

多直線近似解析手法による短繊維補強高強度コンクリートの引張軟化曲線の推定

岐阜大学大学院 学生員 安藤貴宏

岐阜大学工学部 正会員 栗原哲彦、内田裕市、六郷恵哲

1. はじめに

ひびわれの進展に伴うコンクリートの破壊現象の解析において、引張軟化特性（破壊エネルギー、引張軟化曲線）を組み込んだ数値解析が有用であることが知られている。本研究では、3種類の短繊維をそれぞれ容積比で2%混入した短繊維補強高強度コンクリートを対象とし、多直線近似解析手法に基づき引張軟化曲線を推定するとともに、曲げ破壊性状についても検討した。

2. 実験概要

アラミド繊維 [1] (寸法: $\phi 0.4 \times 30\text{mm}$, 強度: $3.0 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$)、ビニロン繊維 (寸法: $\phi 0.38 \times 30\text{mm}$, 強度: $1.1 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$) およびインデント付きストレート鋼繊維 (寸法: $\phi 0.6 \times 30\text{mm}$, 強度: $1.1 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$) の3種類の短繊維を容積比で2%混入した3種類の短繊維補強高強度コンクリートを作製した。以下それぞれ A2 シリーズ、V2 シリーズおよび F2 シリーズとする。

表-1 および表-2 に各シリーズの示方配合および供試体寸法を示す。短繊維とマトリックスとの付着を高めるため、水セメント比を28%で一定とし、マトリックスを高強度とした。表-3 に各シリーズの試験時材齢におけるコンクリートの強度試験結果を示す。曲げ試験は3等分点曲げ載荷とし、湿潤状態のもとで行った。

3. 解析概要

橘高らが提案した多直線近似解析手法 [2] に基づき、供試体中央に仮想ひびわれモデルを組み込んだ FEM 解析を用いた引張軟化曲線の推定プログラム [3] を作成した（以下推定1とする）。この推定法は、ひびわれ発生後、ひびわれが1節点ずつ進展するごとに逐次、引張軟化曲線を仮定し、荷重-変位曲線の解析値と実験値とがよく一致するように引張軟化曲線を仮定し直す操作を繰り返す方法である。

推定1による引張軟化曲線の推定結果をもとに、引張軟化曲線を引張応力一定でひびわれ幅が増大する区間を含む3直線と仮定し、荷重-変位曲線を解析で良好に再現できるよう試行錯誤により折れ点を推定した [1]（以下推定2とする）。

推定2では引張軟化曲線の軟化開始点には、マトリックスのひびわれ発生荷重（割裂引張試験時に計測）から求めた引張応力（表-3の（ ）内の値）を用いた。また、はり高さ（10cm, 20cm）ごとに引張軟化曲線を推定し、それらの平均をそのシリーズの引張軟化曲線とした。

なお、どちらの推定方法においても弾性係数には圧縮試験時の実測値を用いた。

4. 解析結果

図-1 に各シリーズの荷重-変位曲線から推定した引張軟化曲線を示す。図-2 に実験の荷重-変位曲線の平均を太線で示し、さらに推定された引張軟化曲線を用いて解析した結果を示す。

2種類のいずれの推定方法によっても、実験から得られた荷重-変位曲線を良好に再現できる引張軟化曲線を推定することができた。特に、推定1によって求めた引張軟化曲線を用いた荷重-変位曲線の解析結果は、実験値と極めてよく一致しており、推定1の精度がよいことがわかる。推定2の引張軟化曲線を用いた荷重-変位曲線には、引張軟化曲線が3直線という制限のあるモデルであるため、軟化域において荷重が低めになる

表-1 示方配合

シリーズ名	単位量(kg/m³)					
	W	C	S	G	F	A d
A2	189	674	1348	—	28.0	27.0
V2	203	726	1276	—	26.0	29.0
F2	140	500	889	774	156	15.0

混和剤 A d : 高性能 A E 減水剤

表-2 供試体寸法

シリーズ名	供試体名	供試体寸法(cm) 幅×高さ×長さ [供試体長]	本数
A2	A2-10 A2-20	$10 \times 10 \times 30$ [40] $10 \times 20 \times 60$ [70]	3 4
V2	V2-10 V2-20	$10 \times 10 \times 30$ [40] $10 \times 20 \times 60$ [70]	3 4
F2	F2-20	$10 \times 20 \times 60$ [70]	4

表-3 強度試験結果

シリーズ名	強度(kgf/cm²)			弾性係数 (kgf/cm²)
	圧縮	引張*	曲げ	
A2	859	109.0(60.4)	134	3.27×10^5
V2	827	66.6(52.3)	109	3.40×10^5
F2	945	70.1(70.1)	137	3.92×10^5

* () の中はひびわれ発生時の引張応力

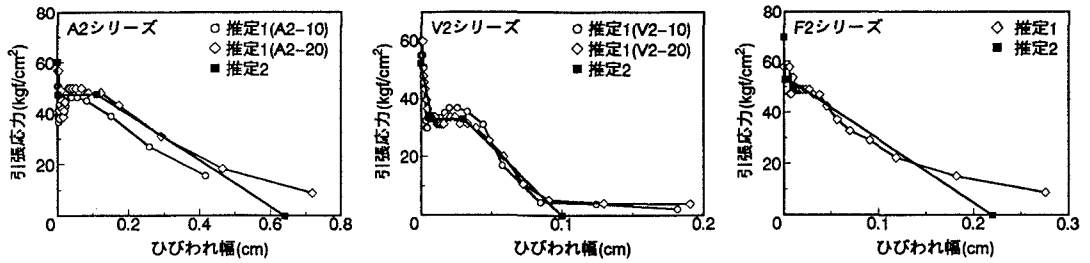


図-1 引張軟化曲線

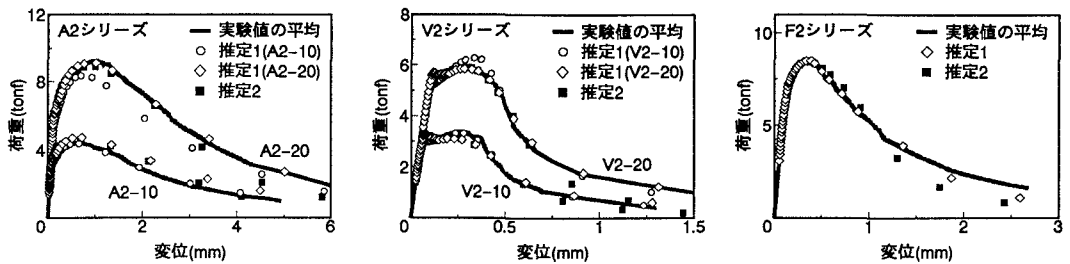


図-2 荷重-変位曲線

傾向にあった。異なる寸法の供試体から得られた引張軟化曲線を用いて解析した荷重-変位曲線は、それぞれ実験値にほぼ一致しており、本研究の範囲内では、推定された引張軟化曲線にほとんど寸法効果はないと考えられる。

推定1によって推定された引張軟化曲線は、一旦軟化した後、引張応力が回復（V2およびA2シリーズ）あるいは引張応力が一定でひびわれ幅が増大する（A2およびF2シリーズ）形状を示した。これは短繊維の補強効果を表しているものであり、ひびわれが入った後、短繊維の架橋効果により引張伝達応力が回復あるいは保持され、ひびわれ幅が増大したと考えられる。3シリーズの内、最も短繊維の補強効果が小さかったのはV2シリーズで、これはマトリックスとの付着強度やビニロン繊維自身の引張強度が他と比べ弱いためと考えられる。逆に最も補強効果が大きかったのはA2シリーズで、極めて韌性に富んだコンクリートとなった。

推定2によって推定された引張軟化曲線の概形は、A2およびV2シリーズにおいて推定1によるものとほぼ一致したが、F2シリーズにおいては推定1によるものより引張応力一定の区間（短繊維の補強効果が現れる区間）の長さが短くなった。推定2で推定された引張軟化曲線は、推定1で推定されたはり高さ10cmと20cmの引張軟化曲線の間にあった。

5. まとめ

3種類の短繊維を混入した短繊維補強高強度コンクリートを対象とし、多直線近似解析手法を用いて引張軟化曲線を推定するとともに曲げ破壊性状について検討した結果、以下のことが明かとなった。

- ① 推定1によって、実験の荷重-変位曲線を極めてよく再現できる引張軟化曲線を推定することができた。
- ② 本研究の範囲内（はり高さ10cm, 20cm）では、引張軟化曲線に寸法効果はほとんど認められなかった。

【参考文献】

- [1] 安藤貴宏、栗原哲彦、内田裕市、六郷恵哲：アラミ短繊維補強高強度モルタルの曲げ破壊挙動、セメント・コンクリート論文集、No. 48、pp. 624-629、1994. 5.
- [2] 橋高義典、上村克郎、中村成春：コンクリートの引張軟化曲線の多曲線近似解析、日本建築学会構造系論文報告集、第453号、pp. 15-25、1993. 11.
- [3] 安藤貴宏、千葉佳敬、栗原哲彦、内田裕市、六郷恵哲：コンクリートの引張軟化曲線の逆解析による推定、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、V-34、pp. 609-610、1995. 3.