

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630190

研究課題名(和文) 音声合成技術を応用したコンクリート構造物の健全性診断の高度化

研究課題名(英文) DAMAGE IDENTIFICATION FOR RC STRUCTURE BASED ON SOUND PROCESSING TECHNOLOGY

研究代表者

鈴木 基行 (SUZUKI, Motoyuki)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60124591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：小型加振器を用いて構造物にホワイトノイズを与えることにより、構造物の局所的な共振を励起し、共振周波数(剛性)の低下に着目して構造物内部のひび割れを捉える点検・診断手法を提示した。模擬空隙を導入した床版供試体の検討では、空隙箇所において共振周波数が低下することや、供試体上面および下面のいずれからでも同じ点検結果になることが確認された。さらに既往の実験データも加えて、空隙長さと共振周波数の関係式を整理した。これらの研究成果によって、既存の点検・診断手法では難しかった構造物内部の劣化・損傷の評価が可能になると期待される。

研究成果の概要(英文)：A non-destructive testing method for concrete structures by using a portable shaker was proposed. The local resonance vibration of RC member was excited with a white noise, and an inner crack was identified by decrease in local resonance frequency. As the experimental results of the RC slab specimens, it was indicated that the local resonance frequency was decreased at the place on an inner void and the measurement had same values from onside or underside of the slab specimens. Moreover, the relationship between the void length and the local resonance frequency was formulated into a simple linear equation. Our research results were useful to damage identification for an invisible damaged and deteriorated structure.

研究分野：工学

キーワード：構造工学 コンクリート工学 振動試験 損傷同定

1. 研究開始当初の背景

社会インフラの老朽化が大きな社会問題であり、構造物の機能と性能を維持しながら補修・補強して長寿命化を図ることが望まれている。このためには、構造物の劣化・損傷が顕在化する前に劣化の兆候を発見し、時間的余裕をもって対策に繋げることが重要である。しかし、超音波試験、電磁波レーダー、サーモグラフィーなどの既存の非破壊試験は構造物の表面性状を捉えるものが多く、構造物内部の深い箇所や、地中や水中にある構造物の点検・調査は容易でない。このような目視困難な構造物の点検を高度化するために、振動試験の活用が期待される。

しかし、橋梁などの土木構造物は大型であり、供用時にも車両走行や環境作用の影響があるため、精緻な振動試験を実施するために精緻な振動試験の実施は困難であった。分野を横断した技術と知識の導入、および技術開発への挑戦が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、写真 - 1 に示す小型加振器とデジタル振動制御システムを導入し、構造物の振動試験の高度化を図る。さらに図 - 1 に示すように、構造物の局所的な共振を励起することで共振周波数を測定し、共振周波数(剛性)の低下に着目して構造物内部のひび割れを捉える点検手法に発展させることを目的とする。



写真 - 1 小型加振器

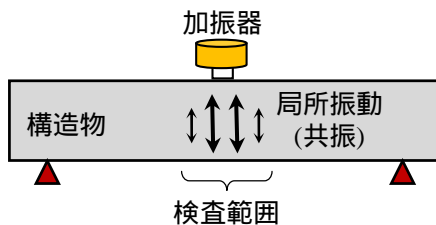


図 - 1 局所振動の概略図

3. 研究の方法

(1) 健全な RC 供試体を用いて、加振方法と周波数ごとの入力特性を整理する。そして、この加振条件による共振曲線(周波数応答曲線)の理論を整理し、実験結果との整合性を検討する。

(2) 载荷による曲げひび割れやせん断ひび割れ、あるいは道路橋 RC 床版の内部ひび割れを対象として、局所振動試験による損傷同定を試みる。

4. 研究成果

(1) 図 - 2 に加振方法の概略図を示す。制御センサの加速度が予め設定した加振パターンと一致するように、加振器の稼働をデジタル振動制御する。構造物への入力は緩衝材を介して行い、測定センサによって構造物の周波数応答特性を評価する。

図 - 3 に示すように、周波数ごとの入力特性は制御加速度が一定のときに周波数の 2 乗に反比例することを確認し、さらに周波数応答曲線の理論も整理した。本研究は小型加振器を用いた簡便な非破壊試験法を提案するものであり、構造物の振動試験精度の向上が期待される。

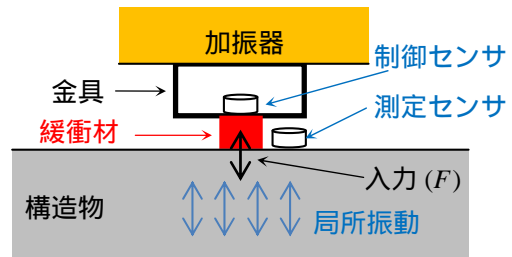


図 - 2 加振方法の概略図

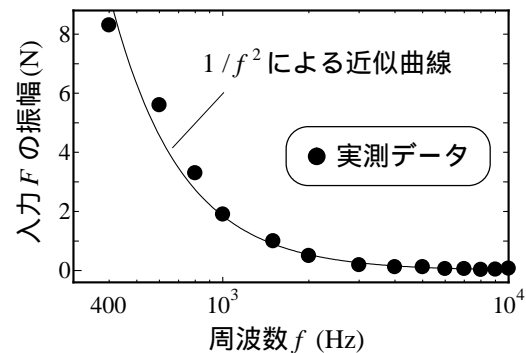


図 - 3 ロードセルによる加振力の測定

(2) ホワイトノイズを発生させることによって、局所振動による剛性(共振周波数)分布を短時間で測定できる方法を提案した。図 - 4 に示す模擬空隙を内部に導入した RC 床版供試体を用いて確認試験を行った。図 - 5 の周波数応答曲線では、空隙箇所において共振周波数が顕著に低下することが示された。また、健全状態における共振周波数の理論値は、距離と音速の関係式(1)によって妥当に評価できることが示された。

$$f_0 = \frac{c}{2L} \quad (1)$$

ここで、 f_0 は共振周波数、 c は見掛けの音速、 L は部材厚さである。

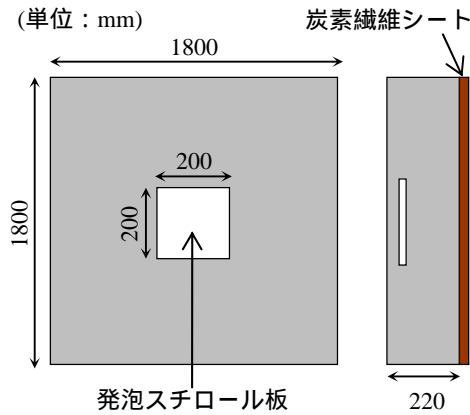


図 - 4 床版供試体の概略図

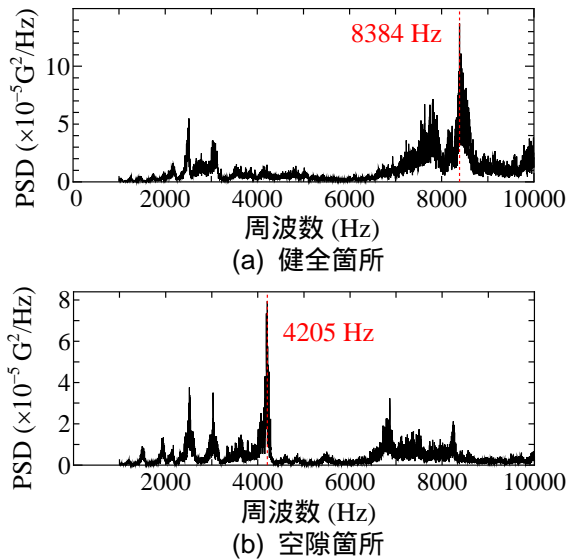


図 - 5 周波数応答曲線

(3) 提案手法は、図 - 6 に示すように床版供試体の上面および下面のいずれからでも同じ点検結果が得られた。道路橋 RC 床版では、上面での交通規制の社会的影響や、下面への近接の容易さなどによって、点検方法を選択することができる。

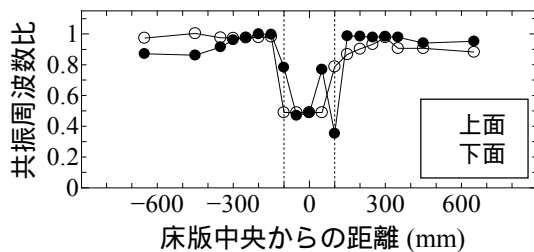


図 - 6 共振周波数比の分布

(4) 床版供試体の他にも、模擬空隙や切欠きを与えた既往のはり供試体と角柱供試体の実験データを参照し、空隙長さと共振周波数

の関係式(損傷評価式)を導出した。

$$\frac{f}{f_0} = 1 - \frac{D}{\lambda} \quad (2)$$

ここで、 f/f_0 は健全を基準にした共振周波数の比率(共振周波数比)、 D は空隙長さであり、円形や正方形でない場合には、加振方向に投影される空隙面積 D^2 の平方根によって空隙長さ D を与える。 λ は波長であり、部材厚さ L の 2 倍を与える。

図 - 7 に示すように、波長に対する空隙長さの割合と共振周波数比に線形関係を見出せた。そして、様々な供試体諸元や空隙パターンに対して損傷評価式(2)の適用性が確認できた。

これによって、図 - 1 の局所振動試験を行い、共振周波数の測定データを用いて式(2)から構造物内部の損傷状態を推定することができる。

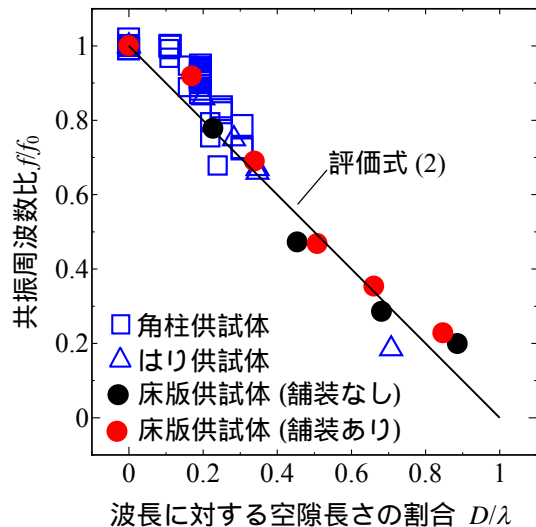


図 - 7 損傷程度と共振周波数比の関係

5. 主な発表論文等

(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 16 件)

近栄一郎、内藤英樹、五十嵐亜季、鈴木基行、強制加振試験による RC カルバートの損傷同定に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 36、No. 2、2016、(印刷中)

杉山涼亮、内藤英樹、山口恭平、早坂洋平、鈴木基行、ランダム加振による RC 床版の非破壊試験法、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、査読有、Vol. 15、2015、pp. 471-476
Takumi Morohashi, Hiroyuki Ueta, Seiji Abe, Hideki Naito and Motoyuki Suzuki, Structural

Health Monitoring of Reinforced Concrete Beams by Using Vibration Generator, *Proceedings of the 5th International Conference on Construction Materials*, 査読有, 2015, Paper No. 70 (USB memory)
Hideki Naito, Hiroyuki Ueta, Seiji Abe, Takumi Morohashi, Motoyuki Suzuki and Takao Endo, Damage Identification for RC Beams Reinforced by Steel Plate or Carbon Fiber Sheet, *Proceedings of the 5th International Conference on Construction Materials*, 査読有, 2015, Paper No. 71 (USB memory)
五十嵐亜季, 内藤英樹, 土田恭平, 鈴木基行, 強制加振試験によるコンクリート開水路の損傷評価, *コンクリート工学年次論文集*, 査読有, Vol. 37, No. 2, 2015, pp. 793-798
平陽兵, 山野辺慎一, 内藤英樹, 鈴木基行, ハーフプレキャスト SC 部材の曲げ挙動に関する実験的検討, *コンクリート工学年次論文集*, 査読有, Vol. 37, No. 2, 2015, pp. 1003-1008
諸橋拓実, 上田博之, 安部誠司, 内藤英樹, 鈴木基行, 反共振周波数を指標とした構造ヘルスマonitoringに関する基礎的研究, *構造工学論文集*, 査読有, Vol. 61A, 2015, pp. 110-118
前島拓, 内藤英樹, 子田康弘, 岩城一郎, 鈴木基行, 共振周波数の低下に着目した実道路橋 RC 床版の疲労損傷度評価, *構造工学論文集*, 査読有, Vol. 61A, 2015, pp. 777-787
安部誠司, 上田博之, 諸橋拓実, 内藤英樹, 鈴木基行, 鋼板および繊維シートによって補強された RC はりの再劣化に対する損傷評価, *コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集*, 査読有, Vol. 14, 2014, pp. 433-438
Hiroyuki Yashima, Kouichi Sando, Hideyuki Koga, Motoyuki Suzuki and Hideki Naito, Evaluating Shear Strength of Reinforced Concrete Beams Deteriorated by Freezing and Thawing Action, *Proceedings of the 10th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, 査読有, 2014, pp. 241-246
Seiji Abe, Hiroyuki Ueta, Motoyuki Suzuki and Hideki Naito, Seismic Damage Evaluation of RC Members Based on Vibration Characteristics, *Proceedings of the 10th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, 査読有, 2014, pp. 357-362
Kana Yokote, Minoru Takahashi, Jun Murakoshi, Motoyuki Suzuki and Hideki Naito, Non-Destructive Testing for Steel Columns Corroded on Concrete Boundary, *Proceedings of the 10th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, 査読有, 2014, pp. 387-392
内藤英樹, 長谷川俊, 上田博之, 鈴木基行, 強制加振試験による RC 部材の曲げ

ひび割れの検知, *コンクリート工学年次論文集*, 査読有, Vol. 36, No. 2, 2014, pp. 781-786

土屋祐貴, 八嶋宏幸, 内藤英樹, 王蓓, 山洞晃一, 古賀秀幸, 鈴木基行, 凍結融解によって劣化した RC はりのせん断耐力, *構造工学論文集*, 査読有, Vol. 60A, 2014, pp. 751-760

内藤英樹, 柏宏樹, 高橋実, 村越潤, 鈴木基行, 鋼コンクリート接合部が腐食欠損した鋼製柱の荷重 - 変位関係, *コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集*, 査読有, Vol. 13, 2013, pp. 299-304

柏宏樹, 内藤英樹, 高橋実, 鈴木基行, RC フーチングに埋め込まれた鋼製柱基部の腐食と振動特性の関係, *コンクリート工学年次論文集*, 査読有, Vol. 35, No. 2, 2013, pp. 1189-1194

[学会発表](計 25 件)

内藤英樹, 高田瞬, 安部誠司, 諸橋拓実, 鈴木基行, 繊維シートによって巻立て補強された RC はりの点検技術, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015 年 9 月 18 日, 岡山大学(岡山県・岡山市)

諸橋拓実, 安部誠司, 高田瞬, 内藤英樹, 中村定明, 楊威, 鈴木基行, 断面補修後に再劣化した RC はりの点検と耐荷力特性に関する検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015 年 9 月 18 日, 岡山大学(岡山県・岡山市)

五十嵐亜季, 杉山涼亮, 内藤英樹, 土田恭平, 堀見慎吾, 鈴木基行, 振動試験に基づくコンクリート水路の点検技術の開発, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015 年 9 月 16 日, 岡山大学(岡山県・岡山市)

古賀秀幸, 安倍敦, 内藤英樹, 鈴木基行, 鋼板補強された鋼道路橋 RC 床版の健全性点検技術, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015 年 9 月 16 日, 岡山大学(岡山県・岡山市)

杉山涼亮, 八嶋宏幸, 内藤英樹, 山口恭平, 早坂洋平, 鈴木基行, ホワイトノイズを用いた強制加振試験による RC 床版の非破壊検査, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015 年 9 月 16 日, 岡山大学(岡山県・岡山市)

五十嵐亜季, 杉山涼亮, 内藤英樹, 土田恭平, 堀見慎吾, 鈴木基行, 加振器を用いたコンクリート水路の点検手法, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2015 年 3 月 7 日, 東北学院大学(宮城県・多賀城市)

高田瞬, 安部誠司, 諸橋拓実, 内藤英樹, 鈴木基行, 繊維シート巻立てした RC はりの損傷評価手法, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2015 年 3 月 7 日, 東北学院大学(宮城県・多賀城市)

諸橋拓実、安部誠司、高田瞬、内藤英樹、中村定明、楊威、鈴木基行、補修後に再劣化した RC はりの耐荷力特性に関する研究、土木学会東北支部技術研究発表会、2015年3月7日、東北学院大学(宮城県・多賀城市)

杉山涼亮、八嶋宏幸、内藤英樹、山口恭平、早坂洋平、鈴木基行、ホワイトノイズを用いた強制加振試験による RC 床版の損傷評価、土木学会東北支部技術研究発表会、2015年3月7日、東北学院大学(宮城県・多賀城市)

安部誠司、上田博之、内藤英樹、鈴木基行、鋼板および繊維シート補強した RC はりの鉄筋腐食と耐荷特性、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014年9月12日、大阪大学(大阪府・豊中市)

内藤英樹、上田博之、安部誠司、諸橋拓実、鈴木基行、鋼板および繊維シート補強した RC はりの損傷評価、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014年9月12日、大阪大学(大阪府・豊中市)

佐野善紀、横手加奈、高橋実、村越潤、内藤英樹、鈴木基行、コンクリート埋込部が腐食欠損した H 形鋼柱基部の局所振動特性、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014年9月12日、大阪大学(大阪府・豊中市)

横手加奈、佐野善紀、高橋実、村越潤、内藤英樹、鈴木基行、コンクリート埋込部が腐食欠損した H 形鋼柱の正負交番載荷実験、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014年9月12日、大阪大学(大阪府・豊中市)

諸橋拓実、内藤英樹、上田博之、安部誠司、鈴木基行、移動型加振源を用いた RC はりの損傷位置同定に関する基礎的検討、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014年9月12日、大阪大学(大阪府・豊中市)

八嶋宏幸、土屋祐貴、山口恭平、早坂洋平、内藤英樹、鈴木基行、振動試験に基づく実道路橋 RC 床版の疲労損傷評価、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014年9月11日、大阪大学(大阪府・豊中市)

五十嵐亜季、土屋祐貴、土田恭平、内藤英樹、鈴木基行、強制加振試験に基づくコンクリート水路の健全性診断、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014年9月10日、大阪大学(大阪府・豊中市)

諸橋拓実、内藤英樹、上田博之、安部誠司、鈴木基行、RC 桁を対象とした構造ヘルスマニタリング技術の開発、土木学会東北支部技術研究発表会、2014年3月8日、八戸工業大学(青森県・八戸市)

内藤英樹、上田博之、安部誠司、諸橋拓実、鈴木基行、鋼板および繊維シートによって補強された RC はりの損傷評価、土木学会東北支部技術研究発表会、2014年3月8日、八戸工業大学(青森県・八戸市)

- 柏宏樹、佐野善紀、高橋実、村越潤、内藤英樹、鈴木基行、鋼コンクリート境界部が腐食した鋼製柱の変形性能、土木学会第 68 回年次学術講演会、2013年9月6日、日本大学(千葉県・習志野市)
- 佐野善紀、柏宏樹、高橋実、村越潤、内藤英樹、鈴木基行、鋼コンクリート境界部が腐食した鋼製柱の振動特性、土木学会第 68 回年次学術講演会、2013年9月6日、日本大学(千葉県・習志野市)
- 21 八嶋宏幸、土屋祐貴、小林珠祐、内藤英樹、山洞晃一、古賀秀幸、鈴木基行、凍結融解によって劣化した RC はりのせん断耐力評価、土木学会第 68 回年次学術講演会、2013年9月6日、日本大学(千葉県・習志野市)
- 22 上田博之、長谷川俊、笠原康平、内藤英樹、鈴木基行、振動試験に基づく RC 橋脚の地震時損傷評価に関する基礎的研究、土木学会第 68 回年次学術講演会、2013年9月6日、日本大学(千葉県・習志野市)
- 23 横手加奈、内藤英樹、鈴木基行、コンクリート埋込部が腐食した鋼製標識柱の非破壊検査、土木学会第 68 回年次学術講演会、2013年9月5日、日本大学(千葉県・習志野市)
- 24 内藤英樹、小林珠祐、土屋祐貴、八嶋宏幸、山田金喜、早坂洋平、鈴木基行、強制加振試験に基づく実道路橋 RC 床版の健全性診断、土木学会第 68 回年次学術講演会、2013年9月4日、日本大学(千葉県・習志野市)
- 25 土屋祐貴、小林珠祐、八嶋宏幸、内藤英樹、早坂洋平、光岡達也、鈴木基行、強制加振試験に基づく RC 床版供試体の健全性診断、土木学会第 68 回年次学術講演会、2013年9月4日、日本大学(千葉県・習志野市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 基行 (SUZUKI, Motoyuki)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：60124591

(2) 連携研究者

内藤 英樹 (NAITO, Hideki)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50361142