

# フェライトエポキシ混合物の振動性状と力学的性状

## VIBRATING AND MECHANICAL PROPERTIES OF FERRITE-EPOXY MIXTURES

間山正一\*  
By Masakazu MAYAMA

This paper describes vibrating and mechanical properties of ferrite-epoxy resin composite materials which are obtained through mixing ferrite byproducts coated by asphalt with epoxy resin. Following conclusions were obtained. 1) Ferrite epoxy mixtures have high density, high strength, high rigidity and high mechanical damping constant. 2) The higher the temperature, the lower was the strength, the lower was the modulus, the lower was the resonance frequencies and the larger was the logarithmic decrement. 3) The quantity of coating asphalt shows the similar effects on material properties as well as temperature. 4) The effect of asphalt's penetrations on the vibrating and mechanical properties of ferrite-epoxy mixtures was a little.

*Keywords : ferrite byproducts, ferrite-epoxy mixtures, asphalt cement, vibration properties, mechanical properties*

### 1. 概 説

一般に、力学的な振動を構成する要素（材料性状）は損失係数や対数減衰率等で表現される減衰（粘性）、剛性（弾性）、質量（密度）等である。剛性と減衰とは両立しがたく、特に、構造部材として用いることができる剛性を持ちながら減衰の大きい材料はきわめて少ない。従来からこれらの問題に対処すべく、種々の技術開発が行われてきたが、最近、強度や剛性を備えた制振材料が発表されている<sup>1)</sup>。

著者らが開発した新素材としての副産物 フェライト（副生フェライト）と合成樹脂やセメント等の結合材（バインダー）との混合からなる種々のフェライト混合物<sup>2), 3)</sup>もその1つであり、高剛性制振材料として注目されている材料である<sup>1), 4)~8)</sup>。

本稿においては、これらのフェライト混合物のうち、結合材をエポキシ樹脂にした混合物（以下、フェライトエポキシ混合物と称す）の振動性状-対数減衰率、共振周波数、共振時弹性率-、力学的性状の1つである破壊性状-強度、破壊時のひずみ、破壊時の弹性率-および両者の関係について論ずるものである。

すなわち、

- 1) フェライトエポキシ混合物の振動性状と温度の関係および振動性状相互の関係
- 2) フェライトエポキシ混合物の破壊性状と温度の関係
- 3) コーティング（被覆）材料の硬さおよび量が振動性状および破壊性状に与える影響
- 4) 振動性状と破壊性状の関係

である。

著者らは、すでに、刺激への応答の違い（ミスマッチング）を利用して振動減衰性能を高めるべく、アスファルトでコーティングした副産物フェライトとセメントの混合からなるコートドフェライトコンクリートの振動性状、振動性状と力学的性状の関係等について明らかにした<sup>5)</sup>。本研究でも、これと似た研究方法を探るが、あらためて、フェライトエポキシ混合物の振動性状について論ずる理由の1つは、コンクリート材料では難しい薄層としての利用が可能であることである。この意味はきわめて重要で、鉄やコンクリートのような土木材料を接着して（ラミネートして）一体となって制振効果や防音効果を発揮させたり、すでに供用されている構造物やプラントのホッパ等への貼付や塗付等の方法によって大きな制振効果が得られる等<sup>6)</sup>、フェライトエポキシ混合物独特

\* 正会員 工博 北海道工業大学教授 工学部土木工学科  
(〒006 札幌市西区手稲前田 419-2)

の利用方法が可能であり、したがって、その振動性状を把握することが重要であることはいうまでもない。また、きわめて広範囲の温度領域における利用が可能なこともコンクリート材料にはないフェライトエポキシ混合物の持つ特徴である。

また、材料の振動性状や力学的性状を検討するのみならず、振動吸収性能を表わす対数減衰率と他の振動性状との関係、さらには別個の力学的試験方法から得られた破壊性状との関係を論することは構造物の設計へのデータとして実用上から重要であると同時に、学問的にも興味ある課題である。

なお、本混合物は従来のエポキシ樹脂混合物と同じ目的および方法で使用できる力学材料であるとともに、副産物フェライトを大量に含むことから、その磁性を利用した磁気標識システムの磁気標識体<sup>9),10)</sup>としての機能、人工魚礁材料<sup>11),12)</sup>、制振性能等の他の複合的機能をも併せ持つハイブリッドな機能性材料<sup>13)</sup>であることはいうまでもない。

## 2. 実験材料と実験方法

### (1) 材 料

#### a) エポキシ樹脂

本研究で用いた結合材（バインダー）は主剤がビスフェノールA型エポキシ樹脂、硬化剤がアミン価414の変性脂肪族ボリアミンから成る常温混合型の二液混合性エポキシ樹脂であり、特に、高強度、高弾性を得ることを主眼に選択した。その配合を表-1に示す。

表-1 エポキシ樹脂の成分と配合比率

成 分	配合比率
ビスフェノールA型エポキシ樹脂	100
変性脂肪族ボリアミン	50

表-2 副産物フェライトの粒度分布

粒 径(mm)	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074
通過重量(%)	100	99.8	99.5	97.5	82.0	53.0

表-3 アスファルトの物理性状

針入度級	比 重	針入度 <sup>1)</sup>	軟化点 <sup>2)</sup>	P <sup>3)</sup>
20/40	1.038	24	57.0	-1.12
40/60	1.040	51	50.5	-1.03
80/100	1.020	92	46.5	-0.60
150/200	1.020	168	39.5	-0.77
200/250	1.020	215	36.7	-1.30

1) 100g, 5sec, 25°C

2) 環球式(°C)

3) 針入度指数

### b) 骨 材

骨材は表-2に示した粒度分布を持つ見掛け比重5.025の副産物フェライト粉末である。

#### c) アスファルト

振動の減衰性能、衛生および取り扱いやすさを考慮して、副産物フェライトコーティング材料として用いたアスファルトの物理的性状を表-3に示す。

### (2) 配合と供試体名称

#### a) 配 合

本研究で用いた結合材（エポキシ樹脂）と骨材（アスファルトでコーティングされた副産物フェライト）から成る混合物の配合を表-4に示す。

#### b) 供試体名称

表-5にフェライトエポキシ混合物の密度を掲げる。ここで示した供試体の名称は次に示す約束に従っている。

90 R-1.0-As 80/100

90は副産物フェライト量90wt.%（エポキシ樹脂量10wt.%）を意味する。同様に、Rは結合材にエポキシ樹脂を用いたことを意味し、1.0は副産物フェライト99.0wt.%に対してコーティング用アスファルト1.0wt.%を添加したことを意味し、As 80/100はアスファルトの針入度級が80/100であることを意味する。なお、90Rのみの供試体はコーティングをしない副産物フェライトを骨材として用いたことを意味する。

### (3) 実験方法

#### a) 振動試験

自由振動方式の2本吊りの方法<sup>5),14),15)</sup>によって実験

表-4 フェライトエポキシの配合  
(wt.%)

材 料	配合量(wt.%)
副産物フェライト	90
エポキシ樹脂	10

表-5 フェライトエポキシ混合物の密度

供試体の名称	アスファルト量(%)	針入度(1/100cm)	密 度(g/cm <sup>3</sup> )
90R	0.0		3.440
90R0.5As80/100	0.5		3.355
90R1.0As80/100	1.0	80/100	3.347
90R1.5As80/100	1.5		3.332
90R2.0As80/100	2.0		3.328
90R1.0As20/40	1.0	20/40	3.340
90R1.0As40/60	1.0	40/60	3.341
90R1.0As150/200	1.0	150/200	3.347
90R1.0As200/250	1.0	200/250	3.348

を行う。ピックアップを取り付けた供試体に打撃を与える、增幅器(振動計)を介してレベルレコーダに記録される減衰曲線から対数減衰率 $\delta$ を算出し、周波数分析器によるスペクトル解析から共振周波数 $f_0$ を求め、さらに次式によって共振時弾性率(動的弾性率) $E_{f_0}$ を算出する。

$$E_{f_0} = 9.464 \times 10^{-3} \rho f_0^2 l^4 / h^2$$

ここで、 $\rho$ : 密度(g/cm<sup>3</sup>)、 $f_0$ : 共振周波数(Hz)、 $l$ : 供試体の長さ(m)、 $h$ : 供試体の厚さ(m)である。

### b) 一定ひずみ速度試験

電気・油圧サーボ制御方式によるダイナミック・スタティック・マシーンを用いた一定変形(ひずみ)速度試験法によって破壊性状を明らかにする。曲げ強さ $\sigma_b$ 、破壊時の曲げひずみ $\epsilon_b$ 、破壊時の曲げ弾性率 $E_b$ は次式によって計算される。

$$\sigma_b = 3pl/2bh^2, \epsilon_b = 6hd_b/l^2, E_b = \sigma_b/\epsilon_b$$

ここで、 $p$ : 最大荷重(kg)、 $l$ : スパン(cm)、 $b$ : 供試体の幅(cm)、 $h$ : 供試体の高さ(cm)、 $d_b$ : 最大荷重を示したときの変位(cm)

同様に、圧縮強さ $\sigma_c$ 、破壊時の圧縮ひずみ $\epsilon_c$ 、破壊時の圧縮弾性率 $E_c$ は次式によって計算される。

$$\sigma_c = p/ab, \epsilon_c = d_c/l, E_c = \sigma_c/\epsilon_c$$

ここで、 $a$ : 供試体の奥行き(cm)、 $d_c$ : 最大荷重を示したときの変位(cm)

### c) 温度制御

実験は-20°C～+70°C(±0.5°C)の制御が可能な恒温室で行い、熱伝対を取り付けた同一形状のダミー供試体(ダイアモンドカッタで30×30×300mmに切り出された角型棒状供試体)が所定温度になるのを確認して実験を開始した。

## 3. 振動性状

### (1) 温度の影響

図-1はフェライトエポキシ混合物の対数減衰率 $\delta$ 、共振周波数 $f_0$ 、および共振時弾性率(動的弾性率) $E_{f_0}$ と温度の関係をアスファルト添加量(ストレートアスファルト80/100)をパラメーターにして示したものである。

アスファルトでコーティングをしたフェライトエポキシ混合物(90R)の $\delta$ は温度が増加するにつれて大きくなり、アスファルト添加量の多い混合物ほどその傾向が大きい。これは混合物を構成する他の材料、すなわち、副産物フェライトやエポキシ樹脂に比較して、アスファルトの剛性(あるいは粘性)の温度依存性が大きいため、アスファルト量の多い混合物ほど高温になるに従って剛性が小さくなるためであり、もう1つの理由は他の材料との剛性の違いが大きくなることにより、刺激に対

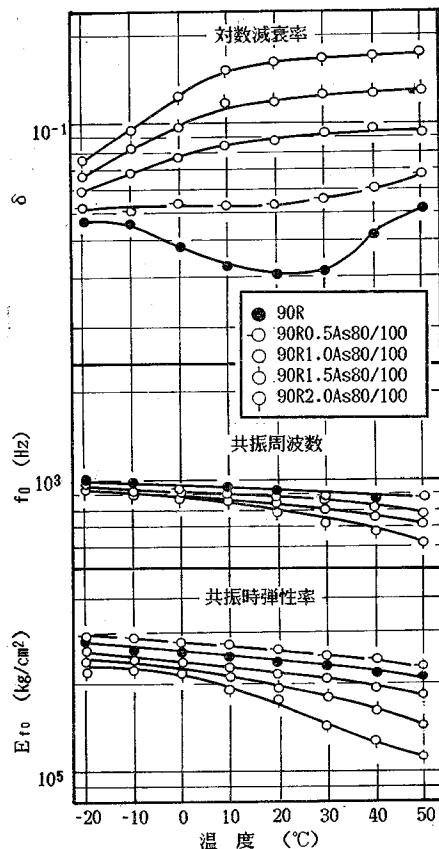


図-1 フェライトエポキシ混合物の $\delta$ 、 $f_0$ 、 $E_{f_0}$ と温度の関係

するレスポンスの違い(ミスマッチング)が大きくなり $\delta$ が増大すると考えられる。

$f_0$ はアスファルト添加量が多いほど、温度が高いほど小さい傾向にあり、全般的に700Hzから1000Hzの共振周波数の範囲にある。温度が-20°Cから50°Cまで、70°C変化しても $f_0$ の変化は無処理(90R)で100Hzの減少、アスファルト添加量2%(90R 2.0 As 80/100)で約200Hzの減少でその変化は小さい。これはフェライトエポキシ混合物の全体としての剛性の変化が比較的小さいことを意味している。

図-1の下段に示したように、温度が上昇すると $E_{f_0}$ は減少し、その勾配はアスファルト添加量が多いほど大きい。 $f_0$ に比較して、 $E_{f_0}$ の温度依存性が大きいが、それは算出した式から明らかなように、 $E_{f_0}$ は $f_0$ の二乗に比例するためである。

### (2) アスファルト添加量の影響

図-2はフェライトエポキシ混合物の $\delta$ 、 $f_0$ および $E_{f_0}$ とコーティングをしたアスファルトの添加量(ストレートアスファルト80/100)を横軸に取り、温度(-20, 0, 20, 40°C)をパラメーターにとって図-1を整理し直

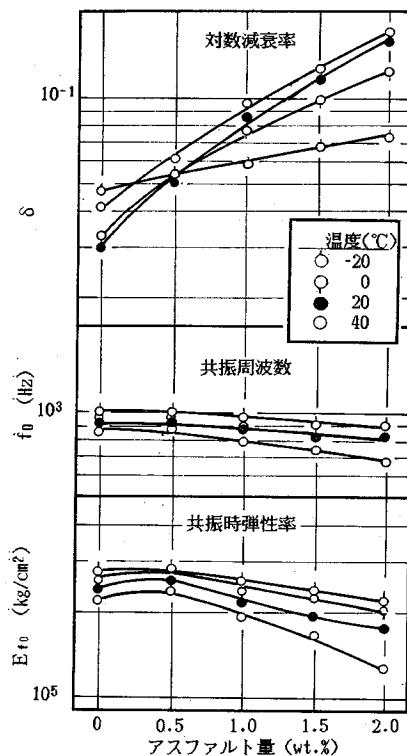


図-2 フェライトエポキシ混合物の  $\delta$ ,  $f_0$ ,  $E_{f_0}$  に与えるコーティングアスファルト量の影響

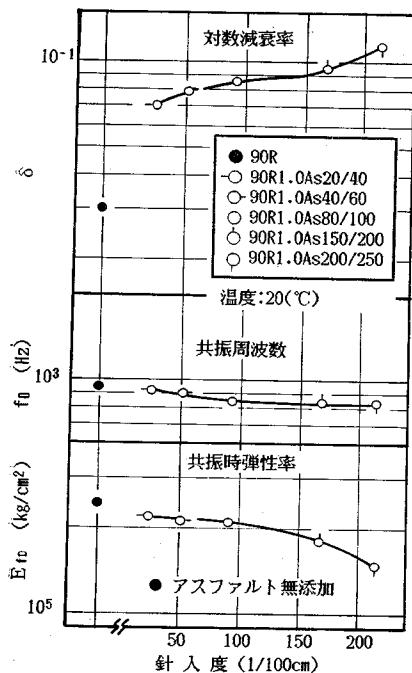


図-3 フェライトエポキシ混合物の  $\delta$ ,  $f_0$ ,  $E_{f_0}$  に与えるコーティングアスファルトの鈑入度の影響

したものである。高温側 ( $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ) での  $\delta$  はアスファルト添加量の増加に伴い増大する傾向にあるが、低温 ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) ではその傾向が非常に小さくなる。その理由については(1)で説明した。アスファルト添加量の増加に伴い  $f_0$  が低下し、したがって、 $E_{f_0}$  も低下するが、その割合は  $\delta$  ほど大きくない。

### (3) アスファルトの鈑入度の影響

図-3 は 90R1.0 シリーズの  $\delta$ ,  $f_0$  および  $E_{f_0}$  とコーティング材料として用いたアスファルトの鈑入度との関係を、試験温度が  $20^{\circ}\text{C}$  の場合について示したものである。コーティングに用いたアスファルト添加量は 1% に固定しているため、アスファルトの鈑入度の増加に伴う  $\delta$  の増大は、そのままアスファルトの剛性（あるいは粘性）の影響を意味し、鈑入度の増加により剛性が低下することで  $\delta$  の増大する傾向が説明できる。

コーティングアスファルトの鈑入度が大きい、換言すれば、アスファルトの剛性の小さいほど、 $f_0$  は小さくなる傾向があるが、その変化は小さいといえる。

同様に、 $E_{f_0}$  はアスファルトの鈑入度の大きい混合物ほど  $E_{f_0}$  が小さい傾向にあるが、20/40 から 80/100 までは、ほぼ同程度の  $E_{f_0}$  である。つまり、鈑入度が約 4 倍になんでも混合物としての剛性の変化は小さいことがわかる。これはフェライトエポキシ混合物の振動性状に与える影響はアスファルトの鈑入度よりアスファルト量の方が大きいことを意味するものである。

### (4) 対数減衰率と共振時弾性率、共振周波数の関係

振動性状相互の関係は学問的に興味ある問題であるのみならず、材料特性を把握するのに重要なファクターとなる。

図-4 はコーティング材料がストレートアスファルト

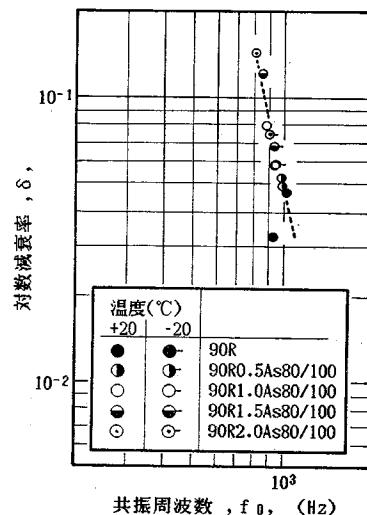


図-4 フェライトエポキシ混合物の  $\delta$  と  $f_0$  の関係

80/100 で、その添加量が異なる 90R シリーズ混合物の温度が 20°C と -20°C における  $\delta$  と  $f_0$  の関係を示す。 $f_0$  の変化に比較して、 $\delta$  の変化はきわめて大きく、約 800 Hz～1 kHz の  $f_0$  の変化に対して、約  $3.3 \times 10^{-2}$  ～約  $1.4 \times 10^{-1}$  の  $\delta$  の変化を示している。この実用上の意味はいうまでもなく、振動の共振点を変化させることなく、振動吸収性能を増大させることができることを意味する。

図-5 はコーティング材料がストレートアスファルト 80/100 の 90R シリーズのフェライトエポキシ混合物の  $\delta$  と  $E_{f_0}$  の関係を、アスファルト添加量、温度ごとにプロットしたものである。アスファルト添加量や温度が変

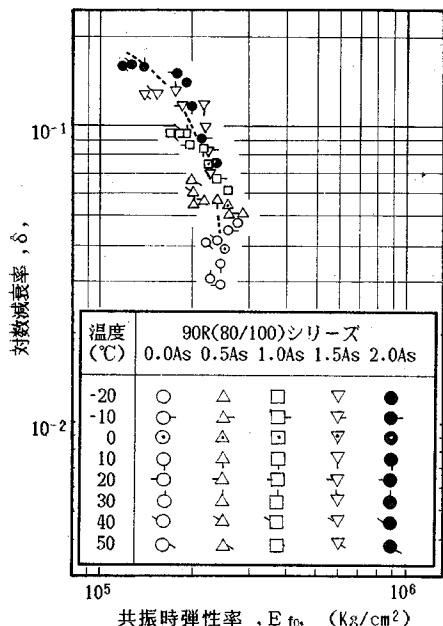


図-5 フェライトエポキシ混合物の  $\delta$  と  $E_{f_0}$  の関係

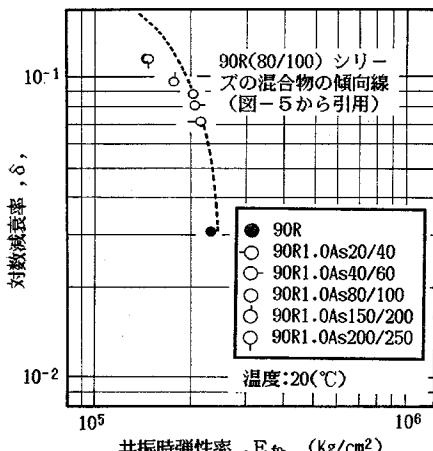


図-6 コーティングアスファルトの針入度を変えたフェライトエポキシ混合物の  $\delta$  と  $E_{f_0}$  の関係

化すれば、 $\delta$  が変化するが、全体の傾向としては  $E_{f_0}$  が小さくなれば  $\delta$  が大きくなり、また、 $E_{f_0}$  は低温領域でほぼ一定値（約  $2.5 \times 10^5$  kg/cm²）に近づく傾向を示す。これを実用的観点からみた場合、アスファルトで副産物フェライトをコーティングすることによって弾性率（動的弾性率）をあまり変化させずに振動吸収性能を大きくすることが可能なことを意味する。

図-6 はコーティングアスファルトの添加量が 1% のときの、針入度級の異なるアスファルトでコーティングした 90R シリーズ混合物の温度 20°C における  $\delta$  と  $E_{f_0}$  の関係を示したものである。図中には針入度 80/100 のストレートアスファルトの添加量および温度の異なる 90R シリーズ（90R 80/100）の  $\delta$  と  $E_{f_0}$  の関係（図-5 参照）の傾向線も併記しているが、これと針入度級の異なる混合物の  $\delta$  と  $E_{f_0}$  の関係を比較すると、測点よりも傾向線が若干、立上がりが大きく、同一の  $E_{f_0}$  に対して小さな  $\delta$  を示している。これは（3）で考察したように、アスファルト添加量の方がより振動性状に影響を与えるためである。

図-5 と図-6 の  $\delta$  と  $E_{f_0}$  の関係を示した両図より、目的の  $\delta$  および  $E_{f_0}$  を持つコーティングをしたフェライトエポキシ混合物の配合を選定することが可能である。ただし、 $\delta$  および  $E_{f_0}$  は使用目的に応じて選定されるべきであり、エポキシ樹脂混合物の施工性や特性も十分検討したうえでのことである。

材料の振動性状相互の関係を論ずる場合、 $E_{f_0}$  と  $f_0$  の関係も挙げられるが、両者の関係は実験方法の項で説明したように、 $E_{f_0}/f_0^2$  が単に密度  $\rho$  のみの関数となることからそのデータについては割愛する。

図-7 は混合物の  $\rho$  とアスファルト添加量の関係である。副産物フェライトに比較し、比重が約 1/5 であるアスファルトの添加量が多くなるほど  $\rho$  が小さくなることは説明を要しないが、アスファルトの添加量が微量であるため、その変化は小さい。

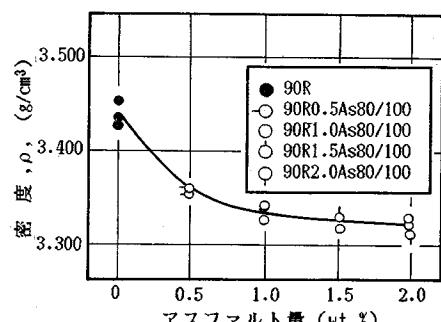


図-7 フェライトエポキシ混合物の  $\rho$  に与えるコーティングアスファルト量の影響

## 4. 破壊性状

### (1) 曲げ破壊性状

図-8は針入度 80/100 のストレートアスファルトでコーティングした副産物フェライト 90%、エポキシ樹脂 10% の混合からなるフェライトエポキシ混合物の曲げ強さ  $\sigma_b$ 、破壊時の曲げひずみ  $\epsilon_b$ 、および破壊時の曲げ弾性率  $E_b$  と温度の関係をアスファルト量をパラメーターにとった示した図である。

アスファルトでコーティングしない無処理のフェライトエポキシ混合物（図中で 90R）の  $\sigma_b$  は低温領域で約  $530 \text{ kg/cm}^2$  と大きな  $\sigma_b$  を示し、高温になると若干、減少する。コーティングアスファルトの添加量が増加する

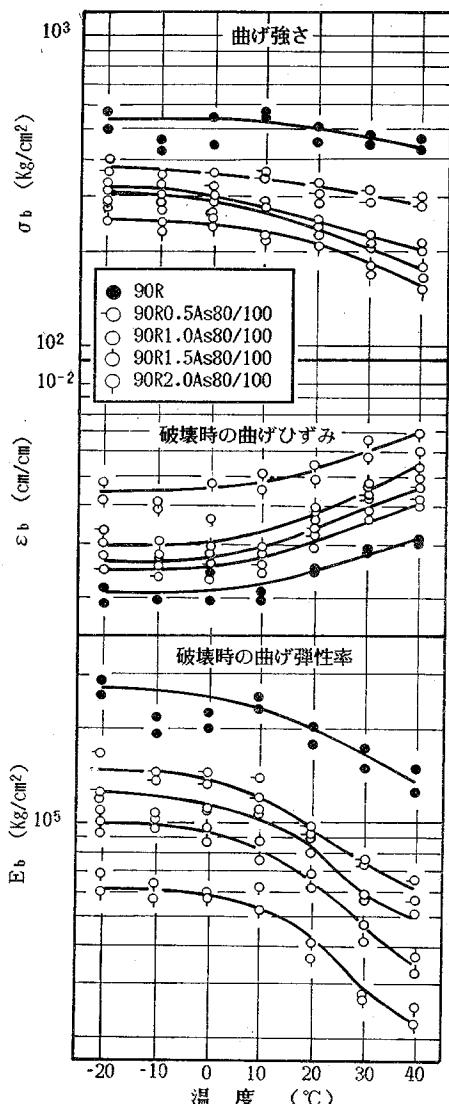


図-8 フェライトエポキシ混合物の  $\sigma_b$ ,  $\epsilon_b$ ,  $E_b$  と温度の関係

と混合物の  $\sigma_b$  は低下し、また、温度が高くなるに従い  $\sigma_b$  の勾配はコーティングアスファルトの添加量の多いほど大きい。

これはフェライトエポキシ混合物を構成する副産物フェライト、エポキシ樹脂、アスファルトのなかでアスファルトの温度依存性（感温性）が最も大きいためである。

$\epsilon_b$  は、温度の上昇とともに増加し、その増加割合は高温側ほど著しい。

図-8の下段に示したように、 $E_b$  は  $\sigma_b$ ,  $\epsilon_b$  と同様に、 $10^\circ\text{C}$  附近から温度の上昇に伴い低下するが、その低下割合（温度依存性）はコーティングアスファルト量が多い混合物ほど大きい。これはアスファルトの剛性が小さいことから説明できよう。

図-9はコーティングのアスファルト添加量を 1% に固定し、針入度級を 20/40 から 200/250 まで変化させたときのフェライトエポキシ混合物の  $\sigma_b$ ,  $\epsilon_b$  および  $E_b$  とコーティングアスファルトの針入度の関係である。

コーティングをしていないフェライトエポキシ混合物の  $\sigma_b$  に比較し、コーティングアスファルト量が 1% の

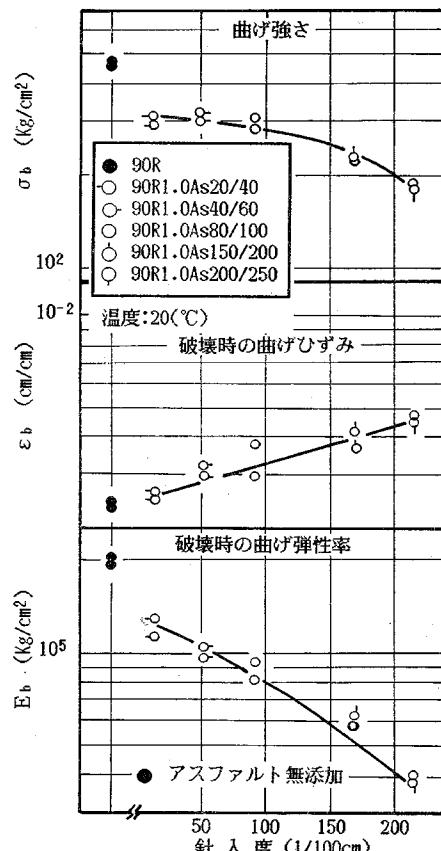


図-9 フェライトエポキシ混合物の  $\sigma_b$ ,  $\epsilon_b$ ,  $E_b$  に与えるコーティングアスファルトの針入度の影響

混合物の  $\sigma_b$  は低下し、さらに、アスファルトの針入度が増加すれば  $\sigma_b$  は低下する。これは副産物フェライトの表面をコーティングしたアスファルトの硬さの違いによることはいうまでもない。

$\epsilon_c$  についても、コーティングアスファルトの針入度が大きくなると剛性が小さくなることから、変形の一種である  $\epsilon_c$  が大きくなる。

$E_b$  は  $\sigma_b$  と  $\epsilon_c$  の比で定義されることから、アスファルトの針入度への依存性が最も大きい。

## (2) 圧縮破壊性状

図-10 は 90R シリーズのフェライトエポキシ混合物の圧縮強さ  $\sigma_c$ 、破壊時の圧縮ひずみ  $\epsilon_c$  および破壊時の圧縮弾性率  $E_c$  と温度の関係をコーティングアスファルトの添加量をパラメーターにして示したものである。アスファルトはストレートアスファルト 80/100 である。

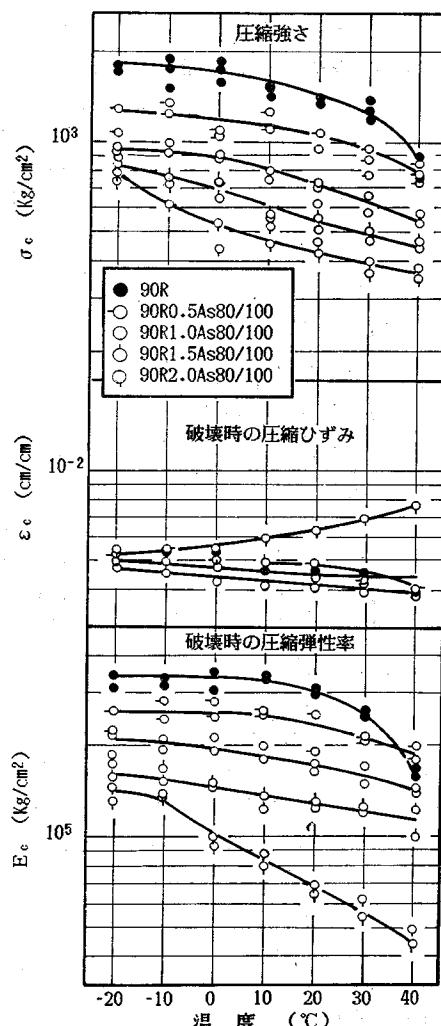


図-10 フェライトエポキシ混合物の  $\sigma_c$ ,  $\epsilon_c$ ,  $E_c$  と温度の関係

図-8 に示した  $\sigma_b$  と同様に、 $\sigma_c$  もある温度より高温側で温度の上昇に伴い低下する傾向を示し、その低下を始める温度はアスファルトの添加量が多い混合物ほど低温側にある。また、 $\sigma_b$  の低下割合 ( $\sigma_b$  の温度依存性) はコーティングアスファルトの添加量によらず、ほぼ一定に近い。

図-10 の中段に示した  $\epsilon_c$  と温度の関係から、エポキシフェライト混合物は温度が上昇したとき、わずかに低下あるいは一定の  $\epsilon_c$  を示して、その変化が小さい。わずかに、コーティングアスファルトの添加量 2% の混合物が温度の增加に伴い  $\epsilon_c$  を増大させ、 $\epsilon_c$  の場合と同じ性状を示している。

$E_c$  は、 $E_b$  の場合と同様に温度の高いほど小さい傾向にあり、アスファルト添加量の多いほどその低下を示す勾配が大きい。

## 5. 対数減衰率と破壊性状の関係

図-11 はコーティング用アスファルト（針入度 80/100）の添加量を 0% から 2% に変化させたときのフェライトエポキシ混合物（90R シリーズ）の  $\delta$  と一定ひずみ速度曲げ試験から求めた曲げ強さ  $\sigma_b$  の関係を温度をパラメーターにとって示したものである。 $\delta$  と  $\sigma_b$  は相関性の高い 1 次の関係にあり、アスファルト添加量の増加に伴う  $\sigma_b$  の低下と、温度の増大による  $\sigma_b$  の低下が同時に包含され、単純に  $\delta$  と  $\sigma_b$  の関係で説明できることを示している。すなわち  $\sigma_b$  が低下すれば  $\delta$  は増大し、その関係は次式で示される。

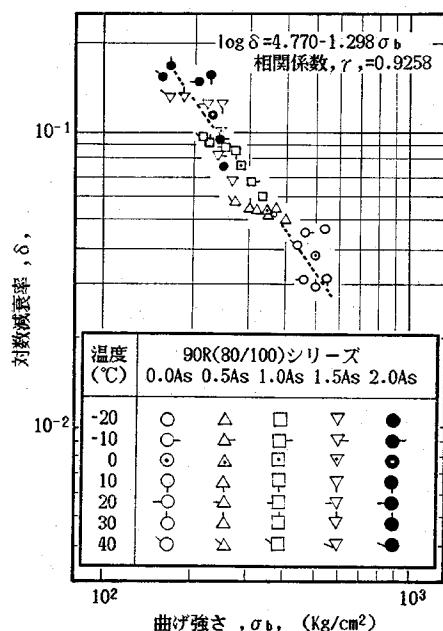


図-11 フェライトエポキシ混合物の  $\delta$  と  $\sigma_b$  の関係

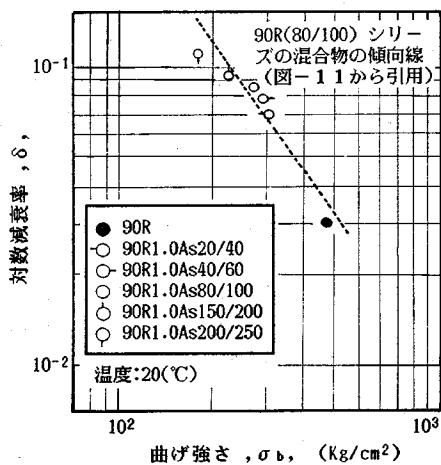


図-12 コーティングアスファルトの針入度を変えたフェライトエポキシ混合物の $\delta$ と $\sigma_b$ の関係

$$\log \delta = 4.770 - 1.298 \log \sigma_b$$

図-12 はアスファルト添加量が 1.0% でコーティング用にアスファルトの針入度級の異なる 90R1.0 シリーズの温度 20°C における $\delta$  と $\sigma_b$  の関係である。図中には図-11 に示したストレートアスファルト 80/100 のアスファルト添加量および温度の異なる $\delta$  と $\sigma_b$  の関係の傾向線も併記してある。アスファルトの針入度級の異なるフェライトエポキシ混合物の $\delta$  と $\sigma_b$  の傾向はストレートアスファルト 80/100 の傾向線より若干、フラットであるが、ばらつきの範囲内でもあり、針入度級の差異は $\sigma_b$  に変換されると考えることができる。つまり、おおまかにみると同一結合材 (90R シリーズ) であれば、アスファルトの針入度、添加量、温度等の種々の要因の $\delta$  への影響は $\sigma_b$  に包含させて $\sigma_b$  のみで $\delta$  を評価できることを意味する。

図-13 はコーティングアスファルトがストレートアスファルト 80/100 のフェライトエポキシ混合物の $\delta$  と破壊時の曲げ弾性率 $E_b$  の関係を、コーティング用に用いたアスファルトの添加量と温度をパラメーターにして示したものである。コーティングアスファルトを用いないフェライトエポキシ混合物 (90R) の $\delta$  と $E_b$  の関係は温度に大きな影響を受けないが、コーティングした混合物はそのアスファルト添加量と温度により異なる $\delta$  と $E_b$  の関係を示し、コーティングアスファルト量が多くなるに従って曲線が立ち上がってくる。同じアスファルト添加量でみれば温度の低下に伴い $E_b$  が増大して $\delta$  が減少する傾向にあり、データ量が少なくばらつきが大きいが、ある限界の (一定値)  $E_b$  に収束するようである。

図-14 はコーティングアスファルトの添加量が 1.0% で、アスファルトの針入度が異なるフェライトエポキシ

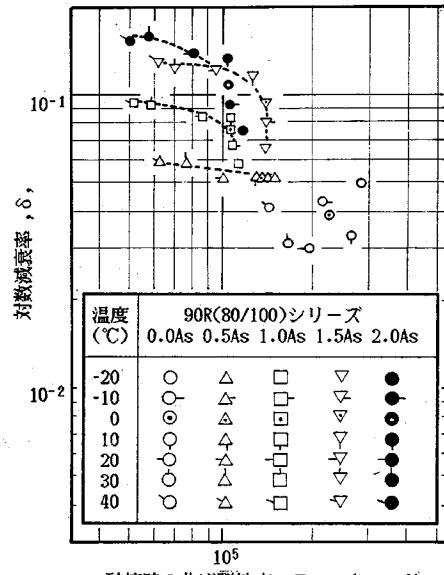


図-13 フェライトエポキシ混合物の $\delta$  と $E_b$  の関係

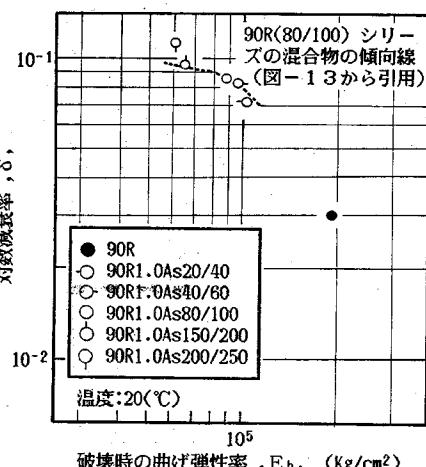
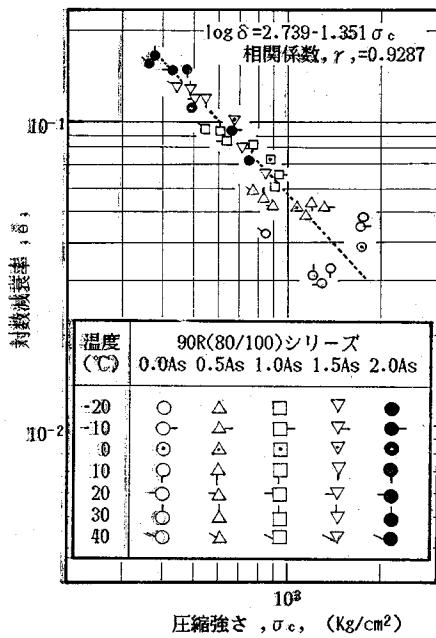
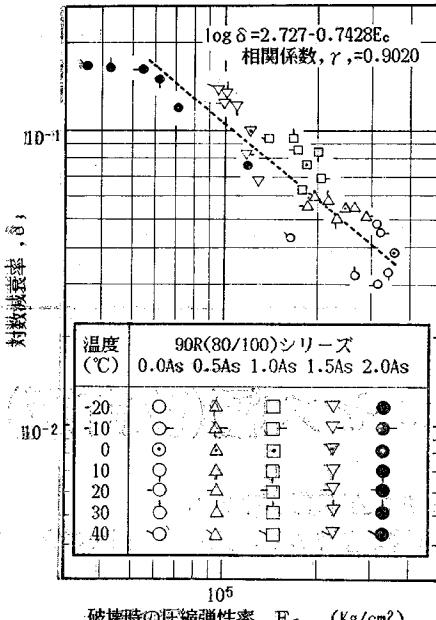


図-14 コーティングアスファルトの針入度を変えたフェライトエポキシ混合物の $\delta$  と $E_b$  の関係

混合物の 20°C における $\delta$  と $E_b$  の関係である。アスファルトの針入度の増大に伴い $E_b$  は低下し、同時に $\delta$  は増加する傾向が明らかである。これは同一温度においては針入度の大きいアスファルトほど軟らかい (剛性が小さい) ためである。測定点は図-13 から得られた傾向線上にあり、同一材料であるならばコーティングアスファルトの針入度、添加量、試験温度の影響等が包括的に論じ得ることを示している。

図-15 はストレートアスファルト 80/100 でコーティングをした副産物フェライトを骨材とするフェライトエポキシ混合物の $\delta$  と圧縮強さ $\sigma_c$  の関係を温度およびアスファルト添加量をパラメーターにとって示した図である。同一混合物の $\delta$  と $\sigma_c$  の関係を示した図-12 と同

図-15 フェライトエポキシ混合物の  $\delta$  と  $\sigma_c$  の関係図-16 フェライトエポキシ混合物の  $\delta$  と  $E_c$  の関係

様に、コーティングアスファルトの添加量の増加および温度の上昇に伴い強度が低下すれば  $\delta$  は増加する傾向を示し、 $\delta$  と  $\sigma_c$  の関係は次の一次回帰式で求められる。

$$\log \delta = 2.739 - 1.351 \log \sigma_c$$

図-16 は同様に、フェライトエポキシ混合物の  $\delta$  と破壊時の圧縮弾性率  $E_c$  の関係をアスファルト添加量および温度をパラメーターにとって示したものである。  $\delta$

と  $E_c$  には一次回帰で相關性が高く、次式の回帰式で示される。

$$\log \delta = 2.727 - 0.7428 \log E_c$$

アスファルト添加量の増大、温度の上昇に伴う  $E_c$  の低下は  $\delta$  の増加に関連し、 $\delta$  はアスファルト添加量、温度のいかんにかかわらず  $E_c$  に左右されることを示すものであり、それぞれ  $\sigma_c$ 、 $E_c$ 、 $\delta$  と  $\delta$  の関係と同様である。

## 6. 結 論

本研究で明らかにした事項を以下に列記する。

(1) 副産物フェライトをアスファルトでコーティングして、さらに振動吸収性能を高めたフェライトエポキシ混合物を開発した。

(2) フェライトエポキシ混合物の対数減衰率は温度上昇に伴って増加し、逆に共振周波数、共振時弾性率は減少するが、特に対数減衰率の温度依存性が大きい。

(3) (2) の温度依存性はコーティングアスファルト量が多いほど顕著であり、振動性状そのものもコーティングアスファルトの針入度より添加量に依存することを明らかにした。

(4) 対数減衰率と共振周波数の関係および共振時弾性率との関係から副産物フェライトをコーティングすることによって、共振周波数および共振時弾性率の減少に対してより大きな対数減衰率の増加が得られることを明らかにした。

(5) フェライトエポキシ混合物は高温になるにしたがって強度、破壊時の弾性率を減少させ、破壊時のひずみを増加させる。

(6) フェライトエポキシ混合物の振動性状と破壊性状が一次回帰式で表現できることを見出し、温度、コーティングアスファルトの量および針入度等を含めて包括的に論じ得ることを明らかにした。

## 7. 後 記

機能性材料として多くの可能性を持つ副産物フェライト混合物の1つであるフェライトエポキシ混合物の振動性状と力学的性状の1つである破壊性状について論じた。エポキシ樹脂の違いによるフェライトエポキシ混合物の材料性状の違い等についても機会が与えられたならばご批判を頂戴したい。

現在、これらの材料について実用化が開始されているが、さらに多くの分野への応用技術開発も盛んに行われており、今後の可能性を秘めた材料である。

関係各位のご指導を切にお願いしたい。

最後に、本研究は多くの方々の知恵と汗の結晶であり著者がそれをまとめたものである。特に、日本電気(株)

資源環境技術研究所の菅野 出所長、同山内文雄資源化技術研究部長、日本道路(株)技術研究所の山下弘美所長には多大のご助言とご助力をいただいた。ここに厚く謝意を表したい。

#### 参考文献

- 1) 山際和久：制振材料、日経メカニカル、pp. 129～136, 1983.
- 2) 蒔田 実：新素材、土木学会誌、Vol. 71, 1986年5月号、pp. 39～41, 1986.
- 3) 辻 俊郎：排水処理で得られる副生フェライトの再利用、化学教育、第28巻、第2号、pp. 75～77, 1980.
- 4) たとえば、朝日新聞昭和57年2月19日朝刊、1982.
- 5) 間山正一：コートッドフェライトコンクリートの振動性状、土木学会論文集、第384号/V-7、pp. 93～101, 1987.
- 6) Yamauchi, F. and Emoto, S. : Ferrite-Resin Composite Material for Vibration Damping, ASTM, STP 864, pp. 346～354, 1985.
- 7) 横山憲二：高剛性制振、防振材料の開発と応用、日本複合材料学会誌、第12巻、第5号、pp. 1～6, 1986.
- 8) Yamauchi, F. and Yokoyama, K. : Ferrite-Resin Com-

posite Material for Vibration Damping and Its Applications, Bull. Japan Soc. of Engg., Vol. 17, No. 3, pp. 147～153, 1983.

- 9) 間山正一ほか：磁気標識システムの交通安全への応用に関する基礎的研究、北海道科学研究費による一般研究報告、pp. 114～115, 1982.
- 10) 間山正一・山内文雄：副産物フェライトを利用した磁気標識体、土木学会論文集、第379号/VI-6、pp. 102～106, 1987.
- 11) 間山正一ほか：副産物フェライト製人工魚礁、第35回農業土木学会北海道支部研究発表会講演要旨集、pp. 60～61, 1986.
- 12) 間山正一・山内文雄：副産物フェライトを利用した藻礁、水産土木、第23巻、第1号、pp. 7～12, 1986.
- 13) 間山正一・山内文雄：副産物フェライトの土木工学への応用、土木学会誌、1987-5、Vol. 72, pp. 35～40, 1987.
- 14) 中川鶴太郎・神戸博太郎共著：レオロジー、みすず書房、pp. 214～220, 1967.
- 15) 五十嵐寿一編集：音響と振動、共立出版(株)、pp. 370～371, 1981.

(1988.12.18・受付)

#### ●土木学会刊行物案内●

## 衛生工学実験指導書プロセス編(改訂版)

昭和52年以来、昭和61年6月に発行された9年ぶりの全面改訂版です。

大学、高専、工業高校の教科書ないし手引書として必携の書であり、広く各方面でご利用下さい。

B5判 180ページ(本文150ページ、データシート26枚)

定価 2800円、会員特価 2400円(税込300)

第1章 凝集実験

第4章 活性汚泥

[付録] 水質分析(1.一般的項目

第2章 液過・吸着

第5章 汚泥

2.理化学的試験)

第3章 消毒

第6章 固形廃棄物

データシート