

■ 定着用膨張材による FRP 定着法の開発と展開

長崎大学 名誉教授 原田哲夫



1. はじめに

筆者は長年、東京製綱㈱、現在は東京製綱インターナショナル㈱のご厚意により、CFRP より線の提供を受けながら、連続繊維緊張材（以後 FRP と記述する）の定着に関する研究を行ってきた。本稿では、筆者が開発した定着用膨張材（Highly Expansive Material ; HEM）を用いた FRP の定着法、いわゆる HEM 定着法について、その発想の経緯と実構造物への適用事例について紹介したい。

2. HEM 定着法の発想

筆者は 1980 年代の初頭に、「静的破砕剤を用いたコンクリート構造物の解体に関する研究」に取りかかった。静的破砕剤は、ダイナマイトに替わり、転石や岩盤あるいはコンクリートを無騒音、無振動で飛散することなく、また粉塵・ガスなども発生せず、安全かつ無公害に破砕できる材料である。静的破砕剤は、セメント状の粉体で、適量の水で練り混ぜ、スラリー状にしたものを岩盤やコンクリートなどの被破砕体に、あらかじめ穿孔した孔中に充填する。充填後はそのまま放置するだけで、硬化・膨張して数時間後には、孔間に貫通ひび割れを発生させ、その後の解体・撤去作業を容易にするという特長を持っている。最適な孔間隔と配置形などを決定する破砕設計においては、どの程度の膨張圧が作用した段階で、孔間に貫通ひび割れが発生するのか、しかも、硬化した状態の膨張圧をいかに測定するかが重要となる。

そこで、外管法、内管法、ダイヤフラム法といった独自の膨張圧測定法を開発した。鋼管（外管）の中に内管型圧力センサーを挿入して、いわゆる二重管試験を実施した結果の一例が図-1 である。これより、常温では 48 時間で 40MPa 以上の高膨張圧が発生するとともに、外管、内管それぞれに作用する膨張圧はほぼ等しくでている。このような性状は、内管に該当する形状が扁平なダイヤフラム型圧力計でも同様であった。これらの実験結果から、「静的破砕剤の膨張圧は高膨張圧で、液圧的に伝播する」ことがわかった。

一方、1980 年代も終盤にさしかかった頃、FRP は高強度、高耐食性、軽量、非磁性と、多くの長所を有するため、筆者は FRP を PC 緊張材として用いる研究を開始した。当然のことながら、PC 緊張材として使用するために最も重要なのは、定着方法である。材料の引張試験を行うためにも、材料を掴む装置としての定着具は欠かせない。ところが、一般に FRP は一方向性材料で、表面がデリケートなため、局部的な支圧やせん断に対して弱く、従来の PC 鋼材などで用いられる定着法では、FRP 本来の引張強度に達する前に定着部での破断が生じる。そのため、新たな定着方法を開発しなければならなかった。

この時、前述の二重管試験をすぐに思い出した。二重管試験終了後、内管型圧力センサーを再利用のために取り出すには、結局のところ、外管をカッターで軸方向に二つ割りして拘束を外すしかなかった。見方を変えれば、それほど強固に、内管型圧力センサーは、硬化した静的破砕剤の膨張圧によって「定着」されていたことになる。「図-1」で示した内管に相当する部分をFRPに置き換えれば、FRPの定着ができる」との着想、すなわち、「破砕する材料」から「定着する材料」への発想の転換は、上記のような体験に基づき、ごく自然な成り行きで出てきたのである。なお、この静的破砕剤の膨張圧特性を活かしながら、充填作業性や膨張圧の発現時間などの観点から、定着用に改良されたものが「定着用膨張材 (HEM)」であり、市販されている。

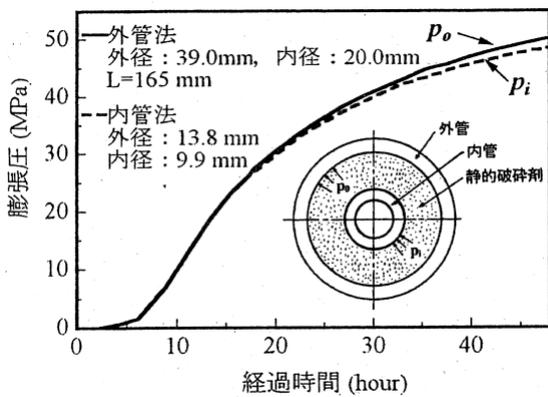


図-1 二重管試験における膨張圧の経時変化

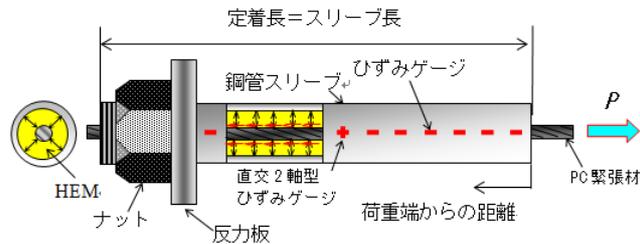


図-2 HEM 定着の概要 (I 法)

3. HEM 定着法の概要と実構造物への適用例

HEM 定着法は高膨張圧を利用し、膨張圧が均等に作用するため、ソフトタッチで応力集中が生じない定着法であり、当初はCFRPより線などのFRPの定着法として開発した。現在ではFRPに限らず、通常のPC鋼材の定着法としても有用であることが実証されている。

図-2に示すように、鋼管スリーブの中心位置にPC緊張材を挿入・セットし、隙間に定着用膨張材 (HEM) スラリーを充填する。前章で述べたように、HEM スラリーは充填数時間後に硬化・膨張し、常温 48 時間で 40MPa 以上の高膨張圧を発生する。膨張圧の伝播は液圧的であり、FRP は高膨張圧によって鋼管スリーブと一体化した定着体が得られる。所定の膨張圧に達した後に、例えば引張試験を行う場合は、引張試験機にこの定着体をナットで固定することにより、FRP の 100%破断荷重まで確実に定着できる。

HEM 定着法は、従来のPC定着法とは全く異なった着想に基づいており、市販のFRPに対して、その種類や断面形状、断面寸法、シングルあるいはマルチ配置によらず、所定の膨張圧が発生できる鋼管などの拘束体を用いれば、局所的な応力集中なく定着できる。紙面の関係で、定着機構や定着具の設計については、「定着用膨張材によるCFRPより線とPC鋼より線の定着機構に関する研究」(土木学会論文集E2, Vol. 70, No. 4, pp. 370-389, 2014年11月)を参照いただきたい。なお、本研究に対して、平成27年度土木学会賞田中賞(論文部門)を受賞した。

HEM 定着法のメリットの一つは、マルチケーブル配置が容易にできることであり、図-3のように実際のグラウンドアンカーのアンカーヘッドに使用されている。CFRPより線をはじめとするFRPは、PC鋼材では腐食してしまう温泉土壌や塩害環境下での使用に最適である。また、軽量であるメリットが活かされ、重機を使うことが困難な急斜面などの施工現場では、軽量受圧版と組み合わせたグラウンドアンカーとして使用されている。図-4に、温泉土壌の急斜面地(箱根)で、CFRPより線を用いて施工されたグラウン

ドアンカーの状況を示す。HEM 定着法は国内に限らず、米国では PC 橋の主ケーブルおよび横締め線の定着として用いられ、実績を拡大しつつある。



図-3 マルチ配置の CFRP より線に HEM が充填された状況



図-4 温泉土壌における軽量受圧版を用いたグラウンドアンカー

4. おわりに

HEM 定着に関する研究を約 30 年間実施してきた。「長期間、緊張力は保持されるのか、低下しないのか。」との質問がよくある。これに対しては、約 30 年間 HEM 定着により緊張・定着した CFRP より線の試験体のデータがあり、緊張力の低下量は、HEM の膨張による軸方向の抜け出し変位と CFRP より線のリラクゼーションによるものとで算定できることがわかっている。軸方向の抜け出し変位にともなう緊張力の低下量は、部材長が 10m 以上になれば、ほとんど無視できるほど小さいこともわかっている。また、HEM の化学分析も実施中で、これらの結果がまとめれば、論文として改めて報告する予定である。

最後に、写真を提供していただいた東京製綱インターナショナル(株)に深謝いたします。

『強化プラスチック協会 第21回 先端材料・技術研究会』にて発表

2020年2月18日、首都大学東京 国際交流会館にて『強化プラスチック協会 第21回 先端材料・技術研究会』が開催されました。

一般社団法人強化プラスチック協会は「強化プラスチック産業一般に関する生産・技術等の調査、研究および指導並びに普及などを行い、わが国の産業の発展に資すること」を目的に、昭和30年（1955年）4月に発足し、以来60年FRP業界人とFRP研究者、そしてFRPユーザーが一体となって構成するユニークな組織として、様々な事業を展開し、わが国のFRP産業の発展に寄与してきました。FRPの原材料メーカー、成型加工メーカーの他、商社等も含め、現在107社が参加する大変大きな組織です。

昨年同協会事務局より首記研究会でのACCとしての講演を依頼され、技術委員会の渡部委員より「建設用先端複合材技術協会(略称:ACC)の近年の取り組みについて」のタイトルで発表を行いました。80余名の参加者が集まり盛会となりました。

今後、強化プラスチック協会の協会誌「強化プラスチック」への、ACC紹介の寄稿を予定しておりACCの活動状況の更なる発信考えていきたいと思っております。



写真-1 発表する渡部技術委員

アラミド FRP ロッドを用いた RC 橋脚の耐震補強

= 開橋(ひらきはし) =

継続実績より

617

昭和 34 年に建設された開橋において、アラミド FRP ロッドを緊張材として用いた壁式 RC 橋脚の耐震補強工法を実施しました。本工事は、河川内作業ができない条件下において、RC 橋脚主筋の段落とし部の曲げ補強を行うことを目的としています。

本工法は、橋脚天端から緊張材を挿入して緊張することで、プレストレスを与えて橋脚の曲げ補強を行うものです。アラミド FRP ロッドは、軽量、高強度で柔軟性に優れており、表面には付着定着性能を高めるため突起が設けられています。このような特性から、本工法の緊張材として最適な材料です。

施工は、①橋脚天端からコンクリートコアを削孔 ②アラミド FRP ロッドの挿入、1 次定着 ③アラミド FRP ロッドの緊張、2 次充填 ④アラミド FRP ロッドの端面仕上げ の順で行いました。本工事では、P1 橋脚においてアラミド FRP ロッド(テクノラ-9φ7.4)を 12 本、P5 橋脚において 7 本を使用しました。
(工事名：都計 3・2・42 大津町線開橋改築工事 (下部工補強工))

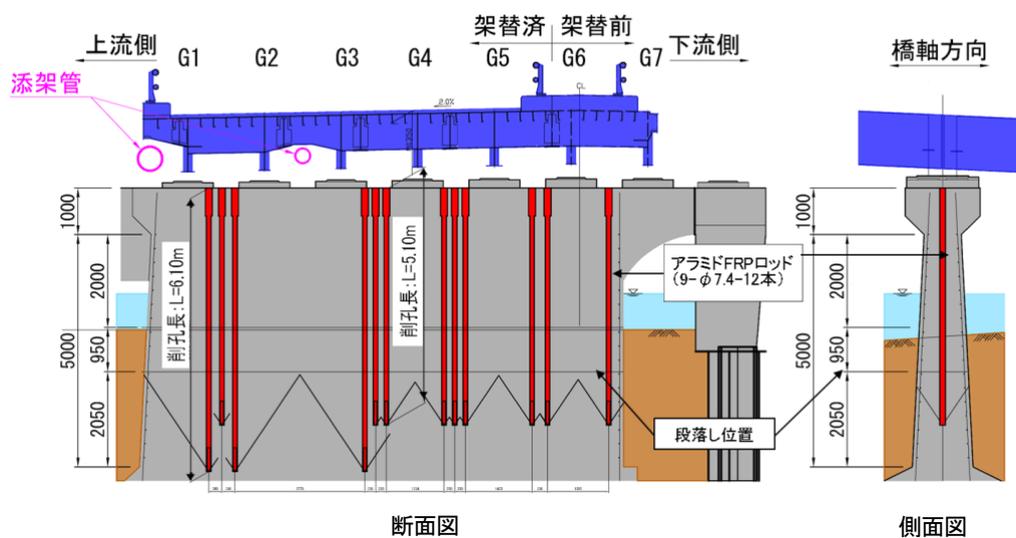


図-1 補強図(P1 橋脚)



写真-1 アラミド FRP ロッドと定着体



写真-2 アラミド FRP ロッド挿入状

※ACCトピックス Vol.30 施工実績一覧表 No.617 をご参照下さい。

FRP グリッド材を用いたコンクリート補強事例 ＝導水路トンネル補強工事＝

継続実績より

641

本導水路トンネルは熊本県に位置し、延長 2600mの発電用導水路トンネルです。供用開始以来数十年経過し、覆工コンクリートにひび割れや摩耗等の変状が観察されるようになりました。そこで軽量かつ補強性能、耐蝕性に優れた炭素繊維格子筋を用いたポリマーセメント補修・補強工法が採用されました。

FRP グリッド増厚・巻立て工法はコンクリート構造物の表面に FRP グリッドを配置し、増厚材（PCM，エポキシ樹脂）を増厚あるいは巻立てて既設コンクリートと一体化することにより耐震性・耐荷性および耐久性の向上を図る工法です。

FRP グリッドは軸筋も格子交差部も極めて高い強度があり、増厚材に確実に定着・一体化されます。例えばトンネルの覆工コンクリートを FRP グリッド増厚補強した場合、既設覆工コンクリートと増厚部が一体化し、FRP グリッドが引張力を負担し、コンクリート表面に発生する引張力を負担することで、耐震性を向上させ、コンクリート表面のひび割れ発生防止することで、トンネルの耐久性を大幅に向上させることが可能です。また FRP グリッドは軽量であることから人力による運搬が可能であるという特長を有します。

工事内容は、発泡ウレタンによる空洞充填、覆工コンクリート側壁部・アーチ部の FRP グリッド補強、インバートコンクリート打設工、水圧鉄管補強工からなり、本トンネルは総延長が長いことから内燃機関が使えず、すべての機械・工具類は電動方式を採用しました。実稼働 2 年で FRP グリッド補強工を完了し、現在順調に発電用に供用されています。



写真-1 FRP グリッド設置状況

FRP グリッド特性値

品番	:FTG-CR4-50P
筋断面積	:6.6mm ²
格子間隔	:50×50mm
引張強度	:1,400N/mm ²
引張弾性率	:100,000N/mm ²

ACC 施工実績一覧表

続報

NO	施主	名称	所在地	規模	用途・緊張方式	使用材料及び使用量	施工
629	兵庫県	橋梁修繕(田尻橋外)工事	兵庫県	橋長19.41m	床版上面補強(拡幅)	高弾性リッドライン HM8 φ 131m	2018年11月
630	滋賀県多賀町	大滝橋補修工事	滋賀県	橋長27.8m 幅員4.8m	床版上面補強	高弾性リッドライン HM8 φ 83.79m	2018年11月
631	岐阜県中津川市	坂本133号線道路改修工事(稲荷橋)	岐阜県	橋長27.4m 幅員9.65m	床版上面補強(拡幅)	高弾性リッドライン HM10 φ 325.02m	2019年2月
632	関東地方整備局 宇都宮国道事務所	新川島橋	茨城県	橋脚2基	AWS橋脚補強	テクレー 9φ7.4緊張材 φ7.4mm 2094m	2019年2月
633	名古屋市長政土木局	都計3・2・42大津町線開橋改築工事 (下部工補強工)	愛知県	2基(P1、P5)	河川内作業を伴わない 橋脚の曲げ補強	アラミドFRPロッド 9-φ7.4 19本	2019年4月
634	東北地方整備局 山形河川国道事務所	長瀬こ道橋(升形IC橋外上部工工事)	山形県	橋長17.8m 製作数18本	高耐久仕様桁の 桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=469.3m	2019年4月
635	岩手県田野畑村役場	平成30年度村道沼腰三沢線 日向橋橋梁上部工工事	岩手県	桁長10.74m 桁高450mm 製作数9本	高耐久仕様桁の 桁端面補強	CFCC 1x7 15.2 φ L=150m	2019年5月
636	神奈川県	足柄大橋耐震補強工事	神奈川県	橋脚1基	AWS橋脚補強	テクレー 9φ7.4緊張材 φ7.4mm 8381m	2019年7月
637	東北地方整備局 三陸国道事務所	吹切橋上部工工事(吹切橋)	岩手県	橋長21.6m 製作数14本	高耐久仕様桁の 桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=233.59m	2019年7月
638	沖縄総合事務局 開発建設部	那覇港(泊ふ頭)臨海道路 橋脚下部補強工事P19	沖縄県	橋脚1基	鉛直プレストレスによる橋 脚耐震補強	テクレー 9φ7.4緊張材 φ7.4mm 7634m	2019年11月
639	岩手県北広域振興局 農政部 二戸農林振興センター	町道1号橋 (農地整備事業(経営体育成型) 鳥海地区第11号工事)	岩手県	橋長13.6m 製作数7本	高耐久仕様桁の 桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=117.32m	2019年11月
640	北陸地方整備局 新潟国道事務所	切尾橋耐震補強工事	新潟県	橋脚1基	AWS橋脚補強	テクレー 9φ7.4緊張材 φ7.4mm 729m	2019年12月
641	民間企業	導水路補修補強工事	熊本県	-	導水路補強	トウクリット FTG-CR4-50 3,100㎡	2020年1月
642	気仙沼市水産基盤整備課	宿舞根(藤北地区)漁集事業 2号集落道外整備工事	宮城県	桁長10m 桁高450mm 製作数12本	高耐久仕様桁の 桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=198m	2020年2月
643	名古屋市長政土木局	都計3・2・42大津町線開橋改築工事 (下部工補強工)(その2)開橋改築2	愛知県	下部工補強工 5基(P2(上 流側)、P3(上・下流側)、 P4(上・下流側))	緊張材	テクレー 9-φ7.4 N=61本 (P2:13本、P3:12本、P 4:12本)	2020年3月



編集後記

会員皆様からの情報を積極的に掲載してまいります。ご寄稿をお待ちしております。

建設用先端複合材技術協会

事務局(瀬尾) 〒103-8306 東京都中央区日本橋 3-6-2 日本橋フロント 東京製綱インターナショナル株式会社内
Tel:03-6366-7797 Fax:03-3270-1776 E-mail: info@acc-club.jp