

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360184

研究課題名(和文)融雪剤の影響を受けて劣化した道路橋RC床版の診断・治療技術の構築

研究課題名(英文)Study on maintenance for RC road bridge deck deteriorated by deicing salt

研究代表者

岩城 一郎(IWAKI, Ichiro)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：20282113

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：近年、交通作用による疲労と、融雪剤(凍結防止剤)散布による塩害やASRの影響を受けて劣化した道路橋RC床版が顕在化している。本研究では、凍結防止剤散布下において劣化したRC床版の劣化機構を解明し、その診断技術を構築することを目的とした。まず、実物大RC床版供試体に対し、塩害促進試験と輪荷重走行試験を行った結果、RC床版の耐疲労性は鋼材腐食量がわずかでも著しく低下し、上側の鋼材腐食量が下側に比して支配的となることを究明した。次いで、ASR促進試験と輪荷重走行試験を行った結果、RC床版の耐疲労性はASRの反応速度に依存し、これによる剛性低下は強制振動試験により評価可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Recently, reinforced concrete road bridge decks are being damaged by fatigue due to vehicle loadings and chloride induced deterioration and/or ASR due to deicing salt. The aim of this study is to solve the mechanism for RC deck deteriorated by deicing salt and develop its maintenance technology.

Firstly, using full-sized RC deck specimens, accelerating tests for chloride induced deterioration and wheel load trucking test were conducted. These experimental results revealed that the fatigue resistance of RC bridge deck was clearly declined even if the corrosion rate of rebar was low, and the corrosion of upper rebars would be the dominant factor in the fatigue resistance of RC bridge deck.

Next, ASR accelerated tests and wheel load trucking test were conducted. It was revealed that the fatigue resistance of RC bridge deck by ASR depended on the reaction velocity of ASR. Furthermore, a vibration test proved useful in evaluating the fatigue resistance of RC bridge deck by ASR.

研究分野：コンクリート工学，社会インフラメンテナンス工学

キーワード：道路橋RC床版 疲労 凍結防止剤 塩害 ASR 輪荷重走行試験 強制振動試験

1. 研究開始当初の背景

1990年代初頭にスパイクタイヤ禁止の法制化を受けて以来、交通流確保のため融雪剤（以下、凍結防止剤）として主に NaCl が大量散布されるようになった。これにより、道路橋鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）では、塩害や ASR が促進し、さらに走行作用の繰返し（疲労）による複合劣化が顕在化しつつある。この種の問題に対し、当研究室では保有する輪荷重走行試験機や大型環境試験装置を用い、精力的な研究を進めてきた。しかしながら、塩害や ASR と疲労による複合劣化メカニズムの詳細な解明には至らず、また、これらの劣化による構造性能の低下を精度よく測定可能な技術についても未開発な状況にあった。

2. 研究の目的

以上の背景より、本研究でははじめに(1)著しい劣化により架け替えを余儀なくされた実道路橋 RC 床版における詳細調査を行うと共に、切り出した床版に対し輪荷重走行試験を行うことで床版の余寿命評価を行った。また、(2)促進試験により塩害や ASR を生じさせた RC 床版供試体を再現し、輪荷重走行試験によりその耐疲労性を評価すると共に、これらの複合劣化メカニズムを詳細に究明した。さらに、(3)水や輪走行速度が RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響を究明するため、小型輪荷重走行試験を開発・改良し、繊維補強モルタル版によりこれらの影響を検証した。本報告書ではこれらのうち、最も学術的に価値が高く、実用上有益な知見が得られた(2)に絞り詳述することとする。他の目的に関する成果は主な発表論文等を参照されたい。

3. 研究の方法

図-1 に本研究で使用した供試体形状を示す。図より、供試体の大きさは 3000mm × 2000mm × 160mm であり、実物大 RC 床版とほぼ同等の形状を有している。

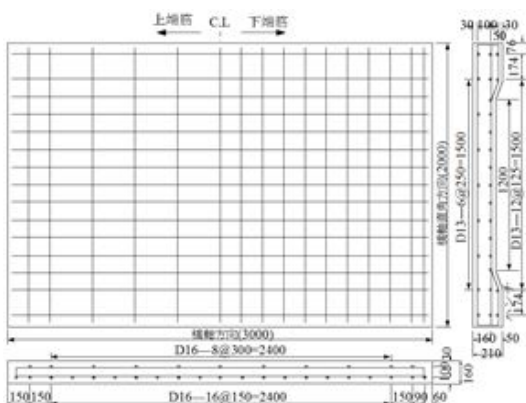


図-1 供試体概要

塩害については、(1)塩害を生じさせない供試体（健全）、(2)コンクリート練混ぜ時に外割で 10kg/m³ の NaCl を内在させた供試体

（内在）、(3)供試体を 3.5 日サイクルで 10%NaCl 水溶液浸漬と乾燥を繰り返した供試体（浸漬）、(4)凍結防止剤散布を想定し、週に 1 回、供試体上面に 10%NaCl 水溶液を散布させた供試体（散布）を準備した。これらの試験を所定期間行った結果、塩害による各鉄筋の腐食減量率は、内在、浸漬は上下主鉄筋ともにそれぞれ平均約 5%、11%に対し、散布は上側主鉄筋が約 15%、下側主鉄筋が約 6%という結果となった。

一方、ASR については粗骨材に反応性骨材を使用し、急速促進試験が 40 の飽和 NaCl 水溶液に床版を全面浸漬させ、緩速促進試験は屋外環境下において床版を 5%NaCl 溶液に全面浸漬させる方法とした。図-2 に ASR 促進試験と輪荷重走行試験の行程を示す。

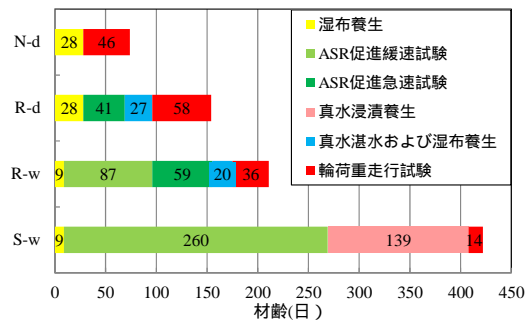


図-2 ASR 促進試験と輪荷重走行試験の工程

また、図-3 に ASR および疲労作用により劣化した床版の剛性を評価するための強制振動試験の概要を示す。本試験方法は加振器により任意の振動を床版に与え、加振位置における床版固有の共鳴振動数を検出することで、床版の局所的な剛性を評価するものである。

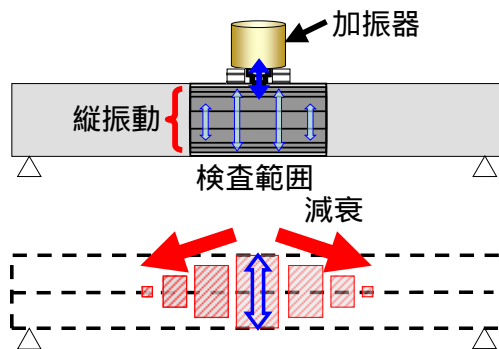


図-3 強制振動試験の概要

さらに、写真-1 に疲労試験に用いた輪荷重走行試験機を示す。この試験機は、我が国で初めて本装置を開発した大阪大学より、載荷機構を導入したものであり、上（載荷部）が動くか下（架台部）が動くかの違いはあるものの、同様のコンクリート強度、配筋条件を持つ健全な供試体であれば、ほぼ同じ輪荷重走行回数で破壊することを確認している。試験条件は乾燥環境（d）と水張り条件（w）の 2 種類で行った。



写真-1 輪荷重走行試験機

4. 研究成果

図-4 に各種塩害促進試験を行った後に輪荷重走行試験を行った際の等価繰返し走行回数と活荷重たわみとの関係を示す。

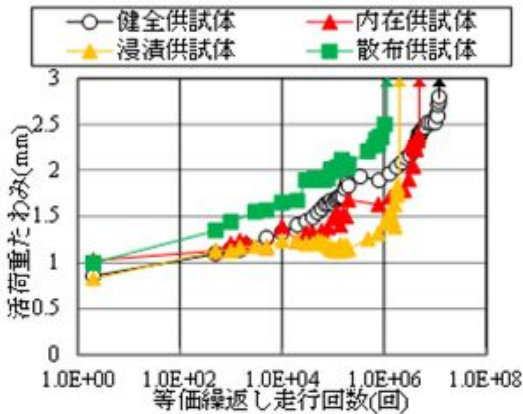


図-4 輪荷重走行試験結果

図より健全に対し、内在、浸漬、散布はそれぞれ耐疲労性が顕著に低下していることがわかる。すなわち、塩害が生じた床版は生じていない床版に比べ、顕著に耐疲労性が低下することが確認された。一般に、鉄筋コンクリートの静的耐力は鉄筋腐食減量率が 5% 程度生じても変わらないと指摘されているが、本研究において、耐疲労性は顕著に低下することが確認された。また、一般に静的耐力は下側主鉄筋の鉄筋量が支配的になるとされているが、本研究において、耐疲労性は下側鉄筋よりもむしろ上側鉄筋の腐食量が支配的要因となることが明らかになった。

図-5 に ASR 促進試験を行った床版の x (橋軸方向), y (橋軸直角方向), z 方向 (鉛直方向) のひずみ量を示す。図より、急速促進試験 (R) を行った 2 種類の供試体では輪荷重走行試験前までに極めて大きな膨張量を示すのに対し、緩速促進試験を行った供試体では、急速促進試験に比べ、ゆっくりと ASR が進行し、明らかに膨張量が小さいことがわかる。また、x, y 方向のひずみに対し、z 方向のひずみが明らかに大きいことがわかる。これは x, y 方向に対しては、鉄筋が十分に配置されているため、ASR による膨張を拘束する作用があるのに対し、z 方向には鉄筋が十分に配置されていないため拘束が小さいこ

とが原因と考えられる。

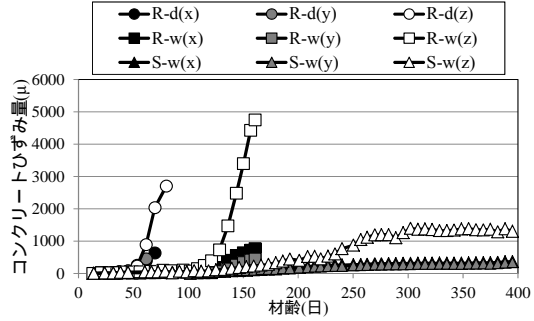


図-5 ASR による膨張量

図-6 にこれらの ASR 促進試験を行った後に輪荷重走行試験を行った際の等価繰返し走行回数と活荷重たわみとの関係を示す。図より、ASR が生じていない健全な供試体 (健全あるいは N-d) に対し、急速促進試験を行った供試体 (R-d) ではむしろ耐疲労性が向上する結果となった。また、元来耐疲労性が著しく低下すると考えられている水張り試験 (R-w) においても健全供試体に対し耐疲労性が向上する傾向を示した。その原因として、急速促進試験を行った場合、ASR によるコンクリートの膨張が鉄筋により拘束され、それがあたかも膨張材により導入されたケミカルプレストレスと同様の作用をしたことでむしろ耐疲労性が向上したと考察される。一方、緩速促進試験を行った供試体 (S-w) のようにゆっくりと ASR による膨張が進行すると、ケミカルプレストレスの量は十分に導入されず、ASR によるひび割れの影響が卓越し、耐疲労性が顕著に低下する傾向を示した。このように、ASR の生じた RC 床版の耐疲労性は ASR の反応速度に依存し、急激に膨張した場合、ケミカルプレストレスの導入により耐疲労性がむしろ向上するものの、ゆっくりと進行した場合、ASR 膨張によるひび割れ等の影響で耐疲労性が顕著に低下することが明らかになった。

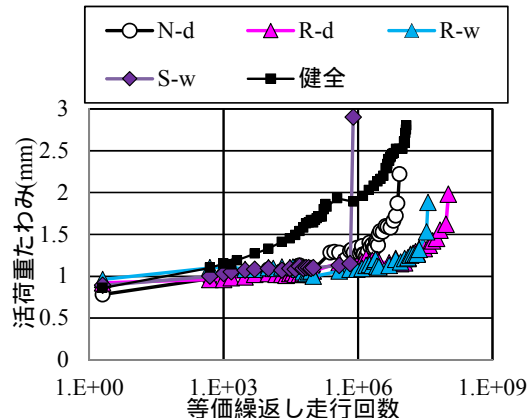


図-6 輪荷重走行試験結果

図-7 に輪荷重走行試験の各段階において強制振動試験を行った結果について示す。縦軸の共振周波数比は健全供試体(N-d)の輪荷重走行試験開始前の共振周波数に対する各供試体の各段階における共振周波数の比をとったものである。図より、各供試体とも途中までは共振周波数の顕著な低下は見られないものの、その後、急激に低下し、疲労破壊時にはそれぞれ共振周波数比が0.5程度までに減少することが確認された。すなわち、強制振動試験により、RC床版の剛性を評価することにより、耐疲労性の低下の程度を非破壊試験により診断することが可能であることを明らかにした。

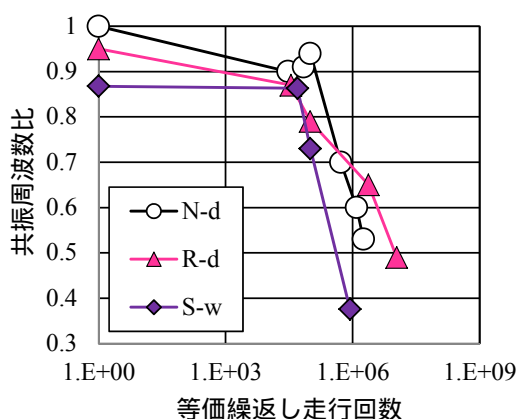


図-7 強制振動試験結果

以上の研究成果をまとめると以下のようになる。

- (1) 塩害を受けた RC 床版の耐疲労性は、上側鉄筋の鋼材腐食量に依存し、その量がわずか5%程度であっても顕著な耐疲労性の低下を引き起こすことが明らかになった。従って、凍結防止剤散布下のような厳しい塩害環境下においては、RC床版に対し、防錆鉄筋を使用する等、十分な塩害対策を施すことが提案される。
- (2) ASR を受けた RC 床版の耐疲労性は、ASR の反応速度に依存し、急激な ASR 膨張が生じる場合にはコンクリートにケミカルプレストレスが作用し、むしろ耐疲労性が向上するが、一般の RC 床版のようにゆっくりと ASR 膨張が生じる場合には顕著に耐疲労性が低下することが明らかになった。
- (3) 強制振動試験は ASR 劣化した RC 床版の耐疲労性を評価する上で有効であり、非破壊試験により ASR と疲労の複合劣化により生じる剛性低下を精度よく評価可能であることを明らかにした。

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3件)

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, Vol.61A, pp.777-787, 2015
 前島拓, 子田康弘, 土屋智史, 岩城一郎, 塩害による鉄筋腐食が道路橋 RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響, 土木学会論文集 E2, Vol.70, No.2, pp.208-225, 2014
 前島拓, 子田康弘, 小山田桂夫, 岩城一郎, 供用後 50 年で架替えに至った実道路橋 RC 床版の詳細調査と残存疲労耐久性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, CD, 2013

〔学会発表〕(計4件)

星優, 前島拓, 子田康弘, 岩城一郎他, ASR と疲労の相互作用が道路橋 RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響, 平成 26 年度土木学会東北支部技術研究発表会, CD, 2015

阿部翔太, 宗形俊一, 長沼宏武, 前島拓, 子田康弘, 岩城一郎, ASR により劣化した道路橋 RC 床版の耐疲労性に関する実験的検討, 平成 25 年度土木学会東北支部技術研究発表会, CD, 2014

前島拓, 子田康弘, 岩城一郎, 小型輪荷重走行試験装置を用いたモルタル版の疲労耐久性に及ぼす水と輪走速度の影響評価, 土木学会第 68 回年次学術講演会, CD, 2013

中村大志, 子田康弘, 岩城一郎他, 輪荷重走行試験による供用 50 年で架替えに至った実道路橋 RC 床版の残存疲労耐久性評価, 平成 24 年度土木学会東北支部技術研究発表会, CD, 2013

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計3件)

名称: 床版構造体の施工方法

発明者: 前川宏一, 石田哲也, 岩城一郎, 荒井明夫

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2015 - 080197

出願年月日: 平成 27 年 4 月 9 日

国内外の別: 国内

名称: コンクリート舗装構造体の施工方法

発明者: 前川宏一, 石田哲也, 岩城一郎, 荒井明夫

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2015 - 080252

出願年月日: 平成 27 年 4 月 9 日

国内外の別: 国内

名称:

発明者: 岩城一郎, 子田康弘, 門万寿男, 中

野聡

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2012-265259

出願年月日：2012年12月4日

国内外の別：国内

取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.civil.ce.nihon-u.ac.jp/~concrete/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩城 一郎 (IWAKI, Ichiro)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：20282113

(2) 研究分担者

子田 康弘 (KODA, Yasuhiro)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：40328696

(3) 研究分担者

上原子 晶久 (KAMIHARAKO, Akihisa)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：70333713

(4) 研究分担者

内藤 英樹 (NAITO, Hideki)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50361142

(5) 研究分担者

羽原 俊祐 (HANEHARA, Syunsuke)

岩手大学・工学部・教授

研究者番号：10400178