

組合せ応力によるアスファルト混合物の破壊試験

FRACTURE TESTS OF ASPHALT MIXTURES UNDER
COMBINED STRESSES

村井貞規*・福田正**

By Sadanori MURAI and Tadashi FUKUDA

1. ま え が き

舗装用アスファルト混合物は、荷重速度、温度などの外的条件に対して複雑な力学的挙動をする。このような性質については従来よりいくつかの研究が報告されている^{1),2)}が、アスファルト舗装構造の挙動評価の観点から若干の問題が指摘される。すなわちアスファルト混合物のこれらの性質に関する研究の多くは、アスファルト混合物が実際に舗装材料として用いられる場合に生じる応力状態と異なって、一軸的な応力状態、すなわち単純な圧縮試験、引張試験、曲げ試験などによるものが主である。しかしながら、実際に交通荷重を受ける舗装構造においては、アスファルト混合物層の下面、荷重直下周辺部は単純圧縮あるいは単純引張応力状態になくその主応力方向に「圧縮-引張」の組合せ応力状態にある場合が一般的であると考えられる。特にアスファルト舗装が実際に経験する低温領域では、アスファルト混合物は弾性、脆性を有し、その応力状態は「圧縮-引張」であることから、この条件でのアスファルト混合物の破壊特性を検討することがアスファルト舗装の破壊現象を明らかにするうえで重要である。

そこで本研究では、まずこのような舗装用アスファルト混合物が受ける「圧縮-引張」の組合せ応力状態を再現する試験方法を検討し、次にこの試験方法を用いて、特に低温領域でのアスファルト混合物の一連の荷重実験を行って、その破壊挙動を論じようとするものである。

2. 試験方法の検討

土木材料の組合せ応力状態での試験方法に関しては、土質材料については三軸試験が、またコンクリート材料

についても類似の試験方法が実施されている。アスファルト材料に関しては、組合せ応力状態による試験として三軸試験による研究事例もあるが、この方法を舗装用アスファルト混合物の試験方法として適用するには問題がある。すなわち、一般の三軸試験装置の機能は、組合せ応力成分がともに圧縮側であり、さらにこの装置ではその機能上側圧は固定されているので、本来、組合せ応力の成分が相互に関連性をもつ舗装構造の組合せ応力状態を再現することが困難である。そこで本研究では、このような実際に舗装材料が受ける組合せ応力状態を再現することに留意してアスファルト混合物の破壊試験を行うこととした。

一般に2層構造の上層内の応力状態は、上・下層の弾性率の比率によってある程度適宜に生じさせることができる³⁾。すなわち2層構造において、下層材料の弾性率を種々に変化させることによって、上層のアスファルト混合物層に組合せ応力状態を生じさせ、これによって混合物の破壊挙動の検討を行うものである。

まず、このような2層構造の上層内の応力状態の変化を、光弾性実験などによって検討する。すなわち2層構造の上層と下層の弾性率の比率を種々に変化させた場合の上層内部に生じる応力状態が本研究の目的に合致するものであることを検討しておくことが必要である。そこで、このような2層よりなる供試体を光弾性材料により作製し、光弾性装置およびMach-Zehnder干渉計による実験によって応力状態を確かめた。これらの実験法とその結果について概述する。

光弾性実験で得られる供試体の等色線の縞次数 N は次式のように主応力差の関数となる。

$$N = \alpha d |\sigma_1 - \sigma_2| \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

N : 等色線縞次数

α : 供試体材料の光弾性感度 (mm/kg)

σ_1, σ_2 : 主応力 (kg/mm²)

* 正会員 工修 東北大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

d ：供試体の板厚 (mm)

一方、Mach-Zehnder 干渉計で得られる等厚線の縞次数 N' は次式のように主応力との関数となる。

$$N' = \beta d(\sigma_1 + \sigma_2) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、

N' ：等厚線縞次数

β ：等厚線縞感度 (mm/kg)

これらの式 (1), (2) を組み合わせることにより、供試体内部の任意点の応力を解析することができる。2層構造の供試体は2種類の樹脂材料、あるいは樹脂材料とゴムを組み合わせることにより作製した。光弾性実験用供試体として上層にエポキシ樹脂材料を、下層には種々の弾性率を有するエポキシ樹脂材料などを使用した。Mach-Zehnder 干渉計用供試体としては、上層にアクリル樹脂材料、下層には光弾性実験用供試体と同じ材料を使用した。これらの物理定数を表-1 に示す。上層の供試体寸法は、長さ 200 mm、高さ 18 mm、厚さ 6 mm である。

表-1 材料の物理定数

材 料	弾 性 率 (kg/mm ²)	光 弾 性 感 度 (mm/kg)	備 考
エポキシ樹脂	300	0.80	上・下層に使用
アクリル樹脂	300	1.66	上・下層に使用
フェノール樹脂	1300	--	下層に使用
ゴ ム	80, 10	--	下層に使用

この光弾性実験によって得られた実験値を弾性論に基づく数値解析によって検討した。この数値解析は次の計算法によって得た。図-3 に示すような2次元構造の、分布荷重による応力状態は、 Y 軸方向に帯状分布荷重を受

ける3次元構造の場合の $X-Z$ 平面内の応力状態に対応すると考えられる。そこで帯状載荷面を微小な四辺形要素に分割し、おのおのの要素面の分布荷重を集中荷重に換算する。それぞれの集中荷重による任意点の応力を計算し、次にこれを合計して任意点の応力とする。なお解析において層間の境界条件は粗と仮定した。ここで Y 軸方向には載荷長さは無限であるが、求めようとする精度によって、計算の対象とする Y 軸方向の長さを決める。集中荷重による多層構造の応力解析法については著者は文献 4) で説明した。

上述の計算法は $X-Z$ 平面について平面ひずみ状態を条件にしており、一方、実験は平面応力状態で行われているので厳密には解析条件が異なるが、この計算法による理論値で近似的に実験値を検証した。

これらの実験ならびに数値解析結果を図-1~3 に示す。図-1 は、式 (1) の主応力差の絶対値を表わす等色線であり、図-2 は、式 (2) の主応力合を表わす等厚線である。これらの測定値より得た載荷面中央直下の供試体内の主応力の分布を図-3 に示す。同図には数値解析により得られた理論値を並記した。なお数値解析に用いたモデルのポアソン比は 0.35 とした。

実験結果によれば、2層構造の上層と下層の弾性率の比率を変化することによって広範囲の組合せ応力を生じさせることができることが示されている。したがって、この方法の適用により、本研究の目的であるアスファルト混合物の組合せ応力による試験を実施することが可能である。

なお、アスファルト舗装構造において上層のアスファ

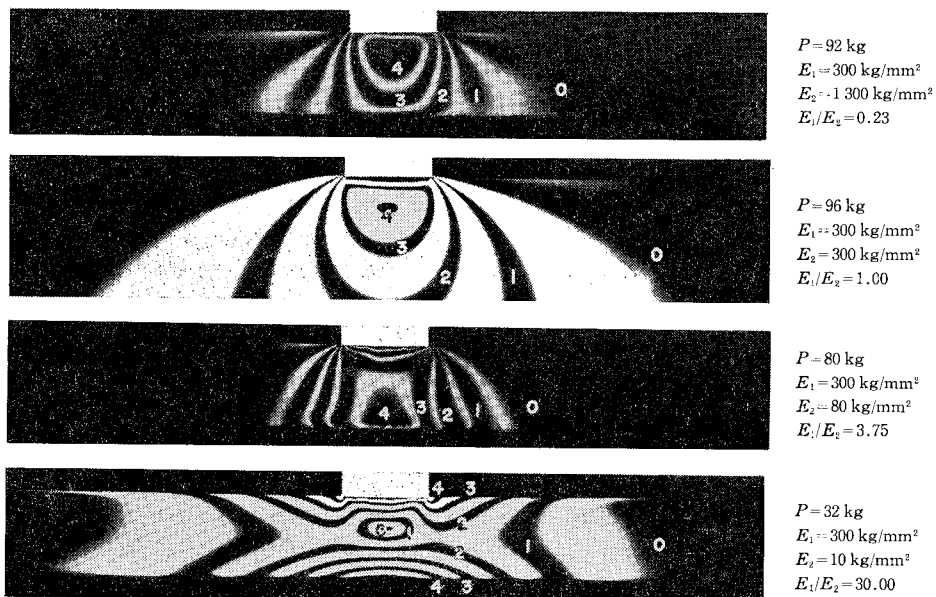


図-1 上層、下層の弾性率の比率により生じた等色線

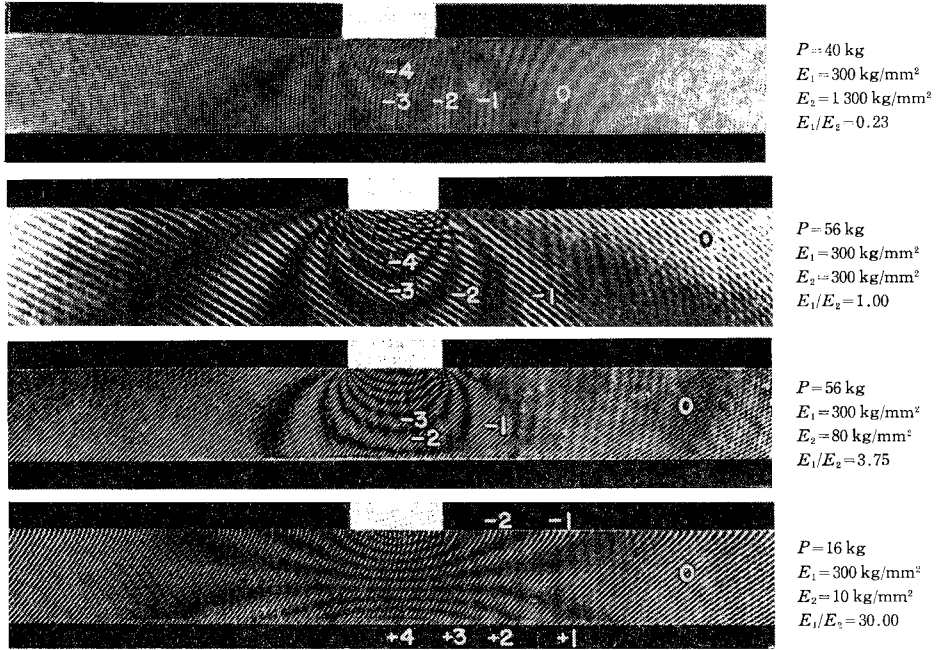


図-2 上層, 下層の弾性率の比率により生じた等厚線

ルト混合物層の温度が上昇するに従い、弾性率は小さくなり、上下層の弾性率が接近することになる。この場合、上層下部の組合せ応力状態は「圧縮-引張」から「圧縮-圧縮」に移行することが実験結果より示されている。したがって、アスファルト混合物の「圧縮-引張」の組合せ応力状態による検討は、比較的低温領域において問題になるといえる。

3. 試験方法ならびに試験に用いた材料

(1) 試験方法

アスファルト混合物の破壊特性についての試験として、単純曲げ試験、一軸圧縮試験および 2. で検討した実験方法に基づいた 2 層モデルによる載荷試験を行った。単純曲げ試験用アスファルト混合物の供試体寸法を $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 22\text{ cm}$ とし、両端単純支持(スパン長 20 cm)、中央集中荷重方式で載荷した。一軸圧縮試験用の供試体寸法は $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ とし、一軸的に圧縮載荷を行った。2 層モデルによる載荷試験は上層をアスファルト混合物、下層をエポキシ樹脂材料として線荷重を載荷した。線荷重載荷としたのは、単純曲げ試験と条件を合わせるためである。2 層モデルにおける供試体寸法は、単純曲げ試験と同様に $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 22\text{ cm}$ とした。

アスファルト混合物のひずみは、単純曲げ試験および一軸圧縮試験については、その変形を測定することより求めた。2 層モデルによる載荷試験については、載荷位

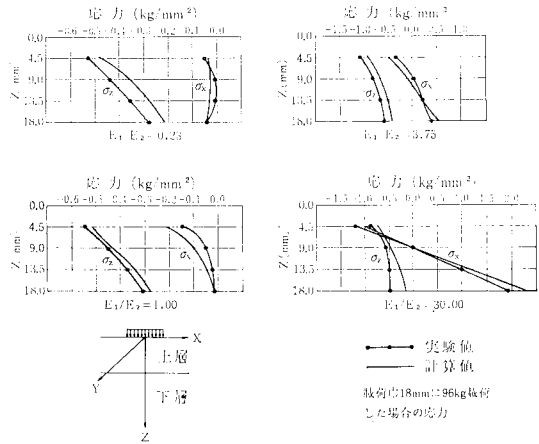


図-3 Z 軸上第 1 層内の応力分布

置直下の供試体側面下部における最大主ひずみ発生位置に延性域にも適したひずみゲージ(ゲージ長 6 mm)を主ひずみ方向に合わせて接着することにより測定した。

試験条件は、単純曲げ試験および一軸圧縮試験については試験温度を -15°C 、 -10°C 、 -5°C 、 0°C 、 5°C 、 10°C の 6 段階とし、ひずみ速度は $1.0 \times 10^{-4}/\text{s}$ 、 $2.0 \times 10^{-4}/\text{s}$ 、 $3.0 \times 10^{-4}/\text{s}$ の 3 段階とした。2 層モデルによる載荷試験は、試験温度を -5°C 、 0°C 、 5°C の 3 段階とし、ひずみ速度は最大主ひずみ位置でほぼ $2.0 \times 10^{-4}/\text{s}$ となるように選んだ。

載荷装置は、動的/静的万能試験機(Instron 1230 型)を使用し、荷重載荷はひずみ制御とした。また載荷装置に付属する恒温箱を用いて、恒温状態での載荷試験を行

っている。

(2) 試験に用いた材料

a) アスファルト混合物

本試験で使用したアスファルト混合物は、供試体寸法、粗骨材の最大寸法などの影響を少なくするために、表-2 の配合のアスファルトモルタル混合物とした。石粉および骨材の粒度は図-4 のとおりである。石粉は炭酸カルシウム粉末（比重 2.708）、骨材は川砂（比重 2.737）である。またアスファルトはストレートアスファルト（針入度 90、軟化点 47°C）を用いた。

表-2 配合比

アスファルト (%)	石粉 (%)	骨材 (%)
8.5	13.4	86.6

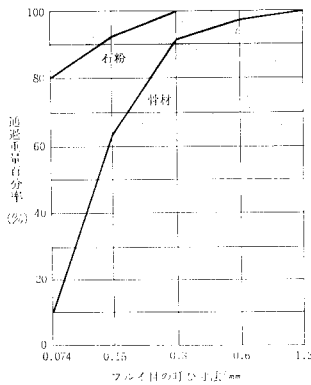


図-4 粒度曲線

アスファルト混合物は 150°C の加熱状態でローラーコンパクタにより最大密度が得られるように、あらかじめ転圧時間を決めて締固め、これを放熱冷却後に所定の寸法に切断して供試体を作製した。

(3) 樹脂材料

2層モデルの下層に使用した材料は常温硬化エポキシ樹脂材料であって、これは主剤として Epikote 871, Epikote 828, 硬化剤として Dyethylenetriamine をそれぞれの配合比を変えて混合し、硬化後のエポキシ樹脂材料の弾性率が表-3 の値になるようにした⁹⁾。なおエポキシ樹脂材料は温度によってその弾性率が若干変化するが、本試験においては上層のアスファルト混合物供試体から計測されたひずみを対象に検討しているの、下層に用いたエポキシ材料の弾性率の温度変化による変動

表-3 エポキシ樹脂材料の弾性率

	弾性率 (kg/cm ²)	備 考
エポキシ樹脂 (1)	1800	実験温度 13°C
エポキシ樹脂 (2)	80	
エポキシ樹脂 (3)	20	

は直接的にはその評価に無関係である。そこで2層モデルの下層に用いたエポキシ樹脂材料の弾性率は、試験温度 13°C における値で表わした。

4. 試験結果とその考察

(1) アスファルト混合物の温度・ひずみ速度依存性

一般に、材料がその力学的機能を喪失した状態を破壊と称している。高分子材料においては、その破壊の形態は、温度あるいは載荷速度によって変化し、低温または高速度載荷における脆性破壊から順次、温度の上昇、載荷速度の低下に伴って延性破壊、粘性破壊へと移行していくことが知られている⁹⁾。舗装用アスファルト混合物においても同様に破壊の形態として、(i) 低温領域での混合物の脆性ひび割れによる破壊、(ii) 高温領域での混合物の流動による破壊、(iii) この両者の中間領域での破壊に分類されている⁷⁾。

アスファルト混合物の単純曲げ試験において、最大荷重時の曲げ応力を弾性解として求め、これを曲げ破壊強度とする。このようにして試験温度 -15°C ~ +10°C の範囲について混合物の曲げ破壊強度を得た結果は図-5 のとおりであり、最大強度はおよそ -10°C ~ 0°C にあることがわかる。一般にアスファルト混合物の性質は、この点を境として脆性から延性に変化する。この点の存在する領域を転移領域と称している¹⁾。今回の試験に用いたアスファルト混合物の転移領域は -10°C ~ 0°C の間にある。本研究での試験温度については、舗装用アスファルト混合物が実際に受ける低温領域を考慮して -5°C, 0°C, 5°C の3水準を対象とすることにする。

アスファルト混合物の応力 ひずみ関係は、混合物の温度とひずみ速度の影響を受けるので、混合物の弾性率は温度と載荷速度の条件で決定されるいわゆる Stiffness と称する特性値で表わされる。本実験での ひずみ速度

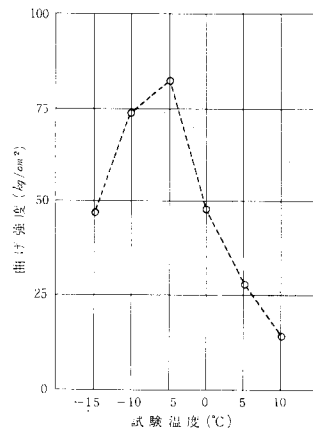


図-5 試験温度と曲げ強度の関係

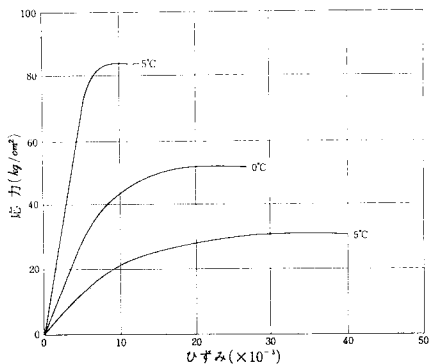


図-6 アスファルト混合物の単純曲げ試験による応力-ひずみの関係

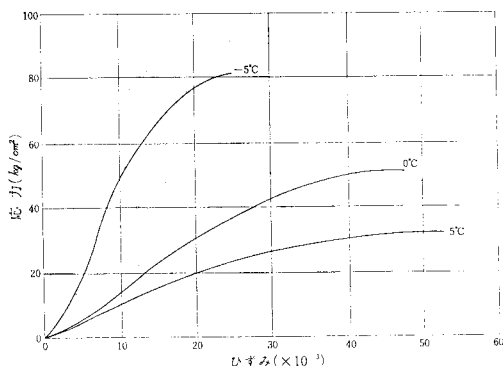


図-7 アスファルト混合物の一軸圧縮試験による応力-ひずみの関係

は、実際の交通荷重により生じるひずみ速度よりかなり低い値であるが、試験値の変動を少なくするために、 $1.0 \times 10^{-4}/s$ 、 $2.0 \times 10^{-4}/s$ 、 $3.0 \times 10^{-4}/s$ とした。ひずみ速度が $2.0 \times 10^{-4}/s$ の条件で単純曲げ試験を行った場合の、混合物の応力-ひずみ関係は図-6 のとおりである。ここでひずみは供試体の変形を測定して線形弾性と仮定して得た値である。同様の条件で混合物の一軸圧縮試験を行った場合の応力-ひずみ関係は図-7 のとおりである。

これらの試験によると、アスファルト混合物の応力-ひずみ関係は低温領域での線形弾性的挙動から、試験温度の上昇に伴い非線形塑性挙動に移行することがわかる。いま応力-ひずみ曲線の勾配が大きく変化する点を降伏点とすると、図-6 によれば曲げ引張挙動の場合、破壊強度の 80% 付近に降伏点が存在することがわかる。この値を降伏点として採用すると、曲げ引張試験においてはひずみがほぼ 10×10^{-3} 程度になる。

ひずみ速度を $1.0 \times 10^{-4}/s$ 、 $2.0 \times 10^{-4}/s$ 、 $3.0 \times 10^{-4}/s$ に変化させたときの単純曲げ試験によるアスファルト混合物の応力-ひずみ関係について、 0°C における一例を示すと図-8 のとおりである。これらの関係より各温度

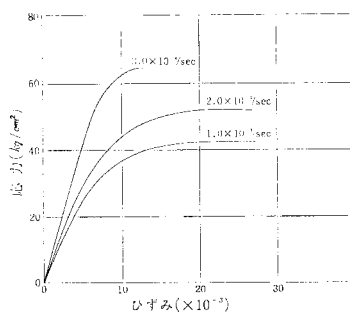


図-8 アスファルト混合物のひずみ速度の変化による応力-ひずみの関係 (単純曲げ試験, 実験温度 0°C)

レベルにおけるアスファルト混合物の引張ひずみに関する Stiffness を求めた。同様に一軸圧縮試験結果より、圧縮側ひずみに関する Stiffness を求めた。

(2) 降伏時における 2 層モデル供試体の応力状態

前述のようにアスファルト混合物の応力-ひずみ関係は、試験温度によってその挙動に相違がある。ひずみの小さい領域では線形弾性的挙動を示し、一方、ひずみの増加に伴い非線形塑性挙動へと移行し、除荷後に大きな永久ひずみを生じる。この永久ひずみは舗装のわだち掘れなどの永久変形を生じさせることになり、アスファルト舗装の破損の一原因となる。したがって、アスファルト混合物の線形弾性領域の境界を示す降伏点をもって、破壊現象を検討することも必要である。

2 層モデルによる載荷試験は一定の載荷速度で行った。したがってアスファルト混合物供試体のひずみゲージ測定点におけるひずみ速度は、下層材料の弾性率およ

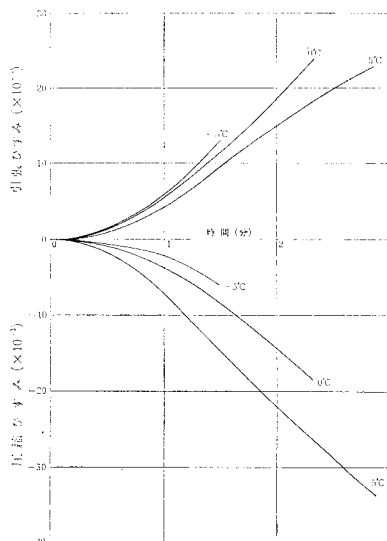


図-9 2 層モデルによるひずみ-時間の関係 ($E_2=80 \text{ kg/cm}^2$)

び試験温度によって異なることになる．たとえば図-9は，温度が 13°C における弾性率が $E_2=80 \text{ kg/cm}^2$ の下層材料を用いた場合の，アスファルト混合物層の温度変化によるひずみ時間関係の測定例である．このことから，試験で測定されたひずみの値を応力に変換するには，2層モデルによる載荷試験における試験温度とひずみ速度を考慮した Stiffness を用いる必要がある．そこで(1)に述べた試験結果よりこの Stiffness を表-4のように求めた．表-4の()内の数値はこの Stiffness を決める際に基準としたひずみ速度であって，2層モデルの載荷試験における供試体の測定点に生じるひずみ速度に対応している．このようにして得た Stiffness を用

表-4 アスファルト混合物の Stiffness (kg/cm²)

下層材料の弾性率	主ひずみの方向	実験温度	Stiffness (kg/cm ²)		
			-5°C	0°C	5°C
1800 kg/cm ²	引	張	7400(1.5)	1900(1.0)	600(0.8)
	圧	縮	3600(2.4)	1400(1.9)	800(1.9)
80 kg/cm ²	引	張	9400(2.6)	2500(2.1)	800(1.8)
	圧	縮	3200(1.5)	1300(1.8)	700(2.0)
20 kg/cm ²	引	張	9900(2.9)	3200(2.4)	900(2.1)
	圧	縮	3000(1.1)	1200(1.6)	600(1.9)

() はひずみ速度 (×10⁻⁴/s)

表-5 降伏時，破壊時のひずみ (×10⁻³)

下層材料の弾性率	ひずみの方向	温度	-5°C		0°C		5°C	
			引張 (×10 ⁻³)	圧縮 (×10 ⁻³)	引張 (×10 ⁻³)	圧縮 (×10 ⁻³)	引張 (×10 ⁻³)	圧縮 (×10 ⁻³)
$E_2=1800 \text{ kg/cm}^2$	均	均	6.5	-10.0	13.5	-16.0	10.0	-18.5
			11.5	-15.0	18.5	-27.0	16.5*	-34.5*
	均	均	6.5	-9.0	12.5	-17.0	11.0	-14.0
			12.5	-12.0	19.0	-29.0	20.0*	-32.0*
平	均	均	7.0	-8.0	12.0	-16.0	10.0	-16.0
			12.0	-18.0	18.5	-26.0	17.5*	-33.0*
$E_2=80 \text{ kg/cm}^2$	均	均	8.0	-4.0	13.5	-10.5	17.0	-20.0
			12.0	-7.0	20.0	-17.5	24.5*	-34.0*
	均	均	7.5	-4.0	14.0	-10.5	16.0	-23.0
			12.0	-6.0	22.0	-18.5	23.0*	-34.5*
平	均	均	7.0	-4.5	14.0	-9.5	14.0	-20.0
			12.5	-7.0	22.0	-15.0	24.5*	-34.0*
	均	均	7.5	-4.2	13.8	-10.2	15.7	-21.0
			12.2	-6.7	21.3	-17.0	24.0*	-34.2*
$E_2=20 \text{ kg/cm}^2$	均	均	7.5	-3.5	12.0	-7.0	22.5	-18.0
			11.5	-6.0	20.0	-12.5	31.0	-30.0
	均	均	7.5	-3.0	13.0	-6.5	21.0	-14.0
			12.0	-5.5	20.0	-10.0	32.0	-22.0
平	均	均	8.0	-3.0	12.5	-6.0	22.5	-13.0
			12.0	-5.5	21.0	-12.0	32.0	-25.5
	均	均	7.7	-3.2	12.5	-6.5	22.0	-15.0
			11.8	-5.7	20.3	-11.5	31.7	-25.8

1) 上欄の数字は降伏時のひずみ，下欄の数字は破壊時のひずみを示す。
 2) * は図-11で除外した試験値。

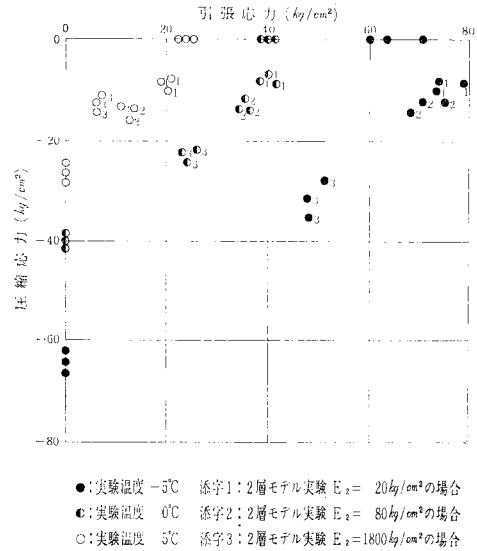


図-10 降伏時における応力状態

いて，降伏点に達したときのひずみ状態(表-5)を応力状態に変換する．この応力値を，それぞれの主応力を座標軸にとって応力空間上に示すと図-10のようになる．参考のために2層モデルによる載荷試験値のほか，単純曲げ試験および一軸圧縮試験によって得られた値を主軸上に示した．図-10によれば，アスファルト混合物の降伏時の応力は，いわゆる塑性降伏条件で示され，作用する組合せ応力の影響を受けることになる．

(3) 破壊時における2層モデル供試体のひずみ状態

図-11は2層モデルにおいて，下層の弾性率が $E_2=80 \text{ kg/cm}^2$ の場合の供試体の載荷荷重-ひずみ関係の測定例である．これは図-6の単純曲げ試験の場合のアスファルト混合物に対する応力-ひずみ関係と類似のパターンであって，載荷荷重の増加に伴い混合物の破壊点に近づくにつれて塑性流動による非線形挙動を示す．すなわち，舗装用アスファルト混合物が通常経験する範囲の低温領域では，ひずみの増加に伴い混合物は弾性挙動から塑性の卓越した挙動に移行する．

一般に破壊時のひずみに影響を与えるおもな要因としては，試験温度とひずみ速度が考えられる．本試験における試験条件は，温度が -5°C, 0°C, 5°C の3段階でありひずみ速度は $1.0 \times 10^{-4} \text{ s} \sim 3.0 \times 10^{-4} \text{ s}$ の範囲であって，ひずみ速度の試験範囲は狭く，したがって，ひずみ速度による影響は試験温度による影響と比較してほとんど無視できると考えられる．

アスファルト混合物の破壊点近傍におけるひずみ値を応力値に変換することには問題があるので，測定された破壊時の主ひずみ値を表-5に示した．これをひずみ空

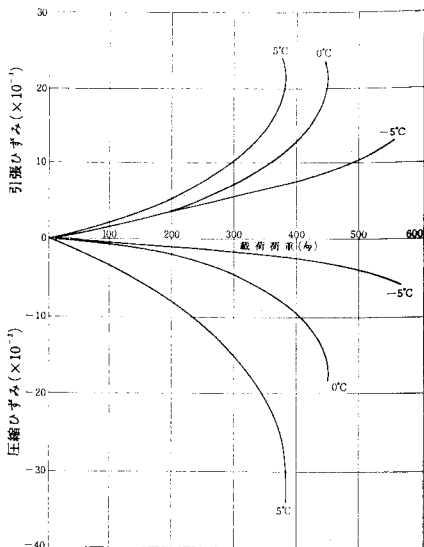
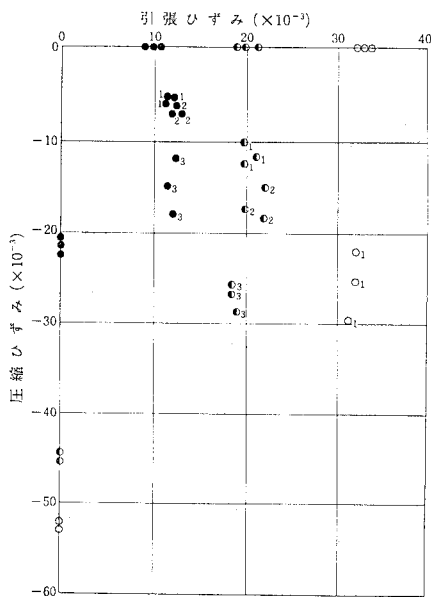


図-11 2層モデルによるアスファルト混合物の主ひずみ ($E_2=80 \text{ kg/cm}^2$)



- : 実験温度 -5°C 添字 1: 2層モデル実験 $E_2=20 \text{ kg/cm}^2$ の場合
- : 実験温度 0°C 添字 2: 2層モデル実験 $E_2=80 \text{ kg/cm}^2$ の場合
- : 実験温度 5°C 添字 3: 2層モデル実験 $E_2=1800 \text{ kg/cm}^2$ の場合

図-12 破壊時におけるひずみ状態

間上に試験温度をパラメーターとして表わしたのが図-12である。同図には参考に単純曲げ試験および一軸圧縮試験によって得られたひずみ値を座標軸上に記した。

表-5, 図-12 によれば転移領域付近の比較的安定した試験が可能であった -5°C, 0°C における試験結果では, アスファルト混合物の破壊は組合せ応力に無関係に, 最大主ひずみによって決定されることが示されている。また, この最大主ひずみは, 単純曲げ試験による供

試体破壊時の引張ひずみに相当している。転移領域を越えた 5°C における試験結果は, 下層の弾性率が小さい場合には上記の場合と同様の傾向を示したが, 2層モデルの下層の弾性率が大きくなるにつれ, すなわち組合せ応力の圧縮応力成分が卓越するにつれて, 前述の結果から予想される破壊ひずみと異なった傾向を示した。この原因は供試体の破壊状況から判断して, 供試体の載荷点周辺部破壊の影響を受けたものと推察された。このため図-12 ではこれらの試験結果を除いて整理した。

5. まとめ

アスファルト混合物の破壊性状について, 実際のアスファルト舗装構造において混合物が受ける「圧縮-引張」の組合せ応力状態を再現した試験を試みた。つまり上層にアスファルト混合物供試体, 下層に種々の弾性率をもつ高分子材料を置くことによって2層構造の試験モデルを作製し, これに集中荷重を載荷して, 上層の供試体内に組合せ応力状態を生じさせた。本研究ではまずこの2層モデルの応力状態を光弾性実験などにより検討した。ついでこの試験方法によって, アスファルト混合物が組合せ応力を受けた場合の破壊性状を論じた。得られたおもな結論は次のとおりである。

(1) 本試験で使用したアスファルト混合物が脆性から延性の性質を有する温度領域に相当する試験温度 -5°C, 0°C, 5°C での単純曲げ試験の結果によれば, 混合物はそのひずみが 10×10^{-3} 付近で降伏点に達し非弾性的挙動が顕著になる。このアスファルト混合物の降伏時の応力は, 作用する組合せ応力の影響を受けることが明らかとなった。

(2) 上記温度状態において組合せ応力を受けるアスファルト混合物の破壊は, その圧縮応力成分と無関係に引張ひずみ成分によって決まることが示された。

従来, アスファルト舗装の層構造としての挙動を検討する場合に, アスファルト混合物層内に生じる引張応力成分のみが対象とされる場合が多い。しかしながら実際のアスファルト混合物層内の応力状態は本研究の光弾性実験結果などからも知られるように, 上・下層の弾性率が接近している場合には組合せ応力の圧縮応力成分が卓越する。したがって, アスファルト混合物の降伏による変形破損という観点からいえば, アスファルト舗装構造の挙動解析において組合せ応力を考慮した検討が必要である。一方, アスファルト混合物の破壊時のひずみは, 組合せ応力状態においても引張ひずみ成分に依存することから, アスファルト舗装構造における混合物層の破壊は, その引張ひずみ成分によって規定すればよいと考えられる。

本論文を草するにあたり実験に従事した、石垣和男氏、垣内弘幸氏（東北大学工学部研究科大学院生）、光弾性実験などに助力をいただいた、湯沢 昭氏（東北大学工学部助手）、載荷実験などに関して多大のご協力をいただいた大林道路（株）技術研究所に感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 森吉昭博・上島 壮・菅原照雄：アスファルト混合物の破壊強度に関する研究，土木学会論文報告集，第 210 号，1973.
- 2) 渡辺 隆・渡辺暉彦・元田良孝：アスファルト混合物の一軸圧縮破壊特性，土木学会論文報告集，第 243 号，1975.
- 3) Murai, S. and T. Fukuda：Basic Investigations of

Stress Distributions in Pavement Structures by Photoelastic Methods, The Tec. Reports of the Tohoku Univ., Vol. 44, No. 1, 1979.

- 4) Fukuda, T.: Influence of Load Contact Patterns on Stress Distribution in Concrete Pavements, The Tec. Reports of the Tohoku Univ., Vol. 42, No. 1, 1977.
- 5) 湯沢 昭・小林真勝・星 啓：光弾性材料の物理的性質について，土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，1977.
- 6) 小野木重治：高分子材料科学，誠文堂新光社，1973.
- 7) 菅原照雄・上島 壮・森吉昭博：アスファルト混合物の低温領域における破壊時のレオロジー挙動，土木学会論文報告集，第 234 号，1975.
- 8) Hill, R.: The Mathematical Theory of Plasticity, Oxford, 1950.

(1979.11.9・受付)