

# 鋼橋の疲労損傷分析と特異な疲労損傷の抽出

杉山直也<sup>1</sup>・赤松伸祐<sup>1</sup>・青木康素<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (一財)阪神高速先進技術研究所 調査研究部  
<sup>2</sup> 技術部技術推進室

## 要約

鋼橋では疲労損傷が顕在化しており、損傷数が多い代表的な疲労損傷に対しては、部材の取り合いや溶接法などの構造詳細が見直されている。しかし、変位誘起のような構造に起因する特異な損傷に対しては、損傷数が少ないためか構造が改善されず、同様の損傷が発生するリスクが残されている可能性がある。そこで、阪神高速道路で発生している疲労損傷を定期点検結果より抽出・分析し、疲労損傷に対する改善の有無を整理した上で、対策が必要な構造を特異な疲労損傷として抽出した。

キーワード: 疲労損傷, 損傷分析, 原因推定, 構造改善

## 1. はじめに

鋼橋の疲労には、設計時のモデル化では無視される二次応力が支配的要因となる場合がある。道路橋示方書<sup>4)</sup>では主部材の作用応力に対する応答照査による疲労設計には一次応力が用いられており、局部変形や付加曲げに起因する二次応力を発生させないように、構造詳細が規定されている。しかし、変位誘起のような構造に起因する特異な損傷に対しては、構造詳細が改善されず、同様の損傷が発生するリスクが残されている可能性がある。そこで、将来的な疲労を考慮した構造詳細の規定化のために、阪神高速道路の鋼橋に関して、定期点検結果より特異な疲労損傷を抽出し、その原因推定を実施し、新設橋への対応の可否を整理した。特異な疲労損傷のうち、まだ対策が取られておらず、構造改善の余地が残されている構造を抽出し、構造改善の概要を検討した。

## 2. 疲労損傷の抽出・分析

阪神高速道路の保全情報管理システムから、過年度の定期点検結果から鋼桁(鋼I桁, 鋼箱桁, 鋼床版)に着目した疲労損傷を抽出した。但し、鋼床版特有のデッキPLやUリブの疲労き裂は既に対策が検討されているため、対象としていない。2次判定後<sup>3)</sup>の点検結果からの抽出条件は以下の通りである。

- ・参照資料 : 保全情報管理システム(定期点検)
- ・適用年度 : S60~H30
- ・損傷項目 : 溶接割れ, き裂 (B ランク以上<sup>3)</sup>)

抽出条件に該当した損傷に対して、損傷形態<sup>(3)</sup>を参

照)を判定ランク毎に整理した結果を表-1に示す。Sランク損傷は主桁ウェブ-フランジの溶接部(写真-1)や横桁控え材, ダイアフラムで発生しており, Aランク損傷は主桁ウェブ及び垂直補剛材で多く発生していた。損傷部位に着目すると, 最も多く発生している疲労損傷は, 垂直補剛材(タイプ1)で, 鋼桁の疲労損傷全体の74%を占めていた。ここで, 垂直補剛材からのき裂は写真-2に示すとおり, 疲労損傷の多い順から垂直補剛材上端と上フランジの溶接部から発生したき裂(タイプ1), スカーラップから垂直補剛材方向へ進展するき裂(タイプ2), 垂直補剛材とウェブの溶接から発生したき裂(タイプ3)となる。

表-1 損傷形態と損傷ランク毎の集計

損傷形態(疲労き裂)		S	A	B	合計	備考
損傷部位	タイプ					
ウェブ	タイプ4	2	14	1	17	垂直補剛材上側からウェブ溶接止端
	タイプ5	0	0	2	2	ガセット端部
	横桁	1	0	0	1	横桁ウェブ
	コーナーPL	7	24	0	31	コーナーPL 主桁との取り合い
	コーナーPL継手	0	6	0	6	コーナーPL 溶接継手
	ブラケット	0	0	1	1	ウェブと張り出しブラケット下フランジ
	横桁タイプ	1	19	3	23	横桁下フランジとウェブの取合い部
	端支点上横桁	0	0	2	2	端支点上横桁
	その他	0	1	3	4	その他(落防ケーブル開口部など)
	垂直補剛材	タイプ1	0	8	759	767
タイプ2		0	2	31	33	スカーラップ部から斜め方向へのき裂
タイプ3		0	7	15	22	主桁ウェブ部
タイプ5		0	5	4	9	対横桁ガセット付近
ガセット下側		0	0	4	4	ガセット下側のウェブ側
ダイア-横桁		0	0	2	2	ダイア、横桁の垂直補剛材
補強リブ		0	22	0	22	
横リブ下FLG		0	1	1	2	横リブ下フランジ直下の垂直補剛材
横桁		2	0	0	2	横桁控え材(ダイア、ウェブ)
ダイアフラム		1	1	0	2	スカーラップからのき裂
横リブ	上フランジ	0	4	1	5	まわし溶接部からUリブへ
	下フランジ	0	2	0	2	縦リブ後付け
	下フランジ	0	0	5	5	支点上補剛材下端部
	支承補強リブ	0	1	0	1	ウェブとの溶接部
リブPL	上側タイプ1	0	3	13	16	
	上側タイプ2	0	0	6	6	
	上側タイプ3	0	1	5	6	
	下側タイプ1	0	3	4	7	
	下側タイプ2	0	0	1	1	
	下側タイプ3	0	0	2	2	
対横構	ガセット	0	0	18	18	
	本体	0	0	2	2	曲がりき裂
	ガセット(タイプ5)	0	3	8	11	ガセット取り付け溶接部(主桁ウェブ)
ラテラル(横構)	ガセット端部	0	0	1	1	横桁ガセット回し溶接部
	合計	14	127	894	1035	

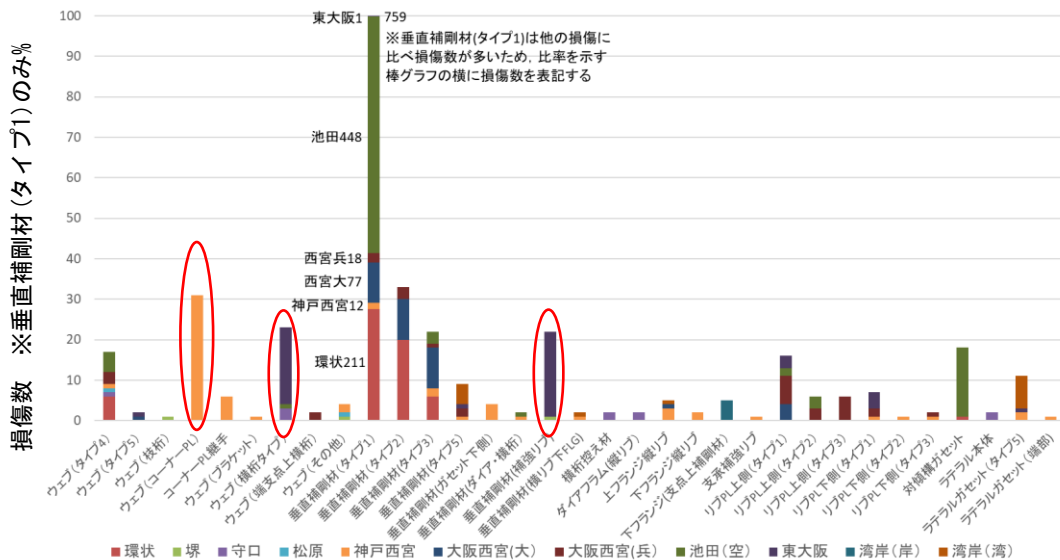


図-1 路線ごとの疲労損傷の分類



写真-1 ウェブ(タイプ4)

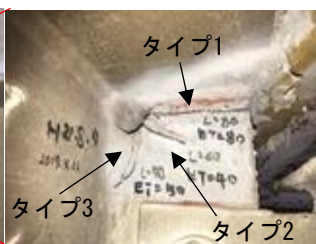
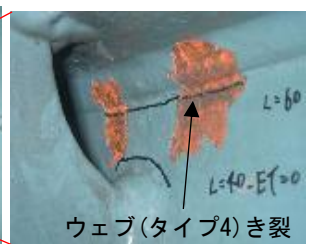


写真-2 垂直補剛材 (タイプ1, 2, 3)



写真-3 垂直補剛材(補強リブ)



写真-4 ウェブ(左: コーナーPL, 右: 横桁タイプ)

図-1では縦軸を損傷数、横軸を損傷形態、凡例は路線を示し、損傷部材ごとに整理した。垂直補剛材(タイプ1)のき裂は、池田(空)線、環状線、大阪西宮線の順に多く見られ、その他の路線ではほとんど見られない。最も損傷の多い池田(空)線では、1960年代に建設されたH桁の鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版とする)の合成桁で発生した疲労損傷であった。このように数の多い損傷は、竣工年度や構造形式、床版形式に共通点がある可能性を示している。

写真-3, 4及び図-1の赤丸部が示すウェブ(コーナーPL)やウェブ(横桁タイプ)、垂直補剛材(補強リブ)の疲労損傷では1つの路線の比率が高いため、その路線特有の特殊な構造が原因であると推測される。例えば、写真-4(左)に示すウェブ(コーナーPL)の疲労損傷は神戸西宮線の鋼床版箱桁で1967年に竣工した橋梁に集中して発生した特殊な疲労損傷である。

以下の竣工年度や桁形式、床版形式の損傷分析では紙面の都合で疲労損傷との関係図を割愛している。

竣工年度に着目すると、1960年代後半に竣工された橋梁の損傷が多く(全損傷数の約8割)、1980年代以降の疲労損傷数(全損傷数の4%以下)は少なかった。

桁形式に着目すると、H桁の疲労損傷は垂直補剛材のタイプ1~3の損傷に集中しており、鉸桁の疲労損傷はウェブ(タイプ4、横桁タイプ)、垂直補剛材の損傷が多かった。箱桁はウェブ(コーナーPL)、垂直補剛材(補強リブ)、ダイヤフラム、縦リブなど箱桁特有の構造による疲労損傷が発生していた。

床版形式に着目すると、垂直補剛材(タイプ1)の損傷ではRC床版および軽量コンクリート床版で疲労損傷が多く発生しており、主にRC床版(合成)の比率が82%と高かった。ウェブ(タイプ4)や垂直補剛材、リブPL、対傾構・ラテラルガセットの疲労損傷は合成桁のRC床版で多く発生している。非合成桁のRC床版では鋼桁の疲労損傷は少なかった(損傷数全体の5%程度)。これは、現行の道路橋示方書<sup>4)</sup>から考えると基準不適格(床版厚や床版支間、鉄筋量の不足)なRC床版の損傷により、鋼桁へ悪影響を及ぼした可能性が考えられる。鋼床版形式の場合、鉸桁は写真-4(右)に示す横桁仕口から主桁ウェブに生じる疲労損傷や中間横桁のリブPLに疲労損傷が見られ、箱桁ではウェブ(コーナーPL)や垂直補剛材(補強リブ)など特殊構造の疲労損傷が見られた。

表-2 特異な疲労損傷例と概要

損傷NO.	1	2	3	4	5	
損傷部位	合成6主鋼桁 枝桁ウェブ接合	鋼床版鋼桁 横構ガセット 垂直補剛材下端	鋼床版鋼桁 主桁ウェブとダイアフラム、 横桁控え材の取合部	3主鋼床版鋼桁 下フランジ 支点上補剛材	1主鋼床版鋼桁 下フランジ 補強縦リブ端部	
損傷ランク(阪神高速)	S1	B	A	B	A	
き裂損傷 情報	き裂損傷 (写真)					
	推定原因	鋭角部のすみ肉溶接不良 (取付角度は20°で道路橋示 方書:すみ肉溶接不可)、活 荷重による面外変形	桁高が高く、横リブが低いた め、主桁下部に活荷重による 面外変形が発生しやすく、拘 束が原因	スカーラップ部のまわし溶接 部に応力集中が発生	部分溶込み開先溶接もしくは すみ肉溶接による溶接欠陥も しくはのど厚不足の可能性	活荷重応答の大きい下フラン ジに溶接で付加板を取り付け たこと、面外ガセット部の応 力集中(兵庫県南部地震後)
新設構造 への対応	対応済 (標準図等記載)	-	-	-	-	
	今後 標準図へ反映	-	-	主桁ウェブと控え材の溶接は 完全溶込溶接とし、スカー ラップは設けない	支点上補剛材と下フランジは 完全溶込溶接で接合する	
	改善構造の検討	検討が必要	近年の阪神高速で 疲労に厳しい本線での採用無	検討が必要	-	検討が必要
損傷NO.	6	7	8	9	10	
損傷部位	7主鋼床版鋼桁 端横桁下フランジとウェブ	合成3主箱桁 横桁仕口ウェブ 上側首溶接部	非合成2主箱桁 中間ダイアフラム上側(ス カーラップ下側)	2主鋼床版鋼桁 ダイアフラム 支点上補剛材上端	非合成2主箱桁 縦リブのスカーラップ (横リブ交差部)	
損傷ランク(阪神高速)	A	B	A	A	A	
き裂損傷 情報	き裂損傷 (写真)					
	推定原因	スカーラップ回し溶接部は狭 隘部のため溶接不良が生じや すく、応力集中を受ける	製作時の溶接不良 ボルト縁端が大きく、腹板添 接板から上フランジ下端まで の距離が小さい	スカーラップの形状が特殊 で、活荷重により応力集中が 発生	活荷重によるデッキPLの変形 が大きく、支点上補剛材の上 端に応力集中が発生	製作時の残留応力 スカーラップ部のまわし溶接 の溶接不良
新設構造 への対応	対応済 (標準図等記載)	フランジの板継ぎ溶接をなく し、スカーラップを設けない 接合方法として補修工事済	添接板とフランジまでの隙間 を90mm(=130-40)以上確保 (上フランジ含む)	縦リブ先端とダイアフラムを 溶接せず、スカーラップ構造 を採用	-	-
	今後 標準図へ反映	-	-	-	-	縦リブをスリットを設け貫通 させるか、横リブと完全溶込 溶接で接合する
	改善構造の検討	-	-	-	検討が必要	-
損傷NO.	11	12	13	14	15	
損傷部位	合成4主箱桁 主桁上フランジ 縦リブ継手部	合成10主鋼桁 横構ガセット下側 垂直補剛材	6主鋼床版鋼桁 横リブ下の垂直補剛材	合成2主箱桁 横桁の垂直補剛材	2主鋼床版鋼桁 垂直補剛材 補強横リブ	
損傷ランク(阪神高速)	B	B	B	B	A	
き裂損傷 情報	き裂損傷 (写真)					
	推定原因	製作上追加された縦リブの板 継ぎ溶接の溶け込み不良	支点上で面外変形が拘束さ れ、ブラケットから主桁が面 外力を受けるため、下フラン ジ側におねじれ変形が発生	横リブの床組作用 溶接過大ギャップの可能性	下フランジナックル近傍で両 面に垂直補剛材を配置 兵庫県南部地震の影響で大き な力が作用	特殊な構造。 板継ぎ溶接端部の溶接不良
新設構造 への対応	対応済 (標準図等記載)	縦桁断面は箱桁1ブロックに1 断面とし、途中に板継ぎ溶接を 設けない	-	-	横桁フランジにナックルを設 けない	対応不要 特殊事例
	今後 標準図へ反映	-	-	-	-	-
	改善構造の検討	-	近年の阪神高速で 疲労に厳しい本線での採用無	鋼桁間の横リブでは他団体で の疲労損傷の報告なし	-	-
損傷NO.	16	17	18	19	20	
損傷部位	合成6主鋼桁 中間対傾構ガセットのき裂 (逆Vトラス形式)	合成5主鋼桁 中間対傾構ガセット (斜角きつ)	合成6主鋼桁 ソールプレート 補強リブ	7主鋼床版鋼桁 端横桁下リブ	合成8主鋼桁 端横桁落防ケーブル孔	
損傷ランク(阪神高速)	B	B	A	A	B	
き裂損傷 情報	き裂損傷 (写真)					
	推定原因	床組作用によるガセットの面 外変形、ボルト縁端大の影響	曲線橋かつ斜橋 ナックルしたガセット溶接部 に応力集中が発生	震災復旧時の現場溶接 溶接不良が起因	支点上補強リブと下フランジ の溶接は完全溶け込み溶接と するが、該当部ではすみ肉溶 接で施工	震災復旧工事で落橋防止ケー ブルを設置 現場でのガス切断時にノッチ が入り、未成形
新設構造 への対応	対応済 (標準図等記載)	道示準拠し、ボルト縁端距離 を遵守する	-	-	支点上補強リブと下フランジ は完全溶込溶接とする	新設構造では開口部にダブル リブ補強と偏向具を設置する
	今後 標準図へ反映	-	垂直補剛材を角度つけて取り 付ける方法や水平ガセットを 追加し剛性を高める構造	新設構造では支承補強リブ高 は桁高の1/2程度とする	-	-
	改善構造の検討	-	-	-	-	-

### 3. 特異な疲労損傷の抽出

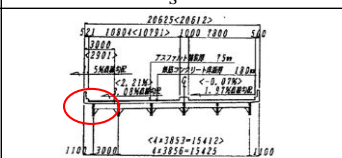
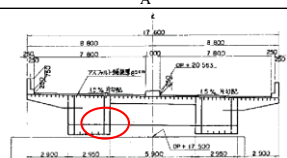
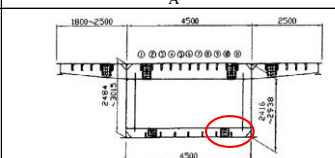
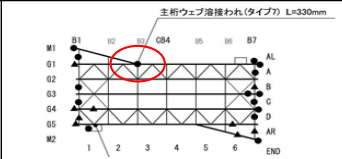

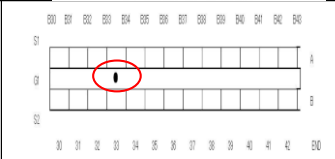



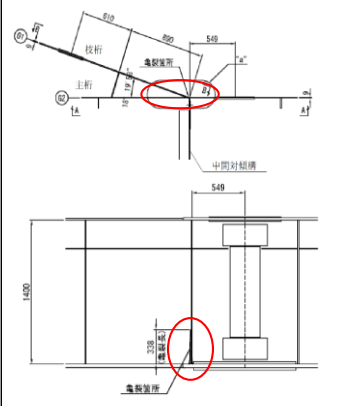
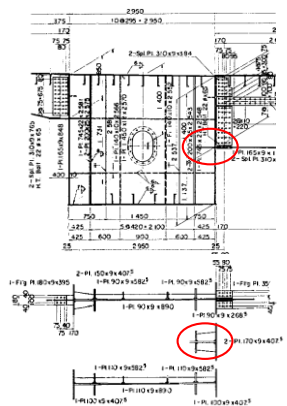
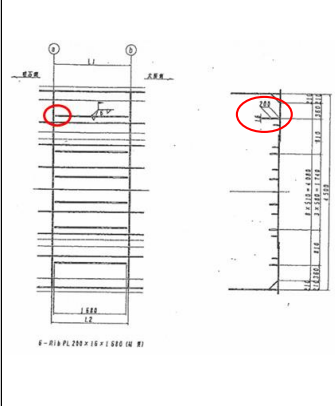
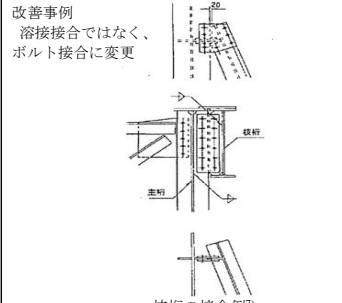
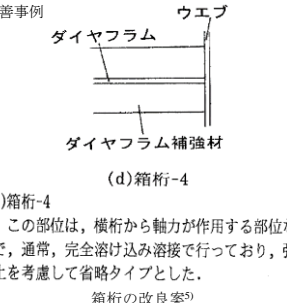
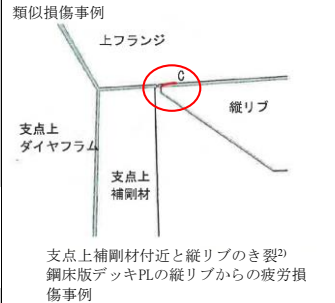
前章で抽出した疲労損傷から過去に疲労損傷事例として補修設計・施工は実施されているが、改善構造の検討がされていない疲労損傷を特異な疲労損傷として抽出した。例えば、阪神高速道路や日本道路協会等で出版されている疲労対策<sup>1)</sup>および疲労設計指針<sup>2)</sup>に記載されている既知の疲労損傷は抽出しない。表-2に特異な疲労損傷の損傷部位、原因推定、新設構造への対応について整理した結果を示す。その中から新設構造で疲労耐久性の観点から構造詳細の検討が必要な疲労損傷として、拡幅部の枝桁ウェブの接合部、箱桁下フランジと縦リブのまわし溶接部、横桁控え材の取り合い部、鋼床版箱桁ダイヤフ

ラムの支点上補剛材上端の4つの疲労損傷を抽出した。これらの抽出した疲労損傷に対して、損傷箇所<sup>3)</sup>の状況、考えられる原因について表-3に整理した。

#### (1) 主桁ウェブと枝桁接合部からのき裂

主桁ウェブと枝桁ウェブの溶接継手部から生じた疲労損傷の詳細情報を表-3に示す。枝桁のウェブ接合部の溶接は片側からの隅肉溶接であり、枝桁の取付け角度は20°程度ときつく、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編<sup>4)</sup>の20.8.3(材片の組合せ精度)より隅肉溶接では材片の密着度を1.0mm以下にする必要があるため、該当部の構造では現行基準で隅肉溶接不可となる。鋭角部への隅肉溶接による溶接不良や疲労損傷の発生箇所が対傾構の下弦材のガセット

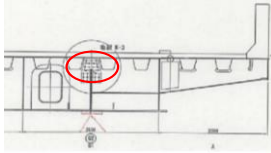
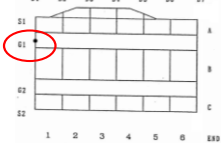

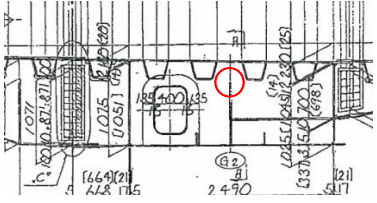
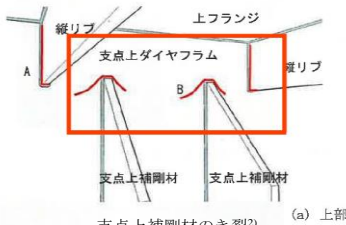
表-3 特異な疲労損傷の詳細情報

損傷NO.	1	3	5
損傷部位	合成6主鋼桁 枝桁ウェブ接合	鋼床版箱桁 主桁ウェブとダイヤフラム、 横桁控え材の取合部	1主鋼床版箱桁 下フランジ 補強縦リブ端部
損傷ランク(阪神高速)	S	A	A
構造情報	断面図 		
	※赤丸は き裂箇所 を示す 平面図 き裂位置 		
き裂損傷 情報	き裂損傷 (写真) 		
	推定原因 鋭角部のすみ肉溶接不良 (取付角度は20°で示す:すみ肉溶接不可) 活荷重による面外変形	スカーラップ部のまわし溶接部に応力集中 が発生	活荷重応答の大きい下フランジに溶接で付加板 を取り付けたこと、面外ガセット部の応力集中 (兵庫県南部地震後)
	き裂損傷 情報 き裂部 詳細 ※赤丸は き裂箇所 を示す 		
類似損傷 事例 (改善事例)  ※赤丸は 類似のき裂 箇所を示す	改善事例 溶接接合ではなく、 ボルト接合に変更 	改善事例 ダイヤフラム ダイヤフラム補強材 (d)箱桁-4 この部位は、横桁から軸力が作用する部位な ので、通常、完全溶け込み溶接で行っており、強度 上を考慮して省略タイプとした。 箱桁の改良案 <sup>5)</sup> 	類似損傷事例 上フランジ 縦リブ 支点上 ダイヤフラム 支点上 補剛材 支点上補剛材付近と縦リブのき裂 <sup>2)</sup> 鋼床版デッキPLの縦リブからの疲労損 傷事例 

接合位置と一致しているため、活荷重載荷時に対傾構の下弦材位置で局部変形による応力集中等の構造的な要因で疲労損傷が発生したことが考えられる。

阪神高速道路では桁桁接合部についての標準図がないことから、同様の疲労損傷を発生させないため、該当箇所のような斜めに部材を取り合い接合する必要がある場合の疲労耐久性に配慮した構造詳細を規定化する必要がある。なお、他機関(NEXCOや首都高速道路)では標準図が整備され、該当部の接合方法として、ボルト継手による接合方法や間詰材を主桁ウェブに取り付けて、桁桁ウェブに部分溶け込み溶接をしている事例がある。検討フローとして、FEAによる解析的手法を用いて、疲労損傷の発生した構造の活荷重時の変形や応力状態を把握し、疲労損傷の発生原因を明確にした後に改善構造を提

表-3 特異な疲労損傷の詳細情報(続き)

損傷NO.	9	
損傷部位	2主鋼床版箱桁 ダイヤフラム 支点上補剛材上端	
損傷ランク(阪神高速)	A	
構造情報	断面図	
	平面図 ※赤丸は き裂箇所 を示す	
き裂損傷 情報	き裂損傷 (写真)	
	推定原因	活荷重によるデッキPLの変形が大きく、支点上補剛材の上端に応力集中が発生
	き裂部 詳細	
類似損傷 事例 (改善事例)	 <p>※赤丸は類似のき裂箇所を示す</p> <p>支点上補剛材のき裂<sup>2)</sup> 縦リブ間の支点上補剛材上端からの疲労損傷事例 (a) 上部</p>	

案する。改善構造としては、FEAにより面外変形を抑制する構造や他団体の標準図を参考にした桁桁接合部の継手方法、溶接品質の改善が考えられる。

### (2) 横桁控え材の取り合い部からのき裂

横桁フランジの控え材のスカールラップを起点として、主桁ウェブおよびダイヤフラム、控え材取り合い部に生じる疲労損傷の詳細情報を表-3に示す。き裂発生箇所は桁端部の端支点上横桁と箱桁の取合い部であり、き裂の起点は控え材スカールラップのまわし溶接部止端(控え材側)からであった。溶接形状は6mm隅肉溶接もしくは部分溶け込み溶接で完全溶け込み溶接ではない。竣工図を確認すると、該当部にはスカールラップが記載されておらず、製作上でダイヤフラムの溶接を通すためにスカールラップを設けた可能性がある。

疲労損傷が発生した原因は、横桁下フランジの控え材スカールラップ部のまわし溶接部に引張の応力集中による応力変動が発生したためと考えられる。更に、この構造では主桁ウェブ付近のダイヤフラムに支点上補剛材が配置されており、控え材はその支点上補剛材に溶接されている。控え材を支点上補剛材に溶接することで溶接拘束が大きくなり、スカールラップ部まわし溶接部の応力集中が高まり、疲労損傷の発生・進展を助長した可能性がある。控え材の形状は横桁やブラケットのフランジと同幅・同材質・同板厚としているため、断面積確保の観点からスカールラップなしの構造が一般的である。また、曲げ応力が作用するため、控え材と主桁ウェブの溶接は完全溶け込み溶接とすることが一般的である。

控え材の疲労耐久性に配慮した構造詳細を規定化するため、控え長さや控え幅、補剛材との取り合いなどに着目して、FEAによる解析的手法にて控え材のまわし溶接部の応力集中箇所を確認し、最適な構造詳細を検討する必要があると考える。

### (3) 箱桁下フランジと縦リブのまわし溶接部

箱桁下フランジの縦リブまわし溶接部から生じた疲労損傷の詳細情報を表-3に示す。この疲労損傷は、兵庫県南部地震後の1995年に現場溶接にて下フランジに補強リブを追加していた箇所から発生している。疲労損傷の起点は縦リブまわし溶接部の溶接止端部(下フランジ側)からであった。変形した下フランジに現場溶接したことや大断面の1箱桁であることなど一般的でない構造が特徴である。

箱断面の溶接が完了した後に補強リブを下フランジに取り付けたことによる溶接ひずみや応答の大きい下フランジへの取付かつ応力集中が発生したことが疲労損傷の原因である可能性があると考えられる。類似損傷事例として、表-3に示すとおり、上フランジ側の縦リブまわし溶接部に発生しやすい疲労損傷がある。今回の疲労損傷でも下フランジが広く剛性が低いこともあり、上フランジ側の縦リブで生じる疲労損傷と同様の損傷が発生したことが考えられる。

このような縦リブと横リブの交差部について、疲

劣耐久性に配慮した構造詳細を規定化するため、FEAによる解析的手法を用いて、隙間量や控え材形状などのパラメータスタディを実施し、汎用的な部材取り合いの構造詳細を検討したいと考えている。

縦リブ、横リブ等で補剛された主板の取合い部を対象とする場合、疲労き裂の発生メカニズムとして、母材の面内力、面外曲げの2種類がある。各構造での疲労損傷の発生原因を明らかとした上で改善構造を提案する必要がある。面内曲げモデルでは箱桁下フランジに縦リブや横リブが取りつく構造を対象とする(図-2参照)。また、面外曲げモデルでは主桁ウェブに水平補剛材や垂直補剛材を取り付けた構造や箱桁のブラケット部の裏控え材を対象とする(図-3参照)。各解析モデルで横補剛材と縦補剛材の溶接止端間距離や板厚構成、控え長さなどでパラメータスタディを実施し、まわし溶接止端部などの応力集中や応力分布を確認し、最適な取り合い方法を検討し構造詳細を規定化することが考えられる。

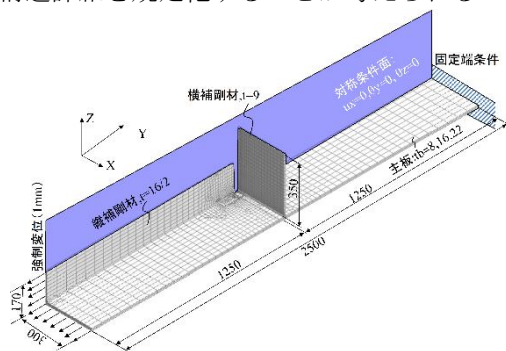


図-2 面内曲げの解析モデル(1/2モデル)のイメージ

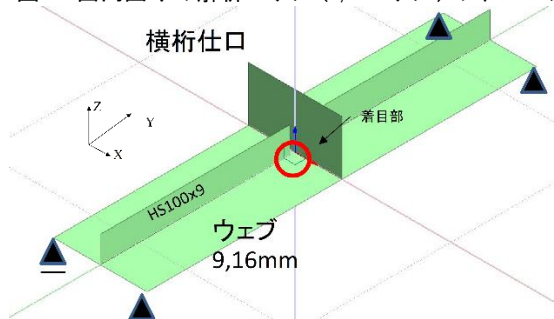


図-3 面外曲げの解析モデルのイメージ

#### (4) 支点上ダイヤフラム支点上補剛材のき裂

桁端ダイヤフラムの支点上補剛材の上端から生じた疲労損傷の詳細情報を表-3に示す。疲労損傷の起点は溶接止端部(支点上補剛材側)からであり、溶接形状は隅肉溶接もしくは部分溶け込み溶接であった。鋼床版形式では、活荷重が舗装を通してデッキプレートに載荷されるため、上フランジの変形が大きく、Uリブ間で拘束された中で支点上補剛材の上端に応力集中が発生し、疲労損傷が発生したと考えられる。

文献<sup>2)</sup>では、鋼床版箱桁での疲労き裂事例が挙げられているが改善構造などは示されていない。また、RC床版形式では上フランジに直接輪荷重が載らないため、支点上補剛材の上端からき裂が発生することは報告されていない。この疲労損傷の疲労耐

久性に配慮した構造詳細を規定化するため、鋼床版箱桁の部分モデルを作成し、バルブPLやデッキPLと支点上補剛材の上端の離れ量の違いやバルブPLと補剛材の橋直方向の位置関係などのパラメータスタディをFEAによる解析的手法により検討する必要がある。また、溶接の施工性からバルブPLと支点上補剛材の離隔は必要であり、検討の際は留意する必要がある。

## 4. まとめ

- 1)抽出した疲労損傷について損傷部材毎に路線、竣工年度、構造形式、床版形式に着目し、分析した。
- 2)鋼橋の疲労損傷はRC床版の合成桁で、1960年代に施工された橋梁に多く見られた。これは、現行の道路橋示方書<sup>4)</sup>から考えると基準不適格(床版厚や床版支間、鉄筋量の不足)なRC床版の損傷により、鋼桁へ悪影響を及ぼした可能性が考えられる。
- 3)鈑桁、H桁の構造形式ではRC床版(合成)の疲労損傷が多く、箱桁では鋼床版形式が多かった。H桁で全体の疲労損傷の6割を占めており、他の構造形式に比べ、垂直補剛材上端の溶接部に疲労損傷が発生しやすい構造と考えられる。鋼床版箱桁ではウェブ(コーナーPL)や垂直補剛材(補強リブ)など特殊な構造の疲労損傷が見られた。
- 4)抽出した疲労損傷から過去に疲労損傷事例として補修設計・施工は実施されているが、改善構造の検討がされていない疲労損傷を特異な疲労損傷として、拡幅部の枝桁ウェブの接合部、横桁控え材の取り合い部、箱桁下フランジと縦リブ端部のまわし溶接部、鋼床版箱桁ダイヤフラムの支点上補剛材上端からの疲労損傷を抽出した。
- 5)特異な疲労損傷に対して、今後の新設構造で同様の疲労損傷を発生させないために、疲労損傷の原因を特定し、その原因に対して疲労耐久性の高い構造を検討する必要がある。

今後、抽出した特異な疲労損傷のき裂発生原因をFEAによる解析的手法を用いて明らかにして、改善構造を検討する予定である。

## 参考文献

- 1) (財)阪神高速道路管理技術センター：阪神高速道路における鋼橋の疲労対策，2012.3
- 2) 鋼橋疲労対策技術検討会：実務者のための鋼橋疲労対策技術資料，2018.10
- 3) 阪神高速道路株式会社：道路構造物の点検要領，2018.10
- 4) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編，2017.11
- 5) 南，森他：製作を考慮した溶接交差部スカラップ構造の1考察，鋼構造論文集第6巻第21号，1999.3
- 6) (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，2002.3
- 7) (公社)日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，2020.11