

道路除雪で積み上げられた雪の強度 (主要因子を探るための予備実験)

河田剛毅*1, 池津和輝*2

1. はじめに

積雪地域では積雪そのものによる災害に加え、各種の除雪・消雪処理に伴う安全に関する問題が発生している。これらの中で私は道路除雪により路肩に形成される雪の壁(雪堤)が安全性に及ぼす影響と雪質の関連に着目した。雪堤のモデル図と雪堤の出来る工程を図1,2に示す。道路除雪は交通を円滑にするために必要であるが、最大高さ2[m]程度になる雪堤が別の危険な状況を生む。その一つが雪堤の崩れである。雪堤が崩れた場合、歩行者の妨げや、転落となり、また有効な道路幅の減少から車への被害や事故が発生する。雪堤の崩れが発生する原因として、自重により押し固められた雪が環境、異物の混入等の影響を受け脆弱になったことがあげられる。その事からあらゆる因子の中で最も崩れる影響となった主要因子を解明することを目的とした。そのため、雪堤を構成する雪を特徴づける砂利等の不純物の混入、積み上げ日が異なる雪層の境界、保存期間との影響をパラメータとして雪の力学的特性の評価を行った。

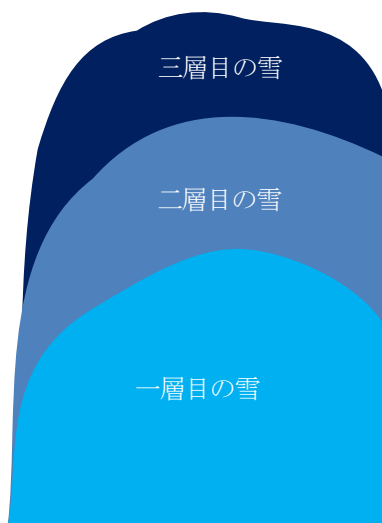


図1. 雪堤のモデル図

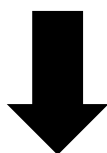
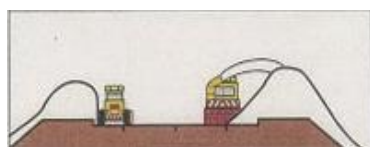


図2. 雪堤の出来る工程

するか定かではない。本研究では保存期間による影響を調べる為7, 8, 14, 15, 30日保存した雪を用いたせん断強度試験を行った。使用する試料雪は温度0~1[°C]に保たれている低温室に高さ200[mm]、内径270[mm]、厚さ40[mm]の発泡パイプの中で試料雪を保存した。さらに断熱のため、四方を厚さ25[mm]の発泡板で覆い、発泡パイプと発泡板の間には水を充填した。

2. 1. 2砂利混入の場合

一般に雪堤には不純物が多く混入している。凍結防止の際に撒かれる塩や消雪に使われる水等がある。その中でも特に砂利が多く混ざっていることがわかっている。また、一般的な雪堤は日を空けて雪が積みあげられて出来るので、複層構造になっている。そこで雪層のひとつに対して砂利の混入が力学的特性に与える影響を調べた。砂利は0.5[mm], 1.0[mm], 3.0[mm]の寸法を用意し、雪1000[g]に対して、砂利約75[g]を混入させた。また、混入量による影響も調べる為、砂利の混入量を増減させた試験も行った。実験終了後に試験片に混入している砂の重量を計測し砂利が均一に混入されているかチェックを行う。本研究で使用する試料雪は縦280[mm], 横400[mm], 高さ1000[mm]の大きさの断熱容器に充填し5[°C]に保たれている低温室で保存した。

2. 2積上げ日が異なる雪層の強度評価

前述の通り、雪堤は複層構造になっている。その雪堤の境界が弱層となり、雪堤のバランスに悪影響を及ぼしている可能性がある。そこでそのような雪層の境目のせん断強度が保存期間による時間と自重による加圧力を変数としてどのように変わるかを調べた。使用する試料雪を作る手順として、5[°C]の低温室に縦200[mm], 横200[mm], 高さ600[mm]の大きさの断熱容器に一層目として高さ300[mm]まで雪を充填する。一週間経過後、1, 2層目の境界がわかるようにチョークを粉末状にしたものを散布し、一層目と二層目の高さが合わせて600[mm]になるよう2層目を積み上げる。その後雪堤の自重による加圧力を考慮する為、充填した雪に約45kgの荷重をかけた。尚、荷重を雪に均一に掛ける為、重りと雪の間にビニール袋に入れた水をかませた。保存状態を図4に示す。

2. 実験内容

2. 1雪層のひとつに対する強度評価

2. 1. 1保存期間を変化させた場合

雪堤は作られてから、7-10日程で融けて無くなり、再度作られる。だが、中でも豪雪が続く事や気温0[°C]を下回る日が続く等環境により、10日以上雪堤が融けない事がある。現在では雪が長い期間保存されて強度や結晶構造が如何に変化

3. 実験方法

試料として用いる雪は天然のざらめ雪を基本とするが、その入手ができないときは製氷機による氷を削って作った粒子直径、形がほぼ等しい人工雪を用いる。

3. 1 実験装置

*1 長岡工業高等専門学校

*2 長岡工業高等専門学校専攻科

3.1.1 せん断試験

せん断強度試験装置を図4に示す。試験片の変位量と、抵抗力はレーザー変位計とロードセルによって測定される。せん断試験は、試験片を挿入部に固定し、可動部をモーターで引っ張ることでせん断強度を測る。

3.1.2 硬度試験

携帯式デジタルフォースゲージにより硬度を測定する。アタッチメントは直径1.5[cm]の円板を使用し、デジタルフォースゲージに取り付け、秒速10[cm]程の速さで1-2cm貫入させたところで止め、最大反抗力を測定する。

3.1.3 密度測定

保存した雪を縦100[mm]、横200[mm]、高さ300[mm]程度に切り出し、密度測定を行う。切り出した雪塊をビニール袋に入れ空気を抜き密封する。その後約0[°C]の水を入れた円筒容器にビニール袋に入れた雪塊を上からブロックを押し当て水中に沈める。事前に円筒容器の中の水の水位を測り、その後沈めた後の水位を測ることで、雪塊の体積を算出し、その体積と質量から密度を求める。

3.2 実験手順

実験の手順は雪層一つに対する強度評価、積み上げ日が異なる雪の強度評価共に同じであるが、後者は境界面に対してせん断強度試験、硬度試験、粒子観察を行う。

- (1). 試料雪を保存容器から取出し、密度測定を行う。
- (2). 試料雪から、縦100[mm]、横200[mm]、高さ60[mm]の試験片を切り出し、せん断強度試験を行う。尚、積み上げ日が異なる雪層の強度評価で使用する試料雪は1層目と2層目の境目が横100[mm]の辺りになるように試験片を切り出す。
- (3). 硬度試験を行う。
- (4). 粒子構造を評価するため、顕微鏡による粒子観察を行う。

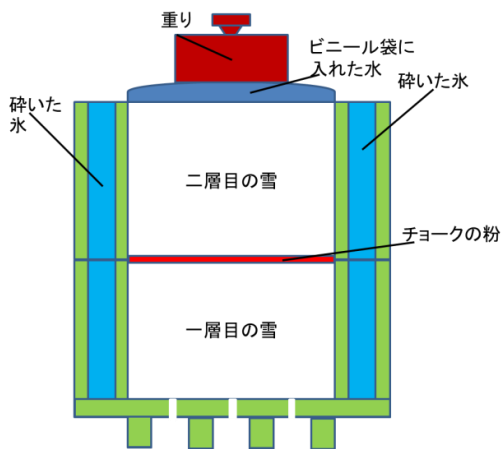


図3. 積み上げ日が異なる雪層の強度評価で用いる保存容器

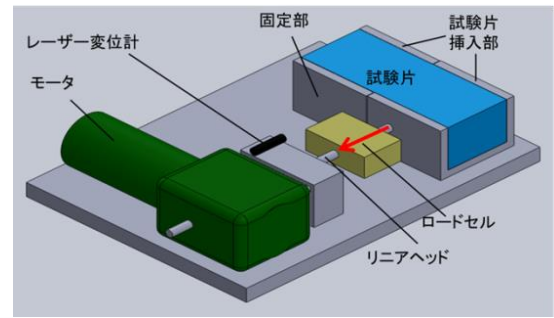


図4. せん断強度試験機

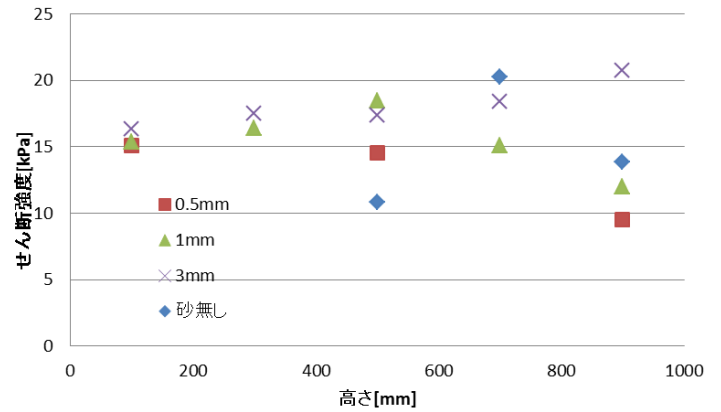


図5. 砂利混入に伴うせん断強度変化

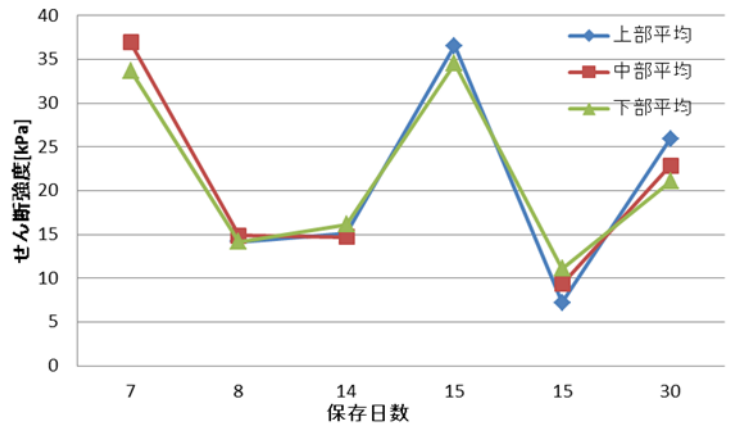


図6. 保存期間に伴うせん断強度変化

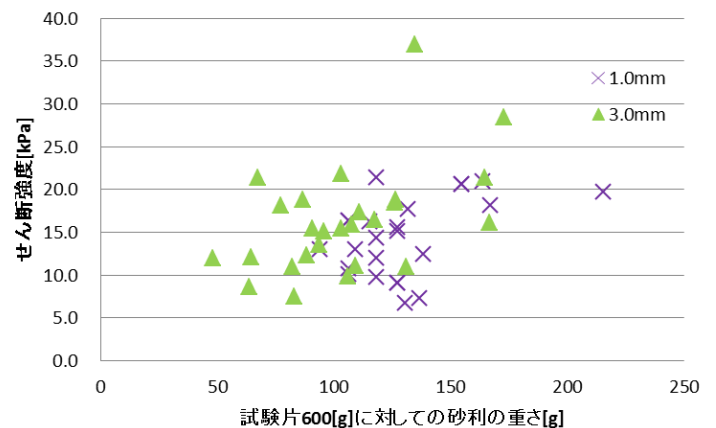
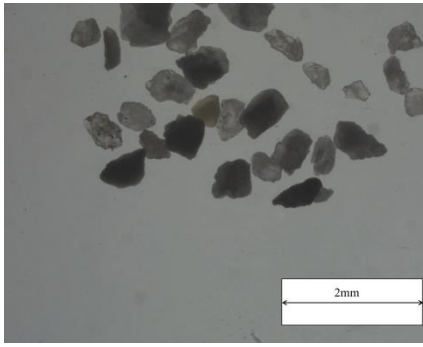
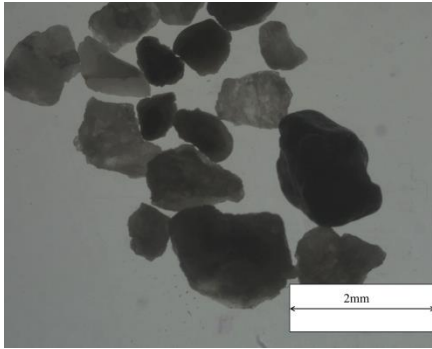


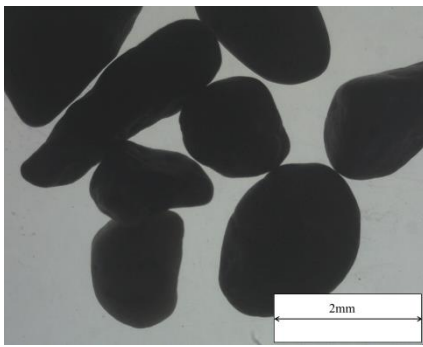
図7. 砂利混入度に伴うせん断強度変



(a) 砂利寸法0.5mm



(b) 砂利寸法1.0mm



(c) 砂利寸法3.0mm

図8. 顕微鏡による各砂利の写真

4. 実験結果

以下、条件別に0.5[mm]、1.0[mm]、3.0[mm]の砂利を混入させた場合と砂利を混入させてない場合を「砂利0.5mm混入」、「砂利1.0mm混入」、「砂利3.0mm混入」、「砂利混入なし」とするまた、図の高さとは保存容器の上からの高さの場所から試験片を取り出したことを意味する。この高さにより受ける自重が変化する。

4.1 雪層一つに対する強度評価について

4.1.1 保存期間を変数とした場合

7, 8, 14, 15, 30日保存した雪を用いての実験で得られたせん断強度を図4に示す。保存期間に伴いせん断強度が変化していることがわかる。特に7日保存した場合はせん断強度が概ね37[kPa]と高く、8日・14日保存した場合は15[kPa]と低い結果になった。また、30日保存した際は、23[kPa]となった。雪は保存している間に融ける、固まる、結合のサイクルを行っていると考えられている。このサイクルにより保存期間毎に

せん断強度が変化している考えられる。

4.1.2 砂利混入の場合

各砂利寸法が混入している雪と砂利が混入していない場合の実験で得られたせん断強度を図3に示す。

初めに、砂利混入無しの特徴を説明する。せん断強度最少は10.5[kPa]、最大は20.2[kPa]であった。ばらつきがあるが、概ねせん断強度は15[kPa]だと推測できる。

二つ目に0.5mmの寸法の砂利を混入させた場合の特徴を説明する。最小のせん断強度は9.51[kPa]、最大で21.0[kPa]であった。高さが300[mm]から900[mm]でのせん断強度は概ね17[kPa]であるが、高さ100[mm]ではそれより低い値を取った。一般的な雪は保存している高さによる違いは出ない。しかし、砂利が混入している場合、自重により固くしまっている雪に対しては上記と同じだが、自重をほぼ受けてない上方の雪だと砂利の影響を十分に受け、せん断強度が低下していることがわかった。上方は砂利混入無しに比べ砂利0.5[mm]混入はせん断強度が低かった。砂利混入による影響が出ていると考えられる。しかし、下方では砂利混入無しの方がせん断強度が小さくなっている。自重を大きく受ける下方の雪では、砂利混入による影響は出ない。もしくは、砂利の混入によりせん断強度が大きくなっているかもしれない。

三つ目に、砂利の寸法1.0[mm]を雪に混入させた場合の特徴を説明する。最小のせん断強度は12.0[kPa]、最大で18.4[kPa]であった。砂利1.0[mm]混入の場合でも、自重をあまり受けない上方の雪のせん断強度が一番低い結果になった。砂利混入無しと比べると砂利0.5[mm]混入の場合と同様上方で砂利混入無しよりせん断強度は低くなっているが、下方では高くなっている。また、下方のせん断強度はさほどせん断強度に違いがない。

四つ目に砂利の寸法3.0[mm]を雪に混入させた場合の特徴を説明する。最少のせん断強度は16.3[kPa]、最大で20.7[kPa]であった。砂利混入3.0[mm]では、全てのせん断強度が16.0[kPa]以上となった。また、下方より自重をあまり受けない上方の雪のせん断強度が高い結果になった。これは砂利の寸法の大きさの違いによるせん断面の砂利の分布による影響が出ていると考えられる。砂利の混入量は重量で決めている為、0.5[mm]の砂利に比べ3.0[mm]の砂利の個数は少なくなっている。それにより、砂利3.0[mm]混入では試験片の中の砂利分布が不均一になってしまい、せん断面における砂利の量が少なくなってしまうと推測した。砂利混入無しと比べると、ほぼ砂利3.0[mm]混入のほうがせん断強度が高い結果になった。砂利の寸法が3.0mmの場合はせん断強度に変化は見られない。

続いて、砂利混入無しと各砂利寸法混入の比較を行う。上方では、砂利3.0[mm]混入を除いて、砂利混入無しより砂利を混入させた場合において、せん断強度が低下している。逆

に、下方では砂利混入無しの方がせん断強度は低い。これらから、上方では砂利を入れることによりせん断強度は低下するが、下方では増加することがわかった。また、多少ばらつきはあるが、砂利の寸法が小さいほど、せん断強度が小さくなることがわかった。

顕微鏡により、各砂利寸法の写真を図8に示す。砂利は寸法が大きくなるにつれて角が取れている。砂利の寸法は0.5[mm], 1.0[mm], 3.0[mm]に分けているが各々若干小さい砂利や大きい砂利が含まれている。

今回硬度試験を試みたが、著者の試験の手順、試験環境に不備があったせいか数値が大きくばらついてしまった為、本研究での硬度試験に対する考察は割愛させて頂く。

4.1.3砂利混入量を変数とした場合

砂利混入変化によるせん断強度変化を図7に示す。図の横軸は雪1000[g]に対して、約75[g]を混入している場合100[%]としている。1.0[mm]の砂利の混入量を変化させた場合では、最少混入量75[%]に対してせん断強度は13.0[kPa]。最大混入量172[%]に対して19.7[kPa]であった。砂利の混入具合104[%], 109[%]の時にせん断強度は低い値を取っているが、ほぼ同等の混入具合の時でもせん断強度が高い値をとっているケースもある。3.0[mm]の砂利の混入量を変化させた場合では、最少混入量39[%]に対してせん断強度は11.9[kPa]。最大混入量138[%]に対して28.4[kPa]であった。こちらもせん断強度が低い値をとっているケースはあるが、ばらつきが多く一概には言えない。これらのことから砂利の混入量とせん断強度の関係性は無いという結論にいたった。

4.2積み上げ日が異なる雪層の強度評価

境界面によるせん断強度試験の結果を図9に示す。一回目の最小せん断強度は24.3[kPa]、最大は45.3[kPa]となった。全体的にせん断強度は20[kPa]を超えており、境界面により、せん断強度が低下することは見受けられなかった。これは、雪堤における自重を考慮した圧力を加えた影響だと考えられる。雪堤の大きさは一般に2[m]前後である。その為本研究では、雪堤の高さ1[m]辺りの雪が受けている自重45[kPa]を保存している試料雪に加圧したので、その分試料雪が固くしまりせん断強度が増加したと考えられる。また、硬度試験を行った際こちらも高い値が出ている。続いて2回目の試験での特徴を説明する。二回目のせん断強度最小は9.2[kPa]、最大は46.2[kPa]となった。せん断強度46.2[kPa]、29.3[kPa]等高い数値もあるが、9.2[kPa]、11.5[kPa]等過半数の数値が20[kPa]を下回った。これは、境界によるせん断強度低下の低下が現れていると考えられる。しかし、一回目の試験では全体的にせん断強度は高かったため確認にはいたらない。今後の課題である。また、せん断強度試験最中のビデオ撮影より、境界面以外で割れが発生している、割れが曲がっている等の場合の数値は省いているので、境界面による試験を行っている事は

確かである。

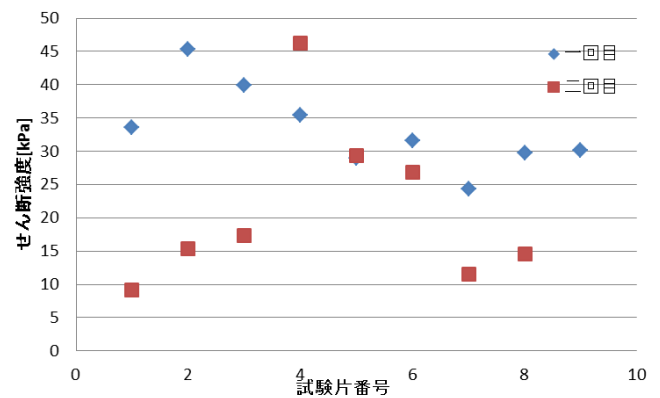


図9. 境界面におけるせん断強度

5. まとめ

雪害対策の一環として、道路除雪により形成される雪堤について不純物混入、保存期間に伴う雪質変化や複層構造によって形成される境界面等の様々な条件における雪の強度試験を行った。その結果得られた知見をまとめると以下の通りである。

- ・雪に砂利を混入させることにより、雪堤の上部の雪はせん断強度は低下する。雪堤の下部にあたる自重をかなり受ける雪は砂利を混入させてもせん断強度はさほど変わらない。また、一般的な雪堤に含まれている砂利は雪1000[g]に対して、約75[g]を混入している。本研究では、前述の混入具合とすると、砂利混入100[%]とした。砂利混入75[%]、170[%]等せん断強度試験を行ったが、混入具合とせん断強度に明確な関係は見受けられなかった。そして、保存日数によりせん断強度は大きく増減したが、関係性はまだ調査しきれていない。
- ・雪堤の複層構造に着目し、それらの境界面を模した試験片を作りせん断強度試験した。境界面によりせん断強度が低下した結果は得られたが、せん断強度が増加している事象もあり、まだ確認には至っていない。

6. 今後の展望

雪は、保存期間や自重の影響により、全く異なった性質の雪になってしまう。なので、保存期間、加圧力を変えるなど個々の条件によって如何に性質が変わるのか今後明らかにしていきたい。それと、積み上げ日が異なる雪層に不純物を混入させ、せん断強度が低下するののかも合わせて検証していく所存である。

参考文献

- 1) 携帯式荷重測定器による積雪硬度の測定と木下式硬度計との比較 佐藤威、阿部修、小杉健二、納口恭明 日本雪氷学会誌 雪氷 64巻1号(2002年1月) 87-95頁