

## 高強度繊維補強コンクリートの引張軟化曲線に与える短繊維の影響に関する研究

名古屋工業大学 学生員 ○日置 一秀  
 名古屋工業大学 正会員 上原 匠  
 名古屋工業大学 正会員 梅原 秀哲

## 1. はじめに

コンクリートは、高強度になるほど脆性化するために、この対策の一つとして、短繊維による補強が注目されている。このような高強度繊維補強コンクリートの破壊力学特性を把握するには、コンクリートの破壊力学パラメータで最も重要と思われる引張軟化曲線を適切に評価する必要がある。しかし、短繊維については、材料の異なる種々のものが市販されている。そこで本研究では、材料の異なる2種類の短繊維（鋼、ビニロン）を対象として、高強度繊維補強コンクリートばりの荷重たわみ曲線をもとに逆解析手法を用いて引張軟化曲線を求め、短繊維の違いが引張軟化曲線に与える影響について検討を行った。

## 2. 引張軟化曲線の推定

繊維補強コンクリートの引張軟化曲線を求めるには、直接引張試験を行うことが理想であるが、精度よく安定した結果を得ることはかなり難しい。そこで、引張軟化曲線をはりの曲げ試験によって推定する方法が多く提案されているが、中でも有限要素法を用いた逆解析手法が直接的で簡単である。この方法を用いるにはまず、引張軟化曲線を仮定する必要がある。引張軟化曲線として、図-1に示す2直線および3直線モデルを用いた。3直線モデルについては、図に示すように応力低下が起らない部分を設けた。引張軟化曲線の推定は、図-1に示すパラメータ（ $f_t$ 、 $S_n$ 、 $W_n$ ）を変化させ、荷重たわみ曲線の解析値と実験値が最もよく一致するものを求めた。すなわち、以下に示す式(1)で求まる $W$ が、最小となる時のパラメータを決定することにより推定した。

$$W = \sum_k (P_E(X_k) - P_N(X_k; w_i, s_i))^2 \cdots (1)$$

$P_E$ : 実験値  
 $P_N$ : 計測値  
 $X_k$ : 計測点

これは、具体的には非線形最小2乗法を解くことに帰されるが、

この解法として、適当な初期値を Gauss-Newton 法による反復法で修正していく方法を用いた。なお、パラメータのうち  $f_t$  は引張強度に相当するが、直接引張試験を行っていないため、割裂試験より求められた引張強度を 1.4 で除した値を用いた。<sup>1)</sup> 基本となる数値解析には、市販の汎用非線形要素法プログラムを用いた。<sup>2)</sup> 図-2に本解析で用いた要素分割と境界条件を示す。ひび割れは、 $A-A'$ の面に沿って進むものと仮定し、この部分に弾性支床要素を用いた。弾性支床のパネ特性を引張軟化曲線に一致するように与えることによって、ひび割れ開口後も応力を伝達する仮想ひび割れモデルをシミュレートした。解析対象となる曲げ破壊試験で使用した高強度繊維補強コンクリートの特性を、表-1に示す。解析において、ヤング係数には実験値を用い、ポアソン比には 0.2 と仮定した。逆解析での荷重たわみ曲線の解析値と実験値の比較は、たわみ 10mm まで 0.2mm ごとに行った。

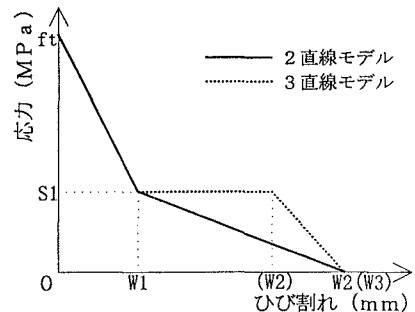


図-1 引張軟化曲線モデル

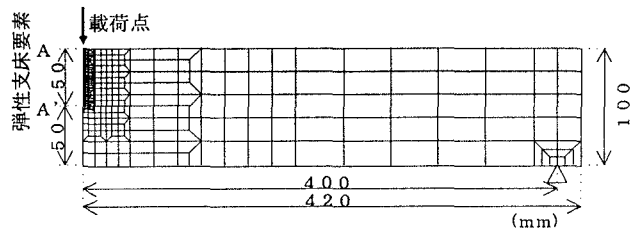


図-2 要素分割および境界条件

表-1 コンクリートの材料特性

| 繊維種類 | 繊維量 (%) | 圧縮強度 (MPa) | 引張強度 (MPa) | ヤング係数 (GPa) |
|------|---------|------------|------------|-------------|
| 鋼    | 1.2     | 70.8       | 6.65       | 37.14       |
| ビニロン | 1.2     | 67.3       | 4.29       | 32.93       |

シミュレートした。解析対象となる曲げ破壊試験で使用した高強度繊維補強コンクリートの特性を、表-1に示す。解析において、ヤング係数には実験値を用い、ポアソン比には 0.2 と仮定した。逆解析での荷重たわみ曲線の解析値と実験値の比較は、たわみ 10mm まで 0.2mm ごとに行った。

### 3. 結果および考察

図3に荷重たわみ曲線を、図4に引張軟化曲線を示す。逆解析法で求められた引張軟化曲線の精度を確認する目的で、修正J積分法による引張軟化曲線との比較を行った。

鋼繊維の場合は、2直線、3直線モデルのいずれも、荷重たわみ曲線においては実験値に、引張軟化曲線においてはJ積分法の値によく一致した結果が得られた。解析で求められた2直線モデルと3直線モデルは、よく似た形になり、2直線モデルで十分に引張軟化曲線を評価できることが分かった。これは鋼繊維の場合剛性が高いため、鋼繊維自体の降伏より引き抜けによる応力低下が考えられる。したがって、ひび割れ幅に伴った応力低下が生じるため、引張軟化曲線は2直線モデルの形に近い傾向を示したと考えられる。

ビニロン繊維の場合は、2直線モデルでは荷重たわみ曲線において4mm以降実験値との差が大きくなり、8mm以降の荷重低下については実験値を追従できなかった。また、引張軟化曲線においても

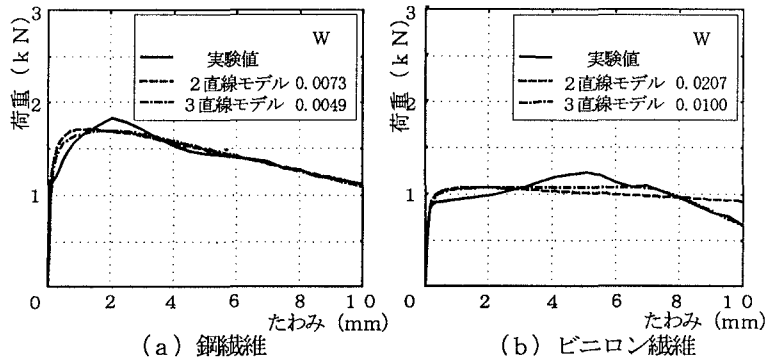


図-3 荷重たわみ曲線

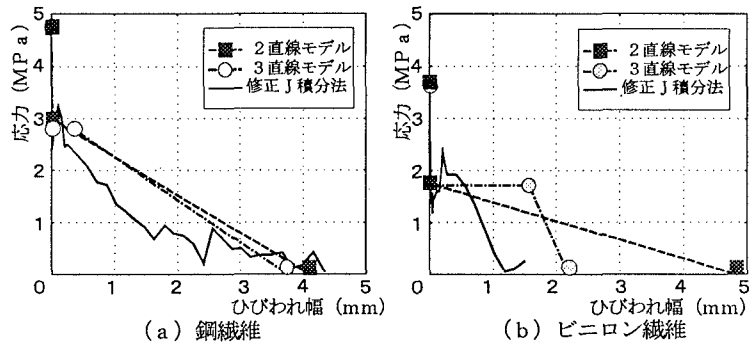


図-4 引張軟化曲線

修正J積分法の値を追従することはできなかった。一方、3直線モデルでは荷重たわみ曲線において実験値とよく一致し、引張軟化曲線においても修正J積分法の値と傾向がよく一致した。これはビニロンの場合剛性が低いため、ビニロンの引き抜けよりビニロン繊維自体ののびで応力を受け持つと考えられる。したがって、応力一定でひび割れ幅が増大した後、急激な応力低下を起こすような状態が生じるため、引張軟化曲線は3直線モデルの形に近い傾向を示したと考えられる。

#### 4. まとめ

高強度繊維補強コンクリートの破壊力学パラメータである引張軟化曲線を逆解析法で求めたところ、鋼繊維のような剛性の高い短繊維は、2直線モデルの形に近い傾向を示し、ビニロン繊維のような剛性の低い短繊維は、3直線モデルの形に近い傾向を示した。このように引張軟化曲線は、短繊維の材質に大きく影響を受けることが明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 趙力采、小林一輔、西村次男：鋼繊維補強コンクリートの引張強度試験方法について、コンクリート工学年次講演論文集、PP405-408、1979
- 2) 日本マーク株式会社：非線形構造解析FEMプログラム MARC K-4 マニュアル、1992