

夜間雨天時における凹凸区画線の 視認性に関する理論的考察

今田寛典

正会員 工博 呉大学助教授 大学院社会情報研究科社会情報専攻 (〒737-0182 呉市郷原学びの丘1-1-1)

夜間雨天時において凹凸区画線の凸部が視認性向上にどのような効果を示すのかは定量的に示されていない。本研究は、降雨条件、凸部の形状や凸部の密度が変化すると再帰反射係数がどのように変化するかを理論的に考察し、凹凸区画線の特性と効果を確認した。

得られた知見は以下のように要約できる。(1)晴天時と同様に雨天時においても凸部が再帰反射光量を常に増加させるとは限らない。(2)凸部の傾斜面から限界値以上の再帰反射係数が得られる傾斜角度の確保が重要である。(3)傾斜面への添加ガラスビーズの増大が効果的である。(4)凸部の高さは、降雨強度、凸部の密度、設置位置を考慮して決める必要がある。

Key Words : visibility on a rainy night, raised-rib road marking, retro-reflection, depth of rain flow, theoretical analysis

1. はじめに

著者は、表面に凸部を設けた区画線の視認性が向上したり、低下するメカニズムについて研究してきている。

これまでの研究¹⁾によると、凸部が区画線からの再帰反射光量を常に増加させるとは限らないことが分かった。すなわち、凸部の傾斜面からの再帰反射係数が平坦な区画線表面からの再帰反射係数よりも単に大きいだけでは再帰反射光量は増加せず、限界のあることがわかった。その限界は、凸部の傾斜角度やドライバーの注視距離によって決まる。

また、再帰反射光量が大きくなるような凸部の形状もわかった。凸部の高さは幅の20%よりも大きいことが望まれる。さらに、再帰反射光量が最大、または最小になる凸部の密度がある。これは凸部を規則的に配列する場合もランダムに配列する場合にもあてはまる。凸部をランダムに配列した場合の再帰反射光量は規則的に配列した場合のおよそ70から80%程度である。

しかしながら、この研究は凹凸区画線の再帰反射光量が多くなったり、少なくなったりするメカニズムを理論的に明らかにすることが目的であったので、課題を簡略化して議論をしている。雨天時の視認性を検討することは課題を複雑にするばかりで研究目的に反するものであった。しかし、区画線に凹凸を付ける目的の一つは夜間雨天時の視認性向上にある。そこで、本研究は、凸部が

夜間雨天時における区画線の視認性向上にどのような役割を果たすのかを理論的に考察する。

2. 雨天時の視認性に関する従来の研究と本研究の特徴

満田²⁾らや荻原³⁾らは、雨天時における区画線の視認性をドライバーの主観値を用いて評価している。

前者の結果によると、降雨強度が視認性低下に大きな影響を及ぼすこと、径の大きいガラスビーズを区画線に添加する、区画線に凹凸を付ける、環境照度を高めることなどが視認性向上に有効であると報告されている。また、高屈折率のガラスビーズ散布が視認性向上に大きな効果を示すことを理論的に説明している。特に、湿潤時の効果が大きいことを強調している。しかし、区画線表面を雨水が覆うと、入射光は雨水面上で鏡面反射し、水膜下の高屈折率のガラスビーズには届かず、区画線を視認できなくなるという問題がある。

後者ではドライバーが区画線を視認できる距離を用いて区画線の視認性が議論されている。特に、湿潤路面においては凸部を有した区画線の視認距離が大きく伸びることと、その有効性が指摘されている。

また、光学的な実験的研究においても、区画線表面に凸部を付けると、夜間雨天時の視認性向上に大きな効果を示すことが明らかにされている^{4), 5), 6)}。

以上のように夜間雨天時においては凸部を設けた区画

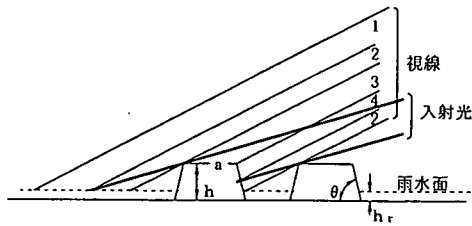


図-1 凸部と入射光軸, 視線軸

線の視認性が優れていることをいずれの研究も指摘しているが、その降雨と視認性との関係については言及されていない。一方、著者は、前述したように凸部は常に視認性向上をもたらさないことを理論的に明らかにしているが、凸部が雨天時の視認性に及ぼす影響やその区画線の特性等は明らかにされていない。

そこで、本研究は、夜間雨天時における区画線の視認性向上に凸部がどのような役割を果たすのかを理論的に考察する。凸部の効果が理論的に明らかにできれば、雨天時を考慮した凸部の設置法も明らかにされる。

3. 凹凸区画線からの再帰反射光量の計算

(1) 基本的考え方

光源に照らされている面からの反射輝度 L (cd/m^2) は、その面が放つ光度 I (cd) を輝度を測定する方向への正射影面積 A で除した単位面積当たりの光度で示される。

$$L = I / A \quad (1)$$

解析の便宜上、凸部の形状を台形¹⁾とすれば、図-1に示すようにドライバーへの再帰反射光は、入射光が当たる平面部分、傾斜部分、当たらない傾斜部分、平面部分から反射したものである。なお、凸部の傾斜面が円弧を成している場合もある。円弧を矩形に換算することは可能であるが、換算方法については今後の課題である。

いま、図中の i 部からの再帰反射係数 f_{ij} ($\text{ca}/\text{m}^2/\text{lx}$) が分かれば、ドライバーへの単位幅反射光束量 (反射輝度) L_j は式(2)で表される。

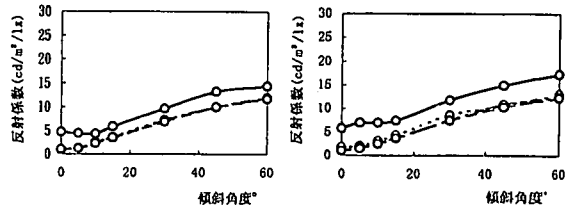
$$L_j = \frac{\sum (E \cdot i \text{部からの反射光束幅} \cdot f_{ij})}{\sum i \text{部からの反射光束幅}} \quad (2)$$

ただし、 j は降雨強度、 E (lx) は入射光量を示している。

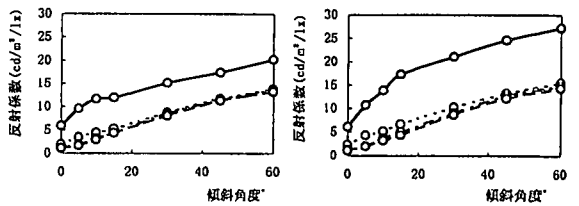
しかし、湿潤時や雨天時には区画線表面に水膜が存在するので、特に、平坦部からの再帰反射は小さくなり、 L_j は大きく低下する。したがって、再帰反射係数が大きい傾斜部からの再帰反射光量を大きくすることを期待しなければならない。

(2) 降雨強度と凸部の傾斜が再帰反射に及ぼす影響

図-1に示されるように凹凸区画線は傾斜した面と平坦



(a) 散布ガラスビーズ18g/m (b) 散布ガラスビーズ 25g/m



(c) 散布ガラスビーズ40g/m (d) 散布ガラスビーズ60g/m

—— 晴天時 - - - - 湿潤時
- - - - 10mm/h - - - - 30mm/h

図-2 凸部の傾斜角と再帰反射係数

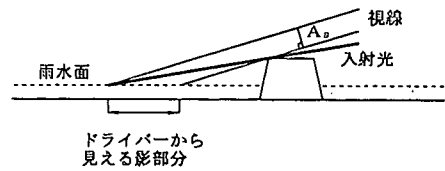


図-3 影の部分

面に分解して考えることができる。湿潤時や雨天時には、傾斜した面や平坦な面は雨水で覆われるので、再帰反射係数は晴天時に比べると、大きく低下する。

図-2は黄色の区画線を用いた場合の再帰反射係数の測定結果⁷⁾を示したものである。凸部の傾斜角 θ が大きくなると、再帰反射係数は大きくなる。しかし、再帰反射係数と降雨強度との関係を詳細にみると、再帰反射係数は降雨強度そのものには影響されていないが、傾斜角度と散布ガラスビーズ量には大きな影響を受けていることがわかる。

一方、距離が長くなれば、距離は再帰反射係数に大きな影響を及ぼさないことが文献¹⁾で知られている。

(3) 凸部背後の影

ドライバーの目の位置はヘッドライトより上にあるので、ドライバーは凸部の背後にある影部分を見ることになる。この影部分は凸部の形、ドライバーと凸部との間の距離によって変化する。図-3に示される視線軸に垂直な投影面に対する影部分の幅 A_s は次式で表される。

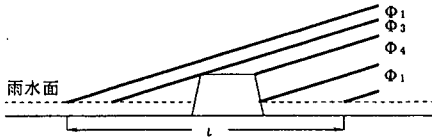


図-4 入射光束幅

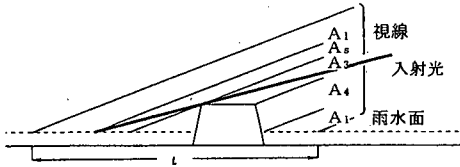


図-5 再帰反射光束幅

$$\begin{aligned} A_s &= (h - h_r) (\cot \delta - \cot \eta) \cdot \sin \eta \\ &= \Delta h (\cot \delta - \cot \eta) \cdot \sin \eta \end{aligned} \quad (3)$$

この影部分からの再帰反射光量は非常に小さいので、無視できる。ただし、 $\Delta h = h - h_r$ (以降 $h - h_r$ を Δh とする)、 δ 、 η 、 h 、 h_r はそれぞれ入射光軸と水平軸がなす角度、ドライバーの視線軸と水平軸がなす角度、凸部の高さ、区画線表面上の雨水膜厚を示す。さらに、 $\eta > \delta$ である。

(4) 長さ l に凸部が 1 個存在する場合の入射および再帰反射の光束幅

a) 入射光束幅

図-4に示される長さ l の凹凸区画線を照射する光束幅 ϕ は、

$$\phi = l \sin \delta \quad (4)$$

である。

さらに、区画線への入射光は、乾燥時および湿潤時には区画線平坦面、降雨時には雨水面上を鏡面反射し、その反射光も凸部の傾斜面に入射することになる。反射率を k_j とすれば、傾斜面への入射光量 E は $(1.0 + k_j) E$ に増加する。

b) 再帰反射光束幅

図-5に示されるように区画線表面上に凸部を 1 個配置したときの再帰反射光束幅 A_i はそれぞれ、

$$\begin{aligned} A_1 &= \{l - a - \Delta h (\cot \delta + \cot \theta)\} \cdot \sin \eta \\ &= (l - a - \Delta h \beta) \cdot \sin \eta \end{aligned}$$

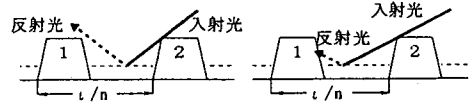
$$A_2 = A_s$$

$$A_3 = a \cdot \sin \eta$$

$$\begin{aligned} A_4 &= \Delta h (\cot \eta + \cot \theta) \cdot \sin \eta \\ &= \Delta h \alpha \cdot \sin \eta \end{aligned}$$

$$A = \sum A_i$$

$$= l \sin \eta$$



(a) 傾斜面全体へ反射 (b) 傾斜面の一部へ反射

図-6 区画線平坦部や雨水面への入射光と凸部傾斜面への入射光の反射

で示される。 A_2 部が大きくなれば、視認性は低下する。ただし、 $\alpha = \cot \eta + \cot \theta$ (以降 α とする)、 $\beta = \cot \delta + \cot \theta$ (以降 β とする) である。

c) 凸部の設置効果

式(1)、(2)より i 部からの再帰反射輝度 (再帰反射光束量) L_{ij} は、

$$L_{ij} = E A_i f_{ij} \quad (6)$$

で表すことができるので、 l からの再帰反射輝度 L_j は、

$$L_j = \frac{\sum A_i E f_{ij} + A_4 k_j E f_{4j}}{l \sin \eta} \quad (7)$$

で示される。さらに、現行の区画線は平坦な面のみから成っているの、夜間晴天時における現行区画線からの再帰反射輝度 L_0 は、

$$L_0 = f_{10} E \quad (8)$$

で示される。したがって、 L_j と L_0 の輝度比 R_j 、

$$R_j = L_j / L_0 \quad (9)$$

を検討すれば、凸部の効果を知ることができる。

(5) 長さ l に n 個の凸部を規則的に配置した場合の再帰反射

いま、長さ l に n 個の凸部を規則的に配置したと仮定する。凸部の設置間隔が短くなると前方に存在する凸部の影が後方の凸部の傾斜部分にかかる。多くの光を反射する傾斜部分からの再帰反射光量が少なくなる。

そこで、前方の凸部の影が後方の凸部にかかる場合とつかからない場合の 2 通りに分けて計算を行うことにする。

a) 凸部傾斜面への入射

まず、図-6(a)に示される凸部 1 と 2 の並びの場合、平坦部へ入射した光は凸部 1 の傾斜面の全てに反射する。すなわち、凸部の間隔が、 $l/n \geq a + 2\Delta h \cot \delta$ の場合、凸部の傾斜面への単位入射光量は、 $(1.0 + k_j) E$ になる。

一方、図-6(b)に示される凸部 1 と 2 の場合には凸部 1 の傾斜面の一部には平坦部からの反射光は当たらない。すなわち、 $a + \Delta h \beta \leq l/n \leq a + 2\Delta h \cot \delta$ の場合、単位入射光量は、 $(1.0 + k_p) E$ になる。ただし、 k_p は、

$$k_p = \frac{k_j (l/n - a - \Delta h \beta)}{\Delta h (\cot \delta - \cot \theta)} \quad (10)$$

である。

さらに、 $l/n \leq a + \Delta h \beta$ になると、平坦部からの反

表-2 ケース別再帰反射輝度比

ケース	再帰反射輝度比 (R)
1	$(a\gamma_{3j} + (1.0 + k_1)\Delta h\alpha\gamma_{4j} - (a + \Delta h\beta)\gamma_{1j}) \frac{n}{l} + \gamma_{1j}$ (11)
2	$(a\gamma_{3j} + (1.0 + k_2)\Delta h\alpha\gamma_{4j} - (a + \Delta h\beta)\gamma_{1j}) \frac{n}{l} + \gamma_{1j}$ (12)
	$= (a\gamma_{3j} + (\Delta h - \frac{(a + \Delta h\beta)k_1}{\cot\delta - \cot\theta})\alpha\gamma_{4j} - (a + \Delta h\beta)\gamma_{1j}) \frac{n}{l} + \frac{a k_1 \gamma_{4j}}{\cot\delta - \cot\theta} + \gamma_{1j}$
3	$\frac{a\gamma_{3j} + \Delta h\alpha\gamma_{4j}}{a + \Delta h\beta}$ (13)
4, 5	$(a\gamma_{3j} - \frac{a\alpha\gamma_{4j}}{\beta}) \frac{n}{l} + \frac{a\gamma_{4j}}{\beta}$ (14)
6	$\frac{a\gamma_{3j}}{a + 2h\cot\theta} + \frac{2a\gamma_{4j}h\cot\theta}{\beta(a + 2h\cot\theta)} \approx \gamma_{3j}$ (15)

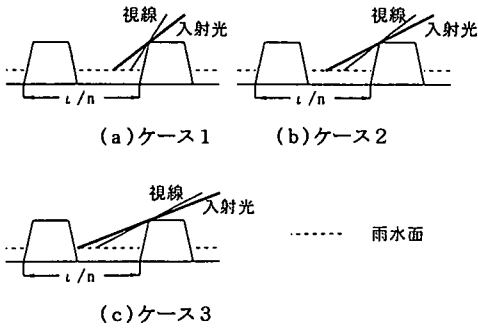


図-7 影が凸部にかからない場合

表-1 反射面 i 別再帰反射光束幅

ケース	反射面 i	再帰反射係数	入射光束	光束幅 (A _i)
1	1	f _{1j}	E	$(l/n - a - \Delta h\beta)\sin\eta$
	2	0.0	0.0	$\Delta h(\cot\delta - \cot\eta)\sin\eta$
	3	f _{3j}	E	$a\sin\eta$
	4	f _{4j}	$(1.0 + k_1)E$	$\Delta h\alpha\sin\eta$
2	1	f _{1j}	E	$(l/n - a - \Delta h\beta)\sin\eta$
	2	0.0	0.0	$\Delta h(\cot\delta - \cot\eta)\sin\eta$
	3	f _{3j}	E	$a\sin\eta$
	4	f _{4j}	$(1.0 + k_2)E$	$\Delta h\alpha\sin\eta$
3	2	0.0	0.0	$\Delta h(\cot\delta - \cot\eta)\sin\eta$
	3	f _{3j}	E	$a\sin\eta$
	4	f _{4j}	E	$\Delta h\alpha\sin\eta$
4	2	f _{2j}	0.0	$(l/n - a - \Delta h\alpha)\sin\eta$
	3	f _{3j}	E	$a\sin\eta$
	4	f _{4j}	E	$(l/n - a)\alpha/\beta\sin\eta$
	5	0.0	0.0	$(\Delta h + (a - l/n)/\beta)\alpha\sin\eta$
	5	3	f _{3j}	E
4		f _{4j}	E	$(l/n - a)\alpha\sin\eta/\beta$
5		0.0	0.0	$(l/n - a)(\cot\delta - \cot\eta)\sin\eta/\beta$
6	3	f _{3j}	E	$a\sin\eta$
	4	f _{4j}	E	$(l/n - a)\alpha\sin\eta/\beta \approx 0.0$
	5	0.0	0.0	$(l/n - a)(\cot\delta - \cot\eta)\sin\eta/\beta \approx 0.0$

反射面 i : ドライバーへ再帰反射する凹凸区画線の反射面 i (Fig. 1中の視線 i に該当する)

a : 凸部の上辺長, h : 凸部の高さ, h_r : 区画線表面上の雨水膜厚

η : 視線軸と水平軸がなす角, θ : 凸部の傾斜角

j : 降雨強度, δ : 光軸と水平軸がなす角

Δh = h - h_r, α = cot η + cot θ, β = cot δ + cot θ

射光は存在せず, 単位入射光は E となる.

b) 凸部の影が後方の凸部にかからない場合

凸部への入射光およびドライバーへの再帰反射光は, 図-7のケース 1 ~ 3 に分類できる.

ケース 1 は, $l/n \geq a + 2\Delta h\cot\delta$ の場合である. ケース 2 は, $a + 2\Delta h\cot\delta \leq l/n \leq a + \Delta h\beta$ の場合である. ケース 3 は, $l/n = a + \Delta h\beta$ の場合である.

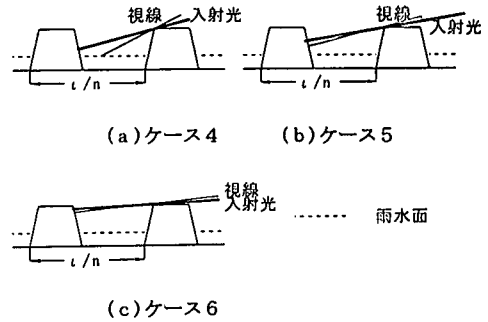


図-8 影が凸部にかかる場合

それぞれのケースごとに反射部位別の再帰反射光束幅 A_i を整理して表-1 に示す. また, 式(9) で求められる輝度比 R_j をケース別に表-2 に示す. なお, 表-2 中の γ_{1j} は反射係数比を表しており, 降雨 j 時反射面 i からの反射係数 f_{ij} と, 晴天時平坦面からの反射係数 f₁₀ の比 (f_{ij} / f₁₀) である.

c) 凸部の影が後方の凸部にかかる場合

次に, 前方の凸部の影が後方の凸部にかかる場合の様子を図-8 に示す. ケース 4, 5 は前方の凸部の影が後方の凸部にかかる場合である. ただし, $l/n \leq a + \Delta h\beta$ である. ケース 6 は凸部が非常に密に設置された場合で, $an \approx l$ に該当する. このとき影は凸部の頂点近くに達すると同時に視線も凸部の頂点近くに達するので, 影および光が当たる傾斜部分の影響は小さくなる. また, 凸部が粗に設置された場合でも, ドライバーと区画線との距離が大きくなると同様なことがいえる. 結局このような場合には現行区画線の雨天時の再帰反射光束に漸近する. 表-1 に反射部位別再帰反射光束幅を, 表-2 にケース別再帰反射輝度比を示す. ケース 4 と 5 の反射輝度比は同じ結果となる.

結局, 図-7, 8 に示されるように n 個の凸部からの再

帰反射光量は、 l/n 内の1個の凸部からの再帰反射光量を考察すればよい。それを n 倍すれば、 l からの再帰反射光量になる。

表-2中の α , β , γ_{ij} は、 $\gamma_{ij} > 0$, $\beta > \alpha > 0$ である。さらに、式(11), (12), (14)は凸部の密度 n/l の一次関数で示される。そして、式(11)と(12)は、 $n/l = 1/(a + 2\Delta h \cot \delta)$ で交わる。また、式(12)と(14)は $n/l = 1/(a + \Delta h \beta)$ で交わり、両式とも式(13)に等しくなる。すなわち、式(11), (12), (14)は連続である。

(6) 静的な解析解の有効性

いま、速度 v m/secで走行しているドライバーが、常に d m先の区画線を注視しているとすれば、ドライバーは $l/(nv)$ 秒毎に凸部の明るい部分と凸部後方にできる暗い部分を交互に注視することになる。これまで求めてきた再帰反射光量はこの時間的変化を考慮しておらず、時間的変化を平均したものである。この意味では本研究は静的な解析である。

しかし、運転中ドライバーの注視点は速い動きと静止を繰り返す。村田⁸⁾は、昼間ドライバーが注視する対象物毎の注視時間を調べており、区画線を注視する平均時間はおよそ0.17秒であると報告している。夜間におけるその時間の調査事例は見当たらないが、昼間より若干長いと考えられる。

このようにドライバーが区画線を注視する時間は非常に短く、さらに、ドライバーは明るい部分と暗い部分を一体に注視している。また、ドライバーの視認距離が長くなれば、設置密度が小さい場合でも、凸部は連続に見えるので、静的な解析解の適用範囲は、視認距離が短い場合よりも広がる。

本研究では凸部の設置の仕方が区画線の再帰反射特性に及ぼす影響を理論的に解析することが目的であるので、静的な解析は有効であると考えられる。

しかし、凸部の設置密度が小さい場合、明るい部分と暗い部分からの再帰反射光量が交互に目に入ってくることは事実であり、今後動的な解析も必要とされる。

4. 凹凸区画線の光学的特質

(1) 凸部を設置することの効果

凸部密度、 n/l が R_j に及ぼす影響を考察する。

式(14)の場合、 $\alpha \gamma_{4j} > \beta \gamma_{3j}$ であれば、式(14)は減少関数になり、 $\alpha \gamma_{4j} < \beta \gamma_{3j}$ であれば、増加関数になる。

式(11)の場合、 $a(\gamma_{3j} - \gamma_{1j}) + \Delta h \alpha \gamma_{4j} + k_j \Delta h \alpha \gamma_{4j} - \Delta h \beta \gamma_{1j} > 0.0$ ならば、式(11)は増加関数となる。逆に、 $a(\gamma_{3j} - \gamma_{1j}) + \Delta h \alpha \gamma_{4j} + k_j \Delta h \alpha \gamma_{4j} - \Delta h \beta \gamma_{1j} < 0.0$ ならば、減少関数になる。さらに、 $\delta < \theta$ で

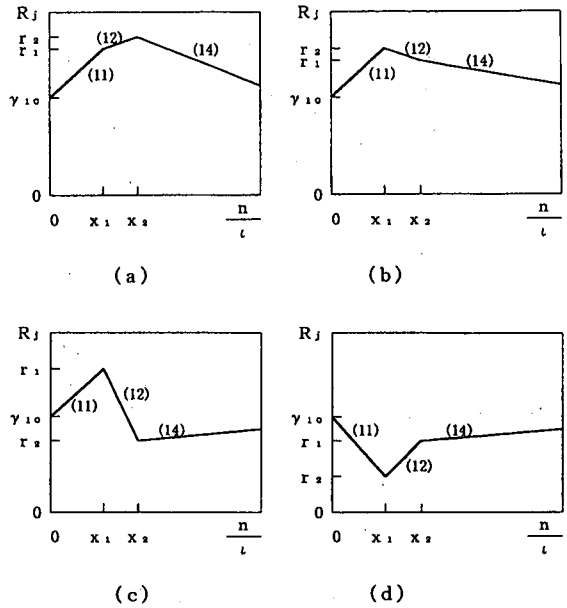


図-9 凸部の間隔が視認性向上に及ぼす影響

$$x_1 = \frac{l}{a + 2\Delta h \cot \theta}, \quad x_2 = \frac{l}{a + \Delta h \beta},$$

$$r_1 = \frac{a \gamma_{3j} + (1.0 + k_j) \Delta h \alpha \gamma_{4j} + \Delta h (\cot \delta - \cot \theta) \gamma_{1j}}{a + 2\Delta h \cot \delta}$$

$$r_2 = \frac{a \gamma_{3j} + \Delta h \alpha \gamma_{4j}}{a + \Delta h \beta}$$

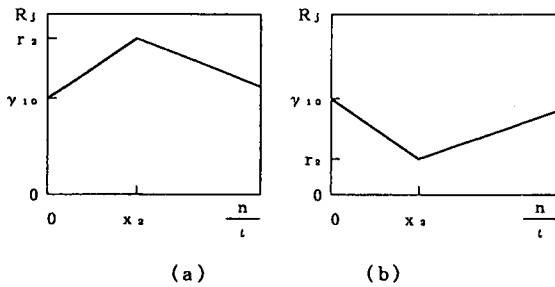
あれば、式(11)の傾きと式(12)の傾きの差は、 $k_j \Delta h \alpha \gamma_{4j} + (a + \Delta h \beta) k_j \alpha \gamma_{4j} / (\cot \delta - \cot \theta) > 0.0$ となり、式(11)の傾きは常に(12)の傾きより大きくなる。なお、 $\delta \geq \theta$ の場合には区画線平坦面や雨水面からの反射光は傾斜面に入射しない。また、式(14)より $\alpha \gamma_{4j} > \beta \gamma_{3j}$ であれば、式(11)は増加関数になる。逆に、式(11)が減少関数であるならば、 $\alpha \gamma_{4j} < \beta \gamma_{3j}$ になる。

以上のことを図示したものが図-9である。特に、図-9の(c)のようなものは、反射係数 k_j の影響である。たとえば、 k_j が大きくなれば、 r_2 と γ_{1j} との差 $\{a(\gamma_{3j} - \gamma_{1j}) + \Delta h \alpha \gamma_{4j} - \Delta h \beta \gamma_{1j}\} / (a + \Delta h \beta)$ が負の場合でも式(11)の勾配 $a(\gamma_{3j} - \gamma_{1j}) + \Delta h \alpha \gamma_{4j} - \Delta h \beta \gamma_{1j} + k_j \Delta h \alpha \gamma_{4j}$ は正になる場合もある。

R_j は、凸部の間隔、傾斜部と平面部の再帰反射係数の比、ドライバーの目とヘッドライトの位置、およびドライバーの注視距離等によって変化すること、また、凸部を設置することが視認性の向上になる場合と、逆に低下する場合のあることがわかった。

(2) 凸部設置が再帰反射光量を多くする条件

α , β , γ_{ij} , k_j が R_j に及ぼす影響を考察する。



$$x_2 = \frac{1}{a + \Delta h \beta}, \quad r_2 = \frac{a \gamma_{3j} + \Delta h \alpha \gamma_{4j}}{a + \Delta h \beta}$$

図-10 凸部の密度と再帰反射係数

a) $k_j, \gamma_{1j}, \gamma_{3j}$ の値

図-6に示されるように区画線平面や雨水面に入射した光の反射率 k_j は、区画線平面や雨水面への入射角によって大きく変化する。

著者の実測によると、ドライバーが注視する距離が30m以上になれば、乾燥時、湿潤時、降雨時のいずれの場合も k_j は小さく、2%弱であり、計算上無視することができる。しかし、その距離が短くなれば、 k_j を無視することはできない。

ところで、満田ら⁹⁾は、降雨時25m先の区画線が視認できることを基準にしている。また、Gorkum¹⁰⁾は50m先の区画線の視認性について考察している。最近の自動車の走行・制動性能を考慮すれば、遠方の視認性の確保も必要とされるが、著者は、注視距離は30mよりも長いことが必要であると考えているので、以降では $k_j = 0.0$ として議論を進める。なお、著者の文献(1)には、 $k_j = 0.0$ とした場合、再帰反射輝度比の理論値はその実測値を十分再現できることが示されている。

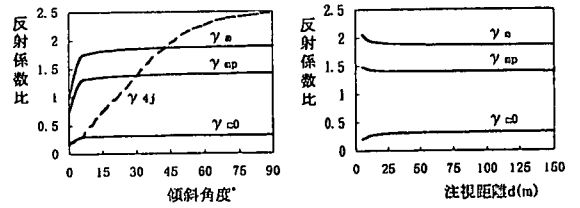
次に、図-2に示されているように区画線平坦部の γ_{1j} と凸部上端の平坦面の γ_{3j} との違いは、降雨強度と散布ガラスビーズ量に影響される。降雨強度が大きくなれば、 γ_{3j} と γ_{1j} の数値の差は小さくなる。特に、降雨強度が30mm/hになると、 $\gamma_{3j} \doteq \gamma_{1j}$ になる。かつ、 $\gamma_{3j} \doteq \gamma_{1j}$ は散布ガラスビーズ量に影響されない。さらに、晴天時および湿潤時の場合には、散布ガラスビーズ量が同じであれば、 $\gamma_{3j} = \gamma_{1j}$ である。

結局、図-9の(a)、(b)、(c)は図-10の(a)に、図-9の(d)は図-10の(b)のように改められる。密度が x_2 のとき、最大、または最小の反射輝度比 r_2 が得られる。

b) 夜間雨天時における現行区画線からの再帰反射光量を上回る場合

式(14)の傾きが負の場合、 $\beta \gamma_{3j} - \alpha \gamma_{4j} < 0.0$ のとき、凸部が視認性向上に及ぼす影響は大きい。

逆に、 $\beta \gamma_{3j} - \alpha \gamma_{4j} > 0.0$ であれば、凸部は視認性低



(a) θ の影響 (b) d の影響

図-11 凸部傾斜面の限界反射係数比 ($h_h = 0.7, h_d = 1.3, d' - d = 2.0$)

下の原因となる。

いま、 $\beta \gamma_{3j} - \alpha \gamma_{4j} < 0.0$ を書き改めると、

$$\begin{aligned} \gamma_{4j} &> \frac{\beta}{\alpha} \gamma_{3j} \\ &= \frac{\cot \delta + \cot \theta}{\cot \eta + \cot \theta} \gamma_{3j} \\ &= \gamma_{m0} \\ \eta &= \tan^{-1}(h_d/d), \\ \delta &= \tan^{-1}(h_h/d') \end{aligned} \quad (16)$$

となるので、傾斜面からの再帰反射係数比の限界値 γ_{m0} はドライバーの注視距離 d と凸部の傾斜角 θ によって決まってくる。つまり、凸部の傾斜面からの再帰反射係数比 γ_{4j} が γ_{m0} よりも多く確保されれば、凸部が視認性向上に果たす役割は認められる。ただし、 d' はヘッドライトと凸部との距離 (= d - ヘッドライトとドライバーとの距離)、 h_h はヘッドライトの高さ、 h_d はドライバーの目の高さである。

c) 夜間晴天時における現行区画線からの再帰反射光量を上回る場合

式(13)が1.0より大の場合である。

$$\frac{a \gamma_{3j} + \Delta h \alpha \gamma_{4j}}{a + \Delta h \beta} \geq 1.0 \quad (17)$$

このときの凸部の密度は $1/(a + \Delta h \beta)$ であり、 d と θ の関数である。ここで、式(17)を展開、整理すると、

$$\begin{aligned} \gamma_{4j} &\geq \frac{a}{\Delta h} \frac{1.0 - \gamma_{3j}}{\alpha} + \frac{\beta}{\alpha} \\ &= \gamma_m \end{aligned} \quad (18)$$

になる。 $a/\Delta h$ は凸部の形状を表わす一指標である。凸部の形状が決定されると、限界値 γ_m は式(16)と同様に d と θ の関数で表わされる。 γ_{4j} が γ_m を確保されれば、雨天時における区画線の視認性は大きく向上する。

特に、晴天時には、 $\gamma_{3j} = 1.0$ であるので、

$$\gamma_{4j} > \frac{\beta}{\alpha} \quad (19)$$

となる。

図-11(a)は d を固定した場合の γ_m および γ_{m0} と θ の関係を示したものである。凸部の傾斜角 θ が与えられた

場合、 γ_{4j} がその角に該当する限界反射係数比よりも上側であれば、凸部の効果はあるが、下側であれば、逆効果になる。また、 θ が約 5° より大きくなると、限界値の変化は小さくなるので、 θ が 10° や 20° といった小さい傾斜面からでも高い再帰反射係数が必要となり、大きな θ の再帰反射係数とほぼ同様なものが要求される。したがって、実際には凸部の傾斜角 θ は、大きな再帰反射係数が得られる角度の大きい方が有利である。

一方、図-11(b)は、 θ を固定した場合の γ_m 、 γ_{m0} と d の関係を示したものである。注視距離が長くなると、 γ_m は小さくなり、 γ_{m0} は大きくなるが、30m以上ではその変化率は小さく、それぞれ一定値に漸近する。

実測される傾斜面からの γ_{4j} とその傾斜角 θ の関係を図-11(a)上に示せば、 γ_{4j} が γ_m 、 γ_{m0} 以上になる凸部の θ を決めることもできる。また、凸部が摩耗し、必要な γ_{4j} が得られないような傾斜角になれば、補修が必要になる。

さらに、雨天時には、晴天時における現行区画線からの再帰反射光量の100p%が確保されねばならないと判断された場合には、式(17)より式(20)が得られる。 γ_{4j} は γ_{mp} より大きくなるような θ が確保されることが基準になる。

$$\gamma_{4j} \geq \frac{a}{\Delta h} \frac{p - \gamma_{3j}}{\alpha} + p \frac{\beta}{\alpha} \quad (20)$$

$$= \gamma_{mp}$$

γ_{mp} も図中に示すことができる。

(3) 凸部の形状と再帰反射

次に、反射光量が大きくなる凸部の形状について考える。簡単のため R_j が最大になる式(13)について考察する。形状として考慮するのは a と h である。その他の変数は一定の場合を考える。ただし、凸部の設置効果を考察するのであるから、 $\alpha \gamma_{4j} > \beta \gamma_{3j}$ であり、 $\alpha \gamma_{4j} / \beta > \gamma_{3j}$ になる。

いま、式(13)の a のみを変数とすれば、 R_j は図-12の(a)のように示される。

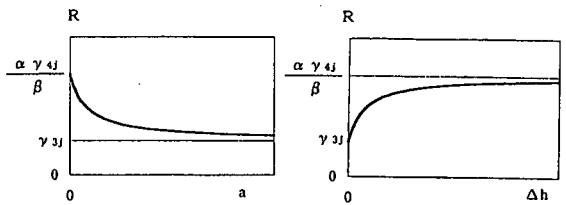
一方、 Δh のみを変数とすれば、 R_j は図-12の(b)のように示される。

著者の文献(1)に示されているように晴天時には、凸部の平坦な部分は小さいほど、また高さは高いほど再帰反射輝度は大きくなる。雨天時の場合も同様である。

次に、 $c = \Delta h / a$ を変数とすると、式(13)は、

$$R_j = \frac{\gamma_{3j} + \alpha \gamma_{4j} c}{1 + \beta c} \quad (21)$$

となる。 c が変化した場合の R_j の変化を図-13に示す。 c がゼロから0.2程度まで変化すると、 R_j は急激に大きくなり、再帰反射光量は増大する。さらに大きくなり、0.3以上になると、 R_j の増加率は小さくなり、1.0以上に



(a) 凸部の幅 a の影響 (b) 雨水面上の凸部の高さ Δh
図-12 凸部の大きさが再帰反射に及ぼす影響

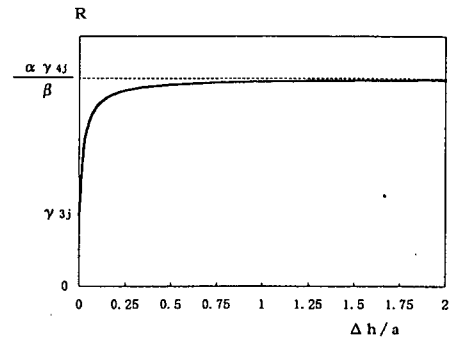


図-13 凸部の形状($\Delta h/a$)の再帰反射に及ぼす影響

なると、ほとんど変化せず、 $\alpha \gamma_{4j} / \beta$ に漸近する。

雨天時には雨水面上に出ている凸部分の Δh が大きいほど光学的には有利であるが、凸部が高いことは耐久性が大きく低下することになる。また、外側線に凸部を設けることになれば、歩行者、自転車等にとっては h の小さいことが望まれる。

これらの点に関しては c が0.2程度でもよいことは、光学的にも、耐久性、さらに安全性のうえからも好ましいことである。

ただし、この Δh は降雨強度に大きく影響されるので、大きな降雨強度でも高い視認性を確保するためには凸部自体の高さ h を大きくしなければならない。どの程度の降雨強度まで高い視認性を確保する必要があるのか議論が必要である。

5. 降雨強度と区画線表面上の雨水膜厚

(1) 雨水膜厚の簡便な算定

降雨時、凸部が雨水面上に出ていることが必要である。まず、区画線平面上を流れる雨水の深さがどの程度であるかを推定する。

いま、図-14に示されるように道路中央部から w m、縦断方向1.0mで囲まれる集水面積 M cm^2 を考えると、 N 点を通る流量 Q cm^3/sec は、合理式¹¹⁾より

$$Q = r g M / 3.6$$

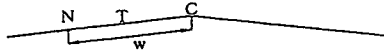


図-14 道路横断の一例

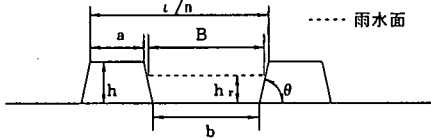


図-15 台形水路断面

$$= r g w / 3.6 \quad (22)$$

- r : 降雨強度 (mm/hour)
 - g : アスファルト路面の流出係数
- 3.6 : 単位をそろえるための係数

で示される。ここで、区画線上の雨水流は等流であるとすれば、流速 v cm/sec は Manning 式より求められる。

$$v = D^{2/3} T^{1/2} / u \quad (23)$$

- D : 径深 (cm)
- T : エネルギー勾配
- u : 区画線表面・アスファルト路面の粗度係数

次に、雨水流を、図-15に示されるような台形水路の問題として定式化する。流水部の断面積 G cm² および潤辺長 S cm は、それぞれ、

$$\begin{aligned} G &= h_r (B - h_r \cot \theta) \\ &= h_r (l/n - a - 2h_r \cot \theta + h_r \cot \theta) \\ &= h_r (b + h_r \cot \theta) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} S &= l/n - a - 2h_r \cot \theta + 2h_r / \sin \theta \\ &= b + 2h_r / \sin \theta \end{aligned} \quad (25)$$

で表わされる。なお、 $B = l/n - a - 2(h - h_r) \cot \theta$ 、 $b = l/n - a - 2h \cot \theta$ である。この b は台形水路の底辺長である。すると、 D は

$$\begin{aligned} D &= G/S \\ &= h_r \frac{b + h_r \cot \theta}{b + 2h_r / \sin \theta} \end{aligned} \quad (26)$$

で示される。したがって、流速 v は

$$v = \left[h_r \frac{b + h_r \cot \theta}{b + 2h_r / \sin \theta} \right]^{2/3} T^{1/2} / u \quad (27)$$

で表される。なお、台形水路を通過する流量は、 Q/n である。そこで、連続式 $Q/n = Gv$ に、式(22)、(24)、(27)を代入し、変形すれば、

$$\begin{aligned} &\left[h_r (b + h_r \cot \theta) \right]^{5/3} \left[\frac{\sin \theta}{b \sin \theta + 2h_r} \right]^{2/3} \\ &= \frac{r g w u}{3.6 n T^{1/2}} \end{aligned} \quad (28)$$

となる。式(28)に逐次解法を適用すれば、 h_r を求める

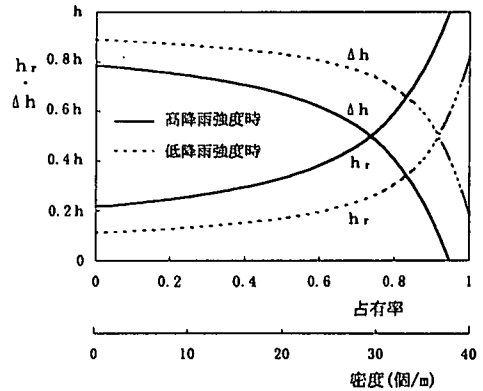


図-16 降雨強度別凸部の占有率と雨水膜厚

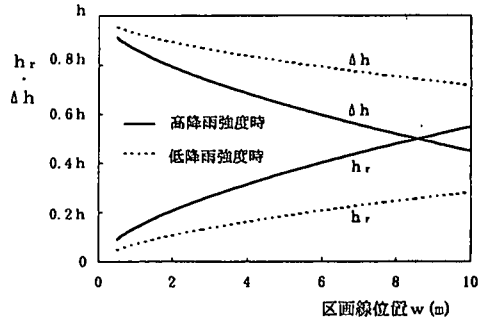


図-17 区画線の横断方向における位置と雨水膜厚

ことができる。

(2) 降雨強度と凸部の高さ

具体的な数値計算を行い、降雨強度が凸部の形状決定や設置密度に及ぼす影響を考察する。式(28)を解く際、 $g = 0.9$ 、 $u = 0.013$ とする¹²⁾。

凸部の設置密度は凸部の大きさ a 、 h 、 θ によって変化するので、密度を基準化する指標として凸部の占有率を定義する。区間 l には最大で $l/(a + h \beta)$ 個の凸部が設置されるので、凸部占有率 q_d は、

$$q_d = n (a + h \beta) / l \quad (29)$$

で示される。占有率は密度と比例関係にある。凸部の大きさを決めれば、雨水膜厚 h_r は式(28)から求められる。

図-16は凸部の占有率が h_r に及ぼす影響を示している。占有率が大きくなれば、 h_r も大きくなる。占有率が0.6よりも大きくなれば、 h_r は急激に大きくなる。逆に、雨水面上に出ている部分 Δh は小さくなる。特に、降雨強度が大きい場合、占有率が大きくなれば、 $\Delta h \leq 0.0$ となり、凸部は雨水に没してしまう。凸部の占有率は、 $\Delta h > 0.0$ になるようにすることが望ましい。

表-3 実測値から算出した γ_{1j} , γ_{2j} , γ_{4j}
 ($\theta = 60^\circ$, 40g/m の散布ガラスビーズ量)

気象条件	7 1j	7 3j	7 4j
晴天時	1.0	1.0	3.461
湿潤時	0.328	0.328	2.374
10mm/h	0.178	0.193	2.341
30mm/h	0.178	0.178	2.259

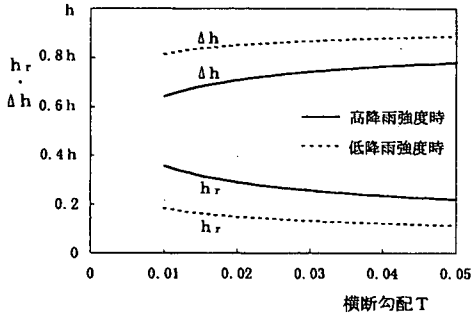


図-18 横断勾配が雨水膜厚に及ぼす影響

図-17は道路中央部から w m 離れた地点での区画線上における雨水膜厚を示している。 w が大きくなれば、当然のことながら、 h_r は大きくなり、 Δh は小さくなる。標準断面の場合、区画線の設置位置が道路中央部から離れば、凸部の高さ h を大きくしなければならない。

さらに、図-18は道路の横断勾配と区画線上の雨水膜厚との関係を示したものである。勾配が大きくなれば、雨水膜厚は小さくなる。降雨強度が小さい場合には勾配が0.02以上、大きい場合には0.03よりも大きくなれば、雨水膜厚の減少度は小さくなる。道路構造例の標準断面の勾配は雨天時の凹凸区画線の視認性の点からは妥当であるといえよう。

これらのことは図から数値を読み取ることができる。また、式(28)を解けば、より具体的な数値が求められる。

6. 若干の計算事例と考察

(1) 計算条件

降雨が交通施設の視認性に及ぼす影響を検討する場合、短時間の降雨強度が問題になる。広島地方の日最大10分間降雨量を時間降雨強度に換算すると、降雨強度30~35mm/hが90%確率に相当する¹³⁾。30mm/hが大きいかわ小さいかは今後の研究課題であるが、本計算事例では30mm/hでも視認性が確保されることを前提にする。

一般道の凹凸区画線の凸部の大きさは、 $a = 1 \sim 3\text{cm}$ 、 $h = 4 \sim 10\text{mm}$ 程度であるが、5章3節で述べたように a に対する Δh の比は0.2程度が望ましいとしているので、 a は2cm、 Δh は a の0.2と仮定する。ただし、凸部の占有率が異なれば、 h_r は変化する。また、式(28)から h_r を求める際、 h が既知でなければならない。同時に、 $h \geq \Delta h + h_r$ でなければならない。したがって、凸部の高さを小さくするためには、凸部の占有率を所与として h の初期値を設定し、 $h = \Delta h + h_r$ を満足するよう収束計算を実行すればよい。当然、最大の再帰反射光が得られる凸部の最適占有率も注視距離別に求められる。

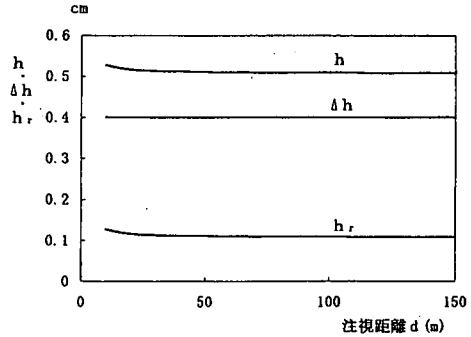


図-19 30mm/h時にも視認できる凸部の大きさ

さらに、一般道路と高速道路ではドライバーが注視する距離が違うため、 $d = 30, 50, 100, 150\text{m}$ と仮定すれば、式(11)~(15)中の δ , η は次式で示される。

$$\begin{aligned} \delta &= \tan^{-1}(0.7/d') \\ \eta &= \tan^{-1}(1.3/d) \\ d' &= d - 2 \end{aligned} \quad (30)$$

また、 $\theta = 60^\circ$, $T = 0.02$, $w = 3.5\text{m}$ と仮定する。これは、標準的な車線幅員は2.75~3.5mであること、標準断面の勾配は2%程度であることによる。また、傾斜角 θ を大きくすれば、凸部は破損しやすいので、 60° としたが、今後さまざまな角度で検討する予定である。

表-3は、散布ガラスビーズ量が40g/m(図-2)の場合の実測値から算出された反射係数 γ_{ij} を示す。

なお、実際の施工時においては、凸部の占有率よりも密度の方が理解しやすいので、下記の(2)以下では占有率ではなく密度を用いる。ただし、図-20には占有率の目盛りも同時に示している。

(2) 凸部形状の決定

図-19は降雨強度30mm/h時における注視距離 d と h および h_r との関係を示す。なお、 h は d によって決まる最大の反射輝度が得られる最適密度時の値である。

d が非常に短い場合は別であるが、 h や h_r は d とは関係なく、ほぼ一定であり、 h は一意的に決められる。

そこで、前の節で述べたように降雨強度30mm/h、 $d =$

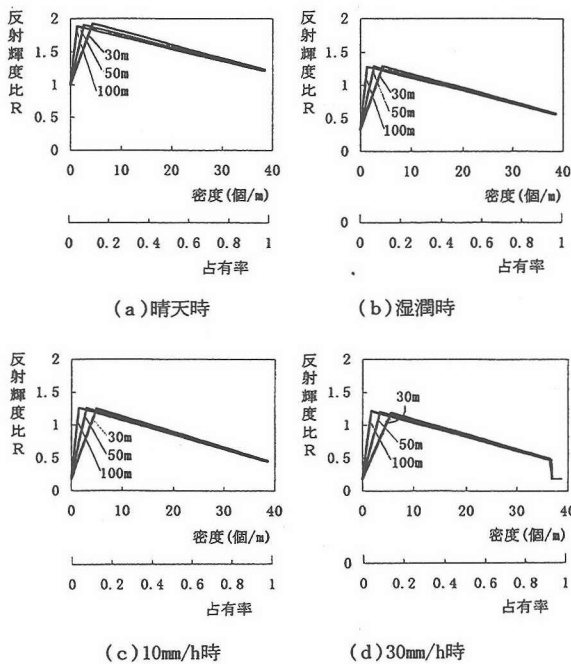


図-20 注視距離と凸部の密度が視認性に及ぼす影響

30m時でも十分視認できることを前提に凸部の形状を決めると、 $a = 2.0\text{cm}$ 、 $h = 0.4\text{cm}$ となる。

(3) 再帰反射輝度

図-20は、凸部密度と再帰反射輝度比の関係を注視距離 d 、気象条件別に示している。

a) 密度と再帰反射輝度比

いずれの場合にも再帰反射光が最大になる凸部の密度がある。この最適密度は、 d が小さいほど大きくなる。また、晴天時および湿潤時には、 d が小さくなれば、反射輝度比 R の最大値は大きくなる。逆に、 d が大きくなれば、 R は小さくなる。しかし、雨天時には d が小さければ、 R も小さく、 d が大きければ、 R も大きくなる。これは、雨天時には、密度が高くなると、雨水膜厚が大きくなり、 Δh は小さくなるので、傾斜面からの反射光が減少するためである。特に、30mm/hのとき、密度が約36個/mなると、 h_r が急激に大きくなり、37個/mになれば、凸部は雨水面に沈み、 $R_{30} = \gamma_{3,30}$ になる。

b) 注視距離と再帰反射輝度比

距離が100mのときに R が最大になるように凸部を配置したときの30m先の R は、30mのとき最大になるように凸部を配置した場合の R よりも非常に小さくなる。50m先が最大になるように凸部を配置した場合も同様である。逆に、30mのとき最大になるよう凸部を配置すると、50m、または100m先の R の低下は非常に小さい。

凸部の配置はドライバーの d を考慮して決めることが

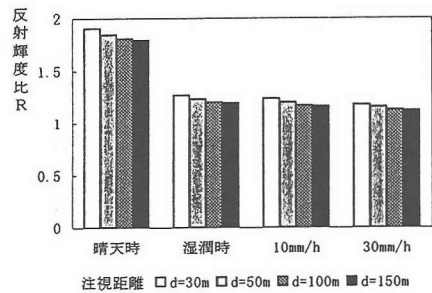


図-21 降雨強度が視認性に及ぼす影響

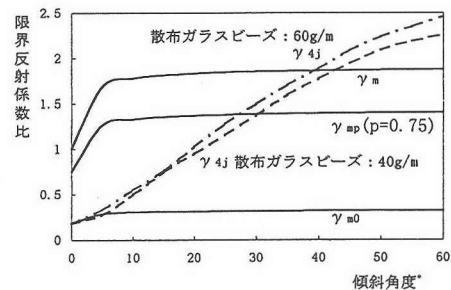


図-22 維持補修時期を知る一情報

重要であるが、 d が短い場合を基準に凸部の設置密度を決定すれば、ドライバーが50mや100m先を注視した場合でも高い R を得ることができる。

(4) 降雨強度と再帰反射輝度

図-20に示されるように降雨強度が R に及ぼす影響は大きい。30mm/h時を基準に凸部の形状を決めた場合、いずれの気象条件の場合も R は1.0を大きく超えている。特に、晴天時には密度や注視距離に関係なく凸部の効果が認められる。しかし、他の気象条件の場合には、 R が1.0よりもかなり小さくなる密度がある。

次に、図-21は、30m先の R が大きくなるように凸部密度を5.5個/mに固定した場合、降雨強度と注視距離が R に及ぼす影響を示したものである。晴天時の凸部効果は他の場合よりも非常に大きいことがわかる。湿潤時、10mm/h時、30mm/h時の R はいずれも1.0よりも大きくなっているが、それらの差は小さい。また、いずれの場合も注視距離は大きな影響を及ぼしていない。

(5) 区画線の維持補修

4章6節でも述べたように凸部が摩耗して凸部の傾斜角 θ が小さくなれば、目的とした反射光量が得られず、凸部は視認性低下の原因になる。この傾斜角は、凸部の維持補修時期を知る一つの判断指標になる。目視による

判断にこの指標を加えればよりの確に維持補修時期を知ることが可能になる。図-22は、図-2と式(18)、(20)を用いて γ_{4j} が限界反射係数より大きくなる時の θ を求めることができる。図からは散布ガラスビーズ量によって若干異なるが、いずれの散布ガラスビーズ量の場合にも少なくとも 40° 以上の角度が必要である。この図から求めた θ は $R_j=1.0$ のときの値であり、さらに、凸部の施工精度を考慮すれば、実際の現場ではより大きい θ のときを考慮しなければならない。また、同時に γ_{4j} を大きくすることも重要である。

7. 結論

本研究は、区画線表面に凸部を設置することが、夜間雨天時における区画線の視認性向上にどのような効果をもたらすのかを理論的に考察したものである。特に、降雨強度、雨水膜厚、凸部の形状、凸部の密度等が変化すると再帰反射輝度がどのように変化するかを理論計算で検討し、その特性と効果を確認した。

まず、理論的な解析の結果明らかになったことを以下にまとめる。

(1) 本研究は、数値解析の妥当性が検証されている方法¹⁴⁾を適用したものであり、今後多くの実験的研究を積み重ね、凹凸区画線の特性を明らかにしなければならないが、どのようなものを実測しなければならないか、また今後の実験的研究の方向性を明示することができたものと考えている。たとえば、降雨強度と再帰反射係数の関係、傾斜面からの再帰反射係数の増大、区画線の色と再帰反射係数の関係、交通量と凸部の耐久性等があげられる。

(2) 理論上、晴天時と同様に雨天時においても凸部が区画線からの再帰反射光量を常に増加させるとは限らないことが分かった。雨天時には、凸部の傾斜面からの再帰反射係数が、従来の平坦な区画線表面からの晴天時における再帰反射係数よりも単に大きいだけで反射輝度は大きくなり、限界値がある。その値は、凸部傾斜面の反射係数、その反射係数を得ることができる傾斜角度やドライバーの注視距離によって決まってくる。特に、晴天時における現行区画線と同等の反射係数を確保するためには凸部の傾斜からの反射係数比 γ_{4j} は限界反射係数比よりも常に大きくなければならず、供用後には凸部の傾斜角度をチェックすることが必要である。このことは凸部の摩耗による傾斜角度の低下が凸部の補修の時期を判断する基準の一つとなる。このような場合、式(18)、(20)、図-22は一つの有用な情報を提供できる。

(3) 提案する凸部の最適な設置密度は、静止状態における理論解である。凸部の設置密度が非常に小さい場合には、動的な解析を行うことが必要であるが、本研究が

議論をするような100m、150m先でも十分な視認性が確保できるような凸部密度の場合は静的な解析解でも動的な解析解を十分再現できると考える。

(4) 雨天時においても再帰反射光量が大きくなるような凸部の形状がわかった。雨水面上に出ている凸部の高さは幅の20%以上であることが望ましい。ただし、雨水膜厚は降雨強度、凸部密度、区画線の設置位置によって決定されるので、凸部の高さは、 $h = h_r + \Delta h$ となり、図-13や設置位置を考慮して h を決める必要がある。

(5) 再帰反射光量が最大になる凸部の密度がある。

次に、数値計算より以下のことが明らかにされた。

(6) 必要な傾斜角度の確保と同様に傾斜面への添加ガラスビーズ量の増大が効果的である。平坦部の添加ガラスビーズ量には飽和量¹⁵⁾があるが、傾斜面に添加するガラスビーズ量は平坦部より多くすることが望まれる。

(7) 遠くの視線が必要とされる高速道路の直線部では100mで最適な凸部密度を、近い視線が要求される曲線部では30mや50mで最適な密度になるように凸部を設置することも一つの方策であろう。

さらに、凹凸区画線をより現実なものにするための今後の課題について以下に示す。

(1) 30mm/hは90%の降雨強度であることが示されている¹⁶⁾が、どの程度の降雨強度まで高い視認性を確保する必要があるのかは今後一層の研究、検討が必要である。

(2) 本研究の目的は、夜間雨天時における凹凸区画線の視認性の特性について理論的に考察することである。数値計算の所与の条件として、著者が実測した黄色区画線の再帰反射係数を用いているが、このことは、本研究の目的に反しないと考えている。しかしながら、今後白色区画線の実測値を用いた数値計算を行う予定である。

(3) 結論(2)で述べたように凸部の設置は従来の区画線の視認性を低下させる場合もあることが分かった。しかし、どの程度低下するのかが数量的には明らかにされていない。さらに、ドライバーの目の位置はヘッドライトよりも高いので、凸部が摩耗し、傾斜角が小さくなった場合、ドライバーはヘッドライト光が当たる傾斜面と同時に光が当たらない傾斜面も見ることになる。このような場合も凸部の設置は視認性低下の原因となる。これらの点に関しては今後の研究課題である。

参考文献

- 1) 今田寛典、藤谷明文：区画線表面の凸部が視認性に及ぼす影響に関する理論的研究，土木学会論文集，IV-30/No. 530，pp. 87-97，1996。
- 2) 満田喬、高木正幸、金子英雄：降雨時における区画線の視認性，土木技術資料，Vol. 23，No. 2，pp. 3-8，1981。
- 3) 萩原亨、中辻隆、高木秀貴：視認距離を用いた夜間における道路区画線の視認性に関する研究，交通工学，Vol.

- 32, No. 3, pp. 37-45, 1997.
- 4) 河島正治：路面表示—雨天（夜間）時に視認できる区画線の開発，交通工学，Vol. 26, No. 4, pp. 3-6, 1991.
- 5) Drs. F. Van Gorkum: *Night time visibility of seven road marking materials*, Traffic + Control, April, pp. 277-281, 1984.
- 6) Jonathan Plant: *Raised-rib road markings: Research into the safety implications*, Traffic + Control, May, pp. 277-281, 1995.
- 7) 今田寛典，門田博知，児島武男：区画線の夜間雨天時における視認性低下の要因分析と視認性向上策，土木学会論文集，IV-11/No. 407, pp. 97-106, 1989.
- 8) 村田隆裕：注視行動の統計的性質，土木学会論文報告集，No. 213, pp. 55-63, 1973.
- 9) 上掲(2)
- 10) 上掲(5)
- 11) 徳平淳：衛生工学第2版，森北出版，pp. 153-157, 1994.
- 12) 土木学会編：水理公式集，丸善(株)，1992.
- 13) 上掲(7)
- 14) 今田寛典，門田博知，児島武男：区画線の再帰反射特性に関する数値解析とその適用，高速道路と自動車，Vol. 32, No. 2, pp. 18-26, 1989.
- 15) 上掲(1)
- 16) 上掲(7)
- (1997. 10. 21受付)

THEORETICAL ANALYSIS ON THE VISIBILITY OF RAISED-RIB ROAD MARKINGS ON A RAINY NIGHT

Hirofumi IMADA

The purpose of this study is to discuss the effect of rainfall, the shape of a convexity and the density of convexities on the visibility of raised-rib road marking on a rainy night, and the characteristics and the effect of raised-rib road marking were confirmed.

The summary of the obtained new results from this study is below. Firstly the convexities do not always improve the retro-reflection from raised-rib road marking on a rainy night. Secondly in order to get retro-reflective coefficient from the slope of a convexity more than marginal value it is important to keep the slope degree of a convexity. Thirdly it is effective against improving visibility to increase the weight of sprayed glass beads on the slope. Finally the height of a convexity should be determined according to rainfall, the density of convexities and so on.