

# 路面の雪氷が車両の走行性に及ぼす影響に関する実験的検討

寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○丸山 記美雄  
寒地機械技術チーム 三浦 豪  
寒地道路保全チーム 熊谷 政行

本研究は、除雪レベルの違いによって路面に残留した積雪や踏み固められた雪氷が、車両の燃料消費率や走行抵抗および乗り心地にどのような影響を及ぼすのかを、苫小牧寒地試験道路の周回路における基礎的な実験によって検討したものである。

苫小牧寒地試験道路で実施した乾燥路や積雪路面および圧雪路面などにおける各種車両走行試験の結果、雪氷が存在する路面では燃料消費量が増加し、走行抵抗も増大する傾向が確認された。また、車両の通過台数が増えるに伴って、雪氷路面は凹凸が激しくなり乗り心地が悪化する傾向も確認された。これらの結果より、除雪によって路面の雪氷を適切に排除することは、車両の燃費や走行抵抗および乗り心地のサービスレベルを良好に保つために有効であると推察された。

キーワード：燃費，走行抵抗，除雪，乗り心地

## 1. 本研究の背景と目的

最近の道路舗装分野における研究において、コンクリート舗装とアスファルト舗装上を走行する車両の燃料消費率の実測調査の結果、カナダのNRC(National Research Council Canada)の報告ではコンクリート舗装はアスファルト舗装に比べて0.8%~6.9%燃費が良い<sup>1)</sup>とされており、日本における同様の調査でもコンクリート舗装はアスファルト舗装に比べて2.5%程度燃料消費率が高いことがわかれることが報告されている<sup>3)</sup>など、舗装路面の違いが燃料消費率に影響を及ぼすことが分かっている。それらの報告内容から類推すると、積雪寒冷地においては路面に存在する雪氷が走行車両の燃料消費率を低下させる方向の影響を及ぼす可能性もあると思われる。除雪の効果は道路利用者の燃料消費量の低減やそれに伴うCO2排出削減といった面から評価することもできると考えられる。

おりしも、公共事業のコスト縮減の一環として、積雪寒冷地では除雪作業の効率化・適正化に取り組まれているところである。図-1に概念的に示すが、仮に除雪レベルを下げることで道路管理者費用は抑制できるものの、雪氷路面が出現する割合が高まると、車両の走行性と燃費が悪化して道路利用者が負担する費用が増大し、CO2排出量が増えることで環境対策に要する費用の増加にも繋がる可能性がある。そのため、道路管理者費用を極力抑制せねばならぬ状況下においても、安全に、かつ安価で冬期道路機能のパフォーマンス確保を図るためには、利用者や環境への影響も合わせて考慮して適正な除雪レベルを判断する必要もある。

しかし、現状では除雪作業で路面の雪氷が除去されることによって、走行車両の走行抵抗がどのように変化し、それに伴って燃料消費率がどのように変化するのか、その影響度合いは定量的に把握されておらず、道路管理者費用と道路利用者費用や環境費用の総和の最小化するような視点に立って適正な除雪レベルを検討することはできない実態にある。

そこで、本研究では、除雪作業で路面の雪氷が除去されることによって、走行車両の走行抵抗がどのように変化し、それに伴って燃料消費率がどのように変化するのか、その影響度合いを把握することを目的に、

- ・積雪雪氷路面における走行抵抗および燃費測定方法
- ・積雪雪氷路面と走行抵抗および燃料消費率の関係に関する基礎的な実験を行ったものである。

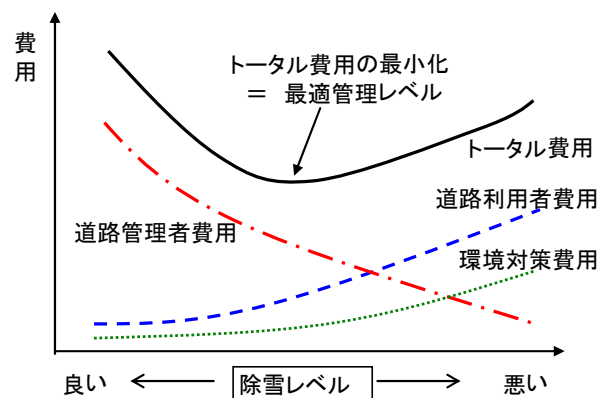


図-1 除雪レベルと各種費用の関係イメージ

## 2. 実験方法

路面に残留した積雪や踏み固められた雪氷が、車両の燃料消費率や走行抵抗および乗り心地にどのような影響を及ぼすのかを、苫小牧寒地試験道路の周回路等における基礎的な実験によって検討した。

以下に、実験方法の概要について述べる。

### (1) 実路での実験場所と路面条件

実路での実験は、寒地土木研究所の施設である苫小牧寒地試験道路周回路で実施した。周回路は図-2に示すように全延長が2700mであるが、そのうち直線区間であるKP=400~900間の500m区間の路面に表-1に示す数種類の積雪雪氷路面を人為的または自然降雪によって作成して、その上を試験車両を通過させて燃料消費率測定や走行抵抗測定を行った。積雪雪氷路面と比較するために、乾燥路面および湿潤路面においても測定を行った。

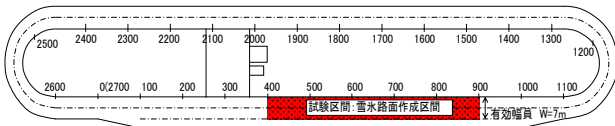


図-2 苫小牧寒地試験道路の試験区間概要図

表-1 実路での試験における路面条件と実施試験一覧

試験車両区分 試験路面条件	大型車	一般乗用車
乾燥路面 (積雪量0cm)	燃, 抵	抵
湿潤路面 (積雪量0cm)	燃, 抵	抵
新雪3.5cm路面 (自然積雪3.5cm)	-	抵
新雪踏固め後路面 (自然積雪踏固め)	-	抵
凍結した圧雪路面 (圧雪厚5cm)	燃, 抵	-
緩んだ圧雪路面 (圧雪厚5cm路面が緩んでガラメ雪になった状態)	燃, 抵	抵
緩い雪15cm厚路面	スタックにより 試験不能	抵

燃: 燃料消費率測定  
抵: 走行抵抗測定  
-: 実施せず

### (2) 実験に使用した車両および計測機器

#### a) 使用車両

試験に使用した車両は、写真-1に示すようなカーゴタイプの大型車と、一般乗用車の2タイプの車両である。大型車と一般普通車の緒元を表-2に示す。大型車は満載状態を想定して500kgのコンクリートブロックを29個荷台上に積載して試験を行った。



写真-1 試験車両(左: 大型車, 右: 一般乗用車)

表-2 試験車両の緒元一覧表

車種区分	大型車	一般乗用車
車両名称	いすゞGIGA	トヨタランドクルーザー
駆動方式	6×2 (後輪一軸駆動方式)	4輪駆動
ミッション	マニュアル	オートマチック
試験時 車両総重量	25,010 kg (満載状態)	2,613 kg (2名乗車状態)
全長	11,980mm	4,980mm
車軸数	3	2
使用タイヤ	ブリヂストン W990 275/80R22.5 (スタッドレス)	ブリヂストン フリザック 215/80R16 (スタッドレス)
タイヤ 空気圧	前輪: 900kPa 後輪: 900kPa	前輪: 200kPa 後輪: 200kPa
燃料種類	軽油	ガソリン

#### b) 使用計測機器

雪氷路面上での走行速度モニタおよび減速時間記録のために、図-3に示すようなRACELOGIC社製のGPSロガー「V-BOX3」を使用した。車速はGPSによる緯度経度情報から0.01秒間隔で算定される。その他に、測定時の環境条件を把握するために、風速風向計、気圧計、気温計、路面温度計、雪密度計、路面硬度計を使用した。燃料消費率にタイヤ空気圧が影響することが知られているので、試験前と試験後にタイヤ空気圧計によって空気圧をチェックした。



図-3 V-Boxの概観と仕様

#### (3) 実路での燃料消費率測定方法

燃料消費率の測定方法は「JIS D1012自動車—燃料消費率試験方法」<sup>4)</sup>に以下の2つの方法が示されている。

- ①定速度燃料消費率試験(実路で定速走行中に燃料流量計により実測する方法。)
- ②惰行法又はホイールトルクメータにより測定した走行抵抗や走行トルクを、シャシダイナモメータに設定し、燃料流量計などで測定する方法。

大型車は燃料流量計の設置が可能であったため①の方法で、普通乗用車は燃料流量計の設置が困難と判断された

ため、②の方法で、JIS規定に則って苫小牧寒地試験道路にて実施した。具体的には、表-1に示した様々な種類の路面を、大型車のトランスミッションギア段を6段に固定し、試験速度である30km/h、40km/h、50km/hの一定速度で500m区間を走行している間の燃料消費量を燃料流量計で実測した。ちなみに使用ギア段でのエンジン回転数は、30km/h：660rpm、40km/h：880rpm、50km/h：1100rpmである。測定回数は往路2回・復路2回とし、その平均値をとるものとした。一回の燃料消費率試験毎に外気温、路面温度、風速風向、気圧を把握できるように、適宜試験対象道路付近で計測を行った。

#### (4) 実路での走行抵抗測定方法

実路での走行抵抗測定は、「JIS D1012自動車-燃料消費率試験方法」および「JIS-D1015自動車-惰行試験方法」<sup>5)</sup>に規定されている惰行法の手法に則って苫小牧寒地試験道路にて実施した。具体的には、試験車両を約60km/hまで加速して一定速度での走行状態としたあと、表-1に示した様々な種類の路面の測定対象区間に進入させた後でギアをニュートラルにして惰行させ、車速度が0km/hになるまで車速の変化と走行距離を測定した。大型車の場合は惰行開始と同時にクラッチを切ってニュートラルにし、一般普通車の場合はドライブDレンジからニュートラルNレンジにシフトチェンジをして惰行させた。車速の変化と時間の測定には前述したV-Boxという機器を車両に登載して計測した。測定回数は同じ車速につき往復3回繰り返し試験するものとし、その平均値にて評価を行うものとした。一回の惰行試験毎の外気温、路面温度、風速風向、気圧を把握できるように、適宜試験対象道路付近で計測を行った。

なお、走行抵抗とは、車両が走行するときに進行方向の反対方向に作用する力の総和であり、一般的には転がり抵抗、空気抵抗、勾配抵抗、加速抵抗の4要素からなる<sup>3)</sup>。

$$\text{全走行抵抗 } R = R_r + R_a + R_c + R_s$$

ここで、 $R$ :全走行抵抗(kN)、 $R_r$ :転がり抵抗、

$R_a$ :空気抵抗、 $R_c$ :勾配抵抗、 $R_s$ :加速抵抗

ここで、転がり抵抗転がり抵抗とは、タイヤが回転する際に受けるタイヤ接地面の変形によるエネルギー損失やすべり、軸受けの摩擦等に起因する抵抗である。空気抵抗とは、自動車が走行する際の空気と車体表面との摩擦や、車体周囲の空気の流れによる圧力変化に起因する抵抗であり、速度の2乗に比例する。勾配抵抗は路面の勾配による抵抗であるが、往復測定を実施することでキャンセルできる。加速抵抗は自動車のエンジン、クラッチ、トランスミッション、プロペラシャフト、タイヤなどの回転部分の抵抗である。路面に雪氷が存在する場合の抵抗は一般的には考慮されないため、本検討では上述した4要素のいずれかまたは複数の要素に内包されているものと位置づけて計算処理を行った。

#### (5) IRI計測による乗り心地測定方法

試験路面の平坦性と燃料消費率や走行抵抗との関係を調査する目的で、実路における燃料消費率試験時と走行抵抗試験時には、試験対象区間の平坦性IRIの計測も併せて行っている。計測は車両搭載型の測定機(共和電業社製：商品名スタンパ)を用いて測定している。

#### (6) シャンダイナモメータ上での燃料消費率測定方法

今回の実験では、一般乗用車には燃料流量計の設置ができなかったため、一般乗用車の燃料消費率を把握するために、苫小牧寒地試験道路において惰行法で測定した走行抵抗をシャンダイナモメータに設定し、一定時間走行させた後に満タン法によって燃料消費率を測定する手法が妥当かどうかを検証した。シャンダイナモメータは、北海道自動車短期大学のご協力を仰ぎ、同校の設備を借用した。シャンダイナモメータでの測定状況を写真-2に、装置の緒元を表-3に示す。



写真-2 シャンダイナモメータでの試験状況

表-3 シャンダイナモメータの緒元

型式	自動車安全 CD-300AM
最大速度	200km/h
許容軸重	1500kg(車両重量2,500kg)
ローラ径等	φ370mm×850mm×4本 2式
ホイールベース	2,400~3,000mm
備考	4輪駆動対応

#### (7) 車両の繰返し走行に伴う圧雪路面の変化観測試験

積雪路面は除雪をせずに放置するとやがて踏み固められて圧雪路面等に推移し、さらにその後、ざくざく雪路面やでこぼこな路面に推移することが予想される。つまり、積雪路面といっても、時間経過に伴ってその路面の雪の状態は絶えず変化し、平坦性も変化する。そういった状況を把握、観察する目的と、積雪を放置した路面が車両の走行に伴ってどのように平坦性が悪化するのかを把握することを目的とした試験を行った。

具体的には、苫小牧寒地試験道路において、5cm厚の圧雪路面を500m作成し、そこを10t積載したダンプトラックを走行させて、50台通過ごとに350台通過まで平坦性IRIの計測と路面状況の観察を行った。



### 3. 実験結果

#### (1) 実路での燃料消費率試験結果

##### a) 大型車の燃料消費率試験結果

大型車を用いて測定した燃料消費率試験結果として、試験区間400mでの燃料消費量を図-4に、試験区間内の燃料消費率を図-5に示す。緩んだ圧雪路面では燃料消費量が乾燥路面に比べて明らかに増加し、燃料消費率が大幅に低下していることが分かる。湿潤路面に比べて燃料消費量は約200%の増加、燃料消費率は約66%悪化した。しかし、凍結した圧雪路面では、乾燥路面や湿潤路面と差がなくほぼ同等の燃料消費量と燃料消費率となっている。試験を行った凍結した圧雪路面はタイヤローラできれいに締め固めて作成したものであり、試験時には表面が凍って非常に堅固で平坦な状態であったのだが、そのような状態では通常の舗装路面と殆ど燃料消費量は変わらないと思われる。

なお、湿潤路面より乾燥路面の燃料流量がわずかに多く、燃料消費率が悪い結果となっているが、これは乾燥路面試験時の風速が比較的速かった影響を受けたためと判断している。風の影響をキャンセルするために風速測定および往復測定を実施しているが、気象条件によってこの程度の誤差は生じるものと考察する。

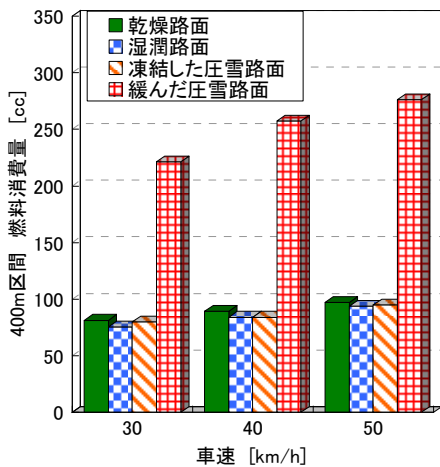


図-4 雪氷路面上の燃料消費量測定結果(大型車)

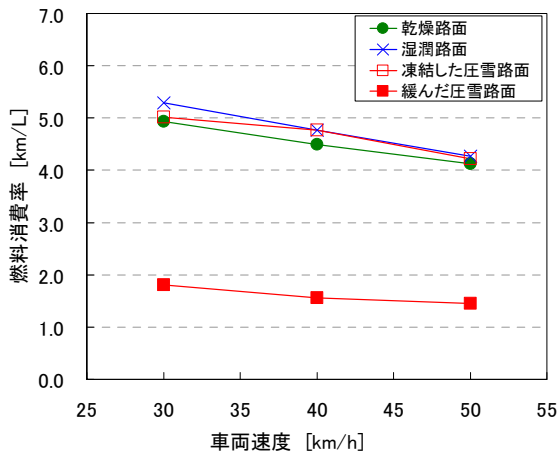


図-5 雪氷路面上の燃料消費率測定結果(大型車)

##### b) 一般乗用車の燃料消費率試験結果

一般乗用車の実路での燃料消費率測定は、燃料流量計の取り付けが困難と判断したため、実施していない。代替策として、実路での走行抵抗値をシャシダイナモメータに設定して燃料消費率を測定する方法で測定を試みた結果を項(6)にて後述する。

#### (2) 実路での走行抵抗測定結果

##### a) 大型車の走行抵抗測定結果

大型車を用いた惰行試験により得られた走行抵抗測定結果を図-6に示す。緩んだ圧雪路面は、乾燥路面や湿潤路面に比べて走行抵抗が大幅に大きくなっており、湿潤路面比で20km/h走行時96%増加、40km/h走行時215%増加している。走行速度が速いほど乾燥路面との差が大きくなっており、速度に応じて緩んだ圧雪路面から受ける抵抗は変化することが分かる。一方、凍結した圧雪路面では、乾燥路面や湿潤路面に比べて若干走行抵抗が大きい、ほぼ同程度と評価することもできる。試験を行った凍結圧雪路面は前に述べたように平坦で堅固な状態となっており、そのような状態では通常の舗装路面と走行抵抗は大差ないものと思われる。

なお、湿潤路面より乾燥路面での走行抵抗値がわずかに大きい結果となっているが、これは乾燥路面試験時の風速が比較的速かった影響を受けたためと判断している。風の影響をキャンセルするために風速測定および往復測定を実施しているが、気象条件によってこの程度の誤差は生じるものと考察する。

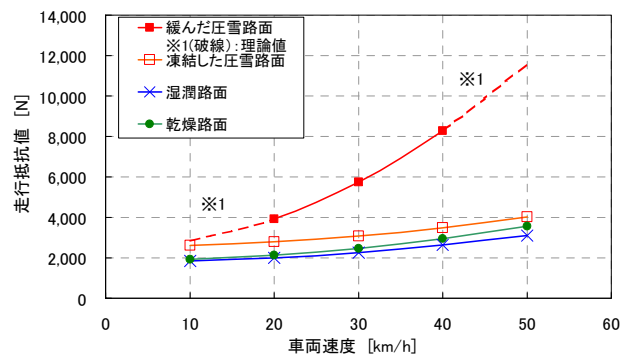


図-6 様々な雪氷路面における大型車の走行抵抗

##### b) 一般乗用車の走行抵抗測定結果

一般乗用車の走行抵抗試験は、大型車を用いた試験にあわせて同じ路面条件下で実施している他に、自然降雪によって3.5cmの新雪路面が出来た際にも新雪路面と新雪路面を走行車両のタイヤで踏み固めた路面で試験を行っている。一般乗用車による走行抵抗計測結果を、図-7に示す。一般普通車の場合も大型車の走行抵抗試験結果と同様の結果であり、乾燥路面と湿潤路面と新雪踏み固め路面はほぼ同程度の走行抵抗となっているが、緩んだ圧

雪路面や新雪3.5cm路面は乾燥路面などに比べて走行抵抗が大きくなっている。緩い雪が15cm程度の厚さの路面では、さらに大きな走行抵抗となっており、路面に雪氷があることで走行抵抗が増加することが確認された。

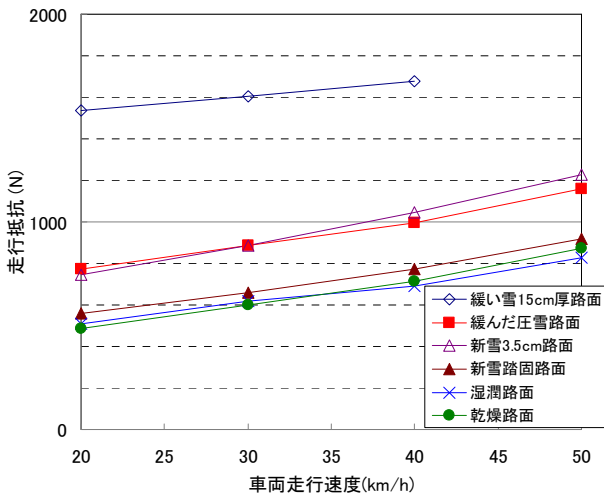


図-7 様々な雪氷路面における一般乗用車の走行抵抗

### (3) 燃料消費率と走行抵抗値の関係

燃料消費率と走行抵抗値の関係を整理した結果として、大型車の走行速度が50km/hの時の例を図-8に示す。走行抵抗値が大きいほど燃料消費率は悪く、走行抵抗値が小さいほど燃料消費率が良い傾向となっている。

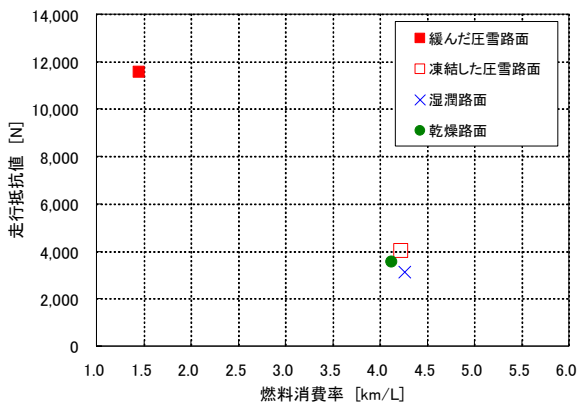


図-8 燃料消費率と走行抵抗の関係(大型車)

### (4) IRIの値と燃料消費率および走行抵抗値の関係

試験を行った様々な路面のIRI値と、大型車の燃料消費率および走行抵抗の関係について、図-9と図-10に示す。IRI値はその値が大きいほど路面の平坦性が悪く、乗りごこちが悪いと評価される指標であるが、IRIの値が大きい路面ほど燃料消費率が悪く、走行抵抗が大きい傾向にある。

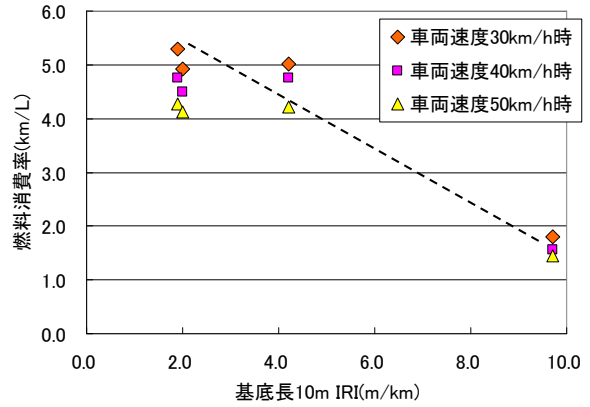


図-9 路面のIRI値と燃料消費率の関係(大型車)

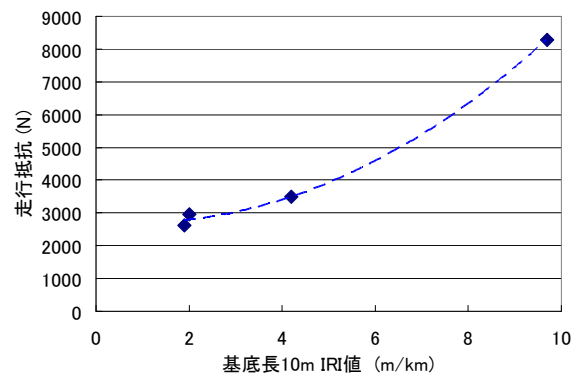


図-10 路面のIRI値と走行抵抗の関係(大型車)

### (5) 車両の繰返し走行に伴う圧雪路面の変化観測試験結果

5cm厚の圧雪路面を上を10t積載したダンプトラックを走行させて、50台通過ごとに350台通過まで平坦性IRIの計測と路面状況の観察を行った結果を図-11に示す。車両の通過台数が増えるに伴って、IRIの値が大きくなって路面は凹凸が激しくなる。写真-3にダンプトラックが250台通過した後の路面状況を示すが、そろばん道路といわれるような凹凸がタイヤ走行部にできており、平坦性や乗り心地が悪化している状況が目視でも分かる。

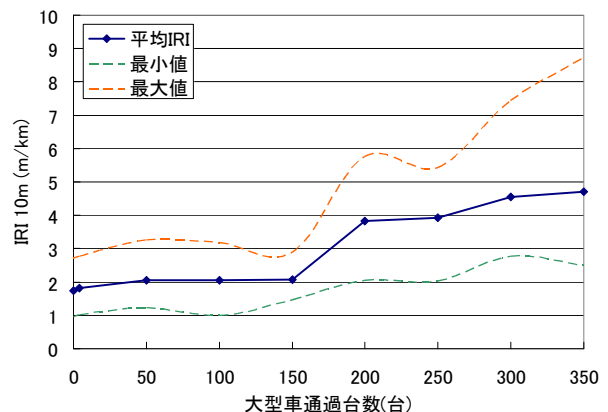


図-11 圧雪路面の平坦性の悪化状況



写真-3 ダンプ走行250台通過後の路面状況

#### (6) シャシダイナモメータ上での燃料消費率測定結果

満タン法によって概略の燃料消費率を把握できるかを確認する目的で試験を行ったが、満足のいく精度での測定を行うことは難しいことが確認できた。シャシダイナモメータ上に設置した車両の燃料消費率を計測する手法について、別の測定方法を検討する必要がある。

#### 4. まとめと考察

苫小牧寒地試験道路で実施した乾燥路や積雪路面および圧雪路面などにおける各種車両走行試験の結果、路面に雪氷が存在することによって、燃料消費率が悪化し走行抵抗が大きくなる傾向があることを確認することができた。特に、ザラメ雪状に緩んだ圧雪路面における燃料消費率は乾燥路面に比べて約66%悪化しており、例えばアスファルト舗装とコンクリート舗装の燃料消費率の差が数%程度とされていることや、タイヤ自体の転がり抵抗の改良による燃料消費率の改善効果は数%とされているものと比較すれば、路面の雪氷が燃料消費率に及ぼす影響は非常に大きいものと評価できる。

また、路面に雪氷が存在する場合には、車両の通過台数が増えるに伴って雪氷路面は凹凸が激しくなり平坦性が悪化する傾向を示し、その結果燃料消費率が悪化し乗り心地も悪くなる傾向にあることも確認できた。

これらの結果は、路面に雪氷が存在することによる燃料消費率の変化や走行抵抗の変化を定量的に把握することが可能であることや、除雪によって路面の雪氷を適切に排除することが、車両の燃費や走行抵抗および乗り心地のサービスレベルを良好に保つために有効であることを示唆するものと考えている。

#### おわりに

今回の基礎的な実験によって、路面の雪氷が車両の走行性に影響を及ぼすことが明らかとなったが、今後データの蓄積を図り、定量的な評価手法として確立することが重要と考えている。

#### (参考文献)

- 1) Effect of Pavement Structure Type on Fuel Consumption-Phase II, National Research Council Canada, Canada, 2000.
- 2) Effect of Pavement Structure Type on Fuel Consumption-Phase III, National Research Council Canada, Canada, 2006.
- 3) 吉本, 風戸, 熊田, 笠原: 高速道路での重量車の転がり抵抗の測定と燃費に及ぼす影響に関する研究, 土木学会舗装工学論文集第14巻, 2009年12月
- 4) 日本規格協会: 自動車一燃料消費率試験JIS D 1012-1997, 平成9年3月
- 5) 日本規格協会: 自動車一惰行試験方法JIS D 1015-1993, 平成5年