

グースアスファルトの舗設熱によって発生するRC地覆部のひび割れ性状について

Crack Characteristics in RC-curb Members subjected to Thermal Effects of Asphalt-mastic Surfacing

木舟三雄*, 米田昌弘**, 小枝芳樹***, 宮地真一****

Mitsuo KIFUNE, Masahiro YONEDA, Yoshiki KOEDA and Shin-ichi MIYACHI

- * 川田工業株式会社工事本部大阪工事事務所, 次長 (〒550 大阪市西区北堀江1-22-19)
 ** 工博 川田工業株式会社技術開発本部技術研究室, 室長 (〒114 東京都北区滝野川1-3-11)
 *** 川田工業株式会社技術開発本部技術研究室 (〒550 大阪市西区北堀江1-22-19)
 **** 工修 川田工業株式会社技術開発本部技術研究室, 係長 (〒550 大阪市西区北堀江1-22-19)

This paper deals with crack characteristics in RC-curb members subjected to thermal effects of asphalt-mastic surfacing. Investigations were conducted to study relationships between the thermal behavior of the steel deck and the crack characteristics in RC-curb members under asphalt-mastic surfacing using several steel deck bridges. A practical preventive method is also proposed against cracks in RC-curb members.

Key words : asphalt-mastic surfacing, steel deck, RC-curb, cracks

1. まえがき

周知の如く、橋梁上を渡る人や車両などの荷重は、鋼製やコンクリート製の床版で直接支持される。このうち、鋼製の床版（鋼床版）はコンクリート製の床版（コンクリート床版）と比較してやや高価であるものの、現場工期を短縮でき、かつ死荷重を大幅に軽減できるという利点を有する。また、兵庫県南部地震を契機に、鋼床版の死荷重を小さくできるという利点は耐震性からも注目されており、都市内の高架橋に対する鋼床版の適用は今後ますます増加して行くものと考えられる。

鋼床版を採用した橋梁（鋼床版桁橋）では、上面に舗装が施される。舗装は表層と基層から構成され、表層には耐流動性とすべり抵抗性に優れた密粒度アスファルトコンクリートが、基層には鋼床版のたわみに対する追従性や耐久性に優れ、かつ、不透水性を有するグースアスファルトが用いられることが多い。このうち、表層の密粒度アスファルトコンクリートは舗設温度が110℃～140℃程度であるのに対し、基層のグースアスファルトは舗設時におけるアスファルト温度が240℃程度にも達することから、橋体に及ぼす熱影響についての配慮が必要となる。また、実際、鋼床版の残留応力や残留たわみに関しては、従来より数多くの研究成果^{1)～7)}が報告されている。

ところで、鋼床版桁橋では、施工性や経済性から、鋼床版に異形鉄筋をスタッド溶接した後、現場でコンクリ

ートを打設するRC製の地覆構造が比較的多く用いられているが、種々の要因でRC地覆部の表面に多くのひび割れが発生する場合も少なくなく、ひび割れ幅が比較的大きい場合には、地覆自体の長期的な品質や美観への悪影響が懸念されることとなる。RC地覆部のひび割れ発生要因としては、コンクリートの乾燥収縮、気温変化による桁の伸縮、活荷重による振動や衝撃、塩分による鉄筋の発錆やアルカリ骨材反応による異常膨張などが考えられるが、上述したグースアスファルトの舗設熱による影響も無視できないと思われる。しかしながら、著者らの知る限り、グースアスファルトの舗設熱とRC地覆部におけるひび割れの関連性に関しては、今までのところ、実測データを踏まえた十分な議論がなされていない。

そこで、本研究では、グースアスファルトの舗設熱による鋼床版の伸び変形に着目し、実橋での現場計測から、RC地覆部のひび割れ性状とその対策について検討することとした。その結果、グースアスファルトの舗設熱によって鋼床版に発生する実ひずみ（伸び変形）はRC地覆部のひび割れ発生に大きく関与していること、また、グースアスファルトの舗設時に発生しているひび割れは鋼床版が高温である時に生じる一時的なものであること、さらには、地覆部に適切な溶接金網（メッシュ筋）を配置してグースアスファルトの舗設熱によって発生するひび割れを分散化すれば、鋼床版の温度が下がった時点でひび割れは完全に閉じることなど、橋梁の現場工事における有用な知見が得られたことから、ここにその結果を

表－1 A橋の構造概要

橋 梁 概 要 図		地覆コンクリートのひび割れ対策
A 橋		・完全縁切り目地を約10m間隔に設置。

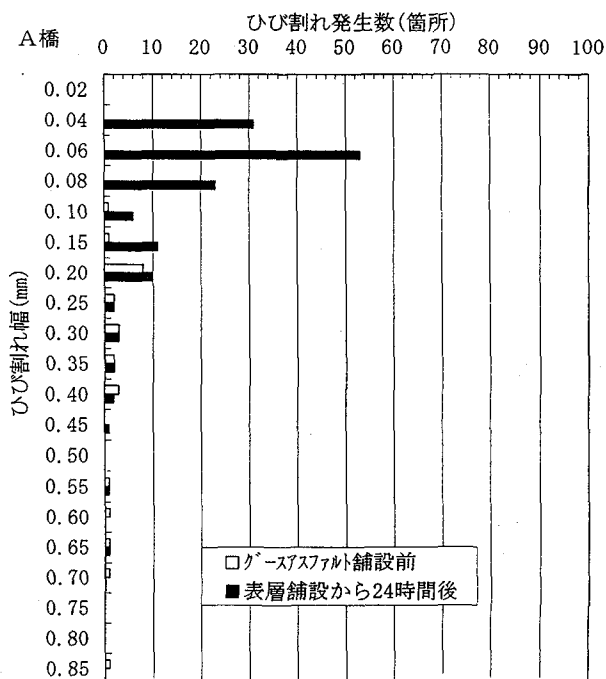
報告する。

2. RC地覆部のひび割れ調査と鋼床版桁の温度変化

(1) ひび割れ測定

表－1に示すA橋では、RC地覆部のひび割れ対策として、完全縁切り目地を約10m間隔に設置する方法が採用されている。完全縁切り目地を設置する方法は最も一般的な手法であることから、まず、本橋を対象としてグースアスファルトの舗設前（熱影響を受ける前の状態）と表層舗設が完了してから約24時間経過した後（熱影響を受けてから十分に時間が経過した状態であり、これ以降は簡単に表層舗設後と記す）のそれぞれの状態で、RC地覆部のひび割れ幅（最大値）をクラックゲージで測定するとともにその発生数を調査した。その結果を図－1と表－2に示す。なお、これらの調査結果においてひび割れ幅に着目したのは、ひび割れの9割以上が地覆の幅方向に沿ってほぼまっすぐ発生（ひび割れ長さ≒地覆幅）していたことによる。

図－1と表－2より、A橋では、防水性から補修が必要とされる幅が0.2mm以上のひび割れ⁸⁾が、グースアスファルトの舗設前からすでに多く発生していることがわかる。なお、このひび割れは、主にコンクリートの乾燥収縮に起因するものと考えられる。また、表－2から、グースアスファルトの舗設前におけるひび割れの発生は25箇所であるのに対し、表層舗設後には146箇所となり、ひび割れ幅の総和（ひび割れ幅W×発生数 nの合計）も8.50mmから15.06mmと2倍程度まで増加していることがわかる。したがって、ひび割れ幅の総和を総地覆長（=93m）で除した値（以下、ひび割れ発生密度と記す）も0.09mm/mから0.16mm/mへと大幅に増加する結果となっている。なお、ひび割れ密度が増加したのは、グースアスファルトの舗設前に発生していた幅の大きいひび割れは、表層舗設後にもほぼそのまま残留し、また、グースアスファルトの熱影響で幅は小さいものの多くのひび割れが新たに発生したことに起因する。



図－1 A橋のひび割れ発生状況

表－2 A橋のひび割れ調査結果

ひび割れ 幅:W(mm)	グースアスファルト舗設前		表層舗設から24時間後	
	発生数 n	n × W	発生数 n	n × W
0.04	0	0.00	31	1.24
0.06	0	0.00	53	3.18
0.08	0	0.00	23	1.84
0.10	1	0.10	6	0.60
0.15	1	0.15	11	1.65
0.20	8	1.60	10	2.00
0.25	2	0.50	2	0.50
0.30	3	0.90	3	0.90
0.35	2	0.70	2	0.70
0.40	3	1.20	2	0.80
0.45	0	0.00	1	0.45
0.50	0	0.00	0	0.00
0.55	1	0.55	1	0.55
0.60	1	0.60	0	0.00
0.65	1	0.65	1	0.65
0.70	1	0.70	0	0.00
0.75	0	0.00	0	0.00
0.80	0	0.00	0	0.00
0.85	1	0.85	0	0.00
合 計	25	8.50	146	15.06
発生密度	0.09		0.16	

(総地覆長 = 93m)

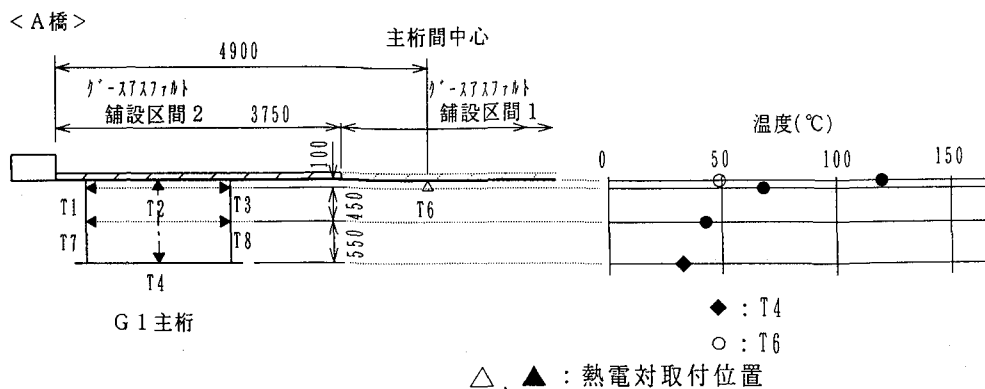


図-2 主桁支間中央断面における温度分布（A橋）

鋼床版桁の温度変化を計測している。計測では、図-2に示すようにG1主桁側の断面に計7個の熱電対を取り付け、グースアスファルトの舗設時における温度分布と経時変化を測定するものとした。計測時における天候は晴れであり、その時の計測結果を図-3に示す。なお、本橋では、図-2中に示した舗設区間1、舗設区間2の順でグースアスファルトを舗設している。

図-3から、鋼床版の下面（舗装面の反対側）に設置したT-6点（図中の●）では、舗設区間1をフィニッシャー（グースアスファルトを敷きならす施工機械であり、この前方にはグースアスファルトを加熱・混合するためのクッカー車が配置される）が通過してから約20分後には温度が48.3℃から105.0℃まで上昇し、その後は時間の経過とともに徐々に低下していくことがわかる。また、フィニッシャーが舗設区間1を通過することによってT-6点の温度が上昇しても、舗設区間から離れたT-1点（図中の□）、T-2点（図中の○）、T-3点（図中の◇）などでは極端な温度上昇は認められず、グースアスファルトの舗設熱は舗設部直下のみで幅員方向への熱影響は比較的小さいこともわかる。

一方、舗設区間2をフィニッシャーが通過する場合、舗設区間から離れたT-6点（図中の●）では同様に温度上昇が認められないものの、舗設区間の直下に位置するT-2点（鋼床版下面、図中の○）では45.0℃から119.9℃まで温度が上昇していることがわかる。これに対し、下フランジのT-4点（図中の◇）ではフィニッ

シャーが通過しても32.6℃の状態からほとんど温度上昇が認められず、主桁断面の上下における温度差（T-2点とT-4点の温度差）は87.3℃にも達している。また、主桁の鉛直方向への熱影響域（ウェブ部の熱影響範囲）は、鋼道路橋設計便覧⁹⁾の規定と同様に、鋼床版下面から300mm程度までに限定されていることも理解できる。

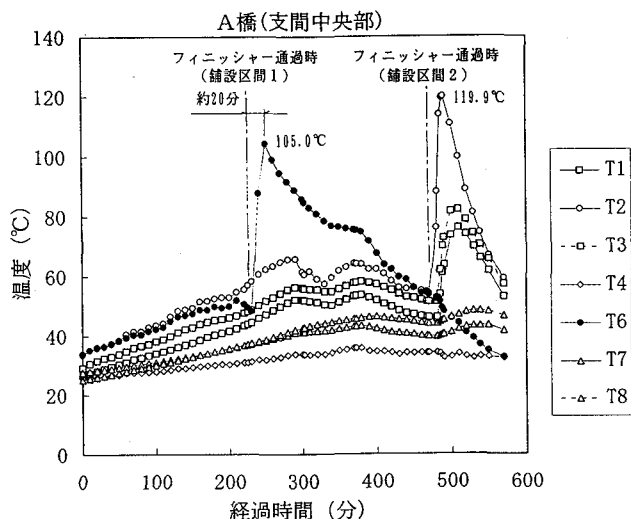


図-3 グースアスファルト舗設時の温度変動（A橋）

3. グースアスファルトの舗設時に発生する鋼床版上面の突ひずみ

表-3 B橋の構造概要

	橋 梁 概 要 図	備 考
B 橋		<調査・検討項目> ・ G1主桁上でのグースアスファルト舗設時における主桁支間中央付近の鋼床版の発生ひずみを計測。 <地覆構造> ・ プレキャストコンクリートブロック地覆

G1(G2)主桁支間中央断面

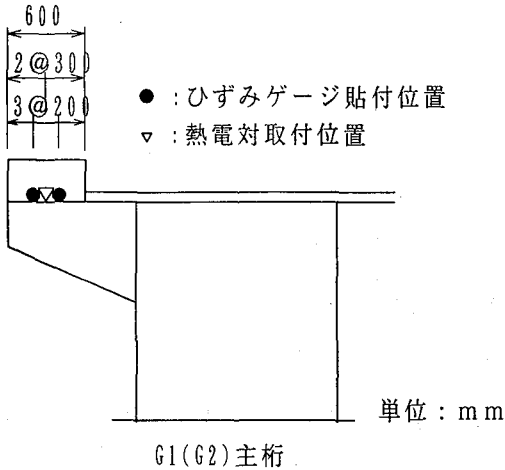


図-4 ひずみと温度の測定位置 (B橋)

(1) 計測の概要

2章に示したように、グースアスファルトの舗設によって、舗装部の直下に位置する鋼床版上面は、105℃～120℃程度まで温度が上昇する。したがって、鋼床版上面には非常に大きな引張ひずみが発生すると考えられるが、ひずみに着目した実橋での計測例はきわめて少ないのが現状である。そこで、表-3に示すB橋を対象として、グースアスファルトの舗設時に発生する鋼床版部の実ひずみを測定することとした。なお、B橋の鋼床版厚は12mmで、舗装の基層部には厚さ50mmのグースアスファルトを、表層部には厚さ30mmの密粒度アスファルトコンクリートを使用している。

現場計測にあたっては、G1主桁とG2主桁の地覆位置に相当する鋼床版上面(支間中央付近)に、1軸のひずみゲージ2枚と熱電対1枚を図-4に示すように貼付している。なお、グースアスファルトの舗設作業はG1主桁上とG2主桁上の2回に分けて行われたが、現場作業への影響を配慮し、今回はG1主桁上のグースアスファルトを舗設する際に計測を実施した。

(2) 鋼床版上面に発生する実ひずみ

鋼床版(地覆部)の上面において測定されたひずみを図-5に示す。図-5から、グースアスファルトの舗設時における最大ひずみは、G1主桁側で+745 μ 、G2主桁側で+147 μ 発生しているが、時間の経過とともに徐々に減少していくことがわかる。ここに、G1主桁側での計測値がG2主桁側の値と比較してきわめて大きいのは、G1主桁上でグースアスファルトの舗設作業が行われたことによる。したがって、グースアスファルトの舗設熱に起因した鋼床版上面のひずみは、前章に示した桁の温度変化と同様に、局部的で一時的なものであると言える。なお、G1主桁側で計測された引張ひずみの最大値である

+745 μ は、地覆1m当たりの伸び量に換算すると0.745mmとかなり大きな伸び変形に相当し、地覆コンクリート部におけるひび割れ発生 of 大きな要因になっているものと推察された。

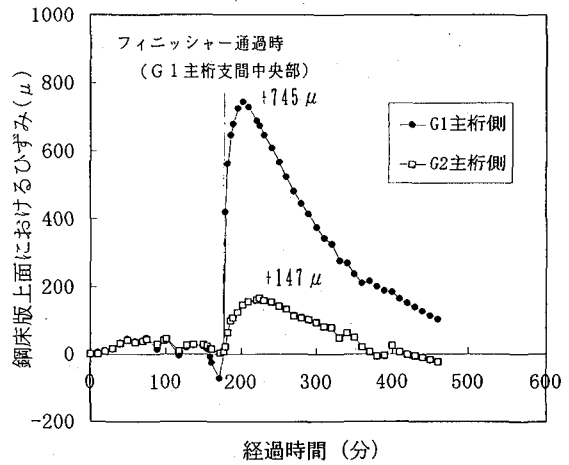


図-5 鋼床版上面における発生ひずみ (B橋)

(3) 鋼床版上面におけるひずみの簡易算定

鋼道路橋設計便覧⁹⁾を参照すれば、グースアスファルトの舗設熱によって鋼床版に生じるひずみ $\varepsilon_1(x)$ は、デッキプレートの厚み t_u 内で温度勾配がなく一定であるとすれば、

$$\varepsilon_1(x) = \alpha t_a + \alpha t_b(d-x) \quad (1)$$

ただし、 $-t_u \leq x \leq 0$

と表すことができる。ここに、 α は線膨張係数、 t は温度差、 x は鋼床版下面からの距離、 d は鋼床版下面から中立軸位置までの距離である。また、 a と b は、断面内の温度差による拘束度を表すパラメーターであり、舗設作業がG1主桁上で行われたことからG1主桁のみで抵抗するとすれば、次式で与えられる。

$$a = \frac{A_u + \beta A_w / 2}{A} \quad (2)$$

$$b = \frac{A_u(d+t_u/2) + \beta A_w(3d-\beta h)/6}{I} \quad (3)$$

ここに、 A_u はデッキプレートの断面積、 A_w は腹板の断面積、 A はG1主桁の断面積、 I はG1主桁の断面2次モーメント、 h は腹板高さ、 βh はウェブの鉛直方向の熱影響域を表す。参考までに、これらの記号の説明を図-6に示す。

本橋では、現場工程の関係からグースアスファルトの舗設時における主桁温度を測定できなかったことから、前章の実測データを参考にして、 $\beta h = 30\text{cm}$ 、 $t = 90^\circ\text{C}$ と仮定する。また、図-7に示すG1主桁の断面から所定の諸元を計算し、式(2)、式(3)に代入すれば、

$$a = 0.471 \quad (4)$$

$$b = 0.0059 \quad (5)$$

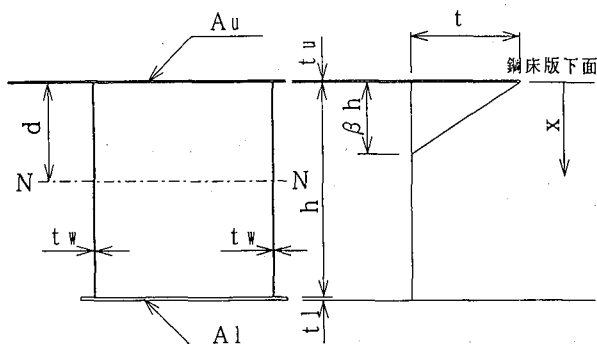


図-6 記号説明

が得られる。したがって、グースアスファルトの舗設熱によってG1主桁の鋼床版に生じるひずみ $\varepsilon_1(x)$ は

$$\varepsilon_1(x) = 509 \times 10^{-6} + 500 \times 10^{-6} = +1009 \mu \quad (6)$$

となる。

次に、舗装、クッカー車、フィニッシャーの重量によって、鋼床版上面（支間中央部）に発生していた圧縮ひずみ成分を計算する。本橋で使用したクッカー車、フィニッシャーの重量はそれぞれ19.5tf、12.8tfである。ここでは、後輪載荷を仮定し、両車両の載荷軸間距離は四捨五入して5mとした。鋼床版の引張ひずみが最大となった時点（ひずみが最大になるのは、ゲージを貼付した支間中央部を通過してから約20分後）での舗設状況は図-8に示す通りであり、はり理論を適用して支間中央における1主桁当たりの曲げモーメントを算出すると、

$$M = 111.4 \text{ tf} \cdot \text{m} \quad (7)$$

となった。よって、支間中央部の鋼床版に発生する曲げ圧縮ひずみ ε_2 は

$$\varepsilon_2 = -41 \times 10^{-6} = -41 \mu \quad (8)$$

と算出された。

したがって、式(6)と式(8)を合計すれば、鋼床版上面に発生する引張ひずみは+968 μ となり、前節に示した実測値である+745 μ とおおむね一致する結果が得られる。す

なわち、厳密な熱伝導方程式を解く手法¹⁰⁾によらずとも、グースアスファルトの舗設時に鋼床版上面に発生する実ひずみは、ここに示したような簡易な計算手法でもある程度把握できると考えられる。

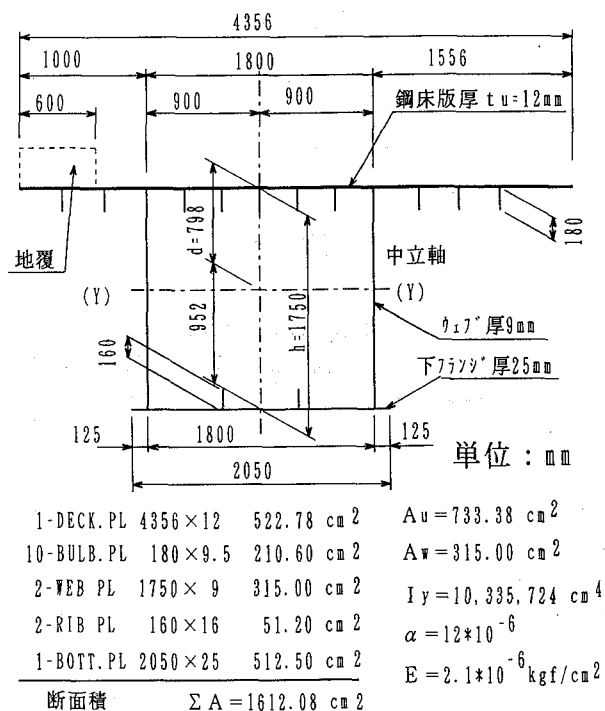


図-7 B橋の主桁断面

4. 対策を施した地覆部のひび割れ調査

完全縁切り目地を約10m間隔に設置する方法を採用したA橋では、2章で報告したように、コンクリートの乾燥収縮に起因する初期ひび割れやグースアスファルトの熱影響で幅の小さい多数のひび割れが発生していた。そこで、以下に示す2橋（C橋とD橋）においては、従来の目地を設ける手法に加え、溶接金網を設置する方法および

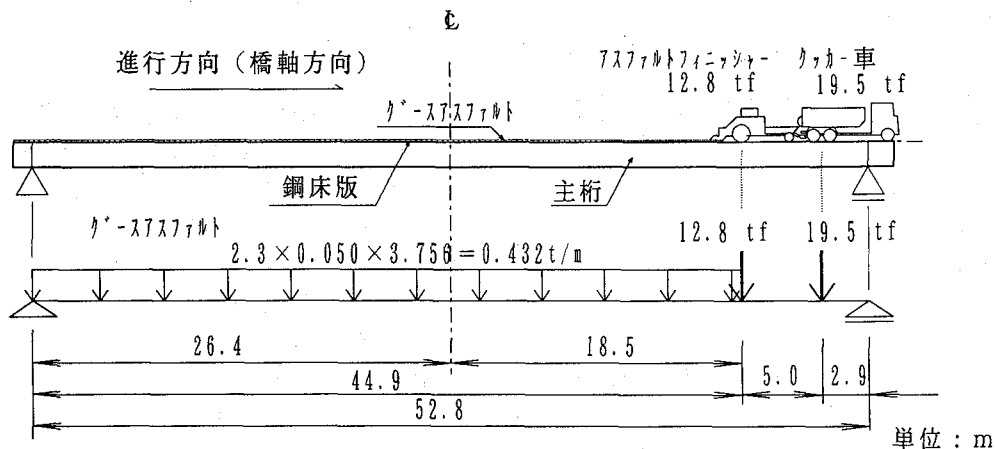
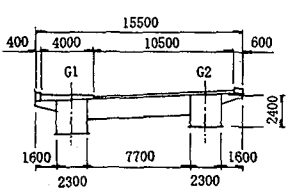
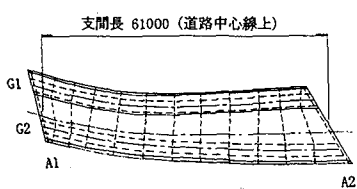


図-8 鋼床版の引張ひずみが最大となった時点での舗設状況（B橋）

表－4 C橋の構造概要

橋 梁 概 要 図		地覆部のひび割れ対策
C 橋		支間長 61000 (道路中心線上) 

表層舗設後（表層舗設が完了してから約24時間後）にRC地覆部のひび割れ発生状況を調査した。その調査結果を図－9と表－5に示す。

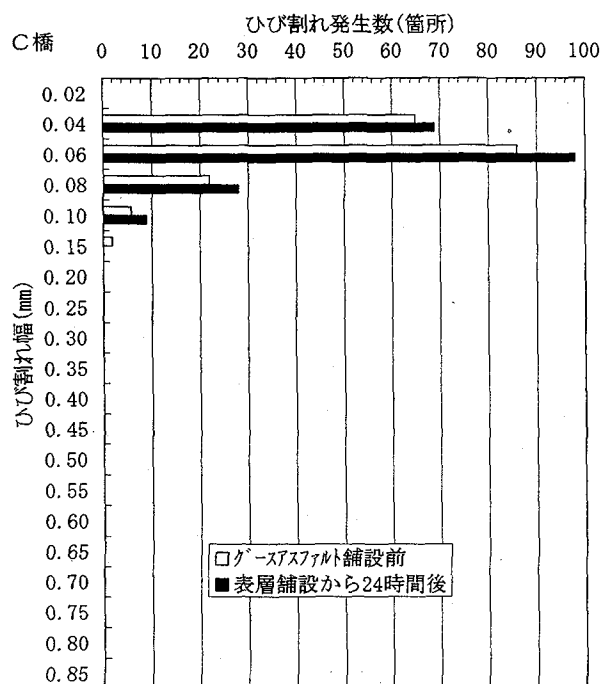
これらの結果から、グースアスファルトの舗設前におけるひび割れの発生は181箇所（地覆1m当たりのひび割れ発生密度は0.09mm/m）、表層舗設後のひび割れ発生数は204箇所（地覆1m当たりのひび割れ発生密度は0.10mm/m）となっており、舗装前後におけるひび割れ性状にはほとんど変動がないと言える。また、発生しているひび割れの幅は、補修の必要がないとされる値（=0.20mm）より小さい0.15mm以下のものに分散化されていることもわかる。これは、グースアスファルトの舗設前に発生していた小さい幅のひび割れは、グースアスファルトの舗設熱によって一時的に一旦大きく広がるものの、熱せられていた鋼床版の温度が下がった後は舗装の死荷重によって元の幅に戻ったと推定できる。

このように、C橋ではA橋（完全縁切り目地を約10m間隔に設置）と比較してひび割れ幅を大幅に小さくできたが、この要因は溶接金網（メッシュ筋：φ3.2mm×50mm×50mm）の使用の有無にあり、溶接金網にはひび割れを小さく分散させる効果があると考えられる。なお、本橋では、幸いにして、コンクリートの乾燥収縮などに起因した幅の大きい初期ひび割れはほとんど発生していなかったが、上述したように微小な初期ひび割れは多数認められた。溶接金網はこのような微小な初期ひび割れに対してさほど効果を期待できないことから、次節に示すD橋では膨張材も混入し、より品質の高いRC地覆を施工することとした。

(2) 溶接金網の設置と膨張材の併用

表－6に示すD橋では、地覆長10mごとに完全縁切り目地を設置する手法に加え、溶接金網を設置する手法と膨張材(30kgf/m³)を混入する手法をそれぞれ併用して、RC地覆部のひび割れ防止に努めている。本橋のひび割れ対策工を図－10にまとめる。また、グースアスファルトの舗設前と表層舗設後に実施した調査結果を表－7と図－11に示す。

これらの調査結果より、グースアスファルトの舗設前に発生していた、コンクリートの乾燥収縮や気温変化による桁の伸縮に起因した初期ひび割れ数は18箇所と少な



図－9 C橋のひび割れ発生状況

表－5 C橋のひび割れ調査結果

ひび割れ幅: W(mm)	グースアスファルト舗設前		表層舗設から24時間後	
	発生数 n	n × W	発生数 n	n × W
0.04	65	2.60	69	2.76
0.06	86	5.16	98	5.88
0.08	22	1.76	28	2.24
0.10	6	0.60	9	0.90
0.15	2	0.30	0	0.00
合 計	181	10.42	204	11.78
発生密度	0.09		0.10	

(総地覆長 = 122m)

溶接金網と膨張材を併用する方法をそれぞれ採用し、その対策効果を現場計測によって確認することとした。

(1) 溶接金網の設置

表－4に示すC橋では、Vカット目地を約10m間隔に設置する手法に加え、溶接金網（メッシュ筋：φ3.2mm×50mm×50mm）を設置して、RC地覆部のひび割れ防止に努めている。そこで、グースアスファルトの舗設前と

表-6 D橋の構造概要

	橋 梁 概 要 図	地覆部のひび割れ対策
D 橋	Technical drawing of Bridge D showing a plan view and a curved section view. The plan view shows a bridge with two spans of 2000mm and 7000mm, with a total length of 10000mm. The section view shows a curved bridge with a radius of 28500mm and a chord length of 31000mm. The section view also shows the bridge deck with reinforcement bars labeled G1, G2, P1, P2, A1, and A2.	・完全縁切り目地を約10m間隔に設置。 ・溶接金網の使用。 ・コンクリートに膨張材混入。

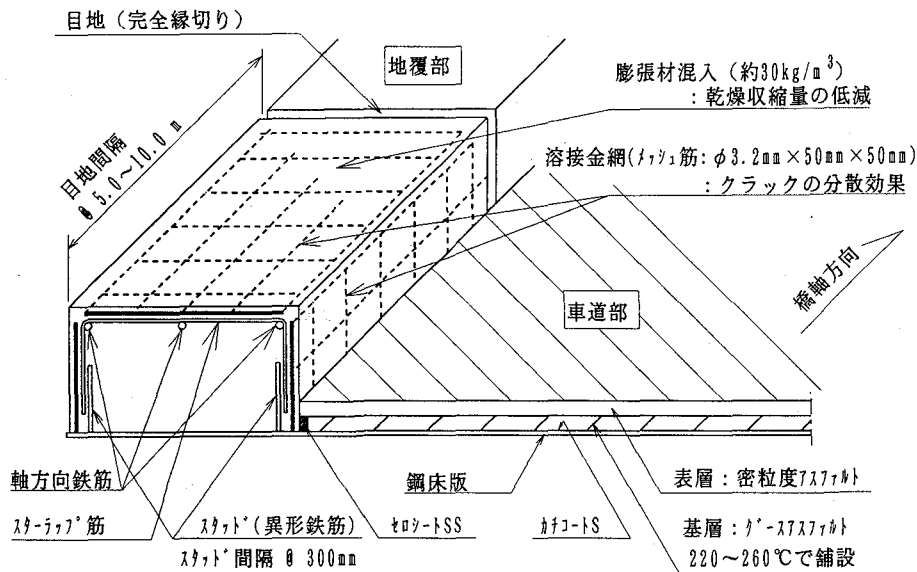


図-10 ひび割れ対策工 (D橋)

表-7 D橋のひび割れ調査結果

ひび割れ 幅:W(mm)	グーアスファルト舗設前		表層舗設から24時間後	
	発生数 n	$n \times W$	発生数 n	$n \times W$
0.04	7	0.28	38	1.52
0.06	6	0.36	18	1.08
0.08	3	0.24	8	0.64
0.10	0	0.00	4	0.40
0.15	2	0.30	3	0.45
合 計	18	1.18	71	4.09
発生密度	0.01		0.02	

(総地覆長 = 171.53m)

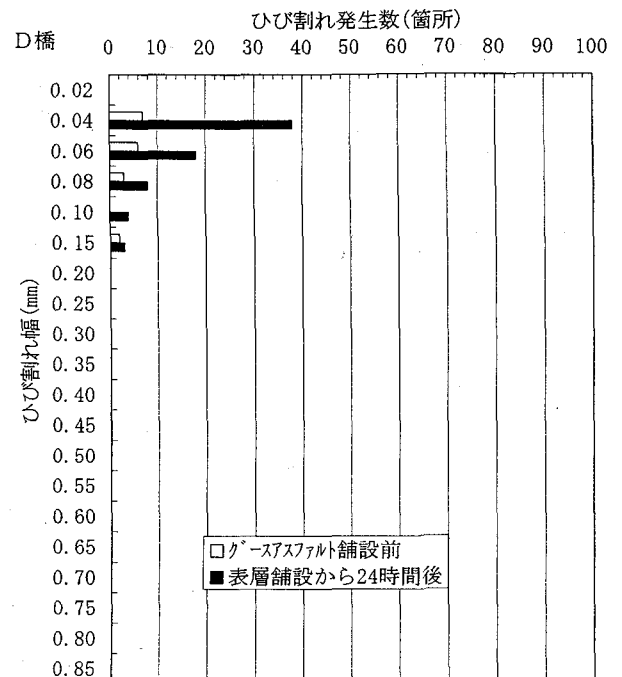


図-11 D橋のひび割れ発生状況

と膨張材を併用する方法は、初期ひび割れのみならずグースアスファルトの舗設熱に起因したひび割れに対しても有用なものであると言える。

なお、図-12は、グースアスファルトの舗設前と舗設中および表層舗設後のそれぞれの状態におけるひび割れ性状を比較したものである。この図から、グースアスファルトの舗設前に発生していたひび割れは、舗設中にはグースアスファルトの熱影響でひび割れ幅が0.30mmから0.50mmの範囲に拡大しているものの、表層舗設が完了して24時間が経過した状態では、ひび割れが閉じてひび割れ幅が0.15mm以下となっている様子が明確に確認できよう。

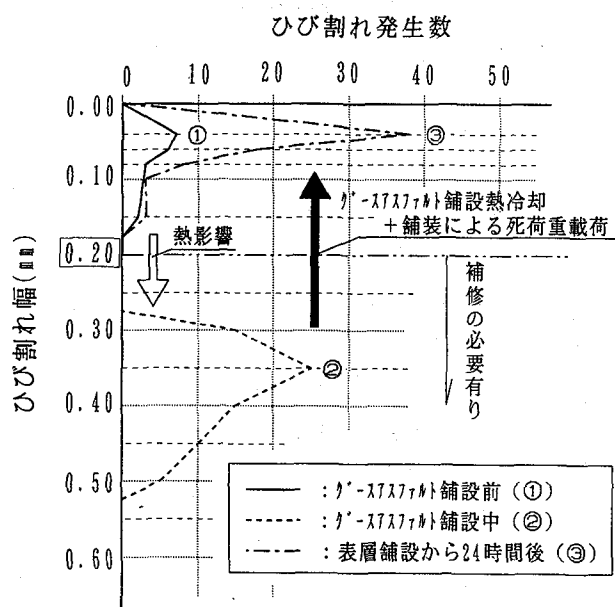


図-12 D橋のひび割れ性状

5. まとめ

本研究は、グースアスファルトの舗設熱によって発生するRC地覆部のひび割れ性状とその対策について検討したものである。本研究で得られた主な結果を以下にまとめる。

- (1) 鋼床版が高温に熱せられている状態は、フィニッシャーによる舗設作業中の一時的なもので、鋼床版の最高温度は約120℃に達するものの、時間の経過とともに徐々に温度が低下する。また、グースアスファルトの熱影響域は舗設部直下の鋼床版下面から300mm程度までに限定され、かつ、舗設区間から離れた幅員方向には拡がらない。
- (2) グースアスファルトの舗設時には鋼床版にかなり大きな引張ひずみが部分的に発生するものの、これは鋼床版の熱影響と同様に一時的なものである。しかしながら、この引張ひずみの最大値 (+745 μ 程度) を地覆1m当りに換算すると0.745mm程度のかかなり大きな伸び変形

となり、この大きな伸び変形が地覆コンクリート部におけるひび割れの発生の大きな要因になっている。ただし、グースアスファルトの舗設熱が低下すれば、このひび割れは閉じて幅も小さくなる。

- (3) 地覆コンクリート部に溶接金網を設置すれば、ひび割れ幅が小さく分散化され、補修を必要とするような大きな幅のひび割れの発生を防ぐことができる。
- (4) 地覆コンクリート部に溶接金網と膨張材を併用すれば、グースアスファルトの舗設熱に起因したひび割れのみならず、乾燥収縮や温度変化による桁の伸縮によって発生する初期ひび割れの幅をも小さくできる。

RC地覆部のひび割れは、当然のことながら、コンクリートの材料や配合、コンクリートの施工や養生の方法などにも密接に関係している。それゆえ、今後はこれらの要因も含めた詳細な検討を実施していく所存である。本論文が、橋梁の現場施工に携わる技術者にとって有用な資料になれば幸いである。

参考文献

- 1) 村山隆之, 彦坂 照, 山登武志: 鋼床版連続箱桁橋の温度挙動について, 土木学会年次学術講演会講演概要集, I-66, pp129~130, 1980年9月。
- 2) 本荘清司, 彦坂 照, 村山隆之: 鋼床版連続箱桁橋の熱応力について, 土木学会年次学術講演会講演概要集, I-77, pp153~154, 1981年9月。
- 3) 金井道夫, 平山伸司: 鋼床版橋の温度分布とその影響, 土木技術資料, 25-8, pp21~26, 1983年8月。
- 4) 中島正道, 熊谷洋司, 渡辺保之: グースアスファルト打設による鋼床版橋の熱応力特性把握実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, I-441, pp881~882, 1985年9月。
- 5) 勝野寿男, 渡辺保之, 熊谷洋司, 中島正道: グース舗設熱の鋼床版桁に与える影響, 三菱重工技報, Vol.24, No.4, pp346~351, 1987年7月。
- 6) 奥田 基: グースアスファルト舗装時における鋼床版の挙動, 本四技報, Vol.13, No.48, pp22~27, 1988年10月。
- 7) 寺尾圭史, 寺田博昌, 松本好生, 谷川和夫: グースアスファルト舗設の熱が鋼床版桁に与える影響, 横河橋梁技報, No.18, pp53~65, 1989年1月。
- 8) 日本コンクリート工学協会: コンクリートのひびわれ調査, 補修・補強指針, pp 65~80, 1987年2月。
- 9) 日本道路協会: 鋼道路橋設計便覧, pp54~58, 1980年8月。
- 10) 熊谷洋司, 勝野寿男, 渡辺保之, 依田照彦: 鋼床版橋におけるグースアスファルト打設時の熱応力特性およびその評価法, 構造工学論文集, Vol.31A, pp371~384, 1985年3月。

(1996年9月6日受付)