

呉 高 専 正 会 員 中 野 修 治
愛媛大学 正 会 員 見 沢 繁 光
徳山高専 正 会 員 重 松 恒 美

1 まえがき

本研究は、二方向曲げを受けるRC板に、LernerとPrager¹⁾が完全な塑性板に仮定したたわみ速度を用い、von Misesの降伏条件の代りにRC板の降伏条件式を用いて終局荷重を求めた。また、降伏線上の垂直モーメントに最小抵抗の原理を用いて降伏線の方角を求めた²⁾。こ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、載荷実験を行なった。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 x, y 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。コンクリートスリブブロックを用いて求められる x, y 方向の単位幅あたりの終局モーメントを 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 と降伏線の法線方向 n とのなす角を ψ とする。正の降伏の場合の降伏条件式は、降伏線上の作用垂直モーメントと終局垂直モーメントの等式から求められる。また降伏線の方角 ψ は、この二つの垂直モーメントに最小抵抗の原理を用いて求められる。

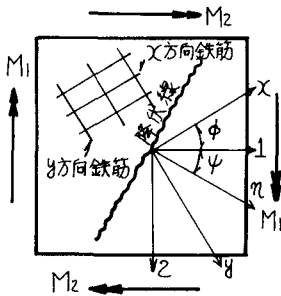


図-1 降伏線の方角

終局モーメントの比である塑性係数 $\mu = M_{py}/M_{px}$ を用いて、RC板の正の降伏条件式及び降伏線の方角は次のようになる。

$$M_1 M_{px} (\sin^2 \phi + \mu \cos^2 \phi) + M_2 M_{px} (\cos^2 \phi + \mu \sin^2 \phi) - M_1 M_2 - \mu M_{px}^2 = 0 \quad (1)$$

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

図-2にRC板の載荷状態を示す。この載荷の型は薄い板の理論により、板の部分ABCDは辺に沿って等分布しているねじりモーメントによって生ずる曲げを受ける状態にある。これらのねじりモーメントは辺上に連続的に分布している水平せん断力によって生じている。このときの曲げモーメントは次のようになる。

$$M_x = -\frac{b}{2a} P \quad M_y = \frac{a}{2b} P \quad (3)$$

板のたわみは荷重の増加にともなって変り、初期の塑性流れを起したとき弾性歪は一定で、歪速度全体は塑性歪速度のみを考慮すればよい。たわみ速度を w として、LernerとPragerは初期の塑性流れに対するたわみ速度を次のように仮定している。

$$w = \frac{C}{2} (x^2 - y^2)$$

ここで C とは定数である。曲率及びねじり率の速度を用い、 $M_{xy}=0$ より M_x, M_y は主モーメントとなる。よって $M_x=M_1, M_y=M_2$ とおき、降伏条件式(1)及び式(3)を用いて正の降伏の場合の終局荷重式が求められる。

$$P = \{ (A-B) + \sqrt{(A-B)^2 + 4\mu} \} \cdot M_{px} \\ A = \frac{1}{8} (\sin^2 \phi + \mu \cos^2 \phi), B = \frac{1}{8} (\cos^2 \phi + \mu \sin^2 \phi), \mu = \frac{a}{b}$$

また負の降伏条件式と降伏線の方角は、式(1)及び(3)において M_{px} の符号を変えることによって得られる。そして正の降伏の場合と同様にして、終局荷重式が求まる。

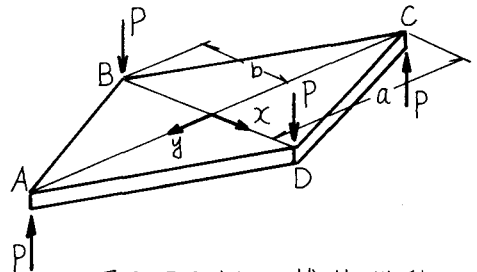


図-2 RC板の載荷状態

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 方向鉄筋を下面に配置した複鉄筋で、鉄筋量及び異方性係数 μ はそれぞれ x, y 方向で等しい。RC板下面は x 方向鉄筋を被り0.3cmで置き、その上に直交 y 方向鉄筋を配置した。上面は被り0.3cmの x 方向鉄筋を外側に、 y 方向鉄筋は内側に配置した。鉄筋として $\phi 0.39$ cm、降伏応力3260 kg/cm²の軟鋼を用い、コンクリートの平均圧縮強度は340 kg/cm²、板の厚さは4.0cmである。板辺のせん断破壊を防ぐために主鉄筋と同じ軟鋼の内径1.9cm、1.5cmピッチのらせん鉄筋を配置した。

実験に用いた供試体の主な変数は (1) x 方向鉄筋と作用モーメント M_1 とのなす角 ϕ (2)作用モーメント比 M_2/M_1 (3)異方性係数 μ である。実験に用いたRC板の種類C, D, Eを表1に示す。種類Cは対角線の長さ $a=b=26.3$ cmの正方形、種類Dは $a=32.5$ cm, $b=26.3$ cmの斜長方形、種類Eは $a=37.0$ cm, $b=26.3$ cmの斜長方形である。鉄筋間隔は、異方性係数 $\mu=1.0$ の等方性RC板は x, y 方向とも5.0cm、 $\mu=0.63$, 0.43の異方性RC板は x 方向が5.0cm、 y 方向がそれぞれ8.0cm, 12.0cmである。実験方法は、膜作用が生じないように一つの対角線上の点B, Dをローラーによって載荷し、他の対角線上の点A, Cを同じくローラーによって支持した。載荷及び支持点は、板の隅から対角線に沿って3.5cmの位置である。

4 実験結果及び検討

表1に実験を行なった供試体の降伏線方向及び終局荷重の理論値と実験値を示す。終局荷重の実験値はLernerとPragerが仮定したたわみ速度を用いて求めた理論値よりも平均7.5%大きい。これは終局時に鉄筋応力は降伏応力であるとしたことによる鉄筋のわずかな硬化、降伏線上の鉄筋の方向変化等による影響と思われる。図3に種類D4, D5, D6とE4, E5, E6の荷重と点B(図2参照)のたわみの関係を示す。この図より、主モーメント方向に近い向きに補強すれば終局荷重とたわみはともに小さくこととわかる。種類D, Eとの比較より、主モーメント比 M_2/M_1 が小さくなれば曲線の傾きは小さくなる。たわみが小さければひび

れは生じにくく、これはひびわれが問題となる限界解析において重要である。

$M_1=-M_2$ である種類Cの等方性RC板は正と負の降伏条件式より求めた終局荷重が一致し、上下両面に生じた降伏線は直交する。また異方性の場合、鉄筋方向 ϕ 、異方性係数 μ によりどちらの面に降伏線が生ずるかは両降伏条件式より求めた終局荷重の大きさによって決まる。 $M_2 > -M_1$ である種類D, Eは下面に降伏線が生じ、終局荷重は正の降伏条件式を用いて求められる。降伏線方向は、等方性または $\phi=0^\circ$ のとき主モーメント方向に平行に生じ、異方性のとき最小抵抗の原理によって求められる。

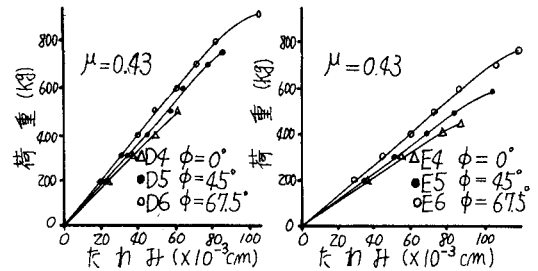


図3 荷重と点Bのたわみの関係

表1 理論値及び実験結果

種類	ϕ	μ	M_2/M_1	ψ°		終局荷重(kg)		実験値
				理論値	実験値	理論値	実験値	
C1	45	1.00	-1.0	0.0	0.0	875.0	900.0	1.029
C2	0	0.63	-1.0	0.0	0.0	697.2	705.0	1.011
C3	45	0.63	-1.0	6.6	2.5	878.4	880.0	1.002
C4	67.5	0.63	-1.0	4.6	5.5	745.5	802.5	1.076
D1	0	0.63	-1.35	0.0	0.0	588.4	620.0	1.054
D2	45	0.63	-1.35	-7.7	-7.4	757.6	850.5	1.123
D3	67.5	0.63	-1.35	-5.5	-4.6	870.4	875.0	1.005
D4	0	0.43	-1.35	0.0	0.0	402.8	502.5	1.248
D5	45	0.43	-1.35	-13.6	-12.0	628.4	747.5	1.190
D6	67.5	0.43	-1.35	-10.0	-6.0	822.0	925.0	1.125
E1	0	0.63	-2.0	0.0	0.0	495.7	467.5	0.943
E2	45	0.63	-2.0	-8.7	-9.4	619.0	720.0	1.163
E3	67.5	0.63	-2.0	-6.5	-4.0	732.5	780.0	1.065
E4	0	0.43	-2.0	0.0	0.0	420.0	462.5	1.101
E5	45	0.43	-2.0	-15.4	-11.5	556.6	590.0	1.060
E6	67.5	0.43	-2.0	-12.0	-14.4	762.9	770.0	1.009

<参考文献> 1) S. LERNER and W. PRAGER, "On Flexure of Plastic Plates", Journal of Applied Mechanics, June, 1960

2) K.O. KEMP, "The Yield Criterion for Orthotropically Reinforced Concrete Slabs", Int. J. Mech. Sci., Vol. 17, 1965