

鹿児島大学工学部 正会員○Myo Khin

同上 " 武若耕司

同上 " 松本 進

1. まえがき

コンクリート構造物の耐久性向上が叫ばれる中、錆びない補強材としてFRPロッドの有効利用が検討され、注目を集めている。確かに、塩害に代表される鋼材腐食劣化からコンクリート構造物を守るという点では、この新素材の活用は極めて優れた方策であると言える。しかし、現在実用化が期待されている繊維と結合樹脂の組み合わせだけでもかなりの数に上り、さらに、コンクリート構造物あるいはその内部補強材が直面する環境には種々の状況が想定される。基本的には耐久性は良好であるといわれるFRPロッドであっても、果してそれぞれの状況においてどの程度まで耐久であるかといった具体的な資料については未だ十分には揃っていない。本研究の最終目的は、種々の環境条件下でのFRPロッドの耐久性を検討してこのロッドの有効性と適用範囲を明らかにすることである。その手始めとしてここでは、各種FRPロッドの高アルカリ性環境における耐久性に関する検討結果について示す。

2. 実験の概要

(1) 使用FRPロッドの種類: 検討に用いたFRPロッド

は、マトリックス樹脂の種類が異なる2種類の炭素繊維補強ロッド(以下、CFRP)と、ガラス繊維、アラミド繊維およびビニロン繊維でそれぞれ補強されたロッド1種類づつ

(以下、GFRP、AFRP、VFRP)の計5種類である。これらはいずれも単線の棒材表面に付着性改善のための処理を施したものである。その概要を表-1に示す。

(2) 実験方法: 耐アルカリ性試験は、各ロッドとも、無拘束状態と破壊強さの70%の応力で拘束した状態でそれぞれ実施した。浸漬溶液の組成を表-2に示す。なお、この溶液では3%のNaClを混入し、塩分の影響についても同時に検討を行った。溶液の温度は50℃に保持し、試験中にpHが13以下になった時点で溶液を交換した。図-1に拘束状態のロッドの浸漬試験装置を示す。浸漬時間は無拘束の場合で約1000時間、拘束状態では約700時間とし、浸漬終了後、図-2に示すように静的破砕剤を利用した端部定着具を用いてロッドの引張試験を行い、耐久性の検討を行った。

表-1 浸漬用アルカリ溶液の組成

| pH    | 溶液1ℓ当たりの重量混入量(g)    |      |      |      |
|-------|---------------------|------|------|------|
|       | Ca(OH) <sub>2</sub> | KOH  | NaOH | NaCl |
| 13.27 | 2.0                 | 14.0 | 10.0 | 30.0 |

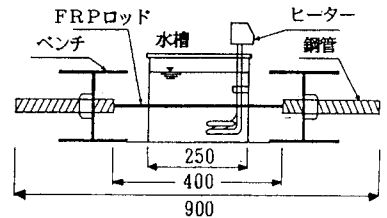


図-1 拘束状態のロッドの浸漬状況

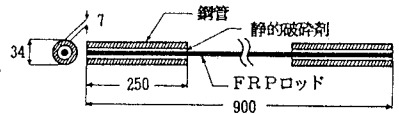


図-2 引張試験時のロッド端部の定着具

表-2 検討を行ったFRPロッドの種類

| ロッド呼称 | 写真 | ロッドNo. | φ(mm) | 断面積(cm <sup>2</sup> ) | 繊維の種類     | マトリックスの種類 | 繊維量Vf(%) | ロッドの形状 | 引張強度(kgf/mm <sup>2</sup> ) |     |      |      | 弾性係数(10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |       |     |     |
|-------|----|--------|-------|-----------------------|-----------|-----------|----------|--------|----------------------------|-----|------|------|--|-------|-----|-----|
|       |    |        |       |                       |           |           |          |        | メーカー                       |     | 実測   |      | メーカー                                       |       | 実測  |     |
|       |    |        |       |                       |           |           |          |        | AVE                        | DIV | AVE  | DIV  | AVE  | DIV   | AVE | DIV |
| CFRP  |    | K-C1   | 6.0   | 0.283                 | カーボン(PAN) | エポキシ      | 62.3     | 丸棒+片巻  | 196                        | 188 | 6.43 | 1.57 | 1.37                                       | 0.018 |     |     |
|       |    | K-CP   | 8.0   | 0.502                 |           | PPS       | 55.0     | 丸棒+砥粒  | 175                        | 163 | 9.54 | 1.44 | 1.29                                       | 0.042 |     |     |
| AFRP  |    | S-A1   | 6.0   | 0.283                 | アラミド      | ビニルエステル   | 65.0     | 丸棒+片巻  | 193                        | 187 | 8.82 | 0.54 | 0.53                                       | 0.044 |     |     |
| GFRP  |    | K-G1   | 6.0   | 0.283                 | エガラス      | エポキシ      | 65.0     | 丸棒+片巻  | 138                        | 152 | 4.33 | 0.48 | 0.48                                       | 0.013 |     |     |
| VFRP  |    | KR-V   | 6.0   | 0.283                 | ビニロン      | エポキシ      | 65.0     | 丸棒+絞巻  | 85                         | 74  | 2.82 | 0.27 | 0.27                                       | 0.005 |     |     |

### 3. 実験結果および考察

表-3には今回の検討に合わせて実施した無浸漬ロッドの引張試験結果、また、表-4にはアルカリ溶液浸漬ロッドの浸漬後の引張試験結果についてそれぞれ示した。また、参考のため表-1中には、別の実施した各ロッドの無浸漬状態における引張試験結果についても示した。以上の結果をもとに、FRPロッドの耐アルカリ性について考察を加えると次のようになる。

(1) 無拘束状態の場合： 少なくとも今回の実験の範囲では、無拘束状態でアルカリ性溶液に浸漬されたいずれのロッドの引張強度および弾性係数も、無浸漬の場合と差は全く認められなかった。

(2) 拘束状態の場合：

拘束状態における検討にあたっては、拘束後10日間ほど気中放置して導入応力の安定化を図ったが、この間にGFRPロッドについてはいずれの試料も静的破壊を起こした。従ってこのロッドについては拘束応力度を破断強さの60%として溶液浸漬を実施したが、この場合も延べ浸漬期間6日前後で全て破壊し、強度試験を実施するまでには至らなかった。その他のロッドについてはいずれも、浸漬中の変状は認められず、AFRPおよびVFRPロッドについては、浸漬後の引張試験においても浸漬前の性能を十分に保持していることが確認された。

CFRPロッドについても、マトリックス樹脂にエポキシ樹脂を使用したものでは浸漬後の強度特性に変化は見られなかった。しかし、PPS樹脂をマトリックスに使用した3本（ロッドNO. K-CP）の試料の内1本に、引張強度が無浸漬の場合より約20%下回り、弾性係数が逆に約30%も高くなっている状況が確認された。これらの値は、表-1に示した強度試験結果のばらつきの範囲を越えるもので、明らかにこのロッドの変状を示している。このことは、FRPロッドの耐久性について、繊維およびマトリックス樹脂双方の立場からさらに十分な検討が必要であることを示唆するものでもある。

4. あとがき

今回の検討では、各ロッドの試験本数や浸漬期間等未だ不十分な点も多く、この結果のみからFRPロッドの耐久性について結論付けることはできない。しかし、少なくとも本結果は、FRPロッドの実用化にあたって、今後ともその耐久性に関する検討を十分に行う必要のあることを示している。なお、本実験の実施にあたり、FRPロッドのご提供を戴いたCCC研究会の各社に深謝致します。

表-3 無浸漬ロッドの引張強度特性

| ロッドNO. | 弾性係数(x10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      | 引張強度(kgf/mm <sup>2</sup> ) |      |
|--------|---|------|------|------|------|------|----------------------------|------|
|        | くり返し回数(回)                                   |      |      |      |      | ave. |                            | ave. |
|        | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    |      |                            |      |
| K-CI   | 1.43  | 1.48 | 1.48 | 1.46 | 1.47 | 1.48 | 187                        | 188  |
|        | 1.54  | 1.49 | 1.49 | 1.48 | 1.47 |      | 189                        |      |
| K-CP   | 1.31  | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.28 | 173                        | 169  |
|        | 1.19  | 1.26 | 1.26 | 1.26 | 1.25 |      | 165                        |      |
| S-AI   | 0.51  | 0.60 | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.59 | 202                        | 200  |
|        | 0.53  | 0.61 | 0.60 | 0.62 | 0.64 |      | 198                        |      |
| KR-V   | 0.25  | 0.32 | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.32 | 74                         | 76   |
|        | 0.27  | 0.32 | 0.34 | 0.33 | 0.34 |      | 78                         |      |
| K-GI   | 0.47  | 0.48 | 0.47 | 0.48 | 0.47 | 0.47 | 149                        | 148  |
|        | 0.45  | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 |      | 147                        |      |

表-4 アルカリ溶液浸漬後のロッドの引張強度特性

| ロッドNO. | 無拘束状態(浸漬期間:1080時間)                          |      |      |      |      |      |                            | 拘束状態(浸漬期間:700時間)                            |                       |      |      |      |      |                            |      |     |
|--------|---|------|------|------|------|------|----------------------------|---|-----------------------|------|------|------|------|----------------------------|------|-----|
|        | 弾性係数(x10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      | ave. | 引張強度(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数(x10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |                       |      |      |      | ave. | 引張強度(kgf/mm <sup>2</sup> ) | ave. |     |
|        | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    |      |                            | 1   | 2                     | 3    | 4    | 5    |      |                            |      |     |
| K-CI   | 1.45  | 1.51 | 1.51 | 1.51 | 1.51 | 1.50 | 191                        | 194   | 1.36                  | 1.40 | 1.41 | 1.41 | 1.41 | 1.42                       | 195  | 197 |
|        | 1.48  | 1.54 | 1.53 | 1.53 | 1.53 |      | 194                        |   | 1.42                  | 1.40 | 1.42 | 1.41 | 1.40 |                            | 198  |     |
|        | 1.44  | 1.51 | 1.48 | 1.48 | 1.48 |      | 196                        |   | 1.41                  | 1.46 | 1.47 | 1.47 | 1.48 |                            | 198  |     |
| K-CP   | 1.23  | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.27 | 175                        | 172   | 1.64                  | 1.56 | 1.56 | 1.56 | 1.60 | 1.38                       | 135  | 160 |
|        | 1.25  | 1.25 | 1.27 | 1.28 | 1.27 |      | 167                        |   | 1.25                  | 1.27 | 1.28 | 1.27 | 1.27 |                            | 169  |     |
|        | 1.29  | 1.31 | 1.30 | 1.30 | 1.30 |      | 175                        |   | 1.25                  | 1.30 | 1.31 | 1.32 | 1.32 |                            | 175  |     |
| S-AI   | 0.52  | 0.63 | 0.65 | 0.66 | 0.66 | 0.60 | 187                        | 199   | 0.60                  | 0.67 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.68                       | 203  | 205 |
|        | 0.50  | 0.60 | 0.61 | 0.62 | 0.62 |      | 201                        |   | 0.62                  | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 0.73 |                            | 203  |     |
|        | 0.51  | 0.62 | 0.61 | 0.62 | 0.63 |      | 208                        |   | 0.59                  | 0.68 | 0.69 | 0.69 | 0.68 |                            | 209  |     |
| KR-V   | 0.24  | 0.30 | 0.31 | 0.32 | 0.32 | 0.31 | 92                         | 85  | 0.30                  | 0.37 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.37                       | 71   | 75  |
|        | 0.27  | 0.32 | 0.33 | 0.33 | 0.32 |      | 78                         |   | 0.30                  | 0.38 | 0.39 | 0.40 | 0.39 |                            | 78   |     |
|        | 0.25  | 0.31 | 0.32 | 0.32 | 0.33 |      | 85                         |   | 0.30                  | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |                            | 76   |     |
| K-GI   | 0.49  | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.49 | 150                        | 148   | アルカリ溶液浸漬前にクレーブ破壊を起こした |      |      |      |      |                            |      |     |
|        | 0.48  | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |      | 141                        |   |                       |      |      |      |      |                            |      |     |
|        | 0.47  | 0.48 | 0.49 | 0.49 | 0.48 |      | 152                        |   |                       |      |      |      |      |                            |      |     |