

I-30 画像解析による道路区画線の剥離率評価手法の開発

Development of Evaluation Method of the Stripping Ratio of Road Markings Using Image Analysis

浅田拓海¹・本多誠司²・亀山修一³

Asada Takumi, Honda Seiji, and Kameyama Syuichi

抄録：積雪地域では、除雪作業によって道路区画線が損傷するため、毎年、区画線の塗り直しに多額の費用がかかっている。現在、塗り直しの要否は、2～5km 毎に設けた地点における区画線の損傷度に基づいて判断されているが、除雪による損傷は路線内で大きく変動するため、点ではなく線として連続的に評価する必要がある。本研究では、走行車両からデジタルカメラによって20m 間隔で撮影した路面画像に画像解析を適用し、区画線の剥離率を連続的に求める手法を開発した。また、本手法を札幌市内の国道2 路線に適用した結果、塗り直し前後の区画線を連続的に評価できること、塗り直し基準を与えることで塗り直しが必要な区間を詳細に特定できることが分かった。

Abstract : In snowy areas, snow removal operations cause damage to road markings, so every year there is a considerable amount of money spent on repainting these markings. At present, the decision on the need to repaint the road markings is made based on the amount of damage to the lines at points occurring every 2 to 5 km. However, there is large variation in the damage to road markings caused by snow removal, and it is therefore necessary to evaluate the amount of damage not at points, but continuously as a line. In this research, image processing was applied to images of the road surface taken at 20-m intervals from a traveling vehicle using a digital camera, and a method of continuously obtaining the stripping ratio of the road markings was developed. In addition, this method was applied to a national two-lane road within Sapporo City, and the results showed that it is possible to continuously evaluate the road markings before and after repainting as well as to identify in detail the areas where the road markings need to be repainted using the criteria for repainting.

キーワード：道路区画線、画像解析、剥離率、テンプレートマッチング法、ハフ変換

Keywords : Road Markings, Image Analysis, Stripping Ratio, Template Matching Method, Hough Transform

1. はじめに

道路区画線は、道路交通に関する指示・規制などの情報を運転者に提供する路面標示であり、道路法では、「道路の構造を保全し、又は交通の安全と円滑を図るため、必要な場所に区画線を設けなければならない」とされている。区画線の主な種類としては、車道中央線、車線境界線、車道外側線があり、これらは、白色の実線や破線で連続的に描かれ、道路延長方向と平行に設置される。また、区画線の塗料は、液状塗料（JIS K-5665 1種・2種）と粉体状塗料（JIS K-5665 3種）に大別でき、交通量、気象条件、耐久性、経済性などを考慮して適切な塗料が決定される。

通常、区画線は、車両通行によって汚損、摩耗、剥離などの損傷が生じる。特に、積雪地域では、路面整

正などの除雪作業によって、区画線が剥離し、視認効果が大きく低下するため、定期的な点検と塗り直しが必要となる。北海道では、毎年、融雪後に区画線の塗り直しを行っており、年間の塗り直し費用は、国道、道道、市町村道を含め、約30億円に上る。我が国では、近年の厳しい財政状況を受けて、公共事業費の削減が継続して行われており、道路維持管理費は減少傾向にある¹⁾。このような背景の下、区画線の塗り直しを効率的に実施するためには、区画線の損傷度を的確に評価する必要がある。

全国道路標識・標示業協会刊行の路面標示ハンドブック²⁾では、区画線の損傷度を、夜間視認性、外観、剥離の3つの項目から総合的に評価する方法を提案している(図-1)。夜間視認性評価では、区画線の表面に散布されるガラスビーズの夜間反射率を反射輝度計

1：学生会員 修（工）北海道工業大学大学院 博士後期課程 建設工学専攻
（〒006-8585 北海道札幌市手稲区前田7条15丁目4-1, Tel:011-681-2161, E-mail:asada@hit.ac.jp）

2：正会員 （社）北海道道路標示業協会
（〒060-0002 北海道札幌市中央区北2条西3丁目（札幌ビル）, Tel:011-261-7809, E-mail:douhyou@h-d-h-k.or.jp）

3：正会員 博（工）北海道工業大学 教授 空間創造学部都市環境学科
（〒006-8585 北海道札幌市手稲区前田7条15丁目4-1, Tel:011-688-2264, E-mail:kameyama@hit.ac.jp）

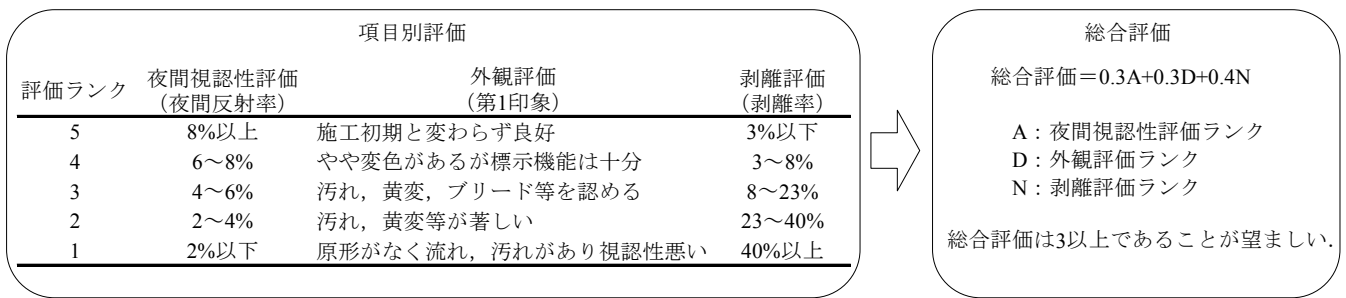


図-1 全国道路標識・標示業協会による区画線の評価方法¹⁾

で計測する方法が主流である。外観と剥離は、昼間の視認性を対象としており、測定機を使用せず、目視や写真に基づいて評価される。外観評価では、5人以上の観測者が約3m離れた地点から区画線を視認し、その第1印象で区画線の外観を評価する。剥離評価では、現場で区画線の真上から撮影した拡大写真を用いて剥離面積の割合、すなわち剥離率を求める。同ハンドブックでは、上記の項目別評価から算出される総合評価が3点未満となる場合、区画線を塗り直す必要があるとしている。しかしながら、平澤ら³⁾は、この塗り直し基準は、道路利用者の視点を十分に加味していないと指摘しており、一般道路利用者の実走行による視認性評価実験から、塗り直し基準の見直しを検討している。

通常、上記のような区画線の評価は、2~5km毎に設けられた地点で行われている。しかしながら、積雪地域では、除雪による区画線の損傷は路線内で大きく変動するため、2~5km間隔のような粗い点の評価ではなく、損傷を連続的に評価する必要がある。

近年、コンピュータ性能の著しい向上にともなって、道路の維持管理に高度な画像処理技術が用いられている。阿部・小川は、舗装のひび割れの評価にフラクタル解析を適用している⁴⁾。また、最近では、ウェーブレット解析を用いて冬期路面の判別を行った武市・平河内の研究⁵⁾、路面画像に2値化処理を適用してクラックを抽出した田中の研究⁶⁾などがある。これらの研究事例のように、画像解析から区画線の損傷を連続的に評価することができれば、区画線の塗り直しを合理的かつ効果的に実施することが可能となる。

本研究では、札幌市内の一般国道において、走行車両に設置したデジタルカメラによって20m間隔で撮影した路面画像に画像解析を適用し、区画線の剥離率を連続的に求める手法を開発することを目的とする。さらに、本手法を札幌市内の国道に適用し、得られた結果を通して、その有効性について検討する。



図-2 調査路線

表-1 調査路線の概要

調査路線 (国道)	車線数	測定区間 (km)	外側線設置区間 (km)	撮影枚数 (春期, 秋期)
R36	2	12.24	9.72	612×2
R12	2	13.34	11.12	667×2

2. 調査の概要

本研究では、車道の路端より白の実線でペイントされ、交差点部を除くほぼ全ての区間に設置されている車道外側線（以下、外側線）を評価対象とした。調査は、図-2に示す札幌市内の国道2路線（R36, R12）で実施した。調査路線の概要を表-1に示す。

図-3に示すように、左側車線を走行する車両の助手席から前方の路面を20m間隔で撮影した。撮影には、一眼レフデジタルカメラ（Canon EOS Kiss Digital X）を用い、これを路面からの高さを1.3m、視線の俯角を2°となるように助手席に設置した（写真-1）。また、記録画像サイズを2816×1880ピクセル（垂直画角=35°、水平画角=52°）、シャッター速度を1/320秒に設定した。撮影には、車両のコントロールユニット部から得られる車速パルス走行距離に変換し、設定した距離

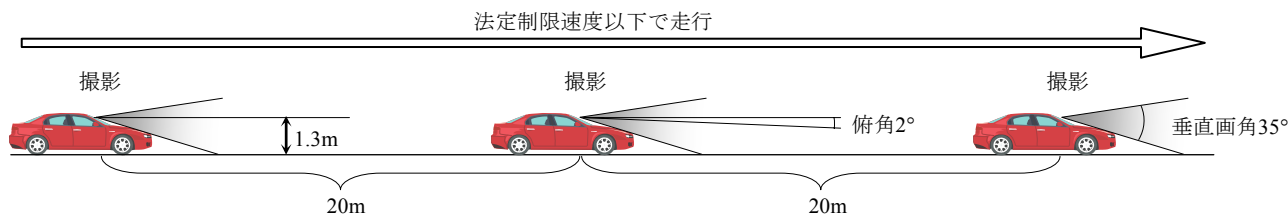


図-3 区画線の撮影



写真-1 区画線測定装置

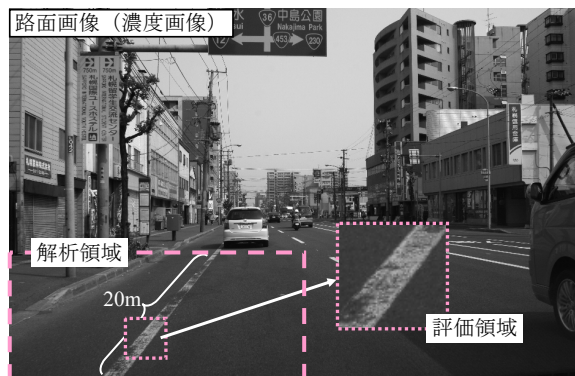


図-4 解析領域と評価領域

間隔でシャッター信号をカメラに転送する制御装置（シーンプロファイラ）を用い、法定制限速度以下で走行した。

調査は、外側線塗り直し前の春期（2008年5月）と塗り直し後の秋期（2008年10月）の2回実施した。なお、路面からの反射や日射の影響を考慮し、いずれも路面が乾燥している日の午前9時から午後4時の時間帯に撮影を行った。

3. 評価領域の抽出

図-4に示すように、外側線は撮影した路面画像の左下の領域に位置する。本研究では、撮影間隔と同じ20mの外側線が入る領域を解析対象（以下、解析領域）とした。なお、交差点部およびバスレーン部では、外側線が設置されていないため、以後の解析では、これらの箇所の路面画像は除外した。解析領域の外側線は、前方車両などの障害物によって、その一部が見えなくなる場合があるため、外側線全体を評価対象とすることは難しい。そこで、本研究では、解析領域から図-4に示すような小領域（以下、評価領域）を検出した。本研究における評価領域の検出手順を図-5に示す。

まず、路面画像（カラー画像）を濃度画像に変換した後、トリムを行い、解析領域を抽出する。次に、解析領域からテンプレートマッチング法（以下、TM）によって評価領域を検出する。

TMは、図-6に示すように、テンプレート画像（以下、T画像）を、解析対象全域を網羅するようにスライドさせて照合し、T画像との類似度が最大となる領

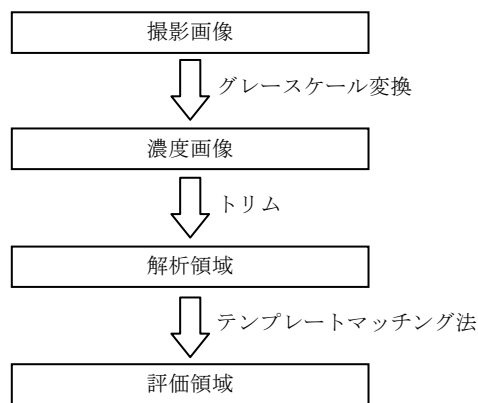


図-5 評価領域の抽出手順

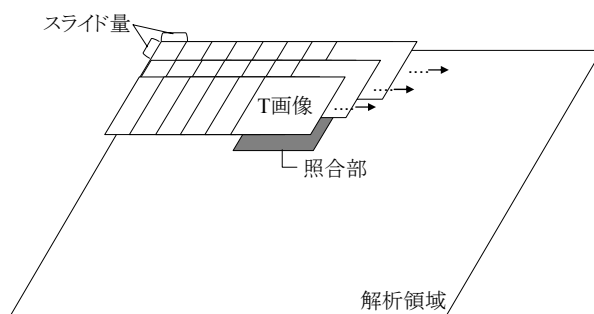


図-6 テンプレートマッチング法

域を検出する方法である。本研究では、図-7に示すように、T画像を、サイズが256×256ピクセル、外側線の傾斜角度が45°、幅が85ピクセルとし、スライド量は32ピクセルとした。T画像は区画線の剥離が全く生じていない状態を意味することから、TMによって、解析領域の中で区画線の損傷が最も小さい領域が抽出

されることになる。

類似度には、T 画像と照合部の相互相関係数や残差など様々な指標が提案されているが、通常は、解析対象のパターンや検出精度などを基に決定される。本研究では、検出精度が比較的高いと言われている相互相関係数を類似度に採用し、解析領域から C が最大となる領域（評価領域）を抽出した。

相互相関係数 C は式(1)によって求められる。

$$C = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (I(i,j) - \bar{I})(T(i,j) - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (I(i,j) - \bar{I})^2 \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (T(i,j) - \bar{T})^2}} \quad (1)$$

(i = 0,1,2,...,M-1, j = 0,1,2,...,N-1)

ここで、

- I(i,j) : 照合部の座標(i,j)の濃度値
- T(i,j) : T 画像の座標(i,j)の濃度値
- M : 画像の垂直画素数
- N : 画像の水平画素数

なお、式(1)の \bar{I} 、 \bar{T} は、照合部、T 画像それぞれの平均濃度値であり、式(2)、(3)によって表される。

$$\bar{I} = \left(\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M I(i,j) \right) / MN \quad (2)$$

$$\bar{T} = \left(\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M T(i,j) \right) / MN \quad (3)$$

4. 剥離率の算出

剥離が生じている区画線は、図-8 に示すように、塗布領域と剥離領域に分割できる。剥離領域は塗布領域から塗料が残留している領域（以下、残留領域）を差し引いた領域であり、式(4)によって剥離率を求めることができる。

$$\text{剥離率 (\%)} = \frac{\text{塗布領域} - \text{残留領域}}{\text{塗布領域}} \times 100 \quad (4)$$

本研究では、TM によって抽出された評価領域に図-9 に示すような画像解析を適用して、塗布領域と残留領域を決定し、式(4)から剥離率を算出した。なお、評

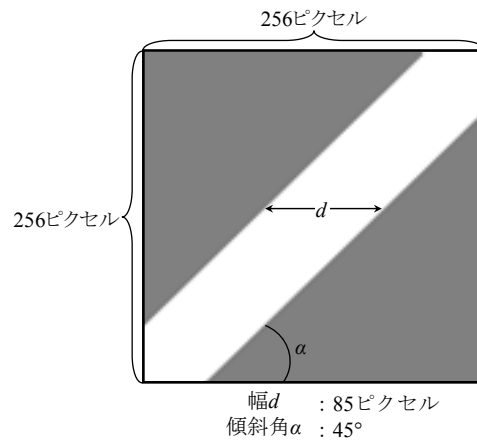


図-7 テンプレート画像

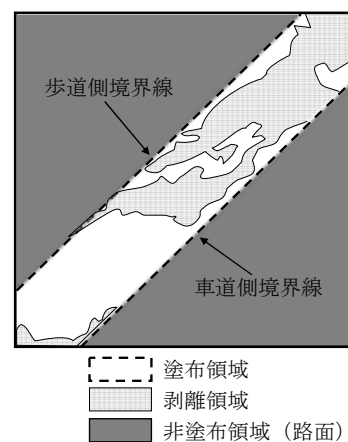


図-8 塗布領域と剥離領域

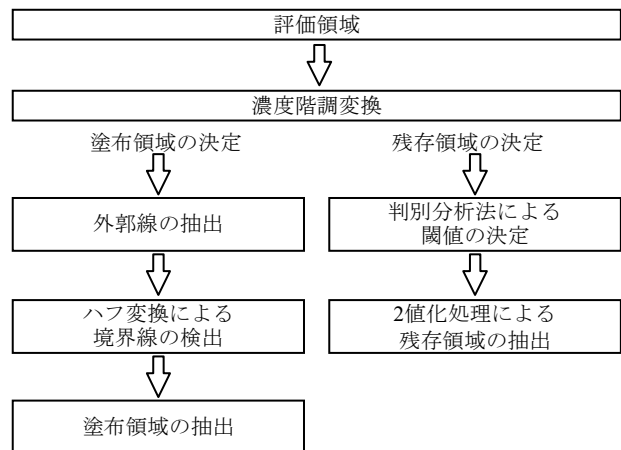


図-9 塗布領域と残留領域の抽出手順

価領域の明るさにはばらつきが生じるため、図-10 に示すように、評価領域の濃度範囲 ($a \sim b$) が最大 (0 ~ 255) となるように濃度階調変換を適用した後、塗布領域と残留領域を求めた。濃度階調変換では、式(5)を用いて評価領域の各画素の濃度値を変換した。

$$g_{out} = \begin{cases} 0 & (g_{in} < a) \\ \frac{255}{b-a}(g_{in} - a) & (a \leq g_{in} \leq b) \\ 255 & (b < g_{in}) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、

- g_{out} : 変換前の濃度値
- g_{in} : 変換後の濃度値
- a : 変換前画像の最小濃度値
- b : 変換前画像の最大濃度値

(1) 塗布領域の決定

塗布領域は、図-8 に示す路面と区画線の境界線（歩道側境界線と車道側境界線）で囲まれる領域である。境界線を決定するためには、アフィン変換など様々な画像処理手法が用いられる。本研究では区画線の形状特性（直線）に着目し、直線検出に優れているハフ変換を用いることとした。ハフ変換は、機械部品の画像認証など様々な画像解析システムで用いられている直線検出法であり、画像中に雑音や不連続な直線がある場合でも安定して検出できるという利点を有する⁷⁾。

本研究の評価領域は濃度画像であり、直接ハフ変換を適用することができない。そこで、以下に示す方法で境界線の輪郭を抽出してからハフ変換を適用した。

まず、評価領域に sobel 法によるエッジ検出⁸⁾を適用して、図-11 のようなエッジ画像を生成した後、エッジ画像の左側から濃度値が 255 から 0（白から黒）に変わる最初の点を検出し、歩道側の外郭線画像を生成する。同様に、エッジ画像の右側から検出を行い、車道側の外郭線画像を生成する。

次に、得られた歩道側外郭線画像にハフ変換を適用して、区画線と路面の境界線を定める。ハフ変換では、以下の手順で境界線（直線）を検出する。

図-12 に示すように、外郭線画像（ x - y 画像空間）に存在する直線 l は、式 (6) のように表わされる。

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (6)$$

ここで、

- ρ : 直線 l から原点 O へ下ろした垂線の長さ
- θ : 垂線と x 軸のなす角度

外郭線画像を構成する点 K を中心として直線 l を回転させながら、パラメータ θ と ρ を求め、両者の関係（曲線 C ）を描く。これを外郭線画像に存在する全点において行い、最も多くの曲線が交わる点（点 M ）を求める。このとき、点 M に対応するパラメータ（ ρ_M , θ_M ）によって表される直線が境界線となる。

これを車道側外郭線画像にも適用し、得られた歩道

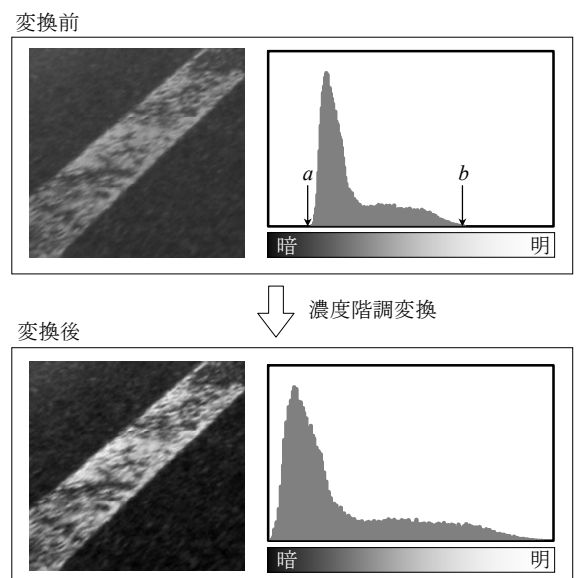


図-10 濃度階調変換

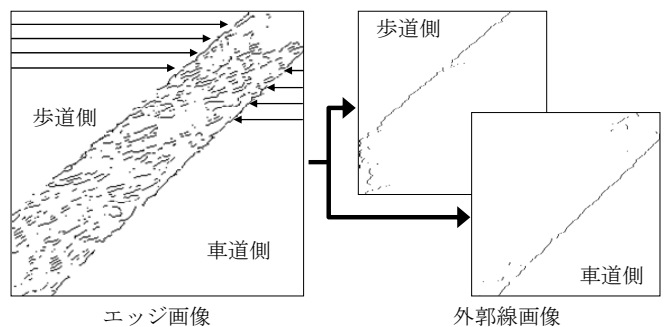


図-11 外郭線の抽出

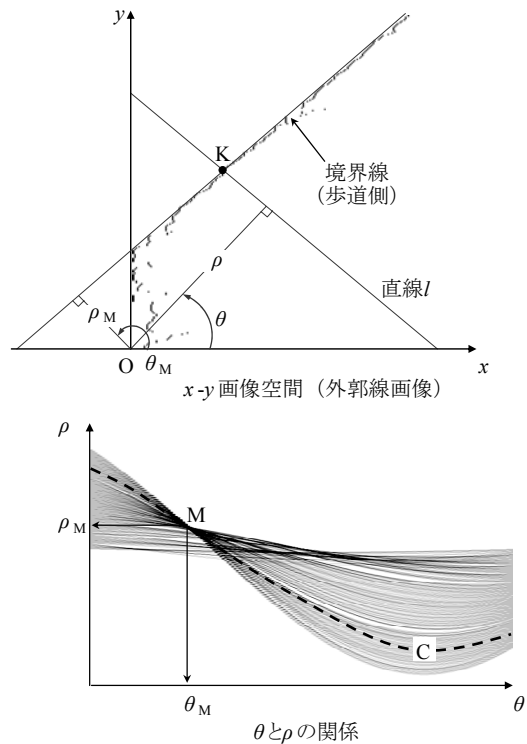


図-12 ハフ変換による境界線の検出（歩道側外郭線画像）

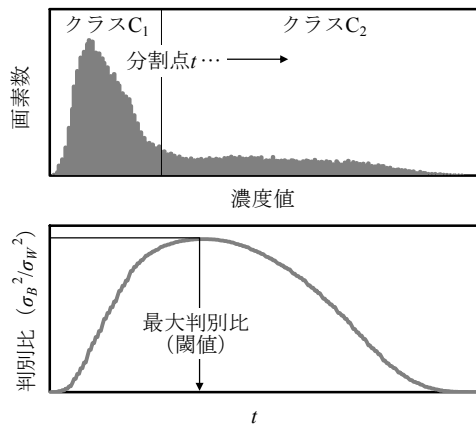


図-13 判別分析法による閾値の決定

側と車道側の2つの直線で囲まれる領域を塗布領域とした。

(2) 残留領域の決定

評価領域の濃度ヒストグラムから、判別分析法によって算出される閾値を用いて評価領域の濃度値を2値化し、残存領域を抽出する。判別分析法は、画像の2値化処理において、閾値の決定に一般的に用いられる。

図-13に示すように、濃度値(0,1,2,...,255)を2つのクラスに分割する点を t 、濃度値が t 未満のクラスを C_1 、 t 以上のクラスを C_2 とする。クラス C_i ($i=1,2$)の合計画素数 ω_i 、平均濃度値 M_i 、分散 σ_i^2 を求め、式(7)、(8)を用いてクラス内分散 σ_W^2 とクラス間分散 σ_B^2 を算出する。

$$\sigma_W^2 = \frac{\omega_1\sigma_1^2 + \omega_2\sigma_2^2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (7)$$

$$\sigma_B^2 = \frac{\omega_1\omega_2(M_1 - M_2)^2}{(\omega_1 + \omega_2)^2} \quad (8)$$

分割点 t を変化させて、 σ_B^2 と σ_W^2 を算出し、判別比(σ_B^2 / σ_W^2)と t の関係を求める。判別比が最大となる t が2値化処理で用いる閾値となる。

(3) 剥離率の算出結果

上記の方法で算出された剥離率の例を図-14に示す。剥離率が増加するにつれ、区画線の損傷が大きくなることが分かる。剥離率が5%以下では、区画線の損傷がほとんど見られないが、5~30%では、境界線周辺にクラック状やホール状の剥離が生じている。さらに、剥離率が30%以上になると、剥離は区画線内部に進行し、60%を超えると、区画線の輪郭が不明瞭となる。

本研究で用いた画像解析法の妥当性を検証するために、図-14に示した16枚の評価領域から、以下に示す

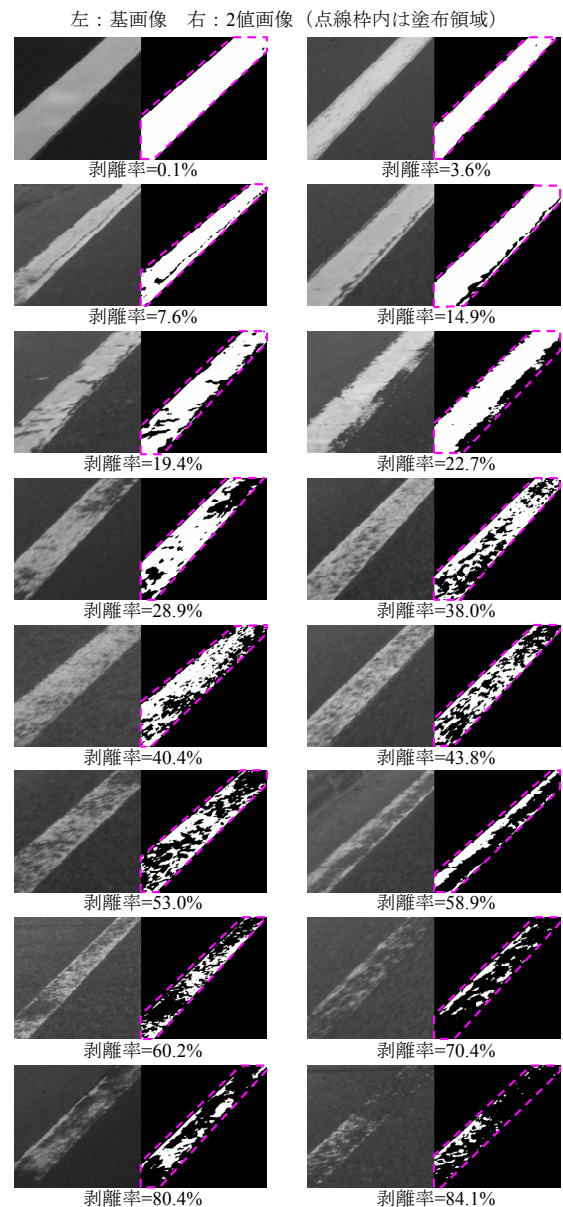


図-14 剥離率の算出例

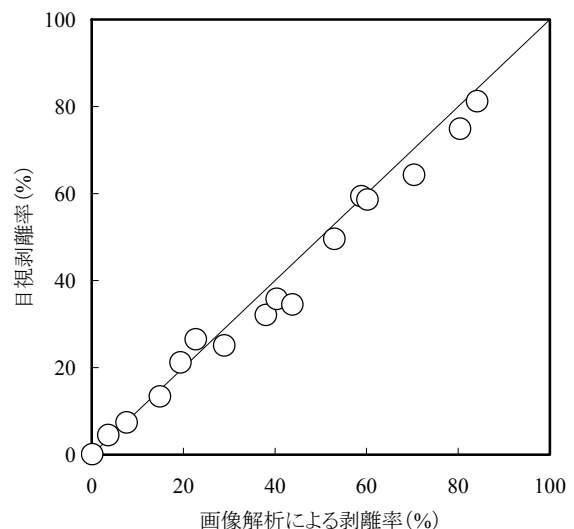


図-15 画像解析による剥離率と目視剥離率の関係

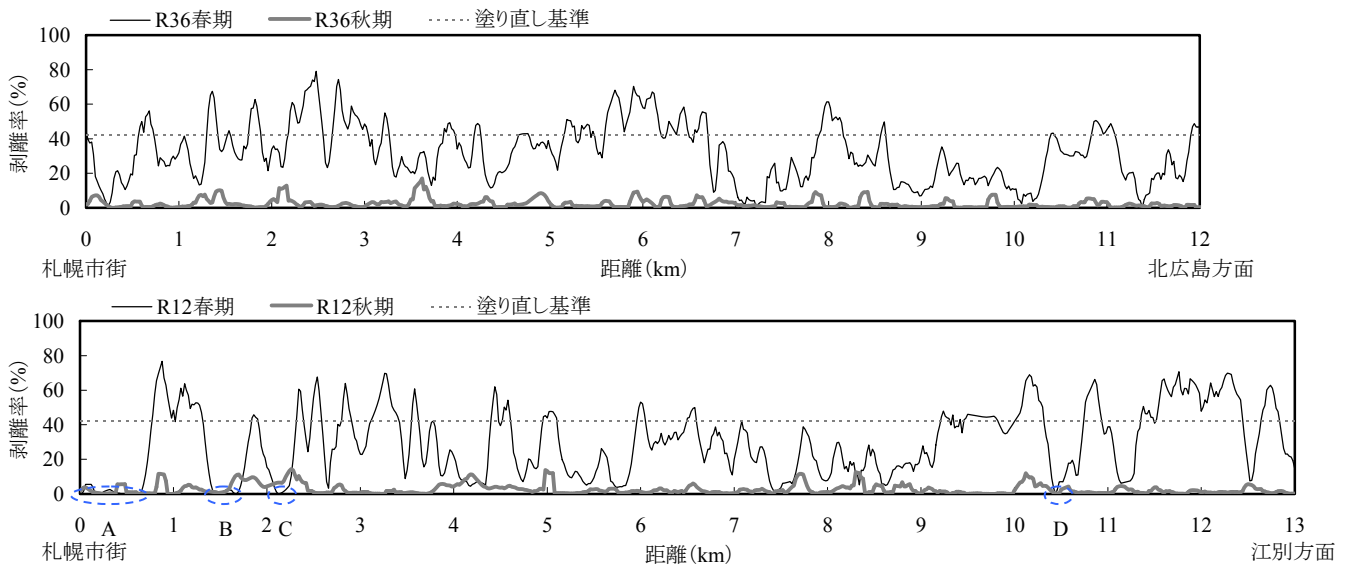


図-16 調査路線の剥離率プロファイル

ような目視による方法で塗布領域と残留領域を定め、剥離率（以下、目視剥離率）を求めた。塗布領域の決定では、解析領域の区画線全体を参照しながら、目視によって区画線と路面の境界線を定め、残留領域の決定では、元画像を参照しながら、閾値を調整して2値化処理を行った。画像解析による剥離率と目視剥離率の関係を図-15に示す。両者はほぼ1対1の関係を示すことから、本手法の精度は十分に高いと言える。

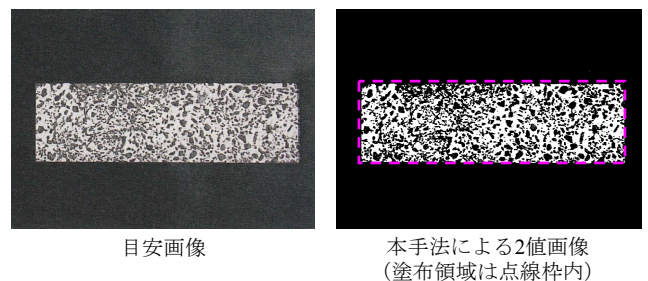


図-17 全国道路標識・標示業協会による目安画像⁹⁾

5. 調査路線の剥離率プロファイル

本手法によって得られたR36とR12の剥離率の変動（剥離率プロファイル）を図-16に示す。塗り直し前の春期では、両路線ともに剥離率が約0～80%の範囲で大きく変動するが、塗り直し後の秋期では、剥離率の値および変動はともに小さい。また、図中に示したA～Dの4区間では、春期調査の前に塗り直し作業が終了していたため、春期と秋期の剥離率の差が小さいものの、それ以外の区間では剥離率の差が大きいことから、ほぼ全ての区間において、塗り直しによって、区画線の損傷が大きく回復したことが分かる。

全国道路標識・標示業協会刊行の「路面標示と交通安全」⁹⁾では、塗り直しが必要と判断される場合の目安となる区画線画像（図-17）が掲載されている。その画像に本手法を適用したところ、剥離率は42%となったことから、ここでは、剥離率42%を区画線の塗り直し基準とみなし、図-16に示した春期の剥離率プロファイルに適用した。その結果、同図に示した点線を上まわる区間が、塗り直しが必要と判断される。なお、塗り直し基準を超える割合は、R36では30.7%、R12では31.1%と同程度であった。

このように、本手法によって塗り直しが必要な区間

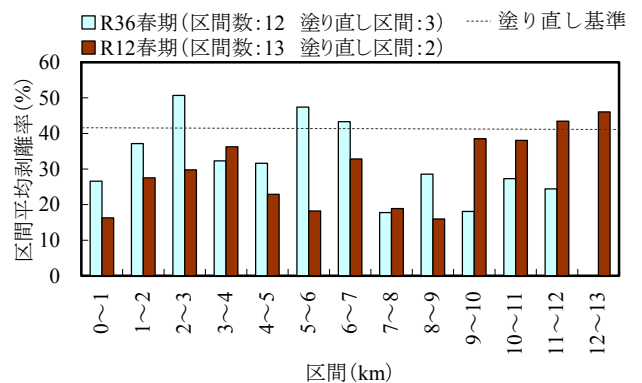


図-18 調査路線の区間平均剥離率（春期）

を詳細に特定することができるが、塗り直し作業を歯抜け状で行うことは非効率かつ景観に好ましくないとの理由で、実際には、塗り直し区間長を1kmに設定することが多い。そこで、塗り直し区間長を1kmとし、1km区間の平均剥離率を求めた。調査路線における塗り直し前（春期）の平均剥離率を図-18に示す。平均剥離率が塗り直し基準（42%）以上、すなわち塗り直しが必要と判断された区間の割合は、R36では25%（12区間中3区間）、R12では15.4%（13区間中2区間）であった。

現在用いられている目視点検法と本手法の比較を表-2に示す。目視点検法では、2~5km 間隔で区画線のみ視点検を実施しており、その結果、調査路線では、毎年、ほぼ全区間に渡って塗り直しが実施されている。これは、2~5km のような粗い間隔では、区画線の損傷度の変動を十分に捉え切れないためと考えられる。これに対し、本手法では、20m 間隔の剥離率プロファイルから、塗り直しが必要な区間をピンポイントで特定することができる。

測定の手間に関しては、目視点検法では、パトロール車で移動し、評価地点に達すると車両を一時停止させて、2~3名の評価者が区画線の損傷度を採点するのにに対し、本手法では、法定速度で走行しながら路面を撮影することが可能であることから、本手法の方が手間がかからない。しかしながら、解析ソフトを用いた剥離率の算出に当たっては、画像処理のパラメータを適切に選択しなければならないため、画像処理に関する知識と経験が必要となる。そこで、現在、パラメータを自動的に決定する解析ソフトを作成中である。

コストについて比較すると、本手法では、目視点検法よりも測定・分析に要する人件費を低減できるが、測定機器と解析ソフトに関する初期費用が必要となる。現時点では、測定機器と解析ソフトのコストを詳細に算定することができないが、測定機器には市販品（デジタルカメラ・記録媒体）と簡単・小型の制御装置を用いており、ほとんど全ての一般車両に取り付けることが可能（専用車両が不要）であること、解析ソフトは MATLAB で作成しているため、開発・修正が容易であることから、これらの導入に際してのコスト面での障害は大きくはないと予想される。さらに、現状では、目視点検法に要する費用は、塗り直し作業全体（点検も含む）に要する費用の5%にも満たないことから、初期費用が若干高くなったとしても、本手法を用いることによって、塗り直し区間を低減できれば、道路維持費の縮減に大きく寄与すると思われる。

6. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- ・ 走行車両の助手席に設置したデジタルカメラによって 20m 間隔で撮影した路面画像に画像解析を適用し、道路区画線の剥離率を連続的に求める手法を開発した。また、本手法によって算出した剥離率は、目視による方法で算出した剥離率とほぼ一致することを明らかにした。
- ・ 本手法を用いて R36 と R12 の剥離率プロファイルを求めたところ、塗り直し後の秋期では、剥離率が 10%以下と低いのにに対し、塗り直し前の春期は、剥離率が大きく、路線内の変動も大きいことが分

表-2 目視点検法と本手法の比較

	目視点検法	本手法
精度	・ 2~5km間隔の目視点検	・ 20m間隔の剥離率プロファイル
手間	・ パトロール車で移動 ・ 2~3名の評価者が車内から目視点検	・ 測定機器をパトロール車（あるいは一般車両）に設置し、通常速度で走行（自動撮影） ・ 解析ソフトによる剥離率の算出（自動化に向け改良中）
コスト	・ 車両代 ・ 点検と分析にかかる人件費（2~3名）	・ 車両代 ・ 測定と分析にかかる人件費（1名） ・ 測定機器 市販の一眼レフデジタルカメラ、シーンプロファイラ、記録媒体 ・ 解析ソフト

かった。また、得られた剥離率プロファイルに塗り直し基準を適用することで、塗り直しが必要な区間を詳細に特定できることを明らかにした。

- ・ 塗り直し作業の実施区間長を 1km と仮定して、剥離率の区間平均値を求めた。その結果、R36 では 25%、R12 では 15.4%の区間が塗り直しの対象となることが分かった。

今後は、車線境界線や車道中央線の評価方法を開発する予定である。車線境界線や車道中央線は、外側線とは異なり、破線で設置されるため、本手法が適用できない場合があることから、これらの評価に当たっては、評価領域の検出方法や塗布・残留領域の決定方法についてさらなる検討を加える必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたり、北海道道路標示業協会に多大なるご協力を頂いたとともに、調査および解析に関しては木下雅央氏のご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小澤隆：道路維持管理の現状と課題，レファレンス，No.675，pp.53-70，2007.
- 2) 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.
- 3) 平澤匡介，武本東，葛西聡：ドライバーの視認性評価による区画線の塗替え基準の検討，第 28 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.68-72，2008.
- 4) 阿部忠行，小川進：舗装ひびわれのフラクタル解析，土木学会論文集，No.442/V-16，pp.119-126，1992.
- 5) 武市靖，平河内雄也：画像処理による冬期路面の判別方法に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第 6 巻，pp.138-146，2001.12.
- 6) 田中直樹：レーザー画像を用いた路面からのクラック抽出，土木学会論文集 E，Vol.62，No.4，pp.631-640，2006.
- 7) 岡崎彰夫：はじめての画像処理技術，工業調査会，2007.
- 8) 田村秀行：コンピュータ画像処理，オーム社，2002.
- 9) 全国道路標識標示業協会：技術資料 Vol.8—路面標示と交通安全—，（社）全国道路標識・標示業協会関東支部東京都協会，2008.