

デジタル画像処理による冬期路面状態の判別方法に関する検討

北海学園大学工学部 正員 武市 靖
北海学園大学工学部 魚住 純
北海学園大学工学部大学院 学生員 田川博憲

1. まえがき

冬期において路面状態の判別は、リアルタイムでの凍結路面の把握や凍結予測において重要な路面情報となり、路面管理の効率化、最適化に寄与する。すでに、水分・雪氷や塩分の検知には路面に照射した光の乱反射光量を測定する非接触の光電式、路面に埋設した電極間の電気抵抗や誘電率の測定による接触方式等があり、これらは実用化されている。本研究は、排水性舗装や通常舗装(細粒度 As.)について、デジタルカメラで撮影した路面写真の画像処理、統計的な分類により路面状態の判別方法を検討した。ここでは、札幌市において、路面凍結抑制工法の一つとして位置づけようとしている排水性舗装を検討対象としてとりあげた。

2. 実験方法

空隙率 20% 前後の排水性舗装供試体(600×600×50 mm)面に、乾燥、シャーベット/湿潤、粒雪(空隙内のみ充填)の路面状態を室内で作成し、屋外の自然光のもとで一定距離からデジタルカメラで撮影した(写真 - 1 参照)。DF テスターによる各路面状態の滑り摩擦係数の測定値を図 - 1 に示した。

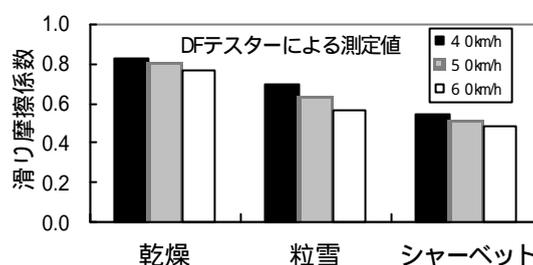


図 - 1 各路面状態の滑り摩擦係数

3. 解析手法

デジタルカメラによる各路面写真の画像を 6 分割して、各画像データ

の輝度関数 $I(x,y)$ について画像処理および統計処理プログラムにより次のような解析をした。

- (1) 画素平面で (x, y) だけ離れた 2 点間の輝度(256 階調)の相関の度合いを示す自己相関関数 $R_I(x, y)$ の解析; 自己相関関数 $R_I(x, y) = 1/S \int \int \{ I(x,y) - I_m \} \cdot \{ I(x+x, y+y) - I_m \} dx dy$ の極座標表示 $R_I(r, \theta)$ より、平均輝度を I_m とすると角度平均の自己相関関数 $R_I(r) = 1/2 \int_0^{2\pi} R_I(r, \theta) d\theta$ が求まる。
- (2) 輝度の不規則波形を一連の周波数成分の和と考え、各周波数成分のパワーの分布を示すパワースペクトル $S_I(f_x, f_y)$ の解析; $S_I(f_x, f_y)$ の極座標表示 $S_I(\rho, \phi)$ より、角度平均のパワースペクトル $S_I(\rho) = 1/2 \int_0^{2\pi} S_I(\rho, \phi) d\phi$ が求まる。 $S_I(\rho)$ の 4 階級 (は空間周波数) における平均値を低周波成分 low 、また、20 階級における平均値を高周波成分 $high$ とおくと、 $low = 1/7 \cdot \int_{4-10} S_I(\rho) d\rho$ 、 $high = 1/11 \cdot \int_{20-30} S_I(\rho) d\rho$ となる。自己相関関数とパワースペクトルは互いにフーリエ変換(FT)の関係にあるので、 $S_I(f_x, f_y) = FT [R_I(x, y)]$ である。

- (3) 輝度 I の確率密度関数: $P_I(I)$ と輝度統計量

輝度の不規則波形 $I(x,y)$ を考えたとき、その輝度 I が I と $I + \Delta I$ の間に入る画素数の和に対する全画素数の割合、すなわち図 - 2 ~ 4(中)の正規化されたヒストグラム割合について、その解析区間を十分大きくとったものが $P_I(I)$ となる。平均輝度のまわりのモーメント(積率)を M_n とすると、 $M_n = \int_0^{\infty} (I - I_m)^n \cdot P_I(I) dI$ であり、分散 $\sigma^2 = M_2$ 、コントラスト $V = (M_2)^{1/2} / I_m$ 、歪度 $Sk = M_3 / (M_2)^{3/2}$ 、尖度 $Ku = M_4 / (M_2)^2$ が求まる。

4. 解析結果

排水性舗装の乾燥、雪氷充填及びシャーベット路面における各路面写真、パワースペクトル vs 空間周波数の関係、正規化した輝度 I/I_m と確率密度関数 $I_m P_I(I/I_m)$ との関係を図 - 2 ~ 4 にまとめた。これらから各路面状態に対する自己相関関数及び確率密度関数のパターンに違いがあることが分かったので、各路面につい

キーワード: 路面判別、画像処理、輝度関数、自己相関関数、パワースペクトル

連絡先: 〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 TEL(011)841-1161、FAX(011)551-2951

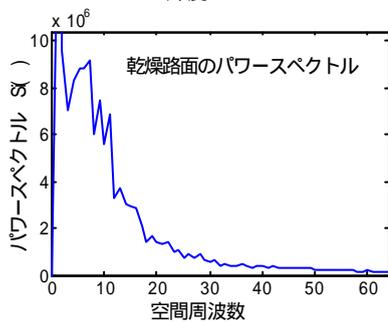
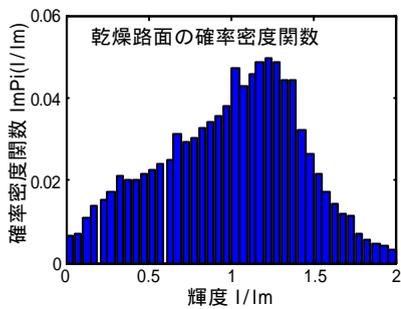
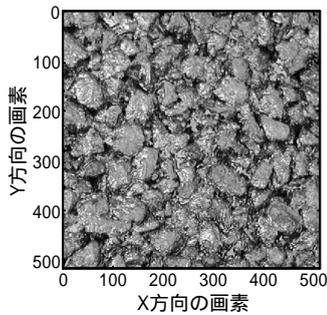


図 - 2 乾燥路面の写真(上)、密度関数(中)、パワースペクトル(下)

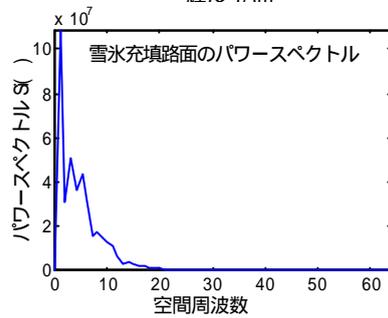
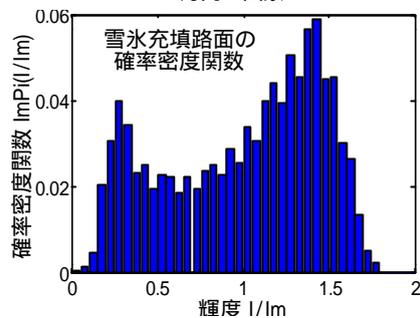
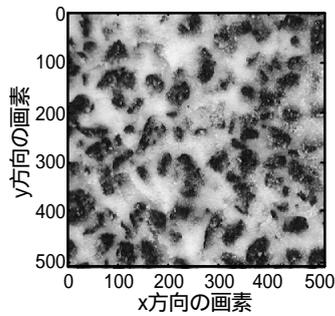


図 - 3 雪氷充填路面の写真(上)、密度関数(中)、パワースペクトル(下)

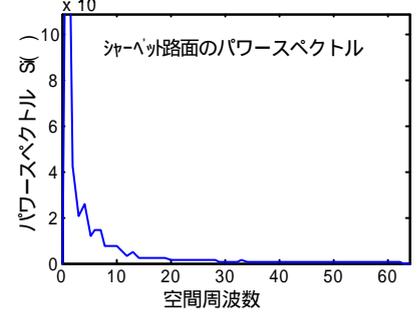
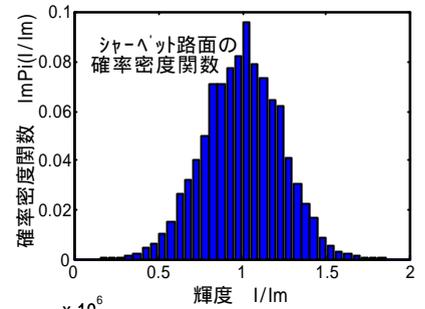
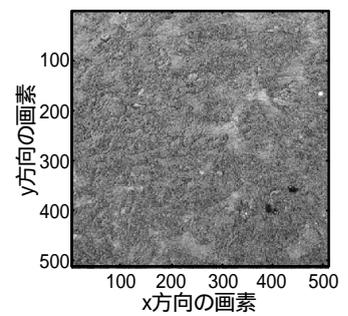


図 - 4 シャベット路面の写真(上)、密度関数(中)、パワースペクトル(下)

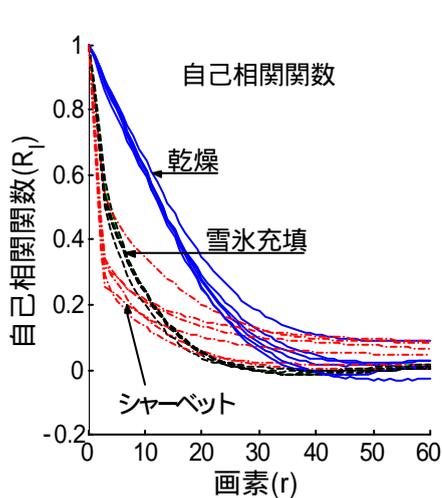


図 - 5 自己相関関数の分布

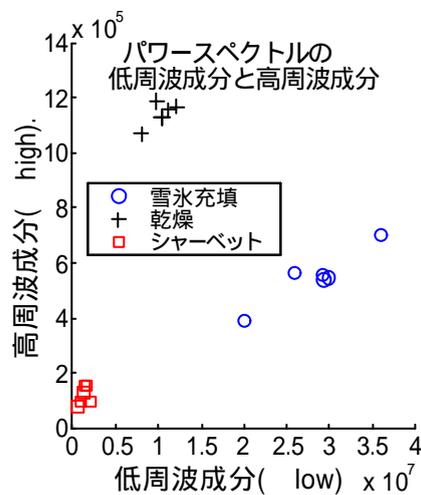


図 - 6 低・高周波数成分の分布

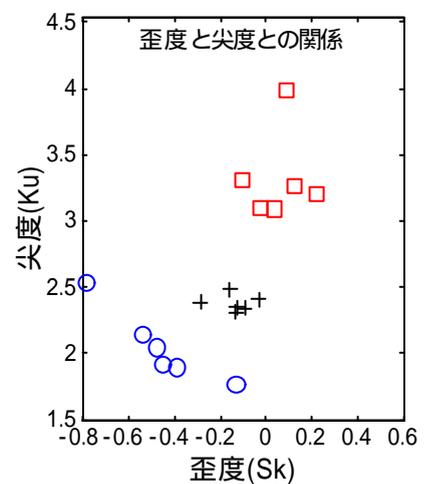


図 - 7 歪度と尖度の分布

て6つの画像を切り出して、各統計パラメータに関する分布を調べた。各路面6つの画像データにおいて、図 - 5 では、自己相関関数(R_i)における相関長(半値半幅)で、各曲線の画素に違いがみられた。また、図 - 6 と図 - 7 に示すように、パワースペクトルの低周波と高周波成分との関係、平均輝度のまわりのモーメントから算出した歪度と尖度との関係を見ると、各路面状態がほぼ3つのクラスターとして分布しており、これらのパラメータは路面状態を判別したり、図 - 1 との関係からの滑りやすさを判断する目安となる。

5. まとめ

基本的な路面状態については、画像処理解析による判別が可能であることが分かった。現場への適用には、撮影時の環境条件の変化や各種路面状態の判別方法および滑り摩擦係数との関係について検討が必要である。