

矩形断面RC橋脚の損傷領域・変形性能に及ぼす せん断支間比の影響

長屋和宏¹・運上茂樹²・星隈順一²

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

兵庫県南部地震以降、大規模地震に対して適切に地震エネルギーを吸収し、抵抗できるようにじん性に富むねばり強い構造が求められている。じん性に富む鉄筋コンクリート(以下、RC)橋脚の実現には、軸方向鉄筋の座屈を防ぎ、適切にコアコンクリートを拘束することが重要であり、部材を囲む帯鉄筋や中間帯鉄筋の設置、かぶりコンクリートが剥離してもこれらが有効に作用するための鉄筋端部の定着などを確保が必要である。こうした要求を満足させるために鉄筋の配置が量的にも質的にも従来に比較して多くなり、現場での施工性が低下するなどの課題が挙げられている。

本報告は、このような背景から、帯鉄筋におけるせん断補強とじん性補強のそれぞれの効果を明確にすることを目的として、矩形断面橋脚を対象に損傷領域に及ぼすせん断支間比の影響について模型供試体を用いた載荷実験より検討した結果をまとめたものである。

表－1 模型供試体緒元

供試体No.		Case 1	Case 2
断面(mm)		600×600	
有効高さ(mm)		3,010	1,800
せん断支間比		5.0	3.0
軸方向鉄筋	使用鉄筋	SD295-D10	
	本数	48本	
	鉄筋比(%)	0.951	
横拘束鉄筋	使用鉄筋	SD295-D6	
	間隔	75mm	
	鉄筋体積比(%)	0.325	

2. 模型橋脚を用いた正負交番載荷実験

(1) 実験供試体

載荷実験に用いた実験供試体を表－1、図－1に示す。供試体の断面は600×600mmの矩形断面で、軸方向鉄筋は、SD295-D10を48本配置しており、鉄筋比は0.951%である。帯鉄筋は、SD295-D6を75mm間隔で全高にわたって配置した。帯鉄筋体積比は、0.325%である。帯鉄筋は、断面隅角部で135度フック(フック長60mm)を用いて内部コンクリートに定着した。基部から載荷点までの高さは、Case1供試体で3,010mm、Case2供試体で1,800mm、せん断支間比はそれぞれ5.0、3.0である。

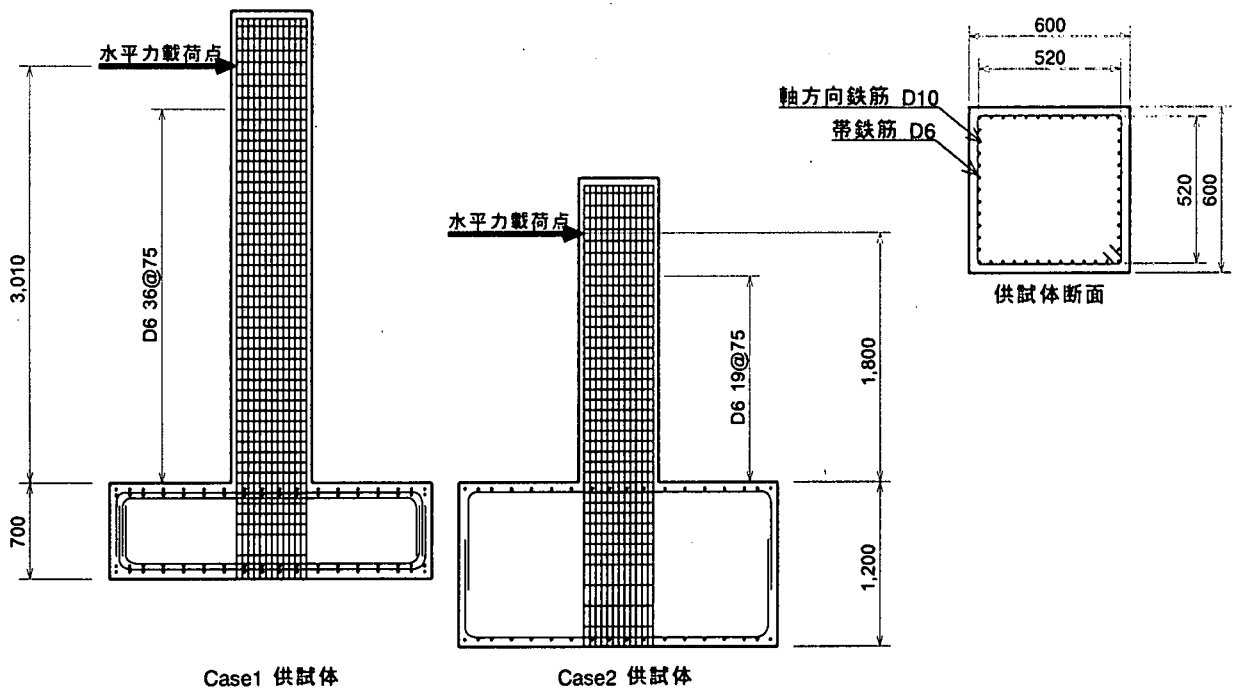
(2) 載荷方法

載荷実験は、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、本実験での軸力は、0.98MPaの圧縮応力度とした。載荷履歴は、供試体における降伏変位を供試体の最外縁に位置する軸方向鉄筋が降伏した時の荷重作用位置における水平変位を $1\delta_y$ (降伏変位)と定義し、その整数倍の変位を正負交番に変位制御で載荷した。本載荷実験の降伏変位は、予備載荷試験の結果よりCase1供試体では11.5mm、Case2供試体では4.4mmと設定した。それぞれのドリフトは、0.38%、0.24%となる。載荷速度は3cm/sec、各載荷ステップでの載荷繰返し回数は3回とした。

3. 載荷実験結果

(1) 水平荷重-水平変位履歴および損傷の進展状況

図－2は、載荷実験より得られたそれぞれの模型



図－１ 供試体緒元

供試体の載荷位置における水平荷重－変位の履歴曲線である。また、図－３は、各供試体の圧縮面に生じた損傷の進展状況を示したものである。

Case1供試体の最大耐力は、152.96kNを3 δ_y 載荷時に示し、6 δ_y 載荷までほぼこの耐力を維持した。損傷の進展としては、載荷開始時より、帯鉄筋を配置している個所のコンクリート表面に水平方向ひび割れが発生し、最大耐力を示した3 δ_y 載荷時には柱基部から約1D(600mm)の範囲で多くのひび割れが生じた。その後、5 δ_y 載荷では、圧縮面において柱基部から約150mm、300mmの位置で横断したクラックが大きく開き、柱基部のかぶりコンクリートがわずかに剥離した。6 δ_y 載荷では、載荷2サイクル目の負側および3サイクル目の正側で軸方向鉄筋が、柱基部から約150mmの位置を頂点として約300mmの範囲で座屈し、水平耐力が15%程度低下した。7 δ_y 載荷以降、徐々に水平耐力が低下し始め、8 δ_y 載荷では、柱基部より150mmの位置の帯鉄筋隅角部のフックが開き、コアコンクリートを拘束できない状態となった。軸方向鉄筋の破断は、9 δ_y 載荷で5本、11 δ_y 載荷で5本生じた。

一方、Case2供試体の最大耐力は、261.75kNを3 δ_y 載荷時に示し、8 δ_y 載荷時までほぼこの耐力を維持した。載荷開始時より、柱基部より400mm程度の範囲で水平方向ひび割れが発生し、2 δ_y 載荷時に

は、ひび割れの発生する範囲が柱基部より600mm程度の範囲と広がり、載荷方向と平行な面では柱基部より高さ600mmの位置にかけて斜め方向ひび割れが発生した。その後、4 δ_y 以降の載荷では、柱基部より400mm程度の範囲でひび割れが特に多く発生し、斜め方向のひび割れも大きく開いた。7 δ_y 載荷では、柱基部におけるかぶりコンクリートがわずかに剥離した。8 δ_y 載荷時には、柱基部の圧縮面両端においての軸方向鉄筋が柱基部より約150mmの位置を頂点として約250mm範囲で座屈、かぶりコンクリートが剥落、水平耐力も低下した。9 δ_y 載荷では、かぶりコンクリートの剥離がさらに進展し、柱基部から約250mmの範囲のほぼ全幅にわたって剥離した。軸方向鉄筋の破断は、11 δ_y 載荷時に4本、12 δ_y 載荷時に2本、13 δ_y 載荷時に2本、合計8本発生した。

(2) 水平耐力－水平変位関係の比較

図－４は、それぞれの模型供試体における水平変位－水平荷重関係を直接比較するために、水平変位を柱高さの比(ドリフト)で、水平荷重をは最大荷重で除した値で示した包絡線である。

これより、Case2供試体と比較して、Case1供試体の方が大きな変形性能を示している。しかしながら、両者は載荷実験時の基準変位(降伏変位)をドリフト

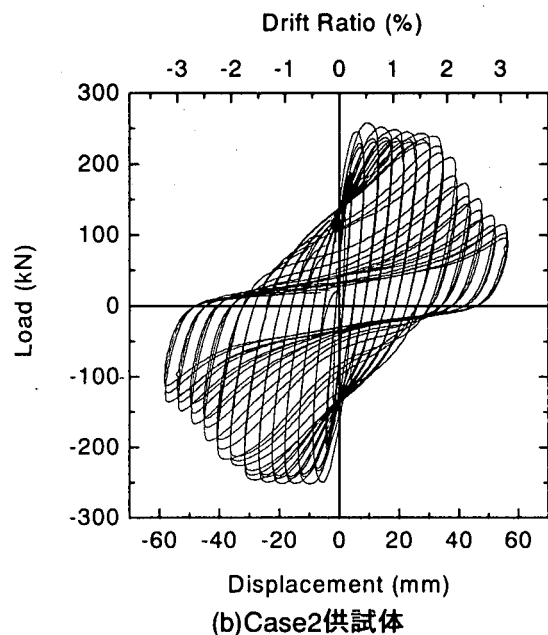
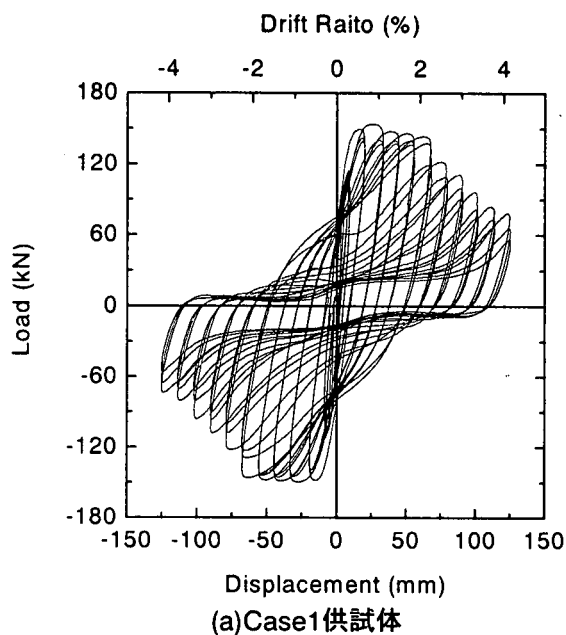


図-2 水平変位-荷重履歴曲線

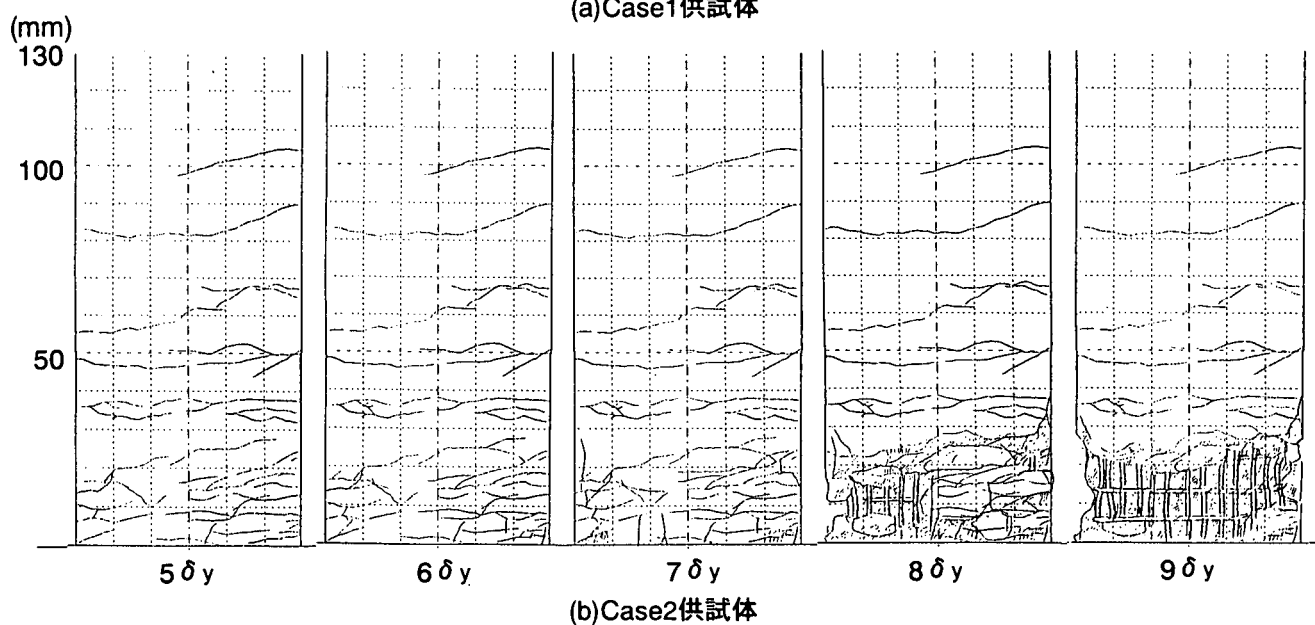
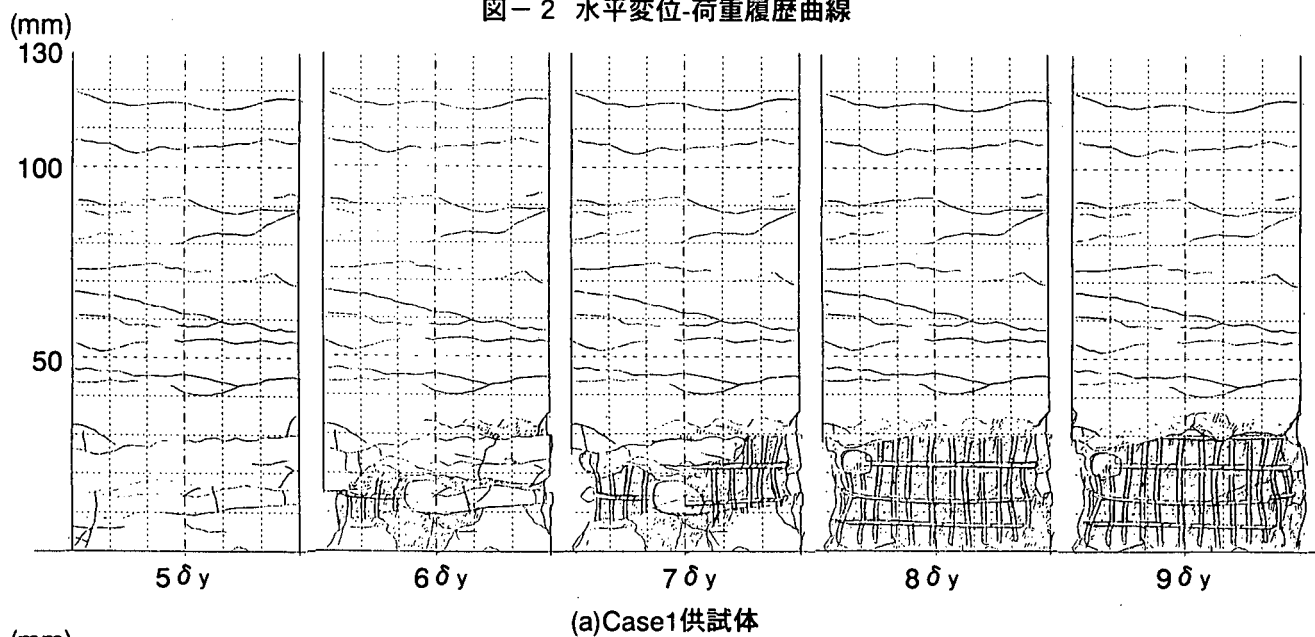


図-3 損傷の進展

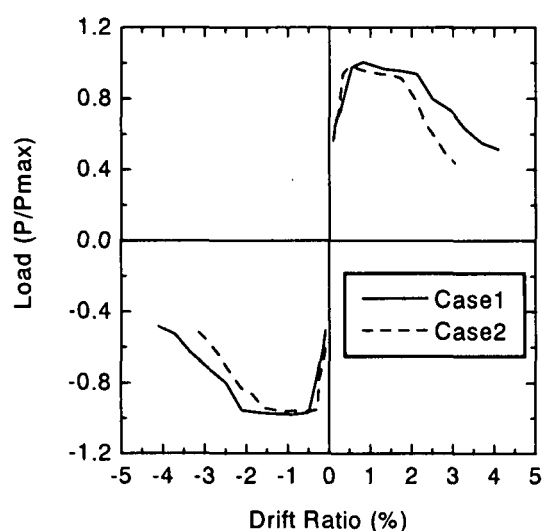


図-4 水平変位-水平荷重包絡線による比較

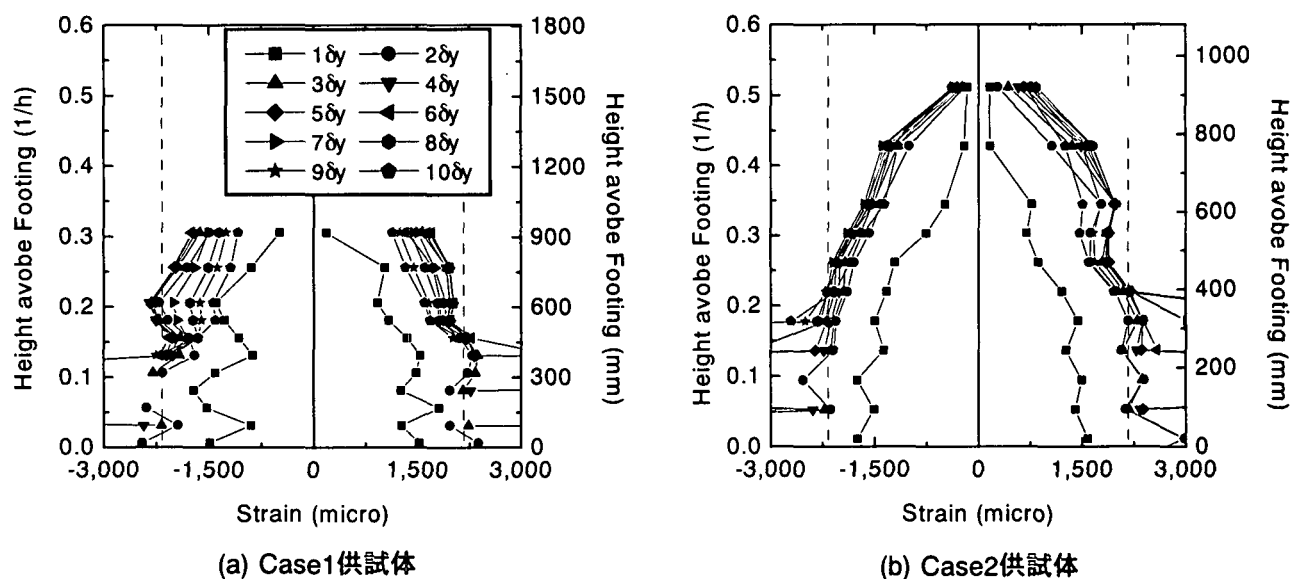


図-5 軸方向鉄筋最大ひずみ分布

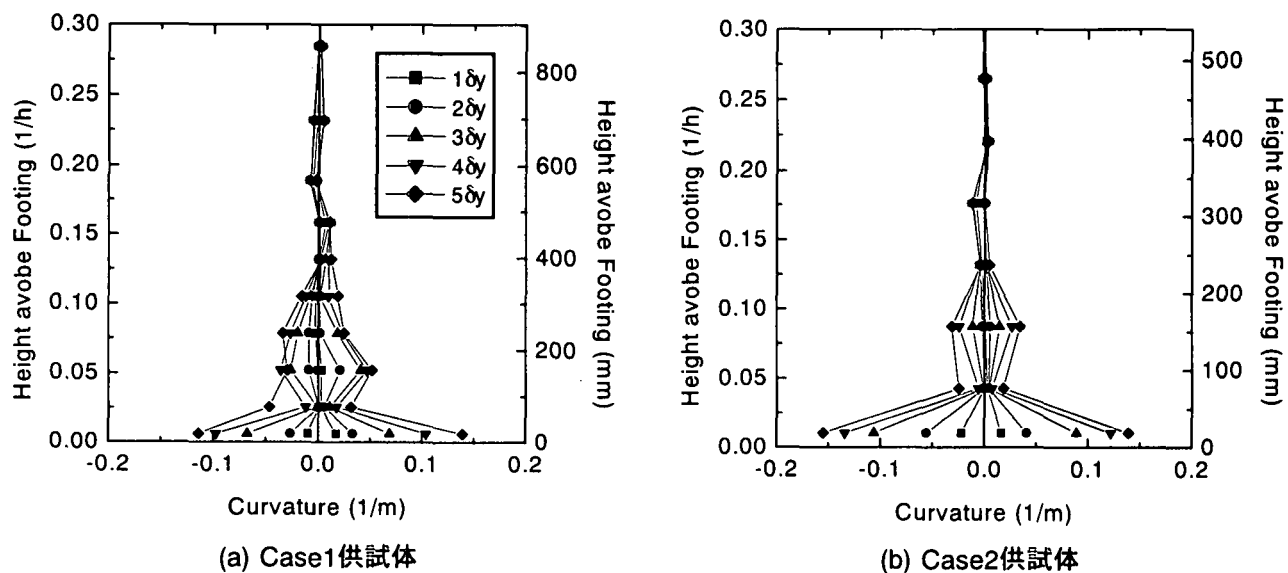
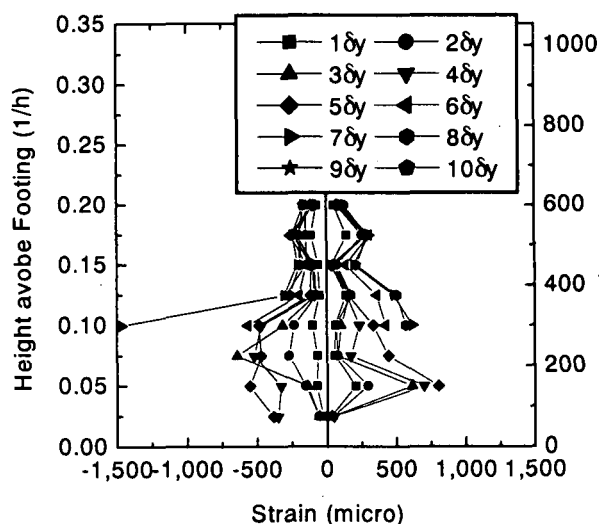
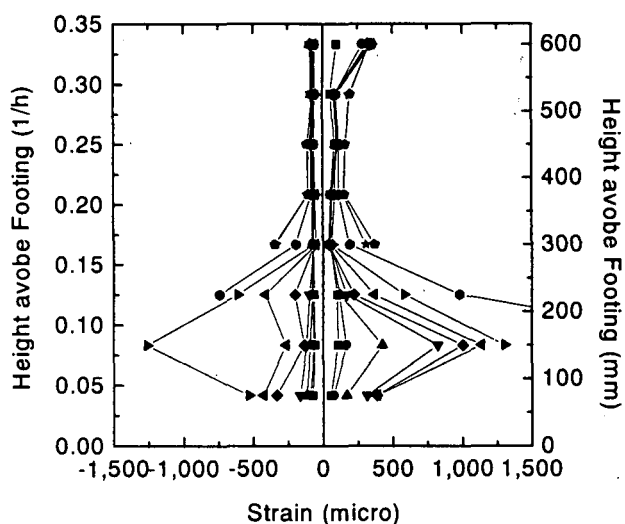


図-6 最大塑性曲率分布

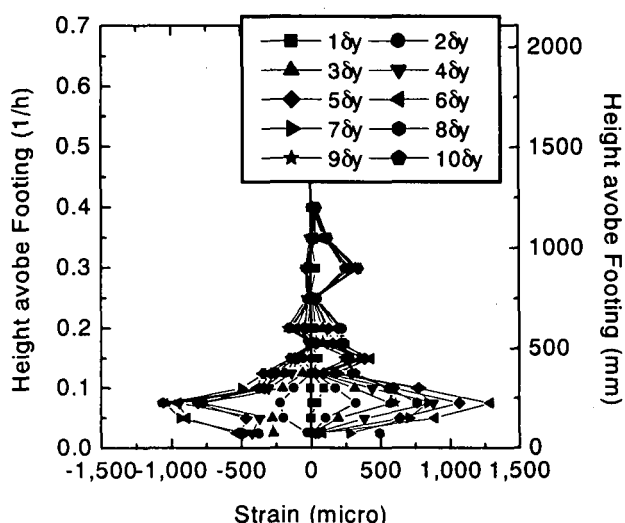


(a) Case1供試体

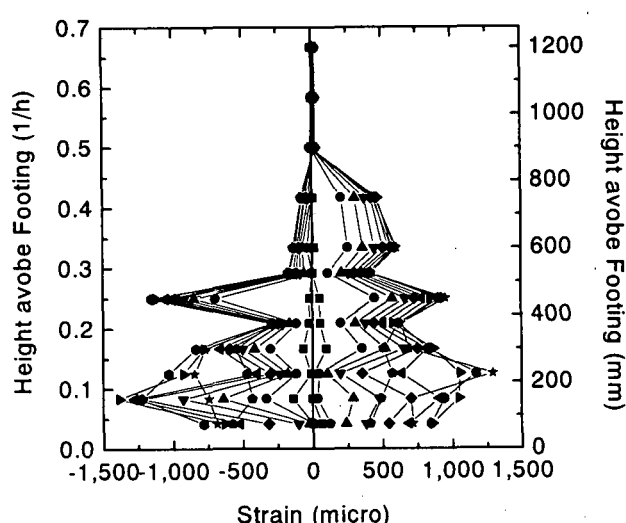


(b) Case2供試体

図-7 帯鉄筋最大ひずみ分布(圧縮面)



(a) Case1供試体



(b) Case2供試体

図-8 帯鉄筋最大ひずみ分布(載荷方向と平行な面)

では揃えていないため、基準変位載荷時の柱基部における回転角はCase2供試体の方が小さく、本図における同じドリフトの場合、Case2供試体の方がより多くの繰返しをうけていることに注意が必要である。一方、最大耐力については、ほぼ同一であり、両供試体の柱基部で生じた最大曲げモーメントがほぼ同一であることがわかる。

(3) 軸方向鉄筋ひずみおよび塑性曲率の進展

図-5、図-6は、それぞれの模型供試体の各載荷ステップにおける最大軸方向鉄筋ひずみおよび最大塑性曲率の高さ方向分布である。なお、本図も、両者を直接比較できるようにするため、柱高さで除

した位置関係で示している。なお、軸方向鉄筋のひずみは、両圧縮面でゲージを添付していたため、動的加振機が押した状態における引張鉄筋の値を正側に、引いた状態における引張鉄筋の値を負側に示している。また、塑性曲率についても同様に水平力載荷装置が押した状態の値を正側に、引いた状態の値を負側に示している。

この図から載荷実験により軸方向鉄筋において降伏ひずみを大きく上回った範囲はいずれの供試体も柱基部より約 $0.15h$ (h =柱高さ)の範囲であり、柱基部から約 $0.25h$ の位置より上方では最大ひずみの値が徐々に低下し、降伏ひずみに至っていないことがわかる。一方、塑性曲率分布については、いずれの

供試体においても柱基部を底辺とする三角形に近い分布形状となっており、その頂点は、いずれも柱基部から約 $0.13h$ の位置となっていた。

これらの結果より、今回載荷実験を行ったせん断支間比 $3.0\sim 5.0$ の曲げ破壊型の矩形断面橋脚における曲げ損傷の領域は、柱高さで除した高さ分布では変化はなく、実際の塑性ヒンジ長としては、せん断支間比により変化するといえる。

(4) 帯鉄筋ひずみの進展

図-7、図-8は、それぞれの供試体の各載荷ステップにおける最大帯鉄筋のひずみの最大値分布を柱高さで除した位置関係で示したものである。本載荷実験では、帯鉄筋の全ての辺においてゲージを添付していたため、載荷実験時に圧縮フランジとなる面の帯鉄筋ひずみを図-7に、載荷方向と平行な面の帯鉄筋ひずみを図-8に示している。

なお、図-7では、水平力載荷装置が押した状態における圧縮面の帯鉄筋引張ひずみ値を正側に、その反対面の値を負側に示している。また、図-8では、供試体を設置した状態で、上面となる面の帯鉄筋引張ひずみ値を正側に、その反対面の値を負側に示している。

この図より、載荷時に圧縮となる面の帯鉄筋ひずみ分布は、いずれの供試体も柱基部より約 $0.15h$ の範囲で載荷の進展に伴いひずみ値も進展しており、これは軸方向鉄筋の損傷範囲と一致する。

これより、圧縮面の帯鉄筋に生じるひずみの実際の範囲は、軸方向鉄筋同様にせん断支間比により変化するといえる。また、いずれの供試体も軸方向鉄筋に座屈を生じた載荷ステップで急激にひずみが大きくなっているが、これは、圧縮面における帯鉄筋は、軸方向鉄筋の座屈防止およびコアコンクリートの拘束への効果が高いためと考えられる。なお、柱

躯体の損傷領域より上方においては、いずれの供試体の帯鉄筋もほとんどひずみ値を示していない。

一方、載荷方向と平行な面の帯鉄筋ひずみは、No.1供試体では柱基部より約 $0.15h$ の範囲で載荷の進展によりひずみ値が進展しているのに対して、No.2供試体では柱基部より約 $0.3h$ の範囲でひずみ値を生じていた。また、いずれの供試体の分布も一様ではなく計測箇所によりばらつきがある。これは、載荷方向と平行な面における帯鉄筋ひずみは、主にせん断耐力への影響が大きいと考えられ、コンクリートに生じたひび割れなどに影響しているものと考えられる。このため、これまでの柱躯体の損傷領域とは一致しないと考えられる。

4. まとめ

矩形断面を有し、せん断支間比の異なる2体の曲げ破壊型供試体を用いた載荷実験を行い、損傷領域、変形性能について検討を行った。その結果、1)塑性ヒンジ長は、せん断支間比 $3.0\sim 5.0$ の範囲では、せん断支間比により変化すること、2)圧縮面の帯鉄筋は、軸方向鉄筋の座屈防止、コアコンクリートの拘束に影響を及ぼしており、その損傷領域は軸方向鉄筋の損傷領域とほぼ一致していること、3)載荷方向と平行な面の帯鉄筋は、せん断耐力に影響を及ぼしており、その損傷領域は、曲げ損傷領域とは一致しないことがわかった。

本結果から、矩形断面を有する曲げ破壊型のRC橋脚における帯鉄筋の配置は、柱基部より約 $0.15h$ の曲げ損傷領域では、コアコンクリートの拘束を考慮して設定する必要がある、曲げ損傷領域となる基部から約 $0.15h$ より上方では、せん断耐力を満足する配置でよく、帯鉄筋量を減らすことが可能であるといえる。