

11.5 寒冷地舗装の劣化対策に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：田高淳、石田樹、安倍隆二、丸山記美雄、金子雅之

【要旨】

本研究では、長期的に高い耐久性が期待できる新たな舗装材料と工法を、積雪寒冷地で適切に運用するための技術確立とともに、積雪寒冷地の温度条件と地盤条件に適したアスファルト舗装設計法の確立に取り組む。コンクリート版の上にアスファルト層を舗設するコンポジット舗装構造に関して、追跡調査や現地調査結果を基に、現在提案しているコンポジット舗装構造の適用性の評価を実施した。寒冷地舗装の設計法に関しては、一般国道に整備した試験施工区間において、FWD 試験機の動的載荷によるアスファルト混合物層下面のひずみを測定し、理論的設計法による解析値と近似する結果を得た。また、ダンプトラックを利用し、厳冬期および融解期における舗装体の挙動について調査を行い、舗装体および路床の挙動を検証した。舗装の疲労寿命予測に関しては、4 点曲げ疲労試験から得られる破壊規準式と層構造解析と各種の現地データを適切に組み合わせることで、舗装の寿命解析はある程度理論的に推定が可能であることを実証した。

キーワード：舗装設計法、高耐久性舗装材料、高耐久性舗装工法

1. はじめに

厳しい経済状況の下で公共事業の一層のコスト縮減と品質を確保するには、その地域の条件にあった技術を用い、規格(ローカルルール)を適切に設定することが必要である。北海道は全国的にみて極めて特殊な気象特性をもつため、国内の一般的な技術に加え積雪寒冷な環境下に対応できる舗装技術が求められ、これまでも、路床土の凍上対策を取り入れた舗装設計手法など特有の舗装技術が採用されてきた。より効率的に道路資産を形成し保全してゆくためには、耐久性が高く寿命の長い新たな舗装材料や工法の積極的導入と、舗装の設計手法をより合理的なものにして舗装にかかるライフサイクルコストを低減する技術が必要不可欠である。その際には、融解期の路床支持力の低下、厳冬期の凍上による路面平坦性の悪化、低温による温度応力クラック、凍結融解作用や融雪剤等による舗装表層の劣化など、積雪寒冷環境下におかれる舗装に特有の厳しい条件への対応が必要となる。本研究では、積雪寒冷地の温度条件と地盤条件に適したアスファルト舗装設計法の確立とともに、長期的に高い耐久性が期待できる新たな舗装材料と工法を、積雪寒冷地で適切に運用するための技術確立に取り組む。

2. 高耐久性舗装材料と工法の適用技術

2.1 調査研究の方法

コンポジット舗装構造に関しては追跡調査や現地調査結果を基に現在提案しているコンポジット舗装構造の適用性の評価を実施し今後のあり方の検討を行う。

2.2 調査研究の成果

2.2.2 高規格幹線道路トンネル内コンポジット舗装構造に関する検討

高規格幹線道路トンネル内のコンポジット舗装構造について、北海道のトンネルにおいて追跡調査を実施している。愛別トンネルは供用後約 4 年経過しているがわだち掘れ量が 8mm 以下と依然良好な状態を維持している(図 1)。表層混合物である排水性混合物の現場透水量が 500 (ml/15 秒) 程度まで低下する傾向が部分的に見られているものの(図 2)、高規格幹線道路トンネル内のコンポジット舗装としては、適用性に問題がないと判断点された。

3. 寒冷地舗装の設計方法

3.1 調査研究の方法

図 3 に示す一般国道 238 号試験施工区間において、FWD 試験機の動的載荷によるアスファルト層下面ひずみを測定し、理論的設計法による解析値と比較した。また総重量 20t のダンプトラックの動的載荷により、

厳冬期および融解期における舗装体および路床の挙動を検討した。

性能指標の一つである疲労破壊輪数は、平成 18 年 1 月に発刊された舗装性能評価法¹⁾に疲労破壊論数を求める推定式が規定されているが、データ数不足のため、適用条件が限定された評価法となっている。そこで、全国各地で試験施工された箇所でも FWD の初期たわみ量 (D_0) を測定し、データの補完を行った。

3.2 調査研究の成果

理論的設計法は舗装体を弾性体と仮定し、走行荷重が舗装体に繰り返し載荷され、舗装下面に発生する引張ひずみと路床上面に発生する圧縮ひずみを算出し、蓄積する疲労により舗装寿命の解析を行い、設計期間を算出する方法である。北海道の一般国道に整備された試験施工箇所において、多層弾性理論で設計した舗装断面の妥当性を検証した。

3.2.1 動的載荷によるひずみの実測値と解析値の比較

FWD 試験機を利用して動的載荷を行い、舗装体に発生する実測ひずみを計測し、解析値と比較し理論的設計方法の妥当性を検証した。なお、理論的設計法によるアスファルト混合物層下面のひずみ値は、静的逆解析および動的逆解析により算出した。

図 4、5 に FWD 載荷による舗装体下面に発生する実測ひずみと動的逆解析および静的逆解析より算出した解析ひずみの関係を示す。舗装体下面に発生する実測ひずみは、解析ひずみと近似した結果が得られ、理論設計方法の妥当性が検証された。

3.2.2 厳冬期および融解期の舗装体の挙動

厳冬期および融解期に総重量 20t のダンプトラックの動的載荷により走行試験を実施し、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調査を実施した。

図 6 に試験施工箇所の土中温度と含水比を示す。調査を実施した 2007 年度の凍結指数は 534.8 ・日であり、平年値 417.7 ・日と比較し寒冷な年に調査を実施した。試験施工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 ヶ月半程度である。

図 7 に走行試験時のアスファルト舗装下面の引張ひずみを示す。融解期における舗装体に与える輪荷重によるダメージについては、As 層厚が 9cm の 1 工区において、後輪載荷によるアスファルト舗装下面の引張ひずみが、通常期と比較し大きくなる傾向が見られた。これは、他の工区と比べて路床上面の圧縮ひずみが大きいいため、路床の圧縮変形の影響により As 層下面にも影響を及ぼしたと推察される。厳冬期における、ア

スファルト舗装層下面の引張ひずみは、各工区ともに数 μm 程度しか示さず、舗装体に与えるダメージは極端に少ない結果となった。

図 8 に走行試験時の路床上面の圧縮ひずみ、図 9、10 に路床上面の土圧を示す。路床に与える輪荷重によるダメージは、ダンプトラックの後輪載荷の影響が顕著であり、融解期には通常期と比較し、路床上面の圧縮ひずみや土圧は大きくなる結果が得られた。今回の試験データでは、通常期と比較し、含水比の大きな上昇は見られないが、路床土の凍結融解の影響により、路床土が緩んだ影響が土圧やひずみ値に現れていると推察される。また、厳冬期については、路床上面の圧縮ひずみや土圧は通常期と比べて小さく、路床に与えるダメージは小さいことが分かった。

4. 舗装疲労寿命予測手法の検討

4.1 調査研究の方法

前年度までに実施した曲げ疲労試験結果を基に、北海道で使用される混合物の疲労破壊規準式を設定した。その上で、舗装構成厚さや混合物種類が異なる 8 つのアスファルト舗装断面からなる美々試験道路(図 11)において実測している交通量や温度データを用いて、層構造解析によって累積ダメージと疲労破壊時期を算出し、実際の疲労破壊時期と比較することで、力学的な理論に基づく手法の妥当性を実証的に検証する。

4.2 調査研究の成果

4.2.1 疲労破壊規準式の検討

従属変数として破壊回数 N_f をとり、飽和度 VFA 、曲げスティフネス S_{mix} 、ひずみ ϵ を独立変数として重回帰分析を行った。さらに、疲労破壊回数のばらつきを考慮できるような規準式を検討した結果、式(1)に示す疲労破壊規準式を提案した。

$$\log N_f = 6.123 \log VFA - 4.594 \log \epsilon - 0.7000 \log S_{mix} + 7.551 + \log(1 + a * b) \quad (1)$$

ここで、

N_f : 混合物層の曲げ疲労破壊回数 (回)

VFA : 混合物の飽和度 (%)

S_{mix} : 曲げスティフネス (MPa)

: 曲げ疲労試験時のひずみ ($\times 10^{-6}$)

: 変動係数 (%)

b : パーセントイル値に対応するシフト量

式(1)より算出したアスファルト安定処理混合物、粗粒度アスファルト混合物、密粒度アスファルト混合物の破壊回数とひずみの関係を図 12 に示す。

4.2.2 疲労寿命計算手法の検討

美々新試験道路での疲労ひび割れ発生時期と、室内試験結果を基に作成した破壊規準式とマイナー則によって算定した疲労破壊年数との比較を行い、力学的な理論に基づく疲労ひび割れ発生予測手法の妥当性について検討を行った。検討手順のフローを図13に、解析に用いた舗装体モデルを図14に示す。

経時的な累積ダメージを各断面について算出した結果を図15に示す。各々の交通断面のダメージは年数の経過に伴って累積し、A交通断面とT1-1断面が最初に約5年経過時点で累積ダメージが1となり、混合物層底面に疲労ひび割れが発生する状態になると算定された。

4.2.3 疲労寿命予測の妥当性検証

図15から各断面の累積ダメージが1となり混合物層底面に疲労ひび割れが発生する状態となるまでの年数を算出した結果と、美々新試験道路において実際に路面に疲労ひび割れの発生が観測された時点の経年数を表1に合わせて示す。疲労破壊年数の計算値が小さい断面ほど実際に路面に疲労ひび割れの発生が観測されている傾向にあり、観測値と計算値との差は約3年~+6年であることが分かる。計算では混合物層底面に疲労ひび割れが発生する時期を算定しているが、実際に疲労ひび割れの発生が観測されるのは路面にひび割れが進展した時であり、その間の時間差がこの差を生じた要因の一つと考えられる。

室内試験結果からは、疲労破壊回数が変動係数20~60%程度のばらつきを有することがわかっており、仮に、疲労破壊年数のばらつきも変動係数40%程度の正規分布に従うと仮定した場合の平均±の範囲は表1に示すとおりである。A交通断面とT1-1断面については、平均±の範囲内に観測された疲労破壊年数が入っていないが、B交通断面とT2-1断面とT1-2断面では平均±の範囲内に収まっており平均値に近い値を示している。

以上の事から、本手法のように現地の様々な環境条件や材料の特性値を適正に把握して力学的な手法に反映すれば、平均±の範囲内もしくは約3年~+6年の誤差範囲で疲労破壊年数を推定することが可能であることが実証できた。舗装の疲労破壊現象が確率的な事象であり、観測値と計算値の差はある程度発生することを踏まえれば、本手法は概ね妥当な手法と評価できる。

5. まとめ

5.1 高耐久性舗装材料と工法の適用技術

トンネル内コンポジット舗装の追跡調査から良好な供用性を示す結果を得た。

5.2 寒冷地舗装の設計方法

舗装体下面に発生する実測ひずみは、解析ひずみと近似した結果が得られ、理論的設計方法の妥当性が検証された。融解期における路床は、凍結融解の影響から路床土が緩み、通常期と比較し支持力の低下が見られる。路床の圧縮変形に影響を与えるのはダンプロックの後輪部の影響が大きいことが確認された。また、路床が凍結している厳冬期は、舗装体や路床に与えるダメージは小さいことが確認された。

5.3 舗装疲労寿命予測手法

疲労破壊年数の計算値が小さい断面ほど実際に路面に疲労ひび割れの発生が観測されている傾向にあり、平均±の範囲内もしくは約3年~+6年の誤差範囲での疲労破壊年数の算定は可能であると評価できる。4点曲げ疲労試験から得られる破壊規準式と層構造解析と各種の現地データを適切に組み合わせることで、舗装の寿命解析はある程度理論的に推定が可能であることが実証できた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装性能評価法、p10、平成18年1月

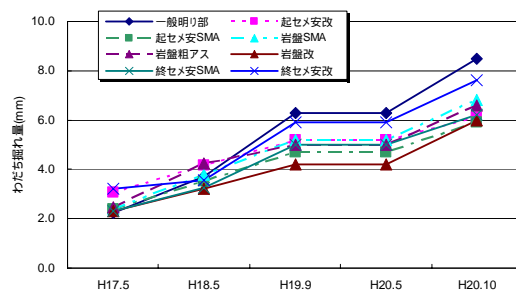


図1 コンポジット舗装のわだち掘れ量

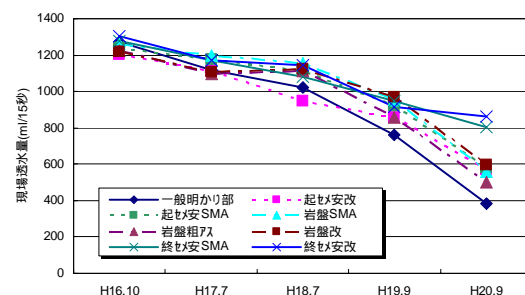


図2 コンポジット舗装の
表層排水性混合物の透水係数

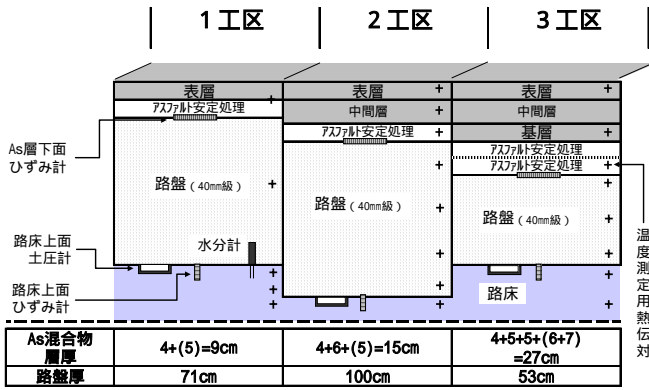


図3 試験施工断面図

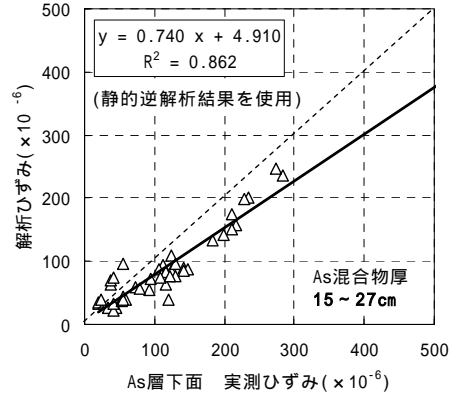


図4 実測ひずみと解析ひずみの比較(静的)

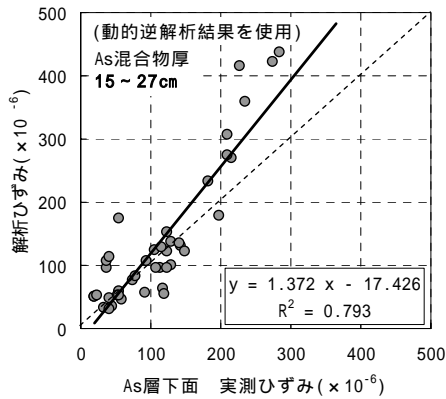


図5 実測ひずみと解析ひずみの比較(動的)

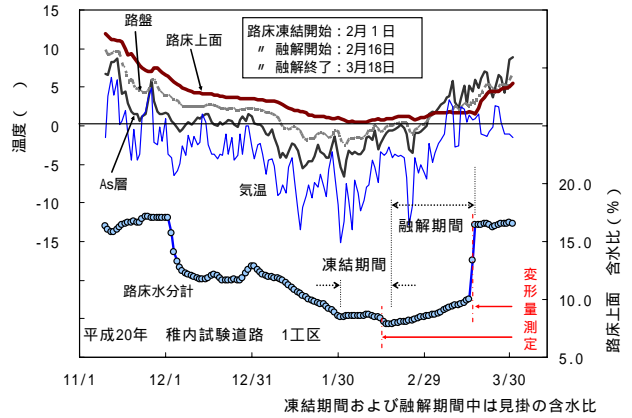


図6 試験施工箇所の土中温度および含水比

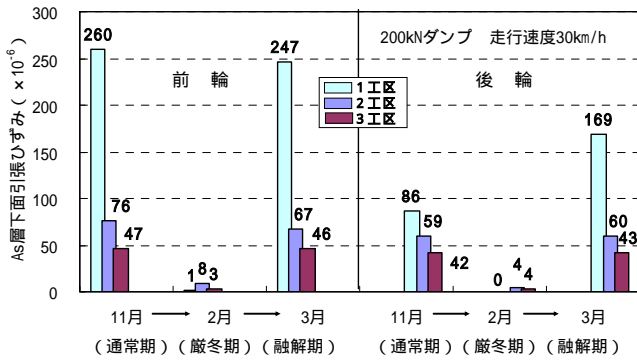


図7 As層下面の引張ひずみ(走行試験)

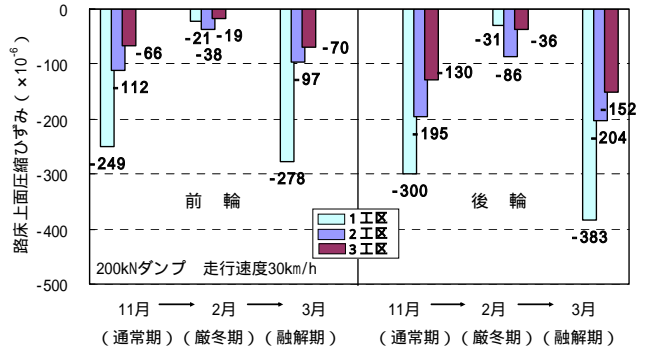


図8 路床上面の圧縮ひずみ(走行試験)

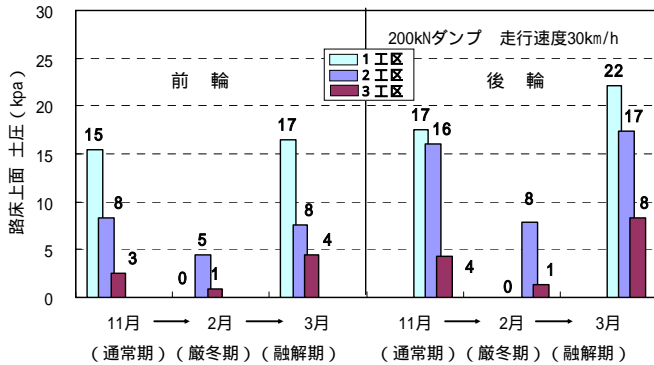


図9 路床上面の土圧(走行試験)

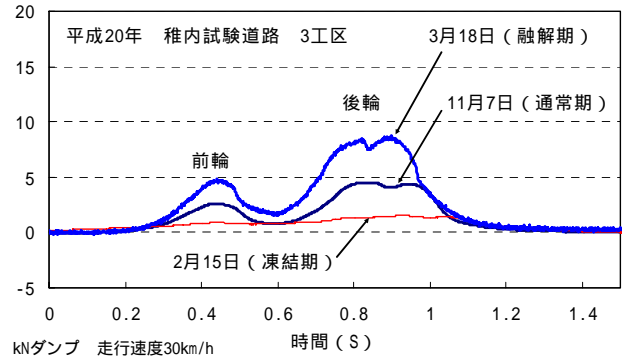


図10 路床上面の土圧(走行試験)



図 11 美々試験道路の疲労ひび割れ発生状況

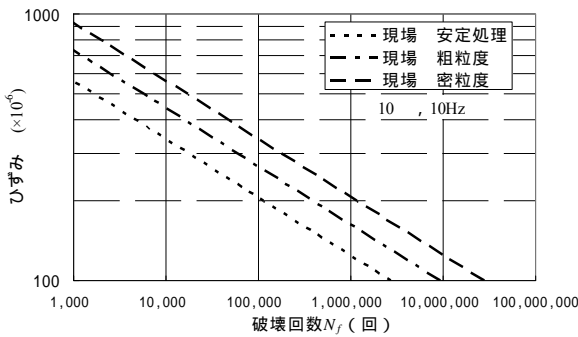


図 12 重回帰分析結果

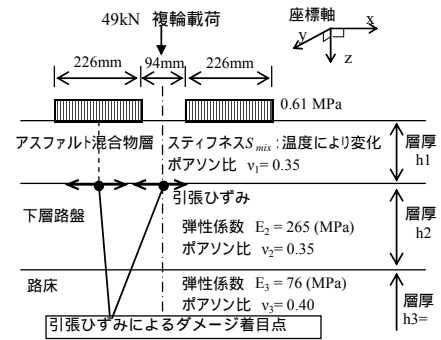


図 14 解析に用いた舗装体モデル

- 1) 車両重量測定 (49kN換算輪数)
- 2) 走行位置分布を設定
- 3) 走行位置分布毎の日通過49kN換算輪数を設定
- 4) 月平均舗装温度を設定
- 5) 舗装混合物のスティフネスを設定
- 6) 混合物層下面に生じる横断方向引張ひずみの計算
断面毎の各月における走行位置ごとのひずみを計算
- 7) 疲労曲線の設定
室内試験から作成した規準式
- 8) ひずみレベル毎の疲労破壊回数の計算
- 9) マイナー則による累積ダメージの計算
走行位置, 舗装体温度の期間日数を考慮
9-1 日当り累積ダメージの計算
9-2 経年的累積ダメージの計算
- 10) 疲労破壊年数の算定

図 13 力学的な手法の手順

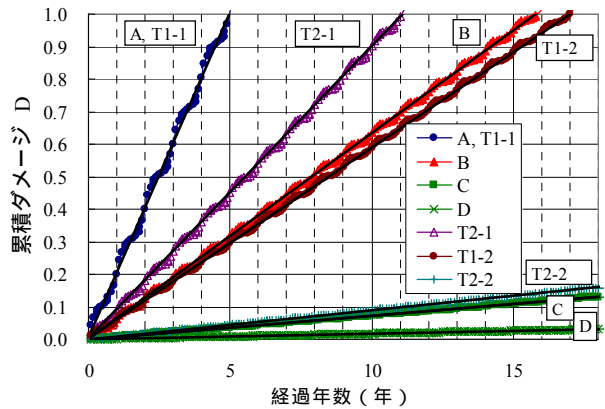


図 15 累積ダメージの経年変化

表 1 計算値と実際の疲労破壊年数の比較

断面	疲労破壊年数 (年)		試験道路に おける観測値	平均値 との差 (年)
	マイナー則による計算値 (平均-) ~ 平均値 ~ (平均+)			
A	3 ~ 5 ~ 7		10.6	5.6
T1-1	3 ~ 5 ~ 7		10.6	5.6
T2-1	6.7 ~ 11.1 ~ 15.5		10.6	-0.5
B	9.5 ~ 15.9 ~ 22.3		13.3	-2.6
T1-2	10.2 ~ 17 ~ 23.8		-	-
T2-2	67.4 ~ 112.3 ~ 157.2		-	-
C	82.2 ~ 137 ~ 191.8		-	-
D	352.9 ~ 588.2 ~ 823.5		-	-

STUDY ON MEASURES AGAINST PAVEMENT DETERIORATION IN SNOWY, COLD REGIONS

Abstract : This study addresses the development of asphalt pavement designs that are adopted to the thermal and soil conditions of cold, snowy regions, and the use of new pavement materials and pavement methods that afford improved pavement performance. The performance of proposed composite pavement structure has been evaluated by data from test sections in service. In order to establish a multilayer elastic theory for cold and snowy regions, the strain of asphalt pavement layer was examined. This is based on FWD measurement results obtained from pavement testing on the major national roads in Hokkaido. It is shown that calculated strain is good approximation of the measured strain. Also, dump-truck loading test was conducted in winter to evaluate the behavior of pavement structures during midwinter and thawing period. Characteristic of fatigue breaking of pavements is key issue to improve the durability of pavements. It is verified that the life of pavement structure can be estimated by the fatigue standard equation which is obtained from the four-point bending fatigue breaking test, the multilayer structural analysis and data from field tests.

Key words : pavement design, high-performance materials and methods