

鋼繊維補強コンクリートの引張軟化特性

鉄建建設(株) 正会員 松尾庄二 鉄建建設(株) 正会員 松岡 茂
鉄建建設(株) 正会員 益田彰久 鉄建建設(株) 正会員 飯島正和

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリート（SFRC）はひび割れに対する抵抗力が大きく、またひび割れ発生後も大きな変形性能を有している。このようなSFRCの性質を表現するものは引張軟化曲線である。引張軟化曲線は直接引張試験により求めることができるが、試験自体が難しく特別の装置を必要とするため報告例（例えば文献¹⁾）はさほど多くない。本研究においては、直接引張試験の結果を利用し4点曲げ試験の結果との比較を行った。

2. 残留強度率

図-1にSFRCにおける直接引張試験結果の一例を示す。試験は既報²⁾にて述べた方法によって行った。図から明らかなように、最大荷重到達後ひび割れの発生により荷重は急激に低下する。しかし、ある点（図中ではA点）に達すると荷重低下の度合いすなわち引張軟化曲線の勾配が明確に変化する。A点以降の応力軟化過程はSFRCの特徴でありまたその性質を決定するものである。この過程は鋼繊維による応力伝達作用によりもたらされる。以後、勾配変化点の引張応力度を残留強度、また、最大引張応力度に対する残留強度の比率を残留強度率と称する。

3. 圧縮強度との関係

SFRCの直接引張試験結果より得られた、残留強度率と圧縮強度との関係を図-2に示す。試験に用いた鋼繊維は繊維長30mmで表面がインデント加工されたものである。残留強度率は圧縮強度とはほとんど関係なくほぼ一定の範囲に収まるのに対し、鋼繊維混入率によっては多少の変動が見られる。すなわち、鋼繊維混入率が1.0%および1.5%の場合、残留強度率の平均は0.54および0.57と顕著な違いは見られないのに対し、混入率0.5%の場合は0.31で6割弱の値を示すにすぎない。曲げ試験において、混入率0.5%の試験結果を混入率1.0%以上の場合と比較すると、最大荷重以降の荷重の低下率は大きく耐力も小さい。以上のことを考えると、残留強度率あるいは残留強度はSFRCの引張軟化において、無視できない要素である。

4. 引張軟化特性

NANAKORN³⁾は、4点曲げ試験の結果より引張軟化曲線を逆算する方法を提案した。その中で曲げ試験より得られた荷重（曲げモーメント）—開口変位曲線の勾配 β と、直接引張試験より得られた引張軟化曲線の勾配 λ との関係を論じている。ここで β は最大曲げモーメントと開口変位が1mmに達した時の曲げモーメントとの傾きであり、 λ は引張軟化曲線の残留強度以降の傾きを表している。この方法に従って我々の実験結果

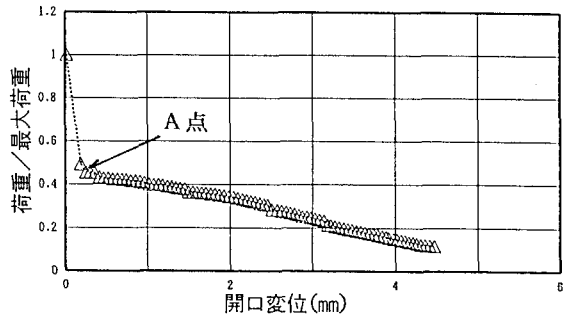


図-1 直接引張試験結果

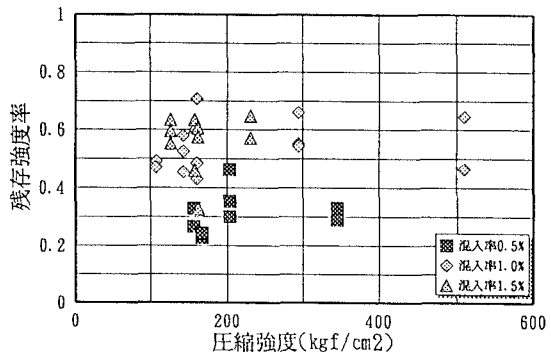
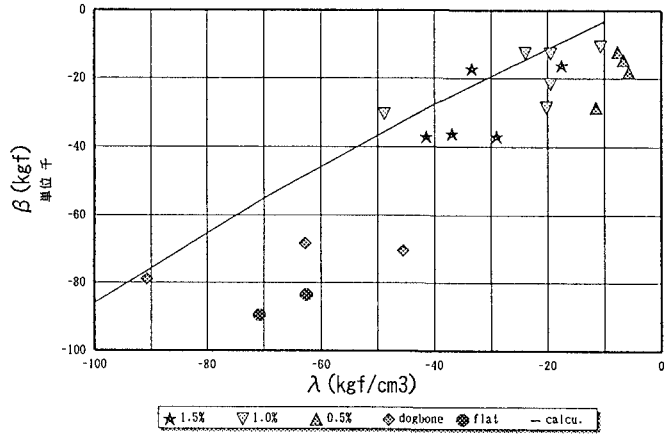


図-2 残留強度率—圧縮強度

（直接引張試験および15cm角曲げ試験）を整理したものが図-3である。実験に使用した鋼繊維は、前章で述べたインデントタイプの他に比較的フラットなタイプの繊維およびドッグボーンタイプの繊維を用いた。凡例中のcalcu.は参考文献¹⁾に示すFEM計算（計算条件としてはインデントタイプ、混入率1.0%を前提としている）の結果をプロットしたものであり、実験結果と一致している。図より、 β と λ の間には何らかの相関関係が存在する。ただし、 β の範囲により2つのグループに分かれることがわかる。インデントタイプは比較的 β の絶対値が小さい、すなわち最大荷重からの落ち込みが少ない。このことは、ひび割れ幅が1mmに達してもなお、鋼繊維により伝達される荷重が大きく変形に対する抵抗性が高いことを意味する。これに対してフラットタイプおよびドッグボーンタイプは β の絶対値が大きく、また λ の絶対値も大きい。この種の鋼繊維補強コンクリートはピーク以降の強度低下が急速に進行するため、補強効果が小さいといえる。この両グループの相違点としては表面形状の違いが挙げられる。この β 、 λ の違いはコンクリートマトリアルからの繊維の抜け出しに関係すると考えられる。

図-3 $\beta - \lambda$

インデントタイプのみに注目すると、鋼繊維混入率が小さいほど λ の絶対値が小さくなっている。これは混入率が小さいほど残留強度率が小さく、そのため残留強度以降の勾配が緩くなるためと考えた。

5. まとめ

本研究により以下の結論が得られた。

- ①引張軟化曲線の勾配 λ は、鋼繊維混入率により変化する。
- ②荷重-開口変位曲線の勾配 β は鋼繊維の種類、表面形状により異なる。
- ③ λ と β の間には相関関係がある。

本研究における曲げ試験供試体の部材寸法は15cm×15cm×53cm（スパン45cm）のみである。部材寸法が大きくなると、同一の λ に対する β の絶対値は大きくなる。すなわち、ピーク以降の荷重は部材寸法が大きいほど速やかに低下し変形も急速に進行する。 λ の絶対値が大きい繊維による補強コンクリート²⁾は β の絶対値より大きいため急激に破壊にいたる。

今後はこのような寸法効果の問題も含めてより詳細な検討を行うとともに、実構造物に相当する軸力介在下の曲げの問題についても検討していく必要がある。

〔参考文献〕

- 1) Y. Wang, V. C. Li, and S. Backer : Experimental Determination of Tensile Behavior of Fiber Reinforced Concrete, ACI Material Journal, V. 87, No. 5, September-October 1990
- 2) 松尾、松岡、大八木、竹内：アモルファス繊維補強コンクリートの破壊性状、土木学会第48回年次学術講演会、講演概要集第5部、pp. 292-293, 1993
- 3) P. Nanakorn : Fracture Mechanics Based Design Method of SFRC Tunnel Lining, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, December, 1993
- 4) 益田、松岡、松尾：鋼繊維補強コンクリートの軟化特性を考慮したFEM解析、土木学会第49回年次学術講演会投稿中