

画像による路面状態の検出に関する基礎的研究

—反射特性を用いた検出方法について—

日大生産工(院) ○斉藤 祐紀 日大生産工 内田 暁 大谷 義彦
小糸工業(株) 穂積 順一 石原 成浩 藤波 研次

1. はじめに

交通事故の発生件数は毎年増加の一途をたどっており、社会問題としても取り上げられている。この交通事故の大きな要因として路面状態が挙げられる¹⁾。そこで、本研究では、2次元空間情報を取り扱うことが可能な画像情報を用いることにより広範囲におよぶ路面状態の検出を目的としている。

先に我々は、2つの観測点から路面を撮影し、撮影した2枚の画像から得られた輝度分布の変化から路面の湿潤情報を検出する方法を提案した²⁾³⁾。提案した方法により、路面湿潤の検出と湿潤領域の推定が可能であることを明らかにした。しかしながら、実フィールドにおける路面状態は、湿潤の他に、積雪、凍結など多種多様である。そこで本報告は、これらの路面状態を検出する方法を検討するため、路面サンプルを用いて様々な路面状態の反射特性の計測を行った実験結果について述べる。

2. 路面状態の検出と路面の反射特性について

路面は通常、車両が安全に走行を行えるように、細かい粗面となっている。そのため、図1(a)に示すように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。しかし、雨が降るなどして路面が湿潤、さらには路面が水で覆われ冠水となった場合には、図1(b)、(c)に示すように、路面からの反射光には鏡面反射光が増加するものと考えられる。そして図2(a)に示すように、路面表面の水が凍結した場合には、水の表面が比較的平坦となることから、入射した光の多くが鏡面反射するものと考えられる。また、図2(b)に示すように、路面に積雪した場合、その表面は均一な高さにならないことから、入射した光の多くは、拡散反射すると考えられる。したがって、異なる2つの観測点から路面を撮影し、撮影された2枚の画像から得られた輝度分布の変化によって路面状態の情報を検出することが可能となる。

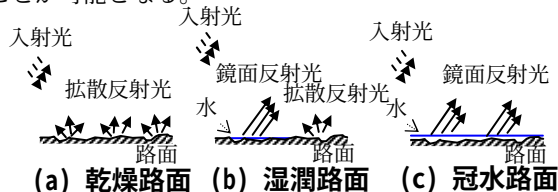


図1 路面状態と入射光、反射光の関係

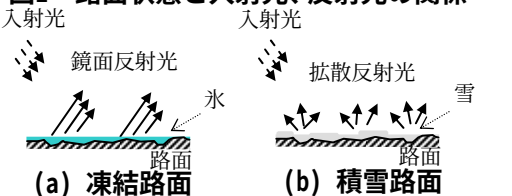


図2 凍結、積雪路面の入射光、反射光の関係

3. 実験装置および実験方法

図3は、試作した実験装置の概略を示したものである。実験装置は、路面サンプルと路面の輝度を測定するための輝度計、路面の水平面照度を測定するための照度計、輝度計と照度計の測定結果を取り込むためのADボードとパーソナルコンピュータで構成されている。路面サンプルは、一般のアスファルト路面と同様のものを小糸工業(株)で作成したもので、大きさは、縦横30cm、厚さ5cmである。

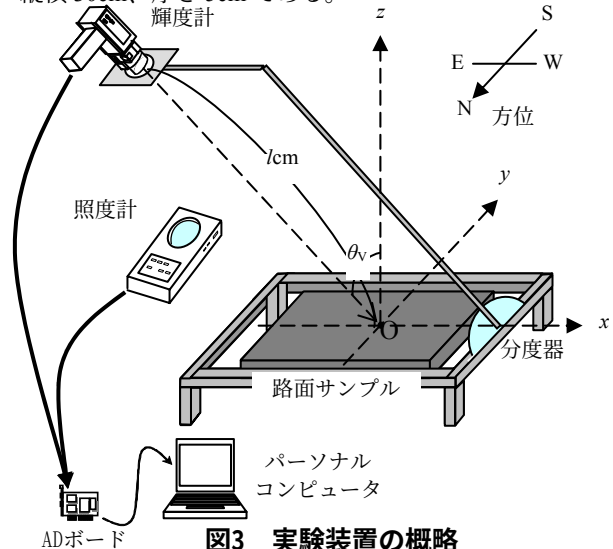


図3 実験装置の概略

この路面サンプルの中央を原点Oとし、東西南北の方向のうち、東西方向をx軸、南北方向y軸、高さ方向をz軸とした。

なお、輝度計は、原点から距離lcm、z軸とのなす角 θ_v (以後、観測角と呼称する。)から路面サンプルの原点Oの輝度を測定する。

この路面サンプルを用いて、路面の状態を、乾燥、湿潤、冠水、凍結、積雪の5種類とした。このような路面状態の反射特性を、時刻が10時から18時、天候が晴れとくもりの日に測定を行った。

4. 結果および検討

4.1 路面の反射特性について

図4は、路面サンプルの観測角 θ_v に対する輝度係数 q の関係を示したものである。なお、輝度計と路面の原点までの距離 l を150cmとした。また、輝度係数 q は(1)式により求めた。

$$q = \frac{L}{E} \dots (1)$$

ただし、(1)式中の L は輝度計により測定した路面の輝度、 E は照度計により測定した路面の水平面照度である。

Basic Study on Detection of the Wet on Road by Camera Image.

- The Detection Method using The Reflection Characteristic -

Yuuki SAITOU, Akira UCHIDA, Yoshihiko OHTANI, Jyunichi HOZUMI,
Narihiro ISHIHARA and Kenji FUJINAMI

図中の点線は、完全拡散面の反射特性を示したものであり、輝度係数 q は、観測角 θ_v によらず一定となる。また、図中の各輝度係数 q は異なる日時に複数回測定した結果の平均値である。

図から、路面状態が乾燥、積雪の場合の輝度係数 q は、観測角 θ_v によらずほぼ一定であることがわかる。それに対し、路面状態が湿潤、冠水、凍結の場合の輝度係数 q は観測角 θ_v が大きくなるにしたがって高くなることがわかる。また、凍結の場合には、湿潤、冠水の場合に比較して輝度係数 q が高いことがわかる。このことは、凍結した氷の表面の反射率は湿潤、冠水の場合に比較して高いためであると考えられる。同様に、積雪の場合の輝度係数 q が高いのは、雪の表面の反射率が高いためであると考えられる。

このことから、複数の異なる観測角 θ_v で測定した輝度の変化より、路面状態を検知可能であることがわかる。また実験結果より観測角 θ_v を 40° 以上とすることで、検知の分解能が向上するものと考えられる。

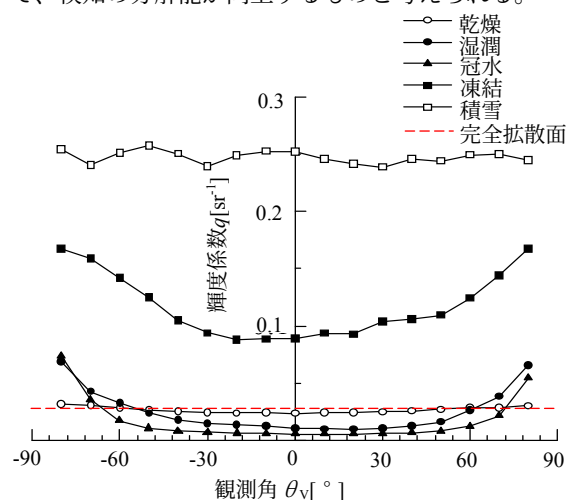


図4 観測角に対する輝度係数

4.2 画像による路面状態の検出について

本研究では、実験(輝度係数)により得られた路面の反射特性と氷や雪が高さ情報を持つことから、2つの異なる観測角 θ_v から撮影した画像の輝度階調の差を用いて路面状態の検出を行った。

図5(a)、(b)は、路面状態が乾燥の場合の路面サンプルをビデオカメラで撮影した画像である。(a)、(b)はそれぞれ観測角が 40° 、 60° の場合である。

なお、天候は晴れ、ビデオカメラには焦点距離 8mm のレンズを装着し、絞りをオートで撮影を行った。

異なる観測角 θ_v で撮影しているため、同一座標が2枚の画像間で一致していないことがわかる。

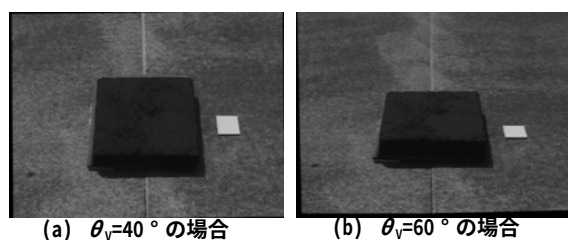
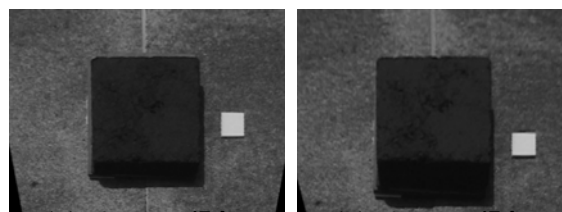


図5 異なる観測角 θ_v から撮影した画像の比較

図6は、図5の2枚の画像間で同一座標を一致させ、路面表面の凹凸を検出するため、幾何学的変換を行った結果である。



(a) $\theta_v=40^\circ$ の場合 (b) $\theta_v=60^\circ$ の場合

図6 幾何学的変換後の画像

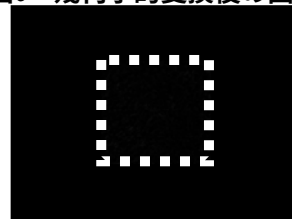


図7 差分処理後の画像

図7は、図6の画像に対して差分処理を行った結果である。また、図中の点線は路面サンプルの存在する領域(検出領域)である。このように得られた画像の輝度階調の分布から路面状態を検出する。

図8は、乾燥の場合と同様の処理を各路面状態の画像に対して行い、差分処理後の画像から均せい度 U を求めたものである。また均せい度 U は(2)式により求めた。

$$U = \frac{K_{\min}}{K_{\text{ave}}} \dots (2)$$

ただし、(2) 式中の $K_{\min}$ は差分処理後の画像の最小輝度階調、 K_{ave} は差分処理後の画像の平均輝度階調である。

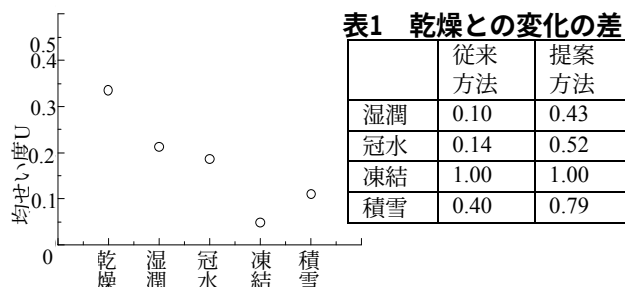


表1 乾燥との変化の差

	従来方法	提案方法
湿潤	0.10	0.43
冠水	0.14	0.52
凍結	1.00	1.00
積雪	0.40	0.79

図8 各路面状態に対する均せい度

図8から、路面状態により均せい度が異なることがわかる。また表1は、乾燥との変化の差を示している。表1より提案した方法は、従来方法より精度よく路面状態の検出が可能であることがわかる。

5. おわりに

本論では、試作した実験装置と路面サンプルを用いて路面の反射特性の測定を行った。また、路面サンプルを撮影した画像から路面状態の検出を試みた結果、判別可能であることを明らかにした。

今後は、路面状態の検出精度の向上と分解能について検討を重ねる予定である。

5. 参考文献

- 1) 交通工学研究会：高度情報化に対応した道路及び道路交通システム，第 57 回・第 58 回交通工学講習会テキスト，pp.24-25(1996)
- 2) 池本，磯村，穂積，石原，藤波：画像による路面湿潤の検出に関する基礎的研究—路面湿潤と輝度分布の関係—，日本大学生産工学部第 32 回学術講演会，p79-82(2002)
- 3) 池本，磯村，穂積，石原，藤波：画像による路面湿潤の検出に関する基礎的研究—路面状態の判別について—，平成 15 年電全大，1-84，Vol.1，pp.226-227(2003)