

PRC 造梁曲げ破壊型骨組の梁部材における復元力特性の評価に関する研究

正会員 ○星野 和也 1*
同 北山 和宏 2**

PRC 構造 梁曲げ破壊 柱梁部分架構
最大耐力 変形性能 ヒンジ領域長さ

1. はじめに

現在のプレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)造建物の設計は「プレストレストコンクリート(PC)設計施工基準・同解説¹⁾」以来の終局強度型設計であり、性能評価型設計法への移行が課題である。性能評価型設計法を確立する為には、部材の耐震性能を適切に把握する必要がある。

そこで本研究では既往研究^{2)~7)}におけるプレストレスト鉄筋コンクリート造梁曲げ破壊型の柱梁部分架構試験体をもちいて、復元力特性の評価方法の検討を行った。具体的には、最新の評価方法⁸⁾における最大耐力時の梁曲げモーメント M_u と梁部材角 R_u の評価精度を実験値と比較することで検証した。

2. 対象試験体について

本研究では、既往の静的正負交番繰り返し載荷実験より、梁曲げ破壊した PRC 柱梁十字形部分架構の平面試験体 16 体、ト形部分架構の平面試験体 2 体、スラブ付十字形部分架構の立体試験体 2 体の計 20 体を対象とした。本研究ではひずみゲージや変位計の測定値等を用いた検討が不可欠なため、対象試験体は詳細な測定結果を利用できる 20 体に限られた。図-1(a, b, c)に試験体 20 体の鋼材係数 q_{pr} , 使用 PC 鋼材種, コンクリート圧縮強度 σ_B のそれぞれのヒストグラムを示す。鋼材係数 q_{pr} は 0.02~0.10、PC 鋼材は異形 PC 鋼棒、PC 丸鋼棒、PC 鋼より線、細径異形 PC 鋼棒をそれぞれ用いており、コンクリート圧縮強度は 58.8~84.6(MPa)である。また、ト形試験体における梁幅 b と梁せい D はそれぞれ 300mm と 380mm、十字形試験体における梁幅 b と梁せい D はそれぞれ 250mm と 400mm に統一されている。

3. 最大耐力点の評価方法

図-2 に平面保持を仮定した場合の最大耐力時における梁部材断面の断面力分布を示す。最大耐力時の梁曲げモーメント M_u は梁断面の圧縮縁からのモーメントを算出することによってもとめる。式(1)に評価式⁸⁾を示す。

$$M_u = T_{pc} \cdot d_{pa} + T_{py} \cdot d_{pb} + T_{sy} \cdot d_t - C_{sy} \cdot d_c - (T_{pc} + T_{py} + T_{sy} - C_{sy}) \cdot k_2 \cdot X_n \quad (1)$$

最大耐力時の梁部材角 R_u は、ヒンジ部の塑性回転変形によるたわみに非ヒンジ部の弾性変形によるたわみを加算することによって算出する。式(2)に柴田,岸本ら¹⁰⁾によ

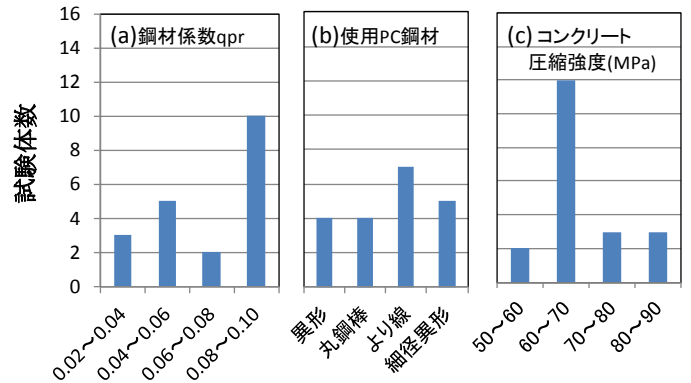


図-1 対象試験体のヒストグラム

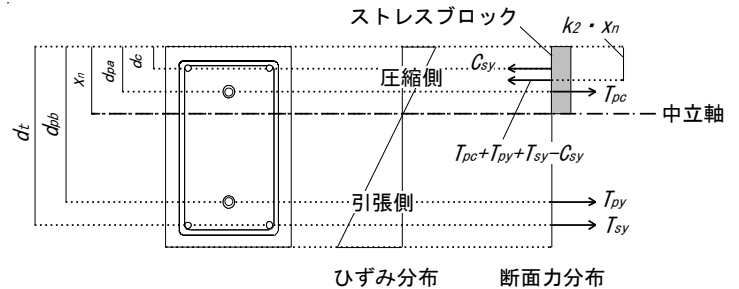


図-2 最大耐力時における梁部材断面の断面力分布
・中立軸位置 $X_n = (q_{pr}/k_1 k_2) D$ ここで、 q_{pr} :鋼材係数 k_1, k_2, k_3 :コンクリートストレスブロック係数⁹⁾
・鋼材係数 $q_{pr} = (T_{py} + T_{pc} + T_{sy} - C_{sy}) / (b D \sigma_B)$ ここで、 T_{py} :引張側 PC 鋼材降伏荷重 T_{pc} :圧縮側 PC 鋼材有効張力 T_{sy} :引張側鉄筋降伏荷重 C_{sy} :圧縮側鉄筋降伏荷重

図-2 最大耐力時における梁部材断面の断面力分布

り提案されたヒンジ部の塑性回転角 R_h の評価式を、式(3)に梁部材角 R_u の評価式⁸⁾を示す。

$$R_h = \{ (\epsilon_{py} - \epsilon_{ori}) / F \} / (d_{pb} / D - q_{pr} / 2 - 0.25) \quad (2)$$

$$R_u = \{ R_h \cdot (L_o - l_{eq} / 2) + \delta_e \} / L_o \quad (3)$$

ϵ_{py} は PC 鋼材の降伏ひずみ、 ϵ_{ori} は PC 鋼材有効プレストレスト力時のひずみ、 q_{pr} は鋼材係数、 d_{pb} はコンクリート圧縮縁から引張側 PC 鋼材の重心位置までの距離、 F はひずみ適合係数、 L_o は梁の内法スパン、 l_{eq} は梁の等価塑性ヒンジ長さ、 δ_e は弾性変形による梁のたわみ量を表わす。ひずみ適合係数 F ¹¹⁾は、PC 鋼材の付着すべりを便宜的に考慮する為に使われる係数である。

4. 結果

4.1 最大耐力点における評価精度

図-3(a, b)に最大耐力時の梁曲げモーメント M_u と梁部材角 R_u の計算値と実験値の比較を示す。試験体 20 体の計 38 本の梁について、正載荷時、負載荷時それぞれの曲げモーメント M_u と部材角 R_u を用いた。梁曲げモーメント M_u

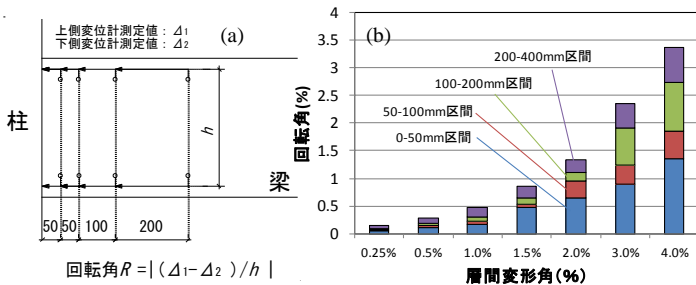


図-4 変位計位置と回転角分布の一例

においては全ての計算値が実験値を安全側に評価した。また、実験値を計算値で除した値の平均値は 1.12、標準偏差は 0.06 であり、精度は良好であった。梁部材角 R_u においては 76 個のデータの内 68 個の計算値が実験値を下回った。また、実験値を計算値で除した値の平均値は 1.85、標準偏差は 0.65 であり、評価の精度は良好でなかった。また、スラブ付十字形の試験体では 8 個のデータの内 6 個の計算値が実験値を上回った。

4.2 ヒンジ領域長さ l_h についての検討

以上の検討では、等価塑性ヒンジ長さ l_{eq} は梁せい D と等しいとして評価を行った。各試験体の上端引張時と下端引張時それぞれについてヒンジ領域長さ l_h を実験結果からもとめ、等価塑性ヒンジ長さ l_{eq} に置き換えることで再評価を試みた。実験におけるヒンジ領域長さ l_h は最大耐力時までの梁主筋及び PC 鋼材の降伏領域、梁の危険断面付近の各領域の回転角分布の 3 つの特性に着目して判断した。梁主筋及び PC 鋼材の降伏領域は各鋼材に貼付したひずみゲージの測定値から判断し、梁危険断面付近の各領域の回転角分布は梁危険断面から梁の自由端にかけて 0-50mm 区間, 50-100mm 区間, 100-200mm 区間、及び 200-400mm 区間において梁横に取り付けた変位計(図-4(a)を参照)の測定値を用いてもとめた。そのため、この実験におけるヒンジ領域長さ l_h の判断は 50mm, 100mm, 200mm、及び 400mm の 4 つだけを離散的に判断したことに留意が必要である。図-4(a, b)に変位計位置と回転角分布の一例を示す。この例では変位計を取り付けた全区間での回転変形が梁の変形とともに増大し、梁主筋においても梁危険断面から 400mm 位置までの降伏を確認した。以上より、この例ではヒンジ領域長さ l_h を 400mm と判断した。図-5(a, b)に実験値におけるヒンジ領域長さ l_h の算出結果とこれらを用いて評価をおこなった場合の最大耐力時梁部材角 R_u の計算値と実験値の比較を示す。この場合の最大耐力時梁部材角 R_u においては 76 個のデータの内 73 個の計算値が実験値を下回った。また、実験値を計算値で除した値の平均値は 2.20、標準偏差は 0.75 となり、評価の精度はさらに悪化し、ほとんどの計算値が実験値を過小

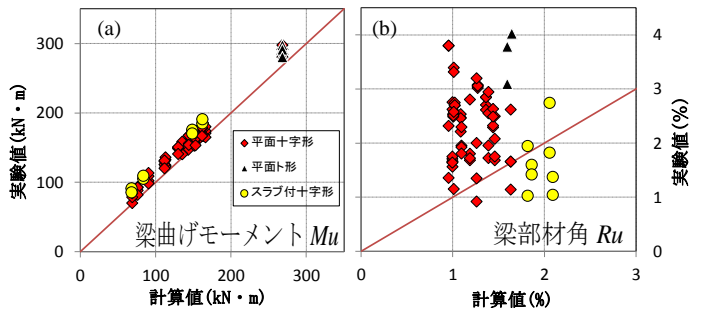


図-3 既存評価式における計算値と実験値の比較

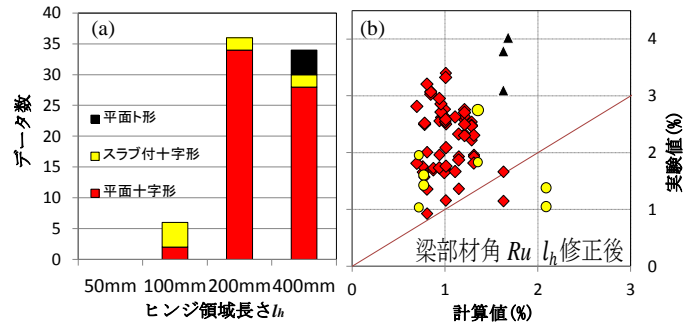


図-5 ヒンジ領域長さ l_h の修正と計算値と実験値の比較

評価した。これは岸本らが提案したヒンジ領域回転角 R_h の評価式が、十字形試験体における柱梁接合部での梁主筋の抜け出しによる付加変形を陽な形で考慮できないことが一因であると考えられる。しかし、ト形試験体においても全ての計算値が実験値を下回った。また、実験値を計算値で除した値の平均値は 2.26、標準偏差は 0.24 であり、評価の精度は良好でなかった。

5. まとめ

- (1) 復元力特性の既存の評価方法における最大耐力点の評価は、梁曲げモーメント M_u において精度は良好であり、梁部材角 R_u において精度は良好でなかった。
- (2) 実験値よりもとめたヒンジ領域長さ l_h を用いて最大耐力時梁部材角 R_u の評価をおこなった場合、等価塑性ヒンジ長さ l_{eq} を梁せい D と等しいと仮定した場合よりも、評価の精度は良好でなかった。

[参考文献]

- 1) 日本建築学会: プレストレストコンクリート(PC)設計施工基準・同解説, 第4版, 1998年11月
- 2) 村上, 北山: プレストレスト鉄筋コンクリート骨組における梁部材の耐震性能評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol. 34, No. 2, 2012, pp. 451-456
- 3) 矢島, 北山: 梁曲げ破壊型プレストレストコンクリート十字型部分骨組の耐震性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol. 25, No. 2, 2010, pp. 511-516
- 4) 島, 北山: スリブ継手で柱接合したプレキャストPRC骨組の力学特性に関する実験的研究(柱梁接合部と骨組, 構造IV), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010年9月 pp. 823-824
- 5) 田島, 北山ら: プレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) 柱・梁十字型部分架構の耐震性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 2, 2006年7月, pp. 343-348.
- 6) 田島, 北山: PRC 柱梁十字型部分架構の耐震性能評価に関する実験的研究(その1 実験概要および破壊性状) 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2008年9月 pp. 157-158
- 7) 森口, 島ら: 梁曲げ破壊型のスラブ付きプレストレスト鉄筋コンクリート骨組の耐震性能 (その1: 実験概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造IV, 2013年8月, pp. 893-894.
- 8) 北山, 溝口, 岸本ら: 3. 部材性能評価法, 日本建築学会大会 PC 部門パネルディスカッション「プレストレストコンクリート建築物性能設計・施工指針(案)制定に向けて」資料, pp24-40, 2011年8月
- 9) Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-08) and Commentary, American Concrete Institute, 2008
- 10) 柴田, 岸本: 鋼材種および変形量を考慮したPC梁部材の終局曲げ耐力算定法, 第17回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp165-170, 2008
- 11) 六車, 渡辺ら: アンボンドPC部材の曲げ終局耐力に関する研究, プレストレストコンクリート, vol. 26, No. 1, pp. 10-16, 1984. 1

*1 首都大学東京大学院, 博士前期課程

*1 Graduate Student, Tokyo Metropolitan University

*2 首都大学東京 都市環境科学研究科建築学域教授, 工学博士

*2 Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr. Engineering