

V—6 ポリマーコーティングしたGRC（ガラス繊維強化セメント）の耐久性について

北海道工業大学	正会員	犬塚 雅生
北海道立工業試験場		長野 伸泰
北海道立工業試験場		平野 徹
北海道立工業試験場		勝世 敬一
北海道工業大学	学生会員	笹村 徹
北海道工業大学	学生会員	○松田 道憲

1 緒 言

ガラス繊維強化セメント（Glassfiber Reinforced Cement, 以下GRCと略記）は、Majumdar ら（1968）¹⁾により開発された材料で、セメントモルタル中に補強材として耐アルカリ性ガラス繊維を均一に分散した複合体である。この材料は、ガラス繊維により引張応力が分散されるために、引張・曲げ強度およびひびわれ強度が高いこと、衝撃強度が高く、破壊までの許容ひずみが大いなどじん性が著しく高められていることが特徴である。また、軽量性・耐火性・造形性などにも優れており、カーテンウォールや外装パネルなどの建築用部材のほか土木用部材としても広く応用されてきている。²⁾

しかしGRCは、長期間において、モルタル中のガラス繊維がセメントのアルカリ成分により侵食されるために補強効果が失われ、強度が低下することが知られている。³⁾ 強度低下の程度は一般的には、乾燥空気中では約5年間であまり劣化しないが、実際に用いられることの多い自然ばく露状態下では約1年でじん性が50%まで劣化し水中では更に速くなると云われおり、湿度の影響が非常に大きいことが示されている。

本実験では、これらの観点からGRCの耐久性を向上させるために、樹脂コーティングをして遮水性を付与し、それらについて促進試験（温度45℃、80℃、湿度80%および温水中）を行ない、吸水速度と物性の変化について検討したものである。

2 実 験

2.1 試 料 作 製

GRCは図1に示す装置を用いてダイレクトスプレー法により作製した。表1に示す配合のモルタルを混練してホッパーに投入し、モルタルガンからモルタルを、チョッパーガンから繊維長37mmに切断したガラス繊維を混入量4vol%に調整して、型枠に同時に吹付け、ローラーがけおよび表面こて仕上げをして1.0×60×90cmの板状試料を得た。なお、プレーンモルタル試料は、同様の方法でモルタルのみを吹付けて作製した。養生は、打込み後24時間ポリエチレンシートを被覆して湿潤状態におき、脱型して材令28日まで20℃水槽で行なった。次に板状試料の中心部から、長手方向に1.0×4×25cmの寸法で供試体を切り出し、所定の含水状態まで風乾して樹脂コーティングした。コーティングは、表2に示す3種類の樹脂をそれぞれ塗布回数を変えてハケ塗りした。塗布量はGRC試料の重量増から求めた。

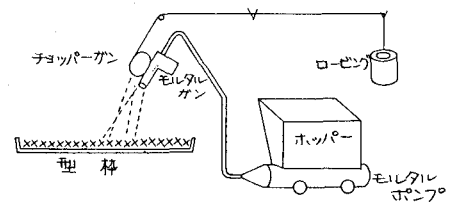


図 1 ダイレクトスプレー式
GRC製造装置

表 1 モルタルの配合（重量割合）

	内 容	配 合
セメント	普通ポルトランドセメント	100
細骨材	5号丸砂 粒径0.075mm	50
水		34
減水材	マイティー150	0.7

2.2 促進劣化試験

促進劣化試験は45℃、80%の湿度で、湿度80%の恒温恒湿槽中および恒温水槽中で行なった。外観観察および物性測定は試験開始前と開始後7時間および1、3、7、14、28、42日間の試料について行った。

2.3 測定

曲げ強度試験は二等分点一点載

荷法で行い、最大曲げ強度、曲げタフネスおよび換算曲げ強度を求めた。なお、スパン200mm、載荷速度2mm/minとした。

含水率は、105℃、48時間乾燥重量を乾乾重量として、各供試体の含水率を求めた。

3 結果

3.1 GRCの長期物性

図2に未処理のGRCの材令28日から18ヶ月まで気中および水中に放置した試料の応力たわみ曲線、曲げ強度および換算曲げ強度の変化を示す。最大曲げ強度は、気中では18ヶ月で85%程度の低下であるが、水中では65%と大きく低下する。更にスパン1/150までたわむのに要するエネルギー(曲げタフネス)から求めた換算曲げ強度の変化より、気中ではじん性が18ヶ月で78%に、水中では37%に低下しており、最大曲げ強度よりもじん性の劣化が顕著であり、湿度が大きく関与していることがわかる。また、実際に使用されることの多い環境と思われる自然ばく露状態での劣化速度はBREの資料³⁾によると、水中での場合よりも遅いが、類似していることが知られている(図3)。

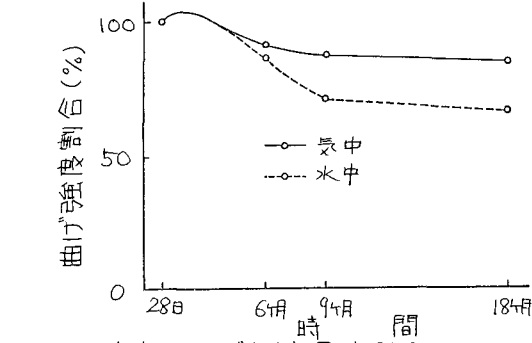


図2b 気中および水中放置したGRCの曲げ強度の経時変化

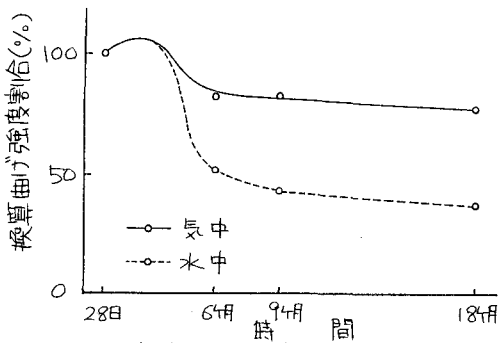


図2c 気中および水中放置したGRCの換算曲げ強度の経時変化

※ 換算曲げ強度 = $T_b / \sigma_{tb} \cdot l / b d^2$
 T_b : 曲げタフネス (kg・cm) σ_{tb} : スパンの1/150のたわみ
 l : スパン (cm) b, d : 供試体の幅と厚み (cm)

表2 コーティング用樹脂の配合および塗布量

A アクリル系樹脂 a		
配合	MMA63-GMC10-PMMA 27	
塗布量	130 g/m ² (3層塗り)	A1
	270 g/m ² (6層塗り)	A2
B アクリル系樹脂 b		
配合	MMA69-TMPTMA10-PMMA 21	
塗布量	240 g/m ² (3層塗り)	B1
	450 g/m ² (6層塗り)	B2
C アクリルウレタン系樹脂(トップコート), エポキシ系樹脂(中塗り, プライマー)		
塗布量	210 g/m ² (プライマー1層, 中塗り1層, トップコート2層) 計4層塗り	C1
	450 g/m ² (プライマー3層, 中塗り2層, トップコート2層) 計7層塗り	C2

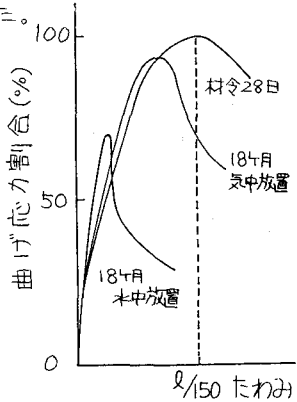
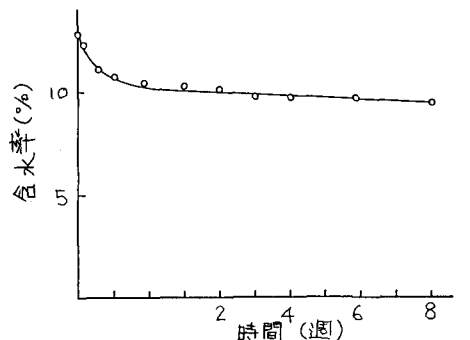
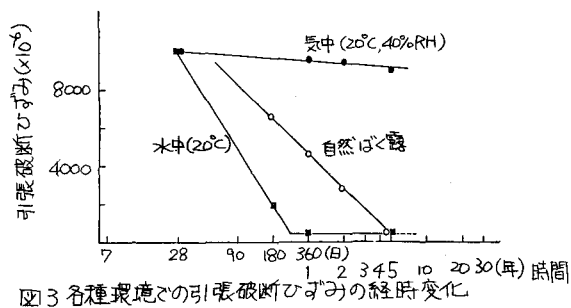
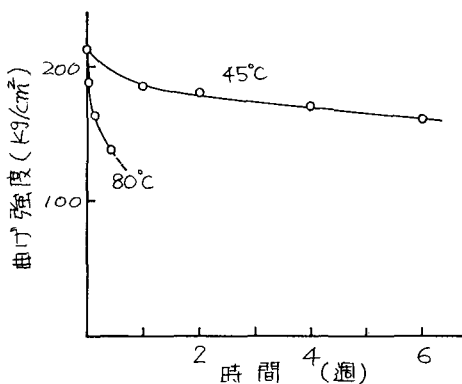
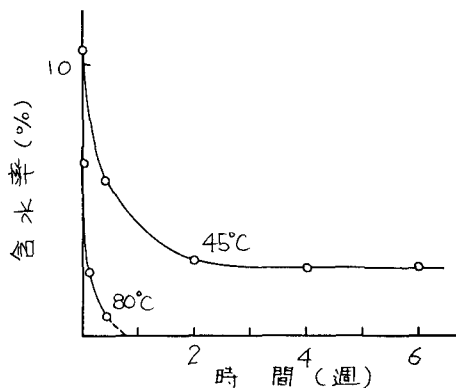
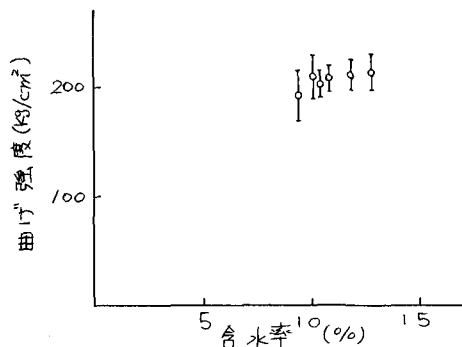


図2a 材令28日と材令18ヶ月の気中および水中放置したGRCの応力-たわみ曲線



3.2 GRCの含水率と強度

適切な乾燥状態でGRCに樹脂コーティングを行うために、GRCの乾燥にともなう強度の変化について検討した。図4に20℃, 63%RH, 10週までのGRCの乾燥による含水率の変化とその際の曲げ強度について示す。含水率は初めの1週間は比較的速く低下するが、その後10週まで非常にゆっくりと低下する。最大曲げ強度は含水率10%以上ではほとんど変化しないが、95%を若干低下している。これは試料の材令が100日となり補強材が劣化したためで、含水率による影響ではないと思われる。GRCを更に乾燥させるために、45℃および80℃で強制乾燥した。含水率は45℃では約2週間で平衡となり約2.5%、80℃では5日間で絶乾状態となる。その際、曲げ強度は45℃では2週間で85%、6週間で75%まで低下した。80℃では急速に低下し3日間で65%まで低下した(図5)。これらの結果から、樹脂コーティングするGRCは、室温程度で1~4週間乾燥したものをを用いることにした。



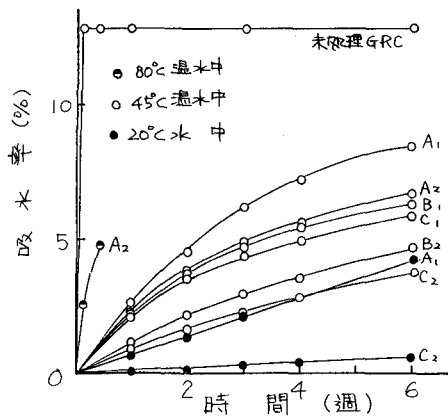


図6 樹脂コーティングによる吸水速度の違い

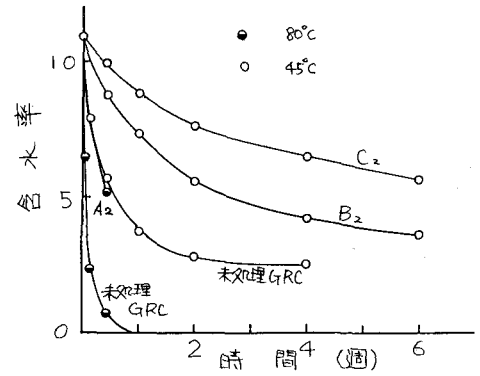
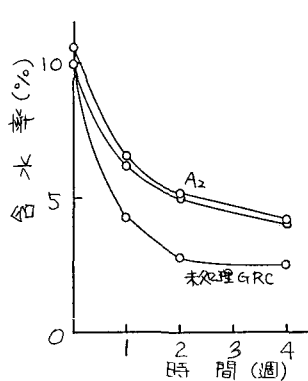


図7 樹脂コーティングによる乾燥速度の違い

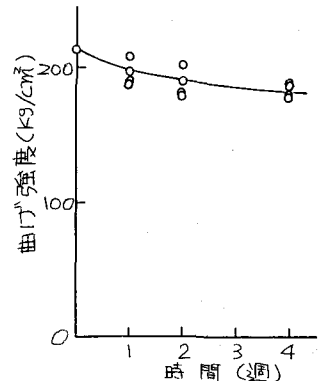
3.3 吸水および乾燥速度に関する樹脂コーティングの効果

乾燥状態の未処理のGRCを水中に浸漬すると、ほぼ1日で飽和状態となるが、樹脂をコーティングすることにより図6のように吸水速度はかなり低下する。この遮水効果は樹脂の種類および塗布量により異なり、 $C > B > A$ の順に、また塗布量が少くなる程、効果が大きくなる。また、樹脂コーティングしたGRCの吸水速度は温度により大きく変わり、低くなる程、吸水速度が遅くなり、実際にGRCが用いられる温度に近い20℃での吸水量は6週間で飽和吸水量の7.3%であった。

湿潤状態のGRCに樹脂コーティングした試料を加熱すると、未処理の試料よりも乾燥速度が遅く、コーティングによりGRC内部の水分が蒸発しにくくなるのがわかる(図7)。このようにGRC内部に水分が閉じ込められた場合にはその水分が強度劣化の要因となることが考えられるので、それらについて検討した。図8に、乾燥状態の異なるGRCを樹脂Aでコーティングした試料の含水率と強度の変化を示す。コーティングしたGRCは未処理のGRCより乾燥速度が遅くなるが、強度に関しては、未処理のものと差がみられず、コーティングする際のGRCの内部水分にはあまり影響されないことがわかる。



a



b

図8 初期含水率の異なる樹脂コーティングGRCの45℃での含水率と曲げ強度の経時変化

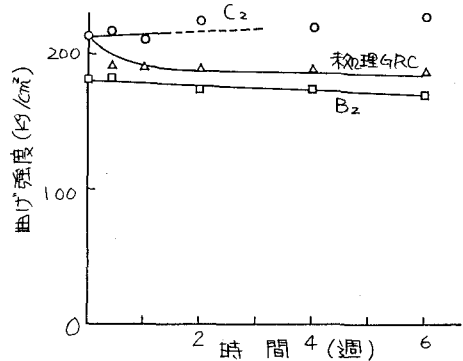


図9 45℃, 80%RHにおける促進劣化試験結果

3.4 促進試験

3.2, 3.3節での予備試験により, 温度45℃, 湿度80%および温水中で促進劣化試験を行った。試料の種類は未処理GRC, 樹脂BおよびCを厚塗りしたGRCとした。それらの結果を図9, 10に示す。湿度80%では未処理のGRCは, 6週間で81%まで強度が低下するが, 樹脂Cをコーティングした試料は初期強度を維持している。温水中では, 未処理のGRCは湿度80%の場合よりも劣化速度が速く6週間で76%に低下している。樹脂Cをコーティングした試料は, 若干低下し, 6週間で92%となる。なお, 樹脂Bをコーティングした試料は, コーティング直後に強度が低下しており, これはGRC内部に樹脂が含浸し, 試料表面部分がもろくなるためと思われる。

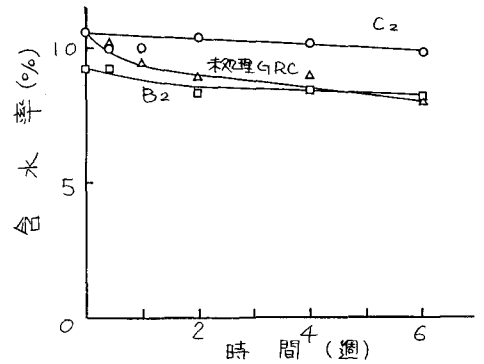


図10 45℃, 100%RHにおける促進劣化試験結果

4 考察

樹脂コーティングによりGRCの吸水速度がどのように変化するかを更に検討するために, 図6を両対数でプロットした(図11)。なお, これらは絶乾状態からの吸水を示すもので, 恒乾状態からの吸水過程は, 図中で一点鎖線で示したものである。この図から, 樹脂コーティングしたGRCの吸水過程は2つの直線部分から構成されていることがわかる。初めの部分は絶乾状態から含水率2~3%までの比較的吸水速度の速い部分, もう一つはそれに続く飽水状態までの吸水速度の遅い部分である。前者の直線の勾配は樹脂の種類, 塗布量および温度によらず一定で, 後者の場合も多少変化するがほぼ一定と思われる。樹脂Cを塗布量450⁹/m²でコーティングしたGRCは, 遮水性が向上するために吸水速度が非常に遅くなり, この直線を外挿すると, 20年では飽水状態となるまでに5~6年かかることになる。

図12は, 促進劣化試験の結果を時間軸を対数でプロットしたものである。この図ではGRCの強度は, ほぼ直線的に低下している。未処理のGRCの45℃, および80℃温水中での劣化速度は遅くなる。樹脂CをコーティングしたGRCは45℃温水中でもほとんど強度低下は認められない。また樹脂CをコーティングしたGRC 45℃, 80%RHで強度が増加してい

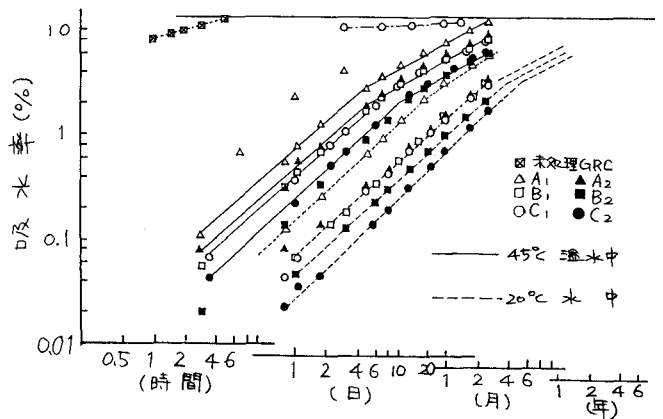


図11 樹脂コーティングによる吸水速度の違い

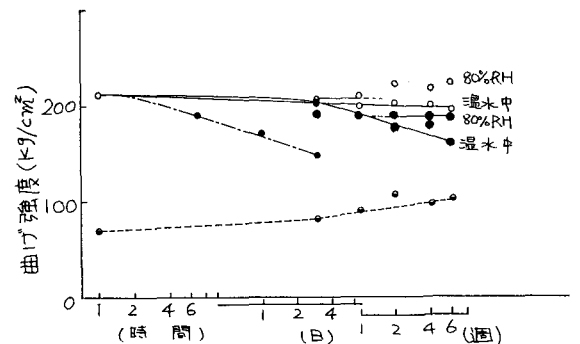


図12 促進劣化試験結果

○ C2
● 未処理GRC
● 未処理モルタル
—— 45℃
----- 80℃ 温水中
----- 45℃, 80%RH, 湿中

る傾向がみられるが、これは未処理のモルタルが45℃、湿度80%および温水中で強度が増加していることから、マトリックスによるものと思われる。これから、樹脂CをコーティングしたGRCは未処理のGRCよりも耐久性が向上していることがわかった。

5 ま と め

耐久性を向上させるために、樹脂コーティングして遮水性をもたせたGRCについて検討した結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) GRCに樹脂をコーティングする際には、GRCは適度に乾燥していなければならないが、強制的に乾燥すると強度が劣化するので、室温程度の温度で乾燥する。その場合、GRC内部に水分が残るが、劣化には大きな影響をおよぼさない。
- (2) 絶乾状態のGRCを浸漬するとはば一日で飽水状態となるが、樹脂をコーティングすると遮水性が高くなる。その効果は樹脂C>B>Aの順に、また塗布量が多い程優れており、樹脂Cを450%²の塗布量でコーティングすると飽水状態となるまでにち〜6年かかるとと思われる。
- (3) 45℃、80%RHおよび温水中で促進試験を行った結果、未処理のGRCは6週間で80%RHでは87%、温水中では76%まで強度が低下したが、樹脂CをコーティングしたGRCは80%RHでは強度低下がみられず、温水中でも92%程度の低下にとどまった。これらの結果から、樹脂コーティングしたGRCは未処理のGRCよりも耐久性が向上していることがわかった。

なお、これらの結果は、GRCの劣化が進行中の過程のものであり、また室温付近での物性変化との対応の問題も残されていることから、更に長期の促進試験または室温付近での水中、気中および天然ばく露での試験を継続中である。

参 考 文 献

- 1) Majumdar, A.J., and Ryder, J.F., "Glass fiber reinforcement of Cement products," *Glass Technology*, 9, 3, 78-84 (1968).
- 2) 大沼邦由 "GRC製品の応用について(1)" セラミックス, 14, 3, 246-250 (1978)
- 3) 'A study of the properties of Cem-FIL/OPC Composites', *Building Research Establishment Current Paper*, CP38/76 June 1976.