

I-25

壁式橋脚段落し部にアラミド繊維を用いたせん断補強実験

(株) 土木技術コンサルタント F 会員 吉田 紘一
 北海道開発局 札幌開発建設部 正会員 佐藤 昌志
 北海道開発局 開発土木研究所 正会員 三田村 浩
 (株) 土木技術コンサルタント O 正会員 伊藤 浩

1. はじめに

著者らは、これまでに実規模の $1/5 \sim 1/3$ 程度の模型橋脚によって RC 橋脚の耐震性能を評価する水平交番荷重実験を行ってきた。RC 橋脚の荷重変位特性を検討する方法として、一般には、上部工重量を考慮するために重錘やジャッキ等で鉛直方向荷重を載荷した状態での水平交番実験等が行われており、これらの方法では橋脚を 1 自由度 1 質点系として捉えている。しかしながら、実橋梁においては大変形時に桁剛性の影響により、橋脚天端の回転拘束及び水平変位拘束が予想される。従って、桁による拘束の影響を考慮し、かつスケール効果の影響を極力排除する必要があると考えたことから、実規模二径間連続桁模型を製作し、実構造物に極力近い条件下での RC 橋脚の荷重-変位特性に関する検討を行った。また、既往の実験では、正方形断面の RC 橋脚に対する検討が多数占めていることから、本実験ではこれまで実験報告の少ない長方形断面を有する壁式橋脚に着目し、主鉄筋の段落しの影響、アラミド繊維シート（以下 AFRP シート）による補強効果などについて検討した。

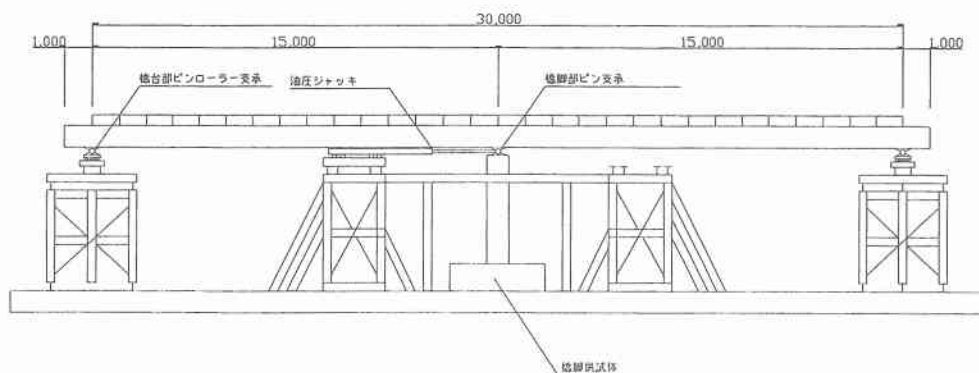


図-1 実験装置

2. 実験概要

2.1 実験装置

図-1 に実験装置の概要図を示す。本実験装置は、支間長 $15\text{m}+15\text{m}$ 、幅員 3.0m 、上部工総重量 1058kN の H 形鋼製二径間連続桁と、この桁を支える 2 基の橋台、支承部、橋脚供試体からなる。中間支点部に設置した橋脚供試体上の支承条件は、桁の影響を考慮するために鉛直方向の変位を拘束するピン支承とした。また、桁端部は、桁の水平移動を妨げないようにピンローラー支承とした。

Experiment on Aramid Reinforced Wall-shaped Pier in Shearing for Changing Section of Steel Ratio
 By Hiroshi Mitamura, Masashi Sato, Koichi Yoshida, Hiroshi Ito

2. 2 実験方法

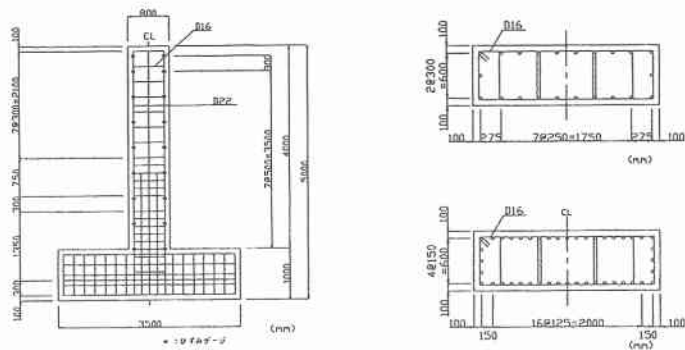
実験は、支間 30m の実規模二径間連続桁の中間橋脚として供試体を設置し、連続桁を支持する供試体の天端にピン支承を設置し、ピン部に油圧ジャッキ式繰返し載荷装置を取付けて行った。

従って、水平方向載荷位置は橋脚天端より上方へ 15cm の箇所である。このとき橋脚供試体には、上部工死荷重 661.5kN が軸力として作用している。水平方向荷重はロードセルで計測し、水平変位はワイヤー式変位計を高さ方向に 50cm ピッチで設置して計測を行った。

水平交番載荷は、壁中央付近に配置された主鉄筋降伏歪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 として、 $2\delta_y$ 、 $3\delta_y$ ・・・と変位振幅を漸増させて正負方向に繰返し載荷する方法とした。繰返し回数は各変位振幅において 5 回とし、正負いずれかの載荷荷重が P_y を下回った段階を終局と定義した。

2. 3 実験供試体

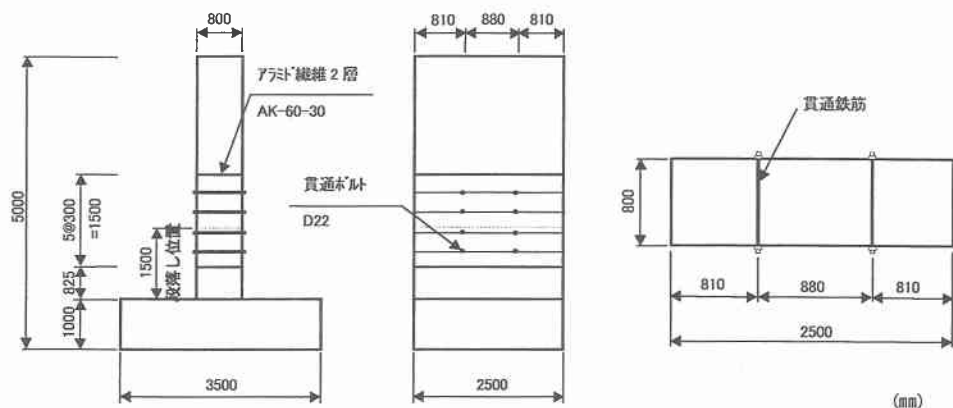
供試体概要図を図－2 に、供試体諸元を表－1 に示す。供試体は、昭和 55 年道路橋示方書に基づいて設計を行った S55N 供試体、橋脚全面をじん性補強した S55A 供試体の 2 体を用いた。供試体の底版厚と壁高はともに共通で 100cm、400cm とし、断面形状は壁幅 250cm、壁厚 80cm の長方形断面とした。鉄筋は SD345、コンクリートは設計基準強度 21.0MPa のものを使用した。また、じん性補強用 AFRP シートは、目付量 415g/㎡、厚さ 0.286mm、弾性係数 126.5GPa、引張強度 2.48GPa、降伏歪 1.96% のものを用いた。



図－2 供試体概要図

表－1 供試体一覧

供試体	主鉄筋	帯鉄筋	補強量
S55N	D22	D16 ctc300, 600	—
S55A	D22	D16 ctc300, 600	FRPシート 40tf-2 層 (段落し部のみ) 貫通鉄筋 $\phi 23$



図－3 補強概要図

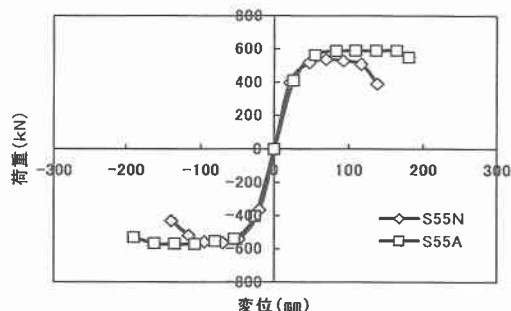
3 実験結果及び考察

3. 1 荷重－変位関係

表－2 に実験結果を取りまとめた。S55N では、段落し部を補強した S55A の降伏変位が無補強である S55N のそれを 30% 程度上回り、終局変位も 40% 程度向上していることがわかる。なお、段落し部において曲げ補強は行わなかったことより、最大荷重は 5% 程度のみの上となっている。終局時は S55N が $6\delta_y$ 1 回目で P_y を約 10% 上回る程度だったのに対して、S55A では、 $8\delta_y$ 1 回目において載荷荷重が低下したため $7\delta_y$ の段階で終局となったと判断されるが、そのときの載荷荷重は P_y の 1.4 倍、最大荷重の 96% 程度と高い荷重レベルを保持していた。終局塑性率 $\delta u / \delta y$ は S55N で 6.86、S55A で 7.37 と大差のない結果であった。

図－5 に、S55N の荷重－変位関係を示している。この場合では、 $5\delta_y$ の 2～3 回目で段落し部の損傷が大きくなり、やがてその近傍における主鉄筋が破断して終局に至っている。降伏変位 δ_y は正載荷時に 2.1 cm、負載荷時に 2.1 cm であり、正負載荷ではほぼ等しい結果となった。

図－6 に、S55A の荷重－変位関係を示す。この S55A では、 $8\delta_y$ 1 回目の正負載荷時に AFRP シートを束ねている糸が切れ、コンクリートがはらみだした部分の AFRP シートが上下によれた状態になり、かつその近傍における主鉄筋が破断して終局に至っている。これを S55N と比較すると、両者間の終局塑性率は上述したように差がないものの、エネルギー吸収性能は明らかに補強した S55A において向上していることが分かる。



図－4 荷重－変位包絡線

表－2 実験結果一覧表

供試体	降伏変位 δy (cm)	終局変位 δu (cm)	降伏荷重 P_y (kN)	終局荷重 P_u (kN)	終局時
S55N	2.00	13.0	383	563	$6\delta_y$
S55A	2.60	19.0	408	592	$7\delta_y$

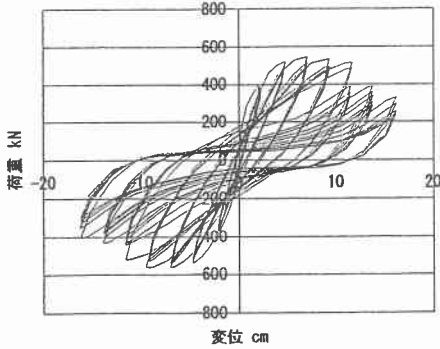


図-5 S55N 荷重 - 変位関係

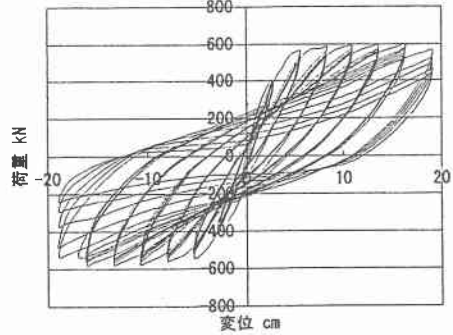
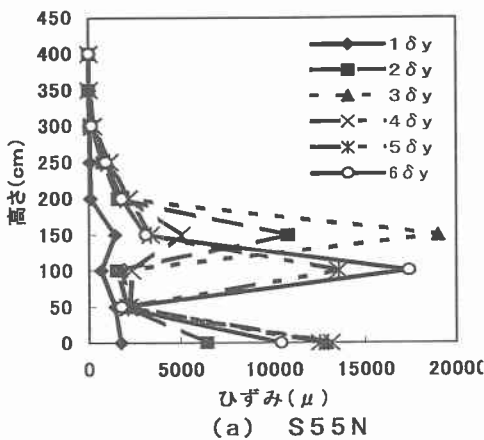


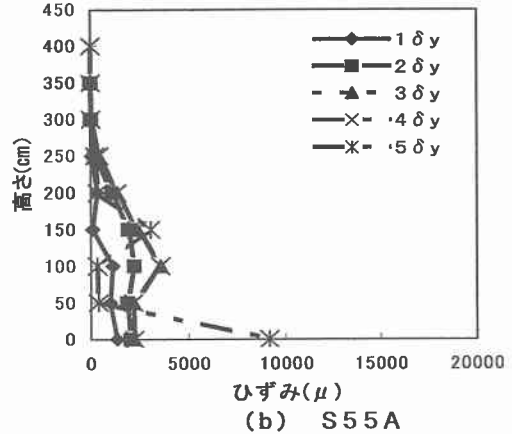
図-6 S55A 荷重 - 変位関係

3. 2 主鉄筋のひずみ分布

図-7に各供試体の高さ方向の引張側主鉄筋ひずみ分布を示している。図より無補強の S55N では、 $1\delta_y$ から $4\delta_y$ までは段落し部のひずみが最大値を示しているが、 $5\delta_y$ 以降は基部から $h=100$ cmで最大値を示しており、斜めひびわれの進行とともに損傷部が下方に移動しているものと思われる。補強した S55A でも $3\delta_y$ までは S55N と同様に段落し部にひずみが集中しているが、それ以降ではひずみが柱基部で大きな値を示し、補強によって損傷が柱基部に移行しているものと考えられる。



(a) S55N

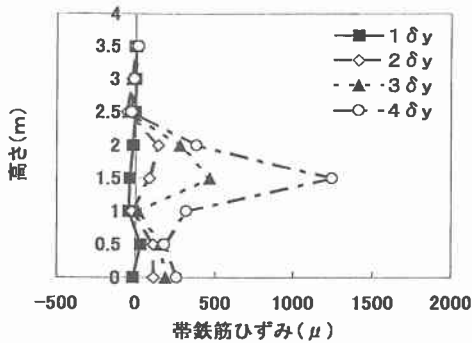


(b) S55A

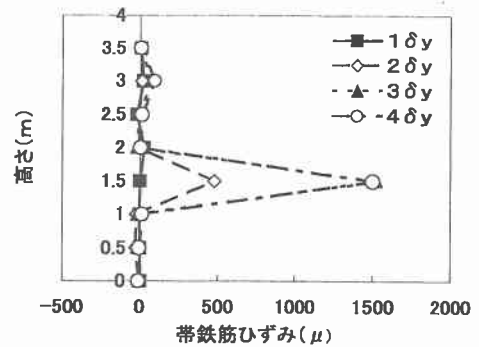
図-7 引張側主鉄筋のひずみ分布

3. 2 帯鉄筋のひずみ分布

図-8に各供試体の高さ方向の側面帯鉄筋ひずみ分布を示す。図より S55N では、ひずみが段落し部付近に集中しており、かぶりコンクリートの剥離が見られる $4\delta_y$ で剥離区間内の帯鉄筋ひずみが大きく示されている。また、基部でも比較的大きく示されている。S55A では、S55N と同様に段落し部にひずみが集中している。基部から $h=1$ m の範囲のひずみは、AFRP と貫通ボルトにより拘束されているため小さな分布となっている。また、 $3\delta_y$ から $4\delta_y$ 間でひずみの増加がほとんどなく、 $3\delta_y$ 以降は AFRP シートと貫通ボルトによる拘束効果が出現していることがわかる。



(a) S55N



(b) S55A

図-8 側面帯鉄筋のひずみ分布

3.3 じん性能

図-9にエネルギー吸収量と変位振幅との関係を示している。エネルギー吸収量は、荷重-変位関係の包絡線を基に、各変位振幅の正・負側のエネルギー吸収の平均を用いて評価した。S55Aでは、終局時の $7\delta_y$ まで線形的に増加しているが、S55Nでは、 $5\delta_y$ まではほぼ線形的に増加しているものの、終局時の $6\delta_y$ で伸びが減少している。また、エネルギー吸収量と変位振幅の関係の勾配を比較すると、明らかにS55Aの方が大きいことが分かる。終局時のエネルギー吸収量はS55Aで約97kJ、S55Nでは約64kJであり、本実験で行った補強により吸収エネルギーが1.5倍以上増加している結果となった。

3.4 復元力特性

図-10に最大変位と残留変位の比と各変位振幅時の関係を示した。復元力はS55Nと比較し補強を行ったS55Aは復元力が大きく示されている

3.5 破壊性状

図-11には各供試体の実験終了後の破壊性状を示している。S55Nは、段落し部近傍において、天端まで伸びている主鉄筋のほぼ全てが座屈し、数本が破断していた。かぶりコンクリートは、段落し位置から下方に広範囲に剥落している。段落し部のひびわれ水平方向から斜め 45° の方向へ移行しているのが分かる。基部近傍では数本の曲げによるひびわれが発生しているが斜め方向のせん断ひびわれは生じていない。基部近傍のひびわれはいずれも

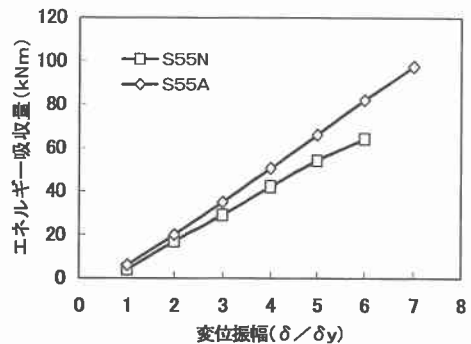


図-9 エネルギー吸収量と変位変位振幅の関係

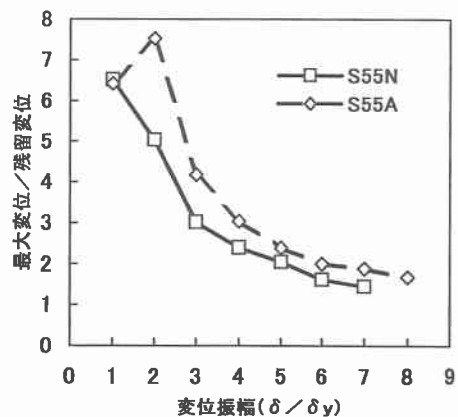


図-10 最大変位と残留変位の比と変位振幅の関係

18 γ で発生し、それ以上の進展は見られない。

S55A では、終局時には上述のように AFRP シートを束ねた糸が切れ、コンクリートのはらみだしによって AFRP シートが上下によれ、この位置で主鉄筋の座屈が見られる。側面のひびわれは、段落し部近傍の補強区間においては水平方向の曲げひびわれのみであるが、基部では曲げひびわれと、一部に斜め方向のせん断ひびわれが発生している。

以上のことから、AFRP シート巻き付け補強により S55N で生じた斜めひびわれが効率的に抑制されて段落し部の損傷が緩和され、S55A のじん性能が大きく向上していることが分かる。

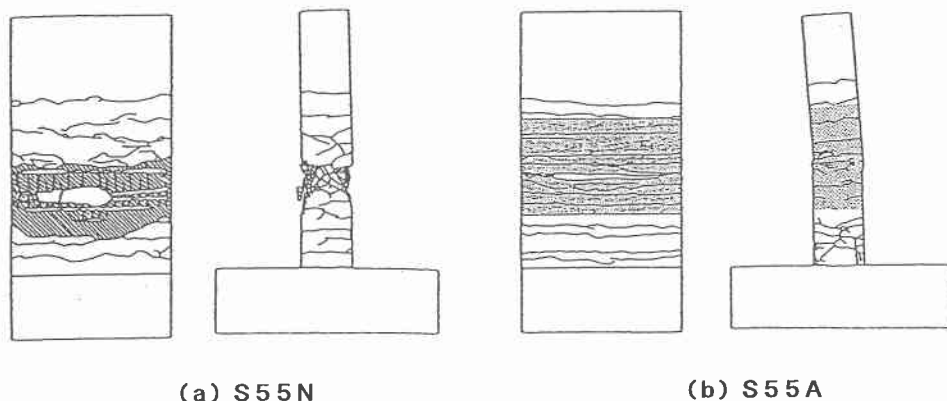


図-11 供試体破壊性状

4. まとめ

実構造物に極力近い条件下での AFRP シートを用いた耐震補強に関する補強効果、破壊特性等についての検討を行った結果、以下に示す知見が得られた。

1. 段落しを有する S55 試験体には、段落し部が見かけ上は固定端であるかのように挙動し、降伏変位は正負載荷でほぼ等しい値を示した。
2. AFRP シートを橋脚に横巻きすることで、曲げからせん断に移行する形態のひび割れを抑制できる。
3. AFRP シートにより補強を行った供試体は、せん断補強のみなので耐力値の向上は微少であったが、降伏変位は 1.3～1.5 倍以上向上し、大きな変位振幅まで安定して載荷荷重を保持できることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 佐藤, 三田村, 三上, 岸: 連続繊維により補強した RC 橋脚の荷重-変位に関する実験, 土木学会北海道支部論文報告集 第 55 号(A), pp.258-263, 1998.
- 2) 三田村, 吉田, 佐藤, 岸: 実規模二径間連続桁模型を用いた RC 橋脚の荷重-変位特性, コンクリート工学論文報告集 Vol.21, No.3, 1999.
- 3) アラミド補強研究会: アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法 設計・施工要領 (案), 1998.