

[1081] GRC セメントを用いた GRC カーテンウォールの寸法変化と仕上材の付着強度について

正会員 ○末永龍夫（鹿島建設技術研究所）
 三浦 浩（鹿島建設名古屋支店）
 正会員 内田郁夫（秩父セメント関連製品本部）
 佐藤重俊（日本電気硝子硝子繊維事業部）

1. はじめに

英国から技術導入されたポルトランドセメントと耐アルカリガラス繊維を組合せたガラス繊維補強セメント（以下GRCと略記）は、高強度、高靱性の不燃材料として国内で建築物の内外装材に使用され始めてから10年以上経過している。

しかし、GRCのユーザーとして過去約10年間この材料を使用してきた経験や、この間に発表された多数のGRCの特性に関する研究報告から、GRCは耐アルカリ性ガラス繊維を使用してもポルトランドセメント硬化体の高いPH環境下では、長年月の間に徐々に劣化が進行することがわかった¹⁾。

一方、最近国内で低アルカリ性でかつ低収縮特性を有するGRCセメントが開発された。このセメントと高ジルコニア耐アルカリ性ガラス繊維を組合せたGRC（新GRCと略記）によると、従来のGRCの問題点とされた大きな収縮特性や、ガラス繊維の劣化問題をかなりの程度解決できる見通しを得た²⁾。本報告では、昨年発表した新GRCの力学的特性と耐久性にひき続き新GRCを用いたカーテンウォール（リブ補強方式パネル、スチールスタッドフレーム方式パネル）の寸法変化と仕上材の付着強度について報告する。

2. 実験概要

新GRC及び新GRC実大パネルの寸法変化については、

- a. 乾燥収縮試験 b. 乾湿くり返し長さ変化試験 c. 実大パネルの長期寸法挙動確認試験を各種仕上材の付着強度については、
- d. 仕上材の付着強度試験、 e. 曲げ疲労後のタイル付着強度試験

にて検討を行った。

2.1 使用材料と調合

耐アルカリ性ガラス繊維は、高ジルコニア耐アルカリ性ガラス繊維（ZrO₂ 20%含有）を使用した。セメントは、GRCセメントと比較用に早強ポルトランドセメントを使用した。表-1 にセメントの化学成分を示す。骨材は砕砂 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 に新GRCの調合を示す。なお、繊維含有率は 5.0±0.5Wt%である。

2.2 成形方法と養生方法

供試体の成形は、ダイレクトスプレー法によっ

表-1 セメントの化学成分 (%)

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

表-2 GRCの調合

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

表-3 養生条件

| 試 験 項 目 | 一次養生 | 脱型材令 | 二次養生 |
|------------------|--------------|------|--------------|
| 乾燥収縮試験 | 25℃以上の室内 | 18時間 | 20℃65%RHの条件室 |
| 乾湿くり返し長さ試験 | 35℃80%RHの条件室 | 24時間 | 20℃65%RHの条件室 |
| 実大パネルの長期寸法挙動確認試験 | | | |
| 仕上材の付着強度試験 | 40℃×4時間の蒸気養生 | 24時間 | 室内静置 |
| 曲げ疲労後のタイル付着強度試験 | | | |

て行った。なお、各試験項目の養生条件は表-3に示すとおりである。

2.3 試験方法と供試体の形状寸法

(1) 寸法変化

a. 乾燥収縮試験

供試体の寸法は、長さ25cm、幅5cm、厚さ1cmの平板である。長さ変化測定は、JIS A 1129（モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法）のコンタクトゲージ法によって行い、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。

b. 乾湿繰り返し長さ変化試験

供試体の形状寸法は、長さ40cm、幅10cm、厚さ1cmの平板である。長さ変化測定は、JIS A 1129のコンパレータ法によって行い、材令7日から20℃水中浸漬を行い、7日間浸漬後に基長（34cm）を測定した。乾湿繰り返しは、70℃加熱2日→20℃浸水3日を1サイクルとして6サイクルまでと、20℃30%RH14日→20℃90%RH14日を1サイクルとして4サイクルまで行った。測定は、70℃加熱の場合は供試体を20℃条件室に入れ24時間後に、20℃の場合は1時間以内に行った。

c. 実大パネル長期寸法挙動確認試験

供試体の形状寸法は、リブ補強方式のパネルの大きさを幅200cm、高さ370cmとし、板部の厚み（仕上材含まず）を27mm、外周リブを幅20cm、厚さ20cmとした。スチールスタッドフレーム方式のパネルの大きさも同様に幅200cm、高さ370cmとし、板部の厚み（仕上材含まず）を13mmとした。スチールスタッドフレームは、図-1に示す部材を使用した。また、フレキシブルアンカーの径は13mmとした。表面仕上は表-4に示す3種とした。

長さ変化測定は、図-2に示すように各方式のパネル裏面にゲージプラグを貼り付けて行い、材令24時間で基長（25cm）を測定し、所定期間にその長さ変化を測定した。その測定は、図-3に示すように各方式のパネル表面に図-4に示すゲージを貼り付け、所定期間にトランシットを用いて測定した。なお、各パネルとも、屋外暴露条件下で測定を行った。

(2) 仕上げ材の付着強度

a. 屋外暴露後の仕上げ材付着強度試験

供試体の寸法は、幅100cm、高さ100cm、厚み13

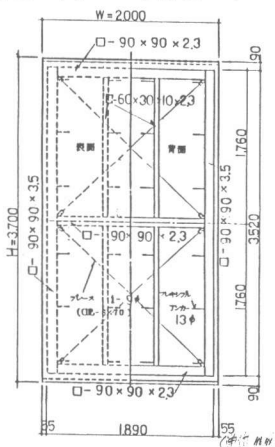


図-1 スチールスタッドフレーム方式パネル供試体寸法図

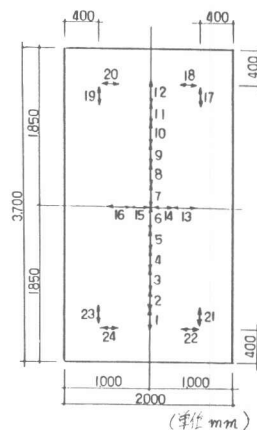


図-2 ゲージプラグ貼り付け位置図（リブ補強方式パネル）

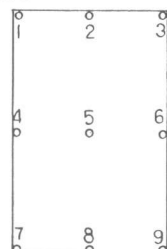


図-3 そり測定ゲージ貼り付け位置図

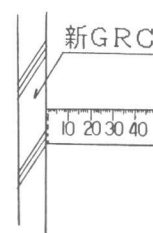


図-4 そり測定ゲージ貼り付け位置図

表-4 パネルの表面仕上げ種類

| 仕上げ種類 | パネル方式 スチールスタッド フレーム方式 | リブ補強方式 |
|----------|-----------------------------|--------|
| タイル打込み | 1体 | 1体 |
| 凝石コンクリート | 1体 | 1体 |
| 吹付タイル | 1体 | 1体 |

計6体

mm（仕上げ材含まず）で、仕上げの種類を表-5に示す3種類とした。これらの供試体の仕上材に、付着強度試験用のアタッチメントを貼り付け、建研式接着試験機により、付着強度を測定した。1回の測定はn=6とした。

b. 曲げ疲労後のタイル付着強度試験

供試体の寸法は、幅45cm、長さ200cm、厚み13mm（タイル厚含まず）とし、タイルの大きさは60×190×13mmで、パネルの長辺方向に対して縦貼り（Aタイプ）のパネルと横貼りのパネル（Bタイプ）の2種類の貼り方とした。

曲げ試験は、5tonサーボパルサー試験機を用いて、支点間距離180cmの3等分点載荷（載荷速度：10mm/分）で行い、曲げ比例限界強度（LOP）、及び曲げ強度（MOR）を測定し、パネルの変形性状を確認した。更にこの試験結果をもとに、5tonサーボパルサー試験機を用い、周波数5Hz、繰り返し数 2×10^4 （BタイプのGRC面載荷のみ 2×10^4 と 2×10^5 ）の繰り返し3等分点載荷を行った。載荷条件は、

上限応力：LOP

下限応力：1/3 LOP

とし、 2×10^4 （ 2×10^5 ）回繰り返し載荷後のタイル付着強度を建研式接着力試験機にて引張試験を行い、確認した。載荷面は、タイル面とGRC面の2種類とし、繰り返し載荷を行わないパネル（Cタイプ）についても比較のため、タイル付着強度試験を行った。表-6に試験条件と供試体数を示す。

3. 試験結果と考察

(1) 寸法変化

a. 乾燥収縮試験

図-5に新GRCの長さ変化試験結果を示す。保存期間180日でGRCは 14×10^{-4} 収縮するのに対し、新GRCの収縮率は 3×10^{-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。

b. 乾湿繰り返し長さ変化試験

図-6に70℃加熱-20℃浸水繰り返しにおける長さ変化率、図-7に20℃30%RH-20℃90

表-5 付着強度試験仕上げ種類

| 仕上げ種類 | 内 容 |
|----------|------------------------|
| タイル | 二丁掛タイル（227×60×13mm） |
| | 小口タイル（108×60×13mm） |
| 擬石コンクリート | 稲田御影石混入モルタル（モルタル厚10mm） |
| 吹付タイル | JIS A 6910 複層模様吹付材E |

表-6 試験条件と供試体数

| タイプ | 繰り返し載荷の有無 | | 繰り返し載荷の有無 | | 小 計 |
|------|----------------|---------------------------------|-----------|----------|-----|
| | 載荷面 | 2×10 ⁴ 回 繰り返し載荷有り | 繰り返し載荷無し | 繰り返し載荷無し | |
| Aタイプ | 1体 (120.2) | 1体 (112.8) | 1体 | 1体 | 4体 |
| Bタイプ | 1体 (66.5) | * 2体 (84.8) | 1体 | 1体 | 5体 |
| Cタイプ | 1体（タイル付着強度試験用） | | | | 2体 |
| 総 計 | | | | | 11体 |

*内1体は10⁵回繰り返し載荷
()内は曲げ比例限界強度 (Kg/cm²)

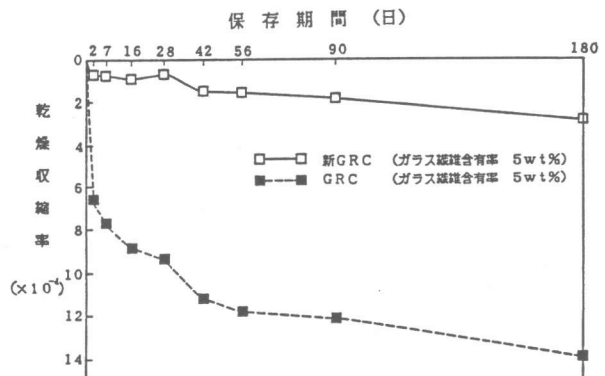


図-5 乾燥収縮率と保存期間の関係

%RH繰り返しにおける長さ変化率を示す。

図-6 から、70℃加熱-20℃浸水における平衡状態の長さ変化率は新GRCが -12×10^{-4} 、GRCが約 -14×10^{-4} であった。乾湿サイクル内での長さ変化率は、新GRCが 8×10^{-4} 、GRCが 10×10^{-4} であり、新GRCの方がやや小さい結果が得られた。70℃加熱-20℃浸水による乾湿繰り返し試験では、新GRCの方がGRC($\times 10^{-4}$)より加熱による長さ変化率がやや小さいこと、新GRC供試体に損傷が認められないことが確認された。

図-7 から、20℃30%RH-20℃90%RHにおける平衡状態の長さ変化率は、新GRCが約 -6×10^{-4} 、GRCが -14×10^{-4} であった。乾湿サイクル内での長さ変化率は、新GRCが 2×10^{-4} 、GRCが 7×10^{-4} であり、新GRCの長さ変化率はGRCの3分の1以下であった。この結果から新GRCは寸法安定性に優れていると言える。なお、図5~7の平衡状態の長さ変化率の相違は、エトリンサイト結合水の脱離による影響と考えられる。

c. 実大パネル長期寸法挙動確認試験

図-8、図-9に基長測定から182日までの新GRCパネルの最長測定間の長さ変化率を示す。これらの図よりX方向、Y方向ともに、基長測定から4週までは、膨張傾向にあり4週以後は徐々に収縮し、182日で収縮率は $(3 \pm 1) \times 10^{-4}$ で良好な寸法安定性を示している。初期の膨張は、エトリンサイト生成による影響と考えられる。表面仕上げ種類の違い、パネル方式の違いによる長さ変化率の差はほとんど見られなかった。

図-10、図-11に屋外暴露187日までの新GRCパネルの端部長辺方向のそり(図-3の1,7間,3,9間の平均値)と、中央部長辺方向のそり(図-3の2,8間)の測定結果を

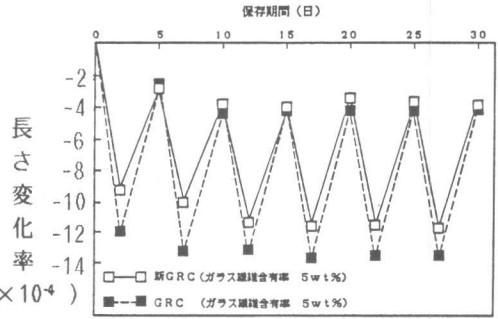


図-6 70℃加熱-20℃浸水繰り返しにおける長さ変化
供試体数：1条件3体

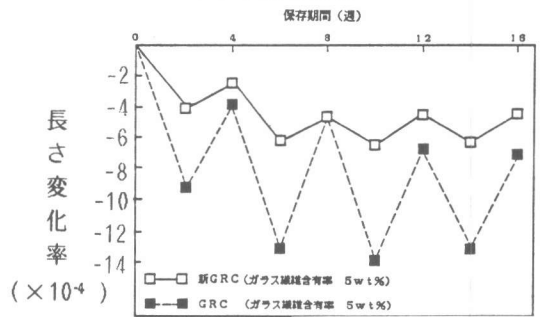


図-7 20℃・30%RH-20℃・90%RH繰り返しにおける長さ変化
供試体数：1条件3体

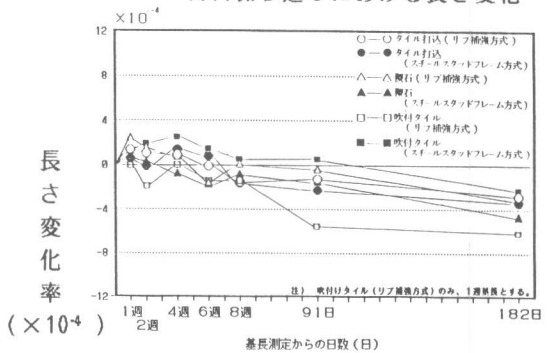


図-8 新GRCパネル長さ変化率(X方向)

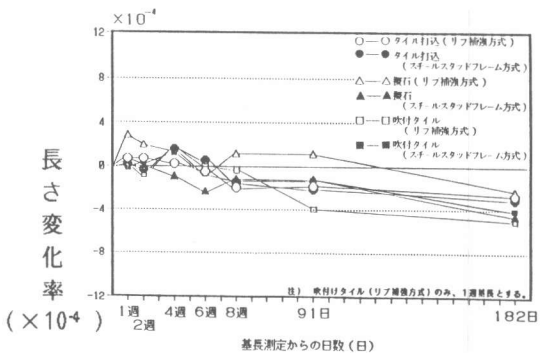


図-9 新GRCパネル長さ変化率(Y方向)

示す。各パネルとも若干表側方向にそる傾向があるが、これは仕上げを施していない裏面の乾燥収縮が表面より大きいためと考えられる。

屋外暴露 0日（材令 4週）から 187日までのそりの変化は、タイル打込パネルが約 3mmで、最大であったが美観上問題になるそりは生じなかった。

(2) 仕上材の付着強度

a. 屋外暴露後の仕上材付着強度試験

表-7 に屋外暴露 0日（吹付タイルは 28日）と 154日（吹付タイルは 182日）の各仕上材の付着強度試験結果を示す。タイルの暴露 182日の付着強度は二丁掛タイルで $10.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、小口タイルでは $15.4\text{kgf}/\text{cm}^2$ と高い値を示した。破断箇所は図-12破断位置図に示す母材の新GRCがほとんどで、タイルと新GRCの界面剥離は一枚もなかった。小口タイルに比べ、二丁掛タイルの付着強度が小さいのは、アタッチメントの大きさの影響が大きいと考えられる。暴露 0日の擬石仕上げの付着強度が暴露 154日の付着強度より高いのも同様な理由によるものと考えられる。擬石仕上げの場合、破断箇所は擬石部分が多かった。吹付タイルの付着強度は、暴露28日で $7.2\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、154日目で $8.4\text{kgf}/\text{cm}^2$ と安定した付着強度を示した。

以上の結果より、屋外暴露 154日（吹付タイルは 182日）までの各仕上材の新GRCとの付着は十分良好であるといえる。

b. 曲げ疲労後のタイル付着強度試験

2×10^4 (2×10^5) 回の繰り返し载荷後、タイルパネル 5体すべてについて亀裂発生の有無、タイルの剥離等について外観検査を行ったが異状を認めるものはなかった。繰り返し载荷後行ったタイルの付着強度試験結果を図-13に示す。これより、繰り返し载荷後のタイルの付着強度は、载荷前の60~80%保持されていた。 2×10^4 回繰り返し载荷を行なった後のタイルの付着強度は、

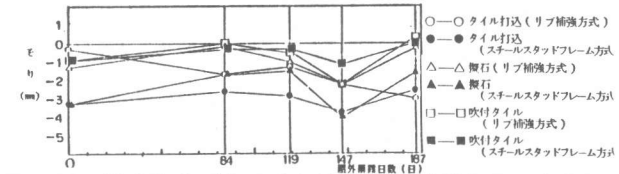


図-10 新GRCパネルそり測定結果（端部長辺方向）

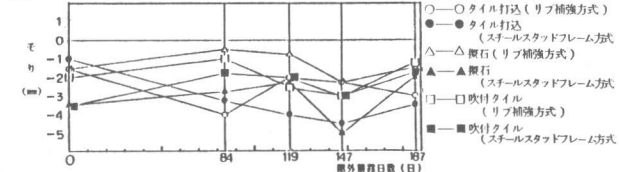


図-11 新GRCパネルそり測定結果（中央部長辺方向）

表-7 仕上材の付着強度試験結果

| 屋外暴露日数 | 0日 (28日) | | 154日 (182日) | |
|-----------|-------------------------------|--|-------------------------------|---------------------------------|
| 仕上材の種類 | 付着強度平均値 (kg/cm ²) | 破断箇所 | 付着強度平均値 (kg/cm ²) | 破断箇所 |
| タイル (二丁掛) | *1 7.2 | E | *1 10.6 | (A/B)/(C)/(E) = 2.5/2.5/950% |
| タイル (小口) | 10.8 | E | 15.4 | E |
| 擬石コンクリート | *2 14.4 | C | 12.3 | (A/B)/(D)/(E) = 3/52/45 % |
| 吹付タイル | 7.2 | (D1)/(D1/D2)/(D2/E)/E = 10/3/4/83 % | 8.4 | (D1)/(D2/E)/(E) = 1/26/73 % |

注 1) アタッチメントの大きさは*1 が 227×60

*2 は 40×40、それ以外は 108×60とした。

2) 破断箇所の表記は図-12参照。

3) 屋外暴露日数 () 内の数値は、吹付タイルの暴露日数である。

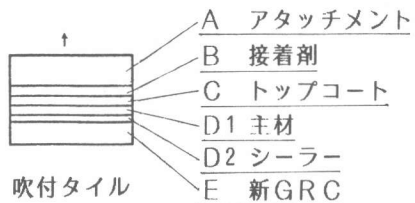
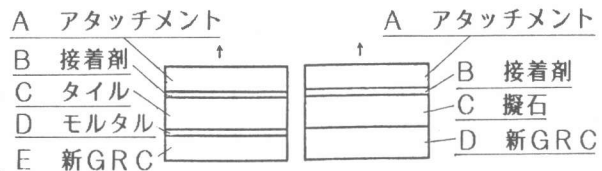


図-12 破断位置図

GRC面載荷の場合Aタイプに比較しBタイプの方が25%大きかったが、これはタイルの張り方による影響なのか、供試体の品質のバラツキによるものかは現段階では判断できない。また、載荷を行なわなかった供試体の付着強度が 7.1 kgf/cm^2 (材令 6週) と仕上材の付着強度試験の時の値と較べて低かったのは、二次養生の温度が低かったことが影響していると考えられる。なお、タイルの付着強度試験結果から、繰り返し載荷を行った供試体を含めすべて新GRCの母材での破断であり、タイル面と新GRC母材との付着力は繰り返し載荷後も十分保たれていることが明らかとなった。

4. まとめ

新GRCカーテンウォールの寸法変化および各種仕上材の付着強度試験の結果をまとめて列記すると以下のとおりである。

- 新GRCの長さ変化は、乾燥材令 180日で 3×10^{-4} と小さく、GRCの約 5分の1の収縮率であることがわかった。これは、水和によってエトリンガイトを生成したためと考えられる。
- 70℃加熱-20℃浸水の乾湿サイクル内での長さ変化率は、新GRCが約 8×10^{-4} 、GRCが約 10×10^{-4} で新GRCの方が、やや収縮が小さかった。また、20℃30%RH-20℃90%RHの乾湿サイクル内での長さ変化率は、新GRCが約 2×10^{-4} 、GRCが約 7×10^{-4} で、GRCの約 3分の1の収縮率であった。各条件の長さ変化率の相違はエトリンガイト結合水の脱離による影響と考えられる。
- 新GRCの実大パネルの長期寸法挙動については、パネルのX方向、Y方向ともに収縮率は、 $3 \pm 1 \times 10^{-4}$ で、良好な寸法安定性を示した。なお、表面仕上げ種類の違い、パネル方式の違いによる長さ変化率の差はほとんど見られなかった。
- 屋外暴露パネルの各仕上材(タイル、擬石、吹付タイル)の付着強度は、半年屋外暴露を行なっても、付着強度の劣化はなく安定した強度を示した。
- 2×10^4 回繰り返し載荷後のタイルの付着強度は、載荷前の60~80%保持されており、タイルパネルの亀裂発生、タイルの剥離はなかった。

以上から、新GRCのカーテンウォールの寸法安定性および仕上材の付着強度は優れていることがわかった。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)

- BRE: Properties of GRC ten-year results, BRE information, November 1979
- 秋浜、末永、中川、藤井: 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、第8回コンクリート工学年次講演会、pp417 ~ 420、1986

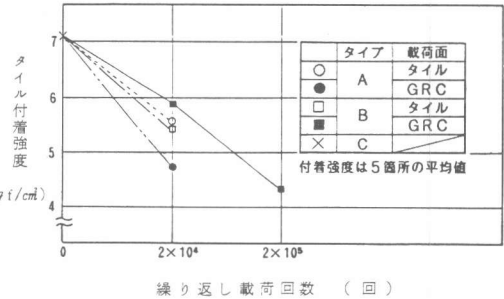


図-13 タイル付着強度試験結果