

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：熊谷政行、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。トンネル内の舗装に関して、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の追跡調査を行うとともに、骨材露出工法の適用に関して試験施工と現地調査を実施した。寒冷地舗装の設計法に関しては、一般国道 238 号稚内市および苫小牧寒地試験道路に整備した試験施工区間において、FWD 試験機や総重量 20t ダンプトラックの動的載荷によるアスファルト混合物層下面のひずみや路床上面の圧縮ひずみを測定し、舗装体の挙動を検証した。舗装の疲労寿命予測に関しては、疲労寿命予測の計算を効率的に実施できるよう、疲労寿命計算システムを作成した。

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

高規格幹線道路におけるトンネル内の舗装構造の今後のあり方を再検討するため、コンポジット舗装構造の追跡調査を行うとともに、コンクリート舗装の骨材露出工法に関して試験施工を行い、計画準備段階、施工段階、施工後の各段階でデータ収集および検討を行った。なお、骨材露出工法とは、コンクリート舗装表面のセメントモルタルを舗設後硬化する前に何らかの方法で除去し、粗骨材を露出させる表面処理工法である。

2.2 調査研究の成果

2.2.1 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、旭川の愛別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 5 年経過しているがわだち掘れ量は図 1 に示すように 10mm 程度と依然良好な状態を維持している。表層混合物である排水性混合物の現場透水量を図 2 に示すが、500 (ml/15 秒) 程度まで低下する箇所が部分的に見られているものの、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される。

2.2.2 骨材露出工法に関する検討

(1) 計画準備段階における検討

骨材を露出させる方法として 2 種類の骨材露出工法

を検討した。一つは、コンクリート打設・平坦性仕上げ後に、表面に凝結遅延剤を散布し、一定時間経過後、表面モルタルが未硬化状態の時に回転ブラシなどで削り取る方法(以下、遅延剤+ブラシ方式という)であり、もう一つはコンクリート打設後、コンクリートモルタルが完全に硬化する前に表面モルタルをショットブラストによって除去し骨材を露出する方法(以下、若材齢時ショットブラスト方式という)であり、各々の方式の概要を表1に示す。若材齢時ショットブラスト方式はこれまでに同様の施工実績がなく新たな取り組みとして実施した。

コンクリートの配合は骨材露出の仕上がり状態に影響を与えるため、骨材最大粒径、細骨材率、水セメント比に着目して検討を行った。標準的なコンクリート舗装用コンクリートの最大骨材粒径は40mmと決められているが、室内で配合試験を行った結果、骨材露出面積比率を高め表面のきめの仕上がりを均一にするために最大骨材粒径は20mmとし、細骨材率や水セメント比などの配合は表2に示すとおりとした。

(2) 施工段階での検討

骨材露出工法の施工段階では、騒音調査、粉じん測定などを実施した。測定対象となる作業機械が運転している間の10分間の等価騒音レベル L_{Aeq} を積分型精密騒音計で測定した結果を表3に示す。遅延剤+ブラシ方式の騒音値と、若材齢時ショットブラスト方式の騒音値には大きな差がない。なお、参考として示したコンクリートフィニッシャ打設時の騒音は、いずれの骨材露出工法よりも大きいことから、骨材露出工法を行うがために騒音が問題となることは考えにくい。次に、作業環境粉じん測定結果を表4に示す。遅延剤+回転ブラシ工法の粉じん濃度は管理濃度以上であり、作業中はマスクの着用が望ましい。一方、若材齢時ショットブラスト工法の発生粉じん濃度は0.01mg/m³程度と管理濃度を大幅に下回っている。以上のことから、若材齢時ショットブラスト工法は、遅延剤+ブラシ方式に比べて作業環境における粉じん濃度が低く、作業環境が良好であることが分かった。

(3) 施工後の調査

路面のきめ深さの測定結果の平均値を表5に、測定結果をヒストグラム表示したものを図3、図4に示す。骨材露出路面のきめ深さの目標値としては、①サンドパッチで1.5±0.2mm、②MTMで0.45mm以上を目安に施工を行ったが、遅延剤+ブラシ方式のMTMによる測定値が0.43と仕上がり目標値である0.45をわずかに下回っている以外は目標を満足していることが確認で

きた。また、湿潤時のすべり摩擦係数(60km/h時)をDFテストにより測定した結果、遅延剤+ブラシ方式のすべり摩擦係数は0.47、若材齢時ショットブラスト方式の路面は0.69であり、すべり摩擦係数の目安となる0.25以上を十分に満足しており、良好な路面であると判断された。特に、若材齢時ショットブラスト方式の路面は、ショットブラストによって骨材表面に細かな凹凸が出来たためすべり摩擦係数が高くなったものと考えられる。

3. 寒冷地舗装の設計方法

3.1 調査研究の方法

図5、6に示す一般国道238号稚内市、苫小牧寒地試験道路の試験施工箇所において、FWD試験機および総重量20tダンプトラックによる動的載荷試験を実施し、融解期における舗装体の支持力低下について検討した。

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。

2箇所の試験施工箇所において、融解期における舗装体の支持力低下について検討した。

3.2.1 FWD試験による舗装体の支持力評価

稚内工区において通常期(11月)および融解期(3月)に実施した、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。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 μ mおよび18 μ m、通常期より大きい値を示し、舗装全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。2工区は置換厚が他の工区より20cm厚いため、路床まで凍結が入らなかったことが要因と考えられる。

3.2.2 ダンプトラックによる舗装体の支持力評価

図-8に稚内工区における通常期と融解期に実施した、総重量20tダンプトラックの後輪載荷時の路床上面の圧縮ひずみを示す。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工区における路床上面の圧縮ひずみは、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。

図-9に総重量20tダンプトラックが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事で、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。

3.2.3 路床材料の違いによる舗装体の支持力評価

苫小牧寒地試験道路における、総重量20tダンプトラックによるアスファルト混合物層下面の引張ひずみと路床上面の圧縮ひずみの舗装平均温度別の値を図10, 11に示す。調査は施工直後の平成20年11月および翌年の3, 2, 12月に実施した。なお、苫小牧寒地試験道路の1工区には、融解期の支持力低下を想定し、CBR=2の工区を設定している。

路床の強度が異なる1工区(CBR=2)と2工区(CBR=30)について、路床上面の圧縮ひずみに大きな差が見られるが、アスファルト混合物層下面に発生する引張ひずみにはあまり差がない。

路床上面に発生する圧縮ひずみは、路床の強度に大きく影響するが、アスファルト混合物層下面に発生する引張ひずみに及ぼす路床の強度の影響は小さいことが明らかとなった。

4. 舗装疲労寿命予測手法の検討

4.1 調査研究の方法

前年度に妥当性が確認された疲労破壊寿命の計算を効率的に実施し技術者の労力を軽減するために、疲労寿命計算システム(任意断面の疲労寿命予測システム)を試作した。

4.2 調査研究の成果

任意に舗装厚、材料、温度条件を設定して舗装構造の疲労寿命を計算するシステムを作成した。図12にシステムの計算フローを、図13と図14に起動画面および各種条件値の入力画面を、図15に出力結果を示す。最初に、図13の画面において、舗装の層数、各層の材料条件や温度によるスティフネス変化などの入力条件を設定する。続いて、図14の画面において輪荷重や走行位置分布などの交通条件や使用する破壊規準式の設

定などを行い、自動計算を開始すると、ダメージ計算が実行され、図15に示すように破壊年数が算出される。なお、疲労寿命の予測には、積雪寒冷地の混合物に対する試験から設定した破壊規準式を用いる方法の他、舗装設計便覧に示された破壊規準式や繰り返し曲げ試験等の室内試験結果を用いて規準式を独自に設定することも可能とするなど柔軟性を持たせてある。

5. まとめ

5.1 高耐久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が良好な供用性を示していることを追跡調査によって確認した。

また、骨材露出工法に関して、遅延剤+ブラシ方式と若材齢時ショットブラスト方式の2種類を試験施工し、計画・準備段階、施工段階で検討が必要となる項目を整理し、規定値などを適切に設定することで、所定の仕上がりを確保できた。骨材露出工法は、わだち掘れ量・平坦性ともに問題はなく、きめ深さも目標をおおむね満足しており良好な仕上がりであったと考えられる。また、すべり摩擦係数も良好である傾向が確認できた。

5.2 寒冷地舗装の設計方法

融解期における凍結融解の履歴を受けた路床は、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。融解期の路床は通常期と比較して荷重分散効果が変化する事で、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。

路床上面に発生する圧縮ひずみは、路床の強度の影響が大きく、アスファルト混合物層下面に発生する引張ひずみに及ぼす路床の強度の影響は、小さいことが明らかとなった。

5.3 舗装疲労寿命予測手法の検討

疲労寿命予測の計算を効率的に実施できるよう、疲労寿命計算システムを作成した。

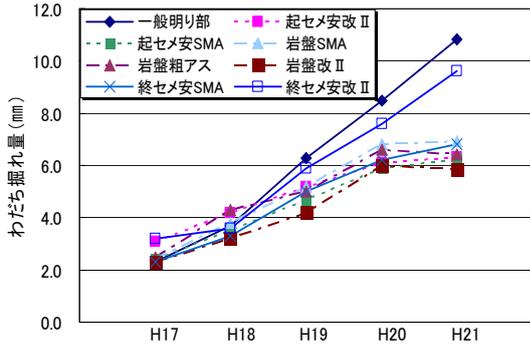


図1 コンポジット舗装のわだち掘れ量

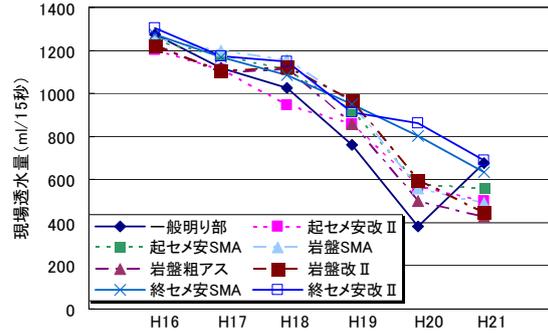


図2 コンポジット舗装の表層排水性混合物の透水係数

表1 骨材露出方式の概要

区分	遅延剤散布+ブラシ方式	若材齢時ショットブラスト方式
概念図		
施工手順	下層C。打設敷均 → 鉄網設置 → 上層C。打設敷均 → 締固め平坦仕上 → ホウキ粗面仕上 → 遅延剤散布 → ブラッシング → マット養生 ※遅延剤の流失抑制のため	下層C。打設敷均 → 鉄網設置 → 上層C。打設敷均 → 締固め平坦仕上 → ショットブラスト → マット養生
工法概要及び特徴	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート打設後に凝結遅延剤を散布して表面付近のモルタルの硬化を遅らせ、ブラシによってモルタルを除去して骨材を露出させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 遅延剤を用いずに、表面のモルタルが完全に硬化する前(若材齢時)にショットブラストによって表面モルタルを除去し、骨材を露出させる。 ブラシ方式に比べ施工手順が簡素。 センターラインを挟んで横断勾配が変化する場合などでも対応が容易。
施工上の留意点	<ul style="list-style-type: none"> 施工時の気象条件(温度、湿度、風)により露出作業開始のタイミングが変化するため、タイミングの把握が重要。 遅延剤の種類に応じて、露出作業開始のタイミングや散布量などを適切に設定する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工時の気象条件(温度、湿度、風)により露出作業開始のタイミングが変化するため、タイミングの把握が重要。 ブラストの投射強度を適切に設定する必要がある。

表2 コンクリートの配合

骨材露出方式	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	最大骨材粒径 (mm)	細骨材率 (%)
遅延剤+ブラシ	2.5	4.5	41.5	20	33
ブラスト	2.5	4.5	43	20	38

表4 粉じん測定結果

測定方式	測定位置		管理濃度 (mg/m ³)	管理区分判定
	A測定結果 E _A (mg/m ³)	B測定結果 E _B (mg/m ³)		
遅延剤+ブラシ方式	0.81	1.3	0.39	第3
若材齢時ショットブラスト方式	0.01	0	0.16	第1

表3 騒音測定結果

測定方式	測定位置	機械近傍 (dB (A))	機械から30m 離れ (dB (A))
	遅延剤+ブラシ方式		90.7
若材齢時ショットブラスト方式		90.2	85.1
(参考) Conフィニッシャ打設時		97.3	90.5

表5 きめ深さの調査結果

路面区分	きめ深さ 平均値			
	砂拡大法 (mm)	サンドパッチ (mm)	CTメータ (mm)	MTM (mm)
遅延剤+ブラシ	1.65	1.34	1	0.43
若材齢時ショットブラスト	1.78	1.61	1.15	0.65
目標値	1.5±0.2mm			0.45以上

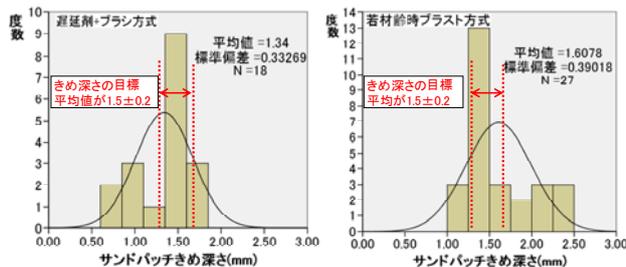


図3 サンドパッチ測定結果のヒストグラム (左図: 遅延剤+ブラシ、右図: ショットブラスト)

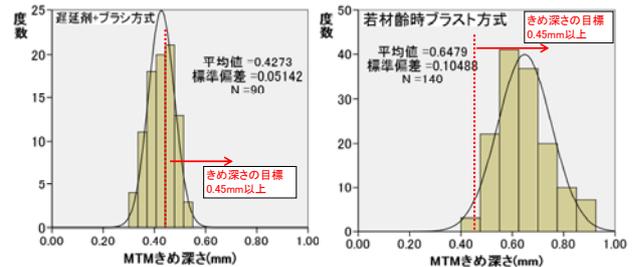


図4 MTM測定結果のヒストグラム (左図: 遅延剤+ブラシ、右図: ショットブラスト)

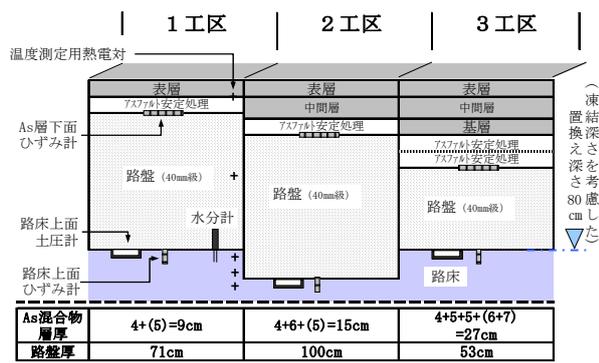


図5 試験施工断面 (稚内工区)

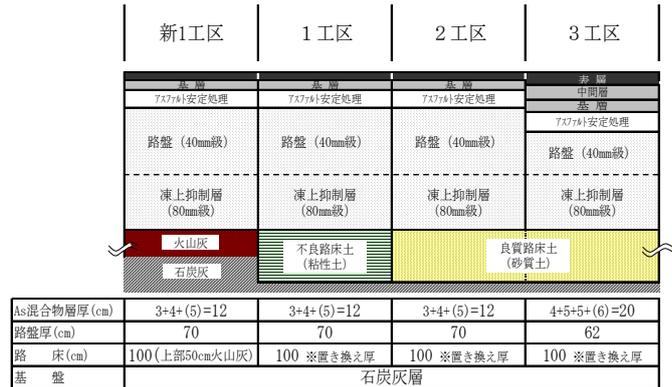


図6 試験施工断面 (苫小牧工区)

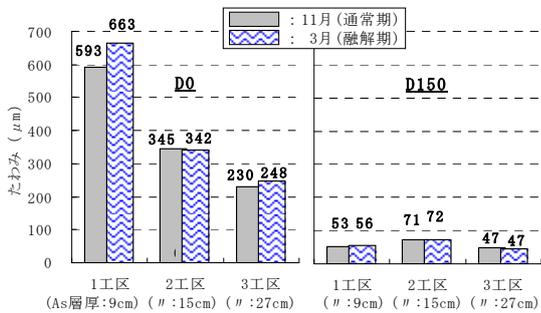


図7 FWD試験によるたわみ量 (稚内)

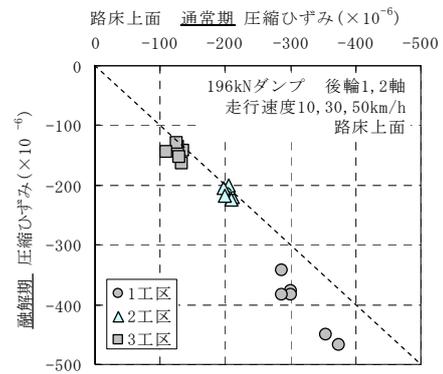


図8 路床上面の圧縮ひずみ (稚内)

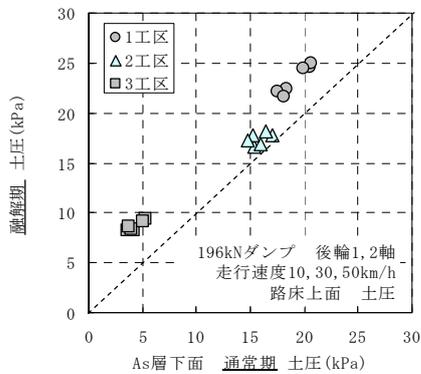


図9 路床上面の土圧 (稚内)

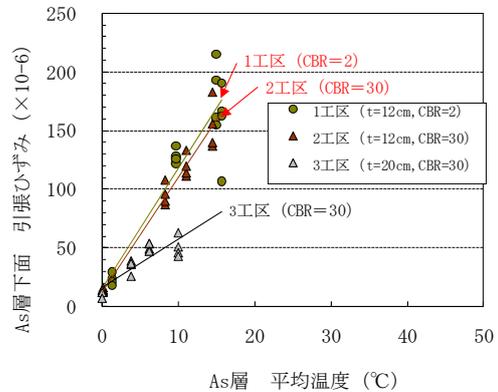


図10 As層下面の引張ひずみ (苫小牧)

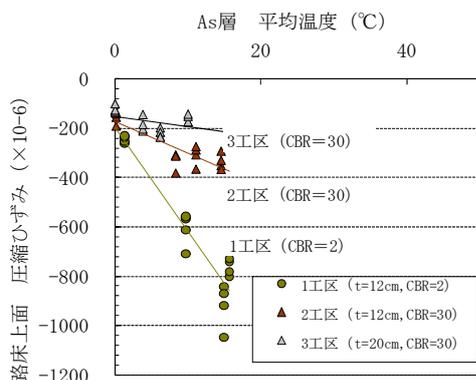


図11 路床上面の圧縮ひずみ (苫小牧)

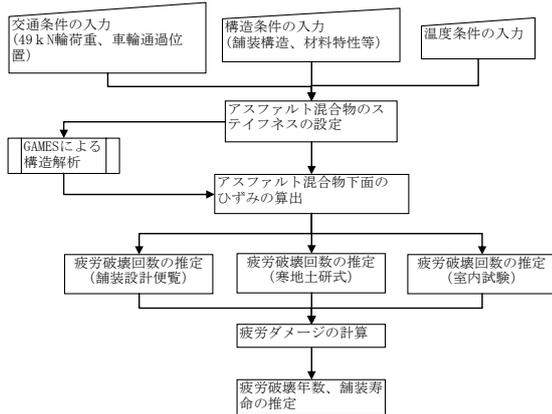


図12 任意断面の疲労寿命予測システムの流れ



図13 任意舗装断面の疲労寿命予測システムの起動画面



図14 車両走行位置分布等の入力画面

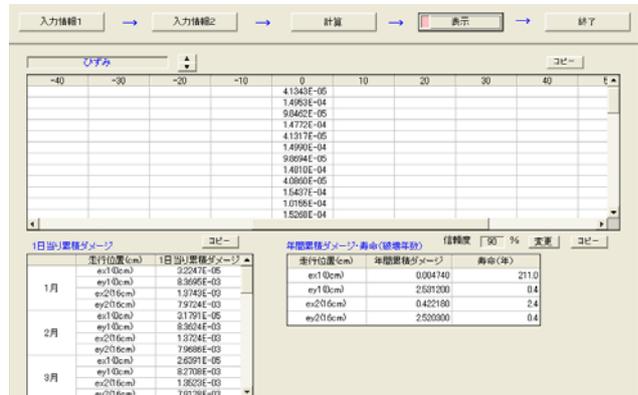


図15 計算結果出力画面

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 follow-up survey for performance of composite pavements in tunnels has been done. The aggregate exposed method was tested in the field, and the performance was evaluated. For the pavement design, the strain of asphalt pavement layer was examined with FWD and a truck-loading test in the test sections in service. Furthermore, the fatigue-life analysis system, which estimates pavement life effectively, has been established.

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