各種の舗装用混合物の力学性状に関する研究 (第4報)

—主として混合物の熱的性質—

間 山 正 一^{*1)}, 山 内 幸 夫^{*2)}, 山 梨 安 弘^{*2)}

本研究は温度変化による舗装の伸縮、熱応力問題を論ずるための基礎的資料の一つである舗装材料の熱的性質に関する研究である。ストレートアスファルトセメント、添加剤入りアスファルトセメント、エポキシアスファルトセメント、エポキシ樹脂の4種類のバインダー、および各々の混合物についてコンタクトストレーンゲージによって温度と伸縮の関係を測定した結果、樹脂系材料に比較してアスファルト系材料の線膨張係数が大きく、また、骨材との混合によって得られる混合物はバインダーより約1オーダー小さい線膨張係数を示すことを明らかにした。また、ガラス転移点と特性温度の関係についても実験結果をもとに論じた。

1. 概 説

筆者らは舗装材料の力学性状を舗装の力学挙動に関連づけながら、種々の研究成果を論じてきた^{1)~4)}。本稿においては、既発表論文^{1),2)}と同様に4種類のバインダーを選択し、それらおよび各々の混合物についてその熱的性質を論じた。

温度変化によって膨張、収縮をくりかえすこの種の材料を実用に供する場合に、その熱的性質のは握はきわめて重要である。たとえば、鋼床版舗装にタックコートとしてバインダーを用いた場合、あるいは表層材料としてこの種の混合物を用いた場合、床版の温度変化による伸縮と大きく異なる伸縮を示すときには追従性が得られず、舗装体と床版とは離れ、舗装体が温度下降時に床版に比較し大きな収縮を示せば舗装体に引張り応力が生じ舗装き裂の発生の原因となる。通常の路盤、路床をもつ舗装体においても下層との伸縮が異なり、許容のひずみを越える場合には同様の理由により舗装き裂の原因となる。材料の伸縮は温度変化(温度差)と熱膨張係数の積で示されることから、この種の材料を舗装材料として用いた場合には材料の熱的性質のは握はきわめて重要である。

交通荷重によらない舗装き裂(Non-Traffic Cracking)の問題(熱応力問題)を考える場合の応力緩和性状と熱的性質の重要性についてはすでに論じた¹⁾。

本論文においては、これらの問題を念頭におき、以下の項目について明らかにする。

- 1) 恒温室内において各種のバインダーおよび各々の混合物の熱的性質を明らかにすること
- 2) バインダーと混合物の熱的性質の関係を検討すること
- 3) 各種材料の温度と伸縮の関係に見られるガラス転移点と、他の力学性状に換算変数法を適用して得られる特性温度との関係を明らかにすること
- 4) エポキシアスファルト混合物による試験舗装の表面温度と伸縮の関係の検討

5) 気温と舗装温度の関係の定量化の検討などである。

2. 供試体の作製と実験方法

2.1 供試体の作製方法

ストレートアスファルトセメント、添加剤入りアスファルトセメント、エポキシアスファルトセメントおよびエポキシ樹脂をバインダーとして選択し、密粒度アスファルトコンクリートの骨材粒度配合によって各々の混合物を作製した。

これらの4種類のバインダーの物理性状、選択理由、供試体の作製方法、樹脂系材料(エポキシアスファルトおよびエポキシ樹脂)の養生条件等の詳細については、既報で説明したものと同様の性状あるいは方法によったのでここでは省略する^{1)~2)}。

なお、供試体寸法はエポキシ樹脂バインダーは $1.3 \times 1.27 \times 25$ (cm)、他の3種類のバインダーはすべて $3.0 \times 3.0 \times 25$ (cm)の角型棒状供試体とし、混合物は $2.5 \times 2.5 \times 25$ (cm)の角型棒状供試体とした。エポキシ樹脂バインダーの供試体を小さくした理由は、硬化反応中の発熱(量が多いほど発熱量が多い)による収縮ひずみを供試体内部に残留させないためである。

2.2 測定条件

$-20 \sim +60^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$)の温度制御が可能な恒温室内で、アスファルト系バインダーについては $-20 \sim +10^{\circ}\text{C}$ 、樹脂系バインダーおよび4種類の混合物については $-20 \sim +40^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で 10°C ごとに、ガラス面上においた供試体の寸法を測定した。

伸縮の測定は鋼球2個を供試体に打ち込んでその距離(標点間距離)を測定するコンタクトストレーンゲージ(西ドイツのフリッツ・ステーゲル社製)を用いて行った。

恒温室内の温度測定は3個所に熱電対を設置して打点式温度記録計で自動記録を行い、また、ダミー供試体($3 \times 3 \times 25$ cm)の上面、中間、下面に熱電対を埋め込み、あわせて供試体温度を自動的に記録した。伸縮の測定はダミー供試体が所定温度に達してから5分後に開始し、30分間一定温度を保った後再度行う方法をとったが、両者の測定値の差は小さく、同一温度における伸縮として加熱および冷却の双方を図上にプロットした。

標点間距離は約50本の供試体について試行錯誤を行った結果、最も繰返し性の高い値が得られた200mmとした。また、

昭和54年4月7日受理

*1) 北海道工業大学土木工学科 (061-24 札幌市西区手稲前田 419-2)

*2) 日瀝化学工業株式会社技術研究所 (329-04 栃木県下都賀郡国分寺町柴 272)

Table 1 Heating Rate and Cooling Rate of Environmental Room

Range of Temperature (°C)	Rate of	
	Heating (°C/min)	Cooling (°C/min)
30~40	0.08	—
20~30	0.11	—
10~20	0.11	0.33
0~10	0.17	0.17
-10~ 0	0.17	0.08
-20~-10	0.17	0.04

供試体によっては、かならずしも軸（供試体の長さ）方向に伸縮せず、ミクロ的に観察した場合、円弧に似た形状を描いて伸縮する場合がある。この場合はいわゆる弦を測定することになる。この場合においても、200 mm 前後の標点間距離で最も繰返し性の高い測定値が得られるようである。

なお、各温度範囲における恒温室の加熱および冷却速度は **Table 1** に示すとおりである。

2.3 計算法

線膨張係数 α は次式から算出される。

$$\alpha = \Delta l / l \times 1 / \Delta T = \epsilon / \Delta T$$

ここで

Δl : 温度変化にともなう供試体の伸縮 (mm)

l : 供試体のもとの長さ (mm)

ΔT : 温度の変化量 (°C)

ϵ : ひずみ (cm/cm) 又は (mm/mm)

3. 実験結果と考察

3.1 各種バインダーの熱的性質

ストレートアスファルトセメント、添加剤入りアスファルトセメント、エポキシアスファルトセメント、エポキシ樹脂の4種類のバインダーについて供試体の温度と伸縮を測定した結

果、それぞれ **Figs. 1~4** に示した関係が得られた。高温側でデータのばらつきが大きいのは、これはバインダーがより流動的になっており、測定時に供試体に打ち込んだ鋼球に若干の圧力がかかり鋼球が移動するためと思われる。

高温になるにしたがって供試体が伸びる性状は4種類のバインダーに共通するが、樹脂系バインダーの場合は測定条件（加熱か冷却か）によって同一温度変化に対する伸縮が異なる。これはバインダーが膨張するよりも収縮しやすい性質をもつためなのか、円弧状に伸びる場合もあるので実際の伸びよりも少ない（弦の）伸びを観察した結果の測定上の誤差なのか明らかでない。いずれにしても 10μ のオーダーの差であり、工学的応用

Fig. 2 Expansion and Contraction vs. Temperature of Specimen for Modified Asphalt Cement

Fig. 1 Expansion and Contraction vs. Temperature of Specimen for Straight Asphalt Cement

Fig. 3 Expansion and Contraction vs. Temperature of Specimen for Epoxy Asphalt Cement

Fig. 4 Expansion and Contraction vs. Temperature of Specimen for Epoxy Resin

を考える場合には許容でき得る差と考えてさしつかえあるまい。したがって線膨張係数と線収縮係数を分別せず、本研究においては線膨張係数 α をもって表現した。

4種類のバインダーの α を比較した場合、ストレートアスファルトセメント、添加剤入りアスファルトセメント、エポキシアスファルトセメント、エポキシ樹脂の順に α が大きくなり、たとえば、ストレートアスファルトセメントの α はエポキシ樹脂の約1.4倍である。

3.2 各種混合物の熱的性質

Figs. 5~8 は4種類の混合物の温度と伸縮の関係である。どの混合物の場合にも加熱時における伸縮の方が冷却時にお

Fig. 5 Expansion and Contraction vs. Temperature of Specimen for Straight Asphalt Mixture

る伸縮よりも小さく、この傾向は樹脂系バインダーに見られた性状と同様である。混合物の熱的性質に見られる特性の一つは、加熱時の伸縮と温度の関係における屈曲点 T_c の存在である。すなわち、樹脂系混合物に特に顕著に見られるが、供試体の伸縮と温度の関係は2本の直線で表示され、 T_c を境界にその熱的性質が異なる性状である。冷却時にはこの傾向は判然としないが、その理由については明らかでない。

混合物中に占めるバインダーの熱的性質の影響がでて、ストレートアスファルト混合物、添加剤入りアスファルト混合物、エポキシアスファルト混合物、エポキシ樹脂混合物の順に σ が大きい。また、各々の混合物について得られた T_c を上記の順に示すと、約 -2.5°C 、 5.8°C 、 9°C 、 22.8°C であり、 T_c 以上の温度における α が T_c 以下の温度における α より大きい。

3.3 バインダーと混合物の熱的性質の関係

本研究に使用した4種類のバインダーおよび各々の混合物について得られた α をTable 2に示す。冷却時と加熱時では材料の熱的性質が異なり、前者の条件で得られた α が大きい、その差はきわめて小さい。

Fig. 6 Expansion and Contraction vs. Temperature of Specimen for Modified Asphalt Mixture

Fig. 7 Expansion and Contraction vs. Temperature of Specimen for Epoxy Asphalt Mixture

Fig. 8 Expansion and Contraction vs. Temperature of Specimen for Epoxy Resin Mixture

Table 2 Values of Coefficient of Linear Thermal Expansion α for Four Kinds of Binders and their Mixtures

	Mixture		Cooling ($\times 10^{-5}$)	Binder	
	Heating ($\times 10^{-5}$) above T_c	below T_c		Heating ($\times 10^{-4}$)	Cooling ($\times 10^{-4}$)
S. A.	3.07	2.50	3.25	1.40	1.40
M. A.	2.42	1.67	2.92	1.24	1.24
E. A.	2.35	1.50	2.37	1.09	1.25
E. R.	1.57	0.75	1.25	1.00	1.07

S. A. : Straight Asphalt M. A. : Modified Asphalt
E. A. : Epoxy Asphalt E. R. : Epoxy Resin

バインダーに比較して混合物の α が小さく、混合物の α をバインダーのそれとの割合で示すと、エポキシ樹脂混合物で約14%、他の混合物で約20%である。混合物の α が小さいのは重量百分率で94.2%を占める骨材の α が約 10^{-6} (cm/cm/°C)^{5),6)}であるためと思われる。

バインダーは 10^{-4} (cm/cm/°C) のオーダーの α をもち温度変化による伸縮の大きさが危惧されるが、骨材との混合によって得られる混合物の α が約1オーダー低下することによって、伸縮の観点からも安全側に位置することが理解できる。

3.4 屈曲点について

広範囲の温度領域にわたるアスファルトセメントの熱的性質の検討からガラス転移点 T_g を見いだした研究例⁷⁾はあるが、舗装用材料としての実用を考慮した配合をもつ舗装用混合物について熱的性質を求め、 T_g を明らかにした例はない。

本研究においては T_g とほぼ同様の物理的意味をもつ T_c をすでに明らかにしたが、ここでは特性温度 T_s との関係についても論じ、 T_c の物理的意味をさらに検討したい。なお、ここで言う特性温度は、混合物の力学性状に換算変数法を適用して得られたシフトファクターと温度の関係から算出されるものである^{8),9)}。

本研究で用いた混合物と同一の4種類の混合物について既往の研究から得られた T_s ^{1),3),4),10)} と、本研究で得られた T_c を混合物ごとにまとめて Table 3 に示す。

T_s と T_c の差をとった場合、アスファルト系混合物は 37.3

Table 3 Values of T_c and T_s for Four Kinds of Mixtures

Mixture	T_c (C°)	T_s (C°)*	T_s-T_c (°C)
Straight Asphalt	-2.5	36~37	37.3~38.3
Modified Asphalt	5.8	44~46	38.2~40.2
Epoxy Asphalt	9.0	51~53	41.0~44.0
Epoxy Resin	22.8	71~72	48.2~49.2

* Obtained from constant rate of strain test, creep test, stress relaxation test, dynamic loading test.

~40.2°C、エポキシファルト混合物は 41~44°C、エポキシ樹脂混合物で 48.2~49.2°C の範囲にある。多くの高分子物質についての測定結果をもとに、一般に次式が成り立つとされている¹¹⁾。すなわち、

$$T_s = T_g + 50 (\pm 5)$$

本研究から得られた T_s と T_c の関係は、アスファルト系混合物の場合に誤差が大きいが、 T_c を T_g と考えてもおおまかな解釈は成り立つと思われる。誤差の原因は、実験誤差 T_s を計算するときに用いる定数（ここでは普遍定数を用いた）の値等によるものと解釈されるが、断定はできない。

いずれにしても T_c を境界に α が異なっており、一つの特異点といえる。

3.5 屋外で測定したエポキシアスファルト混合物の熱的性質

エポキシアスファルト混合物による幅 2.5m、長さ 25m、厚さ 5cm の試験舗装で行い、舗装表面の伸縮の測定を行った。舗装断面、舗装体の温度測定のために埋め込んだセンサ（熱電対）の位置、舗装表面の伸縮を測定するための鋼球の位置（標点間距離 300mm）をまとめて Fig. 9 に示す。なお、タックコートとして使用したエポキシアスファルトセメントは本研究に用いたそれと同一のものである。鋼球を打込んだ位置は縦横断の両方向に座標を切って埋め込み、舗装体のほぼ中心に位置するものであり、拘束された通常の舗装体を想定して舗装表面の温度と伸縮の関係を求めるものである。

なお、室内における測定結果との関連性を得るために、非拘束状態（動きが自由である状態）を想定した実験をも屋外で行った。すなわち、試験舗装の一部にタックコートをしない（下層との接着をしない）部分に約 2mm の縦横断面目地を入れ、下層との摩擦を軽減したものについても同様に 300mm の標点を設定して測定を行った。供試体寸法は 35×45×5cm である。

Fig. 10 は試験舗装表面の温度と地上 1.2m の高さにおける気温との関係を示す。気温 18°C を境に気温と舗装表面温度と

Fig. 9 Cross Section of Experimental Pavement

Fig. 10 Relationship of Surface Temperature of Experimental Pavement and Atmospheric Temperature

Fig. 11 Expansion and Contraction vs. Temperature for Surface of Experiment Pavement that is Unconfined to Tack Coat and has Joints

の関係が異なり、 18°C 以上になると気温の上昇に対して舗装表面の温度上昇が大きくなる。これは蓄熱効果のためであると思われる。測定場所が異なるにもかかわらず、既往の研究成果¹²⁾と似た傾向を示すのは興味深い。

気温を T_{atm} 、舗装表面の温度を T_{sur} とした場合、両者の関係は次式で表現できる。

$$\begin{aligned} T_{\text{sur}} &= 1.1 \times T_{\text{atm}} + 1.0 & T_{\text{sur}} < 18.2 \\ T_{\text{sur}} &= 1.95 \times T_{\text{atm}} - 14.5 & T_{\text{sur}} > 18.2 \end{aligned}$$

Fig. 10 に見られるデータのばらつきは主として風雨によるもので、気温が一定であっても風あるいは雨（シャワリング）

Fig. 12 Expansion and Contraction vs. Temperature for Surface of Experiment Pavement that is Confined to Tack Coat and has no Joints

によって舗装表面温度が急激に低下する。Fig. 10 の測定結果を式で示したように、気温の変化に比較して舗装表面の温度変化が著しく、したがって、舗装表面は（拘束がない場合は）伸縮が大きいと言える。

Fig. 11 は試験舗装について得られた非拘束条件（下層との接着なし、目地あり）の場合の舗装表面の伸縮と温度の関係を示す。室内において角型棒状供試体について得られた α (Fig. 3 参照) と酷似した α 、すなわち $2.45 \times 10^{-5} \text{ cm/cm/}^{\circ}\text{C}$ が得られた。室内実験では棒の軸方向（長さ方向）の伸縮のみを測定したが、屋外実験では直交座標を切り、両方向（縦・横断方向）の伸縮を測定した結果、ほぼ同一の伸縮量が得られた。このようなことから非拘束の場合には舗装の横断方向、縦断方向を問わず同一の伸縮を示すと結論づけられる。

Fig. 12 は拘束条件（目地なし、タックコートあり）下の試験舗装表面の温度と横断方向の伸縮を示す図である。縦断方向の伸縮はほとんど観察されていない。目地を入れた場合に比較して舗装表面の伸縮がきわめて小さく、計算の結果得られた α は $1.78 \times 10^{-6} \text{ cm/cm/}^{\circ}\text{C}$ である。非拘束条件の場合の約 1/14 であり、縦断方向（長さ 25m）の伸縮がほぼ 0 であることを考慮すれば、通常の舗装体においては温度変化による舗装の伸縮（一種の潜在ひずみ）は拘束されており、むしろ、緩和弾性率との積から算出される応力（熱ひずみに対応する熱応力）として作用していることがわかる。もちろん、舗装の伸縮が許される場合には熱ひずみの観点からの舗装き裂の検討が重要であることは言うまでもない。

4. 結 論

本論文で明かにされた事項を以下に列記する。

1) ストレートアスファルトセメントの線膨張係数が最も大きく、以下、添加剤入りアスファルトセメント、エポキシアスファルトセメント、エポキシ樹脂の順になる。この順位は各々の混合物についてみても変わらない。

2) 混合物の線膨張係数は骨材の影響を受けて、バインダーのその約 14~20% であり、 10^{-5} のオーダーの線膨張係数を示した。

3) エポキシアスファルト混合物による試験舗装を行ない、気温、舗装表面温度を測定した結果、両者の間に定量的関係を見いだした。

4) 試験舗装の一部のタックコートを施工せず、目地を入れた部分について、舗装表面の温度と伸縮を測定した結果、エポキシアスファルト混合物の角型棒状供試体について室内実験で得られた線膨張係数とほぼ同じそれが得られた。

5) 試験舗装のほぼ中央における表面温度と伸縮の関係を測定した結果、縦断方向（長さ方向）にはほとんど伸縮せず、比較的拘束の少ない横断方向には若干の伸縮（4. の場合より約1オーダー低い線膨張係数）を示した。

6) 5) の結論は通常の舗装体においては、熱ひずみと同様に潜在ひずみによって生ずる熱応力の検討の重要性をも意味するものである。

謝 辞

本研究の実験に際して北海道工業大学の小山泥舟助手に御助力を願った。また、本稿の取りまとめに際し同大学の笠原 篤助教授に御助言をいただいた。ここに厚く謝意を表する。

References

- 1) Mayama, M., Sugawara, T., *J. Japan Petrol. Inst.*, **21**, (5), 342 (1978).
- 2) Mayama, M., Sugawara, T., *ibid.*, **22**, (3), 170 (1979).
- 3) Mayama, M., *ibid.*, **21**, (1), 68 (1978).
- 4) Mayama, M., Sugawara, T., *JSCE Ronbunhokokushu*, (275), 113 (1978).
- 5) Mitchell, L. T., *Proc. A. S. T. M.*, **15**, (10), (1960).
- 6) Troxell, G. E., Davis, H. E., "Composition and Properties of Concrete", (1956) Mc Graw-Hill.
- 7) Wada, Y., Hiroshi, H., *J. Phys. Soc. Japan*, **15**, (10), (1960).
- 8) Williams, M. L., *J. Phys. Chem.*, **59**, (1955).
- 9) Ferry, J. D., "Kobunshi no Nendansei (高分子の粘弾性)", 202 (1966), Tokyo Kagaku Dojin (東京化学同人).
- 10) Mayama, M., *J. Japan Petrol. Inst.*, **22**, (6), 356 (1979).
- 11) Onogi, J., "Reoroji Yoron (レオロジー要論)", 155 (1967), Maki Shoten (槇書店).
- 12) Akiyama, M., *JSCE Ronbunhokokushu*, (246), 105 (1976).

Summary

Mechanical Properties of Various Paving Mixtures (Part 4)

—Thermal Characteristics of Mixtures—

Masakazu MAYAMA^{*1)}, Yukio YAMAUCHI^{*2)} and Yasuhiro YAMANASHI^{*2)}

It is important to grasp the significance of thermal characteristics and stress relaxation behaviors of the paving materials when considering the non-traffic cracking of asphaltic pavements^{1),2)}. The mechanical properties that concentrate on the stress relaxation of various paving mixtures have already been reported in the reference 1) and 2).

Currently, there are few reports in which the coefficient of thermal expansion, α , of asphalt cements and epoxy resins has been studied. However, there are only few papers that deal with thermal characteristics of practical paving mixtures over a wide range of temperature.

In this paper, we shall discuss thermal characteristics of the paving materials on the temperatures the pavement will encounter during service. The term "thermal characteristics" in this paper means not only α but also the glass transition point relating to a specific temperature and to others.

The paving materials employed in this experiment are a straight asphalt cement, modified asphalt cement, epoxy asphalt cement and epoxy resin; and each mixture is obtained by mixing a binder with the aggregates.

The degree of expansion and contraction of a specimen was measured using a contact strain gauge. The cooling and heating rates of the environmental room used for laboratory experiments are shown in **Table 1**. Five minutes after ascertaining the temperature of a dummy specimen pre-set with a thermocouple, the measurements were carried out for thirty minutes.

As is generally known, the specimen expanded with rising temperature and contracted with falling temperature (**Figs. 1~8**). The α 's of the straight asphalt cement, modified asphalt cement, epoxy asphalt cement and epoxy resin were about 1.40×10^{-4} (cm/cm/°C), 1.24×10^{-4} (cm/cm/°C), 1.17×10^{-4} (cm/cm/°C), 1.04×10^{-4} (cm/cm/°C), respectively. The α of each mixtures was smaller by about one order than its own binder because of the very small α of the aggregates, for example, the order of 10^{-6} , and the total weight of aggregates was 94.2% in the mixture^{5),6)}. These values are sum-

marized in **Table 2**.

The glass transition point T_g , was revealed in the expansion and contraction vs. temperature curve of the paving mixtures. The α of the mixtures was larger at temperatures above T_g and smaller at temperatures below T_g . For example, α of epoxy asphalt mixtures was 2.35×10^{-5} (cm/cm/°C) at temperatures above T_g and 1.50×10^{-5} (cm/cm/°C) at temperatures below T_g . **Table 3** summarizes the T_g 's of the four kinds of mixtures.

In general, the correlation between the glass transition point T_g and the specific temperature T_s can be expressed as follows¹¹⁾. $T_s = T_g + 50$ (± 5). T_s is calculated from the WLF equation^{8),9)} using the relation between the shift factor and temperature. Slight difference were observed in the relation between T_s and T_g obtained from our study. We consider these difference are probably caused by experimental errors and by the constants used in the WLF equation. However, the order of the difference in T_g and T_s was not of practical significance.

We also measured expansion and contraction of an experimental pavement of epoxy asphalt mixtures (**Fig. 9**). Tack-coating surface course (epoxy asphalt mixtures) of the lower course was of epoxy asphalt cement. The α observed on the specimen of 35 cm wide, 45 cm long, 5 cm thick under free conditions, that is, not having treated with tack-coating and having joints, agreed approximately with that of the epoxy asphalt mixtures observed in the laboratory (**Fig. 11**). However, α of the experimental pavement (2.5 m wide, 25 m long, 5 cm thick) under restrictive conditions, that is, having treated with tack-coating and having no joints, showed behaviors fairly different from that obtained under free conditions. That is, the α of 1.78×10^{-6} was obtained in the transverse direction of the experimental pavement (**Fig. 12**). This value is about one order smaller than the α obtained under free conditions in the laboratory. On the other hand, the α in the longitudinal direction of one was not observed. This result means that the pavement does not expand and contract so much with change in temperature when the pavement restricted. Consequently, it seems proper to consider that the potential expansion and contraction stemming from change in temperature will be transformed to thermal stress which is defined by the product of α and relaxation modulus.

^{*1)} Department of Civil Engineering, Hokkaido Institute of Technology (419-2, Teinemaeda, Nishi-ku, Sapporo 061-24)

^{*2)} Technical Research Laboratory, Nichireki Chemical Industry Co., Ltd. (272, Shiba, Kokubunji-cho, Shimotsuga-gun, Tochigi 329-04)

Keyword

Asphalt, Epoxy resin, Paving material, Thermal characteristic