

[173] 動的な外力を受ける鉄筋コンクリート柱部材のせん断性状に関する研究

正会員 遠藤 孝夫 (電力中央研究所耐震構造部)
 加藤 治 (電力中央研究所耐震構造部)
 正会員 田辺 忠顕 (名古屋大学工学部)

1. まえがき

動的な外力を受ける鉄筋コンクリート部材の挙動、特に歪速度の破壊挙動に及ぼす影響について、過去いくつかの研究が報告されてきた。筆者らも曲げ破壊型の場合には歪速度の影響が余りないことを実験的に明らかにしてきた。本研究は、従来殆んど報告されていないせん断破壊型の場合について、その歪速度の影響を検討したものである。

2. 実験の概要

2.1 試験体

本実験に用いた試験体の形状および寸法を図-1に示す。試験体の柱部の断面は150×500mmで、せん断スパン比は2.67である。試験体はA, B, Cの3シリーズとし、引張鉄筋比 P_t を0.79%と一定に、帯鉄筋比 P_w を0, 0.21, 0.84%の3種類とし、それぞれのシリーズで静的と動的繰り返し実験用に2体ずつ製作した。主鉄筋に用いたSD35-D16は降伏点強度4200Kg/cm²、引張強度5900Kg/cm²であり、帯鉄筋に用いたSD35-D6は降伏点強度3900Kg/cm²、引張強度5400Kg/cm²である。試験体の諸元を表-1に示す。

2.2 加力方法

実験の状況は図-2の通りであり、試験体基部を試験床に固定し、反力壁に設置したアクチュエーターを試験体頭部に取り付けて加振するようにしたもので、軸力は加えていない。加力は変位制御により正負方向交互に交番載荷を行い、表-2に示すように順次部材角を増大させ、部材角ごとに定めた繰り返し回数だけ載荷を行った。実験は静的と動的繰り返し実験(以後、静的実験・動的実験と略記する。)で同一の変位履歴を与える方針をとったが、その場合、動的実験では静的実験と同じ変位履歴では破壊に達しえない恐れもあり、破壊近くでは繰り返し回数と部材角を大きくした。動的実験における柱頭部の最大変位速度は20cm/secで、正弦波による連続加振である。

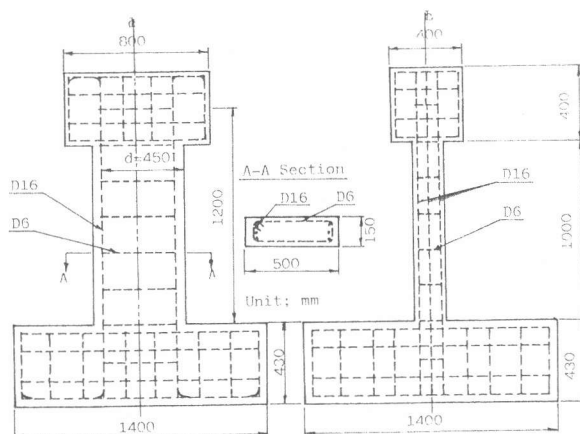


図-1 試験体の形状・寸法図

表-1 試験体諸元

試験体	実験	主鉄筋		帯鉄筋		コンクリート	
		配筋	引張鉄筋比 P_t (%)	間隔 (cm)	帯鉄筋比 P_w (%)	圧縮強度 (Kg/cm ²)	弾性係数 $\times 10^4$ (kg/cm ²)
CA-1	S	6×D16	0.79	-	0	318	2.80
CA-2	D						
CB-1	S			D6-20	0.21	221	2.13
CB-2	D						
CC-1	S			D6-5	0.84	221	2.13
CC-2	D						

* S: 静的実験 D: 動的実験

3. 実験結果ならびに考察

実験結果の整理にあたっては、ロードセルで検出した試験体の反力から試験体と治具の慣性力を差し引いて得られたものを動的復元力として表わした。その結果得られた最大荷重とその時の変位を表-3に、また復元力特性を図-3に、そして、ひびわれ性状を図-4に示す。

試験体の破壊モードは、CAシリーズがせん断破壊型で、CCシリーズは曲げ破壊型、CBシリーズは曲げと

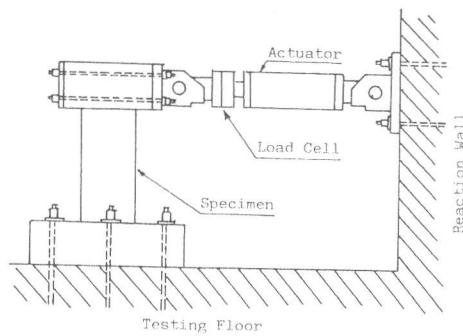


図-2 実験の状況

せん断の複合されたものであった。また、CBとCCシリーズでは、破壊以前に主鉄筋の降伏がみられたが、CAシリーズの場合、CA-2は破壊近くで主鉄筋の降伏が認められたが、CA-1については確認できなかった。

3.1 最大荷重・復元力特性・ひびわれ性状

最大荷重について静的実験結果と動的实验結果を比較すると、帯鉄筋のないCAシリーズでは、最大荷重の片振幅で静的実験が+5.24 ton, -5.98 ton に対し、動的实验は+8.32 ton, -7.53 ton となり、それぞれ絶対値で3.08 ton, 1.55 ton ほど動的实验結果が静的実験結果を上回っている。

また、最大荷重の両振幅では、静的実験が11.22 ton に対し動的实验は15.85 ton で、その差は4.63 ton となり、動的实验では静的実験に比べて大幅に耐力が増加している。帯鉄筋比を0.21%としたCBシリーズでは、CAシリーズと同じく最大荷重は動的实验が静的実験を上回る結果(最大荷重両振幅で1.29 ton 増加)となっているが、帯鉄筋比が0.84%のCCシリーズでは、このような傾向はみられない。このように、帯鉄筋比が小さく、せん断破壊する鉄筋コンクリート柱部材で、歪速度が大きくなることによって耐力が大幅に増加する傾向が明らかとなったが、この点については、これまで行なわれた荒川らの実験²⁾では検討されておらず、今後更に詳細な実験が必要である。

静的実験と動的实验より得られたヒステリシスループを比較すると(図-3)、動的实验では静的実験に比べてループの形状が一般に、より紡錘形となる傾向にある。ただし、CBとCCシリーズで部材角が大きくなると、両者は概ね同じループになってきて差異がほとんどなくなってくる。これより、帯鉄筋比が大きい曲げ破壊型の部材では、破壊に近くなるほど歪速度の影響が小さくなるのがわかる。

次に、各試験体のひびわれ性状(図-4)をみると、静的実験と動的实验では顕著な差はみられない。これより、本実験の範囲では、ひびわれ性状と破壊モードに及ぼす歪速度の影響は割合小さいものと考えられる。

3.2 エネルギー消費量

構造物の耐震性向上の点からは、構造物が崩壊するまでに、より多くのエネルギーを消費することが望ましい。こういった観点より、各試験体のヒステリシスループをもとに、部材角 $R = 3 \times 10^{-3}$ rad までと、静的実験の最大荷重時まで、さらに動的实验の最大荷重時までの累積した消費エネルギーを比較して示したものが表-4である。この表より、部材角が小さく、帯鉄筋量の少ないものほど、静的実験に比べて動的实验の累積消費エネルギーが大きいことがわかる。このことは、言葉をかえれば、部材角が大きく、帯鉄筋量が多く、せん断破壊型より曲げ破壊型に移行するに従って静的実験と動的实验の累積消費エネルギー差が小さくなることを示している。

表-2 繰り返し回数

Specimen No.	Rotation (*10E-3)													
	0.5	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	50	75
CA-1	3	3	3	3	3	3	1							
CA-2	3	3	3	3	3	3	13	10						
CB-1	3	3	3	3	3	3	-	1	1	1				
CB-2	3	3	3	3	3	3	-	1	1	10				
CC-1	3	3	3	3	3	3	-	3	3	3	1	1	1	
CC-2	3	3	3	3	3	3	-	3	3	3	1	1	1	3

表-3 最大荷重および最大荷重時の変位

試験体	実験	最大荷重 (ton)		最大荷重時変位 (mm)	
		(+)	(-)	(+)	(-)
CA-1	静的	5.24	5.98	3.60	4.80
CA-2	動的	8.32	7.53	7.33	6.55
CB-1	静的	9.43	9.04	12.0	16.2
CB-2	動的	10.32	9.44	17.2	17.0
CC-1	静的	12.20	11.47	59.8	35.9
CC-2	動的	11.20	11.72	58.9	58.2

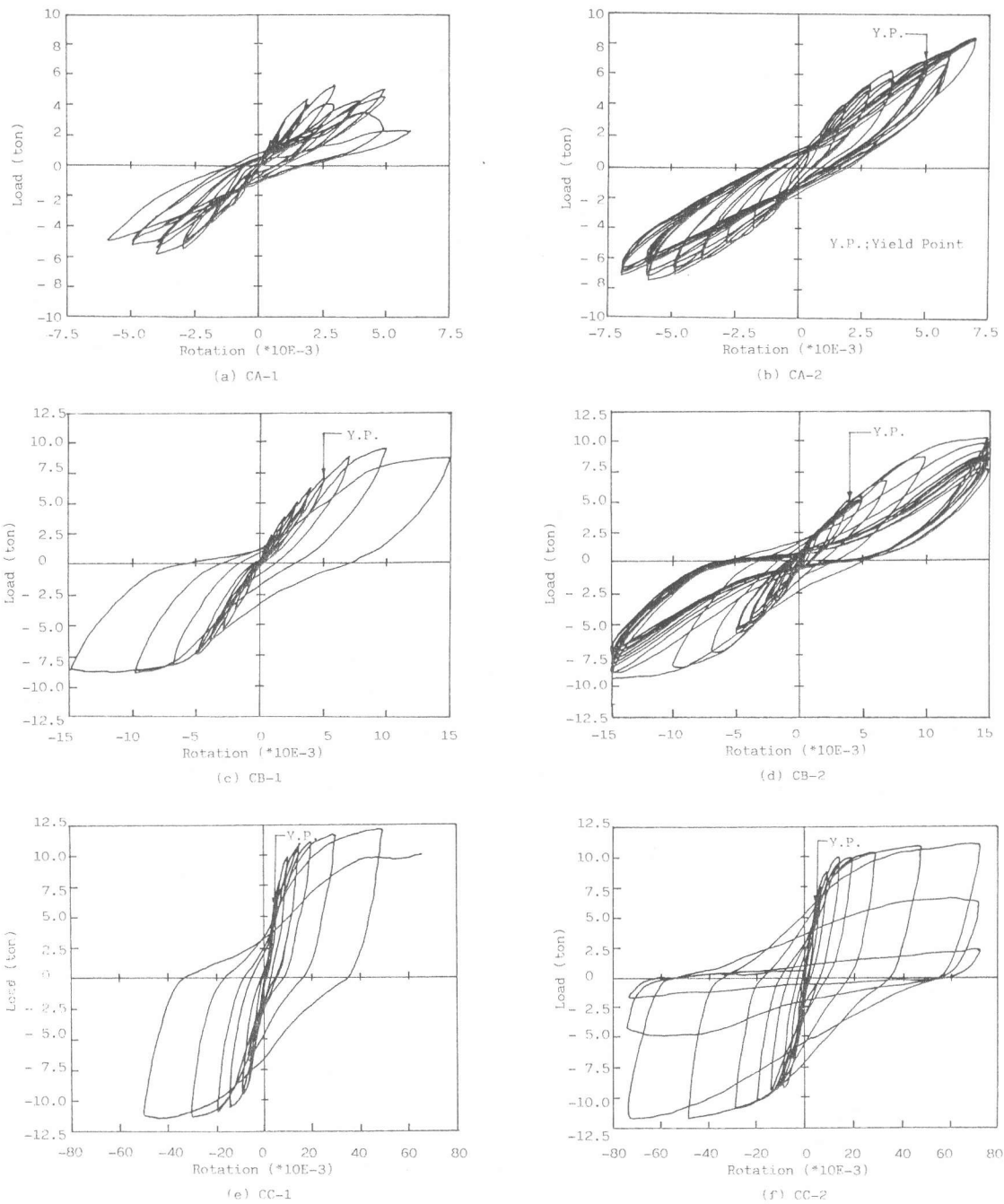


図-3 復元力特性

上記のことと、動的復元力という定義が、構造物の粘性的な抵抗力も含んだものを指していることを考え合わせると、このようなせん断スパン比の比較的小さな柱部材は、部材角が小さいときは粘性減衰は無視できないものであり、部材角が大きくなるに従って履歴減衰が大きくなり、粘性減衰は無視できるほどになるということを示している。

3.3 せん断破壊型の動的挙動と曲げ破壊型の動的挙動の比較

³⁾ 前報と本報告(両者とも同じ歪速度である。)とにより、せん断破壊型と曲げ破壊型の動的挙動を以下で比較してみる。まず、耐力については、曲げ破壊型では歪速度の増加による耐力の上昇は顕著ではなかったが、せん断破壊型では著しく、両破壊型で歪速度による耐力上昇に大きな差が生じる結果となった。次に、復元力特性につ

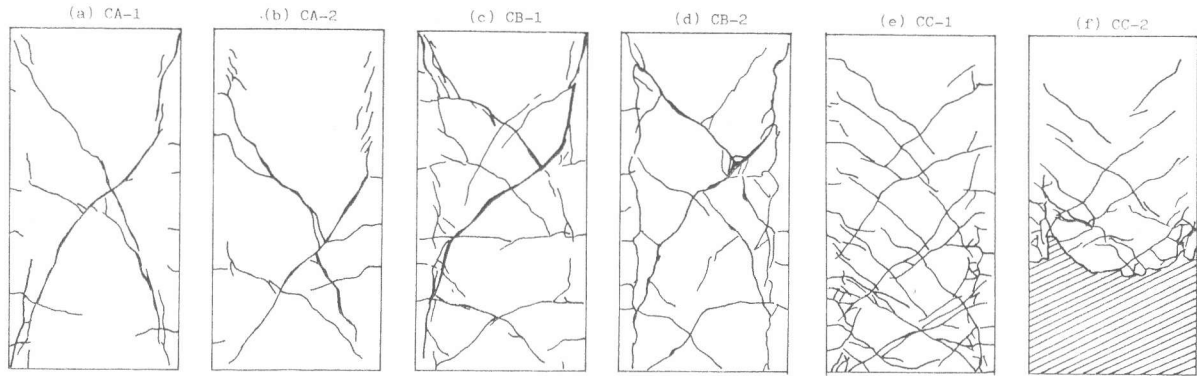


図-4 ひびわれ性状

いては、ヒステリシスループは両破壊型とも歪速度が大きくなると、より紡錘形となる傾向にあり、部材の粘性減衰成分が寄与してきた結果と考えられる。また、ひびわれ性状と破壊性状は、両破壊型とも静的実験と動の実験で大きな差異は認め難く、どちらかと言えば、両破壊型とも歪速度が大きくなるとひびわれの本数が少なくなる傾向にある。変形性能は、曲げ破壊型では歪速度が大きくなると幾分低下する傾向にあるが、せん断破壊型では静的実験時の最大荷重時変位を越えても動の実験では荷重が増加し、静的実験に比べて動の実験時に幾分変形性能が上回る傾向が見られた。

表-4 累積消費エネルギー

試験体	実験	部材角 $R=3.0$ $\times 10^{-3}$ rad まで	静的実験の 最大荷重時まで	動の実験の 最大荷重時まで
CA-1	静的	27.68	27.68	117.95
CA-2	動的	58.78	58.78	228.79
CB-1	静的	17.76	183.97	382.90
CB-2	動的	40.38	266.53	441.41
CC-1	静的	15.39	1544.91	2718.47
CC-2	動的	40.11	1803.68	2977.24

単位: $t \cdot m \cdot mm$

これらのことは、従来の帯鉄筋のほとんど入っていない橋台・橋脚等でも地震力のような動的外力を受ける時は耐力と変形性能が向上し、静的実験の結果をもとにした基準を用いた場合には、それは安全側の値となることを示唆している。しかし、一方、地震被害の結果から、せん断破壊した部材への地震入力を推定する場合に低めの推定となる危険性も含んでいる。

4. 結論

せん断スパン比が2.67の鉄筋コンクリート柱部材について、動の実験(変位速度 20 cm/sec)と静的実験を実施し、歪速度の影響を検討した。本研究の範囲内で以下のことが言えると思われる。

- (1) 試験体の耐力に及ぼす歪速度の影響は、きわめて大きい。一般に、動の実験による試験体の耐力は、静的実験による耐力より大きくなる。特に、この傾向は帯鉄筋の少ないせん断破壊型の試験体で顕著であり、26~58%も増加する。また、試験体の累積消費エネルギーも動の実験時は静的実験時に比べて増加する。
- (2) 試験体のひびわれ性状・破壊モードに及ぼす歪速度の影響は割合小さい。
- (3) 試験体の粘性減衰は、変形が小さい時は無視できないくらい大きく、変形が増大するとともに小さくなる。

参考文献

- 1) 佐原・睦好・町田：鉄筋コンクリート部材の力学的特性に及ぼす載荷速度の影響、土木学会第38回年次学術講演概要集、第5部、PP369~PP370、昭和58年9月
- 2) 荒川・荒井・藤田・江頭：鉄筋コンクリート柱の耐力と靱性に及ぼす繰返し載荷速度の影響、第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集、PP325~PP328、1982
- 3) 遠藤・加藤・田辺：鉄筋コンクリート柱部材の動的特性に関する研究、第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集、PP481~PP484、1983