

アラミドFRPロッドを用いた耐震補強 —開橋—

三井住友建設(株) 正会員 ○醍醐 潤一  
 三井住友建設(株) 渡辺 修三  
 三井住友建設(株) 正会員 安藤 直文  
 三井住友建設(株) 佐藤 伸夫

キーワード：アラミドFRPロッド，耐震補強，RC橋脚

1. はじめに

本工事は、昭和32年に建設された開橋の耐震補強として、壁式RC橋脚の河床以深に位置する主鉄筋段落とし部の耐震補強を行うものである。本工事は河川内作業ができない条件であったため、河川内作業を伴わず、上部工供用時でも橋脚補強が可能なアラミドFRPロッドによる耐震補強工法が選定された。本工法は、橋脚天端からアラミドFRPロッドを挿入して緊張することで、橋軸方向にプレストレスを与え曲げ補強するものである。本稿では、初適用となった開橋のアラミドFRPロッドによる橋脚の耐震補強について報告する。

2. 工事概要

上部工形式は6径間鋼単純鋼床版鈹桁橋、橋脚形式は壁式RC橋脚である。工事概要を表-1に示す。また、全体一般図を図-1、図-2、P1橋脚の側面図を図-3、正面図を図-4に示す。

耐震補強の全体計画における対象は7橋脚(上流側P1~P5、下流側P3、P4)の主鉄筋段落とし部の補強であり、本工事ではそのうち2橋脚(上流側P1、P5)を施工した。各橋脚のアラミドFRPロッド(9φ7.4)の配置本数は、P1橋脚が12本、P5橋脚が7本であり、橋脚からのアラミドFRPロッド長は5.1~6.1mである。既設橋脚の材料諸元は表-2のとおりであり、コア採取による圧縮強度試験ならびに建設年時より推定されている。

表-1 開橋 工事概要

工事名	都計3・2・42大津町線開橋 改築工事(下部工補強工)
発注者	名古屋市 緑政土木局
工事内容	P1橋脚 アラミドFRPロッド(9φ7.4) 12本  P5橋脚 アラミドFRPロッド(9φ7.4) 7本

表-2 既設橋脚の  
材料諸元(推定)

コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋
21.0	SR235

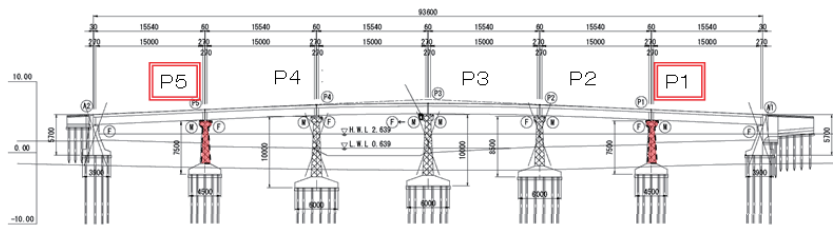


図-1 全体一般図(側面図)

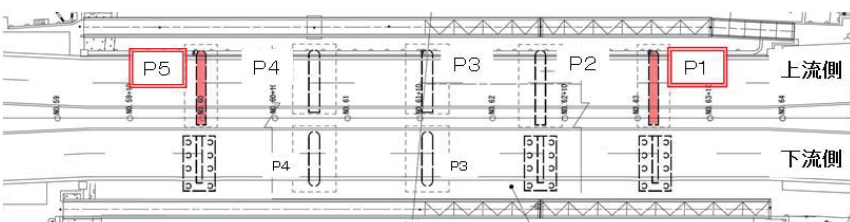


図-2 全体一般図(平面図) ■ :アラミドFRPロッドによる耐震補強施工箇所

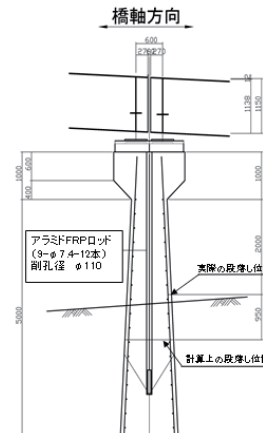


図-3 側面図(P1橋脚)

### 3. アラミドFRPロッドによる耐震補強工法の概要

本工法は、非腐食性材料であるアラミドFRPロッドにプレストレスを導入し、橋脚に軸力を付加することで、曲げ性能を向上させる工法である<sup>1)</sup>。

設計図書における工法比較では、河川内作業ができない条件であったことから、河床を掘削する工法や鋼板を河床へ圧入する工法は適用不可となった。そのため、設計図書では河川内作業を伴わずに施工可能なアラミドFRPロッドによる耐震補強工法が選定された。アラミドFRPロッドの材料諸元を表-3に示す。

本橋の補強目的は、主鉄筋段落とし部の先行破壊を防止するためであり、設計図書では主鉄筋段落とし部の耐力が柱基部の耐力を上回るように、各橋脚ごとに必要軸力およびアラミドFRPロッド(9φ7.4)の必要本数が算出されている。本工事の施工対象橋脚の必要軸力は、P1が3650kN以上、P5が2132kN以上である。この軸力量が本橋脚へ与える影響は、平均圧縮応力1N/mm<sup>2</sup>以下であり、ほとんど負荷が生じないレベルである。

アラミドFRPロッド(9φ7.4)の最小配置間隔は、基準である180mm<sup>2)</sup>に対し、実施工では削孔や設置誤差を考慮した50mmの余裕量(最小配置間隔230mm)を設定した。また実施工において、削孔位置が既設鉄筋などの微調整に対応できるように、橋軸方向の許容偏芯量を算出した(全体平均50mm以内)。

図-5に、アラミドFRPロッドによる耐震補強工法の施工手順を示す。最初に、段落とし位置や削孔箇所の鉄筋配置を探查したのち、橋脚天端からコンクリートコアを削孔する。充填ホースにて無収縮モルタルを定着部に1次充填し、端部に定着体(図-6、写真-1)を有したアラミドFRPロッドを束ねた状態で挿入する。そののち、1次充填材の強度が発現するまで養生を行い、アラミドFRPロッドを緊張し、緊張後は2次充填を行う。再度養生を行い、2次充填材の硬化後は、孔の口元でアラミドFRPロッドを切断し、表面仕上げを実施する。

### 4. 工事における課題と工夫

#### 4.1 事前検討における課題

##### (1) 削孔と挿入

本補強工法は橋脚天端にて作業を行うため、低空頭下での作業環境となる。このため、アラミドFRPロッドの削孔や挿入作業は既設構造物による作業制約を受けることから、もっとも低空頭下での作業(G1-G2間)を想定して施工検討を行った。アラミドFRPロッドは、定着体形状やアラミドFRPロッドの曲げ制約(曲げ

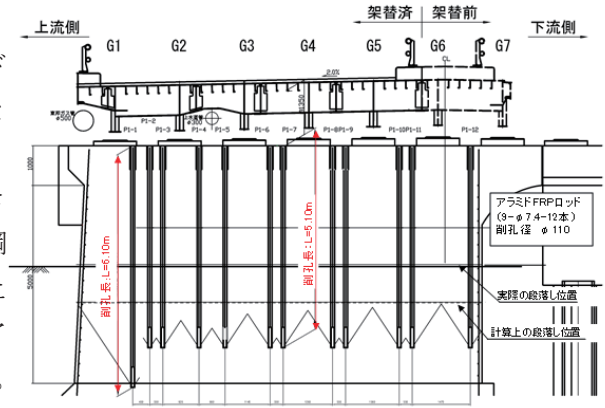


図-4 正面図(P1橋脚)

表-3 アラミドFRPロッドの材料諸元<sup>2)</sup>

	ヤング係数※ (kN/mm <sup>2</sup> )	有効断面積 (mm <sup>2</sup> )	保証耐力 Pu (kN)
φ7.4mm (テクノーラ)	53.0	42.4	81.4
9φ7.4mm (テクノーラ)		381.6	647

※有効断面積の場合

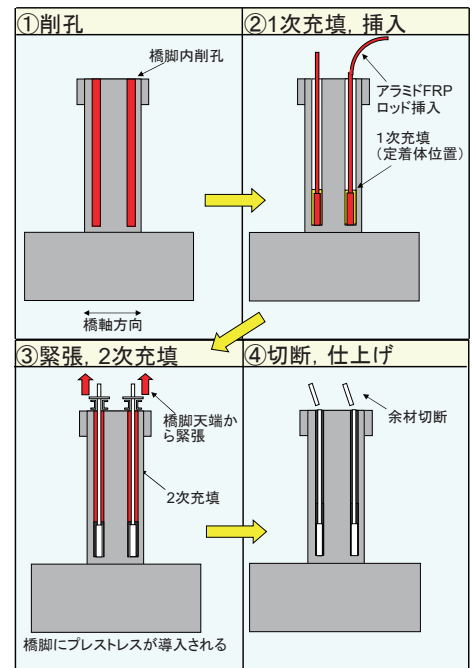


図-5 施工手順

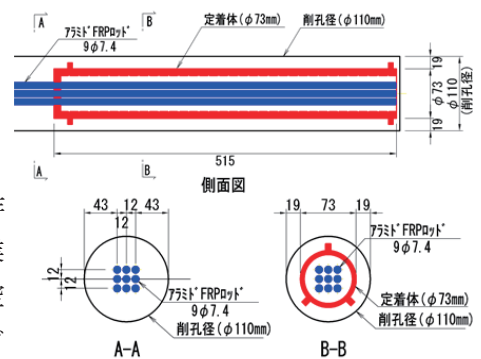


図-6 定着体形状

直径1.8m以上<sup>2)</sup>)から、今回の条件下では、本削孔φ110mmの単孔でのアラミドFRPロッド挿入は難しい。そのため、空頭制限を受ける施工状況を再現した挿入検討(図-7)を行った。また、挿入時にアラミドFRPロッドが、既設構造物に接触する箇所や挿入経路を確認した。これにより、挿入方向は橋軸方向からとし、拡径の形状は、挿入側手前に最小限となるφ150の3連孔、深さ600mmの計画とした。また、拡径3連孔による既設鉄筋への干渉について対策を行った。



写真-1 アラミドFRPロッドと定着体

アラミドFRPロッドの橋軸直角方向の配置は、削孔機の設置方向や大きさを踏まえ、横桁や支承台座、添下管との干渉について再検討を行い、それらへの影響が最小限となるような位置調整を行った。また、段落とし位置にて所定のプレストレスが導入されるよう、調整位置に応じたアラミドFRPロッドの長さ変更を行った。

(2) 定着確認

本工法は、その特性上から1次定着の確実性が重要となる。しかし、本橋は河川内橋脚であり、建設年時が古いことから、橋脚内を削孔した際にひび割れなどを通じて孔内が滞水し、定着を阻害されることが懸念された。また、アラミドFRPロッド挿入後に1次充填を行うと、削孔径と定着体の隙間が狭いことによる充填不良が懸念された。そこで、滞水状況下による引抜試験(写真-2)および充填試験(写真-3)を実施し、対策工法を確立した。引抜試験では、材料の選定(無収縮モルタルと水中不分離性モルタル)、1次定着部の目荒しの有無、引張耐力の検討を行った。充填試験では、実際の削孔径と水位を考慮した試験体を用いて行い、充填方法について検討を行った。また、定着部を確実に充填させるために、1次充填後にアラミドFRPロッドを挿入し、充填材の乱れの有無について確認した。

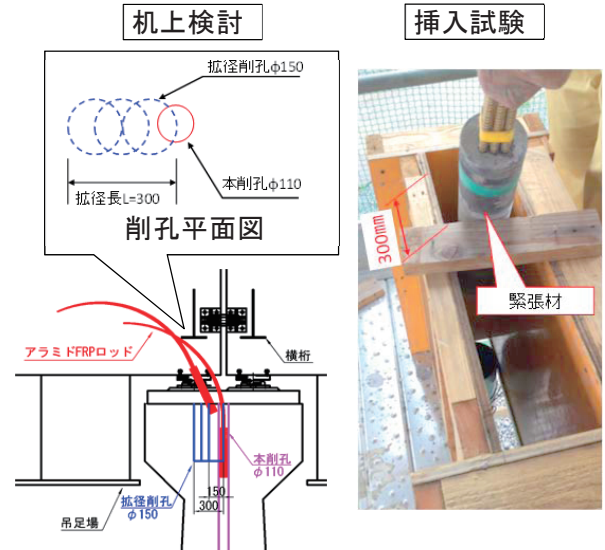


図-7 挿入検討

両試験結果より、滞水環境下での本工法適用には、充填材に無収縮モルタル、目荒しは不要、1次充填後のアラミドFRPロッド挿入(充填材の乱れ無し)、充填ホース先端への逆止弁設置により、確実な定着が可能であることを確認した。



写真-2 引張試験状況



写真-3 充填試験設備

4.2 実施工における工夫

各施工段階において工夫した点を、以下に示す。

・足場組立て：アラミドFRPロッド挿入時に、アラミドFRPロッドを全展開して施工性の向上と



写真-4 削孔



写真-5 1次充填



損傷防止を目的に、足場延長を拡幅した。

・削孔(写真-4)：計画時の課題事項であった孔内への浸水は、管内カメラにて全孔で無いことを確認した。削孔位置は、鉄筋探査結果を基に微調整を図ったうえで設定した。本孔・拡径孔とも削孔機は同じものを使用し、横桁などの制約に応じて削孔機のセット方向を回転させて作業性を確保した。削孔後は孔内注水を行い、バキュームポンプによって吸い上げることで孔内の切削粉などを除去した。

・1次充填(写真-5)：モルタル充填には手押しポンプ(吐出圧力0.3MPa)を使用し、充填用ホースは孔底まで延伸した。充填量は流量管理で行うとともに、水位計での事前・事後計測により所定高さまでの充填を管理した。

・アラミドFRPロッド挿入(写真-6)：事前検討より、1次充填後に充填材を乱さないようにアラミドFRPロッドを挿入した。横桁や孔の角部をサクシオンホースで養生するとともに、展開したアラミドFRPロッドを複数人で持ち上げて挿入するなど、アラミドFRPロッドの損傷防止に留意して作業した。また、挿入後には再度水位計での計測を行い、所定高さまでの充填を確認した。

・緊張(写真-7, 写真-8)：緊張架台は3段構成とした。下段が緊張材切断作業用、中上段は定着作業用とし、施工性を考慮した小型分割構造とした。緊張は、定着具に接続した専用治具を介してセンターホールジャッキ(最大出力700kN)を用いて行った。緊張力は、設計緊張力 $0.5P_u$ (323kN)にリラクゼーション(100年：道路橋示方書, 設計供用期間)を考慮し、緊張時は伸び・圧力の管理を行った。

・2次充填(写真-9)：緊張後の2次充填の手法は1次充填と同様である。

・緊張材切断：緊張材の切断はサンダーを使用し、切断後は無収縮モルタルで仕上げを行った。



写真-6 緊張材挿入

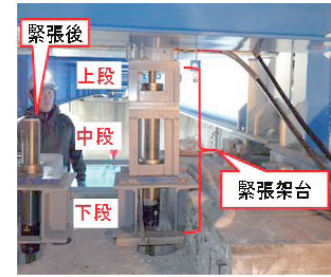


写真-7 緊張①



写真-8 緊張②



写真-9 2次充填

#### 4.3 維持管理の配慮

今後の維持管理の配慮として、緊張力の導入が目視確認できるように、1箇所のみ橋脚天端から20mm突出させた。これにより引込みなどの定着不良が見える化し、間接的に導入した緊張力が維持されていることを確認する。これは、アラミドFRPロッドが非腐食性材料であることから可能となる維持管理手法である。

#### 5. おわりに

本工法は、橋脚天端からの耐震補強が可能な工法であり、さまざまな制約条件のあった本工事は、平成31年4月に竣工することができた。本報告が、今後同様の施工における参考となれば幸いである。

最後に、度重なる協議に応じて頂き、ご支援、ご協力を頂いた名古屋市緑政土木局の方々をはじめ、関係者各位の方々にこの場を借りて深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 安藤ほか：アラミドFRPロッドによるRC橋脚の耐震補強効果に関する実験的検討，第24回PCシンポジウム論文集，pp83～88，2015.10
- 2) 社団法人土木学会：コンクリートライブラリ88 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)，丸善，2002.1