



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	アスファルト混合物の破壊強度に関する研究
Author(s)	森吉, 昭博; 上島, 壮; 菅原, 照雄
Citation	土木学会論文報告集, 210, 57-64
Issue Date	1973-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40178
Type	journal article
File Information	moriyoshi_PJSCE210.pdf



アスファルト混合物の破壊強度に関する研究

FRACTURE STRENGTH OF BITUMINOUS MIXTURES

森 吉 昭 博*・上 島 壮**・菅 原 照 雄***

By Akihiro Moriyoshi, Tsuyoshi Kamijima and Teruo Sugawara

1. ま え が き

アスファルト混合物の破壊に関する研究はさまざまな手法で古くから数多くの研究者により行なわれてきた。これは破壊強度および破壊時のひずみが次のような各種の破壊現象に対して一つの基準を与えると考えられているからにほかならない¹⁾。

- a. 大荷重が 1 回作用しただけで舗装が破壊する現象、いわゆる Single Loading による破壊現象 (曲げ)
- b. 車の加減速時に生ずるせん断力に基づく舗装の表層の水平方向へのずれまたはきれつ (せん断または引張り)
- c. 外気温が急激に低下するとき舗装内部に生ずる温度応力により舗装が破壊する現象 (引張り)
- d. 舗装に長時間外力が加わり、舗装が大きく変形し、きれつを生ずる現象 (曲げクリープ)

これらの現象を把握するには破壊強度から研究を進める方法と破壊時のひずみから進める方法が存在するといわれている。本研究は破壊が物質固有の“強さ”を越えたとき破壊するという考え方にに基づき、アスファルト混合物の破壊強度のもつ意義について各種試験から検討を加えている。

2. 既往の研究

アスファルトおよびアスファルト混合物の破壊に関する研究は非常に数多くの研究者^{2), 3)}により行なわれている。これらの研究の多くは引張試験、曲げ試験および圧縮試験よりアスファルトおよびアスファルト混合物の破壊について検討したものであるが、いずれも単にそれら

は破壊強度を求めているに過ぎず、破壊強度に関するレオロジー的考察を加えるまでにはいたっていない。この中でわずかではあるが Ericksson⁴⁾, Majidzadeh⁵⁾ らはアスファルトおよびアスファルト混合物の破壊強度がひずみ速度により影響されるという、いわゆる破壊のレオロジーについて引張試験から検討している。

破壊のレオロジー的解析としては Reiner⁶⁾ および Hencky⁷⁾ が粘弾性物質の破壊現象をレオロジー模型で検討しているのがあげられるが、この研究はアスファルト混合物の破壊現象を対象として述べてはおらず、一般の粘弾性物質の破壊の説明を試みたものである。

以上のことを考慮して、本研究はアスファルト混合物の破壊現象に破壊の型 (モード) という概念を適用して、加えて破壊のレオロジー的解析を行なおうとするものである。

3. アスファルト混合物の破壊

Reiner⁸⁾ は粘弾性物質の破壊をダッシュポットとばねの模型から成る Hooke 固体, Maxwell 液体 および Burgers 体の 3 つで説明している。これによると粘弾性体には 3 つの型の破壊, すなわち, ある“強さ”を越えることによる破壊, ある“ひずみ”を越えることによる破壊およびある応力緩和性状を越えることによる破壊の 3 つがあるとしている。

Hencky⁹⁾ は液体の破壊を物質固有の緩和速度と外力により物質内に生ずるひずみエネルギーとの大小関係により破断, 塑性降伏およびクリープの 3 種に分類して論じている。

筆者らは以上の研究とは別に主として以下に述べる曲げ試験からアスファルト混合物の破壊の種類について検討を行なった。

曲げ試験は両端単純支持, 中央集中荷重方式 (スパン長 20 cm) を採用し, 2.5×2.5×25 cm の六面カットの

* 正会員 工博 北海道大学講師 工学部土木工学教室

** 正会員 北海道大学助手 工学部土木工学教室

*** 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学教室

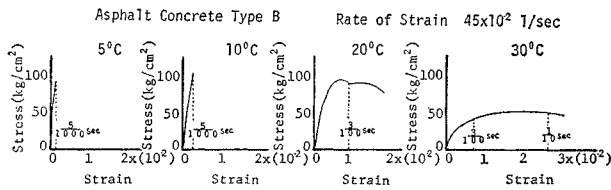


図-1 応力とひずみの関係

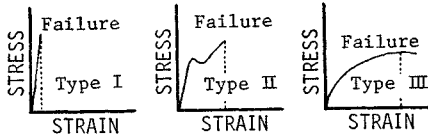


図-2 破壊の型（モード）

切出し供試体（アスファルトコンクリートタイプBの混合物）を用い、供試体下縁のひずみ速度 45×10^{-2} 1/sec（たわみ速度 12 cm/sec）、温度範囲 $-5 \sim 30^\circ\text{C}$ なる条件下で実験を行なった。このとき図-1と類似の応力～ひずみ曲線が数多く得られたが、ここでは典型的な一例のみを示す。図-1も含めた数多くの応力～ひずみ曲線よりアスファルト混合物の破壊には図-2に示す3つの型が存在することが明らかにされた。

破壊の3つのモードはここでは便宜上次の名称で呼ぶことにする（これらの概念は引張りおよび圧縮の各試験にも適用可能である）。

- タイプIの破壊（脆性領域における破壊）
- タイプIIの破壊（転移領域における破壊）
- タイプIIIの破壊（流動を伴う領域における破壊）

タイプIの破壊現象は脆性破壊を呈するとき現われるものであるが、このような応力～ひずみ曲線を描く領域を以後脆性破壊領域（または脆性領域）と呼ぶ。

タイプIIIの破壊現象は混合物がクリープするとき現われるものであるが、ここではこのような曲線の現われる領域を流動を伴う破壊領域と呼ぶ。

タイプIIの破壊現象は降伏現象を示すときに現われるが、この現象には次のような特異性が存在するので、この現象のおこる温度近辺における領域を以後転移領域と呼ぶ。

- 曲げ強度～温度曲線に極大点が見られる。
- 破壊時のひずみが温度変化に対して急激な変化を示す。

- 曲げ強度の変動係数が大きく変化する。

- 試料の破断面の形状が変化する。

これらの現象よりこの領域はタイプIとタイプIIIの性状を兼ね備えていると考えられる。これらの現

象間の関連性は明らかではないが、この考え方は先に述べた Hencky らの破壊の概念と非常によく似ていると考えられる。

この考え方をさらに一般化するため、種々のアスファルト混合物（試料数約 5000 個）について曲げ試験を行なった。試験条件は試験温度を -10 から 30°C まで広範囲に変化させたほかは先の条件と全く同一である¹⁰⁾。この結果を図-3に示す。

これよりバインダー量が極端に多い場合はタイプIIの破壊現象は現われないが、一般道路用混合物の破壊性状はこの分類にしたがう。ここでは明らかに骨材含有量、バインダー性状らによりこれら破壊のモードにはある規則性が存在することが予想される。すなわち、バインダーの針入度級が小さくなるにしたがい、また混合物中の骨材含有量が多くなるにしたがい、タイプIIの領域は高温側に移動する。

アスファルト混合物の破壊のレオロジーについてはすでに筆者らが一部発表しているが¹¹⁾、後に述べる引張試験、圧縮試験らの結果も考慮して破壊の概念図をさらに一般化したのが図-4である。

破壊強度～温度曲線ではピークをもつ現象が見られ¹²⁾（図-4 (a)）、アスファルト混合物の破壊はこのピークを示す温度を境にして性状が著しく異なる。すなわち、この温度より低温側ではタイプIの破壊を、この温度より高温側ではタイプIIIの破壊を、またこの温度付近では

	Pen	F/A	Temperature ($^\circ\text{C}$)										
			-10	-5	0	5	10	15	20	25	30		
Matrix	40/60	0.25 0.67 1.0 2.34 4.0											
	40/60	0.5 1.0 2.5 4.0											
	60/80	0.5 1.0 2.5 4.0											
	80/100	0.5 1.0 2.5 4.0											
Mastic Asphalt	100/120	0.5 1.0 2.5 4.0											
	100/120	0.5 1.0 2.5 4.0											
	100/120	0.5 1.0 2.5 4.0											
	100/120	0.5 1.0 2.5 4.0											
Asph. Con.	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
Roll. As.	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
Tar Concrete	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											
	40/60	Asph. 3.6% 100.0% 100.0% 100.0%											

図-3 各種混合物の破壊の型

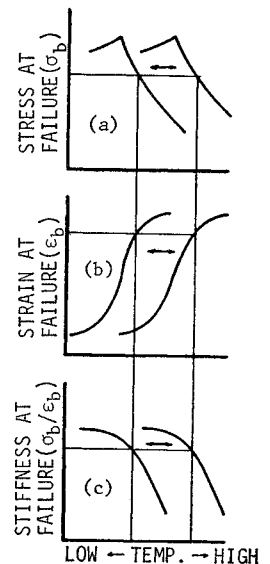


図-4 破壊の概念図

表—1 載荷装置の仕様

試験機種類	試験機能力		測定装置	
	変位速度 (mm/min)	容量	検出部測定器類	記録装置
オルゼン式試験機	0.18~56.6	10 t	荷重: 5 t・200 kg ロードセル 変位: 差動変圧器	自動平衡型記録計
インストロン型万能試験機	0.5~500	500 kg	荷重: 500 kg ロードセル	自動平衡型 XY レコーダー
高速曲げ試験機	600~9 000	180 kg	荷重: 200 kg ロードセル 変位: 差動変圧器コンミテータ	電磁オシシログラフ

注: 曲げ試験は上記の3試験機を、圧縮試験にはオルゼン式試験機を、また引張試験にはインストロン型万能試験機をそれぞれ使用した。

タイプⅡの破壊がそれぞれ生ずることが確認された。なおこの曲線でピークを示す温度および流動を伴う破壊領域における曲線の勾配は使用したバインダーの粘弾性定数たる針入度指数 (P.I.) やバインダーのコンシステンシーなどで決まる混合物の特性値であると考えられる。

破壊時のひずみ～温度曲線は緩やかなS字を描き、低温および高温領域においては破壊時のひずみには“下限値”や“上限値”が存在するかのごとくみられる (図—4 (b))。この曲線の勾配が変化する点の温度は先に述べた破壊強度～温度曲線におけるピークを示す温度に対応している。なおこの緩やかなS字曲線の勾配は使用したバインダーの針入度指数 (P.I.) およびバインダーの感温性などで決まる混合物の特性値であるとしてよいであろう。

破壊時のスティフネスは温度に対して温度上昇とともに破壊時のスティフネスの値が減少する“右下り”の曲線となる (図—4 (c))。しかし、この曲線は破壊強度～温度曲線でピークを示す温度を境にしてこれより低温領域における曲線の勾配が高温領域におけるそれと比較して著しく異なる。すなわち、低温領域における曲線は高温領域のそれより勾配が緩い。この緩やかな領域における破壊時のスティフネスは層構造解析において、走行する車両へのレスポンスとしての材料の“弾性率”に相当していると考えられる。

またこれら破壊強度～温度曲線、破壊時のひずみ～温度曲線および破壊時のスティフネス～温度曲線はひずみ速度およびバインダー性状の変化に伴い、それらの曲線の形はほぼ同じままで温度軸に平行に左右に移動する。

このようにアスファルト混合物の破壊の規則性を破壊強度、破壊時のひずみおよび破壊時のスティフネスなる破壊現象を代表する混合物の特性値を用いて述べる事ができる。先に述べた破壊のモードとこれらの関係については後に詳述する。アスファルト混合物の配合設計や疲労研究に際して、これらの特性値をいかなるレベルに設定するかがきわめて重要な課題となろう。

4. 破壊強度の測定法および解析法

アスファルト混合物の破壊強度の測定法には引張試

験、圧縮試験、曲げ試験およびせん断試験がある。本研究では、このうち引張試験、圧縮試験および曲げ試験を採用した。実験に使用した載荷装置の仕様、使用混合物のタイプ、実験条件および解析法等は表—1, 2 に示す。なおこれら一連の実験に際して選んだ温度やひずみ速度は層構造理論などから試算し実際に生ずるであろうと思われる範囲を網羅した (混合物の配合については付表参照)。

破壊の解析を行なう場合、脆い破壊を示す領域での破

表—2 各試験の実験条件および解析法

引張試験	供試体寸法 2.5×2.5×25 cm 使用混合物 アスファルトコンクリート ひずみ速度 $2.2 \times 10^{-2} \sim 5.5 \times 10^{-4}$ 1/sec 試験温度 $-5 \sim 20^\circ\text{C}$ 解析法: 破壊強度を σ_b (kg/cm ²)、破壊時のひずみを ϵ_b 、破壊時のスティフネスを S_b (kg/cm ²)、ひずみ速度を $\dot{\epsilon}$ (1/sec) とすると $\sigma_b = \frac{P_c}{A} \quad \epsilon_b = \frac{\Delta l_b}{l} \quad S_b = \frac{\sigma_b}{\epsilon_b} \quad \dot{\epsilon} = \frac{\Delta l}{l \dot{d}}$ ここで Δl_b : 破壊までの変形量 (cm) Δl : 変形量 (cm) A : 供試体の断面積 (cm ²) l : 供試体の長さ (cm) P_b : 破壊時の荷重 (kg) $\dot{d}$: 変位速度 (cm/sec)
	供試体寸法 2.5×2.5×25 cm 使用混合物 アスファルトコンクリート ロールダスファルト ひずみ速度 0.9×10^{-2} 1/sec 試験温度 $-25 \sim 20^\circ\text{C}$ 解析法: 引張試験に同じ
一軸圧縮試験	供試体寸法 2.5×2.5×25 cm (スパン長 20 cm) 主として使用した混合物 アスファルトコンクリート ロールダスファルト マスチックアスファルト ひずみ速度 $3.7 \times 10^{-3} \sim 4.1 \times 10^{-4}$ 1/sec 試験温度 $-10 \sim 30^\circ\text{C}$ 解析法: 破壊強度を σ_b (kg/cm ²)、破壊時のひずみを ϵ_b 、破壊時のスティフネスを S_b (kg/cm ²)、ひずみ速度を $\dot{\epsilon}$ (1/sec) とすると $\sigma_b = \frac{3 P_b l}{2 a b^2} \quad \epsilon_b = \frac{6 b \dot{d}_b}{l^2} \quad \dot{\epsilon} = \frac{6 b \dot{d}}{l^2} \quad S_b = \frac{\sigma_b}{\epsilon_b}$ ここで a : 供試体の幅 (cm) b : 供試体の厚さ (cm) l : スパン長 (cm) $\dot{d}$: 変位速度 (cm/sec) $\dot{d}_b$: 破壊時のたわみ (cm) P_b : 破壊時の荷重 (kg)
曲げ試験	供試体寸法 2.5×2.5×25 cm (スパン長 20 cm) 主として使用した混合物 アスファルトコンクリート ロールダスファルト マスチックアスファルト ひずみ速度 $3.7 \times 10^{-3} \sim 4.1 \times 10^{-4}$ 1/sec 試験温度 $-10 \sim 30^\circ\text{C}$ 解析法: 破壊強度を σ_b (kg/cm ²)、破壊時のひずみを ϵ_b 、破壊時のスティフネスを S_b (kg/cm ²)、ひずみ速度を $\dot{\epsilon}$ (1/sec) とすると $\sigma_b = \frac{3 P_b l}{2 a b^2} \quad \epsilon_b = \frac{6 b \dot{d}_b}{l^2} \quad \dot{\epsilon} = \frac{6 b \dot{d}}{l^2} \quad S_b = \frac{\sigma_b}{\epsilon_b}$ ここで a : 供試体の幅 (cm) b : 供試体の厚さ (cm) l : スパン長 (cm) $\dot{d}$: 変位速度 (cm/sec) $\dot{d}_b$: 破壊時のたわみ (cm) P_b : 破壊時の荷重 (kg)

壊は荷重～時間曲線から明確に把握できるが、流動を伴う破壊領域においてそれはさまざまな形をとり破壊は明確ではない。このため一般には流動を伴う破壊領域での破壊はいろいろな方法で処理されているが、本研究ではこの領域での破壊は荷重～時間曲線で最大荷重を示す点として処理している。

5. 引張試験の実験結果

本実験に採用した引張試験は $2.5 \times 2.5 \times 25$ cm の切出し六面カットの供試体の両端をチャックでしめつけ、一定ひずみ速度で伸長させる方法である。実験は温度 $-7 \sim 20^\circ\text{C}$ 、ひずみ速度 $2.2 \times 10^{-2} \sim 5.5 \times 10^{-4} 1/\text{sec}$ なる範囲で行なった。その結果を図-5 に示す。

図-5 よりひずみ速度が大になるにしたがい引張強度～温度曲線は形はほぼ同じまま温度軸に平行に高温側に移動することがわかる。本試験条件ではタイプⅠの破壊領域での引張強度は約 $40 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ 、タイプⅡの破壊領域でのそれは約 50 kg/cm^2 、タイプⅢの破壊領域では約 $5 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ となる。

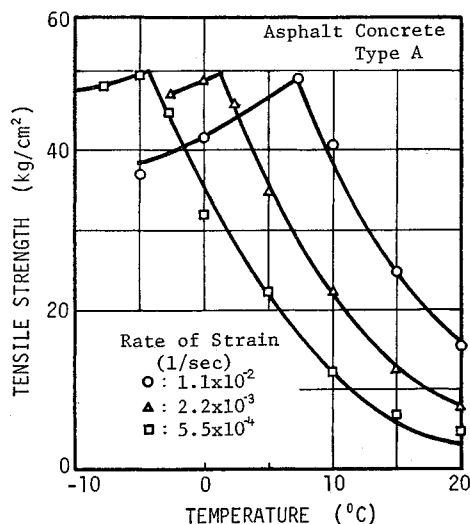


図-5 引張強度と温度の関係

6. 圧縮試験の実験結果

一定ひずみ速度 ($0.9 \times 10^{-2} 1/\text{sec}$) の一軸圧縮試験を3種のアスファルト混合物について試験温度を -25 から 20°C まで 5°C 間隔に変化させて行なった結果を図-6 に示す。

図-6 より混合物のタイプが同一ならばバインダー量の増加に伴い圧縮強度～温度曲線は形はほぼ同じままで高温側に移動し、またバインダー量が同一でも混合物の

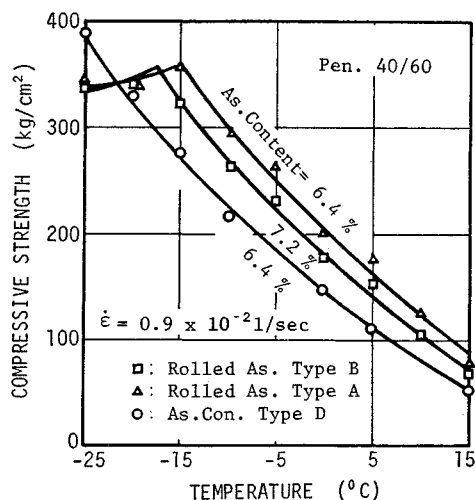


図-6 圧縮強度と温度の関係

タイプが異なるとこの曲線の形は多少異なるが温度軸に平行に左右に移動することが明らかにされた。

ロールドアスファルトタイプの混合物はアスファルトコンクリートタイプの混合物と比較すると本実験条件では圧縮強度～温度曲線でピークを示す温度に約 6°C の差を生じ、アスファルトコンクリートタイプのピークを示す温度の方が低い。両タイプの混合物とも圧縮強度はタイプⅠの破壊領域で約 $330 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$ 、タイプⅡの破壊領域でのそれは約 $350 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$ 、タイプⅢの破壊領域では約 $50 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$ の値をとる。

7. 曲げ試験の実験結果

アスファルトコンクリートタイプCの混合物を用い、試験温度 $-10 \sim 20^\circ\text{C}$ 、ひずみ速度 $3.7 \times 10^{-1} \sim 4.1 \times 10^{-4} 1/\text{sec}$ なる範囲で単純曲げ試験を行なった結果を図-7, 8, 9 に示す。

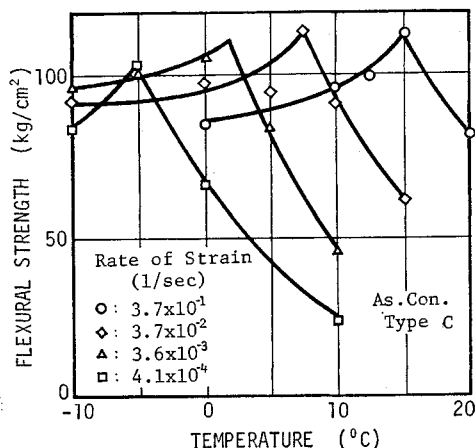


図-7 曲げ強度と温度の関係

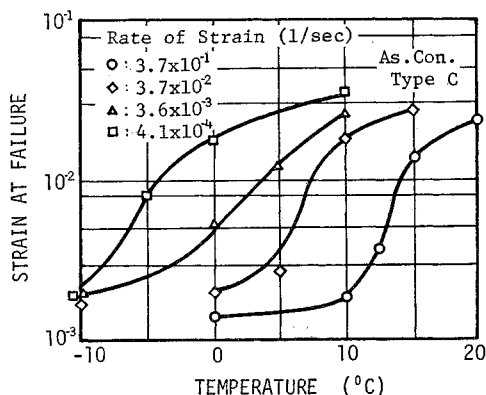


図-8 破壊時のひずみと温度の関係

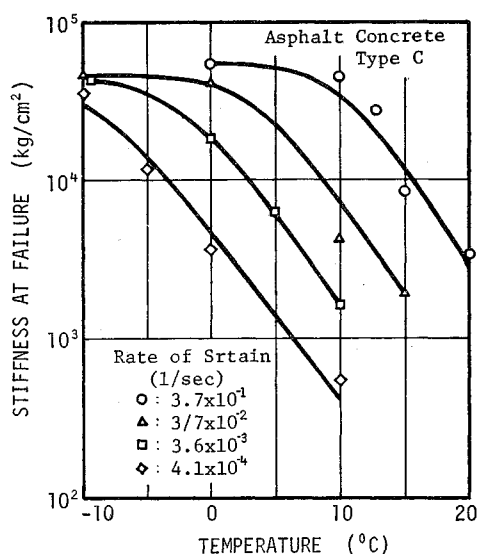


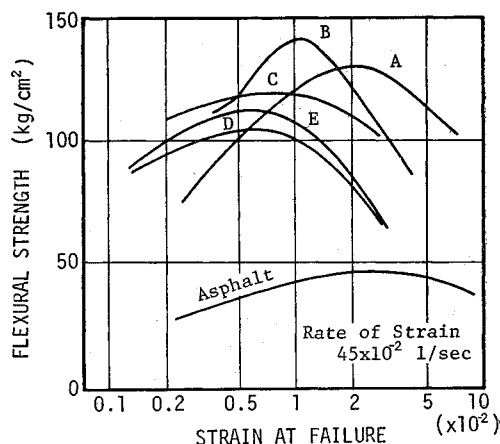
図-9 破壊時のスティフネスと温度との関係

曲げ強度～温度曲線、破壊時のひずみ～温度曲線および破壊時のスティフネス～温度曲線はいずれもひずみ速度が大になるにしたがい、形はほぼ同じままで温度軸に平行に高温側に移動する。

本実験条件における曲げ強度はタイプⅠの破壊領域で 80～120 kg/cm²、タイプⅡの破壊領域で 100～120 kg/cm²、タイプⅢの破壊領域では 30～120 kg/cm² の値となる。

ストレートアスファルトを使用した 5 種のアスファルト混合物についてひずみ速度 45×10^{-2} 1/sec、試験温度 -20～30℃ なる条件下で単純曲げ試験を行なった結果¹³⁾を 図-10 に示す。

図-10 はアスファルトおよびマスティックアスファルトでみられるようにバインダー量が極端に多い場合は脆性領域での強度は小さいが、転移領域でのひずみは大きく、一方バインダー量が少ない場合は転移領域でのひず



A, B: MASTIC AS. C: GUSS. AS.
D: ROLLED AS. E: AS. CON.

図-10 曲げ強度と破壊時のひずみの関係

みが小さく流動を伴う破壊のひずみにも限度があることを示している。曲げ強度～温度曲線同様、曲げ強度～破壊時のひずみ曲線でピークをもつ現象は骨材を含まないアスファルト試料において現われる。そして比較的バインダー量の少ない細骨材のみの混合物で顕著となる。しかし粗骨材の加わった舗装用混合物ではピークをもつ現象は明りょうではなくなる。

8. 引張-圧縮-曲げの関係

アスファルトコンクリートタイプAの混合物を用い種々の条件で引張試験と曲げ試験を行ない相互の関係を求めた結果を 図-11 に示す。

図-11 より曲げ強度～温度曲線と引張強度～温度曲線とはともにひずみ速度が同一であればこれらの曲線のピークを示す温度は変わらないことがわかる。またこの図は脆性破壊領域における曲げ強度が引張強度のほぼ 2 倍の 100 kg/cm² の値となり、試験法により著しく破壊強度が異なることを示している。

圧縮試験と曲げ試験の相互の関係を検討するためマスティックアスファルトを用い、種々の条件で両試験を行なった結果を 図-12 に示す。

両試験法ともにひずみ速度が同一ならば流動を伴う破壊領域（特に高温領域）では非常によく似た性状を示す。しかし、本実験条件では圧縮強度～温度曲線には曲げ強度～温度曲線のようにピークをもつ現象が現われない。このため曲げ強度～温度曲線でピークを示す温度より低温側では曲げ強度と比較して圧縮強度は著しく大となり約 280 kg/cm² にも達する。なお本実験でピークをもつ現象が現われないのは十分大きいひずみ速度で実験を行っていないためであろうと思われる。

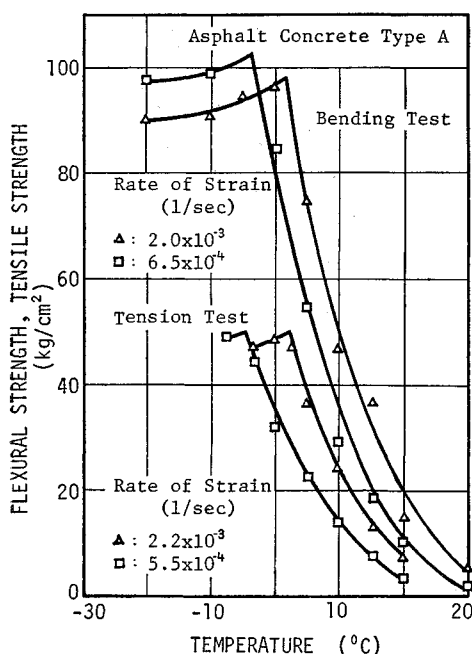


図-11 引張試験と曲げ試験における破壊強度と温度の関係

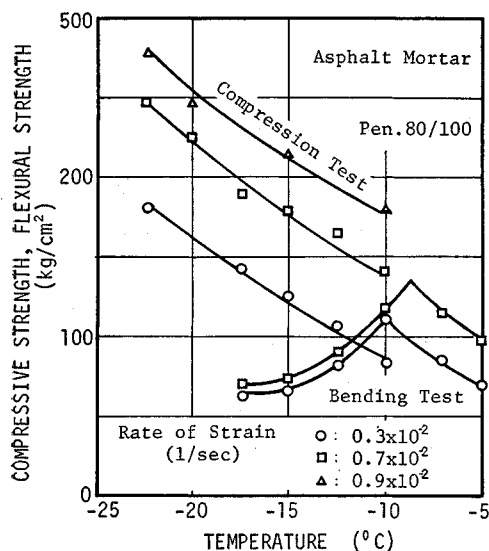


図-12 圧縮試験と曲げ試験における破壊強度と温度の関係

9. 考 察

T.L. Smith¹⁴⁾ は高分子物質について温度とひずみ速度を広範囲に変化させて引張試験を行ない、これから得られた引張強度～ひずみ速度曲線と破壊時のひずみ～ひずみ速度曲線は温度が変化しても形は同一でひずみ速度軸に平行に左右に移動するのみであることを明らかにし

ている。

筆者らはこの概念がアスファルト混合物についても適用できるか否かを検討するため2種のアスファルト混合物について温度とひずみ速度を広範囲に変化させた定ひずみ速度の単純曲げ試験を行なった。このとき得られた曲げ強度（または破壊時のひずみ）とひずみ速度との関係を 0°C の基準温度に移程させてマスターカーブ（合成曲線）で描いたのが 図-13 である。またこの曲線を作製するときに得られる移程量（シフトファクター）と温度との関係は 図-14 に示すようなものとなる。

曲げ強度～ひずみ速度曲線にも曲げ強度～温度曲線同様ピークをもつ現象が現われる。この現象は粗骨材の多い舗装用混合物では明りょうではなくなる。

図-13 と 図-14 を用いると任意の温度、任意のひずみ速度におけるこれらの混合物の曲げ強度、破壊時のひずみの値が決定される。

一方流動を伴う破壊領域における破壊強度とひずみ速

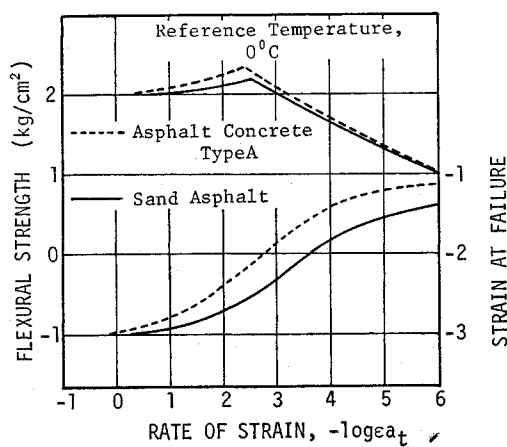


図-13 曲げ強度とひずみ速度および破壊時のひずみとひずみ速度の関係

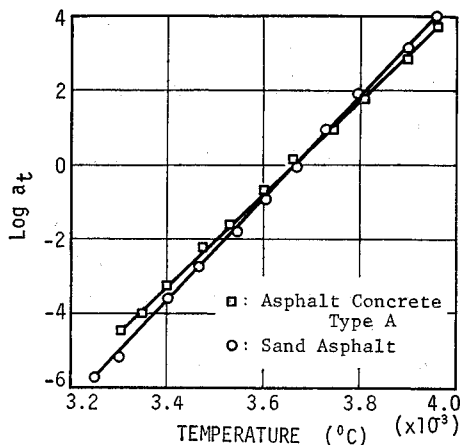
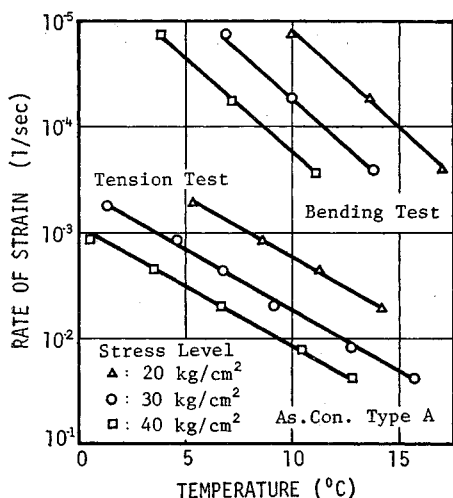


図-14 シフトファクターと温度の関係



図—15 引張試験と曲げ試験における
ひずみ速度と温度の関係

度との関係は破壊強度をパラメーターとし、図—11より計算し図—15が得られる。この領域においては曲げ試験、引張試験とも温度とひずみ速度は片対数紙上ではほぼ直線となる。これよりひずみ速度と応力レベル（破壊強度）が同一でも両試験法の間には著しい差があるといえる。また曲げ試験から得られた温度とひずみ速度との関係の勾配が引張試験より得られたそれより緩やかであることから、曲げ試験の方のひずみ速度が温度に対しより敏感であるといえる。

これらの関係は将来アスファルト混合物の疲労研究を試みる際、応力設定の一つの指針を与えるものと考えられるが、この分野についてさらに詳しい研究が期待される。

10. ま と め

以上アスファルト混合物の破壊強度に関し、主として曲げ試験、引張試験および圧縮試験の3つの試験法より破壊のレオロジー、破壊現象などに検討を加えた。本研究で得られた主な結論は次のとおりである。

(1) アスファルト混合物の破壊は次の3つのモードに分類される。

- a. 脆性破壊（タイプⅠの破壊）
- b. 流動を伴う破壊（タイプⅢの破壊）
- c. 降伏現象を示し、a. と b. の性状を兼ね備えた破壊（タイプⅡの破壊）

(2) 破壊強度～温度曲線ではピークをもつ現象が現われ、ピーク付近の温度領域ではタイプⅡの破壊を、ピークより低温ではタイプⅠの破壊を、またこれより高温においてはタイプⅢの破壊を示す。

(3) 破壊時のひずみ～温度曲線は緩やかなS字を描き、破壊時のひずみには“下限値”および“上限値”が存在するかのごとくみられる。また破壊強度～温度曲線のピークを示す温度はこの曲線では勾配の急変する付近の温度に対応する。

(4) 破壊時のスティフネスは温度上昇に伴いある温度を境にして急激に減少する。破壊強度～温度曲線のピークを示す温度がそれに対応する。

(5) 破壊強度～温度曲線、破壊時のひずみ～温度曲線および破壊時のスティフネス～温度曲線はお互いに対応関係にあり、これらはひずみ速度やバインダー性状の変化に伴い温度軸に平行に左右に移動する。

(6) 曲げ試験と引張試験を比較するとひずみ速度が同一ならばタイプⅡの破壊を示す温度（転移温度）は変わらないが、この領域における曲げ試験における ultimate fiber stress（曲げ強度）の値は引張強度の約2倍のオーダーにあり、高温領域においては両試験から得られる破壊強度には差がない。低温領域における曲げ強度は引張強度の約2倍程度の値となる。

(7) 圧縮試験と曲げ試験をひずみ速度が同一なる条件のもとで比較すると、一般道路用混合物については、高温領域では圧縮強度、曲げ強度ともに非常に似た値となるが、低温領域では圧縮強度は曲げ強度の3～4倍の値に達する。

(8) ひずみ速度が同一でも試験によりアスファルト混合物の破壊強度は著しく異なるので、混合物の配合設計や疲労研究等における応力レベルの設定に際しては十分留意しなければならない。

(9) 引張強度～ひずみ速度曲線および破壊時のひずみ～ひずみ速度曲線は温度が変化しても形は同一でひずみ速度軸に平行に左右に移動するだけであるという T. L. Smith の考え方がアスファルト混合物の曲げ試験の結果にも適用可能である。

アスファルト混合物の破壊現象について曲げ試験、引張試験および圧縮試験を採用して破壊が生ずると思われる条件で実験を行ない、破壊の規則性やモードについて検討を加えたが、さらに単純せん断試験についても検討しなければならないであろう。また本研究で得られた結果をもととして混合物の配合設計等に用いる際の許容される強度および破壊時のひずみについてさらに詳細な検討が加えられるべきであろう。

なお本稿においては破壊時のひずみおよび破壊の規則性については詳細に論じられなかったが、これらに関しては機会を改めて論ずる予定である。

物の破壊を研究するグループ、すなわち笠原篤、石井哲夫、岡田和夫、野坂隆一および著者ら3名の研究成果であり、著者ら3名が主としてとりまとめたものであることを付記する。

なおこの研究は文部省科学研究費の交付を受けて行なったものである。

付記：本試験に用いた試験機器および実験条件等は参考文献 15) に詳細に示されている。

参 考 文 献

- 1) Factors Involved in the Design of Asphaltic Pavement Surfaces, N.C.H.R.P. Report 39, pp. 25~35.
- 2) van der Poel, C.: A General System Describing the Viscoelastic Properties of Bitumco and its Relation to Routine Test Data, Jour. Appl. Chem. May, 1954.
- 3) Monismith, C.L., Alexander, R.L., and Secor, K. E.: Rheologic Behaviour of Asphalt Concrete, Proc. Assn. Asphalt Paving Tech., Vol. 35 (1956), pp. 400~450.
- 4) 1) に同じ.
- 5) Majidzadeh, K., and Herrin, M.: Modes of Failure

- and Strength of Asphalt Films Subjected to Tensile Stress, Hwy. Res. Record, No. 67, 1965, pp. 98~121.
- 6) 山田嘉昭・柳沢延房訳：改訂 レオロジーの基礎理論，コロナ社，pp. 103, 160, 223.
 - 7) 6) に同じ.
 - 8) 6) に同じ.
 - 9) 6) に同じ.
 - 10) 阿部洋一・上島 壮・菅原照雄：短い載荷時間におけるアスファルト合材の粘弾性について，土木学会第22回年次学術講演会講演集，1968.
 - 11) Sugawara, T.: Brittleness and Visco-elasticity of Bituminous Mixtures, Annual Report of Roads, 1970, Japan Road Association.
 - 12) 堀尾哲一郎・向林一吉・岡田富男・金崎健児：アスファルトの流動特性とレキ青合材の諸性質との関係，石油学会誌，第6巻3号，1963.
 - 13) 菅原照雄・上島 壮・森吉昭博：アスファルトおよびアスファルト合材のゼイ性に関する研究，石油学会第11回研究発表会講演要旨，1968. pp. 183~190.
 - 14) Smith, T.L.: Viscoelastic Behaviour of Polyisobutylene under Constant Rates of Elongation, Journal of Polymer Science, Vol. 20, 1956, pp. 89~100.
 - 15) 菅原照雄：アスファルト 関係研究機器について，アスファルト，85号，1972.

付 表：混合物の配合表 (%)

混合物のタイプ ふるい目 (mm)	アスファルト コンクリート タイプA	アスファルト コンクリート タイプB	アスファルト コンクリート タイプC	アスファルト コンクリート タイプD	ローランド アスファルト タイプA	ローランド アスファルト タイプB	アスファルト モルタル	サ ン ド アスファルト
20	—	100	—	100	100	100	—	—
15	100	89	—	92	89	87	—	—
10	84	76	100	82	62	55	—	—
7	74	67	85	75	46	36	—	—
5	65	60	73	68	46	36	—	—
2.5	48	47	58	57	46	36	—	100
1.2	36	38	45	48	46	36	—	90
0.6	25	27	33	36	46	36	100	80
0.3	17	14	19	16	36	28	74	59
0.15	12	9	9	11	12	10	24	15
0.074	7	6.9	6.6	8	9	7	19.2	10.5
アスファルト量 (%)	5.7	5.8	7.5	6.4	7.2	6.4	12	8.5
針 入 度 (25°C)	81	93	93	54	54	54	61	81
軟 化 点 (°C)	47.3	46.8	47.3	54.3	54.3	54.3	52.6	47.3

(1972.8.2・受付)