

論文 アラミド繊維シートを用いた RC ラーメン橋脚梁部のせん断補強に関する研究

前川 敦^{*1}・睦好 宏史^{*2}・Govinda Raj Pandey^{*3}市川 衡^{*4}

要旨：高速道路に供用されている既設ラーメン橋脚の梁部では、せん断耐力の不足によりせん断補強が急務とされているものがある。せん断補強方法としてはアラミド繊維シートの巻きつけが提案されているが、落橋防止用である鋼製ブラケットが障害となり、シートの全面巻きが困難で、梁の両側面と底面だけにシートを巻きつけた3面巻きでの補強(以後、U-wrap補強)に限られてしまう。本研究では U-wrap 補強において、シート上端部の定着方法を変えた6体の供試体を作製し、単調載荷実験を行った。その結果、U-wrap 補強において、適切な定着方法を用いることによって Full-wrap と同等程度のせん断補強効果がみられた。

キーワード：鋼製ブラケット、剥離、アラミド繊維シート、定着部材、せん断補強

1. はじめに

兵庫県南部地震を契機に、道路や鉄道の RC 高架橋および RC 橋脚に耐震補強が行われてきた。この中で高速道路用 RC1 層ラーメン橋脚において柱部に耐震補強が実施された結果、柱部では所要のせん断性能が確保されているが、梁部のせん断耐力が相対的に不足しているため、大地震時には梁部でせん断破壊する危険性が指摘され、横梁の補強対策が急務となっている。ラーメン橋脚横梁のせん断補強に関しては、施工性を考慮して、連続繊維シートを用いた巻き付け補強が有効と考えられるが、ラーメン橋脚の一部では横梁側面に落橋防止や縁端拡幅のための鋼製ブラケットが取り付けられている場合が多く、シートで補強する際の障害になっている。

このような横梁をシート補強する場合、ブラケット配置区間では、シートを全面に巻きつける補強(以後、Full-wrap 補強)が出来ないため、梁の両側面と底面だけにシートを巻きつけた補強(以後、U-wrap 補強)が提案されている。し

かし、U-wrap 補強の場合、シートの上端部から剥離が起こり、シートの強度を有効に活用できているとはいえないといった問題があった。そこで、本研究では梁の連続繊維シートによる U-Wrap 補強において、シート上端部の定着方法に焦点を当て、定着方法の違いによるせん断補強効果を実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

実験に用いた供試体の形状寸法を図-1に、実験要因を表-1に示す。実験供試体は既設高速道路に供用されているラーメン橋脚横梁を想定したもので、300×300 mmの矩形断面である。

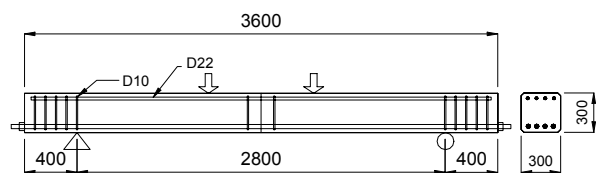


図-1 供試体形状寸法

*1 埼玉大学大学院 理工学研究科環境システム工学系専攻 (正会員)

*2 埼玉大学大学院 理工学研究科環境システム工学系専攻 教授 (正会員)

*3 ジェームスック大学 助手 (正会員)

*4 首都高速道路 (株)

表－1 実験要因一覧

試験体	補強方法		圧縮強度 (N/mm ²)
	AFRP (層)	定着方法	
A-1	—	—	36.9
A-2	1	—	33.8
A-3	1	Type A	36.4
A-4	2	Type A	37.7
A-5	2	Type B	36.3
Full-wrap	1	—	40.4

表－2 鋼材の材料特性値

材料	降伏強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
鉄筋 (D-22)	397	200
鉄筋 (D-32)	410	200
鋼板 (SS400)	—	200

表－3 アラミド繊維シートの材料特性値

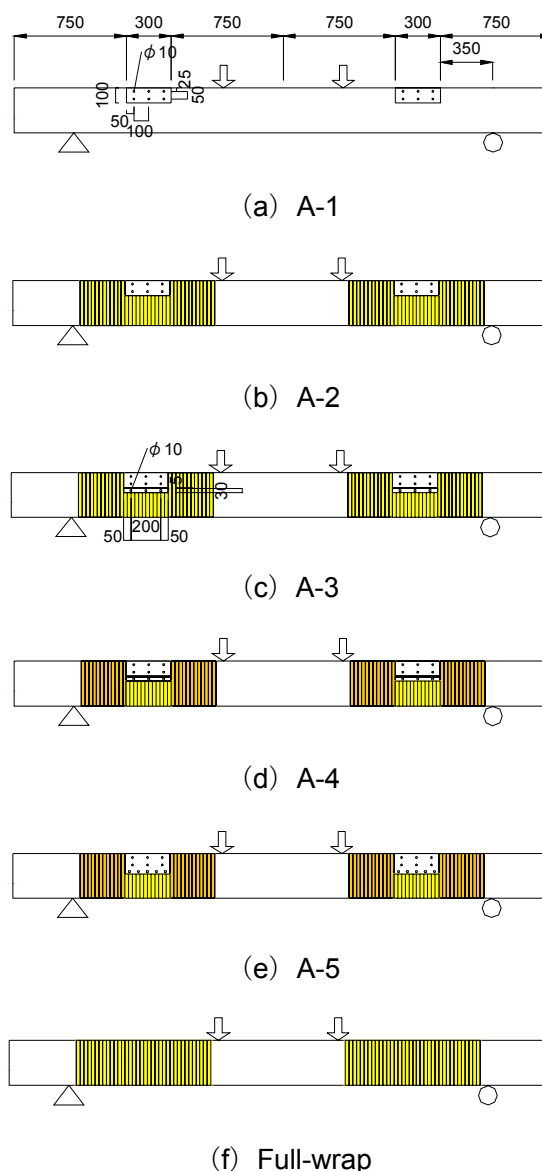
耐力 (kN/m ²)	目付け (g/m ²)	設計厚 (mm)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
588	415	0.286	118	2060

コンクリートには普通セメントを使用し、粗骨材の最大寸法 20mm，スランプ 150mm，圧縮強度は表－1 に示すとおりである。

軸方向鉄筋材は圧縮鉄筋に D-22，引張鉄筋に D-32 をそれぞれ 4 本使用し，引張鉄筋端部を定着用のネジによって固定した。ブラケット，定着プレート，接合プレートについては，それぞれ 300×100×3.2 mm，300×30×3.2mm，300×135×6.0mm の鋼板を用いた。

補強材料であるアラミド繊維シート（以後，AFRP シート）の材料特性値（規格値）を表－3 に示す。貼付は，一般的な補強工法と同様にエポキシ樹脂を使用して貼り付けた。

図－2 は繊維シートの補強方法を示したものである。補強効果を把握するために，基本となる無補強供試体（A-1）においてせん断破壊が生



図－2 繊維シートの補強方法

じるように設計した。Full-wrap においては，曲げ破壊が生じるように設計した。また，せん断スパンの 2/3 においてブラケットがない箇所を AFRP-Full-wrap 補強，ブラケットがある箇所を AFRP-U-wrap 補強とした。A-2 は定着具なし，A-3，A-4 は補強方法を Type A（後述）とした。ただし，A-4 は Full-wrap 部分の AFRP シートを 2 層としている。A-5 については Full-wrap 部分の AFRP シートが 2 層，かつ補強方法が Type B である。

2.2 補強方法

剥離による破壊を防ぎ，AFRP シートを効果的に使うため，定着具を使用した。図－3 は本研究

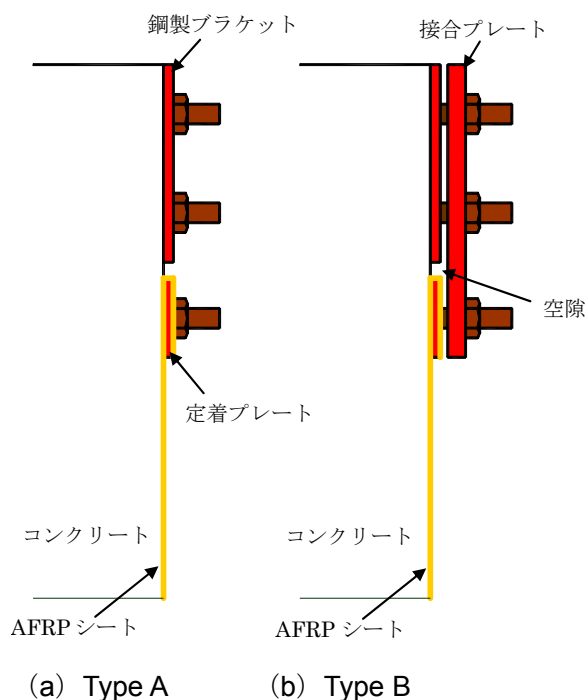


図-3 補強方法

で使用した2つの補強方法の概略図である。Type Aの補強方法は、U-wrap部分のシート上端部をエポキシ樹脂、定着プレートによって接着し、その後シートを折り返してφ10mmのボルトで固定した。Type Bは、接合プレートを用いてブラケットと定着プレートの一体化を図った包括的な補強方法である。それぞれのプレートの固定には降伏強度 400N/mm^2 のボルトを使用し、Type Aの定着プレートには3本、Type Bの接合プレートには5本のボルトを用いている。

2.3 荷重方法

図-4に荷重状況を示す。支点間距離2800mm、荷重点距離800mmの4点単調荷重を行った。油圧式ジャッキによって供試体にかかる荷重をロードセルによって測定した。また、供試体中心の変位を変位計によって測定した。

2.4 測定項目

変位、AFRPシートのひずみを測定した。U-wrap部分におけるAFRPシートのひずみゲージは、図-5のようにブラケットと定着プレートのすぐ下に5個貼付し、梁軸直角方向の値を計測した。

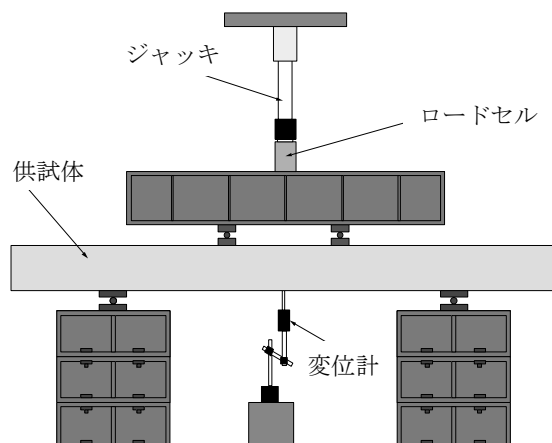


図-4 荷重状況

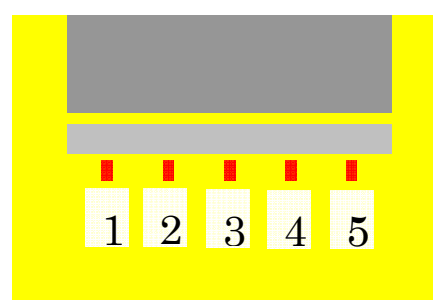


図-5 ひずみゲージ位置

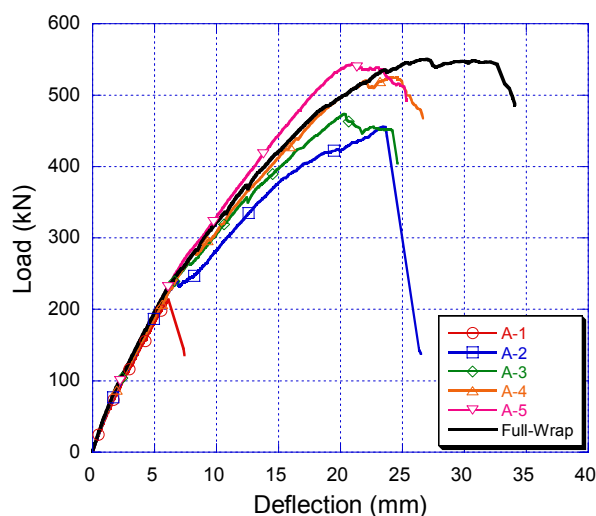


図-6 荷重－変位関係

3. 実験結果

3.1 荷重－変位関係

図-6は全供試体6体の荷重－変位関係を示したものである。シート補強なしのA-1供試体は荷重213kNでせん断破壊したのに対し、Full-wrap供試体は荷重549kNで曲げ破壊した。AFRPシートのみで補強したA-2供試体は、荷重230kN付近で剥離が始まり剛性が下がるが、最

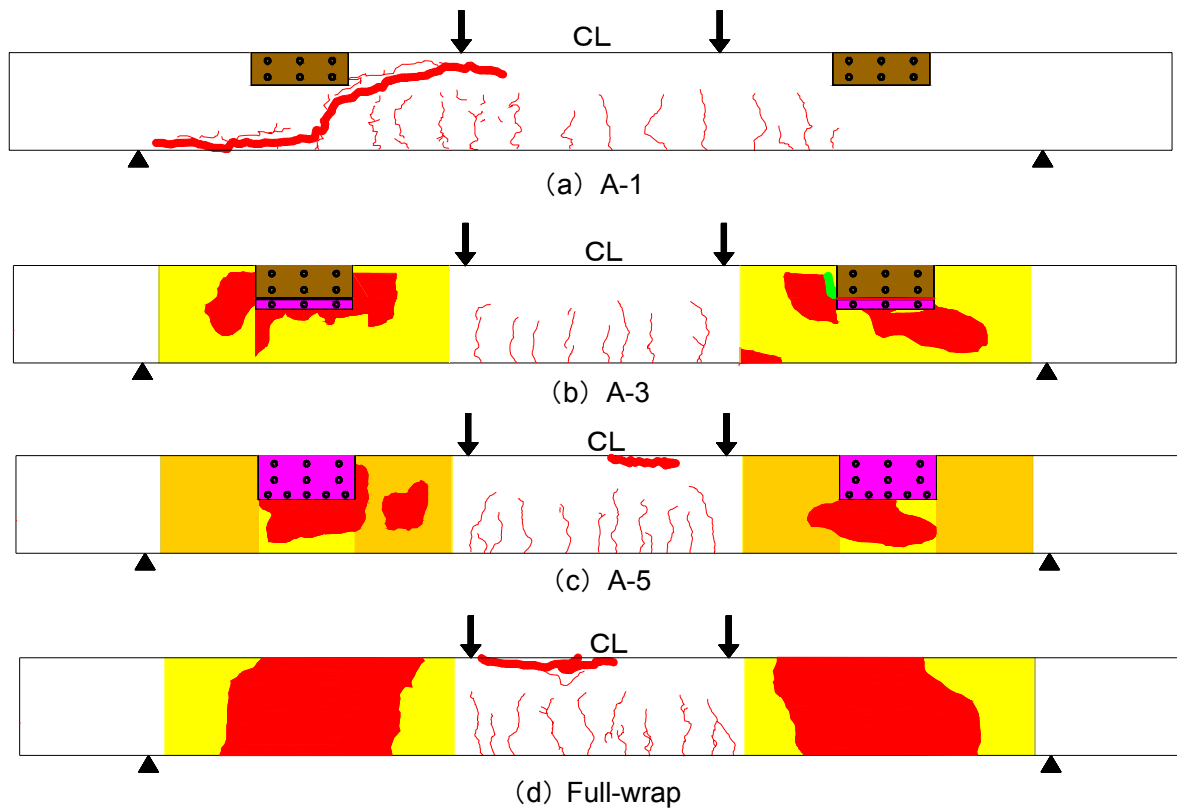


図-7 ひび割れ状況図

大荷重 455 kN と A-1 供試体と比べるとせん断耐力に大きな向上が見られた。しかし、載荷点付近の Full-wrap 部分のシートが破断することで急激に耐力を失い、せん断破壊した。これはブラケット下の U-wrap 部分の剥離が進展し、U-wrap 部分で抵抗していた力が Full-wrap 部分に移行したためと考えられる。定着プレートでシートを固定した、補強方法 Type A の A-3 供試体は、最大荷重 473 kN と A-2 供試体と比べ大きな違いは見られず、A-2 供試体と同様に Full-wrap 部分のシート破断後せん断破壊した。A-4 供試体は、最大荷重 525 kN と Full-wrap 部分のシートを 2 層にしたことによって、せん断耐力の向上が見られるが、最終破壊形式は A-2, 3 と同様に Full-wrap 部分のシート破断によるものであった。次に、ブラケットと定着プレートを接合プレートによって一体化させた A-5 供試体に関しては、最大荷重が 544 kN と Full-wrap 供試体とほぼ同等のせん断補強効果が得られることがわかった。

3.2 ひび割れ状況

図-7 は主な供試体の終局状態におけるひび割

れ状況を示したものである。A-1 供試体では、せん断破壊特有のせん断ひび割れが進展していることがわかる。Full-wrap 供試体については、荷重が 254 kN (コンクリートが受け持つせん断力) を越えた辺りから、剥離域が局所的になるが、シートを全面に巻きつけることによって曲げ破壊に至っている。A-2 供試体に関しては、エポキシ樹脂のみでのシート定着となるので、ブラケットの下シートが剥離することによって破壊に至っている。定着プレートによって固定された A-3 は、荷重が低い場合においては、大きな剥離の影響は見られないが、荷重の増加によってブラケットと定着プレート間にひび割れが進展してしまうといった現象が見られた (写真-1 参照)。これは、シート端を定着プレートおよびボルトで固定することでその部分の剛性が増したため、相対的に剛性の低くなったブラケットとシートの不連続領域にせん断ひび割れが進展したと考えられる。一度、ブラケットと定着プレート間のひび割れが進展、開口すると、U-wrap 部分のシートは荷重の増加に抵抗できな

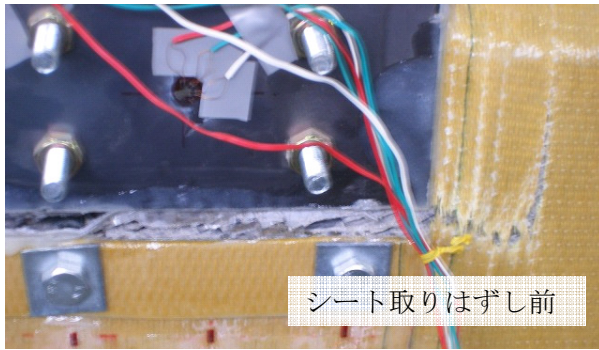
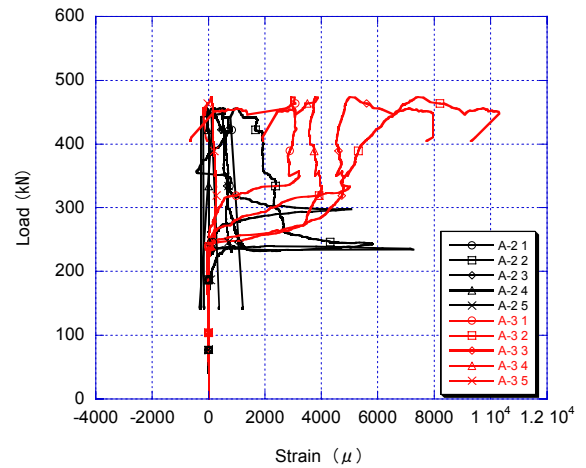


写真-1 A-3 供試体のひび割れ状況

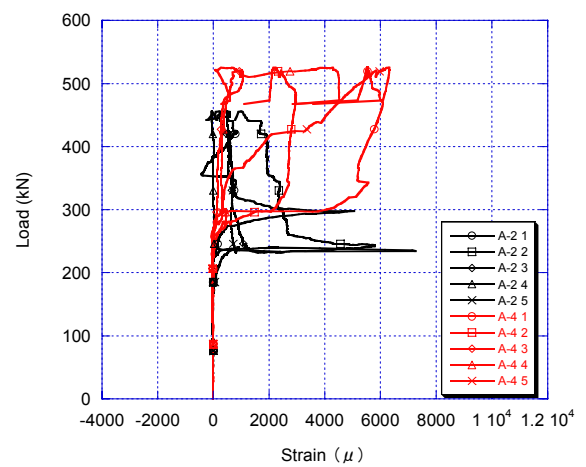


写真-2 A-5 供試体のひび割れ状況

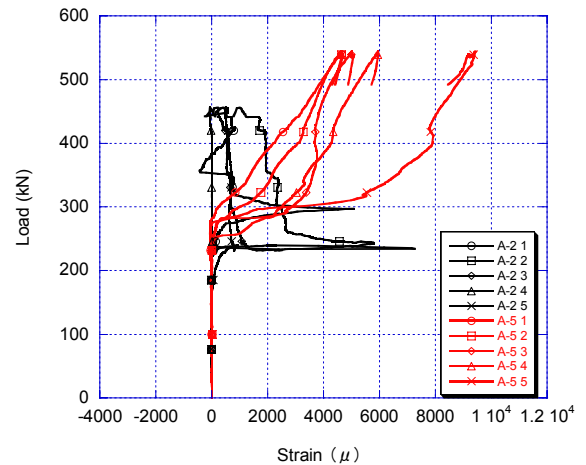
くなり、隣接した Full-wrap 部分のシート破断によって終局に至っている。A-4 供試体についても同様にブラケットと定着プレート間のひび割れ進展後、Full-wrap 部分のシート破断によって終局に至った。AFRP2 層による効果は耐力のわずかな向上だけであった。接合プレートを用いてシートを定着した A-5 供試体は、ひび割れ状況に関しても Full-wrap 供試体とよく似た挙動を示



(a) A-2, A-3



(b) A-2, A-4



(c) A-2, A-5

図-10 AFRP シートひずみの比較

し、接合プレートによってブラケットと定着プレートの間のひび割れが制御できた(写真-2 参照)。また、このことによって U-wrap 部分の AFRP シートは有効に働いているといえる。破壊形態は Full-wrap と同じ曲げ圧縮破壊である。

3.3 AFRP シートひずみ

図-10 は A-3, A-4, A-5 のそれぞれの定着方法と定着部材なしの A-2 のシートひずみ値を比較したものである。縦軸に荷重, 横軸に AFRP シートひずみ値を示した。シートひずみは U-wrap 部分のブラケット, 定着プレートのすぐ下の 5 つの値を示している (図-5 参照)。

いずれも荷重が一定のレベルに達した後, ひずみの値が大きく増加している。これは, その計測点においてひび割れが発生, 開口し続けることによるものと考えられる。しかし, A-2 供試体では, その後急激にひずみが減少している。これはコンクリート表面とシートの界面剥離によってシート剥がれ, 抵抗力がなくなったためであると考えられる。このことからこの定着方法ではシートが有効に働いていないといえる。一方, A-3 供試体のひずみはひび割れ, シートの剥離によって増加しているが, A-2 供試体のような急激なひずみの減少は見られなく, 剥離進展後のひずみは一定値を示す。ひずみ値の減少が見られないことから, シート上端部での定着プレートによる定着具が大きく影響しているものと考えられる。しかし, 前述したようなブラケット, 定着プレート間のひび割れ発生により, U-wrap 部分では十分な補強が出来ているとはいえない。A-4 供試体についても同様なことがいえる。A-5 供試体に関しては, ブラケット, 定着プレートの間の隙間を接合プレートで埋めることによって, ひび割れの開口を制御することができ, シートの剥離後も荷重の増加に伴って, ひずみ値も徐々に増加し, 曲げ破壊に至っている。これらの結果から, 接合プレートによる包括的な補強によって, U-wrap 部分で AFRP シートを有効に活用できているといえる。

4. 結論

鋼製ブラケットを有するラーメン橋脚横梁を模した RC 梁に AFRP シート補強を施し, シート定着方法の違いが補強効果に及ぼす影響について実験的検討を行った。本試験結果から以下の

ことが結論付けられる。

- (1) ラーメン橋脚横梁の AFRP 補強に関して, ブラケット区間を U-wrap で, それ以外の区間を Full-wrap でシート補強するだけでせん断耐力は大きく向上する。
- (2) U-wrap シート端部を定着プレートとボルトで梁に固定することで, 補強効果が向上した。
- (3) シート定着プレートとブラケットを接続することで, さらに補強効果は向上し, Full-wrap と同等のせん断耐力みられた。

謝辞

本研究を実施するに際し, 埼玉大学建設材料工学研究室 牧剛史助教授および, 日本技術開発(株)の森 敦氏, 藤田 亮一氏, 三井住友建設(株)の篠崎 裕生氏, 中島 規道氏より貴重なご意見を頂いた。また, 実験を行うにあたって, 埼玉大学 4 年生の鈴木 悠介君には多大なる協力を得た。ここに記して感謝する次第である。

参考文献

- 1) 高野光司ほか: RC1 層ラーメン橋脚梁部の補強に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.1603-1608, 2000
- 2) 小泉秀之ほか: RC1 層ラーメン橋脚梁部の耐震補強に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.895-900, 2001
- 3) 山田伝一郎ほか: 繊維シートで梁を補強した RC1 層ラーメン橋脚の耐震性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.1291-1296, 2002
- 4) 篠崎裕生ほか: 側面にブラケットを有するラーメン橋脚横梁のアラミド繊維シート補強工法, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.1537-1542, 2006
- 5) 睦好宏史ほか: RC ラーメン橋脚におけるはり部耐震補強に関する研究, 土木学会論文集, 工学年次論文集, No.746/V-61, pp.215-228, 2003.11