

ハイブリッド連続繊維シートによるコンクリート圧縮部材の補強効果に関する基礎的研究

茨城大学大学院 学生員 安藤 友美
 茨城大学工学部 正会員 呉 智深
 日鉄コンポジット(株) 正会員 吉澤 弘之
 筑波大学機能工学系 金久保 利之

1. はじめに

近年、都市インフラの機能化や防災能力の向上を図るため、都市構造物の補修・補強技術の高度化が強く要求され、高強度・高剛性を有する連続繊維強化材(以下 FRP)の活用が盛んに行われつつある。しかし、FRPの破断や剥離により、十分な靱性性状が発揮されないうちに構造物の脆性破壊が生じる可能性がある。そこで、期待されるようになったのが連続繊維シートのハイブリッド化である。しかし、ハイブリッド化に関する研究は非常に少なく、本質的な設計思想も未だ確立されていない状況にあり、成功した例もほとんどない。そこで、本研究では連続繊維シートのハイブリッド化に着目し、高靱性性状を引き出すことで補強材としての FRP の高性能化を図るとともに、その静的挙動を解明することを目的とし、ハイブリッド設計をふまえた圧縮試験を行い、そのハイブリッド効果を定量的に評価・検討した。

2. ハイブリッド化について

連続繊維シートのハイブリッド化の開発目標は、一定の強度と靱性を有する材料や構造性能を確保することである。具体的に、図 1 に示した各種指標値をうまく制御し、鋼材や RC 曲げ部材のような降伏棚や変形能力をもつ応力-ひずみ曲線を得ることである。連続繊維シートのハイブリッド化では、最も伸びが小さい連続繊維シートの破断時に散逸されるひずみエネルギーによる内部応

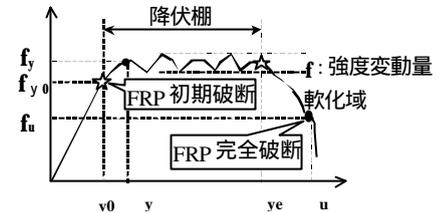


図 1 理想的な応力-ひずみ図

力集中、および耐荷断面積の減少のためにハイブリッド効果は非常に保ちにくいことにある。また、合理的なハイブリッド設計を行わないかぎりハイブリッド効果が得られないと思われ、本研究では、このような応力集中問題をふまえ、ハイブリッド設計を実験の前段階として取り入れた。ハイブリッド設計には表 1 の材料特性値を用いた。

複合材の複合則により求めた理論値を用い、CFS + AFS, CFS + GFS, CFS + AFS + GFS の積層パターンに関して、CFS1 層に対する AFS, GFS の適切な層数を図 2 に示すような繰返し計算により算出した。ここで、適切な層数とは、CFS 破断後に AFS, GFS にかかる応力が、それぞれの引張強度を超えない層数のことである。算定結果を表 2 に示す。本研究で用いる CFS は実用性等から高弾性の CFS 7 とした。さらに、初期段階の剛性を高めるために高弾性の CFS 7 と高強度の CFS 1 の積層パターンも行った。

表 1 連続繊維シートの材料特性

	種類	設計厚さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	弾性率 (N/mm ²)	伸び (%)
CFS1 (C1)	高強度炭素	0.111	3400	2.3 × 10 ⁵	1.48
CFS5 (C5)	高弾性炭素	0.165	2900	3.9 × 10 ⁵	0.74
CFS6 (C6)	高弾性炭素	0.143	2400	4.9 × 10 ⁵	0.49
CFS7 (C7)	高弾性炭素	0.143	1900	5.4 × 10 ⁵	0.35
AFS (A)	アラミド繊維	0.193	2000	1.2 × 10 ⁵	1.67
GFS (G)	ガラス	0.118	1500	7.3 × 10 ⁴	2.05

表 2 算定結果

積層種類	必要な層数	
	AFS	GFS
CFS1	8	
CFS5	3	
CFS6	2	
CFS7	1	
CFS1		9
CFS5		5
CFS6		3
CFS7		2
CFS1	6	6
CFS5	2	2
CFS6	1	1
CFS7	1	1

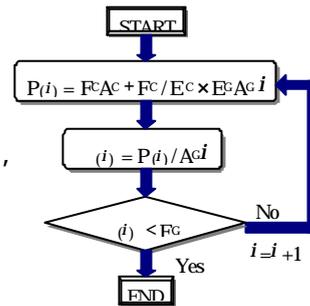


図 2 算出方法

3. ハイブリッド連続繊維シートによる補強効果の検証

(1) 実験概要

ハイブリッド連続繊維シートとコンクリートを一体化させたときのハイブリッド効果の検証を行うために、コンクリート円柱供試体をハイブリッド連続繊維シートで巻き立てた供試体を用いて圧縮試験を行った。ここでは先に破断したシートに散逸されたエネルギーによる衝撃はコンクリートが受け持つことによって上記の応力集

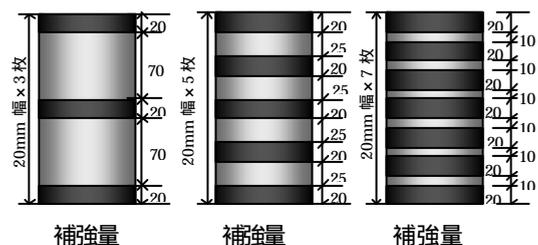


図 3 供試体の巻き立て段数

キーワード：連続繊維シート、ハイブリッド、圧縮試験、靱性

連絡先：〒 316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL 0294-38-5172 FAX 0294-38-5268

中間問題を解消できると期待する。200tonfユニバーサルを用い、変位制御により載荷した。載荷速度は、はじめ0.4mm/min, 15tonfからは0.2mm/minとして実験を行った。載荷時には、荷重、変位、連続繊維シートの周方向ひずみ、コンクリートの直径方向のひずみを測定した。軸方向ひずみの計測には、計測間隔100mmのコンプレッソメータと変位計(50mm)を2箇所取り付けた。パラメータとしては、積層種類と補強量を取りあげた。供試体作製方法としては、コンクリート円柱供試体に、幅20mmの連続繊維シートをラップ長100mmで所定の本数巻き立てた。また、ラップ位置からの供試体の破壊とシートの偏りを防ぐために、各段は上から順に90°ずつ。各層の巻立ては内側から順に0° 180° 90° 270°のように開始位置を分散させた。供試体一覧を表3に、供試体の寸法および形状を図7に示す。なお、供試体本数は各種類2本ずつとした。

表3 供試体一覧

積層パターン	積層構成 内側 外側	補強量	供試体 分類番号
カーボン アラミド	CFS7/AFS		C7A -
			C7A -
			C7A -
カーボン ガラス	GFS/CFS7/GFS		GC7G -
			GC7G -
			GC7G -
カーボン アラミド ガラス	CFS7/AFS/GFS		C7AG -
			C7AG -
			C7AG -
高弾性カーボン 高強度カーボン	CFS7/CFS1		C7C1 -
			C7C1 -
			C7C1 -

(2) 実験結果

図4はC7AGにおける補強量の異なる供試体の比較結果である。補強量が多くなるにつれて強度および靱性も大きく向上することが確認された。補強量 では無補強の2倍以上となった。

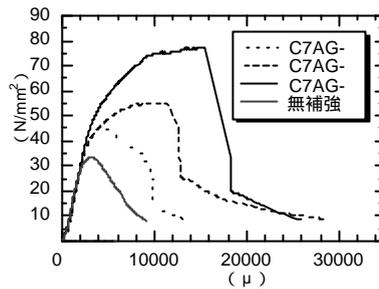


図4 C7AG: 応力 - ひずみ関係

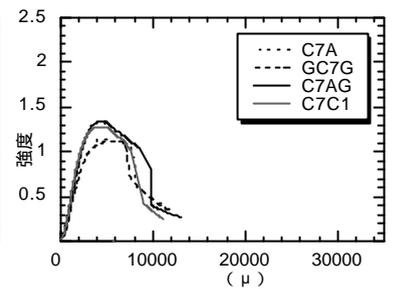


図5 補強量 : 応力 - ひずみ関係

次に、図5から図7は各補強量における積層種類の比較である。補強量 では、積層構成に関わらず挙動の違いは見うけられなかった。この原因としては巻き立て間隔が広いこと、コンクリートの破壊が先行するため、どれも補強効果に差がなかったと考えられる。補強量、補強量と補強量が増えるにしたがって積層種類による差が大きくなった。

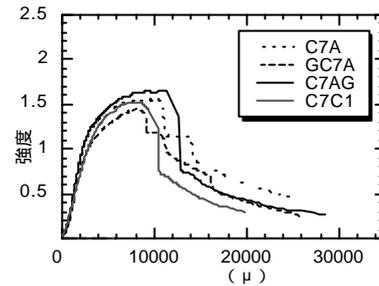


図6 補強量 : 応力 - ひずみ関係

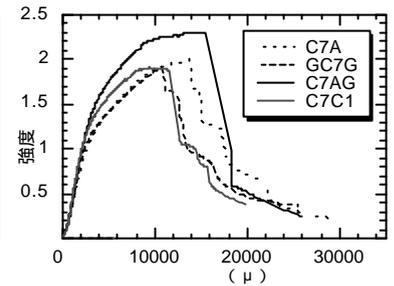


図7 補強量 : 応力 - ひずみ関係

さらに、図8は供試体ごとの靱性性状と強度についての比較結果である。補強量が大きいくほど強度および靱性率が向上する傾向がある。

しかし、靱性に関しては、開放エネルギーを吸収すると考えられるA(アラミド)を用いていないGC7Gの供試体で、G(ガラス)がC7(高弾性炭素)の破断の影響を強く受けているため靱性が向上しなかった。また、C7/AにGを付加したことで強度、靱性率ともに大きく向上した。

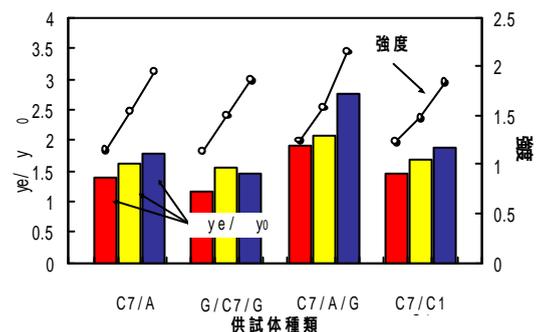


図8 補強量別の靱性及び強度の傾向

ここでいう強度とは、通常強度を無補強の供試体強度で除して無次元化したもので、靱性率とは、破断ひずみを初期破断ひずみで除した値として定義した。また、図4から図7のひずみとは供試体の軸方向ひずみのことである。

4. おわりに

ハイブリッドの設計思想を検討し、靱性性状などの機能を引き出すための制御指標の構築を試みた。各種ハイブリッド連続繊維シートによるコンクリート圧縮供試体への補強効果を確認したところ、非常に大きな強度、靱性向上が見られた。また、上記の応力集中の問題がかなり緩和され、そのハイブリッドの有効性が確認された。

参考文献

1) 細谷学, 宇治公隆 (1998.5): 連続繊維シートの弾性係数がコンクリート柱の横拘束効果に与える影響, 連続繊維補強コンクリートに関するシンポジウム論文集, pp.99-104.