

R/C造柱部材の降伏変形と等価粘性減衰の評価法

正会員 ○加藤 大介*
同 中村 友紀子*

R/C造柱 降伏変形 等価粘性減衰定数
付着指標 耐震性能評価指針

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針¹⁾では梁の性能評価式として、降伏変形と等価粘性減衰定数の評価式が示されているが、柱には対応していない。そこで、本稿では梁の式を柱に転用する方法を示す。

2. 降伏変形 δ_y の評価法

2.1 降伏変形 δ_y 実験値のモデル化

検討には、筆者らが行った既往の柱試験体 22 体の実験データ²⁾を用いた。図-1 は降伏変形 δ_y の実験値の求め方を図示したものである。ひび割れ強度 Q_c は主筋を考慮した断面から求めた曲げひび割れ強度計算値より求め、弾性剛性 S_e は主筋を考慮した断面から求めた曲げ剛性計算値とせん断剛性計算値から求めた。また降伏点はひび割れ点を通る直線と、最大点とその前のステップを通る直線の交点とし、実験値包絡線と実験値モデルの最大点までの吸収エネルギーが等しくなる点とした。

2.2 梁部材の降伏変形 δ_y 計算値

北山らは降伏変形 δ_y を、i) 曲げ変形 δ_{yf} 、ii) せん断変形 δ_{ys} 、iii) 主筋の柱・梁接合部からの抜け出しによる付加変形 δ_{ypj} 、iv) 部材のひび割れや主筋に沿った付着劣化による付加変形 δ_{yb} (歪シフトによる付加変形)、の 4 成分によって構成されると考え、各成分を精度よく評価することを試みた¹⁾。柱部材では主筋の接合部からの抜け出しによる変形 δ_{ypj} が梁部材と異なってくるが、式(1)に主筋の抜け出し変形のもととなる主筋の抜け出し量 ΔS_{yb} を評価する式を示した (梁下端筋と上端筋の 2 通りがあるが、ここでは下端筋を示した)。

$$\Delta S_{yb} = \left(0.696 \frac{u_b}{\sigma_B^{2/3}} + 0.463 \right) \cdot \frac{\epsilon_y \cdot D_c}{2} \quad (1)$$

u_b : 接合部内で存在しうる平均最大付着応力度 (N/mm^2)
($= (1 + \gamma) \sigma_y d_b / 4D_c$) (他の記号は原文献を参照)

図-2 は降伏変形 δ_y の実験値と梁用の計算値を比較したものである。ただし、iii) の主筋の柱・梁接合部からの抜け出しによる付加変形 δ_{ypj} を求める際、主筋の付着性能は梁下端筋と同等と考え、抜け出し量 ΔS_y の値には梁下端筋用の値 ΔS_{yb} (すなわち、式(1)) を用いた。また、柱試験体の場合、接合部の反対側から圧縮力や引張力を受けないため、複筋比 γ の値を 0 とした。(すなわち、柱主筋の定着端部の歪をゼロとした。) また D_c の値は基礎梁内の柱主筋定着長さとした。図を見ると計算値が若干過大評価されていることがわかる。

2.3 柱の降伏変形の評価式 (提案式)

2.2 で述べた i) ~ iv) の成分のうち、梁と柱では、iii) の主筋の抜け出しによる付加変形 δ_{ypj} の部分が大きく異なる。そこで、この部分に着目して検討する。まず算出に用いる柱主筋の基礎からの抜け出し量 ΔS の精度を調べた。柱主筋の基礎梁定着部に取り付けた歪ゲージにより求められる基礎梁内での主筋の伸び量を、柱主筋の抜け出し量 ΔS 実験値と考える。この実験値と計算値を比

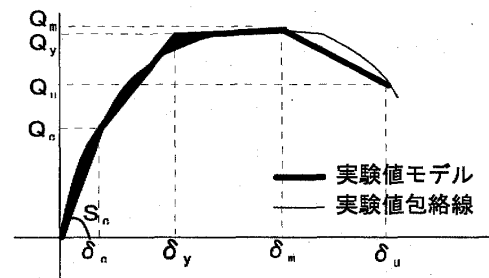


図-1 実験値のモデル化説明図

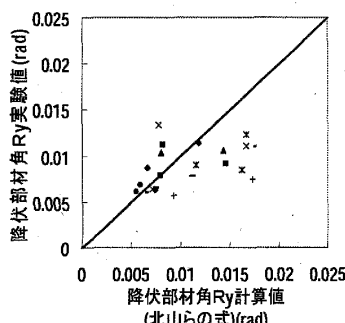


図-2 降伏部材角実験値と計算値(北山らの式)の比較

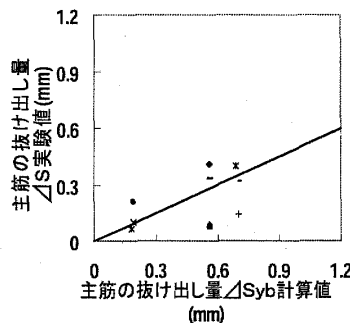


図-3 主筋の抜け出し量実験値と計算値(北山らの式)の比較

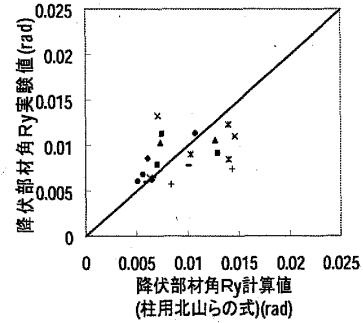


図-4 降伏部材角実験値と計算値(提案式)の比較

較したものが図-3 である。柱主筋の抜け出し量 ΔS は、計算値が実験値を 2 倍程度に過大評価していることがわかる。これは、梁の場合、接合部が小さく、接合部のひび割れなどの損傷も激しく、また反対側の梁から押されるため主筋の抜け出し量が大きくなるが、柱試験体の場合はそのようなことがないため、主筋の抜け出し量が小さくなるためである。すなわち、剛強な基礎に北山らの式を適用するのは過大評価といえる。

そこで、柱脚（柱試験体）に適用するために柱主筋の抜け出し量 ΔS の修正を試みる。本来であれば、主筋の抜け出し量 ΔS をより精度よく求めるべきであるが、ここでは設計での簡便さを優先し、極端な場合を考えた。すなわち、基礎内においては付着の劣化による抜け出しは考えず、式 (1)における主筋の付着応力度を考慮している括弧内の第 1 項を 0 とし、柱脚部に適用した。

修正した柱用主筋の抜け出し量 ΔS の式を用いて、計算し直した結果得られた降伏変形 δ_y を部材角に直して、実験値と比較したグラフを図-4 に示す。図を見ると計算値は実験値をよく表している。

3. 等価粘性減衰定数 h_{eq} の評価法

履歴減衰によるエネルギー吸収性能は、等価粘性減衰定数 h_{eq} で表すことができる。実験値は、 W_e はその変位までの最大耐力を用いて計算し、また ΔW は同変位での 2 回目のサイクルの値を用いた。

$$h_{eq} = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{\Delta W}{W_e} \right) \quad (2)$$

北山らは、梁の等価粘性減衰定数の評価式を提案している¹⁾ 式(3)。

$$h_{eq}(\text{梁}) = \left(0.09 + \frac{0.1}{B_1^2} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}} \right) \right) \quad (3)$$

図-5 はこの式を柱に適用して実験値と比較したものである ($\mu > 1$ のみ図示)。 B_1 は付着指標 ($=u_{b,av} / \tau_u$) であるが (詳細は原文献を参照)、このときの $u_{b,av}$ は式(1)を

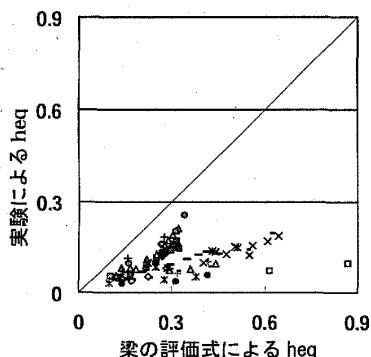
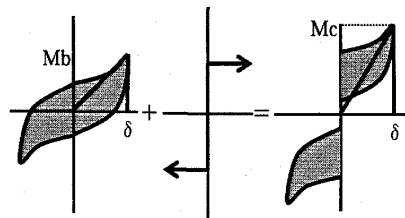


図-5 実験式と梁の評価式の比較



(a) 梁 (b) 軸力の効果 (c) 柱
図-6 履歴によるエネルギー吸収

柱に適用したときの u_b と同じ値を用いた (図-2 作成時の u_b)。なお、塑性率 μ は 2.1 の実験値 δ_y を用いて求めた。この評価式では過大評価になっていることがわかる。これは軸力の効果を考慮していないためである。

図-6 は等価粘性減衰に及ぼす軸力の影響を模式的に表したものである。すなわち、図(b)に示したように、軸力は仕事をしないと考える。したがって、柱の荷重-変形関係は図(c)に示すように、エネルギー吸収は変わらず、強度のみ変化することになる。このときの等価粘性減衰定数を定式化すると式(4)が得られる。すなわち、軸力を考慮する曲げ終局強度 M_c に対する軸力を考慮しない曲げ強度 M_b の比を $\gamma (=M_b/M_c)$ という係数を導入すると、軸力の影響を考慮した等価粘性減衰定数は γ 倍になる。

$$h_{eq}(\text{柱}) = h_{eq}(\text{梁}) \cdot \gamma \quad (\gamma = M_b/M_c) \quad (4)$$

式(4)による計算値と実験値の比較を図-7 に示す。なお、軸力を考慮した曲げ強度は釣り合い軸力以上では曲げ強度が低下する精算式を用いた。ばらつきがあるものの図-5 と比較して精度が向上していることが分かる。

4. まとめ

(1) 梁の降伏変形評価式を柱脚に適用する場合、基礎内においては付着の劣化による抜け出しを 0 と考えることにより、適用可能であった。

(2) 梁の等価粘性減衰定数を柱部材に適用する場合、軸力の影響を考慮した係数を掛けることことで精度が改善されることがわかった。

謝辞 本研究の遂行には、平成 14 年度新潟大学大学院生佐々木潤一郎氏、同卒業研究生坂本徳雄氏に多大な尽力をいただいた。

参考文献 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針・同解説 (案)、2003 年

2) 加藤大介、鈴木広孝、芝譲、松田壮史：RC 柱部材の復元力特性モデルの検討、第 18 回コンクリート工学年次論文報告集 18-2、1996 年、pp. 743-748

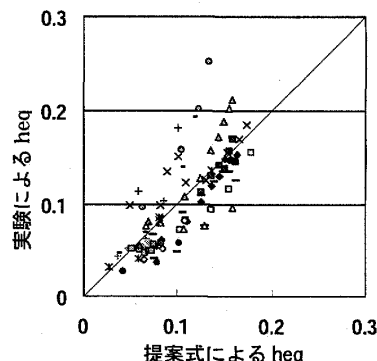


図-7 実験式と提案式の比較