

鉄筋コンクリート十字形柱・梁単位架構の  
等価粘性減衰定数の定量評価

正会員 ○ 北山和宏

鉄筋コンクリート 柱梁接合部 等価粘性減衰定数  
付着 梁主筋 エネルギー吸収

1. はじめに 鉄筋コンクリート骨組内を通し配筋される梁主筋の柱・梁接合部内での付着性能は地震時の繰り返し荷重によって劣化することが多い。このため柱・梁接合部を含む十字形単位架構の履歴形状はやせた逆S字形となり、エネルギー吸収性能の低下が生じる。

そこで十字形内柱・梁接合部試験体による実験結果を用いて、等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  を変位塑性率  $\mu$  および梁主筋の柱・梁接合部内での付着性状を表わす指標（後述）によって定量化することを試みた。

2. 検討に使用した試験体 主に1985年以降の本大会大会学術講演梗概集、構造工学論文集およびコンクリート工学年次論文集などから、十字形単位架構を用いた実験研究のなかで梁主筋が内柱・梁接合部を通して配筋され、梁主筋の降伏が先行した試験体108体を選定した。梁降伏後に柱・梁接合部が破壊した試験体も含めたが、その場合には接合部破壊が顕著になった以降のデータは採用しない。等価粘性減衰定数は層せん断力-層間変位履歴曲線における同一変位での繰り返し荷重の第2サイクルの数値で、論文中の図表から読み取った。変位塑性率を算定する際の降伏変形は層間変形角2%時の層せん断力を3/4倍した耐力に対応する変位を4/3倍したものとした。主要な試験体諸元の範囲は梁主筋径：D10～D25、梁主筋降伏強度：311～858 N/mm<sup>2</sup>、コンクリート圧縮強度：24～118 N/mm<sup>2</sup>、梁の引張り鉄筋比：0.54～3.13%、柱軸力比 0～0.32、である。

以上に基づき収集した等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  と変位塑性率  $\mu$  との関係を図1に示す。塑性率とともに等価粘性減衰定数が增大する傾向は認められるが、ばらつきが大きい。同図に等価線形化法に基づく限界耐力計算において基本的な減衰評価法である(1)式を破線で示した。

$$h_{eq} = \frac{1}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}} \right) \quad \dots(1)$$

## 3. 付着指標の定義および接合部入力せん断力の影響

梁主筋の接合部内付着性状を表わす付着指標  $B_f$  は、接合部内の梁主筋に沿って存在し得る仮定の最大付着応力度に対する付着強度の比と定義した (2)式)。付着指標  $B_f$  が大きいほど接合部内付着劣化は生じやすい。

$$B_f = \frac{u_{b,av}}{\tau_u} \quad \dots(2)$$

$u_{b,av}$  : 梁主筋が柱面の一端で引張り降伏し、他端でコンクリートの負担圧縮力を0として断面での力の釣り合いが

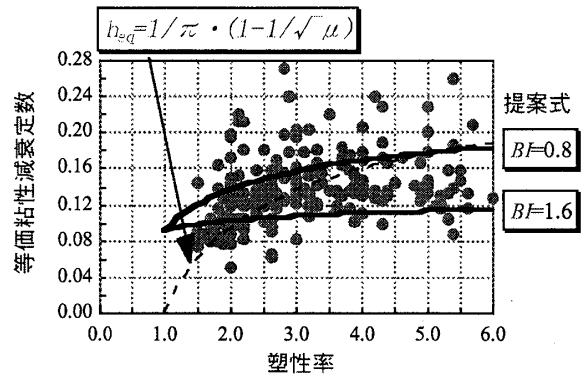


図1 等価粘性減衰定数と塑性率との関係

ら定まる圧縮力を負担するときの接合部内平均付着応力度を求め、これを上端筋と下端筋とで平均した値であり、想定し得る付着応力度の最大値を表わす。すなわち、

$$u_{b,av} = \frac{3 + \gamma}{8} \cdot \frac{\sigma_y \cdot d_b}{D_c} \quad \dots(3)$$

ここで  $\gamma$  : 梁断面の複筋比で1以下、 $\sigma_y$  : 梁主筋降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $d_b$  : 梁主筋径、 $D_c$  : 柱全せいである。

$\tau_u$  : 梁主筋の接合部内での付着強度で、靱性保証型耐震設計指針[1]に記載されたものを使用する。

$$\tau_u = 0.7 \left( 1 + \frac{\sigma_c}{\sigma_B} \right) \sigma_B^{2/3} \quad (\text{単位: N/mm}^2) \quad \dots(4)$$

ここで、 $\sigma_c$  : 柱の圧縮軸応力度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $\sigma_B$  : コンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)、である。

つぎに、接合部せん断性状が復元力履歴形状に与える影響を検討した。梁降伏時の接合部入力せん断応力度は層せん断力を無視すると  $(A_{st} + A_{sb}) \cdot \sigma_y / (b_j \cdot D_c)$  に比例する。ここで、 $A_{st}$  : 梁上端筋断面積、 $A_{sb}$  : 梁下端筋断面積、 $b_j$  : 接合部有効幅で文献[1]に従って算定する。この項を  $u_{b,av}$  ((3)式) を用いて表すと以下となる。

$$\frac{(A_{st} + A_{sb}) \cdot \sigma_y}{b_j \cdot D_c} = \frac{2}{3 + \gamma} \cdot u_{b,av} \cdot \frac{\pi d_b (n_t + n_b)}{b_j} \quad \dots(5)$$

ここで、 $n_t$ 、 $n_b$  : 上下の梁主筋径を同一としたときの上下端筋および下端筋の本数、である。すなわち梁降伏時の接合部入力せん断力と梁主筋付着応力度とは密接な関係にある。そこで、(5)式の右辺の項  $\pi d_b (n_t + n_b) / b_j$  と塑性率4のときの等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  との関係を図2に示す。これより、項  $\pi d_b (n_t + n_b) / b_j$  と等価粘性減衰定

数とは何ら相関がないことから、接合部入力せん断力が等価粘性減衰定数に与える影響は付着指標を考慮することによって包括できると考えてよい。ここで選定した試験体は梁降伏が先行したもので、接合部入力せん断力は比較的小さかったことが主因である。

4. 重回帰分析による等価粘性減衰定数の定量化

変位塑性率  $\mu$  および付着指標  $B_I$  の2変数を用いた重回帰分析で得た等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  を下式に示す。

$$h_{eq} = 0.09 + \frac{0.1}{B_I^2} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}}\right) \quad \dots(6)$$

(6)式による計算値と実験値との相関係数は0.66であった。(6)式において付着指標  $B_I$  を0.8 および1.6 としたときの計算値を図1に実線で示した。これより、柱・梁接合部内での梁主筋付着がかなり良好な場合 ( $B_I$  が0.8 のとき) に塑性率4以上となると、等価線形化法による計算値 (1式) とほぼ一致することがわかる。

塑性率2、4および5に対応する等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  と付着指標  $B_I$  との関係を図3に示す。各塑性率ごとに(6)式による回帰曲線を実線で示した。また(1)式による値を破線で示した。各塑性率ごとの計算値および実験値との相関係数と変動係数は、塑性率2のとき0.50と26.9% (試験体数65)、塑性率4のとき0.56と18.3% (試験体数46)、塑性率5のとき0.72と16.5% (試験体数27) であった。等価線形化法による計算値 (破線) は、塑性率2のときには提案(6)式の下限值になるのに対して、塑性率4以上では付着指標  $B_I$  が0.8以上では提案値 (実線) を上回った。実験では塑性率4程度での繰り返し載荷時には、柱・梁接合部内での梁主筋付着は既に劣化していることが多いので、このような状態下では(1)式による等価粘性減衰定数の評価は過大であると判断できる。

5. まとめ 同一変位での繰り返し載荷の第2サイクルにおける等価粘性減衰定数を(6)式のように付着指標と変位塑性率の関数として定量化した。D-Tri.モデルを用いた等価線形化法による等価粘性減衰定数の計算値は、接合部内での梁主筋付着劣化を生じる場合 ( $B_I \geq 1$ ) で塑性率4程度以上のときには実験値を過大評価した。

謝辞：本研究は本会「RC建物の限界状態と性能評価小委員会」(主査：壁谷澤寿海東大教授)での作業の一環である。

参考文献：[1] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説、1999。

検証用試験体の文献：小林ほか、大会、1983、pp.1819-1820。小林ほか、JCI年次、1984、pp.653-656。山野辺ほか、大会、1985、pp.155-156。北山ほか、大会、1985、pp.293-294。遠藤ほか、大会、1986、pp.93-94。林ほか、大会、1986、pp.117-120。木村ほか、大会、1986、pp.153-154。岩倉ほか、大会、1986、pp.173-174。伊藤ほか、大会、1987、pp.281-282。戸田ほか、大会、1987、pp.349-350。石橋ほか、大会、1987、pp.321-322。林ほか、大会、1987、pp.615-618。野口ほか、大会、1987、pp.627-628。北山ほか、JCI年次、1988、pp.491-496。草間ほか、大会、1989、pp.463-464。市川ほか、大会、1989、pp.465-468。塩原ほか、大会、1990、pp.357-360。井上ほか、大会、1990、pp.379-380。川崎ほか、大会、1991、pp.579-582。中村ほか、大会、1991、pp.583-586。福本ほか、大会、1991、

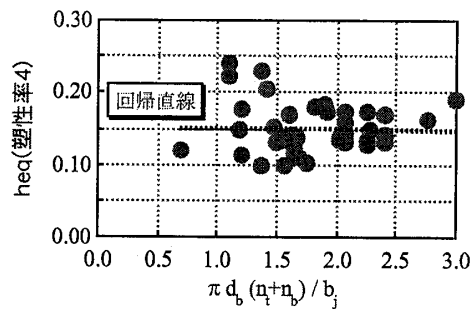


図2 接合部入力せん断力のheqに対する影響

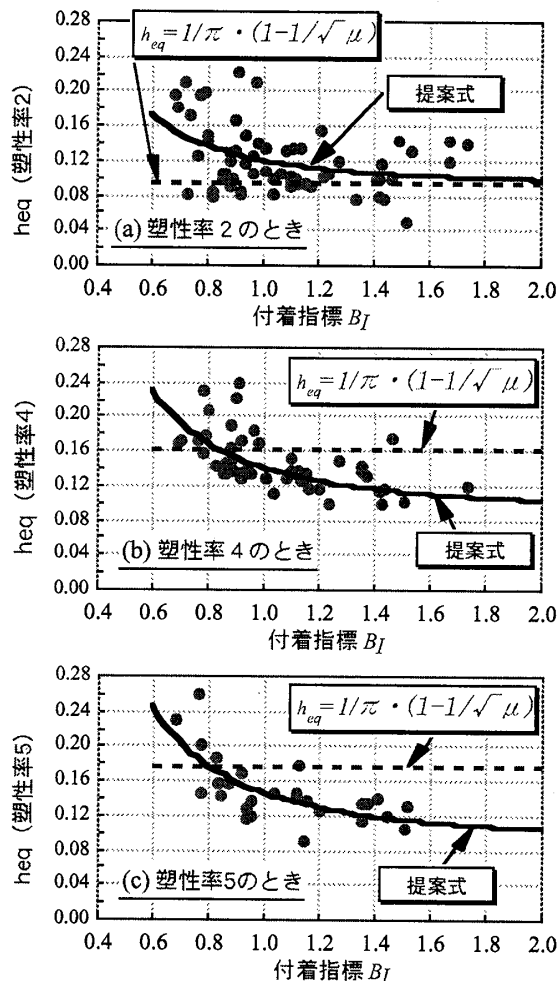


図3 等価粘性減衰定数と付着指標との関係

pp.893-894。寺岡ほか、大会、1992、pp.253-254。柏崎ほか、JCI年次、1992、pp.397-400。張ほか、大会、1992、pp.437-438。早川ほか、JCI年次、1992、pp.437-440。麻生ほか、JCI年次、1993、pp.553-558。角ほか、JCI年次、1993、pp.559-564。林ほか、JCI年次、1993、pp.583-588。青山ほか、大会、1993、pp.835-838。黒澤ほか、大会、1994、pp.159-160。平松ほか、大会、1994、pp.493-494。黒瀬ほか、大会、1994、pp.499-500。姜ほか、構造工学論文集、1996、pp.169-179。田畑ほか、大会、1996、pp.673-674。矢下ほか、大会、1996、pp.841-844。寺岡、フジタ技術研究所報、1997年1月、pps.505。小田ほか、JCI年次、1997、pp.993-998。後藤ほか、大会、1998、pp.597-600。荒川ほか、大会、1999、pp.943-944。略称：大会-AIJ学術講演梗概集、JCI年次-コンクリート工学年次論文報告集

東京都立大学大学院工学研究科助教授・工学博士

Associate Professor, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University, Dr.Eng.