積雪の摩擦特性に関する実験的研究 ~摩擦特性の温度・時間・密度依存性について~

北海道工業大学 伊藤 康徳・加藤 康徳・藤野 和夫

1. はじめに

積置寒冷地域の道路では、路上に積もった積雪が自動車や歩行者による繰り返し荷重を受けて圧縮されたり、また、タイヤや靴との摩擦によって発生する摩擦熱によって、積雪表面で融解・再凍結したりして、路面積雪の氷化が起こる。ここ数年、北海道地域では、スタッドレスタイヤの使用などによって、「つるつる路面」と呼ばれる氷化路面が発生し、車や歩行者の交通に著しい障害をもたらしている。特に、都市部やその周辺の幹線道路や都市中心部の商業地区交差点において、この氷化現象が著しく、それによる車両事故や歩行者の転倒事故などの増加が見られる。

本実験では、この様な路面積雪の氷化過程と摩擦特性を知る目的で、積雪試料の温度・時間経過・密度を変化させて、「見かけの摩擦抵抗」の、それらに対する依存性を測定した。

測定に使用した摩擦測定器は、土木分野では広く使われている「英国式ポータブルスキッドテスター」を用いた。この測定器は、測定方法が簡単で、取り扱いが容易であるなどの利点がある。しかし、元々、アスファルト舗装やコンクリート舗装路面などの固い表面の摩擦抵抗を測定することを目的としたもので、摩擦面の破壊を伴う積雪の摩擦抵抗を測定に使用するためには、測定値の解析に充分な考慮を加え、破壊抵抗と摩擦抵抗を分離する必要がある。

本実験では、この測定器を路面積雪の摩擦抵抗測定に応用し、得られた結果から、路面積雪の摩擦特性を調べることを目的としている。

なお、実験を開始した時期に、自然雪の入手ができなかったため、吸水性ポリマーを用いた人工 雪によって測定を行った。

2. 測定方法

- (1) 試料: 実験には、吸水性ポリマーを凍結させた人工書を用いた。ポリマーに、その重量の50倍の蒸留水を加え、充分に攪拌し、ポリマーの吸水量を均質とし後、箱に入れ、密度、0.5、厚さ3cmの長方形に成形し、それを低温室で上面から冷却、凍結させた。凍結したポリマーは、ポリマーを核として、表面に氷が析出した氷球となり、球同志が相互に凍着して、自然積雪に近い構造を持っている。凍結した試料の上面を平滑に加工し、試料台に固定して摩擦抵抗を測定した。
- (2)測定器: 摩擦抵抗の測定に用いた英国式ポータブルスキッドテスターは、エネルギー保存 則を用いた測定器である。その測定原理は、振り子を水平位置から振り下ろして、試料表面を滑走 させて、摩擦させ、摩擦した後の振り子の振り上がり角度の測定値から、振り子の持つエネルギー が、試料表面との摩擦で、どれだけ消費したかを判定する。測定値は「BPN(British Pendulum Number)」と呼ばれる値で表示され、その値の大小によって、路面の滑り易さ、安全性を評価する 仕組みである。土木の分野では、測定方法が簡単で、測定器の扱いが容易であることなどから、路

面の滑りの測定や判定に用いられている。本実験では、この測定器の簡単性・利便性を、積雪の摩 接測定に応用することを試みた。

積雪試料の様に、表面破壊強度が小さい試料では、振り子のスライダーが、試料表面に接触・滑走する際に、試料の接触面がスライダーにより破壊・削剥されるので、振り子の持っていたエネルギーは、接触面との摩擦だけでなく、接触面の破壊にも消費される。したがって、得られた測定値には、ゴムスライダーと試料表面の摩擦抵抗のみではなく、試料表面の破壊抵抗も含まれているので、破壊部分と摩擦部分を分離する必要がある。

分離操作は次の様に行った。試料の表面を試料の破壊が続き、見かけ摩擦抵抗が減少し続ける部分を破壊部分、それ以降、試料の破壊がなくなり、見かけ摩擦抵抗がほぼ一定となる部分を摩擦部分とした。得られた測定結果から、試料条件により多少の変化はあるが、振り下ろし回数が約40回程度で破壊が無くなり、以後は、摩擦抵抗のみとなることが明らかとなった。

測定終了後、試料硬度を木下式硬度計によって測定した。また、接触面の内部構造変化を観察するために、薄片を作成し、組織の変化を比較した。

- (3) 温度依存性: 測定を行った温度は、-5, -10, -15, -20, -25, -30(℃) である。測定開始まで試料を低温室に48時間保存し、試料温度を一様にした。実験に用いた試料の密度は0.50~0.52(g/cm3)とほぼ一定でした。
- (4) 時間依存性: 試料を-5 (\mathbb{C})の低温室に保存した後、測定を行った。保存した日数は、それぞれ、2,5,10,20,30,50(日)である。測定時の試料温度は-5 (\mathbb{C})、試料密度は0.50 \sim 0.52 (g/cm3) とほぼ一定にした。
- (5)密度依存性: 試料の密度を、それぞれ、0.3,0.4,0.5,0.6 (g/cm3)と変化させ、測定した。測定開始までの試料の保存時間は48時間、測定時の試料温度は−5(℃)とした。3.測定結果と解析
- (1)温度依存性について: 図-1から明らかなように、破壊部分については、温度を-5~-30(℃)と低下と共に、振り下ろし回数の増加に伴う、「見かけ摩擦抵抗」の減少が緩やかになっている。これは、試料の組織、構造は、温度によって変化しないが、温度の低下に伴って組織を形成する氷の破壊強度が増加するためと考える。同時に測定した試料の硬度も、図-4に示したように、温度の低下に伴って増加していることも、その考えの妥当性を裏付けている。

摩擦部分の「見かけ摩擦抵抗」が温度の低下と共に増加するのは、摩擦面での表面融解量が関与していると考えられるが、他の大きな理由として、ポータブルスキッドテスターは構造上、試料摩擦面の掘れ込み量、すなわち、破壊量が異なるので、それによって、試料表面とゴムスライダー間の抵抗力(面圧)に差違が生じる。したがって、温度の低下に伴う摩擦部分の増加は、試料表面の破壊量が減少することによって、摩擦面への圧力が増加する影響も含まれると考える。

(2) 時間依存性について: 図-2から明らかなように、破壊部分の「見かけ摩擦抵抗」は日数の経過と共に、減少が緩やかになっている。これは、日数の経過と共に試料内部での変態が進行し、 氷粒間の接合点の増加や、接合部が強化されるため、試料表面の破壊強度が増加することによると 考える。同時に測定した、それぞれの経過日数の硬度(図-5)も、日数経過に伴って、増加している。また、日数差の小さい2・5・10(日)の試料では、それぞれ、大きな差異が見られないが、日数差の大きい30・50(日)を比較すると、強度に明確な増加が認められる。

摩擦部分については、「見かけ摩擦抵抗」は経過日数の増加と共に増加している。試料の摩擦面 の薄片による観察から、日数経過に伴って、変態により、氷粒が成長し、結合部や組織、表面状況 が変化しているのが明らかとなった。抵抗の増大は、摩擦表面の変化のためと考える。

更に又、温度依存性で述べた様に、摩擦表面の破壊量の違いによる試料表面とゴムスライダー間 の圧力の差違も、「見かけ摩擦抵抗」の増加に含まれていると考える。

20日経過した試料が、他の試料と異なる傾向を示したのは、試料作製の際に密度の不均等があったために、摩擦面の強度に部分的差違が生じたためと考えられる。測定後の試料の観察によると、密度が小さく、強度の小さい部分が凹状に破壊され、逆に、密度が大きく、強度の大きな部分は凸状に破壊されずに残っていた。そのため、「見かけ摩擦抵抗」が極端に大きく、その変化も大きくなったと考えられる。

(3) 密度依存性について: 図-3から明らかなように、密度 0.3 と 0.4 (g/cm3)の試料では、強度が小さく、測定終了まで試料表面の破壊が起こり、他の試料のように、破壊部分・摩擦部分に分離ができなかった。特に密度 0.3 (g/cm3)の試料では、測定開始から約 5 0 回で完全に試料の接触表面が破壊され、スライダーとの接触が無くなった。このことから、密度が 0.4 (g/cm3)以下の試料では、この測定器による測定は不可能である。しかし、実際の冬期路面における雪密度は、多くの場合、 0.5 (g/cm3)以上であるので、スキッドテスターによる測定は可能と考える。

次に、密度 0.5 と 0.6 (g/cm3)の試料では、密度の増加と共に、破壊部分の「見かけ摩擦抵抗」の減少が緩やかになっている。これは、密度の増加に伴って、試料の空隙部分が減少し、氷粒接合数が増加し、破壊強度が増加するためと考えられる。摩擦部分の「見かけ摩擦抵抗」は、密度の増加と共に、増加している。これは、密度増加によって接触表面での氷粒の占める面積の増加で、摩擦抵抗が大きくなること、また、破壊量の違いによって、試料表面とゴムスライダー間の圧力が大きくなること、などが考えられる。

5. 結論

今回の実験で、ポータブルスキッドテスターによる測定結果を、破壊部分・摩擦部分に明確に分離できることが出来た。そして、破壊部分を支配する破壊強度は、温度低下・経過日数・密度増加に大きく関係する。破壊強度の大小は、積雪の網目構造の特性・氷粒間接合部の特性から説明することが可能であることが明らかとなった。

しかし、試料接触表面の破壊量(掘れ込み量)によって、ゴムスライダーに対する抵抗力(面圧)が 変化し、それが測定した摩擦抵抗の差に含まれるために、真の摩擦抵抗を直接測定できなかった。

今後の課題として、破壊量の違いによる抵抗力の差違を、どのように補正、又は、分離して処理 するかが残された。又、本実験と同様の条件で自然雪を用いて同様の測定を行い、人工雪を用いた 今回の測定結果との比較を行いたいと考えている。









