

繊維混入率を2.5%とした繊維補強無孔性コンクリートの力学特性

金沢大学 正会員 ○柳田 龍平
金沢大学 非会員 前島 充稀

太平洋セメント(株) 正会員 小亀 大佑
太平洋セメント(株) 正会員 安田 瑛紀
太平洋セメント(株) 正会員 河野 克哉

1. はじめに

流込み成形が可能なコンクリートとしては最大の圧縮強度を達成可能な繊維補強無孔性コンクリート(PFC)の引張軟化特性は、鋼繊維混入率を1.0から2.0vol.%まで大きくすることで向上することが明らかになっている¹⁾。PFCを異なる繊維で補強した場合、あるいはより大きな繊維混入率で補強した場合の力学特性が明らかとなることで、PFC部材の合理的な設計が可能となり、その構造利用可能性が高まると考えられる。一方、その破壊力学特性に関する詳細な検討は未だ限られている。そこで本研究では、鋼あるいは耐腐食性を有するステンレス短繊維をコンクリート体積に対して2.5%混入したPFCの力学特性を明らかにするため、各種材料試験を行った。

2. 実験概要

セメント系材料の繊維補強効果は主としてひび割れ発生後に現れるため、繊維補強PFCのポストピークの圧縮応力-ひずみ関係ならびに引張軟化曲線からその繊維補強効果を明らかにすることとした。そこで、繊維混入率が2.5vol.%(外割)の鋼またはステンレス繊維補強PFC供試体に対し繰返し圧縮試験と切欠きはりの3点曲げ試験を行った。

表1 配合

W/B (%)	単位量(kg/m ³)					補強繊維
	W	B	S	SP	DF	
15	199	1327	933	B×2.8%	B×0.02%	2.5vol.% (外割)

表2 短繊維の物性

種類	略号	物性
ステンレス	SUS	φ0.3×15mm, 引張強度0.6kN/mm ² 引張弾性率193kN/mm ²
鋼	STE	φ0.2×15mm, 引張強度2.8kN/mm ² 引張弾性率200kN/mm ²

表3 圧縮強度とヤング係数

種類	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
SUS2.5	330	58.3
STE2.5	328	57.1

繰返し圧縮試験には容量1000kNの万能試験機を用い、供試体は直径50mm×高さ100mmの円柱供試体とした。載荷中は載荷軸方向の供試体全体の変位を計測し、それを供試体の元の高さで除すことで圧縮ひずみとした。また、切り欠きはりの3点曲げ試験は容量100kNの変位制御式試験機を用いてJCI-S-002-2003に準じて行い、得られた荷重-たわみ関係から引張軟化曲線を推定した。なお、両試験の試験方法は繊維混入率を2.0vol.%とした既往の研究²⁾と同一としたため、その詳細については既報を参照されたい。

繊維補強PFCの使用材料は、プレミックス結合材(B)、高強度砂(S)、高性能減水剤(SP)、消泡剤(DF)ならびに鋼繊維またはステンレス繊維である。その配合を表1に、用いた繊維の物性を表2に示す。短繊維は、繊維長が同一の鋼繊維あるいはステンレス繊維をコンクリート体積に対して外割で2.5%混入した。繊維の配向性が力学特性に与える影響を小さくするため、90秒フローが250~262mm程度の同等の流動性であることを確認し、全て一方向からの流込み成形とした。打込み後は封緘養生ののち、試験体内部に水を供給する脱気吸水処理を30分、その後、90℃の蒸気養生を48時間、180℃の加熱養生を48時間順に行った。

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度とヤング係数

各水準の圧縮強度とヤング係数の平均値を表3に示す。以下、鋼繊維ならびにステンレス繊維を2.5vol.%混入したPFCをSTE2.5ならびにSUS2.5と称する。表3より、PFCの繊維混入率を2.5vol.%とした場合であっても極めて高い圧縮強度とヤング係数を示すことが確認された。

3.2 ポストピークの圧縮特性

繰返し圧縮試験によって得られた圧縮応力-ひずみ関係を図1に示す。なお、圧縮強度315N/mm²、ヤング係数64.2N/mm²であった、鋼繊維を2.0vol.%混入したPFC(STE2.0)の結果を併記しており、その結果は包絡線として表示している。図1から、補強繊維の種類にかかわらず、圧縮強度以降の応力低下域まで繰返し圧縮試験を継続でき

キーワード 繊維補強無孔性コンクリート(PFC)、繊維混入率2.5%、引張軟化特性、圧縮じん性

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学 理工研究域地球社会基盤学系 柳田龍平 TEL076-234-4619

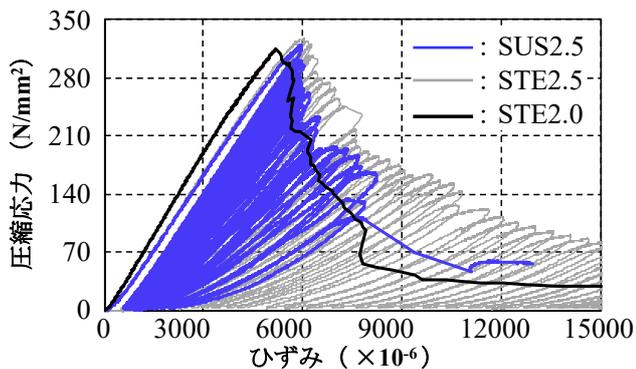


図1 圧縮応力-ひずみ関係

た。そのポストピークの応力低下挙動に着目すると、その全体的な低下の勾配はSUS2.5がSTE2.0と同程度となった。このため、ステンレス繊維を用いる場合はその混入率を2.5vol.%とすることで鋼繊維を2.0 vol.%混入した場合と概ね同等の圧縮特性を發揮できるといえる。また、全体的な軟化の勾配はSTE2.5が最も緩やかでじん性に富んだ挙動を示しており、特に最大荷重点から200N/mm²まで応力が低下する際の初期軟化挙動に着目すると、SUS2.5またはSTE2.0ではひずみの増大を伴わずに応力が急激に低下するのに対し、STE2.5ではひずみの増大とともに徐々に応力低下した。したがって、繊維混入率を2.0 vol.%から2.5 vol.%に増大することで、圧縮破壊に伴う急激な圧縮軟化を抑制する効果が發揮されたものと考えられる。

3.3 引張軟化特性

得られた引張軟化曲線を図2に示す。なお、曲げ試験の試験体数はそれぞれ4体としたため、それぞれの結果の平均となる曲線をもとに軟化曲線を算出して示している。また、曲げ試験は荷重が0kNになるまで継続していないため、引張軟化曲線では最終的に線形的に応力が低下すると仮定し、応力0点でのひび割れ幅を推定して示している。

結果、繊維種別と混入率に関わらず、どの水準もひび割れの開口に伴う一時的な応力低下を示したのち、繊維架橋効果の発現に伴って応力が増大して応力平坦部を形成し、最終的に徐々に応力低下する挙動を示した。一方、応力平坦部における引張応力は繊維種別と混入率で異なり、STE2.5で8.40N/mm²、STE2.0で7.84N/mm²ならびにSUS2.5で6.89N/mm²となった。最終的な軟化の勾配に着目すると、鋼繊維を用いたSTEシリーズはほとんど同等であった。また、SUS2.5ではSTEシリーズに比べてやや急な勾配で引張応力が低下しているものの、ひび割れ幅が4mmを超えるような大きな変形性能を有することがわかる。

曲げ試験終了後のひび割れ断面において短繊維の破断は

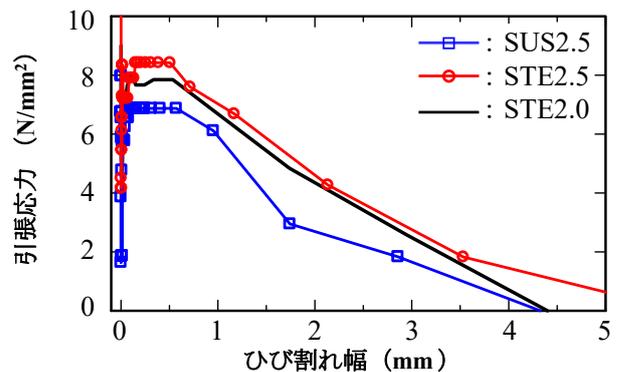


図2 引張軟化曲線

認められなかったが、ステンレス繊維については繊維が一部塑性変形していたため、STEシリーズでは繊維の引抜けに伴って、SUS2.5では繊維の引抜けと塑性変形に伴って引張応力が0まで徐々に低下するものと考えられる。また、ステンレス繊維の引張強度が鋼繊維の0.21倍と低いために塑性変形が生じたものと考えられるが、降伏した繊維単体の延性に富む性質が發揮され、それにより引張に対してじん性に富む挙動を示したものと考えられる。

4. 結論

繊維混入率を2.5vol.%と大きくした鋼またはステンレス繊維補強無孔性コンクリート(PFC)の圧縮・引張に対する力学特性を明らかにした。以下に結論を示す。

- (1) PFCはその繊維混入率を2.5%とした場合であっても、330N/mm²程度の高い圧縮強度を達成できる。
- (2) ステンレス繊維を2.5 vol.%混入したPFCの圧縮特性は鋼繊維を2.0 vol.%混入した場合と同等程度となった。鋼繊維を2.5 vol.%混入することで、PFCの圧壊直後の脆的な軟化を抑制できる可能性があることを明らかにした。
- (3) ステンレス繊維を2.5 vol.%混入したPFCは、ひび割れ発生後も6.89N/mm²と大きな引張強度を保持し、最終的には繊維の降伏を伴いながら大きく変形するじん性に富む挙動となることを明らかにした。

参考文献

- 1) 柳田龍平, 中村拓郎, 河野克哉, 二羽淳一郎: 圧縮強度400N/mm²の最密充填マトリクスを有する繊維補強コンクリートの力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.279-284, 2016.
- 2) 柳田龍平, 中村拓郎, 河野克哉, 二羽淳一郎: 鋼繊維で補強した無孔性コンクリートの圧縮・引張に対する力学モデル, 土木学会論文集(材料・コンクリート構造), Vol.74, No.1, pp.10-20, 2018.1