

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3605641号
(P3605641)

(45) 発行日 平成16年12月22日(2004.12.22)

(24) 登録日 平成16年10月15日(2004.10.15)

(51) Int.Cl.⁷

G01W 1/00

F I

G01W 1/00

J

請求項の数 4 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2002-43626 (P2002-43626)	(73) 特許権者	501198039
(22) 出願日	平成14年2月20日(2002.2.20)		国土交通省国土技術政策総合研究所長
(65) 公開番号	特開2003-240866 (P2003-240866A)		茨城県つくば市大字旭1番地
(43) 公開日	平成15年8月27日(2003.8.27)	(74) 代理人	100080115
審査請求日	平成14年2月20日(2002.2.20)		弁理士 五十嵐 和壽
		(74) 代理人	100071478
			弁理士 佐田 守雄
		(72) 発明者	北川 博朗
			東京都千代田区大手町一丁目6番1号 日
			立電線株式会社内
		(72) 発明者	中村 晃之
			東京都千代田区大手町一丁目6番1号 日
			立電線株式会社内
		審査官	遠藤 孝徳
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 路面状態判定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

路面温度計測値、地上気象量計測値、薬剤散布情報から道路上の積雪密度を推定し、その推定値の経時変化に基づいて路面における積雪状態を前記積雪密度の大きさに基づいて新雪、圧雪、シャーベットの積雪3状態に判定し、前記積雪密度は新雪が $0 \sim 200 \text{ kg/m}^2$ 、圧雪が $200 \sim 800 \text{ kg/m}^2$ 、シャーベットが $800 \sim 1000 \text{ kg/m}^2$ であることを特徴とする路面状態判定方法。

【請求項2】

積雪状態の判定した後、続けて圧雪氷板を判定する請求項1記載の路面状態判定方法。

【請求項3】

路面温度計測値として、道路内部に埋設した光ファイバー温度レーダの計測値からの求めた値を使用する請求項1又は2記載の路面状態判定方法。

【請求項4】

積雪状態を判定する際に、道路表面の熱収支量を用いる請求項1ないし3のいずれかに記載の路面状態判定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、低コストで長距離にわたる道路表面の積雪状態及び圧雪氷板（凍結）を判定することができる路面状態判定方法に関するものである。

10

20

【 0 0 0 2 】

【 従来の技術 】

道路交通において、湿潤、積雪、凍結などの路面状態が生じるとスリップ事故が発生しやすい。このため、路面湿潤や路面凍結などの危険な路面状態を速やかに検知して、自動車の運転手に注意を促す必要がある。しかし、長距離に及ぶ道路を常に巡回監視するのは、人手及びコストの面で困難であるため、このような路面の状態を把握する手段として路面状態検出センサが用いられる。

【 0 0 0 3 】

従来の路面状態検出センサは、主に2つに分けられる。第1のグループは、道路表面に赤外線又は電磁波を照射し、路面からの反射率を測定するものである。本センサの代表的な構成を図6に示す。道路22の近傍に超音波式の距離計23、赤外線照射装置24と赤外線受光装置25からなる赤外線装置26および信号処理装置27を設置し、道路への入射光28と反射光29および反射光30の強度比が、路面状態によって異なることを用いて路面状態を推定する。21は支持ポール、21aはセンサ取り付け部である。

10

【 0 0 0 4 】

第2のグループとしては、道路近傍の気象量及び路面温度を測定するセンサが挙げられる。路面温度計測には、熱電対、赤外放射温度計等の単点計測用のセンサに加えて、多点計測が可能で長距離の温度を計測するのに適した光ファイバー温度レーダを用いる方法が提案されている。本センサ情報は、道路管理担当者が過去の知見に基づいて路面状態を推定する材料として用いられるほかに、道路近傍の気象量観測値と組み合わせて路面状態を推定する方法も提案されている。

20

【 0 0 0 5 】

ところで、赤外線又は電磁波を照射する方式のセンサを用いて、路面状態を道路の長手方向に沿って連続的に把握するためには、多数のセンサを設置する必要があり、コストがかかる。

一方、路面温度と気象量を計測する場合は、光ファイバ温度レーダが長距離に敷設可能であることと、気象量が広範囲の代表値として使用可能であることから低コストである。しかし、これらの情報から道路管理者が路面状態を判断するには、経験が求められること、及び危険と判断する地域を限定することが難しいという問題がある。

また、過去に提案されている気象量及び路面温度から路面状態を推定する方法においては、圧雪、シャーベット等の積雪状態の判定や、積雪の上面が凍って生成される凍結の判定が困難である。特に凍結は、通常の積雪状態よりも摩擦が小さいため危険であり、正しく判定することが求められる。

30

【 0 0 0 6 】

【 発明が解決しようとする課題 】

そこでこの発明は、前記のような諸問題に鑑み、過去に提案されている路面温度計測値、及び地上気象量計測値に基づいて路面状態を推定する方法を改良し、積雪状態の判定を可能とする路面状態判定方法を提供することを目的とする。

【 0 0 0 7 】

【 課題を解決するための手段 】

40

前記目的を達成するため、請求項1の発明は、路面温度計測値、地上気象量計測値、薬剤散布情報から道路上の積雪密度を推定し、その推定値の経時変化に基づいて路面における積雪状態を前記積雪密度の大きさに基づいて新雪、圧雪、シャーベットの積雪3状態に判定し、前記積雪密度は新雪が $0 \sim 200 \text{ kg/m}^2$ 、圧雪が $200 \sim 800 \text{ kg/m}^2$ 、シャーベットが $800 \sim 1000 \text{ kg/m}^2$ であることを特徴とする。請求項2の発明は、請求項1において、積雪状態の判定した後、続けて圧雪氷板を判定することを特徴とする。請求項3の発明は、請求項1又は2において、路面温度計測値として、道路内部に埋設した光ファイバー温度レーダの計測値からの求めた値を使用することを特徴とする。請求項4の発明は、請求項1ないし3のいずれかにおいて、積雪状態を判定する際に、道路表面の熱収支量を用いることを特徴とする。

50

【0008】

前記請求項1～4の発明によれば、ある時間内における道路内部温度計測値の変化量から求められる道路表面温度と、気象観測値から求められる道路表面温度の関係から路面状態ならびに積雪状態における積雪厚みを推定し、更に積雪厚みから積雪の密度を推定することが可能である。この推定積雪密度から積雪状態（積雪3状態：新雪、圧雪、シャーベット）を判定し、さらにその経時変化に基づいて凍結をも判定できる。

【0009】

【発明の実施の形態】

この発明の一実施の形態を、添付図面を参照して説明する。図1は全体構成図であり、対象となる道路4の近傍に設置される気温計、風向風速計、雨雪量計などの各種気象センサ1、道路に埋設される光ファイバ2、気象センサ1により計測されたデータを、信号線6を介して伝送する信号伝送装置3と、光ファイバ2により計測されたデータを、信号線6を介して伝送する信号伝送装置5、計測データを受信する情報収集装置7と、受信したデータに基づいて路面状態判定計算を行う路面状態推定装置8と、その結果を出力する表示部9により構成されている。

10

【0010】

気象センサ1は、電気的な出力が得られるものであれば特に限定されない。信号伝送装置3及び5としては、無線伝送機を使用してもよく、その場合の構成を図2に示す。信号線6の代わりに受信アンテナ10が使用される。情報収集装置7は、気象センサ1及び光ファイバ2からの情報を受信し、データの種類や遅延時間等を考慮して必要なデータを路面状態推定装置8に与える。路面状態推定装置8では、これらの入力データに基づき路面状態を判定する。

20

【0011】

路面状態判定計算の流れを図3に示す。個々の内容は次の通りである。

(a) 基本的な路面状態の判定

計算対象となる時刻・場所の路面温度計測値、地上気象量計測値、薬剤散布情報等を入力データとして、基本的な路面状態（乾燥・湿潤・積雪・凍結）の判定を行う。基本的な路面状態は路面温度計測値及び地上気象量計測値に基づいて、2つの異なる方法で判定する。この2つの異なる方法については本出願人の提案に係る特願2001-111367号に詳しく記述されており、前記判定においても同様に用いるので、その説明は省略する。

30

【0012】

(b) 積雪3状態の判定

基本的な路面状態の判定によって、路面状態が積雪と分類された場合、さらに積雪3状態（新雪、圧雪、シャーベット）の判定を行う。基本的な路面状態が積雪以外（乾燥・湿潤・凍結）の場合には、この判定処理は実行せずに項目(a)に処理が戻る。

(c) 圧雪氷板の判定

基本的な路面状態の判定結果が積雪であり、積雪3状態の判定が行われた場合には、続けて圧雪氷板（凍結）の判定を行う。この判定処理は、積雪3状態の判定結果に係らず実行する。その後、項目(a)に処理が戻る。

ここでは気象情報から推定した流入熱量 W_a 、流入熱量 W_a に基づいて推定した路面温度 T_a 、地中の温度変化量から推定した流入熱量 W_e 、流入熱量 W_e に基づいて推定した路面温度 T_e とし、原理の詳細を以下に説明する。

40

【0013】

(1) 積雪厚みの検出

積雪路面を、大気—積雪—土壌という3層構造とみなした場合の熱収支の関係を図4に示す。積雪厚みが増大するほど積雪表面への流入熱量 W_a と土壌への流入熱量 W_e の位相差が増加することを利用して、計測される位相差から積雪厚みを推定できる。

まず W_a と W_e の経時変化量をそれぞれフーリエ級数展開し、それらの卓越成分に着目して両者の位相差を求める。積雪厚みと位相差の関係は、地中深さと地中の位相差の関係と同様なので、位相差は積雪厚みに比例し、周期の平方根に比例するため、これらの関係が

50

ら積雪厚みを推定できる。

【 0 0 1 4 】

(2) 積雪状態の物理量検出

積雪厚み d_s が分かると、 T_e 、 W_e 、 W_a を用いて積雪状態での温度 T_s 、積雪表面への熱流 W_s 、及び積雪の物性値（密度、比熱）が分かる。計算方法は光ファイバ温度 T_f から T_e 、 W_e を計算する方法と同じである。

計算式としては、まず熱等価回路として積雪部分も組み込む方法が考えられる。積雪表面を従来実施してきた地表面と同じ考えで取り扱うと、積雪表面の温度 T_s 、流入熱 W_s が求まる。

このとき、積雪状態の熱定数は占氷率 η で近似できるので

10

$$\rho_s = \eta \cdot \rho_i$$

$$C_s = C_i$$

$$\lambda_s = \eta \cdot \lambda_i$$

となる。尚、 ρ_i 、 C_i 、 λ_i はそれぞれ氷の密度、比熱及び熱伝導率である。この η を変えて計算し

$$W_s - W_a$$

に対応する η を求める。このようにすると、積雪状態の物理量として ρ_s 、 C_s 、 λ_s がわかる。

【 0 0 1 5 】

別の計算方式として、土壌内部の熱計算と積雪部分の熱計算を独立して行う方法が考えられる。まず、 T_e 、 W_e は従来方式と同じ等価回路で求める。次に積雪部分については、積雪の路面から距離を x とし、積雪内部の温度 $T_s(x)$ 、流入熱 $W_s(x)$ を求める。地中側の等価回路として

20

等価温度源： T_{es}

等価熱抵抗： R_{es}

が必要になるが、これらは T_e を求めるときに得られる値を用いることができる。すなわち、計算時間 Δt 経過後の温度 T_e の変化量として

ΔT_e ： $W_e = 0$ としてときの T_e の変化量

δT_e ： W_e としてある任意の値 δW_e 変化したときの T_e の変化量

が得られるが、これらの値を用いると

30

$$T_{es} = T_{e0} + \Delta T_e \cdot (t / \Delta T)$$

$$R_{es} = \delta T_e / \delta W_e$$

T_{e0} ：計算開始前の T_e

このとき、積雪状態の熱定数は占氷率 η で近似できるので

$$\rho_s = \eta \cdot \rho_i$$

$$C_s = C_i$$

$$\lambda_s = \eta \cdot \lambda_i$$

となる。この η を変えて計算し、境界条件を満足する η を求めればよい。

$X = 0$ のとき

$$W_s(0) = W_e$$

40

$$T_s(0) = T_e$$

$X = d_s$ のとき

$$W_s(d_s) = W_a$$

このようにすることで積雪状態の物理量として ρ_s 、 C_s 、 λ_s を求めることができる。この内の ρ_s が積雪 3 状態の判定基準となる。

【 0 0 1 6 】

(3) 積雪 3 状態の判定

積雪 3 状態（新雪、圧雪、シャーベット）における積雪密度は大きく異なっており、新雪は 0.1 程度、圧雪は 0.5 程度、シャーベットは 1.0 程度である。したがって、適切なしきい値を設定することで、算出した ρ_s から積雪 3 状態を分離計測可能となる。積雪

50

3 状態の判定の一例を図 5 に示す。ここでは前記「雪氷の構造と物性」を参考にしきい値を定めているが、実際の道路で収集したデータに基づいてしきい値を調整することにより、判定精度の向上が可能である。

【 0 0 1 7 】

(4) 圧雪氷板の判定

積雪 3 状態を判定することにより、以下の情報が常時得られることになる。

T_s : 積雪表面温度

W_s : 積雪表面への流入熱

d_s : 積雪厚み (降雪計の測定値と除雪作業情報も活用する)

ρ_s : 積雪状態の密度

10

これらのトレンド情報から圧雪氷板 (凍結) を判定する。圧雪氷板は新雪、シャーベットからは生成せず、圧雪状態からのみ生成するので、この点に着目する。圧雪状態では ▲ 1 ▼ 顕熱過程、▲ 2 ▼ 融解過程、及び ▲ 3 ▼ 凝固過程が存在する。▲ 1 ▼ は潜熱が無い場合の過程である。一方、▲ 2 ▼、▲ 3 ▼ は潜熱が有る場合の過程であり、日射、薬剤散布、交通車両の影響によって発生する。特に、凝固過程は放射冷却の効果が大きいときに発生しやすい。

圧雪氷板が生成するためには、▲ 2 ▼、▲ 3 ▼ の過程が必要である。一方、積雪 3 状態の判定は、▲ 1 ▼ の条件で実施しているので、▲ 2 ▼、▲ 3 ▼ の過程では ▲ 1 ▼ の計算結果がどのように変化するかについて以下に述べる。

【 0 0 1 8 】

20

(a) 融解過程

前記の通り、融解過程は日射、薬剤散布、交通車両の影響によって発生する。積雪表面の雪が解ける場合の融解熱を ΔW_m とすると、数式 1 のようになる。

【 0 0 1 9 】

【 数式 1 】

$$\Delta W_m = W_a - W_s (d_s)$$

融解時には ΔW_m が $W_s (d_s)$ より十分に大きいので、 $\Delta W_m = 0$ という条件で積雪 3 状態の判定を行うと、結果は実態とかけ離れた値となる。すなわち、溶融過程では $W_s (d_s)$ が実際の値より大きく設定されているため、熱伝導率 λ (理論最大値は 1) が 1 より大幅に大きくなる。逆に言えば、 $\lambda = 1$ になる直前からこの溶融過程が発生したことにな

30

る。また、溶融過程では λ を定数として $\lambda = 1$ と仮定して計算することによって、 $W_s (d_s)$ を近似的に求めることができるので、数式 1 から ΔW_m を求めることができる。

【 0 0 2 0 】

(b) 凝固過程

凝固過程は溶融過程とは逆の現象であり、日射、交通車両の熱より放射冷却の熱が大きいときあるいは薬剤の濃度が低下したときに発生する。積雪表面の水分が凝固するときの凝固熱を ΔW_r とすると、数式 2 のようになる。

【 0 0 2 1 】

【 数式 2 】

40

$$\Delta W_f = W_a - W_s (d_s)$$

いずれも負の値である。絶対値で見ると、凝固時には ΔW_f が $W_s (d_s)$ より十分に大きい値となるので、 $\Delta W_f = 0$ という条件で積雪 3 状態の判定を行うと、熱伝導率 λ は実態とかけ離れた値となる。凝固過程の前には融解過程があり、この時点で λ を固定しているため、(2) 式から ΔW_f が求まる。以上をまとめると、圧雪氷板の判定条件は次のようになる。

▲ 1 ▼ 雨雪量計による降雪の検知、あるいは熱量計算による積雪判定 (積雪状態の持続) により、路面状態が積雪となっている。

▲ 2 ▼ 積雪開始時から現在までの路面状態判定計算において、項目 (a) の融解過程を経過している (凝固しうる水分が存在する) 。

50

▲ 3 ▼ 項目 (b) の凝固過程の計算において、 $\Delta W f$ が負の値になっている。

【 0 0 2 2 】

【 発明の効果 】

請求項 1 ないし 4 の発明によれば、実際の道路（長距離、広範囲）に適用した場合に、赤外線又は電磁波を照射する方式よりも低コストで路面状態の判定を実現できる。また、従来の気象量及び路面温度から路面状態を推定する方法では不可能であった積雪 3 状態の判定及び圧雪氷板の判定が可能になり、より適切な道路情報を提供することができるという優れた効果がある。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 この発明の一実施の形態を示す、全体構成図である。

10

【 図 2 】 信号線の代わりに受信アンテナを用いた別の実施の形態を示す、全体構成図である。

【 図 3 】 同上における路面状態判定計算フローである。

【 図 4 】 積雪中の熱伝導の概念図である。

【 図 5 】 積雪 3 状態の判定方法の一例を示す図面である。

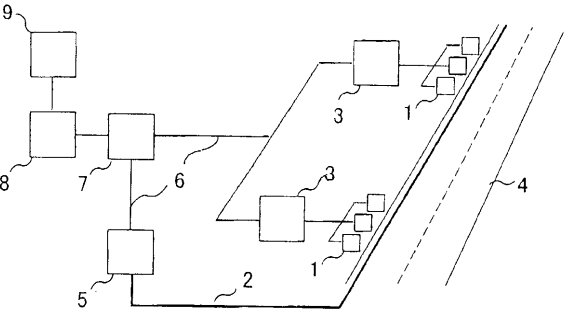
【 図 6 】 従来の電波式路面状態検知センサの構成例を示す図面である。

【 符号の説明 】

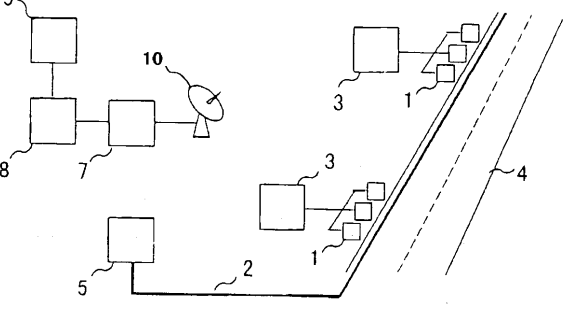
- 1 気象センサ
- 2 光ファイバ
- 3 信号伝送装置
- 4 道路
- 5 信号伝送装置
- 6 信号線
- 7 情報収集装置
- 8 路面状態推定装置
- 9 表示部

20

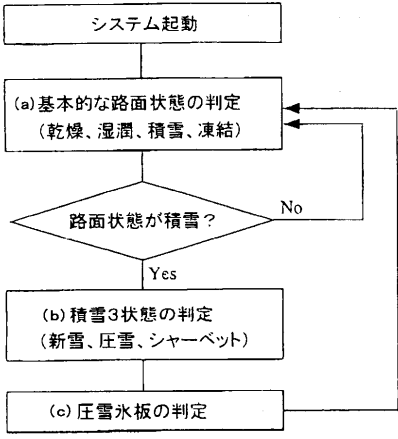
【図 1】



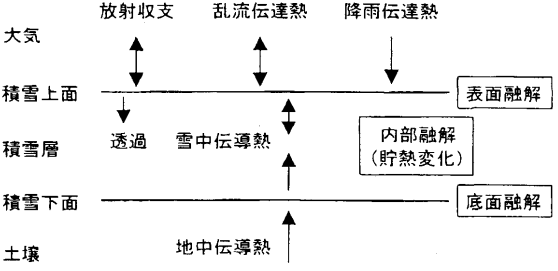
【図 2】



【図 3】



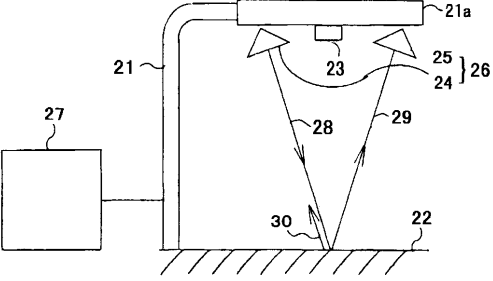
【図 4】



【図 5】

	新雪	圧雪	シャーベット
積雪密度 ρ_s	0~200 [kg/m ³]	200~800 [kg/m ³]	800~1000 [kg/m ³]

【図 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2000-346957(JP,A)
特開2000-241563(JP,A)
特許第2976025(JP,B2)
特開平11-174161(JP,A)
特開2000-88653(JP,A)
特開2000-346958(JP,A)
特開2001-42053(JP,A)
特開平11-211846(JP,A)
特開平7-113877(JP,A)
特開平11-14434(JP,A)
特許第3219383(JP,B2)
特公昭63-37890(JP,B2)
特開2001-51069(JP,A)
特許第2981887(JP,B1)
国際公開第00/75896(WO,A1)
特開平10-282250(JP,A)
特開2001-59205(JP,A)
特開2002-311157(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G01W 1/00 - 1/18

E01C 11/00 - 11/26

E01H 10/00

G08G 1/00 - 1/16

JICSTファイル(JOIS)