

---

# 構造のインテリジェント化による耐震性能向上と 光ファイバーによる内部損傷評価

---

(研究課題番号 09650519)

平成9年度～平成10年度科学研究費補助金（基盤研究（C）（2））  
研究成果報告書



00008650812

平成11年4月

研究代表者 大島 俊之  
(北見工業大学工学部教授)

524  
077 官庁刊行物

00008650812

北見工業大学

特別資料室

## ま え が き

本研究は、平成9年度および平成10年度文部省科学研究費（基板研究（C）（2）構造のインテリジェント化による耐震性能向上と光ファイバーによる内部損傷評価 課題番号 09650519 研究代表者 大島俊之 交付金370万円）により、平成9～10年度に行った研究成果をとりまとめたものである。本研究の遂行に当たり装置の開発、供試体の作製、実験の実施、および結果の解析評価において、多くの方々のご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

I. 研究の概要	
1. 科学研究費の概要	1
2. 研究成果	2
II. 研究発表	
1. 低温条件における免震装置の機能確認実験	5
2. 損傷 RC 柱の打撃法による損傷評価に関する研究	13
3. RC 橋脚の地震時弾塑性応答におけるエネルギー収支の解析	22
4. $M-\phi$ 関係が部分軟化する柱部材の非線形曲げ振動応答解析 における安定性の検討	31
5. 打撃法によるコンクリート柱の健全度診断に関する研究	47
6. $M-\phi$ 曲線が軟化する柱部材の Duffing 方程式による曲げ振 動解析	53
7. 寒冷地に用いる免震装置の性能特性	61
8. RC 橋脚弾塑性応答解析のエネルギー収支における入力地震 波と構造減衰の影響	67
9. 損傷 RC 柱の鋼板接着補強と弾性波による診断評価	71
10. 光ファイバーセンサーによる構造内部のひずみ計測	75
11. ER 流体によるインテリジェント振動減衰装置の開発	79
12. Crack Propagation Analysis for Fatigue Test and Monitoring by Fiber Optic Sensor	83
13. 兵庫県南部地震における芦屋浜高層住宅の被害に関する住 人のアンケート調査	87
14. 光ファイバセンサによる鉄筋コンクリート構造のモニタリ ングに関する研究	106
15. RC 橋脚の弾塑性応答解析における解析精度の検討	108

## I. 研究の概要

### 1. 科学研究費の概要

#### 研究種目

平成9年度および平成10年度文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)

#### 研究課題

構造のインテリジェント化による耐震性能向上と光ファイバーによる内部損傷評価

#### 課題番号

09650519

#### 研究組織

##### 研究代表者

大島 俊之 (北見工業大学工学部教授)

##### 研究分担者

三上 修一 (北見工業大学工学部助教授)

山崎 智之 (北見工業大学工学部助手)

当麻 庄司 (北海学園大学工学部教授)

金子 孝吉 (専修大学北海道短期大学教授)

杵本 正信 (フジエンジニアリング調査設計部部長)

#### 研究経費

平成9年度 1,900千円

平成10年度 1,800千円

計 3,700千円

## 2. 研究成果

本研究によって得られた成果をまとめると以下のようなになる。

- 1) ER 流体を用いた振動減衰ダンパーを試作し、その振動制御特性を検証した結果、実用化できることが確認できた。

ER 流体 (Electro-Rheological Fluid) は電圧を変化させることによって、粘性度を動的に変化させることができるので、セミアクティブ (Semi-Active) な振動制御装置として有効である。本研究では、比較的小さい (3tf 程度) 制御力を想定して装置の試体をしたが、大きな制御力を必要とする場合にはそれなりの機構設計と実験的検証が必要である。ER 流体の電圧変化に対する応答性は良く (50 $\mu$ s 程度)、振動制御のためには問題がない。実験では減衰装置の周波数依存性、振幅依存性および電界強度依存性を検証した。

- 2) 光ファイバーセンサーを鉄筋コンクリート内部および疲労亀裂先端に配置し、通常のひずみゲージより鋭敏なひずみを安定的に計測できることが確認され、今後実際の構造物に応用可能である。

光ファイバーセンサーによるひずみ計測の利点は、

- ① 電氣的絶縁の心配がいない。
- ② ひずみの測定可能範囲が広い。(±10<sup>4</sup> $\mu$ )
- ③ 超低温 (-200℃) から高温 (+900℃) まで測定可能である。
- ④ 変調光波送受信によって多モード (多チャンネル) 計測可能。
- ⑤ ひずみゲージに比べて経年変化が少なく、長期間の構造モニタリングに適している。

光ファイバーセンサーを鉄筋コンクリート構造の内部に設置した場合には、鉄筋近傍のひずみ分布を計測することができる。従来はひずみゲージを鉄筋自身に貼付して計測できるのみであったが、母材としてのコンクリート中のひずみ分布を計測できるので、コンクリートの付着応力や異形部を含めた複雑な内部ひずみの変化を長期間に渡ってモニタリングすることができ、インテリジェントブリッジ (Intelligent Bridge) の構築に有効である。また、疲労亀裂が発生した鋼材の応力集中部分に光ファイバーセンサーを配置することによって、鋭敏な応力集中度を計測することができ、モニタリングに適している。この場合にも前述した光ファイバーセンサーの利点を生かすことができる。

一般に構造の健全状態のモニタリング (Health Monitoring of Structure) は微小な内部情報を精度良く取り出す技術に依存する。したがって建設当初から安定的なセンサーを内部の適切な場所に配置することが有効である。

- 3) 鉛プラグ入り免震装置（LRB、Lead Rubber Bearing）の低温条件における機能確認実験を実施し、-30℃までの低温においても所用の効果が期待できることを確認した。長期間低温にさらされると、等価剛性は最大で50%増加、等価減衰は最大で10%程度減少する結果となった。これらの結果を動的応答解析に用い、実際の橋梁設計に活用してレベルⅡまでの耐震性を確保することが出来た。
  
- 4) 上部構造を含めた橋梁の地震時非線形動的応答解析に関する研究を実施し、地震波が橋梁にもたらす入力エネルギーが橋梁の履歴吸収エネルギーとして損傷をもたらす過程、および非線形変位応答解析の妥当性を検証した。その結果、非線形動的応答解析においては復元力特性のモデル化、構造減衰のモデル化、入力地震波の特性などによって解析結果に大きな影響の現れることが明らかとなった。したがって動的解析の安定性の確保のためには信頼のにおける解析コードとの比較や動的弾塑性実験結果との比較などを常に実施して、解析の信頼性を高める必要がある。

## II. 研究発表

### (1) 学会誌等

- 1) 大島俊之、三上修一、山崎智之、池永稚良、松井義孝、久保和子、低温条件における免震装置の機能確認実験、構造工学論文集、Vol.44A、pp.753-760、1998.3
- 2) 山崎智之、大島俊之、三上修一、太田雅仁、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、Vol.45A、pp.337-345、1999.3
- 3) 小倉祐介、大島俊之、三上修一、山崎智之、太田雅仁、RC 橋脚の地震時弾塑性応答におけるエネルギー収支の解析、構造工学論文集、Vol.45A、pp.985-993、1993.3
- 4) 大島俊之、三上修一、山崎智之、小倉祐介、石川義樹、M- $\phi$  関係が部分軟化する柱部材の非線形曲げ振動応答解析における安定性の検討、土木学会論文集、No.598/I-44、pp.211-226、1998.7
- 5) 山崎智之、三上修一、大島俊之、久保田和徳、打撃法によるコンクリート柱の健全度診断に関する研究、応用力学論文集、Vol.1、pp.161-166、1998.8
- 6) 大島俊之、三上修一、山崎智之、小倉祐介、M- $\phi$  曲線が軟化する柱部材の Duffing 方程式による曲げ振動解析、応用力学論文集、Vol.1、pp.461-468、1998.8
- 7) 中山卓也、大島俊之、三上修一、山崎智之、下田郁夫、久保田和子、寒冷地に用いる免震装置の性能特性、第 14 回寒地技術シンポジウム講演論文集、Vol.14、pp.272-277、1998.12
- 8) 太田雅仁、小倉祐介、青地知也、大島俊之、三上修一、山崎智之、RC 橋脚弾塑性応答解析のエネルギー収支における入力地震波と構造減衰の影響、土木学会北海道支部論文報告集、第 55 号(A)、pp.130-133、1999.2
- 9) 三上修一、大島俊之、山崎智之、太田雅仁、損傷 RC 柱の鋼板接着補強と弾性波による診断評価、土木学会北海道支部論文報告集、第 55 号(A)、pp.324-327
- 10) 大島俊之、三上修一、山崎智之、金子孝吉、工藤英雄、M.S.Rahman、光ファイバーセンサーによる構造内部のひずみ計測、土木学会北海道支部論文報告集、第 55 号(A)、pp.184-187、1999.2
- 11) 山崎智之、大島俊之、三上修一、当麻庄司、杵本正信、藤村浩、ER 流体によるインテリジェント振動減衰装置の開発、土木学会北海道支部論文報告集、第 55 号(A)、pp.202-205、1999.2
- 12) 大島俊之、三上修一、杵本正信、村田陽一、Crack Propagation Analysis for Fatigue Test and Monitoring by Fiber Optic Sensor、土木学会北海道支部論文報告集、第 55 号(A)、pp.180-183、1999.2
- 13) 当麻庄司、大島俊之、兵庫県南部地震における芦屋浜高層住宅の被害に関する住人のアンケート調査、北海学園大学工学部研究報告、第 26 号、pp.17-35、1999.2

### (2) 口頭発表

- 1) 大島俊之、三上修一、山崎智之、光ファイバセンサーによる鉄筋コンクリート構造のモニタリングに関する研究、第 53 回土木学会年次学術講演会、1998.10
- 2) 太田雅仁、青地知也、石川義樹、大島俊之、三上修一、RC 橋脚の弾塑性応答解析における解析精度の検討、第 53 回土木学会年次学術講演会、1998.10