

軸力変動下で繰り返し曲げを受ける鋼変断面ラーメン柱の崩壊メカニズムの変動特性

神戸市立工業高等専門学校 正会員 ○酒造 敏廣

長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大

1. まえがき

橋脚やタワー等, 鋼骨組の柱部材は作用断面面力が大きい柱基部や隅角部の格点部付近が補強された変断面構造となっている¹⁾. しかし, 骨組が非弾性範囲に及ぶ地震応答を呈するとき, 変断面の柱がどのような弾塑性挙動を呈するかについては検討すべき課題が多い.

本研究は, 繰り返し曲げを受ける変断面ラーメン柱の弾塑性解析を行い, 軸力変動が崩壊メカニズムの変動に及ぼす影響について考察するものである^{2)~4)}.

2. 変断面ラーメン柱の解析方法と塑性崩壊メカニズム⁴⁾

図1(a)に示すように3つの断面 Sec.1~3 からなる柱を研究対象とする. 上下端が剛なはり部材によって回転拘束され, 上端が水平変位無拘束の場合を想定し, 同図(b)に示す剛体・バネモデルを用いて弾塑性解析を行う.

すなわち, 点1~3の曲げモーメントに $P \Delta$ モーメントを考慮し, 平衡点 n から $n+1$ の微小な変位増分区間において, 増分水平力 ΔH と増分回転角 $\Delta \theta_i$ の関係が区分線形近似できるものとする, 次式が得られる.

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_4 - P_{n+1}h & k_4 - P_{n+1}(h_2 + h_3) & k_4 - P_{n+1}h_3 \\ k_4 - P_{n+1}(h_2 + h_3) & k_2 + k_4 - P_{n+1}(h_2 + h_3) & k_4 - P_{n+1}h_3 \\ k_4 - P_{n+1}h_3 & k_4 - P_{n+1}h_3 & k_3 + k_4 - P_{n+1}h_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \Delta \theta_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta H h \\ \Delta H (h_2 + h_3) \\ \Delta H h_3 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \Delta P y_n \\ \Delta P (y_n - \theta_{1n} h_1) \\ \Delta P (\theta_{1n} + \theta_{2n} + \theta_{3n}) h_3 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\Delta M_i = k_i \Delta \theta_i, \quad \Delta \theta_4 = -\Delta \theta_1 - \Delta \theta_2 - \Delta \theta_3, \quad \Delta y = \Delta \theta_1 h + \Delta \theta_2 (h_2 + h_3) + \Delta \theta_3 h_3, \quad P_{n+1} = P_n + \Delta P \quad (2) \sim (5)$$

ここに, k_i はバネ i ($i=1 \sim 4$) の回転バネ係数であり, モーメント M_i - 回転角 θ_i 関係は図2のように仮定している. 弾性域の係数 k_{ei} は, $\theta_1 \sim \theta_4$ が初等ばり理論による値と一致するように決めた. 塑性モーメント M_{pi} には軸圧縮力 N による全塑性モーメントの低下を考慮している²⁾.

本研究では, 上式を用いて増分水平変位 Δy に対する水平力 ΔH を求め, 定水平変位振幅の弾塑性解析を行った. 軸力変動量 ΔN は水平力 H に対応させて,

図3のように仮定した. 図中,

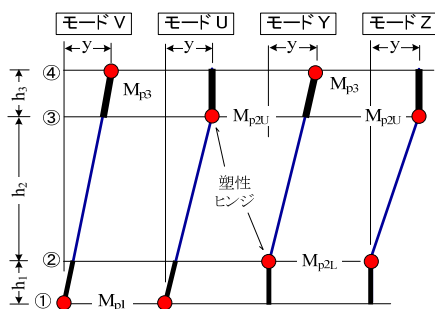
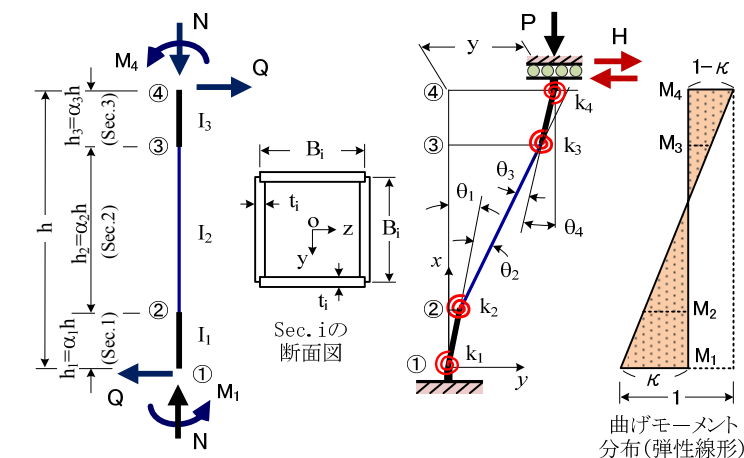


図4 塑性崩壊メカニズム



(a) 変断面はり一柱

(b) 剛体・バネモデル

図1 軸力変動下で繰り返し曲げを受ける鋼変断面ラーメン柱

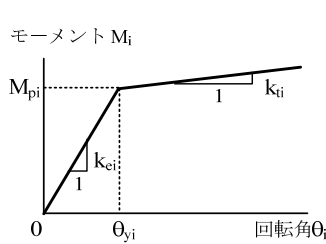
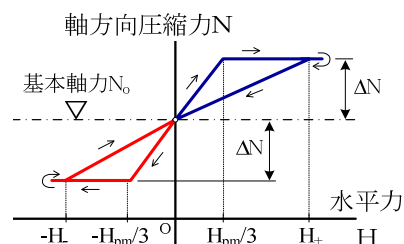
図2 バネ i の $M_i - \theta_i$ 関係

図3 軸力変動の仮定

表1 解析モデルの諸元

断面	断面幅 B_i (mm)	板厚 t_i (mm)	降伏点 σ_{yi} (MPa)
Sec.1			
1	750	24	235~450
2	750	22	235
3	750	24	450

注) 柱高さ $h=12\text{m}$, 断面変化点 $\alpha_1=\alpha_3=0.2$, 基本軸力 $N_0=0.25N_{y2}$, 軸力変動 $\Delta N=0.1N_{y2}$, N_{y2} : Sec.2 の全断面降伏荷重, $k_{e1}=k_{e4}=1.298 \times 10^{12} \text{Nmm}$, $k_{e2}=k_{e3}=4.865 \times 10^{11} \text{Nmm}$, $k_{pi}=k_{ei}/10^2$.

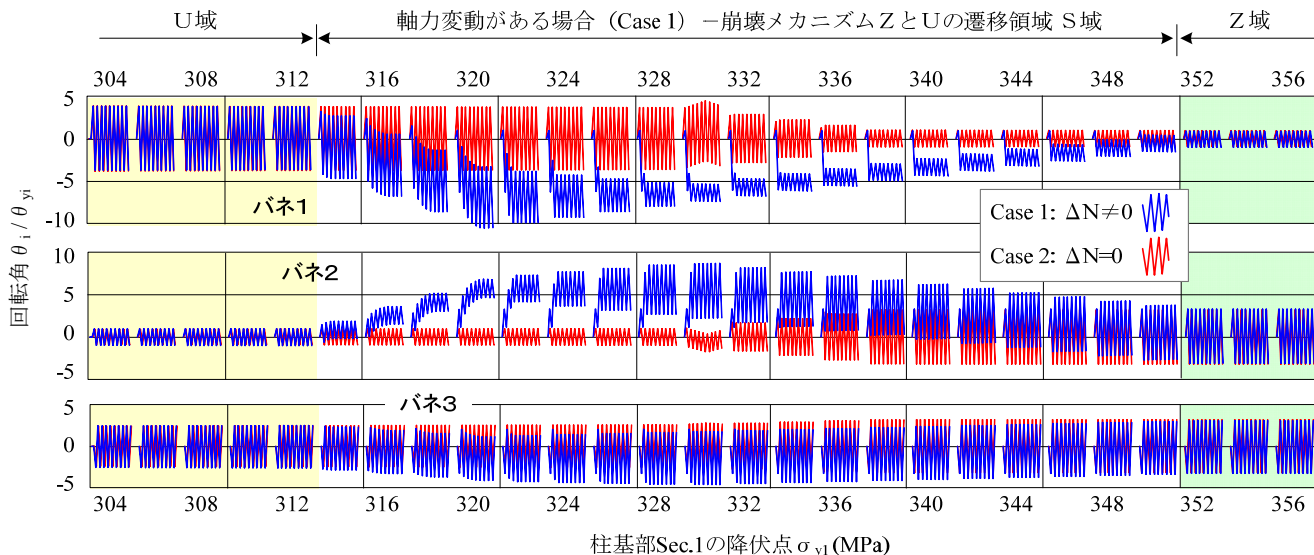
キーワード 変断面柱, 軸力変動, 弾塑性挙動, 崩壊メカニズム, 不安定現象, $P \Delta$ 効果

連絡先

〒651-2194 神戸市西区学園東町 8-3

神戸市立工業高等専門学校・都市工学科

TEL 078-795-3263

図5 柱基部 Sec.1 の降伏点によるバネ i の回転角 θ_i の変動

H_{pm} は塑性崩壊荷重, H_+ と H_- は変位反転時の正・負水平力である. また, 解析対象の変断面柱に考えられる塑性崩壊メカニズム (V, U, Y, Z) を図4にまとめる.

3. 解析結果と考察

解析に用いた柱の諸元を表1に示す. 柱上部 Sec.3 を弾性状態に保ち, Sec.2 の降伏点を一定にして, 柱下部 Sec.1 の降伏点 σ_{y1} を変化させて解析を行った. 基本軸力 $0.25N_{y2}$ で Case 1:

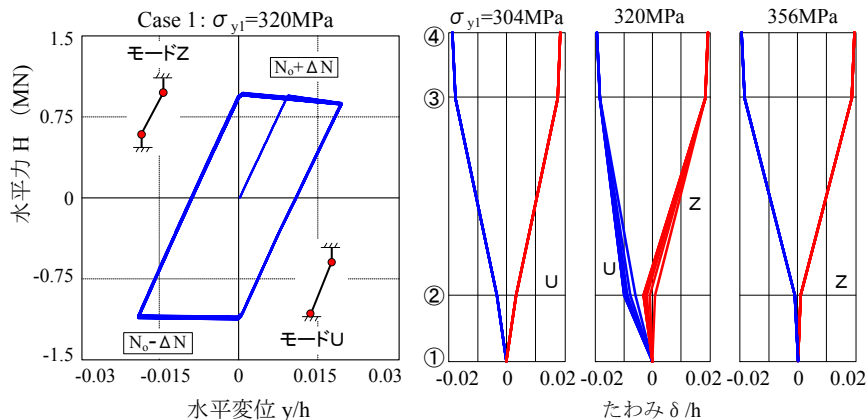
軸力変動 $\Delta N = 0.1N_{y2}$, Case 2: $\Delta N = 0$ として, σ_{y1} によるバネ $i = 1 \sim 3$ の回転角 θ_i の半サイクル毎の変動を図5にまとめる. θ_i は降伏回転角 θ_{yi} で無次元化しており, $|\theta_i / \theta_{yi}| \geq 1$ の範囲はバネ i が塑性変形していることを意味する. また, Case 1 のときの $H-y$ 曲線とたわみモードを図6に例示する.

これらの図からわかるように, Case 1, 2 ともに, バネ 3 は σ_{y1} にかかわらず塑性化している. 軸力変動がない Case 2 の場合, σ_{y1} によるバネ 1, 2 の回転角 θ_1, θ_2 の変動は塑性シェイクダウンの挙動を呈し, 崩壊メカニズムが U から Z に滑らかに変化している. 一方, 軸力変動がある Case 1 の場合, θ_1, θ_2 の変動は $\sigma_{y1} \leq 312\text{MPa}$, $\sigma_{y1} \geq 352\text{MPa}$ の範囲で Case 1 と同程度である. $\sigma_{y1} = 314 \sim 350\text{MPa}$ の範囲 (遷移領域 S) では, バネ 1 と 2 の塑性変形が半サイクル毎に交番し始め, 回転角は Case 2 のときの 2~3 倍にも大きくなっている. この区間にある $\sigma_{y1} = 320\text{MPa}$ の柱のたわみモードはバネ 2 の位置で片側に膨らんだ S 字形となっている. $H-y$ 曲線の最大耐力点~変位反転点間の勾配には, H の正・負側で軸力変動の影響がよく現れている. 崩壊メカニズムの遷移領域 S にある Case 1 の柱の弾塑性性状は, 文献 2), 3) で指摘したように, 耐震上不都合なものである.

4. まとめ

繰り返し曲げを受ける変断面ラーメン柱は, $P\Delta$ 効果と軸力変動の影響により半サイクル毎に崩壊メカニズムが変化し, 塑性変形が過大となる漸増崩壊の挙動を呈する場合があることを示した. この現象を変断面柱の耐震設計に考慮していくために, 軸力変動を考慮して崩壊メカニズムの遷移領域を絞り込んでいく必要がある.

参考文献 1)酒造, 池田: 土木学会中部支部, 平成3年度研究発表会講演概要集 I-11, 1992年3月. 2)酒造: 土木学会論文集 A1, Vol.73, No.4, pp.I_9-I_18, 2017年9月. 3)酒造: 土木学会論文集 No.446/I-19, pp.127-136, 1992年4月. 4)酒造, 宮寄: 平成30年度 土木学会関西支部 年次学術講演会, 2018年6月 (発表予定).

図6 水平力 H - 変位 y 曲線と柱のたわみモード (Case 1: $\Delta N \neq 0$)