

局部座屈を考慮した鉄骨建物の振れ挙動

— 円形鋼管柱の場合 —

正会員 ○ 西野 孝仁*

鉄骨建物 円形鋼管柱 局部座屈
偏心 FEM 解析

1. はじめに

建物の重心と剛心が一致しない場合、建物は振られて剛心から離れた柱は大きな部材角を生じることになる。この振れは偏心だけではなく柱等に耐力差がある場合にも生じることが報告されている¹⁾。

本研究の目的は円形鋼管を柱とする鉄骨建物の振れ挙動特性に及ぼす柱の塑性化及び局部座屈の影響を、有限要素法を用いた数値解析により明らかにすることである。

2. 解析概要

解析対象となる建物は図1に示すようにΦ400×9の円形鋼管を柱とする1層1スパンの建物で、柱脚は完全固定されている。平面形状はX方向、Y方向ともスパン8000mmの正方形であり柱高さは4000mmである。床板は剛床仮定が成立し、この床板に各柱は剛結されている。柱の剛性はY方向のみ制限値0.15の偏心率を持つように柱(3)、柱(4)の剛性を柱(1)、柱(2)の1.53倍とした。外力は床板の中央点に作用するものとし、この点のX方向に強制変形Uを与える。一定柱軸力Nは4柱とも同一である。

解析の方法は3次元有限要素法を用いた数値解析であり、局部座屈を取り扱うため幾何学的非線形性を考慮している。使用したアプリケーションは汎用解析コードDIANA9.3²⁾である。鋼管壁には曲面シェル要素を用い、局部座屈の発生が予想される柱頭・柱脚部は他の部位に比べ要素分割を細かくしている。また床板は剛なはり要素に置換する。要素数は29048である。柱(1),(2)の材料の応力度-ひずみ度関係は表1に示す多線形モデルであり、降伏条件はVon-Misesを用いる。ただし剛心から離れた柱(1),(2)の挙動をみるために柱(3),(4)は完全に弾性挙動するものとして取り扱う。非線形反復解析法にはNewton-Raphson法を採用し、不釣合い力は当該ステップで開放した。解析変数は柱軸力Nであり、N=0Ny、N=0.2Nyの2ケースの解析を行った。ここにNyは柱(1),(2)の降伏軸力である。

尚、円形鋼管柱の局部座屈を考慮した弾塑性挙動特性に関するこの解析手法の精度については文献3)で報告している。

3. 解析結果

N/Ny=0の場合を例として、床板のX方向変位U=120mm時の変形状態を図2に示す。Φは床板の振れ角、

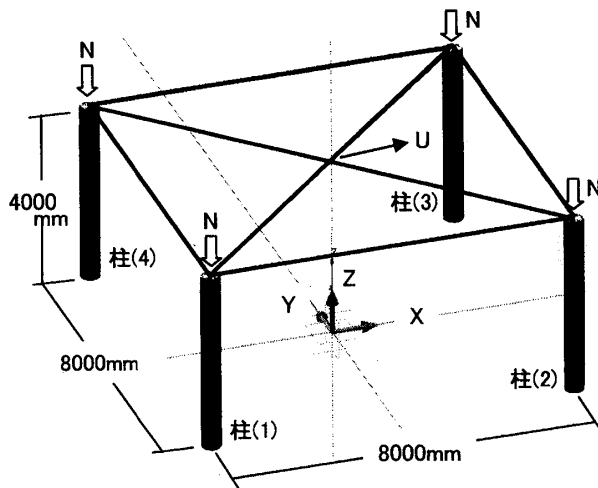


図1 解析モデル

表1 材料の応力度-ひずみ度関係

	Point 1(σy)	Point 2	Point 3(σu)	Point 4
σ (N/mm ²)	356	432	454	454
ε (×10 ⁻²)	0.17	3.11	6.69	30

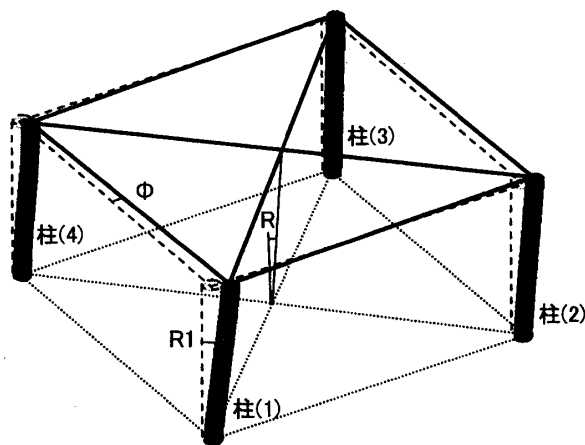


図2 建物の振れ状況(U=120mm)

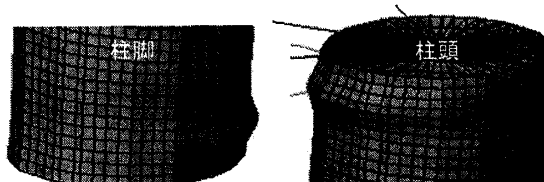


図3 柱の局部座屈状況

R は層間変形角、 R_i は i 柱の部材角である。剛心の位置が床板中央から柱(3),(4)側へ 838mm (弾性時) 偏っているため、柱(3),(4)に比べて柱(1),(2)の変形が大きくなる。またこれらの柱の柱頭部・柱脚部には載荷実験⁴⁾ でみられるような局部座屈が生じている (図 3)。柱(2)に局部座屈が発生するときの X 方向層間変形角 R_x は、 $N/N_y=0$ の場合には 0.02rad、 $N/N_y=0.2$ の場合には 0.014rad であった。

図 4 に床板の捩れ角 Φ と X 方向層間変形角 R_x の関係を示す。実線が $N/N_y=0.2$ 、破線が $N/N_y=0$ の場合である。建物の捩れ変形は R_x が 0.006rad を越えると柱(1),(2)の塑性化に伴う剛性低下により増大し、 R_x が 0.015rad を超えると局部座屈に伴う剛性低下によってさらに増大する。この傾向は柱軸力が高いほど顕著となる。

図 5 に各柱の X 方向部材角と X 方向層間変形角の関係を示す。図中には $N/N_y=0$ 及び 0.2、柱(1)及び(2)の結果が示してあるが相互に大差は無い。弾性域の柱部材角 R_{ix} は層間変形角 R_x に比べて有意な差は無いが、塑性域である $R_x=0.02rad$ では 1.3 倍、 $R_x=0.03rad$ では 1.6 倍に増加する。

捩れが柱の水平耐力に及ぼす影響を明らかにするため、偏心が無い場合についても解析を行った。図 6 に柱(2)の X 方向の水平耐力と部材角の関係を示す。実線は偏心の有る場合、破線は偏心の無い場合である。偏心が有る場合に X 方向水平耐力が低くなっているが、これは捩れに伴い Y 方向に水平耐力が分散されるからである。

建物が捩れることによって床板は傾き、各柱の軸方向変形と軸力に差が生じる。図 7 に $N/N_y=0.2$ の場合における柱(1),(2)の軸力変動の状況を示す。柱 (2)では初期軸力 $0.2N_y$ より最大 24%増大し、柱(1)では最大 24%減少する。この軸力差は水平耐力に影響を及ぼし、図 8 に示すように水平耐力は柱(2)の場合に低くなる。

4. まとめ

円形鋼管を柱とする建物の捩れ挙動に及ぼす局部座屈の影響を明らかにするために有限要素解析を行い、偏心率が制限値内であっても塑性化及び局部座屈による剛性低下により建物の捩れ変形が過大になることを示した。

参考文献

- 1) 相楽正博、堀田久人、中島武：構造物の耐力偏心により生じるねじれ応答に関する基礎的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.735-738、2004年8月
- 2) DIANA Foundation Expertise Center for Computational Mechanics: DIANA Finite Element Analysis User's Manual, TNO Building and Construction Research, 2007
- 3) 西野孝仁：火災を受けた冷間成形鋼管柱に残存する耐荷・変形能力に関する数値実験、火災学会研究発表会概要集、2009年5月
- 4) 西野孝仁：火災を受けた鋼構造部材の変形・崩壊性状、建築鋼構造フォーラム梗概集、pp.55-59、2007年3月

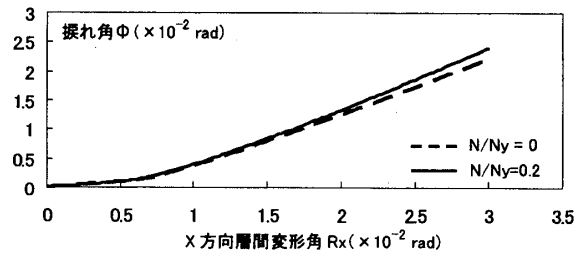


図 4 建物の捩れ角 Φ - X 方向層間変形角関係

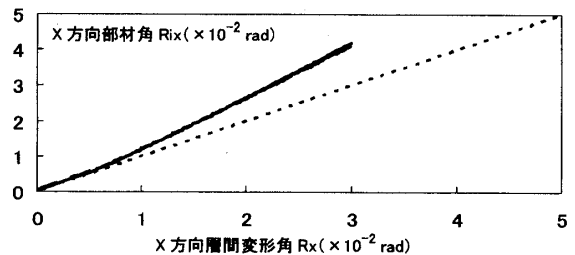


図 5 X 方向部材角 R_{ix} - X 方向層間変形角関係

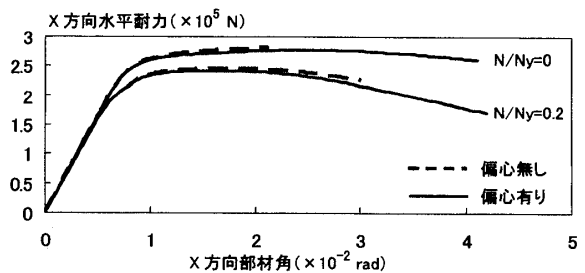


図 6 X 方向水平耐力 - X 方向部材角関係

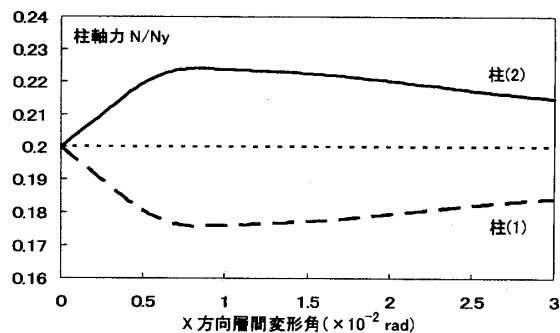


図 7 軸力 N/N_y - X 方向層間変形角 R_x 関係

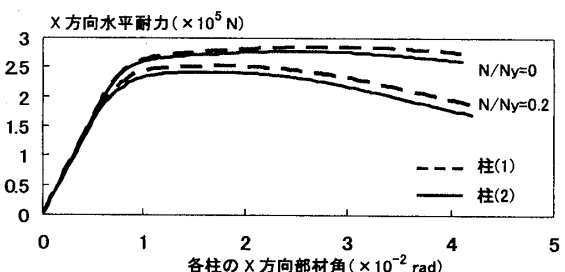


図 8 X 方向水平耐力 - X 方向部材角 R_{ix} 関係

* 広島国際大学 工学部 准教授・博士 (工学)

* Assoc. Prof., Hiroshima International University, Dr. Eng.