

非鋼繊維を混入した覆工コンクリートの曲げ補強効果

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

トンネルの覆工コンクリートに短繊維を混入することにより、靱性向上や剥離防止の効果が得られると共に、ひび割れ発生後もコンクリートに作用する引張応力を短繊維が負担し、部材耐力の向上も期待できる。しかし、短繊維補強コンクリート(以下、FRC)のうち、鋼繊維は既往研究¹⁾によって定量的な設計手法が提案されているが、非鋼繊維については明確な評価法が確立されていないのが現状である。

そこで著者らは、非鋼繊維を用いた FRC の標準曲げ試験により、引張軟化特性や曲げ耐力の評価方法について検討を行った²⁾。試験の結果、繊維混入率 0.5vol% の条件において、アラミド繊維(以下、AF)については鋼繊維コンクリート(以下、SFRC)と同等以上の高い曲げ耐力を有し、またポリプロピレン繊維(以下、PP)も SFRC と同程度の残留引張強度を有することが明らかとなった。

本稿は、参考文献 2) の試験結果を踏まえ、以下の 3 点について検討を行ったものである。

- ① PP と AF について、両者の FRC 曲げ部材性能が同等となる繊維混入量の確認
- ② AF と同程度の曲げ耐力や変形性能を有する鉄筋コンクリート(以下、RC)の引張鉄筋量の確認
- ③ RC 部材に AF を混入した場合(複合タイプ)の補強効果の確認

2. 試験概要

曲げ供試体は、実際の覆工厚 300mm を想定して、寸法をはり高 300mm とし、幅 300mm × スパン長 900mm、スパン中央に幅 21mm × 高さ 11mm の三角形ノッチを設けた。供試体の諸元と繊維仕様を図-1 および表-1, 2 に示す。PP と AF の繊維混入率は、現在の覆工配合仕様を参考に、0.3vol% と 0.5vol% の 2 種類とした(No.1~No.4)。また、曲げ部材の最小引張鉄筋量 0.2% を想定した RC(p=0.19%) の供試体(No.5)、および No.5 に AF を 0.5vol% 混入した供試体(No.6)を作製した。コンクリートの配合は NEXCO の繊維補強覆工コンクリート配合決定のための基準³⁾ に従い、荷重は 3 等分点静的曲げ載荷とした。また、RC(No.5, No.6)は、引張鉄筋のスパン中央にひずみゲージを貼付した。なお、試験条件や測定方法の詳細は、既報の参考文献 2) を参照されたい。

3. 試験結果

曲げ試験により得られた荷重-ひび割れ肩口開口変位(以下、CMOD)曲線を図-2, 3 に示す。図-2 は、No.1~No.3 の荷重-CMOD 曲線を示しており、いずれの供試体もひび割れ発生時に最大荷重約 95kN を示している。また、ひび割れ発生後に着目すると、No.1(PP0.3vol%)は、荷重が大きく低下し、それにともない CMOD も大きく増加しており、ひび割れが急激に進展していったことがわかる。一方、No.2(PP0.5vol%)と No.3(AF0.3vol%)

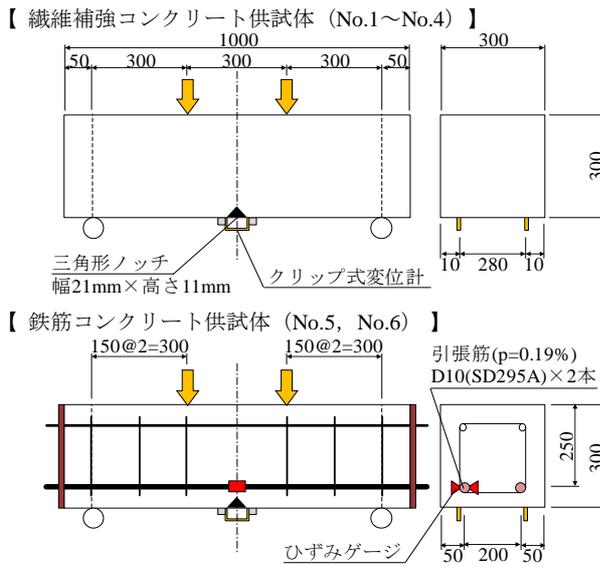


図-1 曲げ試験供試体の仕様

表-1 短繊維の仕様

繊維名	PP	AF
直径×長さ(mm)	φ 0.68×48	φ 0.50×35
密度(g/cm ³)	0.91	1.39
引張強度(MPa)	500	3,300
引張弾性率(GPa)	7	70

表-2 供試体の一覧

	供試体 No.					
	1	2	3	4	5	6
分類	FRC				RC	RC+FRC
短繊維 (vol%)	PP (0.3)	PP (0.5)	AF (0.3)	AF (0.5)	—	AF (0.5)
鉄筋量(%)	—				0.19	0.19

キーワード : 覆工コンクリート, アラミド繊維, ポリプロピレン繊維, 鉄筋コンクリート, 最小鉄筋量

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

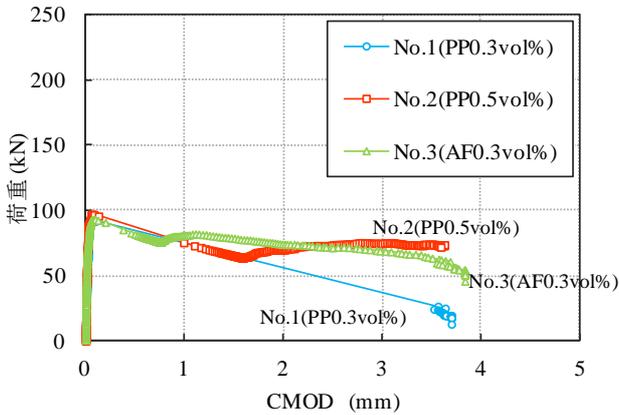


図-2 荷重-CMOD 曲線 (No.1~3)

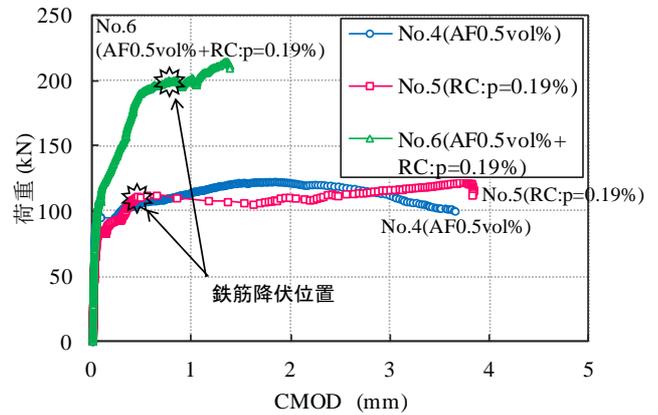


図-3 荷重-CMOD 曲線 (No.4~6)

は、ひび割れ発生後、緩やかな軟化傾向を示しており、その挙動はおおむね同等であることがわかる。すなわち、PP 混入率 0.5vol%と AF 混入率 0.3vol%は、同程度の曲げ耐力と変形性能を有していると判断できる。図-3 は、No.4~No.6 の荷重-CMOD 曲線を示しており、いずれの供試体においてもひび割れ発生後、硬化するような傾向を示している。また、No.4(AF0.5vol%)と No.5(RC:p=0.19%)は、共に最大荷重約 120kN を示しており、それらの挙動はおおむね同等であることがわかる。このことから、AF 混入率 0.5vol%は、鉄筋量約 0.19%の鉄筋コンクリートと同程度の曲げ耐力と変形性能を

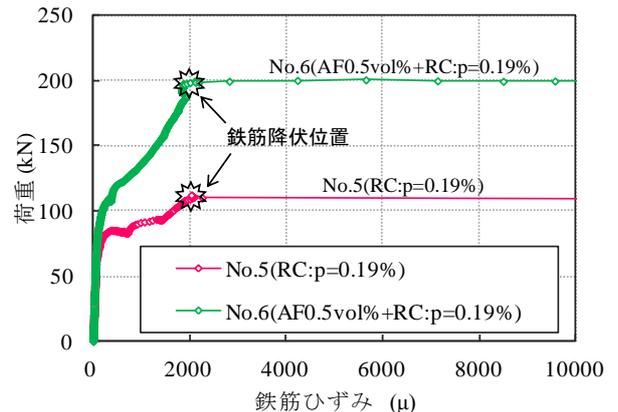


図-4 荷重-鉄筋ひずみ曲線

有しており、AF を 0.5vol%混入することで、RC における最小鉄筋量(p=0.20%)とおおむね同程度の曲げ耐力を期待できると考えられる。一方、図-3 の No.6(AF0.5vol%+RC:p=0.19%)の最大荷重は約 220kN となり、No.4,No.5 と比較して約 2 倍の曲げ耐力を示している。また、図-4 には、No.5,No.6 の荷重-鉄筋ひずみ曲線を示しており、荷重がそれぞれ No.5 では約 110kN、No.6 では約 200kN の時に鉄筋ひずみが約 2000 μ に達し鉄筋が降伏していることがわかる。このとき、図-3 に示す鉄筋降伏点位置より、各供試体における CMOD は No.5(RC: p=0.19%)では約 0.3mm、No.6(AF0.5vol%+RC:p=0.19%)では約 0.7mm となり、鉄筋降伏時においては No.6 の方が CMOD が大きくなった。これは、引張力を AF と鉄筋の双方で負担していることから、AF によって鉄筋の降伏を遅らせることができたためと推察できる。また、No.6 の CMOD は、他の供試体の同じ荷重レベルの CMOD と比較して値が小さいことから、ひび割れ幅の増大が繊維と鉄筋によって大きく抑制され、またひび割れの分散効果を得られていることがわかる。鉄筋コンクリートに繊維を混入した場合にひび割れが抑制されるという特性は、鋼繊維では確認されているが⁴⁾、本試験により AF においても同等の特性を示すこと明らかとなった。

4. まとめ

本試験結果から、得られた知見を以下に示す。

- ① PP0.5vol%と AF0.3vol%は、おおむね同等の曲げ耐力と靱性を示す。
- ② AF0.5vol%と RC:p=0.19%は、おおむね同等の曲げ耐力と靱性を示す。
- ③ AF0.5vol%+RC:p=0.19%は、AF0.5vol%および RC:p=0.19%と比較して約 2 倍の曲げ耐力を有する。

なお、本試験においては、供試体が少数であり、また、繊維の形状・材質や寸法効果の影響等も考えられるため、結果や傾向が全ての条件下に適用できるとは判断していない。曲げ耐力については、本稿の結果を基に更なる検証が必要であると考えます。

参考文献 1) 日本鉄鋼連盟：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，2002 年 11 月
 2) 竹村いずみ・亀谷英樹・椎名貴快・西村和夫：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部材耐力の評価，トンネル工学報告集 第 23 巻，pp.93-99，2013 年 11 月
 3) 東・中・西日本高速道路(株)：トンネル施工管理要領(繊維補強覆工コンクリート編)，平成 23 年 7 月
 4) 日本鉄鋼連盟：スチールファイバーコンクリートの手引，2004 年 6 月