

# 論文 セメントアスファルト乳剤複合体のクリープ特性

田村文男\*<sup>1</sup>・上田 満\*<sup>2</sup>・浜田純夫\*<sup>3</sup>・黒川卓郎\*<sup>4</sup>

要旨：アスファルト乳剤にセメントを加え、混合することによって得られる複合体のクリープ特性を調べ、圧縮の両者について求めた。その結果両クリープ特性はほとんど同様な傾向を示すが曲げクリープひずみのほうが時間経過に伴うひずみの増加が大となった。またクリープコンプライアンスはセメント-アスファルト乳剤比C/E(セメントの質量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が明確となった。

キーワード：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

加熱混合用アスファルトコンクリート(以下ではアスコンと記すことにする)のバインダーとして用いられるストレートアスファルトは室温にて自重により流動する。道路舗装に用いられるこれらのアスコンは路盤等の支持によってその形状が維持される。したがって、アスコンに一定の応力が継続して作用した場合、そのひずみはしだいに増大し、破壊ひずみ以上となった時にひび割れが発生する。このようなアスコンに対し、セメントアスファルト複合体(以下では複合体と記す)はセメントコンクリートとアスコンの中間的な物性を有することから、一定応力が作用した場合のひずみの増大はアスコンほど顕著ではなく、形状維持はアスコンに比べ大である。複合体を道路の舗装に用いる場合は、半たわみ性舗装としてわだち堀れ防止に用いられる。この主たる理由は、複合体の場合、アスコンに比べ感温性がにぶく広範囲な温度領域にも適応できること、一定応力に対する抵抗力がアスコンに比べ大であることによる。本研究に用いた複合体の配合はセメント、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の研究<sup>1)~4)</sup>よりC/E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0, 20, 40%の3種変化させ、これらの組み合わせとしての12配合の複合体のクリープ試験を行った。複合体のクリープ挙動の把握、中、短期のクリープひずみの比較を行うこと、曲げクリープと圧縮クリープの両者の比較等が本研究の主な目的である。

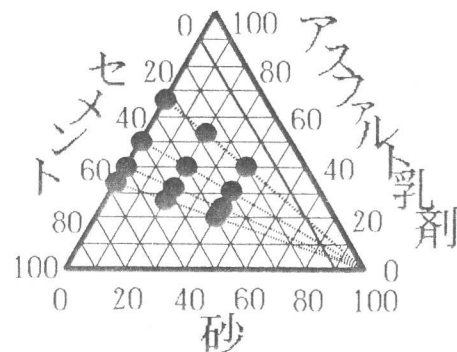


図-1 三角座標配合

## 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:3,280 $\text{cm}^2/\text{g}$ )、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(ph.7.0, 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。複合体の配合

- \* 1 (株)熊谷組 (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 ニチレキ(株) 技術研究所

はセメント、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に示す格子点上の配合(計12種)とした。

### 2. 2 一軸圧縮試験および圧縮クリープ試験

一軸圧縮試験用供試体寸法は $\Phi 2.5 \times 5 \text{cm}$ で、载荷は一軸载荷とし、変位速度を $5 \text{mm/min}$ と一定にして行った。応力-ひずみ曲線より一軸強度及び弾性係数(変曲点に於ける接線の傾き)を求めた。圧縮クリープ試験用供試体は一軸試験と同じ寸法の円柱形供試体を用い、载荷時間が3時間、1週間の短期の圧縮クリープ試験を図-2に示す装置で行った。载荷荷重は圧縮強度の20%荷重とし、試験時の温度は $20^\circ\text{C}$ とした。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 $1/1000 \text{mm}$ )で行った。

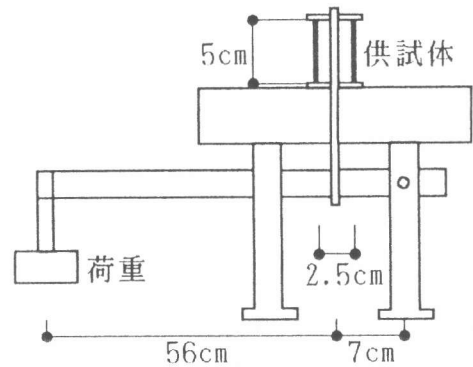


図-2 圧縮クリープ試験装置

### 2. 3 曲げ強度試験および曲げクリープ試験

曲げ試験用供試体寸法を $4 \times 4 \times 16 \text{cm}$ とし、载荷はミハリス二重てこ形曲げ強さ試験機にて行った。供試体の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固め以外の突き固めは行わなかった。また、試験時の温度は $20^\circ\text{C}$ とした。供試体の養生は、打ち込み直後より1日恒温槽(温度: $20^\circ\text{C}$ , 湿度: $80\%$ )に静置し、以後27日間恒温室( $20^\circ\text{C}$ ,  $60\% \text{R.H.}$ )にて行った。上記モルタルバーを用いて、载荷時間を3時間又は1週間として、短期の3点曲げクリープ試験(スパン: $10 \text{cm}$ , 中央集中荷重)を行った。実験には図-2に示す装置と同様のものを用いた。载荷荷重は曲げ強度の20%荷重とし、実験時の温度は $20^\circ\text{C}$ とした。

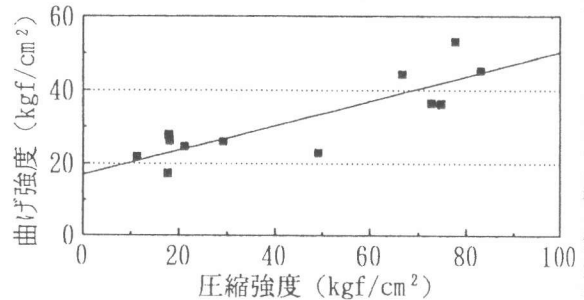


図-3 圧縮強度と曲げ強度の関係

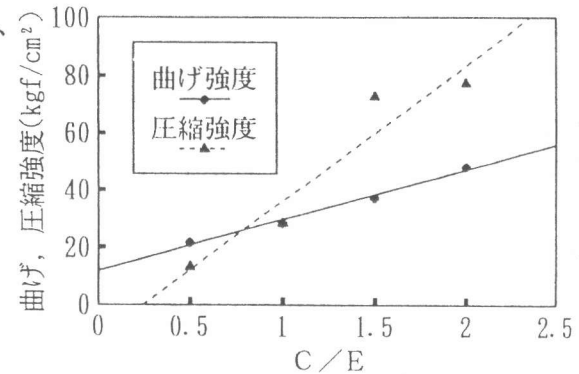


図-4 C/Eと曲げ、圧縮強度の関係

## 3. 実験結果

### 3. 1 曲げ及び圧縮強度試験

曲げ強度、圧縮強度及び弾性係数を各配合について求めた。供試体の作製方法が曲げ、圧縮について異なる為、両者を比較することは困難であるが、圧縮強度と曲げ強度の関係を図-3に示す。

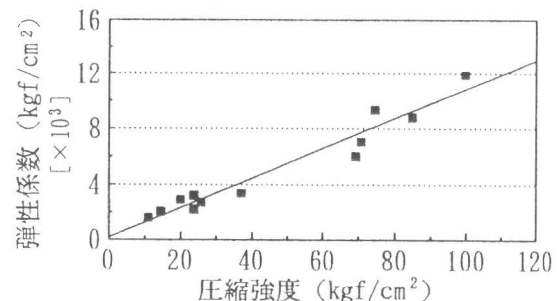


図-5 圧縮強度と弾性係数の関係

C/Eと曲げ、圧縮強度の関係を図-4に示す。同図は砂の混合割合が20%の複合体について求めたものである。圧縮強度にバラツキがみられるが供試体寸法による影響と思われる。また、圧縮強度と弾性係数との関係を図-5に示す。これらには相関性が認められ、直線回帰した場合の相関係数も0.93となった。また実験に用いた複合体の弾性係数は $1500 \text{kgf/cm}^2 \sim 12000 \text{kgf/cm}^2$ の範囲内の値となった。

### 3. 2 圧縮クリープ試験

C/Eの異なる4種の複合体についての荷重時間とひずみの関係を圧縮クリープ試験について示したものが図-6である。荷重中に複合体には塑性ひずみが発生し、荷重を除荷してもこのひずみは残留ひずみとなる。図中に示した縦軸のひずみは、荷重直後の弾性ひずみとクリープひずみの和として示した。以下では単にひずみと表現した場合のひずみは弾性ひずみとクリープひずみの和とし、クリープひずみとは区別する。クリープひずみは荷重初期には急激な増加を示すが、荷重時間の経過とともにその増加割合が減少し、最終的にはある一定割合で増加するといった傾向を示す。クリープひずみの大きさはC/Eが大となるに従って小さい値となる。異なるC/Eの複合体における荷重直後のひずみと荷重終了時のひずみの差を比較すれば容易に確認できる。

### 3. 3 曲げクリープ

曲げクリープ試験の結果を圧縮クリープ同様、図-7に示す。荷重直後のひずみも圧縮同様の扱いにて示した。クリープひずみの増加傾向は圧縮の場合と同様の傾向となる。C/Eの小さい複合体のひずみが荷重直後においては小さいが、荷重時間の経過とともに他複合体のひずみを越えるほど大きくなっている。それだけ曲げによるたわみが他の複合体より大なることが図より読み取れる。曲げ破壊強度の20%を曲げクリープ試験の荷重荷重として作用させた場合、C/E=1.0, 1.5, 2.0の配合の複合体は、荷重1週間までは破壊に到らなかったが、C/E=0.5の配合の複合体では破壊するものも存在した。

### 4. クリープ特性の考察

セメントコンクリート等で定義されているクリープ係数に関連したパラメーターとして、粘弾性体ではクリープコンプライアンスがよく用いられる。このクリープコンプライアンスを $J(t)$ とすれば次のように定義される。

$$J(t) = \varepsilon(t) / \sigma_0 \quad (1)$$

$J(t)$ は一般に時間 $t$ の関数であり、一定応力が作用した際のひずみの時間変化 $\varepsilon(t)$ を加えた一定応力 $\sigma_0$ で除したものとして定義される。粘弾性モデルを図-8に示す4要素流体とした場合、 $\varepsilon(t)$ は以下の式にて定義される。

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_p + \varepsilon_v(t) + \varepsilon_\eta(t) \quad (2)$$

但し、

$\varepsilon_p$ : 弾性ひずみ

$\varepsilon_v$ : 粘性ひずみ

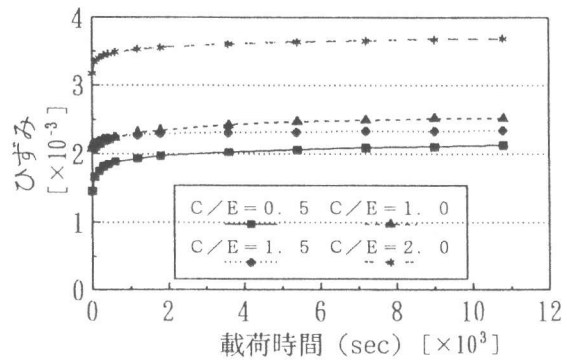


図-6 圧縮クリープ試験結果

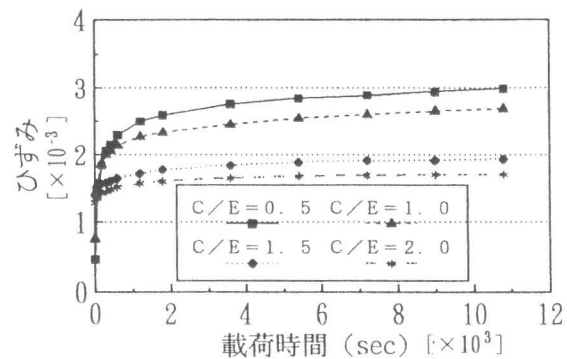


図-7 曲げクリープ試験結果

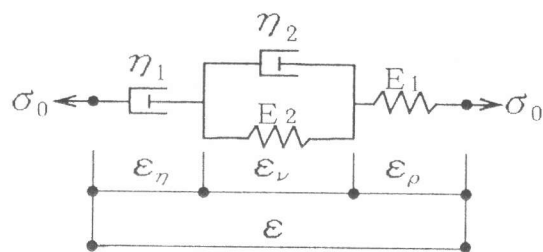


図-8 粘弾性モデル

$\epsilon_v$ : フォークト要素ひずみ

従ってクリープコンプライアンスの単位は弾性係数の逆数となる。C/E別の各配合、2種の載荷時間に対してクリープコンプライアンスを求めたものを図-9及び図-10に示す。図-9は圧縮ク

リープに対して求め、図-10は曲げクリープに対して求めたものである。両図には載荷3時間、1週間の値を示している。クリープコンプライアンスの逆数(1/J(t))は前述の弾性係数に近い値となっている。載荷時間が3時間のクリープコンプライアンスの初期値と1週間の同値とが曲げク

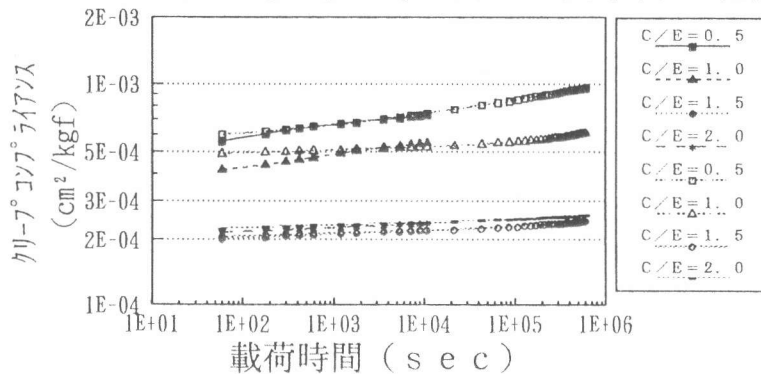


図-9 圧縮クリープのクリープコンプライアンス

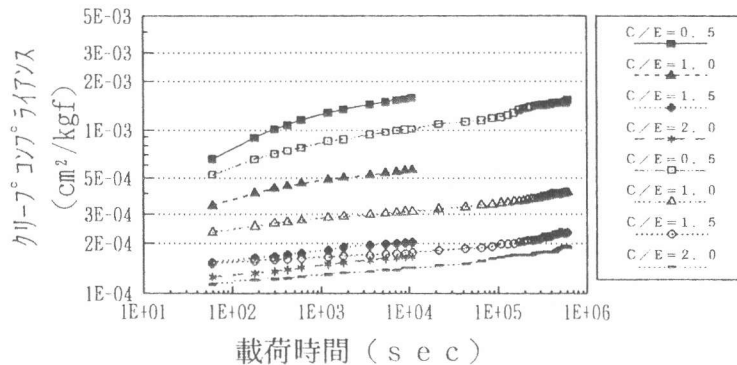


図-10 曲げクリープのクリープコンプライアンス

リープの場合少し異なっている。しかしながら、載荷以後のひずみの増加(いわゆるクリープひずみに相当)については、両者の間には差がない。圧縮クリープに対して求めたクリープコンプライアンスにおいて、C/E=2.0, C/E=1.5の値が逆転しているが、C/E=2.0の複合体の圧縮試験用供試体作製の困難さに影響されているものと思われる。即ち、この複合体は流動性に欠けるため直径の小さい円柱型枠に打ち込むことが困難であった。両図より、C/Eが大きい複合体のクリープコンプライアンスは、C/Eが小さい複合体に比べて小さい値となる。クリープコンプライアンスは複合体の強度に関係なくlog J(t), log tの両対数図上では直線にて近似できるとと思われる。そこでJ(t), tの間に以下の式が成立するものと仮定する。

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

$$\therefore J(t) = A \times 10^{b \log t} \quad (3)$$

但し、

J(t): クリープコンプライアンス

(cm<sup>2</sup>/kgf)

A, b: 定数

t: 経過時間(sec)

log J(t)とlog tの関係を直線にて近似し、各回帰直線の傾き等を求めると表-1となる。相関係数がいずれも0.9以上となることから相関性は良いものと思われる。表の回帰

表-1 クリープコンプライアンス値の傾き及び切片

曲げクリープ試験				
載荷時間	C/E	相関係数	傾き	切片
3時間	0.5	0.95	0.153	-3.394
	1.0	0.96	0.089	-3.597
	1.5	0.99	0.056	-3.912
	2.0	0.99	0.055	-4.000
1週間	0.5	0.99	0.101	-3.404
	1.0	0.98	0.056	-3.727
	1.5	0.93	0.048	-3.931
	2.0	0.97	0.055	-4.057
圧縮クリープ試験				
載荷時間	C/E	相関係数	傾き	切片
3時間	0.5	0.98	0.048	-3.327
	1.0	0.99	0.057	-3.484
	1.5	0.99	0.020	-3.731
	2.0	0.99	0.020	-3.701
1週間	0.5	0.99	0.056	-3.343
	1.0	0.94	0.024	-3.363
	1.5	0.97	0.019	-3.725
	2.0	0.98	0.015	-3.678

直線の傾きとC/Eの関係を図-11に示す。C/Eが小さくなるに従って直線の傾きが大となり、クリープひずみが大きいことがわかる。また、曲げクリープ、圧縮クリープの兩者についてそのひずみの増加傾向は圧縮によるものより曲げによるものの方が大きいことが同図より読み取れる。表-1に示した3時間測定 of クリープ試験より求めたb(傾き)の値と1週間測定 of bに大差の無いことから、3時間測定クリープ試験により1週間程度のクリープひずみは推定可能であるものと思われる。

### 5. クリープによる破壊及び今後の検討課題

クリープによる破壊が顕著に表現できる曲げクリープ試験について検討する。複合体の各温度における曲げ破壊ひずみは図-12となること が筆者らの研究成果<sup>5)</sup>として得られている。そこで、C/E=0.5 (セメント、アスファルト乳剤、砂の混合割合が2:4:4の配合)の複合体に破壊荷重の20%荷重を曲げクリープ試験に適した場合に破壊に到った例を示せば図-13となる。破壊時のひずみは測点時間間隔が大であったため明確には測定されていないが破壊直前にはひずみはほぼ平衡状態にあり、そのひずみは0.012となっている。このひずみは図-12に示されている同複合体の破壊ひずみの40%と大きい。C/E > 0.5の複合体の荷重1週間経過後のクリープひずみは破壊ひずみの10%程度と小さく破壊には到っていない。静的曲げ試験による破壊ひずみより小さいひずみが複合体に作用した場合でも複合体にマイクロクラックが生じるものと思われる。このマイクロクラックは供試体断面の減少をもたらし、その結果として曲げ応力が大となり最終的には破壊に到る。さらにバインダーとしてのアスファルトは20°Cの温度にては、長期的には流動しひび割れ幅を増加させることも一因かと思われる。従って、マイクロクラックが発生するひずみを各配合の複合体について

正確に把握することが必要となる。このことは今後の検討課題としたい。長期クリープひずみを推定する手法として実測したクリープコンプライアンスを利用して行う場合と、複合体を粘弾性モデルの4要素流体<sup>6)</sup>等と仮定し、粘弾性常数より行う場合の兩者の比較を行いその妥当性についての検討も今後の課題としたい。粘弾性常数より長期クリープひずみの推定を行う為には、粘性係数相当値を荷荷時間の関数として求めなければならず、本研究の範囲内にては困難であった。

### 7. まとめ

セメントアスファルト複合体のクリープ特性に関して本実験の範囲内にて得られた結果をまとめ

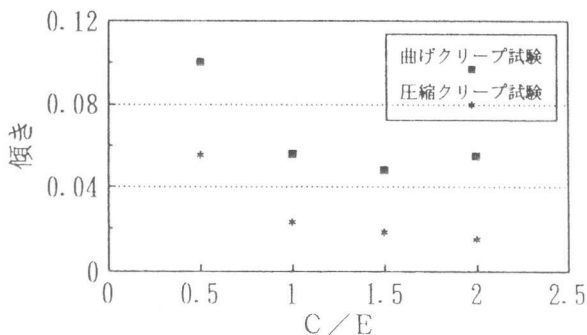


図-11 C/Eと傾きの関係

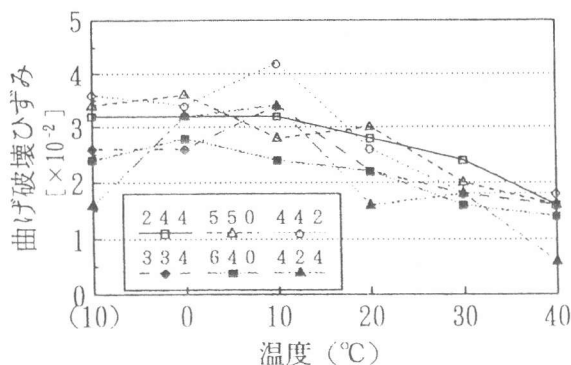


図-12 温度と曲げ破壊ひずみの関係

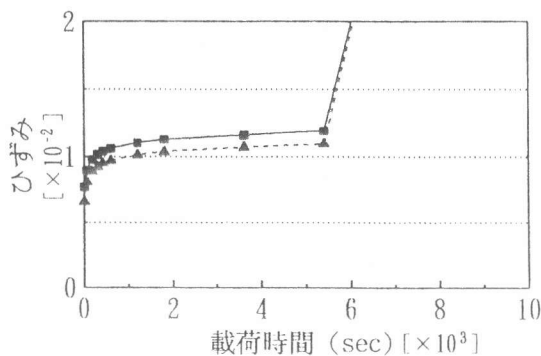


図-13 曲げクリープ試験結果(破壊)

ると以下の通りとなる。

(1)クリープによるひずみは載荷時間の関数として短期間載荷に対しては以下の関数形で表せる。

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

(2)曲げ破壊強度の20%荷重を曲げクリープ試験載荷荷重として作用させた場合、 $C/E = 0.5$ 以外の複合体では、1週間載荷クリープによる破壊は生じなかった。

(3)曲げ、圧縮の両クリープ特性に関しては、曲げクリープひずみのほうが時間経過に伴うひずみの増分が大となった。

(4)曲げ、圧縮の両クリープコンプライアンス、クリープひずみの値は $C/E$ による影響が大きく、 $C/E$ の小さい複合体のクリープコンプライアンス及びクリープひずみは、 $C/E$ の大きいものより大である。

[謝辞] 本研究を遂行するに際して材料の提供を頂いた、住友大阪セメント(株)の関係者各位に対して深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1] 上田 満・田代 忠一・兼行 啓治・萩原 淳之：セメントアスファルトモルタルの曲げ、圧縮強度特性、コンクリート工学年次論文報告集第13巻、第1号、pp. 351-356, 1991
- [2] 吉安紀子・上田 満・浜田純夫：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
- [3] 上田 満・田代 忠一・黒川 卓郎・小林 哲夫：アスファルト乳剤がセメントアスファルトモルタルの諸特性に与える影響について、コンクリート工学年次論文報告集第14巻、第1号、pp. 573-578, 1992
- [4] 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
- [5] 上田 満・浜田 純夫・黒川 卓郎・安久 憲一：セメントアスファルト乳剤複合体の乾燥収縮及び曲げ特性、コンクリート工学年次論文報告集第16巻、第1号、pp. 591-596, 1994
- [6] 上田 満・浜田 純夫・黒川 卓郎・安久 憲一：セメントアスファルト乳剤複合体の力学特性、コンクリート工学年次論文報告集第15巻、第1号、pp. 465-470, 1993