

帝都高速度交通営団 正会員 川岸 康人
同上 正会員 横田 三則
同上 久保田 俊雄

1. まえがき

阪神・淡路大震災では高架橋の崩壊や開削トンネル駅部の陥没等大きな被害を受け、大規模地震や直下型地震に十分耐えられ、安全が確保できる鉄道づくりに役立つ耐震基準に見直す必要性を認識させる結果となった。このため、新設トンネルの耐震性向上を目的とする鉄筋コンクリート(RC)柱帯鉄筋の設計にあたり、高耐震性能を有するために必要な配筋に関する設計基準確立のため室内試験を実施した。

2. 実験概要

(1) 試験体のモデル化

地震時にRC柱に発生する断面力は、上・下床板の相対変位と上・下床板の回転に伴う付加モーメントにより発生する。このため、曲げモーメントは柱中央部に変局点を有する上下対象の形となり、柱中央部から上床板または下床板までの柱部材を試験体とすれば、試験体上部(柱中央部相当位置)を載荷点とし拘束条件をフリーとすることにより実柱と等価な耐力及び変形特性が得られるものとした。

(2) 試験体

試験体の種類は2種類とし、試験体の条件を表1に示す。また、試験体の配筋、形状を図1、2に示す。

case1は、運輸省判定基準によりせん断破壊先行となる柱として設計したRC柱であり、配筋は柱主鉄筋にD29を使用し、帯鉄筋にD10を300mmピッチで定着方法を直角フックとして使用した。

case2は、新設トンネルのRC柱が高耐震性能を有することを目的とし、運輸省判定基準により曲げ先行の柱として設計したRC柱である。配筋は柱主鉄筋にD29を使用し、帯鉄筋にD16を100mmピッチで使用した。帯鉄筋は逆巻き工法を採用した場合、施工が容易になるように図2に示すように2つのピースを対角に組み合わせる形状とし定着方法を鋭角フック135°とした。

(3) 加力方法

本実験は鉛直方向の載荷荷重を大きくした高軸力下(70kgf/cm²)での静的水平交番載荷実験である。水平力は反力壁に取り付けた100tfアクチュエータにより試験体に作用させる。その加力スケジュールは、正負交番繰り返し加力とし、表2に示す8段階に設定した変形角R(1/400rad., 1/200rad., ..., 1/20rad.)で3回繰り返し、それ以降想定される変形角R=1/15rad.まで単調載荷することとした。

表2 加力目標変形と加力パターン

加力目標変形 部材角α (部材回転角)	水平変位 (mm)	破壊状況と変形の関係	加力 パターン	上下床板間 の相対変位 (mm)	備考
1/400	4.25	曲げひび割れ発生	3回正負繰返し	8.50	
1/200	8.50	-		11.70	
1/100	17.00	主鉄筋の降伏(予想)		34.00	
1/67	25.50	1.5δy		51.00	Case1.6のみ
1/50	34.00	2.0δy		68.00	
1/33	51.52	3.0δy		103.00	
1/25	68.00	4.0δy		136.00	
1/20	85.00	5.0δy		170.00	
1/15	113.33	6.7δy	単調増大1方向	226.66	

表1 試験体の条件

試験体	case1	case2
RC柱寸法(mm)	600×600	
軸力	252tf (70kgf/cm ²)	
コンクリート強度	柱240kgf/cm ² , 基礎210kgf/cm ²	
主筋	材質	SD345 D29
	本数	20
	振り(mm)	60
帯筋	材質	SD345 D10
	配置(mm)	300
		SD345 D16
		100

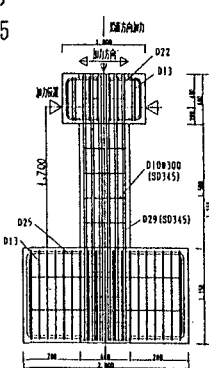


図1 case1試験体配筋

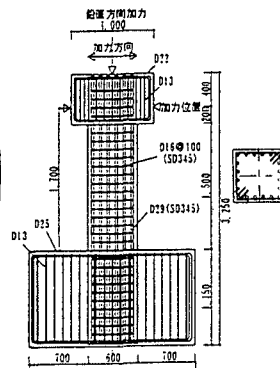


図2 case2試験体配筋

3. 実験結果

(1) 破壊モードの比較

実験により得られた柱頭作用荷重と柱頭水平変位の関係について各加力サイクルの第1サイクルにおけるピーク値を結んだ荷重～変位関係を図3に示す。

case 1は、加力スタブから基礎部間の柱に発生した斜め方向のひび割れが貫通して破壊(水平耐力の損失)し、主鉄筋の曲げ降伏前に生じていることからせん断破壊と見なした。

case 2は、主鉄筋が曲げ降伏したあとに最大耐力が生じ、変形の増大に伴って帯鉄筋のひずみが増大し、帯鉄筋が降伏するとともに水平耐力(せん断力)が損失し、帯鉄筋の定着がはずれ、主鉄筋の座屈がみられることから、曲げによる降伏ヒンジ生成過程におけるせん断破壊と考えられ曲げせん断破壊と見なした。

(2) 耐力の比較

実験より得られたそれぞれの試験体についてのひび割れ発生荷重、最大荷重、初期剛性の値を表3に示す。せん断破壊したcase 1と曲げせん断破壊したcase 2試験体の最大荷重を比べるとその破壊モードの違いにもかかわらず、実験値に大きな差がなかった。case 1がほぼ曲げ耐力に近いせん断力を有していたと推測できる。

(3) 変形性能の比較

荷重と変位のピーク包絡関係(図3)に基づいて降伏点変位、終局変位、および靱性率を求め変形性能について検討を行う。降伏点変位は、主引張り鉄筋が降伏した際の変位とした。また、終局変位はcase 1については破壊時の変位とし、case 2については水平方向の耐荷能力が降伏変位時の荷重を下回りかつ鉛直方向の変位が急増した $R=1/25\text{rad}$ ($\delta=68.0\text{mm}$)の変位を終局変位とした。結果を表4に示す。

case 2は、case 1との比較において、終局変位でおよそ3倍の変形能力の向上がなされた。また、実際の柱における相対変位は、試験体に作用する変形が上下床板間の相対変位の半分に相当することを考慮すると、終局変位の2倍の136.0mmに相当するといえる。

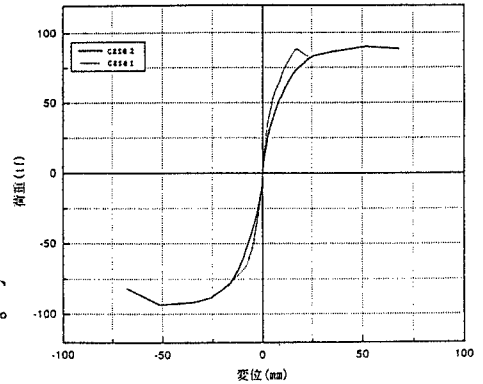


図3 荷重と変位のピーク包絡関係

表3 耐力の比較

	case1	case2
曲げひび割れ発生(tf)	34.7	28.6
せん断ひび割れ発生(tf)	64.7	52.2
最大荷重(tf)	88.4	89.8
初期剛性(tf/mm)	13.9	10.1

4. まとめ

実験結果のまとめを表5に示す。帯鉄筋としては鉄筋径として比較的太いD16を用いると共に配置間隔を狭めることにより帯鉄筋量を増加させたcase 2試験体は、その目的通りせん断破壊先行の破壊モードを主鉄筋の降伏後の破壊する曲げ型に改善されている。また、帯鉄筋の降伏後に終局状態に至っていることから、定着部を2箇所有する帯鉄筋の構造も標準的な定着構造と同等の性能を有しているものと推定される。

今後は本実験結果をもとに耐力や変形性能の評価方法を確立し、新設トンネルのRC柱帯鉄筋の設計基準を確立したい。

表4 降伏点変位・終局変位・靱性率の比較

case	降伏点変位(mm)	終局変位(mm)	靱性率
case1	—	23.4	—
case 2	21.3	68.0 (2.9)	3.2

()内は(case2)/(case1)

表5 実験結果

	case 2	case1
耐力(tf)	89.8	88.4
終局変位(mm)	68.0	23.4
破壊過程	水平変位17.0mmの加力時にせん断ひび割れおよび主鉄筋の圧縮降伏が生じ、水平変位23.5mmの加力時に主鉄筋の引張り降伏が生じた。その後、水平変位68.0mmの加力時に帯鉄筋の定着が外れ、主鉄筋の座屈が生じた。	水平変位8.5mmの加力時に曲げおよびせん断ひび割れが発生し、水平変位17.0mmの加力時に帯鉄筋の降伏が生じせん断ひび割れが帯鉄筋から帯鉄筋へ斜めに進展した。水平変位23.5mmの加力時にせん断ひび割れが帯鉄筋から帯鉄筋へ貫通し、せん断破壊に至った。
主鉄筋	水平変位17.0mmの加力時にせん断ひび割れおよび主鉄筋の圧縮降伏が生じ、水平変位23.5mmの加力時に主鉄筋の引張り降伏が生じた。主鉄筋のひずみ分布は帯鉄筋から帯鉄筋にかけてひずみが増加する曲げ型のひずみ分布形状を有している。	主鉄筋は終局まで降伏せず、変位の増加にともなう帯鉄筋の引張りも付着特性の低下にともなう増大するせん断型のひずみ分布となっている。
帯鉄筋	帯鉄筋から30cm位置におけるひずみの増加が顕著であり、終局状態に至った水平変位68cmの加力時に降伏が生じた。	帯鉄筋から30cm位置におけるひずみの増加が顕著であり、その位置において水平変位17.0mmの加力時に降伏し、終局状態に至った水平変位68cmの加力時にその上(帯鉄筋より50cm)の帯鉄筋にも降伏が生じた。