

現地観測による道路案内標識の冠雪および落雪過程の把握

松下拓樹、伊東靖彦、加治屋安彦（土木研究所 寒地土木研究所）

1. はじめに

道路案内標識の裏面に発達した冠雪（図1）が落下すると、通行車両の視界を妨げたり車体を破損させる事故が発生する。この対策として、北海道の国道では主に人力による雪落とし作業が行われており、この作業には費用がかかるとともに作業員が通行車両と接触する危険性を伴う。一方、北陸地方を中心とした地域では、標識裏面に傾斜板やカバーを取り付けて、少量のうちに雪を落下させる方法¹⁾³⁾及び、その表面を雪が付着しにくい性質に変える試みがなされている^{1),4),5)}。しかし、これらの対策がどのような地域で必要とされるのか、また雪質の異なる北海道でも有効なのかに関する十分な知見が得られていない。そこで、道路案内標識の冠雪と落雪の一連の過程を把握することがまず必要であると考え、本稿では現地観測を実施した。



図1 道路案内標識の冠雪事例

2. 観測方法

観測は、2006年12月7日から2007年3月15日までの約3ヶ月間、札幌市中心部から南西約45kmに位置する中山峠（標高835m）に、実物大の試験用標識を設置して実施した。

標識の冠雪に関する観測として、カメラ観察（1時間間隔の静止面で昼間のみ：コーシステム社製KADEC-EYE II）、標識の表面温度測定（10分間隔：チー社製R060-32）を行った。表面温度計は、標識裏面の水平梁材の上面と下面に取り付けた（図2）。この他、気温及び相対湿度（コーシステム社製KDC-S02-V-HMP45-D-3.5-S）、日射量（英弘精機社製MS-43F）、風速、風向、積雪深を10分間隔で観測した。このうち風と積雪深は、現地観測地に隣接する寒地土木研究所の中山峠吹雪観測所における観測値を用いた。

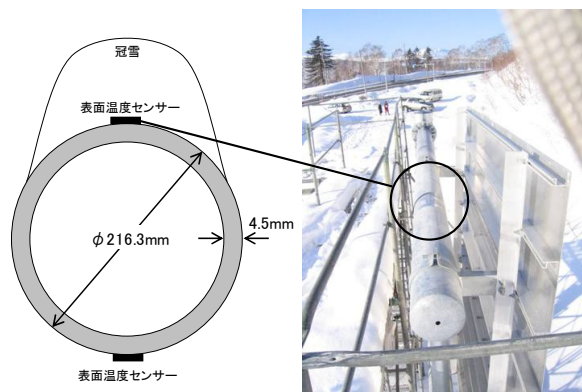


図2 表面温度の測定状況

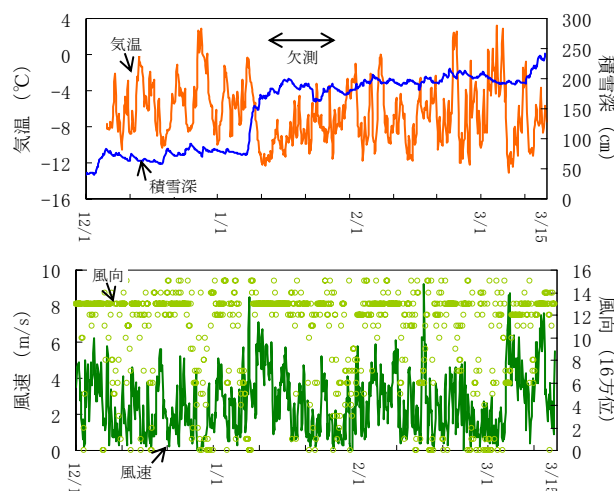


図3 観測期間の気象状況

3. 観測結果

3. 1 気象状況の推移および欠測期間

図3に観測期間の気象状況を示す。現地の平均気温は-7.4℃で真冬が続き、気温0℃

以上の日は6日であった。最大積雪深は242 cm、平均風速は2.6 m/s。卓越風向は西北西であり、標識の裏面に対して直角方向からの風が多い。

観測期間中、1月7日からの2日間で積雪深が100 cm以上増加した。このときの多量降雪から続いた降雪により、1月14日に観測用足場の積雪と標識の冠雪がつながった。1月27日に雪を全て取り除いたが、この期間(1/14~1/27)を欠測扱いとし解析対象から除いた。

3. 2 冠雪発生の気象条件

冠雪の発生はカメラ映像から判断した。ただし、映像記録が昼間のみであること、降雪が強いと画像が不鮮明となることから冠雪が発生した正確な時刻の把握が困難であった。そこで、一定期間の冠雪状況と気象状況を比較することにより、冠雪発生の気象条件を把握することとした。具体的には、毎日午前9時の画像を基準として、前日の画像に雪がなく翌日に冠雪がみられた場合を冠雪事例とした。この方法により10例の冠雪事例を抽出した。観測データは24時間(9:10~翌日9:00)ごとに整理した。

図4は、冠雪が確認された前24時間(前日9:10~9:00)における降雪時の平均気温と降雪量の関係である。ここで降雪時を積雪深が増加したとき、降雪量を積雪深差の正の合計値とした。図4より、ほとんどの冠雪は気温0℃以下の乾いた雪により発生した。カメラ画像により冠雪状況を確認すると、最も気温の高い12/28の事例(平均気温-0.8℃)では、足場の手摺や標識板などの幅の狭い箇所にも雪が積もっており、冠雪の形状は対象物の幅を超え雪庇状に張り出している。また気温が低い3/14の事例(平均気温-7.7℃)でも冠雪が発達しているが、対象物の幅を超えずある傾斜角をもった形状で雪が積もっている。前者の事例のように、一般に気温0℃付近の降雪において冠雪が顕著に発達するが⁶⁾、今回の観測では気温0℃以下の乾き雪でも冠雪が発達することが確認された。

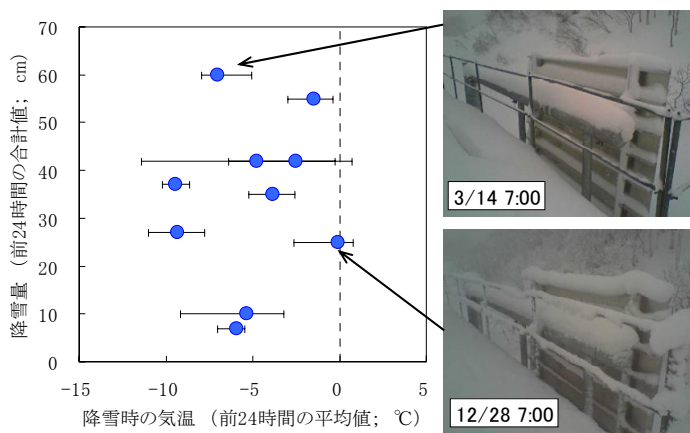


図4 冠雪時の気温と降雪量の関係と顕著事例の画像
 図中●は平均気温、横棒は最高及び最低気温。

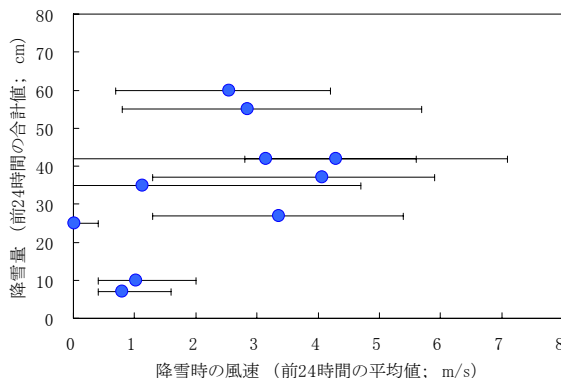


図5 冠雪時の風速と降雪量の関係
 図中●は平均風速、横棒は最大及び最小風速。

図5は、冠雪事例における前24時間の平均風速と降雪量の関係である。今回の冠雪事例は、平均風速が約4 m/s以下の条件で発生している。平均風速0~4 m/sの範囲において、風速2 m/s以下の弱風下では降雪量の多少に関わらず冠雪は発生し、それより強い風速状況では降雪量が多い場合にのみ冠雪が発生する傾向にある。風が強い場合、風による吹き払い効果が働くため、降雪量が少ないと冠雪は発達しないと考えられる。

3.3 落雪発生の気象条件

今回の観測期間における落雪は全て冠雪が融けている最中に発生した。例として、図6に、2006年12月25日における落雪時の気温、日射量、標識の表面温度の推移およびカメラ画像を示す。気温と表面温度の推移に着目すると気温は-5℃以下だが、日射の影響により表面温度は0℃以上となっている。特に12時頃からは、冠雪が乗っている上側の表面温度はほぼ0℃一定で推移する一方で、下側の表面温度は上昇を続け、上下の表面温度の差が大きくなる。このとき冠雪の底面で融雪が起きたと考えられ、カメラ画像では冠雪が画面奥側へ移動している。13時になると、上側の表面温度が下側の表面温度より高くなり、冠雪はこの直前に落下したと考えられる。

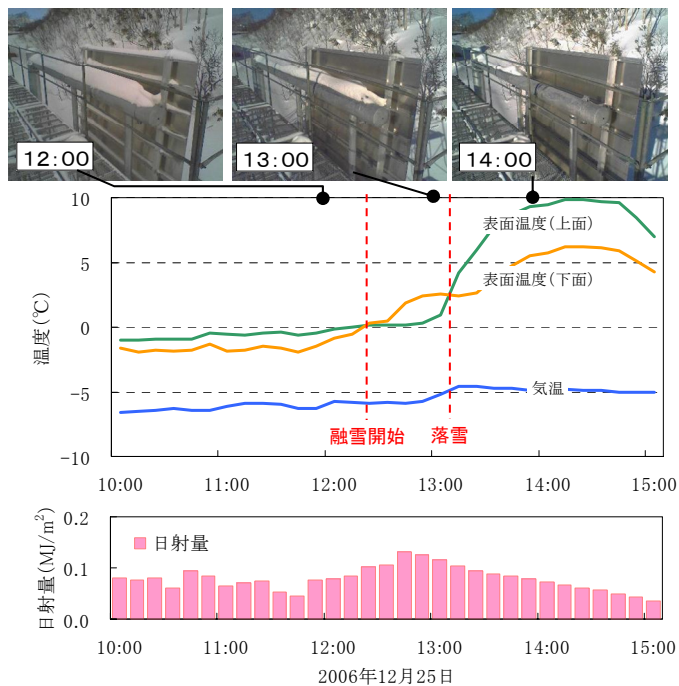


図6 落雪時の温度推移と冠雪状況の例

上記事例のように、融雪によって冠雪が落下するのは、梁材上下の表面温度がともに0℃以上となつて、上側の表面温度が下側の表面温度を上回るまでの期間と考えられる。図7に、この期間の気温と表面温度の関係を示した。上側の表面温度は0~1℃であるが、下側の表面温度は最大2~5℃まで上昇している。表面温度が0℃以上となる気温は、約-5℃以上である。

図8は、上下の表面温度の差と落雪までの時間の関係である。上下の表面温度差の平均値は0.5~2

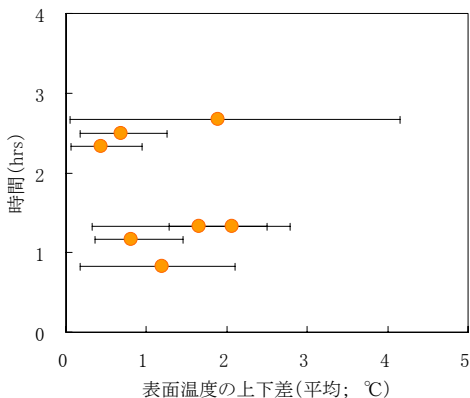


図8 融雪開始から落雪までの表面温度の上下の差と時間の関係
 図中●は平均値、横棒は最高値と最低値。

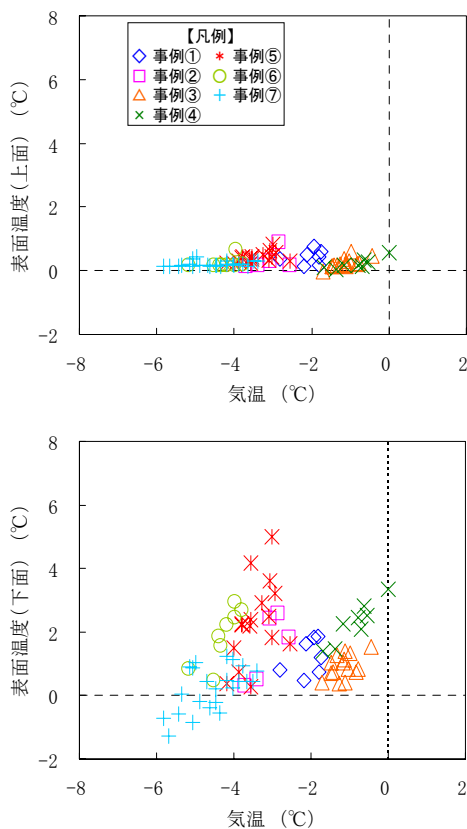


図7 融雪開始から落雪までの気温と表面温度各事例の10分間隔の測定値を示す。
 (上)上側の表面温度、(下)下側の表面温度。

で、これに相当する熱量が冠雪底面の融雪に使われたと考えられる。また、冠雪は、表面温度が 0 °C 以上となってから 3 時間以内に落下する傾向にある。

4. 考察

今回の観測結果は、主に気温 0 °C 以下の乾き雪による冠雪現象を対象にしたものである。気温 0 °C 以下で水分を含まない乾き雪は、一般にその安息角が小さく⁷⁾、幅の狭い構造物であれば積もることのできる雪の量は限られる⁸⁾。今回使用した標識梁材の直径は 21.6 cm で、乾き雪を捕捉するための十分な幅がある。そのため乾き雪でも冠雪が発達したと考えられる。

冠雪発生の風速の条件について、今回の観測では平均風速で 4 m/s 以下という傾向がみられた。阿部ら(2007)⁹⁾によると、建物の屋根に雪が積もる臨界風速は約 4 m/s である。また、電線着雪における乾型着雪は風速 4 m/s 以下で発生する傾向にある¹⁰⁾。他の構造物と同様に、道路案内標識においても、乾き雪が標識に積もる臨界風速の存在が示唆される。

落雪の発生は、梁材の表面温度が 0 °C 以上となって冠雪の融解により落雪することが明らかとなった。このときの気温は-5 °C 以上である。降雪後に日射の影響で気温-5 °C 以上となる箇所では、比較的密度の小さいうちに落雪するものと考えられる。融雪を生じない場合、冠雪と標識との間の付着強度は時間の経過とともに強まる¹¹⁾ので、その後の降雪によってさらに冠雪が発達していくことが懸念される。

5. おわりに

道路案内標識の冠雪および落雪発生の気象条件を明らかにするため、現地観測を実施した。その結果、気温 0 °C 以下の乾き雪による冠雪発生条件として、冠雪は平均風速 4 m/s 以下の条件で顕著に発達する。一方、冠雪の落下は融雪に伴って起きることが明らかとなった。日射の影響により、気温-5 °C 以上で標識の表面温度は 0 °C 以上となり数時間内に落雪した。

現地観測は 2007 年 4 月まで行っており、気温 0 °C 付近の降雪による冠雪および落雪事例を含めた状況把握を行う予定である。これに基づいて道路案内標識の落雪対策方法について検討を行っていきたい。

謝辞

現地観測では(株)雪研スノーイーターズの協力を得ました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 氷見清和ほか, 2006: 第 18 回ゆきみらい研究発表会論文集(CD-ROM).
- 2) 佐藤克己, 田島功章, 2000: 第 21 回北陸雪氷技術シンポジウム, ゆきセンター.
- 3) 畦地吾一ほか, 2005: 第 17 回ふゆトピア研究発表会論文集, 204-207p.
- 4) 吉田光則ほか, 2000: 北海道立工業試験場報告, 299, 13-17p.
- 5) 伊東敏幸ほか, 1995: 日本雪工学会誌, 11, 283-290p.
- 6) 石坂雅昭ほか, 2004: 寒地技術論文・報告集, 20, 113-117p.
- 7) Kuroiwa, D., et al., 1967: *Proc. Inter. Conf. on Low Temperature Science*, 751-772p.
- 8) 高橋敏男, 高橋喜平, 1954: 雪氷, 15(5), 6-9p.
- 9) 阿部修ほか, 2007: 日本雪工学会誌, 23, 123-132p.
- 10) Kuroiwa, D., 1965: *Cold Regions Res. Eng. Lab. Rep.*, 123, 10pp.
- 11) 清水増治郎, 木村忠志, 1992: 雪氷, 54, 269-275p.