

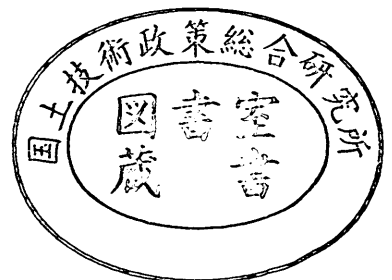
運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 27 NO. 2 JUNE 1988

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第27巻 第2号 (Vol. 27, No. 2), 1988年6月 (June 1988)

目 次 (CONTENTS)

1. Stability Analysis of Geotechnical Structures by Adaptive Finite Element Procedure
..... Masaki KOBAYASHI 3
(適応有限要素法による地盤の安定解析.....小林正樹)
2. 改良型波力発電ケーソン防波堤の特性
——波エネルギーに関する研究, 第7報—— ...高橋重雄・安達 崇・田中 智..... 23
(Stability and Function of Improved-type Wave Power Extracting Caisson Breakwater
——A Study on Development of Wave Power, 7th Rept.——
.....Shigeo TAKAHASHI, Takashi ADACHI and Satoru TANAKA)
3. 現地観測データを用いた方向スペクトル推定法に関する検討
..... 橋本典明・小舟浩治・亀山 豊..... 59
(Examination of the Various Directional Spectral Estimation Methods for
Field Wave Data.....Noriaki HASHIMOTO, Koji KOBUNE and Yutaka KAMEYAMA)
4. 海象観測用船型ブイの運動特性に関する模型実験と現地観測
..... 高山智司・平石哲也・高山 優・甲斐源太郎・中埜岩男・古賀道明..... 95
(Model Tests and Field Observation on Motions of a Ship-shaped Buoy for
Marine ObservationTomotsuka TAKAYAMA, Tetsuya HIRAISHI, Masaru
TAKAYAMA, Gentaro KAI, Iwao NAKANO and Michiaki KOGA)
5. 深層混合処理工法による改良体に作用する外力
..... 寺師昌明・北誥昌樹・中村 健.....147
(External Forces Acting on a Stiff Soil Mass Impoved by DMM
.....Masaaki TERASHI, Masaki KITAZUME and Takeshi NAKAMURA)
6. アスファルトコンクリートの老化性状..... 佐藤勝久・八谷好高・阿部洋.....185
(Changes in Properties of Asphalt Concretes due to Aging
..... Katsuhisa SATO, Yoshitaka HACHIYA and Yoichi ABE)
7. 剛基礎上の重力式係船岸の地震時滑動量推定手法の実験的研究
..... 上部達生・守屋正平・工藤勝己.....211
(An Experimental Study on Estimation Procedures of Seismic Sliding Displacements
for the Gravity Type Quaywall on the Rigid Base
..... Tatsuo UWABE, Masahira MORIYA and Katsumi KUDO)
8. CFRP ロッドを緊張材としたアンボンド PC 梁の曲げ性状
..... 大即信明・山本邦夫・浜田秀則.....241
(Bending Behavior of Unbonded Prestressed Concrete Beams Prestressed with
CFRP Rods Nobuaki OTSUKI, Kunio YAMAMOTO and Hidenori HAMADA)

6. アスファルトコンクリートの老化性状

佐藤勝久*・八谷好高**・阿部洋一***

要 旨

本研究の目的は、空港アスファルト舗装の温度応力クラック等に関連して、表層アスファルトコンクリートの老化にともなう性状変化を調べることである。

新東京国際空港と下地島空港での実態調査に基づき、実際の空港アスファルト舗装における表層アスファルトコンクリートの老化の進行具合、およびクラック発生等への老化の影響をある程度明らかにした。

一方、表層アスファルトコンクリートの骨材、アスファルト、アスファルト量を変えて、老化による性状変化を調べる一連の試験を行った。その試験は、アスファルトコンクリートを70℃の熱作用あるいは自然暴露により老化させ、アスファルトコンクリートの力学的性質の変化および回収アスファルトの物理的、化学的性質の変化を見るものである。試験結果から、熱作用による老化と自然暴露による老化の差異、アスファルトコンクリートの老化へのアスファルトや骨材の種類の影響等を明らかにした。

キーワード：アスファルトコンクリート、老化、室内試験、アスファルト、骨材、温度応力、現地調査、クラック

* 土質部 滑走路研究室長

** 土質部 主任研究官(舗装補修担当)

*** 新東京国際空港公団計画室調査役

6. Changes in Properties of Asphalt Concretes Due to Aging

Katsuhisa SATO*
Yoshitaka HACHIYA**
Yoichi ABE***

Synopsis

The purpose of this study was to investigate the changes in properties of asphalt concretes for surface courses of airport asphalt pavements as a result of the cracking associated due to effects such as temperature changes.

Conditions of surface courses in actual airport pavements were investigated from the aging point of view. The investigation revealed the rate of change in aging in relation to depth from the surface, the age-associated alteration of asphalt in asphalt concretes, and the influence of aging of asphalt concretes on their mechanical properties.

Furthermore, a series of model tests were carried out to clarify the aging phenomena of asphalt concretes. The tests were made to find out the changes in mechanical properties of asphalt concretes, and the changes in physical and chemical properties of recovered asphalt, by two aging processes of 70°C heat curing and exposure in natural conditions. The test results showed the difference between 70°C heat curing and exposure in natural conditions with respect to aging mechanism, and clarified the influence of asphalt type and aggregates on aging behavior of asphalt concretes.

Key Words: Asphalt Concrete, Aging, Laboratory Test, Asphalt, Aggregate, Thermal Stress, Field Investigation, Cracking

* Chief of Runways Laboratory, Soils Division.

** Senior Research Engineer, Soils Division.

*** Manager, Airport Facilities Planning Office, New Tokyo International Airport Authority.

目 次

要 旨	185
1. ま え が き	189
2. 空港アスファルト舗装における実態調査	189
2.1 新東京国際空港の場合	189
2.2 下地島空港の場合	193
3. モデル試験	196
3.1 試験方法	196
3.2 試験結果	204
4. 考 察	208
5. 結 論	208
6. あ と が き	209
参 考 文 献	209

1. ま え が き

近年アスファルト舗装の収縮クラックが重大な問題になってきている¹⁾。これらのクラックは、環境作用によるアスファルトコンクリートの老化と密接な関係があると考えられる。

アスファルトコンクリートの老化によりその性質がどのように変化し、温度応力クラックの発生にどのような影響を持つのかを明らかにするために、実際の空港での実態調査と一連のモデル試験を実施した。

実態調査は、老化したアスファルトコンクリートのクラックの調査、アスファルトコンクリートの各種性質の経時変化の試験である。モデル試験は、アスファルトコンクリートの骨材、アスファルト、アスファルト量等を種々変え、また老化を70℃の熱作用あるいは自然暴露により与え、アスファルトコンクリートの老化による各種性質の変化を調べるものである。ここで、70℃の熱作用による老化を行ったのは、高温でのアスファルトコンクリートの老化が大きいことに着目し、空港アスファルト舗装の表層で観測された最高温度を継続的に与えることにより促進老化させ、実際の空港アスファルト舗装の表層アスファルトコンクリートの老化を短期間で再現することを試みたものである。

実態調査の結果とモデル試験の結果をそれぞれ解析し、またそれら相互の比較を行った。

本報告では、これらの結果のうち主として、アスファルトコンクリートの老化性状とその老化がアスファルト

舗装の挙動に及ぼす影響について示す。

2. 空港アスファルト舗装における実態調査

2.1 新東京国際空港の場合

(1) 調査内容

新東京国際空港の第I期舗装工事は、1973年におおよそ完成した。主滑走路（A滑走路、4,000m×60m）、横風用滑走路の一部（C滑走路、930m×60m）、および連絡誘導路はアスファルト舗装からなり、1970年から1972年にかけて建設された。

舗装工事完了後、これらの施設は、空港反対運動のために供用開始まで6年間放置されねばならなかった。この期間に、これら施設の表面には、交通に起因しないクラックがかなり発生してきているのが観測された。

このことから、新東京国際空港公団では、施設機能の状態をチェックする目的で、これら空港舗装施設を調査することにした²⁾。路面性状の調査を実施し、表層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各種物理、化学試験、およびアスファルトコンクリート供試体に対する各種力学試験を実施した。調査は、1975年、1978年、1983年の3回行われた。

(2) 路面性状調査

各施設に対し、縦断凹凸量、横断形状、路面のクラック状態、路面の粗さ、路面のすべり抵抗性などの注意深い観測が実施された。本報告は舗装の性状に対するアスファルトコンクリートの老化の影響について論じるので、ここでは主として路面クラックのデータについての

表-1 新東京国際空港のクラック状況

クラックの種類		1	2	3	4	5	総 合
		しわ状 クラック	ブリスタ リングに よるクラ ック ^{*1)}	線状クラ ックの目 地クラッ ク ^{*2)}	網 状 クラック	パッチン グ	
A滑走路の北側 No. 7～12	1975	0.60%	0.10%	2.01%	0.54%	— %	2.65%
	1978	0.90	0.71	3.44	1.96	0.13	5.57
	1983	1.55	0.31	5.03	3.47	0.13	9.08
A滑走路の南側 No. 186～191	1975	2.31	0.06	1.99	0.16	—	2.21
	1978	4.24	0.11	2.95	0.89	0.39	3.94
	1983	7.32	0.26	4.11	2.49	0.32	6.84
C 滑 走 路 No. 41 ⁺¹⁰ ～46 ⁺¹⁰	1975	18.82	0.31	0.15	—	—	0.46
	1978	16.10	0.15	0.30	—	0.19	0.45
	1983	15.50	0.10	0.63	—	0.19	0.73

(注) 1) ブリスタリングによるクラックの面積=0.09(m²)×クラック数
 2) 線状クラックの面積=クラック長(m)×0.3(m) (網状クラックも含む)
 3) しわ状クラックは総クラックには含めない

表-2 使用アスファルトの物性

項 目	プレミアム アスファルト	ストレート アスファルト
針入度(25°C)1/10mm	70	65
軟 化 点(°C)	49.5	51.8
伸 度(cm)	40.5	100 ⁺
P I	- 0.50	- 0.13

み解析を加える。

クラック調査は、A滑走路の両端各100mの部分と、C滑走路の末端100mの部分について実施された。表-1はクラック調査の結果である。

この表から、クラック率(クラック面積×100/舗装面積(%))はどの部分でも年を経るごとに確実に増大していくことと、A滑走路の方がC滑走路よりも顕著であることがわかる。

このおもな理由は、各滑走路表層に用いられたアスファルトの違いによると考えられる。

A滑走路に用いられたアスファルトは、セミブローンアスファルトの一種であるプレミアムアスファルト(針入度級60~80)で、C滑走路に用いられたものは、普通のストレートアスファルト(針入度級60~80)であった。表-2はそれらの物理的性質である。A滑走路、B滑走路に用いたアスファルト量は、各々6.5%、6.0%であった。

(3) 回収アスファルトに関する調査

アスファルトコンクリートのコアは既設舗装の表層部分から切り取られ、アスファルトはこのコアから回収された。舗装の深さ方向における老化程度を確認する目的で、表層から切り取ったコアを表面から深さ方向

に0~5mm, 8~13mm, 16~35mmの3層に分けて切り出した。アスファルトはアブソン法(ASTM D 1856)により各層ごとに回収し、この回収したアスファルトについて各種の物理、化学試験を行い、その性状変化を調べた。物理、化学試験の方法は以下のとおりである。

- ① 針入度試験：JIS K 2207の方法
- ② 軟化点試験：JIS K 2207の方法
- ③ 粘度試験：JAA-001の方法
- ④ 赤外線吸収スペクトル分析：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する。

図-1は針入度の経年変化を深さ方向別に示したものである。図中には、原アスファルト(アスファルト素材)の針入度もオリジナル値としてプロットしている。アスファルトコンクリートを加熱混合して製造するときに、一般にアスファルトの針入度は大幅に減少する(図-18参照)が、そのときのデータはとられていないので、オリジナル値と各年のデータとは結んでいない。

プレミアムアスファルトについては、舗装表面付近の針入度の低下は顕著であるが、下層になるにつれてほとんど変化していない。一方、ストレートアスファルトについては、むしろ下層の針入度の低下が顕著で、表層全体に針入度の経年変化が及んでいるとみてよい。

これらの結果は、二つのアスファルトにおける物性の違い、アスファルトの量の差、およびアスファルトコンクリートの空隙率の違いなどに起因していると考えられる。

セミブローンアスファルトの一種で、ある程度酸化を受けていると思われるプレミアムアスファルトは、スト

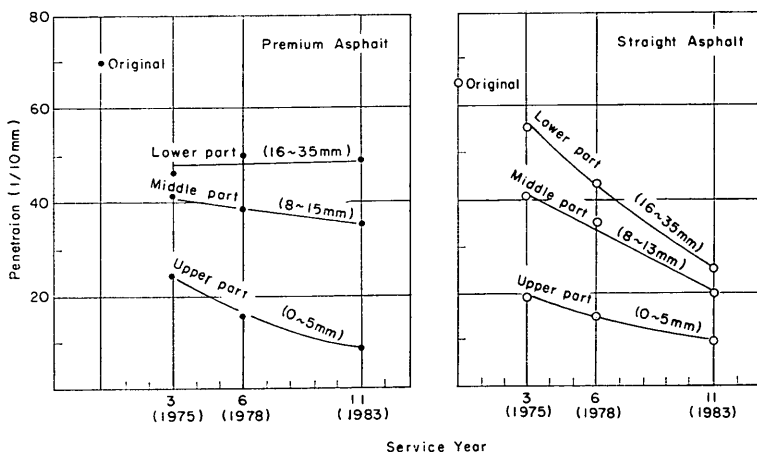


図-1 材令にともなう針入度の変化

アスファルトコンクリートの老化性状

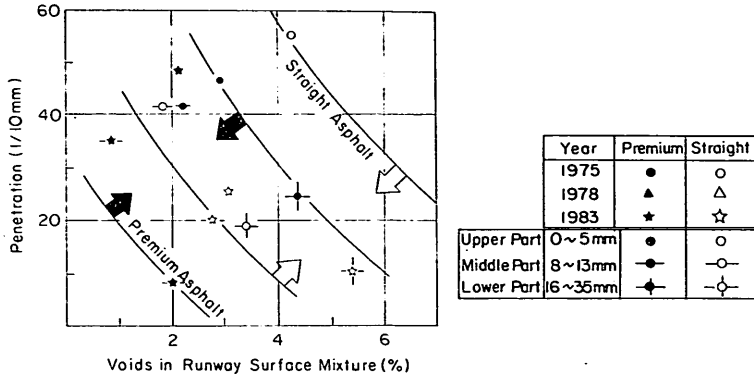


図-2 アスファルトコンクリートの空隙率と回収アスファルトの針入度の関係

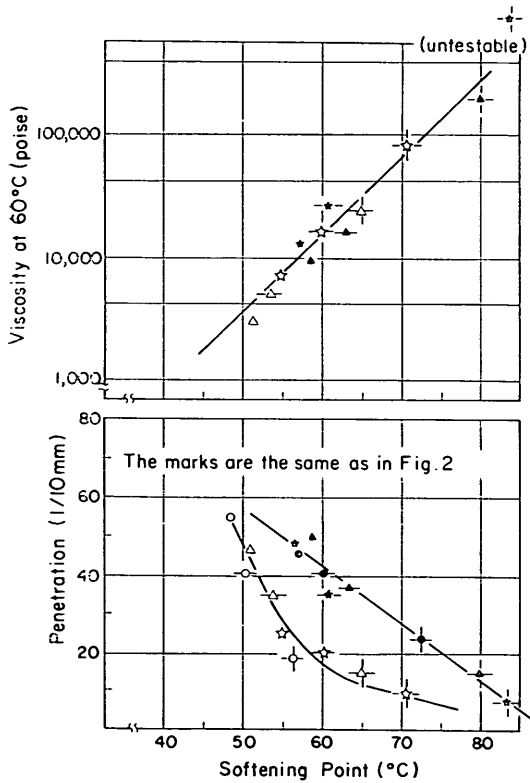


図-3 回収アスファルトの軟化点と針入度および軟化点と60℃粘度の関係

レートアスファルトに比べ老化の進行はより緩やかなうに見受けられる。

A滑走路に用いられたプレミアムアスファルトコンクリートは、C滑走路に用いられたストレートアスファルトコンクリートより0.5%アスファルト量が多い。また、図-2に示すように、プレミアムアスファルトコンクリートの空隙率 $V_v = (1 - D_m/D_t) \times 100(\%)$ 、 D_m : 密度、

D_t : 理論最大密度)の変動幅は、ストレートアスファルトコンクリートの変動幅とほぼ同じで約4%に相当する。しかし、プレミアムアスファルトコンクリートの変動幅の位置は、ストレートアスファルトコンクリートのそれに比べ全体的に約2%内側にある。

二つのタイプの回収アスファルトについて、軟化点と針入度、および軟化点と60℃粘度の関係を図示したのが図-3である。

図から、針入度が低下すると軟化点が上昇し、60℃粘度も高くなるという傾向が読みとれる。軟化点と60℃粘度との関係は、二つのタイプのアスファルトとも同じ直線で表現できるが、軟化点と針入度については、両アスファルトで異なる関係が表われている。すなわち、プレミアムアスファルトがほぼ直線変化であるのに対し、ストレートアスファルトは指数関数的な変化を示している。

回収アスファルトの物理試験結果と路面性状の関係を、軟化点とクラック率から求めたものが図-4である。

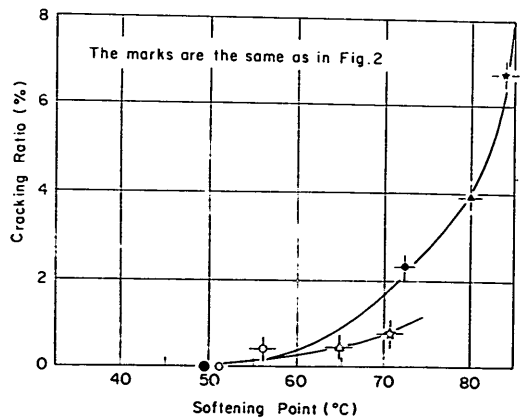


図-4 回収アスファルトの軟化点とクラック率の関係

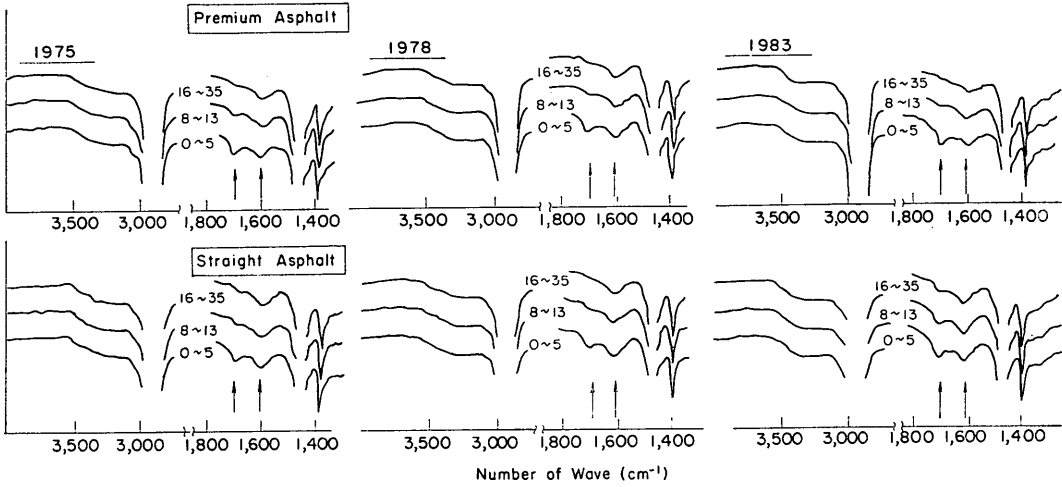


図-5 回収アスファルトの赤外線吸収スペクトル

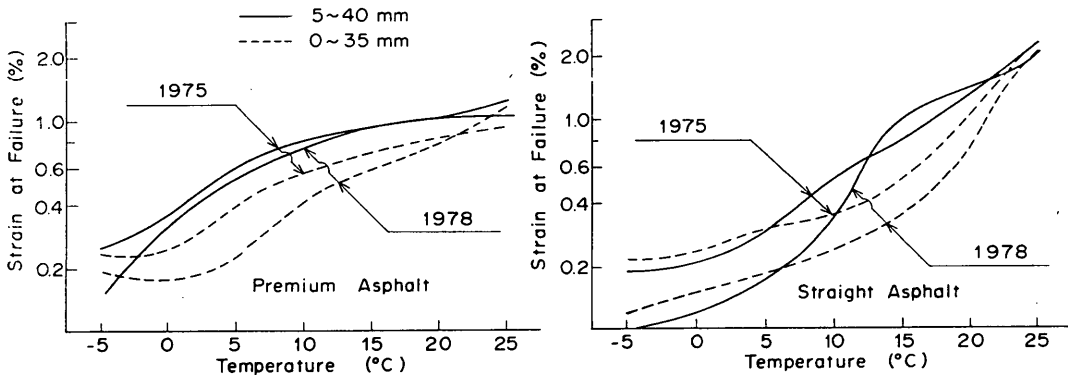


図-6 表層アスファルトコンクリートの定ひずみ曲げ試験における破断ひずみ

以上述べた解析に加えて、アスファルトの老化を化学的な面から評価するため、赤外線吸収スペクトル分析を実施した。試験結果は 図-5 に示すとおりである。この図では、比較の意味で、各深さでの結果を平行移動して示している。

スペクトル曲線が切れている部分は OH 基の吸収位置を示す。スペクトル曲線を見ると、一般にアスファルトの酸化程度の指標とされている³⁾、波長 $1,700\text{cm}^{-1}$ のカルボニール基、および $1,621\text{cm}^{-1}$ の芳香族核に吸収ピークが表われている。このカルボニール基の吸収ピークの形状から、アスファルトが酸化されている程度は、舗装表面に近いほど大きいこと、経年につれて酸化が進行していくことがわかる。

(4) アスファルトコンクリートの力学的性質に関する調査

既設表層アスファルトコンクリートを滑走路から切り出し、その力学性状を定ひずみ速度曲げ試験により解析した。曲げ試験は、供試体の寸法 $3 \times 3 \times 25\text{cm}$ 、中央 1 点載荷、載荷のひずみ速度 $1 \times 10^{-2}\text{sec}^{-1}$ 、試験温度 $-5 \sim 25^\circ\text{C}$ で行った。舗装表面の老化に起因するクラックの影響を見るため、舗装表面を残したもの（供試体 A）と、表面から 5mm をカットして成形したもの（供試体 B）の 2 種類の供試体を用意し、表面を引張り側にし、定ひずみ速度曲げ試験を実施した。

図-6 は破断ひずみと温度の関係を示している。この図から次のことがいえる。

- ① 1975 年の結果と 1978 年の結果を比較すると、総じて経過年数の多い方が破断ひずみが小さくなっている。特に低温側でこの傾向が顕著である。
- ② 供試体 B は供試体 A に比較し破断ひずみが大き

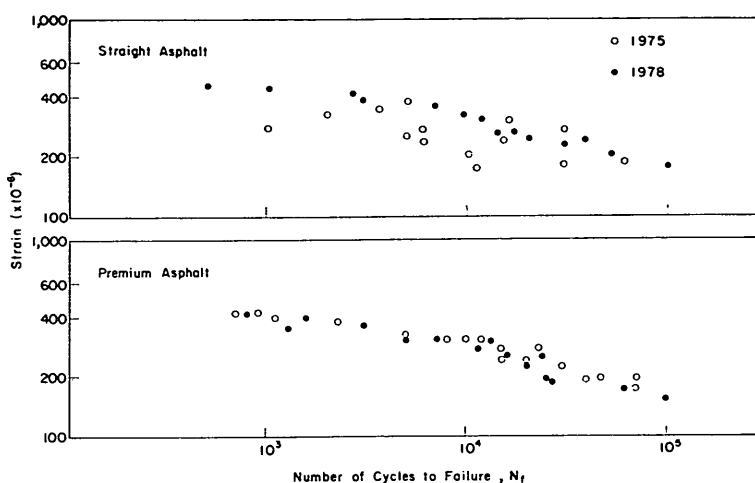


図-7 表層アスファルトコンクリートの疲労曲線

い。

- ③ 全体的にみると、供試体AとBの破断ひずみの違いについては、プレミアムアスファルトコンクリートの方がストレートアスファルトコンクリートの場合より大きい。したがって、プレミアムアスファルトコンクリートの表面5mm部分の老化は、ストレートアスファルトコンクリートのそれよりも進行していると考えられる。

図-7は、供試体Bについての繰返し曲げ疲労試験の結果を示したものである。繰返し曲げ疲労試験は、供試体の寸法3×3×40cm、支点距離30cm、中央2点载荷（各スパン10cm）、温度0℃、正弦波の振動波形、振動周波数10Hzの条件で行い、ひずみ $1.5 \times 10^{-4} \sim 4.5 \times 10^{-4}$ 間の任意の点で破壊に至る繰返し回数を求める方法による。

図から、ひずみと载荷回数は両対数グラフでほぼ直線関係が得られている。その勾配はプレミアムアスファルトコンクリート、ストレートアスファルトコンクリートともほぼ同じといえる。舗装表面をカットしているため、舗装内部の変化が少ないプレミアムアスファルトコンクリートの方がばらつきは少ないようである。

これら一連の力学試験結果から、表層の表面付近は、中間部や下層に比べ、より急速に老化が進行することは明らかである。

2.2 下地島空港の場合

(1) 調査内容

下地島空港の滑走路、誘導路のアスファルト舗装は、1976年から1977年にかけて建設され、1979年に供用開始

された。

しかしながら、これらの舗装は建設完了後約9か月でクラックが生じ始めた。このクラックは、滑走路、誘導路に各々用いられたアスファルトコンクリート、ならびにそれらに作用する環境条件に関係があると考えられた。なぜなら、供用開始以前にクラックが発生し始めていたのが観測されていたからである。

クラックの挙動や、より正確な発生原因を把握するために、路面性状調査とアスファルトコンクリートの材質調査が実施された⁴⁾。調査方法は、新東京国際空港の場合に準じられた。

滑走路、誘導路に用いられたアスファルトコンクリートの特徴は、おおよそ次のようなものである。

- ① 高い吸水性を持つコーラルリーフロックが、表層および基層に用いられている。ただし、滑走路表層にはコーラルリーフロックは用いられていない。

表-3 使用アスファルトの物性

項 目	プレミアムアスファルト	ストレートアスファルト
針入度(25℃)(1/10mm)	47	70
軟化点(℃)	69.5	55.5
伸度(℃)	—	—
蒸発減量(%)	0.06	0.03
蒸発後の針入度比(%)	89.8	86.4
フラス脆化点(℃)	-29	-18
比重(25℃/25℃)	1.006	1.022
四塩化炭素可溶分(%)	99.8	99.9
引火点(℃)	272	302

表-4 使用粗骨材の品質

項目	コーラルリーフロック			石灰岩		
	5号	6号	7号	5号	6号	7号
比重(見かけ)	2.634	2.613	2.678	2.707	2.714	2.714
比重(表乾)	2.526	2.487	2.547	2.694	2.695	2.690
比重(かさ)	2.459	2.409	2.468	2.686	2.678	2.677
吸水量(%)	2.70	3.25	3.19	0.29	0.51	0.52
ロサンゼルスすりへり減量(%)	34.0			23.9		
安定性(%)	31.9	30.7	25.2	0.5	4.6	1.4

- ② 滑走路表層には一般的な骨材である石灰岩が用いられている。
- ③ 滑走路表層にはプレミアムアスファルトが用いられている。
- ④ さらに、平行誘導路の南側部分には、表層、基層ともプレミアムアスファルトが使用されている。
- ⑤ ③と④に述べた以外の区域では、表層、基層にはストレートアスファルトが使用されている。

使用アスファルトの物理、化学的性質を表-3に、使用粗骨材の品質を表-4に示す。

(2) 路面性状調査

図-8は経年につれてのクラック率の変化を示している。各位置におけるクラック率とその成長速度は経年につれて増大するのがわかる。

各位置でのクラックはまったく異なった状態にあると

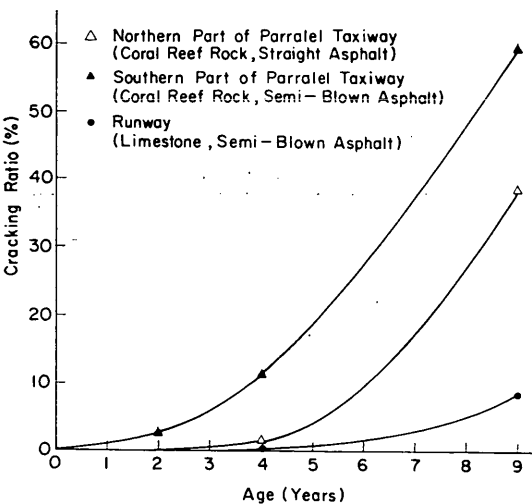


図-8 材令にともなうクラック率の変化

いえる。コーラルリーフロックを骨材とし、プレミアムアスファルトをバインダーとしたアスファルトコンクリートからなる誘導路の南側部分は、最も顕著なクラックを呈している。

誘導路の北側部分のクラックは、南側部分に次いで大きい。この部分のクラックが誘導路の南側部分に比べて少ない理由としては、バインダーとしてプレミアムアスファルトの代わりにストレートアスファルトを使用していることが挙げられる。

表層用として通常骨材と普通のストレートアスファルトを用いている滑走路は、最も少ないクラック発生状況であるといえる。

(3) 回収アスファルトに関する調査

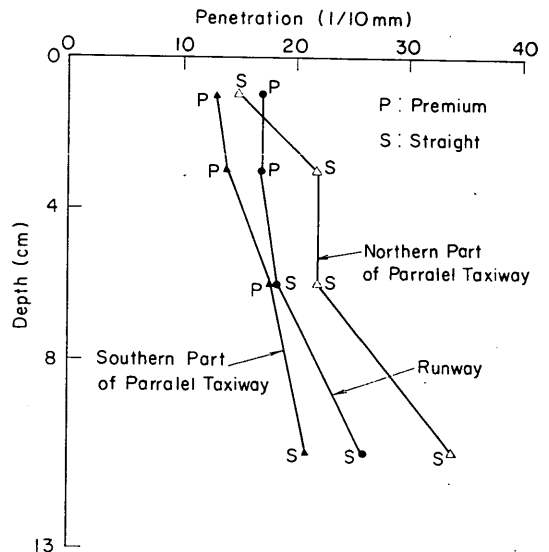


図-9 各深さにおける回収アスファルトの針入度

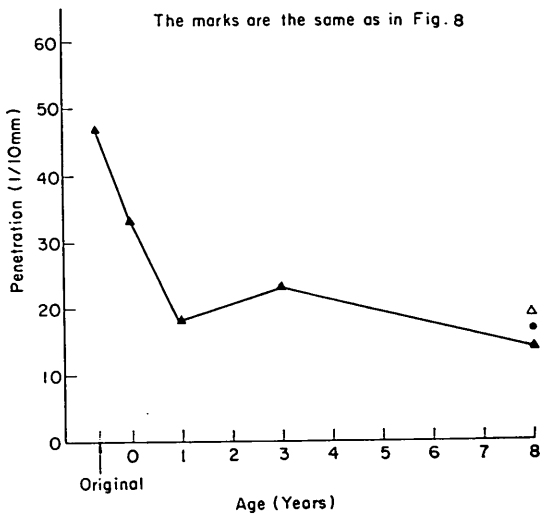


図-10 材令にともなう回収アスファルトの針入度の変化

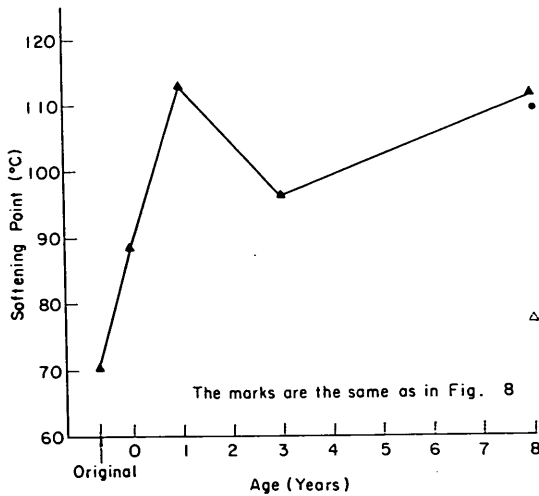


図-11 材令にともなう回収アスファルトの軟化点の変化

図-9 は色々な深さの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針入度を示している。最も大きな針入度の変化は、表層の表面部分に見られる。そして、老化の影響は深さが増すにつれて小さくなる。

ストレートアスファルトを用いたアスファルトコンクリートの深さ方向での変化割合は、プレミアムアスファルトの場合よりも大きい。この傾向は新東京国際空港の場合と同様である(図-1 参照)。

図-10および図-11は、表層から回収したアスファルト

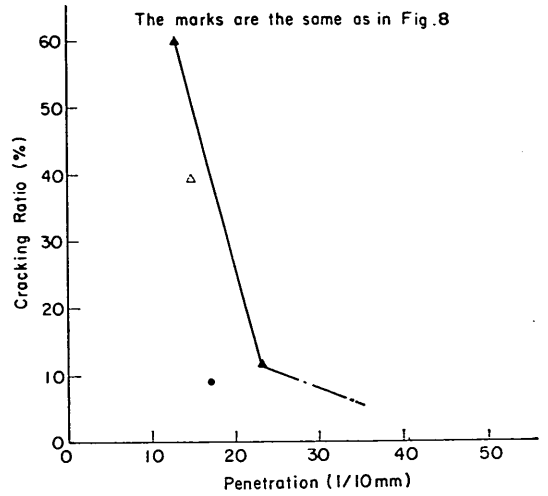


図-12 回収アスファルトの針入度とクラック率の関係

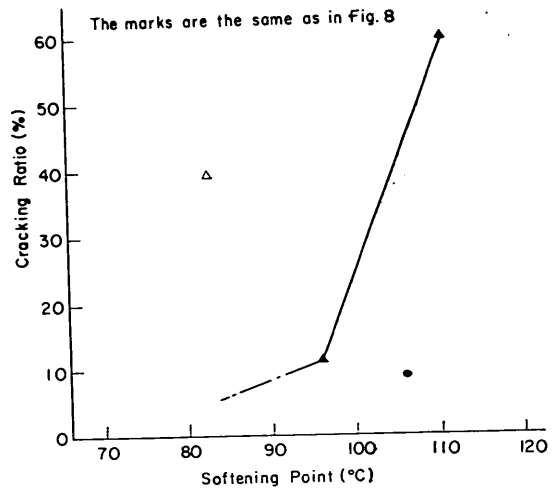


図-13 回収アスファルトの軟化点とクラック率の関係

についての針入度と軟化点の経年変化を示している。図中で材令0というのは、アスファルトコンクリートを加熱混合した直後の試料についてのものである。

プレミアムアスファルトの場合、各物性の変化は最初の一年間が非常に大きく、それ以降はあまりないということができる。

次に、路面性状調査の結果を回収アスファルトについての結果と対比してみた。図-12はクラック率と針入度、図-13はクラック率と軟化点の関係を示している。

クラック率は、針入度の減少、軟化点の増大につれ

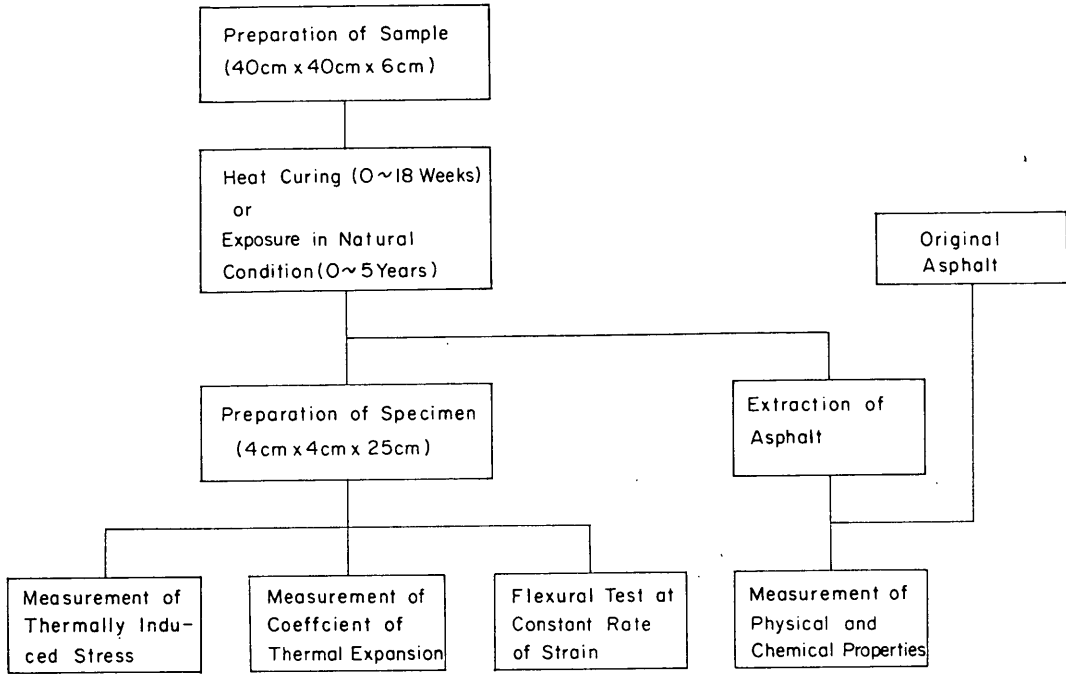


図-14 モデル試験の流れ

表-5 モデル試験に用いられたアスファルトコンクリートの種類

アスファルトコンクリートの種類	アスファルト	骨材	アスファルト量 (%)
NS	ストレートアスファルト 60~80	通常骨材	6.2 (OAC)
CS	ストレートアスファルト 60~80	コーラルリーフロック	9.3 (OAC)
CS+1	ストレートアスファルト 60~80	コーラルリーフロック	10.3 (OAC+1)
NP	セミブローンアスファルト 40~60	通常骨材	6.2 (OAC)
CP	セミブローンアスファルト 40~60	コーラルリーフロック	9.3 (OAC)

て、増大していくことが明らかに見てとれる。

3. モデル試験

3.1 試験方法

一連のモデル試験が、アスファルトコンクリートの老化性状を明らかにするために行われた。図-14 は試験手順である。

表-5 は試験に用いられたアスファルトコンクリートの種類である。二種類の骨材が用いられた。一つは主として安山岩からなる通常骨材で、他方はコーラルリーフロックである。それらの吸水量はそれぞれ2.28%と9.51%である。骨材の粒度は図-15のとおりである。また使

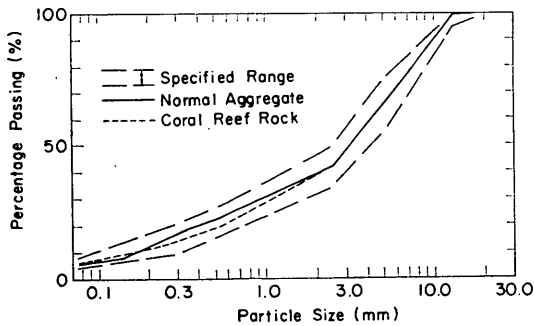


図-15 使用骨材の粒度

表-6 モデル試験に用いられたた2種類のアスファルトの物理的性質

項目	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
針入度(1/10mm, 25℃)	68	50
軟化点 (℃)	49.5	59.0
伸度 (cm, 15℃)	140+	—
針入度指数	-0.6	0.8
粘度 (cst)	120℃	670
	140℃	280
	160℃	139
	180℃	77
比重	1.021	1.021

用アスファルトは、ストレートアスファルト（針入度級60~80）とセミブローンアスファルト（針入度級40~60）で、それらの物理的性質は表-6のとおりである。

アスファルトコンクリートを40×40×6 cmの鋼製モールドにマーシャル基準密度の約98%になるように締固め、モールドに入れたまま所定の老化を与えた。所定の老化を与えたアスファルトコンクリートをモールドから取り出し、カッターにより4×4×25 cmの供試体を作製し、各種試験に供した。

このモデル試験での老化の与え方は、二つの方法によった。一つは熱作用によるもので、試料を所定の期間70℃の炉に入れておく。この70℃というのは、下地島空港のアスファルト舗装で観測された最大温度である。また、もう一方は自然暴露によるもので、その期間は最大5年である。

これらの二つの方法により老化させたアスファルトコンクリートを種々の面から試験し検討した。回収アスファルトの物理的、化学的性質の試験、アスファルトコンクリートの力学的性質の試験を行った。力学試験としては、定ひずみ曲げ試験、熱膨張係数試験、温度応力試験等が行われた。自然暴露による老化の場合には、アスファルトコンクリートの試料を表面に平行にスライスし、各深さの試料についてアスファルトを回収し試験した。その深さは、0~5 mmと8~13 mmである。これら試験の詳細は、以下のとおりである。

(1) 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

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ン法によりアスファルトを回収し、その物理的、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 針入度試験：JIS K 2207の方法
- ② 軟化点試験：JIS K 2207の方法
- ③ 粘度試験：JAA-001の方法
- ④ 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。
- ⑤ 赤外線吸収スペクトル分析：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。

(2) 定ひずみ速度曲げ試験

ひずみ速度 $1 \times 10^{-2} \text{sec}^{-1}$ 、温度10℃で定ひずみ速度曲げ試験（スパン長：20 cm）を実施した。

(3) 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℃から-20℃まで変化させ、10℃ごとに供試体の長さを測ることによった。その際には、図-16に示すフレームを使用した。

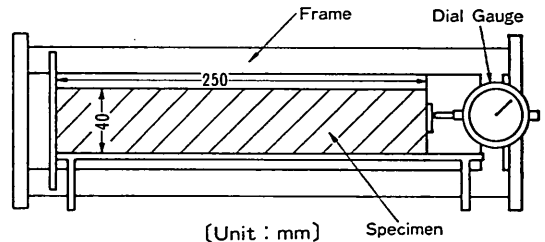


図-16 熱膨張係数測定装置

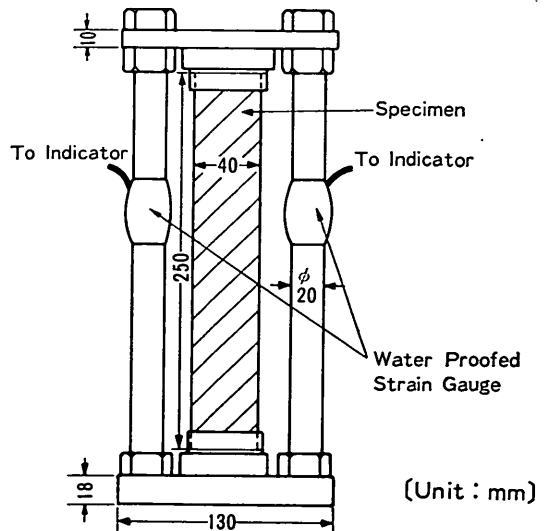


図-17 温度応力測定用フレーム

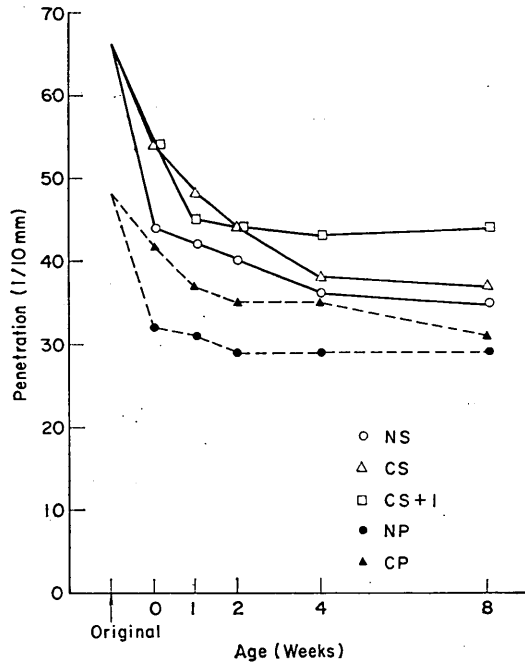


図-18(a) 材令にともなう回収アスファルトの針入度の変化 (70°Cの熱作用の場合)

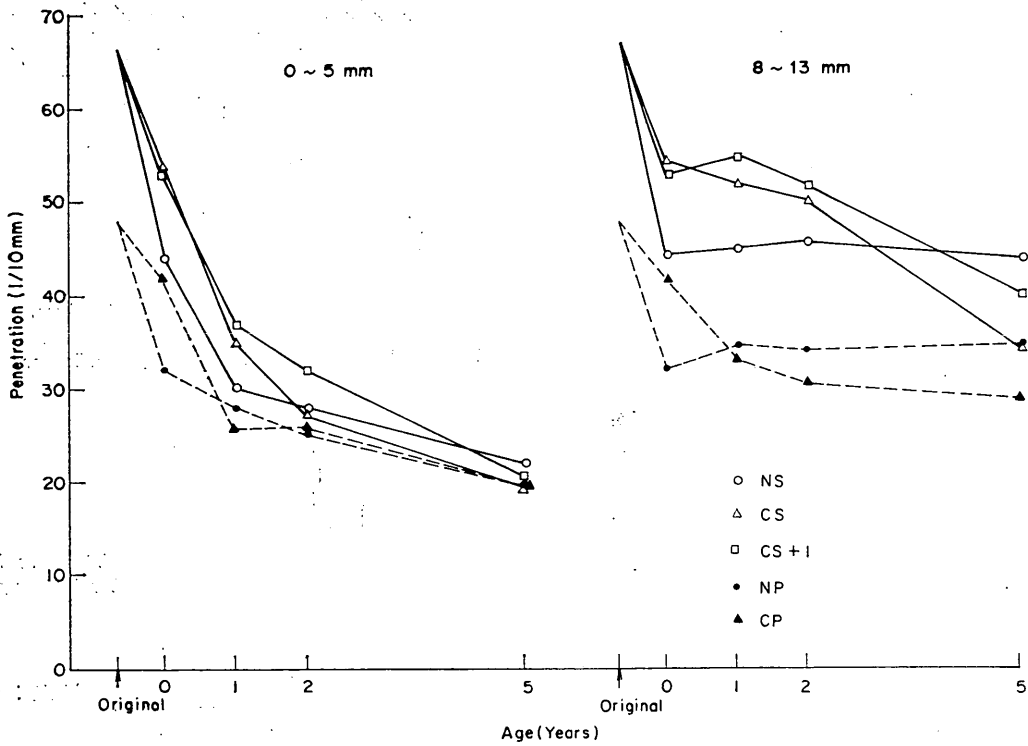


図-18(b) 材令にともなう回収アスファルトの針入度の変化 (自然暴露の場合)

アスファルトコンクリートの老化性状

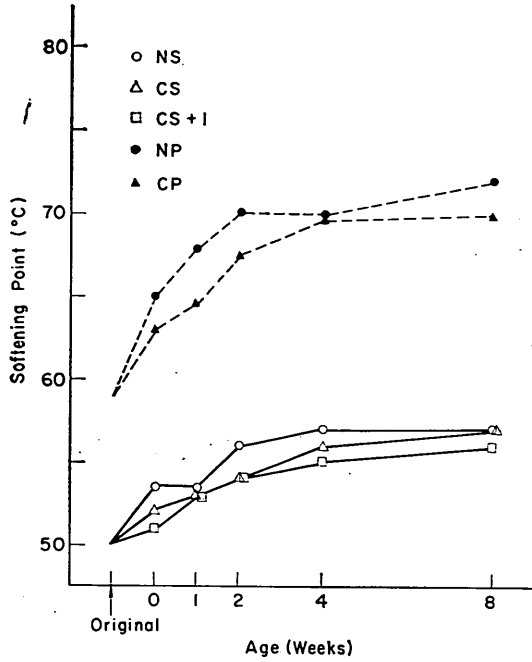


図-19(a) 材令ともなる回収アスファルトの軟化点の変化 (70°C熱作用の場合)

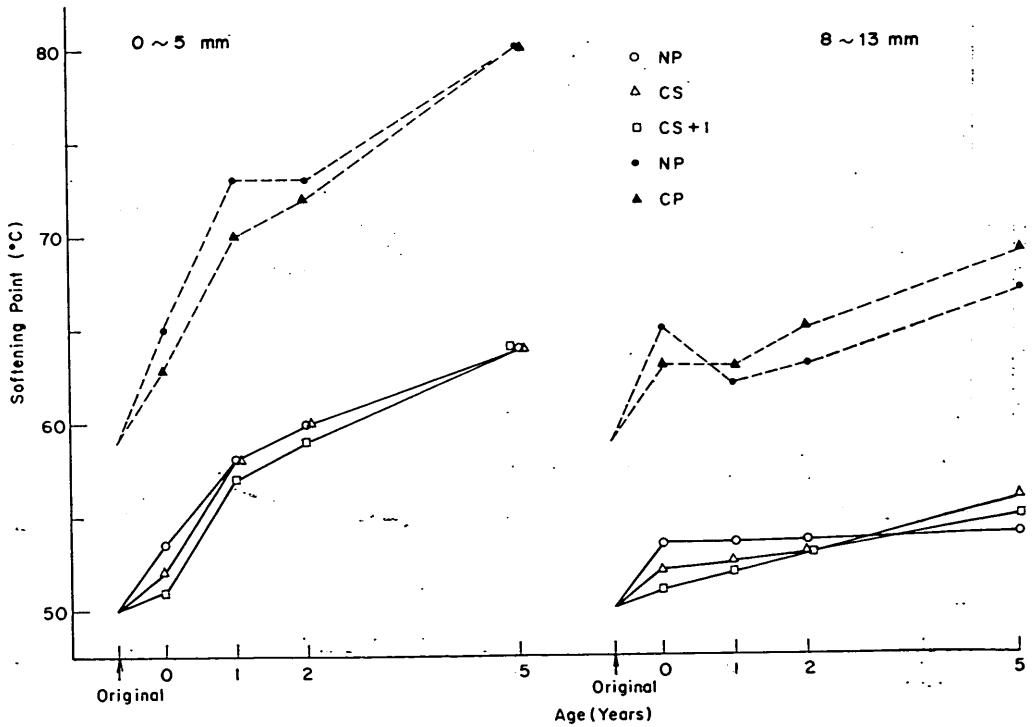


図-19(b) 材令ともなる回収アスファルトの軟化点の変化 (自然暴露の場合)

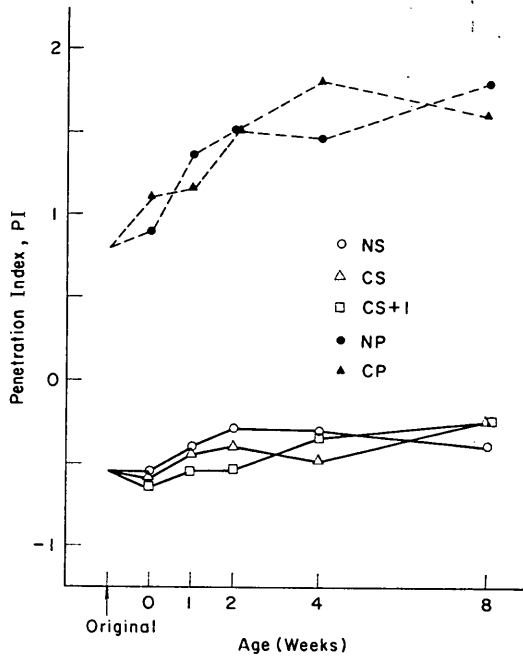


図-20(a) 材令にともなう回収アスファルトのPIの変化 (70°Cの熱作用の場合)

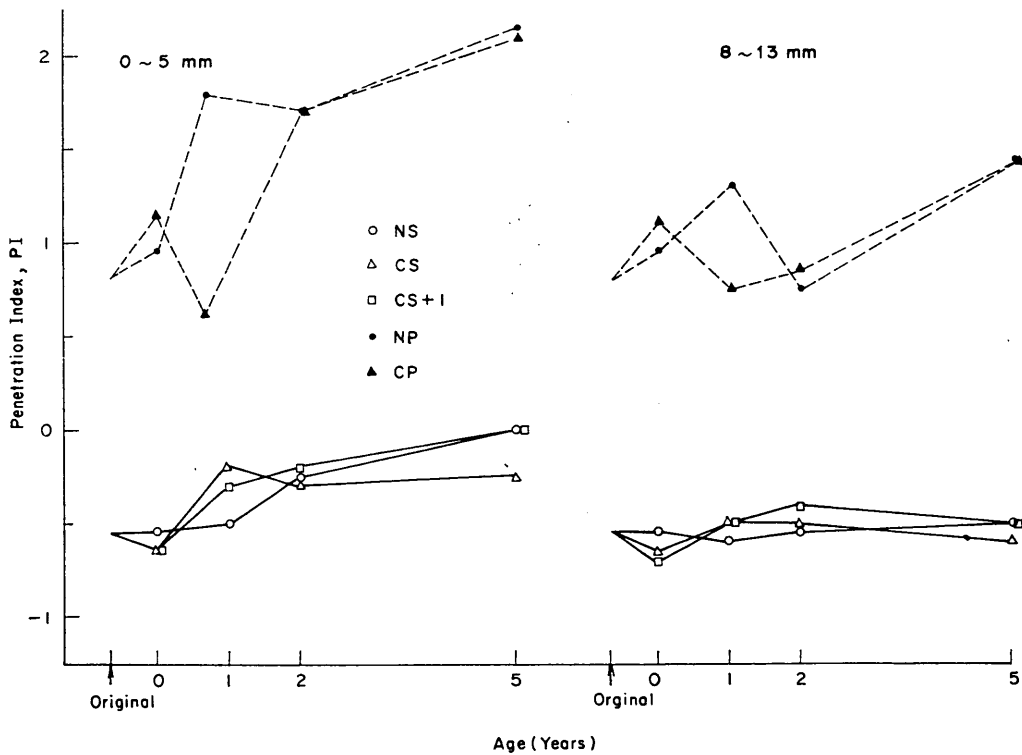


図-20(b) 材令にともなう回収アスファルトのPIの変化 (自然暴露の場合)

アスファルトコンクリートの老化性状

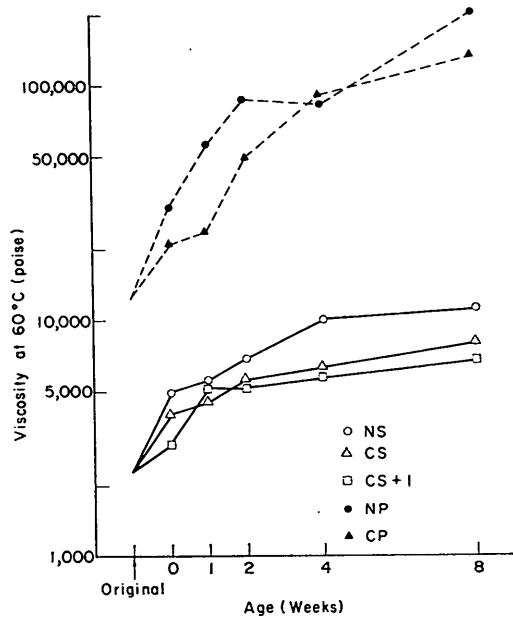


図-21(a) 材令にともなう回収アスファルトの60℃粘度の変化 (70℃の熱作用の場合)

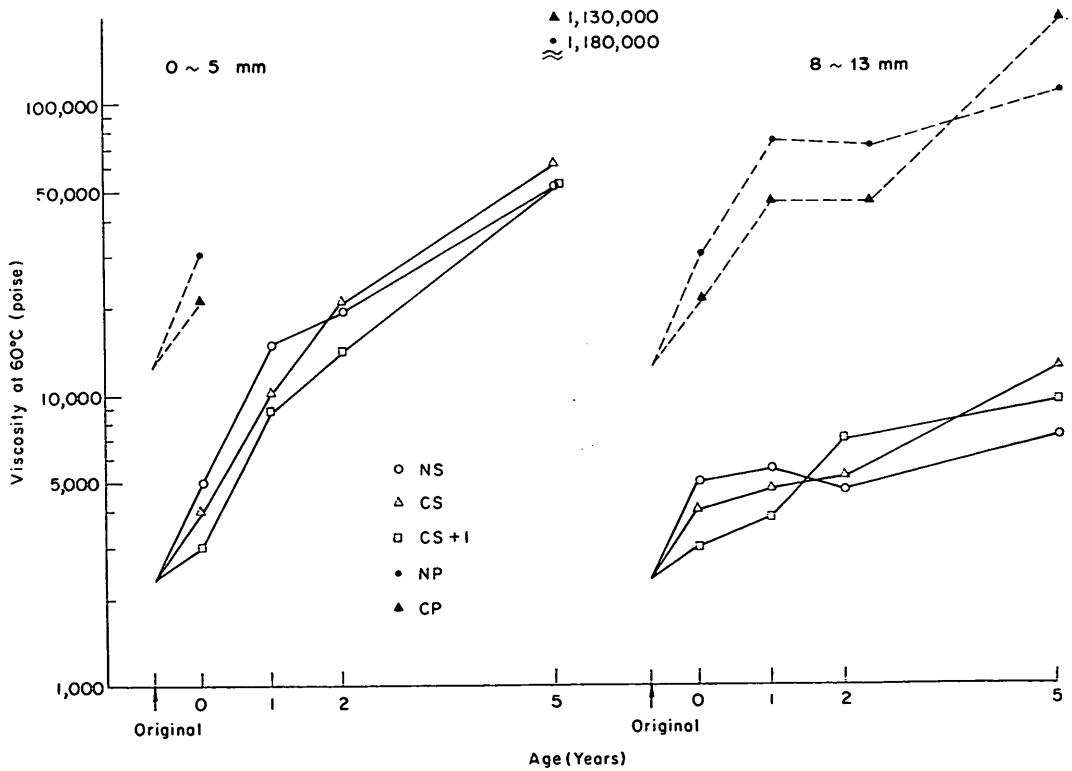


図-21(b) 材令にともなう回収アスファルトの60℃粘度の変化 (自然暴露の場合)

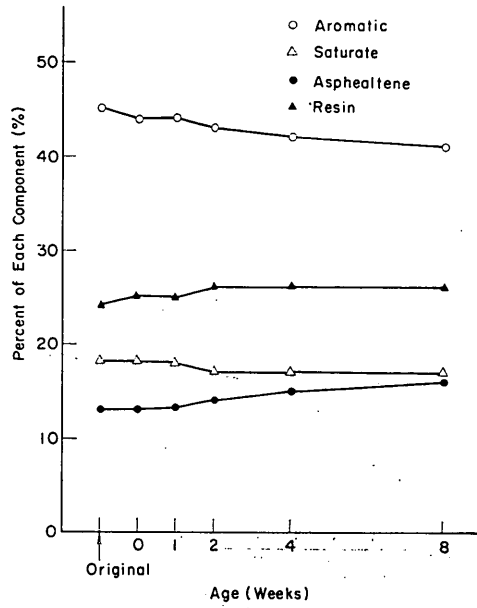


図-22(a) 材令にともなう回収アスファルトの化学組成の変化 (NS) (70°Cの熱作用の場合)

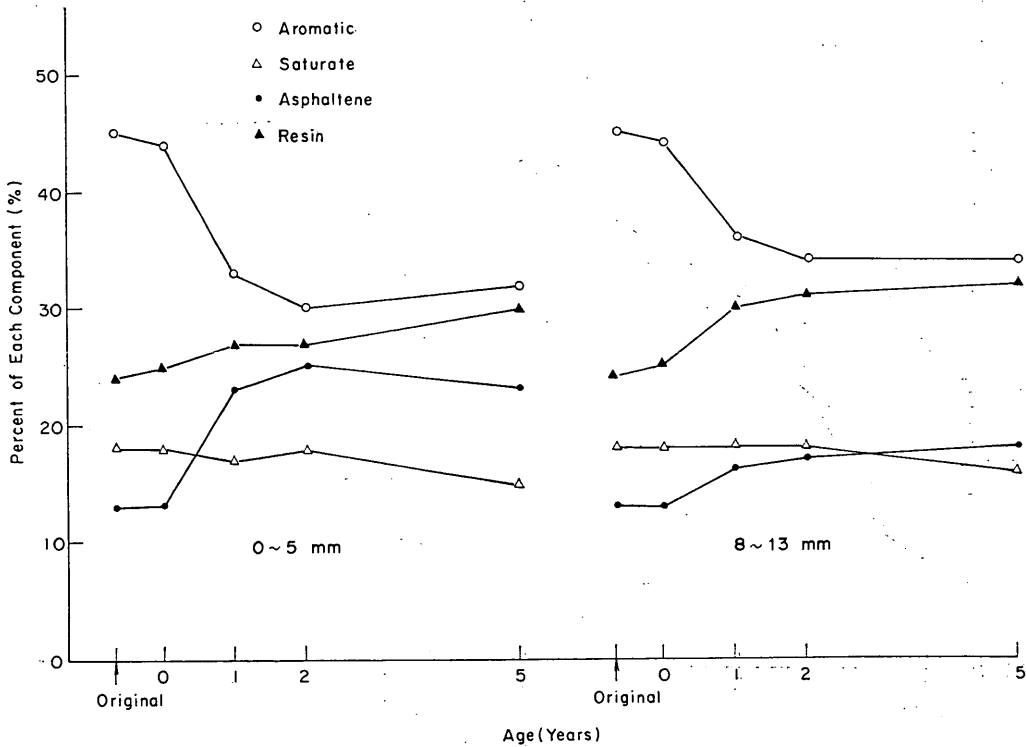


図-22(b) 材令にともなう回収アスファルトの化学組成の変化 (NS) (自然暴露の場合)

アスファルトコンクリートの老化性状

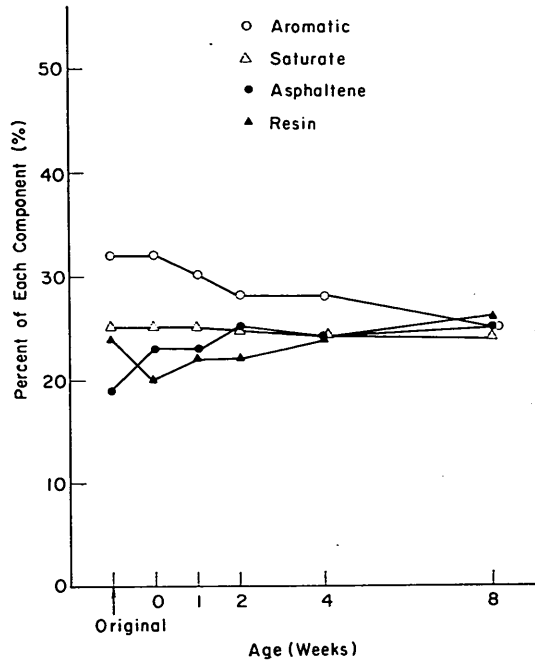


図-23(a) 材令にともなう回収アスファルトの化学組成の変化 (NP) (70°Cの熱作用の場合)

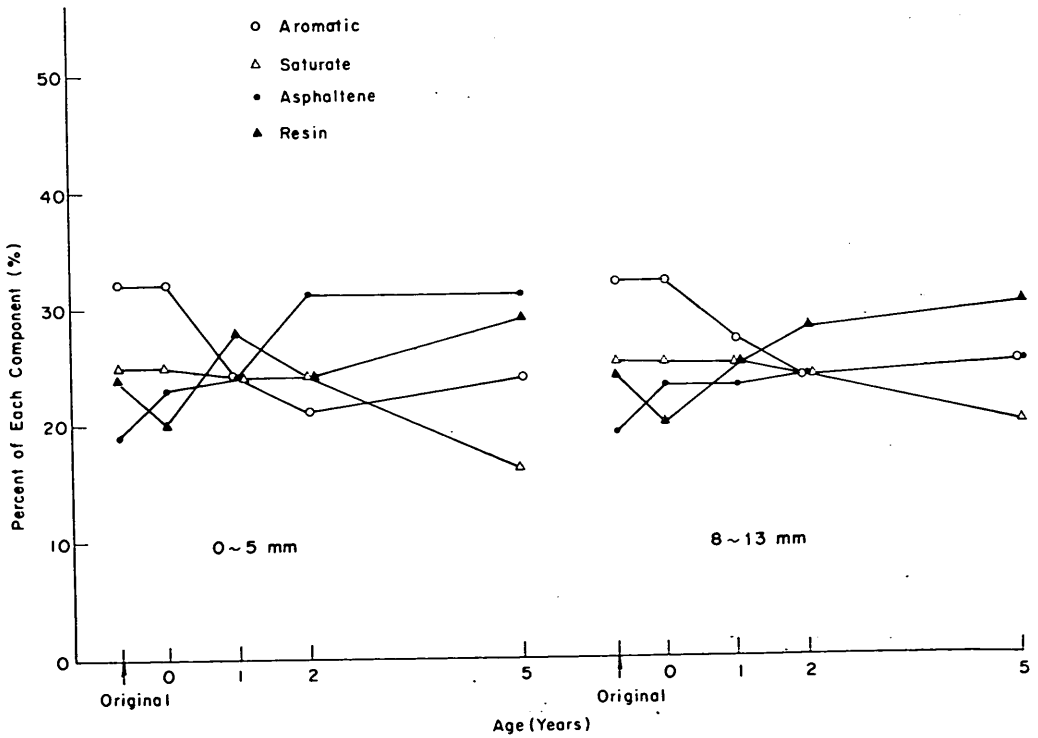


図-23(b) 材令にともなう回収アスファルトの化学組成の変化 (NP) (自然暴露の場合)

(4) 温度応力試験

温度変化は、アスファルトコンクリートの供試体（4×4×25cm）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。その手順は、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パール製のフレーム（フレームの熱膨張係数 $2.23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、図-17）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 $^{\circ}\text{C}$ の温度変化（温度下降時-16 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，上昇時20 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）を与えることによった。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。

3.2 試験結果

(1) 回収アスファルトの物理的、化学的性質の変化

老化し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的性質の経時変化の結果が図-18～21である。物理的性質としては、針入度、軟化点、針入度指数 (PI)，60 $^{\circ}\text{C}$ 粘度を選んだ。試験結果の図中で、材令0というのは、アスファルトコンクリートを加熱混合した直後の試料についてのものである。また、試験したアスファルトコンクリートの種類を示す記号は、表-5のとおりである。

各項目の試験結果は、全般としては、材令が進むにしたがってアスファルトが硬くなり、その感温性が低下していることを示している。

今回の試験でアスファルトコンクリートに使用された

二種類の骨材に関しては、それらがアスファルトの老化に及ぼす影響にはほとんど差のない結果となっている。一方二種類のアスファルト、すなわちストレートアスファルトとセミブローンアスファルトの間には、図-18のように若干の差が見られる。ストレートアスファルトが若干セミブローンアスファルトより速く老化しているようである。この傾向は、図-1および図-9で示した新東京国際空港および下地島空港での結果と符合するものである。

自然暴露でのアスファルトコンクリートの場合には、アスファルトの老化は供試体の表面からの深さで変化している。表面から5mmの深さまでが、8～13mmの深さのものより明らかに老化が進行している。そして、ストレートアスファルトの場合の方がセミブローンアスファルトの場合より、深い所まで老化が進行する傾向にあるようである。これらのことは、図-1および図-9に示した新東京国際空港および下地島空港での結果と符合している。

老化の方法に関し、熱作用による結果と自然暴露による結果の間には差異が見られる。熱作用による場合、各項目において、初期に比較的大きく変化するものの、材令2週間以降はほとんど変化しない。これに対し、自然暴露の場合には、変化割合は減少していくものの、各項目で材令とともにかなり変化している。

図-22、23は、回収アスファルトの化学組成分析の結果である。使用した両アスファルトとも、老化していく

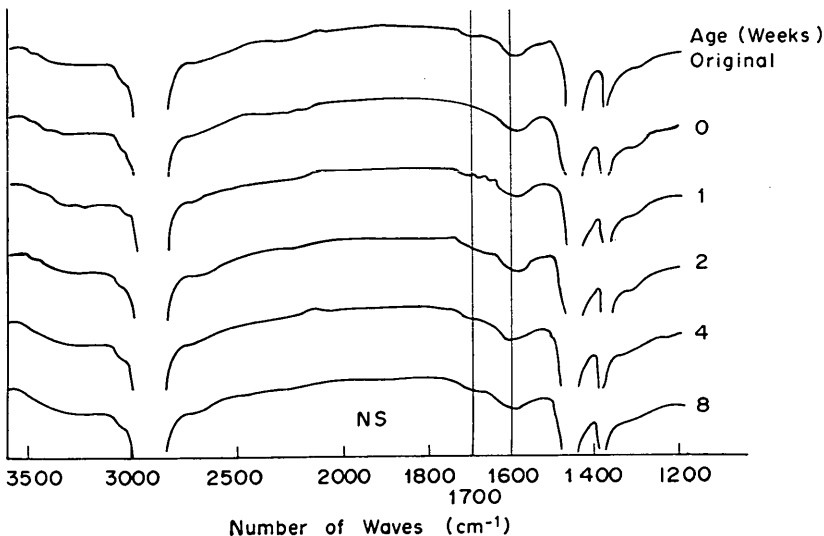


図-24(a) 材令ともなう回収アスファルトの赤外線吸収スペクトルの変化 (70 $^{\circ}\text{C}$ の熱作用の場合)

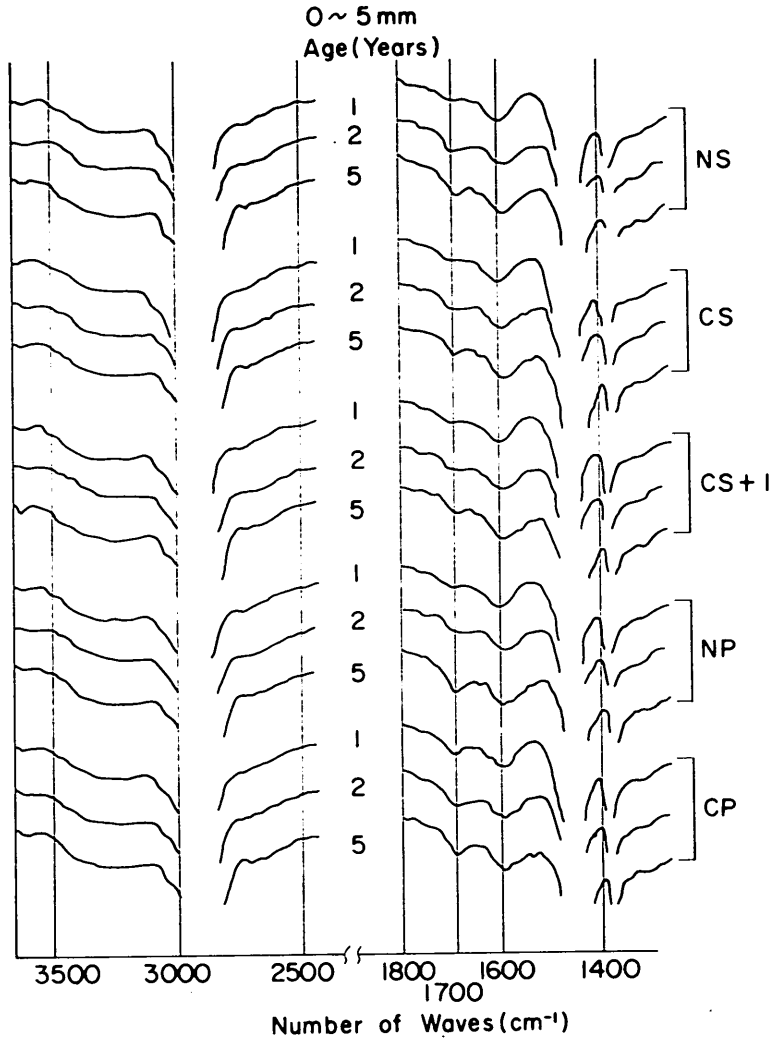


図-24(b) 材令にともなう回収アスファルトの赤外線吸収スペクトルの変化
(自然暴露の場合)

にしたがって芳香族が減少し、アスファルテンが増加していっている。しかしこの傾向も、熱作用による場合と自然暴露による場合で差が見られる。熱作用による変化は小さいのに対し、自然暴露での変化は大きい。アスファルトの種類については、ストレートアスファルトの場合の変化が、セミブローンアスファルトの場合の変化より大きくなっている。

老化におけるアスファルトの酸化の程度を調べるために、回収アスファルトの赤外線吸収スペクトル分析が行われた。図-24 がその結果の一部である。この図では、比較の意味で、各材令での結果を平行移動して示してい

る。実際の空港でのアスファルトコンクリートの老化では、アスファルトの酸化が熱による老化より大きな要素である。著しく酸化したアスファルトでは、赤外線分析で $1,700\text{cm}^{-1}$ のところにカルボニール基のピークが出るといわれている³⁾。図-24 の (a) に示すように、熱作用による老化ではそのピークが表われていない。これより、70℃の熱作用の8週間程度では、アスファルトの酸化は起らないようである。これに対し、図-24 の (b) に示すように、自然暴露の場合には、明瞭なピークが表われており、材令が進むにしたがってそのピークが大きくなっている。

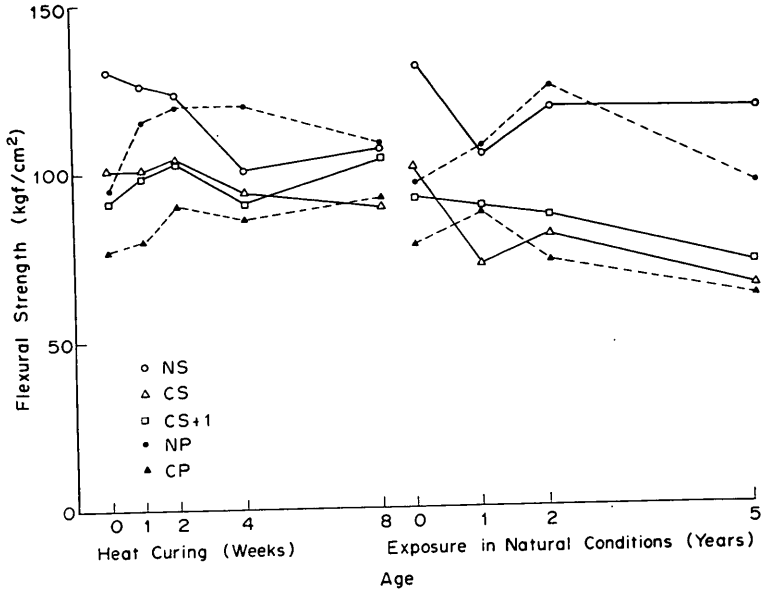


図-25 材令となうアスファルトコンクリートの曲げ強度の変化

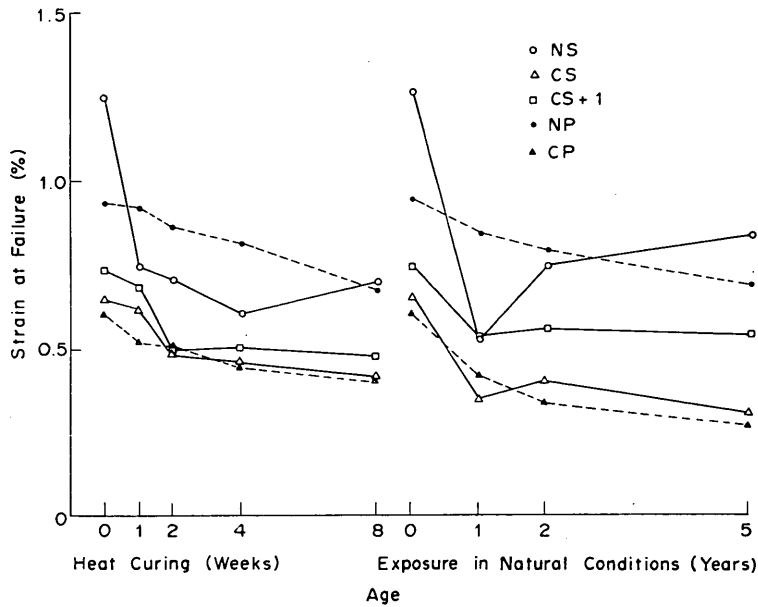


図-26 材令となうアスファルトコンクリートの破断ひずみの変化

(2) アスファルトコンクリートの力学的性質の変化
 老化にもなるアスファルトコンクリートの力学的性質の変化を調べるために、一連の曲げ試験を行った。試験は、ひずみ速度 $1 \times 10^{-2} \text{sec}^{-1}$ 、温度 10°C で実施した。曲げ強度、破断ひずみ、スティフネスの3項目について検討した。

図-25 は材令と曲げ強度の関係である。曲げ強度の材令ともなる変化はほとんどない。

図-26 は材令と破断ひずみの関係である。破断ひずみは明らかに材令とともに小さくなっている。

図-27 は材令とスティフネスの関係である。どの試料も材令とともにスティフネスが大きくなっている。骨材

アスファルトコンクリートの老化性状

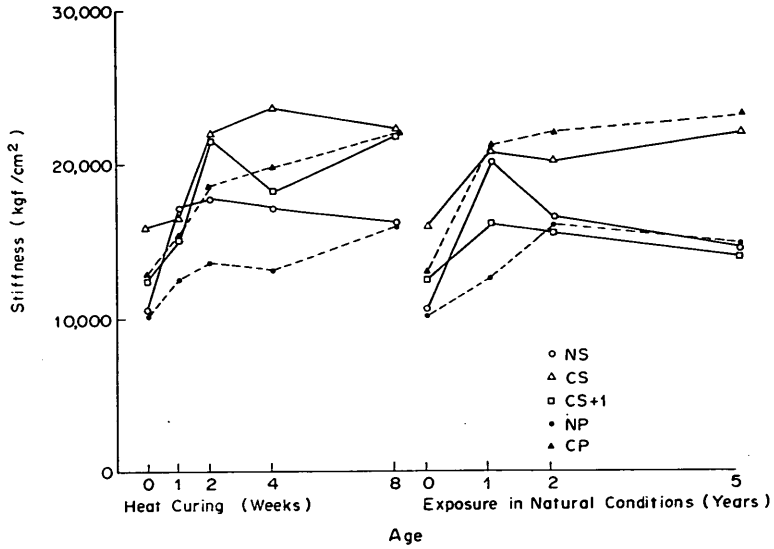


図-27 材令とならうアスファルトコンクリートのスティフネスの変化

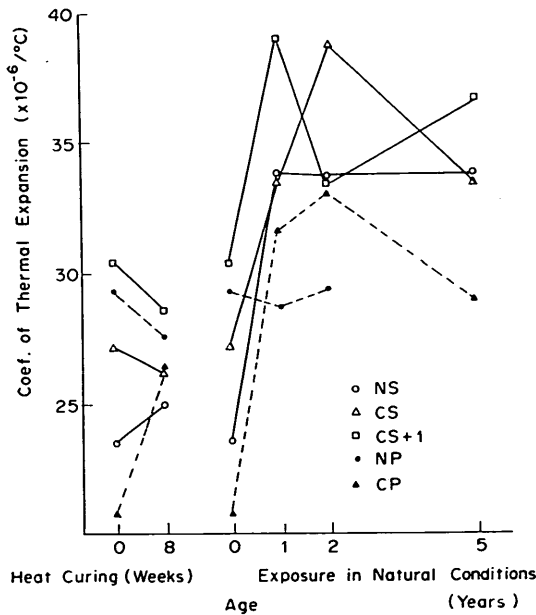


図-28 材令とならうアスファルトコンクリートの熱膨張係数の変化

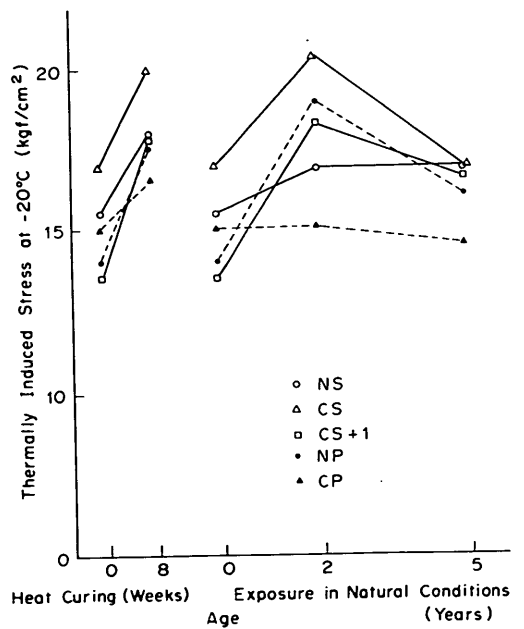


図-29 材令とならうアスファルトコンクリートの-20°Cの温度応力の変化

にコーラルリーフロックを使ったアスファルトコンクリートが特に著しい傾向を示している。これは、コーラルリーフロックが大きな吸油性を持つことにより、通常の骨材よりもアスファルトコンクリートを硬化させることによると考えられる。

図-25～27 から判断して、アスファルトコンクリートは、熱作用でも自然暴露でも硬化し、もろくなるようで

ある。

図-28 は材令とアスファルトコンクリートの熱膨張係数の関係である。自然暴露の場合には、明らかに材令とともに熱膨張係数が大きくなっている。しかし、使用骨材の種類、使用アスファルトの種類、アスファルト量に関しては、明瞭な差は見られない。

1.でも述べたように、アスファルトコンクリートが硬くなるにしたがって、温度応力クラックが多くなる。図-29 は材令と-20℃での温度応力の関係である。データのばらつきはあるものの、熱作用の場合も自然暴露の場合も、発生応力が材令とともにしだいに大きくなっていくようである。この増加は、材令とともにアスファルトコンクリートの緩和弾性率が減少し（スティフネスが大きくなっていくことよりこのように推定できる)⁵⁾、図-28 に示したように熱膨張係数が増加していくことによると考えられる。

4. 考察

この章では、実際の空港での実態調査とモデル試験の結果とを総合し、考察してみる。

本研究で対象としたどのアスファルトコンクリートも、材令とともに硬くなっていく。しかしその程度は、使用アスファルトの種類、アスファルト量、使用骨材の種類、環境条件等により異なる。

図-1, 9 および 18 の結果によれば、セミブローンアスファルトを用いたアスファルトコンクリートは、セミブローンアスファルトが生産過程である程度酸化され老化しており、しかもアスファルトコンクリートとしての初期段階ではストレートアスファルトのものよりも老化しているにもかかわらず、老化速度という点ではストレートアスファルトを用いたアスファルトコンクリートより小さいことがわかった。

自然暴露の場合、表面から5mmまでが、その下の層よりも老化が著しく、老化は深くなるにしたがって少なくなっている。ストレートアスファルトの場合の方が、セミブローンアスファルトの場合よりも深くまで老化が進行している。セミブローンアスファルトの場合の老化が、通常骨材で通常アスファルト量では表面から20mmまでに限定されているのに対し、ストレートアスファルトの場合の老化は、表層全体（厚さ4cm）に及び、また場合によってはその下の基層にも及んでいるものがある。

下地島空港での結果とモデル試験の結果から、吸水性の大きな骨材を用いたアスファルトコンクリートの硬化は、通常骨材を用いたアスファルトコンクリートより大きい。この場合、両者からの回収アスファルトの物理的、化学的性質にはほとんど差がないにもかかわらずこのような差が生ずることは、吸水性の大きな骨材の場合、アスファルトのオイル分をより多く吸収し、骨材の周りのアスファルトを硬くしていることによると考えられる。アスファルトコンクリートは、図-25~27 に示

すように、熱作用でも自然暴露でも硬化していく。しかし、硬化のメカニズムは異なることがわかった。図-5 および 24 の結果によれば、自然暴露での硬化のおもな原因が酸化であると考えられるのに対し、熱作用の場合には酸化はほとんど見られない。したがって、自然暴露に代わって熱作用によりアスファルトコンクリートの硬化を力学的観点から評価することはできても、アスファルトの物理的、化学的变化の評価に熱作用を用いることはできない。アスファルトコンクリートの自然暴露による老化をシミュレートするには、アスファルトコンクリートに酸素を透気させて老化を促進する等が必要であろう。

最後に、アスファルトコンクリートの老化対策について考えてみる。今回、通常骨材の場合よりもアスファルトコンクリートの硬化が大きいコーラルリーフロックについて、アスファルト量を変化させて試験している。図-26 や 27 の結果を見ると、アスファルト量を最適アスファルト量より1%多くしたものは、若干ではあるが、最適アスファルト量のものよりも破断ひずみが大きく、スティフネスが小さくなっている。これだけで確固たる結論は下せないが、アスファルト量を多くすることにより、アスファルトコンクリートの老化の程度を若干減じられると考えられる。しかし、このようにアスファルト量を多くすることは、アスファルトコンクリートの耐わだちぼれ性を減ずることになるので、この面からは問題である。アスファルトコンクリートの他の性質を損なうことなく、耐老化性を大きくするための方策を別途検討していかなければならないであろう。

5. 結論

本研究の主な結論は以下のとおりである。

- (1) アスファルトコンクリートは材令とともに硬く、もろくなる。その老化は、アスファルトの種類、アスファルトの量、骨材の種類、環境条件等の要因によって異なる。
- (2) ストレートアスファルトを用いたアスファルトコンクリートとセミブローンアスファルトを用いたアスファルトコンクリートとを比較すると、セミブローンアスファルトを用いたものの方が、初期段階では老化が大きいにもかかわらず、以降の老化の進行は少ない。
- (3) アスファルトコンクリートの表面からの深さが大きくなるにしたがって老化の程度が小さくなる。同一骨材、同一アスファルト量のもとで比べると、ストレートアスファルトを用いたアスファルトコンクリートの方が、セミブローンアスファルトを用いたアスファルト

トコンクリートの場合より長期的には深くまで変化している。

- (4) 吸水性の大きな骨材を用いたアスファルトコンクリートの方が、通常の骨材を用いたアスファルトコンクリートより硬く、もろくなる。しかし回収アスファルトと比較すると、両者で物理的、化学的性質にほとんど差がない。
- (5) 熱作用でも自然暴露でもアスファルトコンクリートは硬くなる。しかし、それらのメカニズムは異なっている。自然暴露ではアスファルトの酸化が主な原因と考えられるが、熱作用ではその酸化はほとんどない。
- (6) アスファルトコンクリートが老化すると、曲げ試験での破壊ひずみ小さくなり、スティフネスが大きくなる。
- (7) アスファルトコンクリートが老化して硬くなると、低温での温度応力が増加する。
- (8) 表層アスファルトコンクリートのクラックの量は、アスファルトコンクリートが老化し、アスファルトの針入度が減少し、軟化点が増加するにしたがって増えていく。アスファルトの針入度や軟化点とクラックの量との関係は、アスファルトの種類ごとに異なる。
- (9) アスファルト量を増やすことにより、アスファルトコンクリートの老化の程度を若干減じられるようである。

6. あとがき

アスファルト舗装の温度応力クラック等に関連して、アスファルトコンクリートが老化したときの性状変化を

調査・試験した。今回の一連の調査・試験から、アスファルトコンクリートの老化性状はかなり明らかになった。

70℃の熱作用による老化のメカニズムと自然暴露による老化のメカニズムは異なり、自然暴露での老化を熱作用での促進老化で再現できないことがわかったため、新に酸化主体の自然暴露での老化をシミュレートする老化促進装置を試作した。しかし、この装置による試験結果は本報告には間に合わなかった。

今後は、この装置を使って、アスファルトコンクリートの老化をいかに防止あるいは減少していくかの研究を進めていく予定である。

(1988年3月31日受付)

参 考 文 献

- 1) Sugawara, T., Kubo, H. and A. Moriyoshi: Low Temperature Cracking of Asphalt Pavements, Proc. Mini-Workshop on Paving in Cold Areas, *Canada/Japan Science and Technology Consultations*, Oct. 1982, pp. 1~42.
- 2) 阿部洋一, 古財武久: 滑走路舗装の経年変化と材料特性, 石油学会誌, Vol. 20, No. 8, 1985, pp. 445~454.
- 3) 笠原 靖: アスファルトの物性と劣化特性, 石油学会誌, Vol. 20, No. 8, 1977, pp. 14~19.
- 4) 下地島空港舗装補修検討委員会: 下地島空港舗装補修検討調査業務報告書, 昭和61年3月, 124pp.
- 5) 八谷好高, 福手 勤, 佐藤勝久: 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℃の熱履歴による促進老化の場合, 港湾技術研究所報告, Vol. 22, No. 2, 1983年6月, pp. 267~287.