

千葉工業大学大学院 学生会員 鈴木 元敏
 東京大学生産技術研究所 正会員 舘石 和雄
 千葉工業大学土木工学科 F 会員 足立 一郎
 東京大学生産技術研究所 F 会員 魚本 健人

1. はじめに

従来から鉄筋の疲労に関する研究は行われているが、コンクリート中の応力状態は複雑であり、鉄筋の形状が疲労強度に及ぼす影響は定量的に明らかになっていないといえない。

本研究では、鉄筋の詳細形状と疲労強度の関係を定量的に明らかにするために、直接引張疲労試験法により異形鉄筋の疲労強度を実験的に明らかにすると共に、疲労亀裂進展解析を用いて、異形鉄筋の疲労寿命の予測を試みた。

2. 異形鉄筋の直接引張疲労試験

(1) 試験体

試験鉄筋は直径 13mm, SD30 の異形鉄筋を用いた。使用した異形鉄筋の材料特性を表-1 に示す。

表-1 異形鉄筋の材料特性

引張試験		
降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %
364	509	22.4

(2) 荷重方法

表-2 に荷重条件を、図-1 に治具および荷重状況を示す。試験機はサーボバルサーを用いた。チャック部においては、治具が試験鉄筋を固定しやすくするために、リブを削り取る加工を施した。また、鉄筋とチャックの刃が滑らないように、目の粗いサンドペーパーを鉄筋と刃との間に挟み込んだ。

表-2 直接引張疲労試験の荷重条件

番号 (No)	荷重 (t)			繰返し速度 (Hz)
	上限	下限	振幅	
1	4	0.2	3.8 (80.1)	2.5
2	3.7	0.2	3.5 (74.4)	3.0~4.0
3	3.4	0.2	3.2 (68.0)	4
4	3.2	0.2	3 (63.8)	4

(): 降伏荷重に対する割合 (%)

(3) 実験結果

実験結果の中にはチャック部で疲労破壊したものがあつたため、実験値としては、チャック部以外で疲労破壊したものを用いた。

図-2 に応力範囲と繰返し回数の関係を示す。直接引張疲労試験による実験値は、設計疲労強度曲線より大きいことがわかった。

3. 疲労亀裂進展解析

異形鉄筋を対象として疲労亀裂進展解析による異形鉄筋の疲労寿命の予測を試みた。

(1) FEM 解析

異形鉄筋はリブがあるため、その付け根に応力が集中する。よって、疲労強度に及ぼすリブによる応力集中の影響を把握するために FEM 解析を行った。精度良く解析を行うためにはリブの付け根の形状をなるべく正確に把握しモデリングする必要がある。そこで、歯形用印象材を使用して、リブの型を作成し、それを 10 倍に拡大する事により鉄筋の形状を把握した。鉄筋断面の FEM 解析モデルを図-3 に示す。また、解析手法は軸対称解析とし、解析条件は、材料特性として弾性係数を $2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ 、ポアソン比

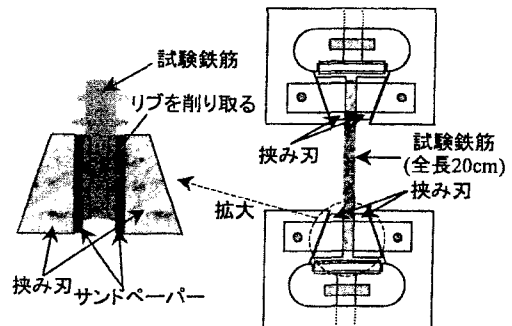


図-1 直接引張疲労試験荷重状況

を0.3とした．また要素の大きさは最小0.05mmとした．

図-4 に FEM 解析結果による応力集中部の断面応力分布を示す．図から，リブの付け根には公称応力の二倍以上の応力集中を起こすことがわかった．

(2) 応力拡大係数範囲の計算

疲労亀裂進展解析を行うためには，亀裂先端付近の応力状態を知る必要がある．よって，亀裂先端付近の力学的パラメータである応力拡大係数範囲を過去の文献¹⁾による式を基に算出した．

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{\pi a} F(\lambda) F_{gA} \cdots (1)$$

$$F(\lambda) = 0.66 - 0.02398\lambda + 1.664\lambda^2 \cdots (2) \quad (\lambda = a/D)$$

$\Delta \sigma$ ：公称応力範囲， a ：ひび割れ深さ， D ：鉄筋の直径

F_{gA} は FEM 解析により求めた応力分布から求め，リブによる応力集中を考慮するための補正係数である(図-5)．また，初期亀裂深さを0.15mm，限界亀裂深さを鉄筋直径とした．

(3) 疲労亀裂進展解析

疲労亀裂進展解析は次に示される疲労亀裂進展速度を用いて行った．

$$da/dN = C \Delta K^n \cdots (3)$$

ただし， $C=1.5 \times 10^{-11}$ ， $n=2.75$ とした．

図-6 に実験値と解析値との比較を示す．図より，応力集中の影響のみを考慮して解析を行った解析(1)の場合，解析値と実験値を比較すると非常に異なることがわかった．応力集中の影響のみを考慮しただけでは，正確な異形鉄筋の疲労寿命を推定できない．そこで次式に疲労亀裂開閉口による影響を考慮した²⁾．

$$K_{op}/K_{max} = 3.425/\Delta K \quad (\Delta K \leq 13.7)$$

$$K_{op}/K_{max} = 0.25 \quad (\Delta K > 13.7)$$

K_{op} ：亀裂開口応力拡大係数， K_{max} ：最大応力拡大係数

その結果，解析値は実験値に極めて近似することがわかった．

4. まとめ

異形鉄筋の直接引張疲労試験を行った結果次のことがわかった．①直接引張による異形鉄筋の疲労強度は設計疲労強度曲線より大きい．②異形鉄筋の疲労寿命は応力集中と亀裂開閉口の影響を考慮して解析を行う事によって精度良く予測できる．

参考文献

- 1) P.K.LIAN,C.Y.YANG 等：FATIGUE CRACK INITIATION AND PROPAGATION BEHAVIOR OF PRESSURE VESSEL STEELS, Engineering Fracture Mechanics Vol.57.No.1,pp.85-104, 1997
- 2) 田中・征矢：疲労亀裂開閉口に及ぼす応力比と応力拡大係数範囲の影響について、溶接学会論文集、Vol. 5、No1、1987

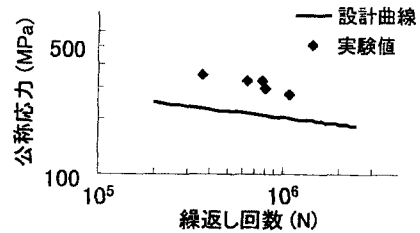


図-2 直接引張疲労試験結果

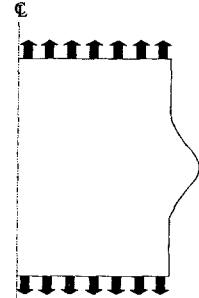


図-3 解析モデル



図-4 応力集中部の断面応力分布

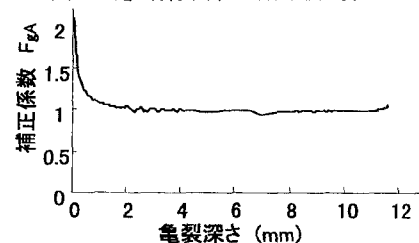


図-5 応力集中に対する補正係数 F_{gA}

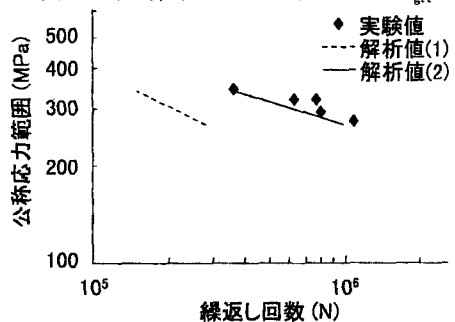


図-6 公称応力範囲－繰返し回数