

## V-118 鋼繊維補強コンクリートの引張軟化特性

岐阜大学工学部 正会員 ○六郷恵哲 内田裕市 小柳 治  
 岐阜大学工学部 学生員 岩佐正徳 瀬古繁喜

## 1. まえがき

鋼繊維補強コンクリートの引張靱性を適切に評価するための指標として引張軟化特性（破壊エネルギーと引張軟化曲線の形状）が有力であると考えられる。本研究では、引張軟化曲線および破壊エネルギーを求めるための（a）両引き方法による直接引張試験[1]、（b）曲げ試験によるLi等のJ積分法[2]とこれを改良した新J積分法[3,4]、（c）RILEMの切欠きばりの曲げ試験の各試験法について検討した。

## 2. 直接引張試験による破壊エネルギーと引張軟化曲線の計測

（1）実験概要 鋼繊維を2%混入した鋼繊維補強コンクリート（圧縮強度 500 kgf/cm<sup>2</sup>、曲げ強度 92.6 kgf/cm<sup>2</sup>）を使用した。

表-1および図-1に示すように、供試体は断面寸法の異なる長さ40(cm)の角柱で、両端にネジ付き鋼棒を埋め込み、供試体側面中央部の左右対称面に切欠きを加工したものである。使用した供試体は6個である。荷重をロードセルで、切欠き部の平均開口変位を4個の高感度変位計を用いて計測した。XYレコーダに記録した荷重-開口変位曲線の立ち上がりから最大耐力点までと、それ以降の曲線との変位差を開口変位として、引張軟化曲線を求めた。

（2）結果と考察 得られた引張軟化曲線を図-2に示す。荷重-変位曲線下の面積を切欠き部の断面積で除して求めた破壊エネルギーの値を図中に表で示す。引張軟化曲線および破壊エネルギーには、本実験の範囲内では明確な供試体寸法依存性はみられなかった。

## 3. J積分法による引張軟化曲線の計測

（1）実験概要 Li等のJ積分法ならびに新J積分法の詳細は文献[3]に述べており、ここでは試験結果を紹介する。鋼繊維を2%混入した鋼繊維補強コンクリート（圧縮強度 480 kgf/cm<sup>2</sup>、曲げ強度 85.9 kgf/cm<sup>2</sup>）を使用した。供試体の寸法は10x10x84, 3/4" 80 (cm)とし、切欠き長さを4.0、4.5、5.0 (cm)の3種類とした。供試体は各条件とも6個づつ作製した。載荷は中央集中載荷とし、荷重と載荷点変位、切欠き先端の開口変位と載荷点変位を同時にXYレコーダに記録した。試験装置の詳細については文献[4]に述べた。

（2）結果と考察 実験から得られた荷重-変位曲線の平均曲線（5～6個の平均）を図-3に示す。Li等の方法により推定した引張軟化曲線を図-4に示す。新J積分法によって推定した鋼繊維補強コンクリートの引張軟化曲線を図-5に示す。切欠き長さが異なるどの供試体のデータを用いても、新J積分法により得

表-1 供試体の断面寸法

| シリーズ名   | 断面 (cm)   | 切欠き部<br>断面積 (cm <sup>2</sup> ) |
|---------|-----------|--------------------------------|
| T 2-7.5 | 7.5 X 7.5 | 41.0                           |
| T 2-10  | 10 X 10   | 73.1                           |
| T 2-15  | 15 X 15   | 159.6                          |

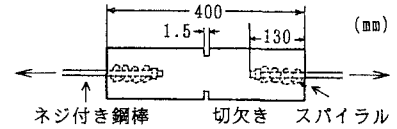


図-1 供試体の形状寸法

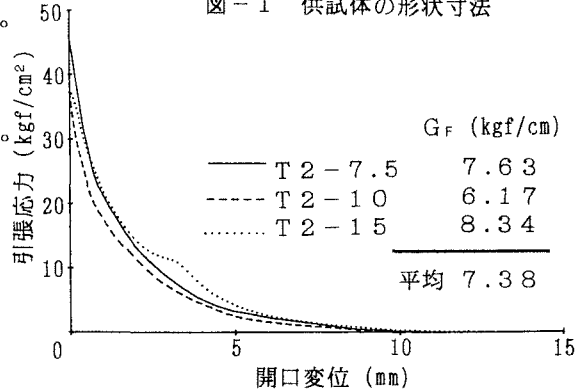


図-2 直接引張試験による引張軟化曲線

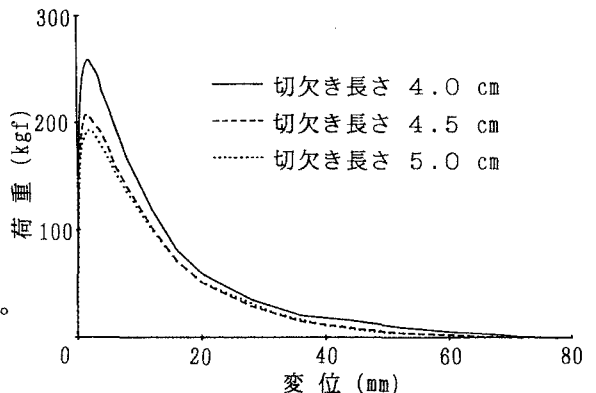


図-3 曲げ供試体の荷重-変位曲線

られた引張軟化曲線はそれぞれ似たような形状となった。この引張軟化曲線は、直接引張試験により求めた引張軟化曲線(図-2)とほぼ一致した。Li等の方法より求めた結果(図-4)よりもばらつきも少ないことから、新J積分法は引張軟化曲線を求める試験法として有用であることが分かる。

#### 4. RILEMの試験法による破壊エネルギーの計測

(1) 実験概要 RILEMの試験法は、はりの圧縮部に圧壊が起こる可能性がある繊維補強コンクリートには適用できないとされているが、圧壊で消費されたエネルギーを取り除くことができれば、鋼繊維補強コンクリートに対しても RILEMの試験法によって破壊エネルギーを求めることができると考えられる。RILEMの試験法では、はり高さの 1/2の切欠き長さをもつはり(例えば 10X10X84,  $\lambda/\rho \approx 80$  (cm))の3点曲げ試験を行い、次式により、はり自重の影響(mg)を補正して、破壊エネルギー $G_F$ を求める。

$$G_F = (W_0 + m g \cdot \delta_0) / A \quad \text{----- ①}$$

ここに、 $W_0$ : 荷重変位曲線で囲まれた面積、 $m g$ : スパン間のはりの重量、 $\delta_0$ : 供試体破断時の変位、

A: 投影破断面積

(2) 結果と考察 ここでは、図-3に示す荷重-変位曲線のうち切欠き長さが4cmと5cmのものをを用いる。荷重-変位曲線の最終部分で主に生じているはり圧縮部の圧壊の影響を除くため、みかけのはりの重量( $m g$ の $k$ 倍)を増し、破断時の変位 $\delta_0$ を小さくして(仮想破断点)、①式より求めた破壊エネルギー $G_F$ の値を直接引張試験から求めた値とともに表-2に示す。切欠き長さが4cmの場合には $k=7$ としたとき、5cmの場合には $k=6$ としたときに直接引張試験で得られた $G_F$ とほぼ近い値が得られた。切欠き長さが4cmで $k=7$ のときの仮想破断点の荷重は60(kgf)、切欠き長さが5cmで $k=6$ のときの仮想破断点の荷重は約50(kgf)で、ともに3点曲げ試験で計測された最大荷重(259(kgf), 193(kgf))の約1/4であった。したがって、鋼繊維補強コンクリートの破壊エネルギーは、仮想破断点を最大荷重の1/4程度とすることによって、RILEMの方法を準用して求めることが可能であると考えられる。

#### 5. まとめ

切欠きのはりの3点曲げ試験から、鋼繊維補強コンクリートの引張軟化曲線を新J積分法により、また破壊エネルギーを RILEMの試験法を準用することにより求め得ることを示した。曲げ試験と引張試験から求めた引張軟化曲線の形状は互によく一致した。

##### [参考文献]

- [1] 小柳, 六郷, 近藤, 鈴木: コンクリートの引張ひずみ軟化特性の計測, セメント技術年報, 42巻, pp.231~234, 1988. / [2] Li V.C. and Ward R.J.: Proc. International Workshop on Fracture Toughness and Fracture Energy, Sendai, pp.139~156, 1988. / [3] 小柳, 六郷, 岩佐, 瀬古: J積分法を用いた曲げ試験によるコンクリートの引張軟化曲線の定量化, セメント技術大会講演集, 1989. / [4] 鈴木, 岩佐, 六郷, 小柳: コンクリートの引張軟化特性と試験法, 土木学会第44回年次学術講演会概要集, 1989. / [5] RILEM Draft Recommendation (50-FMC): Materials and Structures, Vol.18, No.106, pp.285~290, 1985.

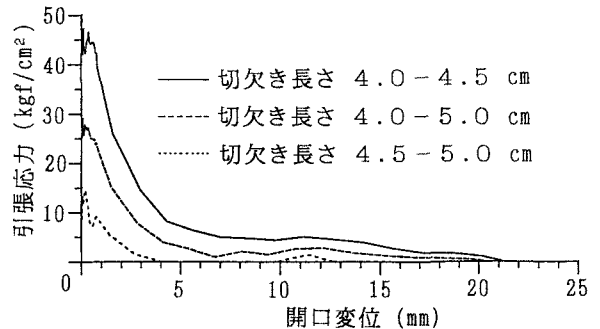


図-4 Li等の方法による引張軟化曲線

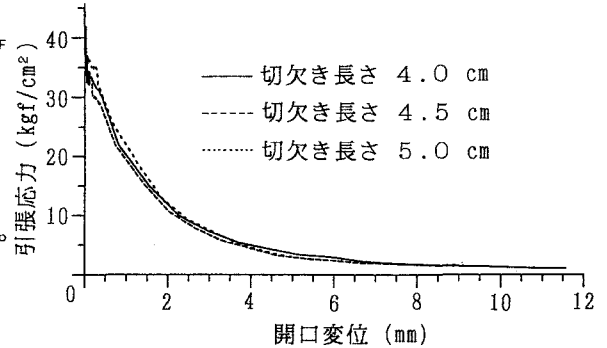


図-5 新J積分法による引張軟化曲線

表-2 RILEMの方法を準用した  $G_F$  (kgf/cm)

| 切欠き長さ (cm) | k    |      |      |      |      |      |      | 直接引張試験 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
|            | 1    | 2    | 3    | 5    | 6    | 7    | 9    |        |
| 4.0        | 8.72 | 8.61 | 8.12 | 7.84 | 7.66 | 7.33 | 6.97 | 7.38   |
| 5.0        | 8.68 | 8.11 | 8.08 | 7.82 | 7.44 | 7.19 | 6.75 |        |