

論文 セメントアスファルト乳剤複合体の応力緩和特性に関する基礎的研究

木地稔*¹・上田満*²・山本孝洋*³・安藤豊*⁴

要旨: 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)と骨材を混合した材料について, 衝撃吸収材または免震材としての適用を検討するため, 応力緩和試験をはじめとするいくつかの実験を行い諸物性を求めた。また, 比較材料として加熱混合アスファルトコンクリート及びセメントモルタルに対しても応力緩和試験を行い結果の比較等を行った。その結果, 本材料における応力の低減割合はC/E(セメントとアスファルト乳剤の質量比)に大きく影響されること等が明らかになった。

キーワード: CA複合体, C/E, 応力緩和, 緩和弾性率, 免震材

1. はじめに

兵庫県南部地震における甚大な被害から, 建造物の耐震性を向上させる技術がより重要とされるようになった。耐震性を向上させる手法の一つとして, 建造物と地盤との間に免震材を設置する手法が挙げられる。アスファルト混合物はアスファルトの持つ粘弾性的な特性によって, 衝撃吸収材や免震層材料として有効であるとされる。筆者等が研究を行っているセメントアスファルト乳剤複合体(以下ではCA複合体と称す)は, 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ため^{1)~7)}, 幅広い適用範囲を持つことが期待される。

そこで本研究ではCA複合体を免震材あるいは衝撃吸収材として適用することを想定し, 従来のCA複合体に砕砂を体積割合で50%加えた混合物についての応力緩和試験を行うとともに, 地下建造物に対する適用も考慮に入れ砕石間にCA複合体を注入・浸透させた材料についても実験を行った。以下ではその作製方法に基づき,

前者を混合式CA, 後者を浸透式CAと称すこととする。さらに加熱混合アスファルトコンクリート(以下ではアスコンと称す)及びセメントモルタルを比較材料として取り上げ, 同様の実験を行った結果についても報告したい。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。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

混合式CA・浸透式CAいずれにおいても, CA複合体に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°C): 211), 海砂(骨材最大寸法: 0.6mm, 比重: 2.62)の三成分を用いた。配合は図-1に示す三角座標に示されるように, 混合式CAでは粘弾性領域内の格子点上12配合とし, 浸透式CAでは注入可能な領域内でなければならないことを考慮し, 図示された6配合を選択した。さらに混合式CAでは混合用粗骨材として砕砂(粒径: 5~0.6mm, 比重

*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ニチレキ(株) 技術研究所

*4住友大阪セメント(株)

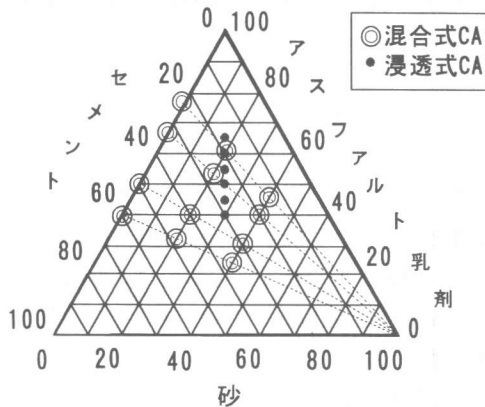


図-1 三角座標による CA 複合体配合表

: 2.60)を体積割合で50%加え、浸透式CAでは粗骨材として2種の砕石(粒径:13~5mm及び20~5mm)を用いた。

また、セメントモルタルは普通ポルトランドセメント、豊浦標準砂(比重:2.62)、水を質量比でセメント1、標準砂2、水セメント比0.65となる配合とし、アスコンの使用材料及び配合は表-1に示す通りである。

2.2 供試体の成形

CA複合体の練混ぜ方法の詳細については、主に骨材との混合方法及び混合式CAと浸透式CAの相異点、及びアスコン、セメントモルタルに関する記述に留めることにする。

2.2.1 混合式CA供試体

ミキサーによるCA複合体の練混ぜ過程において、乳剤・セメント・海砂を各配合比に従って混入した後、上述の砕砂を体積比で50%加え混合して型枠に打設し、半硬化後セメントペースト(C:W=100:29)によるキャッピングを行った。このときの供試体寸法は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。

表-1 アスコン配合表

材料 (粒径:mm)	ストレート アスファルト	砕石 (13 ~5)	砕砂 (5 ~0.6)	海砂	フィルター (0.074 以下)
重量百分率 (%)	6	35	41	18	6

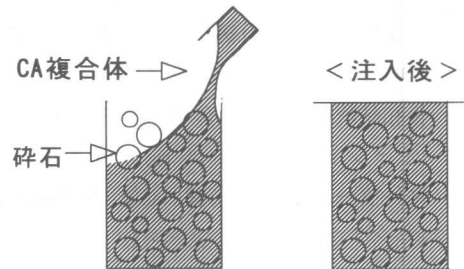


図-2 供試体作製方法(浸透式CA)

2.2.2 浸透式CA供試体

図-2に示すように、供試体の作製は型枠中に砕石のみをあらかじめ充填しておき、そこへ各配合にて混合したCA複合体を流し込んで作製した。なお混合式と同様にキャッピングを行った。その結果、砕石間に注入可能な配合は砕石粒径13~5mmではC/Eが0.5までの4配合、砕石粒径20~5mmではC/Eが0.61までの5配合であったため、以下ではこの配合にて実験を行った。円柱供試体寸法はΦ10×20cmであり、試験に供するための養生期間は3日、7日、14日、28日間の4種とした。

2.2.3 比較材料供試体

アスコンの供試体寸法はΦ5×5cmの円柱形とし、セメントモルタルについては混合式CA複合体と同寸法とした。なお養生はCA複合体と同じ条件下で、28日間養生を行った。

2.3 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。

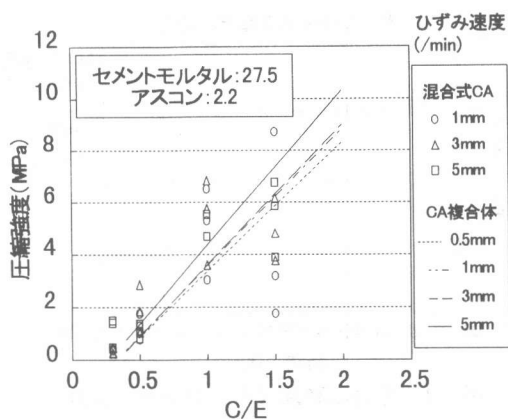


図-3 圧縮強度とC/E (混合式CA)

この時の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呼ぶことにする。以上の一連の実験を各種条件毎に行い、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るために、温度、湿度、試験機といった外的条件は同一とした。

2.4 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験は万能圧縮試験機（最大荷重3tf、ひずみ制御方式）を用い、ひずみ速度一定の下で圧縮破壊が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とひずみを圧縮強度、破壊ひずみとした。混合式ではこの時の一定ひずみ速度を1, 3, 5 mm/minの3種とし、浸透式では5mm/minについてのみ実験を行った。

また、地下構造物用への適用を検討する場合においてはポアソン比等が重要であるため、浸透式CAについては本試験より得られた縦ひずみと横ひずみの関係からこれを求めた。

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破壊ひずみの75%、又は50%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

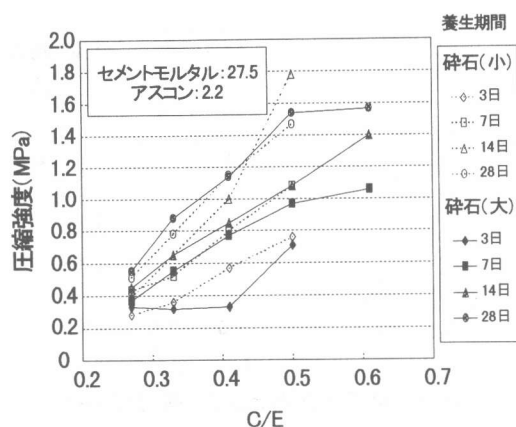


図-4 圧縮強度とC/E (浸透式CA)

セルを、ひずみの測定は変位計を用いた。

3. 実験結果及び考察

3.1 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験の結果として、混合式CAにおける圧縮強度とC/Eの関係を、図-3に示す。図中にて破線・実線にて示されたものは、過去に得られた乳剤、セメント、標準砂からなるCA複合体の圧縮強度分布の平均値である。この図より、混合式CAの圧縮強度はC/Eが増大するにつれて増加する傾向がみられるが、C/Eが1.0~1.5の間では値にばらつきがみられ、砂の配合割合が増えるに従い圧縮強度が減少するものが存在した。この原因は標準砂に比べ海砂はその比表面積が大となることによるものと思われる。浸透式CAにおける圧縮強度は混合式CAに比べ非常に小さい範囲に分布しているため、これを図-4にて示した。この図から、浸透式CAでは温度20℃にてはアスコンよりも小さな圧縮強度を示し、碎石の粒径に関わらずC/Eが大になるにつれ、また養生期間が長くなるに従って圧縮強度は増加することがうかがえる。

図-5は、浸透式CAにおけるポアソン比とC/Eの関係を養生期間別に図示したものである。この図から、ポアソン比はC/Eや養生期間に関係なく0.3~0.45付近のほぼ一定の値をとるといえよう。

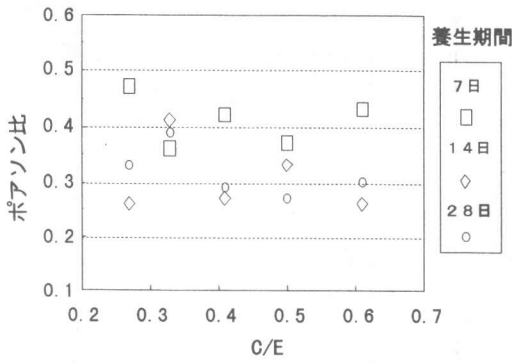


図-5 ポアソン比とC/E (浸透式CA)

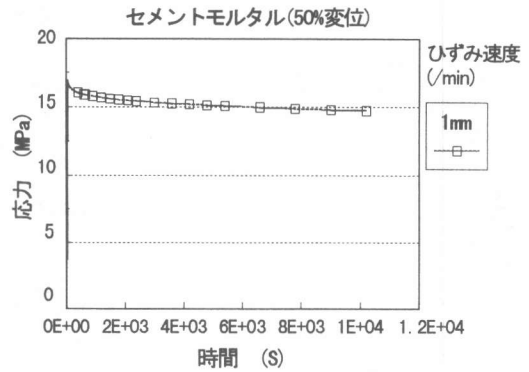


図-7 応力と時間 (セメントモルタル)

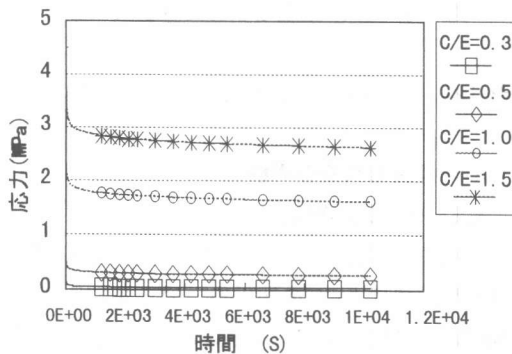


図-6 応力と時間 (混合式CA)

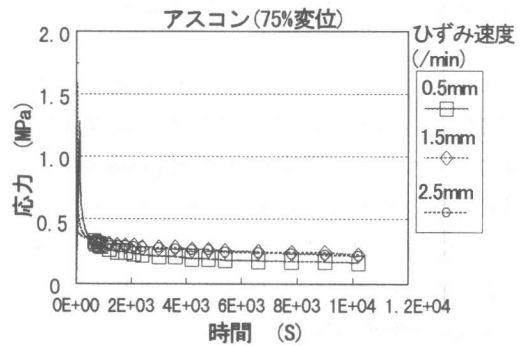


図-8 応力と時間 (アスコン)

3.2 応力緩和試験

3.2.1 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との関係の一例を、図-6に示す。この図にみられるように、CA複合体の応力の低減傾向は応力緩和過程初期に急激で、時間経過の増大ともなっている一定応力に収束する傾向が存在するが、C/Eの値によってその収束過程には相異が見られる。また、図-7、図-8に示すようなセメントモルタル、アスコンにおける応力緩和過程との相違も明らかである。なお図中の「50%変位」とは、破壊ひずみの50%に達するまで荷重を行ったことを示す。セメントモルタルについては、図-7からも明らかなように応力の緩和はほとんどみられず、3時間経過後においても、応力の減少割合は15%にも満たなかった。それとは逆に、アスコンではひずみ拘束後数秒から数十秒のうちに50%以下の応力値まで減少した。

このことをより明確に判断するための指標として、それぞれ応力がある値まで低減するのに要する時間に注目した。CA複合体については、ひずみを拘束した状態で応力が最高値の80%、75%まで減少するのに要する時間をそれぞれ T_{80} 、 T_{75} とし、C/Eとの関係として図-9、図-10に示した。ただし、時間軸は対数目盛にて示した。この両図から、混合式CAでは図中の近似直線に表されるように、C/Eが小さいものほど応力緩和に要する時間が短く、応力緩和特性が顕著であるといえる。また、荷重過程の一定ひずみ速度が速いほど、緩和時間は小さくなるという傾向が見られた。浸透式CAでは、C/Eが小さい範囲に限られているため T_{80} 、 T_{75} による明瞭な傾向は見受けられなかったが、C/Eの等しい混合式CAと同程度の、約5秒という値を示した。

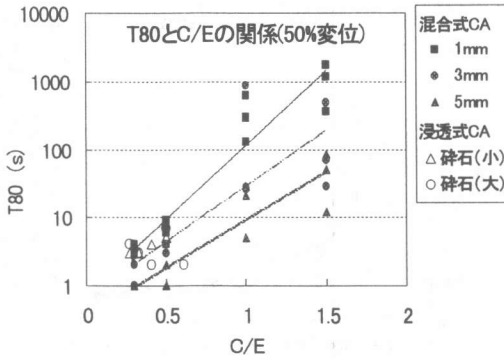


図-9 T80 と C/E

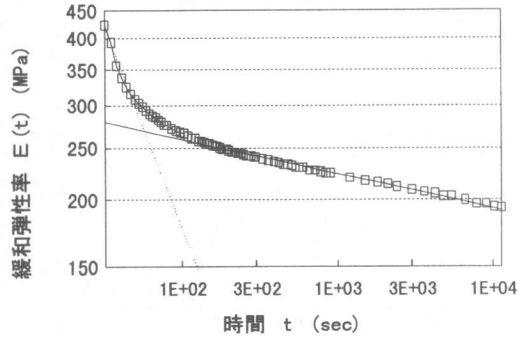


図-11 緩和弾性率と時間

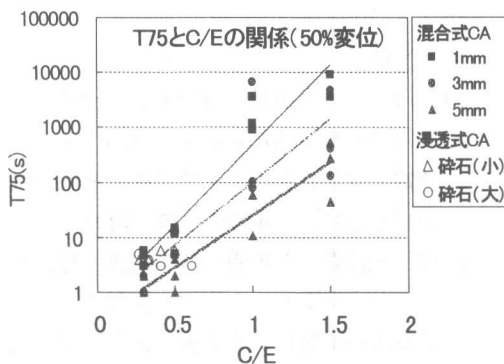


図-10 T75 と C/E

3.2.2 緩和弾性率による考察

前項では単純に応力の変化に注目したが、粘弾性体には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、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

この式からも明らかなように、緩和弾性率を用いることによって初期ひずみの大きさ等に影響されない、より正確な材料特性が表現できるとされる。この緩和弾性率と経過時間との関係の一例を図-11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。この図より、緩和弾性率の低減は応力緩和過程初期において急激で、その後ある一定勾配にて低下する

傾向が存在すると考えられる。従ってこれを応力緩和過程初期と、一定勾配となる 2×10^2 (sec) 以上の場合の2本の包絡線として代表させ、図中に示すようにそれぞれについて $\log E(t)$, $\log t$ の関係を直線で近似した。これらの近似直線には次の方程式が成り立つ。

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

但し a , b は回帰によって求められる常数である。また(2)式より

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

という時間の関数としての式が得られる。この緩和弾性率の低減傾向を判断する材料として、近似直線の傾きを比較することが考えられる。そこで前述した応力緩和過程初期および勾配一定における近似直線の傾きを、それぞれ b_1 , b_2 として、それらの絶対値と C/E の関係を図-12、図-13に図示した。両図から、混合式 CA においては、 C/E が 1.0 以下の範囲では b_1 , b_2 いずれにおいても C/E が小さいものほど傾きの絶対値が大となることがうかがえ、応力緩和特性が顕著であるといえる。しかし、 C/E が 1.0 より大の場合、その値はほぼ一定となった。浸透式 CA では C/E の大小による変化は殆ど見られなかったが、 C/E の等しい混合式 CA と同程度の値を示した。従って、混合式 CA と浸透式 CA は等しい C/E においては同じような応力緩和特性を持つといえる。

また、セメントモルタルは明らかに小さな傾きの絶対値を示しており、他の材料と比較して

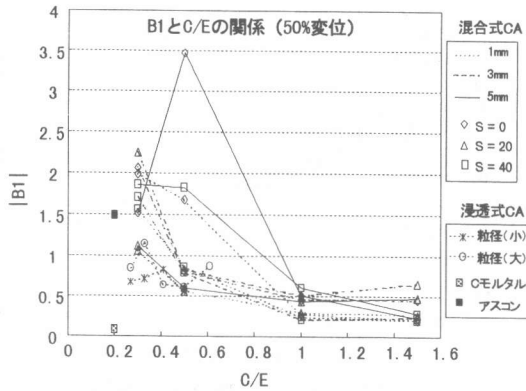


図-12 傾き B1 と C/E

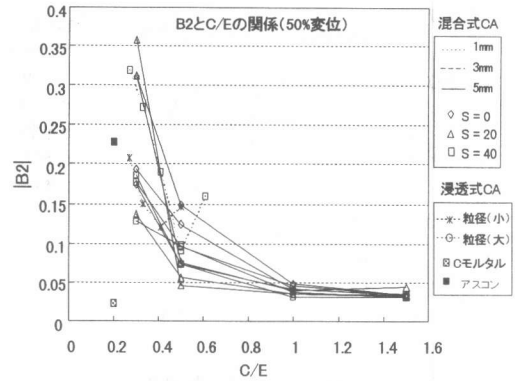


図-13 傾き B2 と C/E

応力緩和は微小であることがわかる。アスコンは図示されたように、比較的、緩和弾性率の低減割合が大きく、B1, B2 いずれにおいても C/E が 0.4 程度の CA 複合体の値に近いものであった。

4. 結論

本研究の範囲内で得られた結論をまとめると以下ようになる。

- 1) 砕石間に注入可能なCA複合体は、砕石の粒径が5~13mm, 5~20mmの時、それぞれC/Eが0.5以下, 0.61以下である。
- 2) 混合式CAの一軸圧縮強度は、C/Eが1.0以下の範囲内においては、C/Eが増加するに伴って増大する。
- 3) 浸透式CAのポアソン比はC/Eや養生期間に関係なく、0.3~0.45付近のほぼ一定の値をとる。
- 4) C/Eが1.0以下では、CA複合体の緩和時間はC/Eが小さいものほど短くなり、応力緩和特性が顕著であるといえる。また浸透式CAのT₈₀, T₇₅の値は、配合に関わらず5秒程度という小さな値を示した。
- 5) 浸透式CAは、C/Eの等しい混合式CAと類似した応力緩和特性を持つことが推測される。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 木地稔・上田満・浜田純夫: セメントアスファルト乳剤複合体の応力緩和特性, コンクリート工学年次論文報告集第20巻第2号, pp. 517-522, 1998