

## GRCのリサイクルについて

日本電気硝子株式会社 ガラス繊維事業部 技術部 西堀 真治

### 1. はじめに

資源循環型社会の構築のため、コンクリート産業では様々なリサイクルの検討が行われている。特に廃コンクリートを粉砕することにより得られる再生骨材の研究は、様々な角度から検討され、JIS化された<sup>1)</sup>。

このような状況の中、その軽量性や造形性の良さから建築材料として広く使用されているガラス繊維補強コンクリート(GRC)においても、リサイクルに対する要求が高まっている。昨年までは、産業廃棄物を利用したリサイクル材料を添加したGRCの基本物性について報告してきた<sup>2) 3)</sup>。

本研究では、今後増加すると予想される廃GRCを模して作成したGRCを粉砕し、その粉砕品を混入したGRCやコンクリートの基本物性を調査した。

### 2. 試験方法

#### 2.1 原GRC

本研究で粉砕を行った原GRCの配合を表1に示す。原GRCは、屋外暴露25年に相当する廃GRCパネルを想定することとした。そのため試験片は、ダイレクトスプレー法(カット長31mm)により、厚さ40mmのGRCを成形し、そのGRCから100×100mmの寸法で切り出し、材令28日より80℃の温水に10日間浸漬することで促進養生を行った。

表1 原GRC配合

普通ポルトランドセメント	100
珪砂6号	80
減水剤	0.7
水	34
ガラス繊維含有量(質量%)	5.0

#### 2.2 GRC粉砕方法

2.1で作成した試験片をジョークラッシャーにて粉砕を行った。原GRCは図1の手順でふるいを通して数回に分けて粉砕を行い、5～0.15mmと0.15mm以下の粉砕品に分けて採取した。なお5～0.15mmの粉砕品は再生細骨材、0.15mm以下の粉砕品は再生微粉として取り扱った。ジョークラッシャーの歯間隔は、15～1mmの範囲で調整を行った。

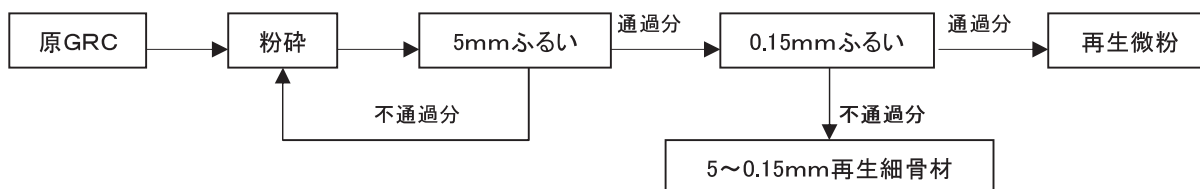


図1 粉砕フローチャート

#### 2.3 使用材料

表2に本研究でGRCとコンクリートに使用した材料を示す。

表2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント(C)
細骨材	珪砂5号(SS) 川砂(RS、琵琶湖産、表乾密度 2.58g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 1.72%)
粗骨材	碎石(G、土山産、表乾密度 2.68g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 0.84%、Gmax=20mm)
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤(R)
ガラス繊維	耐アルカリ性ガラスチョップドストランド(FC、カット長 19mm)

#### 2.4 粉砕品の置換方法

再生微粉は、GRCのセメントまたは骨材に置換することで検討を行った。セメント置換では、セメントの質量に対して0～30%の範囲で再生微粉に置換し、骨材置換では、珪砂の質量に対して0～60%の範囲で再生微粉に置換した。

再生細骨材は、コンクリートの川砂の質量に対して0～100%の範囲で置換することで検討を行った。

#### 2.5 試験体の作成

GRC試験体は、30リットルのオムニミキサーで混練を行った。高性能AE減水剤を添加した水、骨材、セメントの順でミキサーに投入して、高速で60秒混練することでモルタルを得た。耐アルカリ性ガラスチョップドストランドは、モルタルに対して3質量%を添加し、高速で15秒間混練した。得られたGRCモルタルを型枠に流し込んで試験体を作成した。

コンクリート試験体は、ハンドミキサーを用いて8リットル調合で混練を行い、JIS A 1132に準じて試験体を作成した。再生細骨材は、成形日の前日から吸水させ、表乾状態にして使用した。

## 2. 6 養生

GRC 試験体は、20℃、60% RH の条件で材令28日まで養生を行い、その後70℃の温水に試験体を浸漬することにより、促進試験を行なった。GRC の場合、70℃温水浸漬1日で東京の屋外暴露1年に相当するといわれている<sup>4)</sup>。

コンクリート試験体は、脱型後、JIS A 1132 に準じて材令28日まで水中養生を行なった。

## 2. 7 フロー値及びスランプ値

GRC モルタルのフロー値は、JIS R 5201 に準じて測定を行い、コンクリートのスランプ値は、JIS A 1101 に準じて測定を行った。モルタルのフロー値は、内径55×50 mm のフローコーンにモルタルを充填し、コーンを持ち上げた時に広がったモルタルの最大直径とそれに直交する直径を測定し、平均値を求めた。

## 2. 8 比重と空気量

JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力法）により、混練直後の GRC モルタルとコンクリートの空気量を測定した。GRC 生比重は、まだ固まらない GRC モルタルそのものの、気乾比重は、材令28日での曲げ試験体の体積と質量から求めた。

## 2. 9 密度と吸水率

骨材の密度と吸水率は JIS A 1109、1110 に準じて測定を行なった。

## 2. 10 曲げ試験

GRC の曲げ試験は、日本 GRC 工業会の定める表3の条件で測定を行った。

表3 曲げ試験条件

試験体寸法(mm)	曲げスパン(mm)	載荷速度(mm/分)	載荷方式	n数	測定材令
275×50×15	225	2	中央集中載荷	6	28日

## 2. 11 圧縮試験

コンクリートの圧縮試験は、直径100×200 mm の試験体を各配合で3体ずつ作成し、JIS A 1108 に準じて測定を行った。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 原 GRC 粉砕試験

2. 1 で作成した原 GRC 試験片をジョークラッシャーの歯間隔を15 mm にして粉砕を一回行い、5 mm のふるいでふるいわけを行ったところ、約20%がふるいを通過した。この通過した20%の粉砕品についてふるいわけをした結果を表4に示す。

表4 粉砕品の粒度

破砕品の粒度(mm)	5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.15	0.15以下
割合(%)	26	18	41	15

ジョークラッシャーの歯間隔が15 mm にもかかわらず、5 mm 以下の粉砕品の約半分が1.2 mm 以下に細かく粉砕された。また、粉砕品に含まれるガラス繊維の状態を観察したが、同様に細かく粉砕されていた。やはりガラス繊維は、その高い弾性率により、繊維自体も粉砕しやすく、そのガラス繊維を補強繊維として使用している GRC は、繊維補強コンクリートの中でも特に粉砕処理しやすい材料と思われる。逆に弾性率の低い有機繊維などを補強繊維とした繊維補強コンクリートの場合、繊維が破断されにくくなるため、繊維が破砕モルタルを架橋したり、元の長さのまま残存するなど十分な粉砕ができない可能性も考えられる。

### 3. 2 再生細骨材の品質

2. 2 の手順で得られた再生細骨材の粒度分布を図2に示す。またその密度と吸水率を表5に示す。

得られた再生細骨材は JIS A 5005 に示された砕砂の粒度範囲内の

表5 再生細骨材の品質

項目	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)
規格	-----	2.5 以上	3.0 以下
測定値	2.28	2.05	11.14

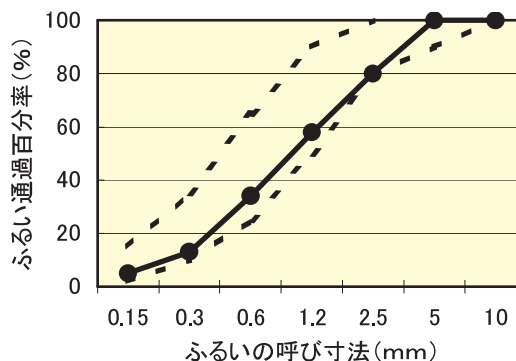


図2 再生細骨材の粒度分布

分布を示したが、密度と吸水率は規格外であった。密度は原 GRC の比重から規格値より小さくなり、吸水率は原 GRC の吸水率とほぼ同等の値を示し、規格値より高くなった。

### 3.3 GRC への再生微粉の添加

#### 3.3.1 セメント置換

(1) まだ固まらない GRC の特性と気乾比重

2. 2 の手順で得られた 0.15 mm 以下の再生微粉を GRC のセメントと置換した場合の GRC 配合およびまだ固まらない GRC の特性と気乾比重を表 6 に示す。表中の生  $\rho$  は混練直後の GRC モルタルの生比重を、エアは同モルタルの空気量を、フローは GRC モルタルのフロー値を、気  $\rho$  は GRC の気乾比重を示す。また再生微粉の置換率と各フロー値の関係を図 3 に示す。

再生微粉の置換率が高くなると、各比重は小さくなった。これは、再生微粉の密度がセメントより小さいためと思われる。また、フロー値は、再生微粉の粒度と吸水率の影響で、置換率とともに低下した<sup>5)</sup>。

表 6 まだ固まらない GRC の特性と気乾比重  
(再生微粉セメント置換)

No	1	2	3	4
C	100	90	80	70
再生微粉	0	10	20	30
SS	100	100	100	100
R	0.6	0.6	0.6	0.6
水	32	32	32	32
FC	7.0	7.0	7.0	7.0
生 $\rho$	2.15	2.14	2.09	2.05
エア(%)	7.4	8.0	8.2	6.7
フロー(mm)	176	163	148	127
気 $\rho$	2.10	2.06	2.05	2.02

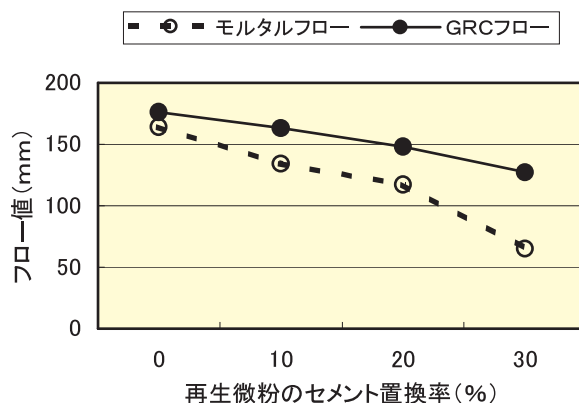


図 3 微粉のセメント置換率とフロー値の関係

(2) 曲げ試験結果

図 4 に耐久性を含めた曲げ試験結果を示す。また図 5 に乾燥収縮率の結果を示す。

材令 28 日と温水浸漬後の曲げ強度は、再生微粉のセメント置換率とともに低下した。これは、セメント量の減少が大きく影響していると思われる。乾燥収縮率は、この範囲のセメント置換であるならば、大きな違いは見られなかった。

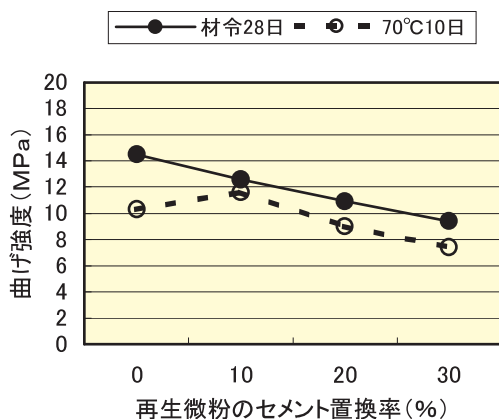


図 4 微粉のセメント置換率と曲げ強度の関係

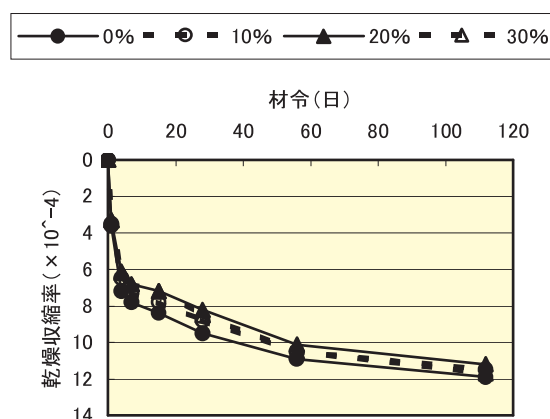


図 5 微粉のセメント置換率と乾燥収縮の関係

#### 3.3.2 骨材置換

(1) まだ固まらない GRC の特性と気乾比重

再生微粉を GRC の細骨材と置換した場合の、GRC 配合およびまだ固まらない GRC の特性と気乾比重を表 7 に示す。ただし、フロー値の大幅な低下が予想されるため、混和剤の添加により各配合でモルタルフロー値の調整を行った。その混和剤の添加量と各フロー値の関係を図 6 に示す。

セメント置換と同様に、細骨材置換においても置換率とともに各比重は低下した。

置換率が高くなり、同等のモルタルフロー値を得ようとする、混和剤量を増加する必要があった。しかし、混和剤でモルタルフロー値を調整した場合、再生微粉の置換率が高い程、GRCモルタルのフロー値が大きくなる傾向であった。これは再生微粉が細骨材と置換されるため、GRC全体の粉体割合が増し、GRCモルタルのチキソトロピー性が上がったためと思われる。そのため一定以上のモルタルフロー値であれば、そのチキソトロピー性の効果により、GRCモルタルに振動を与えて測定するGRCフロー値は大きくなるものと思われる。このことから置換前のGRCモルタルと同等のGRCフロー値を得ようとする場合は、今回の混和剤量より減量できるとと思われる。置換率60%以上では、今回使用した混和剤の使用範囲を超えるため、材料分離が生じ、置換率の上限は60%未満と思われる。

表7 まだ固まらないGRCの特性と気乾比重 (再生微粉細骨材置換)

No	5	6	7	8
C	100	100	100	100
再生微粉	0	20	40	60
SS	100	80	60	40
R	0.6	1.0	1.9	4.3
水	32	32	32	32
FC	7.0	7.0	7.0	7.0
生 $\rho$	2.14	2.08	2.05	1.98
エア(%)	8.5	10.0	9.4	10↑
フロー(mm)	195	185	235	260*
気 $\rho$	2.12	2.06	2.02	1.97

\*材料分離

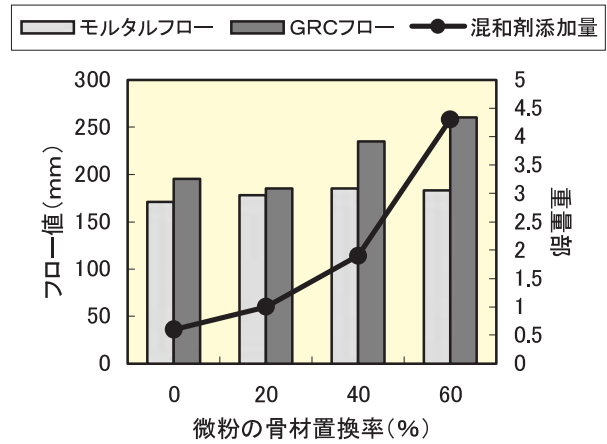


図6 微粉のセメント置換率とフロー値の関係

(2) 曲げ試験結果

図7に耐久性を含めた曲げ試験結果を示す。また図8に乾燥収縮率の結果を示す。

材令28日と温水浸漬後の曲げ強度は、再生微粉の細骨材置換率とともに高くなる傾向を示した。また乾燥収縮率も細骨材置換率とともに大きくなる傾向を示し、特に自己収縮の影響が大きいと考えられる材令7日までに大きな違いが見られた<sup>6)</sup>。これらは再生微粉中に存在する活性なセメントが、強度や乾燥収縮率に作用したものである。そこで、実験No 1~8の各配合で、再生微粉中の活性成分の質量%を仮定し、その活性成分の質量とセメント量を合計したものを結合材とし、それ以外の再生微粉は珪砂5号と合わせて細骨材とし、結合材/細骨材比を算出して曲げ強度との関係を検討した。再生微粉の活性成分が10, 25, 40質量%の時の、結合材/細骨材比と曲げ強度の関係を図9に示す。

各質量%で結合材/細骨材比と曲げ強度の相関係数を算

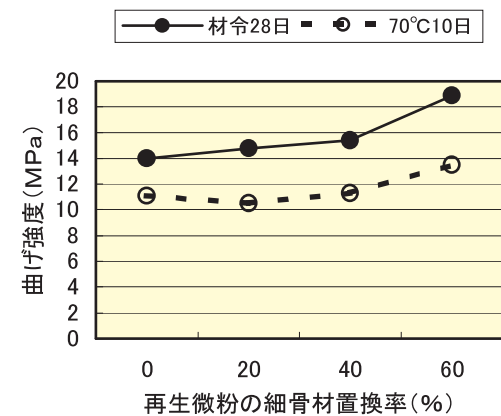


図7 微粉の細骨材置換率と曲げ強度の関係

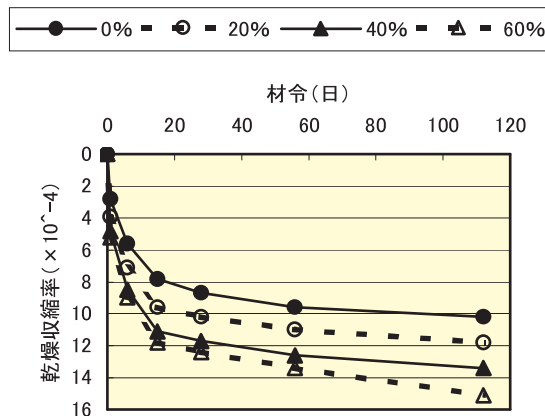


図8 微粉の細骨材置換率と乾燥収縮の関係

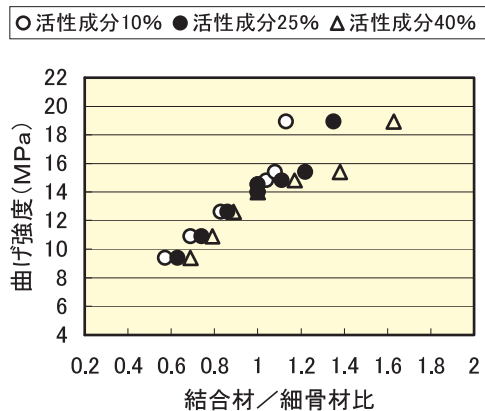


図9 結合材/砂比と曲げ強度の関係

出すると、活性成分10質量%の場合は88%、25質量%の場合は96%、40質量%の場合は91%であった。さらに細かく活性成分の質量%に対する相関係数を調べたが、25質量%付近が最も高い相関係数を示した。このことから、今回の実験範囲で再生微粉中の活性成分の割合を推測すると、25質量%前後と思われる。これは原GRCのセメント質量の57%に相当する。このように十分水和が進行したGRCでも、粉砕し、微粉にすることで一部結合材として作用する可能性があると思われる。

### 3.4 コンクリートへの再生細骨材の添加

#### 3.4.1 まだ固まらないコンクリートの特性

3.2で品質確認を行った0.15～5mmの再生細骨材を、コンクリートの細骨材として置換した場合のコンクリート配合およびまだ固まらないコンクリート特性を表8に示す。目標スランプを18.0cmとし、混和剤の添加量によってスランプを調整した。

表8 コンクリート配合とまだ固まらないコンクリート特性

No	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
水セメント比(%)	42.7					47.8					52.6					
再生細骨材置換率(%)	0	20	40	60	100	0	20	40	60	100	0	20	40	60	100	
細骨材率(%)	47.1	47.8	48.4	49.0	50.2	47.1	47.8	48.4	49.0	50.2	47.1	47.7	48.3	49.0	50.2	
単位量 (kg/cm <sup>3</sup> )	水	190														
	C	445					398					361				
	RS	764	611	458	306	0	783	626	470	313	0	796	637	478	318	0
	再生細骨材	0	153	306	458	764	0	157	313	470	783	0	159	318	478	796
	G	891					913					930				
R(C×%)	0	0	0.17	0.17	0.22	0	0	0.13	0.13	0.25	0	0	0.14	0.14	0.24	
空気量(%)	0.9	1.3	2.7	1.8	2.8	1.0	1.3	1.7	2.0	2.7	0.8	1.2	2.7	2.3	3.0	
スランプ(cm)	19.5	19.0	18.5	19.5	18.0	19.0	18.5	19.0	18.0	18.0	20.0	20.0	18.0	18.0	20.0	

再生細骨材の置換率が大きくなると、目標スランプを得るために混和剤の添加量を増加する必要があった。また、混和剤の添加量とともに、比例的に空気量が増加した。

#### 3.4.2 圧縮試験結果

再生細骨材置換率と圧縮強度の関係を図10に、セメント水比と圧縮強度の関係を図11に示す。

再生細骨材置換率が40%以下であると、セメント水比と圧縮強度は高い相関性を示した。しかし60%以上になると、その相関性は低下し、100%置換ではセメント水比が2.09と2.34の圧縮強度が大きく低下した。

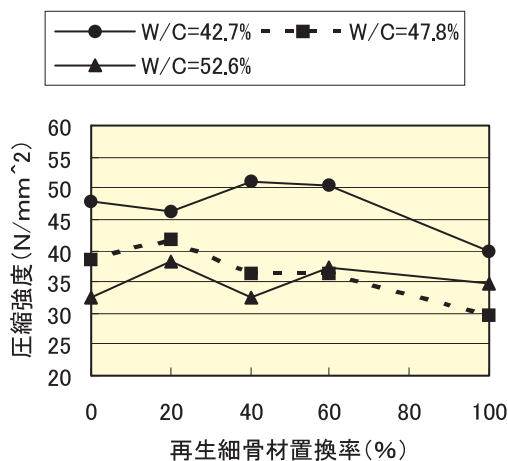


図10 再生細骨材置換率と圧縮強度の関係

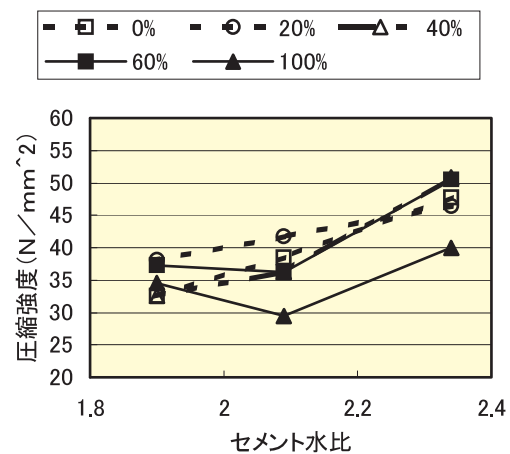


図11 セメント水比と圧縮強度の関係

#### 4. まとめと今後

- (1) GRCは、ガラス繊維の持つ高い弾性率のため、粉碎処理しやすい材料である。
- (2) 再生微粉をセメント置換したGRCの比重、フロー値と曲げ強度は、低下傾向を示した。再生微粉をセメント置換する場合、10%までなら、若干の調整で、置換前のGRCとほぼ同等の特性が得られると思われる。
- (3) 再生微粉を細骨材置換したGRCの流動性の調整に、大幅な混和剤の追加が必要となった。材料分離の点から、その置換率は、60%未満が好ましいと思われる。
- (4) 再生微粉を細骨材置換したGRCの曲げ強度は、高くなる傾向を示し、乾燥収縮は、大きくなる傾向を示した。再生微粉の中にも、結合材として作用する活性成分が存在する可能性が高い。(3)を考慮して、再生微粉を細骨材置換する場合、60%未満が好ましいと思われる。
- (5) 再生細骨材をコンクリートの細骨材に置換する場合、同等のスランプ値を得るためには、混和剤などで調整する必要がある。再生細骨材置換率が40%以下であると、セメント水比と圧縮強度は高い相関性を示したが、60%以上になると、その相関性は低下した。

今回十分なデータが得られていない点も多くあり、GRC粉砕品のリサイクルについて、今後も継続して調査する。

#### 参考文献

- 1) JIS A 5021 コンクリート用再生骨材H、JIS A 5023 再生骨材Lを用いたコンクリート
- 2) 西堀真治「リサイクル材料を用いたガラス繊維補強コンクリートの特性」日本GRC工業会第16回GRCシンポジウム講演要旨集 2004年7月, pp. 19-24
- 3) 西堀真治「リサイクル材料を用いたガラス繊維補強コンクリートの特性2」日本GRC工業会第17回GRCシンポジウム講演要旨集 2005年7月, pp. 25-30
- 4) Litherland, D.R., Oakley, D.R. and Proctor, B.A., The use of accelerated ageing procedures to predict the long term strength of GRC composites, Cement and Concrete research, volume 11, pp. 455-466, 1981
- 5) 大池 武ら, 「再生骨材・再生微粉を用いたコンクリートの物性に関する基礎研究」, 日本建築学会学術講演梗概集, No 1175, pp 375-376, 2004
- 6) 笹田 達也ら, 「再生細骨材・微粉末を用いたモルタルの性状」, 日本建築学会学術講演梗概集, No 1334, pp 667-668, 2001