

# 断面増加を抑えた既設 RC 橋脚の段落とし補強工法の開発

大越靖広 \* 大本晋士郎 \*\* 森田栄治 \*\*

既設 RC 橋脚の段落とし補強に RC 巻立て工法等を適用する場合には、特に河川部において河積阻害が問題となる場合が多い。そこで、既設橋脚の断面を極力増加させないように段落とし部を中心とした補強区間に外ケーブル (PC 鋼棒) や帯板鋼板を躯体外側に設置する簡易な工法を開発した。また、帯板鋼板補強では、一度段落とし部で損傷を受けた橋脚を修復・補強した場合についても検討した。本報告では、1/4 スケールの縮小模型を製作して、正負交番載荷試験を行った結果を報告する。

キーワード : RC 橋脚, RC 巻立て, 段落とし補強, 帯板, PC 鋼棒, 修復

## 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震においても RC 橋脚の段落とし部に損傷が報告されているが、兵庫県南部地震以降に耐震補強が完了している橋脚ではこのような地震に対しても大きな損傷は認められておらず、現在進められている RC 巻立て工法等の耐震補強の有効性が確認されている。

しかし、河川部で RC 巻立て工法を適用すると河積阻害が問題となることが多く、また、河川内の構造物を補強する場合には仮架橋等が必要となり仮設が大掛かりになることが多い。そこで、補強後の断面増加を極力抑え、施工も比較的簡易な工法を開発した。この工法は、①外ケーブル (PC 鋼棒) 補強と②帯板鋼板補強の 2 通りである。本報告では、各工法を適用した供試体を製作し正負交番載荷試験を行った結果を報告する。また、帯板鋼板補強では、一度段落とし部で損傷した無補強の供試体を修復・補強して再度、正負交番載荷を行った試験においても有益な結果が得られたため、その概要も報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体概要

供試体は実橋脚を参考<sup>1)</sup>とし、1/4 縮小模型を 3 体製作した。無補強の供試体は No. 1, 外ケーブルで補強した供試体は No. 2, 帯板鋼板で補強した供試体は No. 3 であり、それぞれ Fig. 1~Fig. 3 に配筋図および補強図を示す。供試体の諸元を Table 1, 補強材の諸元を Table 2 に示す。No. 2 供試体は、外ケーブル設置用のブラケットを横締め補強鋼材で固定した後に、外ケーブルを配置し緊張した。No. 3 供試体は、無補強の供試体に帯板鋼板定着用の削孔を行い、帯板鋼板と横締め PC を設置後にグラウト充填し、PC 鋼棒の緊張を施した。各材料試験結果を Table 3, Table 4 に示す。

\* 土木事業本部 土木設計部 構造物・耐震グループ  
\*\* 土木事業本部 リニューアル事業部

No. 2 供試体の補強量は、PC 鋼棒に導入したプレストレス力を躯体の補強区間に軸力として考慮し、補強区間の曲げ耐力を向上させて段落とし部よりも基部が先に曲げ耐力に達するように設定し、No. 3 供試体の帯板鋼板は、段落としされた軸方向鉄筋相当量を配置した。

### 2.2 載荷方法

正負交番載荷試験では、実構造物を考慮して軸圧縮応力 1.0N/mm<sup>2</sup> を導入した。また、初期載荷時に引張縁の軸方向鉄筋が降伏した時点の変位を降伏変位  $\delta_y$  と定め、変位制御で  $\pm 1 \delta_y$ ,  $\pm 2 \delta_y$ ,  $\pm 3 \delta_y$ ... の正負交番載荷を各 3 サイクルずつ、水平荷重が降伏荷重の 70% 程度に低下するまで繰り返し行った。

Table 1 供試体諸元

供試体	引張鉄筋						せん断補強鉄筋				
	規格	呼び名	基部		段落とし部		規格	呼び名	本数	ピッチ	$P_w$ (%)
			本数	$P_t$ (%)	本数	$P_t$ (%)					
No.1											
No.2	SD345	D13	25	0.45	9	0.16	SD345	D6	6本	200	0.06
No.3											

\* $P_t$ :引張鉄筋比,  $P_w$ :せん断補強鉄筋比

Table 2 補強材諸元

供試体	補強材					
	曲げ補強材		横締め補強材		固定治具	
	補強材	個数	補強材	個数	補強材	個数
No.1	-	-	-	-	-	-
No.2	PC鋼棒B種 SBPR930/1080 φ13	8本	PC鋼棒B種 SBPR930/1080 φ17*	16本	鋼製ブラケット SS400 L-150-150-15	4
No.3	帯板鋼板 SS400 b=100mm,t=4.5mm	8枚	PC鋼棒B種 SBPR930/1080 φ17*	24本	-	-

\*横締めに用いたPC鋼棒にはアンボンド加工を施した。

Table 3 コンクリート材料試験結果

供試体	部材	圧縮強度・静弾性係数試験			割裂引張試験	
		圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup>	材齢	割裂強度 N/mm <sup>2</sup>	材齢
No.1	く体	30.1	26.5	21日	2.6	19日
	スタブ	32.0	27.1	24日	-	-
No.2	く体	31.7	27.5	33日	2.7	31日
	スタブ	33.2	28.2	36日	-	-
	充填材	50.7	19.1	15日	-	-
No.3	く体	31.4	27.9	27日	2.7	25日
	スタブ	32.8	27.9	30日	-	-
	充填材	49.6	19.1	9日	-	-

Table4 鋼材材料試験結果

規格	呼び名 板厚	降伏強度 N/mm <sup>2</sup>	静弾性係数 kN/mm <sup>2</sup>	降伏ひずみ 10 <sup>-6</sup>	最大耐力 N/mm <sup>2</sup>	備考
SD345	D13	387.8	204.0	1901	653.6	く体軸方向鉄筋
	D6	368.3	154.1	2390	570.0	く体せん断補強鉄筋
SS400	4.5mm	229.7	176.2	1304	340.5	補強鋼板

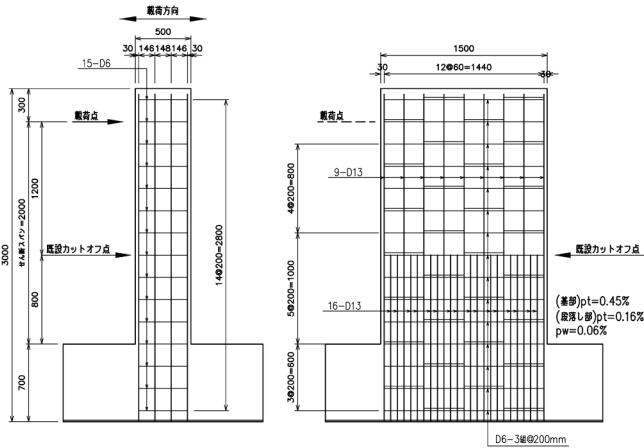


Fig. 1 No. 1 供試体配筋図

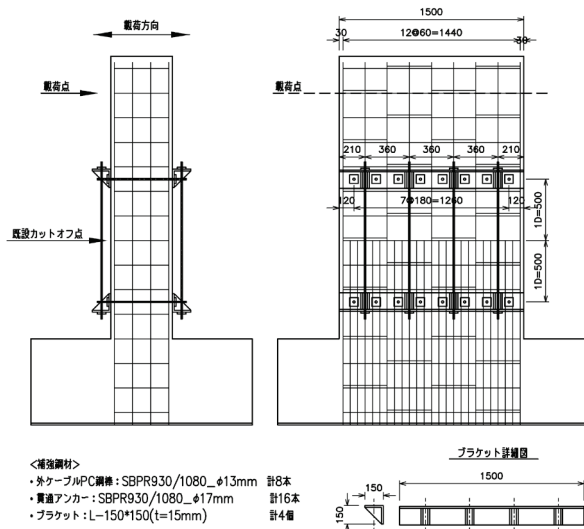


Fig. 2 No. 2 供試体補強図

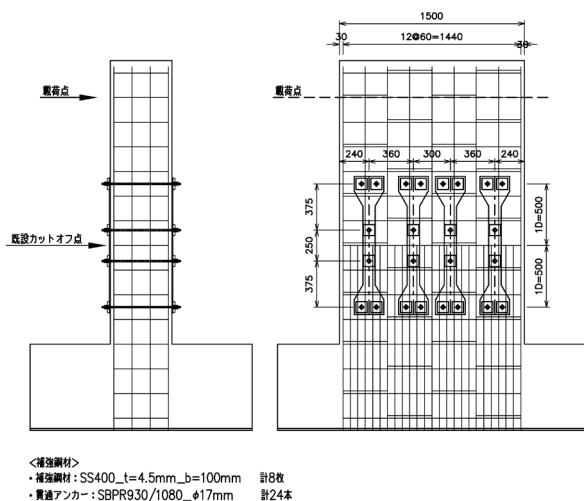


Fig. 3 No. 3 供試体補強図

### 3. 交番载荷試験結果

#### 3.1 水平荷重－水平変位関係

各供試体の水平荷重－水平変位関係の履歴を Fig. 4 に、包絡線の比較を Fig. 5 に示す。No. 1 供試体が段落とし部損傷であったのに対し、外ケーブルで補強した No. 2 供試体や帯板鋼板で補強した No. 3 供試体は、曲げ損傷箇所が段落とし部から基部に移行した。補強したこの 2 供試体については、Fig. 4 に示すように耐震標準<sup>2)</sup>における基部の変形性能算定式を満足することが確認された。また、包絡線の比較に示すように No. 2 と No. 3 供試体の変形性能は同等であった。各供試体の終局時の損傷状況を Photo. 1 に、ひび割れ図を Fig. 6 に示す。

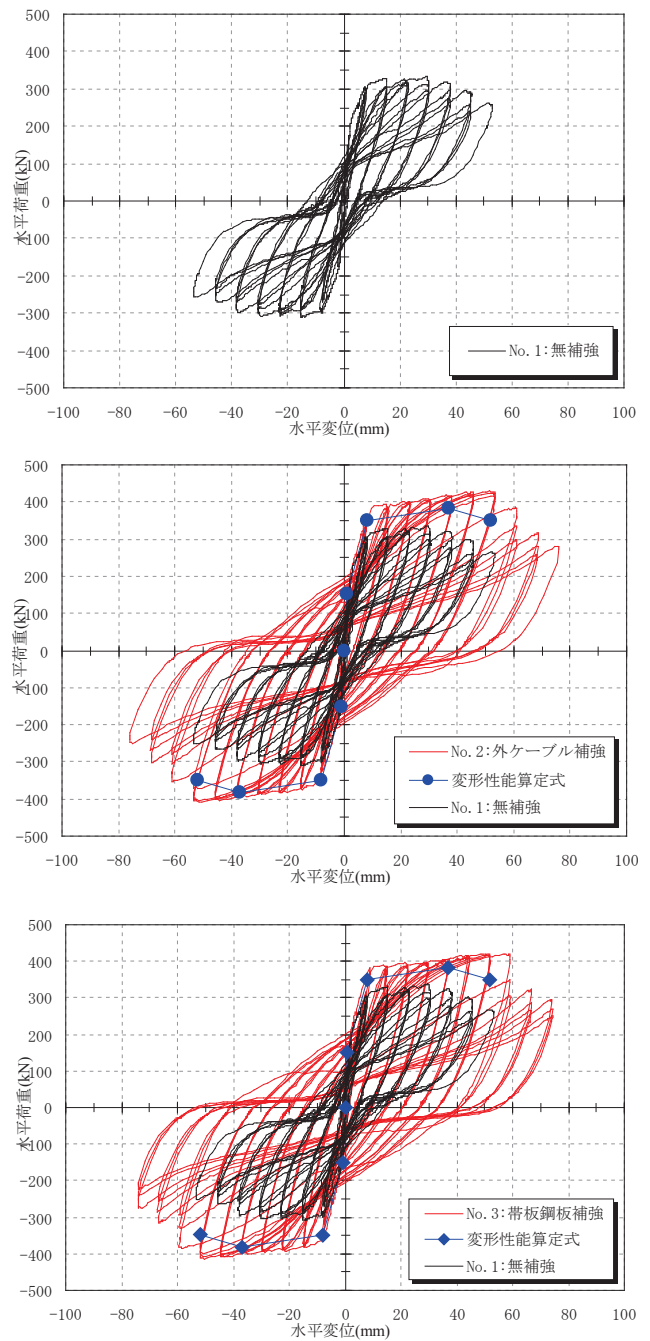


Fig. 4 各供試体の水平荷重－水平変位関係

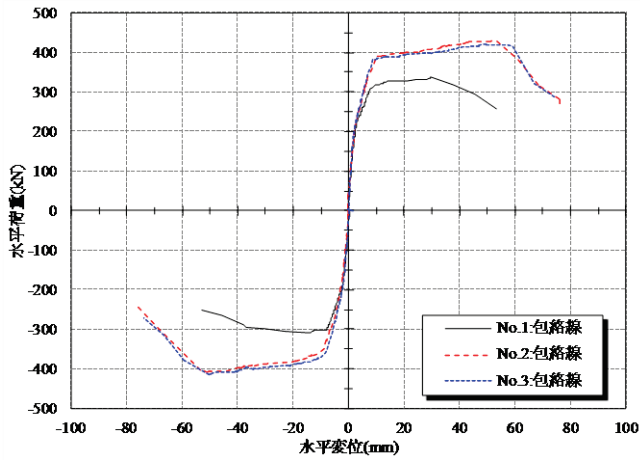


Fig. 5 各供試体の包絡線の比較

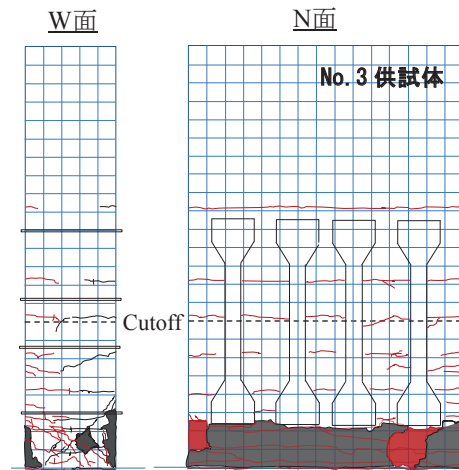
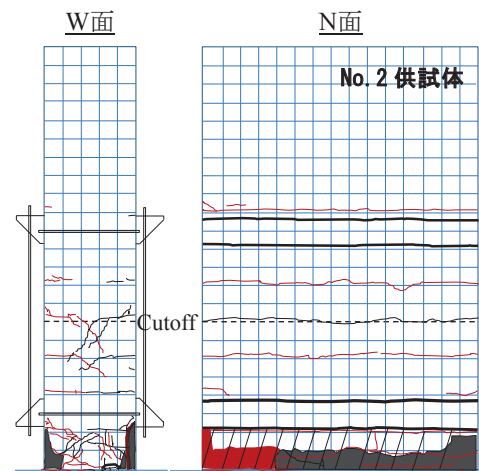
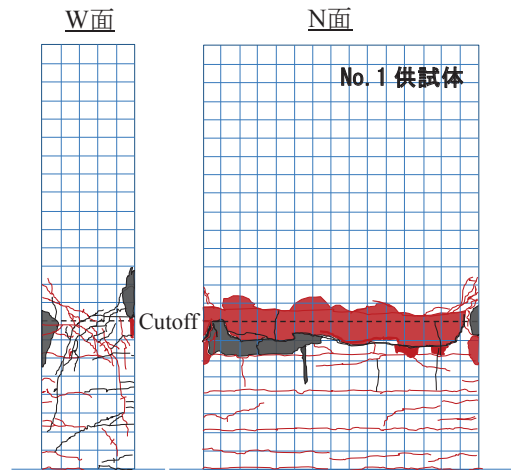
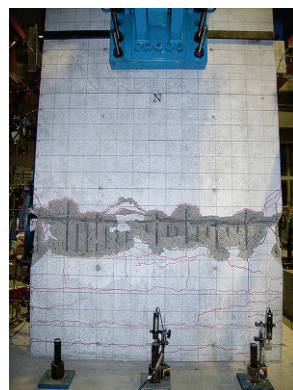
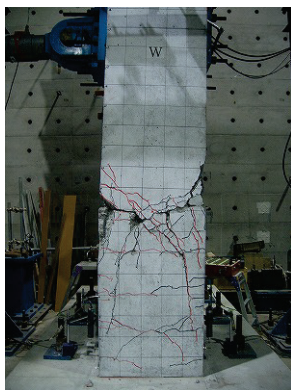
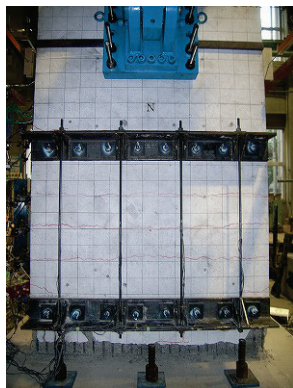
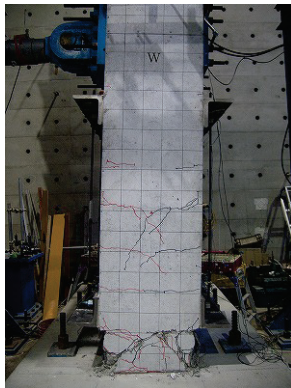


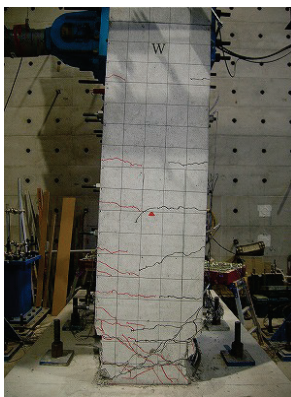
Fig. 6 各供試体のひび割れ図



No. 1 供試体の損傷状況 (7  $\delta$  y 載荷終了時)



No. 2 供試体の損傷状況 (10  $\delta$  y 載荷終了時)



No. 3 供試体の損傷状況 (10  $\delta$  y 載荷終了時)

Photo. 1 各供試体の損傷状況

各供試体の斜めひび割れ発生状況を比較すると、No. 1 供試体は段落とし位置付近から下側に伸びる斜めひび割れが確認できる。このひび割れ状況から、無補強の No. 1 供試体は、段落とし部の曲げ損傷からせん断破壊移行型の損傷であることがわかる。No. 2 供試体は、4  $\delta$  y で斜めひび割れの発生を確認し、正負交番載荷により進展したが、横締め PC 鋼棒の挿入断面には発生していない。No. 3 供試体には斜めひび割れの発生は確認できなかった。このひび割れの状況は次の軸方向鉄筋のひずみ分布とよく一致している。

### 3.2 軸方向鉄筋のひずみ分布

各供試体の途中定着していない軸方向鉄筋のひずみ分布を Fig. 7 に示す。無補強で载荷した No. 1 供試体においては、 $1\delta y$  に至る前に既設カットオフ点での軸方向鉄筋のひずみが卓越して降伏ひずみに達し、段落とし部で損傷していることがわかる。これに対して No. 3 供試体においては基部のひずみが卓越し、既設カットオフ点でのひずみは終局まで降伏ひずみに至らず、段落とし損傷から基部損傷に移行したことがわかる。No. 2 供試体についても基部のひずみが卓越しており、曲げ損傷箇所が段落とし部から基部に移行した。なお、No. 2 供試体では  $+5\delta y$  時に既設カットオフ点でのひずみが降伏ひずみに達したが、Photo. 1 や Fig. 6 に示すように段落とし部に大きな損傷は確認できず、基部損傷に移行したものと判断した。

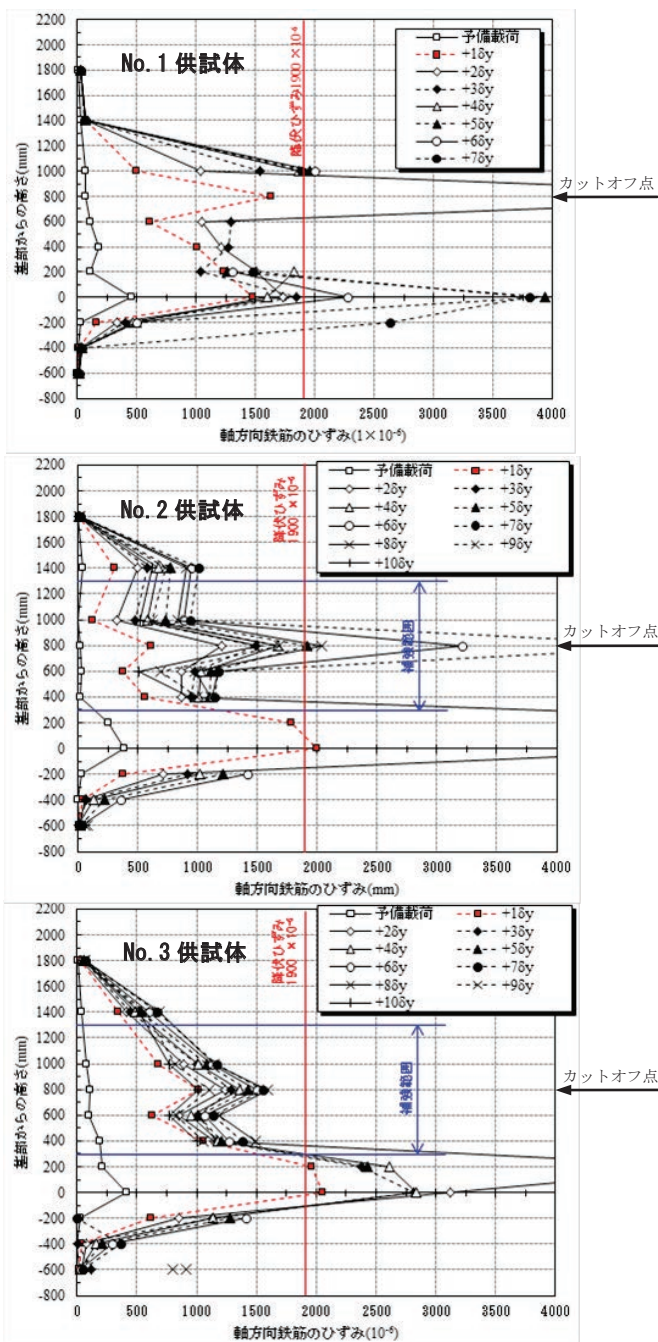


Fig. 7 各供試体の軸方向鉄筋のひずみ分布

### 3.3 水平変位分布

各供試体の水平変位分布を Fig. 8 に示す。段落とし部で損傷した No. 1 供試体では、基部から 600mm 付近で折れ点が生じているが、補強供試体については折れ点が発生していないことから、損傷が基部に移行したことがわかる。

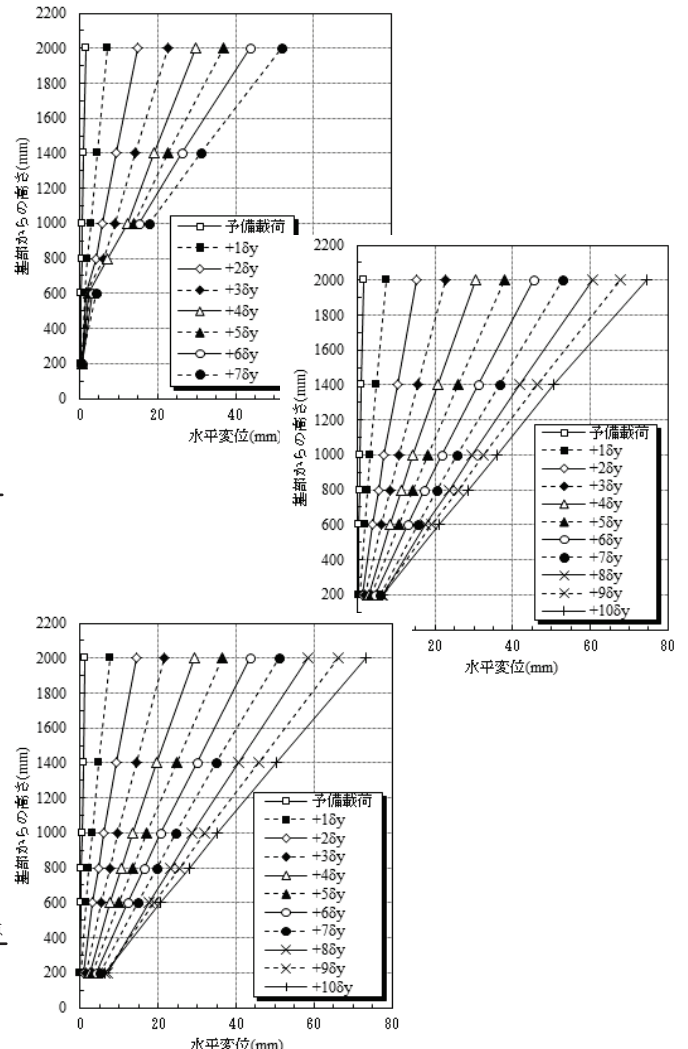


Fig. 8 各供試体の水平変位分布

## 4. 帯板鋼板により段落とし部を修復した供試体の载荷試験結果

### 4.1 実験概要

帯板鋼板により段落とし部を修復・補強した供試体の補強図を Fig. 9 に示す。この供試体は、前述した無補強で終局まで交番载荷して段落とし部を損傷させた No. 1 供試体は無収縮モルタルにより断面修復し、Fig. 9 に示す帯板鋼板と PC 鋼棒により補強したものである。また、修復・補強の手順 (Photo. 2 参照) は以下に示すとおりである。

- ① No. 1 供試体の損傷範囲 (カットオフ点より上に 200mm, 下に 500mm) の浮きや剥離が確認できるコンクリートをはつき落とす。

- ②型枠設置後、グラウト材を用いて損傷部を充填する。
- ③横締めPC用に躯体を削孔する。
- ④帯板鋼板を設置する。

正負交番荷重は他の供試体と同様に降伏変位の整数倍で3サイクル行い、水平荷重が降伏荷重の70%程度に低下するまでとした。なお、この供試体の軸方向鉄筋は、基部においても一度降伏に至っているため、No. 3 供試体の降伏変位を用いて交番荷重を行った。

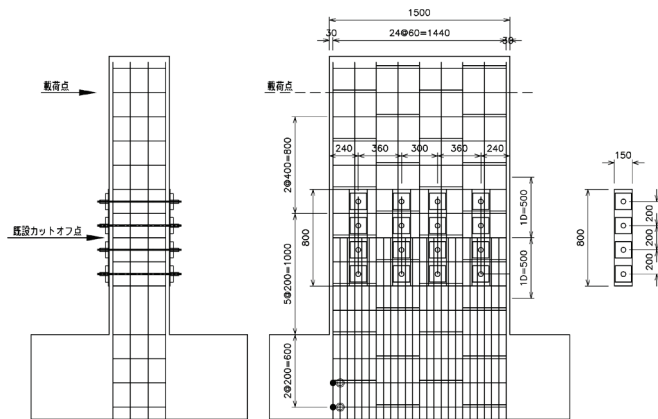


Fig. 9 段落とし部を修復・補強した供試体補強図



③躯体削孔状況

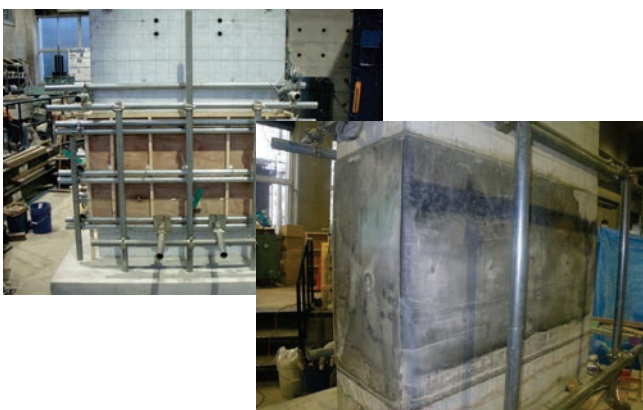


④帯板鋼板設置状況

Photo. 2 修復・補強の手順



①No. 1 供試体の損傷状況とはつり後の状況



②型枠設置状況およびグラウト充填完了

#### 4.2 交番荷重試験結果

無補強で荷重した No. 1 供試体と荷重後に修復・補強した供試体の水平荷重—水平変位関係の比較を Fig. 10 に示す。修復後、帯板鋼板により補強することにより、一度段落とし部で損傷を受けた供試体も基部損傷に移行（Photo. 3 参照）し、変形性能が大幅に改善されていることがわかる。また、Fig. 11 に示すように、予め帯板鋼板により補強した No. 3 供試体の水平荷重—水平変位関係と比較しても全く遜色のない変形性能が確認された。

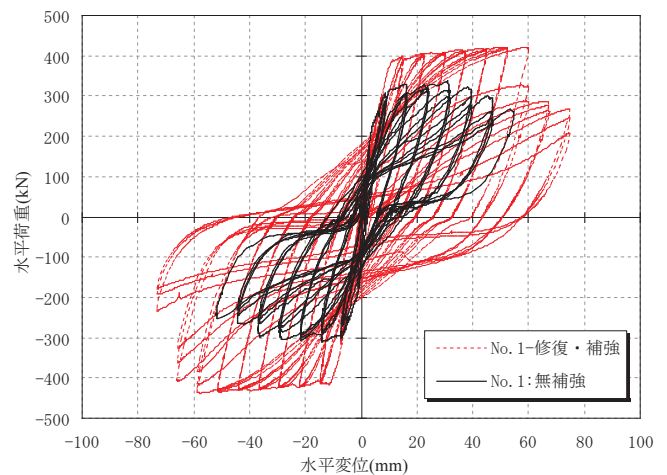


Fig. 10 修復・補強前後の水平荷重—水平変位関係の比較

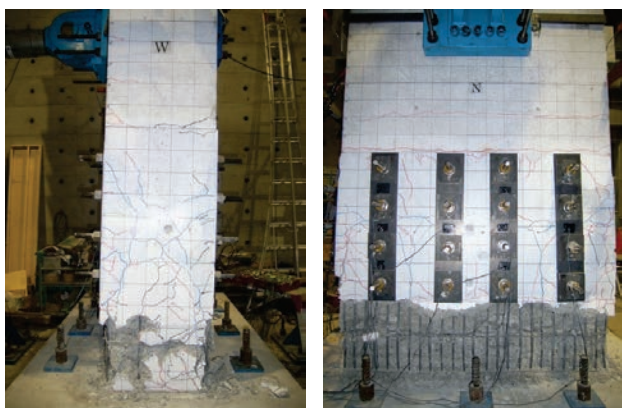


Photo. 3 修復・補強供試体の損傷状況（10δ 載荷終了時）

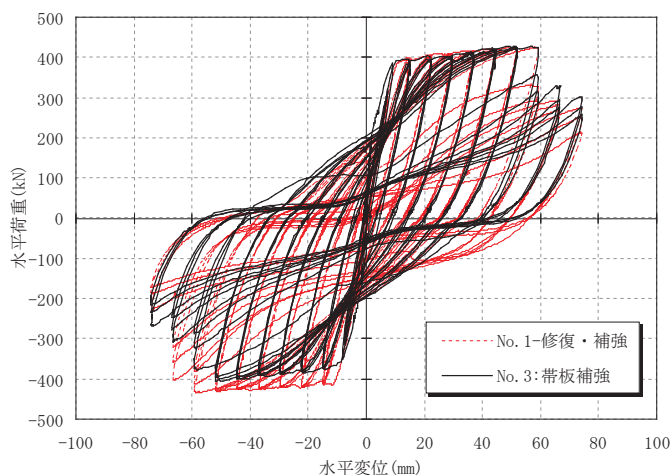


Fig. 11 修復・補強供試体と No. 3 供試体の比較

## 5. まとめ

補強後の断面増加を極力抑え、施工が比較的簡易な段落とし補強工法を開発した。この工法の適用性を確認するために、段落とし部で曲げ破壊する既設 RC 橋脚を模擬した供試体に外ケーブルや帯板鋼板を設置して正負交番載荷試験を行った。得られた知見を次に示す。

### 1) 外ケーブル（PC 鋼棒）補強

無補強と比較して変形性能は大幅に改善し、帯板鋼板補強と比較しても遜色がないことから、段落とし損傷が基部損傷に移行したものの判断できる。しかし、わずかではあるが段落とし部に斜めひび割れが発生し、既設部の軸方向鉄筋がカットオフ点にて降伏に至ったことは今後の課題である。

### 2) 帯板鋼板補強

帯板鋼板で補強することにより、曲げ損傷は段落とし部から基部へ移行した。また、この供試体の変形性能は耐震標準における基部の変形性能算定式を満足した。本供試体のように、段落としされた軸方向鉄筋相当量を帯板鋼板として配置すれば、段落とし補強が可能であることがわかった。

### 3) 帯板鋼板による修復・補強

一度段落とし部に損傷を受けた供試体を修復後、帯板鋼板で補強することにより、2)の帯板鋼板補強と同等の変形性能を確保できた。このことから、帯板鋼板補強は地震により段落とし部に損傷を受けた橋脚の早期復旧・補強にも適用の可能性があると考えられる。

## 謝辞

本工法は、「鉄筋コンクリート橋脚の段落とし部の耐震補強法に関する研究」として当社の他、（公財）鉄道総合技術研究所、（株）ジェイアール総研エンジニアリング、（株）鹿島建設、高周波熱錬（株）の5社で共同開発したものです。共同開発にご参加、ご協力、資料の提供をいただいた方々に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 鈴木・柏原・岡本・大越：RC 巻立てによる壁式橋脚の段落し部一体化の検討，土木学会第 65 回年次学術講演会（V），pp. 1237-1238, 2010. 9
- 2) 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999. 10

# A Development of Reinforcement Method with Main Bar Curtailment for Existing RC Pier with Minimized Cross Section Increase

Yasuhiro OKOSHI, Shinjiro OMOTO and Eiji MORITA

## Abstract

For RC pier with main bar curtailment, usually the pier fails at the curtailment point first before a failure of the pier bottom under seismic loading. RC jacketing of the piers is one of seismic retrofit method widely applied to the RC single piers. In the case of applying RC jacketing method in the river, the cross-section area inhibition of a river is a problem in many cases. Therefore, the reinforcement section with a focus on the part of main bar curtailment, we have developed a new method for installing the Band Steel Plate Method and the Outside Cable Method of PC steel rod from the outside of the existing piers. These new methods have minimized the cross-sectional increase of the existing piers and the construction work has been simplified. In the Band Steel plate Method, we also examined the case of repair and reinforcement of which the pier was damaged in the section of main bar curtailment once in the past. In this paper, we report the result of the loading test with three actual models of 1/4 scale.

Keywords: RC pier, RC jacketing, Main bar curtailment, Band steel plate, PC steel rod, Repair