

## PCaPC柱部材においてシース等による欠損部が曲げ終局耐力に及ぼす影響

神戸大学 正会員 博士 (工学) ○谷 昌典  
 京都大学 正会員 博士 (工学) 西山 峰広

## 1. はじめに

PC建築部材の実務設計においては、剛性や耐力などを算定するために、PC鋼材及びシースと重複する部分のコンクリートを控除しないのが一般的である。厳密な計算を行う場合、これらのコンクリートを控除して精算すべきであるが、コンクリートを控除することによって生じる剛性や耐力の低下に関する検討はあまり行われていない。柱部材では軸力の影響で中立軸位置が深くなるため、PC鋼材配置位置がコンクリート圧縮域内となり、また、そのコンクリート圧縮応力も大きくなる。さらには、部材寸法をなるべく小さくした断面に、太径の鋼材を配置することも行われる。そこで、本報告では、PC鋼材及びシース部と重複する部分のコンクリートを控除することが、PCaPC柱部材の曲げ終局耐力に対して及ぼす影響に関する検討を行う。なお、ボンド部材ではシース内にグラウトが充填されているが、グラウトの弾性係数がコンクリートと比べて一般的に小さいため、本報告ではグラウトの存在を無視して検討を行うものとする。

## 2. 解析概要

## 2. 1 解析仮定

PC 鋼材及びシースと重複する部分のコンクリートを控除することが曲げ終局耐力に与える影響は、PC 鋼材位置とコンクリート応力分布の関係に大きく依存する。また、曲げ終局耐力時のコンクリート応力分布は軸力の影響を大きく受ける。このため、軸力比及び PC 鋼材位置が、コンクリートの控除による耐力低下に対する大きな影響因子となる。そこで、本検討では、これらのパラメータに「コンクリート控除部の直径」を加え、平面保持仮定に基づく精算法を用いてパラメトリックスタディを行う。解析対象断面は図-1に示すように、20 階程度の高層建物の下層階柱部材を想定し、コンクリート圧縮強度は 80MPa、断面 1000mm×1000mm、PC 鋼材として  $\phi 32$ PC 鋼棒を 12 本、軸筋として D16 普通強度鉄筋を 12 本配した PCaPC 圧着柱断面で、実柱部材断面を想定した標準断面 (断面 A)、PC 鋼材を部材中央に寄せて配置した断面 B 及び断面 C の 3 種類を設定した。圧着部材であるため、コンクリート及び軸筋は引張力を負担しないものとする。せん断補強筋として、中子筋付き D13 普通強度鉄筋フープを 100mm 間隔で配筋する。PC 鋼材及び普通強度鉄筋の降伏強度は 1080MPa 及び 295MPa、弾性係数は  $2.0 \times 10^5$ MPa 及び  $2.1 \times 10^5$ MPa とする。軸力が作用していない状態の有効プレストレス力  $P_i$  は PC 鋼材降伏耐力の 70% とし、コンクリート軸圧縮耐力 ( $bDF_c$ ) に対する  $P_i$  の比は 0.091 である。コンクリー

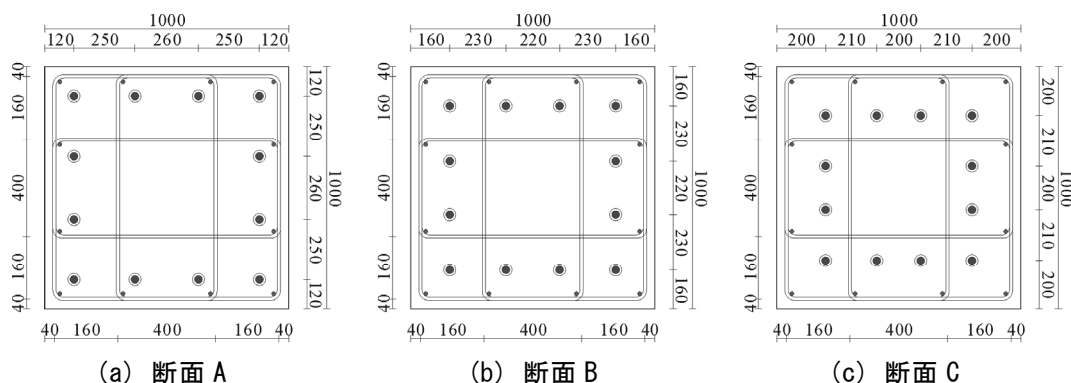


図-1 解析対象断面

表-1 パラメータの設定値

パラメータ	ボンド部材	アンボンド部材
軸力比 ( $= \eta_{N+P} = (N+P_i) / (bDF_c)$ )	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5	
PC 鋼材配置	図-1 (a), (b), (c)	
コンクリート控除部直径 (カッコ内は控除率 $\Delta A / (bD)$ )	0mm, 32mm (0.97%), 50mm (2.36%)	0mm, 36mm (1.22%), 50mm (2.36%), 70mm (4.62%)
PC 鋼材張力算定	平面保持に基づく	軸力載荷後一定値
グラウトの寄与	考慮しない	

トの応力-ひずみ関係には NewRC モデル<sup>1)</sup>を用い、コアコンクリートにはせん断補強筋による拘束効果を考慮した。また、PC 鋼材及び普通強度鉄筋の応力-ひずみ関係は完全弾塑性とした。ただし、アンボンド部材の曲げ終局耐力の精算にあたっては、逆対称曲げを受ける部材を想定し、PC 鋼材張力は軸力載荷後から変動しないものとした。

## 2. 2 解析パラメータ

本検討における各パラメータ（軸力比、PC 鋼材配置及びコンクリート控除部分の直径）の値を表-1に示す。ボンド部材におけるシース径 50mm は、充填率を文献 2)に示されているグラウトの流動性を考慮した必要値（50%程度）となるように設定した値である。また、アンボンド部材における控除部直径 36mm は、 $\phi 32$  アンボンド PC 鋼棒の防錆材及び保護材を含めた外径に対応している。また、シース内にアンボンド PC 鋼材を配置することも想定した。シース径はボンド部材と同じ 50mm と、施工性を考慮した大断面シースの使用を想定した、断面積が直径 50mm シースのほぼ 2 倍になる 70mm の 2 種類とした。控除部面積  $\Delta A$  の全断面積に対する比（控除率  $\Delta A / (bD)$ ）を表-1に示す。

## 3. 解析結果

### 3. 1 ボンド部材

ボンド部材のコンクリート控除断面と非控除断面の曲げ終局耐力精算値を図-2に示す。コンクリート控除による耐力低下はごく僅かで、軸力比や PC 鋼材配置の影響に関する傾向を把握することはできない。そこで、コンクリート控除による耐力低下を非控除断面の曲げ耐力で除した値を耐力低下率  $\Delta M / M$  と定義し、耐力低下率と軸力比の関係を図-3に示す。軸力比 0.1 の場合、PC 鋼材の位置に関係なく、耐力低下はほぼ 0 である。これらの断面の中立軸は最上段の PC 鋼材付近にあり、この位置でのコンクリート圧縮応力が非常に小さかったためである。また、図-3より、軸力比の増加に伴って耐力低下率も増加する傾向が見られる。軸力の増加によって中立軸位置が下がり、PC 鋼材位置でのコンクリート圧縮応力が増加するためである。PC 鋼材を外周寄りに配置した方が控除の影響は若干大きく、耐力低下率は、断面 A では最大で 3.1%程度（PC 鋼材部分のみ控除なら 1.2%程度）、PC 鋼材を最も中心寄りに配置した断面 C でも最大で 2.4%程度（PC 鋼材部分のみ控除なら 1.0%程度）となった。ただし、表-1にも示す通り、控除部面積が全断面積に比べて小さく、コンクリート控除による耐力低下も微小であるため、控除の影響はほとんどないとしても問題ないであろう。なお、断面 A における耐力低下率と控除率の関係を図-4に示す。図より、耐力低下率は控除率にほぼ比例する傾向が見られた。また、ここでは省略したが、断面 B 及び断面 C でも同様の傾向が確認された。

平面保持仮定のもとで ACI 応力ブロック<sup>3)</sup>を用いた ACI 法、及び著者らが文献 4)で提案した略算法により得られた曲げ終局耐力を図-2に併せて示す。非控除断面に対する精算値と ACI 法による計算値を比較すると、ACI 法による計算値の方が小さい。軸力比の増加とともにその差が大きくなる。軸力比 0.1 の場合は両者で 1%程度の差であったのに対して、軸力比 0.5 の場合では 8~10%程度の差となった。また、コンクリート控除断面に対する精算値も、ACI 法による計算値（控除なし）を下回るこ

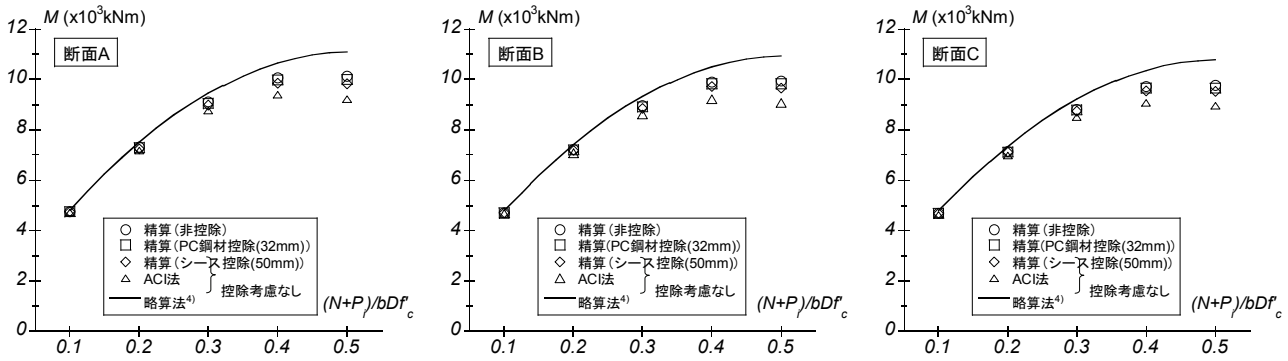


図-2 曲げ終局耐力計算値

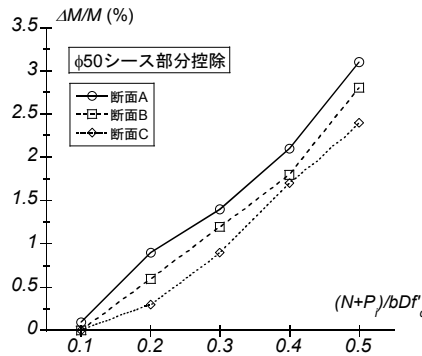
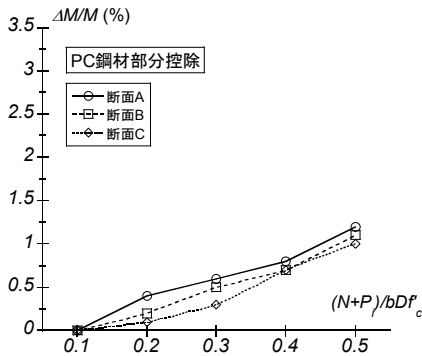


図-3 耐力低下率-軸力比関係

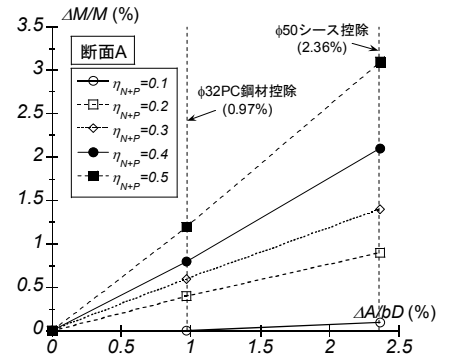


図-4 耐力低下率-控除率関係

とはなかった。一方、著者らの略算法では、非控除断面に対する精算値よりも大きな評価となっており、軸力比 0.1 の場合は 1~2%程度の差であったのに対して、軸力比 0.5 の場合では 9~10%程度の差となった。このような差は著者らの略算法で PC 鋼材の降伏を仮定しているためであり、これをを用いて耐力算定を行う場合には、これらの数値に、コンクリート控除による耐力低下率を加えた程度の安全率を見込む必要がある。

### 3.2 アンボンド部材

アンボンド部材のコンクリート控除断面と非控除断面に対する曲げ終局耐力精算値を図-5に示す。なお、非控除断面に対する計算値は PC 鋼材配置の影響を受けないため、全ての断面で同じ値となっている。コンクリート控除による耐力低下は、ボンド部材と同様に非常に小さい。コンクリート控除による耐力低下率と軸力比の関係を図-6に示す。ボンド部材と同様に、軸力比 0.1 の場合、PC 鋼材位置に関わらずコンクリート控除の影響はほとんどなかった。また、軸力比の増加に伴って、コンクリート控除による耐力低下が大きくなる傾向にある。シース径を 70mm とした場合には、軸力比 0.5 の時点で 5~6%程度耐力が低下しており、ボンド部材より耐力低下が大きい。ただし、図-3 及び図-6 の「φ50 シース部分控除」の値を比較すれば分かるように、ボンド部材と同じ控除率であれば耐力低下率はほぼ同程度である。断面 A の耐力低下率と控除率の関係を図-7に示す。ボンド部材と同様、耐力低下率と控除率はほぼ線形的な関係にある。

以上の考察より、PC 鋼材を断面の中央に寄せる方が、コンクリート控除による曲げ耐力の低下が少ないという点で有利である。なぜなら、逆対称曲げを受けるアンボンド部材では、PC 鋼材張力の変動が小さく、PC 鋼材位置が曲げ耐力に及ぼす影響が非常に小さいからである。また、耐火性の面でも PC 鋼材までのかぶりを多く確保できるという点で有利となる。ただし、現実には、下層階の柱部材が逆対称曲げを受けるとは限らず、各 PC 鋼材が異なる挙動を示すことによって、PC 鋼材が曲げモーメントを負担し、PC 鋼材配置によって曲げ耐力が大きく変化することが予想される。したがって、PC 鋼材を断面中央に寄せて配置するのが望ましいとは一概に言えず、個々の状況ごとに検討する必要がある。

次に、普通強度軸鉄筋の存在及び PC 鋼材張力の変動を無いものと仮定し、ACI 応力ブロックを用い

た略算により計算された曲げ終局耐力を「略算法」として図-5に併せて示す。最も耐力低下が大きくなるφ70 シース部分を控除した精算値よりもやや低い値となり、その差は最大でも4%程度と非常に小さいことから、略算でも安全側で精度良く曲げ耐力を評価できる。

4. まとめ

本報告では、PC鋼材やシースと重複する部分のコンクリートを控除することが曲げ終局耐力に及ぼす影響に関して検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- ・ ボンド部材、アンボンド部材ともに、PC 鋼材を外周寄りに配置した方がコンクリート控除の影響は若干大きくなった。ただし、控除部面積が全断面積に比べて小さいため、コンクリート控除による耐力低下は最大でもボンド部材で3%程度、アンボンド部材で6%程度と非常に小さかった。
- ・ ボンド部材に対してACI法(控除なし)を用いて評価すると、コンクリート控除断面に対する計算結果よりも若干安全側となった。一方、著者らの略算法を用いた場合には、非控除断面に対する精算値よりも最大で10%程度過大評価となった。
- ・ アンボンド部材に対しては、普通強度軸鉄筋の存在及びPC鋼材張力の変動を無いものと仮定し、ACIコンクリート応力ブロックを用いた略算によって、精算値を少し下回る曲げ耐力が得られた。

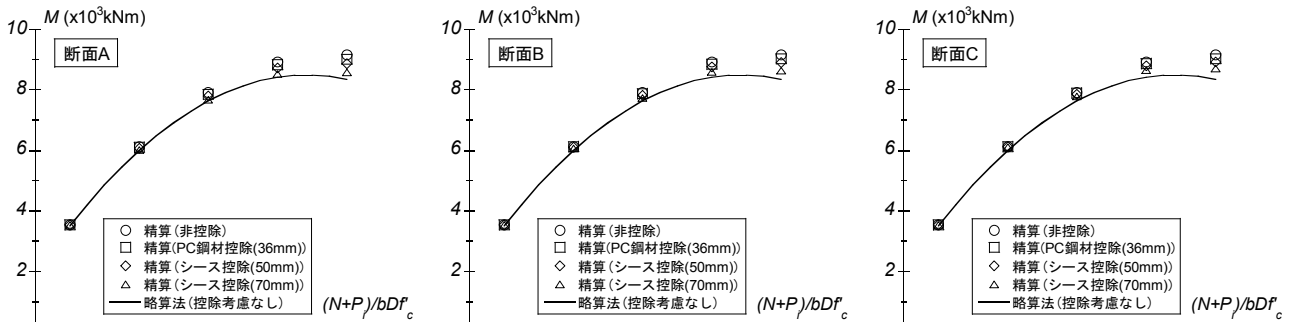


図-5 曲げ耐力計算値

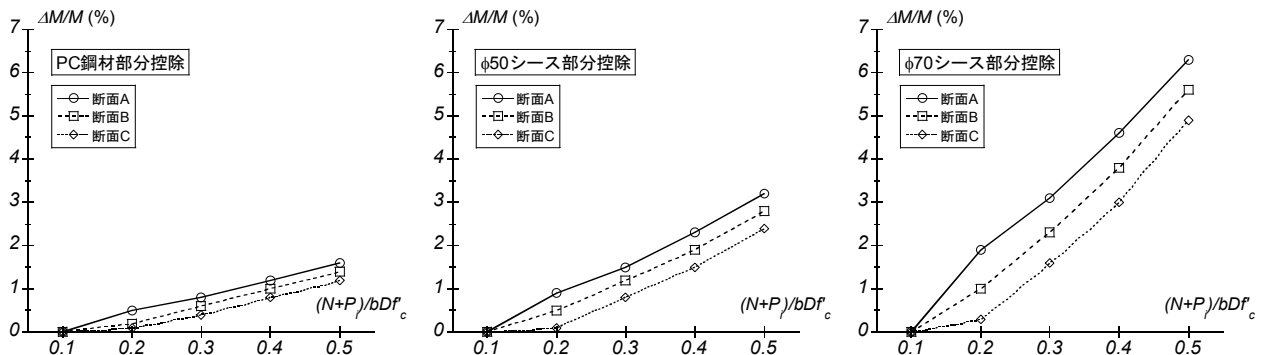


図-6 耐力低下率-軸力比関係

参考文献

1) 崎野健治, 孫玉平: 直線型横補強材により拘束されたコンクリートの応力-ひずみ関係, 日本建築学会構造系論文集, 第461号, pp.95-104, 1994.7 2) プレストレストコンクリート技術協会: 付着が拓くPC構造の近未来-構造性能評価における鋼材付着の役割-, 2-31, 2005.6 3) ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (318M-99) and Commentary (318RM-99)," pp.109, 1999 4) 西山峰広, 谷昌典: プレストレストコンクリート圧着柱の曲げ耐力評価, 日本建築学会構造系論文集, No.601, pp.159-166, 2006.3

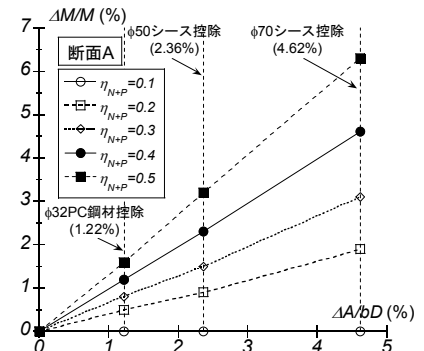


図-7 耐力低下率-控除率関係