

V-136

炭素繊維FRP材料を使用したノンメタルPC人道橋

（その3） 人道橋に使用したFRP材料の特性

船橋市役所

半沢 茂

小林 一彦

日本コンクリート工業 正会員

丸山 武彦

小林 英博

日本コンクリート工業

西山 啓伸

1. まえがき

本報告（その1）において人道橋の製造と施工、（その2）において設計と載荷試験について報告した。ここでは、使用したCFRP材料に関して行った実験のうち、設計に必要な諸特性について述べる。

2. 炭素繊維FRP材料の概要

緊張材として使用したストランドタイプのFRPは、直径7mmの高強度型PAN系炭素繊維を熱硬化性エポキシ樹脂で収束し、異形化と保護膜形成を兼ねる表面ラッピング処理した線状体を作り、これを7本より合わせて加熱硬化させたものである。一方、配力筋およびスターラップに使用したFRPは、高強度型PAN系炭素繊維にエポキシ樹脂を含浸させ、ダイスを通して引き揃えたブルトルージョンロッドに、12,000フィラメントの炭素繊維束によりを入れながら7mmピッチで巻きつけて異形化し、一体硬化成形したものである。表-1は、CFRPのストランドおよびロッドに関する実験結果の平均値を示し、それぞれについて以下に詳しく述べる。

3. 炭素繊維FRP材料の特性

1) 引張強度・弾性係数・伸び能力：炭素繊維FRP材料の荷重とひずみの関係は他の新素材と同様であり、破断まで直線的で降伏域は見られない。特性値は表-1に示すようであり、見かけの引張強度はストランドおよびロッドの有効断面積から求め、弾性係数は応力～ひずみ曲線から求めた。引張強度はストランドの場合のほうが大きく約220kgf/mm²であり、ロッドの場合は約180kgf/mm²である。CFRPは破断時の伸びが小さく、ストランドの場合は1.5～1.6%、ロッドの場合は1.1～1.3%程度であった。

2) 付着特性：CFRPストランドの場合は、図-2の引抜き試験の結果に示すようにPC鋼より線と同等以上の付着性能を有している。すなわち、コンクリート強度が600kgf/cm²の場合の付着応力度はCFRPの方が大きく、たとえば、すべり量が0.05mmおよび0.25mmの時の値はそれぞれ58kgf/cm²および69kgf/cm²であり、PC鋼より線に比較すると約10kgf/cm²大きい。コンクリート強度が300kgf/cm²の場合も同様である。一方、CFRPロッドの場合は異形加工を施す方法がいくつか考えられるが、付着性能が良く、ばらつきが少なく、加工

の容易な方法として、ロッド表面に炭素繊維束を7mmピッチでより入れながら巻き付ける方法を選定した。その付着試験の結果は、図

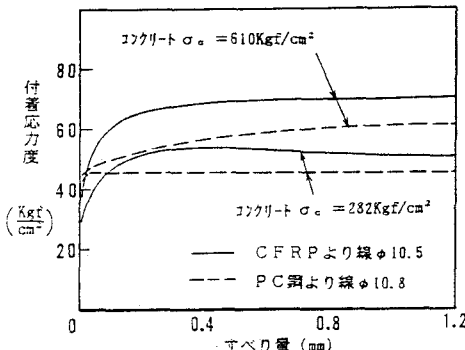


図-2 CFRPストランドとPC鋼より線の付着曲線

表-1 CFRP材料の特性値

用途	緊張材	配力筋・スターラップ
繊維種類	PAN炭素7本より線	PAN炭素異形ロッド
呼び径 (mm)	12.5	6.0
重量 (g/m)	160	48
比重	1.50	1.45
断面積 (mm ²)	76.0	28.3
破断荷重 (kgf)	16,500	4,990
破断強度 (kgf/mm ²)	218	177
弾性係数 (kgf/mm ²)	14,100	14,700
破断時の伸び (%)	1.6	1.2
リャクセーション (%)	2.46	—
クリープ (%)	0.04	—
線膨張係数 (10 ⁻⁶ /°C)	0.3	1.3

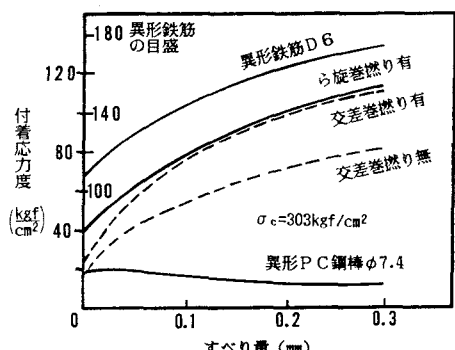


図-3 炭素繊維FRPロッドの付着曲線

ー3に示すとおりであり、すべり量が0.1mmの時の付着応力度は約80kgf/cm²、付着強度は120kgf/cm²程度でストランドの場合よりも大きい。

3) 高温時の付着特性： 図-4は、使用したFRPロッドφ6の引抜き方法による付着試験においてコンクリートの温度を変えた場合の付着強度を示す。常温で約120kgf/cm²の付着強度は温度が高くなるにしたがって低下し、70℃で約80kgf/cm²、100℃では約50kgf/cm²となる。この理由 表-2 FRP材料の線膨張率はFRPのマトリクスとなる樹脂の耐熱性に関係するものと考えられるので、養生時あるいは使用環境において高温の影響を受ける場合は、FRP材料の付着性能に関する厳密な検討を行わなければならない。

4) プレストレスの伝達長さ： 図-5は、10×10×220 cmのコンクリート試験体にCFRPストランドおよびPC鋼より線を埋設し、圧縮強度約340kgf/cm²において7500kgfの緊張力を解放したときのコンクリートのひずみを測定したものである。この結果、CFRPストランドの場合のプレストレスの伝達長は呼び径の約25〜30倍程度であり、PC鋼より線の場合は同じく30〜35倍程度であった。したがって、伝達長さおよび付着試験の結果より判断して、CFRPストランドの付着性能はPC鋼より線と比較して同等以上であることが分かる。

5) リラクセーション： PC構造の緊張材のリラクセーション率は小さいことが望ましい。図-6は切断荷重が約16,000kgfのCFRPストランドφ12.5を用いて緊張力11,000kgf、最高温度60℃、16時間保持の条件で50時間のリラクセーション試験を行った結果である。CFRPのリラクセーション値は約2.5%で、比較したPC鋼より線の約5.8%の1/2程度であることが分かり、設計上有利である。

6) 線膨張率： 表-2はエポキシ樹脂をマトリクスとする炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維のFRPロッド（φ6）およびCFRPストランド（φ5）の線膨張率について、ASTM D696の試験方法によって実験を行った結果である。CFRPは他の繊維と比較しても線膨張率は小さくほとんど0に相当し、コンクリートに対しては約10×10⁻⁶/℃の差があると考えてよい。従って、温度変化の激しい環境においては温度応力の影響を検討する必要がある、とくに高温側に变化する場合はマトリクス材となる樹脂の耐熱性に関係する付着性能の低下などを含め、十分な実験と検討を行うことが重要である。

4. おわりに

以上のように、PC人道橋に使用した炭素繊維FRP材料の特性に関する実験の結果を報告した。新素材FRPの特性は徐々に明らかにされてきているが、まだ十分とはいえない状況であり、今後さらにデータを蓄積することが必要である。

FRP材料	線膨張率 (10 ⁻⁶ /℃)
炭素ロッド φ6	1.3
アラミドロッド φ6	-0.8
ガラスロッド φ6	6.7
炭素ストラット φ5	0.3
エポキシロッド φ6	57.0

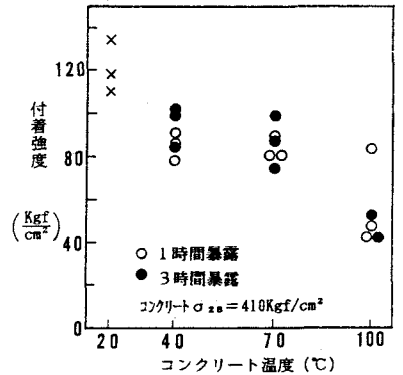


図-4 コンクリート温度とFRPロッドの付着強度

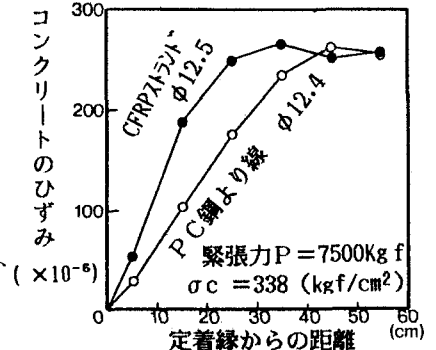


図-5 プレストレスの伝達長さ

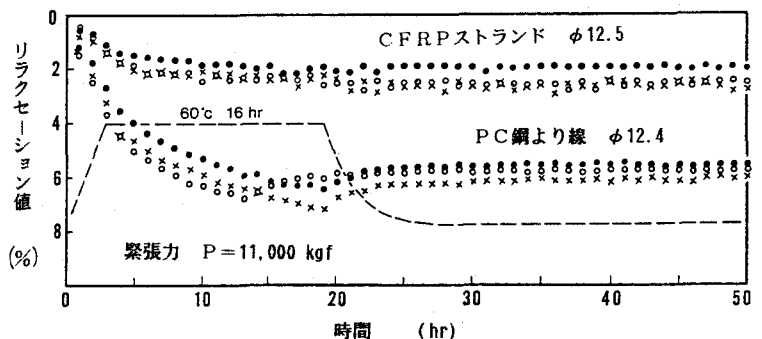


図-6 CFRPストランドおよびPC鋼より線のリラクセーション