

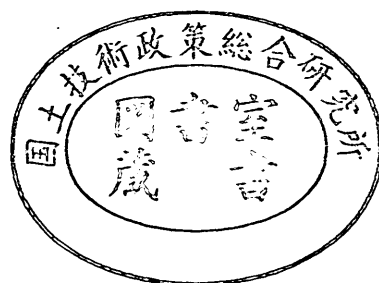
運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 22 NO. 2 JUNE 1983

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第22巻 第2号 (Vol. 22, No. 2), 1983年6月 (June 1983)

目 次 (CONTENTS)

1. 大河川河口部周辺の移動床模型実験
——吉野川河口周辺地形変化について——
……………加藤 一正・田中則男・木村久雄・赤石正廣…… 3
(Movable-bed Model Experiments of a Large River-mouth and its Surroundings
—On Deformation of Topography at the Yoshino River—
……Kazumasa KATO, Norio TANAKA, Hisao KIMURA and Masahiro AKAISHI)
2. 多量データを対象とした等値線自動描画アルゴリズムの開発
……………橋本典明・高橋智晴…… 89
(A New Method for Automatic Contour Mapping Applicable to a Large Number of
Discrete Sampling Data ……Noriaki HASHIMOTO and Tomoharu TAKAHASHI)
3. 吹送流に関する風洞実験
——吹送流の発生に及ぼす反流の効果——
……………鶴谷 広一・中野 晋・加藤 始・一戸秀久…… 127
(Experimental Study of Wind Driven Currents in a Wind-Wave Tank
—Effect of Return Flow on Wind Driven Currents—
…………… Hiroichi TSURUYA, Susumu NAKANO, Hajime KATO
and Hidehisa ICHINOHE)
4. 超音波流速計による潮流観測と水平・鉛直拡散係数の算定
……………村上和男・森川雅行…… 175
(Field Observations of Tidal Current by Ultra-Sonic Current Meter and Estimations
of Horizontal and Vertical Diffusion Coefficients
…………… Kazuo MURAKAMI and Masayuki MORIKAWA)
5. 深層混合処理工法による杭状改良地盤の支持力および圧密特性
……………寺師昌明・田中洋行…… 213
(Bearing Capacity and Consolidation of the Improved Ground by a Group of Treated
Soil Columns ……Masaaki TERASHI and Hiroyuki TANAKA)

6. 老化にともなうアスファルトコンクリートの性状変化
 ——70°C の熱履歴による促進老化の場合——
八谷好高・福手 勤・佐藤勝久..... 267
 (Changes of Properties of Asphalt Concretes due to Heat Curing at 70°C
 Yoshitaka HACHIYA, Tsutomu FUKUTE and Katsuhisa SATO)
7. 大型混成式防波堤の強震記録に基づく水-構造物連成系の地震応答解析
上部達生・土田 肇・倉田栄..... 289
 (Coupled Hydrodynamic Response Analysis based on Strong Motion Earthquake Records
 of Fill Type Breakwater in Deep Sea
 Tatsuo UWABE, Hajime TSUCHIDA and Eiichi KURATA)
8. 2次元アレーによる地震動の観測と解析 (第1報)
 ——1977年6月4日東京湾北部の地震——
土田 肇・井合 進・倉田栄..... 327
 (Analysis of Earthquake Ground Motions Observed with Two Dimensional Seismometer
 Array (First Report)
 —North Tokyo Bay Earthquake of June 4, 1977—
 Hajime TSUCHIDA, Susumu IAI and Eiichi KURATA)
9. 集中腐食に対する電気防食の適用性.....善 一章・阿部正美..... 379
 (Applicability of Cathodic Protection to Concentrated Corrosion
 Kazuaki ZEN and Masami ABE)

6. 老化にともなうアスファルトコンクリートの性状変化

—70°Cの熱履歴による促進老化の場合—

八 谷 好 高*

福 手 勤**

佐 藤 勝 久***

要 旨

アスファルト舗装の表層であるアスファルトコンクリート層に発生する舗装の横断方向のクラックが近年大きな問題となっているが、これは自然環境の作用によるアスファルトコンクリートの老化と無関係ではない。

本論文は、アスファルトコンクリートの老化をもたらす自然環境の要因として熱を取り上げ、老化がアスファルトコンクリートの力学性状や温度応力クラックの発生に及ぼす影響を明らかにするとともに、施工目地の力学性状にも考察を加えたものである。主要な結論を以下に示す。

- (1) アスファルトコンクリートは、熱履歴期間の経過とともに硬く、もろくなっていく。また、アスファルトコンクリートから回収したアスファルトの物性値も熱履歴によるアスファルトの硬化を示している。
- (2) 熱履歴期間の経過につれてアスファルトコンクリートは繰返し温度変化により破壊しやすくなる。この温度変化中に発生した最大温度応力とアスファルトの軟化点との間には相関性が認められた。また、線形粘弾性理論を用いることにより温度応力をシミュレートできる。
- (3) 目地を有する供試体はないものに比べて、熱履歴および繰返し温度変化により破壊しやすくなる。目地の種類別ではコールドジョイントが最も破壊しやすい。
- (4) アスファルトコンクリートの老化を防ぐことにより、ある程度温度応力クラックの発生数を減少できる。老化防止策としてはアスファルト量の適度な増加が妥当なものであると考えられる。

* 土質部 滑走路研究室
** 前土質部 主任研究官(空港舗装構造担当)
*** 土質部 滑走路研究室長

6. Changes of Properties of Asphalt Concretes due to Heat Curing at 70°C

Yoshitaka HACHIYA*

Tsutomu FUKUTE**

Katsuhisa SATO***

Synopsis

Recently many transverse crackings which have appeared in asphalt concrete layer of pavements become to be a serious problem. These cracks seem to be related to aging or hardening of asphalt concretes due to action of natural environment.

In order to clarify the effect of aging or hardening of asphalt concretes to their mechanical properties and occurrence of thermally induced cracks, a series of laboratory tests were conducted, in which were also considered the behaviors of three types of construction joints (hot joint, semi-hot joint and cold joint).

In these tests, heat was dealt with as a factor of natural environment which makes asphalt concretes harden. Firstly, specimens of asphalt concretes were prepared using two types of aggregates and two types of asphalts and cured in an oven at 70°C for eight weeks in maximum. Next, the stresses induced by thermal cycling (10~ -20°C) were observed and flexural tests were also carried out. At the same time, asphalts extracted from heat-cured asphalt concretes were analyzed.

The main conclusions are as follows:

- (1) Asphalt concrete becomes hard and brittle during the process of heat curing. Namely, the strain at failure decreases and the stiffness increases. And the asphalt extracted from the asphalt concretes shows hardening due to heat curing.
- (2) The thermally induced stresses of asphalt concrete increase with curing time. A strong relation has been observed between the thermally induced stress at -20°C and softening point of asphalt in the asphalt concrete. These stresses may also be estimated by linear visco-elastic theory with noticeable accuracy.
- (3) Asphalt concrete specimen with the construction joint shows smaller flexural strength and strain at failure compared with specimen without the construction joint. Also it tends to fail during the thermal cycling easily. Compared with the other types of construction joints, cold joint is easily to fail.
- (4) If the hardening of asphalt concrete can be prevented, the occurrence of thermally induced cracks will be decreased. One method of preventing the hardening of asphalt concrete is to raise the asphalt content. If the level of asphalt content is raised to a suitable degree, thermally induced cracking may be minimized.

* Member of Runways Laboratory, Soils Division.

** Former Senior Research Engineer, Soils Division.

*** Chief of Runways Laboratory, Soils Division.

目 次

要 旨	267
1. ま え が き	271
2. 試験の概要	271
2.1 試験材料	271
2.2 試験方法	272
3. 熱履歴がアスファルトコンクリートおよびアスファルトの性状に及ぼす影響	274
3.1 アスファルトコンクリートの力学性状の変化	274
3.2 回収したアスファルトの物理・化学的性質の変化	279
4. 繰返し温度変化と熱履歴がアスファルトコンクリートの力学性状に及ぼす影響	280
4.1 アスファルトコンクリートの温度応力	281
4.2 温度応力のシミュレーション	283
4.3 温度応力クラック発生の可能性	285
5. 結 論	286
6. あとがき	286
参考文献	286

1. まえがき

アスファルト舗装の破損形態の1つであるアスファルトコンクリート層のクラックの原因としては、交通荷重、下層からの応力伝達（たとえば、リフレクションクラック）、自然環境の作用などが挙げられる。このうち、自然環境の作用によるものは、そのメカニズムが現在のところまだよく解明されておらず、大きな問題となっている。この種のクラックは自然環境のうちでも直接的には温度の作用によるものであり、舗装の横断方向に発生し、しかもアスファルトコンクリートが交通荷重によるニーディング作用（こねかえし）をあまり受けないところに多く認められる¹⁾。また、アスファルトコンクリートは紫外線、水分、温度などの自然環境の作用により老化することも一般に知られているが、これもまた交通荷重の作用による密度増加があまり期待できない舗装端部などでその程度が著しい²⁾。それゆえアスファルトコンクリート層に発生する温度応力クラックとアスファルトコンクリートの老化との間には何らかの関係があるものと思われる。

空港舗装は道路舗装に比べ広大で面的な舗装であるため、交通荷重が載るのはほんの一部分で大半の部分には交通がないという特色がある。そのためニーディング作用もあまり期待できず、アスファルトコンクリート層は老化が速く進行し、温度応力クラック発生の可能性が大きい。現にいくつかの空港のアスファルト舗装では、この種の老化に関連したクラックの発生がみられ、寒冷地の空港では厳しい気象条件のために低温クラックの発生もみられる。

本報告では、アスファルトコンクリートの老化がその力学性状や温度応力によるクラックの発生に及ぼす影響ならびに老化によるアスファルトの物理・化学的性質の変化を、室内試験により明らかにした。その際、アスファルトコンクリートの老化をもたらす自然環境の要因として、室内で精度よく再現可能な温度（熱）を取り上げた。アスファルトコンクリートの骨材として通常のものと吸水率の大きなものを用い、アスファルトとしてストレートアスファルト、セミブローンアスファルトを用いた。またアスファルト量も変えて試験を実施した。

温度応力によるアスファルトコンクリート層のクラックとしては、横断方向に生ずるもの他に、縦断方向の施工目地の開き、すなわち、目地切れも挙げられる。今

回の試験では、施工目地として

- ① ホットジョイント：先に舗装したレーンのアスファルトコンクリートがまだ熱いうちに隣接するレーンを舗装するもの
- ② セミホットジョイント：先に舗装したレーンのアスファルトコンクリートがすでに冷却している場合に、継目を加熱した上で隣接するレーンを舗装するもの
- ③ コールドジョイント：セミホットジョイントで継目を加熱する代わりにアスファルト乳剤を塗布するもの

の3種類を室内で再現した供試体について試験を実施し、目地の種類によるアスファルトコンクリートの力学性状の違いについても考察を加えた。

2. 試験の概要

本報告は、アスファルトコンクリートの老化（硬化）が、アスファルトコンクリート自身の力学性状にどのような変化をもたらすかを調べ、また同時に、温度変化によってアスファルトコンクリートに発生する温度応力とそれによって起こる温度応力クラックにどのような影響をもつのかを調べたものである。また、供用中の空港アスファルト舗装では目地部にクラックが発生するとので、事例が数多く報告されているので、これについても考察を加えた。このような目的で実施した室内試験の使用材料と試験方法について以下に説明する。

2.1 試験材料

試験に用いたアスファルトコンクリートの種類を表-2.1に示す。

使用した骨材は主として安山岩よりなる通常骨材と主に石灰岩よりなる沖縄県読谷産のコーラルリーフロック（以下C.R.R.と称す）の2種類である。それらの粒径加積曲線は図-2.1に示すとおりであり、ともに空港土木工事共通仕様書の表層タイプI（最大粒径13mm）に規定された範囲のほぼ中央粒度である³⁾。両骨材は吸水率に大きな差がみられ、前者が2.3%なのに対し、後者は9.5%とほぼ4倍である。また、使用したアスファルトはストレートアスファルト60~80、セミブローンアスファルト40~60の2種類で、それらの物性は表-2.2に示すとおりである。

表-2.1に示したアスファルトコンクリートのアスファルト量は、配合試験を実施した上で決定したもので、

表-2.1 試験したアスファルトコンクリートの種類

Asphalt Concrete	Joint	Asphalt	Aggregate	Asphalt Content (%)
NS	NJ, HJ, SHJ, CJ	Straight 60-80	Normal	6.2 (OAC)
CS	NJ, CJ	Straight 60-80	Coral Reef Rock	9.3 (OAC)
CS+1	NJ, CJ	Straight 60-80	Coral Reef Rock	10.3 (OAC+1)
NP	NJ, CJ	Semi-Blown 40-60	Normal	6.2 (OAC)
CP	NJ, CJ	Semi-Blown 40-60	Coral Reef Rock	9.3 (OAC)

N: Normal Aggregate
 C: Coral Reef Rock
 S: Straight Asphalt
 P: Semi-blown Asphalt
 OAC: Optimum Asphalt Content

NJ: No Joint
 HJ: Hot Joint
 SHJ: Semi-hot Joint
 CJ: Cold Joint

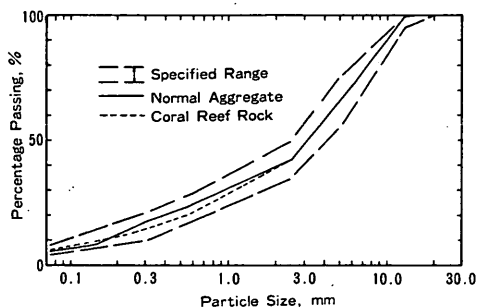


図-2.1 使用した骨材の粒度

表-2.2 使用したアスファルトの物性

Physical Property	Straight 60-80	Semi-Blown 40-60
Penetration(25°C・100g・5sec)	68	50
Softening Point (°C)	49.5	59.0
Ductility (cm, 15°C)	140+	—
PI	-0.6	0.8
Viscosity (cst)	120°C	670
	140°C	280
	160°C	139
	180°C	77
Specific Gravity	1.029	1.021

CS+1 以外は最適アスファルト量 (OAC) であり, NS, NP については 6.2%, CS, CP については 9.3% である。CS+1 のアスファルト量は CS の OAC に 1% 加えたもの, すなわち, 10.3% である。

2.2 試験方法

自然環境の要因のうち特に温度がアスファルトコンクリートに及ぼす影響を調べるために, アスファルトコンクリートに 1~8 週間, 70°C の熱履歴を与えた。これは 70°C という温度が空港アスファルト舗装のアスファルトコンクリート層の最大温度と考えられること, ならびに温度応力クラックの発生が問題となった空港での実測結果, すなわち, アスファルトコンクリート層の温度が年間通算で 180 時間, 70°C 以上となることに基づくものである。この熱によるアスファルトコンクリートの硬化を調べるために, 所定期間の熱履歴を与えた後, 定ひずみ速度曲げ試験, 熱膨張係数の測定, およびアスファルトコンクリートから回収したアスファルトの物性試験を実施した。また, 熱とともに繰返し温度変化がアスファルトコンクリートの力学性状に及ぼす影響を調べるために, 所定の熱履歴を与えた後に, 10~20~10°C の温度変化を与え, これによりアスファルトコンクリ

ートに発生する応力を測定し, さらにこの温度変化を 100 サイクル与えた後に定ひずみ速度曲げ試験を実施した。これらの試験のフローチャートを図-2.2 に示す。

このフローチャートに示したおのおの項目について, 以下に説明する。

(1) 供試体の作製

供試体は以下の方法で作製した。

① 目地のない場合 (NJ)

所定のアスファルトコンクリートを型枠 (40 cm × 40 cm × 6 cm) に入れ締固める。

② ホットジョイントの場合 (HJ)

①と同様の型枠の半分だけに所定のアスファルトコンクリートを入れて軽く締固め, アスファルトコンクリートの内部温度が 110°C になった時点で, 型枠の残り半分にアスファルトコンクリートを入れて全体を十分に締固める。

③ セミホットジョイントの場合 (SHJ)

②と同様に型枠の半分にアスファルトコンクリートを入れて締固めて 24 時間放置した後, 表面温度が 100°C になるまで目地部をヒーターで加熱してから残り半分にアスファルトコンクリートを入れて締固める。

老化にともなうアスファルトコンクリートの性状変化

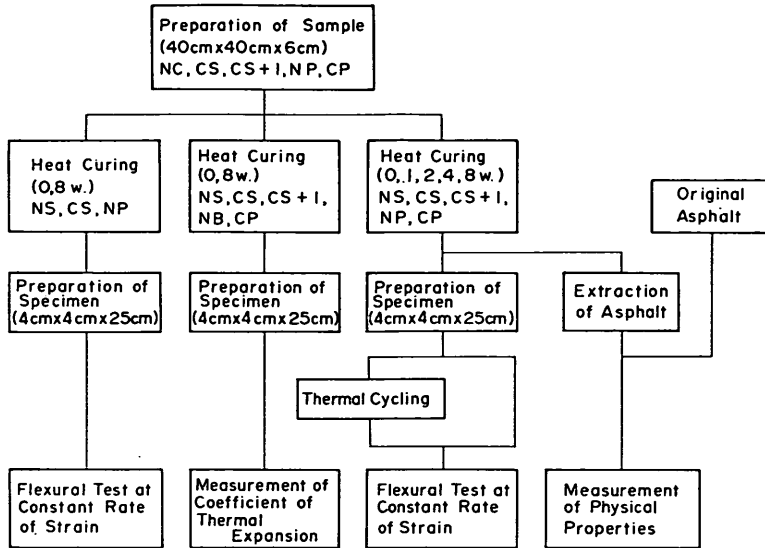


図-2.2 試験のフローチャート

④ コールドジョイントの場合 (CJ)

SHJ と同様であるが、目地部を加熱せずにタックコートを施工した上で、残り半分にアスファルトコンクリートを入れて締固める。

いずれの場合も、マーシャル基準密度の 98% 以上になるように、ローラーコンパクターにより十分締固めた。そして所定の熱履歴を与えた後、目地が中央部となるように 4 cm×4 cm×25 cm の大きさの供試体を 6 面カットにより切出した。

(2) 熱履歴

熱履歴は、(1)の試料 (40 cm×40 cm×6 cm) を、70°C に保った恒温炉に所定期間入れることによりアスファルトコンクリートに与えられた。その期間は、熱履歴の影響を調べるための定ひずみ速度曲げ試験および熱膨張係数測定試験用については 8 週間、それ以外のものについては 1, 2, 4, 8 週間とした。

(3) 温度変化

温度変化は、アスファルトコンクリートの供試体 (4 cm×4 cm×25 cm) の変形を拘束したまま、その温度を変化させることによって与えられた。その手頃は、供試体の変形を拘束するために熱膨張係数の小さい金属であるインバル製フレーム (フレームの熱膨張係数 $2.33 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 図-2.3) に供試体を取り付け、それらをナイブライン水溶液 (不凍液) 中に浸し、10~-20~10°C の

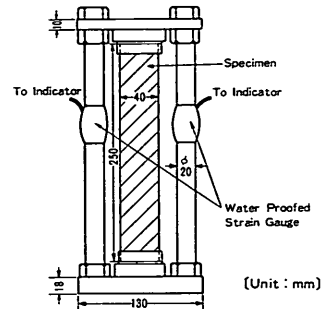


図-2.3 温度応力測定用フレーム

温度変化 (温度下降時 $-16^{\circ}\text{C}/\text{h}$, 上昇時 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$) を 100 サイクル与えることによる。その際、アスファルトコンクリートの供試体に生ずる温度応力をあらかじめフレームに設置しておいたひずみゲージにより測定した。

(4) 定ひずみ速度曲げ試験

(3)の温度変化を与えた供試体に対しては、ひずみ速度 $1 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$, 温度 10°C で定ひずみ速度曲げ試験 (スパン長: 20 cm) を実施した。また、NS, CS, NP については、熱履歴だけの影響を詳細に調べるために、ひずみ速度 5×10^{-3} , 1×10^{-4} , 1×10^{-3} , $1 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$, 温度 -20 , -10 , 0 , $+10$, $+20^{\circ}\text{C}$ の各条件で試験した。

(5) 熱膨張係数の測定

アスファルトコンクリートの熱膨張係数の測定は、供

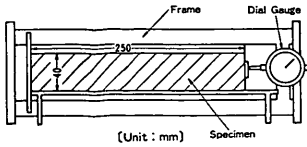


図-2.4 熱膨脹係数測定装置

試体の変形が拘束されず自由に伸縮できるような状態で、温度を10°Cから-20°Cまで変化させ、10°Cごとに供試体の長さを測ることによって。その際には、図-2.4に示すフレームを使用した。

(6) アスファルトの回収ならびに回収アスファルトの物性試験

1, 2, 4, 8 週間の熱履歴を与えたアスファルトコンクリートの試料から、ASTM D 1856 に規定されたアブソブ法によりアスファルトを回収し、その物理・化学的性質を調べるために、以下に示す物性試験を実施した。

- ① 粘度試験: JAA-001 の方法
- ② 針入度試験: JIS K 2207 の方法
- ③ 軟化点試験: JIS K 2207 の方法
- ④ フラスゼい化点試験: JIS K 2207 の方法
- ⑤ 伸度試験: JIS K 2207 の方法
- ⑥ 化学組成分析: クロマトグラフ分別法により、アスファルトをアスファルテン、飽和分、芳香族、レジン の4成分に分別した。
- ⑦ 赤外線分析: アスファルトの四塩化炭素溶液に赤外線を照射することによりアスファルトを分析した。

3. 熱履歴がアスファルトコンクリートおよびアスファルトの性状に及ぼす影響

本章では、2.に示した方法で熱履歴を与えたアスファルトコンクリートに対する定ひずみ速度曲げ試験および熱履歴を与えたアスファルトコンクリートから回収したアスファルトに対する物性試験の結果を考察する。

3.1 アスファルトコンクリートの力学性状の変化

(1) 目地のないアスファルトコンクリートの力学性状

ここでは目地のない場合 (NJ) のアスファルトコンクリートの力学性状について述べる。

まず、定ひずみ速度曲げ試験の結果から、強度、破断ひずみならびに0.1%のひずみにおけるスティフネスを読みとった。試験条件は、ひずみ速度 $1 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 、温

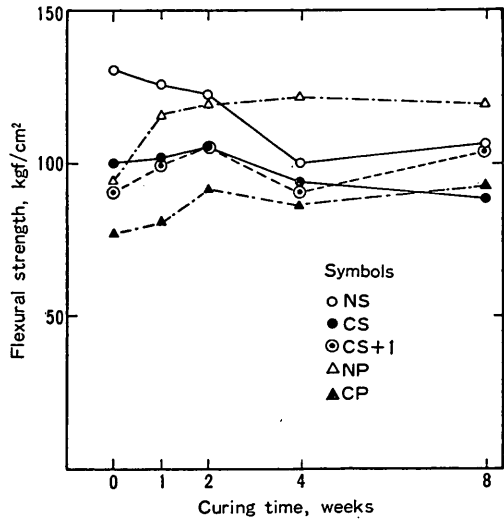


図-3.1 熱履歴期間が曲げ強度に及ぼす影響

度 10°C である。またこれらのプロットに用いた点はいずれも同一条件下の3本の供試体による結果の平均値である。

図-3.1 に曲げ強度と熱履歴期間の関係を示す。この図より、セミブローンアスファルトを用いたものは、熱履歴期間の経過とともに強度が増加していくことがわかる。これに対してストレートアスファルトを用いたものでは、熱履歴期間が経過しても強度はほぼ一定かまたは減少という傾向を示している。このような強度の変化は、ストレートアスファルト、セミブローンアスファルトともに、通常骨材を用いた場合に著しいようである。

図-3.2 は、破断ひずみと熱履歴期間の関係である。いずれも、熱履歴期間の経過とともに破断ひずみは減少している。そして、NSの1週間目を除けば、破断ひずみのこう配はほぼ等しいようである。

スティフネスの変化の様子は、図-3.3 に示されている。いずれも、熱履歴期間の経過とともに増加しており、熱履歴を受けることによってアスファルトコンクリートが硬くなっていることを示している。

図-3.1~3.3 を総合すれば、熱履歴、アスファルト量、アスファルトの種類などに関係なく、骨材として C.R.R. を用いたものは、通常骨材を用いたものに比べて、破断ひずみが小さく、スティフネスが大きいことから、硬く、もろいことがわかる。また、ストレートアスファルトを用いた供試体の曲げ強度の変化を除けば、熱履歴期間の

老化にともなうアスファルトコンクリートの性状変化

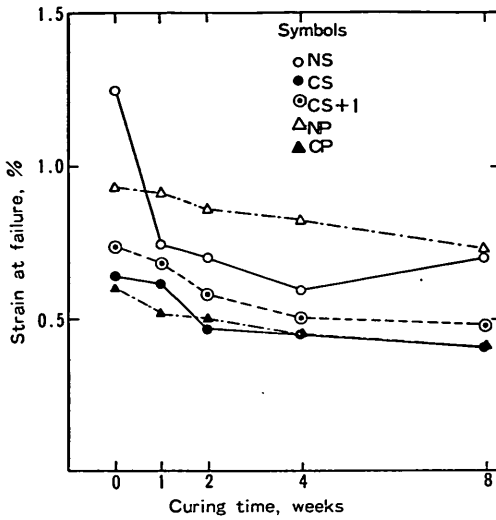


図-3.2 熱履歴期間が破断ひずみに及ぼす影響

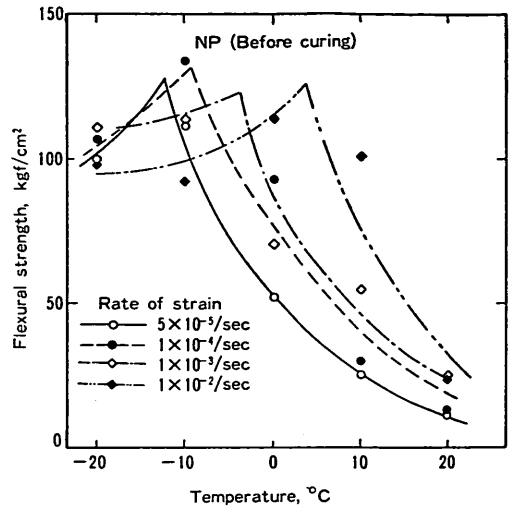


図-3.4 温度が曲げ強度に及ぼす影響(熱履歴前)

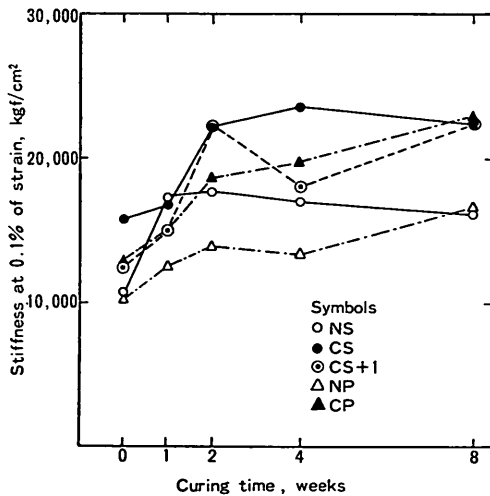


図-3.3 熱履歴期間がスティフネス (0.1% ひずみ) に及ぼす影響

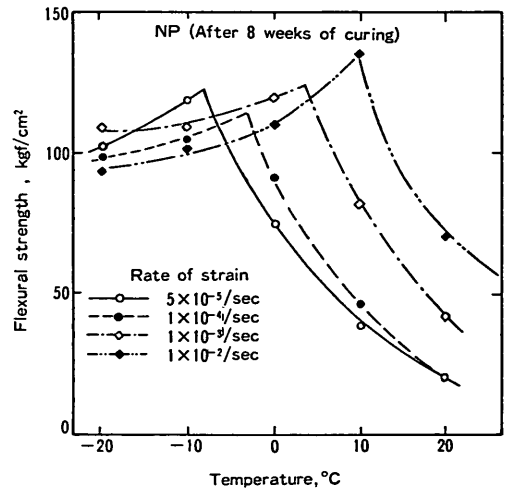


図-3.5 温度が曲げ強度に及ぼす影響 (8週間の熱履歴後)

経過とともに強度が増加し、破断ひずみが減少し、またスティフネスが増加しており、アスファルトコンクリートが熱履歴により硬く、もろくなっていることもうかがえる。したがって、骨材にC.R.R.を用いたものは、熱履歴を受けることによって容易に破断する可能性があることになる。これは、C.R.R.が通常骨材に比較して吸アスファルト性に富んでいるために、アスファルトコンクリート中の骨材間の実質的なアスファルト量の減少を

招いて、アスファルトコンクリートを硬くしやすいからであると考えられる。

次に、NS、CS、NPの3種類の試料で熱履歴がないものとあるもの(8週間)について、温度とひずみ速度を広範囲に変化させて定ひずみ速度曲げ試験を実施した。その結果のうち、NPについての曲げ強度と温度の関係を示したものが、図-3.4、3.5であるが、曲げ強度～温度曲線のピークで表されるぜい化点における温度

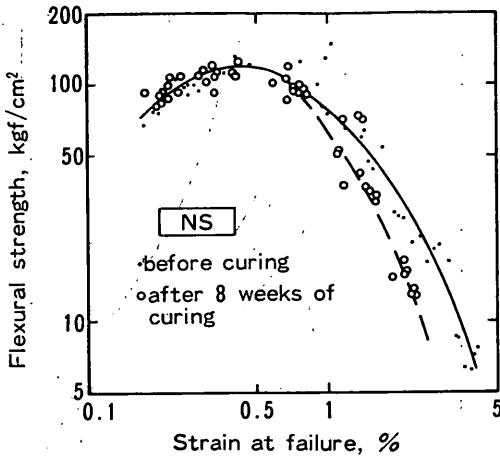


図-3.6 破壊包らく線 (NS)

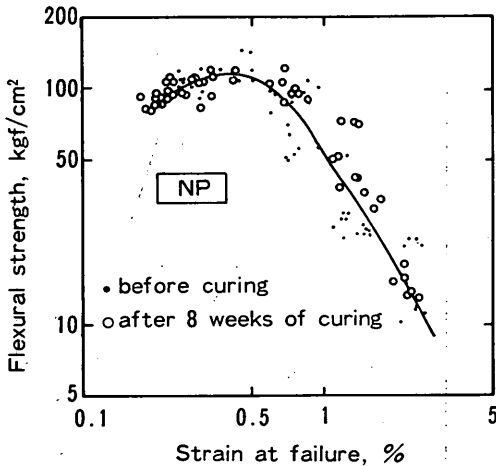


図-3.7 破壊包らく線 (NP)

は、8週間の熱履歴によっていくらか高温側に移動しており、アスファルトコンクリートが硬くなっていることを示している。

同じシリーズの試験から、曲げ強度と破断時のひずみの関係をプロットしたものを図-3.6, 3.7に示す。図中には、同一条件下で実施した3本の供試体についての試験結果を平均する前の個々のデータがプロットされている。このような図は一般に破壊包らく線と称され、アスファルトコンクリートの配合が決まれば、温度やひずみ速度にかかわらず一本の曲線になるといわれている⁴⁾。両図ともおおむねその傾向を示しているが、図-3.6に示したストレートアスファルトを用いた供試体では、8週

間の熱履歴によって破断ひずみが0.5%以上の部分の包らく線がいくぶん左側(破断ひずみが減少する方向)へ移動するようである。これは、高温および長時間載荷領域においてある応力に対する許容ひずみが低下することであり、熱劣化によってアスファルトコンクリートが破壊しやすくなったことを示しているといえよう。また、図には示していないが、この傾向は通常骨材を用いたものよりもC.R.R.を用いたものの方が大きいことが認められた。これに対し、セミブローンアスファルトを用いたものでは、図-3.7に示すように、8週間程度の熱履歴は破壊包らく線の位置やその形状にほとんど影響を及ぼさないようであり、わだち掘れ対策として開発されたセミブローンアスファルトの特徴を表している。

アスファルトコンクリートの1つの特徴として、応力緩和現象、すなわち、ある一定量のひずみを加えることにより発生する応力が時間の経過につれて減少する現象が挙げられるが、この応力緩和の程度を示すものが緩和弾性率である。この緩和弾性率が熱履歴により変化する様子を示したものが図-3.8~3.10であり、それぞれ、NS, CS, NPの緩和弾性率のマスターカーブ(基準温度:0°C)を示している。いずれも、8週間の熱履歴によって、高温および長時間載荷領域の緩和弾性率が増加していることがよくわかる。これは熱履歴によって応力が緩和しにくくなったことを示しており、温度変化によりアスファルトコンクリートに生ずる温度応力などによってアスファルトコンクリートが破壊しやすくなったことを示唆しているものと考えられる。また、熱履歴による緩和弾性率の増加程度は、骨材としてC.R.R.を用いたものが著しく、前述の曲げ強度、破断ひずみ、スティフネスから得られた結果と一致している。

これらの図にはShellのノモグラフ⁵⁾を用いて算出した緩和弾性率も示しているが、骨材としてC.R.R.を用いたもの(図-3.9)では今回の試験から得られた緩和弾性率との相違が、特に高温・長時間載荷領域で著しいようである。前述のように、これはC.R.R.が吸アスファルト性に富んでいるために実質的なアスファルト量の低下を招き、そのために高温・長時間載荷領域において今回の試験で得られた緩和弾性率の方がShellのノモグラフから算出したものよりも大きな値を示しているものと考えられる。

(2) アスファルトコンクリートの目地の力学性状

コンクリート舗装と異なりアスファルト舗装ではアスファルトコンクリートが応力緩和現象を呈するので目地

老化にともなうアスファルトコンクリートの性状変化

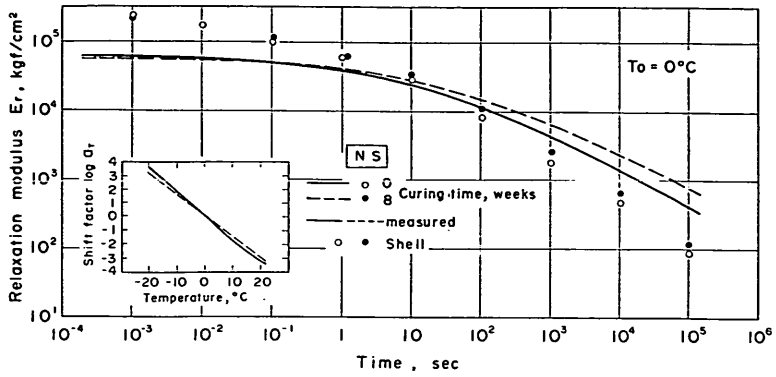


図-3.8 緩和弾性率のマスターカーブ (NS)

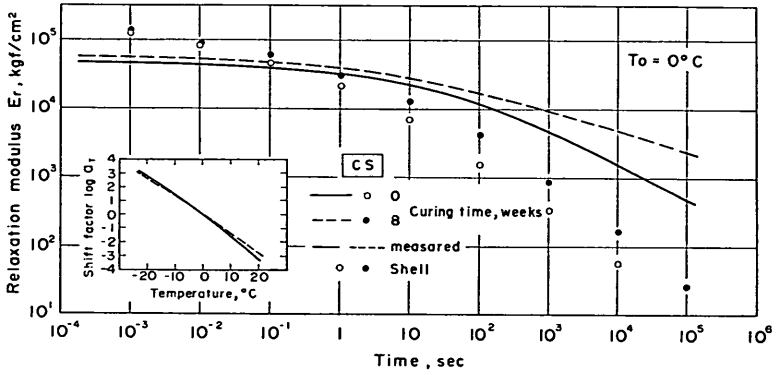


図-3.9 緩和弾性率のマスターカーブ (CS)

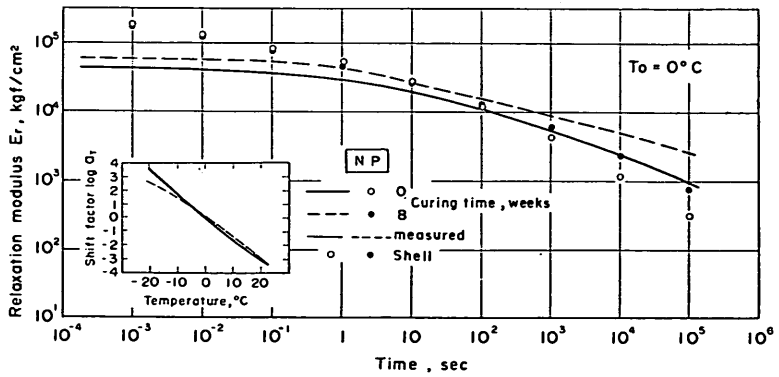


図-3.10 緩和弾性率のマスターカーブ (NP)

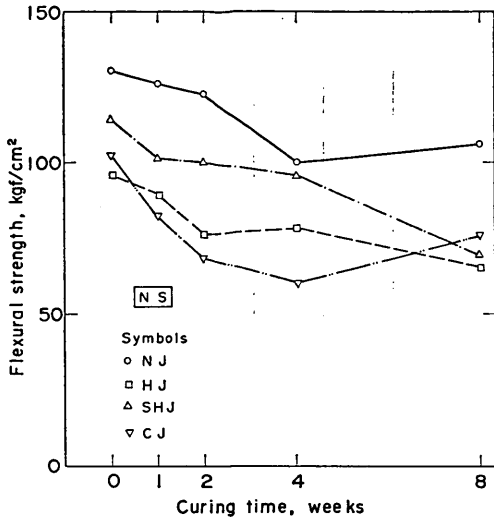


図-3.11 目地の種類と曲げ強度の関係

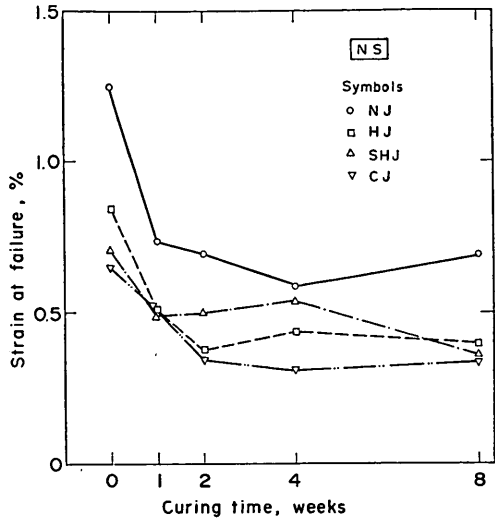


図-3.12 目地の種類と破断ひずみの関係

を設ける必要はないが、舗装を製作するときには施工上の制約から必然的に目地（継目）ができてしまう。この目地が開いてしまう現象、すなわち、目地切れは供用中の空港アスファルト舗装においてよく見られ、そこから雨水が路床、路盤へ浸透するなど舗装の構造的な弱点となっている。ここでは、室内で製作した目地について、目地がアスファルトコンクリートの力学性状に及ぼす影響について考察を加える。

図-3.11～3.13はそれぞれ目地を有する、表-2.1に示したNSの曲げ強度、破断ひずみ、0.1%のひずみにおけるスティフネスを示している。試験条件は載荷速度 $1 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 、温度 10°C である。(1)で述べた目地のないもの (NJ) と同様に、目地のあるものも熱履歴期間の経過とともに曲げ強度、破断ひずみが減少し、スティフネスが増加していることがわかる。また、目地の有無による力学性状の違いとしては、目地のあるものはNJに比べて、その曲げ強度、破断ひずみがかかなり小さいが（特にCJの破断ひずみはNJのものの約1/2になっている）、スティフネスには明確な差が認められないことが挙げられる。このことから、目地のあるものは小ひずみ領域ではNJとほぼ同一の応力～ひずみ経路をたどるが、目地部の付着が完全でないためにNJの曲げ強度に到達する前に目地部で破断するものと推定される。

3種類の目地のうちではCJが最も小さい曲げ強度、破断ひずみを示しており、HJ、SHJのものはNJとCJの中間に位置している。このことは、アスファルトコン

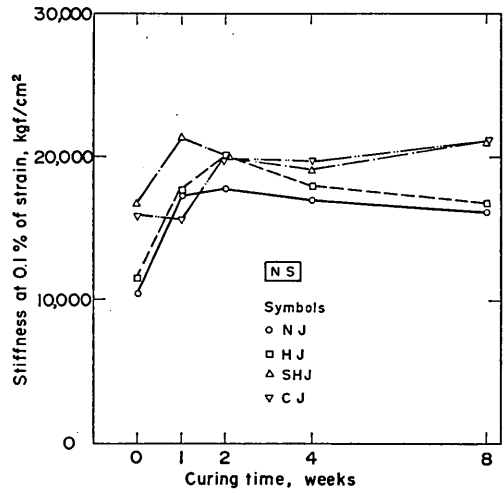


図-3.13 目地の種類とスティフネス (0.1%ひずみ) の関係

クリートの目地部の付着程度はCJが最も劣っていることを意味しており、気象条件が厳しいなどアスファルトコンクリートの老化が問題となりそうな空港の舗装工事においてはCJを避けてHJやSHJを用いることが望ましいものと思われる。

(3) アスファルトコンクリートの熱膨張係数
熱履歴のないものと8週間の熱履歴を与えたものに対して実施したアスファルトコンクリートの熱膨張係数の

表-3.1 8週間の熱履歴前後の熱膨張係数

Curing time, weeks	NS	CS	CS+1	NP	CP
0	32.3	27.2	30.5	29.4	20.8
8	25.0	26.3	28.4	27.7	21.5

(unit: $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

測定結果を 表-3.1 に示す。アスファルトコンクリートの種類によらず8週間の熱履歴によって熱膨張係数が減少していることがわかる。これは後述の回収アスファルトの物性値の伸び度においてみられるように、熱履歴によりアスファルトが伸びにくくなったことによるものである。また、アスファルト量の多いアスファルトコンクリートの方が、熱膨張係数が大きくなる傾向もみられる。これは、一般には骨材よりもアスファルトの熱膨張係数の方が大きいという事実に起因しているものと思われる。

3.2 回収したアスファルトの物理・化学的性質の変化

熱履歴によるアスファルトコンクリートの性状変化は、アスファルトコンクリートがアスファルトと骨材の混合物であることから、アスファルトの性質の変化により生ずるものと思われる。ここでは、熱履歴を与えたアスファルトコンクリートから回収したアスファルトの物理・化学的性質の変化について考察する。

まず、熱履歴期間が回収アスファルトの残留針入度(ここでは、熱履歴を与えたものの針入度を加熱混合する前のアスファルト(原アスファルト)の針入度に対する百分率で表したものとした)、針入度指数 PI, フラースゼい化点, 60°C 粘度で表される物理的性質に及ぼす影響を 図-3.14~3.17 に示す。いずれの指標をとっても、熱履歴期間の経過とともにアスファルトが硬化し、感温性が小さくなる傾向を示している。図-3.15 では、通常骨材を用いた供試体から回収したアスファルトの針入度は、ストレートアスファルト、セミブローンアスファルトともに、供試体を作成した時点ですでに原アスファルトの70%以下に低下したことが示されている。これは、C.R.R.を用いたものに比較してアスファルト量が少ないため、骨材表面上のアスファルト膜厚が薄くなり、混合時に熱劣化が大きく進行したためであろう。また、これらの図から、CS+1から回収したアスファルトが他のものに比べて硬化しにくいことも認められ、アスファルト量の増加がアスファルトの硬化防止策として有効なものであると考えられる。

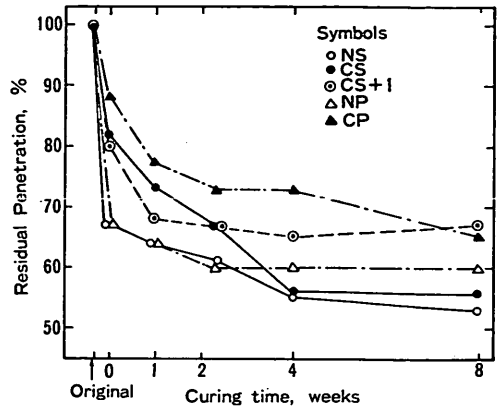


図-3.14 熱履歴期間が残留針入度に及ぼす影響

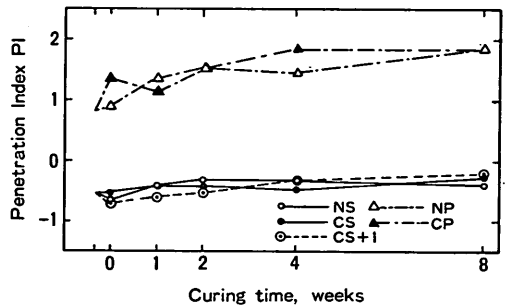


図-3.15 熱履歴期間が針入度指数に及ぼす影響

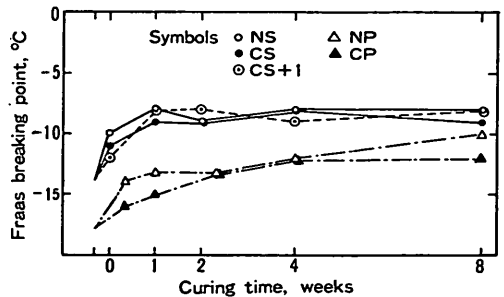


図-3.16 熱履歴期間がフラースゼい化点に及ぼす影響

のであると考えられる。

次に、クロマトグラフ分別法によるアスファルトの化学組成分析の代表的な結果を 図-3.18, 3.19 に示す。まず、アスファルトの種類によって各成分の構成比率が大きく異なることが2枚の図から読みとれる。またいずれ

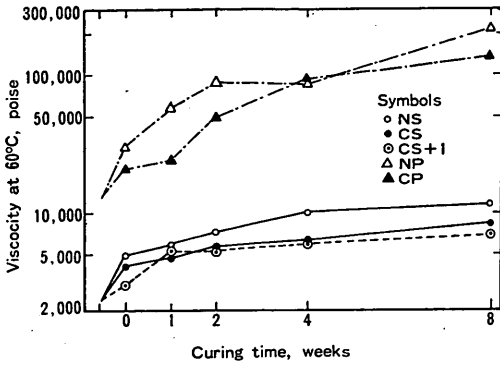


図-3.17 熱履歴期間が60°C粘度に及ぼす影響

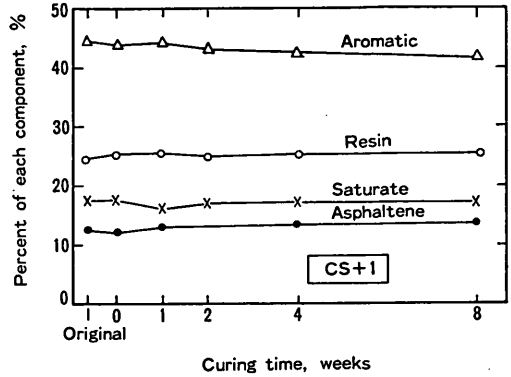


図-3.19 熱履歴期間がアスファルトの化学組成に及ぼす影響 (CS+1)

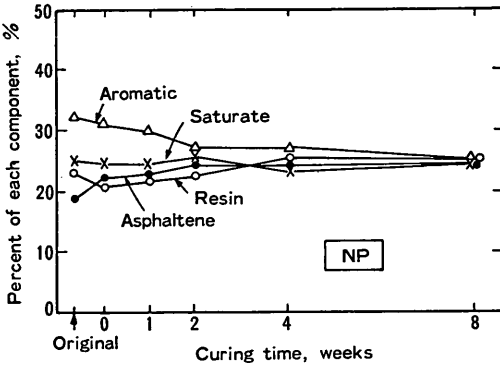


図-3.18 熱履歴期間がアスファルトの化学組成に及ぼす影響 (NP)

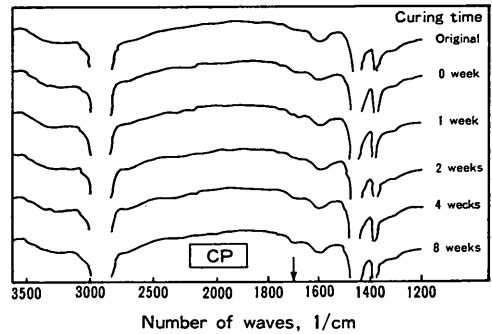


図-3.20 赤外線分析の結果 (CP)

のアスファルトでも、芳香族成分が減少し、アスファルテンが増加していることがわかる。このことは、いずれのアスファルトコンクリートも熱履歴によってアスファルト中のアスファルテン分が増加し、アスファルトが次第に劣化していていることを化学的に示している。150°Cでアスファルトコンクリートを貯蔵した場合(ホットストレージ)のアスファルトの化学組成の変化を調べた例⁶⁾では、1時間経過後にアスファルテンが約1.7倍、24時間後では約2.5倍となっているが、実際の舗装で測定された最高温度70°Cによる熱劣化を調べた今回の試験結果からは、それ程顕著な成分変化は認められなかった。

図-3.20に、アスファルトの酸化の程度を調べるために実施した赤外線分析結果の1例を示す。実際の舗装では熱の作用以外にアスファルトの酸化もアスファルトの硬化・老化の大きな原因となっている。そして酸化の進

行したアスファルトに対して赤外線分析を行うと、一般に波数が1700 cm⁻¹の付近に、カルボニル基(C=O)に起因するピークが現れるといわれている⁶⁾。しかし、図-3.20では、顕著なピークは見られず、今回実施した70°C、8週間の熱履歴では酸化はほとんど進行していないものと推定される。

これらのことから、70°C、8週間の熱履歴は、アスファルトの物理的性質ならびに化学組成の変化を促進させる効果はあるものの、酸化を促進させることはほとんどないようである。今後、熱作用と酸化によるアスファルトコンクリートの老化をできるだけ忠実に再現するような実験手法の確立が望まれる。

4. 繰返し温度変化と熱履歴がアスファルトコンクリートの力学性状に及ぼす影響

2. に示した手順で、12種類のアスファルトコンクリートの供試体(NJ・CJ各5種類、HJ・SHJ各1種類)

に対し繰返し温度変化を 100 サイクルまで与えた。4.1 では試験結果に基づいて温度変化により供試体に発生する応力、その繰返しの影響ならびにそれらの目地の種類による相違について述べ、4.2 では、この温度変化によりアスファルトコンクリートに生ずる温度応力の数値計算によるシミュレーションについて考察する。さらに、4.3 では温度応力クラックの防止策といったものについても言及する。

4.1 アスファルトコンクリートの温度応力

まず、熱履歴のないアスファルトコンクリートの供試体に与えた繰返し温度変化の第 1 サイクルにおいて、温度変化につれて発生応力が変化していく様子を 図-4.1、4.2 に示す。図-4.1 は骨材が通常骨材の場合(NS, NP)、図-4.2 は骨材が C.R.R. の場合 (CS, CS+1, CP) である。いずれのアスファルトコンクリートも、温度～応力曲線は反時計回りのヒステリシスを描いている。 -20°C における発生温度応力をアスファルトの種類別にみると、セミブローンアスファルトを用いたものの方がストレートアスファルトを用いたものよりも小さくなっている。これは先に示した針入度や粘度の関係から予想されるものと逆の傾向であるが、緩和弾性率のマスターカーブで代表されるような両者の感温性の違いによるものであろう。同時に、熱膨張係数の違いといったことも重要な要素である。これについては 4.2 で数値計算例を紹介する。骨材の種類別では C.R.R. を使用したものが、大きな温度応力を呈するようである。さらに、CS+1 の -20°C における発生温度応力が CS のものに比較して小さいことから、アスファルト量の増加は温度応力に対して効果があると思われる。これは、アスファルト量の増加が表-3.1 に示すように熱膨張係数の増加をまねき、発生温度応力が大きくなる方向に作用するものの、その影響を上回る程度にまで緩和弾性率が低下したためであると考えられる。

熱履歴がこの繰返し温度変化の第 1 サイクルの -20°C で発生する温度応力に及ぼす影響をみたのが 図-4.3 である。いくぶんばらつきはあるものの、熱履歴にともなって発生温度応力も大きくなっていく様子がうかがえる。これは、熱履歴にともなうアスファルトコンクリートの硬化に起因するものであり、3.の結果からも予想されることである。また、熱履歴がない場合に認められた、ストレートアスファルトや C.R.R. を用いたアスファルトコンクリートの発生温度応力が大きいことは、熱履歴のある場合についても言えることがわかる。

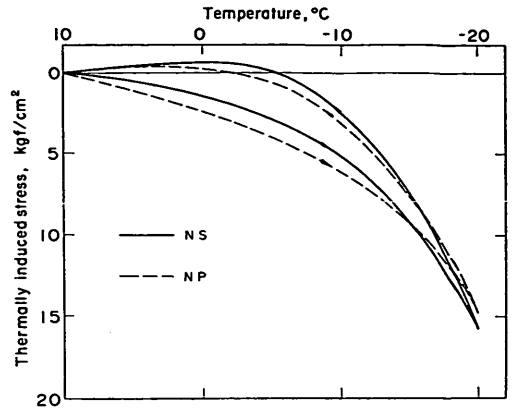


図-4.1 温度応力の実測値 (NS, NP)

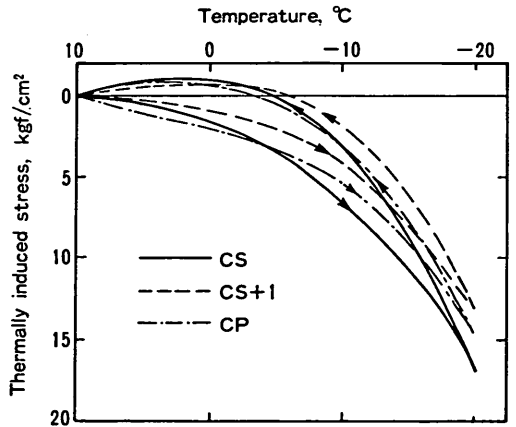


図-4.2 温度応力の実測値 (CS, CS+1, CP)

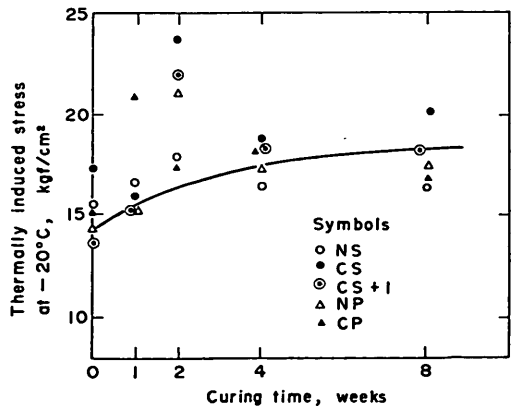


図-4.3 熱履歴期間が -20°C における温度応力に及ぼす影響

次に、100 サイクルの繰返し温度変化中にアスファルトコンクリートに発生する温度応力について考察する。図-4.4, 4.5 はそれぞれ、熱履歴が 0, 8 週間のアスファルトコンクリートについて、 -20°C における発生温度応力を繰返し回数との関係で示したものである。アスファルトコンクリートの種類や熱履歴の有無にかかわらず、繰返し回数が増加するにつれて -20°C における発生温度応力は減少する。中には、100 サイクルまでに供試体が破壊したものや、発生温度応力がきわめて小さくなった（消失した）ものが認められる。これは森吉らの述べている温度によるアスファルトコンクリートの疲労現象⁷⁾ であるかもしれない。しかし、供試体が破壊した状況や供試体に発生する温度応力が消失した状況を見ると供試体とフレームの接着が不完全であったための現象とも考えられるので、このメカニズムについての詳細な説明は次の機会にすることにしたい。

表-4.1 は、今回試験を実施した 12 種類のアスファルトコンクリートの供試体について行った繰返し温度変化中に供試体が破壊したものと供試体に発生する温度応力が消失したものをまとめたものである。NJ のものについては破壊を示すものは少ないが、熱履歴期間の経過につれて発生温度応力の消失が多く見られる。また、目地のあるものは NJ に比べて繰返し温度変化により破壊しやすいことがわかる。この傾向は熱履歴の増加につれて大きくなる。これは、3. で述べたように CJ の破断ひずみが NJ の約 1/2 であるとの定ひずみ速度曲げ試験結果から容易に推察できよう。

次に、目地の種類と繰返し温度変化の第 1 サイクルの

表-4.1 繰返し温度変化の結果

Asphalt Concrete	Joint	Curing time, weeks.				
		0	1	2	4	8
NS			▲			△
CS				△		
CS+1	NJ	△		△		△
NP			▲			
CP		△	△	▲	△	△
NS	HJ		△		△	
NS	SHJ			△		△
NS					△	△
CS				▲	▲	▲
CS+1	CJ		△	△	△	▲
NP		▲		▲	▲	▲
CP		▲	△	▲	▲	▲

▲ Specimen failed

△ Stress quite decreased

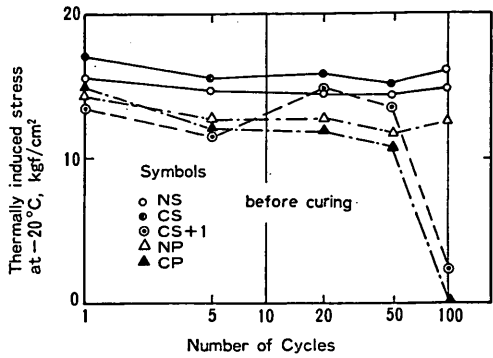


図-4.4 繰返し温度変化が温度応力に及ぼす影響 (熱履歴前)

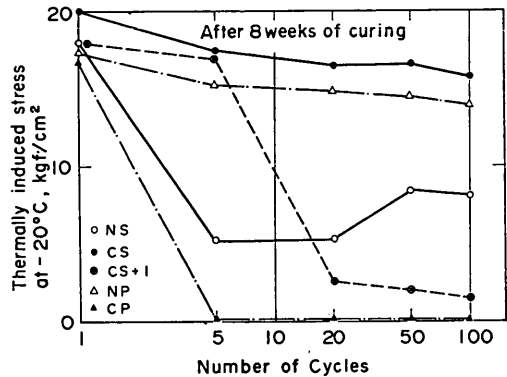


図-4.5 繰返し温度変化が温度応力に及ぼす影響 (8 週間の熱履歴後)

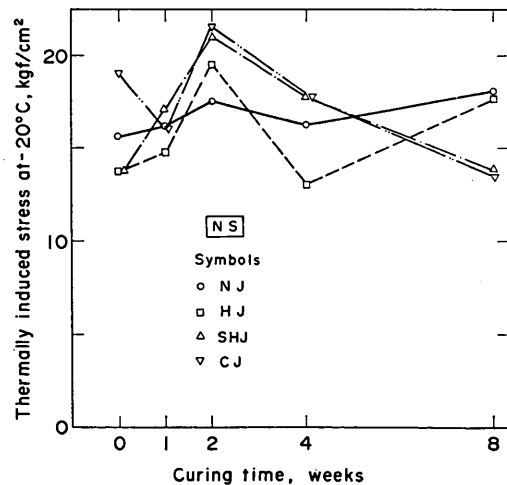


図-4.6 目地の種類と温度応力の関係

老化にともなうアスファルトコンクリートの性状変化

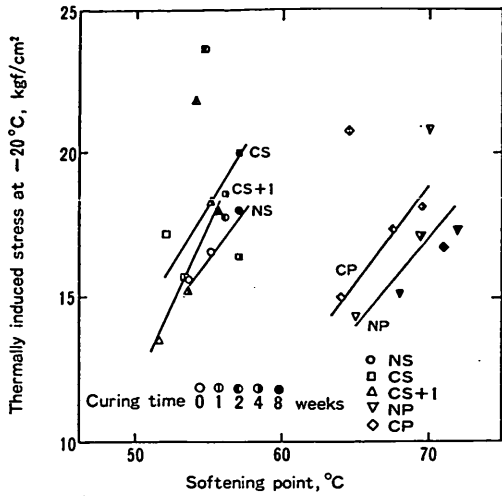


図-4.7 温度応力とアスファルトの軟化点の関係

-20°Cにおける発生温度応力の関係を図-4.6に示す。このHJ, SHJ, CJの3種類の目地を設けたアスファルトコンクリートはNSのみであるので明確なことは言えないが、HJはNJと、SHJはCJとそれぞれ類似した傾向を示すことがわかる。

アスファルトコンクリートに熱履歴を与えることにより、図-4.3に示したように繰返し温度変化の第1サイクルの-20°Cにおける発生温度応力が増加し、また、表-4.1に示したように繰返し温度変化により破壊しやすくなることから、繰返し温度変化による破壊しやすさの指標として第1サイクルの-20°Cにおける発生温度応力に注目して、これとアスファルトの物性値との間の関連性を調べることにする。

3.2で述べたように、熱履歴によりアスファルトの各物性値は変化するが、その中から軟化点と繰返し温度変化の第1サイクルの-20°Cにおける発生温度応力の関係を示したものが図-4.7である。両者のあいだには比較的大きな相関があるようで、今回の試験の範囲では、骨材が変わってもアスファルトの種類と軟化点を与えられれば、発生温度応力の大小の比較、ひいては繰返し温度変化による破壊しやすさがある程度推定できそうである。これに対し、針入度、フラスゼい化点、60°C粘度などの物性値と温度応力との間には図-4.7ほどの相関はなかった。

次に、100サイクルの繰返し温度変化を与えたものと

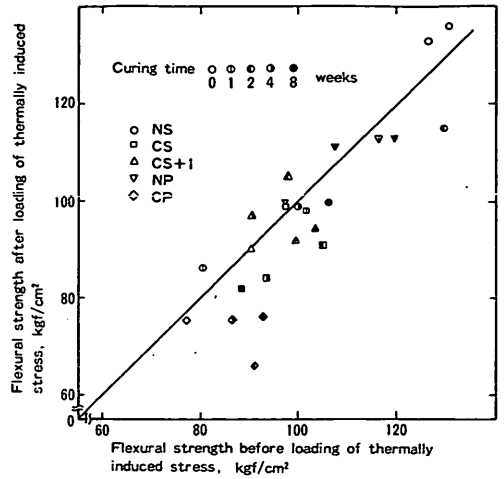


図-4.8 100サイクルの繰返し温度変化前後の曲げ強度の比較

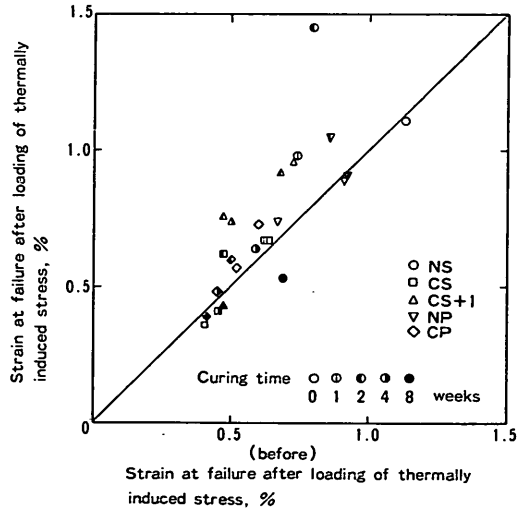


図-4.9 100サイクルの繰返し温度変化前後の破断ひずみの比較

そうでないものに対して行った定ひずみ速度曲げ試験の結果を図-4.8, 4.9に示す。これらの図より100サイクルの繰返し温度変化によって曲げ強度は減少し、破断ひずみは増加する傾向が認められ、繰返し温度変化によりアスファルトコンクリートが軟らかくなったものと思われる。

4.2 温度応力のシミュレーション

いろいろな温度条件下での温度応力の発生状況を推定

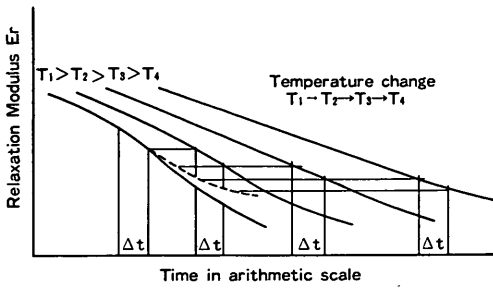


図-4.10 温度が変化する場合の緩和弾性率の決定法

するために、線形粘弾性理論を利用して、温度応力のシミュレーションを試みた。温度応力の計算には、時間 t と温度 T の関数としての緩和弾性率 $Er(t, T)$ および熱膨張係数 α が必要である。前者については、定ひずみ速度曲げ試験から得られた緩和弾性率のマスターカーブ(図-3.8~3.10)を用い、後者については今回の試験で得られた表-3.1を使用した。アスファルトコンクリートの熱膨張係数は冷却時と加熱時では異なり、冷却時に大きな値を示すとの報告もある⁸⁾が、今回は測定データ数が少ないこともあって、冷却時と加熱時で顕著な差は認められなかった。そこで、この数値計算に用いる熱膨張係数は冷却・加熱時の平均値をとることにした。

次に、数値計算の考え方を示す。まず、ある微小温度変化 ΔT によるアスファルトコンクリートのひずみが $\alpha \cdot \Delta T$ で表される。このひずみを拘束することによって発生する応力の時間的変化は、

$$\Delta \sigma(t) = \alpha \epsilon \cdot Er(t, T) = \alpha \cdot \Delta T \cdot Er(t, T)$$

で計算される。ここで、温度が時間とともに変化する場合の緩和弾性率は、図-4.10 に示すように、そのマスターカーブを温度変化の順序に応じて時間軸方向にシフトすることにより求めた。このシフト量は、図-3.8~3.10 に示した温度~シフトファクター関係から求められる。微小温度変化に起因するこのような温度応力の時間的変化を各時間ステップごとに重ね合わせていくことによって、与えられた温度条件下での発生温度応力を計算することが可能となる。

図-4.11, 4.12 は、今回の試験で用いたものと同じ温度条件のもとで NS, NP に発生する温度応力をシミュレートしたものであり、おのおの、熱履歴が 0, 8 週間である。この計算過程では、インバール製フレームの弾性変形 ($3.75 \text{ kgf}/10^{-6}$) および熱膨張係数 ($2.33 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

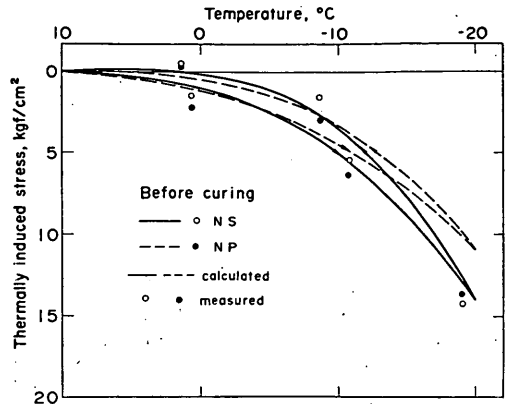


図-4.11 温度応力の計算結果(熱履歴前)

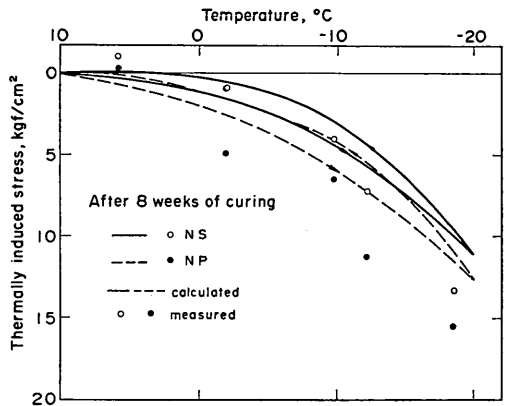


図-4.12 温度応力の計算結果(8週間の熱履歴後)

の影響も考慮している。両図より、温度~応力曲線は反時計回りのヒステリシスを描くことが計算からも認められる。また、図-4.1 に示す実測値の傾向をよく表していることもわかる。しかし、発生温度応力を計算により完全に表すことは困難であった。その理由としては、熱膨張係数の測定が不正確なものであったことが考えられよう。熱膨張係数が温度応力に及ぼす影響の大きさを示す 1 例として、図-4.13 に熱履歴がない NS の緩和弾性率を用いて計算した温度応力と熱膨張係数の関係を示しているが、熱膨張係数のとり方によって -20°C における発生温度応力が大きく変化することがわかる。このことから、熱膨張係数を正確に把握できれば、発生温度応力をかなりの精度で推定できるものと思われる。

次に、温度条件やアスファルトコンクリートの感温性の違いが発生温度応力に及ぼす影響を検討した。舗装の

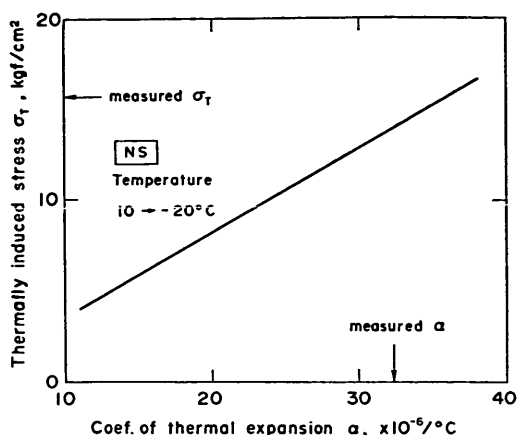


図-4.13 熱膨張係数が温度応力に及ぼす影響

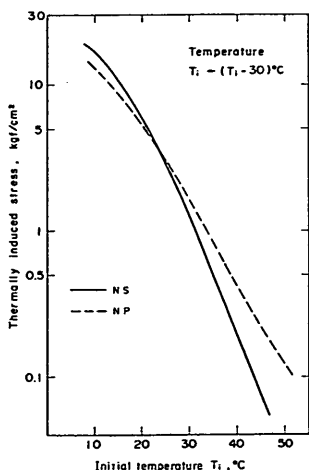


図-4.14 初期温度やアスファルトの種類が温度応力に及ぼす影響

アスファルトコンクリート層が路盤により完全に拘束されている場合を考えて、アスファルトコンクリートの供試体の変形が完全に拘束されているものとして実行した計算の結果を示す。NS、NPの2種類（熱履歴なし）のアスファルトコンクリートの温度が初期温度 T_i °C の状態から $(T_i - 30)$ °C の状態へ直線的に変化する場合を考えた。温度の降下速度（温度こう配）は今回の試験に用いたもの（ -16 °C/h）である。

図-4.14 にその結果を示す。この図から、初期温度が高くなると、等しい温度低下量のもとでも発生温度応力は急激に低下することがわかる。また、アスファルトコ

ンクリートの感温性の違いを反映して、高温領域ではストレートアスファルトを用いたものの方が発生温度応力が小さくなるのがうかがえる。

このように、ここで用いた方法によってアスファルトコンクリートに発生する温度応力のある程度推定できるので、適切な緩和弾性率、熱膨張係数を与えることにより、アスファルトの硬化や老化が温度応力の大きさに及ぼす影響を推定できるようなのである。

しかし、図-4.4、4.5 に示した、温度変化の繰返しにともなう発生温度応力の減少を計算によりシミュレートすることは困難であった。その理由としては繰返し温度変化を与えた後の供試体についての定ひずみ速度曲げ試験結果（図-4.8、4.9）に見られるように、繰返し温度変化によりアスファルトコンクリートの性質が変化することやアスファルトコンクリートの塑性的性質といったことを考えていないためであると思われるが、今回の試験からはこれらに関する情報が得られておらず、今後の検討課題としたい。

4.3 温度応力クラック発生の可能性

今回試験したアスファルトコンクリートの目地のない供試体は、熱履歴を与えていない状態では、 $10 \sim 20$ °C の温度変化の 100 サイクル程度では破断といった現象をほとんど示さなかった。これに対し、熱履歴を与えたものでは、アスファルトコンクリートの種類によっては、材料の硬化が大きくなり、発生温度応力も大きくなり、繰返し温度変化により一部に破断もみられた。

一方、目地を有するアスファルトコンクリートの供試体では、熱履歴を与える前のものにも温度応力による破壊がみられ、熱履歴期間の増加にともなって破壊例も増加している。

今回の一連の試験から判断すると、アスファルトコンクリートの温度応力クラックの発生にとっては、アスファルトコンクリートの老化にともなう硬化が大きな影響をもっているものと考えられる。すなわち、熱あるいは酸化によりアスファルトコンクリートが老化すると、アスファルトコンクリートがもろくなり、破断しやすくなり、また同時に、アスファルトコンクリートに発生する温度応力も増加し、一部に破断現象を呈するようになる。

逆にこのようなアスファルトコンクリートの老化を防げば、温度応力クラックの発生数を減少させることになると考えられる。今回、OAC+1%のアスファルト量の試料に対し試験しているが、OACのものに比べるとアスファルトコンクリートの硬化の程度が小さくなり、ま

た熱膨張係数は若干大きくなるものの、緩和弾性率が小さくなるため発生温度応力が小さくなる傾向があった。これより、過大にならず適切な量であるならば、アスファルト量の増加が、アスファルトコンクリートの老化の進行を遅くし、温度応力クラックの発生の防止にとって1つの対策になるものと考えられる。またその他の対策としては今回の試験結果からみられたように、吸水率の大きな骨材を避けるべきであることも挙げられる。

5. 結 論

本研究により明らかになった主な事項は次のとおりである。

- (1) アスファルトコンクリートは、熱履歴期間の経過とともに、硬く、もろくなっていく。すなわち、スティフネスは増加し、破断ひずみは減少していく。また、ぜい化点温度は高温側へ移動し、緩和弾性率も特に高温・長時間載荷領域で著しい増加を示す。さらに、NSの破壊包らく線では、破断ひずみが0.5%以上の部分がいくぶん左側（破断ひずみが減少する方向）へ移動している。
- (2) 熱履歴を与えたアスファルトコンクリートからの回収アスファルトの針入度、PI、フローぜい化点、軟化点などの物性値や化学組成は、いずれも、アスファルトが熱履歴により硬化していていることを示している。
- (3) 繰返し温度変化の第1サイクルの -20°C においてアスファルトコンクリートに発生する温度応力は、熱履歴期間の経過とともに増加する。また、熱履歴にともなって、アスファルトコンクリートは繰返し温度変化により破壊しやすくなる。
- (4) アスファルトコンクリートに発生する最大温度応力とアスファルトの軟化点との間にはかなり大きな相関性がみられ、熱履歴期間と軟化点がわかれば温度応力の大きさある程度推定できる。
- (5) アスファルトコンクリートに発生する温度応力は、アスファルトコンクリートの緩和弾性率と熱膨張係数を用いて、線形粘弾性理論により、与えられた温度条件に対しかかなりの精度で推定できる。
- (6) 熱履歴期間の経過につれてアスファルトコンクリートが硬く、もろくなる程度および温度変化により発生する温度応力の大きさの程度は、吸水率の大きな骨材を用いたアスファルトコンクリートの場合が著しい。

- (7) 目地を有するアスファルトコンクリートの供試体は、ないものと同様に、熱履歴期間の経過につれて硬く、もろくなり、繰返し温度変化により破壊しやすくなる。また、目地のあるものはないもの比べて、それらの程度が著しく、目地の種類別では、コーールドジョイントのものが最も破壊しやすい。
- (8) アスファルト量を多くすると、熱膨張係数は大きくなるが、緩和弾性率はその影響を上回る程度にまで低下するので、発生温度応力は減少する。また、このアスファルト量の増加は、目地切れ対策としても有効である。
- (9) アスファルトコンクリートの温度応力クラックの発生に対しては、アスファルトコンクリートの老化が大きな影響をもつことが認められたので、老化を防ぐことによりある程度温度応力クラックの発生数を減少できると考えられる。アスファルトコンクリートの老化防止策としては、(8)の結果から判断して、それが過度でなければアスファルト量の増加が有効なものとなろう。

6. あとがき

アスファルトコンクリートに老化をもたらすものとして熱を取り上げ、これによるアスファルトコンクリートの老化がそれ自身の力学性状や温度応力クラックの発生に及ぼす影響を明らかにするとともに、施工目地に注目し、目地の種類による破壊しやすさにも考察を加えた。しかし、本文中にも述べたように、アスファルトコンクリートの自然環境による老化の原因は熱以外に紫外線、水分などがあり、今回実施した熱による促進老化では、アスファルトコンクリートに酸化を生じさせることができなかった。熱以外の影響については、今回の試験に使用した12種類のアスファルトコンクリートの試料を屋外に放置してあるので、それらの試験結果を待つことにしたい。

アスファルトコンクリートの老化対策としてのアスファルト量の増加は、それが過度になると、アスファルト舗装のもう一つの性状低下であるわだち掘れを生ぜしめる。これを含めたアスファルトコンクリートの老化防止策についての詳細な検討は今後の課題としたい。

(1983年3月31日受付)

参 考 文 献

- 1) 菅原照雄ほか：温度応力によるアスファルト舗装

老化にともなうアスファルトコンクリートの性状変化

- のクラック破壊, 土木学会誌, 第64巻, 第5号, 1979年, pp. 62~69.
- 2) 笠原 靖ほか: 供用中におけるアスファルト舗装の老化の研究, 石油学会誌, 第18巻, 第1号, 1975年, pp. 30~33.
 - 3) 運輸省航空局: 空港土木工事共通仕様書, 1978年3月, p. 4-10.
 - 4) たとえば, 間山正一, 菅原照雄: 各種の舗装用混合物の力学性状に関する研究(第2報), 石油学会誌, 第22巻, 第3号, 1979年, pp. 170~179.
 - 5) Shell International Petroleum Company Limited: Shell Pavement Design Manual, 1978, 332 p.
 - 6) 笠原 靖ほか: ホットストレージによるアスファルトの劣化の研究(第1報), 石油学会誌, 第16巻, 第3号, 1973年, pp. 52~57.
 - 7) 森吉昭博, 菅原照雄: アスファルト混合物の破壊に関する研究(第5報), 土木学会第34回年次学術講演会第5部, 1979年, pp. 267~268.
 - 8) 小山泥舟ほか: アスファルト混合物の線膨張係数に与えるアスファルト量の影響, 土木学会第34回年次学術講演会第5部, 1979年, pp. 263~264.