天然スレート鉱石を用いた 雪道路面用滑り止め剤に関する実験的検討

柴 山 敦*・藤 田 豊 久**

Experimental study on the non-skid powder for the frozen road by using natural slate ore

Atsushi SHIBAYAMA and Toyohisa FUJITA

Natural slate ore is one kind of sedimentary rock and formed from shale by metamorphism. Slate had been used as building stone because it is hard, fine and strong ore, and it has a characteristic of the cleavage.

On the other hand, in north part of Japan during the winter season, in order to ensure a safety driving on the frozen roads the use of non-skid powder is required. A large amount of CaCl_2 , NaCl , KCl , etc. are used as reagents and are scattered on the frozen roads during the winter to melt the snow resulting to a high cost.

In this study, the non-skid powder for the frozen road by was developed using natural slate. Primarily, the contact angle and zeta potential of slate and other reagents were measured. Secondly, the properties of the coefficient of static friction and dynamic friction in case of using slate (1.5–4.5 mm, aspect ratio: 1 to 3) mixed with some reagents were investigated. Regarding to experimental results, it was obvious that the non-skid powder created as a mixture of natural slate ore and CaCO_3 5wt% stick easily to the frozen road and exhibit the highest skidless performance.

1. はじめに

スレートとは、粘板岩とも呼ばれる岩石のことであり¹⁾、「頁岩」が低度の変成作用を受けることで生成したとされる²⁾。頁岩は、剥離性に富む厚い板状を呈した泥岩由来の水成岩であり、スレート鉱石が生成する過程で受ける変成作用により、天然スレート鉱石は「堆積岩」に分類されている¹⁻³⁾。

スレートの用途は、固く緻密で強度も大きいことから、屋根材をはじめとする建築材料に利用されてきた。また、古代においては手作業で加工を必要とする石棺に使われていたこともある。スレートは加工するのに柔らか過ぎる「堆積岩」でありながら、生成過程に変成作用を受けているため硬度が大きく、さらに、変成岩の特徴である一定方向に力を加えることで割れる「劈開」という性質

を持っている。そのため、強度が大きい固い岩石でありながら人力で容易に加工することができ、剥離性をもつ板状の厚い鉱石は、砕石すると多角形棒状を示すことが特徴である¹⁻³⁾。

本研究で取り上げる北海道、東北地方などの寒冷地では、冬季の凍結・積雪路面上において、車が“スリップ”しないよう安全を確保することが極めて重要である⁴⁻⁶⁾。従来から、凍結防止剤として塩化ナトリウム、塩化カリウム、塩化カルシウムなどの融雪剤が使用されてきたが⁶⁾、これらを単独で使用する場合、膨大な散布量が必要になる上、路面からの飛散や、塩化物による錆・腐食などの“塩害”が懸念されてきた。

そこで今回、天然スレート鉱石を凍結路面用の滑り止め剤に使用することで、冬季路面に散布し、滑り止め効果が発揮できるかその可能性を実験的に検討した。天然スレートをを用いた理由は、天然スレートを粉碎すると、前述の通りスレートの劈開性により扁平な形状粒子が得られ、粒径 1.5 ～ 4.5 mm の天然スレートではアスペクト比が 1 : 3 という扁平かつ鋭尖状な粒子となり、凍結

* 秋田大学工学資源学部環境物質工学科

** 東京大学大学院工学系研究科地球システム工学専攻
平成 15 年 4 月 23 日受理

路面から飛散しにくい形状になる。つまり、粉碎された天然スレートは雪道上に散布すれば、天然スレートは雪道に付着または突き刺さる状態になり、タイヤとの間にスパイク効果が生まれると期待される。実際、一部の機関ではその実用性を考慮した試験、検討が行われたことがある。ところが、天然スレートをを用いた場合の問題点として、天然スレートだけで作製した滑り止め剤では、夜間の低温状態では固い氷に付着せず、滑り止め効果を発揮する以前にスレートが氷上を滑って路外に押し出され、十分な効果が得られない点が指摘されてきた。

そこで本研究では、所定の大きさに加工した天然スレートと、従来から融雪剤として用いられてきた塩化カルシウム、塩化マグネシウムなどの各試薬類を併用し、新たな“滑り止め剤”の開発とその特性評価を検討した。これにより天然スレート単独の場合や、あるいは従来の融雪剤とどのような違いが生じるのかを推察することができる。研究内容については、天然スレートの表面性質を測定し、さらに滑り止め効果の指標として、凍結路面を模擬した雪道上で次のような静摩擦係数及び動摩擦係数測定試験を行った。まず、天然スレート単独、あるいは試薬と混合した滑り止め剤をそれぞれ人工雪道上に散布し、車のタイヤを模擬した重りを滑らせ、力学的に静摩擦係数及び動摩擦係数を算出した。これらの結果をもとに、本論文では雪道における滑り止め剤の効果を実験的に評価した。

2. 実験試料と実験方法

2.1 実験試料

実験に用いた天然スレートは、藤井鉱業㈱より提供された鉱石であり、比重が $2.3 \sim 2.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ となっている。この天然スレートをを用いて静摩擦係数および動摩擦係数を測定する際には、スレートの粒径を $1.5 \sim 4.5 \text{ mm}$ に整粒した。また、表面電位測定時には 200 mesh ($74 \mu\text{m}$) 以下にふるい分けしたスレート粉末を用いた。なお、雪道上に散布するスレートの粒径を $1.5 \sim 4.5 \text{ mm}$ に整粒した理由は、スレート粒子が扁平形状を保ちつつ、道路に散布しても飛散することなく道路上に留まりやすい粒径として、また、既製品の塩化カルシウムなどの融雪剤が $3 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ 程度で市販されていることを考慮して本粒径群に整粒した。

一方、滑り止め剤は天然スレートと試薬を混合することによって作製する。今回、実験で使用したのは、従来から融雪剤（凍結防止剤）に使用される試薬として塩化カルシウム (CaCl_2 , ナカライテスク社製：純度 95.0%), 塩化マグネシウム (6 水和物, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ナカライテスク社製：純度 98.0%) をはじめ、それらの化合物と

して、水酸化カルシウム (Ca(OH)_2 , ナカライテスク社製：純度 95.0%), 炭酸カルシウム (CaCO_3 , ナカライテスク社製：純度 98.0%), 酸化カルシウム (CaO , 和光純薬工業社製：98.0%以上), 酢酸カルシウム (1 水和物, $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, ナカライテスク社製：純度 98.0%), オレイン酸ナトリウム ($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COONa}$, 東京化成工業社製：95.0%以上), 酸化マグネシウム (MgO , ナカライテスク社製：純度 98.0%), その他に天然ゼオライト（秋田県二ツ井町産）の合計 9 種類の試薬類を用いた。これらの試薬は、 $1.5 \sim 4.5 \text{ mm}$ に整粒した天然スレートに対し、固体質量比として 1, 2, 3, 4, 5wt% になるよう混合した。

2.2 実験方法

本研究では、天然スレートをを用いた滑り止め剤を開発するために、天然スレートおよび各試薬の油滴に対する接触角、ゼータ電位、静摩擦係数、動摩擦係数の各測定試験を実施した。以下にその実験方法を説明する。

2.2.1 天然スレートおよび各試薬の油に対する接触角測定

天然スレートと各試薬を混合した滑り止め剤が親水性か親油性（疎水性）かを調べるために、路面のアスファルトに見立てたクロシン（油滴）と板状に加工した天然スレートとの接触角を測定した。なお、このときの条件は、Table 1 に示す 8 種類の試薬の各飽和水溶液を作成し、天然スレート板をその溶液中に設置することで油滴との接触角を測定した。つまり、Fig. 1 の測定概念図のように、各試薬で作成した飽和溶液中で天然スレートとクロシン（油滴）がなす接触角を測定したことになる。本測定によりスレート、油滴、雪面（あるいは氷が溶解した水）の三者間の関係が見出され、仮に天然スレートがアスファルト上に置かれても、散布された場所にスレートが留まるかどうかを推察することができる。図の状態では、 θ が大きいと親水性（油とは馴染まない）であり、 θ が小さいと親油性（疎水性）として考えること

Table 1 Contact angle between plate of natural slate and kerosene's drop in saturate solution.

Reagent of the saturated solution	Contact angle (degrees)
Calcium hydroxide	124.4
Calcium carbonate	126.4
Calcium acetate	124.8
Calcium oxide	92.4
Calcium chloride	124.2
Sodium oleate	128.2
Magnesium oxide	84.6
Magnesium chloride	110.2

Fig. 1 Schematic model of the measurement of contact angle between plate of natural slate and a drop of kerosene.

ができる。

2.2.2 天然スレートおよび各試薬のゼータ電位測定

滑り止め剤を雪道に散布した際に、滑り止め剤自体が凝集を起こしてしまえば滑り止め効果が減少する可能性がある。逆に、混合する各試薬が融雪作用をもち、かつ天然スレートと分散性をもつならば、融雪作用と滑り止め効果による相乗効果が期待され、その持続性も期待される。そこでスレート及び各試薬のゼータ電位を測定し、両者が凝集傾向にあるのかそれとも分散傾向にあるのかを検討した。なお、今回測定したのは、200 mesh (74 μm) 以下に整粒した天然スレートと、水中で可溶せずに固体粒子で存在できる炭酸カルシウム、酸化マグネシウム、ゼオライトである。なお、ゼータ電位測定には大塚電子(株)製のレーザーゼータ電位計 ELS-8000 を用いた。

2.2.3 滑り止め剤を使った静摩擦係数と動摩擦係数の測定

今回作製した滑り止め剤の効果を評価するために、人工的に氷道(雪道)を作り、滑り止め剤を散布した斜面上で静摩擦係数と動摩擦係数を測定した。実験手順は次の通りである。

まず、気温 -10°C (263 K)、湿度 20 ~ 30% に調整した環境下で、ベニヤ板状にアスファルトを模擬したコールタールを塗り込み、その上に水を十分散布することで、完全に凍結した氷(厚さ 5 mm)の人工氷道(雪道)を作る。その後、2.1 節で述べた滑り止め剤(1.5 ~ 4.5 mm に整粒した天然スレートに対し、固体質量比で 1, 2, 3, 4, 5 wt% になるように Table 1 の 8 種類の試薬を混合したもの)を 0.116 kg/m² という一定条件で人工雪道に散布した。さらに、車のタイヤに見立てた重りとして、底面を天然ゴムで覆った 5 kg の重りを人工雪道に乗せ、雪道を傾けて傾斜角度を大きくしていった。このとき、重りが滑り始めた氷道の角度(θ)、及びその時の重りの速度から、静摩擦係数、動摩擦係数を次の(1)、(2)式によって算出した⁸⁾。実際の測定には再現性を考慮し

て最低 3 回(最大 15 回)の実験を繰り返し、平均角度 θ から静摩擦係数、動摩擦係数を求めた。なお、雪道上で最も滑りやすい条件は凍った雪面に水相部分が存在する場合(氷の上に水がある状態)であり、本研究でもこの状態を想定して各測定を行った。

静摩擦係数(μ)の求め方は、静止している車が滑り出した時の傾斜角度 θ を使用して、次式で求めることができる。

$$\mu = \sin \theta \cos \theta \quad (1)$$

一方、動摩擦係数(μ')は、動いている車の運動が妨げられる力(静止しようとする力)が働く時の係数であり、滑り終わるまでの時間を t (s)、滑走距離を L (m)、重力加速度を g (m/s²) とすると、次式で求めることができる。

$$\mu' = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} - \frac{L}{t^2 g \cos \theta} \quad (2)$$

静摩擦係数、動摩擦係数については、数値として大きいほうが滑り止め効果が高いと判断されることから、天然スレート単独の場合と、天然スレートと各試薬を組み合わせた滑り止め剤について評価を行った。この場合、滑り止め効果の評価基準として、天然スレート単独でも滑り止め効果が発揮されることから、天然スレート単独の場合(試薬 0 wt%)よりも数値が上回るかどうかの評価の目安になる。

また、今回の実験では Table 1 の 8 種類の試薬の他に、秋田県で産出される天然ゼオライトを天然スレートに混合し、同様の測定実験を行った。

なお、滑り止め剤の散布直後の状態を Fig. 2 に、実験の模式的な概念図と状態図を Fig. 3(a) および (b) に示す。

Fig. 2 Situation of non-skid powder (natural slate with reagent) scattering on the frozen road.

Fig. 3 Schematic illustration of the (a) experimental conditions to measure the coefficient of static friction and dynamic friction, and (b) situations of natural slate on the surface of snow and asphalt pavement.

3. 結果および考察

3.1 天然スレートに対する接触角の測定結果

各試薬の飽和溶液中で測定した天然スレートとケロシンとの接触角を Table 1 に示す。すべての水溶液中で接触角は 100° 前後と比較的大きな値を示し、ケロシンの油滴は球状に近い状態で観察された。天然スレートが水に馴染みやすい親水性であれば、水相・雪面への付着性が良くなり、滑り止め剤として摩擦作用が効果的に働くと期待される。実際、測定結果よりスレート表面の性質は溶液中において油とは馴染みにくい性質であり、言い換えれば、親水性であると判断することができる。以上のことから、天然スレートによって作製した滑り止め剤は、表面が油状成分であるアスファルトに対し付着するとは考えにくく、逆に雪面がもつ水分に馴染み易い性質を持っていることが考えられる。このことは、スレートをを用いた滑り止め剤が雪面からはじかれることなく、雪道面に付着して滑り止め効果を発揮しやすいと考えることができる。

3.2 ゼータ電位の測定結果

天然スレートおよび水に不溶な試薬のゼータ電位測定結果を Table 2 に示す。なお、水中の pH は自然 pH とした。各試料は、天然スレートをはじめとして、負のゼータ電位を示し、酸化マグネシウムのゼータ電位が -13 mV であるものの、他の試薬類は -30 mV 前後の比較的負に大きく帯電したゼータ電位を有することがわかった。以上より、天然スレートと各試薬で作製する滑り止め剤は、両者の表面電位が電気的に反発し合うことから、水分存在下では互いに凝集することなく分散傾向にある

Table 2 Zeta potential and pH of the natural slate particles and reagents

Samples	pH	Zeta potential (mV)
Natural slate	6.88	-34.18
Calcium carbonate	9.18	-26.59
Magnesium oxide	9.88	-13.03
Zeolite	7.08	-27.01

と考えることができる。つまり、ゼータ電位によって天然スレートと各試薬とが分散性を持つことから、雪面上（又は表層の水相部分）では試薬による融雪作用とスレートによる滑り止め効果という相乗効果の出現が期待される。

3.3 摩擦係数の測定結果と考察

ここでは、周辺環境が気温 -10°C (263 K)、湿度 $20 \sim 30\%$ に調整した人工雪道を作り、滑り止め剤を散布（散布量： 0.116 kg/m^2 ）した斜面で静摩擦係数と動摩擦係数を計測した。

3.3.1 水酸化カルシウムを混合した場合の滑り止め効果

水酸化カルシウムの静摩擦係数、動摩擦係数の結果を

Fig. 4 Relationship between coefficient of dynamic/static friction and concentration of calcium hydroxide with natural slate on the artificial frozen road. (a) Coefficient of static friction and (b) Coefficient of dynamic friction

Fig. 5 Relationship between coefficient of dynamic/static friction and concentration of calcium carbonate with natural slate on the artificial frozen road. (a) Coefficient of static friction and (b) Coefficient of dynamic friction

Fig. 4(a), (b) に示す。水酸化カルシウムを天然スレートに混合添加することで、静摩擦係数、動摩擦係数のいずれも、天然スレートのみでの滑り止め剤 (0wt% 時) に比べ、摩擦係数が大きくなり、滑り止め効果が向上した。特に、1wt%、2wt% で混合作製した滑り止め剤は、動摩擦係数が他の質量濃度よりも大きくなっている。また、3wt% 以上混合すると動摩擦係数は緩やかに減少し、滑り止め効果が徐々に減少していく傾向が確認された。これらの点については水酸化カルシウムが水にわずかに難溶性を示すことが原因の一つになっていると考えられる。つまり、天然スレートと水酸化カルシウムを低濃度で混合した場合、雪道に散布すると良好な分散状態となり摩擦係数が増加する反面、濃度比が大きくなると水酸化カルシウムの粒子群が天然スレートの表面付近にも存在するようになり動摩擦係数を減少させ、滑り止め効果が低下したと考えられる。以上のことから、水酸化カルシウムを混合した滑り止め剤については、天然スレートに対し質量比 2wt% で混合することで、最も高い滑り止め効果を発揮したと考えられる。ただし、測定時に“重

り”を滑らせると、雪道上の滑り止め剤も一緒に押し(滑り)流されることが観察され、連続的な使用は難しく、効果の持続性は少ないことがわかった。

3.3.2 炭酸カルシウムを混合した場合の滑り止め効果

炭酸カルシウムを用いた場合の静摩擦係数、動摩擦係数の結果を Fig. 5(a), (b) に示す。炭酸カルシウムは一部の寒冷地で融雪剤として使用された事例があるが、実際の効果は不明瞭である。そこで本研究において天然スレートと炭酸カルシウムを混合したところ、Fig. 5 で示すように炭酸カルシウムを質量比 1wt% で混合した場合、静摩擦係数、動摩擦係数とも天然スレート単独より向上していることが認められた。ところが、質量濃度 2wt%、3wt%、4wt% で混合すると両摩擦係数は低下し、天然スレート単独の摩擦係数と比べて増加傾向は確認されなかった。しかし、5wt% においては静摩擦係数、動摩擦係数が大幅に向上し、他に比べて高い滑り止め効果が得られた。これらについては、炭酸カルシウムが水に難溶性を示すことが一因として考えられるが、今のところ明確な考察ができておらず、具体的な説明を加えることができない。一方、この質量比 (5wt%) で実験した人工雪道上の滑り止め剤を観察すると、Fig. 6 で示すように滑り止め剤が雪道に強固に付着していることが確認された。このとき、動摩擦係数測定試験を数回繰り返して行っても、滑り止め剤の剥がれ落ちはほとんどなく、付着性及び滑り止め効果の持続性は非常に高いことが確認された。以上のことから、天然スレートに炭酸カルシウムを混合した滑り止め剤では、質量比 5wt% の場合の滑り止め効果が最も高いことがわかった。

3.3.3 酸化カルシウムを混合した場合の滑り止め効果

酸化カルシウムを用いた場合の静摩擦係数、動摩擦係数の結果を Fig. 7(a), (b) に示す。静摩擦係数は 1wt% から 2wt% にかけて緩やかに増加し、2wt% から 5wt% になるまでほぼ一定値を保った。しかし動摩擦係数では、濃

Fig. 6 Photograph of natural slate ore with the calcium carbonate (5%) scattered on the surface of the frozen road after skidding examination.

Fig. 7 Relationship between coefficient of dynamic/static friction and concentration of calcium oxide with natural slate on the artificial frozen road. (a) Coefficient of static friction and (b) Coefficient of dynamic friction

度比にともなう増加し、4wt%, 5wt% になるまでほぼ増加傾向を示した。酸化カルシウムを用いた場合の滑り止め効果については、酸化カルシウムの水和（消和）反応による影響が考えられ、比較的高濃度であるほど水和

Fig. 8 Photograph of natural slate ore with the calcium oxide (5%) scattered on the surface of the frozen road after skidding examination.

反応による融雪作用とスレートとの摩擦効果、つまり両者の相乗的な滑り止め効果が発現したと考えられる。また、Fig. 8 には、酸化カルシウム 5wt% の試験後に観察した雪道上の写真を示す。この写真で示すように、重りを滑らせた後でも、滑り止め剤が雪道上に比較的強く付着していることが確認された。なお、酸化カルシウム 5wt% の動摩擦係数が最も高くなったが、4wt% と 5wt% の動摩擦係数では大差がないことから、酸化カルシウムで滑り止め剤を調製する場合は、質量濃度 4wt% で十分であると考えられる。

4.3.4 酢酸カルシウムを混合した場合の滑り止め効果

酢酸カルシウムを混合した場合の静摩擦係数および動摩擦係数の結果を Fig. 9(a), (b) に示す。図より、酢酸カルシウムを 4wt% で混合した滑り止め剤が動摩擦係数で最大となったが、Fig. 9(a) の静摩擦係数を含め、その数値は全体的に小さく、実際 Fig. 10 で示すように、重りを滑らせるたびに雪道上から滑り止め剤が滑り落ちるなど、付着性の悪さが確認された。以上の実験結果から酢酸カルシウムで調製した滑り止め剤は滑り止め効果が低

Fig. 9 Relationship between coefficient of dynamic/static friction and concentration of calcium acetate with natural slate on the artificial frozen road. (a) Coefficient of static friction and (b) Coefficient of dynamic friction

Fig. 10 Photograph of natural slate ore with the calcium acetate (4%) scattered on the surface of the frozen road after skidding examination.

いと考えられる。

3.3.5 塩化カルシウムを混合した場合の滑り止め効果

塩化カルシウムは、氷結点を下げるなど融雪作用をもつことから寒冷地区では融雪剤として代表的に使用されている。この塩化カルシウムを天然スレートと混合する

ことで、どのような滑り止め効果が出現するのか検討した。測定した塩化カルシウムの静摩擦係数、動摩擦係数の結果を Fig. 11(a), (b) に示す。塩化カルシウムを用いた場合の静摩擦係数および動摩擦係数は、いずれも質量濃度が高くなるほど増加する傾向がみられ、その数値も大きくなった。この点については、塩化カルシウム自身の融雪効果が考えられ、天然スレートと混合することで塩化カルシウムによる融雪（凍結防止）作用と、摩擦作用のあるスレートとの相乗効果によって高い滑り止め効果が出現したと考えられる。ただし、雪道上で散布した滑り止め剤は、一回の測定試験でその多くが雪道表面から剥がれ落ち、滑り止めの持続効果が低いことが確認された。また、質量濃度 4wt% と 5wt% で調製した滑り止め剤では、静摩擦係数、動摩擦係数のどちらもその差が僅かであることから、塩化カルシウムのスレートに対する質量濃度（混合比）は実用面を考慮して 4wt% で十分だと判断される。

Fig. 11 Relationship between coefficient of dynamic/static friction and concentration of calcium chloride with natural slate on the artificial frozen road.
(a) Coefficient of static friction and (b) Coefficient of dynamic friction

Fig. 12 Relationship between coefficient of dynamic/static friction and concentration of sodium oleate with natural slate on the artificial frozen road.
(a) Coefficient of static friction and (b) Coefficient of dynamic friction

3.3.6 オレイン酸ナトリウムを混合した場合の滑り止め効果

オレイン酸ナトリウムを用いて調製した滑り止め剤の静摩擦係数、動摩擦係数を Fig. 12(a), (b) に示す。静摩擦、動摩擦係数とも若干の変化は現れたが、天然スレート単独で用いた場合とほぼ同じ数値を示し、滑り止め効果が向上したとは考えにくかった。これらの原因については、オレイン酸ナトリウムが脂肪酸ソーダ塩の一種であることから水に容易に可溶し、潤滑的な活性作用を生じたことが一因として考えられる。その結果、静摩擦係数、動摩擦係数とも天然スレート単独の場合とほとんど変わらず、十分な滑り止め効果が得られなかったと推察される。

3.3.7 酸化マグネシウムを混合した場合の滑り止め効果

酸化マグネシウムを混合した滑り止め剤の静摩擦係数、動摩擦係数を Fig. 13(a), (b) に示す。酸化マグネシウムでは、質量比 1wt%, 2wt% という低濃度で両摩擦係数が高い値を示し、質量濃度が 3wt% 以上に濃くなると、摩擦係数が減少する傾向を確認した。この原因については不明であるが、酸化マグネシウムを用いた滑り止め剤では低濃度の方が静摩擦係数、動摩擦係数とも高い値を

Fig. 13 Relationship between coefficient of dynamic/static friction and concentration of magnesium oxide with natural slate on the artificial frozen road.
(a) Coefficient of static friction and (b) Coefficient of dynamic friction

Fig. 14 Relationship between coefficient of dynamic/static friction and concentration of magnesium chloride with natural slate on the artificial frozen road.
(a) Coefficient of static friction and (b) Coefficient of dynamic friction

示し、2wt% のときに滑り止め効果が最も高くなった。

3.3.8 塩化マグネシウムを混合した場合の滑り止め効果

塩化マグネシウムはやや高価ではあるものの、前述の塩化カルシウムと同様に雪道上に散布することによって氷結点が下がり、滑り止め効果を発揮するため融雪剤として比較的よく使用される。ここでは融雪剤に使用される塩化マグネシウムを用いて、滑り止め剤としての効果を調べた。静摩擦係数、動摩擦係数の測定結果を Fig. 14(a), (b) に示す。塩化マグネシウムの質量濃度が高くなるにつれ、摩擦係数の増加傾向が確認された。この点も塩化カルシウムと同じく、塩化マグネシウム自身の融雪効果と天然スレートによる滑り止め効果が相乗的に作用し、摩擦係数の増加につながったと考えられる。静摩擦係数および動摩擦係数双方の結果から、滑り止め効果が高い混合比は 5wt% だと考えられる。なお、このときの滑り止め剤は、重りを繰り返し滑らせても雪道に対し比較的良好に附着していることが観察され、滑り止め効果の持続性が確認された。

Fig. 15 Relationship between coefficient of dynamic/static friction and concentration of zeolite with natural slate on the artificial frozen road. (a) Coefficient of static friction and (b) Coefficient of dynamic friction

3.3.9 ゼオライトを混合した場合の滑り止め効果

ゼオライトを用いて調製した滑り止め剤の静摩擦係数、動摩擦係数を Fig. 15(a), (b) に示す。図よりゼオライトの質量濃度を高くしても、スレート単独で使

3.4 摩擦係数の測定結果についての考察

今回測定した静摩擦係数及び動摩擦係数において、滑り止め効果が大きく向上した試薬とその質量比をまとめると、炭酸カルシウム 5wt%、酸化カルシウム 4wt%、塩化カルシウム 5wt%、酸化マグネシウム 2wt%、塩化マグネシウム 5wt% であった。なお、酸化マグネシウム、塩化カルシウムは混合質量比を低濃度にしても、滑り止め効果が天然スレート単独よりも高いことが確認された。

また、静摩擦係数あるいは動摩擦係数で評価した滑り止め効果以外に、人工雪道上での滑り止め剤の付着状況を調べたところ、炭酸カルシウム、酸化カルシウム、塩化マグネシウムを用いて混合した滑り止め剤は、模擬タイヤとして用いた重りを繰り返し滑らせても雪道上に付着し続け、滑り止め効果が持続していることがわかった。特に、炭酸カルシウムを混合した場合 (5wt%) は、雪道への付着力が強く、滑り止め効果の持続性が最も長かった。また、塩素分を含むという観点から、塩化マグネシウムや塩化カルシウムを用いることで“塩害”の発生が考えられ、これらの試薬を用いる場合には慎重な配慮が必要だと考えられる。

なお、滑り止め剤に用いた各試薬の評価を Table 3 に示す。本表では、静摩擦係数、動摩擦係数を計測した際の“重り”の滑り始め角度、その時の静摩擦係数、動摩擦係数、雪道上への付着性と試薬ベースでの価格比較を提示している (○, △, ×評価)。

この表からも、滑り止め効果にばらつきはあるものの、付着性や価格面から、天然スレートと炭酸カルシウム (5wt%) を混合した滑り止め剤の効果が高いと判断することができる。

5. 結 論

雪道用の滑り止め剤として検討が進められてきた天然スレートに、融雪剤に使用される塩化カルシウムなど幾つかの試薬を混合し、雪道用の滑り止め剤として、その

Table 3 Evaluation of non-skidding powder for frozen road with every reagent

Sample	Skidding angle (degree)	Coefficient of static friction	Coefficient of dynamic friction	Mixing ratio (with natural slate)	Sticking to frozen road	Price
Natural slate ore	16.8	0.277	0.277	—	×	—
Natural slate ore+CaCO ₃	38.4	0.487	0.839	CaCO ₃ :5wt%	◎	○
Natural slate ore+CaO	36.8	0.480	0.836	CaO:4wt%	○	△
Natural slate ore+CaCl ₂	37.9	0.484	0.810	CaCl ₂ :5wt%	△	△
Natural slate ore+MgO	44.1	0.500	0.974	MgO :2wt%	×	×
Natural slate ore+MgCl ₂	36.4	0.478	0.781	MgCl ₂ :5wt%	○	×

Sticking to frozen road: ◎ very strong, ○ strong, △ immediate, × poor

Price: ○ cheap, △ immediate, × expensive

滑り止め効果を実験的に検討した。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 天然スレートは、接触角の測定から表面が親水性であり、雪道などの水分に馴染みやすいことがわかった。また、天然スレートを含め幾つかの試薬の表面電位を測定したところ、ゼータ電位はいずれも負の値を示すことから、互いに凝集することなく分散状態にあることが推察された。
- (2) 人工の雪道上に滑り止め剤を散布し、静摩擦係数と動摩擦係数を測定したところ、両係数が最大となり、良好な滑り止め効果を出現させたのは、混合比で炭酸カルシウム 5wt%，酸化カルシウム 4wt%，塩化カルシウム 5wt%，酸化マグネシウム 2wt%，塩化マグネシウム 5wt% の場合であった。しかし、雪道への付着性や価格的な面、あるいは塩化物を使用するという観点から考えると、天然スレートとの混合に適した試薬は、炭酸カルシウム 5wt% であると考えられることができる。

謝 辞

本研究を遂行する際に御支援を頂いた藤井鉦業(株)に深謝申し上げる。

引 用 文 献

- 1) 地団研地学事典編集委員会：地学事典（平凡社），p. 559（1971）
- 2) 地団研地学事典編集委員会：地学事典（平凡社），p. 834（1971）
- 3) 長倉三郎ほか：理化学事典，岩波書店，p. 1025（1998）
- 4) 白石和行：南極資料，文部省（現文部科学省），41（3），p. 778-790（1997）
- 5) 例えば，福田 正：建設工学研究振興会年報，p. 33（1998）など
- 6) 北海三共(株)：特許資料（特開平 6-313165）
- 7) 鉦友産業(株)：特許資料（特開平 11-061721）
- 8) 後藤憲一ほか：物理，数研出版株式会社（三訂版），p. 33（1989）