

自動補強システムを有するコンクリート 3D プリンタに適した層間補強方法に関する基礎的研究

ライフサイクル工学分野
小林紀行

建設用 3D プリンタ 自動施工 層間補強
自動挿入機構 補強繊維 付着強度

1. はじめに

国内の建設業は、少子高齢化に伴う就労人口や熟練工の減少が問題となっており、労働生産性の向上は喫緊の課題である¹⁾。このような状況で、3Dプリンティング技術が建設分野で利用され始めている。建設用3Dプリンタ(以下、3DCP)には、デザインの自由度の向上、環境配慮、省人化など様々な利点がある²⁾。一方で、得られる積層体の積層間に生じる不連続層が力学的な弱点になるという課題がある。また、通常の鉄筋補強を適用することが困難であるため、補強方法についての様々な検討が行われている³⁾。その一つに、積層されたモルタルに田植えのように補強繊維を挿入することで層間を補強する方法が提案されている⁴⁾。ここでは、挿入機構を開発し、挿入角度の制御や空隙の抑制を実現している⁵⁾。また、FEM解析による補強繊維の配置計画の検討も行われている⁶⁾が、その検討範囲は十分ではない。

これらの背景から、補強繊維の配置計画の検討を行うために、ここでは3DCPによる積層を模擬的に再現した打込み試験体(以下、模擬試験体)と3DCP実機試験により作製した積層体から切り出した試験体(以下、実機試験体)を作製し、力学試験とX線CT観察を行う。また、補強繊維の引抜試験を実施し、繊維の形状の検討を行う。

2. 実験概要

2.1. 使用材料

積層材料には、積層実績のあるプレミックス材料を使用した。また、水添加率を14.75%とした。補強繊維として、市販の円柱状鋼繊維(S45C、 $\phi=5$ mm、L=30 mm、60 mm)を使用した。

2.2 模擬試験体の作製

補強繊維の配置、径、長さや材質などを実験パラメータとして、模擬試験体を作製した。模擬試験体は、3DCP実機による積層に先立って、少量の材料で簡易に作製が可能であることから採用した。図1に模擬試験体の作製方法を示す。図2には、積層の際に生じる不連続面を模擬的に再現した打継ぎ位置と補強繊維の試験体内の配置を示す。

2.3 実機試験体の作製

模擬試験体の実験結果の妥当性を確認するため、3DCP実機による積層体から、図2と同様の形状・補強繊維の試験体を作製した。

2.4 力学試験

模擬試験体と実機試験体について、二面せん断試験を実施した。模擬試験体について、3点曲げ試験を行った。

2.5 X線CT観察

マイクロX線CTにより実機試験体の内部を撮影した。撮影データは画像処理を行い、繊維の傾きと空隙を観察した。

2.6 引抜試験

図3に示す形状の引抜試験体を作製し、引抜試験を行った。埋込繊維には、表面性状の異なる2種の円柱状鋼繊維と市販

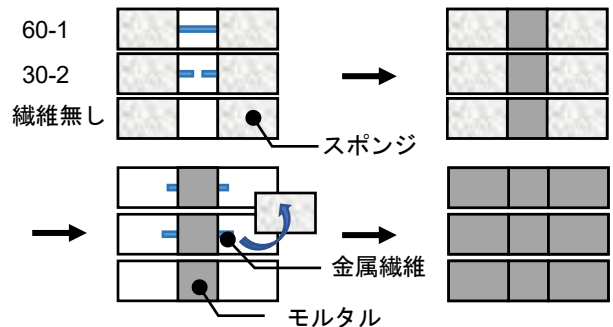


図1 模擬試験体作製手順

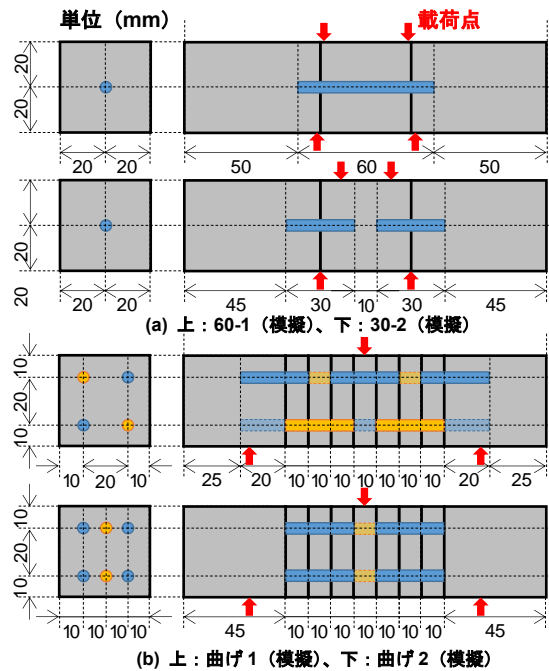


図2 模擬試験体概要と補強繊維配置

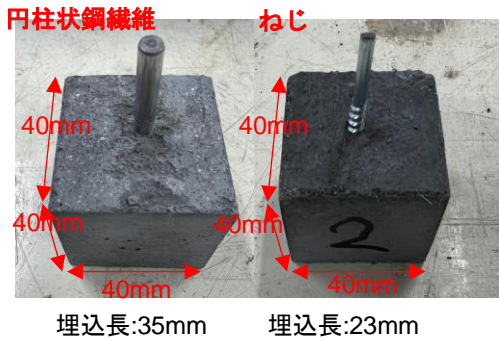


図3 引抜試験試験体

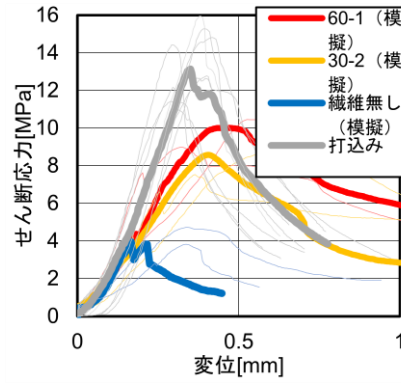


図4 せん断試験結果：模擬試験体

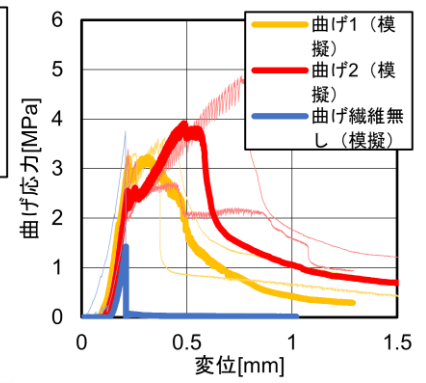
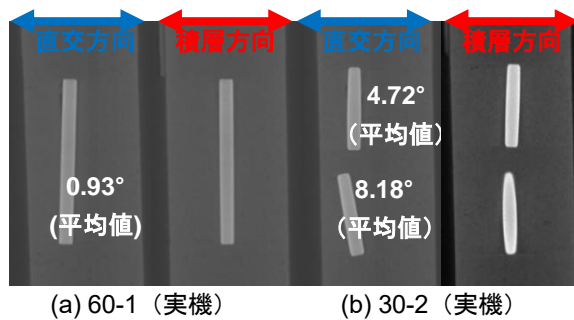


図5 曲げ試験結果：模擬試験体



(a) 60-1 (実機) (b) 30-2 (実機)
図6 X線CT画像

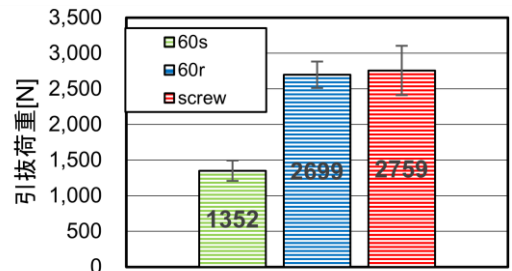


図7 引抜試験結果

のねじを使用した。加工前の円柱状鋼繊維を挿入した試験体を60s、加工後の円柱状鋼繊維を挿入した試験体を60r、ねじを挿入した試験体をscrewとする。試験は繊維上部をチャックで掴み、モルタル上部を金属板に押し当てて固定し、繊維を鉛直方向に引き抜いた。

3. 実験結果と考察

せん断試験の結果を図4に示す。繊維を適切な位置に挿入することで、繊維無しに比べせん断強度が向上した。また、30mmの繊維を直列に2本挿入した試験体よりも60mmの繊維を1本挿入した試験体の方が、補強効果が高いことを確認した。模擬試験体と実機試験体は、せん断強度の絶対値に差異は見られるものの同様の傾向を示したため、3DCPによる積層を模擬的に再現した試験体を用いて繊維配置の検討を行うことの妥当性が確認できた。

次に、曲げ試験の結果を図5に示す。繊維を挿入することにより曲げ強度と靱性が向上することが確認できた。曲げ1(模擬)と曲げ2(模擬)では、降伏点に大きな違いは確認されなかったが、降伏後の靱性的挙動には違いが見られ、曲げ2(模擬)の方が曲げ1(模擬)よりも靱性が高かった。曲げ2(模擬)は試験体中央に集中して補強繊維が位置しており、変形時に試験体下側に生じる引張応力を負担する補強繊維の本数が多い。そのため、降伏後の靱性が大きく向上したと考えられる。曲げ1と曲げ2の実機試験体については今後実施予定である。

X線CTで撮影した画像を図6に示す。60mmの繊維の方が30mmの繊維より傾きが小さく、適切な位置に挿入がされていることが確認できた。60mmの繊維の方が、硬化の進んだ下層のモルタルに到達しているため、下層モルタルが支持

層の役割を果たして、繊維が傾きにくかったと考えられる。

引抜試験の結果を図7に示す。繊維表面を粗面化することで引抜強度の向上が見られた。これは、研磨布紙によって繊維の長手方向に溝が形成され、繊維表面とモルタルとの摩擦抵抗が増加したためだと考えられる。

4. まとめ

3DCPによる積層を模擬的に再現した試験体と3DCP実機試験により作製した積層体から切り出した試験体について、力学試験とX線CT観察を実施することで、補強繊維の配置計画に関する検討を行った。また、引抜試験を実施することで、補強繊維の形状に関する検討を行った。その結果、3DCPによる積層を模擬的に再現した試験体を用いて繊維配置の検討を行うことが可能になった。また、繊維の長尺化がせん断強度の向上、傾斜と空隙の抑制に有効であることが確認された。加えて、繊維表面の粗面化により引抜強度の向上が見られた。

[参考文献]

- 丸屋剛ら, コンクリート工学年次論文集, Vol.59, pp.173-180, 2021
- 石田哲也ら, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.17-26, 2021
- 石田哲也ら, コンクリート工学, Vol.58, pp.45-51, 2020
- Nishiwaki, T. et al., ACI Materials Journal, Vol.118, No.6, pp.331-340, 2021
- Asakawa, T et al., Third RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication, Vol.1, pp.411-416, 2022
- 浅川智哉ら, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.913-914, 2022.9