

# 土木研究所資料

すべり摩擦係数を考慮した  
冬期路面管理指標の検討

平成15年 3月

独立行政法人土木研究所  
新 潟 試 験 所

Copyright © (2003) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# すべり摩擦係数を考慮した 冬期路面管理指標の検討

新潟試験所 所 長 武 士 俊 也  
主任研究員 林 健 一  
研 究 員 小 嶋 伸 一

## 要 旨

積雪寒冷地における冬期道路では、気象・交通条件などに応じた明確な冬期道路管理基準がなく、安全で円滑な道路ネットワークの形成のためには、共通した管理水準の設定や管理指標の作成が必要である。

本調査では、既存資料や積雪時における経路選択状況の調査を実施し、冬期道路管理の指標として、すべり摩擦係数に着目し、路面状況や気象状況等とすべり摩擦係数の現地計測結果から、道路管理をする上で観測が必要な要因やすべり摩擦係数の推定手法の検討を行った。

キーワード：雪氷路面、管理水準、すべり摩擦係数





## まえがき

1990年（平成2年）のスパイクタイヤの使用規制以降、スタッドレスタイヤが一因と考えられる冬期路面性状の変化やスリップ事故の急増が社会問題となってきた。道路管理者においては、冬期道路交通の確保の面から、降雪量等を参考にした除雪や凍結防止剤散布等の出動により、冬期道路の確保を行っているが、その費用は年々増大の傾向を示してきている。

このような状況の中で、国外ではフィンランド等のように冬期道路管理にすべり摩擦係数等を指標として組み込み一定の道路性能を保持する「確保すべき路面状態を規定」している国に認められ、日本国内においても冬期道路管理のサービスレベル及びその方法については、どの程度行うべきかと言う議論が行われてきている。しかしながら、現状では、気象・交通条件などに応じた明確な冬期路面管理基準が定まっていない。

このため、同一の路線であっても各管理工区間で異なった路面状態の場合があり、安全で円滑な道路ネットワークの形成のためには、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。

新潟試験所では、平成11～14年度にかけて、既存資料や積雪時における経路選択状況の調査を実施し、冬期道路の管理指標として制動停止距離に直接関係するすべり摩擦係数に着目して、路面状況や気象状況等と路面すべり摩擦係数の現地計測結果から、道路管理をする上で観測が必要な要因や路面すべり摩擦係数の推定手法の検討を行った。



## 目 次

1. 調査のフロー .....	1
2. 冬期道路の管理指標の検討 .....	1
2. 1 国内外の冬期道路管理の状況 .....	1
2. 2 降雪時の経路選択状況調査 .....	1
3. 雪氷路面のすべり摩擦係数の推定 .....	6
3. 1 既存資料の整理によるすべり摩擦係数 .....	7
3. 2 実道における雪氷路面のすべり摩擦係数等の現地計測 .....	8
3. 3 すべり摩擦係数と路面分類 .....	11
3. 4 重回帰分析によるすべり摩擦係数推定 .....	16
3. 5 すべり摩擦係数推定式の検証 .....	26
4. まとめ .....	27



## 1. 調査のフロー

調査は、図1に示すようなフローで実施し、大きく冬期道路における管理指標の検討と、雪氷路面のすべり摩擦係数の推定を行った。

### 2. 冬期道路の管理指標の検討

冬期道路管理の指標として、安全性や快適性、円滑性等が考えられるが、ここでは、既存資料調査による国内外の冬期道路管理基準の状況や降雪時の経路選択状況の調査等を実施した。

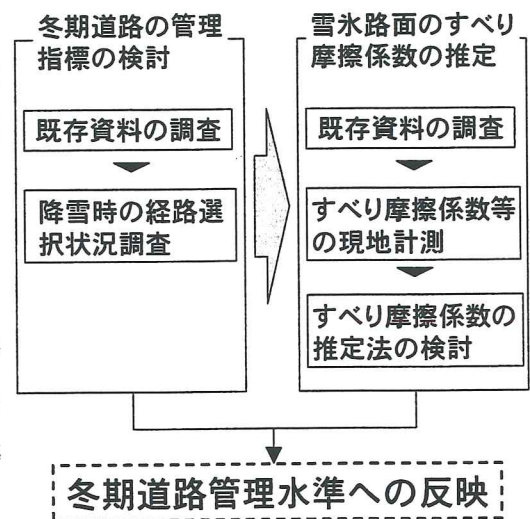


図1 研究のフロー

### 2. 1 国内外の冬期道路管理の状況

2002年PIARC 札幌大会では15の国と地域について、冬期道路管理について調査した中間報告書<sup>1)</sup>が作成されている。これをみると、各国における冬期道路管理基準は、気象条件や社会条件の違いにより、さまざまな管理基準が使われている。サービスレベルは、交通量や道路種別を基本として決定されている場合が多く、サービスレベルの内容は、作業の出動基準を規定している国と、確保すべき路面の状態を規定している国に大きく分けられる。

確保すべき路面の状態を規定している国にはフィンランド等がある。フィンランドの場合では、交通量や道路機能から見た等級、気象条件等から5段階のサービスレベルが決められており、サービスレベル毎に、すべり摩擦係数等を指標として維持すべき路面状態が規定され、雪氷路面による管理が許容されている。

日本の場合には、道路は一般国道、都道府県道、市町村道に分類され、国、都道府県、市町村(都道府県が国道、市町村が都道府県道等も管理している場合もある)により管理されているが、確保すべき路面の状態を規定しているものとしては北海道開発局の冬期路面管理マニュアル(案)<sup>2)</sup>で道内の一般国道で交通量等に応じて確保すべき路面分類の目安が努力目標として示されているが、多くは積雪量等を判断基準として除雪出動等している出動基準となっている。

このことから、近年の除雪や凍結防止剤散布等による除雪費用の削減や冬期における安全で円滑な冬期道路交通確保のためには、北欧諸国における道路管理指標や北海道開発局の冬期道路維持管理マニュアルで示されるような、確保すべき路面状態を規定した冬期道路管理指標の提案が必要であると考えられる。

### 2. 2 降雪時の経路選択状況調査

ここでは、どのような視点で冬期道路の管理水準の提案をすべきかを検討するため、利用者の観点から冬期路面の管理のあり方について、上越方面へ通勤・買物等で車を利用する方に降積雪時におけ

る経路選択状況に関するアンケート調査を行い、降積雪時における利用経路の変更の有無やその理由について調査した。

アンケートは平成12年3月に実施し、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に協力を依頼し、妙高高原町（200票）、妙高村（200票）、中郷村（150票）、新井市（400票）、新潟県新井砂防事務所（50票）、建設省土木研究所新潟試験所（10票）の計1010票の調査票（参考資料参照）の配布を行い760票の回収を行い、うち車を利用しない方、対象市町村以外に居住している方を除く690票を有効回答として集計を行った。

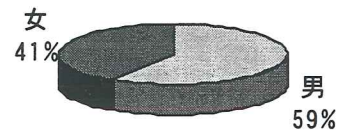


図2-2-1 回答者の男女構成

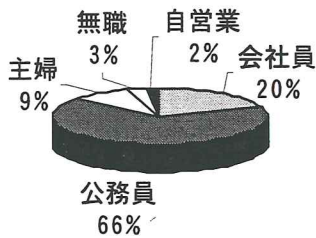


図2-2-2 回答者の職業構成

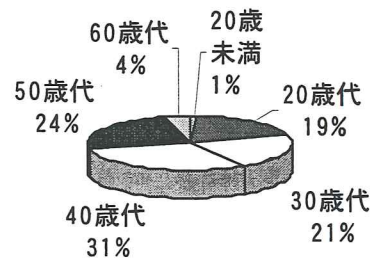


図2-2-3 回答者の年代構成

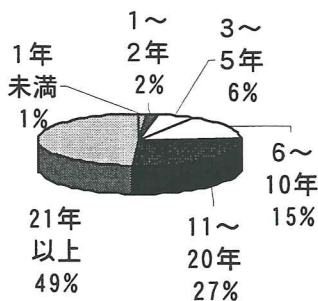


図2-2-4 回答者の運転歴構成

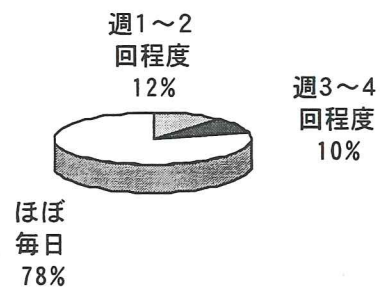


図2-2-5 回答者の車利用状況

回答者の状況は図2-2-1～2-2-5に示すとおりであり、市町村関係に調査協力を行った関係で、公務員が多くなっている。また、運転歴は、比較的ベテランが多く、車の利用も、ほぼ毎日運転するが78%にも及び重要な交通手段になっていることがわかる。

### 1) 降雪時における交通手段の変更

図2-2-6に示すとおり、積雪時において他の交通機関に変更する割合は、「ほとんど」、「時々」

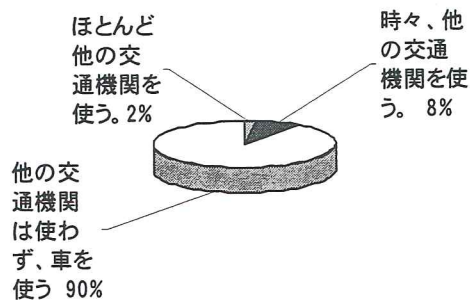


の合計で、10%となっている。交通手段の変更理由として最も多いのは、図2-2-7に示すように「雪道での運転が危険・面倒だから」が複数回答92件中45件で45%を占めており、安全性を考慮して交通手段を変更していることがわかる。

「他の交通機関は使わず、車を使う」は90%で今回のアンケート回答者は、気象条件に関わらず、年間を通して車に依存していることがわかる。図2-2-8に示すように、その理由としては、「車の方が自由で便利だから」が複数回答

724件中361件で最も多く、「バスや電車が利用しにくく、

質問1:雪が降った際、車の運転をやめ、バスや電車など他の交通機関を使いますか?



質問2:「他の交通機関を使う」理由は何ですか?

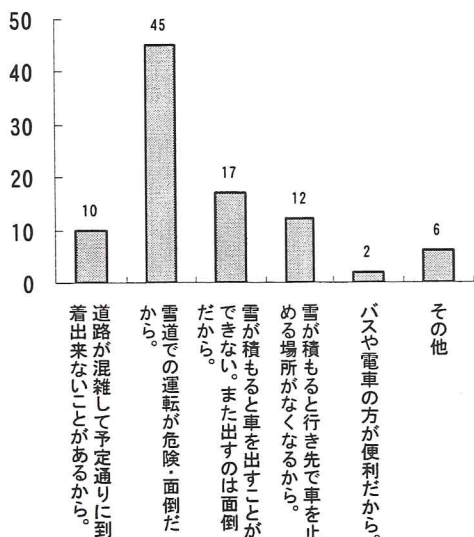


図2-2-7 積雪時に交通手段を変更する理由

質問3:「他の交通機関を使わず、車を使う」理由は何ですか?

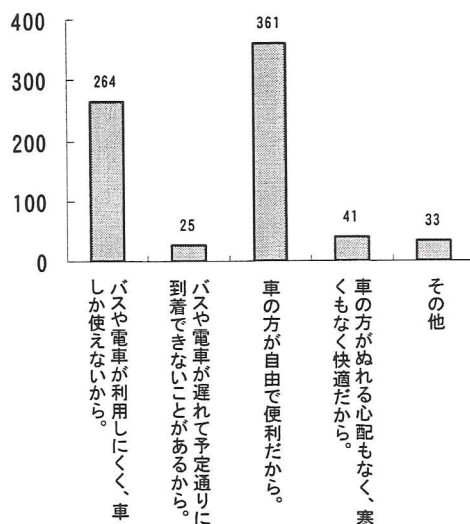


図2-2-8 積雪時に車を利用する理由

車しか使えないから」が264件となっており、他の交通機関の利用については、交通手段変更による安全性の確保より現状では車利用の利便性の確保が大きくなっていることが分かる。

2) 降雪時における交通経路の変更

非常に利便性のある車であるが、降雪時における経路変更の有無についてのアンケート結果を図2-2-9に示す。その結果、降積雪に関係なく交通経路を変えない人が54

質問4:雪の状態によって夏場と利用する道を変えることがありますか?

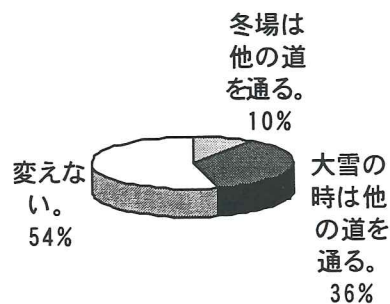


図2-2-9 積雪時の経路変更状況

%いる一方、冬期間を通じて交通経路を変更する人が10%、雪の状態により変更する人は36%に及んでいる。

降雪時に交通経路を変更すると回答した方に、降雪時の経路を変更する基準を尋ねた結果が、図2-2-10である。その回答として、最も多いのが「除雪がきれいに行われている道路」で複数回答401件

質問5:「他の道を通る」と答えた方にお聞きます。どのような基準で道を選びますか?

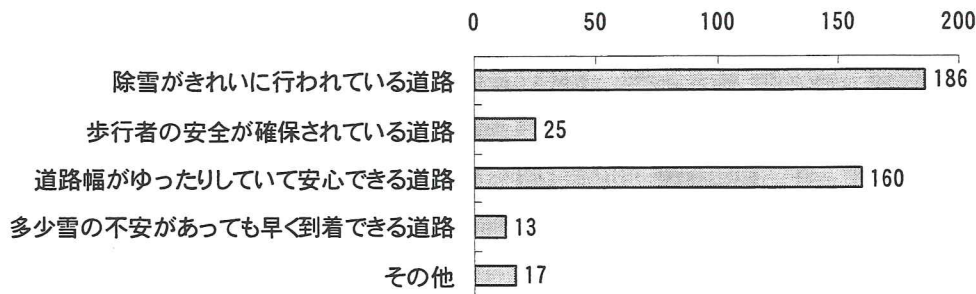


図2-2-10 積雪時の経路変更理由

中186件である。次いで「道路幅がゆったりしていて安心できる道路」が160件となっている。一方、「多少雪の不安があっても早く到達できる道路」は13件と低い値を示しており、降雪時の経路変更の基準としては、距離や所要時間よりも安全性や確実性に重点が置かれていることが分かる。

### 3) 目的地を設定した場合の経路の変更状況

ここでは、道路利用者を実際の目的地を提示し、目的地までの走行経路をパターン別に分類した。ここでは、新井方面からJR高田駅周辺への移動について記述する。

新井方面から、JR高田駅へ至るには図2-2-11に示すように、大きく①一般国道18号を利用する経路、②県道上越脇野田新井線を利用する経路、③主要地方道上越新井線を利用する経路が考えられる。

無雪期においては、図2-2-12に示すように距離的に遠くなる①一般国道18号より、主要地方道及び県道の利用者が多く85%を占めている。

無雪期と降雪時における経路選択では、図2-2-13に示すように経路を変更した人が、45%を占め、その内訳は「経路変更あり」を100とした場合、54%が主要地方道・県道間への変更となっているが、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号への変更となっている。

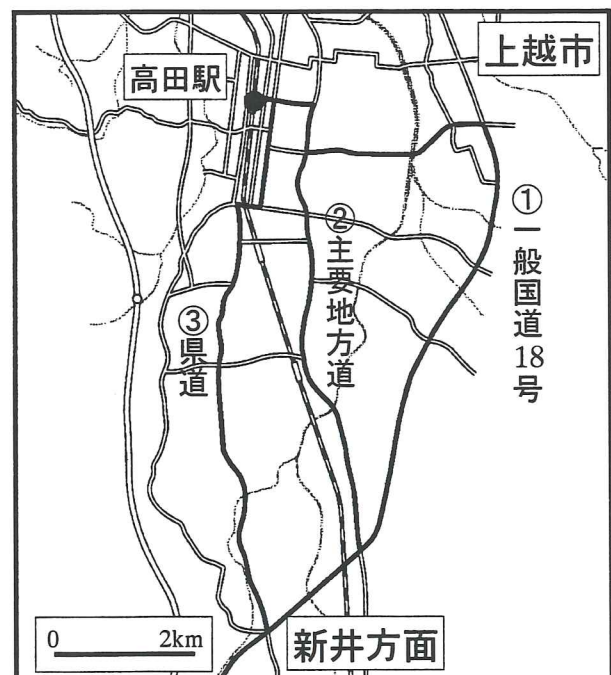


図2-2-11 高田駅周辺の経路図



質問6:あなたのご自宅方面から高田駅周辺に行く場合の通常(夏場)の経路を赤線、冬場(大雪時)の経路を変更する区間を青線でそれぞれの図に示す範囲内でご記入下さい。

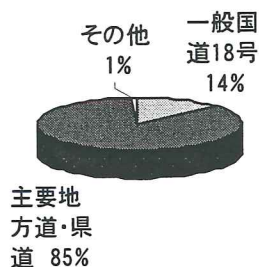


図2-2-12 無雪期の経路選択状況

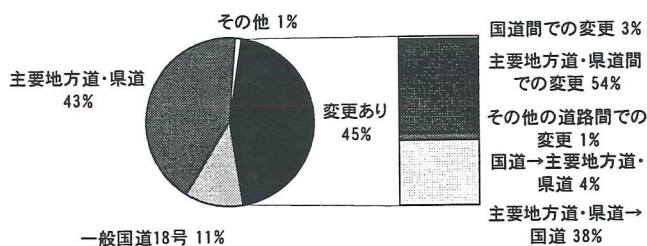


図2-2-13 積雪時の経路選択・変更状況

質問7:冬場に経路を変更する理由は何ですか。下記の中から該当する項目すべてに○印をおつけください。

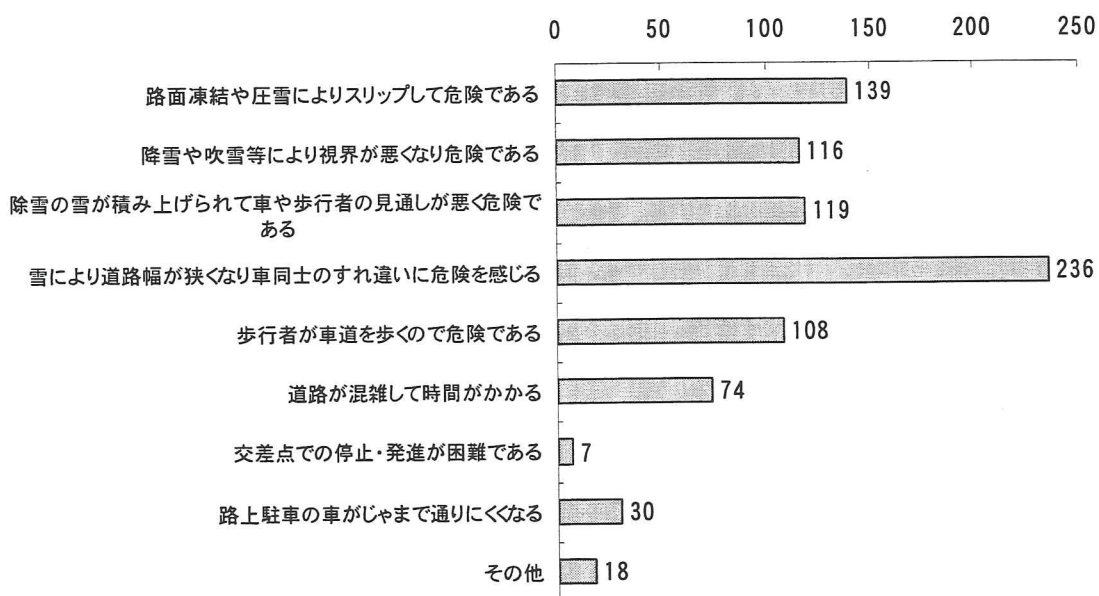


図2-2-14 積雪時の経路変更理由

図2-2-14に経路変更の理由について示すが、「雪により道路幅が狭くなり車同士のすれ違いに危険を感じる」が、複数回答847件中236件と最も多いほか、「路面凍結や圧雪によりスリップして危険である」が139件等となっている。

表2-2-1の質問20では、冬期における路線別評価についてアンケートを実施しており、①一般国道18号では、除雪作業が走行の障害となることがあるや、道路が混雑して時間がかかる等が多く認められるが、②県道上越脇野田新井線を利用する経路、③主要地方道上越新井線では、路面凍結や圧雪に

よりスリップして危険である等の項目も多く認められ、安全・確実な目的地への到達を優先した結果の経路変更が行われていることが分かる。

また、北陸地方整備局が実施した道路の満足度調査速報<sup>3)</sup>(H14.2)をみると、「冬期における車での移動」において不満が多く認められ、「冬期における車での移動」における主な不満要因では、「降雪

後の雪の処理」が最も高く、ついで「路面がすべりやすい」となっていることから、安全へのニーズが高いことが考えられる。

冬期において露出路面を確保することが安全面では望ましいが、近年の除雪費の増大等を考えると実際問題としては困難と言わざるを得ない。また、参考文献4)からは、積雪寒冷地に住む以上は、無雪期と同等の管理水準は望んでおらず多少の支障は受け入れると考えられるため、雪氷路面になってもある程度の安全が保たれば住民ニーズは満たせると考えられる。

安全度の指標としては、車の制動距離に直接関係するすべり摩擦係数(f)が考えられ、冬期道路管理をするための指標として、すべり摩擦係数を反映した指標の設定が必要であると思われる。

### 3. 雪氷路面のすべり摩擦係数の推定

安全な冬期路面管理の指標としてすべり摩擦係数を用いるためには、路面におけるすべり摩擦係数の状況を把握しなければならない。

現在、雪氷路面におけるすべり摩擦係数を測定する手法としては、すべり抵抗測定車によりすべり摩擦係数を直接測定する方法がある。

しかしながら、冬期の道路管理を行っていく上で、すべり抵抗測定車(中型バス)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確保を考えると困難であると言わざるを得ない。

そこで、雪氷路面の状態や気象条件等から、雪氷路面におけるすべり摩擦係数の推定手法について検討を行った。

検討にあたっては、①既存資料からすべり摩擦係数に関連の深い要因について検討し、②それらの要因とすべり摩擦係数の状況について現道において計測を実施した。

その後、計測したデータを用いて、すべり摩擦係数と最も関連が深いと考えられる③すべり摩擦係

表2-2-1 冬期における路線別の評価

質問20:上越市高田市内を南北に走る5路線について、冬場感じることについて、該当する項目すべてに○印をおつけください。

	一般国道 18号	県道上越 協野田新 井線	主要地方 道上越新 井線
路面凍結や圧雪によりスリップして危険である	×	▲	△
降雪や吹雪等により視界が悪くなり危険である	×	○	×
除雪作業が走行の障害となることある	△	▲	×
除雪の雪が積み上げられて車や歩行者の見通しが悪く危険である	△	▲	◎
雪により道路幅が狭くなり車同士のすれ違いに危険を感じる	×	△	◎
道路が混雑して時間がかかる	△	×	×
歩行者が車道を歩くので危険である	△	▲	◎
交差点での停止・発進が困難である	◎	◎	◎
路上駐車車がじゃまで通りにくくなる	○	△	◎

地図上の②上越新井線、⑤上信越自動車道については省略

◎:評価件数 0以上 50未満

○:評価件数 50以上 100未満

△:評価件数 100以上 150未満

▲:評価件数 150以上 200未満

×:評価件数 200以上



数と路面分類の整理、④各要因から重回帰分析を用いたすべり摩擦係数の推定式の作成を行った。

### 3. 1 既存資料の整理によるすべり摩擦係数

雪氷路面におけるすべり摩擦係数は、「路面上の水分」と「雪氷路面とタイヤのかみ合い」等によるものと考えられ、これらの性状は、路面の積雪状況及び気温、交通量等の条件により左右されると考えられる。

そこで、既存資料から、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調べた。調査した文献は、参考文献5)～10)である。

表3-1 すべり摩擦係数の関連要因

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
5	○		○				○		
6	○				○	○			
7			○				○		
8			○		○	○	○		○
9			○					○	
10	○	○	○	○	○		○		
計	3	1	5	1	3	2	4	1	1

これらの文献の中で、雪氷路面のすべり摩擦係数との関係を検討されている要因は、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。

すべり摩擦係数の整理は、文献毎に分類の仕方は異なるものの雪氷路面分類毎に整理されている場合が多く認められ、氷板、圧雪、シャーベット等の雪氷路面分類は、すべり摩擦係数に及ぼす雪氷路面の基本的な性状を支配するため重要な要因であると考えられる。

また、気温や路面温度、残留塩分濃度（又は散布量）の検討も多く認められる。

気温や路面温度での整理については、0℃程度ですべり摩擦係数が最も小さくなる傾向が認められ、温度条件により雪氷路面表面の柔らかさや水分状態がすべり摩擦係数に影響を与えているものと考えられている<sup>5)</sup>。また、路面分類により、すべり摩擦係数への温度の影響度合いが異なることが推定される<sup>6)</sup>。

残留塩分濃度や薬剤散布量については、一般に薬剤散布路面の方が無散布路面に比べてすべり摩擦係数は大きくなっている。しかし、氷板では逆にすべり摩擦係数が小さくなると言われている<sup>10)</sup>。

その他にも、路面雪氷厚、交通量や速度等も認められる。

路面雪氷厚については、圧雪路面では雪氷厚はあまり関係ないようであるが、シャーベットでは、すべり摩擦係数に影響を及ぼすようである。

交通量については、タイヤによる雪氷路面の圧密や、タイヤの出す熱の影響が、雪氷路面に影響を及ぼすと考えられる。

車両の走行速度は、速度に比例してタイヤ温度が上昇すると考えられる。また、氷板路面ではすべり摩擦係数の速度の影響は少ないと考えられる。

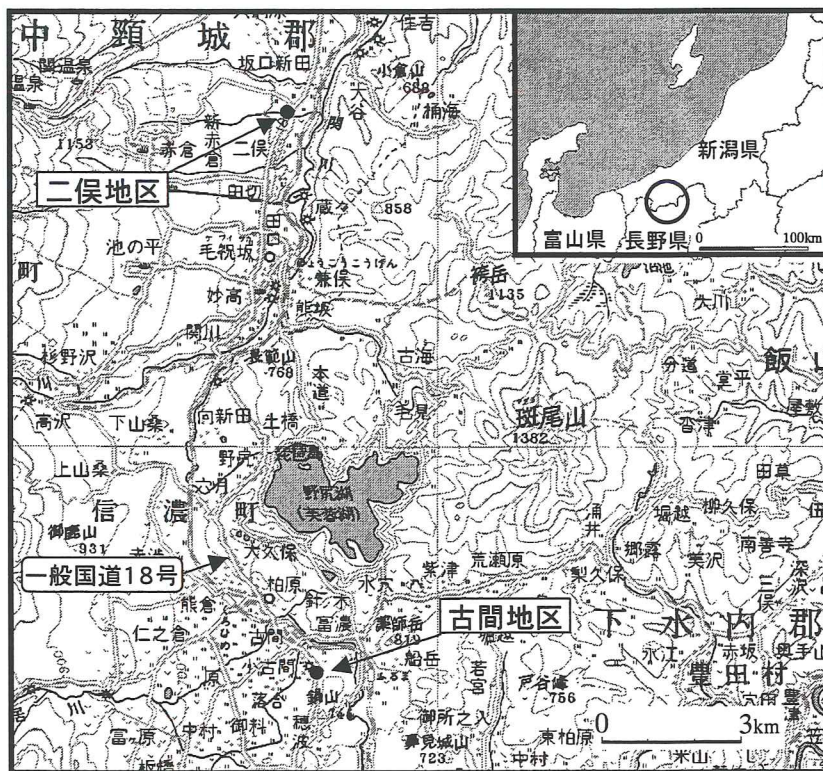
このように、既存の資料を調査した結果、各要因のすべり摩擦係数への影響は、路面分類により、異なる影響を与えていることが推定された。

また、速度については、速度増加に応じタイヤ温度が上昇することや、すべり摩擦係数が低く運転に危険を感じる場合、運転者が自主的に速度を落とすと思われることから、これらは考慮すべき要因と考えた。



### 3. 2 実道における雪氷路面のすべり摩擦係数等の現地計測

つぎに、平成11～14年（平成10～13年度）にかけて、図3-2-1に示す一般国道18号 二俣地区、古間地区において、目視による路面分類、交通状況・気象状況等（路面雪氷厚、路面温度、気温、車両の交通量、車両の平均速度等）と、すべり抵抗測定車によるすべり摩擦係数の計測を実施した。



1/20万地形図高田（国土地理院）より

図3-2-1 調査位置図（一般国道18号 二俣地区、古間地区）

計測状況を写真3-2-1、写真3-2-2に示す。

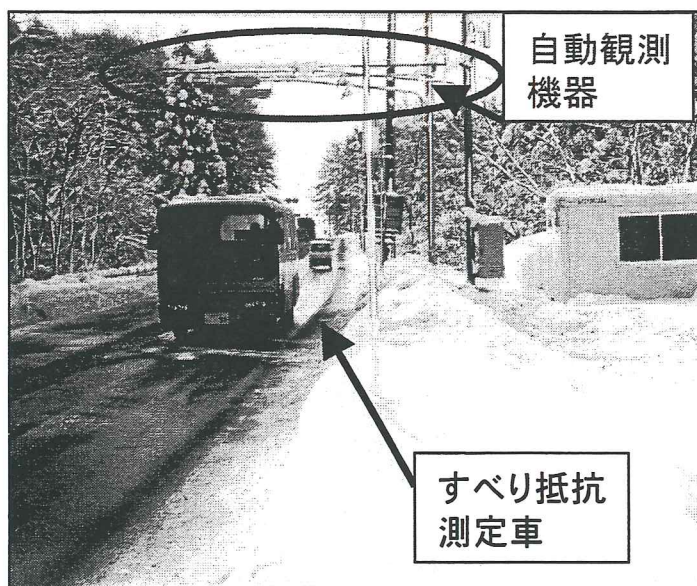


写真3-2-1 すべり摩擦係数の計測状況  
古間地区（長野県信濃町）

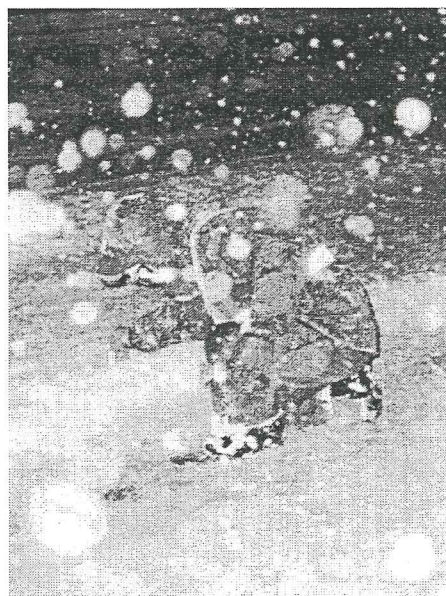


写真3-2-2 調査員による雪氷路面厚の計測状況



ここで、目視による路面分類は北海道開発局による路面分類<sup>2)</sup>を参考に表3-2-1に示すように走行部における雪氷路面の状態を17に分類した。

表3-2-1 目視による雪氷路面の分類<sup>2)</sup>

車両走行部の雪					路面分類		
雪氷の有無	表面の光沢	トレッドの跡	雪の状態	雪の色			
				厚さ	下層の状況		
有り	光っている	あまり		白っぽい		1 非常に滑りやすい圧雪	
				黒っぽい(灰, 茶色)	1mm以上	2 非常に滑りやすい氷板	
					1mm未満	3 非常に滑りやすい氷膜	
		付かない		白っぽい		4 かたい圧雪	
				黒っぽい(灰, 茶色)	1mm以上	5 氷板	
					1mm未満	6 氷膜	
	光っていない	付く(ぬかる)	縮まっている			7 ゆるい圧雪	
						8 こな雪	
						9 こな雪下層氷板	
		付く(ぬかる)	さらさら(雪煙が発生)	下層無し	下層氷板、氷膜		10 こな雪下層圧雪
					非常に滑りやすい圧雪		11 つぶ雪
							12 つぶ雪下層氷板
			ざくざく(ガラメ状、粒状)	下層無し	下層氷板、氷膜		13 つぶ雪下層圧雪
					非常に滑りやすい圧雪		14 黒シャーベット
							15 白シャーベット
付く(ぬかる)	べたべた(水を含んだもの)		路面が黒く見える	舗装面が見える	16 湿潤		
			路面が白く見える	舗装面が見えない	17 乾燥		
無し	湿潤						
	乾燥						

表3-2-2 観測項目の測定法

観測項目	観測機器及び測定方法
路面温度(℃)	接地式温度計を用い、車両走行部またはその付近の雪氷路面の表面で温度を測定する。測定箇所は3箇所とし、その平均値を求める。
時間降雪量(cm/h)	降雪板等を用い毎正時に測定する。測定箇所は3箇所とし、その平均値を求める。
雪氷路面厚(cm)	車両走行部において、金尺またはノギスを用いて計測する。測定箇所は3箇所とし、その平均値を求める。
残留塩分濃度(%)	車両走行部の雪氷を採取し、融解後、屈折式塩分濃度計により計測する。採取箇所は3箇所とし、その平均値を求める。

また、路面温度、時間降雪量、雪氷路面厚、残留塩分濃度は表3-2-2に示すとおり調査員が直接計測し、気温、車両の交通量、車両の平均速度等は自動計測機器により計測した。

すべり摩擦係数の計測は、すべり抵抗測定車に写真3-2-3及び図3-2-2に示すように外側車線走行位置に設置されている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)により行った。

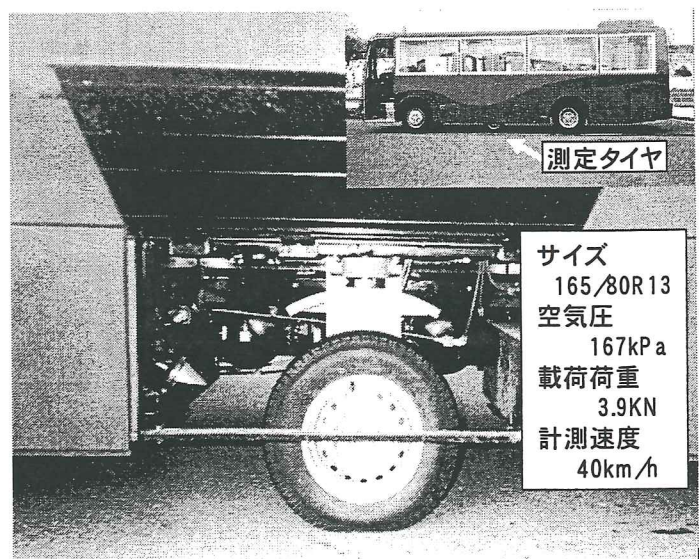


写真3-2-3 測定タイヤの状況

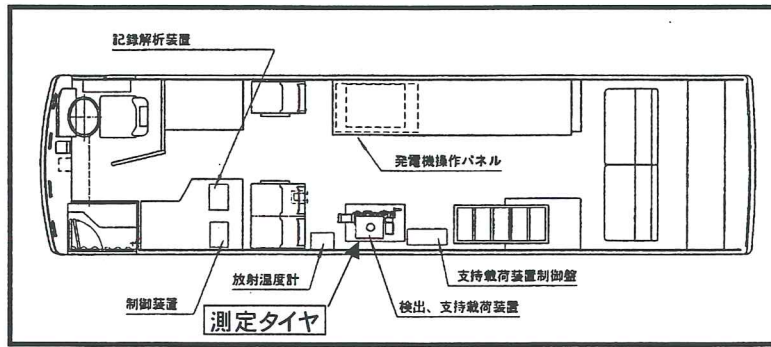


図3-2-2 すべり抵抗測定車平面図

計測速度は約40km/h、タイヤにかかる上載荷重Wは3.9kNで、計測地点にさしかかった時、タイヤにブレーキをかけタイヤをロックさせた状態で、式3.2.1によりブレーキ力から算出される縦すべり摩擦係数を求めた。(図3-2-3参照)

$$\mu(BF) = \frac{BF}{W} \dots\dots\dots\text{式3.2.1}$$

$\mu(BF)$ : ブレーキ力から算出される  
縦すべり摩擦係数

BF : タイヤに作用するブレーキ  
力 (kN)

W : タイヤにかかる上載荷重  
(kN)

1回当たりの計測時間は、概ね1～3秒である。

図3-2-4に計測結果の一例を示すが、すべり摩擦係数は、計測時間の前後を除いた部分を平均して求めた。

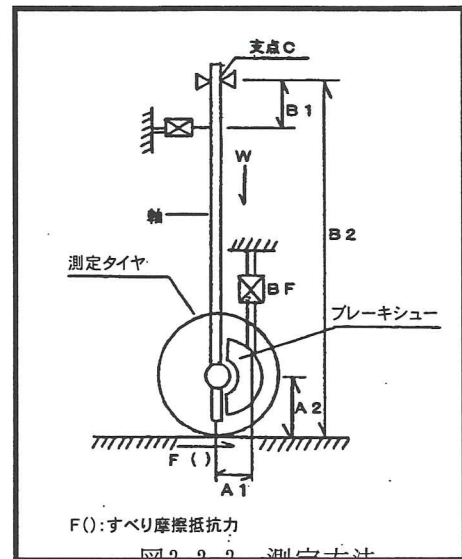


図3-2-3 測定方法

なお、二俣地区、古間地区では、目視による路面分類とすべり摩擦係数だけの計測も実施した。また、地方整備局等により実施された、目視による路面分類と路面のすべり摩擦係数の計測結果も収集した。

表3-2-3に計測データ数の一覧を示すが、目視による路面分類とすべり摩擦係数のみを計測したものは1,049データであり、そのうち、一般国道18号 二俣地区、古間地区を合わせて245データ

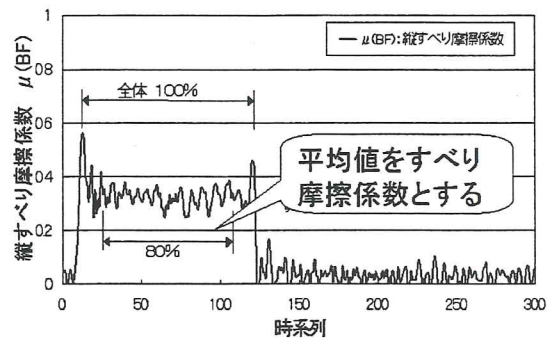


図3-2-4 すべり摩擦係数の求め方

については、交通状況・気象状況等（路面雪氷厚、路面温度、気温、車両の交通量、車両の平均速度等）の詳細な計測を行っている。

表3-2-3 計測データ数一覧表

	調査箇所		データ数					詳細調査の項目
			H11	H12	H13	H14	計	
土木研究所 新潟試験所	新潟県妙高高原町	R18 二俣	720 (117)	91 (40)	27 (19)	7 (7)	845 (183)	天候、気温、路面温度、湿度、平均風速、(地中温度-2cm)、時間降雪量、路面雪氷厚、残留塩分濃度、時間交通量、平均走行速度
	長野県信濃町	R18 古間		111 (55)	20	8 (7)	139 (62)	
北陸地方整備局	新潟県湯沢町	R17 湯沢		26			26	
東北地方整備局	秋田県田沢湖町	R46 田沢湖		13			13	
北海道開発局	北海道石狩市	R231石狩		26			26	
	計		720 (117)	267 (95)	47 (19)	15 (14)	1049 (245)	

( )内の数値は、目視による路面分類とすべり摩擦係数の計測以外に、詳細調査の計測も行ったデータ数

※新潟試験所による平成11年（平成10年度）の計測は、北陸地方建設局所有のすべり抵抗測定車を用いて実施

また、路面分類別にデータ数を整理すると図3-2-5に示すとおりであり、今回の計測結果では図3-2-5から分かるよう、二俣地区の計測データが大部分を占め、路面分類は「かたい圧雪」「こな雪下層氷板」「つぶ雪」「つぶ雪下層氷板」「黒シャーベット」が多くなっていることが分かる。

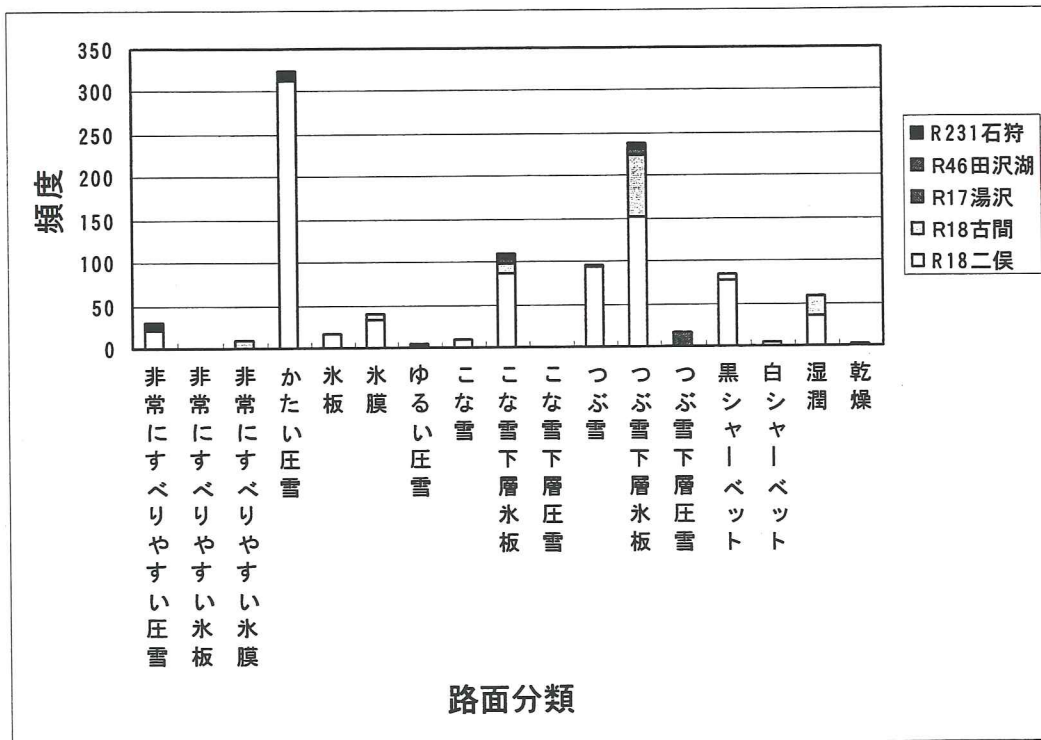


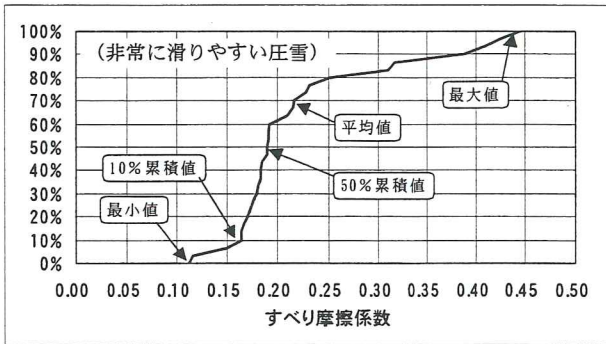
図3-2-5 路面分類別データ数

### 3. 3 すべり摩擦係数と路面分類

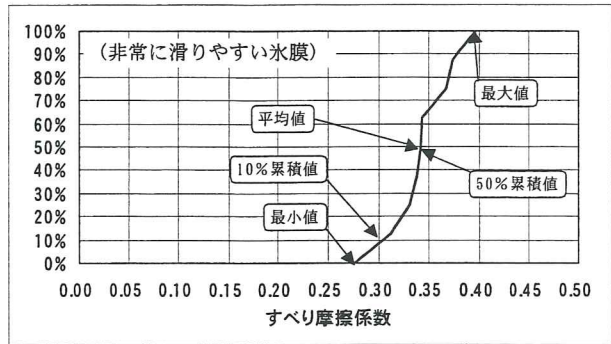
ここでは、1,049データの計測・収集した路面分類とすべり摩擦係数の関係の整理を行った。



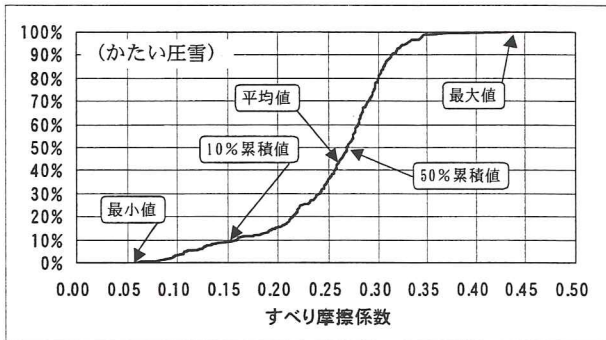
整理にあたっては、図3-3-1(a)～(i)に示すように、路面分類別にすべり摩擦係数の累加曲線グ



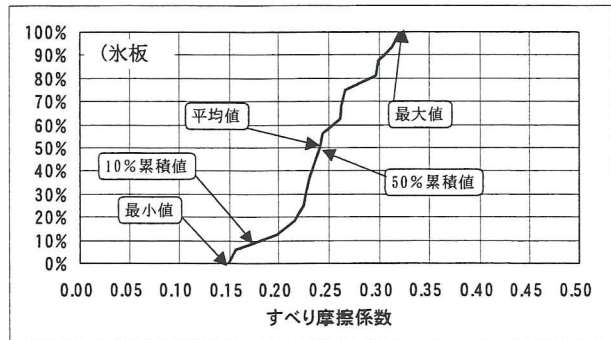
(a) 非常に滑りやすい圧雪



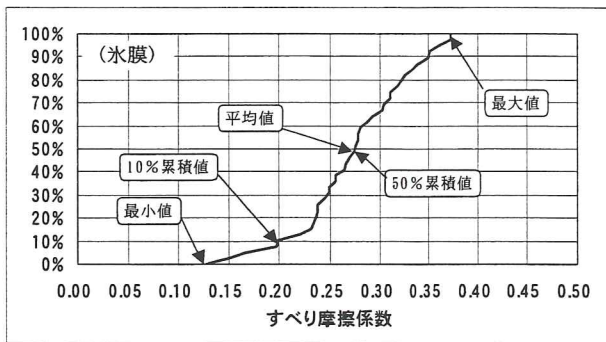
(b) 非常に滑りやすい氷膜



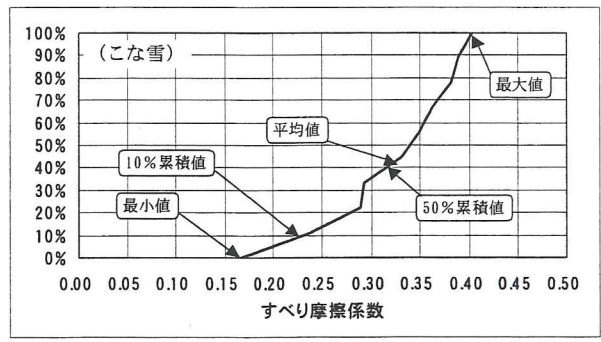
(c) かたい圧雪



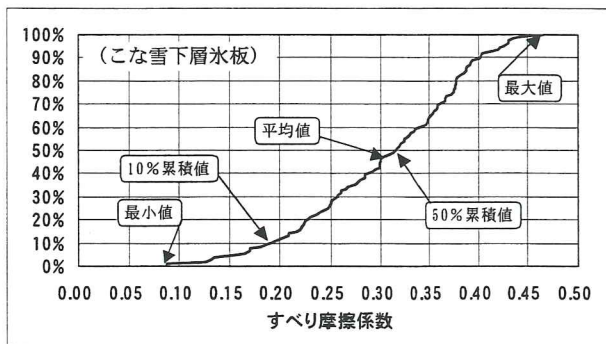
(d) 氷板



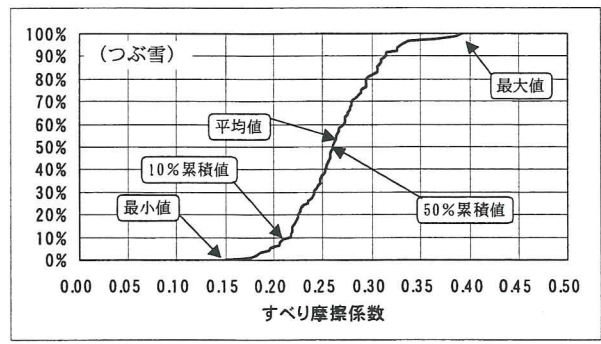
(e) 氷膜



(f) こな雪



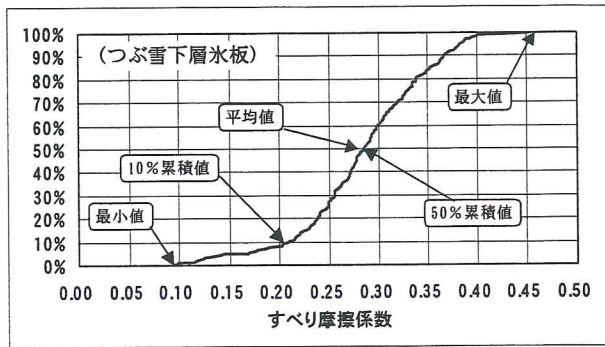
(g) こな雪下層氷板



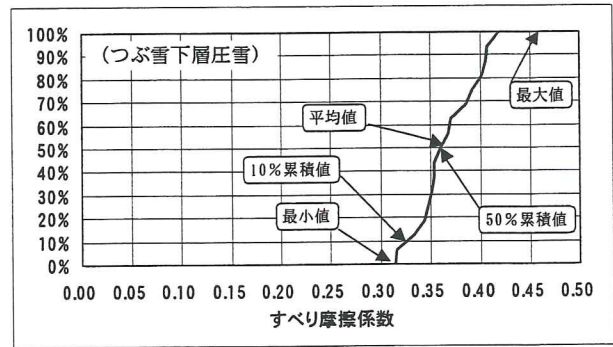
(h) つぶ雪



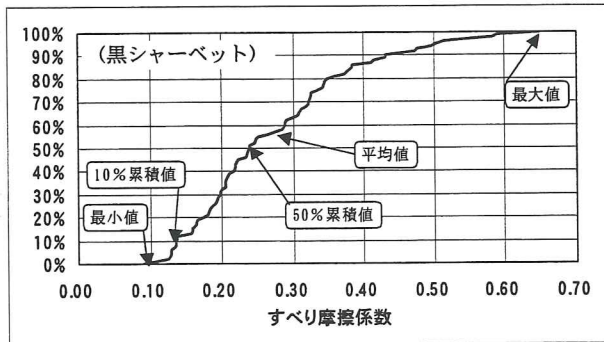
図3-3-1 路面分類別のすべり摩擦係数累積頻度分布図(1)



(g) つぶ雪下層氷板



(h) つぶ雪下層圧雪



(i) 黒シャーベット

図3-3-1 路面分類別のすべり摩擦係数累積頻度分布図(2)

ラフを作成し、最大値(max)、最小値(min)、10%累積値(f10)、50%累積値(f50)及び平均值(ave)を求めた。整理結果を表3-3-1に示す。すべり摩擦係数は路面分類毎に異なり、路面分類毎のすべり摩擦係数の平均值は0.15~0.35程度の値を示していることが分かる。

表3-3-1 路面分類とすべり摩擦係数の統計値

路面分類	データ数	最小値	10%累積値	50%累積値	最大値	平均值
1.非常に滑りやすい圧雪	31	0.11	0.16	0.19	0.44	0.22
2.非常に滑りやすい氷板	1	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
3.非常に滑りやすい氷膜	9	0.28	0.31	0.34	0.40	0.34
4.かたい圧雪	324	0.06	0.16	0.27	0.43	0.25
5.氷板	17	0.15	0.18	0.24	0.32	0.24
6.氷膜	40	0.13	0.20	0.27	0.37	0.27
7.ゆるい圧雪	4	0.25	0.28	0.36	0.40	0.34
8.こな雪	10	0.17	0.23	0.34	0.40	0.32
9.こな雪下層氷板	109	0.09	0.19	0.32	0.47	0.30
10.こな雪下層圧雪	0	/	/	/	/	/
11.つぶ雪	96	0.15	0.21	0.26	0.39	0.26
12.つぶ雪下層氷板	239	0.09	0.21	0.29	0.45	0.28
13.つぶ雪下層圧雪	17	0.31	0.33	0.36	0.42	0.37
14.黒シャーベット	85	0.09	0.14	0.24	0.65	0.27
15.白シャーベット	5	0.14	0.15	0.15	0.18	0.16
16.湿潤	59	0.13	0.39	0.53	0.67	0.52
17.乾燥	3	0.38	0.39	0.44	0.45	0.42

また、冬期路面管理マニュアル（案）<sup>2)</sup>では、参考として路面分類とすべり摩擦係数（～f50）を整理した図3-3-2が記載されている。

路面分類	すべり摩擦係数	すべり摩擦係数					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1 非常に滑りやすい氷膜 非常に滑りやすい氷板 非常に滑りやすい圧雪	～ 0.15 ～ 0.20	■					
2 氷板 こな雪下層氷板 氷膜	0.15 ～ 0.20 0.15 ～ 0.30		■				
3 つぶ雪下層氷板 圧雪	0.20 ～ 0.30			■			
4 こな雪 つぶ雪 シャーベット	0.25 ～ 0.35				■		
5 湿潤 乾燥	0.45 ～					■	■

※測定条件 使用タイヤ：冬期路面調査用標準タイヤ ※すべり摩擦係数は各目視路面分類毎の実測値のうち、概ね50%累積値までの範囲を示している。  
 タイヤサイズ：165/80 R13  
 タイヤ空気圧：1.0kgf/cm<sup>2</sup>  
 設置荷重：400kgf

図3-3-2 目視路面分類と摩擦係数（参考）

今回計測したデータを同様に整理すると図3-3-3に示すとおりとなる。

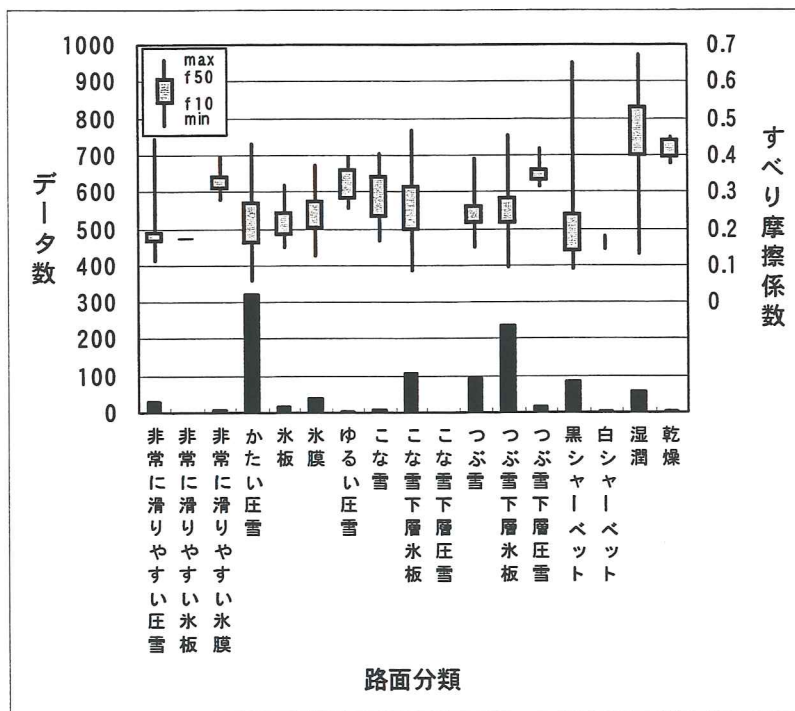


図3-3-3 目視による路面分類とすべり摩擦係数

雪氷路面のすべり摩擦係数は、路面分類によりバラツキはあるものの、50%累積値（f50）が0.1～0.3程度の範囲となっている。また、図3-3-2と比較して、「黒シャーベット」「つぶ雪」「かたい圧雪」が低い値となっているが、全体的には近い範囲を取っているものが多い。

また、それぞれの路面分類毎にすべり摩擦係数（10%累積値～50%累積値）の範囲をみていくと、「非常に滑りやすい圧雪」では0.2以下となっており、「かたい圧雪」、「氷板」、「黒シャーベット」では0.15～0.25の範囲と、すべり摩擦係数が低く注意を要する路面であることが分かる。



「非常に滑りやすい氷膜」は、すべり摩擦係数（10%累積値～50%累積値）が0.3～0.35程度の高い値を示しているが、9データとデータ数が少ないため、本来のすべり摩擦係数が今回の計測結果より低い値となる可能性があり、注意を要する路面であると推定される。

このように、すべりやすい雪氷路面の判別は、目視による路面分類である程度分類出来るが、計測値にはバラツキが多く上記以外にも「こな雪下層氷板」、「つぶ雪下層氷板」等、すべり摩擦係数が0.15以下となる低い値が計測されている。

また、表3-3-2、図3-3-4は、目視による路面分類と、各路面分類毎にすべり摩擦係数の最小値(min)、10%累積値(f10)、20%累積値(f20)、30%累積値(f30)、50%累積値(f50)を示している。

表3-3-2 路面分類とすべり摩擦係数

路面状態	非常に滑りやすい圧雪	非常に滑りやすい氷板	非常に滑りやすい氷膜	かたい圧雪	氷板	氷膜	ゆるい圧雪	こな雪	こな雪下層氷板	こな雪下層圧雪	つぶ雪	つぶ雪下層氷板	つぶ雪下層圧雪	黒シャーベット	白シャーベット
データ数	31	1	9	324	17	40	4	10	109		96	239	17	85	5
最小値	0.11	0.17	0.28	0.06	0.15	0.13	0.25	0.17	0.09		0.15	0.09	0.31	0.09	0.14
累積10%値	0.16	0.17	0.31	0.16	0.18	0.20	0.28	0.23	0.19		0.21	0.21	0.33	0.14	0.15
累積20%値	0.17	0.17	0.32	0.21	0.22	0.24	0.30	0.28	0.23		0.23	0.24	0.34	0.17	0.15
累積30%値	0.18	0.17	0.33	0.24	0.23	0.25	0.33	0.29	0.26		0.24	0.25	0.35	0.20	0.15
累積50%値	0.19	0.17	0.34	0.27	0.24	0.27	0.36	0.34	0.32		0.26	0.29	0.36	0.24	0.15

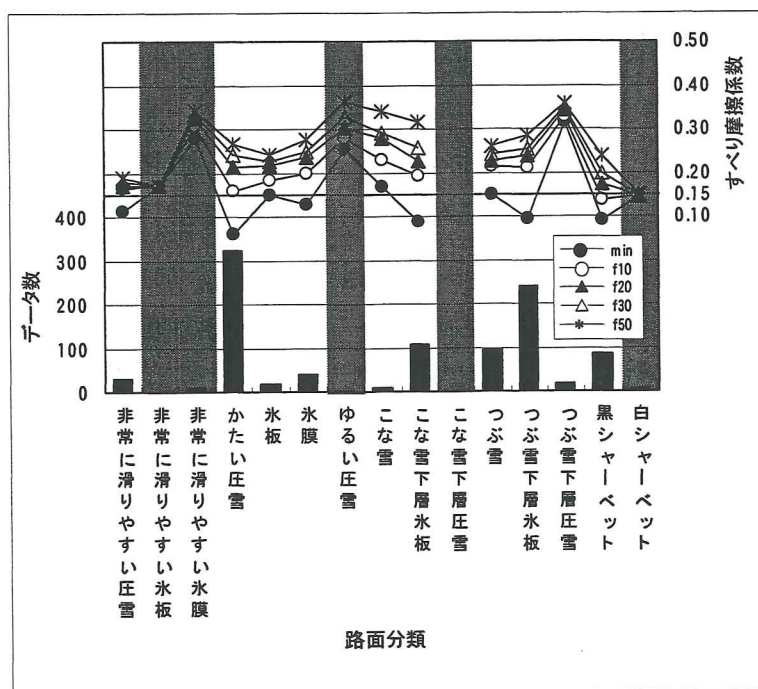


図3-3-4 目視による路面分類とすべり摩擦係数

図から分かるよう、データ数の少ない網掛け部を除くと、「こな雪」「つぶ雪」を除くほぼ全ての路面で最小値が0.15未満となっている。

ここで、観測地におけるすべり摩擦係数が一定値を下まわらない割合を信頼性とする、100%の信頼性ですべり摩擦係数が0.15を超えるためには、路面に積雪が確認されたら直ぐに除雪する黒い路面管理が必要となるが、除雪車の周回周期や経費を考えると100%の信頼性による黒い路面管理は不可能と考えられる。

つぎに90%の信頼性（10%累積値(f10)）に下げると、黒シャーベットで多少0.15を下回っているものの、ほかの路面分類では0.15を超えている。

また、90%の信頼性では、「非常に滑りやすい圧雪」「かたい圧雪」「氷板」「氷膜」「こな雪下層氷板」「黒シャーベット」のすべり摩擦係数が0.2以下となっており、すべり摩擦係数0.2を確保しようとする場合、これらの路面が生じないように注意する必要がある。

### 3. 4 重回帰分析によるすべり摩擦係数推定

表3-4-1 路面分類別の詳細調査数  
(二俣地区)

安全な冬期路面確保のためには、よりバラツキの小さいすべり摩擦係数を推定する必要がある。既存資料の整理結果より、すべり摩擦係数は気象条件や交通状況等により影響を受けると推定されることから、路面状況や気象状況等の観測値を用いて、重回帰分析により、すべり摩擦係数の推定手法の検討を行った。

	データ数
1.非常に滑りやすい圧雪	9
4.かたい圧雪	48
5.氷板	5
6.氷膜	8
7.ゆるい圧雪	2
8.こな雪	4
9.こな雪下層氷板	33
11.つぶ雪	14
12.つぶ雪下層氷板	33
14.黒シャーベット	15
16.湿潤	5
17.乾燥	7
計	183

解析に用いたデータは、新潟試験所で収集した二俣地区のデータの内、詳細な調査を行った183データ(H11.1~H14.2)であり、路面分類毎のデータ数を表3-4-1に示す。

解析に用いる要因は、表3-2-3に示す詳細調査の項目の内、図3-4-1に示すように、参考文献<sup>5~10)</sup>からの知見や調査項目間の相関等により選択した。

関連の薄い調査項目の削除

既存資料からの知見  
すべり面摩擦係数と調査項目の相関性

表3-4-2は、要因間の相関性を示した表であり、「時間降雪量」と「路面雪氷厚」、「気温」や「路面温度」・「路面温度(定点)」・「地中温度(-2cm)」は、それぞれ相関が深い要因である。このうち直接、雪氷路面の状態を表す「路面雪氷厚」「路面温度」を用いることとした。

解析要因の決定

以上より、解析に用いる要因は「路面雪氷厚」「路面温度」「残留塩分濃度」「交通量」「平均速度」とした。

図3-4-1 解析要因の決定法

また、データ数が少ない「ゆるい圧雪」、

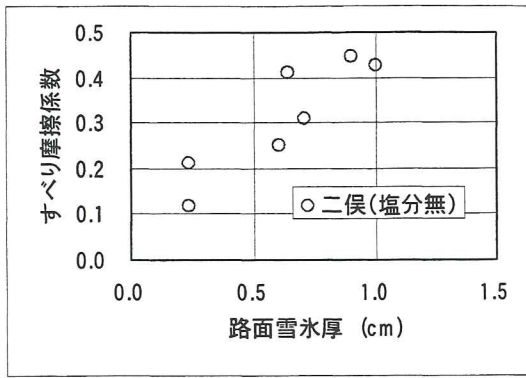
「こな雪」と「湿潤」、「乾燥」を除いて各路面分類毎にすべり摩擦係数と各要因についてグラフを作成してその関係を調べた。図3-4-2(a)~(h)、図3-4-6(a)~(h)に整理結果を示す。グラフの中の平均値は、要因の影響を分かり易くするため、適当な間隔で区切り、その平均値を求めたものである。

表3-4-2 要因間の相関性

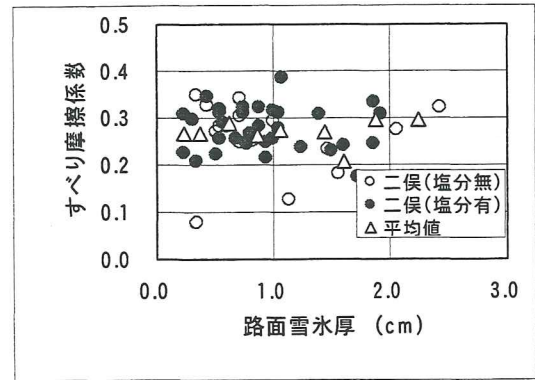
	時間降雪量	路面雪氷厚	路面温度	残留塩分濃度	気温	路面温度定点	平均風速	湿度	交通量	平均速度	地中温度2cm
時間降雪量	○										
路面雪氷厚	○	○									
路面温度			△		△	○		△			◎
残留塩分濃度				△							
気温			△		○						
路面温度定点			○		○						△
平均風速							△				
湿度			△					△			△
交通量									△		
平均速度										△	
地中温度2cm											◎

△:相関係数0.5以上 ○:相関係数0.6以上 ◎:相関係数0.7以上

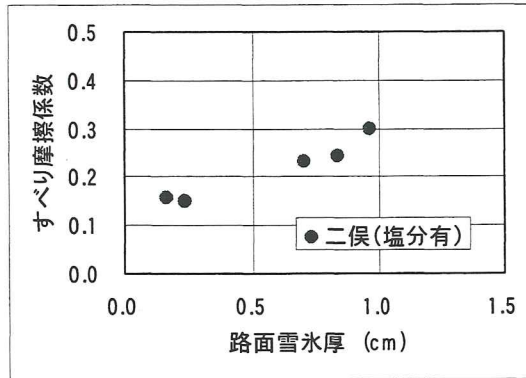




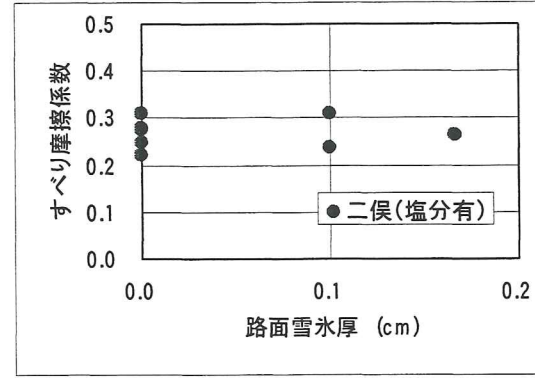
(a) 非常に滑りやすい圧雪



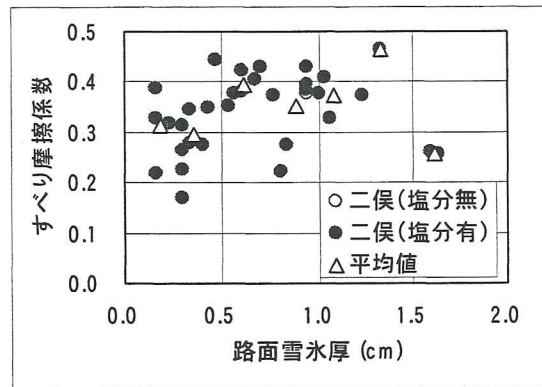
(b) かたい圧雪



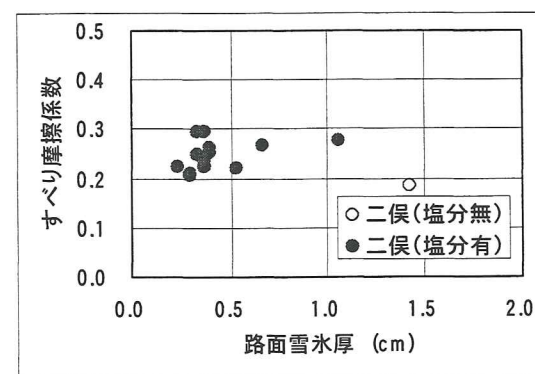
(c) 氷板



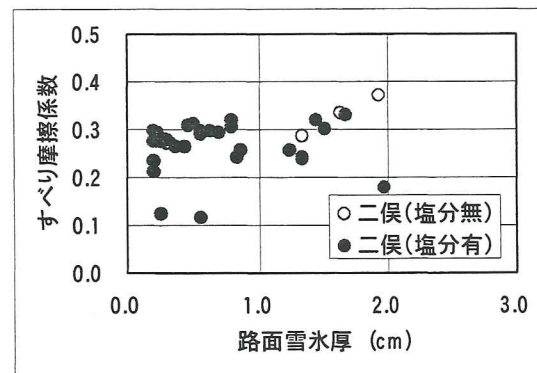
(d) 氷膜



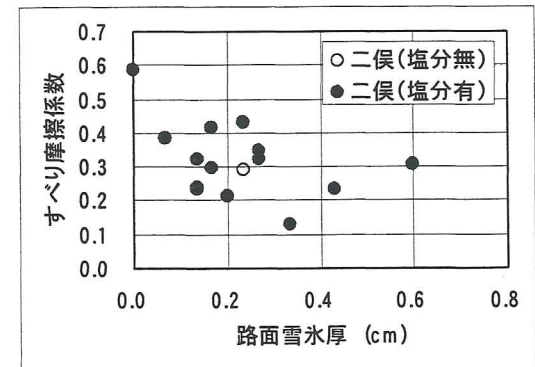
(e) こな雪下層氷板



(f) つぶ雪

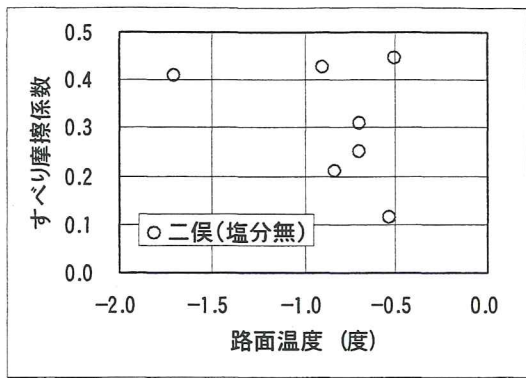


(g) つぶ雪下層氷板

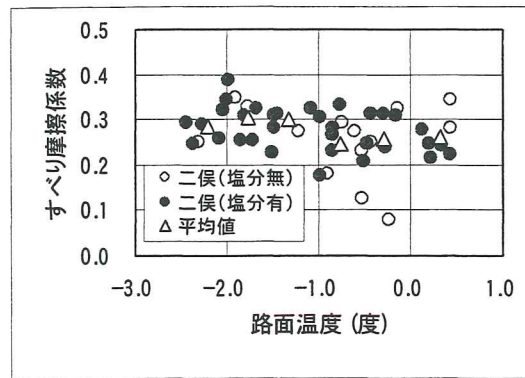


(h) 黒シャーベット

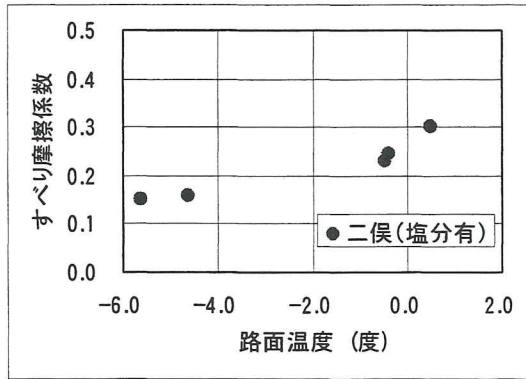
図3-4-2 すべり摩擦係数と路面雪氷厚



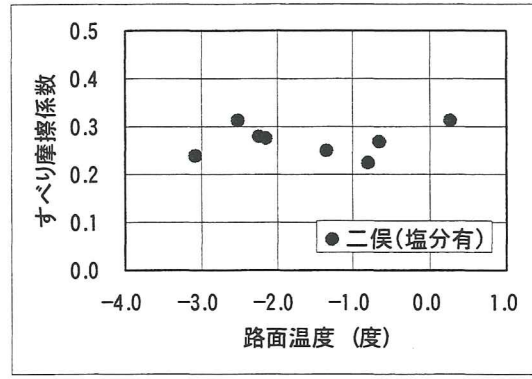
(a) 非常に滑りやすい圧雪



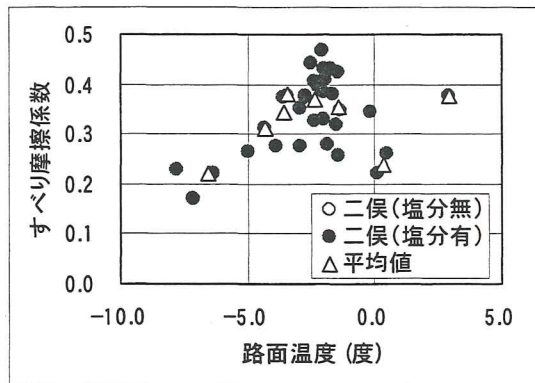
(b) かたい圧雪



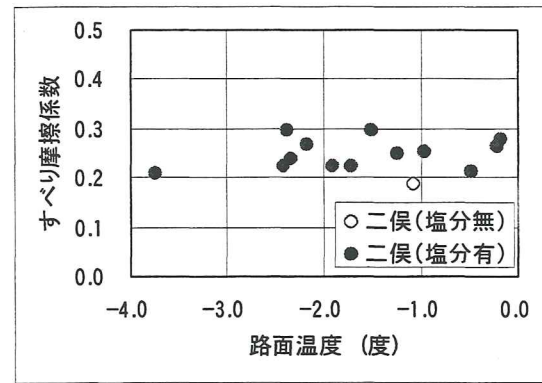
(c) 氷板



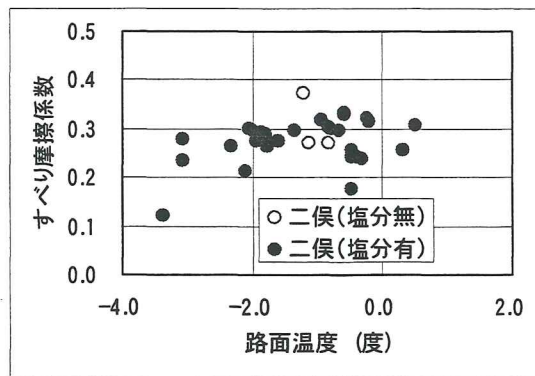
(d) 氷膜



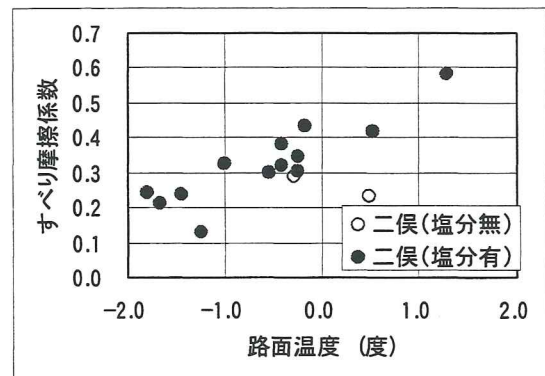
(e) こな雪下層氷板



(f) つぶ雪

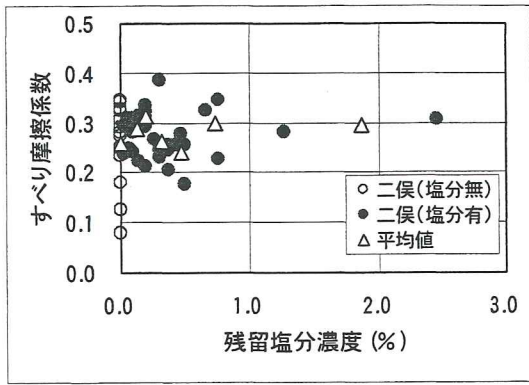


(g) つぶ雪下層氷板

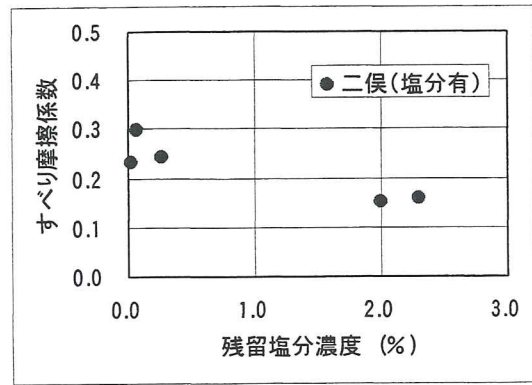


(h) 黒シャーベット

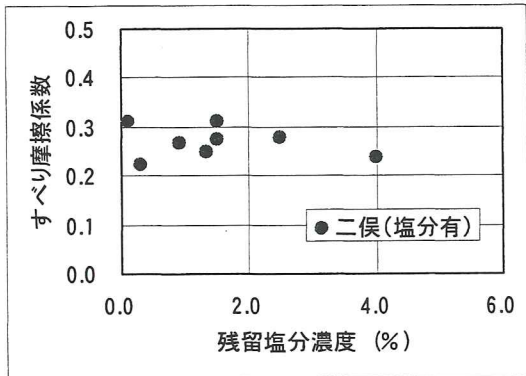
図3-4-3 すべり摩擦係数と路面温度



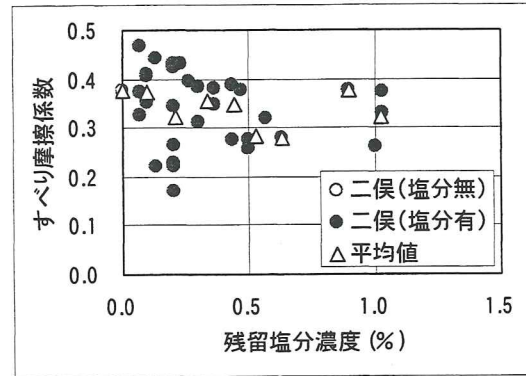
(a) かたい圧雪



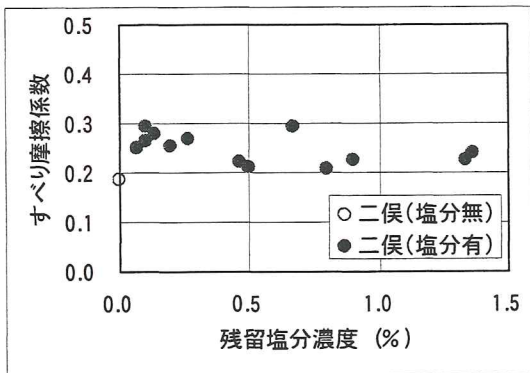
(b) 氷板



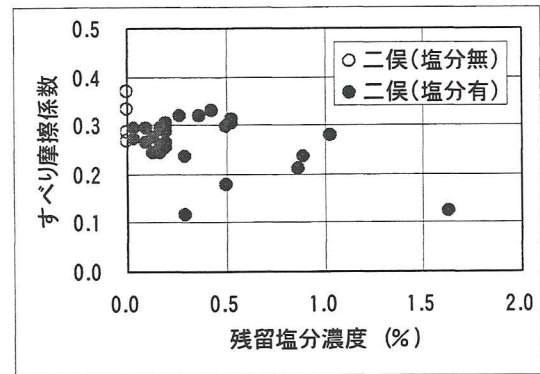
(c) 氷膜



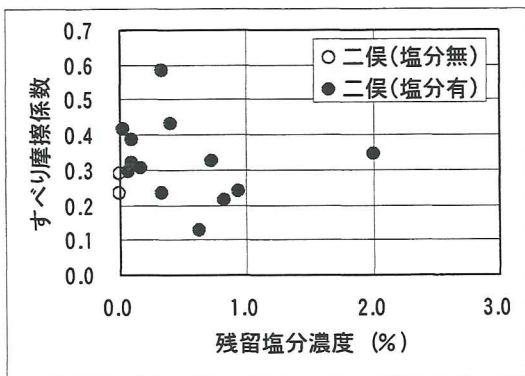
(d) こな雪下層氷板



(e) つぶ雪

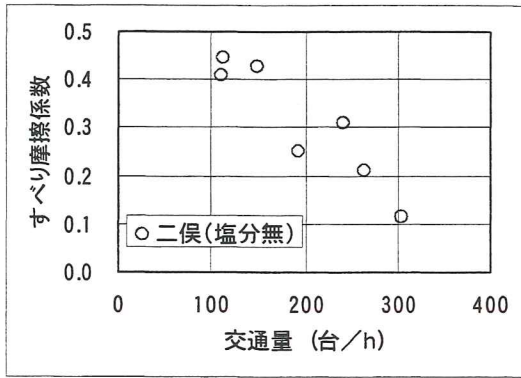


(f) つぶ雪下層氷板

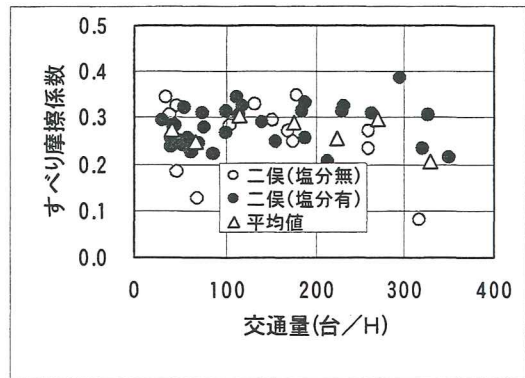


(g) 黒シャーベット

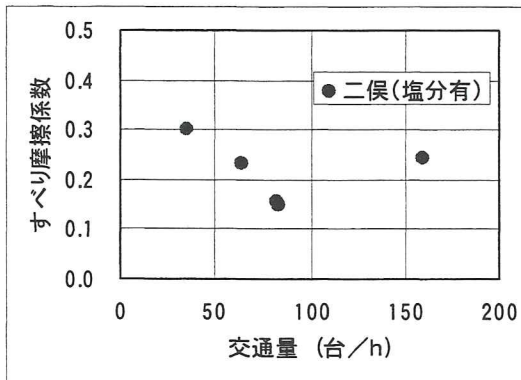
図3-4-4 すべり摩擦係数と残留塩分濃度



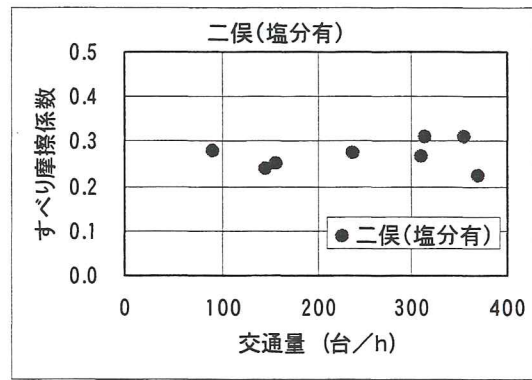
(a) 非常に滑りやすい圧雪



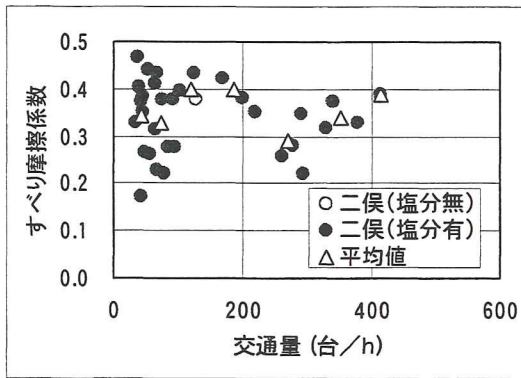
(b) かたい圧雪



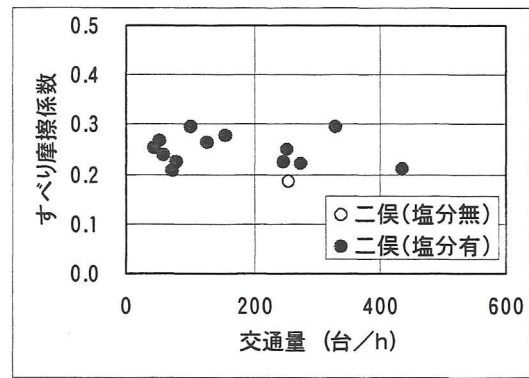
(c) 氷板



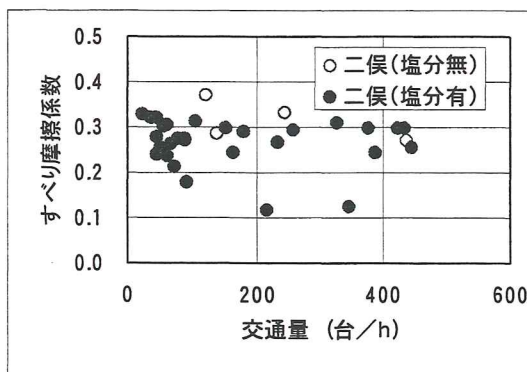
(d) 氷膜



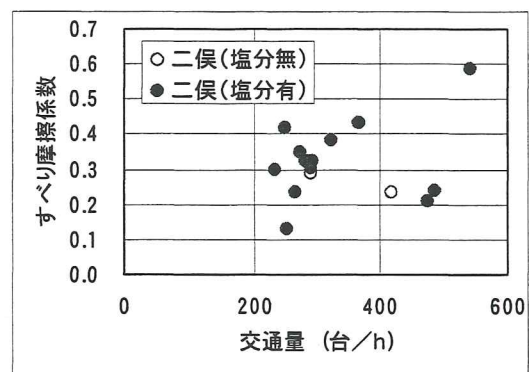
(e) こな雪下層氷板



(f) つぶ雪



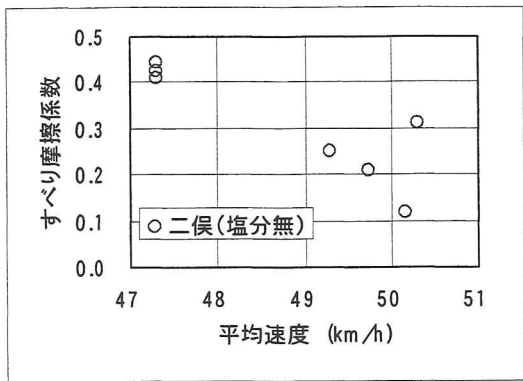
(g) つぶ雪下層氷板



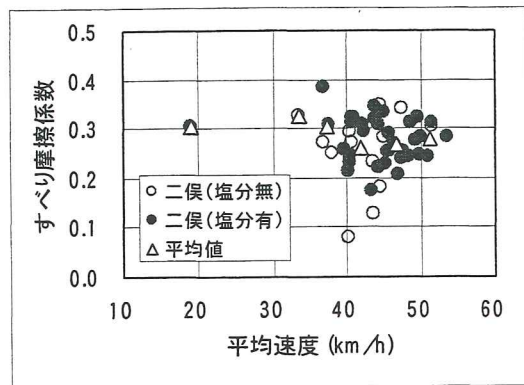
(h) つぶ雪

図3-4-5 すべり摩擦係数と交通量

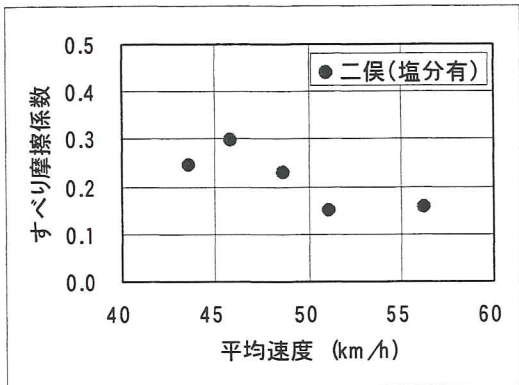




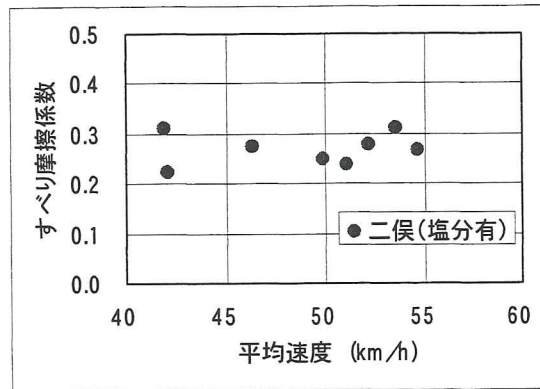
(a)非常に滑りやすい圧雪



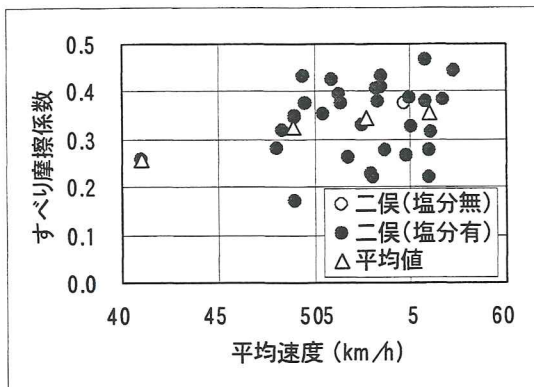
(b)かたい圧雪



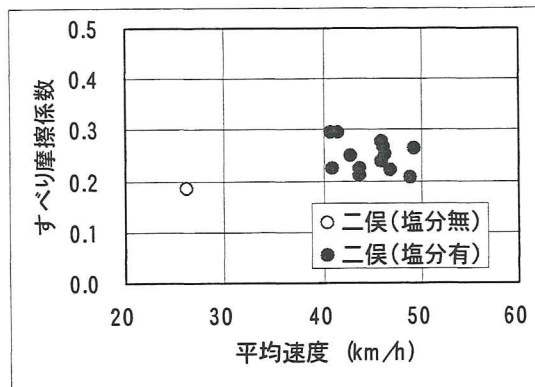
(c)氷板



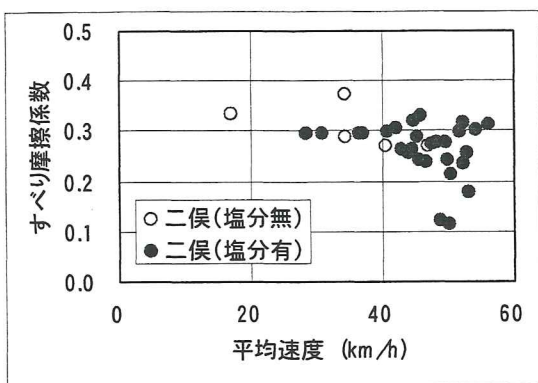
(d)氷膜



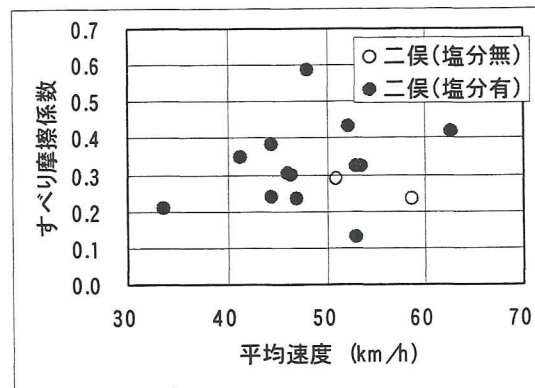
(e)こな雪下層氷板



(f)つぶ雪



(g)つぶ雪下層氷板



(h)黒シャーベット

図3-4-6 すべり摩擦係数と平均速度

各グラフでは、整理した要因以外の要因の影響も加わるため、すべり摩擦係数にバラツキが生じていることが推定される。

グラフの中ではデータ数は少ないものの、残留塩分濃度が観測されていない「非常に滑りやすい圧雪」では、すべり摩擦係数と「路面雪氷厚」や「路面温度」、「交通量」、「平均速度」の間で、比較的明確な比例関係が認められ、「氷板」や「氷膜」、「つぶ雪」、「黒シャーベット」等においても、その傾向が認められる。

「かたい圧雪」「こな雪下層氷板」については、データ数が比較的多いため、適当な区間に区切って求めた平均値を記載した。この平均値から見ると、「かたい圧雪」では、すべり摩擦係数と各要因との関係は、あまり認められないようである。「こな雪下層氷板」については、平均値を見るとすべり摩擦係数と各要因の間で明瞭とは言い難いものの、やや比例関係が読みとれる。

このように、各要因とすべり摩擦係数の間には関係が認められる。しかしながら、その影響度合いは、路面分類毎のグラフを比較すると異なっていることが明らかであり、重回帰分析は、路面分類別を実施することが適切と考えられる。

そこで、路面状態毎に式3.4.1により重回帰分析を行い推定式を作成した。なお、データ数が少ないため、「氷板」、「ゆるい圧雪」、「こな雪」の解析は出来なかった。

**(推定式)**

$$y = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + c \quad \dots \quad \text{式3.4.1}$$

- ここに 目的変数  $y$  : すべり摩擦係数  
 説明変数  $X_1$  : 路面雪氷厚 (cm)  
 $X_2$  : 路面温度 (°C)  
 $X_3$  : 残留塩分濃度 (%)  
 $X_4$  : 交通量 (台/h)  
 $X_5$  : 平均速度 (km/h)

解析結果を表3-4-3に示す。また、図3-4-7～図3-4-13には、入力値(実測値)と重回帰式より求めた推定値を比較したものを示す。

表3-4-3 解析結果一覧

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	重相関係数 R	自由度修正済重相関係数	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である。

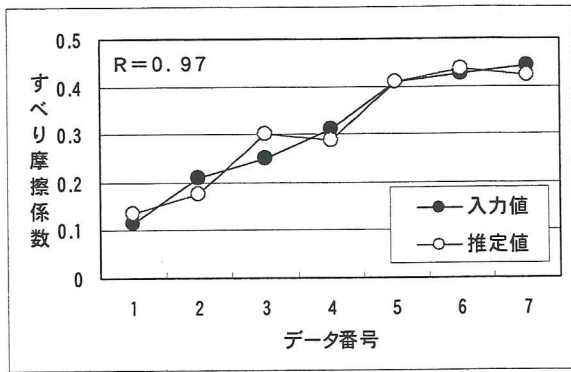


図3-4-7 解析結果(非常に滑りやすい圧雪)

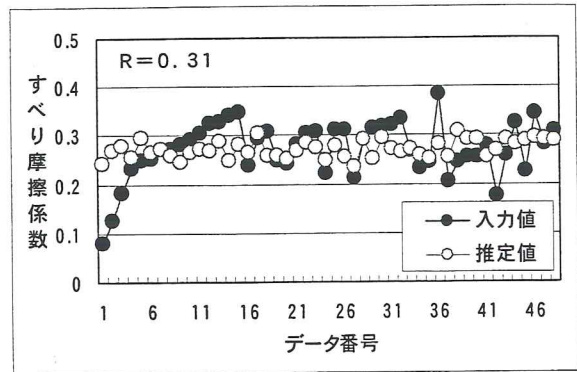


図3-4-8 解析結果(かたい圧雪)

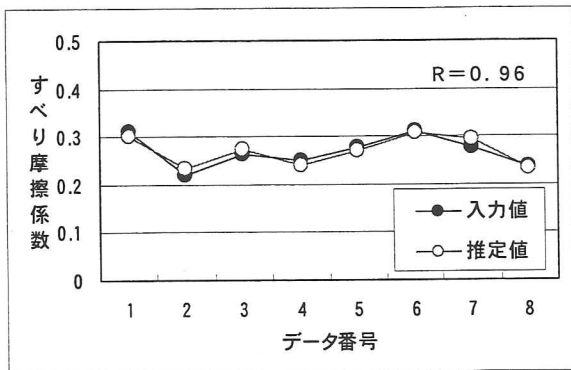


図3-4-9 解析結果(氷膜)

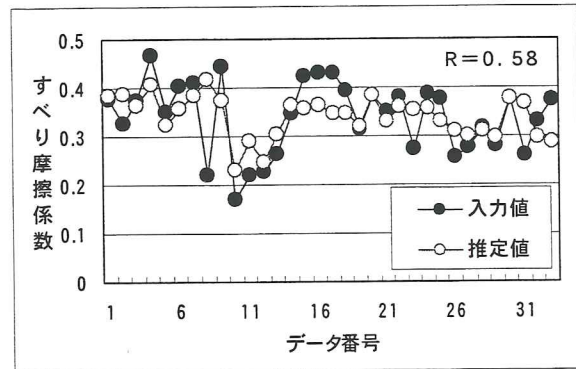


図3-4-10 解析結果(こな雪下層氷板)

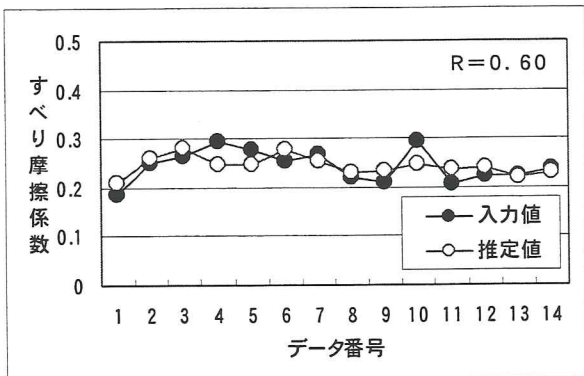


図3-4-11 解析結果(つぶ雪)

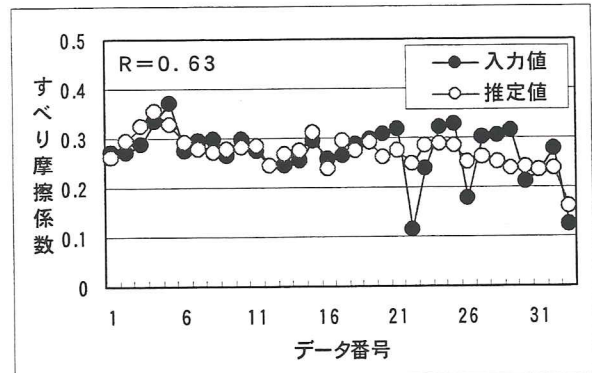


図3-4-12 解析結果(つぶ雪下層氷板)

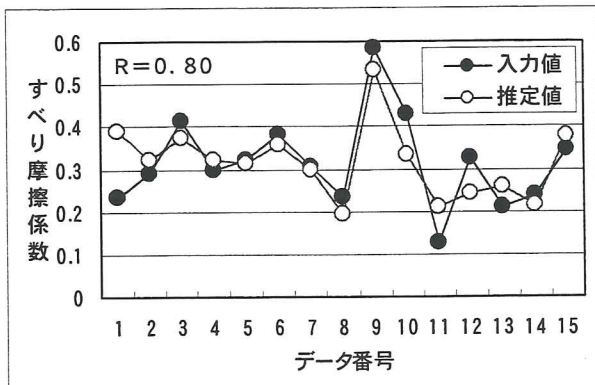


図3-4-13 解析結果(黒シャーベット)



なお、今回はデータ数が少なく、それ故に必要な要因も、削除されてしまう恐れがあることから、変数の選択は行わないこととした。

また、要因の重要度を検討するために標準偏回帰係数を求めると表3-4-4に示すとおりとなる。

表3-4-4 標準偏回帰係数

路面分類	要因	データ数	路面雪氷厚	路面温度	残留塩分濃度	交通量	平均速度
非常に滑りやすい圧雪		7	0.5321	-0.1287		-0.3834	-0.0719
かたい圧雪		48	0.0311	-0.2708	0.0536	-0.1276	-0.0454
氷膜		8	-3.7015	-1.2576	1.2819	4.6013	5.0217
こな雪下層氷板		33	0.1944	0.4669	-0.2850	0.1096	0.3104
つぶ雪		14	-0.4459	0.2522	-0.4420	-0.4111	0.0475
つぶ雪下層氷板		33	0.0106	-0.0134	-0.3749	-0.3986	-0.4220
黒シャーベット		15	-0.1753	0.8165	0.0507	0.0094	-0.2385

表3-4-3において「非常に滑りやすい圧雪」、「氷膜」は、データ数が数個と少ないため相関係数は高くなるが、重相関係数及び、データの個数を考慮した自由度修正済み重相関係数も0.8以上の高い値となっている。予測要因の必要性については、すべてが必要な要因とは判断されていないが、データ数が少なく検定まで行くと関係のある要因まで削除してしまう可能性がある。また、図3-4-2～図3-4-6をみると関連性が伺えることから、あえて要因は選択はしないこととした。

「かたい圧雪」や「つぶ雪」では、自由度修正済み重相関係数が0で、解析結果図3-4-8, 図3-4-11をみても推定値がほぼ一定値となっており、今回の要因では適切でないことが考えられる。

これらについては、路面表面の雪が柔らかさによりタイヤと雪のかみ合わせが異なり、すべり摩擦係数への影響が変化することが考えられることから、雪氷路面の硬度を推定手法の要因を取り入れる必要があると考えられる。しかしながら、現状では雪氷路面の硬度の計測手法は確立していないことから、計測手法も含めて今後の検討課題といえる。

「こな雪下層氷板」「つぶ雪下層氷板」は、図3-4-10や図3-4-12を見ると入力値を比較的良く再現されていることが分かる。重相関係数及び自由度修正済み重相関係数が0.5～0.6程度と相関性が良いと言うにはやや低い値となっているが、これは、すべり摩擦係数の計測精度や残留塩分濃度の影響により多少バラツキが生じているためと考えられる。また、分散分析結果から、式3-4-1で各要因の係数である $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 、 $\alpha_4$ 、 $\alpha_5$ が0となる可能性は5%以下であり、各要因がすべり摩擦係数の推定に必要な要因であることが伺える。

「黒シャーベット」では、重相関係数及び自由度修正済み重相関係数が0.7～0.8程度の比較的高い値を示しており、図3-4-13から分かるように、入力値も比較的良く再現されている。

分散分析結果からは、すべての要因がすべり摩擦係数の推定に必要な要因であるとは言い難く、交通量は、図3-4-5や標準偏回帰係数から妥当な要因でない可能性がある。

また、表3-4-4に示す標準偏回帰係数をみると、それぞれの路面分類で重要な要因（係数の絶対値が大きい）はそれぞれ異なり、今回選択した要因は、いずれもすべり摩擦係数に関連のある重要な要因であることが分かる。

ここでは、適切な回帰式が得られたと言えない「かたい圧雪」「つぶ雪」を除いて、偏回帰係数の符号から各要因の影響について考える。

路面雪氷厚は、「氷膜」「黒シャーベット」で、路面雪氷厚が厚くなれば、すべり摩擦係数が低下する傾向にあることが分かる。「氷膜」では、厚さが厚くなるほど路面の露出している可能性が小さくなるため、すべり摩擦係数が小さくなると考えられる。また、「黒シャーベット」では、参考文献10)と同じ傾向にある。「非常に滑りやすい圧雪」や「こな雪下層氷板」「粒雪下層氷板」は、逆にすべり摩擦係数は大きくなる傾向にあるが、標準偏回帰係数を見ると小さくその影響度は低いものと考えられる。

路面温度は、大半が0℃以下となっている。一般に0℃（凝固点）以下では、温度が低くなるほどすべりにくくなる。全体的に温度が低くなるほどすべり摩擦係数が増加する傾向にあるが、「こな雪下層氷板」「黒シャーベット」では、逆の傾向になっている。

図3-4-14のすべり摩擦係数と路面温度、残留塩分濃度を示した図にあるように、残留塩分濃度が高くなれば凝固点降下現象の影響で路面温度を下げ、低くなった凝固点付近ですべり摩擦係数が小さくなっている様子が分かる。

「黒シャーベット」については融解が進んでおり、すべての路面で見かけ上の凝固点より高い温度になっていることが推定され、0℃以上の時のように、温度増加と共にすべり摩擦係数が大きくなっていると推定される。

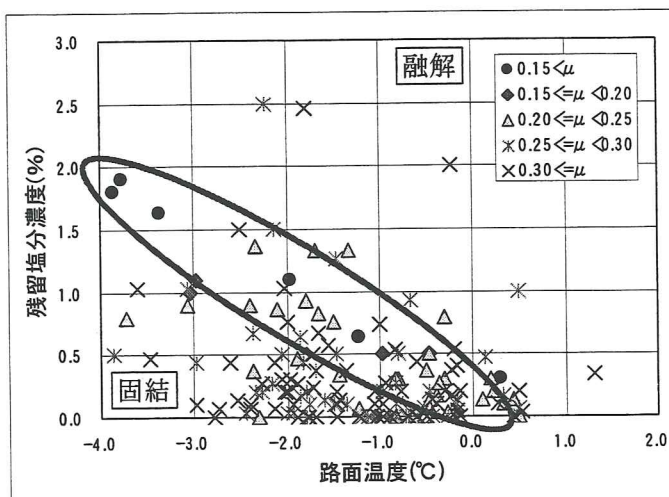


図3-4-14 路面温度、残留塩分濃度とすべり摩擦係数の関係

残留塩分濃度は、一般に残留塩分濃度が高くなるほどすべり摩擦係数が高いが、氷板の場合逆に氷の一部を溶かしすべりやすくなる場合もある。<sup>10)</sup> 今回の場合でも「こな雪下層氷板」、「つぶ雪下層氷板」は残留塩分濃度の増加に伴いすべり摩擦係数が低下しており、既存の文献と同様の結果が得られた。

交通量は、「非常に滑りやすい圧雪」、「つぶ雪下層氷板」では、交通量が多くなるほどすべり摩擦係数は低下しており、「氷膜」、「こな雪下層氷板」では、交通量増加によりすべり摩擦係数が増加傾向にある。

平均速度の場合には、速度が増す程タイヤ表面温度が上昇し「氷板」等においてすべり摩擦係数が低下する状況や、すべりやすい路面の場合にドライバーの危険判断から速度を落とす等の状況が想定される。すなわち、平均速度の上昇とともにすべり摩擦係数が低下する傾向と増加する傾向の相反する影響が考えられる。今回の結果からは、「氷膜」、「こな雪下層氷板」では、平均速度の増加と共にすべり摩擦係数が大きくなる傾向が、「非常に滑りやすい圧雪」、「つぶ雪下層氷板」、「黒シャーベット」では、逆にすべり摩擦係数が低下する傾向があるが、バラツキも多く天候等の影響も受けるため、明瞭な傾向としての判断はできないと考えられる。



#### 4. 5 すべり摩擦係数推定式の検証

ここでは、実測値と表3-3-1の平均値をすべり摩擦係数とした値、および前述の式3.4.1より推定されたすべり摩擦係数をそれぞれ比較し、精度の検証を試みた。用いたデータは、推定式を作成する時に使用した二俣地区の183データと長野県信濃町古間地区における詳細調査62データである。

ここに各々の残差は、式3.5.1、式3.5.2で表し、小さいほど推定の精度が良いことになる。

平均値の比較による残差=実測値-平均値(1,049データから路面分類別に求めた平均値) … 式3.5.1

推定式値の比較による残差=実測値-推定値(二俣地区183データの路面分類別重回帰分析) … 式3.5.2

結果を表3-5-1に示す。

表3-5-1 推定値と実測値の残差

路面状況	調査個所	残差の平均		残差の最大値		残差が小さくなった割合(%)	備考
		平均値との比較	推定式値との比較	平均値との比較	推定式値との比較		
非常に滑りやすい圧雪	二俣	0.121	0.024	0.221	0.053	71.4	塩分無し
非常に滑りやすい氷膜	古間	0.065		0.065			
かたい圧雪	二俣	0.047	0.042	0.175	0.154	66.0	
	古間	0.104	0.076	0.117	0.078	100	
氷板	二俣	0.050		0.095			
	古間	0.025	0.007	0.052	0.017	75.0	
氷膜	二俣	0.092	0.500	0.146	0.589	0.0	
	古間	0.048		0.054			
ゆるい圧雪	二俣	0.048		0.054			
こな雪	二俣	0.049		0.083			
こな雪下層氷板	二俣	0.072	0.045	0.162	0.202	81.8	
	古間	0.048	0.147	0.062	0.214	0.0	
つぶ雪	二俣	0.031	0.023	0.077	0.047	50.0	
つぶ雪下層氷板	二俣	0.038	0.035	0.169	0.122	42.4	
	古間	0.069	0.080	0.119	0.242	52.9	
黒シャーベット	二俣	0.086	0.051	0.312	0.151	73.3	
白シャーベット	二俣	0.011		0.027			
湿潤	二俣	0.083		0.150			
	古間	0.083		0.376			

「かたい圧雪」、「つぶ雪」は、適切な式が出来ているとは言い難いので注意をする必要がある。また、他の路面分類での推定式によるすべり摩擦係数推定は、当然のことながら、二俣地区では平均値と実測値の比較による残差より、推定式値と実測値の比較による残差の方が、残差の平均・最大値とも小さくなるものが多くなっている。

また、推定式の方が残差が小さくなったものの割合を調べると、「つぶ雪下層氷板」を除いて50%を超えており、適切な推定式が作成されたと考えられる。

しかしながら、古間地区のデータについては、逆に残差が大きくなっている。これは、推定式を作成するにあたり、データが少なかったこと、古間地区では道路の縦断勾配が下り坂で二俣地区より地平均速度15km/h程度、二俣地区より低い値を示すこと等の要因や、各要因における影響度合いが異なることが考えられる。したがって、推定式は、対象とする地点毎に十分なデータを測定し、推定式を作成することが必要と考えられる。

今回の調査では、すべり摩擦係数のデータを収集し、路面分類毎のすべり摩擦係数や、すべり摩擦係数の推定式の作成と要因の影響について検討を行った。しかしながら、推定式の作成についてはデータ数が十分であったとは言えず、今後とも継続してデータを蓄積すると共に、「路面温度」、「残

留塩分濃度」、「平均速度」についてはさらに整理方法等の検討を行っていく必要がある。

#### 4. まとめ

以上、今回の検討結果をまとめると、以下のようになる。

①新潟試験所における上越方面へ通勤・買物等で車を利用する方への、降積雪時における経路選択状況に関するアンケート調査結果から、降雪時には、距離的に遠くなるにもかかわらず経路を変更する人が多く、変更理由としては降雪時にはスリップして危険である等の安全を判断理由としてあげているものが多い。このことから、安全・確実な目的地への到達を優先した結果の経路変更が行われていることが分かった。

このことから、冬期道路の安全度を示す指標としては、車の制動距離に直接関係するすべり摩擦係数などを考慮した指標の提案が必要であると考えられる。

②路面分類毎にすべり摩擦係数を整理した結果、図4-1に示すように路面分類によりバラツキは多いものの概ねのすべり摩擦係数が求められた。

③路面分類だけではすべり摩擦係数が小さくなる場合もあることから、今回、これらのバラツキを小さくするために重回帰分析により補助的な指標の検討も試みた。

その結果、路面分類毎にすべり摩擦係数に影響を与える要因が異なることが推測された。また、「つぶ雪下層氷板」、「こな雪下層氷板」では、解析に用いたデータがよく再現されたが、「圧雪」等については、今回の要因以外のものが関与していることが推定された。

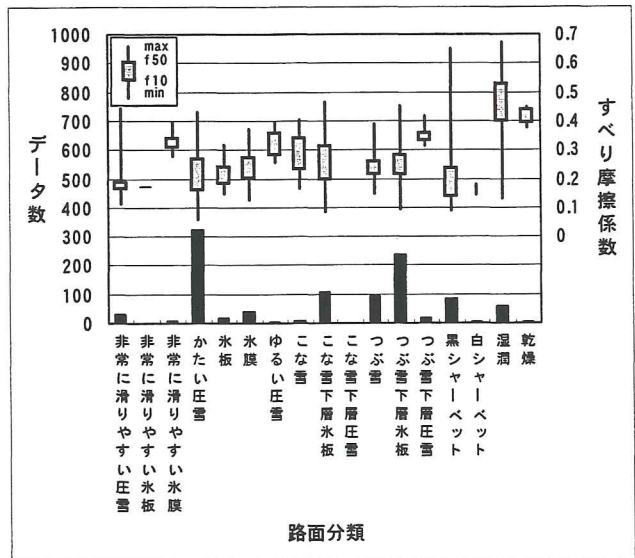


図4-1 目視による路面分類とすべり摩擦係数

表5-1 路面分類とすべり摩擦係数

路面状態	非常に滑りやすい圧雪	非常に滑りやすい氷板	非常に滑りやすい氷膜	かたい圧雪	氷板	氷膜	ゆるい圧雪	こな雪	こな雪下層氷板	こな雪下層圧雪	つぶ雪	つぶ雪下層氷板	つぶ雪下層圧雪	黒シャーベット	白シャーベット
データ数	31	1	9	324	17	40	4	10	109	96	239	17	85	5	
最小値	0.11	0.17	0.28	0.06	0.15	0.13	0.25	0.17	0.09	0.15	0.09	0.31	0.09	0.14	
累積10%値	0.16	0.17	0.31	0.16	0.18	0.20	0.28	0.23	0.19	0.21	0.21	0.33	0.14	0.15	
累積20%値	0.17	0.17	0.32	0.21	0.22	0.24	0.30	0.28	0.23	0.23	0.24	0.34	0.17	0.15	
累積30%値	0.18	0.17	0.33	0.24	0.23	0.25	0.33	0.29	0.26	0.24	0.25	0.35	0.20	0.15	
累積50%値	0.19	0.17	0.34	0.27	0.24	0.27	0.36	0.34	0.32	0.26	0.29	0.36	0.24	0.15	

しかしながら、①「路面温度」「残留塩分濃度」「走行速度」は、その整理方法、②「圧雪」等に  
適した影響要因や推定法、③現場での利用を考慮した分かり路面分類など、今後とも検討を進めてい  
く必要がある。

【参考文献】

- 1) Snow & Ice Databook(中間報告)、2002PIARC 第11回国際冬期道路会議札幌大会 日本実行委員会、2002.2
- 2) 冬期道路管理マニュアル(案)、北海道開発局、平成9年11月
- 3) 道の満足度調査速報 (<http://www.hrr.mlit.go.jp/road/cs/index.html>より、2001.9.17)
- 4) 日野智, 高橋陽平, 岸邦宏, 原邦宏, 佐藤馨一: 都市別に見た除雪事業の評価と費用負担意識分析に関する研究, 第17回寒地技術シンポジウム, pp.232~239, 2001.11.
- 5) 路面のすべり抵抗に関する研究(2)ー積雪路面のすべりについてー、土木研究所報告、1969.2
- 6) 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、1977.12
- 7) 門山保彦, 服部健作, 佐藤彪式, 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
- 8) 高田邦彦, 小野田光之, 落合綱三, 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、1990.1
- 9) 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
- 10) 松本晃一, 斎藤辰哉: 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