

曲げを受けるRC板の直交する鉄筋網の伝達作用について

愛媛大学 正員 見沢繁光
徳山高専 正員 重松匠美
同 高専 正員 中野修治

1. まえがき RC板の任意の点において、作用荷重による主モーメントの方向とRC板の鉄筋方向が異なる場合、コンクリート及び鉄筋がRC板の変形、ひびわれ方向、鉄筋応力、終局荷重等に及ぼす影響を検討することは重要であると思われる。この問題について、JainとKennedy, Kemp¹⁾等は、二方向主モーメントが働くRC板の終局荷重とひびわれ方向を、ひびわれに平行及び垂直方向の作用モーメントと抵抗モーメントの成分より求めている。このときの抵抗モーメントを、任意の方向で互いに直交する鉄筋網の、それぞれの方の単位長さあたりのコンクリート応力ブロックを用いて求めている。またBaumann²⁾は、引張りまたは圧縮荷重を受ける、任意の方向で互いに直交する鉄筋網をもつひびがはいったシャイベのひびわれ発生後、鉄筋降伏後のコンクリート応力、鉄筋応力状態について述べている。さらに、シャイベの終局引張荷重を用いて曲げを受けるRC板の終局モーメントを求めているが、モーメントの腕の長さを求める方法が明確ではない。

本研究は、Baumannの引張りまたは圧縮荷重を受けるひびがはいったシャイベの理論を用いて、二方向曲げを受けるRC板の終局モーメントを求めた。そしてKemp, Baumannの理論値との比較を行ない、さらに、著者等が行なった二方向曲げを受けるRC板の終局荷重³⁾との比較を行なった。

2. 理論解析及び検討 Baumannは、任意の方向で互いに直交する鉄筋網をもつ、二方向引張荷重または引張り及び圧縮荷重を受けるひびがはいったシャイベの、コンクリート及び鉄筋応力より釣合条件式を求めた。さらにシャイベの変形より、適合条件式を求めている。図1にシャイベのひびわれ方向の釣合状態を示す。ここにシャイベに働く外荷重を($N_1, N_2 = kN_1$) ($-1 < k < 1$)、直交する鉄筋網によってひびわれに平行に生じるコンクリート圧縮力を D_b 、 x, y 方向鉄筋の単位長さあたりの力を(Z_x, Z_y)、ひびわれに沿って働くせん断力を H 、外荷重 N_1 が x 方向鉄筋のなす角を α とする。なお、外荷重 N_1, N_2 は引張りを正、コンクリート圧縮力 D_b は圧縮を正とする。図1より、終局時の外荷重 N_1, N_2 はコンクリートの引張力を無視し($H=0$)、鉄筋の降伏点応力を f_y 、 x 方向鉄筋の単位長さあたりの鉄筋量を A_s として、次式より求まる。

$$N_1 = \frac{A_s f_y}{\cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \varphi) + k \cdot \sin^2 \alpha (1 - \cot \alpha \cdot \tan \varphi)}$$

$$N_2 = \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{1}{k} \cdot \sin^2 \alpha (1 + \cot \alpha \cdot \cot \varphi) + \cos^2 \alpha (1 - \tan \alpha \cdot \cot \varphi)}$$

著者等は、Baumannが求めたシャイベの引張力(N_1, N_2)の値を用いて、二方向曲げを受けるRC板の終局モーメントを求めた。このときのモーメントの腕の長さを、作用モーメント方向の鉄筋とコンクリートの応力分布を用いて求めた。

反対符号の二方向曲げを受けるRC板の場合について述べる。図2に、外荷重 P によって主モーメント($M_1 = N_1 z_m, -M_2 = N_2 z_m$)が作用する、上下両端に直交する鉄筋網をもつRC板を示す。ここに z_m は x, y 方向鉄筋のモーメントの腕の長さ z_x, z_y の平均値で、鉄筋とコンクリートの応力分布より求まる。また N_1, N_2 は式(1)より求まる。

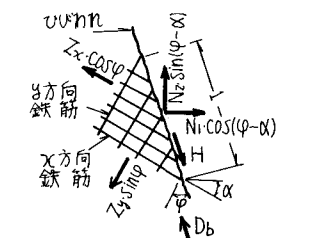


図1 シャイベ要素の外力と内力の釣合

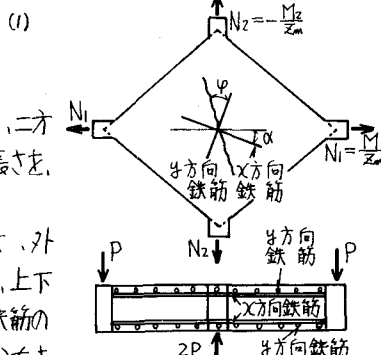


図2 二方向曲げを受けるRC板

ここで、 M_1 によって鉄筋網が引張力を生じる面を曲げ引張領域、圧縮力を生じる面を曲げ圧縮領域とする。曲げ引張領域は、図3(a)に示すように上端のみに鉄筋網をもち、曲げ圧縮領域は、図3(b)に示すように下端のみに鉄筋網をもち、なお、曲げ引張領域、曲げ圧縮領域は互いに独立し、別々に形成されると仮定する。

曲げ引張領域、曲げ圧縮領域の、それぞれの主モーメント $M_1, -M_2$ 方向のモーメントの腕の長さ x_m を、主モーメント方向の鉄筋とコンクリートの応力分布を用いて求めた。図4に、主モーメント M_1, M_2 を受ける曲げ引張領域の M_1 方向の終局時のひずみ分布(図(b))、応力分布(図(c))を示す。図(b)の k_m は x 、 y 方向鉄筋の有効高さ k_x, k_y の平均値、 ε_c はコンクリート圧縮端ひずみ、 ε_x は鉄筋ひずみを示す。 x 方向鉄筋ひずみを ε_x として、 ε_x は次式より求まる。

$$\varepsilon_x = \varepsilon_c \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \varphi}$$

また ε_x は、コンクリート圧縮力 D_b による縮み及びせん断力を無視して、次式から求まる。ただし、鉄筋のヤング係数を E_s とする。

$$\varphi \leq 45^\circ : \varepsilon_x = \frac{f_y}{E_s} \cdot \cot^2 \varphi, \quad \varphi \geq 45^\circ : \varepsilon_x = \frac{f_y}{E_s}$$

図(c)の f_c はコンクリート圧縮強度を表し、 α, β は圧縮合力とその作用位置を示す係数で、 $\alpha = 0.8, \beta = 0.412$ である。また、 T は単位長さあたりの鉄筋引張力である。

式(1)の N_1, N_2 と、図4より得られるモーメントの腕の長さ x_m より、終局モーメント $M_1 = N_1 \cdot x_m, -M_2 = N_2 \cdot x_m$ が求まる。これらの値から求めた終局荷重は、著者等の実験値よりも平均11%小さかった。また Kemp の理論を用いて、上下両端の鉄筋 f_y とコンクリートの応力分布から求めた終局荷重よりも平均2%小さかった。

一オ、Baumann は $-1 < k < 0$ の反対符号の二方向曲げを受けるRC板の場合、モーメントの腕の長さを有効高さの0.9倍と仮定して、曲げ引張り及び圧縮領域の作用モーメント $M_1, -M_2$ を求めた。そしてこの値を用いて、曲げ圧縮領域のコンクリート圧縮力 D_b によるモーメント $M = D_b \cdot x_m$ から正確な腕の長さを求めた。この理論より求めた終局荷重は、著者等の実験値よりも平均30%小さかった。これは、曲げを受けるRC板におけるコンクリート圧縮力 D_b の作用位置が明確でないことによると思われる。したがってRC板を二片に分け、それぞれの鉄筋網によって生じるコンクリート圧縮力 D_b による縮みを無視して、鉄筋とコンクリートの応力分布からモーメントの腕の長さを求めてよいと思われる。

3. 結び 引張りまたは圧縮荷重を受けるシャイベの理論を反対符号の二方向曲げを受けるRC板に適用し、RC板を二片に分けて、モーメントの腕の長さを鉄筋とコンクリートの応力分布より求めて終局モーメントを得た。この値は、Kemp の理論値とほぼ一致した。したがって適当なモーメントの腕の長さを用いれば、引張りまたは圧縮荷重を受けるシャイベの理論を用いて曲げを受けるRC板の終局モーメントが得られると思われる。なお、著者等の実験値よりも平均11%小さかったが、これは鉄筋のひずみ硬化によるものと思われる。

<参考文献> 1) Kemp, K.O., The Yield Criterion for Orthotropically Reinforced Concrete Slabs, I.J.M.S., Vol.7, 1965. 2) Th. Baumann, Tragwirkung orthogonaler Bewehrungsnetze beliebiger Richtung in Flächentragwerken aus Stahlbeton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, H.217, 1972. 3) 見沢重松, 中野, 二方向曲げを受けるRC板の終局荷重について, 第30回土木学会中国支部講演会

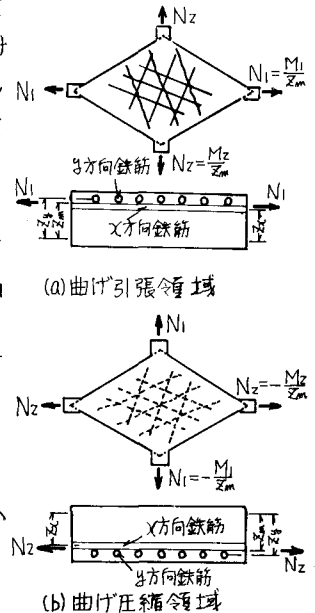


図3 RC板の曲げ引張・圧縮領域

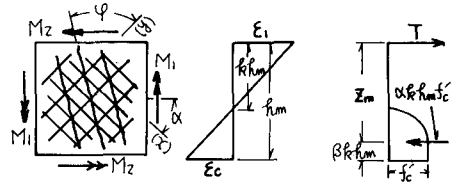


図4 曲げ引張領域の応力分布