

積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の 厳冬期および融解期のひずみ特性

安倍 隆二¹・田高 淳¹・久保 裕一²

¹正会員 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目）

E-mail : aber@ceri.go.jp

²正会員 株式会社 ズコーシャ（〒003-0022 札幌市白石区南郷通2丁目南11番9号）

厳しい財政状況の中で、道路整備を確実に実行するためには、新技術を積極的に導入し、LCCを低減することが重要であるが、使用実績の少ない材料や新たな舗装構造を採用するためには、舗装を力学的に評価する理論的設計法を確立する必要がある。北海道に代表される積雪寒冷地では、厳冬期の路盤・路床の凍結や春期の融解が舗装体の強度やひずみに影響を与えることが分かっているが、力学的に把握されていないのが現状である。本研究は、積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の理論的設計法の確立を目指し、通常期、厳冬期、および融解期にFWD試験やダンプトラックを使用した载荷試験を実施した。厳冬期や融解期における舗装体のひずみや土圧等を計測し、積雪寒冷地特有の舗装体の挙動について論述するものである。

Key Words : cold, snowy regions, multilayer elastic theory, thawing season, midwinter, reduced bearing capacity

1. はじめに

北海道開発局所管の一般国道は、平成20年度4月の時点で6,564kmに達しており、今後も一層厳しい財政状況のなかで、ネットワーク機能を強化するための道路整備を確実に実施する必要がある。一方、従来の道路舗装における仕様規定から性能規定化への変更を定めた「舗装の構造に関する技術基準」の通達に伴い、舗装の構造設計法は従来の T_A 法に加えて、舗装を力学的に評価する理論的設計法の導入が可能となった。この理論的設計法を用いて、使用実績のない材料や新たな舗装構造を採用し、舗装におけるLCCをさらに低減するためには、北海道の気象を考慮した理論的設計法の確立が求められる。

北海道に代表される積雪寒冷地では、車両の走行荷重による舗装の疲労破壊の他に、凍上による破損や、春期に凍結した路床土が融解することによる支持力低下による損傷がある。これらは疲労破壊と同様に、路面のひび割れとして現れるが、凍上抑制層の設置や融解期の支持力低下を考慮したCBRを採用することによって対策を講じてきた¹⁾。しかし、厳冬期の温度低下によってAs層以深の路盤や路床まで凍結し、支持力が変化することや、融解期に舗装体の支持力が一時的に低下することは、疲労破壊に影響を及ぼす可能性があっても、従来の T_A 法では適用が難しい事象であった。北海道において、アスファルト舗装に理論的設計法を採用することにより、従来の積雪寒冷地対策を適用しつつ、さらに疲労破壊に対する最適設計を目指すことが可能となる。

アスファルト舗装における理論的設計法では、図-1に示すような交通荷重による舗装表面の载荷における、アスファルト混合物層（以下、As層と称する）下面や路床上面に発生するひずみの大きさが重要になる。寒冷地における凍結や融解など、舗装各層のひずみに影響を与える事象を考慮した理論的設計法を確立する必要がある。

本研究は、積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の理論的設計法の確立を目指し、異なる舗装構造で構築した試験舗装において、通常期、厳冬期および融解期に総重量196kNに調整したダンプトラックを使用した载荷試験を実施し、厳冬期や融解期における走行荷重による舗装体の挙動について知見を得たものである。

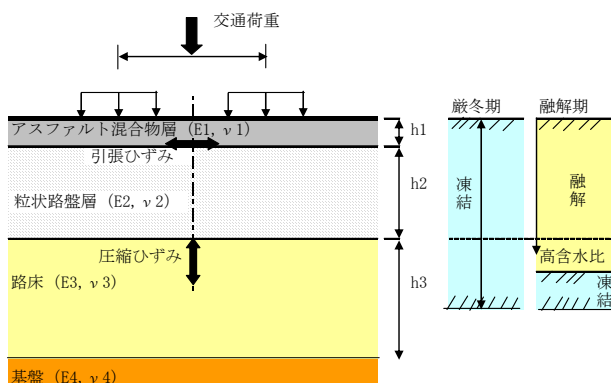


図-1 厳冬期および融解期における理論的設計法のモデル図

2. 試験舗装

(1) 試験舗装区間の概要

理論的設計法を検討するための試験舗装区間は、稚内市市間の一般国道 238 号に整備した。本区間の道路区分は第 4 種 1 級、舗装計画交通量は 1000 台以上 3000 台未満/日 (旧 C 交通) であり、片側 2 車線の走行車線を試験舗装区間としている。試験舗装の舗装構成は、図-2 に示す 1 工区から 3 工区の 3 断面で構成され、As 層の厚さは、9cm、15cm、27cm である。路盤は切込砂利 40 mm 級を用いており、置換え深さは 80cm である。1 工区および 3 工区は、表-1 に示す設計定数を用いて、実際の交通量や走行軌跡を考慮して理論的設計法により舗装断面を決定した。ただし 2 工区は、 T_A 法の設計により As 層と路盤層の合計厚が、置換え深さより大きい 115cm となっている。各工区の延長は 80m を基本としているが、1 工区だけは早期の破壊による打換えを考慮して、延長をより短い 30m とした。1 工区および 3 工区は、平成 20 年 3 月末の時点で施工から 5 年 4 ヶ月、2 工区は 3 年 4 ヶ月が経過している。

試験舗装の各工区には、As 層下面にひずみ計 (Dynatest 社製 PAST-II) を、路床上面にひずみ計 (同 SSDT-II) および土圧計 (共和電業社製) を埋設している。

(2) 気象条件

厳冬期および融解期の気象データは、試験舗装区間近傍にある稚内市市間アメダスで観測したデータを用いた。調査を実施した 2007 年度冬期および翌年春期の日平均気温と最深積雪の推移を図-3 に示す。日平均気温が 0℃ 以下で連続して推移したのは、12 月 31 日から 3 月 7 日まで。

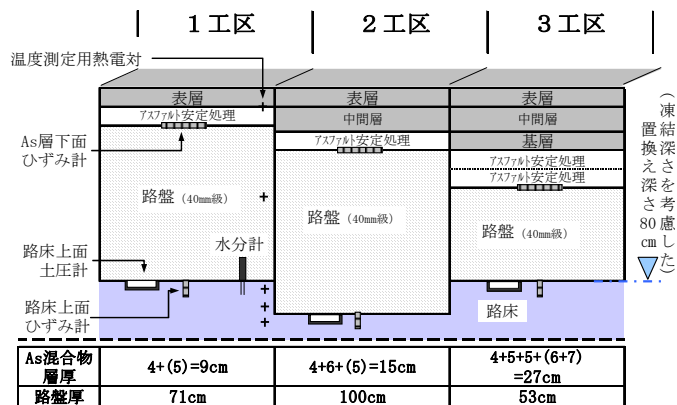


図-2 試験舗装区間における舗装構成

表-1 試験舗装区間における理論的設計法の設計定数

舗 装 構 成			弾性係数 (MPa)	ポアソン 比
温度範囲	月数			
As 混合物	5℃未満	3	12,000	0.35
	5~15℃	3	8,000	
	15~25℃	3	4,000	
	25℃以上	3	2,000	
路 盤			200	0.35
路 床			20	0.40
As 安定処理	As 量 (容積%)		9.5	
As 安定処理	空隙率 (%)		6.1	

での約 2 ヶ月であり、3 月 8 日からの気温の上昇に伴い、積雪深も大幅に減少している。道路の凍結深を検討する際に用いられる凍結指数で見ると、調査を実施した 2007 年度の凍結指数は 534.8℃・日であった。稚内地区の 20 年確率の凍結指数 (1980-2000) は 658℃・日、この 20 年間における凍結指数の平均値は 417.7℃・日である。厳冬期の試験は、平年と比較して寒冷な年で調査を実施している。

図-4 に、2007 年 11 月～2008 年 3 月までの、1 工区における深さ方向に埋設した舗装体内温度、および路床上面に設置した水分計の経時変化を示す。凍結期間の推定は、地表面下 80cm に設置している路床水分計と 85cm に設置した地中温度から判断した。水分計は土壌の誘電率を利用し測定する装置であり、路床が凍結している場合は、水と氷の誘電率が異なるため、正確な含水比は測定できない。そのため、図中には凍結期間および融解期間中は、見掛けの含水比を表示した。路床上面から 5cm 下の温度と、路盤温度の関係から、路床上面部分に 0℃ 付近の期間があることや、路床上面の水分計における見掛けの含水比が徐々に低下し、一定の値で推移した期間があること、銅-コンスタンタン熱電対にも誤差があることを考慮して、路床上面の凍結期間を推測した。融解期間は、水と氷の誘電率の影響から徐々に見掛けの含水比は上昇し、路床土の融解終了時の 3 月 18 日は、見掛けの含水比は急激に上昇し、氷による誘電率の影響が完全に解消されたと推測できる。

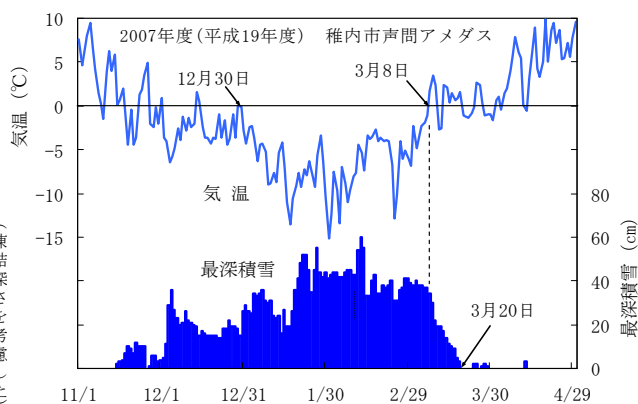


図-3 稚内市市間アメダスにおける日平均気温と最深積雪

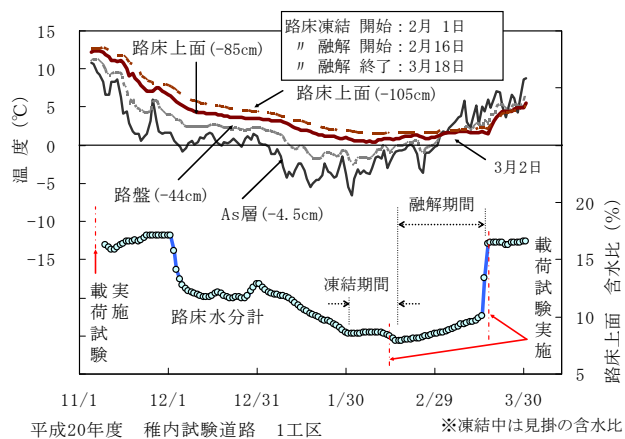


図-4 試験舗装区間の土中温度および含水比

以上の結果から、試験舗装区間における路床の凍結期間と融解期間を合計した期間は、おおむね1ヶ月半程度と推察される。ただし、深さ 105cm における期間内の最低温度は 1.4℃であることから、置換え深さが 115cm となる 2 工区の路床は凍結していないと考えられる。図-4 内には、载荷試験の実施日も記載した。2 月 15 日の試験は路床凍結期間の後半にあたり、3 月の試験は路床が融解し終わった直後となっている。

(3) 土質条件

表-2 に、1～3 工区における路床土の土質試験結果を示す。路床土の土質は砂まじり礫(G-S)であり、最適含水比

表-2 試験舗装区間における路床土の土質

土 質 分 類		砂まじり礫 (G-S)
粒 度 試 験	0.075mmふるい通過量 (%)	3.5
	50%粒径 D_{50} mm	29.31
	均等係数 U_c	21.34
土粒子の密度 (g/cm^3)		2.600
自然含水比 (%)		19.3
最大乾燥密度 (g/cm^3)		1.580
最適含水比 (%)		19.8
CBR (%)		7.4

表-3 粒度分布による凍上性の判定²⁾

粒 度 分 布		判 定
領域 2～4 以外	領域 1	凍上性
通過質量百分率 0.002mmが40%以上	領域 1L	凍上性(小)
$U_c < 15$, かつ $0.1\text{mm} < D_{50} < 0.2\text{mm}$	領域 2※	非凍上性
$U_c < 15$, かつ $0.2\text{mm} < D_{50} < 1\text{mm}$	領域 3	非凍上性
$U_c > 15$, かつ $D_{50} > 1\text{mm}$	領域 4	非凍上性

※ただし、毛管上昇高さが1m以下の場合



写真-1 厳冬期の走行载荷試験状況

	(通常期)	(厳冬期)	(融解期)
調査日時	2007年 11月6日	2008年 2月15日	2008年 3月18日
舗装状態	As層平均温度 6～12℃ 通常	As層平均温度 0℃ 凍結	As層平均温度 8～11℃ 融解
調査内容	走行载荷試験 (速度10, 30, 50km/h)		
	FWDによる たわみ測定		FWDによる たわみ測定

図-6 調査年月日と As 層の平均温度

は 19.8%, CBR 値は 7.4%である。ここで、粒度試験から得られる均等係数 U_c が 15 以上で、かつ平均粒径 D_{50} が 1mm 以上の土は凍上しにくいことから²⁾、表-3 に示すように試験舗装区間の路床土は領域 4 となり、凍上しにくい材料と考えられる。なお、凍上に関する当該地周辺の地下水位は、舗装基面から -1.4～-2.8m 付近で観測されている。

(4) 载荷試験

埋設したひずみ計の直上において、総重量を 196kN に調整したダンプトラックの走行による载荷試験（以下、走行载荷試験と称する）を実施し、As 層下面の引張りひずみ、路床上面の圧縮ひずみ、および土圧を計測した。走行载荷試験の実施日を図-6 に示す。調査は 2007 年 11 月を通常期とし、2008 年 2 月を厳冬期、3 月を融解期として実施している。厳冬期における走行载荷試験の状況を写真-1 に示す。なお、厳冬期は路面が圧雪アイスバーンとなるため、交通安全上の観点から FWD によるたわみ測定は実施していない。走行载荷試験では、前輪または後輪ダブルタイヤの片側が、埋設しているひずみ計の真上を通過するように、車両走行位置を調整した。通常期、厳冬期、および融解期における As 層の平均温度を図-4 中に示した。厳冬期における As 層の平均温度は、各工区とも約 0℃となっており、融解期における調査時の As 層平均温度は、通常期とおおむね同等の温度域で調査を実施している。

3. 調査結果

(1) FWD 試験

a) たわみ測定

通常期(11月)および融解期(3月)に実施した、各工区における FWD 試験による D0 および D150 たわみの比較結果を図-7 に示す。FWD 試験による舗装表面のたわみ測定は、各工区 6 箇所で行われ、その平均値を使用し、かつ载荷位置は通常期と融解期で同一としている。計測した D0 たわみは、文献³⁾に従い温度と荷重補正を実施した。通常期における舗装体全体の強度を表すとされる D0 たわみは、As 層厚が 9cm の 1 工区では 600 μm 程度、2 工区 350 μm 程度、および 3 工区 230 μm 程度となっている。通常期と比較した融解期の D0 たわみは、1 工区と 3 工区で、それぞれ 70 μm および 18 μm 、通常期より大きい値を示し、舗装全

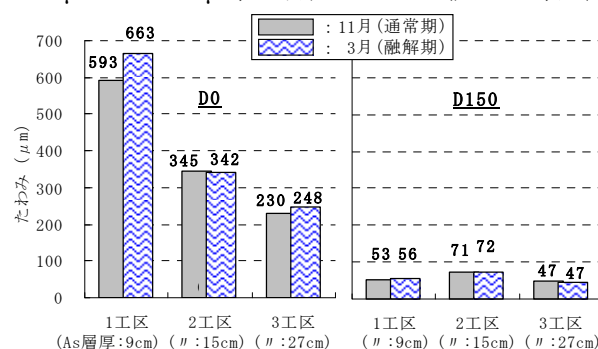


図-7 FWD 試験における D0 および D150 たわみ

体の強度が低下していることが分かる。一方、2 工区では、融解期における D0 たわみは通常期とほぼ同等であり、大きな支持力低下は見られなかった。

路床の強度を表すとされる D150 たわみは、各工区に大きな低下傾向は見られていない。

b) 逆解析

FWD 試験で計測した表面たわみを用いて、舗装各層の弾性係数を算出した。東京電機大学の松井教授が作成した静的逆解析ソフト (BALM) ⁴⁾ を用いて、舗装各層の弾性係数を表-4 に示す解析条件で、逆解析により算出した。逆解析においては、舗装構造を①As 層 (アスファルト安定処理層を含む)、②路盤、③路床、④基盤 (風化泥岩) の 4 層に区分し、弾性係数の初期値については、過去の調査結果^{5) 6)} や文献等⁷⁾ を参考に値を決定した。計算結果を表-5 に示す。

静的逆解析における各工区の As 層の弾性係数は、FWD 試験調査時の舗装体温度は同程度であるため、As 層の弾性係数は同程度と考えられ、得られた弾性係数のバラツキは逆解析に伴う誤差と推察される。2 工区における As 層の弾性係数は他の工区と比較して大きい、同一材料の舗装であっても舗装構成によっては同一の弾性係数にはならない事例⁸⁾ が報告されており、2 工区については舗装および路盤の厚さ等が影響しているものと推察される。路盤、路床の弾性係数は、As 層の弾性係数や厚さの影響により工区間の変動は見られるが、通常期と融解期を比較すると、各工区とも同程度の値を示し、融解期における弾性係数の変化は見られない。なお、逆解析における各層の弾性係数は、既往の研究成果⁹⁾ から得られた室内材料試験結果の弾性係数と、おおむね整合がとられた値であった。

(2) 走行載荷試験

a) As 層下面部の引張ひずみ

表-4 静的逆解析プログラムの解析条件

	静的逆解析プログラム BALM
①舗装厚	図-2 参照
②各層の弾性係数初期値 (MPa)	- As 混合物層 : 12,000 - 路盤 : 200 - 路床 : 20 - 基盤 : 500
③各層のポアソン比	- As 混合物層 : 0.35 - 路盤 : 0.35 - 路床 : 0.40 - 基盤 : 0.40
④層間すべり率	0

表-5 静的逆解析から求めた舗装各層の弾性係数

	1 工区		2 工区		3 工区	
	11月 (通常期)	3月 (融解期)	11月 (通常期)	3月 (融解期)	11月 (通常期)	3月 (融解期)
As 層 (MPa)	7,178	4,791	16,420	18,784	6,260	6,365
路盤 (MPa)	120	120	131	122	417	408
路床 (MPa)	74	72	66	67	48	47
基盤 (MPa)	1,241	1,223	1,148	1,136	989	976

図-8 にダンブトラックを 30km/h の速度で走行した場合における、1~3 工区の As 層下面に発生した引張ひずみの経時変化を示す。なお、通常期、融解期のひずみは、各測定値の波形における後輪各軸の最大値を採用し、前輪載荷前の値で原点補正を実施している。また、走行載荷試験における車両の速度は、上記のほかに 10km/h、50km/h でも試験を実施しており、載荷時間が支持力低下におけるひずみの傾向に影響を及ぼすかどうかとも検討している。

1 工区における通常期の As 層下面の引張ひずみは、前輪載荷時に最大値として 260×10^{-6} が計測されているが、路床上面まで凍結していた厳冬期に実施した走行載荷試験においては、 1×10^{-6} 程度しか示さず、舗装の凍結によって、載荷に対する As 層の曲げ引張応力はほとんど発生していないことが分かる。この傾向は他の工区でも同様であり、最大値は 2 工区の前輪載荷による 8×10^{-6} であった。凍結の進行により路盤の強度が上昇し、As 層のほかに路盤も凍結前と比較して走行荷重に対する抵抗力が大きくなり、結果的に As 層下面の変形が小さくなると推察される。

一方、融解期では、1 工区の後輪載荷時において、融解期の引張ひずみは通常期の 2 倍近くに達しているが、2 工区および 3 工区については、通常期と比較し、融解期におけ

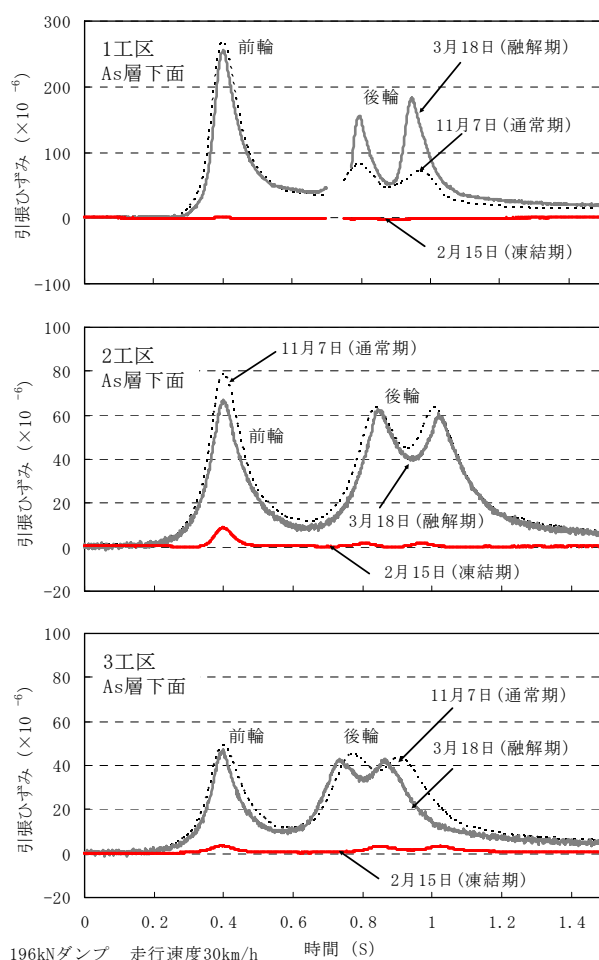


図-8 走行試験における As 層下面のひずみ

る As 層下面の引張ひずみに大きな低下は見られない結果となっている。

図-9 に通常期と融解期における後輪載荷時の As 層下面の引張ひずみの比較を、走行速度 10km/h, 50km/h の場合も合せて示した。また、記載したひずみ値は、後輪2軸目だけでなく、1軸通過時も追加して表示している。1工区では、すべての速度において、融解期の As 層下面の引張ひずみは通常期より大きく、後輪載荷時には融解期の支持

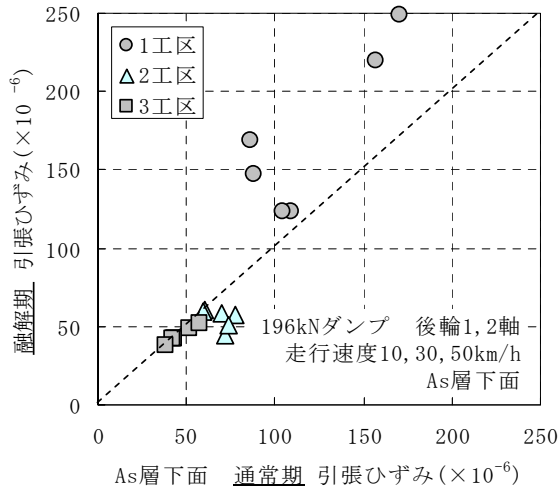
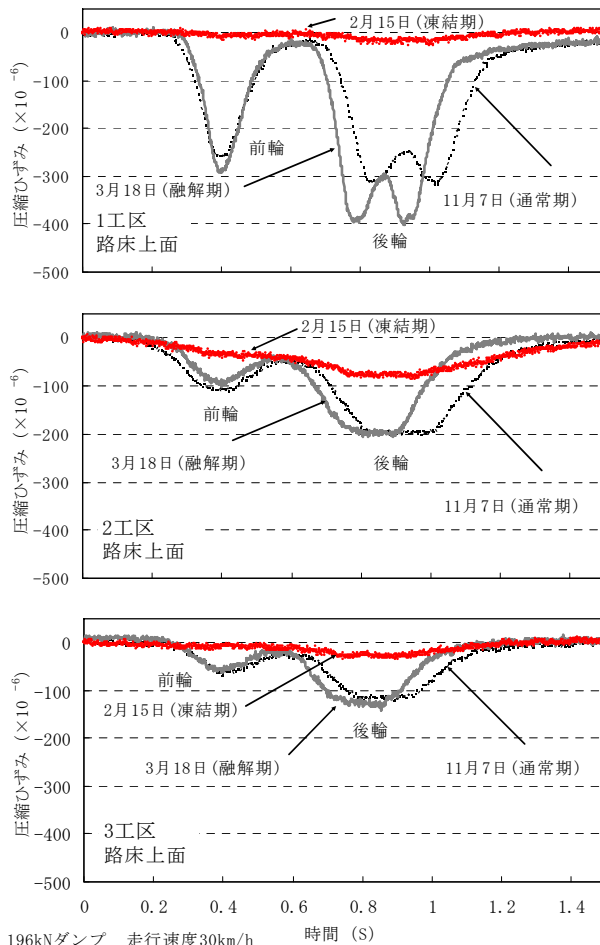


図-9 走行載荷試験における As 層下面の通常期と融解期の引張ひずみ



力低下が表れていると言える。また、前輪についても、速度が 10km/h 時に通常期の 125%, 50km/h 時では 148%を示し、融解期の値が通常期よりも大きい結果となっていたことから、1 工区の As 層下面の引張ひずみについては、前輪、後輪ともに支持力低下が発生していたと言える。これは、As 層厚が 9cm と比較的薄く、路盤上面の位置が他の工区と比較して浅いことから、As 層と路盤の界面において寒暖の影響を受けやすく、凍結融解の影響が現れやすいことが考えられる。なお、既往の研究¹⁰⁾では走行速度の増加とともに As 層下面の引張ひずみは小さくなる傾向を示した。本研究においても、図-10 に示すように走行速度の増加とともにひずみが小さくなる傾向が見られた。

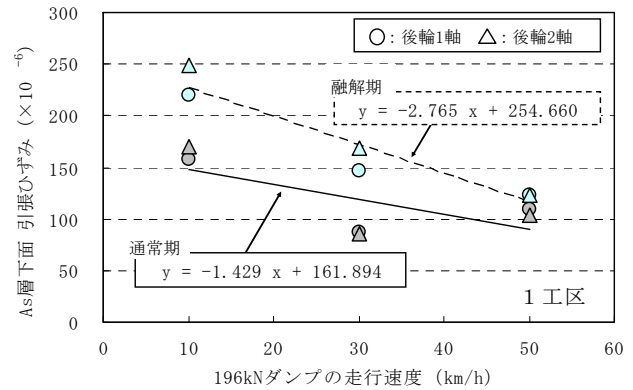


図-10 ダンプの走行速度と通常期と融解期の引張ひずみ

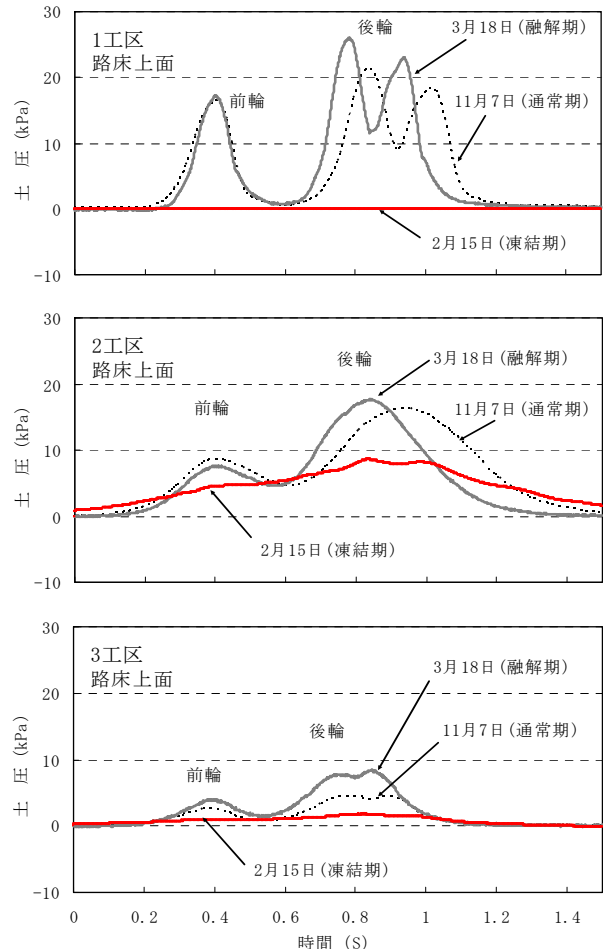


図-11 走行試験における路床上面の圧縮ひずみと土圧 (左側：圧縮ひずみ 右側：土圧)

b) 路床上面部の圧縮ひずみ

図-11 にダンプトラックを 30km/h の速度で走行した場合における、1～3 工区の路床上面に発生した圧縮ひずみと土圧の経時変化をまとめて示した。厳冬期に実施した走行載荷試験による後輪載荷時における路床上面の圧縮ひずみは、1 工区および 3 工区では 30×10^{-6} 程度に対し、2 工区では 86×10^{-6} となっている。これは、2 工区の置換え深さは他の工区より大きく 115cm であることから、路床上面が未凍結であることが原因と考えられる。しかし、通常期の圧縮ひずみ 200×10^{-6} と比較し、厳冬期の圧縮ひずみは約 1/2 以下の値となっている。路床部分が未凍結であっても、深さ 80 cm 程度までは凍結していたため、路盤上部の見かけの弾性係数が大きくなることにより、荷重分散作用がより大きくなったことが原因と考えられる。

一方、融解期における路床上面の圧縮ひずみについては、1 工区の前輪載荷における圧縮ひずみは、通常期より融解期の方が約 30×10^{-6} 大きな値を示しているが、2 工区および 3 工区においては、前輪載荷による通常期と融解期にほとんど変化がない。後輪載荷時の圧縮ひずみは、1、3

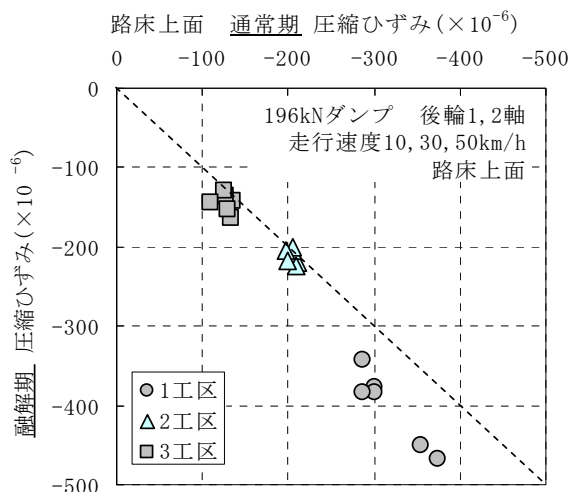


図-12 走行載荷試験における路床上面の通常期と融解期の圧縮ひずみ

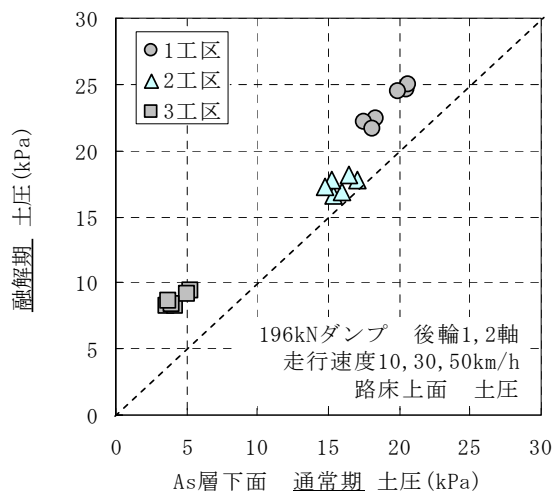


図-13 走行載荷試験における路床上面の通常期と融解期の土圧

工区において、融解期が通常期の値を上回る結果となっており、その差は 1 工区で 83×10^{-6} 、3 工区では 22×10^{-6} の差が生じている。また、2 工区は同程度の圧縮ひずみを示している。

図-12 に通常期と融解期における後輪載荷時の路床上面の圧縮ひずみの比較を、走行速度 10km/h、50km/h の場合も合せて示した。また、記載したひずみ値は、後輪 2 軸目だけでなく、1 軸通過時を追加して表示している。1 工区における路床上面の圧縮ひずみは、顕著に発生した支持力低下により、増加していることが分かる。2 工区は通常期と比較し同等程度であり、3 工区はやや低下が見られる。この傾向は FWD 試験による通常期と融解期の D0 たわみの傾向に類似しており、舗装の支持力低下が主に路床上面部分で発生していることが分かる。

c) 路床上面部の土圧

図-13 にダンプトラックを 30km/h の速度で走行した場合における、1～3 工区の路床上面に発生した土圧の経時変化を示す。路床まで凍結が入った 1、3 工区における路床上面部の土圧は、融解期の値が通常期を明らかに上回っており、路床土の融解による支持力低下により、同一の走行荷重においても通常期と比較して荷重分散効果が変化することで、土圧計に加わる荷重が変化し、支持力低下の影響が表れていると言える。一方、路床まで凍結が入らなかった 2 工区の後輪載荷における路床上面は、やや支持力低下の影響はみられるが、顕著な支持力低下の影響は見られなかった。

d) 走行載荷試験のまとめ

以上の走行載荷試験の結果から、路床部に凍結が及んだ 1、3 工区における路床部分の支持力低下が発生していることが確認できた。また、前輪載荷より後輪載荷の方が、通常期と比較し、融解期の支持力低下が明確に表れる原因は次のように考えられる。

水分計の結果から、路床上面における含水比の変動は少ないが、路床上面が凍結することによる体積膨張や、融解による土粒子間の結合力の低下により、支持力低下が発生したと考えられる。路床に対しては、シングルタイヤである前輪より、ダブルタイヤによる後輪載荷の方が荷重による影響範囲が大きいため、支持力低下の影響がより変形に影響し、ひずみに反映されたと考えられる。

4. 凍結期間の As 層下面の引張ひずみ特性

試験舗装区間における調査結果から、アスファルト舗装において、凍結深が 80cm 程度まで進行した場合、As 層下面の引張ひずみが $0 \sim 10 \times 10^{-6}$ の非常に小さい値になっていることが分かった。理論的設計法においては、As 層下面の引張ひずみを期間ごとに設定し、破壊輪数を算出する。そこで、北海道のような積雪寒冷地において理論的設計法を活用するため、As 層下面の引張ひずみを極めて低く設定することができる凍結期間について検討した。

試験舗装区間の3断面を用い、舗装体の凍結深さとAs層下面の引張ひずみの関係を検証した。図-14に示すように、路盤および路床の凍結が深さ方向に進み、その時のAs層下面の引張ひずみを多層弾性構造プログラム(GAMES)¹¹⁾を用いて計算した。

未凍結においては、表-5に示す逆解析から求めた舗装各層の通常期における弾性係数を入力し、As層のみ凍結している場合は、冬期調査におけるAs層平均温度から、通常期におけるAs層の弾性係数を、既往の文献¹²⁾を参考に0℃に換算した値を入力した。凍結深さがAs層厚より深くなった場合は、厳冬期における路盤の温度が、最低

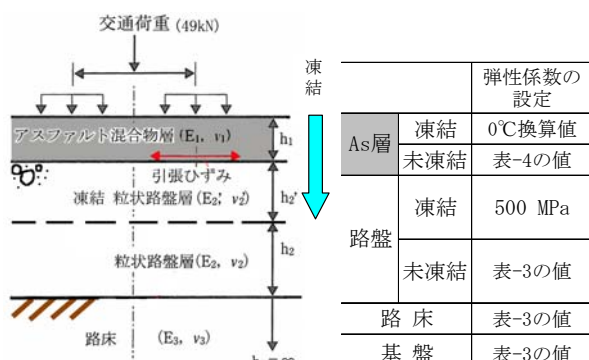


図-14 多層弾性解析における舗装各層の弾性係数

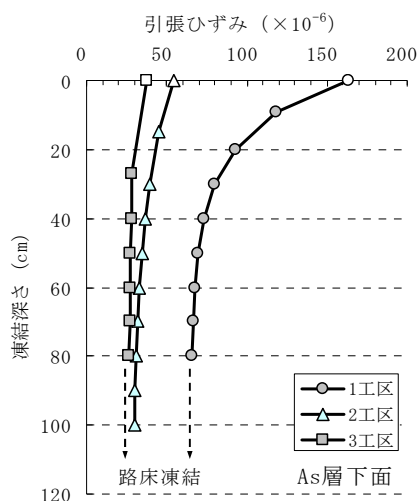


図-15 凍結深さとAs層下面の引張ひずみ

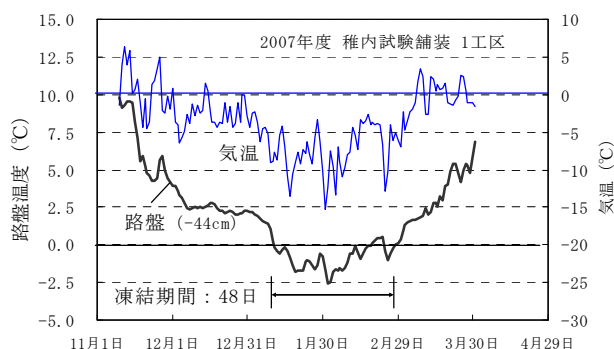


図-16 2007年冬期の稚内における気温と路盤温度

-2.5℃程度であることを考慮して、文献¹³⁾を参考に凍結した路盤の弾性係数を500MPaと仮定して入力した。以降、凍結深さが徐々に深くなるごとに凍結路盤の層厚を厚くし、置換え深さ80cmまで変化させ、As層下面の引張ひずみを順次計算した。なお、凍結によるポアソン比の変動については考慮していない。理由としては、ポアソン比が温度等の変動により、時間経過と共に変動し¹³⁾、設定が困難なためである。

凍結深さを10cm間隔で変化させた、1～3工区のAs層下面における引張ひずみの推移を図-15に示す。凍結深さが0cmの引張ひずみは、通常期の走行載荷試験における後輪載荷時の引張ひずみに対応していると考えられるが、1工区における走行載荷試験の実測引張ひずみの平均値は 120×10^6 、2工区 70×10^6 、および3工区 45×10^6 程度であり、多層弾性理論における解析ひずみとおおむね整合が取れていると考えられる。凍結深が大きくなるにつれてAs層下面の引張ひずみは減少するが、凍結深が80cmにおいても 10×10^6 程度にはならない。これは凍結路盤の弾性係数やポアソン比が実際と異なることが原因と考えられる。しかし、各工区ともにAs層下面の引張ひずみはほとんど変動しなくなる凍結深さは、約50cm程度となることが分かる。

試験舗装区間で走行載荷試験を実施した2007年度における、冬期間の路盤温度と気温を図-16に示す。気温がマイナスになった期間は、前述したとおり約2ヶ月間である。その期間内において、路盤厚の中央、深さ44cmに設置した熱電対で計測した温度がマイナスで推移したのは、1月11日から2月27日までの48日間であった。このことから、As層下面の引張ひずみがほとんど変動しなくなる凍結深さを50cm程度と設定すれば、As層下面の引張ひずみを極めて小さく出来る期間は、2007年度のデータを使用した場合、48日間程度となる。ただし、年度により寒暖差が異なるため、適用地域の凍結期間や凍結指数等を参考に、影響範囲を決定する必要がある。

北海道のような積雪寒冷地における理論的設計法の設計を行う場合、厳冬期におけるAs層下面の引張ひずみについては、その数値を小さく設定できる期間が存在することが示された。

5. 結論

稚内に施工した試験舗装区間において、通常期、厳冬期、および融解期に実施したFWD調査および走行載荷試験結果から、以下の知見が得られた。

- (1) FWD試験により、融解期の支持力低下を計測した結果、路床部に凍結が入った試験舗装区間においては、支持力低下が確認された。しかしながら、静的逆解析プログラムにより逆解析した結果、路盤および路床部の弾性係数の変動は確認されなかった。

- (2) 走行載荷試験の結果、路床部に凍結が入った工区は、融解期において、通常期と比較し支持力の低下が顕著である。その影響はダンプトラックの後輪部の影響が前輪と比較し大きい結果となった。一方、路床まで凍結していない工区では、路床部の圧縮ひずみや土圧の増加は少ない。
 - (3) 厳冬期に実施した走行載荷試験の結果、80cm 程度まで凍結した As 層に発生する引張ひずみは小さく、厳冬期における As 層に与える疲労のダメージは少ない。
 - (4) As 層下面の引張ひずみ変動しなくなるのは、凍結深さが 50cm 程度と考えられ、積雪寒冷地における理論的設計法の設計を行う場合、厳冬期における As 層下面の引張ひずみについては、ほとんど発生していないため、疲労破壊におけるダメージ予測などで除外できる期間があることが明らかとなった。
- 2) 社団法人 土質工学会：土の凍上—その理論と実際—，pp116～pp117, 2004.6
 - 3) 社団法人 日本道路協会：舗装性能評価法—必須および主要な性能指標の評価法編—，pp16,2006
 - 4) 黒林功，松井邦人，井上武美，董勤喜，静的逆解析によるアスファルト構造評価診断システムの開発，土木学会第 55 回年次学術講演会，pp90-91，2000.9
 - 5) 岳本秀人，久保裕一，安倍隆二：FWD 及び走行車両による舗装体ひずみの計測と解析，土木学会舗装工学論文集，第 9 巻，pp.185-192,2004
 - 6) 岳本秀人，安倍隆二，久保裕一：動的載荷による残留ひずみを考慮した舗装体解析ひずみの補正，土木学会舗装工学論文集，第 10 巻，pp.1-8,2005
 - 7) 社団法人 日本道路協会：舗装設計便覧，pp.75,118，2006
 - 8) 東滋夫，金井利浩，岡部俊幸，林信也，松井邦人：FWD による時系列データの舗装構造評価への適用，土木学会舗装工学論文集，第 3 巻，pp.31-38,1998
 - 9) 安倍隆二，田高淳，松井邦人，久保裕一：FWD たわみデータを用いた逆解析による舗装の構造評価に関する検討，土木学会舗装工学論文集，第 12 巻，pp.31-38,2007
 - 10) 安倍隆二，田高淳，久保裕一：動的載荷におけるアスファルト舗装の引張ひずみに関する一考察，土木学会舗装工学論文集，第 11 巻，pp.9-16,2006
 - 11) 社団法人 土木学会：多層弾性理論による舗装構造解析入門，舗装工学ライブラリー-3，2005
 - 12) 社団法人 セメント協会：舗装に関する AASHTO 指針，pp. 405，1986
 - 13) 社団法人 土質工学会：土の凍上—その理論と実際—，pp43，2004.6
 - 14) 久保裕一，岳本秀人，安倍隆二：アスファルト舗装における設計期間 20 年の構造設計基準（案）について，北海道開発土木研究所月報，No621 号，pp43-50,2005.2

6. おわりに

今後、積雪寒冷地における理論的設計法の確立に向け、路床土の支持力低下傾向を理論的設計法に採用するためには、北海道において従来から用いられている凍結融解後の CBR 試験^{1 4)}に代わる、凍結融解後の弾性係数を求める手法や、土質に対応した弾性係数の推定方法や融解期間について更に検討していく必要がある。また、試験舗装区間の長期供用性も評価していきたい。

参考文献

- 1) 北海道開発局：道路設計要領 第 1 集 道路，pp1-5-51～59，2009.4

STRAIN CHARACTERISTICS OF ASPHALT PAVEMENTS IN COLD, SNOWY REGIONS DURING THE MIDWINTER AND THAWING SEASONS

Ryuji ABE, Jun TAKO and Yuichi KUBO

Reduced LCC through the introduction of new technologies is required in order to ensure the implementation of road maintenance and improvement under severe financial conditions. It is also necessary to establish theoretical design methods for the mechanical assessment of pavement to enable the adoption of materials with little application history and new pavement structures. Although freezing in base courses and subgrades during midwinter and thawing in spring are recognized as factors that affect the strength and strain of pavement in cold, snowy regions such as Hokkaido, such methods have not yet been mechanically clarified.

In this study, FWD tests and loading tests using dump trucks were conducted in the normal, midwinter and thawing seasons to measure strain, earth pressure and other characteristics of pavement. Pavement-related behavior in the midwinter and thawing seasons was also researched for the purpose of establishing a theoretical design method for asphalt pavement in cold, snowy regions.