

論文

[2144] FRP 緊張材用ノンメタリック定着具の開発

原田哲夫*1・出光 隆*2・ミヨーキン*3・榎本 剛*4

1. まえがき

FRP ロッドあるいはストランドを緊張材として用いる場合の最大の問題点は、定着法にある。これまで、筆者らは定着用膨張材の高膨張圧、圧力伝播が液圧的という性質を利用した簡便で、確実な定着法を開発し、耐力、長期特性、疲労特性等の基礎的な事項について検討してきている [1], [2], [3]。この方法は、鋼管（スリーブ）にFRP 緊張材を通し、鋼管とのわずかな隙間に定着用膨張材を充填し、硬化・膨張して緊張材と一体になった鋼管をナットで定着する方式を現在とっている。肝心の定着体が鋼管であれば、FRP 緊張材の特長である「錆びない」「非磁性」であるという本来の価値が半減してしまい、実用に際してはマイナス要因となる。膨張圧を拘束するスリーブがノンメタル材料で置き換えられれば、定着用膨張材による定着法で、オールノンメタリック化が達成でき、FRP 緊張材を使うメリットが最大限活かされることになる。

本論では、本定着法におけるノンメタル定着具の実用可能性を追求することを目的として、まず構成材料、構造等の基礎的な事項について検討した。次いで、シングル用、マルチ用の定着具を開発し、耐力、変形性能等についての検討を行った。

2. ノンメタリック定着具の概要

2. 1 定着具として具備すべき条件

- ①定着に必要な膨張圧 ($> 400\text{kgf/cm}^2$) が発生するだけのスリーブ自体の拘束度が確保できること。
- ②膨張圧および緊張力に対する耐力が十分で破壊に対する安全性が保証されること。
- ③上記の外力に対して、定着後の緊張力に影響を及ぼすような変形をおこさないこと。
- ④①～③の事項が長期的にも保証されること。
- ⑤疲労に対して十分安全であること。

2. 2 構成材料および構造

定着具をすべてカーボン繊維等で作製することが考えられるが、材料としてはまず、2. 1の条件を満たすできるだけ安価で、作製が容易となる材料を市販材料の中から選択することを基本とした。図-1のようにCFRP

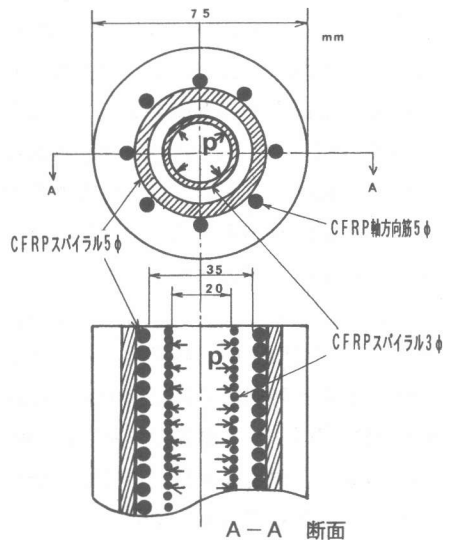


図-1 ノンメタリックスリーブ (シングル用)

* 1 長崎大学助教授 工学部構造工学科、工博（正会員）
 * 2 九州工業大学助教授 工学部設計生産工学科、工博（正会員）
 * 3 鹿児島大学助手 工学部海洋土木工学科、工修（正会員）
 * 4 東京製綱（株）研究所（正会員）

充填し、一体化する構造とした。軽量性という観点から、本研究では i) の材料を用いた。レジンモルタルは、エポキシ樹脂（加熱硬化タイプ）：珪石粉：珪砂（7号）＝1：0.8：1の割合で混合した。この比率は充填作業性の観点から決定した。表-1にレジンモルタルの物性値を示す。膨張圧によるフープテンションに対して、充填材の強度は無視して、すべてCFRPスパイラルで受け持たせ、緊張力に対しては、口元定着を行うので、口元部での圧縮応力を充填材の圧縮強度で受けもつよう設計した。なお、各スパイラルのフープテンションの分担割合は応力分布に対応させて、各々均等となるように配置した。

表-1 レジンモルタルの物性値

比重	1.74
圧縮強度	1164 (kgf/cm ²)
曲げ強度	491 (kgf/cm ²)
弾性係数	9.44×10 ⁴ (kgf/cm ²)
ポアソン比	0.29

3. シングルケーブル用定着具

3.1 膨張圧に対する挙動

スリーブの剛性が低い場合には、変形が大きくなって、定着用膨張材の膨張エネルギーが変形に費やされるため、所定の膨張圧が得られないことが危惧される。予備実験を行った結果では、満足のいく膨張圧が得られるための充填材としてのレジンモルタルの剛性は、弾性係数でおよそ10×10⁴kgf/cm²程度以上は必要と思われた。上記のレジンモルタルは、このような観点からも検討を行って得た。

さて、図-1に示すスリーブ中央の孔に、内面に直交ひずみゲージを貼付した鋼管を挿入して膨張圧を測定するとともに、スリーブ側面中央部の円周方向および軸方向のひずみを計測した。図-2は、2種類の定着用膨張材について膨張圧の経時変化を示している。いずれも48時間で300kgf/cm²以上の膨張圧が発現している。1種類は、膨張圧が多少低めであるが、温度条件において安全側で設計されているからであり、膨張圧はさらに増加する。図-3に膨張圧と各方向のひずみの関係を示す。いずれのひずみも膨張圧に対してほぼ直線的に増加している。円周方向にはCFRPスパイラルで特に強固に補強したため、

膨張圧300kgf/cm²のときで、40×10⁻⁶以下とかなり小さい。膨張圧は長期的に完全水和に近い状態では1000kgf/cm²程度に達する。p = 1000kgf/cm²を作用させた状態においても、線形的に挙動するのであれば、130×10⁻⁶程度の変形ですむ。また、p = 1000kgf/cm²の状態での円周方向におけるCFRPスパイラル破断耐力（破断強度216kgf/cm²）に対する安全率は8倍である。軸方向

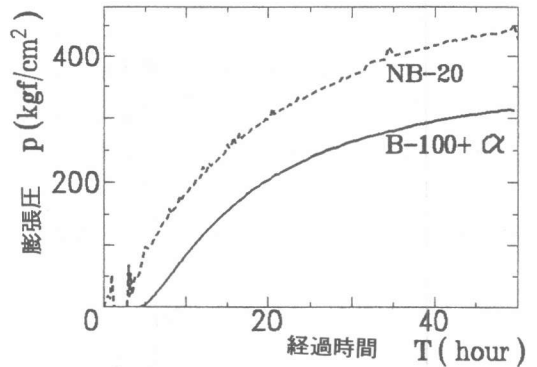


図-2 膨張圧の経時変化

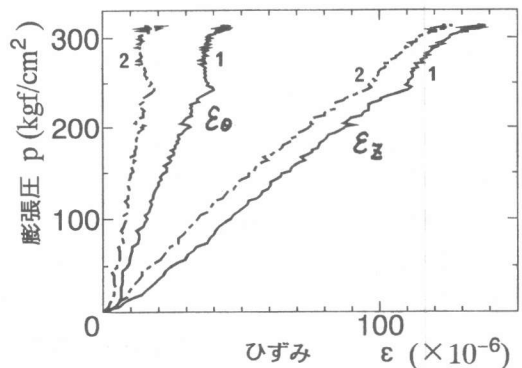


図-3 膨張圧によるスリーブ表面ひずみの挙動

のひずみは、軸方向の膨張圧によるもので、軸方向への剛性はCFRP軸方向筋量で調整できる。

3. 2 引張試験結果および考察

当初、図-1のCFRPスパイラルに相当する部分は、断面をコンパクトにする目的で、CFRPパイプで検討していた[4]。ところが、CFRPパイプ内面と定着用膨張材の付着が悪いため、膨張圧が高いにもかかわらず低い荷重でパイプとの境界で引き抜けを生じた。そこで、今回のように、内側のCFRPスパイラルに直接膨張圧を作用させ、表面の凹凸で機械的な抵抗を増やす方法に変更した。図-4はスリーブ長さ $L=11.5\text{ cm}$ とし、膨張圧 p を変化させ、CFRPストランド $\phi 12.5$ を用いて引き抜き試験を実施した結果である。この場合、引き抜けはすべて定着用膨張材とCFRPストランドとの境界で生じた。引き抜き荷重(T)をストランドの有効付着面積(UL)で除して平均付着応力($\tau = T/UL$)を求め、膨張圧 p との関係で表せば次式となる[1]。

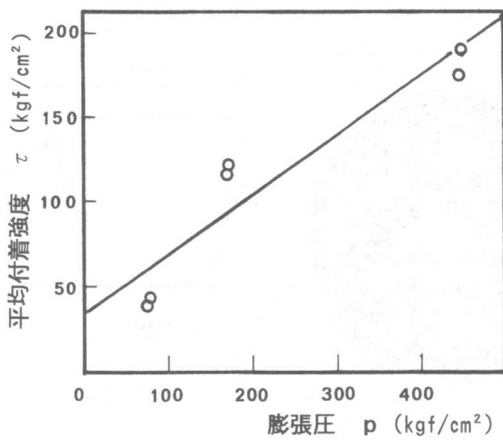


図-4 T/UL と膨張圧の関係

$$T = UL (\tau_0 + \mu p) \quad (1)$$

ここに、 μ ：定着用膨張材とCFRPストランドの摩擦係数、 τ_0 ：膨張圧がみかけ上ゼロの場合の付着強度である。最小自乗法で求めると、 $\mu = 0.347$ 、 $\tau_0 = 34.7\text{ kgf/cm}^2$ を得る。スリーブが鋼管でナット定着の場合は、 $\mu = 0.244$ 、 $\tau_0 = 45.5\text{ kgf/cm}^2$ であった[1]。今回は口元定着での試験であるにもかかわらず、やや

高い値を示しているのは、CFRPスパイラルとの機械的抵抗の影響が、表れているものと推察される。ちなみに、 $p = 300\text{ kgf/cm}^2$ のとき、破断荷重 16.5 tf に必要な定着長は、 22.6 cm となる。次に、上記の結果から、必要定着長を $L = 25\text{ cm}$ に設定し、口元定着で、CFRPストランドの破断までの定着体(スリーブ)の挙動を調べた。すなわち、緊張材の破断までに定着具の破壊が生じないか、また問題となるような変形がないかを調べることが目的である。図-5には、各荷重段階における口元部から所定の位置でのスリーブ軸方向、円周方向のひずみの分布を表した。破壊形式はすべてCFRPストランドの破断で、表-2に一覧表として示す。破断荷重近くの口元ひずみは大きいですが、定着体自体の局所的な変形や破損、割れ等は観察されなかった。ちなみに、

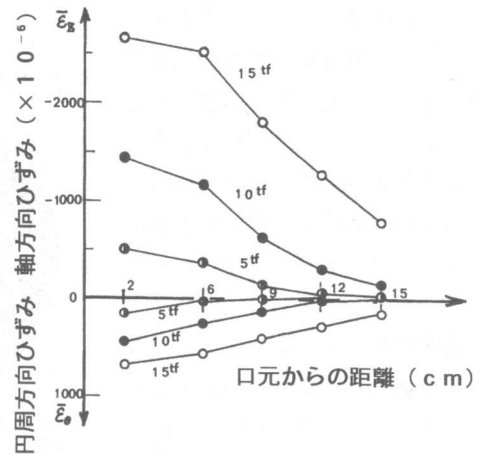


図-5 荷重の変化とスリーブ表面ひずみの分布

表-2 シングル定着体引張試験結果 ($L=25\text{ cm}$)

	破壊荷重 (tf)	膨張圧 (kgf/cm ²)	備考
1	17.0	> 360	すべてCFRPストランドの破断
2	17.4		
3	17.1	> 483	

レジンモルタルの圧縮試験における円周方向引張ひずみは、圧縮破壊時において 1600×10^{-6} 程度で、それまではほぼ直線的に増加した。また、FRP緊張材の破断荷重は定着方法によって試験結果に影響を及ぼすことが知られているが、今回の破断荷重は、メーカー樹脂定着法での結果17.3tfとほぼ同等な値であった。

4. マルチケーブル用定着具

4. 1 定着具と緊張定着システム

実用的なマルチケーブル用ノンメタリック定着具としては、上記のスリーブの内径を大きくして緊張材を束ねた状態でセットし、口元定着で定着する方式と、もう一つは、一つの定着体中に多数本の緊張材とその本数分の孔を独立させて設けたマルチホールタイプの定着具が考えられる[3]。マルチホールタイプでは、膨張圧に対してはシングルタイプの集合体としての設計が可能である。ここでは、緊張・定着の施工性の観点からマルチホールタイプで、オス・メスコーンタイプの定着具とし、検討を行った。

緊張定着システムは、図-6のようにマルチホールのオスコーンをコンクリート中のメスコーンにセットし、緊張材を挿入、仮定着具に固定する。オスコーンを押しつけながら、仮定着具を緊張し、所定の緊張力に達した時点で、オスコーンの各孔に定着用膨張材を充填し、所定の膨張圧が発現した段階で仮緊張を解放してプレストレスを導入する方法である。この場合、オスコーンを押しつけながらの定着であるから、セットロスはほとんどないと思われる。

4. 2 オスコーンおよびメスコーンの設計と製作

設計は、ケーブルソケットの設計を参考に行った[5]。 $\phi 12.5$ CFRPストランド6本マルチで、線材中心間隔は $\phi 9.1$ である。コーンの高さはシングルの場合と同様の必要定着長から、25cmとした。コーンのテーパ角度 θ は、オスコーンとメスコーンの法線方向の接触圧Pが一樣であると仮定し、 $P = T / \pi D L \sin \theta$ から求めた。D：テーパの平均径 $= 1/2(D_1 + D_2)$ 、L：テーパ円錐部の長さである。接触圧Pは、オスコーンには緊張時に外圧として作用することになるが、レジンモルタル強度の1/3以下の 300 kgf/cm^2 を許容外圧と

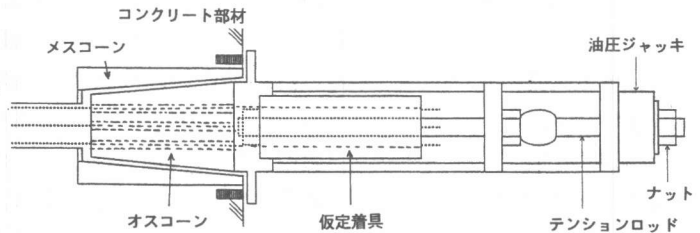


図-6 マルチ用の緊張定着システム

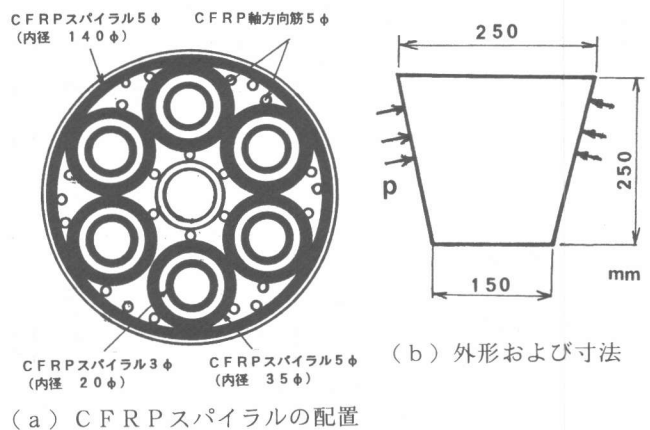


図-7 オスコーン (マルチ用)

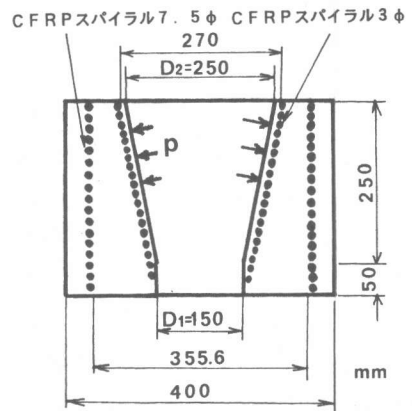


図-8 メスコーン (マルチ用)

し、緊張力Tは、CFRPストランド6本の破断荷重を100tfとして計算した。したがって、メスコーンには、 $P = 300\text{kgf/cm}^2$ の内圧が平均径の円筒に作用するとしてCFRPスパイラル量の計算ができる。オスコーンの孔1つのCFRPスパイラル量は、シングルタイプの場合と同じである。ただし、6個の孔全体を拘束するためのスパイラルを配置した。図-7(a)にオスコーンのスパイラルの配置を(b)には概略寸法を示す。また、図-8はメスコーンの寸法とCFRPスパイラルの配置について示した。オスコーンは、レジンモルタル、メスコーンには、一週圧縮強度 500kgf/cm^2 が得られるセメント系無収縮グラウト材(O社製)を充填して作製した。

4.3 耐力試験結果および考察

反カフレームの支圧板に直接メスコーンをあてる口元定着で引張試験を実施した。緊張側は、金属製のスリーブで、緊張材とは定着用膨張材で定着を行っている。引張試験は2供試体について行った。2供試体ともCFRPストランドの破断であった。表-3は、破断荷重を示している。保証破断荷重14.5tfの本数倍の

表-3 マルチ定着体
引張試験結果 (L=25cm)

	破壊荷重 (tf)	膨張圧 (kgf/cm^2)
A	82.2	> 330
B	86.1	

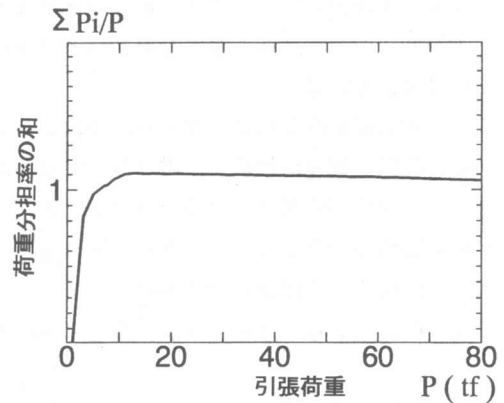
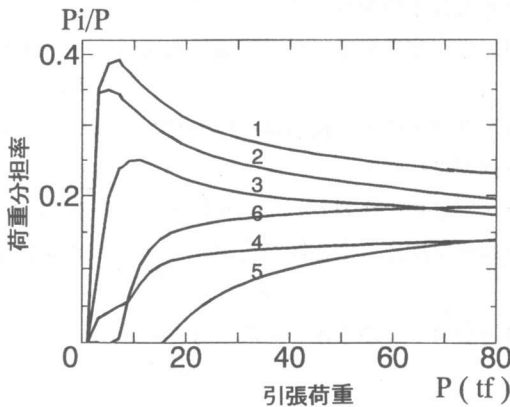


図-9 (a) 各緊張材の荷重分担率の変化

図-9 (b) 荷重分担率の和と引張荷重

87tfのそれぞれ94%, 99%とやや小さ目であるが、これは各緊張材の長さの違いに基づくもので、各緊張材間に張力のばらつきが出たためと考えられる。試験区間長が、約1.4mと短いことがそのことをさらに顕著にさせたと考えられる。図-9(a)は、緊張材に貼付したひずみゲージのひずみ値から張力を各緊張材毎に計算し、その時点での載荷荷重に対する比で表示した。また、図-9(b)は、その比の合計であってほとんど1に近い値であることより、図-9(a)の比率はほぼ正確な比率と考えられる。各緊張力にかなりの差はみられるものの均等化の方向に移行していることがわかる。これは、定着用膨張材によるマルチケーブルの定着法の特長である[3]。図-10は、メスコーン中央部における内面から3.5cm位置での円周方向ひずみの挙動である。B-2のゲージを除いて、ひずみは20tf付近までほとんど増加せず、その後急激な増加を示している。これは図-11からわかるように、20tfまではオス・メスコーンが十分にかみあってなく、くさび効果が発揮されていないためと思われる。なお、図-10に示すように、 $1000 \sim 2000 \times 10^{-6}$ とかなり大きな引張ひずみが発生しているものの、CFRPスパイラルの拘束効果が大きいいためか、ひびわれの発生は観察されなかった。

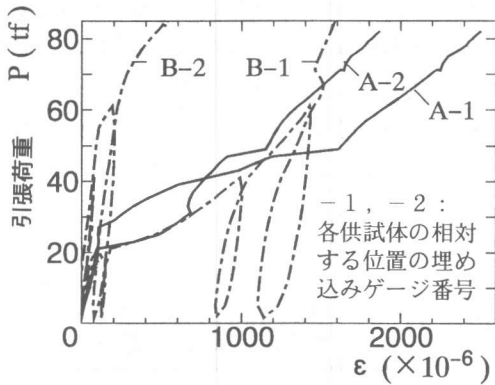


図-10 メスコーンの円周方向ひずみの挙動
(埋め込みゲージ)

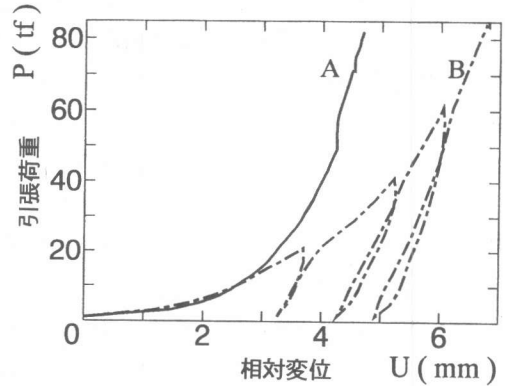


図-11 オスコーンへのメスコーンへの
相対引き込み変位

5. まとめ

以上、本研究の範囲内で得られた知見をまとめると以下の通りである。

(1) レジンモルタル、CFRPスパイラルを用いて、定着用膨張材の膨張圧拘束用スリーブの製作は可能である。

(2) 定着用膨張材による本定着法では、CFRPスパイラルの凹凸部分に直接膨張圧を作用させる方法は、機械的抵抗力が増加し、定着がより強固に行える。

(3) シングル用およびマルチ用のノンメタリック定着具を作製し、CFRPストランドの引張試験を実施したところ、シングルの場合で、メーカー樹脂定着法と同じ試験値、マルチの場合は保証破断荷重とほぼ同じ試験値を得た。

以上の結果より、オールノンメタリック化への道が明るくひらけたものと考えられる。

謝辞：実験を遂行するにあたってご協力を賜った尾崎健治、後藤尉彦両氏（平成四年度 長崎大学卒論生）ならびに「膨張材による定着法研究会」各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 原田哲夫、出光隆、渡辺明、高山俊一：静的破碎剤を用いたFRP緊張材の定着方法、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp. 251-256、1990年10月。
- 2) 原田哲夫、出光隆、ミヨーキン、渡辺明：CFRP緊張材の定着法とその長期および疲労特性、コンクリート工学年次論文報告集、13-2、pp. 759-764、1991。
- 3) 原田哲夫、ミヨーキン、樋野勝巳、徳光卓：定着用膨張材を用いた連続繊維緊張材マルチケーブルの定着法、第3回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp. 285-290、1992年11月
- 4) 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、第3回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp. 291-296、1992年
- 5) 日本鋼構造協会：索頭ソケットの力学的性状に関する実験研究、JSSC Vol.9 No.88 pp. 38-52、1973年4月