

内巻き帯鉄筋を有する RC 柱の大変形領域における軸力の影響について

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○杉田 清隆
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 大澤 章吾
 東日本旅客鉄道株式会社 フェロー 築嶋 大輔

1. 目的

軸方向鉄筋の内側に円形スパイラル状の鋼材（以下、内巻き帯鉄筋）を配置した鉄筋コンクリート柱（以下、RC柱）は、このスパイラル鋼材に囲まれたコンクリートが圧縮力を負担し続けることで、通常の軸方向鉄筋の外側のみに帯鉄筋を配置した RC 柱と比較して、変形性能が飛躍的に向上することが確認されている。これまで、さまざまな実験変数において正負交番載荷実験を実施し、変形性能について確認してきた¹⁾²⁾が、今回、新たに実物大クラスの供試体において、軸力を実験変数とした正負交番載荷実験を実施し、最大荷重後の大変形領域における軸力の影響について検証したので報告する。

2. 実験概要

供試体の諸元および形状寸法を表-1 および図-1 に示す。供試体は、載荷装置への固定のためのフーチングを有する片持ち形式の柱部材とし、内巻き帯鉄筋は、円形スパイラル状に加工した細径異形 PC 鋼棒 (SBPDN1275/1420) を使用し、軸方向鉄筋に内接するように柱基部から 1D 区間に配置している。また、大変形領域における変形性能を確保するため、1D 区間に配置する外巻き帯鉄筋は直角フックによる定着とし、軸方向鉄筋の座屈により容易に外れ、軸方向鉄筋の座屈長を長くすることにより、疲労による鉄筋破断を生じにくくし、急激な耐力低下を避けるようにしている。1D 区間以外の区間（以下、一般区間）においては、この区間での破壊を避けるため、曲げ耐力に対するせん断耐力の余裕を十分確保できるように配置している。

柱断面寸法は、実構造物である鉄道用 RC ラーメン高架橋の柱断面と同等クラスとなるように 800 mm とし、引張鉄筋比 p_t 、せん断スパン a は、実構造物における一般的な範囲内で決定した。実験変数である軸力は、 1.0N/mm^2 と鉛直ジャッキの載荷能力から 4.0N/mm^2 とした。軸力以外の実験変数として、繰返し回数 n を 1 回と 3 回としている。

載荷方法は、軸力を一定とした静的正負交番載荷である。載荷パターンは、最外縁の軸方向鉄筋ひずみが材料試験から求めた降伏ひずみに達した変位を降伏変位 δ_y とし、 δ_y を基準として変位制御で載荷し、各載荷ステップにおいて正負 1 サイクル又は 3 サイクルずつ載荷した。1 δ_y 以降は、 δ_y の偶数倍の変位毎の載荷としている。

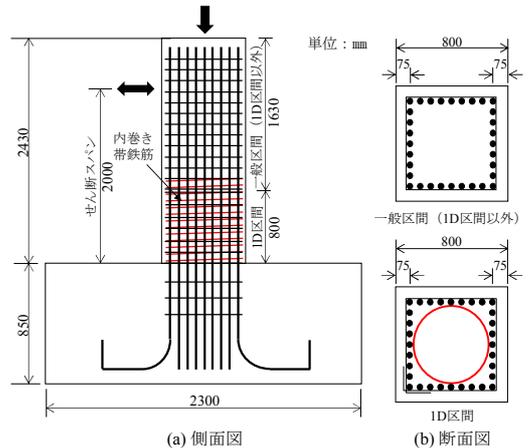


図-1 供試体の形状寸法（概要図）

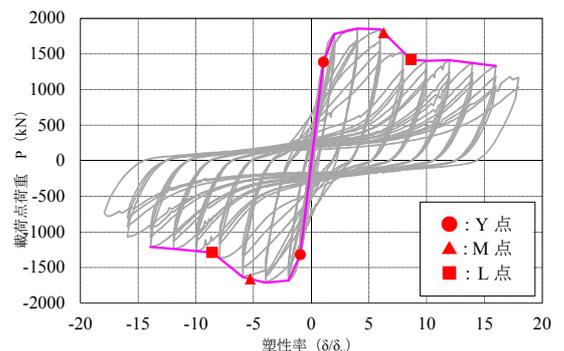


図-2 荷重-塑性率関係 (J-2)

表-1 供試体諸元

供試体名称	柱断面寸法 D (mm)	有効高さ d (mm)	せん断スパン a (mm)	軸方向鉄筋		内巻き帯鉄筋			外巻き帯鉄筋			軸圧縮応力度 (N/mm^2)	繰返し回数 n
				種類×本数	引張鉄筋比 p_t (%)	種類・ピッチ	帯鉄筋比 (体積比) p_s (%)	内巻き耐力比 V_y/V_{mu}	1D区間 種類・ピッチ	帯鉄筋比 (1D区間) p_w (%)	一般区間 種類・ピッチ		
J-1	800	725	2000	D32×32	1.232%	φ12.6-32	2.635%	4.61	D19-125	0.573%	D19-70	1.023%	1.00
J-2								4.48					3回
J-3								4.20					1回
J-4								4.37					3回

キーワード 鉄筋コンクリート柱、内巻き帯鉄筋、変形性能、軸力、正負交番載荷実験

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター 03-6276-1251

3. 実験結果

3. 1 荷重-塑性率 (δ/δ_y) 関係

載荷点の荷重-塑性率 (δ/δ_y) 関係の一例を図-2 に示す. 図中に既往の研究^{1) 2)} で提案している骨格曲線の変化点 Y 点 (軸方向鉄筋が降伏する点), M 点 (最大荷重を維持する点), L 点 (大変形領域において荷重を保持し始める点) を併記する. 実物大クラスの供試体においても, 最大荷重 ($6\delta_y$ 付近) 以降, かぶりコンクリートが剥落し, 荷重が一旦減少するが, L 点 ($10\delta_y$ 付近) 以降, 軸方向鉄筋に低サイクル疲労による破断が発生するまで一定荷重を保持することが確認できた.

3. 2 軸力の影響 (包絡線比較と考察)

軸力による影響を確認するため, それぞれ繰返し回数 1 回と繰返し回数 3 回における荷重-塑性率関係の包絡線比較を図-3, 図-4 に示す. なお, 繰返し回数 3 回の場合においては, 繰返し回数 1 回目のピーク値をプロットしている.

(1) 繰返し回数 1 回における包絡線比較 (J-1, J-3 供試体)

繰返し回数 1 回とした J-1, J-3 供試体の包絡線を図-3 に示す. 図中に骨格曲線の変化点 Y 点, M 点, L 点を併記する. 軸力が高い分 J-3 供試体の方が, コンクリートの圧壊の進展が早く, かぶりの剥落 (M 点) のタイミングも早くなる. また水平荷重 (耐力) は, Y 点, M 点において, 軸力の差分により水平荷重 (耐力) が大きい結果となるが, L 点以降の水平荷重 (耐力) は, 概ね同じ値で推移し, 低サイクル疲労による軸方向鉄筋の破断前まで水平荷重 (耐力) を保持している.

(2) 繰返し回数 3 回における包絡線比較 (J-2, J-4 供試体)

繰返し回数 3 回とした J-2, J-4 供試体の包絡線を図-4 に示す. 図中に骨格曲線の変化点 Y 点, M 点, L 点を併記する. 繰返し回数 1 回とした供試体と同様な傾向であり, L 点以降の水平荷重 (耐力) は, 概ね同じ値で推移し, 低サイクル疲労による軸方向鉄筋の破断前まで水平荷重 (耐力) を保持している.

大変形領域における水平荷重 (耐力) を保持し始める L 点の耐荷機構は, 内巻き帯鉄筋に拘束されたコアコンクリートと軸方向鉄筋のみで軸力および水平力を負担する耐荷機構となる. この時点で, 軸方向鉄筋は座屈し, 軸方向鉄筋のひずみレベルはひずみ硬化域に入っている. つまり, 軸方向鉄筋が負担する引張力は頭打ちの状況であるため, 軸力に違いによらず概ね同じ値で水平荷重 (耐力) を保持すると考えられる. 既往の研究¹⁾ で提案している L 点耐力の算定式に, ひずみ硬化を考慮した結果を表-2 に示すが, 軸力の違いによらず概ね同じ値となる.

4. まとめ

内巻き帯鉄筋を有する RC 柱の実物大クラスの供試体において, 正負交番載荷実験を実施し, 最大荷重後の大変形領域における軸力の影響について確認した結果を以下に示す.

- (1) M 点・L 点変位は, 軸力が高くなると小さくなる傾向にある. 一方で, 大変形領域 (L 点以降) における水平荷重 (耐力) を保持する性能は, 軸力による影響は少なく, 安定して水平荷重 (耐力) を保持する.
- (2) L 点耐力の既往の提案式に, ひずみ硬化を考慮することで実験値を精度よく評価できる.

参考文献

1) 山田章史, 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 36, No. 2, pp127-132, 2014. 7
 2) 杉田清隆, 井口重信, 大澤章吾, 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の変形性能に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 37, No. 2, pp127-132, 2015. 7

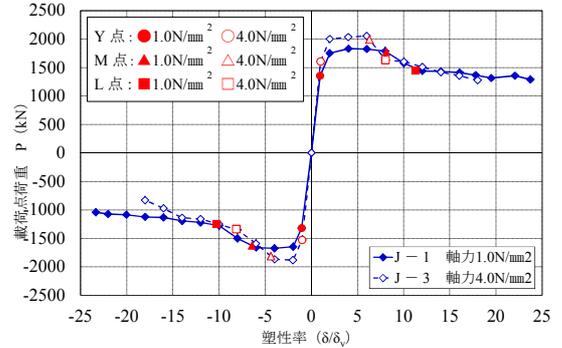


図-3 包絡線比較 (繰返し回数 1 回)

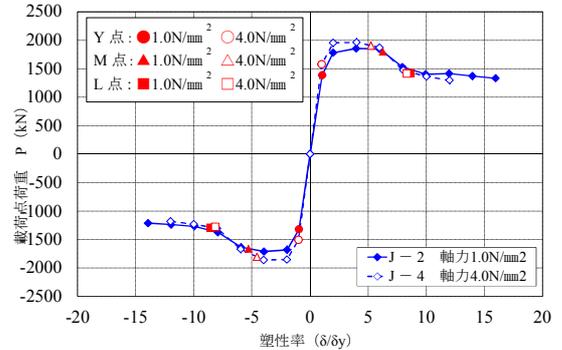


図-4 包絡線比較 (繰返し回数 3 回)

表-2 L 点耐力算定結果

試験体 No.	実験値 (kN)	計算値 (kN)	実験値/計算値
J-1	1325.2	1414.2	0.94
J-2	1357.3	1409.7	0.96
J-3	1485.1	1430.8	1.04
J-4	1347.4	1409.2	0.96