

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420465

研究課題名(和文)水分凍結と材料劣化という積雪寒冷地域を考慮したRC部材の疲労耐久性評価

研究課題名(英文)Evaluation of fatigue resistance on RC members considered area with severe winters occurring freezing and deterioration

研究代表者

子田 康弘(KODA, Yasuhiro)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：40328696

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、環境温度と含水状態に着目し、両者を制御した静的および疲労の載荷試験より、コンクリート円柱の圧縮と割裂引張の強度特性に加え、RCはりの曲げを評価した。その結果、気乾状態のコンクリートは、環境温度の影響を受けず、飽水状態のコンクリートは常温下で静的強度と疲労破壊回数が低下し、低温下では静的圧縮強度は増加したが強度増分に見合う圧縮疲労破壊回数の増加は認められなかった。一方、RCはりの曲げは、飽水状態において常温の耐荷性、耐疲労性は低下し、低温の耐荷性は向上した。しかし、低温と常温の耐疲労性は、疲労破壊回数としては同等ではあったが疲労破壊モードが変化することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study evaluates the compressive and splitting tensile strength of concrete cylinders, as well as RC beam flexure properties, via static loading and fatigue testing carried out on specimens under controlled ambient temperature and moisture content conditions. The results showed that while dry concrete was unaffected by ambient temperature, water saturated concrete specimens showed reduced static strength as well as a reduction in the number of fatigue failure cycles under normal temperature conditions. However, those same saturated concrete specimens showed an increase in static compressive strength under low-temperature (freezing) conditions. Furthermore, the flexural behavior of RC beams under water saturation conditions showed load carrying capacity and fatigue resistance reductions under normal temperature conditions, but increased load carrying capacity under low-temperature conditions.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：疲労 凍結 含水状態 RCはり

1. 研究開始当初の背景

東北地方のような積雪寒冷地域の RC 構造物は、凍害、凍結防止剤による塩害、また ASR による劣化事例も報告され、耐久性にとって厳しい環境にある。そして、道路橋 RC 床版などは材料劣化を受けつつ疲労作用も受ける状況にある。これまで種々の材料劣化した RC 部材の構造性能に関する研究が行われており、水が劣化を誘因することも分かっている。しかし、疲労作用を受ける RC 部材におけるコンクリート中の水分凍結と材料劣化というこの地域特有の環境が疲労耐久性に及ぼす影響は不明である。そこで、凍害を加えてコンクリートの含水状態を制御しつつ凍結状態を大型環境試験装置により再現する傍ら疲労載荷試験を実施することで、水分凍結と材料劣化が RC 部材の疲労耐久性に及ぼす影響を評価した。

2. 研究の目的

本研究課題では、凍害を RC 部材に与え、コンクリートの含水状態を制御しつつ、凍結状態の RC 部材の疲労試験を実施し、その疲労耐久性を評価した。着眼点は、材料劣化と疲労耐久性に介在する水の影響である。水の存在なしには、材料劣化は発生せず、換言すれば、この種の劣化が生じる RC 部材には水が存在し、凍結環境ではこの水は凍結する。この状態を保持しつつ疲労試験を実施し、劣化レベルを段階的に進行させた RC 部材の疲労耐久性を常温状態と比較検討することにより、凍結環境における水の影響を究明するものである。すなわち、本研究対象の材料劣化が生じ、凍結状態にある RC 部材の疲労耐久性を解明するものである。

3. 研究の方法

本学所有の大型環境試験装置と、この装置内で載荷試験が可能な環境温度制御式万能載荷試験装置を使用し、疲労載荷試験を実施した。載荷試験は、コンクリート単体の圧縮や曲げなどの疲労強度特性を把握した上で、対象部材を RC はりに設定し、コンクリートの含水量を管理した疲労載荷試験により、疲労破壊に至るまでの損傷状態と疲労回数を求め、疲労耐久性を評価する。これらより、本研究対象の凍結状態にある RC 部材の疲労耐久性に関する評価軸の整理した。

4. 研究成果

(1) コンクリートの疲労強度

図-1 に、疲労圧縮試験の結果として破壊時の繰返し載荷回数を示す。図より、常温の気乾状態 N-d₁ は約 16,150 回に対して、常温の含水率 75% N-d₂ は 17,300 回～118,520 回と明確に回数に違いが表れたとは言いが、常温の飽水状態 N-s は、100 回～2,780 回と明らかに減少しており、飽水状態は、水中疲労と同様に耐疲労性を低下させることがわかる。これに対して低温の気乾状態 L-d₁ は

17,000 回あった。しかし、低温の含水率 75% L-d₂ は約 2,700 回で回数が減少傾向にあった。これに対して、低温の飽水状態 L-s は、4 回～17,210 回と極端にばらつくが、平均すると 3,750 回であり、常温の気乾状態はよりも明らかに回数が減少した。このように耐疲労性が低下する傾向を示した。

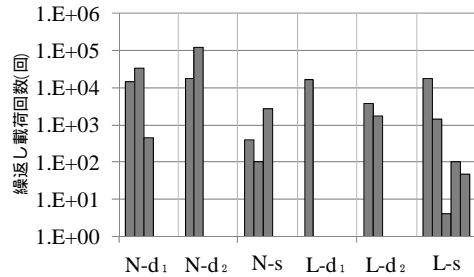


図-1 繰返し載荷回数の結果(圧縮)

次に、図-2 に割裂引張疲労試験の結果は、疲労破壊回数の平均値が乾燥状態 d は約 1400 回、飽水状態 s が約 800 回となった。しかし、ばらつきを見ると乾燥状態は大きく、本実験の範囲内では明らかに飽水状態の方が割裂引張疲労強度は低下するとは言いが判断した。これより、コンクリートの耐疲労性に及ぼす含水状態の影響は圧縮応力作用下において明確に差異が生じるものと考えられ、引張応力作用下の含水状態の影響はひび割れ発生後のひび割れの進展に影響するものと考えられた。

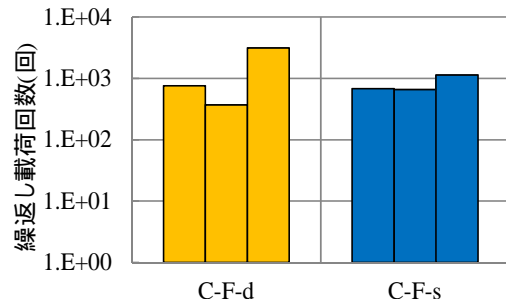


図-2 繰返し載荷回数の比較(割裂引張)

(2) RC はりの耐疲労性

図-3 に、静的載荷試験における荷重-変位関係を示す。まず最大荷重は、常温の気乾状態 N-d が 43.0kN、常温の飽水状態 N-s が 39.5kN、低温の気乾状態 L-d が 42.1kN で、低温の飽水状態 L-s は 48.7kN であった。このように、最大荷重は常温の飽水状態が小さく、常温の気乾状態と低温の気乾状態は同程度、そして低温の飽水状態が最も大きいという結果であった。この順はコンクリートの圧縮強度の順と同様であり、本実験で使用した RC はりの曲げ破壊は、圧縮応力が作用する側のコンクリートの強度特性の影響を受けたものと考えられた。低温の飽水状態に着目すると他の 3 体とは最大荷重のみならず剛性も増加する傾向が認められた。これは、コンク

リート中の水分凍結によるヤング率および引張強度の増加によると考えられる。このように RC はりの曲げに対しては、気乾状態であれば環境温度の影響は受けず、飽水状態の常温と低温において耐荷力や剛性が変化した。

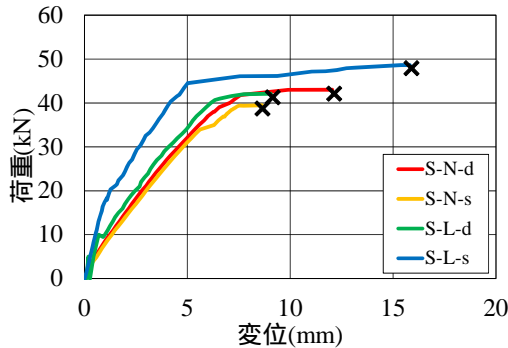


図-3 荷重-変位関係

図-4 に、疲労試験における活荷重たわみと繰返し载荷回数との関係を示す。まず常温 N では、初期载荷時の活荷重たわみは同程度であり、繰返し载荷にともなう活荷重たわみの増加傾向についても大きな差異は認められなかった。しかし、破壊に至った载荷回数は乾燥状態が約 1.2 万回、飽水状態 s では約 59 万回と、RC はりの耐疲労性にコンクリートの含水状態が影響することが確認された。次に、飽水状態の常温と低温を比較すると、低温 L では、初期の活荷重たわみと繰返し回数にともなう活荷重たわみの増加量が小さいという結果を示した。これは、飽水と同様に水分の凍結により剛性が高くなったためと考えられる。なお、曲げ破壊に至った载荷回数は、低温の飽水状態 L-s は約 75 万回、常温の気乾状態 N-d で約 59 万回と、若干低温環境の方が疲労破壊の回数が多い結果であった。

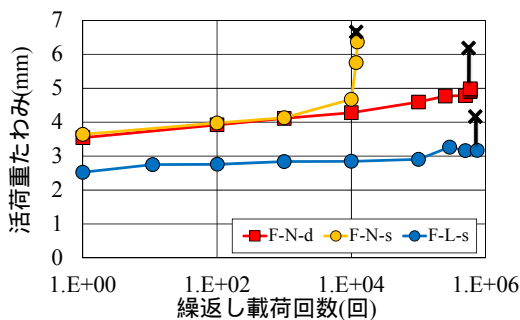


図-4 活荷重たわみ-繰返し载荷回数

図-5 に、RC はり上縁のコンクリートの圧縮ひずみと繰返し载荷回数との関係を示す。図より、常温の気乾状態 N-d は繰返し载荷回数の増加とともにひずみも増加する傾向であり、常温の飽水状態 N-s についても破壊までひずみが増加する傾向であった。これに対して、低温の飽水状態 L-s は疲労破壊までひずみに大きな変化はなかった。図-6 に、鉄筋ひ

ずみと繰返し载荷回数との関係を示す。図より、载荷初期のひずみは、同程度で繰返し载荷回数が少ない段階はほぼ一定に推移する傾向であった。疲労破壊時に着目すると常温の気乾状態 N-d は破壊直前にひずみが急増する傾向であった。一方、常温の飽水状態 N-s は急増はするものの、その程度は常温の気乾状態 N-d よりも鈍かった。これに対して、低温の飽水状態 L-s は、疲労破壊に至る回数よりも少し手前から増加の程度が明らかに大きくなる傾向であった。図-5 と図-6 の傾向と写真-1 の疲労破壊状況より、常温の気乾状態 N-d は、鉄筋の降伏とコンクリートの圧壊がほぼ同時に起きた可能性があり、常温の飽水状態 N-s ではコンクリートの圧壊後に鉄筋が降伏したと考えられた。低温の飽水状態 L-s に関しては、写真よりひび割れは曲げ区間のほぼ 1 箇所集中しており、コンクリートの圧壊が生じることなく、この部分で鉄筋が降伏し疲労破壊に至ったと考えられた。

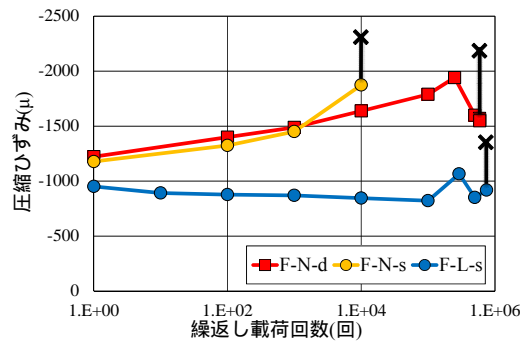


図-5 コンクリートひずみ-繰返し载荷回数

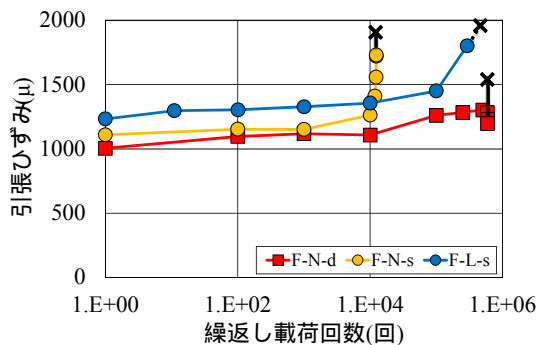


図-6 主鉄筋ひずみ-繰返し载荷回数

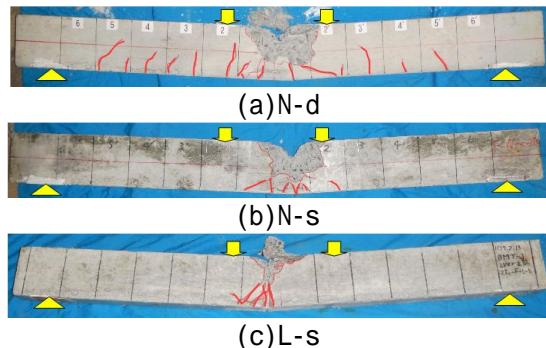


写真-1 供試体の疲労破壊状況

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 10 件)

前島拓, 子田 康弘, 岩城一郎, 内藤英樹, 岸良竜, 鈴木康範, 大田孝二, 鈴木 基行: アルカリシリカ反応が道路橋 RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響, 土木学会論文集 E2, Vol. 72, No. 2, pp.126-145, 2016 年 05 月 20 日(査読有)

子田康弘, 岩城一郎: 東北地方における橋梁の劣化と地震損傷の評価による健全度分析, 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, 第 15 巻, pp. 71-76, 2015.10

皆川翔平, 子田康弘, 岩城一郎: RC はりの耐疲労性に及ぼす環境温度および含水状態の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.631-636, 2015(査読有)

子田康弘, 佐久間正明, 岩城一郎: 塩分環境下におけるコンクリートの耐凍害性に及ぼす空気量およびフライアッシュの影響, セメント・コンクリート論文集, No. 68, pp.411-418, 2015.3.27(査読有)

子田康弘, 皆川翔平, 岩城一郎: 環境温度と含水状態がコンクリートの耐疲労性に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.61A, p.759-766, 2015.3 (査読有)

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, 2015.3 (査読有)

T. Maeshima, Y. Koda, K. Oyamada & I. Iwaki : Study on detailed investigations of practical RC road bridge decks rebuilt after fifty years' service life and its remaining fatigue durability, pp.1243-1249, The Fourth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, 2014.11(査読有)

Y. Koda, I. Iwaki, K. Matsumoto, H. Yamagishi & S. Tsuchiya : Performance evaluation of an RC bridge deck retrofitted by partial-depth repair using shrinkage-compensated ultra-rapid-hardening steel-fiber-reinforced concrete, pp.1250-1256, The Fourth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, 2014.11(査読有)

Yasuhiro Koda and Ichiro Iwaki : Study on Scaling Resistance of Steam - Cured Concrete using Blast - Furnace Slag Cement Exposed to Chloride, The 6th International Conference of Asian Concrete Federation, pp.165-171, 2014 (査読有)

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, 2014.6(査読有)

[学会発表](計 6 件)

島野孝則, 前島拓, 子田康弘, 岩城一郎, 田中泰司: 輪走行作用下における RC 床版のひずみおよび損傷状態に関する検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会, V-604, 2016 年 9 月 9 日, 宮城県仙台市

島野孝則, 織山昌彦, 前島拓, 子田康弘, 岩城一郎: 輪走行作用を受ける RC 床版のひずみおよび損傷状態に関する検討, 土木学会東北支部技術研究発表会, V-18, 2016 年 3 月 5 日, 岩手県盛岡市

前島拓, 子田康弘, 岩城一郎, 梶尾聡, 岸良竜: 疲労と ASR の相互作用が道路橋 RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響, 土木学会第 70 回年次学術講演会, V-132, pp.263-264, 2015 年 9 月 18 日, 岡山県岡山市

前島拓, 子田康弘, 岩城一郎: 凍結防止剤散布下におけるコンクリートの ASR 特性とその対策に関する実験的検討, 第 69 回セメント技術大会, pp.220-221, 2015 年 5 月 13 日, 東京都豊島区

渡辺巧, 皆川翔平, 子田康弘, 岩城一郎: コンクリートおよび RC はりの耐疲労性に及ぼす含水状態の影響, 土木学会東北支部技術研究発表会, V-15, 2015 年 3 月 7 日, 宮城県多賀城市

皆川翔平, 子田康弘, 岩城一郎: 環境温度と含水状態がコンクリートの耐疲労性に及ぼす影響に関する実験的検討, 土木学会第 69 回年次学術講演会, pp.43-44, 2014 年 9 月 10 日, 大阪府大阪市

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

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/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

子田 康弘 (KODA, Yasuhiro)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号: 40328696

(2)研究分担者

仙頭 紀明 (SENTO, Akinori)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号: 40333835

(平成 28 年度より研究分担者)

