指数)の経日変化の比較

施工道路 区画線	北陸自動車道 (三条市内) 外側線		山陽自動車道 (東広島市内) 外側線		一般道 (日立市内) 中央線	
	溶融式	加熱式	溶融式	加熱式	溶融式	加熱式
交通量	30,983台/日		25,802台/日		4,753台/12時間	
施工年月	1995年7月		1995年3月		1994年2月	
測定位置						
施行直後	100	100	100	100	100	100
1ヶ月後	99	75	93	50	67	55
3ヶ月後	-	-	96	51	48	32
6ヶ月後	-	-	100	50	44	27
1年後	-	-	-	-	36	18

溶融式区画線の膜厚は0.7mmである。

かし、加熱式の場合、1ヶ月後の反射係数は50まで低下している。以降は変化が認められなかった。北陸自動車道の場合には、1ヶ月後反射係数のみが測定された。溶融式区画線の反射係数は変化していないが、加熱式区画線の場合は75まで低下している。今後の経日変化を測定し、考察しなければ、明確な結論付けはできないが、少なくとも溶融式区画線のガラスビーズ効果は認められる。特に、一般道においてはその効果は大きい。

結局、溶融式区画線の薄膜化は現行の加熱式区画線よりも耐久性や視認性の継続性を向上させる。

4. 滑り抵抗

(1) はじめに

溶融式区画線の滑り抵抗は加熱式区画線より小さいことは知られている。土木研究所¹⁰⁾はアスファルト路面の滑り抵抗値を100とした場合、加熱式の区画線のそれは83、常温式のそれは81であるが、膜厚が1.0mmの溶融式区画線のそれは65~77、1.2mmでは70、1.5mmでは64程度になることを示している。ただし、これは、施工後1年以内の区画線表面のデータであり、ポータブルスキッドレジスタンステスターを用いた晴天時の計測値である。しかし、雨天時には、この低下率は大きくなる¹¹⁾。著者ら¹²⁾も同様のテスターを用いて滑り抵抗値を測定したところ、アスファルト路面の晴天時の滑り抵抗に対する湿潤時のそれは約8割程度であるが、1.5mm厚の溶融式区画線の晴天時の滑り抵抗に対する湿潤時のそれは約4割程度まで低下することがわかった。

しかしながら、いずれの場合も静的な測定値であり、

高速道路のような高速走行時の滑り抵抗値を検討するには不十分なデータである。高速走行時を想定した動的データの蓄積が必要である。

(2) 路面の粗さ

区画線の膜厚を薄くすることは、路面の凹凸を区画線表面に出現させ、滑り抵抗値を増大させることにある。この路面の凹凸の定量化には多くの方法がある。本研究では、現場で舗装路面の粗さを容易に定量化できるサンドパッチング法¹³⁾を用いる。

粒径300~500 μ mの砂V cm^3 を路面に山状に置き、ゴム板を用いて円形に広げる。最大限に広がったときの平均直径 d_m を測定し、広げた砂の平均厚さt mm を路面の粗さとする。

$$t = \frac{V}{\pi(d_m/2)^2} \times 10 \quad (9)$$

一般的な高速道路の路面粗さは0.4~0.5といわれている。著者らが実験を行ったアスファルト路面の粗さは、 $t \approx 0.4$ であった。この路面上に加熱用ペイントと溶融式ペイントを施工システムを用いて塗布し、湿潤時の動的摩擦係数を測定する。なお、溶融式ペイントは1.5mmと0.7mmの厚さで塗布されている。

(3) 湿潤時の動的摩擦係数

動的滑り抵抗測定には実車による方法が一般的であるが、高速走行時の滑り抵抗を実車で測定するとすれば、長い測定区間長を必要とし、その間の路面粗さの管理が困難である。また、比較すべき区画線が数種類となれば、その計測する場所、時間等に費やす労力や費用は大きなものになる。そこで、著者らは、狭い場所でも測定ができるD.F.テスター(Dynamic Friction Tester)を用いることとした。実験室内でも測定が可能である。この方法は藤谷の文献¹⁴⁾に詳細に記されているので、ここでは測定法の概略を述べることにする。

いま、重量wの物体(タイヤと同質のゴムを用いる)が速度vで引かれると、物体はFの摩擦力を受けることになる。摩擦係数 μ は、

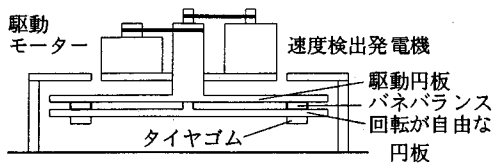
$$\mu = F/W \quad (10)$$

で示される。Wを一定値とすれば、式(9)は、

$$\mu = k \cdot F \quad (11)$$

となり、 μ はFに正比例する。ここで、vとFを測定すれば、速度別に μ が算出される。

図-9はD.F.テスターの基本原理を示している。水平に回転する円板にタイヤゴムを取り付け、所定の回転速度に達した時点で円板を区画線面上に落下させ、 μ を測定する。このとき、雨天時の μ を測定するため、区画線表面上には常に水を供給している。写真-4は実験の様子を示している。



駆動円板と回転が自由な円板はバネバランスで連結
バネバランスの変位は電気出力される。

図-9 D.F. テスターの基本原理

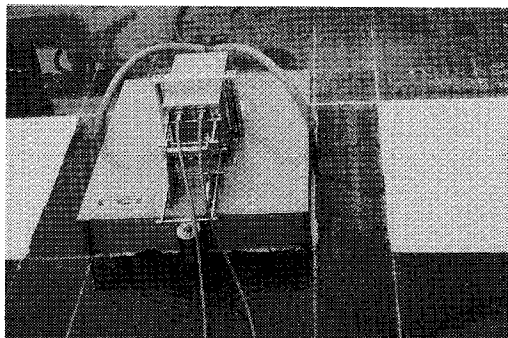


写真-4 μの測定

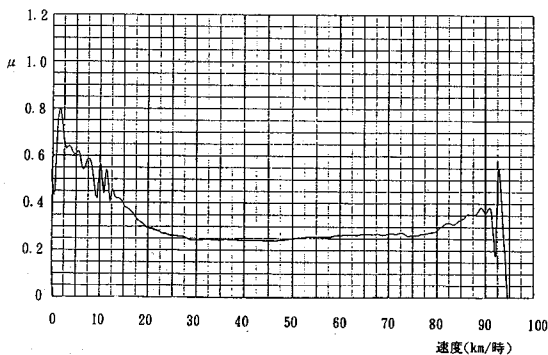


図-10 加熱用ペイントを塗布した区画線のμ

図-10～12は測定結果である。いずれの区画線とも円板に取り付けたゴム板位置の接線速度が95km/時程度になった時点で円板を区画線表面に落下させる。このため、速度が90～85km/時程度まで低下する間、μには円板の落下振動による大きな変動が見られる。さらに、接線速度が20km/時以下になると、再び円板が振動を始め、μの変動が大きくなる。本研究は高速走行時のμを検討することが主目的であるので、低速時におけるμの変動は無視できる。しかし、90km/時以上のμについては今後研究されねばならないが、80～85km/時の高速時については考察できる。

まず、40～85km/時のμを比較検討する。図より加熱

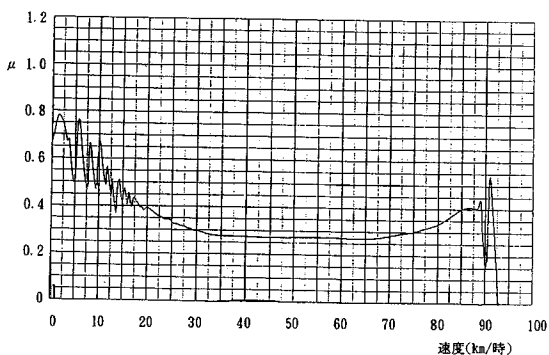


図-11 溶融式ペイントを塗布した薄膜区画線
(0.7mm厚)のμ

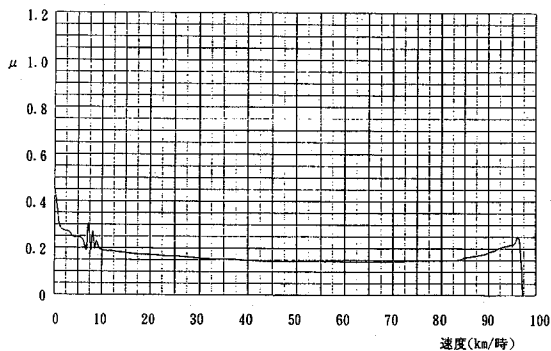


図-12 溶融式ペイントを塗布した区画線
(1.5mm厚)のμ

用ペイントの区画線のμと溶融式ペイントを用いた薄膜区画線(0.7mm厚)のμとの間には差はみられない。しかし、1.5mm厚の区画線のμは前の兩者より大きく低下している。次に、高速時の場合をみる。たとえば、80km/時の場合、薄膜区画線のμは0.33、加熱用ペイントのμは0.28であるが、1.5mm厚の区画線のμは0.15である。薄膜区画線のμは現行の溶融式区画線(1.5mm厚)の2倍以上も増加している。

5. 溶融式ペイントを用いた薄膜区画線の効果推定

(1) はじめに

これまでは溶融式ペイントを薄く塗布する技術の確立と薄膜区画線の特性について実験的研究を行い、いずれも薄膜区画線の優位性が示された。

しかし、溶融式ペイントを高速道路路上で実用化するためには、2章4節でも述べたように薄膜施工システムの

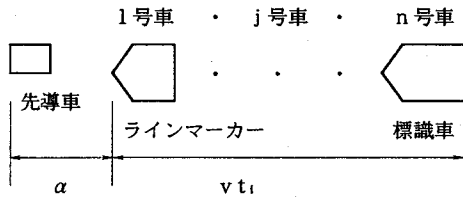


図-13 高速道路上の区画線施工車隊列

検討と同時に薄膜化がもたらす効果も検討することが必要である。そこで、本章では効果の推定を試みる。

(2) 環境への配慮

加熱用ペイントは有機溶剤で液状化されており、有機溶剤が大気中に揮発することにより乾燥する。

塗料に含まれる有機溶剤は大気汚染の大きな原因の一つである。特に、炭化水素は、塗料有機溶剤が全体の80%以上であると報告されている¹⁵⁾。建設省は、将来的には有機溶剤を用いた塗料を禁止する方向である。アメリカやヨーロッパも同様な方向である。このような状況の中で、アメリカでは、既に有機溶剤を水に換えた水系ペイントが用いられ、我が国では開発されている¹⁶⁾。水系ペイントは加熱用ペイントと同様に塗布することができるが、その乾燥時間は20～25分を要す。この長さは加熱用ペイントの約2～5倍である。水系ペイントは環境には大きな利点を有するが、施工時の交通解放に要する時間が長すぎる。一方、熔融式ペイントは熱可塑性樹脂であるため、有機溶剤の大気放出はない。さらに、乾燥時間も他の2者よりもはるかに短い。

(3) 施工時の交通規制区間長の短縮と計算事例

高速道路上での区画線施工には、図-13に示されるように先導車、ラインマーカー車、材料運搬車、標識車等が隊列を組む。

いま、施工速度 v m/分とペイント i の乾燥時間 t_i が既知であれば、交通を遮断する区間長 l_i mは、

$$l_i = v t_i \quad (12)$$

になる。先導車から最後尾車 n までの距離は $l_i + \alpha$ m以上なければならない。厳密にはラインマーカー車から最後尾車までの距離が l_i であり、先導車とラインマーカー車との間が α である。結局、 t_i の長短が交通遮断区間長を決定する。 l_i が長くなれば、その間の区画線を横切る車を防止するためのガード車も多く必要とされる。

次に、交通渋滞長について検討する。簡単のため、対面交通である2車線道路について検討する。この場合のケーススタディーは、施工方向に進む車は必然的に施工車隊列の後に追従せざるをえず、交通渋滞がもっとも長

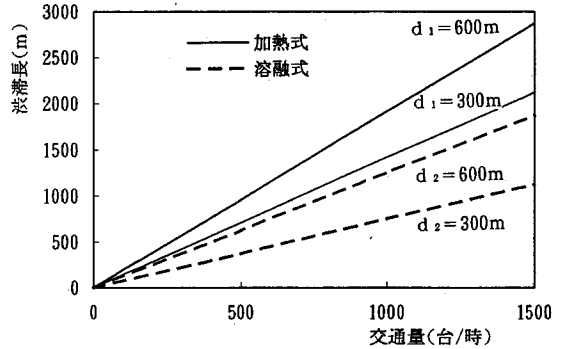


図-14 施工時の交通規制区間長と渋滞長の計算事例

くなる場合である。片側複数車線の場合は容量が低下することになり、交通量がその容量を越えれば、渋滞が発生する。

ラインマーカー車は施工区間 d mを d/v 分で施工を終える。最後尾車 n はラインマーカー車より t_i 後に出発し、 t_i 後に到着する。このため、区画線施工車隊列の直後にいる車は速度 v で $t_i + (\alpha + d)/v$ 分間追従しなければならない。いま、施工方向の時間交通量を A とすれば、 $t_i + (\alpha + d)/v$ 間に到着する車 $A/60 \times \{t_i + (\alpha + d)/v\}$ が渋滞行列を形成する。ここで、平均車長を 5 m、平均車間距離を 5 mとすれば渋滞長 L_i は

$$L_i = 10A \{t_i + (\alpha + d)/v\} / 60 \quad (13)$$

となる。結局、加熱式区画線と熔融式薄膜区画線の施工時の渋滞長の差 ΔL は両者の乾燥時間の差 Δt に起因し、

$$\Delta L = A \Delta t / 6 \quad (14)$$

になる。施工時の渋滞長は、熔融式ペイントの方が加熱用ペイントより常に ΔL だけ短い。ただし、 $\Delta t = t_1 - t_2 > 0$ 、サフィックス 1 は加熱用、 2 は熔融式ペイントを意味する。

最後に、加熱用ペイントの施工長を d_1 としたときの L_1 を許容できる渋滞長とすれば、熔融式ペイントの場合、どれだけの d_2 が可能かを明らかにする。両ペイント施工時の渋滞長の差 ΔL は、

$$\Delta L = A (\Delta t + \Delta d / v) / 6 \quad (15)$$

のように示される。ただし、 $\Delta d = d_1 - d_2 \leq 0$ である。 $\Delta L = 0$ の場合が上の課題に該当する。

すなわち、熔融式ペイントは加熱用ペイントよりも

$$|\Delta d| = v \Delta t \quad (16)$$

だけ施工区間長を延長でき、施工効率は向上する。

図-14は計算事例を示している。 $\alpha = 50$ m、 $v = 6$ km/時、 $t_1 = 5$ 分、 $t_2 = 1$ 分と仮定している。各々の仮定は現実を反映したものである。

時間交通量 1500 台/時、施工長 300 mの場合、加熱式区画線施工では 2125 m、熔融式薄膜区画線施工では 1125 m

表-5 トータルコストの比較(区画線幅は15cm)

項目	薄膜溶融式区画線		加熱式区画線	溶融式区画線
	0.5	0.7	0.25	1.5
膜厚(mm)	0.5	0.7	0.25	1.5
初期コスト(円/m)	117	135	102	160
初期コスト(指数)	115	132	100	157
塗布回数(回/6年)	2.5	2	3*	1*
トータルコスト(指数)	95.6	88.2	100	52.3

*加熱・溶融式区画線の塗布回数は経験上

の渋滞長となる。両者の差は1000mである。さらに、施工長を600mにすれば、加熱式区画線施工では2875m、溶融式薄膜区画線施工では1875mであり、両者には1000mの差がある。当然交通量が少なくなれば、交通量に比例して渋滞長も短くなる。

溶融式薄膜区画線を600m施工する場合の渋滞長は加熱式区画線を300m施工する場合の渋滞長よりも250mほど短い。このように渋滞長を考慮して施工区間長を決定すれば、溶融式ペイントは加熱用ペイントよりも施工区間を2倍以上延ばすことができる。仮に、施工時の許容できる渋滞長があるとすれば、溶融式薄膜区画線は加熱式区画線よりも大幅な施工延長が期待できる。両者間の施工延長の差は $v \Delta t$ であり、乾燥時間と施工速度の向上に比例する。

(4) トータルコストの低減

表-5は区画線の施工コストの比較を示したものである。各区画線の初期コストは文献(17)を基準に算出されている。いま、加熱式区画線の初期コストを100とすれば、膜厚1.5mmの溶融式区画線のそれは157、膜厚0.7mmのそれは132になる。さらに、膜厚を0.5mmにすれば、コスト比は115になる。初期コストは溶融式薄膜区画線の方が加熱式区画線よりも15~30%以上も高い。

しかし、区画線の維持補修を考慮したトータルコストで施工効果を評価することが重要である。一般に高速道路では6年に一度の割合で大規模な舗装の維持補修が実施されている。区画線は舗装の一部分であるので、6年間に区画線を塗布する回数を考慮したトータルコストを算出した。溶融式区画線の場合、膜厚を薄くすれば、トータルコストは大きくなる。しかし、0.7mmの薄膜区画線のトータルコストは加熱式区画線よりも小さくなる。0.5mmになれば、そのトータルコストは加熱式区画線より若干小さい程度であり、ほぼ加熱式区画線と同じであ

る。高速道路上での薄膜区画線は0.5~0.7mm程度が実用的であり、実用化の可能性は非常に高いと考えられる。

6. 結論

著者らは、高速道路で溶融式ペイントを用いるためには、区画線を薄く塗布する技術の開発が基本的な課題の一つであると考え、薄膜施工システムの開発・提案、薄膜区画線の耐久性、視認性、コスト、滑り抵抗、施工効果等について研究した。施工効果の分析にあたってはいくつかの仮定を設け、計算事例を示したが、高速道路上で溶融式ペイントを用いるための有用な情報が得られたと確信している。以下に本研究で得られた知見を述べる。

(1) 溶融式ペイントの薄膜施工システムの実用化がなされた。膜厚は施工システム操作因子群の適切な操作によって決定される。与えられた現場条件に従って適切な操作を決定する式(5)も提案した。

(2) 今後とも薄膜化の研究を進めるが、施工システムの実用化のため、理論よりもシステムの軽量化と実用性を優先した。実験室では0.5mm弱の膜厚の再現性は非常に高かったが、提案するシステムでの高い再現性のある膜厚は0.7mm程度であった。

(3) 区画線自体の耐久性は、膜厚と同時にペイントそのものも大きく影響していることがわかった。たとえば、0.5~0.7mm厚の溶融式区画線は0.2mmの加熱式区画線の約7~10倍程度の耐久性がある。

(4) 高速道路と同様な路面粗さ上では、膜厚0.7mmの溶融式区画線の湿潤時動的摩擦係数は加熱式区画線のそれとほぼ同じであった。これは、従来の溶融式区画線の湿潤時動的摩擦係数を2倍以上も向上している。

(5) 溶融式薄膜区画線の施工効果は加熱式区画線よりも大きいことがわかった。たとえば、有機溶剤の大気中への放出がない、施工時の交通規制区間長が大幅に短縮される、トータルコストは加熱式区画線の約90%である、夜間視認性が長期間継続される。

しかし、本研究により明らかとなった問題や課題も多く、今後一層の研究が必要である。以下に今後の主要な課題をまとめる。

(1) 実際の高速道路上での溶融式薄膜区画線の実施例は非常に少なく、限られた薄膜区画線に関するデータである。今後多くのデータを収集、分析することが、より薄膜区画線の実用化につながるものと考えられる。

(2) 施工システムの小型化と薄膜化の追求を進める課題は残された。

(3) 溶融式区画線はアスファルトと一体化するが、排水性舗装のようにアスファルト量が少なく、骨材量が多い路面では区画線の剥がれが問題化する。このことに関しては今後検討しなければならない。

謝辞：本研究を進めるにあたって多くの人にお世話になり、謝意を表します。特に、広島工業大学門田博知教授には多くの示唆をいただいた。実験、データ整理においては、日本国土開発（株）の三宅善久君（研究時、広島大学工学部4年生）の労によるところが大きい。

参考文献

- 1) 満田喬, 高木正幸, 金子英雄: 区画線の視認性に及ぼすガラスビーズ量の影響, 土木技術資料, Vol. 25, No. 2, pp. 39-44, 1983.
- 2) 建設省土木研究所: 区画線の耐久性, 視認性に関する調査その1, 土木研究所資料第1961号, pp. 14-17, 1983.
- 3) 今田寛典, 門田博知, 児島武男, 藤谷明文: 熔融型トラフィックペイントを用いた区画線の薄膜化とその効果, 高速道路と自動車, Vol. 36, No. 9, pp. 23-29, 1993.
- 4) 今田寛典, 藤谷明文: 薄膜化に適した熔融型トラフィックペイントの特性, 高速道路と自動車, Vol. 37, No. 6, pp. 20-26, 1994.
- 5) 今田寛典, 門田博知, 児島武男: 熔融型区画線の薄膜施工に関する一考察, 土木学会第44回年次学術講演会講演概要集第6部, pp. 246-247, (1989).
- 6) 日本工業標準調査会: JIS-鏡面光沢度測定方法, pp. 1-5, 1983.
- 7) 社団法人自動車技術会: 新編自動車工学ハンドブック 第2編, pp. 23-35, 1975.
- 8) 路面標示材協会: トラフィックペイントの手引き, pp. 32, 1981.
- 9) たとえば, 上掲 2).
- 10) 建設省土木研究所交通安全研究室: 区画線に関する調査報告, 土木研究所資料, No. 2200, pp. 29-32, 1985.
- 11) 栗本典彦, 小野田光之, 田宮隆夫, 安藤和彦: 特殊路面のすべり, 土木技術資料, Vol. 18, No. 12, pp. 30-33, 1976.
- 12) 今田寛典, 門田博知, 景山篤弘, 小島洋一: 大粒径ビーズ散布区画線の特性について, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第4部門, pp. 376-377, 1992.
- 13) 日本道路協会: 舗装試験法便覧, pp. 971-973, 1988.
- 14) 藤谷明文: DFテスターによるすべり抵抗測定法の紹介, 路材協会報, No. 85, pp. 6-10, 1994.
- 15) 北海道建設新聞, 1994年, 3月, 28日.
- 16) 北海道土木技術協会道路研究委員会: 路面標示用塗料「水性」について, 1995.
- 17) 全国道路標識・標示材協会: 路面標示工事積算基準マニュアル, 1993.

(1995. 9. 29受付)

THE PROPOSITION OF ROAD MARKS TO APPLY THERMOPLASTIC MATERIALS ON EXPRESSWAYS AND ITS PRACTICAL APPLICATION

Hirofumi IMADA and Akifumi FUJIYA

In order to use thermoplastic materials on expressways it is one of the fundamental problems to apply that materials thinly. We have developed the systems for applying that materials thinly, and investigated the characteristics of the thin road marks.

The obtained results are summarized as follows. (1) We can apply thermoplastic materials in about 0.7mm thick, (2) the durability of thin thermoplastic marks increases by about ten times of paint marks of 0.2mm thick, (3) there is no significant difference between the dynamic skid resistance coefficients on wet surface of thin thermoplastic and paint marks, (4) the total costs of thin thermoplastic marks are less than that of paint marks, and (5) it is realizable to use thermoplastic marks on expressways.