

## 論文 鉄筋の付着特性が RC 床版の疲労特性に及ぼす影響

赤代 恵司<sup>\*1</sup>・三田村 浩<sup>\*2</sup>・渡辺 忠朋<sup>\*3</sup>・岸 徳光<sup>\*4</sup>

**要旨：**道路橋の RC 床版は、車両の繰り返し走行によってひび割れ損傷を生じ、劣化が進むと押抜きせん断破壊に至る。積雪寒冷地においては、さらに床版上面の凍害劣化によるスケーリングや砂利化により有効床版厚が減少し疲労耐久性が著しく低下する。このような現象に対して種々の検討が行われているが、その多くは異形鉄筋が配置された RC 床版を対象としたものである。一方で、疲労による損傷を受けている RC 床版には、丸鋼鉄筋が配置されている RC 床版も多くあるのが実態である。本研究では、丸鋼鉄筋が配置された RC 床版において、鉄筋の付着特性が RC 床版の疲労特性に及ぼす影響について実験的に検討を行った。

**キーワード：**RC 床版, 異形鉄筋, 丸鋼鉄筋, 輪荷重走行試験, 疲労耐久性

## 1. はじめに

道路橋の RC 床版は、輪荷重の繰り返し走行によってひび割れ損傷を生じ、劣化が進むと押抜きせん断破壊に至る。また、床版上面から床版内部に水分が浸透すると劣化が著しく加速されることが明らかになっている。さらに近年、積雪寒冷地においては、床版上面のコンクリートが凍害劣化によりスケーリングや砂利化を起し、有効床版厚が減少して疲労耐久性が大きく低下することが判ってきた<sup>1)</sup>。そのため、積雪寒冷地特有の劣化損傷を受けた既設 RC 床版の残存寿命評価や、それに対応した延命手法を策定することが急務となっている<sup>2),3)</sup>。

このような現状に鑑みて、RC 床版の残存性能評価や延命手法等に関する検討が行われてきた。しかしながら、これらの多くは、異形鉄筋が配置された RC 床版を対象に行われたものである。

一方で、昭和 40 年代中頃までは、RC 床版には丸鋼鉄筋が使用されていた実態があり、これらの RC 床版は、供用開始後約 40 年が経過している。

また、近年の道路橋床版の健全性調査によると、これらの丸鋼鉄筋を用いた RC 床版は、疲労損傷や凍害劣化により、損傷劣化が顕在化し始めていることが明らかになった。今後、損傷劣化がさらに急増することが考えられるため、丸鋼鉄筋を用いた RC 床版の疲労特性を明らかにすることは、重要な課題と言える。

丸鋼鉄筋は、異形鉄筋に比べてコンクリートとの付着強度が低いことが知られている<sup>4)</sup>。鉄筋コンクリート構造物の長寿命化を目的とした維持管理計画の策定のために、丸鋼鉄筋が配置された RC 構造物に着目して、RC 部材としての基本的な力学的特性を明らかにする研究が行われている<sup>5)</sup>。これによると、丸鋼鉄筋を用いた RC

部材は、異形鉄筋に比べて付着強度が低いと、ひび割れ性状、変形、耐力などが異形鉄筋を用いた RC 部材と異なり、場合によっては基本的な力学的性能が低い場合もあることが明らかにされつつある。

そこで、本研究では道路橋 RC 床版を対象として、丸鋼鉄筋が配置された RC 床版の疲労特性に関する基礎資料を得ることを目的に、異形鉄筋を配置した RC 床版と丸鋼鉄筋を配置した RC 床版を製作し、輪荷重走行試験を実施して、鉄筋の付着特性が道路橋 RC 床版の疲労特性に与える影響に関して実験的に検討を行うこととした。以下に、その概要を示す。

## 2. 供試体および実験方法

## 2.1 供試体

## (1) 実験床版の諸元

実験用床版は、北海道内の昭和 39 年に架設された橋長 44m の 2 径間単純 RC 床版合成鉄桁橋を対象として選定した。本橋は、有効巾員 6.0 m、床版支間 2.35 m の 3 主桁橋であり、昭和 31 年鋼道路橋設計示方書に準拠して設計されている。床版厚は 160 mm で、鉄筋には丸鋼が使用されている。本研究では、この橋梁の RC 床版を模擬して表 1 に示すような実験用床版を製作した。配筋詳細を図 1 に示す。図 1 に示す配筋に対して、丸鋼鉄筋を用いた供試体（以下、丸鋼鉄筋供試体）と、異形鉄筋を用いた供試体（以下、異形鉄筋供試体）の 2 体を製作し、輪荷重走行試験を行った。なお、それぞれの供試体のコンクリートの圧縮強度は、丸鋼鉄筋供試体が 43.2 N/mm<sup>2</sup>、異形鉄筋供試体が 37.2 N/mm<sup>2</sup>であった。また、丸鋼鉄筋供試体には SR235 を、異形鉄筋供試体には SD345 をそれぞれ用いることとした。

\*1 (社)北海道開発技術センター 常任参与 (正会員)

\*2 (独)土木研究所 寒地土木研究所寒地構造チーム 主任研究員 博(工) (正会員)

\*3 北武コンサルタント(株) 取締役副社長 博(工) (正会員)

\*4 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 社会基盤ユニット 教授 工博 (正会員)

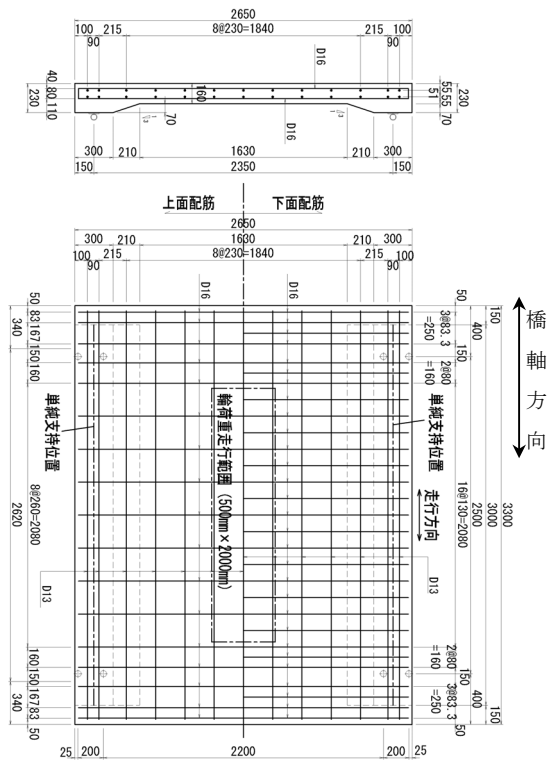


図-1 供試体配筋図

表-1 供試体諸元

供試体名称	床版形状	床版厚	配筋	
			橋軸直角方向	橋軸方向
丸鋼鉄筋供試体	橋軸直角方向 2650mm × 橋軸方向 3300mm	160mm	橋軸直角方向	上面 φ16 ctc 260mm 下面 φ16 ctc 130mm
			橋軸方向	上下面 φ13 ctc 230mm
異形鉄筋供試体	橋軸直角方向 2650mm × 橋軸方向 3300mm	160mm	橋軸直角方向	上面 D16 ctc 260mm 下面 D16 ctc 130mm
			橋軸方向	上下面 D13 ctc 230mm

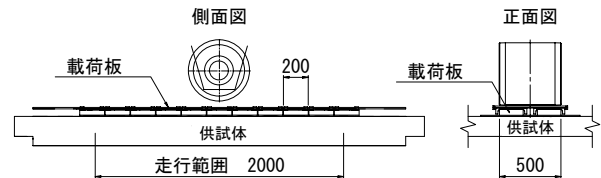


図-2 輪荷重の荷重状況図

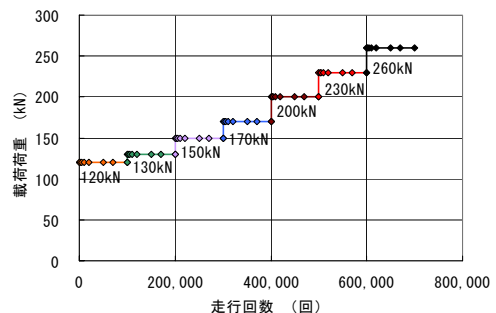


図-3 荷重プログラム

## 2.2 実験方法

実験には、クランク式の輪荷重走行試験機を用いた。供試体は支持桁上に丸鋼を介して2辺単純支持し、橋軸方向の端部は横梁により2辺弾性支持した。輪荷重は、図-2に示すように、スパン中央に設置した、幅500mmの荷重板上を、橋軸方向に2000mmの範囲で鉄輪を往復させることにより荷重した。図-3に、荷重プログラムを示す。輪荷重は、120 kN-10万回、130 kN-10万回、150 kN-10万回、170 kN-10万回、200 kN-10万回、230 kN-10万回、260 kN-10万回の荷重プログラムとし、床版が破壊するまで繰返し荷重することとした。なお、実験時には、適時輪荷重走行を停止し、床版中央位置で輪荷重を静的に荷重して、床版下面のたわみ、ひび割れ状況、鉄筋ひずみを測定した。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 ひび割れおよび破壊性状

図-4, 5には、実験終了後における丸鋼鉄筋供試体と異形鉄筋供試体のひび割れ状況を示している。図より、丸鋼鉄筋供試体と異形鉄筋供試体は、共に200 kN荷重時に変位が急増し、床版が押し抜かれる状態となったことが分かる。なお、丸鋼鉄筋供試体の場合には200 kN荷重時の1万8,100回、異形鉄筋供試体の場合には、200 kN荷重時の5万回で、いずれも供試体下面の鉛直変位が急激に増加し破壊に至った。本論文では、この鉛直変位が

急激に増加するときの走行回数を疲労寿命と定義する。

破壊状況は、ハッチで示した部分が下方に落ち込んでおり、いわゆる押抜きせん断破壊の状態であった。押抜きせん断破壊領域は、図中に赤線で示したように、丸鋼鉄筋供試体の場合には1200 mm×900 mm、異形鉄筋供試体の場合には1200 mm×1400 mm（ともに、橋軸直角方向×橋軸方向）であった。橋軸直角方向の破壊面の位置は、両供試体で共に供試体中央から両側に約600 mmの位置であった。一方、橋軸方向の破壊領域は、丸鋼鉄筋供試体が異形鉄筋供試体に比べて小さくなっており、その値は約65%であった。丸鋼鉄筋供試体の疲労寿命が異形鉄筋供試体に比べて小さくなったのは、破壊領域が異形鉄筋供試体に比べ小さくなったことによるものと推察される。

また、図から、丸鋼鉄筋供試体の場合には、異形鉄筋供試体に比べてひび割れが少ないことが分かる。なお、破壊以前の荷重段階における各床版のひび割れ幅は、丸鋼鉄筋供試体の場合には1.0 mm、異形鉄筋供試体の場合には0.4 mm程度であり、丸鋼鉄筋供試体の場合が異形鉄筋供試体に比べて大きくなっていった。

ひびわれ性状を定量的に評価するために、ひび割れ密度およびひび割れ間隔をひびわれ図から算出した。ひび割れ密度は、図中に青線で示した橋軸方向に1.8 m、橋軸直角方向に1.5 mの範囲内で観察された全てのひび割れを対象に算出した。一方、ひび割れ間隔についても、

ひび割れ密度と同じ範囲内に基準線を設け、この基準線とひび割れとの交差点に基づき、橋軸方向と橋軸直角方向の平均ひび割れ間隔（以下、ひび割れ間隔という）を算出した。なお、ひび割れ間隔算出時の基準線は、図中に緑線で示したように、橋軸方向に2本、橋軸直角方向に1本を設定した。

図-6には、供試体中央位置の変位（以下、変位という）とひび割れ密度の関係を示している。ひび割れ密度の算出時点は、各載荷荷重段階の10万回走行時、および実験終了時（載荷荷重200kN）である。図より、いずれの供試体においても、実橋における床版の打ち換えが推奨される限界ひび割れ密度10.0 m/m<sup>2</sup>を<sup>6)</sup>超えても、供試体下面の鉛直変位が急増し始める等の変化は見られなかった。なお、実験終了時のひび割れ密度は、丸鋼鉄筋供試体で13.1 m/m<sup>2</sup>程度、異形鉄筋供試体で17.0 m/m<sup>2</sup>程度であった。これより、異形鉄筋供試体に対する丸鋼鉄筋供試体のひび割れ密度は約75%程度であることから、異形鉄筋供試体の場合には丸鋼鉄筋供試体に比べてひび割れが分散して発生したことが分かる。

図-7には、変位とひび割れ間隔の関係を示している。図中ひび割れ間隔の算出時点は、上述のひび割れ密度の算出時点と同じである。一般に、鉄筋コンクリート部材のひび割れ本数は、載荷荷重の増加とともに増加し、やがて新たなひび割れが発生せず、ほぼ一定（以後、ひび割れの定常状態と呼ぶ）になることが知られている。本実験では、丸鋼鉄筋および異形鉄筋供試体ともに、載荷荷重170kN（変位約5mm）の時点で、ひび割れの発生がほぼ終了している。したがって、ひび割れが定常状態となる荷重と変位には、両者に大きな差異は認められない結果となった。

橋軸方向のひび割れ間隔は、橋軸直角方向に比べて若干大きい傾向が認められる。一般に異形鉄筋が配置されたRC部材の場合には、鉄筋の配置間隔が大きいほどひび割れ間隔が大きくなる。これより、本実験の場合においても鉄筋の配置間隔の差異によって橋軸方向のひび割れ間隔が橋軸直角方向よりも大きくなったものと考えられる。なお、この傾向は、丸鋼鉄筋供試体の場合においても同様であった。

定常状態でのひび割れ間隔を比較すると、橋軸方向のひび割れ間隔は、丸鋼鉄筋供試体の場合が約130mm、異形鉄筋供試体の場合が約100mmであった。また、橋軸直角方向のひび割れ間隔は、丸鋼鉄筋供試体の場合が約100mm、異形鉄筋供試体の場合が約75mmであった。いずれの方向においても、丸鋼鉄筋供試体のひび割れ間隔は、異形鉄筋供試体に比べて大きいことが分かる。これは、丸鋼鉄筋は、異形鉄筋に比べて鉄筋とコンクリートとの付着強度が低いために、ひび割れの分散性も低く

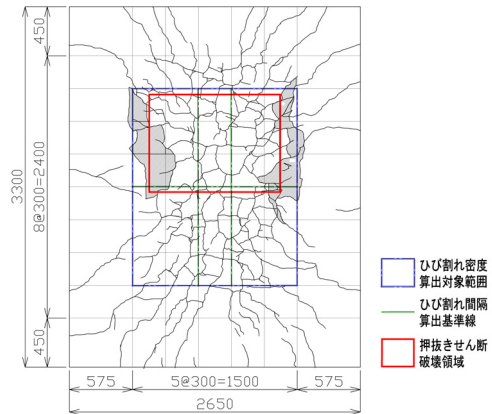


図-4 丸鋼鉄筋供試体ひび割れ状況（実験終了時）

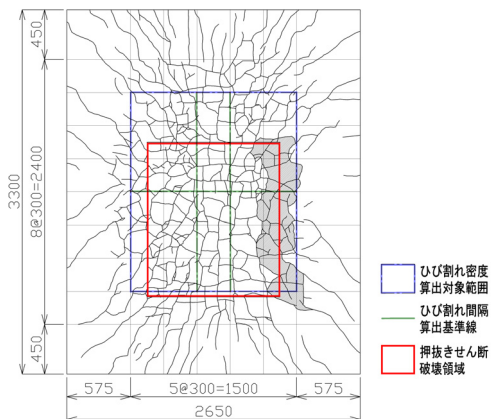


図-5 異形鉄筋供試体ひび割れ状況（実験終了時）

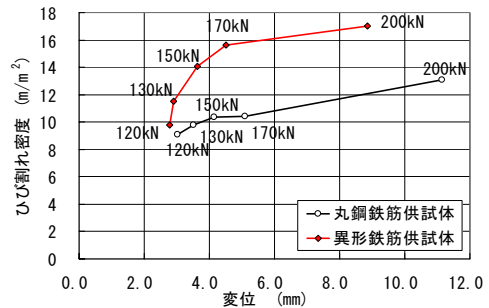


図-6 ひび割れ密度-変位関係

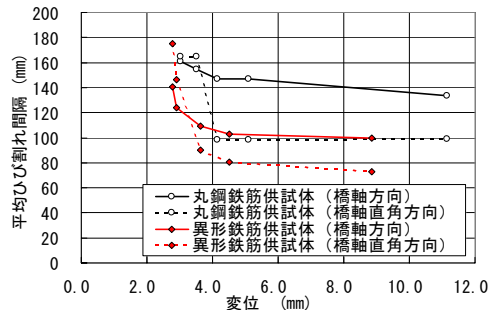


図-7 ひび割れ間隔-変位関係

なることによるものと推察される。

なお、コンクリート標準示方書<sup>4)</sup>によると、丸鋼鉄筋を用いた場合のひび割れ間隔は、異形鉄筋を用いた場合の1.3倍としている。一方、本実験結果の場合も概ね1.3

倍であり、既往の知見と概ね一致する結果であった。

以上のように、丸鋼鉄筋供試体は、異形鉄筋供試体の場合に比べてひび割れ間隔およびひび割れ幅が大きいことより、異形鉄筋供試体の場合よりも疲労寿命が低下したものと推察される。すなわち、ひび割れ間隔が大きくなることによりひび割れ面でのせん断力が増加し、かつひび割れ幅の増加によりせん断伝達能力が低下することによって破壊領域が小さくなり、疲労寿命が低下したものと考えられる。

### 3.2 荷重と変位の関係

図-8には、荷重の繰り返し回数と変位の関係を示している。輪荷重走行開始前に輪荷重120kNを載荷した時点での変位は、丸鋼鉄筋供試体で1.76mm、異形鉄筋供試体で2.32mmと差が見られた。この時点では、いずれもほとんどひび割れが発生していない段階であることより、変位の差は材料特性による初期剛性の違いによるものと推察される。ここでは、初期剛性の影響を除くために、120kN繰り返し載荷開始前の変位の比(1.76/2.32=0.76)を異形鉄筋供試体の変位に乗ずることで補正することとした。

図より、各荷重段階における丸鋼鉄筋供試体の変位は、異形鉄筋供試体に比べて大きいことが分かる。前述したように、丸鋼鉄筋供試体のひび割れ本数は、異形鉄筋供試体のひび割れ本数に比べて少ないが、変位は異形鉄筋供試体に比べて大きい結果となっている。

なお、丸鋼鉄筋供試体のひび割れ幅は、異形鉄筋供試体よりも大きいことから、丸鋼鉄筋供試体の剛性低下は、異形鉄筋供試体よりも大きいものと考えられる。なお、図-9、10に示すように、各供試体の橋軸方向および橋軸直角方向の変位分布は、両者で大きな差異は認められない結果となった。

### 3.3 鉄筋ひずみ

図-11、12には、それぞれ橋軸方向と橋軸直角方向における両供試体の鉄筋ひずみと繰り返し回数の関係を示している。図中のひずみは、各方向の中央近傍下面軸方向鉄筋に貼付けたひずみゲージによる計測値である。図-11の橋軸方向におけるひずみ分布を見ると、異形鉄筋供試体の場合には荷重の増加に対応して鉄筋の引張ひずみも大きくなっているのに対して、丸鋼鉄筋供試体の場合には荷重の増加に対してひずみはほとんど増加しない傾向を示している。これは、1)丸鋼鉄筋が異形鉄筋に比べて付着強度が小さいこと、2)付着応力度が付着強度に達することで鉄筋とコンクリート間に付着すべりが生じるため、このすべりが生じた区間における鉄筋の引張ひずみが軸方向に平均化されるためと推察される。

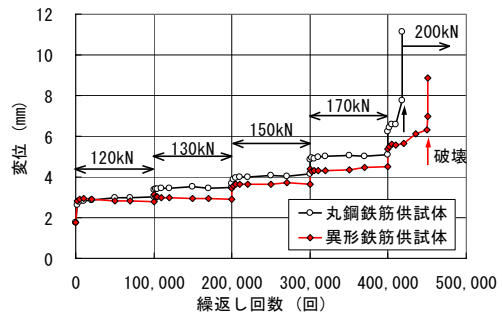


図-8 変位-繰返し回数関係

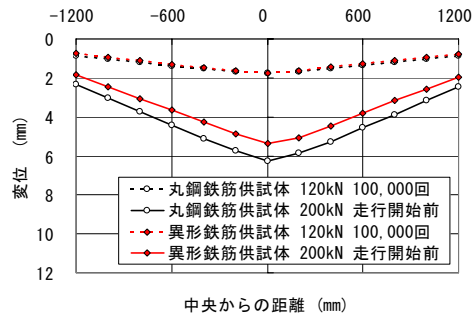


図-9 橋軸方向の変位分布

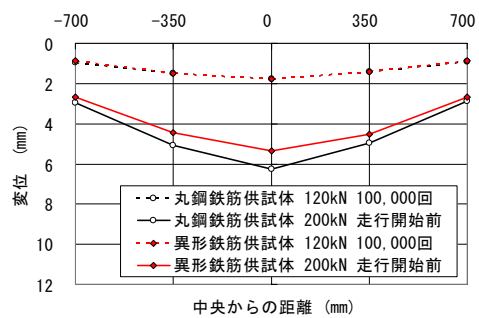


図-10 橋軸直角方向の変位分布

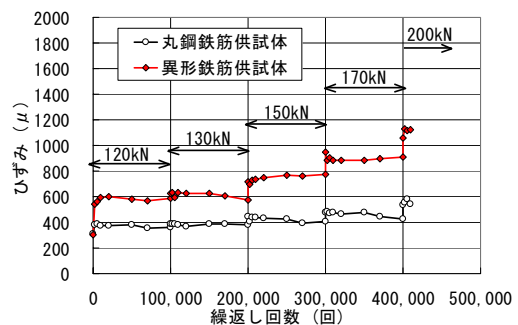


図-11 鉄筋ひずみ-繰返し回数関係 (橋軸方向)

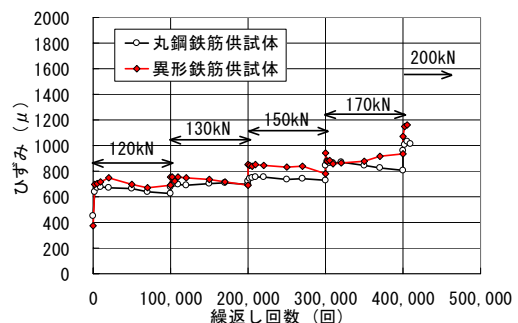


図-12 鉄筋ひずみ-繰返し回数関係 (橋軸直角方向)

一方、橋軸直角方向ひずみの場合には、両者の差は小さいものの異形鉄筋供試体のひずみが大きい傾向を示している。

図-13, 14には、両供試体の中央断面における橋軸方向および橋軸直角方向の鉄筋ひずみ分布を示している。図から、まず橋軸直角方向に着目すると、丸鋼鉄筋供試体と異形鉄筋供試体のひずみ分布に大きな差異は無いことが分かる。平面保持仮定が成立するものと仮定すれば、異形鉄筋供試体の場合にはコンクリートの圧縮領域は、上縁かぶりコンクリート部分に位置していることが分かる。なお、丸鋼鉄筋供試体のひずみ状況も各荷重段階で異形鉄筋供試体の場合と大きな差異がないことより、コンクリートの圧縮領域は同様に上縁かぶり部にあることが分かる。

一方、橋軸方向において、特に200kN 走行開始前に着目すると、いずれの床版も軸引張力が励起し、異形鉄筋供試体の場合には曲げと軸力が連成して作用しているのに対して、丸鋼鉄筋供試体の場合には軸力が卓越する傾向を示している。これは、異形鉄筋供試体の場合には鉄筋の付着性能がよいのに対して、丸鋼鉄筋供試体の場合には早期に付着強度に達することにより膜作用が卓越することによるものと推察される。

以上より、鉄筋のひずみ分布状況から、橋軸直角方向に関しては、両供試体で大きな差異は認められないものの、橋軸方向に関してはひずみの分布状態に違いが認められることから、荷重の伝達機構にも差異が生じているもの推察される。このことは、3.1 で述べた、押抜きせん断破壊領域が橋軸直角方向では丸鋼鉄筋供試体と異形鉄筋供試体で同様であったのに対して、橋軸方向には丸鋼鉄筋供試体が狭い結果となっていたことと対応しているものと推察される。

#### 4. 既往の評価法による検討

2体の供試体の疲労寿命を比較するために、荷重150kNに換算した等価繰返し回数を、次式により算出した。

$$DI = \sum \left( \frac{P_i}{P} \right)^m \cdot n_i \quad (1)$$

ここに、 $DI$ ：等価繰返し回数（回）

$P_i$ ：荷重（kN）

$P$ ：基準荷重（kN）（ $P=150$  kNとする）

$m$ ：S-N線図の傾きの逆数

（ $m=12.76$ とする<sup>7)</sup>）

$n_i$ ：荷重 $P_i$ の回数（回）

図-15には、150kN換算時の等価繰返し回数と変位の関係を示している。図より、丸鋼鉄筋供試体の疲労寿命は異形鉄筋供試体の約0.51倍であることが分かる。

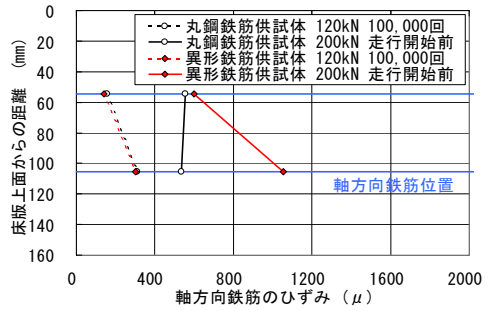


図-13 引張鉄筋の断面ひずみ分布（橋軸方向）

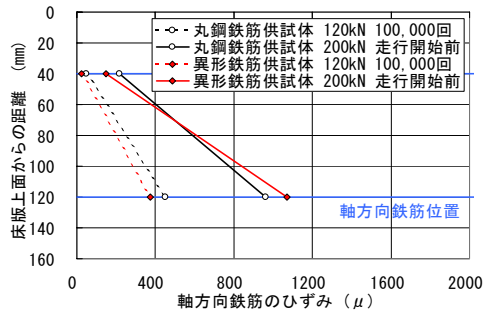


図-14 引張鉄筋の断面ひずみ分布（橋軸直角方向）

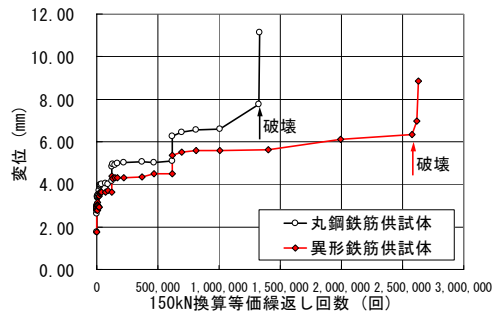


図-15 変位-150kN換算等価繰返し回数関係

RC床版における押抜きせん断耐力は、既往の研究によると、①圧縮領域のコンクリートによるせん断力の伝達、②ひび割れ面でのせん断力の伝達、③引張鉄筋によるせん断力の分散とされている<sup>7)</sup>。

この前提に立てば、丸鋼鉄筋供試体の疲労寿命が異形鉄筋供試体に比べて低いのは、1)丸鋼鉄筋供試体が異形鉄筋供試体に比べて発生するひび割れ本数が少ないために、ひび割れ面が負担するせん断力が相対的に増加すること、2)同時にひび割れ幅も大きいと、せん断伝達能力が低下することにより結果として相対的に押抜きせん断耐力も低下すること等、によるものと推察される。

最後に、異形鉄筋RC床版を対象とした既往の疲労寿命算定手法<sup>7)</sup>により得られる計算値(式2)と実験結果を比較する。図-16には、疲労寿命算定手法で提案されたS-N曲線と実験結果を比較して示している。

$$\log \left( \frac{P}{P_{sx}} \right) = -0.07835 \cdot \log N + \log 1.52 \quad (2)$$

ここに、 $P$ ：輪荷重（kN）

$P_{sx}$ : 梁状化した押抜きせん断耐荷力 (kN)  
 $N$ : 繰返し回数 (回)

表-2には、式(2)により算出される輪荷重を 150 kN とする場合の繰返し回数と実験結果を一覧にして示している。表より、実験値は計算値に対して、丸鋼鉄筋供試体で約 0.46 倍、異形鉄筋供試体で 2.98 倍となることが分かる。なお、梁状化した押抜きせん断耐荷力  $P_{sx}$  は、次式により求めた<sup>7)</sup>。

$$P_{sx} = 2 \cdot \tau_{smax} \times X_m \times B + 2 \cdot \sigma_{tmax} \times c_m \times B \quad (3)$$

ここに、 $\tau_{smax}$ : コンクリートの最大せん断応力度

$$\tau_{smax} = 0.656 \times f'_{ck}{}^{0.606} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$X_m$ : 引張側コンクリートを無視した場合の圧縮側上縁から中立軸までの距離 (mm)

$\sigma_{fmax}$ : コンクリートの最大引張応力度

$$\sigma_{fmax} = 0.269 \times f'_{ck}{}^{2/3} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$c_m$ : 主鉄筋のかぶり厚さ (mm)

$B$ : 梁状化したときの梁幅 (mm)

$$B = b + 2 \cdot d_d$$

$b$ : 載荷板の配筋方向の辺長

$d_d$ : 引張配筋の有効高さ

本研究の範囲内では、既往の疲労寿命算定手法は、異形鉄筋供試体に対しては安全側に、丸鋼鉄筋供試体に対しては危険側に評価することが明らかになった。今後は、供試体数を増やし、丸鋼鉄筋を用いた場合に対する補正式を提案したい。

## 5. まとめ

本検討によって明らかになった事項を、以下に示す。

- (1) 丸鋼鉄筋を用いた RC 床版は、異形鉄筋を用いる場合に比べて、ひび割れ密度が小さく、かつひび割れ間隔やひび割れ幅が大きくなる。ただし、ひび割れ密度やひび割れ間隔が一定の値となる荷重は、いずれも同等であった。
- (2) 両床版の繰返し荷重による押抜きせん断破壊領域を比較すると、橋軸直角方向は同様であったが、橋軸方向の破壊領域は、丸鋼鉄筋を用いた方が異形鉄筋を用いた RC 床版に比べて小さくなる。
- (3) 丸鋼鉄筋を用いた RC 床版は、異形鉄筋を用いる場合に比べて、ひび割れによる剛性低下が大きい。
- (4) 丸鋼を用いた RC 床版の疲労寿命は、異形鉄筋用いる場合の約 51%であり、異形鉄筋 RC 床版の既往の S-N 式から算定される寿命の約 46%程度であった。
- (5) 丸鋼を用いた RC 床版が異形鉄筋を用いる場合に比べて疲労寿命が低下する要因は、発生するひび割れ

本数の減少に伴うひび割れ面が負担するせん断力の増加と、ひび割れ幅の増加によるせん断伝達能力の低下に伴う押抜きせん断耐力の低下が、要因として考えられる。

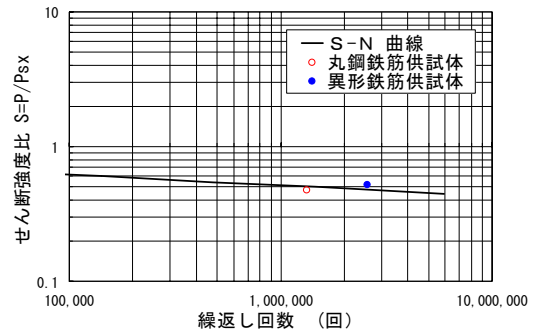


図-16 S-N曲線

表-2 計算値と実験値の比較

	単位	丸鋼鉄筋供試体	異形鉄筋供試体
輪荷重	P	kN	150
梁状化した押抜きせん断耐荷力	$P_{sx}$	kN	316.4
無次元荷重値 ( $P/P_{sx}$ )	S	-	0.474
繰返し回数 ((2)式による計算値)	$N_{ca1}$	回	2,862,017
繰返し回数 (実験結果)	$N_{exp}$	回	1,326,811
$N_{exp}/N_{ca1}$	-	-	0.46
			2.98

## 参考文献

- 1) 三田村浩, 石川博之, 赤代恵司, 松井繁之: 積雪寒冷地における RC 床版の下面 FRP シート補強に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.1483-1488, 2009.
- 2) 三田村浩, 石川博之, 赤代恵司, 松井繁之: 積雪寒冷地における既設 RC 床版の延命手法について, 平成 20 年度 土木学会北海道支部 論文報告集, 第 65 号, A-26 (CD-ROM), 2009.2
- 3) 小野貴之, 三田村浩, 林川俊郎, 松井繁之: 積雪寒冷地における RC 床版の疲労耐久性に関する研究, 第 6 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.75-80, 2008.6
- 4) 土木学会: 2007 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】, 2008.3
- 5) Mohd Wildan, 中村 光, 国枝 稔, Pamavanh Kongkeo, 河村精一: 丸鋼を用いた低鉄筋比 RC はりの挙動の評価, 平成 20 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.453-454, 2009.3
- 6) 松井繁之, 前田幸雄: 道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案, 土木学会論文集, 第 374 号, I-6, pp.419-426, 1986.10
- 7) 松井繁之: 道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版株式会社, pp.47-61, 2007.10