

論文

[1162] 高流動プレミックス GRC に関する研究

堀口 邦広*¹・横田 博*²・鈴木 忠彦*³・若宮 隆*⁴

1. まえがき

GRC (ガラス繊維補強コンクリート) は、コンクリートの欠点である脆性を改善した複合材料であり、プレキャスト部材としてカーテンウォール、内外装材等に広く使用されてきている。製造方法には、ダイレクトスプレー (吹付け) 法とプレミックス (流し込み) 法とがあるが、プレミックス法は、ダイレクトスプレー法に比較して強度が劣る [1] ものの製造工程が単純であるため製造を合理化できる可能性が大きい。製造を合理化する有力な手段として、流動性の向上が考えられたが、プレミックス GRC の流動性に関する既往の研究としては、三瀬等 [2] の研究があるのみで、ほとんどなされていない状況であることから、筆者等は、物性かつ流動性に優れたプレミックス GRC の研究開発を進めている。

本研究は、流動性および分離抵抗性に優れたプレミックス GRC (以下、高流動プレミックス GRC と称する) を得ることを目的として、材料、配合、練り混ぜ方法等の製造条件について検討を行ったものである。なお、参考までに硬化後の曲げ強度および乾燥収縮についても検討を行った。

2. 実験概要

軽量化するために、骨材にはシラスバルーンと珪砂の混合品を使用し、一方、高強度および低収縮とするために、水セメント比を小さくした。

2. 1 使用材料

表-1 に使用材料一覧を示す。

2. 2 流動性の実験

(1) 実験条件

表-2 に流動性の実験要因と水準を示す。プレミックス GRC は、一

般にモルタルを練り混ぜ後、ガラス繊維を投入して練り混ぜる手順で行っている。練り混ぜ方法については、モルタルの練り混ぜにおいて、全ての材料を同時に投入して練り混ぜる方法、先にセメントと骨材を混合してから水を加えて練り混ぜる方法、先にセメントと水を練り混ぜてセメントペーストをつくり、骨材、混和剤の添加時期を変えた 2 方法の 4 水準を取り上げ、それぞれのモルタルにガラス繊維を投入した。練り混ぜ時間については、2.5 分から 2 分毎に 12.5 分まで変化させた 6 水準、高性能 A E 減水剤量については、セメント重量の 0.5% から 1% 毎に 6.5% までの 7 水準、また、ガラス繊維量については、モルタル重量の 2.0% から 0.5% 毎に 3.5% までの 4 水準とした。

表-1 使用材料一覧

材 料 名	種 類 (主 成 分)
セメント	GRCセメント (外割りでセッターを0.4%添加)
	普通ポルトランドセメント
骨 材	シラスバルーンと珪砂の混合品
高性能 A E 減水剤	変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸系
A E 助剤	変性アルキルカルボン酸化合物系
ガラス繊維	耐アルカリ性ガラス繊維、チョップストラブ 長さ: 6, 13, 19, 25 mm

* 1 秩父セメント (株) 中央研究所 (正会員)

* 2 秩父セメント (株) 中央研究所

* 3 清水建設 (株) 技術研究所 (正会員)

* 4 日本板硝子 (株) ビル建材部

(2) 配合

表-3に流動性に関する実験に使用した配合を示す。配合は、練り上がり直後の単位容積重量が1.65kg/ℓ程度となるように、使用した骨材のシラスブルーと珪砂の割合を微調整した。セメントはGRCセメントを使用し、水セメント比33.0%、骨材セメント比15.0%、AE助剤量はセメント重量に対して0.03%とし、ガラス繊維の長さは19mmとした。

(3) 練り混ぜ

練り混ぜは、容量10ℓのオムニミキサーを使用し、練り混ぜ方法の実験を除いてセメント、骨材、水および混和剤を同時に投入し3分、ガラス繊維を投入し30秒、合計で3.5分練り混ぜる方法とした。

(4) 評価方法

流動性の評価は、フロー値で判定することとし、図-1に示すフロー測定器具（フローコーンの寸法：内径55mm、高さ50mm）を用いた。フローコーン内にプレミックスGRCを満たし、フローコーンを真上に持ち上げて、広がり幅の最大の位置とそれと直交する位置で測定し、その平均値を求めて値が大きい方が流動性が良いと判定することとした。

2.3 分離抵抗性の実験

(1) 実験条件

表-4に分離抵抗性の実験要因と水準を示す。セメントの種類として、GRCセメントと普通ポルトランドセメントを使用した。

(2) 配合

表-5に分離抵抗性に関する実験に使用した配合を示す。普通ポルトランドセメントを使用した配合では、高性能AE減水剤量がセメント重量の1.5%以上において、凝結が極端に遅れたため、量を1.0%として、水セメント比を調整して、GRCセメントを使用した配合とフロー値を同等にした。

(3) 練り混ぜ

表-2 流動性の実験要因と水準

要因	水準
モルタルの練り混ぜ方法 ^{注)} (材料投入方法)	①セメント、骨材、水、混和剤を同時に投入する方法 ②先にセメント、骨材を混合し、水、混和剤を投入する方法 ③先にセメント、水で練り混ぜ、その後混和剤、骨材を投入する方法 ④先にセメント、水で練り混ぜ、その後骨材、混和剤を投入する方法
練り混ぜ時間	2.5, 4.5, 6.5, 8.5, 10.5, 12.5 分
高性能AE減水剤量	セメント×0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5%
ガラス繊維量	モルタル× 2.0, 2.5, 3.0, 3.5wt%

注) モルタルを3分練り混ぜた後、ガラス繊維を投入して30秒練り混ぜた。

表-3 流動性に関する実験の配合

セメントの種類	水セメント比(%)	骨材セメント比(%)	高性能AE減水剤(セメント×%)	AE助剤(セメント×%)	ガラス繊維の長さ(mm)	ガラス繊維(モルタル×%)
GRCセメント	33.0	15.0	0.5 ~ 6.5	0.03	19	2.0 ~ 3.5

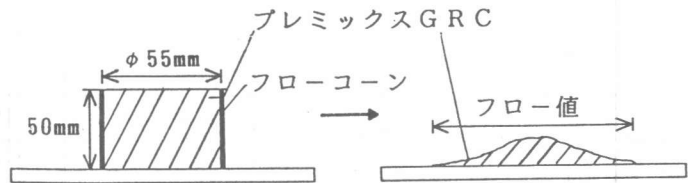


図-1 フローの測定

表-4 分離抵抗性の実験要因と水準

要因	水準
セメントの種類	GRCセメント
	普通ポルトランドセメント

練り混ぜ

は、先にセメントと水を投入し1分、骨材を投入し1分、混和剤を投入し3分、

最後にガラス繊維を投入し30秒、合計 5.5分とした。

(4) 評価方法

ガラス繊維の分散性に着目して、120 × 120 cmの平板の中央に練り混ぜ直後のプレミックスGRCを10ℓ流し、自重により広がったプレミックスGRCから図-2に示す位置にて15×15cm角の試料を採取した。分離抵抗性の評価は、採取した試料のガラス繊維量を測定し（日本GRC工業会のGRCのガラス繊維含有率試験方法に準じた）、中央部と中央部以外の位置で採取した試料中のガラス繊維量を比較し、ガラス繊維量の差が小さければ、分離抵抗性に優れていると判定した。

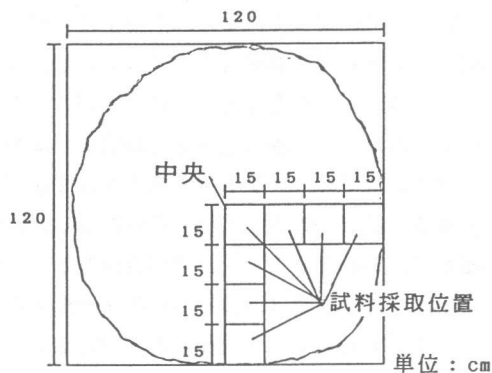


図-2 分離抵抗性試験の試料採取位置

2. 4 硬化後の性質の実験

(1) 実験項目および実験条件

実験は、曲げ強度と乾燥収縮について行った。表-6に曲げ強度の実験要因と水準を示す。乾燥収縮は、ガラス繊維の長さ19mmについてのみ行った。

表-6 曲げ強度の実験要因と水準

要因	水準
ガラス繊維の長さ	6, 13, 19, 25mm

(2) 配合

表-7に硬化後の性質の実験に使用した配合を示す。

表-7 硬化後の性質に関する実験の配合

セメントの種類	水セメント比 (%)	骨材セメント比 (%)	高性能AE減水剤 (セメント×%)	AE助剤 (セメント×%)	ガラス繊維 (モルタル×%)
GRCセメント	33.0	15.0	2.5	0.03	2.0

(3) 練り混ぜ、成形、養生

練り混ぜは、先にセメントと水を投入し1分、骨材を投入し1分、混和剤を投入し3分、最後にガラス繊維を投入し30秒、合計 5.5分とした。成形は、曲げ強度試験の場合は 1.5×70×80cmの型枠に、乾燥収縮試験の場合は10×10×40 cmの型枠に、練り混ぜたプレミックスGRCを流し込む方法とした。

表-8 硬化後の性質の実験方法

実験項目	実験方法	供試体の寸法・数量
曲げ強度試験	日本GRC工業会の曲げ試験方法に従った。厚さ方向比=1.5、載荷速度=2mm/分とした。	寸法：1.5×5 × 27.5 cm 数量：8体
乾燥収縮試験	JIS A 1129「モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法」に準じて、傾斜型コパレータにより測定した。	寸法：10×10×40cm 数量：3体

一次養生として最高温度40℃、保持時間8時間の蒸気養生を行い、翌日脱型後、二次養生として

20℃・60%RHの条件室に静置した。

(4) 実験方法

表-8に硬化後の性質の実験方法を示す。

3. 実験結果および考察

3.1 流動性

(1) モルタルの練り混ぜ方法

図-3にフロー値の測定結果を示す。全ての材料を同時に投入して練り混ぜる方法(①の方法)に比較して、セメントおよび骨材を混合してから練り混ぜる方法(②の方法)はフロー値が小さくなったが、この原因として、

シラスバルーンが練り混ぜ水を吸収し、本来必要とする水量が不足して流動性が低下したと考えられる。次に、セメントペーストを練り混ぜ後、1分後に骨材、2分後に混和剤を投入して練り混ぜる方法(④の方法)は、今回検討した他の方法に比較して、フロー値が大きくなり流動性が優れている結果となった。この理由として、先にセメントペーストをつくるため骨材にペーストの膜ができ、シラスバルーンの吸水が抑えられることが考えられる。また、同様にセメントペーストを練り混ぜ後、1分後に混和剤、2分後に骨材を投入して練り混ぜる方法(③の方法)はフロー値が小さくなったが、④の方法に比較して混和剤が骨材に多少吸収され易いことや混和剤が骨材の分散に充分効果を発揮しなかったことなどが原因と考えられる。

(2) 練り混ぜ時間

図-4にフロー値の測定結果を示す。2.5分から8.5分の間では、練り混ぜ時間が長くなるに従ってフロー値が大きくなったが、それ以上練り混ぜ時間が長くなってもフロー値は低下傾向にあった。一般のコンクリートの場合に1.5~5分の練り混ぜ時間でスランプが最大となることに比較して、やや長い練り混ぜ時間となったのはオムニミキサーの特性によるものと推定されるが、実用上は4.5~6.5分の練り混ぜ時間で充分と考えられる。

(3) 高性能AE減水剤量

図-5にフロー値の測定結果を示す。高性能AE減水剤量が増加する

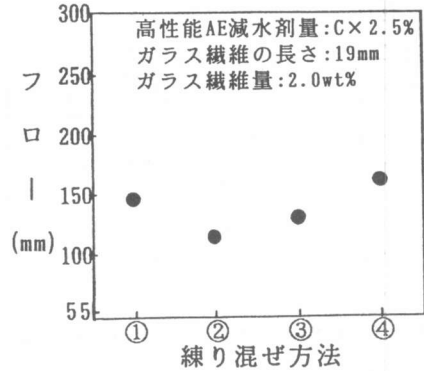


図-3 練り混ぜ方法とフローの関係
(①~④は表-2に対応している)

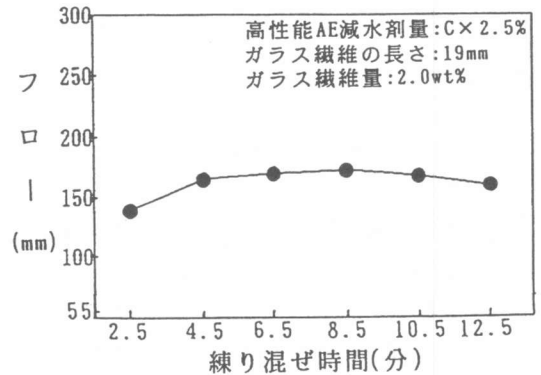


図-4 練り混ぜ時間とフローの関係

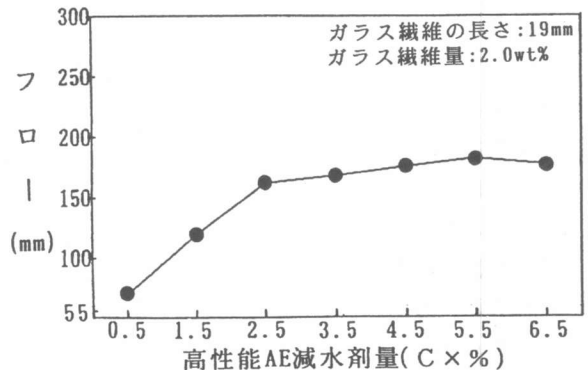


図-5 高性能AE減水剤量とフローの関係

ほどフロー値が大きくなり、セメント重量の5.5%添加ではほぼ最大となった。特に、セメント重量の0.5~2.5%添加の範囲でフロー値が急激に変化し、高性能AE減水剤使用の効果が大きいことが認められたが、2.5%以上の添加では変化が小さい傾向にあった。また、セメント重量の4.5%以上の量ではモルタル部分とガラス繊維部分とに分離する傾向が現れ始めたことより、GRCセメントを用いたプレミックスGRCの場合、今回使用した変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸系の高性能AE減水剤量の限度は、約4.5%と考えられる。

(4) ガラス繊維量

図-6にフロー値の測定結果を示す。ガラス繊維量が2.0~3.5wt%の範囲では、繊維量が多いほどフロー値は小さくなった。この原因としては、ガラス繊維量が多いほど繊維同士の抵抗が大きくなるためと考えられる。

3.2 分離抵抗性

図-7に分離抵抗性の測定結果を示す。板の中央から15cmの位置での繊維量を100%とした場合、高流動プレミックスGRCは、板の中央部から離れた位置でのガラス繊維量の比率は95%程度であり、変化が10%以内と小さかった。この理由としては、GRCセメントの粉末度が高く(ブレン値 $4500\text{cm}^2/\text{g}$)、高性能AE減水剤量が多いことによりモルタルの粘性が高くなっているためと考えられる。一方、普通ポルトランドセメントを使用したプレミックスGRCでは、板の中央部から45cm以上離れた位置より採取した試料では、ガラス繊維量の比率は90%以下であり、繊維が分離している傾向が認められた。

3.3 硬化後の性質

(1) 曲げ強度

図-8に材令28日での曲げ強度試験結果を示す。ガラス繊維の長さが6~25mmの範囲において、19および25mmでMORが95 kgf/cm^2 程度で最大になった。また、MORに比較してLOPの変化が小さかった。

(2) 乾燥収縮

図-9に保存期間26週までの乾燥収縮試験結果を示す。保存期間1週で 0.75×10^{-4} と膨張傾向にあったが、その後は徐々に収縮して26週(半年)では -2.4×10^{-4} と極めて小さな値であった。この理由としては、

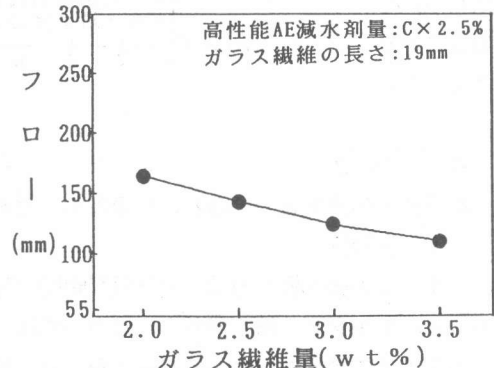


図-6 ガラス繊維量とフローの関係

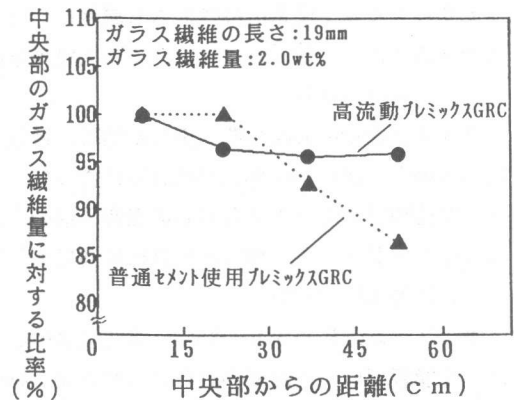


図-7 分離抵抗性測定結果

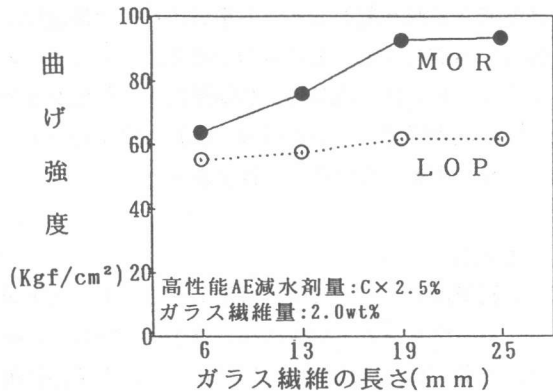


図-8 曲げ強度

低収縮性のGRCセメントを使用していることおよび低水セメント比(33%)であることが考えられる。

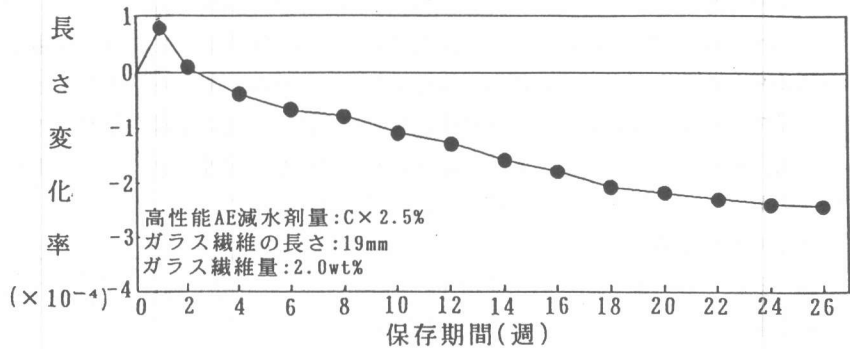


図-9 乾燥収縮

4. まとめ

本研究の結果をまとめると、次のとおりである。

(1) 流動性

モルタルの練り混ぜ方法、練り混ぜ時間、高性能AE減水剤およびガラス繊維量について検討した。モルタルの練り混ぜ方法については、セメントペーストを先につくり、混和剤を最後に添加する方法が最もフロー値が大きかった。練り混ぜ時間については、8.5分でフロー値が最大になったが、4.5～6.5分の練り混ぜ時間で実用上は充分と考えられる。変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸系の高性能AE減水剤のGRCセメントを用いた場合の添加量は、2.5%が適当であることが判明した。また、ガラス繊維量については、2.0wt%が最もフロー値が大きかった。

(2) 分離抵抗性

ガラス繊維量の分布状態を調べた結果、普通ポルトランドセメントを使用したプレミックスGRCの場合、板の中央部より離れるに従って、ガラス繊維量のばらつきが大きくなる傾向にあった。高流動プレミックスGRCの場合、板の中央部と流れて広がった部分とでは、ガラス繊維量のばらつきが小さく、繊維の分離抵抗性に優れていることが確認された。

(3) 硬化後の性質

ガラス繊維の長さが6～25mmの範囲における曲げ強度は、長さが19～25mmで最大になった。また、乾燥収縮は、低収縮性のGRCセメントを使用することおよび低水セメント比であることより充分小さく、26週で -2.4×10^{-4} であった。

以上の結果より、高流動プレミックスGRCは、セメントと水を先に練り混ぜ、混和剤として高性能AE減水剤をセメント重量の2.5%で最後に添加する方法とし、ガラス繊維の長さは19mm、量は2.0wt%とすることが適当である。この条件におけるGRCセメントを使用した高流動プレミックスGRCは、流動性、分離抵抗性、強度および乾燥収縮に優れていることがわかった。

なお、本研究は、清水建設(株)、日本板硝子(株)および秩父セメント(株)の三社共同研究開発で実施した研究の一部である。

参考文献

- 1) 石塚俊郎・三島清敬・武田隆一郎：ガラス繊維強化セメントの製法がその特性に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.1、pp.453-456、1979.5
- 2) 三瀬 貞・真嶋光保・出口智一：ガラス繊維補強コンクリートの流動性に及ぼす各種要因について、セメント技術年報35、pp.506-509、1981.12