

## 遠心成形 SFRC 杭の開発とそのせん断強度に関する基礎的研究

早稲田大学 学生会員 ○掛川 達矢, Raju Ramiz Ahmed, 影山 卓己, 張 雨月

佐藤工業株式会社 正会員 宇野 洋志城

早稲田大学 正会員 Lim Sopokhem, 秋山 充良

## 1. はじめに

プレキャストコンクリート杭は、地震作用を受けても曲げが卓越する場合が多く<sup>1)</sup>、使用されるせん断補強鉄筋量が橋脚などに比べて大幅に少ない。そこで著者らは、プレキャストコンクリート杭の製造法である遠心成形を利用することにより、鋼繊維を円周方向に配向させてせん断力を負担させることで、せん断補強筋を必要としない遠心成形 SFRC (Steel Fiber Reinforced Concrete: 鋼繊維補強コンクリート) 杭の開発を試みている。本稿では、遠心成形 SFRC 杭を製作し、せん断試験を行った結果を報告する。具体的には、X 線撮影<sup>2),3)</sup>により、遠心成形 SFRC 杭の鋼繊維数の分布とその配向、およびそれらとせん断強度の関係について考察した。また、せん断補強鉄筋を用いた供試体も製作し、そのせん断強度との比較を行うことで、鋼繊維によるせん断補強鉄筋の代替可能性を検討した。

## 2. 実験概要

本実験で製作した供試体の一覧を表-1に示す。鋼繊維量は0, 0.25, そして0.50 vol %の3条件を用意した。鋼繊維量を0 vol %とした供試体にはせん断補強鉄筋をせん断スパン内に配筋した。

せん断補強鉄筋を用いた供試体の寸法を図-1に示す。杭厚は JIS A 5303 に示される杭の外径と杭厚の比率を参考に、外径 154 mm に対して 1/5 倍となる 30.8 mm とした。軸方向鉄筋には D10 鉄筋を、せん断補強鉄筋には D4 鉄筋を用いた。鋼繊維 (Dramix 3D 35BG) は、全長 35 mm、直径 0.55 mm のストレート両端フック形状である。杭型枠には硬質ポリ塩化ビニル管 (VU150) を用いた。遠心成形の動力にはブラシレスモーターを使用し、速度制御のもとで打設を行った (図-2)。遠心成形の際、0.6, 3, 9, 20, 30 G の遠心力を、それぞれ 5, 3, 3, 3, 5 分間与えた。低速回転は鋼繊維数の分布や配向、高速回転は SFRC の締固めに寄与するものとなる。

また、せん断実験時に割裂破壊が生じることを防ぐため、支点の 10 mm 外側から端面にかけて炭素繊維シートを巻き立て、杭の内部にはコンクリートを充填した。3点載荷試験におけるせん断スパンは 140 mm (図-1) であり、載荷速度は 0.75 mm/min の荷重制御である。

鋼繊維数の分布および配向は、供試体を 8 方向から X 線撮影することにより抽出した。X 線装置および X 線画像の一例を図-3に示す。X 線画像に可視化された鋼繊維情報から、端点・中点の座標、および鋼繊維の部材軸に対する角度を抽出した。鋼繊維数の分布は、杭体を軸方向に 8 分割、円周方向に 16 分割した各要素について、供試体全体に占める各要素に含まれる鋼繊維数の割合を求めている。この値の大小を色の濃淡で表し、鋼繊維数の分布を可視化した。また、各要素の鋼繊維数の割合の変動係数を求め、鋼繊維数の分布のばらつきの指

表-1 供試体諸元

供試体名	S1	F25	F50
供試体数	1	2	2
せん断補強鉄筋本数 [本]	1	0	0
鋼繊維量 [vol %]	0	0.25	0.50

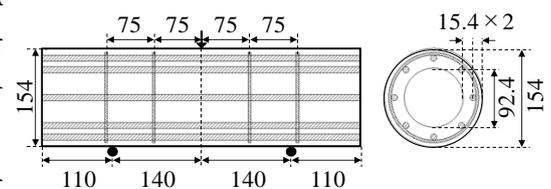


図-1 供試体寸法(単位: mm)

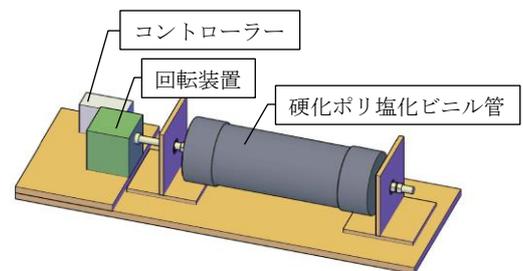
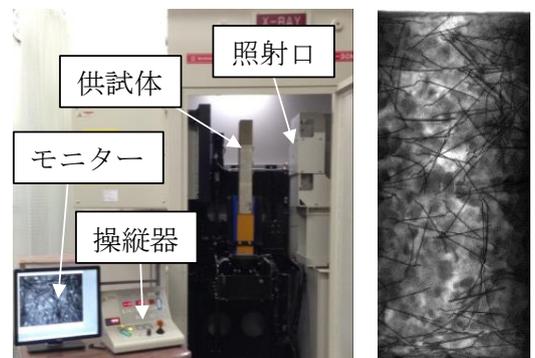


図-2 遠心成形装置



(a) X線装置 (b) X線画像

図-3 X線撮影概要

キーワード 鋼繊維補強コンクリート, プレキャストコンクリート杭, 遠心成形, X線撮影, せん断強度  
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

標とした。鋼繊維配向は、鋼繊維の角度の度数分布として、縦軸を(各度数における鋼繊維数  $N$ ) / (全鋼繊維数  $N_{\text{all}}$ )  $\times 100\%$ 、横軸を鋼繊維角度  $\alpha$  とした図を作成する。なお、本研究において  $90$  度は円周方向を表す。変動係数が小さく、かつ、鋼繊維が  $90$  度に配向するほど、鋼繊維は効果的にせん断力を負担できると考えられる。

### 3. 実験結果と考察

各供試体のせん断試験から得られた最大荷重時のひび割れ図と、前述の方法にて定量化した各要素の鋼繊維数の分布を重ねた。一例として、F50-1 の結果を図-4 に示す。ここで、卓越した斜めひび割れを特に黒線で示している。また、各供試体の鋼繊維数の分布の変動係数と最大荷重を表-3 にまとめて示す。図-5 には各供試体の鋼繊維角度の度数分布を示している。図-4 より、比較的鋼繊維の少ない部分で斜めひび割れが進展しており、鋼繊維によるひび割れの抑制が確認できる。一方、表-3 に示されるように、変動係数の大きさは、鋼繊維量が多いほど小さくなっている。鋼繊維が少ない場合には、極端に鋼繊維量が少ない要素が生まれてしまい、結果として、変動係数を大きくしたと思われる。遠心成型により作りだされる杭周方向の流れにより、多くの鋼繊維が杭軸直角方向に向いていることが図-5 より確認できる。杭体のせん断補強を目的としており、意図した通りに  $90$  度近辺の配向を持つ鋼繊維を多数作り出すことができおり、X 線画像による可視化により遠心成型の効果を確認できたと言える。

一方、実験で得られた最大荷重に着目すると、鋼繊維を使用せず、せん断補強鉄筋を与えた供試体 (S1) と同程度の最大荷重が得られている。ただし、最大荷重の大きさには、実験パラメータによる特定の傾向が確認できない。F50-1 供試体は、S1 供試体以上の最大荷重を発現できており、せん断補強鉄筋を必要としない SFRC 杭の開発は可能であることが示唆された一方で、同じ鋼繊維量を持つ F50-2 供試体は、その量が半分の F25-1 や F25-2 供試体と同程度の最大荷重しか発現できていない。鋼繊維量の効果が明確に確認できなかった理由としては、本実験のせん断スパン比の大きさも影響していると思われる。既往の研究<sup>4)</sup>において報告されているように、せん断スパン比が小さく、せん断圧縮破壊型となる場合には、斜めひび割れの部材軸方向に対する角度が大きくなり、斜めひび割れとせん断補強鉄筋が相対的に平行に近づくため、せん断補強鉄筋のせん断強度への寄与が小さくなる。これと同じことが本実験でも起きたと思われる。今後、せん断スパン比を変更し、また、鋼繊維量を増減させた実験も行うなどして、鋼繊維によるせん断補強鉄筋の代替方法をさらに検証する必要がある。

### 4. おわりに

遠心成型を用いることにより、SFRC 杭内の鋼繊維は円周方向 (部材軸直角方向) に配向され、せん断力の効果的な負担が期待できることが X 線撮影とデジタル画像処理により明らかとなった。ただし、本実験の範囲では、せん断強度の大小と鋼繊維量や配向の関係を明確にできず、今後の課題として残された。

### 参考文献

- 1) 袴田智之, 鈴木慶吾, 河野哲也, 七澤利明: 高強度せん断補強筋を配した遠心力高強度プレストレストコンクリート杭 (PHC 杭) の曲げ変形能, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.463-468, 2016.
- 2) RAJU R. A., Lim S., Kageyama T., & Akiyama M.: Effect of concrete flow on the flexural behavior of fiber reinforced self-compacting concrete beams, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol. 40, No.2, pp. 1189-1194, 2018.
- 3) Lim S., Okamoto T., Matsuda M. & Akiyama M.: Flexural behavior prediction of SFRC beams: A novel X-ray technique, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol. 38, No.2, pp. 83-91, 2016.
- 4) 幸左賢二, 脇山知美, 西岡勉, 小林寛: せん断スパン比に着目したディープビームの破壊形態に関する実験的検討, 土木学会論文集 E, Vol.62, No.4, pp.798-814, 2006.

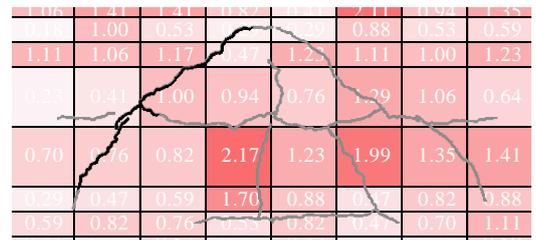


図-4 鋼繊維数の分布とひび割れの関係

表-3 各供試体の変動係数と最大荷重

供試体名	S1	F25-1	F25-2	F50-1	F50-2
変動係数		0.73	0.66	0.59	0.53
最大荷重 [kN]	156	143	144	160	144

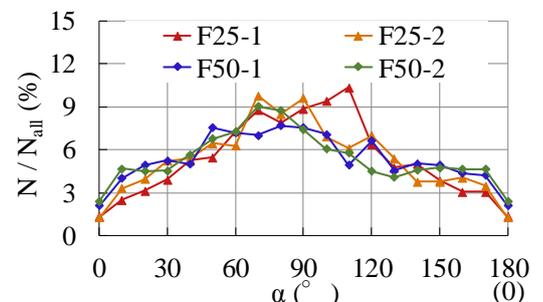


図-5 鋼繊維配向