

(53) 連続繊維補強材のノンメタリック緊張定着工法開発に関する研究

(株)富士ピー・エス 本店技術部 正会員 ○徳光 卓
 長崎大学 構造工学科 正会員 原田 哲夫
 鹿児島大学 海洋土木工学科 ミョーキン
 (株)富士ピー・エス 本店技術部 正会員 村上 忠彦

1. はじめに

近年、耐久性の向上や構造物の非磁性化を図る目的で炭素繊維やアラミド繊維などの連続繊維補強材の試用・検討が行なわれているが、未だ一般的な建設材料と呼ぶには程遠いのが現状である。

これら連続繊維補強材が使用されない理由としては設計施工手法が確立されていない事のほか、その材料費がPC鋼材に比べ極めて高価格であることが挙げられる。このような材料の場合、定着部が原因で連続繊維補強材が持つ引張耐力以前に破断したり、定着部の腐食により緊張力の抜けが起こるのでは、高価格に見合う耐久性を持つことにはならないと考えられる。

現在、連続繊維補強材用のポストテンション定着具として様々な形式のものが使用されているが、その材質は金属製が主流であり、また、一部にノンメタリック定着具の使用例があるものの、筆者らが知る限り、そのサイズや施工性などは必ずしも実用的でないように思える。

筆者らは連続繊維補強材定着法として「膨張材による定着法」を開発し、並行して定着具のノンメタリック化に取り組んできたが、このたび膨張材による定着法を用いた実施可能なシングルケーブル用のノンメタリック緊張定着工法を開発し、その緊張定着実験に成功した。

本論ではその緊張定着工法と共に、その定着性状の鋼製定着体との比較について述べる。

2. 連続繊維補強材の緊張定着方法

定着用膨張材を用いた連続繊維補強材の定着方法として、主として金属定着体の緊張定着や片引きノンメタリック緊張定着に使用される工法(以後、I法と呼ぶ)、ノンメタリック定着体の両引き緊張定着に使用される工法(以後、II法と呼ぶ)の2法を考えている。

I法は図-1に示す通りであり、下記手順により緊張定着する。①コンクリート部材に連続繊維補強材を通したのち、金属定着体を挿入・取り付ける。②定着用膨張材を充填する。③所定の膨張圧発現を確認したのち緊張し、ロックナットによりネジ定着する。

II法は図-2に示す通りであり、下記手順により緊張定着する。①コンクリート部材に連続繊維補強材を通したのち、ノンメタリック定着体・金属定着体および治具を取り付ける。②金属定着体を緊張・仮定着する。③連続繊維補強材が緊張された状態でノンメタリック定着体に定着用膨張材

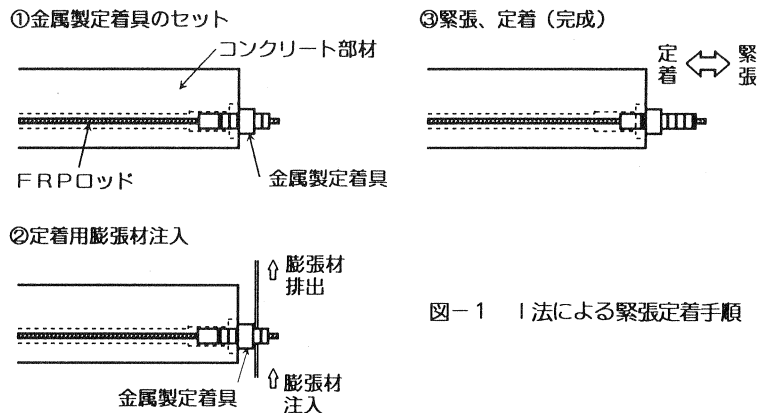


図-1 I法による緊張定着手順

を充填する。④所定の膨張圧発現を確認したのち、仮定着を解いてノンメタリック定着体に緊張力を移す。
⑤金属定着体・ラムチェア・治具を取り除き、定着部端面をシールし完成する。

II法はI法に比べて施工が繁雑となる反面、ノンメタリック定着具にネジ等を切る必要がなく、原理的に連続繊維補強材の長さに関係なく施工できるメリットを有する。なお、II法の仮緊張用定着具の定着方式に制約はない。

3. ノンメタリック定着具

より線状炭素繊維ケーブルφ12.5mm用ノンメタリック定着具の外観を図-3に示す。

本緊張定着法は現場において定着体を取り付ける後付け工法であり、ノンメタリック定着体の重量が軽く(比重1.5)、ハンドリングも良いこと、定着体を後付けするためシース径・定着部の切り欠きも最小限で済むことなどのメリットを有する。

ノンメタリック定着具は熱硬化性エポキシ樹脂製であり、膨張圧と緊張時の支圧力に対し、その内部に炭素繊維スパイラルと軸方向筋を二重に配置することにより補強している。

また、その定着は定着具前面の支圧によってなされるため、ネジなどの特別な加工は行っていない。

定着具は支圧側にネオプレンゴムパッキング、その反対側に膨張材注入用の治具を取り付けて使用する。

膨張材は治具の側から片押しによって充填するが、これらは事前に透明アクリルパイプ製の模擬定着体での充填実験を実施し、パッキングを水密かつ気密でない構造とすることで可能となったものである。

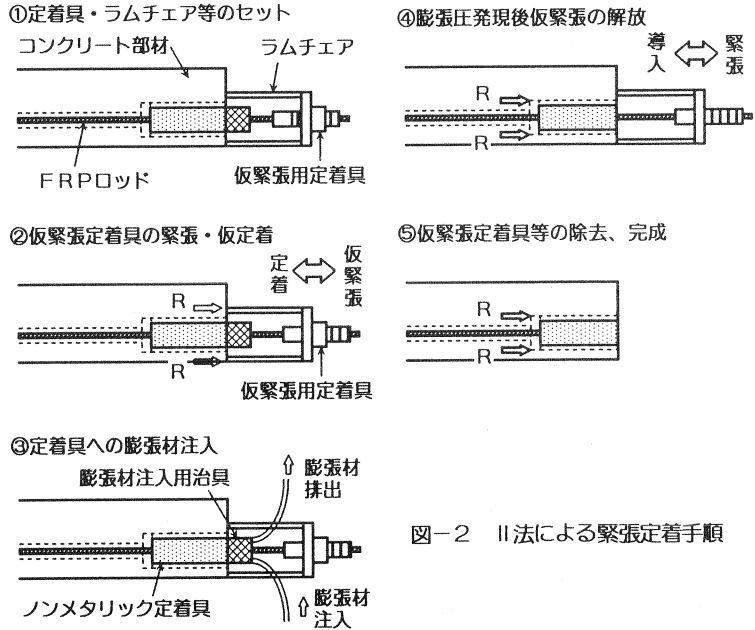


図-2 II法による緊張定着手順

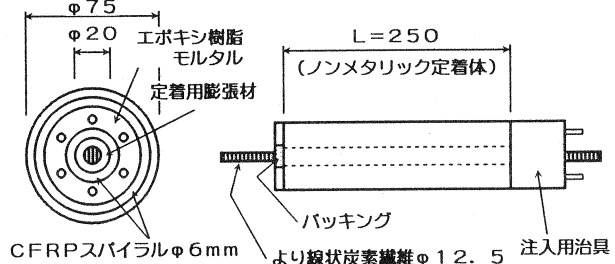


図-3 CFRP φ12.5mm用ノンメタリック定着具

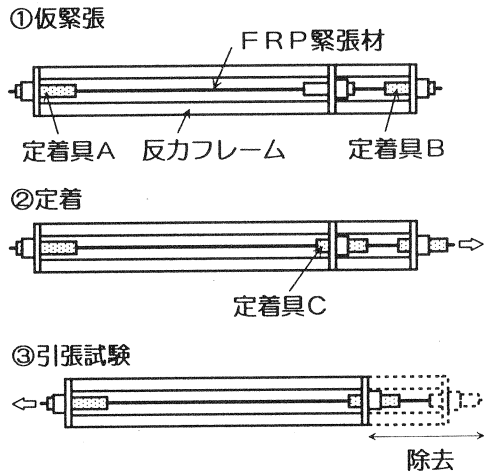


図-4 緊張定着・引張試験要領

4. 緊張定着・引張破断試験方法

II法における緊張定着試験要領を図-4に示す。実験に用いた連続繊維補強材はより線状炭素繊維ケーブルφ12.5mmであり、前述のプレストレス導入と同様の手順により、定着用膨張材の水膨張材比を27%、所定膨張圧を400kgf/cm²とし、仮緊張時の緊張力は12tf

(ケーブルの破断耐力実測値17tf×0.7)として緊張定着試験を行なった。定着完了後、定着具Aにテンションバーを接続し引張試験を行なった。試験はA側から終局に至るまで緊張する事により行い、定着具Cの性能を確認した。

I法については図-4の③の状態から始め、同様にA側から緊張し終局まで引張試験を行った。

定着具A・Bには膨張材定着方式の鋼製ネジ定着体を用い、定着具Cにはノンメタリック定着体のほか、比較のため前記の鋼製ネジ定着体を用い、図-5に示すとおりそのロックナット位置を口元ナット定着、後部ナット定着の2種類に変化させ試験した。

定着具Cの表面には図-6に示すとおり、2cm間隔でストレインゲージを貼付し、緊張定着試験では導入時の定着効率、引張試験時には定着荷重以上の緊張力に対する定着効率と終局状態での定着部の挙動を検討した。

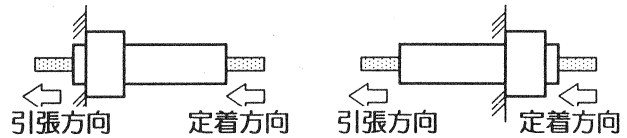


図-5 鋼製定着体ナット定着位置の違い

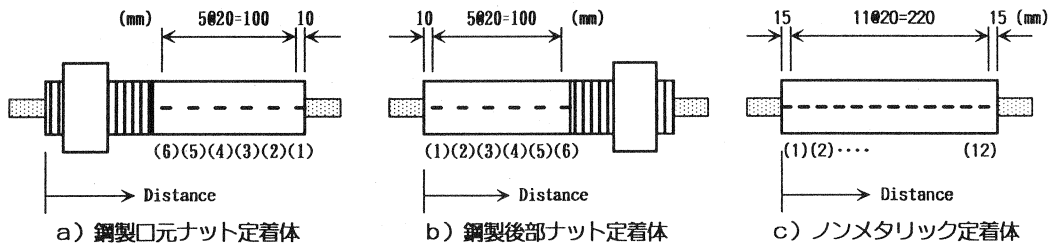


図-6 定着具Cのシリーズとストレインゲージ貼付位置

5. 実験結果とその考察

5.1 ノンメタリック緊張定着法の施工性

写真-1にノンメタリック定着体の取り付け状況を示す。ノンメタリック定着体の挿入取り付けには若干の手間を要したが、その施工性低下の原因は定着具表面に数多く貼付した計測用のストレインゲージによるものが大半であったため、実施工上は問題にならないと推察される。

また、ノンメタリック定着体への定着用膨張材充填は漏れもなく順調であり、実験終了後に充填状況を調査し、定着体の端部まで膨張材が隙間なく充填されていることを確認した。

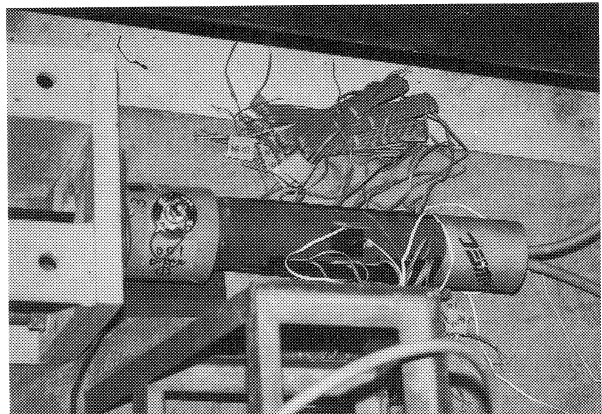
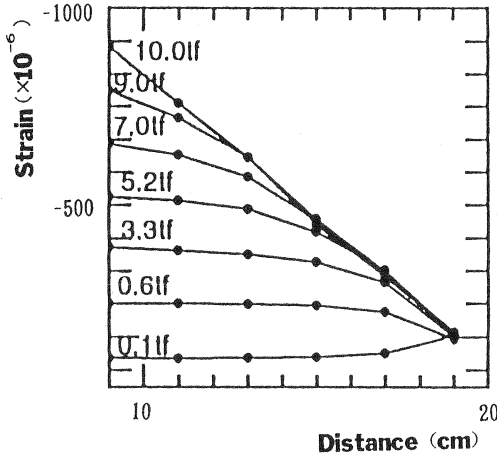
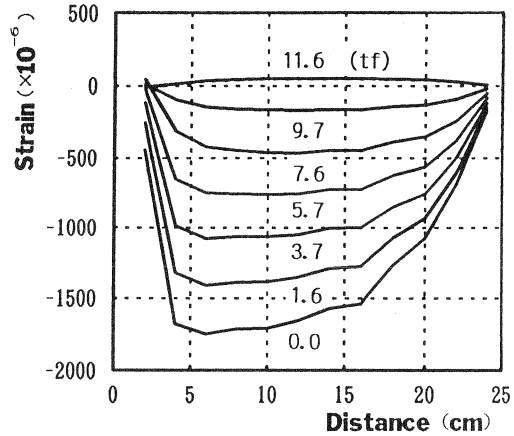


写真-1 ノンメタリック定着体取り付け状況



a. 鋼製口元ナット定着体



b. ノンメタリック定着体

図-7 II法による定着時の定着体表面ひずみとその発生位置の関係

II法における仮緊張は12tfで行ったが、緊張してから定着具への膨張材充填・膨張圧発現までに緊張力は11.3tfまで低下し、さらに仮緊張を解いた段階で10.0tfまで低下した。鋼製定着体でこの低下が見られなかったこと、定着具に取り付けたクリップゲージ・ストレインゲージの計測結果で定着具からの緊張材の異常な抜け出しは確認されなかったことから、前者は連続繊維補強材のなじみ、後者はノンメタリック定着体のセットロスおよび弾性変形によるものと推察され、本実験の反力枠長が1.2mと短かった事を考えれば、実施工上は問題無いものと考えられる。

5.2 定着性状

図-7にII法における定着時(仮緊張解放時)の定着具表面ひずみ分布を示す。図の横軸は定着具内側端部からの距離を表している。両定着体とも緊張力の導入に伴ってプレテンション方式でのプレストレス導入時の伝達長に相当する定着長が見られ、両者とも緊張材が滑り込みながら定着されていることがわかる。

図-8にノンメタリック定着体II法引張試験時の定着具表面ひずみ分布を示す。引張試験時も定着時と同様に緊張力の増加に伴って定着長が長くなっており、緊張力に応じた抜け出しを生じていることがわかる。

図-9に鋼製後部ナット定着体におけるI法・II法引張試験時の定着体表面ひずみと緊張力の関係について示す(図中()内は計測点位置を示している)。I法では緊張力が増加するにしたがって、各ゲージのひず

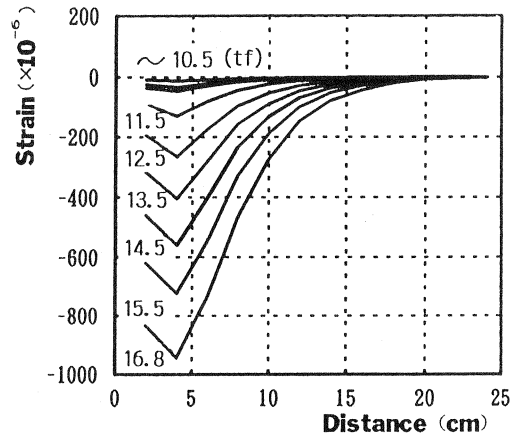


図-8 ノンメタリック定着体II法引張試験時の定着具表面ひずみと発生位置の関係

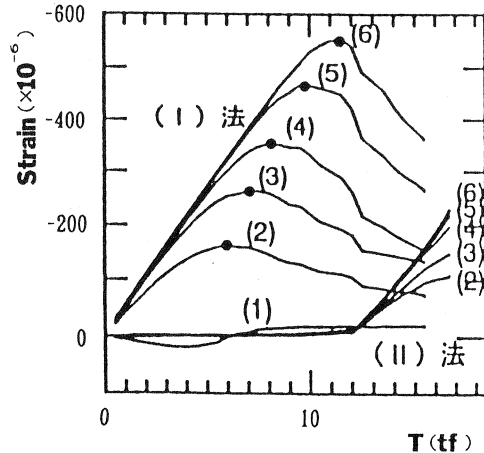


図-9 鋼製後部ナット定着体の引張試験時緊張力と定着具表面ひずみの関係

み緊張力直線は曲線へと変化し、いずれもあるピークを示したのち下降しており、Ⅱ法では初期緊張力12tfまで変動はなく、これを過ぎた時点でⅠ法をシフトした状態の挙動を示している。これらは緊張材と定着用膨張材との付着が限界に達し、ずれ始めた事を表している。

図-10に口元定着の場合を示すが、この場合のⅡ法におけるずれは初期緊張力よりかなり小さな荷重からずれ始めていることがわかる。

図-11にノンメタリック定着体のⅠ法引張試験時の定着体表面ひずみと緊張力の関係を示す。Ⅰ法の引張試験では緊張力8tf以降から「カン、カン」といった断続的な金属音の発生があり、13.75tfで一度明らかな抜けを生じたあと15.94tfで終局に至った。グラフに表れる階段状の変化は荷重に対して急激にひずみが増したことを示しており、金属音は軽微な抜けを表すものと推察される。筆者らの経験によればこれは膨張材と定着体内面のすべりに特有の現象であり、何らかの理由でスリーブ内面に樹脂モルタルが漏れ、スパイラル筋表面に断続的な樹脂の膜ができた事が原因と推察される。

図-12にノンメタリック定着体のⅡ法引張試験時の定着体表面ひずみと緊張力の関係を示す。Ⅱ法では音その他抜けの発生を示す兆候が見られないまま、16.96tfでケーブルが破断し終局に至ったが、図の傾向は図-10の鋼製口元ナット定着体と同様である。

図-13に口元ナット定着鋼製定着体およびノンメタリック定着体の緊張力と定着長の関係を示す。横軸は緊張力に対するずれの開始点であり、a図におけるLa、Lbは各々導入時、引張時の定着長を表し、LaとLbの和が定着具の長さを上回ったときに抜け、下回った時には破断を生ずる事を示している。また、図中の勾配Ka、Kbは単位長さ当りの緊張保持能力(tf/cm)で、勾配Kの傾きが大きいほど定着能力に優れることを示している。

全体的な傾向としては鋼制定着体とノンメタリック定着体の性状には大差がなく、その定着機構は両者同様に取り扱って良いと考えられる。

図の定着長を見ると、ノンメタリック定着体の場合、本実験でのⅠ法の引張試験結果は抜けと破断の境界付近にあり、Ⅱ法の結果は破断領域にあることから、その緊張定着はⅡ法が適するものと思われる。

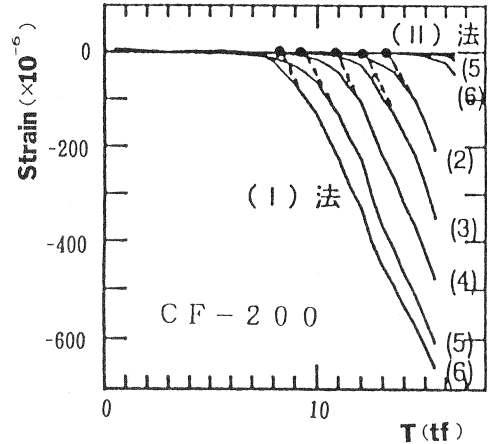


図-10 鋼製口元ナット定着体の引張試験時緊張力と定着具表面ひずみの関係

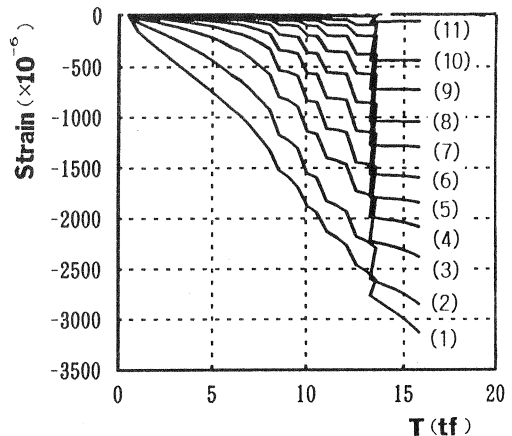


図-11 ノンメタリック定着体のⅠ法引張試験時の緊張力と定着具表面ひずみの関係

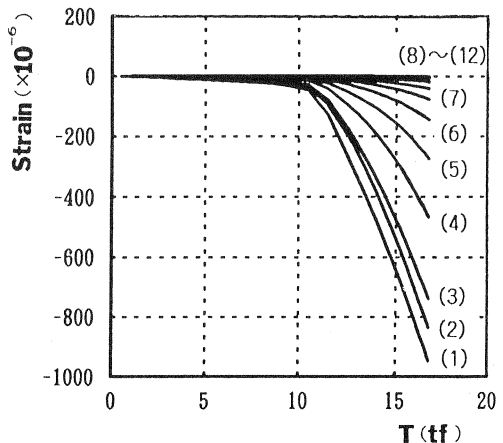


図-12 ノンメタリック定着体のⅡ法引張試験時の緊張力と定着具表面ひずみの関係

K値から見た定着能力は、定着時、引張試験時共、ノンメタリック定着体の方が鋼製定着体に比べて優れ、ノンメタリック定着体の引張試験時はⅡ法がⅠ法に比べて優れる結果となった。その原因として前者は定着体の弾性係数が小さいために連続繊維材料との相対的なひずみ差が小さくなった事、後者はⅠ法試験時のK値がすべりを含むものである事などが推察されるものの、供試体数が少なくその特定は不可能であった。

6. まとめ

本論の要点をまとめると下記のとおりである。

①今回開発したノンメタリック定着具を用いた連続繊維補強材の緊張定着工法は実施工が可能である。

②ノンメタリック定着具の緊張定着法としてはⅡ法が適している。

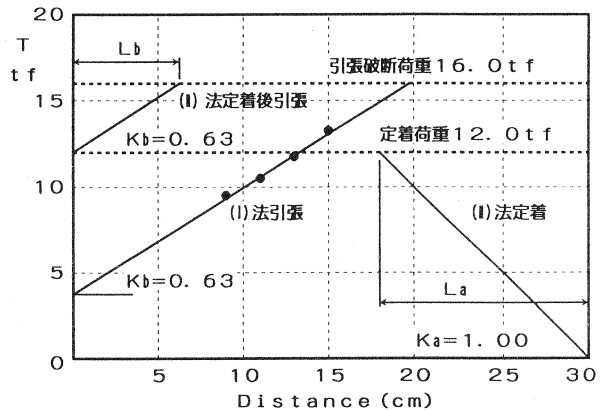
③鋼製定着体とノンメタリック定着体の定着性状に大差はない。

今回開発したノンメタリック緊張定着法は、現在、施工時に仮緊張時の緊張力保持のためのラムチェアが必要になること、膨張材の充填から所定の膨張圧発現までに約2日を要することなどの問題を有しており、まだ改善すべき施工的課題を残すものである。

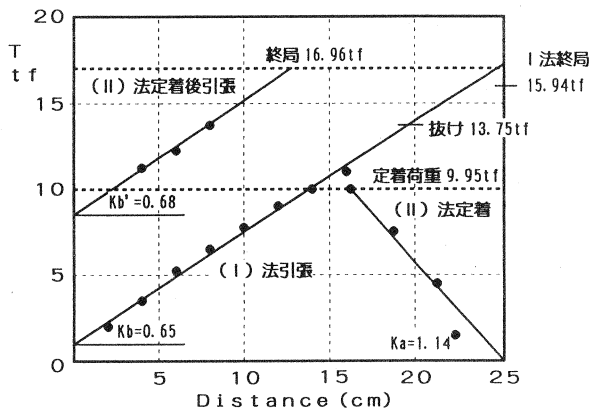
しかしながら、これまで全く不可能であったものを実施工への適用が可能にまでした技術的進歩は大きく、本開発が連続繊維補強材を用いたPC工法への発展に寄与することを願うものである。最後に、本緊張定着工法のノンメタリック定着体開発には東京製綱(株)、ショーボンド建設(株)が参画したことを付記し、併せて「膨張材による定着法研究会」各位に御礼申し上げます。

参考文献

1. 山崎竹博・出光隆・前口剛洋・渡辺明：CFRP管内に充填した定着用膨張材による連続繊維定着に関する研究、プレストレストコンクリート技術協会第3回シンポジウム論文集、pp. 291~296、1992. 11
2. 徳光卓、原田哲夫、ミョーキン：定着用膨張材を用いたFRP緊張材の二段階緊張定着法に関する研究、土木学会西部支部研究発表会、pp. 846~847、1994. 3
3. 原田哲夫、ミョーキン、徳光卓、出光隆：定着用膨張材を用いたFRP緊張材の定着機構の一考察、コンクリート工学年次学術論文報告集、Vol. 16、NO. 1、pp. 1135~1140、1994



a. 鋼製口元ナット定着体



b. ノンメタリック定着体

図-13 口元ナット定着鋼製定着体およびノンメタリック定着体の緊張力と定着長の関係