

V-157 炭素繊維を緊張材に使用したプレストレストコンクリートはりの曲げ実験

㈱大林組技術研究所 正会員 ○岡野 素之
㈱大林組技術研究所 正会員 小畠 克朗
㈱大林組技術研究所 木村 耕三

1. まえがき

新素材の中には、『高強度、軽量、高耐久性』等の優れた特長を有するものがあり、プレストレストコンクリート（以下PCと呼ぶ）部材の緊張材への利用についての研究が行なわれている。しかし、新素材は種類が多く、引張特性、付着性能等に違いがあるため、これらを緊張材に使用した部材の曲げ性能も新素材により違いがある。今回炭素繊維からなる緊張材（以下炭素繊維ロッドと呼ぶ）を使用し、PCはりの曲げ実験を実施した。本報告は同実験の概要と結果について検討を加えたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体：試験体の一覧を表-1に、形状・寸法と配筋を図-1にそれぞれ示す。試験体数は合計5体とし、実験パラメーターは、

①緊張材の種類（炭素繊維ロッド・PC鋼より線）、②グラウトの

有・無、及び③プレストレスの初期導入レベル（0.50Pu、0.65Pu、Pu：炭素繊維ロッドの引張荷重）の3項目とした。試験体は高さ30cm、幅20cm、長さ280cmの長方形断面のはり型とし、緊張材は断面の図心から5cm下側に直線状に配置した。また引張鉄筋比は0.28%である。

2.2 使用材料：炭素繊維ロッドはピッチ系の炭素繊維を素材として、Pultrusion方法で製造した円形断面の棒材で、表面は平滑でコンクリートとの付着力は小さい。緊張材の諸元を表-2に示す。鉄筋は、降伏強度3,680kgf/cm²、ヤング係数1.82×10⁵kgf/cm²の異形鉄筋を用いた。実験時のコンクリートは、圧縮強度347kgf/cm²、ヤング係数1.93×10⁵kgf/cm²（1/3割線勾配）であった。グラウトは無収縮、早強の製品とし、実験時の圧縮強度は214kgf/cm²であった。

2.3 実験方法：加力方法は、単純ばり形式の2点載荷とし、支間240cm、純曲げ区間60cmで、一方向の繰返しで行なった。測定項目は荷重、部材端での緊張力、はり中央のたわみ、及びびずみ（鉄筋、炭素繊維ロッド及びコンクリート）とした。

3. 実験結果とその検討

ひびわれ発生と破壊状況の例を図-2に、荷重（P）と変位（δ：はり中央のたわみ）の関係を包絡線で図-3にそれぞれ示す。各試験体とも、曲げひびわれの発生した後、鉄筋が降伏する。降伏以降も荷重が徐々に増大し、鉄筋降伏時変位の3倍以上でコンクリートが圧壊して最大荷重に達した。なお最大荷重に至るまで緊張材に異常はなかった。

表-1 試験体の一覧

試験体No.	緊張材の種類と本数	グラウトの有無	プレストレスの初期導入レベル 緊張材	コンクリート ^{*2}
C-1	炭素繊維	有り	0.50Pu ^{*1}	60
C-2	ロッド	無し	0.65Pu	78
C-3	4-φ8			
S-1	PC鋼より線	有り	0.50Pu	60
S-2	1-φ17.8	無し		

① *1. Pu：炭素繊維ロッドの引張荷重 (=9.02tf)
*2. 九スリスによるコンクリートの下縁圧縮応力度 (kgf/cm²)

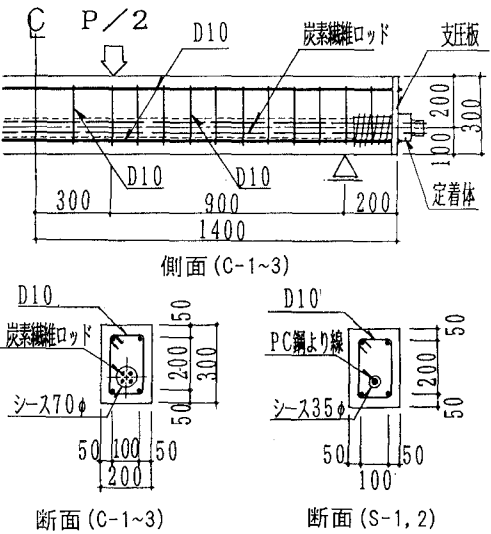


図-1 試験体の形状・寸法と配筋

表-2 緊張材の諸元

項目	炭素繊維 ロッド	PC鋼より線 SWPR 19
公称径 (mm)	8	17.8
公称断面積 (mm ²)	49	208.4
樹脂 繊維含有率 (%)	エポキシ 65	—
降伏強度* (kgf/mm ²)	—	187
引張強度 (kgf/mm ²)	184	201
ヤング係数 (kgf/mm ²)	1.5×10 ⁴	1.96×10 ⁴
破断時伸度 (%)	1.21	7.0

② * 0.2%永久伸びに対する荷重から計算。

荷重（P）と定着部での緊張力（T）の関係を包絡線で図-4に示す。グラウトをしない場合（C-2、S-2）は、緊張材の種類にかかわらず、同様な曲線を描いている。これに対しグラウトをした場合は、P C鋼より線の試験体（S-1）では緊張力は変動しないが、炭素繊維ロッドの試験体（C-1）では、鉄筋降伏後緊張力が増加している。これは鉄筋降伏後、緊張材とグラウト材間の付着力が低下することを示す。

炭素繊維ロッドを用いグラウトした場合（C-1）の、はり中央断面の曲げひずみ分布を図-5に示す。ひずみは中立軸からの距離にほぼ比例しており、鉄筋降伏前後までは平面保持の仮定がほぼ成立することがわかる。

実験結果の一覧を表-3に示す。ひびわれ発生荷重と鉄筋降伏荷重をみると、実験値と計算値は全般に比較的良好に近似し、実験パラメーターによる顕著な差はない。

最大荷重をみると、炭素繊維ロッドを用いグラウトした場合（C-1）の実験値の計算値に対する比は、付着力を考慮すると0.70、考慮しないと1.17で、付着力を考慮しない方がよく近似する。これは鉄筋降伏後、緊張材とグラウト材間の付着力が低下するためと考えられる。その他の試験体では実験値と計算値は比較的良好に近似している。

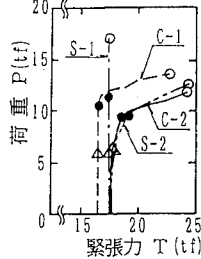


図-4 荷重-緊張力関係



図-2 ひびわれ発生と破壊状況

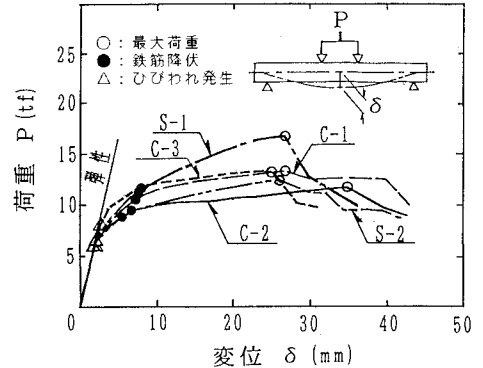


図-3 荷重-変位関係

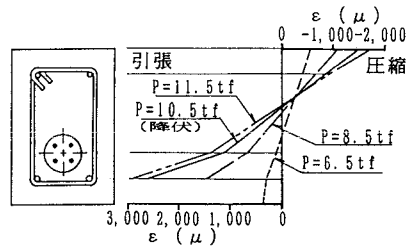


図-5 断面の曲げひずみ分布（C-1）

4. まとめ

炭素繊維ロッドを緊張材に使用したP Cはりの曲げ実験の結果次のことがわかった。

- (1) 炭素繊維ロッドはP C部材に適用できる。
- (2) 炭素繊維ロッドを使用し、その引張強度の50または65%の緊張力を導入したP Cはり、良好な構造性能を示す。
- (3) グラウトをしない場合は、緊張材にP C鋼より線を使用したはりと同様に、諸荷重は既往の計算方法で評価でき構造性能はほぼ同等である。
- (4) グラウトをした場合は、鉄筋降伏まではP C鋼より線を使用したはりと同様に構造性能はほぼ同等であるが、降伏後はグラウトをしない場合に近く、最大荷重も付着付着力を考慮しない方法で評価する方が妥当である。

謝 辞

炭素繊維ロッドを御提供頂きました三菱化成㈱の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 竹本 靖：アンボンドP R C部材の曲げ終局時テンドン応力について、大林組技術研究所報 No.28、1984、 pp.49～54

表-3 実験結果の一覧

試験体 No.	ひびわれ発生荷重 (tf)			鉄筋降伏荷重 (tf)			最大荷重 (tf)			最大荷重時部材角	破壊状況
	実験値 P_{cr}	計算値 P_{cr}^{*1}	P_{cr}/P_{cr}^{*1}	実験値 P_y	計算値 P_y^{*2}	P_y/P_y^{*2}	実験値 P_{max}	計算値 P_{max}^{*3}	P_{max}/P_{max}^{*3}		
C-1**	6.00	6.29	0.95	10.52	8.78	1.20	13.41	11.51	1.17	1/46	曲げ圧壊
C-2	6.50	6.42	1.01	9.49	9.40	1.01	11.67	10.52	1.11	1/34	曲げ圧壊
C-3	7.51	7.76	0.97	11.50	11.29	1.02	13.26	12.08	1.10	1/48	曲げ圧壊
S-1**	6.00	6.53	0.92	11.52	11.04	1.04	16.92	17.00	1.00	1/45	曲げ圧壊
S-2	6.01	6.40	0.94	9.52	9.50	1.00	12.47	11.58	1.08	1/48	曲げ圧壊

③計算は次の方法によった。

- *1. $P_{cr} = 2 \cdot M_{cr} / \ell$ 、但し、 M_{cr} ：ひびわれ発生モーメント、 ℓ ：曲げり、 Z ：はりの断面係数
- *2. 緊張力（実測値）を軸力とし、e関数法で計算。
 $M_{cr} = Z \cdot (\sigma_{ps} + f_c)$ 、 σ_{ps} ：ハルスによる下縁圧縮応力度、 f_c ：コンクリートの引張強度
- *3. 竹本1) による回帰直線から次式で緊張力（T）を求めこれを軸力として、e関数法で計算。
 $T = T_0 + A_e \cdot \Delta \sigma_p$ 、但し、 T_0 ：初期緊張力、 A_e ：緊張材の断面積、 $\Delta \sigma_p = 3700 - 2.5 \times 10^{-6} \cdot P_p$ (kgf/cm²)、 $\Delta \sigma_p$ ：最大荷重時の緊張力の増分、 P_p ：緊張材の鋼材比
- *4. C-1の下段とS-1は緊張材とグラウト材の付着力を考慮してe関数法で計算。