

道路雪堤の内部層構造と崩壊現象の分類

○芝崎智貴¹・杉原幸信²・上村靖司²・町田敬³

(1:長岡技術科学大学大学院工学研究科 2:長岡技術科学大学 機械創工学専攻 3:町田建設株式会社)

1. はじめに

豪雪地帯では、冬期間の安定した交通流確保のための雪氷対策が必須であり、道路管理者が行っている雪氷対策は「除雪作業」と「路面の凍結防止剤散布作業」の2種に大別される。そのうち「除雪作業」ではまず、路面の積雪深がおおむね5cm以上にならないよう、プラウを装着した除雪トラックや除雪ドーザ、除雪グレーダにより新積雪を路肩に寄せる新雪除雪が行われる。次に、路肩に寄せた雪が道路の車線を圧迫してくるとロータリ除雪車を用いて道幅を確保する拡幅除雪が行われ、路側に雪が積み上げられる。これらの作業が繰り返されると、その間の自然積雪も加わり道路の路肩や中央分離帯に雪山が形成される。これが雪堤と呼ばれる。

堆積・成長した雪堤は思いがけず崩壊することがあり、道路側に崩壊すると車線を塞ぎ、自動車への物損被害や交通事故に繋がる可能性がある。図1は中央分離帯で大規模な崩壊現象が発生した事例である。こういった雪堤の形成過程及び崩壊メカニズムは未だ解明されておらず、雪堤処理のタイミングや処理方法は作業員の経験則に依存しているのが実状である¹⁾。そのため、雪堤処理の効率化を図る定量的な手法の開発が期待されている。

本研究では、雪堤処理の効率化に向けて、雪堤の形成過程と崩壊メカニズムの解明を目的に、その足掛かりとして、実際に形成された雪堤内部の層構造を観察するとともに、密度・硬度・含水率等の物性値の測定を行い、雪堤がどのように成り立っているのかを調べる。加えて、雪堤崩壊が発生している箇所を探索・観察することで雪堤崩壊の類型化を試みたので、その結果を報告する。

2. 道路雪堤の内部層構造

2.1 測定する物性値と使用する測定機器

雪堤の内部状態を調査するに当たり、選定した箇所を掘削して雪堤断面を露出させ、一定距離間隔で密度、硬度、含水率、雪温、雪質、粒径の全7種の物性値を測定した²⁾。密度測定には角型密度サンプラー、硬度測定にはプッシュプルゲージ、含水率測定にはデノース式含水率計または遠藤式含水率計、雪温測定にはサーミスタ温度計、雪質等には町田建設(株)が独自に作成した粒度ゲージを用いた。

2.2 物性値測定の結果と傾向

まず、2021年2月1日、2月26日、3月3日の計3日間に、関越自動車道上に形成された雪堤のうち5箇所において物性値測定を行った。測定箇所の選定にあたり、中央分離帯と路肩の位置の違いに加え、ガードレール型とガードケー



図1 大規模な崩壊現象で車線が塞がれた関越自動車道¹⁾

ブル型の構造の違いを考慮した。また、3月4日には高速道路と比較するために一般道路についても形成された雪堤の調査を行った。なお、測定箇所は自動車の走行による影響や融雪剤の影響が少ないと考えられる駐停車専用区間を選定し、構造種別はガードレール型とした。測定箇所の外観と断面構造の模式図を図2～6に示す。

まず、雪堤断面から観察した層構造の傾向について述べる。地点(a)～(e)では、共通して雪堤内部に存在する構造物(ガードレール、ガードケーブル)の周辺で空洞が存在することが確認された。特に、多くの構造物が配置されている中央分離帯の地点(a)、(b)においては、その傾向がより顕著であることが分かった(図7)。空洞内表面が氷状態となっていることから、構造物を介した熱伝達によって内部が融解され、再凍結したと考えられる。車線から距離が離れた場所でも同様の現象が見られたことから、地面からの熱によると示唆される。

次に、測定した物性値の傾向について述べる。なお、本報告では特に顕著な特徴が見られた密度のみを示す(図8)。自然積雪の場合、一般的に下層部から上層部にかけて密度が低下するが、地点(a)～(e)の中でも特に地点(b)と地点(d)では上層部の密度が下層部の密度を上回る逆転現象が発生している箇所が確認された。雪は密度が低いほど融解しやすいため、下層部の不安定化が促進されることが考えられる。地点(b)は中央分離帯であることから、ロータリ除雪車による積み上げが無いものの構造物の影響で下層部の自然圧密が十分に進行していなかったことが示唆される。また、地点(d)はインターチェンジ内(越後川口IC)であり、ロータリ除雪車による積み上げが頻繁に行われている。よって、路面上の圧密された高密度な雪が上層部に積み上げられたと考えられる。

(a) 中央分離帯 <ガードケーブル型>

- ・測定日時:2021年2月1日(月) 11:30
- ・測定場所:関越自動車道(上り) 200.2Kp 付近



図2 高速道路の雪堤断面の例 ①

(b) 中央分離帯 <ガードレール型>

- ・測定日時:2021年3月3日(水) 13:00
- ・測定場所:関越自動車道(上り) 201.7Kp 付近



図3 高速道路の雪堤断面の例 ②

(c) 路肩 <ガードケーブル型>

- ・測定日時:2021年3月1日(月) 13:30
- ・測定場所:関越自動車道(上り) 199.2Kp 付近



図4 高速道路の雪堤断面の例 ③

(d) 路肩 <ガードレール型>

- ・測定日時:2021年2月26日(金) 11:00
- ・測定場所:関越自動車道(上り) 220.9Kp 付近



図5 高速道路の雪堤断面の例 ④

(e) 路肩 <ガードレール型>

- ・測定日時:2021年3月4日(木) 15:30
- ・測定場所:新潟県長岡市小国町 大貝トンネル付近



図6 一般道路の雪堤断面の例



図7 雪堤内部の空洞(左:地点(a), 右:地点(b))

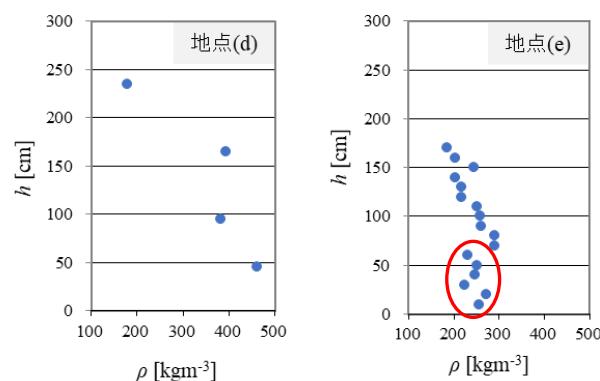
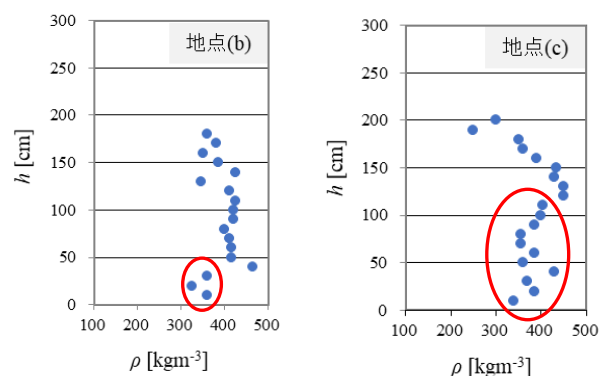


図8 密度プロファイル
(h :測定高さ, ρ :密度)

3. 雪堤崩壊現象の分類

冬期間(2021年1月上旬～2月下旬)において、豪雪地帯である新潟県と長野県の高速道路(関越自動車道、北陸自動車道、上信越自動車道)及び一般道路を自動車で巡回し、雪堤崩壊が発生している箇所の探索とその箇所の状態観察を行った。その結果、雪堤崩壊は「剥がれ型」と「滑り型」の2種類の現象に大別されることが分かった。それぞれの様子を図9～10に示す。「剥がれ型」の例は、(i)関越自動車道(182.6Kp付近)、(ii)国道8号線(新潟県長岡市古正寺町)、(iii)国道403号線(十日町市小白倉)、(iv)国道404号線(新潟県長岡市東谷)で撮影したもので、「滑り型」の例は、(i)国道117号線(長野県野沢温泉村)、(ii)国道351号線(新潟県長岡市日赤町)で撮影したものである。

まず、「剥がれ型」では、切断面は共通してガードレール、ガードケーブルの上方であり、構造物側面の雪堤が道路側に剥がれながら倒れるように崩壊している。また、「滑り型」では、雪堤上部が滑り落ちるように崩れている。全体的には、構造物が存在する箇所では「剥がれ型」、構造物が存在しない箇所では「滑り型」の発生が顕著な傾向にあった。なお、高速道路上では構造物が多いことから、そのほとんどが「剥がれ型」の雪堤崩壊であった。図1で示した大規模な雪堤崩壊も「剥がれ型」に近いと言えるのではないかと推察している。ただし、今冬期間中では小規模の雪堤崩壊がほとんどであり、大規模なものに関しては見られなかった。

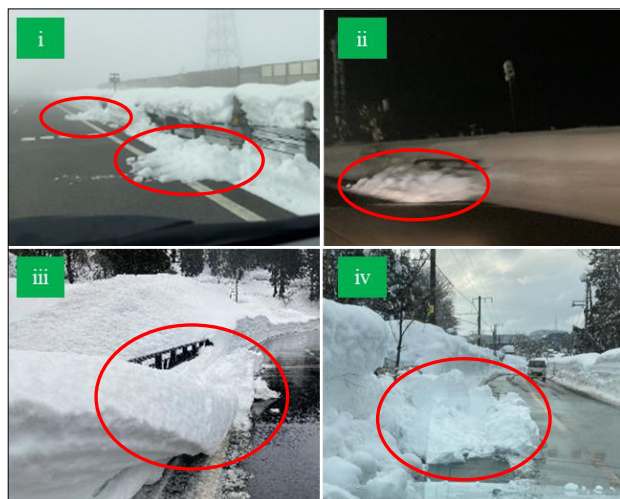


図9 「剥がれ型」雪堤崩壊の例



図10 「滑り型」雪堤崩壊の例

4. おわりに

本研究では、道路雪堤の崩壊現象を引き起こす基礎メカニズム解明の足掛かりとして、雪堤内部の層構造を観察するとともに、密度・硬度・含水率等の物性値の測定を行い、雪堤がどのような状態で成り立っているのかを調査した。また、様々な雪堤崩壊の実例をもとに、崩壊現象を2種類に分類した。

今後は、凍結防止剤の崩壊現象への影響についても調査を進める予定である。道路管理者が行っている雪氷対策は「除雪作業」と「路面の凍結防止剤散布作業」の2種に大別され、寒冷化に伴って路上水分が凍結する恐れがある時に凍結防止剤(湿塩散布車を用いる場合の湿塩量:15gm²)を事前散布しているためである。また、その他の影響度の高い因子を抽出し、雪堤崩壊現象のメカニズムの解明に向けて取り組む予定である。

謝辞

本論文の執筆において、関越自動車道における雪堤の断面観察を実施するに当たり、(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟の岩崎伸一様、鶴見竜也様、(株)ネクスコ・メンテナンス新潟の奥潤一様、宮田勉様には、多大なるご協力とご支援を頂きました。心より感謝いたします。

文献

- 1) 西ら, “雪堤切りアタッチメントによる中央分離帯雪堤処理の効率化”, (株)ネクスコ・メンテナンス新潟, ゆき(97), 雪センター, p.p.86-89, 2014.
- 2) 伊藤陽一, “積雪の状態を雪の断面から読み取るー積雪断面観測法ー”, 国立研究開発法人 防災科学技術研究所, 日本雪氷学会 雪崩対策の基礎技術研修会 (場所: 新潟県南魚沼郡湯沢町) 講義資料, 2018.