

重度の疲労損傷を受けた鋼橋の機能回復・機能向上を 目的とする橋梁再生工学の確立

Establishment of Regeneration Engineering for Recovering and Improving
Function of Steel Bridges Seriously Damaged by Fatigue

三木 千壽 (Miki, Chitoshi)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授



研究の概要

重度の疲労損傷を受けた鋼橋に対して、実際の機能回復・機能向上対策を施すために必要な、検査、診断、補修補強設計、施工、モニタリングの統合的技術を確立する。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 ・ 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：維持管理、疲労、鋼橋、再生工学

1. 研究開始当初の背景

近年、苛酷な交通環境にさらされている多くの鋼橋、鋼製橋脚に疲労亀裂が数多く検出され、その中には、疲労亀裂が板厚方向に貫通し、かなりの長さまで進展しているような重度の疲労損傷事例もかなりの数に達している。また、首都圏や幹線の道路や路線については、取替えに伴う通行止め等による社会的な損失を総合的に考えれば、架け替えではなく、損傷した鋼橋を機能回復、機能完全により生き返らせて使うことが最善の策となる場合が多く、そのための補修・補強技術の開発が切望されている。

2. 研究の目的

本研究は、放置すれば極めて早い時期に脆性破壊のような不安定破壊に移行し、構造物全体の崩壊や供用停止の事態に直面するような重度の疲労損傷を受けた鋼橋を対象とし、検査、診断、機能回復、機能向上、健全度モニタリングを実現するための技術の実現を目指すものである。

3. 研究の方法

本研究では、点検、診断、補修・補強設計、施工、モニタリングに分けて、それぞれにハード面、ソフト面での最先端技術を結集して統合した技術を確立する。ハード面では超音波の利用、マイクロ加工、新溶接材料等の先端的な技術を結集して研究を行う。ソフト面では技術者に必要な情報を的確に提供できるデータベースの構築、画像化技術等の研究を行う。

4. これまでの成果

(1) 鋼橋における補修補強の調査と整理およびそのデータベース化

橋梁の点検に当たる技術者や診断を行う専門家間で共有できるようなウェブベースのデータベースの構築を目的としている。鋼橋の疲労損傷に対する補修補強対策に関する過去の事例を整理するとともに評価し、容易にデータ更新と書き込みが可能なプラットフォームを構築した。本格的な運用の準備に入っている。

(2) 鋼橋に含まれる劣悪な継手ディテールでの疲労挙動の把握

疲労を設計での限界状態としてこなかった道路橋には、高い応力集中と欠陥を含む劣悪ともいえる継手ディテールが多く含まれている。それらのディテールでの疲労亀裂の発生や進展挙動を実大橋梁構造モデルに対する疲労試験(写真-1)で明らかにした。従来のいわゆる疲労設計を行っている構造物では想定できない低い強度と特徴的な疲労亀裂挙動が明かにされた。

(3) 内在欠陥とそれから発生する疲労亀裂、さらには補修をリアルモニタリングするための非破壊検査

欠陥の種別が判定できる精度で、しかもその探傷結果をリアルタイムで3次元画像として示すことの出来るシステムを開発中である。狭隘な場所での探傷となることから、特殊な素子の配列を新たにデザインしたフェーズドアレイ探触子を開発し、その性能を確認した。さらに3次元画像のための大規模なデータ取得、転送、処理が可能なシステムを構築した。現在はリアルタイム処理の実現に向けて研究

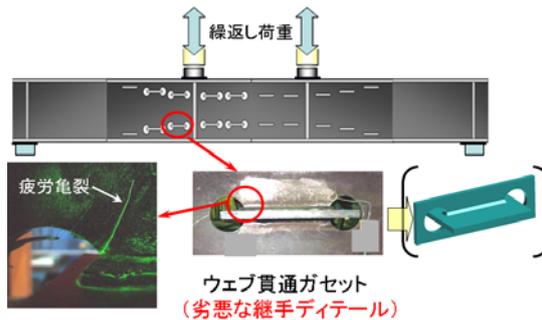


写真-1 劣悪な継手ディテール

を進めている。超音波探傷の3次元画像でモニタリングしながらの機械加工と補修溶接を目指している。

(4) 欠陥および疲労亀裂を除去するためのマイクロ加工技術

欠陥および疲労亀裂を除去し、有害性の低い形状に加工するために、特殊なミーリングドリルを開発し、実溶接部で性能確認をした。また、その装置を用いて補修溶接のための開先などの前加工を行う技術を確認した。

(5) 局部的補修溶接技術

欠陥および疲労亀裂を除去した後の、長さが100mm程度の溝あるいは直径が20mm程度の穴を溶接で埋める技術を検討した。通常の溶接では実現は不可能のため、TIG溶接をベースとした。さらには溶接後に圧縮溶接残留応力を導入するために、低温相変態溶接棒(LTT溶接材料：研究代表者も開発者の1人)をフィラーメタルとしたTIG溶接も実施し、欠陥の発生や溶接残留応力について検討した。ブローホールなどの欠陥の発生は多いが、圧縮残留応力が導入されていることが明らかになった。

(6) 補修溶接部の疲労強度の確認

上記の補修溶接を行った継手試験体に対して疲労試験を行い、LTT溶接材料は疲労強度向上に有効であることを確認した。

(7) 変位誘起疲労の原因究明のためのモニタリング

疲労損傷に対する補修補強設計には、その原因の特定が必須である。鋼橋の疲労として最も多い変位誘起型疲労について、ワイヤレスセンサーネットワークとひずみ測定との組み合わせで、その原因となる橋梁構成の3次元変位と局部ひずみの関係を同定するためのモニタリングシステムを構築した。実験室でのモデルを対象とした検証実験および実橋での検証実験を実施し、その有効性を明らかにした。

(8) 補修補強設計シミュレーションシステムの開発

溶接補修や補強に伴う継手部の局部ひずみの変化、キャンバーの変化などを考慮し

ながら補修補強設計を可能とするシミュレーションシステムを開発する。溶接変形に関する基礎データ、全体解析の中で疲労を評価できる程度の局部ひずみが評価できるような構造解析モデルなどについて検討を進めている。

(9) ファイバーセンサーを組み込んだ自己診断システムの開発

どの位置にどのようなセンサーを組み込み、そのデータをどのように転送して処理するかを実験室のモデルを用いて検討した。今後実橋で検証実験を行う予定である。

5. 今後の計画

当初の研究計画に従い順調に研究が進んでいる。これからは、研究成果を統合したコンサルテーションシステムおよび遠隔診断・遠隔アドバイスシステムの構築に向けて研究を継続していく。さらに、研究を遂行していく中で新たに検討の必要性が判明した、重度の疲労損傷に対する溶接による補修法開発のための局部的機械加工の手法と機器の開発、補修溶接に適した溶接材料と溶接方法の開発、適用可能な非破壊検査方法等についても研究を進めていく。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は太字、研究分担者は二重下線、連携研究者は一重下線)

- 1) 平林雅也、**三木千壽**、田辺篤史、白旗弘実：マルチフェイズドアレイ探触子を用いた高精度超音波探傷試験、土木学会論文集A、Vol.64、No.1、pp.71-81、2008.
- 2) **Miki, C.**, Nishikawa, K., Shirahata, H. and Takahashi, M.: Performance Evaluation Test of the Time-of-Flight Diffraction Technique for Welded Joints of Steel Bridges, Journal of Testing and Evaluation, Vol. 36, No. 3, pp.213-221, 2008.
- 3) 坂柳皓文、佐々木栄一、チャンペン・ティエラポン、鈴木啓悟、石川裕治、山田均、勝地弘：影響線長の長いひずみ波形からの車軸位置情報の抽出と応用、構造工学論文集、Vol.54A、pp.582-589、2008.
- 4) **三木千壽**、加納隆史、片桐誠、菅沼久忠：UFCパネル貼付による鋼床版の疲労補強、鋼構造論文集、Vol.15、No.58、pp.79-87、2008.
- 5) **三木千壽**、平林泰明：施工の不具合を原因とする疲労損傷、土木学会論文集A、Vol.63、No.3、pp.518-532、2007.
- 6) **三木千壽**、平林泰明：田中賞(論文部門)受賞、2007年度。(上記5)の論文で受賞).

ホームページ等

<http://www.cv.titech.ac.jp/~miki-lab/>