

遠心成形により鋼繊維配向のばらつきを低減した SFRC 杭の開発とそのせん断実験

早稲田大学大学院 学生会員 海崎真穂, 細野悠花, Lai Yudan, Chen Chi

日本コンクリート工業 (株) 技術開発部 近藤壮一郎

早稲田大学 正会員 秋山充良, Lim Sopokhem

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリート (SFRC) は, 鋼繊維の架橋効果により, 引張に対する抵抗力が弱いコンクリートの弱点を補うことができる¹⁾. 一方, 鋼繊維の配向をコントロールすることは極めて難しく, 結果として部材内でその配向は大きくばらつくことから, SFRC 部材の耐荷力にもばらつきが生じ, その改善が課題となっている. 本研究では, 杭体の製造で用いられる遠心成形製造法に着目し, その過程で発生する周方向の流れを活用することで鋼繊維を部材軸直角方向に配向させ, せん断補強鉄筋が不要な SFRC 杭の開発を試みる. まず, X 線撮影を行い鋼繊維を可視化しながら, それを部材軸直角方向に配向させる条件 (コンクリートの配合, 鋼繊維の形状, あるいは遠心成形法など) を整理する. 次いで, その条件で製作した SFRC 杭のせん断実験を行い, 鋼繊維の有無や杭径がせん断強度に及ぼす影響を検討し, 鋼繊維によるせん断補強鉄筋の代替可能性を検討する.

2. 遠心成形実機を用いた SFRC 杭の製造法の検討

鋼繊維の形状などを変えた杭体を作製し, 最適な製造法の同定を試みる. 鋼繊維には, 図-1 に示す 3D 鋼繊維と 5D 鋼繊維を候補とし, 直径 200mm, 目標肉厚 40mm, 杭長 300mm の杭体を鋼繊維量 0.5 vol% で製作する. 遠心成形装置を用いる際は, 0.5G, 3G, 9G, そして 25G (G は重力加速度) と遠心力を増加させている. 遠心成形では, 低速回転はコンクリートを杭体内に均し, 鋼繊維の均一な分布および配向を得ることに寄与する. さらに, その後の高速回転によりコンクリートを締め固めることができる. 遠心成形後, 供試体断面を四分割し, それぞれを X 線撮影することで鋼繊維の配向を可視化した.

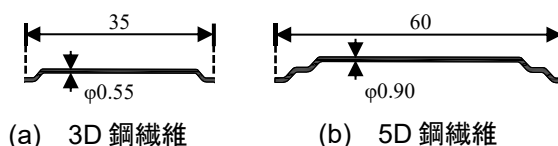


図-1 鋼繊維の形状と寸法 (単位: mm)

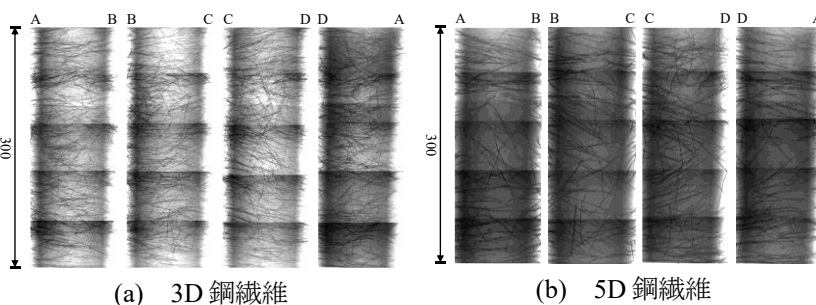


図-2 X線画像

コンクリートの配合および遠心成形のパターンは, 小型供試体を用いた既往研究^{2), 3)}と同じにしているが, 実機を用いた遠心成形においてもその条件が適用できることを確認した. X線撮影の結果, 図-2 に示す通り, 3D 鋼繊維を用いた場合には, 概ね偏りのない鋼繊維分布が得られている一方で, 5D 鋼繊維では鋼繊維に偏りが生じ, 鋼繊維が全く存在しない領域が生じた. これは, 同じ鋼繊維量の場合には, 5D 鋼繊維の本数が少ないことが影響しているためである. 別途, 鋼繊維量を 1.0 vol% まで増やした実験も行っているが, その場合には 5D 鋼繊維でも良い分布が得られている. 設定する鋼繊維量により, 望ましい配向や分布を得ることができる鋼繊維種別は異なると思われ, 今後, さらなる検討が必要である.

3. 遠心成形 SFRC 杭のせん断実験

本研究では, 上記で定めた遠心成形法により製造した SFRC 杭のせん断強度を確認することを目的としたことから, 確実にせん断破壊を生じさせるために鋼繊維量を 0.50 vol% に固定し, 3D 鋼繊維のみを使用して直径 200 mm と 350 mm の SFRC 杭を作製し, せん断実験を行った. 本実験に用いた供試体一覧を表-1 に示す. 3点载荷によりせん断力を与え, 载荷荷重と中央変位を測定する. なお, 軸方向鉄筋に沿ったひび割れ, および断面変形を防ぐた

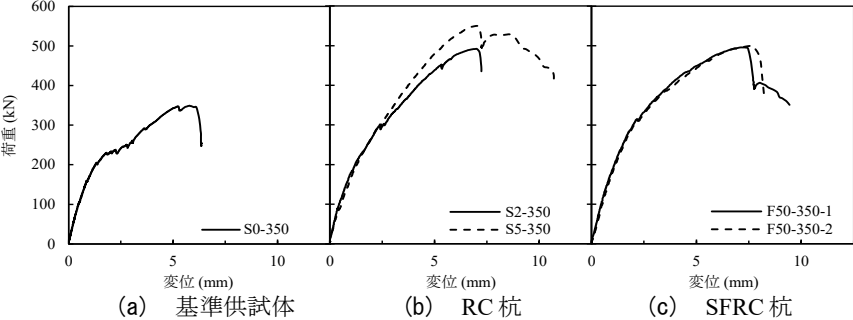
キーワード 鋼繊維補強コンクリート杭, 遠心成形, せん断強度, せん断補強鉄筋, X線撮影

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科 TEL 03-5286-2694

表－1 供試体概要と載荷試験結果

供試体	鋼繊維量 (vol%)	せん断補強鉄筋		肉厚 (mm)	コンクリート	最大荷重 (kN)	せん断強度 (N/mm ²)	破壊形態
		本数 (本)	間隔 (mm)		圧縮強度 (N/mm ²)			
S2-350	0	2	220	70.6	65	492	7.98	斜め引張 破壊
S5-350		5	110	72.8		550	8.93	
S0-350		0	0	68.4	70	349	5.67	
F50-350-1	0.50			68.4	71	496	8.05	
F50-350-2				67.7		500	8.13	
S0-200	0			49.5	76	152	6.45	
F50-200-1	0.50			48.3	74	192	8.13	
F50-200-2				48.3		187	7.93	

め、供試体の載荷点および支点に鋼製のバンドを用いている。せん断実験により得られた荷重－変位関係を図－3に示す。鋼繊維とせん断補強鉄筋をともに有しない S0-350 供試体では、斜め引張破壊を呈することで最大荷重を発現した。当然、図－3(b)に示すように、S2-350 や S5-350 ではせん断補強鉄筋量の増加に伴い、せん断強度は増加している。せん断補強鉄筋がなく 0.50 vol%の鋼繊維量を与えた F50-350-1 および F50-350-2 供試体では、S0-350 供試体の最大荷重近くに達すると斜めひび割れが観察された

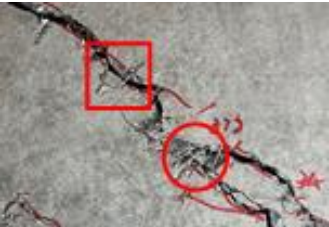


図－3 荷重変位関係

が、その後も荷重は単調に増加し、図－3(c)に示すように最大荷重はいずれも 500 kN ほどであった。鋼繊維を有するどちらの供試体も斜め引張破壊し、ひび割れ性状や荷重－変位関係など、得られたせん断挙動は両供試体でほぼ同じであった。遠心成形 SFRC 杭では、鋼繊維分布と配向のばらつきが抑えられ、鋼繊維により、一定かつ安定したせん断補強効果が得られたためと思われる。また、F50-350 供試体の最大荷重は、せん断補強鉄筋を 2 本持つ S2-350 供試体と同等である。本実験では鋼繊維量を 0.5 vol%に抑えていたが、通常の曲げ耐力を持つ杭体で、かつ鋼繊維量を増やすことにより、曲げ破壊型となる SFRC 杭の製造は十分に可能であることが示唆された。

斜めひび割れ部分に着目すると、図－4 のように、鋼繊維量が多い丸で囲われた場所では鋼繊維の架橋効果が確認される。このようにひび割れ幅の拡大が抑制されることによって、SFRC 杭全体としてひび割れが分散して発生することが確認された。

鋼繊維とせん断補強鉄筋がともにない場合には、径が増加するのに伴いせん断強度が 10%程度低下する寸法効果が確認されたのに対し、SFRC 杭では、径に関わらずせん断強度の大きさは同程度となった。鋼繊維が含まれることにより斜めひび割れが分散して発生し、また、杭体では円周方向に均一に軸方向鉄筋が配筋されているためと思われる。



図－4 鋼繊維の架橋効果

4. まとめ

遠心成形 SFRC 杭のせん断実験から、鋼繊維は効果的にせん断力に抵抗しており、また、通常の SFRC 部材の構造実験結果と異なり、供試体毎のばらつきがなく、ほぼ同等の荷重－変位関係が得られることを確認した。

謝辞 コンクリート配合の検討、実験供試体の製作、およびせん断実験の実施にあたり、NC 東日本コンクリート工業（株）川島工場の皆様に多大なるお力添えを頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 小林一輔, 趙力采: 鋼繊維補強コンクリートのひびわれ拘束性能の試験方法, 土木学会論文報告集, No.300, pp.109-119, 1980. 2) Raju, R. A, Akiyama, M., Lim, S., Kakegawa, T. and Hosono, Y.: A novel casting procedure for SFRC piles without shear reinforcement using the centrifugal forming technique to manipulate the fiber orientation and distribution, *Construction and Building Materials*, Vol. 303, 124232, 2021. 3) 細野悠花, 秋山充良, 掛川達矢, 宇野洋志城: せん断補強鉄筋を必要としない遠心成形 SFRC 杭の開発とそのせん断強度に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.931-936, 2021.