

[1191] 高流動プレミックス GRC の強度および長さ変化特性

堀口 邦広^{*1}・横田 博^{*2}・鈴木 忠彦^{*3}・若宮 隆^{*4}

1. まえがき

セメントコンクリートの欠点である脆性を改善した複合材料のGRC（ガラス繊維補強コンクリート）には、種々の製造方法があるが、現状の主流はダイレクトスプレー（吹付け）法による製造である。最近、建設省総合技術開発プロジェクトで短繊維補強コンクリートに関する研究が行われ、日本GRC工業会においてプレミックス（流し込み）GRCの試験体の作り方、各種試験方法や技術資料等について、とりまとめが行われていることより、今後、GRCの製造は、合理化が可能となるプレミックス法による製造が増加するものと予想される。

前年度の報告[1]においては、流動性および分離抵抗性に優れるプレミックスGRC（以下、高流動プレミックスGRCと称する）の材料、配合や練り混ぜ方法等の製造条件について検討を行ったので、本研究では、その後実施した曲げ強度、衝撃強度および長さ変化について報告を行う。

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(外割りで凝結調整剤を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AE減水剤	変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸系
AE助剤	変性アルキルカルボン酸化合物系
ガラス繊維	耐アルカリガラス、ショップドストランド 長さ19mm

2. 実験概要

2. 1 使用材料

表-1に使用材料一覧を示す。軽量化を図るため、骨材はシラスバルーンと珪砂の混合品を使用した。

2. 2 試験項目および実験条件

表-2に試験項目および実験条件を示す。試験項目としては、曲げ強度試験、衝撃強度試験および乾燥収縮試験とした。曲げ強度試験は、試験体の形状寸法の違いと繊維の分散性の違いについて、衝撃強度試験は、繊維の分散性の違いについて検討した。また、乾燥収縮試験は、試験体寸法の違いについて検討した。

表-2 試験項目および実験条件

試験項目	要 因	水 準
曲げ強度試験	試験体の形状寸法の違い	5×27.5×1.5cm (平板) 4×4×16cm (角柱)
	繊維の分散性の違い	高流動プレミックスGRC 比較用プレミックスGRC
衝撃強度試験	繊維の分散性の違い	高流動プレミックスGRC 比較用プレミックスGRC
	試験体寸法の違い	10×10×40cm 4×4×16cm

*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)技術開発センター(正会員) *4日本板硝子(株)ビル建材部(正会員)

2. 3 配合

表-3に実験に使用した配合を示す。高流動プレミックスGRCの配合は、低アルカリ性かつ低収縮性のGRCセメントを使用し、水セメント比は33.0%、骨材セメント比は15.0%、高性能AE減水剤量はセメント重量に対して2.5%とした。また、比較用プレミックスGRCの配合は、普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比は35.0%、骨材セメント比は15.0%、高性能AE減水剤量はセメント重量に対して1.0%とした。なお、比較用プレミックスGRCの配合の場合、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、高流動プレミックスGRCの配合とフロー値を同等とするため、水セメント比を調整した。また、2種類の配合に使用したガラス繊維は、長さ19mmのチョップドストランドとし、繊維量はモルタル重量に対して2.0%とした。

表-3 実験に使用した配合

配合の種類	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×%)
高流動プレミックスGRC	GRCセメント	33.0	15.0	2.5	0.03
比較用プレミックスGRC	普通ポルトランドセメント	35.0	15.0	1.0	0.03

注)比較用プレミックスGRCは、高性能AE減水剤量が1.5%以上で凝結が極端に遅れたため、量は1.0%とした。

2. 4 練り混ぜ

練り混ぜには、容量30ℓのオムニミキサーを使用し、先ずセメントと水を投入し1分、その後骨材を投入し1分、更に混和剤（高性能AE減水剤、AE助剤）を投入し3分、最後にガラス繊維を投入し30秒、合計5.5分の練り混ぜ時間とした。

2. 5 成形および養生

(1) 繊維の分散性の違い

繊維の分散性の違いによる曲げ強度試験体および衝撃強度試験体は、100×100×1.5cmの型枠の一辺の中央部分に練り混ぜたプレミックスGRCを流し込み成形した。

(2) 試験体の形状寸法の違い

試験体の形状寸法の違いについての曲げ強度試験体は、100×100×1.5cmの型枠と32×32×4cmの型枠に練り混ぜたプレミックスGRCを流し込み成形した。また、乾燥収縮試験体は、10×10×40cmの型枠3型と4×4×16cmの3連型枠に同様にプレミックスGRCを流し込み成形した。

(3) 養生

試験体の養生は、一次養生として最高温度40℃で保持時間が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。

2. 6 試験体の採取

試験体の形状寸法の違いによる曲げ強度試験体は、厚さ1.5cmの板は幅5cm×長さ27.5cmに切断し、厚さ4cmの板は幅4cm×長さ16cmに切断した。また、繊維の分散性の違いによる曲げ強度

試験および衝撃強度
試験の試験体採取位置は、図-1に示す
ようにプレミックスGRCを流し込んだ
側より、曲げ強度試験体を3体ずつ幅5cm
×長さ27.5cmに切断した。その後、残り
の両側より曲げ強度試験体と同一方向で、
衝撃強度試験体を幅2cm×長さ8cmに切断
した。なお、流した
側から10cm間隔で曲
げ強度試験体は6体
を1ロット、衝撃強
度試験体は片側5体ずつで合計10体を1ロットとした。

2.7 試験方法

(1) 曲げ強度試験

平板試験体の曲げ強度試験は、日本GRC工業会「短纖維補強セメント系複合材料の曲げ試験方法」に従って行い、スパンは225mm、スパン厚さ比は15、載荷速度は2mm/分とした。また、角柱試験体の曲げ強度試験は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」の曲げ強さ試験に準じて行った。

(2) 衝撃強度試験

衝撃強度試験は、日本GRC工業会「GRCの衝撃試験方法（案）」に準じて、アイゾット型衝撃試験機を用いて、試験体を中央部に固定し、ハンマーで試験体に衝撃を与えて破断させる方法で行った。

(3) 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験は、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、傾斜型コンパレーターを使用して測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 曲げ強度

(1) 試験体の形状寸法の違い

試験体の形状寸法の違いによる曲げ強度試験は、高流動プレミックスGRCの平板試験体(5×27.5×1.5cm)と角柱試験体(4×4×16cm)について行った。試験結果を図-2に示す。

平板試験体は、材令1、7、28日でのLOP(曲げ比例限界強度)およびMOR(曲げ強度)を測定し、角柱試験体は、材令7、28日でのLOP、MORを測定した。角柱試験体の曲げ強

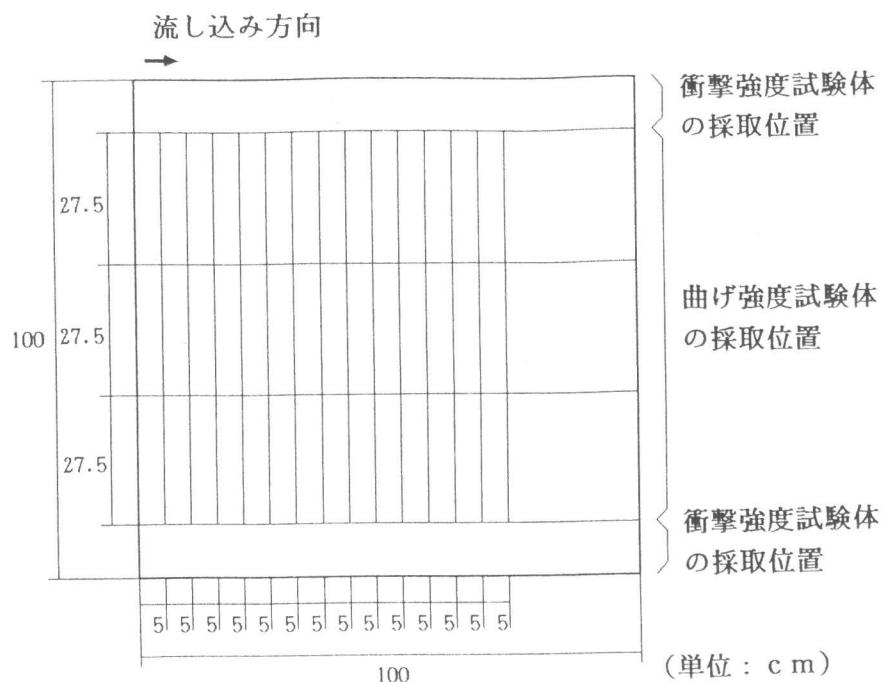


図-1 試験体の採取位置

度は、平板試験体の曲げ強度に比較してLOP、MORとも各材令で大きな値であった。平板試験体の試験条件はスパン225mm、厚さ15mm、スパン厚さ比15であり、角柱試験体の試験条件はスパン100mm、厚さ40mm、スパン厚さ比2.5であり、

試験方法の違いにより試験条件が異なっていた。建設省総合技術開発プロジェクトで実施したプレミックスGRCの試験結果[2]によれば、曲げ強度は試験体の厚さに拘らずほぼ一定であること、また、スパン厚さ比が15~30の範囲内であれば、スパン厚さ比に拘らず曲げ強度はほぼ一定であるが、スパン厚さ比が15より小さければ、曲げ強度は大きくなる傾向にあった。今回の結果では、試験体の形状として平板試験体と角柱試験体の違いがあるが、角柱試験体の方が平板試験体の曲げ強度より大きくなることが確認できた。

(2) 繊維の分散性の違い

繊維の分散性の違いによる曲げ強度試験は、高流動プレミックスGRCと比較用プレミックスGRCについて行い、材令28日でのLOP、MORを測定した。試験結果を図-3に示す。

高流動プレミックスGRCは、0~10cmの間の強度を100%とした強度比率が流した側から離れてもLOP、MORとも大きな変化はなく、MORで最も変化した箇所でも約90%であって、10%程度の差しかなく、60~70cm離れた箇所でもほぼ100%であった。この結果は、高流動プレミックスGRCに関する研究[1]で分離抵抗性としてガラス繊維量を確認した実験結果と同様の傾向であった。一方、比較用プレミックスGRCは、流した側より離れるに従って、0~10cmの間の強度を100%とした強度比率がLOP、MORとも小さくなる傾向にあり、MORは最小の箇所では70%を下回っており、30%以上の強度低下であった。また、LOPも流した側より40cm以上離れた箇所では約90%であって、10%程度の差があり、試験体破断面を目視により観察するとガラス繊維量も少なくなっていた。この結果は、高流動プレミックスGRCに関する研究[1]の結果とほぼ同様の傾向であった。

従って、高流動プレミックスGRCは、結合材に粉末度の高いGRCセメントを使用してい

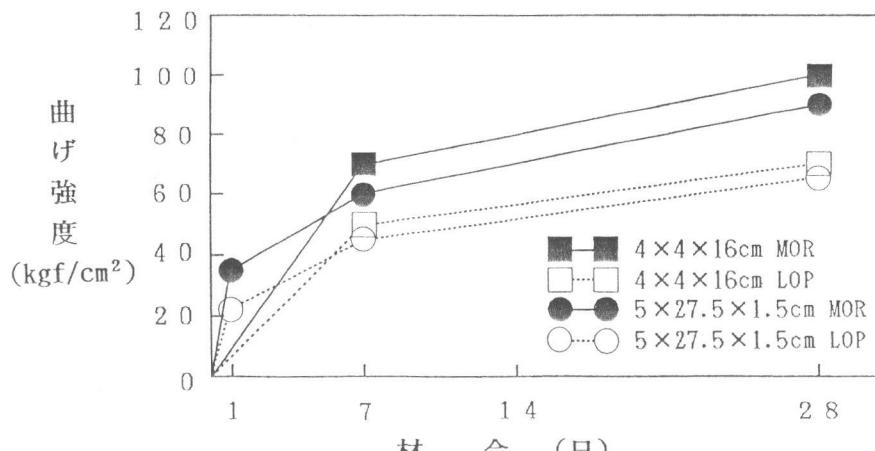


図-2 曲げ強度試験結果

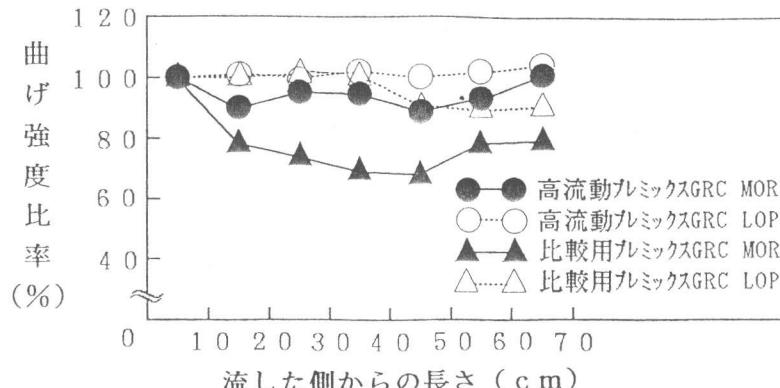


図-3 曲げ強度変化

ることや高性能A E減水剤の使用量が多いことによりモルタルの粘性が高く、かつガラス繊維が均等に分散するため分離しにくいものと考えられる。それに対して、比較用プレミックスGRCは、流した側より離れた箇所ではL O Pの強度比率が低下していることより、フロー値が同等でもモルタル中のセメント分と骨材分が分離傾向にあり、また、M O Rの強度比率に低下がみられることより、ガラス繊維が均等に分散せず分離しているものと考えられる。

3. 2 衝撃強度

繊維の分散性の違いによる衝撃強度試験は、曲げ強度試験の場合と同様に高流动プレミックスGRCと比較用プレミックスGRCについて材令28日で行った。試験結果を図-4に示す。流した側から0~10cmの間の衝撃強度は、高流动プレミックスGRCでは $9.2 \text{kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ 、比較用プレミックスGRCでは $6.1 \text{kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ であった。衝撃強度は、高流动プレミックスGRC、比較用プレミックスGRC

とも曲げ強度試験結果以上に変化が大きかった。高流动プレミックスGRCは、流した側から0~10cmの間の強度を100%とした強度比率が、流した側から離れた箇所では1箇所のみその差が10%を超えたが、その他の箇所ではほとんど5%以内の差であった。一方、比較用プレミックスGRCは、流した側から0~10cmの間の強度を100%とした強度比率が流した側より離れるに従って小さくなる傾向にあり、最小の箇所では50%を下回っており、試験体破断面を目視により観察するとガラス繊維量もかなり減少していた。従って、衝撃強度試験においても高流动プレミックスGRCは、比較用プレミックスGRCに比べ粘性が高く、分離しにくいことが確認できたものと考えられる。

3. 3 乾燥収縮

試験体の寸法の違いによる乾燥収縮試験は、高流动プレミックスGRCを用いて、 $10 \times 10 \times 40 \text{cm}$ 試験体と $4 \times 4 \times 16 \text{cm}$ 試験体について保存期間12か月(1年)まで測定を行った。試験結果を図-5に示す。

長さ変化率は、 $10 \times 10 \times 40 \text{cm}$ 試験体の方が $4 \times 4 \times 16 \text{cm}$ 試験体に比較して、保存期

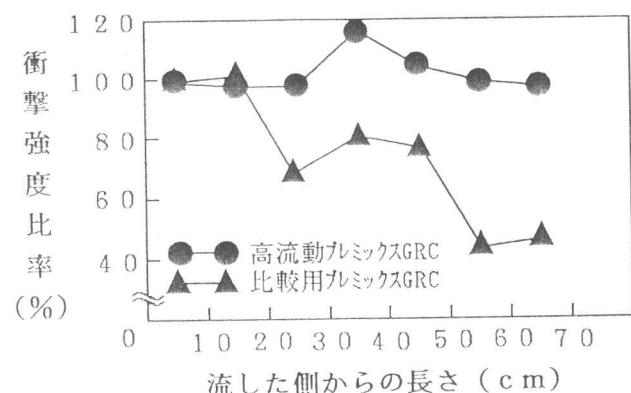


図-4 衝撃強度変化

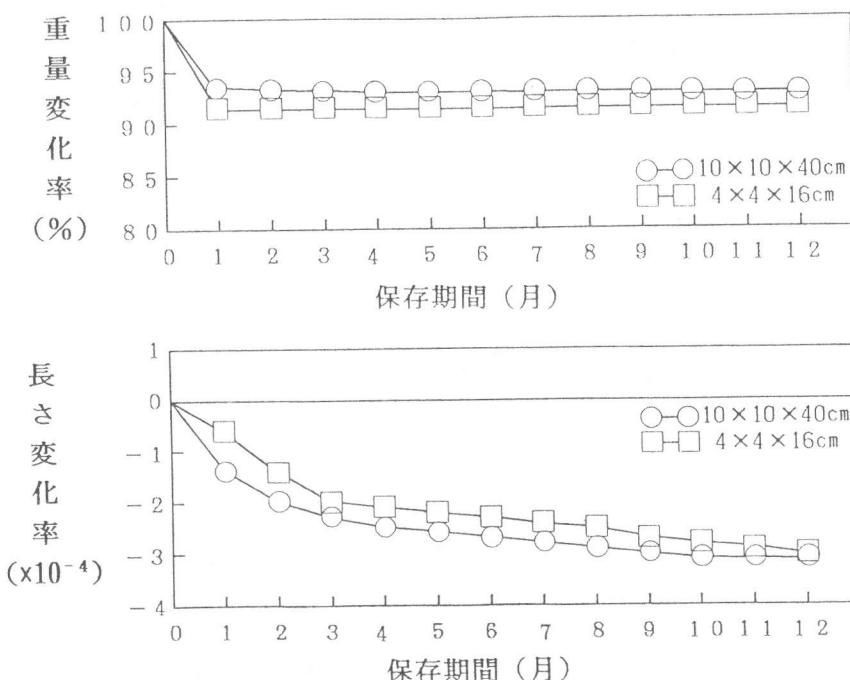


図-5 乾燥収縮試験結果

間の初期段階より大きくなっていたが、その差は徐々に減少し、保存期間1年では同程度な値となり、両者の試験体ともおよそ -3×10^{-4} と小さな値であった。また、重量変化率は、長さ変化率とは逆に4×4×16cm試験体の方が保存期間1か月で大きくなっていたが、1か月以降では両者の試験体ともほとんど変化はなく、その差は保存期間1年でもほぼ変わらなかった。この理由としては、10×10×40cm試験体の方が4×4×16cm試験体より厚いため、比較的水分の発散が遅く、重量変化率が小さくなったものと考えられる。また、長さ変化率は逆に水分の発散が遅いため、水和がより進行して細孔構造がやや変化し、若干大きくなったものと考えられる。

4. まとめ

本研究結果の概要は、以下のとおりである。

(1) 曲げ強度

曲げ強度は、高流動プレミックスGRCの試験体の形状寸法の違いとして平板試験体(5×27.5×1.5cm)と角柱試験体(4×4×16cm)とで比較した結果、角柱試験体の強度の方が各材令で大きかった。また、纖維の分散性の違いとしてGRCセメントを使用した高流動プレミックスGRCと普通ポルトランドセメントを使用した比較用プレミックスGRCとの比較を行った結果、高流動プレミックスGRCは分離抵抗性に優れているため、流して広がった各位置での試験体の強度変化は小さく、比較用プレミックスGRCに比べ安定していた。

(2) 衝撃強度

衝撃強度は、纖維の分散性の違いとして高流動プレミックスGRCと比較用プレミックスGRCとの比較を行った結果、曲げ強度試験結果と同様に高流動プレミックスGRCは、流して広がった各位置での試験体の強度変化が小さかったが、比較用プレミックスGRCは、強度変化がかなり大きかった。

(3) 乾燥収縮

乾燥収縮は、高流動プレミックスGRCについて10×10×40cm試験体と4×4×16cm試験体の2種類で比較した。長さ変化率は、10×10×40cm試験体の方が4×4×16cm試験体より初期に若干大きかったが、保存期間1年では両者ともほぼ同程度で -3×10^{-4} と小さな値であった。重量変化率は、初期の段階に4×4×16cm試験体の方が大きく、その差は保存期間1年でもほぼ変化はなかった。

今回の実験結果より、高流動プレミックスGRCは、普通ポルトランドセメントを用いた比較用プレミックスGRCに比べ、試験体採取位置による曲げ強度変化および衝撃強度変化が小さく、分離抵抗性に優れていることが確認できた。また、高流動プレミックスGRCの曲げ強度は、角柱試験体の方が平板試験体より大きくなることが確認でき、長さ変化率、重量変化率については、試験体の寸法の差はほとんどないことが確かめられた。

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) 堀口邦広・横田 博・鈴木忠彦・若宮 隆：高流動プレミックスGRCに関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 1、pp. 963-968、1993. 6
- 2) 建設省建築研究所・国土開発技術研究センター：短纖維補強セメント系複合材料の曲げ試験方法に関する実験、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発報告書、No. H2-1 非金属系分科会」、pp. 37-51、1991. 3