

ひびわれ面でせん断ずれがある時の交番荷重下におけるひびわれ直角方向の剛性の計算

徳島大学 正会員 ○島 弘
東急建設株式会社 正会員 玉井真一

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 平面部材では、ひびわれと直角方向の引張または圧縮応力と同時にひびわれと平行方向のせん断応力が作用する。せん断応力はひびわれ面を介して伝達されるが、その際、ひびわれと直角方向の圧縮応力をコンクリートに発生させる。この圧縮応力はRC要素のひびわれ直角方向の剛性に影響を及ぼすと考えられる。そこで本研究は、RC要素のひびわれ直角方向の剛性の計算において、ひびわれ面のせん断伝達によるひびわれと直角方向の圧縮応力の影響を取り入れる方法について検討するものである。

2. 計算方法

2.1 ひずみの分割

ひびわれ面のせん断伝達モデルでは、ひびわれと直角方向の圧縮応力はひびわれ幅とひびわれ面のずれ変形の関数として表現される¹⁾。したがって、ひびわれ直角方向の剛性の計算にひびわれ面のせん断伝達モデルを取り込むためには、RC要素全体の平均ひずみ ε から平均ひびわれ幅を表すクラックひずみ ε_{cr} を分離するのが便利である。すなわち、

$$\varepsilon = \varepsilon_{cr} + \varepsilon_c \quad (1)$$

ここで、 ε_c はひびわれ間のコンクリートのひずみを表わす。また、ひびわれ間のコンクリートに生じる応力には、鉄筋との付着作用により生じるものと、ひびわれ面の接触により生じるものがある²⁾。そこで、 ε_c をさらに次式のように分割する。

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{cb} + \varepsilon_{cf} \quad (2)$$

ここで、 ε_{cb} : 鉄筋との付着作用によるコンクリートのひずみ
 ε_{cf} : ひびわれ面の接触によるコンクリートのひずみである。コンクリートの平均応力は次式により表現される。

$$\sigma_c = K (\varepsilon_{cb} + \varepsilon_{cf}) \quad (3)$$

ここで、Kはコンクリートの構成則を表わす。したがって、RC要素のひびわれ直角方向のひずみ ε とひびわれ平行方向のせん断ひずみ γ が与えられた時、 ε_{cb} と ε_{cf} を求めることができる。コンクリートの平均応力を計算することができる。

2.2 ε_{cb} 、 ε_{cf} の求め方

(1) ε_{cb}

鉄筋との付着作用によりコンクリートに生じる応力 σ_{cb} は、RC要素全体の平均ひずみ ε で表される³⁾。せん断伝達によりひびわれ面に作用する圧縮応力が無い場合の ε_{cb} を ε_{cbo} とすると、 ε_{cbo} は次式により表わされる。

$$\varepsilon_{cbo} = \sigma_{cb} / E_c \quad (4)$$

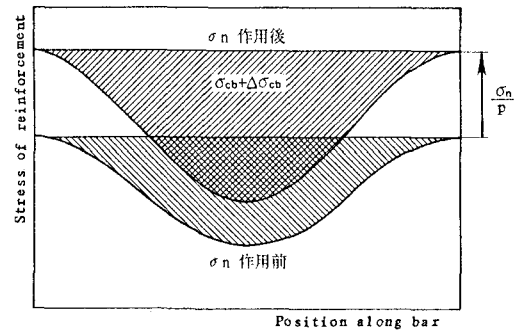


図-1 圧縮応力作用前後の鉄筋の応力分布

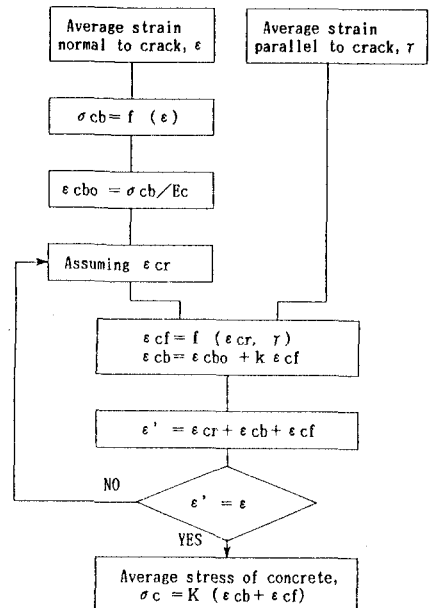


図-2 計算手順

ここで、 E_c : コンクリートのヤング係数である。

せん断伝達によりひびわれ面に圧縮応力が作用すると、この圧縮応力とつりあうように引張応力が鉄筋に作用する。図-1は、この引張応力が作用する前後の、ひびわれ間の鉄筋の応力分布の想像図である。引張応力の作用により平均ひずみは増加するが、ひびわれ面に圧縮応力が作用しているために付着応力が大きくなり、 σ_{cb} は増加すると考えられる。さらに、 σ_{cb} の増加量 $\Delta\sigma_{cb}$ はせん断伝達によりひびわれ面に作用する圧縮応力 σ_n に比例すると仮定すれば、

$$\sigma_{cb}' = \sigma_{cb} + k \sigma_n \quad (5)$$

ここで、 k は-1と0の間の値を持つ係数であり、履歴にかかわらず $k = -0.1$ と仮定した。式(5)の両辺を E_c で除すことにより、ひびわれ面のせん断伝達を考慮する場合の ε_{cb} を次式のように表わすことができる。

$$\varepsilon_{cb} = \varepsilon_{cbo} + k \varepsilon_{cf} \quad (6)$$

(2) ε_{cf}

ε_{cf} はひびわれ面の接触によるコンクリートのひずみであり、ひびわれ面の接触により生じるひびわれ直角方向の圧縮応力に起因するものである。したがって、 ε_{cf} はひびわれ直角方向の圧縮応力 σ_n から次式により求められる。 σ_n を求めるためには、李・前川のモデル¹⁾を用いる。

2.3 $\sigma_c - \varepsilon - \gamma$ 関係の計算手順

図-2に、ひびわれ面のせん断伝達を考慮して、コンクリートの平均応力とひびわれ直角方向の平均ひずみとの関係を求める方法を示す。

3. 計算例

3.1 対象

角柱供試体の交番載荷試験²⁾におけるひびわれ面でせん断ずれがある場合のひびわれ直角方向の荷重と平均ひずみとの関係を図-3に示す。せん断ずれがある実験は、供試体の中心に鉄筋を一本用い、供試体のねじれにより、ひびわれ面にずれを生じさせた。供試体の断面は 15×20 cmで、鉄筋およびコンクリートはせん断ずれのない実験と同一のものである。図-3から、せん断ずれがあるために、引張からの除荷、再載荷時の曲線が右にシフトしていることがわかる。

3.2 結果

ひびわれ直角方向の荷重と平均ひずみとの関係の計算結果を図-4に示す。ひびわれ直角方向の平均ひずみが0.15%までは、せん断ひずみを与えずに単調に載荷し、除荷時にひびわれ直角方向の平均ひずみの減少と平行して、せん断ひずみを 100×10^{-6} まで増加させた。さらに、せん断ひずみを 100×10^{-6} に保ったまま再載荷を行った。図-4は、図-3に示されるせん断ずれによる影響をよく表している。

〔謝辞〕本研究は著者らが東京大学大学院に在籍中に行ったものであり、ご指導頂いた岡村甫教授に対しここに謝意を表します。

【参考文献】 1) 李・前川, コンクリート工学, Vol.26, No.1, 1988, pp.123-137. 2) 田辺・吉川, RC構造の有限要素解析に関するコロキウム論文集, JCI, Dec.1984, pp.65-72. 3) 玉井・島, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9, No.2, 1987, pp.85-90.

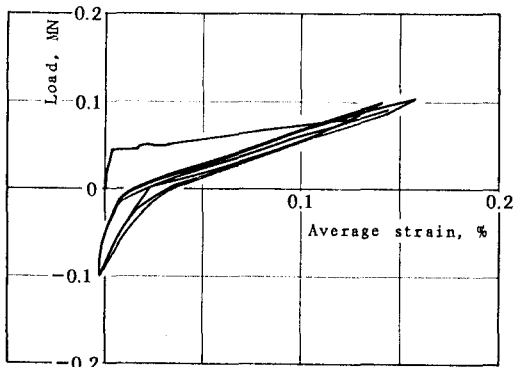


図-3 荷重-平均ひずみ関係の実験結果

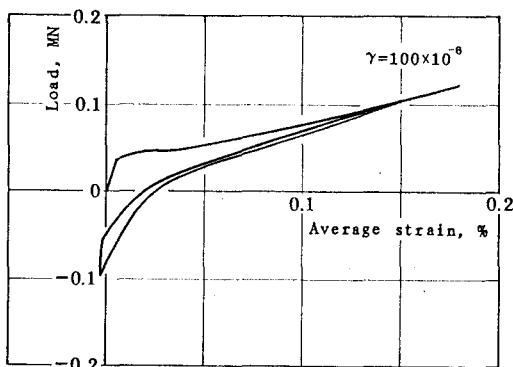


図-4 荷重-平均ひずみ関係の計算結果