

3D プリンタとロボットを用いたプレキャストコンクリートの自動製造に関する研究

(株)大林組	正会員	○北村勇斗	正会員	石関嘉一
(株)大林組	正会員	高橋敏樹	正会員	西村俊亮
日本ヒューム (株)	正会員	田口拓望	非会員	郷 富雄

1. はじめに

コンクリート工事では、型枠の組立・解体やコンクリートの打込みの多くは人力で行われており、省力化が課題である。既往の研究¹⁾では、3D プリンタ (以下、3DP) で製造した外殻に、ロボットアームを用いて吹付けまたは打込みによりコンクリートを打ち込むことで、半円筒形状の PCa ケーソン基礎を模した試験体 (以下、PCa ブロック) を製作した。今回、円筒形状の PCa ブロックを 3DP やロボットアームを用いて製造することで、その施工性を確認した。また、PCa ブロックを連結した柱状体の曲げ試験を実施し、耐荷性能を確認した。

2. PCa ブロックの製造実験

2.1 PCa ブロックの形状 図-1 に吹付けおよび打込みにより製作した PCa ブロックの平面図を示す。いずれの PCa ブロックも外径 1000mm、部材厚さ 200mm、高さ 1000mm である。吹付けでは、内側の外殻 (以下、内側外殻) を 3DP で構築し、躯体部分を吹付けコンクリートで構築した。打込みでは、外側の外殻 (以下、外側外殻) と内側外殻を 3DP で構築し、躯体部分を高流動コンクリートで構築した。3DP で製作した外殻の内部に鉄筋、シース管を設置した。吹付けでは 2 体、打込みでは 8 体製造した。

2.2 使用材料 3DP のモルタル材料には著者らが開発した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。¹⁾ 吹付けコンクリートは、著者らが開発した高耐久吹付け材²⁾を使用した。高流動コンクリートは、スランプフロー 60.0cm、単位セメント量 500kg/m³、水セメント比 35.0%、細骨材比 51.8%のものを使用した。各材料の標準養生における材齢 28 日の圧縮強度 (JISA 1108) は、それぞれ 67.6, 106.5, 75.6N/mm²であった。

2.3 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 (写真-2)。幅 30mm、一層当たりの高さ 5mm となるよう吐出量とノズル速度を調整して積層した。

2.4 吹付けによる PCa ブロックの構築 内側外殻と鉄

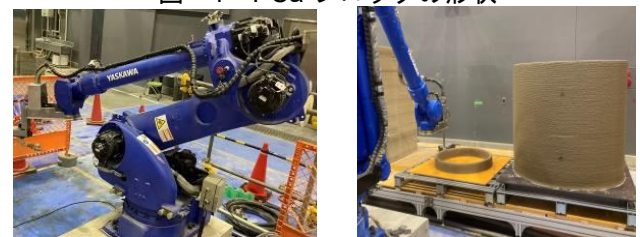
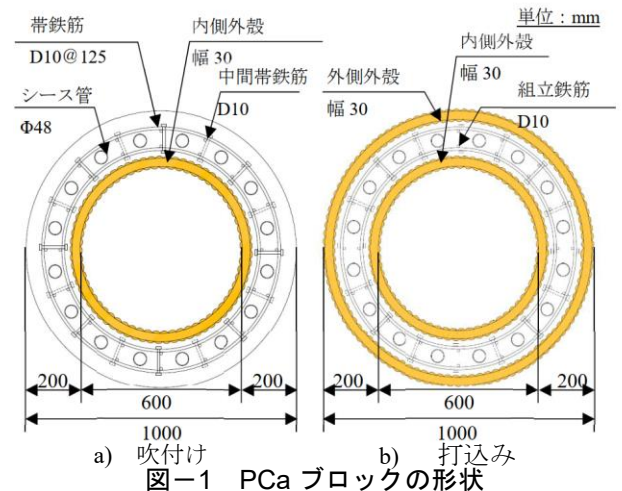


写真-1 ロボットアーム



写真-2 外殻の 3DP



写真-3 吹付け状況



写真-4 均し状況



写真-5 完成 (吹付け)



写真-6 打込み状況



写真-7 完成 (打込み)

キーワード 3D プリンタ, ロボット, 吹付け, 自動化, プレキャストコンクリート

連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 (株) 大林組 技術研究所 TEL 042-495-1111

筋およびシース管を設置後、ロボットアームで吹付けコンクリートを吹付けた（写真-3）。吹付け後、ロボットアームを用いて表面仕上げを行った（写真-4）。ロボットアームに取り付けた自動コンクリート平滑装置のこて面を表面に押し当てながら上下方向に往復させた。完成後の試験体の外観を写真-5に示す。以上より、3DPと吹付けによりPCaブロックが製造できることを確認した。

2.5 打込みによるPCaブロックの構築 内側外殻、外側外殻、鉄筋およびシース管を設置後、ロボットアームを用いて高流動コンクリートを打ち込んだ（写真-6）。完成後の試験体の外観を写真-7に示す。以上より、3DPと打込みによりPCaブロックが製造できることを確認した。

2.6 形状確認 PCaブロックの外径と厚さを計測した。計測点数は試験体1体あたり8箇所とした。計測値を図-2と図-3に示す。なお、寸法の許容値³⁾(外径: $1000 \pm 5\text{mm}$, 幅: $200-3 \sim 200+5\text{mm}$)を図中に示す。計測結果はおおむね許容値の範囲であったが、吹付けで製造したもので特に計測値のばらつきが大きく、外径と厚さの標準偏差は最大で26mm(変動係数2.25%)と6mm(変動係数2.75%)であった。今後は仕上げ精度の向上等が必要である。また、打込みで製造した試験体は吹付けで製造したものに比較して寸法精度が良好であった。

3. PCaブロック柱状体の曲げ載荷試験

打込みにより製造したPCaブロックを軸方向に8体接合した柱状体について載荷試験を実施した。柱状体は、エポキシ樹脂接着剤により隣接するPCaブロック間を接合した後、シース管に主鉄筋(D22)を挿入し、無収縮モルタルで充填することで製作した。2点支持、2点載荷で正負交番繰り返し載荷とした（写真-8）。載荷試験により得られた曲げモーメント—曲率関係を図-4に示す。実験の最大耐力は計算値⁴⁾と同程度であることを確認した。

4. まとめ

3DPとロボットアームを用いて、円筒形状のPCaブロックを自動で製造し、その施工性を確認した。また、PCaブロックを連結した柱状体の曲げ試験を実施し、耐荷性能を確認した。以下に得られた結論を示す。

- (1) 3DPで製造した外殻に、ロボットアームを用いて吹付けまたは打込みによりコンクリートを打ち込むことで、円筒形のPCaブロックの製造が可能であった。
- (2) 吹付けに比較して、打込みで製造したPCaブロックは寸法精度が良好であった。
- (3) PCaブロックを連結した柱状体は計算値と同等の耐力を有していた。

参考文献

- 1) 新杉匡史ほか：3Dプリンターを活用したPCaケーソン基礎の製作，第77回土木学会年次学術講演会講演概要集，V-565，2020.8
- 2) 平田隆祥ほか：高強度の断面修復材の耐摩耗性と加熱に対する爆裂抵抗性，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1527-1531，2018.6，3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，2017.11
- 3) 日本規格協会：JIS A 5372（プレキャスト鉄筋コンクリート製品），2016
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，2017.11

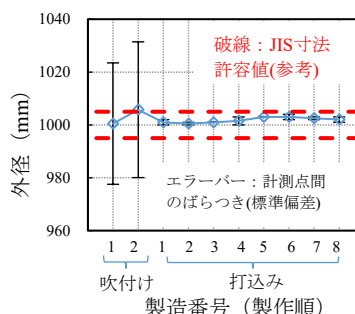


図-2 外径の計測値

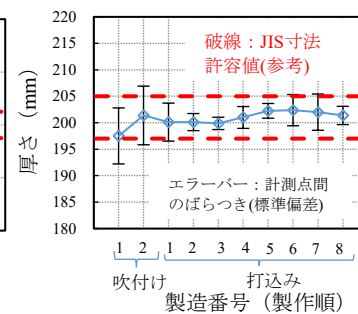


図-3 厚さの計測値



写真-8 載荷試験状況

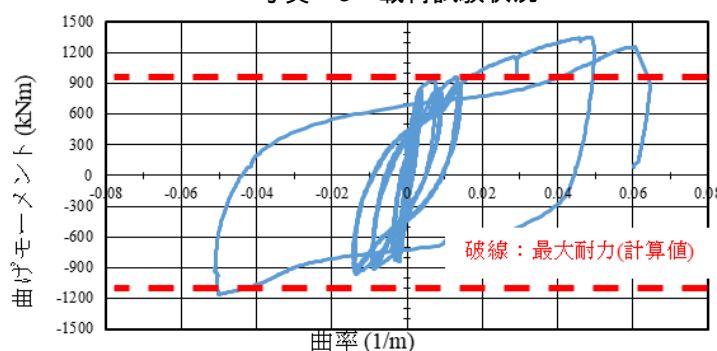


図-4 曲げモーメント—曲率関係