

研究種目：基盤研究(S)  
研究期間：2006～2010  
課題番号：18106010  
研究課題名(和文) 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  
研究課題名(英文) Establishment of Regeneration Engineering for Recovering and Improving Function of Steel Bridges Seriously Damaged by Fatigue.  
研究代表者  
三木 千壽 (MIKI CHITOSHI)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：20016645

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. 研究計画の概要

近年、苛酷な交通環境にさらされている多くの鋼橋、鋼製橋脚等に疲労亀裂が数多く検出され、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、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。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。そのため、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。

## 2. 研究の進捗状況

(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の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。本研究期間中に公

開の予定である。

(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

劣悪ともいえる継手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で明らかにした。従来のいわゆる疲労設計の対象とされるような構造ディテールや溶接継手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。

(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立した。

(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、圧縮残留応力の導入が確認された。

#### (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溶接材料の適用は疲労強度向上に有効であることを確認した。

#### (7) 疲労の原因究明のためのモニタリング

鋼橋の疲労として最も多い変位誘起型疲労について、ワイア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、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。

### 3. 現在までの達成度

#### ① 当初の計画以上に進展している。

当初の研究計画に従って順調に進んでいる。さらに、研究の進行とともに当初の計画に比べて研究に広がりや深度化が実現しつつある。たとえば、超音波探傷について、現時点での最先端技術をさらに進めるために数値シミュレーションを行っているが、研究分担者の開発した大規模数値解析は極めて独創的な手法であり、高く評価されつつある。また、疲労亀裂を溶接補修するには既存の技術では不可能に近く、溶接分野の研究者の協力の下に、新たな溶接材料の開発に着手している。よって、表面的な研究計画は当初とは変わらないが、その内容は進化しており、予定をはるかに越える成果が見込まれる。

### 4. 今後の研究の推進方策

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。また、本基盤研究での直接的な成果は現時点では口頭発表が中心であるが、順次、学会論文集や国際ジャーナルなどへ審査付論文として公表していく予定である。

### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計18件)

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、査読有。

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、査読有。

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、査読有。

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、査読有。

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、査読有。

〔学会発表〕(計16件)

① Keigo SUZUKI、Chitoshi MIKI、Kiyoshi ONO and Atushi TANABE：Long-Term Health Monitoring of a Box-Girder Bridge, EASEC-11, Taipei, 2008.11.21.

② Chitoshi Miki and Kiyoshi Ono：Reform of "Database of Repair Cases for Fatigue Failure" on Web Site, the 61th annual assembly of IIW, Graz, 2008.7.9.

③ 田辺篤史、東壮哉、三木千壽：Multi Planer Phased Array 探触子による三次元超音波探傷、土木学会第63回年次学術講演会、仙台、2008.9.11.

④ 白旗弘実：斜角横波入射可能なアレイ探触子の入射波特性について、土木学会第63回年次学術講演会概要集、仙台、2008.9.11.

⑤ 田村洋、佐々木栄一、他3名、②番目：塑性拘束を受ける構造用鋼材の破壊プロセスと破壊規準に関する研究、土木学会第63回年次学術講演会、仙台、2008.9.12.

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

①名称：橋梁通過車両監視システム、橋梁通過車両監視方法、およびコンピュータプログラム、発明者：三木千壽、鈴木啓悟、佐々木栄一、和泉公比古、伊藤昇、石川裕治、若松早苗、権利者：三木千壽ほか、種類：特許、番号：特願2009-043214、出願年月日：2009.2.25、国内外の別：国内

〔その他〕

① 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)。

②ホームページ：

<http://iiw-wg5.cv.titech.ac.jp/>