

[4] 温度応力に起因する鋼道路橋鉄筋コンクリート床版の初期ひびわれ

正会員 ○豊福俊泰 (日本道路公団人吉工事事務所)
 正会員 中村修吾 (八洋コンクリートコンサルタント)
 神保和己 (小野田セメント 中央研究所)
 正会員 城国省二 (小野田セメント 中央研究所)

1. まえがき

鋼道路橋鉄筋コンクリート床版のひびわれ損傷は、橋梁設計・管理上の重要課題であり、それに対する種々の研究が続けられている¹⁾。日本道路公団福岡建設局では、鋼桁上のRC床版のひびわれ損傷対策の一環として膨張コンクリート(膨張材を用いたコンクリート)の効果に着目し、昭和55年10月、長崎自動車道諫早IC内の黒石浜橋(鋼単純合成げた)において我国最初の実橋施工を行い、膨張コンクリート床版の優位性を立証した。その後、昭和57年6月同自動車道の多良見橋(鋼4径間連続非合成げた)において再度膨張コンクリート床版を施工し本格的な調査を続けている³⁾。これらの調査結果から、温度変化に起因して日中あるいはアスファルト舗装施工時に床版の下段鉄筋に引張側の大きなひずみが発生する現象が認められた。

本報告は、この現象を確認するため模型床版によって実施を行い、鋼橋RC床版の下側に発生するひびわれの原因として、日照により生じる床版内の鉛直方向温度不均一が影響していることを、明らかにしたものである。

2. 実橋の調査結果

多良見橋の調査結果から、図-1に示すA部分(中央桁間)の配力鉄筋・主鉄筋およびB部分(耳桁間)の主鉄筋の夏季における温度とひずみの日内変化の一例を図-2に示す。A部分の配力鉄筋と主鉄筋、A部分の主鉄筋とB部分の主鉄筋とにひずみ変化の相違が認められ、配力鉄筋方向は日照により生じる伸縮を主桁が拘束していることが影響しているものと

考えられる。同様の現象はアスファルト舗装時にも観測された。この拘束度の相違はひびわれの発生に関係するものと考えられ、図-3、図-4に示す合成桁橋の長期観測結果でも、

拘束が大きい中央桁間は耳桁間に比較してひびわれ発生が多く、膨張コンクリートはひびわれ抑制効果が著しいことが判明した。

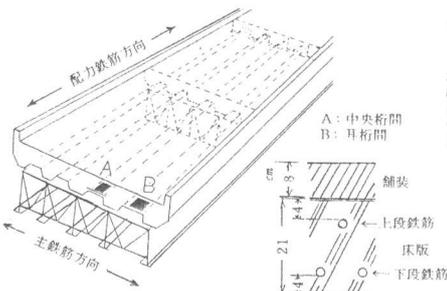
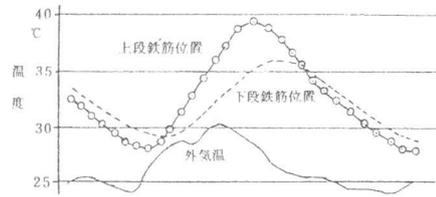
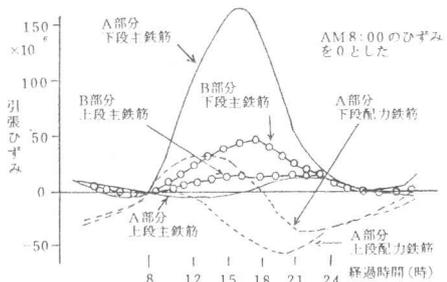


図-1 多良見橋の床版位置図



(a) A部分の温度



(b) A, B部分の鉄筋のひずみ

図-2 温度とひずみの日内変化

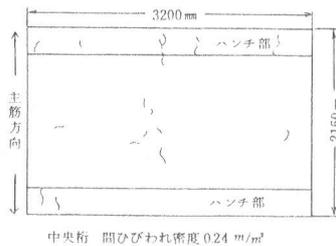


図-3 膨張コンクリート床版下面のひびわれ(黒石浜橋・材令4年)

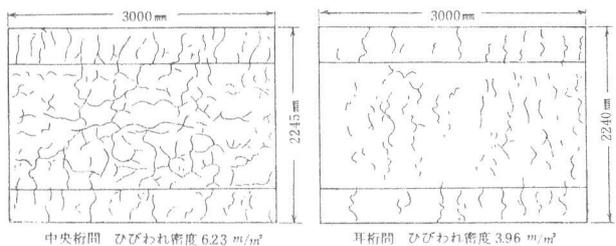


図-4 普通コンクリート床版下面のひびわれ(雀倉橋・材令4年)

3. 実験の概要

3.1 模型版

模型版は、図-5に示すように、橋梁床版の配力鉄筋方向および主鉄筋方向の構造をモデル化した3種類を作製した。鉄筋はD10、D13筋を用い、実橋と相似するよう鉄筋比が配力鉄筋方向1.3%、主鉄筋方向1.6%に調整し、鋼桁と床版の連結は鉄板または異形棒鋼を溶接してジベルとした。床版は表-1に示す配合のコンクリートを室内に打設し、14日間散水養生後実験に供した。床版の内部および外面には各種のひずみ計と温度を測定するためのセンサーを組み込んだ。

3.2 実験方法

実験は床版の上面を写真用ランプで照射する方法と、アスファルト舗装時を想定して床版の上面を硫黄コンクリートで被覆する方法の2通りについて実施した。

日射実験では図-6のように、写真用500Wランプ3灯を使用して床版上面約30cmの高さに固定し、コンクリート全面に熱が加わるようにした。また、床版と桁の温度差を確保するため、床版のまわりを発泡スチロールで囲い、熱の発散を防ぎ桁に直接光線が当たらないようにした。ひずみ測定はランプOFFの状態では零点を設定しONと同時に測定を開始した。ランプは2~3時間点灯させておき、スイッチを切つてからは冷却期間(夜間想定)としてひずみを測定した。一方、舗装実験では140℃まで加熱した熔融硫黄コンクリートを使用し、4cmの厚さで床版上面に打設した。また、模型2の実験は図-6に示すように床版の拘束条件をおもりによって変えた。

4. 結果と考察

4.1 配力鉄筋方向

図-7は模型1の日射実験結果である。ランプ点灯後床版表面の温度上昇に伴い15分程度で下段鉄筋に引張ひずみが現われ、約60分で最大値 40×10^{-6} 程度になっている。これ以後さらに床版温度は上昇しているが、下段鉄筋にあらわれるひずみ量は平衡状態とな

っている。これは床版表面から鋼桁を含めて温度上昇速度がほぼ一定となり、不均一温度分布に起因する鉛直方向のそりが止まり、その後は横方向に伸びるためと考えられる。図-8の舗装実験結果も同様の傾向であり、下段鉄筋の最大引張ひずみは 80×10^{-6} 程度で、これは実橋の夏季における引張ひずみの最大値とほぼ同じであった。

床版・鋼桁内に生じる温度不均一に起因する温度応力を、数値積分法により軸力と曲げモーメントから計算すると、床版の場合、図-9に示す各要素を積分する形で以下のような基本式が成立する。

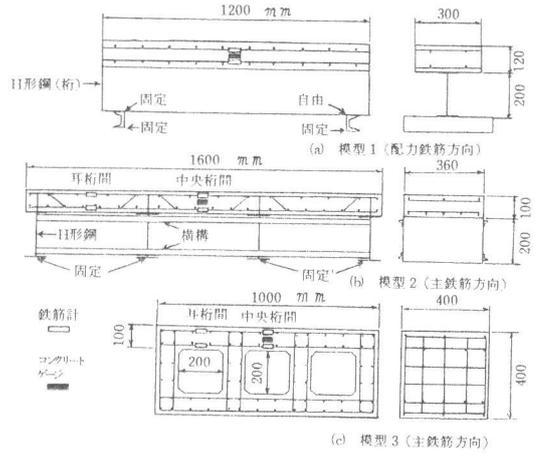


図-5 模型の概略

表-1 コンクリートの配合

SI	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	WRA
8	4	5.0	4.3	15.3	30.6	8.00	1.068	0.8

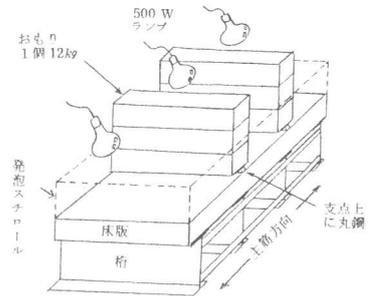


図-6 おもり載荷状態における日射実験

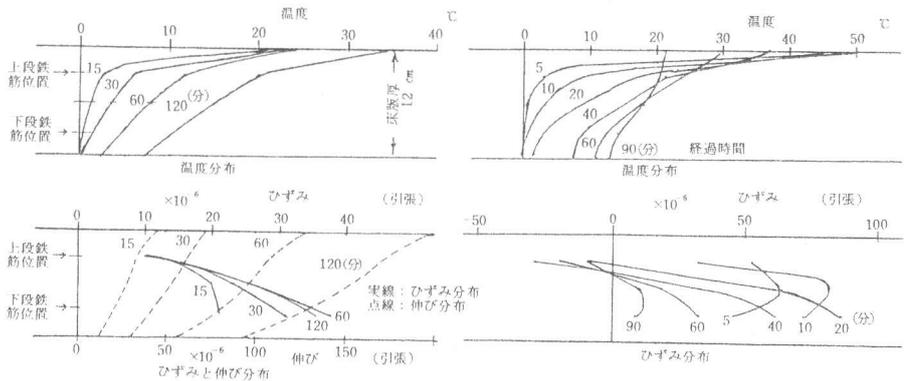


図-7 模型1・日射実験

図-8 模型1・舗装実験

$$\sigma_c(x) = \frac{1}{n} \left\{ \frac{P_c}{A_v} + \frac{M_c}{I_v} (d-x) \right\} - E_c \cdot \alpha_c \cdot T(x)$$

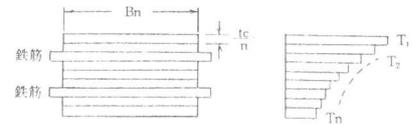
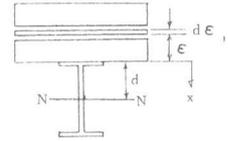
$$\sigma_s(x) = \frac{P_c}{A_v} + \frac{M_c}{I_v} (d-x)$$

$$P_c = E_c \cdot \alpha_c \int T(\epsilon) B d\epsilon$$

$$= E_c \cdot \alpha_c \left\{ T_1 \cdot B_1 \cdot \frac{t_c}{n} + T_2 \cdot B_2 \cdot \frac{t_c}{n} + \dots + T_n \cdot B_n \cdot \frac{t_c}{n} \right\}$$

$$M_c = E_c \cdot \alpha_c \left[T_1 \cdot B_1 \cdot \frac{t_c}{n} \left\{ d + (n-1) \frac{t_c}{n} + \frac{t_c}{2n} \right\} + T_2 \cdot B_2 \cdot \frac{t_c}{n} \left\{ d + (n-2) \frac{t_c}{n} + \frac{t_c}{2n} \right\} + \dots + T_n \cdot B_n \cdot \frac{t_c}{n} \left\{ d + \frac{t_c}{2n} \right\} \right]$$

d: 中立軸から床版下面までの距離
 ϵ : 床版下面から各要素までの距離



Bn: 床版幅 n: 要素数
 t_c: 床版厚 T: 各要素の温度

図-9 床版の要素分割の概念

ただし、 E_c : コンクリートのヤング率、 α_c : コンクリートの線膨張係数、 A_v : 合成断面の断面積、 I_v : 合成断面の断面2次モーメント

以上の基本式を鋼桁についても組立て、床版と桁のひずみを計算した一例は図-10に示すとおりであり、実験値とよく合っている。

床版下面に作用する最大引張応力を求めると模型実験で10 kg/cm²、実橋でも10 kg/cm²となる。すなわち、乾燥収縮の影響が少ない材令初期であっても、床版下面は日照の影響によりかなり大きな引張応力が繰り返し作用しており、コンクリートの引張強度が充分発現していなければひびわれ発生の原因となる。

4.2 主鉄筋方向

図-11は模型2の日射実験結果であり、おもり無の場合、下段鉄筋のひずみに着目すると、中央桁間では温度変化にかかわらずひずみ変化がほとんどなく、耳桁間では圧縮ひずみが若干増加している。一方、おもり有の場合(図-6参照、支分部2箇所にそれぞれ36 kg 載荷)図-12に示すように中央桁間・中央部の変位量が上方へ約0.3 mm 変化しているが、下段鉄筋のひずみは中央桁間で約35×10⁻⁶、耳桁間で約10×10⁻⁶の最大引張ひずみがそれぞれ発生している。

支点上におもりを載荷することによりひずみ量に変化が生じるが、これは実橋の場合、床版がジベルを介して主桁および対傾構に拘束されているのに相当する。模型実験のおもり無では、床版全体に対する拘束度が小さいため、床版が主桁の上に載っただけの状態となり、不均一温度分布を与えても上側に凸になるだけで床版下面には引張応力がほとんどあらわれず、一方おもりを載せた場合には、図-13に示すように、実橋とほぼ同じ状態で拘束されるため、その反力として床版下側に引張応力があらわれるためと考えられる。応力値としては拘束度の大きい中央桁間では大きく、拘束度の小さい耳桁間では小さな値となり、特に中央桁間のコンクリート床版下面では引張応力が生じ、ひびわれ発生の大きな要因となることが予測され、図-4に示したひびわれ発生状況と比較すると、中央桁間では認められる配力鉄筋方向のひびわれが耳桁間にはほとんどない原因が説明される。

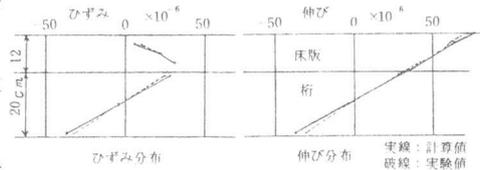


図-10 実験値と計算値の比較

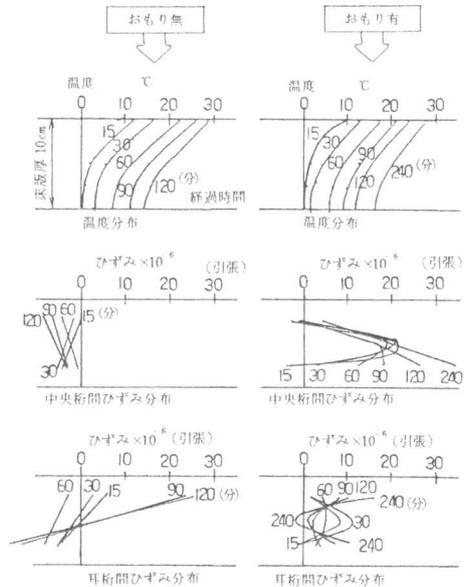


図-11 模型2・日射実験

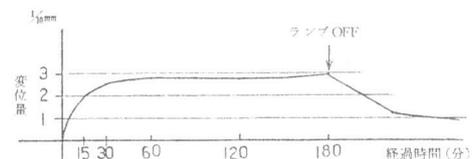


図-12 模型2・日射実験(おもり有)の中央桁間中央部変位量

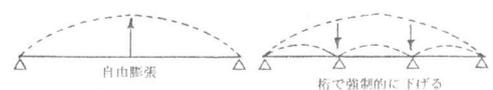


図-13 拘束力の概念

以上の実験結果を図-2の実橋測定結果と比較すると、主鉄筋方向ではひずみ量がかなり小さな値となっており、この原因は拘束度が小さいため各支点位置で回転しているものと推測された。そこで、床版を固定したラーメン構造の模型3で日射実験を行った結果を図-14に示す。床版上面の温度上昇に伴い上段鉄筋位置には圧縮ひずみ、下段鉄筋位置には引張ひずみが生じ、その最大値はそれぞれ中央桁間で -20×10^{-6} 、 50×10^{-6} 、耳桁間で -20×10^{-6} 、 20×10^{-6} となっている。

床版内に鉛直方向温度不均が生じた場合、床版は熱による自由変形を拘束されることにより温度応力が発生する。この時床版断面内においては鉄筋の全断面の受ける応力とコンクリート全断面の受ける応力が釣り合っていると考えられる。そこで模型実験の結果と実橋の夏季における測定結果からコンクリートの受ける応力を次式で求めると、

$$\sigma_c = \sigma_s \times A_s / A_c = \epsilon_0 \times (1 - \alpha) \times E_s \times \rho$$

ただし、 ϵ_0 ：温度上昇により生じる変形 α ：拘束度

E_s ：鉄筋のヤング率 ρ ：鉄筋比

下段鉄筋位置に生じる最大引張応力は、模型3で 4 kg/cm^2 、実橋で 6 kg/cm^2 となり、配力鉄筋方向の最大引張応力の約1/2である。この差は主桁の拘束度の相違に起因すると考えられ、図-4に示したひびわれ発生状況において、主鉄筋方向のひびわれ発生が多い原因は配力鉄筋方向の主桁の拘束が主鉄筋方向に比較して大きく、床版下面に生じる引張応力も大きいことから説明できる。

鉛直方向の不均一温度分布に起因する温度応力の大きさは、実橋の測定結果によると日内における床版内の温度上昇量に比例するので、日照のエネルギーが大きい夏季において最大となることが判明した。

5. 結論

実橋の調査結果より、床版内鉛直方向の不均一温度分布に起因する温度応力に着目し模型実験を行い、次の結論を得た。

- (1) 日内の日照による床版の変形が拘束されることにより床版内に温度応力が発生し、床版下面には引張応力が発生する。実橋の測定結果によると、この値は日内における床版内の温度上昇量と比例し、夏季において最大となる。特にアスファルト舗装時は、日照による応力に加えてアスファルトの温度による応力が加わるため、過大な温度応力があらわれる。
- (2) 日照による温度応力と床版下面のひびわれとは関係が認められ、配力鉄筋方向に比較して主鉄筋方向のひびわれの方が多し。配力鉄筋方向のひびわれは、下段鉄筋のひずみ変化量が大きい中央桁間で多く、ひずみ変化量が小さい耳桁間では少なくなっており、拘束度の違いによりひびわれ発生状況が異なる。
- (3) 日照による温度応力はコンクリートの材令を問わず、乾燥収縮が少ない極く初期であっても床版に繰り返し作用する。この値は材令初期においてコンクリートの引張強度が充分発現していないため、ひびわれを発生させるほどの大きさとなる場合があり、鋼橋RC床版の初期ひびわれ発生の原因となる。
- (4) 鋼橋床版のひびわれ防止対策としては、膨張コンクリートによるケミカルプレストレス（多良見橋の実測データでは配力鉄筋方向で 12 kg/cm^2 、主鉄筋方向 10 kg/cm^2 ）の導入が有効に作用するものと考えられる。

(参考文献)

- 1) 土木学会鋼橋造委員会鋼造進歩調査委員会：鋼道路橋コンクリート床版の現況と動向，土木学会誌，第70巻第2号，1985年2月
- 2) 武田・中村・豊福：膨張コンクリートによる鋼橋床版のひびわれ対策，コンクリート工学 Vol. 21, №3, 1983年3月
- 3) 豊福・丸山・鶴窪：膨張コンクリートによる鋼橋床版のひびわれ対策，日本道路公団技術情報，第68号，1983年7月

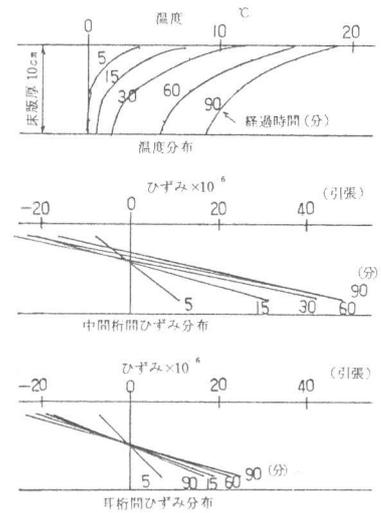


図-14 模型3・日射実験