

前田建設技術研究所 正会員 内田 明
電力中央研究所 正会員 青柳 征夫
前田建設技術研究所 正会員 山田 一字

1. ま え が き

面内力を受ける直交二方向に配筋された鉄筋コンクリート平板シェル要素のひびわれ発生後の応力・変形解析を行なう場合、ひびわれ方向およびひびわれ面で伝達されるせん断力を的確に評価することが肝要である。Baumann¹⁾は支配的なひびわれをひびわれ面で伝達されるせん断力が0となる方向に生じるものとし、またLeitzはひびわれ方向を応力状態に関係なく鉄筋に対して45°の方向にとり、せん断力をすべて鉄筋で負担するものと仮定した。しかしながら、著者らの実験結果によれば、支配的なひびわれ方向は必ずしもBaumann, Leitzの仮定した方向とは一致しておらず、また設計荷重が作用する以前に設計で考慮されなかった応力、乾燥収縮、温度応力等によってひびわれが発生する場合をも想定すれば、任意のひびわれ方向に対し、ひびわれ面で伝達されるせん断力を考慮した解析方法を確立しておく必要がある。この場合、ひびわれ面で伝達されるせん断力を算定する際には、ひびわれ発生後のせん断剛性を実際の状態に即して与えることが重要であるが、著者らは前報³⁾においてせん断剛性がひびわれ幅の関数として表わされることも報告した。

本報告は、せん断剛性がひびわれ幅の関数として表示されることに立脚して、任意方向のひびわれを有する鉄筋コンクリートシェル要素の応力・変形解析法を提案したものである。

2. シェル要素の応力解析方法の誘導

図-1は、 x, y 直交二方向に配筋されたコンクリート平板要素に主力 N_1, N_2 ($N_1 > 0, N_1 \geq N_2$) が作用した場合のひびわれ面での力の作用状態を示したものである。主力 N_1 と x 方向鉄筋(以下 x 鉄筋と称す)とのなす角度を α 、 y 鉄筋とひびわれのなす角度を ϕ 、ひびわれ面で伝達されるせん断力を H とすれば、 x, y 鉄筋に作用する力 Z_x, Z_y は力の釣り合いよりそれぞれ①、②式で与えられる。

$$Z_x = N_1 \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi) + N_2 \sin^2 \alpha (1 - \cot \alpha \tan \phi) + H \tan \phi \quad \text{①}$$

$$Z_y = N_1 \sin^2 \alpha (1 + \cot \alpha \cot \phi) + N_2 \cos^2 \alpha (1 - \tan \alpha \cot \phi) - H \cot \phi \quad \text{②}$$

またBaumannによれば、ひびわれ面で伝達されるせん断力 H は、

$$H = N_1 \left\{ \lambda \cot \phi [\sin^2 \alpha (1 + \cot \alpha \cot \phi) + K \cos^2 \alpha (1 - \tan \alpha \cot \phi)] - \tan \phi [\cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi) + K \sin^2 \alpha (1 - \cot \alpha \tan \phi)] + \nu \cdot 2 \cot (2\phi) (1 - K) \sin 2\alpha / \sin (2\phi) \right\} / \{ \tan^2 \phi + \lambda \cot^2 \phi + \nu \cdot 4 \cot^2 (2\phi) + \chi \} \quad \text{③}$$

となる。ここで、 $K = N_2 / N_1$ 、 $\lambda = P_x / P_y$ 、 $\nu = E_s P_x / E_c (P_x, P_y$ は x, y 鉄筋の鉄筋比、 E_s, E_c は鉄筋とコンクリートの弾性係数)である。一方、 χ は $P_x E_s / E_v$ であり、せん断剛性 E_v の関

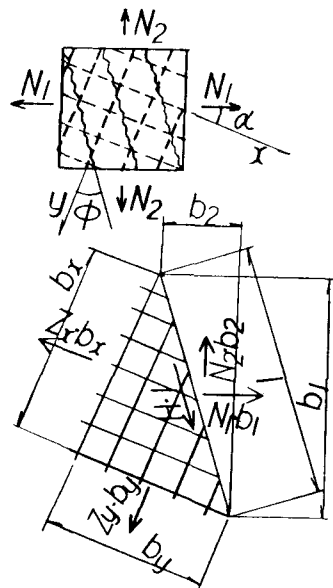


図-1 ひびわれ面における力の作用状態

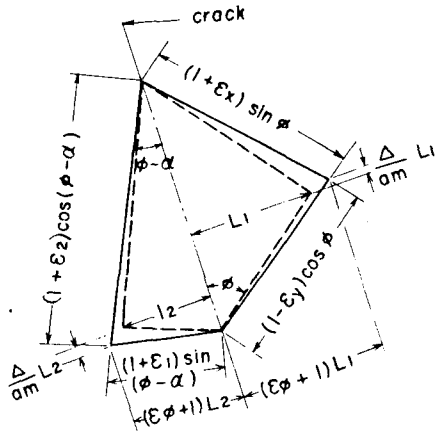


図-2 ひびわれ面における変形

数となっている。さらに、ひびわれ断面における x, y 方向の鉄筋ひずみを $\varepsilon_{sx}, \varepsilon_{sy}$, ひびわれと直角方向のひずみを ε_{ϕ} , ひびわれ面でのずれ変位を Δ とし、コンクリートの圧縮ひずみを無視すれば、図-2より、

$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_{sx} + \varepsilon_{sy} \dots\dots\dots (4)$ の関係が成立する。ひびわれとひびわれの間のコンクリートの鉄筋方向の引張軸剛性の寄与を考慮すれば、平均ひずみ $\varepsilon_{\phi m}$ は鉄筋の平均ひずみ $\varepsilon_{sxm}, \varepsilon_{sym}$ を用いることにより(4)式で表わすことができる。

$\varepsilon_{\phi m} = \varepsilon_{sxm} + \varepsilon_{sym} \dots\dots\dots (4')$

したがって、平均ひびわれ幅 W_m は、平均ひびわれ間隔 a_m により、 $W_m = \varepsilon_{\phi m} \cdot a_m \dots\dots\dots (5)$ で与えられる。
 (5)式より得られたひびわれ幅を前報3)で述べた(6)式に代入することによって、せん断剛性 E_v を得ることができる。

$E_v = 540 / W_m \dots\dots\dots (6)$

なお、(6)式は $a_m = 15 \text{ cm}$ の場合に限定されているために³⁾、任意のひびわれ間隔に対して、両辺を $a_m = 15 \text{ cm}$ で割ることによって、(7)式のように拡張する。 $K_{IST} = 36 / W_m \dots\dots (7)$
 この K_{IST} を IST 剛性 (Interface Shear Transfer) と定義する。(6)式の K_{IST} を用いるとせん断剛性 E_v は、次式のように変換される。 $E_v = K_{IST} \cdot a_m = 36 / \varepsilon_{\phi m} \dots\dots (8)$
 すなわち、(1)(2)(3)および(8)式は Z_x, Z_y, H, ϕ および E_v に関する連立方程式となり、ひびわれ方向 ϕ が与えられれば Z_x, Z_y を求めることができる。

3. 解析結果の検討

図-3は、著者らの実験した平板モデルの諸元を対象として、 $P = 0.71\%$, $K = 0.5$, $\alpha = 30^\circ$ の場合について上述した方法により計算した Z_x, Z_y を N_1 で無次元化して ϕ に対してプロットしたものである。図中に印した○および△は、それぞれ Baumann と Leitz の計算結果を示している。ただし、鉄筋の平均ひずみは同図中に示す式を用いて計算した。 $Z_x \geq Z_y$ すなわち $\phi < 45^\circ$ の範囲では、

Z_x/N_1 の変化が比較的少ないのに対し、 Z_y/N_1 は大幅に変化しており、荷重分担の少ない y 鉄筋の方が ϕ の値に極めて敏感に影響されることがわかる。このことは、最初に降伏する x 鉄筋の降伏耐力は、Baumann, Leitz のいずれの方法によっても実用的に十分な精度で推定することができるが、後に降伏する y 鉄筋の応力度の算定にはひびわれ方向を実際のひびわれ状態を十分に吟味して定義することが重要であることを示しているものと思われる。図-4は、 E_v と H を ϕ の関数として示したものである。 E_v は H が 0 となる $\phi = \phi_1$ で最小となり、 ϕ が ϕ_1 と隔るにしたがって単調に増大している。また E_v は、ひびわれの発生から降伏に至るまでは、ひびわれ幅の増大に伴って急激な減少を示すが、ひびわれ幅が限界値に近づくにつれ次第に収れんしてゆく傾向が認められる。また、 H も $\phi = \phi_1$ の近傍で大きく変化し、支配的なひびわれが ϕ_1 と相違に異なる場合にはかなりのせん断力がせん断面を介して伝達されることが示されている。

参考文献；D Baumann, Tragwirkung orthogonaler Bewehrungsnefze beliebiger Richtung in Flächentragwerken aus Stahlbeton, 1972；2) 篠田ら, 面内力を…, 36 回年講；3) 山田ら, 鉄筋コンク…, 35 年講

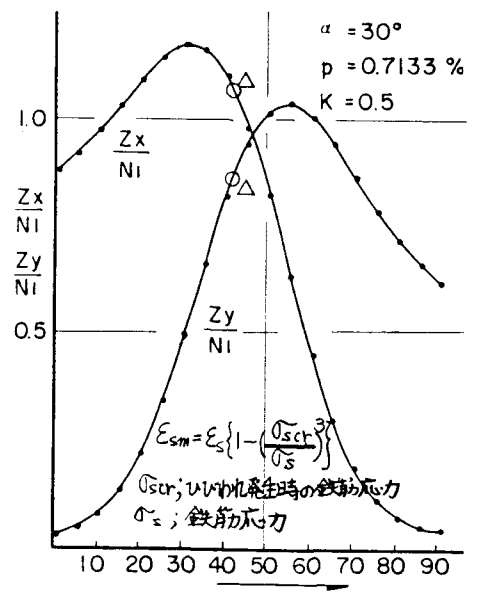


図-3, Z_x, Z_y と ϕ の関係

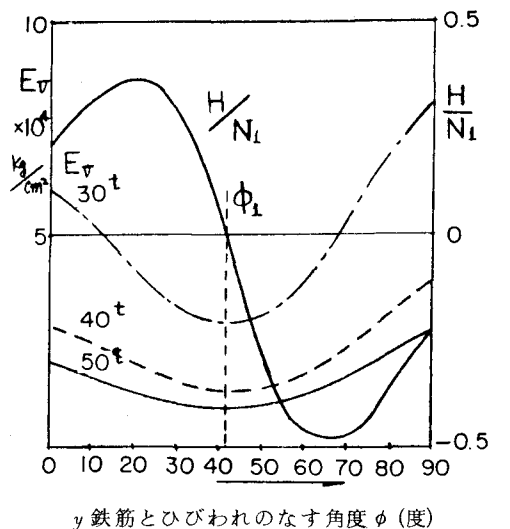


図-4 E_v, H と ϕ の関係