

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月30日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560470

研究課題名（和文）

鋼とコンクリート境界部に鋼材腐食が生じた合成構造の健全度評価法の開発

研究課題名（英文）

NON-DESTRUCTIVE TESTING FOR STEEL-CONCRETE COMPOSITE STRUCTURE

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：

本研究は、鋼コンクリート境界部に生じる鋼材腐食量の推定を目的とした非破壊試験法の開発に取り組んだ。コンクリート境界部の鋼材腐食が生じることによって鋼部材の減衰が増加することや、腐食ひび割れに伴うコンクリートの見掛けの超音波伝搬速度の低下が示唆された。さらに、コンクリート境界部が腐食した鋼製柱供試体の正負交番載荷試験では、最大荷重後のポストピーク挙動において、コンクリート内部の腐食区間の鋼材に亀裂が生じ、変形性能やエネルギー吸収能を著しく低下させることが確認された。

研究成果の概要（英文）：

The non-destructive testing and structural performance evaluation of steel members corroded on the boundary with concrete were investigated. In the experimental results, it was shown that damping of steel members was gained by corrosion between steel and concrete boundary. Moreover, the reversed cyclic loading tests of the steel columns specimens were conducted. The ductility and energy absorption capacity of the steel columns were significantly decreased by the steel corrosion on the concrete boundary.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：複合構造，鋼材腐食，非破壊試験，構造性能評価，健全性評価

1. 研究開始当初の背景

橋梁，道路付属物，建物や機械設備など，鋼部材がコンクリートに埋め込まれる接合箇所において，著しい鋼材腐食が生じている事例（以下，境界部腐食）が多く報告されている。境界部腐食は補修や補強が難しく，鋼

材の塗装後の再劣化も懸念される。また，複合構造における境界部腐食は，構造物の使用性や安全性を低下させる要因にもなる。しかし，境界部腐食はコンクリート内部に及ぶ場合もあり，通常の見視点検では鋼材腐食の発見が困難である。このため，簡便な手法によ

って早期に境界部腐食を発見できる非破壊試験法の構築が早急に望まれる。

また、複合構造や合成構造は、鋼とコンクリートが相互に拘束することによって高い耐荷力と変形性能を発揮する点に構造上の利点を有しているが、境界部腐食が複合構造や合成構造の構造性能（剛性、耐荷力、変形性能、エネルギー吸収能）に及ぼす影響はほとんど検討されていない。特に、鋼部材がコンクリートに埋め込まれる接合形式は、鋼製柱がRCフーチングに埋め込まれる箇所や、複合構造の橋梁における鋼製桁とRC橋脚の接合部など、構造上重要な箇所に用いられることも多い。このことから、非破壊試験の構築と併せて、境界部腐食が複合構造や合成構造の構造性能に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、鋼コンクリート境界部に生じる鋼材腐食を対象として、非破壊試験による鋼材腐食量の推定を試みる。また、境界部腐食が複合構造の構造性能（剛性、耐荷力、変形性能、エネルギー吸収能）に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、鋼コンクリート接合部を模した供試体を作製し、電食試験によってコンクリート境界部の鋼材腐食を促進させる。段階的な鋼材腐食量に対して、強制加振試験と超音波試験を実施し、固有振動数や減衰定数および超音波伝搬速度の変化に着目した鋼材腐食量の推定の可能性を検討する。

また、コンクリートフーチングにH形鋼を埋め込んだ片持式の鋼製柱供試体を作製し、電食試験によってコンクリート境界部を腐食欠損させた鋼製柱の正負交番載荷試験を行う。実験によって得られる荷重-変位関係と損傷過程との対応を整理することによって、境界部腐食が構造性能（剛性、耐荷力、変形性能、エネルギー吸収能）に及ぼす影響を明らかにする。

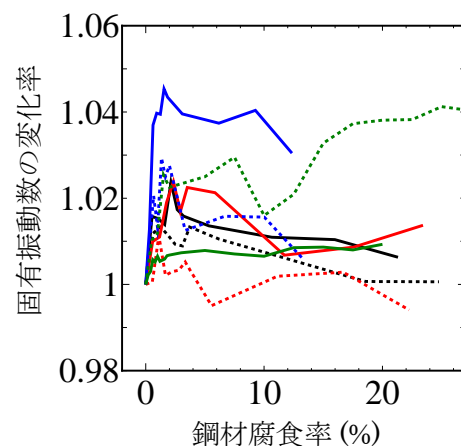
4. 研究成果

(1) 鋼材腐食量の増加に伴って、以下に示す振動特性の変化が示唆された。

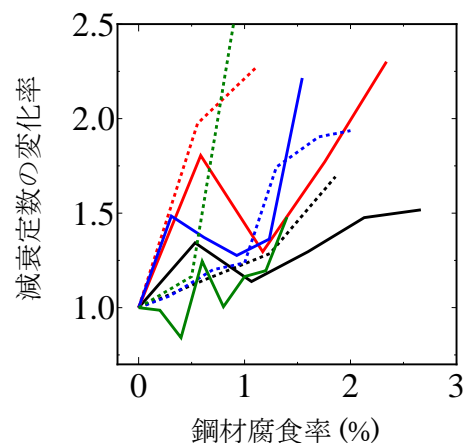
- ① コンクリートに腐食ひび割れが発生する前後（腐食率2%程度）までに、減衰定数が健全時の1.2~3.0倍程度に増加した。
- ② 固有振動数の変化は小さく、現場試験においては有用な指標とはならない。
- ③ コンクリートに腐食ひび割れが発生することによって、超音波試験の表面法による見掛けの伝搬速度が低下した。
- ④ フーチングが小さい場合には、境界部腐食に伴うコンクリートの腐食ひび割れ



電食実験と非破壊試験



腐食率と固有振動数の関係



腐食率と減衰定数の関係

- や鋼とコンクリートの付着損失によって、フーチングの共振周波数が低下した。
- (2) 境界部腐食が生じた鋼製柱の構造性能について、以下の知見を得た。
- ① 境界部腐食が生じた場合でも、H形鋼のフランジ断面の腐食欠損が小さい場合には、曲げ剛性や耐荷力に及ぼす影響は小さい。

②H形鋼のウェブ断面が腐食欠損した場合でも、フランジ断面が比較的健全であれば、曲げ剛性や耐荷力は大きく低下しない。しかし、最大荷重後のポストピーク挙動において、コンクリート内部の腐食区間のウェブの亀裂やフランジウェブ接合部の破断が見られ、鋼製柱の変形性能やエネルギー吸収能を著しく低下させることが示された。

複合構造における境界部腐食に関する研究は少ない。本研究は、この種の劣化事例の点検と対策について先駆的に取り組むものであり、貴重かつ有用な実験データを提供できた。上記(1)(2)の知見は、今後の非破壊検査法や構造性能評価法の高度化に大きく寄与することが期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

- 1) 内藤英樹, 山洞晃一, 古賀秀幸, 鈴木基行: 凍結融解作用を受けた腹鉄筋のないRCはりのせん断耐力, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 34, No. 1, pp. 916-921, 2012年
- 2) 岩岸現, 柏宏樹, 内藤英樹, 鈴木基行: 鋼コンクリート接合部に生じた鋼材腐食量の推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. 34, No. 2, pp. 1231-1236, 2012年
- 3) 渡辺孝和, 長谷川俊, 内藤英樹, 鈴木基行: 固有振動数の低下に着目したRC部材の地震時損傷評価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. 34, No. 2, pp. 901-906, 2012年
- 4) 内藤英樹, 大竹雄介, 渡邊孝和, 鈴木基行, 中野聡, 岩城一郎, 木皿尚宏: 反共振周波数に着目したはりの損傷位置同定に関する基礎的研究, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 58A, pp. 150-161, 2012年
- 5) 内藤英樹, 齊木佑介, 鈴木基行, 岩城一郎, 子田康弘, 加藤潔: 小型起振機を用いた強制加振試験に基づくコンクリート床版の非破壊試験法, 土木学会論文集 E2, 査読有, Vol. 67, No. 4, pp. 522-534, 2011年
- 6) Takakazu WATANABE, Hideki NAITO, Yusuke OHTAKE and Motoyuki SUZUKI: A Method for Determining the Location of Cracks in Concrete Beam Using Anti-Resonance Frequency Change, *Proceedings of ATEM' 11*, 査読有, OS11F024, CD-ROM, 2011年
- 7) 内藤英樹, 林弘, 齊木佑介, 山洞晃一, 古賀秀幸, 鈴木基行: 初期ひび割れを有するコンクリートの凍結融解抵抗性に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2, 査読有, Vol. 67, No. 3, pp. 436-450, 2011年
- 8) 内藤英樹, 大竹雄介, 齋藤知廣, 鈴木基行: 振動試験に基づくコンクリート部材の損傷同定に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 33, No. 2, pp. 949-954, 2011年
- 9) 内藤英樹, 伊東知哉, 青木峻二, 鈴木基行: 鋼材腐食が生じた鋼コンクリート接合部の振動特性に関する基礎的検討, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 57A, pp. 1060-1073, 2011年
- 10) Naito, H., Akiyama, M. and Suzuki, M.: Ductility Evaluation of Concrete-Encased Steel Bridge Piers Subjected to Lateral Cyclic Loading, *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, 査読有, Vol. 16, No. 1, pp. 72-81, 2011年
- 11) 大竹雄介, 内藤英樹, 中野聡, 鈴木基行: 小型起振機を用いたコンクリート橋の強制振動試験, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 32, No. 2, pp. 1459-1464, 2010年
- 12) 伊東知哉, 内藤英樹, 阿部遼太, 鈴木基行: 鋼とコンクリート境界部の鋼材腐食と振動特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 32, No. 2, pp. 1453-1458, 2010年
- 13) 齊木佑介, 内藤英樹, 平岡拓朗, 鈴木基行: 共鳴振動法によるコンクリート内部の損傷評価, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 32, No. 1, pp. 1715-1720, 2010年
- 14) 内藤英樹, 山洞晃一, 古賀秀幸, 鈴木基行: 凍結融解作用を受けた繊維補強コンクリートの引張特性, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 32, No. 1, pp. 863-868, 2010年

[学会発表] (計 29 件)

- 1) 上田博之, 長谷川俊, 笠原康平, 内藤英樹, 鈴木基行: 振動特性の変化に着目したRC橋脚の地震時損傷評価に関する基礎的研究, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2013年3月9日, 仙台
- 2) 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: 加振器を用いたRC床版の健全性診断技術, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2013年3月9日, 仙台
- 3) 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: 凍結融解を受けたRCはりのせん断特性に関する研究, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2013年3月9日, 仙台
- 4) 横手加奈, 柏宏樹, 内藤英樹, 鈴木基行: 道路標識柱の健全性診断に関する基礎的研究, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2013年3月9日, 仙台
- 5) 佐野善紀, 柏宏樹, 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鋼製柱の非破壊検査に関

- する研究，土木学会東北支部技術研究発表会，2013年3月9日，仙台
- 6) 内藤英樹，柏宏樹，高橋実，村越潤，鈴木基行：コンクリート埋込部が腐食欠損した鋼製柱の正負交番載荷試験，土木学会東北支部技術研究発表会，2013年3月9日，仙台
 - 7) H. Kashiwa, H. Naito and M. Suzuki: Vibration and Buckling Characteristics of I-Shaped Steel Column Corroded on Boundary with Concrete, The 15th WCEE, 2012年9月25日，リスボン(ポルトガル)
 - 8) 柏宏樹，岩岸現，内藤英樹，鈴木基行：コンクリート埋込部で腐食欠損したH形鋼の強制振動試験，土木学会年次学術講演会，2012年9月5日，名古屋
 - 9) 土屋祐貴，王蓓，内藤英樹，山洞晃一，宮内健，鈴木基行：凍結融解を受けたスターラップのないRCはりのせん断耐力，土木学会年次学術講演会，2012年9月6日，名古屋
 - 10) 上田博之，渡辺孝和，長谷川俊，内藤英樹，鈴木基行：局所振動試験に基づくRCはりのひび割れ位置の同定，土木学会年次学術講演会，2012年9月7日，名古屋
 - 11) 長谷川俊，渡辺孝和，上田博之，内藤英樹，鈴木基行：せん断スパン比が異なるRCはりの変形量と固有振動数の関係，土木学会年次学術講演会，2012年9月7日，名古屋
 - 12) 小林珠祐，黒田千砂子，内藤英樹，岩城一郎，子田康弘，鈴木基行：疲労荷重を受けたRC床版の内部ひび割れ性状と振動特性に関する研究，土木学会年次学術講演会，2012年9月5日，名古屋
 - 13) 佐野善紀，柏宏樹，内藤英樹，鈴木基行：柱基部が腐食欠損した鋼製柱の座屈解析，土木学会年次学術講演会，2012年9月5日，名古屋
 - 14) 渡辺孝和，荒川岳，長谷川俊，内藤英樹，秋山充良，佐藤啓，鈴木基行：地盤に埋め込んだRC杭の損傷と固有振動数の関係，土木学会年次学術講演会，2011年9月7日，松山
 - 15) 王蓓，内藤英樹，山洞晃一，古賀秀幸，鈴木基行：鉄筋コンクリートの凍結融解抵抗性に関する基礎的研究，土木学会年次学術講演会，2011年9月9日，松山
 - 16) 柏宏樹，大竹雄介，内藤英樹，中野聡，木皿尚宏，鈴木基行：小型起振機による実道路橋の起振実験，土木学会年次学術講演会，2011年9月9日，松山
 - 17) 岩岸現，大竹雄介，内藤英樹，鈴木基行：周波数特性に着目したコンクリートはりの損傷位置の同定，土木学会年次学術講演会，2011年9月7日，松山
 - 18) 小林珠祐，内藤英樹，岩城一郎，子田康弘，鈴木基行：疲労損傷を受けた道路橋RC床版の非破壊検査，土木学会年次学術講演会，2011年9月7日，松山
 - 19) 黒田千砂子，齊木佑介，内藤英樹，鈴木基行：小型起振機を用いたコンクリート部材の縦振動計測，土木学会年次学術講演会，2011年9月7日，松山
 - 20) 渡辺孝和，齊木佑介，内藤英樹，鈴木基行：共鳴振動試験によるコンクリートはりの損傷同定，セメント技術大会，2011年5月20日，東京
 - 21) 内藤英樹，山洞晃一，古賀秀幸，鈴木基行：凍結融解作用を受けたポリプロピレン繊維補強コンクリートの引張特性，セメント技術大会，2011年5月19日，東京
 - 22) 王蓓，内藤英樹，古賀秀幸，齊木佑介，山洞晃一，鈴木基行：初期ひび割れを有する鉄筋コンクリート供試体の凍結融解試験，土木学会東北支部技術研究発表会，2011年3月5日，仙台
 - 23) 内藤英樹，齊木佑介，鈴木基行：小型起振機を用いたコンクリート部材の縦振動計測，土木学会東北支部技術研究発表会，2011年3月5日，仙台
 - 24) 齋藤知廣，大竹雄介，渡辺孝和，内藤英樹，鈴木基行：周波数特性の変化に着目したコンクリートはり部材の損傷位置の同定，土木学会東北支部技術研究発表会，2011年3月5日，仙台
 - 25) 伊東知哉，内藤英樹，大竹雄介，鈴木基行：鋼とコンクリート境界部に生じる鋼材腐食に関する基礎的研究，土木学会年次学術講演会，2010年9月3日，札幌
 - 26) 内藤英樹，林弘，鈴木基行，齊木佑介，山洞晃一，古賀秀幸：凍結融解を受けた繊維補強コンクリートの曲げ載荷試験，土木学会年次学術講演会，2010年9月3日，札幌
 - 27) 大竹雄介，内藤英樹，鈴木基行，伊東知哉，宮村正樹：小型起振機による橋梁上部工の強制振動試験，土木学会年次学術講演会，2010年9月3日，札幌
 - 28) 齊木佑介，内藤英樹，平岡拓朗，鈴木基行：共鳴振動試験によるコンクリート内部の空隙の検出，土木学会年次学術講演会，2010年9月1日，札幌
 - 29) 渡辺孝和，内藤英樹，大竹雄介，鈴木基行：反共振周波数に着目したコンクリート部材の損傷位置同定，土木学会年次学術講演会，2010年9月1日，札幌
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
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

(2)研究分担者

皆川 浩 (HIROSHI MINAGAWA)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：10431537

(3)連携研究者

上原子 晶久 (KAMIHARAKO AKIHISA)
弘前大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：70333713

松崎 裕 (MATSUZAKI HIROSHI)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：10506504