

材質の異なる有機繊維を混合した超高強度繊維補強セメント系材料の破壊エネルギー

太平洋セメント(株) 正会員 ○川口 哲生, 石田 征男, 河野 克哉, 田中 敏嗣

1. はじめに

繊維補強セメント系材料の耐荷力, 変形能力, 破壊エネルギーを向上させるには, 材質が異なる短繊維の混合利用が有効であると報告されている¹⁾. 短繊維の混合利用は, 繊維混入率の増加に伴う著しい流動性の低下を抑制するだけでなく, 安価な繊維を混合すれば, コストの削減が可能になると考えられる. また, 超高強度を発現する配合条件に有機繊維の混合利用を適用した研究例はほとんど存在していない. そこで, 本研究では, 超高強度繊維補強セメント系材料を対象に, 有機繊維の混合利用が破壊エネルギーに及ぼす影響について検討を行った.

2. 実験概要

表-1 は使用した短繊維の諸特性を示したものである. 本研究で対象とした短繊維は, ポリプロピレン繊維(以下, PP 繊維と表記)とポリビニルアルコール繊維(以下, PVA 繊維と表記)である. 繊維長は 15mm に一定として, 繊維混入率の合計が 4.0 vol.% または 6.0 vol.% になる様に PP 繊維と PVA 繊維の混合比率を設定した. これらの短繊維を用いた理由は, 一般的に市販・流通しており, 繊維単体の引張強度はそれぞれ大きく異なるが, 繊維径がほぼ等しいためである.

表-2 は配合条件を示したものである. セメント(C)は早強セメント, 砂(S)は硬質骨材(エメリー砂)と珪砂を混合したものをを用いた. 単位水量(W)を 170kg/m³, 水結合材比(W/B)を 20%に一定とした. シリカフェーム(SF)は全結合材量に対して内割で 10%置換した. 練混ぜは 20°Cの恒温室内で行い, 容量 30 リットルのオムニミキサを用いた. コンシステンシーの試験として, フロー試験(JIS R 5201, 無振動)を行った. ここでは高性能減水剤(SP)を 2.0(B×%)と一定とし

た. PVA 繊維混入率の増加に伴いフロー値が低下すると予想されたが, フロー値は 236~265mm の範囲に留まった.

圧縮強度の測定にはφ50×100mm の円柱供試体を, 破壊エネルギーの測定には切欠きを有するはり供試体を用いた²⁾. 供試体数は各水準につき 3 体である. 脱型した後, 20°Cの水中養生を行い, 材齢 14 日で各試験を実施した. なお, これらの配合は表-2 に示すように 108~127N/mm²程度の圧縮強度を示した.

図-1 は試験概要を示したものである. ここでは「切欠きはりをを用いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験方法」(JCI-S-002-2003)²⁾に従い, 切欠きを有するはりの 3 点曲げ試験を行った. 試験体は, 100×100×400 mm の角柱供試体であり, 角柱の軸方向中央部に深さ 30 mm の切欠きを設けた. 破壊エネルギー G_F は JCI-S-002-2003 に従い, (1)式を用いて算出した.

表-1 短繊維の諸特性

名称	直径 (mm)	繊維径 (mm)	アスペクト比	密度 (g/cm ³)	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (kN/mm ²)
PVA繊維	0.66	15.0	22.7	1.30	900	230
PP繊維	0.70	15.0	21.4	0.91	465	15

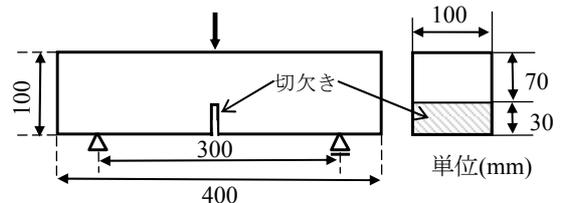


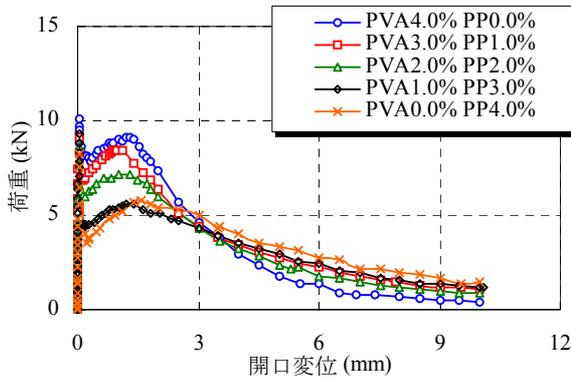
図-1 切欠きはりの 3 点曲げ試験

表-2 配合条件

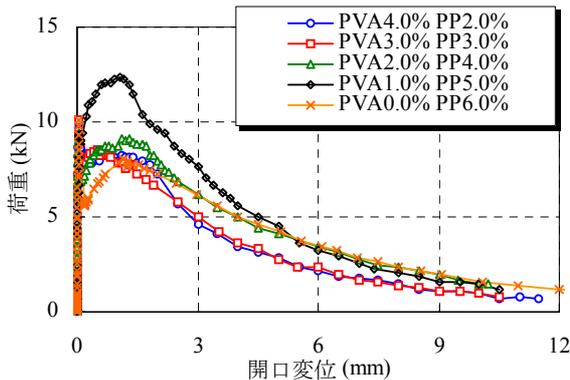
配合名	配合条件						フレッシュ性状		強度性状		
	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)					フロー値 (無振動) (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	破壊エネルギー (N/mm)		
		W	C	SF	S	SP (B×%)					
PVA0% PP6.0%	20	170	765	85	680	2.0	0.0	6.0	248	108.7	5.1
PVA1.0% PP5.0%							1.0	5.0	246	118.0	6.1
PVA2.0% PP4.0%							2.0	4.0	247	113.7	4.6
PVA3.0% PP3.0%							3.0	3.0	240	123.0	4.5
PVA4.0% PP2.0%							4.0	2.0	236	111.0	4.1
PVA0% PP4.0%							0.0	4.0	260	109.0	4.1
PVA1.0% PP3.0%							1.0	3.0	260	111.0	3.9
PVA2.0% PP2.0%							2.0	2.0	265	127.0	3.9
PVA3.0% PP1.0%							3.0	1.0	258	121.3	4.0
PVA4.0% PP0%							4.0	0.0	254	122.7	3.7

キーワード 短繊維補強, PVA 繊維, PP 繊維, 超高強度, 破壊エネルギー

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント株式会社 中央研究所 TEL043-498-3902



(a) 繊維混入率の合計 4.0 vol.%



(b) 繊維混入率の合計 6.0 vol.%

図-2 荷重-開口変位関係

$$G_F = (0.75W_0 + W_1) / A_{lig} \quad (\text{N/mm}) \quad (1)$$

ここで、 W_0 ：荷重-開口変位曲線下の面積(N・mm)，
 W_1 ：供試体の自重および載荷治具がなす仕事(N・mm)，
 A_{lig} ：はり破断部分面積(mm²)

なお、開口変位が 10mm に達した時点で破断したものと仮定して計算した。

3. 実験結果

図-2 は実験から得られた荷重-開口変位関係を示したものであり、図-2(a)は繊維混入率の合計が 4.0% のシリーズ、図-2(b)繊維混入率の合計が 6.0% のシリーズを示している。図-2(a) では、各ケースとも 2 つのピークが存在した。つまり、母材マトリックスに初期ひび割れが生じて荷重が急激に低下する点(1次ピーク)と初期ひび割れ発生後に荷重が漸増したあと軟化に転じる点(2次ピーク)である。また、開口変位が 3.0mm 以下の領域では、PVA 繊維の混入率が増加すると、2次ピーク荷重が増大することが確認された。また、開口変位が 3.0mm 以上の領域では、PP 繊維混入率の増加に伴い、変形能力が増大していることが確認された。つまり、PVA 繊維の混入は耐荷力の向上、PP 繊維は変形能力の向上に有効であると考えられる。図-2(b)において、PVA1.0% PP5.0%以外のケースでは、図-2(a)と同様に荷重-開口変位に 2 つのピークが存在した。

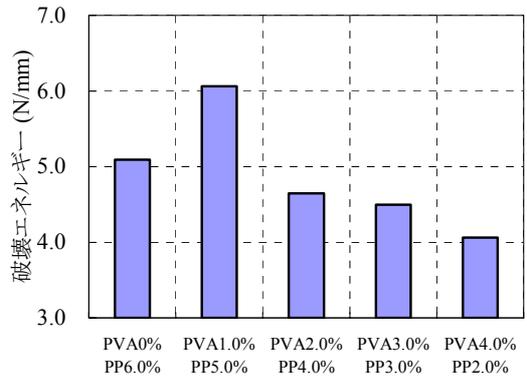


図-3 破壊エネルギー(繊維混入率の合計:6.0%)

しかし、PVA1.0% PP5.0%では初期ひび割れが発生した後も荷重は増大しており、短繊維の混合比率によっては、ひずみ硬化型の挙動を示すことが確認された。

図-3 は繊維混入率の合計が 6.0%のシリーズにおける破壊エネルギーを示したものである。繊維混入率の合計が 4.0%のシリーズにおける破壊エネルギーは、表-2 に示すように、3.7~4.0N/mm となり、繊維の混合比率にかかわらずほぼ一定の値となった。しかし、図-3 に示す繊維混入率の合計が 6.0%のシリーズでは、PVA1.0% PP5.0%の破壊エネルギーが最大になることが確認された。これは、PVA 繊維による耐荷力向上と、PP 繊維による変形能力向上が、同時に発現したためと考えられる。以上より、材質の異なる短繊維の混合利用により破壊エネルギーを向上させるためには、特定量以上の短繊維混入が必要なことと、破壊エネルギーを最大化する短繊維の混合比率が存在することが確認された。

4. まとめ

- (1) 繊維の混合使用において、混入率の合計が 4.0%のシリーズでは、PVA 繊維混入率を増大させると、ポストピーク領域における耐荷力が向上することを確認した。また、PP 繊維混入率増大により変形能力が向上することを確認した。
- (2) 繊維混入率の合計が 4.0%になるシリーズでは、破壊エネルギーが最大となる繊維の組合せは存在しなかった。しかし、繊維混入率の合計が 6.0%になるシリーズでは、破壊エネルギーが最大となる繊維の組合せ(混合比率)が存在した。

参考文献

- 1) 松沢晃一, 橘高義典, 田村雅紀:ハイブリッド型短繊維補強コンクリートの破壊特性に及ぼす繊維種類の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.333-338, 2004.7.
- 2) http://www.jci-web.jp/jci_standard/kitsutaka_dl.htm