

# 論文 セメントアスファルト乳剤複合体の短期クリープ特性

菊田一寿\*<sup>1</sup>・上田満\*<sup>2</sup>・濱田純夫\*<sup>3</sup>・岡本広道\*<sup>4</sup>

要旨：アスファルト乳剤とセメントとの混合物よりなる複合体の曲げクリープひずみを種々の温度下において求めた。又、加熱混合アスファルトコンクリートについても同様にして求め、両者のクリープひずみの比較を行った。その結果アスファルトコンクリートのクリープひずみは温度による影響が大であることが明らかとなった。

キーワード：C/A複合体, アスファルト乳剤, クリープコンプライアンス, C/E

## 1. はじめに

セメントアスファルト乳剤複合体（以下ではC/A複合体と称す）はセメントコンクリートとアスファルトコンクリート（以下ではアスコンと称す）との中間的な力学特性を有し、省資源、省エネルギーの観点から、施工、維持修繕の容易さ等を兼ね備えた舗装材料として期待されている。C/A複合体は、一定応力が作用した場合のひずみの増大がアスコンほど顕著ではなく、また、感温性が鈍く、広範囲な温度領域にも適応できることから半たわみ性舗装としてわだち掘れ防止等に用いられる。しかしながら、C/A複合体のクリープ特性についての研究はほとんどなされていない。従って本研究はC/A複合体のクリープ挙動の把握、アスコンのクリープひずみとの比較を主な目的とした。本研究に用いた複合体の配合は基本的な物性把握の為、セメント、アスファルト乳剤、砂の三成分系とした。複合体の力学特性は以前の筆者ら研究[1]～[5]よりC/E（セメントとアスファルト乳剤の質量比）による影響が大であることから、C/Eを4種、砂の混合割合を3種変化させ、又、クリープ特性は温度の影響を考慮して評価する必要があるため、温度を5種変化させ曲げクリープ試験を行った。各温度におけるC/A複合体のクリープ特性の比較、アスコンのクリープ特性との比較、C/A複合体のクリープ特性のモデル化、長期クリープひずみの簡易推定法等を検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料及び配合

実験に用いたセメントは普通ポルトランドセメント（比重：3.15、粉末度：3.280cm<sup>2</sup>/g）、砂は豊浦標準砂（比重：2.63、粒径：0.1～0.3mm）、アスファルト乳剤はノニオン系のセメント混合用乳剤（PH7.0、蒸発残留分の重量パーセント：58%、蒸発残留分の針入度：211）である。C/A複合体の配合は、図-1に示すセメント、アスファルト乳剤、砂の三成分系による三角座標において

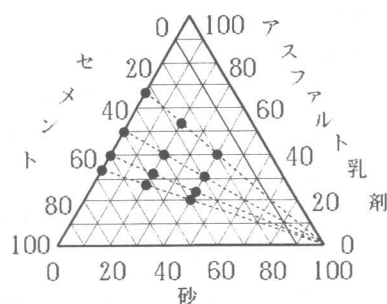


図-1 三角座標配合

- \*1 山口大学大学院 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)
- \*4 山口県庁

格子点上の配合（計12種）とした。尚、比較用としてのアスコン用材料、及び配合は表-1に示す。用いたストレートアスファルトの物理性状は、軟化点：47℃、針入度：74、伸度：150以上である。

### 2. 2 曲げ強度試験及び曲げクリープ試験

曲げ試験用供試体寸法は4x4x16cmとした。作製は流し込み成形を基本とし、JISのセメントモルタル試験用供試体成形時に適用される締め固め以外の突き固めは行わなかった。供試体は打ち込み直後より型枠のまま24時間恒温槽（温度：20℃、湿度：80%）に静置し、以後27日間恒温室（温度：20℃、湿度：60%）にて養生を行った後、試験前には恒温槽で0、10、20、30、40℃の各温度で12時間以上静置した。曲げ強度をミハエリス二重てこ形曲げ試験機にて求めた後、図-2に示す装置にて荷重時間が3時間の短期曲げクリープ試験を各試験温度にて行った。特定のCA複合体に対しては荷重時間1週間のクリープ試験も行った。載荷荷重は曲げ強度の20%荷重としたが、供試体が破壊する恐れのある場合は15%、10%、5%荷重と載荷荷重を減少させた。たわみの測定はカンチレバー方式のひずみ計（最小読みは1/1000mm）で行った。

表-1 アスコンの材料及び配合

使用材料(粒径)	重量百分率(%)
粗骨材(13~5mm)	35
粗骨材(5~0.6mm)	41
細骨材(0.6~0.074mm)	18
フィラー(0.074mm)	6
ストレートアスファルト	6

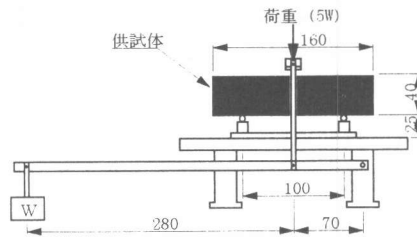


図-2 曲げクリープ試験機

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1 曲げ強度試験

曲げ強度試験結果を砂の混合割合が20%のCA複合体、及びアスコンについて示したものが図-3である。どの配合も低い温度では曲げ強度が大で温度が高くなるに従って小さくなった。又、C/E別に比較するとC/Eの値が大きい配合ほど曲げ強度も大であることが分かる。

一般的にアスファルト乳剤がバインダーとして大きく影響するCA複合体（例えばC/Eが1.0や0.5のもの）は温度上昇による曲げ強度の減少傾向は小さいが、セメントが主たるバインダーとなる場合（例えばC/Eが1.5や2.0のもの）は温度上昇による曲げ強度の減少は大となる傾向がみられる。

### 3. 2 曲げクリープ試験

C/Eの異なる4種の複合体の代表的なものを図-4～図-6に示す。載荷直後のひずみは塑性ひずみを除くため荷重を除荷する前後のひずみの差とした。尚、以下ではひずみと表現した場合は初期の弾性ひずみとクリープひずみの和を示すものとしクリープひずみとは区別する。

今回の実験では載荷荷重は曲げ強度の20%を基本としたが、供試体の配合、又は、載荷時の温度により破壊する恐れのあるものは曲げ強度の15%、10%、5%を載荷荷重とした。すなわちC/Eが0.5の供試体の載荷荷重は全試験温度において曲げ強度の5%、又、C/Eが1.5、2.0のものは載荷

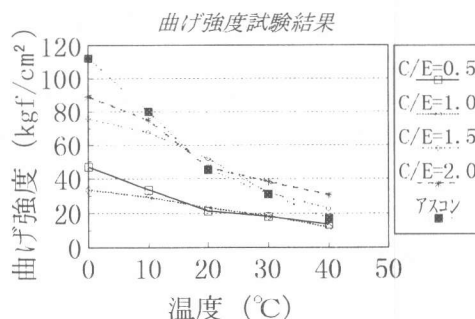


図-3 曲げ強度試験結果

荷重容量の関係より試験温度0℃にては15%とした。よって単純にクリープひずみを比較することは困難であるがC/Eの小さい、すなわちセメント量がアスファルト乳剂量に比べて少ない配合ほどクリープひずみが大きいことは図より明らかである。

曲げクリープによる破壊はひび割れによって供試体の有効断面が減少し、引張り応力が増大することによって発生する。C/Eが0.5のCA複合体は載荷荷重を曲げ強度の20%とした場合試験温度が0℃においても1時間程度で破壊に至った。

### 3.3 アスコンの曲げ強度試験及び曲げクリープ試験

アスコンの試験用供試体は、あらかじめ180℃で温めておいた骨材と、熔解したストレートアスファルトを加熱混合し、流動性のあるうちに直方体形状の型枠(4×30×30cm)に流し込み、パイブレータで転圧した後、CA複合体と同寸法の供試体をカッティングにより作製した。アスコンの曲げクリープ試験結果を図-7に示す。アスコンの曲げ強度は図-3に示したように0℃で112(kgf/cm<sup>2</sup>)40℃で16.9(kgf/cm<sup>2</sup>)と温度上昇に伴ってCA複合体よりも急激に減少する。本実験において曲げ強度の20%の載荷荷重で曲げクリープ試験を行ったところひずみが大となり曲げクリープ破壊を起こした為、載荷荷重は全ての温度において曲げ強度の5%とした。その結果、載荷荷重レベルが低いにもかかわらずCA複合体と比較すると大きなひずみが生じた。特に40℃の場合は温度上昇に伴うクリープひずみの増加割合が大であった。アスファルトの軟化点が40℃~50℃であることもその要因かと思われる。

### 4. CA複合体、アスコン両者のクリープひずみの比較

載荷荷重は曲げ破壊強度の20%を基本としたがCA複合体の配合、試験温度などによって多少の変動がある。この為、クリープひずみの定量的な比較が困難である。そこで粘弾性体のクリープ特性に関し、よく用いられるクリープコンプライアンス( $J(t) = \epsilon(t) / \sigma_0$ )によってクリープひずみの比較を行った。このクリープコンプライアンスは載荷時間の関数である。試験温度が40℃、砂の混合割合が20%のCA複合体におけるクリープコンプライアンスをC/E別に示したものが

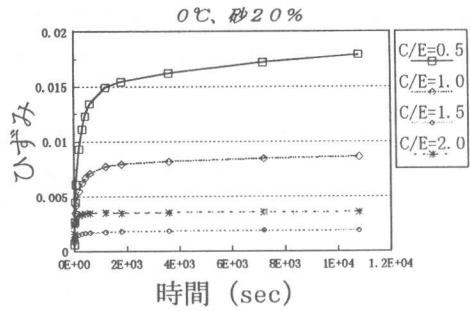


図-4 曲げクリープ試験結果(0℃)

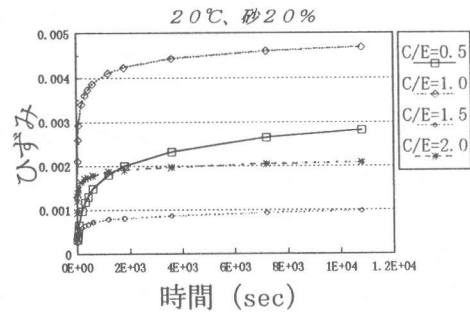


図-5 曲げクリープ試験結果(20℃)

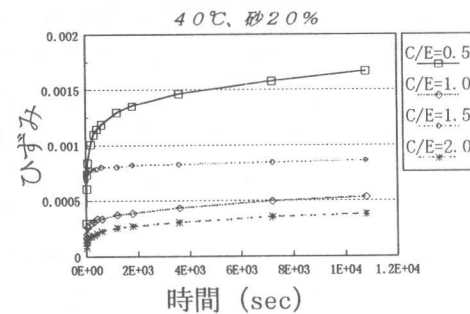


図-6 曲げクリープ試験結果(40℃)

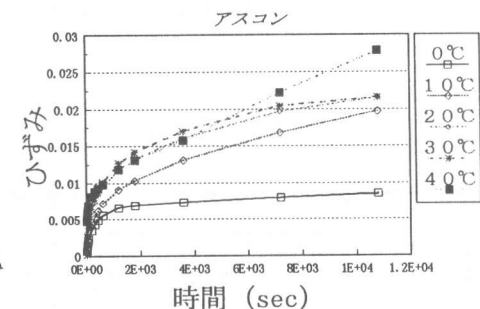


図-7 アスコンの曲げクリープ試験結果

図-8、アスコンのクリープコンプライアンスは図-9である。図には $J(t)$ 、 $t$ ともに対数目盛にして示した。クリープコンプライアンスは $J(t) - t$ の両対数図において直線で近似でき、以下の式が成立するものと仮定する〔6〕。

$$\log J(t) = A + b \log t$$

$$\therefore J(t) = A \times 10^{b \log t} \quad (1)$$

但し、 $J(t)$ ：クリープコンプライアンス

$A, b$ ：実測値によって求まる定数

$t$ ：载荷時間 (sec)

最小2乗法により各回帰直線の傾き等を求めた一例を表-2に示す。相関係数のほとんどが0.9以上となることから相関性はよいものと思われる。

クリープひずみはこの直線の傾きに影響される。そこで、試験温度が傾きに与える影響などを検討する為に傾きと試験温度の関係をCA複合体、アスコンについて同一図にて示せば図-10となる。図よりアスコンの傾きの絶対値はCA複合体の約3倍程度大きく、アスコンは時間経過に伴うクリープひずみがCA複合体に比べて大であることがうかがえる。又、CA複合体は温度上昇に伴うクリープひずみの増大はほとんどみられない。これに対してアスコンは温度上昇に伴ってクリープひずみが大となり、高温時において流動する傾向が読みとれる。

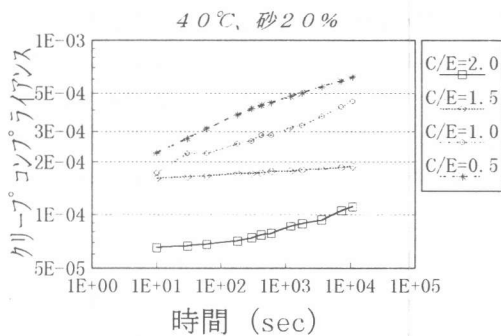


図-8 クリープコンプライアンス (40°C)

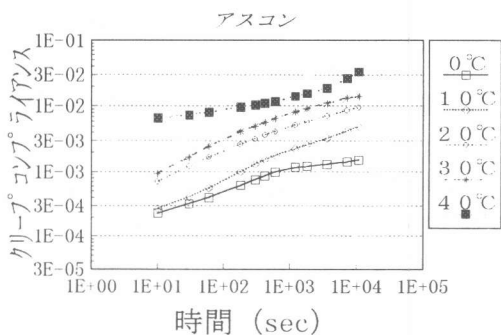


図-9 アスコンのクリープコンプライアンス

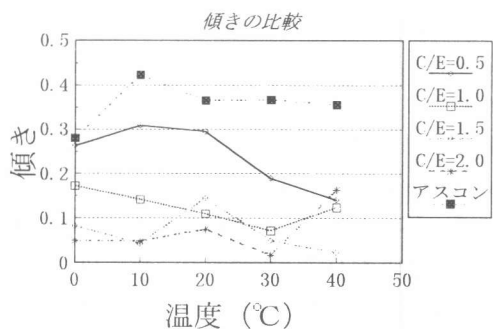


図-10 傾きと試験温度の関係

表-2 クリープコンプライアンス値の傾き及び切片

配合	温度0°C			温度20°C			温度40°C		
	相関係数	傾き	切片	相関係数	傾き	切片	相関係数	傾き	切片
C/E=0.5	0.896	0.263	-3.061	0.989	0.295	-3.714	0.986	0.141	-3.760
C/E=1.0	0.910	0.172	-3.507	0.950	0.110	-3.405	0.978	0.124	-3.875
C/E=1.5	0.942	0.082	-4.078	0.982	0.145	-4.592	0.986	0.023	-3.819
C/E=2.0	0.807	0.050	-3.746	0.972	0.075	-3.939	0.986	0.164	-4.886
アスコン	0.954	0.281	-3.867	0.986	0.366	-3.440	0.925	0.356	-2.953

### 5. 長期クリープひずみの簡易推定法

粘弾性体に一定応力が作用した場合のひずみの推定には一般的に4要素モデルがよく用いられる〔6〕。このモデルによると時間経過とともに一定割合で増加するひずみ加わることから、長期的には実測値とかけ離れる傾向がある。そこで4要素モデルからダッシュポットを1つ除いた3要素モデルを考慮して推定を行った。又、式(1)より導いたクリープコンプライアンスの近似式(4)による推定も並行して行った。それらの各推定式を以下に示す。

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_1} t + \frac{\sigma_0}{E_2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \right\} \quad (2)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{E_2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right) \right\} \quad (3)$$

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \times A \times 10^{b \cdot \log t} \quad (4)$$

但し、 $\varepsilon(t)$  : 一定応力によって生じるひずみ

$t$  : 荷重時間 (sec)

$\sigma_0$  : 一定応力

$E_1, E_2, \eta_1, \eta_2$  : 各モデルに於ける粘弾性常数

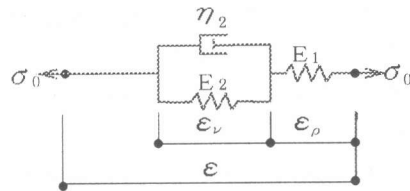


図-11 3要素モデル

(6, 4, 0) 40℃

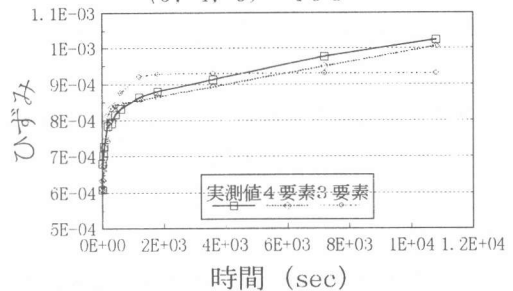


図-12 粘弾性モデルと実測値の比較

粘弾性の3要素モデルは図-11に示すものを用いた。3時間荷重のクリープ試験の結果に式(2)、(3)を適用してカルマンフィルターによる逆解析を行った。粘弾性常数の解析結果の一例を表-3に示す。求められた粘弾性常数を式(2)、(3)に代入してひずみを算定し、実測値と比較したものを(6, 4, 0) (但し、(6, 4, 0)とはセメント、アスファルト乳剤、砂の配合比率が6:4:0のことであり、以下ではこのような表現にて配合を示す。)の配合を例として図-12に示した。この図より3時間荷重のクリープ試験では4要素モデルを用いた方が実測値とよく合うことが分かる。又、3時間荷重の実測ひずみより粘弾性常数等を求め、式(2)~(4)により1週間荷重のひずみを計算により求めた。それらの結果と実測値とを図-13~図-15に示す。図-13は温度0℃における配合(4, 4, 2)のCA複合体の結果であり、図-14は20℃、図-15は40℃の同配合のもの

である。これらの図より式(3)、又は式(4)によるひずみの推定が長期的には適していると思われる。

表-3 粘弾性常数 (四要素モデル、C/E=1.0、温度20℃)

砂の混合割合(%)	$\sigma_0$	$E_1$	$E_2$	$\eta_1$	$\eta_2$
0	5.232	7109	3911	3.364E+08	2.324E+05
20	4.622	3589	1709	1.300E+08	9.911E+04
40	5.188	13235	3584	2.335E+08	3.852E+05

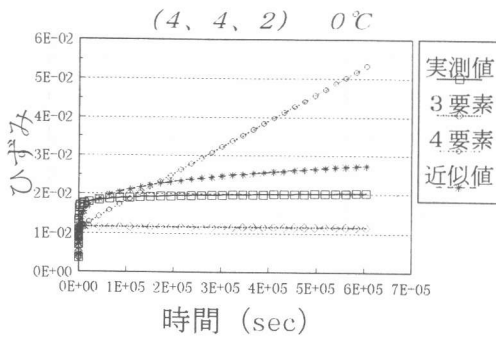


図-13 長期推定ひずみ (0°C)

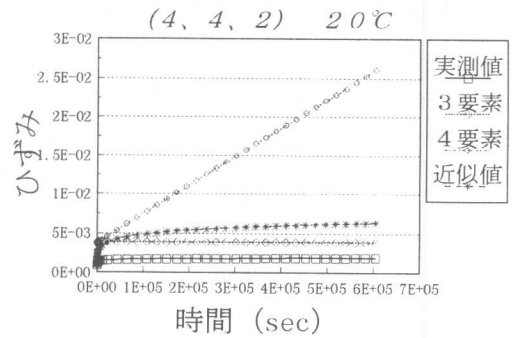


図-14 長期推定ひずみ (20°C)

## 6. まとめ

本研究の範囲内で以下に示すことが得られた。

- (1) アスコンの曲げ強度はC A複合体に比べ温度による影響が大である。
- (2) アスコンのクリープひずみはC A複合体のそれよりも大である。
- (3) C A複合体のクリープひずみは試験温度による影響は小さいが、アスコンのクリープひずみは温度による影響が大きい。
- (4) 長期クリープひずみの推定にはC A複合体の場合、粘弾性の三要素モデル、又はクリープコンプライアンスによる推定が適している。

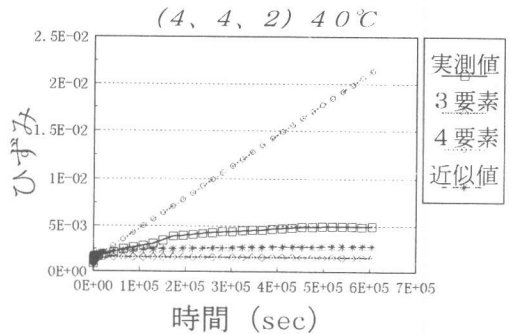


図-15 長期推定ひずみ (40°C)

【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] 吉安紀子・上田満・濱田純夫：セメントアスファルトモルタルの諸特性について、土木学会第44回中国四国支部学術講演会講演概要集、pp. 658-659、1992
- [2] 上田満・濱田純夫・村田秀一：セメントアスファルト乳剤複合体の三軸圧縮強度特性に関する実験的研究、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、pp. 76-77、1994
- [3] 金田雅之・上田満・濱田純夫：セメントアスファルト乳剤複合体の三軸圧縮試験における空隙の影響、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集、pp. 556-557、1995
- [4] 岡本広道・田村文男・上田満：セメントアスファルト乳剤複合体のクリープ特性、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、pp. 158-159、1995
- [5] 佐々木慎吾・金田雅之・上田満：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、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、pp. 160-161、1995
- [6] 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