

論文

[2127] FRPを外ケーブルに用いたプレストレストコンクリートはりに関する研究

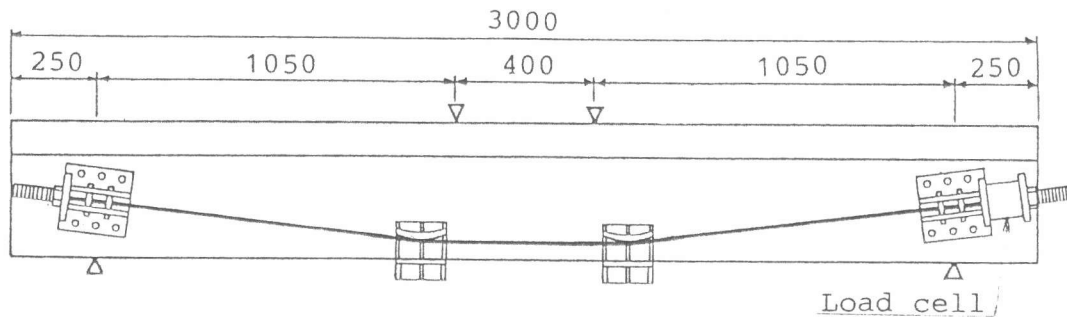
正会員 睦好宏史 (埼玉大学建設工学科)

正会員 町田篤彦 (埼玉大学建設工学科)

正会員 佐野 正 (ショーボンド建設)

1. はじめに

FRPを、鉄筋あるいはPC鋼線・鋼棒の代わりに、コンクリート構造物の主補強材として用いた研究は近年数多く行われ、実際の構造物への適用例もいくつか見られるようになった。このような中で、FRPをコンクリート補強材として有効に使うためには、材料特性を考慮した設計手法を確立し、FRPの材料特性の欠点を補い長所を生かすような構造物に使用することが好ましい。このような観点から、FRPをPC緊張材に適用することは、望ましい構造形式の一つであると考えられる。しかしながら、これまでの実用例を見てみると、FRPをコンクリート中に配置し、緊張する場合がほとんどであった。PC構造物の緊張方式は様々なものが開発されおり外ケーブル方式によるPC構造物もその一例である。FRPを外ケーブルとして配置することによって、ケーブルに応力が一様にかかるため、応力集中によりFRPが破断する可能性をかなり軽減できる利点がある。さらに、FRPを用いることによって、錆の心配がなく、既設の老朽化した橋梁や水槽等の補強にも利用できる。本研究は、FRPを外ケーブルに用いたPCはり部材の基本的性状ならびにその適用性について検討したものである。



2. 実験概要

実験に用いたはり供試体は、図-1に示すようなT型はりで、主筋およびスターラップにD10、SD35の異形鉄筋を用いた。この場合の引張鉄筋比は0.41%、せん断補強筋比は1.4%である。外ケーブルは図に示すように、梁の両外側に配置した。ケーブルの定着方法は、ケーブルの両端に、表面にネジを切り込んだ鋼製スリーブを取り付け、スリーブ内に樹脂を注入し、これを硬化させることによってケーブルを定着した。また、ケーブルとはり供試体との定着は、図-1に示すように、ウェブに鋼

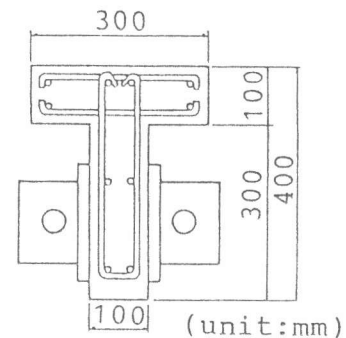


図-1 PCはりの形状寸法

表-1 実験要因

Beam No.	Material	* Type	Introduced Prestress (kgf)/a cable	Tensile Strength of Cable(kgf)	Concrete Strength (kg/cm ²)
1	SWPR7A	I	7000	19000	370
2	AFRP	I		16500	
3	CFRP	II		14500	
4	CFRP	II		14500	
5	AFRP	II	6000	16500	
6	CFRP	II		14500	

Type I and II: bending angles are 7.1° and 11.3° respectively.

製定着装置を取り付け、ウェブ両側からP C鋼材にプレストレスを導入して締め付けたもので、プレストレスによる摩擦力で、軸方向の緊張力に抵抗する構造とした。ケーブルを曲線配置とするために、はり下縁部2箇所折り曲げ治具(サドル)を設置した。折り曲げ角度は、タイプIが7.1°、タイプIIが11.3°で、サドル内面の曲率半径は20cmである。プレストレスの導入は、定着装置外側に取り付けられたロードセルの荷重を測定しながら、2台のジャッキにより2本のケーブルへ同時に行われた。ケーブルに用いた材料は、P C鋼より線、アラミド繊維を用いたFRP (AFRP)、炭素繊維を用いたFRP (CFRP)の3種類である。図-2に引張試験より得られた平均的な応力-ひずみ関係を示す。なお、応力は樹脂の部分も含めた換算断面積を用いて得られたものである。表-1に実験要因を示す。載荷は一方荷重とし、荷重、たわみ、導入プレストレスの変化、ひびわれ幅等を測定した。なお、はりNo.6は疲労載荷を行った。

2. 実験結果

図-3に荷重-変位曲線を示す。初期クラック発生までは、いずれのはりも弾性的な挙動を示し、クラック発生後は、変位の増大とともに剛性が低下している。載荷を行っている間、鋭い音が発生し、ケーブルが鋼管からすれる現象が何度か観察された。しかし、この量は非常にわずかであり、

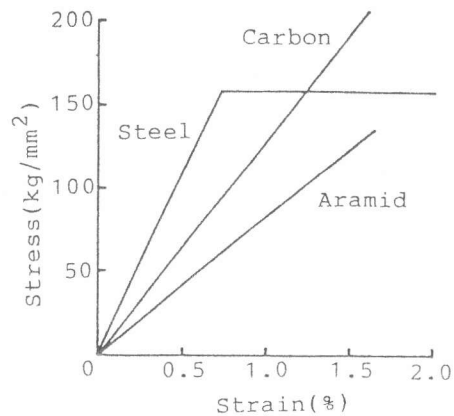


図-2 ケーブルの応力-ひずみ関係

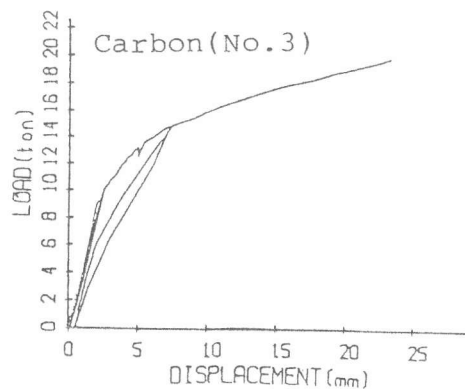
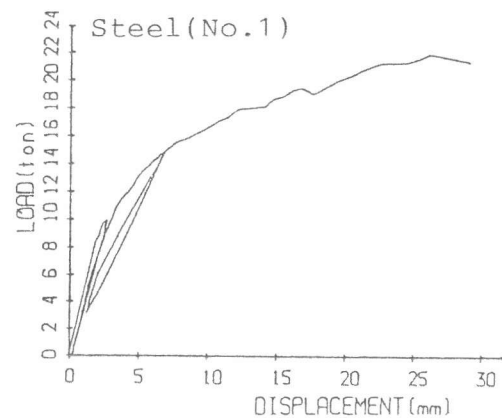


図-3 (1) 荷重-変位曲線

全体の挙動およびケーブルの緊張力におよぼす影響はほとんど無いものと思われる。最大耐力に達するまでの性状はいずれの供試体も良好で、通常のPC部材と同様である。終局破壊形式は、鋼より線およびAFRPを用いたはりではコンクリートの圧壊が生じ、CFRPを用いたはりではコンクリートの圧壊と同時にケーブルが破断した。この理由として、CFRPの引張強度が他のものよりも小さいにも拘わらず、他のはりと同じ量のプレストレスを導入したこと、また、図-1に示すように、ケーブルは等モーメント区間の外側において、曲げ上げられているため、折り曲げ部が弱点となったことが考えられる。事実、CFRPケーブルが破断した時の強度(図-4参照)は引張試験から得られた引張強度の平均値の80%程度であった。従って、FRPを曲線状に配置して緊張力を導入する場合には、FRPの設計引張強度を十分に検討することが必要である。図-4はケーブル端部に設置されたロードセルから得られたケーブルの導入プレストレスの変化と荷重の関係の一例を示したものである。初期クラックまでは、プレストレスは殆ど変化せず、クラック発生後、荷重の増大とともに増加していくのが分かる。図から、2本のケーブルのプレストレス量の変動はほとんど等しいといえる。

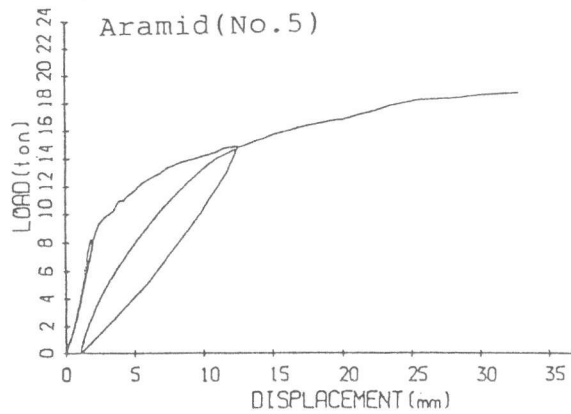


図-3 (2) 荷重-変位曲線

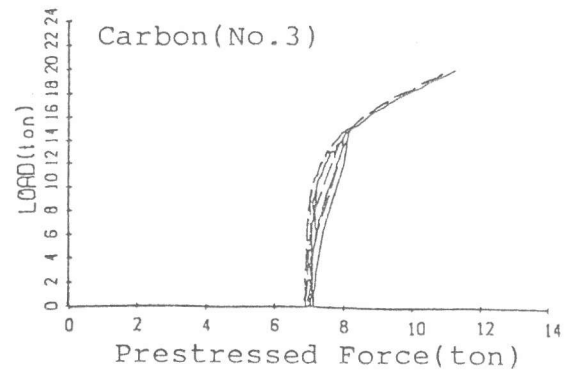


図-4 ケーブルの引張力の変化と荷重

3. ひびわれ荷重および簡易式による曲げ耐力の推定

外ケーブル方式のPC部材では、コンクリートと緊張材との付着が無く、定着部のみで一体化されている。このため、部材の各断面で、ケーブルのひずみとコンクリートのひずみは同一とはならず、平面保持の関係が成立しない。従って精解を求めるためには、緊張材位置におけるコンクリートのひずみと緊張材のひずみが部材全体において等しいという変形の適合条件を仮定する必要がある。しかしこの方法はかなり複雑であるので、ここではこれまでに提案されているアンボンドPC部材の耐力評価式を用いて曲げ耐力の推定を行った。計算に用いた式は以下に示すものである。

1) Panel式

$$\mu = b \cdot d^2 \cdot f_c' \cdot q_u \cdot (1 - 0.9 \cdot q_u) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $q_u = (q_e + \lambda) / (1 + 2\lambda)$, $q_e = P_p \cdot \sigma_{ef} / f_c'$, $\lambda = 12 \cdot P_p \cdot E_p \cdot 0.00325 / f_c' \cdot l$

μ : 終局曲げモーメント、 b :部材幅、 d :緊張材位置の有効高さ、 f_c' :コンクリート強度、

Pp: 緊張材比、 σ_{ef} : 緊張材有効プレストレス、l: 緊張材長さ

2) Mattock 式

曲げ終局時に対する緊張材応力として、以下の式が提案されている。

$$\sigma_{pu} = \sigma_{ef} + 1.4 \cdot f_c' / 100 \cdot Pp + 700 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2)$$

表-2 ひびわれ荷重と最大耐力の推定

Beam	Cracking Load (tonf)		Maximum Load (tonf)		
	Exp.	Cal.	Exp. (ΔP)	Pannel	Mattock(ΔP)
1	8.5	8.8	22.2 (10.9)	20.1	16.8 (7.3)
2	9.0	8.8	19.0 (7.0)	29.3	17.5 (8.4)
3	9.0	8.8	20.0 (8.6)	17.1	16.6 (7.0)
4	9.5	8.8	21.0 (9.6)	17.1	16.6 (7.0)
5	8.3	7.8	18.7 (8.3)	25.9	16.3 (8.4)

ΔP : increase of tensile force in cable

表-2はひびわれ発生荷重および曲げ耐力の計算値と実験値を示したものである。曲げ耐力の計算値は上述した式を用いて求めたものである。ひびわれ発生荷重は、どのはりも同程度の大きさであり、計算値は実験値と比較的一致していると言える。一方、計算から得られた最大耐力を見てみると、Pannel式では、はり供試体によりばらつきが大きい。また、Mattock式では、全般に計算値は実験値よりも小さな値となっており、ケーブルの引張力の増分量を比べてみると、AFRPでは実験値に近い値が得られてはいるものの、他のものでは、かなり小さな値となっている。この理由として、これらの式は鋼材を用いた実験式であること、また、緊張材比は曲げ耐力に大きな影響をおよぼすが、これを求める場合、ケーブルの断面積をどのように考えるかによって、計算結果が大きく異なってくること等が考えられる。ここでは、樹脂を含めた断面積を用いて計算した。今後、FRPを外ケーブルとして利用する場合、耐力の評価法を詳細に検討することが必要である。

3. あとがき

高強度であるが、伸びが小さく脆性材料であるFRPを、有効にコンクリート補強材として用いる方法の一つとして、外ケーブル方式によるPC部材を開発した。その結果、概して良好な荷重-変形性状が得られ、実構造物に適用できるものと考えられる。しかし、FRPの曲げ上げ部における強度の低下、曲げ耐力評価法について今後さらに検討する必要がある。

参考文献

- [1] プレストレストコンクリート, Vol.32, No.5, 1990.
- [2] Pannel F.N.: The ultimate moment of resistance of unbonded prestressed concrete beams, Magazine of Concrete Research, March, 1969.
- [3] Mattock, A.H., Yamazaki, J. and Kattula, B.T.: Comparative Study on Prestressed Concrete Beams, With and Without Bond, ACI Journal Feb., 1971.