

(106) 狭隘な施工環境下におけるアラミド緊張材による外ケーブル用ブラケット固定工法の適用

日本道路公団	南大阪管理事務所	松本 大二郎
○住友建設(株)	土木本部技術部	正会員 権藤 健二
住友建設(株)	土木本部土木部	広谷 泉
住友建設(株)	技術研究所	正会員 松元 香保里

1. はじめに

高塚橋は、西名阪自動車道法隆寺I.Cと郡山I.C間に位置する3径間単純プレテンション橋で、B活荷重対応として外ケーブルを配置し連続化する補強工事を行った。本橋は、片車線12主桁で構成されており、桁高は75cm、主桁ウエブ間は約78cmであり、非常に狭隘な施工環境下での外ケーブル補強工事であった。このため、従来のPC鋼棒を用いて定着ブラケットを主桁に緊張固定することが困難であることから、アラミドFRPロッドを緊張材として用いて一括緊張するプレテン定着工法を採用することとした。しかし、定着ブラケット間が十分に確保できないことから、アラミド緊張材による施工法においても定着ブラケットの製作やプレストレスの導入に問題があった。そこで、主桁間の定着ブラケットを一体製作し、ワイヤーソーで定着ブラケットを切断することにより、プレストレスを導入する工法を新しく開発し適用した。本稿では、狭隘な施工環境下で外ケーブル補強工事を可能とした、アラミド緊張材による外ケーブル用ブラケット固定工法の適用事例(写真-1)について報告を行う。

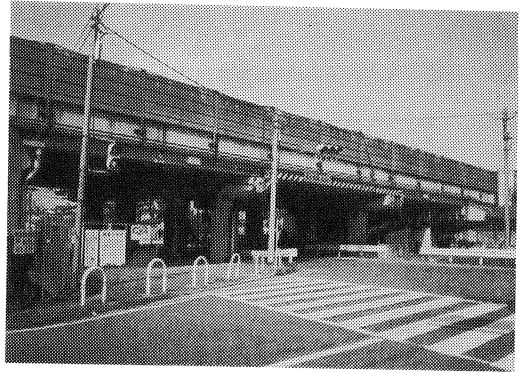


写真-1 高塚橋

2. プレテンション定着工法の概要

本工法の構造上の特徴は、アラミドFRPロッドの優れた付着特性を利用し、定着ブラケットにプレテンション定着する点にある。耐久性に優れたアラミド緊張材は、防錆処理等が不要であり、さらにPC鋼材に比べ約1/4の弾性係数であるため、コンクリートの変形による張力変化を少なく抑えることができる。施工方法には、アラミドFRPロッドを緊張材とした場所打ちタイプとプレキャストタイプがある。場所打ちタイプは、アラミド緊張材を緊張した状態で定着ブラケットの鉄筋・型枠を組み立て、コンクリートを打設し一体化する方法である。プレキャストタイプは、緊張材配置部分をシース等で確保した定着ブラケットを製作し、アラミド緊張材を緊張した後、シース内に無収縮モルタルを注入し一体化する方法である。いずれの施工方法においても、従来のように定着ブラケットごとに緊張するのではなく、中間サポートおよび緊張反力治具を介し橋軸直角方向に一括して緊張することで省力化を図り、主桁間のアラミド緊張材を切断してプレストレスを導入する工法である⁵⁾。図-1に場所打ちタイプの工法概念図を、

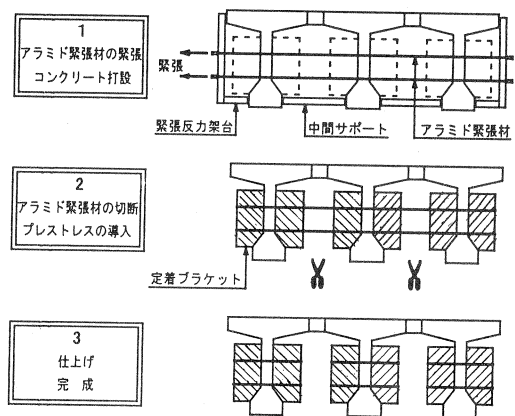


図-1 工法概念図

表-1 にアラミド緊張材の物性を示す。

表-1 アラミドFRPロッドの物性

	φ6mm	φ7.4mm
公称断面積 (mm ²)	32.5	48.8
引張強度 (kN)	63.0	92.8
保証耐力 (kN)	56.9	81.4
ヤング係数 (kN/mm ²)	46.0	
破断伸度 (%)	3.3	
リラクゼーション率 (%)	23 (100年後推定値)	

3. 工事概要

施主名：日本道路公団大阪管理局

工事名：西名阪自動車道高塚橋（上部工）補強工事

形式：プレテンションT桁橋

橋長：39.0m

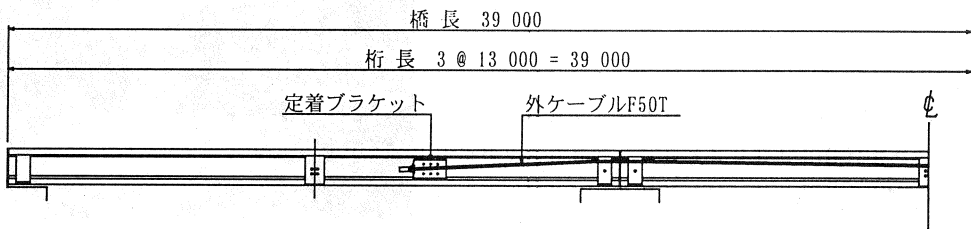
桁長：13.0m×3径間

幅員：9.9m×2ライン

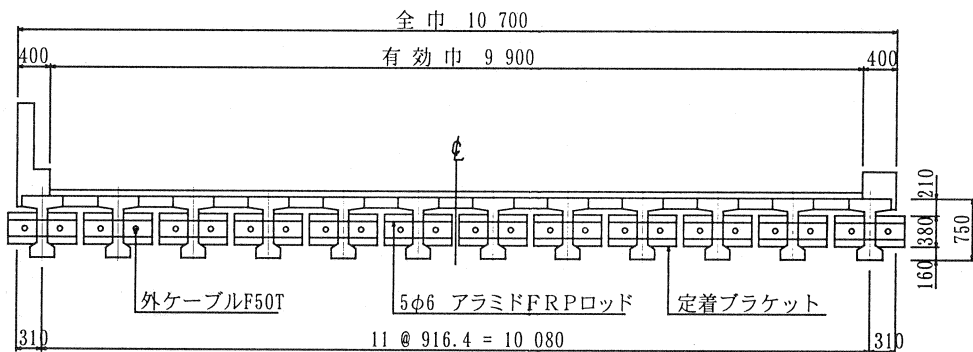
荷重：B活荷重

図-2 に高塚橋の補強計画図を示す。

側面図



断面図



定着ブラケット構造図

アラミド緊張材配置図

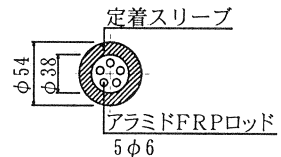
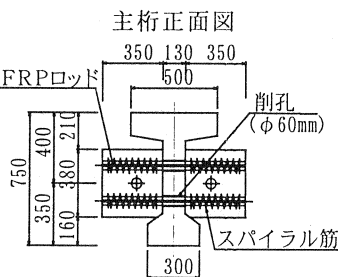
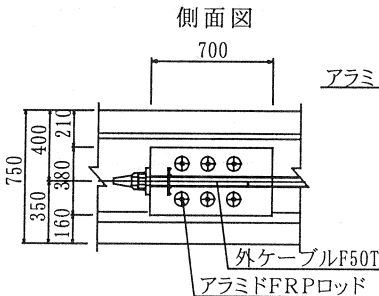


図-2 補強計画図

4. アラミド緊張材による外ケーブル用ブラケット固定工法の高塚橋への適用

(1) コンクリート定着ブラケット切断によるプレストレス導入工法

高塚橋の主桁ウェブ間は、約78cmと狭く従来工法であるPC鋼棒による施工では定着ブロックを緊張固定することは困難であった。そこで、図-1の要領に示すように主桁間での緊張作業が不要で、アラミド緊張材により一括緊張ができるプレテンション定着工法を採用した。今回の施工では、アラミド緊張材の切断に要する空間を8cmとすると、定着ブラケット幅は350mm程度しか確保できない。しかし、アラミドFRPロッドを緊張材とした過去の施工事例によると、余裕を含め500mmの定着ブラケット幅が必要となり、本橋ではこの幅を確保できないことが問題となった。そこで対策として、小径のφ6mmアラミドFRPロッドを緊張材とすることで付着面積を確保することとした。そして、定着ブラケット幅を出来るだけ確保するため、主桁間の定着ブラケットを一体製作とし、ワイヤーソーで切断することでプレストレスを導入する手法を採用した。これにより、アラミド緊張材の付着長を確保することができ、併せて定着ブラケットの一体製作による施工効率の向上と、緊張時に要した中間サポートが不要となり施工コストの低減に寄与することができた。

図-3に高塚橋の施工要領図を示す。ワイヤーソー工法は、コンクリート構造物の解体などに用いられる切断工法で、作業効率が良く、振動など対象構造物に与える影響がほとんどなく確実な切断ができる。また、アラミド緊張材は容易に切断できることから、切断対象構造物を無筋コンクリートと同等とできるので施工効率の上でも有利となった。図-4にワイヤーソー工法による施工要領を示す。外ケーブル定着ブラケットの設計に際しては、せん断耐力の検討、主桁コンクリート接触面での摩擦力の照査、コーベルとしての検討などを行い、1定着体あたりφ6mmのアラミドFRPロッド5本を1組とした緊張材を6組配置することとした。また、定着ブラケットとアラミド緊張材との間で十分な張力伝達が行われているかを確認するため、後述する確認試験を行った。

(2) 外ケーブル補強工の施工

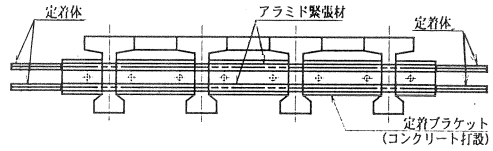
補強工事全体の概要を施工手順に則って以下に示す。

① 中間支点上の間詰めによる主桁間連結工

中間支点上の連結工事は、夜間リフレッシュ工事期間内で行った。施工は、橋面舗装と伸縮継手を撤去後、主桁目地間へ高流動化超速硬コンクリートを打設した。

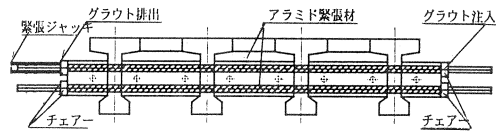
① コンクリート打設・緊張材の配置

コンクリート打設後、アラミド緊張材の挿入



② 緊張工

緊張後、シース内へのグラウト充填



③ プレストレスの導入

ワイヤーソーによりコンクリートブラケット部を切断

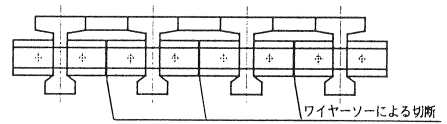
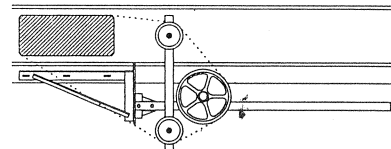


図-3 施工要領図

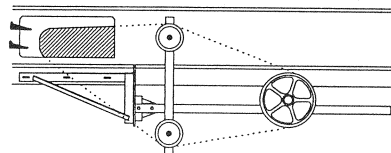
(1) 切断開始

最初は低速回転で位置がズレないように注意し、馴染んできたら徐々に回転を上げる。(20m/sec)



(2) 支持具の挿入

切断部の残りが少なくなると、切り離された部分が狭まり、ワイヤーを挟み込み、円滑な回転ができなくなるがあるので、くさび等を打ち込む。



(3) 切断終了

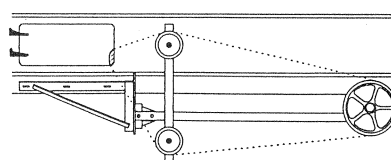


図-4 ワイヤソー工法施工要領図

つぎに、主桁切欠き部への配筋後、超速硬SFコンクリートを打設し、歴青シートの敷設と再舗装を行った。

②主桁および横桁の削孔

主桁の定着ブラケット用貫通孔および横桁の外ケーブル用貫通孔の削孔を行う際、X線およびRCレーダーによる探査を行い、PC鋼材および鉄筋を傷つけないよう慎重に削孔を行った。

③定着ブラケットの打設

コンクリート打設条件が悪いことから、スランプフロー 50±5 cmの高流動コンクリートを使用した。

写真-2に配筋状況(写真は、シース調整のため組立鉄筋を主桁側へ移動している)を示す。

④アラミド緊張材の加工および定着ブラケットへのプレストレスの導入

アラミド緊張材の加工および組立は、桁下のヤードで行い、φ6mmアラミドFRPロッドを5本組のケーブルに加工し、緊張側定着体(スリーブ)を取り付け、高強度無収縮モルタルを充填した。固定側のスリーブ(φ54)は、シース(φ50)内への挿入が不可能であったことからアラミドケーブル挿入後、固定側のスリーブを取り付け無収縮モルタルを充填し養生した。そしてアラミド緊張材の緊張後、シース内に高強度無収縮モルタルの注入を行い、硬化後定着ブラケットをワイヤーソーで切断しプレストレスの導入を行った。なお、切断作業に際しては、アラミド緊張材が切断されることにより順次作用断面応力が解放されることから、切断終点側のひび割れの発生を抑制する目的で、切断終端部にベビーサンダーにより3cm程度のひび割れ誘導目地を設け切断を行った。写真-3にワイヤーソーの設置状況を示す。

⑤外ケーブル工

外ケーブルは、PC鋼より線(7φ8.1)にポリエチレン樹脂を被覆加工し、両端部にマンションを常温圧着したものを使用した。所定の位置に人力で挿入した後、外ケーブルの緊張作業を行った。写真-4に外ケーブル配置状況を示す。

なお、ワイヤーソー工法による施工を終え以下の所見を得た。

- ・ワイヤーのガイドとコンクリート欠け防止を兼ねて、ガイド目地を設けておく必要がある。目地形状は台形の方が良く、切断後の見栄えにも有効である。
- ・切断時、ひび割れ抑制の応急的な処置としてベビーサンダーにより誘導目地を設けた。今後は、アラミドFRPロッドなど切断時の抵抗とならない補強材によって、切断による応力解放位置を切断終点側に寄せるなどの工夫を行いたい。
- ・切断による施工誤差を、±20mm程度考慮しておく。

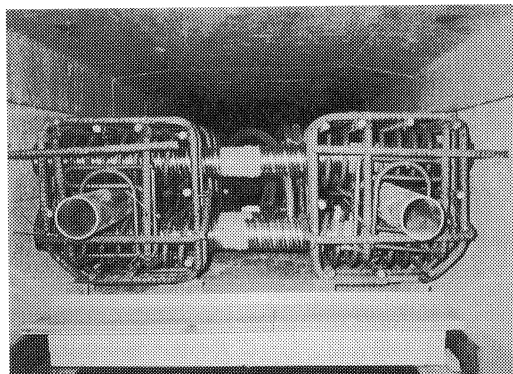


写真-2 定着ブラケット配筋状況

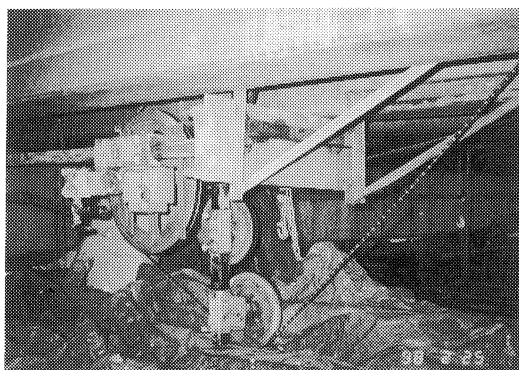


写真-3 ワイヤーソー設置状況

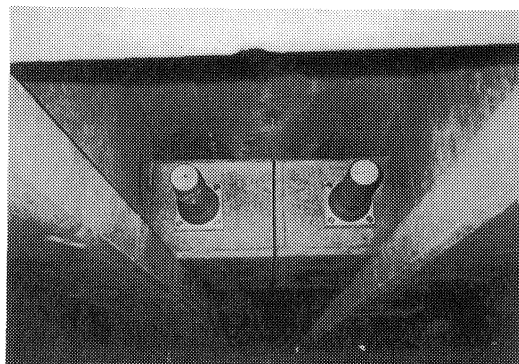


写真-4 外ケーブル設置状況

- ・正確な切断を行うためには、ワイヤーが切断面に直角にならなければならない。よって、ワイヤーソー本体の仮設治具への設置には十分な調整を必要とする。
- ・ワイヤーソーの切断にあたって、家屋などが隣接する現場では、騒音対策を行っておく必要がある。
- ・切断時に大量の水を使用することから、十分な排水養生を行う必要がある。
- ・切断に要する時間は、ワイヤーソー設置から移動まで1箇所当たり(A=0.27m²)平均2時間程度であった。

6. 確認試験

本試験は、付着長を350mmとした緊張材の定着性能と定着ブラケット固定の安全性を確認することを目的として行った。試験項目は、伝達長試験、定着性能試験およびせん断試験とした。

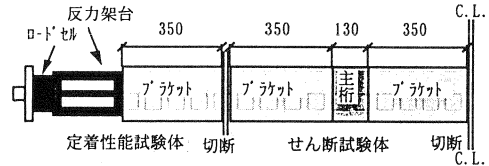


図-5 試験体図

(1) 試験体

試験体は断面 200mm×200mm、全長 2360mm のコンクリート梁で、プレストレスによる平均応力度は実橋と一致するように設定した。また、主桁ブロック幅は実橋の主桁ウェブ幅と同じ 130mm である。試験体の製作は実施工方法に則り、主桁ブロックを先行打設し、コンクリート断面中央にシースを配置してブラケットブロックを打設した。シース内にアラミド緊張材を配置し、保証耐力の 60% の緊張力で反力架台に仮定着し、無収縮モルタルをポンプ圧入した。試験体はウォールソーにより 3ヶ所で切断し、定着性能試験体 2 体とせん断試験体 2 体に分割した(図-5)。

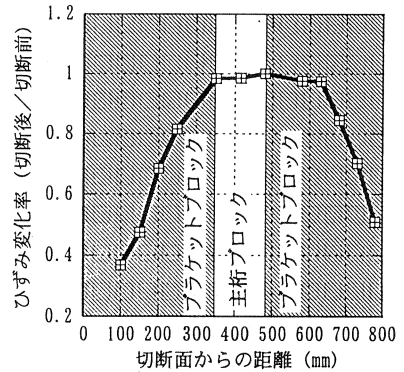


図-6 伝達長試験結果

(2) 伝達長試験

試験体切断前後のコンクリート表面ひずみとロッドひずみの変化から伝達長を推定した。せん断試験体における切断前後のコンクリート表面ひずみの変化を図-6に示す。主桁ブロックではコンクリート表面ひずみ、即ちコンクリート応力の低下は認められず、アラミド緊張材による緊張力の伝達は、切断面から 300mm 以下で終了していることが確認された。

(3) 定着性能試験

定着性能試験体の端部に取付けたロードセルにより、切断前後および時間の経過に伴う緊張力の変化を計測した(図-7)。縦軸は、時刻 t における緊張力 P_t と定着時の緊張力 P_1 の比率を表している。緊張力の計算値は、既往の研究で得られたリラクセーション実験式⁶⁾から算出した。有効緊張力は計算値にほぼ一致しており、緊張力の低下はアラミドFRPロッドのリラクセーションに起因したものであることが判る。

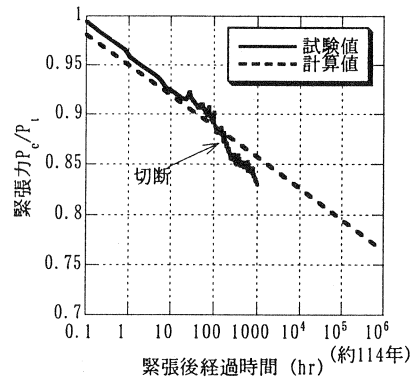


図-7 定着性能試験結果

(4) せん断試験結果

荷重方法は両端のブラケットブロックを支点とし、中央の主桁ブロックを荷重する二面せん断試験とした。なお、試験結果はせん断面一面あたりで評価した。結果を表-2に示す。試験体は作用せん断力が滑り荷重に達するまで、ブロック間のずれやアラミドFRPロッドの抜け出しは認められなかった。滑り荷重において主桁ブロックは滑動し荷重は急激に低下する。その後、ブラケットブロック内のアラミドFRPロッドの付着破壊が進み、抜け出し量が増加し終局に至った。ブロックにずれが生

じた滑り荷重は、計算値に対して十分な安全率を有している。また、本橋の使用状態における外ケーブルの緊張力は 280kN/基 であるのに対し、本試験の滑り荷重は実施工定着ブラケットにおいて 1956kN/基 に相当する。滑り荷重までブラケットは滑動していないことから、部材は使用荷重時および終局荷重時に十分な安全性があるといえる。

5. おわりに

外ケーブル方式による補強工法は、設計活荷重の変更に伴うコンクリート構造物の応力の改善、ひび割れ制御やたわみの改善、あるいは単純桁の連続化など適用事例も多く補強工法として確立している。その多くは、ポストテンション桁橋やボックス桁橋などの構造に採用されており、外ケーブル用定着ブラケットの製作・緊張、そして外ケーブルの緊張作業などの施工が困難であることを理由に、プレテンション桁橋など小規模構造には適用されていないのが現状である。

今回開発したアラミド緊張材によるプレテンション定着工法は、プレテンション桁橋の狭隘な施工環境に適用するため、定着ブラケット本体をワイヤーソーで切断することでプレストレスの導入を行う方式としている。これにより、これまで困難であったプレテンション桁橋の外ケーブル補強工事が可能となり、施工においては、配筋、型枠、打設などの施工効率の向上が図れ、さらに緊張時の中間サポートが不要となったことで施工コストの低減に寄与することができた。

写真-5 に橋体下面よりの完成状況を示す。

最後に、これまで外ケーブル工法によるプレテンション桁橋の補強や連続化に際し、定着ブラケットの施工が問題となり計画に苦慮してきたケースが多々あったのではと推察される。今後、このような条件下での補強計画に本稿が参考となれば幸いである。

表-2 せん断試験結果

緊張材	計算値 (kN)	試験値 (kN)	試験値 /計算値	換算耐力 (kN)
5φ6.0	180	326	1.81	1956

注) 計算値は設計せん断伝達耐力式³⁾より算出し、部材係数 $\gamma_b=1.0$ 、材料係数 $\gamma_c=1.0$ とした。
換算耐力は実施工ブラケット1基あたりの耐力である。

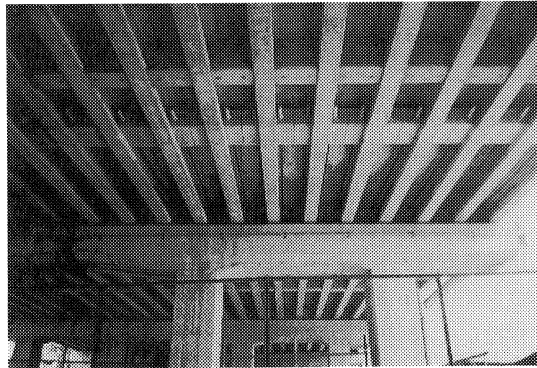


写真-5 完成状況 (橋体下面)

【参考文献】

- 1) 浅井他：アラミド緊張材を用いた外ケーブル定着ブロック工法論文集，連続繊維補強コンクリートに関するシンポジウム，日本コンクリート工学協会 (1998.5)
- 2) 中井他：アラミド緊張材を用いた外ケーブル用ブラケットの設計と施工，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18, No1, 日本コンクリート工学協会 (1996.6)
- 3) 平成8年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，土木学会，(1996.3)
- 4) 永井他：曽根高架ほか2橋の橋梁補修工事，プレストレストコンクリート，Vol137, No6, Nov.1955
- 5) 佐藤他：アラミド緊張材を用いた外ケーブル用定着構造の実験的研究，土木学会第50回年次学術講演会，平成7年9月
- 6) 浅井他：アラミド製FRPロッドの応力緩和特性，土木学会第46回年次学術講演会，土木学会，(1991.9)