

## 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

### 【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。平成 18 年度、19 年度は、大粒径混合物(最大骨材粒径 30mm)が積雪寒冷地での適用可能であることを室内試験において確認し、実際の運用を想定した断面のコスト縮減効果を検討した。また、コンクリート版の上にアスファルト層を舗装する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、ダンプトラックと FWD 試験機の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、FWD 試験の載荷時に測定される表面たわみ値を逆解析し、舗装各層の弾性係数を算出した。得られた弾性係数の結果から、積雪寒冷地における理論的設計法に適用可能なアスファルト混合物の弾性係数と舗装体温度の関係の近似式が得られた。積雪寒冷地での舗装の長期供用性調査から、混合物層最下層の混合物種類を工夫することで、舗装構造の耐久性向上を図ることができることが示された。疲労破壊特性に関しては、温度が疲労破壊回数に影響を与えることや、疲労破壊特性の評価に散逸エネルギーの概念が有益であること、混合物の配合によって疲労破壊回数は統計的に有意な差を生じ、安定処理<粗粒度<密粒度の順に破壊回数が大きい傾向にあること、混合物の飽和度が高くなると破壊回数が大きくなる関係にあることを確認した。

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、これまでにも、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

大粒径混合物の積雪寒冷地での適用性を室内試験において確認し、大粒径混合物を基層、および上層路盤に適用した場合の舗装構成を検討する。大粒径混合物を使用した断面のコスト縮減効果を検討する。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

##### 2.2.1 大粒径混合物の積雪寒冷地での適用性評価

大粒径混合物を表層混合物に使用した場合と、排水性混合物を表層とした場合に基層混合物として使用する場合の適用性について室内試験によって検討を行っ

た。その結果、大粒径混合物は耐摩耗性や凍結融解抵抗性が粗粒アスファルト混合物に比べ高く、かつ密粒混合物(13F)と比べても遜色がない(図1, 2)。すべり抵抗性やホイールトラッキング試験結果なども良好な結果であり、表層混合物として使用した場合でも大きな問題が無いと思われる。また、排水性混合物を表層とした基層混合物として使用する場合の層間接着力も従来の粗粒度アスファルト混合物と比べて遜色がない(図3)。これらの結果から、大粒径混合物の積雪寒冷地での適用が十分に可能と考えられる。

$T_A$ 法を使って大粒径混合物の等値換算係数を1.0として舗装構成を検討した。交通量区分N6において、10年および20年設計共に大粒径混合物に置き換えた断面は混合物層を薄くすることができ(図4)、交通量区分N6およびN7においては、道路設計施工要領に記載されている断面より、15~20%程度のコスト縮減が可能である(図5)。

### 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3年経過しているがわだち掘れ量が6mm以下と良好な状態を維持している(図6)。また、表層混合物である排水性混合物の現場透水量は800(ml/15秒)以上、FWD追跡調査結果も良好であり、高規格幹線道路トンネル内のコンポジット舗装は機能的にも構造的にも問題点は確認されなかった。なお、トンネル坑口部での雪の引き込みや路面水分調査を実施した結果、坑口から200m程度が水分の影響範囲であり、トンネル内舗装の温度計測結果ではトンネル内の舗装は25℃を上回ることが無く(図7)、明かり部に比べて流動わだち掘れが生じにくいと考えられることから、坑口から200m以上内部に使用する表層混合物や基層混合物を、現在提案している舗装混合物よりも水密性および耐流動性の性能を落としてコスト縮減を図る検討の余地が認められた。

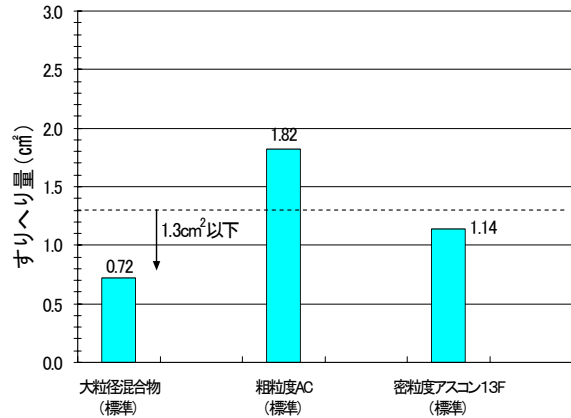


図1 大粒径混合物の耐摩耗性

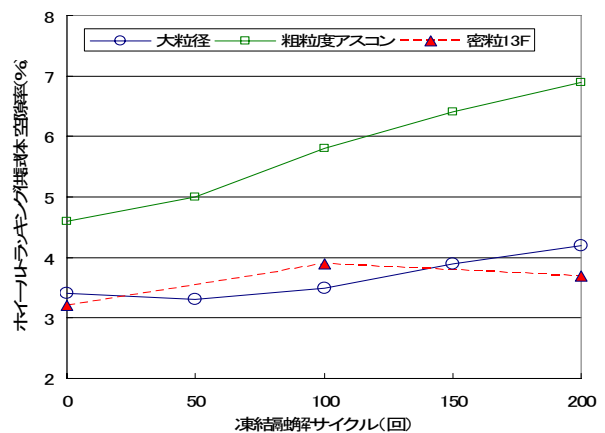


図2 大粒径混合物の凍結融解抵抗性

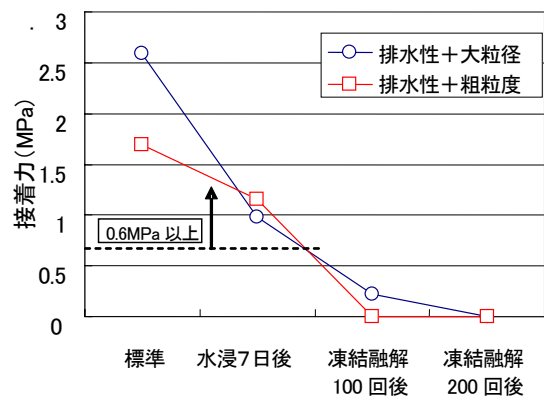


図3 排水性混合物との層間接着力

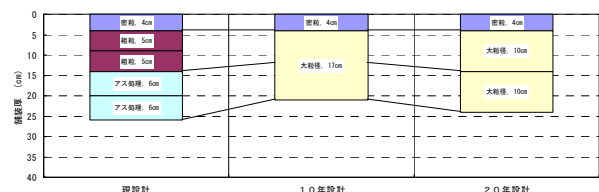


図4 交通区分N6における検討断面

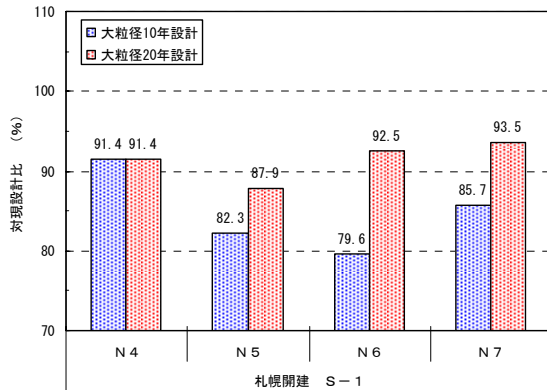


図5 現場(札幌)における建設コスト比較

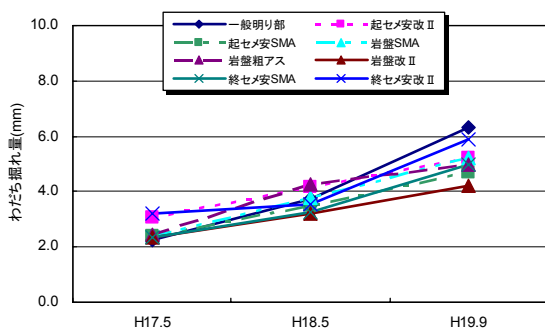


図6 コンポジット舗装のわだち掘れ量

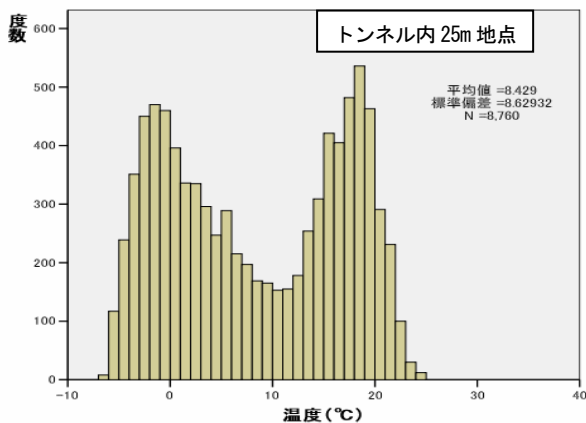


図7 トンネル内基層表面の温度年間出現時間

### 3. 寒冷地舗装の設計方法

#### 3.1 調査研究の方法

一般国道 238 号試験施工区間(図 8)で、ダンプトラックと FWD の载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 FWD 载荷時に測定される表面たわみ値を逆解析し、舗装各層の弾性係数を算出した。得られた弾性係数は温度条件毎に整理し、舗装体温度と弾性係数の関係をと

りまとめた。また、舗装構成厚さや混合物種類や構造設計手法の違いがアスファルト舗装の長期供用性や耐久性に与える影響に関して、実際に供用中の美々試験道路を対象とした長期間の追跡調査結果から検討を加えた。

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<sup>1)</sup>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 FWD の初期たわみ量 (D0) を測定し、データの補完を行った。

構造的な耐久性向上策として疲労破壊特性の向上が挙げられるが、その評価方法に関する検討を室内試験により実施した。また、混合物の疲労破壊特性を把握するため、温度が破壊回数に与える影響や散逸エネルギー概念の適用について検討した。美々試験道路から現場採取した試料の破壊回数の差、ばらつき、混合物配合と破壊回数の関連性について検討した。

#### 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载荷され、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 動的载荷によるひずみの実測値と解析値の比較

FWD と車輛総重量を 20 t に载荷したダンプトラックを利用して载荷を行い、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 9 に FWD 载荷による舗装体下面に発生する実測及び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た。ただし、舗装厚が薄い区間では、解析値と比較し実測値が大きくなる傾向がみられる。図 10 に FWD 载荷による路床上面に発生する実測及び解析ひずみの関係を示す。路床上面の圧縮ひずみについても同様に舗装厚が薄い区間以外は近似したデータが得られた。

以上より、実測ひずみと解析ひずみの関係を比較すると、舗装厚の薄い工区以外ではほぼ近似する結果が得られることが確認された。

アスファルト舗装では舗装体温度が上昇すると、ア

スファルトの粘性の影響を受けるため、弾性理論と異なる挙動を示す。すなわちアスファルト混合物の弾性係数は高温では小さく、低温では大きくなる。アスファルト混合物の弾性係数は、舗装設計便覧<sup>2)</sup>に示されている弾性係数の範囲におおむね収まる結果となった(図 11)。また、得られた近似式からアスファルト混合物の弾性係数の選定に使用可能である。また、路盤および路床の弾性係数は、温度の影響を受けておらず、逆解析で得られた弾性係数の範囲は舗装設計便覧<sup>2)</sup>に示されている弾性係数の範囲に収まっていた(図 12)。

### 3.2.2 積雪寒冷地での舗装の長期供用性調査検討

舗装構成厚さや混合物種類や構造設計手法が異なる 8 つのアスファルト舗装断面からなる美々試験道路(図 13)において、平成 2 年度から実施している長期供用性調査結果をとりまとめた。長期的なひび割れ推移は混合物層厚と混合物層最下層の混合物配合によって異なっており(図 14)、混合物層厚と混合物層最下層の混合物の配合が疲労ひび割れ発生時期に影響を与えることが確認された。最下層の混合物を工夫することで、舗装構造の耐久性向上を図ることができると考えられる。

疲労破壊輪数を求めるための推定式については、補完したデータにより推定式を算出すると既存式より低い値となり、今後更にデータを収集・補完して見直しを行う必要がある事が確認された。

### 3.2.3 混合物の疲労破壊特性に関する検討

温度を $-10\sim 30^{\circ}\text{C}$ まで変化させた場合のアスファルト安定処理の疲労破壊特性の変化を 4 点曲げ疲労試験により検討した。その結果、破壊回数は温度に影響され、 $20^{\circ}\text{C}$ 程度の時の破壊回数が最も小さくなる結果を得た(図 15)。この結果を散逸エネルギーと疲労破壊回数を対数軸とするグラフにプロットすると直線の高い相関があることが確認された(図 16)。このことは、温度やひずみレベルに関係なく同一の式で疲労破壊特性が評価できることを意味するものであり、疲労破壊特性の評価や破壊規準の作成に散逸エネルギーの概念を活用することが有益であることが分かった。

現場から採取した混合物はアスファルト安定処理混合物、粗粒度混合物、密粒度混合物の 3 種類であり、それらの疲労破壊回数はばらつきが認められ、混合物ごとに値の分布域が異なっていることがわかる(図 17)。安定処理、粗粒度、密粒度の破壊回数には有意水準 1%で統計的に有意な差があると判断しても差し支えない。破壊回数の平均値は、安定処理を 1 とすると、粗粒度は 4.3、密粒度は 7.7 であり(表 1)、アスファル

ト安定処理混合物の疲労破壊回数が最も少ない。

混合物の骨材間隙に占めるアスファルト容積率を表す飽和度(VFA)と疲労破壊回数の間には相関性が認められ、飽和度が高くなると破壊回数が大きくなる関係にある(図 18)。

美々試験道路での実道における調査によって、混合物層最下層の混合物の配合が疲労ひび割れ発生時期に影響を与え、最下層がアスファルト安定処理混合物の断面に疲労ひび割れが発生していることが確認されているが、室内試験による疲労破壊回数の差と符合しており、混合物の配合の違いが疲労破壊に影響を与えることが室内と現場の両方で確認された。

## 4. まとめ

### 4.1 高耐久性舗装材料と工法の適用技術

大粒径混合物の積雪寒冷地での適用可能性を確認し、適用の際の経済的な断面構成を提案した。トンネル内コンポジット舗装の追跡調査から良好な結果を得た。

### 4.2 寒冷地舗装の設計方法

実測ひずみと解析ひずみは近似した結果となることを確認した。また、逆解析から得られたアスファルト混合物の弾性係数と舗装体温度の関係の近似式が得られたことから、理論的設計方法に使用できるアスファルト混合物の弾性係数の選定が可能となった。

積雪寒冷地での舗装の長期供用性調査から、混合物層最下層の混合物種類を工夫することで、舗装構造の耐久性向上を図ることができると示された。

疲労試験では、温度は破壊回数に影響を与えることや、疲労破壊特性の評価等に散逸エネルギー概念が有益であることを確認した。また、採取した混合物の破壊回数は安定処理<粗粒度<密粒度の順に大きい傾向にあり、飽和度が高くなると破壊回数が大きくなるなど混合物配合も疲労破壊特性に影響することを確認した。

## 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
- 2) 日本道路協会：舗装設計便覧，p117, 118，平成 18 年 2 月

	1工区	2工区	3工区	4工区	5工区	6工区	7工区
	TA法による設計 2年設計 信頼性50%	多層弾性理論 (3年設計) TA法による設計 4年設計 信頼性50%	多層弾性理論 2.5年設計 信頼性50%	TA法による設計 20年設計 信頼性90%	多層弾性理論 2.0年設計 信頼性90%	TA法による設計 20年設計 信頼性90%	多層弾性理論 2.0年設計 信頼性90%
表層	表層	表層	表層	表層	表層	表層	表層
		アスファルト安定処理	密粒度アスコン	アスファルト安定処理	中間層	中間層	中間層
				アスファルト安定処理	密粒度アスコン	アスファルト安定処理	アスファルト安定処理
					中間層	中間層	中間層
					基層	基層	基層
					アスファルト安定処理	アスファルト安定処理	アスファルト安定処理
					アスファルト安定処理	アスファルト安定処理	アスファルト安定処理
路盤 (40mm級)	路盤 (40mm級)	路盤 (40mm級)	路盤 (40mm級)	路盤 (40mm級)	路盤 (40mm級)	路盤 (40mm級)	路盤 (40mm級)
As混合物層	5cm	(4+5=9cm)	(4+5=9cm)	(4+6+5=15cm)	(4+5+5+4=18cm)	(4+5+5+6+6=26cm)	(4+5+5+6+7=27cm)
路盤	75cm	71cm	71cm	100cm	62cm	60cm	53cm
As層+路盤 (舗装厚)	80cm	80cm	80cm	115cm	80cm	86cm	80cm

図8 試験施工箇所のアスファルト舗装断面

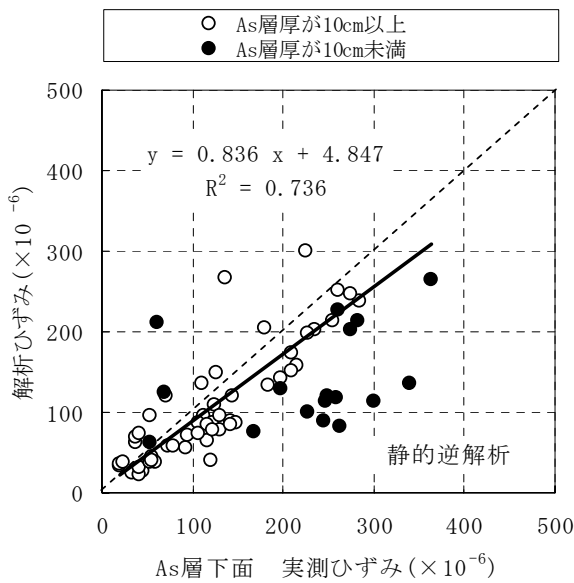


図9 FWD 荷荷による実測ひずみと解析ひずみの比較 (アスファルト舗装下面)

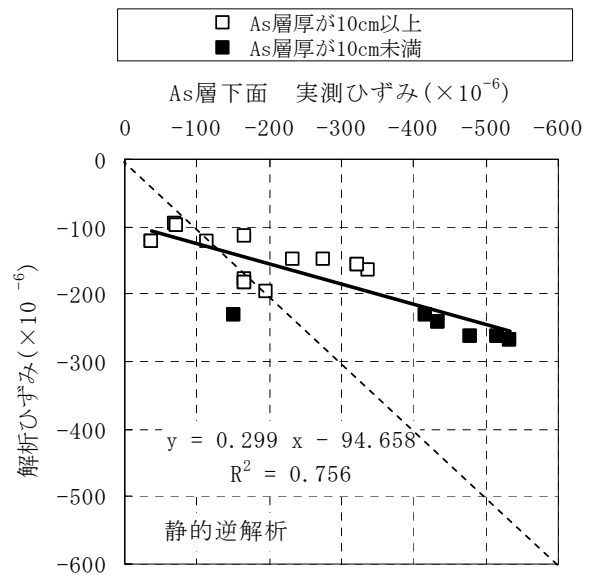


図10 FWD 荷荷による実測ひずみと解析ひずみの比較 (路床上面)

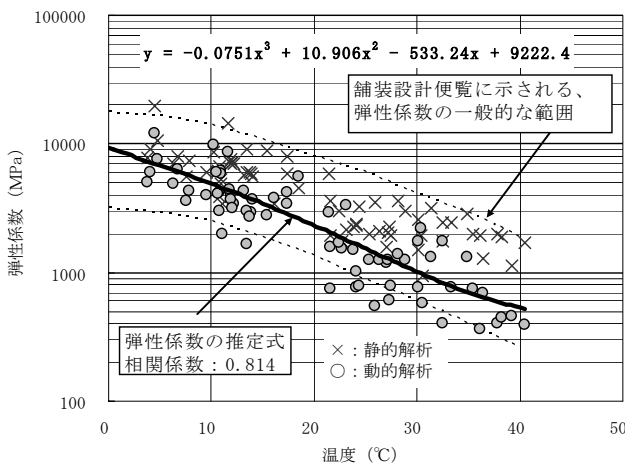


図11 アスファルトの弾性係数と舗装体温度の関係

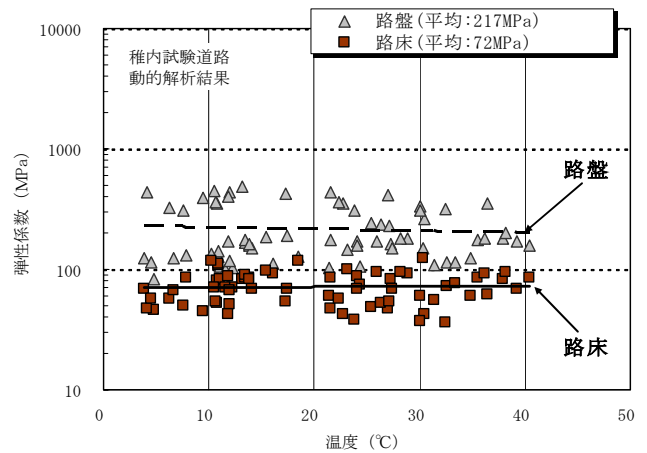


図12 路盤、路床の弾性係数と舗装体温度の関係



図 13 美々試験道路の疲労ひび割れ発生状況

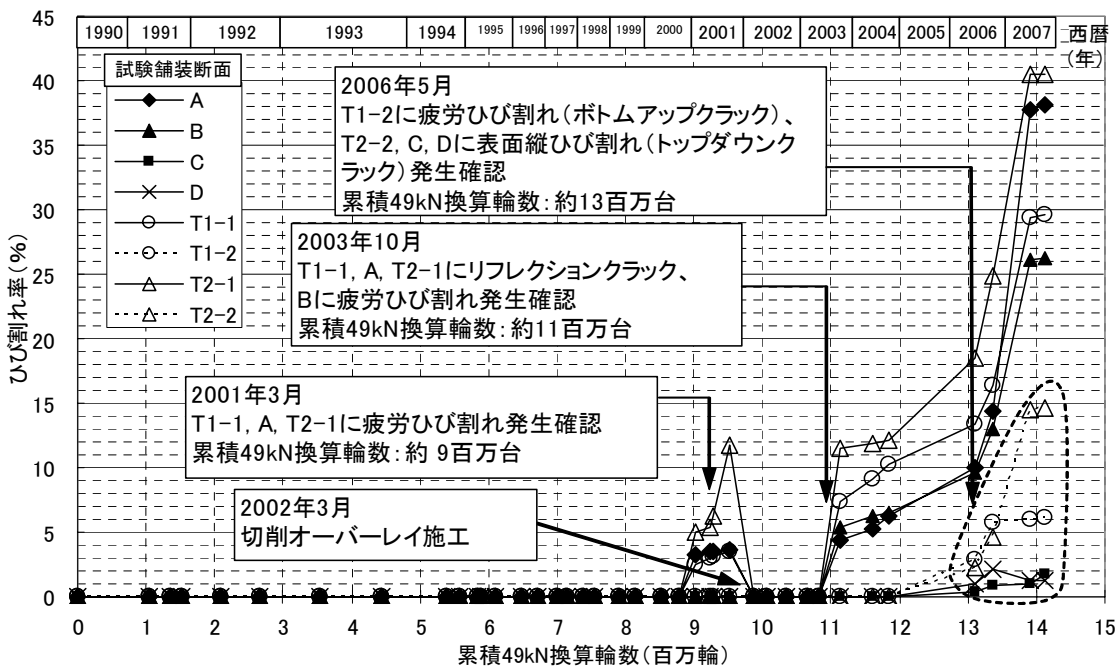


図 14 ひび割れ率の経時変化

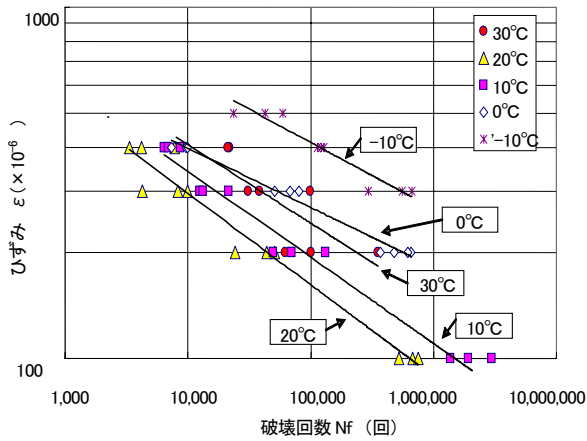


図 15 温度を変えた場合の破壊回数

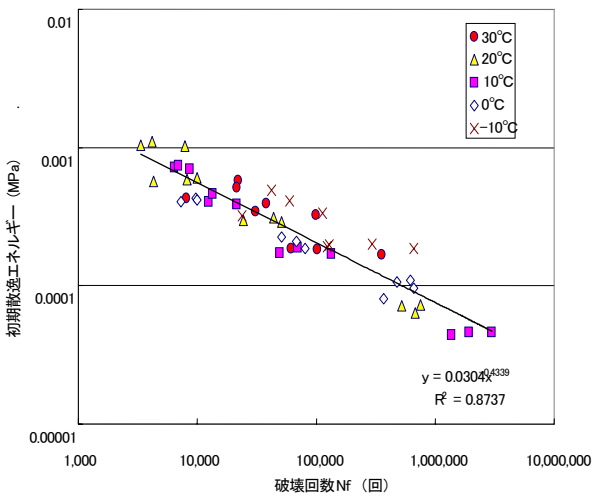


図 16 散逸エネルギーと疲労破壊回数の関係

表 1 300 μ の時の破壊回数平均値の比較

混合物種	現場採取供試体	
	破壊回数	比率
安定処理	18,478	1
粗アス	80,031	4.3
密粒	146,642	7.9

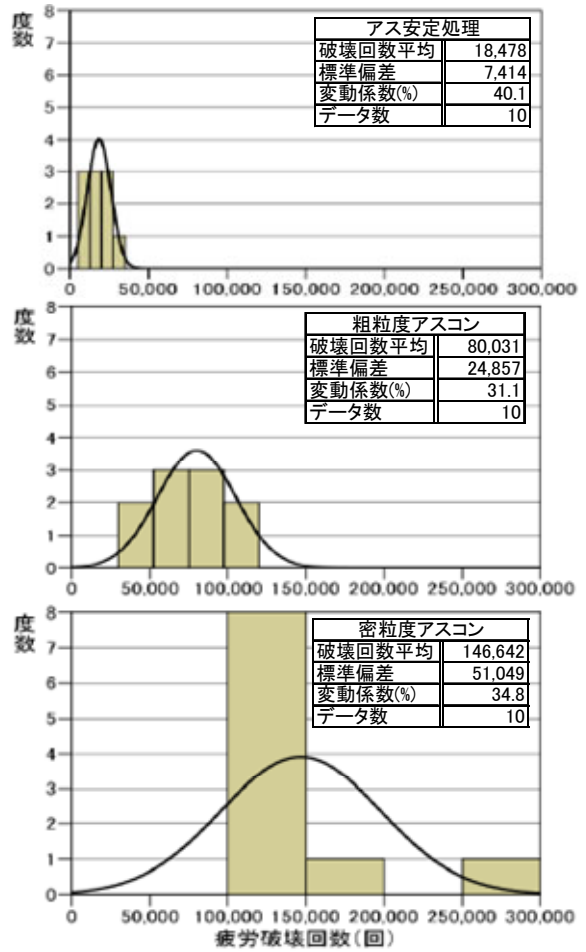


図 17 現場採取供試体の疲労破壊回数の度数分布

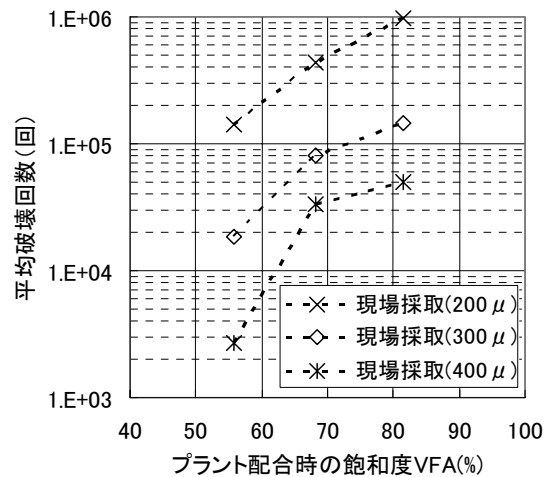


図 18 破壊回数と混合物の飽和度との関係

## 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. In the first and second fiscal year, the applicability of the large-grain asphalt mixture for snowy and cold condition has been evaluated by laboratory tests. A case study showed that the large-grain asphalt mixture could reduce an initial cost from 15 to 20 %. The performance of composite pavements has been evaluated by data from test sections in service. Characteristic of fatigue breaking of pavements is key issue to improve the durability of pavements. The energy dissipation theory is expected to be useful for evaluating characteristic of fatigue breaking. According to laboratory tests, fatigue breaking times of three mixtures were obtained. And it is showed that a saturation ratios of asphalt pavement correlate with fatigue breaking times.

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