

第V部門

2026年9月4日(金) 16:20 ~ 17:40 | 7号館4階D40 (北海学園大学)

耐震補強4/連続繊維補強コンクリート

座長：内藤 英樹 (東北大学)

16:50 ~ 17:00

[V-813] 連続繊維補強FRCC部材の曲げ性状に及ぼす補強筋弾性係数の影響

*丸子 晴樹¹、金久保 利之¹ (1. 筑波大学)

キーワード：連続繊維補強材、FRCC、断面解析、補強筋弾性係数、初期剛性

コンクリート構造物の劣化に対し，様々な弾性係数を持つ連続繊維補強材の利用が想定される．本研究では，連続繊維補強材と繊維補強セメント複合材料（FRCC）を組み合わせた部材の曲げ性状について，梁部材を対象とした断面解析により補強筋弾性係数の影響を考察した．解析パラメータは補強筋弾性係数を400～1.7GPaの9種類，FRCCをPVA繊維，アラミド繊維および繊維を混入しないモルタルの3種類とした．計算の結果，補強筋弾性係数が大きいほど最大曲げモーメントが増大した．FRCCの差異が最大曲げモーメントに及ぼす影響は小さいが，補強筋弾性係数が小さい場合，FRCCの引張特性が部材の初期剛性を増大させる．

連続繊維補強 FRCC 部材の曲げ性状に及ぼす補強筋弾性係数の影響

筑波大学 学生会員 ○丸子 晴樹

筑波大学 正会員 金久保 利之

1. はじめに

鉄筋コンクリートには鉄筋腐食による劣化があり、耐腐食性を持つ連続繊維補強材の利用が検討されてきた。さらに、連続繊維補強材と繊維補強セメント複合材料 (FRCC) を組み合わせることで、高性能な部材が実現される¹⁾。連続繊維補強材には炭素繊維やアラミド繊維、ガラス繊維などの種類があり、それぞれ弾性係数が異なる。補強材の弾性係数は加工法によっても変化し、今後も様々な弾性係数を持つ材料が補強材として検討されることが想定される。そこで本研究では、連続繊維補強材で補強された FRCC 部材の曲げ性状に着目し、断面解析により補強筋弾性係数の影響を考察した。

2. 解析概要

2. 1 解析対象

断面幅 160mm、せい 230mm の梁部材を解析対象とし、補強筋は有効せい 200mm の位置に補強筋比で 2.21% を配した。解析パラメータを表 1 に、解析対象断面を図 1 に示す。補強筋弾性係数は 400GPa、210GPa、130GPa、80GPa、60GPa、30GPa、10GPa、3.4GPa、1.7GPa の 9 種類とした。FRCC は、文献 2) の PVA 繊維 (繊維径 27 μ m、繊維長 6mm、体積混入率 2%) を用いた PVA027-2%、文献 1) のアラミド繊維 (繊維径 12 μ m、繊維長 12mm、体積混入率 0.5%) を用いた AF-0.5%、および繊維を混入しないモルタル (MT) の 3 種類とした。

2. 2 材料構成則

補強筋は弾性モデルとし、破断や降伏はしないものとした。FRCC の応力-歪関係を図 2 に示す。圧縮側は既往の圧縮試験結果を参考にし、表 2 に示す特性値による Popovics モデル ((1)式) とした。引張側は既往の研究より、PVA027-2% では (2) 式に示す Popovics モデル²⁾、AF-0.5% ではバイリニアモデル¹⁾ を適用した。引張側特性値を表 3 に示す。

表 1 解析パラメータ

ID	補強筋弾性係数 (GPa)	補強筋比 (%)	FRCC	
			繊維	体積混入率 (%)
MT	400, 210, 130,	2.21	-	-
PVA027-2%	80, 60, 30,		PVA027	2.0
AF-0.5%	10, 3.4, 1.7		AF	0.5

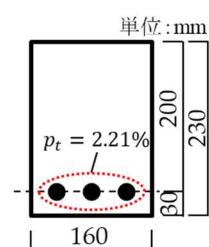


図 1 解析対象断面

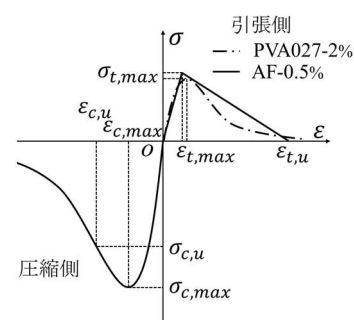


図 2 FRCC 応力-歪関係

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{c,max}} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c,max}} \cdot \frac{n}{(n-1) + (\varepsilon_c/\varepsilon_{c,max})^n} \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_{t,max}} = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_{t,max}} \cdot \frac{n}{(n-1) + (\varepsilon_t/\varepsilon_{t,max})^n} \quad (2)$$

σ_c : 圧縮応力, ε_c : 圧縮歪, $\sigma_{c,max}$: 圧縮強度,
 $\varepsilon_{c,max}$: 圧縮強度時歪, $\varepsilon_{c,u}$: 圧縮終局歪,
 σ_t : 引張応力, $\varepsilon_t = w_t/l_{cr}$: 引張歪,
 w_t : ひび割れ幅, l_{cr} : ひび割れ間隔,
 $\sigma_{t,max}$: 引張強度, $\varepsilon_{t,max}$: 引張強度時歪,
 $\varepsilon_{t,u}$: 引張終局歪, n : 形状定数

表 2 圧縮側特性値

圧縮側	$\sigma_{c,max}$ (MPa)	$\varepsilon_{c,max}$ (%)	$\varepsilon_{c,u}$ (%)	n
共通	35	0.4	0.8	2.3

表 3 引張側特性値

ID	$\sigma_{t,max}$ (MPa)	$\varepsilon_{t,max}$ (%)	$\varepsilon_{t,u}$ (%)	l_{cr} (mm)	n
MT	-				
PVA027-2%	3.03	0.51	14.3	21	5.87
AF-0.5%	3.34	0.39	6.6	33	-

キーワード 連続繊維補強材, FRCC, 断面解析, 補強筋弾性係数, 初期剛性
 連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 TEL 029-853-5045

3. 計算結果

3. 1 曲げモーメントー曲率関係

断面解析により得られた曲げモーメントー曲率関係および最大曲げモーメント時の FRCC 応力分布を図 3 に示す。補強筋弾性係数が大きいほど最大曲げモーメントが増大し、最大曲げモーメント時の曲率は減少した。中立軸は補強筋弾性係数が大きいほど、引張側に移行した。FRCC の差異が最大曲げモーメントに及ぼす影響は小さく、圧縮領域と補強筋の性状に支配される。

曲げモーメントー曲率関係上に示すプロットは、引張縁応力が FRCC の引張強度に達した点 (●, ○), 引張縁応力が FRCC の引張強度の 1/10 に減少した点 (▲, △), 圧縮縁が FRCC の終局歪に達した点 (■, □) を示す。引張縁における FRCC 引張応力は曲率の小さい初期段階で確認できる。圧縮縁が終局状態に至るときに引張縁の FRCC の引張応力も小さくなり終局となる補強筋弾性係数は、PVA027-2%で 60GPa 程度となった。

3. 2 初期剛性

FRCC のひび割れ強度を 3.0MPa として(3)式により曲げひび割れモーメント M_c を算出し、 M_c と原点を結んだ直線の傾きを初期剛性とした。

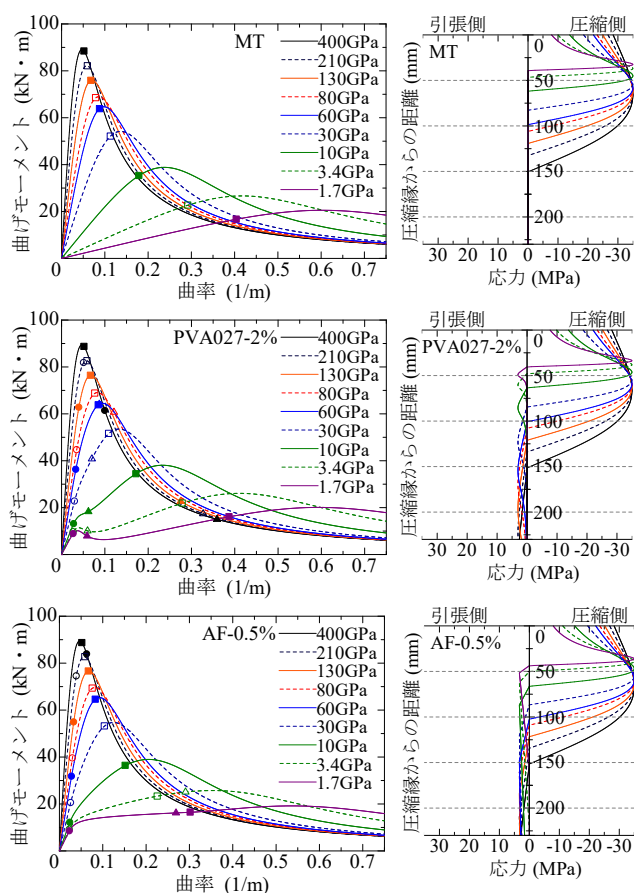
$$M_c = \sigma_{cr} Z_e \quad (3)$$

Z_e : 断面係数, σ_{cr} : ひび割れ強度

補強筋弾性係数と初期剛性の関係を図 4 に示す。初期剛性は補強筋弾性係数とともに増加するが、弾性係数 3.4GPa では FRCC が MT の 4 倍以上, 1.7GPa では MT の 7 倍以上の初期剛性を示した。補強筋弾性係数が小さい場合, FRCC の引張特性が初期剛性を増大させる。

参考文献

- 1) Sasaki, H., Shiferaw, H. N., Kanakubo, T., Verification of Crack Width Evaluation in Fiber-Reinforced Cementitious Composite Reinforced with Various Types of Fiber-Reinforced Polymer Bars, Fibers, 13(5), 60, 2025.
- 2) Shiferaw, H. N., et.al., Influence of Fiber Dimensions on Bridging Performance of Polyvinyl Alcohol Fiber-Reinforced Cementitious Composite (PVA-FRCC), Fibers, 12(8), 70, 2024.



- , ○ : 引張縁応力が $\sigma_{t,max}$ に達した点
- ▲, △ : 引張縁応力が $0.1\sigma_{t,max}$ に減少した点
- , □ : FRCC 圧縮縁の歪が ϵ_u に達した点

図 3 計算結果 (左) 曲げモーメント曲率一関係 (右) FRCC 応力分布

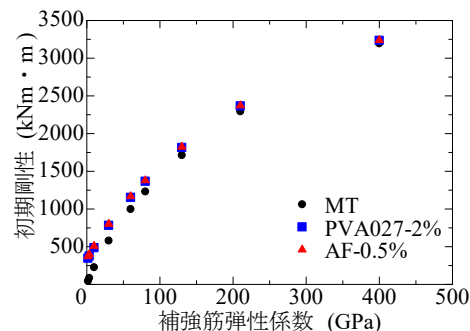


図 4 補強筋弾性係数と初期剛性の関係

4. まとめ

- (1) 補強筋弾性係数が大きいほど最大曲げモーメントが増大する。FRCC 引張応力の影響は小さい。
- (2) 圧縮縁と引張縁が同時に終局状態に至る補強筋弾性係数は PVA027-2%で 60GPa 程度となった。
- (3) 補強筋弾性係数が小さい場合, FRCC の引張特性が部材の初期剛性を増大させる。

謝辞 本研究は, JSPS 科研費基盤研究(B)25K01362 による。