

有限要素法による付着割裂作用を受けるコンクリートの応力解析

豊橋技術科学大学 正会員 ○角 徹三
 同 学生会員 山田 守
 同 柴田 誠

1. はじめに

コンクリート中に埋め込まれた異形鉄筋が引き抜き力を受けると、鉄筋は周囲のコンクリートを押し広げながら滑ろうとする。このときコンクリートのかぶり厚が十分でないと脆性的な割裂破壊が発生する。このひびわれパターンは部材断面での主筋の配置により異なるうえ、付着割裂耐力に差異を生じる原因となることが知られている。本研究では、断面内の主筋の配置をパラメータとし、非線形有限要素法によりコンクリートの応力状態とひびわれパターンについて考察する。

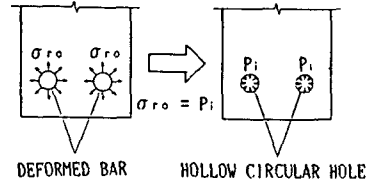


図1 くさび作用のモデル化

2. 解析概要

異形鉄筋とコンクリート間の力の伝達はふしのくさび作用により、その多くを依存している。ふし面に垂直に作用する支圧力 f_b は、鉄筋軸方向の付着応力 τ_b と鉄筋に垂直で放射方向に作用しコンクリートを押し広げようとする力 σ_{ro} に分解できる。

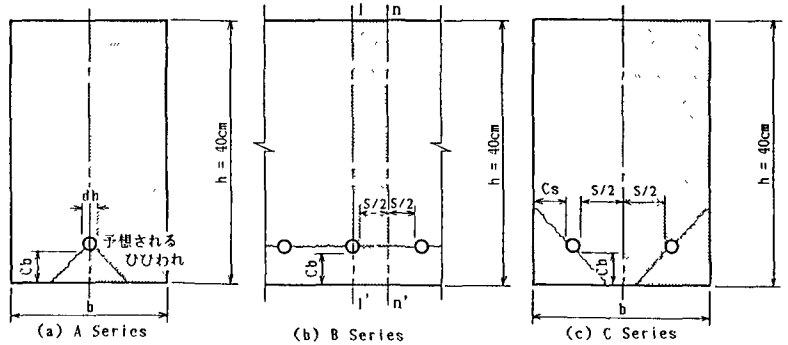


図2 解析対象断面

$$\tau_b = f_b \cdot \sin \theta \dots \dots \dots (1)$$

$$\sigma_{ro} = f_b \cdot \cos \theta$$

θ はコンクリートと鉄筋のすべり面が鉄筋軸となす角度で約 45° とすれば、式(1)は $\tau_b = \sigma_{ro}$ となる。本解析では、RC部材の断面を鉄筋を中空円に置き換えたコンクリートのみの二次元平面問題として取り扱い、図1に示すよう中空円の円周部分に $\sigma_{ro}(=\tau_b)$ に等価な内圧 P_i を作用させ、異形鉄筋の割裂作用に注目した解析を進める。

解析対象断面は既往の付着実験¹⁾の破壊性状を参考にし、図2の3通りとする。Aシリーズは $b=30\text{cm}$ で一定とし、底面かぶり C_b を変数とする。Bシリーズは断面内に主筋が多数配置された場合を想定し、鉄筋間隔 S を変数とする。Cシリーズは断面の隅角部に鉄筋が対称に配置された場合で、 C_b, C_s 、さらに S を変数として解析を行う。

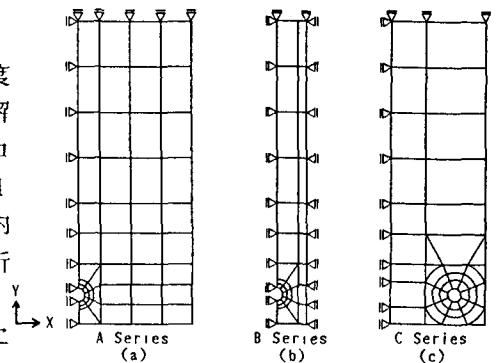


図3 要素分割

表1 材料定数

一軸圧縮強度	一軸引張強度	最大引張応力時歪	ポアソン比	初期線弾性係数
kgf/cm ²	kgf/cm ²			kgf/cm ²
300	30	0.0025	0.2	2.1×10^5

図3に各シリーズの要素分割を示す。A、Cシリーズでは対称軸上のX方向変位は生じないため、計算対象は断面の半分が良い。Bシリーズは、断面内に鉄筋が十分多く並んでいるとすれば、図2(b)の1-1'、n-n'上のX方向変位は生じないと考えられ、計算対象断面は図3(b)のようになる。コンクリート要素の σ - ε 構成則にはDarwin-Pecknold²⁾モデルを用いる。コンクリートの材料定数を表1に示す。

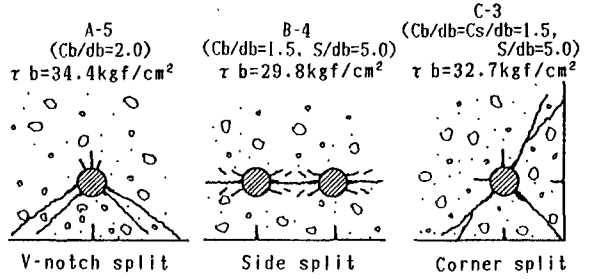


図4 ひび割れパターン

3. ひびわれ性状

図4に木解析で得られた各シリーズの典型的なひびわれパターンを示す。どのシリーズもひびわれ発生と同時に応力の再分配によって破壊に至る脆性的なものであった。A、B両シリーズの解析結果は、実験で観察されるV-notch及びSide split型のひびわれパターンと一致している。Cシリーズの解析では、コンクリート隅角部を割裂くCorner splitひびわれと共に、鉄筋からコンクリート隅角部に進展するひびわれが見られるのが特徴である。また各シリーズとも、破壊につながるひびわれ以外に、鉄筋直下のコンクリート表面からひびわれが発生する現象が見られた。

4. ひびわれ前の応力状態

本解析で用いたコンクリートモデルの場合、ひびわれ前の主引張応力 σ_t と $\tau_b (=P_1)$ はほとんど線形となる。そこで、ひびわれ前の応力状態は σ_t を τ_b で無次元化した数値で表す。

図5~7は、鉄筋表面に最も近い積分点(鉄筋表面から0.03db)における σ_t の円周方向の分布を各シリーズごとに表したものである。Aシリーズ(図5)では σ_t/τ_b が最大となる位置は C_b の大きさにより移動するが $120^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$ の範囲にある。これはV-notchひびわれの方向と一致する。Bシリーズ(図6)では、どの場合も $\theta=90^\circ$ すなわち鉄筋軸を連ねるラインで σ_t/τ_b が大きなピークを現し、Side split型にひびわれることを示唆している。Cシリーズは $\theta=45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ 付近で σ_t/τ_b が最大となるが、円周方向の応力変化は少なく他のシリーズほど大きなピークは示していない。

5. 結語

付着作用を受ける異形鉄筋周囲のコンクリートは、主筋の配置により非常に異なった応力状態となることを示した。また、実験では極めて複雑な現象となる割裂ひびわれを、解析により明瞭に分類した。

【参考文献】

- 1) 藤井・森田：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究-第1報 付着破壊を支配する要因についての実験結果-、日本建築学会論文報告集、第319号、pp47~55、1982年9月
- 2) Darwin, D. and Pecknold, D.A.: Nonlinear biaxial stress law for concrete, Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 103, No. EM2, pp229~241, Apr. 1977

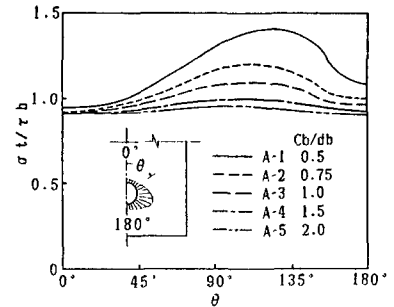


図5 円周方向の応力分布 (Aシリーズ)

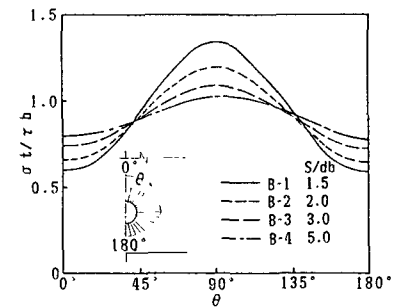


図6 円周方向の応力分布 (Bシリーズ)

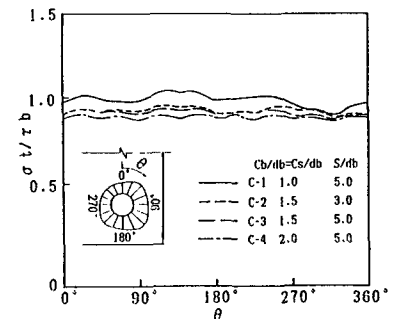


図7 円周方向の応力分布 (Cシリーズ)