

新潟大学災害・復興科学研究所  
共同研究報告書

## 積雪の地域特性に即した雪崩対策の研究

研究代表者氏名 池田 慎二<sup>1)</sup>  
研究分担者氏名 和泉 薫<sup>2)</sup>, 秋山 一弥<sup>3)</sup>, 松下 拓樹<sup>1)</sup>

- 1) 国立研究開発法人土木研究所 雪崩・地すべり研究センター  
2) 新潟大学 災害・復興科学研究所  
3) 筑波大学生命環境系 大学院生命環境科学研究科 (元国立研究開発法人土木研究所)

### 研究要旨

雪崩対策施設の設計において、積雪の密度は重要な要素である。しかし、現行の設計積雪密度は、積雪深との関係のみを用いて算出され、気温などの影響によって各地域でみられる多様な積雪特性を十分に考慮しているとはいえない。本研究では、積雪の地域特性に即した積雪密度の推定方法として、積雪の温度環境を考慮した推定方法を検討することを目的に、新潟県と長野県で毎月1回の積雪断面観測を実施し、積雪の全層平均密度を目的変数、積雪深と全層平均雪温を説明変数とする重回帰分析を行った。その結果、積雪の地域特性として雪温を考慮した積雪の全層平均密度を推定する式を得た。

### A. 研究目的

積雪の密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) は、雪崩対策施設の設計や積雪寒冷地域における建築物の雪荷重算出に欠かせない要素である。建築物荷重指針・同解説(2015)における雪荷重の算出では、単位面積あたりの積雪質量を積雪深で除した等価単位積雪重量 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) が用いられ、地上の年最大積雪深との経験的な関係式から求められる。雪崩対策施設の設計では、積雪密度は一律の値(例えば、 $350\text{kg}/\text{m}^3$ ) が用いられることが多い。しかし、積雪は、その地域の気温や降水量等の条件によってその量と質ともに大きく異なり、積雪密度は変化する。このような積雪の地域特性を考慮した積雪密度を見積もることができれば、より対象地域に即した雪崩対策施設や建築物等の設計が可能になると考えられる。

本研究では、積雪の地域特性に即した積雪密度の推定方法について、積雪断面観測による積雪密度や雪温の観測値を用いて検討を行った。

### B. 研究方法

多様な気象条件下における積雪特性に関するデータを取得するため、図1に示す6地域9地点において、1ヶ月に1回の頻度で全層の積雪断面観測を行った。観測箇所は中部山岳地の5地域5地点と日本海側の新潟県糸魚川市能生地区の1地域4地点(合計9地点)である。

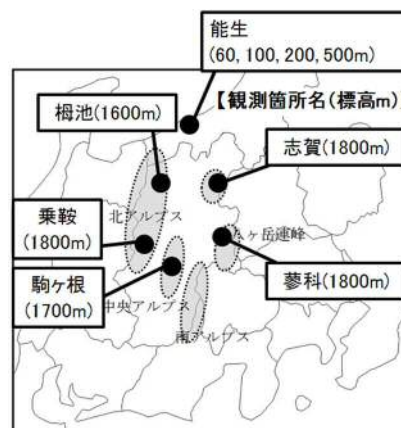


図1 積雪断面観測箇所。

積雪断面観測は、積雪に観測孔を掘り、その断面に対して、雪温と密度の測定を 10~20cm ごとあるいは積雪層ごとに行った。雪温はサーミスタ温度計を用いて、密度は 100cm<sup>3</sup>の容量の角型密度サンプラーで雪を採取してその質量を測って求めた。全層積雪水量 (mm) は、このように測定された密度を各積雪層の厚さに対する重み付けを行い求めた。このように求めた全層積雪水量と神室型スノーサンプラーで直接測定した全層積雪水量は、ほぼ一致することを別の観測で確認している。全層平均密度は、全層積雪水量に水の密度を乗じて積雪質量 (kg/m<sup>3</sup>) とし、これを積雪深の観測値で除して求めた。積雪断面観測は、上記 9 地点において 2014 年 12 月から 2015 年 4 月の期間、ひと月に 1 回の頻度で実施した。

### C. 研究結果

積雪断面観測を行った各地点の最大積雪深は、柵池で 420cm、志賀で 338cm、乗鞍で 288cm、駒ヶ根で 204cm、蓼科で 94 cm、能生 (60m) で 80cm、能生 (100m) で 184cm、能生 (200m) で 278cm、能生 (500m) で 498 cm である。

図 2 は、積雪深と全層積雪水量の時間変化を比較した例として、柵池と能生 (500m)、駒ヶ根と能生 (100m) を比較したものである。各図のこれらの地点はほぼ同じ積雪深だが、柵池や駒ヶ根に比べて能生 (100m, 500m) は同じ積雪深でも早い時期に積雪密度が大きくなり、400kg/m<sup>3</sup>を超えた。

図 3 は、全 9 地点の各観測時の積雪深と全層平均密度の関係である。積雪深が大きいほど全層平均密度の下限値が大きくなり、積雪の圧密過程による密度増加を示している。しかし、積雪深が小さいほど全層平均密度はばらつき、積雪深が 100cm の場合、全層平均密度は 100kg/m<sup>3</sup> から 500kg/m<sup>3</sup> までの範囲にある。また、同じ積雪深でも全層平均雪温が低いと全層平均密度は小さく、雪温が 0℃になると密度は 400kg/m<sup>3</sup> 以上と大きくなり、融雪に伴う密度増加を示している。

以上、図 2 と図 3 より、ひと月に 1 回の積雪断面観測ではあるが、積雪の全層平均密度が積雪深と雪温に関係して変化する積雪の地域特性を示すデータが得られたと考えられる。

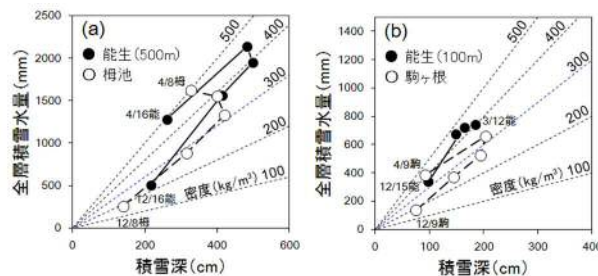


図 2 積雪深と全層積雪水量の時間変化の例。(a) 能生 (500m) と柵池, (b) 能生 (100m) と駒ヶ根。

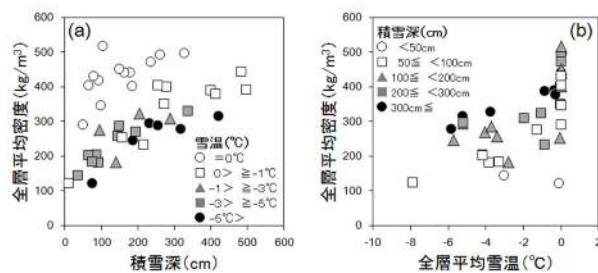


図 3 全層平均密度と (a) 積雪深, (b) 全層平均雪温の関係。

### D. 考察

積雪断面観測の結果より、積雪の全層平均密度が積雪深と雪温に関係していることから、積雪深  $d$  (cm) と全層平均雪温  $\bar{T}$  (°C) を説明変数、全層平均密度  $\bar{\rho}$  (kg/m<sup>3</sup>) を目的変数として重回帰分析を行った。積雪深  $d$  は、城・桜井 (1993) や阿部・清水 (2004) にならうその平方根を説明変数とした。全 9 地点の毎月の観測値に対する重回帰分析の結果、式 1 を得た。

$$\bar{\rho} = 10.50\sqrt{d} + 29.74\bar{T} + 240.5 \quad \text{式 1}$$

図 4 に、全層平均密度の観測値と式 1 から求めた計算値を比較した。二乗平均平方根誤差 (RMSE) は 66.4 kg/m<sup>3</sup>、相関係数は 0.779、決定係数は 0.607 である。

図 5 は、全層平均密度と積雪深の観測値の関係に、式 1 による雪温 0℃, -3℃, -5℃の計算値を示したものである。全体的に積雪深が大きくなるほど、また雪温が高いほど全層平均密度は大きくなる傾向が表現されている。雪温 0℃の全層平均密度の観測値 (図中の○) が、式 1 の計算値を上

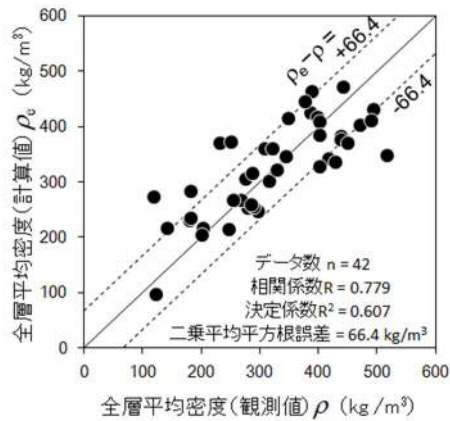


図4 全層平均密度の観測値と式1の計算値比較

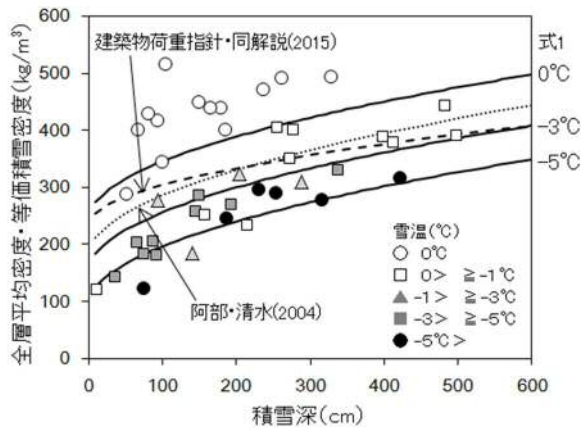


図5 全層平均密度と積雪深，平均雪温の関係。  
 図中のプロットは観測値，実線は式1の計算値。

回る場合があるが，融雪が進行して融雪水を多く含む湿雪と考えられる。また，図5には，建築物荷重指針・同解説(2015)で示されている関係と，阿部・清水(2004)による山岳地の積雪を考慮した関係も示す。これらの関係は，等価単位積雪重量または密度（ひと冬の期間の最大積雪水量を最大積雪深で除した値）に対するもので，図の縦軸は密度の単位で表している。今回の積雪断面観測で得た全層平均密度は，ひと月に1回の観測値であり，厳密には等価単位積雪密度または重量ではない。しかし，図5より，式1は既往の関係式と変化の傾きや傾向がおおむね一致している。また，建築物荷重指針・同解説(2015)で用いられている関係式は，式1の関係式でみるとおよそ雪温-1~-2°Cの状態に対応する。

## E. 結論

積雪の地域特性として雪温を考慮した全層平均積雪密度を求める場合は，式1のような考え方で関係式を求め，算出することができると考えられる。今回の観測値のうち最大積雪深と最大積雪水量から求めた等価単位積雪重量に近い値を用いた場合でも，データ数は少ないが，式1と同様な結果となる。ただし，式1の実用性を考えると，雪温よりも気温など一般的に広く観測されていて入手しやすい要素との関係式が望まれ，これは今後の課題である。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

池田慎二，松下拓樹，和泉薫，中部山岳地における積雪の地域特性の研究～等価積雪密度の地域特性～．雪氷北信越，35号，pp. 39，日本雪氷学会北信越支部大会，2015年6月，松本市。

池田慎二，松下拓樹，和泉薫，低気圧の通過に伴う降雪結晶弱層の形成と雪崩の発生について．雪氷北信越，35号，pp. 49，日本雪氷学会北信越支部大会，2015年6月，松本市。

池田慎二，松下拓樹，和泉薫，2015：低気圧の通過に伴う降雪によって形成された弱層の観察事例．雪氷研究大会（2015・松本）講演要旨集，pp. 256，雪氷研究大会（2015・松本），2015年9月，松本市。

## G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし