

Uリブ鋼床版における下面補強工法の構造性能評価

阪神高速道路(株)大阪管理局保全部保全設計課

八ツ元 仁

阪神高速道路(株)建設・更新事業本部大阪建設部設計課

田畑 晶子

阪神高速技術(株)技術部

小林 寛

要 旨

阪神高速における建設年度が古い鋼床版では、疲労き裂等の損傷が顕在化している。様々な対策を行いその効果も現れてきているが、デッキプレートとUリブの溶接部に生じるき裂（タイプ①き裂）については、今後新たに損傷が生じることが懸念されている。タイプ①き裂の予防保全対策として、SFRC舗装が効果的な対策であることから、阪神高速ではSFRC舗装を過年度より導入し始めている。しかし、一方で、SFRC舗装は交通規制が必要であること、天気や温度といった環境面の制約を受けるなどデメリットも有している。阪神高速では、過年度よりSFRC舗装のデメリットにあたる交通規制を必要としない下面から施工ができる新たな補強工法の開発を行ってきた。この開発技術については、様々な試験を行うなど性能評価のための検討を行ってきた。本稿では、これら性能評価の中から構造性能に関する評価結果とその結果に対する考察を述べる。

キーワード: Uリブ鋼床版, 疲労損傷, 下面補強, 構造性能評価

はじめに

建設年度が古い鋼床版については、長年に渡り繰り返し交通荷重を受けてきたこと、疲労損傷を考慮することを規定していなかった古い基準により決まった構造であること、疲労耐久性という面で現在の同構造が有する疲労耐久性に比べて性能が劣ること、などから疲労き裂等の損傷が顕在化してきている。鋼床版に生じるき裂損傷は様々なタイプのものが存在しており、それらのタイプ毎の損傷メカニズムを解明することで効果的な補修方法、または予防保全対策となる補強方法の開発を阪神高速では行ってきた。それらの成果として

既設鋼床版疲労対策マニュアル（阪神高速道路(株)¹⁾（以降、マニュアルと呼ぶ）が制定され、現在、このマニュアルに基づき応急処置、補修、補強または予防保全を実施している。ほとんどのタイプのき裂損傷の対策は大きく進んだが、このマニュアルでタイプ①として定義されているデッキプレートとUリブの溶接接合部に沿って生じるき裂損傷については、発生数そのものが多いだけでなく、半数近くの損傷が未補修の状態（ストップホール等の応急対策は実施済）にある。このため、阪神高速では、このタイプ①のき裂損傷を減らすべく、新たな予防保全対策としての補強技術を開発してきている。

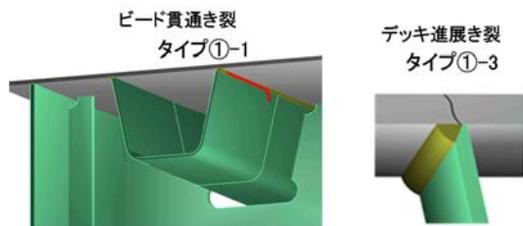
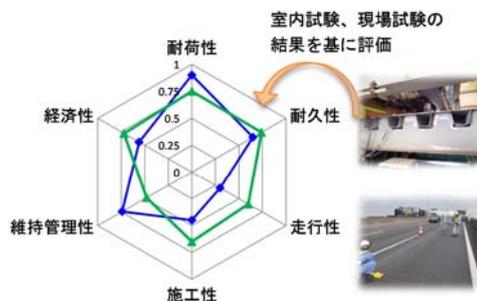


図-1 タイプ①のき裂形態

タイプ①き裂については、その損傷形態から図-1に示すように細かく分類することができる。これらタイプ①のき裂損傷をそもそも生じさせないようにする、いわゆる予防保全対策として有効な技術として鋼繊維補強コンクリート舗装（以降、SFRC 舗装と呼ぶ）が挙げられ、鋼床版の疲労対策として全国的に導入されてきている。阪神高速においても、SFRC 舗装をUリブ鋼床版のタイプ①き裂に対する予防保全対策として積極的に導入してきている。しかし、このSFRC 舗装はその名の通り舗装を打換える工法であるため、施工する際は交通規制を必要とする。また、舗装の打替工事となるため、天候による影響も受けやすく、工事が想定通り実施できず長期化するおそれもある工法となる。お客さまに対するサービス低下は最も避けるべきことであるため、補強対策は施工時に天候による影響を受けないことが望ましい。

このような背景から、阪神高速では過年度より、施工時における全ての作業が下面で完結する予防保全対策としての補強工法（以降、下面補強工法と呼ぶ）の開発を行ってきた。開発した工法は、①モルタル充填あて板工法、②Uリブ切断あて板工法、③弾性あて板工法、の3工法となる。鋼床版の下面補強工法そのものがほとんど存在せず、また、Uリブ切断あて板工法のような疲労損傷の発生源となる溶接部そのものを切断しあて板によるボルト接合に改造することで疲労リスクを無くしてしまうという画期的な補強工法は、国内、国外を問わず他には見あたらない。このことから、本稿で述べる下面補強工法の開発は、新規性、独創性の高い技術的取り組みだと言える。

これら下面補強の3工法については、室内試験及び実現場による施工試験を実施しており、補強



※ 構造性能：耐用性、耐久性、走行性

図-2 性能評価のイメージ

効果を検証するための様々な計測を実施してきた。本稿では、これら下面補強の3工法の耐久性等の構造性能について評価した結果とその考察について述べることとする。

1. 性能評価の基本方針

Uリブ鋼床版の下面補強工法については、前章で述べたように3工法の開発を行ってきた。各工法の詳細については後述するが、工法毎の特性もあることから各種性能も異なることになる。阪神高速では、これら下面補強工法を現現場に活用するにあたり、各工法の性能を正確に把握しておく必要がある。このため本検討では、図-2に示すような耐用性、耐荷性、走行性、施工性、維持管理性、経済性といった各種性能を評価することとした。これら性能を評価するにあたり、本検討では室内試験及び実現場での施工試験を実施し、評価に必要なデータを取得した。本稿では、室内試験により得た計測結果から構造性能にあたる耐久性（疲労）、走行性について評価した結果について述べる。

2. 下面補強工法の概要

鋼床版のデッキプレートとUリブの接合部にあたる溶接ビード部で発生するタイプ①き裂を生じさせないUリブ鋼床版の補強対策として、下面補

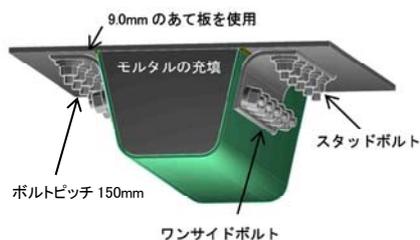


図-3 モルタル充填あて板工法

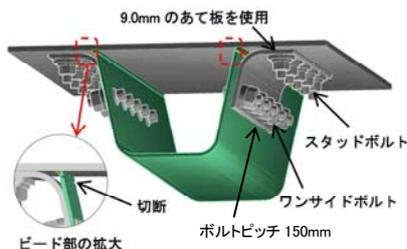


図-4 Uリブ切断あて板工法

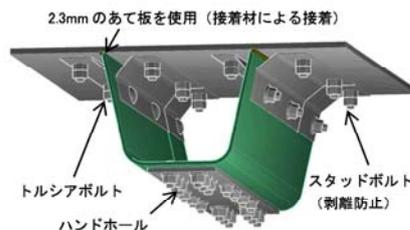


図-5 弾性あて板工法

強工法を3工法開発した。当該技術の開発においては、民間企業体らと共同研究体制を築き、協同して開発した技術となる。

2-1 モルタル充填あて板工法

モルタル充填あて板工法は、図-3に示すように、Uリブ外面にあて板を設置した後に、Uリブ内に軽量モルタルを充填することでUリブデッキプレート間の接合部の変形を抑制し、溶接部及びその周辺部の応力を低減させることで疲労損傷を抑制する工法である²⁾³⁾。Uリブ及びデッキプレートは厚さ9mmのあて板による補強も同時に行うため、モルタル充填に伴い剛性の急変部となり疲労発生源となる溶接部を補強することができる。デッキプレートとあて板の接合は、ねじ付きスタッド(M20)を上向き溶接し軸力を導入した摩擦接合機構とした。また、Uリブとあて板とは外面からワンサイドボルトにより結合する摩擦接合機構を取り入れて接合している。モルタル充填あて板工法はUリブ内面がモルタルで完全に充填されることが前提としており、施工後においてはその内面の状態を確認することは困難となる。そのため、施工時における充填性は非常に重要となることから、充填孔・空気孔・確認孔の最適位置や充填のための仕口改良、施工ステップ毎のモルタル排出量の管理方法などについて検討を重ねている。

2-2 Uリブ切断あて板工法

Uリブ切断あて板工法は、図-4に示すように、Uリブ鋼床版の疲労亀裂の発生源となっているビーダ部の近傍で切断を行い、新たに設置する厚さ9

mmのあて板を介してデッキプレートとUリブを接合する工法となる。デッキプレートとあて板の接合機構、あて板とUリブの接合機構は2-1に示すモルタル充填あて板工法と同じものとなる。ビーダ近傍で切断面を入れることで、輪荷重に起因する応力の伝達を遮断し、疲労耐久性という観点での弱点部にあたるビーダの応力集中を解消するものである⁴⁾⁵⁾。本工法で行うような切断では、通常、手動プラズマ機や動力工具を用いるが、交通振動下で切断面の品質を満足する効率的な施工を行うことは困難となる。本研究開発では、交通振動下でも品質面で満足できる切断及び仕上げが可能となるように、Uリブのウェブ面にガイドレールを設置し、そのレールに沿って切断機が自動走行する機構を開発している。また、スタッドボルト(M20)はデッキプレート下面に上向きで溶接し、100kN程度の軸力を入れて摩擦接合用ボルトとして使用するため、スタッド鉛直度や軸力を管理する必要がある。そのため、スタッドの半自動施工や、スタッドの軸力管理を容易とする高強度トルシアスタッドの開発を行い、施工の効率化を図ってきている。

2-3 弾性あて板工法

弾性あて板工法は、図-5に示すようなUリブ溶接部近傍の内外面あるいは内面に厚さ2.3mmの薄鋼板を接着剤にて接合する補強工法である。この工法はあて板が頬杖となることで、輪荷重によるデッキの変形時の応力を分担し、デッキとUリブの接合部にあたる溶接部での応力を低減し、ビーダ部での疲労損傷を低減する工法となる。Uリブの内面側でのあて板施工が生じるため、施工

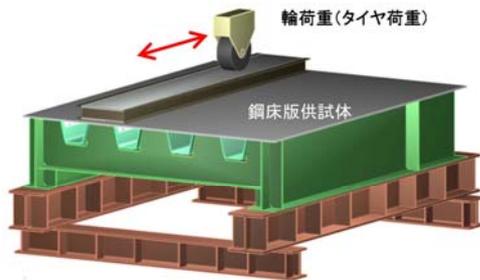


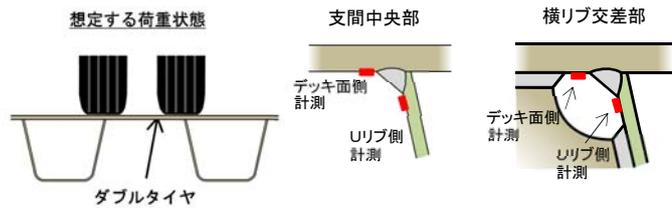
図-6 輪荷重試験の概要

時にはUリブ下面にハンドホールを設ける必要がある。あて板の形状については、過年度において、あて板の曲げ形状や板厚を変更した様々なケースにおける応力低減効果を解析により検討し、疲労耐久性という観点での最適な形状を求めた。また、本工法で使用する接着剤は接着接合試験にて十分な接着強度を有していることを確認している⁶⁷⁾。接着強度は十分であるものの、接着の信頼性をより高めるという目的で、薄鋼板端部に剥離防止のためのスタッドボルト (M12) をデッキに、Uリブのウェブにトルシアボルト (M16) を設けている。

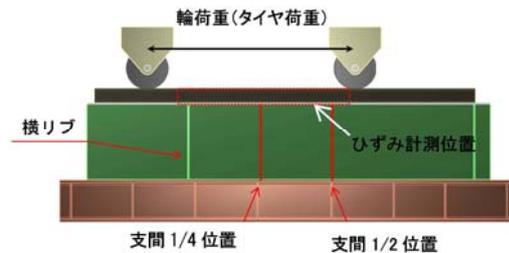
3. 構造性能の検証結果

3-1 室内試験による構造性能の検証

1章で述べたように、阪神高速で開発した下面補強工法の性能を検証することを目的に、室内試験を実施した。室内試験方法としては、図-6に示す輪荷重試験機を用いた繰り返し載荷試験を行うことで、構造性能の中で疲労耐久性、走行性に関する検証を実施したことになる。輪荷重試験で用いる供試体は、Uリブ (幅: 320 mm, 高さ: 240 mm, 部材厚: 6 mm) 4本と横リブ3本で構成される4.05 m×3.01 mの部分模型とした。



(a) 橋軸直角方向 (横断面)



(b) 橋軸方向 (側面)

図-7 ひずみ計測位置と輪荷重の関係

デッキプレート厚は12 mm, 材質はSM490Aとした。Uリブの溶接条件は、ビード進展き裂が発生している阪神高速の既設橋梁の実態にあうように、阪神高速旧設計基準値の下限である脚長を5mm, 溶込み量を2mm以下とした。供試体は3工法による補強を行った供試体と、これら工法の補強効果を検証するための比較対象として無補強 (補強前) の供試体を作製した。

輪荷重載荷の位置については、過年度の研究成果⁸⁹⁾を参考に、横断方向に対しては図-7 (a)に示すダブルタイヤがデッキプレートに載った時にビード進展き裂が最も発生しやすいと考えられる位置であるUリブ溶接線の直上とした。また、橋軸方向については、Uリブ支間中央断面および横リブ交差部断面を着目断面としていることから、図-7 (b)に示す、今回の着目点となる横リブから横リブ間の中央位置にあたる支間中央位置に、輪荷重が載荷されるように輪荷重の走行範囲を決定した。輪荷重の載荷方法については、過年度の輪荷重試験を参考に、T荷重相当である98kN (10ton相当) を予備的10万回 載荷し、その10万回の載荷後に、載荷荷重を147kN (15ton相当) に増加させた後に200万回の載荷を行った。予備載荷の10万回を含めると本実験での最大載荷回数は210万回となる。なお、この繰り返し載荷試験では、供試

体の損傷が大きく進展した時点で、実験での安全面に支障を与えると判断し、载荷を止めている。

ひずみ計測については、図-7 に示すように本技術開発の目的であるビード部の疲労損傷の低減の効果を把握するため、ひずみゲージによるビード部にひずみ計測を行った。また、デッキプレートの挙動計測として、デッキプレートのたわみ量計測も行った。

3-2 輪荷重試験による耐久性・走行性の評価

図-8に輪荷重試験によって得た損傷イベントとしてビード部でのき裂発生時における輪荷重回数及び実験終了時の輪荷重回数を示す。輪荷重はデッキプレートと通過する交通荷重を想定していることから、この回数が多い程、疲労耐久性が高く疲労寿命が長いことを意味する。なお、無補強ケース以外の供試体におけるビード部でのき裂発生の確認については、あて板があるため無補強ケースのように目視による直接確認を行うことができない。直接目視が不可能となることは実験計画時より想定していたため、き裂発生を検知するため、ビードの橋軸方向に沿ってひずみ計を設置した。これは、ひずみの急増等のき裂が生じると発生すると考えられているひずみ値の変化を把握するためである。また、実験終了後にはあて板を撤去することとして、き裂が発生したと評価した位置の

事後検証も行き、き裂発生の有無の評価が適切であるかどうかの評価についても行う。

図中に示すように、き裂の発生回数は無補強が14.7万回、モルタル充填あて板工法が35万回、Uリブ切断あて板工法が70万回、弾性あて板工法が104.5万回となった。Uリブ切断あて板工法については、ビード部ではなくUリブと横リブの交差部でき裂が生じている。実験終了時については、無補強が15.1万回、モルタル充填あて板工法が210万回、Uリブ切断あて板工法が148万回、弾性あて板工法が169.5万回となった。実験終了時については、後述するたわみ量が大きく増加した時点であり、損傷状態に変化が生じたと推定される時となる。モルタル充填あて板工法以外の工法及び無補強ケースでは実験での輪荷重載荷目標となる210万回に達する前にたわみ量が急増するという結果となった。無補強については、き裂損傷が生じた後、き裂が急激に進むことを目視でも確認している。一方で、モルタル充填あて板工法はビード部でのき裂は他工法に比べてかなり早い段階で生じるが、そのき裂損傷が大きく進展することはない、最終目標の210万回まで安定した輪荷重の支持を保持することができている。弾性あて板工法についてはき裂が発生してから約65万回、Uリブ切断あて板工法では約78万回とモルタル充填あて板工法に比べるとその回数は小さい

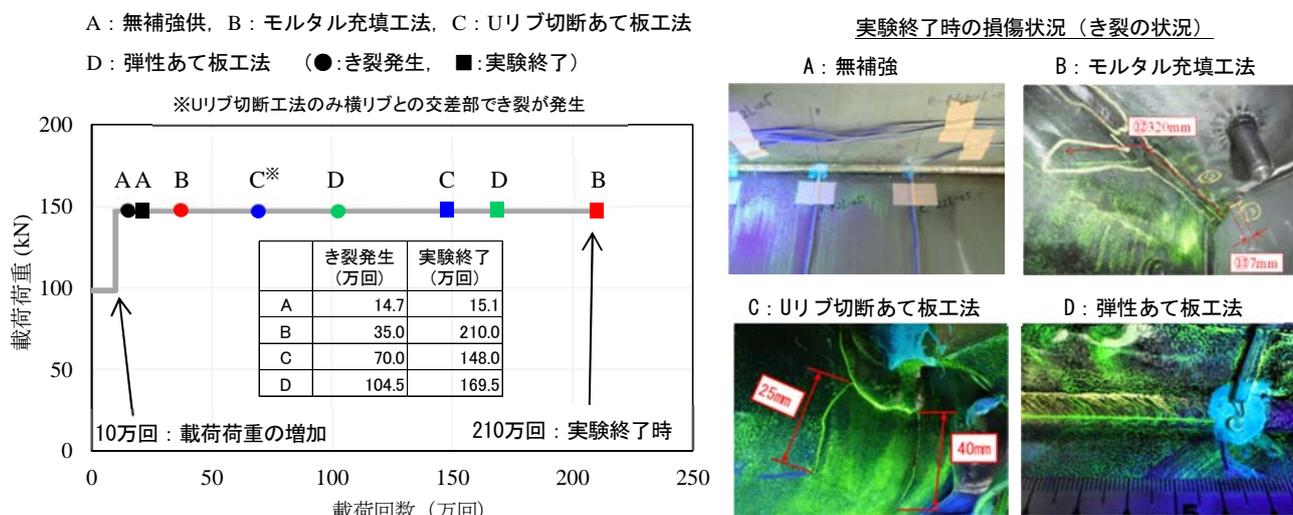
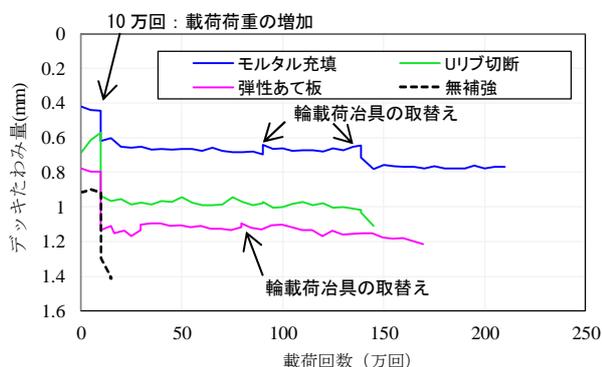


図-8 輪荷重の回数と損傷イベントの関係

ものの、無補強に比べても比較的多くの輪載荷回数の間、たわみ量に変化が生じておらず、き裂状態などに大きな変化が生じなかったと考えられる。なお、試験終了後の詳細調査の結果、鋼床版の損傷形態でお客様の安全性に直結するデッキ貫通亀裂については、全ての工法で発生していないことを確認している。また、モルタル充填あて板工法、切断工法ともに、両工法で用いたスタッドの溶接部周りから、き裂が発生することは無かったことについても確認を行った。

つぎに、各工法における輪載荷回数とたわみ量の関係について示す。走行性の評価指標は、段差の有無やたわみ量の大きさ（走行面の変形に対する安定性）など様々な要素が存在すると考えられるが、本検討では走行面の安定性という観点での評価としてたわみ量を評価要素として選定した。たわみ量が小さい、つまり路面が変形しにくい程、路面上を走行する車両の操舵に与える影響は少なくなり、ドライバーに与える負荷も小さくなり走行性が向上すると言える。

変位計より計測したUリブ間の中央に位置するデッキプレートの鉛直変形量の変化を図-9に示す。10万回（98kN）までの載荷状態では、Uリブ切断あて板工法を除きたわみ量はほぼ横ばいであったが、Uリブ切断あて板工法についてはたわみ量が減少する結果を示した。実験開始直後であり、



工法	最大たわみ量(mm)
無補強	1.41
モルタル充填	0.77
Uリブ切断あて板	1.11
弾性あて板	1.21

図-9 デッキ面のたわみ量の推移と輪載荷回数との関係

載荷状態がなじんでいない可能性があることを考慮しても、たわみ量が減少するという現象は特異な状態と言える。様々な観点からの要因分析を行ったが、この原因を究明することはできなかった。なお、10万回以降での当該工法のたわみ量の推移から判断して、この挙動が実験結果に全体に与える影響は小さいと考えている。輪荷重を増加させた10万回以降でのデッキたわみ量は、3工法とも実験終了の直前まで大きな変動は生じていない。モルタル充填あて板工法については90万回と140万回あたりで急激な変化が生じているが、輪荷重の載荷治具等の不具合により治具類の取替えなどを行っているために生じた変化であり、実験供試体に大きな変化が生じたわけではないと考えられる。一方、無補強ケースについては、10万回からたわみ量は大きな割合で増加しており、輪荷重という上載荷重に対する抵抗性能が低下していったことがこの結果よりわかる。いずれの補強工法もたわみ量は実験終了時にあたる大きな損傷が発生するまでの間、急激な増加などの変化は生じず安定して上載荷重を支持できていたことがこの結果より明らかとなった。最大たわみ量については無補強に次いで、弾性あて板、Uリブ切断あて板工法、モルタル充填あて板工法、という順に大きくなっており、この順序は鋼床版の上載荷重に対する剛性の低い順序と一致する。

き裂損傷の発生のタイミングは工法毎に異なるものの、たわみ量の推移をみてわかるように、いずれのケースも150万回程度までは安定した状態を保つことから、150万回程度まで耐荷性・耐久性・走行性を確実に確保できることを本試験より確認した。また、モルタル充填あて板工法は、き裂損傷が生じた回数が最も少なかったが210万回までたわみ量の急増など損傷が大きく進展すると推定される現象が生じなかった。

3-3 応力低減効果の検証結果

前述したように下面補強工法はビード部における発生応力の低減による疲労き裂の抑制となる。

表-1 下面補強工法によるビード部の
応力低減効果

	支間中央部		横リブ交差部	
	応力 (N/mm ²)	無補強 との比	応力 (N/mm ²)	無補強 との比
無補強	137	-	71	-
モルタル充填工法	59	0.43	11	0.15
Uリブ切断あて板工法	160	1.16	91	1.28
弾性あて板工法	46	0.34	22	0.31

ビード部における発生応力の低減効果を検証するため、ひずみ計測をして求めた発生応力の結果を表-1に示す。なお、今回の表中に整理した結果は、図-7 (a)に示すデッキプレート側で発生する応力とした。低減効果の算出方法として、無補強ケースとの比較を行ったため、無補強ケースでの発生応力との比も併せて表記を行った。比較検証にあたっては、図-7 (b)に示す支間中央位置と横リブ位置（横リブとUリブの交差部）の2箇所とした。

表中に示すとおり、モルタル充填あて板工法と弾性あて板工法では、支間中央部、横リブ交差部とともに 50%を超える大きな発生応力の低減が生じている。発生応力が半分以下の値に低減されていることで、ビード部に生じる疲労き裂の発生するリスクも大幅に低減できることがこの結果よりわかる。一方で、Uリブ切断あて板工法については、その他のケースと異なり、支間中央、横リブ交差部とともに 15%から 30%程度、発生応力の増加が生じている。発生応力が増加は、ビード直近で切断を行うことでUリブウェブの支点間距離の増加によるものであるが、このビード直近での切断によりビード部は疲労き裂の発生源になりにくい構造に変化している。そのため、無補強時に比べて発生応力度は増加したものの、今回の計測より得た発生応力度の大きさでは疲労損傷は生じないと考えられる。ただし、横リブ交差部のUリブ側などその他部材への影響については、解析等による様々な観点での検証は必要と考える。

3-4 下面補強工法の構造性能に関する考察

前項で述べたように、開発した下面補強 3 工法

については、無補強に比べて構造性能（耐久性、走行性）が大幅に向上していることを確認した。モルタル充填あて板工法のようにき裂損傷の発生は最も早いき裂の進展が見られないなどき裂発生後の挙動の安定など、着目点によってはその評価が変わることから、3 工法の優劣を現時点で言及することは難しいと考える。また、1章で述べたように、各工法の評価は構造性能だけでなく、施工性、経済性など幅広い観点から評価すべきであることから、今回の構造性能の評価と同様に、各種性能について評価を実施する必要がある。施工性については、過年度における試験施工の報告¹⁰⁾¹¹⁾、フィールド試験による構造性能の評価については筆者らの報告¹²⁾が行われていることから、これら成果を取りまとめ、総合的評価を行っていく予定である。

4. まとめ

Uリブ鋼床版におけるタイプ①-3き裂の予防保全対策として下面補強工法を3工法の開発を行い、輪荷重試験によりその構造性能の評価を行った。以下に評価結果と考察内容についてまとめる。

- (1) 開発した下面補強3工法については、いずれの工法についても、耐久性、走行性が無補強時に比べて大幅に向上する。
- (2) 溶接ビード部の応力低減効果は、モルタル充填工法、弾性あて板工法で50%以上低減できる。

謝辞：本論文は、阪神高速とワイシーイー・横河ブリッジ共同研究企業体、日立・東骨・日橋特定建設工事共同企業体との共同研究成果を用いて作成したものです。本論文を作成するにあたり、共同研究にご参加の皆様からいろいろなご指導を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 阪神高速道路株式会社：既設鋼床版疲労対策マニュアル（改訂版），2012.11.
- 2) 田畑晶子，青木康素，服部雅史，大西弘志，松井繁之：Uリブ内面モルタル充填による既設鋼床版の疲労耐久性向上検討，構造工学論文集 Vol.56A，

- pp. 1356-1369, 2010. 3.
- 3) 丹波寛夫, 木村聡, 山口隆司, 杉山裕樹, 田畑晶子, 高田佳彦: 既設鋼床版に対する下面補強工法である鋼板補強モルタル充填併用工法の構造合理化の検討, 構造工学論文集 Vol. 59A, pp. 767-780, 2013. 3.
 - 4) 儀賀大己, 田畑晶子, 青木康素, 小野秀一, 山口隆司: スタッドボルトを用いてあて板した U リブ鋼床版の応力性状, 第 8 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 2014.
 - 5) 小野秀一, 渡辺真至, 田畑晶子, 中井勉, 山口隆司, 儀賀大己: スタッドボルトによりあて板した U リブ鋼床版の輪荷重疲労試験, 土木学会第 70 回年次学術講演会, I-386, pp. 771-772, 2015
 - 6) 一宮充, 岩崎雅紀, 石井博典, 井口進, 曾我麻衣子, 竹内信弘, 田畑晶子, 原田潤, 大石秀雄: U リブ鋼床版の下面補強工法の一提案と FE 解析による効果検証, 土木学会第 71 回年次学術講演会, I-380, pp. 759-760, 2016
 - 7) 井口進, 石井博典, 曾我麻衣子, 竹内信弘, 岩崎雅紀, 一宮充, 田畑晶子, 原田潤, 大石秀雄: U リブ鋼床版の下面補強工法のビード進展き裂に対する効果の実験的検証, 土木学会第 71 回年次学術講演会, I-381, pp. 761-762, 2016.
 - 8) 松下裕明, 田畑晶子, 齊藤史朗: 鋼床版ビード貫通き裂の発生メカニズムの検討(その 1) FEM 解析, 第 30 回日本道路会議, 2013. 10.
 - 9) 田畑晶子, 小野秀一, 小笠原照夫: 鋼床版ビード貫通き裂の発生メカニズムの検討(その 2) 輪荷重試験, 第 30 回日本道路会議, 2013. 1.
 - 10) 中田諒, 尾関良純, 八ツ元仁: U リブ鋼床版下面補強の試験施工に係る報告(弾性あて板工法), 阪神高速道路第 49 回技術研究発表会論文集, 2017.
 - 11) 平山翔太郎, 尾関良純, 八ツ元仁: U リブ鋼床版下面補強の試験施工に係る報告(U リブ切断工法・モルタル充填工法), 阪神高速道路第 49 回技術研究発表会論文集, 2017.
 - 12) Yatsumoto, H., Tabata, A., Kobayashi, H., Inokuchi, S. and Matsushita, H.: The development of the reinforcement method for U-shaped rib on orthotropic steel decks to improve the fatigue durability from the lower side, IABMAS, Melbourne, 2018.7

EVALUATION OF STRENGTHENING METHODS FOR THE UNDERSIDE OF ORTHOTROPIC STEEL DECKS

Hitoshi YATSUMOTO, Akiko TABATA and Hiroshi KOBAYASHI

There have been an increasing number of reports of fatigue damage on the orthotropic steel decks on the Hanshin Expressway. Although various countermeasures implemented by Hanshin Expressway Company Limited (HECL) have taken effect, more fatigue cracks are expected to occur in the longitudinal welds between the deck plates and trough web (type I cracks as categorized by HECL). Steel fiber-reinforced concrete (SFRC) has been found to be effective in the prevention of type I cracks and fatigue damage and increasingly used on the Hanshin Expressway in its preventive maintenance against type I cracks. However, SFRC is easily affected by variations in weather and temperature, because the material is applied to the surfaces of the slabs during paving work. Furthermore, road traffic restriction must be implemented during construction. These two factors are disadvantageous to the continuous operation of the expressway service. Therefore, HECL has developed three improved strengthening methods for the underside of the deck that require no road traffic restriction, and has conducted various tests to evaluate the performance of these methods. This paper reports the results of performance evaluation and provides a discussion on the results.

八ツ元 仁



阪神高速道路株式会社
大阪管理局保全部保全設計課

Hitoshi Yatsumoto

田畑 晶子



阪神高速道路株式会社
建設・更新事業本部
大阪建設部設計課

Akiko Tabata

小林 寛



阪神高速技術株式会社
技術部

Hiroshi Kobayashi