

### 変形性能が高い部材の耐震性能と固有周期の関係について

ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 正会員 ○内田 裕人 正会員 平山 訓広 フェロー 石橋 忠良  
東京大学大学院 正会員 水谷 司 学生会員 武田 智信

#### 1. はじめに

鉄筋コンクリート高架橋柱(以下, RC 柱)において, 軸方向鉄筋の内側に内巻きスパイラル筋を配置すると, その内部のコンクリートの損傷を軽微に抑えることができるため, 大変形領域においても急激な耐力低下が生じないことが明らかになっている. したがって, 本論文では, 一般的な構造物の降伏時の固有周期の範囲内における, 最大耐力以降の変形性能が耐震性能に与える影響を 1 自由度系の動的非線形解析により検証した.

#### 2. 内巻きスパイラル筋を有する柱の特徴

内巻きスパイラル筋を有する柱の変形性能においては, 変形が比較的小さい範囲では, 軸方向鉄筋の外側に帯鉄筋のみ配置した一般的な RC 柱の変形性能と同様であるが, 変形が大きくなると内巻きスパイラル筋より内部のコンクリート部分と軸方向鉄筋のみで軸力や水平力を負担し, 変形性能が飛躍的に向上することが報告されている(図 1)<sup>2)</sup>. 通常の RC 柱においては最大荷重以降を過ぎ荷重降下域に入ると急激な荷重の低下が見られるため, 設計で用いることができるのは降伏荷重を維持できる点までとされている. しかし, 内巻きスパイラル筋を有した柱においては, 最大荷重後の荷重降下の割合が緩やかであり, 柱部材の変形性能を大幅に向上できるとされている. 図 2 に既往の研究により得られた内巻きスパイラル筋を有する柱における履歴曲線を示す. 軸方向鉄筋の降伏時(以下, Y 点), 最大荷重を維持する最大変位時(以下, M 点)までは, 外帯鉄筋のみの柱とほぼ同様の傾向にあるが, その後, N 点以降の変形領域において荷重を保持し始める点を L 点, 試験装置の限界や軸方向鉄筋の破断等により耐力が低下する点を K 点と定義されている.

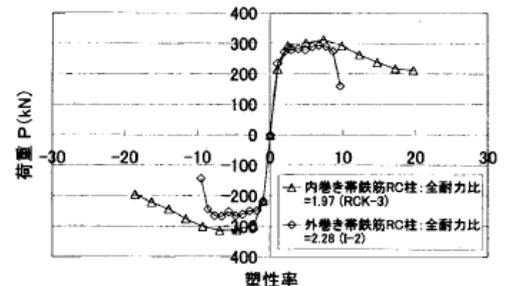


図 1. 包括線(外巻帯鉄筋と内巻き帯鉄筋を併用した RC 柱と外巻帯鉄筋のみを配置した RC 柱の比較)<sup>2)</sup>

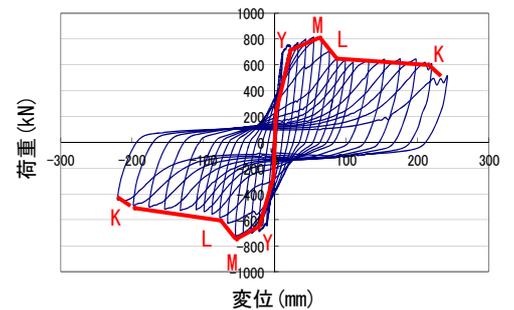


図 2. 内巻きスパイラル筋を有する RC 柱の荷重-変位関係(載荷試験結果)

#### 3. 解析概要

解析モデルは図 3 に示すような質点とばねでモデル化した 1 質点系モデルとした. 外帯鉄筋のみを配置した一般的な RC 柱の履歴曲線は, JR 総研剛性低減 RC 型(図 4)を用いた. また, 内巻きスパイラル筋を有するモデルは, 井口ら<sup>3)</sup>が考案した L 点以降の逆 S 字形の履歴ループを示す特徴を表現可能な履歴曲線(図 5)を用いた. また, 解析に用いた骨格曲線は, 既往の研究<sup>3)</sup>の実験結果から図 6 のように設定した. 各折れ点の設定条件は以下に示す通りである.

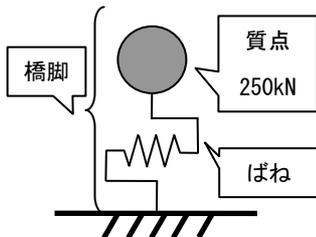


図 3 解析モデル

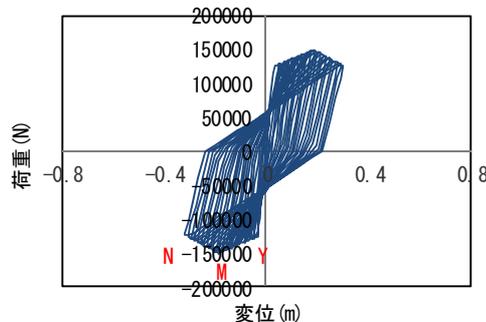


図 4. 外帯鉄筋のみを配置した一般的な RC 柱の履歴曲線

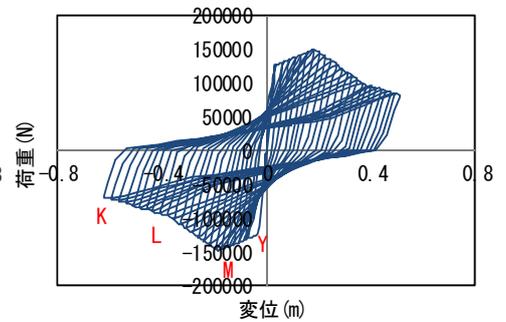


図 5. 内巻きスパイラル筋を有した RC 柱の履歴曲線

キーワード 内巻きスパイラル筋 耐震性能 変形性能 地震応答解析

連絡先 〒171-0021 東京都豊島区西池袋 1-11-1 メトロポリタンプラザ 19F TEL03-5396-7247F

- 1) Y 点 : 降伏震度  $K_{hy}=0.5$  とし,  
 $P_Y=0.5 \times M$  ( $M$  : 質量 = 250kN と設定)
- 2) M 点 :  $P_M=1.2P_Y$ ,  $\delta_M=6\delta_Y$
- 3) N 点 : 一般的な外帯鉄筋のみを配置した RC 柱を想定し,  
 $\delta_N=10\delta_Y$
- 4) L 点 :  $P_L=(P_Y+P_K)/2$ ,  $\delta_L=12\delta_Y$
- 5) K 点 :  $P_K$  は主鉄筋とコアコンクリートの耐力式<sup>4)</sup>より算出,  
 $\delta_K=20\delta_Y$

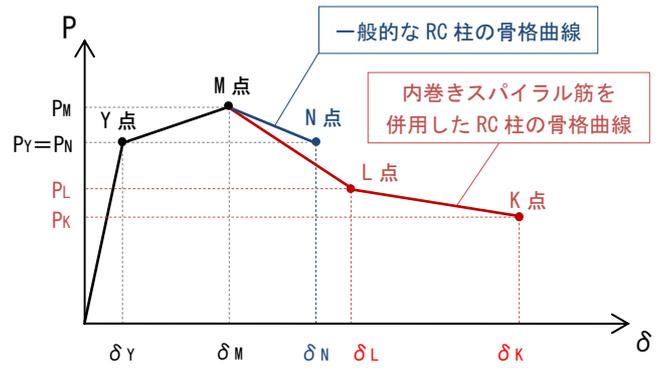


図 6. 骨格曲線の設定

以上の条件で、入力地震波は図 7 に示す鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>1)</sup>の L2 地震 Spec II 適合波 (G3 地盤) の振幅を徐々に増幅させ、N 点及び K 点に達する際の最大入力加速度を求めた。また、降伏時の固有周期は一般的な鉄道構造物を想定し、 $T=0.5s$  から  $2.0s$  を  $0.1s$  刻みで解析を行った。なお、解析プログラムは ISAS(東京大学橋梁研究室)を用いた。

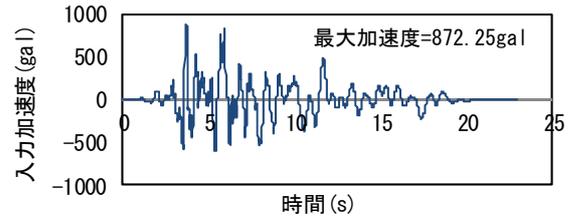


図 7. 入力波形図 (L2Spec II G3 地盤)<sup>1)</sup>

4. 解析結果・考察

構造物の降伏時の固有周期と最大入力加速度の関係を図 8 および表 1 に示す。降伏時の固有周期が長くなるにつれ、終局変位に達する最大入力加速度は単調に増加している。次に終局変位が  $10\delta_Y$ ,  $20\delta_Y$  の場合で比較を行った。今回用いた地震波の場合、いずれの固有周期の場合であっても、内巻きスパイラル筋を有するモデルである  $20\delta_Y$  の場合の方が、最大入力加速度が大きいものまで耐えられることが示された。したがって、これは最大耐力以降の変形性能の向上が、耐震性能に効果的であると考えられる。

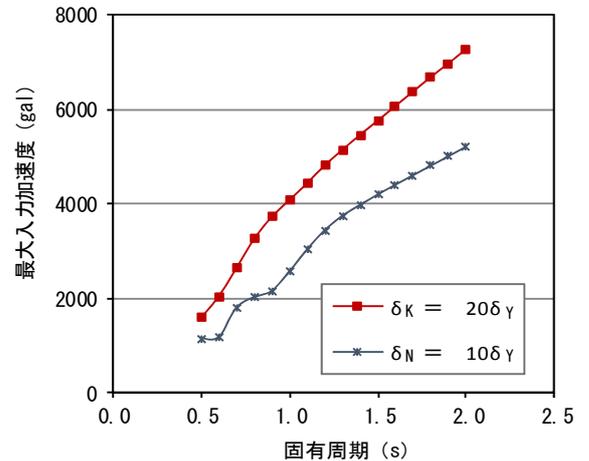


図 8. 固有周期と最大入力加速度の関係

5. まとめ

一般的な構造物の降伏時の固有周期の範囲内における、最大耐力以降の変形性能が耐震性能に与える影響を、1 自由度系の動的非線形解析により検証した。その結果、降伏時の固有周期が長くなると耐震性能が向上することが確認された。また、変形性能の向上により、その効果はさらに大きくなることが分かった。

表 1. 固有周期と最大入力加速度の関係

固有周期 (s)	最大入力加速度 (gal)	
	$10 \delta_Y$	$20 \delta_Y$
0.5	1155.03	1587.76
1.0	2574.18	4081.87
1.5	4201.10	5765.05
2.0	5213.00	7277.79

6. 謝辞

最後に本論文作成にあたりご指導いただいた、東日本旅客鉄道株式会社構造技術センターの皆様へ感謝の御礼を申し上げ、謝辞にかえさせていただく。

参考文献

- 1) (財) 鉄道総合研究所編, 運輸省鉄道局監修: 鉄道構造物等設計標準・同解説, 耐震設計, 丸善, 2012
- 2) 石橋忠良, 菅野貴浩, 木野淳一, 小林薫, 小原和宏: 軸方向鉄筋の内側に円形帯鉄筋を配置した鉄筋コンクリート柱の正負水平交番載荷実験, 土木学会論文集, No.795/V-68, 95-110, 2005.8
- 3) 井口重信, 山田章史, 中村瑞穂, 築嶋大輔: 軸方向鉄筋の内側に円形帯鉄筋を配置した鉄筋コンクリート柱部材における履歴モデルに関する一考察, コンクリート工学論文集, Vol36, No.2, 2014
- 4) 山田章史, 井口重信, 築嶋大輔, 井口重信: 軸方向鉄筋の内側に円形帯鉄筋を配置した鉄筋コンクリート柱の耐力に関する一考察, コンクリート工学論文集, Vol36, No.2, 2014