

壁式橋脚のアラミド繊維シート補強における補強量と補強範囲の検討

Experimental Study on Seismic Retrofit with AFRP sheet for Wall Type RC-pier

北海道開発局	開発土木研究所	○正員	三田村 浩 (Hiroshi Mitamura)
北海道開発局	開発土木研究所	正員	池田 憲二 (Kenji Ikeda)
(株) 長 大		正員	長谷川 正 (Tadashi Hasegawa)
(株) 長 大		正員	後藤 克人 (Katsuhito Gotou)

1. はじめに

近年、各種研究機関等において RC 橋脚の耐震性能を評価する水平交番載荷実験がおこなわれてきている。

著者らは、これまでに RC 橋脚の耐震性能を評価するために各種の水平交番載荷試験¹⁾²⁾³⁾をおこなってきた。これらの実験から、1)主鉄筋段落としを有する RC 橋脚では、段落とし部において曲げからせん断に移行する脆性的な破壊形状を示すこと、2)AFRP シートを用いたせん断補強効果によって、せん断破壊を効果的に抑制できること、3)橋脚剛性を過度に向上させた場合には、損傷がフーチング部へ移行すること、4)せん断補強に加え曲げ補強をおこなった場合には、曲げ補強効果から変形性能が向上し、エネルギー吸収量も増加すること等が明らかとなった。

本研究では、これらの実験結果を踏まえ、主鉄筋段落とし部周辺にせん断補強と曲げ補強をおこなうことで、橋脚耐力を極力上げずに変形性能を向上させ、エネルギー吸収量も増加させることを目的とし、近年橋脚等のじん性補強に適用例の増えている AFRP シートを用いて耐震補強に関する補強量、補強範囲、補強効果、破壊特性やエネルギー吸収量について検討をおこなった。

2. 実験概要

2-1 実験装置

図-1 に実験装置概要図を示す。本実験装置は、上部工死荷重に相当する鉛直荷重を載荷する鉛直方向載荷ジャッキ、水平方向に交番載荷する水平方向載荷ジャッキ、試験体とそれらを支える架台からなる。

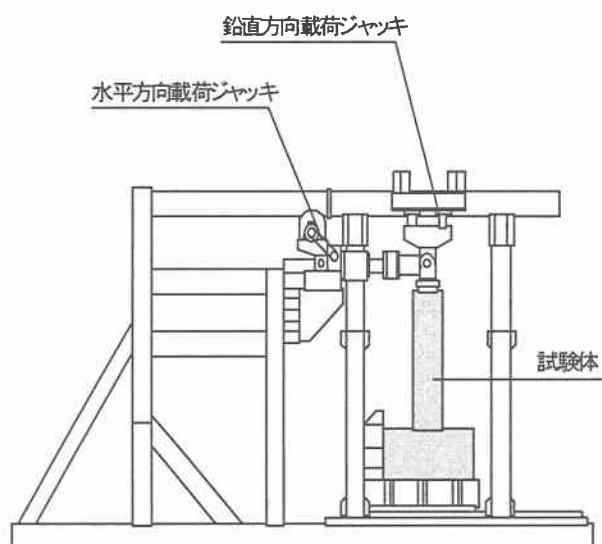


図-1 実験装置概要図

2-2 実験方法

実験は、上部工死荷重に相当する鉛直荷重 88.2kN を鉛直方向ジャッキで軸力として載荷した状態で、水平方向ジャッキにより水平方向交番載荷をおこなった。交番載荷は、主鉄筋が降伏するまでは、歪み制御により載荷をおこない、主鉄筋が降伏歪みに達した時点の変位を降伏変位 δ_y 、そのときの荷重を降伏荷重 P_y とし、降伏以降は、変位制御により、降伏変位の整数倍毎に変位振幅を漸増させて繰り返し載荷する方法により実施した。

各変位振幅による繰り返し回数は3回とし、正負いずれかの載荷荷重が降伏荷重 P_y を下回った時点を終局と定義している。

2-3 実験試験体

試験体は、既設河川橋を想定した、主鉄筋段落しを有する壁式 RC 橋脚柱を用いた。

試験体形状は、実構造物の 1/4 程度の規模とし、躯体高 2.0m、断面寸法 1.14m×0.38m の長方形断面（縦横比 1:3）であり、フーチング上 0.9m で主鉄筋の段落しをしている。鉄筋径は主鉄筋 D13、帯鉄筋 D10 であり、引張主鉄筋比 = 0.6%，横拘束筋の体積比 $\rho_s = 0.14\%$ とした。

なお、試験体は、主鉄筋段落し部において曲げ破壊先行となるように設計をおこなった。

試験体の補強は、AFRP シートを用いた段落し部補強を主目的とし、AFRP シートの膨み出しを防止するために、貫通ボルトを配置している。貫通ボルトの配置は、AFRP シートと貫通ボルトに囲まれた断面形状が 1:1 となるように 1 断面につき 2 本の配置とした。

補強ケースは、1) AFRP シートを横方向にのみに巻いた場合、2) AFRP シートを縦+横方向に巻いた場合、3) 2) の柱基部に AFRP シートを横方向に巻いた場合、4) 3) の段落とし部の曲げ補強量を、柱基部に作用する曲げモーメントを終局の 1.1 倍と仮定したときに、段落とし部に作用する曲げモーメント以上になるようにした場合、5) 4) の柱基部貫通鉄筋の配置高を塑性ヒンジ長にした場合の 5 ケースとした。

補強範囲は、既往の実験結果より、主鉄筋段落し部より上方に 0.5D、下方に 1.0D (D: 橋脚壁厚) とした。

なお、一部の供試体では、柱基部のコンクリートのはらみだし遅延を目的とし、せん断補強をしている。せん断補強の範囲は、段落とし下方 1.0D~柱基板上 5cm とした。柱基部から 5cm 上げるのは、既往の実験結果から、柱基部まで巻くと損傷がフーチングへ移行する傾向が得られているためである。図-2 に試験体の形状・配筋及び補強概要図を、表-1 に試験体の補強一覧表を示す。

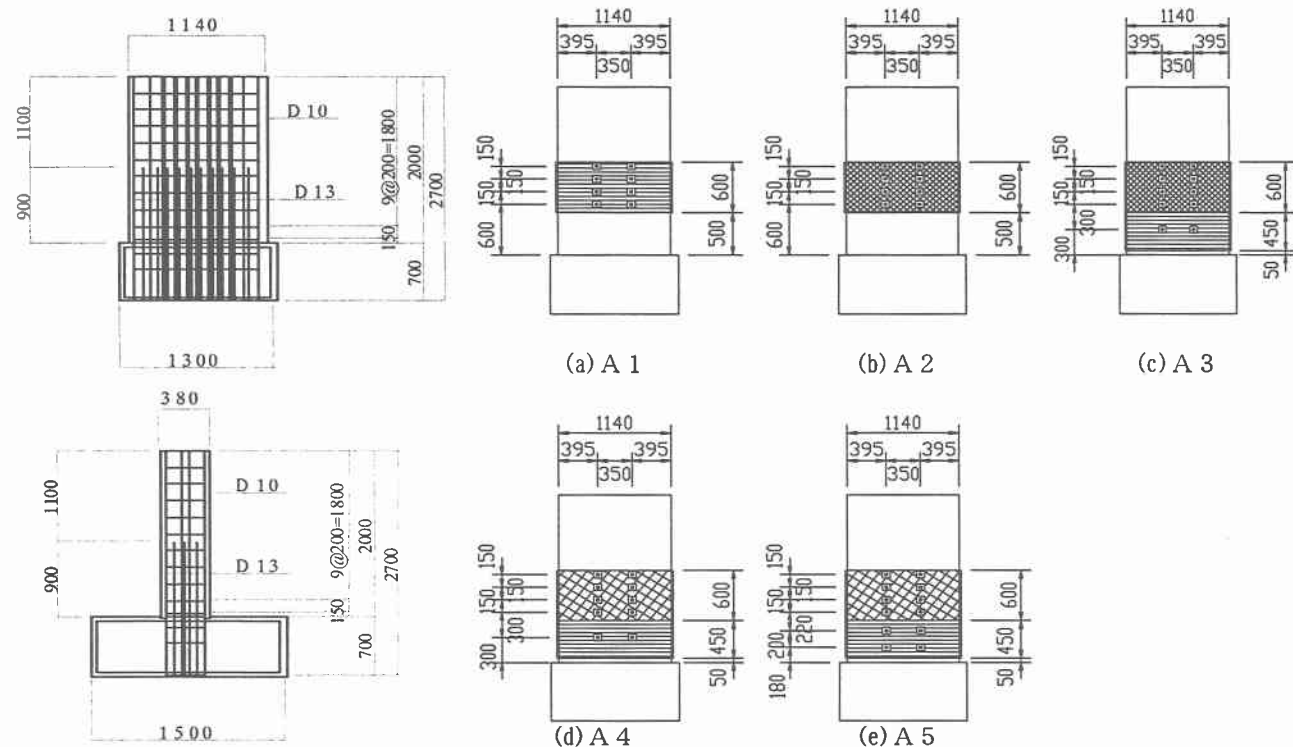


図-2 試験体の形状・配筋及び補強概要図

表-1 試験体補強一覧表

試験体	補強範囲	補強量 (AFRP シート)	
		せん断補強	曲げ補強
N	—	—	—
A 1	段落とし部 上 0.5D～下 1.0D	AK-40 (280g/m ²) 2 層	—
A 2	段落とし部 上 0.5D～下 1.0D	AK-40 (280g/m ²) 1 層	AK-40 (280g/m ²) 1 層
A 3	段落とし部 上 0.5D～下 1.0D	AK-40 (280g/m ²) 1 層	AK-40 (280g/m ²) 1 層
	柱基部	AK-40 (280g/m ²) 1 層	—
A 4	段落とし部 上 0.5D～下 1.0D	AK-10 (90g/m ²) 2 層	AK-10 (90g/m ²) 2 層
	柱基部	AK-40 (280g/m ²) 1 層	—
A 5	段落とし部 上 0.5D～下 1.0D	AK-10 (90g/m ²) 2 層	AK-10 (90g/m ²) 2 層
	柱基部	AK-40 (280g/m ²) 1 層	—

3. 実験結果及び考察

3-1 荷重-変位関係

表-2 に実験結果の一覧を示す。表中の δ_y , P_y は降伏時の載荷点変位, 載荷荷重を, δ_u , P_u は終局時の載荷点変位, 載荷荷重を示す。

表より, 降伏荷重は, 無補強の N に対して A 1～A 5 の各試験体で 6.9% 減～7.8% 増となっており, 補強をしたことにより橋脚耐力がほとんど変わっていないということが分かる。それに対し終局変位は, 22% 増～63% 増と大きく向上していることが分かる。しかし, 曲げ補強をした A 2～A 5 で比較してみると, 曲げ補強量の多い A

2・A 3 よりも曲げ補強量の少ない A 4・A 5 の方が終局変位が大きく向上する結果が得られた。

また, 図-3 に各試験体の載荷 1 ループ目における荷重-変位関係の包絡線を示す。図より, 無補強の N 試験体では $2\delta_y$ 載荷時で最大荷重を示した後, 比較的早く荷重が減少するが, 補強をおこなった各試験体の荷重-変位関係は, $2\delta_y$ 載荷時以降の荷重変化が少なく安定して荷重を維持する弾完全塑性型に近いことが分かる。

表-2 実験結果一覧表

試験体	変位 (cm)		荷重 (kN)		終局塑性率
	δ_y	δ_u	P_y	P_u	
N	27.3	102.0	134.55	93.39	$4\delta_y$
A 1	19.3	162.5	135.73	122.79	$8\delta_y$
A 2	17.8	124.5	125.24	116.62	$7\delta_y$
A 3	18.5	131.5	139.94	133.77	$7\delta_y$
A 4	21.8	166.5	140.63	128.67	$8\delta_y$
A 5	19.0	152.5	145.05	138.47	$8\delta_y$

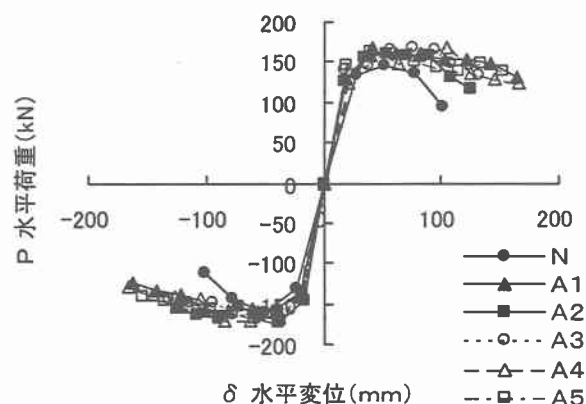


図-3 荷重-変位包絡線

3-2 履歴吸収エネルギー

図-4に履歴吸収エネルギーと変位振幅の関係を示す。履歴吸収エネルギーは、各変位振幅における荷重-変位関係より算出し、累積した値を示している。

図より、Nが終局となる $4\delta y$ 荷重時には、各試験体で大きな差異は認められない。しかし、その後の荷重では、ほぼ線形の増加を見せるA3・A4に対し、A2はやや増加速度が緩いが、A1・A5は後半 $6\delta y$ から $8\delta y$ にかけて大きくエネルギー吸収量が増加していることが分かる。

終局時までの総吸収エネルギー量は、N: 95.3kNmm, A1: 424.5kNmm, A2: 264.7kNmm, A3: 307.5kNmm, A4: 385.2kNmm, A5: 437.0kNmm であり、段落とし部に補強を施すことにより、無補強試験体に対し、2.7~4.6倍と非常に大きなエネルギー吸収性能を示した。

ここで、A2の総吸収エネルギー量が他の試験体に比べやや少ないのは、曲げ補強量が多いことから、損傷が柱基部に偏り、段落とし部でのエネルギー吸収量が少なく、柱基部のみでほとんどエネルギー吸収しているためと考えられる。そこで、A3では、A2の柱基部にせん断補強を施すことで、柱基部の損傷を遅らせ、変形性能を向上させて総吸収エネルギー量の増加を図ろうとしており、その結果、約16%総吸収エネルギー量が增加している。さらにA4では、A3の段落とし部の曲げ補強量を安全率1.1程度まで減らして、段落とし部でのエネルギー吸収量の増加を図ろうとしており、その結果、約25%総吸収エネルギー量が増加している。さらにA5では、A4の柱基部の貫通鉄筋の配置を塑性ヒンジ長の高さに変更し、柱基部のはらみだしを遅らせて総吸収エネルギー量の増加を図ろうとしており、その結果、約13%総吸収エネルギー量が増加している。しかし、A1とA5は、ほぼ同じエネルギー吸収性能を有しているが、A1は曲げ補強を施していないため、段落とし部に大きなひび割れが生じ、角折れ状の変形を示した。その後、最終的には柱基部のかぶりコンクリートが大きく剥離し、終局状態となった。一方、A5は曲げ補強を施しているため、段落とし部で内部は損傷しているが、AFRPシートに押さえられており、最終的には柱基部の損傷で終局となったが、損傷は比較的軽微であった。

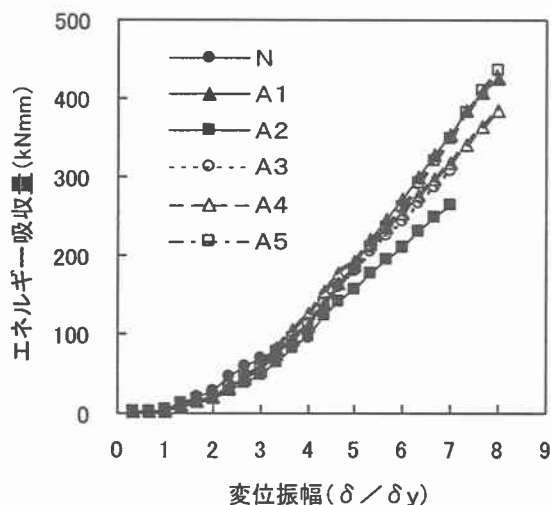


図-4 履歴吸収エネルギー

3.3 主鉄筋ひずみ分布

図-5に各試験体における主鉄筋ひずみの高さ方向分布を示す。

図より、無補強のNでは、 $1\delta y$ 荷重時に段落とし部と柱基部がほぼ同時に主鉄筋が降伏に達しており、その後、段落とし部のみでひずみが増加した。補強をしたA1~A5では、 $1\delta y$ 荷重時に段落とし部と柱基部がほぼ同時に主鉄筋が降伏に達しているのは同じだが、その後は、程度の差はあるが段落とし部と柱基部の両方で主鉄筋ひずみが増加している。

このことから、段落とし部に補強を施した場合、段落とし部と柱基部の両方で主鉄筋ひずみが増加し、段落とし部と柱基部の2ヶ所でエネルギー吸収されていることが分かる。

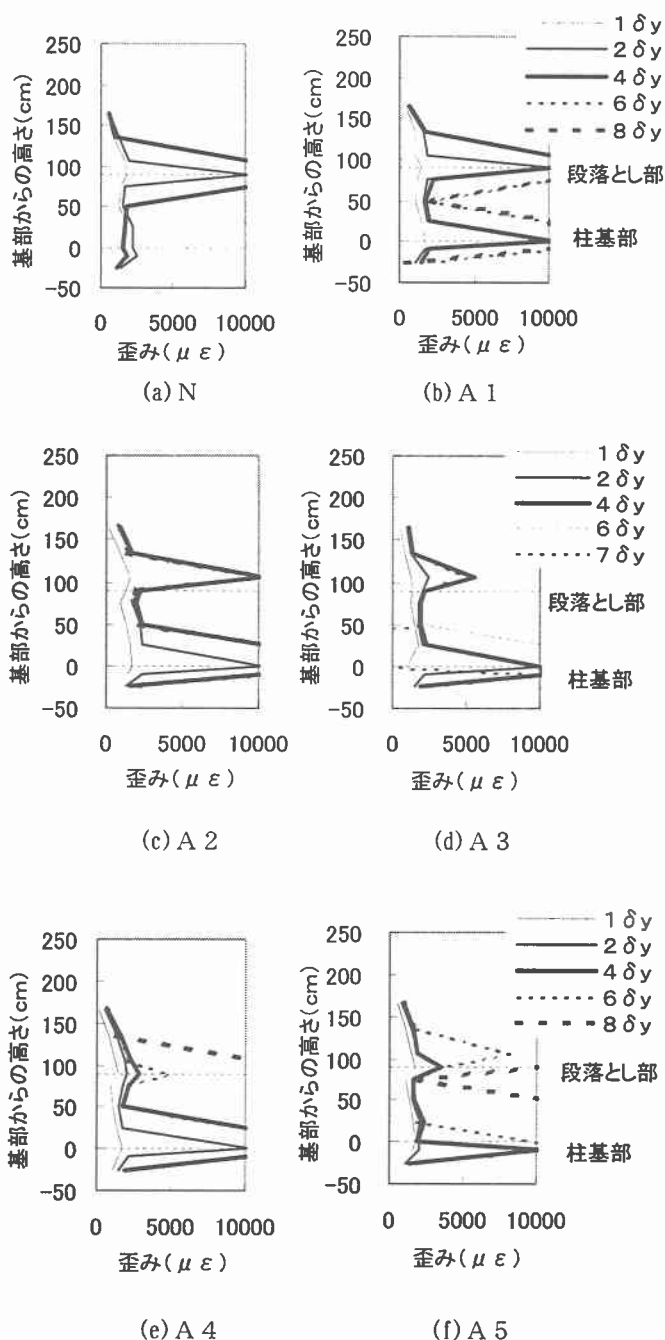


図-5 軸方向主鉄筋ひずみ分布

3. 4 AFRP シートの縦方向ひずみ分布

図-6 に縦方向に曲げ補強した各試験体の AFRP シートの縦方向ひずみ分布を示す。図より、曲げ補強量の多い A2・A3 では、段落とし部周辺のみが大きくなり、その上下では小さくなっている。しかし、曲げ補強量の少ない A4・A5 では、下から上にいくに従って大きくなっている。これは、A4・A5 が曲げ補強量が少ない分、段落とし部が損傷し、変形をしているため AFRP シートの上側にいくに従ってひずみが大きくなっていると考えられる。このことから、段落とし部の内部は損傷しても、それを押さえることができる程度の曲げ補強量にすることにより、総吸収エネルギー量を増加させる、より有効な曲げ補強量の設定につながると考えられる。

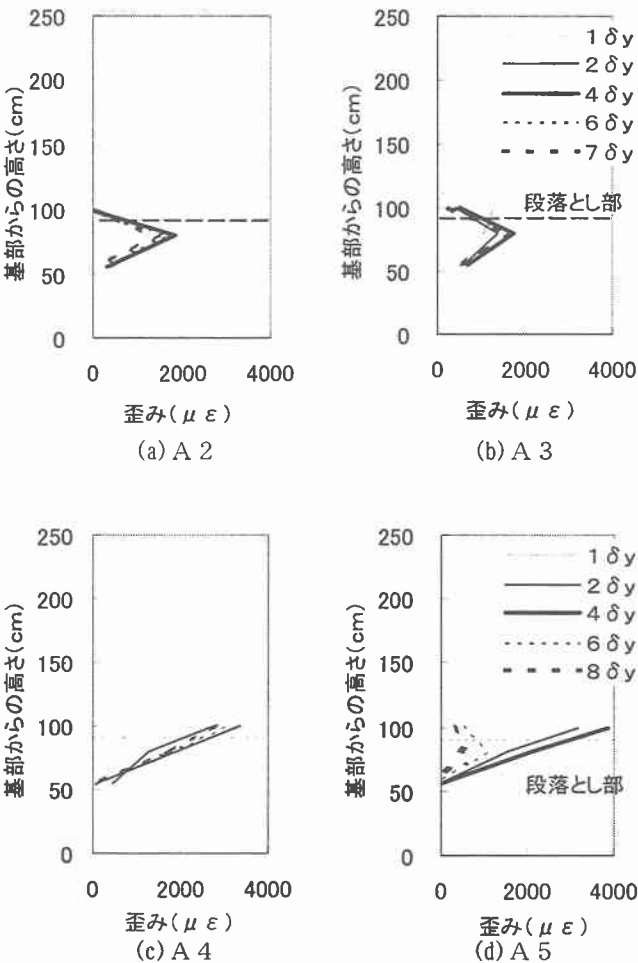


図-6 縦方向 AFRP シートひずみ分布

3. 5 曲げ補強量と総吸収エネルギー量との関係

表-3 に各試験体の曲げ補強量と総吸収エネルギー量を、図-7 に曲げ補強安全率と総吸収エネルギー量との関係を示す。表と図から、段落とし部に適切な量の曲げ補強を施すことにより、無補強時に段落とし部のみに集中していた損傷を柱基部に移行することができ、なおかつ、段落とし部でもある程度エネルギー吸収をし、橋脚全体としての総吸収エネルギー量を増加させることができることが分かる。

表-3 曲げ補強量と総吸収エネルギー量

試験体	曲げ補強量 AFRP シート	段落とし部 曲げ補強 安全率	総吸収エネルギー量
N	—	0.91	95.3 kNmm
A2	AK-40 1層	1.42	264.7 kNmm
A3	AK-40 1層	1.42	307.5 kNmm
A4	AK-10 2層	1.17	385.2 kNmm
A5	AK-10 2層	1.17	437.0 kNmm

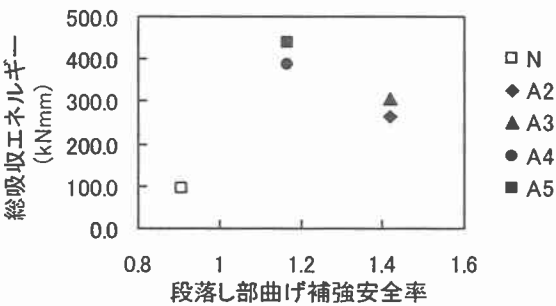


図-7 曲げ補強安全率と総吸収エネルギー量

4. まとめ

RC 橋脚の耐震性能を評価するために、曲げ補強量の大小、柱基部のせん断補強の有無、柱基部の貫通鉄筋の配置等をパラメーターとしておこなった、本研究より得られた結果を以下に示す。

- (1) AFRP シートを用いて段落とし部に曲げとせん断補強を施すことにより、じん性能を大きく向上させ、なおかつ、段落とし部の曲げ破壊を防ぎつつ、総吸収エネルギー量を増加させることができる。
- (2) AFRP シートを用いて段落とし部に曲げ補強を施すことにより、柱基部先行の破壊性状にすることができるが、適切な曲げ補強量を設定することにより、段落とし部でもある程度エネルギー吸収をさせることで、橋脚全体としてエネルギー吸収量を増加させることができる。
- (3) 柱基部先行の破壊性状にした上で、さらにエネルギー吸収量を増加させる方法として、柱基部のせん断補強と貫通鉄筋が有効である。

参考文献

1) 吉田, 三田村, 三上, 岸: AFRP シート巻き付けされた段落としを有する実規模 RC 橋脚の静載荷実験, コンクリート工学年次論文集第 22 巻 第 3 号, pp. 1579-1584.
2) 池田, 新山, 佐藤, 伊藤: AFRP シートを巻き付けた段落としを有する実規模壁式 RC 橋脚に水平交番載荷実験, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集(2000 年 9 月), I-B423.
3) 三田村, 池田, 長谷川, 岸: 基礎工とのバランスに考慮した壁式橋脚の耐震補強に関する一考察, 第 4 回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集(2000 年 12 月), pp. 203-210.