

## 論文 CFRP 仕様の高性能プレテンション PC 桁の曲げ・せん断耐力

金田 一男<sup>\*1</sup>・富山 潤<sup>\*2</sup>・宮野 伸介<sup>\*3</sup>・崎原 盛吾<sup>\*4</sup>

**要旨：**本研究では、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)より線をプレテンション PC 桁の緊張材として製作した CFRP 仕様の高性能プレテンション PC 桁の曲げ・せん断に関する二点荷重実験を行い、その耐力と変形能力を詳細に検討した。CFRP 仕様 PC 桁は、B 活荷重に対応し、断面形状が同じである曲げ試験体（桁長 12.5m）1 体とせん断試験体（桁長 4.0m）1 体の合計 2 体を製作した。本研究で得られた研究結果と既存の普通 PC 鋼より線の PC 桁（以降：普通仕様 PC 桁と称する）の研究結果と比較することにより、CFRP 仕様 PC 桁の耐力および変形能力を有することを明らかにした。

**キーワード：**プレストレス、CFRP、プレテンション PC 桁、橋梁、長寿命化

## 1. はじめに

我が国は四方を海に囲まれ、厳しい塩害地域において、社会資本としての橋梁や港湾構造物などのコンクリート部材の早期劣化が重要な社会問題となっている。したがって、構造物の長寿命化およびメンテナンスフリーが求められ、効果的な塩害対策の構築が急務である。このような背景で、高耐久性なコンクリート構造物の開発・研究が極めて重要であり、塩害より架け替えの多い道路構造物である橋梁上部工の高性能化が特に重要である。

現行基準では、厳しい塩害地域における橋梁のプレテンション PC 桁の塩害対策としてエポキシ鉄筋の使用やコンクリート表面被覆との併用が可能となり、エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線などを用いた PC 桁に関する研究や指針類も挙げられる<sup>1)~6)</sup>。しかし、これらの方法は鋼材の腐食を防止する発想であるため、抜本的な塩害対策ではない。塩害が発生しない高性能のプレテンション PC 桁の技術開発が重要と考える。

そこで、本研究は塩害発生の恐れがない CFRP(Carbon-Fiber Reinforced Plastic)仕様の高性能プレテンション PC 桁（以降：CFRP 仕様 PC 桁と称する）を開発することを目的としている。海外では、CFRP 仕様のポストテンション PC 桁の適用実例が散見されるが<sup>7)</sup>、国内ではまだ研究事例が少なく、実用化されていない<sup>8)</sup>。本研究は、補強鋼材（PC 緊張材・スターラップなど）の代わりに CFRP より線を用い、B 活荷重に対応した断面が同じである曲げ試験体 1 体（桁長 12.5m）およびせん断試験体 1 体（桁長 4.0m）の合計 2 体を製作し、荷重実験を行い、更に、普通仕様 PC 桁の研究結果と比較し、その耐力および変形能力を明らかにした。

## 2. 実験計画

試験体（曲げ・せん断）の形状・寸法・補強材の配置および埋設型ひずみ計の設置状況を図-1 に示す。図-1 に示すように、曲げ試験体は、耐力能力などを勘案し、

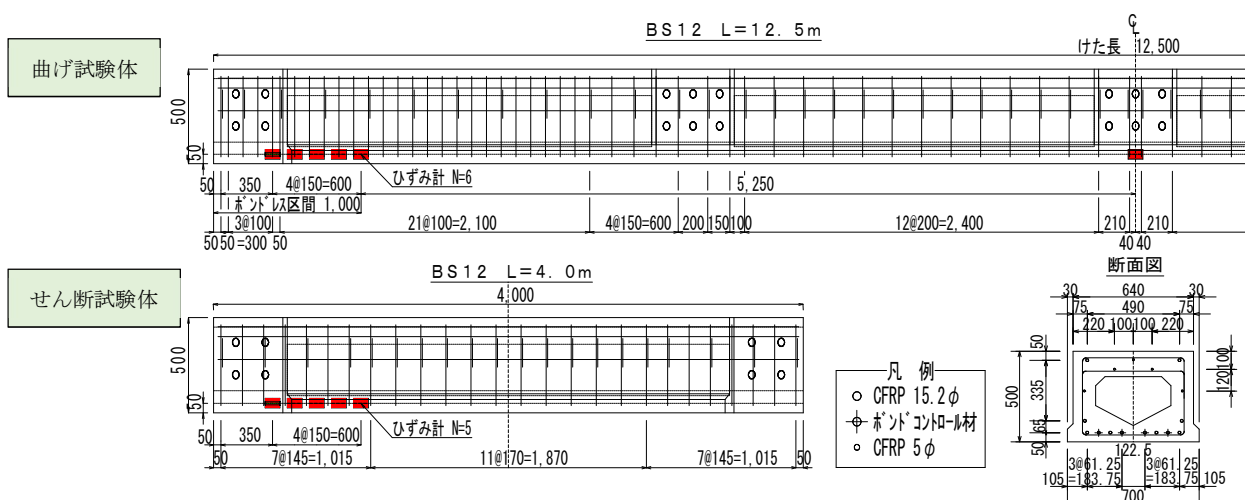


図-1 試験体の形状・寸法・補強材の詳細及び埋設型ひずみ計の設置状況

\*1 有明工業高等専門学校 創造工学科 建築コース教授 博士（工学）（正会員）

\*2 琉球大学 工学部工学科 社会基盤デザインコース准教授 博士（工学）（正会員）

\*3 (株) 技建 設計室長

\*4 ホープ設計 (株) 技術管理部設計部技士

B 活荷重用プレテンションスラブ橋げた（桁断面：中空タイプ）の BS12（桁長 12.5m）とした<sup>9)</sup>。せん断試験体は、曲げ試験桁と同じ断面形状および緊張材の配置であるが、実の PC 桁の両端部を代表する長さ 4.0m とした。CFRP 仕様であるため、塩害地域においても腐食する恐れがないことを勘案し、JIS 桁に示す最小コンクリートかぶり（35mm）を確保するように緊張材を配置した。補強材の詳細を写真-1 に示す。また、写真-2 に示すように、PC 桁の端部に通常の PC 鋼より線仕様の PC 桁と同様、4 本の緊張材に対して、1m の範囲でボンドレスを施した。CFRP 仕様 PC 桁の定着長を把握するために、桁端部において埋設型のひずみ計を設置し、プレストレス導入に伴うコンクリートのひずみ分布を測定した。

曲げ試験体およびせん断試験体を同時に打設し、温度 65℃の水蒸気で約 18 時間を養生した後、載荷実験まで自然養生を行った。打設後の 2 日目にプレストレス導入を行い、18 日目に載荷実験を行った。なお、緊張材 1 本当たりの導入プレストレス力は 187kN である。

試験体に使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。緊張材はφ15.2mm の普通 PC 鋼より線と同じ直径の CFRP より線を用い、その有効断面積、単位長さ質量、保証破断荷重および弾性係数はそれぞれ 115.6mm<sup>2</sup>、0.221kg/m、270kN および 155kN/mm<sup>2</sup> である。普通 PC 鋼より線と比較し、保証破断荷重はほぼ同じであるが、単位長さ質量および弾性係数が小さく、塩害による劣化はないことが最大のメリットである。また、スターラップには 5φ の CFRP より線を用いた。



写真-1 CFRP より線で製作した補強材



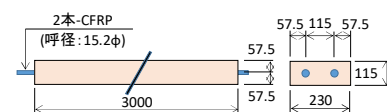
写真-2 ボンドコントロール及び埋設型ひずみ計配置

### 3. CFRP 仕様 PC 桁の定着長

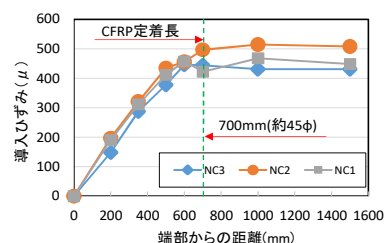
CFRP 仕様 PC 桁の定着長は、定着長試験体を用いた実験結果および曲げ・せん断試験体中に埋設したひずみ計の測定結果から総合的に判断する。

#### 3.1 定着長試験体を用いた実験結果

曲げ・せん断試験体と同様にコンクリート配合・養生等を行い、図-2 (a)に示すように、2 本の CFRP 緊張材を用いた定着長試験体(3000×230×115mm)を製作し、定着長(導入ひずみが 0 から一定となる位置までの長さ)実験を行った。定着長を定めるために、コンクリート中に緊張材と平行にモールドゲージを配置した。図-2



(a) 定着長試験体の形状



(b) 定着長の実験結果

図-2 定着長試験体および実験結果

#### 3.2 曲げ・せん断試験体の測定結果

曲げ・せん断試験体製作後の 2 日目に、コンクリートの圧縮強度は 40.1N/mm<sup>2</sup> で、基準値 35N/mm<sup>2</sup> より大きいことを確認し、プレストレス導入を行った。その際に、図-1 に示す位置に設置したひずみ計を用いて、桁端部からのコンクリートのひずみ分布を測定した。埋設型ひずみ計の標点距離は 100mm であり、その平均ひずみを各計測位置のひずみとして計算して図-3 に示す。

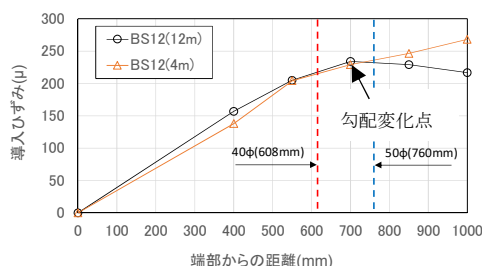


図-3 桁端部付近でのコンクリート導入ひずみ

表-1 コンクリートの配合表

| 粗骨材の最大寸法<br>(mm) | スランブ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 水セメント比<br>W/C<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |         |         |          |          | 備 考<br><br>砕砂：海砂<br>は1:2である |
|------------------|--------------|------------|----------------------|--------------------|--------------------------|------|---------|---------|----------|----------|-----------------------------|
|                  |              |            |                      |                    | 水<br>(w)                 | セメント | 細骨材     |         | 粗骨材<br>G | 混和剤<br>A |                             |
|                  |              |            |                      |                    |                          |      | 砕砂 (S1) | 海砂 (S2) |          |          |                             |
| 20               | 12           | 1.5        | 32.5                 | 39.2               | 160                      | 492  | 207     | 471     | 1091     | 4.18     |                             |

図-3 より、曲げ・せん断試験体の導入ひずみの分布曲線の勾配は、端部から 40φ と 50φ の間に大きく変化している。曲げ試験体の導入ひずみは 45φ 程度でピークに達しているが、せん断試験体の導入ひずみは 45φ 以降もまだ増加する傾向がある。しかし、いずれの試験体の導入ひずみは図-2 (b) に示す導入ひずみより小さい。

以上より、測定方法、緊張材の数量などが異なり、導入ひずみの値にばらつきが確認されている。これらの結果を総合的に判断し、CFRP 仕様 PC 桁の定着長は 45φ (=684mm) 程度であると考えられる。この値は、文献 1)<sup>1)</sup> に示された定着長 65φ より小さい結果となっている。

#### 4. 載荷実験および計測

図-4 に示すように、載荷実験は 1000kN 曲げ試験機を用い、JIS A 5363 に準じて 2 点載荷方式で行った。写真-3 は、試験体の載荷前の状況を示す。また、試験桁スパン中央の上面（圧縮）・下面（引張）に並べて 3 枚ずつコンクリート用ひずみゲージを貼付して、載荷に伴う圧縮側および引張側のひずみを計測した。せん断試験体に関しては、写真-4 に示すように、両側の支点から 420mm および 620mm 離れた位置の WEB 面に計 4 箇所三軸ひずみゲージを貼付け、載荷時のコンクリートに生じる水平、鉛直および 45° 方向のひずみを計測した。

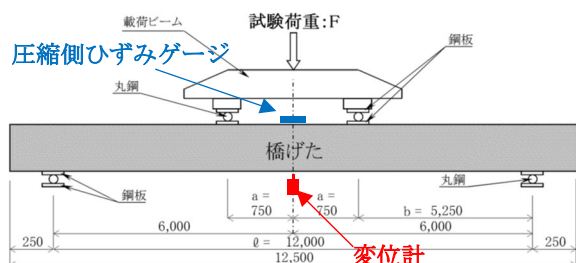


図-4 曲げ試験体の載荷イメージ図

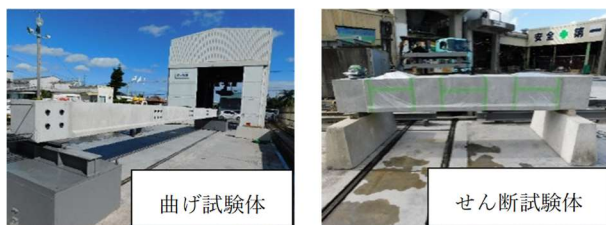


写真-3 載荷実験前の試験体

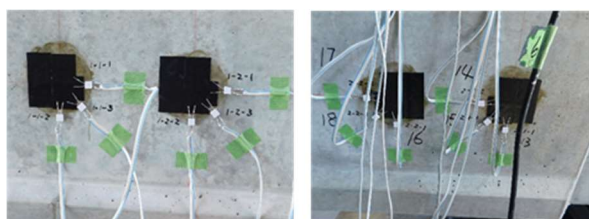


写真-4 せん断試験体 WEB 面の三軸ゲージ貼付状況

また、各試験桁のスパン中央および曲げ試験体の 1/4 スパン箇所に変位計を設置し、そのたわみ量を変位計で計測した。なお、載荷実験時のコンクリート圧縮強度は 65.5N/mm<sup>2</sup> であり、ヤング係数は 3.7×10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup> である。

#### 5. 実験結果と考察

##### 5.1 曲げ載荷実験

曲げ載荷に先立って、プレテンション PC 桁のコンクリートの設計基準強度 50.0N/mm<sup>2</sup>、プレストレス導入時のコンクリート圧縮強度 35.0N/mm<sup>2</sup> を用いて、更に、CFRP 材料の断面積・ヤング係数などの特性値を用いて、文献 1) に示された方法に準じて CFRP 仕様 PC 桁の設計ひび割れ発生荷重および設計耐荷力を計算した。その値はそれぞれ 148kN と 327kN である。また、設計ひび割れ発生荷重に対する PC 桁スパン中央のたわみ量の計算値は 23.5mm である。

図-5 は、載荷荷重と試験桁のスパン中央および 1/4 位置におけるたわみ量との関係を示す。図-5 からわかるように、載荷荷重が CFRP 仕様 PC 桁の設計ひび割れ発生荷重 (148kN) より小さい範囲では、荷重-たわみの関係はほぼ直線である。載荷荷重が設計ひび割れ発生荷重を上回ると、荷重-たわみ関係は直線から次第に曲線に変わる。設計ひび割れ発生荷重時のたわみ量の計算値 (23.5mm) は実験値とほぼ一致している。なお、変位計の容量等を考慮し、載荷荷重が 275kN に達した時点でそれを取り外した。載荷荷重が 335kN に達した時点で PC 桁の上フランジの圧壊が確認されたため載荷を終了した。その値は設計耐荷力 (327kN) を上回っている。従って、CFRP 仕様 PC 桁の曲げ耐力は問題ないことを確認できた。

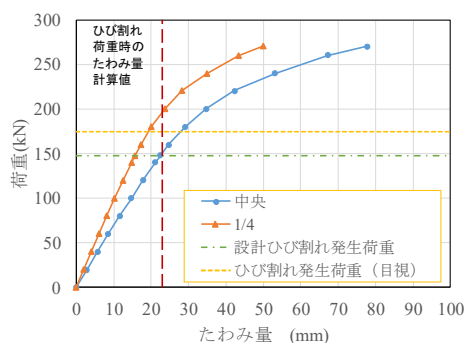


図-5 曲げ試験体の荷重-たわみ関係

##### 5.2 せん断載荷実験

文献 1) に示された方法に準じて算出したせん断試験体の設計耐荷力は 504kN である。2 点載荷実験はその設計耐荷力の約 1.1 倍である 560kN まで載荷した後実験を完了した。その際に、ひび割れや異常変位などが確認され



なかった。従って、せん断試験体の耐荷力も十分であることを確認できた。

載荷荷重とせん断試験体スパン中央のたわみ量との関係を図-6に示す。同図より載荷荷重とたわみとの関係がほぼ直線であることがわかる。図-7はせん断試験体のWEBに貼り付けた三軸ひずみ計の各方向におけるひずみ番号を示す。試験体の支点A側にあるR-1、R-2の三軸ひずみ計における載荷荷重と各方向のひずみの計測結果を図-8に示す。いずれの方向においても、載荷荷重とひずみとの関係が線形的な関係であることを示している。また、斜め方向にある番号1-1-3と1-2-3の引張りひずみが最大となり、その値はそれぞれ $89\mu$ と $103\mu$ であり、応力度に換算すると約 $3\text{N/mm}^2$ である。この値はコンクリートにひび割れを引き起こす恐れがなく、実験時においてもPC桁にひび割れが確認されなかった。従って、せん断試験体は最大載荷荷重まで弾性的な挙動を示していることが判断できる。

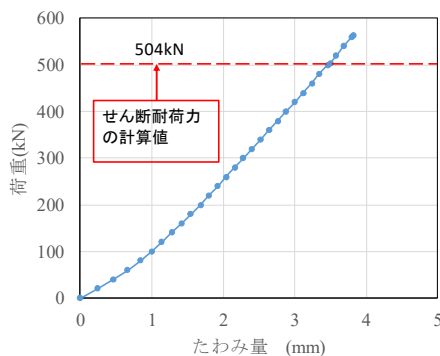


図-6 せん断試験体の荷重～たわみ量関係

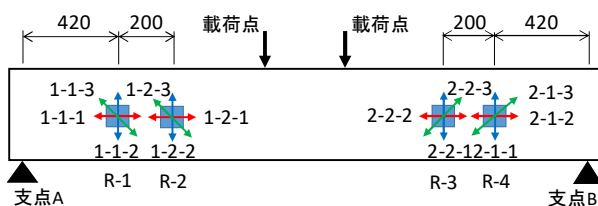


図-7 三軸ゲージ貼付位置および各方向ひずみ番号

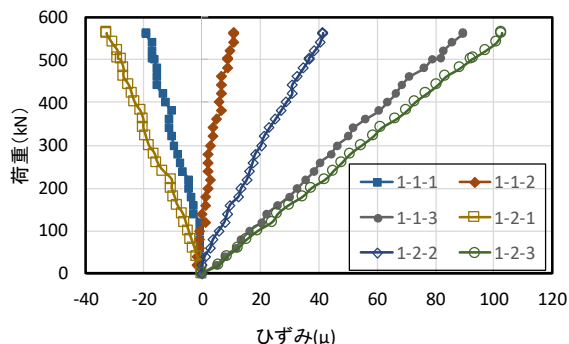


図-8 三軸ゲージの測定結果 (R-1, R-2)

## 6. CFRP 仕様と普通 PC 鋼より線仕様 PC 桁の性能比較

### 6.1 曲げ特性

CFRP 仕様 PC 桁の耐荷力および変形性能を更に検証するために、参考文献 5)に示された普通 PC 鋼より線およびエポキシ塗装 PC 鋼より線を用いたプレテンション PC 桁の荷重～変位関係の実験結果との比較を行った。比較対象の試験体はすべて BS-12 (12.5m) であり、緊張材の種類 (CFRP、普通 PC 鋼より線、エポキシ塗装 PC 鋼より線) を除き、各試験体の形状、寸法、緊張材の配置方法、緊張材のボンドレス位置・数量およびコンクリートの設計基準強度、載荷実験時の材齢および実験方法等はすべて同じである。

図-9は、各研究で行った試験体の載荷荷重～たわみ (スパン中央および 1/4 スパン) 関係を示す。図中の破線は CFRP 仕様試験体の設計ひび割れ発生荷重 (148kN) を示す。同図からわかるように、載荷荷重が CFRP 仕様試験体の設計ひび割れ発生荷重より小さい範囲では、各試験体の荷重～たわみ関係がほぼ直線である。載荷荷重が設計ひび割れ発生荷重を超えると、荷重とたわみとの関係が曲線に変わるが、すべての試験体はほぼ同じような傾向を示している。荷重～たわみ曲線に大きな差異は認めないが、CFRP 仕様 PC 桁の荷重～たわみ曲線が他の試験体の曲線と比べやや下方となっているが、変位計を外したため、破壊荷重時のたわみ量の計測はできなかった。しかし、CFRP 仕様、普通 PC 鋼より線仕様およびエポキシ塗装 PC 鋼材仕様の破壊荷重時に生じた桁スパン中央上面の圧縮ひずみはそれぞれ $2108\mu$ 、 $2238\mu$ および $2179\mu$ であり、CFRP 仕様が最も小さいこと、実験時に過大な変形は目視で確認されなかったことを踏まえ、変形能力もほぼ同じ程度であると考えられる。

各試験体の緊張材の種類は異なるが、普通仕様 PC 桁と同様に、文献 1)に準じて各試験体のひび割れ荷重および破壊荷重の設計値を算出した。表-2に、設計値と実測値との比較を示す。CFRP 仕様試験体のひび割れ荷重の実測値 (174kN) は他の試験体より若干低く、破壊荷重の実測値 (335kN) は他の試験体より大きい結果となっている。

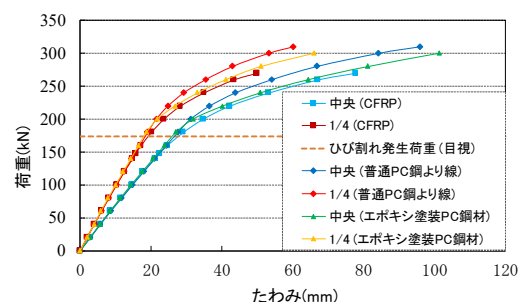


図-9 本研究成果と既往研究成果との比較

表－2 ひび割れ荷重と破壊荷重の比較結果

| 緊 張 材        | ひび割れ荷重(kN) |     | 破壊荷重(kN) |     |
|--------------|------------|-----|----------|-----|
|              | 設計値        | 実測値 | 設計値      | 実測値 |
| CFRP         | 148        | 174 | 327      | 335 |
| 普通PC鋼より線     | 137        | 190 | 310      | 321 |
| エポキシ塗装PC鋼より線 | 124        | 185 | 310      | 315 |

## 6.2 セン断特性

CFRP 仕様 PC 桁のせん断特性を検証するために、参考文献 10)に示された試験体 NN, EN および EN-1 の実験結果との比較を行った。これらの試験体は、緊張材の種類を除き、形状・寸法などの諸条件がすべて図－1 に示すせん断試験体と同じである。

比較対象とする試験体 NN は、平成 25 年度に実施された普通コンクリートと普通 PC 鋼より線仕様の組み合わせで製作した試験体である。試験体 EN は、平成 25 年度に実施された普通コンクリートと全素線塗装型 PC 鋼より線仕様の組み合わせで製作した試験体である。試験体 EN-1 は、平成 27 年度に実施された普通コンクリートと全素線塗装型 PC 鋼より線仕様の組み合わせで製作した試験体である。

なお、過年度の試験体のコンクリート圧縮強度およびヤング係数はそれぞれ 50.5N/mm<sup>2</sup>, 3.3×10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup>であったため、CFRP 仕様 PC 桁のコンクリート強度 (65.5N/mm<sup>2</sup>) およびヤング係数 (3.7×10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup>) は若干高い結果となっている。

図－7 に示す三軸ゲージの各方向におけるひずみの測定結果に基づいて、式(1)～(5)を用いて各試験体の最大主ひずみ  $\varepsilon_{\max}$ , 最小主ひずみ  $\varepsilon_{\min}$ , 最大せん断ひずみ  $\gamma_{\max}$ , 最大主応力  $\sigma_{\max}$  および最大せん断応力  $\tau_{\max}$  をそれぞれ計算した。

$$\varepsilon_{\max} = \frac{1}{2} \left[ \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \sqrt{2} \cdot \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2} \right] \quad (1)$$

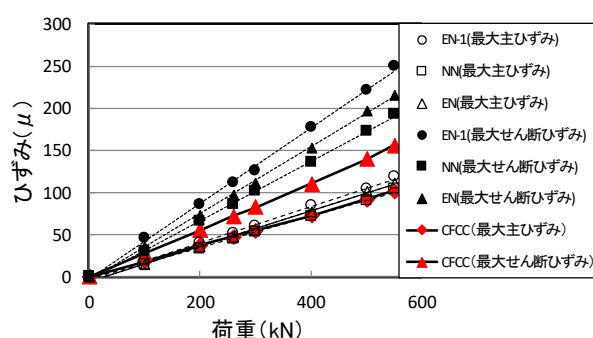
$$\varepsilon_{\min} = \frac{1}{2} \left[ \varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \sqrt{2} \cdot \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2} \right] \quad (2)$$

$$\gamma_{\max} = \sqrt{2} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_{\max} + \nu \varepsilon_{\min}) \\ &= \frac{E}{2} \left[ \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{1-\nu} + \frac{\sqrt{2}}{1+\nu} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2} \right] \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{\max} \\ &= \frac{\sqrt{2}E}{2(1+\nu)} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2} \quad (5) \end{aligned}$$

図－10 は一例として、図－7 に示す三軸ゲージ R-2 の最大主ひずみ  $\varepsilon_{\max}$  および最大せん断ひずみ  $\gamma_{\max}$  の計算結果を示す。CFRP 仕様試験桁の最大主ひずみ  $\varepsilon_{\max}$  および最大せん断ひずみ  $\gamma_{\max}$  は、終局荷重を超える 563kN まで直線的に増加し、終局荷重時の最大主ひずみは 102  $\mu$  を、また、最大せん断ひずみは 156  $\mu$  を表した。図示の最大ひずみの計算結果より、載荷荷重が 563kN まで載荷した場合、試験体は弾性的な挙動を示している。図－10 より、各試験桁の最大主ひずみ  $\varepsilon_{\max}$  はほぼ同じ結果を示したが、CFRP 仕様試験桁の最大せん断ひずみ  $\gamma_{\max}$  は、他の試験桁と比較すると小さい結果となっている。CFRP 仕様試験桁のコンクリート強度 (65.5N/mm<sup>2</sup>) は、他の試験体より高いのがその要因であると考えられる。また、



図－10 最大主ひずみと最大せん断ひずみの比較

表－3 最大主応力度  $\sigma_{\max}$  および最大せん断応力度  $\tau_{\max}$  の比較

| 試験桁  |     | ゲージR-1        |             | ゲージR-2   |        | ゲージR-3   |        | ゲージR-4   |        |
|------|-----|---------------|-------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|      |     | $\sigma^{*1}$ | $\tau^{*2}$ | $\sigma$ | $\tau$ | $\sigma$ | $\tau$ | $\sigma$ | $\tau$ |
| NN   | 設計時 | 1.11          | 1.04        | 1.30     | 1.23   | 1.31     | 1.26   | 1.34     | 1.31   |
|      | 終局時 | 2.25          | 2.14        | 2.63     | 2.48   | 2.60     | 2.49   | 2.65     | 2.61   |
| EN   | 設計時 | 1.00          | 1.08        | 1.35     | 1.38   | —        | —      | 1.47     | 1.47   |
|      | 終局時 | 2.22          | 1.98        | 2.93     | 2.82   | —        | —      | 3.15     | 2.91   |
| EN-1 | 設計時 | 1.27          | 1.37        | 1.51     | 1.51   | —        | —      | 1.36     | 1.34   |
|      | 終局時 | 2.55          | 2.73        | 3.06     | 3.16   | —        | —      | 2.88     | 2.86   |
| CFCC | 設計時 | 1.20          | 1.01        | 1.55     | 0.90   | 1.23     | 1.04   | 1.44     | 1.06   |
|      | 終局時 | 2.46          | 1.95        | 3.01     | 1.72   | 2.46     | 2.04   | 2.92     | 2.04   |

注 \*1: 最大主応力度(N/mm<sup>2</sup>, 全て引張り)、\*2: 最大せん断応力度(N/mm<sup>2</sup>, 方向性を考慮)

三軸ゲージ R-1, R-3 および R-4 の計算結果が R-2 の計算結果とほぼ同じであるため、同じ結論が述べられる。

設計荷重および終局荷重時の各ひずみの計測結果に基づいて算出した最大主応力度  $\sigma_{max}$  および最大せん断応力度  $\tau_{max}$  を表-3 に示す。同表において、上段には設計荷重時、下段には終局荷重時の応力度を各試験桁について表している。表-3 より、CFRP 仕様試験体の設計荷重および終局荷重時の最大主応力度  $\sigma_{max}$  および最大せん断応力度  $\tau_{max}$  の計算結果は、過年度試験体の NN, EN および EN-1 の計算結果とほぼ同じであるため、これらの試験桁は同等のせん断耐力を有すると判断できる。

## 7. おわりに

本研究では、CFRP より線をプレテンション PC 桁の緊張材として用い、実大寸法の CFRP 仕様の高性能プレテンション PC 桁 2 体（曲げ試験体 1 体、せん断試験体 1 体）を製作し、その載荷実験および実験で得られた成果に関する検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) CFRP 仕様 PC 桁の定着長は、実験方法などによりばらつきがあるが、その値は、45φ 程度であると考えられる。これは、文献 1) に規定された定着長 65φ より小さい結果となっている。従って、CFRP 仕様 PC 桁を設計する際に、定着長は上記基準値 (65φ) を採用してもよい。
- (2) 曲げ試験体のひび割れ荷重および曲げ破壊荷重の実測値は、「道路橋示方書・同解説 コンクリート橋編」に準じた計算値を上回っており、曲げ耐力には問題ない。
- (3) せん断試験体のせん断耐力計算値 (504kN) の約 1.1 倍 (560kN) まで載荷しても、ひび割れの発生や異常変形などが確認されず、コンクリートに生じた最大主応力度  $\sigma_{max}$  および最大せん断応力度  $\tau_{max}$  の計算結果も小さいため、せん断耐力も問題ないと判断できる。
- (4) 過年度に実施された試験体 NN, EN および EN-1 の研究成果と比較し、曲げ耐力とせん断耐力はほぼ同等である。破壊荷重時に変位計が取り外したため、たわみ量の計測はできなかったが、ひずみゲージの計測結果および目視観測により、CFRP 仕様 PC 桁には過大な変形は確認されなかった。
- (5) CFRP より線を用いて製作した高性能のプレテンション PC 桁の耐力および変形能力には特に問題はないため、今後、経済性に関する検討を加え、実装することが期待される。

## 謝辞

本論文は、一般社団法人 沖縄しまて協会「平成 28 年度 沖縄地域の建設技術に関する技術開発および調査研究支援事業」の助成を受け、「CFRP 仕様の高性能プレテンション PC 桁に関する技術開発」(研究代表者：金田一男)の一部について取りまとめたものである。また、東京製綱株式会社より研究助成および CFRP 材料の提供を頂きました。研究計画・試験体製作・載荷実験の実施および実験結果のとりまとめにおいて、大城武・琉球大学名誉教授に多大のご指導・ご助言を頂きました。ここでお世話になった関係者各位に厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会,「道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編」, 2012.3
- 2) 財団法人土木技術センター, 全素線塗装型 PC 鋼より線を使用した PC 構造物の設計・施工ガイドライン, 平成 22 年 3 月
- 3) 大城 武, 富山 潤, 平井 圭: 全素線塗装型 PC 鋼より線を用いたプレゼンテーション PC 桁の耐力性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.517-522, 2011.
- 4) 富山 潤, 大城 武, 伊良波繁雄, 木戸俊朗: エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線を用いたプレゼンテーション PC 桁の耐力性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.523-528, 2008.
- 5) 宮野伸介: 沖縄県に適した高耐久性プレテンション PC 桁製作に関する技術開発, 平成 25 年度 技術環境研究所研究発表会論文集, 一般社団法人 沖縄しまて協会, 平成 25 年 10 月 30 日
- 6) 港湾関連民間技術の確認審査・評価依頼者提出資料, 第 15001 号, 「SC ストランド-全素線塗装型 PC 鋼より線-」, 審査・評価依頼者: 黒沢建設株式会社・株式会社ケーティービー, 一般財団法人 沿岸技術研究センター, 2015.11
- 7) Nabil F. G., Tsuyoshi E., George A., Kensuke Y. and Lorin C.: Experimental Study and Analysis of a Full-Scale CFRP/CFRP Double-Tee Bridge Beam, PCI JOURNAL July-August 2003, pp.120-139
- 8) 古瀬徳明, 横田弘, 加藤絵万, 岡崎慎一郎: CFRP を適用したプレストレストコンクリート桁の載荷試験, プレストレストコンクリート工学会 第 24 回シンポジウム論文集, pp.569-572, 2015.10
- 9) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会: 道路橋用橋げた設計・製造便覧, 2004.6
- 10) 宮野伸介: プレテンション PC 桁の付着性能とせん断耐力に関する研究, 平成 27 年度 技術環境研究所研究発表会論文集, 一般社団法人 沖縄しまて協会, 平成 27 年 10 月 30 日