

輪荷重走行試験における鋼床版デッキプレート上面に発生する主応力の動的挙動

Dynamic behavior of the principal strain measured on the deck-plate of orthotropic bridge decks
in wheel load running test.

大西弘志^{*1}, 吉浪泰祐^{*2}, 服部雅史^{*1}, 鎌田敏郎^{*1}, 石尾真理^{*3}, 玉越隆史^{*3}

Hiroshi ONISHI, Taisuke YOSHINAMI, Masafumi HATTORI, Toshiro KAMADA, Mari ISHIO
and Takashi TAMAKOSHI

*1 大阪大学 大学院工学研究科 地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

*2 大阪大学 工学部 地球総合工学科 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

*3 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路研究部 (〒305-0804 つくば市旭 1 番地)

In recent years, the number of reported cases of fatigue deterioration in orthotropic bridge decks is increasing. The major part of fatigue damage is occurring in the welding joint or the area near the welding joint. Especially, some of fatigue cracks generating at the root of welding joint is penetrating the deck plate of orthotropic bridge decks. It is impossible to check the state of this type of fatigue crack with the visual inspection from the underside of decks. Then the many research works about the generating and progress mechanism of this type of fatigue cracks are carried out. With these research works, many achievements are given. And the directions of principal stress in some cases are shown. But all of these directions are given with the static loading test. And there is no research works about the dynamic behavior of the principal stress or strain at the point on the upper surface of orthotropic bridge decks. Then the authors carried out the wheel load running test to investigate the dynamic behavior of the principal strain.

Key words: Orthotropic bridge decks, deck-plate, Dynamic behavior, Wheel load running test

1. はじめに

近年、鋼床版における疲労損傷事例が増加している。疲労損傷によるき裂の多くは図 1 に示されるように溶接部またはその近傍に発生している¹⁾。特に、鋼床版のデッキプレートとUリブとを接合する溶接部において、溶接金属のルート部を起点とし、デッキプレート上面に向かって発生・進展するき裂（以下、デッキプレート貫通き裂と呼ぶ）は床版下面からの目視による点検では発見できない。そのため、デッキプレート貫通き裂のような疲労き裂の発生・進展のメカニズムを解明することを目的とした数多くの研究が行われている。これらの研究により、縦リブの支間部におけるUリブとデッキプレートの溶接止端部では、着目点のデッキプレート上面に荷重が位置したとき、デッキプレート下面の主応力の方向が橋軸直角方向になることがわかっている²⁾。しかし、実際の交通荷重のように輪

荷重が床版上面を走り抜ける場合、主応力の大きさとその方向がどのように変化するかを確認した事例が存在しない。そこで、本研究では輪荷重走行下における、デッキプ

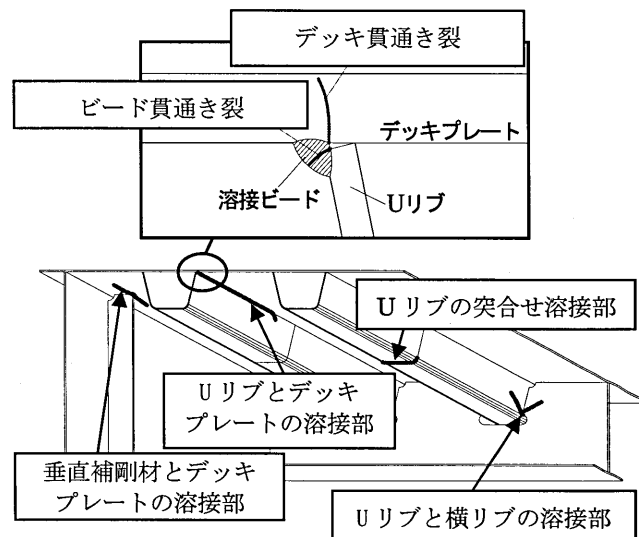
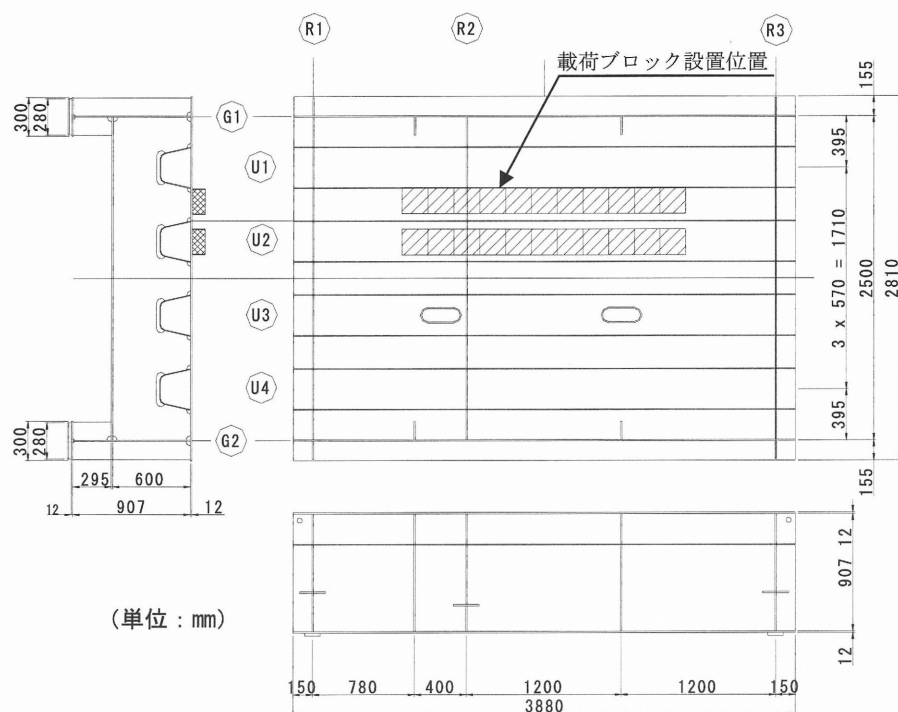


図1 Uリブ鋼床版の主な疲労損傷発生位置



レート下面の U リブとデッキプレートの間の溶接止端部と溶接部直上のデッキプレート上面に発生する主ひずみの動的挙動について調査することとした。

2. 実験の概要

2. 1. 供試体概要

本研究で使用した鋼床版の形状を図 2 に示す。この床版は橋軸方向長さが 3880mm、橋軸直角方向長さが 2810mm であり、床版支間は 2500mm である。この床版はデッキプレート下面に 4 本のトラフリップ（以下、U リブと呼ぶ）を有する構造となっており、その取り付けに際しては、損傷事例が確認された鋼床版における U リブとデッキプレート間のすみ肉溶接の溶け込み量を参考に、供試体における U リブとデッキプレート間のすみ肉溶接の溶け込み量を 20%程度に制限するように溶接方法（入熱量や溶接速度など）を管理している。この床版で使用したデッキプレートは一般的な鋼床版を模するため、鋼材種 SM400A、12mm 厚の鋼板を用いている。U リブには SM400A の 6mm 厚の鋼板を曲げ加工したもの（寸法 320×240×6×3880mm）を用いている。U リブの配置間隔は 570mm である。この鋼床版では横リブの配置間隔を 2400mm とし、輪荷重走行範囲に U リブと横リブの交差部（以下、リブ交差部と呼ぶ）が含まれるように、床版中央から 610mm の位置に横リブを配置している。このような配置とすることにより、床版中央から

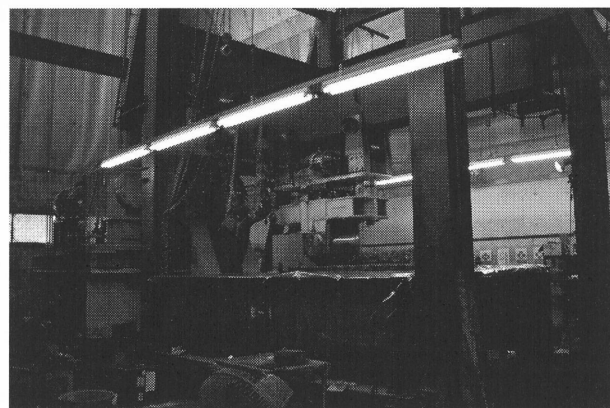


写真1 輪荷重走行試験実施状況

図中 R1 側（左側）に関してはリブ交差部があるときの力学状態，反対側の図中 R3 側（右側）に関しては U リブの支間部における力学状態を模擬できるような構造になっていると考えることができる。また，この床版では U リブの内部にゲージを設置するためのハンドホールを一部の U リブ下面に設けているが，本研究の輪荷重走行試験を行う段階ではハンドホールからのき裂発生に関する検討が十分でなかったため，ハンドホールを設置しなかった U リブを試験対象として輪荷重走行試験を実施することにした。

2. 2. 輪荷重走行試験の概要

1) 輪荷重走行試験機

輪荷重走行試験には大阪大学で保有している輪荷重走

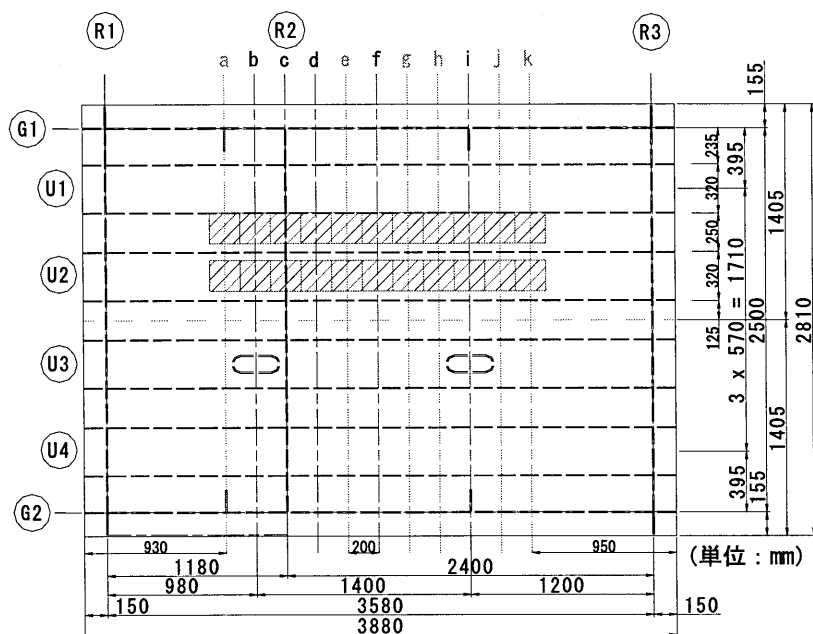


図3 ひずみ計測断面の設定

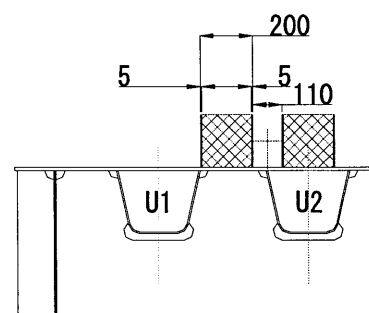


図4 輪荷重走行位置
(断面内位置、単位：mm)

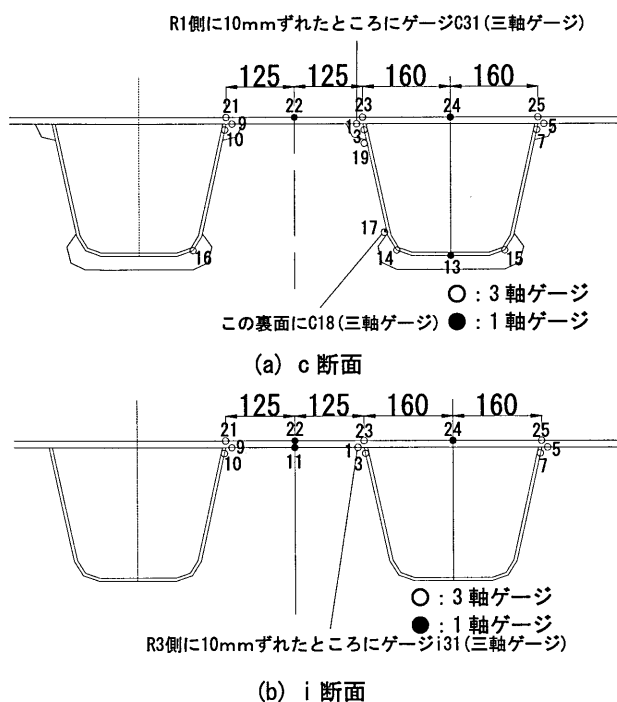


図5 着目断面におけるゲージ配置 (単位：mm)

行試験機(写真1)を用いた。本試験機は載荷能力300kNであり、60サイクル/分の速度で載荷することが可能である。荷重走行範囲は供試体の中央から片側1000mm、計2000mmの範囲である(図2中のハッチングを施した範囲)。今回の試験では190mm×200mmの載荷ブロック2枚を橋軸直角方向に並べたものを一組として、11組の載荷ブロックを橋軸方向に並べて使用している。この2枚1組の載荷ブロックを使用することにより、3軸車の後輪のダブルタイヤによる載荷状態を再現できるようにしている。なお、今回

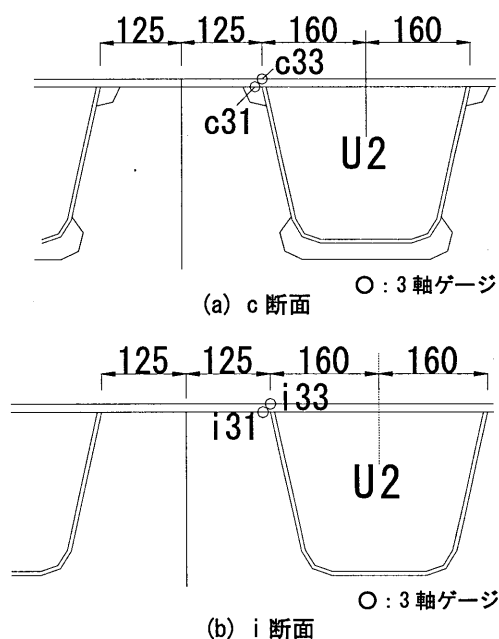


図6 動的計測用ゲージの配置 (単位：mm)

の走行試験では輪荷重の大きさを117.6kNとして走行試験を実施している。

2) ひずみ計測位置

本研究では、輪荷重走行試験において床版のデッキプレートに生じるひずみを計測するためにデッキプレートとUリブの間の溶接部を中心にひずみゲージを配置した。ひずみの計測点を設定する際に設けた計測断面の配置を図3に示す。また、今回の輪荷重走行試験において、Uリブ

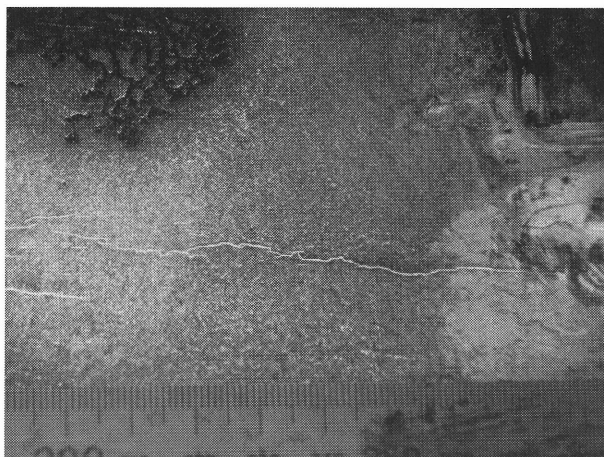


写真2 デッキプレート上面のき裂 (L=80mm)

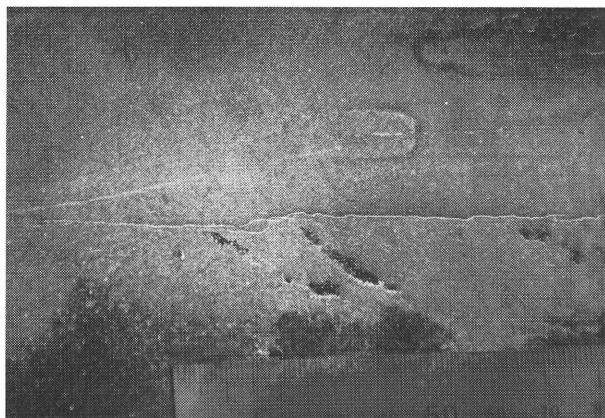


写真3 デッキプレート上面のき裂 (L=200mm) の一部

と輪荷重の位置関係は図4に示すようになっている。本研究ではこの図に示されたa~kの各断面のうちでも、b, c, d, f, iの5断面に着目して計測を行えるようにゲージを配置している。本研究ではこれらの5断面の中でもc断面とi断面に着目して実験を進めている。本研究で採用した、c断面、i断面におけるひずみゲージの配置を図5に示す。この図をみると明かなように、本研究では2つに分割された輪荷重に挟まれたU2リブの溶接線を中心としてゲージを配置している。これらのゲージの中でも図6に示すc31, c33, i31, i33の各計測点に関しては設置するひずみゲージを近接して2枚(1軸ゲージ, 3軸ゲージ各1枚)配置し、このうちの3軸ゲージに関して動的計測を行うことによって主ひずみの動的挙動を確認できるようにした。動的計測は輪荷重走行中に周波数1kHzで10秒間実施している。なお、3軸ゲージに近接して設置された1軸ゲージはそれぞれc1, c23, i1, i23と名付けられ、静的載荷時のひずみ計測に利用されている。

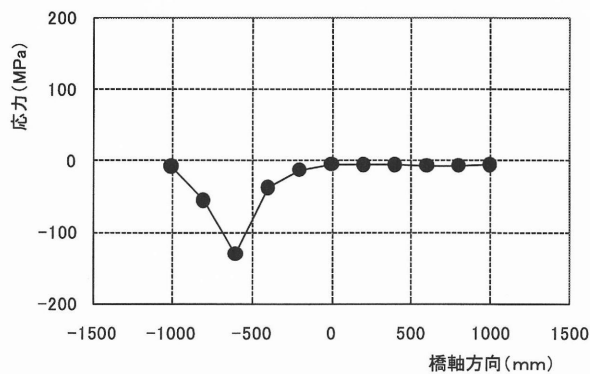


図7 影響線測定結果 (c1, 試験開始時)

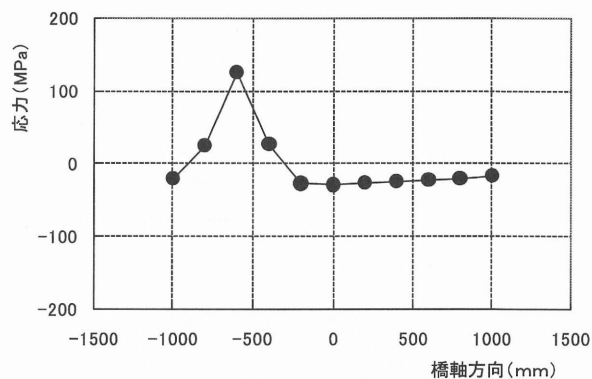


図8 影響線測定結果 (c23, 試験開始時)

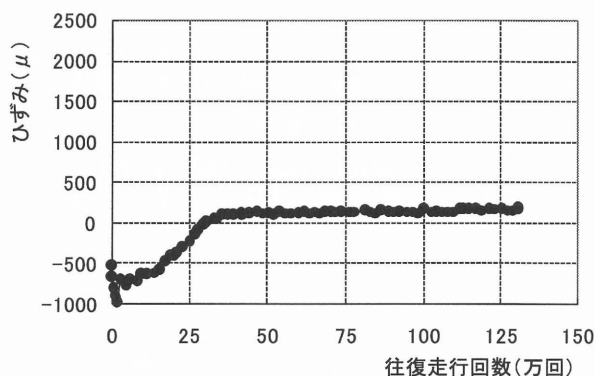


図9 ひずみ計測値の経時変動 (c1)

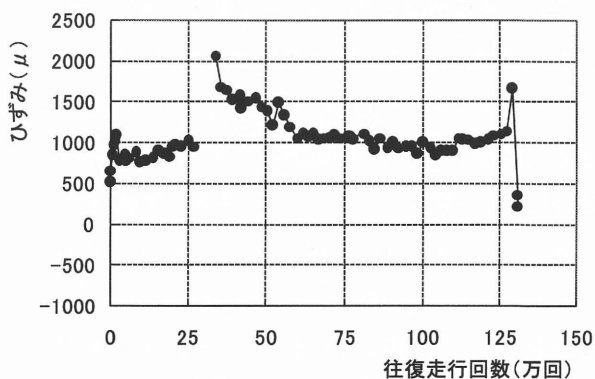


図10 ひずみ計測値の経時変動 (c23)

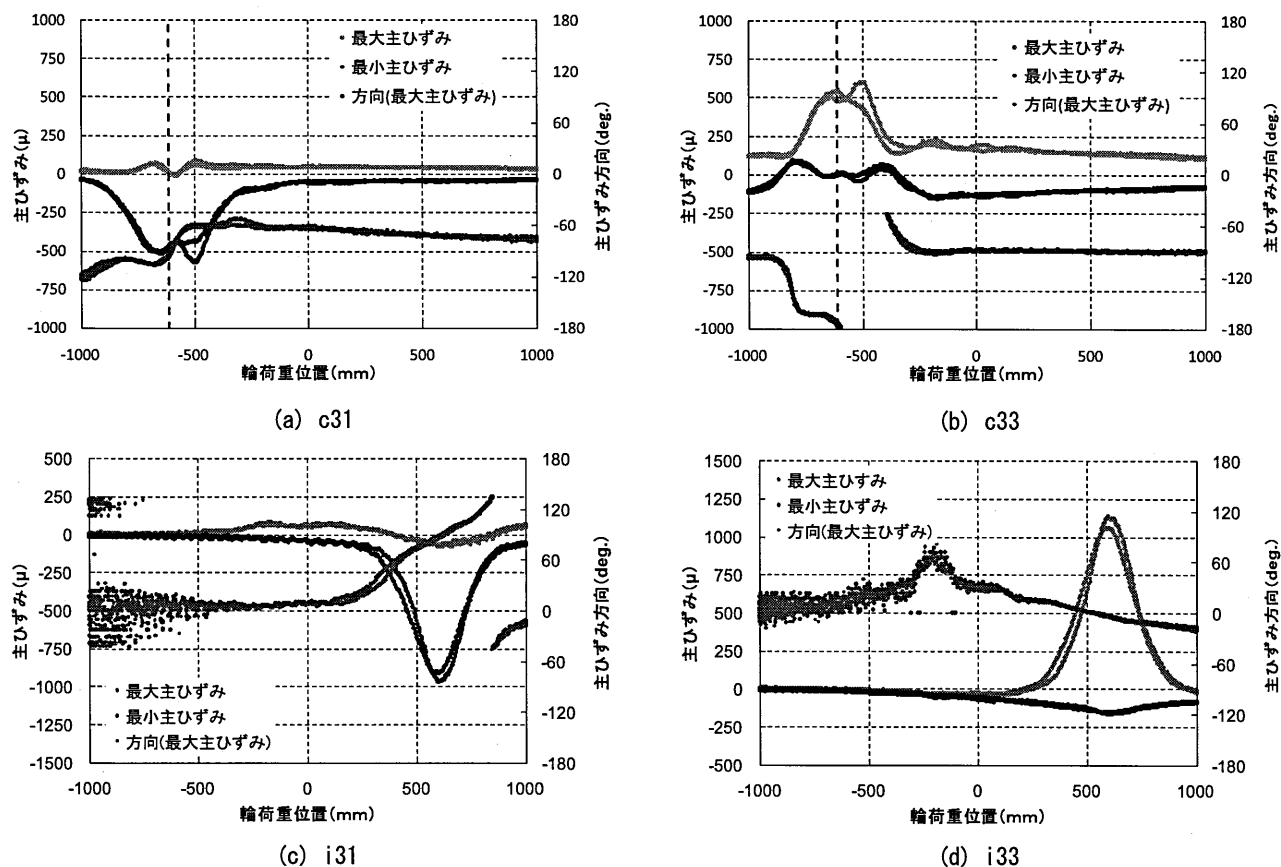


図 11 主ひずみの動的計測結果（輪荷重走行 100 回経過時）

3. 実験結果

本研究で鋼床版供試体を用いて輪荷重走行試験を実施した結果、117.6kN の輪荷重を 261.2 万回走行させた時点でデッキプレート上面にき裂（ $l=200\text{mm}$, 80mm ）が発生しているのを磁粉探傷試験により確認した。このときに確認されたき裂の一部を写真 2、写真 3 に示す。今回の輪荷重走行試験では、走行試験と並行して実施された各種非破壊検査の結果を総合すると、き裂の発生は U リブとデッキプレートの間の溶接部のルート部から発生したものと判断できた。しかし、その起点は当初の予想していた c 断面ではなく、試験終了時にデッキプレート上面に配置した 3 軸ゲージの付近までき裂の先端が進展している状態であった。

今回の輪荷重走行試験における影響線測定の結果の一例を図 7、図 8 に示す。この図において縦軸には $E=200\text{GPa}$ と仮定して求めた応力を用いている。これらの図を見るとほぼ同一の点のデッキプレートの表裏の位置関係にある c1 では圧縮が、c23 では引張の応力がほぼ同じ荷重位置で発生していることから、c1 と c23 が含まれる断面では輪荷重の通過に伴って発生するデッキプレートの局部

的な曲げによる影響が卓越していることがわかる。また、これらの点のひずみ計測値の経時変動を確認すると、デッキプレート下面のゲージである c1 におけるひずみの計測値は荷重走行 300,000 往復（=600,000 回）程度で計測値がほぼ 0 になっている。このことから、c 断面のデッキプレート下面付近に疲労損傷（き裂）が発生している可能性があるものと推定される。これに対し、c23 点では一部の計測値にデータの乱れが確認できるものの、試験期間を通じてはほぼ $1,000\mu$ 程度のひずみを確認することができる。ただし、300,000 往復～600,000 往復の間や試験終了直に前ひずみが一時的に増加または減少しているのが確認できる。このような現象は一つのゲージの計測結果では説明をつけるのが困難であるが、c1 点におけるひずみ計測結果を参考にすると、300,000 往復～600,000 往復の間に確認できる一時的なひずみの増加はデッキプレート下面に発生した疲労き裂による影響を受けた結果ではないかと推定することができる。また、試験終了直前におけるひずみ計測値の乱れは写真 2 に示されたき裂の右端がほぼ c23 点の位置まで届いていることから、疲労き裂がゲージの近傍にまで達した影響を受けた結果であると推定できる。

4. 主ひずみの動的挙動

本研究で実施した輪荷重走行試験で輪荷重走行回数 100 回の時点で動的に測定された主ひずみの大きさとその方向を図 11 に示す。この図中に示された主ひずみの方向は 0° 又は 180° のときに橋軸直角方向を向いていることを示し、 90° のときには橋軸方向を向いていることを示している。ただし、c31, i31 点に関しては添付されたゲージの配置により橋軸方向と橋軸直角方向が入れ替わっている。まず、リブ交差部にあたる c 断面に関してみると、輪荷重が離れた位置にある時、デッキプレート下面の c31 点では主ひずみの方向はほぼ橋軸直角方向、上面の c33 点では橋軸方向になるという測定結果となっている。これらの点では輪荷重の接近とともに主ひずみの方向が上下面ともに橋軸直角方向になることから、リブ交差部においては輪荷重が交差部直上に来た時の局所的な橋軸直角方向の曲げが大きな影響を与える因子であることが確認できる。ただし、今回の測定では、主ひずみの最大値は必ずしも輪荷重が着目断面上に位置しているときに発生しているわけではないことが確認できているため、今後、測定データ数を増やすことによりこのような現象が一般的なものであるのかどうかを確認する必要がある。これに対し、リブ支間部にあたる i 断面では輪荷重が断面から遠い位置にあるときには主ひずみの発生量はほぼ 0 となっている。輪荷重の接近に伴って主ひずみの増大が確認されその方向は橋軸方向から橋軸直角方向に変化するという測定結果を得ている。このことにより、これらの部位に関しても輪荷重が着目断面の直上に位置しているときには橋軸直角方向の曲げが卓越していることが確認できる。ただし、この断面においても主ひずみの方向の変動が確認できることから、このような挙動が鋼床版の溶接部における疲労耐久性にどのような影響を与えるのかを確認する必要がある。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) リブ交差部や支間部の U リブとデッキプレートとの間の溶接部近傍のデッキプレート表面における主ひずみの動的挙動を確認したところ、輪荷重の移動に伴い主ひずみの方向が変動していることが確認できた。
- 2) リブ交差部においては主ひずみの大きさはリブ交差部の直上に輪荷重がある時ではなく、その周辺に輪荷重がある時に最大値をとる場合があることが確認できた。

6. おわりに

本研究の一部は国土交通省委託研究事業(新道路技術会議 技術研究開発プロジェクト「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」、研究課題名：各種道路橋床版における疲労損傷の非破壊検査システムに関する研究開発, 研究代表者：鎌田敏郎)により実施された。ここに記して関係者各位に感謝の意を表すものである。

(参考文献)

- 1) 日本道路協会：鋼橋の疲労，1997.5.
- 2) 森猛，嶋原志保，中村宏：溶接溶け込み深さを考慮した鋼床版デッキプレート・トラフリブ溶接部の疲労試験，土木学会論文集 A Vol.62 No.3 pp570-581,2006.7