

鋼床版の構造設計と研究動向

Overview of Structural Design and Recent Studies in Orthotropic Steel Deck

川畑篤敬*¹, 井口進*², 内田大介*³, 石川敏之*⁴, 甲斐雅和*⁵, 貝沼重信*⁶

A.KAWABATA, S.INOKUCHI, D.UCHIDA, T.ISHIKAWA, M.KAI, S.KAINUMA

齊藤史朗*⁷, 佐々木靖彦*⁸, 高田佳彦*⁹, 高仲勝*¹⁰, 田谷光*¹¹, 中村進*¹², 村山隆之*¹³

S.SAITO, Y.SASAKI, Y.TAKADA, M.TAKANAKA, A.TAYA, S.NAKAMURA, T.MURAYAMA

*¹工修 JFE エンジニアリング (株) 鋼構造事業部 橋梁技術部 (〒230-8611 神奈川県横浜市鶴見区末広町 2-1)

*²工修 (株) 横河ブリッジ 技術本部 技術研究所 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27)

*³博 (工) 三井造船 (株) 技術本部 CAEセンター (〒104-8439 東京都中央区築地 5-6-4)

*⁴博 (工) 大阪大学大学院 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)

*⁵ 広島県 土木部総務管理局 技術指導室 (前 広島高速道路公社 企画調査部 技術管理課) (〒730-8511 広島県広島市中区基町 10-52)

*⁶工博 九州大学大学院 工学研究院 建設デザイン部門 (〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1)

*⁷工修 石川島播磨重工業 (株) 技術開発本部 生産技術センター (〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町 1)

*⁸住友重機械工業 (株) 鉄構機器事業部 技術部 (〒141-8686 東京都品川区北品川 5-9-11)

*⁹阪神高速道路 (株) 技術管理室 技術開発グループ (〒541-0056 大阪府中央区久太郎町 4-1-3)

*¹⁰東鋼橋梁 (株) 技術部 設計課 (〒323-0028 栃木県小山市若木町 1-23-15)

*¹¹ (株) 栗本鐵工所 鉄構事業部 橋梁エンジニアリング部 (〒105-0004 東京都港区新橋 4-1-9)

*¹²広島高速道路公社 建設部 建設第一課 (〒730-0037 広島県広島市中区中町 8-18)

*¹³博 (工) (株) 長大 理事 (〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通 1-1-1)

The orthotropic steel deck has been used as strong and lightweight deck in steel bridges for many years, and it is especially suitable for the long span bridges. In these days, the wheel loads on bridges have increased, resulting in some defects of orthotropic steel deck under heavy traffic have been observed.

To understand the failure mechanism and the strengthen methods for orthotropic steel decks, some of recent studies and design specifications were summarized in this paper.

Key words: highway bridge, orthotropic steel deck, fatigue crack, steel bridge, design specification

キーワード: 道路橋, 鋼床版, 疲労き裂, 鋼橋, 示方書

1. はじめに

鋼床版は軽量かつ剛性の高い特徴を有するため、長支間橋梁や地盤の良くない地域で使用されている。また、コンクリート床版に比較して版厚が薄くなるため桁高さに制限がある場合など、構造上の制約が厳しい条件下でも適用され、非常に適用範囲が広い橋梁構造である。しかしながら、近年、都市部の重交通路線橋梁の一部において、いくつかの損傷事例が報告されている¹⁾。

鋼床版は輪荷重を直接受けるため、構造によっては局部的に大きな繰返し応力が発生する場合があります。損傷の要因となると考えられる。特に、縦リブにトラフリブを使用した場合のデッキプレートの溶接部付近の損傷、垂直補剛材上端部とデッキプレートの溶接部付近の損傷、縦リブと横リブ交差部付近の損傷などの事例が確認されている。これらの損傷のうち、トラフリブとデッキプレートの溶接部の損傷、および垂直補剛材上端部とデッキプレート溶接部の損傷は、デッキプレート板厚を貫通する比較的長いき裂となる場合があり、舗装の早期劣化や橋面の陥没など、安全性に影響

を与える場合がある。

道路橋示方書²⁾に規定されるコンクリート床版の設計では、床版支間により最小版厚や、設計曲げモーメントが与えられる。これらの規定は、過去に多く発生したRC床版の損傷を回避するため、道路橋示方書の改訂毎に見直しが行われてきている³⁾。したがって、現行の規定を満足するRC床版は、疲労耐久性が比較的高いものと考えられる。鋼床版については、車道部の最小デッキプレート厚を12mmとしているが、これは舗装の耐久性確保という面から規定されたものであり、鋼床版の疲労損傷の防止という観点からは十分とは言えない可能性がある。

そこで、道路橋床版の調査研究小委員会鋼床版分科会では、①鋼床版の損傷発生メカニズムの調査、②鋼床版の舗装に関する調査、③鋼床版の検査および補修・補強に関する調査、④海外の鋼床版の調査、⑤新しい鋼床版構造に関する調査の5項目に絞って調査を行い、鋼床版の耐久性向上策を提案する活動を行うことを目的として活動を行っている。ここでは、調査研究の中間報告という位置づけで、米国のサクラメントで行われた2004 Orthotropic Bridge Conference(OBC)や

第6回日独橋梁シンポジウム 2005 等で報告された内容をもちに、鋼床版の現状について報告する。

2. 鋼床版の構造事例

2.1 欧州の鋼床版構造⁴⁾

ユーロコードによる鋼床版の疲労設計は、数値的な疲労評価に替えて、各部位の構造詳細を規定する方法が採用⁵⁾されている。すなわち、①舗装の厚さによるデッキプレート厚の規定、②縦リブ最小剛性の規定、③デッキプレートとトラフリブの溶接詳細やトラフリブの突き合わせ溶接部詳細の規定、④トラフリブと横リブが交差する箇所の横リブウェブ貫通孔形状および最小横リブウェブ高さの規定などが記されている。

具体的な各項目の規定内容の例を以下に示す。

- ① 車道部のデッキプレート厚 t は舗装厚さにより最小値を規定している。舗装厚が 70mm 以上の場合 t は 14mm 以上、舗装厚が 40mm 以上の場合 t は 16mm としている。また、デッキプレートの支持間隔 e は 300mm 以下が推奨され、かつ e/t を 25 以下とすることが規定されている。
- ② 縦リブ間の相対変形を小さくすることで舗装やデッキプレートの疲労損傷を防止することを目的として図-1 に示すような縦リブの最小剛性が規定されている。重交通車線部で主桁や縦桁からの距離が 1.2m 以内にある縦リブを対象に、横リブ間隔に対して、デッキプレートを含めた縦リブの最小剛性 B (横リブ間隔 3.5m で約 6000 m^4 、横リブ間隔 4m で約 11000 m^4) を規定している。その他部分の縦リブに対しても、上記から 25%程度小さい最小剛性 A が規定されている。
- ③ デッキプレートとトラフリブの溶接部は、溶け込み残しを 2mm 以下とし、デッキプレートとトラフリブ板角とのギャップを 2mm 以下に管理する。また、トラフリブ相互の突き合わせ溶接に裏当て材を使用する場合には、図-2 に示すように、裏当て材の組み立て溶接を開先内で行うとともに、溶着断面が十分確保されるように、開先の幅を 6mm 以上確保するものとしている。
- ④ トラフリブと交差する横リブは、高さを 700mm 以上確保することとし、トラフリブ貫通部の横リブ切り欠き形状について、製作誤差、切り欠かれた残りのウェブの強度、塗り替え時の塗装作業性、局部応力の低減などを考慮した図-3 に示す形状とすることが規定されている。

2.2 米国の鋼床版構造

AASHTO⁶⁾では、①デッキプレートの変形をデッキプレート支間の 1/300 以下とすること、②縦リブの変形を縦リブ支間の 1/1000 以下とすること、③リブ間の相対変位が 2.5mm 以下となることなどが規定されて

いる。また、疲労設計として、④トラフリブとデッキプレートの局部変形により発生するき裂に関して、舗装剛性を考慮したデッキプレートの剛性に対するリブウェブの剛性をフレキシブルにすることで、き裂の発生を回避する以下の経験式が規定されている (図-4 参照)。

$$t_r \cdot a^3 / (t_{d,eff}^3 \cdot h') \leq 400 \quad \dots (1)$$

$$t_d \geq 0.04 a \ \& \ 14mm \quad \dots (2)$$

構造詳細については、幾度かの改良が加えられてきており、その構造事例を表-1 に示す。米国では、従来より横リブ交差部のトラフリブ内にバルクヘッドが設けられていたが、近年疲労強度の大きい構造詳細として表-1 に示す Bronx Whitestone 橋の取替え床版などで、バルクヘッドを設けない構造が提案されている。

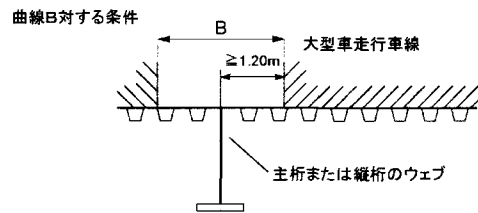
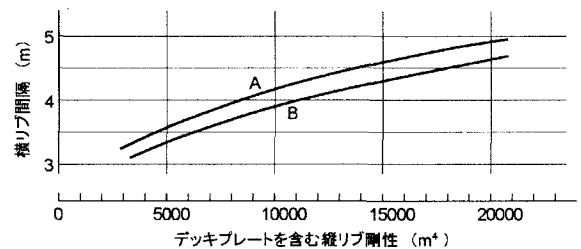


図-1 縦リブの最小剛性

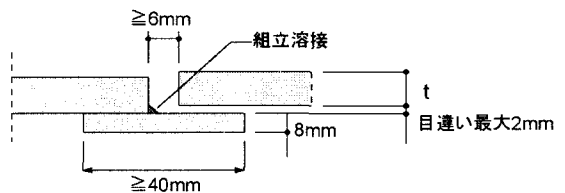


図-2 トラフリブ突き合わせ溶接部

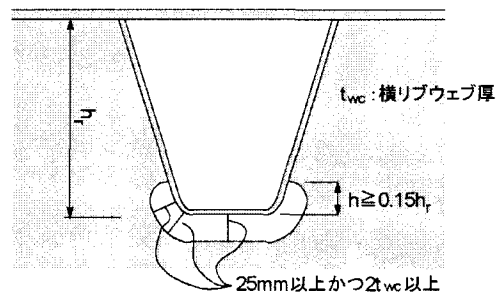
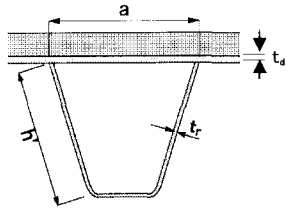


図-3 横リブ切り欠き形状



$t_{d,eff}$: 舗装の剛性を考慮したデッキプレートの有効板厚

図-4 式(1),(2)中のパラメータ

表-1 米国の鋼床版構造例

橋名	Williamsburg橋 ^{7),10)}	
年代	1998~2002年 (床版取り替え)	
デッキプレート厚(mm)	16	
トラフリブの溶接	80%の溶込み確保	
橋名	New Alfred Zampa (Carqinez) ⁹⁾	New Tacoma ⁸⁾
年代	2003年	2008年 (予定)
デッキプレート厚(mm)	16	
トラフリブの溶接	80%の溶込み確保	
橋名	Bronx whitestone ¹⁰⁾	
年代	~2006年 (床版取り替え)	
デッキプレート厚(mm)	16	
トラフリブの溶接	80%の溶込み確保	
橋名	New Sanfrancisco Orkland Bay Bridge ¹¹⁾	
年代	~2012年 (予定)	
デッキプレート厚(mm)	14	
トラフリブの溶接	80%の溶込み確保	

単位(mm)

3. 鋼床版の損傷事例

3.1 オランダの事例

海外の鋼床版損傷事例は、ヨーロッパを中心に報告されている。特にオランダでは、損傷について以下のような報告がなされている¹²⁾。

①デッキプレートを貫通するき裂

デッキプレートを貫通するき裂には、図-5に示すように、横リブとトラフリブが交差する部分に発生するものと横リブ間のトラフリブ支間部に発生するものがある。横リブとトラフリブ交差部に発生するき裂は、ルート部から発生したき裂が、半だ円形状となって鉛直方向に進展し、デッキプレートを貫通した後に、橋軸方向に進展する。橋軸方向に進展したき裂のデッキプレート下面側のき裂長はデッキプレート上面側のき裂長にデッキプレート板厚の4倍程度を加えた長さとなる。一般部に発生するき裂も、ほぼ同様に進展するが、鉛直方向と水平方向の進展が同時に生じるため、デッキプレートを貫通して発見されたときには、非常に長いき裂に伸展している場合がある。

このタイプの損傷はき裂がデッキプレートを貫通するまで、非破壊検査でしか確認することができない。デッキプレートを貫通した後は、活荷重によりデッキプレート面が変形することによって、舗装に蜘蛛の巣状の損傷が生じる。ただし、舗装の劣化は他の要因でも発生する場合があり、舗装全体が劣化している場合には、目視観察だけで損傷の有無を判断することは困難である。

②トラフリブとデッキプレート溶接部のき裂

トラフリブ支間部の溶接ルート部から発生したき裂が、溶接のど厚方向に伸展を始め、溶接部を破断させた後に、橋軸方向に伸展する(図-6)。このき裂の発生要因は、トラフリブで支持されたデッキプレートが輪荷重により面外に変形し、トラフリブがその変形を拘束することにより溶接部に作用する曲げモーメントである。疲労強度を支配する要因としては、トラフリブのコバ面とデッキプレート下面とのギャップ量、および溶接サイズが影響する。このき裂は、以前よりよく知られており、また数多くの橋梁で確認されている。

③トラフリブの突き合わせ溶接部の損傷

トラフリブの現場溶接継ぎ手では、短いトラフリブを嵌めこむ構造が採用されている。損傷は、トラフリブ下面の溶接ルート側から発生する場合、および裏あて材の組立溶接部から発生する場合がある(図-7)。この損傷も、以前より多くの橋で確認されている。損傷の発生が一樣ではないことから、損傷要因の一つとして劣悪な溶接品質が指摘されている。

④トラフリブと横リブ交差部のき裂

オランダにおけるトラフリブと横リブ交差部の構造はトラフリブが横リブを貫通している場合や、両者が

溶接されている場合など様々である。トラフリブと横リブとの施工性から、図-8に示すようにトラフリブの下側にスリットが設けられる場合が多いが、この部分の疲労強度を改善した形状として、Haibach と Plasil¹³⁾は、トラフリブ下側では大きな半径で、溶接部に近い部分で小さい径をした改良型のスリット形状(図-9)を提案している。改良型のスリットにしても、まわし溶接部近傍の応力状態はそれほど改善効果がないとの指摘もあるが、今のところ疲労損傷は発生していない。

トラフリブと横リブ交差部の損傷については、鋼床版のトラフリブを横リブに弾性支持された梁と見なした鋼床版パネル剛度と損傷の関係の検討が行われている¹⁴⁾。この検討によると、横リブの桁高さが増加すると、横リブの剛性が増加し、横リブ面内力が大きくなる。横リブの桁高が小さく横リブ剛性が小さいと、横リブの面外変形が大きくなるのが指摘されている。すなわち、横リブ高さが高い場合や、主桁によって変形が拘束される主桁に隣接するトラフリブと横リブの交差部では、横リブ面内力による損傷が発生しやすく、横リブ高さが低い場合や、主桁から離れたトラフリブと横リブの交差部には、横リブの面外変形による損傷が発生しやすくなるとしている。

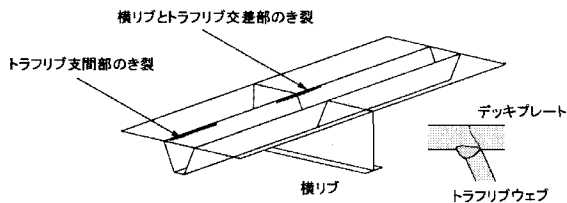


図-5 デッキプレート貫通き裂

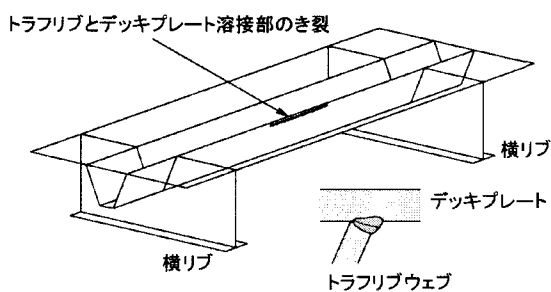


図-6 トラフリブ溶接部貫通き裂

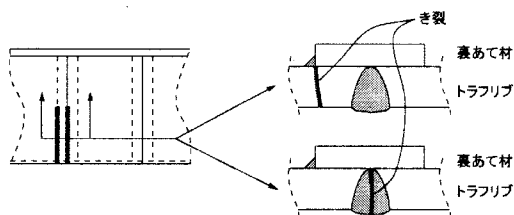


図-7 トラフリブ突き合わせ溶接部

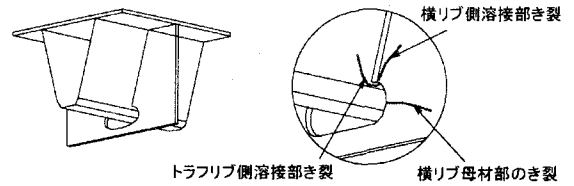


図-8 トラフリブと横リブ交差部形状とき裂

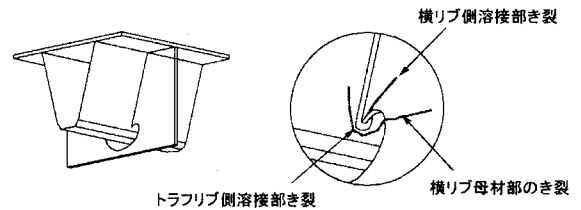


図-9 改良型スリット形状とき裂

3.2 日本国内の事例¹⁵⁾

都市高速で実施された点検調査結果から、交通量と損傷の発生状況が整理されている。報告されている損傷の部位は、図-10に示す①垂直補剛材上端部とデッキプレートの溶接、②横リブとデッキプレートの溶接部、③縦リブとデッキプレートの溶接部、④縦リブと横リブの交差部である。縦リブにトラフリブを用いた橋梁では、損傷箇所数の多い順に、①、④、③が確認され、板リブを用いた橋梁では、④、②、①の順に損傷が多く報告されている。これらの損傷のうち、①と④については、12tf以上の軸重の累積数が増加するに従って増加する傾向にあること、③の損傷については、トラフリブ板厚が8mmの場合に発生率が高くなることが報告されている。

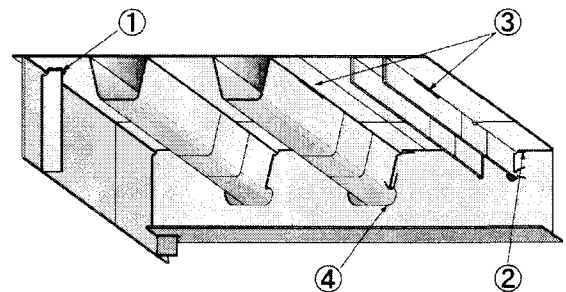


図-10 国内鋼床版の損傷部位

4. 鋼床版の応力計測事例

鋼床版の疲労損傷の状況を把握するために、現地で損傷部付近の応力計測が行われている。

4. 1 オランダでの計測¹⁶⁾

供用後7年（大型車累積台数約1,800万台）にして800mmのデッキプレート貫通き裂が確認されたオランダのVan Brienoord橋（エポキシ舗装8mm、デッキプレート厚12mm、トラフリブ板厚6mm）において、き裂に近接したデッキプレート表面の応力計測が行われた。その結果、試験車の前輪荷重22kN（幅200mm長さ210mm）により、トラフリブ溶接のルート部から、トラフリブ内方向に25mmの位置（図-11(a)）で、37.7MPaの応力が計測された。また、1週間の応力頻度計測の結果、最大応力90MPa、5MPa以上の繰返し数は 2.4×10^5 回であった。

また、Calandbrug橋では、デッキプレート厚が12mmで舗装厚が8mmの可動橋部と、デッキプレート厚が10mmで舗装厚が50mmの一般橋部で発生応力の比較が行われた。デッキプレートとの溶接の止端から15mm位置（図-11(b)）のトラフリブウェブの応力が計測された。その結果、発生応力の温度依存性は舗装厚の厚い一般橋部で顕著に現れ、夏場(20-33度)には、冬場(2-7度)の約2倍強の応力度の発生が見られた。

4. 2 日本国内での計測¹⁷⁾

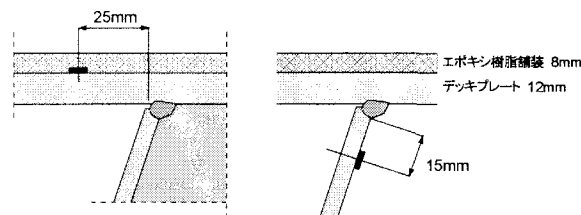
3径間連続鋼床版箱桁において、夏場（デッキプレート温度21度）と冬場（デッキプレート温度7度）に発生する応力度の比較が行われている。計測に使用された荷重車は、総重量が245kN（前輪軸重57.3kN、後輪前軸重94.6kN、後輪後軸重93.1kN）である。

①垂直補剛材とデッキプレートの溶接部の応力

垂直補剛材とデッキプレートの溶接部止端からデッキプレート側に5mm位置、垂直補剛材側に5mm離れた位置の応力が比較されており、垂直補剛材直上に載荷したケースでは、デッキプレート側で、冬場11.3MPaに対して、夏場は30.1MPa（冬場の約2.7倍）であった。また、垂直補剛材側は、冬場40.0MPaに対して夏場は49.2MPa（冬場の約1.23倍）であった。この結果から、夏場と冬場の舗装剛性の差はデッキプレート側の応力低減には有効であるが、垂直補剛材側の応力低減への効果が小さいことが指摘されている。

②トラフリブとデッキプレートの溶接部の応力

トラフリブとデッキプレートの溶接止端部よりデッキプレート裏面側に5mm、縦リブウェブ側に5mm離れた位置の応力度を計測している。トラフリブと横リブの交差点近傍のデッキプレート裏面では、冬場6.2MPaに対して、夏場は15.7MPa（冬場の約2.5倍）であった。トラフリブウェブ側では、冬場18.6MPaに



(a)Van Brienoord 橋 (b) Calandbrug 橋

図-11 現地応力計測位置

対して、夏場21.0MPa（冬場の約1.1倍）であった。また、縦リブ支間部のトラフリブウェブでは、冬場15.7MPaに対して、夏場では27.8MPa（冬場の約1.8倍）であった。すなわち、夏場と冬場の舗装剛性の差が、縦リブと横リブ交差点のデッキプレート裏面の応力と縦リブ支間部トラフリブウェブの応力に大きく影響することが指摘されている。

③トラフリブと横リブ交差点の応力

トラフリブと横リブ交差点のトラフリブ下面のスリットのまわし溶接部から5mm離れた横リブウェブ表面の応力度は、冬場36.2MPaに対して、夏場51.3MPa（冬場の約1.5倍）であることが報告されている。

5. ウェアリング（鋼床版路面の被覆）

舗装など鋼床版路面の被覆については、耐久性の面から多くの検討がなされている。

5. 1 RHPC (Reinforced High Performance Concrete)

オランダでは、一般に50mmのマスチックアスファルト舗装が用いられているが、デッキプレート貫通き裂に対する鋼床版の補強方法として、舗装を高い剛性を有する高性能鉄筋コンクリート（RHPC）に置き換える方法が提案されている¹⁸⁾。鋼繊維で補強された角柱(100×100×400)圧縮強度84MPaのコンクリートと、8mm径の鉄筋を50~100mmピッチで格子状に3段重ねた補強鉄筋で構成された厚さ60mmのコンクリート舗装である（図-12）。RHPCは、3~6mmのポーキサイト骨材を含むエポキシ接着剤により鋼床版表面に接着される。パイロットプロジェクトとしてCalandbrug橋において、RHPC被覆が行われ、幅7.6m×長さ86mの面積が120時間で施工された。このRHPCの採用により、デッキプレートとトラフリブの溶接部のデッキプレート下面側で約80%、トラフリブウェブ側で約60%の応力低減効果が得られた。

5. 2 英国における鋼床版の高性能舗装

セバーン橋では、供用後約20年で再舗装が必要となり、またトラフリブとデッキプレートの再溶接や、横

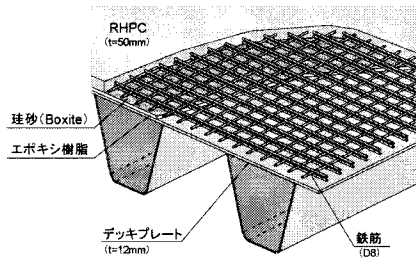


図-12 RHPC 舗装

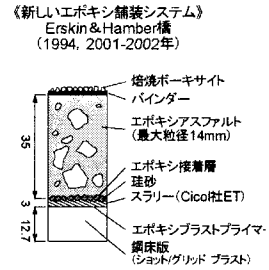
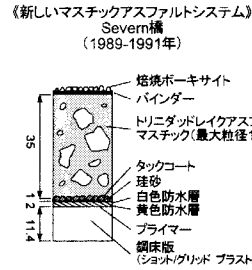


図-13 高性能舗装

リップの再溶接が必要となった。このため、溶接部の寿命を最大化するために新たな2種類の高性能舗装、マスチックアスファルト舗装とエポキシ舗装が検討された。それぞれの構造を図-13に示す。2種類の舗装は同程度の応力低減効果を有し、2年、10年、13年後の状況は非常に良好である。エポキシ舗装については、防水層としての界面のせん断剛性にも優れているが、施工温度や舗装との練り混ぜの影響を大きく受けやすい特徴がある。

6. まとめ

鋼床版の疲労耐久性を向上させる検討が国内外で行われており、その一例を紹介した。近年の鋼床版は、デッキプレート厚を増加させる傾向にあり、14mm～16mm厚のデッキプレートが使用されていることや、主に米国で用いられた横リップ交差部のトラフリップ内部にバルクヘッドを設ける構造が見直されていることなどがわかった。鋼床版の損傷要因を把握するために現地応力計測が重視されており、損傷の発生した橋梁では、荷重車試験により損傷部に比較的大きな応力度が計測されている。また、舗装厚が厚い場合には、鋼床版に発生する応力度が、気温の影響を受け、特に夏場は冬場に比較して発生応力度が大きくなることが指摘されている。鋼床版の舗装についても、コンクリート他の新しい舗装が検討され、実際に適用されつつある。

以上のように、鋼床版の耐久性を向上させるための検討が各方面で実施されているが、(社)土木学会鋼構造委員会の道路橋床版調査研究小委員会鋼床版分科会では、近年の研究成果を調査研究し、鋼床版の耐久性向上に活用できる資料を提供することを目的として今後も活動を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 日月俊昭：首都高速道路の疲労損傷と対応状況，(財)首都高速道路技術センター技術講習会「鋼道路橋と疲労損傷」，pp.9-22,2004.2
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2002.3
- 3) 玉越隆史，川畑篤敬：鋼道路橋床版の設計と留意点—道路橋示方書改訂について—，第三回道路橋シンポジウム講演論文集，pp.1-8，

2003.6

- 4) Gerhard Sedlacek, Christian Muller : Unified European Rules for the Design of Bridges with Steel Orthotropic Decks, OBC, pp.1-33, 2004.8
- 5) Recommendations for the structural detailing of steel bridge decks : Eurocode 3 EN 1993-2:2003 Annex C, pp.70-90, 2003.2
- 6) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2 Ed. 2000
- 7) Dyab Khazem and Kenneth Serzan : Orthotropic Deck Design Innovation Veirfied by Laboratory and Field Testing for Williamsburg Bridge Deck Replacement, OBC, pp.647-660, 2004.8
- 8) Kenneth Serzan, John Clenace and Jeffrey Lu : The New Tacoma Narrows Suspension bridge —orthotropic superstructure—, OBC, pp.163-176
- 9) Kenneth Serzan and Dyab Khazem : Steel Orthotropic Box Girder on the New Alfred Zampa Suspension Bridge Across the Carquinez Straitm First in the US, OBC, pp.177-188, 2004.8
- 10) Sante Camo and Qi Ye : Design & Testing for the Orthotropic Deck of the Bronx Whitestone Bridge, OBC, pp.616-624, 2004.8
- 11) George Baker, Marwan Nader and Sanet Camo : New Sanfrancisco Okland Bay Bridge Self-Anchored Sususpension Bridge —Orthotropic Deck Design—, OBC, pp.762-772, 2004.8
- 12) F.B.P.de Jong : Overview Fatigue Phenomenon in Orthotropic Bridge Decks in the Netherlands, OBC, pp.489-512, 2004.8
- 13) Haibach E., Plasil I. : Untersuchungen zur Betriebsfestigkeit von Stahlleichtfahrbahnen mit Trapezhoohlsteifen in Eisenbruckenbau, Der Stahlbau, 1983
- 14) J.S.Leendertz : Continuous Trough to Crossbeam Connections in Orthotropic Steel Decks Influence of Crossbeam Stiffness on Fatigue inducing Load Effects, 6th Japanese German Bridge Symposium, 2005
- 15) T.Yuge, F. Machida, H.Morikawa, C. Miki, T. Kamiki and T. Masui : Analysis of Fatigue Damage Patterns in Orthotropic Steel Deck of Tokyo Metropolitan Expressways, OBC, pp.531-542, 2004.8
- 16) M.H.Kolstein : The Role of Site Measurements to Improve the Knowledge About the Fatigue Behavior of Steel Orthotropic Bridge Decks, OBC, pp.626-646, 2004.8
- 17) F. Machida, T. Yuge, C. Miki, E. Yamaguchi, T. Shimozato and T. Masui : Stress Measurements on Fatigue —Damaged Structures with Orthotropic Steel Decks in Summer and Winter, OBC, pp.569-584, 2004.8
- 18) P. Buitelaar, C.R.Braam and N.Kaptijn : Reinforced High Performance Concrete Overlay System for Rehabilitation and Strengthening of Orthotropic Steel Bridge Decks, OBC, pp.384-401, 2004.8