

路面テクスチャに着目した夜間湿潤路面での視認性評価方法に関する研究

Study on evaluation method of visibility for night wet road surfaces focusing on road surface texture

北海道大学大学院

○学生員

古田智大 (Tomohiro Furuta)

(国研)土木研究所寒地土木研究所

正 員

田中俊輔 (Shunsuke Tanaka)

北海道大学工学部

正 員

武市 靖 (Kiyoshi Takeichi)

1. はじめに

粗面系舗装として、北海道型 SMA は、粗い路面テクスチャによる走行安全性の機能と高い耐久性を併せ持っている。特に走行安全性の機能発現が路面テクスチャに起因しており、その効果として夜間雨天時の視認性確保がある¹⁾²⁾。

既往研究として、夜間湿潤路面時の視認性についての研究は多く、舗装種別ごとの違いとして密粒度 13F 舗装と北海道型 SMA を比較したところ、北海道型 SMA が視認性において優位にあると考えられている³⁾。

しかしながら、路面テクスチャに着目した既往研究の例は不十分であり、路面テクスチャおよび散水量と輝度の関係を明らかにする必要がある。

本研究では、夜間湿潤路面における路面テクスチャに着目した視認性評価方法について輝度を用いて検討する。

2. 北海道型 SMA

図-1 に示すように、北海道型 SMA は粗い路面テクスチャによる走行安全性の機能を保ちつつ、耐久性に優れた表層用アスファルト混合物である。北海道型 SMA の路面テクスチャは、CT メータ⁴⁾などで測定された平均プロファイル深さ(MPD: Mean Profile Depth)で規格されており、本研究において路面テクスチャの指標として用いる。

本研究で使用した供試体は、北海道型 SMA の配合設計(骨材最大粒径 13mm, 目標空隙率 5.0%)を基本とした縦 400×横 400×厚さ 50mm の供試体である。路面テクスチャは 0.15mm から 1.50mm の間を MPD で管理し、7 種類作製した。供試体の MPD は、アスファルト量や転圧方法などを変化させることで、路面テクスチャを調整する。また、透水を防ぐために側方および底面をコーティングすることで、路面テクスチャによる影響のみを検証できるようにした。

表-1 に各供試体の MPD、表-2 に北海道型 SMA の配合設計を示す。

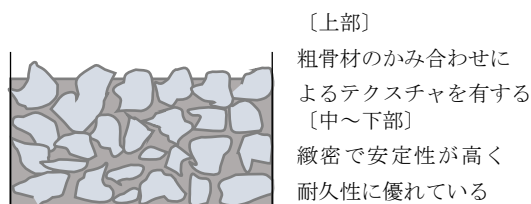


図-1 北海道型 SMA の構造

なお、MPD は供試体の 3 箇所測定し、その平均値を用いる。

表-1 各供試体の路面テクスチャ (MPD)

供試体	路面テクスチャ (MPD)
A	0.15mm
B	0.33mm
C	0.50mm
D	0.69mm
E	0.88mm
F	1.20mm
G	1.50mm

※CT メータで 3 回測定したものの平均

表-2 北海道型 SMA の配合設計

項目	配合率(%)
アスファルト(改質Ⅱ型)	5.9
石粉	10.4
スクリーニング	6.1
粗砂	6.1
7号碎石	8.5
6号碎石	63
植物繊維	0.3(外割)
合計	100.3

3. 路面反射グレア

対向車や街灯などの高輝度の光源が存在し、それらが周囲の物体の視認性を低下させる「眩しさ」(グレア)を与える。この「眩しさ」(グレア)の程度によっては単なる不快感にとどまらず、一時的な視界の妨げや状況把握能力の低下から事故を引き起こす原因となる²⁾。

図-2(a)に示すような乾燥路面時、路面に入射した光の多くは拡散反射するものと考えられる。図-2(b), (c)に示すような夜間湿潤路面の場合、さらに路面が水で覆われた水膜路面の場合では、対向車のヘッドライトによる直射だけでなく、路面からの反射光には鏡面反射光が増加することで、運転手にグレアを引き起こす。また、湿潤路面になると一部が鏡面反射するようになり、路面が平滑な水膜に覆われると完全に鏡面反射が起こり、路面反射グレアを強く感じられるようになる。

したがって、本研究では、水面に映り込む対向車のヘッドライトの反射を輝度で評価し、路面テクスチャおよび散水量との関係について検討した。

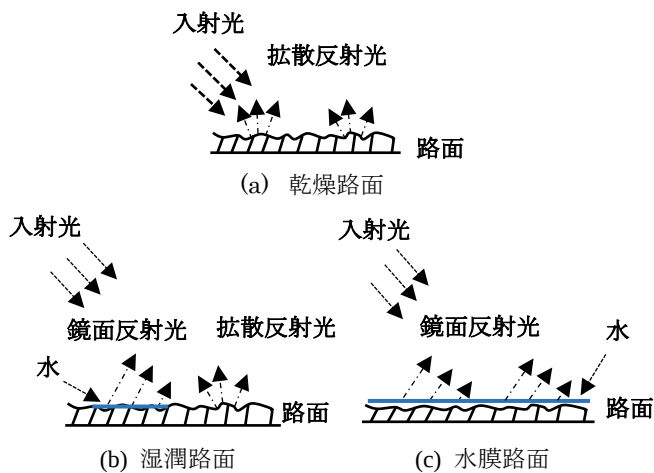


図-2 路面状態における入射光、反射光の関係

4. 路面テクスチャと貯留可能水分量の関係

湿潤路面において、粗いテクスチャを有するほど凹部に水分を貯留することができるため、路面において水膜の発生を抑制することが可能と考える。そこで本研究では、路面から流入した水分量(貯留可能水分量)との関係を明らかにした。

なお、本研究の貯留可能水分量は、路面テクスチャの凹部が水に満たされ、表面が濡れた状態から水膜が発生する過渡的な状態のことを示すと仮定した。

(1) 貯留可能水分量の測定方法

本研究における貯留可能水分量の測定方法は、所定の散水器中の水量と散布後に残った水量の差を 1m^2 あたりに換算したものを貯留可能水分量(g/m^2)とする。

(2) MPD と貯留可能水分量の関係

図-3 に本研究で用いた供試体の路面テクスチャ(MPD)と貯留可能水分量の関係を示す。MPD が大きい供試体ほど、貯留可能水分量も増加した。

MPD と貯留可能水分量の関係式を直線回帰により求めた。MPD が 0mm の時、路面は平滑であると考え、原点($0, 0$)を通る回帰直線とした。式(1)に関係式を示す。

$$y = 817x \quad (1)$$

ここに、 x は MPD, y は貯留可能水分量である。

なお、この関係式を用いて、湿潤路面における路面反射グレアの検討を行う。

5. 路面テクスチャと路面反射グレアの関係

本実験では、路面テクスチャに着目して、夜間湿潤路面に映り込む対向車のヘッドライトの反射を輝度で測定する。この結果より、式(1)に示す MPD と貯留可能水分量の関係および輝度と散水量の観点から路面テクスチャについて検討した。

(1) 試験概要

夜間湿潤路面における対向車のヘッドライトが反射し、運転手にグレアを引き起こす状態を路面テクスチャに着目し、散水量と輝度との関係を明らかにし、視認性評価とした。

本研究では、作製した7種類の供試体を用いて、散水量を変化させ、人為的に発生させた湿潤路面を作製し、各種湿潤路面における輝度を測定した。なお、北海学園大学の走行試験装置内に設置し、恒温室内において外部からの光を遮断した状態にして測定を行った。

(2) 試験条件

図-4に実験の状況を示す。対向車のヘッドライトの代用として、一灯式のハロゲンライトを使用した。ハロゲンライトは、光束 10000lm 、照射角 30° であり、光度 46500cd である。設置高さは、輝度測定器を供試体から 1.2m とした。これは、我が国の道路構造令で定められている制動停止視距が、目の高さ 1.2m であるからである。散水量は $500\text{g}/\text{m}^2 \sim 3000\text{g}/\text{m}^2$ の間で、6 条件を設けた。表-3 に試験条件を示す。

(3) 輝度測定の概要

本研究における輝度測定の概要について、光源から照射され、供試体表面から反射された光の明るさ(眩しさ)を輝度計を用いて輝度(cd/m^2)で測定した。また、その際の供試体表面をデジタル一眼レフカメラで撮影したデジタル画像を用いて、画像解析により RGB 濃度値から輝度信号値として算出した。

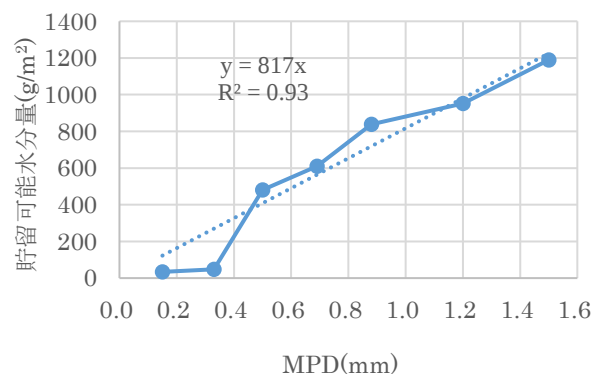


図-3 MPD と貯留可能水分量の関係

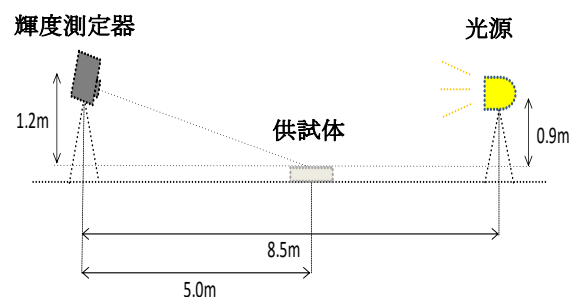


図-4 実験の状況

表-3 試験条件

供試体	MPD0.15～1.50mm（計7枚），水平に設置
路面	湿潤路面
散水量	500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000g/m ²
光源	一灯式ハロゲンライト (供試体から0.9mに設置) 光束10000lm, 照射角30° 光度46500cd
輝度	①輝度計による輝度測定 ②デジタル画像より輝度信号値を測定 (いずれの高さも供試体から1.2mに設置)

表-4 デジタル一眼レフカメラの撮影条件

ISO 感度	400
ホワイトバランス(色温度)	白熱電球モード(3000K)
レンズ(焦点距離)	140～145mm
シャッター速度	1/100
絞り値	F10.0
露出補正	0
発光	なし

(4) デジタル一眼レフカメラによる撮影条件

デジタル一眼レフカメラのデジタル画像から輝度信号値を測定するために撮影条件を一定にすることが必要であると考え、表-4にデジタル一眼レフカメラの撮影条件を示す。

ISO 感度を 400 と設定した。ホワイトバランス(色温度)について、光源の色温度が 3000K であり、デジタル一眼レフカメラの白熱電球モードの色温度も約 3000K であるため、白熱電球モードで設定した。レンズは輝度計より見えている範囲と同じように設定し、シャッター速度および絞り値は予備実験を重ね、路面テクスチャによる違いが見られるように設定した。

(5) デジタル一眼レフカメラによる輝度信号値測定

デジタル一眼レフカメラで撮影した画像で輝度信号値を測定するために画像解析から各供試体の水膜発生により路面に写り込んだ光源に合わせてトリミング座標を決定し、その前後すべて同じ座標でトリミングを行った。

トリミングした画像は、白黒部分の画素ごとに光の原色である RGB (Red, Green, Blue) の集合として記録されている。その画像の濃度ヒストグラムから RGB それぞれの平均濃度を求めた。

デジタル一眼レフから撮影した画像の RGB 濃度値から輝度を算出する方法として、我が国のカラーテレビジョンシステムで採用されている NTSC 方式 (national television system committee) による、画像の映像信号における輝度信号値 (luminance signal) に着目した。NTSC 方式の輝度信号値 Y は、3 原色信号 (R, G, B) を 0.30 : 0.59 : 0.11 の割合で混合し、伝達されることから⁵⁾、以下の式(2)で算出することができる。

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (2)$$

ここに、R, G, B は各種の濃度であり、ここでは、既に求めた平均濃度を用いることとする。

6. 試験結果**(1) MPD と路面反射グレアの関係**

図-5に輝度計による測定結果、図-6にデジタル一眼レフカメラによる測定結果を示す。

図-5の測定結果より、7種類の供試体を比較する。乾燥路面では輝度はほぼ同値であるが、500g/m² 散水すると、MPD が 0.15, 0.33mm では輝度が高くなり、3000g/m² 散水までほぼ同じ値を示す。さらに、MPD が大きくなるにつれて、輝度が一定になる散水量も 500g/m² ずつ変化していることが明らかになった。

また、輝度が上昇する過程を拡散反射の状態となり、輝度が一定になった時、鏡面反射が発生すると考える。図-5の測定結果より MPD が 1.20, 1.50mm を例にした場合、それぞれ 2000g/m², 2500g/m² 散水することで鏡面反射となると考えられる。

MPD と輝度が一定になる水分量の関係は、MPD が約 0.20～0.30mm の範囲で変化することで水分量も 500g/m² ずつ変化しているため、その際の散水量では鏡面反射が発生すると考えられる。

したがって、夜間湿潤路面における路面反射グレアは、粗い路面テクスチャを有する供試体ほど抑制することが可能である。

図-6に示すデジタル画像より算出した輝度信号値の測定結果を見ても、図-5と同じ傾向が見られた。さらに、図-7に輝度と輝度信号値の関係を近似曲線で示した結果、両者に高い相関関係が見られた。

よって、デジタル画像により算出された輝度信号値から輝度計における輝度を示すことができると考える。

(2) 貯留可能水分量と路面反射グレアの関係

図-3に示す MPD と貯留可能水分量の関係と鏡面反射が発生する水分量の一つのグラフにまとめた結果を図-8に示す。ここで、鏡面反射が発生する水分量では路面に平滑な水膜が発生すると考える。

その結果、MPD が大きくなるにつれ、鏡面反射が発生する水分量と貯留可能水分量の差は、大きくなる傾向が見られた。

これは、供試体表面のわずかな歪みによる影響が考えられる。また、貯留可能水分量の定義は表面が濡れた状態から水膜が発生する過渡的な状態であるため、MPD が大きくなるにつれ、平滑な水膜とならず、拡散反射となったと考えられる。

このように、本研究で行った試験結果から夜間湿潤路面における視認性評価方法として、路面テクスチャに着目した輝度と散水量の関係から視認性評価方法の一つを輝度で示すことができた。しかしながら、実道を想定した場合を考慮すると道路構造(勾配、排水能力など)や気象条件など、考慮すべき環境条件を明確にする必要があるため、今後の研究における課題は多く存在している。

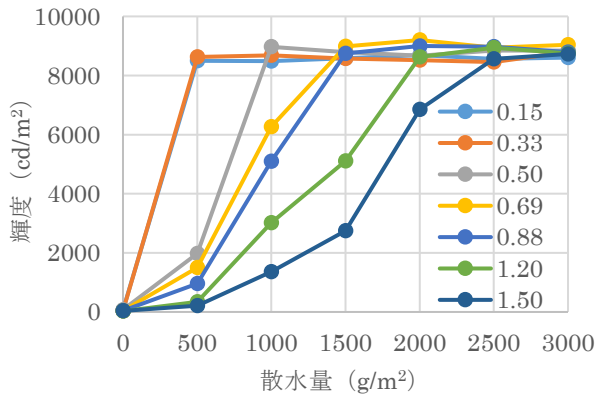


図-5 輝度計による測定結果

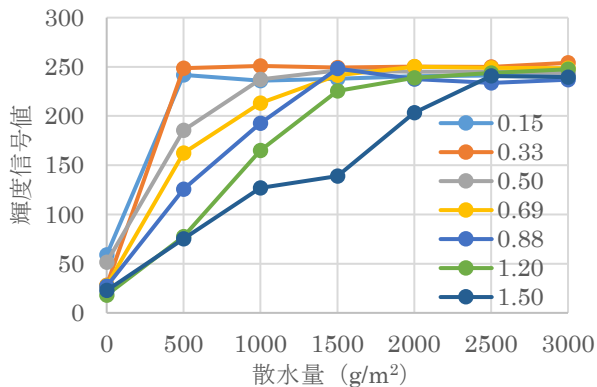


図-6 デジタル画像による測定結果

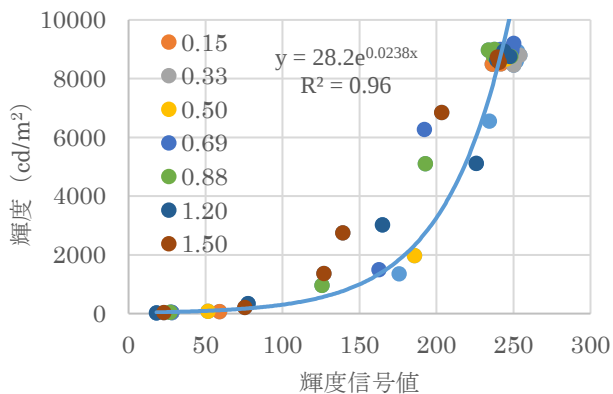


図-7 輝度と輝度信号値の関係

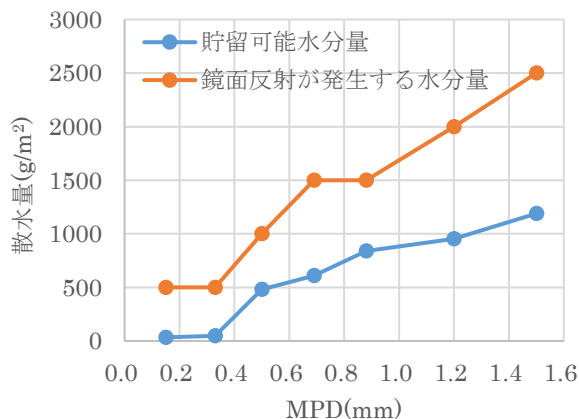


図-8 MPD と水膜発生時の散水量の関係

7. まとめ

本研究から得られた知見についてまとめると、以下のとおりになる。

- (1) MPD と貯留可能水分量には高い相関関係があり、得られた関係式から MPD が大きいほど貯留可能水分量が多くなることが明らかとなった。
- (2) MPD と路面反射グレアの関係から、路面反射グレアは、粗い路面テクスチャを有する供試体ほど発生を抑制することが可能である。
- (3) 路面反射グレアを評価するのに用いた輝度計とデジタル一眼レフカメラの関係は、両者に高い相関関係があることから、輝度信号値より輝度を推定することができると言える。
- (4) 貯留可能水分量と鏡面反射が発生する水分量の関係から、MPD が大きくなるにつれ、鏡面反射が発生する水分量と貯留可能水分量の差は大きくなる傾向が見られた。
- (5) 路面テクスチャに着目した輝度と散水量の関係において、夜間湿潤路面における視認性評価方法の一つとして輝度で示すことができたと考える。

8. おわりに

本研究は、路面テクスチャに着目した視認性評価方法の一つとして、輝度を用いて検討した。

その結果、粗い路面テクスチャを有する供試体ほど運転手に与えるグレアならびに水膜の発生を抑制することが可能である。これより、北海道型 SMA の走行安全性の観点における視認性確保に新たな知見を与えることができたと考える。

今後、実道を想定した場合、環境条件等を考慮した検証を進め、視認性評価に必要な路面テクスチャを推定できる手法を確立していきたい。

参考文献

- 1) 千葉学, 田高淳, 安部隆二: 開粒度舗装の雪氷路面におけるすべり抵抗に関する一検討, 寒地技術論文・報告集, Vol.22, pp.209-213, 2006.
- 2) 公文宏明, 長谷山美紀: 車載複数カメラによる夜間雨天時における路面反射グレア領域の検出と画像改善, 映像情報メディア学会誌, Vol.67, No3, pp.J95~J103, 2013.
- 3) 積雪寒冷地における舗装技術検討委員会: 北海道型 SMA の施工の手引き(案), 2014.
- 4) (公社)土木学会舗装工学委員会: 路面テクスチャとすべり, 舗装工学ライブラリー, Vol.10, pp.37-43, 2013.
- 5) 赤間世紀: 画像処理の基礎, 技報堂出版, pp.22~23, 2006.