

共振法によるアスファルトおよび
アスファルト混合物の動的粘弾性*DYNAMIC RESPONSE OF ASPHALT CEMENT AND ASPHALT
MIXTURES BY VIBRATION RESONANCES METHODS

笠原 篤**・上島 壮***・菅原 照雄****

By Atsushi Kasahara, Tsuyoshi Kamijima and Teruo Sugawara

1. 概 説

アスファルトセメントおよびアスファルト混合物（以下混合物とする）の力学的性質は大きな時間依存性を示し、動的応答として示される短時間領域と流動現象が顕著な長時間領域とは全くその性格を異にする。本研究では動的試験法を用いてその短時間領域における二、三の性状を求めたものであり、この領域における研究の意義の一つは、高速走行車輛による舗装体の力学的応答の解析に適用することにある。材料学的にはこの領域における性状を合理的に評価する手法が確立されていない。この問題については規格試験化の必要性も主張されており、本研究でも検討を試みた。本研究では主として 10^{-2} ~ 10^{-3} 秒のオーダーで考えるべき載荷時間領域を取り扱ったが、これは工学的には表層のフレッキング現象などが対象となる領域である。

本実験においては、曲げ振動共振曲線法を用い、アスファルトセメントのように試料の形状保持の困難な材料については試料と薄い鋼板との複合板を、また形状保持の容易な混合物については角棒状の試料を供試体として用いた。前者はアスファルトの研究について従来あまり採用されていないが、後者については van der Poel^{1),2)} が混合物の研究に採用している。ソニックテストについては多数の既往の研究があり、それらは参考文献 3) にとりまとめられている。著者らは、これらの手法の組合せにより、アスファルトセメントから舗装用混合物までの動的粘弾性を、混合物の骨材体積率 (C_v) をパラメータとして論じた。

2. 動的測定の原理と混合物への適用

一般に振動的外力をうける粘弾性体を含む系の力学的挙動についての運動方程式は、可動質量と粘弾性物体とからなる系を考えると、次式によって示される。

$$M\ddot{x} + \alpha \dot{x} + sx = F \cos \omega t$$

ここで、 M ：系内の可動質量部分の質量

x ：可動片の平衡位置からの変位

α ：物体の粘性による抵抗の係数

s ：物体の弾性力の係数

ω ：角振動数

F ： ω の正弦的外力の最大値

試験の方法としては、可動片の運動の観測方法によって以下のように分類することができる⁴⁾。

- 1) 自由減衰振動
- 2) 強制振動非共振法（位相差法）
- 3) 共振法
 - (a) 共振点法
 - (b) 共振曲線法

著者らは、アスファルトセメントならびに混合物についてこの3種の方法を適用し、種々の実験研究を試みたが1)の自由減衰振動法はこの種の材料については減衰時間がきわめて短く、広い領域にわたって精度の高い測定値を得ることは困難であると判断した。2)の強制振動非共振法は適用範囲も広くまた実用への寄与も大きいと思われる。著者らはこの分野について別途研究を進めている^{5),6)}。3)の共振法はかなり以前から各種の材料の研究に適用されているものであり⁷⁾、十分解析に耐える実験結果を与えることが知られている。本論文は3)の(b)の共振曲線法に基づく研究結果について述べるものである。

* 土木学会第24回年次学術講演会 IV-126 および土木学会第25回年次学術講演会 V-81 にて一部発表

** 学生会員 北海道大学大学院工学研究科 博士課程学生

*** 正会員 北海道大学助手 工学部土木教室

**** 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木教室

(1) 複素弾性率とスティフネス

一般に粘弾性体に、振幅 σ_0 、周波数 f の正弦的に変化する応力を加えると

$$\sigma(t) = \sigma_0 \sin \omega t, \quad \omega = 2\pi f$$

と表わすことができる。

一般に、この応力をうけた物体のひずみ $\varepsilon(t)$ も振幅 ε_0 、周波数 f で、 δ だけ位相のおくれた正弦的变化を示し、

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \sin(\omega t - \delta), \quad \omega = 2\pi f$$

で表わすことができる。

応力の最大値とひずみの最大値の比として複素弾性率 $E^* = E' + E''$ が与えられ、図-1 に示されるようなベクトルとして表わすことができる。

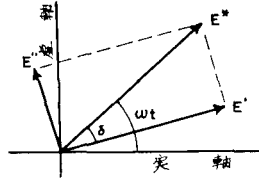


図-1 複素弾性率

$$|E^*| = \sqrt{E'^2 + E''^2} = \sigma_0 / \varepsilon_0, \quad E' = |E^*| \cos \delta$$

$$E'' = |E^*| \sin \delta, \quad E''/E' = \tan \delta$$

ここで、 E' は複素弾性率の実数部で動的弾性率、 E'' は虚数部で損失弾性率として知られている減衰項である。

また一方、van der Poel⁸⁾ はアスファルトおよび混合物の応力とひずみの関係を、時間および温度の関数としてスティフネスという概念を導入した。

$$S(t, T) = \sigma / \varepsilon$$

ここで、 S ：スティフネス (N/m² または kg/cm²)

σ ：応力 (N/m² または kg/cm²)

ε ：ひずみ

t ：载荷時間 (秒)

T ：温度

短時間および低温領域において、スティフネスは弾性係数となり、長時間および高温領域においては単に応力とひずみとの関係を示すにすぎない。

本研究において、アスファルトおよび混合物の複素弾性率の大きさ $|E^*|$ はスティフネスとして取扱った。ここで複素弾性率、スティフネスと呼ばれるものは、物質定数として与えられる弾性係数とは意味を異にし、時間・温度などの関数として示されるものである。

(2) 均一棒の曲げ振動

断面一樣な棒の p 次の曲げ共振周波数を f_0 (Hz)、棒の長さを l (cm)、密度を ρ (g/cm³)、厚さを d (cm)、共振曲線 (図-2) における最大値の θ 倍の値を示す

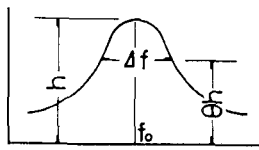


図-2 共振曲線

周波数の幅を Δf とすれば、動的弾性率 E' (dyne/cm²)、振動吸収係数 Q^{-1} 、損失弾性率 E'' (dyne/cm²) および複素弾性率 $|E^*|$ (dyne/cm²) は次式によって求めることができる⁹⁾。

$$E' = \frac{48 \pi^2 \cdot \rho \cdot l^4}{m_p \cdot d^2} \cdot f_0^2 \quad (\text{dyne/cm}^2)$$

$$Q^{-1} = \frac{\Delta f}{f_0} \sqrt{\frac{\theta^2}{1 - \theta^2}}$$

$$E'' = E' \times Q^{-1} \quad (\text{dyne/cm}^2)$$

$$|E^*| = \sqrt{E'^2 + E''^2} \quad (\text{dyne/cm}^2)$$

ここで、 m_p は p 次のみに関する量である。

なお本論文において、データはすべて kg/cm² に換算して整理されている。

(3) 複合板 (2層) の曲げ振動

複合板の曲げ振動の解析はすべて Oberst の方法¹⁰⁾ を用いて行なった。複合板としての供試体に表-1 に示す記号および添字をつける。

表-1

	動的弾性率 (dyne/cm ²)	振動吸収係数	密度 (g/cm ³)	厚さ (cm)	断面 2 次 モーメント (cm ⁴)
複合板供試体	E_0'	Q_0^{-1}	ρ_0	d_0	I_0
第一層材料 (鋼板)	E_1'	Q_1^{-1}	ρ_1	d_1	I_1
第二層材料 (試料)	E_2'	Q_2^{-1}	ρ_2	d_2	I_2

ここで、 Q_1^{-1} は Q_2^{-1} に比較して無視できるほど小さいので、 $Q_1^{-1} = 0$ と仮定し、さらに $E_0' \times I_0 = B_0$ 、 $E_1' \times I_1 = B_1$ 、 $E_2' / E_1' = a$ 、 $d_2 / d_1 = b$ とすれば

$$\frac{B_0}{B_1} = \frac{1 + 2a(2b + 3b^2 + 2b^3) + a^2b^4}{1 + ab} \quad \dots\dots(1)$$

$$\frac{Q_0^{-1}}{Q_2^{-1}} = \frac{ab}{1 + ab} \times \frac{3 + 6b + 4b^2 + 2ab^3 + a^2b^4}{1 + 2a(2b + 3b^2 + 2b^3) + a^2b^4} \quad \dots\dots(2)$$

となる。

ここで B_0/B_1 は測定量であるから、式 (1) は a に関する 2 次方程式となり、試料の動的弾性率 (E_2') を求めることができ、振動吸収係数 (Q_2^{-1}) は式 (2) より決定される。

3. 実験方法および材料

(1) 測定装置

測定装置は加振装置、振動検出装置および試験槽より成る (図-3)。

供試体の保持ならびに加振には、試験条件によって図-4 の (a)、(b) の 2 つの方法を用いた。(a) は理論より得られた振動の節をナイフエッジで保持し、無接触型加振器 (フィリップス PR 9262 型) で加振を行なう方法

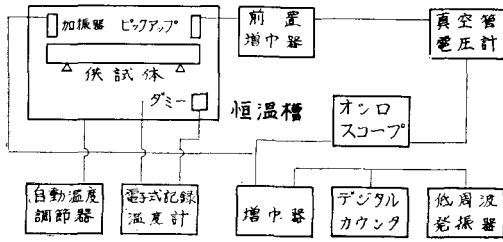


図-3 測定装置

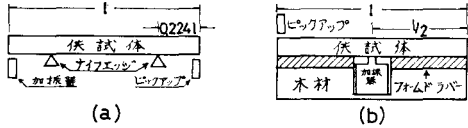


図-4 加振法

で、複合板供試体といくつかの混合物に用いた。(b)は供試体を直接電磁型加振器で加振を行なう方法で、大加振力を必要とする場合に用いた。(a)および(b)の測定値の差異は鋼の弾性率で比較して3%以下であった。

振動の検出は無接触型トランスジューサ(ファイリップス PR 9262 型)で行ない、出力を真空管電圧計で測定し、同時にデジタル・カウンタで周波数を測定した。オシロスコープは波形の監視に用いた。

試験槽は室温約 -30°C の低温室内に設置し、ヒータおよび電子式自動温度調節器によって温度設定を行なった。また熱電対を埋込んだ混合物片を試料近辺に設置し、その温度を供試体温度とした。

(2) 測定方法

低周波発振器により、加振周波数を手動掃引し、真空管電圧計、周波数カウンタなどを用いて、図-2 に示した共振線における $f_0, h, \theta h, \Delta f$ などを測定した。温度はあらかじめ最低試験温度に設定した後、0.5°C/分の温度勾配で上昇させ、それぞれの試験温度で逐次測定を行なった。

(3) 試験材料

試験材料としては、

- (a) アスファルトセメント
- (b) アスファルト・フィラー系注(以下 A.F. 系とする)
- (c) アスファルト・フィラー・砂系(A.F.S.系)
- (d) アスファルト・フィラー・砂・砕石系(A.F.S.S.系)
(無空隙混合物および舗装用加熱混合物)

注：系、システム なる語は混合物を示す。

表-2

アスファルトセメント	針入度 (25°C, 100g, 5秒)	軟化点 T _R & T ₀ (°C)	P.I.	フラース脆化点 (°C)
A	97	63.8	+3.7	-31.0
B	93	46.8	-0.5	-20.0
C	11	67.2	-0.7	6.0
D	86	45.6	-1.1	-15.0
E	93	43.0	-1.7	-11.0
F	89	47.8	-0.2	—
G	85	47.1	-0.6	—

の5種であり、使用したアスファルトセメントの性状を総括し表-2 に示す。また、材料の配合などは一括して末尾に示す。

試験材料(a)と(b)は、厚さ0.9mmの鋼板との複合板供試体とし、型わく流し込みによって得た。仕上り厚は5~10mmで試料と鋼板との厚さの比は5.6~11.1であり、試料幅20mm、長さ150~350mmである。試験材料(c),(d)は、あらかじめ流し込みまたは転圧作製した試料ブロックより角棒状に切り出したものである。断面寸法は30×30mm, 25×25mmの2種とし、長さは200~360mmである。

4. 実験結果および考察

周波数を f とするとき、 $1/2\pi f$ は静的試験における載荷時間に対応する¹¹⁾。本研究では、他種試験法によって得られる特性との比較を考慮し、スティフネス、振動吸収係数などの周波数依存性を載荷時間依存性に置換えて取扱った。

各試料における試験条件、共振周波数領域、換算載荷時間領域などを総括し表-3 に示す。

(1) アスファルトセメントの動的特性

a) スティフネスおよび振動吸収係数

図-5 はアスファルトセメントFについて複合板供試体を用いて行ない、各温度(-20°~+5°C)において求められたスティフネスおよび振動吸収係数と載荷時間の関係をそれぞれの対数軸に載せたものである。なお図中に示されているマスターカーブおよびシフトファクターについては後に詳述する。

表-3

	供試体厚および断面寸法 (mm)		供試体長さ (mm)	試験温度 (°C)	共振周波数 (Hz)	載荷時間 (秒)
	複合板(鋼板厚 0.9mmを含む)	角棒				
アスファルトセメント	5	—	150~350	-20~+5	340~35	$4.7 \times 10^{-4} \sim 4.5 \times 10^{-3}$
	—	30×30	200~360	-20~+10	1(61~177)	$1.5 \times 10^{-4} \sim 9.0 \times 10^{-4}$
A.F.系	5	—	150~350	-20~+5	550~17	$3.9 \times 10^{-4} \sim 9.4 \times 10^{-3}$
	—	30×30	200~360	-20~+10	1(224~133)	$1.3 \times 10^{-4} \sim 1.2 \times 10^{-3}$
A.F.S.系	—	25×25	200~360	-20~+15	1(657~177)	$9.6 \times 10^{-5} \sim 9.0 \times 10^{-4}$
A.F.S.S.系	—	25×25	200~360	-20~+15	2(270~200)	$7.0 \times 10^{-5} \sim 8.0 \times 10^{-4}$

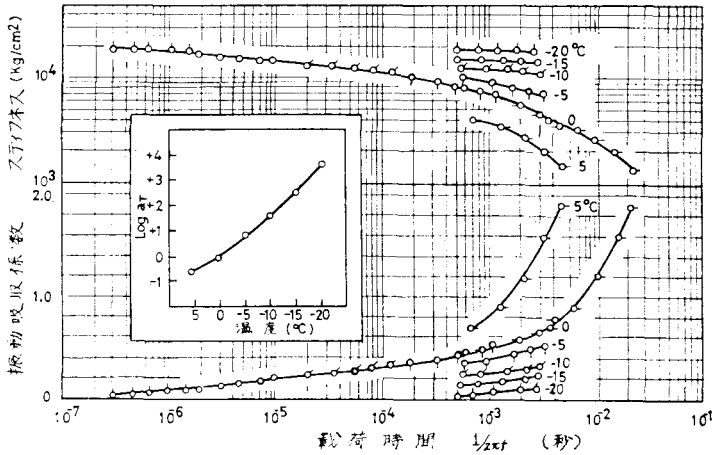


図-5 スティフネス，振動吸収係数と載荷時間との関係

-20°Cにおけるスティフネスは，載荷時間依存性が最も小さく，その値 ($2.0 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$) が上限値に近いものであることを示している。また温度が高くなるほどスティフネスの載荷時間依存性は大きくなるが示されている。

振動吸収係数としては，0.07~1.9 なる値が得られ，温度が高くなるほど載荷時間依存性は大きくなる傾向を示し，+5°Cにおける変化は急激である。0.07 なる値は粘性的要素のスティフネスに対する寄与がきわめて小さいことを示し，1.9 は弾性的要素のスティフネスに対する寄与が粘性的要素のそれに対する寄与よりかなり小さいことを示している。

実験結果からすれば，針入度 90，軟化点 48°C のアスファルトセメントについて，この試験法において精度よく実測できるスティフネスの下限値として $1.5 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ なる値が得られ，同時に振動吸収係数の上限値として 1.9 が与えられた。

b) 時間・温度換算法則の適用

熱レオロジー的に単純な物質に適用される温度・時間換算法則の適用の可否について検討を試みた¹²⁾。

ここでは，図-5 に示された載荷時間，スティフネスおよび振動吸収係数の関係を示す各温度における曲線を用い，基準温度を 0°C として移程しマスターカーブを描いた。このシフトファクター（移程量）は $\log aT$ として示されており，6 本の曲線を移程して 1 本のマスターカーブが無理なく示されている。さらに温度とシフトファクターの関係は 1 本のスムーズカーブで表わすことができ，この時間・温度換算はおおむね妥当なものと判断される。この換算法則を適用することにより，試験載荷時間領域が $4.8 \times 10^{-4} \sim 4.5 \times 10^{-3}$ 秒（約 1 オーダー）であったものを， $3.0 \times 10^{-7} \sim 1.5 \times 10^{-2}$ 秒（約 5 オーダー）という広範囲でのスティフネスおよび振動吸収係数

として示すことが可能であることが明らかにされた。

以上のことから本研究の領域において，アスファルトセメントなるものは熱レオロジー的にはほぼ単純な物質として取扱うことができると結論される。

(2) フラス脆化点温度近くにおける性状

アスファルトセメントの性状（特に低温でのもろさ）を求める工学的な方法の 1 つにフラス脆化点試験がある。

van der Poel らはフラス脆化点におけるスティフネスについて研究を行ない¹³⁾，脆化点は載荷時間 11 秒において 10^8 N/m^2 ($1.02 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$) のスティフネスを示す温度であることを明らかにした。筆者らは，これらをさらに詳細に検討し，また，アスファルトセメントの“もろさ”をより合理的に表現する方法を見出す目的から，共振法を用いて各種の実験を行なった。

図-6 は異なった P.I. をもつ A~E の 5 種のアスファルトセメントについて，温度 -33°C ~ +32°C において厚さ 10 mm（試料厚 9.1 mm），長さ 300 mm の複合板供試体を用いて実験を行なった結果を示している。

図には，横軸に軟化点と試験温度の差 ($T - T_R$ & B.) をとり，縦軸にスティフネスの対数および振動吸収係数を示し，さらに各アスファルトセメントにおける両者の関係を示す曲線上にフラス脆化点での数値をマークする方法で，両者の関係を表現した。この考え方は，軟化点フラス脆化点のある種の等コンシステンシー温度とみなし，両者の温度差がアスファルトセメントの性状を示す 1 つの特性値であり，またある試験温度なるものを一定のコンシステンシーをもつ基準温度から何度離れた

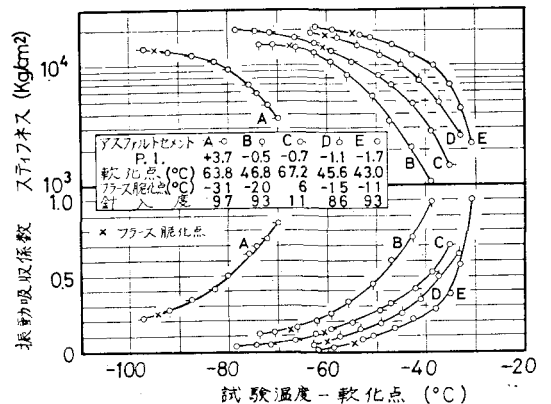


図-6 スティフネス，振動吸収係数と試験温度—軟化点との関係

点であるとして表現しようという概念に基づいている。

図-6では、 $T-T_{R.&B.}$ とスティフネスおよび振動吸収係数曲線が、アスファルトセメントごとにかなり異なった位置に存在していることが示されている。これはそのアスファルトセメントの粘弾性状の大小に密接に関係していることは明らかである。すなわち同一スティフネスおよび振動吸収係数を与える $T-T_{R.&B.}$ は、P.I. の大なるものほど大である。スティフネス $1.0 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ において、A と E の間における P.I. の4の差は $T-T_{R.&B.}$ にして 44°C 、すなわち P.I. の1の差は 11°C の差をもたらし、A と B では P.I. の1の差は 5°C 、B と E では 20°C の差をもたらしている。

フラス脆化点でのスティフネスは、スティフネス・温度曲線上の低温側の緩やかな温度変化を示す領域にあり、その値はアスファルトの P.I. が低くなるにつれて若干上昇する傾向にあるが約 $1.5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ とほぼ一定である。振動吸収係数については、フラス脆化点での値は $0.07 \sim 0.25$ の範囲にあり、P.I. が高くなるにつれて大きくなる傾向を示しているが、一般的な解釈を下すのは困難である。

これらの結果は、アスファルトセメントの性状把握と同時にアスファルトの規格、分類などにきわめて大きな意義をもつと思われる。

(3) アスファルト・フィラー系の動的特性

アスファルト・フィラー系に関し種々の試験が試みられているが、実用条件に対応した荷重時間および低温におけるそれらのコンシステンシーの表現および物性把握には多くの問題が残されている。

アスファルト・フィラー系の性状は混合物の性状を大きく支配するものであるといわれており、当然その性状はアスファルトセメントの性状、フィラーの性状、フィラー量などに依存する。

一般舗装用混合物においてはフィラーとアスファルトセメントとの重量比 (F/A) は $1.0 \sim 1.5$ に分布しており、この範囲内でのフィラー量の変化がアスファルト・フィラー系の性状にどのような変化をもたらすかを把握する必要がある。フィラー量を単にアスファルトとの重量比 (F/A) として示すのはアスファルト・フィラー系の構成状態を考慮するとき、かならずしも適切ではなく、骨材体積率 (C_v) を用いた方がより合理的であると考へ¹⁴⁾、本研究においては“ C_v ”を用いることとした。

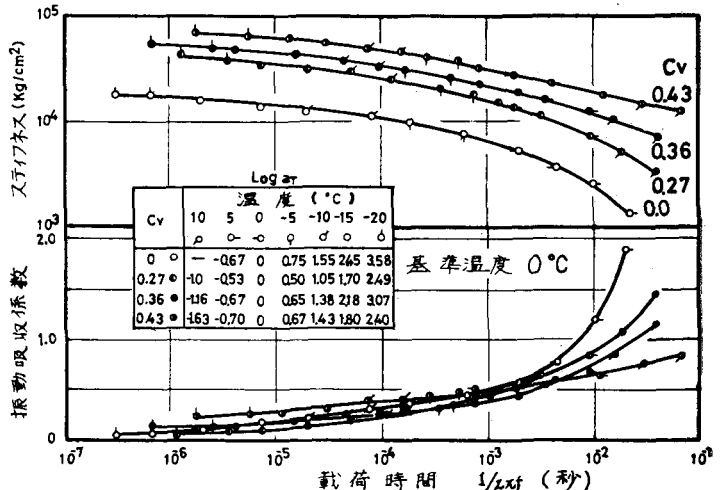


図-7 スティフネス、振動吸収係数のマスターカーブ

試料として、アスファルトセメントFにフィラーを混入し、 $C_v = 0.27, 0.36, 0.43$ (F/A = 1.0, 1.5, 2.0) の3種の A.F. 系を選定した。これらと鋼板との複合板供試体を用い、試験温度 $-20^\circ\text{C} \sim +5^\circ\text{C}$ において、各試料のスティフネスおよび振動吸収係数を測定した。スティフネスおよび振動吸収係数はアスファルトセメントのそれと同様に各温度で得られるが、図-7には時間・温度換算法則を適用し、基準温度 0°C におけるマスターカーブおよび各温度での移程量の値のみを示した。なお比較のために図には $C_p = 0$ に相当するアスファルトセメントFのマスターカーブをも示した。

C_p がスティフネスにいかなる影響を与えるかについて検討するために、それらの関係を荷重時間をパラメーターとし図-8に示す。

図-8より各荷重時間において C_v が増加するにともないスティフネスの絶対値は直線的な増加を示している。この直線の勾配は荷重時間が長くなるほど大となり、 C_v の高いところでこの直線群は収束する傾向を示している。このことは C_v が増加するにともないスティフネスの荷重時間依存性が小さくなることを意味してい

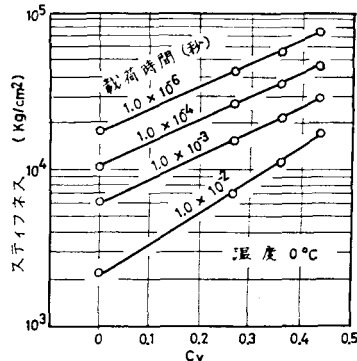


図-8 スティフネスと骨材体積率との関係

る。

図-7における振動吸収係数を見るに、それは載荷時間が 1.0×10^{-3} 秒より短い場合には、 C_v による差および載荷時間の変化による差が小さく、その値は $0.2 \sim 0.5$ の幅に分布している。載荷時間がそれより長い場合には、 C_v が小さいものほど載荷時間の変化による差は大きく絶対値も大きくなる。

以上のことから本研究の領域において

(a) アスファルト・フィラー系にも時間・温度換算法則を適用することができる。

(b) C_v の増加はスティフネスの絶対値の増加をもたらす、スティフネスの対数と C_v との間には直線関係が存在する。

(c) 載荷時間 1.0×10^{-3} 秒以下において C_v の増加は振動吸収係数の減少をもたらす、載荷時間依存性を小さくする。

と結論される。

(4) アスファルト・フィラー・砂系の動的特性

(3) においてアスファルト・フィラー系におけるフィラーの影響について C_v を取り上げて述べたが、さらに砂を混入することにより C_v 範囲を拡大し、 C_v が混合物の粘弾性状にいかなる影響を与えるかを解明した。

アスファルトセメントGにフィラーおよび砂を混入することにより、所定の C_v を有する A.F. 系 ($C_v=0.1 \sim 0.3$) および A.F.S. 系 ($C_v=0.4 \sim 0.7$) を得、アスファルトセメントGを含む8種の試料についてスティフネスを測定した。測定された載荷時間領域において、各温度 ($-20 \sim +15^\circ\text{C}$) でのスティフネスの測定値は載荷時間によってあまり大きく変化しないことから、載荷時間 1.0×10^{-4} 秒における数値を各温度でのスティフネスとした。

図-9は C_v をパラメーターとするときのスティフネスの対数と温度との関係を示したものである。その値は温度の低下および C_v の増加にともない規則正しく増大

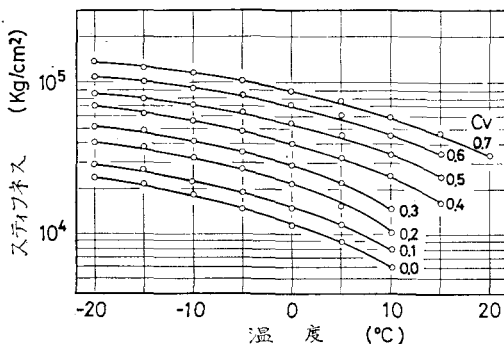


図-9 スティフネスと温度との関係

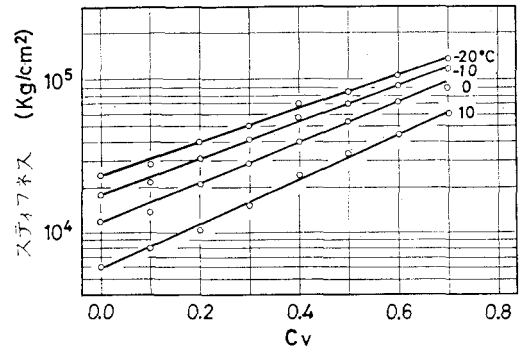


図-10 スティフネスと骨材体積率との関係

する傾向にある。しかし実用的には C_v への依存性を求める必要がある。スティフネスと C_v との関係式を求めるために、温度をパラメーターとして C_v との関係を求め、図-10に示す。

アスファルトセメントから骨材粒度の異なる各種の C_v をもつ A.F.S. 系に至るまで、スティフネスは連続性を示しており、温度および C_v に依存している。すなわち、 C_v とスティフネスの対数の関係は直線を示し、かつその勾配は温度ごとに変化している。これらの関係を実験式として示せば、次の通りである。

$$\log(S_{\text{mix}}/S_{\text{bit}}) = C_v \times (1.36 + 0.009 T)$$

ここで、 S_{mix} : A.F.S. 系のスティフネス (kg/cm^2)

S_{bit} : アスファルトセメントのスティフネス (kg/cm^2)

C_v : 骨材体積率

T : 温度 ($^\circ\text{C}$)

(5) アスファルト・フィラー・砂・碎石系（一般舗装用混合物）の動的特性

一般舗装用混合物は大きな C_v (0.8 以上) を示し、かつ空隙を有している。この空隙の有無が混合物の力学的挙動を大きく支配することは周知の通りである。本研究においては、アスファルトセメントGを用いて、一般舗装用混合物と称されている3種の混合物を得、共振法によりスティフネスを測定した。ここにおいても前項の場合と同様に載荷時間 1.0×10^{-4} 秒におけるものを、各温度でのスティフネスとした。

ここでは、大きな空隙を有する混合物の骨材体積率を空隙の影響を考慮し、 $C_v' = C_v / (1 + \text{空隙率})$ として処理を行なった。しかしこのような処理を行なうにあたっては、空隙の状態が非常に複雑であることなどから、なお議論の余地が残されており空隙の有無の境界の領域について、さらに詳細な研究が要求される。

図-11は代表的な舗装用混合物のスティフネス・温

注：連行された空気泡であるか、通常称されている空隙であるかなど

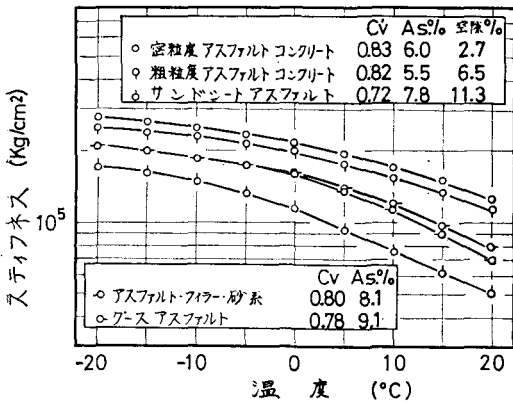


図-11 スティフネスと温度との関係

度曲線を示したものである。図には一般に無空隙混合物とされている A.F.S. 系およびグースアスファルトのスティフネスも示されている。

スティフネスの大きさは、その混合物の粒度組成に関係なく、空隙のある混合物は C_v' 、空隙のない混合物は C_v の大きさに依存しているように思われる。温度 -20°C における一般舗装用混合物のスティフネスの値は上限値に近いものと思われ、 $1.8\sim 3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ に分布していると結論された。

(6) 各系の関係について

前項までに、アスファルトセメントから一般舗装用混合物に至るまで個々の系について骨材体積率なるものを用いてデータ処理を行ってきた。ここでは、アスファルトセメントから粗骨材を含む混合物を通して、温度 0°C 、載荷時間 1.0×10^{-4} 秒におけるスティフネスと C_v (または C_v') との関係を検討し、図-12 に示した。

アスファルトセメント、A.F. 系、A.F.S. 系などいわゆる無空隙混合物に関し、スティフネスの対数と C_v との関係は $C_v=0\sim 0.7$ において直線関係として示され

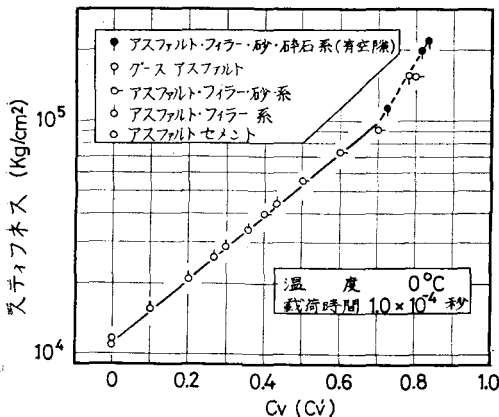


図-12 スティフネスと骨材体積率との関係

た。この関係は針入度級および P.I. が同クラスのアスファルトセメントを使用した場合、骨材粒度および試験法(複合板供試体および角棒供試体を使用)などにほぼ無関係に成立する。また空隙を持つ混合物に関し、スティフネスの対数と C_v' との関係も直線関係となる。しかし、これらの2直線の勾配は明らかに異なり、その交点は C_v 約 0.7 の点にある。0.7 なる値は空隙のある混合物とない混合物との境界を示し、これを境にして両者の粘弾性状が変化することを示している。

5. 結 論

アスファルトセメントならびにアスファルト混合物のごく短い時間領域での粘弾性状を振動法を用いることによりスティフネスおよび振動吸収係数などとして求め、それらの領域での性状を明らかにした。これから得られる結論を要約すればおよそ次のとおりである。

(1) 複合板を用いることにより、従来曲げ振動で求めることが困難であった比較的低いスティフネス領域、短時間領域での動的応答を明らかにすることができた。

(2) 本研究の範囲内において、アスファルトセメントおよびアスファルトフィラー系に時間・温度換算法則が適用できることを明らかにした。

(3) アスファルトセメントに、順次、フィラー、砂、碎石を加えることにより各系の性状を明らかにし、相互の関係を C_v (または C_v') で論ずることができた。

(4) 本研究の載荷時間領域において、 -20°C におけるスティフネスがその混合物の上限値に近いものであり、アスファルトセメントにおいてその値は約 $2.0 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ となり、 C_v が増加するにつれてその値も増加するが、舗装用混合物においてもその値は約 $3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ であった。

本論文は、北海道大学工学部交通材料研究室の“動的応答に関する研究グループ”すなわち森吉昭博、岡田和夫、石川達郎および著者ら3名の研究成果であり、笠原、上島、菅原が主としてとりまとめたものであることを付記する。

なお本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。

参 考 文 献

- 1) van der Poel, C.: A general system describing the viscoelastic properties of bitumens and its relation to routine test data, Jour. Appl. Chem., Vol. 4, Part 5, pp. 221~236, 1954.
- 2) Koninklijke/Shell-Laboratorium: The testing of bituminous materials, Amsterdam.
- 3) H.R.B. Special Repor No. 94: Theory and application of sonic testing to bituminous mixtures, pp. 1~

- 17, 1968.
- 4) 中川鶴太郎・神戸博太郎：レオロジー，みすず書房，pp. 534~537, 1959.
- 5) 笠原 篤・菅原照雄：アスファルト合材の動的応答に関する研究，土木学会北海道支部研究発表論文集，第 28 号，pp. 147~151, 1972.
- 6) Sugawara, T. : Mechanical response of bituminous mixture under various loading conditions, Proc. 3rd Internat. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements pp. 373~353, 1972
- 7) Kline, D. : A recording apparatus for measuring the dynamic mechanical properties of polymers, Jour. of Polymer Science, Vol. 22, pp. 449~454, 1956.
- 8) 前出 1) と同じ
- 9) コールラウシュ：実験物理学 I，東京図書出版，pp. 271~272, 1957.
- 10) Oberst, H. : Über die dämpfung der biegeschwingungen dunner bleche fest haftende beläge, Acustica, Vol. 2, AB 181~194, 1952.
- 11) 前出 1) と同じ
- 12) 菅原照雄：アスファルト混合物の力学的性状について，土木学会論文報告集，No. 207, pp. 73~81, 1972-11.
- 13) 前出 1) に同じ
- 14) Heukelom, W. and Klomp, A.J.G. : Road design and dynamic loading, Proc. Assn. Asphalt Paving Tech., Vol. 33, pp. 92~125, 1964.

付表 混 合 物 の 配 合

混合物タイプ	アスファルト・フィラー系						アスファルト・フィラー・砂系						密アスコン	粗アスコン	粒サンドシート	グースアスファルト	
	0.1	0.2	0.27	0.3	0.36	0.43	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.855 (0.833)	0.887 (0.815)	0.802 (0.721)	0.776		
C_v (C_v')																	
骨材粒度 (通過重量百分率)	20mm											100	100				
	15											88	70			100	
	10											76	57			73.6	
	7											65	45			47.2	
	5											46	30	100		—	
	2.5											37	20	90		—	
	1.2											28	15	80		47.2	
	0.6			100		100	100	100	100	100	100	100	17.2	10	41.5		36.9
	0.3	100	100	98.9	100	98.9	98.9	84.1	83.0	82.9	85.5	83.5	6.5	7.8	14.8		30.4
	0.15	78.0	78.0	94.6	78.0	94.6	94.6	31.2	30.4	31.2	32.7	30.7	4.7	5.9	10.6		26.7
0.074	59.0	59.0	83.0	59.0	83.0	83.0	22.5	21.9	21.9	22.1	22.1						
アスファルト量 (%)	77.5	60.9	50.0	47.1	40.0	33.3	36.4	28.1	20.3	14.1	8.1	6.0	5.5	7.8		9.1	
アスファルトの種類	G	G	F	G	F	F	G	G	G	G	G	G	G	G		G	
摘 要	フィラー：石灰石粉						砂：海砂 フィラー：石灰石粉						粗骨材：砕石 砂：海砂 フィラー：石灰石粉				

(1972. 5. 8・受付)