

R C 柱の水平載荷時における破壊性状について

九州産業大学 正員の宮川 邦彦

同上 正員 佐藤 武夫

1. まえがき

阪神大震災の被害状況を受けて、昨年、土木学会コンクリート標準示方書の耐震設計編が大幅に改訂された。しかし、耐震設計の基礎となる柱部材のせん断耐力に関しては、従前のはり部材に対する算定式がそのまま適用されている。ところで、R C 構造は大きな時間依存ひずみを生じるコンクリートと供用状態下ではほぼ弾性を呈する鉄筋とを一体化した複合構造であり、したがって、実構造物のように長期間持続軸圧縮力を受ける柱部材は、コンクリート断面の圧縮力が徐々に軸方向鉄筋に移行され、その結果、直前に軸圧縮力を載荷した柱部材と比較して、斜めひび割れ耐力が低下し、軸方向鉄筋が座屈しやすくなると考えられる。しかしながら、従前の検証実験ではこのような断面内部で生じる応力移行現象、換言すれば、荷重履歴の違いが柱部材の破壊性状に及ぼす影響については無視されてきた。

本研究では、従来曲げ破壊すると考えられてきた壁式橋脚が阪神大震災でせん断破壊した点に着目し、その原因を究明するための基礎実験として、有効高さに比較して部材幅の大きな矩形断面柱を用い、水平載荷以前の荷重履歴の有無が柱部材の破壊性状に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

本実験では、単位水量 180kg/m^3 、単位セメント量 300kg/m^3 のコンクリートを用い、図 1 に示す軸方向鉄筋(12 D10、降伏強度 $f_y=35.8\text{kgf/mm}^2$)と帯鉄筋(D6、 $f_y=33.3\text{kgf/mm}^2$ 、間隔 $s=10\text{cm}$)を配筋した逆T形のR C 柱4体を作製し、図-2のように載荷フレームに部材を固定した後、所定の材令で水平載荷(せん断スパン比: $a/d=4.0$ 載荷速度: $v=10\text{ kgf/s}$)を行った。なお、同図に示すように部材と載荷フレーム間に減摩材を塗布したテフロン板を挿入し、水平荷重に及ぼす摩擦力の影響を極力押さえた。以下に各部材の試験条件を示す。

部材Ⅰ：材令7日から約160日間中心軸圧縮力10tfを持続載荷した後、そのまま単調水平載荷

部材Ⅱ：材令7日から約160日間中心軸圧縮力10tfを持続載荷した後、そのまま5.7tfの繰返し水平載荷

部材Ⅲ：約120日間湿潤養生した後、中心軸圧縮力10tfを載荷した直後に単調水平載荷

部材Ⅳ：約120日間湿潤養生した後、中心軸圧縮力10tfを載荷した直後に5.7tfの繰返し水平載荷

3. 実験結果および考察

持続軸圧縮力を載荷した部材Ⅰと部材Ⅱのひずみは、コンクリートの時間依存現象により、載荷時の 90×10^{-6} 程度から持続載荷160日後には 400×10^{-6} 程度まで増大した。すなわち、この間にコンクリート断面の圧縮力が軸方向鉄筋に移行されたことがわかる。

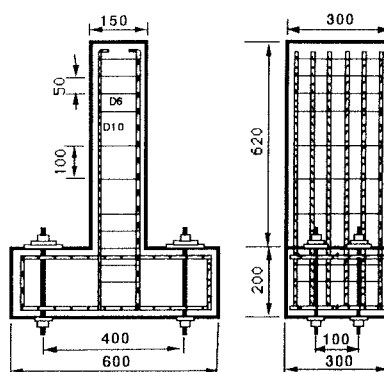


図-1 部材形状(単位:mm)

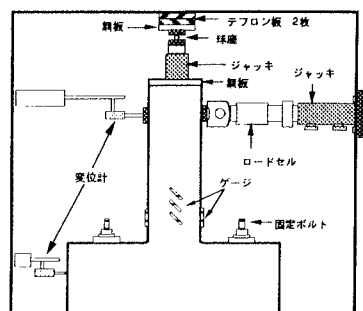


図-2 載荷試験方法

表一に部材の破壊試験結果と計算結果の一覧を示す。表中の $\sigma'c$ と $\sigma's$ は、破壊試験時のコンクリートおよび軸方向鉄筋それぞれの推定圧縮応力度である。同表から部材の応力状態が破壊試験以前の荷重履歴の違いで大幅に相違することがわかる。

表中のHvcはひずみゲージの値が急変する点、または目視から求めた斜めひび割れ荷重の実測値、Hvdは現行の土木学会コンクリート標準示方書の斜めひび割れ耐力算定式から求めた計算値である。ただし、安全係数を1.0とし、 $\beta n = 1 + 2 Mo/Mu$ として求めた。ここに、Moは応力移行を無視し、無筋コンクリートとして求めたデコンプレッションモーメント、Muは曲げ耐力である。

持続軸圧縮力を載荷した部材Ⅰと部材Ⅱは、斜めひび割れが4.0tf弱で発生すると同時に水平荷重が一旦減少し、その後、ひび割れが安定状態に達した後に荷重増加に転じた。これは、本実験に使用した復動ジャッキの載荷速度が部材の変位に追従できなかったことに起因するものである。したがって、地震力のように急速載荷される場合は、この荷重段階で斜めひび割れが部材を貫通し、終局限界に達したものと考えられる。なお、このときのHvc/Hvdは0.8弱と、現行の斜めひび割れ耐力算定式では危険側の算定結果になる。一方、軸圧縮力を直前載荷した部材Ⅲと部材Ⅳは引張鉄筋が降伏するまで水平荷重が徐々に増大した。ただし、単調載荷した部材Ⅲは破壊直前に微細な斜めひび割れを生じたが、そのときのHvc/Hvdは1.3強と安全側の算定結果になっている。また、繰返し載荷した部材Ⅳは曲げひび割れしか生じなかった。

図3のAとBに各部材の荷重-変位曲線を示す。同図からわかるように、同じ5.7tfの繰返し載荷を行った部材でも、荷重履歴の違いにより、部材Ⅱの場合は逆方向載荷時に5.5tf弱で引張鉄筋が降伏して大きな塑性変位を生じたのに対し、部材Ⅳの場合は2回の繰返し載荷でもほぼ弾性的な挙動を示した。これは明らかに、部材のひび割れ発生状態の違いに起因するもので、部材Ⅱの場合は、最初の載荷で生じた斜めひび割れがその後の部材内部における荷重分担に影響し、耐力を低下させる原因になったものと考えられる。

本実験では全部材とも曲げ引張りで破壊したが、そのときの実測値(Hmu)と計算値(Hmd)との比は表一のように1.4前後となり、現行の曲げ耐力算定式では若干安全すぎることになるが、この点に関しては、更に多くの実験を行い検討すべきである。

以上、本実験の結果だけでは明言できないが、壁式RC柱でも持続軸圧縮力を受けた部材にはせん断破壊の原因となる顕著な斜めひび割れが生じたことから判断して、今後は、はり部材とは別に、荷重履歴の影響を考慮した柱部材に対する適切なせん断耐力の算定式や構造細目を検討すべきであろう。

表 Ⅰ 柱部材の破壊試験結果

部 材	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
$\sigma'c$	6.4	6.4	19.4	19.4
$\sigma's$	840	840	147	147
Hvc	3.75	4.00	6.70	—
Hvd	4.97	4.97	4.97	4.97
比	0.75	0.80	1.34	—
Hmu	5.93	5.70	6.89	6.70
Hmd	4.49	4.49	4.49	4.49
比	1.32	1.27	1.53	1.49

$\sigma'c, \sigma's$: kgf/cm² Hvc, Hvd, Hmu, Hmd: tf
試験時の圧縮強度 $f'c$: 275kgf/cm² (空気中)
 $f'c$: 266kgf/cm² (湿潤)

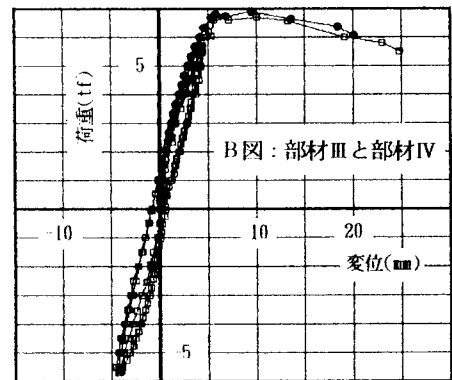
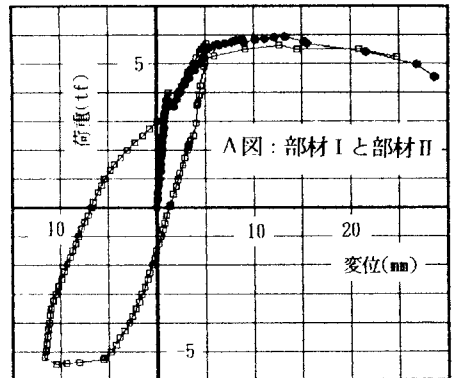


図-3 荷重-変位曲線