

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検討

茨城大学大学院 学生会員 坂本 宏司

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

(株)パスコ 正会員 黒川 徹二

1. はじめに

近年の都市構造物の震災やその老朽化と劣化に伴い構造物への補修・補強の必要性が高まり、その技術の高度化も要求されている。多くの補修・補強工法の中で、連続繊維(以下、FRP)シートによる接着工法の適用事例が増し、有効かつ便利な工法として定着されている。しかし、短所として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。また、その早期の破壊により高度なFRPシートの特性が十分に発揮されていないことがある。一方、通常のFRP接着工法に関して構造物の使用性能である剛性や鉄筋降伏荷重の補強効果の向上が非常に小さいためその改善も必要である。そこで、FRPシート接着工法において、各種FRP補強材の長所を活かそうとするハイブリッド化によってFRP接着工法の高度化が期待されている。これらの背景をもとに、本研究では高強度なFRPと高弾性なFRPのハイブリッド化、具体的には高強度炭素繊維シート(以下、C1シート)、高弾性炭素繊維シート(以下、C7シート)のハイブリッド化により補強した鉄筋コンクリート曲げ供試体による静的載荷実験を実施して、構造物の剛性、鉄筋降伏荷重、破壊靱性などの補強効果に関する実験的検討を行った。

2. FRPシートのハイブリッド化について

図1に示すように、FRPのハイブリッド化とは、2種類以上のFRPを併用して各種FRPの長所を活かし、単種FRPでは発揮することのできない高弾性で高強度、高伸度な特性、および剛性や耐力および靱性などの多数の構造性能を高め、引き出すというものである。また、いくつかの連続繊維シートを一体化することで、同様の補強量でありながら初期破断応力や破断ひずみが複合則によって予想されるより大きくなり破壊靱性も増加することがハイブリッド効果も期待される。本研究では、図1に示すようにハイブリッド化することで高弾性繊維により鋼材よりも高い剛性を発揮させ、補強時に構造物の使用限界までの構造特性や鉄筋降伏荷重を向上し耐疲労特性の確保を行う。そして、高強度繊維により先に破断した繊維による応力の解放と衝撃による応力の変動を安定化させ、さらに確率的に分布した繊維の破断をFRPが順次破断し、一定のひずみ硬化(応力増加)を伴いながら伸張させるようにする。それによって必要な強度と靱性を図る。

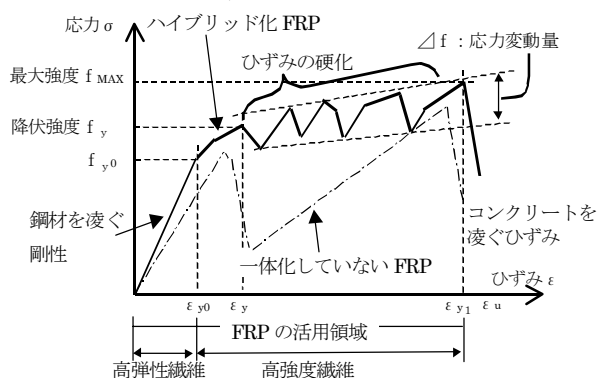


図1 2層ハイブリッドFRPの概念図

3. ハイブリッドFRPシートの補強効果の検証

(1) 実験概要

供試体は2種類あり、スパン 210cm、梁せい 20cm、幅 15cmである。供試体タイプAは、引張側鉄筋がD19、圧縮側鉄筋がD13である。タイプBは、引張側鉄筋がD13、圧縮側鉄筋もD13である。補強材となるFRPシートは、長さ170cm幅15cmで供試体底面部に接着し補強した。(図2参照) また、材料特性を表1に供試体一覧を表2に示す。

表1 材料特性			
補強材 (FRP)	C1シート 高強度	ヤング率	230.0(GPa)
		引張強度	3.4(GPa)
		設計厚さ	0.111(mm)
	C7シート 高弾性	ヤング率	540.0(GPa)
		引張強度	1.9(GPa)
		設計厚さ	0.143(mm)
		繊維目付	300(g/m ²)

表2 供試体一覧				
供試体名	引張鉄筋の規格	FRPシートの種類	積層数	載荷方法
NR-D19	—	—	—	—
2CS-D19	D19	高強度	2	4点曲げ
2CSIMS-D19	D19	高強度(2)高弾性(1)	3	4点曲げ
CS-D13	D13	高強度	1	3点曲げ
2CS-D13-C	D13	高強度	2	3点曲げ
2CSIMS-D13	D13	高強度(2)高弾性(1)	3	3点曲げ

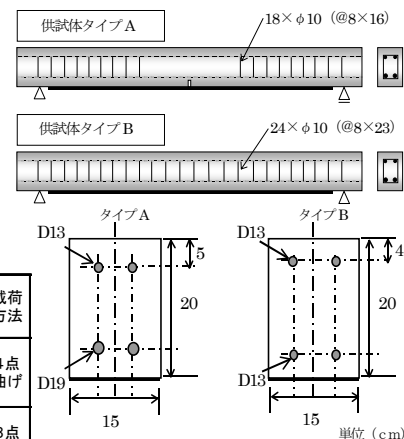


図2 供試体の詳細

キーワード：ハイブリッド、連続繊維シート

連絡先：〒316-8511

茨城県日立市中成沢町 4-12-1

TEL0294-38-5268

FAX0294-38-5268

(2) 実験結果

実験結果一覧を表3に示す. 供試体タイプ A は, ハイブリッド化することによって補強量が増し, せん断破壊してしまい鉄筋降伏後の挙動を確認できなかった. そこで, タイプ B は鉄筋降伏後の挙動を確認し易くするために鉄筋の補強量を小さくし, 3点曲げとした.

(a) 4点曲げ 供試体タイプ A 引張主鉄筋鉄筋D19

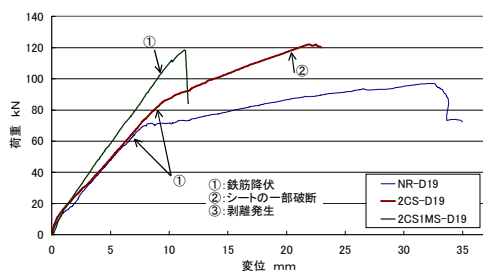


図3 荷重-変位の関係

供試体名	初期ひび割れ荷重 (kN)	鉄筋降伏荷重 (kN)	破壊荷重 (kN)	最終破壊形式			
				破壊形式	コンクリートの圧縮破壊	せん断ひび割れによるピーリング破壊	シートの一部破断
NR-D19	15.5	70.0	96.9	曲げ破壊	○	-	-
2CS-D19	12.1	83.0	122.0	剥離破壊	-	○	-
2CS1MS-D19	16.5	104.5	118.5	せん断破壊	-	-	-
CS-D13	9.1	42.0	63.4	曲げ破壊	○	-	○
2CS-D13	12.5	46.5	71.2	剥離破壊	○	○	-
2CS1MS-D13	13.0	61.5	86.5	剥離破壊	○	○	○

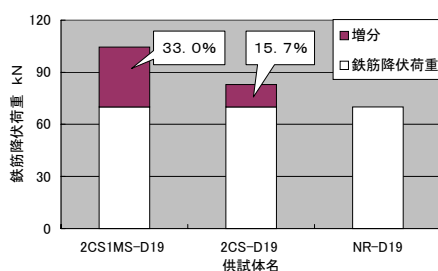


図4 鉄筋降伏荷重の遷移

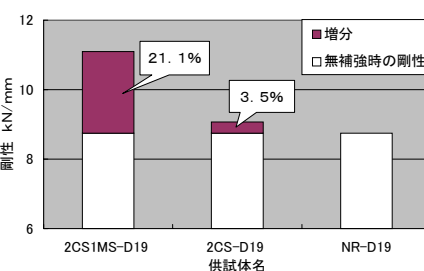


図5 鉄筋降伏前剛性の遷移

図3の荷重-変位の関係からわかるように, NR-D19 と 2CS-D19 を比べると鉄筋降伏後の剛性が大きいことが確認できる. しかし先述したようにFRPの補強量が大きくなり引張側の補強量が増大したため 2CS1MS-D19 はせん断破壊してしまった. また, 図4の鉄筋降伏荷重の遷移からハイブリッド化し補強量を増すことで, 鉄筋降伏荷重の増加が見られるが, 図5の剛性の遷移から確認できるように 2CS-D19 では剛性の増加が低いのにに対し C7 シートを積層した 2CS1MS-D19 は大幅な増加が見られる. C7 シートを積層しハイブリッド化すると, 鉄筋降伏前での剛性が増加していることが確認できる. しかし, 2CS1MS-D19 がせん断破壊してしまったので, 降伏後の剛性の変化は確認できなかった.

(b) 3点曲げ 供試体タイプ B 引張主鉄筋鉄筋D13

図6の荷重-変位の関係に示すように, C7 シートが徐々に破断することによって, 2CS1MS-D13 は微小な変動が見られる. また, 靱性の増加は見られなかった. 図7の鉄筋降伏と図8の鉄筋降伏前の剛性では, タイプAの供試体と同様の変動が見られる. しかし, 図9の鉄筋降伏後の剛性は 2CS1MS-D13 と 2CS-D13 と同様の増加量を示している. 鉄筋降伏後に C7 シートの破断が起きており, C7シートの破断後は 2CS1MS-D13 と 2CS-D13 の剛性増加量はほぼ同様であることから, ハイブリッド材に C7 シート積層すると鉄筋降伏の発生前で剛性を大幅に増加することができるといえる.

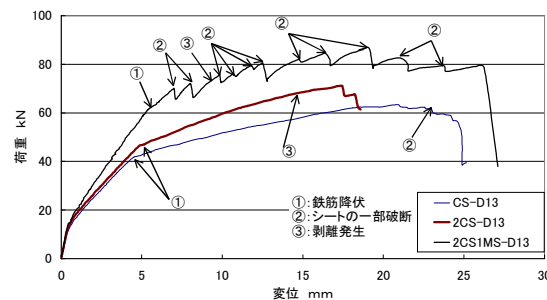


図6 荷重と変位の関係

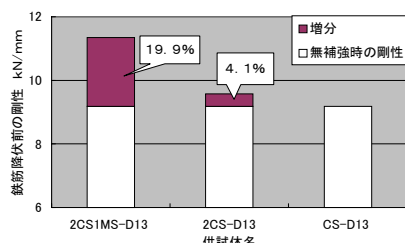


図7 鉄筋降伏荷重の遷移

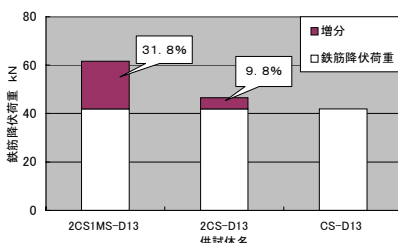


図8 鉄筋降伏前の剛性の遷移

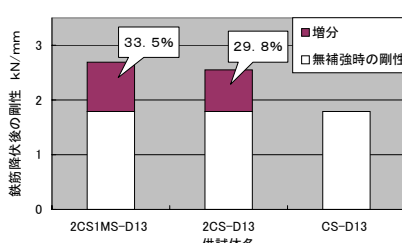


図9 鉄筋降伏後の剛性の遷移

4. 結論

FRPシートのハイブリッド化による構造部材の補強効果を本研究で検討した結果, 以下の事が明らかとなった.

- (1) 高弾性炭素繊維シートをハイブリッド化することで, 構造物の剛性と鉄筋降伏荷重の増加をさせることができた.
- (2) 補強する構造物の特性を踏まえて適切なハイブリッド化設計を行うことで, 構造物の剛性、鉄筋降伏荷重を総合的に向上することができた.