

R C柱とP C柱との性能比較

九州産業大学 正員 宮川 邦彦
同 佐藤 武夫
オリエンタル建設 前田 隆志

1. まえがき

高架構造物の施工急増に伴い、土木構造分野でも建築構造物と同様、柱部材の設計が重要になってきた。特に我が国の場合は地震多発地帯に位置する関係上、構造物の崩壊原因に繋がる柱部材の構造安全性を十分に確保しておくことが不可欠である。ところで、主に地震時の建築構造物に観られるR C短柱のせん断破壊や軸方向鉄筋の座屈破壊、また土木構造物でも、モノレール橋脚に観られるR C長柱の供用状態下における曲げひびわれ発生など、現行の柱部材に対する設計にはまだ改善、あるいは究明すべき問題点が残されているように思われる。これは、現行の設計法がコンクリートの時間依存ひずみに起因する部材内部の応力移行現象を無視して設計している点にあると考えられる。一方、主に軸圧縮力を受ける柱部材にプレストレスの原理を適用することには若干矛盾を感じる向きもあるが、P C柱を使用すれば、前述のようなR C柱に観られる構造上の欠点を改善できるとともに、高強度化による部材寸法の削減やプレキャスト化による迅速施工など、これまでにない部材が培われてきたP C構造の特長を柱部材にも十分活用し得るものと考えられる。

そこで本研究では、終局耐力がほぼ等しいR C柱とP C柱とを作製し、各部材の水平載荷時におけるひびわれ耐力や変形性状などを調べた。以下に本研究の概要および結果について報告する。

2. 実験概要

本実験では、単位水量 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位セメント量 $420\text{kg}/\text{m}^3$ のコンクリートを用い、図-1および図-2に示す逆T形のR C柱(軸方向鉄筋 4-D16:降伏強度 $35\text{kgf}/\text{mm}^2$, 帯鉄筋 D6:降伏強度 $34\text{kgf}/\text{mm}^2$, 帯鉄筋間隔 10cm)とP C柱(P C鋼棒A種1号 4- $\phi 11$:耐力 $80\text{kgf}/\text{mm}^2$, 引張強度 $95\text{kgf}/\text{mm}^2$ 帯鉄筋: R C柱と同じ)を各4本作製した。P C柱はポストテンション方式により、材令7日で目標プレストレス力 10tf を導入した後、シース中にセメントペースト(W/C=45%)をグラウトした。破壊試験は、所定の材令で荷重フレームに柱部材を固定した後、単調水平載荷(せん断スパン比 $a/d=3$)しながら、ひびわれ耐力や変形性状などを調べた。なお、軸圧縮力を載荷したままで水平載荷する部材には上端部にテフロン板を挿入し、荷重フレームと部材間の摩擦力による影響を極力押さえた。以下に各部材の実験条件を示す。

RC I : 約70日間湿潤養生後に破壊

RC II : 約70日間湿潤養生、軸圧縮力 10tf 載荷直後に破壊

RC III : 材令7日から軸圧縮力 10tf を約60日間持続載荷、除荷直後に破壊

RC IV : 材令7日から軸圧縮力 10tf を約60日間持続載荷、そのまま破壊

PC I : 約40日間実験室内静置後に破壊

PC II : 約40日間実験室内静置、軸圧縮力 10tf 載荷直後に破壊

PC III : 材令7日から軸圧縮力 10tf を約60日間持続載荷、除荷直後に破壊

PC IV : 材令7日から軸圧縮力 10tf を約60日間持続載荷、そのまま破壊

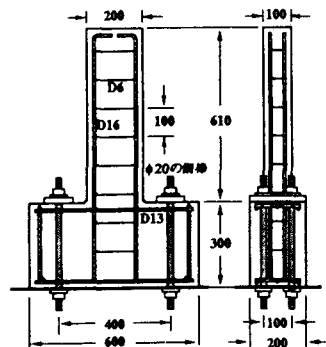


図-1 R C柱の形状

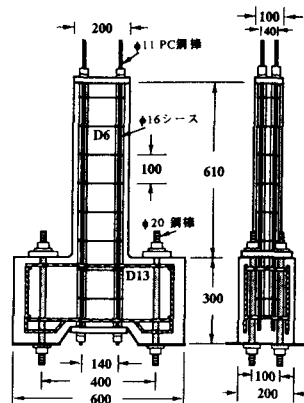


図-2 P C柱の形状

3. 実験結果および考察

本実験では、部材内部の応力移行状態を推定するため、部材表面および軸方向鉄筋に貼付したひずみゲージを用いて、静置期間中の時間依存ひずみを実測した。その結果、RCⅢおよびⅣ部材の時間依存ひずみは250 μ 程度、PCⅠおよびⅡ部材のそれらは320 μ 程度、PCⅢおよびⅣ部材のそれらは480 μ 程度であった。表-1にこれらの実測結果を基に推定した破壊試験時におけるコンクリート断面の圧縮応力度($\sigma'c$)を示す。同表のように特にRC柱の場合、実験条件の違いでコンクリート断面の圧縮応力度が大幅に相違することがわかる。

表-1に各部材の破壊試験結果の一覧を示す。なお、ひびわれ荷重は部材に貼付したひずみゲージ値の急変点または目視から求めた値である。曲げひびわれ荷重(Hmc)および斜めひびわれ荷重(Hvc)の実測値は、コンクリート断面の圧縮応力度とはほぼ比例関係にあり、この点を勘案すると、軸方向鉄筋による内部拘束の影響でコンクリート断面の圧縮応力度が大幅に低減するRC柱よりも、その影響がないPC柱の方がひびわれ耐力の面で有利であることがわかる。また、表中のHvdは現行の土木学会コンクリート標準示方書に規定されている斜めひびわれ耐力の算定式から求めた値である。ただし、安全係数をすべて1.0とし、応力移行の影響や係数 βd および βp に対する制限を無視し、 $\beta n = 1 + 2 M_o / M_u$ として求めた。実測値と計算値との比(Hvc/Hvd)を比較すると、RCⅠおよびⅡ部材のそれらが1.3程度であるのに対し、RCⅢおよびⅣ部材のそれらが若干小さくなっていることがわかる。したがって、さらに長期間乾燥や持続荷重の影響を受けるRC柱の場合、現行の斜めひびわれ耐力の算定式では危険になることも予想される。一方、PC柱の場合は、PCⅠおよびⅢ部材の値が1.4程度、PCⅡおよびⅣ部材のそれらが1.8弱と、その値がRC柱のそれより若干大きくなっている。これは、RC柱の場合、前述のように現行の設計法がコンクリートの時間依存ひずみの影響を無視しているのに対し、PC柱では有効プレストレス力でその影響が考慮されていることや、現行の算定式がRCはりの実測結果を基に求められた経験式であることなどに起因するものと考えられる。

表中のHmuは破壊荷重、Hmdは曲げ破壊に対する計算値である。なお、現行の算定式から破壊形式を求めると、RC柱の場合は曲げ引張破壊、PC柱の場合は曲げ圧縮破壊(PC鋼材の全ひずみが0.004~0.015の範囲内)になる。実測値と計算値との比(Hmu/Hmd)は全部材とも1.0~1.2の範囲内あり、実測値のばらつきを考慮すれば、現行の曲げ破壊耐力の算定式がほぼ妥当であることがわかる。ただし、RCⅣ部材の結果は既報¹⁾のそれと大幅に相違しているが、これは、配合や破壊形式の違いに起因するものと考えられる。また、PCⅡ~Ⅳ部材の破壊は、フーチング上面からほぼ15cmの所に生じた曲げひびわれが徐々に斜めひびわれに進行した後にタイドアーチを形成し、圧縮部のコンクリート断面が圧壊してせん断破壊した。これは、本実験に用いたPC鋼棒の付着特性に起因するものと考えられる。なお、この点については、今後さらに検討すべきであろう。また、表中の δmu は破壊時の荷重作用位置における水平変位量である。同表のように特に軸圧縮力が作用している場合、PC柱の値がRC柱のそれより大きくなっていることがわかる。

以上、本実験の結果だけでは明言できないが、特にひびわれ耐力の面では、PC柱の方がRC柱より明らかに優れており、地震多発地帯や厳しい自然環境下でPC柱の使用が有利であると考えられる。

表-1 部材の破壊試験結果

部 材	$\sigma'c$	Hmc	Hvc	Hvd	Hvc/Hvd	Hmu	Hmd	Hmu/Hmd	δmu	破壊形式
RCⅠ	0	1.0	3.0	2.37	1.27	4.80	4.22	1.14	12.5	曲げ引張り
RCⅡ	39.7	2.8	4.0	2.97	1.35	5.66	5.59	1.01	8.9	曲げ引張り
RCⅢ	-22.5	0.2	2.1	2.37	0.89	4.30	4.25	1.01	11.4	曲げ引張り
RCⅣ	21.7	2.0	3.6	2.97	1.21	6.60	5.60	1.18	7.2	せん断付着
PCⅠ	36.5	2.3	3.2	2.24	1.43	4.73	4.67	1.01	16.0	曲げ圧縮
PCⅡ	83.0	3.7	4.8	2.73	1.76	6.25	5.39	1.16	15.3	せん断
PCⅢ	37.6	2.1	3.1	2.29	1.35	5.48	4.74	1.16	14.3	せん断
PCⅣ	78.6	3.5	4.8	2.72	1.76	5.91	5.51	1.07	13.3	せん断

破壊試験時の圧縮強度 $f'c = 428 \text{ kgf/cm}^2$, ヤング係数 $E_c = 3.21 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

Hmc: 曲げひびわれ荷重, Hvc: 斜めひびわれ荷重, Hvd: 斜めひびわれ耐力の計算値

Hmu: 破壊荷重, Hmd: 破壊耐力の計算値 (単位: tf)

$\sigma'c$: コンクリート断面の圧縮応力度(kgf/cm²) δmu : 破壊荷重時の変位量(単位: mm)

参考文献: 1) RC部材のひびわれ性状に及ぼす荷重履歴の影響, 西部支部講演概要集, pp. 814~815, 1993. 3