

前田建設工業技術研究所 正会員 篠田 佳男
電力中央研究所 正会員 青柳 征夫
前田建設工業技術研究所 正会員 山田 一字

1. まえがき

コンクリート製格納容器(CCV)に関する実験・研究は、縦横に直交配筋された場合を主な対象として行なわれてきた。しかし、最近では、面内せん断力で発生する斜めひびわれに有効に作用する斜筋をもつ縦・横・斜配筋や三角配筋したCCVの実験・研究もなされている。本報告は、前報と同様にひびわれ面でのせん断力の伝達を考慮し、三方向配筋されたRCシェル要素の応力・変形解析法を提案するものである。

2. シェル要素の応力解析法の誘導

三方向に配筋されたRCシェル要素に主引張力 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図-1に、このような応力状態でのひびわれ面の変形状態を図-3に示す。

ひびわれ面での x , y , z 方向の鉄筋ひずみを ε_x , ε_y , ε_z とし、コンクリートの圧縮ひずみを無視すれば、 ε_z は図-3

より①式で表わされる。

$$\varepsilon_z = \{ \varepsilon_x \sin(\beta + \gamma) / \sin(\varphi + \beta) - \varepsilon_y \sin \gamma / \sin \varphi \} \cdot \sin(\varphi + \beta + \gamma) / \sin \beta \quad \text{----- ①}$$

ここで、 α は主力 N_1 と x 鉄筋とのなす角度、 β , γ はそれぞれ x , y , z 鉄筋とのなす角度また φ は z 鉄筋とひびわれのなす角度である。

次に①式を鉄筋力 Z_x , Z_y , Z_z (x , y , z 鉄筋のシェル要素単位巾当りの鉄筋力)で表わすと②式になる。

$$Z_z = \{ \lambda_x \cdot Z_x \sin(\beta + \gamma) / \sin(\varphi + \beta) - \lambda_y \cdot Z_y \sin \gamma / \sin \varphi \} \sin(\varphi + \beta + \gamma) / \sin \beta \quad \text{----- ②}$$

ここで、 $\lambda_x = P_z / P_x$, $\lambda_y = P_z / P_y$ (P_x , P_y , P_z : x , y , z 方向の鉄筋比) また、 Z_x , Z_y は図-1, 2の力のつり合いと②式より、③, ④式で与えられる。

$$Z_x = (b N_1 + c N_2 + d \cdot H) / a \quad \text{----- ③}$$

$$Z_y = (f N_1 + g N_2 + h \cdot H) / e \quad \text{----- ④}$$

ここで、 H はひびわれ面で伝達されるせん断力である。また、係数 $a \sim h$ は次式で与えられる。

$$a = \sin(\varphi + \beta) \cdot \sin^2 \beta \cdot \sin \varphi + \lambda_x \sin^2(\varphi + \beta + \gamma) \sin(\beta + \gamma) \sin \varphi / \sin(\varphi + \beta) + \lambda_y \sin^2(\varphi + \beta + \gamma) \cdot \sin^2 \gamma \cdot \sin(\varphi + \beta) / \sin \varphi$$

$$b = \sin(\varphi + \beta - \alpha) \cdot \sin(\beta - \alpha) \cdot \sin \beta \cdot \sin \varphi + \lambda_y \cdot \sin^2(\varphi + \beta + \gamma) \sin(\varphi + \beta - \alpha) \cdot \sin \gamma \cdot \sin(\alpha + \gamma) / \sin \varphi$$

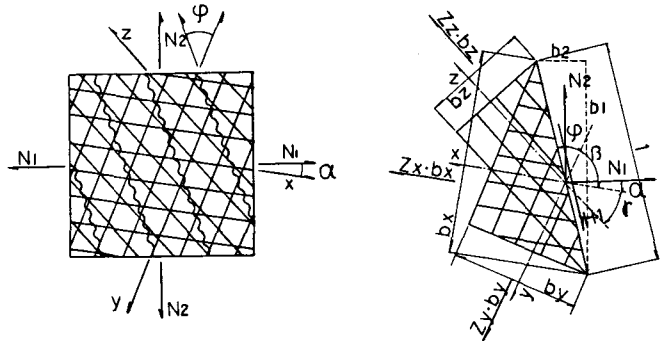


図-1. ひびわれ面における力の作用状態

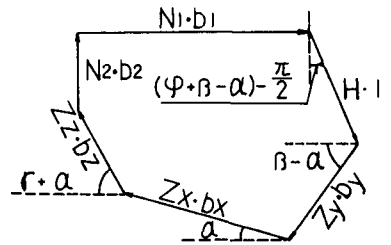


図-2. ひびわれ面での力の連力図

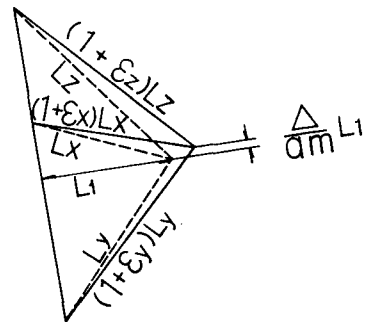


図-3. ひびわれ面での変形状態

$$C = \cos(\varphi + \beta - \alpha) \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta - \lambda \gamma \cdot \cos(\varphi + \beta - \alpha) \cdot \sin^2(\varphi + \beta + \delta) \cdot \sin \delta \cdot \cos(\alpha + \delta) / \sin \varphi$$

$$d = \sin^2 \varphi \cdot \sin \beta + \lambda \gamma \cdot \sin^2(\varphi + \beta + \delta) \cdot \sin \delta \cdot \{ \sin \varphi \cdot \sin \delta - \sin(\varphi + \beta) \cdot \sin(\beta + \delta) \} / \sin \varphi \cdot \sin \beta$$

$$e = \sin \varphi \cdot \sin(\varphi + \beta) \cdot \sin^2 \beta + \lambda \gamma \sin^2(\varphi + \beta + \delta) \cdot \sin^2(\beta + \delta) \cdot \sin \varphi / \sin(\varphi + \beta) + \lambda \gamma \sin^2(\varphi + \beta + \delta) \cdot \sin^2 \delta \cdot \sin(\varphi + \beta) / \sin \varphi$$

$$f = \lambda \gamma \sin^2(\varphi + \beta + \delta) \cdot \sin(\varphi + \beta - \alpha) \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\alpha + \delta) / \sin(\varphi + \beta) + \sin(\varphi + \beta - \alpha) \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\varphi + \beta) \cdot \sin \beta$$

$$g = -\lambda \gamma \sin^2(\varphi + \beta + \delta) \cdot \cos(\varphi + \beta - \alpha) \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \cos(\alpha + \delta) / \sin(\varphi + \beta) - \cos(\varphi + \beta - \alpha) \cdot \cos \alpha \cdot \sin(\varphi + \beta) \cdot \sin \beta$$

$$h = \lambda \gamma \sin^2(\varphi + \beta + \delta) \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \{ \sin \varphi \cdot \sin \delta - \sin(\varphi + \beta) \cdot \sin(\beta + \delta) \} / \sin(\varphi + \beta) \cdot \sin \beta - \sin^2(\varphi + \beta) \cdot \sin \beta$$

次に、ひびわれ面で伝達されるせん断応力および単位長さ当りのせん断力Hは、⑤、⑥式で与えられる。

$\tau = E_v \cdot \Delta / a_m$ ----- ⑤, $H = \tau \cdot d$ ----- ⑥, ここで、dは壁厚、 E_v はせん断剛性、 Δ / a_m は相対すべり変位である。なお、 E_v は前報で報告したように、⑦式で与えられる。 $E_v = 36 / \varepsilon_{ym}$ ----- ⑦

また、ひびわれと直角方向の平均ひずみ ε_{ym} と相対すべり変位 Δ / a_m は、ひびわれとひびわれ間のコンクリートの引張軸剛性の寄与を考慮すれば、鉄筋の平均ひずみ ε_{xm} 、 ε_{xm} を用いることにより、⑧、⑨式で表わされる。

$$\varepsilon_{ym} = \varepsilon_{xm} \cos \varphi / \sin(\varphi + \beta) \cdot \sin \beta - \varepsilon_{gm} \cos(\varphi + \beta) / \sin \varphi \cdot \sin \beta$$

$$\Delta / a_m = -\varepsilon_{xm} \sin \varphi / \sin \beta \cdot \sin(\varphi + \beta) + \varepsilon_{gm} \sin(\varphi + \beta) / \sin \varphi \cdot \sin \beta$$

すなわち、②、③、④および⑥式は、 ε_x 、 ε_y 、 ε_z 、Hおよび φ 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 ε_x 、 ε_y 、 ε_z を求めることができる。

3. 実験結果との比較

図-4、5は正三角形配筋した円筒モデルに面内せん断力と作用させるねじり載荷実験での斜筋とフープ筋の平均ひずみの実験値と既往の提案式および筆者らの提案式での計算値とを比較し示したものである。これらの図に示すように、筆者らの提案式による計算値は、フープ筋・斜筋ともに実験値と良い一致を示している。このことは、ここで提案した算定法が、前報で報告した直交配筋と同様に、三方向配筋されたコンクリートシェル要素の応力・変形解析にも実用的に十分な精度で適用できることを示しているといえよう。

参考文献 1) Y. Aoyagi, Strength and Deformational Characteristics of Three-Way Reinforced Concrete Containment Models Subjected to Lateral Forces. 1981 6th SMIRT 2) 内田ら、面内力を受ける直交配筋されたコンクリート平板シェル要素の応力・変形解析、36回年次講演会。 3) Baumann, T., Tragwirkung Orthogonaler Bewehrungsnetze Beliebiger Richtung in Flächentragwerken aus Stahlbeton. Berlin 1972 4) 篠田ら、面内力を受ける鉄筋コンクリート平板シェル要素のひびわれ方向の実験的決定について、36回年次講演会。

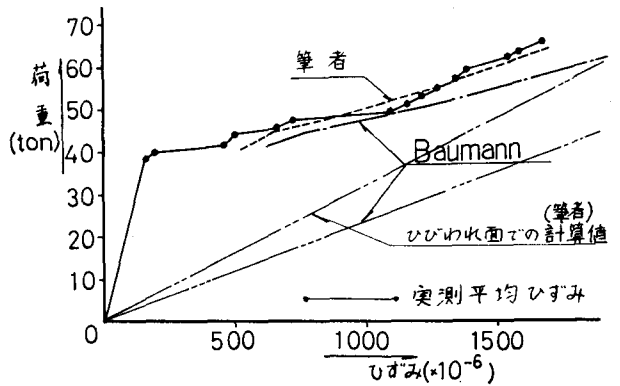


図-4. 荷重と平均ひずみの関係(斜筋)

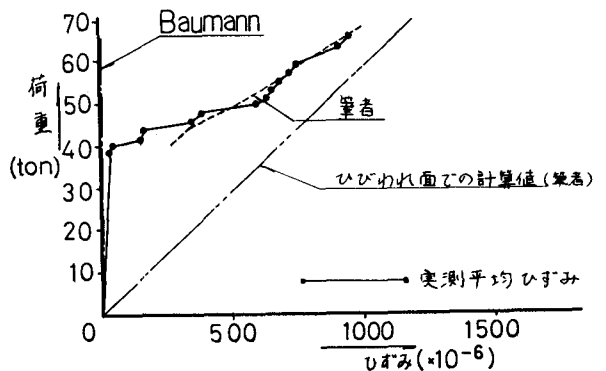


図-5. 荷重と平均ひずみの関係(フープ筋)