

水工用アスファルト混合物の力学性状に関する研究

吉 田 隆 輝*・高 橋 正 一**

The Study on Mechanical Properties of Asphalt Mixtures in Hydraulic Engineering

Takaki YOSHIDA and Shouichi TAKAHASHI

要 旨

4種類のバインダーを用い、骨材と少量のアスベストで水工用アスファルト混合物を作製する。実験に用いた曲げ試験は、定ひずみ速度曲げ試験である。実験の結果、少量のアスベストを添加したアスファルト混合物に力学性状の効果が表れた。

Synopsis

In this study, we make use of four kinds of binder and obtain asphalt mixtures in hydraulic engineering of each of these binders, aggregates and a small volume asbestos. The bending test used in this experiment is the constant rate of strain.

From the results of our experiments, asphalt mixtures added to a small volume asbestos show effects of mechanical properties.

1. ま え が き

アスファルトは古くから水密性材料として使用されており、水密性、自癒性、耐久性、たわみ性に富んでいる。アスファルト混合物は主として道路舗装に用いられているが、その優れた特性を利用して、ダムフェーシングやセンターコア、ライニング等の水利構造物にも近年積極的に使用されるようになってきている。ダムフェーシングを考えると、一般に急斜面で施工される事が多いために、道路舗装のように十分に転圧することは困難である。したがって水密性、耐久性、たわみ性に富んだ水工用アスファルト混合物を得るために、アスファルト量は一般に富配合にする必要がある。アスファルト量の多い混合物を斜面上に舗設したとき、スロープフローが大きくなる等の心配が生ずる。その抑制のため、アスベストを添加することも行われ、その施工例は多いが¹⁾²⁾³⁾、近年では公害等への配慮の面から使用されなくなっ

てきているようである⁴⁾。

本研究は、4種類のバインダーを用い、アスベスト添加有無の水工用アスファルト混合物供試体を作製し、定ひずみ速度による3点曲げ試験を行い、その力学性状の違いを明らかにしようとするものである。

2. 実 験 方 法

2.1 使用材料および使用混合物

実験に用いる瀝青材料は、2種類の舗装用石油アスファルトと2種類の改質アスファルトである。その物理性状を表-1に示す。骨材は、粗骨材に恵庭漁川産6号、7号砕石、白老川産6号砕石、細骨材に浜厚真粗砂、鶴川粗砂および手稲山口細砂、フィラーに浦河産石灰石粉を、組合せ使用する。添加材は富良野産アスベスト(7M)を用いる。なお粗骨材は水洗いした後炉乾燥を行い絶乾状態にし、その後13, 10, 7, 5, 2.5 mmの各単粒に篩分ける。細骨材は絶乾状態にした後2.5, 1.2, 0.6 mmに篩分けて使用する。

実験に用いるアスファルト混合物の種類は、施

* 土木工学科 教授

** 土木工学科 技官

表-1 瀝青材料の物理性状

瀝青材料	針入度 (25°C, 100g, 5sec)	軟化点 (°C)	針入度 指 教	備 考
A	90	47.5	-0.3	80-100舗装用石油アスファルト
B	77	50.5	0.0	改質アスファルト (ゴム入り)
C	71	52.5	0.3	改質アスファルト (熱可塑性樹脂入り)
D	89	46.0	-0.8	80-100舗装用石油アスファルト

表-2 水工用アスファルト混合物の通過質量百分率 (%)

Sieve Opening (mm)	タイプ I	タイプ II
13	100.0	100.0
10	95.1	95.1
7	82.9	82.9
5	75.7	75.7
2.5	60.0	60.0
1.2	49.2	49.2
0.6	39.1	36.9
0.3	25.0	23.4
0.15	9.4	13.5
0.074	7.5	10.8
アスベスト添加量 (%)	1.1	0.0
アスファルト量 (%)	8.0	8.0
瀝青材料の種類	A, B, C	D

工例等を参考に¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ 水利アスファルト工ファインアスファルトコンクリート⁵⁾とする。アスファルト量は8.0%である。その通過質量百分率を表-2に示す。タイプI混合物には、アスベストを骨材全質量に対し1.1%添加し、タイプII混合物は無添加である。アスファルト混合物の呼び名は、バインダー記号名を付け呼ぶ (A混合物の如く)。この4種類の供試体を作製し、実験に供する。

2.2 供試体作製方法

アスファルト混合物の作製方法を以下に述べる。アスファルト混合物の混合は2枚の混合羽根を有する温度制御オイルタンク付アスファルトミキサーを使用して行う。粒度配合に従って計量した骨材とアスファルトを、(180±20)センチストークスの粘度を示す温度に予め加熱する。骨材をミキサーで15~30秒空練りした後アスファルトを加え、さらに50秒混合する。その後27×42×5 cm型枠に混合物を入れ転圧を行う。転圧方法は、(300±30)センチストークスの粘度を示す温度で、線圧1.5および4.5 kgf/cmの2

種類のハンドローラーを用い、転圧速度6.4 cm/secで十分に転圧を行う。このローリングによる転圧方法は、ニーディング作用が発生するため現場における転圧方法に類似している。なお供試体作製時の温度管理は、デジタル式表面温度計を用いて充分に行う。

このようにして作製したアスファルト混合物を室温で24時間以上養生した後、ダイヤモンドカッターで3.0×3.0×25 cmの六面カットの棒状の供試体に仕上げ実験に供する。供試体寸法の許容誤差範囲は±1%以内である。実験を行うに先立って、六面カット棒状供試体の空中、水中および表乾質量を計量し、かさ密度、空隙率等の計算を予め行う。

2.3 曲げ試験方法および解析法

以上のようにして作製した供試体について、両端単純支持による定ひずみ速度の3点曲げ試験を行う。スパン長は20.0 cmである。定ひずみ速度曲げ試験は、電気-油圧サーボ制御を備えた動的載荷試験装置のランプジェネレータにより行う。試験機の容量は、静的最大容量7500 kgf、アクチュエータ最大速度7.3 cm/sec、最大ストローク±50 mm、周波数0.001~20 Hzである。試験装置本体の他に、試験槽、養生槽、その他諸装置が付属している。試験温度-20~+20℃ (精度±0.1℃)について、200 kgfロードセル (公称精度1%)を使用し、ひずみ速度 3.75×10^{-3} 1/secで試験を行う。記録計は、最大応答周波数500 Hzを有するインテリジェントX-Yレコーダを主として使用する。

3点曲げ載荷方式による破壊時の曲げ応力 (σ_b)、破壊時のひずみ (ϵ_b)、破壊時のスティフネス (S_b)は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{3 Pl}{2 bh^2} \quad \text{kgf/cm}^2$$

$$\varepsilon_b = \frac{6hd}{l^2}$$

$$S_b = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_b} \quad \text{kgf/cm}^2$$

$$\dot{\varepsilon}_b = \frac{6hd}{l^2} \quad 1/\text{sec}$$

ただし P : 最大荷量 (kgf), d : 破壊時のたわみ (cm) l : スパン長 (cm), b : 供試体幅 (cm), h : 供試体高さ (cm), $\dot{d}$: たわみ速度 (cm/sec) である。

3. 実験結果および考察

3.75×10^{-3} 1/sec のひずみ速度で行った 3 点曲げ試験の結果および考察について述べる。縦軸に σ_b , ε_b , S_b を対数目盛りで、横軸に温度を普通目盛りで表わす。なお本実験に用いた供試体の総数は 197 本である。

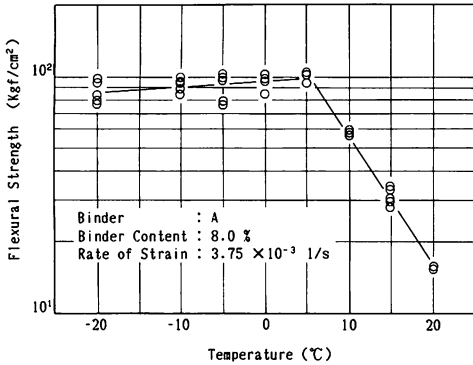


図-1-1 破壊時の曲げ応力と温度の関係 (A 混合物)

3.1 破壊時の曲げ応力

各混合物毎の σ_b と温度の関係を図-1-1 ~ 4 に示す。いずれの混合物も、 σ_b の値は高温より脆化点まで急激に大きくなり、脆化点より温度が低下するにつれて僅かながらではあるが低下する傾向がみられる。脆化点は、A, B, C 混合物で 5°C, D 混合物で 7°C 付近の値が得られた。そのときの σ_b は、C 混合物が 109 kgf/cm² と最も大きく、ついで B 混合物が 104 kgf/cm², A 混合物が 99 kgf/cm², D 混合物が 89 kgf/cm² と最も小さな値を示した。各混合物の σ_b と温度の関係を比較するために図-2 にまとめて示す。今回行った試験温度範囲内では、エポキシ添加の C 混合物が全温度において最も大きな σ_b の値を得た。アスベスト無添加の D 混合物が最も小さな値を、A および B 混合物はほぼ同様な σ_b を示すことを明らかにできた。

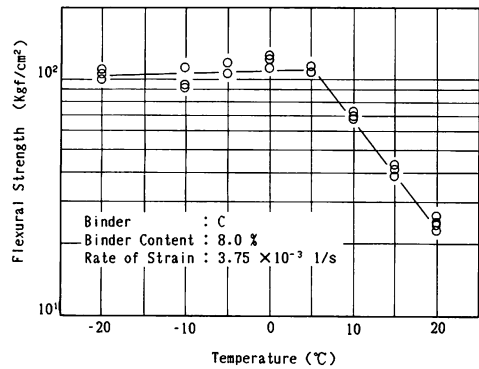


図-1-3 破壊時の曲げ応力と温度の関係 (C 混合物)

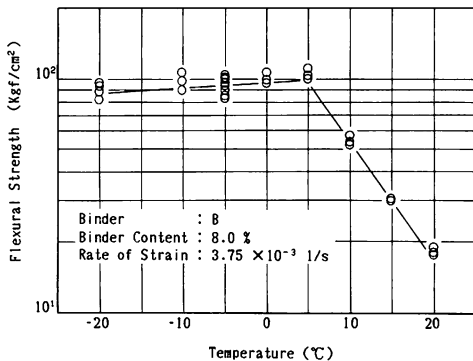


図-1-2 破壊時の曲げ応力と温度の関係 (B 混合物)

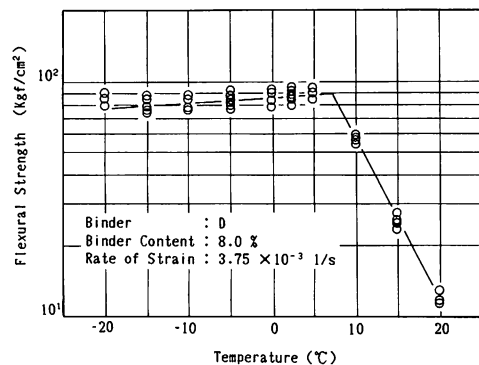


図-1-4 破壊時の曲げ応力と温度の関係 (D 混合物)

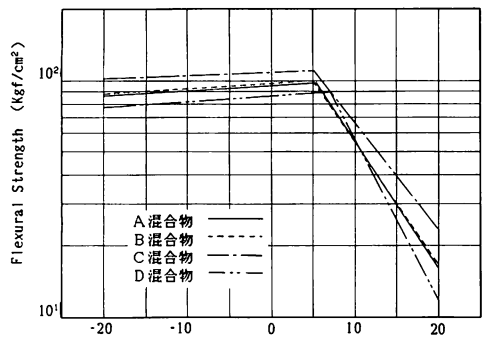


図-2 破壊時の曲げ応力と温度の関係 (全体)

3.2 破壊時のひずみ

各混合物毎の ϵ_b と温度の関係を図-3-1~4に示す。図より全ての混合物は、脆化点付近を変曲点とするゆるやかなS字曲線が得られた。A, B, Cの各混合物は、低温領域になるにつれて $9.5 \sim 10 \times 10^{-4}$ 付近の値に収束するようであるが、D混合物はさらに小さく 8.5×10^{-4} 程度まで低下している。高温の+20°Cではいずれの混合物もまだ収束する傾向は見られず、 $2.8 \sim 5.1 \times 10^{-2}$ の範囲の値を得た。このうちD混合物が 5.1×10^{-2} と最

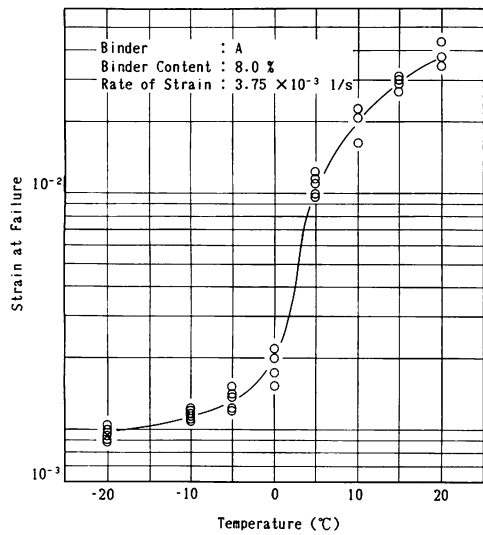


図-3-1 破壊時のひずみと温度の関係 (A混合物)

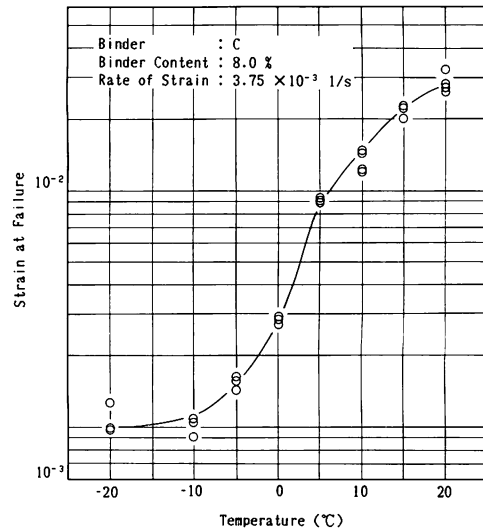


図-3-3 破壊時のひずみと温度の関係 (C混合物)

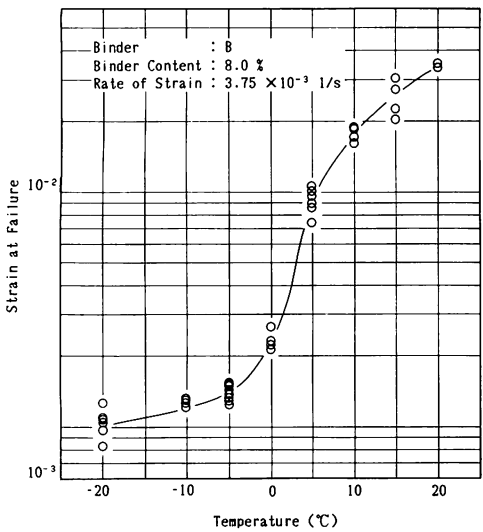


図-3-2 破壊時のひずみと温度の関係 (B混合物)

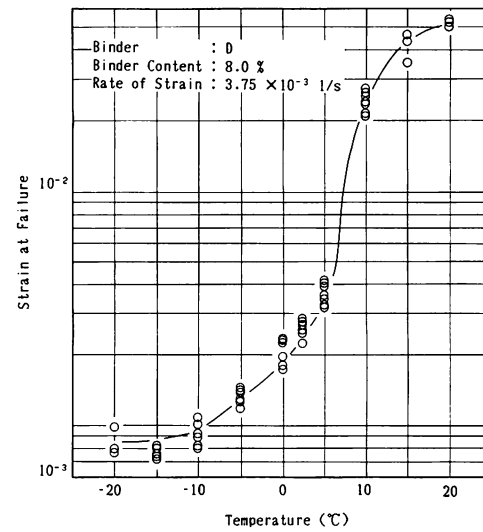
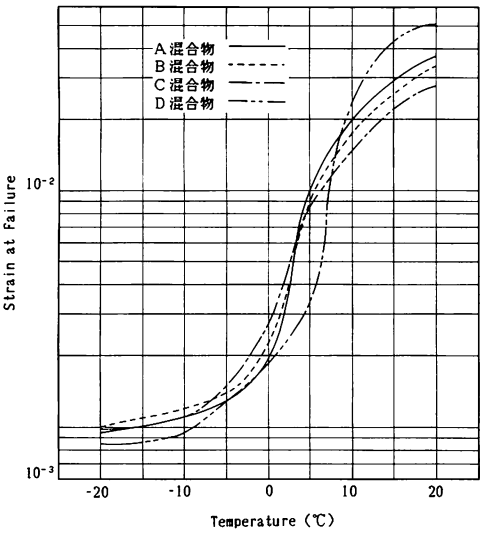


図-3-4 破壊時のひずみと温度の関係 (D混合物)



図－４ 破壊時のひずみと温度の関係（全体）

も大きく、C混合物が 2.8×10^{-2} と小さい。各混合物の ϵ_b と温度の関係を比較するために図－４にまとめて示す。アスベスト添加のA、B、C混合物を比較すると、C混合物が最も感温性が小さく、A混合物が大きいことが明らかとなった。またD混合物は－20℃で最も小さく、+20℃で最も大きな値を示している。このことからアスベスト無添加混合物の感温性は、他の混合物より大きいといえる。

3.3 破壊時のスティフネス

各混合物毎の S_b と温度の関係を図－5－1～4に、それらをまとめて図－6に示す。 S_b と温度の関係は、高温側より低温側に移行するにつれ急激に増加する。脆化点付近で変曲点を有し、0℃を過ぎるあたりから緩やかに増加し、－20℃でほぼ $9 \sim 10 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 付近の値に収束することがわかる。+20℃ではD混合物が最も小さな値を示し、C混合物が大きい。AおよびB混合物の S_b はほぼ同じ値である。脆化点より高温側では、C混合物が大きな値を示し、D混合物が最も小さい。

このことからアスベスト無添加混合物の荷重分散性は、高温時においてアスベスト添加混合物より小さいといえる。

3.4 破壊時の曲げ応力と温度の相関

図－1および2より破壊時の曲げ応力と温度の間に強い相関が認められる。そこで各混合物毎の σ_b と温度について、回帰式を求める。直線回帰、指数曲線、パワー曲線の3式で計算した結果、相関係数 r は同一条件においてほぼ同じ値を示すことを明らかにすることができた。検討の結果ここでは指数曲線すなわち $y = ae^{bx}$ の計算結果について述べる。脆化点より低温側、脆化点より高温側の2つのグループに分け、絶対温度で計算した結果を表－3に示す。+20℃(293.15 k)より脆化点までは、いずれの混合物においても、 σ_b と温度の間に指数関係が認められ、その相関係数はほぼ1に近い極めて高い値が得られた。脆化点より－20℃(253.15 k)については、0.5前後の相関係数を得ることができた。これは脆化点より低温側において σ_b のばらつきが高温側に比べやや大きいためであると考えられる。

4. ま と め

4種類のバインダーを用い、アスベスト添加有無の水工用アスファルト混合物供試体を作製し、定ひずみ速度曲げ試験を行い、以下のことを明らかにすることができた。

- 1) アスベスト無添加混合物の感温性は、他の混合物より大きく、他の混合物に比べ、 σ_b 、 ϵ_b 、 S_b 共に小さい値を示すようである。
- 2) アスベスト添加混合物の感温性は、熱可塑性樹脂入り混合物が小さく、針入度90 舗装用石油アスファルトを用いた混合物が大きい。
- 3) 混合物の種類にかかわらず、脆化点より高温側において、 σ_b と温度の間に相関係数が極めて高い指数曲線の関係があることを明らかにすることができた。

表－3 破壊時の曲げ応力と温度の相関

混合物種類	T.P (°C)	温度範囲 (K)	y = ae ^{bx}			温度範囲 (K)	y = ae ^{bx}		
			b	a	r		b	a	r
A	5	253.15～278.15	0.00503	24.1	0.487	278.15～293.15	－0.124	9.21E+16	－0.996
B	5	253.15～278.15	0.00574	20.8	0.622	278.15～293.15	－0.117	1.33E+16	－0.997
C	5	253.15～278.15	0.00423	34.6	0.488	278.15～293.15	－0.103	2.94E+14	－0.997
D	7	253.15～278.15	0.00392	29.3	0.515	278.15～293.15	－0.140	7.90E+18	－0.991

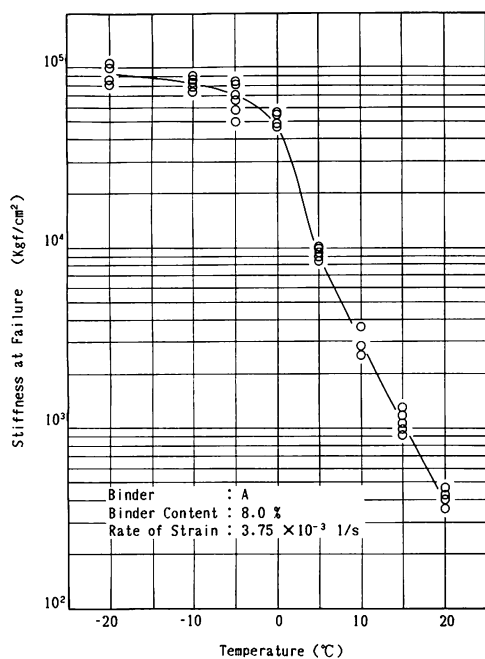


図-5-1 破壊時のスティフネスと温度の関係
(A混合物)

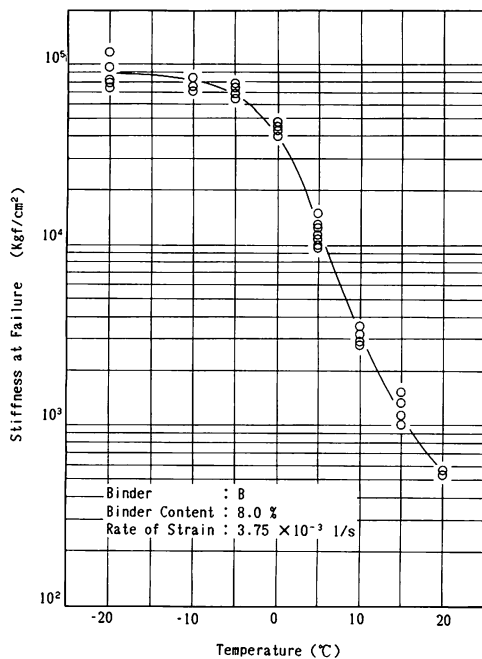


図-5-2 破壊時のスティフネスと温度の関係
(B混合物)

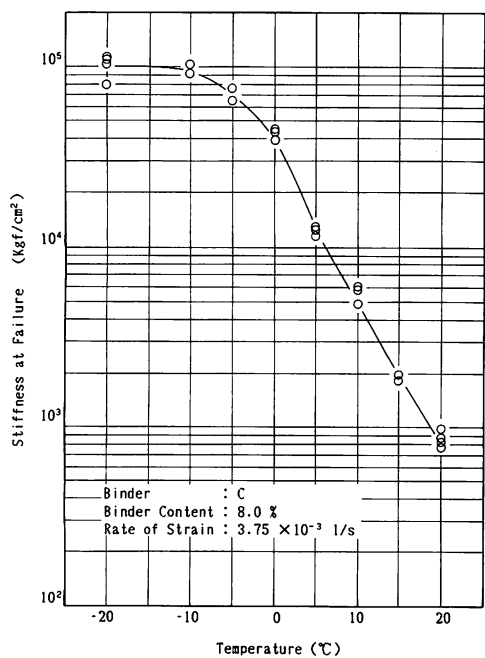


図-5-3 破壊時のスティフネスと温度の関係
(C混合物)

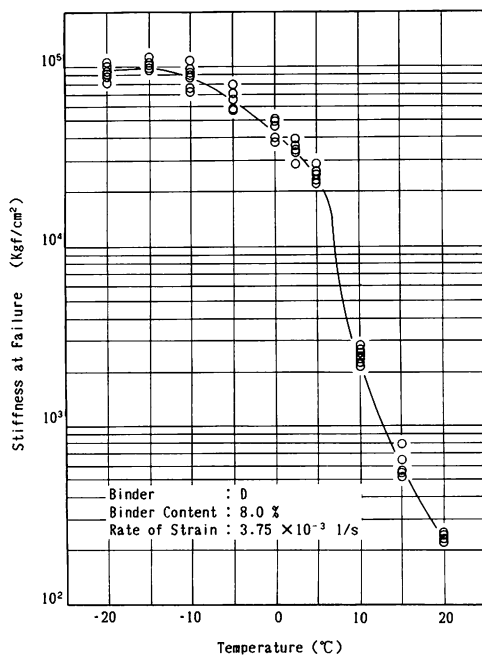


図-5-4 破壊時のスティフネスと温度の関係
(D混合物)

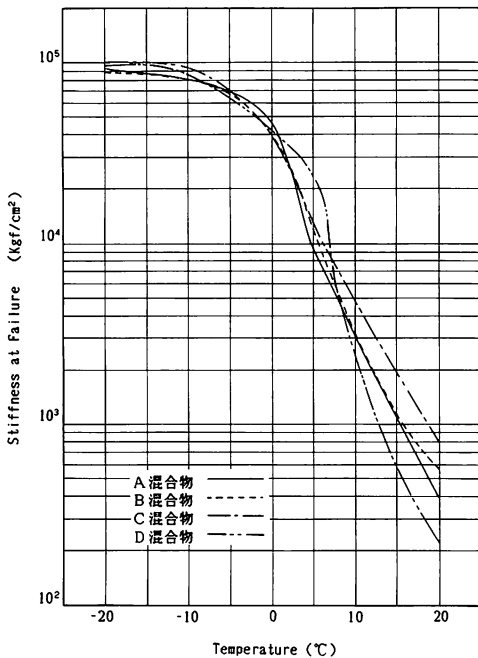


図-6 破壊時のスティフネスと温度の関係(全体)

最後に本研究を進めるにあたり、苫小牧工業高等専門学校卒業生中山繁晴君、田中満也君、東海林隆君、岡倉清明君、吉川浩一君に実験の協力を得た。記して深甚な謝意を表する。

引用文献

- 1) 中村・森本・山本・松永・古川：国営かんがい排水事業双葉ダムアスファルトフェイシングの施工，水と土，第39号，pp.2～14，1979
- 2) 谷山・江口・加藤：アスファルト遮水壁の設計と施工，水と土，第16号，pp.29～79，1974
- 3) 伊藤・大山・岡野・鹿野：道路舗装の技術を応用して施工するアスファルト表面遮水壁工事(1)，道路建設，No.479，pp.55～63，1987
- 4) 加藤護：水利構造物の材料特性－フィルダム遮水壁に利用されるアスファルト混合物－，舗装，Vol.22，No.7，pp.4～9，1987
- 5) 農林省農地局：土地改良事業計画基準第14編 水利アスファルト工（前編），pp.15～22，1967

(平成2年11月30日受理)

