ビニールシート上の滑雪メカニズムの検証

福井大学大学院　工学研究科　学生会員　○山元謙侑
福井大学　研究員　正会員　寺崎寛章
福井大学　研究員　正会員　藤本明宏
福井大学大学院　工学研究科　正会員　福原輝幸

1.　はじめに

屋根雪の滑雪抵抗は，屋根材料および雪塊中の含水率に影響を受けることが知られている．例えば，苫米地ら[1]の膜材，フロート板ガラス，鋼板およびステンレス鋼板を使った実験より，摩擦係数と雪塊の含水率の相関関係は，フロート板ガラスと膜材で全く異なることが示された．この主な原因の一つとして素材の表面粗さが挙げられるが，滑雪面の湿潤状態や雪塊の物性によっても滑雪抵抗は異なる．従って，北陸地域では材料毎の特性に加えて，高密度の雪を対象とした滑雪抵抗を明らかにする必要がある．

筆者らは屋根雪処理装置の開発のために，ビニールシート(以下，シート)上の滑雪メカニズムについて研究している．現在，屋根雪処理装置の機構を考える上でシートと雪塊間の摩擦力および凍着による付着力に及ぼす滑雪面の含水率の影響を室内実験により調べている．

そこで本研究では，この室内実験で得られた結果の一部を報告する．

2.　滑雪理論

斜面上にある雪塊 m(kg)の滑雪直前における力の釣り合いは，式(1)で与えられる(図 1 を参照)．

$$F_s = F_f + F_a \tag{1}$$

ここに，F_s:滑雪力(N)，F_f:静摩擦力(N)および F_a:付着力(N)であり，それぞれ次式で与えられる．

$$F_s = mg\sin\theta \tag{2}$$

$$F_f = \mu mg\cos\theta \tag{3}$$

$$F_a = f_a A_s \tag{4}$$

ここに，g:重力加速度(m/s^2)，θ:傾斜角(°)，μ:静摩擦係数(−)，f_a:単位面積あたりの付着力(Pa)および A_s:見かけの接触面積(m^2)である．

3.　実験概要

3. 1.　静摩擦力測定

図 2 は−6℃の低温実験室内で行った静摩擦力測定の概要を示す．水平面上に貼り付けたシート上の雪塊(幅 0.15，長さ 0.15，高さ 0.05m)を電動モーターで水平方向に引張り，雪塊が動くまでの間の引張力をデジタルフォースゲージにより 0.05 秒間隔で測定した．この時，F_fは引張力の最大値とし，μは F_fと m を式(3)に代入して求めた．実験は質量含水率θ_w(%)を種々変えて行い，$\mu-\theta_w$関係を求めた．

3. 2.　付着力測定

3. 1 と同様に−6℃の低温実験室内で図 2 の装置を用いて付着力の測定を行った．雪塊とシートを十分に凍着させるために，θ_w を測定した後の雪塊をシート上に半日放置し，その後に雪塊が剥離するまで電動モーターで引張る．F_s はこの間の引張力の最大値を用いた．次に，剥離した雪塊を再度引張り，F_fを求めた．F_fを求めるに当たり，雪塊の剥離で付着力は F_a=0 とみなした．

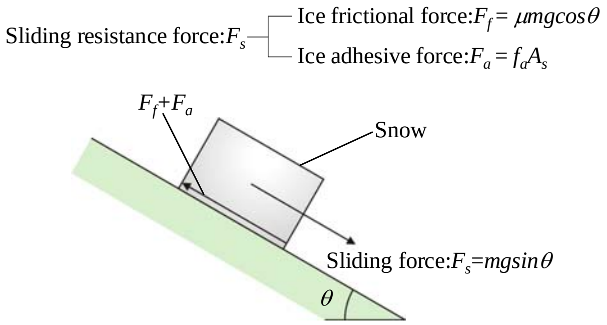
Sliding resistance force:F_s
Ice frictional force:$F_f = \mu mg\cos\theta$
Ice adhesive force:$F_a = f_a A_s$
F_f+F_a
Snow
Sliding force:F_s=$mg\sin\theta$
θ

図 1　雪塊の力の釣り合い

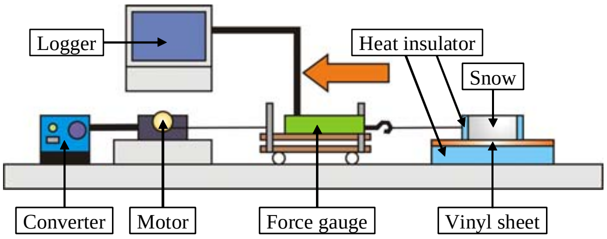
Logger
Heat insulator
Snow
Converter
Motor
Force gauge
Vinyl sheet

図 2　静摩擦力および付着力測定装置の概要

キーワード：滑雪，屋根雪，付着力，静摩擦力，質量含水率

連絡先：〒910-8507 福井市文京 3-9-1 福井大学工学部建築建設工学科 環境熱･水理研究室 TEL 0776-27-8595

最後に F_a は F_s から F_f を差し引いて求めた．

なお，雪塊の θ_w を変えて繰り返し実験を行うことで，$F_a-\theta_w$ および $F_f-\theta_w$ 関係を求めた．

4.　実験結果

図 3 は $\mu-\theta_w$ 関係を示す．μ は θ_w が 10～40%の間で非線形的に増加する傾向にあり，式(5)で表される．

$$\mu=-1.0\times10^{-4}\theta_w^{\ 2}+0.02\theta_w+0.09 \qquad (5)$$

ここで θ_w の増加に伴う μ の増加は，ガラス繊維布と同じ傾向にあり[1]，この原因は滑雪界面の凹凸による形状抵抗に加え，雪塊中の水分による粘性抵抗力が増加することに起因すると推察される．

図 4 は F_a-θ_w 関係および F_f-θ_w 関係を示す．各々の関係は式(6)および式(7)で表される．

$$F_a=90-\frac{79}{1+0.3\theta_w} \qquad (6)$$

$$F_f=0.95 \qquad (7)$$

F_f は θ_w とは無関係にほぼ一定であるが，θ_w≦15%では F_a は θ_w が小さくなるにつれて急激に減少する．この F_a の急激な減少は凍着面積(シートと雪塊の接触面積)が小さくなるためと推察される．

図 5 は F_a と F_f の比率 $R_a(=F_a/F_f)$ と θ_w の関係を示す．R_a は約 12～90 であり，F_a と同じく θ_w が小さくなると共に R_a は減少する．従って，滑雪抵抗は付着力が支配的であることが分かった．なお，R_a-θ_w 関係は式(8)で表される．

$$R_a=95-\frac{83}{1+0.3\theta_w} \qquad (8)$$

5.　おわりに

本研究ではビニールシート上の滑雪メカニズムを調べるために，雪塊の摩擦力および付着力を室内実験により調べた．その結果，以下のことが明らかになった．

(i) 質量含水率 θ_w が 10～40%の間では，θ_w の増加に伴い静摩擦係数は増加する．

(ii) 本実験の凍着による付着力は摩擦力の約 12～90 倍となり，滑雪の抵抗は主に付着力に起因する．

(iii) θ_w≦15%では，付着力と摩擦力の比は θ_w が小さくなるにつれて減少する．

今後は屋外環境下における滑雪メカニズムを定量評価するとともに，屋根雪処理装置の開発を進める．

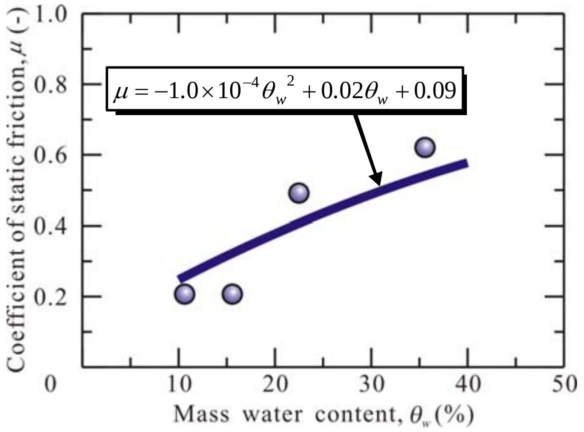

図 3　質量含水率と静摩擦係数の関係

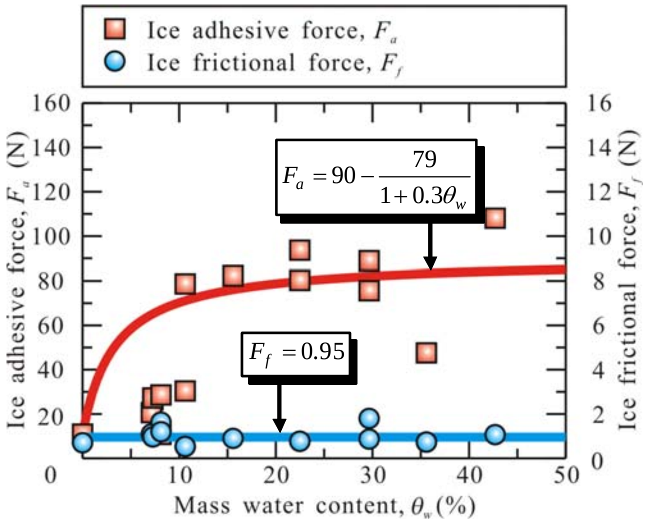

図 4　質量含水率と付着力および静摩擦力の関係

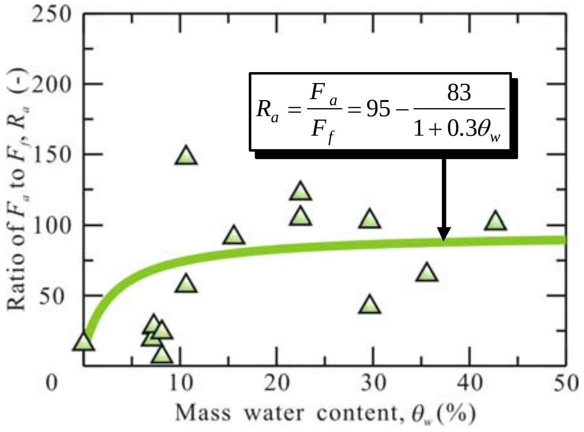

図 5　付着力と静摩擦力の比率

参考文献

1)　苫米地司，高倉政寛，伊東敏幸：屋根葺材の表面粗さが滑雪現象に及ぼす影響，日本雪工学会誌，Vol. 12，No. 3，pp. 3-9，1996.

謝辞

本研究は福井太陽株式会社より試料の提供および平成 23 年度　第 16 回「北陸地域の活性化」(社団法人 北陸建設公済会)に関する研究助成(代表：寺崎寛章)を受けて行われた．ここに記して謝意を表す．