

# 壁式橋脚の鋼板補強の実験的検討

葛目 和宏<sup>1</sup>・袴田 文雄<sup>2</sup>・藤原 規雄<sup>3</sup>・井上 晋<sup>4</sup>・小林 和夫<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 (株)国際建設技術研究所 (〒550 大阪市西区西本町1-7-7)

<sup>2</sup>正会員 工修 阪神高速道路公団保全施設部 (〒541 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

<sup>3</sup>(株)国際建設技術研究所 (〒550 大阪市西区西本町1-7-7)

<sup>4</sup>正会員 工博 大阪工業大学助教授 工学部土木工学科 (〒535 大阪市旭区大宮5-16-1)

<sup>5</sup>正会員 工博 大阪工業大学教授 工学部土木工学科 (〒535 大阪市旭区大宮5-16-1)

壁式橋脚の基部をモデル化した供試体を4体作製し、それぞれに異なる仕様の補強工を施したのち正負交番による載荷実験を行って耐震性能を比較検討した。補強の仕様は、標準的な鋼板巻立て補強、それに初期緊張力を導入した中間貫通PC鋼棒を設けた補強、さらにそれに加えて基部から1dの範囲をケーシングで覆った補強の3タイプとし、1体は基本モデルとして無補強のまま実験を行った。実験の結果から、壁式橋脚においても鋼板補強によってもじん性を改善できることが確認できたが、震動エネルギーの吸収性能を考えると中間貫通PC鋼棒を設けた補強工法が適していると言える。

**Key Words** : seismic retrofitting, wall-type pier, ductility, steel jacketing, threading PC bar

## 1. はじめに

兵庫県南部地震以後、橋脚の耐震設計基準が見直されることとなり、既設のRC橋脚に対しても耐震補強が行われている。これらの補強には、主として鋼板巻立て工法およびRC巻立て工法が適用されているが、構造形式や断面形状が特殊なものについては別途検討を行う必要がある。壁式橋脚もその一つであり、特異な断面形状を有するため標準的な補強工法では十分な補強効果が得られないのではないかと考えられた。

これらの経緯から、供試体を用いた載荷実験を行って、壁式橋脚に適した補強工法を検討することとした。なお、今回の実験で採用した補強工法は、いずれもじん性の改善を目的としたものであり、耐力力の向上や段落し部の補強を対象としたものではない。

## 2. 実験概要

### (1) 供試体の製作

壁式橋脚が標準的なRC単柱橋脚と異なるところは、短辺と長辺の辺長比が大きな断面形状を有していること、軸力が比較的小さいこと、断面が比較的大きいため鉄筋比が小さいことなどがあげられる。

実験に用いる供試体は、阪神高速道路のRC単柱橋脚の中から辺長比が1:3以上で標準的な配筋を有するものを抽出し、その基部を約1/3の大きさをモデル化したものとした。供試体は無補強モデル1体、補強モデル3体の計4体作製した。以下および図-1~4に各供試体の概要を示す。

### a) No.1供試体 (無補強モデル)

無補強のまま実験を行う供試体で、各モデルの補強効果を評価する際に基本となるものである。断面寸法は1,250×400mm、主鉄筋はD10(SD295)を長辺方向45mm間隔、短辺方向50mm間隔、かぶり30mmで計66本を配筋している。帯鉄筋にはφ6(SS400)を120mm間隔で配筋している。

### b) No.2供試体 (鋼板補強モデル)

無補強モデルと同じ仕様の躯体に、柱基部から1,500mmの高さまで鋼板を巻立てて補強したもので、標準的な鋼板補強をモデル化したものである。鋼板は3.2mm厚(SS400)のものを使用し、躯体との間隙4.5mmにエポキシ樹脂を注入して接着した。鋼板下端とフーチング上面の間には20mmの間隙を設けて曲げ耐力が増加しないように配慮している。なお、鋼板は樹脂注入時のほらみだし防止のために後施工アンカーによる仮止め処置を行っている。

### c) No.3供試体 (+PC鋼棒モデル)

No.2の仕様に加え、短辺方向に貫通させたPC

鋼棒(以下、中間貫通PC鋼棒とする)を設けて両長辺面の鋼板を緊結し、より拘束力を高めたモデルである。中間貫通PC鋼棒はφ9.2mm(SBPR930/1180)を使用し、基部から1dの範囲に1断面当たり400mm間隔で3本、高さ方向に150mm間隔で3段配置した。これらには、72kgf/mm<sup>2</sup>(0.6Pu程度)の初期緊張力が与えてある。1d以上の範囲については、未緊張のD10(SD295)鉄筋を3段配置している。

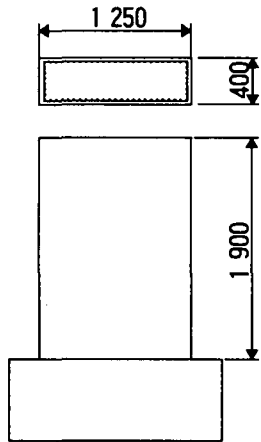


図-1 No. 1供試体(無補強モデル)

d)No. 4供試体 (+ケーシングモデル)

No. 3供試体の仕様に加え、基部から1dの範囲に楕円形のケーシングを施してさらに拘束効果を高めたモデルである。ケーシングは3.2mm厚(SS400)の鋼板を楕円状に巻立て、そこに普通コンクリートを充填して作製した。なお、ケーシング底面は、鋼板と同様にフーチング上面との間に20mmの間隙を設けて曲げ耐力が増加しないように配慮した。

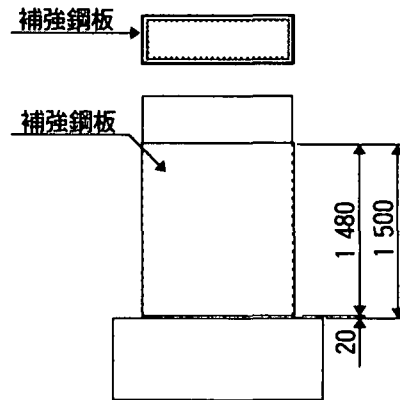


図-2 No. 2供試体(鋼板補強モデル)

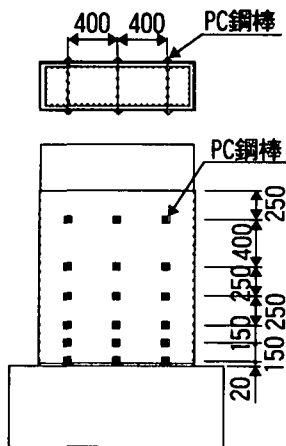


図-3 No. 3供試体(+PC鋼棒モデル)

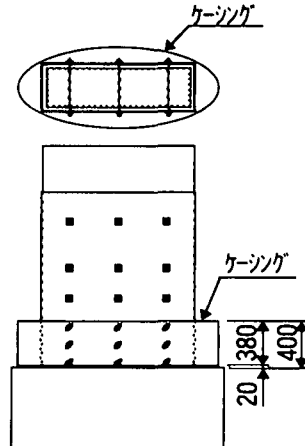


図-4 No. 4供試体(+ケーシングモデル)

(2)実験方法

載荷実験は、水平反力壁を用いて柱基部から高さ2.3mの位置(H/d=5.75)に水平荷重を正負交播載荷させて行った。軸力は、実橋橋脚の死荷重応力(7kgf/cm<sup>2</sup>)相当となる35tfを鉛直ジャッキにより常時載荷した。載荷方法は、設計降伏荷重(Py=12.1tf)までを2tfピッチの荷重制御で、それ以後はNo. 1供試体の設計降伏荷重時に生じた変位を基準として、その整数倍毎に各3回の正負交番を繰り返す変位制御とした。なお、終局状態は耐力が最大耐力の8割以下になった時点と定義した。

実験前の解析では、各供試体の降伏時および終局時の荷重と変位は表-1に示すとおりとなった。

表-1 各供試体の解析結果

		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
降伏	荷重 Py(tf)	12.13	12.13	12.11	12.06
	変位 δy(cm)	0.727	0.754	0.751	0.762
終局	荷重 Py(tf)	13.76	13.76	13.77	13.77
	変位 δy(cm)	2.267	5.069	5.189	9.553
じん性率 δy/δu		3.12	6.72	6.91	12.54

- ・断面寸法 : 1.250×400mm
- ・柱部 主鉄筋 : D10(SD295) N=66本
- 帯鉄筋 : φ6(SS400) @120mm
- コンクリート : σ<sub>ck</sub>=240kgf/cm<sup>2</sup>
- ・補強 鋼板 : t=3.2mm(SS400) 基部~1.5m
- ・ケーシング 鋼板 : t=3.2mm(SS400)
- コンクリート : σ<sub>ck</sub>=240kgf/cm<sup>2</sup>

### 3. 実験結果と考察

No. 1供試体に無補強モデルの設計降伏荷重を載荷した際に生じた変位  $\delta y$  は9mmであった。前述のように、各供試体ともこの変位を基準として、この整数倍 ( $1\delta y, 2\delta y, \dots, n\delta y$ ) の変位毎に3回づつの正負交番載荷を行った。以下にその結果を示す。

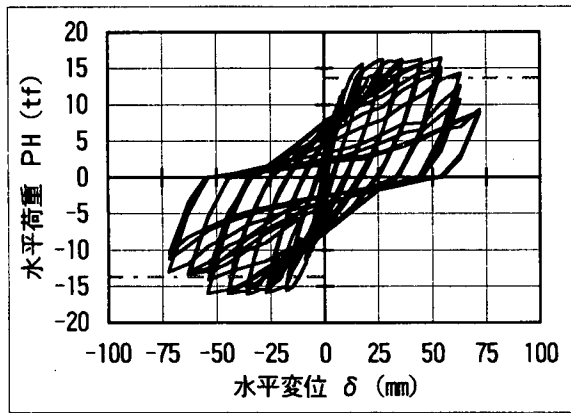


図-5 荷重-変位履歴曲線 (No. 1供試体)

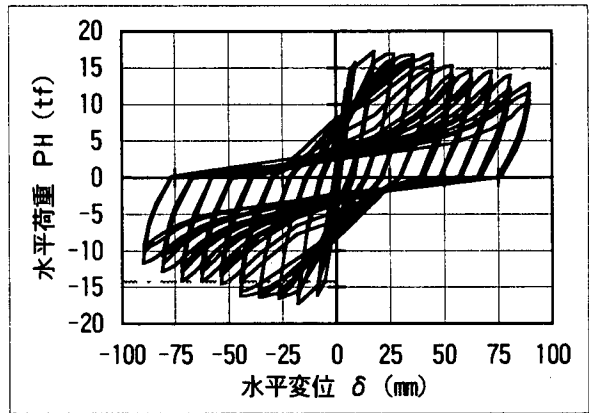


図-6 荷重-変位履歴曲線 (No. 2供試体)

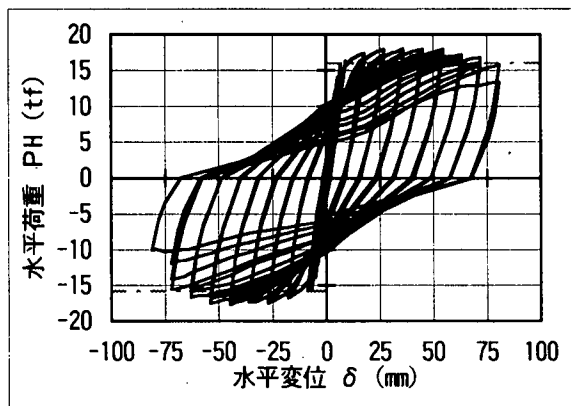


図-7 荷重-変位履歴曲線 (No. 3供試体)

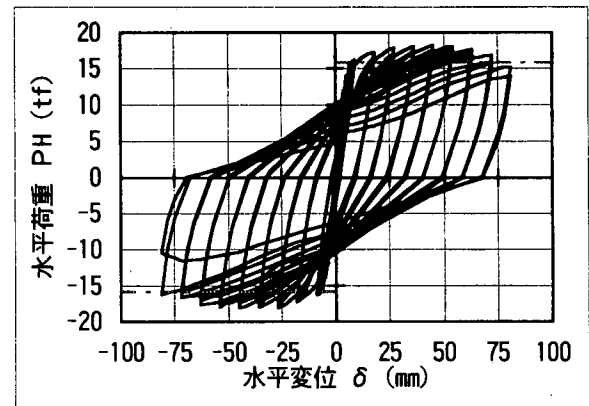


図-8 荷重-変位履歴曲線 (No. 4供試体)

#### (2) 外観状況

##### a) No. 1供試体(無補強モデル)

水平荷重6.4tfで柱基部にひびわれが発生、 $2\delta y$ までに基部から高さ1.2m付近まで約12cmの間隔で多数の水平ひびわれが生じた。 $5\delta y$ 時に柱基部付近に発生した浮きが $6\sim 7\delta y$ 時に剥落して主鉄筋が露出した。 $8\delta y$ で露出した主鉄筋の座屈が顕著になって終局状態に至った。主鉄筋の露出および座屈は、基部から高さ約30cmの範囲であった。

##### b) No. 2供試体

$4\delta y$ までは外観上の変化はなく、 $5\delta y$ で基部から高さ45cmの範囲の鋼板に浮きが生じ、その後はらみ出した。 $7\delta y$ 以降は顕著な変化がないまま $10\delta y$ で耐力が最大時の8割以下となった。

##### c) No. 3供試体

$4\delta y$ 時に中間貫通P C鋼棒の間に鋼板の浮き

#### (1) 荷重-変位履歴曲線

各供試体の荷重-変位履歴曲線を図-5~8に示す。補強モデル3体の終局変位は、No. 2が $10\delta y$ 、No. 3、No. 4が $9\delta y$ と大差がなかったが、No. 3とNo. 4が正負交番の際に描くループはNo. 1やNo. 2よりも大きく、エネルギー吸収性能はこれらの方が高いと考えられる。

が生じ、 $5\delta y$ 時には側面の基部付近にも浮きが発生。浮きの範囲は基部から高さ25cm程度まで拡大したが、顕著なはらみ出しには至らず、 $9\delta y$ 時に基部で主鉄筋が破断して耐力が8割以下に低下した。

##### d) No. 4供試体

$1\delta y$ までの範囲がケーシングで覆われているため柱部の状況は不明であるが、外観上顕著な変状は生じなかった。No. 3と同様に $9\delta y$ に基部で主鉄筋が破断して耐力が8割以下に低下した。

#### (3) じん性率

実験では各供試体とも $1\delta y=9\text{mm}$ を基準として載荷を進めたが、実降伏荷重および変位はこれと異なるものである。実降伏変位を基にした各供試体のじん性率は、表-2のとおりである。な

お、実終局変位は荷重-変位包絡線が最大耐力の8割の荷重線と交わるときの変位とした。

表-2 各供試体のじん性率

	No.1	No.2	No.3	No.4
降伏荷重 $P_y$ (tf)	13.6	14.9	16.0	15.9
伏変位 $\delta y$ (cm)	1.21	0.70	0.71	0.67
終局荷重 $P_u$ (tf)	16.4	17.2	18.0	18.2
局変位 $\delta u$ (cm)	6.42	8.43	8.1	8.1
じん性率 $\delta y/\delta u$	5.31	12.04	11.41	12.09

補強モデル3体のじん性率は、無補強モデルのじん性率5.3に対して11~12と大きな伸びを示しており、いずれの補強工法によってもじん性は改善できるとの結果となった。

### (3)等価減衰定数

橋脚の耐震性能の評価には、変位じん性率の他に震動エネルギー吸収性能について検討する機会が多い。この指標としては等価減衰定数が用いられており、今回実験を行った各供試体についてもこれを求めて比較してみた。図-10にその経時変化図を示す。なお、等価減衰定数の概念は図-9に示すとおりである。

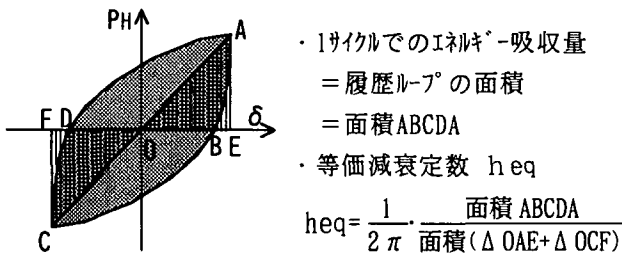


図-9 等価減衰定数の概念

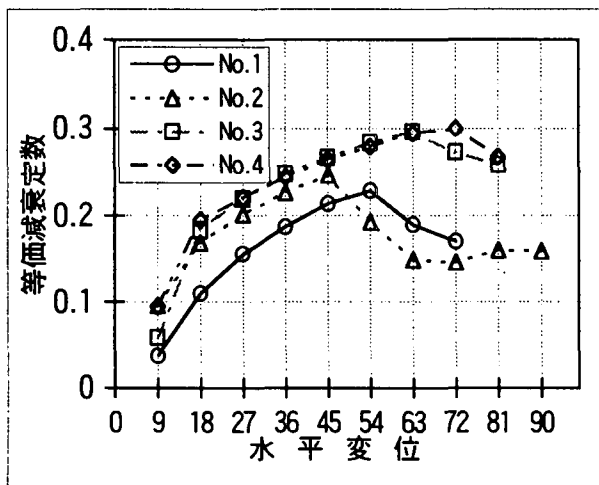


図-10 各供試体の等価減衰定数

図-10で明らかなように、等価減衰定数はNo.3、No.4供試体がNo.2供試体に比べて終始大きく、とくに $\delta=54\text{mm}$ 以降、No.2の等価減衰定数は無補強モデルのNo.1よりも小さな値となり、顕著な差が表れている。No.2の等価減衰定数が急落する時期は、鋼板に浮きおよびはらみ出しが生じた時期と合致しており、これがエネルギー吸収性能を急激に低下させる要因となったと考えられる。このように、変位じん性率の比較では明確な有意差が表れなかったが、エネルギー吸収性能ではNo.3およびNo.4の優れており、耐震補強効果が高い仕様であると言える。また、No.3とNo.4の差があまり顕著でないことから、ケーシングを設けたことよりも、中間貫通PC鋼棒により拘束力を高めたことがエネルギー吸収性能の向上に大きく寄与しているものと考えられる。

### 4. 結論

今回の実験によって以下の結論が得られた。

- 1) 壁式橋脚においても、鋼板補強によってじん性を改善できる。
- 2) 標準的な鋼板補強では、長辺面の拘束力が鋼板の浮きやはらみ出しによって比較的早い段階で低下し、エネルギー吸収性能が急激に低下する。
- 3) エネルギー吸収性能を考えると、壁式橋脚には中間貫通PC鋼棒を設けた仕様の補強工法が適していると言える。

なお、本実験は大阪工業大学の八幡工学実験センターにおいて平成8年3月に実施したものである。

謝辞：供試体作製にご協力いただきましたシヨボンド建設(株)知崎氏に深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) M. J. N. Priestley, F. Seible, Y. H. Chai : Design Guidelines for Assessment Retrofit and Repair of Bridges for Seismic Performance. University of California San Diego. 1992.
- 2) M. J. N. Priestley, F. Seible, G. M. Calvi : Seismic Design and Retrofit of Bridges. John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- 3) 阪神高速道路公団：壁式橋脚の耐震補強に関する実験解析業務, 1996. 3.