

V-131

鋼繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状に関する一考察

鉄建建設㈱ 正員 益田 彰久
 鉄建建設㈱ 正員 松岡 茂
 鉄建建設㈱ 正員 大八木 崇
 鉄建建設㈱ 正員 松尾 庄二

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリート（SFRC）は、ひび割れが発生した後も引張力を保持しているためブレンコンクリートのように急激に断面耐力が低下することはない。そこで本研究ではSFRC部材の引張破壊性状を確認するため純引張試験を行い、その成果を基にひび割れ幅と引張応力の関係に着目し引張軟化曲線を提案した。さらにその妥当性を確認するため、参考文献¹⁾に準拠して行った15cm×15cm×53cm（15cm角）及び40cm×40cm×150cm（40cm角）供試体（鋼繊維混入率1.0%）の曲げ試験結果を引張軟化曲線を使用した計算でシミュレートしたので、その結果について報告する。

2. 純引張試験

純引張試験は文献²⁾を参考に、ユニバーサルジョイントでシャフトに連結された厚さ50mmのアタッチメント鋼板に供試体を接着し、変位制御により引張荷重を載荷する方法で行った。供試体寸法は10cm×10cm×30cm（10cm角）、鋼繊維混入率は1.0%とした。ひび割れ面をはさんでクリップゲージを配置することによりひび割れ開口幅を測定、また引張荷重を測定することにより引張応力を求め両者の関係を求めた。この計測データの分散状況を図-1に示す。

引張応力が最大値に達するとその後応力は急激に低下するが、ある応力レベルに達するとひび割れ幅が進行しても応力は大きな減少を示さない領域が認められる。さらにひび割れが進行すると応力はまた急な減少を始めるが、ひび割れ進行と共にX軸に漸近する曲線を描く。以上の特徴を基に実験値から推定した引張軟化曲線を図-1に示す。この引張軟化曲線を定義づける要素として①最大引張応力 σ_{tmax} ②最大引張応力から応力一定レベル σ_{tflat} に減少

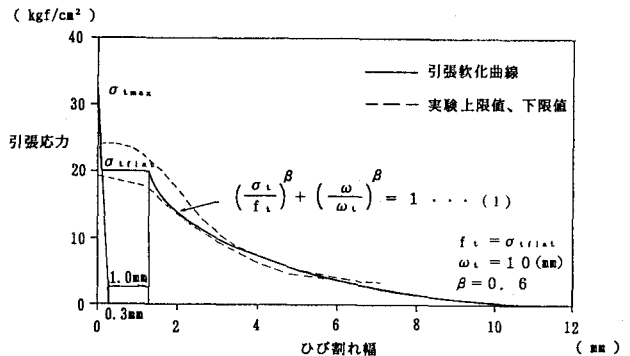


図-1：ひび割れ幅－引張応力曲線及び引張軟化曲線

するときの勾配及び減少率 $\sigma_{tflat} / \sigma_{tmax}$ ③応力フラット領域④応力0に達するひび割れ幅及び引張力の低減率を表す図-1中の式(1)の係数 β 、があげられる。

3. 曲げ試験のシミュレーション

曲げ試験はスパン3等分点への2点載荷で行い、載荷方法は変位制御とした。変位量として載荷点直下のたわみ量を測定した。このたわみ量 δ は堀井ら³⁾によれば次式で表される。

$$\delta = \frac{5}{324} \frac{PL^3}{EI} + \frac{1}{6} \Delta \lambda L \quad \dots (2)$$

ここで、第1項は弾性変位量、第2項はひび割れによる変位量を表している。Pは載荷重、Lはスパン長、EIは曲げ剛性、 $\Delta \lambda$ はひび割れ面におけるたわみ角の変化量である。

一方、ひび割れ断面における軸力N及び曲げモーメントMは外力の釣合により次式で表される。

$$N = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x dx \quad \dots (3) \quad M = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x \cdot x dx \quad \dots (4)$$

ここでhは部材高さを、xは部材図心位置からの距離、 σ_x はx位置における応力を表す。今回のシミュレー

ションにおいては、ひび割れの発生していない部分についてはひずみは中立軸からの距離に比例するすなわち平面保持の仮定が成立することとし、ひずみ分布を表す部材変形角はひび割れ面におけるたわみ角の変化量 $\Delta\theta$ の関数であると仮定した。また圧縮応力 σ_c 及びひび割れ発生までの引張応力 σ_t はひずみの関数とし、ひび割れ発生以降の σ_t については前項で述べた引張軟化曲線を関数としひび割れ幅により引張応力が決定されることとした。

曲げ試験においては載荷点・支承点ともローラーを使用することにより軸力の発生を極力防いでいる。そのため上記の仮定を条件に式（3）＝0とすればひび割れ発生断面における応力状態を算出することができ、さらに式（4）より曲げモーメントを得ることができる。ひび割れ発生位置は最大曲げモーメントの分布する載荷点間にはほぼ限定されるので、曲げモーメント M と載荷重 P の間には次の関係がある。

$$M = \frac{L}{3} \times \frac{P}{2} \quad \dots (5)$$

よって $\Delta\theta$ をパラメーターとし式（2）～（5）を解けば曲げ試験における載荷重とたわみ量の関係の理論解を得ることができる。図-2に15cm角供試体、図-3に40cm角供試体における実験値と計算値をプロットした図を示す。

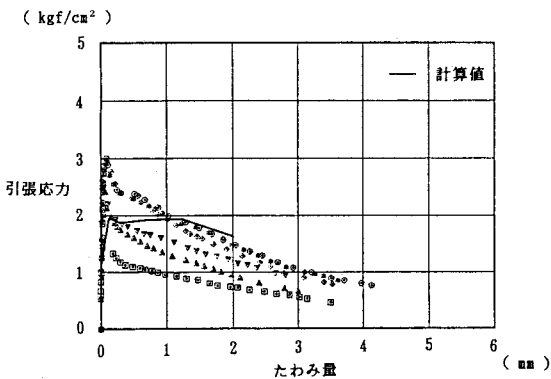


図-2：たわみ量－引張応力曲線（15 cm角）

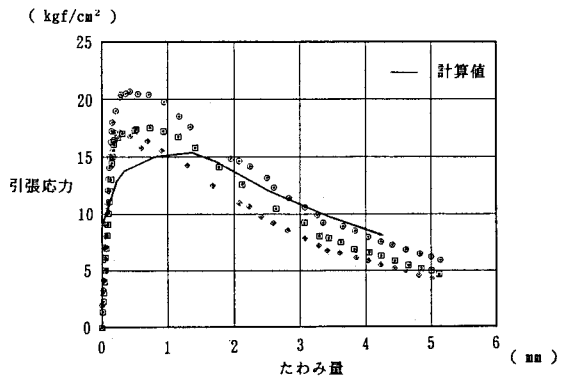


図-3：たわみ量－引張応力曲線（40 cm角）

図-2においては応力のピーク以後の落ち込みが計算値は実験値ほどには見られないものの、ひび割れ発生時の応力の落ち込み及びたわみ量の増大に伴う応力低下の様子などは表現できている。図-3においてはピーク応力発生時のたわみ量に計算値と実験値に1 mm程の差がみられるが、全体的な曲線の形は表現できている。

4. まとめ

以上のように純引張試験から引張軟化曲線を求めそれを利用して数値シミュレーションを行ったが、応力－たわみ曲線の計算値は実験値の傾向をよく表しており、引張軟化曲線の基本的な形に大きな間違いはないと思われる。

今後は引張軟化曲線を定義づける要素をどのように変化させればより実験値に近づけることができるか、さらに純引張試験を重ね、鋼繊維の種類や混入率が引張軟化曲線どのような影響を及ぼすかを調査する必要があると思われる。

【参考文献】 1) 土木学会：鋼繊維補強コンクリート設計・施工指針（案）

2) 佐藤、上田、遠藤、長谷部：コンクリートの大型供試体直接引張試験装置に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 1, pp. 549-554, 1992

3) 石井、堀井：クラック進展によるRC梁の曲げ変形量、土木学会第46回年次学術講演会

4) 六郷、内田、加藤、小柳：鋼繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状と引張軟化曲線、土木学会論文集、No. 460/V-18, pp. 57-64, 1993. 2