

異形鉄筋の低サイクル疲労強度とその評価法

名古屋大学 学生会員 ○牛田健友 正会員 判治 剛
フェロー会員 館石和雄 学生会員 永松直樹

1. 目的

横方向筋などで重拘束された RC 橋脚に地震力が作用し、内部の軸方向筋に大きな塑性ひずみが繰り返されると、低サイクル疲労破壊が生じる可能性がある。本研究では、異形鉄筋の低サイクル疲労強度を明らかにし、その評価法について検討した。

2. 鉄筋の材料的な低サイクル疲労特性

異形鉄筋から切り出した砂時計型試験片を用いて低サイクル疲労試験を行い、材料的な疲労強度を明らかにした。鉄筋は D19 の SD345 と SD490 の 2 種類とした。砂時計型試験片のくびれ部の直径は 8mm であり、その位置の軸方向のひずみを制御して試験を実施した。SD345 については全ひずみ振幅 $\epsilon_{ia}=3\%, 5\%, 8\% 10\%$ の 4 ケース、SD490 については $\epsilon_{ia}=3\%, 5\%, 8\%$ の 3 ケースとした。マイクロスコップを用いてき裂の発生および進展を確認しながら試験を行い、試験片が破断するまで载荷した。き裂発生寿命とひずみ振幅の関係を図 1 に示す。本研究ではき裂長が 0.5mm に達したときの繰返し数をき裂発生寿命とした。図には、構造用鋼材に対して過去に提案された疲労強度曲線¹⁾³⁾も示した。提案曲線の疲労寿命の定義はき裂長 0.3mm~0.5mm 程度であり、対象鋼種は SM490^{1), 2)}, HT60³⁾である。図より、試験結果は提案曲線ともほぼ同程度であり、また鋼種による疲労強度の差はみられない。つまり、材料レベルでは SD345 と SD490 の疲労強度は同程度であるといえる。

3. 異形鉄筋の低サイクル疲労試験

前章で用いた 2 種類の異形鉄筋に対して低サイクル疲労試験を行った。長さ 180mm 程度に切断した鉄筋の上下 60mm 程度を試験機に固定し、軸方向の繰返し変位を与えた。座屈を防止するために試験区間を可能な限り短くした。試験は、試験機の変位を制御値とし、最大変位を 3mm, 4mm, 5mm, 最小変位を 0mm とする片振りの一定振幅変位で行い、破断するまで繰り返した。試験区間を短くしたことによる空間上の制約からき裂の観察が困難であったため、今回は荷重の低下がき裂の発生および進展によって生じると考えて、最大荷重が 1.5%低下したときの繰返し数を疲労寿命と定義した。き裂発生および破断状況を図 2、図 3 に示す。節の立ち上がり部からき裂が発生して破断に至っていることがわかる。図 4 に疲労寿命と公称ひずみ振幅の関係を示す。ここで公称ひずみ振幅とは、与えた変位振幅を鉄筋の試験区間で除したものである。図より、公称ひ

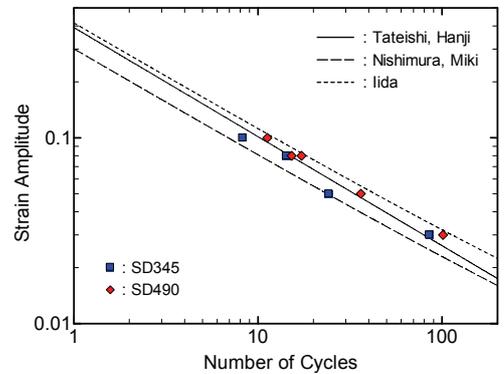


図 1 砂時計型試験片の疲労試験結果

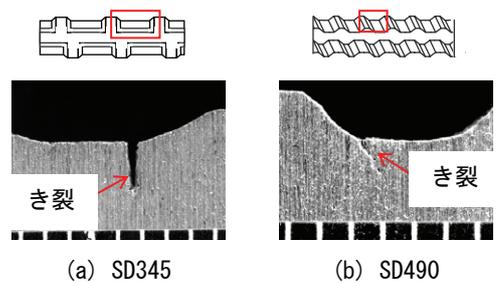


図 2 き裂発生状況

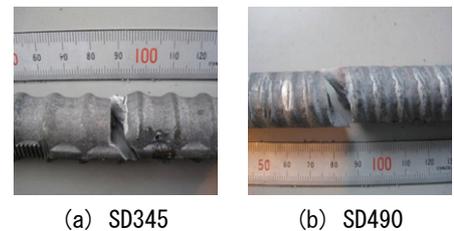


図 3 破断状況

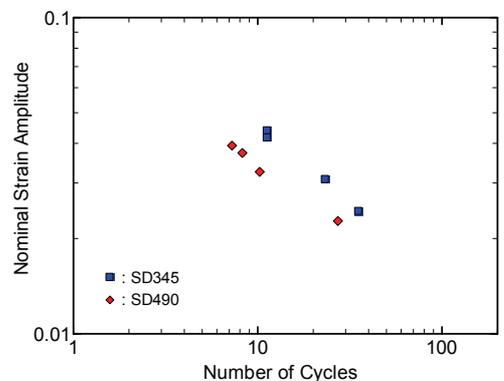


図 4 鉄筋の疲労試験結果 (公称ひずみ)

キーワード 異形鉄筋, 低サイクル疲労, 疲労強度評価法, 局部ひずみ

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL: 052-789-4620

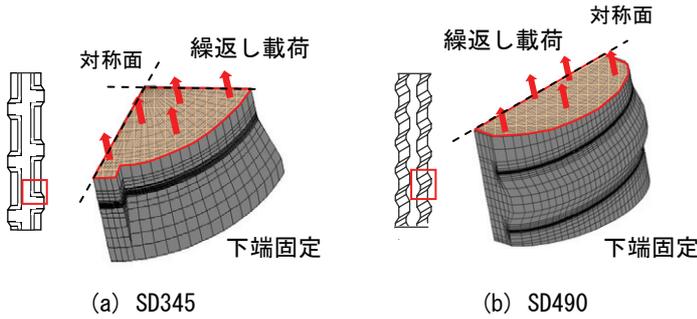


図5 解析モデル

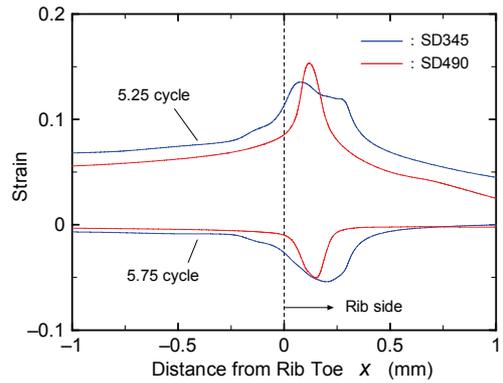


図6 軸方向のひずみ分布

ひずみ振幅で整理すると、鉄筋の低サイクル疲労強度はSD345とSD490で異なっており、SD345のほうが上方(右側)に位置している。これは、節の形状の違いによりひずみ集中に差異が生じたためと考えられる。

4. 弾塑性有限要素解析

鉄筋のき裂発生点である節の立ち上がり部の局部的なひずみを推定するために弾塑性有限要素解析を行った。図5に解析モデルと境界条件を示す。節の形状を表すパラメータとして、立ち上がり部の曲率半径 r と角度 θ を実測してモデルに反映した。平均値は、SD345で0.94mmと22.1°、SD490で

0.30mmと28.0°であった。立ち上がり部周辺の要素サイズは十分に小さくした。引張試験結果を参考に、降伏強度と弾性係数はSD345が345MPa、200GPa、SD490が539MPa、203GPa、構成則はマルチリニア型、移動硬化則とした。解析では、1サイクル目を実験時のひずみゲージ値と解析モデルのゲージ位置の鉛直方向ひずみを合わせるように変位を与え、それ以降もその変位振幅を5.75サイクルまで繰り返した。図6に軸方向の最大主ひずみ分布を示す。これは繰返し载荷後の結果であり、横軸には節の立ち上がり点からの距離を示している。図より、ひずみは立ち上がり点からわずかに節側に入った位置で最大となっている。これは試験におけるき裂発生位置とほぼ一致する。またひずみ集中の程度はSD345に比べてSD490のほうが大きいことがわかる。

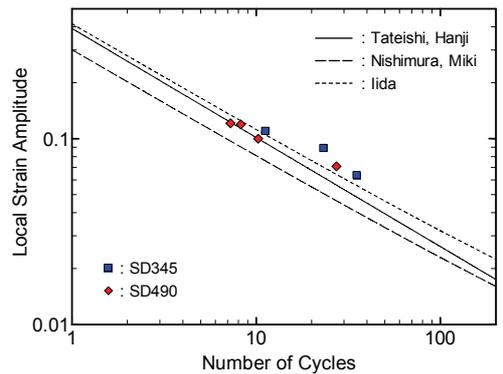


図7 鉄筋の疲労試験結果(局部ひずみ)

5. 局部ひずみによる低サイクル疲労強度評価

解析より求めたひずみの変動範囲の最大値をき裂発生点の局部ひずみ振幅と考え、異形鉄筋の低サイクル疲労試験結果を再整理した。その結果を図7に示す。縦軸は解析より求めた局部ひずみ振幅である。図には、2章にて示した過去に提案された疲労強度曲線¹⁾³⁾も示した。局部ひずみ振幅で整理すると、SD345とSD490で疲労強度に差はみられない。また試験結果は疲労強度曲線よりもわずかに高寿命側に位置している。これは、試験体の疲労寿命にはき裂が発生してから荷重が1.5%低下するまでの進展寿命が含まれているためと考えられる。ばらつきこそあるものの、き裂発生について考えれば、材料的な疲労強度曲線と試験結果は概ね一致しているといえる。よって、鉄筋の節近傍に生じる局部ひずみを解析的に求め、それと材料レベルの疲労強度曲線を照らし合わせるにより、異形鉄筋の低サイクル疲労強度を評価できることが示された。

6. まとめ

本研究では、異形鉄筋に対する低サイクル疲労試験を実施し、その疲労強度を明らかにするとともに、鉄筋の節近傍に生じる局部ひずみにより疲労強度を評価可能であることを示した。

謝辞 試験の実施に際して共英製鋼株式会社より多大なるご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

参考文献 1) 館石ら：構造工学論文集, Vol.51A, pp.1275-1282, 2005. 2) 西村・三木：土木学会論文報告集, No.279, pp.29-44, 1978. 3) 飯田：日本造船学会論文集, No.128, pp.331-342, 1970.