

高温下におけるハイブリッド繊維補強高強度コンクリートの曲げ破壊靱性

北海道大学大学院 学生員 ○門田 徹
 北海道大学大学院 学生員 渡辺 一郎
 北海道大学大学院 正会員 堀口 敬

1. はじめに

高温環境下において高強度コンクリートは、普通強度コンクリートと比べ脆性的な破壊挙動を示すことが知られている。特に、曲げ破壊挙動に関する研究例は極めて少なく、早急な検討が求められている。

本研究では、耐火性能の向上を目的とし高強度コンクリートに有機繊維と鋼繊維による繊維補強を施したハイブリッド繊維補強高強度コンクリートについて、実験的検討を行った。実験は、冷間条件および熱間条件における破壊エネルギー試験を実施し、高温加熱条件の違いが曲げ破壊挙動に与える影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体作製方法

配合を表-1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は豊浦産川砂(比重:2.70)、粗骨材は石狩産 6 号砕石(比重:2.62)、混和剤はポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を使用した。混入繊維は予備実験で有効性の確認された $\phi 0.018 \times 6\text{mm}$ のポリプロピレン短繊維、 $\phi 0.60 \times 30\text{mm}$ の鋼繊維および $\phi 0.16 \times 13\text{mm}$ の鋼繊維を使用した。型枠には $100 \times 100 \times 900\text{mm}$ の角柱型枠を使用した。硬化後、材齢 28 日まで水中養生を行った。養生終了後、破壊エネルギー試験のために、供試体中央に深さ 30mm、幅 4mm の人工切欠きを設けた。

2.2 破壊エネルギー試験

破壊エネルギー試験は JCI 規準に準拠し、変位制御により鉛直変位速度を 0.1mm/min として载荷する 3 点曲げ試験とした。計測項目は载荷荷重(P)および鉛直変位(LPD)とした。曲げ試験装置および各計測位置を、図-1 に示す。破壊エネルギー G_F は、JCI 規準に準拠し式(1)を用いて算出した。また、鋼繊維補強コンクリートはポストピーク領域においても破断せず荷重を支持し続けるため、鉛直変位 1.5mm までの算出とした。

$$G_F^{LPD} = (W_0 + W) / A_{lig} \quad (1)$$

$$W_1 = (S/L \cdot m_1 + 2m_2)g \cdot LPD_c$$

ここに、 G_F^{LPD} : 破壊エネルギー(N/m), W_0 : 供試体が破断するまでの荷重-鉛直変位曲線下の面積(N・mm), W_1 : 供試体の自重および载荷治具がなす仕事(N・mm), A_{lig} : リガメントの面積(mm^2), m_1 : 供試体の質量(kg), S : 载荷スパン(mm), L : 供試体の全長(mm), m_2 : 試験機に取付けられておらず、破断するまで供試体に乗っている治具の質量(kg), g : 重力加速度 $9.807(\text{m/s}^2)$, LPD_c : 破断時の鉛直変位 1.5(mm),

2.3 加熱方法および加熱履歴

加熱位置は供試体中央の切欠き上部を左右両面とした。

表-1 供試体の配合

Series	W/C (%)	s/a (%)	Fibre volume (%)			SPAЕ (%×C)	f _c (MPa)
			Polypropylene	Steel			
				S30	S13		
Plain	30	50	-	-	-	80.1	
HY1			0.1	0.5		0.9	75.9
HY2				0.4			0.1

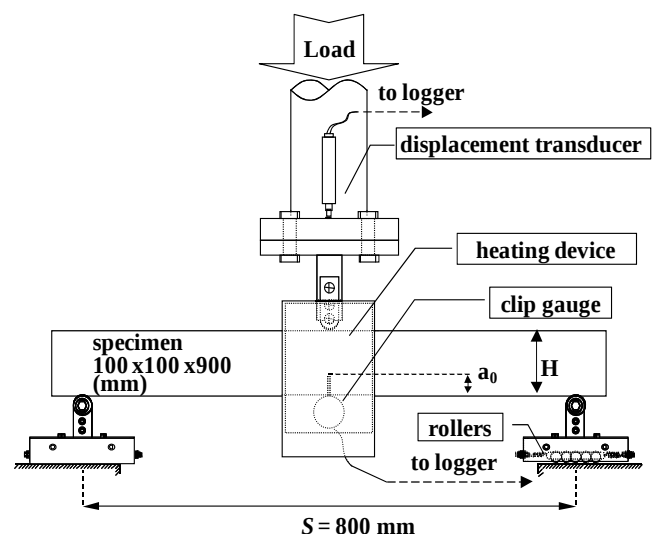


図-1 破壊エネルギー試験装置の概要

Keywords: 高温, 高強度コンクリート, 耐火性能, ハイブリッド繊維補強, 破壊靱性,

連絡先: 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学工学研究科 A-453 Tel: 011-706-6180

加熱履歴は20℃/minで昇温させ、200、400および600℃で2時間保持する設定とした。設定温度保持後、冷間試験および熱間試験と区別した破壊エネルギー試験を実施した。冷間試験は室温まで自然冷却した状態で、熱間試験は加熱されている状態でそれぞれ実施した。

3. 試験結果および考察

3.1 冷間試験および熱間試験における曲げ強度

冷間試験および熱間試験について、曲げ強度比と加熱温度の関係を、それぞれ図-2と図-3に示す。これらによれば、HY（ハイブリッド繊維補強）はPlain（繊維無混入）と比べて、冷間試験および熱間試験において高い曲げ強度を確保することを確認した。これは、鋼繊維補強により曲げ変形に対し抵抗し、さらに、コンクリート内部のクラックの発生を抑制するためと考えられる。

3.2 曲げ弾性係数および圧縮試験による静弾性係数と加熱温度の関係

ミラノ工科大学のColomboによる各種試験より評価した弾性係数¹⁾および本研究におけるHY1(冷間試験)より評価した曲げ弾性係数と加熱温度の関係を、図-4に示す。これによれば、400℃および600℃における既往研究と本研究のHY1の曲げ弾性係数は、概ね一致することが認められた。また、圧縮試験により評価した静弾性係数と比べて本研究の曲げ弾性係数は、加熱温度の上昇に伴い急激に低下することを確認した。静弾性係数と比較して、曲げ弾性係数は高温加熱の影響を受けやすく、高温下における曲げ剛性を検討する際には曲げ弾性係数の変化に対する考慮が必要であると考えられる。

3.3 冷間試験および熱間試験における破壊エネルギー

冷間試験および熱間試験について、鉛直変位により求めた破壊エネルギーと加熱温度の関係を、それぞれ図-5と図-6に示す。全ての配合において加熱温度の上昇に伴い破壊エネルギーが低下する傾向を示した。Plainと比べHYでは、各設定加熱温度における冷間試験および熱間試験で高い破壊エネルギーを確保することが確認された。

また、熱間試験の様な高温環境下においてもHY1はHY2と比べて高い破壊エネルギーを有することが認められた。これは、鋼繊維の形状の違いによる引き抜き抵抗が大きく影響し、直線的な形状の鋼繊維(S13)と比べて、より引き抜き抵抗の高い鋼繊維(S30)が有効に働いたためと考えられる。したがって、熱間試験において比較的長い鋼繊維による補強が、破壊靱性の確保に有効であることが示された。

4. 結論

(1)冷間試験および熱間試験において、鋼繊維補強は高強度コンクリートの曲げ強度の確保に有効である。(2)曲げ弾性係数は高温加熱の影響を受けやすく、高温環境を想定した設計をする際には考慮が必要である。(3)高温下における破壊靱性の確保には、鋼繊維補強が有効である。

参考文献

- 1) Matteo Colombo, "FRC Bending Behaviour: A Damage Model for High Temperatures" PhD Thesis, Politecnico di Milano, 2006, pp.69-86

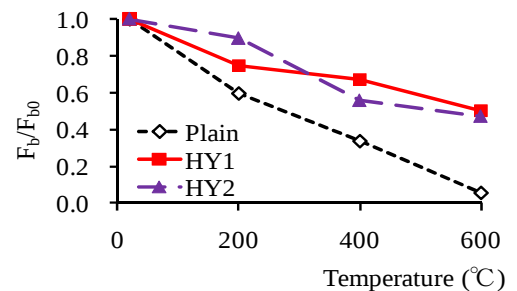


図-2 曲げ強度比と加熱温度（冷間試験）

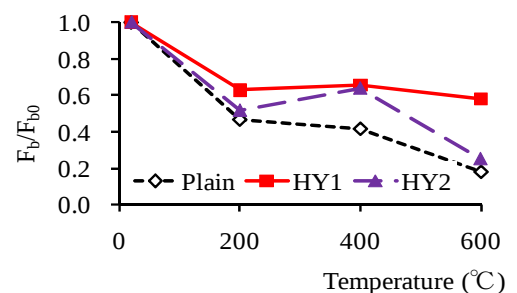


図-3 曲げ強度比と加熱温度（熱間試験）

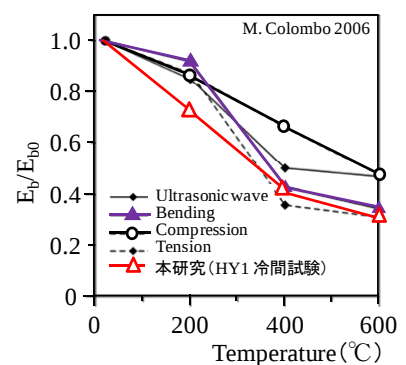


図-4 Colombo による弾性係数と加熱温度の関係¹⁾

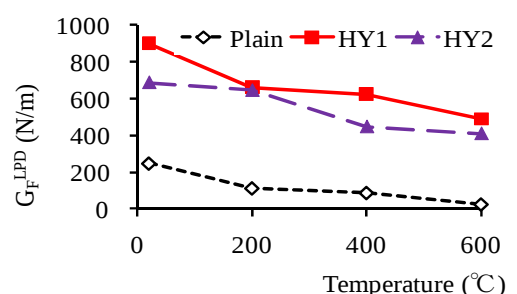


図-5 破壊エネルギーと加熱温度（冷間試験）

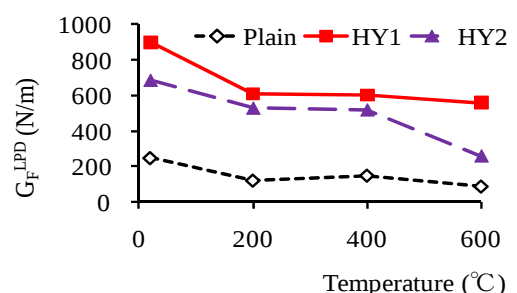


図-6 破壊エネルギーと加熱温度（熱間試験）