

水平荷重による2軸曲げの影響を受けるRC柱部材の挙動

学生氏名 箱田 裕子
指導教員 吉川 弘道

1. はじめに

現在の耐震設計は、柱断面に水平・垂直方向の耐震性をそれぞれ独立して検証をおこなっている。しかし、実構造物の揺れは、ランダムに荷重がかかり、1軸のみの載荷時より損傷が大きいことは予想ができる。本論ではランダム荷重を定量的に評価するために2軸曲げの検証を行った。この方法として、水平載荷角度を変化させることにより2軸に影響を与えるものである。

2. ファイバーモデルの概念¹⁾²⁾

ファイバーモデルは、ひびわれ以降も平面保持を仮定し、鉄筋とコンクリート間の材料付着を完全と考え、せん断変形を考慮しない、等の仮定を行う。断面でのモーメント-曲率(M- κ)関係を求め、を積分することにより、部材としての荷重-変位(P- δ)関係を求める方法である(図1参照)。

一般に図2の様に断面を多数の fiber-segment に分割し、要素断面中心からの距離を x, y , それまでの応力履歴による現在の $\Delta s / \Delta e$ を E_M とする。断面中心のひずみ増分、2方向の曲率増分を $\Delta e_0, \Delta f_x, \Delta f_y$ とする。点 (x, y) のひずみ増分は、

$$\Delta e_a = \Delta e_0 + \Delta f_x \cdot x + \Delta f_y \cdot y \quad (式1)$$

両辺に瞬間剛性 E_M をかけて、応力増分は、

$$\Delta s = E_M \Delta e_0 + E_M \Delta f_x \cdot x + E_M \Delta f_y \cdot y \quad (式2)$$

と表せる。ここで ds を各要素の面積とし、

$$\begin{aligned} E &= \int E_M \cdot ds & EX &= \int E_M \cdot x \cdot ds \\ EY &= \int E_M \cdot y \cdot ds & EX^2 &= \int E_M \cdot x^2 \cdot ds \\ EY^2 &= \int E_M \cdot y^2 \cdot ds & EXY &= \int E_M \cdot xy \cdot ds \end{aligned} \quad (式3)$$

とおくと軸力増分とモーメント増分は

$$\begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E & EX & EY \\ EX & EX^2 & EXY \\ EY & EXY & EY^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta e_0 \\ \Delta f_x \\ \Delta f_y \end{Bmatrix} \quad (式4)$$

で表せ、式4より軸力はひずみだけではなく曲げとの連性がいえる。

また、ファイバーモデルは評価精度確保のためにも断面分割をある程度確保することが重要となる。断面を格子状に分割することにより詳細なコンクリート損傷状態の確認が可能となる。(図4参照)

3. 解析概要³⁾

図3に解析モデルを示す。軸方向鉄筋を16本配置し、帯鉄筋を基部から高さ1,100mmまで50mm間隔それより上部は100mm間隔で配置した。断面の分割数は 20×20 とした。また軸力は、上部構造の重量によって柱基部に作用する圧縮応力を1MPa程度と見込み、これに相当する160kNの軸力を作用させた。載荷は、z軸に対し $0^\circ - 180^\circ$ (以下、1軸曲げ)、 $45^\circ - 225^\circ$ (以下、2軸曲げ)における繰返し3回載荷を行った。降伏の定義は引張鉄筋降伏時、終局の定義は鉄筋の座屈時とする。

また、表1に本論における解析パラメータを示す。

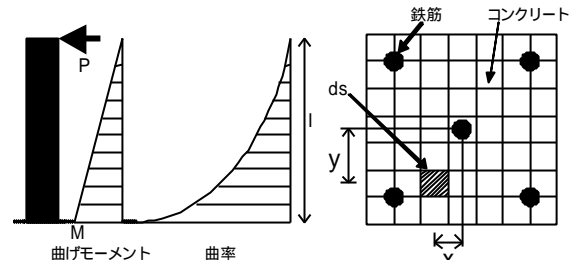
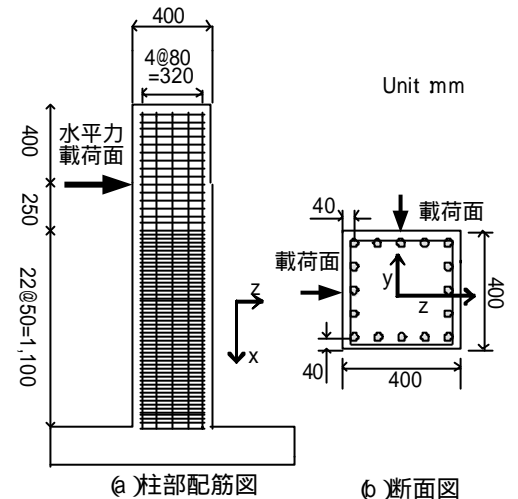


図1 モーメント分布と曲率分布

図2 断面の要素分割



(a) 柱部配筋図

(b) 断面図

項目	単位	値
断面	(mm ²)	40 × 40
コンクリート強度	f_c (N/mm ²)	29.7
鉄筋	呼び名	SD295A
軸方向鉄筋	呼び名	D13
軸方向鉄筋比	ρ_s (%)	1.27
横拘束鉄筋	呼び名	D6
横拘束鉄筋比	ρ_w (%)	0.79
横拘束鉄筋間隔	s (mm)	50
軸力	N (kN)	160
せん断スパン比	a/d	3.75

(c) 基準モデル

図3 解析モデル

表1 解析パラメータ

ケース	パラメータ	軸方向鉄筋比 ρ_s (%)	軸圧縮応力 N/A_c (N/mm ²)	入力方向	
標準モデル		1.27 (D13)	1.00 (N=160kN)	$0^\circ - 180^\circ$	
	軸方向鉄筋比 ρ_s (%)	0.71 (D10)	0 (N=0kN) 1.00 (N=160kN) 1.25 (N=200kN) 2.50 (N=400kN) 3.12 (N=500kN) 3.75 (N=600kN)	$0^\circ - 180^\circ$ $45^\circ - 225^\circ$ $20^\circ - 200^\circ$ $30^\circ - 210^\circ$ $60^\circ - 240^\circ$	
		1.27 (D13)			
		2.00 (D16)			
		2.87 (D19)			
		3.87 (D22)			
	軸圧縮応力 N/A_c (N/mm ²)		0 (N=0kN) 1.00 (N=160kN) 1.25 (N=200kN) 2.50 (N=400kN) 3.12 (N=500kN) 3.75 (N=600kN)	$0^\circ - 180^\circ$ $45^\circ - 225^\circ$ $20^\circ - 200^\circ$ $30^\circ - 210^\circ$ $60^\circ - 240^\circ$	
					1.00 (N=160kN)
					1.25 (N=200kN)
					2.50 (N=400kN)
					3.12 (N=500kN)
					3.75 (N=600kN)
	入力方向			$0^\circ - 180^\circ$	
				$45^\circ - 225^\circ$	
				$20^\circ - 200^\circ$	
				$30^\circ - 210^\circ$	
				$60^\circ - 240^\circ$	

Key word 2軸曲げ 損傷状態

4. 解析結果

4.1 損傷について

2軸曲げを受ける部材の大きな特徴は、損傷状態である。終局時の損傷状態を図4に示す。1軸曲げは、載荷方向に垂直に対称的に2面より損傷が生じる。2軸曲げでも、載荷方向に垂直に2角から損傷が進展する。しかし、1軸曲げは2面の鉄筋で耐力を保持するが、2軸曲げは、隅角部からの損傷のため、数本の鉄筋による耐力負担が考えられる。

4.2 曲げモーメント-曲率 (以下、M-)関係

図5にM- 関係を示す。1軸曲げも2軸曲げも軸力が大きいほど最大曲げモーメントが大きい。また、低軸力時では、2軸曲げが1軸曲げよりも大きな耐力を得ている。

図6に終局曲げモーメント-終局曲率 ($M_u - u$)関係を示す。終局曲げモーメントが増加すると終局曲率は減少する。このことからRC部材は、高耐力低靱性であることが言える。

軸力増加は靱性率減少につながり、特に大きな軸力の場合、靱性率は軸力に作用されその他の要因は顕著に表れない。また、軸方向鉄筋比増加では耐力増加が著しい。1%未満の軸方向鉄筋比では、大きな耐力増加が見られる。

図7に曲率靱性率の1軸曲げと2軸曲げの比較を示した。2軸曲げは1軸曲げの曲率靱性率より靱性が低く80%程度である。これは、図4から分かるように1軸曲げの場合、全引張鉄筋で耐力を保持しているが2軸曲げの場合、隅各部より進展しているため、隅各部の引張鉄筋数本に荷重が集中する。このことより2軸曲げは1軸曲げよりも早く終局を迎え、靱性率が低くなる。これは、図5の終局曲率よりも理解できる。

4.3 各角度の最大荷重

図8は、2軸曲げにおける角度の違いに着目し、各角度の最大荷重を示した。図8に示す荷重Pは、 $\vec{P} = (P_y^{max}, P_z^{max})$ で表している。最大荷重の一般式を式5に示す。この式は、 $n=1$ の時は直線、 $n=2$ の時は円と n の値によって線形が変化する。

$$\left(\frac{P_y}{P_{y0}}\right)^n + \left(\frac{P_z}{P_{z0}}\right)^n = 1 \quad (式5)$$

本解析において、正方形断面2軸曲げの最大荷重は図8より $n=2$ の円周上に値が得られた。

5. まとめ

2軸曲げにおいても、載荷方向垂直に損傷が進展していく。2軸曲げ損傷が隅角部のため隅の数本の鉄筋に大きな荷重がかかり、早い段階で終局を迎える。そのため2軸曲げの靱性率は1軸曲げより約20%低減する。

また、終局曲げモーメントと曲率のグラフは負の相関を示している。このことにより、2軸曲げにおいてもRC部材の高耐力低靱性が確認できた。

【参考文献】

- 1) 芳村学, 青山博之, 川村満 2方向外力を受ける鉄筋コンクリート構造物の解析その1 2軸曲げを受けるRC柱の解析, 日本建築学会論文報告集 第298号, 昭和55年12月
- 2) 梅村魅 鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法(続(中層編)), 1982 技報堂出版
- 3) 早川涼二, 川島一彦, 渡邊学歩 水平2方向地震力を受ける単柱式RC橋脚の耐震性, 土木学会論文集, No.759/I-67, 79-98, 2004.4

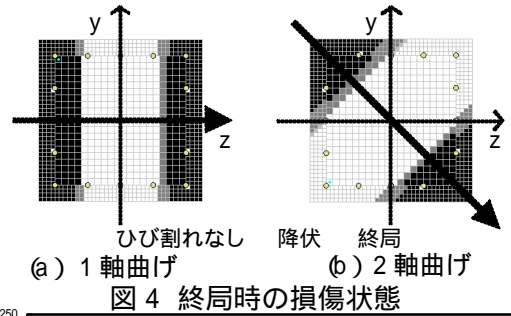


図4 終局時の損傷状態

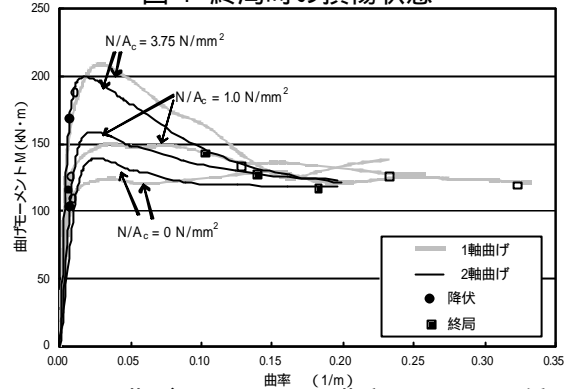


図5 曲げモーメント-曲率 (M-)関係 (軸力パラメトリック)

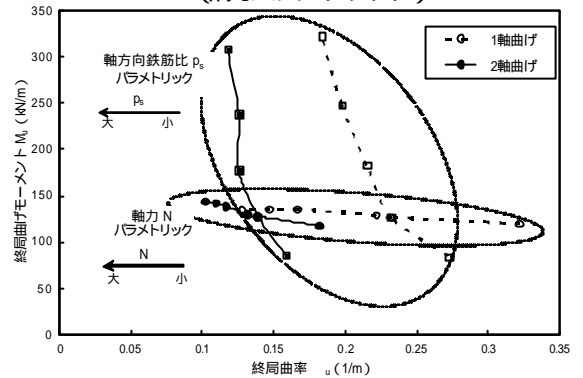


図6 終局曲げモーメント-終局曲率 ($M_u - u$)関係

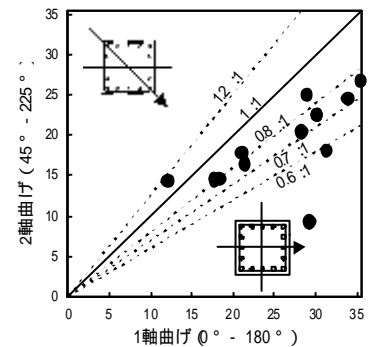


図7 曲率靱性率の比較

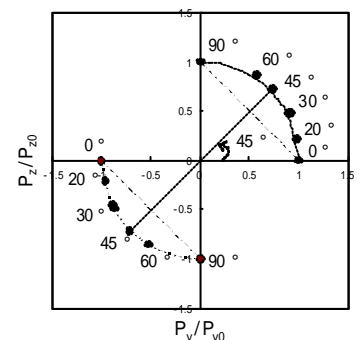


図8 角度変化における最大荷重