

V-25

一定軸力と繰返し曲げモーメントを受ける鉄骨鉄筋コンクリート断面のモーメントー曲率関係

東北大学 学生会員 ○阿部 慶太
東北大学 学生会員 内藤 英樹
東北大学 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下, RC)橋脚や鉄骨鉄筋コンクリート(以下, SRC)橋脚の動的解析を行う際には, これらの部材の復元力特性を精度良く評価する必要がある. しかし, 現行の鉄道構造物等設計標準¹⁾などでは, RC および SRC 柱の正負交番載荷実験結果からこれらの復元力モデルをそれぞれ提案するなどその力学的根拠は乏しい. 特に, SRC 柱では, 断面の鉄骨量の増加に伴い RC 柱に比べより紡錘型の履歴ループを示すことから^{2),3)}, 広範な断面諸元に対応した RC 柱から SRC 柱までを一元的に評価できる復元力モデルを構築することが望ましい. そこで, 本研究では一定軸力と繰返し曲げを受ける SRC 断面のモーメントー曲率関係(以下, $M-\phi$ 関係)をモデル化する. そして, 提案する $M-\phi$ 関係を基に, 既往の RC および SRC 柱の正負交番載荷実験の再現解析を実施することで, 本モデルの妥当性を検証した.

2. モーメントー曲率関係のモデル化

村田ら³⁾の SRC 供試体(軸力 0.10)を対象としてファイバー解析による検討を行った. 図-1 に, SRC 断面とコンクリートを無視した軸方向鉄筋と鉄骨断面(以下, 全鋼材断面)の $M-\phi$ 関係を示す. 図-1 に示されるように, 作用軸力が小さい SRC 断面では, 除荷から再載荷における履歴曲線(再載荷曲線)と全鋼材断面の履歴曲線(A'→B→C→D')の形状が良く似ており, その履歴ループが鋼材の挙動に支配されていることが確認される.

よって, 図-2 に示す B 点および C 点を全鋼材断面の再載荷曲線から算定することで, 図-1 の SRC 断面の A 点から D 点までの履歴を 3 直線で簡化する. ここで, 図-3 の鋼材の剛性 E_i , E_i' を仮定し曲げ剛性 EI_i ($=\int_A E_i x^2 dA$), EI_i' を算定することで図-2 に示すように EI_i , E_i' を傾きとする A' 点(ϕ_r , $-M_{P0}$)および D' 点(ϕ_{max} , M_{P0})を通る 2 直線の交点として全鋼材断面の再載荷曲線上の点が算定できる. M_{P0} は全鋼材断面の全塑性モーメントである. ここでは, E_i , E_i' を図-3 に示すように定義することで $E_i = \alpha_i (x \Delta \phi)^{\beta_i}$ が得られ EI_i の計算が簡便になる. 図-3 に示す点 X_1 , X_2 は応力ーひずみ曲線と線分 PQ, QR により囲まれる 3 つの面積が等しくなる点である. ここで, $\Delta \phi = \phi_{max} - \phi_r$ であり, x は全鋼材断面の図心軸からの距離, そして, α_i およ

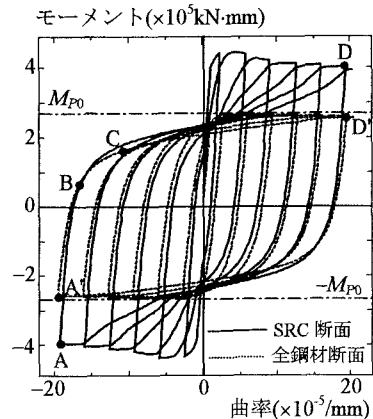


図-1 ファイバー解析による検討

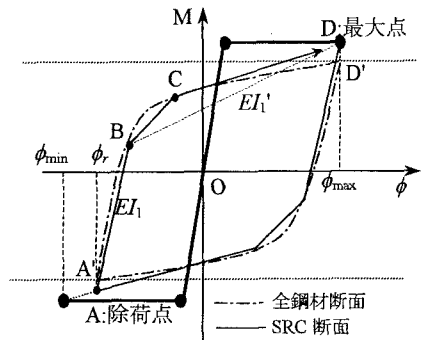


図-2 モーメントー曲率関係

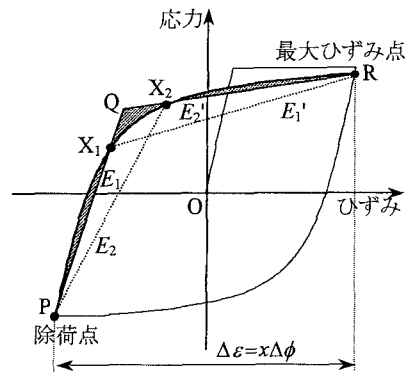


図-3 鋼材の剛性のモデル化

び β_i は鋼材の弾性係数 E_s を $2.0 \times 10^5 (\text{N/mm}^2)$ として表-1に示す値を得る。また、軸力が作用する場合はB点、C点の曲げモーメントに補正係数 k_{ax} を乗じる。 k_{ax} は軸力を考慮した全鋼材断面の全塑性モーメント M_{Pax} と M_{P0} との比である。なお、 $\Delta\phi \leq 2M_{P0}/E_s I$ では、再載荷曲線におけるコンクリートの影響が大きくなるため武藤モデルを適用することにした。

3. 提案モデルの精度検証

既往のRC柱とSRC柱の正負交番載荷実験結果との比較から提案モデルの妥当性を検証する。解析モデルは、柱基部にMattockの塑性ヒンジ長を要素長とするはり要素を設け、そのM- ϕ 関係の履歴則に提案モデルを用いた。なお、塑性ヒンジ領域以外の橋脚部は、降伏剛性を有する弾性要素とし、鋼材の抜出しの影響は柱基部に非線形回転バネを設けることで考慮した。また、M- ϕ モデルの骨格曲線は参考文献4)に従い完全弾塑性とし、抜出しの影響を考慮する非線形回転バネの特性は鉄道標準¹⁾や土井の手法²⁾を参照し設定した。

解析対象は、家村ら⁶⁾のRC供試体(RC-1)と李ら²⁾のSRC供試体(I-08-C)とした。解析結果を正負交番載荷実験の結果とともに図-4および図-5に示す。図-4より、提案手法は、RC供試体で除荷剛性を過大評価する傾向にあることが認められる。しかし、提案手法は、RC供試体において、荷重の符号が反転すると過去に経験した最大変位を直線的に指向する性質、およびSRC供試体において、荷重の符号が反転後も、H鋼の影響によりRC供試体よりも紡錘型の履歴ループを描く性質を良く再現している。このように、提案モデルを基にすることで、鋼材量に関らず、繰返し載荷を受けるRCおよびSRC柱の荷重-変位関係を再現することが可能であり、両者の耐震性能照査の解析モデルとして、有用な手法であることが確認された。

4. まとめ

本研究では、軸方向鉄筋と鉄骨断面より得られるモーメント-曲率関係を基にすることで、SRC断面のM- ϕ モデルを提案した。そして、既往の正負交番載荷実験結果との比較から、提案手法は鋼材量に関らず、RCおよびSRC柱の復元力特性を概ね再現できることを示した。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編，1999。
- 2) 李麗，津田恵吾，松井千秋：軸圧縮力と曲げを受ける鉄骨鉄筋コンクリート柱の変形性能と軸力制限値，日本建築学会構造系論文集，No.524，pp.133-140，1999。
- 3) 村田清満ほか：鉄骨鉄筋コンクリート柱の変形性能の定量評価に関する研究，土木学会論文集，No.619/I-47，pp.235-251，1999。
- 4) 内藤英樹，秋山充良，鈴木基行：軸方向鉄筋の非弾性座屈解析に基づく単柱式RC橋脚の終局変位算定法，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.991-996，2002。
- 5) 土井希祐：鋼材の抜出しを考慮したSRC部材の降伏変形の評価に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.2，pp.1319-1324，1996。
- 6) 家村浩和，高橋良和，曾我部直樹：アンボンド芯材を活用した高耐震性能RC構造の開発，土木学会論文集，No.701/I-60，pp.283-296，2002。

表-1 材料剛性のパラメータ

	$\alpha_i (\text{N/mm}^2)$	β_i
E_1	53400	-0.241
E_1'	153	-1.21
E_2	7010	-0.607
E_2'	70.1	-1.29

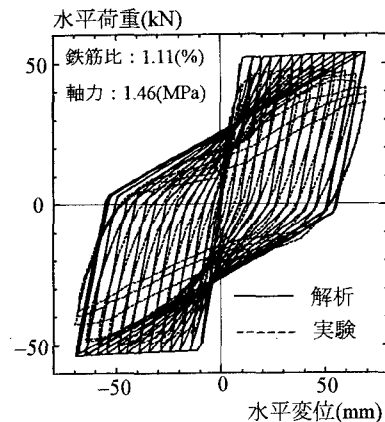


図-4 家村ら⁶⁾のRC供試体

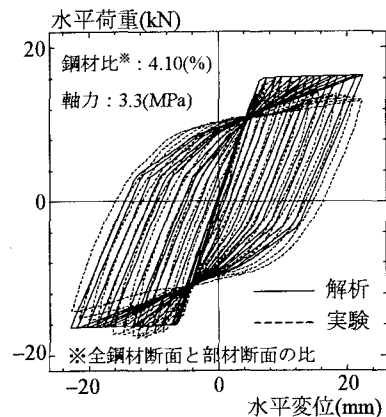


図-5 李ら²⁾のSRC供試体