

SRC柱の動的耐力、変形性能に関する実験的検討

長屋和宏¹・運上茂樹²

¹正会員 建設省土木研究所・耐震研究室(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

²正会員 工博 建設省土木研究所・耐震研究室(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

1. まえがき

現在、鉄筋コンクリート橋脚や鋼製橋脚については、部材の非線形域の特性を考慮した地震時保有水平耐力法により耐震設計されている。鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)など鋼材とコンクリートを合成した構造については、鋼材とコンクリートの両者の利点を兼ねることが可能となり、耐震設計上も高強度または高じん性の構造を設計することも可能と考えられる。しかしながら、SRC構造を有する橋脚の動的耐力や変形性能を始め、地震時の非線形域の挙動については、必ずしも十分明らかにされていないのが実状である。

本研究では、SRC橋脚の荷重～変位特性の算定方法、終局変位の設定法の開発を目的として実施しているものであり、本文ではRC橋脚とSRC橋脚の動的耐力・変形性能の比較、SRC橋脚の動的耐力・変形性能に及ぼす軸力、帯鉄筋量、載荷繰返し回数の影響について、大型模型の正負交番繰返し載荷実験により検討した結果を報告するものである。

2. SRC橋脚模型の正負交番載荷実験

2.1 実験供試体

実験供試体は表-1に示す5体(番号は当研究室における一連番号)である。じん性能などの耐震性能の比較検討を行えるように、RC供試体を基準としてそれぞれの供試体の曲げ耐力が同一となるように設計した。

実験供試体の断面は70cm×70cmの正方形で、柱基部から載荷点までの高さは301cm、せん断支間比は4.3である。基準としたRC橋脚模型を図-1に示す。軸方向鉄筋としてSD295、D10を112本配置している。帯鉄筋としてはSD295、D6を150mm間隔で配置し、さらにSD295、D6により中間帯鉄筋を配置している。これに対し、SRC橋脚模型は図-2、

図-3に示すように、軸方向鉄筋としてSD295、D10を48本配置し、その内側にH-100*50*5*7の鋼材を4本配置した。帯鉄筋はSRC-1、2供試体ではSD295、D6を150mm間隔で、SRC-5、7供試体では70mm間隔で配置した。コンクリートは、早強ポルトランドセメントを用いた。最大骨材寸法は20mmである。なお、それぞれの実験ケースにおける検討項目は、RC供試体とSRC-1供試体がRC橋脚とSRC橋脚の比較、SRC-1供試体とSRC-2供試体が軸力の影響、SRC-1供試体とSRC-5供試体が帯鉄筋量の影響、SRC-5供試体とSRC-7供試体が載荷繰返し回数の影響についてである。

2.2 載荷方法

載荷実験状況を図-4に示す。載荷は模型供試体を横にした状態で、死荷重反力に相当する軸力を与えながら、反力壁に取り付けた動的加振機により水平荷重を加えた。なお、本載荷実験での、軸力はSRC-2供試体では128.4tf、それ以外の供試体では64.2tfとした。これはそれぞれ、26.2kgf/cm²、13.1kgf/cm²の圧縮応力度に相当する。

水平荷重の載荷は、模型供試体の最外縁における軸方向鉄筋が降伏する時の載荷点の水平変位を $1\delta_y$ (降伏変位)とし、その整数倍の変位を正負交番に変位制御で載荷した。載荷変位は正弦波とし、載荷速度は3cm/sec、各載荷ステップでの載荷繰返し回数はSRC-7供試体では10回、それ以外の供試体では3回とした。

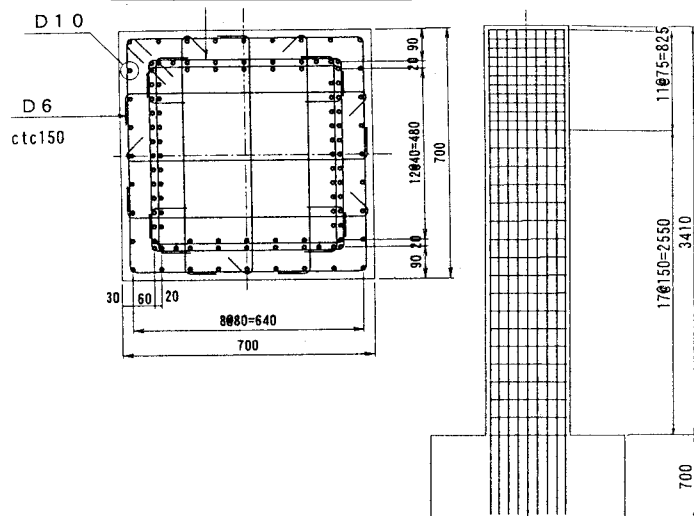
3. 載荷実験結果

3.1 損傷の進展状況

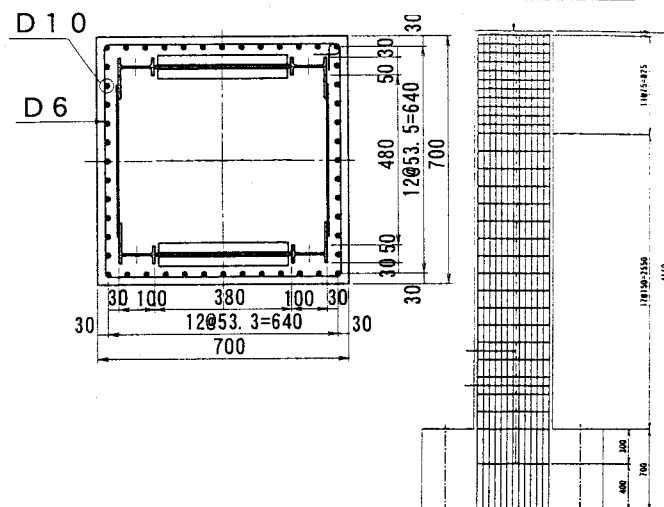
図-5～図-9は、それぞれ供試体の反加振機面柱基部における代表的な損傷の進展状況を示したものである。

表－１ 模型供試体の主要緒元および載荷特性

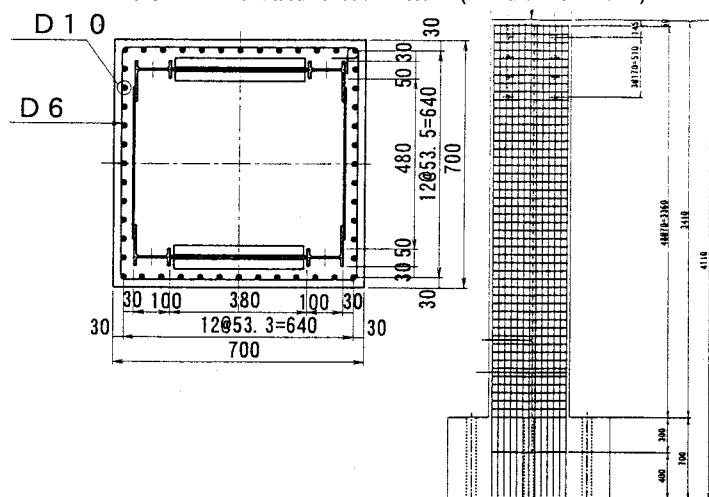
供試体No.		RC	SRC-1	SRC-2	SRC-5	SRC-7
断面 (cm)		70×70				
有効高さ (cm)		301				
せん断支間比		4.3				
軸方向鉄筋	使用鉄筋	SD295-D10				
	本数	112本	48本			
	鉄筋比 (%)	1.630	0.699			
H型鋼材	使用鋼材 (mm)	-	H-100*50*5*7			
	本数	-	4本			
	鋼材比 (%)	-	0.951			
横拘束筋	使用鉄筋	SD295-D6				
	間隔	150mm			70mm	
	中間帯鉄筋	160mm間隔	-			
	鉄筋体積比 (%)	0.467	0.113		0.242	
コンクリート	使用セメント	早強ポルトランドセメント				
	最大骨材寸法 (mm)	20				
	圧縮強度 (kg/cm ²)	322.0	249.0	289.0	281.0	280.7
軸力 (kg/cm ²)		13.1		26.2	13.1	
載荷繰返し回数		3				10



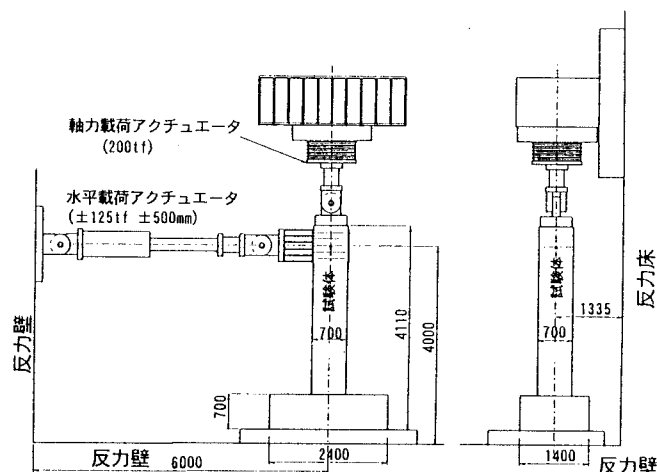
図－１ 実験供試体の緒元(RC模型供試体)



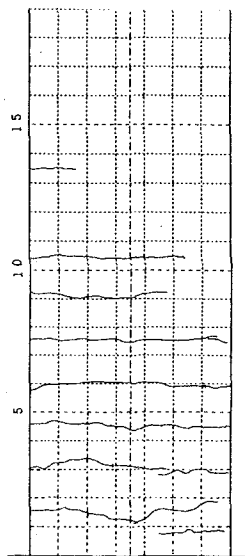
図－２ 実験供試体の緒元(SRC-1, 2模型供試体)



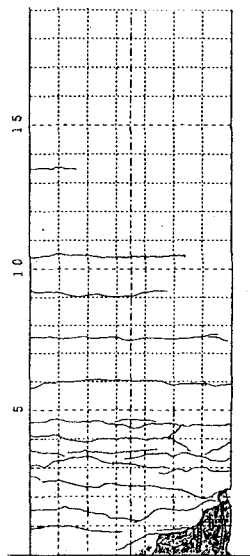
図－３ 実験供試体の緒元(SRC-5, 7模型供試体)



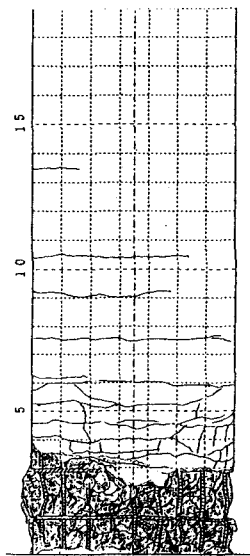
図－４ 載荷実験状況



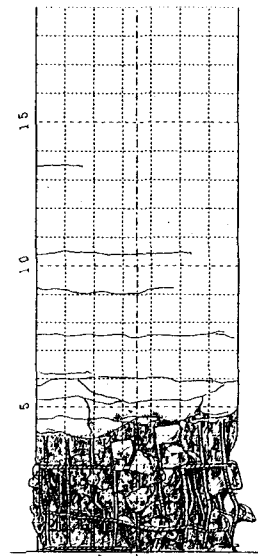
2 δy 載荷終了時



4 δy 載荷終了時

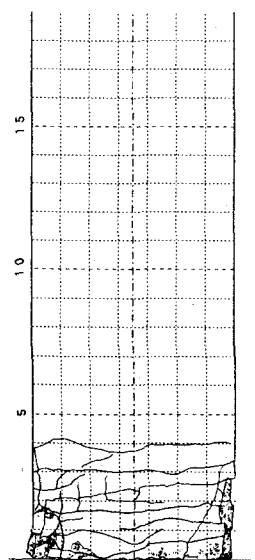


6 δy 載荷終了時

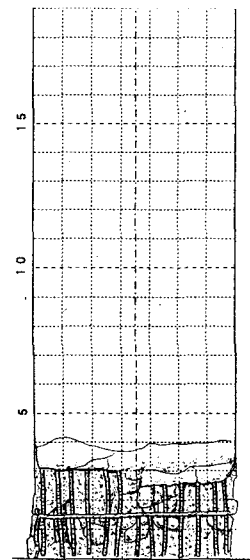


載荷実験終了時 (8 δy)

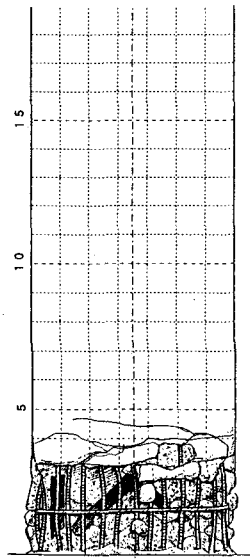
図-5 RC供試体における損傷の進展状況



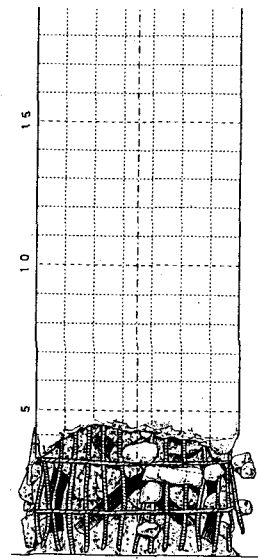
4 δy 載荷終了時



5 δy 載荷終了時

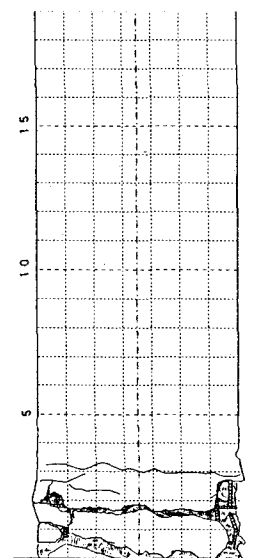


6 δy 載荷終了時

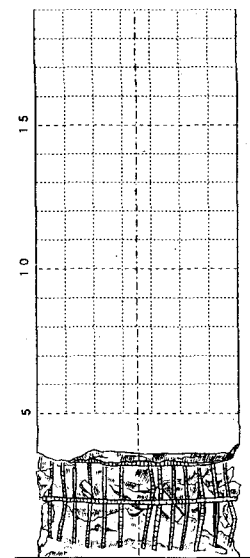


載荷実験終了時 (8 δy)

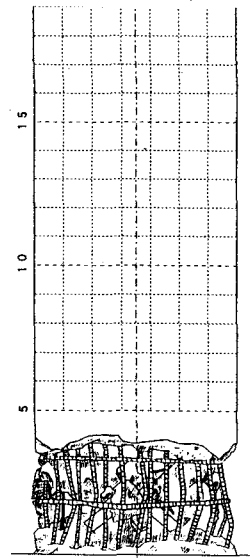
図-6 SRC-1供試体における損傷の進展状況



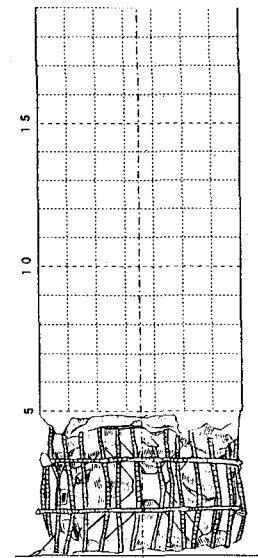
4 δy 載荷終了時



5 δy 載荷終了時



6 δy 載荷終了時



8 δy 載荷終了時

図-7 SRC-2供試体における損傷の進展状況

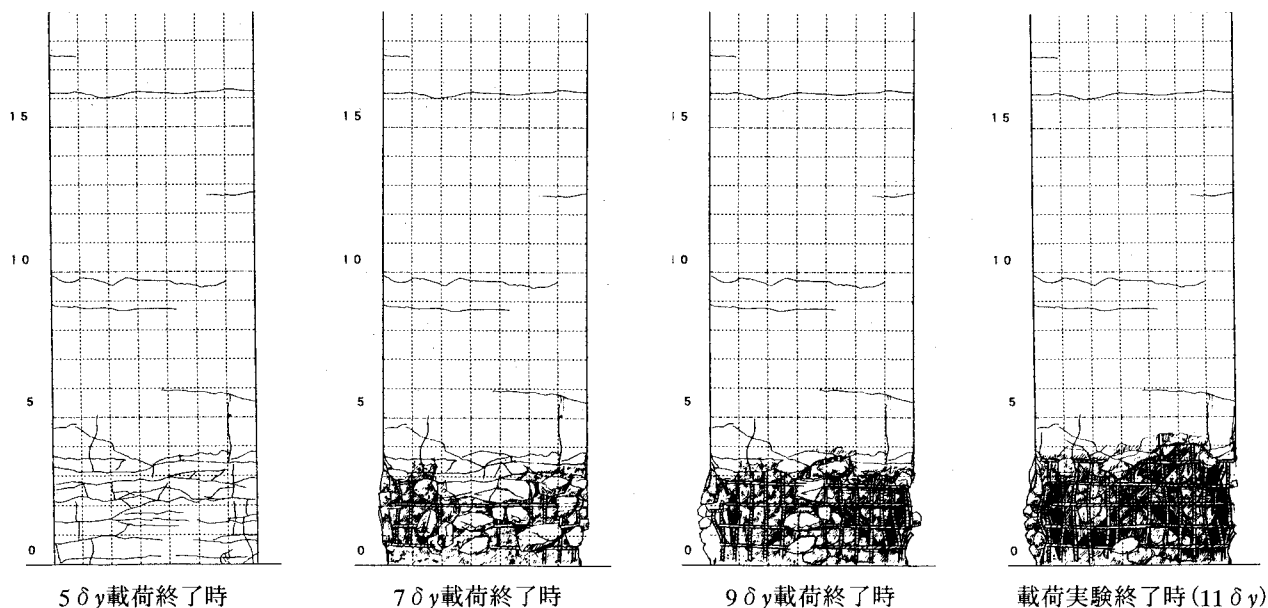


図-8 SRC-5供試体における損傷の進展状況

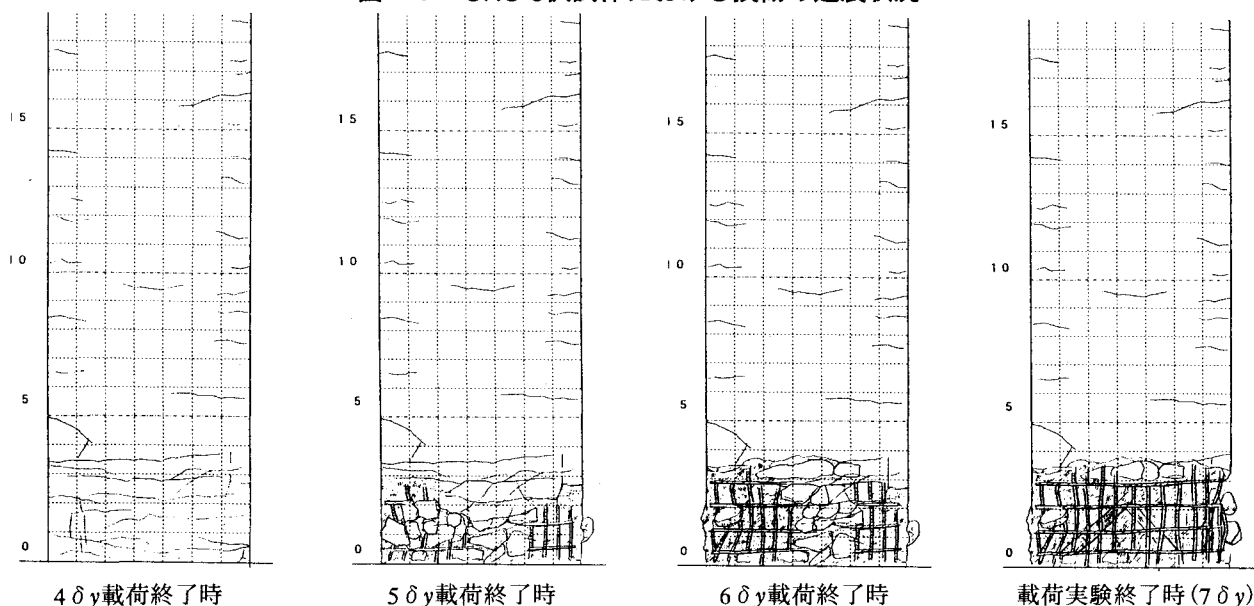


図-9 SRC-7供試体における損傷の進展状況

RC供試体の降伏変位、降伏耐力はそれぞれ17.6mm, 28.7tfである。3 δ_y 載荷まで水平方向クラックが進展し、4 δ_y 載荷時に軸方向鉄筋が座屈、柱基部のかぶりコンクリートがわずかに剥離した。その後、載荷に伴って損傷が進展し、7 δ_y 載荷時には軸方向鉄筋が破断した。8 δ_y 載荷で軸方向鉄筋がさらに破断し水平耐力が大きく低下したため、載荷実験を終了した。

SRC-1供試体の降伏変位、降伏耐力はそれぞれ14.8mm, 28.2tfである。最大耐力は37.3tfであり、4 δ_y 載荷時までほぼこの耐力を維持した。損傷の進展としては柱基部から2D程度の範囲で水平方向クラックが帯鉄筋位置で発生、進展し、4 δ_y の載荷時に軸方向鉄筋が座屈、かぶりコンクリートが剥離した。5 δ_y 、6 δ_y とコンクリートの損傷とともに徐々に水

平耐力が低下し、7 δ_y 載荷時に軸方向鉄筋と鋼材が破断して水平耐力が大きく低下した。

導入軸力を2倍としたSRC-2供試体の降伏変位、降伏耐力はそれぞれ14.3mm, 31.1tfである。最大耐力は43.2tfであった。4 δ_y 載荷時に軸方向鉄筋が大きく座屈し柱基部より300mm程度の高さまでのかぶりコンクリートが剥離した。3波目の載荷時には水平荷重が低下し、5 δ_y 載荷時に鋼材も座屈した。その後損傷の進展とともに水平耐力が低下し、7 δ_y 載荷時に軸方向鉄筋と鋼材が破断し、水平耐力が大きく低下した。

帯鉄筋量を70mm間隔としたSRC-5供試体の降伏変位、降伏耐力はそれぞれ13.9mm, 28.4tfである。最大耐力は40.4tfを3 δ_y 載荷時に示し、その後6 δ_y 載荷時の1サイクル目までこの耐力を維持した。6 δ_y

載荷時の2サイクル目に軸方向鉄筋が座屈、かぶりコンクリートが剥離し、載荷の進展と共に徐々に耐力が低下した。7 δ_y 載荷時に軸方向鉄筋が破断し、鋼材と軸方向鉄筋の間のコンクリートも剥落、帯鉄筋が有効に機能しない状態となった。8 δ_y 載荷時には鋼材が座屈し、10 δ_y 載荷時に鋼材が破断して水平耐力が大きく低下した。

載荷繰返し回数を10回としたSRC-7供試体の降伏変位、降伏耐力はそれぞれ15.6mm、30.3tfである。4 δ_y 載荷時の1サイクル目の載荷までほぼこの耐力を維持した。載荷実験開始時より柱基部に水平方向クラックが多数発生し、3 δ_y 載荷時にかぶりコンクリートがわずかに剥離した。4 δ_y 載荷時に軸方向鉄筋が座屈し、かぶりコンクリートの剥離が進行した。5 δ_y 載荷時に軸方向鉄筋が3本、帯鉄筋が1本破断し、水平耐力も載荷繰返しに伴って低下した。6 δ_y には、軸方向鉄筋の破断が進行し、鋼材の溶接部分が破断し水平耐力が大きく低下した。7 δ_y に鋼材が破断し水平耐力がほとんど無い状態となり載荷実験を終了した。

3.2 荷重～変位の履歴曲線

図－10～図－14は、各供試体の載荷位置における荷重～変位の履歴曲線と損傷の進展状況を示したものである。また、それぞれの模型供試体の実験による耐力、変形性能を表－2に示す。なお、ここでは、実験による終局変位を水平変位-水平荷重の

包絡曲線から初降伏耐力より低下した時の水平変位とした。

これより、曲げ耐力を同一となるように設定したRC供試体およびSRC-1供試体では、ほぼ同等の変形性能であった。降伏耐力についても、設計時に設定した耐力とほぼ同じであった。しかしながらSRC供試体では、最大耐力を示した後、載荷ステップの進展に伴い徐々に耐力が低下していく挙動を示した。これは、SRC供試体では鋼材が柱断面において鉄筋に対して内側に配置されているため、かぶりコンクリートの損傷に伴い圧縮有効断面積が徐々に小さくなったためと考えられる。この傾向は、今回行ったSRC供試体全体で見られた。

一方、導入軸力を2倍としたSRC-2供試体では、変形性能には大きな差異は見られなかった。

また、帯鉄筋をより多く配置したSRC-5供試体では、SRC-1供試体と比較して帯鉄筋により軸方向鉄筋の座屈、鉄筋と鋼材間のコンクリートの損傷を抑えることができ、このため鋼材の座屈も抑えられ、より大きな変形性能が得られた。

載荷繰返し回数を10回としたSRC-7供試体では、同一緒元を有し繰返し回数を3回としたSRC-5供試体と比較して軸方向鉄筋、鋼材の座屈が早い段階でおきた。特に鋼材の座屈に対しては載荷繰返し回数が大きく影響していると考えられ、鋼材が座屈したと思われる6 δ_y 載荷時には載荷繰返しが進む毎に耐力が大きく低下した。

表－2 耐力および変形性能

		RC 供試体	SRC-1 供試体	SRC-2 供試体	SRC-5 供試体	SRC-7 供試体
載 荷 実 験 結 果	初降伏耐力 P_y (tf)	28.67	28.15	31.10	28.35	30.30
	最大耐力 P_{max} (tf)	37.87	37.30	42.00	40.40	39.60
	初降伏変位 δy (mm)	17.56	14.75	14.30	13.85	15.60
	終局変位 δu (mm)	117.70	101.49	90.05	126.70	80.92
じん性率 $\delta u / \delta y$		6.70	6.88	6.30	9.86	5.19

4. まとめ

SRC橋脚の荷重～変位特性の算定方法、終局変位の設定法の開発を目的とした模型橋脚を用いた正負交番載荷実験を行った。実験結果をまとめると以下のとおりである。

- (1)破壊モード いずれのSRC橋脚も軸方向鉄筋の座屈、かぶりコンクリートの剥離、鋼材の座屈・破断という破壊モードであった。特に、鋼材の座屈・破断は水平耐力を大きく低下させる要因であった。
- (2)耐力・変形性能 中間帯鉄筋を配置したRC橋脚模型と比較してほぼ同等の変形性能が得られた。ま

た、同じSRC橋脚でも帯鉄筋をより多く配置したSRC-5模型供試体では、軸方向鉄筋の座屈、鋼材の座屈・破断を遅らせることができ、より大きな変形性能が得られた。しかしながら、載荷繰返し回数は、鋼材の座屈、破断に大きく影響し小さな変形性能となった。導入軸力はSRC橋脚の変形性能には大きな影響は及ぼさなかった。

参考文献

- 1) 複合構造設計・施工指針(案)、土木学会コンクリートライブラリ90

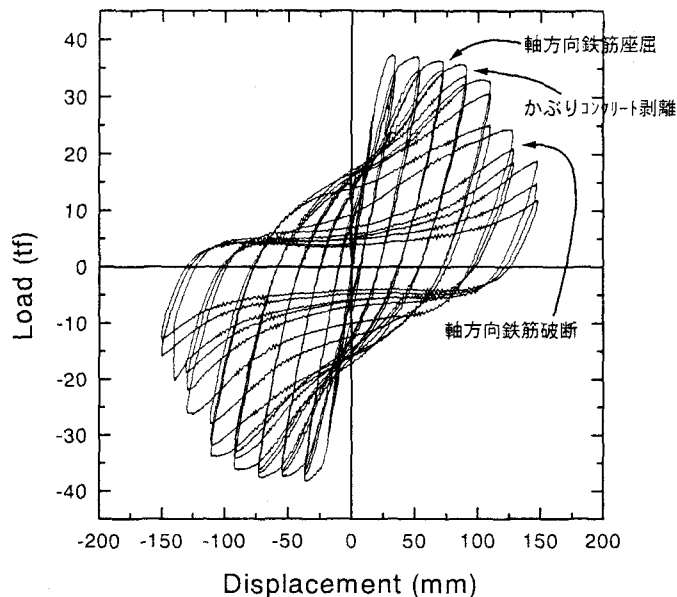


図-10 RC供試体における変位-荷重履歴曲線

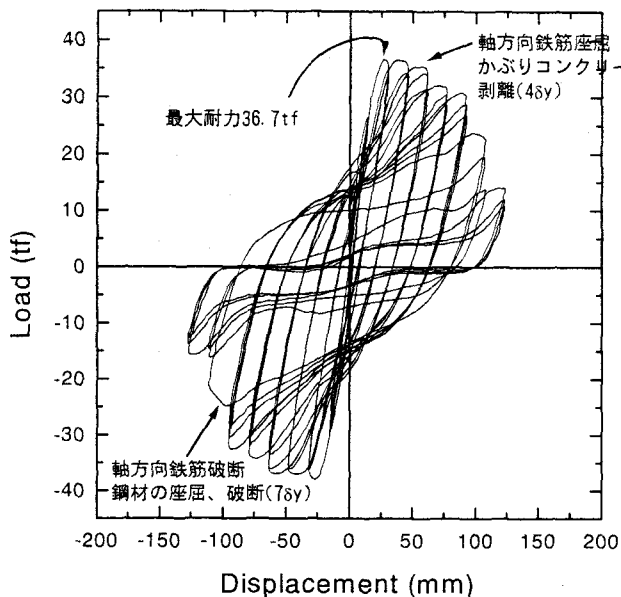


図-11 SRC-1供試体における変位-荷重履歴曲線

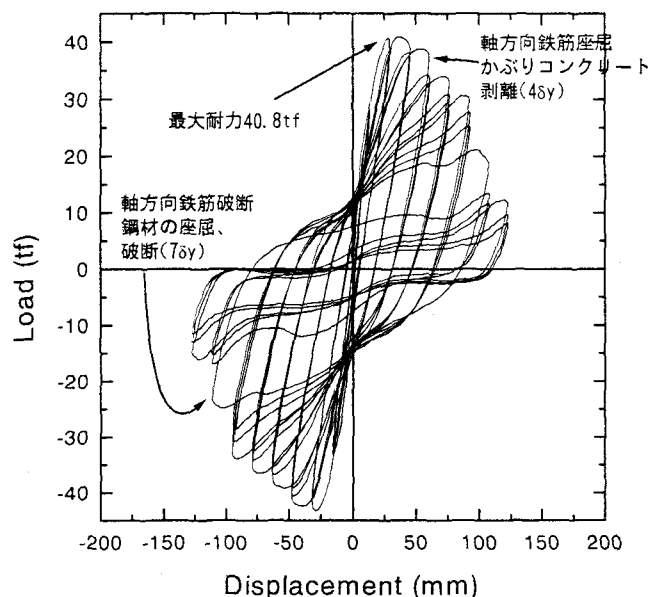


図-12 SRC-2供試体における変位-荷重履歴曲線

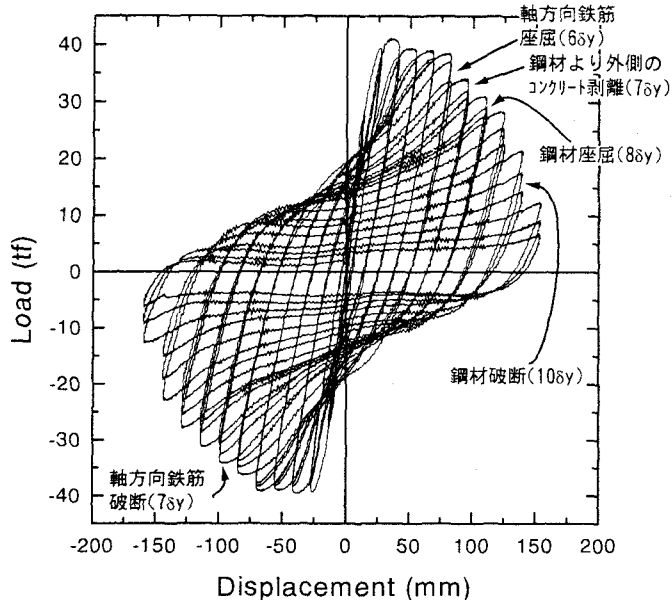


図-13 SRC-5供試体における変位-荷重履歴曲線

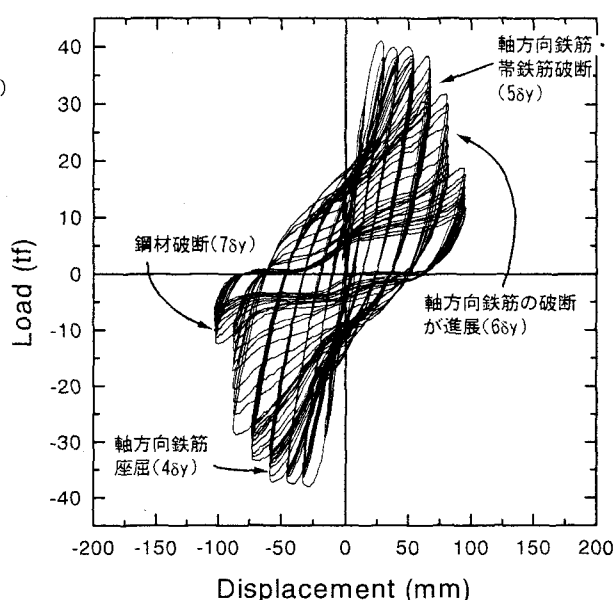


図-14 SRC-7供試体における変位-荷重履歴曲線