

論文

[2047] 鉄筋コンクリートひびわれ面におけるせん断伝達特性

正会員 ○李 宝禄 (清華大学土木系)

正会員 前川宏一 (東京大学工学部)

正会員 岡村 甫 (東京大学工学部)

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物においては、載荷や乾燥収縮などの影響でひびわれが発生することは一般的である。言い換えれば、構造物にひびわれが存在しながらその役割が果たされているのである。プレキャストコンクリート構造、はりや柱の接合部、RCコーベルやブラケットなどの構造物は、ひびわれが生じた後の力学的挙動はそのひびわれ面での応力-変形特性に大きく依存し、構造物全体の終局耐力もひびわれ面の耐力により決まる場合が少なくないと考えられる。一方、RC容器、せん断壁、シェルのような構造物は内圧や地震力などにより平面応力状態にあるが、これらの構造物の解析および設計をするに際して有限要素法がよく応用される。そのため、ひびわれが発生したときのひびわれ面に沿った応力伝達特性を正確に把握しなければならない。本研究では、鉄筋がひびわれの直角方向にあるときのひびわれ面での応力伝達特性を解明するため、RCはりのひびわれ面にせん断力が働くように載荷する実験を行い、また筆者らが提案したプレーンコンクリートひびわれ面での応力伝達モデルと島・岡村により提案された鉄筋とコンクリートの付着モデルとを組み合わせ、RC要素のひびわれ面におけるせん断伝達性状を定式化することを試みる。

2. プレーンコンクリートのせん断伝達モデル

コンクリートのひびわれ面でのせん断伝達特性を定式化するためには、単位面積あたりのひびわれ面を $-\pi/2$ から $\pi/2$ まで連続的に変化する方向分布をもつ数多くの微小平面からなると仮定し、これらの微小平面の方向はひびわれ面に平行するのが多く、垂直するのが少ないことを考慮し、確率密度関数 $\cos\theta$ で表すこととした[1]。ひびわれ面に働くせん断力は各微小平面がそれぞれの方向で接触することにより伝えられ、接触応力と接触面の圧縮変位との関係は剛塑性挙動を示すと仮定する。その結果、単調載荷経路にあるひびわれ面で伝達される圧縮応力とせん断応力は開口変位(ひびわれ幅)とせん断変位(ずれ)の関数として表され、次式のように纏められる。

$$\tau = m \frac{\delta^2}{\omega^2 + \delta^2} \quad (1)$$

$$\sigma = m \left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{\omega}{\delta} - \frac{\delta \omega}{\omega^2 + \delta^2} \right]$$

$$m = 3.826 f_c'^{1/3} \quad (\text{MPa})$$

ここに、 τ と σ はそれぞれひびわれ面に働くせん断応力(MPa)と圧縮応力(MPa)で、 ω と δ はそれぞれ開口変位(mm)とせん断変位(mm)を表す。 m はコンクリート円柱供試体の一軸圧縮強度 f_c' だけに依存する材料係数である。幅 ω をもつひびわれ面が δ だけずれたときに伝達され

るせん断応力 τ とひびわれ幅の増大を抑圧する圧縮応力 σ は式(1)により計算することができる。

3. 鉄筋コンクリートひびわれ面でのせん断耐力

3.1 ひびわれ面におけるかみ合いとダボ機構

ひびわれ面に働くせん断力に抵抗する主なメカニズムとしては、骨材間のかみ合い機構と鉄筋によるダボ機構が考えられる。しかし、これらの機構は相互に影響し合うため、ひびわれ面に伝達されるせん断力は両者の簡単な足し合わせで表せるものではない。コンクリートと鉄筋自身の性状、鉄筋比、鉄筋かぶり、スタラップ、鉄筋とコンクリートの付着特性および開口変位とせん断変位などの変化により、かみ合い機構が支配的役割を果たす場合もあれば、鉄筋のダボ機構が主としてせん断力を受け持つ場合もある。このように、せん断面に作用するせん断力に抵抗する骨材間のかみ合い機構と鉄筋のダボ機構の貢献度を定量的に評価することが簡単ではない。にもかかわらず、骨材間のかみ合い機構はダボ機構に比べると重要な役割を果たすことは数多くの研究から指摘されている[2]。また、一般的に鉄筋によるダボ機構の影響が少なく、普通の鉄筋コンクリート構造物を対象にするときに、無視できる程度と考えられる。

3.2 せん断耐力の定式化

式(1)にあるせん断応力 τ と圧縮応力 σ はせん断変位と開口変位の比 δ/ω の関数に書き換えることができる。ここで δ/ω を式(1)より τ の関数に変更し、それを σ の式に代入すれば、次のような τ - σ 関係式が得られる。

$$\sigma = \sigma(\tau) = m \left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{m}{\tau} - 1 \right)^{1/2} - \frac{(m/\tau - 1)^{1/2}}{m/\tau} \right] \quad (2)$$

あるいは、 $\tau = \tau(\sigma)$

すなわち、ひびわれ面に一定の圧縮応力 σ が働くと、それに対応するせん断強度 (τu) がずれとひびわれ幅に関係なく一義的に決まる。Bazantら[5]の非線形弾性モデルにおいては τu が ω の関数とされているが、式(2)はPaulayらの実験結果と一致する[6]。仮にRCひびわれ面でのせん断伝達耐力は鉄筋のダボ機構に関係なく、鉄筋が降伏するときのひびわれ面に働く圧縮応力に依存すると仮定すれば、そのせん断耐力はコンクリートの強度と鉄筋の降伏強度のみの関数として決めることができる。Mattockらは、あらかじめひびわれが導入されたpush-offタイプの鉄筋コンクリート供試体を使い、鉄筋がひびわれの直角方向にある場合のせん断耐力について調べた[3]。図1にその供試体及び加力方法を示す。Pはせん断面に加えるせん断力である。

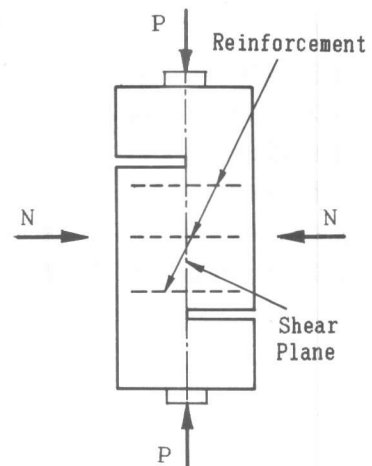


図1. Push-offタイプ供試体

鉄筋が降伏するときにひびわれ面に対する圧縮応力 ρf_y を式(2)の σ のかわりに代入して得られたひびわれ面が負担できる最大せん断応力 τu とMattockらの実験結果との比較を図2(a)に示す。図から分かるように、実験値と算定値の比は平均0.93で、変動係数は14%である。また、図1に示した供試体にNで示した外力を加えたときのひびわれ面のせん断強度を計算し、それと実験値との比較を図2(b)に示し