

3Dプリンターを活用したPCaケーソン基礎の製作

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○新杉 匡史 正会員 石関 嘉一
 (株)大林組 土木本部 正会員 西村 俊亮 正会員 高橋 敏樹
 日本ヒューム (株) 田口 拓望 郷 富雄

1. はじめに

建設現場における生産性向上の方策のひとつとして、3Dプリンター（以下3DPと称す）を用いた自動化施工が期待されている。3DPにて構造物全体や部材の一部が製造可能になれば、型枠の製造・組立・解体に関わる手間と費用を大幅に省力化できる。

これまでの研究¹⁾では、3DPによる外殻と吹付けコンクリートによって梁構造物を製作した。そこで、基本的な構造特性の検討を行った結果、構造物として成立することが確認できた。本報では、3DPを用いた外殻の製作と、吹付けまたは流し込みの2種類の工法を用いた構造物の施工により、半円状のPCaケーソン基礎を模した縮小模型（以下PCaブロックと称す）を製作した。一連の製作は、ロボットアームを用いた自動化施工により行い、その施工性と強度性状について確認した。

2. PCaブロックの製作

2.1 PCaブロックの構造

図-1に吹付け、図-2に流し込みより製作したPCaブロックの平面図を示す。いずれのPCaブロックも高さは1000mmである。3DPで製作した外殻の内部に鉄筋およびシース管（φ50mm）を設置した。ただし、図-1のように吹付けにより製作したPCaブロックは内側の外殻は用いていない。本試験では、形状が半円状であるため両端に鋼板を設置した。

2.2 3DPによる外殻の製作

外殻は写真-1に示す産業用ロボットアーム型3DPにより、積層して製作した。3DPのモルタル材料には硬化促進剤を混合したプレミックスモルタルを使用し、凝結遅延剤によって硬化速度を調整した。積層方法は3DP幅15mm、1層当たりの高さ5mmとなるよう吐出量とノズル速度を調整した。写真-2のように外周と内周の2列に分けてプリントし3DP層としての厚みが30mmとなるようにした。



写真-1 ロボットアーム

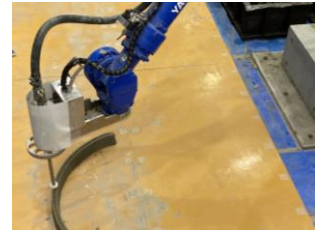


写真-2 外殻 3DP 状況

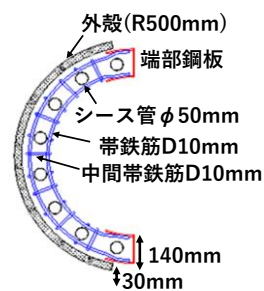


図-1 吹付け平面図

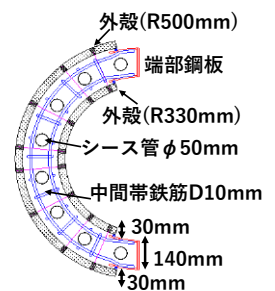


図-2 流込み平面図



写真-3 設置状況



写真-4 吹付け状況



写真-5 仕上げ状況



写真-6 吹付け完了



写真-7 流込み状況



写真-8 流込み完了

キーワード 3Dプリンター, 自動化施工, ロボットアーム, 外殻, 吹付け

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 TEL042-495-1065



写真-9 内部充填状況 写真-10 載荷試験の状況

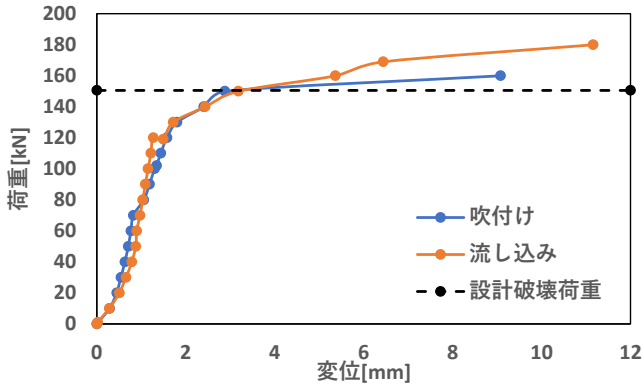


図-3 載荷試験結果

2.3 吹付けによるPCaブロックの構築

吹付け材料には、高強度繊維補強モルタル(圧縮強度 100N/mm^2)を用いた。写真-3のように外側の外殻に鉄筋およびシース管を設置した後、ロボットアームを自動で内側から旋回させ吹付けを行った。吹付け状況を写真-4に示す。吹付け方式は湿式とし、ロボットアーム先端に吹付けノズルを装着し、事前のプログラミングにより吹付け範囲を指定した。鉄筋背面への充填方法は、鉄筋の左右から鉄筋背面に吹付けできるようにノズル角度を設定し、ノズルを上下方向に稼働させて行った。吹付け後の構造物に対して、ロボットアームによる自動化施工で表面仕上げを行った(写真-5)。自動コンクリート平滑装置をロボットアームに取り付け、表面に押し当てながら上下方向に往復させて行った。吹付けによる施工完了時の外観を写真-6に示す。これにより吹付けによるPCaブロックの構築はロボットアームを用いた自動化施工が可能であることを確認できた。

2.4 流し込みによるPCaブロックの打設

外側および内側の外殻に鉄筋およびシース管を設置した後、内部に高流動コンクリートを流し込んだ。高流動コンクリートは、圧縮強度 60N/mm^2 、スランプフロー $59\pm 1\text{cm}$ となる配合を用いた。高流動コンクリートの圧送はスクイズ式ポンプを適用した。流

し込み状況を写真-7に示す。流し込みは、ロボットアームに圧送ホースを取り付け、ノズルが所定の位置に自動で移動するようにプログラミングを行い、実施した。流し込みによる施工完了時の外観を写真-8に示す。これにより流し込みによるPCaブロックの打設はロボットアームを用いた自動化施工が可能であることを確認できた。

3. 内部充填状況

内部の充填状況を確認するためにPCaブロックをワイヤーソーにより切断した。切断位置は円周方向で上部から 400mm の位置とした。その結果、写真-9のように流し込みにより製作したPCaブロックは、内部の充填状況良好であった。吹付けにより製作したPCaブロックには、若干の未充填箇所がみられたが、これは施工方法を変更することで改善可能であると思われる。

4. 載荷試験

製作したPCaブロックの載荷試験を実施した。載荷方法は鉛直方向に中央2点載荷とし、支点は両端をローラーとした(写真-10)。その結果を図-3に示す。吹付けおよび流し込みにより製作したPCaブロックは設計値以上の耐力を有することを確認できた。

5. まとめ

3DPを用いた外殻の製作と吹付けまたは流し込みの2種類の工法を用いた構造物の施工により半円状のPCaブロックを製作した。一連の製作は、ロボットアームを用いた自動化施工により行い、その施工性と強度性状について検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 3DPを用いた外殻の製作と吹付けおよび流し込みの2種類の工法を用いた構造物の施工は、ロボットアームを用いた自動化施工が可能であることを確認できた。
- (2) 製作したPCaブロックを切断し、内部の充填状況を確認したところ、充填状況は良好であった。
- (3) 載荷試験の結果から、吹付けおよび流し込みにより製作したPCaブロックは、構造物としての耐力を有することを確認できた。

参考文献

- 1) 石関嘉一ほか：3Dプリンタ外殻と鋼製の内殻を用いた吹付けコンクリート構造物の検討，第75回年次学術講演会，2021年9月，V-99