

## 組紐状アラミドロッドにおける定着体の付着定着性能に関する実験的研究

三井住友建設(株)	正会員	工修	○三加	崇
三井住友建設(株)		工修	竹山	忠臣
三井住友建設(株)	正会員		有川	直貴
三井住友建設(株)	正会員	博(工)	浅井	洋

Abstract : Aramid rod is used PC tendon for reinforcement of existing structures, it does not corrode in the high tensile strength. Aramid FRP tendons is used aramid rod deformed surface with winding. In this study, aramid FRP tendons bundled four large diameter braided aramid rod and had tensile properties amount of 900kN differ from deformed aramid rod was developed and investigated the tensile properties. In case of bundled four aramid rod, tensile test with bond anchorage fixture showed satisfy the guarantee strength of braided aramid rod. In addition, I was confirmed bond anchorage performance of braided aramid rod.

Key words : Aramido Rod , Tendon , Bond Stress

## 1. はじめに

アラミドロッドは、引張強度が高く腐食しないため、既設構造物の補強用PC緊張材などで使用されている。アラミドFRP緊張材に用いるアラミドロッドは、ロッド軸方向に並行に配置したアラミド繊維を引き揃えビニルエステル樹脂で固着した上にアラミド繊維を2層に巻き付けて異形化したアラミドロッド(写真-1)が多く用いられている。異形アラミドロッドは、 $\phi 7.4\text{mm}$ の1種類で、大容量とする場合には最大で9本を束ねたアラミドFRP緊張材が用いられている。組紐状のアラミドロッド(写真-2)は、 $\phi 2.7\text{mm} \sim \phi 15.7\text{mm}$ の数種類があるが、1本の保証耐力は、太径の組紐状アラミドロッドの場合、異形アラミドロッドと比較して、3倍程度の保証耐力を有している。アラミドFRP緊張材は、定着体を端部に設置して緊張を行う構造である。定着体は、鋼管の内部にエポキシ樹脂や無収縮モルタルを充填して付着定着する。複数本のアラミドロッドを用いる場合は、異形アラミドロッドの場合では、付着定着性能が低下するため、低減係数を用いた耐力が決められている<sup>1)</sup>。

本試験では、太径の組紐状アラミドロッドを4本束ねた大容量アラミドFRP緊張材を開発し、定着体の定着性能を確認した。また、組紐状のアラミドロッドの付着性状についても検討を行った。

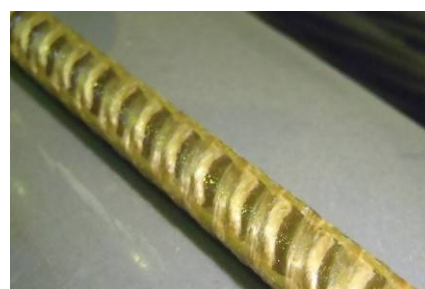


写真-1 異形アラミドロッド

## 2. 試験概要

### 2.1 使用材料

アラミドロッドの材料特性を表-1に示す。本試験で使用したアラミドロッドは、緊張力を大きくするために公称直径が15.7mmの太径のアラミドロッドを用いた。公称断面積は193mm<sup>2</sup>、弾性係数は68.6kN/mm<sup>2</sup>で保証耐力225kNである。アラミドロッドには、付着性状を向上させるために、珪砂を表面に付着させている。



写真-2 組紐状アラミドロッド

表-1 アラミドロッド材料特性

形状	組紐状							異形
	2.7	5.7	7.8	9.3	11	13.7	15.7	
公称直径 (mm)	2.7	5.7	7.8	9.3	11	13.7	15.7	7.88
公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	5.7	25.5	47.8	67.9	95	147	193	48.8
単位重量 (g/m)	6.4	32	58	84	115	173	226	62
保証耐力 (kN)	7.8	32	60	85	112	172	225	81.4
弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	68.6							46.0

## 2.2 緊張材

本試験で使用するアラミドFRP緊張材は、2種類とした。case1は、1本のアラミドロッドを用いた緊張材で保証耐力が225kNである。case2は、4本のアラミドロッドを束ねた緊張材で保証耐力が900kNである。試験体数は各1体実施した。

## 2.3 定着体

アラミドFRP緊張材を緊張するために、両端部に定着体を設置した。定着体の構造を図-1に示す。本試験では、鋼管を加工した定着体を用いた。鋼管は、アラミドFRP緊張材の保証耐力が鋼管のみに作用した場合でも降伏しない外径、厚さおよび材質を選定した。case1の定着体は、外径48.6mm、厚さ8mmで材質がS45Cの鋼管の先端に厚さ15mmの目板を設置した構造とした。case2の定着体は、外径95mm、厚さ18mmで材質がS45CHの鋼管で先端に厚さ20mmの目板を設置した構造とした。定着体の長さは、case1、case2ともに720mmとした。

定着体の製作は、鋼管にアラミドロッドを挿入した後に、図-2に示すように無収縮モルタルを内部に充填して鋼管と無収縮モルタルとアラミドロッドを一体化した構造である(写真-3)。アラミドロッドを4本束ねたcase2の場合には、付着面積を大きくするためにアラミドロッドの配置間隔を24mmとして隙間を約8mmにした。アラミドロッドを緊張すると、無収縮モルタルを介して鋼管に引張力が作用する構造である。定着体に使用した無収縮モルタルの試験時の材料物性は、圧縮強度が84.4N/mm<sup>2</sup>、弾性係数が20.4kN/mm<sup>2</sup>であった。

## 2.4 試験方法

図-3に荷重装置図を示す。試験方法は、アラミドFRP緊張材の定着体を緊張フレームにナット定着して荷重を行った。アラミドFRP緊張材の片側の定着体を固定し、もう一方の定着体を油圧ジャッキ側に設置した。油圧ジャッキによりアラミドFRP緊張材に張力を発生させた。荷重試験は、アラミドロッドの破断まで実施した。試験時の測定項目は、アラミドFRP緊張材の張力を測定するために、荷重計、定着体の鋼管のひずみの測定を行った。

## 3. 試験結果

### 3.1 最大荷重

アラミドFRP緊張材の最大荷重はcase1が276kN、case2が978kNで、破壊は両試験体ともアラミドロッドの破断であった。アラミドロッドはcase1で保証耐力の1.23倍、case2で1.09倍であり、定着体の長さ700mmでは、保証耐力を保持できることを確認した。

### 3.2 付着定着性状

#### (1) case1 (アラミドロッド1本)

アラミドFRP緊張材の定着体の鋼管のひずみ分布を図-4、アラミドロッドに発生しているひずみ分

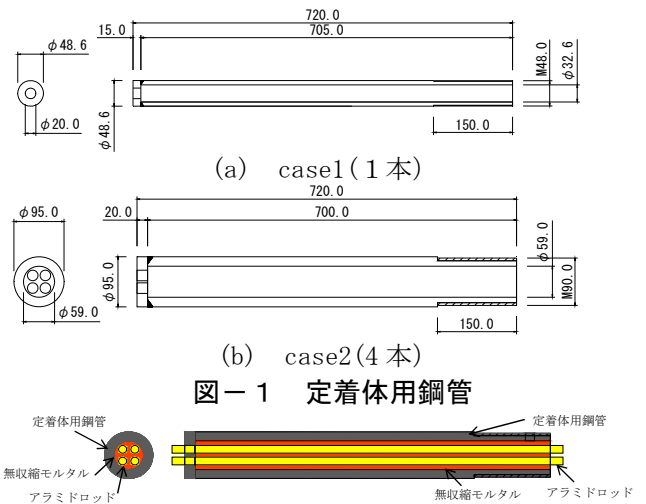


図-1 定着体用鋼管

図-2 定着体構造 (case2)



写真-3 アラミドFRP緊張材製作状況

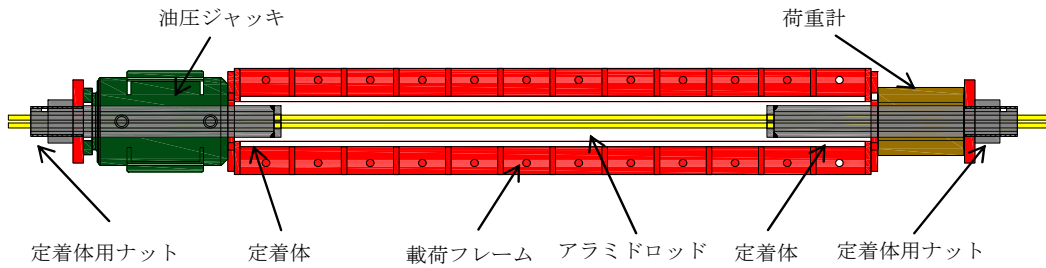


図-3 荷重装置図

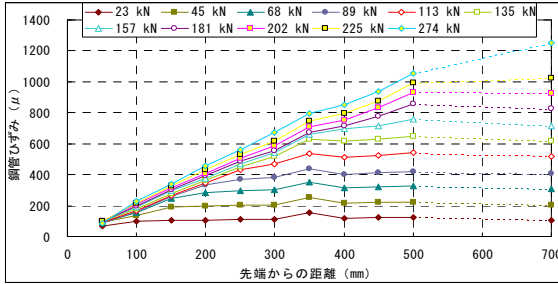


図-4 鋼管ひずみ (case1)

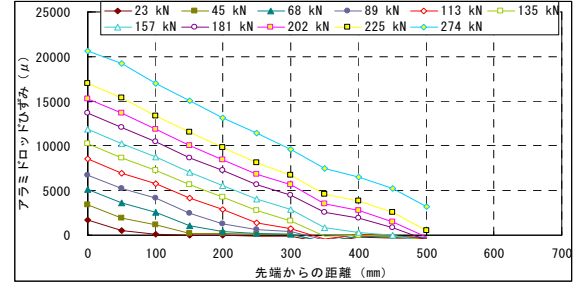


図-5 アラミドロッドひずみ (case1)

布を図-5に示す。鋼管と無収縮モルタルが一体となって挙動することから鋼管のひずみよりアラミドロッドの張力  $P_f$  を式(1), アラミドロッドのひずみ  $\varepsilon_f$  を式(2)により算出した<sup>2)</sup>。

$$P_f(x, P) = P - (A_s \cdot E_s + A_m \cdot E_m) \cdot \varepsilon(x, P) \quad (1)$$

$$\varepsilon_f(x, P) = P_f(x, P) / (A_f \cdot E_f) \quad (2)$$

ここに、 $P$  : 荷重荷重,  $x$  : 定着体先端からの距離,  $\varepsilon$  : 鋼管のひずみ,  $A_s$  : 鋼管断面積,  $E_s$  : 鋼管弾性係数,  $A_m$  : 無収縮モルタル断面積,  $E_m$  : 無収縮モルタル弾性係数,  $A_f$  : アラミドロッド断面積,  $E_f$  : アラミドロッド弾性係数

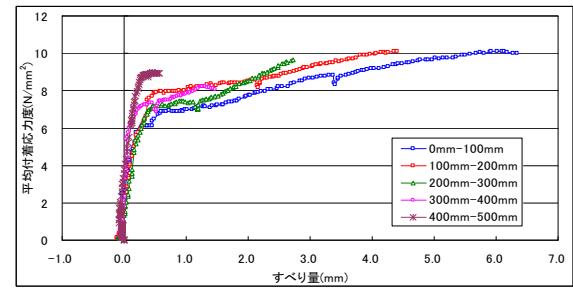


図-6 平均付着応力度 (case1)

アラミドロッドの定着体先端からの移動量と平均付着応力度の関係を図-6に示す。アラミドロッドの定着体先端からの位置  $x_i$  における移動量は、式(3)により算出した。また、位置  $x_i$  から位置  $x_j$  の間の平均付着応力度は、式(4)で算出した。

$$s(x_i, P) = \int_{x_i}^L \{\varepsilon_f(x_i, P) - \varepsilon(x_i, P)\} dx \doteq \sum_{x_i}^L \{\varepsilon_f(x_i, P) - \varepsilon(x_i, P)\} \Delta x \quad (3)$$

$$\tau_{ij} = \{\varepsilon_f(x_i, P) - \varepsilon_f(x_j, P)\} \frac{E_f \cdot A_f}{n_f \cdot \phi_f \pi (x_j - x_i)} \quad (4)$$

ここに、定着体長 :  $L$ , アラミドロッド公称直径 :  $\phi_f$ , アラミドロッド本数 :  $n_f$

平均付着応力度が  $7\text{N/mm}^2 \sim 8\text{N/mm}^2$  ですべり量の増加が大きくなる変曲点が表れて、さらにすべり量が増加すると、平均付着応力度も緩やかに増加する傾向であった。

(2) case2 (アラミドロッド4本)

アラミドFRP緊張材の定着体の鋼管ひずみ分布を図-7, アラミドロッドに発生しているひずみ分布を図-8およびすべり量と平均付着応力度の関係を図-9に示す。アラミドロッドに発生しているひ

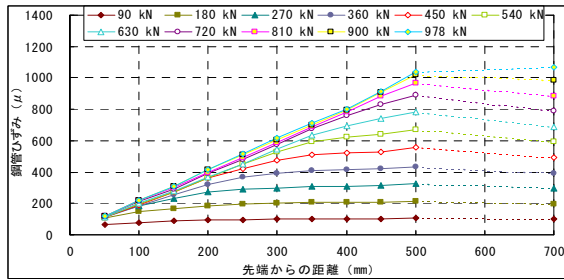


図-7 鋼管ひずみ (case2)

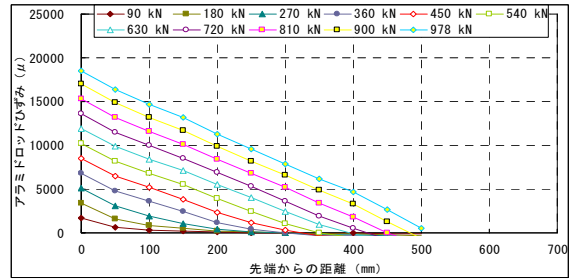


図-8 アラミドロッドひずみ (case2)

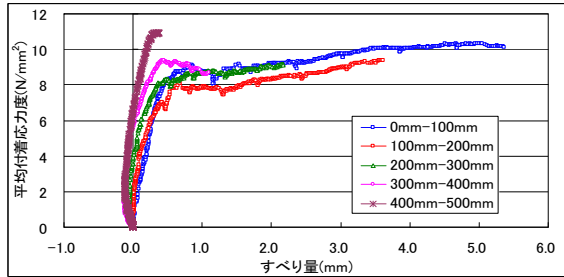


図-9 平均付着応力度 (case2)

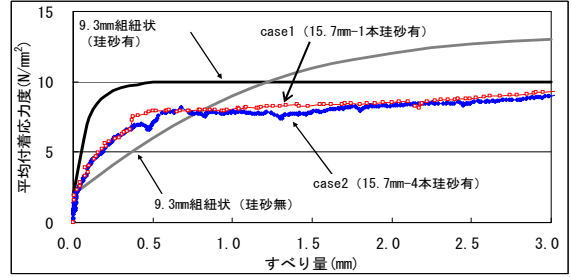


図-10 平均付着応力度

ずみ分布は、式 (1) , 式 (2) により算出し、すべり量および平均付着応力度は、式 (3) および式 (4) で算出した。平均付着応力度は、 $7\text{N/mm}^2 \sim 9\text{N/mm}^2$ ですべり量の増加が大きくなる変曲点が表れて、さらにすべり量が増加すると、case1と同様に平均付着応力度が緩やかに増加する傾向にあった。

本試験の100mm~200mm区間の試験結果と壽松木ら<sup>3)</sup>が実施した150mm×150mm×150mmのコンクリートブロックに埋め込んだ9.3mmの組紐状アラミドロッドの引き抜き試験結果による平均付着応力度とすべり量の関係を図-10に示す。case1とcase2の平均付着応力度とすべり量の関係はほぼ同じである。9.3mmの組紐状アラミドロッドの珪砂無しでは、すべり量が3mmまで平均付着応力度は増加しているが珪砂有りの場合には、0.5mm程度で平均付着応力度が一定となっている。本試験では、0.7mmから緩やかに平均付着応力度が増加していることから、9.3mm珪砂有りに近い挙動を示している。平均付着応力度の大きさは、すべり量が1.0mmでcase1, case2が9.3mm珪砂有りの場合の80%であった。

#### 4. おわりに

本試験において、以下の知見が得られた。

- ・15.7mmの組紐状アラミドロッド1本および4本を束ねたアラミドFRP緊張材の定着は、無収縮モルタルによる付着定着方法で、L=700mmの定着長で保証耐力を保持することを確認した。
- ・組紐状アラミドロッド1本と4本を束ね場合の平均付着応力度とすべり量の関係は、ほぼ同じである。
- ・太径の15.7mm組紐状アラミドロッドは、9.3mm組紐状アラミドロッドと比較して、平均付着応力度が80%であった。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針 (案) , コンクリートライブラリー88, 平成8年
- 2) 壽松木ら：組紐状アラミド繊維補強材を用いたコンクリート部材の力学特性, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, 44巻2号, 号平成18年
- 3) 浅井洋：付着定着によるアラミド繊維緊張材・補強材の実用化に関する研究, 博士学位論文, 徳島大学, 2012年