

PSV-10 アラミド繊維製FRPロッドを用いたPC梁の曲げ性状

住友建設(株) 技術研究所 正会員 中井裕司  
住友建設(株) 技術研究所 正会員 迎 邦博  
住友建設(株) 土木部 正会員 水谷 淳

1. まえがき

著者らは、プレストレストコンクリートの緊張材としてアラミド繊維製FRPロッド(以下AFRPロッド)を用いる研究を進めている。本研究は、AFRPロッドを緊張材としたプレテンション梁の使用状態での長期安定性を把握するために行ったPC梁の静的曲げ試験結果を報告するものである。

2. 実験の概要

使用したAFRPロッドの諸元を、表-1に示す。ロッドの形状は、付着性状を改善するために異形化されており、このためAFRPロッドはPCストランドと比較すると約2倍の付着強度を有している。供試体は、図-1に示すように、桁長2000mm、桁高200mm、桁幅100mmの矩形断面に、上縁側3本、下縁側3本の計6本のAFRPロッドを純かぶり16mmで図心配置し、せん断補強のためにφ6mmのスターラップ鉄筋を90mmピッチにて配置した。荷重載荷方法は、スパン1700mmに対し載荷スパン450mmで行った。実験のパラメーターは、導入プレストレス量、材令、曲げ疲労載荷の有無とし、表-2に全ケースを示す。曲げ疲労載荷は、使用状態を想定し、導入プレストレスの80%を有効プレストレスと仮定した上で、上限載荷荷重強度を供試体下縁でコンクリート応力度が0kg/cm<sup>2</sup>になるように設定し、下限載荷荷重強度は上限載荷荷重強度の25%とした。載荷速度は3Hzとし、疲労載荷回数は400万回とした。供試体は、目標材令に到達するまで、実験棟内に放置した。供試体数は、各ケースあたり2体とし、計14体製作した。

3. 実験結果および考察

表-1 AFRPロッドの諸元

| 項目      | 諸元                     |
|---------|------------------------|
| 繊維名     | テクノラ                   |
| 繊維体積混入率 | 65%                    |
| 公称径     | 6mm                    |
| 保証強度    | 5100kg                 |
| 弾性率     | 5400kg/mm <sup>2</sup> |

表-2 実験ケース

| 記号  | 導入張力<br>ton | 試験材令<br>day | 疲労載荷<br>有無 |
|-----|-------------|-------------|------------|
| A-1 | 16.4        | 3           |            |
| A-2 | 16.4        | 42          |            |
| A-3 | 16.4        | 42          | ○          |
| B-1 | 22.9        | 3           |            |
| B-2 | 22.9        | 42          |            |
| B-3 | 22.9        | 42          | ○          |
| B-4 | 22.9        | 290         |            |

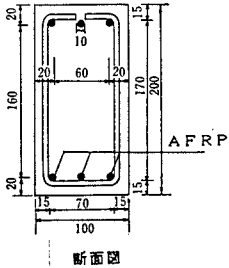
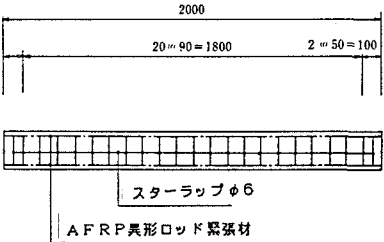


表-3 静的載荷試験の実測値と計算値

図-1 供試体寸法図

| 記号  | プレ<br>ストレス<br>σ <sub>p</sub><br>kg/cm <sup>2</sup> | 圧縮<br>強度<br>f <sub>c</sub><br>kg/cm <sup>2</sup> | 曲げ<br>強度<br>f <sub>b</sub><br>kg/cm <sup>2</sup> | ヤング<br>係数<br>E <sub>c</sub><br>×10 <sup>5</sup><br>kg/cm <sup>2</sup> | ひび割れモーメント                     |            |            | 破壊曲げモーメント        |            |            | 破壊時たわみ量                     |           |            |
|-----|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|-----------------------------|-----------|------------|
|     |                                                    |                                                  |                                                  |                                                                       | 計算値<br>Mc <sub>r</sub><br>t×m | 実測値<br>t×m | 実測値<br>計算値 | 計算値<br>Mu<br>t×m | 実測値<br>t×m | 実測値<br>計算値 | 計算値<br>δ <sub>u</sub><br>mm | 実測値<br>mm | 実測値<br>計算値 |
| A-1 | 82.0                                               | 463                                              | 53.8                                             | 2.95                                                                  | 0.904                         | 0.922      | 1.02       | 1.774            | 1.931      | 1.09       | 15.0                        | 12.0      | 0.80       |
| A-2 | 82.0                                               | 688                                              | 70.2                                             | 3.76                                                                  | 1.014                         | 0.984      | 0.97       | 2.121            | 2.531      | 1.19       | 21.2                        | 16.5      | 0.78       |
| A-3 | 82.0                                               | 703                                              | 71.2                                             | 4.00                                                                  | 1.020                         | 1.016      | 1.00       | 2.141            | 2.500      | 1.17       | 20.2                        | 16.0      | 0.79       |
| B-1 | 114.5                                              | 551                                              | 60.5                                             | 3.44                                                                  | 1.166                         | 1.063      | 0.91       | 2.177            | 2.422      | 1.11       | 13.6                        | 10.4      | 0.76       |
| B-2 | 114.5                                              | 584                                              | 62.8                                             | 3.43                                                                  | 1.181                         | 1.188      | 1.01       | 2.234            | 2.468      | 1.10       | 15.2                        | 11.6      | 0.76       |
| B-3 | 114.5                                              | 643                                              | 67.1                                             | 3.63                                                                  | 1.209                         | 1.188      | 0.98       | 2.328            | 2.694      | 1.16       | 17.1                        | 11.6      | 0.68       |
| B-4 | 114.5                                              | 619                                              | 65.4                                             | 3.33                                                                  | 1.198                         | 1.219      | 1.02       | 2.291            | 2.459      | 1.09       | 17.1                        | 10.3      | 0.60       |
| 平均  |                                                    |                                                  |                                                  |                                                                       |                               |            | 0.99       |                  |            | 1.13       |                             |           | 0.74       |

プレストレス導入時に、Bシリーズの一部供試体において付着割裂と考えられるひび割れが発生したが、全ての供試体において材端より250-350mmの距離でプレストレスによる圧縮歪が均一に導入された。実験棟内で長期放置したB-4供試体には付着割裂ひび割れの進展が認められたが、曲げ耐力への影響は少ないと考え実験データに加えた。また、使用状態を想定した曲げ疲労载荷において、疲労実験中A-3, B-3供試体の弾性たわみ量はほぼ一定で、供試体には顕著な変化は認められなかった。図-2に各ケースの曲げモーメント-たわみ曲線の代表値を示し、表-3に静的曲げ载荷試験結果の平均値と計算値を示す。

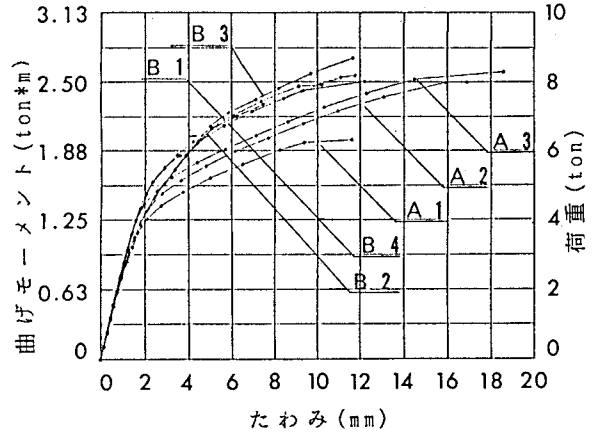


図-2 曲げモーメント-たわみ曲線

#### (1) ひび割れモーメントについて

ひび割れ曲げモーメントの計算値は、式  $M_{cr} = Z_g * (\sigma_p + f_b)$  によって求めた。

$M_{cr}$ : ひび割れモーメント  $Z_g$ : 全断面の断面係数  $\sigma_p$ : 導入プレストレス  $f_b = 0.9 * f_c$ : 曲げ強度  $f_c$ : 圧縮強度  
なお、 $M_{cr}$ の算定に際しプレストレスの損失を考慮していないが、 $M_{cr}$ は実測ひび割れモーメントと良く整合している。これは、①AFRPロッドのリラクセーションは初期の緩和が大きいため、供試体製作過程にはとんだの緩和が終了し、以後安定していること、②AFRPロッドの弾性率がPC鋼材に比して低いため乾燥収縮、クリープによるプレストレスの損失が少ないことによるためと考えられる。よて、材令が進むことによるひび割れモーメントの $M_{cr}$ に対する低下割合は少なく、300日の範囲内でプレストレスは安定した状態にあった。

#### (2) 終局状態について

破壊は全ケースともコンクリートの圧縮破壊であった。終局耐力を比較すると、使用状態を想定した曲げ疲労载荷によっては、AFRPロッドの付着切れによる終局耐力への影響は認められなかった。終局たわみ量は、材令が若く圧縮強度の低いA-1, B-1供試体を除いて、A, Bシリーズでほぼ等しく、安定したたわみ性状となっている。終局曲げモーメントの計算値は、終局時のコンクリートの圧縮応力度の分布を図-3のように仮定して求めた。静的载荷実験時、圧縮縁のコンクリートの終局歪みが0.0022-0.0025と実測されたのを考慮して、終局歪みを0.0025とし、圧縮強度の低減は行わなかった。終局たわみ量は、Bransonの有効断面二次モーメントを用いて次式にて求めた。

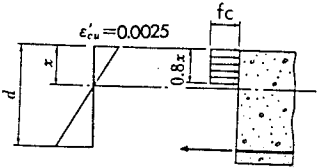


図-3 等価応力ブロック

$\delta = \delta_1 + \delta_2$   $\delta$ : 終局たわみ量  $\delta_1$ :  $M_0$ までのたわみ量  $\delta_2$ :  $M_0$ 以降のたわみ量

$$M_0 \text{ 以降の有効断面二次モーメント } I_e = \left( \frac{M_{cr} - M_0}{M_{max} - M_0} \right)^{2.8} * I_g + \left( 1 - \frac{M_{cr} - M_0}{M_{max} - M_0} \right)^{2.8} * I_{cr}$$

$I_{cr}$ : 引張応力を受けるコンクリートを除いた断面二次モーメント  $I_g$ : 全断面の断面二次モーメント  $M_{max}$ : たわみ計算時の曲げモーメントの最大値

$M_{cr}$ : 断面にひび割れの発生する曲げモーメント  $M_0$ : 断面内に引張応力の発生する限界の曲げモーメント

終局曲げモーメントは計算値を10-20%上回り、終局たわみ量は計算値の60-80%に相当した。AFRPロッドを緊張材に適用した場合、終局状態ではAFRPロッドの破断か、コンクリートの圧壊が起こると想定され、終局状態を正確に推定することが今後の課題である。

#### 4. まとめ AFRPロッドを緊張材とするプレテンション梁の静的载荷実験により次のことが判明した。

- ①有効プレストレスは、材令300日の範囲で安定していると推定される。
- ②使用状態を想定した曲げ疲労载荷によって、ひび割れ曲げモーメント、終局曲げモーメント、たわみ性状に変化は見られなかった。