特殊な既設鋼床版の疲労損傷メカニズムと合成鋼床版化による 疲労耐久性向上に関する研究

Study on fatigue damage mechanism of a special highway steel bridge deck and improvement of the fatigue durability by structural composition with concrete

古市亨*,的場栄孝**,服部雅史***,大西弘志****,松井繁之***** Toru Furuichi, Hidetaka Matoba, Masahumi Hattori, Hiroshi Onishi, Shigeyuki Matsui

*工修,大阪工業大学 構造実験センター 国内研究員(〒614-8289 京都府八幡市美濃山一ノ谷4)
** 工修,(株)宮地鐵工所 生産本部千葉工場(〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3番地)
***工修,中日本高速道路(株) 八王子支社(〒409-3866 山梨県中巨摩郡昭和町西条 2858)
****博(工),大阪大学大学院助教 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)
*****工博,大阪工業大学教授 構造実験センター(〒614-8289 京都府八幡市美濃山一ノ谷4)

Recently, fatigue damage accidents of orthotropic steel decks of highway bridges are increasing due to vehicles weight, traffic volume and long term usage. In this research, fatigue tests on full-size specimens of open-rib steel decks were carried out by changing the running posision with wheel running machine having a double-tire. Also, fatigue tests to verify the effectiveness of composition of steel deck with concrete were carried out after casting steel fiber reinforced concrete on the steel deck. From the former fatigue tests, different fatigue crackings were observed and the cracking mechanisms were made clear through FEM analysis. The latter test results showed a remarkable increase of fatigue durability by the composition of steel deck with concrete.

Key Words: fatigue durability, orthtropic steel deck with open-ribs, wheel running machine, composition of steel deck with concrete, キーワード: 疲労耐久性, 鋼床版, 輪荷重走行試験機, 合成鋼床版

1. はじめに

近年,既設鋼床版の疲労損傷事例が多数報告されている^{1),2)}.車両の大型化,自動車交通量の増大,供用年数の延長などから,今後も疲労損傷事例は増加していくことが予想される.そのため,既設鋼床版の予防保全を早急かつ合理的に行うことが必要不可欠である.

鋼床版の疲労損傷の原因として、デッキプレートの剛 性不足が挙げられる.特に、既往の研究³では、ダブル タイヤがリブを跨いで載荷することにより、デッキプレ ートの局部的な板曲げ変形が生じ、デッキプレートと縦 リブの溶接部に高い応力集中が発生することが明らかと なっている.ただし、既往の研究は全てUリブについて のものであるが、縦リブにバルブプレートを用いた開断 面鋼床版においても、事例は少ないが疲労損傷が確認さ れており、これらの損傷はUリブと同様の原因であると 推測できる.

疲労損傷に対する補強対策方法として、ストップホー ル設置、溶接補修、添接補強、構造改良等の手法が用い られている^{4,5}が、鋼床版は長大橋に採用されているた め、構成部材数が多く、部材要素ごとに予防対策を行う と、多額の費用と膨大な労力が必要となり、抜本的な対 策とは言い難い.

また、鋼床版の疲労への SFRC 舗装による予防補強に 関する研究^{6, 7)}も行われているが、筆者らは、鋼床版の 抜本予防対策として、鋼床版デッキプレート上面にジベ ルを配置し、鋼繊維補強コンクリート(以下, SFRC 示 す)を打設することで、鋼床版と SFRC を一体化させる 合成鋼床版化を着想し、その長期安定性についての研究 を行った.合成鋼床版化に伴い、鋼床版の剛性、荷重分 配性は向上し、溶接部近傍に生ずる発生応力範囲が低減 されるため、疲労耐久性の向上が期待できる.また、合 成鋼床版化は構造物の表面のみを改良する工法であり、 交通規制の必要はあるが、工期的には短時間で済み、予 防保全対策として優れたものといえる.

今回,特殊な型式の鋼床版であるが,実橋で供用され ていた鋼床版を提供して頂けることとなったため,既設 橋梁から鋼床版を切り出し,輪荷重走行試験機を用いて, 疲労き裂の発生とそれらの進展状況,ならびに合成鋼床 版の疲労耐久性を調べることとした.また,3次元 FEM 解析を用いて各部の発生応力について検討した.

本鋼床版の形状は特殊であるが,SFRC を打設して合 成鋼床版化することによる疲労耐久性の向上を計る手段 は一般の鋼床版と同様であり、本研究成果が基礎資料と なれば幸いである.

2. 研究概要

2.1 試験体

試験体としては、実際に現場から採取した既設鋼床版 だけのものと、この既設鋼床版上に SFRC を打設し、合 成鋼床版としたものとした.

なお、本実験に使用した試験体は京都府八幡市の旧国 道1号に架かる10径間鋼ゲルバー桁橋の御幸橋(京都府 が管理)から切り出したものである. 幻の橋梁エンジニ アとして有名な増田淳が設計を行い、昭和5年に竣工し た橋梁である. 平成15年に約70年の供用を終えて新橋 に架け替えられた. 本橋の竣工時には RC 床版が適用さ れていたが、1976年に鋼床版に取り替えられた. よって、 切り出された鋼床版は約27年間分の累積疲労損傷を受 けている. なお, 鋼床版試験体はゲルバー桁吊り桁部ス パン中央付近の上・下線の左側輪荷重走行位置付近から 採取した. 切り出した鋼床版について渦流探査試験, 磁 紛探傷試験を行い, 溶接部の欠陥を調査したが, 欠陥は 見当たらなかった.

a) 現場から採取した試験体(既設鋼床版)

本試験に使用した試験体の寸法を図-1 に示すが,幅 2250mm,長さ4625mmで、2本の縦桁とその中に4本の 縦リブが有り、かつ4本の横リブを有する.一般的には 縦リブは横リブを貫通し、交差部にはスカーラップが設 けられるが、本橋の縦リブは横リブの交差部で突合わせ すみ肉溶接されており、スカーラップは設けられていな い特殊形式のものである.

試験体は4隅で単純支持するが,4箇所の支持方法は2本の縦桁と端横リブの交点の位置で縦桁下フランジと支 持部材の横ばり上フランジ間に丸鋼を挿入し,縦桁を単 純支持した.

b)合成鋼床版

合成鋼床版は既設鋼床版のデッキプレート上面に, M16×40mm のスタッドジベルを溶接し,その後,鋼繊 維を用いた超速硬鋼繊維補強コンクリート (SFRC) を打 設している (図-2参照).



図-2 合成鋼床版のイメージ



図-1 実橋から切り出した試験体の寸法

SFRC 厚は死荷重増の影響を最低限に抑えるため,補 強後に SFRC 上に直接車両を走行させることを想定して, 供用中のアスファルト厚と同じ 70mm とした. なお,事 前に FEM 解析を行い,70mm の合成鋼床版化により,応 力範囲が既設鋼床版の60%程度まで低減することを確認 している. スタッドジベル位置を図-3 に示すが,橋軸 直角方向は縦リブ間の中央に配置(320mm 間隔)すること とし,橋軸方向にも,ほぼ等間隔となるように,横リブ 間隔を考慮して 302mm 間隔とした.表-1 に SFRC の配 合を示すが,実験開始時のコンクリートの圧縮強度は 50N/mm²であった.



図-3 スタッドジベルの配置

表-1	SFRC	の配合
~ .	~	~ HU H

水セメント比	細骨材比	単位量(kg/m ²)					
W/C	S/a	セメント	水	砂	採石	浦水湖	\$ED \$## \$#
%	%	С	W	S	G	199, 71, 713	and way was
39.9	53.5	464	185	875	757	11.6	60

2.2 載荷方法

a)走行位置

本検討においては、車輪の走行位置に着目し、走行位 置の違いにより、疲労き裂の発生位置、進展メカニズム にどのような違いが発生するかを調べるため、2 つの縦 リブの直上に輪荷重を受ける場合と、1 つの縦リブを挟 み込むように載荷する場合を想定した載荷を行った.

表-2, 図-4に示す2種類の走行位置で4体の試験体の疲労耐久性試験を実施した.

表-2 試験体タイプ

NO.	Type	種類	走行位置	摘要
1	O-A	町記線広報	縦リブ直上	基本載荷
2	O-B	场动动的机械	縦リブ間	走行位置の比較
3	G-A	人式细 式幅	縦リブ直上	人民な用うな計
4	G-B	百戌酮床服	縦リブ間	古城加老の快証

b)載荷プログラム

図-5 に既設鋼床版,および合成鋼床版の基本載荷プ



図-4 各試験体の仕様と載荷のイメージ

ログラムを示す. なお, ここで示す輪荷重はダブルタイ ヤの合計荷重を示している.

まず,実橋で観測された最大輪荷重の大きさ147kNを 基本荷重とし,試験体の状態により荷重を漸増させた. 既設鋼床版(O-A, O-B)は147KNで34万往復走行さ せたが,床版の挙動が安定していたため,荷重を196kN へ増加させ,き裂が発生するまで走行を続けた.また, き裂の進展状況を確認するため初期き裂発生後も数万往 復走行させている.合成鋼床版(G-A, G-B)については, 疲労耐久性が高いと判断し,基本荷重で5万往復し,そ



の後, 196kN に荷重を増加して 25 万往復(計 30 万往復) 走行させ,更に荷重を 230kN, 250kN へと増加,最終的 には 60 万往復走行させた.

c) き裂のモニタリング

疲労き裂を検知するために電場指紋照合法(FSM: Field Signature Method)を適用した.FSMは鋼構造物の疲 労損傷のモニタリングシステムであり⁸,き裂発生によ る任意の2点間の電位差の変化を検知するものである. 目視観察によるき裂発見はFSMによる検知のあと,数万 回後であった.

2.3 輪荷重走行試験機の概要

輪荷重走行試験機として、図-6 に示す大阪大学の輪 荷重走行試験機⁹を使用した.この試験機は図-7 に示 すように、橋軸方向に±1000mmの移動範囲を有してい る.デッキプレートの局部的な板曲げを再現するために は、ダブルタイヤの荷重作用状況をできるだけ再現する 必要がある.輪荷重走行試験機の車輪には、幅 50cm の



図-6 輪荷重走行試験機(ゴンゴロ)







図-8 車輪の工夫

鉄輪を用いており、このままで載荷すると幅 50cm の線 荷重で作用する.このため、床版供試体上面に各タイヤ の接地面と同じ大きさのブロック(縦200mm×横190mm, 高さ 50mm)を橋軸直角方向には 120mm の隙間を開けて 2 個並べ、橋軸方向にはこれらを 11 組並べる軌道を形成 した.ブロックの上には車輪の走行面の平滑性を確保す るため厚さ 12mm の鉄板を載せて鉄輪を走行させた.ま た、図-8 に示すように鉄輪の中央に 100 mmの溝を設け て、ダブルタイヤを模擬した荷重が載荷できるようにも している.

2.4 FEM 解析の概要

鋼床版,および合成鋼床版の各部の応力性状を適確に 捉え,実験値を補完するために FEM 解析を行った.図 -1の試験体に対するFEM解析モデルとその要素分割の 概要を図-9 に示すが,縦リブ・横リブ交点と縦リブ・ デッキプレート交点に着目して鋼床版部をシェル要素, SFRC にソリッド要素を用いてモデル化している.縦リ ブのバルブ先端の発生応力状況を検討するため,バルブ 部はソリッド要素を用いることとした.また,溶接止端 近傍の応力集中を確認するため,溶接部もソリッド要素 としている.総節点数は鋼床版モデルで48200点である. 着目点位置を図中に示す溶接止端から10mmとした.



図-9 解析モデルと着目点(鋼床版)

3. 既設鋼床版の実験結果と疲労耐久性評価

輪荷重走行試験機による疲労耐久性試験を実施した結果,既設鋼床版試験体(O-A, O-B)の初期き裂発生箇所は図-10に示すように,両者では異なった.この損傷状況の詳細とFEM解析による分析結果を以下に示す.

- 3.1 縦リブ直上載荷 (Type 0-A) の場合の耐久性評価
- a) 初期き裂発生箇所とその後の進展(Type 0-A)

図-4 に示した縦リブ直上載荷の載荷プログラムと損 傷発生時期を図-11 に示すが,34 万往復時に縦リブ R2



と横リブ C3 の交点のバルブ先端溶接部にき裂が発生したことを FSM で検知,目視では 39 万回でき裂を確認し,き裂の進展を確認するために 48 万往復まで載荷を続けた.



初期き裂は34万往復時に、図-12、図-13に示すR2 のバルブ先端部より発生し、その後、縦リブと横リブの まわし溶接部の全周にわたり伝幡し、さらにR2とデッ キプレートのすみ肉溶接部へと進展した.き裂の内部状 況を確認するために、試験終了後、き裂発生周辺部をガ ス切断により切り抜き損傷状況を観察した.縦リブと横 リブのまわし溶接部の損傷状況を図-13に示すが、き裂 発生位置を含め溶接部が半分程度残っており、ルート破 壊であった.また、縦リブとデッキプレートとすみ肉溶



図-12 き裂の進展状況(O-A)



図-13 溶接部の損傷状況(縦リブ・横リブ交点) 接部の損傷状況を図-14に示すが、この場合もすみ肉溶 接のルートにき裂が進展しており、デッキプレートと縦 リブは縁切れになるが、デッキプレート上面への進展は 発生していないかった.



図-14 切断面 (縦リブ・デッキプレート交点)

b) FEM 解析による照査(Type 0-A)

縦リブ直上載荷(Type O-A)の場合,縦リブと横リブ との交差部のバルブ先端部からき裂が発生した.そこで, 実測値の発生応力度に対して3次元 FEM 解析を行い, この部位の疲労損傷発生の機構を調べることとした.さらに,バルブ先端部の橋軸方向応力度の発生状況を把握 することとした.図-15に縦リブ横リブ交点付近の着目



図-15 縦リブ・横リブ交点近傍での着目点

点を示すが,輪荷重を橋軸方向に移動させた場合の橋軸 方向の発生応力度を把握するための着目点1(●)は溶 接止端から10mmの箇所とし,バルブ先端部の橋軸方向 発生応力分布を把握するための着目断面2は緑線で示し た溶接止端部とした.

図-16 に輪荷重を橋軸方向に移動させた場合の着目 点1(●)における実験値とFEM 解析値の比較を示すが, 実験値はFEM 結果とよく一致している.図より,輪荷 重が走行することで正負の交番応力が発生し,着目点直 近の横リブに輪荷重が載荷されたとき(床版中央から -600mm)が最も発生応力は高くなり,+200mmの位置で 最も発生応力が低くなっている.この影響線から得られ た実験値の応力範囲は載荷荷重98kN 換算で58N/mm²と なり,高い応力レベルであることが確認できた.



図-17に着目断面2の橋軸方向応力度の解析結果を示 すが,発生応力の最大点はバルブプレート先端溶接部で, 輪荷重走行試験で初期き裂が発生した箇所とほぼ同じ位 置であり,疲労試験結果を裏付ける結果となった.これ は下面の片側だけに突起があるバルブプレートの偏心影 響であると考えられる.



図-17 バルブ先端部の橋軸方向応力度分布

このため、着目点1の偏心影響を確認するため、忠実 にバルブプレートの形状を再現したソリッド要素を用い たモデルとバルブプレート下面の突起の偏心影響を考慮 せず断面積だけ厚みを大きくしたシェル要素モデルそれ ぞれのデッキプレート上面への鉛直荷重の影響面を参考 値として簡易法¹⁰により作成した.図-18にそれぞれの 橋軸方向応力の影響面を示すが、ソリッド要素を用いた 図-18(a)の影響面は着目点上の縦リブを挟んで符号が 逆転しており、荷重の偏心影響が表れているのに対し、 シェル要素を用いた図-18(b)では縦リブを挟んでほぼ 対称であり、偏心影響は見られない.バルブプレートの ように左右対称でない部材には、ソリッド要素を用いて、 形状の特性を考慮することが重要である.



3.2 縦リブ間載荷 (Type 0-B) の場合の耐久性評価 a) 初期き裂発生箇所とその後の進展 (Type 0-B))

図-3 (b) に示す縦リブ間載荷の載荷プログラムと損 傷発生時期を図-19 に示すが, 36 万往復時に横リブ間の 縦リブ R2 とデッキプレート交点すみ肉溶接デッキプレ ート側止端 (R1 側) のき裂を FSM が検知(目視では41 万回でき裂を確認)し,き裂の進展を確認するために60 万往復まで載荷を続けた.

初期き裂は36万往復時に図-20,図-21に示す縦リ ブR2とデッキプレート交線すみ肉溶接デッキプレート 側止端(R1側)から発生し,60万往復まで試験を続け る中で,R1側の溶接止端部だけでなく,縦リブの反対側 (R3側)溶接止端部にも疲労き裂が発生した(点線部).



図-19 載荷プログラムと損傷発生時期(O-B)

その後,溶接ビートに沿って,橋軸方向(C2,C3方向) にも進展し,最終的には横リブ(C2,またはC3)より 50mm 程度離れた位置で停止した.また,き裂はビード 方向(橋軸方向)だけでなく板厚方向へも進展し,デッ キプレート上面へ貫通し,デッキプレート上のオイルが き裂より浸出していた.初期き裂発生位置近傍の状況を 図-21に示す.この箇所にはクレーターがあり,き裂は この溶接欠陥部から発生していた.

図-22 にき裂の詳細状況を示すが、デッキプレート側 のすみ肉溶接止端部からき裂が発生し、デッキプレート 上端に至っており、図-23 の破断面で疲労破面と脆性破 面が確認できる.



図-20 き裂の進展状況(O-B)



図-21 き裂発生位置の詳細状況(O-B)



図-22 切断面(縦リブ・デッキプレート交点)



図-23 デッキプレート貫通部の破断面

b) FEM 解析による照査(Type 0-B)

縦リブ間載荷では、縦リブとデッキプレート交点のす み肉溶接デッキプレート側止端から発生し、橋軸方向に 進展したことがわかったため、リブ上縁でのすみ肉溶接 近傍に着目し、輪荷重を橋軸方向に移動させた場合の3 次元 FEM 解析と実測値の発生応力度を比較することと した.輪荷重を橋軸方向に移動させた場合の橋軸直角方 向の発生応力度を把握するための図-24の着目点3(●) は溶接止端から10mmの箇所と、応力集中を把握するた めに、貼付した応力集中ゲージとの比較を行うために溶



図-24 縦リブ・デッキプレート交点近傍の着目点

接止端近傍から橋軸直角方向に青線で示した着目断面 4 を選んだ.

図-25 に輪荷重を橋軸方向に移動させた場合の着目 点3(●)における実験値とFEM解析値の比較を示すが, 実験値と解析値は良く一致している.縦リブを挟んで載 荷した場合には、応力範囲は121N/mm²と非常に高い応 カレベルであることが確認できた.この結果はダブルタ イヤが縦リブを挟んで走行することによって発生するも のである.なお、参考値として縦リブ直上に載荷した場 合の実験値を示しているが、応力範囲は15 N/mm²と非 常に小さくなり、この載荷による評価は危険側になるこ とがわかる.



図-25 Type O-B の発生応力度の比較(98KN 換算)

また,着目断面4における実験結果の応力分布と解析 結果を図-26に示す.応力集中ゲージによる発生応力度 と FEM 解析値の差異は10%と両者の値は良く一致して いるといえる.この結果と前述の橋軸方向に移動させた 場合の応力範囲を併せ,縦リブ間載荷時の輪荷重走行試 験によって,縦リブ・デッキプレートの連続すみ肉溶接 のデッキプレート側止端から疲労き裂が発生したことが 理解できる.



3.3 載荷位置による既設鋼床版の疲労耐久性評価

載荷位置を変化させた場合の輪荷重走行試験結果と FEM 解析による疲労耐久性評価のまとめを以下に示す. 1) 輪荷重走行試験結果では,輪荷重が2つの縦リブ直 上に載荷する場合(Type O-A)は縦リブ・横リブ交 点のバルブ先端溶接部から疲労き裂が発生した.し かし,輪荷重で1つの縦リブを挟み込む縦リブ間載 荷の場合(Type O-B)は縦リブとデッキプレート交 点のすみ肉溶接デッキプレート側止端からき裂が発 生し,初期疲労き裂の発生位置とその進展状況には 明らかな差異が確認できた.

- 2) 試験終了後の内部観察結果でも、Type O-A の場合は き裂発生位置を含め溶接部が半分程度残っており、 ルート破壊であったと推測できたが、Type O-B の場 合は止端破壊であり、き裂はデッキプレート上面に も貫通した.
- 3) 両タイプ (Type O-A, Type O-B) とも, 実験値と FEM 解析値は良く一致していた.また,それぞれの初期 き裂発生位置近傍で解析上も大きな応力を捉えてお り,破壊メカニズムを裏付ける結果となった.この 結果より,車両の走行位置により,バルブプレート を有する鋼床版の損傷メカニズムは異なることが確 認できた.

4. 合成鋼床版への改良による鋼床版の延命化検討

4.1 合成鋼床版 (Type G-B, Type G-B) の損傷状況

図-3 に示す合成鋼床版 2 体の載荷プログラムを図-27 に示すが、Type G-A、Type G-B ともに、既設鋼床版の 載荷プログラムよりも大きな荷重としたが、鋼床版部の き裂は全く発生しなかった.また、60 万往復載荷の終了 後に上面の SFRC を観察したが、軌道直下において SFRC の圧壊もみられず、その他の表面全域においてひび割れ も発生していなかった.また、SFRC を除去し、スタッ ドジベルの損傷の有無をハンマーで検査したが、疲労損 傷は生じていなかった.



図-27 合成鋼床版の載荷プログラム(G-A, G-B)

4.2 合成鋼床版の疲労耐久性評価

合成鋼床版においては、縦リブ直上載荷 (Type G-A), 縦リブ間載荷 (Type G-B) とも、純鋼床版と仮定した見 掛けの累積疲労損傷度は 10 倍近くの載荷プログラムと したが、鋼床版部からき裂は全く発生しなかった. この ため、SFRC の合成化の効果を FEM 解析で確認すること とした. なお、SFRC すべてソリッド要素とし、既設鋼 床版と SFRC が完全に一体化しているものとした.

縦リブ直上載荷時(Type O-A, Type G-A)の輪荷重を 橋軸方向に移動させたときの図-15に示した着目点1に おける既設鋼床版と合成鋼床版の実験値と解析値の比較 を図-28に示す.合成化前の応力範囲は58 N/mm²であ ったが,合成鋼床版での応力範囲は26 N/mm²と合成前 の45%程度まで大幅に低減した.



図-28 合成化前後の発生応力度(98KN 換算)

また,合成前後の図-15に示した着目断面2のバルブ 先端部の橋軸方向応力度(輪荷重98KN換算)の値を図 -29に示す.最大応力の発生位置には変化は無いが,既 設鋼床版では最大発生応力度が59.9 N/mm²であったの に対し,合成化後の合成鋼床版の発生応力度41.2 N/mm² と合成前の70%程度まで低減しており,他の着目点の応 力度も同程度低減している.この応力の低減により,既 設鋼床版(Type O-A)ではき裂が発生したが,合成鋼床 版(Type G-A)ではき裂が発生しなかったと思われる.

合成鋼床版化により,バルブプレートの面外方向への 変形が抑制され,その結果,バルブプレート先端部の応 力集中も低減されたものといえる.



同様に,縦リブ間載荷時(Type O-B, G-B)の図-24 に示した着目点3の合成前後の実験値と解析値の橋軸直 角方向の発生応力度の比較を図-30に示す.既設鋼床版 の応力範囲は121 N/mm²であったが,合成鋼床版での応 力範囲は10 N/mm²と合成前の10%以下となった.

また,図-24に示した着目断面4における合成化前後の変化を図-31に示すが,縦リブとデッキプレートのデ

ッキプレート側におけるすみ肉溶接止端部の応力が合成 効果により激減したことが明らかになった.





図-31 合成前後の溶接止端部の応力集中

4.3 合成鋼床版への改良による鋼床版の延命化検討

既設鋼床版と合成鋼床版の輪荷重走行試験結果と FEM 解析による疲労耐久性評価のまとめを以下に示す.

- 合成鋼床版(Type G-A, Type G-B)は既設鋼床版の 載荷プログラムよりも大きな荷重としたが,鋼床版 部材, SFRC, スタッドジベルのいずれも損傷は確認 できなかった.
- 2) 合成鋼床版化により、縦リブ直上載荷の応力範囲は 合成前に比べ45%程度に低減し、縦リブ間載荷の応 力範囲は10%以下まで低減した.この結果から、合 成鋼床版化の実施により、疲労耐久性は大幅に向上 すると言える.

5. 結論

本論文は輪荷重走行試験機を用いて,鋼床版と合成鋼 床版の疲労耐久性,ならびに疲労き裂発生箇所とその進 展経緯を調べたものである.また,3次元 FEM 解析を用 いて各部の発生応力について検討した.

本研究で得られたおもな知見をまとめると以下のよ

うになる.

- (1) バルブプレート型鋼床版のき裂発生位置,およびその進展経緯を明らかとした.また,走行位置によって初期疲労き裂発生位置とその進展状況が異なるとも明らかとした.
- (2) 合成鋼床版化することで、剛性の向上と荷重分配が 良くなり、各部に発生する応力範囲が低減した.特 に縦リブとデッキプレート交線においてはその効 果は非常に高く.合成鋼床版化は鋼床版の予防保全 対策に有効な手法であると考えられる.
- (3) FEM 解析結果と実験値は良く整合したが、バルブプ レートにソリッド要素を用いた場合には捉えた偏 心影響がシェル要素では表現できないことがある ため、解析モデル作成時に十分配慮する必要がある. また、実験時に輪荷重の工夫など、実際に供用され ている条件、構造物の形状をできるだけ再現する必 要がある.

6. あとがき

本研究の今後の展望と課題を以下に示す.

- (1) 本事例のように、鋼床版のバルブプレートと横リブ が直接溶接されている事例は、横リブにスカーラッ プが設けられている事例に比べると少ないが、今回 と同様の手法を用いれば、他の接合方法を用いた鋼 床版の疲労耐久性照査は可能である.
- (2) 今回は鋼床版部分に着目したが、主桁の垂直補剛材 上端部でも、輪荷重がその近傍を走行する場合には デッキプレートの局所曲げによる応力集中が発生 し、多くの疲労損傷事例が報告されている.この箇 所も合成鋼床版化により、デッキプレートの剛性が 大きくなり、疲労問題の改善ができる可能性がある.
- (3) 今回実施した合成鋼床版化の構造はプロトタイプ であり、汎用性を持たせるためには、スタッドジベ ル間隔・寸法、SFRC 厚・仕様、アスファルト厚と の整合などの検討を行う必要がある.

参考文献

- 南荘淳,吉原聡,時譲太,石井博典,坂野昌弘:鋼床 版箱桁橋全体を対象とした応力性状の把握と疲労耐 久性評価,構造工学論文集 Vol.49A, pp.773~780,2003.
- 2) 三木千壽, 菅沼久忠, 冨澤雅幸, 町田文孝: 鋼床版箱 桁橋のデッキプレート近傍に発生した疲労損傷の原 因, 土木学会論文集 No780/1-70, pp.57-69, 2005.
- 3)小野秀一,下里哲弘,増井隆,町田文孝,三木千壽:既 存鋼床版の疲労性能向上を目的とした補強検討,土木 学会論文集 No801/I73, pp.213-226,2005.
- 4) 土木学会:鋼床版の疲労,鋼構造シリーズ4,1990.
- 5)日本道路協会:鋼橋の疲労, 1997.
- 6) 三木千尋,鈴木啓悟,加納隆史,佐々木栄一,石田稔, 高森博之:鋼床版の疲労へのSFRC舗装による予防補 強とその健全性モニタリング,土木学会論文集 A,Vol.62, No.4, pp.950-963, 2006.12.
- 7) Terada, H., Maeno, H., Nakamura, M., Koyama, S. : An experimental study on SFRC composite steel deck, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.3, No.2, pp.469-476 1986.10.
- 8)金裕哲,麻泰宏,奥健太郎:FSM による鋼床版の疲労き裂発生と進展の監視,溶接学会論文集 第 25 巻第4号, pp. 542-547, 2007.
- 9)前田幸雄,松井繁之:輪荷重移動装置による道路橋 RC 床版の疲労に関する研究,第6回コンクリート工学年 次講演会論文集, pp.221-224, 1984.
- 10)小寺徹,古市亨,佐光浩継:ミューラーブレスロウの原理を応用した FEM 解析による影響面の作成,土 木学会第58回年次学術講演会,I-214, pp.427-428, 2003.

(2009年9月24日受付)