

鉄骨系架構により補強された鉄筋コンクリート造骨組のねじれ応答性状に関する研究

正会員 ○ 日野 泰道¹
同 中埜 良昭²
同 楠 浩一³

1. 序論 1995年兵庫県南部地震を契機に耐震補強が全国的に推進されつつあるが、この中で鉄筋コンクリート(以下、RC)造骨組の耐震補強では、RC造壁増設による補強(以下、RCW補強)に加えて鉄骨系架構増設による補強(以下、SFB補強)が近年多用される傾向にある。しかし、RCW補強と比較して補強要素の剛性(以下、付加剛性)が小さいSFB補強では、補強要素の偏心配置による影響が小さいと評価される場合が多い。これはねじれ振動による影響を弾性時における重心と剛心の偏り(偏心率¹⁾)の大きさで評価しているためである。しかしながら建物の各構面に耐力の偏り(耐力偏心)がある場合では、非線形応答時における各部材の剛性変化の程度が異なるため、SFB補強した補強建物においてもねじれ振動の影響が大きくなり、補強建物に期待した耐震性能が十分に発揮されない可能性がある。

そこで本研究では、建物の回転応答に注目し、補強要素の種類、補強位置および補強枚数をパラメータとして、ねじれを考慮した弾塑性地震応答解析を行い、非線形応答時における回転応答の大きさと、弾性時の剛性偏心および耐力偏心の程度の関係について検討を行った。

2. 解析諸元 解析対象とする補強前の建物(以下、無補強建物)は、x方向3パシ、y方向2パシのRC造建物(4階建:階高3.5m)で、補強後の建物(以下、補強建物)は、図1に示すように偏心が生じないよう構面2の各層へ配置した場合(以下、無偏心建物)と、耐力および剛性偏心が生じるよう構面3の各層へ配置した場合(以下、偏心建物)を想定した。解析手法としては、まず対象建物を逆三角形1次モードの均等質量せん断系²⁾とし、次に各構面の柱部材をそれぞれ一つの弾塑性バネにモデル化したものと、補強要素の弾塑性バネとを並列結合し、等価1質点並列系のモデルとした(図2参照)。なお補強要素の質量は無視した。地震入力方向は1方向(x方向)のみとし、補強要素の付加剛性および付加耐力は、y方向には影響しないものと仮定した。等価高さ位置(h'=10.5m=3.5m×4F×3/4)における各構面の応答値は、重心位置の力の釣り合いと重心回りのモーメントの釣り合いから

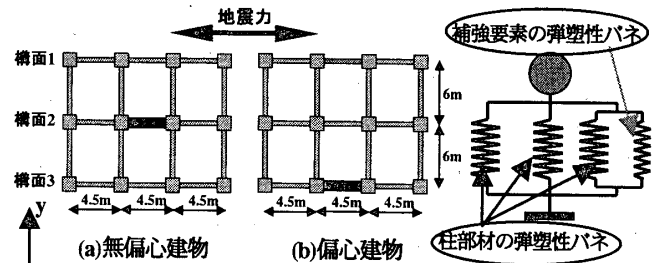


図1. 解析対象建物

図2. 解析モデル

運動方程式(1)式を導き、重心位置の変形及び回転角から剛床仮定に基づき(2)式で算出した。各層における各構面の応答変形は、等価高さ h' と応答変位 x(i) から応答変形角を求め、これに層高さを乗じて求めた。

$$m(\ddot{x} + \ddot{x}_0) + \sum_i C_x(\dot{x} + \dot{l}_y \dot{\theta}) + \sum_i K_x(x + l_y \theta) = 0$$

$$m(\ddot{y} + \ddot{y}_0) + \sum_i C_y(\dot{y} - l_x \dot{\theta}) + \sum_i K_y(y - l_x \theta) = 0 \quad \dots(1)$$

$$I(\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_0) + \sum_i C_x(\dot{x} + \dot{l}_y \dot{\theta}) l_y - \sum_i C_y(\dot{y} - l_x \dot{\theta}) l_x + \sum_i K_x(x + l_y \theta) l_y - \sum_i K_y(y - l_x \theta) l_x = 0$$

$$x(i) = x + l_y \theta, y(i) = y - l_x \theta \quad \dots(2)$$

ここで、m : 建物質量、I : 回転慣性、x, y : 重心位置の応答変形、θ : 重心周りの回転角、K_{x,y} : 耐震要素の瞬間剛性、C_{x,y} : 減衰係数、l_{x,y} : 重心位置から各構面(耐震要素)までの距離、x(i) : 各構面の応答変形

解析に用いた履歴モデルを図3に示す。無補強建物は曲げ破壊型RC造柱が支配的であると仮定し各構面の柱部材で武田モデル³⁾を使用し、また補強要素の履歴モデルについても、補強要素に取り付く境界柱を含めたSFB補強の場合、RCW補強の場合ともに武田モデルを使用した。無補強建物の履歴特性は、床面積当たり1.2t/m²として求めた建物重量に対し、0.3Wを降伏耐力とし、第1折れ点の耐力はその1/3とした。また降伏変形は、文献1を参考に变形角で1/150とした。補強要素の履歴特性は、第1折れ点の耐力を降伏耐力の1/3とし、降伏変形はSFB補強、RCW補強ともに1/250¹⁾とした。補強要素の付加耐力はSFB補強、RCW補強ともに250tf/パシとし、付加剛性は、付加耐力0.1W

表1. 解析パラメータ

	無補強	SFB 補強				RCW 補強			
Q_y'	0	0.1W	0.2W	0.3W	0.4W	0.1W	0.2W	0.3W	0.4W
K'	0	0.15	0.30	0.45	0.60	0.45	0.90	1.35	1.80
Re'	0	0.04	0.08	0.10	0.13	0.10	0.16	0.19	0.21
T	0.48	0.46	0.45	0.44	0.43	0.44	0.43	0.43	0.42
※	-	0.45	0.42	0.40	0.38	0.40	0.36	0.36	0.36

Q_y' : 補強要素の付加耐力, T: 1次固有周期, W: 建物重量

K' : 補強要素の付加剛性と無補強建物の全体剛性との割合

Re' : 文献1における偏心率, ※: 上段が偏心建物で、下段が無偏心建物

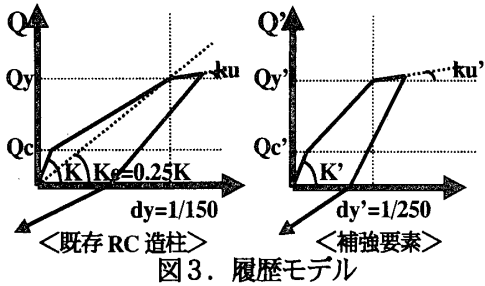
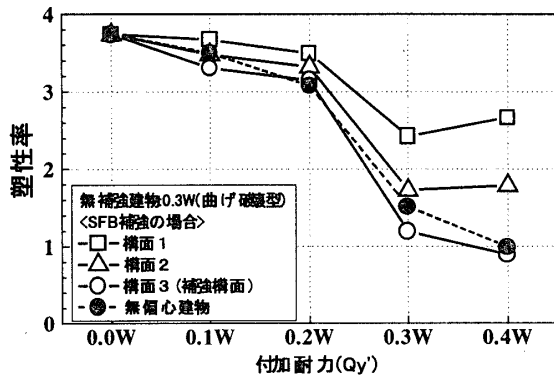
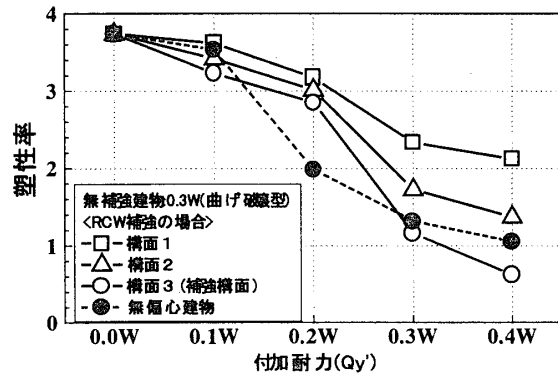


図3. 履歴モデル



(a)鉄骨系架構増設による補強の場合 (SFB 補強)



(b)RC 壁増設による補強の場合 (RCW 補強)

図4. 各構面の柱部材の塑性率と補強要素の付加耐力の関係

当りに換算して、SFB 補強で無補強建物全体の 15%、RCW 補強で 45%の剛性を付加剛性と仮定した。解析パラメータは、表1に示す通り補強要素の付加耐力の大きさ、付加剛性の大きさ（補強要素の種類）と配置位置である。解析では、無補強建物の柱部材の塑性率が4程度となるように、最大地動加速度を0.4Gに基準化した Hachinohe<EW>成分を使用し、主要成分を含む35秒間を入力地震波とした。運動方程式の数値積分法は、線形加速度法を使用し、積分時間刻みを $\Delta t=0.001$ 秒とした。減衰は、瞬間剛性比例型減衰を仮定し、減衰定数を3%とした。

3. 解析結果 偏心建物の各構面における柱の塑性率（構面1の最大変形時における各構面の柱の応答変形を、その降伏変形で除したものを図4に示す。図4より SFB 補強、RCW 補強ともに補強要素を増設し、付加耐力が大きくなるに従い、各構面の塑性率は低下していく傾向にあるが、一方で構面1（図中の□印）と構面3（補強構面：○印）の塑性率の差が次第に大きくなる傾向にある。また SFB 補強建物と RCW 補強建物の構面間の塑性率差は、同一付加耐力でほぼ等しい事が分かる。更に構面3（補強構面）の塑性率（図中の○印）は、無偏心建物の場合（図中の●印）と同程度になっているものの、偏心建物の構面1の塑性率（図中の□印）は、補強要素の種類に関わらず、いずれの場合においても無偏心建物の塑性率を上回っ

ている。このことは、耐力偏心が建物の動的応答性に大きな影響を与えることを示している。ここで、各柱部材の降伏変形は等しい（変形角：1/150）と仮定したため、構面間の塑性率差は、構面1が最大応答変位を記録した時点での構面間の応答変位の差、すなわち最大層間回転角と対応しており付加剛性の小さい SFB 補強建物においても RCW 補強と同程度の回転応答を生じたことが分かる。つまり耐力偏心が同程度であれば剛性偏心の程度によらず、構面間の塑性率の差、言い換えれば最大応答変位時（構面1）に生じる回転角は同程度であることを示している。

4. まとめ 非線形応答時での最大回転角は、剛性偏心の大きさ（偏心率）に影響を余り受けず、付加耐力（耐力偏心）の大きさに、大きな影響を受ける事が分かった。このことは、偏心配置による影響が小さいと評価されることの多い鉄骨系架構増設による補強においても、ねじれの影響を大きく受け、この回転角が非線形応答時における補強建物の耐震性能に大きな影響を与える可能性があることを示している。

参考文献 1) 建築防災協会「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説」1990.12、2) 柴田明德「最新耐震構造解析」1981.6、3) 「Takeda, Sozen and Nielsen: Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, Journal, Structural Division, ASCE, Vol.96, NoST12, pp2557-2573, 1972」

*1 東京大学大学院・修士（工）

Graduate Student, University of Tokyo, Ms. Eng.

*2 東京大学生産技術研究所 助教授・工博

Associate Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.

*3 東京大学生産技術研究所 助手・博士（工）

Research Associate, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.