

モルタル積層による3Dプリンター(AM法)を用いた建設部材の製造について

(株)大林組 正会員 ○平田 隆祥
 (株)大林組 非会員 坂上 肇
 (株)大林組 非会員 金子 智弥
 (株)大林組 正会員 石関 嘉一
 デンカ(株) 正会員 荒木 昭俊

1. はじめに

3Dプリンターは、3次元のデジタルデータを基にして、型枠を用いることなく立体物を造形する装置の総称として用いられている。造形用の材料には、光硬化性樹脂、熱可塑性樹脂、プラスチック粉末、金属粉末、石膏粉末、砂、セメント系材料等、さまざまな種類がある。これらの材料を、レーザビーム、電子ビーム、押出し、吹付けなどの方法を用いて、一層ずつ積み重ねて造形する。この方式の名称を、2009年のASTM(米国試験材料協会)国際標準化会議で、AM(Additive Manufacturing)法と統一¹⁾した。また、2016年からISO(国際標準化機構)とATSMは共同して、この分野の国際標準規格作りを進めている。

一方、本技術は建設分野で、建設物の模型や構造部材の製造に用いられているが、構造部材の製造は、国内外で研究開発が盛んに進められている。

本報告は、材料押出し方式によるモルタル積層工法で、建設部材を製造する技術について考察した。

2. 材料押出し方式によるモルタルの積層工法

セメント系材料を積層する場合に要求される材料性能について、Le²⁾らは表-1に示す性能を示している。

これらの性能の内、良好な押出し性を確保し、閉塞を防止するために、材料を柔らかくする必要がある。一方、材料を柔らかくすると、積層間の一体性は確保できるものの、自立性が損なわれるため、この矛盾する2つの性能をバランス良く満たすことが必要となる。

3. 積層用モルタル材料および3Dプリンター装置

3.1 積層用モルタル材料

積層に用いたモルタル材料の配合、強度特性を表-2、表-3に示す。モルタル材料は、ポルトランドセメ

表-1 セメント系積層材料に要求される性能²⁾

項 目	内 容
供給装置	供給システムから材料をノズル先端まで押し出すときの容易さと信頼性
施工性	材料の積層のし易さとその信頼性
自立性	積層された硬化前の材料が自重で変形することに対する抵抗性
硬化速度	上記性能を許容範囲内に保つことができる時間の長さ

表-2 積層用モルタル配合

W/P (%)	単位量 (kg/m ³)		
	水	プレミックス	添加剤 ^{※1}
16.4	271	1650	0.2(モルタル×%)

※1:凝結遅延剤

表-3 積層用モルタルの強度特性(気中養生)

試験項目	試験材齢	実験値
圧縮強度 (N/mm ²)	7日	52.6
	28日	60.6
曲げ強度 (N/mm ²)	28日	3.6

ント、細骨材、硬化促進剤、チキソ性調整剤、有機繊維を予め混合したプレミックスモルタルを使用し、凝結遅延剤により硬化速度を調整した。また、積層用のモルタルは、汎用のパン型ミキサを用いて練混ぜ、小型のモルタルポンプで吐出ノズルまで圧送した。

3.2 3Dプリンター³⁾

本実験の積層装置は、重量が10kgで、自由度が7軸、単腕型の写真-1に示すロボットアームを用いた。この装置を鋼製のベッドに据え付けた。アーム先端には曲管のある吐出ノズルを取り付けた。吐出ノズルの軸部の直径は10mmとし、先端の樹脂キャップの直径は

キーワード 3Dプリンター、モルタル積層、ロボット、自動化、生産性向上

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 TEL 042-495-1012

25mm とした。積層幅は 35mm とし、直下の層にモルタル材料を押し付ける程度で調整した。ロボットアームの制御は、予めソフトウェア上で積層パスを設計するオフラインティーチングにより実施した。これにより、ロボットアームの姿勢制御や干渉チェックが容易に行えるため、教示作業を大幅に省力化できた。

3.3 部材の設計

モルタル積層工法には、次の制約がある。

- a) モルタルを吐出するノズルの経路（以下、積層パス）は、交差せず一筆書きが必須
- b) モルタルは、脈動なく吐出し、一定速度のノズルの移動が必要
- c) 1 層分の積層パスが長いほど、モルタルの硬化が進むため、積層が容易になる
- d) 実験に使用したロボットアームは、高さ 500mm、平面約 500mm×250mm の範囲で積層が可能

4. 実験結果

積層したモルタル材料の断面を写真-2 に示す。この断面は、13 層を重ねているが、断面に打重ねの跡や、未充填部がなく、各層を一体化できることを確認した。

また、モルタル製の部材は、中空を有する形状で、自重に対する構造的な合理性が高く、15 分/ピースで製造できた。このモルタル部材 6 ピースを、写真-3 に示すようにアーチ状に組立てブリッジとした。

5. まとめ

材料押出し方式によるモルタル積層工法で、中空のモルタル製の部材を製造した結果、以下の知見を得た。

- (1) 積層用のモルタル材料は、積層時には流動性があり、積層後は自立性するチキソトロピー性が必要となる。
- (2) チキソトロピー性を有することで、型枠は不要となり、材料の吐出直後でも、形状が崩れることなく下層と一体化できる。
- (3) 積層幅と高さは、モルタル配合の他に、モルタルの吐出速度、ロボットアームの移動速度、モルタル積層の時間間隔により制御できる。
- (4) 従来技術では製造が困難であった、曲面形状や中空形状のほか、様々な形状の部材を造形する

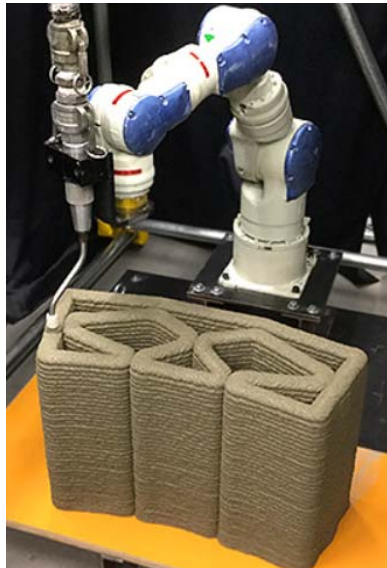


写真-1 ロボットアームを用いた積層装置



写真-2 モルタル積層断面の例（13層）



写真-3 部材を組み合わせたアーチ状ブリッジ
ことができる。

- (5) モルタル積層による 3D プリンター(AM 法)技術は、自動化を進めることで、部材製造の大幅な省力化と生産性向上が期待できる。

参考文献

- 1) 萩原恒夫：3D プリンターとは “What is 3D Printer?”,研究最前線, 2014
- 2) Le, T. T., Austin ets. : Mix design and flesh properties for high-performance printing concrete, Materials and Structures, Vol.45, No.8, 2012
- 3) 坂上肇ほか：積層工法による部材製造に関する研究 その1,ロボットアームを用いたモルタルブロックの製造, 日本建築学会大会, 2017