

論文

[2074] 変動軸力を考慮した部材モデルによる RC 骨組の地震応答

正会員 ○ 飯藤 将之 (宮城 工業 高専)

同 柴田 明德 (東北大学工学部)

渋谷 純一 (東北大学工学部)

[1] はじめに

柱に作用する軸圧縮力は地震時に水平力と共に増減し曲げ耐力に影響を及ぼすが、引張側と圧縮側でその影響が相殺されるとの判断から厳密に扱われることが少ない。しかし、応答変形や降伏ヒンジの発生に及ぼす影響は無視できないと考えられる。本稿では、曲げ解析に用いられるファイバーモデルにより骨組の部材を構成し、部材毎に変動軸力を考慮した地震応答解析を RC 造 6 層純ラーメン建物を対象として行い、変動軸力の考慮、非考慮の違いが、骨組の弾塑性挙動に及ぼす影響について述べる。

[2] 解析手法

部材モデルは図 1 に示す部材の可撓部分の A 端部と B 端部にコンクリートと鉄筋の一軸応力-歪特性を有する微小要素 (=ファイバー) から成る厚さ 0 の断面 (=スライス) を挿入したものであり、詳細は文献 1) で述べている。断面柔性は部材中央で弾性柔性と仮定し、中間部はそれらの直線補間した値として簡略化している。

[3] 解析対象骨組と解析条件

図 2 に解析対象を示す。6 層 1 スパン骨組が柱の変動軸力を考慮した解析対象である (=フレームモデル)。断面寸法、配筋は表 1 の通りである。各層の重量を 40ton とし、1 層における左右の柱の初期軸力は 120ton である。この骨組の左右の柱の 2 倍の柱幅と 2 倍の主筋を有する 1 本の柱の両側に、はりを中心で切断して取り付け、はり端でモーメントが 0 となる様にローラー支持した骨組を変動軸力を考慮しない解析の対象とした (=中柱モデル)。

コンクリートと鉄筋の応力-歪関係は図 3 に示す折れ線
で与え、材料の諸定数は表 2 に示す通りである。フレーム
モデルでは柱のファイバー分割を 14 とし、各階の質量は左
右柱頭に分散させて与える。中柱モデルでは、柱のファイ
バーの面積が大きくなるように 20 分割とし、質量は中柱

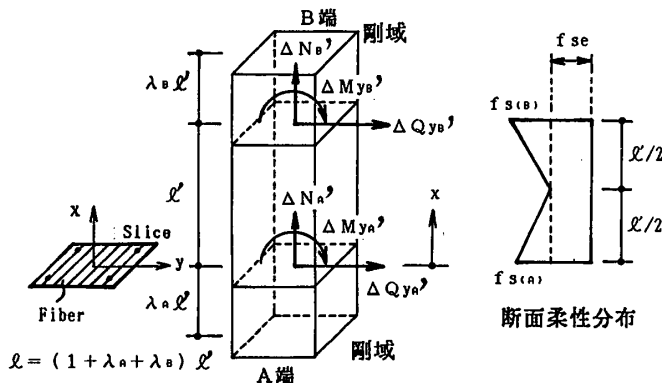


図 1 部材モデル

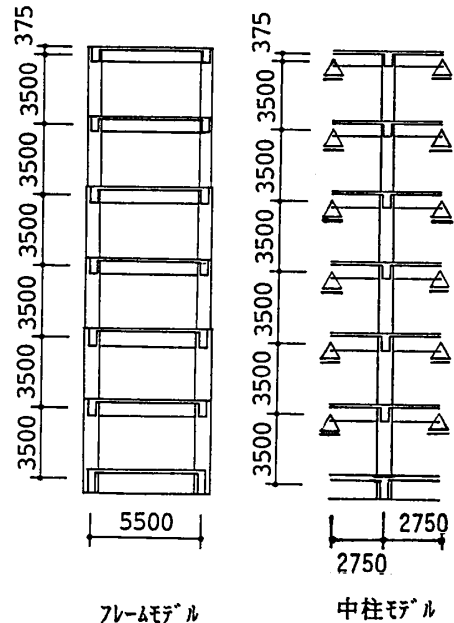


図 2 解析対象骨組 単位:mm

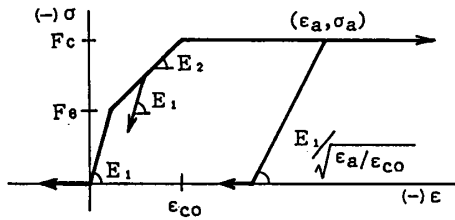


図3 (a) コンクリートの応力-歪関係

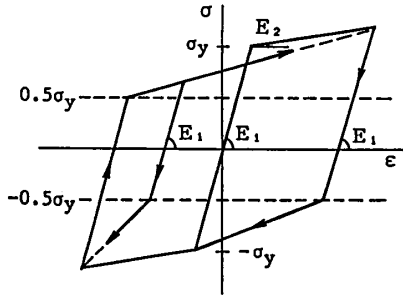


図3 (b) 鉄筋の応力-歪関係

表1 断面の形状と配筋

階	柱		梁	
	断面 b×D	主筋	断面 b×D	端部上ハ 端部下ハ
5, 6	650×650	12-D22	400×750	4-D22 3-D22
3, 4	700×700	12-D22	400×800	5-D22 4-D22
1, 2	750×750	12-D22	400×850	6-D22 4-D22

表2 解析における諸定数

コンクリートの材料特性		
$F_c = 80 \text{ kg/cm}^2$	$F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	$E_1 = 2.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
$\epsilon_{co} = 0.0025$	$\epsilon_u = 0.2500$	
鉄筋の材料特性		
$\sigma_y = 30000 \text{ kg/cm}^2$	$E_1 = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$	$E_2 = E_1 / 100$

表3 入力地震波

地震波			最大加速度
1978年 宮城県沖地震	住友生命	NS	251 gal
1978年 宮城県沖地震	東北大学	NS	258 gal
1940年 イハ'リル'レ地震	エル セントロ	NS	342 gal

解析ケース = (モデル 2) × (地震波 3) = 6

柱頭に集中させる。

入力地震動は、1978年宮城県沖地震における住友生命ビルと東北大学の記録、及び1940年イハ'リル'レ地震におけるエルセントロとした。応答は最大加速度を含む5秒間について計算し、数値積分は平均加速度法を用い、時間刻みは 2×10^{-4} secとした。減衰は骨組の弾性周期を0.4secと仮定し、初期剛性比例型の減衰マトリックスを用いた。尚、減衰定数は2%とした。

[4] 応答解析結果

4.1 本モデルによる応答特性・部材挙動

東北大学波を入力した時の解析結果を図4～図6に示す。時間刻みをかなり小さくしているため、各柱の1計算ステップにおける1層の最大の変位増分は、 2×10^{-3} cm以下となっており、断面の不釣合軸力も 1～2 kg程度とごく僅かに抑えている。

図4 (a)は中柱モデルの、(b)はフレームモデルの、各層における応答変位の時刻歴である。フレームモデルでは剛床を仮定していないので、左右の柱の水平変形の平均を層の応答変位としている。最上部の最大応答は、中柱モデルで7.91cm、フレームモデルで10.73cmとなっており、振動周期はフレームモデルの方が2割ほど長くなっている。

図5はフレームモデルの1層左右両柱と2階はりの軸力、軸方向変形、せん断力、水平変形の時刻歴である。図中□印は柱脚とはり左端の、◇印ははり右端の降伏を表している。柱の軸力は柱脚の降伏までせん断力と対応して増加または減少しており、降伏後は頭打ちとなり、 120 ± 97 ton の範囲で変動している。作用軸力の和は初期軸力との釣合を満足している。柱の軸方向変形は、柱脚が降伏し塑性化が進む場合に 0.1cmほど伸びている。伸びの値は柱脚降伏時に圧縮軸力減少となる場合に大きくなっている。柱の剛域間の長さは約 270cmであるから0.03～0.05% と伸びの割合は小さい。はり0.59秒付近の正の変形時に左端の下バが降伏し、0.93秒付近の負の変形時に右端の下バが降伏している。非対称配筋のため鉄筋の少ない下バで引張降伏する傾向がある。材端の降伏に伴い軸方向変形が伸びているが、その時にはりは圧縮軸力状態となっている。図には示していないが、中柱モデルについては2階のはりの降伏時に1階柱で 240 ± 25 tonの軸力の増減が生じるがほぼ定軸力を保っている。

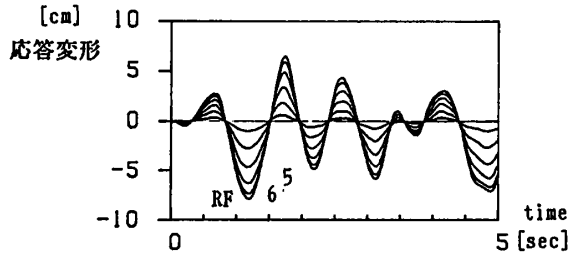


図4 (a) 中柱モデルの応答変形 (東北大学)

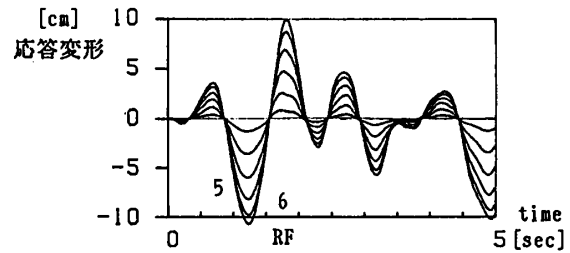


図4 (b) フレームモデルの応答変形 (東北大学)

図6 (a)は中柱モデルの1層の層せん断力 Q と層間変形 δ の関係、(b)はフレームモデルの1層の層及び柱の $Q-\delta$ 関係である。フレームモデルの層のせん断力は各柱のせん断力の和である。左側の柱は負の変形時に圧縮軸力が増大しせん断力が上がり、正の変形時には圧縮軸力が減少しせん断力は低い。右側の柱はこの逆の特徴をもち、両者を重ね合わせた層の履歴ループは、中柱モデルと同じ様な形状となっているが、履歴面積は大きい。

4.2 各地震波に対する応答値の比較

図7~図10は3波に対して応答解析を行った結果を整理したものである。

図7は各層の層間変位の最大応答をプロットしたもので、フレームモデル、中柱モデルとも2, 3, 4層での変形が大きくなっている。層間変形は中柱モデルよりフレームモデルの方が大きくなり、東北大学波入力の場合全体平均で約1.2倍増大しているが最上層では2.0倍となっている。このとき、フレームモデルの最大応答層間変形は3層の2.49cmであり、部材角は7/1000に留まっている。

図には示していないが降伏ヒンジは3階のはり端部から発生し、最上層を除くはり、1階柱脚へと塑性化が進展した。フレームモデルではその他に圧縮軸力の減少す

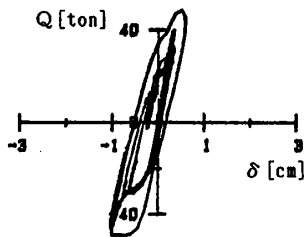


図6 (a) 中柱モデルの $Q-\delta$ 関係

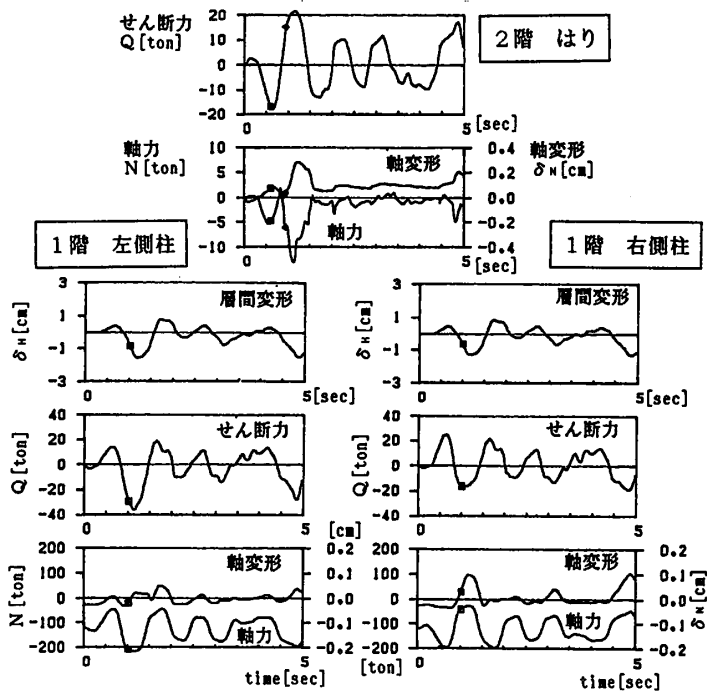


図5 フレームモデルの解析結果

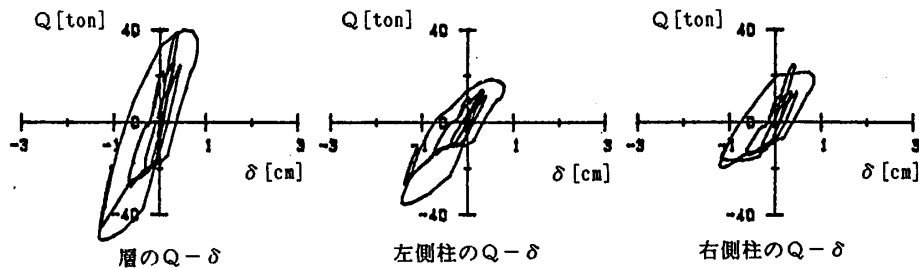


図6 (b) フレームモデルの $Q-\delta$ 関係

る2階柱脚でも降伏ヒンジが発生した。

本部材モデルの場合各部材で軸力が変動するため、部材の塑性率が一義に定まらず明確な塑性率は定義できない。ここでは最大鉄筋歪と降伏歪の比を塑性率とする。図8は1階

の柱脚と2階以上のはり端の塑性率である。非対称配筋のため中柱モデルについても左右両方のはりの値を示した。住友生命波の場合フレームモデルの各はり端の塑性率の平均が中柱モデルの値に対応

しており、変動軸力を考慮すると部分的な損傷は変わりが層としては大差ない。しかし、東北大学、El Centroでは変動軸力を考慮したフレームモデルの損傷が著しく大きくなっている。各階のはりの最大軸方向伸びを図9に示す。住友生命波では、3階で0.52cm、即ち約0.1%伸びている。フレームモデルの応答変位には、

はりの軸伸びが加算されるため、中柱の応答より大きくなると考えられる。また、中柱モデルではローラー支持がはりの伸びを容易にし、柱フェイスの曲率の増大を防ぐ効果があると考えられる。図10は柱の最大変動時の軸力を示しており、初期軸力の80%の変動軸力が生じている。

[5] まとめ

ファイバーモデルにより変動軸力を考慮した骨組の地震応答解析を行い、柱の変動軸力は常時軸力の8割に達し、変動軸力を考慮した場合層の応答変位はやや大きくなること、層せん断力は殆ど変わらないことを述べた。また、局所的な損傷分布に変化が現れ、軸力の増加・減少側柱に接続するはり端の塑性率の平均は変動軸力を考慮しない解析値かそれを上回ることを示した。

[参考文献]

1) 飯藤他: "変動軸力を考慮したRC造骨組の弾塑性挙動", 第10回コンクリート工学年次論文報告集 1988年 Vol.10 No.3, pp.329-334

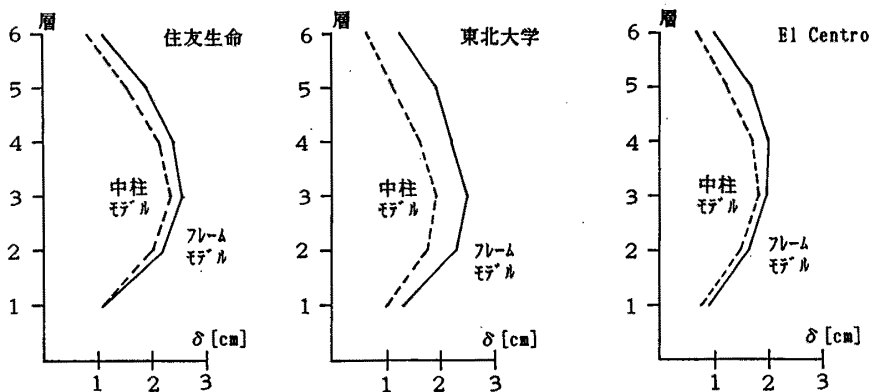


図7 各層の最大層間変形 [cm]

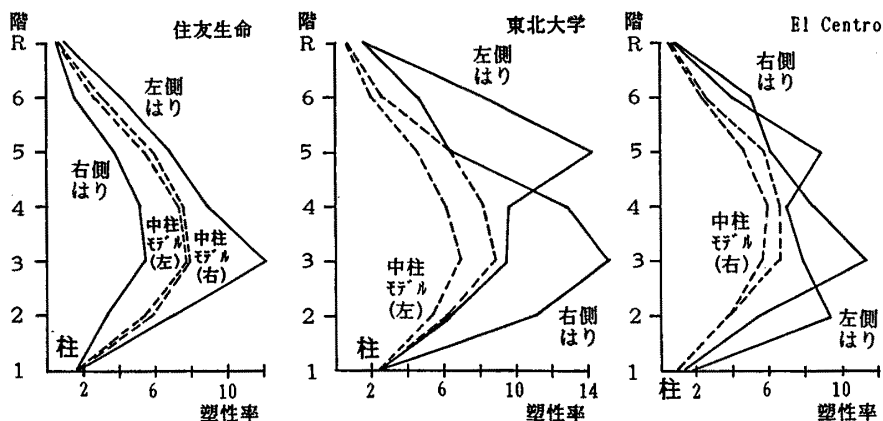


図8 各層の塑性率 (鉄筋歪による) 1階のみ柱脚・2階以上ははり端

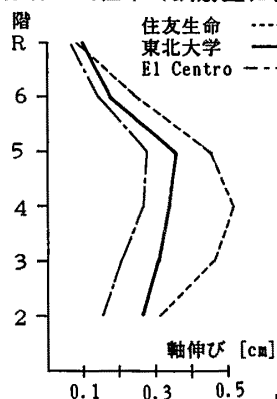


図9 はりの最大軸伸び

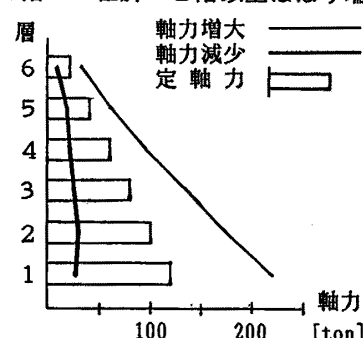


図10 柱の最大変動軸力 (東北大学)