

ハイブリッド型繊維補強コンクリートの破壊力学特性

東京工業大学大学院 学生会員 ○児玉 亘
東京工業大学大学院 学生会員 大寺 一清
東京工業大学大学院 フェロー 二羽淳一郎

1. はじめに

本研究では，単一種類の繊維を混入した短繊維補強コンクリート，および鋼繊維と合成繊維を混入したハイブリッド型繊維補強コンクリート(HFRC)の破壊力学特性を検討するために，切欠きはりの3点曲げ試験を行った．

2. 実験概要

本研究で使用した短繊維の物性値，およびコンクリートの配合を表-1,表-2に示す．使用した繊維は鋼繊維(ST)，ビニロン繊維(PVA)およびポリプロピレン繊維(PP)の3種類である．実験では，(1)繊維なし，(2)各繊維を単体で0.5,1.0,1.5%混入，および(3)HFRC(鋼繊維+合成繊維)において繊維を0.5,1.0,1.5%ずつ混入，の計16種類のコンクリートを用意した．図-1に示すように，破壊力学特性値の測定にはJCI(日本コンクリート工学協会)基準JCI-S-001-2003およびJCI-S-002-2003に準拠した破壊エネルギー測定試験を行った．

3. 実験結果

3.1 各繊維を単体で用いた場合の破壊エネルギー

図-2に，繊維混入率と破壊エネルギーの基本値 G_{F0} の関係を示す．破壊エネルギー G_F および G_{F0} は式(1)，(2)により算出した．

$$G_F = (W_0 + mgd_0) / A_{lig} \quad (1)$$

$$G_{F0} = G_F (f'_c / f_{cmo})^{-0.7} \quad (2)$$

ここで， W_0 ：実測された荷重-変位曲線下の面積， mg ：両支点間の試験体重量， d_0 ：終局時の載荷点変位， A_{lig} ：リガメント部の面積， f'_c ：コンクリートの圧縮強度， f_{cmo} ：定数(=10MPa)である．

図-2に示されるように，繊維混入率の増加とともに破壊エネルギーは大きくなる．その効果はST，PVA，PPの順であり，短繊維の強度に依存している．しかし，鋼繊維を単体で混入した場合，ST1.0%とST1.5%の破壊エネルギーに大きな差は見られない．これは，鋼繊維は合成繊維に比べ，強度・曲げ剛性が高いため，スナッピング(snubbing)による応力集中によってマトリクスがぜい性的に破砕したことが原因であると考えられる．スナッピングとは，ひび割れ面に対して繊維が傾斜して介在している時に，ひび割れ面付近にお

表-1 短繊維の物性値

短繊維種類	ST	PVA	PP
密度 (kg/m ³)	7.85	1.3	0.91
引張強度 (MPa)	1000	861	465
ヤング係数 (GPa)	210	23	15
繊維長 (mm)	30		

表-2 示方配合

最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
20	55	50	182	332	884	887

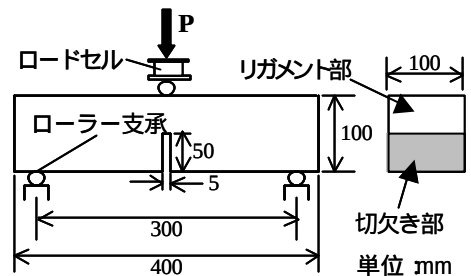


図-1 破壊エネルギー測定試験体

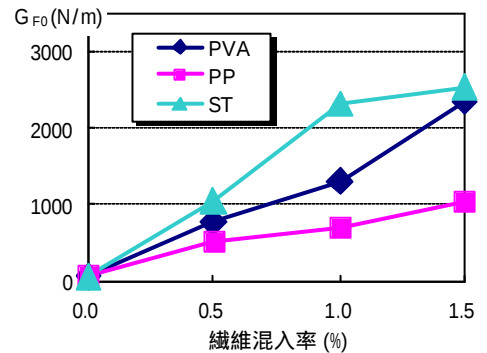


図-2 繊維混入率と G_{F0} の関係



写真-1 ST1.5%のひび割れ状況

キーワード 短繊維補強，ハイブリッド，鋼繊維，合成繊維，破壊エネルギー

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL：03-5734-2584 FAX：03-5734-3577

いて、繊維がマトリクスを引き抜こうとすることにより、架橋力が増大する現象である¹⁾。写真-1にST1.5%試験体のリガメント部のひび割れ発生状況を示す。非常に大きなひび割れが発生し、スナッピングによるマトリクスの破砕が確認できる。

3.2 HFRC の破壊力学特性

前項では、鋼繊維の強度・曲げ剛性が高いため、スナッピングによりマトリクスのぜい性的な破砕がみられた。短繊維補強コンクリートでは、複数の微細なひび割れが発生し、ひび割れが分散した方が好ましい。そこで、マトリクス中に複数のひび割れ形成を誘引し、かつ鋼繊維の持つ性能をより引き出すために、合成繊維を混入することにより鋼繊維の周りのマトリクスの挙動を改善することとした。すなわち、鋼繊維と合成繊維によるハイブリッド型繊維補強を試みた¹⁾。

図-3に、鋼繊維と合成繊維をそれぞれ0.5, 1.0, 1.5%ずつ混入した試験体の繊維混入率と G_{F0} の関係を示す。図-3よりHFRCのケースにおいても繊維混入率の増加とともに破壊エネルギーが増加した。繊維混入率が1.5%ずつになると鋼繊維を1.5%混入した場合よりも G_{F0} が大きくなり、鋼繊維混入率0.5, 1.0%とほぼ線形の関係となる値まで G_{F0} が向上している。したがって、合成繊維の混入により鋼繊維の性能が十分に発揮されていると考えられる。それに対して、繊維混入率が0.5%, 1.0%ずつのケースでは、合成繊維を混入したことによる効果はほとんど現れていない。このことから、鋼繊維混入率1.0%程度までは、鋼繊維のみによって、その性能が十分に発揮されているといえる。

図-4に鋼繊維1.5%, 合成繊維1.5%, 両者を1.5%ずつ混入した試験体の荷重-変位曲線を示す。繊維を1.5%ずつ混入したHFRCの試験体では、最大荷重に達した後も高い荷重を維持し、各繊維を単体で用いた場合に比べて高い破壊力学特性を有していることがわかる。図-4(b)に示されるPP繊維の場合、繊維を1.5%ずつ混入したケースでは、ST1.5%, PP1.5%それぞれの荷重-変位曲線を単純に足し合わせる以上の抵抗力が観察され、ハイブリッド型補強の効果が確認された。

また、図-4からわかるように、HFRCのケースにおいて、合成繊維の違いにより荷重-変位曲線に大きな差は見られない。これは、HFRCの破壊力学特性は強度・弾性係数の高い鋼繊維によって支配されているためと考えられ、混入する合成繊維は、主にスナッピングによるマトリクスの破砕を防止するために働き、強度および変形性能に与える影響は小さいといえる。つまり、単体では破壊エネルギーが最も小さかったPP繊維も、鋼繊維の効果を十分に発揮させるという目的に対しては非常に有効であると判断される。

4. まとめ

- (1) ハイブリッド型繊維補強コンクリートは、鋼繊維と合成繊維を1.5%ずつ混入することで、高い破壊力学特性を示し、鋼繊維の性能を十分に発揮させることができる。
- (2) 鋼繊維を単体で用いた場合、混入率1.0%程度までは鋼繊維の性能が十分に発揮される。

[参考文献]

- 1) 川又 篤, 三橋博三, 金子佳生, 福山 洋: ハイブリッド型繊維補強セメント系複合材料の靱性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.235-240, 2001.

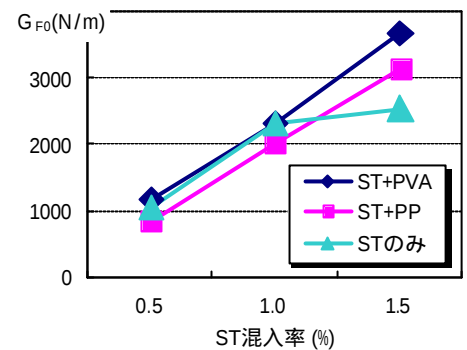
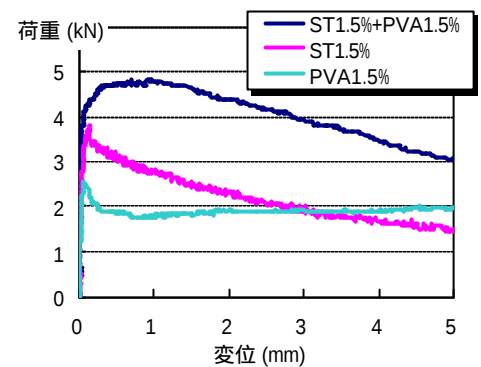
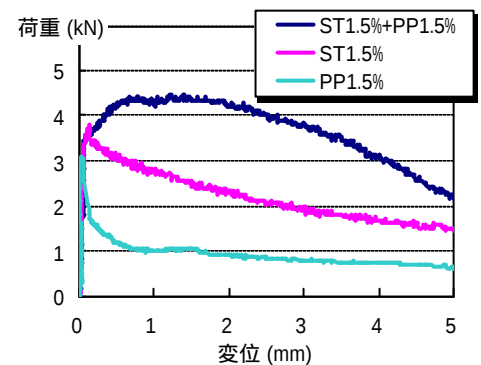


図-3 繊維混入率と G_{F0} の関係



(a) PVA繊維



(b) PP繊維

図-4 荷重 - 変位曲線