

内巻きスパイラル RC 柱を有する鉄道高架橋の 動的非線形解析による終局耐力の推定

東京大学大学院工学系研究科 学生会員 ○中村 渚
東京大学大学院工学系研究科 正会員 水谷 司

1. はじめに

鉄道高架橋の鉄筋コンクリート製柱(以下、RC 柱)の軸方向鉄筋の内側にスパイラル状の鉄筋を配置することで高架橋の耐震性能を飛躍的に向上させる技術が注目されている。内巻きスパイラル RC 柱を有する東北本線長町高架橋では、東北地方太平洋沖地震においても軽微な損傷しか見られなかったことが報告されているが、将来発生する大地震に対して高架橋が崩壊するほどの、すなわち終局に至る地震動の大きさや特性を明らかにする必要がある。本研究では、内巻きスパイラル RC 柱の非線形復元力特性を考慮した高架橋の三次元骨組みモデルを構築し、加速度レベルを増幅させた地震動を入力して繰り返し計算を行うことで、高架橋全体の耐力、特に終局耐力の動的非線形解析による定量的な推定を試みた。

2. 内巻きスパイラル RC 柱を有する鉄道高架橋の三次元骨組み構造モデルと動的非線形解析

本研究では内巻きスパイラル RC 柱を有する高架橋の中で典型的なもの1つである一層ラーメン構造の東北本線長町高架橋 R20 ブロックを分析対象とし、図面、設計計算書をもとに図-1 に示した三次元骨組み構造モデルを構築した。モデルの節点数は 236、要素数は 239 である。地盤ばねの復元力特性は、杭基礎部の各節点に挿入した鉛直、水平、回転方向の線形集中ばねで表現した。RC 柱の材料非線形性を考慮するために、一般に大きな曲げモーメントがかかり地震時に被害が集中する柱の上下の 1D(D: 断面有効高さ)区間にあたる要素を非線形要素とした。これら要素の非線形性を部材端部の非線形ばねの曲げモーメントと回転角の関係(M- θ 関係)により表した。その履歴特性には最終勾配が負のテトラリア剛性低減型²⁾を用いた。端部柱と中間柱のそれぞれの橋軸直角方向と橋軸方向には、配筋量、断面諸元の違いから異なる骨格曲線を与えた。木野ら³⁾は内巻きスパイラル RC 柱のスケールモデルを用いた交番載荷試験の結果からスパイラル筋のらせんピッチが密になるほど骨格曲線の最終勾配が緩やかになることを明らかにしている。そこで、図-2 に示すように、らせんピッチをパラメータとして骨格曲線の異なるモデルを作成した。また、スパイラル筋を配置しない場合も想定して、1つのモデルについてはピッチを無限大とした。

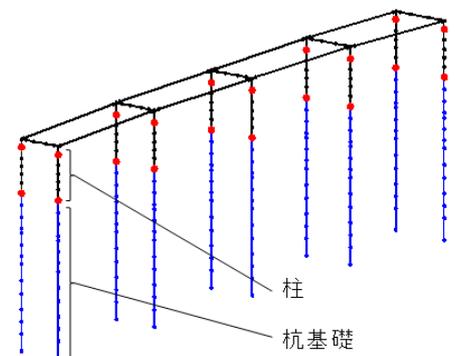


図-1 長町高架橋 R20 ブロック
三次元骨組み構造モデル
(赤点に非線形ばねを挿入)

動的解析は図-3 に示す手順で繰り返し行い、高架橋が終局に至る地震動の大きさを求めた。ここでは、高架橋の終局を「材料非線形性を考慮した要素のいずれかが終局に達した時点」と定義した。解析には Newmark β 法($\beta = 0.25$)による直接積分法を用い、積分時間間隔は 0.001 秒とした。また、部材の減衰定数は一般的に RC 構造物に用いられる 2%とし、減衰マトリクスにはレーリー減衰を使用した。入力地震動には、対象高架橋が実際に受けた地震に最も近い K-NET 仙台で観測された東北地方太平洋沖地震の地震波と、兵庫県南部地震(観測地: JR 鷹取駅)、新潟中越地震(観測地: K-NET 小千谷)の計 3 種類を用いた。入力方向は、東北地方太平洋沖地震については、対象高架橋の地図上での方角を用い、残り 2 種類については、入力波の NS 方向と高架橋の橋軸方向が平行になる入力方向と、そこから 90 度回転させた方向の 2 方向について計算した。

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, 終局耐力, 耐震性能, 動的非線形解析

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 TEL 03-5841-6099

3. 解析結果と考察

図-4 には、前述の地震動について、らせんピッチと終局に至る地震動の加速度倍率 α との関係を示した。設計値のらせんピッチ 1.9cm の場合には、例えば東北の地震では倍率 3.7 倍で終局に至り、高い耐震性能が明らかになった。また、らせんピッチの増加にしたがい α は単調に減少することがわかった。図-5 には、骨格曲線の終局点(U点)の材端部材角を降伏点(Y点)の部材角で除した回転角靱性率と α の関係を示した。地震動による差はあるが、柱の回転角靱性率と終局に至る地震動の最大加速度が線形に近い関係となることがわかった。

4. まとめと今後の課題

三次元骨組み構造モデルを用いた動的非線形解析により、内巻きスパイラル RC 柱を有する高架橋の終局耐力を示すとともに、橋脚の回転角靱性率と高架橋の終局耐力との関係も明らかにした。本研究で用いたスパイラル筋 RC 柱の骨格曲線は、前述のスケールモデルを用いた既往の試験結果により得られたもので、実スケールでの特性は十分に分かっていない。今後、三次元ソリッドモデルを用いた FEM 解析等による内巻きスパイラル RC 柱単体の復元力特性をより詳細に明らかにし、モデルに反映する必要がある。

謝辞：本研究において東日本旅客鉄道株式会社に多くの資料を提供して頂いた事に深謝致します。

参考文献

- 1) 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交番載荷実験, 土木学会論文集, V-68, No.795, pp.95-110, 2005.
- 2) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 - 耐震設計, 丸善出版, pp.288-291, 2012.
- 3) 木野淳一, 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(STRUCTURAL ENGINEERING DATA) 2002.5, No.18, pp.54-59, 2002.

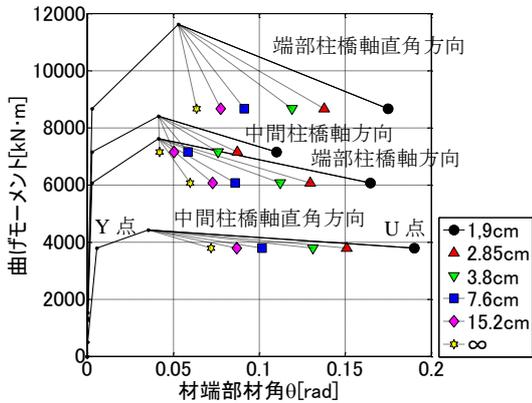


図-2 らせんピッチをパラメータとして作成した6つのモデルの骨格曲線 (設計値: らせんピッチ 1.9cm)

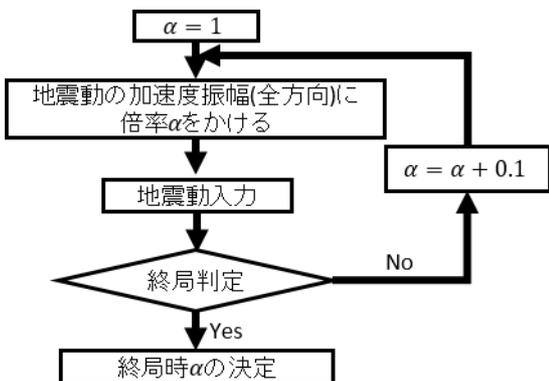


図-3 解析フロー図

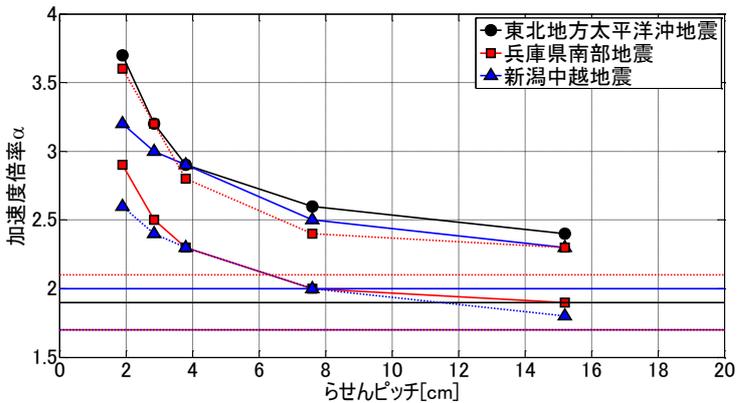


図-4 らせんピッチと終局に至る加速度倍率の関係 (らせんピッチ α は横軸に平行な直線で示した) (点線は入力波の方向を90度回転させたもの)

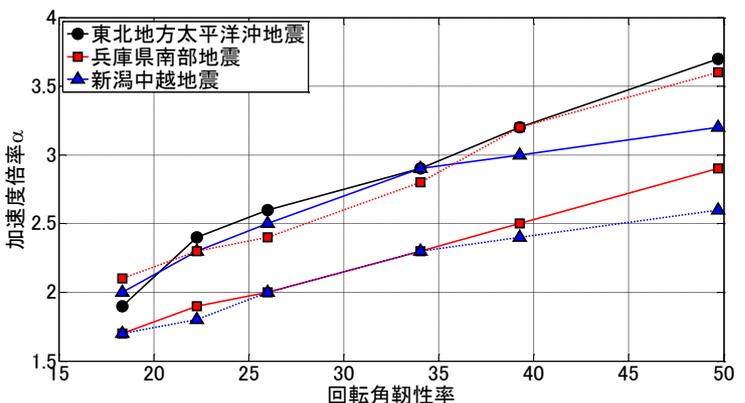


図-5 回転角靱性率と終局に至る加速度倍率の関係