

## アラミドロープを用いた RC 橋脚の段落し部じん性補強に関する検討

Experimental study on ductility strengthening of reinforced concrete pier using aramid fiber rope

北武コンサルタント株式会社	正会員	笠井 尚樹
北武コンサルタント株式会社	正会員	渡辺 忠朋
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所	正会員	三田村 浩
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所	正会員	石川 博之
長岡技術科学大学	フェロー会員	丸山 久一

## 1. はじめに

主鉄筋段落しを有する RC 橋脚は、曲げ損傷した後せん断破壊に移行する脆性的な破壊形態を示す場合があることが明らかとなっている。

既設 RC 橋脚の耐震補強手法として、連続繊維を補強材として使用する研究が進められ、実構造物への適用も行われているが、その多くは連続繊維をエポキシ樹脂で固めて使用するものである。

本実験で使用するアラミドロープは、アラミド繊維を組紐状に成型加工したものであり、樹脂で固めずにコンクリート用補強材として用いることを想定している。

本検討では、段落しを有する既設 RC 橋脚に対してアラミドロープを用いた場合の、より合理的なじん性補強手法の確立を目的として、正負交番載荷実験を実施し、既設 RC 橋脚の補強効果について実験検証を行った。

## 2. 検討概要

## 2.1 実験装置

本検討では、柱高 2.0m の小型供試体を用いた正負交番載荷実験により、アラミドロープの補強量、定着方法に関する設計手法の検討を行った。図 2.1 に実験装置の概要図を示す。本実験装置は、上部工死荷重を想定した荷重を一定荷重として載荷する鉛直方向ジャッキ、地震時慣性力を想定した水平力を交番載荷する水平方向ジャッキ、および RC 橋脚試験体、それらを支持する架台で構成されている。

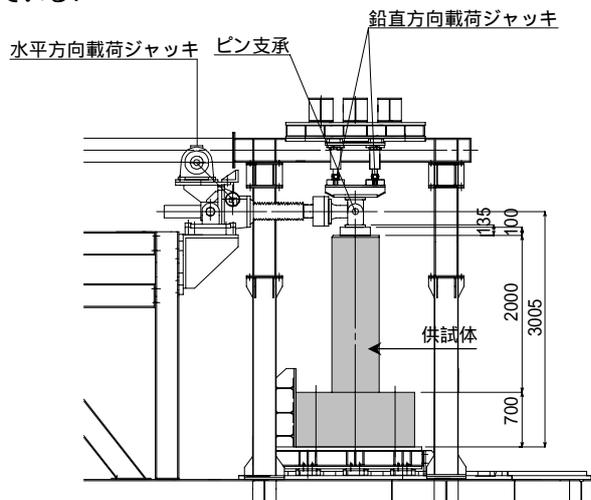


図 2.1 実験装置概要図

## 2.2 実験方法

実験は上部工死荷重を考慮した鉛直荷重 120kN を軸力として一定に保持した状態で、水平方向ジャッキにより交番載荷を行うことで実施した。

交番載荷は段落し部、橋脚基部のうちいずれかの軸方向鉄筋ひずみが降伏ひずみに達した時点の載荷点変位を降伏変位  $y_y$ 、その時点の荷重を降伏荷重  $P_y$  とし、 $2y_y, 3y_y, \dots$  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。

繰り返し載荷回数は、各変位振幅毎に 3 回とした。載荷終了は、水平方向載荷荷重が降伏荷重以下に低下するまでとした。

## 2.3 実験供試体

試験体は、既設橋梁で一般的に見られる軸方向鉄筋の段落しを有する RC 橋脚を想定し、実橋脚の 1/4 程度の規模とした。

試験体形状は、躯体高 2.0m、断面寸法 0.60×0.60m の正方形断面であり、橋脚基部より 0.75m の高さに軸方向鉄筋段落しを設けている。

図 2.2 に試験体の形状・配筋概要図を示す。

なお、本実験では段落し部のじん性補強効果を検証するため、無補強の場合に段落し部で曲げ破壊からせん断破壊移行型の破壊形態を示す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  $f'_c = 24.45 \text{Mpa}$  である。また、鉄筋には SD345 材を用い、その平均降伏強度は軸方向鉄筋 (D19) で 388Mpa、帯鉄筋 (D10) で 403Mpa であった。

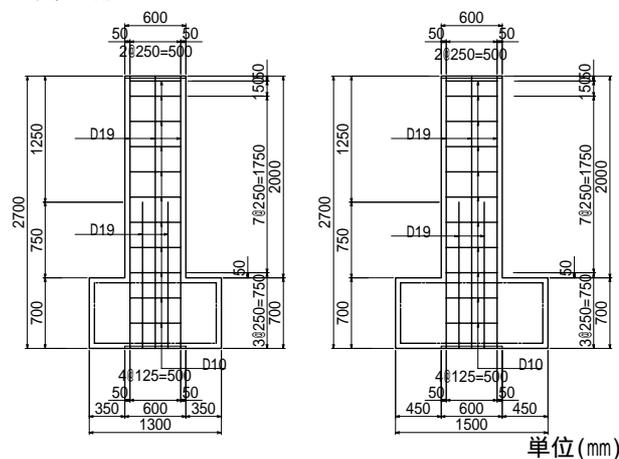


図 2.2 実験供試体概要図

2.4 補強に用いた繊維材料

本検討で使用したアラミドロープの素材はアラミド繊維である。繊維素材の物性値を表 2.1 に示す。

アラミドロープはこの繊維によりなる繊維束を組紐状に加工したものである。組紐状にした状態での断面積は  $11.53(\text{mm}^2)$  である。

表 2.1 繊維素材の物性値

断面積 ( $\text{mm}^2$ )	11.53
引張強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	1810
弾性係数 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	66715



写真-1 アラミドロープ

2.5 検討ケース

検討ケースを表 2.2 に示す。

実験に用いた供試体は、CASE-1 が無補強供試体。アラミドロープを柱基部より 1.60m の高さまで 25mm 間隔で巻き付けた CASE-2、CASE-3 および CASE-4 の計 4 体である。CASE-2 供試体は、アラミドロープ巻き付け範囲を全面エポキシ樹脂で含浸し定着したもので、CASE-3 供試体は上下端部のみを、エポキシ樹脂で含浸し定着したものである。CASE-4 供試体はひび割れ開口部へアラミドロープが食込む事を防止する目的で断面の四隅に L 型鋼を配置したもので、鉛直方向に 75mm の間隔で切断したものをエポキシ樹脂で躯体に接着している。

図 2.4 ~ 図 2.6 に供試体補強概要図を示す。

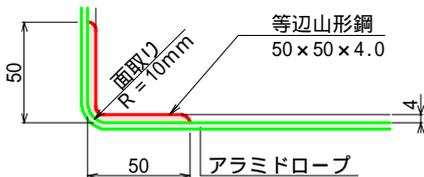


図 2.4 CASE-4 供試体 L 型鋼配置図

表 2.2 検討ケース

検討ケース	補強量	備考
CASE-1	無補強	-
CASE-2	アラミドロープ 11.53( $\text{mm}^2$ ) ctc25(mm)	樹脂含浸あり
CASE-3		樹脂含浸なし
CASE-4		樹脂含浸なし

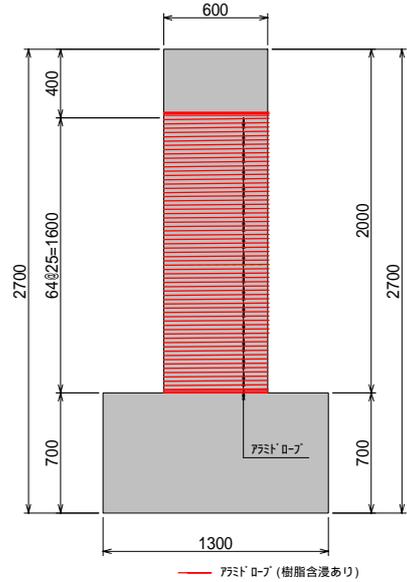


図 2.4 CASE-2 供試体補強概要図

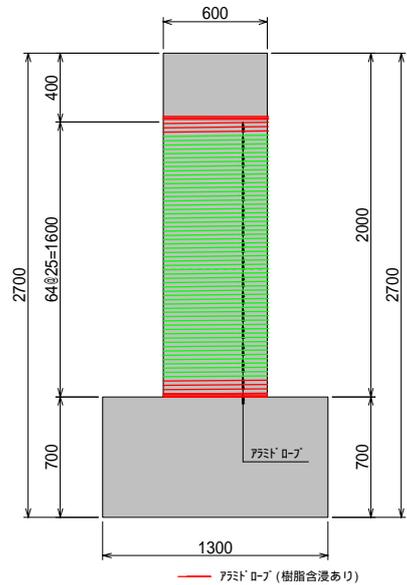


図 2.5 CASE-3 供試体補強概要図

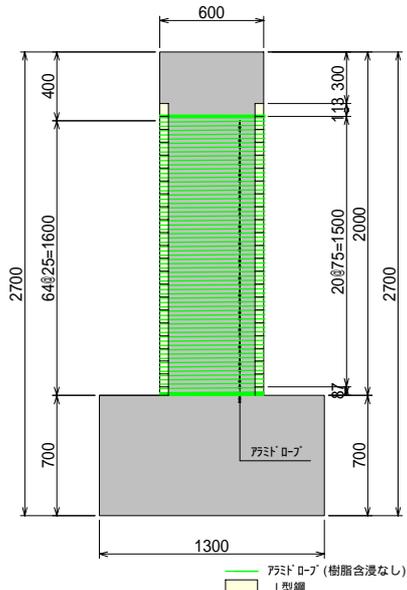


図 2.6 CASE-4 供試体補強概要図

3. 実験結果

3.1 実験結果の概要

表 3.1 には、実験結果の一覧を、図 3.1 には各供試体の荷重 1 ループ目における荷重変位関係の包括線を、図 3.2~図 3.4 には個別の荷重変位図を示す。

表中の  $\delta_y, P_y$  は降伏時の載荷点変位と載荷荷重を示す。 $P_{max}, P_{max}$  は載荷荷重の最大値を示す。 $u$  は終局変位を示す。なお、終局変位は載荷荷重が降伏荷重( $P_y$ )を下回った時点と定義した。

表より、補強を施した CASE-2, CASE-3 および CASE-4 供試体の最大荷重時の変位は、無補強の CASE-1 供試体の 1.5~1.7 倍程度となっている。

終局変位  $u$  は、CASE-2, CASE-3 および CASE-4 供試体は、CASE-1 供試体の 1.4~1.7 倍程度、降伏変位  $\delta_y$  は、CASE-2, CASE-3 および CASE-4 供試体は、CASE-1 供試体の 1.2 倍程度となり終局変位、降伏変位共に補強供試体が大きくなる結果となった。終局変位、降伏変位ともに補強供試体が大きくなる結果となり、終局変位の増加率が降伏変位の増加に比べて大きいため、塑性率  $u/\delta_y$  が向上する結果となり、補強効果が認められた。また、樹脂含浸の有無および L 型鋼配置による顕著な差異は認められなかった。

写真 2~5 に各供試体の実験終了時の破壊性状を示す(側面写真)。写真 2 では曲げからせん断破壊による大きな斜め方向の被りコンクリートの剥落が発生しているが、補強供試体である写真 3~写真 5 では、その進展が抑制された。

表 3.1 実験結果一覧

検討ケース	変位(mm)			荷重(kN)		塑性率
	$\delta_y$	$P_{max}$	$u$	$P_y$	$P_{max}$	
CASE-1	11	32	63	128	175	5.73
CASE-2	13	49	90	131	179	6.92
CASE-3	13	50	90	131	175	6.92
CASE-4	14	56	109	140	188	7.79
比較	/	1.18	1.53	1.43	1.02	1.02
	/	1.18	1.56	1.43	1.02	1.00
	/	1.27	1.75	1.73	1.09	1.07

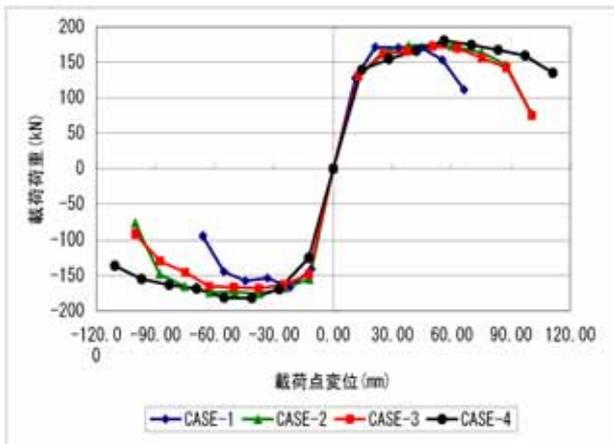


図 3.1 荷重-変位包括線

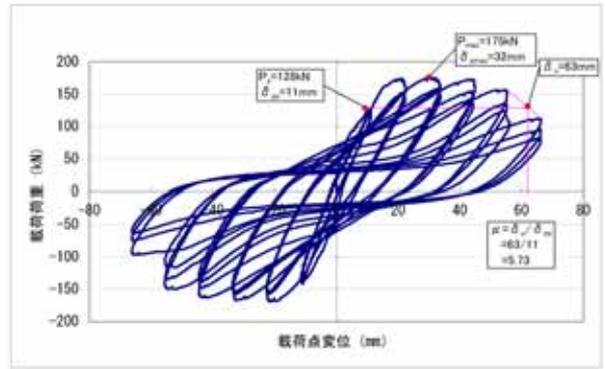


図 3.2 CASE-1 荷重-変位図

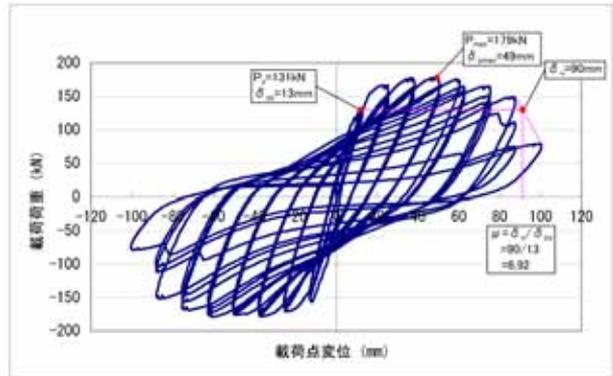


図 3.3 CASE-2 荷重-変位図

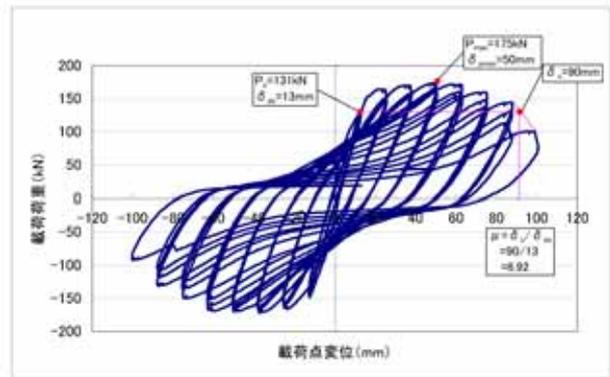


図 3.4 CASE-3 荷重-変位図

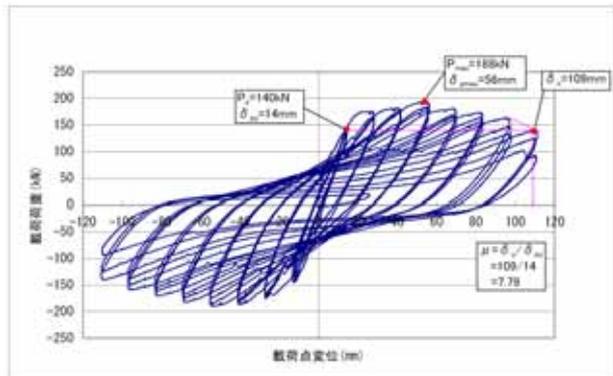


図 3.5 CASE-4 荷重-変位図

3.2 供試体損傷状況

図 3.5～図 3.6 に CASE-1 および CASE-3 のひび割れ図を示す。CASE-2, CASE-4 は、ほぼ CASE-3 と同様のひび割れ性状を示している。

無補強の CASE-1 供試体では、1 載荷時に高さ方向に 20cm 程度の間隔で水平にひび割れが生じた。軸方向鉄筋ひずみの降伏は段落し部が先行した(約 2000  $\mu$ )。しかし、その時点での柱基部の軸方向鉄筋ひずみも 1600  $\mu$  程度と比較的大きな値を示していた。2 y 載荷以降では柱段落し部に損傷が集中し、3 y から斜めひび割れの進展が顕著になった。4 y 載荷時にかぶりコンクリートが剥落し、その後急激に荷重が低下し終局に至った。

なお、段落し部の損傷は軸方向鉄筋の定着長を考慮しない、実際の段落し位置を起点として発生している。

アラミドロープにより巻き立て、CASE-2, CASE-3 および CASE-4 供試体では、1 y 載荷時に高さ方向に 20cm 程度の間隔で水平にひび割れが生じた。軸方向鉄筋ひずみの降伏は段落し部が先行した(約 2000  $\mu$ )。しかし、その時点での柱基部の軸方向鉄筋ひずみも 1600  $\mu$  程度と比較的大きな値を示していた。2 y 載荷以降では柱段落し部に損傷が集中し、5 y 載荷時に、段落し部付近のかぶりコンクリートがはらみだし、徐々に荷重が低下した後 8 載荷時に終局に至った。なお、7 載荷時および 8 載荷時に軸方向鉄筋が段落し位置付近で破断している。

CASE-2, CASE-3 供試体では、段落し部のひび割れ開口部にアラミドロープが食い込んだものの、破断等の損傷は見られなかった。(写真 6)

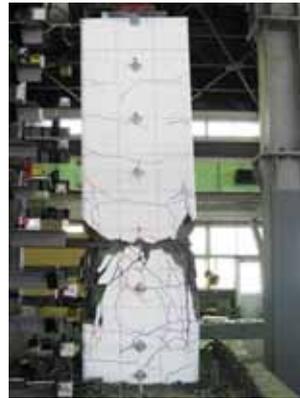


写真 2 CASE-1 実験終了時

写真 3 CASE-2 実験終了時



写真 4 CASE-3 実験終了時

写真 5 CASE-4 実験終了時

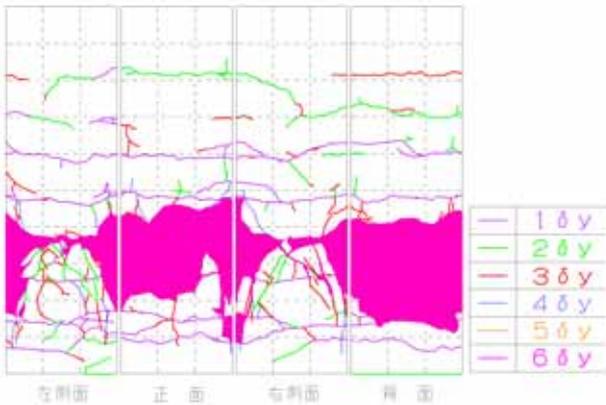


図 3.5 CASE-1 供試体ひび割れ図



図 3.6 CASE-3 供試体ひび割れ図



(a) CASE-3 供試体

(b) CASE-4 供試体

写真 6 実験終了時のひび割れ開口部の状況

4. まとめ

実験結果のまとめを以下に示す。

既設 RC 橋脚に対してアラミドロープを巻き立てることで、かぶりコンクリートの剥落を防止し変形性能が向上した。

破壊形態についてもアラミドロープを巻き立てることで、せん断ひび割れの進展を抑制し、曲げ破壊型の破壊形態となった。

補強供試体である CASE-2 および CASE-3 の供試体については、大きな差異は見られず、AFRP シートのように樹脂で全面含浸しない場合にも、補強効果は得られる可能性が示唆された。

また、四隅に L 型鋼を配置した CASE-4 供試体においては、ひび割れ開口部にアラミドロープが食込むことはなく、アラミドロープが損傷する危険性が低減された。