

種々の載荷条件におけるアスファルト混合物の曲げ破壊に関する研究

北海道大学工学部 正員 ○森吉昭博

北海道大学工学部 正員 菅原照雄

1. まえがき

アスファルト混合物の力学性状のうち破壊時の性状に関する研究は古来より数多くみられ、最近この分野でも静的な試験のみならず動的な試験における研究もかなり進展している。

Reiner, Leeらはアスファルトの静的な破壊現象を3種の模型で表現し、複雑な粘弾性物質の破壊現象を次のように説明している。これによるとアスファルトはあるときはHooke 固体、あるときはMaxwell 体、またあるときはBurgers 体のもっているような破壊をするとしている。これを力学的に表現するならば、アスファルトの破壊はあるひずみを越えることによる破壊、ある強さを越えることによる破壊、およびある応力緩和性状を越えることによる破壊の3種に分類されるといえる。

筆者らはこの研究とは別に主として一定ひずみ速度の曲げ試験の数多くの結果から、アスファルトおよびアスファルト混合物の破壊の型を脆性領域における破壊、転移領域における破壊、および流動を伴う領域における破壊に分類し、各型の破壊現象について詳しく検討している。

筆者らの一連の研究によると、アスファルトおよびアスファルト混合物の破壊時の性状は上で述べた3つの破壊のモードと密接な関係があるが、これを破壊強度と破壊時のひずみで整理すると試験温度、ひずみ速度に関係なくある一定の関係で示され、この関係はその物質固有の性質（材料の配合、アスファルトの性状等）のみに依存することが一定ひずみ速度の曲げ試験から確かめられている。

この関係は図-1に示す如く、ある破壊時のひずみのときに破壊強度は極大値を示す、いわゆる山形の曲線を描く。この曲線は一定ひずみ速度の曲げ試験の結果を整理したものであるため、他の載荷条件におけるこの曲線の形や応力～ひずみ曲線の形、および応力～ひずみ曲線の形とこの曲線の関係についてはほとんど

研究されていない。このような理由のもとで、本研究は種々の載荷条件のもとで曲げ試験を実施し、以上の点を検討し、アスファルト混合物の配合設計や舗装構造のパフォーマンス評価をこれらの研究から行なうとするものである。もし載荷条件が異なれば、混合物の破壊時の性状はきわめて簡単に表現することが可能であると思われる。

2. 解析法

本研究には一定ひずみ速度試験、クリープ試験、くりがえし応力緩和試験、一定ひずみ速度試験中に急にひずみ速度を増加（一段加速ひずみ制御試験）する試

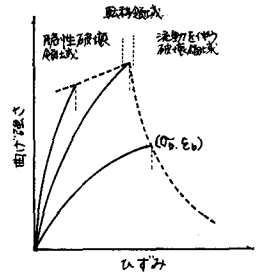


図-1 曲げ強度と破壊時のひずみとの関係

験および一定ひずみ速度試験中に急にひずみ速度を減少（一段減速ひずみ制御試験）させる試験を採用した。これらの実験結果の解析はすべて弾性解を用いた。

なおアスファルト混合物の破壊はクリープ試験では第2期クリープよりはずれる点とし、くりがえし応力緩和試験ではステイフネスが極大値を示す点と定義した。また一段加速ひずみ制御試験におけるアスファルト混合物の破壊は一定ひずみ速度試験同様、荷重が極大となる点と定義した。

3. 使用材料および混合物

本研究に使用した混合物はアスファルトコンクリートタイプの混合物（一種類）であり、使用骨材の最大粒径は13 mmとし、2.5 mm以上の粗骨材は砕石を用い、細骨材には海砂と0.6 mm以下のシリカサンドおよび石灰石岩粉を併用した。アスファルトはストレートアスファルト 80/100 級のもの（針入度 96、軟化点 47.0 °C）を使用した。アスファルトの全重量に対する白分率は6.0%である。

本実験に用いた混合物は $30 \times 30 \times 5$ cmの供試体であらかじめローラコンパクタを用いて転圧して製作し、この供試体を 45°C の恒温室内でホイールトラッキング試験機を用いて供試体の全

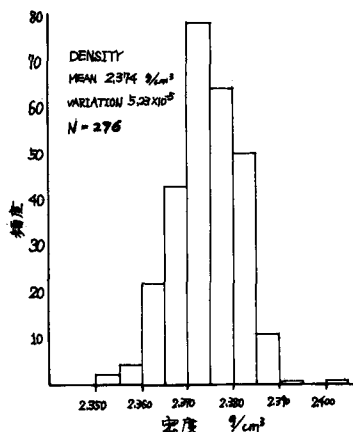


図-2 密度のヒストグラム

面にわたってリトラバースを行ったものであり、曲げ試験用の供試体はこの大きな供試体より $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ cmの大きさに6面カットして切りだしたものである。このように厳しい密度管理をしたため図-2に見られる如く、密度の標準偏差は極めて小さい。なおこれらの供試体の空隙の平均値は3.4%であった。

4. 試験装置と試験条件

本研究で採用した試験は以下に示す5種の曲げ試験であり、試験機はいずれもインストロン型万能試験機を用いた。

荷重検出の測定装置は試験機の変形速度が50 mm/分以上のものに対してはペンオシログラフを用い、それ以下ではインストロン型万能試験機付属の自動平衡記録計を使用した。なおクリープ試験においてはフリーアダプターを併用し荷重～変位曲線を得た。

5種の試験は次の条件のもとで行なった。

供試体の高さ×幅×厚み : $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ cm

試験の種類と条件

1) 一定ひずみ速度試験

変形速度 5, 50, 100, 300, 500 mm/分
温度 5, 7.5, 10, 11, 12, 13, 15, 20, 25 $^\circ\text{C}$

2) クリープ試験

初期変形速度 5 mm/分
設定応力 破壊強度の0.5, 0.7 倍
温度 -3, 2.5, 7, 10 $^\circ\text{C}$

3) くりかえし応力緩和試験

初期変形速度 5, 50 mm/分

設定応力 破壊強度の0.5, 0.7 倍

下限応力 設定応力の0.2 倍

温度 10 $^\circ\text{C}$

4) 一段減速ひずみ制御試験

初期変形速度 50 mm/分

最終変形速度 5 mm/分

設定応力 破壊強度の0.3, 0.5, 0.7 倍

温度 10, 15 $^\circ\text{C}$

5) 一段加速ひずみ制御試験

初期変形速度 5, 50 mm/分

最終変形速度 50, 100, 500 mm/分

設定応力 破壊強度の0.3, 0.5, 0.7 倍

温度 5, 10, 15, 20, 25 $^\circ\text{C}$

5. 実験結果

5-1 一定ひずみ速度試験

図-3の実験結果は破壊強度と破壊時のひずみで整理した。本実験範囲は図-1で示した流動を伴う破壊領域であるため、ある破壊時のひずみのとき破壊強度が極大値を有する山形の曲線とはならない。1)で述べた如く一定ひずみ速度試験は載荷条件を広範囲に変化させているにもかかわらず、破壊強度と破壊時のひずみとの関係は一定らしくみえる。このためこれらの関係が2次曲線で表現可能と仮定し、最小自乗法を適用して計算すると図中の式が得られた。

なおこの式は以下に述べる各種試験の応力設定の基準となる。

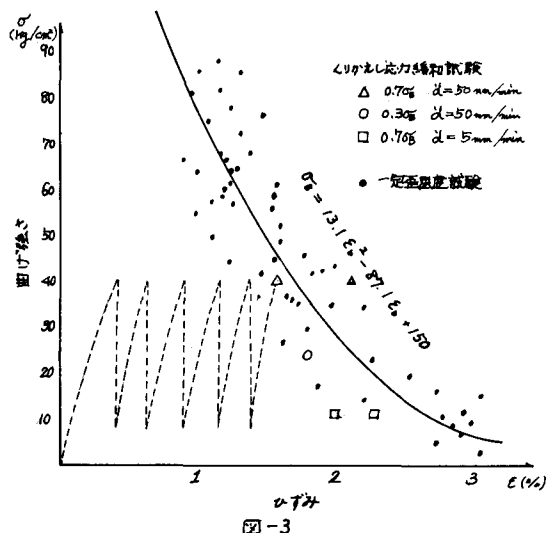


図-3

5-2 クリープ試験

応力制御は一定ひずみ速度試験結果を参考にしてクロスヘッド速度と自動停止機構により行う。試験の結果は図-4に示す。

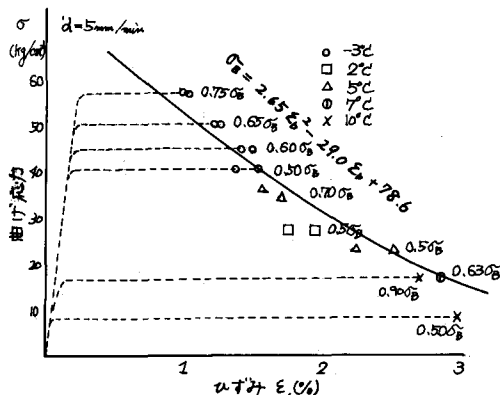


図-4 クリープ試験における曲げ応力と破壊時のひずみとの関係

図中に示す点線はクリープ試験における応力～ひずみ曲線を破壊まで描いたものであり、クリープ試験の代表的な結果のみを示した。

破壊強度（クリープ応力）と破壊時のひずみとの関係は応力レベル、温度に依存せず、ほぼ一定である。これに5-1同様最小自乗法を適用すると図中の式が得られた。図で設定応力が60 kg/cm²以上のデータが存在しないのは試験装置の制約による。

5-3 くりかえし応力緩和試験

本実験は供試本数が少ないため、これについて結論を下すのは困難であるが、図-3に示すデータから破壊強度と破壊時のひずみとの関係は応力レベルには無関係であるらしくみえる。図中の点線はこの試験における応力～ひずみ曲線の履歴を示したものである。破壊に近づくにつれ、設定応力に達するひずみも小さくなる傾向がこの図からもうかがえる。

5-4 一段減速ひずみ制御試験

図-5は温度10°Cにおいて初期変形速度を50 mm/分より、目標設定応力において急に5 mm/分の変形速度に減速した結果である。初期変形速度が同一でも供試体が試験毎に異なるにもかかわらず、ほぼ同じ応力～ひずみ曲線を描き、実験の再現性のよいことを

示している。

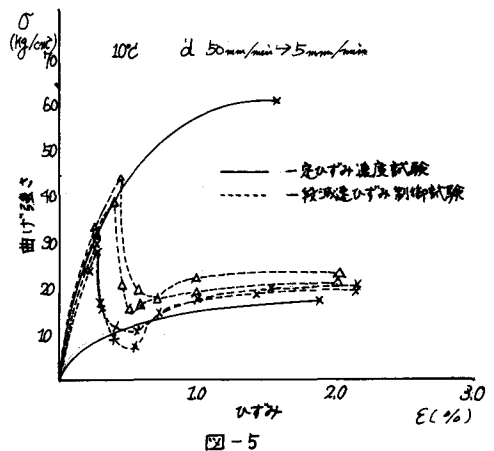


図-5

目標設定応力で急激に変形速度を減速するといずれの応力レベルにおいても応力～ひずみ曲線はあるひずみで応力は極小値を示すが、その後一定ひずみ速度試験の応力～ひずみ曲線に似た曲線を描く。応力～ひずみ曲線で極小値があらわれる現象については現在検討中である。

実験温度を変化させた場合のこの試験結果は図-6に示す。温度が高くなると、一定ひずみ速度試験の応力～ひずみ曲線は緩やかな曲線となる。この場合にも一段減速ひずみ制御試験の減速後の応力～ひずみ曲線は一定ひずみ速度試験で得られた曲線と類似である。

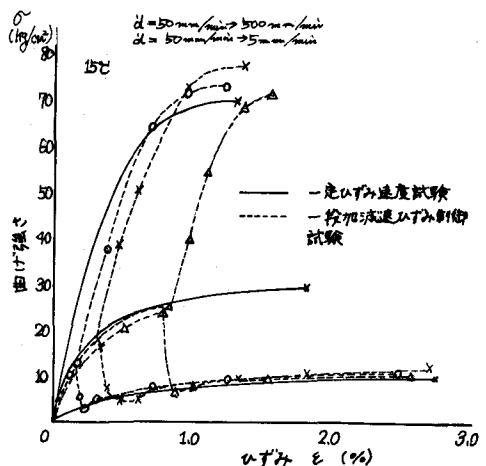


図-6

本試験で得られた破壊強度と破壊時のひずみとの関

係は図-7に示す。

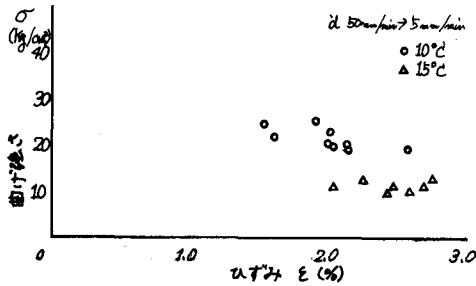


図-7 一定減速ひずみ制御試験における曲げ強さと破壊時のひずみの関係

5-5 一定加速ひずみ制御試験

この試験は5-4の試験の最終速度が速くなるだけで、あとの条件は5-4と全く同一である。図-6にみられる如く、応力レベルが変化しても応力～ひずみ曲線の形はほぼ圓形と考えてもさしつかえなく、一定減速ひずみ制御試験の応力～ひずみ曲線と比較すると一定ひずみ速度試験の応力～ひずみ曲線にすりつくまでのひずみ(時間)が前者ではきわめて大きいところがあるであろう。

図-8はこの試験で温度、応力レベルおよび変形速度を変化させたときの破壊強度と破壊時のひずみの関係を示す。破壊強度と破壊時のひずみがこれらに影響されないと思われるので、これに5-1と同様の処理を行なったところ図中の式が導かれた。

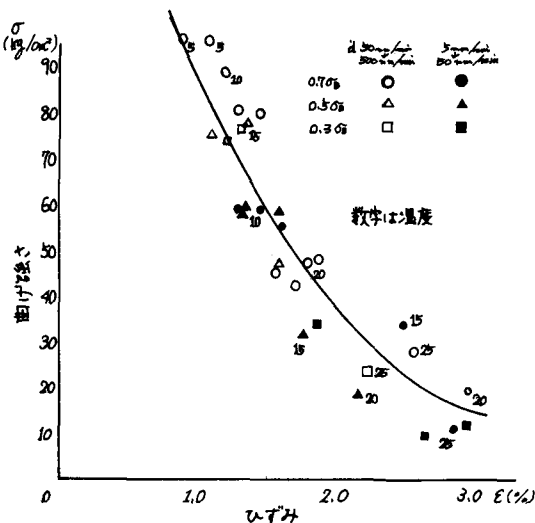


図-8 一定加速ひずみ制御試験における曲げ強さと破壊時のひずみの関係

図-9は本研究で行った5種の試験から得られた破壊強度と破壊時のひずみとの関係を示す。

クリーブ試験を除く残りの4種の結果はきわめてよく一致しているように思われるが、さらに高応力のクリーブ等の実験を行い、この点についても詳細に検討する必要がある。

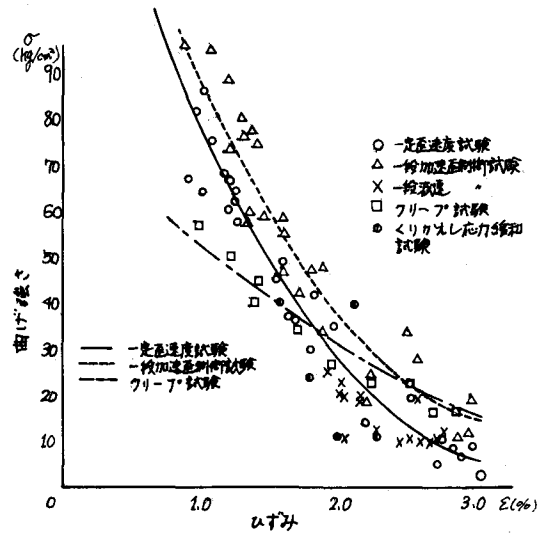


図-9 5種の曲げ試験における曲げ強さと破壊時のひずみとの関係

6. 結論

- 種々の载荷条件におけるアスファルト混合物の破壊現象は破壊強度および破壊時のひずみで説明することが可能であり、これらの関係は温度、ひずみ速度、応力履歴に依存しない。
- 一定ひずみ速度試験より得られる破壊性状より他の試験における破壊性状はらびに応力～ひずみ曲線もある程度推測可能であると思われる。
- クリーブ試験、およびくりかえし応力緩和試験についてはさらに詳細に検討する必要がある。

本研究は文部省科学研究費の交付を受けて行ったものであり、結果の解析にあたっては北大大型計算機FACOM 230-75を用いた。

ほか本実験にあたっては高橋美君、岡崎隆雄君、またデータ整理においては上島杜氏の協力があり、このことを付記し、ここに感謝の意を表明する。