

北見工業大学

科研費：本学

附属図書館

橋梁健全度のモニタリングと 最適維持管理システムの研究

(研究課題番号 10650457)

平成 10 年度～平成 11 年度科学研究補助金 (基盤研究(C)(2))
研究成果報告書



00008654428

平成 12 年 4 月

研究代表者 山 崎 智 之
(北見工業大学工学部助手)

5-15
Y 48 官庁刊行物

00008654428

北見工業大学

特別資料室

ま え が き

本研究は、平成 10 年度および平成 11 年度文部省科学研究費(基盤研究(C)(2)橋梁健全度のモニタリングと最適維持管理システムの研究 課題番号 10650457 研究代表者 山崎智之 交付金 210 万円)により、平成 10 年度～11 年度に行われた研究成果をまとめたものである。本研究の遂行に当たり装置の開発、供試体の製作、実験の実施、および結果の解析評価において、多くの方々に御協力をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

目 次

1. 科学研究費の概要	1
2. 研究成果	2
3. 研究発表	5
(1) 学会誌等	7
1) ファジィ数量化理論Ⅱ類の健全度診断評価への応用	9
2) 全道橋梁の耐震性能を含む健全度診断評価	15
3) 縦横リブが交差する隅肉溶接部の超音波探傷による可視化	21
4) 損傷RC柱の打撃法による損傷評価に関する研究、構造工学論文集	27
5) Diagnosis of Aged Bridge by Using Intelligent Monitoring System	37
6) 橋梁振動のリモートモニタリングシステムの検討	47
7) 橋梁健全度評価の重み係数値に及ぼす影響因子	51
8) NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF DIAGNOSIS ON AGING BRIDGES	55
9) Application of smart materials and systems to long-term bridge health monitoring	65
10) FATIGUE CRACK PROPAGATION MONITORING IN STEEL STRUCTURES WITH INTELLIGENT SYSTEMS	77
(2) 口頭発表	87
1) 耐震性を考慮した橋梁健全度診断評価の検討	88
2) ファジィ数量化理論Ⅱ類による橋梁健全度診断評価の改良	90
3) 縦横リブ交差部における疲労亀裂進展のモニタリング評価	92
4) 縦横リブ交差部の超音波及び疲労き裂検出ひずみ計測によるモニタリング	94
参考文献	97
1) エコー波形の詳細解析による超音波探傷法の欠陥検出の定量的評価	99
2) コンピュータ・グラフィクスと数量化理論を応用した橋梁の維持点検評価法	109

1. 科学研究費の概要

研究種目名

平成 10 年度および平成 11 年度文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)

研究課題名

橋梁健全度のモニタリングと最適維持管理システムの研究

課題番号

10650457

研究組織

研究代表者

山崎 智之 (北見工業大学工学部助手)

研究分担者

大島 俊之 (北見工業大学工学部教授)

三上 修一 (北見工業大学工学部教授)

研究経費

平成 10 年度 1, 300 千円

平成 11 年度 800 千円

計 2, 100 千円

2. 研究成果

本研究によって得られた結果をまとめると以下のようになる。

(1) 超音波探傷による非破壊評価と疲労亀裂進展のモニタリング

本研究グループはこれまで超音波探傷による鋼材内部あるいは溶接部などの内部欠陥や疲労亀裂検出の研究を行ってきた。この超音波探傷による欠陥検出方法としては超音波エコーを測定し、その強度や路程データをCスコープ画像や深さ方向を加えた3次元画像などとして表示することにより欠陥の位置や深さを視覚的にとらえるものである。これによりエコー波形を読みとる熟練度は必要とせず、一般技術者にも簡単に欠陥を認識できることになる。これらの研究については参考文献1) にあげるので参照されたい。

本研究では鋼橋において疲労亀裂の発生が多いとされる縦横リブの溶接継手部周辺に着目し、超音波探傷試験で疲労亀裂進展の可視化を行い、さらにひずみゲージを用いて繰り返し载荷中のひずみ変化に着目して、疲労亀裂の発生・進展を検出することを試みた。この実験供試体では解析で応力集中がもっとも大きい部分にゲージを貼りひずみ変動のモニタリングを行った。結果は载荷165万回までひずみが増加する傾向にあったが、165万回の $580\mu\epsilon$ を境に一転して減少し230万回までに $487\mu\epsilon$ まで減少した。このことから165万回をすぎたあたりで供試体内部にごくわずかな亀裂が発生しその後230万回まで亀裂が進展していき超音波探傷で確認できるほどになったと考えられる。発生直後の亀裂を超音波探傷で検出することは難しいが、ひずみが急激に変化するほどの亀裂が生じた場合には超音波探傷で検出可能となった。入射角を変化することによって亀裂部からのエコーをCスコープ画像でもはっきりとらえることができた。このように疲労亀裂を超音波探傷で精度よく検出するためには、様々な方法で検討するとよいが、隅肉溶接部の疲労亀裂を検出する場合には溶接の影響を避けるためにも多少大きめの入射角がよいと考えられる。

(2) 打撃法によるRC柱の損傷評価

本実験では簡便な打撃法（衝撃）による振動試験を行い、振動特性による損傷評価を行った。損傷を評価するパラメータとして繰り返し载荷試験から求めた履歴吸収エネルギーとコンクリートに生じたひび割れの進展から求めた擬似剛性の2つを用いた。履歴吸収エネルギーでは各供試体が許容できるエネルギー量で損傷を評価し、擬似剛性では曲げひび割れの進展状況を評価することで、振動特性との関係を明らかにすることができた。

軽微な打撃による弾性波エコー測定を行い、コンクリートに発生したひび割れの位置を反射波によって把握することができた。コンクリート内部のひび割れ（供試体表面に出現していないひび割れ）の有無を判定することができた。また打撃によるひび割れ損傷判定実験の結果とひび割れを考慮した応力波動伝播解析の結果ではほぼ一致した時間にひび割れからの反射波が得られ、数値解析による妥当性も確認した。この解析および実験結果からの逆解析を行えば明確なひび割れ損傷の判定が可能である。

(3) 光ファイバーセンサーを用いたモニタリング技術

本実験ではEFPI法による光ファイバーセンサーを用いた測定と電気式歪みゲージ（SGS: Strain Gage Sensor）による測定を比較して、光ファイバーセンサーの適用性について検討するため二種類の実験を行った。一つは長方形断面の鋼棒にゲージおよびセンサーを貼付曲げ変形におけるひずみを

60kNまで増加させて比較を行った。ひずみ $1500\mu\epsilon$ まではほぼ一致した傾向である。また同様に円筒形の鋼材による圧縮試験を行い、圧縮ひずみの測定を行った。このとき光ファイバーセンサーのひずみが $1031\mu\epsilon$ まで直線的に増加したが、それ以降のひずみの増加が止まり、荷重ホールド時にはひずみが減少する現象が起きている。除荷時にはこの分だけひずみが小さい方にシフトしているが、その傾きは載荷時とほぼ一致している。原因としては光ファイバーの接着方法に問題があると考えられる。このことは荷重がゼロになった時点で残留歪みが無くなっており、除荷後光ファイバーセンサーの接着部が滑って変形を続けていることからそのように考察される。本実験では光ファイバーの接着に歪みゲージ用の速乾性接着剤（共和電業 CC-33A）を使用している。光ファイバーは円筒形をしているため接着面積が小さく、相対的にひずみゲージより接着力が弱くなっている可能性がある。光ファイバーセンサーを変形の大きな測定に用いる場合には、センサーの接着面積を大きくした表面接着タイプの EFPI センサーを用いて測定するか、接着方法の検討が重要になる。

（４）遠隔モニタリングシステムの確立

今日では維持管理の必要性から構造物自体に感知機能や判定機能を持たせ、これをインテリジェント化するという概念が注目されている。このようにインテリジェント化された構造物では、使用中であっても健全性を常に監視（モニタリング）でき、欠陥を早期に発見し、補修することにより構造物の耐久性を向上させることに有効である。

本測定システムは実橋に取り付けた各センサー（加速度及び変位計）から得られたデータを増幅システムで増幅し PCMCIA 用のカード型 A/D コンバータを通してノート型パーソナルコンピュータ（以下ノートパソコン）に集録させるものである。集録に用いたプログラムはナショナルインスツルメンツ社製の LabVIEW を用いて作成した。さらに自動計測中に携帯電話を用いてインターネット網に接続し、学内のコンピュータからリモート管理できるようにインターコム社製の Laplink を用いて測定現場のノートパソコンをコントロールした。

LabVIEW は従来用いていた計測器をコンピュータ上で仮想的に再現しデータ集録・解析・通信などを制御する様々なツールが用意され、ユーザーが必要な機能を組み合わせて使うソフトウェアである。また、データ通信には NTT DoCoMo 社が提供しているパケット通信方式の「Dopa」を利用できる携帯電話を用いた。この回線は通常の携帯電話の通信速度が 9.6kbps であるのに対して 28.8kbps という比較的高速な通信が可能であることと、通話時間に関係なく通信したデータ量で課金するシステムになっており、IP アドレスが固定されていない PPP (Point to Point Protocol) 接続でも擬似的にアドレスを固定して通信できることが特長である。

これらの機材は別々な用途のために作られたものであり、遠隔モニタリングに必要な機能を取り出して組み合わせれば、よりコンパクトなシステムで計測可能となる。

（５）健全度診断評価

本研究グループはこれまで健全度診断評価に関する研究として建設省土木研究所の「橋梁点検要領（案）」を参考に、部材の損傷度から橋梁の総合判定を数量化理論Ⅱ類で評価する手法を提案している。これらについては参考文献 2) を参照されたい。

これまでの研究で各部材の損傷度から構造物全体に対する総合的な健全度を診断する手法として数量化理論Ⅱ類の適用を提案しているが、結果として数量化理論の確定的な性質上、判定に不十分な点が見られた。そこで本研究ではファジィ化の効用に着目して、ファジィ数量化理論Ⅱ類による解析で

で数量化理論Ⅱ類の適用を提案しているが、結果として数量化理論の確定的な性質上、判定に不十分な点が見られた。そこで本研究ではファジィ化の効用に着目して、ファジィ数量化理論Ⅱ類による解析でこれまでの研究を補うことについて検討した。以下にその結果を示す。

- ① ファジィ数量化理論Ⅱ類を適用することで数量化理論Ⅱ類では判定不十分であった橋梁の健全度診断評価を明確にし、かつ判定が帰属度として数値で得られるため判定結果を具体的に数値表現することが可能である。
- ② 外的基準をファジィ的にとらえることでアンケート調査結果における判定者の思考を有効的にデータとして解析に取り込むことができる。
- ③ ファジィ数量化理論Ⅱ類ではアンケート調査から得られる基準値を基に実在橋梁の判定をする際、1軸のみで十分な判定が可能であるため高精度の判定が期待できる。
- ④ これまでの数量化理論Ⅱ類による判定結果を更にファジィ数量化理論Ⅱ類による判定結果で補うことで明瞭な判定結果が得られる。

また、北海道は地震の多発地帯であり、橋梁の耐震性能は重要な検討項目である。そのため本研究ではこれまでの健全度診断評価における部材項目の中から耐震性に関連する項目と今回新たに震災発生時に必要とする項目を加味して、橋梁の耐震性能を考慮した評価方法を検討した。

3. 研究発表

(1) 学会誌等

- 1) 丹波、大島、三上、山崎、本間、平：ファジィ数量化理論Ⅱ類の健全度診断評価への応用、土木学会北海道支部論文報告集、55(A)、pp. 334-339、1999
- 2) 平、佐生、丹波、大島、三上：全道橋梁の耐震性能を含む健全度診断評価、土木学会北海道支部論文報告集、55(A)、pp. 340-345、1999
- 3) 高田、大島、山崎、ラーマン、田中、斉藤：縦横リブが交差する隅肉溶接部の超音波探傷による可視化、土木学会北海道支部論文報告集、55(A)、pp. 323-333、1999
- 4) 山崎、大島、三上、太田：損傷RC柱の打撃法による損傷評価に関する研究、構造工学論文集、45A、pp. 337-345、1999.3
- 5) RAHMAN, M. S., Oshima, T., Mikami, S., Yamazaki, T. and Tamba, I. : Diagnosis of Aged Bridge by Using Intelligent Monitoring System, Proceedings of the 2nd International Workshop on Structural Health Monitoring, pp. 484-493, 1999
- 6) 高田、大島、山崎、ラーマン、田中、斉藤：橋梁振動のリモートモニタリングシステムの検討、土木学会北海道支部論文報告集、56(A)、pp. 186-189、2000
- 7) 丹波、大島、三上、山崎、本間、平：橋梁健全度評価の重み係数値に及ぼす影響因子、土木学会北海道支部論文報告集、56(A)、pp. 172-175、2000
- 8) Rahman, M. S., Oshima, T., Mikami, S. and Yamazaki, T. : NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF DIAGNOSIS ON AGING BRIDGES, Civil and Environmental Engineering Conference New Frontiers and Challenges, Vol. 3, pp. III~69-III~78, 1999
- 9) Oshima, T., Rahman, M. S., Mikami, S., Yamazaki, T., Takada, N., Lesko, J. J. and Kriz, R. D. : SPIE's 7th International Symposium on Nondestructive Evaluation and Health Monitoring of Aging Infrastructure, 3995A-41, 2000
- 10) Rahman, M. S., Oshima, T., Mikami, S., Yamazaki, T., and Takada, N. : International Symposium on Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE2000), 2000

(2) 口頭発表

- 1) 平、工藤、三上、丹波、東海林、本間：耐震性を考慮した橋梁健全度診断評価の検討、土木学会第54回年次学術講演会、第Ⅰ部(A)、pp. 442-443、1999
- 2) 丹波、平、三上、大島、山崎、佐生：ファジィ数量化理論Ⅱ類による橋梁健全度診断評価の改良、土木学会第54回年次学術講演会、第Ⅰ部(A)、pp. 448-449、1999
- 3) 高田、山崎、田中、大島、三上、ラーマン：縦横リブ交差部における疲労亀裂進展のモニタリング評価、土木学会第54回年次学術講演会、第Ⅰ部(A)、pp. 414-415、1999
- 4) 高田、大島、三上、山崎、Rahman：縦横リブ交差部の超音波及び疲労き裂検出ひずみ計測によるモニタリング、日本非破壊検査協会、平成11年度秋季大会講演概要集、pp. 117-118

参考文献

- 1) 三上、大島、菅原、山崎：エコー波形の詳細解析による超音波探傷法の欠陥検出の定量的評価、土木学会論文集、No. 501/ I -29、pp. 103-112、1994.10

- 2) 森、大島、三上、天野、井上：コンピュータ・グラフィクスと数量化理論を応用した橋梁の維持点検評価法、土木学会論文集、No501/I-29, pp. 113-121、1994. 10

(1) 学 会 誌 等