

北海道における区画線塗り替え基準の検討について*

A Study of Repainting Criteria for Pavement Markings in Hokkaido*

平澤匡介**・武本東***・葛西聡****

By Masayuki HIRASAWA**・Azuma TAKEMOTO***・Satoshi KASAI****

1. はじめに

北海道において道路の区画線は、冬期の除雪などによって損傷し、毎年、春先に復旧のために塗り替えられている。区画線の塗り替え等の客観的な基準は明確に定められておらず、道路管理者の判断に委ねられている。また、昨今は厳しく公共事業のコスト縮減が求められており、区画線においても、役割、必要性、路線のサービス水準も勘案して、塗り替えを実施することが求められている。中央線の区画線については、対向車と分離するための交通安全上重要であり、安易に塗り替え頻度を下げることができないと考えられるが、車道外側線については、検討する余地があると思われる。その際、どのくらいの視認性を確保するとその機能を満足するのか把握する必要がある。

本研究では、区画線の役割や機能を踏まえ、維持管理の現状と課題抽出を行い、一般道路利用者の満足する水準や区画線の耐久性を把握し、区画線の適正な管理のあり方や塗り替え基準を検討した。

2. 区画線の維持管理の現状と既往の研究

路面標示ハンドブック¹⁾では、車道外側線の目的を①路外逸脱走行の防止、②運転者のための連続的誘導線、③車両と歩行者・路外障害物等との交通事故を減少させることとし、施工後においては、汚れ、はく離、その他の理由によりその効用が損なわれないように、塗り替え、障害物の除去などの維持管理を行い、常に良好な状態に保たれるように配慮しなければならないことが示されている。維持管理のための評価方法として表-1に示す外観評価、はく離評価、夜間の視認性評価から求めた総合評価が3以上であることが望ましいとしている。なお、路面標示ハンドブック²⁾における夜間の視認性は米国材料試験協会規定ASTM-D1011-52に指定されている反射

輝度計を用いることが示されているが、ASTMでは既に1977年に規定が廃止され、現在は別の測定機による測定方法が規定されている。国内でも既に市販されていない。

表-1 区画線の評価¹⁾

評価項目	外観評価：A	はく離評価：D	夜間の視認性評価：N
評価方法	5人以上の観測者が3m以上離れた地点から視認した第1印象	区画線のはく離割合を測定	反射輝度計による計測結果 (cd/m ² lx)
評価	5 施工初期と変わらず良好	3%以下	247以上
ラ	4 やや変色あるが標示機能は十分	3~8	186~247
ン	3 汚れ、質変、フリートなどを認めている	8~23	126~186
グ	2 汚れ、質変などが著しい	23~40	65~126
	1 原形がなく流れ、汚れがあり視認性悪い	40以上	65未満

総合評価 (W, R) = 0.30A + 0.30D + 0.40N
A：外観評価、D：はく離評価、N：夜間の視認性評価

国土交通省北海道開発局では、冬期間の除雪作業により区画線がはく離してしまう問題もあるので、施工単価が安い水性塗料の使用を原則としている。北海道開発局において区画線の塗り替えをどのように判断しているのか、各開発建設部または道路事務所の道路維持担当者にヒアリングを実施した結果、27名中21名から目視調査のみ実施という回答であった。

区画線に関する既往の研究は、濱田ら²⁾が区画線の反射面積や反射輝度の違いが及ぼす影響について、乾燥・湿潤路面における若年・高齢者の視認性の違いについて報告している。Kopf³⁾はワシントン州内の区画線の反射輝度を1年掛けて計測し、劣化曲線を求めた。日交通量が耐用年数に影響を及ぼしているが、塗り替えの予測に使用できるほどの信頼性が高い結果は得られなかったことを報告している。Baharら⁴⁾は、区画線と路面標示について、夜間の再帰反射性と安全性の関係の数値モデルを作成した。その結果、反射輝度の高低は、安全性に与える影響が少なく、区画線を頻繁に塗り替えることは、費用対効果が低いことを報告している。

3. 一般ドライバーによる視認性評価実験

(1) 実験概要

区画線の塗り替え基準を検討するにあたり、公共事業のコスト縮減を考慮すると現状よりも基準を下げることになるが、安全性も低下することが懸念される。安全性を確保しながら道路利用者の満足できるレベルを把握することが重要である。そこで苫小牧寒地試験道路にお

*キーワード：交通安全、サービス水準、交通管理

**正員、工博、(独) 土木研究所寒地土木研究所
(札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34、
TEL011-841-1738、FAX011-841-9747)

***正員、工修、(独) 土木研究所寒地土木研究所

****正員、工修、(独) 土木研究所寒地土木研究所

いて、次の3つの実験を行い、道路利用者が受容できる外側線の評価ランクがどの程度なのか、検討することとした。

- ①実走行による区画線視認性評価
- ②CG動画による区画線視認性評価
- ③CGによる道路交通環境要因の影響評価

実験は苫小牧寒地試験道路において平成18年10月28日～11月17日の8日間に一般道路利用者209名（内65歳以上の高齢者101名）を被験者として行った。最初に実走行による区画線視認性評価を行い、その後、プロジェクターが設置された車庫内に移動し、CG動画による区画線視認性評価、CGによる道路交通環境要因の影響評価を行った。

(2) 実走行による区画線視認性評価

実走行による区画線視認性評価は、試験道路内に施工された評価ランクが5段階の外側線の区間を乗用車で走行し、外側線の視認性に対するアンケートを実施した。5段階の外側線は水性塗料を施工後にウォータージェット工法により区画線をはく離させ、作成した。なお、カーブ区間にも評価ランクが2と3の区間を設定した。

走行回数は昼間1回、夜間は路面が乾燥状態で1回、湿潤状態で1回の計3回とした。湿潤状態は、散水車を活用した。被験者には、走行前に実験目的と実験の概要を説明した。車種は1,500ccクラスのセダントタイプの乗用車とした。

評価方法はコスト縮減を考慮し、道路利用者が満足できる区画線の塗り替え基準を検討するために、価格感度測定法 (Price Sensitivity Measurement; PSM) を用いることとした。PSMは商品の価格に対する消費者の心理的反応、例えば「安いと感じる」「高いと感じる」「高すぎて買わない」「安すぎて買わない」といった評価から消費者の価格受容度を測定するものである。これまでの価格設定が①需要と供給、②原価主義、③競争企業との価格競争などであったのに比べて、PSMは「価格に対する消費者の反応、消費者の価格受容度に関して提起される数々の問題に解を与える比較的簡単な方法」として開発された計量心理学的な測定法である。⁵⁾

PSMは本来4つの観点による評価が基本であるが、毎年国道の大部分の区画線を塗り替えている現状から、「高すぎて買わない」という部分に該当する「区画線が良すぎる」という評価は必要ないと判断し、区画線に対して満足できる状態、不満を持つ状態、薄すぎて危険を感じる状態といった3つの観点から適正な評価ランクと限界の評価ランクを得ることとした(図-1)。

走行後に実施するアンケートは、被験者が以下の設問に該当する区画線の評価ランクを回答する形式とした。

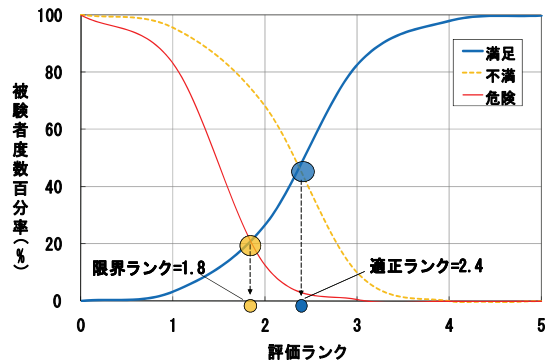


図-1 PSMによる評価ランクの算出
なので満足

設問 2. 走行する位置がわかるが、目線のたよりが連続的ではないので不満

設問 3. 走行する位置がわからないので、危険を感じる

3つの質問からそれぞれの外側線ランクにおいての度数分布を求め、それを相対累積度数の形で表し「不満」「危険」は減少曲線、「満足」は増加曲線となる。限界ランクは、「満足」「危険」の線の交点として、適正ランクは、「不満」と「満足」の線の交点とする。

実走行による区画線視認性評価は、被験者が各条件で走行した後にアンケート調査を行い、PSMにより集計した。その結果、適正ランクについては2.3～2.6、限界ランクについては1.8～2.1となった。乾燥路面の状態では昼夜の差と直線カーブの差は無かったが、どちらも夜間の湿潤状態の時に高くなった。

表-2 実走行実験による視認性評価

①実走行による評価	直線			カーブ		
	昼間	夜間		昼間	夜間	
	乾燥	乾燥	湿潤	乾燥	乾燥	湿潤
適正ランク	2.4	2.3	2.6	2.4	2.4	2.5
限界ランク	1.9	1.8	2.1	2.1	1.9	2.0

CG動画による区画線視認性評価は、寒地試験道路にある車庫内にプロジェクターを設置し、スクリーンに映し出された道路の動画CGに対して、アンケートを実施した。CGは、郊外・市街地、直線・カーブ、昼夜、晴れ・霧の条件により走行状態の動画を再現し、アンケート結果からPSMによる適正ランク、限界ランクを得た。なお、走行シナリオは8パターンとし、評価ランクを変更しながらCG動画の再生を行った。各条件でPSMにより適正・限界ランクを算出した結果、「郊外・左カーブ・夜間・霧」が最も高い値となり、適正ランク2.6、限界ランク2.2であった。最も低い値の条件は、「市街地・左カーブ・昼間・晴」で、適正ランクが2.2、限界ランクが1.7であった。

表-3 CG動画による視認性評価

②CG動画による評価	郊外				市街地			
	直線		右カーブ	左カーブ	直線		右カーブ	左カーブ
	晴		霧		霧		晴	
	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間
適正ランク	2.4	2.5	2.6	2.6	2.4	2.5	2.5	2.2
限界ランク	1.8	2.0	2.1	2.2	1.9	1.9	2.0	1.7

CGによる道路交通環境要因の影響評価はコンジョイント分析⁶⁾により区画線を必要とする道路交通環境要因の重要度を算出することとした。アンケートの設問である選択場面は、道路交通環境が異なる10の場面をCGで示した。コンジョイント分析の結果、全体の重要度を示す平均重要度は、「時間帯」(43.4)が最も高く、次いで「天候」(25.8)、「道路構造」(19.9)、「沿道環境」(10.8)の順となった。各要因の部分効用では、「夜間」(1.61)が最も高く、次いで「霧」(0.96)、「右カーブ」(0.42)となった。

表-4 各要因・水準の部分効用値

水準	沿道環境	時間帯	天候	道路構造
1	郊外 0.40	昼間 -1.61	晴れ -0.96	直線 -0.74
2	市街地 -0.40	夜間 1.61	霧 0.96	左カーブ 0.32
3				右カーブ 0.42
平均重要度	10.8	43.4	25.8	19.9
				定数項 4.79

4. 区画線の損傷度の予測

区画線の塗り替え基準を検討するためには、春先から冬期までの間に区間線がどの程度損傷するのか推測しなければならない。そして融雪期から積雪期までの間の区画線の評価ランクは道路利用者が満足するレベルを確保しなければならないと考えた。

区画線の損傷度を予測するために、アスファルト上に区画線を施工した供試体に対して、回転ラベリング試験機によりラベリング試験を行った。ラベリング試験は、回転ラベリング試験機を用いてノーマルタイヤで10万回転分実施した。

評価は、供試体にマス目をあてて、各マス目の区画線はく離の割合を目視で測定し、その平均値とした。測定した結果、北海道開発局の標準として規定されている水性塗料の常温式が最も耐久性が低かった。区画線の損傷度合いは、耐久試験の結果から、水性塗料の常温式のはく離度 y は、 $y=0.0002x$ の回帰を得た。ただし、 x はラベリング試験回転数であるが、2つのタイヤで1回転なので、1回転=1台の車両とする(図-2)。

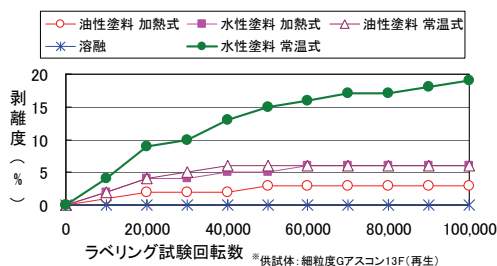
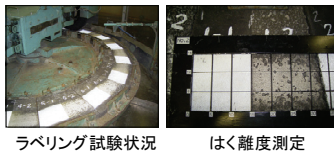


図-2 ラベリング試験状況と試験結果

5. 塗り替え基準の検討

区画線の塗り替え基準は、4月に区画線を塗り替えなくても、12月31日まで視認性評価実験から得られた適正ランク2.6または限界ランク1.7を上回る評価ランクを維持できる水準を確保することを前提条件とした。その結果、交通量によって、基準が設定されることになる。

車両通過位置の調査から、外側線をはみ出して走行する車両台数の割合は、4%⁷⁾と設定した。4月1日から12月31日までの275日間に摩耗する区画線のはく離度は、ラベリング試験で得られた回帰式を用いると、 $y=0.0002x \times 4\% \times 275$ 日 (x :交通量)となる。

4月1日における基準値は、適正ランク2.6を使用すると図-3のようになる。交通量毎に適正ランク2.6と限界ランク1.7を採用した塗り替え基準を表-5に示す。

実際の運用に際しては、コスト削減と安全性の確保の両面からどちらの基準を使用するか、行政的な視点で検討する必要があると思われる。また、CG動画による区画線視認性評価やコンジョイント分析で得られた結果を考慮すると霧の多い地域やカーブの多い山間部では、基準値を高めて運用することも考えられる。

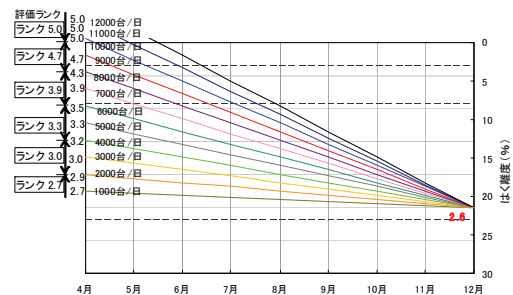


図-3 交通量毎の区画線損傷予測

表-5 区画線塗り替え基準

	交通量(台/1車線/日)						
	14,000以上	12,000以上 14,000未満	10,000以上 12,000未満	8,000以上 10,000未満	6,000以上 8,000未満	4,000以上 6,000未満	2,000以上 4,000未満
●適正ランク2.6を採用した場合の塗り替え基準	5.0	5.0	5.0	4.7	3.9	3.3	3.0
●限界ランク1.7を採用した場合の塗り替え基準	3.9	3.5	3.2	2.9	2.6	2.3	1.8

6. 区画線損傷度判定ソフトウェアの開発

塗り替え基準を検討する上で、最も重要となるのが区画線の状態を評価する手法である。現時点では多くの場合測定者の主観による目視調査により塗り替えを実施している。そこで、客観的、かつ正確な測定手法として、区画線の損傷度を簡易に判定するソフトウェアの開発を行った。ソフトウェアの開発目標は、デジタルカメラで撮影した画像ファイルを使って、区画線のはく離度を判定することとした。判定の手順は、次の通りである。

- ① デジタル画像をPCに取り込む
- ② カラー画像をドット単位で256階調のグレースケー

ルに変換

- ③ 256 階調の頻度分布により、白黒の閾値を決定
- ④ 画像を白色、黒色に変換
- ⑤ 白黒画像を 0,1 で値化
- ⑥ 画像全体に対する白の割合をばく離度として算出

この課程で最も重要なのが白黒判断するための閾値の判定処理である。判定処理を開発するために、まず、129 箇所の水性、溶解式の区画線を、デジタルカメラで撮影した。撮影条件は晴れ、曇り、湿潤であった。各画像を実寸大に拡大し、5mm のメッシュに区切り、目視カウントにより区画線のはく離度を判定し、この値を真値とした（図-4）。ソフトウェアの判定は、閾値を中央値の 128 に固定すると、誤差が大きいことが明らかになった。これは舗装全体が白くなっていたり、区画線が黒くなっていたり、区画線はく離状況も舗装劣化状況も様々であることが原因と思われる。試行錯誤の結果、各写真の 256 階調のヒストグラムを 20 階調単位の移動平均を取り、頻度分布の平滑化を行い、頻度分布の凹部の値を閾値とすると最も誤差が小さくなった（図-5）。凹部が現れない場合は、頻度分布の形状により 120 または 170 の定数を閾値とすると誤差が小さくなった。また、精度を向上させるために、ソフトウェアによる判定結果と目視による判定結果の回帰分析から補正係数：1.0366 を得て、プログラムに組み込んだ。その結果、129 サンプル中 114 サンプルで、誤差 5%以下で相関係数は、0.98 となり、その正確度は極めて高く、客観的な測定方法として実用化に十分な結果となった（図-6、図-7）。

8. おわりに

今回の実験では、区画線としての適正な評価ランクと限界の評価ランクから塗り替え基準を作成し、判定ソフトウェアを開発することが出来た。しかし、これらを運用するために路線全体の区画線を全て写真撮影することは、時間と労力の面から不可能であり、どのように運用するか検討する必要がある。今後は、今回で得られた数値を基に区画線の塗り替え基準の検討や区画線損傷度の判定ソフトウェアの運用方法等を取りまとめた区画線の維持管理ガイドラインを作成する予定である。

参考文献

- 1) 全国道路標識・標示業協会：路面標示ハンドブック，共立速記印刷(株)，1998。
- 2) 濱田多加志，高木秀貴，高森衛，萩原亨：道路区画線の反射輝度・面積及び運転者のコントラスト感が視認距離に与える影響について，土木学会北海道支部平成8年度論文報告集，第53号，pp.432-435，1997。
- 3) Jaime Kopf：Reflectivity of Pavement Marking s: Analysis of Retroreflectivity Degradation Curves,

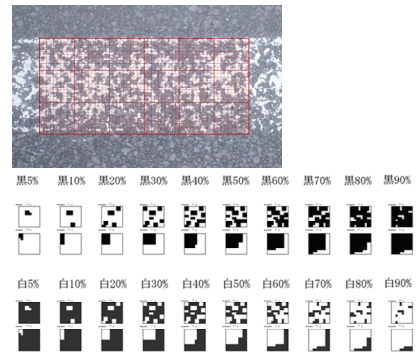


図-4 5mmメッシュを被せた画像と目視判断基準

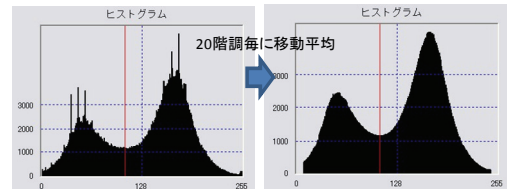


図-5 0~256階調の頻度分布

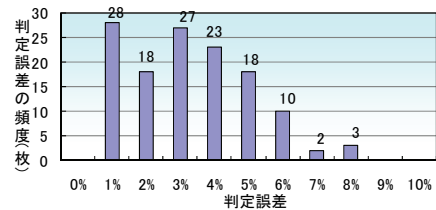


図-6 判定誤差の頻度

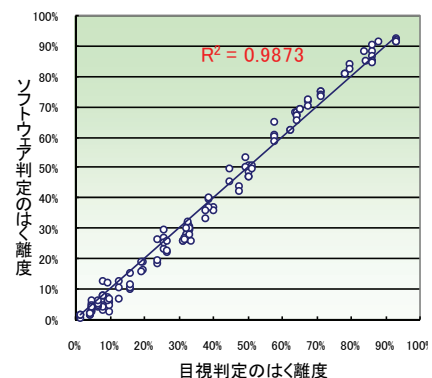


図-7 目視判定とソフトウェア判定結果

Washington State DOT, 2004.

- 4) Bahar, G., Masliah, M., Erwin, T., Tan, E., and Hauer, E., NCHRP Web-Only Document 92: Pavement Marking Materials and Markers: Real-World Relationship Between Retroreflectivity and Safety Over Time. TRB, 2006.
- 5) 岸邦宏，内田賢悦，佐藤馨一：航空運賃に対する利用者の価格感度に関する研究，土木学研究・講演集No16，PP187~194，1999。
- 6) 木下栄蔵，大野栄治：AHPとコンジョイント分析，(株)現代数学社，2004。
- 7) 平澤匡介，浅野基樹，梅本利男：北海道における区画線塗り替え基準の検討について，第51回北海道開発局技術研究発表会，2008