

(95) 壁式RC橋脚の耐震補強法に関する実験的研究

日本道路公団 東京第一建設局 正会員 ○和田 宣史  
 日本道路公団 同 正会員 川上 哲治  
 住友建設(株) 東京支店 正会員 藤原 保久  
 住友建設(株) 土木設計部 正会員 瀬間 優

1. はじめに

昨年1月の阪神淡路大震災以後、各地で既設RC橋脚の耐震補強工事が進められている。その中で、既設橋脚の耐震補強法の一つである鋼板巻立て工法の有効性は、円形および矩形断面に対して実験等で確認されている<sup>1)</sup>。ところが断面の縦横比が大きい壁式橋脚に対しては有効性の確認はされておらず、この場合には鋼板のはらみ出しにより橋脚内のコンクリートの拘束、主鉄筋の座屈防止効果の低下が懸念される。これに対する補強としては、壁を貫通する拘束鋼材等を新たに設置する必要がある。

そこで本研究は、数種の補強方法の効果を比較検討するため、縮小供試体による載荷試験を行っている。ここでは、実験結果から提案する拘束効果の算定式に基づいて、特に拘束効果向上に対して顕著であった橋脚下端へのプレストレス導入を中心に、各補強方法毎の効果について定量的に考察を加えたものである。

2. 実験概要

供試体寸法および補強供試体の概要を図1, 2に示す。供試体の諸元は、実橋に対する比を約1/2.5として、断面寸法は2.5m×0.5m、せん断支間比は4.0とした。供試体の配筋は全て同一とし、主鉄筋の断落しはなく、引張鉄筋比は0.45% (主鉄筋比0.85%)、帯鉄筋比が0.02%である。脚頂の軸力は、図心軸上に配置した4本のアンボンド鋼棒により与え、 $\sigma_n = 10 \text{ kgf/cm}^2$ とした。

○No. 1 供試体は、無補強基準供試体で、破壊形態は基部での曲げ破壊を想定している。

○No. 2 供試体は、No. 1 供試体に対してじん性の向上を図るため、鋼板巻立て補強 ( $t=2.3 \text{ mm}$ ) および基部のRC巻立て補強 (厚み10cm, 横拘束筋D6×5段) を行ったもので、コンクリートと鋼板間の充填材はエポキシ樹脂を注入したものである。

○No. 3 供試体は、No. 2 供試体と同様の補強を行い、後に全高にわたってアラミド緊張材 ( $\phi 6 \text{ mm}$ ) によって鋼板を固定し (水平方向ctc50cm, 鉛直方向ctc25cm)、橋脚内部コンクリートの拘束効果を高め、さらにじん性の向上を図ったものである。

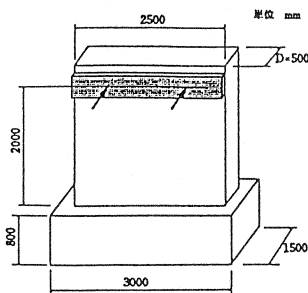


図1 供試体寸法

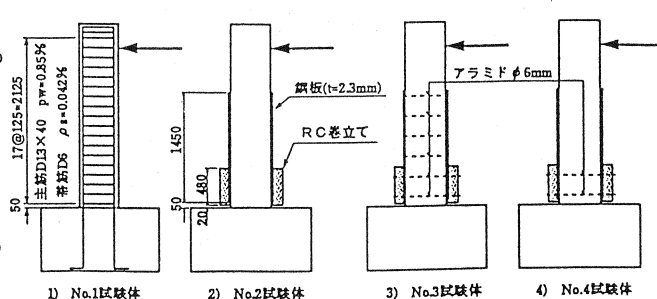


図2 標準試験体および補強試験体

○No. 4 供試体は、No. 3 供試体が全高にわたってアラミド緊張材で鋼板を固定するのに対して、基部のみ(1.0D)の固定としたものである。

実験の方法は、水平力を十分に剛なH鋼を介して全幅に等分布に与え、柱基部の主鉄筋が降伏した時の変位を $1\delta y$ と定義し、その整数倍の変位を3回ずつ繰り返す交番载荷とした。

### 3. 実験結果

表1に実験結果の一覧を、図3に各供試体のP- $\delta$ 曲線を示す。また、図4に、各サイクル毎のP- $\delta$ 曲線の面積から計算した履歴吸収エネルギーを、図5に等価減衰定数を示す。

○No. 1 供試体は、 $6\delta y$  载荷時に基部から約1.0D(50cm)の範囲でかぶりコンクリートの剥離が生じ、耐力が急激に低下した。

○No. 2 供試体は、 $8\delta y$  载荷時に基部近傍の鋼板および根巻きコンクリートが壁の長手方向中心ではらみ出し始め、その後緩やかに耐力が低下した。No. 2 供試体(鋼板+根巻き)は、No. 1 供試体(無補強)に比べ、塑性率 $\mu$ は向上するが、絶対変位量はあまり変わらず、エネルギー吸収性能の観点からは補強効果は小さい。

○全高をアラミドロッドで拘束したNo. 3 供試体および根巻き部のみを拘束したNo. 4 供試体は、ほぼ同じ挙動を示し、 $13\delta y$  载荷時に基部での鉄筋破断が連続的に生じて耐力が低下した。両供試体とも、基部から約0.5D(根巻き部1/2高)の鉄筋ひずみが終局時まで弾性範囲内に留まっており、根巻き部には有害なひび割れやはらみ出しが全く現れなかった。図4からも明らかなように、鋼板および根巻き部をアラミドロッドによって拘束することにより、塑性率、エネルギー吸収性能ともに向上しており、顕著な補強効果が認められた。

表1 各供試体の水平耐力及び変形性能

	降伏時		最大耐力		終局時		塑性率 $\mu$
	$P_y$ (tf)	$1\delta y$ (mm)	$P_{max}$ (tf)	$\delta$ (mm)	$P_u$ (tf)	$\delta_u$ (mm)	
No. 1	56.5	9.8	62.2	49.7 ( $5\delta y$ )	55.7	58.6 ( $6\delta y$ )	5
No. 2	58.7	5.8	62.9	41.2 ( $7\delta y$ )	58.4	47.0 ( $8\delta y$ )	8
No. 3	52.2	5.4	69.1	64.8 ( $12\delta y$ )	55.9	70.5 ( $13\delta y$ )	12
No. 4	55.6	6.0	71.6	66.1 ( $11\delta y$ )	58.8	77.6 ( $13\delta y$ )	12

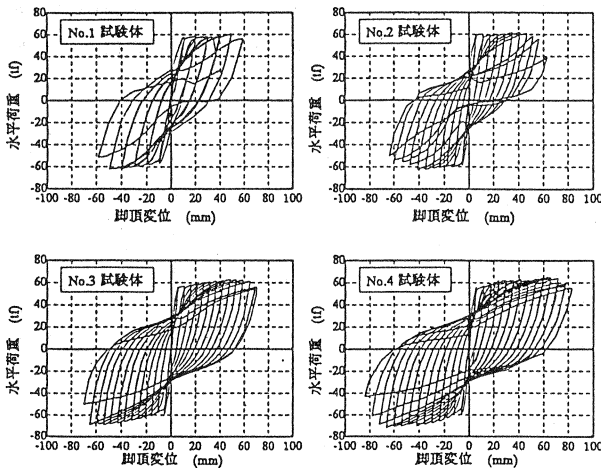


図3 各供試体の荷重-変位履歴曲線

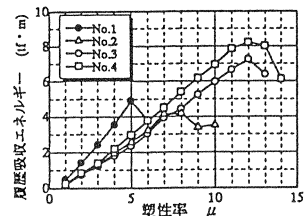


図4 履歴吸収エネルギー

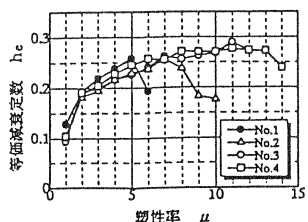


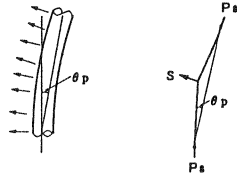
図5 等価履歴減衰

#### 4. 補強効果の定量的考察

曲げ破壊型RC橋脚におけるじん性の決定要因が、曲げ引張降伏して引き伸ばされた主鉄筋が再び曲げ圧縮力を受けた時に生じる座屈であることは、すでに実験的に明らかにされている<sup>2)</sup>。ここでは、曲げ破壊型RC壁式橋脚の耐震補強を行う場合の根巻きコンクリートおよび貫通鋼材等の主鉄筋座屈抑止効果を、以下に述べる想定に基づいて定量的にモデル化してみた。なお、本研究は、引き続いてNo. 5 供試体(根巻き部を貫通鉄筋で拘束)、No. 6 供試体(根巻き部を貫通PC鋼材で拘束)およびNo. 7 供試体(根巻き部貫通アラミドロッドにプレストレスを導入しない)の3体を試験中であり、ここで提案する拘束効果算定式を上述供試体にも同様に適用し、補強効果を比較してみた。ただし、算定式における種々想定の妥当性の検証は、供試体実験結果を待つものである。

##### 4-1) 主鉄筋に生じる座屈方向水平力

主鉄筋に生じる座屈方向水平力Sは、図6に示すように力の釣合いより次式で表される。ただし、主鉄筋の圧縮力は、終局強度、塑性回転角は終局荷重時の柱下端の部材回転角を使用し算出することとした。



$$S = P_s \times (2 \cdot \theta_p) \\ = (A_s \cdot \sigma_{sy}) \times (L_{cr} \cdot \phi)$$

S : 鉄筋座屈力  
 Ps : 主鉄筋圧縮力  
 theta\_p : 塑性回転角  
 phi : 曲率

$$L_{cr} : \text{鉄筋座屈長} (L_{cr} = C_2^4 \cdot \sqrt{EI/\beta n}) \\ \beta n = k/a$$

図6 主鉄筋における力の釣合い

##### 4-2) 主鉄筋座屈に対する抵抗力

主鉄筋座屈に対する抵抗として、帯鉄筋、かぶりコンクリート、鋼板、根巻きコンクリートに加えて補強貫通鋼材、プレストレスなどが影響し、補強の方法により重ね梁や一体化した合成梁として作用すると考えられる。したがって、主鉄筋は横拘束筋に支持された帯鉄筋のみでなく、上述の補強各部材の集合体により弾性支持されることとなる。ここで、主鉄筋座屈に対する抵抗断面としては、以下の様な想定をした。

プレストレスの評価として、図7の抵抗断面各層の接合面に生じるずれせん断応力が、許容値を越えない場合には合成断面として抵抗し、それ以外は重ね梁として抵抗することとした。また、プレストレス導入により、プレストレス分布幅内の帯鉄筋が拘束されると考えられるため、帯鉄筋等の抵抗部材の有効長を図8に示すとおり減ずる効果を考慮している。

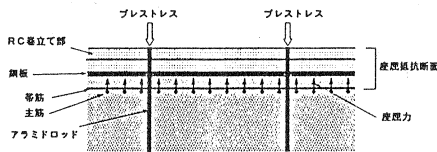


図7 主鉄筋の座屈に対する抵抗断面

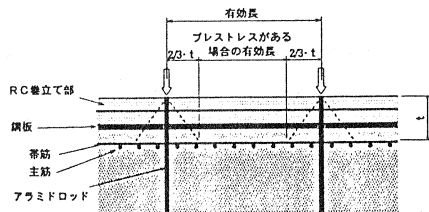
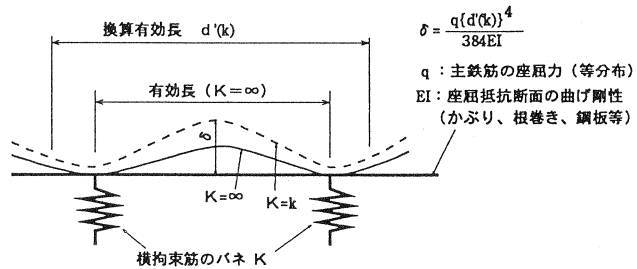


図8 プレストレス分布による有効長の低減

また、横拘束に対する補強貫通鋼材の種類毎に拘束効果が異なることを、図9に示すように横拘束鋼材等のバネ剛性を考慮することで反映し、すべてのケースについて帯鉄筋等の抵抗部材の有効長について換算することとした。



#### 4-3) 補強効果の比較

補強効果比較一覧表(表2)から、プレストレス導入の効果が他方法に比べて顕著であることが分かる。一方、その他

の貫通鋼材を使用した方法も座屈に対する補強効果はあるものと判断された。ただし、鉄筋定着フックの形状やP鋼材の既設橋脚壁面へのプレート定着の影響・効果などは、実験結果によるところであり、下表では双方とも有効に定着されていると想定している。また、壁式橋脚の補強では、部分的に鋼材等を貫通させて定着することで拘束効果を高めるが、橋脚躯体の削孔により主鉄筋を切断する可能性があるため、同一の補強効果を得るための必要削孔本数を減少できるプレストレス導入は、有効であると言える。さらに、プレストレス導入位置の操作により、橋脚下端の塑性域の高さ調整することも可能である。

図9 中間横拘束筋のバネ剛性によるみかけの有効長変化

表2 補強効果比較一覧表

	No. 1供試体	No. 2供試体	No. 3供試体 No. 4供試体	No. 5供試体	No. 6供試体	No. 7供試体
	無補強	鋼板+根巻	鋼板+根巻 +アラミド緊張	鋼板+根巻 +貫通鉄筋	鋼板+根巻 +貫通P C	鋼板+根巻 +アラミド 緊張なし
帯鉄筋配置	D13 ctc125					
鋼板及び根巻きコン	鋼板厚 t=2.3mm、根巻きコンクリート t=100mm, h=480mm					
貫通鋼材	径	—	7mm φ 6mm	鉄筋 φ 16mm	鋼棒 φ 7mm	7mm φ 6mm
	配置	水平方向間隔ctc500mm、縦方向間隔ctc250mm				
補強部材剛性 EI (kgf・cm <sup>2</sup> )	2.8×10 <sup>5</sup>	3.1×10 <sup>5</sup>	3.9×10 <sup>5</sup>	3.0×10 <sup>8</sup>	3.0×10 <sup>8</sup>	3.0×10 <sup>8</sup>
見かけの拘束間隔	240.0cm	240.0cm	32.3cm	121.0cm	139.0cm	77.0cm
主鉄筋の座屈長	103.6cm	101.3cm	3.3cm	12.9cm	14.3cm	9.2cm
座屈方向水平力	169.6kgf/本	340.3kgf/本	19.2kgf/本	75.3kgf/本	83.5kgf/本	53.6kgf/本
座屈に対する抵抗力	13.9kgf/本	14.2kgf/本	438.5kgf/本	112.1kgf/本	101.0kgf/本	157.3kgf/本

#### 5. まとめ

以上、本研究の中間報告となるが、壁式橋脚に対する耐震補強法として鋼板巻立て工法を適用する場合、鋼板および根巻きコンクリートを緊張材により拘束し、その補強効果をさらに向上させることができた。研究完了後の実験結果が揃った時点で、補強効果算定式における想定妥当性を検証し、アラミドロッドによる橋脚下端の補強設計方法を確立したいと考えている。

#### 6. 参考文献

- 1) 川島、他：鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の耐震判定法及び耐震補強法に関する研究、建設省土木研究所報告、1993.9
- 2) 島、他：曲げ破壊型RC橋脚における鉄筋座屈モデルによる靱性解析、コンクリート工学年次講演会論文報告集12-2、1990