

## CFRP材を適用したプレストレストコンクリート桁の載荷試験

|           |     |        |
|-----------|-----|--------|
| 東京製綱(株)   |     | ○古瀬 徳明 |
| 北海道大学大学院  | 正会員 | 横田 弘   |
| 港湾空港技術研究所 | 正会員 | 加藤 絵万  |
| 香川大学      |     | 岡崎 慎一郎 |

## 1. はじめに

優れた力学特性を有し、腐食しないCFRPを補強筋および緊張材に用いることでコンクリート構造物の力学性能や耐久性を向上させ、ライフサイクルコストを低減できる可能性がある。

そこで、本研究では、従来のPC桁へのCFRP棒材の適用性およびライフサイクルコストの検討を目的とし、緊張材および補強筋の材料と構成が異なるPC試験桁を同一の断面寸法で製作し載荷試験を行うことで力学性能を評価した。その結果、CFRPを適用したPC桁は、従来のPC桁と同等の力学性能を有することを確認した。

## 2. 供試体

供試体は、実際の栈橋上部工のPC主桁をもとに桁支間中央部の桁下縁応力が同等となるように設計した<sup>1)</sup>「小型のモデル桁(小型供試体)」と「実物大のモデル桁(実物大供試体)<sup>2)</sup>」を製作した。小型供試体では、緊張材および補強筋の材料と構成が異なる桁の力学的性能に与える影響を確認した。実物大供試体では、小型供試体の載荷試験結果を踏まえ、長期耐久性の確保と材料コストの低減の両立を可能とする緊張材・補強材の構成について検討し、そのような断面を有する桁の力学性能を考察した。

## 2. 1 小型供試体

小型供試体の概要を表-1に示す。供試体は、実際の栈橋上部工のPC主桁をもとに桁支間中央部の桁下縁応力が同等となるように設計したプレテンション方式PC桁であり、同一断面で緊張材の構成が異なる(a) CFRPのみ(Type-1)、(b) CFRPとPC鋼より線との組み合わせ(Type-2)、(c) PC鋼より線のみ(Type-3)の3タイプについて検討した。なお、桁の寸法は、桁高さ300mm、幅240mm、長さ3000mmであり、各タイプ2体ずつ製作した。なお、小型供試体の使用限界状態は、桁中央部においてコンクリートの曲げひび割れ強度(2.2N/mm<sup>2</sup>)と同等の応力が作用する状態とした。

## 2. 2 実物大供試体

実物大供試体の概要を表-2に示す。桁の寸法は、桁高さ550mm、幅700mm、長さ9900mmである。供試体は、実際の栈橋上部工のPC主桁を実部大でモデル化したもの(Case-0<比較材>)と、同一の諸元でPC鋼より線の一部をCFRP緊張材およびCFRP補強筋に置き換えたもの(Case-1)の各1体とした。

## 3. 使用材料

小型および実物大の供試体に使用した緊張材の仕様を表-3に示す。なお、載荷試験時のコンクリート強度は56~57 N/mm<sup>2</sup>であった。

表-1 小型供試体の概要

| 項目       |         | Type-1                         | Type-2                                                     | Type-3                         |
|----------|---------|--------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 使用補強材    | 緊張材     | CFRP 1×7 12.5φ                 | SWPR7BL 12.7mm (上段: 2本, 中段: 1本)<br>CFRP 1×7 12.5φ (下段: 2本) | SWPR7BL 12.7mm                 |
|          | 補強筋     | CFRP 5.0φ                      | CFRP 5.0φ                                                  | D10                            |
| 設計       | 使用限界状態  | 92.0<br>(スパン中央部でのたわみ量: 1.8mm)  | 92.0<br>(スパン中央部でのたわみ量: 1.8mm)                              | 92.0<br>(スパン中央部でのたわみ量: 1.8mm)  |
|          | 初期ひび割れ時 | 113.9<br>(スパン中央部でのたわみ量: 2.2mm) | 116.3<br>(スパン中央部でのたわみ量: 2.3mm)                             | 116.6<br>(スパン中央部でのたわみ量: 2.3mm) |
|          | 終局時     | 228.3                          | 232.5                                                      | 237.7                          |
| 桁中央部の断面図 |         |                                |                                                            |                                |

表-2 実物大供試体の概要

| 項目       |         | Case-0                          | Case-1                                                     |
|----------|---------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 使用補強材    | 緊張材     | SWPR7BL 15.2φ                   | SWPR7BL 15.2mm (上段: 2本, 中段: 4本)<br>CFRP 1×7 15.2φ (下段: 6本) |
|          | 補強筋     | D13                             | CFRP 5.0φ                                                  |
| 設計       | 使用限界状態  | 116.0<br>(スパン中央部でのたわみ量: 7.0mm)  | 116.0<br>(スパン中央部でのたわみ量: 6.9mm)                             |
|          | 初期ひび割れ時 | 245.4<br>(スパン中央部でのたわみ量: 14.8mm) | 215.3<br>(スパン中央部でのたわみ量: 12.8mm)                            |
|          | 終局時     | 505.5                           | 460.7                                                      |
| 桁中央部の断面図 |         |                                 |                                                            |

表-3 緊張材の仕様

| 項目                                  | 小型供試体              |                    | 実物大供試体            |                    | 備考   |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------|
|                                     | PC 鋼より線            | CFRP               | PC 鋼より線           | CFRP               |      |
|                                     | SWPR7BL<br>12.7mm  | 7本より<br>12.5mm     | SWPR7BL<br>15.2mm | 7本より<br>15.2mm     |      |
| 供試体記号                               | Type-2, 3          | Typ-1, 2           | Case-0            | Case-0, 1          |      |
| 有効断面積 [mm <sup>2</sup> ]            | 98.71              | 76.0               | 138.7             | 115.6              |      |
| 引張破断荷重 [kN]                         | 183                | 184                | 261               | 270                |      |
| 引張応力度 $f_{bu}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | 1850               | 2421               | 1850              | 2336               |      |
| 弾性係数 [kN/mm <sup>2</sup> ]          | 200                | 155                | 200               | 155                | ※1   |
| 概算単位重量 [g/m]                        | 774                | 145                | 1101              | 221                |      |
| 初期引張応力度 [N/mm <sup>2</sup> ]        | 1350               | 1800               | 1350              | 1800               |      |
| 初期引張荷重 [kN]                         | 133                | 137                | 187               | 208                |      |
| 引張応力度の制限値 [N/mm <sup>2</sup> ]      | 緊張作業中 $0.8f_{bu}$  | 1440 <sup>※2</sup> | 1869              | 1440 <sup>※2</sup> | 1869 |
|                                     | 緊張作業直後 $0.7f_{bu}$ | 1295 <sup>※2</sup> | 1635              | 1295 <sup>※2</sup> | 1635 |
|                                     | 使用限界状態 $0.7f_{bu}$ | 1110 <sup>※2</sup> | 1635              | 1110 <sup>※2</sup> | 1635 |
| リラクゼーション率 [%]                       | プレストレス導前           | 1.5                | 6.0               | 1.5                | 6.0  |
|                                     | 高温養生の影響            | 1.0                | 1.0               | 1.0                | 1.0  |

※1: 製品カタログ値より引用。

※2: 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書 (共通編・IIIコンクリート橋編) 同解説, 平成24年3月

※3: PC 鋼より線と同等と考えた。ただし, CFRP の方が PC 鋼より線よりも温度影響は小さい。

## 4. 荷重試験

### 4. 1 小型供試体

#### 4. 1. 1 試験方法

荷重方法は、支点間長さを2700mm、曲げスパン900mmとした3等分点2点集中荷重とし、荷重荷重と桁中央のたわみ量を測定した。試験は、①初期のひび割れ発生が確認されるまで荷重したのち除荷し（約2～5kN）、②再度降伏点まで荷重したのち除荷し（約2～5kN）、③最後に終局まで荷重した。

#### 4. 1. 2 試験結果

図-1の(a)、(b)は、それぞれ(a)初期ひび割れ発生時まで、(b)終局時までの荷重-たわみ曲線を示す。荷重荷重に対する使用限界状態（荷重荷重：92kN）および初期ひび割れ発生時までの荷重荷重に対する桁中央のたわみ量は、いずれの供試体も設計値（表-1参照）とほぼ同等であり、荷重荷重に対するたわみの挙動は、いずれの供試体もほぼ一致していた。終局時の荷重荷重は、いずれも約300kN（設計値：228.3～237.7kN）で、破壊形態は支間中央付近における桁上縁側でのコンクリートの圧縮破壊であった。使用した補強材の違いによる桁性能（耐荷力やたわみ量）の差は小さく、ほぼ同等の曲げ性能を有することが確認できた。

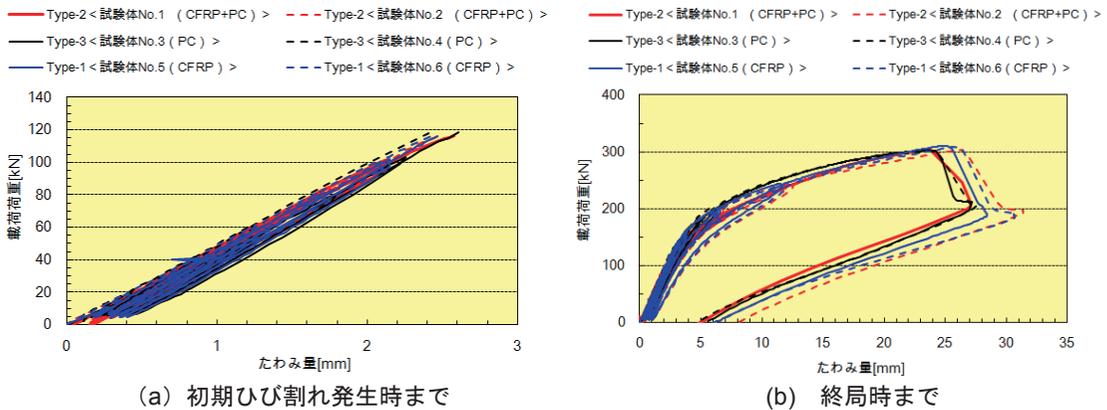


図-1 荷重-たわみ曲線

### 4. 2 実物大供試体

#### 4. 2. 1 試験方法

荷重方法は、支点間長さを9600mm、曲げスパンを1000mmとした4点曲げ荷重とし、荷重荷重と桁中央のたわみ量を測定した。試験は、小型供試体と同様な荷重方法で行った。

#### 4. 2. 2 試験結果

図-2の(a)、(b)は、それぞれ(a)初期ひび割れ発生時まで、(b)終局時までの荷重-たわみ曲線を示す。使用限界状態（荷重荷重：116kN）および初期のひび割れ発生時までの荷重荷重に対する桁中央のたわみの挙動はほぼ一致していた。終局時の破壊形態は、いずれの供試体も支間中央付近における桁上縁側でのコンクリートの圧縮破壊であったが、終局時の荷重荷重（耐荷力）およびたわみ量は、Case-1の方がCase-0に比べそれぞれ10%および30%程度大きかった。また、図-3の(a)、(b)は、そのCase-0、Case-1の終局時までのコンクリート側面に生じたひび割れの分布状況を示す。ひび割れの分布状況は、Case-1の方がCase-0に比べやや小さなひび割れが広範囲にわたり分散している傾向にあった。耐荷力およびたわみ量の違いは、桁の下縁側に使用した緊張材の機械的特性の違いによるもので、Case-1のCFRPの緊張材がCase-0のPC鋼より線の緊張材に比べ引張破断強度が高く、降伏点がなく破断まで弾性変形であること、CFRPの緊張材の弾性係数がPC鋼より線に比べ小さいことに起因したものと推察される。終局時のひび割れ分散性の違いは、緊張材とコンクリートとの付着力の違いに

よるものであり、Case-1に使用したCFRPの緊張材の方がCase-0のPC鋼より線に比べ付着力が大きいことに起因したものと推察される。

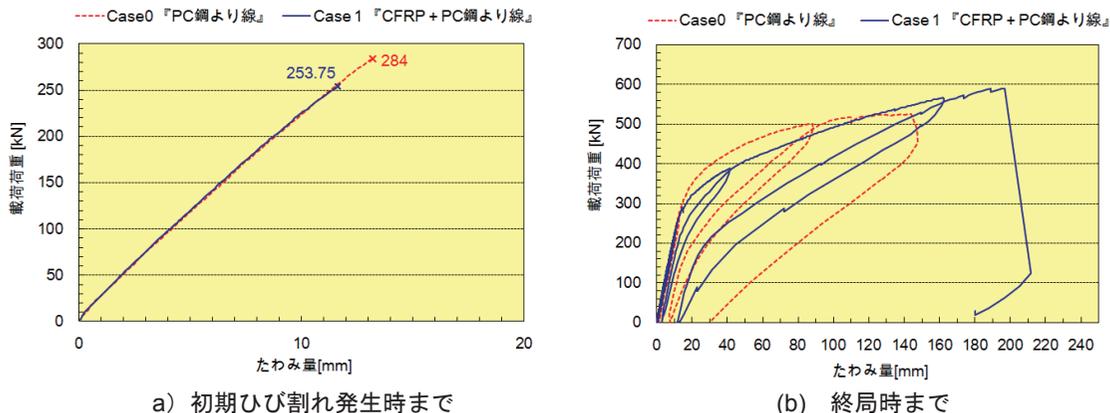


図-2 荷重-たわみ曲線

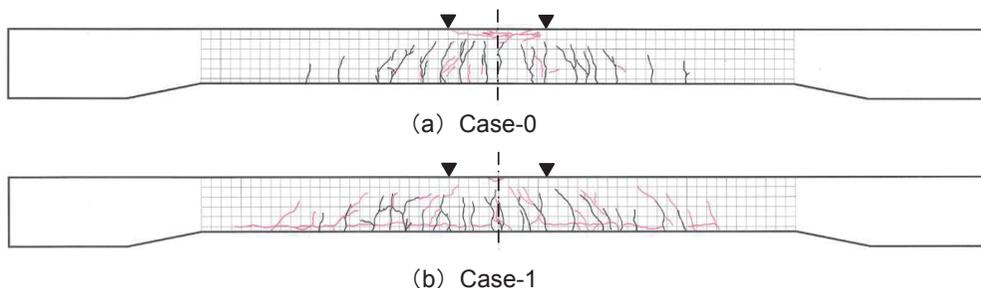


図-3 供試体側面のひび割れ分布 (メッシュサイズ: □100)

### 5. まとめ

実際の栈橋上部工のPC主桁をもとに桁支間中央部の桁下縁応力が同等となるように設計した「小型供試体」と「実物大供試体」を設計・製作し、荷重試験を行った。その結果、次のことが分かった。

- (1) CFRPをPC桁の緊張材および補強筋に使用した場合も、PC鋼より線および異形鉄筋を使用したものと同等の曲げ性能を有することが確認できた。
- (2) 小型供試体では、使用した補強材の違いによる桁性能（耐荷力やたわみ量）の差は小さく、ほぼ同等の曲げ性能を有することが確認できた。
- (3) 実物大供試体では、桁の下縁の緊張材にCFRP材を適用した方がPC鋼より線を使用したものより耐荷力が高く、終局時に大きなたわみを呈することが確認できた。それらは、緊張材に使用したCFRPとPC鋼より線の機械的特性およびコンクリートとの付着特性の差に起因しているものと推察された。

今後は、ライフサイクルコストの評価と併せた設計施工の考え方を整理する予定である。

### 参考文献

- 1) 『連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針 (案)』コンクリートライブラリー 第88号, 1996.9
- 2) 榎本 剛, 古瀬 徳明, 加藤 絵万, 岡崎 慎一郎, 横田 弘: CFRP を使用する港湾 PC ホロー桁の実物大荷重実験, 第42回土木学会関東支部技術研究発表会 V-61, 2015年3月