

FRP 廃材微粉末の骨材としての利用

UTILIZATION OF SCRAP FRP POWDER AS AGGREGATE

(FRP 廃材微粉末の骨材化 その2)

古川 茂^{*}、小島 昭^{**}、宮本正雄^{***}、浅田俊彦^{****}By Shigeru FURUKAWA, Akira KOJIMA, Msao MIYAMOTO
and Toshihiko ASADA

1. まえがき

浄化槽、ユニットバスや小型船などの製品に使用されている繊維強化プラスチック（以下、FRPと称す）は、高強度で軽く、耐久性も備えた材料である。近年ではこれらの製品の使用量が増加し、これに伴って廃棄される量も増加している。これらの多くは産業廃棄物として焼却や埋立などの方法で処理され、再利用されているのは一部にすぎない。このため、最近では再利用を前提として種々の処理方法が検討されている。

一方で、需要が増加しているモルタルやコンクリート用骨材の資源の枯渇が問題視されるようになっている。

このような状況に対応する方法の一つとして、微粉末化させたFRP廃材をモルタルの砂の一部の代わりに利用して軽量化する方法について検討し、これまでにその作製方法や強度等について報告してきた^{1)~3)}。

本論文は、砂の一部の代わりに微粉末化させたFRP廃材を用いたモルタルについてこれまでに報告した成果と、その後の成果とをまとめて報告するものである。すなわち、FRP廃材の使用量、砂の種類などを変えて作製したモルタルの流動性、単位容積重量、曲げ強度、圧縮強度およびたわみなどの基礎性状について検討した結果を報告する。

2. 実験の概要

2.1 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。砂は、豊浦標準砂および利根川産の普通砂（比重：2.62、粗粒率：3.01）の他、軽量砂（シラスバルーン、比重：0.70、平均粒径：150 μ m）を用いた。FRP廃材微粉末（比重：1.4）は、不飽和ポリエステル樹脂にガラス繊維を用いたものを微粉碎し、88 μ m以上の粒径のものが25%程度含まれるものを用いた。また、ナフタリンスルホン酸塩系を主成分とする高性能減水剤も用いた。

FRP廃材は砂の代わりに用い、FRP廃材に対する

FRP廃材と砂を合計したものの重量比率をFRP廃材比率と称する。使用したモルタルの配合およびFRP廃材比率は表-1の通りである。

表-1 モルタルの配合

砂の種類	W/C (%)	S+FRP / C	FRP / (FRP+S) ×100(%)
標準砂	65	2.0	0, 10, 20, 30, 50 [*] (1%) (2%) (3%)
普通砂			0, 10, 20, 30 (1%)
軽量砂	71	0.67	0, 43, 71 (3%) (3%) (3%)

W:水、C:セメント、S:砂、FRP:FRP微粉末、
(^{*})セメント重量に対する高性能減水剤の添加率、
^{*}W/C=94%。

2.2 供試体の作製および試験方法

練りまぜは、容量が5 ℓ の通常のモルタルミキサを用い、練りまぜ時間は2分間とし、FRP廃材を用いる場合には空練りを30秒間行った。

供試体（40×40×160mm）の作製、フロー試験および強度試験は、JIS R 5201に従って行った。供試体は、標準砂および普通砂を用いた場合が材令1日で、また軽量砂を用いた場合が材令2日でそれぞれ脱型した。

強度試験は、材令28日まで水中養生を行ったもの、および水中養生の後に200℃の乾燥器中で3時間および24時間養生（以下、高温養生と称す）したものの3種類について行った。高温で養生する際は、気燥状態の供試体を乾燥器に入れ1時間に50℃程度の昇温速度で200℃まで温度を上昇させ、所定時間温度を維持した後、乾燥器中で常温まで除冷した。曲げ強度試験時には、X-Yレコーダにより供試体中央部のたわみを記録した。

3. 実験の結果および考察

3.1 流動性

フロー値とFRP廃材比率の関係を図-1に示す。標準砂および普通砂を用いた場合は、FRP廃材比率が増加すると、フロー値はいずれの砂の場合も低下する。普通砂を用いると、標準砂の場合より流動性は高く、FRP廃材比率が30%でも流動性が得られたが、標準砂を用いた場合には、高性能減水剤を添加しないとほとんど得られなかった。そして、標準砂の場合にFRP廃材比率

^{*}群馬工業高等専門学校助教授 土木工学科（〒371 前橋市鳥羽町580）

^{**}群馬工業高等専門学校教授 工業化学科

^{***}群馬工業高等専門学校 土木工学科

^{****}アサオカ株式会社

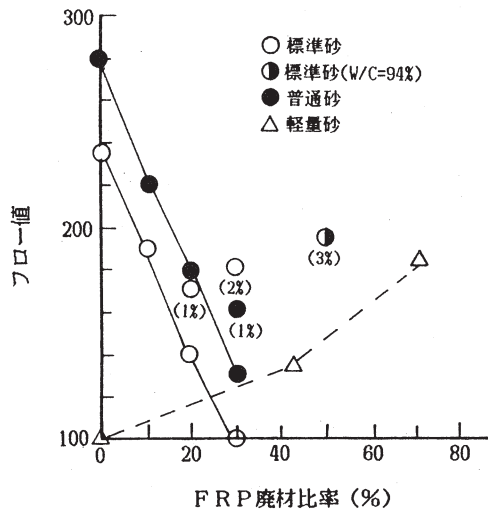


図-1 フロ-値とFRP 廃材比率の関係

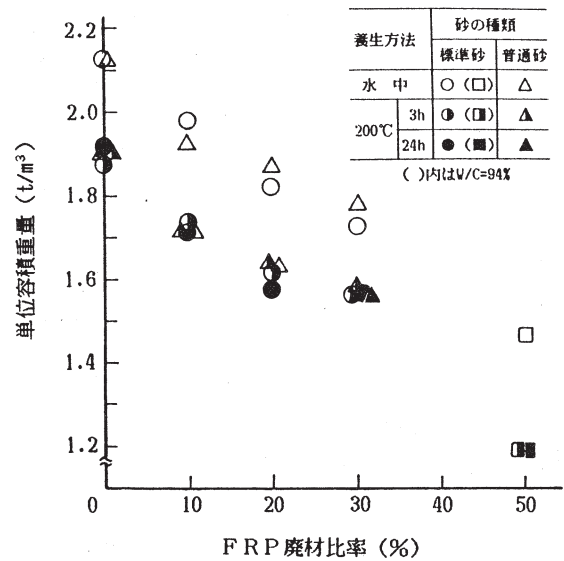
を 50%に増加すると、同一の水セメント比では高性能減水剤の添加量を増加しても流動性は全く得られず、水セメント比の増加が必要であった。

軽量砂を用いた場合には、標準砂あるいは普通砂を用いた場合と逆に、FRP 廃材比率の増加に伴い、フロ-値は増加している。この原因は、FRP 廃材の量が増加すると、標準砂あるいは普通砂を用いた場合は全容積中に占める砂とFRP 廃材の比率が増加し、軽量砂を用いた場合には逆に減少するためである。

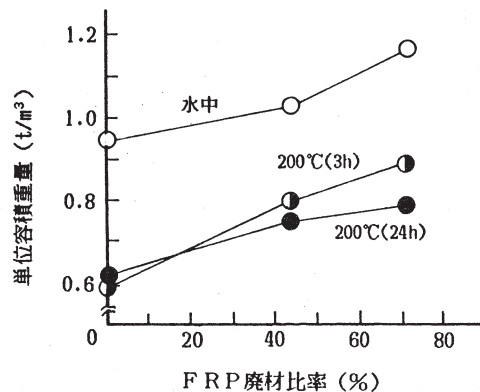
3.2 単位容積重量

単位容積重量とFRP 廃材比率との関係を図-2 に示す。単位容積重量は、気乾状態あるいは冷却状態における供試体の重量を用いて求めた。標準砂および普通砂を用いた場合は、図-2 (a) に示すように、FRP 廃材比率が増加すると、単位容積重量はいずれの養生方法でも減少している。FRP 廃材比率が 30%では、標準砂で高性能減水剤を2%添加した場合および普通砂で高性能減水剤を1%添加した場合には、水中養生すると、単位容積重量は、前者が1.72、後者が1.79 t/m^3 を示し、FRP 廃材を用いないものより15%~20%減少している。そして、標準砂を用いて水セメント比を高めてFRP 廃材比率を50%に増加させた場合には1.47 t/m^3 を示し、FRP 廃材を用いないものより 30%減少した。

高温養生すると、単位容積重量はいずれの養生時間でも水中養生した場合より小さいことが認められる。3時間養生すると、FRP 廃材比率が30% の場合の単位容積重量は1.56~1.58 t/m^3 、また標準砂で比率が 50%の場合が1.20 t/m^3 を示し、FRP 廃材を用いないで水中養生したものより、前者で25%、後者では50%軽量化することができた。しかしながら、養生時間を24時間に延長しても、単位容積重量は、いずれの砂を用いても3時間養生した場合とほぼ同じ値を示し、重量減少は認められない。



(a) 標準砂および普通砂の場合



(b) 軽量砂の場合

図-2 単位容積重量とFRP 廃材比率の関係

軽量砂を用いた場合には、いずれの養生方法でも、FRP 廃材比率を増加させると、単位容積重量は増加傾向を示している。水中養生すると、単位容積重量は、FRP 廃材比率が 43%までは1.0 t/m^3 程度であるが、廃材比率が 71%では1.2 t/m^3 に増加している。

高温養生すると、いずれの養生時間およびFRP 廃材比率でも、単位容積重量は水中養生の場合より30%~40%減少し、廃材比率が 71%と高い場合でも 0.9 t/m^3 程度が得られた。

高温養生により軽量化することは、図-3 に示したFRP 廃材を用いた硬化セメントペーストの熱重量減少曲線からも推測される。この原因は、モルタル中の水分が気乾状態から絶乾状態になることにより蒸発すること、FRP 廃材中の成分が気化して抜け出すためと考えられる。

以上のことから、FRP 廃材を用いたモルタルでは、いずれの砂を用いても、3時間程度の高温養生を行うこ

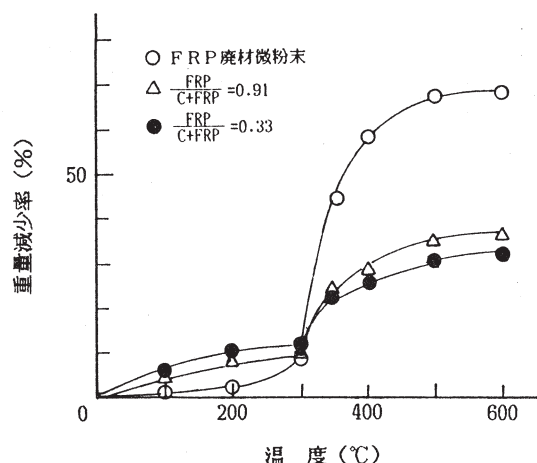


図-3 FRP 廃材微粉末を用いたセメントペーストの熱重量減少曲線

とにより、一層の軽量化が可能と考えられる。

3.3 曲げ強度

曲げ強度と FRP 廃材比率との関係を図-4 に示す。標準砂および普通砂を用いた場合は、図-4 (a) に示すように、水中養生すると、曲げ強度は FRP 廃材比率の増加に伴って低下する。FRP 廃材比率が 20%までは、いずれの砂でも、曲げ強度は FRP 廃材を用いないものの 75%以上の値が得られた。そして、FRP 廃材比率が 30%で、標準砂で高性能減水剤を2%添加した場合および普通砂で高性能減水剤を1%添加した場合には、FRP 廃材を用いないもののそれぞれ70%以上の値が得られた。しかし、標準砂を用いて廃材比率を50%に増加した場合は 50%に低下している。

高温養生すると、砂の種類および養生時間にかかわらず、曲げ強度は水中養生した場合より大きいこと、および FRP 廃材比率が 30%までは低下しないことが認められる。曲げ強度は、FRP 廃材比率が 30%まで約 80 kgf/cm²、標準砂で廃材比率を 50%に増加した場合が約 70 kgf/cm² を示し、FRP 廃材比率が 50%でも、FRP 廃材を用いない場合の約 90%の曲げ強度が得られた。

図-4 (b) に示す軽量砂を用いた場合は、水中養生しても、FRP 廃材比率の増加による曲げ強度の低下は認められず、普通砂あるいは標準砂の場合と反対に増加している。そして、FRP 廃材比率が71%と高い場合でも、曲げ強度は 30 kgf/cm²程度が得られた。曲げ強度が低下しない原因は、3.でも述べた砂と FRP 廃材の容積が増加すること、および FRP 廃材を用いないものは流動性が低く、供試体作製時における空気量の増加により、それ自体の強度が小さかったためと考えられる。

高温養生した場合は、いずれの養生時間でも、FRP 廃材比率が 43%まで曲げ強度は増加し、それ以降は 40 kgf/cm² とほぼ一定になっている。このことは、養生時

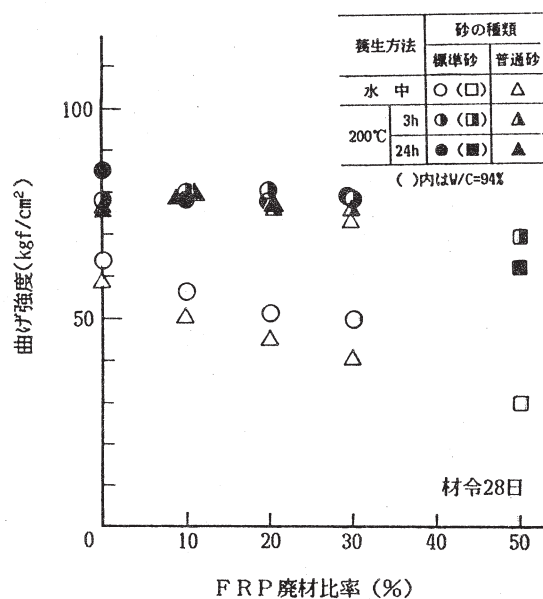
間による曲げ強度の向上の限界を示すものである。

高温養生により曲げ強度が向上することは、いずれの砂の場合も、水中養生した場合との強度比を示した図-5からより明瞭である。この原因としては、水和作用の促進の他に、供試体中の FRP 廃材中の合成樹脂が軟化して流動化するとともに体積が膨張して、本来付着強度の小さいと考えられる合成樹脂と砂あるいはセメントペーストが付着することが挙げられるが、現在のところ詳細については不明である。今後さらに検討を進めたい。

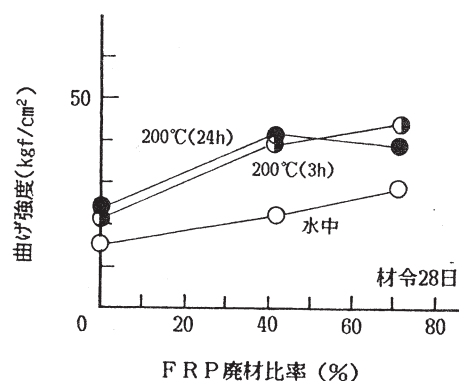
FRP 廃材を用いる場合には、高温養生が曲げ強度の向上に有用な方法と考えられる。

3.4 圧縮強度

図-6 には、圧縮強度と FRP 廃材比率との関係を示している。図-6 (a) に示した標準砂および普通砂の場合は、水中養生すると、FRP 廃材比率の増加により圧縮強度は低下し、FRP 廃材比率が 30%までは、FR



(a) 標準砂および普通砂の場合



(b) 軽量砂の場合

図-4 曲げ強度と FRP 廃材比率の関係

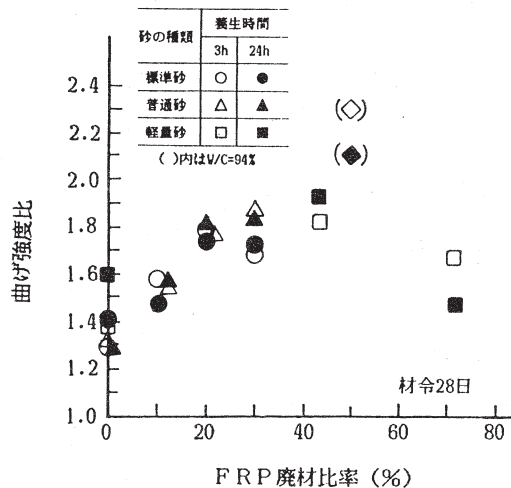
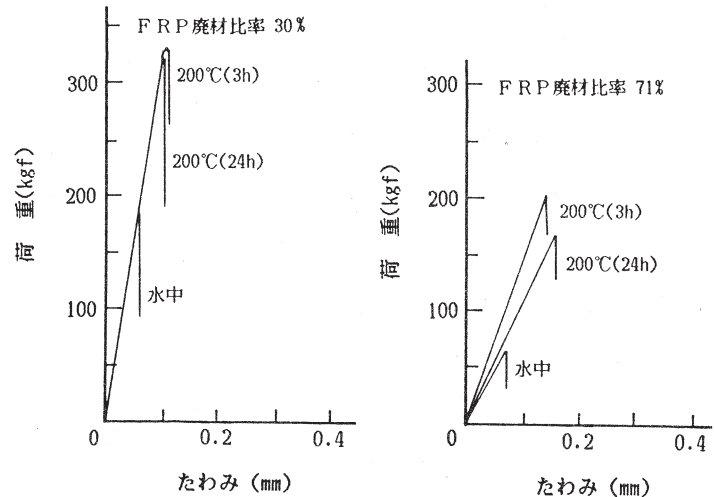


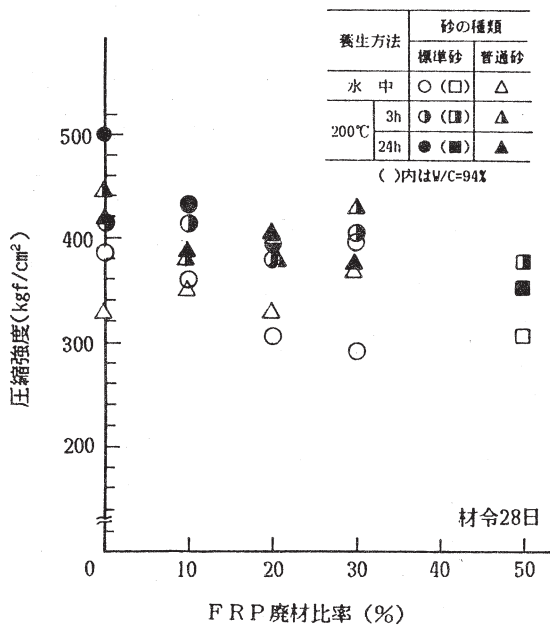
図-5 曲げ強度比とFRP 廃材比率の関係



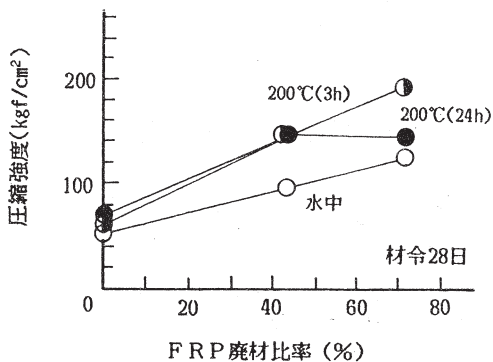
(a) 普通砂の場合

(b) 軽量砂の場合

図-7 荷重とたわみの関係 (材令28日)



(a) 標準砂および普通砂の場合



(b) 軽量砂の場合

図-6 圧縮強度とFRP 廃材比率の関係

P 廃材を用いないものの 75%、そして標準砂で廃材比率が 50%の場合には 50%程度の値をそれぞれ示している。

高温養生した場合は、いずれの養生時間でも、水中養生した場合より圧縮強度は大きいことが認められる。高温養生を 3 時間行くと、FRP 廃材比率が 30%までは、いずれの砂の場合も、FRP 廃材を用いないものと同様に 400kgf/cm²程度が得られた。そして標準砂で 50%の廃材比率の場合には、FRP 廃材を用いないものの 2/3 に相当する 300kgf/cm²程度の圧縮強度が得られた。しかしながら、24 時間養生しても、FRP 廃材の量が多くなると、圧縮強度は 3 時間養生した場合とほぼ同じ値を示し、強度の向上は認められない。

軽量砂を用いた場合の圧縮強度は、図-6 (b) に示すように、FRP 廃材量が増えると曲げ強度の場合と同様に増加傾向を示している。水中養生すると、FRP 廃材比率が 71%でも、圧縮強度は FRP 廃材を用いないものの 2.2 倍の値を示している。圧縮強度が低下しない理由は、3. 1 および 3. 2 で述べた容積の増加の影響および空気量の影響のためと考えられる。

高温で 3 時間養生した場合は、FRP 廃材比率が 71%でも、FRP 廃材を用いないものの 3.1 倍の圧縮強度が得られたが、24 時間養生した場合にはそれより少し小さくなった。この原因は、FRP 廃材の量が多い場合の破断面が、本来の色から薄めの茶褐色に変色していることから、FRP が熱分解したためと考えられる。先述した曲げ強度の場合と同様に、養生時間による圧縮強度向上の限界を示すものである。

FRP 廃材を用いる場合には、曲げ強度だけでなく圧縮強度の向上にも高温養生が有用な方法と考えられる。

3. 5 たわみ

図-7 には、普通砂および軽量砂を用いた場合の荷重

一たわみ曲線の例を示す。最大荷重時までのたわみ量は、水中養生した場合より高温養生した場合の方が少し大きい。しかしながら、FRP廃材量を多く用いて高温養生しても、最大荷重以降のたわみの増加は、FRP廃材を用いない場合と同様にほとんど認められない。そして、高温で24時間養生しても、3時間養生した場合とたわみ量はほぼ同じ値を示し、養生時間によるたわみへの影響は小さいことが認められる。これらのことは、標準砂を用いた場合にも同様に認められた。

モルタルの製造、第45回セメント技術大会講演集、pp.334~339(1991)

4. まとめ

砂の一部の代わりに微粉末化させたFRP廃材を用い、砂の種類を変えたモルタルを作製し、その流動性、単位容積重量や強度などについて検討した。その結果から、次のような知見が得られた。

(1) 流動性は、FRP廃材の使用量が多くなると、軽量砂を用いた場合は増加し、それ以外の砂の場合には低下する。

(2) 200℃で養生を行うと、いずれの砂を用いても、水中養生の場合に比べ一層の軽量化が可能である。そして、3時間程度の高温養生を行うと、単位容積重量は、標準砂あるいは普通砂を用いてFRP廃材比率が30%程度の場合に1.6t/m³程度、また標準砂を用いてFRP廃材比率が50%程度の場合には1.2t/m³程度がそれぞれ得られる。さらに軽量砂を用いて廃材比率が70%程度では0.9t/m³程度が得られる。

(3) 200℃で養生を行うと、曲げ強度および圧縮強度は、いずれの砂を用いても水中養生の場合より大きい。標準砂あるいは普通砂を用いた場合はFRP廃材比率が30%程度まで、また軽量砂を用いた場合には廃材比率が70%程度まではそれぞれFRP廃材を用いない場合と同程度の強度が得られる。

(4) 200℃における養生時間を24時間まで延長しても、養生時間が単位容積重量、強度およびたわみに及ぼす影響は、いずれの砂を用いても小さい。

〔謝辞〕

本研究の実施に際して、軽量砂は三機工業(株)よりご提供頂きました。付記して厚くお礼申し上げます。

〔参考文献〕

1) 小島、古川、浅田; FRP廃材の微粉化とセメント系材料への利用、廃棄物学会第1回研究発表会講演論文集、pp.53~56(1990)

2) 古川、小島、浅田; FRP廃材微粉末を用いた軽量モルタルの強度特性、第18回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、pp.314~315(1991)

3) 古川、小島、浅田; FRP廃材微粉末を用いた軽量