

コーテッドフェライトコンクリートの振動性状

VIBRATING PROPERTIES OF COATED FERRITE CONCRETE

間山正一*

By Masakazu MAYAMA

This paper presents vibrating properties of ferrite-cement composite materials which are produced through mixing ferrite byproducts coated with asphalt and cement. Logarithmic decrement, δ , and modulus, E_n , were calculated from decay curves for damped mechanical oscillation and resonance frequencies, f_0 , for the fundamental bending vibration for a specimen hung at the modal points.

It was found that coated ferrite concrete had high density, high mechanical damping constant and high rigidity. Moreover, the more the coating asphalt, the larger was the δ , the lower was the f_0 and the lower was the E_n . The effect of asphalt's penetrations on the vibrating properties of ferrite concrete was a little.

Keywords : ferrite byproducts, coated ferrite concrete, vibration properties, composite materials, asphalt cement

1. 概 説

最近、土木を取り巻くもろもろの環境変化に対応すべく¹⁾、手法の変革が必要なが提唱され²⁾、土木技術開発³⁾について論じられている。土木材料の分野においても、材料の力学的性状の改良にとどまらず、複合材料に関する研究が盛んであり、さらには素材そのものの革命である新素材の開発が渴望されている。

本研究は新素材としての副産物フェライト（副生フェライト）と種々の結合材（バインダー）の混合からなるフェライト混合物の材料および応用に関する一連の研究^{4)~6)}のうち、結合材をセメントにしたフェライトコンクリート（フェライトモルタル）の振動性状について論ずるものである。ここで紹介するフェライトコンクリートは従来のセメントコンクリート（セメントモルタル）と同じ目的および方法で使用できる力学材料であると同時に、磁性、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である。たとえばフェライトコンクリートの高い曲げ強度、弾性率（弾性係数）等の力学特性を利用して道路舗装材料、床材、機械設備のベッド材料として用いられると同時に、その重量、振動吸収

性能等を利用した制振機能⁷⁾をもつ材料、あるいはその磁性を利用した磁気標識システムの磁気標識体⁸⁾として使用できる材料であることが特筆される。また、波力への抵抗が強い人工魚礁として用いられると同時に、その磁性を利用して磁気センサーによって容易に位置確認が利用できる（磁気標識システム）等の利点⁹⁾を与えることができる。

本研究で検討する事項は

- 1) フェライトコンクリートの振動性状-対数減衰率、共振周波数、共振時弾性率
- 2) コーティング（被覆）材料として用いたアスファルトの硬さ（針入度）および量が振動性状に与える影響
- 3) 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
- 4) 振動性状と力学的性状の関係

である。

一般に、制振材料に要求される性質は損失係数や対数減衰率、弾性率、密度等であり^{10)~12)}、著者らも動的載荷試験によって舗装材料にレオロジーの手法を用いて考察を加え、それらを明らかにしてきた¹³⁾。

振動制御は、ずり変形方式、伸縮変形方式および厚み変形方式の制振方式があり、また、その組合せによって

* 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)

構造物の振動，交通振動等の防止策がとられるが¹⁴⁾，ここではこれらへの入力データとなる材料の基本的振動性状について論ずる。

フェライト混合物あるいはそれによって施工した構造物が制振性能をもつ理由の1つはその材料のもつ重量である。また，混合物としての振動吸収性能はフィラーとして用いられる高剛性の副産物フェライトとそれを結合する結合材の刺激（振動）に対するレスポンスの違い（ミスマッチング）にあると考えられている。したがって，セメント材料のような剛性の高い結合材の場合にはミスマッチングを増加させる材料，たとえばアスファルトのような材料によって副産物フェライトをコーティング（被覆）して内部摩擦を大きくすることによって，あるいは，コーティング材料を1種の緩衝材料とすることによって，さらに振動吸収性能を発揮させることができる。すなわち，振動吸収性能をコーティング材料と副産物フェライトに受け持たせ，力学的性状をセメントで被覆された副産物フェライトの混合物にもたせる思想である。副産物フェライト以外の他の骨材についてもすでにこの方法でその振動吸収性能の増加を確かめているが⁷⁾，もともと制振性能の大きい副産物フェライトを用いた方がより効果的である。

本研究においてはこれらの問題を定量的に評価し，さらにコーティング材料の量および硬さ（針入度）の振動性状に与える影響についても実験結果をもとに論ずる。なお，コーティング材料を用いることによって，その力学的特性が若干，低減することも留意する必要がある。通常のセメントコンクリートの振動性状は種々の方法によって報告され¹⁵⁾，また，最近橋梁の橋脚モデルの損傷と振動特性に関する研究成果¹⁶⁾等が発表されているが，フェライトコンクリートの振動性状を自由振動の手法を用いて研究した例はみられない。

2. 実験材料と実験方法

(1) 材 料

a) セメント

本研究で用いたセメントは比重 3.05 の B 種高炉セメントである。

b) 骨 材

骨材は表—1 に示した粒度分布をもつ見掛比重 5.025 の副産物フェライト粉末であり，振動の減衰性能をさらに増加させるため，また，衛生および取扱いやすさを考慮してアスファルトによってコーティング（被覆）したそれを使用した。コーティング方法は副産物フェライトとアスファルトを所定温度に加熱し，アスファルトミキサーで約 2 分間混合する方法をとった。

c) アスファルト

表—1 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—2 アスファルトの物理性状

針入度級	比 重	針入度 ¹⁾	軟化点 ²⁾	P ₁ ³⁾
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

1) 100g, 5sec, 25°C

2) 環球式 (°C)

3) 針入度指数

表—3 フェライトコンクリートの配合 (wt. %)

供試体の名称	フェライト wt. %	セメント wt. %	水 wt. %
10-4	90	10	4
15-4	85	15	6
20-4	80	20	8

副産物フェライトのコーティング材料として用いたアスファルトの物理性状を表—2 に示す。

(2) 配合と供試体名称

a) 配 合

本研究で採用したフェライトコンクリートの基本配合を表—3 に示す。

表—3 に示したとおり，セメント量を重量比で 10 %，15 %，20 %（コーティングした副産物フェライト量がそれぞれ 90 %，85 %，80 %）に変化させ，水セメント比を 40 % に固定（水量はセメントとフェライトの外割）している。これらの配合はそれぞれ 10 シリーズ，15 シリーズ，20 シリーズと名づけた。

フェライトをコーティングするアスファルトは表—2 に示したとおり，アスファルトの針入度（硬さの指標）の影響を検討する目的で 3 種類のそれを使用した。特に針入度 92 のアスファルトについては添加アスファルト量を副産物フェライト量に対して重量比で 0.5 %～2.0 % まで 0.5 % 刻みに変化させて，その振動性状に与える影響を検討した。

b) 供試体名称

本研究においては次に例示する約束に従って供試体を呼称する。

20-1.0-As 92

20 はセメント量 20 wt. %（副産物フェライト量 80 wt. %）を意味する。同様に，1.0 は副産物フェライト 99.0 wt. % に対するコーティング用アスファルト 1.0 wt. % を，As 92 は針入度 92 のアスファルトで副産物フェライトをコーティングしたことを意味する。なお，As 92 がついていない供試体はコーティングをしない副

表-4 フェライトコンクリートの単位体積重量

シリーズ名	アスファルト添加量(%)	針入度 (1/100cm)	単位体積重量 (g/cm ³)
10	0	92	3.190
	0.5		2.930
	1.0		2.963
	1.5		2.980
	2.0		3.000
15	0		3.100
	0.5		2.949
	1.0		2.970
	1.5		2.966
	2.0		2.938
20	0		3.072
	0.5		3.023
	1.0		2.995
	1.5		2.968
	2.0		2.912
20	1.0	24	2.994
20	1.0	51	2.995

産物フェライトを用いたことを意味する。

表-4 にフェライトコンクリートの単位体積重量を掲げる。

(3) 試験方法

振動の測定機器は供試体保持台, 加速度ピックアップ, 振動計 (増幅器), 周波数分析器 (リアルタイム・スペクトル・アナライザー) および記録計からなる。ピックアップは供試体への影響を考慮して, できるだけ小型のものを用い, 重量 1.2 g, 周波数特性 1~25 000 Hz の圧電型加速度ピックアップを用いた。自由振動方式の 2 本吊りの方法^{17)~19)}によって供試体に打撃を与え, その減衰曲線から対数減衰率²⁰⁾を, スペクトル解析から共振周波数を求め, さらに計算処理によって共振時弾性率を求める方法である²¹⁾。

共振時弾性率 E_r は密度 ρ (g/cm³), 共振周波数 f_0 (Hz), 供試体の長さ l (cm), 供試体の厚さ h (cm) から計算される。

$$E_r = 9.464 \times 10^{-7} \rho f_0^2 l^3 / h^2$$

f_0 は供試体の形状寸法によって変化し, また, この式から理解されるように, E_r について論ずることによって f_0 の意味が薄れるが, スペクトル解析によって得られる材料の物性値であり, また, E_r を算出する基礎データであることから, 以下の実験結果に掲げるものとする。

供試体はダイヤモンドカッターで 30×30×250 mm に切り出された角型棒状供試体である。供試体の養生は 20°C ± 0.5°C の制御が可能な恒温室で行い, 供試体が所定の材令に達したとき熱伝対を取り付けたダミー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) 材令の影響

表-3 に示したように, 本研究においては 3 種類の基本配合, すなわち, 10 シリーズ, 15 シリーズ, 20 シリーズを軸に実験を行ったが, その基本的振動性状の傾向が似ていることから, ここでは, 20 シリーズを中心に論ずる。

図-1 は 20 シリーズのフェライトコンクリートの温度 20°C における振動性状, すなわち, 対数減衰率 δ , 共振周波数 f_0 , および共振時弾性率 E_r と材令の関係をアスファルト添加量をパラメーターにとっ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はストレートアスファルト 92 である。

δ は材令の経過に伴い減少する傾向を示している。これはフェライトコンクリートの強度や弾性率が材令が経過するにつれ大きくなり, 硬くなるにつれ δ が低下することを示している。

フェライトコンクリートの f_0 は 500 Hz から 1 000 Hz の比較的高い周波数の間に存在し, また, 緩やかな勾配

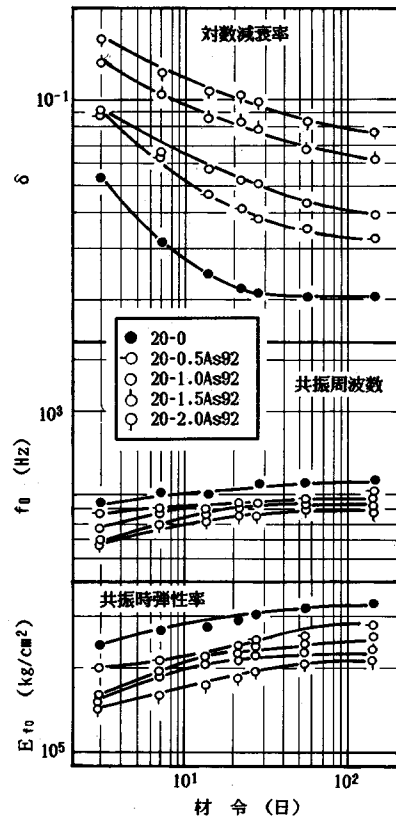


図-1 20 シリーズの δ , f_0 , E_r と材令の関係

で材令の経過に伴い増加している。フェライトコンクリートがしだいに硬化し、剛性が大きくなることを傍証するものであろう。

フェライトコンクリートの E_{f_0} は材令の経過に伴い増加しているが、これは E_{f_0} が f_0 の関数として表現されることから、前述の f_0 についての説明から肯首されよう。また、28日材令における E_{f_0} は $2.1 \times 10^5 \sim 3.2 \times 10^5$ kg/cm² であり、コーティングしたアスファルト添加量によって異なる。

(2) アスファルト量の影響

図-2 は材令28日目のフェライトコンクリートの温度20°Cでの δ 、 f_0 および E_{f_0} とコーティングに用いたストレートアスファルト92の添加量との関係を、セメント量をパラメーターにとって示したものである。

アスファルトの添加量によらず、 δ はセメント量が多いほど小さい傾向にあるが、その差はわずかであり、セメント量20%の混合物の δ を基準にとれば、15%のそれはどのアスファルト添加量においても約1.2倍、10%のそれはアスファルト添加量が多いほど δ の差が大きくなって1.3倍から1.7倍である。これに対し、コー

ティング用アスファルトの添加効果は著しく、また、添加量を増加させた場合の δ の増加割合はきわめて大きい。たとえば、アスファルトでコーティングをしないフェライトコンクリートの δ を基準にとれば、アスファルトの添加量1.0% でみた場合、10シリーズではアスファルト無添加で約2.0の δ がアスファルト量1%の添加で約5.6に増加し、同様に、15シリーズでは約2.2が6.5に、20シリーズでは約2.5が、約7.4の δ にそれぞれ変化して、おおまかにみるとどのセメント量のフェライトコンクリートにおいても約2.9倍の δ の増加がみられる。このデータは同一セメント量および骨材(副産物フェライト)量のフェライトコンクリートの場合、副産物フェライトに対してわずか1%のコーティング材料であっても格段の δ 、すなわち、振動吸収性能の改善ができることを意味している。

フェライトコンクリートの f_0 はアスファルト添加量の増加に伴って低下し、その割合はセメント量の少ないフェライトコンクリートほど大きい。つまり、フェライトコンクリートはアスファルト量が多いほど粘性的性状を増すことから共振周波数が低くなることが理解される。また、同一副産物フェライト量およびアスファルト添加量に対してはセメント量が少ないほど、結局、結合材(セメントおよびアスファルト)中に占めるアスファルト量が多くなることから f_0 が小さくなるものと推定される。この考え方は逆に、セメント量の多い20%のフェライトコンクリートの f_0 が大きいことから理解されよう。

フェライトコンクリートの E_{f_0} はコーティング用アスファルトの添加量が増加するにつれ減少し、セメント量20%のフェライトコンクリートの E_{f_0} はアスファルト添加量が0.5%増加することにより約8%低下している。また、セメント量が多いほど E_{f_0} は大きい。これらは E_{f_0} が f_0 の関数として表現されることから理解される。

(3) アスファルトの針入度の影響

図-3 は材令28日目のフェライトコンクリートの20°Cにおける δ とコーティングに用いたアスファルトの針入度との関係である。コーティングしないフェライトコンクリート(20シリーズ)のデータについても参考のために図-3にプロットした。

コーティングアスファルトの針入度が小さいほど δ は小さい傾向にあるが、その理由は針入度が小さいほどアスファルトが硬いためである。すなわち、副産物フェライトの表面をコーティングすることにより、その界面摩擦等の理由により減衰性能が増加するが、コーティングするアスファルトの硬さにより減衰の増加の割合は若干異なり、アスファルトの硬いほど減衰性能の増加は小

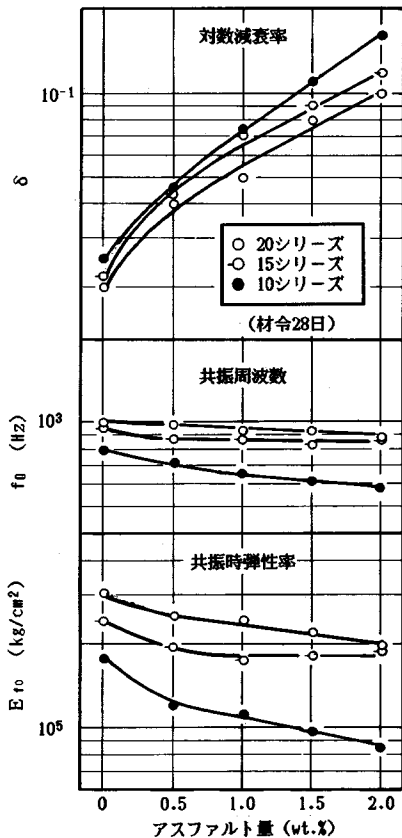


図-2 フェライトコンクリートの δ 、 f_0 、 E_{f_0} に与えるコーティングアスファルト量の影響

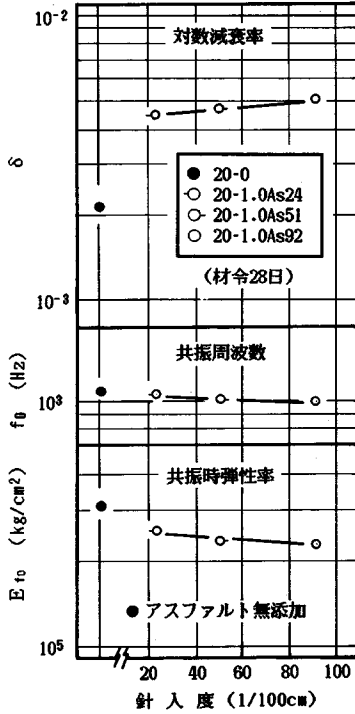


図-3 フェライトコンクリートの δ , f_0 , E_{f_0} に与えるコーティングアスファルトの針入度の影響

さい。しかし、コーティングアスファルトの針入度が δ に与える影響はコーティング (1.0%) したときと無処理 (0%) の場合 (図中、黒マル●で示した) の δ の変化に比較すれば無視されるほど小さな差である。

フェライトコンクリートの f_0 および E_{f_0} は針入度が大きいほど、小さい傾向にあるが、コーティングをしないフェライトコンクリートに比較してもその差はわずかであり、工学的応用を考えた場合、本研究で用いたアスファルトの針入度の変化では f_0 および E_{f_0} への影響はほとんどないといえよう。

(4) 温度の影響

図-4 は 20 シリーズの材令 28 日目における δ , f_0 および E_{f_0} と温度の関係をコーティングに用いたアスファルト (ストレートアスファルト 92) 量をパラメーターにとって示したものである。

温度が高くなれば δ が増加し、その増加の割合はアスファルト添加量が多いほど大きい。ただし、温度が 20°C 以上では、ほぼ一定の δ に収束している。これらの傾向がアスファルトの硬さと比例しているのは、アスファルトの針入度による δ の変化と同じ理由による。すなわち、温度が低下することにより、副産物フェライトのコーティングアスファルトの弾性率が増加し、硬い性状に変化するため減衰性能が低下する。換言すると、

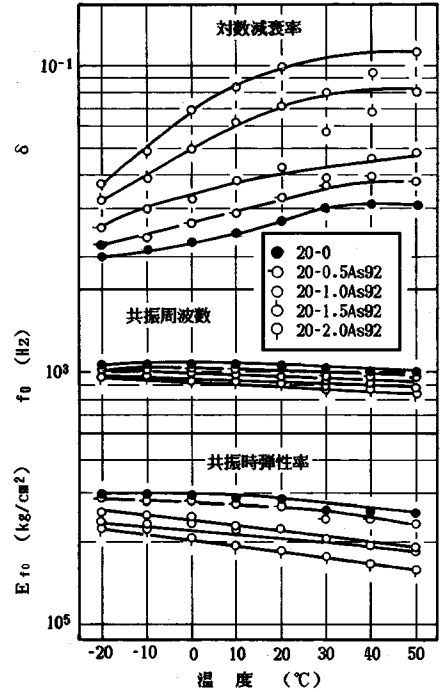


図-4 フェライトコンクリートの δ , f_0 , E_{f_0} と温度の関係

低温になればアスファルトの弾性率が增大するため δ が小さくなると考えられる。

フェライトコンクリートの f_0 は温度が高くなるに従い若干、低下する傾向がみられるが、その勾配は非常に小さく、温度よりもむしろアスファルト添加量による f_0 の差異が大きい。

フェライトコンクリートの E_{f_0} は温度が上昇するに従い低下する傾向を示すが、その減少勾配は非常に小さく、むしろアスファルト添加量が異なることによる E_{f_0} の差異の方が大きい。これは E_{f_0} が f_0 から計算されることから肯首できよう。

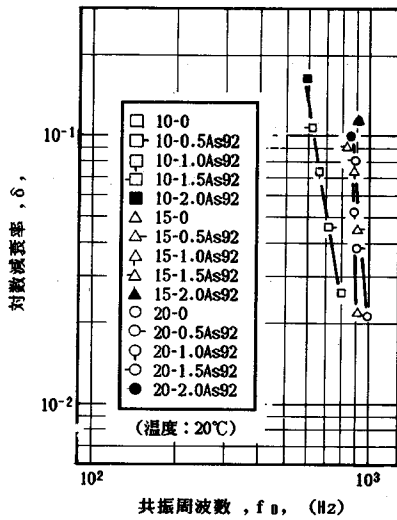
(5) 対数減衰率と共振時弾性率、共振周波数の関係
振動性状、すなわち、 δ , f_0 , E_{f_0} 相互の関係は構造設計への重要なデータとなるのみならず研究面からも興味のある問題である。

図-5 は δ と f_0 の関係を本研究で対象とした 10, 15, 20 の各シリーズのフェライトについて得られた δ と f_0 の関係を示す。

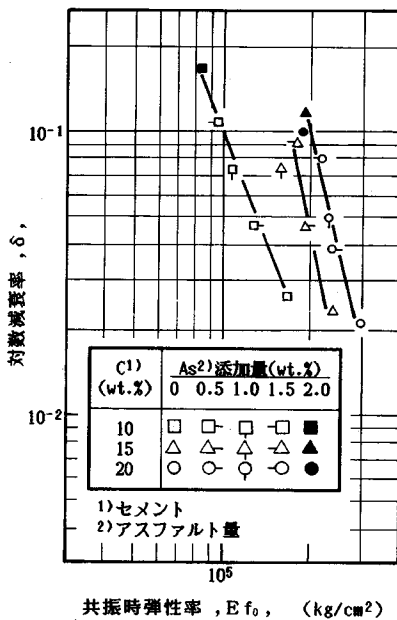
セメント量 15% と 20% のフェライトコンクリートの δ と f_0 の関係はほぼ同じである。いずれも両対数グラフ上で δ と f_0 は直線関係を示し、小さな f_0 の変化で大きな δ の変化がみられる。つまり、アスファルトでコーティングしたフェライトコンクリートは f_0 の変化が小さいのに対して δ の変化が大きいことが理解される。このことは材料の面からは、共振周波数をあまり変

化させずに対数減衰率，すなわち，振動吸収性能を大きくすることが可能であることを意味する．なお，後述する δ と E_{f_0} の関係についてもみられることであるが，セメント量の少ない 10 シリーズほどアスファルト添加量への f_0 あるいは E_{f_0} の依存性が大きい，これはセメントとアスファルトからなる結合材中に占めるアスファルト量が相対的に多くなることから，セメントに比較して剛性の小さなアスファルトの影響が出たものと考えられる．

図—6 は 10, 15, 20 シリーズのフェライトコンクリー



図—5 フェライトコンクリートの δ と f_0 の関係



図—6 フェライトコンクリートの δ と E_{f_0} の関係

トについて得られた δ と E_{f_0} の関係である．

どのセメント量のフェライトコンクリートも E_{f_0} の増加とともに δ を減少させているが，両者の関係のコーティングアスファルトの添加量への依存性はきわめて大きい．たとえば，セメント量 20% のフェライトコンクリート (20 シリーズ) の場合には E_{f_0} が約 1/2 になると δ が 6.3 倍になっている．通常，弾性率が大きくなると δ が減少するが²²⁾，このアスファルトコーティングを行ったフェライトコンクリートは弾性率の小さな変化に比較して，きわめて大きな対数減衰率の増加が得られており，制振材料として注目されよう．

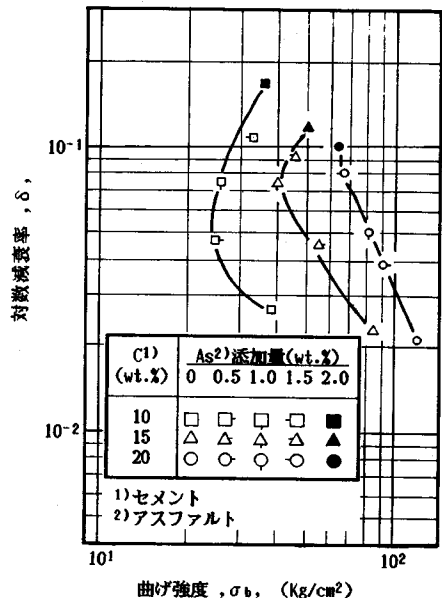
なお， f_0 と E_{f_0} の関係は数式化されているものであり²¹⁾，ここでは論じない．

(6) 対数減衰率と破壊性状の関係

非破壊試験の 1 つである 2 本吊りの方法によって得られた材料の δ と破壊試験によって求められる材料の破壊性状 (曲げ強度 σ_b ，破壊時の曲げ弾性率 E_b ，圧縮強度 σ_c ，破壊時の圧縮弾性率 E_c 等)²³⁾ との関係はきわめて興味ある問題である．ここでは一定ひずみ速度試験²⁴⁾ によって明らかにした σ_b ， σ_c ， E_b および E_c (フェライトコンクリートの破壊性状については実験結果を示すにとどめ，その詳細については紙面の関係で割愛したい) を用いてこの問題を論ずる．

図—7，図—8 は δ と σ_b および σ_c の関係をセメント量およびコーティング用アスファルト (ストレートアスファルト 92) 量をパラメーターにとって示したものである．試験温度は 20°C である．

図—7 において，セメント量が少ない場合，アルファ



図—7 フェライトコンクリートの δ と曲げ強度の関係

ベットのC形の曲線になり同一の σ_b に対して2つの δ が得られているが、これはコーティング用アスファルトの添加によって σ_b が減少し、さらに、その添加量が多くなると σ_b が増加することを示している。 σ_b の最小値は10シリーズでは約0.5%のアスファルト添加量で、15シリーズでは約1.0%の添加量でそれぞれみられ、20シリーズにおいても1.5%から2.0%の添加量では σ_b の減少割合が小さくなっている。十分な剛性をもった20シリーズと異なり、セメント量が少ない場合には結合材中に占めるアスファルトの割合が多くなることから添加量が多いケースでは、アスファルトの結合力も σ_b に影響を与え、その添加による減少と寄与との相対的關係に σ_b が依存したと推定される。

図-8に示した δ と σ_c の關係にはこのような最小値がみられないのはアスファルト混合物にもみられるように²⁵⁾、曲げの破壊機構と圧縮の破壊機構が異なるためと推定される。

視点を変えて両図を添加アスファルト量を一定にして、セメント量を変化させたデータとしてとらえた場合、セメント量が多いほど強度が増加しているが、この傾向はアスファルト量が少ないほど著しい。すなわち、添加アスファルト量が少なきときはセメントの効果が現われていることが理解されよう。 δ については添加量とともに大きくなることは記述のとおりである。

両図に共通することは強度の変化に比較して δ の変化は大きく、同じ δ であればセメント量の多い配合ほど強度が大きいことがわかる。この2つの図から所要の強度および対数減衰率の材料を選択することができよ

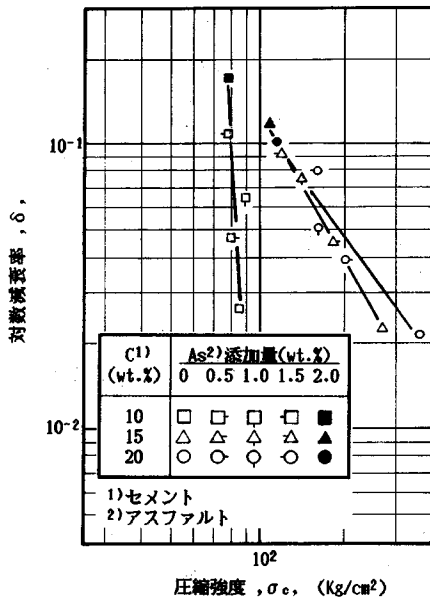


図-8 フェライトコンクリートの δ と圧縮強度の關係

う。

図-9、図-10は δ とそれぞれ E_b 、 E_c との關係をセメント量およびコーティング用アスファルト(ストレートアスファルト92)添加量をパラメーターにとって示したものである。

アスファルト添加量が増加するか、またはセメント量が減少すると E_b および E_c は低下し、 δ は増加する。換言するならば、弾性率の増加に伴い δ に大きな減少

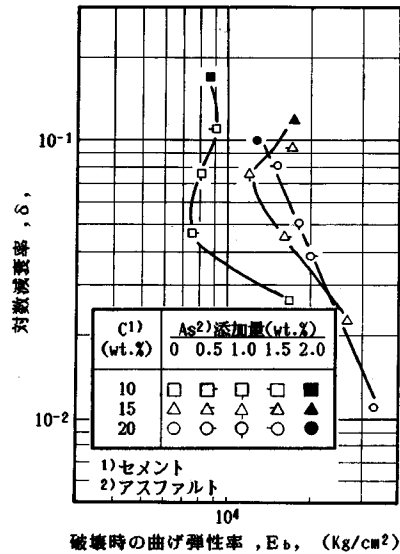


図-9 フェライトコンクリートの δ と破壊時の曲げ弾性率の關係

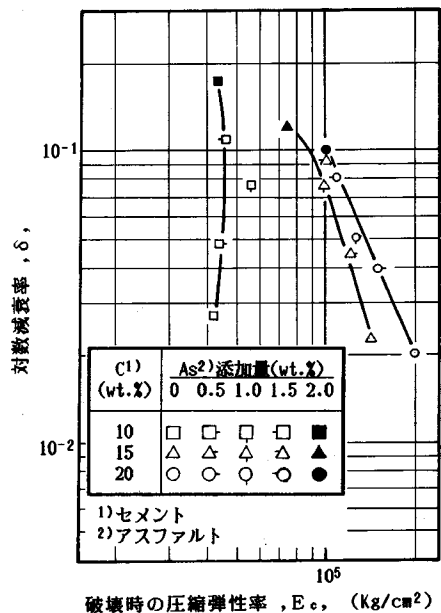


図-10 フェライトコンクリートの δ と破壊時の圧縮弾性率の關係

がみられるが、その割合はセメント量の少ないフェライトコンクリートほど（アスファルトのコーティング効果が現われて）大きい。なお、図-9に示した δ と E_0 の関係は、セメント量によって異なるが、これは図-8の σ_0 の場合と同様に説明できる。すなわち、セメント量が少ない場合、結合材中に占めるアスファルト量が相対的に多くなることから、ある添加量以上では結合材としての役目を果たし、若干ではあるが、 E_0 を増加させるものと推察される。

4. 結 論

本研究で明らかにした事項を列記する。

(1) 新しい材料である副産物フェライト粉末をアスファルトでコーティングすることによってさらに振動吸収性能を高めたフェライトコンクリートを開発した。

(2) 2本吊りの方法によって振動試験を行い、対数減衰率、共振周波数、共振時弾性率を明らかにした。

(3) フェライトコンクリートの振動性状に与える材令、コーティングアスファルトの量および質、温度等の影響について論じ、硬化後にはアスファルトの添加量の影響が大きいことを結論づけた。

(4) フェライトコンクリートの振動性状相互の関係について論じ、共振周波数の若干の減少に対して対数減衰率の大きな増大がみられ、同様に共振時弾性率の低下は対数減衰率の増加を示すことを明らかにした。

(5) このことは副産物フェライト粉末をアスファルトでコーティングすることによって、共振周波数や共振時弾性率をあまり変化させずに、その振動吸収性能を大きくできることを意味する。

(6) 2本吊りの方法（非破壊試験）から求めたフェライトコンクリートの対数減衰率と破壊性状との関係について検討し、強度や弾性率の低下に比較して対数減衰率の大きな増加が可能であることを見出した。

5. 後 記

コーティングされたフェライトとセメントの混合からなるフェライトコンクリートのもつ複合機能の1つである制振性能を明らかにすべく、材料の基礎的振動性状について報告した。本稿は講演会等を含めて外部への初めての発表であり、同混合物の力学的性状、水セメント比を変えたフェライトコンクリートの材料性状、あるいは被覆されないフェライトコンクリートの各種の材料性状については許されるならば次の機会に発表したい。

これらの材料は制振材料としての用途のほか、磁気標識体、人工魚礁等にも使用されており、さらに読者諸氏のご指導、ご興味、アイデアをガイドとした今後の応用技術開発に期待がもたれている。

最後に、本研究を進めるにあたり、日本電気環境エンジニアリング（株）辻 俊郎社長、日本電気（株）資源環境技術研究所の菅野 出研究所長、同山内文雄資源化部長、北海道大学工学部土木工学科の森吉昭博助教授、日本道路（株）技術研究所の森 道夫、坂口陸男の両氏には多大のご助言とご協力をいただいた。ここに厚く謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 石川六郎：これからの建設業のありかた，土木学会論文集，No.349/VI-1，pp.7~12，1984.
- 2) 赤井浩一：ニューカッスルの教訓，土木学会誌，Vol.71，1986-7月号，p.1，1986.
- 3) 富永正照：土木技術開発の課題，土木学会誌，Vol.71，1986-4月号，p.1，1986.
- 4) Tsuji, T. : Ferrite-Technology Applications and Their Expansion from Electronics to Civil Engineering Fields, Proc. International Conference on Ferrite, pp.573~581, 1984.
- 5) 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.
- 6) 間山正一：フェライトエポキシ混合物の振動性状と力学的性状，土木学会論文集，第385号/VI-7，1987.に掲載予定.
- 7) たとえば，北海道新聞，昭和58年3月23日朝刊.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) Leo L. Beranek : Noise and Vibration Control, McGraw-Hill Book Co., New York, 1971.
- 11) 藤本 淳：高分子制振材料の開発と応用，海洋音響研究会講演論文集，85-14，1985.
- 12) 藤本 淳：非拘束型制振材料の開発，日本音響学会講演論文集，pp.483~484，1985.
- 13) たとえば，間山正一：各種の舗装用混合物の力学的性状に関する研究（第5報）—主として混合物の動的性状および疲労性状—，石油学会誌，第23巻，第4号，pp.246~255，1980.
- 14) 日本音響材料協会：騒音・振動対策ハンドブック，技報堂出版，1982.
- 15) たとえば，コンクリート工学ハンドブック，pp.513~535，朝倉書店，1981.
- 16) 平澤征夫ほか：RC高橋脚モデルの損傷過程と振動特性に関する実験的研究，土木学会論文集，第372号/V-5，pp.75~84，1986.
- 17) 間山正一・辻 俊郎：アスファルト系制振材料の振動性状，土木学会第39回年次学術講演会講演概要集V，pp.439~440，1984.
- 18) 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.
- 19) 五十嵐寿一編集：音響と振動，共立出版（株），pp.370~371，1981.

- 20) 間山正一・山内文雄：フェライトシートの対数減衰率，土木学会第41回年次学術講演会講演概要集V，pp.41～42，1986.
- 21) 間山正一ほか：フェライトシートの共振周波数と共振時弾性率，土木学会第41回年次学術講演会講演概要集V，pp.43～44，1986.
- 22) 山内文雄ほか：フェライト複合体，金属，Vol.52，No.5，pp.62～63，1982.
- 23) たとえば，間山正一・菅原照雄：各種の舗装用混合物の力学性状に関する研究（第2報）—主として混合物の破壊性状—，石油学会誌，第23巻，第3号，pp.170～179，1979.
- 24) A. S. T. M. : Designation D 790-71, 1971.
- 25) 森吉昭博ほか：アスファルト混合物の破壊強度に関する研究，土木学会論文集，第210号，pp.57～64，1973.
(1986.10.22・受付)
-