



| | |
|------------------|---|
| Title | 道路上の雪氷の調査 II |
| Author(s) | 木下, 誠一; KINOSITA, Seiti; 秋田谷, 英次 他 |
| Citation | 低温科学. 物理篇, 28, 311-323 |
| Issue Date | 1971-03-25 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/18161 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 28_p311-323.pdf |



道路上の雪氷の調査 II*

木下 誠一・秋田谷英次・田沼邦雄

(低温科学研究所)

(昭和45年7月受理)

I. 緒 言

冬期、道路上に降った雪は、車輛の走行、除雪作業、気象状況などに依りて刻々と変化する。昨年(昭和43~44年冬期)、この雪の調査をおこない、その結果をもとにして、道路上の雪氷の分類試案を作った^{1)~4)}。それは、新雪、こなゆき、つぶゆき、圧雪、氷板、氷膜、水べたゆきの7種類である。

今年(昭和44~45年冬期)は、この分類試案を補足し、一層明確なものにするため、調査を継続した。特に、昨年調査の不十分であった水べたゆきの観察に重点をおいた。調査にあたっては、調査表の各項目に記入する方法と、微細観測とを併用した。調査表は、建設機械化協会道路除雪委員会において作成されたもの⁵⁾を用い、これを除雪現場の担当者に配布した。微細観測では、道路上の雪の断面を除雪幅員いっぱいにはわたってきりとり、全層について、厚さ、密度、硬度、温度、含水率を測定し、さらに雪粒の接写、薄片の顕微鏡観察をおこなった。又、今年は、路面すべりと雪質との関係を見るため、簡易すべり試験器を製作し、現場試験をおこなった。

調査は、北海道、東北、新潟の各地区でおこなわれた⁵⁾。北海道地区では、調査表による調査が国道5号線北海道開発局小樽出張所前と倶知安出張所前及び国道230号線北海道開発局薄別事業所前と錦橋隧道近く、又札幌市内の北24西2、北20西8の市道において、1月から3月までほぼ10日毎におこなわれた。筆者等による微細観測は、上記北海道地区の各地点のほか、国道230号線中山峠、国道231号線石狩と花畔の間、国道5号線倶知安峠においておこなわれた。

これらの調査結果をもとにして、道路上の雪氷の成層構造や雪質の変化について考察を加えた。又、雪質の熱的变化の原因の一つとして、走行中の車輛のタイヤからの熱供給をとりあげ、実際に輻射温度計を用いて、走行中のタイヤの表面温度を測定した。

II. 雪質分類の補足

水べたゆきの観測の結果は、次のようにまとめられる。

特 徴 第1図のように、車の走行によってはねあがる。又、第2図の近接写真からよく解るように、水を多く含み液状である。

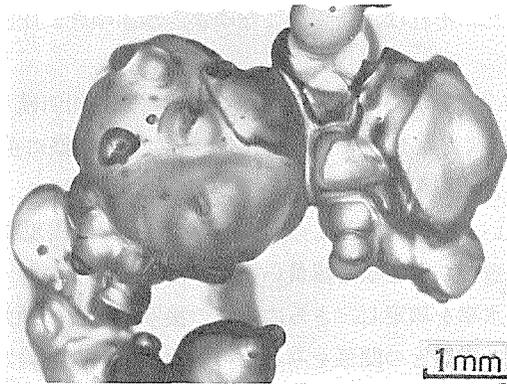
* 北海道大学低温科学研究所業績 第1074号



第1図 水べたゆきの路面状況。車の走行によってはね上る



第2図 水べたゆきの路面状況の近接写真



第3図 水べたゆきの雪粒

第1表 道路上の雪氷の分類表

| 名称 | 特徴 | 雪粒状態 | 密度 g/cm ³ | 硬度 kg/cm ² |
|-------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 新雪 | 降ってすぐ | 降雪雪片 | 0.1前後 | なし |
| こなゆき | (粉状) 車の通過後舞い上る。舗装面にそう地ふぶき | 粒径0.05~0.3mmの相互につながりのない粒 | 0.27~0.41 | なし |
| つぶゆき | (粒状) 舞い上らない。熱変態、機械的攪拌、化学処理で出来る | 粒径0.3mm以上の相互につながりのない丸い粒 | 0.28~0.50 | なし |
| 圧雪 | (板状) おしつめられた雪 | 粒径0.05~0.3mmの雪粒が相互に網目をなしてつながり合う | 0.45~0.75 | 20~170 |
| 氷板 | (板状) 圧雪に水がしみこんで凍ったもの、厚さ1mm以上 | 粒径0.5~2mmの多結晶氷で直径0.1~0.5mmの気泡を含む | 0.75以上 | 90~300 |
| 氷膜 | (膜状) 水の膜が凍ったもの、厚さ1mm以下 | 粒径0.1~0.4mmの多結晶氷で直径0.01~0.1mmの気泡を含む | | |
| 水べたゆき | (液状) 雪がとけたもの、車の通過ではね上る | 粒径1mm以上の相互につながりのない粒 | 0.8~0.96 | なし |

| | |
|-------|-------------------------------|
| 成 因 | 新雪, こなゆき, つぶゆき, 圧雪などの強い融解による。 |
| 密 度 | 0.8~0.96 g/cm ³ |
| 乾燥密度 | 0.45~0.6 g/cm ³ |
| 含 水 率 | 30~50% |
| 粒 形 | 第3図のように, 円味をおびる。 |
| 粒 径 | 1 mm 以上。 |

水べたゆきには, 水中に浸っている部分, 空気中に露出してはいるが, 水が滲みている部分と水がぬけ落ちて白くみえる部分とがある。筆者等による観測の一例では,

水中に浸っている部分……密度 0.95~0.96 g/cm³, 含水率 40~55%。

空気中に露出して水の滲みている部分……密度 0.79~0.88 g/cm³, 含水率 30~50%。

空気中に露出して水のぬけ落ちている部分……密度 0.55~0.6 g/cm³, 含水率 10~20%。

であった。先にあげた密度 0.8~0.96 g/cm³, 含水率 30~50% は, 道路上にある水べたゆきのこれら 3つの部分をまとめて採取したときの値である。

昨年得られた分類試案を補足して, 筆者等がまとめた道路上の雪氷の分類を第1表に示す。

III. 層 状 構 造

道路上の7種類の雪氷は, 単一の層として存在することは, むしろ少なく, 殆んどの場合いくつかの層の組み合わせの形で存在する。しかし, その場合でも, 7種類からの任意抽出の組み合わせではなく, あるきまった組み合わせがある。それは,

(1) 新雪, こなゆき, つぶゆき, 圧雪, 氷板又は氷膜の5種類のうちの2つ以上が, 上から下へとこの順に成層する。

(2) 圧雪の上部に氷膜。

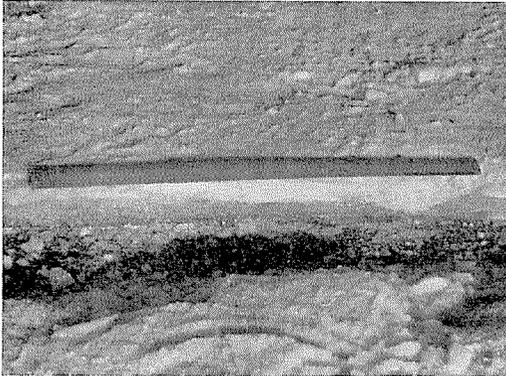
(3) 上が水べたゆき, 下が氷板又は氷膜。

である。

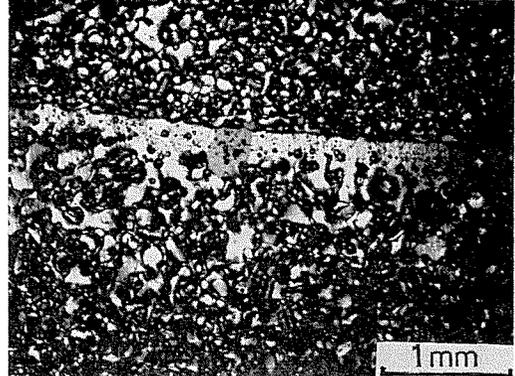
以上の層状構造は, 次節でのべる雪質の変化に関連する。すなわち, (1)では, つぶゆきを除き, 新雪→こなゆき→圧雪→氷板又は氷膜の順(とびこえることがある)に変化が進む。又, つぶゆきは, こなゆきと圧雪から変化して出来るが, 圧雪の場合には, すでにある圧雪の上部から変化して行く。従って, (1)の5種類は, 上から下への順序が変わることはない。(2)では, すでにある圧雪の上部から, 氷膜が出来て行く。又, (3)では, すでに, 下方に氷板又は氷膜があったか, 或は水べたゆきがおしつめられて氷に変わったかである。

北海道の郊外では, 上部圧雪, 下部氷板という例が非常に多い。その一例を第4図に示す。

上記の(1), (2), (3)以外の例外もまれにはある。その一例を第5図に示す。これは圧雪の内部に氷膜が点在する薄片の写真である。この試料は, 昭和45年1月24日に国道18号線妙高高原町二俣において採取されたものである。当時気温 +0.2°C で圧雪 3 cm の路面のごく表面部分が, 日射をうけて湿っていた。走行する車輛は, 殆んどチェーンをつけていた。チェーンのため, 表層部分が破壊されおしつめられる。そして雪粒間にたまった水が, 下層の0°C以下の温度(-1°C)で凍って, 氷膜ができたものと思われる。チェーンによるおしつめでできた凹



第4図 上圧雪，下氷板の二層構造の路面。全層の厚さ6 cm，圧雪の厚さ3 cm，密度 0.7 g/cm^3 ，硬度 60 kg/cm^2 ，温度 -6.8°C ，氷板の厚さ3 cm，密度 0.82 g/cm^3 ，硬度 170 kg/cm^2 ，温度 -5.8°C 。昭和45年1月16日午後2時中山峠



第5図 圧雪内部に氷膜が点在する路面雪の薄片。氷膜はタイヤのチェーンが通過した部分

みの上に，その後こなゆきが，おしつめられ，圧雪ができたのであろう。

IV. 雪質の変化

7種類の雪質は，いくつかのある定まった順序で変化する。考えられる主な変化を次に説明する。

1. 新雪→こなゆき

車の通過により，路上の新雪はこなゆきへと変化する。文献1)の図版Iの1新雪と2, 3こなゆきとで対比されるように，両者の粒径はほぼ等しいが，粒の形は新雪が角ばっているのに対し，こなゆきは丸味をおびている。雪粒の角が丸くなるのは，とけたためと考えられる。気温が 0°C 以下で，日射もない夜間においても，このことが観察されるので，熱を与えるものとして走行中のタイヤが考えられる。事実，走行中のタイヤの温度は，第2表にかかげられるように， 0°C 以上のことが多い。気温，車の速度，走行時間，その他の気象条件などで異なるけれども，高速で走る場合には，タイヤの温度は急速に上昇して， 0°C 以上になる。

2. こなゆき→つぶゆき

こなゆきが熱をうけ，その雪粒の表面がとけて水膜になると，この水膜の表面張力で，小さな雪粒が凝集する。自然積雪におけるざらめ雪の形成の過程もこれと同じである⁶⁾。粒の直径が 0.3 mm 以上になると，車の通過によっても，もはや舞い上がらなくなる。これがつぶゆきである。地ふぶきでも粒径 0.3 mm 以上の粒は舞い上がらない⁷⁾。雪粒は次第に大きくなるが，水面の曲率にもとづく張力が小さくなって行くため，粒径 1 mm 前後以上にはならない。(文献1)の図版IIの3, 4, 5, 6参照)

車の交通量が多いときには，タイヤからの熱供給や，車の走行による雪粒のかきまぜで雪粒相互間に摩擦熱が発生する等の原因で，こなゆきが熱をうけて，つぶゆきに変化する。

融雪促進のために薬剤散布をした場合にも，こなゆきがつぶゆきに変化する。この場合，融点降下によって出来た液体が雪粒表面を蔽う。車の走行は薬剤と雪粒の接触をよくし，効果

を促進する。

3. こなゆき→圧雪

車の走行や、プラウ、グレーダー等の除雪機械の作業により、こなゆきはおしつめられて圧雪になる。雪粒同士が接触すると、焼結作用により丈夫な結合ができる。全体は網目状の組織を作る。従って、圧雪の雪粒の大きさは、こなゆきの雪粒の大きさに等しい。(文献1)の図版IIIの8参照)

4. 圧雪→つぶゆき

圧雪からつぶゆきへの変化は、薬剤散布による融点降下で液体が雪粒表面に出来た場合、又は暖気や強い日射などで雪がとけ、含水率が20%前後になったときにおこる。

圧雪を構成する雪粒の表面がとける場合、特に網目結合の部分が細くなり、機械的にこわされ易くなる。圧雪を構成していた雪粒は、ばらばらになり、その後は2.に述べたこなゆき→つぶゆきの変化と同じ経過で、雪粒が大きくなって、つぶゆきになる。

5. 圧雪→氷板

圧雪がとけて含水率がある値に達すると、もはや水を保持できなくなり、水は下方へ移動する⁸⁾。舗装面や氷板があると、水は停滞し、雪粒間の空隙をみたく。寒気がきて、この水が凍ると、氷板になる。このような融解と凍結がくりかえされると、氷板は厚くなって行く。

6. 氷膜の形成

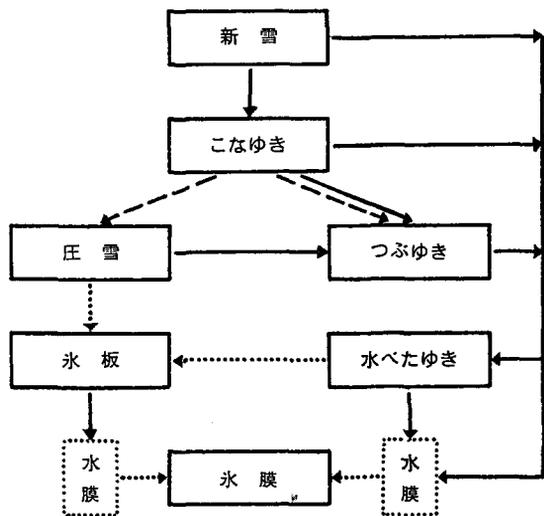
ごく僅かの雪がとけて、薄い水の膜になり、それが再び凍ったのが氷膜である。筆者等は厚さ1mm以下のものを氷膜、それ以上を氷板と定義した。舗装面に付着するものと、圧雪表面に出来るものがある。(後者については、第9図及び文献1)の図版IIIの9, 10参照)

7. 水べたゆきの形成

新雪、こなゆき、つぶゆき、圧雪が強い融解をうけると、水べたゆきに変化する。融雪水と雪が混じり合ったもので、含水率が30%以上である。粒径1mm以上の大きな雪粒からなり、相互につながりがなく、ばらばらである。車の通過ではね上がる。Schaerer⁹⁾は、含水率がますとともに、圧雪からつぶゆきへ、更に水べたゆきへと変化することを報告している。

若浜¹⁰⁾によると、雪が水を多く含むと、変態が速くなり、粒は丸味をおびる。道路上では、車の走行のため、これらの粒同士の相互のつながりが成長しないうちに、断ち切られてばらばらになるのであろう。

以上説明した変化過程をまとめて、各雪質相互間の考えうる変化を模式的に



第6図 雪質変化の模式図。実線は熱融解又は薬剤散布による融解の過程、破線は機械的おしつめの過程、点線は融解後再凍結の過程を示す

第6図に示す。図中の実線は熱融解又は薬剤散布による融解の過程，破線は機械的おしつめの過程，点線は融解後再凍結の過程を示す。

V. 走行中のタイヤの表面温度

新雪からこなゆきに変化する過程において述べたように，日射もなく，気温も 0°C 以下なのに，雪粒が融解をうけた形跡がみられる。又，圧雪の表面が氷膜に変わる場合にも，このことが経験される。この場合の熱供給は，走行中の車によるとしか考えられない。そこで，実際に走っている車のタイヤの表面温度を測ってみた。

三菱ジープ J-30 の後輪カバー上部に直径 10 cm の穴をあけ，輻射温度計（バーンズ工業会社製）の感温部をその穴を通してタイヤの方に向けた。使用したタイヤはスパイクタイヤで，ブリヂストンの 700-1 号，8 プライである。その様子を第7図に示す。

しばらく休んでいた車のタイヤの温度は，気温に等しい。発進すると，次第に温度があがり，10分も走ると，雪質，気温，速度に応じたほぼ一定の温度を保つようになる。タイヤが



第7図 ジープ内で後輪タイヤの表面温度を輻射温度計で測定しているところ



第8図 後輪タイヤの側面部分の表面温度を測定しているところ

第2表 走行中のタイヤの表面温度
(三菱ジープ J-30 の後輪タイヤ，スパイクタイヤ，700-1 号の 8 プライ)

| 上層雪質 | 気温 $^{\circ}\text{C}$ | 速度 km/hour | タイヤ温度 $^{\circ}\text{C}$ |
|--------|--------------------------|---------------|-----------------------------|
| こなゆき | -10 | 40 | -4~0 |
| | | 60 | 0~3 |
| | -8 | 60 | 2~4 |
| | | 40 | 2~3 |
| つぶゆき | -1 | 30 | 7~9 |
| 圧雪 | -9.5 | 40 | 1~2 |
| | | 60 | 4~6 |
| | -7 | 40 | 0~2 |
| | | 60 | 8~12 |
| 硬い圧雪 | -13 | 40 | 5~6 |
| | | 50 | 8~10 |
| | | 60 | 12~14 |
| | -10 | 40 | 9~10 |
| | | 50 | 11~13 |
| | | 60 | 12~15 |
| | -8 | 40 | 9~10 |
| | | 50 | 10~15 |
| | | 60 | 15~19 |
| | | 60 | 15~20 |
| 氷板又は氷膜 | -8 | 40 | 6~10 |
| | | 30 | 4~6 |
| | -1 | 40 | 7~11 |
| | | 50 | 11~13 |

たたまるのは、回転するとき、路面に接するときのゴムの収縮と、離れるときのゴムの膨脹とがくりかえされることによる。タイヤの雪に接する部分では、雪をとかすために熱をとられる。従って、雪に接しない側面部分は、もっとあたたかい筈である。車が停止したときに、第8図のように、タイヤの側面部分の温度も測定した。

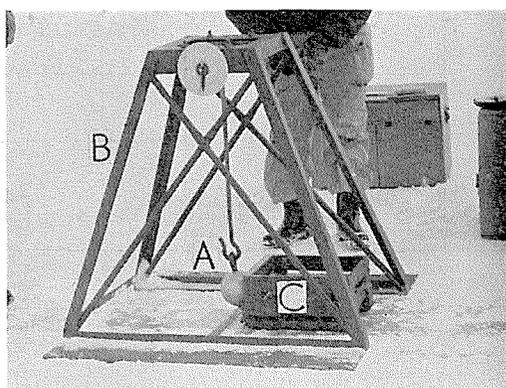
測定状況の一例を述べる。昭和45年1月7日国道231号線花畔を出発して茨戸方向に向った。13時48分発進時のタイヤの温度は -9.5°C 、気温は -9.5°C であった。その後、走行とともに、タイヤの温度は上昇し、14時には、 $+4\sim+6^{\circ}\text{C}$ になった。このときは、圧雪の上を60 km/hで走っていた。14時2分に停止したときは、 $+4^{\circ}\text{C}$ であった。タイヤの上面と側面を直ちに測定したところ、後輪タイヤでは、上面 $+4^{\circ}\text{C}$ 、側面 $+19^{\circ}\text{C}$ 、前輪タイヤでは、上面 $+3^{\circ}\text{C}$ 、側面 $+8^{\circ}\text{C}$ であった。

得られた結果を第2表に示す。走行して、ほぼ一定の温度に落ち着いたときの値である。車の速度が速いほど、タイヤの温度は高い。気温が -10°C 以下でも、タイヤの温度は、殆んどの場合、 0°C 以上である。雪粒間のつながりのないこなゆき、つぶゆきにおいては、余り高い温度を示さないが、雪粒間が緊密につながる硬い圧雪や、氷板、氷膜上では、高い温度を示す。路面上で、タイヤに接する雪の面積は極めて小さいが、交通量が多くなると、この影響が累積される。従って、雪質に与える影響も大きいであろう。

雪がない路面上では、タイヤの温度は更に上昇する。昭和44年12月17日国道230号線の薄別と中山峠の間を走行しているとき、長さ1.1 kmの定山溪隧道を通った。隧道に入る前は、こなゆきの上を30~40 km/hで走り、タイヤの温度は $+2^{\circ}\text{C}$ であった。同じ速度のまま隧道に入ったところ、タイヤの温度は上昇し、 $+12^{\circ}\text{C}$ にまでなったときに、隧道を出た。再びタイヤの温度は下がり、 $+2^{\circ}\text{C}$ にもどった。雪面上では、タイヤに接する雪がとけるため、その融解潜熱をとられるので、タイヤの温度がそれほど上がらないのである。

VI. すべり試験

道路上に雪や氷があると、車はすべり易い。これが原因で交通渋滞や事故が起こることが多い。雪氷路面上のすべりは、冬期交通上の重要な問題で、この方面の研究も多い¹¹⁾、¹²⁾。しかし、雪質との関連において調べられた例は、これまでにない。今年、建設機械化協会道路除雪委員会において、雪質とすべりとを同時に測定する計画がもたれた。北海道、東北、新潟各地区において、北海道開発局や建設省のすべり試験車による試験がおこなわれた⁵⁾。筆者等も雪質を詳細に調査すると同時に、すべりとの関連をみるため、簡易すべり試験器を作って現場試験をおこなった。



第9図 簡易すべり試験器。A：打撃部分，
B：固定枠，C：模型車

第3表 雪氷路面上の

| 月日 | 時刻 | 場所 | 雪質 | 厚さ cm | 雪面状態 | 気温 °C | 雪温 °C |
|-------|-------------|-----|--|----------|---------|----------|----------|
| 12.17 | 11:00~12:00 | 薄別 | 圧雪 | 4.2 | 非常になめらか | -4.5 | -3.9 |
| | | | 圧雪 | 5.0 | 少しでこぼこ | -4.5 | -3.9 |
| 12.17 | 14:00 | 錦橋 | 氷膜 | 0.1 | なめらか | -3.8 | -4.0 |
| | | | 氷膜 | 0.1 | 少しなめらか | -3.8 | -4.0 |
| | | | 氷板 | 1.0 | | | |
| 1.7 | 11:30 | 石狩 | 氷板 | 1.2~3.0 | | -6.6 | -5.1 |
| | 11:45 | | 圧雪 | 0.6 | なめらか | -7.4 | -6.0 |
| 1.8 | 11:30 | 薄別 | 氷板 | 0.7 | | -10.0 | -12.1 |
| | 13:34 | | (11:45上の氷板に35g/m ² の塩カルを散布) | | | -10.5 | -13.0 |
| 1.21 | 11:00 | 低温研 | 氷 | 0.3~0.5 | | -0.6 | -0.7 |
| 2.25 | 16:00 | 倶知安 | 圧雪(中央部) | 2.5 | 非常になめらか | -3.0 | -2.0 |
| | | | 圧雪(雪堤から1.5m,下り側) | 1.7 | 少しでこぼこ | -3.0 | -2.0 |
| | | | つぶゆき(上り側) | 2.0 | | -3.0 | -2.0 |
| 2.26 | 11:00 | 倶知安 | 氷板(局部的に圧雪) | 1.0 | | -2.7 | -3.7 |
| | 11:30 | | 氷板 | 1.0 | | -2.7 | -3.7 |
| | 12:00 | | 圧雪 | 2.6 | | -2.4 | -3.1 |

すべり試験結果

| 密度 g/cm ³ | 硬度 kg/cm ² | 静摩擦力 kg | 静摩擦係数 | 初速 V km/h | 振子のす すみ角 θ | すべり距離 x cm | すべり摩擦 係数 μ |
|-------------------------|--------------------------|------------|-------|--------------|----------------------|---------------|-------------------|
| 0.6 | 100 | | | 2.95 | 24 | 71 | 0.048 |
| | | | | 2.9 | 25 | 79 | 0.042 |
| | | | | 2.9 | 25 | 74 | 0.045 |
| 0.55 | 50~72 | | | 3.15 | 19 | 29 | 0.135 |
| | | | | 3.1 | 20 | 34 | 0.115 |
| | | | | 3.2 | 18 | 26 | 0.155 |
| | | | | 3.15 | 19 | 26 | 0.15 |
| | | | | 2.95 | 24 | 53 | 0.065 |
| | | | | 3.03 | 21 | 58 | 0.063 |
| | | | | 3.35 | 14 | 37 | 0.12 |
| | | | | 3.7 | 6 | 50 | 0.11 |
| | | | | 3.4 | 13 | 52 | 0.088 |
| 0.86 | 300 | | | 2.8 | 27 | 44 | 0.07 |
| | | | | 2.8 | 27 | 40 | 0.078 |
| | | | | 3.0 | 23 | 43 | 0.082 |
| 0.56 | (グレーダーで削られた面) | | | 2.7 | 29 | 42 | 0.069 |
| 0.85 | 240 | 12 | 0.54 | 2.8 | 27 | 40~43 | 0.072~0.078 |
| | | 13 | 0.59 | 2.8 | 27 | 35~38 | 0.082~0.089 |
| | | 12 | 0.54 | 3.05 | 21 | 25 | 0.15 |
| | | | | 2.95 | 24 | 26 | 0.13 |
| | | 6.8 | 0.31 | 2.8 | 27 | 82 | 0.038 |
| | | 7.2 | 0.32 | 2.75 | 28 | 84 | 0.036 |
| | | 6.6 | 0.30 | 2.75 | 28 | 86 | 0.035 |
| 0.62 | 72~100 | 7 | 0.32 | 3.0 | 23 | 79 | 0.048 |
| | | 8 | 0.36 | 3.0 | 22 | 79 | 0.045 |
| 0.5 | | 10 | 0.45 | 2.85 | 26 | 29 | 0.112 |
| | | 13 | 0.59 | 2.8 | 27 | 33 | 0.094 |
| 0.46 | | 12 | 0.54 | 2.7 | 29 | 25 | 0.118 |
| | | | | 0.52 | 14 | 0.63 | 2.9 |
| | | | | 3.0 | 22 | 26 | 0.14 |
| 0.81 | 100~240 | 10 | 0.45 | 3.0 | 23 | 57 | 0.066 |
| | | | | 2.8 | 27 | 63 | 0.05 |
| | | | | 2.75 | 28 | 67 | 0.045 |
| | 125~240 | 9 | 0.41 | 2.75 | 28 | 72 | 0.042 |
| | | | | 2.9 | 25 | 83 | 0.04 |
| 0.76 | 63~100 | 10 | 0.45 | 2.95 | 24 | 39 | 0.102 |
| | | 11.5 | 0.52 | 2.9 | 25 | 49 | 0.068 |
| | | | | 2.8 | 27 | 52 | 0.06 |
| | | | | 3.05 | 21 | 50 | 0.074 |
| 雪なし路面 アスファルト | 乾く | 16 | 0.72 | 3.55 | 10 | 11 | 0.45 |
| | | | | 3.5 | 11 | 12 | 0.4 |
| | | | | 3.4 | 13 | 12.5 | 0.36 |
| | ぬれる | 13.5 | 0.61 | 3.35 | 14 | 13.5 | 0.33 |
| | | 14.2 | 0.64 | 3.3 | 16 | 13.5 | 0.31 |

試験法は、雪氷路面上にある模型櫓を衝撃で動かし、すべってとまる距離を測定する方法である。その写真を第9図に示す。衝撃を与える打撃部分Aは、鉄のアンクルで組まれた棒Bに固定される。打撃部分の振子の腕の長さは74 cmで、先端に5.8 kg、直径11 cmの錘(砲丸投げ用)を吊す。この錘を手でもち、鉛直から105°の位置まで上げてから、手を放す。打撃を受ける模型櫓Cは、たて37 cm、よこ24.5 cm、高さ17 cmの箱型の櫓で、丈夫な鉄板で組み立てられ、その重量は22.2 kgである。底面両側に幅5 cm、長さ31 cmのタイヤのきれはしをはりつけてある。実際の車の状況に出来るだけ似せるため、スノータイヤ(ヨコハマタイヤ5-60-13, 4PR)を用いた。接地圧は0.72 kg/cm²である。

この試験では、路面のすべり摩擦係数は、次のようにして求められる。錘のふり上げ高さを $h(=93\text{ cm})$ 、重力の加速度を g とすると、打撃直前の錘の速度 v は、 $v=\sqrt{2gh}(=4.26\text{ m/sec})$ で与えられる。打撃直後の振子のすすみ角を θ (ストッパーで読みとる)、振子の長さを $l(=74\text{ cm})$ とすると、打撃直後の錘の速度 v' は、 $v'=\sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$ で与えられる。錘の質量を $m(=5.8\text{ kg})$ 、櫓の質量を $M(=22.2\text{ kg})$ とすると、櫓に与えられる初速 V は、 $MV=m(v-v')$ で与えられる。櫓のすべり方向を x 、路面から櫓が受ける抵抗力を $f(x)$ 、すべった距離を L とすると、 $\int_0^L f(x) dx = \frac{1}{2} MV^2$ である。抵抗力の平均を \bar{f} 、平均のすべり摩擦係数を μ とすると、 $\mu = \frac{\bar{f}}{Mg} = \frac{V^2}{2xg}$ で与えられる。

又、静止した櫓をばね秤で引っ張って、動き出すときの力を測り、それから静摩擦係数をも求めた。

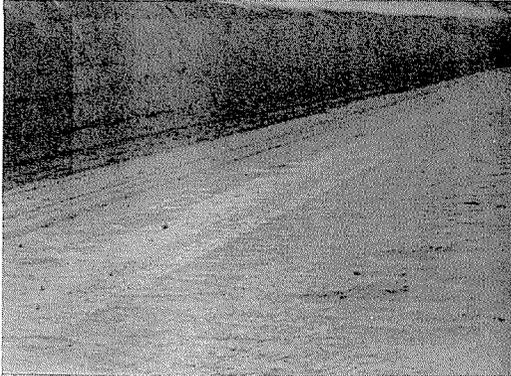
得られた試験結果と、そのときの雪の状況を第3表に示す。

第3表を雪質についてまとめ直すと、次のようになる。

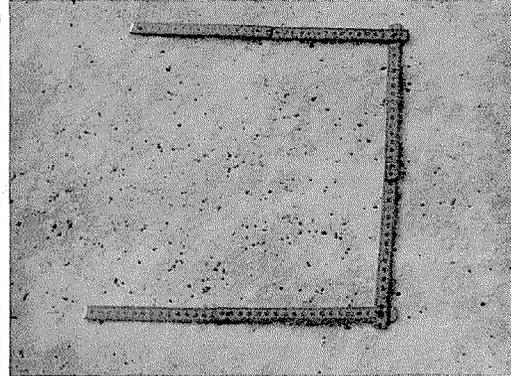
| | 静摩擦係数 | すべり摩擦係数 |
|-------------|---------|-----------|
| つぶゆき | 0.5~0.6 | 0.14~0.15 |
| 圧雪(でこぼこ) | 0.4~0.6 | 0.1~0.15 |
| 圧雪(なめらか) | 0.4~0.5 | 0.06~0.1 |
| 圧雪(非常になめらか) | 0.3~0.4 | 0.04~0.05 |
| 氷板 | 0.5~0.6 | 0.07~0.09 |
| 氷(なめらか) | 0.4 | 0.04~0.06 |
| 氷膜 | 0.3 | 0.03~0.06 |
| アスファルト(乾く) | 0.7 | 0.4 |
| アスファルト(ぬれる) | 0.6 | 0.3 |

雪のないアスファルト路面に比べると、雪のある路面がいかにすべるかよく解る。雪質については、つぶゆき、圧雪、氷板、氷膜の順にすべり易くなる。最もすべる氷膜路面の写真を第10図に示す。圧雪や氷板の場合には、表面状態ですべり方がかなり違う。1月8日には、氷板の上に塩化カルシウムを散布して、50分後にぼつぼつと穴があいた状態のときに測定したところ、すべり摩擦係数は、0.07~0.08から0.13~0.15まで増大した。そのときの路面状態を第11図に示す。摩擦現象は表面の平滑の度合に強く支配される。雪氷路面では、状況に応じて、その凹凸がたえず変わるので、すべり方は、時間により、又場所により、一様なものではない。

2月26日倶知安峠において、北海道開発局土木試験所のすべり試験車と同時に測定をおこ



第10図 圧雪路面の表面にある氷膜。
光っている部分



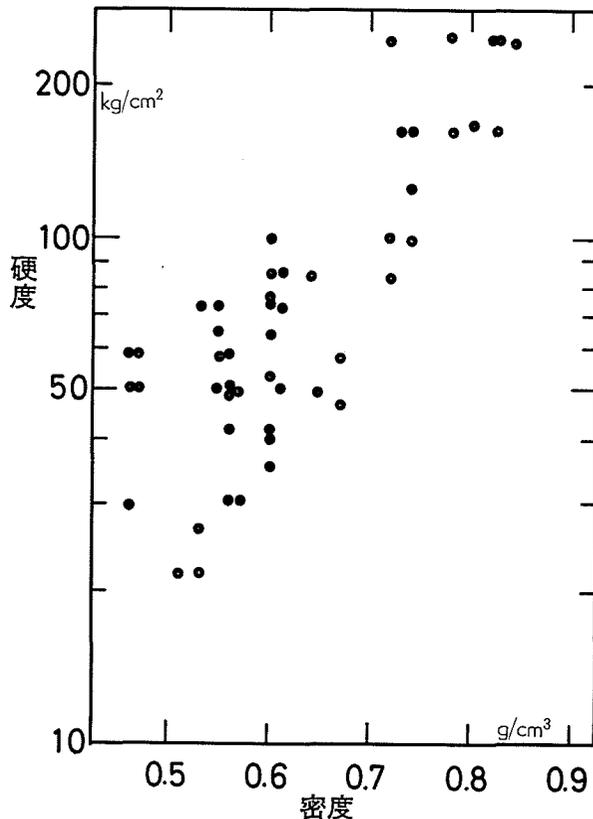
第11図 氷板の上に塩化カルシウムの粒をまき、
ぼつぼつと穴があいたところ

なった。すべり試験車では、走行中に試験タイヤを路面に接触させ、適当な荷重をかけて、車の走行とともに回転させる。測定路面に来たときに、それを急にロックする。このとき、すべるタイヤにかかるトルクを測定してすべり摩擦係数を求めるのである。2月26日の圧雪の上で、スノータイヤの場合、ほぼ0.25のすべり摩擦係数が得られた⁵⁾。筆者等の測定では、0.06~0.1であるから、かなり違う。これは、主に接地圧の違いに基づくものであろう。接地圧は、すべり試験車では1.7 kg/cm²であるのに、筆者等の模型機では0.72 kg/cm²である。

**VII. 圧雪及び氷板の密度と
硬度との関係**

北海道の冬の道路では、路面が圧雪や氷板からなる場合が非常に多い。その密度や硬度の値は広い範囲にわたっている。それをまとめて第12図に示す。

木下¹³⁾は、先に自然積雪のしまり雪について、密度 ρ g/cm³ と硬度 H kg/cm² との関係を求め、密度 ρ が0.15~0.45の範囲で、 $H = c\rho^4$ なる経験式がなりたつことをみつけた。cの値はほぼ100である。道路上の圧雪、氷板についてこの関係をみると、cの値として400から600の範囲を考えるとよい。



第12図 圧雪および氷板の密度と硬度との関係

自然積雪は、自然の条件のなかで、雪粒同士の網目結合が発達して硬くなって行く。一つの積雪層に着目すると、密度が大きくなるにつれ、雪粒も大きくなって行く。たとえば、 $\rho=0.23$ では、雪粒の平均粒径は 0.09 mm、 $\rho=0.37$ では、0.26 mm である¹⁴⁾。道路上の圧雪は、粒の小さなこなゆきが機械的におしつめられて出来る。その平均粒径は 0.1 mm 前後という小さなものであるのに、密度は 0.45 以上である。従って、自然積雪に比べて、単位体積当たりの雪粒相互の接触点の数は非常に多い。硬度は、雪粒相互の結合を壊し、ばらばらになった雪粒をおしつめるときの抵抗力であるから、当然雪粒同士の接触点の数が多いほど、硬度の値は大きい。このような理由で、圧雪のときに、 c の値が、自然積雪のときの 4~6 倍になるのである。

ρ が 0.75 以上の氷板についても、 $H=c\rho^4$ の関係が $c=400\sim 600$ として、そのままなりたつ。

新潟地区における圧雪の観測でも、その密度と硬度の関係は、ほぼ上の式をみたとす¹⁵⁾。

VIII. 結 び

冬期の交通は、道路上の雪氷のため、色々な障害をうける。それは大別して次の三つに分けられる。

1. 視程減退 車の通過後舞い上がるこなゆきや地ふぶぎのため、見通しが悪くなる。
2. 除雪作業 硬い圧雪や氷板の場合、その排除は非常に困難である。
3. すべり 表面の滑かな圧雪、氷板、氷膜の路面では、車がすべり易い。

近来、交通が発達し、積雪地帯といえども、その渋滞や事故が国民生活に及ぼす影響は大きい。それには、まず道路上の雪氷の性質を明らかにすることが第一である。昨年度と今年度の調査において、ほぼその実態が把握されたと思う。しかし、雪や氷は元来非常に変化し易いものであり、又、同一地点においても極めて不均一である。これが、道路上の雪氷の性質と交通障害との関係を複雑にする原因の一つでもある。今後更に調査を重ねて行きたい。

調査方法その他について、道路除雪委員会委員長石原健二博士ほか委員の皆様に、色々御討論をいただいた。又、調査表による調査にあたって北海道開発局官房機械課、札幌開発建設部札幌出張所、小樽開発建設部小樽出張所、同俱知安出張所の皆様の非常な御協力を得た。又、微細観測にあたって、北海道開発局土木試験所道路研究室、低温科学研究所若浜五郎助教授、堀口薫、小林俊一の各助手、石川信敬、河村俊行の各大学院生、技術員山口昇氏には、多大の御協力を得た。ここに記して感謝の意を表する次第である。

文 献

- 1) 木下誠一・秋田谷英次 1969 北海道における路面積雪調査 I 一 路面積雪分類試案一. 低温科学, 物理篇, 27, 163-179.
- 2) 木下誠一・秋田谷英次 1969 北海道における路面積雪調査. 第 9 回日本道路会議特定課題論文集, 日本道路協会, 157-159.
- 3) 路面積雪調査報告書 (1). 昭和 44 年 3 月, 日本建設機械化協会, 67 pp.
- 4) Kinoshita, S. and Akitaya, E. 1970 Classification of snow and ice on roads. *In* Snow Removal and Ice Control Research. *Highway Res. Board, Spec. Rept.*, 115, 8-16.

- 5) 路面雪質調査報告書 (2). 昭和 45 年 3 月, 日本建設機械化協会, 23 pp.
- 6) 莊田幹夫・須藤伊佐夫 1961 平地積雪の断面調査 —1952~60 年 8 冬期間, 於塩沢一. 鉄道技術研究報告, No. 258, 159 pp.
- 7) 小島賢治 1969 顕微鏡による飛雪粒子の観察. 低温科学, 物理篇, 27, 115-129.
- 8) 若浜五郎 1968 積雪内における融雪水の移動 III. 低温科学, 物理篇, 26, 77-86.
- 9) Schaerer, P. A. 1970 Compaction or removal of wet snow by traffic. In Snow Removal and Ice Control Research. *Highway Res. Board, Spec. Rept.*, 115, 97-103.
- 10) 若浜五郎 1965 水を含んだ積雪の変態. 低温科学, 物理篇, 23, 51-66.
- 11) 市原 薫・金泉 昭・小野田光之 1969 雪氷路面の駆動時のすべり摩擦係数. 第 9 回日本道路会議一般論文集, 日本道路協会, 443-444.
- 12) 板倉忠三・堀内 数・加来照俊・小野寺雄輝 1969 トルクメーターを使用した滑り抵抗試験車と 2, 3 の測定例. 第 9 回日本道路会議一般論文集, 日本道路協会, 549-550.
- 13) 木下誠一 1960 積雪の硬度 I. 低温科学, 物理篇, 19, 119-134.
- 14) 木下誠一 1960 積雪層の組織の変態過程. 低温科学, 物理篇, 19, 111-118.
- 15) 長田忠良 1970 圧雪の性状. 除雪機械研究会論文集, 建設省, 23-25.

Summary

Snow layers covering the roads in winter where traffic is heavy are very thin; the thickness is ordinarily less than several centimeters. The snow changes ceaselessly by the action of traffic, snow removal work and weather. Thus, it is important to clarify the characteristics of the snow on the road surface, which shows varying types.

Snow and ice were observed on urban arterial roads in Hokkaido, Japan, in the winters of 1968~1969 and 1969~1970. Measurements were made on the density, hardness, temperature and free water content, and micrographical observations were carried out on the textures. Based on these results, it was proposed that the snow and ice on roads should be divided into the following seven types; new snow, powder snow, granular snow, packed snow, ice crust, ice film and slush.

At times one of above exists in a single layer on the roads, and at other-times a combination of more than two types may exist in layers. Changes from one type to another are of frequent occurrence. The changes are caused by mechanical mixing, chemical treatment or heat absorption. The heat is supplied by warm air, solar radiation or car tires rotating at a high speed. The temperatures of tires at various speeds were measured. When a car runs at a high speed, the temperature of the tires frequently rises above 0°C.

Snow or ice renders the road surface very slippery. The slippery condition depends on the type of snow. Measurements were also made on static and sliding friction of tires on the surface.