

V-208 鋼繊維補強モルタルの引張軟化曲線

金沢大学工学部 正会員○五十嵐 心一
 金沢大学工学部 正会員 川 村 満紀

1. まえがき

繊維補強セメントに対する重要な要求性能である靱性は、一般にタフネスとして荷重-たわみ曲線下の面積から直接評価される。しかし、タフネスは主にマトリックスのひびわれ発生後の架橋繊維の荷重保持および引抜きエネルギーにより決定されることを考えると、破壊エネルギーや引張軟化曲線を用いることにより、より合理的な評価が可能となると考えられ、さらに、これらを用いて繊維補強セメントを設計することの可能性も指摘されている [1]。一方、繊維補強セメントの変形は大変形に至ることや使用する繊維により架橋繊維の引き抜け特性が大幅に異なるなど、これらの値を求めることは必ずしも容易ではない。

本研究は鋼繊維補強モルタルの引張軟化曲線を簡便に求めることを目的として、切欠き先端の開口変位やひびわれ長さを適当に仮定してJ積分を介する方法および複合則をひびわれ後の断面に適用することを考え、これらの単純な方法により求めた引張軟化曲線と実際に得られた荷重-たわみ曲線の比較を行い、それらの方法の妥当性を検討するものである。

2. 実験概要

(1) 鋼繊維補強モルタルの切欠きはりの曲げ試験

4×4×30cmの鋼繊維補強モルタル供試体 (w/c=55%, C/S=1/1.5, Vf=1% (lf=20mm)) を作成し、材令28日まで水中養生を行った。この供試体の切欠きはり(切欠き高さ:2cm, スパン=24cm)の3点曲げ試験を行い、荷重、たわみおよび切欠き下端の開口端変位を測定した。

(2) 鋼繊維の付着試験

(1)と同配合のモルタル中に鋼繊維を埋め込み(埋め込み長さ:3cm)、材令28日における引抜き試験によって、平均付着強度を求めた。

3. 軟化曲線推定

(1) 方法1: 鋼繊維の配置を仮定して付着試験結果をマトリックスの軟化曲線に重ね合わせる方法

3Dランダム配向の鋼繊維本数を定め[2]、これをリガメント部に平行に配置した場合を考える(図-1)。リガメント部の応力分布を仮定し、 Δa のひびわれの進展に対して、次式を考える。

$$0.5 \sigma_{cr} x^2 / (W-a-x) = \sigma_{cr} (W-a-x) / 2 + T_2(w) + F_i(w) \quad (1)$$

$T_2(w)$: マトリックスの軟化曲線より定める引張力 $F_i(w)$: ひびわれ部の繊維負担荷重

実験で得られた開口端変位と仮定した Δa から中立軸位置を決定し、内部抵抗モーメントから作用外力を求めた。このときの切欠き先端の変位とJ積分値から引張軟化曲線を求めた。繊維の負担荷重は引抜き試験時に得られた荷重-変位曲線を図-2のように単純化し、繊維の傾き効果は無視した。

(2) 方法2: 回転中心を仮定する方法

切欠きはりの曲げ試験時に求めた開口端変位に対して、適宜仮定した回転因子 r を用いて、切欠き先端の開口変位を求めた。この開口変位とJ積分値から引張軟化曲線を求めた。

(3) 方法3: 複合則に基づく方法

図-2の単純化した引抜き荷重-変位曲線を繊維断面積で除して $\sigma_f(w)$ を求め、次式により軟化曲線を求めた。

$$\sigma(w) = \sigma_m(w)(1-V_f) + \eta \sigma_f(w)V_f \quad (2) \quad \eta: \text{補正係数}$$

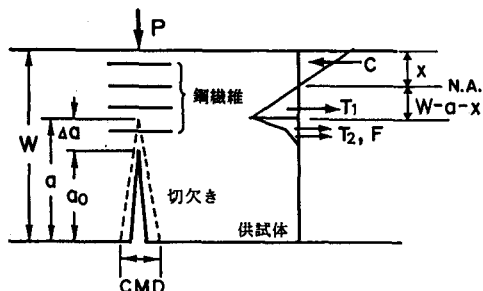


図-1 はり断面の応力分布の仮定

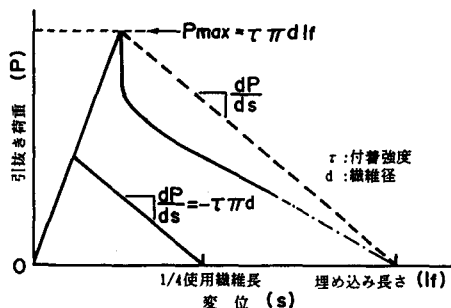


図-2 引抜き荷重-変位曲線の仮定

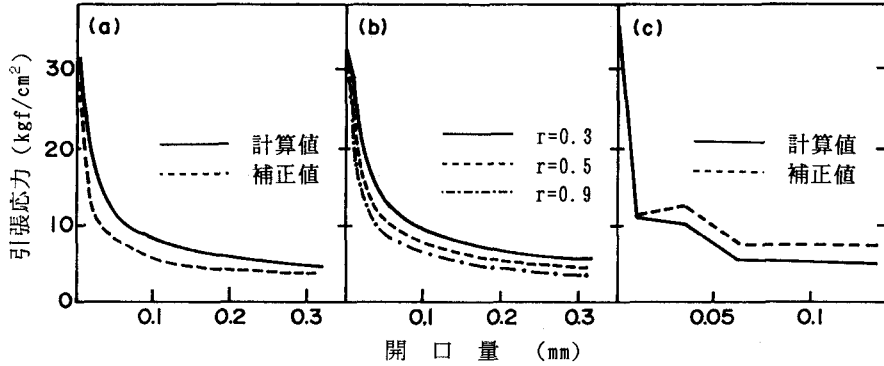


図-3 引張軟化曲線 (a)方法1 (b)方法2 (c)方法3

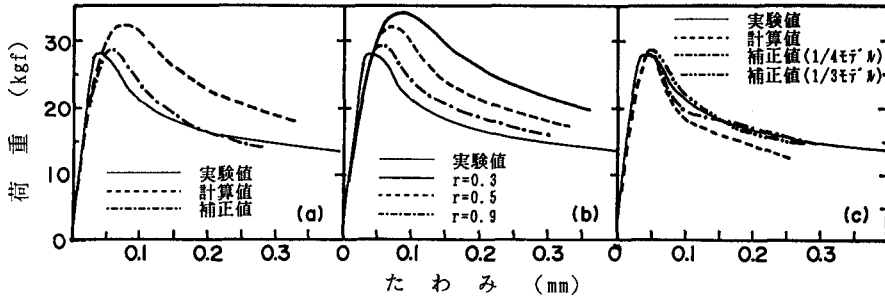


図-4 荷重-たわみ曲線の比較 (a)方法1 (b)方法2 (c)方法3

ここに、 $\sigma_m(w)$ はマトリックスの軟化曲線であり、マトリックスの軟化曲線は2直線モデルで近似したものをを用いた。

4. 結果

それぞれの方法で推定した軟化曲線を図-3 (a), (b), (c)に示す。また、FEM解析結果を図-4 (a), (b), (c)に示す。方法1を用いた場合、実験値に比較して解析値のほうが大きな最大荷重を示しているが、荷重の低下傾向は現れているようである。この差を生じた原因として(1)式を用いた場合、計算された荷重が最大荷重付近において実際の荷重よりもかなり小さく、開口変位が小さく評価されたためである。本実験においては引張強度は予備実験より定めたものであり、材料定数として扱うべきと考え、軟化曲線を開口量軸方向に補正を行うものとした。補正した結果を図3 (a)、4 (a)に併せて示す。方法2を用いた場合、回転係数の増大とともに軟化曲線の低下割合は大きくなると同時に、解析した荷重-たわみ曲線は実験値に近づいていく。繊維補強セメントに回転中心が存在するののかについては明かではないが、Velazco[3]らは鋼繊維補強モルタルについては $r=0.9$ であることを示しており、本解析においても $r=0.9$ の場合にはかなりよく実験値と一致している。方法3を用いた場合、最大荷重は実験値とかなりよく一致している。しかし、最大荷重以後の荷重の低下割合は解析値の方が大きく、たわみの増大とともに実験値との差が大きくなっている。これはひびわれ発生時に既に繊維が負担していた荷重と繊維の傾きの効果による引抜き荷重の増大を無視したためと考えられる。傾き角を 45° と仮定して補正を行うことにより、解析値と実験値はより近づく。また、マトリックスの軟化曲線に $1/3$ モデルを用いた方が図-4 (c)に併せて示すように、解析値はほぼ実験値に一致する。

5. まとめ

3つの簡便な方法により推定した鋼繊維補強モルタルの引張軟化曲線はいずれも補正を要するものの、荷重-たわみ曲線の概略は推定され、引張軟化曲線の同定のための初期値として用いることは可能であると考えられる。

参考文献[1]三橋博三、コンクリート工学年次論文報告集、12巻、1号、pp.1175-1180、1990。[2]Aveston, J. et al., National Physical Lab. Conf. Proc., April, pp.93-103, 1974。[3]Velazco, G. et al., Cem. & Conc. Res., vol.10, pp.41-51, 1980。