

種々の载荷条件におけるアスファルト合材 の圧縮特性について

正 員 ○上島 壮*
学生員 笹木 国春**

1. は し が き

多くの建設材料の圧縮特性は、その構造物の設計に重要な資料となっている。しかし、アスファルト舗装材料には圧縮試験はあまり用いられていない。その理由は、圧縮強度などの特性値が舗装体の安定度、変形などと単純に関連づけられないためと思われる。最も広く採用されているマーシャル安定度試験にしても、载荷形式は圧縮試験に似ているが、安定度の数値そのものの比重は他の特性値に較べて小さい。しかし、アスファルト舗装材料にとって、圧縮特性が基本的性質の一つであることは確かであり、その解析がより進展することが必要であろう。

アスファルト合材の圧縮特性の解析の手法には、三軸試験などを用い、内部摩擦角と粘着力を主な特性値とする方法と、粘弾性理論によって表現しようとする方法がある。前者は周囲を拘束された舗装体の特性を良く表現し得るが、時間依存性を示す現象を説明しない。粘弾性学的取扱いは、アスファルト合材の力学的性質を時間、温度の関数とするものであり、基本的にはアスファルトそのものの粘弾性を混合物の特性に拡張したものと考えられる。その代表的な手法の一つは、*van der Poel* などのグループによるスティフネスの概念で、理論的な発展性はあまりないものと思われるが、粘弾性関数を技術者に理解し易い形で表現し、豊富なデータによるメモグラフを提供して実用に役立てることを意図しているものと思われる。また他の手法は、線型粘弾性理論を適用するもので、粘弾性関数のマスターカーブを求めることを目的とする。もし線型の仮定が正しく、かつ時間、温度の換算則が成り立てば、どのような载荷条件と温度

条件に対しても力学的応答の算出が可能となる。この手法の適用性については、特に米国の研究者達によって検討が加えられている。しかし、それらの研究では、アスファルトコンクリートへの線型粘弾性の適用範囲は、0.1%のひずみ領域までとされ、供用中しばしば起り得る大きな変形に対する取扱いを示していない。

本研究は、種々の载荷条件における圧縮特性を、数パーセントのひずみ領域まで求め、それらを粘弾性学的な立場から検討を加えたもので、特に線型性の仮定と実際の特性の関係、ひずみと粘弾性関数の形との関係などについて解析を行った。

2. 解析の方法

本研究は応力緩和試験、一軸圧縮試験などの手法を用いたが、これらの試験の資料に対しては緩和関数系の粘弾性理論を適用することが出来る。緩和弾性率は瞬間的に与えられた一定ひずみとそれに対応する応力の比で表わされ、時間の関数である。すなわち、

$$E(t) = \sigma(t) / \epsilon_0 \quad (1)$$

一方、線型の仮定が成り立てば、ボルツマンの重ね合せの原理により、試料に生ずる応力 $\sigma(t)$ は緩和弾性率 $E(t)$ の関数として次式で表わされる。

$$\sigma(t) = \int_0^t E(t-\theta) \cdot \frac{d\epsilon}{d\theta} \cdot d\theta \quad (2)$$

変位速度一定の試験に対しては、(2)は次式の形となり、圧縮試験における応力を緩和弾性率で表現することが可能となる。

$$\sigma(t) = \epsilon / t \cdot \int_0^t E(\theta) \cdot d\theta \quad (3)$$

*北海道大学工学部 助手

**北海道大学大学院工学研究科

(3)の式の右辺の積分値は、 $\sigma(t)/\dot{\epsilon}$ ($\dot{\epsilon}$: ひずみ速度)に等しい。すなわち

$$\sigma(t)/\dot{\epsilon} = \int_0^t E(\theta) \cdot d\theta \quad (4)$$

3. 試験合材

試験はアスファルトコンクリート配合の一種について行った。使用骨材の最大粒径は13mmとし、2.5mm以上の粗骨材は碎石を用い、細骨材は海砂と0.6mm以下のシリカサンド、及び石灰石岩粉を併用した。アスファルトは、80/100級ストレートアスファルトを用い、全重量に対する百分率は5.7%である。使用アスファルトの針入度は81、軟化点は47.3である。骨材の合成粒度曲線は図-1に示されるものである。

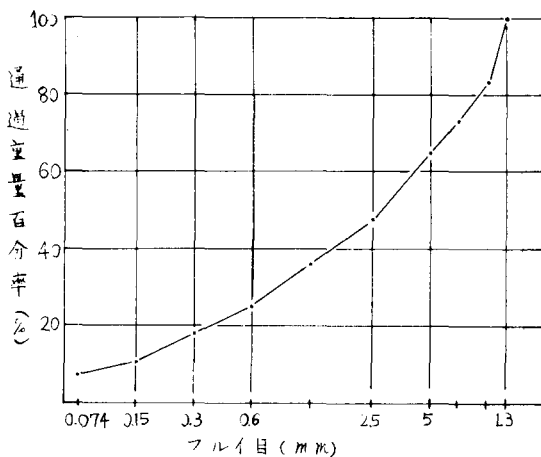


図-1 粒度曲線

合材は30×30×6cmの試料板として製作される。転圧はローラーコンパクターを用いて行い、しめ固めた後、45℃の恒温室内でホイールトラッキング試験機を用いて、ソリッドタイヤを全面に走行させる操作を一時間行う。

得られた供試体の密度の平均値は2.444であり、空隙率はマーシャル試験の基準値より小さい。供試体はこの試料板より切出したもので、120×40×40mmの角柱である。

4. 試験装置と試験条件

試験の種類は、応力緩和試験、一軸圧縮試験、およびそれらの繰返し載荷試験であり、いずれもインストロン型万能試験機を用いて行った。この型の試験機の特徴は、荷重、変位の記録、及び試験機の駆動、制御をすべて電気式に行っていることで、試験機の動作は多くの機能をもつものである。

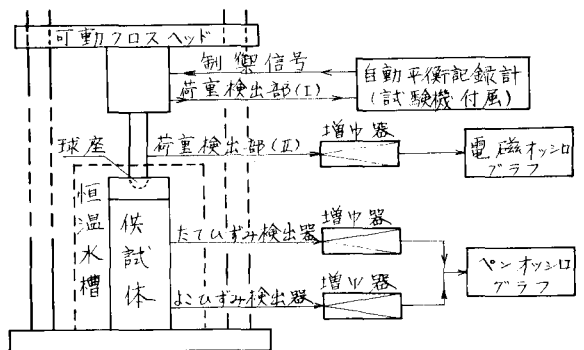


図-2 試験装置概略図

測定系統は図-2に示すもので、試験機本体の測定記録部と別系統の荷重検出部、標点間ひずみ検出部、横ひずみ検出部を併用した。これらはストレインゲージ式の検出器を製作したものである。荷重検出部は、極めて早い現象を測定することを目的としている。これによって $\frac{1}{100}$ 秒の時間領域の測定が可能である。試験は恒温水槽中で行い、供試体は水浸された状態となる。

試験は次の条件で行った。

供試体の高さ×巾×厚み： 120×40×40mm

試験温度： 20℃

試験の種類と条件

- i) 応力緩和試験： 初期ひずみ設定の変形速度は、300, 200, 100mm/分
- ii) 一軸圧縮試験： 変形速度 50, 20, 5, 2, 1, 0.5mm/分
- iii) 繰返し応力緩和試験： 25分間の緩和試験と

数分間の休止の繰返し試験、初期変形速度

300 mm/分

Ⅳ) 繰返し圧縮試験： 変形速度 0.5 mm/分、

往復応力 0~6・30, 及び7・28 kg/cm²

なお、以下のひずみとは、試験開始からの全ひずみを指す。

5. 試験の結果

5-1 応力緩和試験： 初期ひずみの設定は、高速のクロスヘッド速度と自動停止機構によって行う。

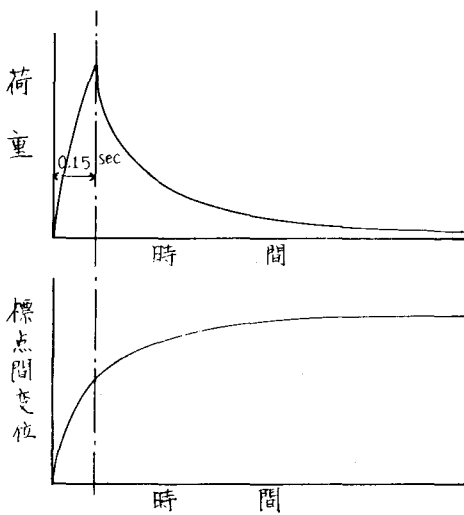


図-3 応力緩和試験における一般的曲線

図-3は試験の実測例を示したもので、初期の載荷時間は約0.1秒程度まで短縮可能である。標点間ひずみ測定は中心部の5cm長の部分について行ったが、同図に示されるように、多くの場合圧縮変形はクロスヘッドが停止した後も継続して進行する。以下の変位量については、試験機の公称値を用いて算出した。

図-4(a)は緩和弾性率と時間の関係を両対数で表わしたもので、ひずみの大きさは、0.4~0.6%の範囲である。 $E(0)$ として $4 \sim 6 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ の値が得られ、100秒以上の時間領域まで直線的な低下を示す。緩和時間の分布関数は

$H(\ln \tau) = -(dE(t)/d \ln t)_{t=\tau}$ で近似されることを考慮すれば、この時間領域については緩和スペクトルは一様に分布している。

図-4(b)は、(4)式の右辺を数値積分によって求め

たものである。

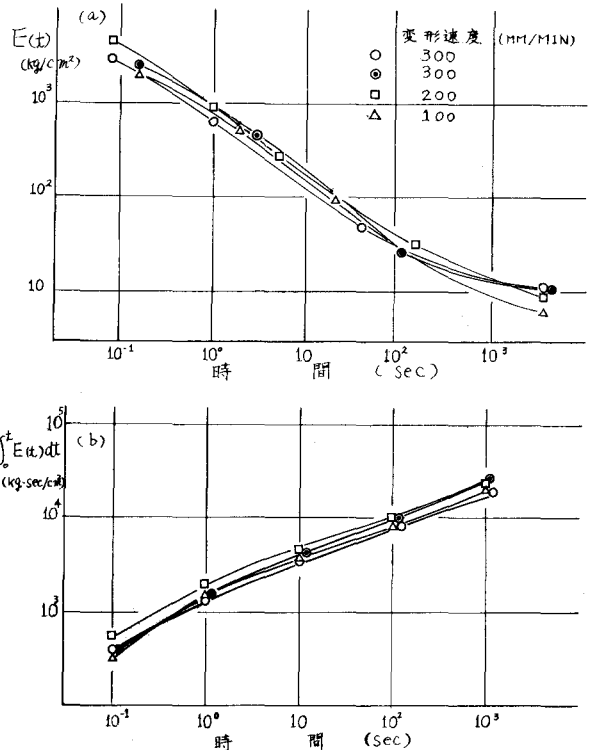


図-4 緩和弾性率 $E(t)$ 及び $\int_0^t E(t) dt$ と時間の関係

5-2 一軸圧縮試験： 応力-時間曲線は、図-5に見られるように変位速度によって大きな変化を示す。

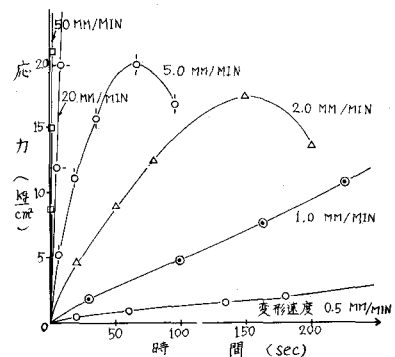


図-5 一軸圧縮試験における応力・時間曲線

しかし、図-6の換算応力に変換すれば、それぞれの曲線の分布に一定の傾向が見出される。

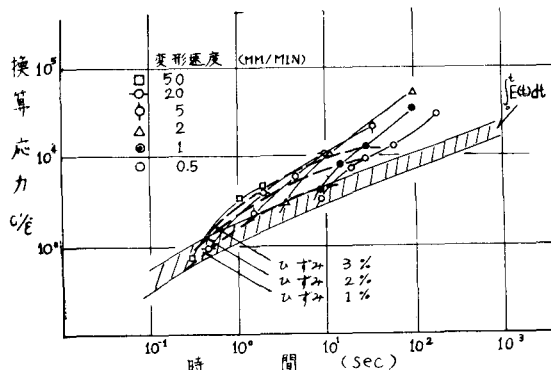


図-6 一軸圧縮試験における換算応力・時間曲線

図-6 一軸圧縮試験における換算応力・時間曲線

図中の斜線部は、図-4(b)の $E(t)$ の積分値の分布を示し、ひずみ0.5%の領域における換算応力と等価である。破線は圧縮試験における等ひずみ曲線である。ひずみ1%のレベルは斜線部の変動巾に含まれる。しかし、2%、3%のレベルはひずみが大きいもののほど、斜線部から偏移を示し、重ね合わせの原理の適合性が悪くなる。圧縮試験の曲線間については、同一の載荷時間に対して変位速度が大きいものの換算応力がより大である。これらの現象は、粘弾性特性の非線型性を示ものであり、条件が同じであれば、ひずみの大きいもののコンシステンシーが大きく現われる。

5-3 繰返し応力緩和試験：この試験の目的は、一軸圧縮試験に現われた、ひずみ依存の力学特性を一定レベルのひずみにおける緩和弾性率より検討することにある。繰返しの回数は合計28回、標点間で9%のひずみまでの測定を行った。図-7は7個の試験の結果を示したもので、ひずみの大きさによって緩和特性が変化することが明瞭に表われている。その特徴は、ひずみが増大するにつれて、弾性率が上昇し平衡弾性率に似た部分が出現する。図-8はひずみと特定時間の緩和弾性率の関係である。長時間側の $E(t)$ のひずみ依存度は顕著であり、短時間側では比較的变化の巾は狭い。また、ひずみに対する変化率はむしろ低ひずみ側で大きい。

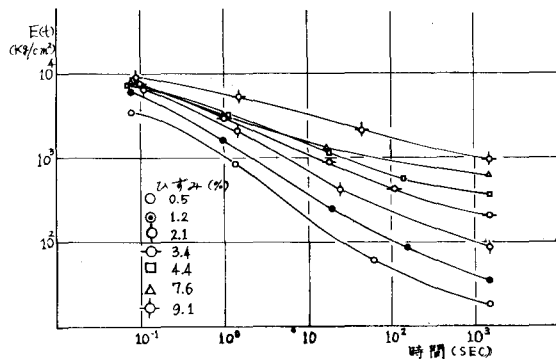


図-7 繰返し応力緩和試験における緩和弾性率-時間曲線

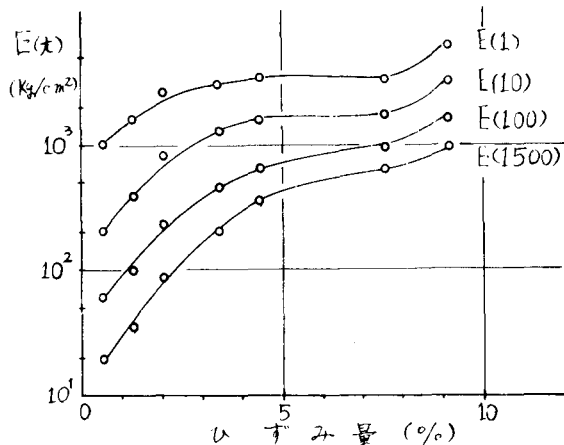


図-8 緩和弾性率とひずみ量の関係

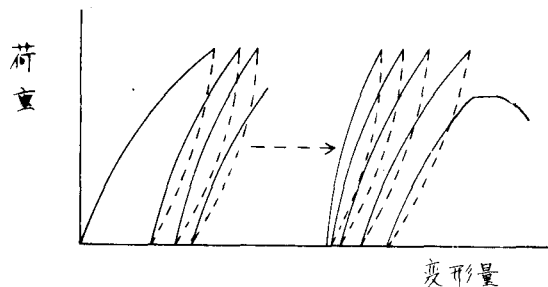


図-9 繰返し圧縮試験概形図

5-4 繰返し圧縮試験：荷重と変位の関係の概形は図-9に示されるもので、破壊までの繰返し回数は、設定応力 6.30, 7.28 kg/cm^2 についてそれぞれ、82, 22回であった。この試験の各々の往路について算出されるスティフネスは、ひずみ量に対して図-10に示される。ひずみ量 6%までコンシステンシーは増大し、その後破壊に至る。一軸圧縮強度はコンシステンシーの増大する過程で得られる。

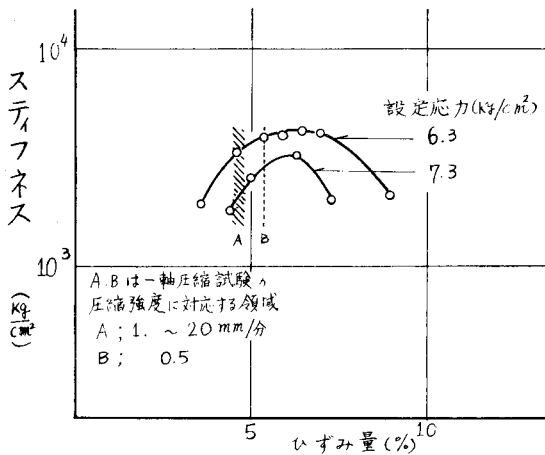


図-10 繰返し圧縮における
スティフネスとひずみの関係

6. む す び

アスファルトコンクリートについて、通常の力学試験などで得られるひずみ領域における粘弾性測定を行い、载荷形式、ひずみ速度などによる力学的応答について検討を行い、ほぼ次の様に結論される結果を得た。

i) 緩和関数の形はひずみによって連続的に変化し、0.5%以上のひずみ領域の粘弾性は厳密には線型の取扱いは出来ない。

ii) しかし、0.5%程度のひずみ領域では、重ね合せの原理の適用で力学的応答をかなり説明し得る。

iii) 圧縮試験特有と思われる非線型現象は、ひずみ2%附近より顕著となり、ひずみの増加に伴い弾性体的性質に移行する。