

雪堤の力学的特性の基礎的評価

— 雪単層,および雪層境界面のせん断強度に与える各種因子の影響 —

○本間翔大¹・河田剛毅²・永井悠都³・上村靖司⁴・杉原幸信⁴・町田敬⁵

(1:長岡工業高等専門学校専攻科 2:長岡工業高等専門学校 3:長岡技術科学大学大学院

4:長岡技術科学大学 5:町田建設株式会社)

1. はじめに

道路の路肩に積み上げられた雪堤は,崩れて車線に飛び出すと,交通事故発生の原因となってしまう. 特に走行速度が高い高速道路では事故の危険度,重大度が増す.雪堤の崩壊を未然に防ぐ方法を考案するためには,まず崩壊に関係する力学的特性と主要因子の関係を明らかにする必要がある.

雪堤崩壊のパターンの一つとして,雪堤上部が滑り落ちるような崩れがある.雪堤内部のせん断強度が特に低い層(弱層)が起因となって崩れが発生していることが自然である.雪の強度を低下させる要素としては,例えば含水の影響と,塩分の影響が考えられる.冬季,気温が氷点下になることが予想される場合には,凍結防止剤として路面に塩水が撒かれる.路面の雪と混ざった塩水は,走行車両にはじかれて雪堤下部にかかったり,ロータリー除雪車によって雪と共に雪堤に積み上げられたりする.また,層と層の境界面がそもそも脆弱である場合も考えられる.これらの要素で弱層部での崩れが発生する可能性がある.

このほか,ガードレールなどの構造物などからせり出した部分が崩れる現象が観測されている.

これらの情報に基づいて,雪堤崩壊に関係する力学的強度特性の解明のため,「(1)雪単層のせん断強度に与える経過日数と含水状態の影響」,「(2)雪単層のせん断強度に与える塩分の影響」,「(3)雪層境界面のせん断強度に与える経過日数と加圧力の影響」,「(4)せり出し形状になった雪塊のクリープ変形」を実験的に調べた.

2. 実験方法

2.1 雪単層のせん断強度に与える経過日数と含水状態の影響

試料雪を発泡板で作成した型に入れ,コンテナボック

スの中に敷き詰めた砕氷に埋める.これを2セット用意する.片方のコンテナボックスには,水を充填する.所定の日数経過後に型から試料を取り出し,せん断強度試験を行う.

試料雪は,製氷機による氷を氷削機で削って作成した人工ざらめ雪を使用した.全作業通して 0°Cの環境で行った.コンテナボックス内は砕氷または氷水で満たしているため,試料雪はどちらも 0°Cで保存されている.

2.2 雪単層のせん断強度に与える塩分の影響

氷削機で試料雪作成し,枠に入れて数日保存した後,試料雪全体を塩水に浸し,さらに 1 日保存する.この試料を使って,せん断強度試験を行う.

試料雪に人工しまり雪を使用した.-10°Cの環境で試料雪作成を行い,その後の雪の保存とせん断強度試験は-5°Cの環境で行った.

2.3 雪層境界面のせん断強度に与える経過日数と加圧力の影響

試料雪を内寸が 300mm×300mm×高さ 400mm の枠に半分ほど充填し,5 日間保存する.その後,枠のもう半分量の試料雪を入れ,保存する.これによって保存期間の違う層を作る.所定の日数経過後に雪層の境界面を含む部分を切り出し,せん断強度試験を行う.

試料雪に人工ざらめ雪を使用した.全作業通して 0°Cの環境で行った.加圧力の影響を調べるため,1m の積雪を想定した重りを 2 層目の上面に載せた場合と載せない場合の 2 条件設定した

2.4 せり出し形状になった雪塊のクリープ変形

単純な直方体を,せり出し形状となった雪堤上部の簡易モデルとした.

試料雪を簡易モデルに沿った形に成型する。試料雪を台からはみ出るように置いたまま放置し、クリープ変形の様子を撮影する。試料雪の形状、台からはみ出した長さから、せり出し形状の付け根にかかる曲げ応力とせん断応力、安定度を算出する。クリープ変形の様子と算出した安定度の関連を調べる。

試料雪に人工しまり雪を使用した。試料雪作成時は -10°C 、雪の保存は -5°C 、変形の観察は自然環境に合わせて 3°C の環境で行った。

3. 結果

3.1 雪単層のせん断強度に与える経過日数と含水状態の影響

実験結果を図1に示す。日数経過に伴うせん断強度の変化は、含水なしの条件では増加する傾向が認められるが、含水ありの条件では変化が認められなかった。したがって含水ありの条件の方が含水なしの条件よりもせん断強度が低く、その差は日数経過とともに大きくなっていく。

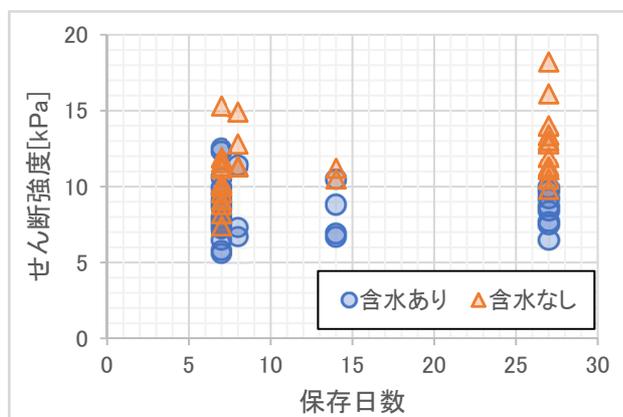


図1 含水の有無によるせん断強度の比較

3.2 雪単層のせん断強度に与える塩分の影響

塩水の濃度と周囲温度によって、雪が融解する場合と融解しない場合がある。それぞれの場合に相当する条件でせん断強度試験を行った結果を塩水の影響を与えていない雪のせん断強度と比較した。雪を融解条件ではせん断強度が下がり、融解しない条件ではせん断強度が高まる事が確認された。

3.3 雪層境界面のせん断強度に与える経過日数と加圧力の影響

重りあり(1mの積雪相当の加圧力)の場合は2層目を積み上げてからの日数経過とともにせん断強度が増加する傾向が見られた。一方、重りなしの場合は明確な変化傾向は見られず、重りありの場合よりもせん断強度が低くなった。

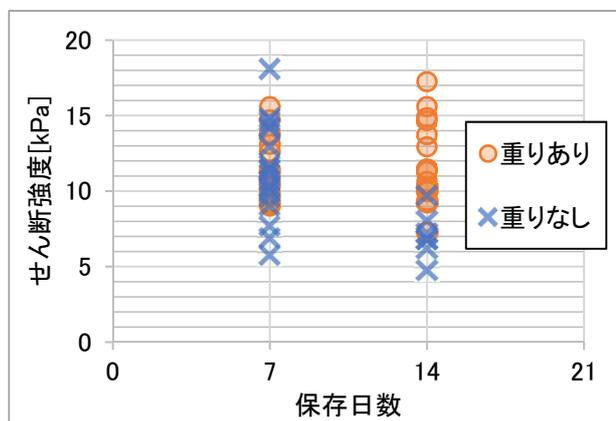


図2 せん断強度に対する加圧の影響

3.4 せり出し形状になった雪塊のクリープ変形

計8個のモデルを作成し観察を行ったが、破壊が起こったモデルは1つのみだった。破壊は観察開始から8時間後におこっていた。積雪安定度を計算すると、曲げ応力に対する積雪安定度は24.9から31.6に上昇、せん断応力に対する積雪安定度は41.6から15.0に低下していた。

4. まとめ

含水による影響は確認することができた。それに対し、塩水による影響は、雪が融解したり凍結しまったりと、うまく評価することができなかった。

境界面のせん断強度については、加圧しないことにより低いせん断強度となることが確認された。今後は、層ごとの雪質を変えて実験を継続する。

クリープ変形の観察は、まだ始めたばかりであり、傾向を掴むには実験データが乏しい。

文献

芝崎ら, "道路雪堤の内部層構造と崩壊現象の分類", 雪氷北信越 第41号, pp.28-30, 2021.