

アスファルト舗装の温度応力クラックについて

久保 宏* 熊谷 茂樹** 小栗 学***

1. ま え が き

最近、北海道内は比較的寒さが厳しく、しかも交通量の少ない地域のアスファルト舗装道路で横断方向に数mから20mごとにほぼ等間隔なクラックが数多く見られるようになった。この種のクラックは、かなり以前から発生していたものと思われるが、一般交通車両の走行にさほど支障がなく、また厳寒地に多く生じているため凍上現象に起因するものと考えられていたこともあってあまり調査されていなかった。積雪寒冷地でよく見られる凍上現象に起因するアスファルト舗装の破壊は、凍上そのものによるクラックで道路のセンターラインに沿って生ずるきれつと、春の融雪期に路床・路盤支持力の低下に関係して生ずる亀甲状ひびわれである。いずれの凍上破壊も、路床土が凍上性¹⁾で地中からの水の補給が容易な場合に生ずるものである。

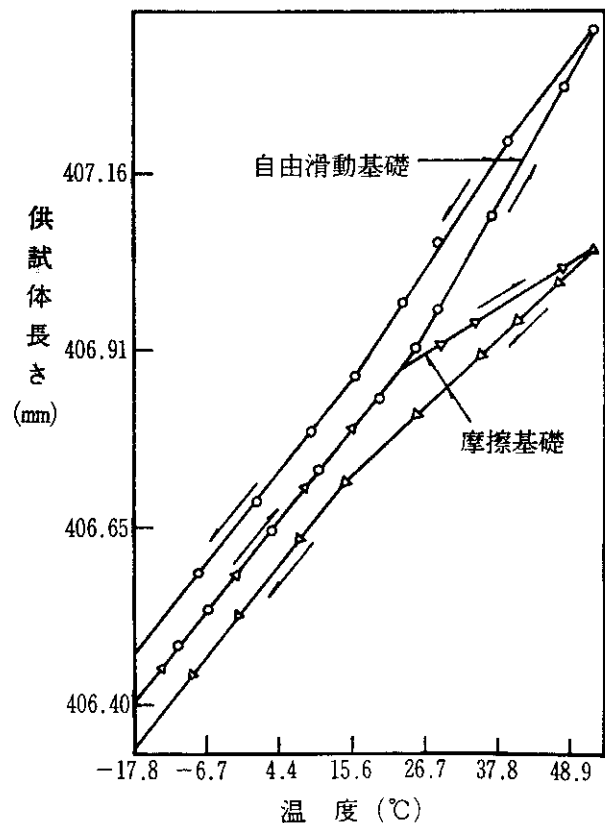
しかし、厳寒地に多く発生している横断方向クラックは、走行方向にはほぼ直角に生じ、しかも非凍上性路床土からなる在来砂利道などに多く発生していることから凍上破壊とはまったく異なる形態のものであることが筆者らの調査で明らかとなった。²⁾また、この種のクラック破壊は、アスファルト舗装に用いられるアスファルトや骨材の性質と密接な関係にあるため、寒冷地の舗装ばかりでなく温暖な地域でも生ずることが指摘され、さらにその確認もされている。この種のクラックは、アスファルト舗装用混合物の温度変化による収縮・膨張、路盤との摩擦による拘束ならびに混合物の応力緩和性状が相互に関係して生ずるもので、これを“温度応力によるアスファルト舗装のクラック”と名づけることにした。

従来、わが国ではアスファルト舗装に発生するクラックは、すべて自動車荷重に基づく破壊あるいは寒冷地での凍上現象による破壊に集約され、温度応力によるクラックについてはほとんど手がつけられていなかった。しかし、最近この種のクラック破壊が新設舗装にも発生し、しかもそのクラック数が年々増加していることから維持補修の方法や防止対策の確立が早急に迫られている。

筆者らは、昭和53年度にこの種のクラックに関する実態調査と数カ所の現地解体調査ならびにその継続調査³⁾を行ってこのクラックが温度応力によるものであることを確認するとともに、これらの現地調査を北海道大学工学部の菅原研究室での基礎的研究と併行しながらさらに進めている。ここでは、北海道におけるアスファルト舗装道路の温度応力によるクラック発生の実態を述べ、さらに気温や舗装構成などの関係について報告するものである。

2. 温度応力によるクラック破壊

温度応力に起因するこの種のクラックは、カナダ、アメリカ、北欧などではすでに重要な研究課題として基礎的研究や現地調査が行われており、一部では予想クラック発生本数に関するノモグラフも発表されているが、ま



図—1 アス・コンの温度伸縮

*舗装研究室長 **同室副室長 ***同室員

だその防止対策への実用的段階にはいたっていない。一方、わが国では北海道大学の菅原教授らの基礎的研究と当所舗装研究室による現地調査がその主たるものである。この種のクラック発生に関する特徴として、現在までに^{3)~5)}おおよそ次のようなことが明らかにされている。

- ① 寒冷地でアスファルト舗装用混合物層の厚さが薄く、交通量の少ない道路に多く発生する。
- ② アスファルトや骨材の性状やその混合物の配合と関係があり、吸水量の多い骨材、硬いアスファルト、アスファルト量の多い配合のものほど発生しやすい。
- ③ 路床の土質や路盤材料とも関係があり、粘性土系のものよりむしろ岩や砂質系のものに多い。
- ④ 舗装用混合物の伸縮は、図一1に示すようにその下の路盤との摩擦の大小で影響を受ける。また、混合物と区画線ペイントの線膨張係数は、それぞれ $2 \sim 3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 、 $6 \sim 12 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 程度であって、これらの値は温度範囲や温度勾配で異なり変移点を

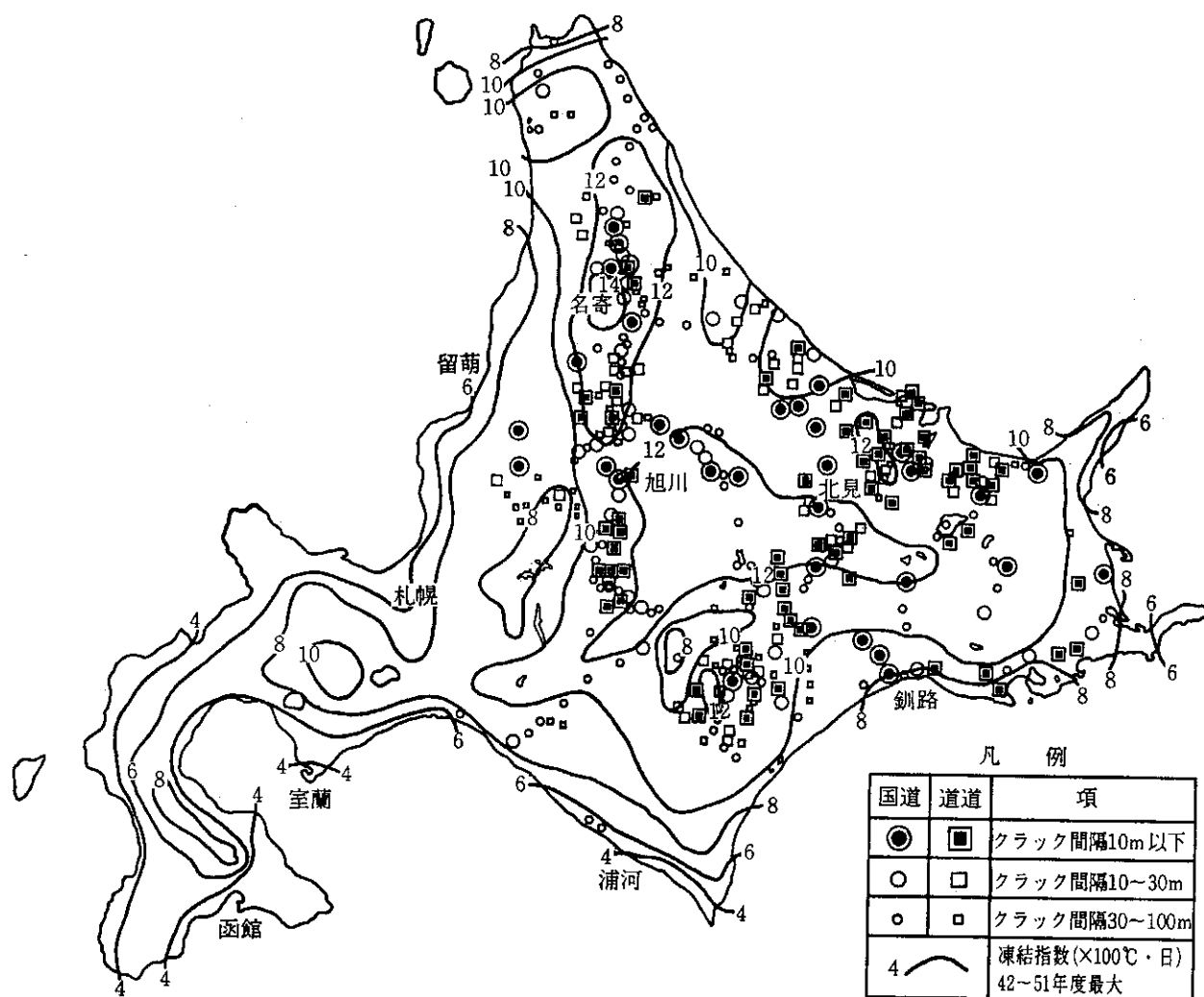
もつ。

- ⑤ 舗装の端部にある区画線ペイントからクラックが発生して車線中央に進み、経過年数とともにその本数が増える。また、クラックの幅も拡大してくる。

舗装用アスファルト混合物は、温度変化によって伸縮し路盤との摩擦拘束で内部応力が生ずるが、一般にはアスファルトのもつ応力緩和性状のために応力は開放される。しかし、急激な温度変化が特に低温域で起きると応力の緩和が生じにくくなり、内部応力が混合物の破壊引張強度ないしは破壊ひずみを越えてクラックが発生するものと考えられている。これが温度応力によるアスファルト舗装のクラック破壊の発生メカニズムである。

3. 現地調査の概要

北海道開発局所管の一般国道と主要道々ならびに北海道庁所管の主要道々と一般道々を対象に、その関係機関に調査表を送って取りまとめることによって、温度応力に起因するクラックの実態を明らかにすることができ



図一2 温度応力クラック分布図

た。また、この種のクラックが多発している地域で、その維持修繕が問題となっている下記の個所で解体調査やクラックの経年変化の調査も実施した。

- ① 52年度施工 一般国道 275 号 幌加内町雨煙別
- ② 46年度施工 一般国道 242 号 足寄町西一線
- ③ 42年度施工 一般国道 38 号 南富良野町狩勝
- ④ 50年度施工 一般道々留辺蘂本別線足寄町中芽登

さらに同じ年度の施工で舗装構造と交通量がほぼ同様な次の3カ所で、クラックの発生数に違いがあったので冬期間の気温との関係を調査した。

- ① 一般国道 275 号 幌加内町雨煙別
- ② 一般国道 242 号 陸別町日宗
- ③ 一般国道 273 号 上士幌町糠平

4. 調査結果と考察

(1) クラックの分布図

図一2は、実態調査表に基づいて作成した北海道の道路における温度応力クラック分布図である。なお、この図ではオーバーレイによってクラックが被覆されたもの、国道と道々の道路網密度の違い、実態調査延長の長短などの問題が含まれているので、巨視的な表現となっている。また、クラック間隔の分類は、目視による精度などを考慮して便宜上決めたものである。調査表にはクラック間隔が100 m以上のものもあったが、凍上現象によるものとの区別が困難なことから図示していない。この図から温度応力によるクラックは10年間での最大凍結指数が約 $1000^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ 以上の厳寒地域に多く発生していることがわかる。しかし、このクラック発生は単に凍結指数の大きさによって支配されるものではないことが、後述の気温との関係から明らかにされている。

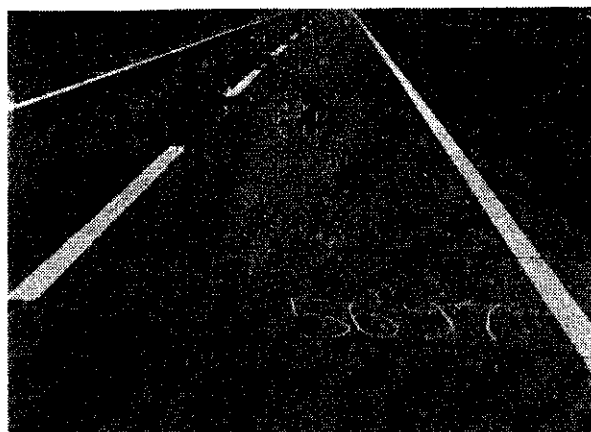
(2) クラックの発生形態

温度応力によるクラックの発生形態について、現地調査とその継続調査から判明した主なものは次のとおりである。

(a) 写真一1、2および図一3に示したように、道路の横断方向に直線的で初期には10~20mのはぼ等間隔で発生し、経年とともにその中間部分と未発生部への伸長によってクラック数は増加する。図一3の上図は、舗装の施工後約1年の発生状況の一部であり、はぼ10m間隔のクラック発生である。下図は、舗設後約7年半の発生状況の一部で、細線は52年調査時のもの、太線はその後54年3月までに発生、伸長したものである。

(b) 道路の端部や中央線からクラックが発生して、車線中央部へ進行しているものが多い(図一3参照)。

(c) 区画線ペイント表面の細かいひびわれからクラックが発達する場合、コア採取痕から発生する場合、雨水



写真一1 舗装の施工後1年が入った横断方向のクラック(一般道々帯広管内足寄町)



写真一2 次から次へと細かく入ってくる温度応力クラック(一般国道275号幌加内町沼牛)

ますや道路中心線から生ずる場合など、図一4で示すように合装の弱点と見られる個所からクラックが発生している。

(d) 温度応力クラックの深さ方向の発達、一般国道242号足寄町西一線のコア採取による調査で舗装表面から路盤へ向かって進むことがわかった。

(e) 道路の車線中央部、特にわだち部分にはこの種のクラックが発生しにくい。これは交通車両によるニーディング作用と密接な関係があるものと考えられる。

(3) 冬期間の気温との関係

同一年度の舗装施工で舗装構造と交通量がほぼ同じ個所で、クラック本数の異なるところについて気温を調べた結果が表一1である。これによると、冬期間での最低気温ならびにそのときの温度下降勾配が重要な要素と考えられ、凍結指数の大きさだけでクラック数が決まるものではない。本来は舗装体温度をもとにして検討すべきを気温で代表させているために、道路周辺の樹木と地形、すなわち日照や風の通りなどがクラック発生に関係

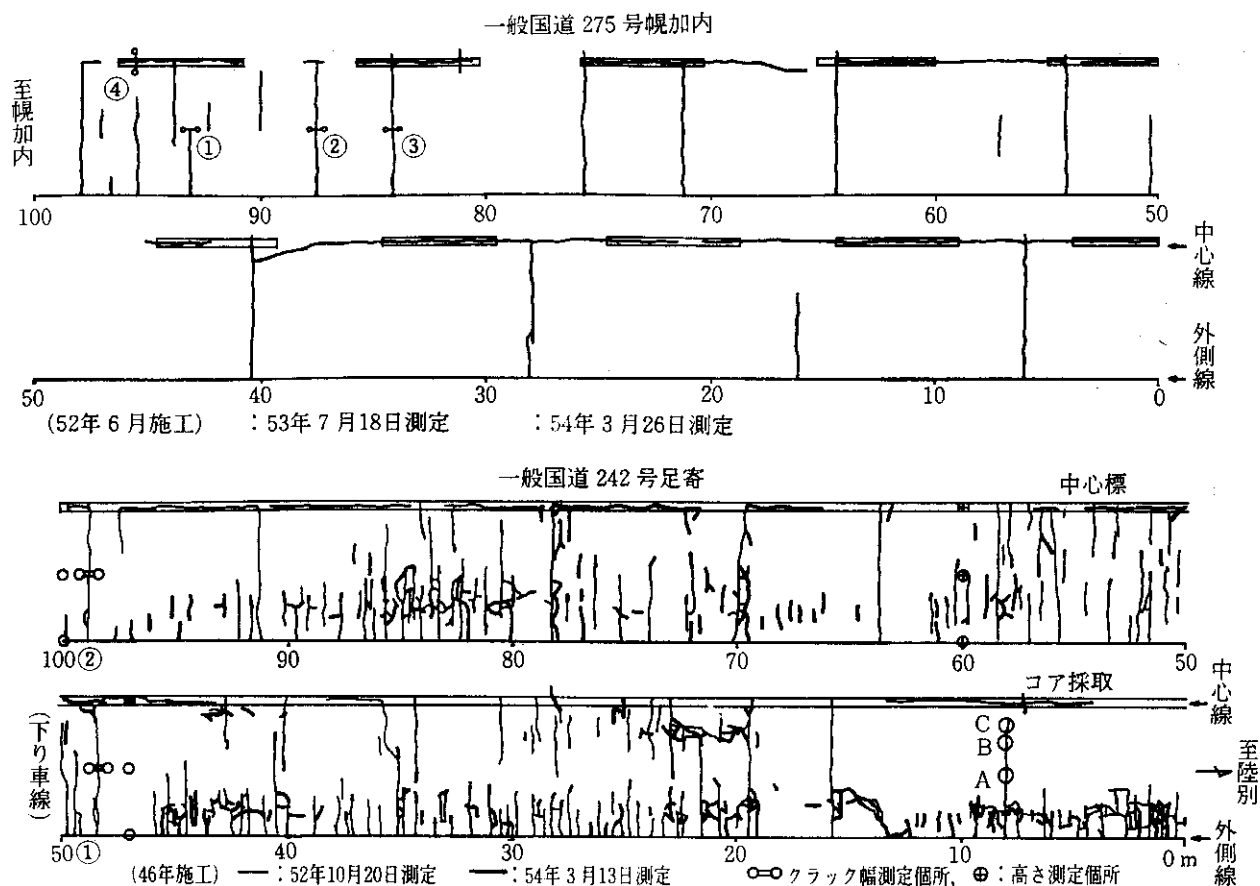


図-3 クラックの発達過程

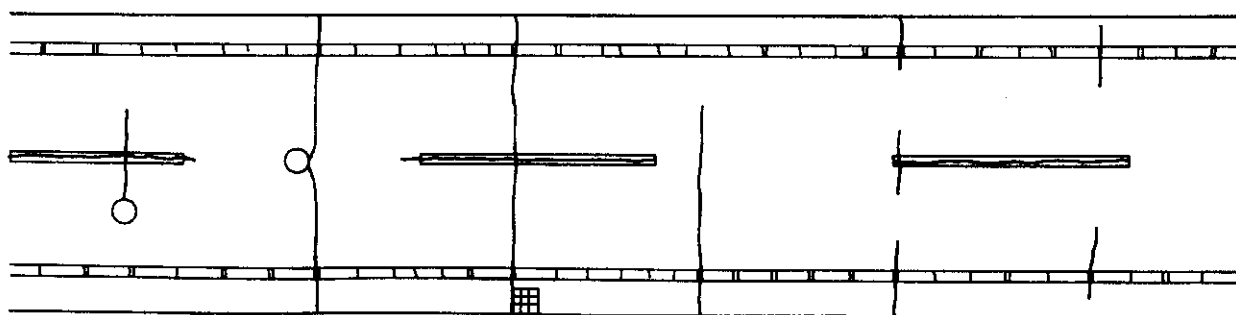


図-4 クラックの発生形態

表-1 気温とクラック

個 所 別	凍 結 指 数 1 (°C・days)	最低気温 2 (°C)	気温の日 最大変動量 3 (°C)		温度勾配・(°C/H) 4				日最低気温の 日数 5			(日最低 +下降気 温差)の 日数 5	延 長 (m)	クラック 本 数 6 (本)	
			—	+	時 間 最 大		最 高 最 低 間		—30℃ 以下	-32℃ 以下	-33℃ 以下				
					—	+	—	+							
一般国道 275 号	1,150	— 38.5	26.5	30.5	5.4	10.4	2.7	2.9	9	8	4	6	6	1,840	58
幌加内町 雨煙別	980	— 30.0	24.5	24.0	5.4	8.6	2.0	3.0	1	0	0	0	0		58
一般国道 242 号	1,270	— 32.6	24.8	26.8	6.5	12.2	1.9	4.0	10	2	0	2	0	1,800	4
足 寄 郡 陸 別 町	1,090	— 29.4	25.6	26.2	6.1	8.7	2.3	4.0	0	0	0	0	0		4
一般国道 273 号	1,280	— 30.8	21.1	20.0	5.0	9.0	1.7	3.4	1	0	0	0	0	300	0
上士幌町 糠 平	1,140	— 26.7	22.3	22.0	5.8	7.8	1.9	3.6	0	0	0	0	0		0

1) 上段 52年度, 下段 53年度

2) 幌加内は 1~3 朱鞠内, 4 幌加内市街

3) 3, 4 の + 温度が上昇, - は下降方向

4) 6 の上段 53年 7 月, 下段 54年 4 月

5) 日最低温と下降気温差を加えたもの(5 欄) 通常は,
日最低気温 + (日最低気温 - 前日の最高気温)

するものと考えられる。

一方、R. A. Burgess によると⁹⁾アメリカ合衆国ミネソタ州で1965年3月29日にこの種のクラックの発生を確認したが、それ以前2週間で $-34.4 \sim -2.2^{\circ}\text{C}$ 程度の気温の繰返しが6回あったとされている。表-1でクラック発生に関係したと思われる日最低気温は -32°C 程度以下となっており、両者はおおよそ一致しているものと考えられる。

(4) クラック幅の動き

クラック幅の動きを継続調査するため、クラックをは

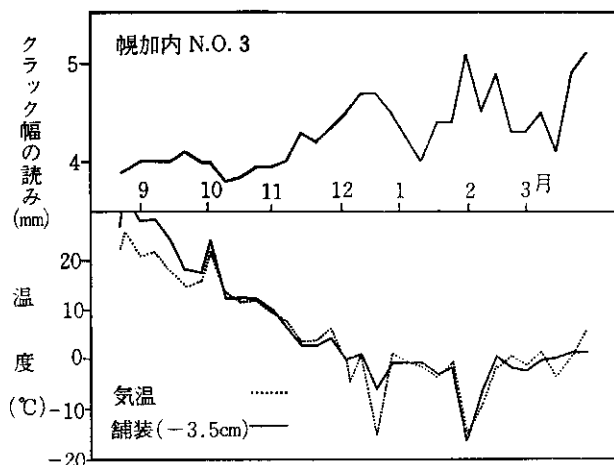


図-5 クラック幅の動き (年)

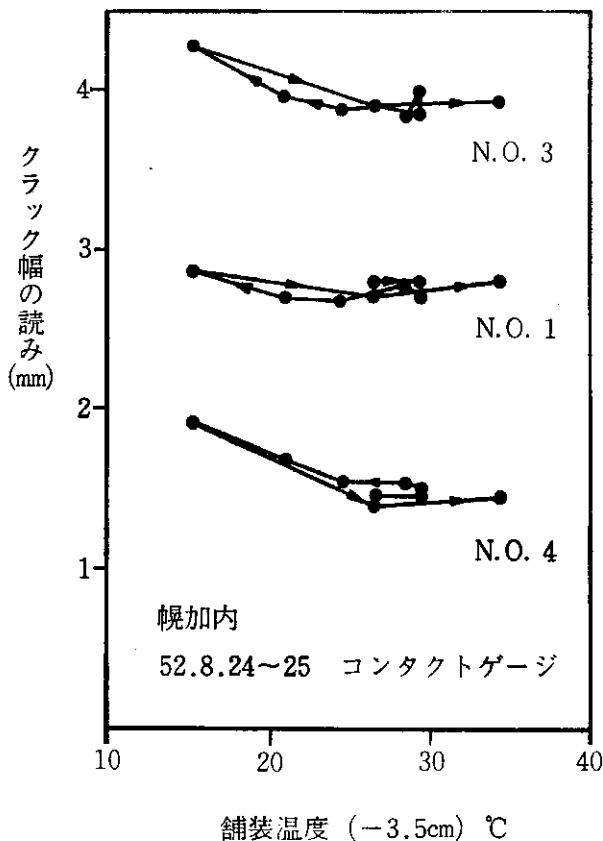


図-6 クラック幅の動き (日)

さんで両側に丸鋼をドリルで埋設し、コンタクトストレーンゲージ (最小読取り 0.001 mm) およびノギス (最小読取り 0.005 mm) でクラック幅を測定した。図-5と6は一般国道275号幌加内町雨煙別における実測例を示したものである。これらの図から舗装体の温度が 10°C 以下の領域では、クラック幅と温度が密接な関係をもった動きを示すが、 20°C 以上の比較的高温域では温度と関連したクラック幅の動きにならないことがわかる。これはアスファルト混合物の応力緩和性状によって高温時では混合物の伸長があまり生じず、低温域で大きな収縮が起き、この繰返し作用でクラック幅が年々拡大することを示すものである。舗装後の経過年数が長い一般国道242号足寄町西一線では、年間 5 mm 程度の動きと冬の厳寒期で約 15 mm のクラックの開きが観測されている (写真-3参照)。

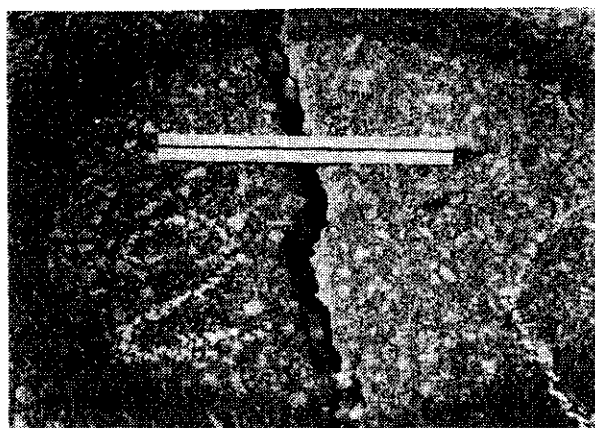


写真-3 このクラックは夏の高温時でも大きく開いている
(一般国道242号帯広管内足寄町)

(5) クラック発生の時期

冬期は、路面に積雪があってクラック発生の時期を正確に捕えることはむずかしく、また微小クラックが発生しても肉眼では観測されないために、クラック幅の伸縮が繰返えされその幅が拡大されたものについて論ずることになる。表-2は、一般国道242号足寄町西一線で観測されたクラック本数の時期的な変動を示したものである。

観測期間の日数が一定でないため、30日当たりの本数に換算すると52年の冬に向かって最も多く、次いで54年の冬に多く発生している。

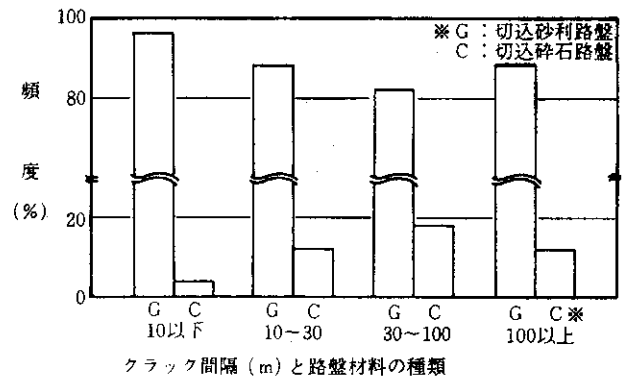
(6) 路床・路盤材料の種類とクラック

路床土の土質とクラック発生の関係は図-7のとおりで、砂や砂利系の材料の場合にも多く発生している。

路盤材料は砂利と碎石に分けてクラック数を比較したが、砂利の使用割合が多いために明確な判断はできな

表一2 クラックの発見時期
(一般国道 242 号 足寄)

調査日	本数	日数	30日当たり
52年 10月20日	基準	48	本 84
12月7日	134	202	17
53年 6月27日	113	63	10
8月29日	21	113	18
12月20日	69		
54年 1月24日	—	83	33
3月13日	91		

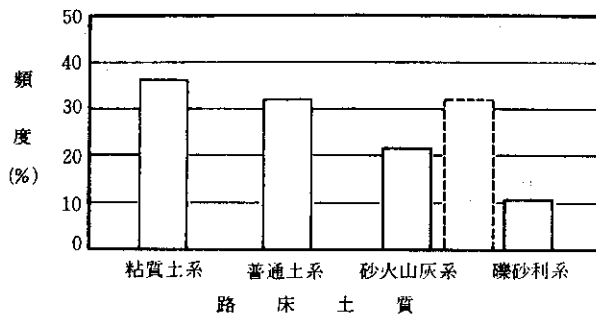


図一8 路盤材料の種類とクラックの関係

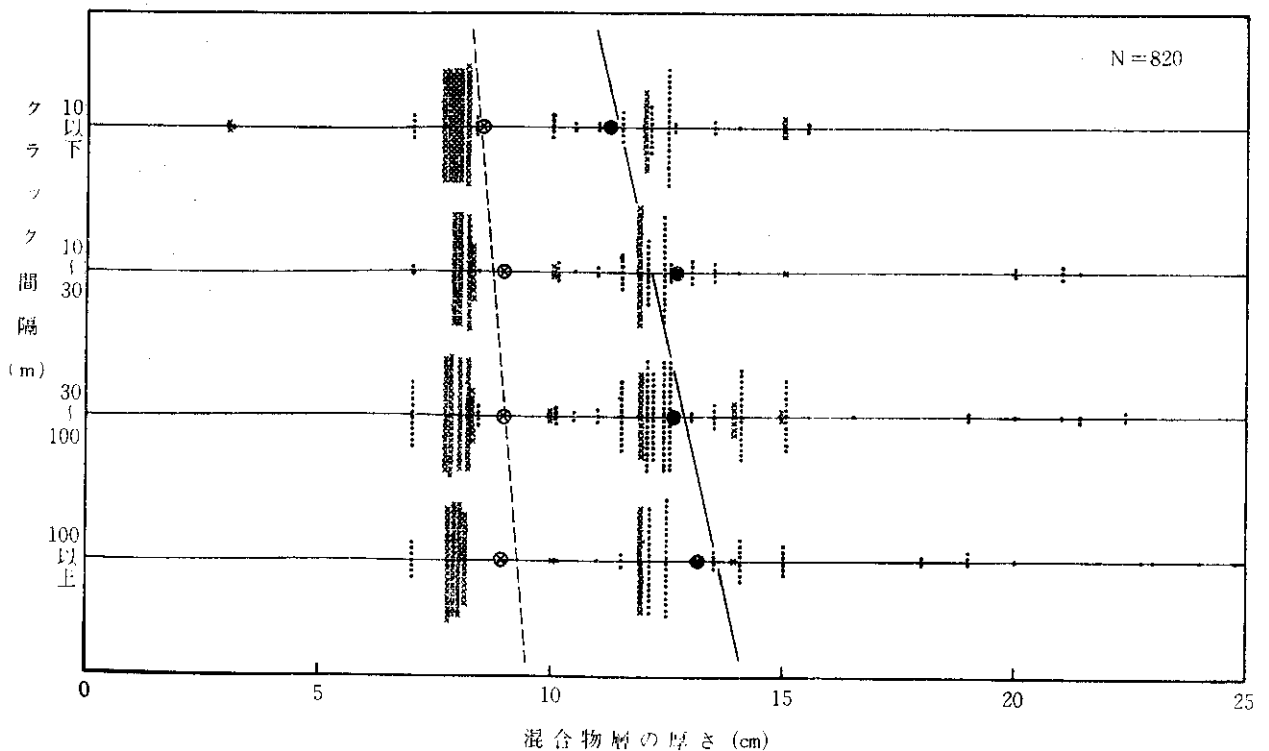
った。しかし、図一8で示すように比率では砂利の場合にクラックが圧倒的に多く、アスファルト混合物層と路盤の摩擦の違いがクラック発生に関与しているものと考えられる。

(7) アスファルト混合物との関係

解体調査個所の抽出アスファルト量、74μふるい通過量、密度などを測定し、クラックの多い個所と少ない個所との関係を検討したが、明らかな傾向はつかめていない。しかし、混合物中の粗骨材の吸水量が大きいもの¹⁰⁾が、クラック数が多い傾向が得られた。また、アスファルト混合物層の厚さとの関係では、図一9に示すように厚さの薄い方がクラック数が多い傾向にある。



図一7 路床土質とクラックの関係



図一9 混合物層の厚さとクラック間隔の関係

5. ま と め

温度応力によって道路の横断方向に生じたクラックに関して、主として現地調査の結果をもとに検討したが、それらを取りまとめるとおおよそ次のとおりである。

- (1) 北海道におけるアスファルト舗装道路で、温度応力によって発生したものと考えられるクラックの分布が明らかになった。
- (2) この種のクラックは、道路の走行方向にほぼ直角に生じ、区画線ペイントの表面の細かいひびわれ、現地での密度測定用コア採取痕など舗装表面の切欠き部分から横断方向および深さ方向に伸長する。また、このクラックは交通車両によるニーディング作用を多く受けると生じにくい。
- (3) 北海道の舗装においては、厳寒期の最低気温が -32°C 以下でそのときの下降温度勾配が 2.5°C/h より大きいときには、新設のアスファルト舗装でもこの種のクラックが発生する恐れがある。
- (4) クラックの幅は、混合物の応力緩和性状によって年々拡大していくことがわかった。特に、交通量の少ない舗装にこの傾向が強い。
- (5) 温度応力によるクラックは、混合物中の粗骨材の吸水量が大きく、混合物層の厚さが薄いものに多く生ずる。また、路盤との摩擦程度が重要な要素で、路盤材料が碎石の場合よりも砂利のときに多くのクラックが生ずる傾向にある。

6. あ と が き

温度応力に起因するアスファルト舗装のクラック破壊には、各種の要因が相互に関係しているため明確な原因の究明はむずかしいが、混合物に関する基礎的研究をさらに推進することによって解明できるものと考えている。これと併行して現在すでに多数発生しているこの種のクラックに対する経済的な補修工法の確立、すなわち、リフレクションクラックの生じない混合物層の厚さと種類によるオーバーレイ工法に関する問題が早急に検討されなければならない。現地では国道を対象に、金網メッシュや溶接金網を用いたオーバーレイ工法による試験舗装、アスファルトの針入度、配合量、ゴム混入量、

フィラー量などを強化させた混合物による試験舗装を実施して、クラック防止や補修対策が検討されている。

最後に、この現場調査に関して適切な御助言をいただいた北海道大学工学部の菅原照雄教授、同森吉昭博助教授ならびに調査に協力を願った北海道土木部と各土木現業所の方々、北海道開発局各開発建設部の関係者の方々に深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 北村幸治；北海道の舗装，舗装，1966年10月，pp. 3～11
- 2) 久保 宏；積雪寒冷地舗装の凍上対策，土木学会誌，1979年2月，pp. 10～16
- 3) 菅原照雄，久保 宏，森吉昭博；寒冷地舗装に発生する横断方向のひび割れ，道路，1978年8月，pp. 37～40
- 4) 菅原照雄，久保 宏，森吉昭博；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，1979年4月，pp. 62～69
- 5) 熊谷茂樹，久保 宏，小栗 学；アスファルト舗装の横断方向ひびわれについて，第33回建設省技術研究会講演概要，54年10月，pp. 99～104
- 6) J. J. Hajek and R. C. R. Haas；Predicting Low-Temperature Cracking Frequency of Asphalt Concrete Pavements，HRR No. 407 pp. 39～54，1972
- 7) G. M. Jones，M. I. Darter and G. Littlefield；Thermal Expansion Contraction of Asphaltic Concrete，Proc. AAPT. Vol. 37 pp. 56～100，1968
- 8) 久保 宏，小原 茂；狩勝国道の横断方向のひび割れ，舗装，1979年4月，pp. 3～7
- 9) C. L. Monismith, et al；Symposium, Non-Traffic Load Associated Cracking of Asphaltic pavement, Proc. AAPT Vol. 35, pp. 239～357, 1966
- 10) T. Sugawara, H. Kubo and A. Moriyoshi；Transverse Cracking Asphaltic Pavements, Annual Report of Roads, Japan Road Association (日本道路協会)，1979，pp. 38～44