

材料噴射型3Dプリンティング技術



有筋の構造部材もオンサイトプリント

概要

セメント系材料を圧縮空気で噴射して立体形状を造形する技術です。専用材料を使用し、組み立てた鉄筋の外側から材料を吹き付けることにより、通常の鉄筋コンクリート部材と同等以上の構造性能を有する部材の製造が可能です。

開発の背景

セメント系3Dプリンティング技術は、フレッシュ状態のセメント系材料をノズルから押し出して積層しながら立体形状を作成する「材料押出型」が一般的です。この技術は、型枠工の削減や自由断面をもつ部材を製造できるメリットがある一方で、鉄筋や補強材を内部に設置することが難しい点が課題です。

本技術は、この課題を解決する3Dプリント技術です。型枠工、コンクリート打込み、足場の組立・解体を省くことができ、工期の短縮や労務の削減に貢献します。

特長

○有筋の構造部材をプリント可能

「材料噴射型」の採用により、ノズルと造形物の間に距離を取れるため、組み立てた鉄筋の外側からプリントできます。また、横向きや上向きでも材料を噴射可能です。

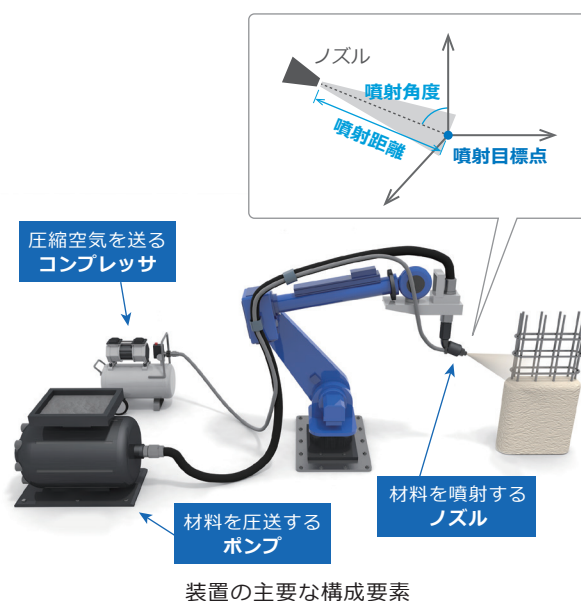
○装置はプログラム制御可能

材料噴射型は、一般的にプリント時に設定するパラメータ※が多く、複雑な制御が求められます。多数のプリント実験により、均一で安定した噴射ができ、材料の充填性が向上する最適なパラメータの組合せを決定しました。

※材料の吐出量（ポンプ回転数）、圧縮空気流量、ノズルから噴射目標点までの距離、噴射角度、プリントパス、ノズル移動速度など

○一般的な鉄筋コンクリートと同等以上の品質を確保

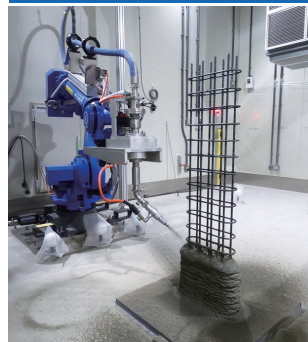
複数の配合の噴射実験を行い、形状保持性や均一性に優れたプリント専用材料を決定しました。この専用材料を使用することにより、一般的な方法で施工した鉄筋コンクリートと同等以上の構造性能が確保できます。



柱部材のプリント

○柱部材の製造フロー

① 一次噴射



鉄筋の外側から内側に噴射し、鉄筋の内部まで材料を充填します。

② 表面噴射



造形物の表面全体に材料を重ねて吹き付けます。

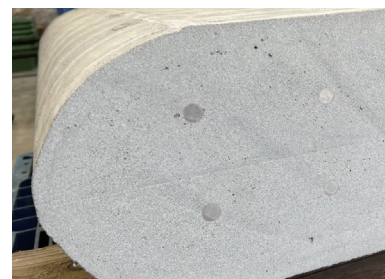
③ コテによる表面仕上げ



ロボットアームにコテを取り付けて、部材表面を平滑に整えます。

○造形物の仕上がり

表面仕上げ後の設計値との寸法誤差は±5mm以内で、高精度に製造できます。また、鉄筋周辺への材料充填が良好で空隙が少ないことを確認しました。



造形物内部の充填状況

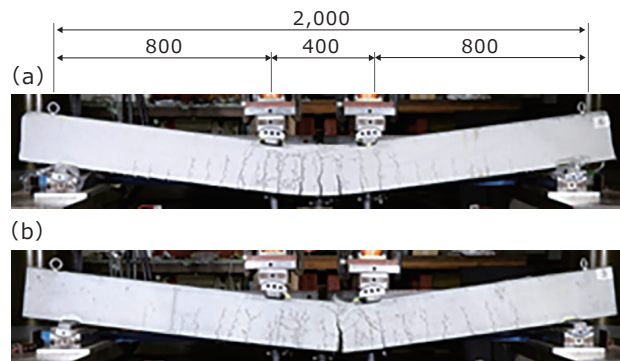
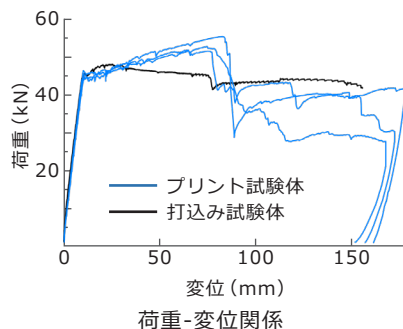
プリントした梁部材の構造性能評価

プリントした試験体の構造性能を評価する曲げ載荷実験を実施し、以下のような結果を得ました。

- ・ ひび割れ発生荷重、鉄筋の降伏荷重は打込み試験体と同等
- ・ 最大荷重は打込み試験体以上
- ・ プリント試験体3体の挙動に差異が少なく、品質が安定
- ・ ひび割れが梁全体に均等に分散し、鉄筋とプリント専用材料との付着が良好

プリントした試験体の構造性能は、打込み試験体と同等以上であると確認できました。

試験体概要	
幅	100mm
有効高さ	154mm
軸方向鉄筋	引張 D29 (SD 345)
	圧縮 D10 (SD 345)
引張鉄筋比	1.86



ひび割れ性状 (変位110mm)
(a) プリント試験体、(b) 打込み試験体

構造部材の適用事例

日本製鉄瀬戸内製鉄所阪神地区 (堺) 内の製鉄設備建設工事に本技術を適用し、断面300mm×550mm、高さ2,200mmの柱部材2本を現地でプリントしました。

○運搬と設置

モバイル型の3Dプリンタを開発し、10 t ダンプトラックで現場に搬入しました。
現場に敷き並べた山留め材の上に3Dプリンタを設置しました。

○施工

鉄筋を事前に施工位置に設置した状態で、3Dプリンタのノズルをプログラム制御し、鉄筋の外側を巡回させながら材料を噴射しました (気温23~27℃)。材料噴射開始から表面仕上げまでに要した時間は、1体あたり2時間50分でした。型枠や足場の組立・解体が不要となり、型枠を組んでコンクリートを打込む従来の工法と比較して、施工期間を約4割削減できました。

○品質の評価

現場環境下で施工した造形物の硬化物性を評価するために、柱部材と同じ断面寸法でプリントした小型造形物から抜いたコアの圧縮試験および割裂試験を実施し、設計で要求される強度を満足していることを確認しました。
また、水分浸透試験を実施し、プリントした試験体の水密性が良好であることも確認しています。



3Dプリンタの設置状況



柱部材のプリンティング状況