

三方向配筋鉄筋コンクリート板の終局荷重について

呉 高専	正員	中野 修治
徳山高専	正員	田村 隆弘
徳山高専	正員	重松 恒美

1. まえがき

最近、斜みびわれに有効に作用する三方向配筋された鉄筋コンクリートシェル要素に関する応力・変形解析が行なわれている。この斜配筋方法に関して Baumann²⁾は、引張りまたは圧縮力を受ける任意の方向の二つとして三鉄筋層のシャイベ要素の鉄筋力を求めている。本研究では、互いに直交しない二または三方向に配筋した鉄筋コンクリート板が、曲げを受ける場合について検討を行なった。そして二方向曲げを受ける5個の供試体について実験を行ない、理論値と比較検討した。

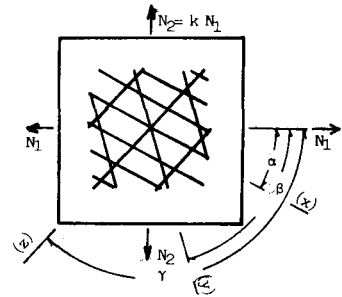
2. 理論解析

Baumannはシャイベ要素が二軸引張荷重を受けるとき、コンクリート圧縮力を鉄筋力と置き換えることにより、三鉄筋層が得られるとしている。ひびわれ面に沿うせん断力を無視すれば、シャイベ要素に働く単位幅あたりの外荷重 $N_1, N_2 = k N_1$ ($-1 \leq k \leq 1$) を三鉄筋層 x, y, z の鉄筋力に置き換えることができる。この鉄筋力を、引張力を正として、単位幅あたりそれぞれ Z_x, Z_y, Z_z とする。またこれらの鉄筋層は外荷重 N_1 とそれぞれ角 α, β, γ をなす(図.1)。

鉄筋層 x 及び x に平行な断面における内力 (Z_x, Z_y, Z_z) と外力 (N_1, N_2) の釣合により、 $k = N_2/N_1$ として、次式が求まる。

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{\sin \gamma \cdot \sin \beta + k \cdot \cos \gamma \cdot \cos \beta}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\gamma - \alpha)} \cdot N_1 \\ Z_y &= \frac{\sin \alpha \cdot \sin \gamma + k \cdot \cos \alpha \cdot \cos \gamma}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\beta - \gamma)} \cdot N_1 \\ Z_z &= \frac{-\sin \alpha \cdot \sin \beta - k \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\beta - \gamma) \cdot \sin(\gamma - \alpha)} \cdot N_1 \end{aligned} \quad (1)$$

Baumann が求めた式(1)は、シャイベに適用できる。一方、曲げを受ける板の場合、曲げ荷重による内力は、曲げ引張領域及び曲げ圧縮領域の垂直力と考えることができる。したがって引張外力を受けるシャイベを、単位幅あたり $M_1, M_2 = k M_1$ の作用主モーメントを受ける板に転じるとき、曲げ引張領域においては式(1)より求まる抵抗引張力を考慮し、曲げ圧縮領域においては、 $-1 \leq k < 0$ の場合圧縮鉄筋層を無視してコンクリートの曲げ圧縮力のみを考慮して抵抗モーメントを求めることができる。ここで、曲げ圧縮領域のひびわれ方向に垂直な横断面は変形後も平面を保持し、単軸圧縮による応力-ひずみ関係が成立するとして、ひびわれ面における応力-ひずみ図を図.2のように仮定した。ここに dx, dy, dz はそれぞれ圧縮端より鉄筋層 x, y, z までの距離、 f_c はコンクリート圧縮強度、 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ は圧縮合力とその作用位置を示す係数、そして φ は y 方向鉄筋とひびわれ方



(a) シャイベ要素

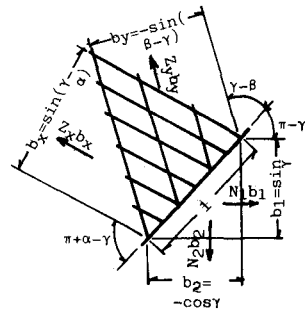
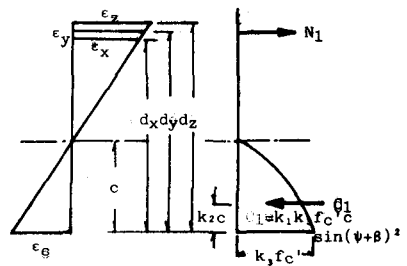
(b) 鉄筋層 x に平行な断面の力の釣合
図.1 斜三鉄筋層における内力と外力の釣合

図.2 応力-ひずみ図

向のはず角である。ひびわれ方向 φ は、ひびわれに沿う内力の合力と外力の合力の大きさと方向が一致することより求まる。ここではBaumannが求めた鉄筋力の式(1)と同様、ひびわれに沿って生じるせん断力とコンクリート圧縮力は無視した。よって図. 3より、ひびわれ方向 φ は次式より求まる。

$$\tan \varphi = \frac{-A_z + \sqrt{A_z^2 - 4A_1 A_3}}{2A_1} \quad (2)$$

ここに、 $A_1 = Z_x \sin \delta \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \cos \beta + Z_y \sin \beta \cdot \cos \beta + Z_z \sin \delta \cdot \cos(\beta - \delta) \cdot \cos \beta + f_z \{ Z_x \cos \alpha \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \sin \beta + Z_y \sin \beta \cdot \cos \beta + Z_z \cos \delta \cdot \cos(\beta - \delta) \cdot \sin \beta \}$, $A_z = Z_x \{ \sin \alpha \cdot \sin(\beta - \alpha) \cdot \cos \beta + \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos(\beta - \alpha) \} + Z_y \sin \beta + Z_z \{ \sin \delta \cdot \sin(\beta - \delta) \cdot \cos \beta + \sin \delta \cdot \sin \beta \cdot \cos(\beta - \delta) \} + f_z \{ Z_x \{ \cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin(\beta - \alpha) - \cos \alpha \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \cos \beta \} - Z_y \cos \beta + Z_z \{ \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin(\beta - \delta) - \cos \delta \cdot \cos \beta \cdot \cos(\beta - \delta) \} \}$, $A_3 = Z_x \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin(\beta - \alpha) + Z_z \sin \beta \cdot \sin(\beta - \delta) \cdot \sin \delta - f_z \{ Z_x \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin(\beta - \alpha) + Z_z \cos \beta \cdot \cos \delta \cdot \sin(\beta - \delta) \}$

したがって二方向曲げを受ける三方向配筋の鉄筋コンクリート板の終局荷重は、式(1)、(2)そして図. 2より求まる。

3. 供試体及び実験方法

作用主モーメント比が正及び負の計5個の供試体について実験を行った。表. 1に各供試体の作用主モーメント比、対角線の有効長さ、鉄筋の傾きそして単位幅あたりの鉄筋量を示す。各供試体は、セメント：砂：水の重量比1：2：0.45のモルタルで作製し、平均圧縮強度は505 kg/cm²であった。また供試体厚さは5 cmとし、鉄筋として平均降伏点応力4500 kg/cm²の中6を用いた。

作用主モーメント比が正の曲げに対する実験方法は、供試体上面が引張りとなるように中央で支持し、対角線上隅の4点載荷とした(図. 4)。また負の曲げの場合、1つの対角線上の隅に載荷し、他の対角線上の隅において支持した。

4. 実験結果及び検討

表. 1に、各供試体の終局荷重そしてひびわれ方向の実験値及び理論値を示す。終局荷重は三方向配筋の場合が約25%異なり、二方向配筋の場合はほぼ一致した。またひびわれ方向は、かなりばらついた。これは、コンクリート圧縮力の影響と思われる。

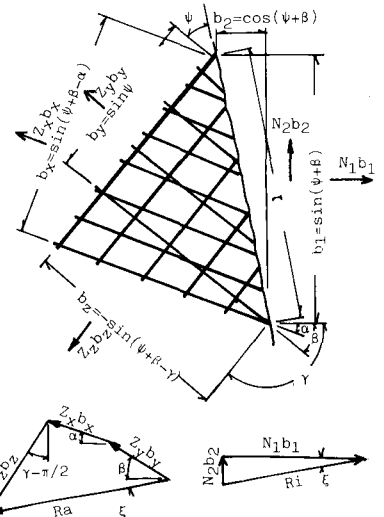


図. 3 ひびわれ面に沿って働く内力と外力の釣合い

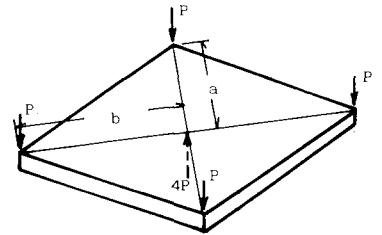


図. 4 実験方法

表. 1 供試体諸元及び実験値と理論値の比較

Series	$k \left(\frac{M_x}{M_y} \right)$	a (cm)	b (cm)	α (°)	β (°)	γ (°)	f_x (cm)	f_y (cm)	f_z (cm)	Ultimate Load (kg)		Crack direction	
										Experiment	Theory	Experiment	Theory
SK1	0.48	23.5	34.0	30	150	110	0.0255	0.0255	0.0255	1960	1.25	11	6
SK2	0.68	25.5	31.0	20	0	119	0.0319	0	0.0255	1540	1.08	45	54
SK3	-0.51	28.5	40.0	40	135	87.5	0.0425	0.0365	0	1950	0.98	30	48
SK4	-0.59	31.0	40.5	30	140	85	0.0319	0.0255	0	880	0.92	76	59
SK5	-1.00	28.5	28.5	20	130	75	0.0425	0.0319	0.0255	1400	0.74	45	46

<参考文献> 1) 篠田他、面内力を受ける三方向配筋されたRCシェルの要素の応力・変形解析、37回年次講演会

2) T. Baumann: Tragwirkung Orthogonaler Bewehrungsnetze Beliebiger Richtung in Flächentragwerken aus Stahlbeton, 1972