

ベーンの回転速度と剪断強度および プッシュゲージの直径と硬度との関係

横山博之, 松澤 勝, 松下拓樹, 布施浩司, 坂瀬 修, 吾田洋一
((独) 土木研究所 寒地土木研究所)

1. はじめに

道路のり面で雪崩が発生し、通行止めとなった場合、積雪の剪断強度を把握することは、通行止め解除の判断に際して重要である。しかしながら、シアーフレーム試験は測定に手間と時間がかかるため、現在は現場技術者や有識者の経験に基づいて通行止め解除の判断を行っている。そこで、著者らは道路維持管理現場での利用を想定し、明確な弱層が存在しない場合はポータブルベーン試験器、弱層が存在する場合にはプッシュゲージによる積雪剪断強度把握の可能性について、研究を進めている。

本研究の前半では、ポータブルベーン試験器の回転速度と剪断強度の関係を述べる。栗山らの研究^{1) 2)}ではベーン回転速度が 0.25 rad/s を超えると積雪剪断強度の変化は小さいとされているが、これについての検証である。

後半では、プッシュゲージアタッチメントの直径と積雪硬度との関係について述べる。竹内ら³⁾は直径 8 mm 以上では計測値がほぼ一定になるとしている。これに対し、佐藤ら⁴⁾は直径 8 mm 以上でも計測値は減少傾向にあるとしているので、これらに関する検証である。

2. ベーンの回転速度と積雪の剪断強度との関係について

2. 1 試験器具

使用したポータブルベーン試験器(写真1)は、図1のようなアタッチメント(板材質 SUS304, 丸棒 $\phi 4$)をデジタルトルクドライバーに装着したものである。



写真1 ポータブルベーン試験器

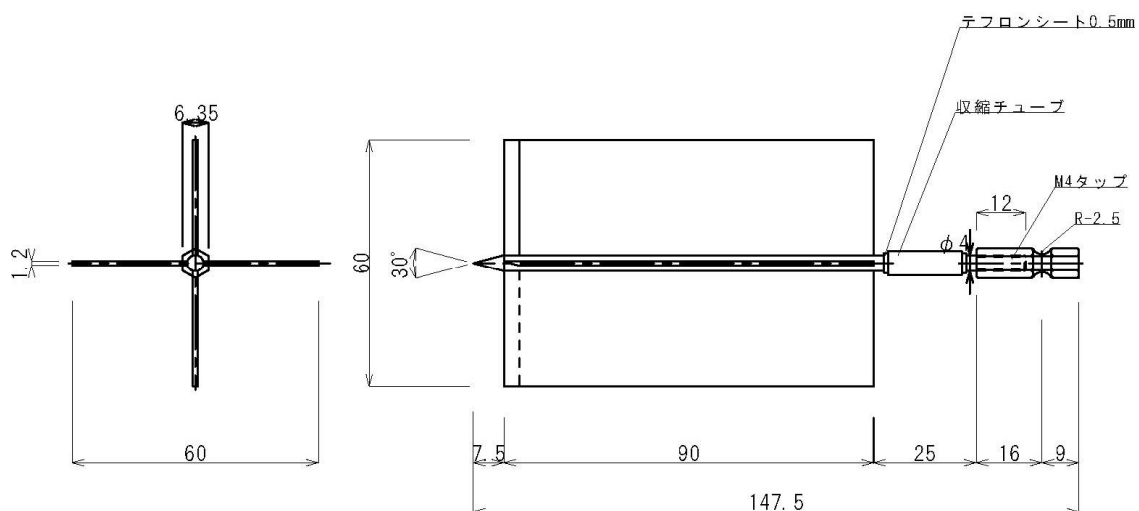


図1 アタッチメント

2. 2 試験方法

試験は、平成 21 年 2 月 2 日に札幌市近郊の中山峠で行った。測定は積雪表面からの深さが 10, 20, 30 cm の位置で、鉛直に切り出した積雪断面に対し、ベーン試験器を水平に貫入し、回転時間を約 1, 2, 4, 6, 8 秒の 5 パターンで、概ね 1 ラジアン (約 60 度) 回転させた。回転速度に換算するとそれぞれ 1.00, 0.50, 0.25, 0.17, 0.13 rad/s となる。1 パターンにつき 5 回計測を行い、それぞれ平均した値を測定値とした。同時に雪質の観察と雪温および雪密度の測定を行い (表 1)、同時にシアーフレーム試験も行った。

本論文ではベーン試験による積雪の剪断強度 (Pa) を SVI (Shear Vane Index) と定義し、以下の式で与えられるものとする^{1) 2)}。

$$SVI = T / \pi \left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6} - \frac{d^3}{12} \right) \cdots (1)$$

深さ (cm)	雪質	雪温 (°C)	密度 (kg/m ³)
10	こしまり	-6.4	103
20	こしまり	-8.0	128
30	しまり	-7.4	225

表 1 測定対象の積雪状態

ここで、 T はトルク値 (N・m)、 D はベーン幅 (m)、 H はベーン高さ (m)、 d はベーン直径 (m) である。図 1 から $D=0.06$ m、 $H=0.09$ m、 $d=0.004$ m となる。

2. 3 試験結果

図 2 に、雪密度毎のベーン回転速度とベーン剪断強度の関係を示す。栗山^{1) 2)} と異なり、回転速度が 0.25 rad/s を超えても、回転速度の増加に伴い、ベーン剪断強度は小さくなっている。

図 3 は回転速度の違いによるベーン剪断強度とシアーフレーム剪断強度の比である。ベーン回転速度が増すほど、ベーン剪断強度はシアーフレーム剪断強度に近づいている。

2. 4 考察

ベーン回転速度が小さくなるほど、ベーン剪断強度は大きくなる。これは、回転速度が小さいとき、ベーン外周部にクラックが入ることが観察されており、このことが影響していると考えられる。

今回の試験では、ベーンを早く回転させるほどベーン剪断強度は小さくなり、かつベーン剪断強度がシアーフレーム剪断強度に近づいている。これらより、ベーン剪断強度を計測する場合には、1 rad/s 以上の回転速度域が適していると考えられる。

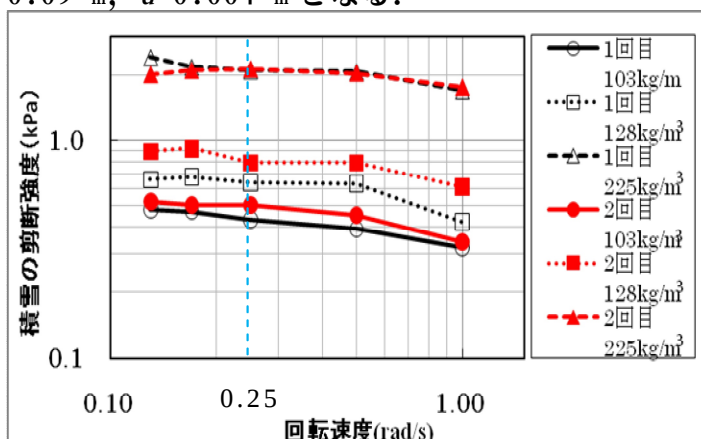


図 2 ベーン回転速度とベーン剪断強度

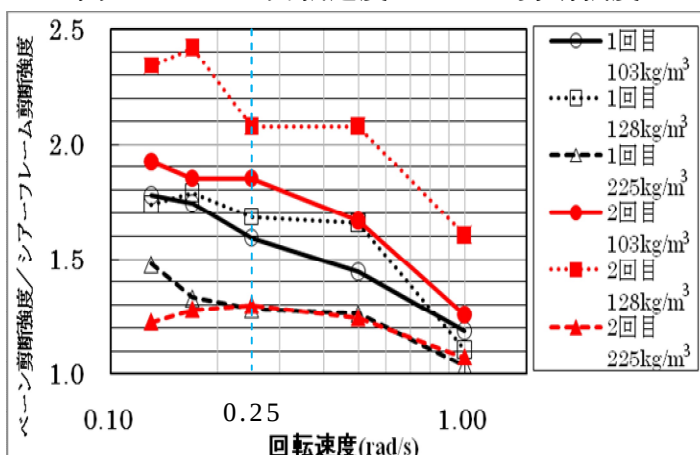


図 3 回転速度の違いによるベーン剪断強度とシアーフレーム剪断強度の比

3. プッシュゲージのアタッチメント直径と硬度との関係について

3. 1 試験器具

今回の試験で使用した器具は、直径8,14,20,40,60 mmのアタッチメントとプッシュゲージである(写真2)。直径8 mmのアタッチメントは真鍮製,その他の径はアルミ製である。

3. 2 試験方法

試験は鉛直に切り出した積雪断面に対してプッシュゲージを水平方向に貫入させた。アタッチメントの貫入深は約1 cm,貫入時間は約1秒以内とし,貫入中の最大反抗力の計測を行った。最大反抗力をアタッチメントの断面積で除して積雪硬度とした。なお,雪質の影響を抑えるため各アタッチメントの測定箇所は可能な限り集中させた。測定場所と積雪条件を表2に示す。

3. 3 試験結果

図4に,こしまり雪としまり雪別のアタッチメント直径と積雪硬度の関係を示す。どちらの雪質でも,アタッチメントの直径が大きくなるにつれて積雪硬度は減少している。直径8~20 mmでの積雪硬度減少は顕著であり,直径20~60 mmの減少傾向は比較的緩やかである。



写真2 プッシュゲージとアタッチメント

表2 測定場所と積雪条件

測定場所	測定月日	雪質	雪密度 (kg/m ³)	雪温度 (°C)
札幌市豊平区	1月22日	こしまり雪	106	-3.9
		こしまり雪	196	-2.5
		しまり雪	316	-2.0
	2月9日	こしまり雪	143	-2.0
		こしまり雪	150	-1.6
		こしまり雪	156	-1.3
喜茂別町中山峠	2月19日	こしまり雪	160	-3.5
	2月24日	こしまり雪	154	-1.7
		しまり雪	149	-7.9
		しまり雪	191	-7.9
東川町旭岳	3月13日	しまり雪	219	-7.4
		しまり雪	211	-7.4

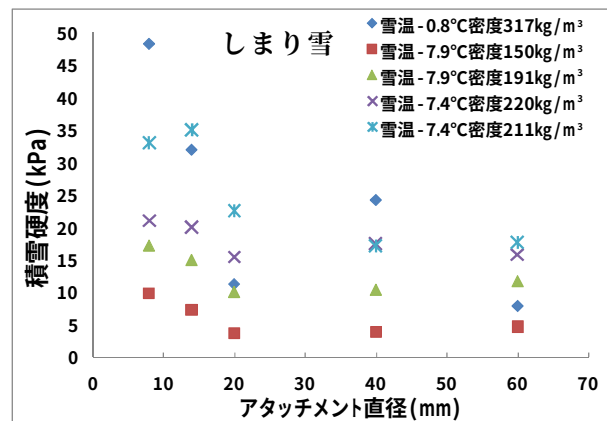
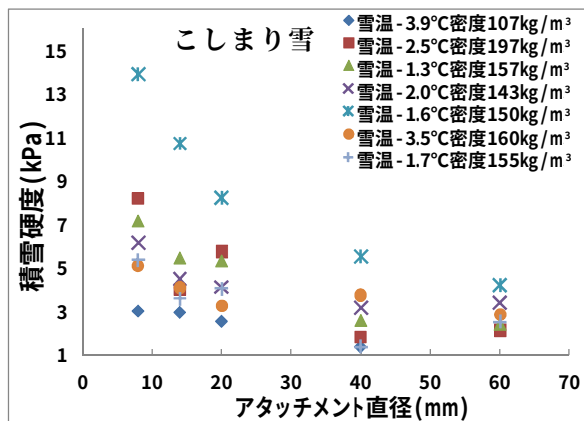


図4 アタッチメント直径と積雪硬度の関係

図5に,アタッチメント直径による積雪硬度のばらつき状況を示す。これは,表2のデータを使って,各アタッチメント直径の違いによる積雪硬度から,その平均値と標準偏差(σ)を算出し, $\pm 1\sigma$ の範囲を示したものである。こしまり雪,しまり雪とも,アタッチメント直径が大きくなるに従いデータのばらつきが小さくなる傾向がある。

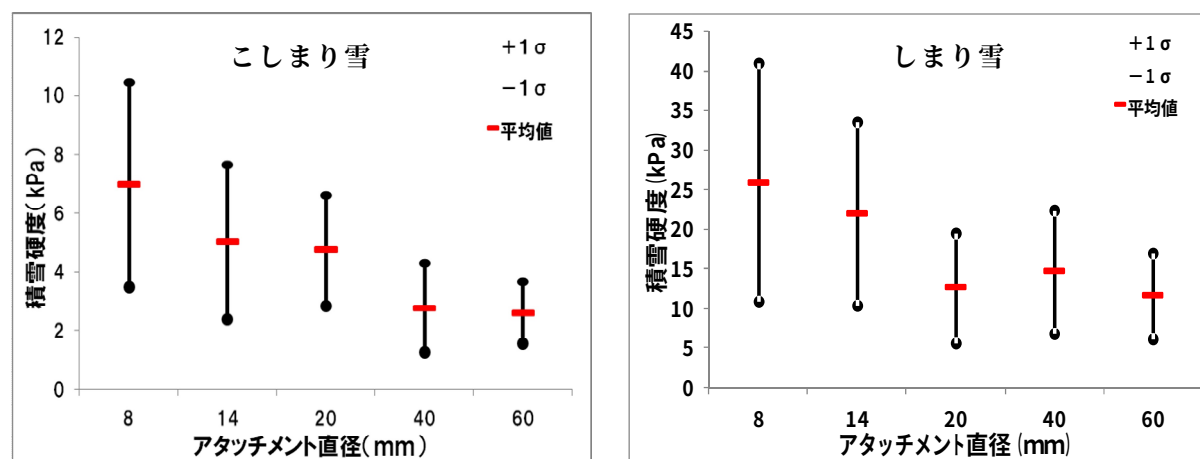


図5 アタッチメント直径による積雪硬度のばらつき状況

3. 4 考察

本研究は、アタッチメント直径 8～60 mm で行ったが、直径 8～14 mm による計測ではデータのばらつきがやや大きい傾向があり、直径 20～60 mm では比較的安定した。これは、雪は一様に見えるが自然積雪では、数ミリ単位で疎な部分と密な部分がある。このため、アタッチメントの直径が小さいと積雪の疎密の影響を大きく受け、硬度のばらつきが大きくなったと考えられる。一方、アタッチメントの直径が大きいと積雪の疎密が平均化され、積雪硬度のばらつきが小さくなったと考えられる。

一方、滑り面となる弱層の厚さは一般に数mm～数cmである。したがって弱層の厚さ以下の径のアタッチメントを使う必要がある。しかしながら、アタッチメントの直径を変えると計測値に相違が出てくるので、佐藤ら⁴⁾のように補正が必要と考えられる。

4. おわりに

本研究で、ベーン試験についてはベーンの回転速度が早いほどベーン剪断強度は小さくなり、シアーフレーム剪断強度に近づくことが検証出来た。また、プッシュゲージによる積雪の硬度測定では、アタッチメント直径が 8 mm を超えても積雪硬度は減少する傾向があることが検証出来た。

しかしながら、今回の計測は限られた雪質での試験であるため、今後は様々な雪質で試験を行い、ポータブルベーン試験器およびプッシュゲージによる積雪剪断強度把握の可能性について、さらに研究を進めて行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 栗山弘(1984): 雪のベーン剪断強度(1), 雪氷, 46, pp101-108.
- 2) 栗山弘, 伊藤広(1986): 雪のベーン剪断強度(2), 雪氷, 48, pp133-140.
- 3) 竹内ほか(2001): 雪氷, 63 巻 5 号, pp441-449.
- 4) 佐藤ほか(2002): 雪氷, 64 巻 1 号, pp87-95.
- 5) 前野紀一ほか(2002): 基礎雪氷学講座第Ⅲ巻 雪崩と吹雪, P23.