

膨張収縮する材料を利用した着雪対策について

千葉 隆弘, 竹内 政夫 (㈱雪研スノーイーターズ)

1. はじめに

アーチ橋やトラス橋のような構造物が道路上に構築される下路橋では、部材で着雪が発生する。この着雪は時間の経過に伴い密度が増加し雪氷塊となり、この塊が道路へ落下することによって車両を損傷させる等の事故が発生している。このような下路橋で発生する着雪は、弱風時に部材の上にそのまま雪が載る冠雪型と、強風を伴って部材に雪が衝突して着雪する標識板型¹⁾の2つが考えられるが、最近では特に冠雪による被害が多い。この冠雪型の着雪対策には、塗装工法、落雪カバー工法、およびヒーティング工法の3種類があり、いずれも着雪が塊にならないよう早期に落雪・融雪しようとする考え方の対策である。しかし、期待していた効果が得られておらず、通行止めで車両を迂回させることや人力で着雪を取り除くこと等で対応しているのが現状である。また、近年は吊橋や斜張橋のように大きな主塔とケーブルで構成される橋梁が建設されてきた。太い四角形や円形断面等、下路橋には使用されない部材が用いられており、冠雪型の着雪に加えて標識板型の着雪が道路へ落下して車両を損傷させた事例もある。

以上のように、橋梁で発生する着雪対策は不可欠であり、部材形状と着雪機構との関係を十分に検討し、これまでのものに代わる対策の開発が必要となっている。その一例として吊橋や斜張橋に使用されるケーブルの着雪対策について簡単な実験を行い、着雪防止の可能性を確認したので報告する。

2. 着雪対策のフィジビリティスタディーと採用した対策の原理

下路橋での着雪対策には塗装工法、落雪カバー工法、およびヒーティング工法があり、これらをケーブルの着雪対策に適用した場合について考えてみた。塗装工法は撥水性の高い塗装を部材に行って着雪を防止しようとし、着雪した場合は早期に落雪させようとする工法である。しかし、現状をみると着雪防止、早期落雪は期待していたほどではなく、その要因には汚れの付着による撥水性の低下が考えられている²⁾。落雪カバー工法は急勾配のカバーを取り付けて早期に着雪を落雪させようとする工法である。しかし、気温が0℃以上になり雪と部材との凍結付着がなくなると落雪しないことから真冬日が連続するような地域では早期滑落が期待できない。ヒーティング工法は部材にヒーティングパネルを取り付けて強制的に融雪させようとする工法であるが、ケーブルの場合、融雪水が部材下端で凍結してツララができる可能性が高い。ツララの落下は着雪の塊の落下に比べて危険性が高いことから、ヒーティング工法は適用できない。以上のように、これまでの着雪対策をケーブルに適用することは極めて難しい。

ここで、圧縮空気を利用した対策について考えた。弾力のある材料ケーブルに巻き付け、圧縮空気で膨張収縮させて着雪を早期に落雪させる方法である。この方法の落雪原理を図1に示す。図のように、冠雪型の場合は圧縮空気で巻き付けた材料を膨張させ、そのときに雪と材料との界面に発生するせん断応力で雪の結合力を解き、材料が収縮したときに落雪させる。標識板型の場合でも前述と同様である。標識板型は強風を伴った着雪であることから雪の密度が冠雪型に比べて大きくなる、すなわち、雪の結合力が大きく、この力の一部を解くことができればまとまって落雪することになる。このように、原理的にみると冠雪型と標識板型の両方の着雪に対応できる可能を持つ工法であり、標識板型の方が効果を発揮しやすいと考えられる。

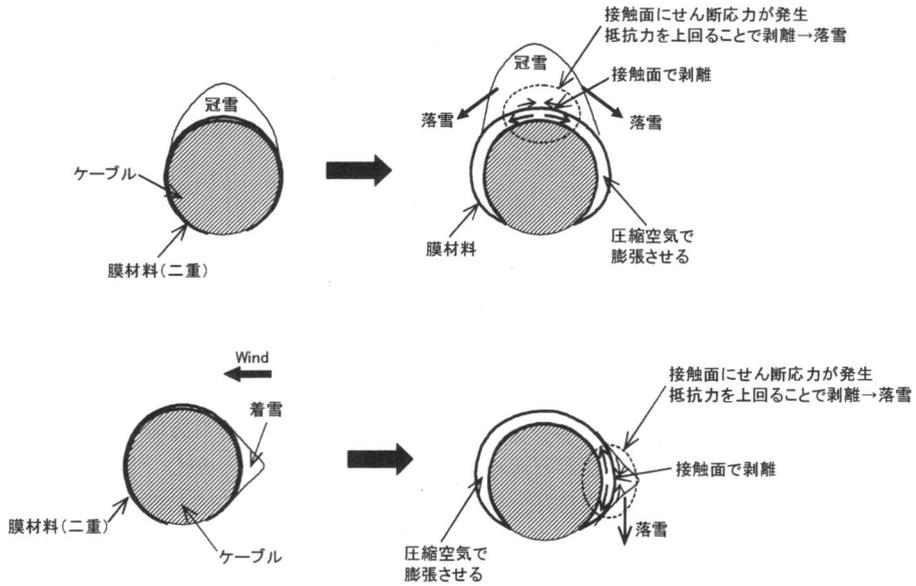


図1 膨張収縮による落雪原理

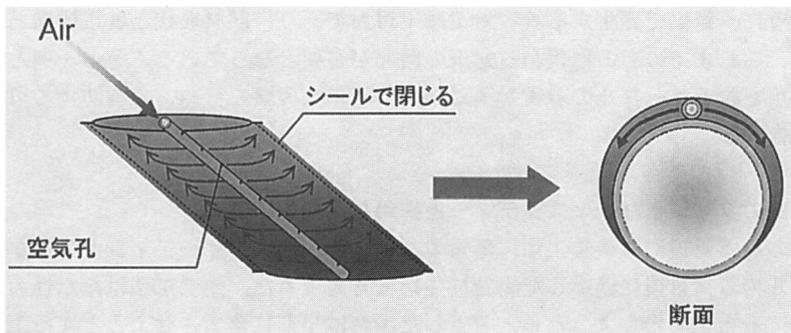


図2 用いた試験体の概要

なお、ケーブルから直接空気を吹き出させて着雪を防止させようとするエアカーテン式についても考えてみたが、今回は実験を行うまでには至らなかった。

3. 屋外実験

3.1 試験体の概要

ケーブルの試験体を作製して屋外実験を行った。試験体は図2に示すように、ケーブルのモデルには長さ2m、直径200mmの塩ビ管を用いた。なお、斜張橋のケーブルの直径は180mmであり、実験に用いたモデルは実際のスケールと近似したものとなっている。膨張収縮する材料にはC種膜材料を用いた。このC種膜材料は一般的にテントのような仮設構造物に使用されるもので、材質は塩ビである。厚さは約0.5mmで耐用年数は10年程度の材料である。この膜材料を2重に加工してそのままケーブルのモデルに巻き付けた。膨張収縮は2重膜の間に直径15mm前後の細い塩ビ管を通し、この塩ビ管に圧縮空気を送って行った。細い塩ビ管には小さな孔を開けており、この孔から吹き出す空気によって膜材料が膨張する仕組みとした。

3.2 実験方法

実験は写真 1 に示すように、屋外に未対策の試験体と膜材料を巻き付けた試験体とを並べて設置し、膨張収縮による落雪効果を観察した。試験体の勾配は斜張橋を想定して 20° とした。実験場所は落雪させるのに不利と考えられる冠雪型の着雪を対象とするため、札幌市豊平区にある北海道開発土木研究所構内の建物に囲まれて風速が小さくなる場所とした。平成 15 年 3 月上旬から下旬までの期間に、自然に冠雪した直後の落雪実験、およびざらめ雪を試験体の一部に堆雪させて行った落雪実験の 2 種類を行った。

3.3 実験結果

実験開始が 3 月上旬と遅かったため降雪があった事例が少なかったものの、自然に冠雪した事例は 1 回であった。実験前における冠雪の密度は $0.08\text{g}/\text{cm}^2$ 前後で、新雪であることがわかる。その時の膨張収縮による落雪効果についてみると、写真 2 のように 1 回の膨張収縮で大半が落雪した。落雪しない箇所は試験体と治具との境界等の、落雪し難い箇所であった。このような落雪し難い箇所を作らないことが今後の課題と言える。

次に、ざらめ雪の場合を写真 3 に示す。なお、用いたざらめ雪の密度は $0.40\text{g}/\text{cm}^2$ 前後の水分を比較的多く含んだものである。写真のように、2cm 前後堆雪させて膨張収縮を行った結果をみると、ざらめ雪は新雪に比べて雪同士の結合力が大きいため、落雪までに 4 回の膨張収縮を要した。その詳細をみると、2 回の膨張収縮でクラックが発生、3 回目でクラックが大きく発達、4 回目の膨張でクラックから雪が裂けるように切り離れ、収縮した後に落雪した。

このように、結合力の大きいざらめ雪でも膨張収縮を繰り返すことで落雪させることができた。今回は実験開始が 3 月上旬であったため、冠雪が凍結した場合についてのデータを得ることができなかった。しかし、凍結した場合は雪同士の結合力が大きくなり、標識板型の着雪と同様にせん断応力で一部の結合を解くことができれば、まとまった落雪が発生する。すなわち、新雪時の冠雪に比べて有効に落雪させることが可能と考える。また、今回使用した C 種膜材料は滑雪性³⁾に優れたものであるとともに、細い塩ビ管の挿入によって試験体上部の勾配が急になったことも落雪を促したと考える。

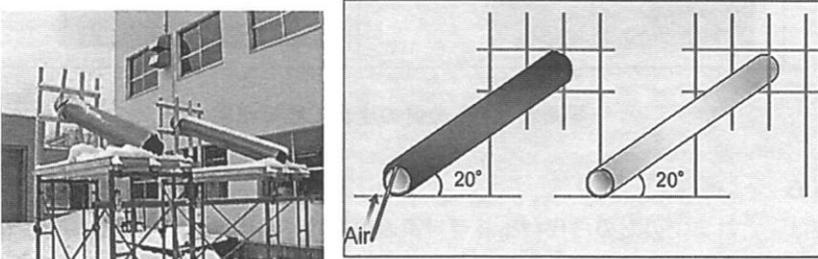


写真 1 試験体の設置

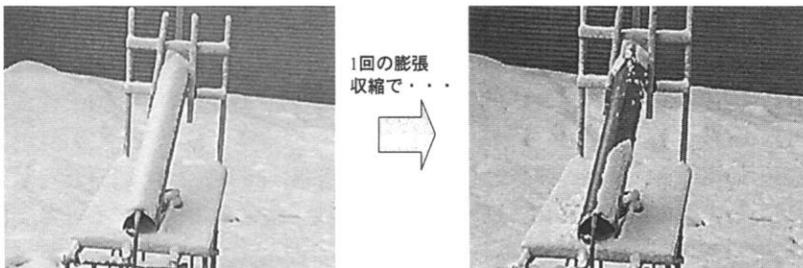


写真 2 冠雪した直後（新雪）の膨張収縮

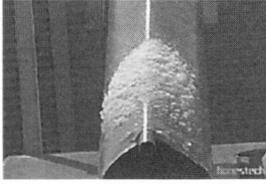
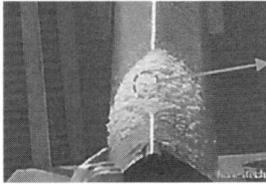
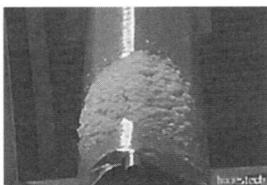
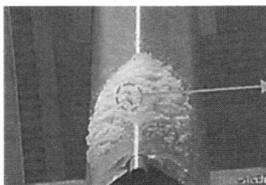
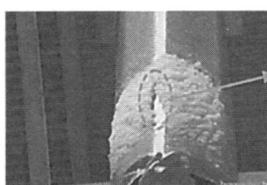
	膨 張	収 縮
1回目		
2回目		 小さなクラック発生
3回目		 クラック拡大
4回目	 裂け始める	 落 雪

写真3 ざらめ雪の場合の膨張収縮

4. まとめ

本研究は、これまでのものに代わる着雪対策の可能性を確認することを目的に、吊橋や斜張橋に使用されるケーブルを対象とした対策について検討を行うものである。対策は2重の膜材料をケーブルに巻き付け、圧縮空気で膜材料を膨張収縮させて着雪を早期に落雪させようとするものであり、長さ2mの試験体を屋外に設置して落雪実験を行った。その結果、原理的には早期に落雪させる可能性を確認することができた。今後は、使用する材料の滑雪性や耐用年数について、さらに、実用化に向けて圧縮空気を送るシステムについて検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 竹内政夫, 1978: 道路標識への着雪とその防止, 雪氷, 40巻, 3号, 15-25.
- 2) 布施浩司・岳本秀人・早坂保則, 2003: 橋梁の着雪・冠雪対策に関する研究, 北海道開発局技術研究発表会
- 3) 苦米地司・他4名, 1997: 膜構造物における屋根上積雪荷重評価について, 日本建築学会技術報告集第5号, 31-36.