

V-96

立体補強材で補強したコンクリート部材の曲げ特性

竹中技術研究所 正会員 ○柿沢 忠弘 大野 定俊 米澤 敏男

1. はじめに

筆者らはFRPロッドを用いた新しい立体補強材の製造に関して、工業的に連続生産しやすい方法について検討を進めてきた。この製造方法の基本となるのは、図-1に示すような2本の主方向の補強材（メインバー）の周囲にトラス状に連続繊維束（クロスバー）を巻き付け接着剤で固定したモジュールの製作であり、このモジュールを更に複数個組合わせてその周囲を集束繊維束（コンパインドバー）で巻き付けて固定することで複雑な形状や種々の寸法の立体補強材を容易に製造できる。現段階ではFRP補強材はPC緊張材として利用する方が有効であると考えられるが、RC部材としての利用も無視できないと思われる。そこで、RC部材に用いる立体補強材を設計する場合の基本データを得る目的で、構成材のFRPロッド付着試験を行なうと共に、一方向スラブ部材を対象として曲げ載荷試験を行ったので、本論文ではその結果について報告する。

2. 試験方法

補強材の付着試験：メインバー部分の炭素繊維ロッドと、立体補強材の構成要素であるクロスバー付きストレートロッドについて、表-1に図示する付着試験方法（JCI案）に準じて付着試験を実施した。また表には試験体種別を示すが、用いたFRPロッド（ $V_f=55\%$ ）の公称引張強度は160 (kgf/mm²)、コンクリート強度は350 (kgf/cm²)である。

コンクリート部材の曲げ載荷試験：表-2に示すように、Aシリーズでは2種類の異なる立体パターンを有する補強材を用いたコンクリート部材について、2体ずつ曲げ載荷試験を実施した。2種類の試験体のうち一つは上下2本ずつ、計52本のφ4ロッドを多段配置（No.1）し、もう一つには上下4本ずつ、計8本のφ10ロッドを配置（No.2）した。またBシリーズとして立体補強筋の補強効果を比較確認する目的でφ7.5CFより線を緊張材として用いた引張補強筋のないPC部材（破断荷重の60%の緊張力導入）と、φ5CF綾巻ロッドを用いたRC部材の2種類の試験体を製作し曲げ載荷試験した。いずれのシリーズも補強筋比は鈎合補強筋比に近い0.8%であり、試験時には荷重、コンクリートひずみ、ロッドひずみ、部材中央たわみ、ひびわれ幅等を計測した。

3. 試験結果および考察

補強材の付着特性：付着応力と補強材自由端の滑り量の関係について代表的な結果を表-3と図-2に示す。本付着試験ではφ10のストレートロッドの最大付着応力は45 (kgf/cm²) であるのに対し、クロスバー付きストレートロッドでは85 (kgf/cm²) まで増

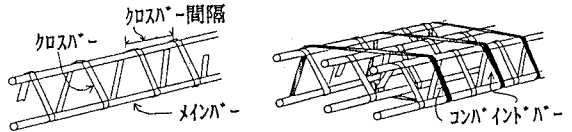


図-1 立体補強材の基本パターン

表-1 付着試験体種別

公称直径	ロッド種別	記号	試験方法
φ4mm	ストレート	4N	
φ10mm	ストレート クロスバー付ストレート	10N 10N-CB	

表-2 曲げ試験体種別

シリーズ	試験体 (ロッド) 公称直径	補強 筋比	クロスバー 間隔	断面	
				PC (No. 3)	RC (No. 4)
A	No. 1 (φ4mm)	0.6%	75mm		
	No. 2 (φ10mm)	0.6%	75mm		
B	No. 3 (φ7.5 CFより線)	有	5.8		
	No. 4 (φ5 CF綾巻)	—	—		

加している。これはメインバーとクロスバーの接合部の機械的な付着効果によるものであり、本立体補強材は全体としてRC補強材として十分な付着力を有すると考えられる。滑り量0.25mmで比較しても接合部の付着効果が十分に発揮されていることがわかる。なお、別の実験によればCFより線(φ7.4)の付着応力(滑り量0.25mm)は40(kgf/cm²)程度であり、これと比較してもクロスバー付きストレートロッドの付着性状はかなり良好であると言える。

コンクリート部材の曲げ特性

Aシリーズ: スラブ中央点のたわみを図-3に示す。荷重-変形曲線は一般のFRP補強材を用いたRC部材と同様、曲げひびわれ発生後に荷重と変位が直線的に増加して破壊した。最終的な破壊形式はいずれの試験体もコンクリートの圧縮破壊であった。

RC部材として利用する場合、設計荷重での変形やひびわれ性状が問題となる。たわみの制限値を単純にスパンの1/250と仮定すると本部材では最大荷重の1/4程度が設計荷重レベルとなる。試験結果から判断すると十分に実用範囲にあると思われるが、長期的な変形性状や経済性を考慮すると更に補強材の剛性などの向上を図ることが望ましい。また、ひびわれ分散性は非常に良好で、ひびわれ間隔はクロスバー間隔以下の50mm程度であり、ひびわれ幅も使用レベルでは問題にならないと判断された。なお、ひびわれ荷重、終局荷重の計算値と実測値は表-4に示すようにほぼ一致しており、従って終局段階まで平面保持の仮定が成立し、部材耐力は従来のRC算定式で求めることができる。

終局時のたわみはスパンの1/40程度であり、破壊の予知やエネルギー吸収能の面では十分な変形性能があることが認められる。No.2試験体(φ10)では最大耐力以降の終局段階で付着割裂に起因すると思われるひびわれが認められたが、これはφ10ロッドの本数がφ4ロッドよりも少なく付着面積が小さいためと考えられる。その結果ロッドの付着が局部的に切れて、終局後のたわみが漸増したと思われる。
Bシリーズ: 図-3に試験体単位幅当りの曲げモーメント-変位曲線を示すが、最終的な破壊形式はNo.3(PC)試験体はコンクリート圧壊後緊張材破断、No.4試験体(RC)は補強材破断であった。設計荷重レベルと比較すると、立体補強筋RC部材(No.1, No.2)

表-3 付着試験結果

試験体	クロスバー有無	付着応力(kgf/cm ²)	
		すべり0.25mmのとき	最大付着応力
4N	—	27.0	50.0
10N	—	25.0	45.0
10N-CB	有	80.0	85.0

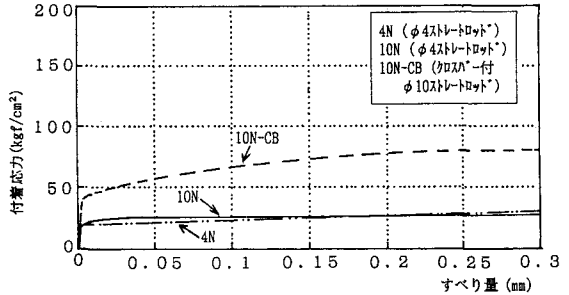


図-2 FRPロッドの付着応力-すべり曲線

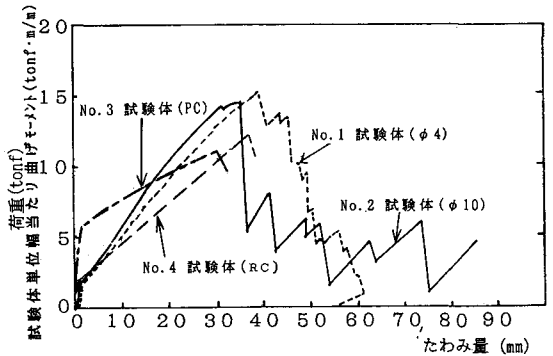


図-3 曲げ試験の荷重-変形曲線

表-4 ひびわれ荷重と終局荷重の算定

試験体	ひびわれ発生荷重 (単位幅ひびわれモーメント tonf/m)			終局荷重 (単位幅終局モーメント tonf/m)		
	実測値 P _{cm}	計算値 P _{cc}	P _{cm} /P _{cc}	実測値 P _{um}	計算値 P _{uc}	P _{um} /P _{uc}
No.1 (φ4) ¹	(1.23)	(1.34)	0.93	(12.23)	(12.10)	1.26
No.2 (φ10) ²	(1.83)	(1.83)	1.23	(17.83)	(17.80)	1.23
No.3 (PC) ³	(4.41)	(4.24)	(1.04)	(10.54)	(9.21)	(1.14)
No.4 (RC) ⁴	(1.47)	(1.51)	(0.97)	(12.60)	(9.28)	(1.36)

のたわみはPC部材(No.3)と比較すると2倍近く大きくなっているが、RC部材(No.4)よりは小さい値となっている。また、立体補強筋RC部材はRC部材と同様の良好なひびわれ分散性を示しており、ひびわれ幅、間隔共に設計上問題にならないと思われる。以上の事から本実験の範囲内では、立体補強筋を一体成形したRC部材は設計時の変形性能の面でPC部材に劣るものの、通常のRC部材と同等以上の変形性能、ひびわれ分散性能を有するものと考えられる。