

鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析

DATA BASE FOR FATIGUE CRACKINGS IN STEEL BRIDGES

三木千寿*・坂野昌弘**・館石和雄***・福岡良典****

By Chitoshi MIKI, Masahiro SAKANO, Kazuo TATEISHI and Yoshinori FUKUOKA

Fatigue crackings in 180 steel bridges are summarized and presented as a data base in personal computers. This data base includes the histories of bridge, details of structure, types of cracking, causes of cracking and retrofitting methods. By using the reference function of data base, the service life and occurrence of crack of bridges, typical cracks and their causes in various bridge details, and the fatigue strengths of connections are discussed.

Keywords : bridge, fatigue, data base

1. はじめに

橋梁は自然の環境中に設置され、それが長い期間、場合によっては半永久的に供用され続けることが特徴である。またそれに作用する外力は、死荷重を除けば、自動車や列車などによる、時間的に変動する活荷重が中心である。したがって疲労損傷は腐食を除けば鋼橋の供用開始後に想定されるおそらく唯一の破壊形態と考えられる。従来わが国では疲労損傷は鉄道橋だけの問題と考えられてきたが、近年、かなりの数の道路橋においても疲労損傷が発生している¹⁾⁻⁶⁾。近年の大型化、溶接構造の主流化、高張力鋼の使用といった鋼橋の設計、製作面での傾向、またその上を通過する車両の大型化、重量化や交通量の飛躍的な増加を考えると、疲労損傷は道路橋においても今後ますます増加すると考えられ、疲労損傷の予知を目的とした維持・管理や補修・補強の技術を確立することが必要と考えられる。

鋼橋に疲労損傷が発生した場合、今までは、その損傷

要因分析や補修対策は、それを管理する機関を中心として、その分野の専門家(いわゆるエキスパート)の意見を参考にしながらケースバイケースに対応されてきた。そのエキスパートの有する知識のうちで過去に生じた損傷事例は非常に高いウェイトを占めている。しかし、損傷の数が少ないうちはエキスパートに依存できるが、今後多くの橋梁の疲労に対する安全性を確保するには、少数のエキスパートの有するそのような知識がある程度以上のレベルの技術者によっても利用できるようにすることが望ましい。特に疲労損傷事例に関してはほとんど公表されておらず、ましてやそれを集めたような資料は土木学会疲労変状小委員会の報告⁷⁾やFisherの著書⁸⁾を除いてはほとんどない。また一部に公表されている資料についても、その内容を理解して的確に利用するには十分な知識と経験が必要となる。ここでは維持・管理に従事する技術者に、過去に生じた鋼橋の損傷事例に関する情報をわかりやすい形で提供することを目的としてデータベースを構築し、それをを用いて損傷の発生する時期、発生しやすい構造形式やディテール、損傷原因などについての分析を行った。

2. データベースの構成

データベースはマイコン用データベース構築支援ツ-

* 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科
(〒152 目黒区大岡山2-12-1)

** 正会員 工修 群馬大学助手 工学部建設工学科
(〒376 桐生市天神町1-5-1)

*** 学生会員 東京工業大学大学院学生

**** アジア工科大学大学院学生

ルを用いて構築した。

データベースでの収録項目は

- ①番号, ②所轄, ③橋梁名, ④架設時期, ⑤補強時期, ⑥発見時期, ⑦発見方法, ⑧供用年数, ⑨構造形式, ⑩損傷部材, ⑪発生位置, ⑫変状の種類, ⑬損傷程度, ⑭原因, ⑮対策

である。

①番号には整理番号を収録する。これは、橋梁の図面や損傷状態の写真をまとめたデータシートとの対応付けの役目もする。②, ⑦, ⑨～⑮の各項目のデータ収録には、検索のための index を用い、その後に詳細を付記している。各項目内での index とデータベースの検索機能により、各項目ごとに必要な損傷事例を容易に検索することが可能となる。また、複数の項目を AND, OR, NOT などと組み合わせて損傷事例を捜すこともできる。

本データベースには現在 180 件の損傷事例が入っており、このうち 157 件が疲労損傷事例である。その内わけを図一に示す。これらの損傷事例のほとんどは雑誌等に公表されたものである^{1)~16)}。しかし収録項目のうち②所轄および③橋梁名はコード名で入力されておりユーザーは直接にはそれを知ることはできないようにしてある。

ここに収録した 157 件の疲労損傷事例が鋼橋の損傷の一般的な傾向をつかみ、またその分析に十分な数かどうかは現時点では明らかではない。特に今までに公表されている損傷報告からは疲労亀裂の発生した橋の数や桁の数あるいは疲労亀裂の数を読み取ることが困難なことが多い。たとえば Fisher によりまとめられた事例集⁹⁾において、事例ごとに同様な損傷が 20 以上といった表現がされており、またわが国においても同種の亀裂が同一

機関が管理する約 500 径間の 2500 か所以上の位置で発生している例¹¹⁾もある。したがって次章に示す損傷の分析においては概略の傾向を読み取ることに主眼を置いており、それぞれの事例の数はその参考値程度の重要性和と考えていただきたい。

3. 損傷事例の分析

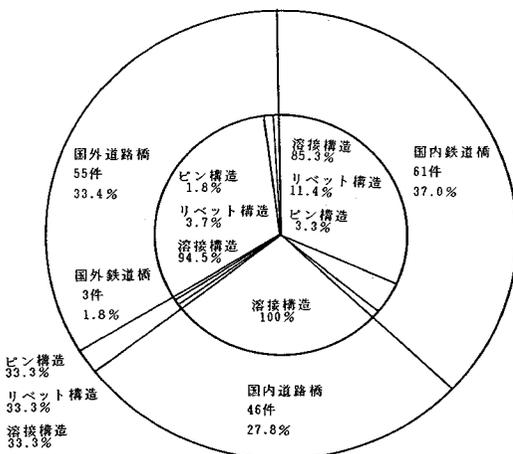
表一に疲労損傷事例を構造形式、損傷部材、亀裂発生位置で分類して示す。いろいろな形式の橋梁に、いろいろな原因で疲労損傷が生じている。これらのうちのいくつかの項目について、データベースの検索機能を利用して分析を行い、考察を加えた。

(1) 発生時期

疲労損傷事例の数を、図一に発見された年、図一に供用年数に対して示す。図一において、国内道路橋では 1983 年以降、国内鉄道橋では 1978 年以降の報告件数が激減している。この理由としては、その前数年間に発生しすでに公表されている損傷と同種の変状のため公表されないことや同種のディテールに対して補強対策したこと、および変状の把握および適切な対策方法の開発にまだ時間を要しているため公表がひかえられていることなどが挙げられる。

道路橋での疲労損傷が 1981 年から急に増えているのは主桁と横桁あるいはダイアフラムの取付部の疲労損傷が発見され始めたからであり^{6), 7), 11)}、図一との比較より、それは供用開始後 14 年あたりから発生することがわかる。図一に示したごとくわが国道路橋で報告されている疲労損傷はすべて溶接構造に生じている。溶接構造が本格的にとり入れられるようになった時期を考えるとそれがごく最近まで道路橋に疲労損傷が生じなかったこと、また、あまり供用年数の長い橋での疲労損傷がないことの原因であろう。このようなデータからも、わが国道路橋にとって疲労はこれから重要となってくる問題であることが明らかである。

国内鉄道橋ではかなり古い時期から疲労損傷が報告されている。1956 年以前 (1949~'53 年) の損傷は 30 年以上使用したピン結合トラスアイバーの破断¹²⁾や、溶接補強した部材の亀裂発生である。その後 1968 年頃、垂直補剛材下端のまわし溶接部等に疲労損傷が発生した例がある。1973 年から新幹線橋梁の疲労損傷が報告されるようになってきた。図一には供用 11 年~15 年の損傷件数に集中して増大しているようになっているが、これは同類の桁に対し集中的に検査を実施したことによるものである。これらについては早々に対策がとられたため、その後数年間は変状の報告がほとんど上がっていない。その後わずかず新しいタイプの疲労損傷が生じていることを示している。鉄道橋では新種の亀裂が複数



図一 疲労損傷事例の内わけ

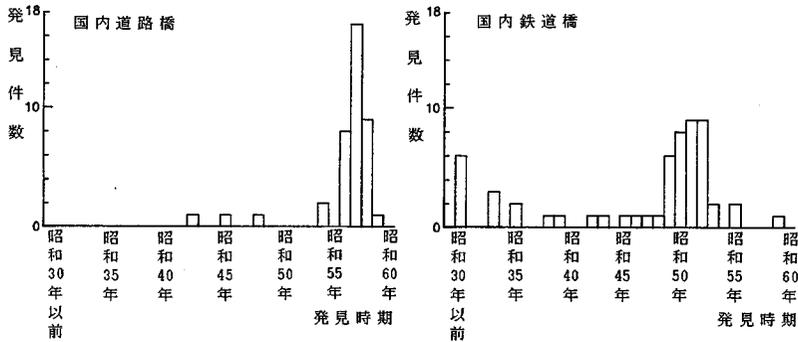
表一 疲労損傷事例の構造形式, 損傷部材, 発生位置による分類 (その1)

| 構造形式 | 損傷部材 | 亀裂発生位置 | 損傷程度 | 橋梁数 鉄道 外国 | 供用 年数 | 原因 | 対策 | | |
|---------|---------------|---|--|--|--|--|--|--|---|
| I (B)型桁 | 主桁 | 下フランジ | 加圧プレート突合せ溶接部 加圧プレート端前面隅肉止端 | 全壊 下フランジ内 | 1 1 | 27月 12 | 溶接欠陥、低温 応力集中 | 撤去 添接補強 | |
| | | ウェブ | 誤ってあけた孔の埋戻し溶接部 | 全壊 | 3 | 9 | 溶接欠陥、低温 | 取替え | |
| | 上フランジ | 溝型補強材突合せ溶接部 溝型補強材取付側面隅肉 加圧プレート側面隅肉 加圧プレート側面隅肉 突合せ溶接部 加圧プレート突合せ溶接部 加圧プレート端前面隅肉止端 | ヒート内 溝型材へ ヒート内 ヒート内 全壊 下フランジ内 全壊 | 1 3 1 1 2 1 4 | 20 26-30 22 13 47月、34 22 0-3 | 溶接欠陥 2次応力(まくら木) 2次応力(まくら木) 2次応力(まくら木) 溶接欠陥、低温 溶接欠陥、低温 | 添接補強 高力ボルト接合 添接補強 添接補強 | | |
| 上陸箱桁 | 主桁 | 上フランジ | 溝型補強材取付側面隅肉 加圧プレート側面隅肉 加圧プレート側面隅肉 突合せ溶接部 加圧プレート突合せ溶接部 加圧プレート端前面隅肉止端 | ヒート内 溝型材へ ヒート内 ヒート内 全壊 下フランジ内 全壊 | 1 3 1 1 2 1 4 | 20 26-30 22 13 47月、34 22 0-3 | 溶接欠陥 2次応力(まくら木) 2次応力(まくら木) 2次応力(まくら木) 溶接欠陥、低温 溶接欠陥、低温 | 添接補強 高力ボルト接合 添接補強 添接補強 | |
| | | 下フランジ | 加圧プレート突合せ溶接部 加圧プレート端前面隅肉止端 | 全壊 下フランジ内 | 2 1 | 47月、34 22 | 溶接欠陥、低温 溶接欠陥、低温 | 添接補強 添接補強 | |
| | | ウェブ | 垂直突合せ溶接部 水平突合せ溶接部 引張側の水平補剛材突合せ溶接部 桁端切欠き部の下フランジとの隅肉 上フランジとの側面隅肉 (鉄併用) 対傾構取付垂直補剛材下端の隅肉止端 | 下フランジへ ウェブ内 全壊 ウェブ内 ウェブ内 ウェブ内 | 1 1 1 8 1 4 | 15 5 9 13-15 13 2,2,2 12 | 溶接欠陥 溶接欠陥 溶接欠陥 応力集中 2次応力(まくら木) 面外曲げ | 添接補強 添接補修 添接補強 添接補強 隅肉溶接とりやめ 添接補強 | |
| | | 補剛材 | 対傾構or横桁取付板上端のウェブキヤップ 下横構キヤップ取付部の隅肉止端 垂直補剛材下端部の隅肉止端 垂直補剛材下端のウェブキヤップ 対傾構や横桁取付補剛材上端部 端補剛材下端の下フランジとの隅肉 横構キヤップと垂直補剛材間の溶接部 | ウェブ内 ウェブ内 ウェブ内 ウェブ内 ヒート内 ウェブ内 | 1 1 2 21 1 1 | 10 13 0 14-20 15 7 | 面外変形 振動(列車走行) 振動(輸送中) 2次応力(荷重分配) 応力集中 溶接欠陥 | ストップボルトキヤップ拡大 フランジに溶接or連結 キヤップを補剛材に溶接 添接補強 ストップボルト、高力ボルト 溶接補修、補強板 完全とけ込み溶接 | |
| | | ガセット | 対傾構 | 下支材取付キヤッププレート | ガセット内 | 5 | 2,16-21 | 面外曲げ | ストップボルトキヤップ拡大 フランジに溶接or連結 キヤップを補剛材に溶接 |
| | (ケ)組(桁) | 縦桁 | 横桁 | ヒンジ接合部 張出フランジとの仮付溶接、主桁上フランジとのウェット孔 下支材取付キヤッププレート | 破断 破断 ガセット内 | 2 2 1 | 25,33 19 17 | 腐食 2次応力(面内曲げ) 応力集中 | 交換 主桁から解放 主桁にキヤップ接合 連結補強 |
| | | | 対傾構 | 下支材取付キヤッププレート | ガセット内 | 1 | 17 | 応力集中 | 連結補強 |
| | | | 上フランジ | 上下線連結構位置のウェブとの首溶接 縦桁と横桁の交差部の溶接 | 上フランジ内 上フランジへ | 1 3 | 13 12 | 2次応力(たわみ差) 2次応力(まくら木) | 添接補強 |
| | | | 下フランジ | 支点上のナットプレートとの隅肉止端 桁端切欠き部のフランジとの溶接部 補剛材下端部の隅肉止端 道床積載柱取付部の補剛材下端隅肉止端 | ウェブ内 ウェブ内 ウェブ内 ウェブ内 | 1 1 6 1 | 14 17 11-12 17 | 応力集中 応力集中 振動(列車走行) 振動、面外曲げ | ボルト接合 添接補強 添接補強 添接補強 |
| | | | 角継手 クイック 上下線連結構 | 縦方向溶接部 縦桁との交差部の隅肉止端 主桁取付部の剛度急変箇所やキヤップ | ヒート内 クイック内 破断 | 2 1+ 1+ | 12 13-15 | 溶接欠陥 振動(列車走行) 2次応力(たわみ差) | 亀裂除去 ストップボルト |
| 下路I桁 | 主桁 | ウェブ | 桁端の切欠き部 | ウェブ内 | 13 | 8-13 | 応力集中 | 添接補強 | |
| | | 縦桁 | 桁端の下フランジ打切り部の切欠き | ウェブ内 | 4 | 1 7,10,10 60,5 | 応力集中 | 下フランジ延長、連結 | |
| | 下横構 | 縦桁下フランジとの連結部 | 破断 | 1+ | 16-18 | 振動(列車走行) | 拘束緩和 | | |
| トラス | 弦材 斜材 (付材) | 加圧プレートのフラク溶接部 アハのピン孔 アハの下格点首部 付材の斜材との交点での添接板リベット孔 上下格点部のスリット補強板前面隅肉止端 | 破断 破断 破断 破断 亀裂発生 | 1 2 1 1 1 | 1 41,44 53 37 8 | 溶接欠陥 応力集中 2次応力(面内外曲げ) 面外曲げ 応力集中 | 交換 交換 スリット板延長 クイック取付 | | |
| | | 垂直材 | 上弦材との結合点付近 | 亀裂発生 | 1 | 0 | 振動(強風) | | |
| | | 縦桁 | フランジ | 縦桁モントプレート貫通部の溶接部 端横桁外側の補剛材下端部 上フランジ打切り部の切欠き | ウェブ内 ウェブ内 ウェブ内 | 2 1 1 | 13-14 | 溶接欠陥 面外曲げ 応力集中 | 添接補強 添接補強 |
| | | | ウェブ | 舟型溶接補強材端部 横桁との間のフラク取付部のウェブキヤップ 下フランジ打切り部の切欠き | 亀裂発生 ウェブ内 ウェブ内 | 1 1 3 | 25 12 13-15 | 溶接欠陥 面外曲げ 応力集中 振動(列車走行) | 添接補強 添接補強 |
| | | 下横構 | 補剛材下端の隅肉止端 縦桁下フランジとの連結部 | ウェブ内 破断 | 1+ 1+ | 16-18 | 振動(列車走行) | 拘束緩和 | |

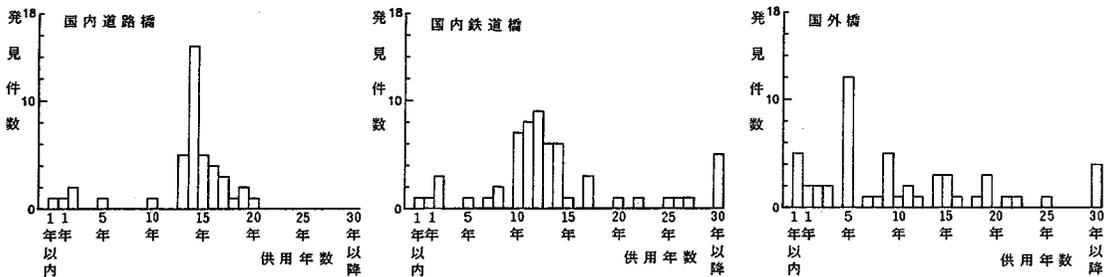
1+ ... 数が不明のもの

表一 (その2)

| 構造形式 | 損傷部位 | 亀裂発生位置 | 損傷程度 | 橋梁数 鉄・道・外 | 供用 年数 | 原因 | 対策 | |
|---------|---|-----------------------------|-------------|--------------|----------|--|----------------|------------|
| 上路アーチ | 中間支柱 アーチ上フランジ 補剛桁ウレフ | 上下連結部 | 桁に進展 | 2 | 16, 19 | 2次応力 (橋軸方向) 面外交形 応力集中 | ヒゲ化 | |
| | | 支柱取付部の溶接止端 | ヒート沿い | 1 | | | | |
| | | 端支柱上の切欠き部 | ウレフ内 | 1 | 19 | | | 下フランジ連結 |
| 下路アーチ | アーチウレフ タイ桁(Box) 吊材 斜材(鋼管) 横桁 上フランジ ウレフ | 端横桁連結部の溶接止端 | ヒート沿い | 1 | | 面外交形 溶接欠陥 振動(風) 振動(風) 2次応力(橋軸方向) 面外交形 | 亀裂除去 | |
| | | 角継手の補強溶接部 | 溶接部内 | 3 | 14 | | 補強, 吊材緊結 | |
| | | 上下連結部 | 亀裂発生 | 3 | 1, 2, 5 | | | |
| | | 連結部カセット | 亀裂発生 | 1 | 47月 | | | トリップワイヤ巻付 |
| | | 主桁との連結板の溶接部 | ヒート沿い | 1 | | | | |
| | | タイ桁との連結部のウレフキヤップ | ヒート沿い | 9 | 5 | | | フランジ連結 |
| 斜張橋 | ケーブル 鋼床版 | 定着部 | 破断 | 1 | 15 | 腐食, 曲げ 2次応力, 腐食 | 交換 | |
| | | トアラリフとトッキキレトオラフイアラムとの隅肉溶接 | ヒート内 | 1 | 15 | | 溶接補修, 添接補強 | |
| 吊橋 | 上弦材 吊材 縦桁 ウレフ 鋼床版 | アハチン孔部 | 落橋 | 1 | 39 | 応力集中, 腐食 振動(風) 面外交形 2次応力 | 交換 | |
| | | 下側ウレフ部 | 破断 | 1 | 8 | | | |
| | | 横桁との間のアラット取付部のウレフキヤップ | 亀裂発生 | 2 | 11 | | | アラット切断(解放) |
| | | トアラリフと輸送用隔壁の溶接部 | ヒート沿い | 1 | 5 | | | 添接補強 |
| アレンディール | 下弦材 | 垂直材との接合部のカセットアラット突合せ溶接 | 全壊 | 3 | 1, 3, 5 | 溶接欠陥, 低温 | | |
| 橋脚 | 梁のウレフ 梁と柱の連結部 | 主桁貫通部のカセット溶接 | 全壊 | 1 | 9 | 溶接欠陥, 低温 溶接欠陥 | 仮支柱 | |
| | | 隅角部の溶接部 | ヒート内 | 1 | 10, 13 | | 添接補強 | |
| | 橋側歩道高欄 道路標識柱 | 中間横材と柱の溶接部 基部のウレフ上端の隅肉止端 | 破断 全周の3割 | 1 | 15 | 振動(列車走行) 振動(車, 風) | ヒゲ化 補剛ウレフ取付 | |



図—2 疲労損傷発見時期と発見件数



図—3 供用年数と疲労損傷発見件数

発見された時点で、同種の構造の全数調査を実施し、対策がとられている。

図—3において外国の橋梁では供用開始後かなり早い時期（4年以内に10件）に、疲労損傷が生じたことを示している。これらは大きな融合不良や割れなどの溶接欠陥あるいは工場内でのハンドリングや輸送中の振動等を原因としている。しかしわが国道路橋では、ランガーの吊材の風によるカルマン渦により引き起こされた振動でその取付部に生じた事例以外はない^{(13),(14)}。また鉄道橋で供用開始早期に生じた損傷は、戦時中あるいは戦後期の溶接補強桁など特殊なもののみ⁽¹⁾である。

(2) 発生しやすい構造ディテール

橋梁形式ごとの特徴的な疲労損傷および疲労損傷の発生しやすい構造ディテールを以下に示す。

a) プレートガーダー

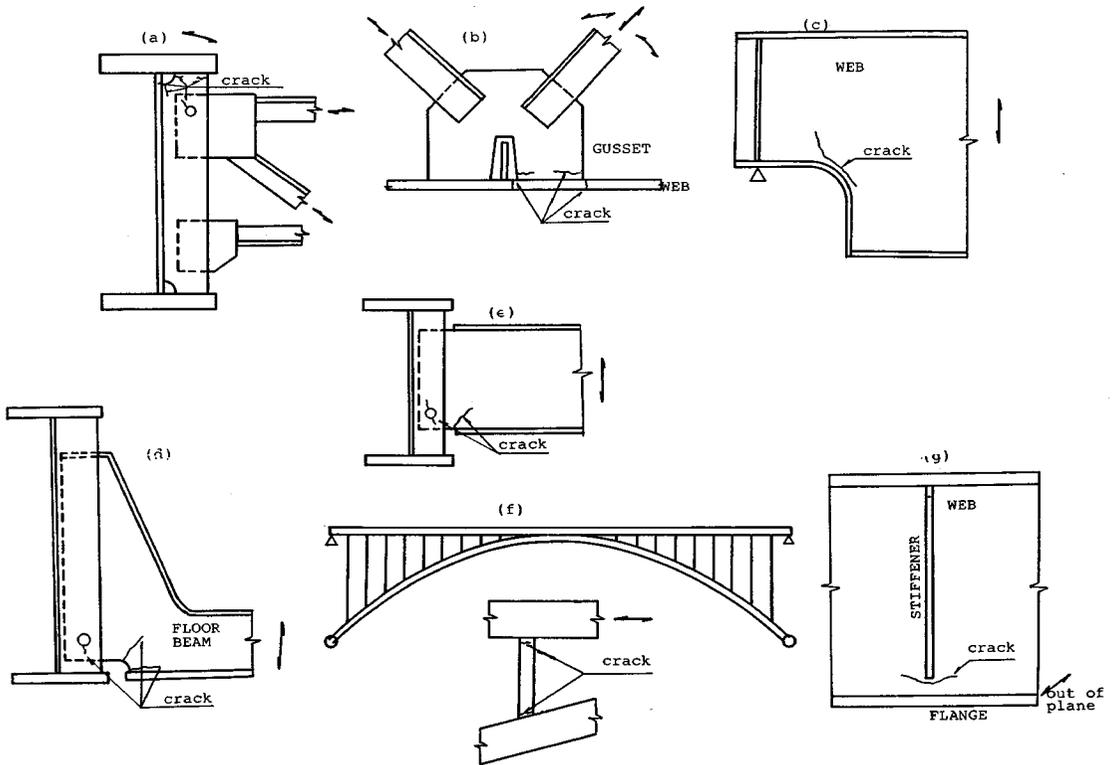
上路プレートガーダーの下フランジについては、わが国の橋では戦時中の1例⁽¹⁾を除いて疲労損傷は生じていない。ただしアメリカでの事例のごとく下フランジの疲労亀裂は脆性破壊を引き起こし、桁の切断につながるため、品質があまり良くないおそれのある、あるいは品質の確認が十分でない突合わせ溶接部やカバープレートの端部などは注意を要する。

わが国の鉄道橋では今のところ下フランジに疲労亀裂が発生したという報告はないが、上部プレートガーダーの上フランジ溶接部の損傷は報告されている。この原因の多くは枕木からの荷重伝達に関連した二次応力によるものがほとんどである。

上路プレートガーダーのウェブには主として面外変形を原因とするいくつかの疲労亀裂が発生している（図—4(a)）。対傾構や横桁を取り付けた垂直補剛材の上、下端周辺はウェブ側にも、また垂直補剛材側にも疲労亀裂が発生している。ラテラルガセットを取り付けるための隅肉溶接部も同様であり（図—4(b)）、ウェブ側、ガセット側の両方の止端に疲労損傷が生じやすい。

わが国の上路プレートガーダー橋の主部材で面内力が主な原因となり疲労損傷を生じたものとして、桁端切欠き部をもつ下フランジとウェブの隅肉溶接部の亀裂がある（図—4(c)）。この変状は桁を切欠いたことにより高い応力集中が生じることや、製作上ルートギャップが大きくなりやすいことなど製作精度の確保が難しいディテールであることに起因している。鉄道橋でもこの種の亀裂が数例報告されているがその後ディテールが改良され最近ではみられなくなっている。

下路プレートガーダーでの疲労損傷はわが国では鉄道



図—4 橋梁型式とその特徴的な疲労損傷

橋にのみ発生している。その損傷は横桁を主桁に取り付ける接合部で、横桁のフランジを切り欠いた部分（図—4（d））、および縦桁を横桁に取り付ける接合部で、縦桁の同様なディテール（図—4（e））のみである。鉄道のトラス橋においても同様な横桁と縦桁の接合部の損傷が発生している。

b) ボックスガーダー

上路ボックスガーダーのウェブに生じる疲労損傷はプレートガーダーと大差はなく、鉄道橋の垂直補剛材下端における列車走行に伴う面外変形や製作精度の程度に起因する亀裂発生が主な事例である。ボックスガーダーの特徴的な損傷として、ダイヤフラムとリブの交差部の隅肉溶接のダイヤフラム側止端に生じる亀裂がある。これは列車が高速で通過することによりダイヤフラムが振動したことに起因している。

c) トラス

トラス主構ではピン結合トラスのアイバーの切断以外は今までに目立った損傷はない。端横桁と縦桁の交差部で、縦桁フランジ位置の端横桁ウェブ内に生じる亀裂はトラスの特徴的な損傷である。これは縦桁の橋軸方向の動きにより、横桁のウェブに面外方向への変形が引き起こされるためと考えられる。縦桁ウェブの疲労損傷はプレートガーダーの主桁や縦桁の損傷と同様である。

d) アーチ橋

上路アーチ橋では支柱の上下端の接合部周辺に集中している。これは桁が橋軸方向に移動しやすい構造となっており、アーチリブと桁の橋軸方向の相対的な変位差によって生じたものと考えられる（図—4（f））。

下路アーチ橋では吊材の風による振動を除くとアーチあるいは柱と横桁の接合部周辺に損傷が多い。疲労亀裂はアーチリブあるいは桁のウェブ側の溶接止端部に生じる場合と、横桁の端部に生じる場合、あるいはコネクションプレートに生じる場合がある。端横桁とアーチリブの接合部には床組の橋軸方向の移動に伴う変形が集中する傾向がある。また左右両側の桁の変位の差が横桁と桁の接合部に二次的な応力を発生させる。

(3) 損傷原因

表—2に国内および外国での疲労損傷事例の原因別の割合をデータベースから検索した結果を示す。しかし、前に述べたように、データベースに含まれている損傷事例の数はさほど正確なものではなく、ここに示す割合は参考程度のものである。特に原因が面外変形や二次応力に分類される事例では1事例中に多数の損傷桁を含む場合が多い。それに対して溶接欠陥を原因とする場合はほとんどの事例において損傷は1橋梁の1つの部材に限られている。

外国の橋梁で面外変形と分類されているのは大部分が負モーメント域の上フランジ側のウェブギャップに生じた損傷である。わが国の道路橋での対傾構取付部の損傷は主桁のモーメントの正負にかかわらず発生しているが、垂直補剛材が上フランジに溶接されていることが多いため、疲労亀裂はウェブではなく垂直補剛材の上端溶接部やその周辺に生じたものと考えられる。この損傷は表—2中では二次応力に分類されている。この損傷の原因は主桁間のたわみ差、床版のたわみと床版による拘束であり、アメリカのウェブギャップと類似の損傷といえよう。

表—2において車両通過に伴う振動による疲労損傷はわが国の鉄道橋だけで発生している（図—4（g））。これらの大部分は新幹線等高速運転区間にある橋梁である。しかし、いまだ公表されておらず、ここには含まれていないが、アメリカにおいても、最近都市内鉄道のボックスガーダーでこの種の損傷が発生している。

図—5に主な原因別に損傷発見件数と供用年数の関係を示した。溶接欠陥を原因とする疲労損傷は供用開始後比較的早い時期に発生している。また国内では溶接欠陥が原因の疲労損傷は少ない。桁端切欠き部やフランジを切り欠いた横桁あるいは縦桁の疲労損傷は10年～15年に集中している。発生数の最も多い面外曲げおよび二次応力による疲労損傷は、供用年数が長くなるに従って増加傾向にあることを示している。

(4) 継手型式

図—6に疲労損傷が発生した継手型式別に損傷橋梁の

表—2 疲労損傷事例の原因別割合

| No | 原因 | 発生件数の多い損傷位置 |
|----|----------|---|
| 1 | 初期欠陥 7件 | |
| 2 | 応力集中 34件 | 横桁下フランジ終端部の腹板切欠部 14件 縦桁下フランジ終端部の腹板切欠部 5件 主桁端部の腹板切欠部 7件 |
| 3 | 面外変形 11件 | 主桁の対斜構取付補剛材下端の腹板 4件 |
| 4 | 二次応力 33件 | 対傾構取付垂直補剛材上端部 18件 主桁上フランジ溝型補剛材と腹板の交差部 3件 縦桁上フランジ溝型補剛材と腹板の交差部 3件 |
| 5 | 車両振動 15件 | 中間補剛材下端部の腹板 7件 床板の中間補剛材下端部 3件 縦桁に付くラテラルリブの交差部 2件 |
| 6 | 風の振動 4件 | 吊材の上下連結部 3件 |
| 7 | その他 3件 | |

| No | 原因 | 発生件数の多い損傷位置 |
|----|----------|--|
| 1 | 初期欠陥 23件 | 突合わせ溶接部の欠陥 9件 |
| 2 | 応力集中 3件 | |
| 3 | 面外変形 19件 | 横桁腹板のタイ桁連結部のウェブギャップ 9件 縦桁腹板の横桁取付部のウェブギャップ 5件 縦桁腹板の横桁取付部のウェブギャップ 5件 |
| 4 | 二次応力 5件 | 床版のリブ 3件 |
| 5 | 車両振動 0件 | |
| 6 | 風の振動 1件 | |
| 7 | その他 7件 | 輸送中の振動 2件 |

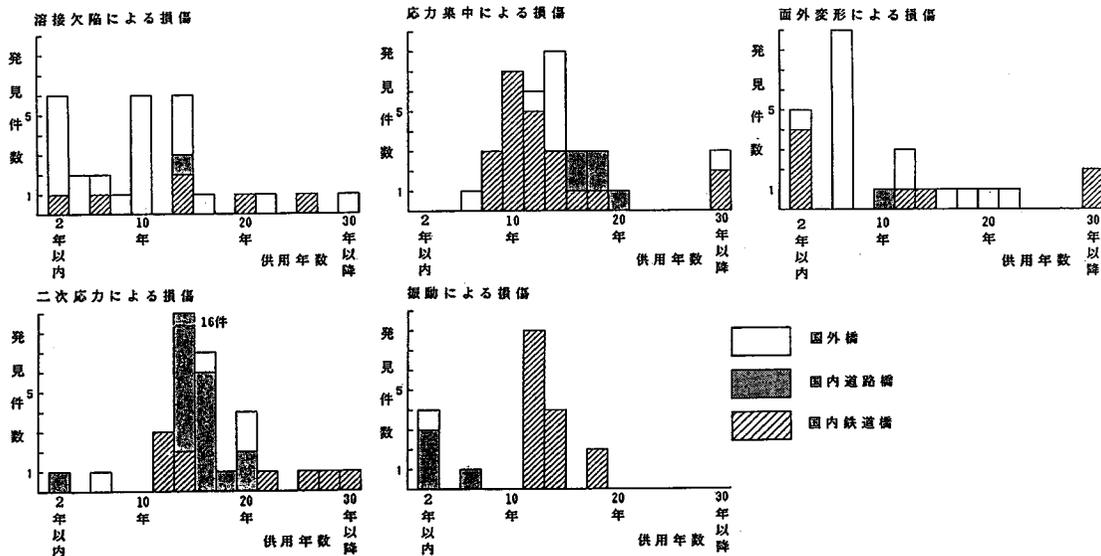


図-5 原因別に見た供用年数と疲労損傷の発見数

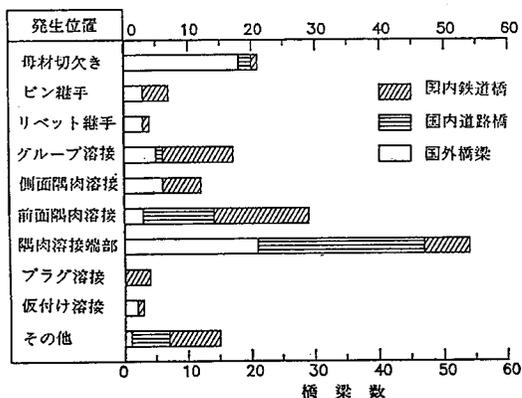
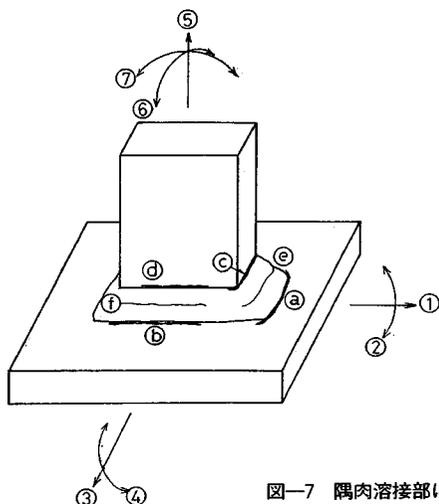


図-6 継手型式と疲労損傷の発生

数を示す。損傷の72%が溶接継手部に発生しており、そのうち80%が隅肉溶接部である。

図-7は隅肉溶接部に発生した疲労損傷を継手部に作用する外力の種類と疲労亀裂の発生位置について分類した結果である。従来、隅肉溶接部でいわゆるリブ十字継手として疲労を照査しているのは③の面内力でbの上端部亀裂が生じる損傷様式であるが、実橋での損傷は7件と比較的少ない。

最も数が多いのは垂直補剛材のような隅肉溶接で取り付けられた部材からの面内力⑤あるいは面外力⑥⑦による損傷であり、疲労亀裂は隅肉溶接のサイズが十分大きい場合は③④の溶接止端部から隅肉溶接のサイズが不十分な場合は③④に示すようなルートから発生する。プ



| 外力 | き裂 | | | | | | 計 |
|----|----|----|----|---|----|---|-----|
| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | |
| ① | | | | | | | 0 |
| ② | 27 | | | | | | 27 |
| ③ | | 7 | | | | | 7 |
| ④ | | 2 | | | | | 2 |
| ⑤ | | | 22 | | 21 | 9 | 52 |
| ⑥ | | 2 | | 9 | | | 11 |
| ⑦ | | | 26 | | 21 | | 47 |
| 計 | 27 | 11 | 48 | 9 | 42 | 9 | 146 |

図-7 隅肉溶接部における外力の種類と亀裂の発生様式

レートガーダー橋の対傾構や横桁取付部に発生した疲労亀裂はほとんどこれに分類される。付加板からの⑥のような力によっても、それが溶接されている側の板の剛性が十分でない場合はこの亀裂が発生することもある。このような面内あるいは面外力を受ける荷重伝達型隅肉溶接継手の疲労強度は、今まであまり検討されておらず、データの蓄積も不十分である。

隅肉溶接端部のまわし溶接部に面外力②によって生じる疲労損傷も非常に数が多い。これにはいわゆるウェブギャップや列車走行に伴う下フランジの振動による垂直補剛材下端の損傷が含まれている。この継手部の疲労も今まであまり検討されておらず、特に面外曲げの疲労の研究は非常に少ない。

4. おわりに

公表されている資料を中心に鋼橋の疲労損傷事例に関するデータベースを構築し、その検索機能を用いて損傷の発生時期、発生しやすい構造形式やディテール、損傷原因などについて分析を行った。データ数が十分ではないが、公表されている資料のみを用いてもそれを集成することにより鋼橋の疲労損傷の発生に関する種々の傾向や、維持・管理において有用と思われる情報あるいはわが国と外国での疲労損傷発生についての類似点や相異点などを得ることができた。

今後さらにデータ数を増やし、損傷に関してより一般的な傾向を導出できる、また維持・管理に対して的確な情報を提供できるようなデータベースを構築していくことを目標にしたい。

本報告をまとめるにあたり貴重なご意見をいただいた多くの皆様に深謝いたします。

本研究を実施するにあたって文部省科学研究費（総合研究（A）代表者：伊藤 学）の補助を受けた。

参 考 文 献

- 1) 西村俊夫：溶接鉄道橋の破損事故，溶接学会誌，第37巻，第10号，pp.1046~1050，1968.
- 2) 西村俊夫・三木千寿：引張応力に起因する鋼橋梁の変状，土木学会誌，1975年11月号，pp.55~64，1975. 11.
- 3) 野沢太三・山田幸男：新幹線橋りょうの現状と諸問題，鉄道土木，Vol.19，No.3，pp.162~172，1977. 3.
- 4) 阿部英彦・阿部 允：下路プレートガーダーの床組の疲労，構造物設計資料，No.60，pp.2~5，1979. 12.
- 5) 阿部英彦・谷口紀久・阿部 允：鋼鉄道橋における疲労問題と補修・補強，橋梁と基礎，Vol.17，No.8，pp.24~29，1983. 8.
- 6) 西川和広：道路橋における疲労問題と補修・補強，橋梁と基礎，Vol.17，No.8，pp.19~23，1983. 8.
- 7) 土木学会鋼構造委員会疲労変状調査小委員会：鋼橋の疲労変状調査，土木学会論文集，第368号/I-5，pp.1~12，1984. 4.
- 8) Fisher, J.W. : Fatigue and Fracture in Steel Bridges (Case Studies), Wiley-Interscience, 1984, 阿部英彦・三木千寿ほか訳：鋼橋の疲労と破壊，建設図書，1987.
- 9) 三木千寿：米国の溶接橋梁に生じた疲労被害例，橋梁と基礎，Vol.16，No.10，pp.18~24，1982. 10.
- 10) 三木千寿：海外の橋梁における疲労問題と補修・補強，橋梁と基礎，Vol.17，No.8，pp.30~34，1983. 8.
- 11) 北沢正彦・大西俊之・川北司郎・林 秀：鋼I桁主桁と横桁あるいは対傾構との取合部の疲労損傷とその対策，阪神高速道路管理技術センター技報，第6号，pp.122~134，1986.
- 12) 西村俊夫：ピン結合鉄道トラス橋の変状と対策，鉄道技術研究報告，No.483，1965. 7.
- 13) 巻幡敏秋・牛尾正之・出野 宏：向島大橋の吊材の耐風性について，橋梁，1972年5月号，pp.84~96，1972.
- 14) 成田信之・横江 稔：橋梁吊材の耐風性，道路，1973年1月号，pp.98~105，1973.
- 15) 明石重雄：溶接部疲労の現状と研究，土木学会論文集，第350号/I-2，pp.1~7，1984. 10.
- 16) 鋼橋技術研究会，鋼橋の維持管理技術研究部会：昭和60年度報告書，1986. 3.

(1987.6.29・受付)