

## V-305 持続載荷を受けるFRPで補強したコンクリートはりの変形状

群馬大学 大学院 学生会員 ○ 斎藤 等  
 群馬大学 工学部 正 会 員 辻 幸和  
 清水建設技術本部 正 会 員 関島 謙蔵

## 1. まえがき

構造物の寿命低下の主原因となっている鉄筋の腐食に対処するための一つの方法として、腐食を起こさない繊維補強プラスチック(FRP)の補強材が開発され、注目されている。本研究は、FRPで補強したコンクリートはりに、各種環境下において1年間にわたって持続載荷を行い、その間の補強材のひずみおよびはりの平均曲率を測定した結果を報告するものである。

## 2. 供試体および実験方法

使用したFRPは3種類で、炭素繊維(C)、ガラス繊維(G)、あるいは両者を併用したもの(CG)を、ビニルエステル樹脂で被覆し、10cmピッチの格子状に成形したものである。その力学的特性を表-1に示す。また、比較のためのRCはりにはD10の鉄筋を用いた。

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は茨城県鹿島産の陸砂(比重=2.58、F.M.=2.55、吸水率=1.4%)、粗骨材は栃木県鬼怒川産の碎石(比重=2.71、F.M.=6.59、吸水率=0.5%)をそれぞれ用いた。配合は、水セメント比を60%、単位水量を150kg/cm<sup>3</sup>、細骨材率を46%、スランブを9.5cm、空気量を3.5%とした。また、減水剤をセメントの1.67%使用した。なお供試体は、材令28日まで湿布養生を行った。

供試体は、幅が15cmで高さが15cmの矩形断面で、引張側から25mmの位置に補強材を配置したものである。持続載荷試験は、PC鋼棒とバネを用いて、供試体2体を一組にして行った(図-1参照)。そして、表-2に示すように、載荷荷重の大きさや設置環境の異なる合計6シリーズにつき、それぞれ補強材を4種類に変化させた合計24体について、補強材のひずみおよびはりの平均曲率の経時変化を測定した。なお、シリーズ2・3・4では、載荷7日後にPC鋼棒の再緊張を行った。

## 3. 各応力下における持続載荷性状

載荷直後の供試体の性状を、表-3に示す。鉄筋の応力度に換算して2000kgf/cm<sup>2</sup>のシリーズ4・5・6では、ひずみ、曲率ともにシリーズ間で多少のばらつきがあるが、これはせん断スパンにおけるひびわれの有無が影響しているためと思われる。

図-2に、補強材に貼付したワイヤストレインゲージによるシリーズ3のひずみの経時変化を示す。載荷200日以後の値は信頼できないと思われるので省略した。図-2より補強材の弾性係数と断面積との積が大きいほど、補強材のひずみは小さくなっていることがわかる。これはシリーズ4でも同様であったが、シリーズ2ではこの関係が認められない場合があった。この原因としてFRPが繊維

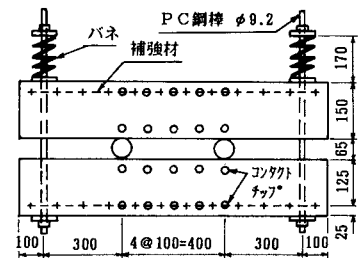


図-1 持続試験載荷方法

表-1 補強材の力学的性質

| 補強材の種類 | 繊維の種類 | 繊維束の本数(本) | 繊維含有率(%)  | 見かけの断面積 (mm <sup>2</sup> ) |      |       | 引張耐力(kgf/本) | 引張強度、降伏点応力度(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 総断面積×弾性係数(kgf)       |
|--------|-------|-----------|-----------|----------------------------|------|-------|-------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------|
|        |       |           |           | 繊維束                        | 樹脂   | 総断面積  |             |                                   |                            |                      |
| FRP    | C     | 32        | 26        | 14.6                       | 41.6 | 56.6  | 4290        | 76.3                              | 6.73×10 <sup>5</sup>       | 3.81×10 <sup>5</sup> |
|        | G     | 36        | 37        | 31.5                       | 53.6 | 85.1  | 4880        | 57.3                              | 2.95×10 <sup>5</sup>       | 2.50×10 <sup>5</sup> |
|        | CG    | C=9, G=36 | C=4, G=30 | 35.6                       | 69.1 | 104.7 | 4960        | 47.4                              | 3.34×10 <sup>5</sup>       | 3.48×10 <sup>5</sup> |
| 鉄筋     |       | (SD35)    |           |                            |      | 71.3  | 3820        | 37.7                              | 1.86×10 <sup>5</sup>       | 1.33×10 <sup>6</sup> |

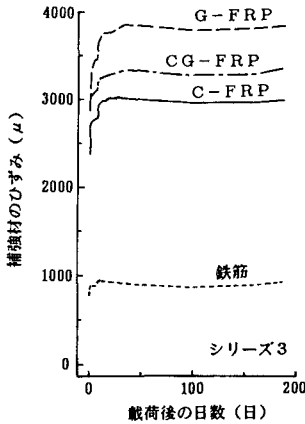


図-2 補強材のひずみの経時変化

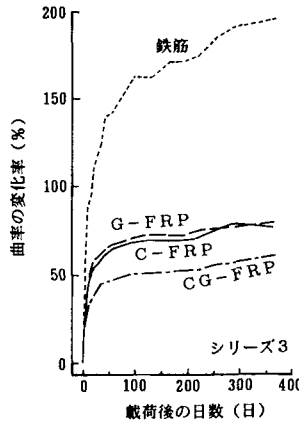


図-3 曲率の変化率の経時変化

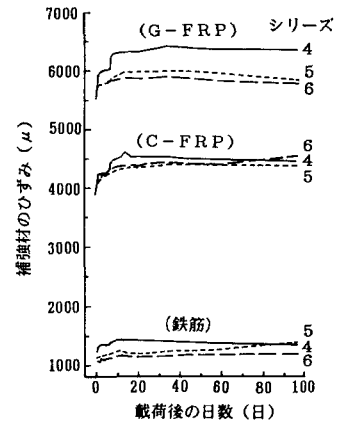


図-4 異なる環境下での補強材のひずみの経時変化

と樹脂の複合材料であることが考えられるが、今回の実験では明らかにできなかった。

図-3に載荷直後を基準とした曲率の変化率を示す。この図より、FRPの経時変化率が鉄筋に比べて、半分以下であることが明らかである。この傾向は、シリーズ2およびシリーズ4でも同様であり、FRPは鉄筋に比べて曲率の値は大きい、その後の経時変化の割合は小さいことが認められた。

設置環境の異なるシリーズ4・5・6のひずみの経時変化を図-4に示す。恒温恒湿室内放置のシリーズ4が全体にひずみは大きい、このシリーズのみ載荷7日後にP C鋼棒の再緊張を行っていることを考慮すると、シリーズ間の差はほとんどないと思われる。

#### 4. 除荷時の性状

表-4に1年後の曲率の値と、それを基準にしたときの除荷時の曲率の復元力を示す。環境が同じ場合は、全体として載荷応力の大きい方が復元力も大きいこと、およびFRPの復元力が鉄筋を上回ることが認められる。また、設置環境の異なるシリーズ4・5・6を比較すると、鉄筋およびFRPともに屋外に設置することにより復元力は減少していることが認められる。塩水を散布することによって、鉄筋の復元力はさらに減少した。これは、ひびわれ部の鉄筋が腐食・膨張したためと思われる。FRPの場合は、C-FRPを除いて屋外に放置したことによる復元力の減少傾向は認められなかった。これよりFRPを用いたはりの、悪環境下における耐久性の良さが確認できた。

#### 5. まとめ

FRPで補強したコンクリートはりの、各種環境下における1年間の持続載荷試験を行い、その変形状を検討した。その結果、FRPで補強したはりとはりRCと比べて、曲率の変化率が小さいこと、および設置環境の悪化に伴う除荷時の復元力の減少が小さいことが認められた。

表-2 持続載荷の荷重と設置環境

| シリーズ | 荷重<br>(kgf) | 鉄筋の<br>応力度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 設置環境                        |
|------|-------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1    | 0           | 0                                    | 20±2℃, 60% R.H.<br>恒温恒湿室内放置 |
| 2    | 1069        | 1000                                 |                             |
| 3    | 1604        | 1500                                 |                             |
| 4    | 2138        | 2000                                 |                             |
| 5    | 2138        | 2000                                 | 屋外放置                        |
| 6    | 2138        | 2000                                 | 屋外放置、塩水散布                   |

表-3 載荷直後の供試体の性状

| シリーズ | 補強材のひずみ (μ) |      |      |      | 曲率 (10 <sup>-6</sup> /cm) |     |     |     |
|------|-------------|------|------|------|---------------------------|-----|-----|-----|
|      | C           | G    | CG   | 鉄筋   | C                         | G   | CG  | 鉄筋  |
| 2    | 109         | 161  | 1064 | 260  | 47                        | 81  | 187 | 17  |
| 3    | 2369        | 2975 | 2852 | 760  | 173                       | 245 | 269 | 47  |
| 4    | 3971        | 5515 | 4371 | 1229 | 422                       | 559 | 426 | 110 |
| 5    | 3902        | 5518 | 4219 | 1118 | 401                       | 485 | 496 | 71  |
| 6    | 3950        | 5603 | 3980 | 1064 | 414                       | 552 | 352 | 83  |

表-4 1年後の曲率と復元力

| シリーズ | 1年後の曲率 (10 <sup>-6</sup> /cm) |     |     |     | 復元力 (%) |      |      |      |
|------|-------------------------------|-----|-----|-----|---------|------|------|------|
|      | C                             | G   | CG  | 鉄筋  | C       | G    | CG   | 鉄筋   |
| 2    | 165                           | 264 | 357 | 99  | 23.2    | 20.7 | 40.7 | 19.0 |
| 3    | 306                           | 439 | 432 | 139 | 55.5    | 55.9 | 50.7 | 25.6 |
| 4    | 588                           | 751 | 624 | 231 | 53.9    | 59.7 | 60.6 | 36.6 |
| 5    | 507                           | 628 | 669 | 182 | 49.2    | 45.7 | 44.7 | 26.9 |
| 6    | 553                           | 683 | 523 | 142 | 42.2    | 46.6 | 46.9 | 18.6 |