

疲労と凍害の複合劣化を与えたRCはりの耐疲労性の低減率に対する評価

日本大学大学院 学生員 ○勝呂翔平

日本大学 正会員 阿部 忠

1. はじめに

積雪寒冷地域の道路橋 RC 床版は、大型車両の繰返し走行による疲労損傷と凍害による材料劣化が複合し、橋梁寿命に達する前に撤去され、床版取替やコンクリート打換補強が行われている。RC 床版の疲労損傷については多くの研究者により実験研究が進められ、破壊メカニズムや耐疲労性が評価されている。しかし、積雪寒冷地域の RC 床版における、疲労と凍害の複合劣化に対する損傷メカニズムや性能の検証は行われていない。そこで本研究は、コンクリートの設計基準強度が異なる 2 タイプの RC はりを用いて、輪荷重走行による疲労と凍害による損傷を繰返し与え、疲労と凍害の複合劣化を受ける RC 部材の疲労寿命に対する低減率および損傷メカニズムを検証する。

2. 供試体の材料および寸法

(1) 使用材料 供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと 5mm 以下の砕砂、5mm ～ 20mm の碎石を用いた。コンクリートの設計基準強度を 24N/mm^2 、 30N/mm^2 の 2 タイプを製作し、実験時の圧縮強度は、それぞれ 27.2N/mm^2 、 35.5N/mm^2 である。次に、鉄筋には SD295A、D10 を用いた。鉄筋の降伏強度は 370N/mm^2 、引張強度が 511N/mm^2 である。

(2) 供試体寸法および鉄筋の配置 供試体の寸法は、2002 年改訂の道路橋示方書・同解説¹⁾に基づいて設計し、その 1/2 モデルとした RC 床版の寸法および鉄筋配置と同等とし、本実験装置の輪荷重幅を考慮した幅 300mm のはりとする。よって、供試体寸法は、全長 1,600mm、幅 300mm、厚さ 130mm、支間 1,200mm である。鉄筋は複鉄筋配置とし、引張側の主鉄筋に D10 を 100mm 間隔で配置し、有効高を 105mm とする。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。供試体寸法および鉄筋配置を図-1 に示す。

3. 実験方法および等価走行回数

(1) 実験概要 本実験は輪荷重走行による疲労と凍害による複合劣化を受けた RC 床版の疲労寿命に対する低減率および損傷メカニズムを検証する実験である。よって、実験は乾燥状態での輪荷重走行疲労実験および輪荷重走行疲労実験と凍害を繰返す実験を行い、それぞれの等価走行回数から低減率を評価する。

(2) 凍害作用 本実験における凍害(凍結・融解)作用は輪荷重走行を 5,000 回ごとに水槽に 12 時間入れ、ひび割れから水を浸透させる。その後、12 時間凍害作用を与える。凍害作用は 3 時間後に -30°C に達し、6 時間作用させ、その後 3 時間で 20°C となるように設定する。ここで、輪荷重走行疲労実験と凍害作用のサイク

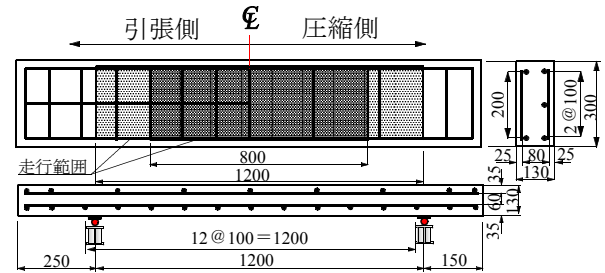


図-1 供試体寸法および鉄筋配置

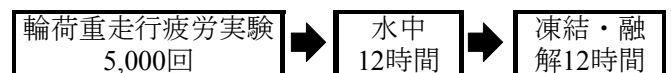


図-2 輪荷重走行疲労と凍害サイクル

ルを図-2 に示す。

(3) 輪荷重走行疲労実験 輪荷重走行疲労実験は、供試体の上面を幅 250mm の車輪を連続走行させる実験である。走行範囲は 2 万回走行まで中央から $\pm 600\text{mm}$ ($1,200\text{mm}$) を連続走行、2 万回以降は $\pm 400\text{mm}$ (800mm) の区間を連続走行とし、走行回数によるコンクリートの骨材化、スケーリング状態を検証する。荷重条件は、道示の規定では、輪荷重設置面 $500\text{mm} \times 200\text{mm}$ に活荷重(衝撃を含む)荷重 150kN が作用した場合と同等とする ($= 150 / (50 \times 20) = 0.15\text{kN/cm}^2$)。よって、本実験の車輪設置面が $250\text{mm} \times 40\text{mm}$ であることから初期荷重を 15kN ($= 0.15 \times 25 \times 4$) とする。乾燥状態での実験は、初期荷重 15kN で 2 万回走行し、その後、荷重を 20kN に増加させて破壊するまで走行させる。次に、疲労と凍害を繰返す供試体は 5,000 回ごとに凍害作用を与え、4 サイクル行う。その後、荷重を 20kN 増加し、5000 回ごとに疲労と凍害を繰返し行う。たわみの計測は走行回数 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回とする。

(4) 等価走行回数 走行疲労実験では、2 万回走行ごとに荷重を増加させることから、等価走行回数 N_{eq} を算出して耐疲労性を評価する。輪荷重走行による等価走行回数 N_{eq} は、マイナー則に従うと仮定すると、式(1)で与えられる。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^m \times n_i \quad (1)$$

ここで、 N_{eq} : 等価走行回数 (回)、 P_i : 載荷荷重 (kN)、 P : 基準荷重 (15kN)、 n_i : 実験走行回数 (回)、 m : S-N 曲線の傾きの逆数 ($=12.7$)²⁾

4. 結果および考察

(1) 等価走行回数 本実験における等価走行回数を表-1 に示す。なお、表-1 に示す供試体名称は設計基準強度 24N/mm^2 で乾燥状態で実験する供試体を RC24-D、

キーワード：疲労、凍害、輪荷重走行疲労実験、等価走行回数、破壊メカニズム

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科 TEL 047-474-2459

疲労と凍害の複合劣化を与える供試体 RC24-F とする。
また、設計基準強度 30N/mm^2 の供試体は、それぞれ RC30-D, RC30-F とする。

疲労と凍害の複合劣化による疲労寿命に対する低減率は、表-1 に示す等価走行回数比から評価する。よって、設計基準強度 24N/mm^2 の供試体は、乾燥状態で疲労実験を行った供試体 RC24-D と疲労と凍害の複合劣化を与えた供試体 RC24-F の等価走行回数比は 0.41 となり、低減率は 59% である。また、設計基準強度 30N/mm^2 の供試体の場合、乾燥状態で疲労実験を行った供試体 RC30-D と疲労実験と凍害を繰返した供試体 RC30-F の等価走行回数比は 0.46 となり、低減率は 54% である。次に、設計基準強度 24N/mm^2 と 30N/mm^2 の供試体の比較では、設計基準強度 30N/mm^2 の供試体は乾燥状態および疲労と凍害の複合劣化を与えた供試体で、それぞれ 1.57 倍、1.78 倍となり、コンクリートの圧縮強度、すなわちセメント量を多くすることで凍害に対する耐疲労性は向上する結果となった。

(2) たわみと等価走行回数の関係 本実験におけるたわみと等価走行回数の関係を図-3 に示す。図-3 より、乾燥状態で実験した供試体のたわみに対して疲労と凍害の複合劣化を与えた供試体のたわみが上回っている。これは、融解によりコンクリート上面が湿潤状態となり、輪荷重の走行を繰返すことによりセメント成分が溶出し、コンクリート表面がスケーリングし、曲げ剛性が低下したためと考えられる。また、圧縮強度 30N/mm^2 の供試体は支圧強度に対する抵抗性が高いために、耐疲労性が向上したと考えられる。したがって、積雪寒冷地域の RC 床版はコンクリートの圧縮強度が凍害に対する耐久性に大きく影響するものと考えられる。

(3) 損傷状況 本実験の 20,000 回走行後と破壊時の上面の損傷状況を図-4 に示す。乾燥状態で実験を行った供試体は、輪荷重走行によってコンクリート表面は損傷を受けるものの骨材化には至っていない。しかし、疲労と凍害の複合劣化を受けた供試体は、融解後は湿潤状態となり、輪荷重の走行によりセメント成分（ノロ）が溶出して骨材化している。さらに、走行と凍害を繰返すことによりノロが溶出し、破壊時にはスケーリングが著しくなっている。設計基準強度 24N/mm^2 および 30N/mm^2 の乾燥状態の供試体と、疲労と凍害を受けた供試体と比較すると 2 万回走行時および破壊時ともに、疲労と凍害を受けた供試体は 24N/mm^2 と 30N/mm^2 のいずれも、供試体のコンクリート表面が骨材化およびスケーリングしている。

5. まとめ

(1) 疲労と凍害の複合劣化を受けた供試体は乾燥状態で疲労試験を行った供試体に比して、設計基準強度が 24N/mm^2 の供試体が 59%、設計基準強度が 30N/mm^2 の供試体が 54% の耐疲労性が低下する結果となった。また、設計基準強度 24N/mm^2 の供試体と設計基準強度が

表-1 等価走行回数

供試体	等価走行回数	等価走行回数比	
RC24-D	1,950,600	—	—
RC24-F	792,635	0.41	—
RC30-D	3,070,348	—	1.57
RC30-F	1,410,043	0.46	1.78

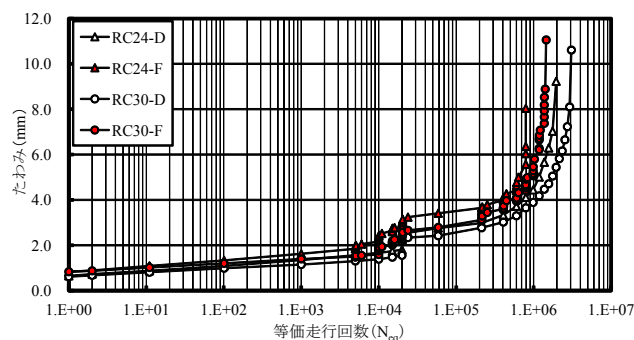


図-3 たわみと等価走行回数の関係

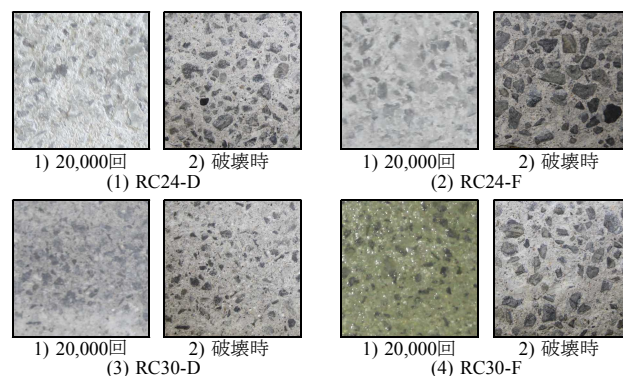


図-4 凍害を受けた RC 床版上面の損傷状況

30N/mm^2 の供試体を比較すると、乾燥状態および疲労と凍害との複合劣化を受けた供試体ともに 1.57 倍、1.78 倍となった。したがって、疲労と凍害を受ける RC 床版はセメント量を多くすることで耐疲労性が向上する結果となる。

(2) たわみと等価走行回数の関係から、本実験では乾燥状態の供試体に対して疲労と凍害の複合劣化した供試体は、上面劣化とスケーリングによりコンクリートの曲げ剛性が低下したためと考えられる。また、圧縮強度の高い供試体はスケーリングが少ないことからたわみの増加も抑制されている。

(3) 疲労と凍害の複合劣化を受けた供試体の損傷状況および破壊メカニズムは、輪荷重が走行することにより発生する微細なひび割れに水が侵入し、凍結融解後は湿潤状態となり、輪荷重走行によりセメント成分が溶出され、コンクリート表面が骨材化やスケーリングが生じ、損傷劣化が進行すると考える。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，III (2002)
- 2) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理 森北出版，2007