

論文 セメントアスファルト乳剤複合体の応力緩和特性

木地稔^{*1}・上田満^{*2}・濱田純夫^{*3}

要旨：衝撃吸収材としてセメントアスファルト乳剤複合体（セメント、アスファルト乳剤、砂の三成分よりなる混合物）を適用する目的で、その基本的な物性を把握するためセメントアスファルト乳剤複合体の応力緩和試験を行った。その結果、時間経過に伴う応力の緩和はC/E（セメントとアスファルト乳剤の質量比）や載荷過程のひずみ速度に影響されること等が明らかになった。

キーワード： C/E，CA複合体，ひずみ速度，応力緩和，緩和弾性率

1. はじめに

アスファルト混合物はアスファルトの持つ粘弾的な特性すなわち応力緩和特性によって衝撃吸収材として有効であるとされているが、感温性が高く温度の上昇（50℃以上）によって半液化化するという問題点を有する。セメントアスファルト乳剤複合体（以下CA複合体と称す）は筆者等の数年来の研究により、一般的なアスファルト混合物に比べ感温性が低く、また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その力学的な特性を変化させることができる^{1)～6)}。そこで本研究ではCA複合体について配合・実験条件（載荷過程におけるひずみ速度の相違）を変化させた場合の一軸載荷による応力緩和試験を行い、それらを比較することにより衝撃吸収効果の要因となる応力緩和特性について考察し、CA複合体における衝撃吸収材としての基本的な物性を把握することを試みた。また応力緩和特性を顕著に表現できる物理常数である緩和弾性率を用い、種々の実験条件、配合条件が緩和弾性率に与える影響についても検討した。CA複合体の応力緩和特性を基本的に求めることにより、将来的には地震対策用複合材としての見通しも得られるものと思われる。

2. 実験概要

2.1 実験全体像

本研究で採用した実験方法の全体的な流れを簡単に報告する。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のひずみ（以下では破壊ひずみと称す）を求める。この破壊ひずみ以下となるひずみが発生するまで一定ひずみ速度で載荷し、その後一定ひずみを保持する。一定ひずみ速度で載荷する過程を載荷過程、一定ひずみに保つ過程を応力緩和過程とした。この一連の実験を1つの条件毎に行い、それらの結果を比較することで基本的な応力緩和特性を求めた。なお各試験方法の詳細は以下の項で示す。

2.2 使用材料及び配合

使用材料は普通ポルトランドセメント（比重：3.15，粉末度：3280cm²/g），ノニオン系のアスファルト乳剤（YON乳剤，濃度：57.9%，蒸発残留分の針入度（25℃）：211），豊浦標準砂（比重：2.63）の三成分を用い、配合は図-1に示す三角座標の格子点上12配合とした。以下ではセメント，アスファルト乳剤，砂の質量配合比が6：4：0のCA複合体は配合640等と示す。

*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山口大学助教授 工学部社会建設工学科（正会員）

*3山口大学教授 工学部社会建設工学科，Ph.D（正会員）

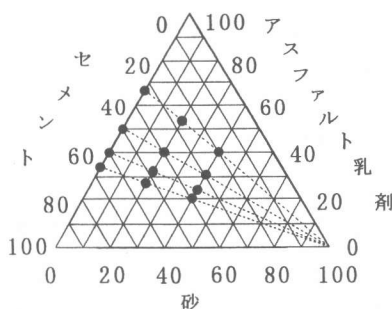


図-1 三角座標による配合

2.3 CA複合体の練混ぜ及び供試体の成形

セメント、アスファルト乳剤、砂の配合比に見合った重量の材料各々を用意し、まずアスファルト乳剤を金属製鉢に入れミキサー（練り混ぜ機）を始動させパドルを回転させながらセメント、砂をこの順に加える。120秒後間練混ぜた後一旦停止し、鉢及びパドルに付着した混合物を剥離させ、再度ミキサーによる練混ぜを60秒間行う。以上の行程で得られたCA複合体を2層に分けて円柱型枠に流し込み、流動性のある複合体（C/Eが1.0以下）はテントンによる振動を、それ以外のものは突き棒による突き固めを各50回施す。加圧面の整形ができないもの（C/Eが1.0以下）は硬化後にセメントペースト（C:W=100:29）によるキャッピングを行う。

ただし以上の作業は、温度20℃の恒温室にて行ったものである。

2.4 一軸圧縮試験

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%）に静置し、脱枠後は恒温室（温度：20℃，湿度：60%）にて27日間養生を行った。試験は万能圧縮試験機（最大荷重3 tf，ひずみ制御方式）を用い、ひずみ速度1，3，5 mm/minの各速度について、ひずみ速度一定の下で圧縮破壊が生じるまで載荷試験を行い、圧縮強度及び破壊ひずみを測定した。図-2に示したものが一軸圧縮試験で得られた応力ひずみ曲線の一例であり、このピーク時における応力とひずみを圧縮強度、

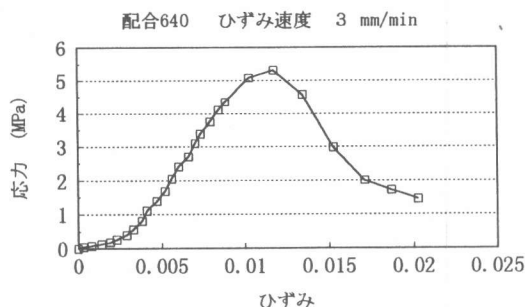


図-2 応力ひずみ曲線（一軸圧縮試験）

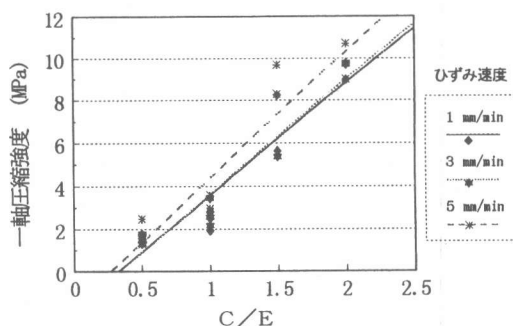


図-3 一軸圧縮試験結果

破壊ひずみとした。ただしこれらのデータは誤差を抑えるため配合・実験条件の等しい3個の一軸試験結果の平均値を採用することとした。

一軸圧縮試験の結果として、圧縮強度とC/Eの関係をひずみ速度別に並べ直線回帰したものを、図-3に示す。これに示されるように圧縮強度とC/Eは正比例の関係にあり、ひずみ速度が速くなるにつれ圧縮強度も若干上昇することが伺える。

2.5 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。各々のひずみ速度について一軸圧縮試験より求めた初期ひずみ（本実験ではこのひずみを破壊ひずみの75%，50%，25%の3種とした。）に達するまで一定のひずみ速度で載荷した後ひずみを拘束し、載荷開始より3時間にわたって時間経過に伴う応力の変化を測定した。応力の測定にはロードセルを用い、ひずみの測定は変位計を用いた。なお一軸圧縮試験、応力緩和試験ともに

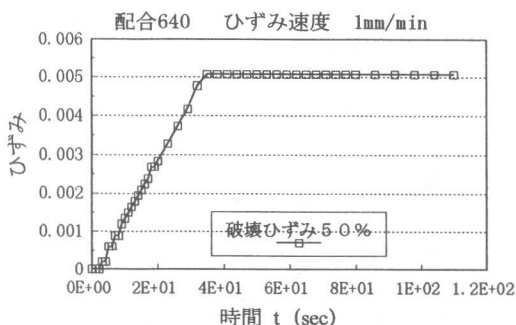


図-4 荷重過程（時間とひずみの関係）

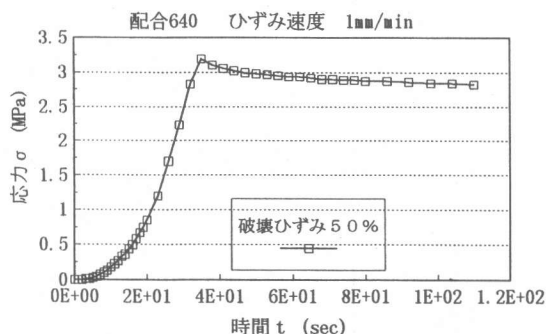


図-5 荷重過程（時間と応力の関係）

室温20℃の下で行った。

3. 実験結果

3.1 応力緩和試験

応力緩和試験結果の全体像を明確にさせる為、代表的な例として、配合640のCA複合体の応力緩和試験結果を図-4、図-5に示した。両図は荷重過程のひずみ速度は1mm/min、最終ひずみ（初期ひずみ）は破壊ひずみの50%保持の場合である。図-4は荷重時間とひずみの関係を、図-5は荷重時間と応力の関係を示す。図-4より、ひずみの時間経過にともなう増加過程は予期したものとなっている。図-5の応力変化も比較的なめらかな経過をたどり、一定ひずみに保持する際の変化もなめらかである。以後では実験結果の考察にあたって、ひずみが最大値に達するまでの過程を荷重過程、一定ひずみに保持する過程を応力緩和過程と称することにする。また、荷重過程の一定ひずみ速度をひずみ速度、応力緩和過程にて一定ひずみに保持するひずみ

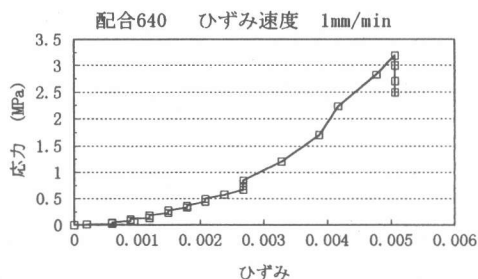


図-6 応力ひずみ曲線（応力緩和試験）

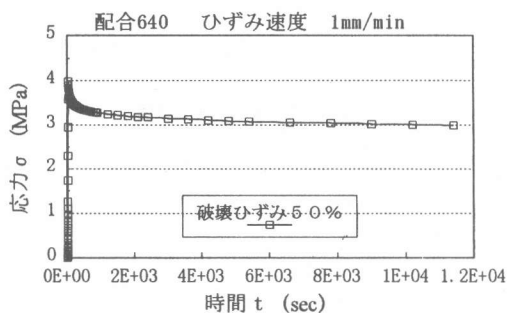


図-7 応力緩和過程（時間と応力の関係）

を破壊ひずみ50%等と称す。なお、これら両図の関係を応力ひずみ曲線にて示すと図-6となる。

3.2 荷重過程

図-4、図-5より一定ひずみ速度で荷重した場合、CA複合体では荷重初期にはひずみの増加量と比較して応力の増加が小さい。ひずみが大となるに従って応力も増大するが、その上昇曲線は下に凸の放物線的な曲線となる。

3.3 応力緩和過程

図-5の応力緩和過程より一定ひずみに保持された瞬間より応力はしだいに減少することが推測される。応力緩和過程の3時間について、図-5を拡張したものを図-7に示す。応力の減少は緩和初期には大であるが、時間経過の増大にともなう、ある一定応力に収束するものと思われる。応力が収束する過程はCA複合体の配合等によって異なり、これらについては以下の考察等にて述べることにする。

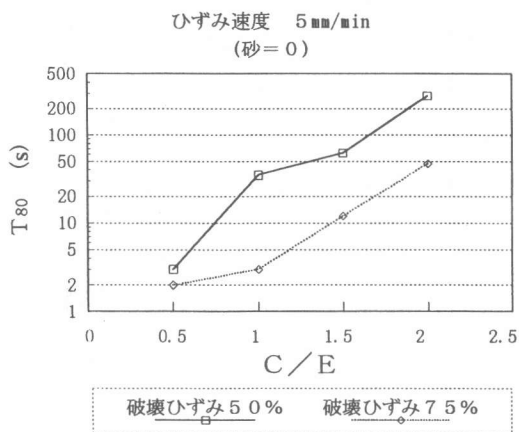


図-8 C/Eと T_{80} の関係

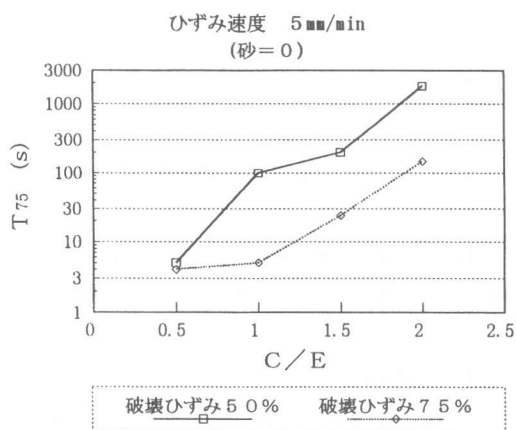


図-9 C/Eと T_{75} の関係

4. 考察

応力緩和特性を実験条件、配合等をふまえて考察する。すなわち応力緩和時間、載荷過程に於けるひずみ速度、CA複合体の配合に関するC/Eについて、それらが応力緩和に及ぼす影響について以下に列挙する。

4.1 応力減少と経過時間、C/Eの関係

供試体に一定ひずみ速度で載荷し破壊ひずみの50%、または75%ひずみにそれぞれ達した時に載荷を中止する。載荷を中止した時のひずみを堅持した状態で応力が最高値の80%、75%まで減少するに要する時間を T_{80} 、 T_{75} とする。これら T_{80} 、 T_{75} とC/Eの関係を図-8、図-9に示す。両図はともに砂の配合割合が0%のCA複合体につ

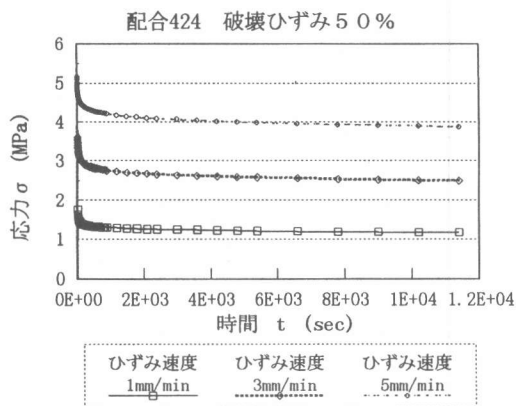


図-10 ひずみ速度の影響(1)

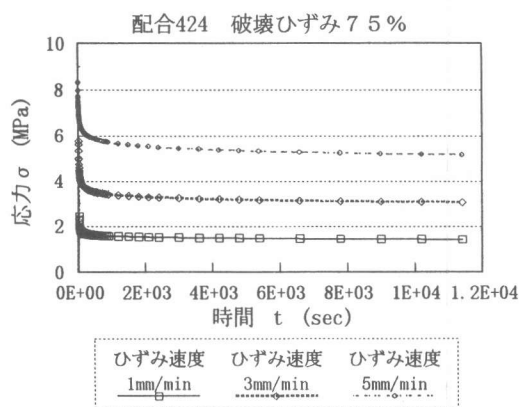


図-11 ひずみ速度の影響(2)

いて、破壊ひずみの50%、75%ひずみに保持した場合の2曲線にて示した。縦軸の T_{80} 、 T_{75} は対数目盛にて示している。これらの図は、 T_{80} 、 T_{75} はC/Eが大になるに従って大となり、応力緩和に要する時間が長くなることを示す。

4.2 ひずみ速度が応力緩和に与える影響

図-10、図-11に配合424のCA複合体について、ひずみ速度別の応力緩和特性を示した。両図はそれぞれ破壊ひずみの50%、75%に保持した場合について示した。応力の最高値はひずみ速度の上昇に伴って大となる。また応力緩和傾向はひずみ速度の早い場合に幾分大きい。このことは載荷速度が低い場合、その載荷過程にて応力緩和を生じることを示すものと思われる。

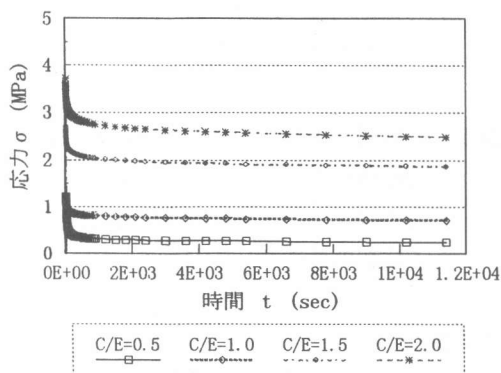


図-1 2 C/Eによる影響（破壊ひずみ50%）

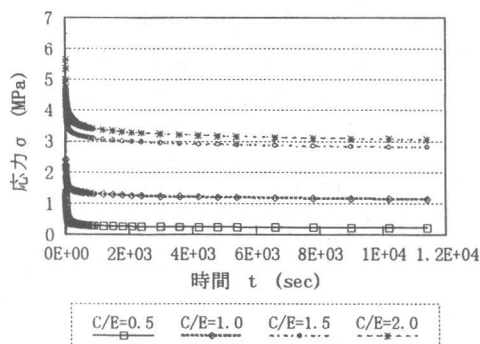


図-1 3 C/Eによる影響（破壊ひずみ75%）

4.3 C/Eが応力緩和に与える影響

砂の混合割合が40%のCA複合体について、C/E別の応力緩和特性を図-1 2、図-1 3に示す。図-1 2は保持したひずみが破壊ひずみの50%、図-1 3は同様に75%の場合について示した。応力の最高値はC/Eが大になるに従って大になる。また緩和応力の絶対値もC/Eの増加に伴って大となることが読みとれる。一定応力に収束する時間はC/Eが小さいほど短いことも両図より明らかである。また応力が最高応力値の50%まで低下する時間 T_{50} はC/Eが0.5の場合3時間以内であるが、C/Eが1.0以上のCA複合体では3時間以上となることが両図より推定できる。

5. 緩和弾性率について

材料の応力緩和特性を顕著に表現できる物理常数として粘弾性体には緩和弾性率が一般的に

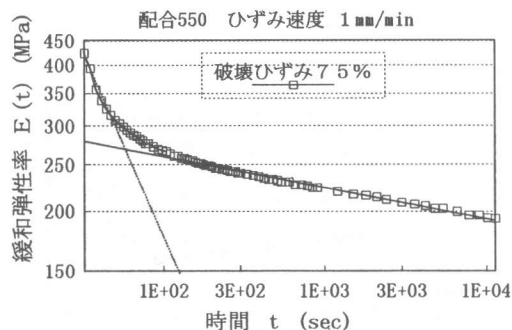


図-1 4 経過時間と緩和弾性率の関係

よく用いられる。緩和弾性率は次式のように定義される。

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

$E(t)$: 緩和弾性率

$\sigma(t)$: 緩和応力

ε_0 : 一定ひずみ

緩和弾性率を用いることによって加えたひずみの大きさ等に影響されない材料特性が表現できるものと思われる。応力緩和過程にて緩和弾性率を時間の関数として求め、C/E等との関係を検討する。緩和弾性率と経過時間との関係の一例を図-1 4に示す。同図には緩和弾性率、時間ともに対数目盛にて示した。緩和弾性率の低減は载荷初期には急で、その後ある一定勾配にて低下する傾向が存在する。従って载荷時間が 1×10^2 (sec)以内とそれ以上の場合の2本の包絡線として代表させる。载荷時間が 1×10^2 (sec)以上の場合について $\log E(t)$ 、 $\log t$ の関係を直線で近似し、その直線の方程式を

$$\log E(t) = a - b \log t \quad (2)$$

とする。但し a 、 b は回帰によって求められる常数である。この近似にて得られた直線回帰の相関係数はすべての観測結果に対して0.85以上となり相関性はよいものと思われる。応力緩和特性を代表するパラメーターの一つに式(2)に於

ひずみ速度 3 mm/min (破壊ひずみ 7.5%)
砂 = 0

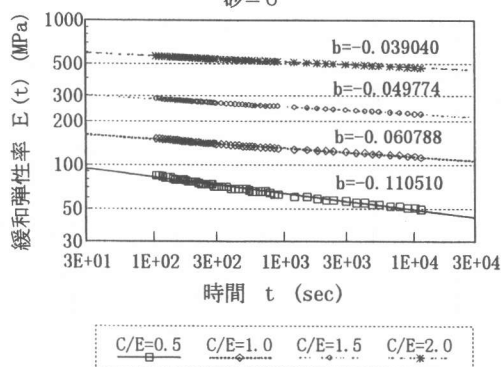


図-15 緩和弾性率とC/Eの関係

ける傾き b があげられる。緩和弾性率と C/E の関係を示した図-15において、回帰直線の傾き b の絶対値は C/E が大となるに従って小さい値を示し、 C/E が2.0のCA複合体では、 C/E が0.5の1/3程度となる。また载荷後 $10^2 \sim 10^4$ (sec)間の平均の弾性率は C/E が2.0では500 (MPa)、 C/E が0.5では700 (MPa)で、これらの値はそれぞれ载荷過程に於ける弾性率の75%、42%程度である。従って最終的な応力緩和は C/E による影響が大であることが明らかとなる。また(2)式より

$$E(t) = A_0 \cdot 10^{-b \log t} \quad (3)$$

となり、緩和弾性率はクリープコンプライアンスの逆数としての特性を持つことが推定される。载荷時間が 1×10^2 (sec)以内における $\log E(t)$ 、 $\log t$ 平面に投影した観測データの傾き包絡線に関して、また別の機会に報告したい。

6. 結論

本研究の範囲内で得られたCA複合体の応力緩和特性をまとめると以下ようになる。

- 1) 応力の減少は応力緩和初期に大で応力は時間経過の増大に伴って一定応力に収束する。
- 2) 時間経過に伴う応力の減少割合は C/E が小さいほど大きい。
- 3) 3時間程度の応力緩和過程に於いては最終的に緩和弾性率は時間の関数として

$$E(t) = A_0 \cdot 10^{-b \log t}$$

という式にて表現できる。

[謝辞] 本研究の遂行において材料の提供及び御指導を頂いたニチレキ(株)、住友大阪セメント(株)の関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 秋山憲二・上田満・浜田純夫：セメントアスファルト乳剤複合体の鋼床版舗装への適用，コンクリート工学年次論文報告集第17巻第1号，pp. 1255-1260，1995
- 2) 菊田一寿，上田満，浜田純夫：セメントアスファルト乳剤複合体の短期クリープ特性，コンクリート工学年次論文報告集第19巻第1号，pp. 764-769，1997
- 3) 佐々木慎吾，上田満，浜田純夫，村田秀一：セメントアスファルト乳剤複合体の三軸圧縮試験による実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集第19巻第1号，pp. 542-547，1997
- 4) 田村文男・上田満・濱田純夫・黒川卓郎：セメントアスファルト乳剤複合体のクリープ特性，コンクリート工学年次論文報告集第18巻，第1号，pp. 693-698，1996
- 5) 菊田一寿・上田満・濱田純夫：CA複合体の温度依存性を考慮した短期クリープ特性，土木学会中国支部第49回研究発表会発表概要集，pp. 565-566，1997
- 6) 菊田一寿・上田満・濱田純夫：温度依存性を考慮したCA複合体及びアスコンの短期クリープ特性，土木学会第52回年次学術講演会講演概要集，pp. 16-17，1997