

内巻きスパイラル RC 柱の履歴特性を有する構造物の終局時の地震動の大きさの推定

JR 東日本コンサルタンツ株式会社 正会員 ○武田 智信
 JR 東日本コンサルタンツ株式会社 正会員 山本 忠
 JR 東日本コンサルタンツ株式会社 正会員 小林 薫

1. はじめに

近年、新設の鉄道ラーメン高架橋では、地震時の変形性能を格段に向上させるために柱部材の軸方向鉄筋の内側にスパイラル状の帯鉄筋（以下内巻きスパイラル筋）を配置している。しかし、内巻きスパイラル筋を有する RC 柱の変形性能を十分に生かした設計までには至っておらず、どの程度の地震で終局に至るかは明らかになっていない。

本稿では、内巻きスパイラル筋を有する RC 柱の履歴特性を考慮した 1 自由度系モデルを用いて動的解析を行い、固有周期、降伏震度などをパラメータとして、終局耐力に達する設計地震動の増幅倍率を求めることで、内巻きスパイラル筋を適用した構造物の耐震性能評価を試みた結果について報告する。

2. 解析条件の概要

解析モデルは図 1 に示す 1 自由度系モデルとした。ばねの骨格曲線はトトラニアとし、内巻きスパイラル筋 RC 柱の特徴である L 点以降の逆 S 字型の履歴ループ¹⁾を考慮した。構造物のパラメータは固有周期 T 、降伏震度 k_{hy} 、降伏震度 k_{hy} に対する内巻きスパイラル筋が耐力を維持する震度 k_{hl} の比(以下、 k_{hl}/k_{hy})とし、各組み合わせにおいて入力地震動を 0.1 倍刻みで増幅させた動的解析を行い、終局点 (K 点) を超えるときの地震動の増幅倍率 (以下、終局時増幅倍率) を調べた。 k_{hl}/k_{hy} を変化させる際の L 点および K 点の変位は、骨格曲線の違いによる履歴減衰の影響を排除するため、 $k_{hl}/k_{hy} = 1.0$ を基準として終局変位時のエネルギーが等価になるように図 2 に示すように設定した。各パラメータの適用値を表 1 に示す。

入力地震動は鉄道標準²⁾の G3 地盤用 L2 設計地震動スペクトル I およびスペクトル II (以下、Spec I, Spec II) を用いた。動的解析にはニューマーク β 法を用い、積分時間間隔は 0.002 秒、減衰は 5% とした。解析には汎用三次元非線形骨組み構造解析ソフトウェア isas³⁾ を使用した。

3. 内巻きスパイラル RC 柱の履歴特性を考慮した応答

固有周期 $T = 0.6$ 秒、降伏震度 $k_{hy} = 0.4$ 、 $k_{hl}/k_{hy} = 1.0$ の組み合わせで終局時増幅倍率における履歴曲線を図 3 に示す。Spec I, Spec II のいずれの地震動においても正負ともに L 点以上の変位が発生しており、通常の RC の紡錘型の履歴特性から内巻きスパイラル筋の特徴であるスリップ型の履歴特性に遷移している。また、Spec I では正負両側に同程度の変位が発生しているが、Spec II では負側に偏った応答となっている。これは、Spec I では継続時間が長いプレート境界型であるのに対し、Spec II では瞬間的に大きな加速度が作用する直下型であったためであると考えられる。

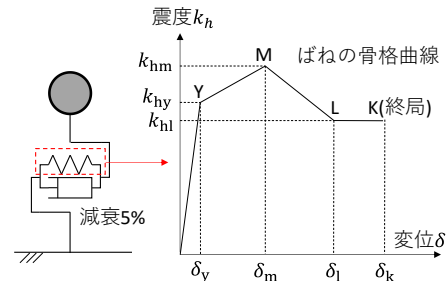


図 1 解析モデルと骨格曲線

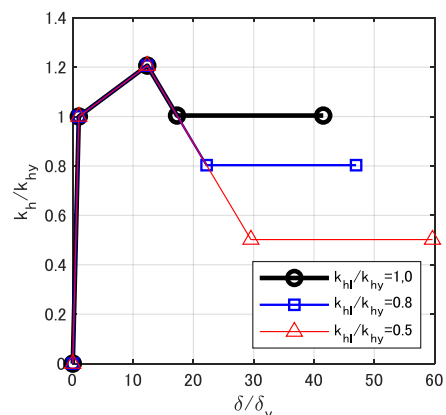


図 2 内巻きスパイラル筋を想定した骨格曲線

表 1 各パラメータの適用値

パラメータ	適用値
固有周期 T (s)	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0
降伏震度 k_{hy}	0.4, 0.6, 0.8, 1.0
k_{hl}/k_{hy}	0.5, 0.8, 1.0

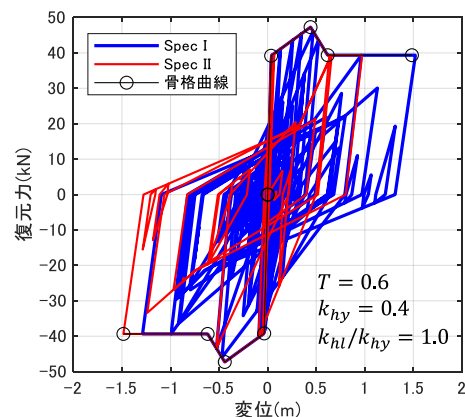


図 3 終局時の履歴応答 (Spec I: 増幅倍率 3.5 倍, Spec II: 増幅倍率 3.1 倍)

キーワード 内巻きスパイラル筋, 終局耐力, 変形性能, 耐震性能, 動的非線形解析

連絡先 〒141-0033 東京都品川区西品川一丁目 1 番 1 号 大崎ガーデンタワー14 階 TEL03-5435-7625

4. 各パラメータが終局時増幅倍率に与える影響

Spec I, $k_{hl}/k_{hy} = 1.0$ における降伏震度と終局時増幅倍率の関係を図4に示す。いずれの固有周期においても、終局時増幅倍率は降伏震度にほぼ比例する結果となった。

また、 k_{hl}/k_{hy} が終局時増幅倍率に与える影響についても検討を行った。Spec I, $T=0.6$ 秒における降伏震度と k_{hl}/k_{hy} 、終局時増幅倍率の関係を図5に示す。 $k_{hl}/k_{hy} = 1.0$ の終局変位 δ_k を基準とすると、 $k_{hl}/k_{hy} = 0.5$ の δ_k は約1.4倍になるが、終局時増幅倍率は6%程度の増加であった。そのため、終局までのエネルギーが一定となるように内巻きスパイラル筋の骨格曲線を定義した場合、 k_{hl}/k_{hy} が終局時増幅倍率に与える影響は小さいといえる。本稿では示していないが、Spec IIにおいても図4、図5と同様の傾向がみられたことを確認している。

5. 終局時増幅倍率の推定

以上の結果から、内巻きスパイラル筋を有する構造物の終局時増幅倍率 $\alpha_{k_{hy}}$ は、同じ固有周期と地震動であれば基準となる降伏震度 k_{hy0} と終局時増幅倍率 $\alpha_{k_{hy0}}$ を用いて降伏震度 k_{hy} に比例する以下の式(1)で推定できると考えられる。

$$\alpha_{k_{hy}} = \alpha_{k_{hy0}} \cdot (k_{hy}/k_{hy0}) \quad (1)$$

ここで、 $k_{hy0} = 0.4$, $k_{hl}/k_{hy} = 1.0$ における終局時増幅倍率 $\alpha_{k_{hy0}}$ を基に、式(1)を用いて固有周期、地震動ごとに任意の降伏震度における終局時増幅倍率 $\alpha_{k_{hy}}$ を計算し、動的解析によって求められた終局時増幅倍率との比較を行った。

図6に全組み合わせの動的解析によって求められた終局時増幅倍率と式(1)により推定された終局時増幅倍率の比較を示す。今回の検討で使用した固有周期、降伏震度、 k_{hl}/k_{hy} の範囲では、推定値と計算値が概ね一致している。また、Spec Iでは終局時増幅倍率の計算値が3以下の領域では過大に推定される傾向があるものの、Spec I, Spec IIいずれの地震動においても終局時の増幅倍率を概ね推定できている。

6. まとめ

固有周期、降伏震度および k_{hl}/k_{hy} をパラメータとした1自由度系の動的解析により、内巻きスパイラル筋 RC 柱を有する高架橋の終局時増幅倍率を計算した。その結果、本研究で定義した骨格曲線では、一般的な RC 高架橋の固有周期の範囲では終局時増幅倍率は降伏震度に概ね比例することを明らかにした。また、終局時のエネルギーが等価となる場合は、終局変位によらず終局時増幅倍率がほぼ一定となることを明らかにした。さらに、終局時増幅倍率の推定値と計算値の比較により、内巻きスパイラル筋を有する構造物の終局時の地震動の大きさが簡易に推定できる可能性があることを示した。

参考文献

- 1) 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, 2014.
- 2) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善, 2012.9.
- 3) 汎用三次元非線形骨組み構造解析ソフトウェア isas: <https://www.jrc.jregroup.ne.jp/isas/>

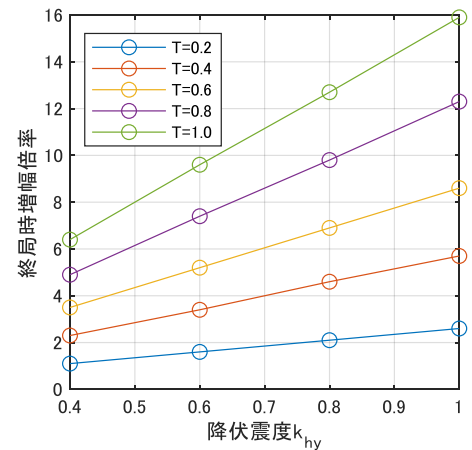


図4 降伏震度と終局時増幅倍率の関係 (Spec I, $k_{hl}/k_{hy} = 1.0$)

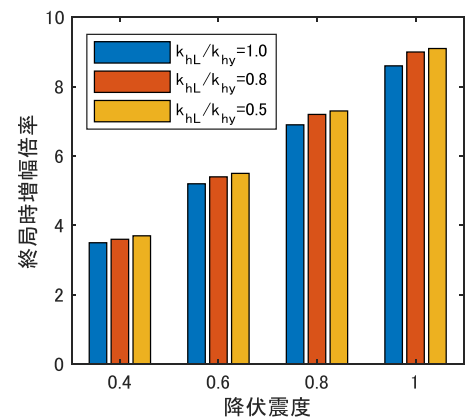


図5 k_{hl}/k_{hy} の変化による終局時増幅率の影響 (Spec I, $T = 0.6$ 秒)

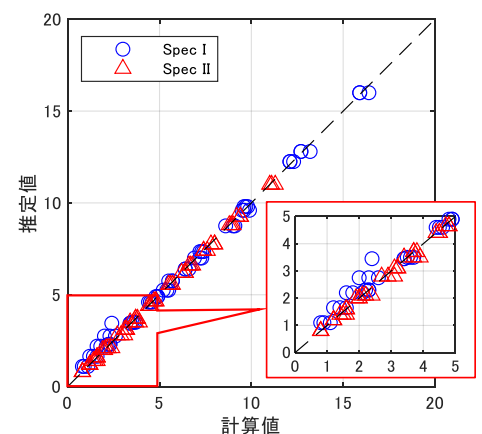


図6 終局時増幅倍率の推定値と計算値の比較