

V-20 アスファルト混合物の熱応力破壊とアスファルトの性状との関係

北大工学部 正員 森吉 昭博
道路公団 正員 日野 虎彦
道路公団 正員 荒 厚
北大工学部 学生員 辻 英明

1. まえがき

アスファルト舗装の横断ひび割れ現象がアスファルトの性状と密接な関係にあることはすでによく知られていることだが、どのような性状と関係があるかについての詳細な検討はなされていない。このため現地の舗装体によく発生した横断ひび割れ現象もこの現象に寄与したと思われるアスファルトの性質との関係が明らかでないため、寒冷地のアスファルト混合物の設計はいまだ手探りの状態である。本研究は現地切取供試体および室内の作成供試体の熱応力破壊試験の結果と、使用バインダーとの関係をフラス脆化点試験および森吉脆化点試験との結果と対応させて検討した結果について報告する。検討の結果、アスファルト混合物の低温脆性を表現する熱応力破壊温度はフラス脆化点および森吉脆化点と密接な関係にあることが明らかにされた。

2. 使用材料及び供試体作成法

本研究では横断亀裂現象がみられる高速道路より7種、亀裂の多い道内の水路、鹿児島島の空港よりそれぞれ1種づつ、昨年施工した道々より2種の計11種の供試体(2.5×2.5×26cm)を採取し使用した。また、実験室でも3種の混合物を作成し比較のために使用した。これらに使用したバインダーの性状は表-1に、混合物の粒度およびVoidは表-2に示す。

このうち、道々2種については、現地より採取した混合物を用いて室内でも作成した。

熱応力破壊試験の供試体作成法は、以下のとおりである。

切取供試体は、ダイヤモンドカッターで2.5×2.5×26cmの寸法に六面カットして切り出す。

室内作成供試体は、アスファルトを2ホ°アス(0.2Nsec/㎡)相当

No.	Pen (25°C, 100g, 5sec)	TR & B (°C)	P. I.	Fraass Breaking Point (°C)	Moriyoshi Breaking Point (°C)	Thermal Fracture Temperature (°C)
14	34	54.0	-1.1	-4	-10	-19.0
15	44	60.5	+0.8	-12	-23	-29.0
16	60	50.6	-0.6	-10	-21	-27.9
17	69	50.5	-0.2	-12	-22	-28.5
18	108	44.5	-0.7	-14	-25	-33.0
19	173	40.5	-0.4	-21	-30	-36.4
20	235	37.5	-0.4	-21	-32	-38.4
10	90	47.5	-0.4	-13	-24	-31.0
8	98	44.0	-1.2	-12	-19	-29.0
11	109	47.6	+0.3	-19	-28	-35.4
9	69	52.0	+0.1	-10	-18	-28.1
12	85	47.5		-15	-27	-34.5
13	90	46.5		-15	-24	-29.9

* -12°C/h, Adhesion of Surface

** -12°C/h, Bag of Metal

*** -30°C/h, Bag of Metal

表-1 アスファルトの主な性状

	全粒径(%)	粒径(12)	粒径(13)	高速(1)	高速(2)	高速(6)	高速(7)	高速(34)	高速(5)
混合アスコン	混合アスコン	混合アスコン	混合アスコン	混合アスコン	混合アスコン	混合アスコン	混合アスコン	混合アスコン	混合アスコン
13	100.0	100.0	100.0	100.0	99.0	96.9	98.7	100.0	99.7
10	88.4			86.3	92.0	90.1	89.5	89.4	90.7
5	67.0	83.4	85.7	60.2	68.0	70.1	64.3	58.4	64.8
2.5	48.5	75.1	75.0	44.9	49.0	52.0	48.0	50.0	49.9
1.2	34.4								
0.6	28.5	72.7	68.2	33.6	36.0	37.1	39.7	38.4	35.3
0.3	17.7	56.5	51.8	15.9	22.0	22.3	27.3	29.6	23.7
0.15	8.9	17.7	17.7	7.9	9.8	9.6	9.4	10.4	10.9
0.075	7.2	13.7	13.6	6.7	6.9	7.2	6.4	8.3	7.2
0.045	5.8	8.5	8.5	6.2	6.3	6.2	6.4	6.5	6.4
理研基準	2.512	2.431	2.387	2.528	2.466	2.510	2.466	2.485	2.463
Void (%)	3.573	5.581	4.390	2.957	0.652	1.434	1.828	1.972	1.776

* バインダー-No. 8~11, 14~20

表-2 使用混合物の粒度およびVoid

The diagram illustrates a complex experimental setup. At the center is a 'Test Bath' containing a 'Specimen'. This bath is surrounded by a 'Flood Line' and a 'Flood Flame' within a 'Control Temp Box'. The entire assembly is connected to a 'Cooling Bath' on the right and a 'Reactor' on the left. A 'Load' is applied to the reactor. The system includes several temperature measurement points: 'Rethanol Temp' (multiple locations), 'Ambient Temp', and 'Flame Temp'. These are connected to a 'Recovering Unit' and a 'Control Temp Box Control Unit'. A 'Reactor Voltage' source is also shown. The entire setup is labeled 'System of equipment.' at the bottom.

圖-1 熱応力破壊試験装置

3. 実験および解析方法

熱応力試験は棒状供試体のある温度で（このときの温度を初期温度という）両端拘束して周囲のメタノール温度を一定冷却速度で冷却し、破壊させる。このときの破壊時の温度、応力を破壊温度、破壊応力と呼ぶ。尚、試験装置は図-1に示す。本研究では標準条件として、初期温度は $+10^{\circ}\text{C}$ 、冷却速度は -30°C/h とした。この実験結果をもとに温度を横軸、応力を縦軸にとったグラフを作成し、描かれた曲線を熱応力温度曲線とした。（応力は荷重を断面積で除したもの）この曲線は通常、高温領域では下に凸の放物線状（これを緩和領域と呼ぶ）であるが、低温になると直線状になる。ここで直線状になった点を転移点、また直線を外挿して温度軸と交わった点の温度を切片温度、また直線状の勾配を直線部の傾きと呼ぶことにする。

尚、本研究で行ったフランス脆化点試験および、森吉脆化点試験の方法については、すでに報告したのでここでは省略する¹⁾。

表-3 熱応力破壊試験結果

	1 冷却 速 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	2 硬 度 ($^{\circ}\text{C}$)	3 硬 度 (kg/cm^2)	4 転 移 点 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	5 転 移 点 力 (kg/cm^2)	6 切 片 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	7 直 線 部 の 長 ($^{\circ}\text{C}$)	8 =6-2 ($^{\circ}\text{C}$)
T2-4	-30	-33.1	42.3	-18.2	15.4	-9.9	1.84	23.2
T2-8	-30	-33.4	37.3	-19.4	12.1	-11.3	1.77	20.0
F15-2	-30	-31.1	37.0	-20.3	16.0	-12.7	2.04	18.4
L15-1	-30	-30.8	43.3	-17.4	18.0	-8.2	1.94	22.6
L17-1	-30	-31.6	37.8	-15.9	15.9	-12.1	1.77	21.2
L17-2	-30	-29.0	37.8	-15.6	13.9	-7.8	1.77	21.2
U2-11	-30	-20.8	25.4	-14.7	16.4	-3.7	1.49	17.1
OKI-B	-30	-8.1	11.5			+13.0	0.55	21.1

4. 結果および考察

4-1 冷却速度の影響について

冷却速度を変化させた場合、冷却速度が遅くなくても熱応力温度曲線は、直線部の傾きはほぼ変わらず、温度軸に平行に低温側に移動する。破壊温度は変化せず、破壊強度は小さくなった。(表-3、図-2参照)これは、冷却速度が遅いと緩和時間が長くなるため混合物の微細な亀裂が次第に発展し、破壊強度が小さくなり破壊温度が一致したためと考えられる。このため、表-3の切片温度と破壊温度との差は、3℃ほど小さくなった。

4-2 現地切取供試体と室内作成供試体の比較（表-3, 図-3, 4 参照）

同一のアスファルトおよび骨材を用いて同一の配合で現場と室内で作成したものを2種比較したが、両者とも空隙率が著しく（約2%）違うため熱応力温度曲線の位置が大きく異なった。しかし、直線部の傾き、破壊温度はほとんど変化しなかった。また、破壊強度と表-3の切片温

度と破壊温度との差は、Void量の大きな切取供試体の方が小さくなった。これは同材料を用いた場合、冷却速度が緩和性状に影響したように、Void量の違いも応力緩和性状に大きく影響するためと思われる。

4-3 亀裂の多い箇所の切取供試体による比較

(表-3, 図-5参照)

横断亀裂の特に多い現場から採取した切取供試体2種について、熱応力試験を行ったが両者とも著しく破壊温度、破壊強度が小さくなり切片温度も高くなった。

特にOKI-Bにおいては、高温側で緩和領域がまったく現れずコンクリートのような弾性体的な性質を示した。また、直線部の傾きも0.55と他に比べ著しく小さい。この供試体の採取地(鹿児島)の気温が本実験で行ったような温度にまで下がることはないが、横断亀裂が数多く発生している。従ってこのアスファルト混合物においては初期温度を変化させても20℃の温度変化だけで破壊すると考えられる。U2-11は、道内の水路より採取したものであるが、標準供試体(T2-4)と比べても直線部の傾きが小さく、破壊強度は半分程度であり、曲線が標準のものよりも高温側に移動している。これは使用したアスファルトの脆化点温度が比較的高いことによるとと思われる。また、高速道路のNo.7の地点において、ある時期の舗装最低温度は-19℃であり、その地点の供試体の破壊温度が約-24℃であり、この地点で横断ひび割れ現象が観測されていることを考慮すると、この地区では舗装温度が-20℃を越えることもたびたび観測され、破壊温度が-20.8℃と低いのでこのアスファルト舗装は亀裂が著しく発生しやすい状態であると考えられる。

4-4 熱応力破壊温度とフラス脆化点、森吉脆化点との関係について

室内作成供試体における同一の粒度およびアスファルト量で異なったアスファルトでの熱応力破壊温度と両者との間には密接な関係にある(図-6)のは以前に報告したとおりであるが²⁾、異なった粒度、アスファルト量およびアスファルトの現場切取供試体においても同じように密接な関係にあった(図-7)。このことより、熱応力破壊温度はアスファルト量や粒度配合にはほとんど依存しないように思われる。

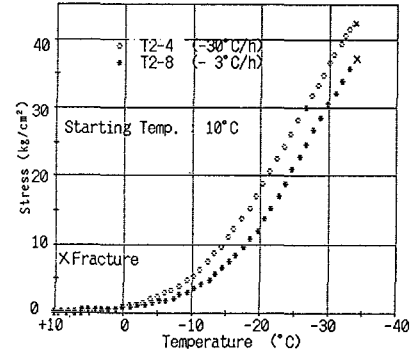


図-2 冷却速度の違いによる熱応力温度曲線の関係

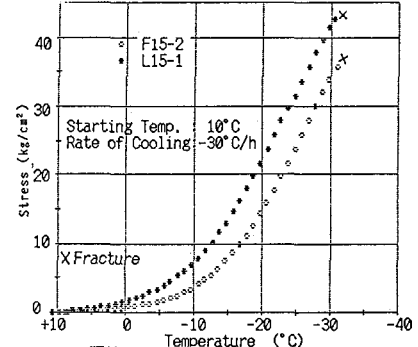


図-3 現地切取供試体と室内作成供試体による熱応力温度曲線の関係(H'インダ-No.12)

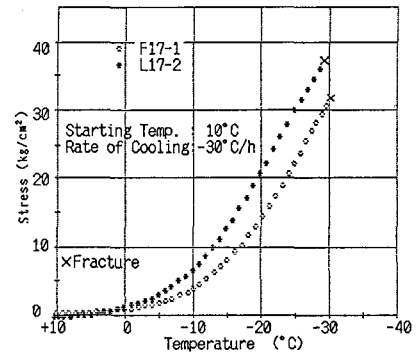


図-4 現地切取供試体と室内作成供試体による熱応力温度曲線の関係(H'インダ-No.13)

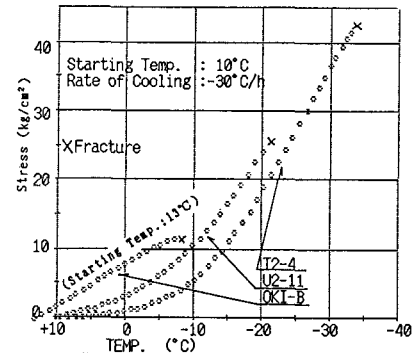


図-5 亀裂の多い箇所からの切取供試体による熱応力温度曲線の関係

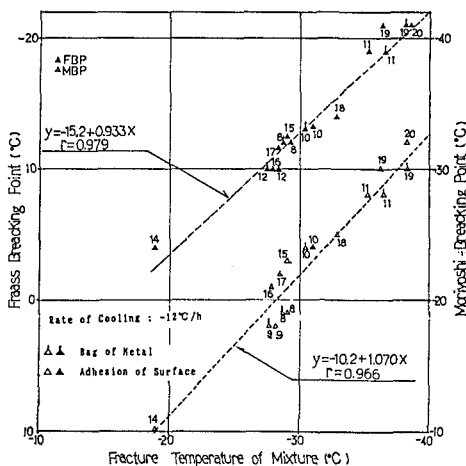


図-6 同一の粒度およびアスファルト量、異種のアスファルトでの熱応力破壊温度とフラス脆化点、森吉脆化点との関係

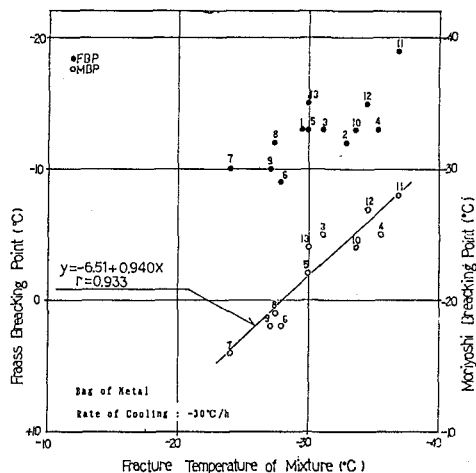


図-7 異なった粒度、アスファルト量およびアスファルトでの熱応力破壊温度とフラス脆化点、森吉脆化点との関係

5. まとめ

以上から得られた結論を要約すると以下のとおりである。

- 1) 冷却速度一定の場合、切片温度と熱応力破壊温度の差はほぼ一定であるが、冷却速度が遅くなると若干この値は小さくなる傾向にある。
- 2) アスファルト混合物の熱応力破壊温度とフラス脆化点及び森吉脆化点は粒度、アスファルト量、アスファルトの質に依存せずほぼ対応関係にあるように思われる。
- 3) 空隙の多い現地切取供試体と室内作成供試体の熱応力破壊温度はほぼ同一であるが、熱応力破壊温度曲線の位置が若干異なる。
- 4) 環境条件に合わせたアスファルト混合物の配合設計が以上の結果よりできるように思われる。

参考文献

- 1) 森吉昭博・高橋将・張肖寧：低温領域におけるアスファルトの亀裂試験法，石油学会誌，第30巻，第4号，7月，1987年
- 2) 森吉昭博：アスファルト混合物の熱応力破壊，石油学会誌，第31巻，第2号，3月，1988年