

平板FRPロッドと定着金具の開発およびそれらを用いたPCはりの曲げ性状 Developments of Fiber Reinforced Plastic (FRP) Flat - Rod and Anchoring Grips ,Flexural Behavior of PC Beams with FRP

湊 康裕*
Yasuhiro Minato

藤波 亘**
Takeshi Fujinami

小林 正典*
Masanori Kobayashi

西 保*
Tamotsu Nishi

要 約

高引張強度を有する連続状繊維を樹脂で固めた連続繊維補強材（以下、FRP材）は、その軽量・高引張強度を活かして、土木・建築の分野においてコンクリート補強材としての利用が試みられている。PC橋、海洋構造物およびグランドアンカーなどに適用されており、今後の適用の拡大が期待される建設材料でもある。

FRP材は、連続繊維の組成の関係上、脆性的に破断することおよび外傷・熱に弱いことが、建設分野での利用の拡大を妨げる要因としてあげられる。耐外傷性の強化を計る目的で、表面の被覆を施したFRP材を開発し、物理・化学的基本性質の確認¹⁾およびはりの緊張材とした場合の曲げ性状について基本的検討を加えたものを報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. FRP材の物性
- § 3. FRP材断面決定および定着金具の開発
- § 4. 緊張材および定着金具を用いた引張疲労試験
- § 5. PCはりの静的曲げ試験
- § 6. 今後の課題
- § 7. おわりに

§ 1. はじめに

近年、連続繊維補強材（以下、FRP材という）の高耐久性、耐蝕性、非磁性などの特徴に着目し、各機関により様々な試作開発・基礎的研究が行われている²⁾。

今回、繊維メーカーとの協力により開発したFRP平板ロッドは、形状を平板として、連続繊維材表面にエンボス（凸凹）加工を施した熱可塑性樹脂により被覆した点が特徴であり、この特性を生かした金具の開発を行った。

実験は、FRP材および定着金具の建設構造物補強用緊張材としての適応性を検討する目的で、緊張材の耐化学薬品性などの物性の確認および作製した定着金具の定着特性の検討を行った。さらに、緊張材をはりへ適用して

* 技術研究所土木技術課

** 土木設計部設計課

曲げ試験を行い緊張材としての有用性の確認を行った。

§ 2. FRP材の物性

本FRP材は、アラミド補強繊維と熱硬化性樹脂との混合物を熱可塑性樹脂により被覆して、一体形成加工したものである。ロッドの物理的性質を表-1に示す。ここで、表中の付着強度は、被覆樹脂と内部FRP材との付着強度である。

表-1 ロッドの物理的性質

繊維含有率	55 %
破断荷重	20 tf
引張強度	130 kgf/mm ²
ヤング係数	7.04×10 ⁴ kgf/cm ²
破断ひずみ	1.8 %
付着強度	53 kgf/cm ²

次に、FRP材の温度特性、耐化学薬品性に関する検討結果の概要を表-2に示す。

表-2 温度特性

条 件	強度保持率
150℃/50hr	94 %
200℃/10hr	93 %
250℃/ 5hr*	75 %

250℃/5hrの条件では、熱による熱硬化性樹脂の劣化により強度保持率は75%に低下している。土木建築構造物が、このような温度的に厳しい状況下にロッドが置かれることは火災のような場合を除けば生じないと考えられる。したがって、FRP材の実用化にあたり、上記温度特性を有していることで問題はないと考えられる。最後に、耐化学薬品性について強度保持率および重量減少率を指標としてまとめたものを表-3に示す。

表-3 耐久性

条 件	強度保持率	重量減少率
pH13/20℃/30日 *	95 %	0.05 %
pH13/60℃/30日 *	95 %	-0.04 %
pH13/20℃/90日 *	107 %	0.00 %
pH13/60℃/90日 *	80 %	0.70 %
人工海水 3 %NaCl **	98 %	0.37 %
飽和 Ca (OH) ₂ **	99 %	0.30 %
トルエン **	106 %	3.53 %
5 %NaOH/pH12 **	100 %	0.29 %
10 % H ₂ SO ₄ **	95 %	0.25 %

* pH13アルカリ溶液 → Ca(OH)₂+NaOH, ** 20℃/30日

以上、FRP材の物理的基本性状の確認を行った結果、建設構造物の補強材として、火災時の長時間・高温状態を除けば、実用化に耐える耐高温度性、耐化学薬品性を有するものと判断される。

§ 3. FRP材の断面決定および定着金具の開発

3-1 断面決定

緊張材としてのFRP材の断面形状および寸法は、その使用性に大きな影響を与える事項である。現在、既に商品化されているものには、より線状で断面が円形状のものが多く、

筆者らは、FRP材の定着金具による定着効率を最優先に考慮するとともに、FRP材の曲線的配置および施工性を考慮してロッドの断面決定を行った。ここで、断面を矩形とした理由は、詳細は後述するが、ある一定の断面積に対して、緊張材と定着金具の接触部における緊張材の負担を引張耐力との比で比較したところ、矩形断面の方が円形断面に対して優れていると判断したからである。以下に示す断面および定着方法に関する考え方は、せん断耐力の極めて低い新素材の材料特性を配慮したものである。

矩形断面化の優位性を、円形断面との比較で示す。ここで、実際の定着金具では3次元的取り扱いが必要であるが、簡単のために、FRP材の長さ方向の緊張材負担率については均一であると仮定して検討を進めた。検討は緊張材断面積 S (mm²)、引張耐力 P (tf) に対する、緊張材と定着金具の接触部における緊張材負担の比較を行った。図-1および図-2に示すように、この時の円形断面の直径および円周を各々 D 、 l 、また矩形断面の幅および高さを b 、 h とする。また、図中に緊張材の菌形との接触部分も示した。ここで、緊張材と定着金具との接触長 l と、引張力 P との比、すなわち単位接触長当りの引張耐力比を $k = \frac{P}{l}$ とすると、以下のようなになる。但し、金具

と緊張材の接触長は、式(1)、(2)中で示した l より金具の隙間の長さだけ短くなるが無視している。

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \quad l = \pi D \quad (1)$$

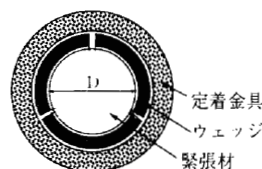


図-1 定着具断面

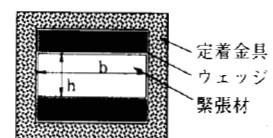


図-2 定着具断面

$$S=bh, l=2(b+h) \quad (2)$$

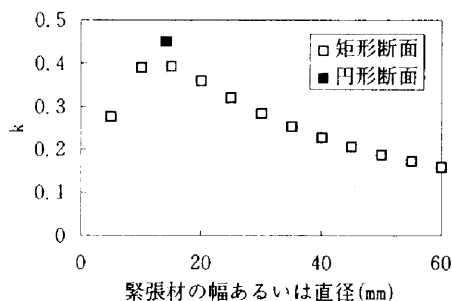
ここで、緊張材の断面積 $S=156\text{mm}^2$ および引張耐力 $P=20\text{tf}$ (196kN) が与えられると、 k は以下になる。

円形断面の場合

$$k = \frac{P}{\pi D} = \frac{P}{\pi \sqrt{\frac{4S}{\pi}}} = \frac{P}{\sqrt{4\pi S}} = \frac{20}{\sqrt{4 \times 156 \times 3.14}} = 0.452 \quad (3)$$

矩形断面の場合

$$k = \frac{P}{2(b+h)} = \frac{P}{2(b+\frac{S}{b})} = \frac{P}{2(\frac{S+b^2}{b})} = \frac{20}{2(\frac{156+b^2}{b})} \quad (4)$$



図－3 緊張材の単位周長あたりの引張強度保持率

(3), (4) 式の値をプロットしたものは、図－3中に各々□印および■印で示した。 k の小さい方が、FRP材の単位接触長当たりの引張耐力比は小さくなると考えられる。

求めた比 k は、円形断面の場合 $k=0.452$ である。一方、矩形断面の場合、図－3中の幅が40mmの場合では $k=0.228$ と円形断面の1/2である。この場合の緊張材厚さは $h=3.9\text{mm}$ となる。

ここで、緊張材幅 B を広くすれば、 k の値は小さくなり緊張材の単位周長当たりの負担は小さくなる。しかし、緊張材が薄くなり、これにより定着時および取り扱い時の破損の恐れが生じるとともに緊張材の幅が増すにしたがって定着金具も大きくなり施工上問題があると考えられる。

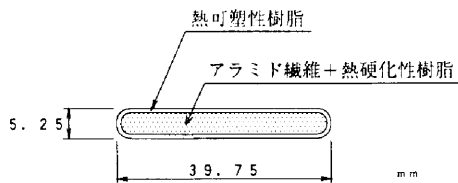
3-2 ロッドの特徴

本被覆平板ロッドの特徴を以下に示す。

- ① ロッドを平板形状に成形してあるため、効率の良いくさび定着が可能である。
- ② コンクリートとの付着強度向上の目的で、被覆表面にエンボス（凸凹）加工を施している。
- ③ 熱可塑性樹脂によりロッドを被覆してあるため外傷に対して強い。

以上のことから、引張力による緊張材表面の負担および施工時の取り扱いを考慮して、表－4に示すような使

用繊維・被覆樹脂を用いた図－4に示すロッドの断面形状とした。



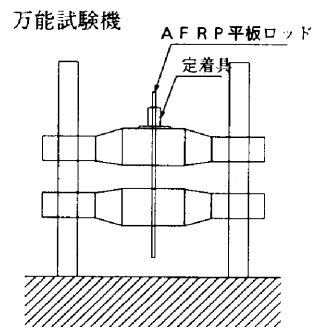
図－4 ロッドの断面

表－4 ロッドの構成材料および寸法

マトリックス	ビニルエステル樹脂
被覆樹脂	熱可塑性樹脂（AAS樹脂）
断面形状	5.25mm×39.75mm（被覆樹脂含む） 4.00mm×38.50mm（被覆樹脂除く）

3-3 定着効率の検討

平板ロッドを固定する定着金具の開発に先立ち、被覆樹脂の有無および表面加工の効果に関わる基礎的検討を加えた。実験は、図－5に示すようにアムスラーを用いて引張試験を行い定着効率を調べた。



図－5 引張試験状況図

実験結果を表－5に示す。なお、表中の定着効率の値は、両端をアムスラーのチャックで掴んだ純引張試験の破断荷重に対する、作製したくさび定着による破断荷重の割合を定着効率 α として示したものである。

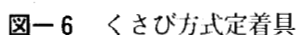
表－5 定着効率一覧表

条 件	定着効率 α
被覆樹脂－無	0.725
被覆樹脂－表面加工無	0.910
被覆樹脂－表面加工有	0.940

実験により以下の事項が確認された。

- ① 被覆樹脂の無い場合（ $\alpha=0.725$ ）と比較して、被覆樹脂のあるFRP平板ロッドのくさび定着効率が良い（ $\alpha \geq 0.910$ ）。
- ② 被覆樹脂の表面にエンボス加工を施したロッドは、 $\alpha=0.940$ と定着効率の向上が見られる。

引張疲労試験結果を表一七に示す。なお、表中のNo. 1
～2は、静的試験の結果である。



4-1 試驗概要

4-2 靜的引張試驗結果

①No. 1～2の静的引張試験では、ロッドが定着部分ですることなく定着できることが確認できた。破断荷重は、理論破断荷重20tf(196kN)に対して、21.9tf(215kN)であった。引張強度とひずみの関係を、図-8に示す。

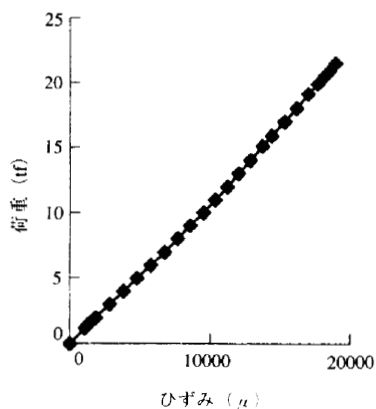


図-8 荷重～ひずみ曲線

②図-9は、ロッド上下端の定着部分における、荷重～ロッド入り込み量を示したものである。ロッド入り込み量は、荷重3tf程度まですみやかに増加し、その後入り込み量の増加率は小さくなるもののロッド入り込みは破断に至るまで増加しており、平均すれば0.4mm/tfの割合となっている。このように、金具定着を行ったことで、引張力の増加に伴うFRP材の入り込みが計測されたことから、FRP材定着時には素材の柔軟性に起因する入り込み量を含めたセットロスを考える必要がある。

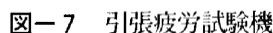


表-6 載荷条件

加振波形	繰り返し 周波数 (Hz)	荷 重	
		上限値 P_1 (tf)	下限値 P_2 (tf)
正弦波	5	$\frac{14}{20 \text{ tf} \times (60+10)}\%$	$\frac{10}{20 \text{ tf} \times (60-10)}\%$

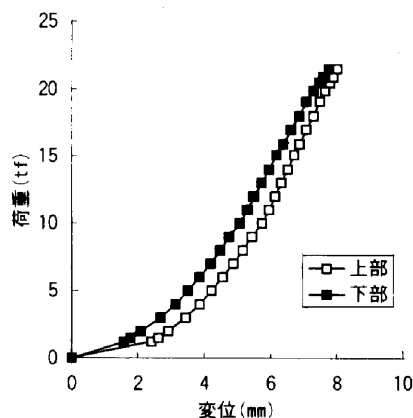


図-9 荷重～ロッド入り込み量

4-3 疲労試験結果

- ①FRP材の耐引張疲労性は、樹脂くさび定着による試験(No. 6)で確認された。疲労試験終了後の静的引張試験で、21.4tf (210kN)の強度が確認された。これは、静的引張強度21.9tf (215kN)の約98%の耐力であり、疲労試験による緊張材の強度低下は小さいと判断できる。
 - ②金具の加工性および量産性に優れていると考えられる材質scs13の鋳造品で、菌形形状 $h=0.5@3.00\text{mm}$ (No. 3-1)、 $0.3@1.75\text{mm}$ (No. 3-2)の条件では、荷重開始後、1万3千回および1万8千回以下でロッドに繊維方向の縦割れが入った。その後、定着部でズレが生じ加振機が自動停止して試験中断となった。
 - ③次に、機械加工(sus304)の $h=0.3\text{mm}$ (No. 4)の菌型ウェッジにより定着し試験を行った。11,500回でロッド上部の定着部近傍で縦割れが生じ、88,730回でロッド主要部の被覆切れが見られ、110,000回までの試験で終了した。
 - ④No. 5は、No. 3-1と同じ菌形および荷重条件でFRP材の定着方法を変えて再度試験を行った。これまでNo. 1～4の試験は、荷重条件を $0 \rightarrow 14\text{tf} \rightarrow$ 試験開始としていたのに対し、No. 5は、定着金具への入り込みを考慮して、 $0 \rightarrow 16 \rightarrow 0.5\text{tf}$ と一旦試験荷重以上の荷重後、試験を開始した。その結果、同じ菌形を用いたNo. 3-1の場合は約13,000回で試験が終了したのに対して、約90,000回でロッドの縦割れが生じるまで試験が継続できた。
- よって、本金具による定着時には、一旦繰返し載荷荷重を上まわる荷重を載荷することで定着効果が高まると考えられ、以降の試験時にはこの方法を採用した。
- ⑤No. 3～5の試験終了後、定着金具を解体したところ、ロッド表面の被覆切れおよびロッドの縦割れが生じていた。
 - ⑥定着金具菌型を長くすることで単位面積当りの把持力

を小さくした $l=255\text{mm}$ および 485mm の菌形(No. 7)を用いた試験の場合100,000回迄の載荷に耐えた。

- ⑦一方、菌の深さを深くして、ロッドの噛み付きを良くする状態として $l=135\text{mm}$ で溝入角度を $\alpha=15^\circ$ 、 $h=1.2\text{mm}$ (No. 8)の菌形を作製し試験を行ったところ約60,000回で加振機が停止した。
- ⑧No. 9は、No. 8上部の菌形上部溝入角度を $\alpha=0^\circ$ と変更した菌形で行った試験では、100,000回の繰返し載荷に耐えた。

以上、表-7中のNo. 9迄の試験は、繰返し回数10万回を目安に試験を停止し、繰返し載荷時の定着金具の定着効率を考慮して、数種類の鋳型製造の菌形を作製し疲労試験を行った。

上記の検討結果を基に、さらに新たに菌形を作製し、載荷繰返し回数に上限を設定せずに異常が生じるまで試験を行った結果を表-8に示す。

表-8 引張疲労試験結果(その2)

	ウェッジ条件					定着具	備考 (載荷回数)
	l 長さ (mm)	h 高さ間隔 (mm)	d/l 傾斜 (°)	θ 勾配 (°)			
No.10	↑255 ↓255	h1.2 @ 3.50 h1.2 @ 3.50	0 "	5 "	機械加工 "	(~24947)	
No.11	↑255 ↓485	h0.3 @ 1.75 h0.3 @ 1.75	15 "	5 "	機械加工 "	(~96804) 4.3万回で縦割れ	
No.12	↑255 ↓485	h0.3 @ 1.75 h0.3 @ 1.75	15 "	5 "	機械加工 "	(~143465)	

- ⑨No.10～12の3ケースの長さ $l=255\text{mm}$ の菌形については、 $h=1.2\text{mm}$ に対して $h=0.3\text{mm}$ のウェッジが優れていると判断される。しかし、それでも高々繰返し回数約140,000回で破断に至った。

4-4 まとめ

FRP材と定着金具に対して、FRP材破断荷重の60%を中心に10%の応力振幅を加えて疲労試験を行った。

緊張材自体は、200万回の耐引張疲労性を確認できた。一方、金具定着では、定着金具ウェッジ(菌型)の形状および長さをパラメータとして、耐引張疲労性の向上を試みたが、FRP材の損傷で試験は中断した。今後、応力振幅および上限応力を変えた場合の、金具定着時の疲労特性について検討を加える必要がある。

以上のことから、現時点における本定着金具の性能は、グラウトタイプのポストテンションタイプの定着方法としては問題ないが、定着部分での応力変動が大きいアウトケーブルあるいはアンボンドケーブルへの適応を考えた場合、耐引張疲労性の向上が必要である。

§ 5. PCはりの静的曲げ試験

5-1 実験概要

本緊張材を用いたプレテンション工法（以下、プレテンと略称）およびポストテンション工法（以下、ポストテンと略称）によって製作したはりの曲げ特性の検討を行った。また、緊張材の配置を縦置きおよび横置きにした場合の曲げ性状の比較およびPC鋼材を緊張材とした場合の性状比較を行った。

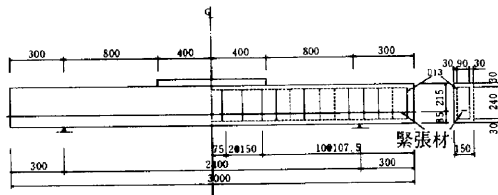


図-10 はり試験体形状

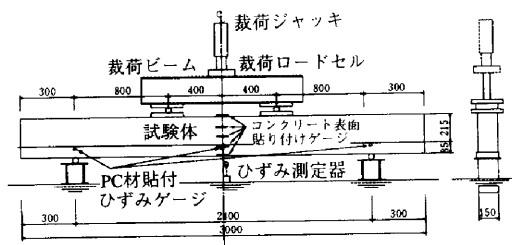


図-11 載荷状況

表-9 試験体の種類

記号	緊張材	PC工法	備考
N-1	FRP材	プレテンション	FRP材縦配置
N-2	FRP材	プレテンション	FRP材横配置
N-3	PC鋼材	プレテンション	FRP材との比較
N-4	FRP材	ポストテンション	FRP材縦配置
N-5	FRP材	ポストテンション	FRP材横配置
N-6	PC鋼材	ポストテンション	FRP材との比較
N-7	FRP材	アンボンド	アンボンドの特性確認

試験体は、図-10に示す形状のはりを表-9に示す7種類のものを作製し実験を行った。コンクリートは設計基準強度 400 kg f/cm^2 (39.2 MPa)、PC鋼材は7 PLY- $\phi 15.2$ 、鉄筋はD13のものをを用いた。試験体は、各々1～3本製作した。

試験体製作時の緊張力導入時期を示す。

- ・プレテン工法：12時間蒸気養生後、緊張力導入
- ・ポストテン工法：コンクリート強度が計画緊張強度 300 kg f/cm^2 (29.4 MPa) 以上である事を確認後緊張
- ・アンボンドタイプポストテン工法：コンクリート強度

が 400 kg f/cm^2 (39.2 MPa) 以上である事を確認後緊張

5-2 解析結果

緊張材にFRP材を用いた、PCはりの静的曲げ試験時の挙動（荷重～変位曲線）の概略は、曲げひびわれ発生点、引張鉄筋降伏開始点、FRP材破断発生点の3点で折れ曲る曲線にモデル化できるものと考えられる。以下に、各状態のひずみおよび応力分布を示す。また、曲げモーメント M 、荷重 Q 、変位 δ の計算は以下に行った³⁾。

(ひずみ分布)

(応力分布)

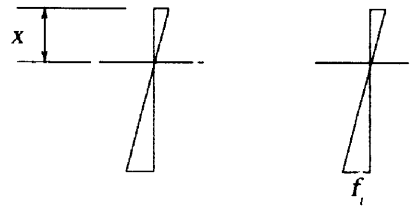


図-12 ひびわれ発生時のひずみ・応力分布

①ひびわれ発生時

$$M_{cr} = (f_{ct} + f_{pe}) \cdot Z - M_d$$

$$Q_{cr} = 2M_{cr} / l$$

$$\delta_{cr} = 0.165 \cdot M_{cr} \cdot L^2 / (E_c I_c)$$

ここに、 f_{ct} ：コンクリート引張強度 ($=1.8\sqrt{f_{cu}}$)

f_{cu} ：コンクリート圧縮強度

f_{pe} ：有効プレストレス

Z ：断面係数

$E_c I_c$ ：ひびわれ発生以前PCはり曲げ剛性

(ひずみ分布)

(応力分布)

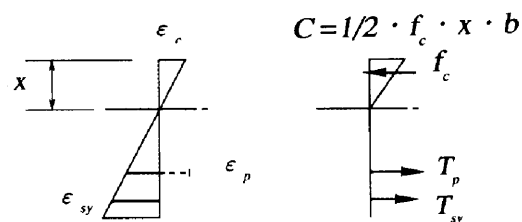


図-13 鉄筋降伏時のひずみ・応力分布

②鉄筋降伏時

$$M_{sy} = T_p \cdot (d_p - \frac{x}{3}) + T_{sy} (d_s - \frac{x}{3})$$

$$\delta_{sy} = \delta_{cr} + 0.1065 (M_{sy} - M_{cr}) \cdot L^2 / (EI)_{sy}$$

ここに、 x ：中立軸距離、 $C = T_p + T_{sy}$ より算定

$(EI)_{sy}$ ：鉄筋降伏時PCはり曲げ剛性

$$(EI)_{sy} = \dot{M}_{sy} / \phi_{sy}, \quad \phi_{sy} = \epsilon_c / x$$

③破壊時

(ひずみ分布)

(応力分布)

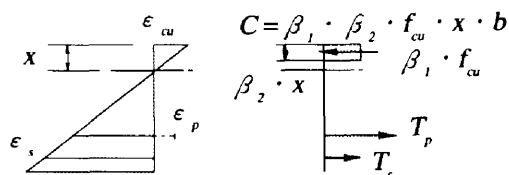


図-14 破壊時のひずみ・応力分布

$$M_u = T_{pu} \cdot (d - \beta_1 \frac{x}{2}) + T_{sy} (d_s - \beta_1 \frac{x}{2})$$

$$\delta_u = \delta_{cr} + 0.1065 (M_u - M_{cr}) \cdot L^2 / (EI)_u$$

ここに、 x ：中立軸距離、

$$x = (T_{pu} + T_{sy}) / (\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot f_{cu} \cdot b)$$

 $(EI)_u$ ：鉄筋降伏時PCはり曲げ剛性

$$(EI)_u = M_u / \phi_u, \quad \phi_u = \epsilon_{cu} / x$$

この計算で予測される、はりの載荷時の各状況における荷重値、たわみ値は表-10のとおりであり、荷重～たわみ曲線は図-15に示すようになる。

表-10 計算結果

状況	荷重 (tf)	たわみ (mm)
ひびわれ発生時	5.5	1.2
鉄筋降伏時	11.6	4.5
破壊時	15.3	25.1

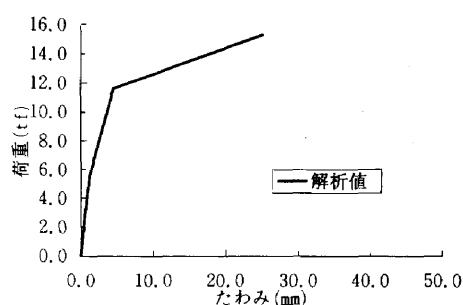


図-15 荷重～たわみ曲線（解析値）

5-3 実験結果

表-11に、導入緊張力、破壊時の荷重、たわみ、コンクリートおよび緊張材のひずみをまとめた結果を示す。

①破壊性状

表-11に示すように、FRP材使用PCはりは、導入緊張力を低くしたN-5およびアンボンドタイプのN-7の試験体以外は、プレテン、ポステン全てのはりが緊張材

破断の曲げ破壊性状を呈した。荷重とたわみを計算値との比較で示したものが図-16である。

表-11 はりの静的曲げ試験結果

試験体	プレストレス導入時		破壊時					
	緊張力 (tf)	歪み (μ)	荷重 (tf)	たわみ (μ)	緊張材歪み (μ)	コンクリート歪み (μ)	鉄筋歪み (μ)	
N-1-1	12.6	11,700	15.7	25.7	7,100	2,400	—	①
-2	12.6	11,700	16.6	27.5	7,300	2,400	—	①
-3	13.0	12,100	17.7	31.4	9,200	2,400	2,600	①
N-2-1	12.6	11,700	16.8	28.9	7,500	2,600	—	①
-2	12.6	11,700	17.0	34.7	9,700	2,800	—	①
-3	13.0	12,100	17.9	33.6	10,300	3,000	1,800	①
N-3-1	13.5	4,800	16.8	39.4	6,400	1,800	—	③
-2	13.5	4,800	17.7	35.0	6,200	2,400	—	③
N-4	14.8	13,600	17.4	30.4	8,300	2,600	—	①
N-5-1	15.1	13,800	17.3	31.0	—	2,700	2,100	①
-2	9.5	8,700	15.9	43.5	11,500	3,000	—	②
N-6	10.8	3,900	18.8	34.0	8,300	3,000	—	②
N-7-1	15.0	13,400	13.7	31.9	3,200	3,400	—	②
-2	14.0	—	13.8	29.3	3,200	2,500	—	②
破壊性状 ①緊張材破断、曲げ破壊 ②緊張材非破断、圧縮部コンクリート圧壊曲げ破壊 ③緊張材非破断、曲げせん断破壊								

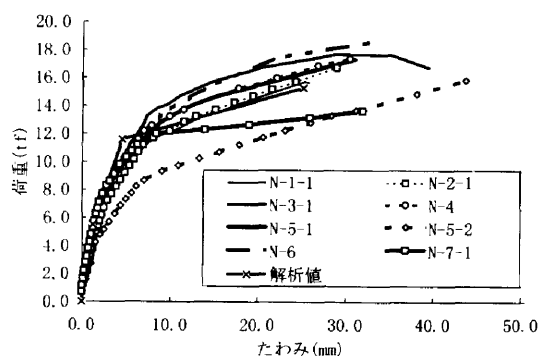


図-16 はり曲げ試験（荷重～たわみ曲線）

この図から、FRP材の配置を縦と横に変えた、プレテンタイプN-1とN-2およびポステンタイプN-4とN-5の比較から、FRP材配置の違いによるたわみの差は小さいものと判断できる。よって、本FRP材の縦および横配置の選択は、部材曲率、定着性および施工性を考慮して適宜選択すればよいと考えられる。

プレテン（N-1，2）およびポステン（N-4，5）にかかわらずボンドタイプのはりは、破壊荷重に顕著な差は見られなかった。図-16で、試験値と計算値を比較すると、試験値が若干大きくなる結果となった。

以下に、FRP材破断以外の場合の破壊状況について述べる。

・FRP材横置、ボステン (N-5-2)

導入緊張力を計画値の60%としており、はり中央部のたわみが大きく、圧縮部コンクリートが圧壊し、耐荷力は小さくなった。

・FRP材縦置、アンボンド (N-7)

緊張材のひずみは、アンボンドであることから緊張材全体で均一的になると考えられる。そのため、ボンドタイプのものと比べてたわみが大きく、荷重の進行により緊張材ひずみが破断に至る前に、圧縮部コンクリートが圧壊した。破壊荷重は小さいものであった。

②PC鋼材使用PCはり試験体

・PC鋼材、プレテンションタイプ (N-3)

実験の結果、せん断の影響を受けた曲げせん断破壊の傾向がみられた。これは、破壊近傍において端部PC鋼材に滑りが生じていたことから、このPC鋼材の滑りが原因で、曲げせん断破壊の傾向を呈したものと推定される。

・PC鋼材、ポストテンションタイプ (N-6)

PC鋼材が破断に至る前に圧縮部コンクリートが圧壊した。これは、N-6は、緊張材端部を定着金具により固定していることから、N-3のようにせん断破壊とならなかったと考えられる。

③FRP緊張材使用はりとはPC鋼材使用はりの比較

N-1, 2に対するN-3、およびN-4, 5に対するN-6の結果から顕著な差は見られなかった。

④FRP材の緊張材としての有用性

荷重時の荷重～たわみ曲線は、FRP材をボンドタイプとして用いたPCはりとは、PC鋼材を用いたものと類似の性状を示した。

以上のはりの曲げ試験から、本FRP材のPC鋼材の代替緊張材としての有用性が確認できたと判断できる。

§ 6. 今後の課題

今回、ロッド表面にエンボス加工を施した熱可塑性樹脂により被覆したFRP材および定着金具の開発を行いロッドの物理的および化学的基本特性の検討を加えた。次に、定着金具の定着特性について、静的引張試験および引張疲労試験を行った。さらに、FRP材をはりへ適用し静的曲げ試験を行い、PC鋼材を用いたはりとの破壊性状の比較を行った。これらの検討により得られた知見を以下に示す。

①開発したFRP材は、建設補強材としての耐高温性、耐化学薬品性がある。

②FRP材は、被覆により耐外傷性が向上している。

③FRP材を緊張材として用いる場合、横あるいは縦の配置によるはりの耐力差は小さく、状況に応じた利用方法が考えられる。

④緊張材としてFRP材およびPC鋼材を用いたはりの静的曲げ試験の結果、両者は同等の耐力があり、たわみ性状も近いものとなった。はりの曲げ試験時に、FRP材とコンクリートとのスベリは見られず、付着性状も充分であった。

以下に、施工面を含めた今後の検討課題を示す。

①FRP材は、引張荷重により脆性破断をする特性がある。従って、FRP材を用いたPCはりとは、断面設計によっては脆性的な曲げ破断をすることになり危険である。これに対しては、導入緊張力を低めに設定して圧縮部コンクリートが先行圧縮破壊するように断面設計する方法、あるいは緊張していないFRP材あるいは鉄筋を追加的に配置するなどの補強による方法が考えられる。

②FRP材を定着金具により把持した場合の面引張疲労性に問題がある。載荷荷重条件を変えて試験を行い、定着部分での引張疲労性状を明らかにする必要がある。

③はりが繰り返し曲げ荷重を受けた場合の、FRP材とコンクリートとの付着性状を調べる必要がある。

④FRP材は、コストで比較するとPC鋼材に対して割高であるため、単価低減を計る必要がある。

今後、これらの事項を課題として開発を進めていく考えである。

§ 7. おわりに

最後に、本開発は株式会社 安部工業所、宇部日東化成株式会社、丸紅株式会社との共同で行ったものであり、ご指導ご協力頂いた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) T.Nishi, M.Kobayashi, T.Ito and Okada :
Development of FRP Flat-Rod for the
Prestressing Tendon of PC Structure, Proceedings
of 3rd International SAMPE Symposium, 1993.12.
- 2) 土木学会: “コンクリートライブラリー” 連続繊維補
強材のコンクリート構造物への適用”
- 3) 岡本直也: “アラミド繊維による組み紐状棒材の研究
(PRCはりの曲げ性状Ⅰ)”, 日本建築学会大会学術講演
梗概集 (関東), 1988.10