

(103) 連続繊維緊張材用ノンメタリック定着具の力学的特性

東京製綱(株)	研究所	○榎本 剛
長崎大学	工学部	正会員 原田 哲夫
ショールド建設(株)	化学研究所	寺田 宮子
東京製綱(株)	研究所	戎嶋 康時

1. はじめに

近年、プレストレストコンクリートの耐久性の向上や構造物の非磁性化を図るために、連続繊維緊張材の適用検討が行われ、一部では既に適用されている。ポストテンション方式用の定着具についても種々の形式のものが開発されているが、ほとんどのものは鋼材が使用されており、定着部分の防錆や非磁性化が課題として残っている。そこで、筆者らは、レジンモルタル製スリーブ(以下スリーブと呼ぶ)と定着用膨張材によるオールノンメタリック定着方法を開発してきた。スリーブは、CFRPスパイラル筋およびCFRP軸方向筋で補強している。

ここでは、まず、スリーブの耐力と変形状を実験により検討し、定着用膨張材による膨張圧と定着時の軸方向力に抵抗するために必要な耐力および剛性を得るのに適当な補強筋量を決定した。次いで、定着具のクリープ性状についても検討した。さらに、本定着具を使用した連続繊維緊張材の引張試験およびレジンモルタルの耐久性試験を行い、その実用可能性について検討を行った。

2. ノンメタリック定着具の概要

ノンメタリック定着具は、レジンモルタル製スリーブに連続繊維緊張材を挿入し、スリーブと連続繊維緊張材の隙間に定着用膨張材を充填し膨張圧によって一体化させた定着具である。ノンメタリック定着具(スリーブ)はネジ加工を施して利用することが困難なため、スリーブを直接支圧板に押し当てて定着するいわゆる口元定着方式で定着する(図-1参照)。

2.1 定着具の具備すべき条件

定着用膨張材を使用する定着具の具備すべき主要条件は次のような点である。

- ①定着に必要な膨張圧(400kgf/cm<sup>2</sup>以上)が発生するだけの拘束度がスリーブに確保できること。
- ②膨張圧および緊張力に対して、スリーブが十分な耐力を有していること。
- 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確保されること。
- ⑤疲労に対して十分安全であること。

2.2 定着具(スリーブ)の構成材料および基本的構造

本ノンメタリック定着具(スリーブ)は、図-2に示すように、CFRPスパイラル筋および軸方向筋を骨組みとし、その隙間にレジンモルタルを充填し、一体化成形する構造となっている。

レジンモルタルの配合(重量比)は、エポキシ樹脂:珪石粉:珪砂(7号)=1:1.8:1とした。また、エポキシ樹脂には、定着具の環境温度および定着用膨張材の水和発熱に対する耐熱性を考えガラス転移点の比

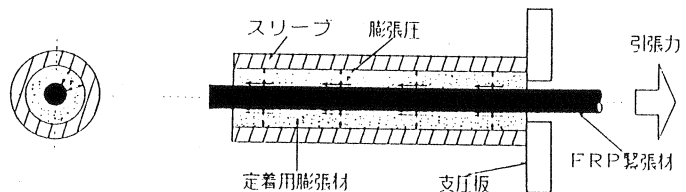


図-1 ノンメタリック定着具の口元定着方式概略

較的高い加熱硬化タイプを選定した。レジンモルタルの主な物性値は、比重1.74、圧縮強度1164kgf/cm<sup>2</sup>、弾性係数9.44×10<sup>4</sup>kgf/cm<sup>2</sup>である。

### 3. ノンメトリック定着具の力学的特性

ノンメトリック定着具の膨張圧に対する拘束度および耐力は、図-2のようにCFRPスパイラル筋φ3.0mmおよびφ5.0mmを2層に配置して補強することで、必要な拘束度が得られ、膨張圧1000kgf/cm<sup>2</sup>に対する安全率も約8倍である<sup>1)</sup>ことがわかっている。したがって、ここでは、主に軸方向力に対する耐力および変形状を検討した。

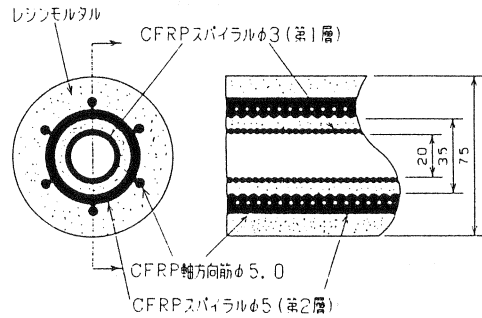


図-2 膨張圧に対する拘束筋

#### 3.1 定着具の圧縮耐力および変形挙動

##### (1) 実験概要

ノンメトリック定着具(スリーブ)のCFRP筋による補強水準を表-1のように設けた供試体について圧縮試験を行い、軸方向圧縮耐力および変形挙動を実験的に検討した。ここでは、ノンメトリック定着具(スリーブ)の断面積に対する軸方向筋の断面積の割合を軸筋比と呼ぶことにした。ひずみは、スリーブ中央付近の表裏に貼った2軸ひずみゲージで、軸方向ひずみ $\epsilon_z$ と円周方向ひずみ $\epsilon_\theta$ を測定した。

各供試体のCFRP補強筋の配置を図-3に示す。

表-1 ノンメトリック定着具(スリーブ)のCFRP筋による補強水準

	軸筋比 (%)	補強方法 (注：L-0の補強方法を基準とし以下補強水準を設定した。)
L-0	2.22	図-2の通り。
L-1-0	4.45	軸筋比を2倍に増量(軸方向筋を6本から12本にした。)
L-1-1	4.45	軸筋比を2倍に増量(軸方向筋をφ5.0mmからφ7.5mmにした。)
L-1-2	11.11	軸筋比を5倍に増量(軸方向筋をφ5.0mmからφ12.5mmにした。)
L-2	2.22	軸方向筋の位置を変更した。(外層スパイラル筋の内側に軸方向筋を配した。)
S-1	2.22	外周付近にスパイラル筋φ5.0mmを配し、スパイラル筋を2層から3層にした。
S-2	2.22	外周にCFRPシートを巻き付けた。



図-3 CFRP補強筋の配置

##### (2) 実験結果と考察

軸筋比を変えた場合の圧縮荷重とひずみ $\epsilon_z$ ,  $\epsilon_\theta$ の関係を図-4に、圧縮弾性係数と軸筋比の関係を図-5に示す。ここでの圧縮弾性係数とは、圧縮荷重5tfと20tfでの軸方向ひずみから算定した。軸方向筋の量を増やしても圧縮耐力はほとんど変化しないのに対し、圧縮弾性係数は軸筋比にほぼ比例して増加する結果

が得られた。すなわち、軸方向剛性は、軸筋比を増やすことで高めることができる。本実験の範囲(軸筋比2.22~11.11%)では、圧縮弾性係数 $E_c$ と軸筋比 $n_L$ の関係はほぼ次式のように近似できると考えられる。

$$E_c = 106 n_L + 762 \quad (\text{軸筋比} 2.22 \sim 11.11\%)$$

さらに、スリーブの形状、スパイラル筋の横弾性係数等を考慮にいれば、複合則で考えることができ、定着具の補強筋量等の設計に生かせる可能性があると思われる。

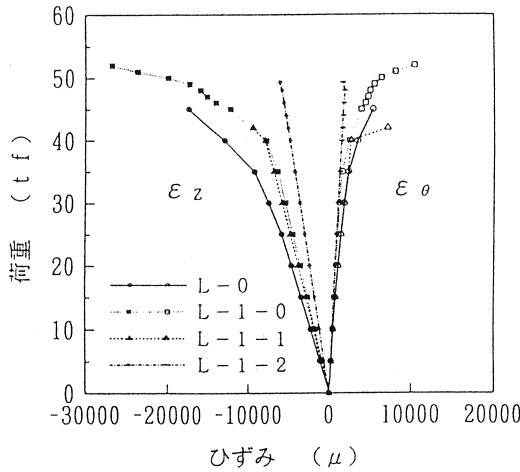


図-4 圧縮荷重とひずみの関係 (軸筋比の影響)

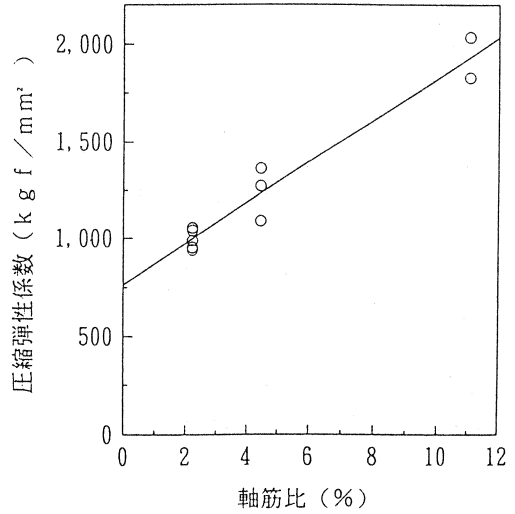


図-5 圧縮弾性係数と軸筋比の関係

一方、図-6に示すように、最外周付近にスパイラル筋を配筋(S-1)すると、圧縮耐力が顕著に向上し、粘り強い挙動を示したが、圧縮弾性係数はほとんど変わらなかった。

これらの結果から、軸方向筋は軸方向剛性を高めることに効果があり、外周付近の3層目のスパイラル筋は軸方向圧縮耐力と靱性の向上に効果があることを確認できた。

### 3.2 定着具のクリープ性状

#### (1) 実験概要

定着具の使用時の長期変形挙動を確認するため、軸筋比2.22%、4.45%、8.15%の3水準のスリーブに、軸方向一定荷重を1000時間載荷するクリープ試験を行い、スリーブの変形量を測定した。図-7のように、支圧板同士でスリーブを挟む形式で荷重をかけ、試験を行った。

補強筋の配置は、図-3のS-1と同様(ただし、第3層スパイラル筋は $\phi 3.0\text{mm}$ )とし、軸方向筋の径を5.0mm、7.5mm、10.5mmと変えることで軸筋比を設定した。スリーブ長さは250mmとし、その長さの変化量をクリープ変形量とした。載荷荷重は、緊張材の破断荷重17tfの70%荷重を想定し、12tfとした。

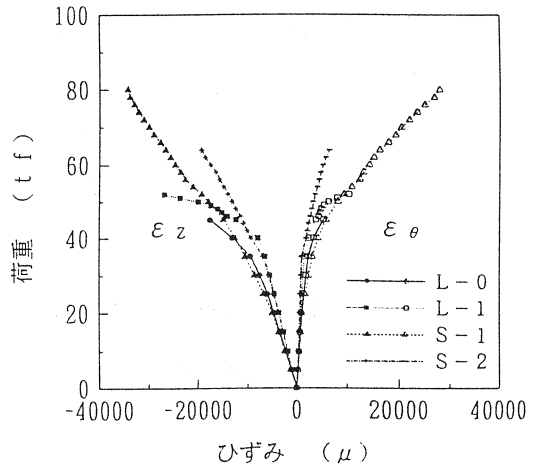


図-6 圧縮荷重とひずみの関係 (外周補強の影響)

(2) 実験結果と考察

クリープ変形量と経過時間の関係を図-8に示す。1000時間経過後の変形量は、軸筋比2.22%の場合0.618mm、4.45%の場合0.147mm、8.15%の場合0.004mmであり、ひずみに換算すると $2472 \times 10^{-6}$ 、 $588 \times 10^{-6}$ 、 $16 \times 10^{-6}$ であった。ちなみに、レジンモルタルのみで、上記試験の65%程度の応力が作用するように試験した1000時間後のクリープひずみは $2600 \times 10^{-6}$ 程度であった。

このように、軸筋比を大きくするとクリープひずみが小さくなることが確認できた。したがって、軸方向荷重によるクリープ変形に対しても軸方向筋の量が大きく影響すると考えられ、レジンモルタル単独では、長期変形が大きくて適用には限界がある場合でも適当な量のCFRP補強を施すことで、定着具として適用可能な力学的特性を具備させることができる。

また、図-8の時間軸を対数表示にすると、図-9のようになる。軸筋比4.45%の場合、直線近似し、回帰直線を求めると、次式のようになる。この式から、100万時間後のクリープ(圧縮)ひずみを推定すると $1020 \times 10^{-6}$ となる。

$$\varepsilon_{zc} = -61.6 \log T - 169.6 \quad (r = -0.9933) \quad \varepsilon_{zc} : T \text{ 時間でのひずみ} \quad r : \text{相関係数}$$

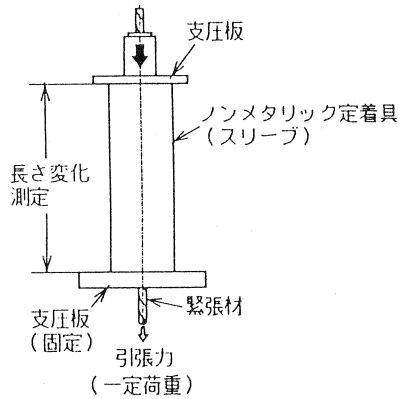


図-7 クリープ試験概略

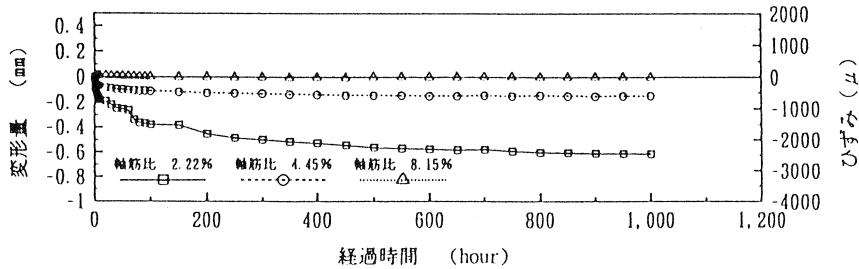


図-8 クリープ変形量と経過時間の関係

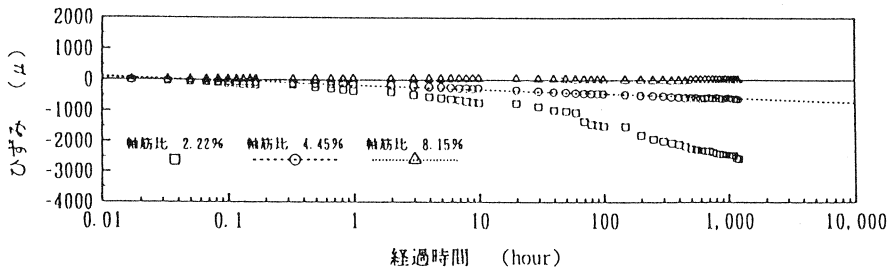


図-9 クリープひずみと経過時間(対数)の関係

以上のことから、本定着具は、軸筋比4.45%で長期的なクリープ変形についても実用上問題はないと推察される。

4. ノンメタリック定着具の性能試験

3. で述べた耐力、剛性、クリープ性状とスリーブの製作時の加工性から決めた、CFRPより線 12.5φ緊張材 (予想導入プレストレス力 10tf) 用ノンメタリック定着具のCFRP補強筋の配筋図を図-10に示す。第1層目φ3.0mm、第2層目φ5.0mmのCFRPスパイラルの補強は、膨張圧に抵抗するための補強であって<sup>1)</sup>、軸方向の補強は、CFRPストランドφ7.5mmを6本使用し、軸筋比を4.45%とした。また、外周付近の第3層目φ3.0mmのCFRP筋は用心筋として両端部には密なピッチで、中央部には粗なピッチで配筋することにし、これを標準的な配筋とした。そこで、この定着具を連続繊維緊張材に装着し、引張試験を行って十分な定着性能を有するかを確認した。

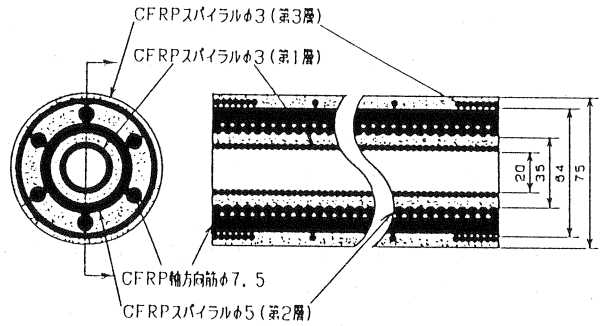


図-10 CFRPより線φ12.5mm緊張材用定着具 (スリーブ) のCFRP補強筋の配筋

(1) 試験方法

連続繊維緊張材の片端に本ノンメタリック定着具を装着した供試体の引張試験を行い、最大引張荷重測定、破壊形態の観察、引張試験中のスリーブのひずみ測定、試験後の定着具の変形、損傷、連続繊維緊張材の抜け出し等を観察した。試験は土木学会の「連続繊維補強材を用いたPC工法の定着具および接続具の性能試験方法 (試案)」に準じて行った。ただし、連続繊維緊張材の長さは、1.0m、供試体の数は4本とした。使用した連続繊維緊張材は、CFRPより線φ12.5mm (CFCC 1×7 12.5φ) で、メーカー試験値の破断荷重は17.86tf、保証破断荷重は14.50tfである。また、定着用膨張材の膨張圧は、422kgf/cm<sup>2</sup>以上発現したことを確認してから試験を行った。

(2) 試験結果と考察

引張試験の結果を表-2に示す。何れも連続繊維緊張材の引張破断であり、定着具の損傷や連続繊維緊張材の抜け出しなどは見られなかった。

また、引張試験中の荷重と定着具のひずみの関係の代表的なものを図-11に示し、比較のため連続繊維緊張材に装着した状態の同じ定着具および中空のスリーブのみについて、3.1と同様に圧縮試験を破壊まで行った結果も示した。何れの場合も荷重とひずみの関係はほぼ同じ挙動を示した。連続繊維緊張材の引張破断時の定着具のひずみは、高々 $2000 \times 10^{-6}$ 程度であるから、定着具の圧縮破壊ひずみ $10000 \sim 20000 \times 10^{-6}$ に対して十分安全であると考えられる。さらに、何れの場合も荷重とひずみの関係はほぼ同じ挙動を示したことから、製作した定着具 (スリーブ) の強度的な評価は、スリーブの圧縮試験で、ある程度行えると考えられる。

以上より、本ノンメタリック定着具は、CFRPより線φ12.5mmの定着に十分な性能を有していることが確認できた。

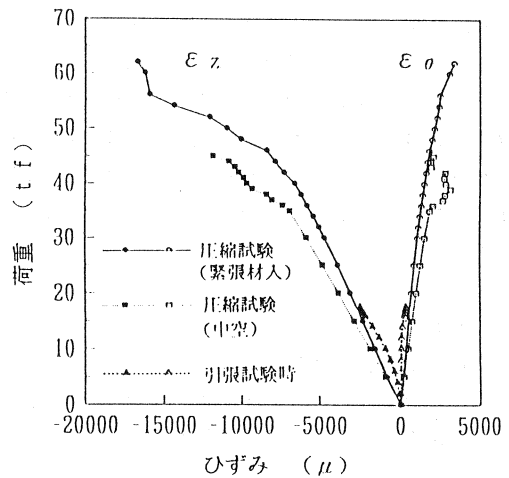


図-11 荷重とひずみの関係

表-2 引張試験結果

No.	破断荷重 (tf)
1	17.38
2	18.08
3	17.35
4	17.43
平均値	17.56

5. 耐久性の検討

力学的特性については、レジンモルタルをCFRP筋によって補強することで、定着具として実用的なところまで改善されることがわかった。さらに実用化を考えた場合、耐久性を有しているかが問題になる。耐久性としては、耐酸性、耐アルカリ性、耐紫外線性等があげられるが、一般にレジンモルタル(エポキシ樹脂)は、酸およびアルカリには強いとされているので、ここでは耐紫外線について検討した。そこで、レジンモルタル単体での促進耐候性試験を行い、強度および弾性係数に変化が生じないことを確認した。

(1) 試験概要

日本道路協会の「道路橋の塩害対策指針(案)」の耐候試験方法に準じ、JIS K 5400と同様サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機を用いて耐候性試験を行った。紫外線の照射時間は200、500時間の2水準とし、比較のために照射しないものについても試験を行った。供試体は、同一配合、製作条件のレジンモルタルφ20mm×50mmを6個準備し、各時間毎に2本ずつ圧縮試験を行い、圧縮強度および圧縮弾性係数を測定した。

表-3 耐候性試験(圧縮試験)結果

(2) 試験結果および考察

試験結果を表-3に示す。試験前後で強度および弾性係数とも大きな変化はみられなかった。したがって、実環境での紫外線がこのレジンモルタルに即座に影響を及ぼすことはないと思われ、実用の可能性は高いものと思われる。ただし、本定着具を実際に使用する際には、表面にフッ素系樹脂コーティング等を施すことを考えている。

照射時間 (時間)	圧縮降伏強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧縮弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )
0	1402	6.0×10 <sup>4</sup>
200	1334	6.1×10 <sup>4</sup>
500	1404	6.8×10 <sup>4</sup>

6. おわりに

定着用膨張材を用いた定着法によるノンメタリック定着具の開発に関して、力学的な特性を中心に基礎的な検討を行った。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) 軸方向筋は、軸方向剛性を高めることに効果があり、本試験の範囲では、圧縮弾性係数と軸筋比の間で比例関係が成立する。
- (2) 外周付近のスパイラル筋は、軸方向圧縮耐力と靱性の向上に効果がある。
- (3) 軸方向荷重によるクリープ変形に対しても軸方向筋量が大きく影響する。すなわち、長期の変形量を小さくするためには軸方向筋量を増やすことが有効である。
- (4) CFRPより線φ12.5mm緊張材用のノンメタリック定着具は、十分な定着性能を有している。
- (5) 本試験の範囲では、紫外線によるレジンモルタルの劣化は認められない。

最後に、本研究の遂行にあたって御協力を賜った徳光卓氏((株)富士ピーエス)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、ミョーキン、榎本剛：FRP緊張材用ノンメタリック定着具の開発、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15, No. 2, 1993
- 2) 原田哲夫、他：連続繊維緊張材のノンメタリック定着法に関する研究、平成6年度科学研究費補助金(一般研究(C))研究成果報告書、(研究課題番号：05650437)、1995.3