

# 梁曲げ破壊するプレストレスト鉄筋コンクリート構造の 十字形部分架構における梁部材の等価粘性減衰定数

正会員 田島祐之<sup>1\*</sup>  
正会員 北山和宏<sup>2\*\*</sup>

PRC 構造 十字形部分架構 等価粘性減衰定数  
PC 鋼材付着 梁曲げ破壊 エネルギー吸収性能

1.はじめに 柱・梁接合部を含む十字形単位架構において、鉄筋コンクリート(RC)構造では、エネルギー吸収性能を評価する指標の一つである等価粘性減衰定数 $h_{eq}$ を変位塑性率 $\mu$ および通し配筋された普通鉄筋(梁主筋)の柱梁接合部内での付着性状を表す指標 $B_l$ によって、定量化した<sup>1)</sup>。一方で、プレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)およびプレストレストコンクリート(PC)構造では、プレストレス導入後にシース管中の空隙にグラウトモルタルを注入してPC鋼材とコンクリートとの間に付着を付与すると同時に、PC鋼材を防錆保護する。グラウトの注入の有無(正確に言えば、コンクリート、シース管、グラウトおよびPC鋼材による材料の組合せ)により、PC鋼材降伏時変形、梁部材残留変形及びエネルギー吸収性能は大きく変化する。さらにPRC構造において、文献 2), 3)で示されたように、部材断面の曲げ強度に対するPC鋼材の寄与率(プレストレス率)は、最もエネルギー吸収性能に影響を与える因子である。

そこで本研究では、RC~PRC~PC構造を包括し、十字形部分架構の梁部材を対象とした等価粘性減衰定数 $h_{eq}$ の評価手法を提案することを目的とする。その際、PC鋼材周りの付着性状を評価する付着指標 $B_{lpt}$ を提案し、プレストレス率、梁主筋付着指標 $B_l$ 、PC鋼材付着指標 $B_{lpt}$ および塑性率 $\mu$ を用いて $h_{eq}$ を定量化した。

2.検討に使用した試験体 PRC構造 8 体およびPC構造 3 体の梁曲げ破壊した実験結果<sup>4)-6)</sup>を用いた。全 11 体の内、7 体は引張側梁主筋およびPC鋼材共に降伏(BY破壊)し、4 体はPC鋼材が降伏せずに梁付け根の圧縮側コンクリートが圧壊(B破壊)した。は 0.36~1.0( =0 はRC構造、 =1.0 はPC構造を示す)を有し、コンクリート圧縮強度は 59~77(MPa)であり、グラウト圧縮強度は 54~65(MPa)である。

実験結果は、梁曲げ破壊した十字形部分架構の梁せん断力-梁たわみ(梁端支持点のたわみは、柱の埋込ボルトに治具を取付け、梁端支持部との鉛直変位を直接測定した)の関係の履歴ループを用いた。等価粘性減衰定数 $h_{eq}$ は梁せん断力-梁部材角関係の履歴より、同一変形での繰返し載荷時の第二サイクルのループより算出した。降伏時変形は、剛性の急激な低下点と定義した。BY破壊では、PC鋼材の降伏した点が降伏時変形に相当し、その直後の剛性は初期弾性剛性の 6%以下であった。これに対してB破壊では、明確な剛性急変点が見られなかったため、BY破壊にならって接線剛性が初期弾性剛性の 6%以下の点を降伏時変形とした。塑性率は各第二サイクルのピーク時変形を降伏時変形で除した値を用いた。

図 1 に使用した実験結果の等価粘性減衰定数と塑性率との関係を示す。図中の は PRC 構造、 は PC 構造の梁断面を示す。また同図に後述する提案式における、RC 構造で梁主筋の付着良好の場合を実線、PC 構造でアンボンド(グラウト

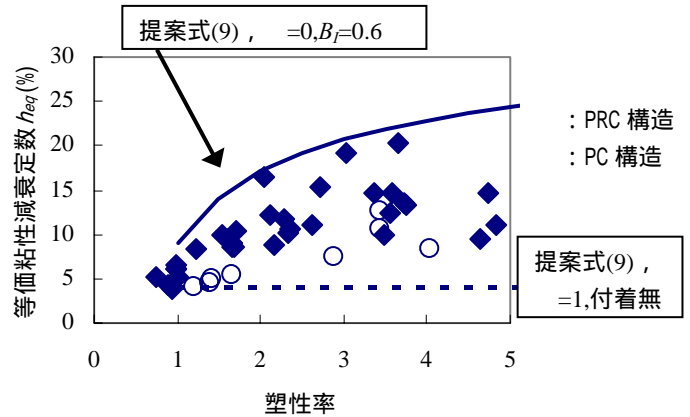


図 1 等価粘性減衰定数と塑性率との関係

注入無し)の場合を点線で示した。

### 3. 付着指標と等価粘性減衰定数の定量化

本研究では、文献 1)に示されたRC構造の十字形部分架構の梁部材を対象とした等価粘性減衰定数 $h_{eq}$ の評価手法を参考とした。RC構造における梁部材の等価粘性減衰定数の評価式を以下に示す。

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

ここで、 $B_l$ とは梁主筋の接合部内付着性状を表す付着指標で、柱梁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であり、以下による。

$$B_l = \frac{u_{b,av}}{u} \quad (2)$$

ここで、 $u_{b,av}$  : 接合部内梁主筋が柱面の一端で引張降伏し、他端では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か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で以下によって計算する。

$$u_{b,av} = \frac{3 + \gamma}{8} \frac{\sigma_y \cdot d_b}{D_c} \quad (\text{PC 部材の場合は, } u_{b,av} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_y \cdot d_b}{D_c}) \quad (3)$$

ここで、 $\gamma$  : 梁断面の複筋比で 1 以下、 $\sigma_y$  : 梁主筋の降伏応力度(N/mm<sup>2</sup>)、 $d_b$  : 梁主筋径、 $D_c$  : 柱全せい、 $u$  : 梁主筋の柱梁接合部内での付着強度で以下による。

$$u = 0.7 \left(1 + \frac{\sigma_0}{\sigma_B}\right) \sigma_B^{2/3} \quad (\text{単位: N/mm}^2) \quad (4)$$

ここで、 $\sigma_0$  : 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>)、 $\mu$  : 変位の塑性率

以下にPC鋼材付着指標を示した後、RC~PRC~PC構造の十字形部分架構における梁部材の等価粘性減衰定数 $h_{eq}$ を統一的に評価する手法を提案する。本研究では、付着破壊の界面はグラウト PC鋼材間に限る。本研究で扱った試験体のPC鋼材の付着破壊界面は、実験結果および単純引抜試験結果<sup>7)</sup>と比較してグラウト PC鋼材間のみと判断したためである。また使用するシース管は#1000 以上のふしの高さ、もしくは

#1000 以下のふしの間隔を有するものとする。RC構造の梁主筋の接合部内付着性状をあらわす指標<sup>1)</sup>を準用し、PC鋼材付着指標として $B_{lpt}$ を以下のように定めた。

$$B_{lpt} = \frac{u_{b,av,pt}}{u_{,pt}} \quad (5)$$

ここで、 $u_{b,av,pt}$ ：接合部内梁 PC 鋼材が柱面の一端で引張降伏し、他端では有効引張力(リラグゼーションを考慮する)を保持するとした時の応力差から求めた接合部内平均付着応力度で、次式による。

$$u_{b,av,pt} = \frac{(\sigma_{py} - \sigma_{pi}) \cdot d_{b,pt}}{4D_c} \quad (6)$$

ここで、 $\sigma_{py}$ ：PC鋼材降伏応力度、 $\sigma_{pi}$ ：有効引張応力度、 $d_{b,pt}$ ：PC鋼材の公称直径、 $D_c$ ：柱せい、 $\tau_{u,pt}$ ：梁PC鋼材の柱梁接合部内の付着強度で以下による。

$$\text{異形 PC 鋼棒} : \tau_{u,pt1} = 0.7 \left( 1 + \frac{\sigma_0}{\sigma_G} \right) \sigma_G^{2/3} \quad (7)$$

$$\text{細径異形 PC 鋼棒} : \tau_{u,pt2} = 1/3 \cdot \tau_{u,pt1} \quad (8)$$

ここで、 $\sigma_0$ ：柱軸応力度、 $\sigma_G$ ：シース管内に注入したグラウト材の圧縮強度

異形PC鋼棒の付着強度(7)式は、RC構造の梁主筋の場合<sup>1)</sup>を準用したもので、コンクリート圧縮強度の代わりにシース管内に注入したグラウト材の圧縮強度を用いる。文献 7)より、単純引抜き試験における細径異形PC鋼棒の付着強度は、異形PC鋼棒のその 1/3 倍であった。柱梁接合部内においても、異形PC鋼棒と細径異形PC鋼棒の付着強度の比率は変化しないと考えて、(7)式を 1/3 倍して(8)式とした。

RC ~ PRC ~ PC構造の十字形部分架構における梁部材の等価粘性減衰定数 $h_{eq}$ を統一的に評価するため、以下を提案する。

$$h_{eq} = 0.09 - 0.05\lambda + \left( \frac{0.1(1-\lambda)}{B_l^2} + \frac{0.1 \cdot \lambda \cdot c}{B_{lpt}^2} \right) \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}} \right) \quad (9)$$

ここで、 $c : 0.4$  とする。なおアンボンド PC 鋼材を用いた場合は PC 鋼材付着指標が定義できないので、 $\frac{0.1 \cdot \lambda \cdot c}{B_{lpt}^2}$ の項は省略する。図 1 において、提案した(9)式より想定し得るエネルギー吸収の最大と最小の場合を実線と点線で示し、実験値はその範囲内に存在した。

#### 4. 提案式の実験値との比較および感度解析

図 2.1 に塑性率 2(実験値は  $1.75 < \mu < 2.25$  に存在したものを抽出)の時の、等価粘性減衰定数の実験値と計算値の関係を示す。実験値の方が、平均的には 9%大きいことを示した。しかしながら、両者の相関係数は 0.97 であるので、参考とした試験体数は少ないものの、精度よく梁部材の等価粘性減衰

定数を評価できた。図 2.2 では、提案した(9)式に梁主筋およびPC鋼材付着性状が良好な場合(数値は $B_l=0.6, B_{lpt}=0.6$ )で、塑性率 2 における各成分(定数項(0.09-0.05 )、梁主筋およびPC鋼材)の寄与率(%)とプレストレス率の関係を示した。梁主筋付着寄与とPC鋼材付着寄与が同等になるのは、図中の点線で示した、 $\mu=0.71$ の時である。また、図 2.3 に  $\mu=0.71$ で、塑性率 2 の時の等価粘性減衰定数とPC鋼材付着指標との関係を示す。図中の点線は梁主筋付着が良好な場合で、実線は梁主筋付着が不良な場合を示す。梁主筋付着が良好な場合において、PC鋼材付着性状が変化すると 21%、梁主筋付着が不良な場合において、PC鋼材付着性状が変化すると 27%等価粘性減衰定数に影響することを示した。

#### 5. まとめ

RC ~ PRC ~ PC構造を包括し、十字形部分架構内の梁部材を対象とした等価粘性減衰定数 $h_{eq}$ を評価するため、PC鋼材周りの付着性状を評価する付着指標 $B_{lpt}$ を提案し、これとプレストレス率、梁主筋付着指標 $B_l$ および塑性率 $\mu$ を用いて $h_{eq}$ の評価式を提案した。全 11 体の実験的研究と比較することより、提案した評価手法は、概ね良好に等価粘性減衰定数を推定できることを示した。

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(案)・同解説、2004 2)共同研究 建設省建築研究所 他、「PC 構造設計・施工指針の作成」最終年度研究報告書、-1, pp.71-81, 1999.3 3)内田龍一郎、浜原正行、末次宏光、佐藤信夫、大崎寛義：接合部の影響を考慮した PC 梁の復元力特性、日本建築学会構造系論文集、No.575, pp.105-112, 2004.1 4)森山健作、岸田慎司、北山和宏、丸田誠、木村暁子：圧着接合されたプレストレス・コンクリート柱・梁接合部の力学性状に関する研究(その 1-その 3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、pp.613-618, 2002.8 5)北山和宏、田島祐之、岸田慎司、宮崎裕ノ介：付着性能に注目したプレストレス鉄筋コンクリート(PRC)柱梁十字形部分架構の復元力特性に関する研究(その 1, その 2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、pp.1-4, 2006.9 6)北山和宏、田島祐之、矢島龍人：PRC 柱梁十字形部分架構の耐震性能評価に関する実験的研究(その 1-その 3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、pp.157-162, 2008.9 7)宮崎裕ノ介、田島祐之、北山和宏：シース管内の PC 鋼棒の付着強度に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、pp.141-142, 2007.8

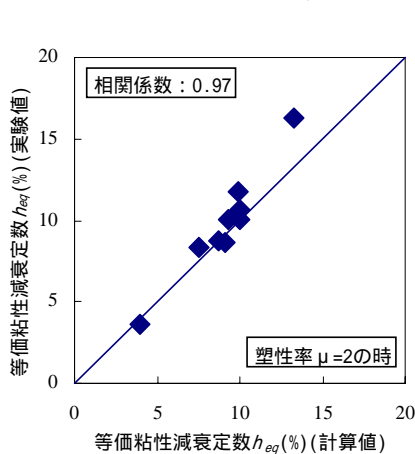


図 2.1 実験値と計算値の比較

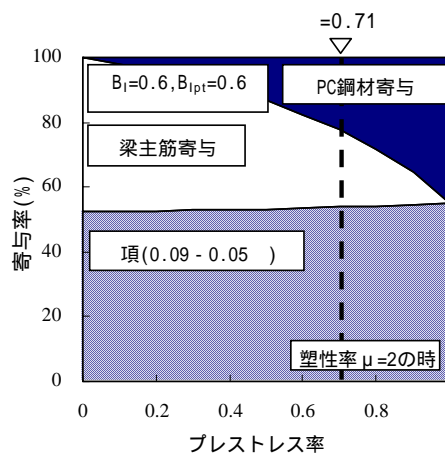


図 2.2 各成分の寄与率と 感度解析

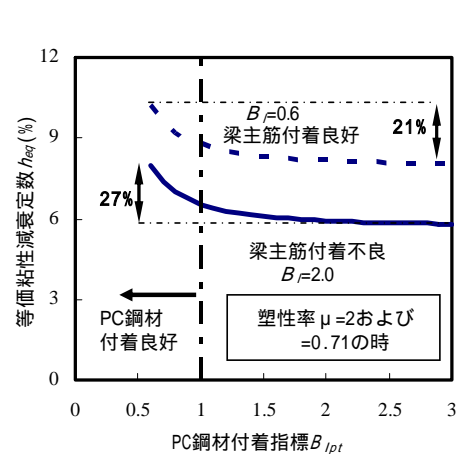


図 2.3  $h_{eq}$ と $B_{lpt}$ の感度解析

\*アシス株式会社・博士(工学)

\*Assis Corporation, Dr.Eng

\*\*首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学域教授・工博

\*\*Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr.Eng