

二方向曲げを受けるRC板の終局荷重について

愛媛大学 正夏 見沢繁光
徳山高専 正夏 重松恒美
呉高専 正夏 中野修治

1 まえがき

RC板の終局荷重は、もっぱら降伏線理論を用いて求められており、この理論を具象する降伏条件式の設定がはなはだ重要である。本研究では、二方向曲げを受けるRC板の降伏条件式より、終局荷重及び降伏線の方角を求めた¹⁾。そして、これらの理論的妥当性を検討するために、正方形及び斜長方形RC板を作製し、一つの対角線上の隅に載荷し、他の隅で支持した反対符号の二方向曲げ載荷実験を行なった。RC板は、直交する二方向鉄筋をもつ複鉄筋で、端のせん断破壊を防ぐためにらせん鉄筋を配置した。降伏線を横切る全ての鉄筋は引張りで降伏し、鉄筋の方角変化はないと仮定した。

2 理論解析

直交する二方向鉄筋をもつRC板要素を図1に示す。この要素は、主モーメント M_1, M_2 を受けている。 x, y 方向の単位幅当りの終局モーメントを各々 M_{px}, M_{py} 、主モーメント方向1と x 方向鉄筋のなす角を ϕ 、方向1と降伏線方向との垂線 η とのなす角を ψ とする。正の降伏の場合、降伏線上の作用垂直曲げモーメント $M_n = M_1 \cos^2 \psi + M_2 \sin^2 \psi$ と作用ねじりモーメント $M_{nt} = (M_1 - M_2) \sin \psi \cdot \cos \psi$ は、正鉄筋に対する終局垂直曲げモーメント $M_{pn} = M_{px} \cos^2(\phi + \psi) + M_{py} \sin^2(\phi + \psi)$ と終局ねじりモーメント $M_{pnt} = (M_{px} - M_{py}) \sin(\phi + \psi) \cdot \cos(\phi + \psi)$ に等しくなければならない。 $M_n = M_{pn}, M_{nt} = M_{pnt}$ より

$$M_1 \cos^2 \psi + M_2 \sin^2 \psi = M_{px} \cos^2(\phi + \psi) + M_{py} \sin^2(\phi + \psi) \quad (1)$$

$$(M_1 - M_2) \sin \psi \cdot \cos \psi = (M_{px} - M_{py}) \sin(\phi + \psi) \cdot \cos(\phi + \psi) \quad (2)$$

ここに M_{px}, M_{py} は、終局時に正及び負鉄筋が引張降伏点に達するとする、次のHognestadのコンクリートストレスブロックを用いて求められる(図2参照)。

$$M_{px} = A_{st} f_y d_1 (1 + d_2 - 2.35 \frac{A_{st} f_y}{d_1 f_c})$$

$$M_{py} = A_{st} f_y d_3 (1 + d_4 - 2.35 \frac{A_{st} f_y}{d_3 f_c})$$

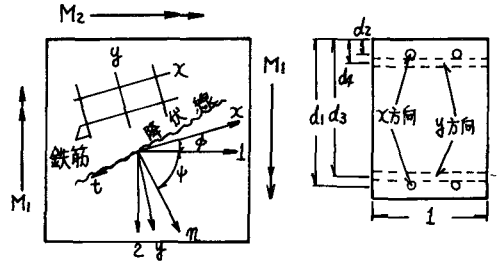


図1 降伏線の方角

図2 RC板断面

A_{st}, A_{st}' は、各々下面の x 及び y 方向の単位幅当りの鉄筋量で、この場合、上下面の x, y 方向の鉄筋量は等しい。 f_y は鉄筋の降伏点応力、 f_c はコンクリートの圧縮強度である。

式(2)は最小抵抗の原理より、 $\partial M_n / \partial \psi = \partial M_{pn} / \partial \psi$ からも得られる。したがって降伏線の方角 ψ は式(2)より、平方係数 $\mu = M_{py} / M_{px}$ とおいて

$$\tan 2\psi = \frac{(1 - \mu) \sin 2\phi}{(M_1 - M_2) - M_{px}(1 - \mu) \cos 2\phi} M_{px} \quad (3)$$

また式(1), (2), (3)より、次の正の降伏条件式が得られる。

$$M_1 M_{px} (\sin^2 \psi + \mu \cos^2 \psi) + M_2 M_{px} (\cos^2 \psi + \mu \sin^2 \psi) - M_1 M_2 - \mu M_{px}^2 = 0 \quad (4)$$

負の降伏の場合、降伏線の方角及び降伏条件式は、式(3), (4)において、 $M_{px} = -M_{px}$ とおくことによって得られる。

$$\tan 2\psi = \frac{(\mu - 1) \sin 2\phi}{(M_1 - M_2) - M_{px}(1 - \mu) \cos 2\phi} M_{px}$$

$$M_1 M_{px} (\sin^2 \psi + \mu \cos^2 \psi) + M_2 M_{px} (\cos^2 \psi + \mu \sin^2 \psi) + M_1 M_2 + \mu M_{px}^2 = 0$$

図3に示す板において、点B, D及び点A, CのPは各々荷重及び反力を示す。この載荷の型は、KelvinとTait²⁾によって示されたように薄い板の理論によって辺BC, DAに沿って $-\frac{P}{2}$ 、辺AB, CDに沿って $\frac{P}{2}$ の等分布しているねじりモーメント M_{nt} によって生ずる純曲げの状態となり、端に沿う狭いstripを除いてスラブ全

体で一定の曲げモーメントとなる。この大きさは

$$M_1 = -\frac{b}{2a}P \quad M_2 = \frac{a}{2b}P \quad (5)$$

したがって、正の降伏に対する終局荷重 P は、式(5)を式(4)に代入して

$$P = \{(A-B) + \sqrt{(A-B)^2 + 4\mu}\} M_{px} \quad (6)$$

同様に、負の降伏に対して

$$P = \{(B-A) + \sqrt{(B-A)^2 + 4\mu}\} M_{px}$$

$$\text{ここで } A = \frac{b}{a}(\sin^2\phi + \mu\cos^2\phi) \quad B = \frac{a}{b}(\cos^2\phi + \mu\sin^2\phi)$$

3 供試体及び実験方法

実験に用いたRC板は、直交する x, y 方向鉄筋を上下面に配置した複鉄筋である。鉄筋量及び異方性係数 μ は、 x, y 方向とも上下面で等しい。鉄筋として $\phi 0.39$ cm、降伏点応力 $f_y = 2480 \text{ kg/cm}^2$ の軟鋼を用い、インクリートの圧縮強さは平均 $f_c = 380 \text{ kg/cm}^2$ である。板の厚さは4.0 cm、被りは約0.5 cmである。板端のせん断破壊を防ぐために、 $\phi 0.39$ cm、内径1.9 cmの5せん鉄筋を、板端に沿って1.0 cm ピッチで配置した。

最初の種類C($M_2/M_1 = -1.0$)は、対角線の長さ $a=b=26.3$ cmの正方形である。C1, C2は x, y 方向鉄筋とも5.0 cm間隔の等方性、C3, C4は x, y 方向鉄筋が各々5.0, 8.0 cmの異方性である。二番目の種類D($M_2/M_1 = -1.35$)は、対角線の長さ $a=30.5$ cm, $b=26.3$ cmの斜長方形である。D1は x, y 方向鉄筋とも5.0 cm間隔の等方性、D2, D3は各々5.0, 8.0 cmの異方性である。種類E($M_2/M_1 = -2.0$)は、対角線の長さ $a=37$ cm, $b=26.3$ cmの斜長方形である。E1, E2は x, y 方向鉄筋とも5.0 cm間隔の等方性、E3, E4は各々5.0, 8.0 cmの異方性である。

供試体RC板は、板の一つの対角線($b=26.3$ cm)上の隅でローラーによって荷重し、他の対角線上の隅でローラーによって支持した。荷重及び支持点は、隅から対角線に沿って3.5 cmの位置である。

4 実験結果及び検討

実験は、主モーメント比 M_2/M_1 、異方性係数 μ 、鉄筋の方向 ϕ を変えて行ない、終局荷重及び降伏線の方

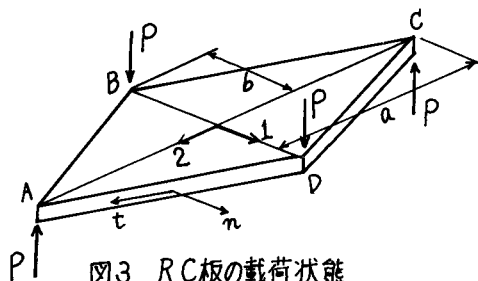


図3 RC板の荷重状態

向を求めた。表1に、終局荷重の理論値と実験値を示した。 $M_2 = -M_1$ である種類Cの等方性RC板は、正及び負の降伏条件式より求めた終局荷重が一致する。また、 $M_2/M_1 > -1$ である種類D, Eは、正の降伏条件式を用いて求められる。降伏線は方向 ϕ は、C4, C5の下面で各々実験値が $-4.0^\circ, -5.6^\circ$ 、理論値が $-6.1^\circ, -4.3^\circ$ 、E4の下面で実験値が -6.0° 、理論値が -8.1° である。降伏線は $M_2 = -M_1$ のとき上下面で互いに直交する。また等方性の場合、主モーメント方向に生じ、異方性の場合、最小抵抗の原理によって求められる。

終局荷重及び降伏線の方の理論値及び実験値は、ほぼ一致している。降伏線上の鉄筋の方向変化の影響はないと思われる。

表1 理論値及び実験結果

種類	ϕ°	$\mu = \frac{M_2}{M_1} \frac{I_{y1}}{I_{x1}}$	$\frac{M_2}{M_1}$	終局荷重(kg)		実験値
				理論値	実験値	
C1	0	1.0	-1.0	957	865	0.904
C2	45	1.0	-1.0	909	823	0.905
C3	45	0.65	-1.0	762	784	1.029
C4	67.5	0.65	-1.0	695	741	1.066
D1	0	1.0	-1.35	706	743	1.053
D2	0	0.65	-1.35	569	620	1.090
D3	45	0.65	-1.35	687	653	0.950
E1	0	1.0	-2.0	655	635	0.969
E2	45	1.0	-2.0	635	658	1.036
E3	0	0.65	-2.0	442	400	0.905
E4	45	0.65	-2.0	547	563	1.029

<参考文献>

1) Kemp, K.O., The Yield Criterion for Orthotropically Reinforced Concrete Slabs, ITMS, V.7, 1965

2) Timoshenko, S.P., and Woinowsky-Krieger, S., Theory of Plates and Shells, McGraw Hill, 1959