

## FRP微粉末を含む軽量モルタルの 作製と耐久性評価

PREPARATION AND DURABILITY ASSESSMENT OF LIGHT WEIGHT MORTAR CONTENTED FINE POWDER FRP

小島 昭\*・古川 茂\*\*・宮下喜好\*\*\*

By Akira KOJIMA, Shigeru FURUKAWA

and Kiyoshi MIYASHITA

### 1. 緒言

FRP(Fiber Reinforced Plastics、ガラス繊維強化プラスチック)の生産量は、年間約45万トンである。その量は、ポリエチレンの200万トンや塩化ビニルの140万トンなどと比較すれば少なく、廃棄問題はないと思われる。しかしながら、プラスチックの再資源化問題は、棄てられる材料の性質によって異なる。ポリエチレンなどの再資源化技術は、すでに完成されてはいるが、処理量が余りにも巨大であるために社会問題となっている。それに対しFRPは、量的な面では問題にならないが、高強度、耐久性、耐食性、耐衝撃性、耐摩耗性など優れた特性<sup>1)</sup>を有していることが仇となり、再資源化は著しく立後れている<sup>2, 3, 4, 5, 6, 7)</sup>。しかし、輸送機器の軽量化や、再資源化および廃棄処理にともなう環境問題から、FRPのリサイクルもついに手掛けられるようになった。

最近では、四国工業技術試験所や強化プラスチック協会などを中心として、FRPの再資源化への取り組みが行われている<sup>8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15)</sup>。しかし、FRPの再資源化は、現代の最新処理技術をもつてしても、経済性の点からは厳しいと予測される。

筆者らは、これまでFRPの再資源化に取り組み、FRPをリサイクルするには、利用しやすい形態、すなわち複合化しやすい一次元(粉末)状に変換することであると考えた。本研究グループは、FRP成形物を粉砕し、微粉末にする技術の開発を追及し、平均粒径20 $\mu$ m程度の微粉末を製造する粉砕機を開発した<sup>16, 18, 23, 26)</sup>。粉砕されたFRP微粉末は、樹脂充填材や塗料添加材としてリサイクル可能であることがわかった<sup>17, 19, 26)</sup>。さらに、FRP微粉末を大量に再利用できるのは、土木建築材料のモルタルやコンクリートの骨材であると考え、これまではFRP微粉末

含有モルタルの製作条件と機械的強度との関係を中心に研究を進めてきた。その結果、実用的強度を有するFRP微粉末を含むモルタルを製作した<sup>20, 21, 22, 24)</sup>。さらに、FRP微粉末含有軽量モルタルを製作する際の高温養生は、軽量化および高強度化が可能になることがわかった<sup>28)</sup>。

これらのことを踏まえて本報告は、FRP微粉末の種類や添加量等によって、モルタルの強度等がどのように影響されるか検討することを第1の目的とした。

また、FRP中のガラス繊維は、SiO<sub>2</sub>を主成分として構成されているので、セメントのもつアルカリ性への抵抗力は低く、長期間使用するとFRP微粉末を含むモルタルの強度は、低下するのではないかと指摘されてきた。また、FRPの母材である不飽和ポリエステル樹脂も、セメントのアルカリで加水分解されるのではないかと、懸念も持たれていた。本報告は、これらの点を検討することを第2の目的とした。

かった。筆者らの研究グループは、ダイヤモンド砥粒を埋め込んだグラインダーによる研削技術を基礎にした実験機を開発し上記の問題点を解決した。この装置の構成や性能はすでに前報に記した<sup>2,3)</sup>。本報告では、その後種々改良を加え、写真1に示す生産用のFRP粉碎機を作製したので紹介する。この装置は、(1)研削部、(2)セパレーター部、(3)集粉部から構成されている。このFRP専用粉碎機の特徴は表1に示す<sup>16, 17, 23, 26, 27)</sup>。

表1 FRP専用微粉碎機の特徴

装置全体	熱硬化性樹脂製品の専用粉碎機 常温、乾式で微粉化可能 集中制御方式 静電気除去装置が装備されている 回収効率が高い 振動、騒音の発生がない 連続処理運転が可能 運転操作が簡単
研削部	切削加工時に鉄粉などの異物混入がない 高純度のニューマテリアルが製造可能 耐久性、信頼性が高い 非接触センサで刃の保守観察機能あり ダイヤモンド刃のリサイクル利用 研削時の発熱なし
集粉部	パルスジェット効果用フィルター使用 微粉末の補集性能と剥離性能が大 火花発生防止機構と制電フィルター装備

研削部は、金属ホイール表面にダイヤモンド砥粒を固着法で固定し、熱伝導度を向上させた。ホイールの標準仕様は、直径250mm、幅300mmであった。さらに、ヘリカル状に溝を設けて、目詰りを防止する仕組にした。微粉碎能力は、FRPの材質と形状で若干異なるが、毎時50kgから400kgであり、ホイールの大きさとダイヤモンド粒子径で調整した。

研削後のFRP微粉末は、吸引式の集粉部に集められた。この際、粉碎不能なガラス繊維屑や、ホイール溝を通りぬけた端材破片は、途中に設けたセパレーター部に補集された。防爆対策としてコロナ放電による静電気除去装置を輸送管路内に設置した。

しかしこのFRP微粉碎機に関しても問題がある。第1の問題点は、微粉末の品質保持であり、この点はリサイクル化の重要ポイントである。第2点は、

カッター部のダイヤモンド刃の磨耗である。第3点は、破碎可能試料の大きさである。粉碎機の投入口の大きさにまでFRPを切断、破碎しなければならない。第4点は、複合化してある他素材との分離である。粉碎機は、金属でも、セラミックスでも粉碎可能であるが、それらの混入は(a)粉碎後の分離・除去操作が必要、(b)ニューマテリアルとしての品質の低下、(c)ダイヤモンドカッターの寿命低下などを引き起こすことから、避けなければならない。従って、金属などのFRP以外の素材は、粉碎前に分離しておくことが不可欠になる。

### 3. 軽量モルタルの製作

#### 3. 1. 実験方法

##### (1) 素材

セメント：普通ポルトランドセメント

高性能減水剤：ナフタリンスルホン酸塩系を主成分とするもの(花王マイティ FD)を用いた。

砂：軽量砂(サンキライト B03、平均粒径 150 $\mu$ m)

細骨材(FRP粗粒)：上記のFRP専用微粉碎機とは別の粉碎機(クラッシャー方式)で、ハンドレイアップ法からのFRP成形物を破碎したもので、2mm~5mm程度の粒が大部分である。

FRP微粉末：上記のFRP専用粉碎機を用い、SMC法あるいはハンドレイアップ法で作った成形物を、微粉碎した二種類の微粉末を用いた。前者のSMC成形物からの微粉末をFRP微粉末S、後者の場合をFRP微粉末Hとする。

##### (2) モルタルの配合

水/セメント(W/C)：71%

骨材(FRP微粉末+軽量砂)/セメント：0.67、

FRP微粉末/骨材(FRP微粉末+軽量砂)：0.43

FRP細骨材比率 {FRP粗粒/(FRP微粉末+FRP粗粒)}  
：0%、40%、70%、100%

減水剤/セメント : 0.03

##### (3) モルタルの製作

所定配合のセメント、砂、FRP微粉末およびFRP粗粒を、容量が5リットルの通常のモルタルミキサーを用いて空練りを30秒間行った後、2分間練りませた。フロー試験後、JIS R 5201に従って供試体(40x40x160mm)を作製した。供試体は材令3日で脱型し、材令28日まで水中で養生した。

さらに、水中養生の後に200℃の乾燥器中で1時間あるいは3時間、高温養生を行った。高温養生は、気乾状態の供試体を乾燥器に入れ、50℃/時間の昇温速度で200℃まで加熱し、所定時間温度を保持し

た後、乾燥器中で室温まで除冷した。

#### (4) 測定

フロー試験：JIS R 5201に従って行った。

単位容積重量：気乾状態あるいは冷却状態における供試体の重量を測定して求めた。

曲げ強度および圧縮強度試験：万能試験機(森製作所製)を用い、JIS R 5201で測定した。

### 3. 2. 実験結果および考察

#### (1) 流動性

FRP細骨材比率 {FRP粗粒 / (FRP粗粒+FRP微粉末)} とフロー値との関係を表2に示す。FRP微粉末Hを用いた場合のフロー値は、細骨材比率が増すにつれてやや増加し、一定値(170)になる傾向を示した。また、FRP微粉末Sでは、細骨材比率が増すにつれてフロー値は175にまで少し増大するものの、その差は小さいと言える。これらのことから、FRPの種類による流動性への影響は、小さいと考えられる。

表2 FRP微粉末を含むモルタルのフロー値

FRP細骨材比率(%)	0	40	70	100
FRP微粉末H	150	160	170	170
FRP微粉末S	140	160	165	175

#### (2) 単位容積重量

FRP微粉末Sを用いて作製したモルタルの単位容積重量とFRP細骨材比率との関係を表3に示す。FRP粗粒量が増加するにつれて、モルタルの単位容積重量は、 $1.10\text{t/m}^3$ から $1.19\text{t/m}^3$ にまでやや増大した。しかし、 $200^\circ\text{C}$ で高温養生を行うと、1時間処理でも、3時間処理でも、ともに $0.9\text{t/m}^3$ 程度の軽量モルタルが得られた。また、FRP微粉末Hから作ったモルタルも、表3の場合と同様に、高温養生による軽量化を示した。

#### (3) 曲げ強度

FRP微粉末Sを用いて作製した供試体の曲げ強度とFRP細骨材比率との関係を表4に示す。FRP粗粒含有量が増えても、水中養生したモルタルの曲げ強度は $2.4\sim 2.7\text{MPa}$ でほぼ一定であった。しかしながら、 $200^\circ\text{C}$ で高温養生すると、養生時間にかかわらず水中養生した場合より大きくなった。そして、FRP粗粒量の少ない場合、すなわちFRP微粉末を多く含む場合の方が曲げ強度は大きかった。表中の( )内は

は、高温養生にともなう曲げ強度の増加比率を示した。FRP微粉末を多く含むモルタルは、処理前の場合に比べ1.5倍から1.6倍程度の値を示した。

表3 FRP微粉末S含有モルタルのFRP細骨材比率と単位容積重量との関係

FRP細骨材比率 (%)	単位容積重量 ( $\text{t/m}^3$ )		
	水中養生	高温養生 ( $200^\circ\text{C}$ )	
		1時間	3時間
0	1.10	0.87	0.85
40	1.13	0.87	0.83
70	1.15	0.82	0.80
100	1.19	0.87	0.85

表4 FRP微粉末S含有モルタルのFRP細骨材比率と曲げ強度との関係

FRP細骨材比率 (%)	水中養生	曲げ強度 (MPa)	
		高温養生 ( $200^\circ\text{C}$ )	
		1時間	3時間
0	2.5	3.9 (1.6)	4.0 (1.6)
40	2.7	4.0 (1.5)	3.9 (1.4)
70	2.4	3.0 (1.3)	3.0 (1.3)
100	2.4	2.8 (1.2)	2.8 (1.2)

( )内は、高温養生にともなう強度増加率

次に、FRP微粉末Hを用いたモルタルの曲げ強度とFRP細骨材比率との関係を表5に示す。FRP粗粒を添加しても、モルタルの曲げ強度は $2.0\text{MPa}$ 程度であった。また、 $200^\circ\text{C}$ で高温養生すると、表4の場合と同じように曲げ強度は増加し、FRP微粉末の多い方が増加比率は大であった。

高温養生によってモルタルの曲げ強度は、いずれも増大した。強度増加率は、FRP微粉末含有量の多い方が顕著であった。FRP微粉末を含むモルタルは一種のポリマーコンクリートと言ってもよいほど、均一に樹脂分が分散されていると考えられる。FRPを構成している樹脂は、一般的には不飽和ポリエステル樹脂が多い。この樹脂は、熱硬化性であって、加熱によって融解はない。しかし、 $200^\circ\text{C}$ 程度でも熱変形や、一部熱分解が生じる。熱分解生成物はガス状、オイル状である。これらの分解生成物が、モルタル中の骨材間に入り込み、一種の接着剤的な作

用を行うことによつてマトリックス強度が向上し、モルタル強度も増大したものと考えている。

表4および表5を比較すると、いずれのFRP細骨材比率でも、FRP微粉末Sから作ったモルタルの方が、曲げ強度は高くなっていた(表6)。

表5 FRP微粉末H含有モルタルのFRP細骨材比率と曲げ強度との関係

FRP細骨材 比率(%)	曲げ強度(MPa)	
	水中養生	高温養生(200℃)
0	1.8	2.8 (1.6)
40	2.3	3.1 (1.3)
70	2.0	2.8 (1.4)
100	2.0	2.4 (1.2)

( )内は、高温養生(3時間)にともなう強度増加率

表6 FRP微粉末H含有モルタルに対するFRP微粉末S含有モルタルの曲げ強度比

FRP細骨材 比率(%)	水中養生	高温養生 (200℃, 3時間)
0	1.13	1.12
40	1.20	1.24
70	1.20	1.36
100	1.20	1.33

\* (FRP微粉末Sモルタル) / (FRP微粉末Hモルタル)

#### (4) 圧縮強度

FRP微粉末Sから作ったモルタルの、FRP細骨材比率と圧縮強度との関係を表7に示す。水中養生を行った場合には、FRP粗粒量が増加しても圧縮強度は11.0MPa程度でほぼ一定になっていた。高温養生すると、いずれの養生時間でも、水中養生の場合より強度は増大した。特に、FRP微粉末のみを用いた場合には、高温養生すると1.2倍から1.3倍程度増大し14.0MPaから15.0MPa程度の値を示した。また、FRP粗粒量が増加すると、曲げ強度はやや低下したが、FRP粗粒のみを用いた場合でも12.0MPaの強度を有していた。

次に、FRP微粉末Hから作ったモルタルの圧縮強度を表8に示す。水中養生を行ったモルタルの圧縮強度は、8.0~9.0MPaであったが、200度℃で3時間の高温養生を行うとFRP微粉末のみでは13.5MPaと1.45

倍も増大したがFRP粗粒のみではやや低くなった。

表7 FRP微粉末S含有モルタルのFRP細骨材比率と圧縮強度との関係

FRP細骨材 比率(%)	圧縮強度(MPa)		
	水中養生	高温養生(200℃)	
		1時間	3時間
0	11.3	14.6 (1.29)	13.8 (1.22)
40	10.9	12.8 (1.17)	14.2 (1.30)
70	10.4	12.0 (1.15)	13.2 (1.27)
100	11.5	12.2 (1.06)	12.1 (1.05)

( )内は、高温養生にともなう強度増加率

表8 FRP微粉末H含有モルタルのFRP細骨材比率と圧縮強度との関係

FRP細骨材 比率(%)	圧縮強度(MPa)	
	水中養生	高温養生(200℃, 3時)
0	9.3	13.5 (1.45)
40	8.4	11.0 (1.34)
70	8.3	9.7 (1.17)
100	7.7	7.2 (0.94)

( )内は、高温養生にともなう強度増加率

FRP微粉末の種類による圧縮強度への影響は、曲げ強度の場合と同じように、FRP微粉末Sから作ったモルタルの方が、FRP微粉末Hからの場合よりも大であった。FRP微粉末H含有モルタルに対するFRP微粉末S含有モルタルの圧縮強度比を表9に示す。FRP細骨材比率が増すにつれて、水中養生の場合でも高温養生の場合も共に増大し1.5~1.7倍にもなった。

## 4. モルタルの耐久性評価

### 4.1 実験方法

FRP微粉末含有モルタルの耐久性は、モルタルを80℃の熱水中に浸漬し、劣化促進試験を行うことによつて評価した。この試験条件は浸漬加熱1日が屋外暴露2.5年分に相当すると言われており、80℃の熱水中で最大30日間(屋外暴露75年相当)加熱し、FRP微粉末含有モルタルを強制的に劣化させた。処理後のモルタルについて、(a)機械的強度の測定、(b)破断面におけるガラス繊維の浸食状況の走査電子顕微鏡による観察等を行い、FRP微粉末含有モルタル

の耐久性について検討した。

表9 FRP微粉末H含有モルタルに対するFRP  
微粉末S含有モルタルの圧縮強度比\*

FRP細骨材 比率 (%)	水中養生	高温養生 (200℃, 3時間)
0	1.22	1.02
40	1.29	1.29
70	1.26	1.36
100	1.50	1.68

\*(FRP微粉末Sモルタル)/(FRP微粉末Hモルタル)

#### (1) 素材

セメント：普通ポルトランドセメント

FRP微粉末：FRP微粉末SおよびFRP微粉末H

砂：軽量砂(シラスバルーン、サンキライト B03)

減水剤：高性能減水剤(花王マイティ FD)

#### (2) モルタルの配合

水/セメント：0.71

骨材(軽量砂+FRP微粉末)/セメント：0.67

FRP微粉末/骨材(軽量砂+FRP微粉末)：0.43

減水剤/セメント：0.03

#### (3) モルタルの製作条件

所定配合のセメント、砂およびFRP微粉末を、モルタルミキサー中で30秒間空練りを行い所定量の水を加え2分間練り混ぜた。フロー試験後、型枠中に流し込み硬化させた。材令28日まで水中で養生し、供試体(4x4x16cm)を作製した。各試料について、単位容積重量、曲げ強度および圧縮強度を求めた。

#### (4) 熱水浸漬試験

水中養生後の各供試体は、80℃の恒温水槽中に入れ、所定期間(1日、3日、6日、10日、30日)熱水浸漬を行った。加熱後の供試体は、単位容積重量、曲げ強度および圧縮強度を測定した。また、曲げ試験後の供試体の破断面を、走査電子顕微鏡(SEM、日立製作所 S-2050)で観察した。

### 4. 2 実験結果および考察

#### (1) 強度への影響

FRP微粉末Sから作製したモルタルの熱水浸漬試験における単位容積重量、曲げ強度および圧縮強度を表10に示す。モルタルの単位容積重量は、浸漬時間

が増すにつれて0.98t/m<sup>3</sup>から1.07t/m<sup>3</sup>へとやや大きくなった。曲げ強度は2.0MPaから2.9MPaとやや高くなった。圧縮強度は、浸漬前の10.9MPaから11.4MPaになっているがほとんど変らなかつた。これらのことからFRP微粉末S含有モルタルの機械的強度は、熱水浸漬試験によって低下していないので、長期安定性を有していると判断できる。

表10 FRP微粉末S含有モルタルの熱水  
浸漬による機械的強度への影響

浸漬 日数 (日)	屋外 暴露 (年)	単位容 積重量 (t/m <sup>3</sup> )	曲げ 強度 (MPa)	圧縮 強度 (MPa)
0	0.0	1.08	2.0	10.9
3	7.5	1.11	2.5	13.3
6	15.0	1.10	2.5	12.7
10	25.0	1.09	2.4	11.8
30	72.0	1.14	2.9	11.4

次に、FRP微粉末Hを用いたモルタルについても浸漬試験を行い、その結果を表11に示す。単位容積重量は、表10の場合と同様に浸漬時間が増すにつれてやや大きくなった。それに対し、曲げ強度および圧縮強度は、浸漬6日(屋外暴露15年)の場合に最大値(曲げ強度2.6MPa、圧縮強度10.0MPa)を示し、さらに浸漬を行うと、前者では2.3MPa、後者では8.7MPaへといずれの場合も強度は低下した。しかしながら各強度が低下したといっても、浸漬前の強度とほぼ同じであった。これらの結果から、FRP微粉末H含有モルタルも、長期安定性を有していることがわかった。

#### (2) 走査電子顕微鏡観察

SEMによるモルタルの破断面観察は、FRP微粉末S含有モルタルについてのみ行った。浸漬試験前の供試体破断面をSEMで観察した様子を写真2に示す。中央部付近に斜状にガラス繊維が見られるが、その表面状態は平滑で、浸食されている様子はなかつた。そして、ガラス繊維周囲のマトリックスは、空隙の多い構造が観察された。また、写真3に見られるガラス繊維の周辺は、緻密な構造であった。写真3中左下に見られる球状物質はシラスバルーンである。この場合にもガラス繊維の表面は、極めて平滑であった。

表 1 1 FRP微粉末S含有モルタルの熱水浸漬による機械的強度への影響

浸漬 日数 (日)	屋外 暴露 (年)	単位容 積重量 (t/m <sup>3</sup> )	曲げ 強度 (MPa)	圧縮 強度 (MPa)
0	0.0	0.98	2.0	9.5
1	2.5	0.96	2.4	9.2
3	7.5	0.99	2.5	9.2
6	15.0	1.03	2.6	10.0
10	25.0	1.02	2.3	9.7
30	72.0	1.07	2.3	8.7

次に、10日間浸漬処理した供試体の破断面を写真4に示す。写真中央部を横断しているのは、ガラス繊維であるが、その表面が顕著に浸食されて様子はみられない。

30日間浸漬した供試体の破断面を写真5に示す。この写真中のガラス繊維は、マトリックス中に埋もれ、一部露出しているが、表面がエッチングされている様子はない。さらに、写真6にも30日間浸漬した様子を示す。この場合には、ガラス繊維の一部が引き抜けた様子が見られるが、その表面が浸食されていることはない。また、ガラス繊維とマトリックスとの境界に亀裂などの存在は確認できなかった。

これらのことから、FRP微粉末Sを含むモルタルは熱水中で30日間(屋外暴露75年相当)浸漬加熱してもガラス繊維および不飽和ポリエステル樹脂の溶解はないと考えられる。また、ハンドレイアップ法で作ったFRP微粉末から作ったモルタルでも、同様の挙動を示すと推定できる。従って、FRP微粉末含有モルタルは長期耐久性を有していると考えている。

本実験に際し、FRP微粉末をご提供いただきましたアサオカ株式会社代表取締役 浅田俊彦氏に感謝します。また、細部にわたりご指導を賜りました拓殖大学工学部牧 廣教授にお礼申し上げます。

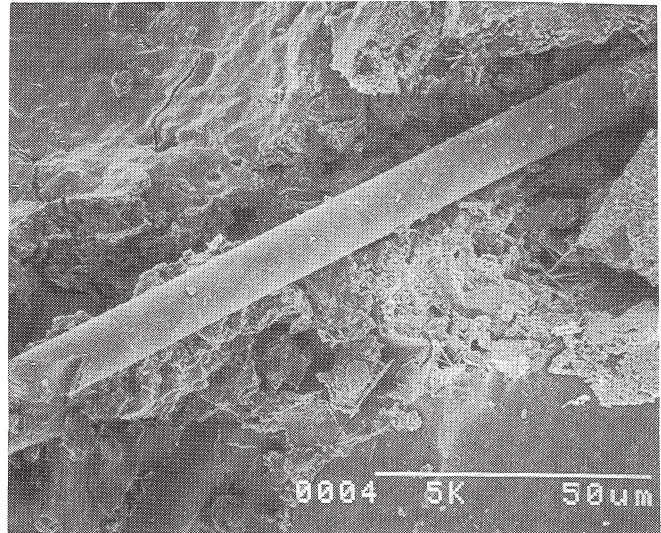


写真2 FRP微粉末S含有モルタルの破断面観察(浸漬前)

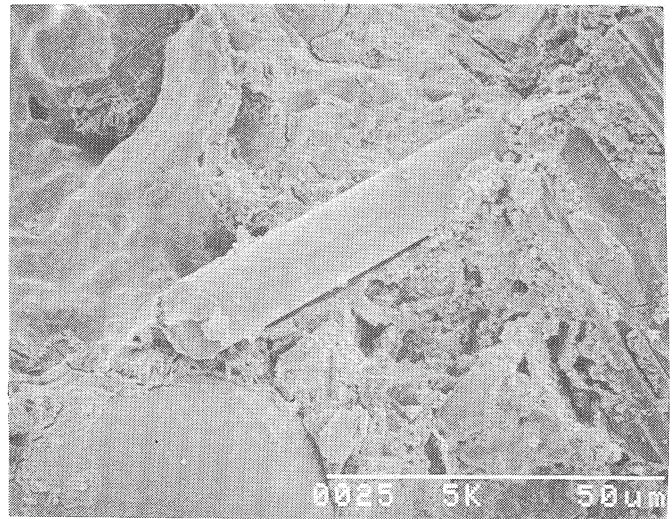


写真3 FRP微粉末S含有モルタルの破断面観察(浸漬前)

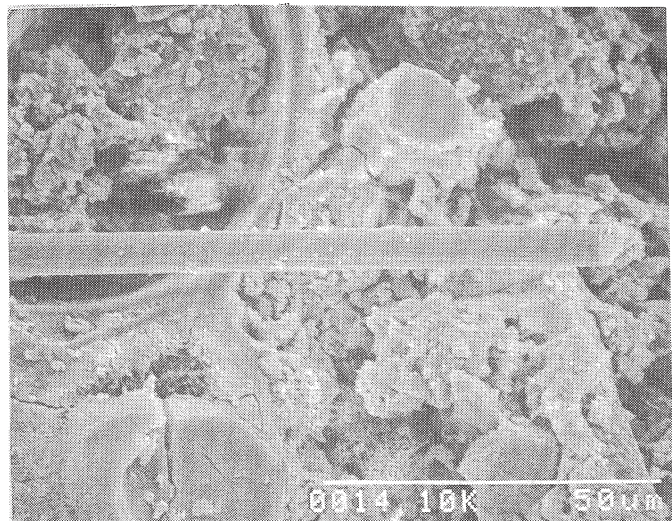


写真4 10日間加熱浸漬処理したFRP微粉末S含有モルタルの破断面観察(25年暴露)

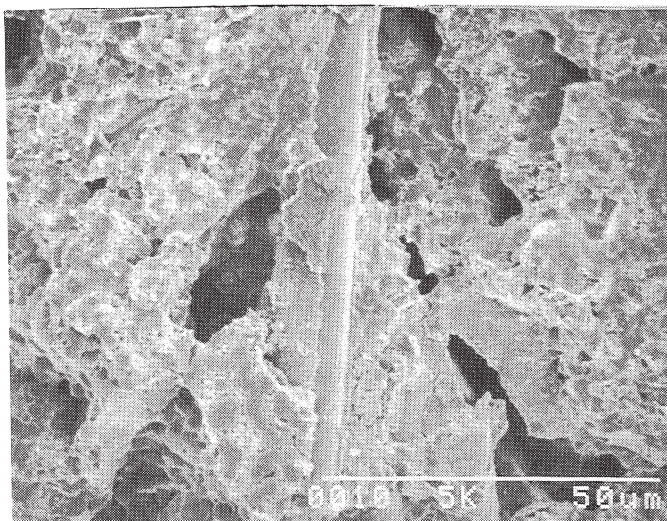


写真5 30日間加熱浸漬処理したFRP微粉末S含有モルタルの破断面観察(75年暴露)

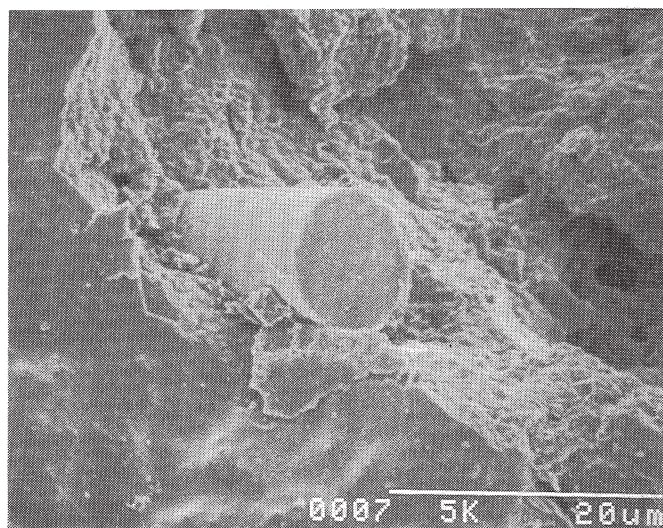


写真6 30日間加熱浸漬処理したFRP微粉末S含有モルタルの破断面観察(75年暴露)

#### 参考文献

- 1) 宮入裕夫編、「FRP入門」、強化プラスチック協会(1989)。
- 2) 「適正処理が困難な廃棄物に関する再資源化・処理技術等の調査検討」事業報告書(FRP廃棄物)昭和63年度国庫補助事業(平成元年3月、1989)、(平成2年3月、1990)、(財)クリーンジャパンセンター。
- 3) 熱硬化性樹脂複合材料(FRP)再資源化マニュアル1993年6月、合成樹脂工業協会ポリエステル部会。
- 4) 宮入裕夫編、工業材料、39,7(1991)、45~56。
- 5) 宮入裕夫編、工業材料、39,15(1991)、101~110。
- 6) 宮入裕夫編、工業材料、40,1(1992)、107~112。
- 7) 宮入裕夫、日本複合材料学会誌、18,5(1992)、106~112。
- 8) 北村孝雄、日本複合材料学会誌、18,5(1993)、185~191。
- 9) 北村達人、日本複合材料学会誌、19,2(1993)、39~45。
- 10) 小林良生、科学と工業、66,10(1992)、452~462。
- 11) 小林良生、精密工学会誌、56,4(1990)、34~38。
- 12) 合成樹脂工業協会再資源化委員会、(社)強化プラスチック協会再資源化指針作成委員会、強化プラスチック、39,1(1993)、11~15。
- 13) 合成樹脂工業協会資源化指針作成委員会、強化プラスチック、39,1(1993)、11~15。
- 14) 北村孝雄、セラミックス、27,11(1992)、1074~1078。
- 15) 四国工業技術試験所研究報告「複合材料の再利用システム技術研究成果報告書」平成5年3月。
- 16) 小島 昭、古川 茂、浅田俊彦、廃棄物学会第1回研究発表会講演論文集、p.53~56(1990)。
- 17) 小島 昭、浅田俊彦、吉川高雄、第2回廃棄物学会研究発表会講演論文集、p.137~140(1991)。
- 18) 小島 昭、古川 茂、浅田俊彦、ポリマーダイジェスト Vol.42, No.10, p.2~10(1990)。
- 19) 小島 昭、浅田俊彦、ポリマーダイジェスト Vol.43, No.3, p.10~17(1991)。
- 20) 古川 茂、小島 昭、浅田俊彦、第45回セメント技術大会講演集、p.334~339(1991)。
- 21) 古川 茂、小島 昭、浅田俊彦、セメントコンクリート論文集、No.46, p.898~903(1992)。
- 22) 古川 茂、小島 昭、浅田俊彦、第18回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、p.314~315(1991)。
- 23) 小島 昭、古川 茂、浅田俊彦、建設用原材料 Vol.2, No.1, 42~48(1992)。
- 24) 古川 茂、小島 昭、宮本正夫、浅田俊彦、建設用原材料、Vol.2, No.1, 49~53(1992)。
- 25) 兼松産業機械KK 技術資料。
- 26) 小島 昭、浅田俊彦、古川 茂、金属 Vol.62, p.31~36(1992)。
- 27) 小島 昭、浅田俊彦、FRP漁船、第148号、P.12~20(1992)。
- 28) 古川 茂、小島 昭、浅田俊彦、第47回セメント技術大会講演集、p.254~257(1993)。
- 29) 小島 昭、古川 茂、日本複合材料学会誌、19,5(1993)、170~176。