

アスファルト舗装の温度ひび割れ発生率とその影響要因に関する研究

張 肖寧¹・唐 伯明²・高橋 修³

¹中国哈爾濱建築大学 副学長 (中国哈爾濱市西大直街 66 号)

²正会員 工博 長岡技術科学大学 助教授 環境・建設系 (〒 940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

³正会員 工修 長岡技術科学大学 助手 環境・建設系 (〒 940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

アスファルト舗装の横断ひび割れ発生時のエネルギーバランスを考慮して、一回降温後の横断ひび割れ間隔あるいはひび割れ率を計算する方法を提案した。この方法を利用してアスファルト舗装の温度ひび割れ率に影響する要因の分析を試みた。その結果を寒冷地の特殊配合アスファルト混合物舗装に応用すると温度ひび割れを低減させることができた。

Key Words : asphalt pavement, crack energy, cracking frequency, parameter

1. まえがき

アスファルト舗装にダメージを与える温度ひび割れに関しては、すでに数多くの研究が発表され、この問題解決のための原理、方法、手段が検討されている。ほとんどの研究はアスファルト舗装の温度ひび割れ発生を防止することに着目している。例として、Hills と Brien の温度応力と材料強度を考慮した亀裂発生温度予測方法¹⁾、Gau et al のアスファルト混合物の載荷時間 1800 秒時の極限スティフネス値を制限する亀裂温度予測方法²⁾、Fromm と Phang の 10⁴秒時アスファルト極限スティフネスが $1.4 \times 10^6 \text{N/m}^2$ になる温度を亀裂温度とする予測方法³⁾、Robertson の極限応力が $5 \times 10^5 \text{N/m}^2$ になる温度を亀裂温度とする予測方法⁴⁾、McLeod のアスファルトの針入度 (25 °C) と粘度 (135 °C) からノモグラフを用いて亀裂温度を予測する方法⁵⁾などがある。

このような予測方法を採用して、アスファルトあるいはその混合物の低温力学性状に関する研究が盛んに行なわれた結果⁶⁾、アスファルトの性状がアスファルト舗装の温度ひび割れに最も大きな影響を与えている。それ故に、各国はアスファルト舗装の低温ひび割れを防止する規格を設けている。その代表的なものとして最近公表された SHRP の研究結果がある⁷⁾。

しかし、このような規格を満たす優れたアスファルト品種が少なく、その低温性状が満足できても、高温性状も同時にその要求を満足するのは難しい。とくに、北アジア、北アメリカなど一部の寒冷地域では、年間温度の変化が激しく、冬の気温も相当低いので、温度ひび割れの問題を完全に解決するのは、従来の方法では困

難である。このような地域では、アスファルト舗装の低温ひび割れを防止することよりも、横断ひび割れ発生の間隔を大きくして、温度ひび割れ率を減少することの方が重要であるが、アスファルト舗装の温度ひび割れ率予測方法に関する研究は少ない。1972 年、Hajek と Hass が Ontario 試験舗装の 43 箇所の測定データに対し数理統計法を用い、アスファルト舗装の温度ひび割れ発生率を予測する経験式を発表したが、その式は次のとおりである⁸⁾

$$I = f(s, t, a, M, d) \quad (1)$$

ここに、 I : 温度ひび割れ発生率、

s : アスファルトの低温スティフネス、

t : アスファルト舗装厚、

a : 舗装供用年数、

M : 設計最低温度、

d : 路床土質種類係数

式 (1) は、アスファルト舗装の温度ひび割れ発生率への影響要因として、アスファルト材料に関するものだけでなく、舗装厚などの構造要因にも関係があることを示している。このことが寒冷地の舗装設計者に重要な示唆を与える。しかしながら、式 (1) はある地域に限定された経験式で、その理論根拠は不十分であり、適用範囲には限界がある。その故に、本研究は既往の研究結果に基づいて⁹⁾、エネルギーバランス原理を用いたアスファルト舗装の温度ひび割れ率計算方法の開発を試みた。提案した予測方法を検証すると共に、アスファルト舗装の温度ひび割れ率への材料要因、構造要因の影響を分析し、この分析による材料設計と構造設計方法の改良も考察した。

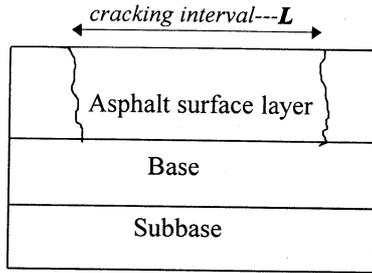


図-1 構造単位の計算モデル

2. エネルギーバランス原理とアスファルト舗装温度ひび割れ率の計算方法

アスファルト舗装の各層は熱伝導に対して抵抗性があるので、降温中の舗装内部の温度変動の振幅は、深さが深いほど小さくなる。舗装内部では、温度分布と温度応力の分布は近似的な比例関係があるので、層中の温度応力は深さ方向に沿って次第に小さくなる。したがって、温度応力による亀裂は表面から生じる。表面の微小な亀裂の存在するところに生じる集中応力が材料の許容応力を超えると、亀裂が深さ方向に拡張する。亀裂の拡張は材料内部のエネルギー分布密度の変化率によって、一定速度の拡張あるいは短い時間内の加速拡張の形を取る。経験より、アスファルト舗装の温度ひびわれは急に冷え込む時に発生することが知られている。このときは亀裂の拡張過程が短く、主に加速拡張型をとる。亀裂ができてからの拡張過程を省略し、温度ひび割れの発生と拡張が瞬間的に完成すると考える。

はじめ長さが無限大であったアスファルト舗装が、横断ひび割れができた後は、図-1に示すように、長さ L の有限構造単位になったと仮定する。ひび割れが発生する前に温度応力がこの単位に与える仕事を $U(t_0)$ 、アスファルト材料の応力緩和によってこの単位が失うエネルギーを $W_e(t_0)$ 、ひび割れが発生するときこの単位内部に貯蔵されるエネルギーを $W(t_0)$ とすると、

$$W(t_0) = U(t_0) - W_e(t_0) \quad (2)$$

表面の温度応力 $\sigma_x(t_0)$ が許容応力を超えると、温度ひび割れが瞬間的に横断ひび割れになり、単位内部に貯蔵されるエネルギー $W(t_0)$ も瞬間的に解放され、新しい表面になる表面エネルギー Γ と流動変形に抵抗する仕事 U_f となって消費される。 Γ と U_f の和が亀裂エネルギー U_{fr} になる。簡単にするため、貯蔵されるエネルギー $W(t_0)$ は全部亀裂エネルギー U_{fr} として消費されると仮定する。即ちひび割れが生じた後は $W(t_0) = 0$ とすれば、図-1に示す長さ L の構造単位に対して、次式が成り立つ。

$$W(t_0) = U_{fr} \quad (3)$$

降温過程の t_0 時刻には、アスファルト層中の任意材料単位が貯蔵するエネルギー $W_i(t_0)$ は緩和応力と収縮ひずみの積になる。

$$W_i(t_0) = \sigma_i(t_0) \cdot \varepsilon_i(t_0)$$

温度差を $\Delta T_i(t_0)$ で表すと、アスファルト混合物の線膨脹率 α を定数と仮定して、

$$\begin{aligned} \varepsilon_i(t_0) &= \alpha \cdot \Delta T_i(t_0) \\ W_i(t_0) &= \alpha \cdot \sigma_i(t_0) \cdot \Delta T_i(t_0) \end{aligned} \quad (4)$$

アスファルト層中の水平方向の温度応力分布の変化は深さ方向依存性に比べれば小さいので、深さ方向のみを考慮した一次元温度応力場におけるエネルギーバランスを計算すればよい。アスファルト舗装の厚さを h 、幅を b とすると、式(3)は

$$\alpha b L \int_0^h \sigma(t_0, h') \cdot \Delta T(t_0, h') dh' = U_{fr} \quad (5)$$

あるいは

$$\frac{\alpha L}{h} \int_0^h \sigma(t_0, h') \cdot \Delta T(t_0, h') dh' = U_{ur} \quad (6)$$

と書ける。

式(6)の U_{ur} は単位断面積当たりの亀裂エネルギーであるが、アスファルトの性質、アスファルト混合物の配合、温度、ひずみ速度の関数になり、室内引張り試験結果から求められる。これより、ひび割れ間隔 L が次式で計算される。

$$L = \frac{h \cdot U_{ur}}{\alpha} \cdot \frac{1}{\int_0^h \sigma(t_0, h') \cdot \Delta T(t_0, h') dh'} \quad (7)$$

式(7)の理論的根拠は比較的明瞭であるが、アスファルト舗装の低温ひび割れ間隔あるいは温度ひび割れ率はアスファルト混合物の収縮性状、単位断面積当たりの亀裂エネルギーなどの材料要因(例えば針入度、混合物の配合)のみに関係があるとは言えない。温度勾配と応力分布はアスファルト舗装厚とアスファルト混合物の熱物理的性質に依存するので、ひび割れ率はその構造要因にも依存する。本研究が提案したひび割れ間隔予測方法は、他の方法と比較すると、材料要因と構造要因の両方を考慮しているので、より実用性が高い。

ひび割れ間隔 L の逆数 R は、単位長さ当たりのひび割れ数を表すから、これを相対温度ひび割れ率と定義する。同じアスファルト混合物なら、その U_{ur} の値は定数とみなせるので、式(7)に若干の仮定を加えれば、相対温度ひび割れ率 R を導くことができる。特にアスファルト舗装材の単位断面積当たりの亀裂エネルギー U_{ur} が未知の場合には、相対温度ひび割れ率 R を利用して構造を分析すると便利である。

U_{ur} を定数とみなし、仮に 100 と置いたものを標準状態とすれば、任意のアスファルト舗装の相対温度ひび

	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4
舗装構造	アスコン h1 = 3cm	アスコン h1 = 4cm	アスコン h1 = 4cm	アスコン h1 = 3cm
	AMC層 h2 = 8cm	石灰安定処理土 h = 37cm	セメント安定処理土 h = 37cm	AMC層 h2 = 8cm
	AMC層 h3 = 8cm			碎石路盤 h = 10cm
	石灰安定土 = 15cm			セメント土 18cm
実測ひび割れ率 (m/1000m ²)	0.95	2.10	2.35	1.09
計算ひび割れ率 1/L (1/m)	0.81	2.26	2.36	0.85

図-2 黒竜江省試験舗装のひび割れ観測結果と計算相対温度ひび割れ率の比較

割れ率 R は次式から求められる。

$$R = \frac{1}{L} = \frac{\alpha \int_0^h \sigma(t_0, h') \cdot \Delta T(t_0, h') dh'}{100h} \quad (8)$$

線形粘弾性力学モデルから応力緩和式として次式が得られる。

$$\begin{aligned} \sigma(t_0, h') &= \int_0^t E_r(t_0 - t, h') \frac{d\varepsilon(t')}{dt'} dt' \\ &= \alpha \int_0^t E_r(t_0 - t', h') \frac{d\Delta T(t')}{dt'} dt' \end{aligned}$$

これを式(7)、(8)に代入すれば

$$L = \frac{hU_{fr}}{\alpha^2} \cdot \frac{1}{\int_0^t \int_0^h \Delta T(t', h') E_r(t_0 - t', h') \frac{d\Delta T(t')}{dt'} dt' dh'} \quad (9)$$

$$R = \frac{\alpha^2 \int_0^t \int_0^h \Delta T(t', h') E_r(t_0 - t', h') \frac{d\Delta T(t')}{dt'} dt' dh'}{100h} \quad (10)$$

が得られる。ただし、 $E_r(t_0 - t', h')$ は時刻 $t_0 - t'$ 、深さ h' におけるアスファルト混合物の緩和弾性率である。式(9)、(10)に示したように、緩和弾性率と温度勾配を与えれば、ひび割れ間隔 L と相対温度ひび割れ率 R の計算が可能である。

3. アスファルト舗装の温度ひび割れ率へ影響する要因の分析

前節で導入した相対温度ひび割れ率の有効性を検証するために、中国交通部公路研究所が黒竜江省で舗装した試験舗装の観測結果¹⁰⁾と、本研究の方法で計算した相対温度ひび割れ率の比較結果を図-2に示す。両者はよく一致しており、本研究の計算方法の有効性が証明された。

前述のように、本研究に採用した力学モデルは比較的合理的であるが、若干の仮定を用いて単純化していると共に、計算結果の信頼性はアスファルト混合物の緩

和弾性率 $E_r(t)$ と単位面積当たりの亀裂エネルギー U_{ur} の測定精度に依存する。本成果の実用化のためには、数多くのデータを用いてもう一步検証する必要がある。当面は式(9)、(10)を利用して、アスファルト舗装の温度ひび割れ率への影響要因の分析に理論的根拠を提供することが、実用的であると考えられる。

式(9)、(10)に示したように、アスファルト舗装の温度ひび割れ率への影響要因として以下のものが挙げられる。

- 1) アスファルト混合物の線膨脹率 α : 温度ひび割れ率 R は α の 2 乗に比例する。
- 2) アスファルト舗装の厚さ h : 温度ひび割れ率 R は h の逆数に比例する。
- 3) アスファルト混合物の力学性状 : アスファルト混合物の優れた緩和性能と大きな亀裂エネルギーが大きなひび割れ間隔 L と小さな相対温度ひび割れ率 R に対応する。

アスファルト層中の温度分布 $\Delta T(h')$ もひび割れ間隔と関係する。温度差が大きくなればひび割れ間隔も大きくなる。舗装構造の幾何特性と熱物理的性質も温度分布 $\Delta T(h')$ に影響する。熱源として、路床土の土質性状も考える必要がある。

(1) 収縮性状の影響

図-3 にアスファルト混合物の収縮量の温度依存性を示す。アスファルト混合物の収縮性状は降温速度に依存する。降温速度が大きくなれば線膨脹率 α の値が小さくなる。5~10 °C/h の降温は通常の冷え込み時のアスファルト層中の温度降下速度に相当するので、温度ひび割れ率を計算するとき、この速度で測定した線膨脹率 α を使用する。

図-3 に示すように、脆化温度の両側でアスファルト混合物の収縮変形曲線の傾きが異なり、低温領域で測定した線膨脹率の方がやや小さくなる。本研究では主

表-1 線膨張率 $\alpha(\times 10^{-5})$ の測定結果¹¹⁾

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
混合物種類	単家寺 中粒 16	単家寺 中粒 16	SBR 改質 単家寺	勝利 中粒 16	勝利 ギャップ	勝利マス チック	勝利安 定砕石	遼河安 定砕石	歙喜嶺 中粒 16	勝利 As 単体
アスファルト量(%)	5.6	6.1	5.6	6.0	6.5	10.0	5.0	3.8	5.4	—
粗骨材量(%)	58	58	58	40	65	0	85	88	40	—
脆化点以上の α	2.9	2.9	1.7	3.3	2.8	5.2	2.7	1.9	2.8	21.2
脆化点以下の α	2.0	2.1	1.3	2.9	2.3	3.9	2.2	1.8	1.8	14.6

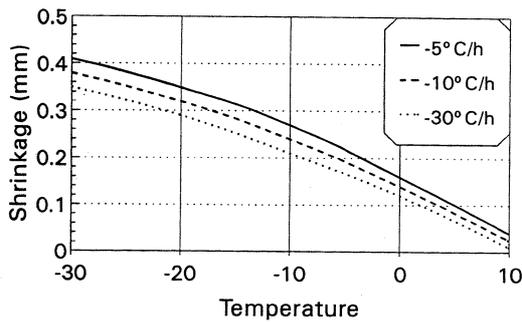


図-3 異なる降温条件において測定された供試体収縮量

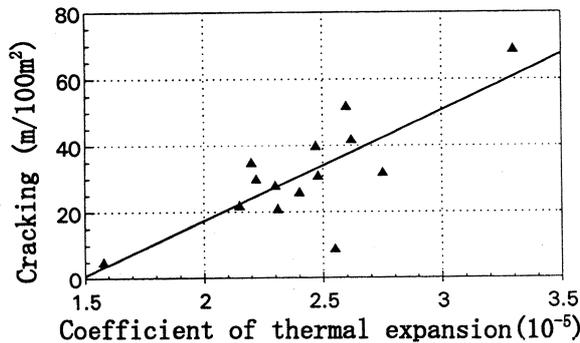


図-4 山西省黄桑試験舗装の線膨張率と実測温度ひび割れ率

に低温領域の測定値を使用する。

表-1 によると、アスファルト単体の線膨張率はアスファルト混合物の約 5~8 倍になる。骨材の線膨張率は 10^{-6} のオーダーで小さい。重要な要因は骨材の使用量とアスファルト量である。勝利アスファルトを使用している混合物を比較すれば、アスファルトマチックの線膨張率はアスファルト安定砕石の線膨張率の 2 倍あり、密粒度混合物の測定値もアスファルト安定砕石の 1.5 倍ある。配合は同じでも、アスファルト量が多いほど収縮変形は大きく、この影響はアスファルト量の増加と共に小さくなる。

1981 年に、中国の山西省黄桑地方で 9 種類のアスファルト (国産と輸入品を含む) と、中国、日本、西ドイツの通常配合 7 種類を組み合わせ、試験舗装比較区間を

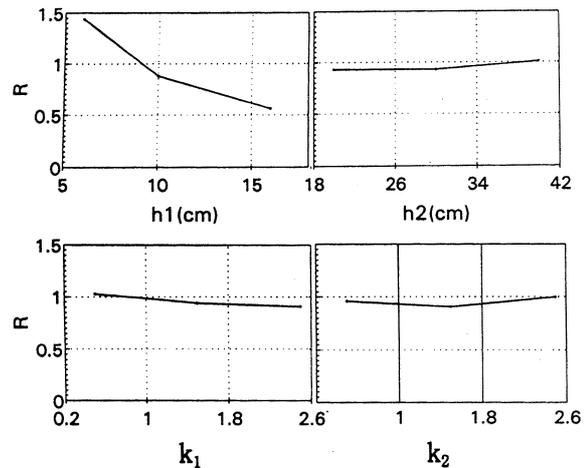


図-5 直交試験の分析結果

舗装した。図-4 に線膨張率と温度ひび割れ率の関係を示す¹²⁾。この図から、 100m^2 ごとのひび割れの総延長 (m) で表す温度ひび割れ率が顕著にアスファルト舗装の線膨張率に依存することがわかる。

(2) 舗装厚の影響

アスファルト舗装の厚さが温度ひび割れ率に与える影響は式 (9) に示した線形関係のみではなく、厚さが温度差 ΔT に与える影響も大きい。

4 つの要因 (舗装厚 h_1 、路盤厚 h_2 、舗装と路盤の熱伝導率 k_1 、 k_2) と 3 つのレベルで直交試験表を利用し、この要因の温度ひび割れ率への影響を検討したものが図-5 であるが、舗装厚の影響が最も顕著である。

中国哈爾濱市の調査結果によって、アスファルト舗装の標準厚は 1986 年の 5cm から 11cm になっており、温度ひび割れ率が平均して 50% 以上減少した。北京市の調査でも同じ結果が得られ¹³⁾、発表された報告書には厚さを現在使用している 10~15cm から 20cm に増やして温度ひび割れ率を減少させるよう提案されている。Hass らも舗装厚を 16cm から 25cm に増やすと温度ひび割れ率が 40 という調査結果を発表している。

表-3 齊林試験舗装の構造と実際の温度ひび割れ率

構造タイプ	I	II	III
表層厚(cm)	4	4	4
基層厚(cm)	5	5	5
上層路盤材料と厚さ(cm)	粒調碎石 32	石灰・石炭灰安定砂利 16	セメント安定砂利 16
下層路盤材料と厚さ(cm)	セメント安定砂利 10	石灰・石炭灰安定土 10	セメント安定砂利 16
ひび割れ間隔(m)	70	24	18

なお、図-5 から、アスファルト舗装厚が10cm以上になると、厚さが温度ひび割れ率を減少させる効果が小さくなっていることがわかる。温度ひび割れ率がアスファルト舗装にダメージを与える損失と厚さを増加することのコストを総合的に考慮して、合理的な舗装厚を決定しなければならない。

(3) アスファルト混合物力学性状の影響

アスファルトバインダーの力学性状とアスファルト混合物の配合組成は共に温度ひび割れ率に重要な影響を与えることが知られている。1991~1995年に、中国交通部が交通部公路研究所、哈爾濱建築大学などと共に、中国の東北、西北、華北地域によく使われる7種類の国産アスファルトについて広範囲な使用性調査と試験研究を行った。5年間の調査と研究結果に基づいて、7種類のアスファルトの温度ひび割れ抵抗性を評価した結果を表-2に示す¹⁴⁾。

表-2において、線膨張率 α は脆化点以下の温度における測定結果であり、亀裂エネルギーは圧裂試験(10℃, 0.05mm/min)における測定結果、緩和弾性率は圧裂試験で10⁴秒、-10℃時の測定結果である。表-2に示すように、アスファルトの性状は温度ひび割れ率に重要な影響を与える。すなわち、線膨張率は小さい方が、亀裂エネルギーは大きい方が、緩和弾性率は小さい方がそれぞれ良好な結果を与えているが、針入度に関しては何とも言えない。長い時間で測定する緩和弾性率と一定条件において測定する亀裂エネルギーがアスファルト混合物低温性状の評価基準となる可能性もある。

アスファルト混合物配合組成もアスファルト舗装の温度ひび割れ率に重要な影響を与えるが、配合設計の目的が多様なために第4章において詳しく考察する。

(4) 舗装内温度差 ΔT の温度ひび割れ率への影響

気温変化などの外部要因の他に、アスファルト舗装内温度差 ΔT に影響を及ぼす要因としては、舗装厚、路盤厚、舗装各層の熱伝導率やその他の熱物理想数などが挙げられ、路床の熱源を考慮すると、路床土の種類、含水量、路床深さも影響要因になる。これらの影響要

因について、すでに図-5によってその重要さを分析した。舗装厚の影響より、他の要因の影響が顕著であるとは言えないが、試験舗装と実際の舗装にはこの結果と一致しない場合もある。例として、中国黒竜江省齊林試験舗装の調査結果を表-3に示した。

この理由として、本論文に提案した計算方法は、路盤の熱物理想性状と厚さなどの影響を考えたが、舗装と路盤の間の拘束条件およびひび割れ発生後の舗装の収縮によってこの拘束より消耗されるエネルギーを考慮していないことが挙げられる。なお、路盤の乾燥収縮により舗装にリフレクションひび割れがでてくることも一つの原因になると考えられる。

以上のように、本研究で提案した計算方法を修正する必要があると共に、とくに中国では経験によって適切と認められている路盤材料を選択して舗装を設計することが温度ひび割れ率を減少するのに重要である。

4. 温度ひび割れ率を減少させるための対策

以上の分析によって、アスファルト舗装の温度ひび割れ率を減少させるには、舗装厚を大きくすること、適切な路盤材料を選択することが効果的であることがわかった。また、舗装用のアスファルト混合物の収縮性能、応力緩和性能、亀裂エネルギーなどの品質を改善することも大事なことである。

アスファルトの品質と混合物の配合組成が共にアスファルト舗装の低温性状に影響する。本研究の分析によると、線膨張率 α については、アスファルトの種類は影響が比較的小さく、配合組成の影響の方が大きい。応力緩和性状は、一般に軟らかいアスファルトの方が優れており、配合組成の影響は比較的小さい。亀裂エネルギーへの影響要因としては配合組成の方がアスファルトより顕著である。

寒冷地域に使用するアスファルト混合物の理想的な配合組成として次の品質を有しなければならない。

- 1) 線膨張率 α が小さいこと
- 2) わだち掘れへの低抵抗性を保持しつつ、できるだけ高針入度のアスファルトを選ぶこと
- 3) 応力緩和性状を顕著に改善できなくても、比較的に大きな亀裂エネルギーを有すること

これらの目標を実現するためには、配合をギャップ粒度にして、碎石(2.36mm以上)の含有量を増加することが有益である。

哈爾濱建築大学が提案した配合設計法を利用して¹⁵⁾、碎石含有量が68%の密粒度ギャップアスファルト混合物を作成した。その配合組成は表-4に示すとおりであるが、比較のために、表-4に中国黒竜江省で普通に使われている密粒度アスファルト混合物の配合組成も

表-2 7種類アスファルト混合物低温性状の測定結果(同じ配合)

	アスファルトの種類	KLM	HXL	MMI	LLI	LHE	SJS	SLI
室内試験の結果	針入度 (25℃,100g,5sec)	89	92	81	82	138	97	96
	線膨張率 α ($\times 10^{-5}$)	1.82	1.38	2.11	2.31	2.58	2.11	2.42
	亀裂エネルギー U_{ur} (10^{-2} Mpa)	1.13	1.18	1.18	1.12	0.96	0.92	0.75
	緩和弾性係数 E_r (10^2 Mpa)	1.30	1.00	1.59	1.50	1.25	1.86	2.45
実舗装の低温性状の調査結果		良	良	中	中	悪	悪	悪

表-4 配合組成の比較(通過率%)

ふるい目	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074	As(%)
密粒ギャップ	94	49	36	32	30	22	15	10	6	5.1
通常配合	97	79	58	44	28	24	17	12	6	6.0

表-5 アスファルト混合物性能の測定結果の比較

試験項目	空隙率 (%)	動的安定度 (回/m)	線膨張率 ($\times 10^{-5}$)	緩和弾性率 (0℃,10s) (MPa)	亀裂エネルギー* (-20℃,2mm/min) ($\times 10^{-2}$ MPa)	計算ひび割れ間隔 (m)
密粒ギャップ	4.1	1048	2.02	129	1.50	24.5
通常配合	3.8	<300	2.85	114	1.31	17.3

表-6 齊林公路の温度ひび割れ間隔調査結果

供用年数	1	2	3
密粒ギャップ	50	32	25
通常配合	30	19	15

(5km 延長, ランダム式で調査区間を選定, 単位: m)

示した。

2種類配合のアスファルト混合物について必要な試験を行ったが、その結果を表-5に示した。使用したアスファルトは針入度138, PIは-1.14のものである。

表-5より、密粒度ギャップアスファルト混合物の計算ひび割れ間隔は通常の密粒度アスファルト混合物の1.4倍になるが、設計された配合にもっと軟らかいアスファルトを使用すれば、アスファルト舗装の温度ひび割れ率をさらに減少させる可能性がある。

この配合を使用して、1992年黒竜江省の齊林公路(全延長60km)に29kmの舗装工事を行った。残りの部分の舗装は通常の配合を使用したものである。開通3年後の観測結果を表-6に示した。アスファルト舗装の総厚は9cmで、表層厚は4cmである。表層材料以外の要

因はすべて同じである。

提案配合の温度ひび割れ間隔は通常配合のものより1.5~1.7倍大きい。また、大型車の混入率が小さいので、わだち掘れや流動変形は両者ともほとんど見られないが、提案配合は滑り抵抗性が通常配合より優れていた。

5. 結論

本研究の結果より、明らかになった事項を整理すると次のようになる。

- 1) アスファルト舗装に横断ひび割れが発生する時のエネルギーバランスを考慮して、一回降温後の横断ひび割れ間隔あるいはひび割れ率を計算する方法を提案した。この計算方法は実用上十分な信頼性を有する。
- 2) この方法によりアスファルト舗装の温度ひび割れ率に影響する要因を分析すると、舗装材料の収縮性状、舗装の厚さ、アスファルト混合物の応力緩和性状、亀裂エネルギー、及びアスファルト舗装の層中温度分布に影響する要因などが上げられる。
- 3) アスファルト混合物の配合を調整すれば、他の要因を変えなくてもアスファルト舗装の温度ひび割れ率を

減少でき、低温性状と流動抵抗性状の両方を同時に改善することが可能である。

参考文献

- 1) 中国交通部科学技术情報研究所：瀝青和瀝青混合料的路用性能, 1993.
- 2) Gaw, W. J., Burgess, R. A. and Young, F. D. STE.ANNE Test Road-Road Performance after 5 Years and Laboratory Predictions of Low Temperature Performance, *Proceedings of the Canadian Technical Asphalt Association*, 1974.
- 3) Fromm, H. J. and Phang, W. A. : Temperature Susceptibility Control in Asphalt, Specification, *H.R.R.*, No.350, 1971.
- 4) Robertson, W. D.: Selection of Paving Asphalt Cements for Low Temperature, Service, Paving in Cold Areas, *Vol.1, Mini Workshop 3, Canada/Japan Science and Technology Consultations*, 1987.
- 5) Mcleod, N. W.: The Design of Dense Graded Asphalt Concrete Pavements, *Proceedings of Canadian Technical Asphalt Association*, 1987.
- 6) SHRP : FOCUS, 1990-1995.
- 7) AASHTO : MPI, 1995.
- 8) J. J. Hajek and R. C. G. Hass : Predicting Low-Temperature Cracking Frequency of Asphalt Concrete Pavements, *HRB 407*, 1972.
- 9) 張 肖寧：計算瀝青路面低温縮裂率的能量判据及应用, 中国公路学报, Vol.2, No.1, 1993.
- 10) 沙 慶林：論半剛性基層上瀝青路面的裂縫, 北京公路, 1987.
- 11) 張 肖寧：瀝青混合料低温抗裂性能評價方法的研究, 中国公路学报, Vol.6, No.1, 1993.
- 12) 中国山西省交通科学研究所：瀝青路面開裂規律与分析, 山西交通科技, 1993.
- 13) 北京市政工程研究院：北京市瀝青路面低温縮裂狀況調查及防治技術研究, 建設部研究項目 85-10-01 研究報告, 1993.
- 14) 中国交通部公路科学研究所：道路瀝青和瀝青混合料路用性能的研究, 1995.
- 15) 張 肖寧：按体積設計瀝青混合料, 哈爾濱建築大學学报, 1995.

A CALCULATION METHOD OF THE THERMAL CRACKING RATE IN COLD AREA

Xiaoning ZHANG, Boming TANG and Osamu TAKAHASHI

A method to calculate the interval of cross-sectional cracks or the thermal cracking rate in asphalt pavements after a fall in temperature is proposed considering the energy balance in an asphalt layer at the occurrence of a thermal crack. Using this method, an analysis of factors influencing on the thermal cracking rate of asphalt pavements is attempted. When the result of this research is applied to the cold area special asphalt mix pavements, the thermal cracking rate can be reduced.