

論文 セメントアスファルト乳剤コンクリートの短期クリープ特性

菊田一寿*¹・上田満*²・濱田純夫*³・片岡義人*⁴

要旨：セメント、アスファルト乳剤、砂の3成分よりなるセメントアスファルト乳剤複合体に骨材として碎石、フィラー等を混合したセメントアスファルト乳剤コンクリートの短期クリープ特性を種々の温度について求めた。又、加熱混合アスファルトコンクリートと比較した結果、セメントアスファルト乳剤コンクリートのクリープ特性は加熱混合アスファルトコンクリートに比べ感温性が低いことが明らかとなった。

キーワード：CAコンクリート、安定度、クリープコンプライアンス、粘弾性常数

1. はじめに

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）のクリープ特性は以前の筆者らの研究^{1)~3)}により、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）に比べ感温性が低いことが明らかとなった。そこで本研究では、CA複合体に骨材として碎石、フィラー等を混合したセメントアスファルト乳剤コンクリート（以下ではCAコンクリートと称す）を流し込み、及びバイブレータで転圧する方法により作製し、それぞれの短期クリープ特性を試験温度を5種変化させて求めた。各試験温度におけるCAコンクリート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、及びマーシャル安定度試験を行うことによりCAコンクリートの舗装材料としての適用性を検討

した。又、クリープ特性を粘弾性の4要素モデル²⁾を用いて逆解析することにより粘弾性常数を求めた。粘弾性常数の温度依存性についても検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

使用し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：3280cm²/g），アスファルト乳剤はノニオン系のセメント混合用乳剤（YON乳剤→濃度：57.9%，蒸発残留分の針入度：211）とした。それぞれの配合、及び使用材料を表-1に示す。尚、表中の値は質量百分率にて示した。又、アスコン用材料としての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。

表-1 使用材料及び配合表

配合名	碎石(%)	砕砂(%)	海砂(%)	フィラー(%)	セメント(%)	アスファルト乳剤(%)	アスファルト(%)
流し込みCA	31.5	13.5	20.0	9.0	8.5	17.5	0
転圧CA 1	31.0	13.0	19.0	15.0	10.0	12.0	0
転圧CA 2	31.0	12.0	19.0	14.0	10.0	14.0	0
転圧CA 3	30.0	12.0	19.0	14.0	9.0	16.0	0
アスコン	33.0	39.0	17.0	5.5	0	0	5.5

*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)

*4 山口大学大学院 理工学研究科社会建設工学専攻 (正会員)

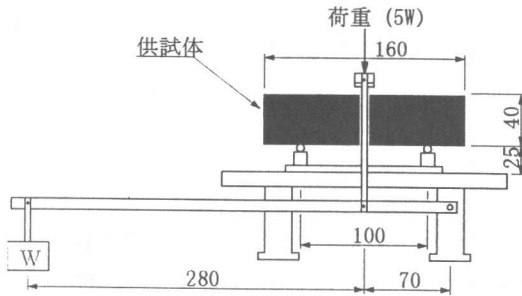


図-1 曲げクリープ試験器

2.2 マーシャル安定度試験

CA コンクリート用材料（アスファルト乳剤，セメント，海砂，フィラー，砕砂，碎石）をミキサーで練り混ぜた後モールド内に打設した。そのモールド一式を締め固め台の上に装置し，モールドのカラー内にハンマを挿入して 50 回締め固めた。締め固めハンマの軸はモールドの板に対し垂直となるように支持し，片面からの締め固めが終了したらモールドを逆に組み立て供試体の裏面をもう一度同じ回数締め固めた。底板とカラーを取り外しモールドのまま 24 時間静置した。モールド内で作製した供試体を供試体押し出し器を用いて抜き取り，厚さと質量を測定した後 6 日間室内にて養生し，試験直前には $60 \pm 1^\circ\text{C}$ の水槽中にて 30～40 分養生した。試験時の温度は 60°C とした。載荷は $50 \pm 5\text{mm}/\text{min}$ の一様な変位速度にて行い，最大荷重に達し荷重が減少を始める瞬間に最大荷重，及びフロー値を測定した。アスコンについてはアスファルト舗装要綱に準拠して行った。

2.3 曲げ試験

流し込み CA コンクリートの曲げ試験用供試体は材料をミキサーで練り混ぜた後， $4 \times 17.5 \times 30\text{cm}$ の直方体形状の型枠に流し込み，型枠のまま 24 時間恒温室（温度： 20°C ，湿度：60%）に静置した。転圧 CA コンクリートの場合は型枠に流し込んだ後，パイプレータで転圧して同様に恒温室に静置した。 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の供試体をカッティングにより作製した後再び 27 日間恒温室にて養生を行い，試験直前には恒温槽で 0，10，20，30， 40°C の各試験温度で 12 時間以上静

表-2 マーシャル安定度試験結果

配合名	安定度 (kg)	フロー値 (1/100cm)
流し込み CA	326.0	11.0
転圧 CA 1	3692.0	13.0
転圧 CA 2	2355.3	19.3
転圧 CA 3	1369.5	26.0
アスコン	1255.1	25.0

置した。試験時の温度はこれらの 5 種とした。又，アスコンは $4 \times 30 \times 30\text{cm}$ の直方体形状の型枠を用いて CA コンクリートの場合と同様，カッティングにより作製した。

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-1 に示す装置にて載荷時間が 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。載荷荷重は曲げ強度の 20% 荷重を基本としたが，供試体が破壊する恐れのある場合は載荷荷重を減少させた。たわみの測定は載荷点上面のたわみをカンチレバー方式のひずみ計（最小読みは $1/1000\text{mm}$ ）を用いて行った。載荷点上面のたわみから載荷点下面の引張りひずみを計算により求めた。尚，たわみは 1 つの試験条件につき 3 本の供試体について試験を行いその平均値として求めた。平均値の最大値と最小値のばらつきは 10% 未満であった。

3. 実験結果

3.1 マーシャル安定度試験結果

マーシャル安定度試験結果を表-2 に示す。CA コンクリートの安定度，フロー値は転圧 CA 3 配合がアスコンとほぼ同程度であり，その他はセメントとアスファルト乳剤の質量比が大となるに従って安定度は大きく，又フロー値は小さくなった。これより CA コンクリートの安定度，フロー値はセメント量に影響されることが分かる。

一般に密粒度アスファルトの基準値は安定度が 500 以上，フロー値が 20～40 であるが，CA コンクリートの場合はフロー値が小さいものが存在し，セメント量が多くなるとたわみ性が減

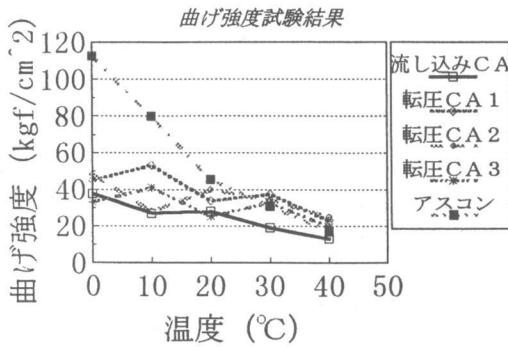


図-2 曲げ強度試験結果

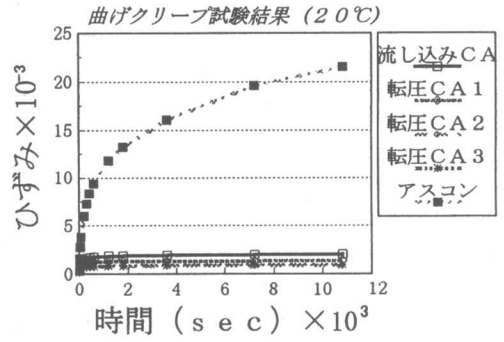


図-4 曲げクリープ試験結果 (20°C)

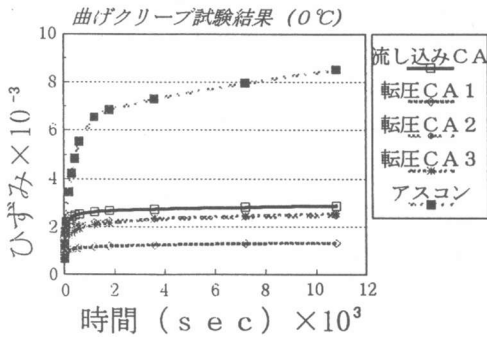


図-3 曲げクリープ試験結果 (0°C)

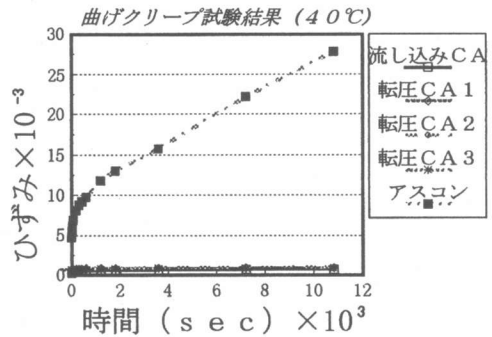


図-5 曲げクリープ試験結果 (40°C)

少することが推測される。又、流し込み用 CA コンクリートの場合には材令 7 日程度ではマッシュル安定度は小さいものとなった。

3.2 曲げ強度試験結果

曲げ強度試験結果を CA コンクリート、及びアスコンについて示したものが図-2 である。アスコンの曲げ強度は低い温度で大きく温度上昇に伴い急激に減少したが、CA コンクリートの曲げ強度は低温時にはさほど大きくはないが、温度上昇に伴う曲げ強度の減少傾向はみられなかった。低温時に曲げ強度が大とならないのは CA 複合体に比べセメント、アスファルト乳剤量が全体的に少なく、骨材の結合力が弱かったことも要因の 1 つであると思われる。

3.3 曲げクリープ試験結果

曲げクリープ試験結果を 0, 20, 40°C の場合を例として図-3 ~ 図-5 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、アスコンは曲げクリープ破壊を起こす恐れがあるため、全試験温度において曲げ強度の 5% とした。載荷荷重レベルが低いにも関わらず、アスコンのクリープひずみは CA コンクリートと比較して極めて大であった。又、CA コンクリートのクリープひずみは温度上昇による影響がほとんどみられないが、アスコンのクリープひずみは温度による影響が大である。

4. クリープ特性の考察

今回の実験では載荷荷重に多少の変動があるため、クリープひずみの定量的な比較はクリープコンプライアンス $J(t) = \epsilon(t) / \sigma_0$ 。但

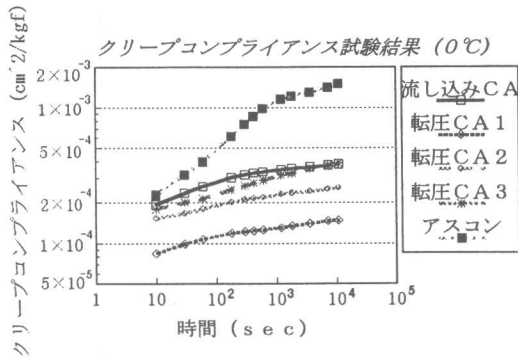


図-6 クリープコンプライアンス (0°C)

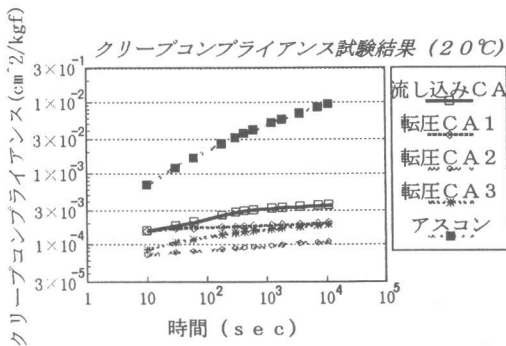


図-7 クリープコンプライアンス (20°C)

し、 $\epsilon(t)$: ひずみの時間変化、 σ_0 : 加えた一定応力) を用いて行った。クリープコンプライアンスと载荷時間の関係を図-6~図-8に示す。図では $J(t)$ 、 t ともに対数目盛にて示した。クリープひずみが大であるほどクリープコンプライアンスの時間変化に伴う上昇傾向が大である。すなわちクリープひずみは、クリープコンプライアンスを $J(t) - t$ の両対数図上にお

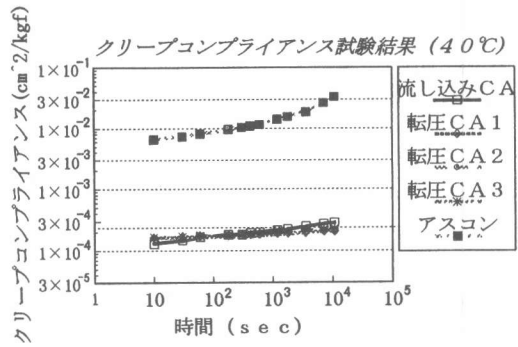


図-8 クリープコンプライアンス (40°C)

いて直線で近似した場合その傾きに影響されるものと思われる。そこでクリープコンプライアンスの回帰式(1)を仮定し²⁾、最小2乗法によりその傾き等を求めた。その結果を表-3に示す。相関係数がいずれも0.9以上となることから相関性はよいものと思われる。

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

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)

試験温度がクリープひずみに与える影響等を検討するために、傾きと試験温度の関係を示したものが図-9である。図よりアスコンの傾きの絶対値はCAコンクリートの3倍以上も大きく、アスコンは温度上昇、及び時間経過に伴うクリープひずみが大である。これに対し、CAコンクリートのクリープひずみは温度上昇によ

表-3 回帰直線の傾き b 及び切片 A の値

配合名	温度 0°C			温度 20°C			温度 40°C		
	相関係数	傾き b	切片 A	相関係数	傾き b	切片 A	相関係数	傾き b	切片 A
流し込み CA	0.904	0.091	-3.751	0.919	0.121	-3.881	0.990	0.108	-3.992
転圧 CA 1	0.953	0.074	-4.112	0.9687	0.034	-3.833	0.989	0.034	-3.821
転圧 CA 2	0.978	0.073	-3.874	0.997	0.059	-4.202	0.928	0.038	-3.851
転圧 CA 3	0.995	0.115	-3.864	0.956	0.110	-4.133	0.964	0.045	-3.840
アスコン	0.954	0.281	-3.867	0.986	0.366	-3.440	0.925	0.356	-2.953

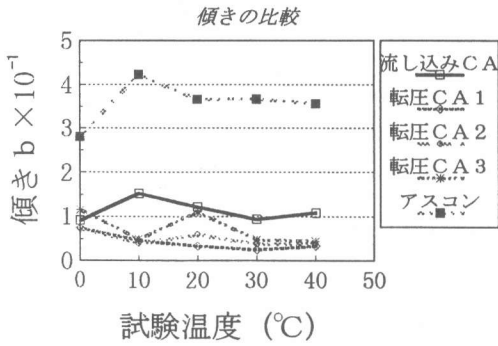


図-9 傾き b と試験温度の関係

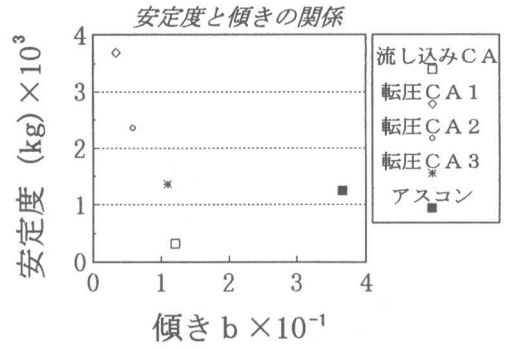


図-11 傾き b と安定度の関係

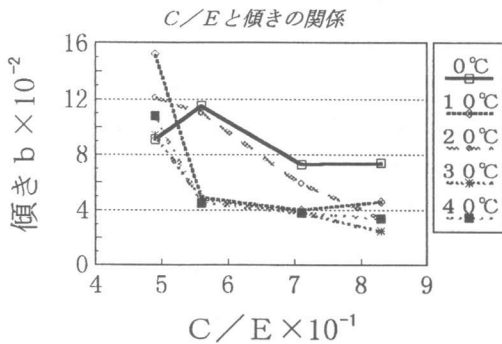


図-10 傾き b と C/E の比較

る影響がほとんどみられない。又、 C/E （セメントとアスファルト乳剤の質量比）が CA コンクリートのクリープひずみに与える影響も検討した。その結果を図-10に示す。 C/E が大きくなるほど傾き b は小さくなるのが全ての試験温度において確認された。すなわち CA コンクリートは感温性が鈍いものの C/E による影響が大であり、舗装材料として用いる場合にはマーシャル試験におけるフロー値にも配慮し、 C/E を適切に決定する必要がある。

試験温度 20°C における回帰直線の傾き b とマーシャル安定度の関係を示せば図-11となり、CA コンクリートは b の増加に伴って安定度が急激に減少する。アスコンの安定度は転圧 CA 3 配合の CA コンクリートと同程度であるが、クリープひずみは極めて大きくなるのがこの図からも分かる。

5. 温度が粘弾性常数に与える影響

実測されたひずみに粘弾性の4要素モデル²⁾を用いて粘弾性常数を求めた。4要素モデルにおけるクリープひずみの推定式は以下に示す通りである。

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

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

σ_0 ：一定応力 (kgf/cm²)

E_1, E_2, η_1, η_2 ：粘弾性常数

尚、粘弾性常数の推定値は拡張カルマンフィルターによる逆解析により求めた。求めた粘弾性常数を式(2)に適用してひずみを算定し、実測値と比較した結果を CA コンクリートは流し込み CA 配合を例として図-12に、アスコンは図-13にそれぞれ示す。両図には4要素モデルにおける純粘性要素を除いた3要素モデルの結果も示した。CA コンクリート、及びアスコンのクリープひずみは時間経過とともに緩やかな増加傾向を示す。3要素モデルによるクリープひずみの推定値は1時間程度で一定値に収束し実測値とのずれが生じる。従って CA コンクリート等のクリープひずみの推定には、純粘性要素を持つ4要素モデルによる推定が適すものと思われる。そこで粘弾性常数のうち純粘性項に相当する粘性係数 η_1 の試験温度による変

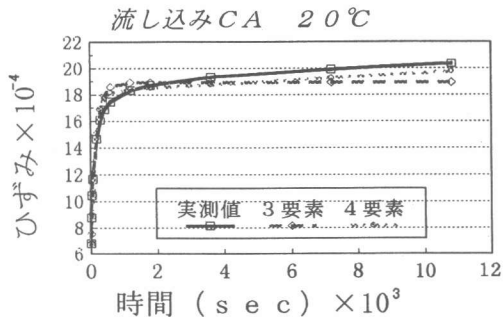


図-12 粘弾性モデルと実測値の比較1

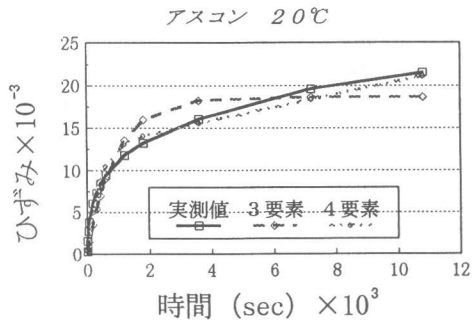


図-13 粘弾性モデルと実測値の比較2

化等を検討した。その結果を図-14に示す。図は縦軸に η_1 を、横軸に試験温度をとり、CAコンクリート4種とアスコンについて示した。粘弾性常数は対数目盛にて示した。アスコンの η_1 の値は一般的にCAコンクリートよりも小さくなり、温度上昇に伴う減少傾向が大である。これに対してCAコンクリートは温度による影響がほとんどみられない。又、CAコンクリートの η_1 をC/E別に比較すると、C/Eの小さい流し込みCA配合は粘弾性常数の値も小さく、C/Eの大きい転圧CA1配合はその値も大きい。従ってCAコンクリートはアスコンに比べ流動性の低い材料であるとともに、CAコンクリートのクリープひずみはC/Eに影響されることが分かる。

6. 結論

本研究の範囲内において得られた結果をまとめると以下ようになる。

- 1) アスコンの曲げ強度は温度上昇に伴い急

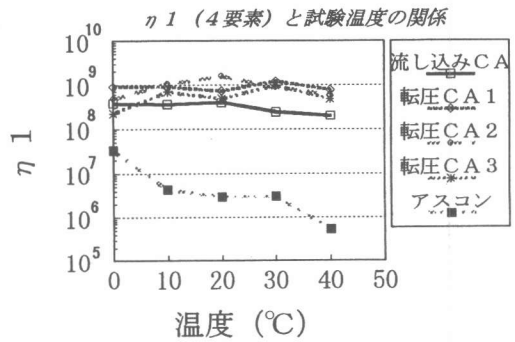


図-14 粘弾性常数 η_1 と試験温度の関係

激に減少する。

- 2) CAコンクリートのマーシャル安定度、及びフロー値はセメント量による影響が大である。又、流し込み用CAコンクリートの場合は材令7日安定度は小さいものとなった。
- 3) CAコンクリートのクリープひずみは温度上昇による影響が小さく、アスコンの1/3程度となった。
- 4) 粘弾性の4要素モデルはCAコンクリート、及びアスコンの3時間程度クリープひずみの推定に適している。
- 5) CAコンクリートのクリープひずみはC/Eの影響が大である。

参考文献

- 1) 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
- 2) 菊田一寿・上田満・濱田純夫・岡本広道：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.769-774，1997
- 3) 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