

純曲げを受けるR.C.板の崩壊機構について

愛媛大学工学部 正員 見沢 繁光
 徳山高専 正員 重松 恒美
 呉高専 正員 中野 修治

1. まえがき R.C.板の曲げ終局荷重を求める方法として、Johansen による *yield line theory* がもっぱら使われている。この理論は、*stepped yield line theory* を用いて終局荷重を求めている。このほかに、降伏線上の鉄筋の方向変化を考慮して解析を行なう Kwiecinski による *partial kinking of reinforcement theory* がある。本研究では *stepped yield line theory* を用い、一方向曲げを受ける二辺単純支持、他端自由のR.C.板において、崩壊機構を設定し、降伏線上の作用モーメント成分と終局モーメント成分を等しいとおき、終局荷重及び降伏線の方角を求めた。さらに、鉄筋の方向変化の影響を調べるために *partial kinking of reinforcement theory* を用いて等方性R.C.板の終局荷重を求めた。そして、供試体として等方性及び異方性R.C.板を製作し、載荷実験を行ない、理論値と比較検討した。

2. 理論解析 *stepped yield line theory* にもとづく、直交する二方向鉄筋 x, y をもつR.C.板要素の終局状態を図-1に示す。この要素は、載荷重による主モーメント M_1, M_2 を受けている。 x, y 方向の単位幅あたりの終局モーメントを各々 M_{px}, M_{py} 、主モーメントの方向1と x' 方向鉄筋のなす角を ϕ 、方向1と降伏線方向 m とのなす角を ψ として、 $m-t$ 軸系の終局モーメント成分は次のようになる。

$$\begin{aligned} M_{pm} &= M_{px} \cos^2(\phi + \psi) + M_{py} \sin^2(\phi + \psi) \\ M_{pt} &= M_{px} \sin^2(\phi + \psi) + M_{py} \cos^2(\phi + \psi) \\ M_{prt} &= (M_{px} - M_{py}) \sin(\phi + \psi) \cos(\phi + \psi) \end{aligned} \quad (1)$$

終局モーメント M_{px}, M_{py} は、梁材の解析方法と同様に Hog-nestad のコンクリートストレスブロックを用いて求められる。また、降伏線上に働いている主モーメント成分は、 $m-t$ 軸系を用いて次のように表わせる。

$$\begin{aligned} M_n &= M_1 \cos^2 \psi + M_2 \sin^2 \psi \\ M_t &= M_1 \sin^2 \psi + M_2 \cos^2 \psi \\ M_{nt} &= (M_1 - M_2) \sin \psi \cos \psi \end{aligned} \quad (2)$$

次に、最小抵抗の原理 $\frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{M_n}{M_{pm}} \right) = 0$ を用いて、

$$M_{prt} \cdot M_n - M_{nt} \cdot M_{pm} = 0 \quad (3)$$

$M_n = M_{pm}$ より、式(3)において $M_{nt} = M_{prt}$ である。これらの式は、式(1)、(2)を用いて各々次のようになる。

$$M_1 \cos^2 \psi + M_2 \sin^2 \psi = M_{px} \cos^2(\phi + \psi) + M_{py} \sin^2(\phi + \psi) \quad (4)$$

$$(M_1 - M_2) \sin \psi \cos \psi = (M_{px} - M_{py}) \sin(\phi + \psi) \cos(\phi + \psi) \quad (5)$$

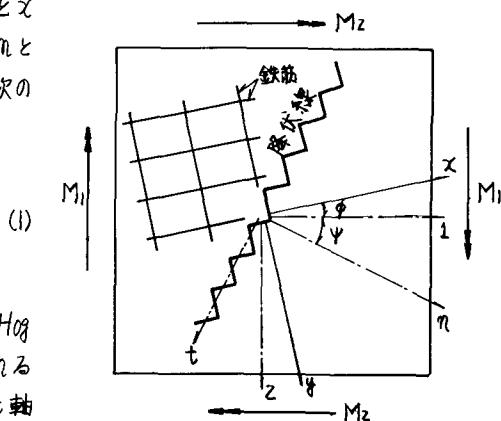


図-1 stepped yield line theory によるR.C.板要素

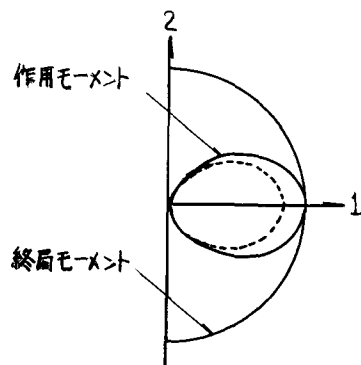


図-2 一方向曲げを受ける等方性R.C.板

一方向曲げを受ける場合 ($M_z = 0$)、異方性係数 $\mu = M_{ly}/M_{lx}$ を用いて、式 (4), (5) は各々次のようになる。

$$M_l = \frac{\mu \cdot M_{px}}{\sin^2 \phi + \mu \cos^2 \phi} \quad (6) \quad \tan \psi = \frac{(1-\mu) \sin \phi}{M_l/M_{px} - (1-\mu) \cos \phi} \quad (7)$$

式 (6) 及び (7) は、等方性 ($\mu = 1$) 及び異方性 ($\mu \neq 1$) R.C. 板が、一方向曲げを受ける場合の降伏条件を与える。式 (6) は、増加している荷重による主モーメント M_l の値が、 $\mu \cdot M_{px} / (\sin^2 \phi + \mu \cos^2 \phi)$ に達したとき、R.C. 板が崩壊することを示している。また、傾き ψ は式 (7) より求められる。等方性 R.C. 板の場合、 $\mu = 1$ より $M_l = M_{px}$, $\psi = 0^\circ$ となる。 $\phi = 0^\circ$ の場合を極座標を用いて表わせば、図-2 となる。この図において、終局モーメントは全ての方向において等しい。破壊は、崩壊前の作用モーメント曲線を表わし、荷重の増大により終局モーメント曲線に接する。したがって、 $\psi = 0^\circ$ より、降伏線は主モーメント軸 1 に垂直で、 $M_{nt} = 0$ となる。異方性 R.C. 板の場合、図-3 に示すように、作用モーメント曲線と終局モーメント曲線の接点と原点とを結ぶ直線は、主モーメント軸 1 と角 ψ をなす。また、降伏線上に、作用荷重によるねじりモーメント M_{nt} を生ずる。

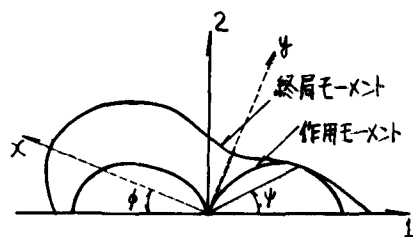


図-3 一方向曲げを受ける異方性 R.C. 板

表-1 理論値及び実験値の結果

種類	ϕ°	μ	ψ°		終局荷重 (kg)		実験値 理論値
			理論値	実験値	理論値	実験値	
A1	0	1.0	0	0	1862	1930	1.037
					1862		1.037
A2	30	1.0	0	1.0	1651	1730	1.060
					1726		1.014
A3	45	1.0	0	0	1720	1730	1.006
					1720		1.006
B1	15	0.8	3.2	3.1	1788	2170	1.21
B2	30	0.8	5.7	4.4	1546	1600	1.03
B3	45	0.8	6.2	5.3	1437	1500	1.04
B4	-30	0.8	-5.6	-5.0	1586	1580	1.00
B5	15	0.55	11.0	7.5	1447	1620	1.10
B6	30	0.55	16.1	9.3	1410	1735	1.23
B7	45	0.55	16.2	5.5	1085	1150	1.06

3. 供試体及び実験方法 実験は、約 370 kg/cm^2 の圧縮強さをもつモルタルで作られた 10 個の R.C. 板供試体で行ない、等方性 (種類 A) 及び異方性 (種類 B) の二種類を製作した。その大きさは、長さ 80 cm、幅 46 cm、厚さ約 4 cm、鉄筋として径 3.2, 3.9 mm の針金を用いた。その平均降伏耐力は 2480 kg/cm^2 である。x 方向鉄筋は下端から 5 mm に置き、y 方向鉄筋はその上に直角に置いた。x 方向の鉄筋間隔は 5 cm、y 方向は、種類 A は 4.3 cm、種類 B は 5.5 cm で、 $\mu = 0.55$ の場合の y 方向鉄筋にのみ径 3.2 mm の針金を用いた。載荷方法は、板幅を横切る二つの等分布線荷重を、各々の単純支持から 12.5 cm に、板の中心に關して対称に置いた。

4. 実験結果及び検討 理論値と実験値の結果を表-1 に示す。種類 A の欄は、上段が stepped yield line theory にもとづく式 (6) から求められた値、下段が partial kinking of reinforcement theory を用いて求められた値である。等方性 R.C. 板の場合、partial kinking of reinforcement theory によれば、降伏線上の終局モーメント成分は、降伏線と鉄筋のはす角に關係する。そして、 $0^\circ < \phi < 45^\circ$ において、終局荷重は stepped yield line theory を用いて計算された値よりも大きい。表-1 において、種類 A2 は $\phi = 30^\circ$ であり、終局荷重は stepped yield line theory のほうが約 5% 低い。しかしながらこの差は小さく、降伏線上の鉄筋の方向変化を無視し、引張り鉄筋は降伏線の微小の step に直角で、元の方向を保つと仮定している stepped yield line theory を用いて終局荷重を求めてよいと思われる。また、種類 B において、 $\mu = 0.8$ の場合、ほぼ理論値と実験値は一致しているが、 $\mu = 0.55$ の場合、傾き ψ が若干相違している。これは実験誤差によるものと思われる。

<参考文献> S.C. Jain, J.B. Kennedy; Yield Criterion for Reinforced Concrete Slab, JSD, Vol. 100 No. 3 1974