

RC柱のひびわれおよび破壊性状について

九州産業大学 学員・末永 慎一
同 正員 宮川 邦彦
同 正員 佐藤 武夫

1. まえがき

高速自動車道や新幹線などの建設に伴い、高架構造物の設計・施工が増加している。しかし、今回の阪神大震災に見られたように高架構造物を安全に設計するためには、特に柱部材のせん断破壊機構を明確にすることが重要課題であると考えられる。ところで、鉄筋コンクリート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を一体化した複合構造であり、その内部応力状態はコンクリートの時間依存現象で大幅に経時変化する。しかし、現行の設計ではそのような応力移行が部材の断面耐力や破壊性状などに及ぼす影響については考慮されていない。

本研究では、本来曲げ破壊すると考えられてきた壁式橋脚が今回の阪神大震災でせん断破壊していたことに着目し、有効高さに比較して部材幅が大きな矩形断面柱を用いて、応力移行の有無が水平載荷時の断面耐力や破壊性状など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 $180\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位セメント量 $300\text{kg}/\text{m}^3$ のコンクリートを用い、図-1に示す12-D10（降伏強度 $f_y=36.2\text{kgf}/\text{mm}^2$ ）の軸方向鉄筋、ならびにD6（降伏強度 $f_y=38.5\text{kgf}/\text{mm}^2$ ）の帯鉄筋を10cm間隔で配筋した逆T形のRC柱4体を作製し、図-2のように柱部材を載荷フレームに固定した後、単調水平載荷（載荷位置 $a=50\text{cm}$ 、せん断スパン比： $a/d\approx 3.8$ ）を行い、部材のひびわれ性状や断面耐力などを調べた。なお、軸圧縮力を載荷したままで水平加力する部材は、同図のように部材上端部にテフロン板を挿入し、部材と載荷フレーム間の摩擦力が水平荷重に及ぼす影響を極力押さえた。以下に各部材の養生および載荷条件を示す。

部材Ⅰ：材令7日から約50日間軸圧縮力(10tf)を持続載荷した後、そのままの状態で単調水平載荷

部材Ⅱ：材令7日から約50日間軸圧縮力(10tf)を持続載荷した後、軸圧縮力除去後に単調水平載荷

部材Ⅲ：約60日間湿潤養生した後、軸圧縮力(10tf)を載荷した直後に単調水平載荷

部材Ⅳ：約60日間湿潤養生した後、そのまま単調水平載荷

3. 実験結果および考察

図-3は、部材表面および軸方向鉄筋4ヶ所に貼付したひずみゲージを用い、実験室内で約50日間中心軸圧縮力 $N'=10\text{tf}$ を持続載荷した部材の実測ひずみ-時間曲線の一例である。同図のよう

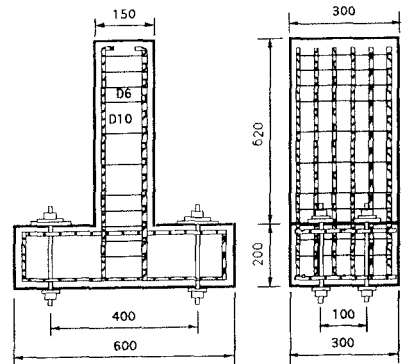


図-1 部材寸法（単位mm）

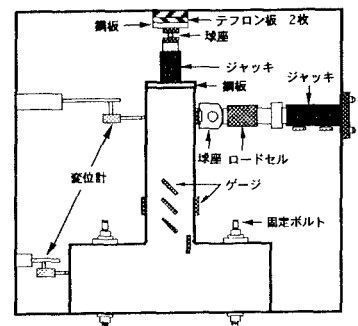


図-2 載荷試験方法

に、載荷直後には 90×10^{-6} 程度であったひずみが、50日後には 340×10^{-6} 程度まで増大しており、この間にコンクリートから軸方向鉄筋へ応力が移行されたことがわかる。

表-1に破壊試験結果と計算結果の一覧を示す。なお、部材Ⅰおよび部材Ⅲの実測値は二面せん断試験から求めたテフロン板の摩擦力を差し引いた値を示している。表中の $\sigma'c$ と $\sigma's$ は、破壊試験時のコンクリート断面および軸方向鉄筋の推定圧縮応力度である。同表のように、荷重履歴の違いで部材の応力状態が大幅に相違することがわかる。

表中のHvcは、斜めひびわれ荷重の実測値であり、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計算値である。ただし、安全係数を全て1.0とし、係数 βn は $\beta n = 1 + 2 Mo/Mu$ として求めた。ここに、Moは軸方向力による部材引張縁の応力度を打ち消すために必要なモーメント、Muは部材の曲げ破壊モーメントである。なお、部材Ⅰおよび部材Ⅱには顕著な斜めひびわれを生じたが、部材Ⅲには破壊直前に微細な斜めひびわれが、また部材Ⅳには全く斜めひびわれが見られなかった。Hvdの上段の値は軸方向鉄筋を無視し、無筋コンクリートとしてMoを求めたときの値であり、()内のそれは

は応力移行および軸方向鉄筋の影響を考慮してMoを求めたときの値である。実測値と計算値の比(Hvc/Hvd)を比較すると、上段のそれは荷重履歴を受ける部材Ⅰおよび部材Ⅱと、荷重履歴を受けない部材Ⅲの値にばらつきが見られる。一方、()内の荷重履歴を考慮したときの値は、上段のそれと比較して、明らかにばらつきが小さくなっている。これは、斜めひびわれの算定式が多くのはり部材の実測結果を基に求められた経験式ではあるが、通常、部材は破壊試験まで大気中に静置されることが多く、その影響が同式では無視されているために安全側の算定結果になっていると考えられる。したがって、()内に示したように破壊試験までの荷重履歴の影響を係数 βn の項で考慮すれば、同算定式の精度は高くなると考えられる。また、本実験の結果は約50日間の持続載荷に対するものであり、更に長期間乾燥や持続荷重の影響を受ける実構造物の場合、同算定式では危険になることも十分に予想される。今回の実験では、全ての部材が曲げ引張りで破壊したが、これも持続載荷期間が短すぎたことや載荷速度が遅かったことなどによるものと考えられる。

最後に、本実験の結果だけでは明言できないが、有効高さより部材幅が大きい壁式のRC柱でも、持続軸圧縮力を受けたものに顕著な斜めひびわれが生じたことを勘案すると、今後このような荷重履歴を考慮した実験を行い、柱部材のせん断破壊機構を究明すべきであると考えられる。

表-1 RC柱の破壊試験結果

部 材		I	II	III	IV
コンクリート・鉄筋 の応力度 (kgf/cm ²)	$\sigma'c$	8.35	-10.42	19.36	0
	$\sigma's$	729	548	151	0
斜め ひびわれ荷重 (kgf)	Hvc	5300	3900	6000	—
	Hvd	4790 (4260)	3760 (3130)	5000 (5090)	3930
	Hvc/Hvd	1.11 (1.24)	1.04 (1.25)	1.20 (1.18)	—
曲げ破壊荷重 (kgf)	Hmu	5700	4400	6100	4700
	Hmd	4740	3650	4780	3680
	Hmu/Hmd	1.20	1.21	1.28	1.28
破壊形式		曲げ引張	曲げ引張	曲げ引張	曲げ引張

注) ・破壊試験時の圧縮強度 $f'c = 243 \text{ kgf/cm}^2$ (空気中)
 279 kgf/cm^2 (湿潤)
 ・ヤング係数 $E_c = 2.17 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ (空気中)
 $2.70 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ (湿潤)

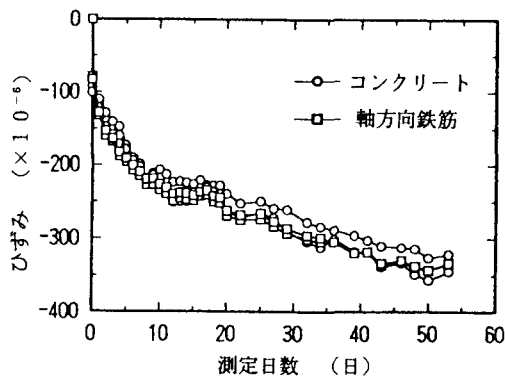


図-3 RC柱の時間依存ひずみ