

森 バイパスにおける連続コンクリート舗装版の

温度およびひびわれ調査結果について

北海道開発局土木試験所舗装研究室長 正員 久保 宏

同副室長 同 美馬 孝

同主任研究員 同 O 豊島 真樹

ま え が き

この報文は昭和47年度に森バイパスにおいて施工された連続コンクリート舗装版の温度ならびにひびわれの観測結果をとりまとめたものである。連続コンクリート舗装の延長は1,000m、幅員は7mで、版の厚さは20cmである。路床の土質はおおむね火山灰土で、路盤工の構成は40mm級切込砂利路盤38cmと凍上抑制層の砂10cmとなっている。またこの区間の交通量区分はBである。なお昭和48年2月の本発表会では、連続コンクリート舗装とプレストレスト・コンクリート舗装の設計および施工の詳細と各種観測試験の概略について報告している⁽¹⁾。

1. 温度調査

コンクリート舗装版に働く応力には、軸荷重応力および温度応力などがあるが、温度応力については対象とするその地区のコンクリート版内における温度分布を把握する必要がある。しかし、北海道におけるコンクリート舗装版の温度変化を、通年して連続記録した報告があまりなされていないので、これをあるまとまった期間についてとりまとめることは、寒冷地における舗装版温度のパターンを知る上で有意義であると考えられる。そこで今回、本連続コンクリート舗装版について得られた温度データに考察を加えてみた。なお本舗装では、版厚20cmのコンクリート版に、版の表面から3cm、版厚中央部、版の底面から3cmのところに銅・コンスタンタン熱電対を埋設して、舗装版各深さの温度を連続記録した。

1-1 コンクリート版温度の年変化

コンクリート舗装版に発生する温度応力としては、内部応力、端部こう束応力およびそりこう束応力がある。この内、端部こう束応力はコンクリート版の温度が上下するため、コンクリート版全体が伸縮しようとするのを妨げることによって生ずる応力である。したがって端部こう束応力を計算する場合に、コンクリート版の温度の変化を知る必要がある。

1日24時間の1時間ごとにおける版の上・中・下部の温度を平均した値をコンクリート版の日平均温度と考えて、それを各月毎に集計して月平均温度を求めた。この計算にあたっては、昭和47年7月から49年3月までのデータを用いたが、この内48年1月・2月・9月および49年2月の4ヵ月については、温度記録計の故障によって不完全な記録となっているため除外してある。したがって2月のコンクリート版温度については観測されていらない。なお次の項で述べるコンクリート版上下部の温度差についても、前記した期間のデータを用いて計算を行なっている。

表-1はその結果を示したものであるが、版の月平均温度の最高は26.2℃で8月に記録され、最低は2月のデータが欠損しているため、1月の記録-2.6℃とした。このことから北海道南部のコンクリート版の月平均温度の年振幅は30℃前後と考えてよ

表-1
コンクリート版の
月平均温度

月	温度(℃)
1	-2.6
2	—
3	0.4
4	9.7
5	16.4
6	21.4
7	25.4
8	26.2
9	19.9
10	12.4
11	4.3
12	-0.6

いようである。

1-2 コンクリート版上下部の温度差

内部応力とそりこう束応力は、コンクリート版の上下面の温度差によって生じる応力である。本連続コンクリート舗装版は前述のように版厚が20 cmで、版の上・下部の温度はそれぞれコンクリート版の表面および底面から3 cmの位置で測定を行なっている。2月については、厳しい寒気による記録計の故障のためにデータが欠損しているため、1月と同様のパターンとなると仮定した。また観測データの個数が2年度分ある月と1年度分しかない月があるので、2年度分ある月についてはその平均値をとって1年分のデータ数としてあつた。以上の条件の下で、コンクリート版上下部の温度差についてとりまとめたのが表一スである。同表における正の温度差とは、コンクリート版上部の温度が下部の温度より高い場合で、負の温度差はその逆の場合である。

表一2 コンクリート版上下部の温度差の大きさと時間

温度差(℃) \ 時間率(%)	温度差がその値 以上になる時間 全時間	その温度差の時間 温度差正の全時間	その温度差の時間 温度差負の全時間
14.0～15.9	0	0	
12.0～13.9	0.1	0.2	
10.0～11.9	1.5	4.1	
8.0～9.9	4.4	8.0	
6.0～7.9	8.0	10.0	
4.0～5.9	12.4	12.4	
2.0～3.9	18.7	17.8	
0.0～1.9	35.7	47.5	
-(0.1～2.0)	67.9		50.2
-(2.1～4.0)	95.5		42.8
-(4.1～6.0)	100.0		7.0
-(6.1～8.0)	100.0		0

表一2 から、年間の正負の温度差の時間比率は、正の温度差が約36%で負の温度差が約64%となっていることがわかる。正の温度差だけに注目した場合には、最大が48年5月に観測された14.0℃で、全体のほぼ半分については、0～1.9℃の範囲にある。また負の温度差については、全体の半分が-(0.1～2.0)℃の範囲で、全体の9割強については-(0.1～4.0)℃の範囲にあることがわかる。

コンクリート版に正の温度差が生じた場合、版の底面には引張応力が働き、負の温度差が生じた場合には圧縮応力が働くので、輪荷重によって版の底面に引張応力が働くコンクリート舗装版では、版厚の設計を行なう上で正の温度差の大きさとその出現頻度が十分に問題となる。

今回本連続コンクリート舗装で観測された、正の最大温度差14.0℃によって版の底面に生じた引張応力の大きさを、「セメントコンクリート舗装要綱」⁽²⁾に示されている次式に基いて計算してみる。

$$\sigma_t = 0.35 \cdot C_w \cdot \alpha \cdot E \cdot \theta$$

ここに σ_t : コンクリート版底縁部の温度応力度 (kg/cm^2) C_w : そりこう束係数
 α : コンクリートの温度膨脹率 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) E : コンクリートのヤング率 (kg/cm^2)
 θ : コンクリート版の温度差 ($^{\circ}\text{C}$)

今、 $\alpha = 10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、 $E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定する。さういふ係数は、ひびわれが多数発生していてもその幅が非常に狭いので、版の一体性を損うものではないと考えて、前記要綱の表で与えられている最大値 $C_w = 0.98$ とする。以上の条件において σ_t を計算すると、 $\sigma_t = 14.4 \text{ kg/cm}^2$ となる。

B交通区分に対する設計軸荷重 $P = 5 \text{ ton}$ によつて、同連続コンクリート舗装版の縦自由縁部の版底面に生ずる引張応力度はおおよそ 20 kg/cm^2 程度であるので、版上下面の温度差によつて生じる引張応力度は相当に大きなものであることがわかる。

2. ひびわれ調査

連続コンクリート舗装は、コンクリート舗装版の縦方向に比較的多量の鉄筋を用い、コンクリート版の横断地を全く省いたもので、このために生ずるコンクリート版の横ひびわれを、縦方向鉄筋によつて一様に分布させ、その結果個々のひびわれの幅をせまくし、有害なひびわれの発生を防止しようとするものである。したがつてこの舗装を評価する上で、ひびわれの発生状況を経時的に追跡することが必要となる。なおひびわれの調査は片側1車線500mの区間について行なっている。

2-1 ひびわれ発生数および平均ひびわれ間隔

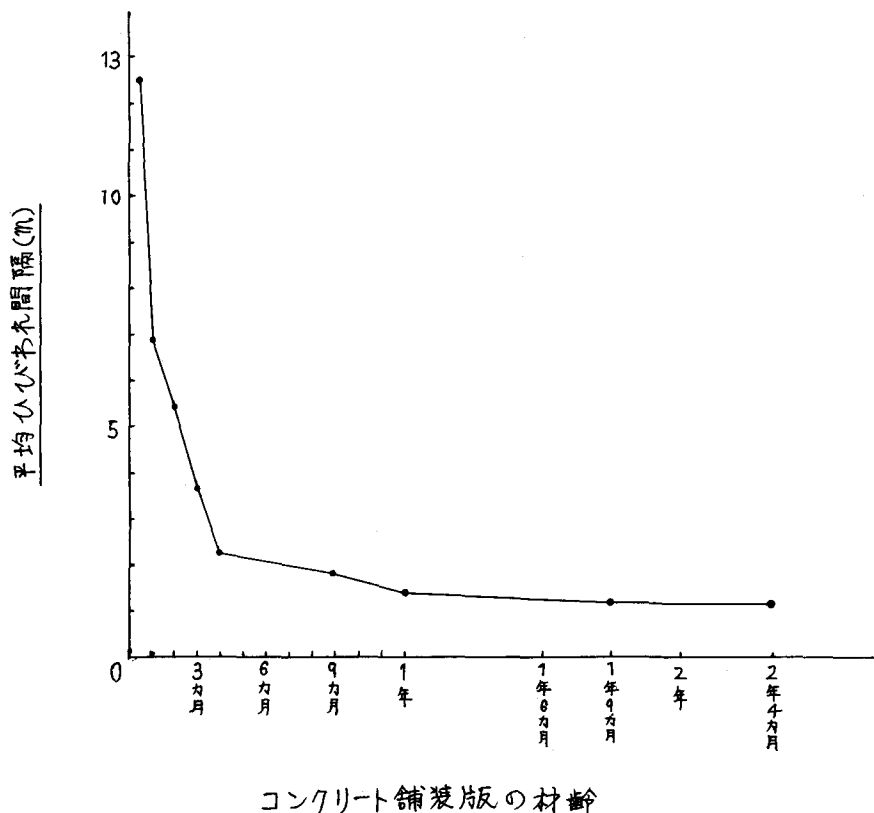
表-3は、観測区間500mにおけるひびわれの発生状況を、コンクリート舗装版の材齢との関係においてまとめたものである。材齢2年4ヵ月に相当する昭和49年10月15日現在の段階において、428本のひびわれが発生しており、ほぼ1.2mに1本の割合となっている。

表-3 ひびわれ発生状況の経時変化

測定日 (年月日)	材 齢	発生本数 (本)	月間 発生本数 (本)	平均 ひびわれ 間隔 (m)	平均 ひびわれ幅 (mm)	最大 ひびわれ幅 (mm)
47.6.30	1週間	1	72			
7.7	2週間	40		12.5	0.02	0.08
7.25	1ヵ月	72		6.94	0.03	0.15
8.17	2ヵ月	92	20	5.43	0.04	0.15
9.25	3ヵ月	135	43	3.70	0.05	0.15
10.23	4ヵ月	225	88	2.22	0.06	0.15
48.3.13	9ヵ月	278		1.80	0.10	0.30
6.12	1年	361		1.39	0.06	0.20
49.3.27	1年9ヵ月	415		1.20	0.06	0.25
10.15	2年4ヵ月	428		1.17	0.03	0.25

表一で注目されることは、材齢1ヵ月までのひびわれ発生数と、3ヵ月から4ヵ月までの間のひびわれ発生数が多いことである。これは前者については、コンクリートの強度が十分に發揮されていない時期であることから、コンクリートの乾燥硬化収縮によるひびわれの発生と考えられる。また後者については、コンクリート打設時点の6月末に比べて、9月末から10月末の間の舗装版温度の著しい降下によって、温度による収縮が急激に進行したことに原因すると考えられる。

図一1 コンクリート舗装版の材齢と平均ひびわれ間隔の関係



図一1は平均ひびわれ間隔の経時変化を示したものである。ここで平均ひびわれ間隔とは、観測区間延長500mをひびわれ発生本数で除した値である。図一1によれば、材齢4ヵ月頃までは平均ひびわれ間隔が急激に小さくなって行くが、それ以後はその変化が緩慢となり、材齢1年から2年4ヵ月にかけては、ほとんど横ばいとなっていることがわかる。一般国道4号郡山地区において施工された連続コンクリート舗装についての観測結果⁽⁹⁾では、施工後3年ではほぼ一定のひびわれ間隔となり、7年後における観測値は約60cmであったと報告されている。このことと、図一1に示した傾向から推測すると、森バイパスにおける平均ひびわれ間隔は昭和49年10月時点での観測値より大幅に小さくなることはなく、1m以上のひびわれ間隔を保つように思われる。

前述したように、材齢4ヵ月頃まではひびわれの発生本数が非常に多いが、ひびわれを発生させる原因としては、①コンクリートの乾燥硬化収縮②温度降下による収縮③輪荷重による応力 などがある。森バイパスにおけるコンクリートの打設は6月末であったから、材齢3ヵ月までのひびわれの発生原因として、温度降下による収縮を考えることはできない。また森バイパスの一般交通への解放は、材齢5ヵ月を経過した12月1日であ

ったので、輪荷重による応力もその発生原因として考えることはできない。したがって、打設後3ヵ月までに発生した連続コンクリート舗装のひびわれには、コンクリートの乾燥硬化収縮が最も影響しているものと思われる。このことについては、建設省土木研究所⁽⁴⁾の観測においても同様の結果が報告されている。

舗装版が十分に長く、完全に固定された区間について、Vetterはコンクリートの乾燥硬化収縮と温度降下による収縮の組合せによって生じるひびわれの間隔を次式によって与えている。

$$L = \sigma_c^2 / n p^2 q u (e t + \alpha) E_c - \sigma_c$$

ここに、 L : ひびわれ間隔 (cm) σ_c : コンクリートの引張強度 (kg/cm²)

E_s : 鉄筋のヤング率 (kg/cm²) E_c : コンクリートのヤング率 (kg/cm²) $n = E_s / E_c$

p : 鉄筋比 $q = \Sigma a / A_s$ (cm⁻¹) Σa : 鉄筋周長 (cm) A_s : 鉄筋断面積 (cm²)

u : 付着強度 (kg/cm²) e : コンクリートと鉄筋の膨脹係数 (°C⁻¹)

t : 舗装版の温度降下量 (°C) α : コンクリートの乾燥硬化収縮

本連続コンクリート舗装では鉄筋比が $p = 0.8\%$ 、また縦方向鉄筋は異形棒鋼2種SD30、 $\phi 16$ mmを使用しているので、 $\Sigma a = 5$ cm、 $A_s = 1.986$ cm²で、 $q = 2.52$ となる。また、 $\sigma_c = 27$ kg/cm²、 $E_s = 2.1 \times 10^6$ kg/cm²、 $e = 10 \times 10^{-6}$ °C⁻¹、 $t = 30$ °C、 $\alpha = 150 \times 10^{-6}$ と仮定して、ひびわれ間隔 L を求めると、 $L = 1.99$ m となる。本連続コンクリート舗装版でこの計算値に最も近似したひびわれ間隔となったのは、30 °Cの温度降下を受けた直後の材齢9ヵ月における観測値1.80 m となっている。しかしその後材齢の進行とともにひびわれ間隔も小さくなって、材齢2年4ヵ月では $L = 1.20$ m と計算値とのずれが大きくなっている。この理由としては、計算に用いた σ_c と u の仮定値が必ずしも妥当ではなかったこと、Vetterの式では版が完全にこう束されているとしているが、本連続コンクリート舗装では、版端部の30～50 m部分は移動していることなどが考えられる。

2-2 ひびわれ幅

平均ひびわれ幅および最大ひびわれ幅の経時変化は表-3に示すとおりである。ここで平均ひびわれ幅とは、発生したひびわれの幅の総和を発生本数で除したものであり、最大ひびわれ幅とは、発生したひびわれの中で最大のひびわれ幅を意味している。平均ひびわれ幅についてみると、材齢4ヵ月までは、材齢とともにひびわれ幅が大きくなって行く様子が明瞭である。材齢4ヵ月以後については、月に1回の連続観測を行っていないので、前記した傾向がどの程度の材齢まで継続しているのかについては不明である。材齢2年4ヵ月までの間において、平均ひびわれ幅が最も大きかったのは、材齢9ヵ月の48年3月で、舗装体の支持力が最も低下する融解期と一致していて、その値は0.10 mm となっている。最大ひびわれ幅もこの時期に観測されており、その値は0.30 mm である。発生したひびわれは、コンクリート版の膨脹・収縮にしたがってその幅も伸縮するので、材齢1年の48年6月の観測においては、コンクリート版の膨脹とともにその幅も縮小して、平均ひびわれ幅は0.06 mm、最大ひびわれ幅も0.20 mm となっている。そして材齢2年4ヵ月の観測では、平均ひびわれ幅はさらに縮小して0.03 mm となっているが、この理由としては、①ひびわれの発生本数の増加②ゴミによるひびわれの目づまり③ひびわれ幅が非常に狭いことからくる多少の測定誤差 などが考えられる。

表-4 ひびわれ幅の分布 (材齢2年4ヵ月)

ひびわれ幅 (mm)	0.01～0.05	0.06～0.10	0.11～0.15	0.16～0.20	0.21～0.25
発生本数 (本)	391	22	9	3	3

表-4は材齢2年4カ月の時点において発生している428本のひびわれの幅の分布状況を示したものであるが、その9割強にあたる391本が0.5mm以下のひびわれ幅となっていることがわかる。一般に連続コンクリート舗装では、0.50mm程度以下のひびわれ幅であれば、交通荷重のくり返しにも耐え、版表面からの雨水の浸入も防止することができると思われる。したがって森バイパスの連続コンクリート舗装は、現在までのところ非常に良好な状態を保っているといえる。ただ問題となることは、冬期間の車両のスパイクタイヤなどによってひびわれの角が欠け、コンクリート版の表面の凹凸が増加する結果、走行車両のタイヤによる摩耗を受けやすく、さらにその状態が進行した場合には、路面の排水が不良となるおそれがあることである。

あ と が き

森バイパスに施工した連続コンクリート舗装において行なった、コンクリート版の温度とひびわれの2つの観測調査結果について2,3の考察を行ってきたが、必ずしも十分なデータ数とは言えない段階での考察であったので、今後とも追跡調査を続けて行きたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 斉藤幸俊・久保宏・豊島真樹：森バイパスにおける特殊コンクリート舗装について(第1報)；土木学会北海道支部研究発表論文集 第29号，昭和48年
- (2) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱；昭和47年
- (3) 峯岸 慧・富樫吉弘・飯島 尚：連続鉄筋コンクリート舗装の観測結果と考察；土木技術資料 12-9，昭和45年9月号
- (4) 福田 正・月成 稔：連続鉄筋コンクリート舗装に関する2,3の試験；土木研究所報告 第119号，昭和39年8月