

◆ 特集：道路舗装・トンネルの維持管理、補修・補強技術 ◆

冬期道路における雪氷路面管理指標の検討

小嶋伸一* 小林一治** 樋口徳男*** 武士俊也****

1. はじめに

安全な冬期道路を確保するために、本州では降雪深等を基に経験的な判断により、除雪や薬剤散布等の冬期道路管理がなされている。

しかしながら、同一路線内でも気象条件等により除雪工区毎に異なる路面状態の場合がある。安全で快適な冬期道路ネットワーク確保のためには、共通した管理水準の設定や管理指標の作成が必要となっている。

そこで、本調査では、既存の調査結果からすべり摩擦係数に着目し、雪氷路面管理指標として新しい路面分類法の検討をした。

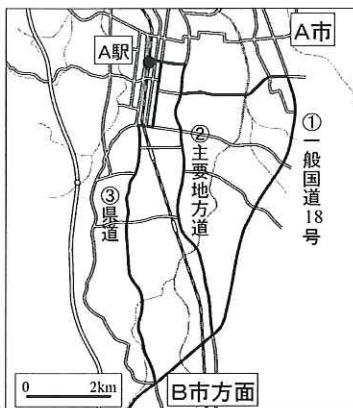


図-1 A市周辺の道路状況

2. 既存の調査結果の整理

2.1 積雪時における経路選択状況

冬期道路の管理指標として、安全性や快適性、円滑性が考えられる。

新潟試験所で平成12年3月に実施した新潟県上越地方における道路利用者の降雪時の経路選択状況とその理由に関するアンケート調査の概要と結果を以下に示す。

- (1) アンケートは、上越方面に通勤、買物等で車を利用する沿線地域の各市町村役場等の道路関係部署の協力を得て実施。
- (2) アンケートの回答数は690票（回収率68%）、回答者は公務員が多くほぼ毎日運転。
- (3) 図-1に示すB市方面からA駅に向かう経路は、無雪時は一般国道18号より、距離的に短くなる主要地方道及び県道の利用者が多い。
- (4) 図-2に示すように積雪時には、経路を変更する人が45%を占め、その内の38%は、距離的に遠くなるにもかかわらず主要地方道・県道から一般国道18号へ変更する。
- (5) 図-3に示すように、経路変更の理由は「路面凍結や圧雪によりスリップして危険である」等、距離よりも安全性を優先した経路変更が行われている。

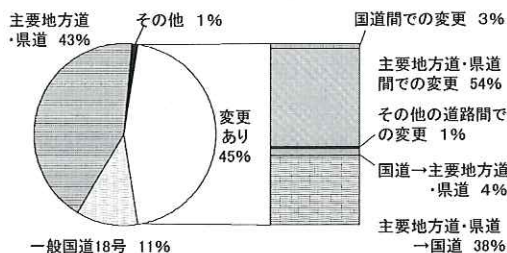


図-2 降雪時における経路選択状況

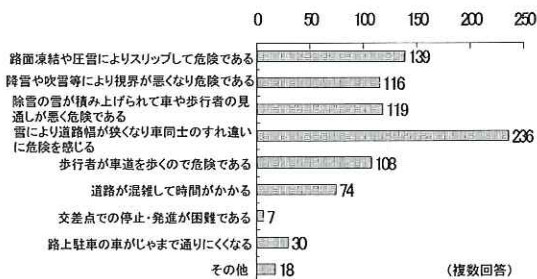


図-3 積雪時における経路変更の理由

すなわち、雪氷路面管理指標としては、安全性を示す指標を作成することが重要である。すべり易さの指標としてすべり摩擦係数が考えられる。

現在、雪氷路面におけるすべり摩擦係数を測定する手法のひとつとして、路面すべり測定車により測定する方法がある。

Study on an Index of Snowy and Icy Roads Condition for Winter Road Management

表-1 既存資料に記載されている要因

参考文献の番号	気象		路面状況				交通		
	気温	降雪量	路面分類	路面雪氷厚	路面温度	硬度	残留塩分濃度	交通量	平均速度
1	○		○				○		
2	○				○	○			
3			○				○		
4			○		○	○	○		○
5			○					○	
6	○	○	○	○	○		○		
計	3	1	5	1	3	2	4	1	1

しかしながら、冬期の道路管理を行っていく上で、路面すべり測定車を用いて直接すべり摩擦係数を測定し管理することは、その測定のための費用や作業性、また円滑な道路交通の維持を考えると困難であり、すべり摩擦係数と関連した指標の作成が必要であることがわかる。

2.2 すべり摩擦係数と関連する要因

ここでは、既存資料から、雪氷路面の状況やすべり摩擦係数に影響を及ぼすと考えられる要因について整理した結果を表-1に示す。

表-1に示すように雪氷路面の状況やすべり摩擦係数との関係がありそうな要因は、気温、降雪量、路面分類、路面雪氷厚、路面の残留塩分濃度(又は散布量)、交通量、車両の平均速度等がある。また、路面分類は、文献毎に分類の仕方は異なるものの、最も記載が多くなっている。他の要因とすべり摩擦係数の関係も、路面分類毎に整理されている場合が多く、すべり摩擦係数と関連が深い要因であると考えられる。

2.3 すべり摩擦係数と路面分類の関係

ここでは、路面分類とすべり摩擦係数の整理結果を示す。

整理に用いたデータは、図-4に示す一般国道18号A地区、B地区における平成10~13年度(H11~H14)の計測データと、地方整備局等で計測されたデータの合計1,049データである。

路面分類には、走行部で表面の光沢や雪の状態、厚さ等から、表-2に示す目視により路面分類を行う方法を用いた(以後、17分類と記す)。

また、すべり摩擦係数は、写真-1に示す路面すべり測定車により求めた。路面すべり測定車は、外側の車輪走行位置に冬期路面調査用標準タイヤ(スタッドレスタイヤ、タイヤサイズ165/80R13、タイヤ空気圧167kPa)が設置されている。時速40kmで測定タイヤにブレーキをかけ、1~3秒間

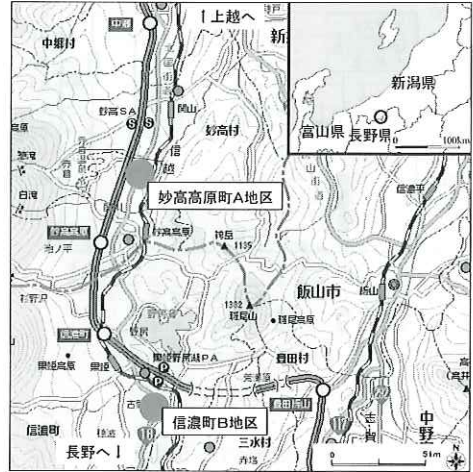


図-4 調査箇所図

表-2 目視による路面分類 (17分類)

雪氷の有無	表面の光沢	車両走行部の雪			路面分類	
		トレッドの跡	雪の状態	雪の色 厚さ		
有り	光っている	あまり付かない	-	白っぽい	下層の状況	非常に滑りやすい圧雪
				黒っぽい	1mm以上	非常に滑りやすい氷板
				(灰、茶色)	1mm未満	非常に滑りやすい氷膜
				白っぽい	氷板	かたい圧雪
				(灰、茶色)	1mm以上	氷膜
	付かない	付く(めい)	-	黒っぽい	1mm未満	氷膜
				積もっている	ゆるい圧雪	
				さらさら(雪が滑り)	下層無し	こな雪
				ざらざら(雪が滑り)	下層氷板、氷膜	こな雪下層氷板
				非常に滑りやすい	非常に滑りやすい圧雪	こな雪下層圧雪
無し	湿潤 乾燥	-	-	-	非常に滑りやすい圧雪	つぶ雪
					非常に滑りやすい圧雪	つぶ雪下層氷板
無し	-	-	-	-	非常に滑りやすい圧雪	つぶ雪下層圧雪
					非常に滑りやすい圧雪	つぶ雪下層圧雪
無し	-	-	-	-	非常に滑りやすい圧雪	黒シャーベット
					非常に滑りやすい圧雪	白シャーベット
無し	-	-	-	-	湿潤	湿潤
					乾燥	乾燥



写真-1 路面すべり測定車

ロックさせた状態で走行方向のすべり摩擦係数を測定し、測定値の前後10%を除いた部分の平均値をすべり摩擦係数とした。

図-5が17分類とすべり摩擦係数の整理結果である。データが少ない一部路面を除いて最小値から50%分位数(データを小さい順に並べたときの中心(50%)の値)までの値は約0.1~0.35の範

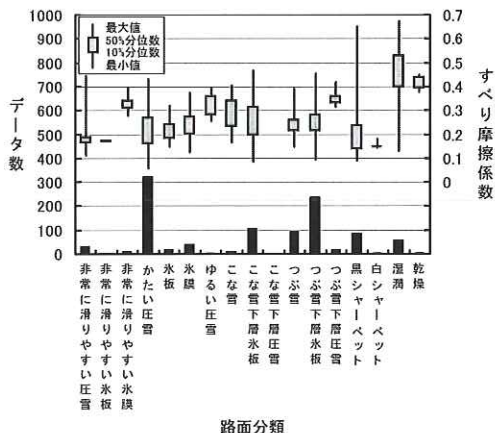


図-5 17分類とすべり摩擦係数

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + C \dots \dots (1)$$

ここに 目的変数 y : すべり摩擦係数
 第1説明変数 x₁ : 路面雪氷厚 (cm)
 第2 〃 x₂ : 路面温度 (°C)
 第3 〃 x₃ : 残留塩分濃度 (%)
 第4 〃 x₄ : 交通量 (台)
 第5 〃 x₅ : 平均速度 (km/h)

表-3が解析結果である。「こな雪下層氷板」、「つぶ雪下層氷板」は、要因が解析に必要なという仮説は5%で棄却され、図-6に示すように推定値が測定値に対応して変化し、要因がすべり摩擦係数に関連していると考えられる。しかし、「かたい圧雪」「つぶ雪」では、図-7に示すように推定値には測定値に対応したような変動は見られず、今回の要因では十分でなかったと考えられる。

また、「平均速度」は、道路の線形や気象等の影響を受け、場所毎に異なる等の課題もある。

困となっている。路面分類毎に見ても、すべり摩擦係数の分布範囲は広がっていることがわかる。

17分類ですべり摩擦係数の推定はおおまかにできるものの、それぞれの路面分類におけるすべり摩擦係数の分布範囲は広く、その範囲を狭くするためには、①他の要因の追加、②路面分類の細分化を検討する必要がある。

2.4 重回帰分析によるすべり摩擦係数の推定

表-1に示す既存資料には、残留塩分濃度や気温等の要因も記載され、すべり摩擦係数に関連があると考えられる。

A地区では、気象や交通量等を計測した詳細観測も一部データで実施している。

ここでは、A地区の183データ（平成10～13年度）を用いて、重回帰分析により、すべり摩擦係数の推定を行い、すべり摩擦係数のバラツキを小さくすることを考えた。

重回帰分析の要因は、「路面雪氷厚」、「路面温度」（雪氷表面）、「残留塩分濃度」、「交通量」、「平均速度」を用い、路面分類毎に（1）式により実施した。

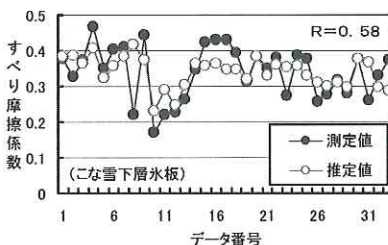


図-6 解析結果例（こな雪下層氷板）

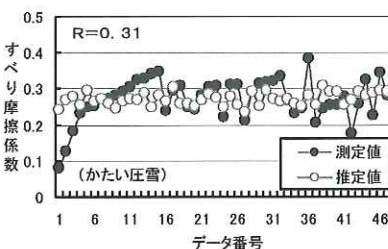


図-7 解析結果例（かたい圧雪）

表-3 解析結果

路面分類	要因	データ数	路面雪氷厚 x ₁	路面温度 x ₂	残留塩分濃度 x ₃	交通量 x ₄	平均速度 x ₅	定数項 C	重回帰係数 R	自由度修正済重回帰係数	備考
非常に滑りやすい圧雪		7	0.2225	-0.0393		-0.0006	-0.0063	0.5699	0.97	0.91	残留塩分濃度0のみ
かたい圧雪		48	0.0034	-0.0186	0.0074	-0.0001	-0.0005	0.2795	0.31		
氷膜		8	-1.7813	-0.0361	0.0327	0.0014	0.0324	-1.6861	0.96	0.83	
こな雪下層氷板		33	0.0358	0.0168	-0.0731	0.0001	0.0068	0.0138	0.58	0.47	*
つぶ雪		14	-0.0438	0.0085	-0.0320	-0.0001	0.0003	0.3028	0.60		
つぶ雪下層氷板		33	0.0010	-0.0007	-0.0565	-0.0002	-0.0027	0.4329	0.63	0.54	*
黒シャーベット		15	-0.1292	0.1038	0.0104	0.0000	-0.0037	0.5657	0.80	0.67	

* : 危険率5%で棄却され、説明変数は予測に必要なである。

3. 新しい雪氷路面分類法の検討

3.1 既存調査結果の課題

既存の調査結果から、以下のことがわかった。

- (1) 17分類ですべり摩擦係数の推定はおおまかにできるものの、すべり摩擦係数の分布範囲は広く、まれに非常にすべりやすい路面が発生する。
- (2) 重回帰分析により、「路面温度」等を考慮したが、雪氷路面で多い「圧雪」では、良い結果が得られなかった。

すなわち、17分類で圧雪は4つの種類に分類されているが、硬さや湿り具合等で非常にバラエティに富んだ圧雪等では、その状態に応じてすべり摩擦係数が異なり、分布範囲を狭くするためには、雪氷路面分類をより細分化する必要がある。

また、「非常に滑りやすい圧雪」では0.44、「かたい圧雪」では0.06のすべり摩擦係数が計測されている。これは、雪氷路面では短い区間でも出現する路面は1つとは限らないことや、中間的な性状の雪氷路面の場合があること等、観測者の判断により、本来とは異なった雪氷路面に分類された可能性がある。

これらの問題に対応するために、図-8に示すように代表的な雪氷路面と、その間を幾つかに分割して補完する新しい路面分類方法を考えた。

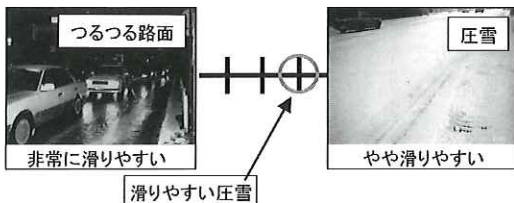


図-8 代表的な雪氷路面と路面間の補完

そして、代表的な雪氷路面を定め、これを雪氷路面の変態形態にあわせネットワーク化する。

これにより、少ない路面分類でも中間的な路面状況を表現することや、路面分類が細分化されるためすべり摩擦係数の分布範囲を小さくできる。

3.2 新しい路面分類方法

代表的な路面分類は、既存の資料^{2),8)~15)}を整理した結果、スパイクタイヤ禁止以降に見られる非常にすべりやすい「つるつる路面」と「氷板・氷膜」、「圧雪」、「シャーベット」、「新雪(こな雪)」、「湿潤」の6分類を代表的な路面とした。また、雪氷路面の変態状況は既存資料^{2),9),10)}から、凍結や融解作用で「新雪-圧雪」、「圧雪-水べ

た雪(シャーベット)」、「氷板-水べた雪(シャーベット)」等で変化している。

なお、「つるつる路面」については、「湿潤」、「氷板・氷膜」、「圧雪」から変化するものと考えネットワーク化した。図-9に新しく考えた路面分類方法を示す。(以後、新分類と記載)

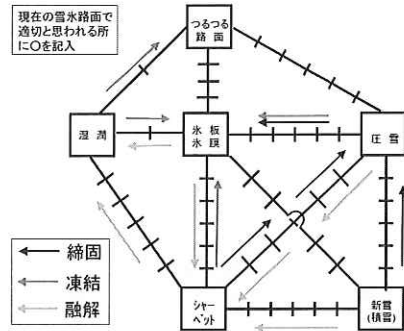


図-9 新しい雪氷路面の分類方法¹⁵⁾ (一部改良)

4. 新分類とすべり摩擦係数の関係

4.1 調査状況

雪氷路面の変化とすべり摩擦係数の変化との関係を検討するため、主に雪氷路面の出来始め→圧雪、圧雪→融解の時の観測を実施した。

調査箇所は、図-4に示すA地区、B地区で雪氷路面の状況(17分類、新分類)とすべり摩擦係数の計測等を実施した。表-4に調査日及び計測回数、調査中の累積降雪深、気温、おおまかな路面変化状況を示す。

なお、雪氷路面の判定は、原則として3人の観測員が実施し、それぞれが個別に走行部の雪氷路面の状況を記入した。

表-4 調査状況一覧

調査NO.	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回
調査日時	H15.12.19-20	H15.12.21	H15.12.26-27	H15.12.28	H16.1.7-8
調査時間	21:30~14:00	5:00~11:00	21:30~6:00	8:00~10:00	22:00~6:00
調査箇所	B	B	A	A	B
計測回数	34	13	18	5	17
天候	雪	雪のち晴れ	雪	晴れ	雪
調査中の累積降雪深	25.5cm	0.0cm	38.3cm	0.0cm	16.5cm
調査中の最低~最高気温	-5.0~-3.0	-4.5~1.0	-2.5~-1.0	-2.0~3.0	-4.0~0.0
調査中の路面変化概況	圧雪	シャーベット→湿潤	シャーベット→圧雪	圧雪→シャーベット→湿潤	湿潤→シャーベット→圧雪

4.2 調査結果例

調査は計5回実施し、計87データの計測を行っ

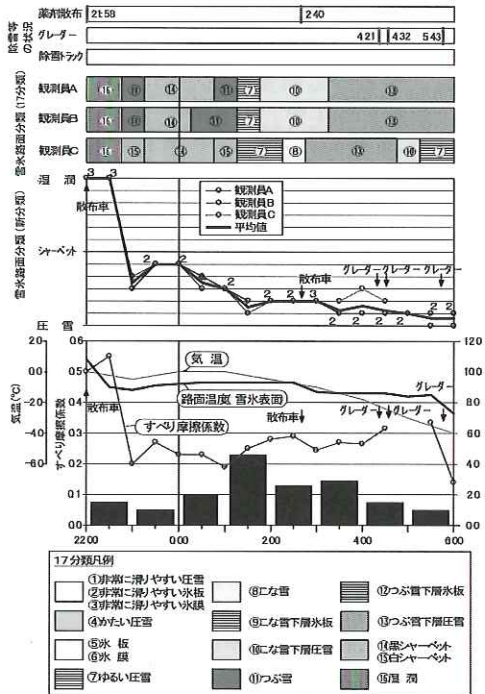


図-10 調査結果例 (第5回)

た。図-10に第5回時の計測結果の例を示す。

図-10を見ると、17分類でも、新分類でも観測員による判断誤差があることがわかる。

すべり摩擦係数の対応を見ると、グレーダーの通過が多くなった4:30以降を除いた場合、すべり摩擦係数と新分類の形状が類似している。17分類では、観測員一人一人は比較的路面分類とすべり摩擦係数の対応は良いものの、①同一雪氷路面分類の中ですべり摩擦係数の変化があること、②雪氷路面の判断の違いで、すべり摩擦係数の分布範囲が広がる可能性があることが分かる。

4.3 雪氷路面の判断状況の整理

17分類と新分類による雪氷路面の判断の個人差について検討する。新分類では、図-11に示すようにある観測者の記入値と正答値(観測者の記入値の平均)との差を、17分類では判断が不一致となる人数を判断誤差とした。図-12に観測員3人による17分類、新分類の雪氷路面の判断誤差の発生状況を示す。

17分類では全員の判断が一致した回は28%であった。また、新分類では判断誤差の絶対値が0.5以下に収まったものは58%であった。

新分類では、約8割で観測者の判断の±1の範囲に真の雪氷路面状況が収まることわかる。

なお、17分類での判断が分かれる要因は、「ト

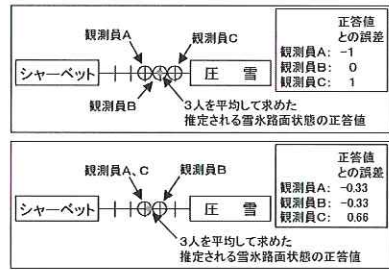


図-11 新分類の判断誤差計算法

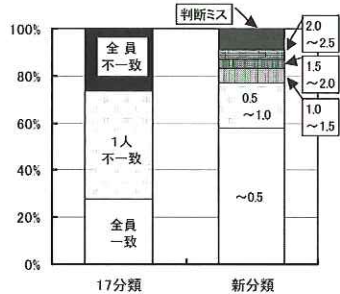


図-12 雪氷路面の判断誤差

レッド跡」と「雪の状態(さらさら、ざくざく、ベタベタ)」が多かった。

4.4 雪氷路面状況とすべり摩擦係数の変化

図-13、14には、新分類による雪氷路面の状況とすべり摩擦係数の変化状況を示す。

図-13では、湿潤からシャーベットへの変化に従い、すべり摩擦係数が低下していることがわかる。シャーベットから圧雪間ではシャーベットよりの部分でやすべり摩擦係数は小さくなっている。圧雪でのすべり摩擦係数は約0.25~0.4の範囲で、今回のデータ範囲内では17分類より分布範囲は狭くなっている。また、圧雪から新雪への変化に従い分布範囲が広がる傾向がみられた。

図-14には、圧雪を中心とした新雪~圧雪~氷板氷膜の変化過程を示した。今回の調査では、圧雪~氷板・氷膜へ変化する間のデータは得られていないものの、路面状況の経時変化を見ると、圧雪付近ですべり摩擦係数が縦軸方向に変化している。これから氷板・氷膜方向への変化で、すべり摩擦係数が低下する方向にあると推測できる。

すべり摩擦係数は路面状態にあわせ変化すると思われる。新分類では雪氷路面の変化状況を連続的に表現できることから、すべり摩擦係数の変化と関連して整理しやすいことがわかる。

5. まとめ

今回、雪氷路面管理指標を作成するため、新しい路面分類法を検討した結果を以下に示す。

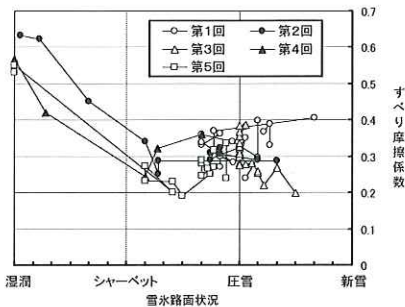


図-13 新分類とすべり摩擦係数の変化

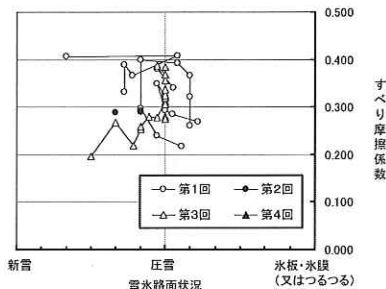


図-14 新分類とすべり摩擦係数の変化

参考文献

- 1) 路面のすべり抵抗に関する研究 (2) - 積雪路面のすべりについて -、土木研究所報告、昭和44年2月。
- 2) 青木忠男、下村忠一、石平貞夫、他：雪寒対策調査、土木研究所報告 1306号、昭和52年12月。
- 3) 門山保彦、服部健作、佐藤彪武、蛭川浩一：気象条件との関連における凍結防止剤の効果について、雪と道路 No.19, 1989. 4.
- 4) 高田邦彦、小野田光之、落合網三、宗広一徳：雪氷路面のすべりに関する報告書、土木研究所資料 第2848号、平成2年1月。
- 5) 美馬大樹、高木秀貴、川村浩二：幹線道路における冬期道路管理水準の現状分析について、開発土木研究所月報 No.523, pp.11-20, 1996. 12.
- 6) 松本晃一、齋藤辰哉：高速道路における冬期路面のすべり摩擦係数に関する研究、高速道路と自動車 第42巻 第2号, pp.20-26, 高速道路調査会, 1999. 2.
- 7) 美馬大樹、高木秀貴、傳 章則：一般道路の雪氷路面におけるすべり摩擦係数について、寒地技術論文・報告集 Vol.11 pp.366-369, 第11回 寒地技術シンポジウム, 1995. 11.
- 8) 木下誠一、秋田谷英次、田沼邦雄：道路上の雪氷調査 I、低温科学物理編 27, pp.163-179, 1969.
- 9) 木下誠一、秋田谷英次、田沼邦雄：道路上の雪氷調査 II、低温科学物理編 28, pp.311-323, 1970.
- 10) 前野紀一、成田英器、西村浩一、成瀬廉二：道路雪氷の構造と新分類、低温科学物理編 46, pp.119-133, 1987.
- 11) 北海道土木技術会：冬期の道路交通システムに関する研究、平成2年度調査報告書、51pp.
- 12) 松沢 勝、加治屋安彦、石本敬志、高木英貴、他：92/93全道冬期路面状況調査について、第9回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集, pp.182-187, 1993.
- 13) 秋田谷英次、山田知充：目視による道路雪氷の分類と活用、第10回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集, pp.63-69, 1994.
- 14) 防災雪氷研究室：新路面分類について、開発土木研究所月報No.517, pp.34-47, 1996. 6.
- 15) 小嶋伸一、小林一治、武士俊也、樋口徳男、林 健一：雪氷路面の分類方法に関する検討、第19回寒地技術シンポジウム論文・報告集, pp.567-571, 2003. 11.

- (1) 多様な雪氷路面とすべり摩擦係数を関連づけるため、雪氷路面の分類方法として代表的な雪氷路面を設定し、その間を幾つかに分割して雪氷路面を表現する方法を考えた。
- (2) 新分類では、観測者の判断の±1目盛り程度の範囲内に真の雪氷路面状態があると推定される。
- (3) すべり摩擦係数は路面状態にあわせ変化すると考えられる。

今回、限られたデータではあるが、新分類がすべり易さを表す指標となる可能性が考えられた。

今後とも、17分類と新しい路面分類、すべり摩擦係数等の計測を行いデータを蓄積していくとともに、雪氷路面の変化とすべり摩擦係数の変化状況を整理し、雪氷路面の変化する方向とすべり摩擦係数の関係等の検討をしていく必要がある。

小嶋伸一*



独立行政法人土木研究所
新潟試験所主任研究員
Shinichi Kojima

小林一治**



独立行政法人土木研究所
新潟試験所研究員
Kazuharu Kobayashi

樋口徳男***



独立行政法人土木研究所
新潟試験所主任研究員
Norio Higuchi

武士俊也****



独立行政法人土木研究所
新潟試験所所長
Toshiya Takeshi