

非鋼繊維で補強した覆工コンクリートの引張軟化特性と曲げ耐力の評価(その2)

西松建設株式会社 正会員 竹村いずみ ○亀谷 英樹 椎名 貴快
 首都大学東京 正会員 西村 和夫

1. はじめに

筆者らは、参考文献 1)にて、非鋼繊維部材の曲げ耐力の評価法に関する研究の初期段階として、標準的な曲げ試験を実施して、荷重一ひび割れ肩口開口変位(CMOD)曲線から引張軟化曲線の逆解析を実施した。また、曲げ試験において、供試体の上面と側面に貼り付けたひずみゲージから中立軸の推移を計測した。

本稿は、上記の試験結果を基にして、各荷重レベルで推定した断面内応力度分布から曲げモーメントを試算し、その評価手法の妥当性と適用性について検証するものである。

2. 断面内応力度分布と曲げモーメント

筆者らは、アラミド、鋼およびポリプロピレン(以下、それぞれ AF, SF, PP と称す)の3種類の繊維補強コンクリートの曲げ試験を実施し、参考文献 1)で実験内容と結果を報告している。実験の詳細は参考文献 1)を参照されたい。この実験結果¹⁾のうちで代表的な供試体(参考文献 1)の No.1, No.5, No.9)の曲げモーメント(供試体中央部)とひび割れ肩口開口変位 CMOD との関係を図-1 示す。ここで、曲げモーメントは $M=PL/6$ (P: 荷重, L: スパン長)により計算した。また、同図に、リガメント部における中立軸比率(=中立軸高さ x /有効高さ h (=部材高さ-切欠き長さ))と CMOD との関係を示す。中立軸の位置は供試体上面と側部に貼り付けたひずみゲージから計算した。そのひずみ計測結果から、リガメント部での断面内のひずみ分布を図-2 に図化した。ひずみ分布はおおむね線形を示しており、ひび割れ発生後は中立軸が急激に上方へ推移していることが分かる。

繊維補強コンクリートの部材断面内の応力度分布は図-3 の様に簡便的に表現することができる²⁾。この様に仮定した応力度分布から曲げモーメントを算出する計算式を式(1)~(4)に示す。本実験では軸力が発生していないので式(2)の軸力 N はゼロとなる。ここで、コンクリートの圧縮縁ひずみ ε_c と曲げモーメント M が実験値におおむね合致する様に、引張強度 f_t と中立軸位置 x を変数として繰り返し計算を行った。計算点は各供試体で図-1 の3点(M[a,s,p]1~3)とした。計算結果を図-1(白抜きマーカー)と表-1 に示す。

計算により得られた曲げモーメントは前述の $M=PL/6$ により得られた曲げモーメントにおおむね一致している。また、中立軸比率やコンクリートの圧縮縁ひずみも計測結果におおむね合致している。したがって、仮定した断面内の応力度分布はおおむね妥当であり、この手法により設計時の曲げモーメントを評価することができると考えられる。なお、中立軸比率の計算値と実験値に若干の誤差があるが、これは、計測値の中立軸比率を最上部と最下部のひずみゲージから推定しているため、その誤差がやや大きくなったことが原因の一つとして考えられる。

表-1 より、AF の Ma1~Ma3 の引張強度 f_t は、参考文献 1)の図-3(a)No.1¹⁾に記載した引張軟化曲線の残留引張強

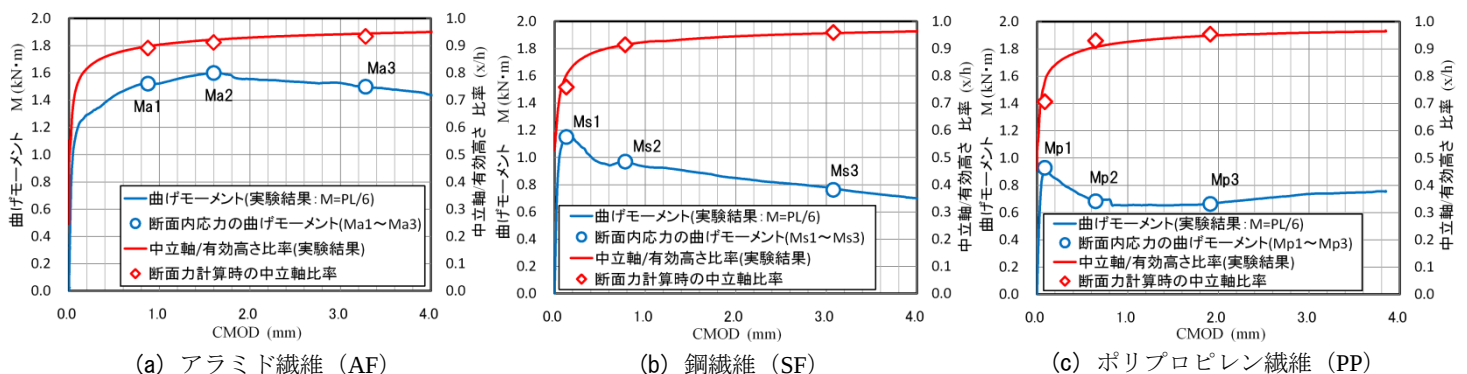


図-1 曲げモーメント-CMOD 曲線

キーワード：アラミド繊維，ポリプロピレン繊維，鋼繊維，曲げ耐力，引張軟化曲線，覆工コンクリート

連絡先：〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 西松建設株式会社 土木事業本部 土木設計部 TEL 03-3502-7637

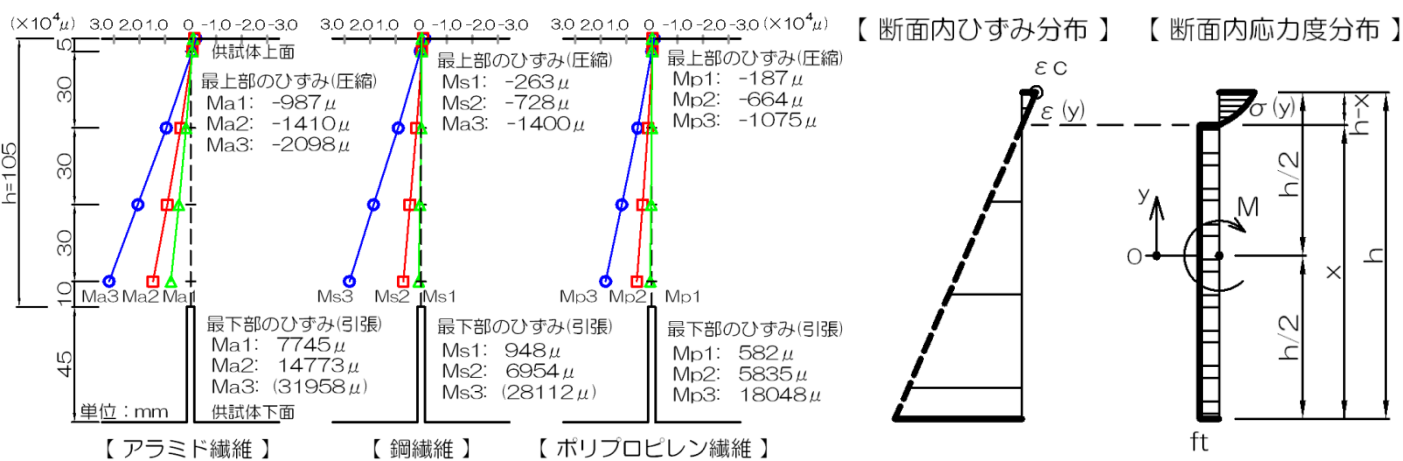


図-2 断面内のひずみ分布(実験結果)

図-3 断面内応力度とひずみの分布

表-1 断面内応力度分布から算出した曲げモーメント

供試体 (材料名)	計算点	引張強度 ft (N/mm ²)	中立軸比率 x/h	圧縮縁ひずみ εc (μ)	曲げモーメント M (kN・m)
AF (No.1)	Ma1	2.00	0.891(0.898)	-991(-987)	1.522(1.528)
	Ma2	2.07	0.912(0.921)	-1412(-1410)	1.600(1.601)
	Ma3	1.91	0.934(0.944)	-2097(-2098)	1.499(1.501)
SF (No.5)	Ms1	1.70	0.759(0.803)	-267(-263)	1.151(1.160)
	Ms2	1.25	0.914(0.914)	-722(-728)	0.970(0.975)
	Ms3	0.95	0.960(0.957)	-1399(-1400)	0.762(0.774)
PP (No.9)	Mp1	1.45	0.707(0.780)	-183(-187)	0.929(0.922)
	Mp2	0.87	0.930(0.908)	-664(-664)	0.684(0.685)
	Mp3	0.83	0.954(0.949)	-1069(-1075)	0.664(0.662)

※表中の括弧内数値は実験結果を示す。供試体 No.は参考文献 1)に対応している。

【 部材断面力の計算式 】

$$M = ft \cdot x \cdot b \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{2} \right) + b \int_{h-x}^h \sigma(y) \cdot y \, dy - (1)$$

$$N = ft \cdot x \cdot b - b \int_{h-x}^h \sigma(y) \, dy = 0 - (2)$$

$$\sigma(y) = k1 \cdot fc' \cdot \frac{\varepsilon(y)}{0.002} \left(2 - \frac{\varepsilon(y)}{0.002} \right) - (3)$$

$$\varepsilon(y) = \frac{\varepsilon_c}{h-x} y - (4)$$

k1: 係数(=0.85), fc': 圧縮強度, ft: 引張強度
b: 部材幅, σ(y): 応力度, ε(y): ひずみ
εc: 圧縮縁ひずみ, x,h,y: 図-3 参照

度 $ft=2.0\text{N/mm}^2$ にほぼ近い値となった。また、中立軸比率は全ての計算点で約 0.9 となった。一方、PP と SF は、軟化傾向を示しているため、ひずみレベルが小さい段階で最大曲げモーメントが発生する。最大曲げモーメントの Ms1 と Mp1 においては、中立軸比率が 0.71~0.76 であり、引張強度 ft は参考文献 1) の図-3(b)No.5¹⁾, (c)No.9¹⁾ の残留引張強度 $ft=1.0\text{N/mm}^2$, $ft=0.8\text{N/mm}^2$ よりもやや大きい値となった。しかしながら、ピーク後の軟化領域における Ms2,3 と Mp2,3 に関しては、中立軸比率は 0.9 を超過し、引張強度 ft は残留引張強度とほぼ同値となった。

ここで、参考文献 2) では、SF を対象としたピーク付近の曲げ耐力の構造計算において、中立軸比率を 0.70 と設定している。この値は本実験結果とおおむね一致している。しかし、同書²⁾ 等には、軟化領域における曲げ耐力に関する記述がないため、この際には、前述した断面内応力度分布等の情報が参考になると考えられる。

3. まとめ

本実験の結果から、ひずみレベルがある程度大きい場合には、断面内応力度分布を図-3 の様に設定し、引張応力を残留引張強度、中立軸比率を 0.9 程度とすれば、曲げモーメントをおおむね評価することが可能であることが分かった。また、軟化傾向を示す材料に関しては、覆工コンクリートの部材耐力を設計する際に、どの範囲までのひずみを対象とするかで考え方が異なってくるため、対象とするひずみレベルと設計の基本思想を明確にしておく必要があると考えられる。

なお、本報告は、試験体が少数に限られていること、繊維補強材の材質・形状寸法や製法によっても補強特性が変化すること³⁾、その他、寸法効果や軸力導入時の挙動などの問題が考えられるため、適用に際しては、今後、更なる検証が必要であると考えられる。

参考文献 1) 竹村・亀谷・椎名・西村: 非鋼繊維で補強した覆工コンクリートの引張軟化特性と曲げ耐力の評価(その 1), 土木学会第 68 回年次学術講演会, 2013 年 9 月(投稿中)
2) (社)日本鉄鋼連盟: 2002 年改訂版 鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル-トンネル編-(第 2 版), 技報堂出版(株), 2002 年 11 月
3) 三谷浩二, 武内淳: 繊維補強吹付けコンクリートの仕様と設計手法に関する検討, 日本道路公団試験研究所報告, Vol.35, pp.56-62, 1998 年 11 月