

# [105] GRC セメントを使用したガラス繊維補強セメントの 力学的特性と耐久性

正会員 秋浜繁幸(鹿島建設技術研究所)

正会員 ○末永龍夫(鹿島建設技術研究所)

正会員 中川裕章(鹿島建設技術研究所)

藤井 洋(日本電気硝子能登川事業部)

## 1. はじめに

ガラス繊維補強セメント(以下GRCと略記)は、セメント系マトリックスの欠点であるぜい性の性質を改善した複合材として、カーテンウォールや内・外装材の薄肉プレキャスト部材として広く使用され始めている。

GRC用の耐アルカリガラス繊維は、1970年代の初めに英国ビルキントン社で商品化され、また同時にGRCの製造技術、工業生産方法の開発も行われることにより、GRCの建材としての用途開発が進められてきた。しかし、1979年に英国建築研究所によって発表された、GRCの10年間の自然暴露試験結果によると、耐アルカリガラス繊維を使用してもGRCはアルカリにより強度低下することが報告されている。<sup>1)</sup>

そこで、本研究では、ガラス繊維の経年劣化を小さくするため、耐アルカリガラス繊維とセメント硬化体のpHが11~12と低いセメント(以下GRCセメントと略す)を組合せたGRC(以下新GRCと略す)の力学的特性と耐久性を従来のGRCの性状と比較検討を行なった結果について報告する。

## 2. 実験内容と試験方法

新GRCの力学的性質と耐久性について把握するために、以下の実験内容について検討を行なった。

a. 曲げ応力を受けた場合の特性(80℃熱水浸漬による耐久性試験)

b. 引張応力を受けた場合の特性( )

c. 乾燥収縮試験

なお、繊維含有率は $5 \pm 0.5\%$ (ただし、曲げ試験用の新GRCは $3.5 \pm 0.5\%$ )とした。

### 2. 1 使用材料と調合

耐アルカリガラス繊維は、 $ZO_2$ を20%含有した高ジルコリア耐アルカリガラス繊維を使用した。なお、繊維長は37mmである。

セメントは早強ポルトランドセメントとGRCセメントを使用した。表-1にセメントの化学成分を示す。

骨材は、珪砂5号を使用し、混和剤はポリアルキルアリルスルホン酸塩を主成分とする減水剤でセメント重量の1%を使用した。表-2にGRCの調合を示す。

### 2. 2 成形方法と養生方法

供試体は、ダイレクトスプレー法によって成形した大形板(長さ90cm、幅60cm、厚さ1cm)から試験に供する寸法に切り出した。初期養生は、曲げ試験供試体が、供試体成形後前置養生を4時間行なった後30℃×4時間の蒸気養生を行い、その後20℃65%RH条件室に静置した。引張試験用供試体および乾燥収縮試験用供試体は、夏季時に作成したため蒸気養生を行わず、供試体成形後は20℃65%RH条件室に静置した。促進養生は、曲げ試験用供試体、引張試験用供試体ともに、初期養生を行なった後、材令4週から80℃の熱水中に所定時間(2、4、7、10日)浸漬し、その後2~3日常温で風乾した。なお、熱水浸漬0日の供試体については、材令4週で曲げ試験及び引張試験を行なった。また、乾燥収縮試験用供試体は、測定材令まで20℃65%RH条件室に静置した。

表-1 セメントの化学成分(%)

| 種 類          | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | SO <sub>3</sub> |
|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----------------|
| 早強ポルトランドセメント | 20.9             | 4.9                            | 2.8                            | 65.0 | 2.9             |
| GRCセメント      | 23.2             | 13.8                           | 1.1                            | 47.5 | 9.3             |

表-2 GRCの調合

| 種 類  | W/C (%) | S / C | 減水剤    | 凝結調節剤  | 備 考       |
|------|---------|-------|--------|--------|-----------|
| GRC  | 35.0    | 0.66  | C×0.01 | —      | 早強セメント使用  |
| 新GRC | 32.5    | 0.66  | C×0.01 | C×0.3% | GRCセメント使用 |

C:セメント、W:水、S:珪砂

## 2. 3 試験方法と供試体の形状寸法

### (1) 曲げ試験

供試体の形状寸法は、長さ25cm、幅5cm、厚さ1cmである。曲げ試験は、スパン20cmの中央集中荷方式とし、2 ton オートグラフ試験機を使用し荷重速度 2mm/min で吹付面荷重で行なった。

荷重～たわみ曲線は、試験機付属のX-Yレコーダーに記録し、また同曲線から曲げ比例限界強度（LOP）、曲げ強度（MOR）を求めた。供試体数は1条件につき6体である。

### (2) 引張試験

供試体の形状寸法は、長さ38cm幅4cm、厚さ1cmである。引張試験は、2 ton オートグラフ試験機を使用し、荷重速度 2mm/minで行なった。また、ひずみの測定は、供試体側面にパイ型変位計を表裏2枚取付け、荷重～伸び曲線をX-Yレコーダーに記録した。

荷重～伸び曲線から引張比例限界強度（BOP）、引張強度（UTS）を求めた。供試体は1条件につき6体である。

### (3) 乾燥収縮試験

供試体の形状寸法は、長さ25cm、幅5cm、厚さ1cmである。長さ変化測定はJIS A1129のコンタクトゲージ法によって行ない、材令24時間で基長（10cm）を測定した。供試体数は1条件につき6体である。

## 3. 試験結果

### 3. 1 曲げ特性

(1) 曲げ特性と熱水浸漬日数について

図-1にGRC及び図-2に新GRCの80℃熱水浸漬日数と曲げ特性の関係を図-3にGRC、新GRCの80℃熱水浸漬日数と曲げ強度比を示す。

これから、GRCのMORは熱水浸漬日数4日で約50%強度低下をし、その後10日までは強度低下の割合は小さかった。また、LOPは熱水浸漬と10日後浸漬で大差はなかった。

これに対し新GRCのMORは熱水浸漬日数2日で約20%低下をし、その後10日までは低下を生じなかった。LOPはGRCと同様な結果であった。

以上から新GRCは、80℃の熱水浸漬における耐久性にすぐれていることが明らかとなった。

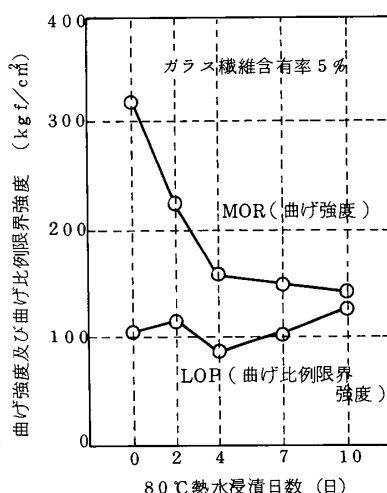


図-1 80℃熱水浸漬日数と曲げ特性 (GRC)

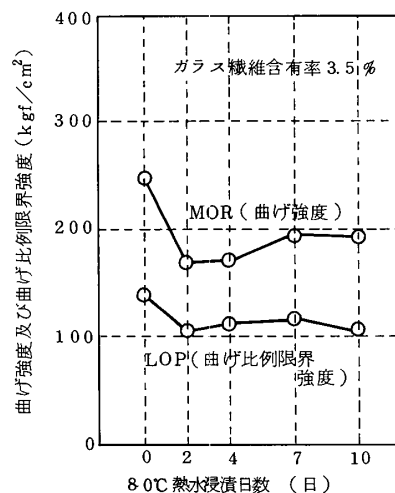


図-2 80℃熱水浸漬日数と曲げ強度 (新GRC)

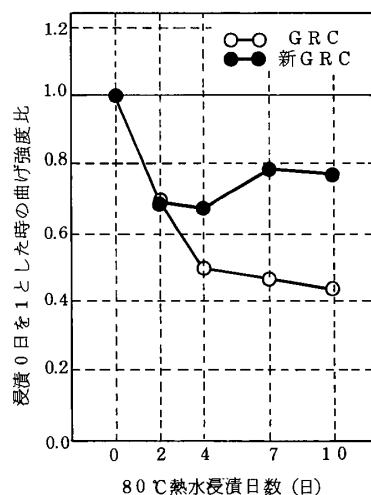


図-3 80℃熱水浸漬日数と曲げ強度比

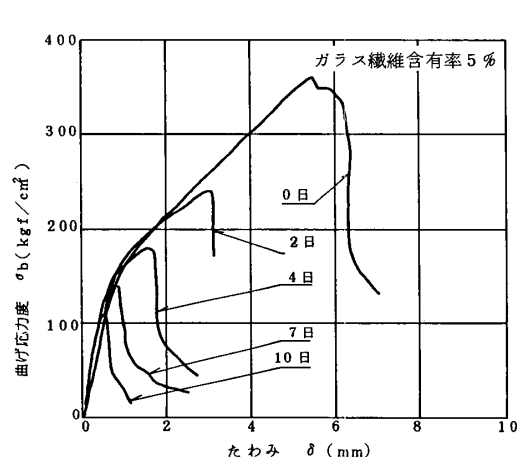


図-4 80℃熱水中に浸漬したGRCの代表的曲げ応力度～たわみ曲線

## (2) 曲げ応力度～たわみ曲線の性状について

図-4に80℃熱水中に浸漬したGRCの曲げ応力度～たわみ曲線の代表例を図-5に新GRCの曲げ応力度～たわみ曲線の代表例を示す。

この図から、GRC及び新GRCともに浸漬前の供試体は、LOP以後MORまでたわみの増加が大きく塑性域に入っても耐力は増加しているが、浸漬日数2日になると、応力度、たわみは小さくなり変形能力が著しく低下し、その割合はGRCの方が大きい。浸漬日数4日以後になると、低下の割合が小さくなっている。浸漬日数10日の新GRCの変形能力（曲げ応力度～たわみ曲線下の面積）が、浸漬前の73%あるのに対し、GRCは3%しか変形能力がないことがわかった。

## 3. 2 引張特性

## (1) 引張特性と熱水浸漬日数について

図-6にGRCの80℃熱水浸漬日数と引張特性を図-7に新GRCの80℃熱水浸漬日数と引張強度比を示す。

以上の図から明らかなように、GRC、新GRCのUTSは、浸漬日数10日で、浸漬前の強度に比較し10%低下している。

また、新GRCおよびGRCの浸漬によるBOPの変化の影響は、はっきりあらわれなかった。なお、新GRCの強度が若干大きいのは、GRCセメントを使用した新GRCが高温養生によりセメント硬化体自身の強度が増大したことによると考えられる。

## (2) 引張強度時の破壊ひずみと熱水浸漬日数について

図-9にGRC、新GRCの80℃熱水浸漬日数とUTS時の破壊ひずみを示す。

この図から、熱水浸漬日数が4日以後では、新GRCの方がGRCより破壊時のひずみは大きい。浸漬日数によるひずみ低下の傾向は同じ様であった。

## (3) 引張応力度～ひずみ度曲線の性状

図-10に、80℃熱水中に浸漬したGRC及び新GRCの代表的引

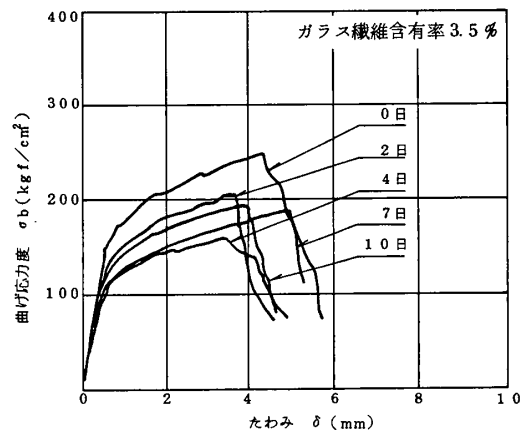


図-5 80℃熱水中に浸漬した新GRCの代表的曲げ応力度～たわみ曲線

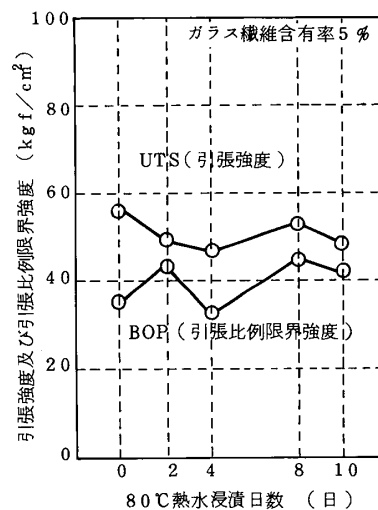


図-6 80℃熱水浸漬日数と引張特性 (GRC)

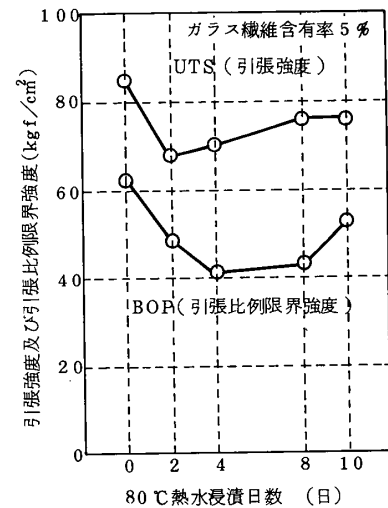


図-7 80℃熱水浸漬日数と引張特性 (新GRC)

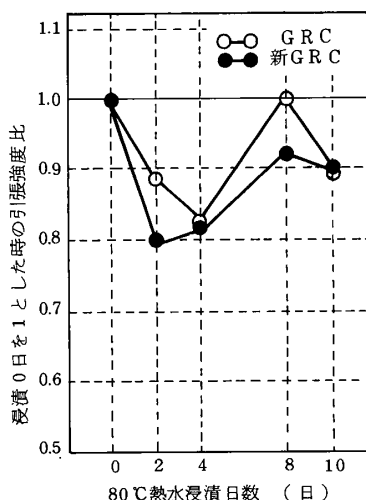


図-8 80℃熱水浸漬日数と引張強度比

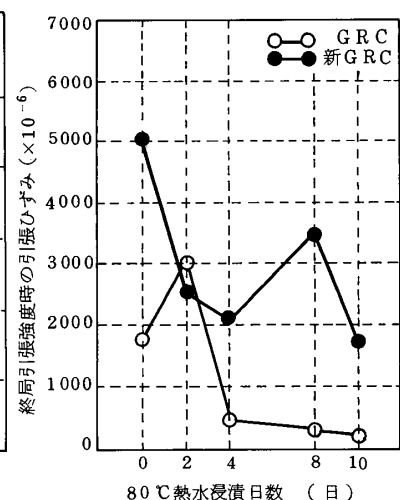


図-9 80℃熱水浸漬日数引張とひずみ特性

張応力度～ひずみ度曲線を示す。

新GRCは、熱水浸漬日数が2日、4日、8日と経過しても、引張強度、ひずみ能力ともにあまり低下せず、2直線 (bi-linear) の性状を示した。

これに対し、GRCは、浸漬前の供試体の引張応力度～ひずみ度曲線は2直線を示したが、浸漬2日以後は、引張強度、ひずみ能力が著しく低下し、とくにひずみ能力は浸漬前の4分の1程度しか得られなかった。

### 3.3 乾燥収縮試験

図-11に新GRCの長さ変化試験結果を示す。乾燥材令180日でGRCは $1.4 \times 10^{-4}$ 収縮するのに対し、新GRCの収縮率は $3 \times 10^{-4}$ でGRCの約5分の1であった。

これは、新GRCの使用しているGRCセメントが水和によってエトリンガイトを生成するために乾燥収縮を低減できたものと考えられる。<sup>2)</sup>

### 4. まとめ

新GRCの力学的特性と耐久性について実験を行った結果、以下の事項が明らかとなった。

a. 80℃熱水に10日間浸漬した新GRC供試体の強度残存率は、浸漬前の80%に対し、GRC供試体は40%であった。

なお、新GRC、GRCの浸漬10日後と浸漬前の曲げ比例限界強度は大差なかった。

b. 新GRCの引張強度、引張比例限界強度の80℃熱水10日浸漬した場合の強度低下の傾向は、曲げ強度、曲げ比例限界強度と同様であったが、その割合は小さかった。また、引張特性は曲げ特性に比較しデーターの変動が大きく、供試体数、測定方法等の再検討が必要と思われる。

c. 新GRCの長さ変化は、乾燥材令180日で $3 \times 10^{-4}$ で、GRCの約5分の1の収縮率で小さいことがわかった。

以上から新GRCの力学的特性、とくに耐久性は優れた性質を示した。今後、内外装材として広く利用されることが考えられる。なお、本研究は、鹿島建設㈱、日本電気硝子㈱、秩父セメント㈱との共同研究で行った。

(参考文献)

- 1) BRE: Properties of GRC ten-year results, BRE information, November 1979
- 2) 田中、内田: 耐久性を向上させたGRC用セメント、建築の技術施工、1985年8月号 pp.51～54

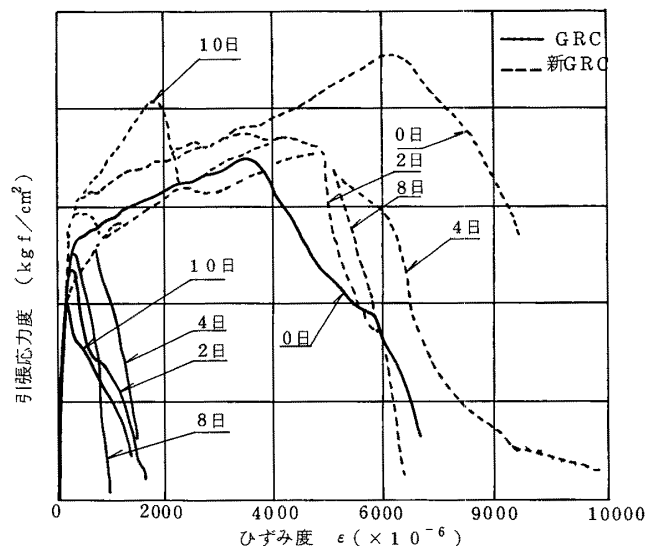


図-10 80℃熱水中に浸漬したGRC (新GRC) の代表的引張応力度～ひずみ度曲線

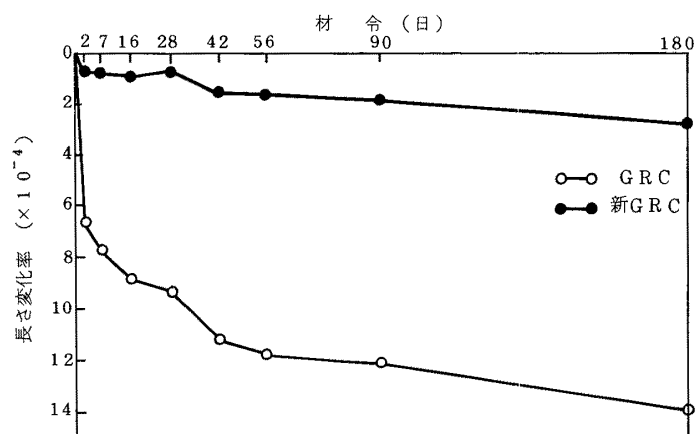


図-11 長さ変化率と材令の関係