

ハイブリッド連続繊維補強棒材の創出に関する基礎的研究

茨城大学大学院 学生会員 ○澤田 嘉子
新日本製鐵株式会社 島田 政紀

茨城大学工学部 正会員 吳 智深
日鉄コンポジット株式会社 村上 信吉

1. はじめに

鉄筋は主要な構造補強材であり高靱性を有するが、この性能や寿命を損なう腐食などの問題を有している。一方、近年、都市インフラの補修・補強によく用いられている連続繊維材は、1種類では鋼材などの材料より高剛性、高強度といった個々の利点を有するが、破壊が脆性的となり、鉄筋と比べ総合的な利点を有していない。そこで、高強度と高弾性連続繊維に高伸度連続繊維をハイブリッドすることで、破壊が靱性的にし、鉄筋の欠点である耐腐食や軽量化を補う高性能ハイブリッド連続繊維材を創出するといった考えが提起されている。

しかし、研究事例は少なく、鉄筋代替材としてロッド材の開発はほぼ行われていないのが現状である。よって、1種類のFRPロッドや鉄筋のみでは発揮できない高強度、高弾性、高靱性を有するハイブリッド連続繊維補強棒材を創出するための基礎的検討を行うことにした。

2. ハイブリッドとハイブリッド設計

ハイブリッドとは、複数の複合材料を組み合わせ、個々の特徴を活かし相互補完を図ることである。ここで、高弾性、高強度、高伸度の連続繊維をハイブリッドし、引張試験の場合の応力—ひずみ関係についての概念図を図1に示す。また、ハイブリッド設計とは、ハイブリッド効果をより確実に発揮させるために必要な配合を算出することである。

今回、高弾性繊維には炭素繊維<C7>、高強度繊維には炭素繊維<C1>、高伸度繊維にはアラミド繊維またはガラス繊維を引張試験に用いた。その材料特性を下の表1に示す。この値は、1種類のみで試験した実測データの平均値である。また、弾性率は単種の試験結果であるひずみと引張強度より求めた。表2にハイブリッド設計計算を行った配合と面積比を示す。

表1 材料特性

繊維	繊維目付 (g/m ²)	弾性率 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ひずみ (μ)
高弾性繊維 炭素繊維<C7>	235	5.83×10^5	2541.43	4356.49
高強度繊維 炭素繊維<C1>	200	2.19×10^5	4798.71	21290.12
高伸度繊維 アラミド繊維	162	1.16×10^5	2591.5	22329.65
ガラス繊維	163	0.74×10^5	2501.98	27801.912
鋼材(鉄筋)	—	2.1×10^5	345	1642.85

注) ここで、鋼材は降伏ひずみ、降伏強度である。

3. ロッドによる引張試験概要

供試体の製作方法は、SW(Sheet Winding)法のハンドレイアップである。2種のハイブリッドでは、初期破断時の応力低下を繊維の配合割合の変化によって制御することを目的とした。さらに、高伸度繊維を加えた3種のハイブリッドでは、鋼材と同等、若しくはそれ以上の高弾性、高強度、高靱性を目標として配合した供試体の引張試験を行い検討した。

実験は、連続繊維補強材の引張試験方法(JSCE-E531-1955)に基いた。また、実験目的と試験機の制約から供

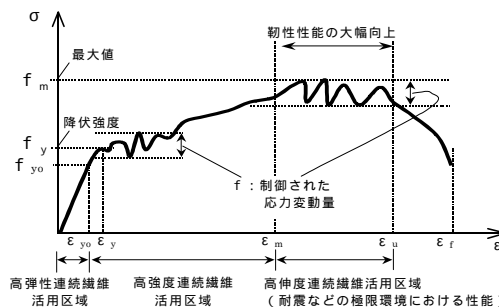


図1 ハイブリッドの概念図

表2 配合と面積比

	配合	面積比
2種	C7 : C1	5 : 5
	C7 : 1.5C1	4 : 6
	C7 : 2C1	3 : 7
3種	C7 : C1 : A	1 : 1 : 8
	C7 : 0.7C1 : 1.3A	0.9 : 0.6 : 8.5
	C7 : C1 : 1.3A	0.9 : 0.9 : 8.2
	5.9C7 : C1 : 1.3G	3 : 0.5 : 6.5
	5.9C7 : C1 : 1.5G	2.8 : 0.5 : 6.7

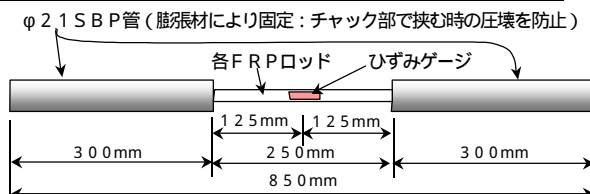


図2 供試体図

key words : 連続繊維、ロッド、高強度、高靱性、応力低下

連絡先 : 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 Tel : 0294(38)5179 Fax : 0294(38)5268

試体のサイズを全てφ4で供試体全長は850mmと統一した(図2参照)。このときの、ロッド断面の様子とパターンを図3に示す。2種、3種ともにひずみゲージを最外層に設置するため、最終破断ひずみのより大きい繊維ほど外側に巻きつけた。

4. 実験結果

図4では、2種と3種の応力低下を比較した。2種の初期破断強度は2121N/mm²から795 N/mm²まで大幅に応力が低下したが、3種では1234 N/mm²から1177N/mm²とほぼ低下しなかった。また、鉄筋の弾性率 2.1×10^5 N/mm² に対し、2種の弾性率は 4.29×10^5 N/mm² と高く、3種では 1.39×10^5 N/mm² と低い。そこで、2種では応力低下の制御、3種では高強度繊維の破断と同時に高伸度繊維が破断したが、高伸度繊維が高強度繊維と同時に破断しないためのハイブリッド設計を見直す必要がある。

図5では、2種ハイブリッドにおいて、高強度繊維の含有率の変化に伴う初期破断時の応力低下を計算値と共に示した。図6では、図5のそれぞれの配合に対する応力低下率(初期破断応力と破断後の応力の差を初期破断強度で除したものを)を示した。図5、6から、高強度繊維の含有率が高いほど応力低下率は低くなっている。配合の変化によって初期破断時の応力低下を制御できることがわかる。

また、図7では、図4の3種ハイブリッドにおいて、適切なハイブリッド設計ではなかったことから、高伸度繊維をアラミド繊維からガラス繊維に変えて設計しなおし同様の引張試験を行ったものである。ここで、初期剛性を鉄筋と同等にするためにC7の量を変化させる設計を行った。その結果、初期剛性は 2.4×10^5 N/mm² となった。初期破断後の最大強度は1450 N/mm² となり、アラミド繊維の2590 N/mm² より1000 N/mm² 以上落ちている。原因としては、ガラス繊維の弾性率が低いことやロッド中の含有率が高いことから強度が低くなることが考えられる。ガラス繊維に変えたことで、最終ひずみは29284μとなり、アラミド繊維を用いたときの最終の19401μより900~1000μ伸びたことから、剛性、強度、靱性の特性を総合的に向上する可能性を見出せた。しかし、初期破断による応力低下の制御は、今後研究が必要である。

6. まとめ

まず、2種類のハイブリッドにおいて高強度繊維含有率としてのC1の配合割合を変化することにより、初期破断時応力の落ち幅の制御が可能であることを確認した。また、落ち幅の制御により、初期破断後の剛性に関するハイブリッド効果を向上することも明らかにした。また、3種類のハイブリッドにおいて、適切にハイブリッド設計を行うと共に、ガラス繊維を用いることで高強度繊維の破断ひずみと比較すると明確に高くなっていることから、剛性、強度、及び靱性の特性を総合的に向上する可能性を確認した。

<< 参考文献 >> 坂本宏司, 炭素繊維シートのハイブリッド化による曲げ構造部材の補強効果による研究, 土木学会第56回年次学術講演会概要集(Hybrid CD-ROM), 2001.10

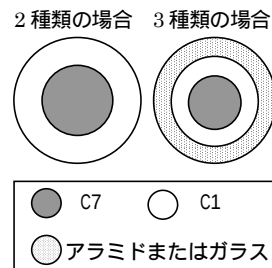


図3 ロッドの断面パターン

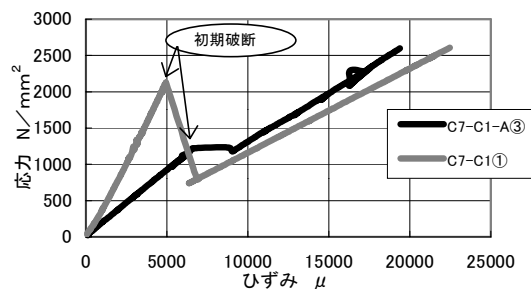


図4 2種と3種の比較（C7-C1とC7-C1-A）

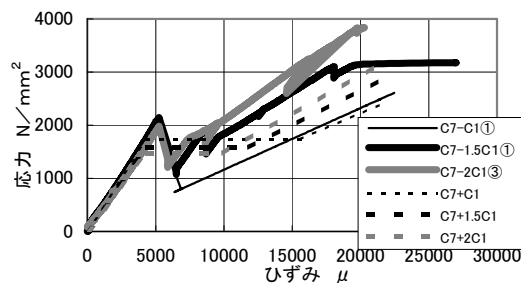


図5 2種ハイブリッド（配合を変えて）

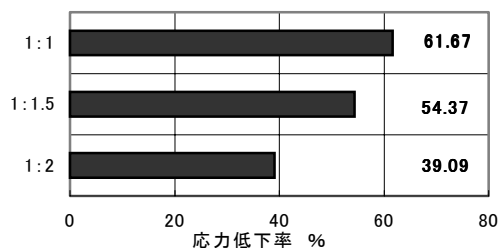


図6 配合変化による応力低下率（C7-C1）

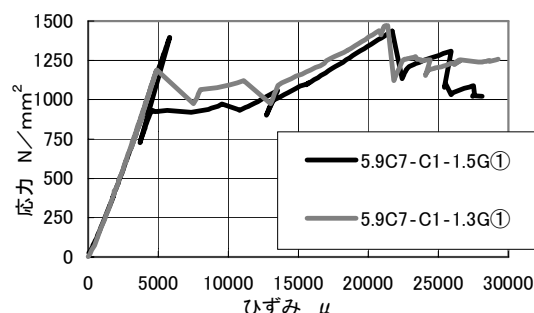


図7 3種ハイブリッド（ガラス）