

PC 造柱梁接合部研究委員会報告

- その2 終局強度、接合部せん断ひび割れ強度に対する検討 -

社団法人プレストレストコンクリート技術協会 正会員 工学博士 ○浜原 正行
 同 正会員 工学博士 渡邊 史夫
 同 正会員 博士(工学) 岡本 晴彦
 同 正会員 博士(工学) 西山 峰広

1 はじめに

本委員会では、昨年度 柱梁接合部のせん断破壊が先行する PC 造骨組の終局節点モーメントの推定式を誘導した¹⁾。しかしながら、この推定式では、終局節点モーメントを支配するパラメータのうち、柱梁接合部の等価応力中心間距離と柱梁接合部の有効せいに対する定義が必ずしも明確ではなかった。また、前報(その1-)においては、主応力式を用いた既往の柱梁接合部のせん断ひび割れ強度式は PC 造ト型部分架構の実験結果を過大評価することが分かった。

本報告は、以上で述べた接合部せん断破壊が先行する PC 造骨組の終局強度および柱梁接合部のせん断ひび割れ強度に関連する問題点を勘案し、以下に示す二点に的を絞った考察、検討を行おうとするものである。

- ① 上述の接合部せん断ひび割れ強度式に対して若干の修正を加え、実験結果に対する適合性の向上を図る。
- ② 柱梁接合部の等価応力中心間距離と柱梁接合部の有効せいの定式化を図る。さらに、これらの式を PC 造骨組の終局節点モーメントの推定式に適用し、既存のせん断破壊が先行する PC 部分架構の実験結果に対する適合性について検討する。

2 PC 骨組の終局節点モーメント

検討するパラメータ 先にも述べたように、当委員会では、柱梁接合部のせん断破壊が先行する PC 骨組の終局節点モーメントの推定式を誘導した。これは、(1)式のように表されるものである¹⁾。

$$M_{ju} = \frac{b_j \cdot D_j \cdot j_{be}}{1 - (D_c / L) - (j_{be} / H)} \cdot \tau_{ju} \text{ ----- (1)}$$

(1)式中、柱せい(D_c)、スパン(L)、階高(H)は建物の基本データとして与えられるものである。柱梁接合部の有効幅(b_j)は韌性保証型設計指針式で評価できる。楊²⁾、紅谷³⁾らは、プレストレスによる柱梁接合部せん断耐力の上昇は見られないことを実験的に示した。この結果より、(1)式中の最大耐力時における柱梁接合部の平均せん断応力(τ_{ju})は、RC 造骨組における柱梁接合部を対象とした韌性保証設計指針⁴⁾中の平均値式((2)式)、または下限式((3)式)を用いることができる。

平均値式 十字型: $\tau_{ju} = 0.799 \cdot \sigma_B^{0.712}$

ト型: $\tau_{ju} = 0.587 \cdot \sigma_B^{0.718} \text{ ----- (2)}$

下限式 $\tau_{ju} = \kappa \cdot \phi \cdot F_j \text{ ----- (3)}$

ここに、σ_B: コンクリートの圧縮強度(N/mm²),
 κ: 接合部形状による係数(κ=1: 十字型 κ=0.7: ト型, T型 κ=0.4: L型)
 φ: 直交梁の有無による補正係数(φ=1: 両側直交梁つき φ=0.85: 左記以外)
 F_j: 柱梁接合部せん断強度の基準値=0.8×σ_B^{0.7}(N/mm²)

以上より、(1)式中のパラメータの中で検討すべきものとしては、柱梁接合部の等価応力中心間距離 j_{be} と柱梁接合部の有効せい D_j の二つが残されたことになる。本節では、この二つの変数に対する検討を加える。

柱梁接合部の等価応力中心間距離 “柱梁接合部のせん断破壊が入力せん断力に支配される”とするとの考えに従うと、(1)式中の等価応力中心間距離 j_{be} は梁の応力中心間距離に等しくなる。周知のように、PC 梁の応力中心間距離は RC と比較するかなり小さい。したがって、柱梁接合部の等価応力中心間距離 j_{be} として梁の応力中心間距離を採用すると、柱梁接合部のせん断破壊が先行する PC 骨組の終局節点モーメントは RC より小さくなるはずである。しかしながら、昨年度の報告では、以下のことが示された¹⁾。

①柱梁接合部のせん断破壊が先行する RC 造部分架構と PC 造部分架構の終局接点モーメントの間には有意な差が見られなかった。

②この結果より、接合部のせん断破壊が先行する PC 骨組の終局節点モーメントは、接合部内の上下に生じるピーク曲げモーメントを結んだ直線の勾配に支配されるものと考え、接合部の等価応力中心間距離をこのピーク曲げモーメント間の距離として定義した。そして、この距離を暫定的に、 $j_{be}=0.9d$ とした。ここに、 d は梁断面中で最外部に位置し、かつ接合部に定着されている軸方向鋼材に関する有効せいである。

前報^{その1}では、PCaPC 梁の PC 鋼材間距離 450mm($d=525$ mm)と 300mm($d=525$ mm)の試験体の終局強度の間には、違いが見られなかったことが示されている。これより、柱梁接合部の等価応力中心間距離 j_{be} は、有効せい d より(4)式のように梁の全せい D_b で表現したほうが上記の結果をうまく説明できることが分かる。

$$j_{be} = 0.8 \cdot D_b \quad \text{-----(4)}$$

柱梁接合部の有効せい 柱梁接合部のせん断抵抗は、主としてストラット機構によってなされると考えられる。このように考えると、十字型部分架構の柱梁接合部の有効せい(D_j)は、PC 造、RC 造に拘わりなく柱の全せい(D_c)とみなせる⁴⁾。ト型部分架構において、梁を RC 造とした場合、柱梁接合部の有効せいは梁主筋の柱梁接合部内水平投影長さを用いることができる¹⁾。しかしながら、梁を PC 造とした場合は、柱梁接合部には、それぞれの定着長さが異なる主筋と PC 鋼材の二種類が配されることになる。特に、PC 鋼材については、柱梁接合部の外側で定着されたものから、柱梁接合部のかなり内側、例えば、柱の内側フェイスから定着具までの距離が柱せいの 60%程度のものまでである。このような場合、柱梁接合部の有効せいをどのように評価するかについては、定説がない。ここでは、柱梁接合部の有効せい D_j を(5)式で与える。

$$\begin{aligned} \lambda \leq 0.7 \text{ の場合} : D_j &= D_{jr} \\ \lambda > 0.7 \text{ の場合} : D_j &= \{ (D_{jp} - D_{jr}) \cdot (\lambda - 0.7) / 0.3 \} + D_{jr} \quad \text{-----(5)} \\ &\text{ただし、} D_j \geq (2/3) \times D_c \text{ とする} \end{aligned}$$

ここに、 D_{jr} 、 D_{jp} は、それぞれ主筋の定着長(mm)、PC 鋼材の定着長(mm)

$$\lambda = T_{py} / (T_{py} + T_{ry})$$

T_{py} 、 T_{ry} : PC 鋼材の降伏荷重、普通鉄筋の降伏荷重である。

実験値との比較 図 1(a)、(b)は、接合部のせん断破壊が先行した試験体^⑩について、(1)式～(5)式による PC 骨組の終局節点モーメントの計算精度を示したものである。実験値をこれらの式による計算値で除した値の平均値と変動係数は表 1 に示すとおりである。下限式による計算値は、いずれの試験体についても実験値を下回っており安全側の評価となっていることが分かる。(実験値)/(平均値式による計算値)の値は、42 体中、40 体の資料が誤差範囲±20%の範囲に収まっており、計算精度は比較的高いことが分かる。

表 1 下限式と平均値式の(実験値)/(計算値)の平均値、変動係数

資料数	下限式			平均値式		
	平均値	変動係数(%)	1 以下の資料の割合(%)	平均値	変動係数(%)	±20%不合格率(%)
42	1.277	9.53	0	0.994	7.90	4.76

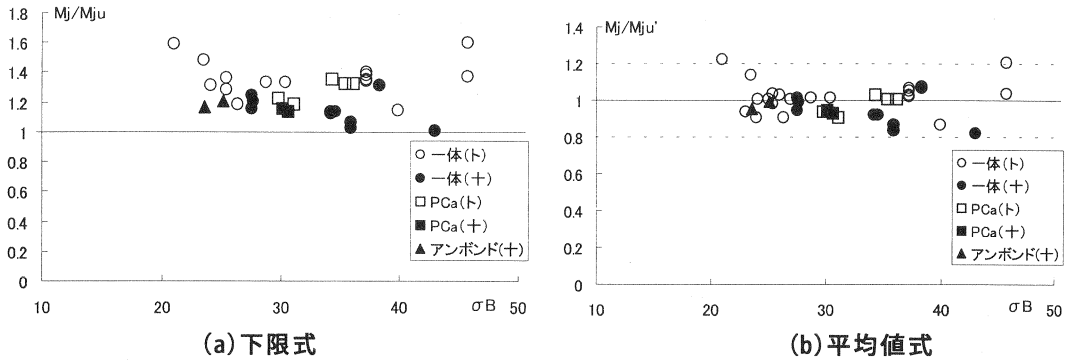


図1 終局節点モーメント推定式の計算精度

3 柱梁接合部せん断ひび割れ強度に対する検討

既往の接合部せん断ひび割れ強度の推定式 接合部せん断ひび割れ時の層せん断力は(6)式で与えられる。

$$V_{cr} = \frac{V_{jc} \cdot j_b}{H - j_b - (H/L) \cdot D_c} \text{----- (6)}$$

(6)式中の V_{jc} は接合部せん断ひび割れ時における接合部入力せん断力であり、(7)式によって与えられる。

$$V_{jc} = b_j \cdot D_c \sqrt{\sigma_T^2 - (\sigma_o + \sigma_g + \sigma_{gc}) \cdot \sigma_T + (\sigma_o + \sigma_{gc}) \cdot \sigma_g} \text{----- (7)}$$

ここに、 $\sigma_g = P_e / (b_j \cdot h_j)$ $\sigma_{gc} = P_{ec} / (b_c \cdot D_c)$ $\sigma_o = N / (b_c \cdot D_c)$,

σ_T はコンクリートの引張強度 = $0.07 \sigma_B$ (N/mm²)

P_e, P_{ec}, N : 梁の有効プレストレス力, 柱の有効プレストレス力, 柱の軸方向力 (N)
 b_c, D_c, j_b : 柱幅, 柱せい (mm), 梁の応力中心間距離 = $(7/8) \times$ 梁の有効せい (mm)

H, L, b_j : 階高 (mm), スパン (mm), 柱梁接合部の有効幅 = $(b_b + b_c) / 2$ (mm)⁵⁾

h_j : 柱梁接合部でのプレストレスを計算するための有効高さ = $D_b + D_c / 2$ (mm)⁵⁾

実験値との比較 図2(a)は、横軸に平均プレストレスのコンクリート圧縮強度による無次元値を、縦軸に接合部せん断ひび割れ時の層せん断力の実験値を(6)式、(7)式による計算値で除したものを取り、この平面状に文献6~16中の試験体のうち、接合部せん断ひび割れ荷重が記載されているものについてプロットしたものである。十字型試験体については、実験値と計算値は比較的良好に一致しているが、ト型PC造試験体は全般的に計算値が実験値を過大評価している。表2に(実験値)/(計算値)の平均値と変動係数を示す。

表2 (6)式、(7)式による接合部せん断ひび割れ強度の計算精度

ト型試験体			十字型試験体		
資料数	平均値	変動係数(%)	資料数	平均値	変動係数(%)
13	0.674	29.1	10	1.061	19.01

ト型部分架構の柱梁接合部せん断ひび割れ強度の推定式 ト型PC造試験体の接合部の初期せん断ひび割れは、いずれも定着具から内側の領域に発生した。この結果は、初期の段階では、定着具から外側の領域ではせん断力をほとんど負担していないことを意味している。このようなことから、ト型部分架構については、接合部せん断ひび割れ発生時の入力せん断力の算定に際し、(7)式中の柱せい D_c を(8)式で定義される D_{jc} に置き換える。

$$D_{jc} \text{ は } D_{jr} \text{ と } D_{jp} \text{ のうち小さいほうの値とする。ただし、} D_{jc} \geq (2/3) \times D_c \text{----- (8)}$$

ここに、 D_{jr} : 主筋の定着長 (mm)

D_{jp} : PC鋼材の定着長 (mm)

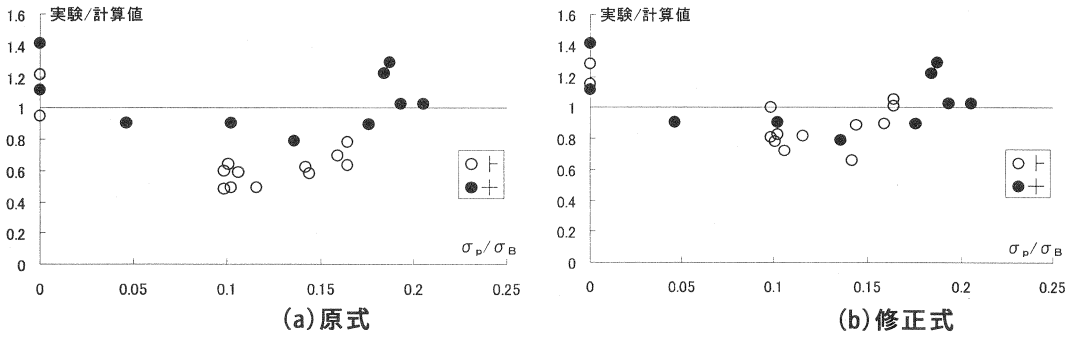


図2 接合部せん断ひび割れ強度推定式の計算精度

図2(b)に(8)式を用いた接合部せん断ひび割れ強度の計算精度を、表3に(実験値)/(計算値)の平均値と変動係数を示す。ト型試験体に対して(8)式を適用することによって計算精度が改善されていることが分かる。

表3 (8)式による修正式による接合部せん断ひび割れ強度の計算精度

ト型試験体			十字型試験体+ト型試験体		
資料数	平均値	変動係数(%)	資料数	平均値	変動係数(%)
13	0.917	19.8	23	1.06	17.3

4 まとめ

①接合部のせん断破壊が先行する PC 造骨組の終局節点モーメントの推定式を提案し、この式の既往の実験資料への適合性が比較的高いことを示した。

②主応力式を用いた既往の柱梁接合部のせん断ひび割れ発生強度式は、PC 造ト型部分架構の実験結果を過大評価することが分かった。接合部の有効せいとして、従来から用いられている柱せいの代わりに普通鉄筋と PC 鋼材の定着長のうち、いずれか小さいほうの値を用いたところ、計算精度が向上した。

参考文献

- 1) 浜原ほか：PC 造柱梁接合部研究委員会報告 第2年度までの中間成果-その2 実験結果と評価、PC 技術協会第12回シンポジウム論文集、2003年10月、pp.133-136
- 2) 楊ほか：プレストレストコンクリート柱梁接合部のせん断抵抗機構に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、第3号、Vol.21、No.3、1999、pp.685-690
- 3) 紅谷ほか：プレストレストコンクリート柱・梁接合部のせん断性状に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、第3号、Vol.19、No.2、1997、pp.1179-1184
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型指針(案)・同解説、1997年7月、pp.241-249
- 5) 日本建築学会：プレストレスト(鉄筋)コンクリート構造部材の設計法—現状と将来—、pp.256-257、2004年4月、
- 6) 西山ほか：PC 鋼材定着位置の柱梁接合部強度に及ぼす影響、大会梗概集 C2 構造IV、pp.927-930、2001年
- 7) 雑賀ほか：梁に緊張力を導入した鉄筋コンクリート外部柱梁接合部の接合部せん断破壊、大会梗概集 C2 構造IV、2002年、pp.609-612
- 8) サトウほか：梁にプレストレスのある RC 外部柱梁接合部のせん断抵抗機構、JCI 年次論文集、第3号、pp.409-414、2001年
- 9) 楊ほか：プレストレストコンクリート柱梁接合部のせん断抵抗機構に関する実験的研究、JCI 年次論文集、第3号、pp.685-690、1999年
- 10) 佐藤信夫：柱・梁接合部を有する PC 部材の耐力に関する実験的研究、日大理工学部海洋建築工学科卒業論文、2002年3月
- 11) 鈴木ほか：PC 構造内柱・梁接合部のせん断性状に関する研究、大会梗概集、pp.842-845、1997年
- 12) 本間ほか：PC 梁の復元力特性に及ぼす接合部の影響に関する実験的研究、大会梗概集 C2 構造IV、pp.1001-1002、2002年
- 13) 森山ほか：圧着接合されたプレストレストコンクリート柱梁接合部の力学的性状に関する研究、大会梗概集 C2 構造IV、pp.613-618、2002年
- 14) 濱田ほか：PCaPC 造ト型部分架構の終局強度に関する実験的研究、日本大学理工学部海洋建築工学科卒業論文、2004年3月
- 15) 根本ほか：PCaPC 造内側柱梁接合部の終局強度に関する実験的研究、日本大学理工学部海洋建築工学科卒業論文、2004年3月
- 16) 藤田ほか：柱・梁接合部を有するアンボンド PC 部材の終局強度に関する実験的研究、日本大学理工学部海洋建築工学科卒業論文、2004年3月