

断面増加を抑えた RC 橋脚の段落とし補強工法の開発

大越靖広¹・大本晋士郎²

¹正会員 工修 株式会社熊谷組 土木事業本部土木設計部（〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1）

²正会員 工修 株式会社熊谷組 土木事業本部インフラ再生事業部（〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1）

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栈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帯板鋼板による段落とし補強工法を開発した。本稿では、段落とし部で曲げ破壊する既設橋脚を模擬した供試体を製作し、正負交番載荷試験を行って補強の有無による性能の違いを確認した結果を報告する。また、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

(1) 供試体概要

供試体は実橋脚を参考¹⁾とし、1/4 縮小模型を 2 体製作した。無補強の供試体は No. 1、帯板鋼板で補強した供試体は No. 2 である。図-1、図-2 に配筋図および補強図を示す。供試体の諸元を表-1、補強材の諸元を表-2 に示す。No. 2 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。各材料試験結果を表-3、表-4 に示す。なお、No. 2 供試体には、段落としされた軸方向鉄筋相当量の帯板鋼板を配置した。

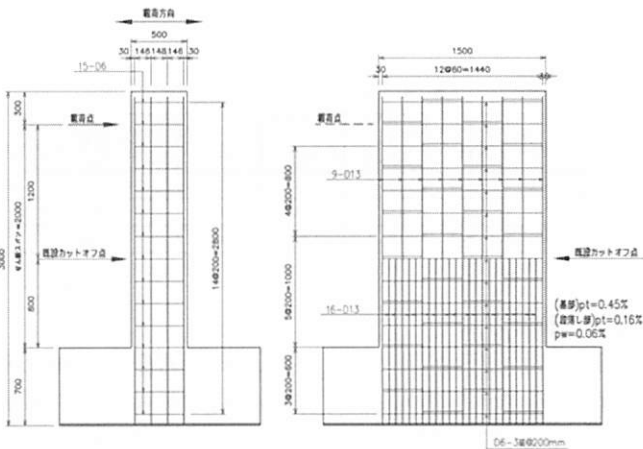


図-1 No. 1 供試体配筋図

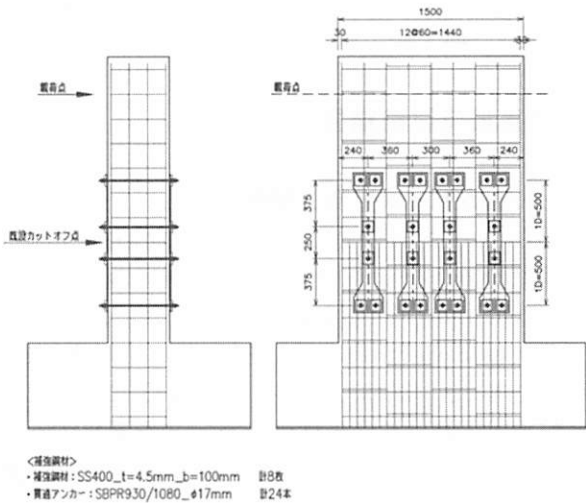


図-2 No. 2 供試体補強図

表-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		断落とし部		規格	呼び名	本数	ピッチ	P _w (%)
			本数	P ₁ (%)	本数	P ₁ (%)					
No.1	SD345	D13	25	0.45	9	0.16	SD345	D6	6本	200	0.06
No.2											

*p₁:引張鉄筋比, p_w:せん断補強鉄筋比

表-2 補強材諸元

	曲げ補強材		横締め補強材	
	補強材	個数	補強材	個数
No.2	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。

表-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 ²	弾性係数 kN/mm ²	材齢	割裂強度 N/mm ²	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	31.4	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	-	-

表-4 鋼材材料試験結果

規格	呼び名 板厚	降伏強度 N/mm ²	静弾性係 数 kN/mm ²	降伏ひず み 10 ⁻⁶	最大耐力 N/mm ²	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

(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/mm²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 δ_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。

3. 交番載荷試験結果

(1) 水平荷重－水平変位関係

図-3 に No. 1 供試体と No. 2 供試体の水平荷重－水平変位関係の履歴を示す。No. 1 供試体が段落とし部損傷であったのに対し、帯板鋼板で補強した No. 2 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 No. 2 供試体については、図-3 に示すように耐震標準²⁾における変形性能算定式を満足することが確認された。各供試体の終局時の損傷状況を写真-1、写真-2 に、ひび割れ図を図-4 に示す。

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にひずみ分布とよく一致している。

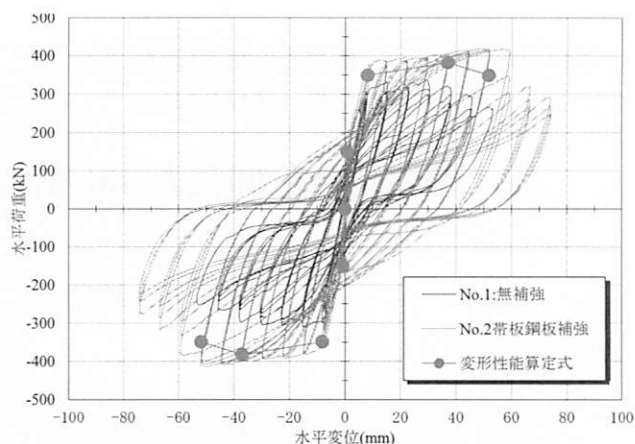


図-3 荷重－変位関係の比較

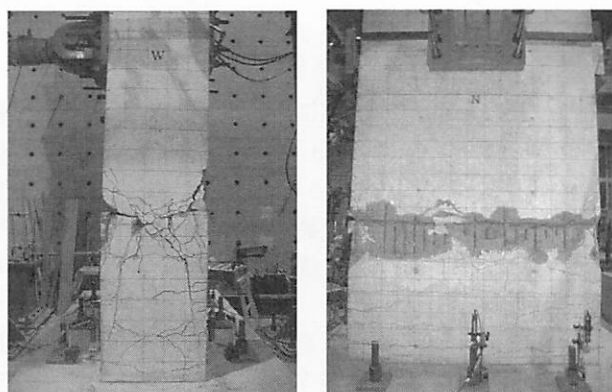


写真-1 No. 1 供試体の損傷状況 (7 δ 載荷終了時)

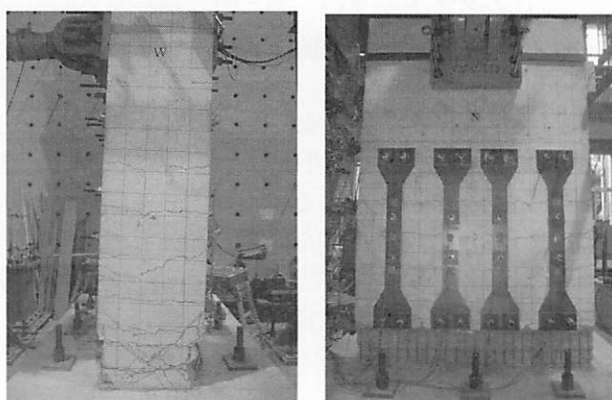


写真-2 No. 2 供試体の損傷状況 (10 δ 載荷終了時)

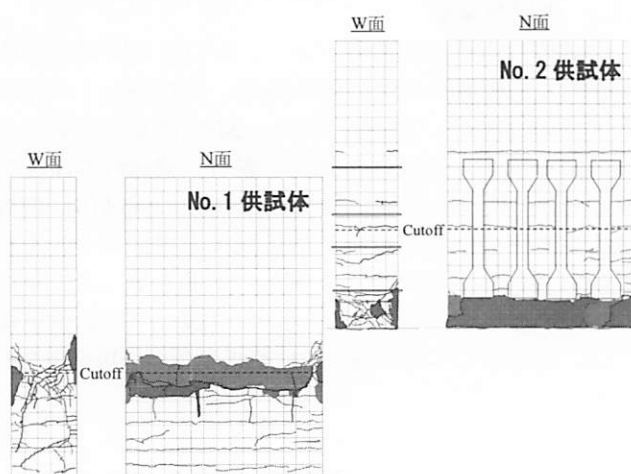


図-4 各供試体のひび割れ状況

(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図-5 および図-6 に示す。無補強で載荷した 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.2 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。

(3) 水平変位分布

各供試体の水平変位分布を図-7 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、No.2 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。

4. 帯板鋼板により段落とし部を修復した供試体の載荷試験結果

(1) 実験概要

ここで用いた供試体は、前述した無補強で終局まで交番載荷して段落とし部を損傷させた No.1 供試体を実験用無収縮モルタルにより断面修復し、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(写真-3 参照)は以下に示すとおりである。

- ①No.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り落とす。
- ②型枠設置後、グラウト材を用いて損傷部を充填。
- ③横締め PC 用に躯体を削孔
- ④帯板鋼板設置

正負交番載荷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させているため、No.2 供試体の降伏変位を用いて交番載荷を行った。

(2) 交番載荷試験結果

無補強で載荷した No.1 供試体と載荷後に修復・補強した供試体の水平荷重—水平変位関係の比較を図-8 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(写真-4 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、図-9 に示すように、予め帯板鋼板により補強した No.2 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。

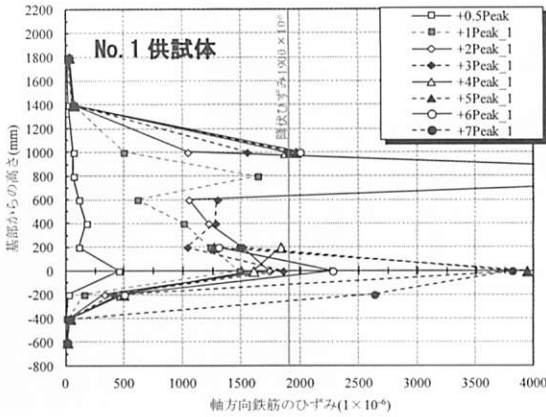


図-5 No.1 供試体の軸方向鉄筋のひずみ分布

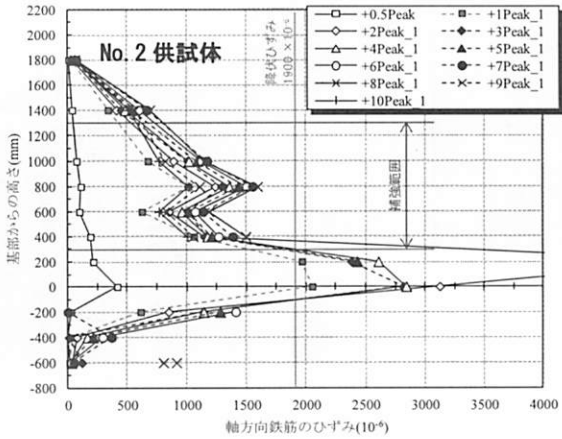


図-6 No.2 供試体の軸方向鉄筋のひずみ分布

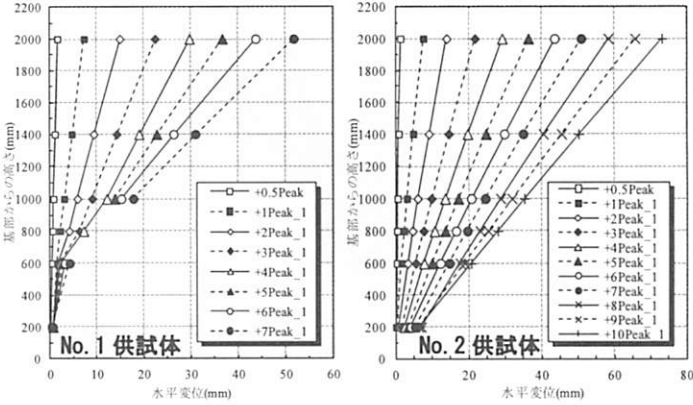
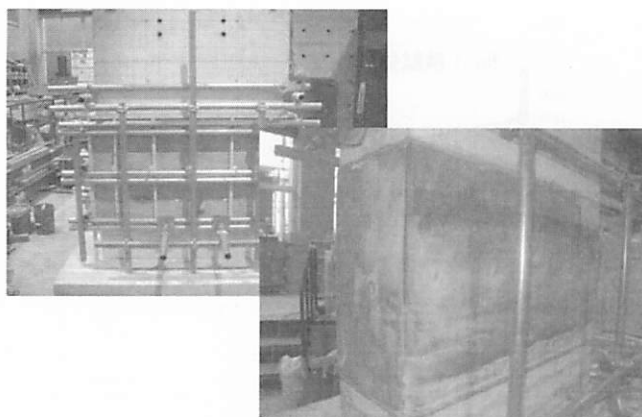


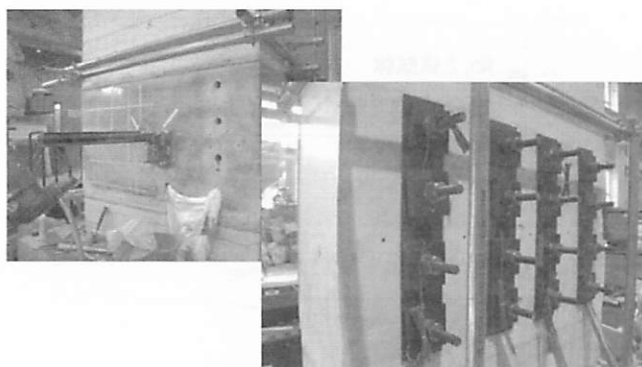
図-7 各供試体の水平変位分布



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



③躯体削孔状況および④帯板鋼板設置状況

写真-3 修復・補強の手順

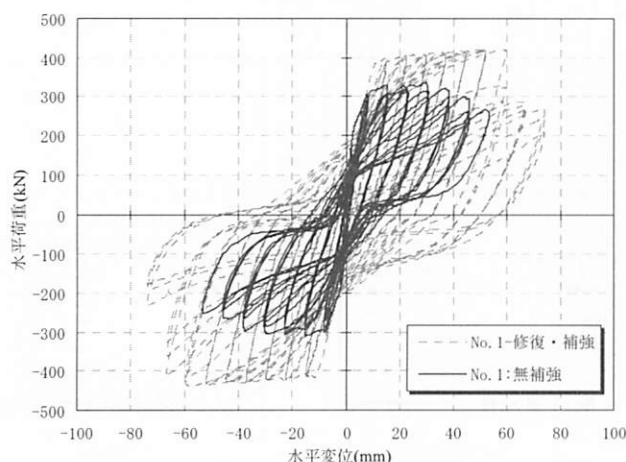


図-8 無補強と修復・補強供試体の荷重－変位関係

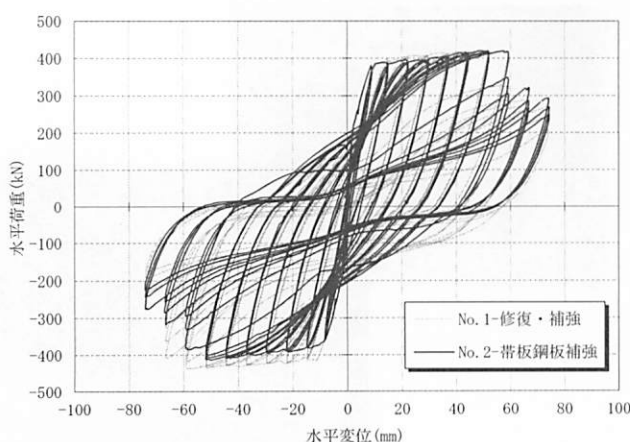


図-9 No. 2 供試体と修復・補強供試体の荷重－変位関係

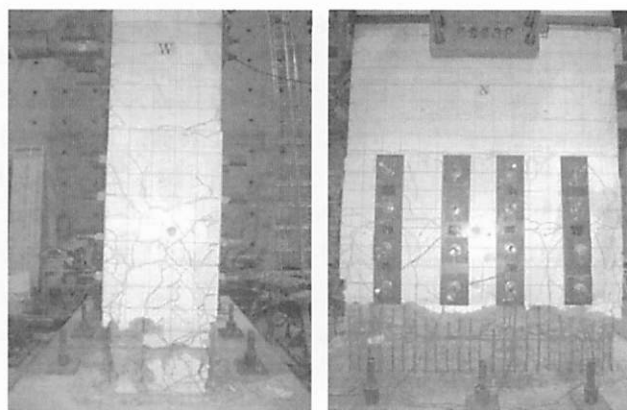


写真-4 修復・補強供試体の損傷状況 (10 δ 載荷終了時)

5. まとめ

段落とし補強後の断面増加を極力抑え、施工が比較的簡易な帯板鋼板による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帯板鋼板を設置して正負交番載荷試験を行った。

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。また、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、予め帯板鋼板により補強した供試体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・補強にも適用できると考えられる。

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・エール総研エンジニアリング、鹿島建設(株)、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とし部一体化の検討, 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
- 3) 大本, 大越, 奥西, 獅子目: 帯板鋼板を用いた RC 橋脚の段落し補強効果の検討, 土木学会第 68 回年次学術講演会 (V), pp. 149-150, 2013. 9
- 4) 奥西, 岡本, 島崎, 鹿子生: 帯板鋼板により段落とし部を修復した RC 橋脚の耐震性能, 土木学会第 70 回年次学術講演会 (V), pp. 151-152, 2013. 9