

(13) 鋼床版箱桁橋の未舗装時および舗装後の温度挙動について

九州大学 工学部 彦坂 照
福岡北九州高速道路公社 村山 隆之
九州大学 工学部 藤城 学

1. 緒言

近年長大スパンの鋼床版連続箱桁橋の架設例が多く見受けられる。この型式の橋梁が1969年から1971年にかけてヨーロッパおよびオーストラリアにおいて相次いで架設中の落橋事故を起したことは周知のとおりである。このうち1969年11月に発生したウィーン・ドナウ橋(3径間連続鋼床版2箱桁橋)の架設時の座屈崩壊については、上下フランジの間に15℃の温度差が存在した状態で桁の閉合作業を行ったことを、事故の主要原因とする説もある。

わが国の道路橋示方書では、鋼床版を上フランジとするプレートガーダー橋の温度差の標準値を15℃と規定しているが(「道示」共通編1.8.7)、わが国においてその温度差の値、温度分布形状、アスファルト舗装の及ぼす効果などを長期間にわたって実測したデータは極めて少ない。本論では、鋼床版箱桁橋について未舗装時、グースアスファルト舗装時および舗装後に行った温度測定の結果を紹介し、この型式の橋梁の温度分布の日変動、年変動、最高温度、最大温度差、温度分布形状、温度応力などに関する解析結果と得られたいくつかの知見を報告する。

2. 測定概要

2.1 測定対象橋梁

温度挙動の測定を行った福岡都市高速道路1号線箱崎宮前橋の概要は次の通りであり、側面図を図-1に示す。

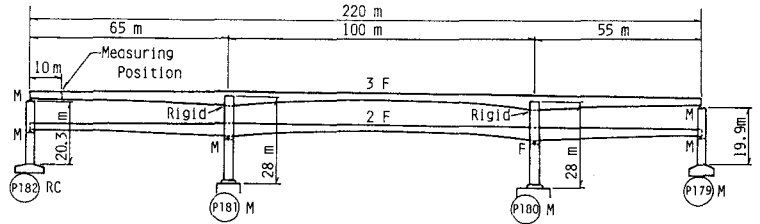


図-1 箱崎宮前橋 側面図

所在地 福岡市東区箱崎準頭1丁目(北緯33°35′、東経130°23′)

型式 上部構造(ダブルデッキ)

2F: 3径間連続鋼床版2箱桁橋

3F: 3径間連続鋼床版2箱桁立体ラーメン

下部構造

P179~P181: 2層式鋼製ラーメン橋脚

P182: 2層式鉄筋コンクリートラーメン橋脚

橋長 65m + 100m + 55m = 220m

使用鋼材 SMA41, SMA50

支承 ベアリングプレート着(1ボックス1着)

舗装 全厚 8cm

基層(1層目, 2層目) 各厚さ=2.5cm, グースアスファルト

表層(3層目) 厚さ=3cm, 密粒度アスコン

橋軸方位角 S18°38'W

測定は3Fの側径間端支点から10mの位置で行った。測定位置の断面は図-2に示す通りである。2箱桁を結ぶ小横桁が約3m間隔に、また図-2に示す荷重分配用大横桁が約9m間隔に配置され、これら全横桁の位置

で箱桁には対峙構方式のダイヤフラムが設けられている。橋軸方位角の関係から、本橋は東側箱桁の東側腹板と西側箱桁の西側腹板下部がそれぞれ朝日、夕日の直射を受け、昼間とは逆に上低下高の温度分布を生じる特徴がある。

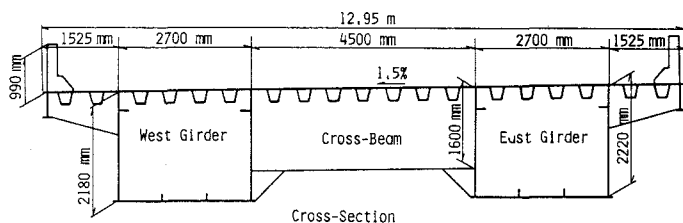


図-2 測定位置断面図

なお本橋の施工は、工場組立時に小ブロック同士を全断面溶接により一体化して全長220mを3つの架設大ブロックに組み立て、現地架設工事において1300t吊り大型フローティングクレーンによる一括架設工法が採用された。

2.2 測定内容

本橋の温度変動の測定は、1977年以来種々の測定項目について断続的に行なわれてきており、その内容は次の通りである。

1976年8月 桁架設完了

1977年9月～1978年12月 (未舗装)

東西両箱桁の断面内温度分布の長期継続測定 (12打点自記抵抗温度記録計2台 使用)

1979年9月～10月 (未舗装)

西側箱桁の断面内温度分布測定 (携帯用サーミスタ温度計)

橋軸方向温度応力測定 (ひずみゲージ)

可動支承の水平移動測定 (ダイヤルゲージ)

主桁鉛直変位測定 (測量用レベル)

1980年7月～9月 (橋面アスファルト舗装, 3層全厚8cm, 施工)

ゲースアスファルト鋪層基層1層目 ($t=2.5\text{ cm}$) 鋪設時の温度分布自動計測 (温度ゲージ)

基層1層目, 2層目および表層の各鋪装後の温度分布自動計測 (温度ゲージ)

1980年10月 橋梁供用開始

自記抵抗温度記録計と携帯用サーミスタ温度計による同時測定の結果から、両者の温度指示値は極めて良く一致することが確認された。温度ゲージの指示値は、ゲースアスファルト鋪装時の高温において温度との直線性と一部失うので、サーミスタ温度計と併用し(修正を行)に、本橋の箱桁は変断面桁(桁高は中間支点上で4.5m、端支点上および中央径間中央部で2.2m)であるが、測定断面も変く携帯用サーミスタ温度計により計測した結果、日射による温度差が最大となる昼間の鋼体版および腹板上部の温度は、桁高によらず橋軸方向に一様分布することが確かめられた。

2.3 福岡市の気象

1979年の測定に際し(1)は箱桁内外の気温と同時計測したが、1978年および1980年の長期測定中の気温は、現場から約5km離れた福岡管区気象台の測定値を準用する。福岡市の月別平均気温および最高気温の月平均値は表-1の通りである。

3. 未舗装時の鋼床版箱桁橋の温度変動

図-3に、未舗装時の箱桁断面内温度の日変動の記録のうち、(a)測定中最大の温度差32℃と記録した1978年4月26日のもの、および(6)1978年の最高気温35.8℃と記録した4月24日のもの、とそれぞれ示す。(6)図におけるデッキプレート(床版)の最高温度は62℃であるが、断面内の最大温度差は26℃で、(a)図のそれより小さくなる。(いる)。

表 1 福岡市の気温(°C)

月		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	通年
月平均気温	1941～1971年の平均	5.3	6.0	9.0	13.9	18.1	21.7	26.5	27.2	23.3	17.3	12.5	7.8	15.7
	1978年	7.0	6.0	9.4	14.5	19.3	23.8	28.7	28.3	24.5	18.0	13.2	9.4	16.8
	1979年	7.7	8.0	9.9	14.0	18.1	23.6	26.3	27.9	24.6	19.0	12.5	9.3	16.7
	1980年	6.2	5.1	9.6	14.0	18.7	23.1	24.9	24.5	22.4				
日最高気温 の月平均値	1941～1971年の平均	9.3	10.2	13.8	18.9	22.9	25.9	30.5	31.7	27.8	22.6	17.8	12.1	20.3
	1978年	9.8	10.0	14.0	18.9	23.8	28.2	32.9	32.4	28.5	22.4	17.9	13.9	21.1
	1979年	11.6	11.6	14.4	18.1	22.7	27.2	30.1	31.7	28.4	23.9	16.7	13.5	20.8
	1980年	9.2	8.2	13.6	18.6	23.6	27.0	28.1	27.3	26.4				

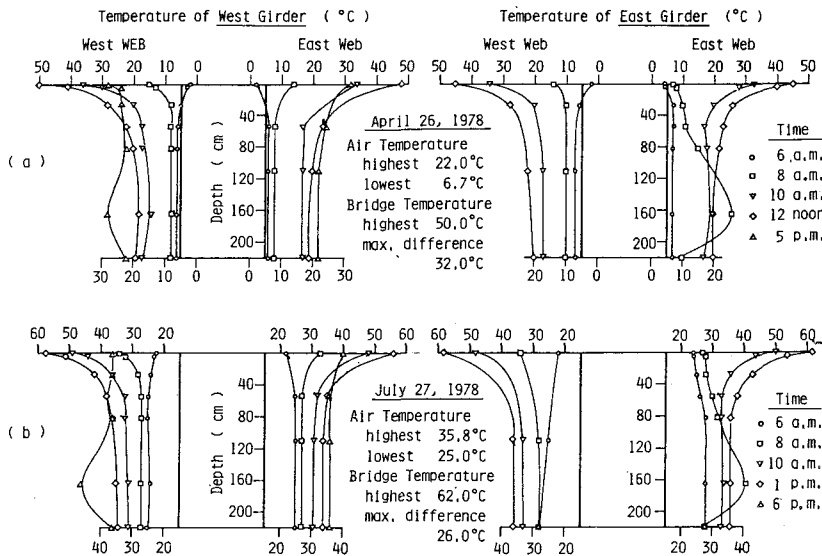


図 3 箱桁温度分布の日変動 (未舗装)

晴天日における未舗装の鋼床版箱桁デッキプレート
の温度、および上下フランジ間の温度差は、年間
を通じて正午～午後1時に最大値を記録する。断面
内に最大温度差を生じる時刻の箱桁の温度分布と橋
軸方向心カ分布の実測値を図-4に示す。最大温度
差が20℃程度の9月において、デッキプレート中央
央には400 kg/cm²を越える圧縮応力が生じている。

温度分布が与えられれば、平面保持と仮定する初
等はり理論により箱桁の温度応力を算定すること
ができる。図-5は、温度分布と2次放物線(実線)
および直線(破線)で仮定し、1節点3自由度の
はり要素を用いた有限要素法により算定した応力分布
を、図-4の実測値と比較したものである。

未舗装時の鋼床版箱桁橋の温度挙動に関する詳細

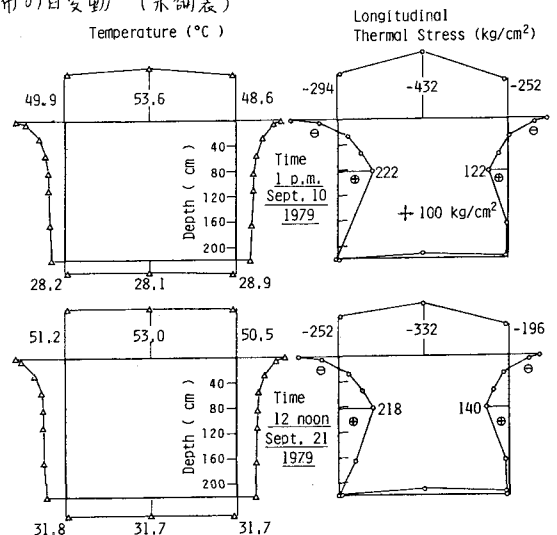


図 4 最大温度差における温度応力(未舗装)

な報告は文献 1) に譲り、ここでは結果のみ要約すれば以下の通りである。

(1) 未舗装の鋼床版箱桁では、冬期を除き晴天の日には常に 15°C を上回る温度差が生じている。本測定で記録された最高温度は 64°C 、最大温度差は 32°C であった。

(2) 気温は比較的低下が日射の強い 4、5 月に夏季を上回る 30°C 以上の温度差が生じている。

(3) 最大温度差を生じる時刻の箱桁温度分布は腹板上縁から約 80 cm の深さまで曲線分布、それ以下ではほぼ一様になる。

(4) 箱桁のデッキと縦リブの間には、しばしば 10°C を越える温度差が存在し、これが温度応力に及ぼす影響を無視できない。

(5) 温度差によるデッキプレートの実測応力はかなり大きい。またその分布はデッキプレート内では一様とならず、デッキプレート中央で最大になる。

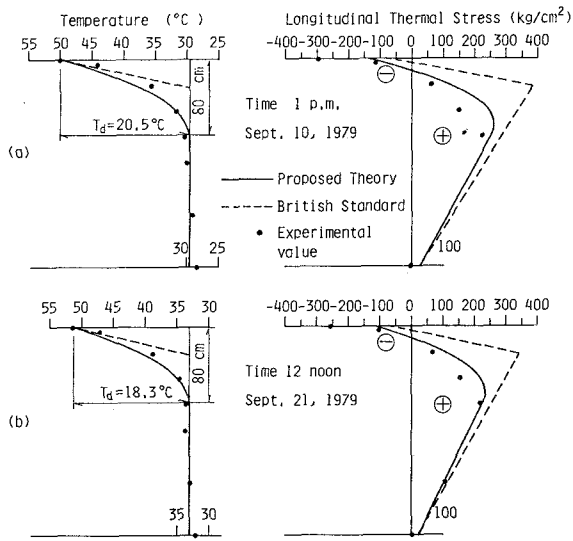


図-5 温度分布と応力分布の理論値および実測値

4. グースアスファルト舗装時の箱桁の温度分布

4.1 舗装構造

本橋鋼床版のアスファルト舗装全厚は 8 cm であり、その横断面は図-6のように幅員方向に3ブロック、厚さ方向に3層からなる。このうち、1980年7月に施工された基層第1層目のグースアスファルト ($t = 2.5\text{ cm}$) 舗装時における箱桁断面内の温度分布を、貼付型温度ゲージにより測定した。西側箱桁の測点 (温度ゲージ貼付位置) は、図-7の0~17の18点である。グースアスファルト合材の温度はクッキング時において 240°C 程度であるが、クッカー車から鋼床版上に排出された時点で 190°C 程度に下がる。

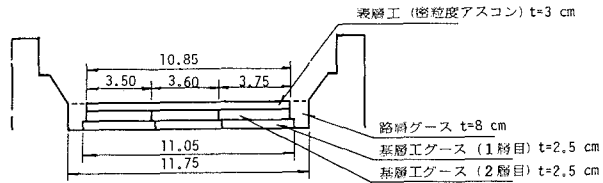


図-6 舗装構造の横断面

4.2 温度分布とその時間的变化

図-8は、測定断面上の鋼床版にアスファルト合材が排出された時刻 (9:22 a.m.) を零として、その後の時間経過にもなう幾つかの測点の温度変化の模様をプロットしたものである。上フランジ中央 (測点15) が舗装15分後に最高温度に達するが、舗装厚が小さい ($t = 2.5\text{ cm}$) ため 117°C に止まっている。このときの腹板高さ (2200 mm) 方向の温度分布は図-9のような時間的变化を示す。

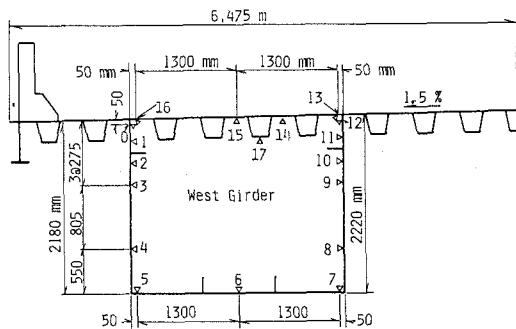


図-7 温度ゲージ貼付位置

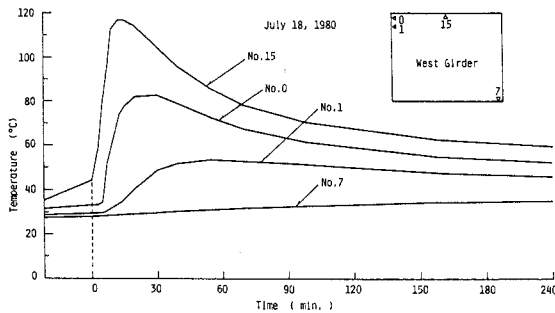


図-8 鋪装直後の箱桁温度の時間的变化

5. 箱桁の温度分布に及ぼす鋪装厚の効果

図-10は、グースアスファルト鋪装基層二層目を施工後(鋪装厚5 cm)に測定した、日射による箱桁デッキプレートと下フランジの温度の日変化を、気象条件(日平均気温、日最高気温、最低気温)のはば等しい未鋪装時の測定値と比較したものである。デッキプレートの鋪装により箱桁最高温度がピーク 図-9 鋪装直後の腹板温度分布の時間的变化値に達する時刻は遅れるが、最高温度および断面内温度差の最大値は減少しないことがわかる。図-11は、さらに表層を施工して鋪装厚が8 cmとなった時点で、上と同様の比較を行う。たものごあり、鋪装厚の増加によるデッキプレート温度のピーク値発生時刻の遅れがさらに顕著になるとともに、断面内温度差の最大値も小さくなる傾向が認められる。しかし、図-10および図-11は、いずれも日射のかなり弱くなる9月の測定値のみの比較であり、鋪装厚が箱桁温度分布に及ぼす効果についての一般的考察を行うためには、日射の強い春から夏にかけての測定データについてさらに調査研究を必要とする。

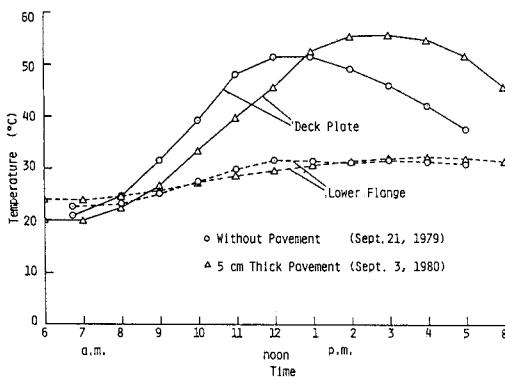


図-10 未鋪装時および鋪装後(鋪装厚5 cm)の箱桁温度の日変化

平均気温 最高気温 最低気温 日照時間
(°C) (°C) (°C) (h)

1979年9月21日 26.2 31.0 22.4 8.9
1980年9月3日 25.9 30.3 22.0 10.1

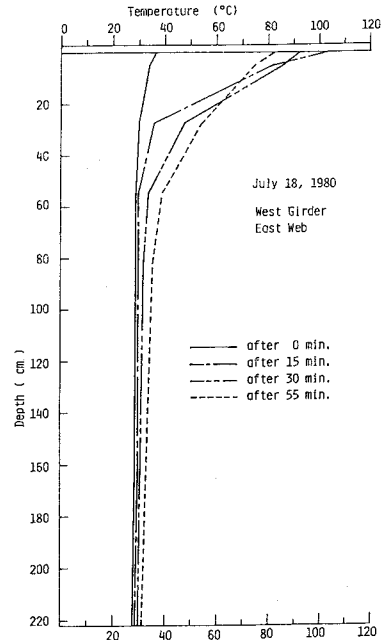


図-11 未鋪装時および鋪装後(鋪装厚8 cm)の箱桁温度の日変化

平均気温 最高気温 最低気温 日照時間
(°C) (°C) (°C) (h)

1979年9月10日 23.7 29.1 19.0 11.0
1980年9月16日 23.1 28.8 17.8 11.3

〔謝辞〕

本研究に関して九州大学の吉村虎蔵教授（現在、有明工業高等専門学校長）の御指導を受け、また測定に際して建設省土木研究所橋梁研究室より12打点抵抗温度記録計を借用させていただいたことを記して、謝意を表す。

〔参考文献〕

- 1) 吉村虎蔵・彦坂 照ほか：長期測定温度分布にもとづく鋼床版連続箱桁橋の温度応力，第26回構造工学シンポジウム，1980年2月，PP.109～119.
- 2) 名古屋高速道路公社・名古屋大学工学部土木工学科：箱桁橋の温度挙動に関する報告書，1977年3月.
- 3) 石倉善弘・浅田敏明・有木止紀：箱桁の温度分布・温度差による変形・応力について，横河橋梁技報，NO.5，1975年11月，PP.131～134.
- 4) 福岡管区気象台：福岡県気象月報 昭和52年9月～昭和55年9月.

Effect of Asphalt Pavement on Thermal Behavior of Steel Box Girder Bridges

Hiroshi HIKOSAKA*, Takayuki MURAYAMA**
and Manabu FUJISHIRO*

The effect of an asphalt pavement on the temperature distribution and on the thermal stress in a steel box girder bridge is studied in this paper. To obtain the data on field conditions of both temperature distribution and thermal stress in a bridge, a twin box girder bridge with an orthotropic steel deck plate was instrumented. 12-point automatic resistance thermometers and foil temperature gages were used to record the temperature at various points throughout the depth and width of the bridge. Strain readings were taken by foil strain gages and automatic digital strain meters.

During the 1-year period of observation for the unpaved bridges, the highest temperature of 64°C in the steel deck plate and the maximum temperature difference of 32°C between the top and bottom of the cross-section were recorded. The temperature differences through the depth of the bridge in sunny spring days were greater than those observed in summer.

The asphalt pavement was executed by dividing the total thickness of 8 cm into three layers. During the execution of 2.5 cm thick base course of the mastic asphalt pavement, the extreme high temperature, 117°C, was recorded at the interior surface of the deck plate. Due to the low conductivity of asphalt, the presence of the pavement delays the occurrence of the maximum temperature of the deck plate by about 3 hours compared to the unpaved bridges. Non-linear thermal gradients in the web plates within the upper depth of about 80 cm were characteristic for both the paved and the unpaved bridges. The observed data, however, indicate that the 5 cm thick asphalt pavement does not decrease the value of the highest temperature in the steel deck plate.

A continuous steel box girder with an orthotropic steel deck plate, which spans 65 + 100 + 55 m, was selected as an analytical model. Theoretical thermal stresses were calculated by the finite element method based on the non-linear temperature distribution for the web plates, and the results could well explain the non-linear distribution of observed thermal stresses in the steel box girder.

* Department of Civil Engineering, Kyushu University, Fukuoka

** Fukuoka-Kitakyushu Expressway Public Corporation, Fukuoka