

積雪寒冷地のアスファルト混合物の研究（第3報）

凍結融解作用の影響を受けたアスファルト混合物の力学性状について

吉 田 隆 輝*・斉 藤 勇**

The Study of Bituminous Mixtures for Snowy and Cold Areas (Part 3)
Mechanical Propertise of Bituminous Mixtures Influenced of Freeze-Thaw Action

Takaki YOSHIDA and Isamu SAITO

要 旨

積雪寒冷地のアスファルト舗装は厳しい気象条件の下にある。特に冬期間の凍結融解の繰り返し作用により舗装の安定性は低下する。アスファルト混合物の凍結融解前と後の混合物の定歪速度試験を行なった。

実験の結果、凍結融解作用をうけると混合物の力学性状は低下することが明らかとなった。

Synopsis

Asphalt pavements for snowy and cold areas, are subject to extreme climatic changes. In particular, the stability of asphalt pavements decreases by the effects of repeated freeze-thaw action during winter. In order to investigate bituminous mixtures recieved freeze-thaw action, we make experiments in the constant rate of strain test of mixtures before and after freeze-thaw action.

From the results of our experiments, it become clear that mechanical properties of mixtures after freeze-thaw action deacease.

I. ま え が き

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、他に空港（滑走路、エプロン、誘導路等）の舗装や水利構造物等にも広く用いられている。これらの舗装に用いられるアスファルト混合物が共通に持たなければならない性状は、高温時に流動を起こさず、低温時の厳しい気象条件による温度応力や凍結融解作用等に破壊されないで安定した状態であること等をあげることができる。極寒地では急激な温度勾配を原因とする温度応力による横断クラックが発生しており、従来の交通荷重を主とする破壊とは異なった破壊形態が注目されている¹⁾²⁾。さらに冬期間の舗装表面では、

夜間の凍結と日中の融解の繰り返し作用をうけることが多く、この繰り返し作用も舗装破壊の1つの要因となっているものと考えられる。年々、道路の舗装率も徐々に伸びてきている。舗装延長が伸びれば伸びる程、交通量の分散がはかられ通過交通量の少ない道路も増えてくる。北海道の道路の除雪率は、95%と非常に高い³⁾。このように除雪率が高くなればなる程、舗装表面は絶えず劣悪な気象条件の下に直接さらされることになり、上記の破壊に対し有効な対策を講じる必要にせまられている。

以上述べたように、アスファルト混合物の耐久性に関する研究が望まれているにもかかわらず、その研究は少ない。耐久性を比較判定する試験に凍結融解試験がある。アスファルト混合物が凍結融解作用をうけると、マーシャル安定度、残存安定度が低下し、透水係数が大きくなることは既に

* 助教授 土木工学科

** 技 官

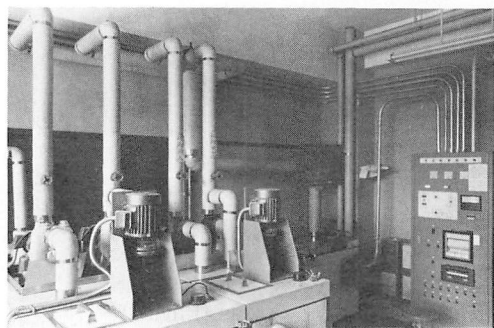


写真-1 凍結融解試験装置

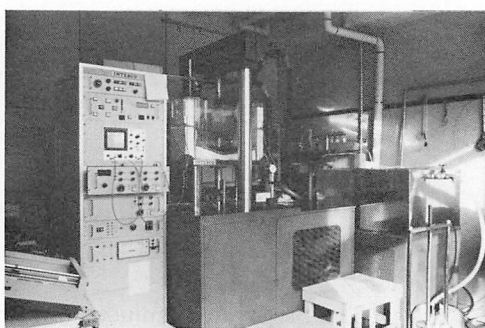


写真-2 動的載荷試験装置

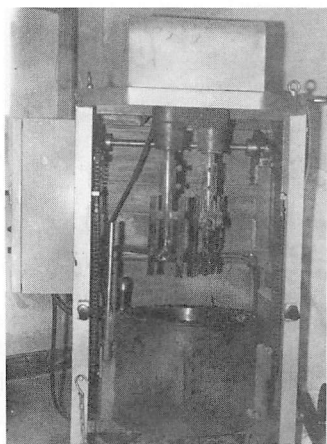


写真-3 アスファルトミキサー

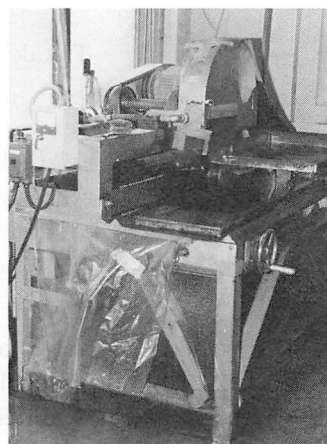


写真-4 ダイヤモンドカッター

知られている⁴⁾⁵⁾。

本研究の目的は、凍結融解作用をうけたアスファルト混合物の力学的諸性状の変化を調べるために、凍結融解サイクル数ごとに定歪速度曲げ試験を行ない破壊時の曲げ応力、歪およびスティフネスの結果から、よく締固められたアスファルト混合物の凍結融解作用による力学性状の変化を考察するものである。

II. 試験装置

(1) 凍結融解試験装置

アスファルト混合物への凍結融解作用は凍結融解試験装置で与えた。本試験装置は高温槽、低温槽および試験槽の三槽を備え、試験槽に温液と冷液を交互に入れて試験槽内の供試体に連続的に凍結融解作用を与えるいわゆるブライン循環三槽式凍結融解試験装置である。試験装置の構成は写真-1に表わした。三槽の他に設定温度にするた

めの加熱および冷却装置、攪拌装置、記録装置、冷却塔、試験装置全体を管理する制御装置等で構成されている。

(2) 動的載荷試験装置

本研究で行なった静的試験は電気-油圧サーボ制御を備えた動的載荷試験装置のデジタルランプジェネレーターによって行なった。

本試験装置の主な機能は次のとおりである。

- i) 試験法：静的および動的な曲げ、引張、圧縮および剪断の各試験
- ii) 制御方式：変位、歪および応力からの油圧サーボ制御方式
- iii) 波形：正弦波、三角波、矩形波およびランプ入力
- iv) 容量：静的最大容量 7500 kg
動的 maximum 容量 5000 kg
- v) アクチュエータ最大速度：7.3 cm/sec
- vi) アクチュエータストローク：±50 mm

表-1 ストレートアスファルトの物理性状

比 重	Pen.	R&B	P. I.	伸 度	三塩化エタン 可溶分(%)	薄膜加熱 減量(%)	薄膜加熱後 のPen(%)	混合温 度(℃)	締固温 度(℃)
25℃/25℃	25℃100g5sec	(℃)		15℃					
1.027	90	47.5	-0.3	100+	99.8	0.04	62	152~158	138~146

表-2 骨材の物理性状

項目	粗 骨 材				細 骨 材		
	13~10	10~7	7~5	5~2.5	粗砂	粗砂	細砂
見 掛 比 重	2.790	2.796	2.790	2.788	2.796	2.956	2.714
表 乾 比 重	2.713	2.711	2.697	2.679	2.768	2.884	2.594
か さ 比 重	2.664	2.657	2.645	2.619	2.753	2.848	2.524
平 均 比 重	2.752	2.754	2.744	2.734	2.796	2.956	2.654
吸水量(%)	1.69	1.87	1.96	2.33	0.6	1.29	2.77
産 地	漁 川 砕 石 (安山岩)				浜厚真	鶴 川	手稲山口

表-3 フィラーの物理性状

比 重	水分(%)	通 過 重 量 百 分 率(%)			産 地
		0.297mm	0.149mm	0.074mm	
2.707	0.04	100	97	87	浦河産石灰石粉

表-4 アスファルト混合物の粒度配合

Sieve opening (mm)	13	10	7	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074
passing (%)	100	93	83	73.9	59.9	54.8	49.7	36.3	15.0	10.8
Asphalt content (%)	6.9%									

vii) 周波数：0.001~20 Hz

写真-2 は試験装置の全体を示している。

試験槽、養生槽、試験槽水位コントロール装置および諸記録装置が付属している。なお試験温度は-20~+60℃ (±0.1℃) である。

ギャップアスファルトコンクリートで、フィラーとアスファルトの比 (F/A) は1.71 である。混合物の粒度配合は表-4 に表わした。

IV. 実 験 方 法

(1) 供試体の作製

アスファルト混合物のアスファルト量はマーシャル安定度試験より6.9%とした。表-4の粒度配合に従って計量した骨材とアスファルトを混合粘度180±20センチストークス(85±10 S. F. S.)で混合する。混合にあたっては2枚羽根、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た(写真-3)。その後27×42×5 cm型枠に混合物を入れ、転圧粘度300±30センチストークス(140±15 S. F. S.)になったことを表面温度計で確認した後転圧を開始する。転圧方法は線圧1.5, 3.0および4.5 kg/cmのハンドローラーを用いて12往復(約30分の転圧時間)させ、十分に締固まった供試体を作製した。

このようにして作製したアスファルト混合物をダイヤモンドカッター(写真-4)で3×3×25

III. 使 用 材 料

実験に用いたバインダーは、積雪寒冷地で一般に広く用いられている80-100 舗装用石油アスファルトである。アスファルトの性状は表-1に表わした。粗骨材に漁川産6号および7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用いた。粗骨材は水洗いした後24時間炉乾燥を行なって絶乾状態にする。その後13, 10, 7, 5および2.5 mmの各単粒に篩分ける。細骨材も粗骨材と同様に絶乾状態にし、その後2.5, 1.2および0.6 mmに篩分けて実験に供した。骨材およびフィラーの物理性状は、表-2, 表-3に表わした。

実験に用いたアスファルト混合物の種類は、積雪寒冷地の国道等で広く用いられている細粒度

cmの六面カットの棒状の供試体に仕上げ実験に供した。供試体寸法の許容誤差範囲は±1%とし、この許容誤差におさまるものだけを実験に供した。実験を行なうに先立って、六面カット棒状供試体の空中、水中および表乾重量を計量した後、低温室で24時間以上養生する。

(2) 凍結融解試験

アスファルト混合物への凍結融解作用はブライン循環式の3槽式凍結融解試験装置により、水中凍結融解試験方法で与えた。ASTM C 666に準拠し、供試体をゴム袋の中に入れその囲りを水で満たし、凍結温度 $-17.8 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 、凍結行程2時間、融解温度 $+4.4 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 、融解行程1時間、計3時間を1サイクルとして、0, 50, 100, 200および300サイクル(以後 C_0 , C_{50} , C_{100} , C_{200} および C_{300} で表わす)行なった。凍結融解作用が終了したアスファルト混合物をカッターで六面棒状供試体に仕上げ、その後3点曲げ載荷方式による定歪速度曲げ試験を行なった。なお凍結行程と融解行程の管理はプログラムシート制御により行なった。

(3) 定歪速度曲げ試験

六面棒状供試体の3点曲げ載荷方式による定歪速度曲げ試験は動的載荷試験装置のデジタルランプジェネレーターによって行なった。スパンは20 cm, 使用したロードセルは250 kg, 試験温度は -20 , -10 , 0 , 2.5 , 5 , 7.5 , 10 , 15 および 20°C の9種類, 歪速度は $3.75 \times 10^{-3} \text{1/s}$ について実験を行なった。試験槽, 養生槽の水温を各試験温度に一致させてから供試体と熱電対を埋め込んだダミー供試体を同時に養生し, ダミー供試体が設定温度に到達したことを確認後10分後に実験を開始した。

三点曲げ載荷方式による破壊時の曲げ応力(σ_b), 破壊時の歪(ϵ_b), 破壊時のスティフネス(S_b)および歪速度($\dot{\epsilon}$)は次式から計算した。

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

$$\epsilon_b = \frac{6hd}{l^2} \quad (\text{cm/cm})$$

$$S_b = \frac{\sigma_b}{\epsilon_b} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{6hd}{l^2} \quad (\text{cm/cm/sec})$$

ただし

P: 最大荷重 (kg)

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)

V. 実験結果および考察

よく締固められたアスファルト混合物が凍結融解作用をうけると、100サイクルまでは外見上目立った変化はないが、200サイクルに達すると一部盛りあがり、亀裂、小穴およびスケリングが生じ、300サイクルになるとさらに著しい表面の変化が認められた。

C_0 , C_{50} , C_{100} , C_{200} および C_{300} の定歪速度曲げ試験の結果を図-1-1, 1-2および図-2に表わした。図-1は図の繁雑を避けるためサイクル数ごとに表わし、図-2は曲線の意味を明らかにするためにまとめて表わした。縦軸に破壊時の曲げ応力, 歪およびスティフネスをそれぞれ対数目盛で、横軸に温度を普通目盛でとった。

(1) 破壊時の曲げ応力について

C_0 の破壊時の曲げ応力 σ_b は、 $+20^\circ\text{C}$ の高温側から低温側に移行するにつれ急激に増加し、最大値約 110 kg/cm^2 に達した後徐々に低下する。

凍結融解作用をうけた供試体の σ_b と温度の関係は、 C_0 と同様に $+20^\circ\text{C}$ から脆化点まで σ_b は増大するが、脆化点より低温になるにつれて次第に低下した。この低温側の σ_b の低下はサイクル数が増えるほど大きかった。なお C_0 から C_{300} までの脆化点は $+5^\circ\text{C}$ と一定であった。凍結融解による σ_b の低下は試験温度に関係なく生じているが、脆化点より高温側では小さく、低温側では高温側に比べると大きく表われた。

(2) 破壊時の歪について

C_0 の破壊時の歪 ϵ_b は $+20^\circ\text{C}$ で約 $3.3 \times 10^{-3} \text{ cm/cm}$ を示し、低温側に移行するにつれS字形の曲線をえがいて低下し、 -20°C で約 $1.2 \times 10^{-3} \text{ cm/cm}$ となった。S字曲線の中心は脆化点と一致した。

凍結融解作用により歪は C_0 のそれに比べ低下するが、歪と温度との関係は C_0 と同様の脆化点を中心とするS字形の曲線関係が得られた。 C_{50} , C_{100} および C_{200} の歪は高温側から脆化点までは C_0 の歪とほぼ等しいが、脆化点より低温側ではサイ

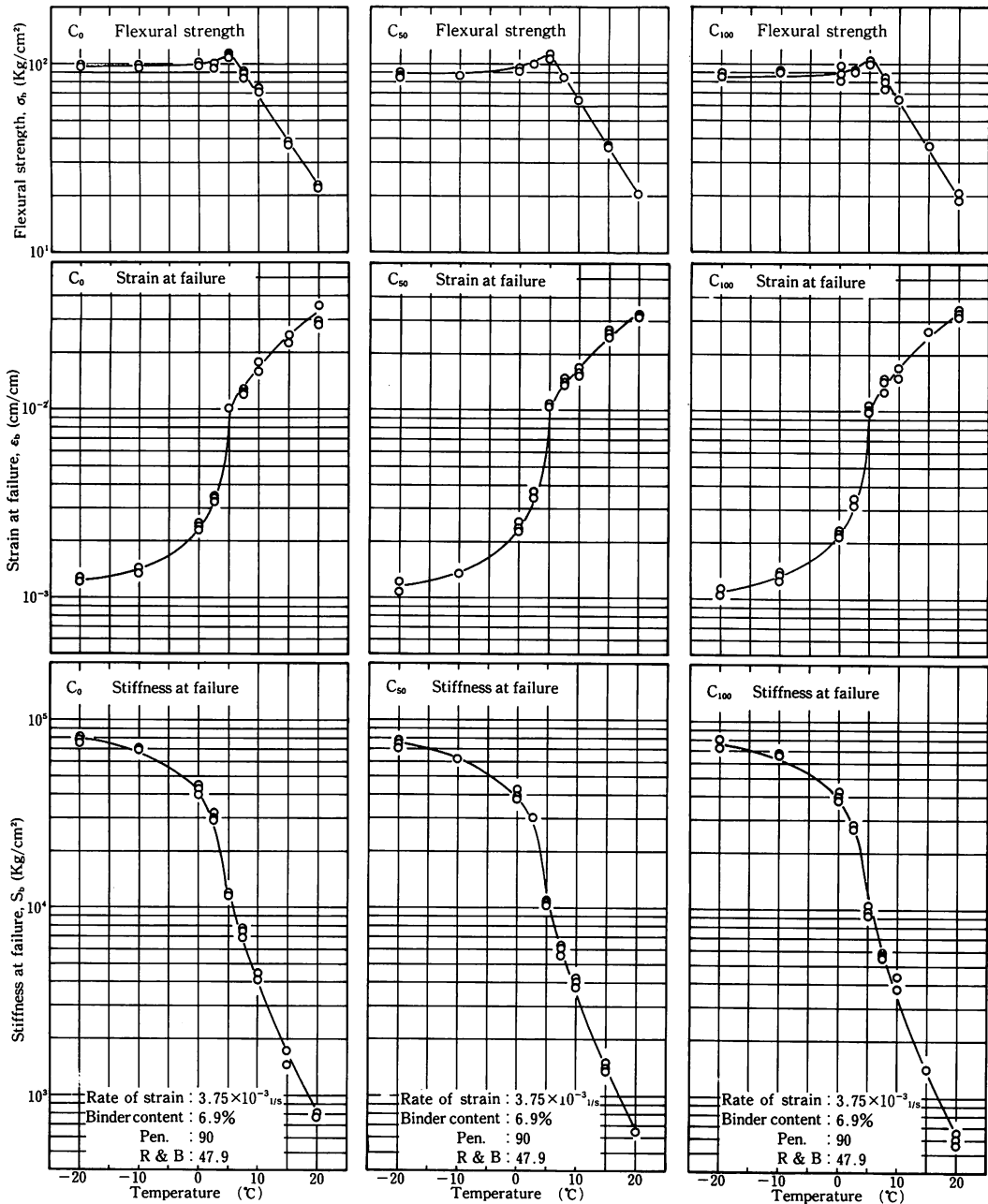


図-1-1 破壊時の曲げ応力、歪およびスティフネスと温度との関係

クル数が増加するほど歪は低下した。 C_{300} 供試体の歪は低温領域でさらに低下し、かつ高温領域でも他に比べて小さな値を示した。

(3) 破壊時のスティフネスについて

C_0 の破壊時のスティフネスは -20°C で約 $8 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ の値を示し、高温側に移行するにつれ次第に減少し、 0°C を越えると急激に低下した。

凍結融解後の S_b は、 C_0 の S_b に比べ全て小さな値を示し、 C_0 と同様の温度との曲線関係を得た。 C_{50} と C_{100} の S_b はほぼ一致した値となった。 C_{200} の S_b は脆化点より低温側で C_{100} より小さな値となったが、高温側では C_{100} の S_b とほぼ一致した。 C_{300} の S_b は他のサイクル数後の S_b に比べ大きな値を示した。これは凍結融解作用により σ_b の低下に比べ ϵ_b が著しく低下したために S_b が大きな値

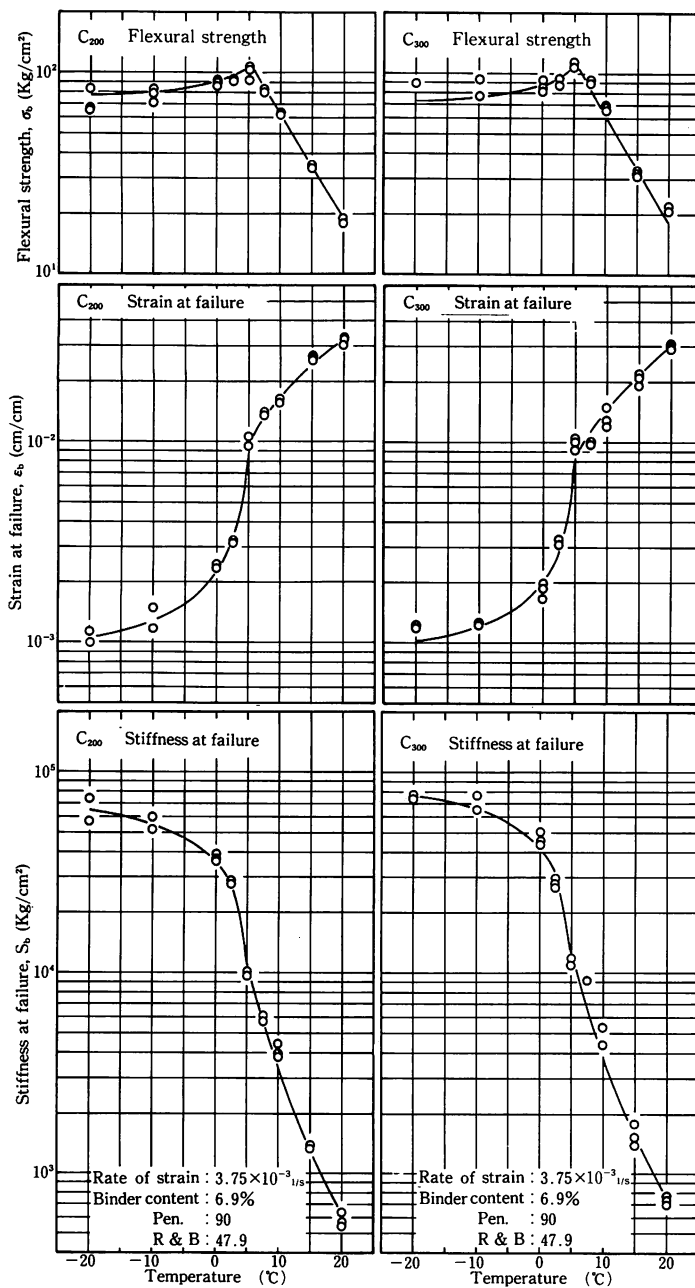


図-1-2 破壊時の曲げ応力、歪およびスティフネスと温度との関係

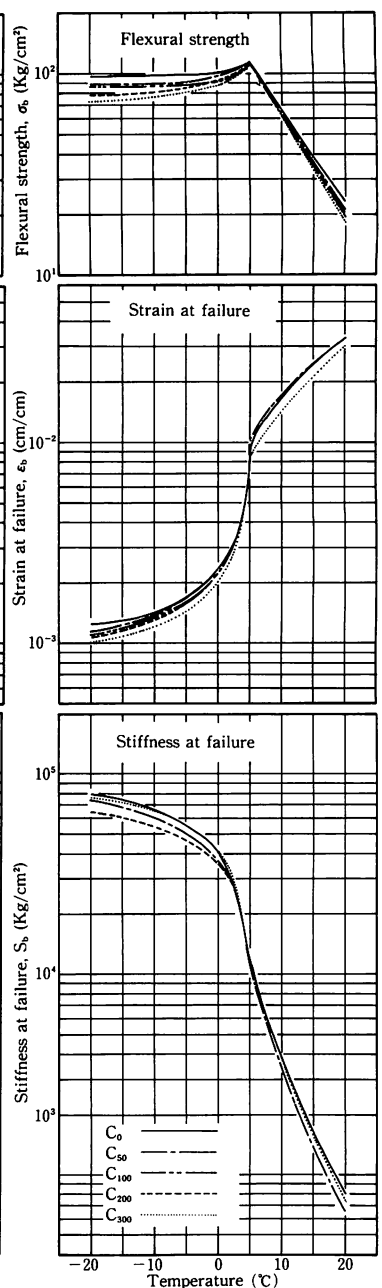


図-2 凍結融解サイクル数と各力学性状との関係

を示したものと考えられるが、さらに今後の詳細な実験が必要である。

細粒度ギャップアスファルトコンクリートの空隙率の範囲は3～5%を基準としている⁶⁾。この下限値3%になるまで充分に締固められたアスファルト混合物でも、凍結融解作用により力学性状が徐々に低下することが定歪速度曲げ試験の結果明らかになった。前報においてマーシャル安定度あ

るいは残存安定度の面から明らかにした凍結融解作用を⁷⁾本研究でさらに一層明確にすることができた。

VI. ま と め

積雪寒冷地用細粒度ギャップアスファルトコン

クリートを空隙率3%まで十分に締め、凍結融解作用を与え、3点載荷方式定歪速度曲げ試験を行なった結果、次の事項が明らかとなった。

- (1) 凍結融解作用を受けたアスファルト混合物の破壊時の曲げ強さは高温側から低温側に移行するにつれ、次第に増加し最大値を示した後低下する、破壊時の歪は脆化点を中心とするS字形曲線を示す、破壊時のスティフネスは急激に増加した後勾配は緩くなり一定値に近づく傾向がみられる、という熱可塑性材料の曲げ破壊性状と同様の力学性状がえられた。
- (2) 凍結融解後の定歪速度曲げ試験の力学性状は、凍結融解前のそれより小さな値を示した。
- (3) 脆化点は凍結融解作用の有無およびサイクル数にかかわらず一定値を示した。

最後に本研究を進めるにあたり、梅田安治北大助教授の有益な御助言を得、日瀝化学工業KKおよび恵庭玉川組に材料の提供をいただき、土木7期生川端以光、喜多博志、長尾鉄彦、村上哲司の諸氏に実験の協力を得た。記して深く感謝する次第である。

(本研究の一部は昭和56年5月農業土木学会大会講演要旨集4-32および第30回農業土木学会北海道支部研究発表会講演要旨集14で発表)

参 考 文 献

- 1) 菅原・久保・森吉：寒冷地舗装に発生する横断方向のひび割れ，道路 No. 8，P 37～40 (1978)
- 2) 菅原・久保・森吉：温度応力によるアスファルト舗装のクラック破壊，土木学会誌 Vol. 64 No. 4，P. 99～106 (1979)
- 3) 北海道開発局：北海道の道路ポケットブック，北海道開発協会 (1979)
- 4) 吉田隆輝：凍結融解作用を受けたアスファルト混合物について，土木学会第34回年次学術講演概要集 (V)
- 5) 久保宏：舗装用アスファルト混合物への凍結融解作用の影響，土木学会論文報告集 No. 279，P. 93～98 (1978)
- 6) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱 (1979)
- 7) 吉田隆輝：積雪寒冷地のアスファルト混合物の研究 (第2報) 凍結融解作用の影響をうけたアスファルト混合物のマーシャル安定度および透水性について，苫小牧工業高等専門学校紀要 No. 15，P. 105～113 (1980)

(昭和56年11月30日受理)

