

論文 温度がセメント・アスファルト複合体のQ値に与える影響

大庭 克^{*1}・河内 亮次^{*2}・上田 満^{*3}

要旨：セメント・アスファルト複合体の動的応力緩和特性を共振法によって求められるQ値によって表現した。共振法とは、供試体の一端に弾性波を入力し、他端の出力波と共振させて共振曲線を描くものであり、得られた共振曲線より、動弾性係数、Q値が求められる。アスファルト系材料は温度による影響が大であるので、求めたQ値の温度依存性についても検討した。その結果、Q値は温度による影響が大であるとともに、試験時の温度が出力波の振幅に与える影響も大であった。

キーワード：CA複合体、C/E、応力緩和、Q値、動弾性係数

1. はじめに

セメント・アスファルト複合体(以下CA複合体と記す)はC/E(セメントとアスファルト乳剤の質量比)を変化させることにより弾性領域から粘弾性領域まで力学的な特性が変化する。またこの材料は応力緩和現象を示す材料として知られている。応力緩和現象はCA複合体にひずみを与えた後、そのひずみを一定に保つと内部に発生した応力が吸収されるという現象である。この特性を持つCA複合体は震動抑制・騒音低減材として、新幹線や地下鉄の軌道スラブと基礎との間に充填材として使用されている^{1)~3)}。また、トンネルの裏込めに適用し免震効果を期待するとともに地盤との一体化を図るなど、広範囲にわたって適用される^{4)~7)}。

本研究は混合タイプCA複合体の衝撃吸収効果に主眼を置いて検討しようとするものであり、CA複合体の動的な応力緩和特性に注目し、Q値測定を行ったものである。Q値は岩石等の応力緩和特性を把握する際によく用いられる指標である。従来の研究は円柱供試体に一定のひずみ速度で荷重をかけ破壊前ひずみを保持することによって行う静的応力緩和試験が主流であった。本研究では動的な応力緩和特性としての動

弾性係数とQ値を求めた。Q値は一般に物体内部を伝わる弾性波の減衰傾向をあらわすとされている。特にQ値は地震波が岩盤を伝わる速度、減衰傾向を推定するために、室内実験によって求められるものとして知られている。

軌道スラブと基礎との間に充填材として使用される場合、温度変化の大きな個所に打設する必要がある。このような場合、打設されたCA複合体の応力緩和特性の温度による変化を知る必要がある。そこで、本研究の主目的は、共振法による動的応力緩和試験をCA複合体に対して行い、温度変化に対するQ値、出力波の振幅への影響を検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

CA複合体はセメント、アスファルト乳剤より構成されるペーストを複合体Aとし、セメント、アスファルト乳剤、海砂で構成されるモルタルを複合体Bとした。本研究で使用した配合については図-1の三角座標に示した。三角座標の各辺はそれぞれセメント、アスファルト乳剤、海砂の配合割合を示し、本研究では三角座標上に示す各点の配合を使用した。図中の点線

*1 山口大学大学院 理工学研究科 社会建設工学専攻 (正会員)

*2 山口大学 工学部 社会建設工学科

*3 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (正会員)

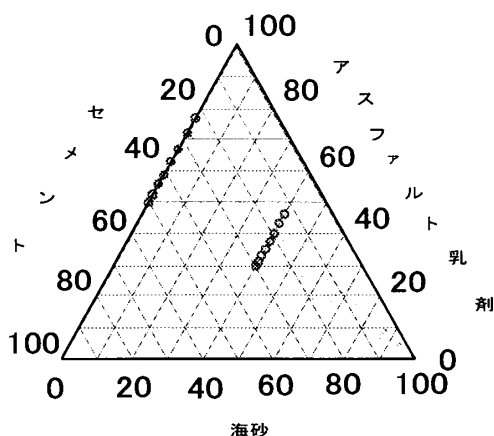


図-1 使用配合

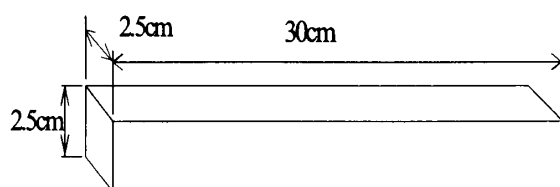


図-2 供試体寸法及び形状

は同一のC/Eであることを示している。次に各成分の詳細は次のとおりである。セメントは普通ポルトランドセメントで密度： 3.15g/cm^3 ，粉末度： $3280\text{cm}^2/\text{g}$ ，アスファルト乳剤はノニオン系アスファルト乳剤（蒸発残留分針入度：60～80，濃度：57.9%），海砂は密度： 2.62g/cm^3 ，粒径： $0.6\sim 0.074\text{mm}$ ，砕砂は密度： 2.62g/cm^3 ，粒径： $5\sim 0.6\text{mm}$ であった。本研究で実験に用いた供試体は1種類とし，その寸法及び形状は図-2に示すとおりである。従来の研究より，この供試体が本研究では有効であることがわかったので，本研究ではこれを採用した。

2.3 実験方法

実験は，まず端子を供試体両端に貼り付けたものを温度設定した恒温槽に1時間半以上置き，その供試体を恒温層の温度の状態にする。次に，その状態のままQ値測定を行い，設定温度でのQ値を得る。

Q値測定は共振法により行い，パーソナルコンピュータで測定システムを制御した。H P - I B インターフェースを介して接続され

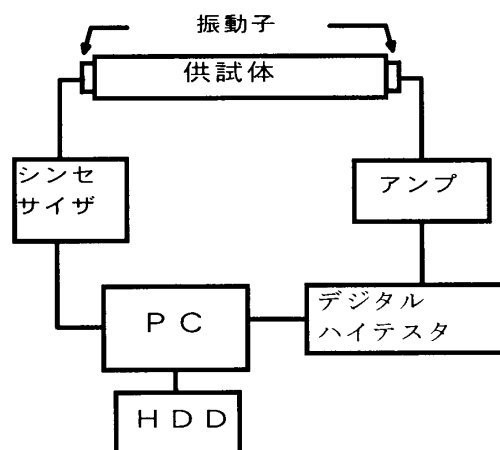


図-3 Q値測定システム

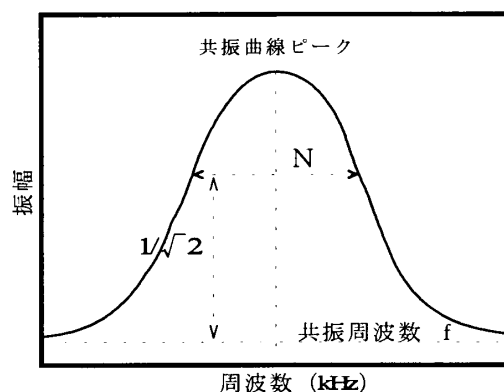


図-4 共振曲線の一例

たシンセサイザーが周波数を徐々に変化させながら正弦波を一端に入力する。弾性波は供試体内部を伝播し，他端の振動子で出力される。出力された信号はアンプにより増幅され，受信機（デジタルハイテスタ）に入力される。受信機は実行値を読み取り，データをパーソナルコンピュータに転送し，パーソナルコンピュータで共振曲線を描く。図-3はQ値測定システムである。

3. 解析方法

共振法は供試体の一端に正弦波を入力し，供試体の他端の出力波と入力波を共振させることにより共振周波数を求める方法である。求められた共振周波数より，供試体中を伝わる弾性波速度，弾性係数，Q値が決定される。求められた弾性係数は，静的圧縮試験により求められる

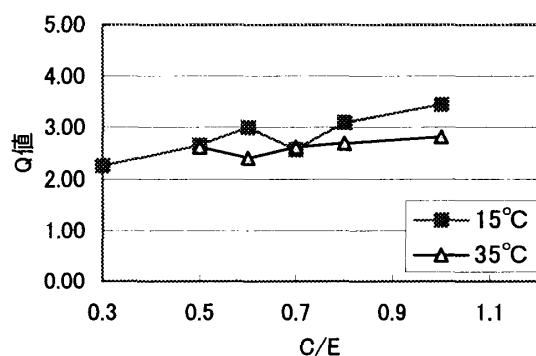


図-5 C/EとQ値の関係（複合体A）

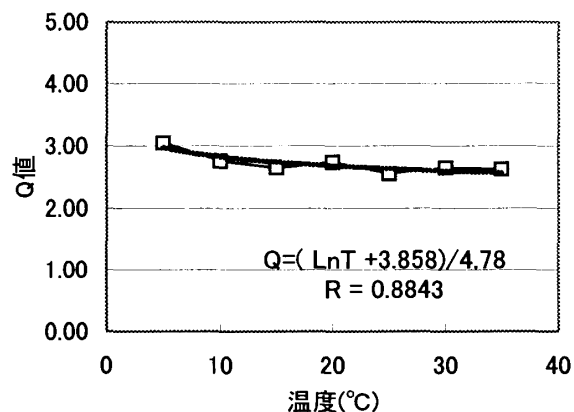


図-7 温度とQ値の関係

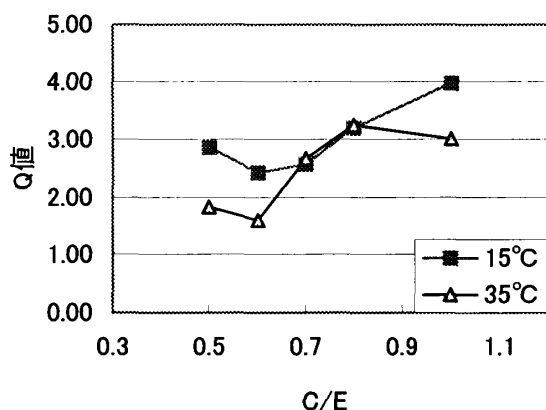


図-6 C/EとQ値の関係（複合体B）

静弾性係数に対して、動弾性係数と呼ばれる。

3.1 共振曲線

共振曲線は入力された弾性波と出力波の振幅によって示される曲線であり、一定の振幅を供試体一端に入力し、供試体他端の振幅を入力周波数に対してプロットして作られる曲線である。図-4は共振曲線の一例を示したものである。

3.2 Q値、動弾性係数

Q値は無次元量であり、本研究で用いた周波数範囲内において、Q値は周波数と無関係であるとされている。またQ値は弾性波の減衰を表すパラメータとして用いられる。このQ値の逆数 Q^{-1} は物体の内部抵抗の大きさを表すパラメータであり、内部摩擦と呼ばれるものである。つまり Q^{-1} の値が大きいほど内部摩擦が大きいと考えられる。このQ値は共振曲線より求められ、Q値の定義式は以下に示す。

$$Q = f / N \quad (1)$$

f 、 N はそれぞれ図-4中に示した値であり、 f は共振周波数 (kHz) を示し、 N は共振振幅ピーク値の $1/\sqrt{2}$ を結ぶ周波数幅 (kHz) を示している。

動弾性係数 E_d は以下に示す関係式にて求められる。

$$E_d = DW f^2 \quad (2)$$

f : 共振周波数 (c / s)

W : 供試体の重量 (kg)

D : 供試体の形状で定まる定数

$$D = 0.00408 \frac{L}{bt} \quad (\text{角柱供試体}) \quad (3)$$

L : 供試体長 (cm)

b, t : 直方体供試体の断面の辺長 (cm)

4. 実験結果及び考察

4.1 Q値

温度がQ値に与える影響を検討した。図-5、図-6はC/Eの変化によるQ値の変化を示したグラフである。図-7は複合体Bについて温度とQ値の関係を示したものである。図-5、図-6より、Q値はC/Eが大になるに従って大となる。また、全体的に各C/Eにおいて、Q値は15°Cのときよりも35°Cの時の方が小さく

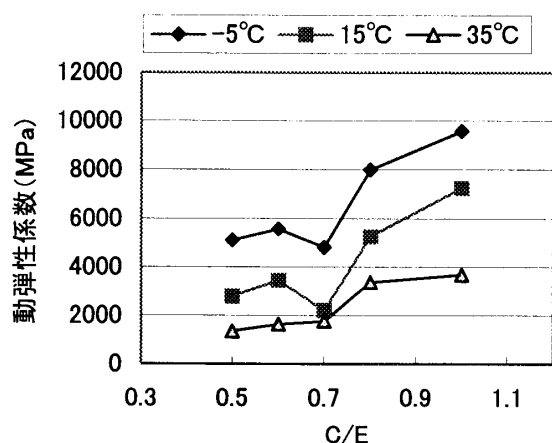


図-8 C/Eと動弾性係数の関係（複合体A）

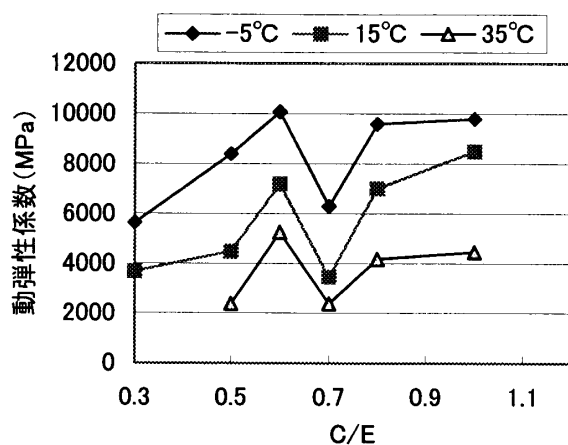


図-9 C/Eと動弾性係数の関係（複合体B）

なった。温度が5℃から35℃に変化する間、Q値は16%程度減少した。図-7はC/Eが0.6の複合体Bの温度変化に対してQ値の変化を示したグラフである。Q値と温度の関係を曲線回帰した結果、次式のようにになった。

$$Q = (\ln T + 3.858) / 4.78 \quad (4)$$

T:温度 (℃)

相関係数は0.8843となるので、相関関係があるといえる。即ち、CA複合体のQ値は一定の温度依存性を持つことを示している。

Q^{-1} は内部摩擦を表す指標であり、 Q^{-1} が大きければ内部摩擦は大きくなる。従ってQ値が小さいものほど内部摩擦は大きいので、応力緩和は顕著であると考えられる。実験結果より、本

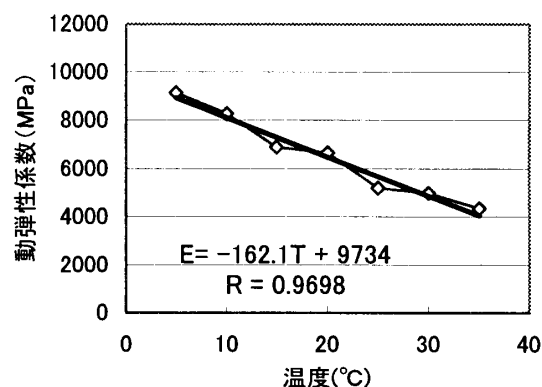


図-10 温度と動弾性係数の関係

研究の範囲ではC/Eが小さく温度が高いほど応力緩和特性は顕著であるといえよう。

4.2 動弾性係数

温度が動弾性係数に与える影響を検討した。

図-8, 図-9はC/Eの変化による動弾性係数の変化を示したグラフである。図-8は複合体Aについて、図-9は複合体Bについて示したものである。図-8, 図-9より動弾性係数は多少の乱れはあるが、C/Eが大きくなるに従い大となっている。動弾性係数は海砂を混入すると同一C/Eにおいて、20%から50%程度高くなり、その傾向はC/Eが低くなるほど大きい。また、温度が高いほど、動弾性係数は小さくなるという傾向が見られる。図-8と図-9を見ると-5, 15, 35℃での動弾性係数とC/Eの関係が平行になっている。これより、CA複合体の温度と動弾性係数の関係は温度が変化してもC/Eに対する変化の割合は変わらないと推察できる。図-10は図-7で用いた供試体について、温度の変化に対して動弾性係数の変化を示したグラフである。動弾性係数と温度の関係を直線回帰した結果、次式のようにになった。

$$E_p = -162.1T + 9735 \quad (5)$$

相関係数は0.9698であるので、相関関係があるといえる。即ち、CA複合体の動弾性係数も一定の温度依存性があるといえる。

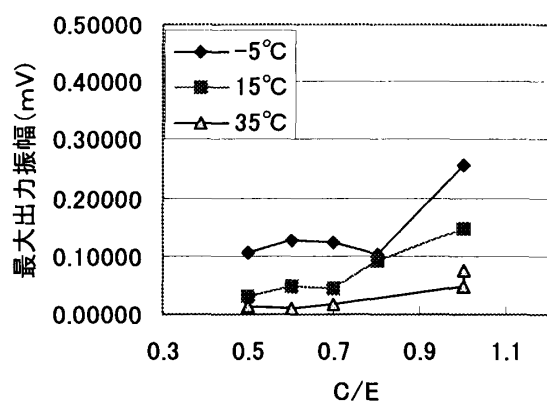


図-11 C/Eと最大出力振幅の関係
(複合体A)

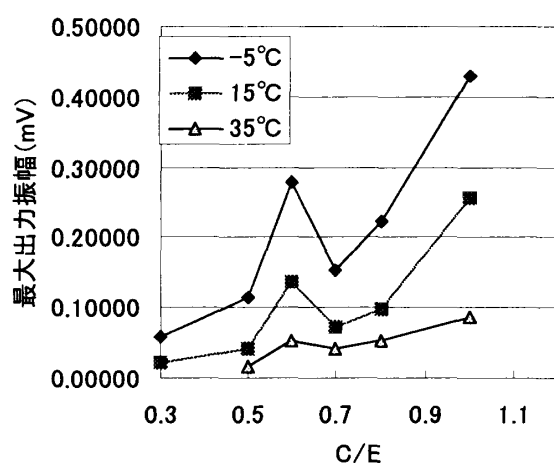


図-12 C/Eと最大出力振幅の関係
(複合体B)

4.3 最大出力振幅

C/Eが最大出力振幅に与える影響を検討した。ここで最大出力振幅とは、共振時の出力波の振幅である。図-11、図-12はそれぞれ複合体A、複合体Bの最大出力振幅とC/Eの関係を温度別に示したグラフである。全体として、C/Eが大きくなるのにしたがって、最大出力振幅は大きくなっており、図-11、図-12を比較すれば、海砂を40%含む複合体Bの動弾性係数は30%から60%程度大である。また、温度が上昇するほど最大出力振幅は小さくなっている。即ち、C/Eが大きくなるにつれ波動が伝播し易い硬質な複合体になると考えられる。ただし、図中の縦軸の振幅単位は出力電圧をmV単位で示したものである。

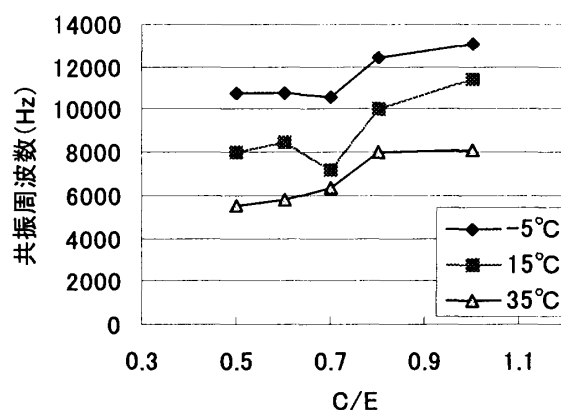


図-13 C/Eと共振周波数の関係
(複合体A)

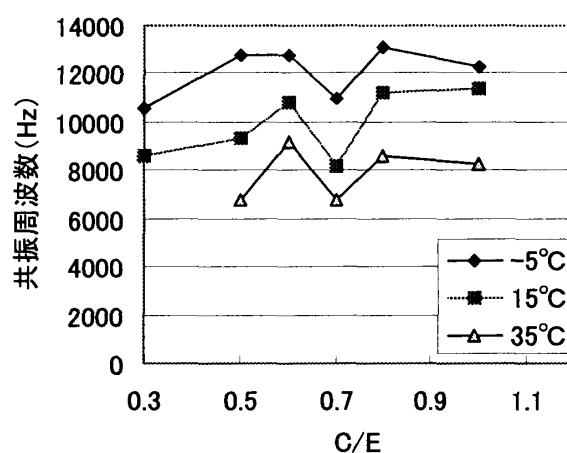


図-14 C/Eと共振周波数の関係
(複合体B)

4.4 共振周波数

C/Eが共振周波数に与える影響を検討した。図-13、図-14はそれぞれ複合体A、複合体Bの共振周波数とC/Eの関係を温度別にC/Eについて示したグラフである。全体として、C/Eが大きくなるのにしたがって、共振周波数は大きくなっている。また、温度が上昇するほど最大出力振幅は小さくなる。

4.5 動弾性係数とQ値の関係

図-15はC/Eが0.6の複合体BのQ値と動弾性係数 E_D の関係を示したものである。縦軸に動弾性係数、横軸にQ値をとった。動弾性係数とQ値の関係を曲線回帰した結果、次式のようにになった。

$$Q = (\ln E_D - 5.062) / 1.356 \quad (6)$$

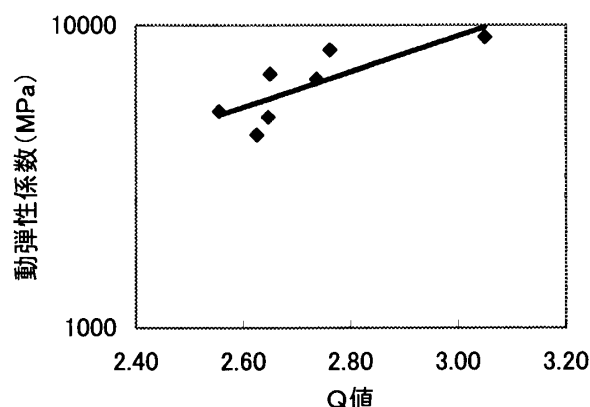


図-15 Q値と動弾性係数の関係

相関係数は0.7959であるので、相関関係があるといえる。

5 まとめ

本研究の範囲内で得られた実験結果を以下にまとめる。

- (1) Q値は C/E が小さくなるほど、温度が高くなるほど小さくなった。Q値は一定の温度依存性を持ち、それは式(4)で表された。
- (2) 動弾性係数は一定の温度依存性を持ち、それは温度の一次関数で表された。また海砂を混入すると同一 C/E において、動弾性係数は20%から50%程度高くなる。
- (3) 最大出力振幅は温度が上昇するのに従い小さくなり、同一の C/E において35℃の最大出力振幅は15℃の $1/2 \sim 1/3$ 程度、-5℃の $1/5 \sim 1/7$ 程度であった。
- (4) C/E が0.6の複合体BのQ値と動弾性係数 E_D の対数の間には直線関係が認められた。
- (5) 本研究によって、CA複合体の温度依存性は大きい、配合と温度がわかれば、Q値、動弾性係数の大まかな予測ができることがわかった。

参考文献

- 1) 樋口芳郎・原田豊・杉山直行：軌道用てん充モルタルの諸特性と施工性，セメント技術年報X X V II，pp. 363-368，1973
- 2) 鳥取城一：鉄道軌道に用いられるセメントアスファルトモルタル，アスファルト，Vo. 134，No. 171，1992
- 3) 羽賀修：スラブ軌道の現状と今後，あすふあるとにゅうざい，No. 135，pp. 11-14，1999
- 4) 栗田明：アスファルト乳剤を用いた地下構造物の免震材料について，あすふあるとにゅうざい，No. 135，pp. 15-17，1999
- 5) (社)日本アスファルト乳剤協会、技術委員会：マイクロサーフェシング技術マニュアルについて、あすふあるとにゅうざい、133号，pp. 3-8，1998
- 6) (社)土木学会：地震から地下構造物を守る、土木学会誌，vol. 83. no13. pp21-26，1998
- 7) 川武志，堅川孝生：セメント乳剤コンクリートの遮水壁への適用，あすふあるとにゅうざい，No78，pp. 4-14，1984.
- 8) 山口梅太郎・西松祐一：岩石力学入門，財団法人 東京大学出版会，pp. 196，1973
- 9) M.Nafi toksoz・David H.Johnston：Society of Exploration Geophysicists USA ,Tulsa,Oklahoma