

論文 セメント・アスファルト複合体の応力緩和特性に関する基礎的研究

大下仁至^{*1}・山本満男^{*2}・佐野修^{*3}・上田満^{*4}

要旨：セメント・アスファルト複合体（セメント、アスファルト乳剤、骨材の三成分よりなる混合物）の応力緩和試験を行うことにより、衝撃吸収材としての基本的物性を求めた。応力緩和試験は静的なものを基本とした上で、動的なものを弾性波速度を測定する共振法により行い、動弾性係数、Q値を求めた。その結果、CA複合体（以下ではセメント・アスファルト複合体をこのように称することにする）の応力緩和特性はC/E（セメントとアスファルト乳剤の質量比）、骨材量等に左右されることが明らかになった。

キーワード：CA複合体、C/E、応力緩和、動弾性係数、Q値

1. はじめに

アスファルトはひずみを与えた後、そのひずみを一定に保つと内部に発生した応力を吸収するという特性を持っている。このような特性は応力緩和現象と呼ばれ、アスファルトのような粘弾性物質が示す特有の性質である。しかしながら、アスファルトは感温性が高く温度上昇（50℃以上）によって半液状化するという問題点を持つ。そこで注目したのがCA複合体である。この材料は筆者等の数年来の研究により感温性が低く、C/E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を変化させることが出来る材料である。CA複合体は振動抑制・騒音低減材として、新幹線や地下鉄のスラブ軌道と基礎との間に設置使用されている。^{1)~3)} その他にもトンネルの裏込めに適用して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、諸条件の下で広範囲にわたって適用できる可能性を持っている材料である。⁴⁾ 本研究では混合タイプCA複合体の衝撃吸収効果に主眼を置き検討しようとするものである。静的応力緩和試験は円柱供試体に一定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り行った。本研究ではこの静的応力緩和試験の他に、供試

体中を伝わる弾性波速度測定により動弾性係数とQ値を求めた。静的応力以外に動的応力の考慮が必要と考え今回この動的応力緩和試験を行った。

2. 実験概要

2.1 静的な応力緩和試験

(1) 使用材料及び配合

CA複合体は基本的にはセメント、アスファルト乳剤、骨材の三成分より構成される。本研究では大別して骨材として砂のみを用いたCAモルタル（以下では複合体Aと称す）と、複合体全体積の50%を砕砂としたCAモルタル（以下では複合体Bと称す）について実験を行った。各複合

CA複合体	A	B
セメント	普通ポルトランドセメント	
アスファルト乳剤	蒸発残留分の針入度 60/80	
骨材	豊浦標準砂	砕砂、海砂

表-1 CA複合体の成分

*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 山口県都市計画課 下水道室 技師

*3 山口大学教授 工学部社会建設工学科

*4 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (正会員)

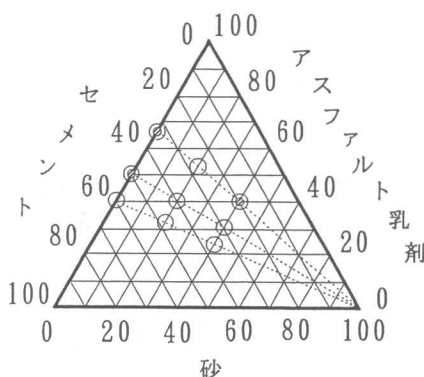


図-1 三角座標によるCA複合体の配合表

体の構成成分を表-1に示す。表中の成分の詳細は次のとおりである。普通ポルトランドセメントは比重：3.15, 粉末度：3280cm²/g, アスファルト乳剤はノニオン系のアスファルト乳剤（蒸発残留分針入度：60～80, 濃度：57.9%）, 海砂は比重：2.62, 粒径：0.6～0.074mm, 砕砂は比重：2.62, 粒径：5～0.6mmとした。複合体A及び複合体Bのうち砕砂を除いたモルタル部分の配合割合は図-1で示される格子点で決定した。図中の破線はCA複合体の物性に大きく影響を及ぼすC/Eの値が一定の配合を示しており, 上から順に0.5, 1.0, 1.5となる。

(2) 供試体の成形

攪拌器によりCA複合体の練り混ぜを行った。各配合比に計量したアスファルト乳剤, セメント, 骨材を混合した後, 型枠に打設し, 半硬化後セメントペースト（C：W=100：29）によりキャッピングを行った。この時の供試体寸法はΦ5×10cmの円柱供試体で, 打設後24時間は型枠のまま恒温槽（温度：20℃, 湿度：80%）において静置した後脱枠し, 恒温室（温度：20℃, 湿度：60%）にて27日間養生を行った。

(3) 実験全体像

本研究で採用した静的な応力緩和試験の実験方法のおおまかな流れを図-2に示す。まず, 一軸圧縮試験により供試体の圧縮強度及び供試体破壊時

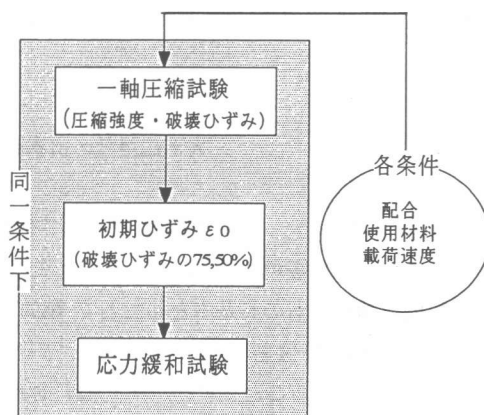


図-2 実験概要

のひずみ（以下では破壊ひずみと称す）を求める。そしてこの破壊ひずみ以下となるひずみ（本実験では破壊ひずみの75%と50%の2種類とした）が発生するまで一定のひずみ速度で載荷して, その後一定ひずみを保持し, 応力の変化を計測する。

(4) 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験は万能圧縮試験機（最大荷重30kN, ひずみ制御方式）を用い, 一定のひずみ速度（1%/min）の下で供試体が圧縮破壊を生じるまで載荷を行い, 得られた応力—ひずみ曲線のピーク時における応力を圧縮強度, ひずみを破壊ひずみとした。

(5) 応力緩和試験

応力緩和試験は一軸圧縮試験と同寸法の供試体で行い, 載荷も同じ試験機を用いて行った。一軸圧縮試験より求めた破壊ひずみの75%, 又は50%の値に達するまで載荷した後ひずみを固定して, 載荷開始から3時間の間, 時間経過にともなう応力の変化を測定した。応力の測定にはロードセルを, ひずみの測定にはダイヤルゲージ型変位計を用い, 圧縮試験機の供試体を載せる土台部分に軸をセットして行った。

2.1 動的な応力緩和試験

(1) 使用材料及び配合

使用材料は, 静的な応力緩和試験と同様のものを使用し, 配合はC/Eが0.5, 1.0の範囲内で砂の割合

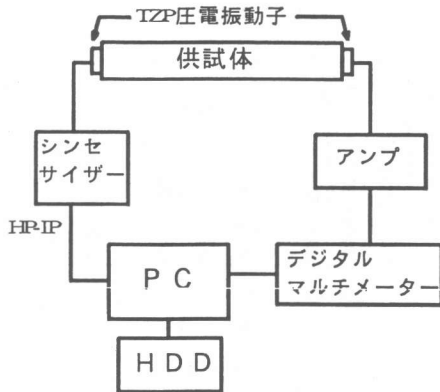


図-3 測定装置

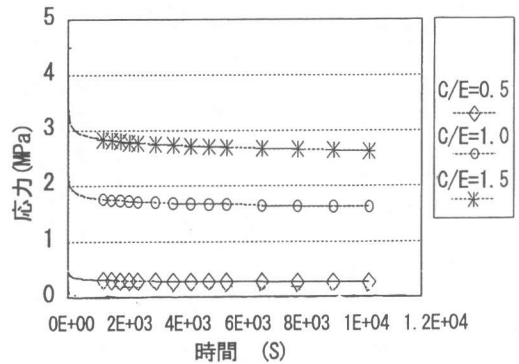


図-5 応力と時間

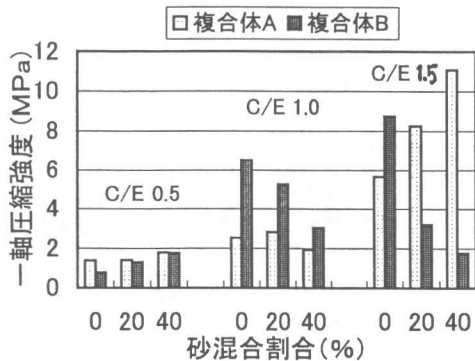


図-4 配合別一軸圧縮強度

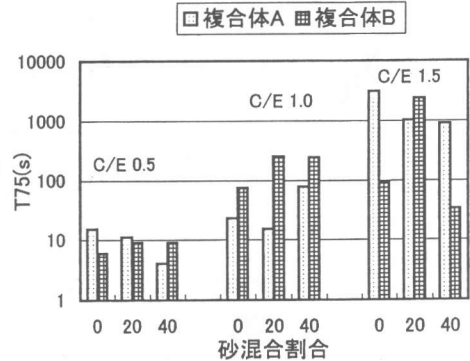


図-6 応力緩和時間 T_{75}

が0%と40%のものを複合体A,Bそれぞれについて作製した。

(2) 供試体の成形

静的な応力緩和試験と同様に自動ミキサーにより各配合比に計量した乳剤・セメント・骨材を混合後型枠(10×30×30cm)に打設する。24時間型枠のまま恒温槽に静置した後脱枠し、27日間恒温室において養生を行う。硬化した供試体からディスクグラインダにより1×1×10cmの供試体を切り取り、これを実験に使用した。

(3) 測定装置

測定には共振法を適用し、パーソナルコンピュータで測定装置を制御した。HP-IBインターフェースを介して接続されたシンセサイザーより周波数を変化させながら正弦波を出力し、供試体の両端に取り付けたPZT圧電振動子の一端に入力する。

供試体内部を応力波が伝播し他端のPZT圧電振動子で信号を受信し、受信された信号は差動増幅器により増幅され、デジタルマルチメーターに入力される。そこで実行値を読み取り、データをコンピュータに転送し、ハードディスクドライブに記録した。図-3に測定装置図を示す。

3. 実験結果及び考察

3.1 一軸圧縮試験

配合別の一軸圧縮強度分布を図-4に示す。図はC/Eが一定の各三配合(左から砂の混合割合が0,20,40%)のグループに分けて示した。複合体Aの場合、砂の混合割合による影響はC/Eが1.5の場合にのみ生じた。またC/Eの値が大になるにつれて一軸圧縮強度は増加する傾向にある。複合体BではC/Eの値が1.0以上の配合で、砂の配合割合が

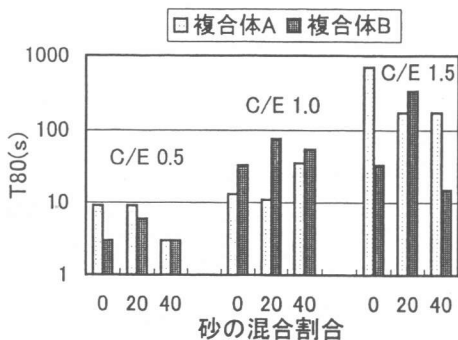


図-7 応力緩和時間 T_{80}

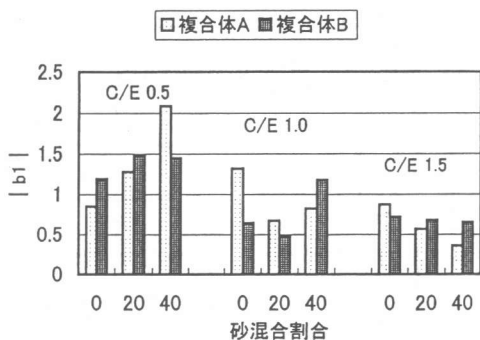


図-9 傾き b_1

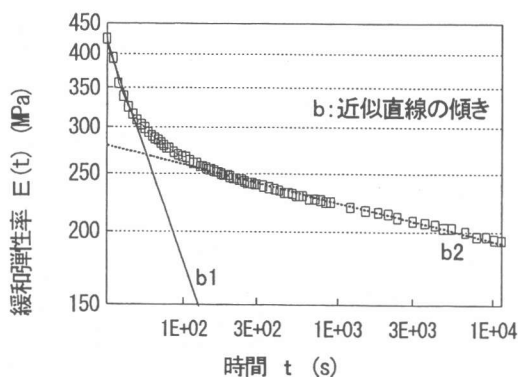


図-8 緩和弾性率と時間の関係

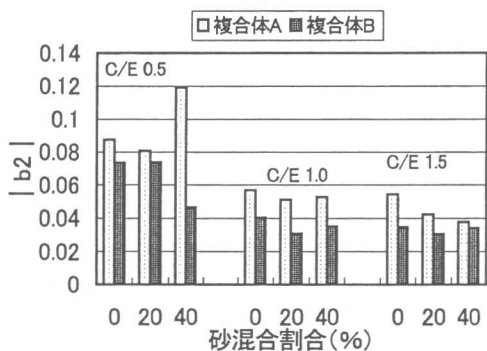


図-10 傾き b_2

増加すると圧縮強度が減少していることが読み取れる。これは、複合体Bの供試体体積の半分が砕砂であり、同配合の複合体Aと比べた場合、セメント量が少なくなっているため、砂混合割合が増加すると更にセメント量が減少することが原因として考えられる。

3.2 静的な応力緩和試験

(1) 緩和時間による考察

応力緩和試験から得られた応力と時間の関係を図-5に示す。この図から読み取れるようにCA複合体の応力の低減割合は応力緩和初期に大きく、時間経過が進むにつれ、ある一定の応力に収束する傾向が見られる。また収束過程はC/Eにより異なっていることが分かる。このことをより明確に判断するための指標として T_{80} , T_{75} を定義した。この値はひずみを拘束した瞬間から、応力が最高値の80%, 75%まで減少するのに要する時間で

ある。図-6, 図-7に T_{75} , T_{80} の値をそれぞれ配合別に示す。これらの図より本研究の配合範囲内ではC/Eが小さいものほど短時間に応力が減少するといえる。

(2) 緩和弾性率による考察

粘弾性体には材料の応力緩和特性を顕著に示すことが出来る物理常数として、次式のように定義される緩和弾性率が一般的によく用いられる。

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} \quad (1)$$

$E(t)$: 緩和弾性率

$\sigma(t)$: 緩和応力

ε_0 : 初期ひずみ

図-8に(1)の式より求められる緩和弾性率と経過時間との関係の一例を両対数目盛にて示す。この図を見てみると、緩和弾性率の低減は応力緩和初期において急激であり、その後ある一定の

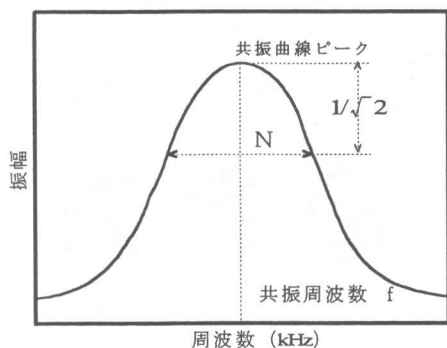


図-1 1 共振曲線

勾配にて低下する傾向があると考えられる。そこで同図のように、応力緩和初期過程と 2×10^2 (sec)以上の一定勾配となる部分の2本の包絡線として代表させ、直線近似により b_1 , b_2 を定義した。 b_1 の値を図-9に、 b_2 の値を図-10にそれぞれ配合別に示した。これらの図より本研究の配合範囲内では、 C/E の値が小さいほど傾き b_1 , b_2 の値は大きいことが読み取れ、緩和弾性率の低減割合が大きいということが伺える。

3.3 動的な応力緩和試験

(1)共振法

今回本研究で適用した試験方法は、一般的に岩石等の弾性波速度の測定に使用されている方法である。共振法と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、1次共振周波数を求める方法である。そしてこの求めた1次共振周波数より、供試体中を伝わる音速度、弾性係数、 Q 値を求めることが出来るものである。またこの時の弾性係数は、静的圧縮試験により求められる静弾性係数に対して、動弾性係数と呼ばれる。動弾性係数 E_D を求める式を次に示す。

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

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

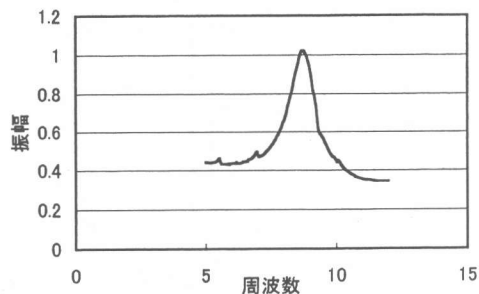


図-1 2 共振曲線(33, 37, 0 -B)

$$D = 0.00408 \frac{L}{bt} \quad (3)$$

L : 供試体長 (cm)

b, t : 直方体供試体の断面の辺長 (cm)

(2)共振曲線

共振曲線とは共振法によって与えられる曲線であり、一定の振幅の振動を供試体に加えた時、供試体の振動の振幅を周波数に対してプロットして作られる曲線である。この概略図を図-1 1に示す。

(3) Q 値

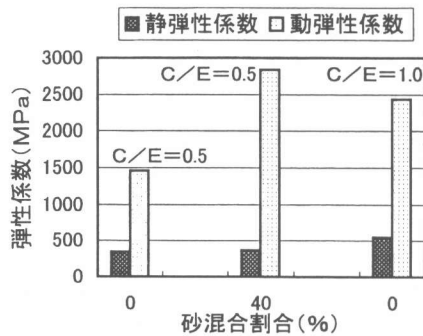
Q 値は無次元量であり、本研究で用いた周波数の範囲において、周波数と無関係であると言われている。また Q 値は弾性波の減衰を表すパラメータとして用いられている。この Q 値の逆数の値 Q^{-1} は物体の内部抵抗の大きさを表すパラメータであり、内部摩擦と呼ばれるものである。つまり Q^{-1} の値が大きいほど内部摩擦が大きいと考えられる。ただし Q 値が8より低と材料として扱い難いとされている。⁶⁾この Q 値は共振曲線より求めることが出来る。以下に Q 値の定義式を示す。

$$Q = \frac{f}{N} \quad (4)$$

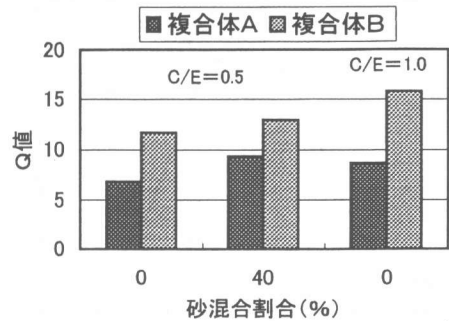
f, N はそれぞれ図-1 1中に示した値であり、 f は共振周波数、 N は共振曲線ピーク値の $1/\sqrt{2}$ の値を結ぶ周波数幅である。

(4)実験結果及び考察

実験により得られた共振曲線の一例を図-1 2



図—1 3 弾性係数の比較



図—1 4 Q 値

に示す。これはC/Eが0.5,砂の混合割合が0%である複合体Bの共振曲線である。図—1 3にC/Eが0.5で砂の混合割合が0%と40%,C/Eが1.0で砂の混合割合が0%である複合体Aの供試体の静弾性係数と動弾性係数の値を示した。この図より動弾性係数は静弾性係数の3~6倍程度となることが読み取れる。C/Eが0.5で砂の混合割合が0%と40%,C/Eが1.0で砂の混合割合が0%である配合の複合体A,BのQ値の値を図—1 4に示した。この図から分かるように本研究の配合範囲内では,Q値は砕砂の入っている複合体Bの方が複合体Aの場合より40%以上大となることが分かる。岩石のQ値はその種類によってもかなりの差はあるが,小さいものでも45程度といわれており⁵⁾,本研究で用いたCA複合体のQ値は最大でも15程度で,岩石に比べれば小さいといえよう。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた結果をまとめると以下になる。

- 1) 静的な応力緩和試験における緩和時間 T_{80} , T_{75} 及び,緩和弾性率と経過時間より求まる b_1 , b_2 の測定結果より,本研究の配合範囲内ではC/Eが小さいものほど応力緩和特性が顕著であった。
- 2) 共振法により,動弾性係数を求め,静弾性係数と比較した結果,動弾性係数の値は静弾性係数の値の3~6倍であった。

- 3) 同配合においては,砕砂を含む複合体Bの方が複合体AのQ値より40%以上大きな値をとった。しかし複合体AのC/E=0.5,砂混合割合0%の配合では,Q値が8より低い値を示しておりこの配合であると材料としては使いにくいものと考えられる。
- 4) 本研究で用いた配合の複合体の場合,Q値は最大でも15程度であった。

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, あすふぁるとにゅうざい, 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, あすふぁるとにゅうざい, No. 135, pp. 15-17, 1999
- 5) 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
- 6) M.Nafi toksoz・David H.Johnston: Society of Exploration Geophysicists USA, Tulsa, Oklahoma