内巻きスパイラル RC 柱を有する高架橋の耐震性能の動的非線形解析による評価

果尿天子天子阮上子术研究科住会基盤子导以 止	∟会貝	〇水谷	百
------------------------	-----	-----	---

- 東日本旅客鉄道(株) 正会員 小林 將志
- 東日本旅客鉄道(株) 正会員 水野光一朗
- 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 フェロー 藤野 陽三

#### 1. はじめに -研究背景と研究目的-

2011年3月11日以降に発生した東北地方太平洋沖地震の本震と余震により、仙台南長町の新幹線ラーメン高架橋の柱端部にかぶりコンクリートの 剥落などの損傷が発生した.一方で、隣接する在来線ラーメン高架橋の被 害は軽微であった.この一因は、在来線の柱の上・下端からそれぞれ1D(D: 柱断面高さ)区間に配置された図-1の内巻きスパイラル筋<sup>1)-3)</sup>の効果によ るものと考えられる.本研究では内巻きスパイラル筋を考慮したラーメン 高架橋の耐震性能を動的非線形解析により定量的に評価することを試みる.

# 2. 内巻きスパイラル筋を考慮したラーメン高架橋の2次元骨組み構造モ デルとその動的非線形解析

対象とするラーメン高架橋は,前述の仙台南長町の在来線高架橋とし, その橋軸直角方向について図-2に示す2次元骨組み構造モデル(節点数44, 要素数43)を構築した.それぞれの要素は軸剛性,曲げ剛性,せん断剛性 を有する梁要素である.地盤ばねとして,杭基礎部分の節点にそれぞれ減 衰定数15%の水平・鉛直方向の線形集中ばねを配置した.

曲げモーメントが大きくなると予想される柱の上・下端部(図-2の要素 e.7, 11, 13, 17)に M- $\theta$ の材料非線形性を考慮し,材端剛塑性ばね法<sup>4)</sup> によりモデル化を行った.それら以外の部材は線形部材とした.非線形部 材の M- $\theta$ モデルは,3折4勾配のテトラリニア型として,図-3に示す内巻 きスパイラル筋が配置されていない場合(①)と配置されている場合(② ~④)を想定した計4パターンについて検討を行った.②~④の靭性率は, それぞれ①を基準に,1.2倍,1.6倍,1.9倍とした.ただし,既往の実験 結果<sup>2)</sup>によれば内巻きスパイラル筋の有無に関わらず,最大耐力(M点)ま では骨格曲線がほぼ一致することから,①~④の全てにおいて第3勾配ま では一致させ,第4勾配のみを変化させた.履歴特性は,テトラリニア型 に対応したJR総研剛性低減 RC型を用いた.



図-1 内巻きスパイラル筋の構造の イメージ



G-2 11日南長町の住来緑高架橋の橋軸直角方向の2次元骨組み構造モデル

部材の減衰定数を5%とし、部別内部粘性型減衰<sup>5</sup>により減衰マトリックスを構成し、Newmark- $\beta$ 法( $\beta$ =0.25, 積分時間間隔 0.005 秒)を用いて直接積分法により応答を計算した.入力波には、高架橋から北東方向に約 10km 離れた場所に位置する K-NET (仙台)で2011年3月11日に計測されたそれぞれ図-4(a),(b)に示す東西 方向(水平方向)と鉛直方向の加速度を増幅した値を用いた.そして、図-3の①~④それぞれの場合ついて、 発生材端曲げモーメントが最も大きくなる柱上端部が終局状態(降伏点(図-3のY点)を下回らない最大変 位)に至るときの水平方向の最大入力加速度を調べた.

キーワード 内巻きスパイラル筋,ラーメン高架橋,骨組み構造モデル,動的非線形解析,耐震性能評価 連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷7丁目3番1号東京大学本郷キャンパス一号館 TEL03-5841-6099

-465-

#### -233

## 3. 考察

図-5(a)~(d)はそれぞれ,図-3①~④の骨格曲線を用いて計算したときの図-2の要素 e.7 上端部でのヒス テリシスループである.図-5(a)の内巻きスパイラル筋が配置されていない場合では、終局時の最大入力加速 度は約 3000gal であるのに対して、図-5(b)~(d)の内巻きスパイラル筋が配置された場合では、靭性率が増加 するにつれ最大入力加速度も約 3500gal,約 5000gal,約 6500gal と単調に増加していることがわかる.図-3 ①~④の骨格曲線の第4 勾配と最大入力加速度との関係を示した結果が図-6 である.内巻きスパイラル筋を 配置して靭性率を増加させることで、最大入力加速度が冪関数状に上昇しており、飛躍的に耐震性能が向上す ることが確認できる.

## 4. まとめと今後の課題

内巻きスパイラル RC 柱を有するラーメン高架橋の2次元骨組み構造モデルを構築して動的非線形解析を行い、終局状態に至るときの最大入力地震動を求めた.その結果、内巻きスパイラル筋が耐震性能を飛躍的に向上させることを確認した.ただし、今回の解析では、入力波に K-NET(仙台)で計測された加速度のみを用いたが、さまざまな地震動で同様の解析を行い、内巻きスパイラル筋の効果を定量的に把握する必要がある.

#### 参考文献

- 1) 菅野貴浩,石橋忠良,木野淳一,小林薫: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地震時変形性能, コンクリート工学論文集, Vol. 20, No. 2, 2009.
- 本野淳一, 菅野貴浩, 小林薫: 内巻きスパイラル RC 柱の耐震設計法について(東北線長町高架橋への適用), SED, No. 18, 2002.5.
- 3) 金田淳, 木野淳一, 小原和宏, 菅野貴浩, 小林薫: 内巻きスパイラル RC 柱の変形挙動について, SED, No. 18, 2002. 5.
- Giberson, M. F.: Two Nonlinear Beams with Definition of Ductility, *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol. 95, No. ST2, pp. 132-158, 1969.
  - x 10<sup>5</sup> 7 1000 (a) Μ acc.[gal] acc[gal] (q) -1000Moment[kN•cm] Y 2 3 1 4 -1000 L 50 100 150 200 time[s] no spiral(ductility  $\times$  1) 図-4 K-NET(仙台)で計測された(a)東西方向加速度と(b)鉛直方向加速度  $spiral1(ductility \times 1.2)$  $spiral2(ductility \times 1.6)$ С × 10<sup>5</sup> x 10<sup>4</sup> spiral3(ductility  $\times$  1.9) 6 cm\_ moment[kN•cm] 0 0.005 0.01 0.015 0.02 0.025 0.03 0.035 (a) (b) 4 4 rotation angle[rad] moment[kN 2 2 図-3内巻きスパイラル筋が配置されていな 0 0 い場合(①) と配置されている場合(② -2 -2 sending bending Max. Max ~④)を想定した骨格曲線 -4 約 3000gal. 約 3500gal. -6 -0.02 -0.01 0.01 0.02 0.01 0.02 0 -0.02 -0.01 0 state[ • no spiral(ductility × 1) rotation angle[rad] rotation angle[rad] 6500 spiral1(ductility  $\times$  1.2) x 10<sup>5</sup> x 10<sup>5</sup>  $spiral2(ductility \times 1.6)$ 6000  $spiral3(ductility \times 1.9)$ 6 6 с ш bending moment[kN•cm] (c) (d) ultimate 5500 4 4 moment[kN-2 2 5000 0 4500 acc. -2 4000 p ading Max Max. grou ber 3500 約 5000gal. 約 6500gal. -6 -6 ontal 終局 -0.02 3000 -0.02 -0.01 0 0.01 0.02 -0.01 0 0.01 0.02 rotation angle[rad] rotation angle[rad] oriz 2500 L -12 -10 -8 図-5(a)~(d) それぞれ図-3①~④の骨格曲線を用いて計算したときの 4th slope of skeltion curve[kN·cm/rad] x 10<sup>-3</sup> 図-2の要素 e.7 上端部での終局時のヒステリシスループ



5) 大崎順彦:建築振動理論,彰国社, pp. 313-314, 1996.

(入力波は、図-4(a)、(b)を増幅した波で、終局状態に

至るときの水平方向の最大入力加速度を図中に示す.)