

偏光による路面の「ぬれ」の検出

木村忠志

防災科学技術研究所 新庄雪氷防災研究支所

Detection of water on road surface by the polarized light

By

Tadashi KIMURA

Shinjo Branch of Snow and Ice Studies, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 1400 Tokamachi, Shinjo-shi, Yamagata-ken 996, Japan

Abstract

The present report explains the working principle, the structure and performance of a new detector of water on road surface (paved with concrete) by polarized lights.

Nearby the polarizing angle, a reflected light from road surface includes polarized components of vertical and horizontal. Intensity difference of the two polarized lights is very small on the dry road surface. On the wet road surface, vertical component decreases much more than horizontal component.

Based on the above mentioned fact, experiments to detect water on road surface was carried out using a rotating polarizer (41.3 r.p.s.) and a silicon pin photodiode under the sunlight.

Experimental results showed that, this system could detect water on road surface over the area of a few meters square remotely.

Key words : detection of water on road, polarizing angle, intensity difference of polarized lights, rotating polarizer

キーワード : 路面ぬれ検知, 偏光角, 偏光強度差, 回転偏光子

1. まえがき

路面に発生した氷板を自動的かつ直接的に検出する手段として, 超音波を路面に発生した水膜の中に伝ばさせ, 水膜の凍結による減衰率の変化もしくは位相のズレの急変により, 厚さ 0.06 mm 程度の, きわめて薄い氷板まで検出できた実験がある (木村, 1976, 1977). ま

た、路面に同心円環型の電極を設置し、電極間の静電容量の変化を測定することにより、路面の乾燥、ぬれ、水膜、雪、圧雪、氷板等を判別する誘電式路面凍結検知器 (DPF) が開発されている(武市, 前野, 1990)。これらの方法は、路面凍結の定性的な検出のみでなく、路面のさまざまな水分状況を、ある程度質的に検知できるが、路面に超音波振動子、もしくは検出電極を設置する必要がある、通行車輛のタイヤチェーン等による検出部分の破壊をまぬがれることはできない。

本研究においては、路面反射光の偏光成分の強度変化を利用して、路面の「ぬれ」を検出する手法を実験し数 m^2 の路面の「ぬれ」を非接触的に検出できた。路面の「ぬれ」は低温によって凍結し、氷板となる。従って、この手法によって路面凍結が間接的に検出できる。また、路面から離れた位置において通行車輛による障害なしに作動する装置がデザインできる。

2. 検出原理

反射面に垂直な入射面上を入射する光の偏光成分のうち、入射面に平行な成分の反射率 R_p は、入射光と反射面から立てた法線の角度即ち入射角が $50^\circ \sim 60^\circ$ の間で最小となり、ほとんどゼロとなる。この $R_p = 0$ となる入射角は偏光角として知られている。一方、入射面と直交する偏光成分の反射率 R_s についてはこのようなことはなく、 0° と 90° を除くすべての入射角において $R_s > R_p$ となる(山口, 1981)。それで、偏光角付近の反射光を回転する偏光フィルターに通すと、その通過光の強度は、回転数の2倍のくり返し周期で増減することになる。以上の事実は、平滑な反射面について成立するが、舗装路面からの反射は平滑面とは異なる。

図1は偏光フィルターをかけて撮影した路面の状態で、右側は垂直偏光、左側は水平偏光でそれぞれ同一部分を撮影した。このときは薄曇りで太陽はカメラの光軸方向にほぼ位置していた。それぞれの写真の路面の左半分は、路面の凹部に水がたまる程度にぬれている。ぬれた路面については垂直偏光の反射強度が水平偏光の場合に比べて著しく低下している。ま

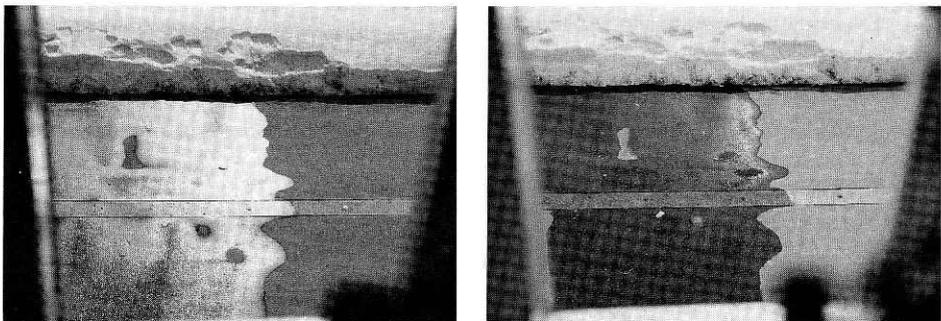


図1 反射光の偏光成分比較 (左：水平，右：垂直)

Fig. 1 Comparison of two polarized lights in reflected light (left: horizontal, right: vertical)

た乾いた路面については逆に垂直偏光の反射強度が水平偏光の場合より強いことがわかる。一方、写真用の偏光フィルターを回転しつつ、それを通してコンクリート路面とアスファルト路面を目視観測して、次の事柄が判明した。

- (1) 路面が目視によって認められる程度にぬれている場合、乾燥路面にくらべて明暗の差が大きい。
- (2) (1)の傾向は、晴天時においても曇天時においても確認できる。
- (3) 夜間の人工照明によっても(1)の傾向は確認できる。
- (4) 乾燥路面、雪面、表面が粗大な結氷面においては、明暗の差ははっきりしない。
- (5) 路面がしめった程度では、明暗の差ははっきりしない。

これらの結果は、乾燥したコンクリートまたはアスファルト路面や雪面のような乱反射面については、偏光角の存在があいまいになり、路面が水でぬれると、その面は水面に近くなり、偏光角が存在するようになることを示している。この検出原理にもとづいて、路面の「ぬれ」の検出をこころみた。

3. 実験装置

図2に実験装置の概念図を示す。また実験装置の主要部分である偏光フィルター回転機構と受光部分およびそれらの設置状況を、図3に示す。受光素子はシリコン PIN フォトダイオード (PD) で、これを無バイアスで使用し、直径 5 mm、焦点距離 5 mm の小型レンズで集光した。受光部には内径 6 mm、長さ 24 mm のフードをつけ、外光による PD の飽和を防止した。受光部の前方に、直径 20 mm の円板型偏光フィルターをボールベアリングで支え、これをインダクションモーターとプーリーによって毎秒 41.3 回転させ、PD から 82.6 Hz の

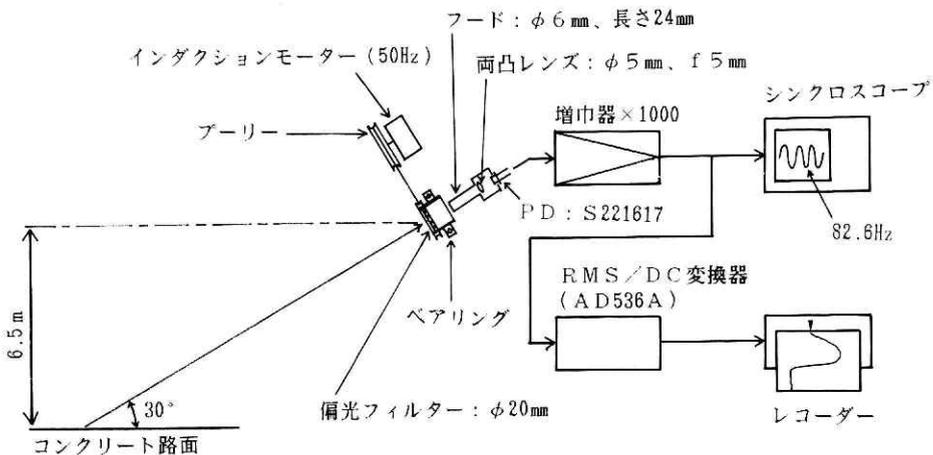


図2 実験装置概念図

Fig. 2 Schematic diagram of experimental equipment

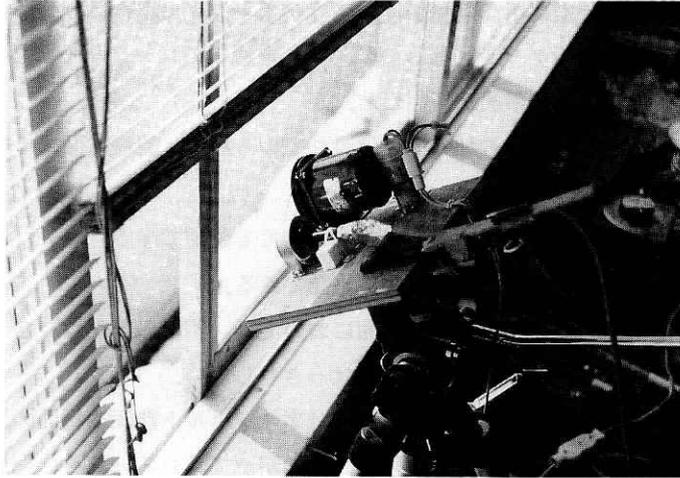


図 3 実験装置主要部

Fig. 3 Main part of experimental equipment

電圧が出力されるようにした。この周波数は、交流電源の周波数 50 Hz をさけてこの値に定めた。受光部の光軸は、コンクリート路面と 30°の角度をとって固定した。偏光フィルターの回転機構と受光部は図 3 に示すようにまとめて三脚に固定し、地上高 6.5 m、南向きに設置した。

PD の出力信号は、交流増巾器で 1000 倍に増巾し、シンクロスコープに波形を表示するとともに、実効値／直流変換器を通して直流電圧に変換し、アナログ記録計に記録した。この直流電圧は、路面反射光に含まれる垂直・水平各偏光成分の強度の差に相当する。

4. 実験結果

図 4 に路面ぬれ検出実験の結果の一例を示す。図の横軸は時間、縦軸は出力電圧である。これは融雪期の乾燥したコンクリート舗装路面について実験したもので、上空は一様な薄雲でおおわれ、影を明確に生ずる程度の日射があった。太陽の方向が検出装置の光軸を含む鉛直面に一致する直前に、観測している路面に雪粒を散布した。この雪粒は路面上で散布後約 5 分で融解して、路面がぬれ、凹部には水たまりが発生した。このとき、検出装置の出力電圧は、雪粒を散布する直前の乾燥路面の場合の 6.1 倍に達した。その後路面が乾燥するに従って出力電圧は低下している。出力電圧の変化曲線上には、いくつかのディップが認められる。このうち、14 時 04 分と 14 時 55 分頃の中のせまいスパイク状のディップは車の通行によるもので、その他の変動は、雲によって発生した。14 時 50 分以後は積雲系の雲が発生し、ディップが頻発した。15 時 05 分頃、路面は乾燥して、出力電圧は 13 時 50 分以前の値にもどり、その後太陽高度の低下とともに減少した。なお、図 1 はこの実験において 14 時 38 分に撮影し

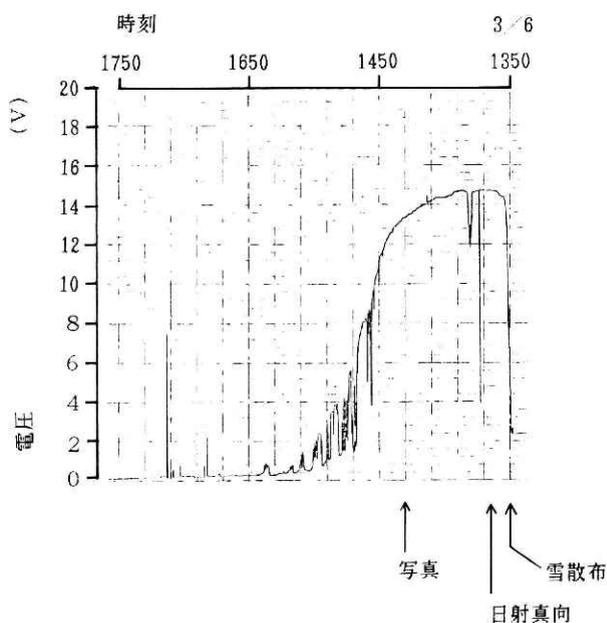


図4 路面の「ぬれ」の検出結果

Fig. 4 Detection result of water on road surface

た。

5. 考 察

図1からも理解されることであるが、舗装路面は一般に一樣でなく、小さな水たまりを発生させる凹部や、水はけのよい凸部が不規則に存在する。このため、路面の「ぬれ」の検出は、ある程度広い面積の路面について平均的に実行されるべきである。本報告の検出装置では、焦点距離5 mmのレンズで集光し、使用したPDの集光面が直径0.5 mmの円形であるため、短径1.3 m、長径2.6 m、光軸方向に長径をもった楕円形の路面を監視したことになる。

図4において、路面がぬれた直後の出力電圧は14.4 Vで、乾燥状態のときの6.1倍になっているが、この出力電圧は、容易に検知できる値であり、本方式は路面の「ぬれ」検出装置として有望であると判断される。13時56分の雪粒融解直後には、路面の凹凸は完全に水膜でおおわれ、大きな凹部には水たまりが形成され、そのまま凍結するとすべりやすい氷板が発生すると考えられる程度の「ぬれ」状態であったが、14時50分頃には、水たまりは消失し、路面は「しめった」状態になった。それで、本方式では、路面の「ぬれ」状態から「しめった」状態までの検知が可能と考えられる。

図4の測定結果は、日中の太陽光により得られたものであるが、本報告の2-(3)で述べたように、夜間の人工照明においても、同様な結果が得られると考えられる。水銀灯のよう

な高輝度の変調光を発生する光源を使用して、外光の変化と無関係に作動する装置にまとめることも可能であろう。

6. あとがき

この報告では、面積数 m^2 にわたって、路面の「ぬれ」を光学的に、かつ、交通に支障のない位置にセンサーを設置して非接触的に検出する装置が実現可能なことを示した。路面の「ぬれ」の程度と路面凍結の発生状況との関係が明らかになれば、本報告の「ぬれ」検出手法は結氷検知装置として利用できることになる。

本研究は官民特定共同研究費により実施された。

参 考 文 献

- 木村忠志 (1976) : 超音波による結氷検知. 昭和 51 年度日本雪氷学会秋季大会講演予稿集, 309.
木村忠志 (1977) : 結氷検知器, 昭和 48・49・50 年度特別研究促進調整費, 降積雪情報の広域自動収集による
交通路雪害防止に関する総合研究報告書, 科学技術庁研究調整局, 昭和 52 年 3 月, 70-76.
武市 靖・前野紀一 (1990) : 誘電式路面凍結検知器 (DPF) の開発. 雪と道路, 1990, 1, No. 22, 72-79.
山口重雄 (1981) : 屈折率. 物理学 One Point-14, 小出・大槻編, 共立出版, pp. 130.

(1993 年 1 月 8 日 原稿受理)