

# 寒冷地の高速道路における 平坦性の季節変動に関する研究

亀山修一<sup>1</sup>・川端伸一郎<sup>2</sup>・豊田邦男<sup>3</sup>・川村彰<sup>4</sup>・笠原篤<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 博士（工学）北海道工業大学助教授 工学部社会基盤工学科  
(〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

<sup>2</sup>正会員 博士（工学）北海道工業大学助教授 工学部社会基盤工学科  
(〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

<sup>3</sup>日本道路公団 北海道支社 札幌技術事務所 技術指導課 課長  
(〒004-0042 札幌市厚別区大谷地西5丁目12-15)

<sup>4</sup>正会員 工博 北見工業大学助教授 土木開発工学科 (〒090-8507 北見市公園町165番地)

<sup>5</sup>フェロー 工博 北海道工業大学教授 工学部社会基盤工学科  
(〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

1999年8月～2000年4月にかけて道東自動車道（芽室I.C.～池田I.C.）の縦断プロファイルを測定した。特に、2000年2～4月の期間中は測定を毎週実施し、冬期間における国際ラフネス指数（IRI）の変動について解析した。切土の占める割合が大きいセグメントでは、IRIが冬季になると増加し、春季になると減少する傾向が見られた。推定された凍結深さが調査期間中に凍上性材料の路床に達したことに加え、凍結指数の増加とともにIRIが増加し、春になるとIRIが冬季前のレベルに回復する傾向が見られたことから、凍上によって冬季の平坦性が悪化することが分かった。また、冬季のIRIは、盛土部や橋梁部よりも切土部において大きく増加し、局的に秋季の約5倍に達した。

*Key Words : roughness, cut, longitudinal profile, IRI, frost heave*

## 1. はじめに

道路とその上を走行する車両は路面を介して接していることから、路面が有する特性は、道路利用者や沿道住民の安全性、快適性、経済性などに影響を及ぼす。PIARC（世界道路協会）は路面特性を路面の波状特性、すなわち路面の波長によって分類している（図-1）<sup>1)</sup>。

道路のラフネスは、路面の波長が0.5～50mの範囲で表され、ころがり抵抗、車両の損傷、乗り心地など道路利用者に大きな影響を与える。道路のラフネス評価方法は多様多岐に渡っており、路面の縦断プロファイルを測定する方法、路面凹凸によってもたらされる車両のレスポンスを測定する方法<sup>2)</sup>、被験者の乗り心地に基づいた主観的評価方法などがある<sup>3)</sup>。近年、世界各国では、慣性プロファイルなどを用いて測定された縦断プロファイルから算出した国際ラフネス指数（IRI）<sup>4)</sup>に基づいて道

路の平坦性を評価することが一般的である。

道路のラフネスは、交通荷重や交通量と同様、気象条件や地理的条件などの影響により季節変動することが知られている。特に寒冷地では、冬季に生じる道路の凍上によって平坦性が悪化するケースが見られる。米国では、LTTPP（舗装の長期供用性）モニタリングプログラムの一環として、4つの気候区分（Wet Freeze, Dry Freeze, Wet No Freeze, Dry No Freeze）において縦断プロファイル測定が実施された。調査結果をまとめたレポートでは、Dry Freeze, Wet No Freeze, Dry No Freezeにおいてはラフネスの季節変動は見られなかったが、Wet Freezeの気候区分であるニューハンプシャー州の道路では、1997年冬、凍上によってIRIが同年春の2倍に達したと報告されている<sup>5)</sup>。

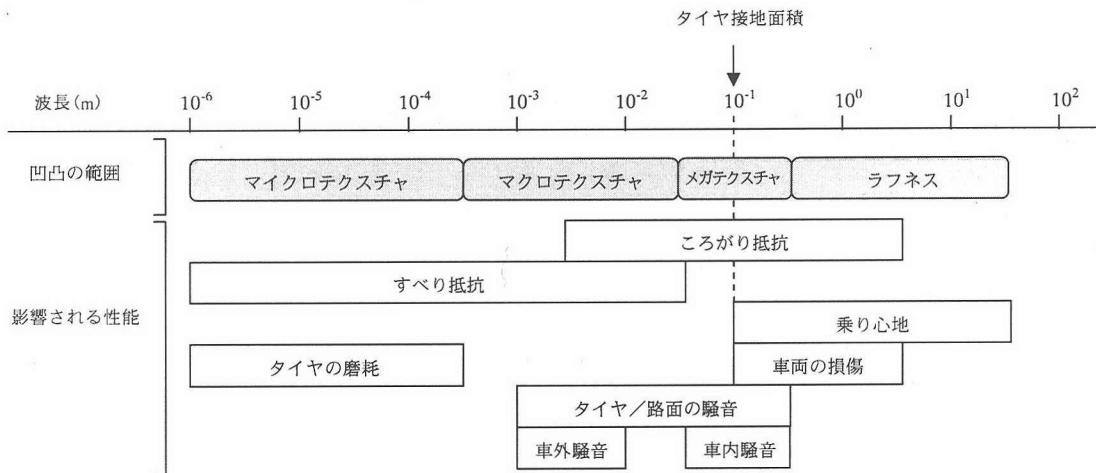


図-1 PIARCによる路面の分類<sup>1)</sup>

わが国でも、凍上による道路被害は、特に寒冷地における道路の維持管理において、古くから大きな問題であり、これに対処するために様々な調査、研究がおこなわれてきた。現在、道路の凍上対策としては置換工法が最も広く用いられている。これは、施工性および経済性を考慮に入れ、10年確率凍結指標から推定される凍結深さの70~100%を切込み碎石や砂利などの凍上を起こしにくい材料で置き換える工法である。寒冷地における高速道路の凍上対策も置換工法が主であるが、寒波に見舞われた冬には道路の平坦性が悪化したという報告<sup>6)</sup>や、平年並みの寒さであっても、大規模な切土、オーバーブリッジ、土被りの薄いボックスカルバート部などでは凍上によって道路に不陸が生じた例が報告されている<sup>7)</sup>。

冬季における道路の平坦性を評価し、安全性や快適性など道路利用者へのサービス水準を適切なレベルに保持することは、道路管理者にとって極めて重要な問題である。しかしながら、長距離にわたる縦断プロファイルを連続的に測定するためには多大な労力、時間、費用および測定装置を要することから、冬季におけるラフネスの変動およびラフネスと凍上の関係について検討した例はほとんど見られない。

本研究では、わが国において最も過酷な冬季気象条件の下で供用されている道東自動車道の縦断プロファイルを1999年8月から2000年4月にかけて測定したデータを用い、ラフネスの季節変動について解析した。特に、冬季におけるラフネスの変動を明らかにするために2000年2月11日から4月15日までの毎週、縦断プロファイルの測定をおこない、縦断プロファイルから算出されるIRIの冬季変動を明らかにした。さらに、隣接する

アメダスデータ観測地点において測定された気温データから凍結深さを推定するとともに、気温データから算出した凍結指標とIRIの関係について検討した。本研究を通して得られた知見は、寒冷地における高速道路の設計法の改良および補修箇所の選定や優先順位の決定など維持修繕戦略の策定にとって非常に有益な情報となる。

## 2. 調査の概要

### (1) 調査区間

調査をおこなった区間は、1995年に供用が開始された道東自動車道の芽室IC～池田IC間(km218～km249)，延長31km，下り方向(芽室ICから池田IC方向)，片側1車線のアスファルト舗装である。調査区間が位置する北海道十勝地方は雪が少なく、寒さが厳しい地域であり、厳冬季における日平均気温は-20℃以下に達する。

調査区間内の音更帯広ICから北に65km離れたアメダスデータ観測地点(駒場)において測定された気温データを用い、日平均気温が初めてマイナスとなった日からの日平均気温の累積(累積値の絶対値が凍結指標となる)を求めた。1999年11月から2000年4月までの凍結指標、および過去10年間(1989～1998年)の凍結指標を図-2に示す。当該冬季の凍結期間は11/26から3/29までの125日間、凍結指標は最大で910.2°Cdaysであった。これは、過去10年間の凍結指標よりも約200°Cdays大きいことから、当該冬季が平年と比べ非常に寒かったことが分かる。

## (2) 縦断プロファイルの測定

調査区間における左輪走行位置と右輪走行位置の縦断プロファイルを慣性プロファイラを用いて測定した。夏季の測定は1999年8月28日、秋季の測定は同年11月20日に実施した。さらに、冬季におけるラフネスの変動を明らかにするため、2000年2月11日～4月15日の期間は、縦断プロファイルの測定を毎週実施した。

本研究で使用した慣性プロファイラは、図-3に示すように路車間変位センサ、慣性測定ユニット(IMU)、速度・距離計、およびパソコンによって構成される。路車間変位センサは非接触型のレーザセンサであり、IMUは測定車両の鉛直加速度および水平加速度を測定する3軸加速度計とローリング、ピッチング、ヘディングを測定するジャイロから構成される。IMUによって測定された鉛直加速度から測定車両の鉛直変位を、ローリング、ピッチングから測定車両の姿勢角を算出し、これらと路車間変位センサによって測定された路車間距離から縦断プロファイルが算出される。

IMUは測定車両の走行速度の影響を受けることから、縦断プロファイル測定は一定速度で実施することが望ましい。当該路線の法定速度が70km/hであり、冬季の気象条件によってはそれ以下に引き下げられるケースもあることから、本調査では、縦断プロファイルの測定速度を65km/hに統一した。濡れている路面では非接触型レーザセンサの測定が不可能となることから、測定開始前にタイヤに雪氷が付着していないことを確認するとともに、測定時における路面状況をビデオカメラで撮影した。解析にはビデオによって路面が濡れていないことを確認したデータを用いた。なお、測定の際には、速度・距離計から得られた累積距離情報にキロポストの位置をマークした。

## (3) IRI の算出

測定された左右輪走行位置のプロファイルをキロポスト毎に分割し(計31セグメント)、各セグメント(延長1km)のIRIを算出した。従来広く用いられている3mプロファイラなどによる測定では、外側車輪走行位置の縦断プロファイルを測定することが一般的であることから、ここでは、左輪走行位置の縦断プロファイルを解析の対象とした。

IRIは、式(1)に示すように、2軸4輪の乗用車の1輪だけを取り出したクォーターカー(図-4)を縦断プロファイル上で走行させたときに車両が受ける上下方向の運動変位の累積値と走行距離の比によって表される<sup>8)</sup>。

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/S} |\dot{z}_s - \dot{z}_u| dt \quad (1)$$

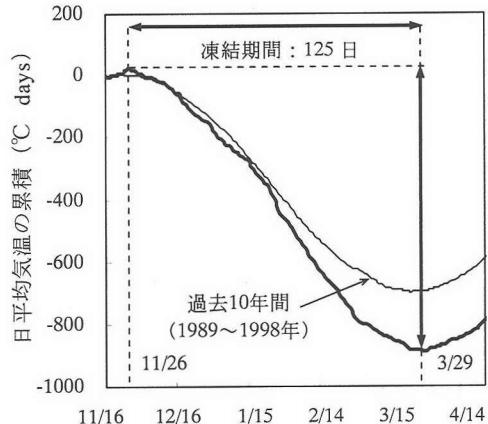


図-2 1999～2000年における日平均気温の累積

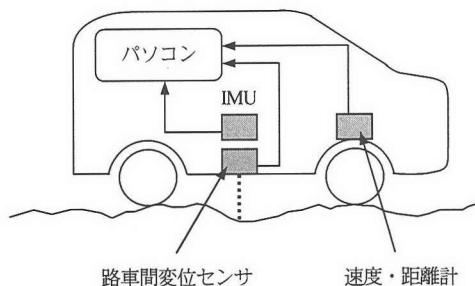


図-3 慣性プロファイラ

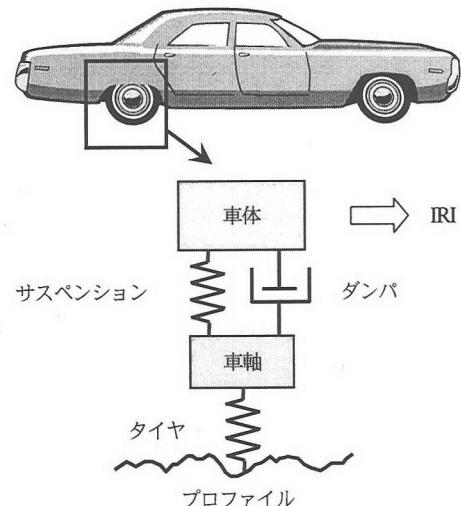


図-4 クォーターカーモデル

- $L$  : プロファイルの長さ (km)  
 $S$  : クオーターカーの走行速度 (km/h)  
 $Z_s$  : バネ上重量の変位 (m)  
 $Z_u$  : バネ下重量の変位 (m)

IRI の算出に用いられるクオーターカーモデルは図-5 に示すように波数 0.07cycle/m (波長 15m) と 0.45cycle/m (波長 2m) のラフネスに対して敏感に応答する一方、波数 0.8cycle/m 以上 (波長 12m 以下) の短い波長および波数 0.03cycle/m 以下 (波長 30m 以上) の長い波長にはほとんど応答しないという特性を有する<sup>9)</sup>。

完全に平坦なプロファイルの IRI は 0 となり、IRI が大きいほど道路の平坦性が悪いことを意味する。世界銀行の技術レポートでは、高品質のアスファルト舗装の IRI は 1.4~2.3m/km、重度のダメージを受けているアスファルト舗装では 10m/km 以上になると報告されている<sup>10)</sup>。

#### (4) 反復性の検証

測定に用いた慣性プロファイルの反復性を確認するために、同一測定日（2000年3月4日）に4回の繰り返し測定を実施し、測定されたプロファイルから IRI を算出した。各セグメントにおける IRI の平均は 2.2~4.6m/km の範囲であり、標準偏差の平均は 0.05m/km であった。

慣性プロファイルの反復性は、測定速度、IRI を算出する区間の長さ、測定対象路面の IRI のレベルなどによって影響を受ける。現在、慣性プロファイルの反復性に関する明確な基準は設けられていないが、1998 年に欧洲で実施された「道路の縦断および横断平坦性に関する共通試験（FILTER 試験）」のレポートでは、区間長 500m、測定速度 60km/h における繰返し測定から得られた IRI の標準偏差は、測定対象路面の IRI のレベルが 1m/km では 0.03m/km、IRI のレベルが 6m/km では 0.11m/km であったと報告されている<sup>11)</sup>。したがって、本装置による繰返し測定から得られた IRI の標準偏差は FILTER 試験の結果と同程度であると考えられる。

一方、NCHRP レポートでは、個々の測定から得られた IRI を繰返し測定の平均値で除した値を求め、その度数分布に基づいて慣性プロファイルの反復性を評価している<sup>9)</sup>。そこで、本装置においても 4 回の繰返し測定の結果から (個々の測定の IRI) / (IRI の平均) を求めた。得られた値の度数分布を図-6 に示す。(個々の測定の IRI) / (IRI の平均) が 0.95~1.05 の範囲、すなわち平均値の±5% に含まれるデータは全体の 88.7% に達することから、本装置の反復性は十分高いと考えられる。

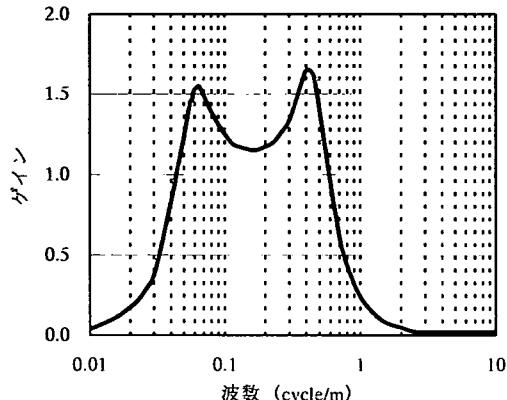


図-5 クオーターカーの応答<sup>9)</sup>

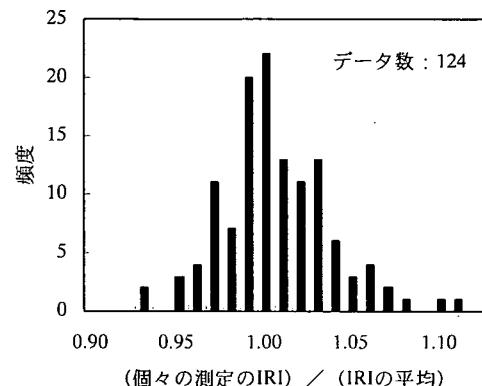


図-6 調査に用いた慣性プロファイルの反復性

### 3. 凍結深さの算出

現在、寒冷地における高速道路の凍上対策としては主として置換工法が用いられている。アスファルト舗装要綱に示されている十勝地方の 10 年確率凍結指数に基づき調査区間の置き換え深さは 1m に設定され、舗装厚と置き換え深さの差は凍上抑制層として碎石や砂などの非凍上性材料で置き換えられている。しかしながら、当該冬季は平年と比べ著しく寒かったことから凍上が生じた可能性がある。延長 31km にも及ぶ供用中の高速道路の凍結深さを実測することは非常に困難であることから、本研究では、式 (2) を用いて図-1 に示した凍結指数から当該冬季における凍結深さを推定した<sup>12)</sup>。式 (2) の妥当性については、伊福部<sup>13)</sup>、久保<sup>14)</sup>らが検討しており、推定された凍結深さと現場において実測された凍結

深さは十分な精度で一致することが明らかになっている。

$$Z = \lambda_c \sqrt{\frac{172800 \lambda F}{L_w}} \quad (2)$$

$Z$  : 凍結深さ (m)

$F$  : 凍結指数 (°Cdays)

$\lambda$  : 凍結時と未凍結時の平均熱伝導率 (W/mK)

$L_w$  : 凍結潜熱 (J/m³)

$\lambda_c$  : 融解パラメータと熱比で表される係数

調査区間の舗装構造は均一であることから、凍結深さの推定に当っては、実際の舗装構造を図-7 のように単純化した。舗装構成層の層厚と表-1 に示した熱伝導率、熱容量、凍結潜熱から算出した  $\lambda_c$ 、 $L_w$  を式 (2) に適用した<sup>15), 16)</sup>。式 (2) から推定された当該冬季の凍結深さと過去 10 年間の凍結深さを図-8 に示す。過去 10 年間の日平均気温を基に算出した凍結深さの最大は 1.07m であり、調査区間に置き換えた深さとほぼ同等であった。しかしながら、当該冬季における凍結深さは平年よりもかなり大きく、2 月上旬には既に凍結深さが 1m に到達したと推定される。その後も凍結深さは進行し、3 月下旬には最大凍結深さ 1.21m に達したと推定されることから、調査区間に凍上がり生じる温度条件が備わっていたと考えられる。さらに、上部路体（以後、路床）に用いられている材料は、施工時におこなった凍上試験によって凍上性材料であることが判明していることから、当該冬季では調査区間に凍上がり生じた可能性が極めて高い。

#### 4. IRI の季節変動

##### (1) 夏季から春季にかけての IRI の変動

各セグメントにおける 1999 年 8/28, 11/20, 2000 年 2/11, 3/11, 4/15 の IRI を図-9 に示す。ここで、セグメント番号は起点のキロポストを示している（例えば、セグメント 218 は k.p.218~k.p.219 区間を意味する）。また、各セグメントを延長 100m のサブセグメントに分割した後、それらを切土、盛土、橋梁に分類した（以後、断面分類）。なお、サブセグメント内に断面分類が複数ある場合は、サブセグメントの延長に占める割合が最も大きい断面分類を代表とした。各セグメントにおける断面分類の内訳を図-9 に併せて示す。

夏季と秋季の IRI は 15~30m/km の範囲にあり、両者にはほとんど差が見られなかったことから、道路の平坦性は夏から秋にかけて良好な状態にあったと言える。

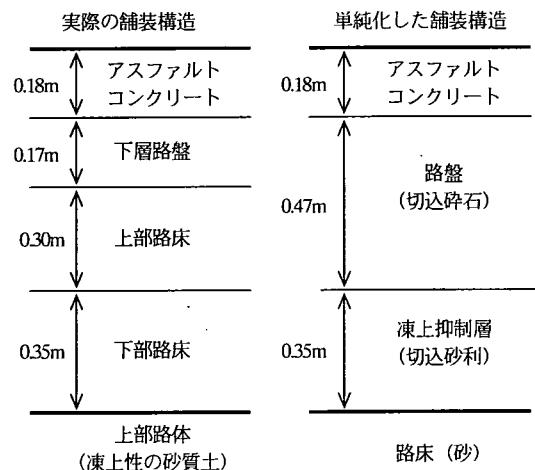


図-7 凍結深さの推定に用いた舗装構造

表-1 道路材料の一般的な熱的定数<sup>15), 16)</sup>

| 材料               | 熱伝導率<br>(W/mK) | 熱容量<br>(x10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup> K) | 凍結潜熱<br>(x10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|----------------|--|--|
| アスファルト<br>コンクリート | 1.153          | 1.875  | 0  |
| 切込碎石             | 1.348          | 1.737  | 33.5   |
| 切込砂利             | 1.396          | 1.863  | 46.9   |
| 砂                | 1.356          | 1.951  | 82.9   |

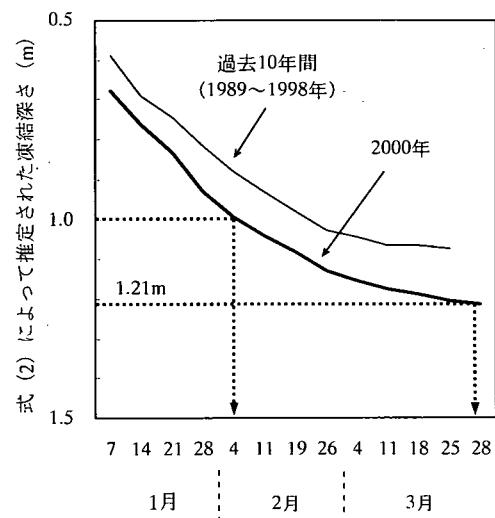


図-8 2000 年冬季における凍結深さ

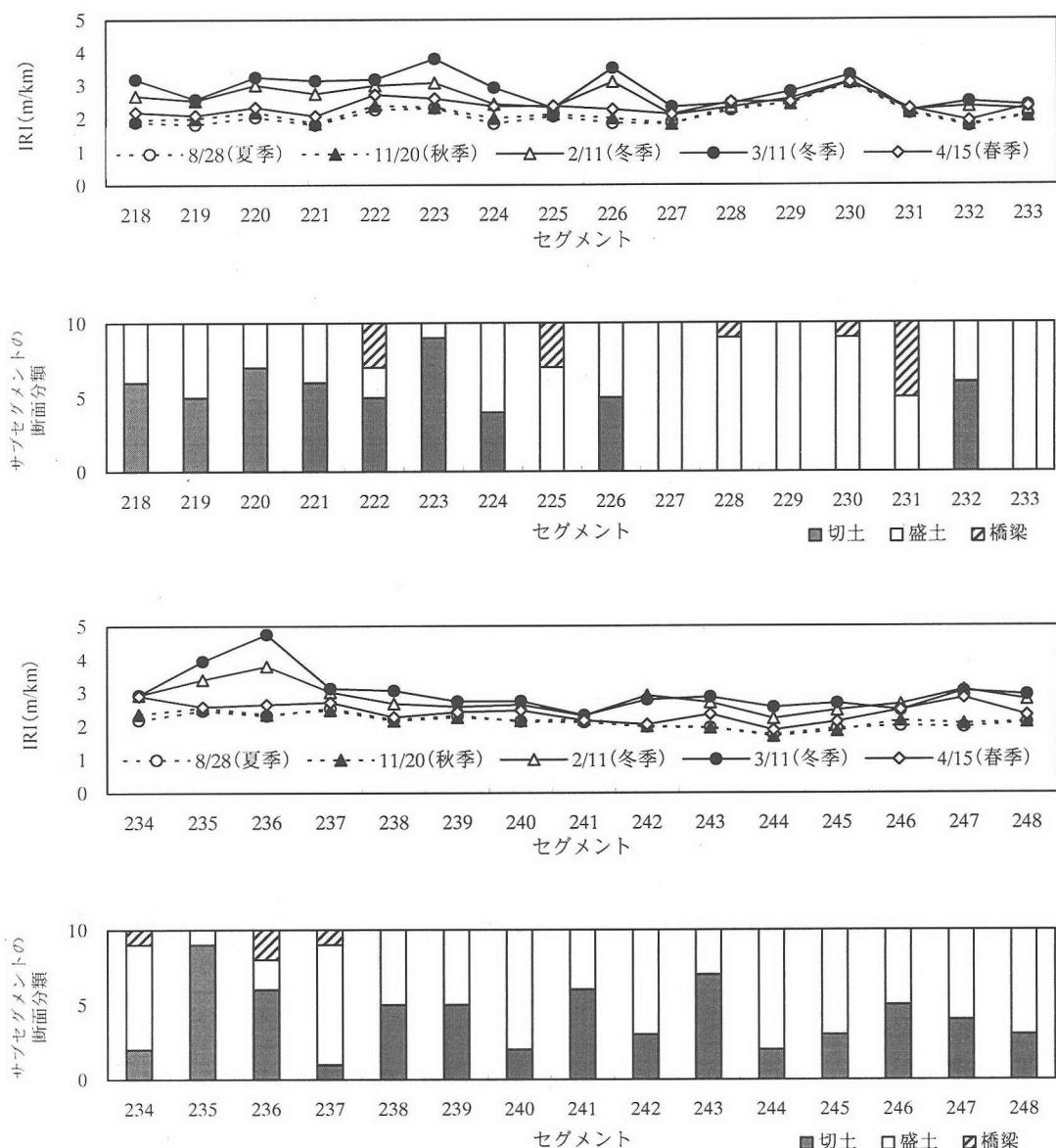


図-9 各セグメントにおける IRI の季節変動と切土、盛土、橋梁に分類されたサブセグメントの個数

一方、冬季の測定を開始した 2 月の IRI は、ほとんどのセグメントにおいて秋季の IRI よりも大きくなかった。

盛土や橋梁の占める割合が大きいセグメントでは秋季と 2 月の IRI の差は小さいが、セグメント 218~224, 235~236 など切土の占める割合が大きいセグメントでは 2 月の IRI が著しく増加した。また、これらのセグメントでは、3 月においても IRI が増加し、春季になると IRI が減少する傾向が見られた。

秋季の IRI と冬季における IRI の最大値、および秋季と夏季の IRI の関係を図-10 に示す。前述したように夏季と秋季の IRI はほぼ同一であるが、冬季になると IRI が増加するセグメントが多数見られた。冬季における IRI の増加量はセグメントによって異なり、秋季との差がほとんど見られないセグメントがある一方、IRI が秋季の約 2 倍に達するセグメントがあった。

IRI の最大値が得られた測定日を各セグメントについ

て求めた結果を図-11に示す。IRIの最大値が得られた測定日は3月上旬から中旬の期間に集中しており、全セグメントの約80%がこの期間にIRIの最大値を迎えることになる。

図-8に示したように2月上旬において凍結深さが凍上性材料の路床に達したと推定されることに加え、IRIの最大値が得られた測定日が集中した3月上旬から中旬の推定凍結深さは1.19mであり、当該冬季における最大凍結深さ1.21mとほぼ一致することから、冬季におけるIRIの増加は凍土によってもたらされたと言える。

## (2) IRIの変動と断面分類の関係

図-9に示したように、切土の占める割合が大きいセグメントでは、冬季のIRIが大きく増加する傾向が見られたことから、切土、盛土、橋梁の3つに分類されたサブセグメントのIRIの平均値を求めた。各断面分類における秋季、冬季、春季のIRIを図-12に示す。なお、冬季のIRIとしては、各セグメントにおけるIRIの最大値を用いた。

橋梁では、秋季、冬季、春季のIRIに差が見られなかつたが、切土と盛土では、冬になるとIRIが増加する傾向が見られた。盛土におけるIRIの増加量は0.4m/km程度と小さいが、切土では冬季におけるIRIの増加は大きく、秋季より約1.5m/km増加した。その後、春になるとIRIは減少し、秋季と同じレベルに戻った。

一般的に、切土では盛土よりも地下水位が高い場合が多く、凍土に必要な水分の補給が容易であることに加え、日中日陰となっている時間が長いことから舗装体の温度が上がりにくい。その結果、切土では凍土によって地表面が不均一に変位し、道路の平坦性が悪化したと考えられる。しかしながら、現場における凍土発生機構には未だ不明確な点が多いのが現状であることから、今後、凍土量と原位置データ（温度、地下水位、土質など）の関係や凍土発生機構などを明らかにし、切土における凍土の原因についてさらに詳しく検討する必要がある。

## 5. 冬季におけるIRIの変動

全てのセグメントから冬季のIRIの増加が大きい上位6つのセグメント218, 221, 223, 226, 235, 236を抽出した。これらのセグメントでは、区間長の50%以上が切土である。各セグメントにおける夏季から春季にかけてのIRIの変動を図-13～図-15に示す。いずれの区間においても、夏季および秋季のIRIは2m/km程度であり、両者に大きな違いは見られなかった。しかしながら、

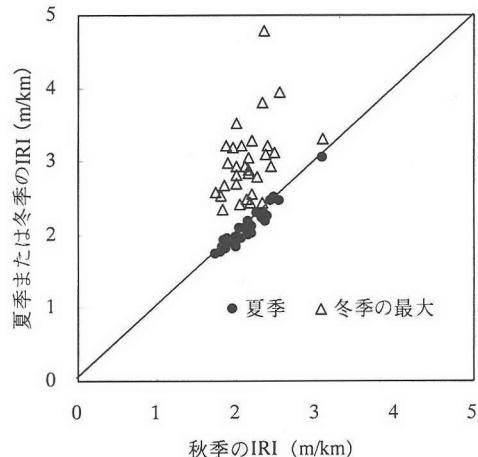


図-10 秋季のIRIと冬季および夏季のIRIの関係

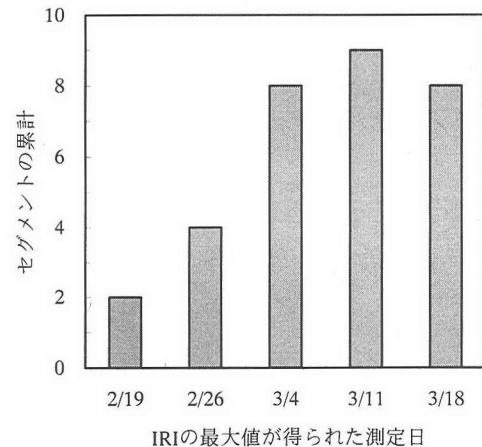


図-11 IRIが最大となったセグメントの累計

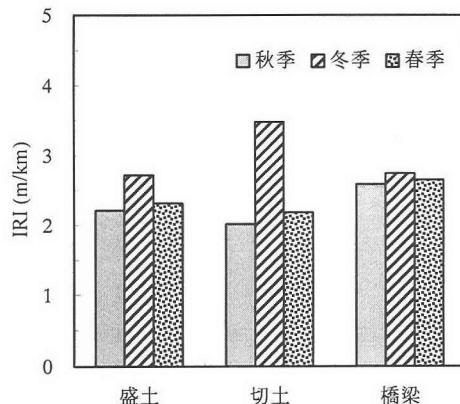


図-12 盛土、切土、橋梁におけるIRIの変動

冬季のプロファイル測定を開始した 2/11 の IRI は秋季よりも 0.8~1.5m/km 大きく、その後 3 月中旬に至るまで IRI が増加する傾向が見られた。セグメント 218, 221, 226, 235 では IRI の増加量は比較的小さいが、セグメント 223, 236 における IRI の増加量は大きい。特に、セグメント 236 では冬季の IRI の増加が顕著であり、3 月中旬の IRI は 2 月上旬よりも約 1m/km 大きくなつた。その後、春が近づくにしたがつて IRI は減少し、IRI の最大値が得られた測定日から約 1 ヶ月後の 4 月中旬には、IRI が秋季とほぼ同じレベルに戻つた。

抽出した 6 つのセグメントにおける冬季の IRI と凍結指數の関係を図-16 に示す。なお、データには各セグメントにおける推定凍結深さが路床に達した後、IRI が最大となった測定日までの凍結指數と IRI を用いた。冬季における IRI の増加速度はセグメントによって異なるが、いずれのセグメントにおいても凍結指數の増加とともに IRI が増加する傾向が見られた。したがつて、これらのセグメントでは、凍結指數の増加、すなわち凍土上の進行によって IRI が増加したと考えられる。

IRI の増加が最も顕著であったセグメント 236 における IRI の変動を詳細に求めた（ラフネスプロファイル）。セグメント 236 における秋季と冬季のラフネスプロファイルと断面分類を図-17 に示す。冬季の IRI としては、このセグメントにおいて IRI の最大値が得られた 3/18 の IRI を用いた。

秋季の IRI は、道路と橋梁の接合部である 100m および 280m 付近において若干大きな値を示したが、その他の区間では 2m/km 以下となり、セグメント内における IRI の変動はほとんど見られなかつた。一方、盛土および橋梁区間である 0~300m および 600~700m においては、冬季と秋季の IRI はほぼ同じレベルであったが、切土区間の 300~500m と 700~1000m では冬季になると IRI が著しく増加した。特に、700~1000m 区間では IRI が著しく増加し、冬季の IRI は秋季のほぼ 5 倍となる約 10m/km に達した。

## 6. 結論

本研究では、1999 年 8 月から 2000 年 4 月にかけて測定した道東自動車道（芽室 IC～池田 IC、アスファルト舗装）の縦断プロファイルから IRI を算出し、道路の平坦性の季節変動について解析した。特に、冬季における IRI の変動を明らかにすることを目的とし、2000 年 2 月 11 日から 4 月 15 日までの約 2 ヶ月間にについて、縦断プロファイル測定を毎週実施した。さらに、隣接するアメダスデータ観測地点において測定された気温データ

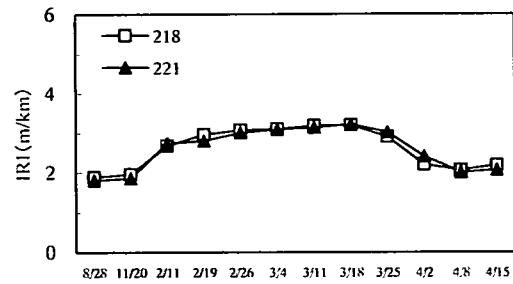


図-13 IRI の変動（セグメント 218, 221）

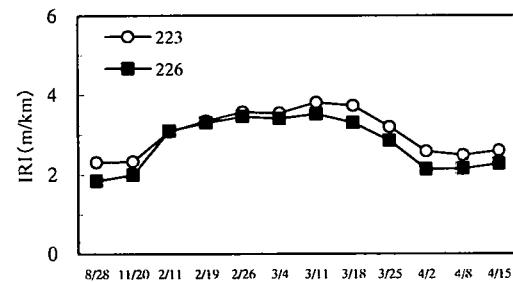


図-14 IRI の変動（セグメント 223, 226）

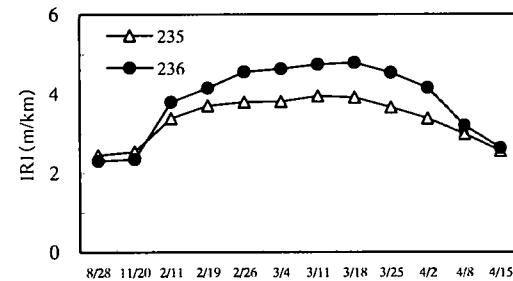


図-15 IRI の変動（セグメント 235, 236）

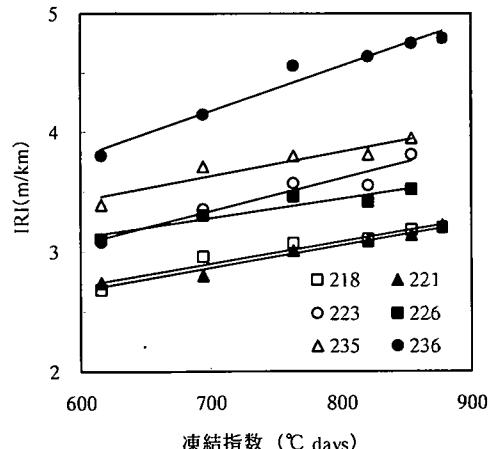


図-16 凍結指數と IRI の関係

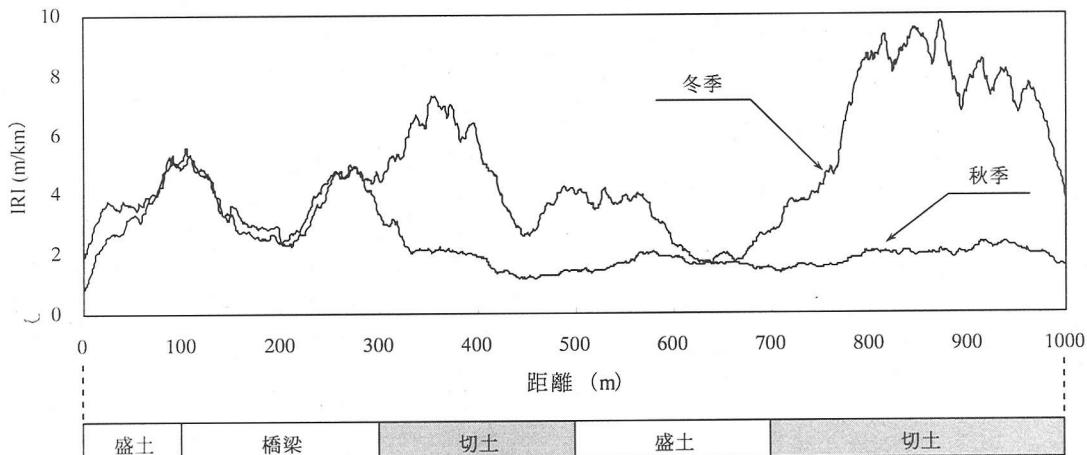


図-17 セグメント内部におけるラフネスプロファイルと断面分類（セグメント 236）

から算出した凍結指数と IRI の関係について解析した。

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 全てのセグメントにおいて、夏季と秋季の IRI にはほとんど差が見られなかったが、切土の占める割合が大きいセグメントでは、冬季になると IRI が増加し、春季になると IRI が減少する傾向が見られた。冬季における IRI の増加量はセグメントによって異なり、秋季の約 2 倍にも達するセグメントがあった。調査区間に隣接する地点の気温データから推定された凍結深さが 2 月上旬に凍上性材料である路床に達したことにより、凍結深さが最大になったと推定される 3 月上旬～中旬に IRI の最大値が得られた測定日が集中したことから、冬季における IRI の増加は凍上によってもたらされたと考えられる。
- 各セグメントを区間長 100m のサブセグメントに分割した後、それらを盛土、切土、橋梁に分類し、各断面分類に含まれるサブセグメントの秋季、冬季、春季における IRI の平均値を求めた。盛土や橋梁では IRI の季節変動が小さい一方、切土では冬季になると IRI が増加し、春季になると IRI が秋季のレベルにまで減少した。
- 冬季における IRI の増加が大きかったセグメントでは、凍結指数の増加、すなわち凍上の進行とともに IRI が増加する傾向が見られた。
- 冬季における IRI の増加が最も顕著であったセグメント 236 におけるラフネスプロファイルを求めた。セグメント内の盛土と橋梁区間では、秋季と冬季の IRI に

大きな差は見られなかったが、切土区間では、局所的に冬季の IRI が秋季の約 5 倍に達した。

調査を実施したのは非常に厳しい寒波に襲われた冬であり、例年に比べ凍上がり生じやすい条件下であったと考えられる。しかしながら、切土部では、凍土によってもたらされる地表面の不均一性によって道路の平坦性が著しく悪化したと考えられることから、凍土抑制層の増厚、断熱工法などの凍土対策を適用する必要がある。また、現在の設計法で用いられている置換厚についても再検討する必要があると思われる。

**謝辞：**本研究の遂行にあたり、（株）朋栄、日本航空電子工業（株）、および（株）小野測器にご協力いただきました。また、測定およびデータ処理には石井宏美さんのご協力を得ました。ここに記して深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) PIARC: *Technical Committee Report on Surface Characteristics*, 1978.
- 2) ASTM: Standard Guide for Classification of Automated Pavement Condition Survey Equipment, *Standard No. E1656-94*.
- 3) ASTM: Standard Guide for Conducting Subjective Pavement Ride Quality Ratings, *Standard No. E1927-98*.
- 4) Sayers, M.W. and Gillespie, T.D.: The International Road Roughness Experiment, A Basis for Establishing a Standard Scale for Road Roughness Measurements, *Transportation Research Record*, No.1084, TRB, pp. 76-85, 1986.

- 5) 地盤工学会北海道支部、火山灰質土の工学的分類委員会：火山灰土の利用と性質、地盤工学会北海道支部、1997.
- 6) Karanichas, S.M., Gillespie, T.D., Pepera, R. W. and Kahn, S.D.: Guidelines for Longitudinal Pavement Profile Measurement, TRB, NCHRP Report 434, 1999.
- 7) 濱在武, 三鶴信雄, 菊池勝三：寒冷地における凍上対策－現行凍上対策の問題点と凍上試験法－、日本道路公団試験所報告, pp.13-33, 1985.
- 8) ASTM: Standard Practice for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces, Standard No. E1170-97.
- 9) Sayers, M.W. and Karamihas, S.M.: The Little book of Profiling, Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles, *The University of Michigan Research Institute (UMRI)*, 1997.
- 10) Sayers, M.W., Gillespie, T.D. and Paterson, W.D.O.: Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements, *World Bank Technical Paper Number 46*, 1986.
- 11) Ducros, D-M., Petkovic, L., Alonso, M., Andren, P., Berlemont, B., Descomet, G., Jendryka, W. and Yanguas, S.: FILTER Experiment Analyses of The Longitudinal Profiles and Indices, *Concluding Workshop, FEHRL*, 2000.
- 12) Aldrich, H.P.: Frost Penetration below Highway and Airfield Pavements, *Bulletin 135*, HRB, National Research Council, 1956.
- 13) 伊福部宗夫：「北海道における道路の凍上・凍結深さおよび置換率に関する研究」、土木試験所報告、北海道開発局, 26号, 1962.
- 14) 久保宏：「道路舗装の凍上とその対策」、土と基礎, Vol.29, No.2, pp.9-14, 1981.
- 15) Farouki, O.T.: Thermal Properties of Soils, *Transportation Technology Publication, Series on Rock and Soils Mechanics*, 1986.
- 16) 木下誠一：土の低温特性、土と基礎, Vol. 25, No. 7, pp. 5-9, 1977.

(2002.11.28受付)

## SEASONAL CHANGE IN EVENNESS OF EXPRESSWAY IN COLD REGIONS

Shuichi KAMEYAMA, Shinichiro KAWABATA, Kunio TOYOTA,  
Akira KAWAMURA and Atsushi KASAHIARA

Longitudinal profile of an asphalt concrete pavement in a cold region was measured weekly during winter using inertial profiler and the International Roughness Index, IRI, was calculated to analyze its seasonal changes.

The IRI of segments including cuts was greatly increased during winter and decreased to the same level as fall, when spring came. The frost penetration depth reached the subgrade at the beginning of February. The dates of the maximum IRI concentrated in the period when the maximum frost penetration depth was observed. This indicated that the IRI's increase in winter was affected by frost heave. The IRI increased with freezing index in the segments where the IRI increased largely and the IRI in the cut sections of these segments became several times that in fall.