

## 積雪の有効間隙率の推定

荒川逸人<sup>1</sup>, Emilie Zermatter<sup>2</sup>, Martin Schneebeli<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 野外科学株式会社

<sup>2</sup> スイス連邦工科大学

<sup>3</sup> スイス雪雪崩研究所

### Estimation of Effective Porosity of Seasonal Snow

Hayato Arakawa<sup>1</sup>, Emilie Zermatter<sup>2</sup> and Martin Schneebeli<sup>3</sup>

<sup>1</sup> YAGAI-KAGAKU Co., Ltd.

<sup>2</sup> Department of Mechanical and Process Engineering, ETH Zurich

<sup>3</sup> Institute for Snow and Avalanches Research SLF WSL

Pore of snow dominates the movement of water or air in the snow. Snow permeability express ease of flow and is often expressed by grain size and snow density. Because pore has dead space, the relationship between characteristics of pore (porosity or pore size) and permeability is not good. We constructed a conduit flow model which ratio of the flow part area of tube area was incorporated. However, this model had two unknown parameters, which are the ratio  $R_a$  and tortuosity. Zermatter<sup>1</sup> had solved numerically snow permeability using direct pore-level simulations (DPLS) and 3D geometrical data obtained from  $\mu$ -CT. Since tortuosity of pore had been calculated in this computing process, we had been able to obtain effective porosity of snow.

積雪の間隙は融雪水や空気の移動を支配する。積雪内の流体の流れやすさをマクロ的に示す固有透過度があるが粒径と密度で表されることが多く、間隙率や間隙径といった間隙特性との関連があまりよくない。この理由は間隙には流れに関与しない死水空間があるためである。すなわち、積雪内の流体の流れを理解するためには、死水空間を除いた間隙、有効間隙率を見積もることが重要といえる。

本研究では、ダルシーの法則とハーゲンポアズイユ流を結びつけ固有透過度を推定する一般的な手法に、積雪内の流れがどれだけ遠回りしたかを示す迂回率  $\tau$  ( $\geq 1$ ) と実質的に流動に関与する間隙径  $R_a d_T$  ( $R_a$  は比率で  $0 < R_a \leq 1$ ,  $d_T$  は間隙径) を組み込んだ単一径円管束モデルを構築した。間隙率を  $\phi$ , 固有透過度を  $k$ , 間隙径を  $d_T$  とすれば,  $\tau/R_a^2 = (\phi/32k)^{1/2} d_T$  の関係が得られるが,  $\tau$  と  $R_a$  は未知数のため左辺しか求めることができなかった。迂回率  $\tau$  が求めれば,  $R_a$  が決まるので, 有効間隙率  $\phi_e$  は,  $\phi_e = R_a^2 \phi$  で求めることができる。

著者らは、2007/08 冬期の北海道において、密度や固有透過度などの積雪観測をおこない、現地で積雪試料を採取しフタル酸ジメチルで固め保存していた。このうち 34 試料がスイスでマイクロ X 線 CT によって 3 次元計測された。Zermatter<sup>1</sup> は、流体シミュレーションにより、積雪の 3 次元データを用い固有透過度を計算した。この過程で積雪の迂回率  $\tau$  が計算されたので、有効間隙率  $\phi_e$  が求められるようになった。

表 1 に雪質別の密度、間隙率  $\phi$ , 比率  $R_a^2$ , 有効間隙率  $\phi_e$  を示す。全体的にみると、間隙率の 32~87% が流動に関わり、13~68% が死水空間になることが示された。しまり雪(RG)はこしまり雪(DF)に比べて、圧密等によって間隙が小さくなり空気が流れにくくなるだけでなく、有効間隙率も減少傾向を示し、更に流れにくい性質を持つ雪質であることが示された。また、しもざらめ雪(DH)はこしもざらめ雪(FC)に比べると、間隙率はあまり変わらないが、有効間隙率が大きい傾向にあることもわかった。

温度勾配変態によって粒子が成長し、空気の流れやすい空間が形成されることを示唆している。また、間隙率や有効間隙率と固有透過度を指数関数で回帰すると、間隙率と固有透過度の相関係数は 0.61 であったのに対して、有効間隙率との相関係数は 0.76 と相関関係が良好になった。以上より、積雪の通気度の測定から有効間隙率が推定できる可能性が示され、今後、積雪内の流体の移動の理解に有効な手段となると考えられる。

Table 1. Porosity, Ratio and Effective Porosity

Snow type Code (IGSSG <sup>2</sup> )	Porosity $\phi$	Ratio $R_a^2$	Effective Porosity $\phi_e$
DF	0.68-0.86	0.42-0.66	0.29-0.50
RG	0.46-0.62	0.33-0.87	0.20-0.50
FC	0.68-0.73	0.32-0.69	0.21-0.48
DH	0.70-0.72	0.59-0.87	0.40-0.61
All	0.46-0.86	0.32-0.87	0.20-0.61

### References

- 1) Zermatter, E., M. Schneebeli, H. Arakawa and A. Steinfeld, 2014: Tomography-based determination of porosity, specific area and permeability of snow and comparison with measurement. *Cold Reg. Sci. Tech.*, **97**, 33-40.
- 2) UNESCO, 2009; The International Classification for Seasonal Snow on the Ground, ICSI-UCCS-IACS, UNESCO, Paris.