室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

主鉄筋段落しを有する壁式RC橋脚の効果的な補強法に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本コンクリート工学会 公開日: 2012-07-18 キーワード (Ja): AFRPシート, 投落し曲げ補強, 靭性能, 壁式橋脚 キーワード (En): 作成者: 池田, 憲二, 三田村, 浩, 長谷川, 正, 岸, 徳光 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1423

論文　主鉄筋段落しを有する壁式RC橋脚の効果的な補強法に関する研究

池田　憲二*1・三田村　浩*2・長谷川　正*3・岸　徳光*4

要旨：主鉄筋段落しを有する壁式RC橋脚に対し，段落し部における脆性的破壊の防止及び靭性能向上を目的としたアラミド繊維強化プラスチック（以下，AFRP）シートを用いた補強を施し，補強量，補強項目，貫通ボルト配置をパラメータとした正負交番載荷実験を行った。その結果，段落し部のみをせん断補強する場合と，段落し部を適度にせん断及び曲げ補強しかつ基部をせん断補強し段落し部と基部に塑性ヒンジが形成される場合がより効果的な耐震補強法であること等が明らかとなった。

キーワード：AFRPシート，段落し曲げ補強，靭性能，壁式橋脚

1.　はじめに

我が国では1982年の浦河沖地震，1995年の兵庫県南部地震等，橋梁構造物に深刻な被害を及ぼす地震が発生している。これらの地震において目立つのがRC橋脚の被害であり，各研究機関において合理的な耐震設計法や補強法に関する研究が盛んに行われている。

著者らも，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を実施している[1)]。その結果，1) 主鉄筋段落しを有するRC橋脚では，段落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態を示すこと，2) AFRPシートを用いて段落し部をせん断補強することによって，せん断破壊を効果的に抑制できること，3) 橋脚の耐力を過度に向上させた場合には，損傷がフーチング部に移行すること等が明らかとなった。

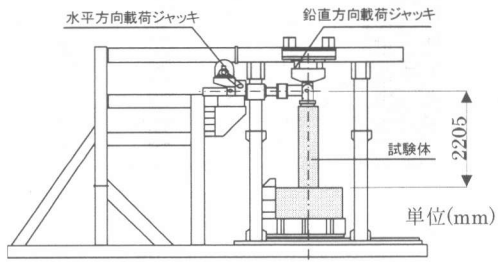
本研究では，これらの実験結果を踏まえ，FRPシートを用いた簡易な補強法を採用することを前提に，補強項目として段落し部周辺のせん断補強や曲げ補強，さらに基部のせん断補強を施し，これらの補強法の組合せも考慮に入れたより効率的な耐震補強法を確立することを目的として，実規模の1/4程度のRC橋脚模型を用いた静的交番載荷実験を実施した。

本研究では，壁式RC橋脚を対象とし，かつ補強材料にAFRPシートを用い，補強項目，補強量，せん断補強のための貫通ボルト配置をパラメータに取って，終局塑性率，エネルギー吸収量に着目して検討を行った。

2.　実験概要

2.1　実験方法

図－1には，実験装置概要図を示している。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，橋脚模



図－1　実験装置概要図

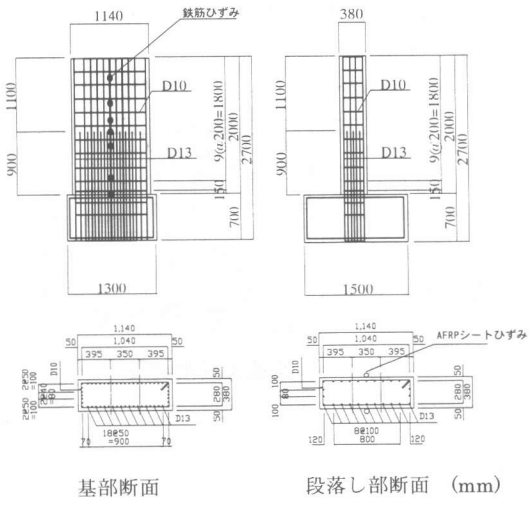
*1　北海道開発土木研究所　構造研究室室長（正会員）
*2　北海道開発土木研究所　構造研究室研究員（正会員）
*3　㈱長大　札幌支店技術部
*4　室蘭工業大学教授　建設システム工学科　工博（正会員）

型（以下，単に橋脚）及びそれらを支持する架台で構成されている。

実験は，上部工死荷重に相当する鉛直荷重 88.2 kN を軸力として一定に保持した状態で，水平ジャッキにより水平方向交番載荷を行った。交番載荷は，軸方向鉄筋の降伏歪を 1750 μ と設定し，段落し部，橋脚基部のいずれかの鉄筋歪が降伏歪に達した時点の載荷点変位を降伏変位 δ_y，その時の荷重を降伏荷重 P_y として，2 δ_y，3 δ_y・・・と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。繰り返し回数は，特に規定がないことより，本実験では各振幅毎に 3 回とし，各変位振幅の 1 回目載荷時における正負いずれかの載荷荷重が P_y を下回った時点を終局と定義している。

2.2 実験試験体

図－2 には，試験体形状・配筋概要図を示している。試験体は，既設河川橋を想定した，軸方向鉄筋段落しを有する壁式 RC 橋脚柱を対象とした。試験体形状は，実橋脚の 1/4 程度の規模とし，躯体高 2.0 m，断面寸法 1.14 m × 0.38 m の長方形断面（縦横比 1：3）であり，基部より 0.9 m の位置に軸方向鉄筋の段落しを設けている。柱基部における引張主鉄筋比は p_t = 0.6 %，せん断補強筋比は p_s = 0.14 % である。なお，段落し部の補強効果を検証するため，試験体は段落し部において曲げ破壊先行型となるように設計を行った。



図－2　試験体形状・配筋概要図

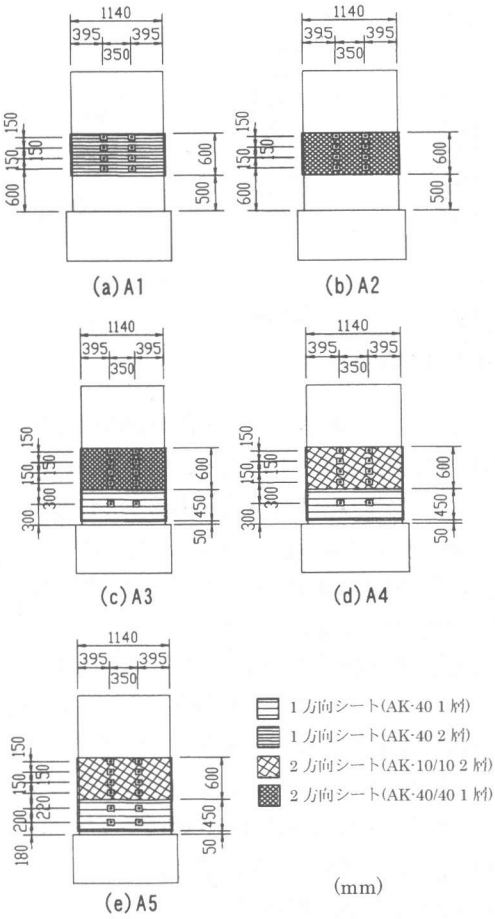
段落し部のせん断補強に関しては，過去の無補強試験体に関する実験より，段落し部に発生した曲げひび割れが壁厚中央部から斜めひび割れとして進展し橋脚が崩壊に至ることが明らかになっている[1]。本研究では，このように発生するせん断ひび割れに対して，全て巻き付け接着した AFRP シートが抵抗するものと仮定し補強量を決定することとした。なお，段落し部の補強範囲は，既往の実験結果[2]を参考にして，主鉄筋段落し部より上方に 0.5D，下方に 1.0D（D：橋脚壁厚）とした。段落し部の曲げ補強に関しては，橋脚基部の曲げモーメントが終局値に達した時点の段落し部の曲げモーメント値を基準として，段落し部がその 1.1 倍，1.4 倍の抵抗曲げモーメントを保持するように設計している。段落し部に曲げ補強を併用して施す際には工程減と作業の効率化のために 2 方向編み込み（以下，単に 2 方向）の AFRP シートを用いることとした。また，AFRP シートの膨み出しを防止するために，SD295D13 鉄筋を用いた貫通ボルトを 1 断面に 2 本配置している。

補強ケースは，**表－1** に示すように，1) 段落し部のせん断補強効果（A1），2) 段落し部のせ

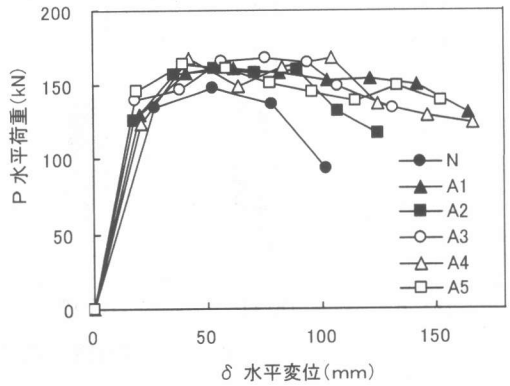
表－1　試験体一覧

試験体	補強範囲	補強量（AFRP シート）	
		せん断補強	曲げ補強
N	—	—	—
A1	段落し部	AK-40　2 層	—
A2	段落し部	AK-40　1 層	AK-40　1 層
A3	段落し部	AK-40　1 層	AK-40　1 層
	柱基部	AK-40　1 層	—
A4	段落し部	AK-10　2 層	AK-10　2 層
	柱基部	AK-40　1 層	—
A5	段落し部	AK-10　2 層	AK-10　2 層
	柱基部	AK-40　1 層	—

A3, A4　：基部貫通ボルト　1 × 2 個
A5　　：基部貫通ボルト　2 × 2 個



図－3　補強概要図



図－4　荷重－変位包絡線

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 δ_y
A1	19.3	162.5	135.73	122.79	8 δ_y
A2	17.8	124.5	125.24	116.62	7 δ_y
A3	18.5	131.5	139.94	133.77	7 δ_y
A4	21.8	166.5	140.63	128.67	8 δ_y
A5	19.0	152.5	145.05	138.47	8 δ_y

ん断補強と曲げ補強の併用効果（A2），3）段落し部の補強（せん断補強＋曲げ補強）と基部せん断補強の併用効果（A3, A4），4）基部せん断補強時の貫通ボルト間隔の効果（A4, A5）に着目し，無補強試験体も含め合計 6 体とした。図－3 には，各試験体の補強概要図を示している。

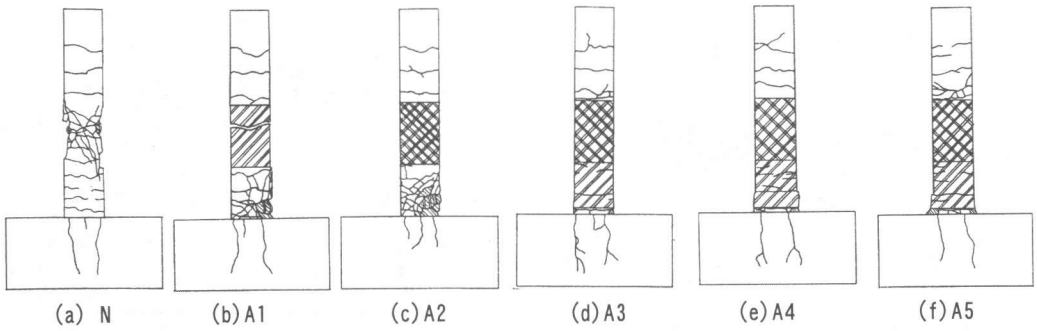
ここで，A4, A5 試験体の段落し部せん断及び曲げ補強量は A2, A3 試験体の 1/2（前述の抵抗モーメントが基準の 1.1 倍）となっている。なお，実験時のコンクリートの平均圧縮強度は f'_c = 25.8 MPa である。また，用いた鉄筋は SD295D10, D13 であり，これらの材料試験結果の降伏点強度は，それぞれ 383, 363 MPa であった。補強に用いた AFRP シートは，目付量 90 g/m^2 (AK-10)，および 325 g/m^2 (AK-40) の 2 種類で，引張保証耐力はそれぞれ 100 kN/m, 400 kN/m である。2 方向シートの場合は，各方向の引張強度が保証されていることを確認している。また，シートの弾性係数は 118 GPa である．

3. 実験結果及び考察

3.1 荷重－変位関係

表－2 には，実験結果の一覧を示している。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，載荷荷重を示している。表より，補強を施した各試験体の降伏変位 δ_y は，補強による剛性向上効果により，無補強 N 試験体の場合に比較して 20～35 % 程度小さな値を示しているが，終局変位は 22～63 % 程度向上していることが分かる。

段落し部の曲げ補強量に着目すると，補強量の少ない A4，A5 試験体及び，曲げ補強を施し



図－5　実験終了後の試験体のひび割れ性状

ていない A1 試験体の終局変位は，曲げ補強量の多い A2，A3 試験体の場合に比較して大きく示され，終局塑性率も向上している。

図－4 には，各試験体の載荷 1 ループ目における押し側載荷時の荷重－変位の包絡線分布を示している。図より，無補強の N 試験体の場合には 2 δ_y 載荷時に最大荷重を示した後，4 δ_y 載荷時に急激に荷重が減少し，終局に至っていることが分かる。また，補強を施した試験体では，2 δ_y 載荷時以降，5 δ_y 載荷時までは載荷荷重の大きさの変動が小さく，その後緩やかに荷重が減少する傾向を示している。終局塑性率は，A2，A3 試験体の場合が 7 δ_y，A1，A4，A5 試験体で 8 δ_y であり，段落し部曲げ補強量を増加させた場合に若干小さな値を示す結果となった。

3.2　破壊性状

図－5 に各試験体の実験終了後のひび割れ性状を示している。無補強の N 試験体の場合には，過去に実施した実験結果[1] と同様段落し部近傍で断面中心付近まで水平ひび割れが進行した後，斜め下方にせん断ひび割れが発生し，かぶりコンクリートの剥落により 4 δ_y 載荷時に終局状態となった。

A1 試験体の場合には，3 δ_y 載荷時まで段落し部の曲げひび割れによる損傷が進行したが，その後橋脚基部にもひび割れが生じ，段落し部と橋脚基部の 2 箇所で損傷が進行した。なお，8 δ_y の終局時には橋脚基部コンクリートの剥離が進行し，かつ鉄筋が座屈している。

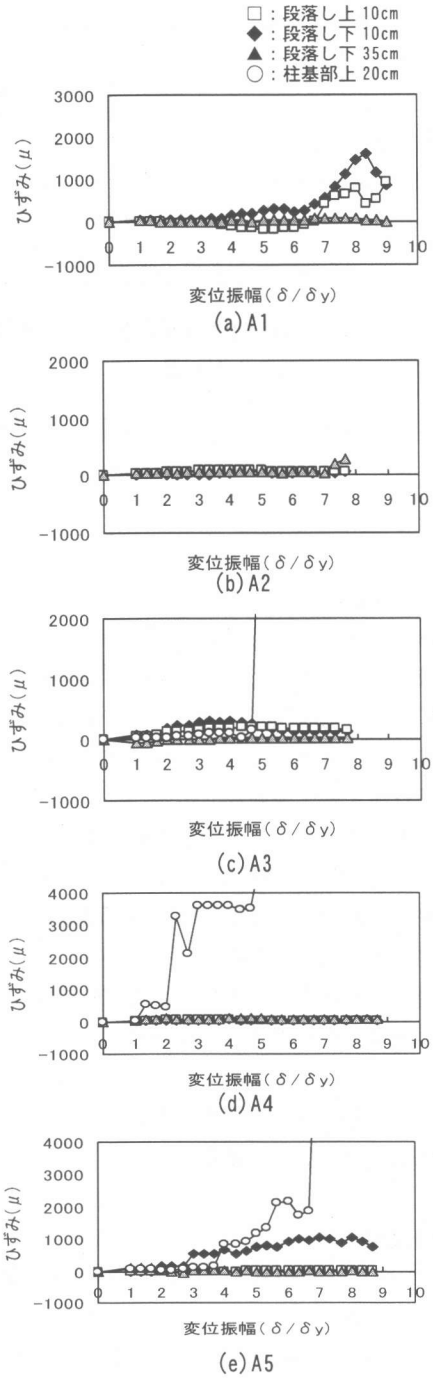
A2 試験体の場合には，載荷初期段階より橋脚基部に損傷が集中しており，橋脚基部付近のかぶりコンクリートが大きく剥落することで，7 δ_y 載荷時に終局状態に至った。AFRP シート補強部の損傷は軽微であったが，補強部上端近傍でひび割れが認められた。

A3 試験体の場合には，段落し部の曲げ耐力が向上したことにより，橋脚基部における損傷が進行し，基部より 30 cm 程度の範囲で AFRP シートの膨み出しが生じ，シートの部分的な破断により 7 δ_y 載荷時に終局状態に至った。また，A2 試験体と同様に段落し部周辺の AFRP シート補強部の損傷は軽微であった。

A4 試験体，A5 試験体の場合には，曲げ補強を施した部分の AFRP シートの破断は認められないが，段落し位置近傍及び柱基部において AFRP シートの膨み出しが認められた。このことから，段落し部近傍と柱基部の 2 箇所で損傷が進行したものと判断される。また，段落し部補強範囲の上部には比較的大きなひび割れが生じている。その後，柱基部付近の AFRP シートの部分的な破断により 8 δ_y 載荷時に終局状態に至っている。

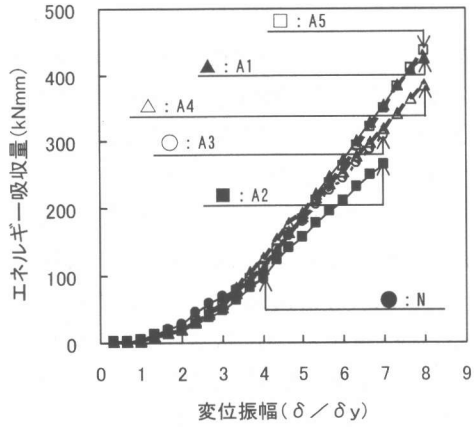
3.3　AFRP シートの横方向ひずみ

図－6 には，補強を施した各試験体の壁中央部における AFRP シートの横方向ひずみを示している。図中□は段落し部補強範囲上端付近で段落し点の上 10 cm の位置，◆は段落し部補強範囲中央付近で段落し点の下 10 cm の位置，



図－6　AFRP シートの横方向ひずみ

▲は段落し部補強範囲下端付近で段落し下 35cm の位置，○は橋脚基部補強範囲中央付近で橋脚基部より 20cm の位置におけるひずみを示している。



図－7　履歴吸収エネルギー

図より，段落し部補強範囲のひずみは，A1 で最大 2000μ程度の値を示しているのに対して，AFRP 2 方向シートを用いて段落し部を曲げ及びせん断補強した A2，A3，A4 試験体は 200μ程度，A5 試験体で 1000μ程度と小さな値を示している。これより，段落し部を曲げ補強することにより，段落し部の損傷が効果的に抑制されていることがわかる。なお，A5 試験体で比較的大きなひずみ値を示しているのは，橋脚基部付近の貫通ボルト配置が密であり，相対的に橋脚基部剛性が高くなることから，段落し部と橋脚基部の 2 箇所で変形が進行していることを暗示しており，試験体破壊性状とも一致している。また，橋脚基部補強範囲のひずみは，A3，A4，A5 試験体ともに 4000μ以上の大きな値を示しているが，貫通ボルト配置間隔を小さくし，2 段配置とした A5 試験体のひずみ増加率は比較的小さく，貫通ボルトの拘束効果を確認できる。

3.4 履歴吸収エネルギー

ここでは，補強方法の違いによる定性的な履歴エネルギー吸収性能に着目して検討を行うこととする。図－7 には，履歴吸収エネルギーと変位振幅との関係を示している。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ている。図中には累積した値を示して

いる。

図より，N 試験体が終局状態となる 4δy 載荷時では，各試験体の吸収エネルギー量に大きな差は認められない。その後の載荷では，各試験体でばらつきが見られた。

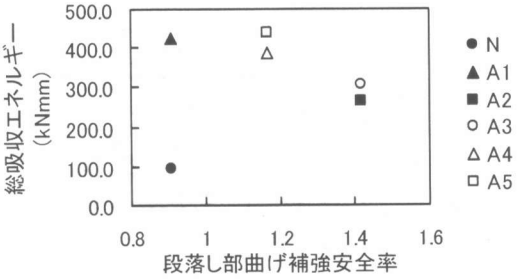
終局時までの履歴吸収エネルギーの累積値は，N : 95.3 kNmm，A1 : 424.5 kNmm，A2 : 264.7 kNmm，A3 : 307.5 kNmm，A4 : 385.2 kNmm，A5 : 437.0 kNmm であり，段落し部を補強することにより，無補強試験体と比較して 2.7～4.6 倍と非常に大きなエネルギー吸収性能を示すことがわかる。なお，補強を施した試験体の中で A1，A5 試験体の履歴吸収エネルギーが大きな値を示している。

これは，A1 試験体の場合には，段落し部のせん断補強のみを施しており，効率的に段落し部のせん断破壊が抑制され，段落し部と基部の曲げ変形が卓越しているためと推定される。

A5 試験体の場合には，段落し部をせん断と曲げ補強している他の 2 体と比較して，これらの補強量が小さく，また基部もせん断補強しかつ貫通ボルトを 2×2 個配置することにより，損傷が局部に集中せず橋脚全体で損傷していることによるものと考えられる。

また，**図－8** には，段落し部曲げ補強安全率と総吸収エネルギーとの関係を示している。ここで，段落し部曲げ補強安全率とは，段落し部抵抗曲げモーメントと橋脚基部が終局曲げモーメントに達した時点の段落し部に作用する曲げモーメントとの比率であり，総吸収エネルギーは，終局時までの履歴吸収エネルギーの累積値である。

図より，段落し部のみをせん断補強して靭性能を向上させる場合（A 試験体）や，段落し部を曲げ補強する場合でも補強量を小さく（A4 / 5 試験体）することによって，総吸収エネルギーを増加させることができることがわかる。これは，段落し部の曲げ補強量を多くすることにより基部に損傷が集中し，その結果，総吸収エネルギーも小さくなることを暗示している。また，これは必ずしも段落し部の曲げ補強量を向上させることが耐震性の向上に継がらないことを意味している。



図－8　段落し部曲げ補強安全率と総吸収エネルギー量

4. まとめ

段落しを有する壁式 RC 橋脚の耐震補強法に着目し，AFRP シートを用いた簡易な補強を実施することを前提に，補強量，補強項目等を変化させ，実橋脚の 1/4 程度の模型を用いた静的交番載荷実験を実施した。

本実験で得られた結果を要約すると，

1) 段落し部をせん断及び曲げ補強し，かつ基部をせん断補強することにより，耐震性を向上させることができる。

2)段落し部近傍と柱基部の 2 箇所で塑性ヒンジが形成される場合に終局塑性率及び総吸収エネルギー量が最も向上する。これより，段落し部の曲げ補強量を増加させることが必ずしも耐震性の向上に継がらない。

参考文献

1)吉田紘一，三田村浩，三上浩，岸徳光：AFRP シート巻き付けされた段落しを有する実規模 RC 橋脚の静載荷実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1579～1584，2000

2)吉田紘一，池田憲二，三田村浩，三上浩：AFRP シートを巻き付けた実規模壁式 RC 橋脚の静的交番載荷実験，土木学会北海道支部論文報告集　第 56 号(A)，pp.154～159，2000.2