

# 疲労損傷に対する補修事例のインターネット上データベースの構築とその利用

三木千壽<sup>1</sup>・伊藤裕一<sup>2</sup>・後藤清彦<sup>3</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152-8852 東京都目黒区大岡山2-12-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 東京工業大学大学院 博士課程 (〒152-8852 東京都目黒区大岡山2-12-1)

<sup>3</sup>正会員 工修 東京工業大学 研究生 (〒152-8852 東京都目黒区大岡山2-12-1)

鋼橋に生じた疲労損傷に対する補修事例をおよそ100例集め、要約した。これら要約事例は、原因と対策別に整理しデータベースを構築した。このデータベースの情報を、利用者の誰もがインターネットを通じて参照できるように、アドレスを公開する。ここでは、このデータベースシステムの利用方法を紹介し、また収録事例の分析から補修方法に関して若干の評価を行った。

**Key Words :** internet, database, steel bridge, fatigue, repair case

## 1. はじめに

我が国では戦後の高度経済成長期以降、鉄道、道路網の発達に伴い様々な橋梁が架設された。鋼橋では昭和30年代以降、疲労に敏感な溶接桁が積極的に採用され、それに伴い疲労損傷事例も国内外を問わず1960年代から数多く報告されてきた<sup>1)~17)</sup>。今後、鉄道橋、道路橋においても、使用鋼材の経年劣化に加え、輸送量の増大や様々な社会的要求が高まるなど、構造物に対してより負担が増えていくものと予想される。従って、疲労損傷も益々増加するものと考えられ、鋼橋の安全性を確保していくためには、疲労問題に対する維持管理、補修補強対策が重要な位置付けとなってくる。

現在、鋼橋を管理する機関では、疲労損傷に対する維持管理業務が独自に進められており、点検手法から損傷データの管理等、疲労に対するマニュアル作成も進められている。しかし、管理機関、設計・施工業者共に、新設工事の体制とは異なり、維持管理の体制は小規模であることが一般的なため、技術的なレベルが遅れている。付け加えて維持管理業務は地味な分野でもあり、優秀な技術者の投入が敬遠されるばかりか、その育成も充実しているとはいえないのが実状であろう。

疲労に対する補修・補強は単純に断面を増やして応力

を低下させれば済むものではない。補強を考えて行った対策が、かえって疲労強度を低下させ余寿命を短めたケースも多い。疲労損傷は、過去に対処された事例より原因・対策が判断されることも多く、経験から知識を取得することが非常に有益なものとなる。したがって維持管理においては、これら事例から経験を蓄積し、今後の業務に大いに反映することができるものと期待できる。そのためには、過去に報告された疲労損傷に対する補修事例を取りまとめ、これら情報を技術者の誰もが、簡単に参照できるようしていくことが有効である。

第一著者は、国際溶接協会 (IIW) の第XIII委員会 (疲労委員会) の補修に関するワーキンググループ (WG5) の主査として、溶接部に発生した疲労損傷に対する補修事例を収集している。近年のインターネットによる情報伝達網は、非常に充実し、しかも使い易くなっている。そこで筆者らはこのネットワークを利用して、収集したデータを維持管理に従事する橋梁技術者のみならず、様々な関係者に対し情報を公開・提供することを考えた。IIW, XIII, WG5で収集した事例は、橋梁、船舶、海洋構造物、クレーン、運搬機械など多岐に渡っているが、ここでは比較的データ数が多い、鋼橋の疲労損傷に対する補修事例について、そのデータベースの内容とシステムの紹介を述べる。過去に、鋼橋の疲労損傷によるデー

データベースについては、第一著者等によりパソコンソフト上で利用されてきた<sup>17)</sup>。しかし、そのデータベースには、画像や写真が含まれていない。本データベースには、損傷や補修に関する画像、写真がふんだんに含まれているのが一番の特徴である。

また、本データベースを利用して補修方法の評価について、若干の考察を加えた。

## 2. 疲労損傷に対する補修事例

### (1) 各事例の構成

本データベースに含まれる鋼橋の疲労損傷に対する補修事例は、いずれも過去に報告された文献から収集されたものである<sup>16), 18)~55)</sup>。海外事例として1960年代初頭から1980年代を中心に損傷が発生した46橋梁(52事例)、日本の道路橋事例として1970年代後半から1990年代前半に発生した36橋梁(38事例)、日本の鉄道橋事例として1980年代を中心に発生した5橋梁(6事例)の計87橋梁(96事例)より構成される。

### (2) 損傷事例の要約形式

各事例の要約は、その元となる資料の記載によらずできるだけ同じ形式を使用し、利用者が比較しやすいようにまとめた。各事例の構成を、Table 1に示す。

これら各事例の要約には、橋梁の図面や損傷状態・補修補強方法の写真・図なども盛り込み、要約中の記載と図がリンクされている。すなわち、要約中の“Fig.1”のような下線付き部分を選択することにより、選択された図や表に自動スクロールすることができる。

また本データベースには、鋼橋以外の事例を含んでいるが<sup>56), 57)</sup>、事例の要約は鋼橋の場合と同じ形式で紹介している。今後、機械、船舶、海洋構造物、パイプラインなどの広範囲の構造物の補修事例を追加していく予定である。

## 3. データベースシステムの構成

### (1) ホームページ (Homepage)

ホームページアドレスは

「<http://iiv-wg5.cv.titech.ac.jp/>」

である。なお、このホームページの使用言語は、ほとんどが英語である。

上記アドレスから、ウェブサイト上のホームページにアクセスすることができる。

Table 1 Style of repair cases.

1	Field of application	(現場箇所)
2	Circumstances of repair	(補修の履歴)
3	Types of structure	(構造形式)
4	Details of loading	(荷重種類)
5	Description of damage	(損傷の概要)
6	Repair method applied	(補修方法)

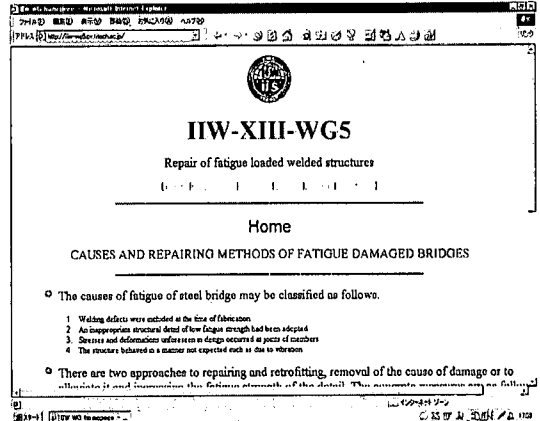


Fig.1 Head of Home page.

ホームページは以下の

[ Home | Repair case | Member | History | Search | Comment ]

によるメニューより階層式に構成される (Fig.1)。

### (2) ホーム (Home)

ホームとは、本データベースにアクセスした場合に表示されるスタートページのことである。

一般に疲労損傷が発生した場合、それに対する補修補強対策は、損傷の原因を除去する方法を採用することが重要である。したがって、本データベースでは原因に対する補修補強対策の適用性を提案する形式で、ホームページを構成した。

#### a) 原因 (causes)

溶接桁の疲労損傷は、溶接継手部に発生するものがほとんどである。これら損傷に対して、補修補強対策を決定するためには、原因を明白にしなければならない。

溶接継手に発生する疲労損傷の原因は、いくつかは大別される。ここでは損傷原因を、1から4の4種類に大別した (Table 2)<sup>43), 58)</sup>。

Table 2 Causes of fatigue of steel bridge.

1. Welding defects were included at the time of fabrication.
2. An inappropriate structural detail of low fatigues strength had been adopted.
3. Stresses and deformations unforeseen in design occurred at joints of members.
4. The structure behaved in a manner not expected such as due to vibration.

Table 3 Repair method.

A. removal of crack
B. re-weld
C. surface treatments such as TIG dressing and Peening
D. re-weld + post weld surface treatment
E. bolted splice
F. shape improving
G. stop hole
H. modification of connection detail

b) 対策 (measures)

疲労損傷に対する対策には、損傷原因の根本を除去するもしくは軽減する方法と、損傷ディテールの疲労強度を改善する方法に大別される。それらをさらに具体化して、AからHの8種類の対策方法に大別した (Table 3)。

Table 3に示された補修方法の参考例をFig.2からFig.7に示す。なお、Table 3に示される“F”の形状改善は、溶接部とその極近傍に対する補修方法で、溶接部の完全溶込み化による継手そのものの改善方法も該当する。一方、“H”による補修方法は、継手周辺から構造系全体までを含めた接合部ディテールの変更を意味し、“F”とは補修対象ディテールや補修規模の差で区別される。

Table 3に示す方法は単独で用いられるというより、むしろ併用して用いられる場合が多い。本データベース中に含まれる事例においても、「G:ストップホール」はき裂の進展防止のために応急措置として適用される場合が多く、別な方法により恒久対策がなされた事例も数多く存在する。そのような事例に対しては、恒久対策として対処された対策方法で代表させることとした。

Table 4 Applicability of combinations.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	G	G		G	E	G		G
2	F	F	G	E	E	E	G	E
3	F	F	G	G	E	G	G	E
4	F	F	G	G	E	G	G	E

E:Excellent G:Good F:Fair N:No good

c) 補修方法選定の提案

本ホームページでは、疲労損傷の各事例に対してとられた補修方法の評価を、筆者等の判断により行っている。判断指標を以下に示す。

①原因1に対して

損傷の原因が溶接欠陥である場合は、き裂を含めて欠陥自体が除去されれば構造ディテール上問題のないことが多い。そのため“A”のき裂除去や“B”の溶接補修、それに表面処理を行う“D”の局所的補修方法が有効である。き裂が主要部材に進展した場合、補修は上記に加えて、添接板による補修“E”と併用されることが望ましい。橋梁や各部材製作時の溶接欠陥は、同一ディテール内の溶接部に多数内在する可能性もある。したがって、当該溶接部に作用する応力を低減するよう形状を改善したり (F)、構造ディテールを改良する方法 (H) は、大がかりとなるが有効な方法である。

②原因2に対して

この原因による損傷の補修は、損傷前の状態に復元する補修方法では、き裂再発の可能性が極めて高い。したがって、補強や添接部材を使用して溶接部に作用する応力を低減させるか、溶接部を直接処理して、応力集中を低減させる方法や疲労強度を向上させる方法をとる必要がある。

部材を用いる補修としては、構造補強を行う“E・H”の方法が該当する。一方溶接部に対する補修は、グラインディング、TIG処理などの溶接止端仕上げによる応力集中低減策で、事前補強としての“C”、事後補修としての“D”が該当する。また、溶接止端部の形状改良の他に圧縮残留応力の導入をもたらすピーニング (C)、完全溶け込み化 (F) による溶接継手全体の疲労強度向上方法も該当する。しかしピーニングの場合は、これによる単独補修よりも、“D”として溶接補修後に行う方が効果的である。

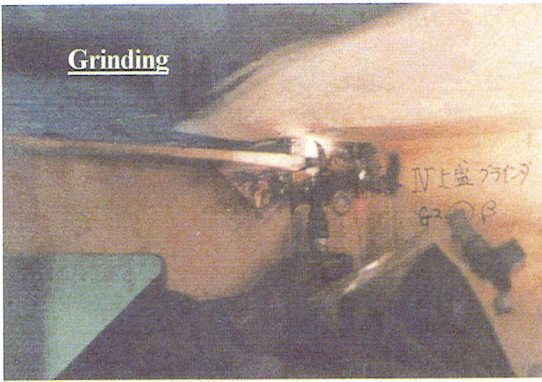


Fig.2 Example of "Repair A" during grinding.

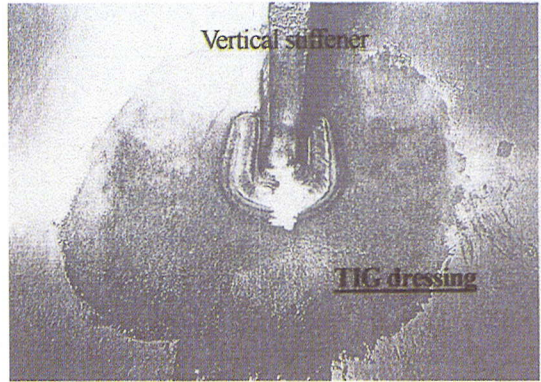


Fig.3 Example of "Repair D" performed by 1 pass fillet weld and TIG dressing in Shinkansen bridge.

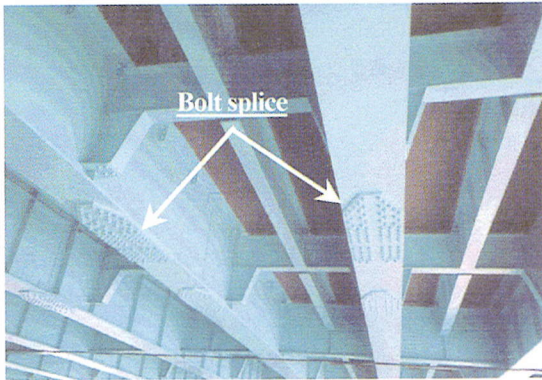


Fig.4 Example of "Repair E" performed by bolt splice at the girder bottom flange in roadway bridge.

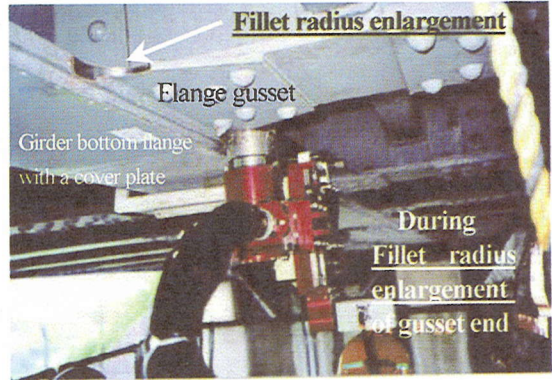


Fig.5 Example of "Repair F" performed by fillet cutting at the end of flange gusset in Shinkansen bridge.

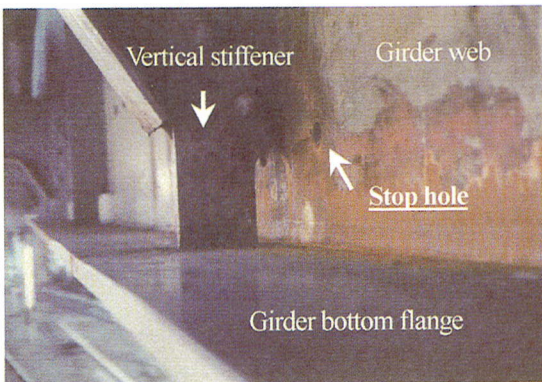


Fig.6 Example of "Repair G" performed by stop hole at the girder web in Shinkansen bridge.

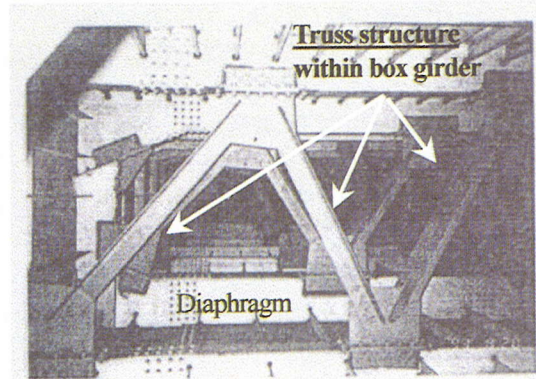


Fig.7 Example of "Repair H" performed by truss structure within the box girder bridge.

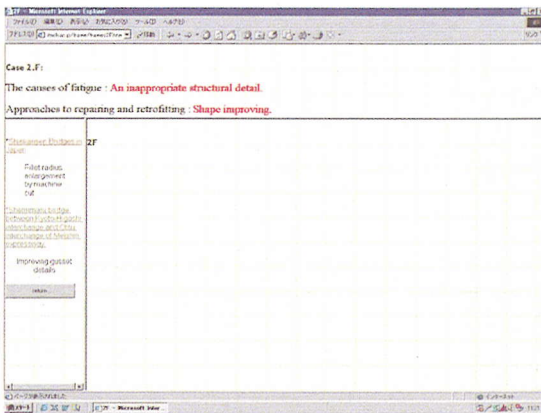


Fig.8 Web page of “No.2” cause and “F” repair.

### ③原因3に対して

これら損傷は、橋梁系全体の挙動・相互作用による変形や部材接続端部の拘束モーメントによる2次応力の発生に起因する。従って補修は、拘束モーメントに抵抗するように剛度を上げるか、低減させるかによるものとなる。

その内、橋梁系全体を考えた場合は、“H”の構造ディテール改良が補修方法として最も適している。しかし構造上の制約がある場合は、“E”の断面増加による応力低減策が有効である。なお、垂直補剛材下端の腹板面外変形による損傷のように、“C”や“D”による局部補修や、“F”や“G”による二次応力の解放策をとる場合もある。

### ④原因4に対して

風の作用や車両通過による部材振動に起因する損傷に対しては、振動自体を抑制することが困難であるために、それら振動によって発生する応力を低減する対策が有効である。そのため、局所的な補修では応力の抑制効果が期待できなく、部材は引き続き応答を繰り返すことになる。

したがって、“F”や“H”の形状や構造ディテール改良による応力低減、構造上制約がある場合は“E”の断面増加による応力低減、また“C”や“D”による疲労強度向上が効果的となる。

以上のような判断指標を整理すると、Table 4のようになる。ここでの“A”から“H”の評価は、著者らの第一次評価であり、これについては当ウェブページメニュー上のComment機能(3.(7)節参照)を用いて、さらに多くの専門家からの意見を取り込み、改善していく予定である。またTable 4の空白部の評価についても同様である。ここで利用者は、おのおのの原因に対して実際になされた補修事例を参照することができる。

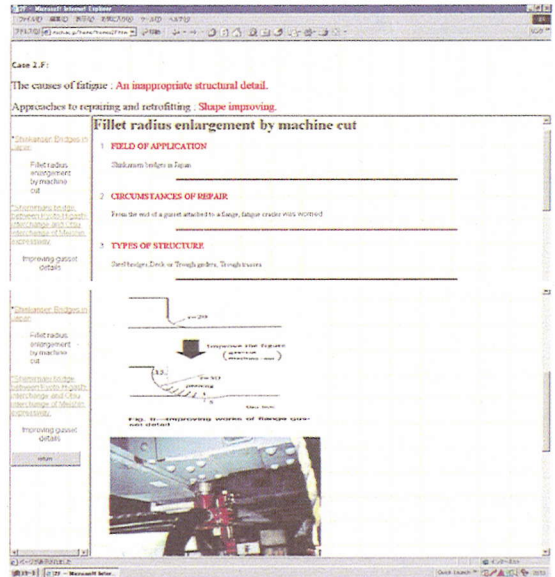


Fig.9 Repair case of “Shinkansen Br. (end of gusset)”.

ホームページ上での事例参照方法は次の通りである。組合せ表のランク記号を選択した場合、該当事例の一覧がウェブページのフレーム左欄に表記される(Fig. 8:原因が“No.2”, 補修方法が“F”によりなされた場合のウェブページ)。引き続き、このフレーム左欄上のある1事例を選択することにより、該当事例の要約が右欄にて参照することができる(Fig.9: “Shinkansen Br. (end of gusset)”の事例参照)。

### (3) 補修事例 (Repair case)

当ウェブサイトでは、本システムに収録されている事例を一覧することができる。各事例は、鋼橋の事例として、「日本の事例」と「諸外国での事例」、それ以外の事例は「他の事例」で分けて収録されている。いずれの場合も、各事例は橋梁名もしくは一般名により記載され、その後補修方法が付け加えられている。

ここでも利用者は、ホームページ上で事例を参照することができる。

ホームページ上覧に表記されたメニュー上の“Repair case”を選択すると、Fig.10に示すウェブページが表示される。このいずれかの選択により、各収録事例の一覧表に移行する(Fig.11: “Cases in “Japan” を選択)。このウェブページ上の橋梁名もしくは一般名の選択により、該当事例の要約を参照することができる(Fig.12: “Steel bridge on roadway bridge (at coped end)(Part 2)” を選択)。

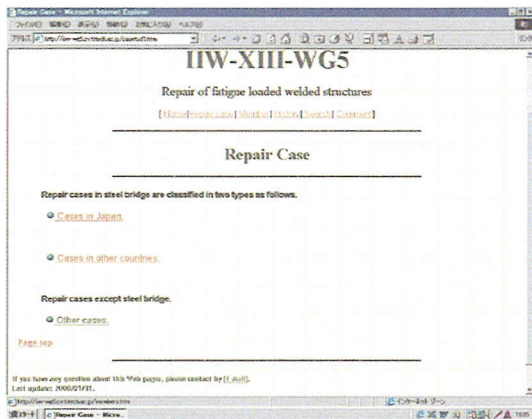


Fig.10 Web page on “Repair Case”.

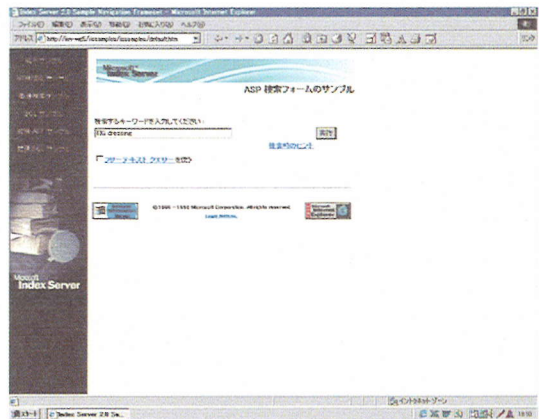


Fig.13 Search on “TIG dressing”.

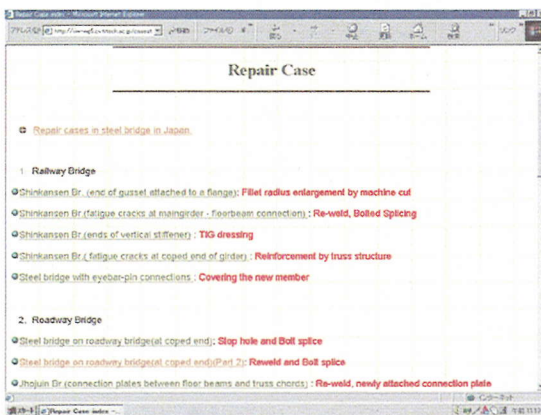


Fig.11 Web page in selecting a “Case in Japan”.

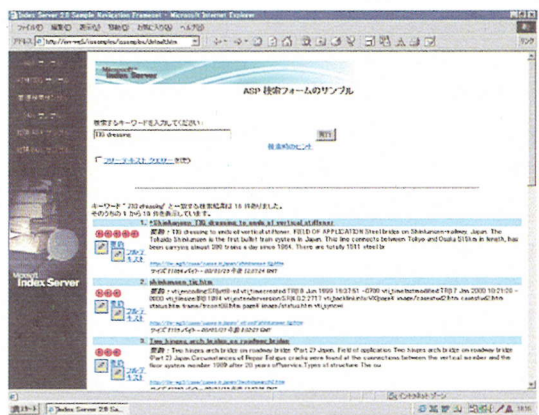


Fig.14 Result after going the search on “TIG dressing”.

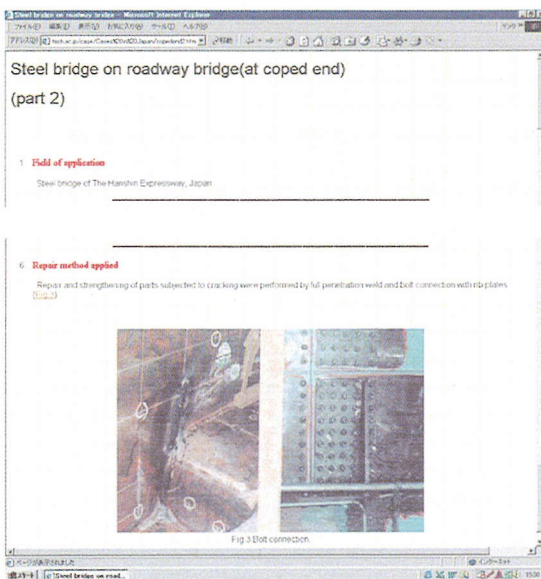


Fig.12 Repair case of “Steel bridge on roadway bridge (at coped end)(part 2)”.

#### (4) メンバー (Member)

当ウェブサイトは、「IIW-XIII-WG5」における委員会メンバーの紹介である。

#### (5) 歴史 (History)

当ウェブサイトは、「IIW-XIII-WG」で取り上げられた補修事例の紹介である。ここでも利用者は、これら話題事例をネット上で選択することにより、要約を参照することができる。

#### (6) 検索 (Search)

当ウェブサイトは、データベースシステムの検索機能である (Fig.13)。この検索欄にキーワードを入力したとき、該当ワードを含む事例の一覧が表記される。検索ソフトには、

“Microsoft Index server”

を使用している。当ウェブサイトの検索例を次に示す。

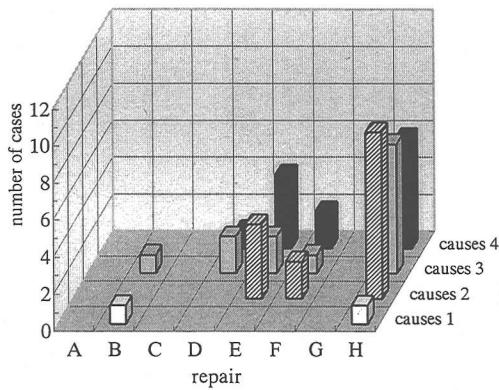


Fig. 15 Distribution of the repair cases in Japan.

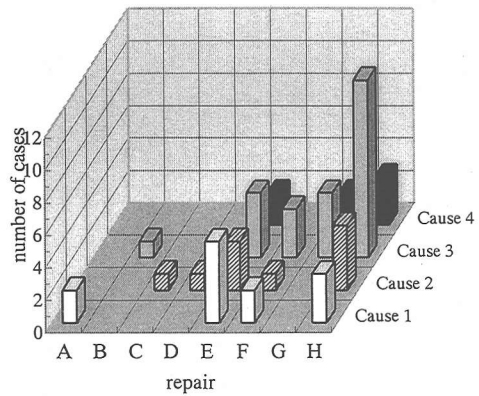


Fig.16 Distribution of the repair cases in other countries.

“TIG処理”の補修事例を参照する場合、キーワードとして“TIG dressing”を入力して、検索を実行する。

その結果、“TIG dressing”を含む事例の索引が表記される (Fig.14)。当検索では、インターネットの検索機能と同様に、複数の項目についても検索が可能である。

#### (7) コメント (Comment)

当ウェブサイトは、本データベースシステムへのコメント欄である。特に、Table 4に示した各事例に対する評価については、多くの専門家の意見を取り入れるべきと考えており、このコメント機能を活用することは有効である。ここで記入されたコメントは、当ウェブサイト上に掲載され、利用者の誰もが参照できる。

### 4. 分析

上記3.(6)で示した検索機能と表計算ソフト「Microsoft Excel」を利用して、本データベースに含まれている補修事例について、さらなる分析を行った。以下にいくつかの例を示す。

#### (1) 収録事例の評価

本データベースに収録されている鋼橋の補修事例に関して、疲労損傷の原因とそれに対する補修方法の組合せの分布を、日本と諸外国との事例に区別して示す (Fig.15,16)。その結果、分布の傾向は事例数に左右されるが、両者で若干の差が認められる。諸外国と比較した場合、日本の補修事例は、溶接欠陥に起因した事例が

非常に少ない。また、き裂の一時進展防止策として認識のある“ストップホール”は、そのみで本体策として報告された例はない。しかし、他の恒久対策と組み合わせられて適用された例は、多数存在する。

#### (2) 疲労損傷発見までの橋梁供用年数と原因の関係

供用年数と原因との関係をFig.17に示す。溶接欠陥を原因とした損傷は、供用開始後比較的早い時期に発見されることが多い<sup>17)</sup>。一方、疲労強度が低い継手に生じる損傷は、供用年数10年以降に集中している<sup>17)</sup>。また、発生数の最も多い面外変形や2次応力などの原因3による損傷は、供用年数にかかわらず発見された。原因4についても同様な傾向を示したが、供用開始後のすぐの損傷は風振動によるものであった。また供用後10年以降の損傷は、車や列車通過に伴う部材振動が原因によるものであり、特に、我が国の高速鉄道である新幹線の橋梁の腹板垂直補剛材下端部、風と共に振動の影響を受けやすい高速道路の標識柱根部などに発見された。他には、支承の機能喪失やピン結合部の回転不良などの原因が含まれているのが特徴的である。

#### (3) 橋梁供用年数と補修方法の関係

供用年数と補修方法との関係をFig.18に示す。補修方法は、適用事例の多い“E”、“F”、“G”、“H”の補修事例について取り上げた。

添接板にて補修する方法“E”は、損傷部への対策として採用されやすいため、供用年数が長くなると適用数も増加する傾向を示した。一方、“F”の形状改善や“H”

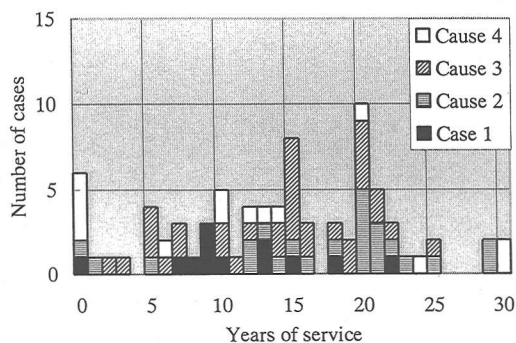


Fig.17 Relationship between years of service and causes.

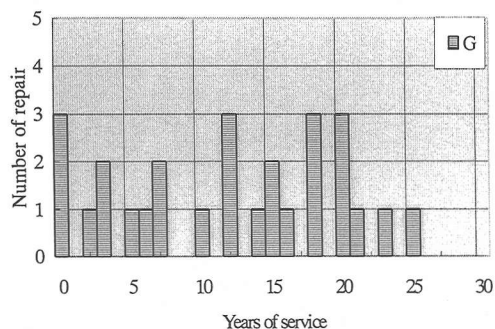


Fig.19 The number of "Stop hole" repair adopted vs. years of service.

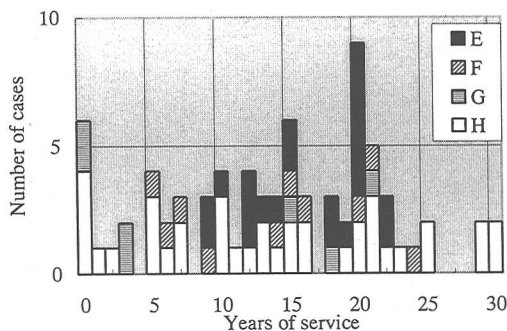


Fig.18 Relationship between years of service and repair cases.

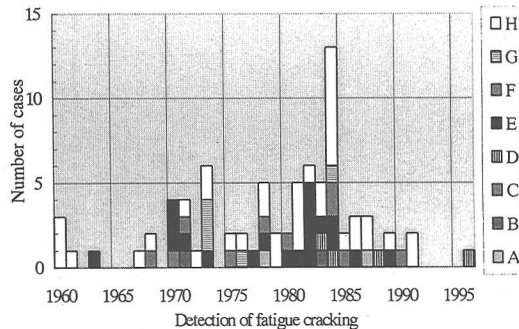


Fig.20 Relationship between detection year of cracking and repair method.

Table 5 List of failure cases.

bridge	crack location	cause no.	repair no. : failure repair
Canoe Creek Br.	girder top web gap at the floorbeam connection.	3	G : stop hole
Canoe Creek Br.	web gap at the lateral tab connection.	3	E : angle connection
I-84	vertical gap at the floorbeam connection.	4	G : stop hole
Lehigh Canal and River Br.	top cope of the floorbeam and the bracket.	3	G : stop hole
Woodrow Wilson Memorial Br.	floorbeam web-flange weld under the stringer.	4	B and G : re-welding and stop hole
I-83 and I-695 Interchange	top web gap at the diaphragm location.	3	F : tab welding
Section D10	bottom web gap at the diaphragm location.	3	G : stop hole
Aquasabon R. Br.	butt weld connection of the girder web	1	B : weld of insert plate
Steel br. of The Tomei Expressway	top web gap at the diaphragm location.	3	B and D : re-welding and TIG dressing
Steel br. on roadway br. (at coped end-1)	girder coped end	2	G : stop hole
Sozuka-Ohhashi (at member connection)	joint of the arch rib and the cross beam joint of the cross beam and stringer	3	G+H: stop hole, re-welding and adding the members



の構造ディテールの改良策は、供用年数に限らず幅広く適用されている。しかし、構造ディテールを改良する場合は、損傷箇所と同一ディテールに対する事前補強も含まれ、施工も大掛かりとなり、また難易度やそれらに関する費用も高いのが一般的である。そのため、供用開始後間もない橋梁に適用される場合は、損傷の原因を究明し、とるべき対策が適切か否か、またトータルライフコストにどう依存するかを検討すべきである。一方形状改善は、比較的局所作業が多いため、施工試験を実施するなど品質・施工管理に注意が必要となる。

ストップホールは、本対策前の応急対策として使用されたものも含めた場合、施工性に優れていることから供用年数に関わらず適用されていた (Fig.19)。特に、2次部材溶接部から発生した疲労き裂が、1次部材の腹板に進展した場合に多用されている。

#### (4) 損傷発見時期と補修方法の関係

疲労損傷の発見時期と補修方法との関係を Fig.20 に示す。疲労損傷の発生は、溶接桁を積極的に採用した1970年代に入ってから著しく増加している。それに対する補修方法は、損傷発見後にすぐに補修されたとして、1980年代前半までは“E”の添接板補強による対策が多くなされたが、1980年代後半では“H”の構造ディテールの改良や、“D”のTIG処理による表面処理の対策が目立つ。これは、近年の構造解析の精度向上や溶接止端部等の疲労強度改善方法が支持された結果とも言える。

#### (5) 対策失敗事例

本データ内には、対策失敗事例として取り上げた事例は存在しない。しかし、補修後に再き裂化し、新たに対策を実施した事例が11例含まれている (Table 5)。

これらは補修で部材継手に品質の劣る溶接が使用された事例、ストップホールのみでの事例等、Table 4による“E”グレードの2事例、“G”グレードの8事例、“F”グレードの1事例より構成された。したがって、損傷の原因が除去、軽減できないような補修方法は採用してはならない。また、同一橋梁内で損傷が多岐に渡る場合、局所的補修による対応のみでは、損傷再発の可能性が高い。

特にストップホールを使用する場合、き裂進展長により、き裂先端での応力集中緩和効果が異なる。したがって、微細なき裂であっても単独で適用する場合は効果を確認することが望まれる。

## 5. おわりに

過去に国内外で報告された鋼橋等の疲労損傷事例を厳選、整理し、データベースを構築した。ここではデータベースに含まれる疲労損傷事例とシステムの構成、使用方法を紹介した。また原因に対する補修方法の評価についての提案、補修方法と供用年数等の関係の検討を行った。

その結果、対策を実施する際、一部の補修方法において注意、確認が必要であることを加えた。

今後は様々な専門家からの意見を取り込み、システムの見直し、データの追加を行いたい。

謝辞：本研究は、「Irw-XIII-WG5」（国際溶接協会、疲労委員会、ワーキンググループ5）の活動の一環として行ったものである。貴重な助言を頂いた「Irw-XIII-WG5」委員会メンバーならびにグループに参加頂いた各位に深甚の謝意を表する次第です。

#### 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) 阿部英彦、足立成之：鋼橋の変状、構造物設計資料、No. 33、pp.1396-1401、1973。
- 3) 西村俊夫、三木千壽：引張応力に起因する鋼橋梁の変状、土木学会誌、pp.55-64、1975年11月号。
- 4) 野沢大三、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。
- 5) 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。
- 6) 三木千壽：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。
- 7) 阿部英彦、谷口紀久、阿部 允：鋼鉄道教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) 三木千壽：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。
- 9) 西川和廣：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。
- 10) 土木学会鋼橋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/1-5、pp.1-12、1986。
- 11) 岩崎雅紀、名取 暢、深沢 誠、寺田博昌：鋼橋の疲労損傷事例と補修・補強対策、横河橋梁技報、No.18、pp.36-52、1989。

- 12) 土木学会鋼構造委員会鋼床版の疲労小委員会：鋼床版の疲労，土木学会論文集，第410号/I-12，pp.25-36，1989.
- 13) 中井 博：都市高速道路橋の疲労損傷事例，橋梁と基礎，vol.24，No.2，pp.23-31，1990.
- 14) 名取 暢，浅岡敏明，稲田郁朗：鋼橋の補修・補強，横河ブリッジ技報，No.21，pp.63-90，1992.
- 15) 市川篤司：鋼鉄道橋の補修・補強の概要，橋梁と基礎，vol.28，No.8，pp.17-21，1994.
- 16) Fisher, J.W. : Fatigue and Fracture in Steel Bridges (Case Studies), Wiley-Interscience,1984,阿部英彦・三木千壽ほか訳：鋼橋の疲労と破壊，建設図書，1987.
- 17) 三木千壽，坂野昌弘，館石和雄，福岡良典：鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析，土木学会論文集，第392号/I-9，pp.403-410，1988.
- 18) Demers, C. E. and Fisher, J. W. : FATIGUE CRACKING OF STEEL BRIDGE STRUCTURES, Volume I, U.S. Department of Transportation, FHWA-RD-89-166, 1990.
- 19) William Wright P.E. : Post-weld treatment of a welded bridge girder by ultrasonic impact treatment, Preliminary Report, F.H.W.A. Turner-Fairbank Highway Research Center. 6300 Georgetown Pike.Mclean,VA22101.1996.
- 20) Engineering News Record, Aug., 1, 1974.
- 21) 三木千壽：疲労からみた風，橋梁と基礎，vol.23，No.8，pp.17-19，1989.8.
- 22) Engineering News Record, Sep., 20,1962.
- 23) Engineering, Sep., 21, 1962.
- 24) Schmerber, L. and Hofmann, U. R. : Die Haselthalbrücke, Der Stahlbau 33, Heft 6, pp.168-177,1964.
- 25) Nather, Fr. : Erfahrungen mit der Sanierung und Verstärkung stahlemer Straßenbrücken, Heft 5, pp.44-50, Baukultur 1990.
- 26) 道路橋の補修補強：土木施工，36，5，pp.275-285.1995.
- 27) 長大橋技術研究会フェメント橋架設視察団：フェメント橋架設の報告，橋梁，1974.1.
- 28) 堀川浩甫：橋梁の損傷と補修，溶接学会誌，vol. 52，No.7，pp. 13-22，1983.
- 29) Zwerneman, F. J. : Fatigue damage to steel bridge diaphragms, *J. of Perform. Const. Facil.*, vol.7, No.4, 1993.
- 30) Chatterjee, S. : Strengthening and refurbishment of Severn Crossing. Part 1:introduction, *Pro. Instn Civ. Engrs Structs & Bridges*, 94, pp.1-5, 1992.
- 31) Flint, A. R. : Strengthening and refurbishment of Severn Crossing. Part 2:design, *Pro. Instn Civ. Engrs Structs & Bridges*, 94, pp.7-22 , 1992.
- 32) Cuninghame, J. R. and Beales, C. : Strengthening and refurbishment of Severn Crossing. Part 4:TRRL research on Severn Crossing, *Pro. Instn Civ. Engrs Structs & Bldges*, 94, pp.37-49, 1992.
- 33) Elenstein, A. G. : The Silver bridge collapse recounted. *J. of Perform. Const. Facil.*, vol. 7, No. 4, 1993.
- 34) Akesson, B., Edlund, B. and Shen, D. : Fatigue cracking in a steel railway bridge, *Struct. Engineering International*, vol. 7, No. 2, pp. 118-120, 1997.
- 35) Miki, C., Mori, T., Tuda, S. and Sakamoto, K. : Retrofitting Fatigue-Cracked Joints by TIG Arc Remelting, Proc. of JSCE, No. 380/I-7, pp. 111-119, 1987.
- 36) 阪本謙二：TIG処理による疲労亀裂の補修，橋梁と基礎，vol. 28，No.8，pp. 55-58. 1994.
- 37) 伊藤裕一，堤要二，中村聖三：鋼橋の疲労に対する耐久性改善試験。その1：対策工法とその施工性。土木学会第50回年次学術講演会，1995.
- 38) 三木千壽，杉本一朗，鍛冶秀樹，根岸裕，伊藤裕一：既設鋼鉄道橋のフランジガセット取付け部の疲労強度向上に関する研究，土木学会論文集，No. 584/I-42，pp. 67-77，1998.
- 39) 西村俊夫：シドトララス斜材7I<sup>1</sup>の切損とその対策，鉄道業務研究資料，第13巻，10号，pp. 273-285，1956.
- 40) 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，pp. 1-103，1965.
- 41) 鶴巻栄光，野澤伸一郎，阿部正強，青木隆：ピン結合トラス橋の維持管理，橋梁と基礎，vol. 27，No.8，pp.68-71，1993.
- 42) 竹ノ内博行，谷倉泉，大谷洋三，三木千壽：鋼トラス橋横桁取付け部の疲労損傷と対策，土木学会論文集，第570号/I-40，pp.141-151,1997.
- 43) 日本道路協会：鋼橋の疲労，丸善，1997.
- 44) 阪神高速道路公団保全施設部：(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土木構造物補修事例集，1982.
- 45) 阪神高速道路公団保全施設部：(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土木構造物補修事例集Ⅱ，1987.
- 46) 阪神高速道路公団保全施設部：(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土木構造物補修事例集Ⅲ，1991，3.
- 47) 成田信之，横江稔：橋梁吊材の耐風性，道路，1973.
- 48) 山口富夫，白木万博，梅村直，田中博喜：加<sup>1</sup>による橋梁部材の振動とその防止策，三菱重工技報，vol.7，No.7，pp.122-135，1970.
- 49) 米倉徹，長沼敏彦，丸山悟，羽子岡爾朗：鋼鉸桁の横桁下

7. フラジ 損傷部調査報告, 土木学会第49回年次学術講演会, 1994.
- 50) 松本政徳, 谷倉泉, 大川征治, 七崎洋悦: 実橋における7-  
#橋垂直材取合い部の疲労対策とその効果, 土木学会第51  
回年次学術講演会, 1996.
- 51) 高田寛, 水元政仁: 曾東大橋改良工事報告, 横河橋梁技報,  
No.19, pp. 126-136, 1990.
- 52) 成田信之: 風による橋梁部材の振動, 橋梁と基礎, vol. 5,  
No.9, pp. 1-5, 1971.
- 53) 日本道路協会: 道路橋耐風設計便覧, 1991,7.
- 54) 西川和廣: 道路構造物の損傷例, 補修例-主として橋梁に  
ついて-, 道路, pp. 58-63, 1982.
- 55) IIW-WG5-12-97.
- 56) Hargrave, R. E. : Common failure mechanisms in BOF  
hoods, *Iron and Steel Engineer*, pp. 22-28, 1996.
- 57) Kratena, J. and Hrejci, H. : Collapse of a warehouse and  
its repair, *Struct. Eng. Internatinal*, vol. 5, No.3,  
pp.192-193, 1995.
- 58) Miki, C. : Repairing and reinforcing of fatigue damaged  
steel bridges, *WRC Proceedings IIW*, pp. 286-298.1998.

( 2000. 4. 4 受付 )

## DATA BASE OF REPAIR CASE FOR FATIGUE FAILURE

Chitoshi MIKI, Yuichi ITO and Kiyohiko GOTO

About 100 repair cases of failed steel bridges owing to fatigue are summarized into a data base. Each case is categorized by failure cause and repair method. This data base is available on the internet, so that anybody can refer to the information. This paper introduces the system of the database and how to utilize it. Further, repair methods are evaluated by analyzing all the cases, which are included in this database.