

G R Cのリサイクル技術資料 (廃G R C破砕品の適用編)

日本電気硝子株式会社

目次

1. 目的

2. 試験方法

2.1 再生細骨材と再生微粉の作成方法とその特性

2.2 GRCの試験方法

2.2.1 フロー値

2.2.2 比重と空気量

2.2.3 曲げ試験

2.2.4 温水浸漬促進試験

2.2.5 乾燥収縮率試験

2.2.6 凍結融解試験

2.3 コンクリートの試験方法

2.3.1 密度と吸水率

2.3.2 スランプ値

2.3.3 空気量

2.3.4 圧縮試験

3. 試験結果

3.1 再生微粉のGRCへの適用

3.1.1 セメント置換

(1) まだ固まらないGRCの特性と気乾比重

(2) 曲げ試験結果

(3) 乾燥収縮率試験結果

3.1.2 細骨材置換

(1) まだ固まらないGRCの特性と気乾比重

(2) 曲げ試験結果

(3) 乾燥収縮率試験結果

3.1.3 凍結融解試験結果

(1) 外観観察

(2) 耐凍結融解性能

3.2 再生細骨材のコンクリートへの適用

(1) まだ固まらないコンクリートの特性

(2) 圧縮試験結果

4. まとめ

1. 目的

廃GRCを模して作成したGRCを破碎し、その破碎品を混入したGRCやコンクリートの基本物性を調査する。

2. 試験方法

2.1 再生細骨材と再生微粉の作成方法とその特性

ジョークラッシャーの歯間隔を調整して原GRC（模倣廃GRC）を破碎し、ふるい分けすることで、粒度範囲が5~0.15mmの再生細骨材と0.15mm以下の再生微粉を得た。得られた再生細骨材と再生微粉は、それぞれコンクリートとGRCに混入し、その物性評価を行った。原GRCの配合及び再生細骨材と再生微粉の作成方法は、本技術資料の『廃GRCの破碎編』に示した。

今回得られた再生細骨材の粒度分布を図1に示し、その密度と吸水率を表1に示す。粗粒率が3.12と大きく、粗目であるが、粒度分布はJISA5005に規定された砕砂の粒度範囲内であった。しかし原GRCの影響で再生細骨材の密度及び吸水率は、規定値より外れている。

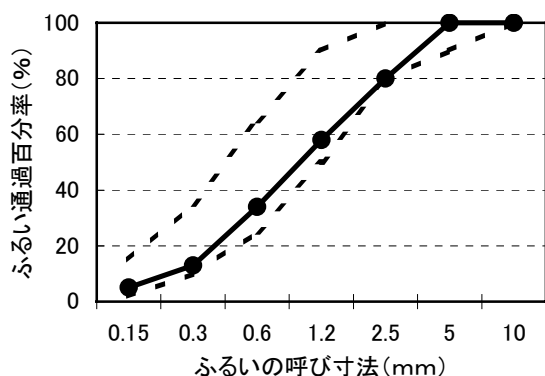


図1 再生細骨材の粒度分布

表1 再生細骨材の品質

項目	規定値	測定値
表乾密度 (g/cm ³)	—	2.28
絶乾密度 (g/cm ³)	2.5以上	2.05
吸水率 (%)	3.0以下	11.14
粗粒率	—	3.12

2.2 GRCの試験方法

本技術資料においてGRCの評価で実施した試験方法を2.2.1~2.2.6に示す。

2.2.1 フロー値

GRCモルタルのフロー値は、JIS R 5201 に準じて測定を行った。モルタルのフロー値は、内径 55×50mm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。

2.2.2 比重と空気量

混練直後のGRCモルタルの空気量をJISA1128に準じて測定を行った。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。

2.2.3 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。試験体は、材令28日まで20°C、60%RHの条件で養生を行った。

表2 曲げ試験条件

試験体寸法 (mm)	曲げスパン (mm)	载荷速度 (mm/分)	载荷方式	n数
275×50×15	225	2	中央集中载荷	6

2.2.4 温水浸漬促進試験

材令 28 日から 70°C 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。浸漬後、2.2.3 と同じ条件で曲げ試験を行い、耐久性を評価した。なお GRC の場合、70°C 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。

2.2.5 乾燥収縮率試験

乾燥収縮率は、JIS A 1129 に準じて測定を行った。ただし試験体寸法は 250×50×10mm とし、基長は 200mm とした。打設から 24 時間後に脱型を行い、基長測定後から 20°C、60%RH の条件で試験体を養生した。

2.2.6 凍結融解試験

凍結融解試験方法は、JIS A 6204 の付随書 2 に準じた水中凍結水中融解法を採用した。ただし耐久性評価は相対動弾性係数ではなく、各サイクルごとに曲げ試験を行い、曲げ弾性率の保持率と外観観察により行なった。

(1) 凍結融解試験方法：水中凍結水中融解法

(温度；-18°C～+5°C、1 サイクル所要時間；約 4 時間、サイクル数；300 回)

(2) 試験体寸法：200×45×10mm

(3) 試験体投入方法

試験体は、材令 28 日まで 20°C、60%RH の養生室で保管した。図 2、3 のようにコンクリート角柱に試験体を貼り付け、温度管理用ダミーコンクリートと同じ寸法の 100×100×400mm の試験体角柱を作製した。この角柱を試験体容器に入れ、凍結融解試験機に投入した。

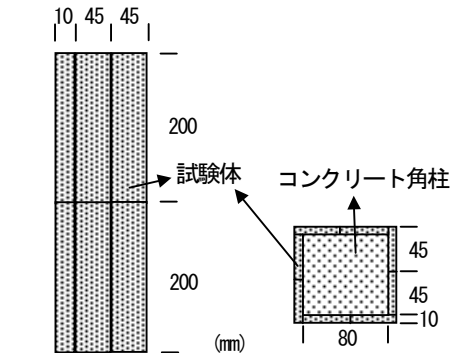


図 2 試験体角柱
立面図

図 3 試験体角柱
平面図

(4) 試験体の取り出し

100 サイクルごとに試験体角柱を取り出し、所定の試験体を外し、20°C、60%RH の養生室で 1 週間保管し、曲げ試験を行なった。

(5) 曲げ試験

材令 28 日と所定のサイクルを終了した試験体に対し、スパン 160mm、載荷速度 2mm/分の中央集中載荷曲げ試験を行い、曲げ弾性率を測定した。なお試験体は、各 5 体を測定した。

2.3 コンクリートの試験方法

本技術資料においてコンクリートの評価で実施した試験方法を 2.3.1～2.3.4 に示す。

2.3.1 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。

2.3.2 スランプ値

スランプ値は、JIS A 1101 に準じて測定を行った。

2.3.3 空気量

空気量は、JIS A 1128 に準じて測定を行った。

2.3.4 圧縮試験

圧縮試験は、直径 100×200mm 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. 試験結果

3.1 再生微粉の GRC への適用

2.1 で得られた 0.15mm 以下の再生微粉は、GRC に混入することで評価を行なった。再生微粉の混入方法としては、セメントの質量に対して置換を行なうセメント置換と細骨材の質量に対して置換を行なう細骨材置換の 2 つの方法で検討を行なった。

3.1.1 セメント置換

(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 3 に示す。また再生微粉の置換率と各フロー値の関係を図 4 に示す。

表 3 まだ固まらない GRC の特性と気乾比重

No	1	2	3	4
普通ポルトランドセメント	100	90	80	70
再生微粉	0	10	20	30
珪砂 5 号	100			
レオビルド SP 8 N	0.6			
水	32			
ACS 19 PH-901 X	7.0 (3 質量%)			
GRC 生比重	2.15	2.14	2.09	2.05
GRC 気乾比重	2.10	2.06	2.05	2.02
空気量 (%)	7.4	8.0	8.2	6.7

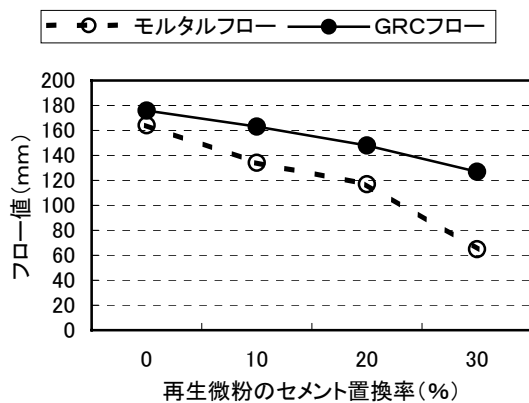


図 4 微粉のセメント置換率とフロー値の関係

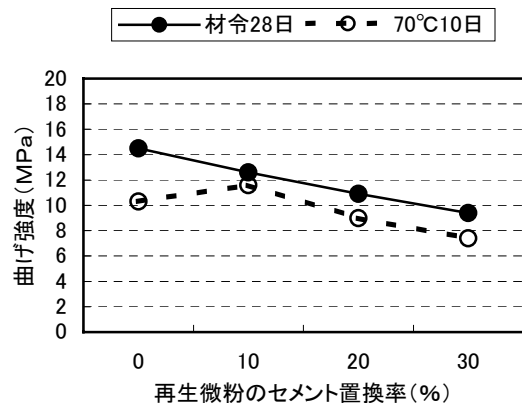


図 5 微粉のセメント置換率と曲げ強度の関係

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。

(2) 曲げ試験結果

図5に耐久性を含めた曲げ試験結果を示す。

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。

(3) 乾燥収縮率試験結果

図6に乾燥収縮率の結果を示す。

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。

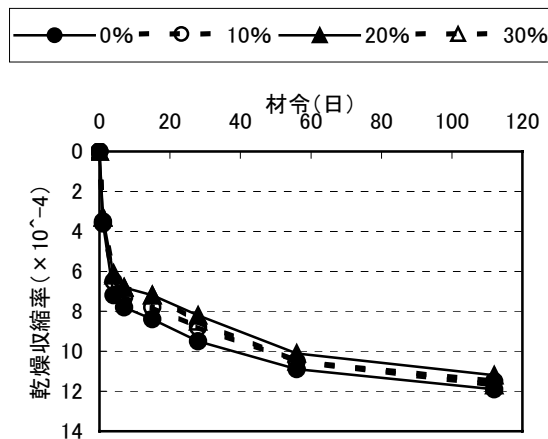


図6 微粉のセメント置換率と乾燥収縮率の関係

3.1.2 細骨材置換

(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4に示す。ただし、フロー値の大幅な低下が予想されるため、高性能AE減水剤であるレオビルドSP8N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7に示す。

表4 まだ固まらないGRCの特性と気乾比重

No	5	6	7	8
普通ポルトランドセメント	100	100	100	100
再生微粉	0	20	40	60
珪砂5号	100	80	60	40
レオビルドSP8N	0.6	1.0	1.9	4.3
水	32			
ACS19PH-901X	7.0 (3質量%)			
GRC生比重	2.14	2.08	2.05	1.98
GRC気乾比重	2.12	2.06	2.02	1.97
空気量 (%)	8.5	10.0	9.4	10.0以上

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。ただし置換率 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、材料分離が生じた。そのため置換率の上限は、60%未満が好ましいと思われる。

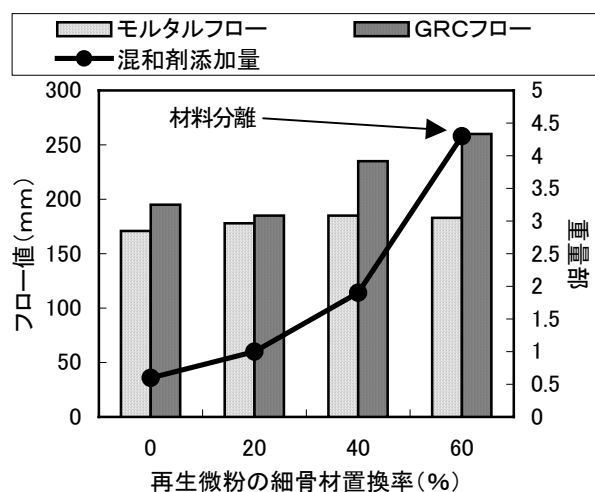


図7 微粉のセメント置換率とフロー値の関係

(2) 曲げ試験結果

図8に耐久性を含めた曲げ試験結果を示す。

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。

(3) 乾燥収縮率試験結果

図9に乾燥収縮率の結果を示す。

乾燥収縮率は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。

曲げ試験の結果とあわせ、再生微粉の中に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。

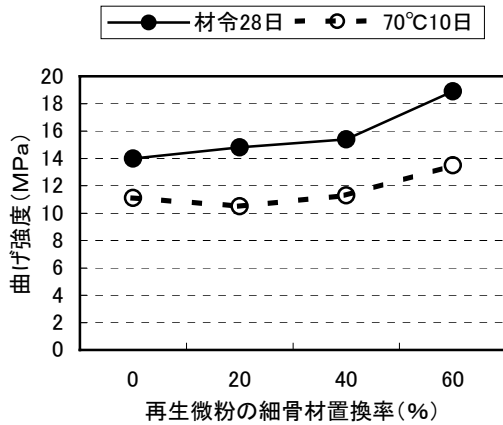


図8 微粉の細骨材置換率と曲げ強度の関係

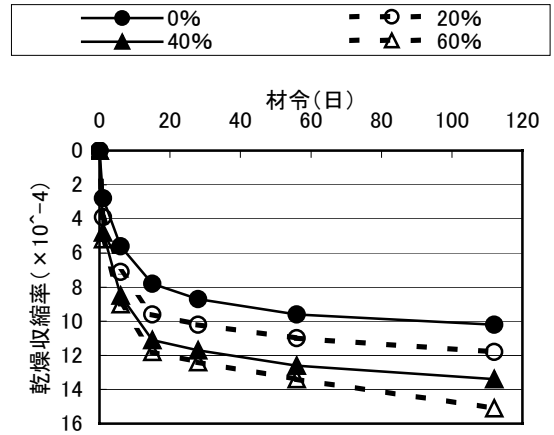


図9 微粉の細骨材置換率と乾燥収縮率の関係

3.1.3 凍結融解試験結果

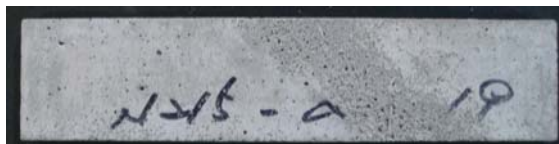
(1) 外観観察

3.1.1 及び 3.1.2 で検討を行った再生微粉をセメント置換、細骨材置換したGRCの耐凍結融解性能を評価した。GRC配合および空気量と試験体の外観観察結果を表5に示す。

再生微粉を細骨材またはセメントに置換すると、スケールリングが発生しやすい傾向を示した。ただし再生微粉を細骨材に30%或いは40%置換した場合は、置換しない場合よりスケールリングの発生が少なかった。

表5 GRC配合と外観観察結果

No	9	10	11	12	13	14
置換方法	細骨材置換					セメント置換
普通ポルトランドセメント	100	100	100	100	100	90
再生微粉	0	10	20	30	40	10
珪砂5号	100	90	80	70	60	100
レオビルドSP8N	0.6	0.9	1.3	1.6	1.9	0.6
水	32					
ACS19PH-901X	7.0 (3質量%)					
空気量 (%)	8.0	7.6	8.4	9.0	9.0	7.2
外観観察結果 (スケールリング発生状況)	200サイクル より多数 発生	100サイクル より多数 発生	100サイクル より多数 発生	300サイクルで 若干発生	300サイクルで 若干発生	100サイクル より多数 発生



(2) 耐凍結融解性能

図10に各サイクルでの曲げ弾性率保持率を示す。

再生微粉を細骨材に置換した場合、置換率が10%と20%では曲げ弾性率保持率は低下したが、逆に30%と40%では置換しない場合より良化傾向であった。

また再生微粉をセメントに置換した場合は、曲げ弾性率保持率は低下した。

これらのことから再生微粉をGRCに混入した場合、耐凍結融解性能は低下するといえる。ただし今回のように高性能AE減水剤を増量するなど、適切なエントレインドエアを確保できれば、耐凍結融解性能が改善できると思われる。

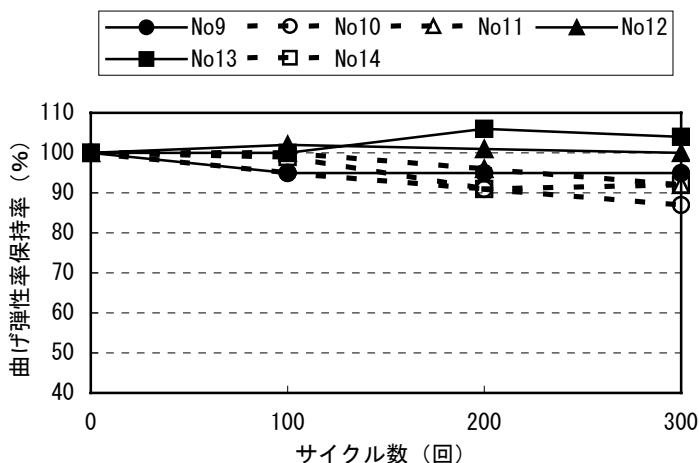


図10 曲げ弾性率保持率

3.2 再生細骨材のコンクリートへの適用

(1) まだ固まらないコンクリートの特性

2.1で得られた5~0.15mm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6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。

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。

表6 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	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
水セメント比 (%)	42.7					47.8					52.6					
セメント水比	2.34					2.09					1.90					
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	47.8	48.4	49.0	50.2	
単位量 (kg/Cm3)	水	190														
	セメント	445					398					361				
	細骨材	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
	粗骨材	891					913					930				
混和剤 (対セメント%)	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	

(2) 圧縮試験結果

セメント水比と圧縮強度の関係を図11, 12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。

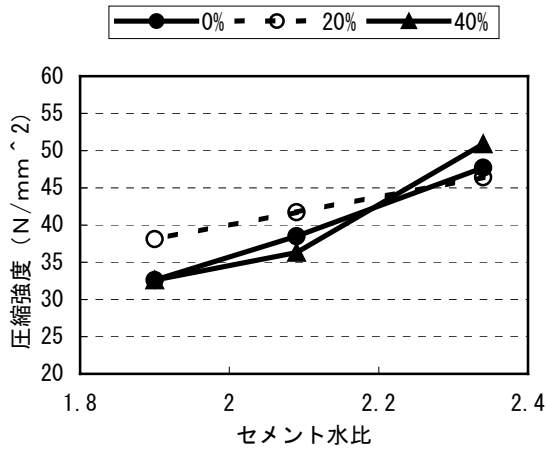


図 1.1 セメント水比と圧縮強度の関係
(置換率 0~40%)

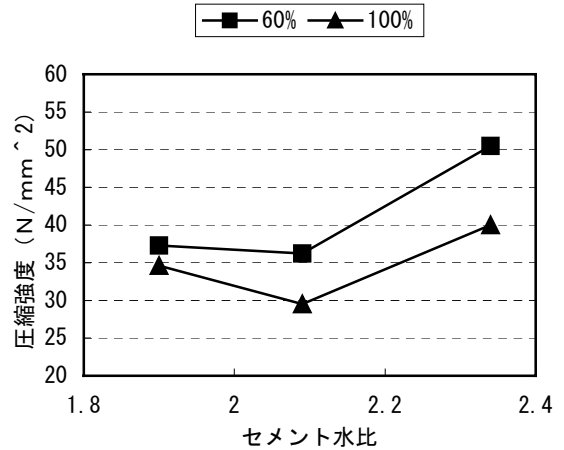


図 1.2 セメント水比と圧縮強度
(置換率 60, 100%)

4. まとめ

- ①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。
- ②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、乾燥収縮率は、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。ただし置換率が大きくなると、流動性が低下するために大幅な混和剤の添加が必要になり、材料分離しやすくなる。そのため置換率は、60%未満が好ましいと思われる。
- ③再生微粉をGRCに混入した場合、GRCの耐凍結融解性能は低下する。ただしAE効果を有する混和剤により、適切なエントレインドエアを確保できれば、耐凍結融解性能は改善できると思われる。
- ④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。