

AFRP シートを用いた壁式 RC 橋脚の 段落し部補強に関する実験的研究

畑山 朗¹・池田憲二¹・今野久志¹・佐藤 京¹・長谷川 正²

¹正会員 北海道開発土木研究所 構造研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

²正会員 (株)長大 札幌支店 技術部門 (〒060-0031 札幌市中央区北1条東2丁目5番3)

主鉄筋段落しを有する壁式 RC 橋脚に対して、段落し部における脆性的破壊の防止及びじん性能向上を目的とし、AFRP シートと貫通ボルトを用いた補強を施し、補強項目 (曲げ補強, せん断補強), AFRP シート目付量, 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。

実験の結果、AFRP シートを用いた段落し部の曲げ補強及びせん断補強により、段落し部の損傷を効果的に抑制し、じん性能が大きく向上することなどが明らかとなった。

key Words : Wall-Type RC Pier, AFRP Sheet,

1. はじめに

1995 年に発生した兵庫県南部地震では、多くの RC 橋脚で被害が発生したが、その中で、主鉄筋段落しを有する RC 橋脚の場合には、段落し部において曲げ損傷からせん断破壊移行型もしくはせん断破壊型の脆性的破壊形態を示す橋脚が数多く見られた。

著者らがこれまでに実施した、実規模 RC 橋脚載荷実験を含む各種の水平交番載荷実験においても、

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損傷からせん断破壊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、段落し部のせん断破壊を効果的に抑制できること。

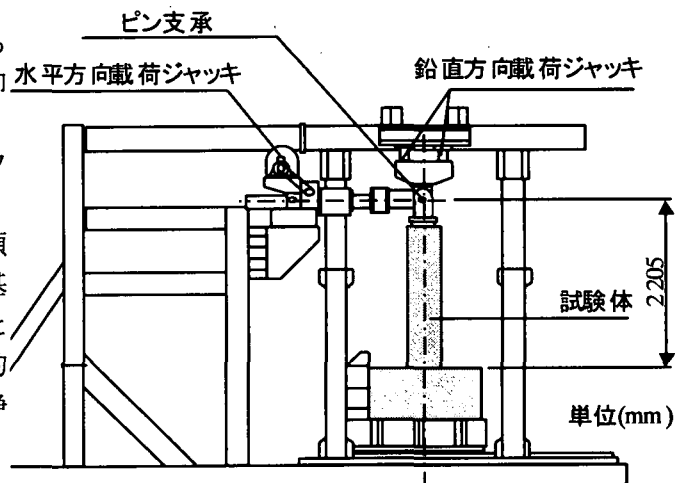
3)橋脚耐力を過度に向上させた場合には、損傷がフーチング部に移行することなどが明らかとなった。

本研究では、これらの実験結果を踏まえ、補強項目 (段落し部曲げ補強, 段落し部せん断補強, 柱基部せん断補強), AFRP シート補強量をパラメータとし、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。

(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、橋脚試験体、およびそれらを支持する架台で構成されている。

実験は、鉛直ジャッキを用いて上部工死荷重に相当する鉛直荷重 88.2kN 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載荷を行った。

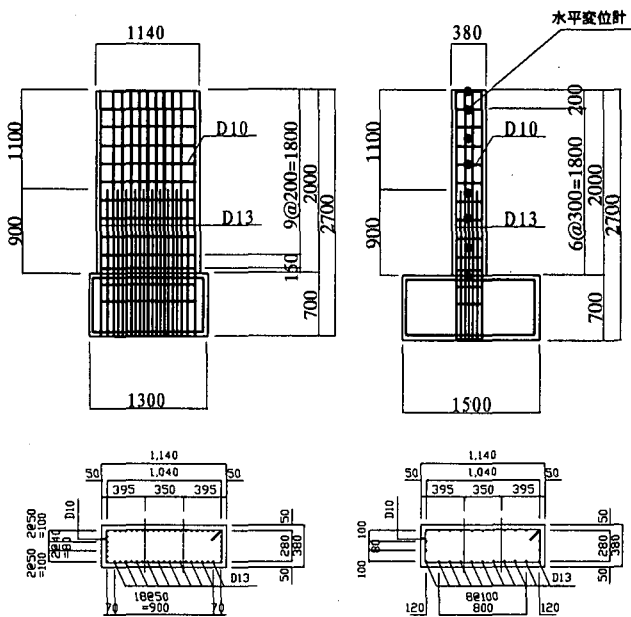


2. 実験概要

図-1 実験装置概要図

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	AK-40 2 層	—
A 2	段落とし部	AK-40 1 層 (2 方向シート)	—
A 3	段落とし部	AK-40 1 層 (2 方向シート)	—
	柱基部	AK-40 1 層	—
A 4	段落とし部	AK-10 2 層 (2 方向シート)	—
	柱基部	AK-40 1 層	—



図－２ 試験体形状・寸法概要図

交番载荷は、材料試験より軸方向鉄筋の降伏歪を 1750μ 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载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、 $2\delta_y$ 、 $3\delta_y$ ・・・と変位振幅を漸増させて繰り返し载荷する方法により実施した。繰り返し载荷回数は、各変位振幅毎に 3 回とし、各変位振幅の 1 回目载荷時における正負いずれかの载荷荷重が P_y を下回った時点を終局と定義している。

(2) 実験試験体

試験体は、既設橋梁で一般的に見られる、軸方向段落しを有する壁式橋脚を想定し、実橋脚の 1/4 程度の規模のものをを用いた。

試験体形状は、躯体高 2.0m、断面寸法 $0.38\times 1.14\text{m}$ の長方形断面(辺長比 1:3)であり、橋脚基部より 0.9m の高さに軸方向鉄筋段落しを設けている。

柱基部における引張主鉄筋比は $P_t=0.6\%$ 、横拘束筋の体積比は $\rho_s=0.14\%$ である。なお、本実験では段落し部の補強効果を検証するため、試験体は無補強の場合に段落し部において曲げ破壊型となるように設計を行った。なお、実験時のコンクリートの平均圧縮強度は $f_c=25.8\text{MPa}$ である。また、用いた鉄筋の平均降伏点強度は 366MPa であった。

図－２ に試験体形状・配筋概要図を示す。

試験体の補強は、軽量な材料を使用するため施工性に優れる AFRP シートを用いるものとし、段落し部の脆性破壊防止及びじん性能の向上を主目的としてせん断補強及び曲げ補強を行うものとした。

段落し部のせん断補強に関しては、過去の無補強試験体を用いた载荷実験より、十分にせん断余裕度がある場合においても、繰り返し载荷による有効断面の減少により、壁厚中央部より斜めひび割れが進展し、橋脚が崩壊に至ることが明らかとなっていることから¹⁾、本研究では、段落し部作用せん断力に対して、巻き付けた AFRP シートのみで抵抗するものとしてせん断補強量を設定している。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を施した A2, A3, A4 試験体に関しては、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を基準とし、段落し部がその 1.1 倍(A4)、1.4 倍(A2,A3)の抵抗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、貫通ボルトを 2 列配置している。

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)段落し部のせん断補強と曲げ補強の併用効果(A2)、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)に着目し、無補強の基準試験体を含め合計 5 体とした。補強に用いた AFRP シートは、繊維目付量 90g/m^2 (AK-10)、および 325g/m^2 (AK-40)の 2 種類で、引張保証耐力はそれぞれ 100kN/m 、 400kN/m である。また、シートの弾性係数は 118GPa である。

試験体の断面寸法は辺長比 1:3 の長方形断面であり、長辺方向の AFRP シートが大きく膨み出し、拘束効果が十分に発揮されない可能性があることから、AFRP シートの膨み出しを防止するために、貫通ボルトを 2 列配置している。貫通ボルトの高さ方向間隔

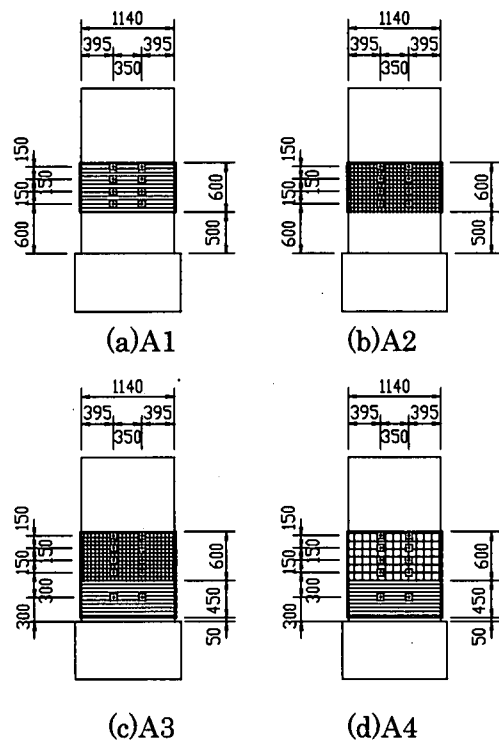


図-3 試験体補強概要図

表-2 実験結果一覧表

試験体	変位 (mm)		荷重 (kN)		終局塑性率
	δy	δu	P_y	P_u	
N	27.3	102.0	134.55	93.39	$4\delta y$
A1	19.3	162.5	135.73	122.79	$8\delta y$
A2	17.8	124.5	125.24	116.62	$7\delta y$
A3	18.5	131.5	139.94	133.77	$7\delta y$
A4	21.8	166.5	140.63	128.67	$8\delta y$

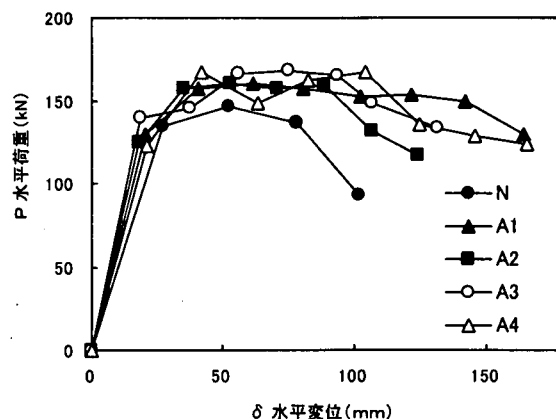


図-4 荷重-変位包絡線

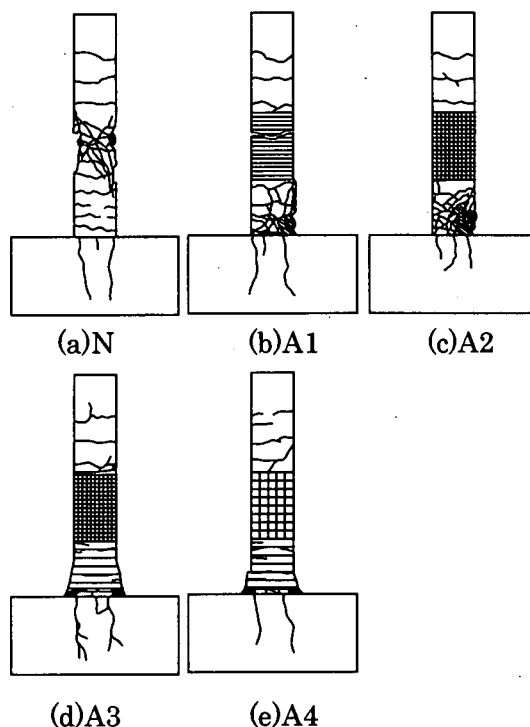


図-5 試験体破壊性状

は、段落し部が150mm、柱基部が300mmである。

図-3に試験体の補強概要図を示す。

3. 実験結果及び考察

(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 δy 、 P_y は降伏時の載荷点変位、載荷荷重を、 δu 、 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、補強による剛性向上の結果、補強を施した各試験体の降伏変位は無補強のN試験体と比較して20~35%程度小さな値を示している。それに対して終局変位は22~63%大きな値を示しており、補強によりじん性能が大きく向上していることがわかる。

図-4に各試験体の載荷1ループ目における押し

側載荷時の荷重-変位包絡線を示す。図より、無補強のN試験体の場合には $2\delta y$ 載荷時に最大荷重を示した後、 $4\delta y$ 載荷時に急激に荷重が減少し、終局に至っていることがわかる。また、補強を施した試験体では、 $2\delta y$ 載荷時以降、 $5\delta y$ 載荷時までは載荷荷重の変動が小さく、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試験体が $7\delta y$ 、A1、A4試験体が $8\delta y$ 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。

(2) 試験体破壊性状

図-5に各試験体の実験終了後の破壊性状（側面図）を示す。

無補強のN試験体の場合には、 $1\delta y$ 載荷時に段落

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た。その後の载荷では、せん断ひび割れが支配的となり、4 δy 载荷時にかぶりコンクリートの剥落により終局に至った。また、柱基部近傍では、1 δy 载荷時に曲げひび割れが発生したが、それ以降の進展は見られない。

A1 試験体の場合には、3 δy 载荷時まで段落し部の曲げひび割れが進行したが、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 δy の終局時には、橋脚基部では、かぶりコンクリートの剥離が進行し、段落し部では貫通ボルト定着部付近において AFRP シートの破断が認められた。

A2 試験体の場合には、载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 δy 载荷時に終局状態に至った。AFRP シート補強部には目立った損傷は認められなかった。

A3 試験体の場合には、橋脚基部において損傷が進行し、基部より 30cm 程度の範囲で AFRP シートのはらみだしが生じた。7 δy の終局時には、最下段貫通ボルト定着部付近の AFRP シートに破断が認められ、最下段貫通ボルトより下部の AFRP シートが広範囲ではらみだしている。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が、補強部直上に大きめのひび割れが認められた。

A4 試験体の場合には、橋脚基部において損傷が進行し、基部より 30cm 程度の範囲で AFRP シートのはらみだしが生じた。8 δy の終局時には、最下段貫通ボルトより下部の AFRP シートが大きくはらみだしている。また、A2、A3 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。

(3) 部材回転角と水平変位の関係

図-6 に各変位振幅の 1 回目载荷時における段落し部部材回転角と柱基部部材回転角との関係を示す。

段落し部部材回転角は、段落し部より上方 30cm 区間の水平方向変位より、また、柱基部部材回転角は、柱基部より上方 30cm 区間の水平方向変位より算出している。

図より、無補強の N 試験体では、変位振幅の増加に伴い段落し部部材回転角が増加し、終局時において 0.06rad を示すのに対し、柱基部部材回転角の増加は見られず、段落し部の変形が支配的であることがわかる。

段落し部に曲げ補強を施していない A1 試験体では、段落し部部材回転角の増加が顕著であるが、

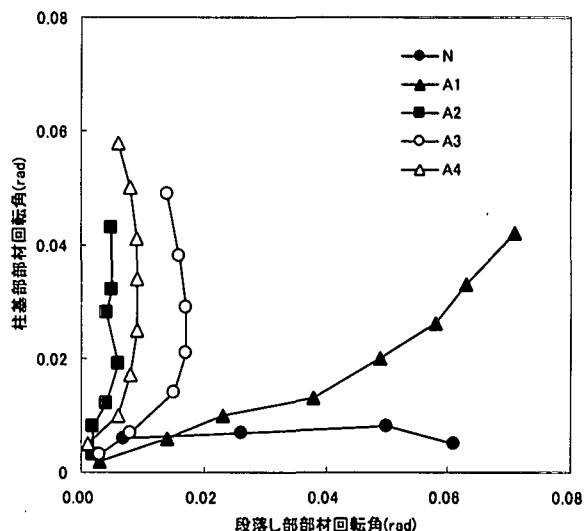


図-6 部材回転角

4 δy 载荷時以降に柱基部部材回転角が増加している。これは、せん断補強により、段落し部のかぶりコンクリートの剥離が抑制されたためと考えられる。

それに対して、段落し部に曲げ補強を施した A2、A3、A4 試験体では、4 δy 载荷時以降の段落し部部材回転角の増加が見られず、最大値も 0.02rad 以下と小さな値を示し、柱基部部材回転角は大きく増加しており、柱基部の変形が支配的であることがわかる。

なお、A3 試験体で段落し部部材回転角が A2、A4 と比較して大きめの値を示しているが、これは補強部直上に大きめのひび割れが発生したことによる影響であると考えられる。

4. まとめ

本実験で得られた結果を要約すると以下の通りである。

- 1) AFRP シートと貫通ボルトを用いて段落し部のせん断補強および曲げ補強を施すことにより、段落し部の損傷を効果的に抑制し、じん性能が大きく向上する。
- 2) 橋脚基部にせん断補強を施した場合に、最下段貫通ボルトより下部の AFRP シートが大きくはらみだす破壊形態を示したことから、AFRP シートによる拘束効果を十分に発揮させるためには、貫通ボルトの高さ方向間隔が重要であると考えられる。