

V—19 アスファルト混合物の低温低速領域における力学性状について

北海道大学工学部 正会員 森吉昭博

北海道大学工学部 学生員 鈴木邦明

北海道大学工学部 正会員 張 肖寧

北海道大学工学部 正会員 高橋 将

1. まえがき

アスファルト混合物の力学性状、特に破壊性状は、アスファルト舗装の構造設計を行なうときに破壊強度及び破壊ひずみ等の値が必要となるため、従来より数多くの研究例がある。^{1)~6)} しかしこれらの研究は車両走行時の状態を想定しているため、実験温度が比較的低くても、ひずみ速度の速いものが多い。

これに対し最近寒冷地等で問題になっている横断亀裂現象は、外気温の変動により舗装体内部に生ずる温度応力により破壊するといわれているが、この速度はひずみ速度に換算すると極めて遅いひずみ速度(約 $10^{-7}/\text{sec}$)に対応する。横断亀裂を想定した研究は若干あるものの⁷⁾、横断亀裂の生じる領域で強度や破壊ひずみを測定しているものは少ない。アスファルト混合物はある領域では載荷速度や温度により強度や破壊ひずみの値がほぼ規則的に変動するため、これらからの検討も必要である。本研究は3種のアスファルト混合物について、比較的低温領域の高速と低速のひずみ速度のもとで単純曲げ試験を行ない、両者の違いを以下の点について検討した。

- a) 荷重—時間曲線の形状
- b) 曲げ強度、破壊時のひずみ、破壊時のスティフネス
- c) 脆化点の動き、脆化点の力学性状

2. 使用材料および材料性状

使用したバインダーはストレートアスファルト80/100(針入度86、軟化点 47.8°C)であり、配合は密粒アスコン(アスファルト量 5.8%)、粗粒アスコン(アスファルト量 5.0%)およびアスファルトモルタル(アスファルト量10%)の3種である。

3. 供試体および実験手法

所定の温度で混合し、ローラーコンパクターを用い所定の温度で転圧した後、ホイールトラッキング試験機のトラバース装置で荷重55.1kg、温度 45°C の条件下で1時間ニーディングを行なった。供試体はこの $30\times 30\times 5\text{ cm}$ の板より $3\times 3\times 25\text{ cm}$ の大きさにカッターで6面カットしたものである。実験はインストロン型万能試験機を用いて両端単純支持の3点曲げを -40°C から 20°C の範囲で変形速度 0.5 mm/min (ひずみ速度 $3.8\times 10^{-5}/\text{sec}$)と 500 mm/min (ひずみ速度 $3.8\times 10^{-2}/\text{sec}$)について行なった。実験は全て混合から実験日まで同一の行程で合計5日のサイクルとした。

表一 実験条件および供試体本数

4. 実験条件および解析法

実験条件を表一に示す。ここで供試体本数を変えた温度は、その速度における脆化点付近を意味する。

曲げ強度、破壊時のひずみ、破壊時のスティフネス等の解析は全て弾性解を用い、棒状供試体の下縁の強度およびひずみ等について考察した。

		(温度間隔はほぼ 5°C)			
変形速度		500mm/min		0.5mm/min	
密粒	本	5	1	5	1
アスコン	$^{\circ}\text{C}$	-40—10—25		-40— -10— 0	
粗粒	本	5	1	5	1
アスコン	$^{\circ}\text{C}$	-30—10—25		-30— -10— 0	
アスファルト	本	5	1	5	1
モルタル	$^{\circ}\text{C}$	-30— 5—25		-30— -15— 0	

4-1 荷重—時間曲線の形状

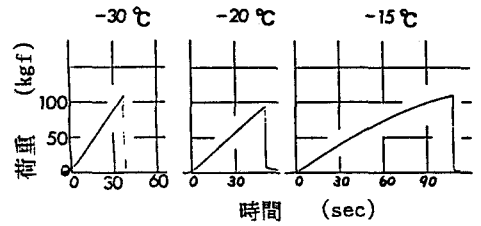
アスファルトモルタルの荷重—時間曲線は変形速度に無関係に脆化点より低温側ではほぼ直線的であり、それらは最大荷重点を過ぎるとほぼ瞬間的に零に戻る（図—1）。脆化点付近の荷重—時間曲線は若干曲線となるものの破壊後の荷重—時間曲線の形状は脆性領域のそれとほぼ同一である。このことから、アスファルトモルタルは脆化点以下の温度においては最大荷重を過ぎると急激な破壊を示すことは明らかである。

図—2は密粒アスコンの荷重—時間曲線を示す。ここでは脆化点において急激な破壊を示しているのに対し、それより低温側では混合物が破壊しても若干荷重が残り、その荷重—時間曲線の形状は温度に無関係のように思われる。この現象は混合物が破壊しても骨材の付着が若干あるためと考えられる。

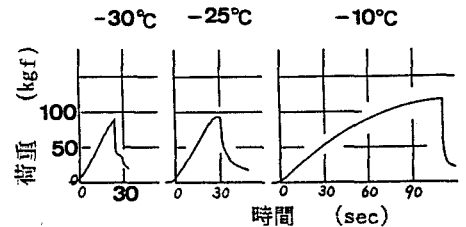
また、脆化点より低温側では荷重—時間曲線の形状が若干異なり、ほぼ直線変化する領域、ほぼ直線変化するものの大きな荷重領域で曲線に移行する領域の2つの型がみられる。密粒アスコンでは、これらの領域において荷重—時間曲線にギザギザな現象が見られ、この現象は大きく波形変化する時に供試体より破壊音が聞えることから、この領域では供試体内部で次第に局所的な破壊が生じていると考えてよいと思われる。この現象は表—2より密粒アスコンでは -25°C より低温で見られ、これは 500mm/min の速度では見られなかった。この時の変形係数は $1.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、応力で 100kgf/cm^2 であった。これよりこの変形係数より大きくなるとこの荷重—時間曲線のギザギザ（以下ビビリ現象と呼ぶ）が生ずると考えてよいと思われる。⁹⁾

このビビリ現象の生ずる温度と脆化点温度との差は 15°C である。脆化点温度が混合物の温度応力試験の転移点温度に対応していることから⁸⁾、この温度差は温度応力試験における脆性領域の幅と密接な関係にあると考えられる。

図—3は粗粒アスコンの荷重—時間曲線を示す。密粒アスコン同様、曲線のその形状は脆化点より低温側で2つの型が見られ、変形速度 0.5mm/min ではビビリ現象も見られる。このビビリ現象が発生する温度は表—2より -15°C であり、この混合物の脆化点との温度差は 5°C である。このビビリ現象の発生する時の変形係数は $6 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 、応力で 60kgf/cm^2 であった。



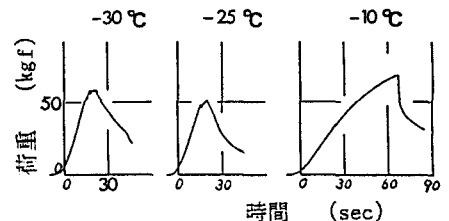
図—1 アスファルトモルタルの荷重—時間曲線 (0.5mm/min)



図—2 密粒アスコンの荷重—時間曲線 (0.5mm/min)

表—2 ビビリ現象の発生頻度

温度 $^{\circ}\text{C}$	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10
密粒 個	6/6	3/6	6/6	4/7	0/9	0/5	0/6
アスコン %	100	50	100	57	0	0	0
粗粒 個	-	-	7/7	6/7	5/6	4/7	0/6
アスコン %	-	-	100	86	83	57	0



図—3 粗粒アスコンの荷重—時間曲線 (0.5mm/min)

4-2 曲げ強度、破壊時のひずみ、

破壊時のスティフネス

図-4は3種類のアスファルト混合物の曲げ強度と破壊時のひずみとの関係を変形速度別に示したものである。アスファルトモルタルは3種の混合物の中で最も曲げ強度が大きく、かつ変形速度による曲線の形状変化も特に顕著である。

これに対し変形速度による曲線変化の一番少ないのは密粒アスコンである。混合物の脆化点付近における破壊ひずみはアスファルトモルタル、密粒アスコン、粗粒アスコンの順に大きい。流動を伴う領域の曲線の形状は変形速度により変化するかどうかは明らかではないが、ほぼ同じ形状となるように思われる。

このように各混合物とも変形速度によりこの曲線の形状が若干異なるが、図-4に示すごとく、この程度はアスファルトモルタルにおいて顕著である。脆化点より低温側におけるアスファルトモルタルの曲げ強度のばらつきは2-5%程度であり、温度におけるそのばらつきの程度に明確な傾向は見られなかった。これに対し、粗粒アスコンおよび密粒アスコンにおいて、このばらつきは5-12%の範囲にあり、アスファルトモルタルのそののほぼ倍の値となる。

図-5は密粒アスコンの破壊時のスティフネスと温度との関係を示す。ここに示した 1.1×10^5 kgf/cm²のラインはビブリ現象が生ずる限界のスティフネスを示す。なお変形速度が500mm/minにおけるビブリ現象はこの実験では見出されていないが、この点についてさらに詳細に検討中である。

4-3 脆化点の動き、脆化点の力学性状

3種の混合物の脆化点付近における曲げ強度、およびそのばらつきについては表-3に示す。

いずれも脆化点付近で強度のばらつきがかなり大きいように思われる。脆化点は密粒アスコン、粗粒アスコン共、変形速度に関係なくほぼ同一の値となるが、アスファルトモルタルは各変形速度において前2者のそれより約5℃低い値となる。

このため3種の混合物は500mm/minと0.5mm/minの変形速度の脆化点の温度差はいずれも20℃とほぼ一定となる。一方、曲げ強度は、変形速度が大きくなるに従い密粒アスコン、アスファルトモルタルにおいては若干大きくなる傾向にある。また、密粒アスコンでは脆化点付近の曲げ強度のばらつきは500mm/minの時のそれより0.5mm/minのばらつきの方が一般に小さい傾向にある。

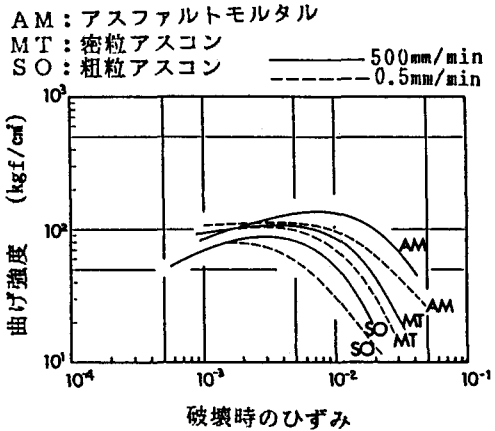


図-4 曲げ強度と破壊時のひずみの関係

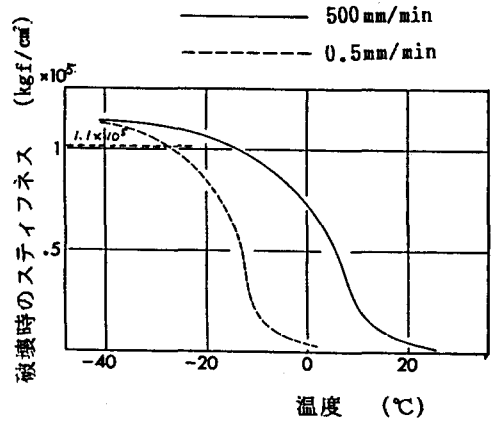


図-5 破壊時のスティフネスと温度との関係 (密粒アスコン)

表-3 脆化点温度および破壊性状

	変形速度 mm/min	温度 ℃	強度 kgf/cm ²	変動係数 %
密粒 アスコン	500	10	117	15
	0.5	-10	107	3
粗粒 アスコン	500	10	79	8
	0.5	-10	78	7
アスファルト モルタル	500	5	135	4
	0.5	-15	113	4

5. まとめ

以上で得られた結論を要約すると以下の通りである。

- 1) 3種の混合物(密粒アスコン、粗粒アスコン、アスファルトモルタル)の力学性状は変形速度により若干変化する。
- 2) 一般に変形速度が小さくなるに伴い、曲げ強度は小さく、またこのとき密粒アスコンでは曲げ強度のばらつきも小さくなる傾向にある。
- 3) 密粒アスコン、粗粒アスコンの混合物では、低温側で荷重—時間曲線がほぼ直線、およびはじめ直線で高荷重で曲線となる2種類の型をとる。
- 4) この2つの混合物は変形速度が遅い領域で荷重—時間曲線にビブリ現象を生ずる場合がある。
- 5) ビブリ現象は変形係数が密粒アスコンでは 1.1×10^5 kgf/cm²、粗粒アスコンでは 6×10^4 kgf/cm²程度以上となる温度領域で発生する。
- 6) ビブリ現象時の曲げ強度は密粒アスコンで 100kgf/cm²、粗粒アスコンで60kgf/cm²程度となる。

本研究で得られたビブリ現象は温度応力試験のように変形速度の極めて遅い場合にも発生している可能性があること、また変形速度が遅くなると共に強度の低下傾向があることなどは、温度応力試験との対比で考えると極めて興味深い結果であると思われる。現在このビブリ現象の発生する条件と温度応力試験との対応についても、さらに検討中である。

参考文献

- 1) Eriksson; Tensile Test on Sheet-Asphalts, Statens Vaginstitut, Moddelance 82, Stockholm 1951
- 2) Monismith C.L., Secor G.A., Secor K.E.; Temperature Induced Stresses and Deformation in Asphalt Concrete, PAAPT Vol. 34, 1965
- 3) 森吉, 上島, 菅原; アスファルト混合物の破壊強度に関する研究, 土木学会論文報告集, 第 210号, 1973
- 4) 上島, 森吉, 菅原; アスファルト混合物の破壊時のひずみに関する研究, 土木学会論文報告集, 第 221号, 1974
- 5) 菅原, 上島, 森吉; アスファルト混合物の低温領域における破壊のレオロジー挙動, 土木学会論文報告集, 第 234号, 1975
- 6) Smith T.L.; Visco elastic Behavior of Polyisobutylene under Constant Rate of Elongation, Journal of Polymer Science Vol. 20, 1956
- 7) R.C.G. Haas, K.O. Anderson; A Design Subsystem for The Response of Flexible Pavements at Low Temperatures, PAAPT Vol. 38, 1968
- 8) T. Sugawara, A. Moriyoshi; Low Temperature Cracking of Asphalt Pavements, Paving in Cold Areas Mini-Workshop Canada/Japan S.T.C. Vol. 1982
- 9) 上島, 下田, 梶, 菅原; アスファルト合材のゼイ性破壊に関する研究—主として歪速度、温度の影響について—, 土木学会第24回年次学術講演会講演集 第4部, 1969