

V-474

軸方向引張り力を受ける鉄筋コンクリート柱のせん断耐力について

徳山工業高等専門学校 正員 田村隆弘
 長岡技術科学大学 正員 丸山久一
 徳山工業高等専門学校 正員 重松恒美
 徳山工業高等専門学校 正員 原 隆

1. まえがき

先の阪神大震災では、高速道路や新幹線における鉄筋コンクリート構造物の柱の破壊がその被害を拡大した。また、これまで日本ではあまり例を見ない地下構造物内の柱の破壊や中高層のビルディングにおける中間階破壊も多く認められた。そして、その柱部材の破壊の中には明らかにせん断破壊と言える破壊性状を示したものが多く含まれている。この原因がこれまでの耐震設計規準を大きく越える力の作用によることは、収集されたデータからも明らかであるが、記録されたデータの中で、大きな横揺れもさることながら、これまでにない大きさの縦揺れが作用している点が注目されている。この縦揺れは、慣性力により柱部材に作用する荷重や自重による軸方向応力を正負に増大させる。そして、同時に横揺れが作用することにより、柱部材は軸方向力とせん断を受けることになる。部材に軸方向圧縮力が作用する場合、そのせん断耐力は無応力状態の2倍以上まで増加することがある。しかし、逆に軸方向引張り力が作用する部材では、そのせん断耐力は鉄筋比等の条件にもよるが、大幅に低下してゆく。地震によりせん断破壊したコンクリート構造物の状態から、破壊時に作用していた軸方向力の大きさを推定することは容易でないが、今回の地震では、鋼製の柱部材が破断したといった報告もあり、これらのことから、今回の鉄筋コンクリート柱部材のせん断破壊が大きな軸方向引張り力の作用のもとで生じたものであることが予測される。

著者等は、これまで鉄筋コンクリート梁が軸方向引張り力とせん断を受ける場合について、実験とFEM解析によりそのせん断耐力を調査し、鉄筋比等のパラメータを考慮したせん断耐力算定式を提案した。本報では、これにより実際の柱部材に軸方向引張り力が作用する場合のせん断耐力について検討する。

また、鉄筋コンクリート柱部材では主鉄筋の中抜き、いわゆる段落としが行なわれており、これによる影響についても有限要素法による解析によって調査した。

2. 軸方向力を受ける柱のせん断耐力

著者の提案する軸方向引張り力を受ける鉄筋コンクリート棒部材のせん断耐力算定式を以下に示す。ここに示す式は、軸方向引張り力がせん断耐力に及ぼす影響を表す関数において、せん断スパン比や鉄筋比の大きさによる影響を考慮したものとなっている。

$$V_{yd} = (V_{cd} + V_{sd} + V_{ped}) / \gamma \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{cd} = f_{vcd} \cdot b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f_{vcd} = 0.9\beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_{a/d} \cdot \beta_n \cdot \sqrt{f'_{cd}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $\beta_{a/d} = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$ (ただし $2.75 < a/d \leq 6.0$)、 $\beta_{a/d} = \frac{9.1}{a/d} - 2.0$ (ただし $1.75 \leq a/d \leq 2.75$)

$$\beta_n = 1 + \beta_{pw-n} \cdot \beta_{a/d-n}, \quad \beta_{pw-n} = 2 \frac{M_0}{M_u} (2.5 - 100p_w), \quad \beta_{a/d-n} = 2 \frac{M_0}{M_u} (3.0 - a/d)$$

ただし、 $p_w > 0.015$, $a/d > 3.0$ では、 $\beta_n = 1 + 2M_0/M_u$ 。 $p_w > 0.015$, $a/d < 3.0$ では、 $\beta_{pw-n} = 1.0$ 。

$p_w < 0.015$, $a/d > 3.0$ では、 $\beta_{a/d-n} = 1.0$ 。

せん断スパン比に関する項 $\beta_{a/d}$ については、土木学会コンクリート標準示方書改定資料にも言われているように、実設計上定義することが困難な場合には $\beta_{a/d} = 1.0$ とする。 γ については、算定式の精度や V_{sd} , V_{ped} における係数から考慮して一般に1.15として良いと思われる。その他の記号については、示方書算定式に準ずる。

3. 解析例

今回の地震で記録された加速度は鉛直方向に0.4G、水平方向では0.8Gとも言われるが、これによって生じた軸方向応力、せん断力を直ちに推定することは困難である。ここでは、図-1に示すような柱の高さ10m、部材幅 $3\text{m} \times 3\text{m}$ の矩形断面の柱部材を仮定し、まず、無応力状態でのせん断耐力を求める。ここでは、3次元ソリッド要素を用いた有限要素法により、柱部材を図-2に示すようにモデル化し、解析を行なった。著者等のこれまでの研究で、せん断耐力に対する軸方向引張り力の影響が、鉄筋比によって異なることが明らかになっているため、ここでも鉄筋比を3%、1.5%、0.75%と変化させて解析を行なった。解析結果と、得られた結果に対して軸方向力の影響を式(1)により考慮した結果を表-1に示す。(ただし、表-1に示す結果は段落としを行なわない部材の場合である。)

4. 段落としの影響

表-2に示すように、段落としをせずに軸方向鉄筋を全て所定の鉄筋比で入れたものと、高さ中央位置で軸方向鉄筋量を1/2に減らしたもの（図-1参照）について比較検討した。表の数値に示されるように、鉄筋比が0.75%の場合に段落としによるせん断耐力の低下が現われたが、ここで解析した条件では、その他については段落としの影響は認められなかった。

5. あとがき

一般に柱部材の設計では、そのじん性を確保する目的で鉄筋比が小さく押さえられる。しかし、このことは、部材の鉄筋比が小さいほど軸方向引張り力が作用した場合のせん断耐力の低下が大きいということから考えると問題がある。今回行った静的な解析が、地震のような極めて衝撃的な動的な問題に対してどれほど適用できるかということについては、今後の課題であるが、大きな軸方向引張り力によって、ダメージを受けている部材のせん断耐力を知ることは重要なことと思われる。今後、段落とした部材の問題と併せて、更に部材の形状、鉄筋量や段落としの位置等のパラメータを変化させた調査を行なう予定である。

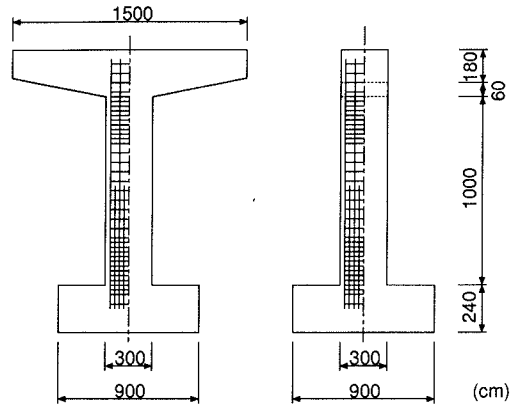


図-1 解析例

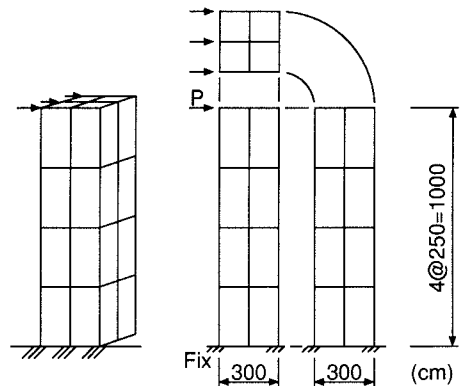


図-2 解析モデル

表-1 軸方向引張り応力とせん断耐力の関係

鉄筋比	せん断耐力 (tf)					
	$\alpha_n = 0 \text{ kgf/cm}^2$	$\alpha_n = 20 \text{ kgf/cm}^2$	$\alpha_n = 40 \text{ kgf/cm}^2$	$\beta_n = 1.0$	$\beta_n = 0.91$	$\beta_n = 0.82$
$p_w = 3\%$	1360	1238	1115	1.0	0.91	0.82
$p_w = 1.5\%$	990	900	811	1.0	0.91	0.82
$p_w = 0.75\%$	890	748	605	1.0	0.84	0.68

表-2 段落としとせん断耐力の関係

鉄筋比	せん断耐力	
	段落としなし	断段落としあり
$p_w = 3\%$	1360 tf	1360 tf
$p_w = 1.5\%$	990 tf	990 tf
$p_w = 0.75\%$	890 tf	790 tf