

土 木 研 究 所 資 料

雪氷路面のすべりに関する 報 告 書

平成2年1月

建設省土木研究所
道路部道路研究室

「Copyright © (1990) 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 Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所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、土木研究所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。」

雪氷路面のすべりに関する 報告書

道路研究室	室長	高田 邦彦
	主任研究員	小野田光之
	研究員	落合 綱三
		宗広 一徳

要 旨

本報告は、雪氷路面が道路交通に及ぼす影響を把握することを目的とし、土木研究所がこれまで各地において実測した路面のすべり摩擦抵抗に関する調査結果をまとめたものである。調査は、雪氷路面の状態を一定にした基礎的な調査と冬期一般道路の現状調査の二つについて行い、整理した。

次に雪氷路面のすべり摩擦抵抗から見た、各種タイヤ、すべり止め装置の特性、道路の幾何構造、および雪氷路面对策等について述べる。

キーワード：路面、すべり抵抗、雪氷、摩擦、タイヤ、制動、駆動、除雪、路面管理

はじめに

積雪寒冷地における道路整備の進展と交通需要の増加に伴い、各種雪氷路面のすべり摩擦抵抗は、車両の走行性の面からますます重要な問題となってきている。そこで、本報告書は、雪氷路面におけるすべり摩擦抵抗特性を、一般に販売使用されている各種タイヤ及びすべり止め装置により把握し、冬期雪氷路面を走行する車両の安全性と走行安定性を向上させるため、昭和55年度から昭和63年度まで9ヶ年にわたり実測してきた基礎資料の結果をまとめたものである。

実測調査では、路面状態をできるだけ一定に保ち、各種タイヤ（すべり止め装置を含む）の特性を比較する基礎的な調査と、冬期一般道路の路面の現状調査（通常の状態）の二つについて実測している。

目 次

はじめに

第1章 概要	1
1-1 目的	1
1-2 雪氷路面の発生原因	2
1-3 試験概要	2
1-3-1 調査期間及び場所	2
1-3-2 調査方法	4
1-3-3 調査条件	7
1-4 すべり測定車	12
1-4-1 測定車の仕様概要	12
1-4-2 すべり測定装置	13
第2章 データの整理方法	14
2-1 データの読み取り	14
2-2 計算方法	15
第3章 雪氷路面におけるすべり摩擦抵抗の実測値とその性質	18
3-1 雪氷路面のすべり摩擦係数の実測値	18
3-1-1 縦すべり摩擦係数	18
3-1-2 横すべり摩擦係数	28
3-1-3 駆動時のすべり摩擦係数	37
3-2 雪氷路面のすべり抵抗と各種要因との関係	44
3-2-1 路面温度との関係	44
3-2-2 圧雪硬度との関係	45
第4章 凍結防止剤散布路面のすべり抵抗	46
4-1 凍結防止剤散布路面のすべり摩擦係数	46
第5章 すべり摩擦係数と道路の幾何構造との関係	54
5-1 縦すべり摩擦係数と制動停止距離	54
5-2 曲線半径と片勾配	57
5-3 駆動時の摩擦係数と縦断勾配	59
第6章 本報告のまとめ	62
あとがき	63
参考文献	64
参考資料	

第 1 章 概要

1-1 目的

最近、我が国では、各種の冬用タイヤ（スパイクタイヤ、スノータイヤ、スタッドレスタイヤ）やすべり止め装置（スチールチェーン、非金属性すべり止め装置、ワイヤーチェーン等）が多数使用されているが、雪氷路面における各種タイヤ及び装置の性能は十分把握されているとはいえない。そこで本調査は、これらの各種装置の性能を把握するための基礎的な調査、及び積雪寒冷地の冬期一般道路の雪氷路面状態を把握することにより、雪氷路面における車両の走行性能、及び道路の幾何構造とについて検討を行うための資料収集を目的とするものである。

1-2 雪氷路面の発生原因

冬期、積雪寒冷地では道路が雪氷状態になるため、交通障害が生ずる。この対策として除雪及び路面凍結対策が行なわれる。降雪が始まると、まず除雪が行なわれる。しかし、除雪の後にも幾らかの積雪が残る。さらに、除雪機械の通過の間に降り積もった雪が交通によって固められて次第に圧雪状態になっていく。また、除雪を必要としないわずかな降雪や、一度除雪して路肩に捨てられた雪が、風、その他の要因によって路面にまき散らされることもある。さらに、路面上の雪が日中の暖気で融解し、その後の温度低下によって再び凍結したり、降雨の後、気温が低下して路面が凍結する場合がある。これらは比重が1.0に近く、すべりやすい氷となる。

1-3 試験概要

1-3-1 調査期間及び場所

調査期間及び場所は、表-1.1に示す通りである。

表-1.1 調査期間及び場所

年 度	期 間	場 所
昭和55年度	昭和56年 2月 4日～同 年 2月14日	茨城県つくば市 建設省土木研究所内試験走路
昭和56年度	昭和57年 2月 8日～同 年 2月18日	新潟県妙高高原町地先（一般国道18号）
昭和57年度	昭和58年 1月28日～同 年 2月10日	新潟県妙高高原町地先（一般国道18号）
昭和58年度	昭和58年12月12日～昭和59年 2月 9日	i) 茨城県つくば市 建設省土木研究所内試験走路 ii) 新潟県妙高高原町地先（一般国道18号）
昭和59年度	昭和60年 1月25日～同 年 2月 8日	一般国道18号（新潟県新井市～長野県豊野市 約50km区間）
昭和60年度	昭和61年 1月26日～同 年 2月 6日	東北地方建設局管内 i) 岩手工事事務所管内 一般国道4号（奥中山峠付近），一般国道46号（雫石町） ii) 青森、能代工事事務所管内 一般国道7号（青森～大館間） iii) 秋田、湯沢、新庄工事事務所管内 一般国道13号（湯沢～新庄間），秋田県道51号（湯沢市）
昭和61年度	昭和61年12月15日～昭和62年 2月 7日	i) 茨城県つくば市 建設省土木研究所内試験走路 ii) 新潟県妙高高原町地先（一般国道18号）
昭和62年度	昭和62年12月21日～昭和63年 2月10日	i) 茨城県つくば市 建設省土木研究所内試験走路 ii) 長野県信濃町地先（一般国道18号） iii) 新潟県妙高高原町地先（一般国道18号）
昭和63年度	昭和63年12月15日～平成元年 2月20日	茨城県つくば市 建設省土木研究所内試験走路

1-3-2 調査方法

今回の測定は、我が国において主に用いられている建設省土木研究所が開発した垂直昇降式縦横両用すべり計（図-1.1）により、縦すべり及び横すべり摩擦抵抗を測定した。

また、道路走行試験車により発進時の車両の駆動軸にかかるトルクを測定し、発進時のすべり摩擦抵抗を測定した。（図-1.2）

① 縦すべり摩擦抵抗

試験車が測定区間を一定条件で走行しているとき試験車本体の走行とは関係ない測定輪（タイヤ）にのみ制御をかける。そのとき、路面（雪氷路面）とタイヤ間に生ずるすべり摩擦抵抗（けん引力及びブレーキ力）をロードセルによって検出し、ストレインメータを介して、記録機に記録する。

② 横すべり摩擦抵抗

①と同様、試験車が測定区間を一定条件で走行しているとき、測定輪（タイヤ）にのみスリップ角（ 15° ）を付ける。そのとき、路面とタイヤ間に生ずるタイヤ直角方向の横すべり摩擦抵抗（コーナリング力及びタイヤの横方向力）をロードセルによって検出し、ストレインメータを介して、記録機に記録させる。

③ 発進時のすべり摩擦抵抗

発進時のすべり摩擦抵抗は図-1.2に示すように、試験車を負荷車により拘束しておいて、試験車が駆動するとき負荷車と試験車間にかかるけん引力、又は試験車の車輪（駆動軸）にかかるトルクをストレインゲージによって検出し、ストレインメータを介して、発進時のすべり摩擦抵抗を測定した。

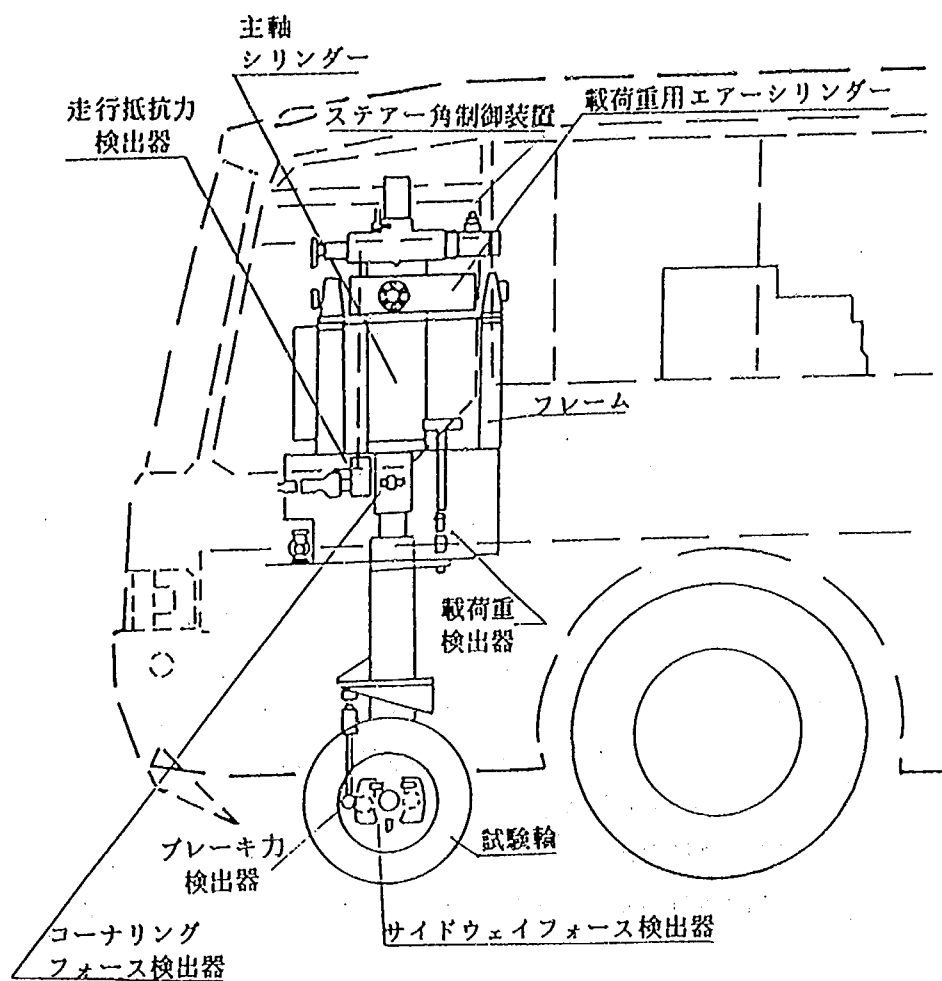


図-1. 1 垂直昇降式縦横両用すべり計

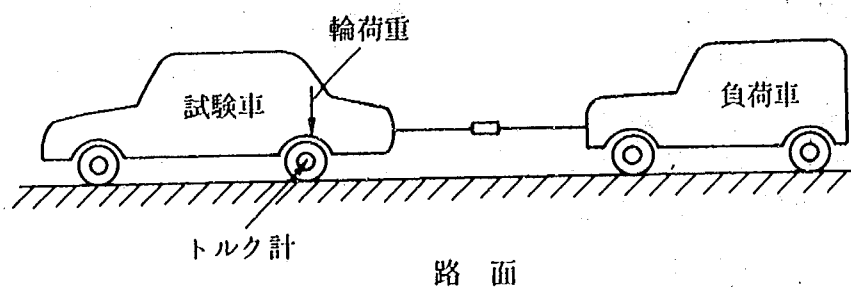


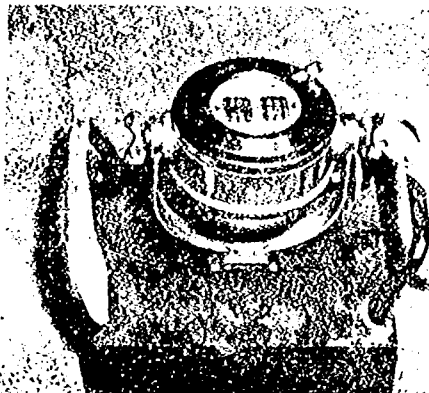
図-1. 2 駆動時のすべり摩擦抵抗測定法

また、雪氷路面のすべり摩擦抵抗を測定する簡便な方法として、一般路面と同様な装置及び方法（減速度法、制動停止距離法、トレーラ法（けん引式、自走けん引式）及び横すべり法等）によって測定することができる。

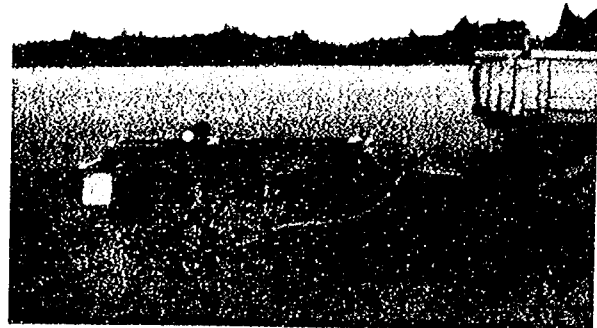
1)

表－１．２ すべり摩擦係数の測定方法

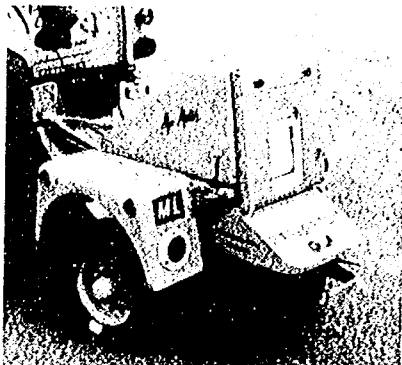
減速度法	一般に用いられている車両に写真－１に示すような減速度計（タプリメータ等）を取り付け、一定速度で測定区間を走行しているとき、ブレーキ（急ブレーキ）をかける。そのとき、車両に発生する減加速度を測定する。
制動停止距離法	一般に用いられている車両が一定速度で測定区間を走行しているとき、任意の地点でブレーキ（急ブレーキ）をかけ、車両が停止した地点までの距離を測定する。
トレーラ法	特別に製作された車両に、写真－２に示すようなトレーラ（すべり測定装置：ASTM規格）をけん引し、一定速度で測定区間を走行しているとき、トレーラのタイヤにのみブレーキをかける。（100％制動）その時、車両とトレーラ間に取り付けているロードセル等によって、けん引力を測定する。 また、測定輪（タイヤ）にすべり角をつけ、その時タイヤ又は車両の直角方向に働く力を測定する。（写真－３：ML-Mu-Meter）



写真－１ 減速度計



写真－２ トレーラ



写真－３ ML-Mu-Meter

1-3-3 調査条件

昭和55年度～63年度までの調査条件は、以下に示す通りである。

表-1.3 調査条件

昭和55年度	1) 実験項目 : ブラックアイスのすべり抵抗 2) 実験車 : 高速道路試験車 (三菱フソウB906R改型) 3) 実験タイヤ : サイズ……6.45-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……リブ, スノー 4) すべり止め装置 : なし 5) 輪 荷 重 : 430kg 6) 路 面 : 氷膜 (ブラックアイス) (薄い、厚い) (As, Co) 7) 測定回数 : 3回 8) 走行速度 : 20, 40, 60(km/h)
昭和56年度	1) 実験項目 : 氷上の駆動力測定 2) 実験車 : 道路走行試験車 (ニッサンプレジデント) 3) 実験タイヤ : サイズ……6.45-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……リブ, スノー, スノースパイク, ラジアルスパイク (1.9kg/cm²) 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) 5) 輪 荷 重 : 計測状態で事前に測定する。 6) 路 面 : 氷板 (路面温度 : 0℃, -10℃) 7) 測定回数 : 5回
	1) 実験項目 : 100%制動時の縦すべり (完全ロック状態) 2) 実験車 : 高速道路試験車 (三菱フソウB906R改型) 3) 実験タイヤ : サイズ……6.45-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……リブ, スノー, スノースパイク, ラジアルスパイク 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ネット型 (A) (c) " : ネット型 (B) (d) " : ラダー型 (A) 5) 輪 荷 重 : 395kg 6) 路 面 : 圧雪 (硬度 : 30, 60, 90, 120 (kg/cm²)) 7) 測定回数 : 3回 8) 速 度 : 20, 30, 40, 60(km/h)

昭和57年度	1) 実験項目 : 100%制動時の縦すべり ステア角15' 時の横すべり 2) 実験車 : 高速道路試験車 (三菱フソウ B 906R 改型) 3) 実験タイヤ : サイズ……6.45-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……リブ, スノー, スノースパイク, ラジアルスパイク 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) 5) 輪 荷 重 : 395kg 6) 路 面 : 圧雪 7) 測定回数 : 3 回 (硬度 : 30, 60, 90, 120 (kg/cm²)) 8) 速 度 : 20, 40, 50 (km/h)
昭和58年度	1) 実験項目 : 発進時の駆動力 2) 実験車 : 道路走行試験車 (ニッサンプレジデント) 3) 実験タイヤ : サイズ……6.45-13 内 圧……1.8kg/cm² 種 類……リブ, スノー, スノースパイク, ラジアルスパイク 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) 5) 輪 荷 重 : 500kg 6) 路 面 : 圧雪 (硬度 : 30, 60, 90, 120 (kg/cm²)) 7) 測定回数 : 3 回
	1) 測定項目 : 100%制動時の縦すべり ステア角15° 時の横すべり 2) 試験車 : 高速道路試験車 (三菱フソウ B 906R 改型) 3) 実験タイヤ : サイズ……165-13 内 圧……1.8kg/cm² 種 類……リブ, スノー, スパイク, スタッドレス 4) すべり止装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) (d) " : ネット型 (B) (e) " : ラダー型 (B) 5) 輪 荷 重 : 395kg 6) 路 面 : 氷板 (路面温度 : 0℃, -10℃) 圧雪 (硬度 : 30, 60, 90, 120 (kg/cm²)) 7) 測定回数 : 9 回 8) 速 度 : 40 (km/h)

	1) 測定種類 : 発進時の駆動力 2) 試験車 : 道路走行試験車 (ニッサンプレジデント) 3) 実験タイヤ : サイズ……185-14 内 圧……1.8kg/cm² 種 類……リブ, スノー, スパイク, スタッドレス 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) (d) " : ネット型 (B) (e) " : ラダー型 (B) 5) 輪 荷 重 : 計測状態で事前に測定する 6) 路 面 : 氷板 (路面温度 : 0℃, -10℃) 圧雪 (硬度 : 30, 60, 90, 120 (kg/cm²)) 7) 測定回数 : 5回
昭和59年度	1) 測定項目 : 100%制動時の縦すべり ステア角15° 時の横すべり 2) 試験車 : 高速道路試験車 (三菱フソウB906R改型) 3) 実験タイヤ : サイズ……165-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……スノー 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) (d) " : ネット型 (B) (e) " : ラダー型 (B) 5) 輪 荷 重 : 395kg 6) 路 面 : 圧雪、氷膜、ザクレ雪、ザクレ凍結、ザクレ圧雪 凍圧雪、シャーベット、湿潤 7) 測定回数 : 100回以上 8) 速 度 : 40 km/h
	1) 測定種類 : 走行時の駆動力 (走行抵抗) 2) 試験車 : 道路走行試験車 (ニッサンプレジデント) 3) 実験タイヤ : サイズ……185-14 内 圧……2.0kg/cm² 種 類……スノー 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) (d) " : ネット型 (B) 5) 輪 荷 重 : 計測状態で事前に測定する 6) 路 面 : 湿潤、シャーベット、ザクレ雪、ザクレ圧雪、圧雪 ザクレ凍結、氷膜 7) 測定回数 : 100回

昭和60年度	1) 測定項目 : 100%時の制動の縦すべり ステア角15° 時の横すべり 2) 試験車 : 高速道路試験車 (三菱フソウ B 906R 改型) 3) 実験タイヤ : サイズ……165-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……スパイク、スタッドレス 4) すべり止め装置 : スチールチェーン 5) 輪 荷 重 : 395kg 6) 路 面 : 圧雪、凍圧雪、氷膜 7) 測定回数 : 300回 8) 速 度 : 一般走行車輦に合わせる。(規制速度以内)
昭和61年度	1) 測定項目 : 100%制動時の縦すべり ステア角15° 時の横すべり 2) 試験車 : 高速道路試験車 (三菱フソウ B 906R 改型) 3) 実験タイヤ : サイズ……165-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……スタッドレス、スパイク 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) (d) " : ネット型 (B) (e) " : ラダー型 (B) 5) 輪 荷 重 : 395kg 6) 測定回数 : 10回 7) 路 面 : 氷板 (路面温度…約-3℃) 圧雪 (圧雪硬度…30, 60kg/cm²) 8) 速 度 : 40 km/h 1) 測定項目 : 後輪軸駆動力 2) 試験車 : 道路走行試験車 (土木研究所…プレジデント, 新潟…グロリア) 3) 実験タイヤ : サイズ……185-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……スタッドレス、スパイク 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) (d) " : ネット型 (B) (e) " : ラダー型 (B) 5) 輪 荷 重 : プレジデント…450kg, グロリア…475kg 6) 測定路面 : 氷板 (路面温度…約-3℃) 圧雪 (圧雪硬度…30, 60kg/cm²) 7) 測定回数 : 10回

昭和62年度	1) 測定項目 : 100%制動時の縦すべり ステア角15° 時の横すべり 2) 試験車 : 高速道路試験車 (三菱フソウMS725SA改型) 3) 実験タイヤ : サイズ……165-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……スタッドレス、スパイク 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) (d) " : ネット型 (B) (e) " : ラダー型 (B) 5) 輪 荷 重 : 395kg/cm² 6) 路 面 : 氷板 圧雪 (圧雪硬度…30, 60(kg/cm²)) 7) 測定回数 : 10回 8) 速 度 : 40km/h
	1) 測定項目 : 発進時の駆動力 2) 試験車 : 道路走行試験車 (グロリア) 3) 実験タイヤ : サイズ……185-14 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……スタッドレス、スパイク 4) 各種すべり止め装置 (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) (d) " : ネット型 (B) (e) " : ラダー型 (B) 5) 輪 荷 重 : 395kg/cm² 6) 測定路面 : 氷板 圧雪 (圧雪硬度30, 60kg/cm²) 2種 7) 測定回数 : 10回
昭和63年度	1) 測定項目 : 100%制動時の縦すべり ステア角15° 時の横すべり 2) 試験車 : 高速道路試験車 (三菱フソウMS725SA改型) 3) 実験タイヤ : サイズ……165-13 内 圧……1.7kg/cm² 種 類……リブ, スタッドレス 4) すべり止め装置 : (a) スチールチェーン (b) 非金属製チェーン : ラダー型 (A) (c) " : ネット型 (A) (d) " : ネット型 (B) (e) " : ラダー型 (B) 5) 輪 荷 重 : 395±5kg 6) 路 面 : 氷板 (路面温度 : 0~-5℃) 7) 測定回数 : 10回 8) 速 度 : 20, 40, 60 (km/h)

1-4 すべり測定車

1-4-1 測定車の仕様概要

測定車の仕様概要を以下の表に示す。

表-1.4 測定車の仕様概要

	項目	仕様	昭和55~61年度	昭和62~63年度
測定車	型式		三菱(FUSO)B906R	三菱(FUSO)MS725SA
	寸法	全長	11,980 mm	11,940 mm
		全高	3,000 mm	3,130 mm
		ホイールベース	6,400 mm	6,500 mm
		最低地上高	225 mm	205 mm
	重量	車両重量	11,390 kg	14,280 kg
		総重量	13,700 kg	14,770 kg
	性能	登坂能力	$\tan \theta = 0.30$	$\tan \theta = 0.32$
		最高速度	140 km/h	140 km/h
		最小回転半径	11.4 m	10.8 m
測定装置	エンジン	最高出力	350PS/2,200rpm	320PS/2,400rpm
		バッテリー	12V-200AH	12V-200AH
	型式		垂直昇降式縦横両用型	
		測定種類	100%制動時の縦すべり すべり角 0~45° の横すべり	
		検出方法	ストレインゲージ式	
		輪荷重	150~500kg	170~600kg



写真-4 高速道路試験車(すべり測定車)

1-4-2 すべり測定装置

測定車に取付けられている、すべり計の検出装置（ロードセル）、取り付け位置、寸法、検出装置の名称（呼び名）等について以下に示す。

1) 各検出部の名称（垂直昇降式縦横両用型すべり計）

BF：ブレーキ力（制動力）

TF：けん引力（進行方向と逆に働く力）

SF：横方向力（タイヤの直角方向に働く力）

CF：コーナリング力（進行方向に直角に働く力）

W：輪荷重（測定輪に垂直に働く力）

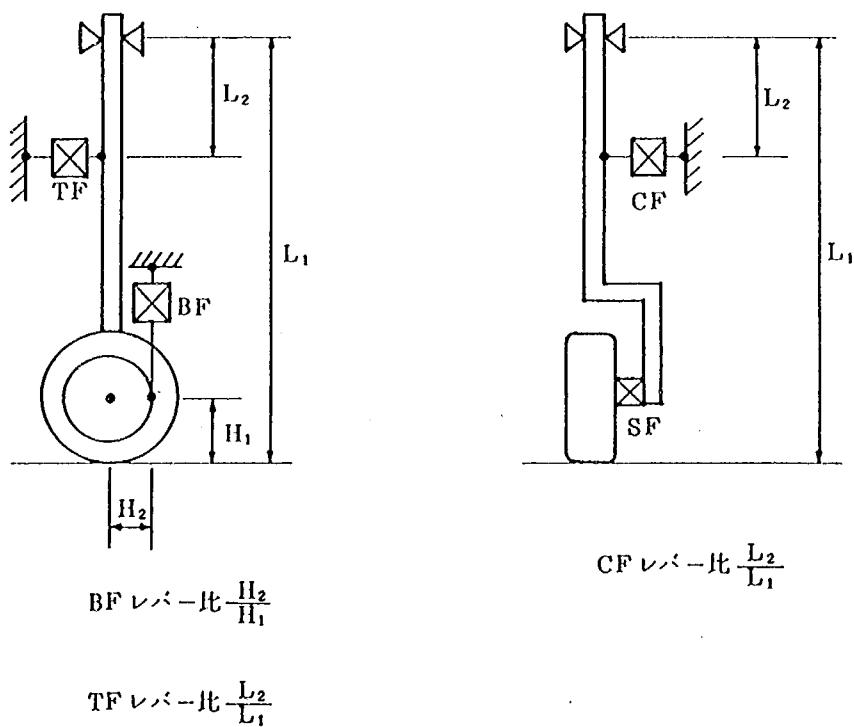


図-1.3 すべり測定装置の概要

第 2 章 データの整理方法

2-1 データの読み取り方法

測定輪に、ブレーキを作動させるか、または舵角を付けると、路面とタイヤ間に生じるすべり摩擦抵抗力が、ペン書きオシログラフに図-2. 1に示すように記録される。これを読み取り、計算によってすべり摩擦係数を求める。

以下に、読み取り方法の一例を示す。

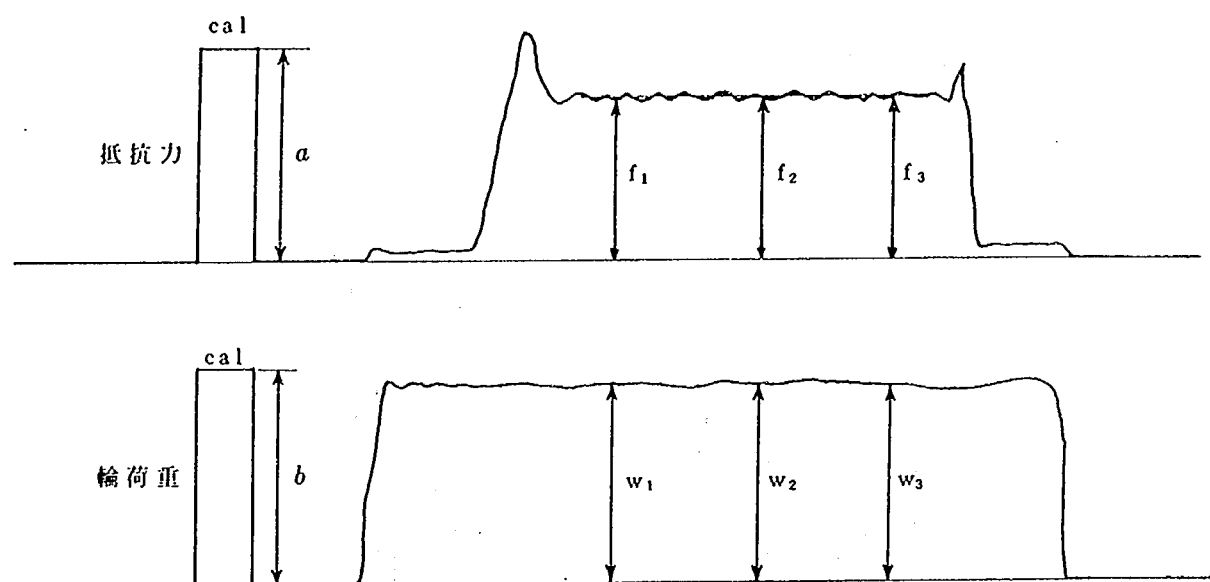


図-2. 1 測定データのアナログ波形

$$f = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3}$$

$$w = \frac{w_1 + w_2 + w_3}{3}$$

2-2 計算方法

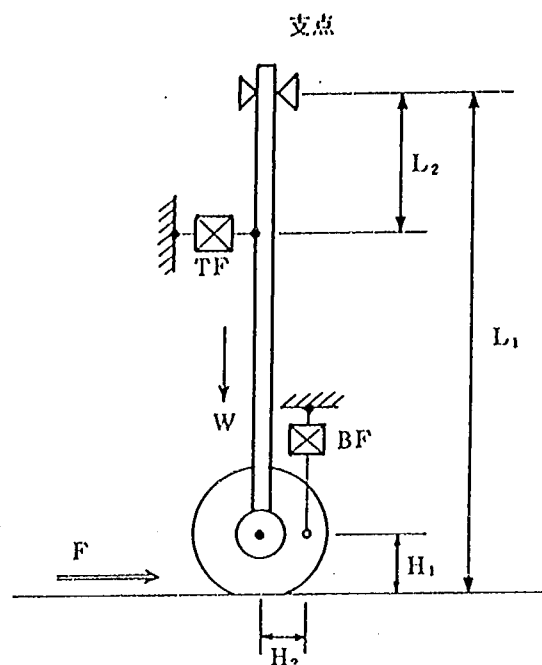
すべり計（ロードセル）の検定により得られたロードセルの感度（係数）を用い、以下の計算を行う。

1) 垂直昇降式すべり計の縦すべりの計算方法

$$BF = \frac{f(BF)}{a(BF)} \cdot M(BF) \cdot E(BF) \cdot \frac{H_2}{H_1}$$

$$TF = \frac{f(TF)}{a(TF)} \cdot M(TF) \cdot E(TF) \cdot \frac{L_2}{L_1}$$

$$W = \frac{w}{b} \cdot M(W) \cdot E(W)$$



ここで

BF : ブレーキ力 (kg)

TF : けん引力 (kg)

W : 輪荷重 (kg)

f(BF), f(TF) : BF, TFの読み取り値 (mm)

w : Wの読み取り値 (mm)

a(BF), a(TF) : BF, TFのc a lの読み取り値

b : Wのc a lの読み取り値

M(BF), M(TF), M(w) : BF, TF, Wのc a l設定マイクロ数 (マイクロ)

E(BF), E(TF), E(w) : BF, TF, Wのロードセル感度 (kg/マイクロ)

H₁ : 載荷時のタイヤ半径 (mm)

H₂ : タイヤ中心からBFロードセルまでの水平距離 (mm)

L₁ : 載荷時の路面から支点までの高さ (mm)

L₂ : TFロードセルから支点までの高さ (mm)

μ : すべり摩擦係数

図-2.2 垂直昇降式すべり計（縦）

すべり摩擦係数（μ）は

$$\mu(BF) = \frac{BF}{W} \quad \mu(TF) = \frac{TF}{W}$$

2) 垂直昇降式すべり計の横すべりの計算方法

$$SF = \frac{f(SF)}{a(SF)} \cdot M(SF) \cdot E(SF)$$

$$CF = \frac{f(CF)}{a(CF)} \cdot M(CF) \cdot E(CF) \cdot \frac{L_2}{L_1}$$

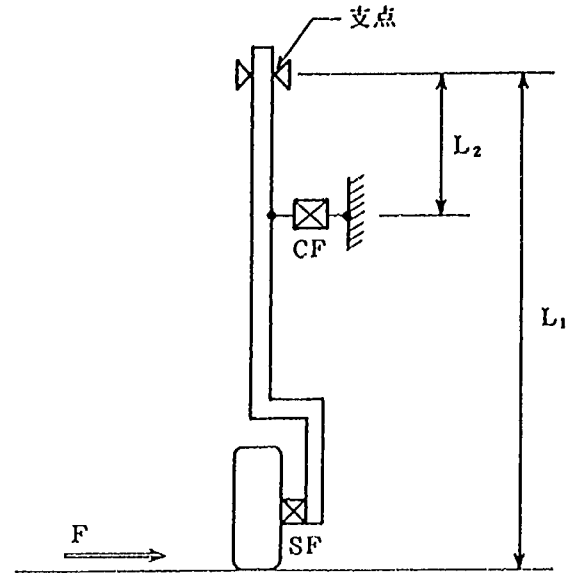


図-2.3 垂直昇降式すべり計(横)

ここで

SF	: 横方向力 (kg)
CF	: コーナリング力 (kg)
f(SF), f(CF)	: SF, CFの読み取り値 (mm)
a(SF), a(CF)	: SF, CFのcalの読み取り値 (mm)
M(SF), M(CF)	: SF, CFのcalの設定マイクロ (マイクロ)
E(SF), E(CF)	: SF, CFのロードセル感度 (kg/マイクロ)
L ₁	: 載荷時の路面から支点までの高さ (mm)
L ₂	: CFロードセルから支点までの高さ (mm)
θ	: 横すべり角度
μ	: すべり摩擦係数

すべり摩擦係数は、

$$\mu(SF) = \frac{SF}{W}$$

$$\mu(CF) = \frac{CF}{W}$$

SFとCFの関係は

$$\mu(SF) = \frac{\mu(CF)}{\cos \theta}$$

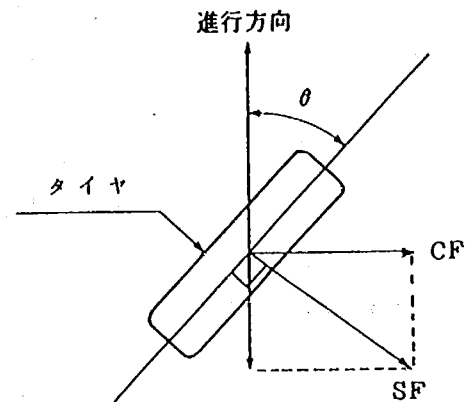


図-2.4 CF・SFの関係

3) 発進時のすべり摩擦係数の計算方法

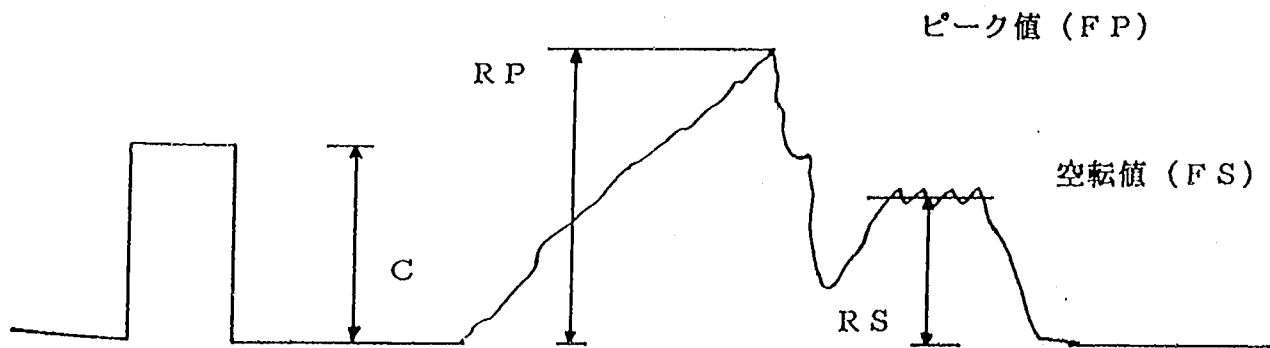


図-2.5 駆動時のすべり摩擦抵抗の測定データ波形

発進時のすべり摩擦係数計算式

$$FP = RP / C \cdot M \cdot Co / R$$

$$\mu (FP) = FP / W$$

$$FS = RS / C \cdot M \cdot Co / R$$

$$\mu (FS) = FS / W$$

ここで

FP : ピーク時の駆動力 (kg)

FS : 空転時の駆動力 (kg)

C : アナログデータのキャリブレーション (mm)

RP : ピーク時のアナログメーターの読み取り値 (mm)

RS : 空転時のアナログメーターの読み取り値 (mm)

M : ストレインメーターの設定マイクロ数 (マイクロ)

Co : ロードセル補正係数 (kg・m / マイクロ)

R : タイヤ半径 (m)

W : 輪荷重 (kg)

μ : 発進時のすべり摩擦係数

第 3 章 雪氷路面におけるすべり摩擦抵抗の実測値とその性質

3-1 雪氷路面のすべり摩擦係数の実測値

3-1-1 縦すべり摩擦係数

雪氷路面における縦すべり摩擦係数の実測値について路面状態別にその最大値、最小値、平均値、標準偏差を求め、まとめたのが、表-3.2及び図-3.2である。(タイヤは、スノータイヤ及びスタッドレスタイヤである。)

表-3.2からわかるように、氷板(数センチの厚い氷)面のすべり摩擦係数は、0.13~0.20程度であるのに対して、氷膜(薄い氷:一般道路に最も多く見られ、通常ブラックアイスと呼んでいる)面のすべり摩擦係数は測定場所によっても異なるが、0.14~0.65とばらつきが大きく、上限はかなり大きな値を示している。

なお、本報告においては、雪氷路面の状態を以下の表-3.1に示すように分類して行った。また、氷板と氷膜面の違いを図示すると、図-3.1に示す通りである。

表-3.1 雪氷路面の状態

雪氷路面の状態	概 要	備 考
氷 板	湖などでよく見られる数センチの厚い氷。	一般道路ではほとんど見られない。(人工的に作ったもの)
氷 膜	一般道路でよく見られる最大数ミリ厚さの氷。	通常ブラックアイスと呼ばれている。寒冷地の一般道路によく見られる。
ザ ク レ 雪	降雪した雪が、日中の気温の上昇により、一部溶け、ザラメ状になった路面。	
凍 圧 雪	圧雪路面が、日中、一部溶けたものが、再凍結しながら交通によって圧縮されてできた路面。	一般道路に比較的多く見られる。
圧 雪	降雪した雪が交通によって圧縮されてできた路面。	一般的には3~4cmのものをいうが、地域によっては数十センチ厚さのものをいう場合がある。(雪の多い地方)
ぬ れ 圧 雪	圧雪路面が、日中の気温の上昇により一部溶け、雪の含水率が、大きくなった状態。	

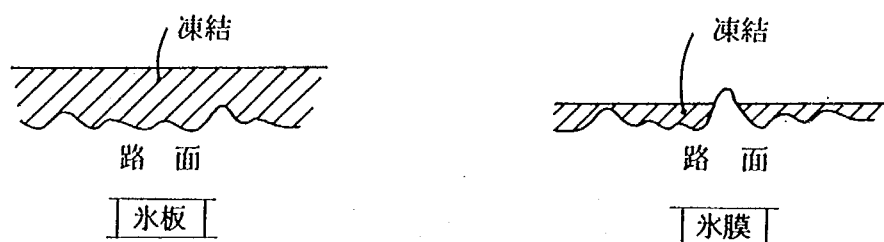


図-3.1 氷板と氷膜面の違い

また、冬期間、日本海側で最も多く見られる圧雪路面のすべり摩擦係数は、交通によって、著しく圧密された場合0.20以下となることもあるが、圧雪が厚い場合やザラメ状では0.30前後となり、さらにぬれ圧雪面になると、0.30～0.64とかなり大きな値となっている。

この雪質の違いによって、すべり摩擦係数が大きく異なるということは、路面上の雪による走行抵抗が大きく影響しているためと思われる。

また、図-3. 3. 1～6は各種路面状態別のすべり摩擦係数の分布を累加曲線、及びヒストグラムで表わしたものである。これによると、路面状態が氷板のとき、すべり摩擦係数は0.15を中心に、他の路面と比べて小さい値を示している。これに対して、路面状態が氷膜、ザクレ雪、凍圧雪、圧雪、ぬれ圧雪と変化してくると、徐々に測定値が大きくなっているのが分かる。

なお、氷板路面は土木研究所のすべり実験挙動施設において測定したものであり、その他の路面については、一般道路における通常の路面管理状態の中で測定したものである。

表-3. 2 路面状態別の縦すべり摩擦係数

路面状態	最小値	最大値	平均値	標準偏差	備 考
氷 板	0.124	0.206	0.154	0.015	スノー及びスタッドレスタイヤ
氷 膜	0.140	0.650	0.263	0.080	
ザクレ雪	0.120	0.430	0.296	0.055	
凍 圧 雪	0.170	0.470	0.260	0.056	
圧 雪	0.140	0.530	0.304	0.070	
ぬれ圧雪	0.300	0.641	0.450	0.061	

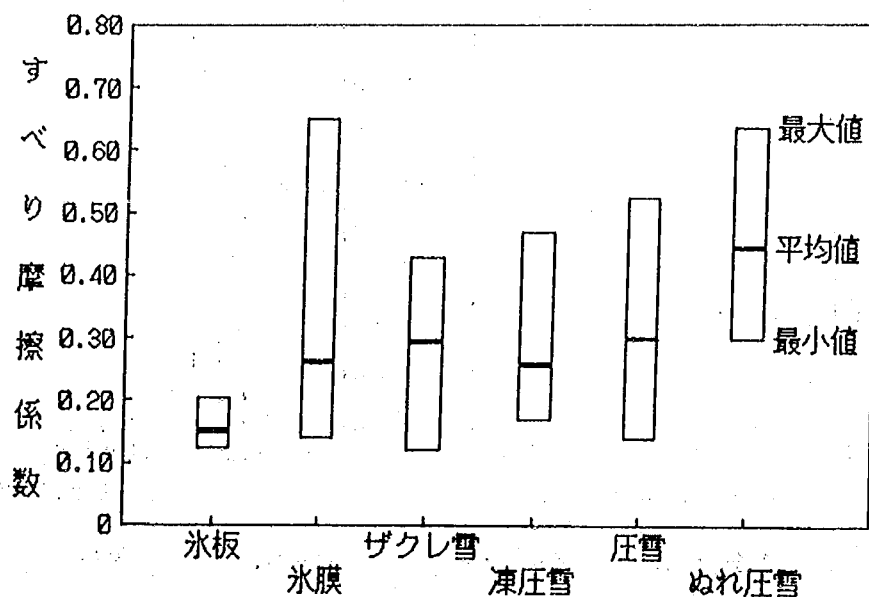


図-3. 2 路面状態別の縦すべり摩擦係数

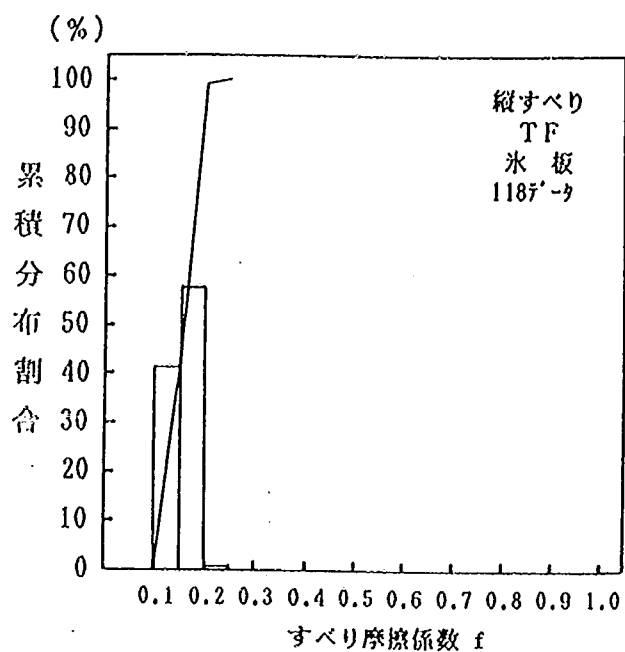


図-3.3.1 累積分布割合 (氷板)

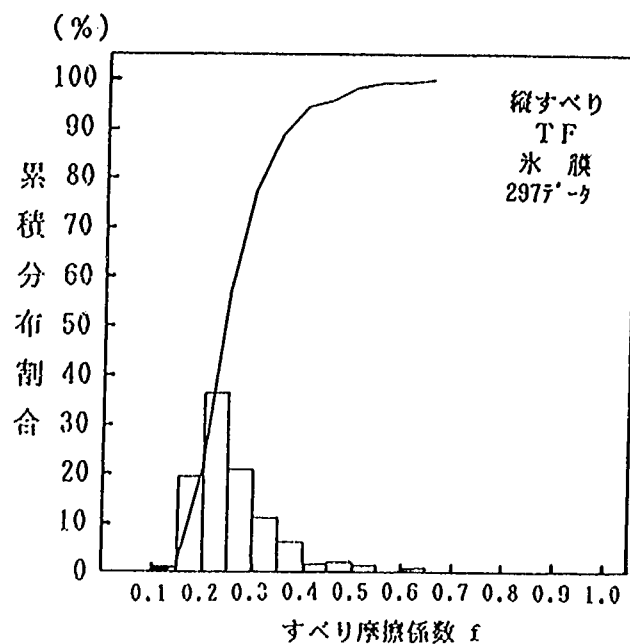


図-3.3.2 累積分布割合 (水膜)

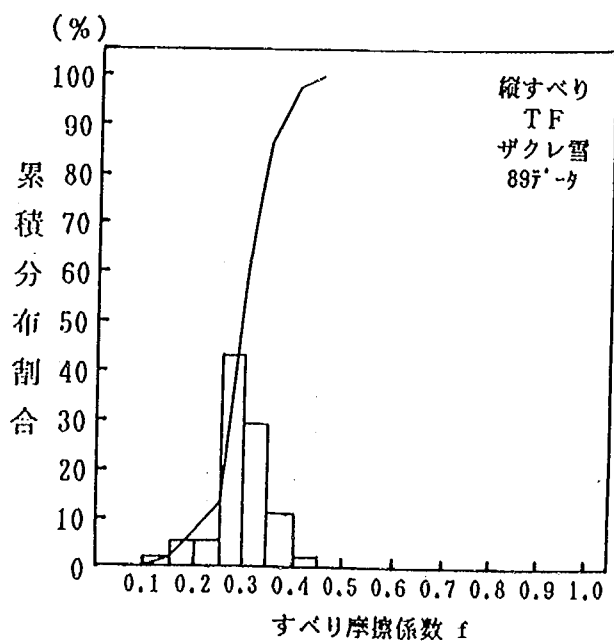


図-3.3.3 累積分布割合 (ザクレ雪)

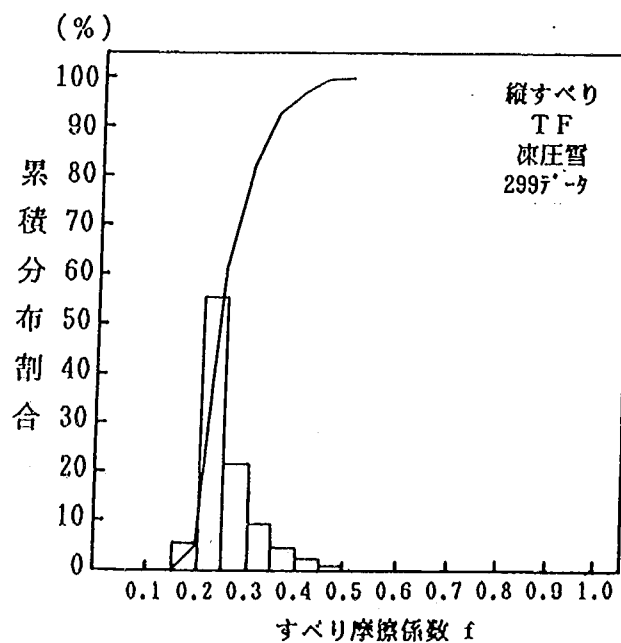


図-3.3.4 累積分布割合 (凍圧雪)

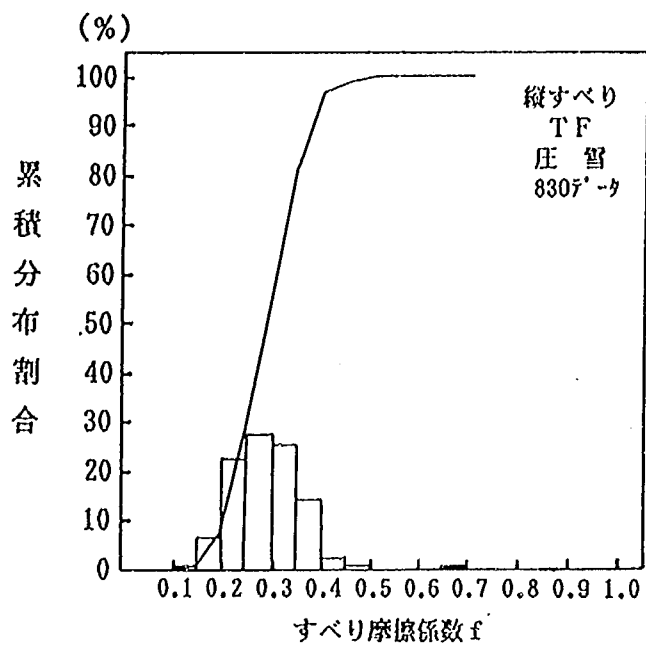


図-3.3.5 累積分布割合 (圧雪)

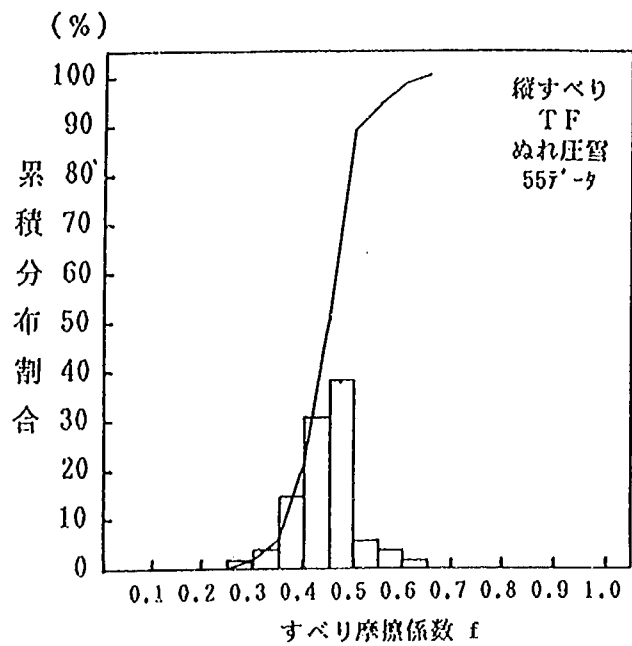


図-3.3.6 累積分布割合 (ぬれ圧雪)

次に、実測値をすべり止め装置別にまとめたものが表-3.3である。タイヤはスノータイヤ及びスタッドレスタイヤである。図-3.4.1~3は、各種路面状態のすべり止め装置なし（スノータイヤorスタッドレスタイヤ）の場合とすべり止め装置装着のときとを比較したものである。図-3.5.1~15は、それぞれケース別の実測値をヒストグラム及び累加曲線で示したものである。

表-3.3から、ザクレ雪のときはすべり止め装置別の平均値は0.31~0.34であり、すべり止め装置の違いによるすべり摩擦係数の差はあまり見られない。それから、圧雪及び氷板路面でのすべり摩擦係数は、スチールチェーンの場合が他の非金属チェーンより、平均値でみた場合0.07~0.12程度大きくなっている。

また、表-3.4にリブタイヤを使用したときのすべり止め装置別のすべり摩擦係数の範囲を示す。これによると、すべり止め装置を装着していないとき、リブタイヤの縦すべり摩擦係数は、スノータイヤ及びスタッドレスタイヤのものより、平均値で見た場合、圧雪路面で0.08程度、氷板路面で0.05程度低い値を示している。しかし、すべり止め装置を装着したときは摩擦係数が高くなり、氷板の非金属製ネット型(A)を除き、スノータイヤ及びスタッドレスタイヤにすべり止め装置を装着したときと、同じ程度の平均値が得られている。

表-3.3 チェーン種類別の縦すべり摩擦係数

路面状態	チェーン種類	最小値	最大値	平均値	標準偏差	備 考
氷 板	スチールチェーン	0.210	0.305	0.255	0.021	スノー及びスタッドレス使用
〃	非金属 ネット型(A)	0.082	0.229	0.124	0.030	
〃	非金属 ネット型(B)	0.107	0.233	0.166	0.029	
〃	非金属 ラグ型(B)	0.138	0.188	0.160	0.012	
氷 膜	スチールチェーン	0.120	0.520	0.286	0.076	
ザクレ雪	スチールチェーン	0.210	0.480	0.335	0.055	
〃	非金属 ネット型(A)	0.120	0.610	0.312	0.075	
〃	非金属 ネット型(B)	0.210	0.450	0.335	0.047	
〃	非金属 ラグ型(B)	0.190	0.610	0.335	0.069	
凍 圧 雪	スチールチェーン	0.140	0.530	0.361	0.071	
圧 雪	スチールチェーン	0.188	0.627	0.447	0.082	
〃	非金属 ラグ型(A)	0.160	0.540	0.332	0.073	
〃	非金属 ネット型(A)	0.235	0.490	0.376	0.061	
〃	非金属 ネット型(B)	0.201	0.520	0.359	0.080	
〃	非金属 ラグ型(B)	0.230	0.470	0.355	0.053	

表-3.4 チェーン種類別の縦すべり摩擦係数の範囲

路面状態	チェーン種類	最小値	最大値	平均値	標準偏差	備 考
氷 板	な し	0.092	0.156	0.115	0.012	リブタイヤ使用
〃	スチールチェーン	0.227	0.369	0.297	0.033	
〃	非金属 ネット型(A)	0.074	0.121	0.089	0.013	
〃	非金属 ネット型(B)	0.137	0.237	0.196	0.026	
圧 雪	な し	0.079	0.510	0.210	0.104	
〃	スチールチェーン	0.210	0.510	0.356	0.072	
〃	非金属 ラグ型(A)	0.230	0.470	0.345	0.069	
〃	非金属 ネット型(A)	0.310	0.490	0.409	0.056	
〃	非金属 ネット型(B)	0.106	0.470	0.295	0.098	

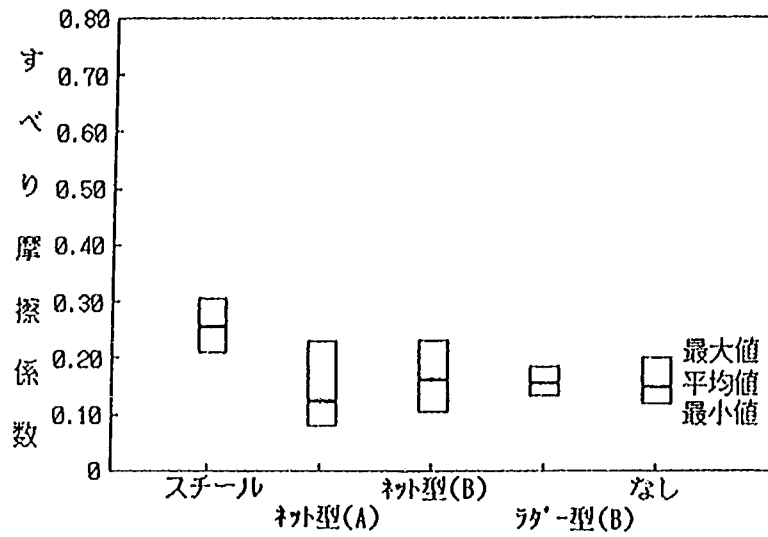


図-3.4.1 すべり止め装置別の縦すべり摩擦係数
(氷板)

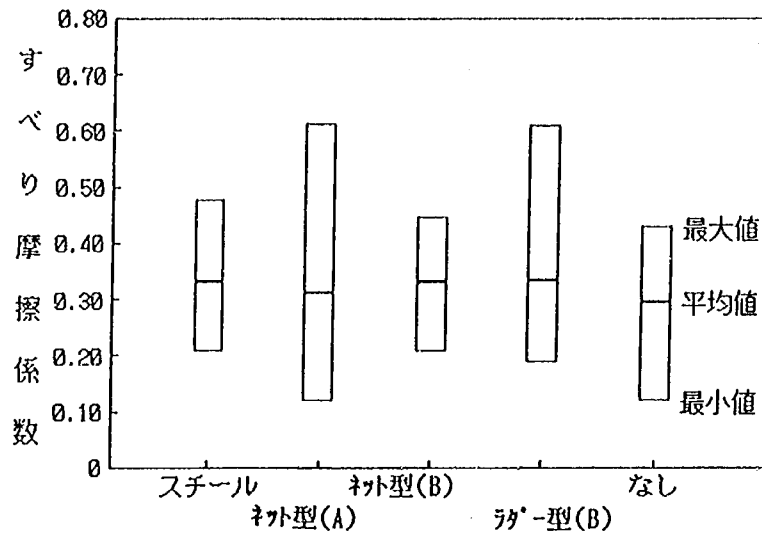


図-3.4.2 すべり止め装置別の縦すべり摩擦係数
(ザクレ雪)

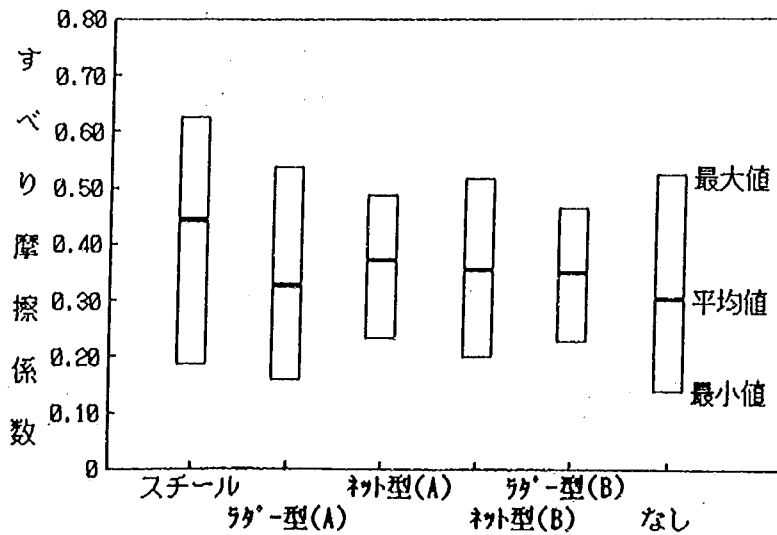


図-3.4.3 すべり止め装置別の縦すべり摩擦係数
(圧雪)

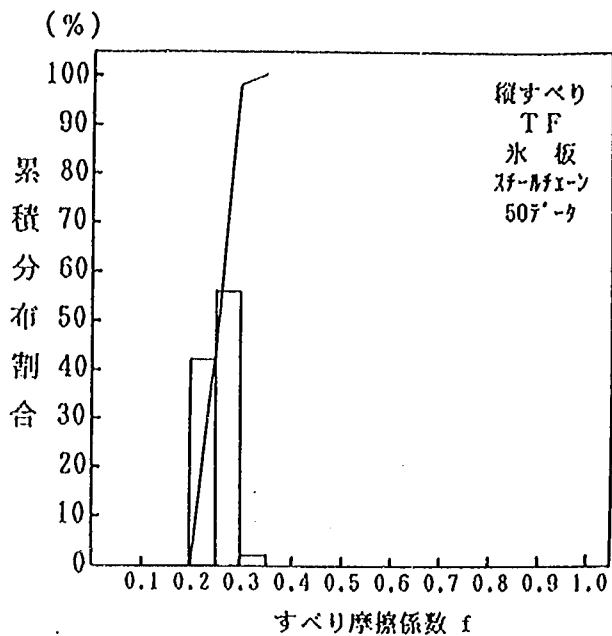


図-3.5.1 累積分布割合
(氷板：スチールチェーン)

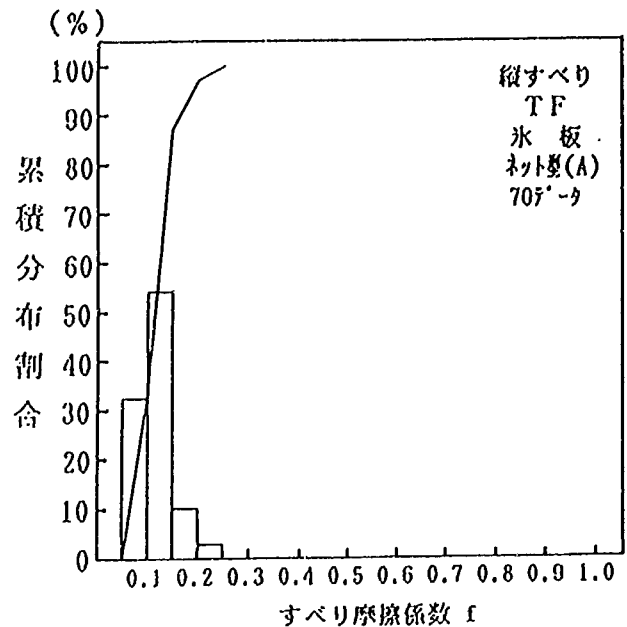


図-3.5.2 累積分布割合
(氷板：非金属 ネット型(A))

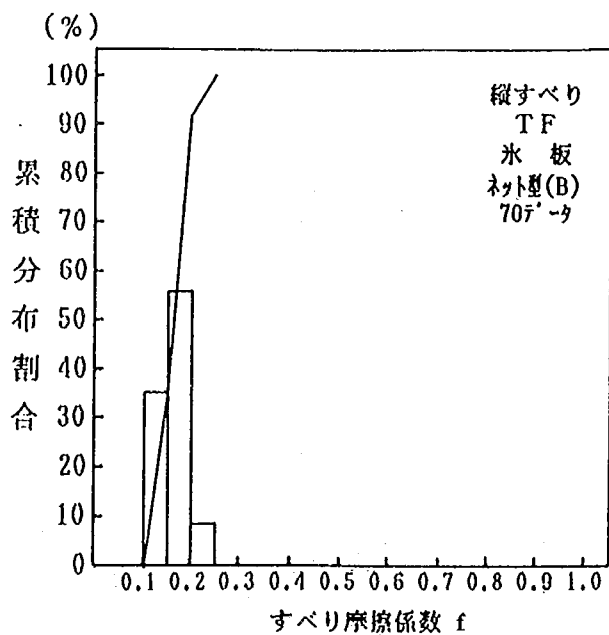


図-3.5.3 累積分布割合
(氷板：非金属 ネット型(B))

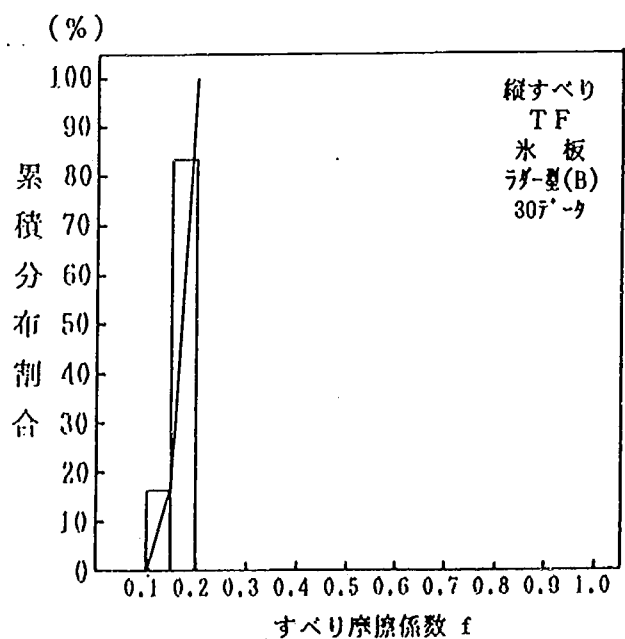


図-3.5.4 累積分布割合
(氷板：非金属 ラバー型(B))

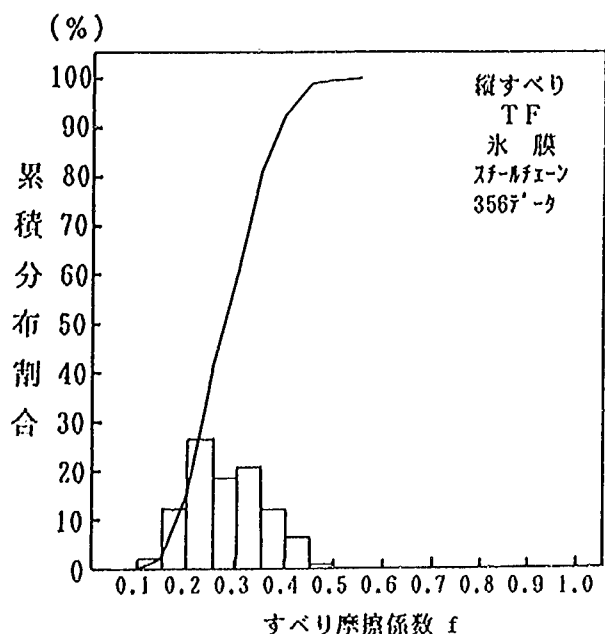


図-3.5.5 累積分布割合
(氷膜：スチールチェーン)

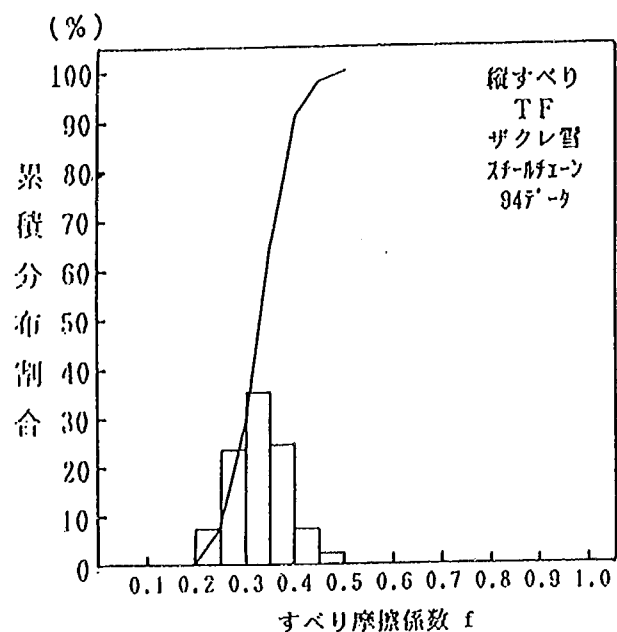


図-3.5.6 累積分布割合
(ザクレ雪：スチールチェーン)

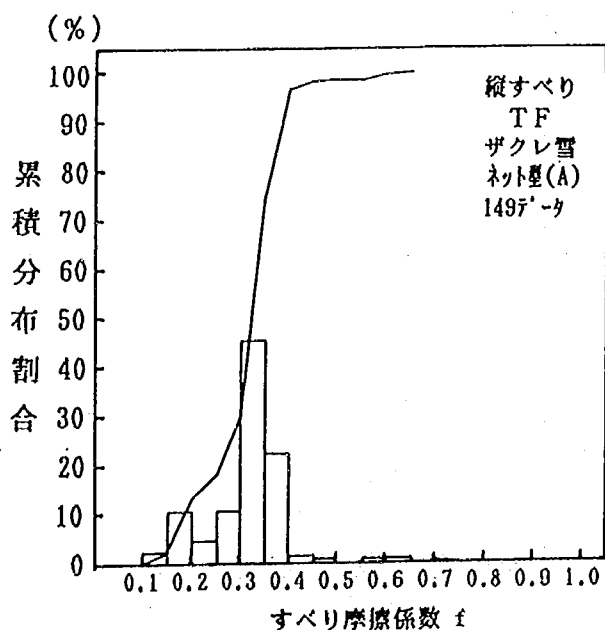


図-3.5.7 累積分布割合
(ザクレ雪：非金属 ネット型(A))

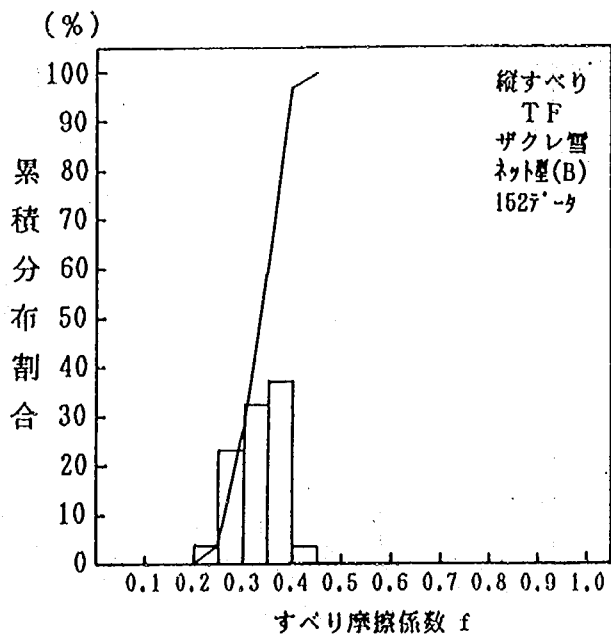


図-3.5.8 累積分布割合
(ザクレ雪：非金属 ネット型(B))

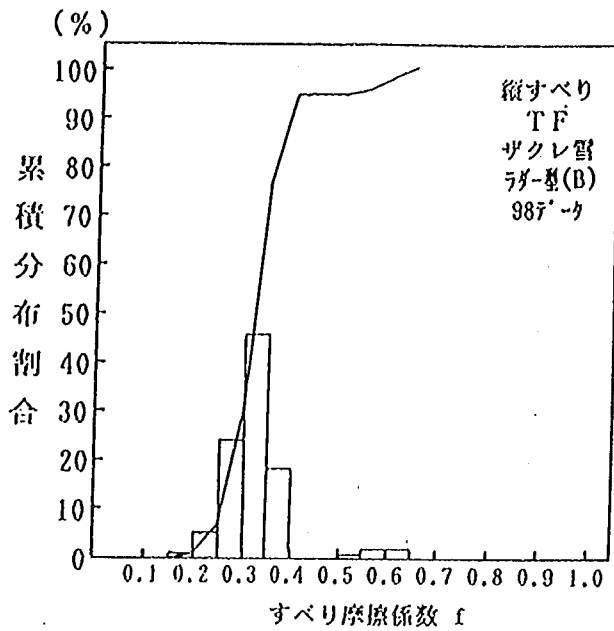


図-3.5.9 累積分布割合
(ザクレ雪：非金属 ラダー型(B))

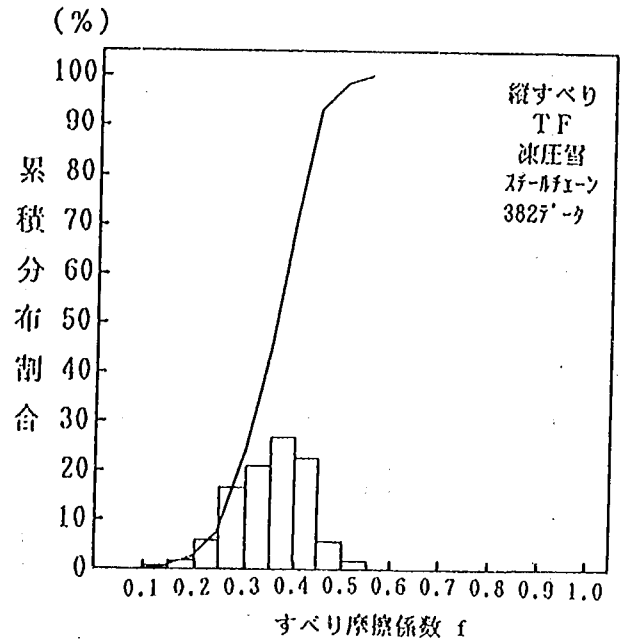


図-3.5.10 累積分布割合
(凍圧雪：スチールチェーン)

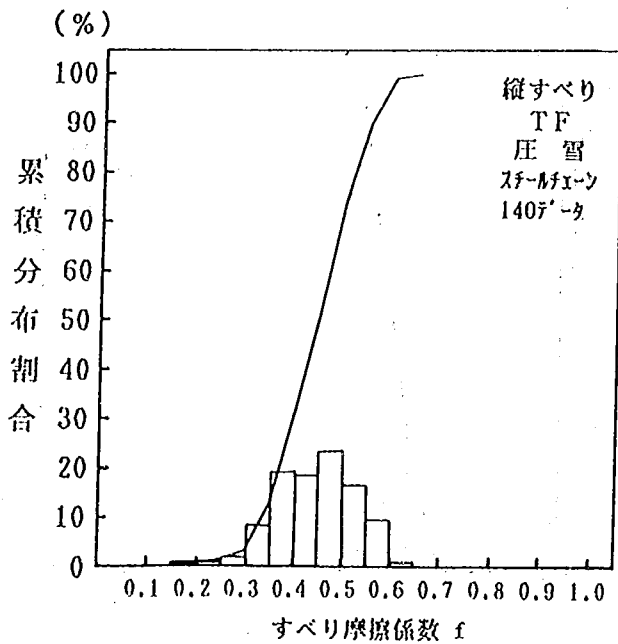


図-3.5.11 累積分布割合
(圧雪：スチールチェーン)

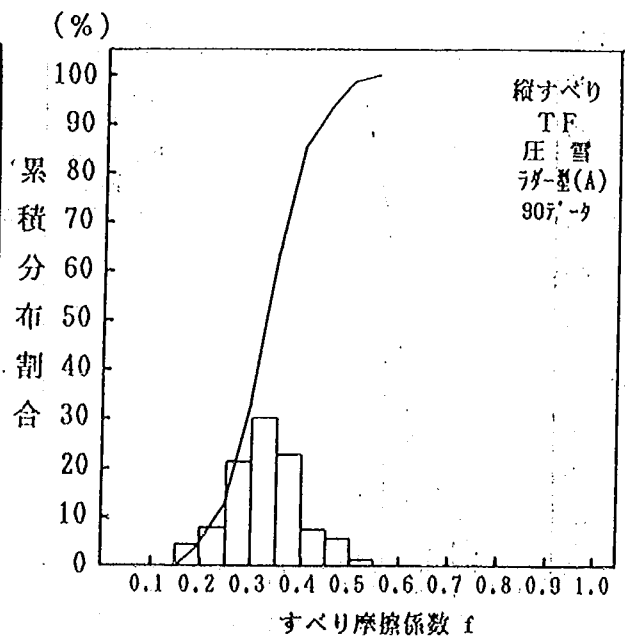


図-3.5.12 累積分布割合
(圧雪：非金属 ラダー型(A))

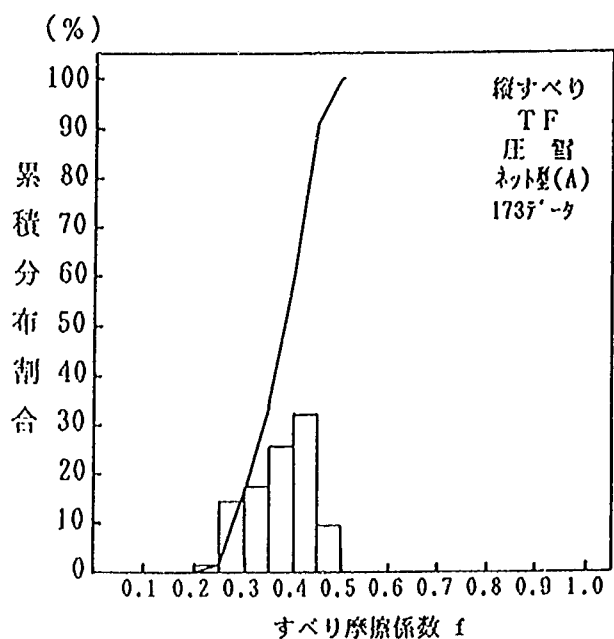


図-3.5.13 累積分布割合
(圧雪：非金属 ネット型(A))

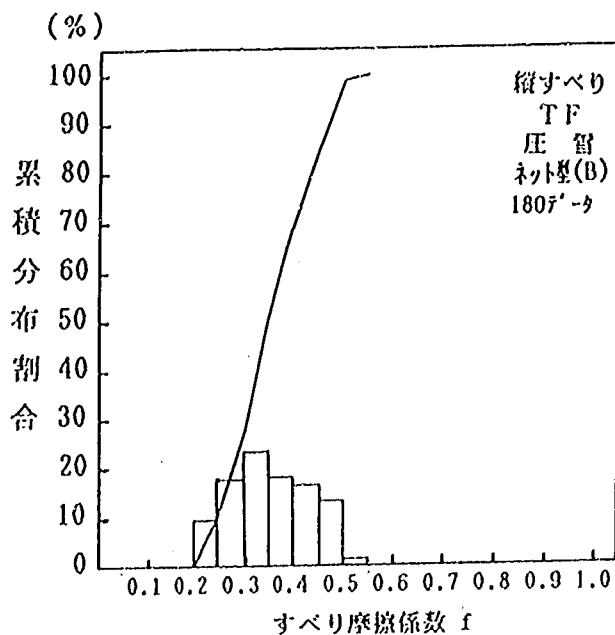


図-3.5.14 累積分布割合
(圧雪：非金属 ネット型(B))

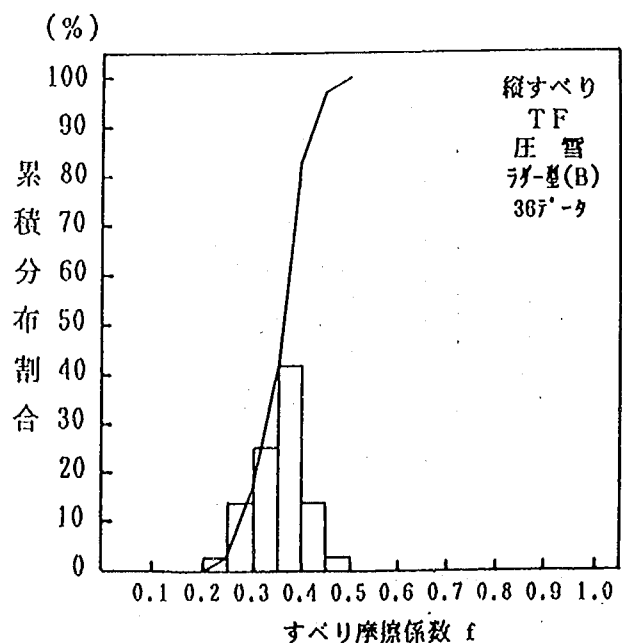


図-3.5.15 累積分布割合
(圧雪：非金属 ネット型(B))

3-1-2 横すべり摩擦係数

雪氷路面の横すべり摩擦係数の実測値の結果をまとめたものが、表-3.5及び図-3.6である。一般的に湿潤路面の横すべり摩擦係数は、縦すべり摩擦係数値より多少大きめである。これに対し、今回の結果では、表-3.5を表-3.2と比較してわかるように、氷板・氷膜では、縦すべりより0.03~0.07程度大きくなっているが、その他の路面の平均値は縦すべりと同じ程度か、やや小さくなっている。また、最小値は全体的に縦すべりより小さく、0.10以下になる場合も見られる。

図-3.7.1~6は、各種路面状態における横すべり摩擦係数の実測値のヒストグラム及び累加曲線を表わしたものである。

表-3.5 路面状態別の横すべり摩擦係数

路面状態	最小値	最大値	平均値	標準偏差	備 考
氷 板	0.082	0.325	0.183	0.056	スノー及びスタッドレスタイヤ
氷 膜	0.200	0.780	0.337	0.102	
ザクレ雪	0.060	0.400	0.230	0.053	
凍 圧 雪	0.170	0.550	0.287	0.057	
圧 雪	0.090	0.720	0.234	0.056	
ぬれ圧雪	0.290	0.500	0.415	0.040	

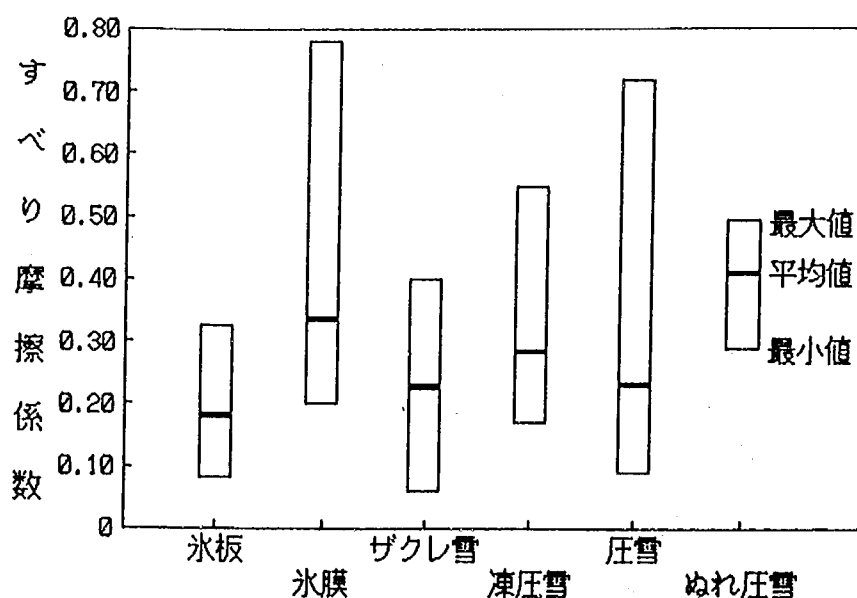


図-3.6 路面状態別の横すべり摩擦係数

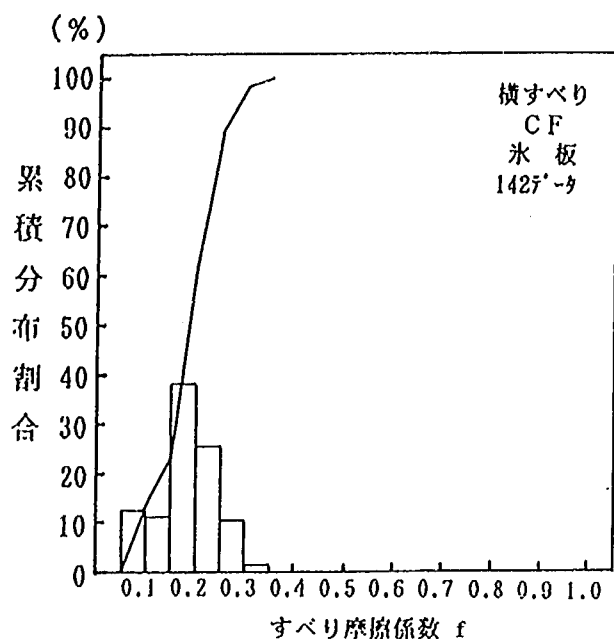


図-3.7.1 累積分布割合 (氷板)

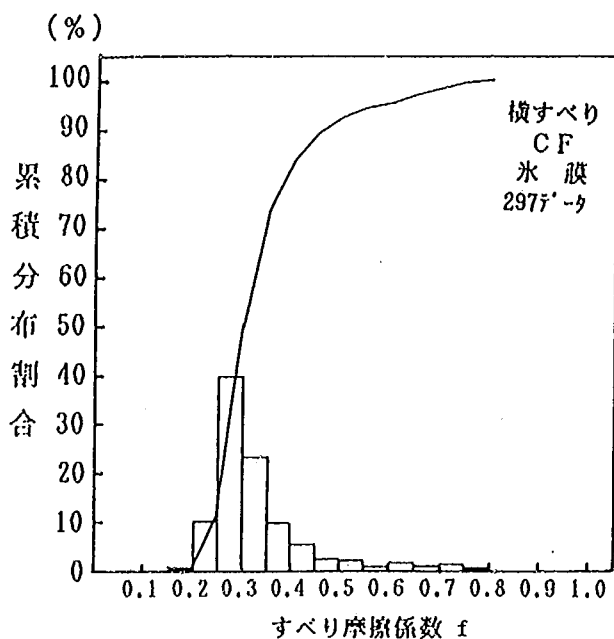


図-3.7.2 累積分布割合 (氷膜)

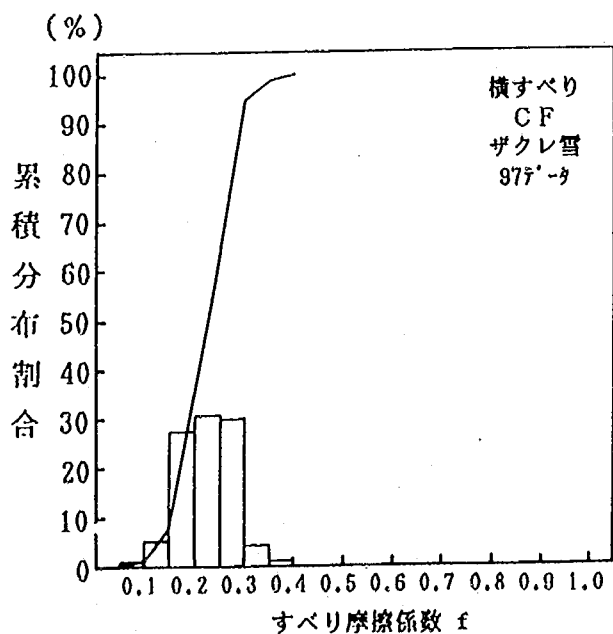


図-3.7.3 累積分布割合 (ザクレ雪)

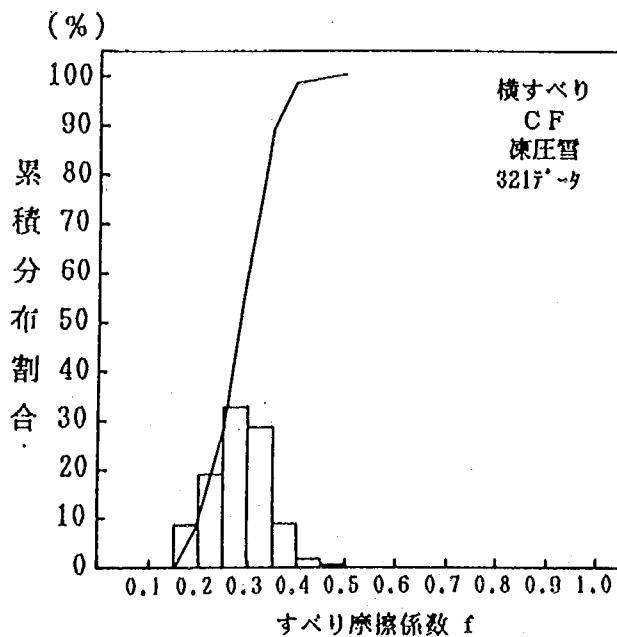


図-3.7.4 累積分布割合 (凍圧雪)

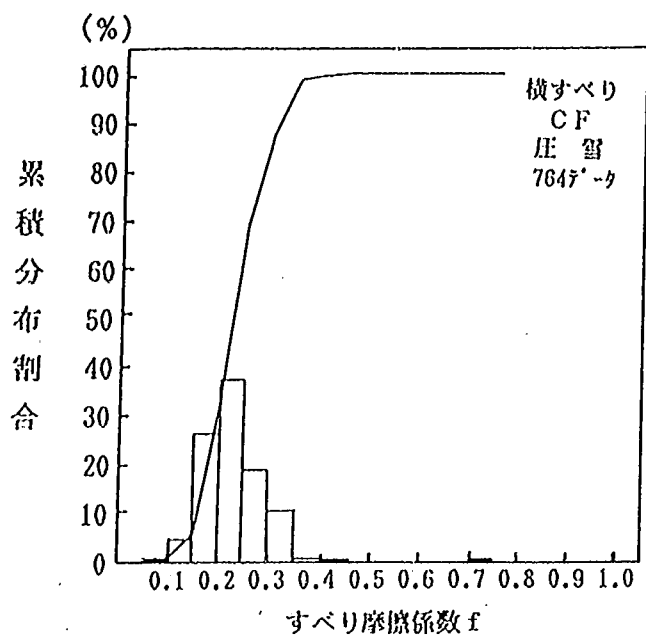


図-3.7.5 累積分布割合 (圧雪)

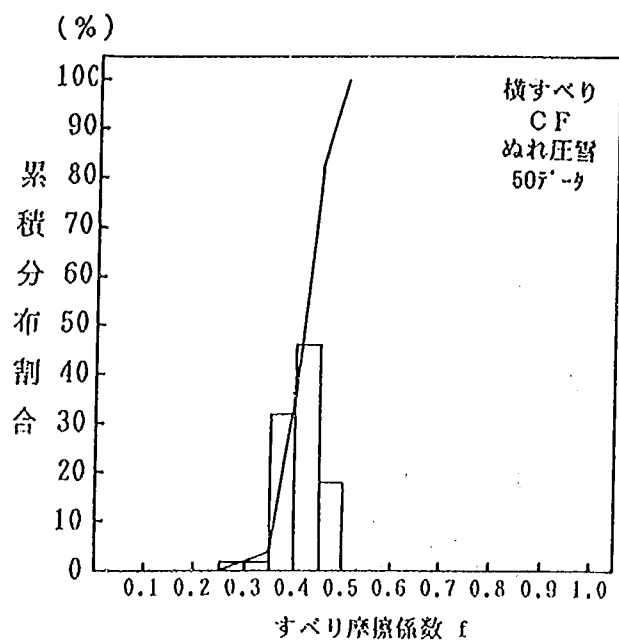


図-3.7.6 累積分布割合 (ぬれ圧雪)

次に、すべり止め装置を装着した場合の横すべり摩擦係数の実測値をまとめた結果を表-3.6及び図-3.8.1~3に示す。使用タイヤは、スノータイヤ及びスタッドレスタイヤである。この結果から見ると、横すべり摩擦係数の実測値は、すべり止め装置を装着しないときと装着したときを比較すると、あまり大きな違いは見られない。なお、各条件別の実測値の累加曲線を図-3.9.1~13に示す。

また、リブタイヤにすべり止め装置を装着したときの横すべり摩擦係数の実測値をまとめたものを表-3.7に示す。これによるとリブタイヤの場合、すべり摩擦係数は、すべり止め装置を装着したときには、装着しないときと比べて平均値で0.08~0.20程度大きくなっている。このときの値は、圧雪路面でスノータイヤ及びスタッドレスタイヤにすべり止め装置を装着した場合と比べると、スチールチェーンを除くその他の非金属チェーンについて、同じ程度の値が得られている。

表-3.6 チェーン種類別の横すべり摩擦係数

路面状態	チェーン種類	最小値	最大値	平均値	標準偏差	備 考
氷 板	スチールチェーン	0.110	0.274	0.203	0.039	スノー及びスタッドレス使用
〃	非金属 ネット型(A)	0.070	0.177	0.125	0.026	
〃	非金属 ネット型(B)	0.090	0.202	0.149	0.030	
ザクレ雪	スチールチェーン	0.090	0.380	0.215	0.055	
〃	非金属 ネット型(A)	0.160	0.630	0.291	0.066	
〃	非金属 ネット型(B)	0.150	0.400	0.288	0.048	
〃	非金属 ラダー型(B)	0.140	0.390	0.270	0.046	
凍 圧 雪	スチールチェーン	0.140	0.400	0.262	0.046	
圧 雪	スチールチェーン	0.230	0.510	0.356	0.062	
〃	非金属 ラダー型(A)	0.210	0.501	0.297	0.046	
〃	非金属 ネット型(A)	0.241	0.510	0.382	0.050	
〃	非金属 ネット型(B)	0.182	0.460	0.330	0.063	
〃	非金属 ラダー型(B)	0.260	0.420	0.349	0.038	

表-3.7 チェーン種類別の横すべり摩擦係数

路面状態	チェーン種類	最小値	最大値	平均値	標準偏差	備 考
圧 雪	な し	0.088	0.302	0.204	0.045	リブタイヤ使用
〃	スチールチェーン	0.173	0.411	0.282	0.058	
〃	非金属 ラダー型(A)	0.210	0.400	0.311	0.052	
〃	非金属 ネット型(A)	0.330	0.480	0.403	0.039	
〃	非金属 ネット型(B)	0.133	0.500	0.344	0.085	

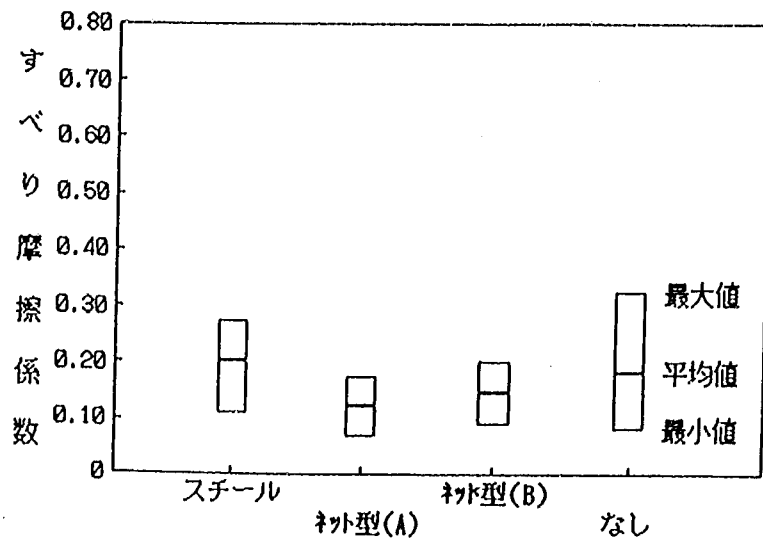


図-3. 8. 1 すべり止め装置別の横すべり摩擦係数 (氷板)

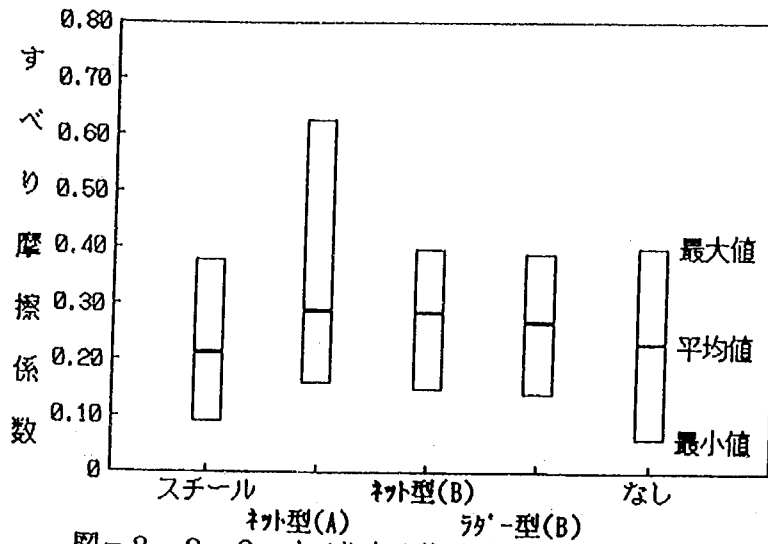


図-3. 8. 2 すべり止め装置別の横すべり摩擦係数 (ザクレ雪)

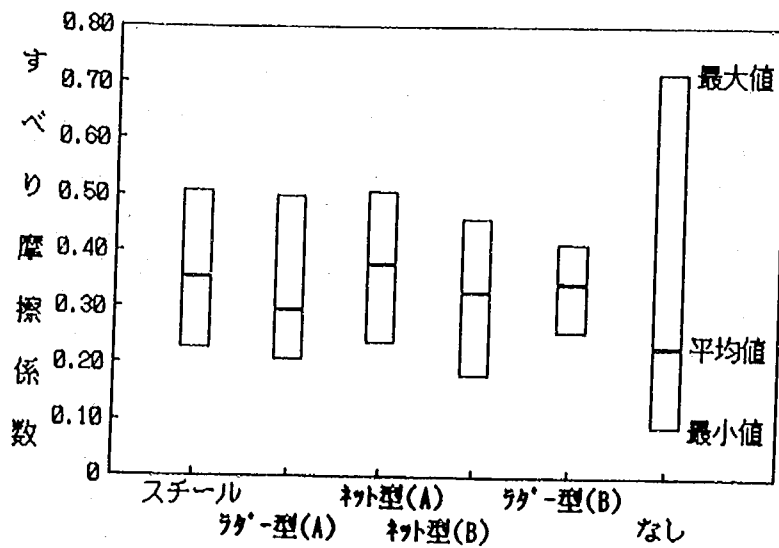


図-3. 8. 3 すべり止め装置別の横すべり摩擦係数 (圧雪)

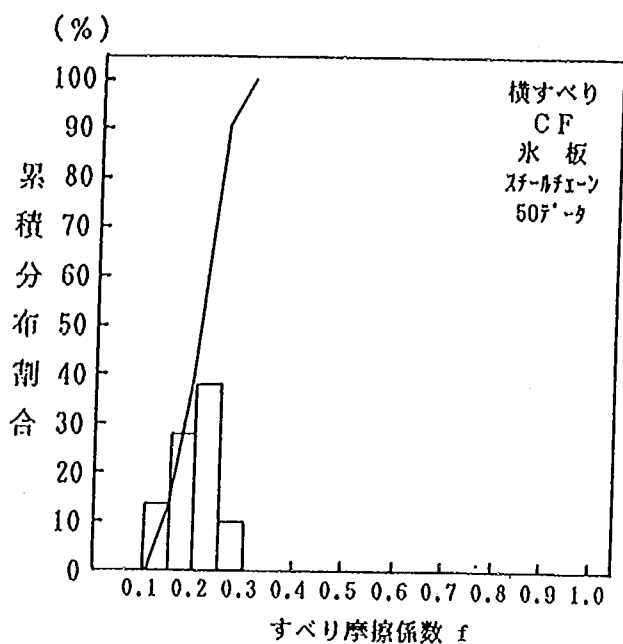


図-3.9.1 累積分布割合
(氷板：スチールチェーン)

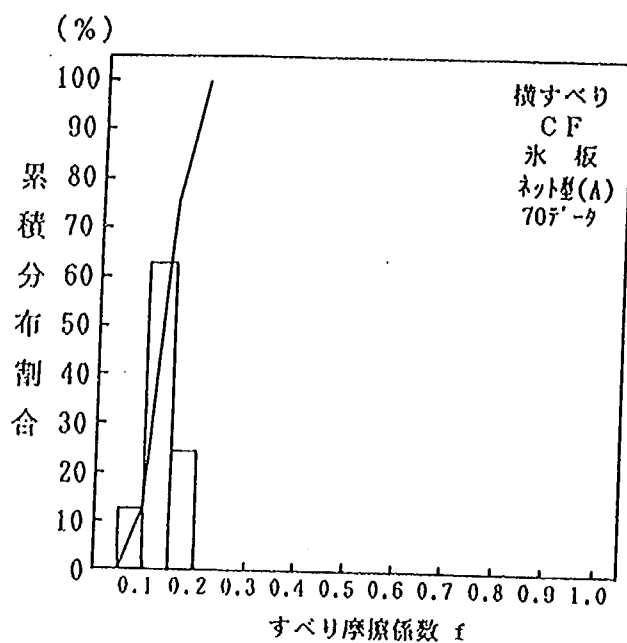


図-3.9.2 累積分布割合
(氷板：非金属 ネット型(A))

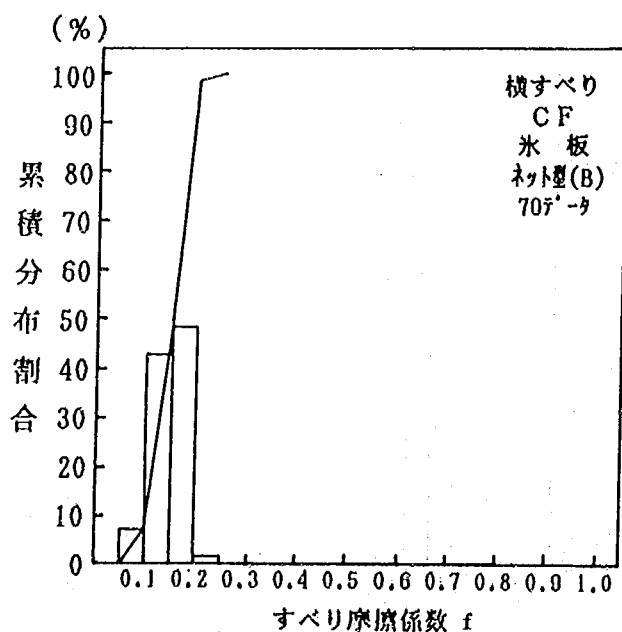


図-3.9.3 累積分布割合
(氷板：非金属 ネット型(B))

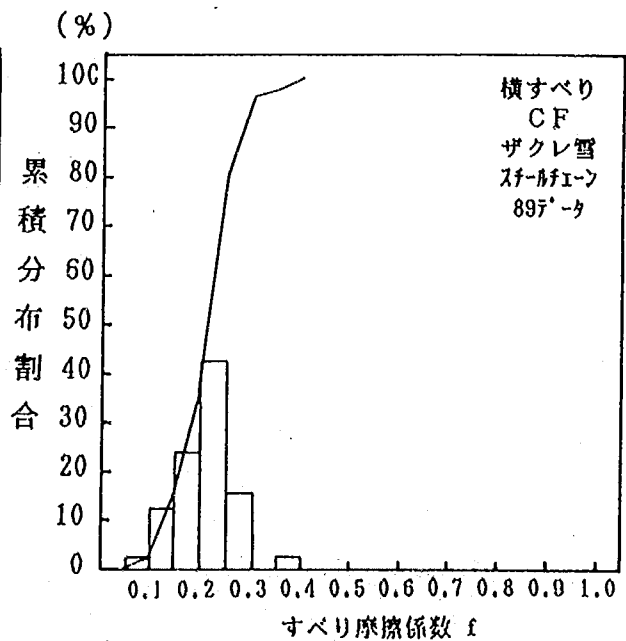


図-3.9.4 累積分布割合
(ザクレ雪：スチールチェーン)

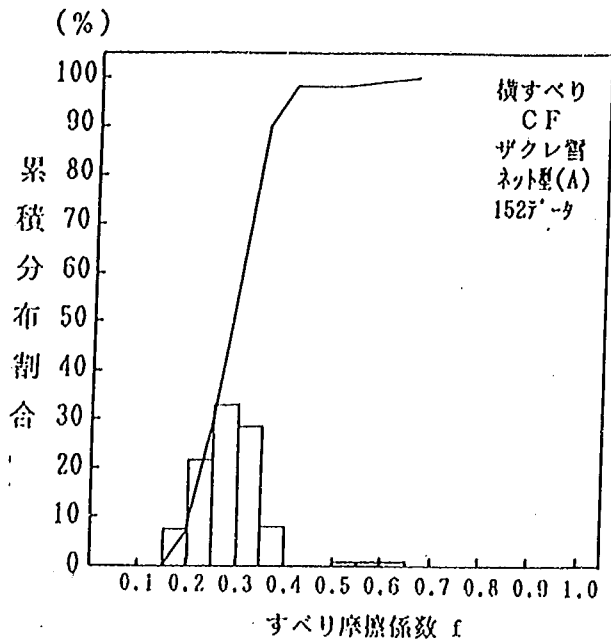


図-3.9.5 累積分布割合
(ザクレ雪：非金属 ネット型(A))

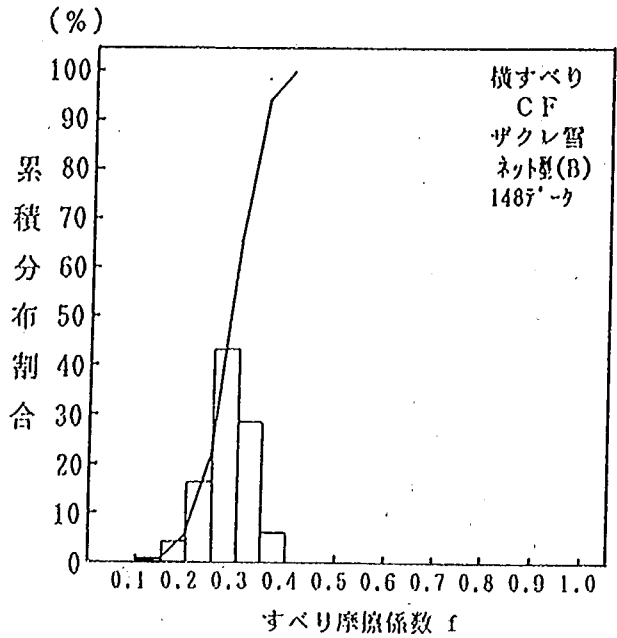


図-3.9.6 累積分布割合
(ザクレ雪：非金属 ネット型(B))

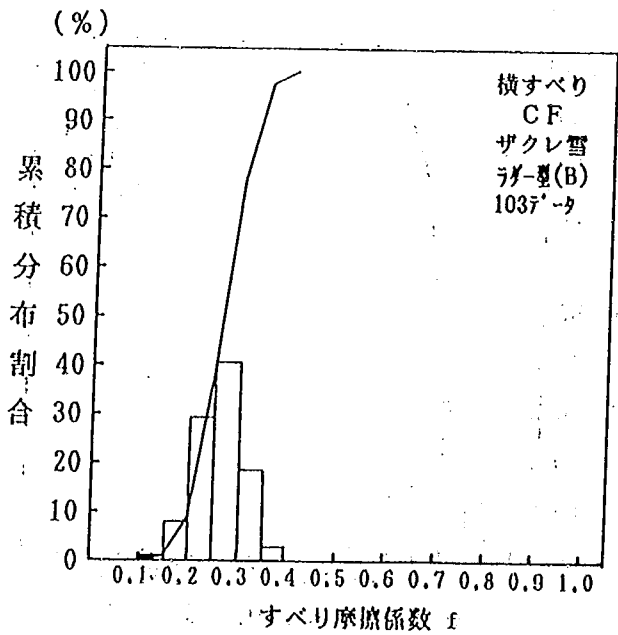


図-3.9.7 累積分布割合
(ザクレ雪：非金属 ラバー型(B))

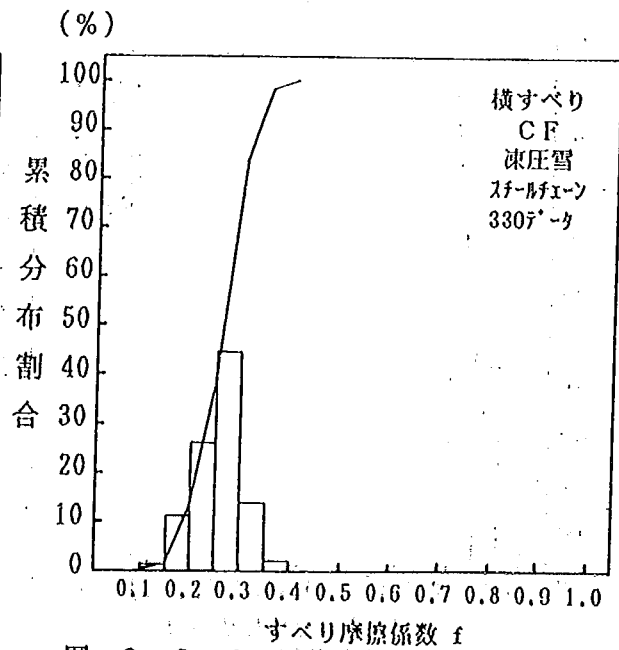


図-3.9.8 累積分布割合
(凍圧雪：スチールチェーン)

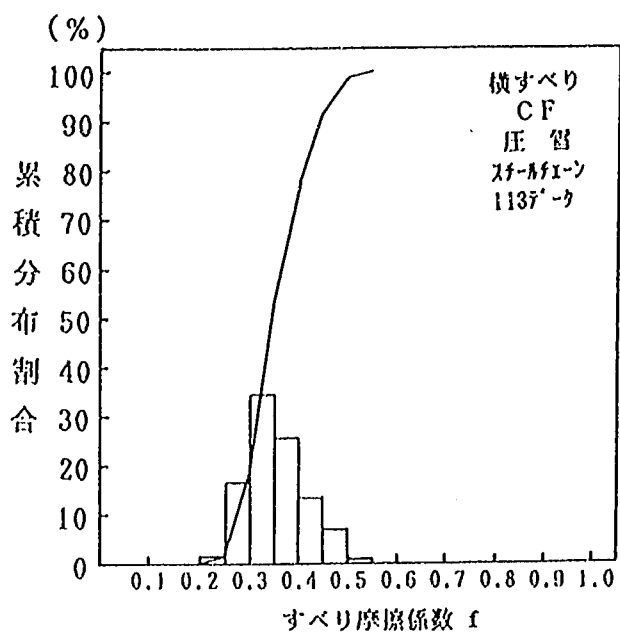


図-3.9.9 累積分布割合
(圧雪：スチールチェーン)

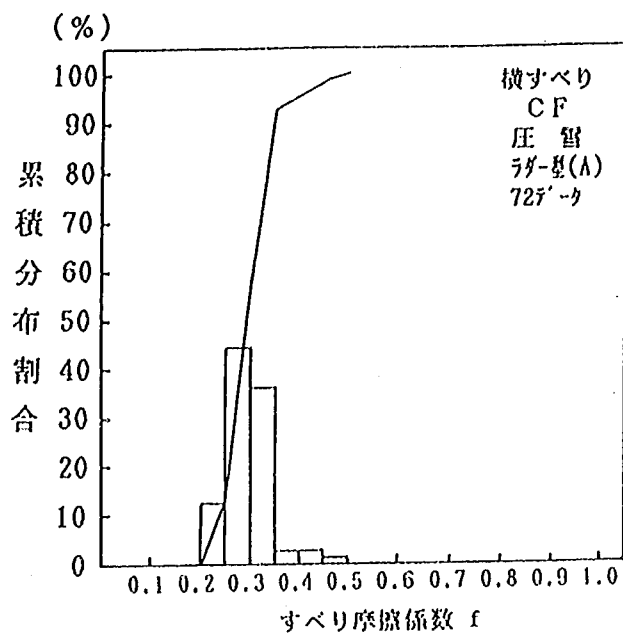


図-3.9.10 累積分布割合
(圧雪：非金属 ラダー型(A))

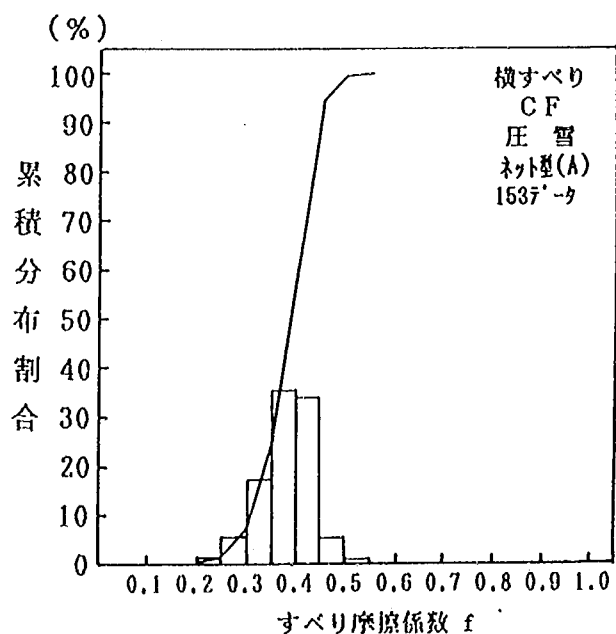


図-3.9.11 累積分布割合
(圧雪：非金属 ネット型(A))

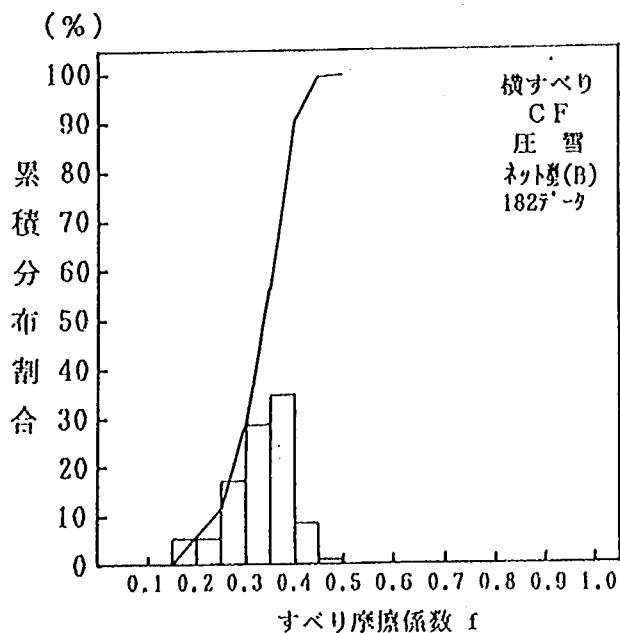


図-3.9.12 累積分布割合
(圧雪：非金属 ネット型(B))

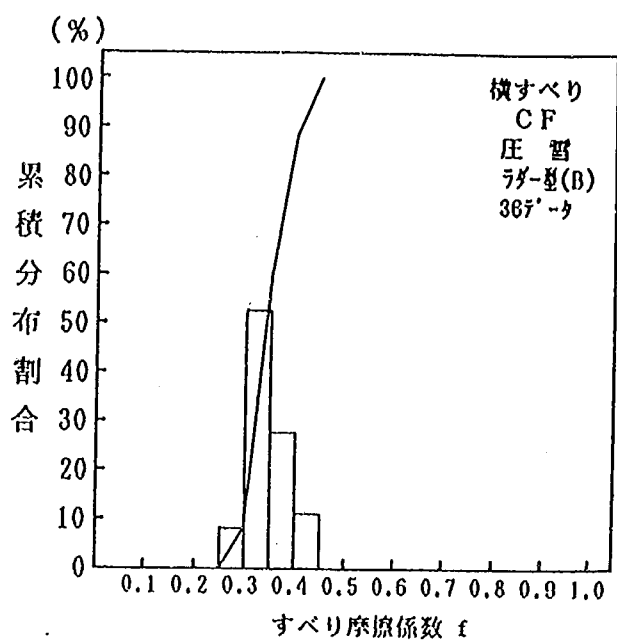


図-3.9.13 累積分布割合
(圧雪：非金属 ラダ'-型(B))

3-1-3 駆動時のすべり摩擦係数

雪氷路面の駆動時のすべり摩擦係数の実測値を路面状態別にまとめたものが表-3.8である。

表-3.8 すべり止め装置別の駆動時のすべり摩擦係数

項目	路面状態	チェーン種類	最小値	最大値	平均値	標準偏差	備 考
ピーク値	氷 板	な し	0.230	0.559	0.378	0.093	スノー及びスタッドレス使用
	〃	スチールチェーン	0.370	0.678	0.489	0.077	
	〃	非金属 ネット型(A)	0.320	0.465	0.387	0.060	
	〃	非金属 ネット型(B)	0.280	0.445	0.344	0.046	
	圧 雪	な し	0.233	0.606	0.354	0.075	
	〃	スチールチェーン	0.539	0.860	0.704	0.081	
	〃	非金属 ネット型(A)	0.390	0.783	0.533	0.101	
	〃	非金属 ネット型(B)	0.369	0.635	0.495	0.065	
空転値	氷 板	な し	0.070	0.169	0.109	0.026	スノー及びスタッドレス使用
	〃	スチールチェーン	0.150	0.418	0.282	0.099	
	〃	非金属 ネット型(A)	0.130	0.206	0.163	0.019	
	〃	非金属 ネット型(B)	0.100	0.171	0.135	0.021	
	圧 雪	な し	0.120	0.225	0.157	0.018	
	〃	スチールチェーン	0.320	0.645	0.470	0.087	
	〃	非金属 ネット型(A)	0.237	0.559	0.359	0.062	
	〃	非金属 ネット型(B)	0.169	0.380	0.279	0.056	

表-3.9 すべり止め装置別の駆動時のすべり摩擦係数

項目	路面状態	チェーン種類	最小値	最大値	平均値	標準偏差	備 考
ピーク値	圧 雪	な し	0.189	0.652	0.362	0.129	リブタイヤ使用
	〃	スチールチェーン	0.619	0.823	0.713	0.063	
	〃	非金属 ネット型(A)	0.543	0.831	0.698	0.092	
空転	〃	な し	0.135	0.254	0.180	0.038	リブタイヤ使用
	〃	スチールチェーン	0.380	0.575	0.483	0.058	
	〃	非金属 ネット型(A)	0.271	0.622	0.414	0.121	

駆動時のタイヤのすべりの性能は、タイヤが静止している状態から走行するまで（タイヤが回転し車両の位置が変わるか、またはその位置でタイヤが空転するとき）駆動力は路面に順次伝達され増大する。したがって、路面とタイヤとの間の摩擦抵抗も増大し、それぞれの条件（タイヤ、すべり止め装置、路面等）の最大値に達する。車両が雪氷路面より発進するために必要な力が、この摩擦抵抗より小さい場合には車両は発進することができるが、発進に必要な駆動力がこの値より逆に大きい場合にはタイヤは空転を始める。すなわち、一定場所でスリップすることになる。このときのアナログ波形の状態を、図-3.10に示す。

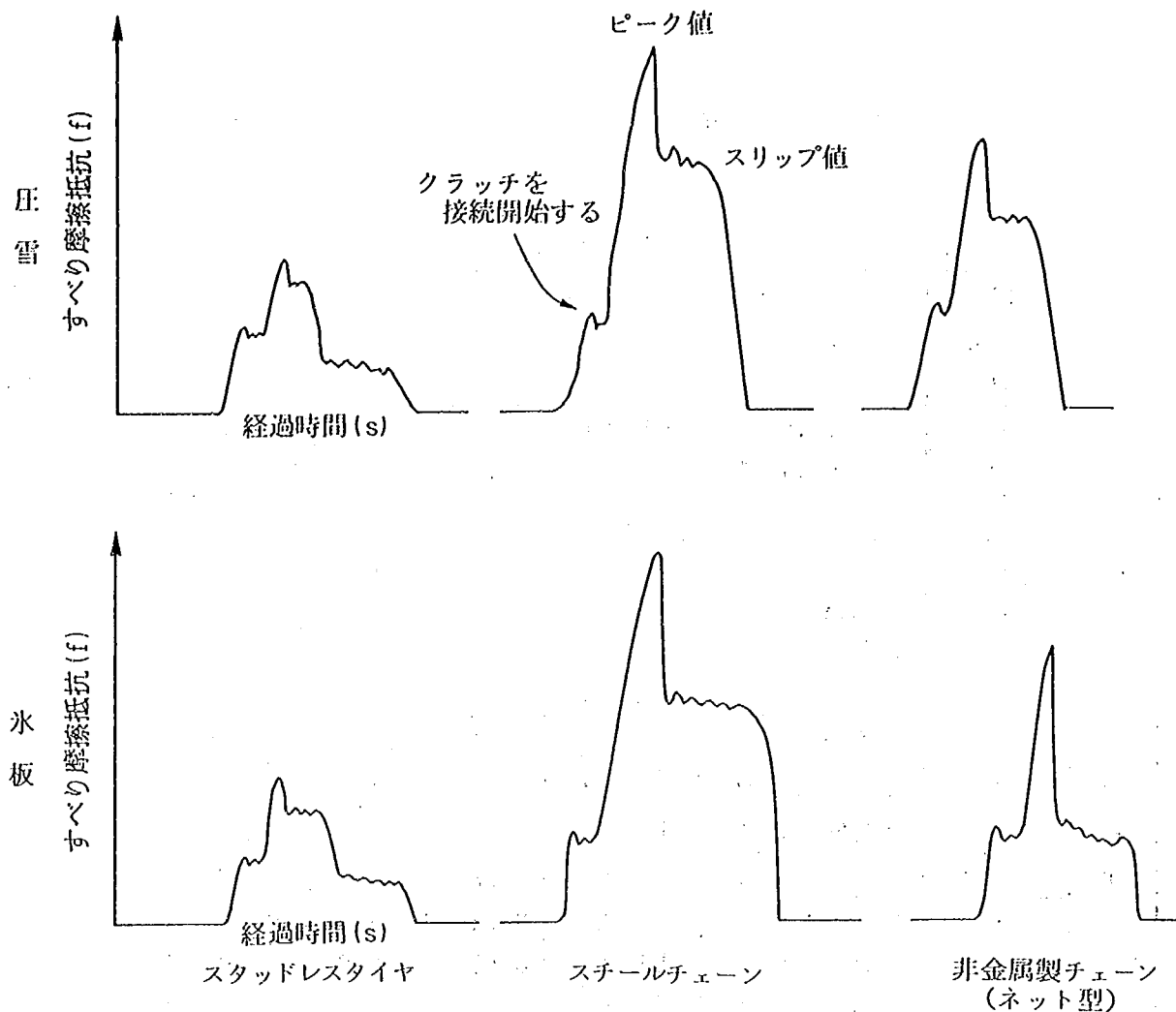


図-3.10 アナログ波形

この場合、最大摩擦係数（ピーク値）は静止状態において、タイヤと雪氷面の食い込み合った状態の摩擦であり、雪氷の性質やタイヤのトレッド、すべり止め装置の構造、材質等によって大きく異なる。一方、停止空転時の摩擦係数（スリップ値）はタイヤに接する下部雪氷面が平滑な状態になったか、または乱れてザクザクになった状態であり、摩擦係数は小さくなる。

また雪氷路面では、走行しながらタイヤが空転する場合があるが、このときのすべり摩擦係数は、静止状態（ピーク値）と停止空転時（スリップ値）との中間であると考えられる。

なお、ピーク値とはタイヤが回転する直前の値、空転値とはタイヤが回転している状態をいっているが、空転値の場合にはタイヤが一定の場所で回転しているときと、スリップしてから位置を少しずつ変えていく場合とがあるが、本実験では前者の一定の場所の値を示している。表-3.8を見てもわかるようにピーク値の値が大きい。

図-3.11.1～2にすべり止め装置別の実測値の範囲、図-3.12.1～16に各ケース別の実測値のヒストグラム及び累加曲線を示す。

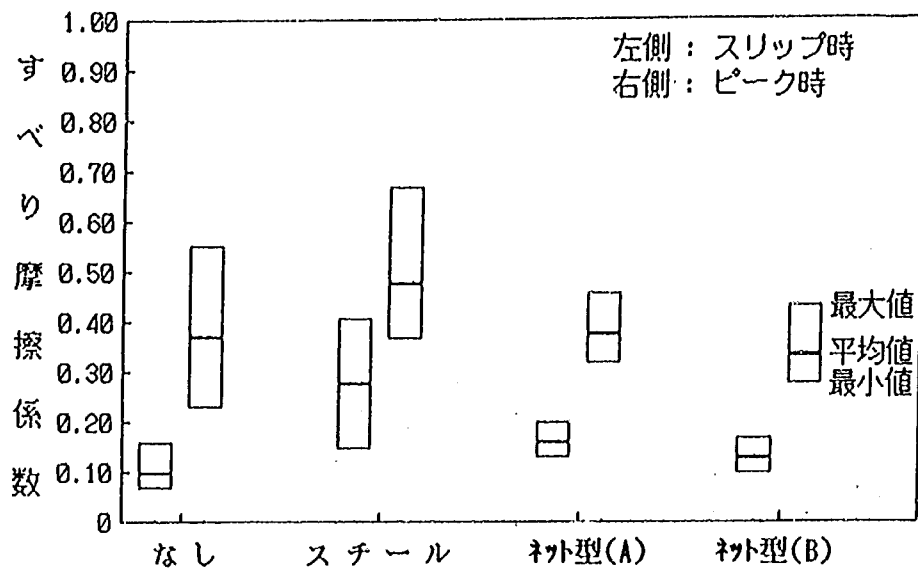


図-3. 1 1. 1 すべり止め装置別の駆動時のすべり摩擦係数（氷板）

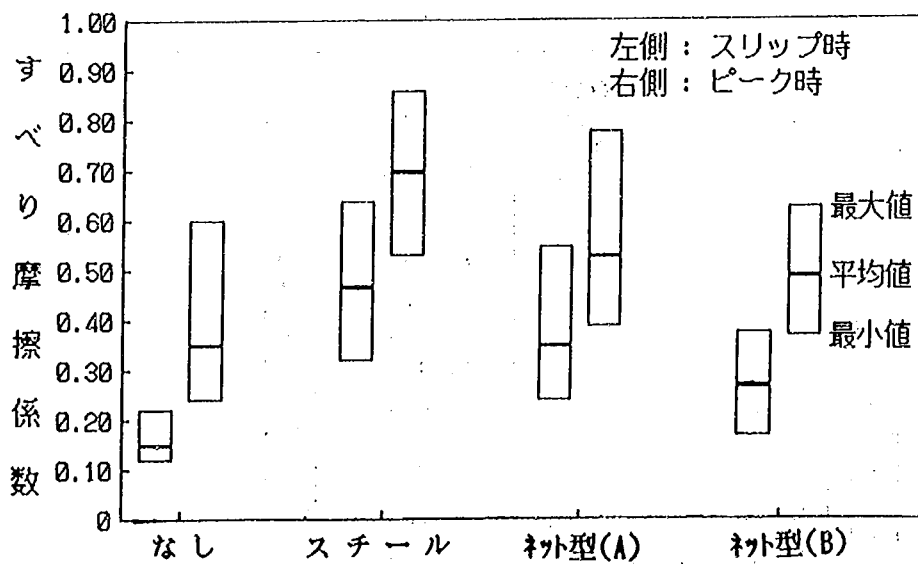


図-3. 1 1. 2 すべり止め装置別の駆動時のすべり摩擦係数（圧雪）

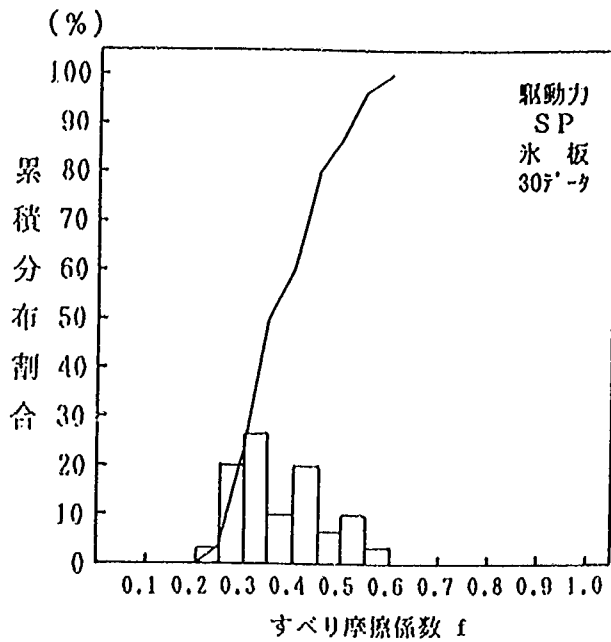


図-3.12.1 累積分布割合
(ピーク値：氷板)

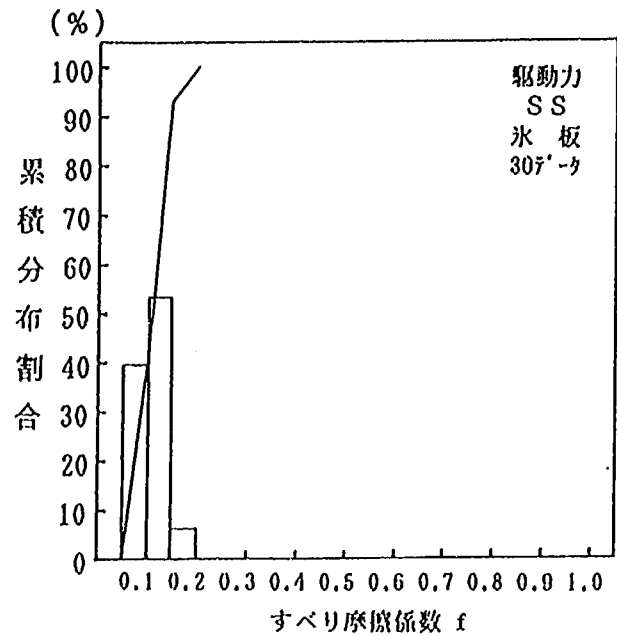


図-3.12.2 累積分布割合
(スリップ値：氷板)

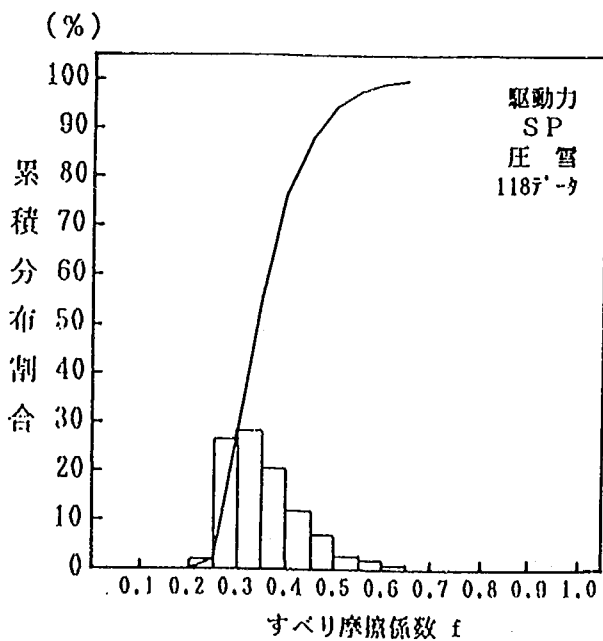


図-3.12.3 累積分布割合
(ピーク値：圧雪)

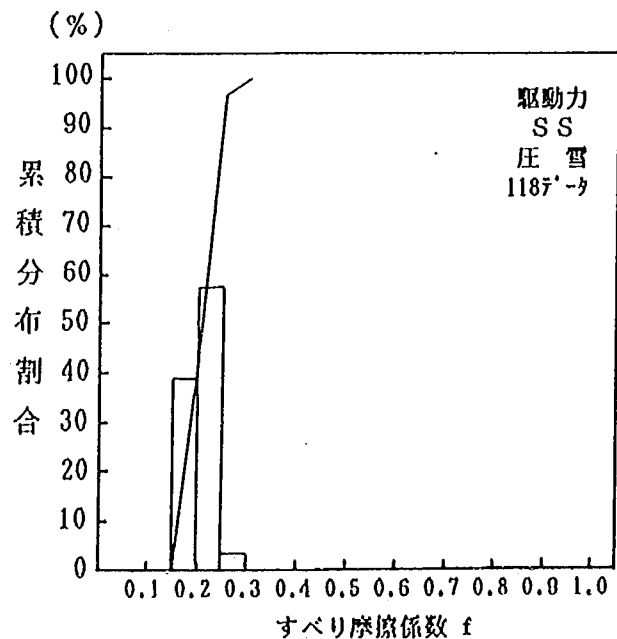


図-3.12.4 累積分布割合
(スリップ値：圧雪)

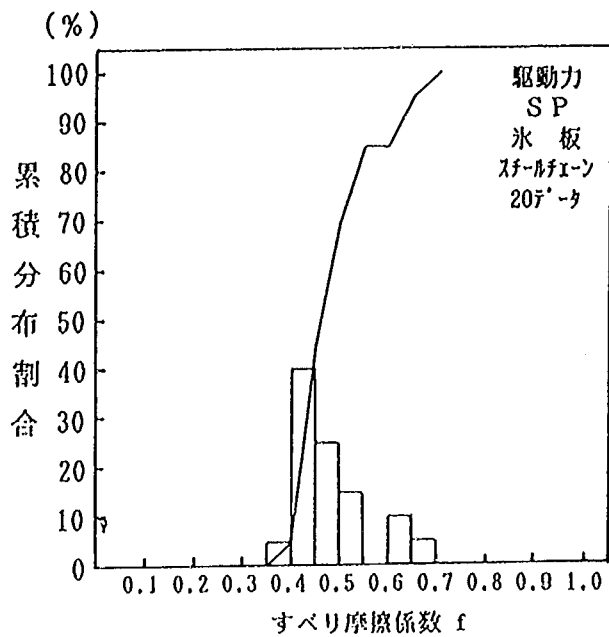


図-3.12.5 累積分布割合
(ピーク値：氷板，スチールチェーン)

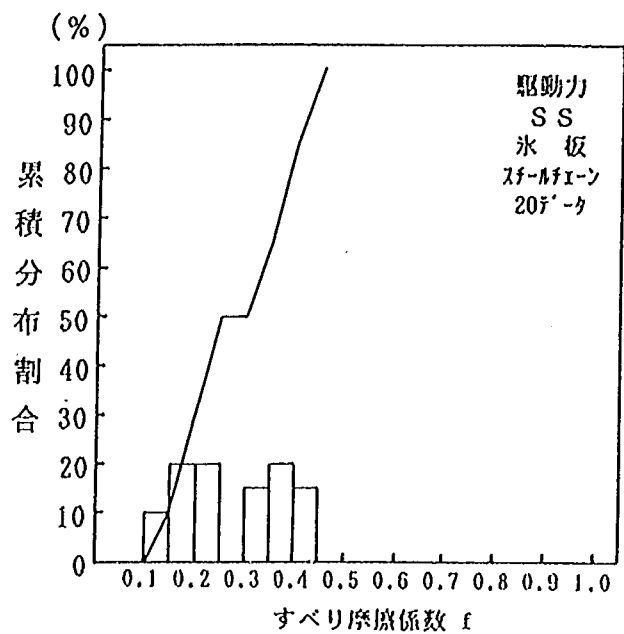


図-3.12.6 累積分布割合
(スリップ値：氷板，スチールチェーン)

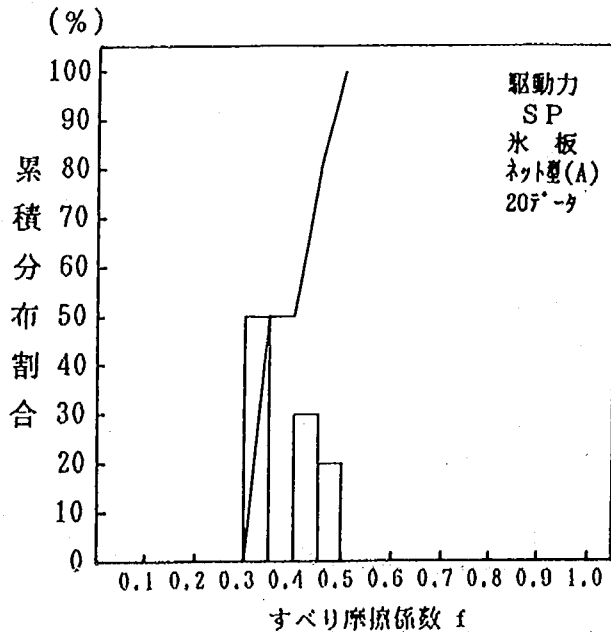


図-3.12.7 累積分布割合
(ピーク値：氷板，非金属 ネット型(A))

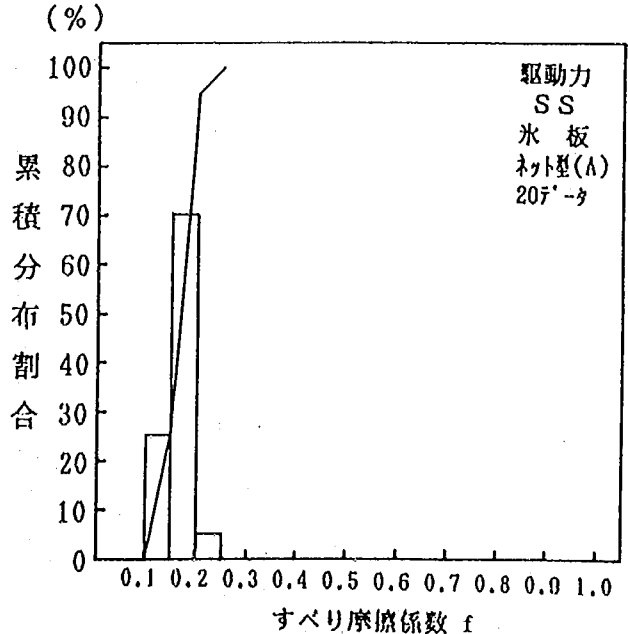


図-3.12.8 累積分布割合
(スリップ値：氷板，非金属 ネット型(A))

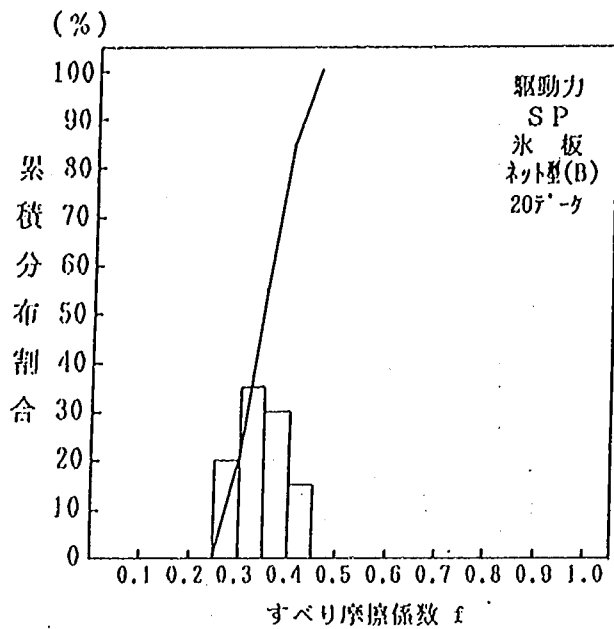


図-3.12.9 累積分布割合
(ピーク値：氷板，非金属 ネット型(B))

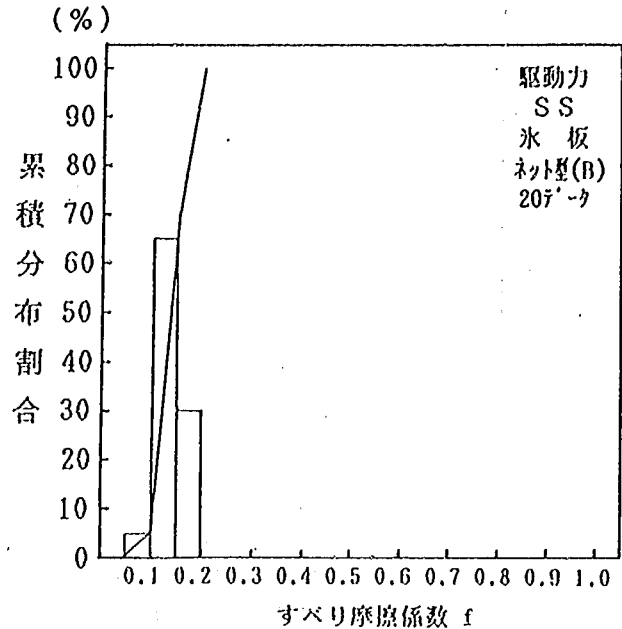


図-3.12.10 累積分布割合
(スリップ値：氷板，非金属 ネット型(B))

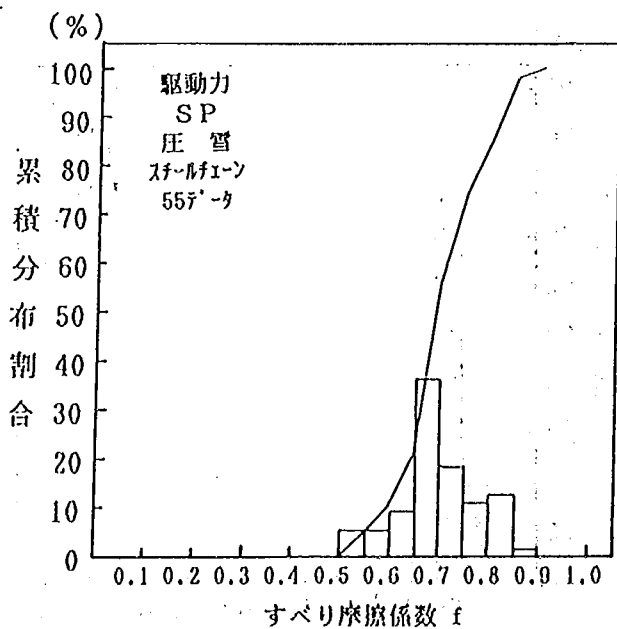


図-3.12.11 累積分布割合
(ピーク値：圧雪，スチールチェーン)

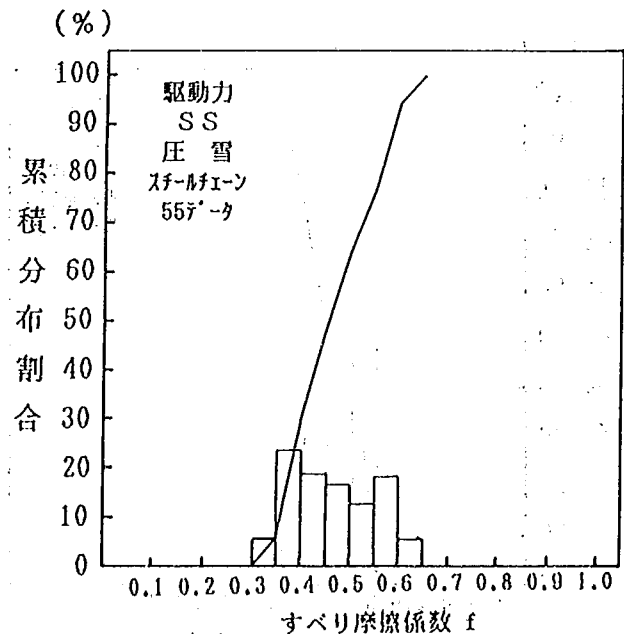
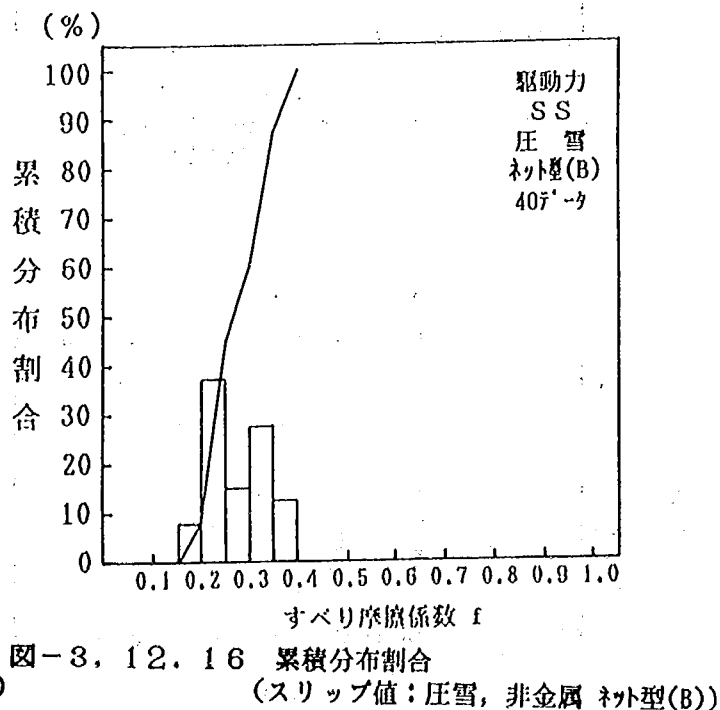
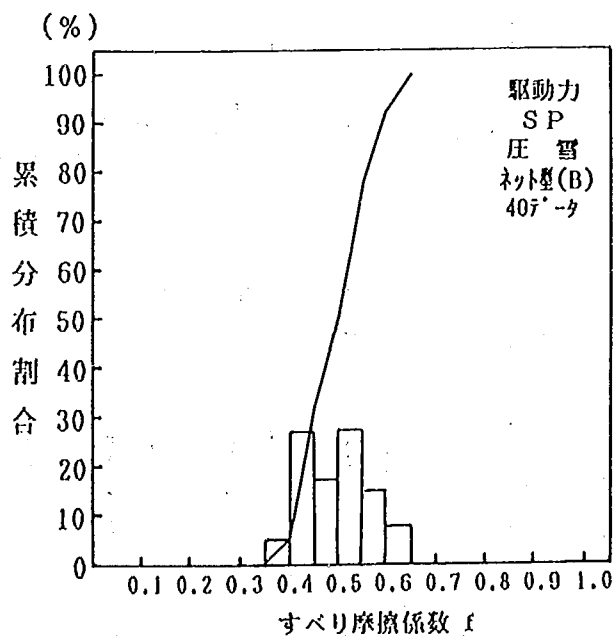
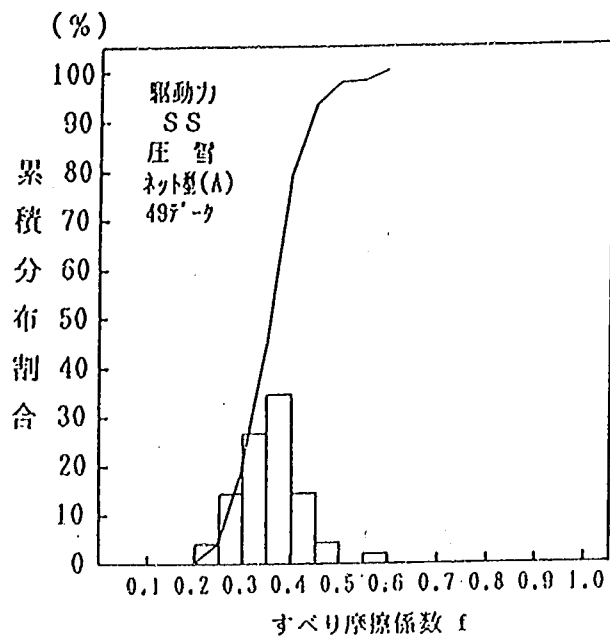
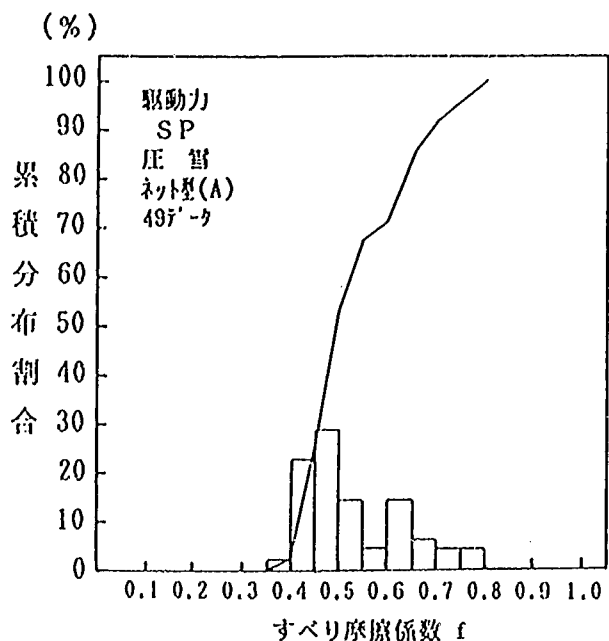


図-3.12.12 累積分布割合
(スリップ値：圧雪，スチールチェーン)



3-2 雪氷路面のすべりと各種要因との関係

3-2-1 路面温度との関係

雪氷路面のすべり摩擦係数の実測値と路面温度との関係を図-3.13.1~4に示す。なお、タイヤはスタッドレスタイヤである。

この図から、路面状態が氷板のときの縦すべり摩擦係数は、路面温度が変化してもすべり摩擦係数はほとんど変化していない。このときの横すべり摩擦係数については、路面温度が高くなると大きくなる傾向が少し見られる。しかし、相関係数は高くない。

一方、路面状態が圧雪のときは、各温度のときの実測値が0.20~0.45程度とばらつきが大きく、縦すべり、横すべりともに路面温度の変化による傾向はあまりないように思われる。

なお、氷板は土木研究所のすべり実験挙動施設において人工的に作った路面であり、そのときの路面温度を測定したものである。

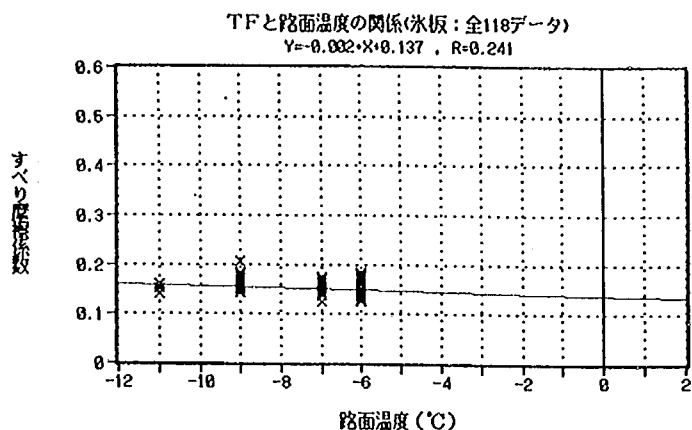


図-3.13.1 縦すべり摩擦係数と路面温度の関係
(氷板:全118データ)

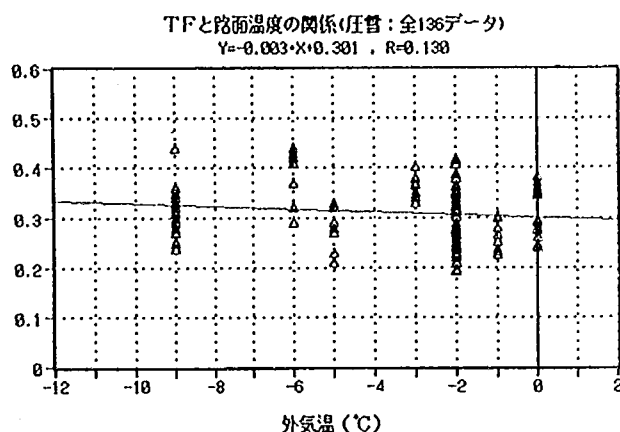


図-3.13.2 縦すべり摩擦係数と路面温度の関係
(圧雪:全136データ)

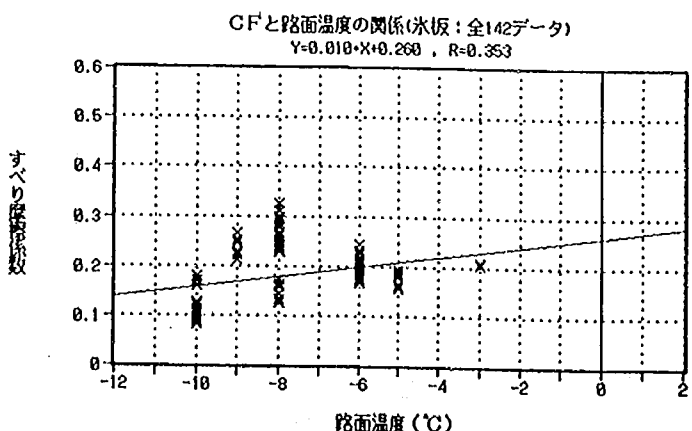


図-3.13.3 横すべり摩擦係数と路面温度の関係
(氷板:全142データ)

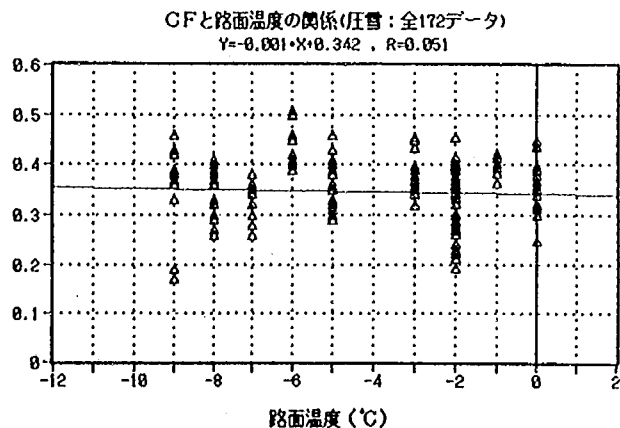


図-3.13.4 横すべり摩擦係数と路面温度の関係
(圧雪:全172データ)

3-2-2 圧雪硬度との関係

ここでは、路面状態が圧雪のときにのみ計測可能である圧雪硬度とすべり摩擦係数の関係を見る。圧雪硬度の測定は、木下式硬度計（図-3.14）を用いた。

硬度の算出は次式に基づき行った。

$$R = \frac{1}{S} \left\{ m \left(1 + \frac{H}{d} \right) + M \right\}$$

R : 硬度 (g/cm^2)

M : 円板質量 (g)

S : 円板面積 (cm^2)

m : おもりの質量 (g)

H : おもりの落下距離 (cm)

d : 円板の沈下量 (cm)

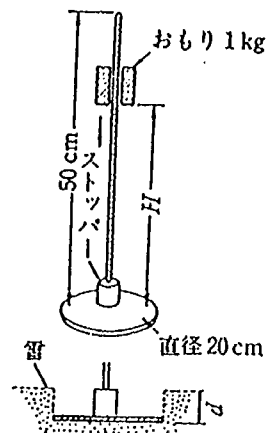


図-3.15. 1~2に圧雪硬度とすべり摩擦係数の関係を示した。この図から、各圧雪硬度の違いによるすべり摩擦係数は、縦すべり、横すべりともに相関性はあまり高くない。

い。圧雪硬度が変化しても、摩擦係数はあまり変化していない。

圧雪路面は、その状態が一樣ではなく、この他にもすべり抵抗に対する要因が複雑に係わっているため、一つの要因のみですべり摩擦係数に対する傾向を把握することは、困難であると思われる。

図-3.14 木下式硬度計

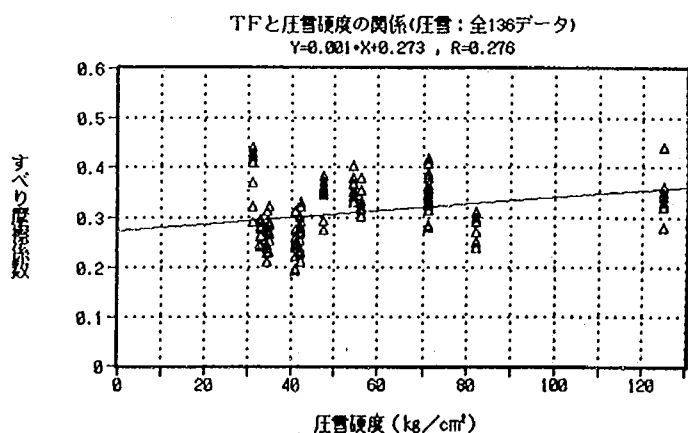


図-3.15.1 縦すべり摩擦係数と圧雪硬度の関係 (全136データ)

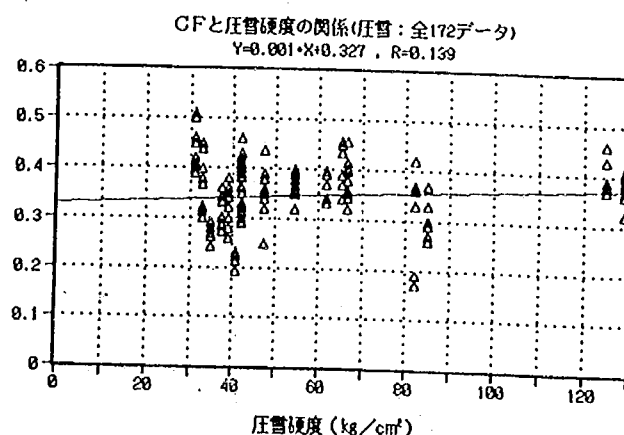


図-3.15.2 横すべり摩擦係数と圧雪硬度の関係 (全172データ)

第 4 章 凍結防止剤散布路面のすべり抵抗

4-1 凍結防止剤散布路面のすべり摩擦係数

凍結防止剤散布路面のすべり摩擦係数の実測値をまとめた結果は、表-4.1及び図-4.1に示す通りである。なお、この中には色々な散布後時間の場合が含まれている。

表-4.1から、凍結防止剤散布路面の縦すべり摩擦係数は、平均値で0.03~0.06程度、散布していない路面と比べて大きな値を示している。

また、図-4.2.1~2に薬剤散布の路面と散布なしのときの累加曲線の比較を示している。この図を見ると、薬剤散布の場合が散布なしの場合より右に線を示しており、すべり摩擦係数が大きくなることを表している。

表-4.1 雪氷路面と薬剤散布路面のすべり摩擦係数

路面種類	雪 氷 路 面				薬 剤 散 布 路 面			
	最小値	最大値	平均値	標準偏差	最小値	最大値	平均値	標準偏差
凍 圧 雪	0.170	0.470	0.260	0.056	0.110	0.470	0.321	0.079
圧 雪	0.140	0.530	0.304	0.070	0.210	0.480	0.335	0.072

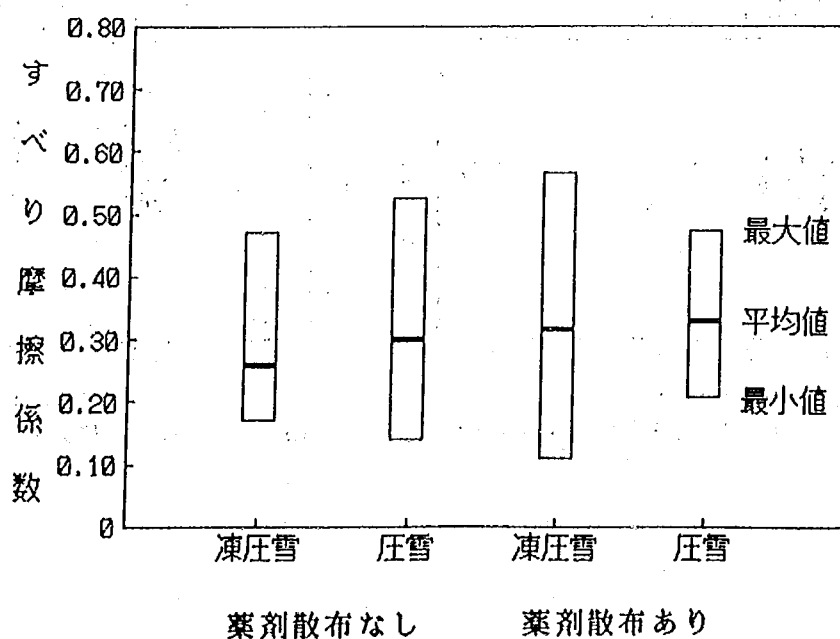


図-4.1 薬剤散布面のすべり摩擦係数

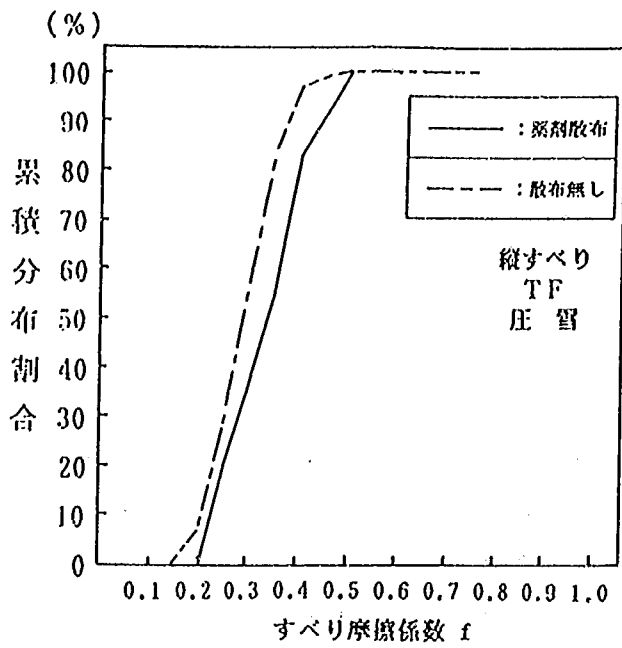


図-4. 2. 1 累積分布割合
(薬剤散布：圧雪)

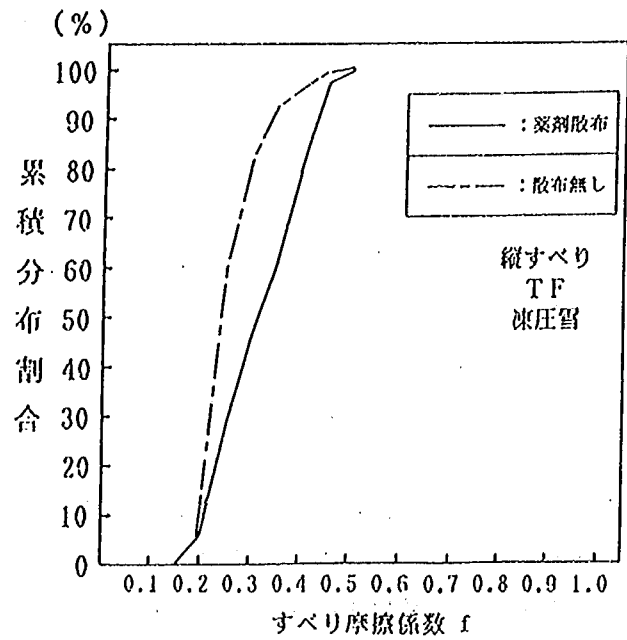


図-4. 2. 2 累積分布割合
(薬剤散布：凍圧雪)

一般的に、凍結防止剤によって雪氷を融解させる場合には、100%当量散布すればよい。しかし、実際には100%当量散布しても、すぐには融解せず、融解に至るまでには、長い時間を有する。また、雪の多い地方では経済的な理由により、100%当量散布することはできない。さらに、温度が極端に低い地域では、薬剤の特性を十分考慮して使用しなければならない。凍結防止剤を使用する場合、目的によって異なるが、現在1回の散布量は、最少10 g/m²から最大では200 g/m²散布しているようであるが、最も多く散布している範囲は、10~50 g/m²である。これらの散布目的は主として、降雪直前の予備散布（雪氷の舗装面への密着防止）、すなわち、除雪作業を容易にすることと除雪後のすべりやすくなった路面の凍結防止対策である。

図-4.3.1~1.1は、昭和62~63年にかけて、北陸地方建設局管内妙高高原地先及び関東地方建設局管内野尻湖地先において実測した結果である。使用した凍結防止剤は、表-4.2に示す通りである。散布量は、各地1回30 g/m²と60 g/m²を基準とした。凍結防止剤は、3~5cmの圧雪路面になるように除雪を行い、その後に散布した。

表-4.2 凍結防止剤の種類と特性

性 状	カルシウム・マグネシウム・7ヒート(CMA)	塩化ナトリウム	塩化ナトリウム +防錆剤	塩化カルシウム	塩化カルシウム +防錆剤	尿 素
化 学 式	$\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 1.05\text{H}_2\text{O}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 0.2\text{H}_2\text{O}$	NaCl	NaCl +防錆剤	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ +防錆剤	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
式 量	311.1	58.4	—	147.0	—	60.6
外 見	粗粒状	微粒状	微粒状	粒状	粒状	粒状
吸 湿 性	なし	小吸湿性	小吸湿性	潮解性	潮解性	なし
金属に対する作用	無錆	発錆	無錆	発錆	無錆	無錆
動植物に対する作用	微小有害	微小有害	微小有害	微小有害	微小有害	微小有害
共 融 点 (℃)		-22	NaCl より、やや高い	-54	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ より、やや高い	-12
溶 解 熱 (cal/g)		-17.4	NaCl より、やや高い	+68	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ より、やや低い	+55.8
(反応区分)	(発熱)	(吸熱)	(吸熱)	(発熱)	(発熱)	(発熱)
稀 釈 熱 (cal/g)		-9.6	NaCl より、やや高い	+13	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ より、やや高い	

* 水に対する薬剤の最大飽和量のこと

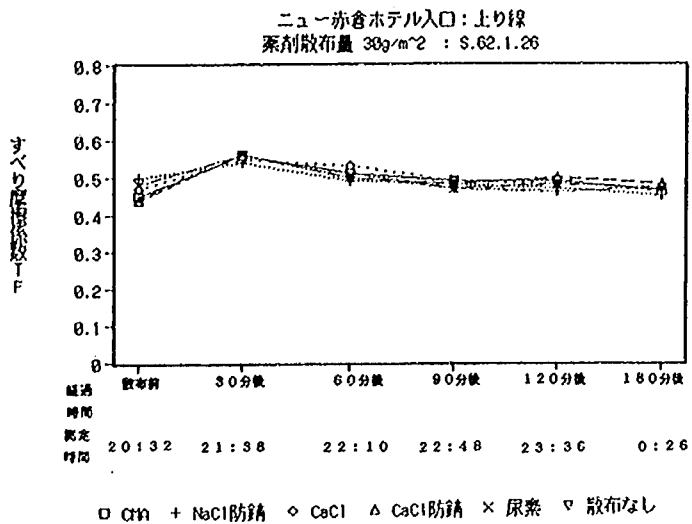


図-4.3.1 薬剤散布実測データ
(赤倉)

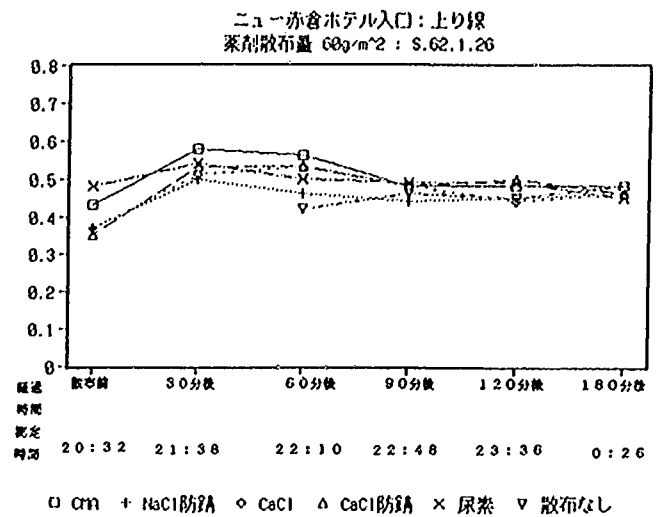


図-4.3.2 薬剤散布実測データ
(赤倉)

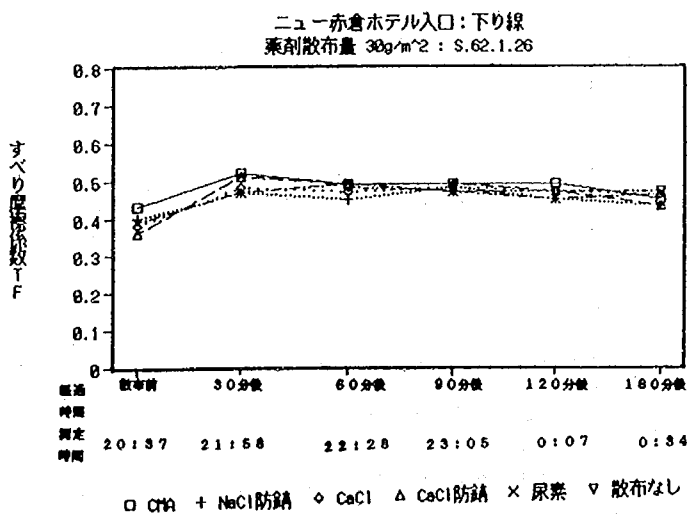


図-4.3.3 薬剤散布実測データ
(赤倉)

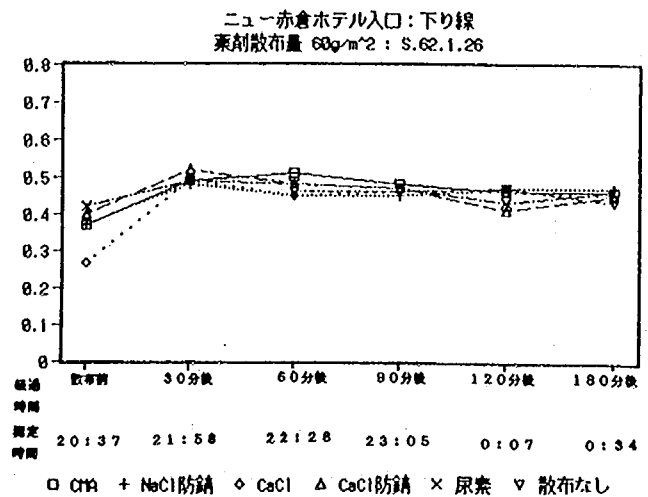


図-4.3.4 薬剤散布実測データ
(赤倉)

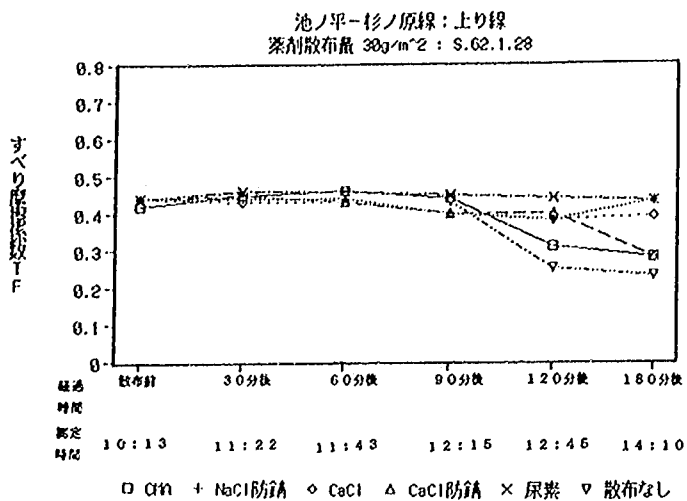


図-4.3.5 薬剤散布実測データ
(池ノ平-杉ノ原)

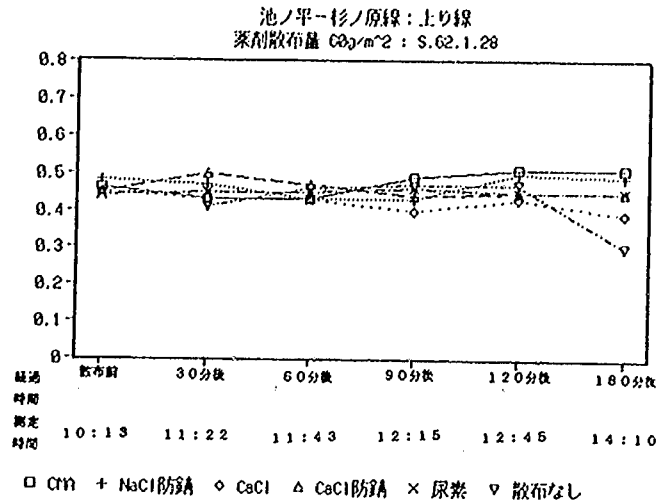


図-4.3.6 薬剤散布実測データ
(池ノ平-杉ノ原)

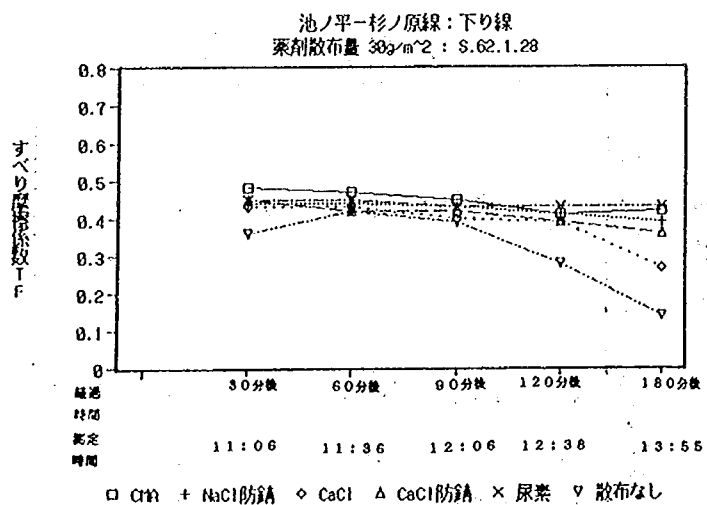


図-4.3.7 薬剤散布実測データ
(池ノ平-杉ノ原)

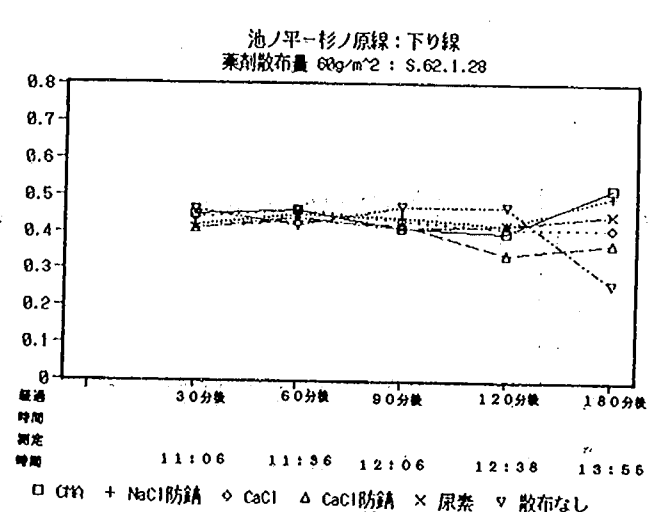


図-4.3.8 薬剤散布実測データ
(池ノ平-杉ノ原)

凍結防止剤とすべり摩擦係数(TF)の関係
S.63.2.1 (野尻：早朝～昼)

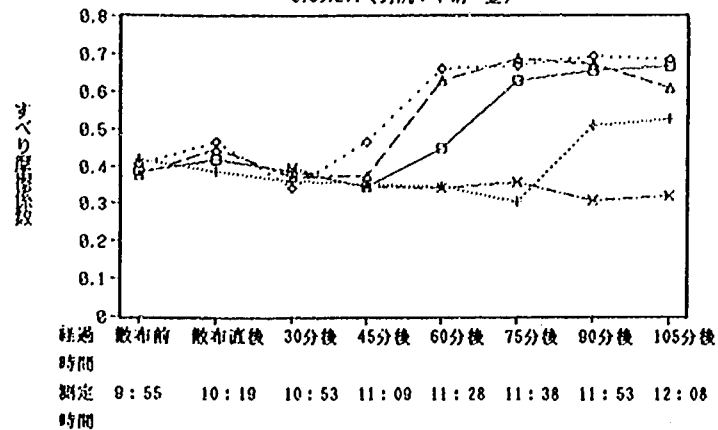


図-4.3.9 薬剤散布実測データ
(野尻)

凍結防止剤とすべり摩擦係数(TF)の関係
S.63.2.3 (野尻：夜～早朝)

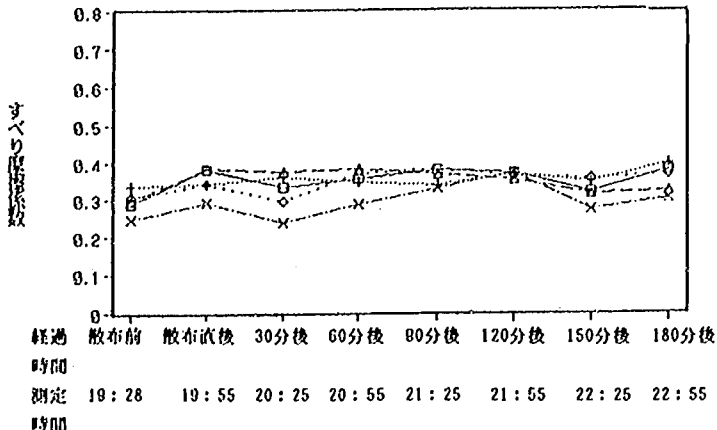


図-4.3.10 薬剤散布実測データ
(野尻)

凍結防止剤とすべり摩擦係数(TF)の関係
S.63.2.6 (野尻：早朝～昼)

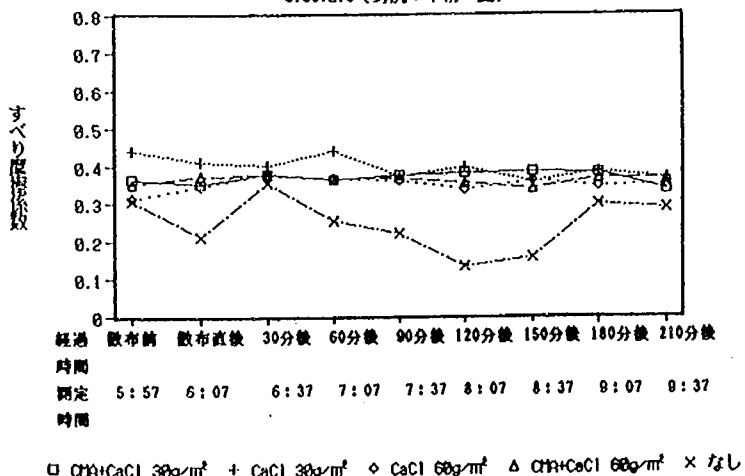


図-4.3.11 薬剤散布実測データ
(野尻)

これらの図から、凍結防止剤は散布量によってその効果は異なることがわかる。その効果は散布後約30分で現われ、その後、交通量や温度変化によって変化していくものと思われる。

図-4. 3. 1~4の赤倉にての実測結果を見ると薬剤散布の効果がほとんど現われていない。これは、このときの路面圧雪が厚く、表面の雪質はザクザクとなるが、下部は変化しないためと考えられる。

その他の図-4. 3. 5~11の結果を見ると、凍結防止剤散布路面のすべり摩擦係数は散布していない路面に比較して、いずれも大きくなっている。しかし、凍結防止剤の散布時期によって散布効果は大きく異なっている。図-4. 3. 9からわかるように、早朝(8時~10時)に散布すると直射日光と相まって、その効果は非常に大きくなっている。

図-4. 4. 1~3は、建設省土木研究所の試験走路において、事前に散布した水が夜間の温度低下によって凍結した薄い氷膜面(氷厚 1~2mm)で実測した結果を示したものである。

この図でも明らかなように、氷膜面では凍結防止剤の種類によって多少その効果は異なるが、時間経過とともに、すべり摩擦係数が大きくなっていくのが顕著に現れているのが見られる。なお、測定タイヤは、スノー又はスタッドレスタイヤである。

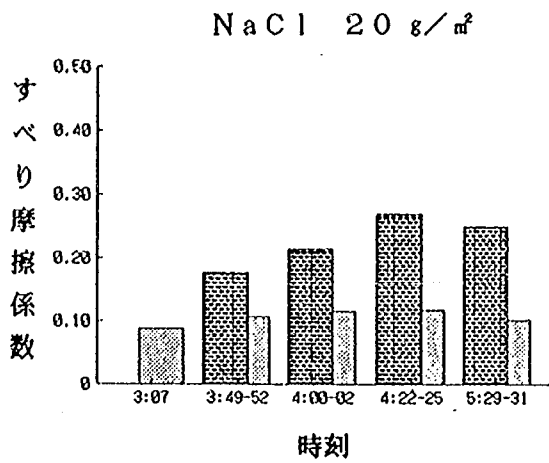


図-4. 4. 1 薬剤散布実測データ
(土研試験走路)

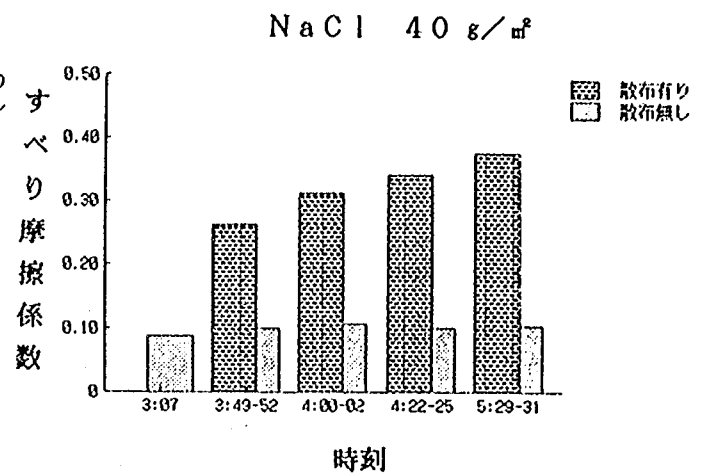


図-4. 4. 2 薬剤散布実測データ
(土研試験走路)

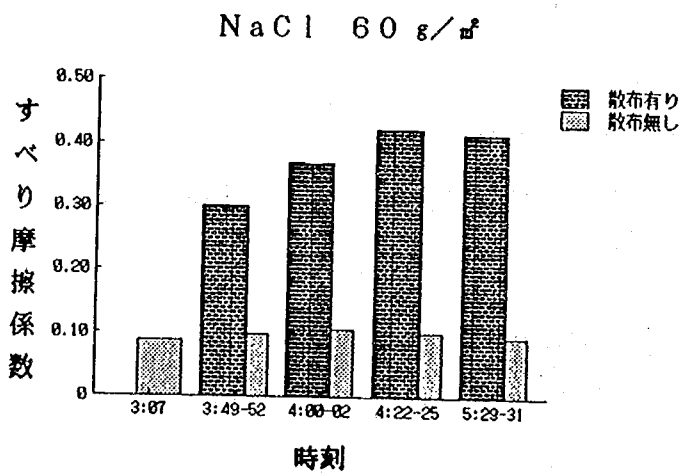


図-4. 4. 3 薬剤散布実測データ
(土研試験走路)

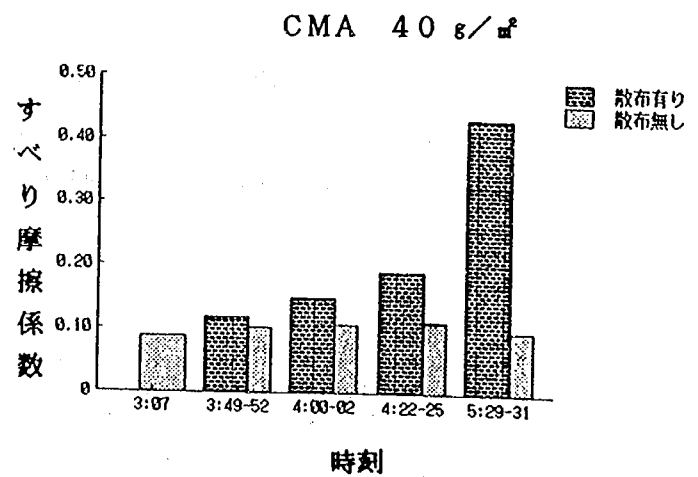


図-4. 4. 4 薬剤散布実測データ
(土研試験走路)

第 5 章 すべり摩擦係数と道路の幾何構造との関係

5-1 縦すべり摩擦係数と制動停止距離

第3章の中で各種雪氷路面におけるすべり摩擦係数を示したが、タイヤやすべり止め装置の種類によって、その値は異なる。また、維持管理（除雪、凍結防止対策（薬剤散布）等）によって影響されるところも大きい。

また、車両の走行性から見ると通常の湿潤路面のすべり摩擦係数は速度の上昇とともに値が低下するが、雪氷路面では速度が変化しても値はあまり変化しない。（図-5.1）これは低速時でもかなり摩擦係数が小さいことと速度の増大とともに走行抵抗（タイヤ前面の雪）が増大するためと思われる。特に、ザラメ状の雪など抵抗が大きい路面では、逆に速度の増大とともに摩擦係数が大きくなる場合がある。このようなことから、雪氷路面の制動時のすべり摩擦係数とそのときの速度とは相関性がないと考えられる。

次に、制動停止に必要な視距 L を次式によって求めた。

$$L = (V/3.6) t + \frac{(V/3.6)^2}{2 g f} \quad \dots\dots\dots \text{式-5.1}$$

ここで、 V は速度(km/h)、 t は反応時間(s)、 g は重力加速度9.8(m/s)、 f はすべり摩擦係数である。

反応時間は、障害物を発見した後、運転者がブレーキを踏むかどうか判断する判断時間と判断してからブレーキを踏むまでの反動時間との和である。ここでは、道路構造令と同様に判断時間1.5秒、反動時間1.0秒とし、反応時間2.5秒として計算した。

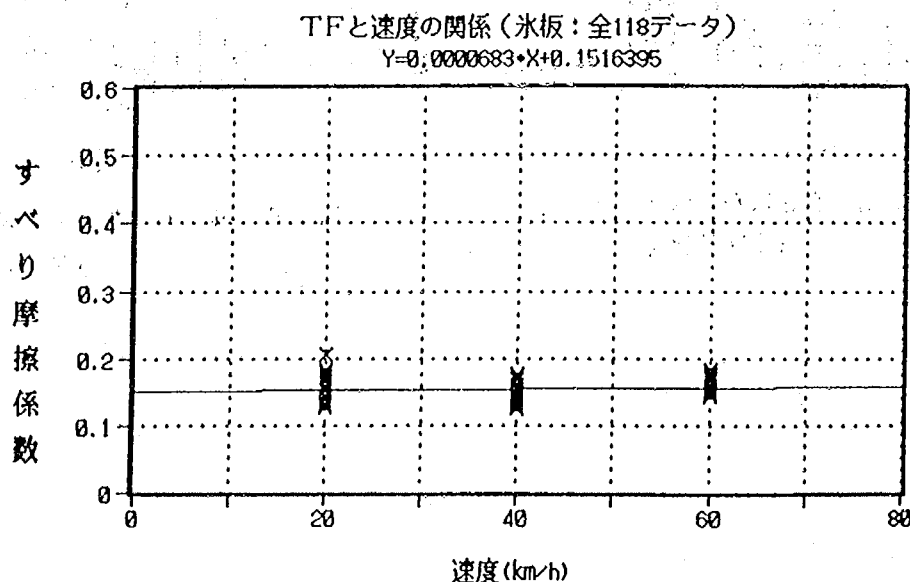


図-5.1 速度と縦すべり摩擦係数の関係

図-5. 2は表-3. 2の縦すべり摩擦係数をもとに各種雪氷路面の走行速度 40 km/h のときの制動停止距離を示したものである。

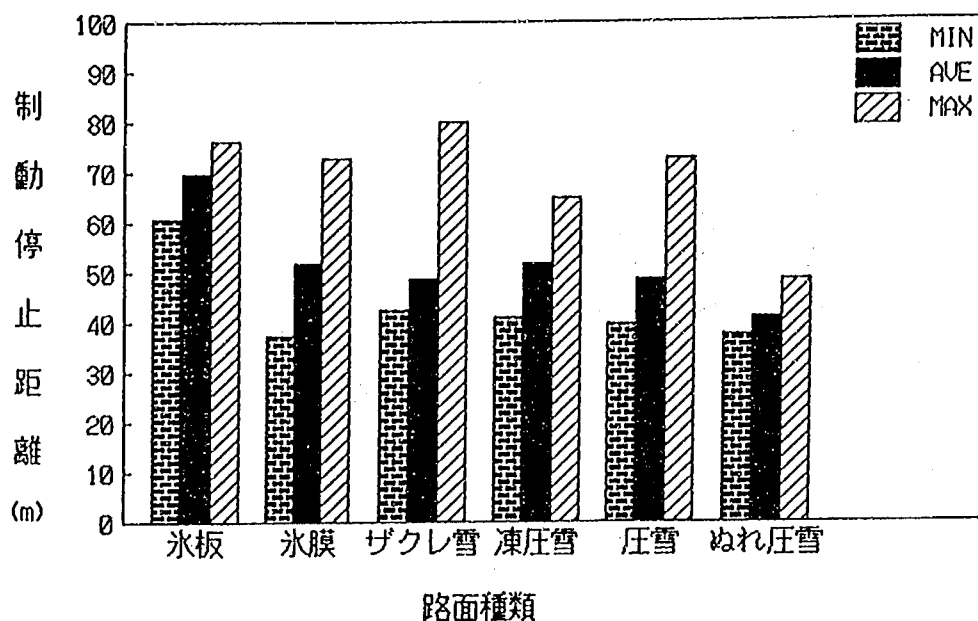


図-5. 2 雪氷路面の制動停止距離

(スノータイヤ及びスタッドレスタイヤ)

この図で見ると最大値では道路構造令の視距の約70mを上回る値を示すものもあるが、平均値では70mもしくはそれより30~35%短い値となっている。したがって、スノータイヤ及びスタッドレスタイヤにおける制動停止距離は、氷板または氷膜路面で多少70mを上回る値を示しているほかザクレ雪、凍圧雪、圧雪、ぬれ圧雪面では道路構造令の視距は満足するものと考えられる。しかし、縦断勾配の急な坂道の下りなどでは、停止距離が増大するだけでなく、車両の安定性も低下するので、このような場所の走行には注意する必要がある。

図-5. 3. 1はスノータイヤまたはスタッドレスタイヤに各種すべり止め装置を装着した場合の制動停止距離を示したものである。(路面は圧雪)

この図をみても明らかなように道路構造令の値の70mに比較して35%程度短く、装置を装着しないときの値とほぼ同じか多少短めとなっている。なお、図-5. 3. 2~3にその他の路面状態における制動停止距離を示したが、ザクレ雪は圧雪と同様な傾向にあるが、氷板路面はすべり止め装置によっては70mを超える場合もあり得るので、すべり止め装置の性能について十分に理解を深めておく必要がある。

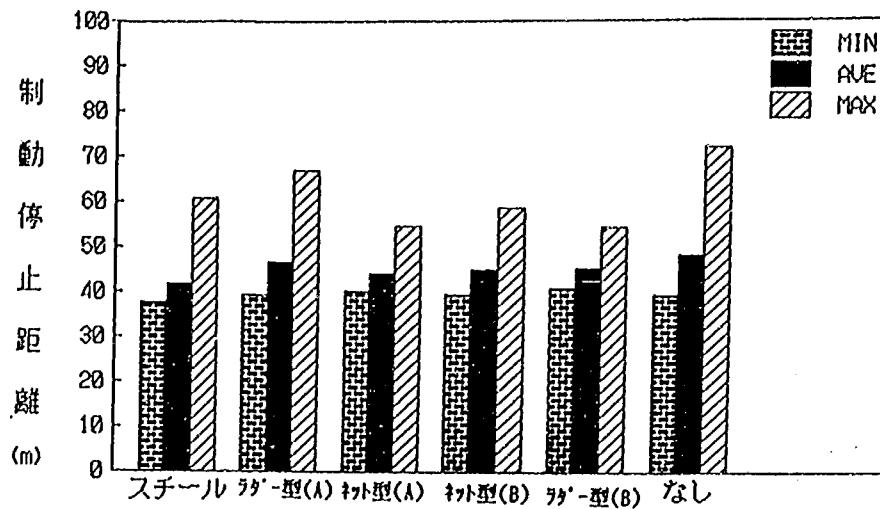


図-5. 3. 1 すべり止め装置別の制動停止距離 (圧雪)

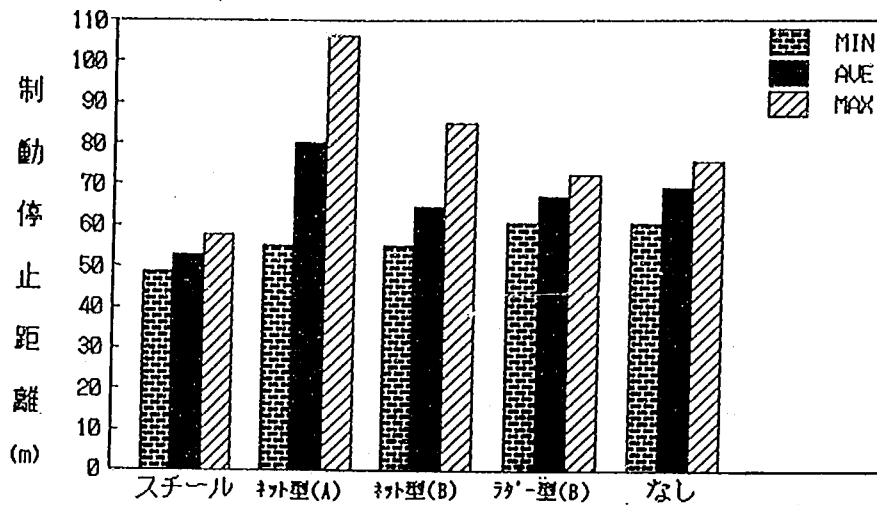


図-5. 3. 2 すべり止め装置別の制動停止距離 (氷板)

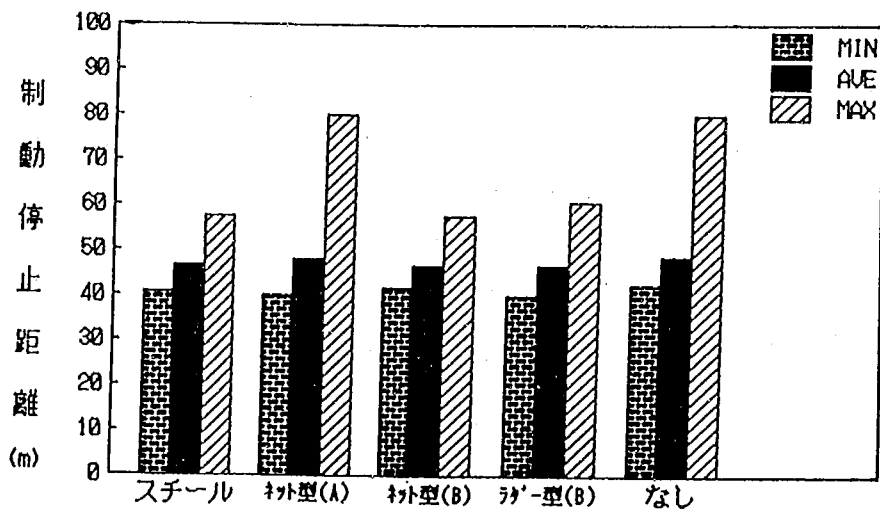


図-5. 3. 3 すべり止め装置別の制動停止距離 (ザクレ雪)

5-2 曲線半径と片勾配

車両が道路の曲線部において、曲線部の横断勾配と横すべり摩擦係数との関係は、 f をすべり摩擦係数、 i を横断勾配、 g を重力加速度、 V を速度、 R を曲線半径とすると次式のような関係にある。

$$(f + i) g = \frac{V^2}{R} \quad \dots\dots\dots \text{式-5.2}$$

ここで、 V を km/h、 R を m 単位で表すと

$$f = \frac{V^2}{127 R} - i \quad \dots\dots\dots \text{式-5.3}$$

上式による曲線半径と $(i + f)$ との関係を示したのが図-5.4である。

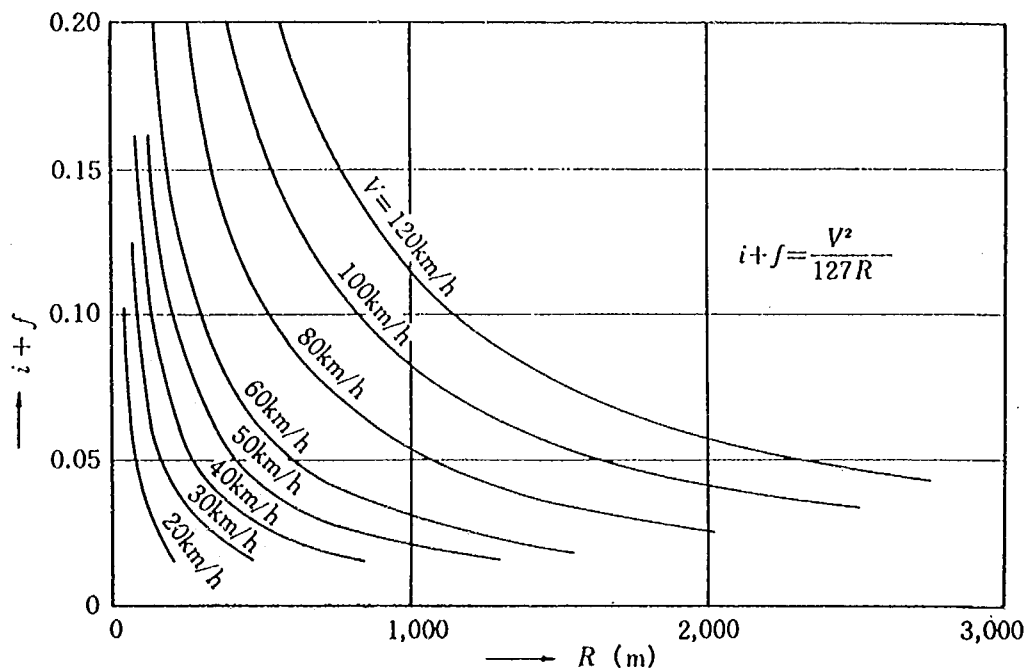


図-5.4 $(i + f)$ と曲線半径の関係

式-5.3より、表-3.5の平均値を用い、各種雪氷路面において測定したすべり角 15° 時の横すべり摩擦係数と道路構造令の積雪地域の片勾配(6%、8%)における路面種類別の曲線半径を求めた結果は、表-5.1に示す通りとなった。なお、曲線半径が小さい場合、わずかな走行速度の変化が快適性や安全性に影響するため、積雪寒冷地では地域的な問題や経済的な問題もあるが走行性の面からできるだけ曲線半径を大きく片勾配を小さくすることが望ましいと考えられる。

表-5.1 路面種類別の曲線半径

路面状態	曲線半径 (m)			備 考
	片勾配 1.5%	片勾配 6%	片勾配 8%	
氷 板	65	53	49	走行速度 40km/h
氷 膜	36	32	30	
ザクレ雪	52	44	41	
凍 圧 雪	42	36	34	
圧 雪	52	44	41	
ぬれ圧雪	29	27	26	

3-1-2で示している曲線部走行時の横すべり摩擦係数は、通常の走行（規制速度）では横すべりを発生することはないと考えられるが、一般路面（湿潤状態）とは、すべり摩擦係数に大きな差があるので注意した走行が望まれる。

また、積雪寒冷地では交通量、降雪量、気温及び除雪作業の程度を勘案して曲線半径や片勾配を定めていく必要がある。

5-3 駆動時のすべり摩擦係数と縦断勾配

雪氷路面で車両が発進しようとするとき、その発進は、路面とタイヤ間に生ずるすべり摩擦係数によって決まるが、このすべり摩擦係数は、雪質、タイヤ、車両の駆動構造（FR、FF、4WD等）及び運転操作による影響が大きい。まず、走行しながらタイヤの空転している時の摩擦係数が車両の転がり抵抗より大きい場合には、車両は発進可能である。また、勾配部（坂道）においては、さらに勾配抵抗が加わり、これら両者の和よりも走行しながらタイヤが空転しているときの摩擦係数が大きい場合、最初は一部空転するが、発進は可能である。

車両が発進するときの駆動力は、車両の全荷重とタイヤと路面の摩擦係数、及び車両の全荷重に対する駆動輪にかかる荷重の比（荷重分配係数 β ）を乗じたものである。

$$\text{車両全荷重} \times \frac{\text{駆動輪荷重}}{\text{車両全荷重}} \times \text{摩擦係数} = \text{駆動力}$$

このようなことから、路面状態を一定とし同一条件の下で道路走行試験に際しては特殊な装置によって測定した発進時のすべり摩擦係数を用い、タイヤ及びすべり止め装置別に発進可能勾配を次式によって求めた。

$$i = \beta_p \cdot f - f_r \quad \dots\dots\dots \text{式-5.4}$$

i : 発進可能勾配

β_p : 車両荷重分配係数

f : すべり摩擦係数

f_r : ころがり抵抗

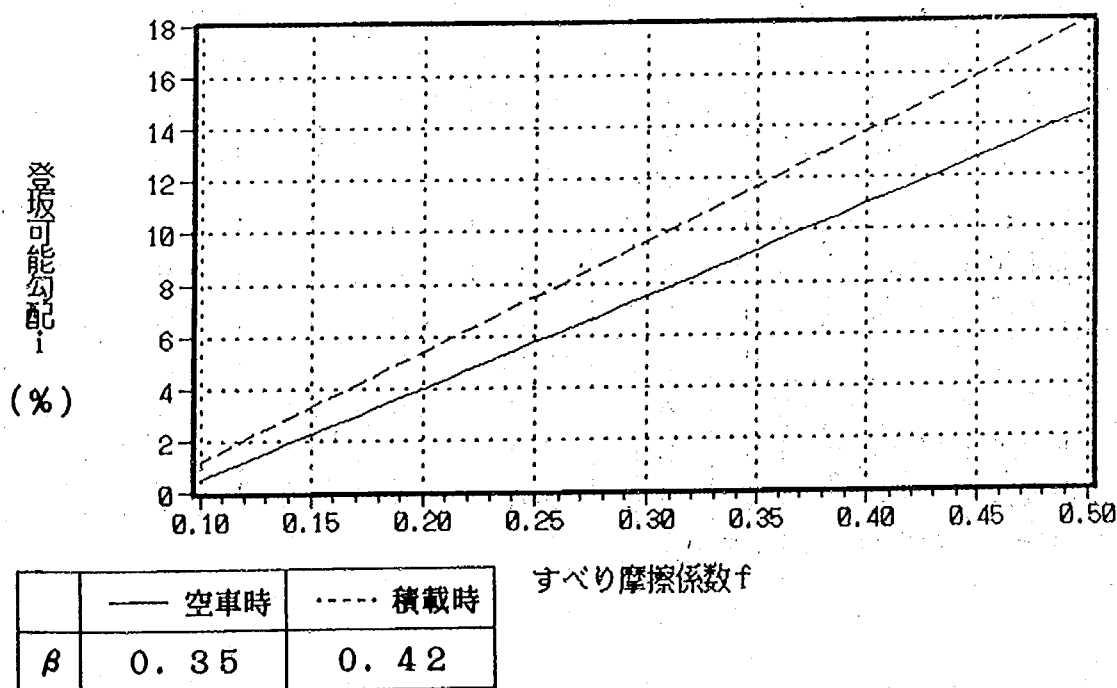


図-5.5 すべり摩擦係数と登坂可能勾配の関係（FR：圧雪路面）

図-5.5に示す i に対する f 値がそれより高くないと、その勾配を登坂することはできない。その関係を以下に示す。

$$r = f_r + i + \alpha$$

$r > f_{max}$ 発進不可能

$f_{max} > r > f_0$ ほとんど発進不可能
(運転技術の高い人のみ発進可能)

$f_0 > r > f_{min}$ 大部分発進可能。ただし、急加速してタイヤが空転状態になるときは発進不可能。

$f_{min} > r$ いづれの車も発進可能。一般に供用されている普通路面(乾燥、湿潤)は、この状態である。

r は発進時の走行抵抗、 f_r はころがり抵抗、 i は縦断勾配、 α は発進時の加速抵抗、 f_{max} は最大摩擦係数(ピーク値)、 f_0 は走行しながら空転しているときの摩擦係数、 f_{min} は停止空転時の摩擦係数(スリップ値)である。

表-5.2に表-3.8のピーク値の平均値、表-5.3は空転値の平均値を用い、登坂可能勾配を示した。タイヤはスノー及びスタッドレスタイヤである。

表-5.2で発進時のすべり摩擦係数のピーク値の平均値は、車両がFRの場合を見ると、すべり止め装置を装着しないときでも氷板及び圧雪路面ともに8%勾配を発進できることがわかった。

表-5.2 すべり止め装置種類別の登坂可能勾配(単位：%)

路面状態	チェーン種類	荷重配分係数 β (空車時)				荷重配分係数 β (積載時)			
		FR 0.35	FF 0.65	4WD 1.00	トラック 0.37	FR 0.42	FF 0.55	4WD 1.00	トラック 0.55
氷板	なし	11	22	35	11	13	18	35	18
〃	スチールチェーン	15	29	46	16	18	24	46	24
〃	非金属 ねつ型(A)	11	23	36	12	14	19	36	19
〃	非金属 ねつ型(B)	10	20	32	10	12	16	32	16
圧雪	なし	9	20	32	10	11	16	32	16
〃	スチールチェーン	21	42	67	23	26	35	67	35
〃	非金属 ねつ型(A)	15	31	50	16	19	26	50	26
〃	非金属 ねつ型(B)	14	29	46	15	17	24	46	24

* ピーク値の平均値を用いている。

表-5. 3 すべり止め装置種類別の登坂可能勾配 (単位: %)

路面状態	チェーン種類	荷重配分係数 β (空車時)				荷重配分係数 β (積載時)			
		FR 0.35	FF 0.65	4WD 1.00	トラック 0.37	FR 0.42	FF 0.55	4WD 1.00	トラック 0.55
氷 板	な し	1	5	8	2	2	3	8	3
//	スチールチェーン	7	16	26	8	9	13	26	13
//	非金属 ネット型(A)	3	8	14	4	4	6	14	6
//	非金属 ネット型(B)	2	6	11	2	3	5	11	5
圧 雪	な し	2	7	12	2	3	5	12	5
//	スチールチェーン	13	27	44	14	17	22	44	22
//	非金属 ネット型(A)	9	20	32	10	12	16	32	16
//	非金属 ネット型(B)	6	15	24	7	8	12	24	12

* 空転値の平均値を用いている。

また、表-5. 3の車両がFRの場合を見ると、空転しているときのすべり摩擦係数では6%の氷板面から発進可能であるのはスチールチェーンのみであり、スタッドレスタイヤのみ、及び非金属チェーンの場合は6%以下でしか発進することができない。路面が圧雪状態では、非金属チェーンを装着した場合には6%でも発進可能であることがわかった。しかし、スタッドレスタイヤのみの登坂可能勾配は2~3%程度である。

なお、前輪駆動車 (FF) や4輪駆動車 (4WD) などを用いた場合には、これより高い値を期待することができる。

第 6 章 本報告のまとめ

スパイクタイヤが平成3年3月に製造中止となるに伴って、冬用タイヤの中心となるスノータイヤ及びスタッドレスタイヤ装着時における雪氷路面のすべりに関し、本調査において、以下のことが指摘できる。

- 1) 雪氷路面におけるすべり摩擦係数は、氷板面（人工的に作った路面状態）では、そのばらつきは小さいが、その他の路面状態（積雪寒冷地の一般道路に見られる状態：圧雪、氷膜 etc）では、かなりばらつきをもって存在することが分かった。
- 2) 制動時の縦すべり摩擦係数は、一般道路の通常管理の路面状態において、平均値で0.30前後となるが、最小値では道路構造令で一つの目安としている0.15よりも小さくなる場合もあることが分かった。
- 3) スノー及びスタッドレスタイヤにすべり止め装置を装着したときは、いずれも装着しないときよりも縦すべり摩擦係数は大きくなる。氷板面を除く通常の路面では、ほぼすべり摩擦係数として0.15以上を確保することができる。その効果は、スチールチェーンで大きく、非金属製チェーン（ネット型、ラダー型）では、前者よりも小さい。
- 4) 走行時の横すべり摩擦係数は、一般道路の通常管理の路面状態では平均値で0.25～0.30程度となるが、最小値では0.10程度となる場合もあることが分かった。
- 5) 発進時のすべり摩擦係数は、氷板面ではすべり止め装置を装着したときの効果は小さいが、通常の路面状態（圧雪）では大きい効果がある。
今回の実験結果からFR車（FF車、4WD車等に比べて登坂性能が劣る）についての登坂性能を検討してみると、ピーク値を最大限に利用可能とすれば、8%の勾配においても発進は可能であるが、タイヤを空転させた状態での発進について見てみると、登坂可能勾配は3%程度と考えられる。
- 6) 冬期路面の凍結防止対策として広く用いられている薬剤散布は、時間が経過するとともにその効果を表わし、すべり摩擦係数を確保することが可能となる。しかし、圧雪が厚くなったとき等には、その効果が発揮されない場合もある。

あとがき

本調査によって、冬期雪氷路面におけるスノータイヤ、スタッドレスタイヤ及び各種すべり止め装置を装着したときの制動時の縦すべり、走行時の横すべり、及び発進時のすべり摩擦係数を把握することが出来た。

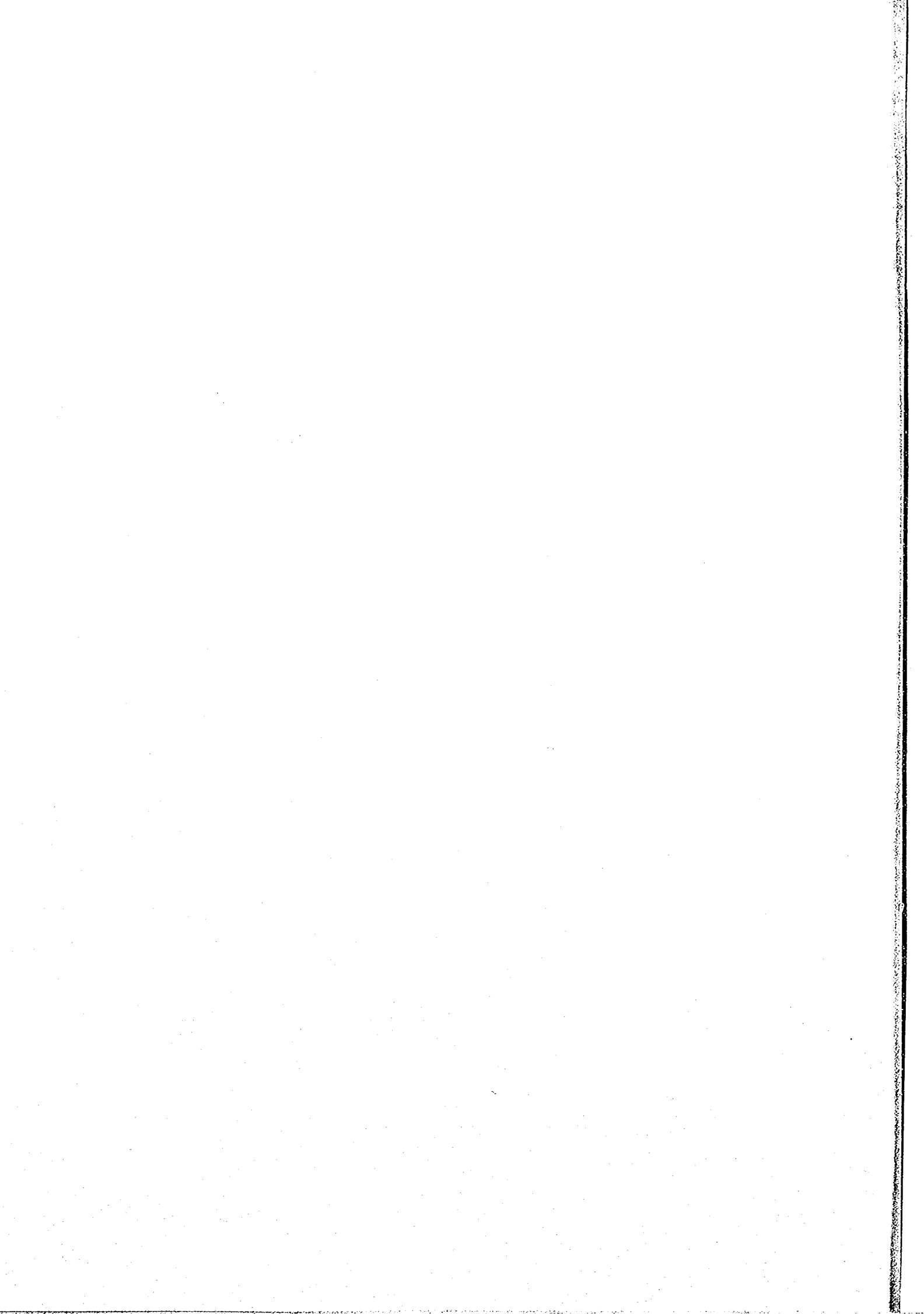
今後は、路面の管理状態を把握しながら運転者の運転技術と車両の性能（駆動輪の配置の異なる車両及びトラクションコントロール装置等）との関係を把握し、道路の設計、改良及び維持管理にどのように反映させていくか検討する必要があると思われる。

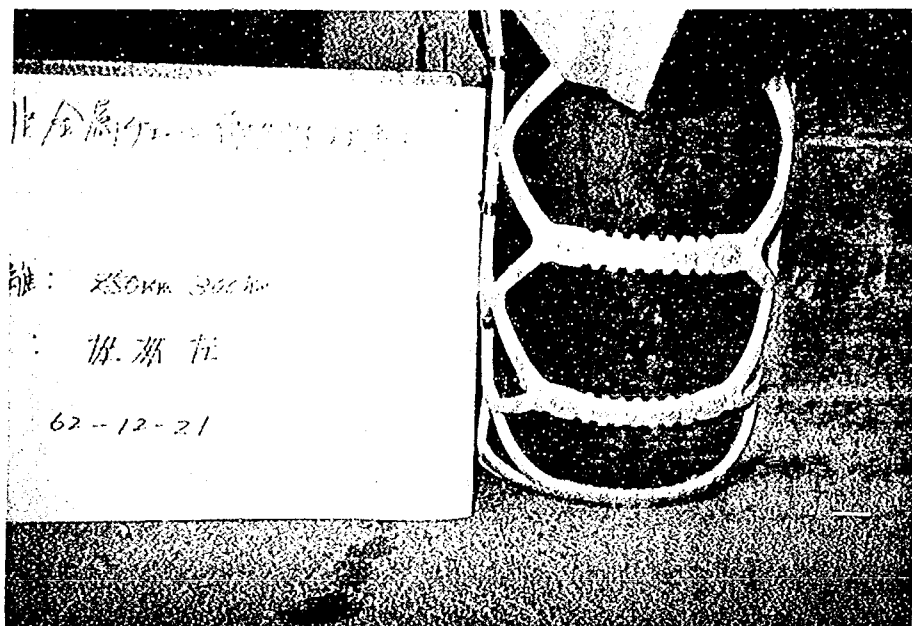
最後に、本調査の一般国道におけるすべりデータの実測にご協力を頂いた関東地方建設局、北陸地方建設局、東北地方建設局の各事務所のみなさんに感謝致します。

参 考 文 献

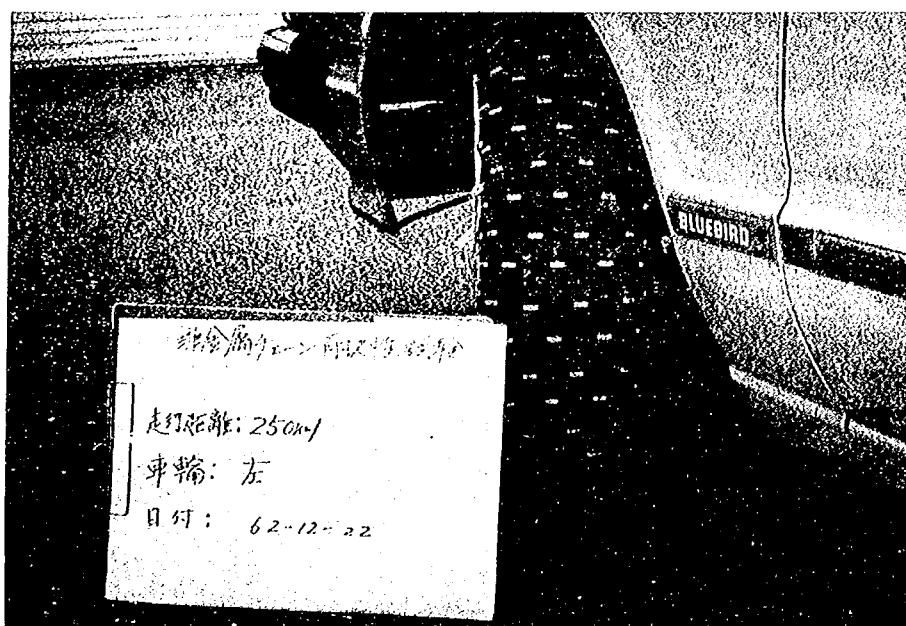
- 1) 市原 薫・小野田光之, 「路面のすべり」 PP.113~137, 昭和61年11月
- 2) 市原 薫, 「路面のすべり抵抗と自動車の運動」 : 土木研究所報告 第143号, 昭和47年9月
- 3) 日本道路協会, 「道路構造令の解説と運用」, 昭和58年2月

参 考 資 料

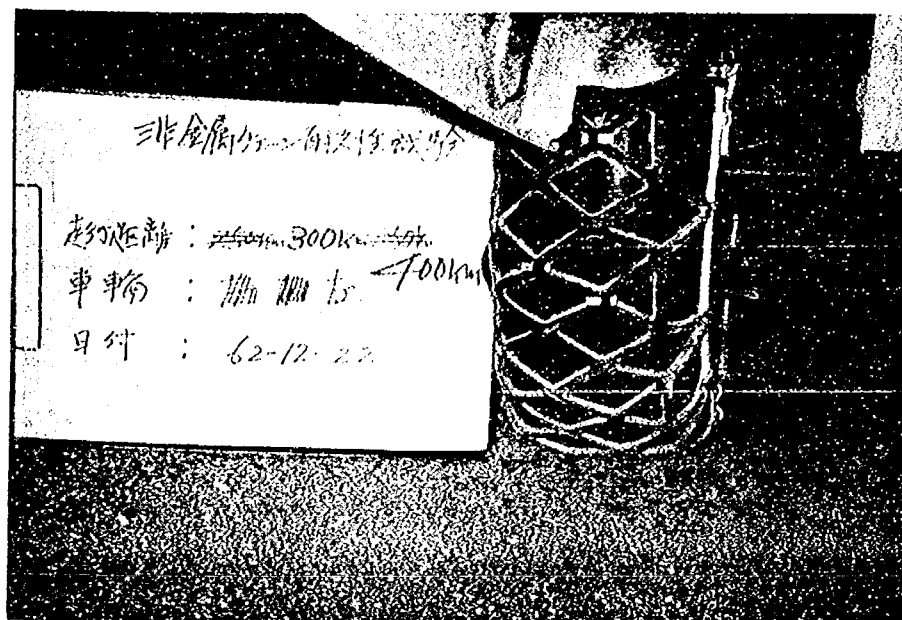




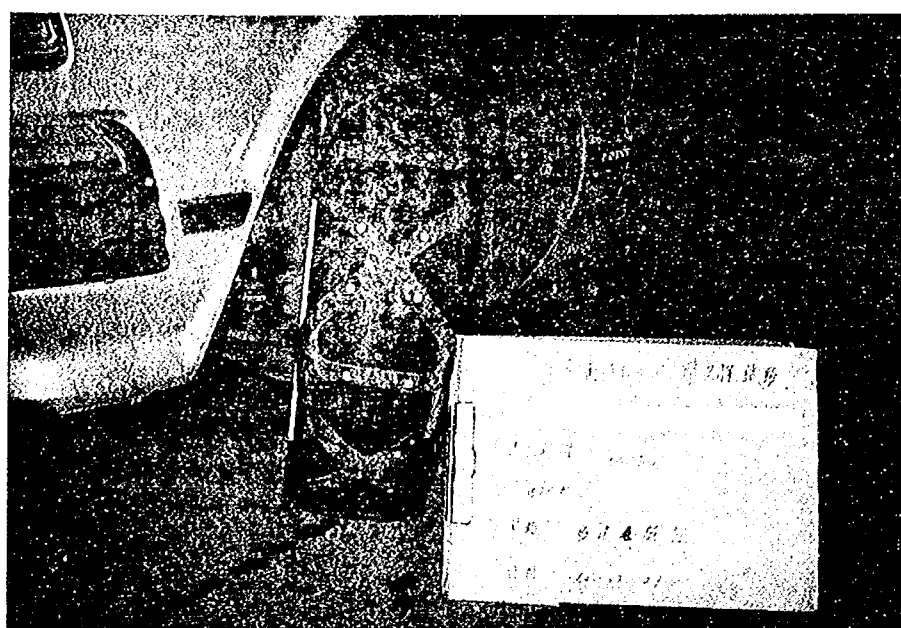
非金属ラダー型 (A)



非金属ネット型 (A)



非金属ネット型 (B)



非金属ラダー型 (B)

雪氷路面のすべりに関する
報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2848号
平成2年1月(1990)
道路部道路研究室
高田邦彦・小野田光之
落合綱三・宗広一徳

要 旨

本報告は、雪氷路面が道路交通に及ぼす影響を把握することを目的とし、土木研究所がこれまで各地において実測した路面のすべり摩擦抵抗に関する調査結果をまとめたものである。調査は、雪氷路面の状態を一定にした基礎的な調査と冬期一般道路の現状調査の二つについて行い、整理した。

次に雪氷路面のすべり摩擦抵抗から見た、各種タイヤ、すべり止め装置の特性、道路の幾何構造、および雪氷路面対策等について述べる。

キーワード：路面、すべり抵抗、雪氷、摩擦、タイヤ、制動、駆動、除雪、路面管理



郵便はがき

切手をは
て下さい。

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
道路研究室 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 93

No. 93

配布先氏名

配布先住所



○

土木研究所資料第 2848 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

土木研究所資料第2848号

○

雪 氷 路 面 の す べ り