

斜面や曲面上に 3D プリントしたモルタルのプリント直後の変形特性評価に関する基礎検討

大成建設（株） 技術センター
大成建設（株） 技術センター
大成建設（株） 土木技術部

正会員
正会員
正会員

○村田 哲 田中 俊成 古賀 快尚
臼井 達哉 木ノ村 幸士
宮本 真吾

1. はじめに

近年における建設用 3D プリンターの適用は、水平かつ平滑な基準面にプレキャスト部材を製作し、現地で組み立てる事例がほとんどである。対して、現地地盤の不陸に合わせてオンサイトでプリントする技術が確立できれば、均しコンクリートや通常の型枠の組立・撤去が不要となり、工期短縮が期待できる。そこで、本研究では斜面および曲面上に 3D プリントした造形物の積層安定性について基礎検討を行った。

2. 実験方法

2. 1 プリントモデルと積層パス形成方法

実験ケースを図-1 に示す。地盤面の形状の異なる 3 ケースのプリントを実施した。Case-B と Case-C では、斜面や曲面上でのプリントパス計算方法を開発し、水平な積層パスが地盤面と当接する位置で折り返すようにしてプリントパスを形成した。1 層のプリント幅は 25 mm、プリント高さは 10 mm、プリント速度は 50 mm/s とした。プリント実施時にはデジタルカメラにより図-1(a)～(c) に示した正面図の画角でプリントの様子を撮影し、2.3 節に示す画像解析に用いた。

2. 2 使用材料と練混ぜ方法

プリント材料としてモルタル（以下、3DP モルタル）を使用した。3DP モルタル配合は、水道水、普通ポルトランドセメント、最大粒径 2.5 mm の細骨材、高性能 AE 減水剤等の市販の材料で構成され、水粉体比は 0.28、砂粉体比は 0.75 である。練混ぜには容量 100 L のパン型強制練りミキサーを使用し、1 バッチの練混ぜ量は 75 L とした。練混ぜ時間は、粉体と細骨材を空練りしたのち、

残りの材料を投入して 10 分間とした。

プリント材料のフレッシュ性状は、地盤工学会基準 JGS 1411-2012 に準拠して測定したベーンせん断抵抗により管理した。プリント供用時間内に、適宜圧送用のホッパー内の材料に対しベーンせん断抵抗を測定し、その値が安定的に積層可能な 0.4 kPa～1.0 kPa の範囲内²⁾にあることを確認しながらプリントを行った。本研究の実験で使用した 3DP モルタルのベーンせん断抵抗の実測値は 0.6 kPa～1.0 kPa であった。

2. 3 プリント直後の変形の評価方法

粒子画像流速測定法（Particle Image Velocimetry, 以下 PIV）によりプリント造形物の巨視的な変形性状の把握を試みた。PIV は 2 枚の画像から特徴点の移動ベクトルを抽出する手法である。

15 層目の積層が終了した時点で 30 秒間積層を中断し、画像解析用の特徴点を白色スプレー散布により作製した。15 層目と 25 層目時点での画像を PIV 分析することにより、1～15 層目が 16～25 層目の上載によりどのように変形するかを評価した。

3. 結果と考察

図-2 に PIV による変形分析の結果を示す。(a1)～(c1) は 3 ケースの分析結果の全体図である。これらの図中の小枠 1～6 の拡大図を (a2)～(c2) および (a3)～(c3) に示している。各図中のベクトルの向きがその点における変形方向を表しており、ベクトルの色がカラーバーに示す変位量に対応している。なお、ベクトルは拡大表示しており実際の変位量とは対応していないが、各位置の変形量の相対的關係は維持している。

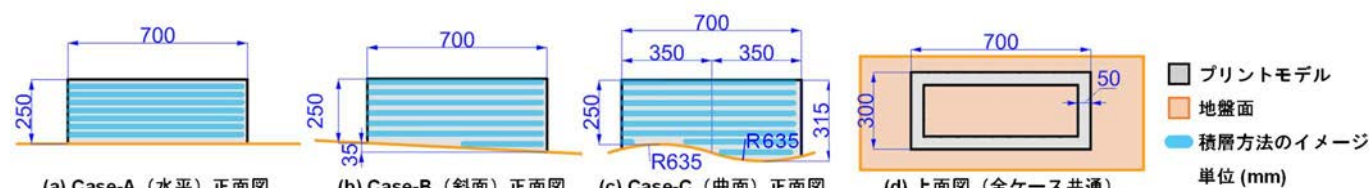


図-1 実験ケース一覧

キーワード 3D プリント, 不陸面, 斜面, 曲面, 変形特性, 積層安定性, 画像解析

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 TEL 045-814-7200

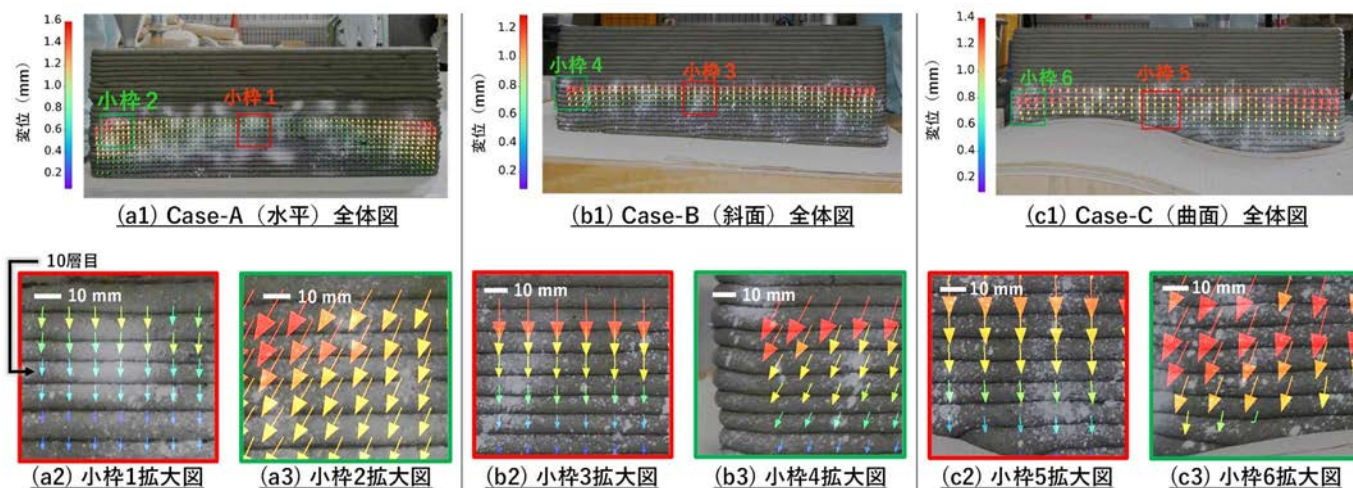


図-2 PIVによる巨視的な変形分析の結果

Case-Aに着目すると、図-2(a1), (a2), (a3)のカラーマップより、15層目プリント終了時点から25層目プリント終了時点までの変位の分布について以下の変形の傾向がみられた。

- ・傾向1 図-2(a2), (a3)より、鉛直変位は下向きであり、上の層ほど変位が大きい。
- ・傾向2 図-2(a3)より、水平変位は外向きであり、左右端部付近ほど変位が大きい。
- ・傾向3 図-2(a3)より、水平変位は外向きであり、鉛直変位と同様に上の層ほど変位が大きい。

傾向1および傾向3の要因は、3DPモルタルのチキソトロピー性によりプリント後の経過時間が長くなるほど材料のこわばりが強くなること、鉛直方向の荷重はそれまでに積層した層全体で受け持つため後から積層されたこわばりの弱い層に変形が集中的に現れること、の2点が挙げられる。傾向2の要因は、鉛直方向に積層する場合、水平方向への拘束がなく自由変形が可能であるため、層全体が押しつぶされ水平変位が大きくなることが挙げられる。

Case-BおよびCase-Cに着目すると、3DPモルタルと地盤面との間に図-3に図示したような凹みが確認された。この凹みは、装置と地盤面が接触しないように設けたクリアランスに起因するものである。この凹みの上部における局所的な沈下が懸念されるため、図-2(b2), (c2)にそれぞれ着目した。その結果、当該箇所における局所的な変形や歪みを確認することはできなかった。凹みのサイズは幅数cm、高さ1cmほどであったが、このスケールの凹みであれば問題なく積層可能であることが示された。また、Case-Aにて確認された傾向1～3については、Case-BおよびCにおいても同様に確認さ

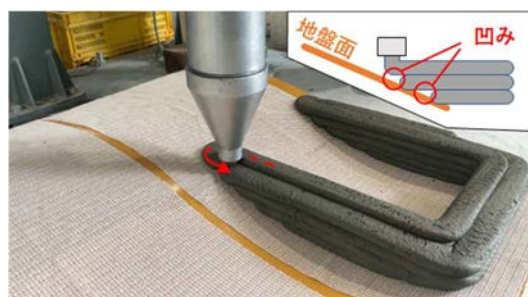


図-3 Case-Cの積層および凹みの発生状況

れている。すなわち、斜面および曲面上で積層した場合の変形の傾向は水平面上で積層した場合と同様であることがわかった。

4. まとめ

本研究では、斜面および曲面上に積層した場合の積層安定性確認を目的とし、プリント直後の変形性状を確認した。これにより以下の結果が得られた。

- ・斜面および曲面上に積層した場合の変形の傾向は、水平面上で積層した場合と同様であった。
- ・斜面および曲面上に積層した場合には、地盤面と下層の3DPモルタルの間に凹みが生じるが、凹みの上部における局所的な変形は確認できなかった。

なお、プリント直後の層の変形は材料性状やプリント速度等にも影響を受けるため、今後もデータを蓄積し、プリント品質の向上に役立てたい。

謝辞

本論文の実験で使用した積層パス形成ソフトは東レエンジニアリングDソリューションズ(株)と共同開発したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) (株)日経BP: 特集 建設3Dプリンター元年, 日経コンストラクション, 2022年5月号, pp.32-54, 2022.5
- 2) 村田ら: 3Dプリンティングで製作した積層体の硬化物性と収縮特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.1852-1857, 2020.7