

SRC橋脚の非線形履歴特性 に関する実験的研究

長屋和宏¹・運上茂樹²・星隈順一³

¹正会員 建設省土木研究所・耐震研究室(〒305 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

³正会員 工修 建設省土木研究所・耐震研究室

鋼材とコンクリートを合成した鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)構造では、鋼材とコンクリートの両者の利点を兼ね備えさせることが可能であり、高耐力または高じん性の耐震性に優れた構造であることが期待される。しかし、動的耐力や変形性能を始め、地震時の非線形域での挙動やその解析モデルについては十分に解明されていないのが実状である。本報告は、SRC橋脚の耐震設計法の確立を目的として、断面内にI形鋼を配置した場合を対象に、鋼材の配置方法をパラメータとして行った2体の模型橋脚の正負交番載荷実験を行った。その結果、水平耐力については、いずれの模型橋脚でもほぼ設計計算通りの結果が得られた。また変形性能については、鋼材を図心寄りに配置した方が鋼材のひずみを小さくできることから、コンクリートの剥離や鋼材の座屈を抑えることができ、大きな変形性能を示すことがわかった。

Key Words : SRC Pier, Seismic Design, Cyclic Loading Test, Non-linear Hysteresis

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が有効に活用できるため、高耐力または高じん性の構造を設計することが可能と考えられる。しかしながら、合成構造の動的耐力や変形性能を始め、地震時の非線形域の挙動とその解析手法については、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の開発を目的として、大型模型の正負交番繰り返し載荷実験により、SRC橋脚の動的耐力、変形性能について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

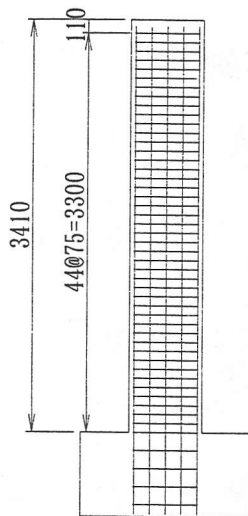
(1) 実験供試体

実験供試体は、図-1に示すように、実物の約1/5程度の寸法とし、断面が60cm×60cm、基部から載荷点までの高さは301cm、せん断支間比は5.02である。軸方向鉄筋はSD295, D10であり、軸方向鉄筋比は0.317%(引張鉄筋比は0.099%)である。また、横拘束筋はSD295, D6を7.5cm間隔で配筋した。鋼材

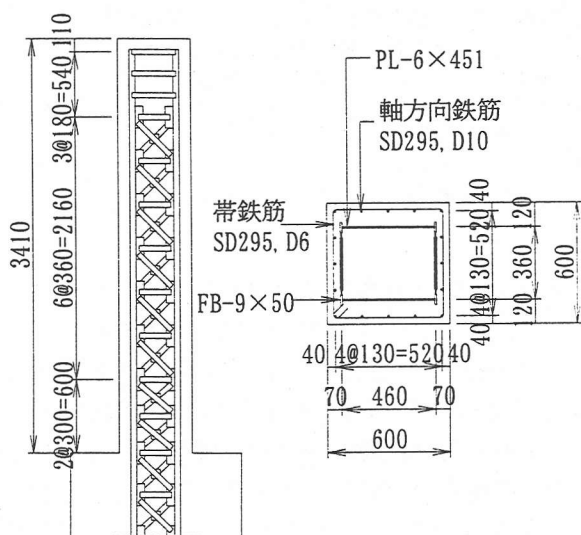
はSS400材のI型鋼を充腹面が載荷方向と平行になるように配置し、鋼材の配置方法(本数)をパラメータとして2体(SRC-3, SRC-4; 番号は当研究室における一連番号)製作した。供試体の諸元は表-1に示すとおりであり、最外縁の軸方向鉄筋が降伏する時の曲げ降伏耐力が同一となるように鋼材量を設計した。鋼材間の連結方法は図-1に示すように各模型

表-1 供試体の主要緒元

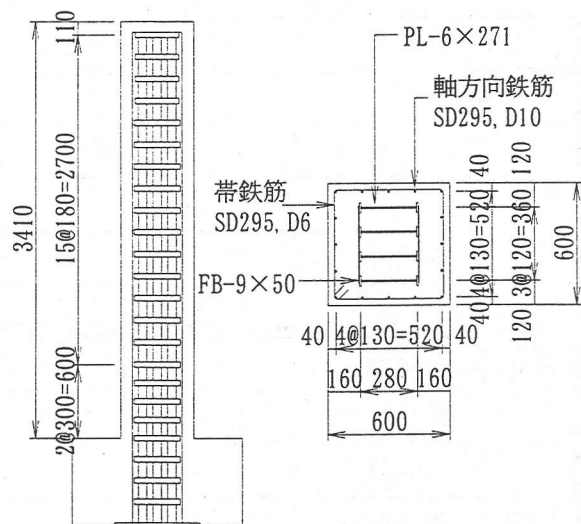
供試体No.		SRC-3	SRC-4
断面(cm)		60×60	
軸方向鉄筋	使用鉄筋	SD295, D10	
	本数	16	
	鉄筋比(%)	0.317	
I型鋼材	使用鋼材(mm)	SS400 460*50*6*9	SS400 280*50*6*9
	本数	2	4
	鋼材比(%)	2.303	2.807
横拘束筋	使用鉄筋	SD295, D6	
	間隔(mm)	75	
	鉄筋比(%)	0.243	
設計降伏荷重(t)		16.57	15.83
設計最大荷重(t)		24.13	26.40



(a)鉄筋配置



(b)SRC-3供試体



(c)SRC-4供試体

図-1 模型供試体諸元

供試体により違うが、これは供試体製作時の溶接箇所を少なくし、鋼材の溶接作業によるひずみの影響を小さくしたためである。なお、鋼材を断面の最外

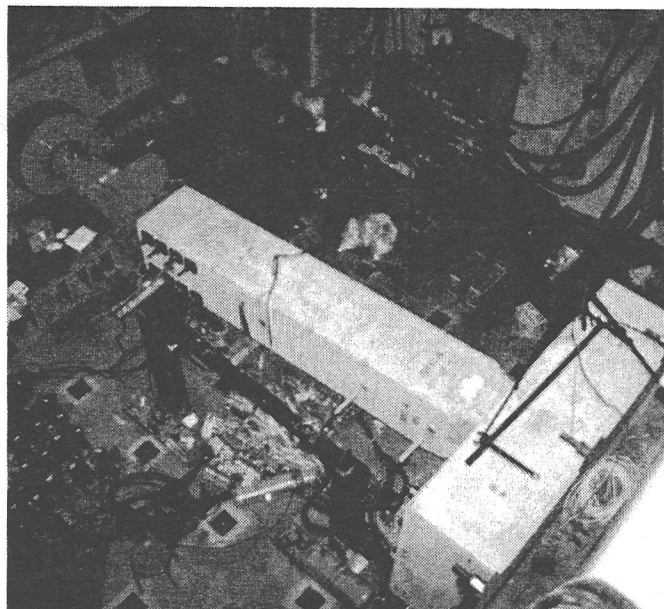


写真-1 載荷実験状況

縁に近く配置した場合には、断面の耐力を大きくすることが可能で、逆に鋼材を断面の図心寄りに配置した場合には、同じ断面のひずみに対して鋼材のひずみを小さくでき、その分変形性能を大きくすることが可能になるが、同等の耐力を得るためには鋼材量が多くなる。

(2) 載荷方法

載荷実験は、写真-1に示すように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、動的加振機により水平荷重を加えた。なお、導入軸力は47.2tfとした。これは、13.1kgf/cm²の圧縮応力度に相当する。降伏変位(1 δ_y)は供試体基部最外縁の軸方向鉄筋が降伏した時の水平変位とし、その整数倍の変位を変位制御により正負交番で載荷した。今回の実験では予備載荷の結果から、それぞれの供試体共に1 δ_y =14.5mmとした。載荷速度は30 mm/sec、各載荷ステップでの載荷繰り返し回数は3回とした。

3. 実験結果

(1) 損傷の進展状況と荷重～変位の履歴曲線

図-2、図-3は、それぞれ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。ここには、鋼材を鉄筋に置き換え鉄筋コンクリートと同様にして算出した荷重～変位の関係も示している。

SRC-3供試体は、降伏耐力14.1tf、最大耐力28.7tfであり、6 δ_y 載荷時までほぼこの耐力を維持した。

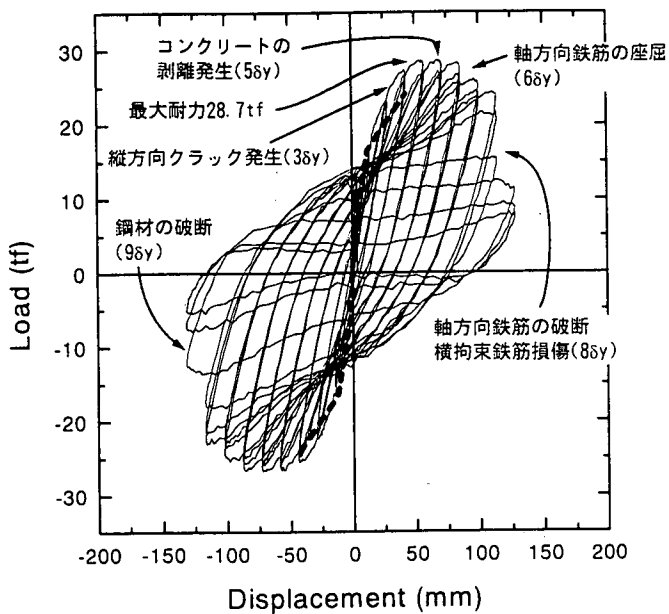


図-2 荷重-変位履歴曲線(SRC-3供試体)

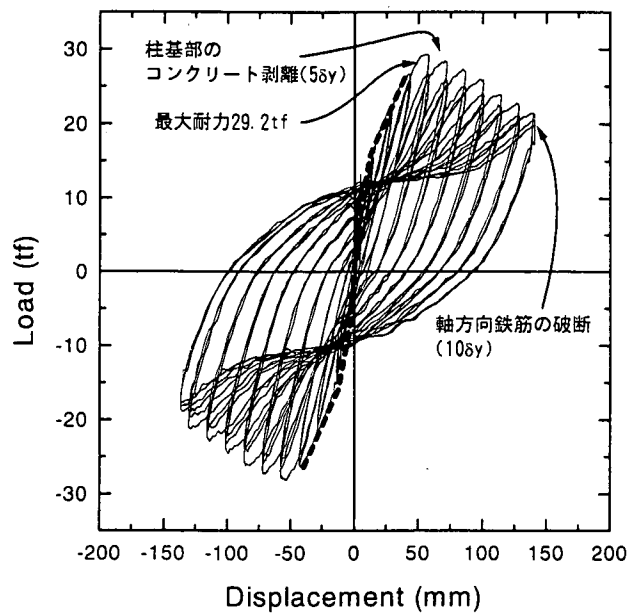


図-3 荷重-変位履歴曲線(SRC-4供試体)

損傷の進展は載荷実験開始時から柱全体に水平方向クラックが発生し、 $3\delta_y$ では載荷面および反載荷面で縦方向のクラックが鋼材のフランジに沿った位置で発生した。 $5\delta_y$ よりコンクリートの剥離が始まり、 $7\delta_y$ で軸方向鉄筋が座屈、コンクリートも大きく剥離し、水平耐力が低下した。 $8\delta_y$ で軸方向鉄筋が3本破断し、横拘束筋のフックが拡がり鉄筋の内側のコンクリートも剥落した。 $9\delta_y$ で鋼材のフランジ部分が破断し、終局状態となった。載荷実験終了後、基部のコンクリートを剥がし鋼材の損傷状況を確認したところ、ウェブもフランジ部分から150mmほど破断しており、中心部分も座屈していた。

一方、SRC-4供試体の降伏耐力は14.1tf、最大耐力は29.2tfを $4\delta_y$ 載荷時に示し、その後載荷と共に徐々に耐力が低下した。SRC-3供試体と同様に実験開始時から柱全体に水平方向クラックが発生したが、鋼材に対するコンクリート被りが大きいため、縦方向のクラックは生じなかった。その後、基部のクラックが進展し、 $6\delta_y$ よりコンクリートの剥離が始まり、 $7\delta_y$ では基部から高さ300mmまでのコンクリートが剥落した。しかし、 $8\delta_y$ 以降も横拘束筋のフックが拡がることはなく、鉄筋より内側のコンクリートは剥離しなかった。 $9\delta_y$ 、 $10\delta_y$ では軸方向鉄筋がそれぞれ4本、2本破断したが耐力は大きく失うことはなかった。しかし、試験機のストロークが足りなくなり載荷実験を終了した。載荷実験終了後、鋼材の損傷状況を確認したところ、フランジが若干座屈した程度の損傷であった。

(2)軸方向鉄筋および鋼材のひずみ分布

図-4、図-5は、 $6\delta_y$ までの各載荷ステップ毎の軸方向鉄筋及び鋼材の軸方向ひずみの最大値を示したものである。各供試体のひずみ測定位置は、軸方向鉄筋、鋼材共に、基部からの高さ25mm、75mm、75mm～675mmを100mm間隔で6点と875mmの合計9点、さらにフーチングの内部に3点とした。鋼材のひずみはフランジ外側に貼りつけたひずみゲージにて計測した。

軸方向鉄筋については、いずれの供試体についても $1\delta_y$ で基部で降伏、 $2\delta_y$ 以降、載荷の進展とともに基部周辺のひずみが大きくなり、 $3\delta_y$ 以降は非常に大きな値となった。

一方、鋼材の軸方向ひずみをは、鋼材を外側に配置したSRC-3供試体については $1\delta_y$ で約1000 μ 、 $2\delta_y$ 以降は4000 μ 以上の大きなひずみとなっているのに対し、鋼材を図心よりに配置したSRC-4供試体では $1\delta_y$ では約800 μ 、 $2\delta_y$ では2000 μ 、 $3\delta_y$ で5000 μ 程度のひずみが生じており、鋼材を図心よりに配置したSRC-4供試体のひずみの方が小さくなっている。なお、鋼材のひずみは、SRC-4供試体では基部に集中しているが、SRC-3供試体では断面高さ800mm程度まで大きなひずみが生じており、鋼材に力が伝達されているものと考えられる。なお、SRC-3供試体ではひずみの値が基部、高さ約200mm、約600mmで小さくなっているが、これは各鋼材間の連結材を設置と一致する。

4. まとめ

SRC橋脚の耐力と変形性能に及ぼす鋼材の配置方

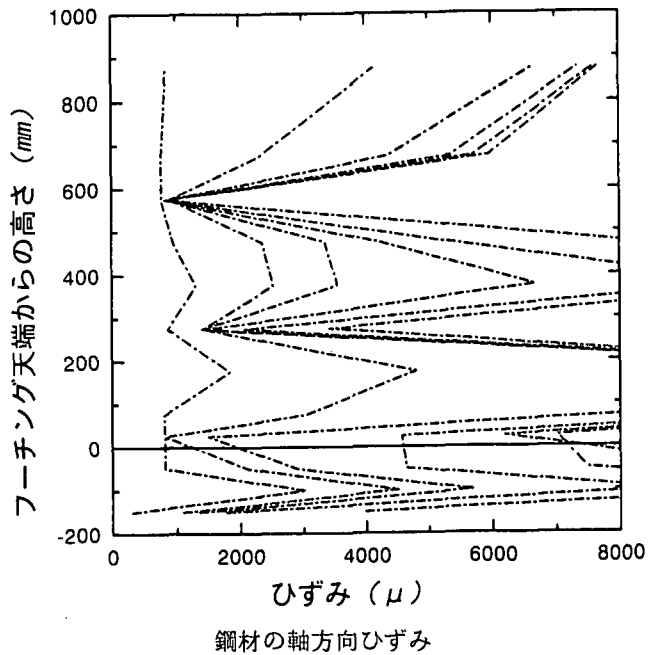
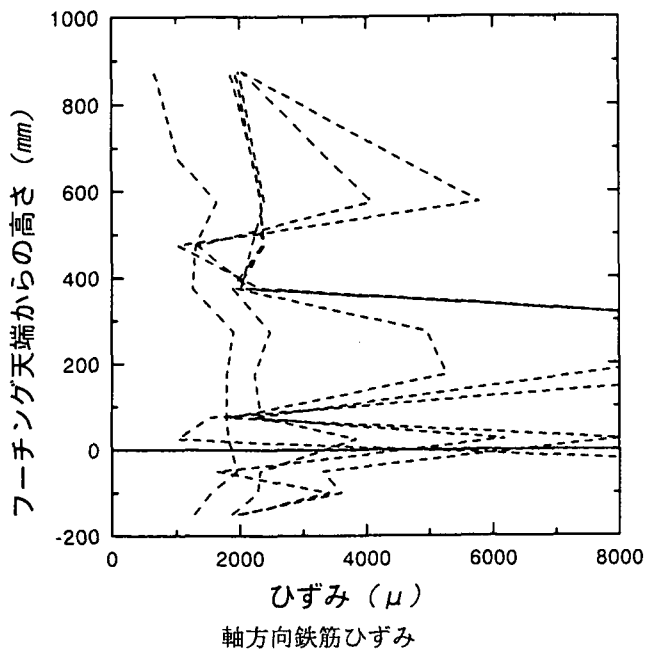


図-4 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-3供試体)

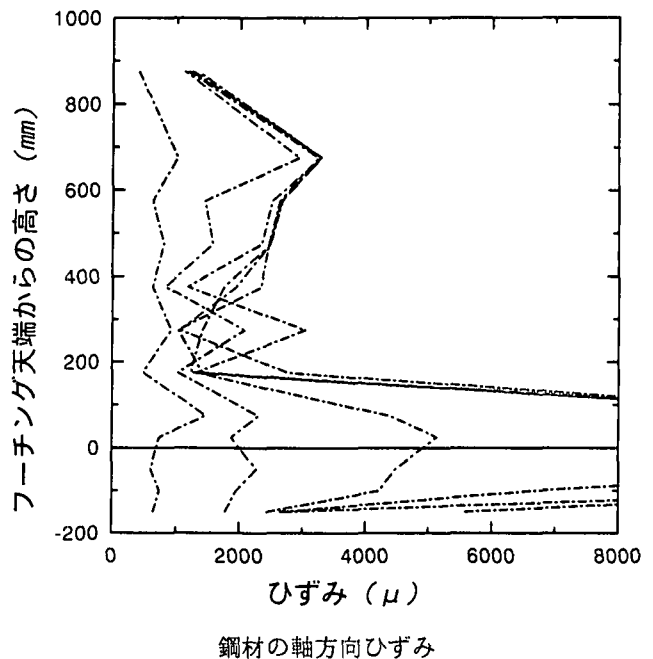
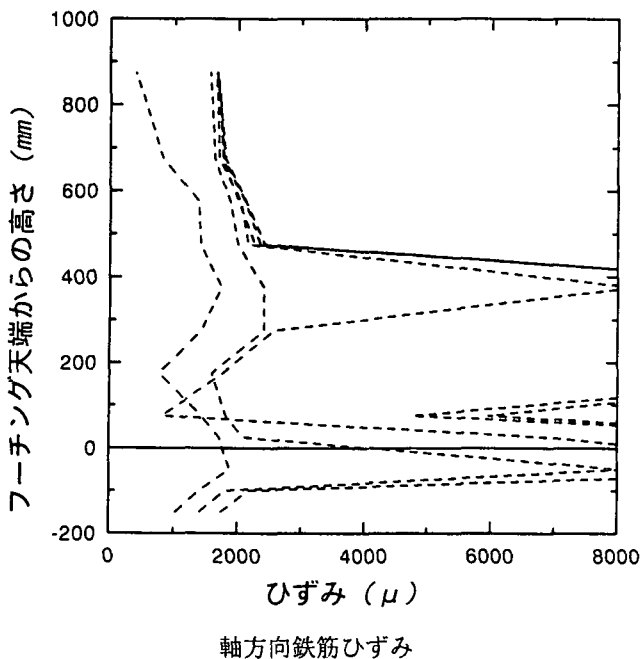


図-5 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-4供試体)

法の影響を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

載荷変位の増加とともに、コンクリートの剥離、軸方向鉄筋の破断、そして鋼材の破断が生じて最終状態を迎える。

鋼材を図心よりに配置したSRC-4供試体では、SRC-3供試体と同一の変形をした場合でも鋼材のひずみを小さくすることができる。このため、鋼材の破断による終局状態を遅らせることができる。

(2)耐力・変形性能

耐力については、いずれの供試体もほぼ設計計算とおりの結果が得られた。なお、SRC-3では最大耐力をとったのち、その値をある変位まで保持し、その後、耐力が低下する履歴曲線となるが、SRC-4では、最大耐力をとったのち、徐々に耐力が低下する履歴曲線となる。これは、SRC-4については鋼材の配置が図心寄りにあり、鋼材が必ずしも耐力に対して有効に機能していないことが考えられる。このため、耐力と変形性能を効果的にバランスよく鋼材を配置させる必要がある。