

勾配 80%かつ 100mm の凹凸を有する地盤面上での 3D プリンティング技術の検証

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

○田中 俊成 村田 哲 古賀 快尚
 臼井 達哉 木ノ村 幸士
 宮本 真吾

1. はじめに

著者らは、これまでに 3D プリンティング (3DP) 直後の変形計測結果から、滑らかな斜面や曲面上では積層安定性が損なわれないことを報告している¹⁾。本稿では、土木工事で直面しうる急勾配かつ凹凸のある地盤を想定し、最大勾配 80% かつ最大高低差約 100 mm の凹凸を設けた模擬地盤上にコンクリート部材の埋設型枠をプリントする実験を行った。これにより、既報¹⁾で斜面・曲面に適用したプリントパス計算の妥当性（凹凸面でもノズルが衝突しないか）と、不陸な地盤上での積層安定性を検証することを目的とした。土木工事でこのような急勾配かつ凹凸を有する面にコンクリート部材を直接打設する例としてはトンネルインバートが挙げられる。

積層安定性は硬化後 3D スキャンで取得した出来形により評価した。その後、コンクリートを打込み、モルタルの漏れや側圧による変形の有無により埋設型枠としての性能を評価した。

2. 実験概要

2. 1 3DP 型枠のモデル

図-1 に本実験で構築した 3DP 型枠のモデルを示す。設計地盤面は R1500 mm で湾曲した面が Y 方向に勾配 4% で傾斜している。3DP 型枠モデルは、面 A を設計地盤面の Y 方向の勾配に沿って押し出し、そこから内部をくりぬくことで井桁状とした。面 A の天端は、左側は巻厚 450 mm となる曲線、右側は水平線で定めた。設計地盤面内で 3DP 型枠をプリントする位置の最大勾配は 80% となっている。3D プリント時の 1 列の幅は 25 mm、1 層の高さは 10 mm とし、3DP 型枠部の厚さは 50 mm (=2 列分) とした。井桁状の 3DP 型枠内部に後からコンクリートを打込むことで一つのコンクリート部材となる。

模擬地盤面は、木材で作製した設計地盤面に不陸として粘土をランダムに貼付け、最大高低差 100 mm の凹凸を設けた。（図-2）。これを 3D スキャンし、既報¹⁾と同様に、水平なプリントパスを基本とし、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計算した（図-3）。

2. 2 3DP 型枠のプリント

プリント材料には普通ポルトランドセメント等を使用したモルタル¹⁾を使用した。プリント速度は 100~150 mm/s とし、3DP 型枠全体を約 100 分でプリントした。

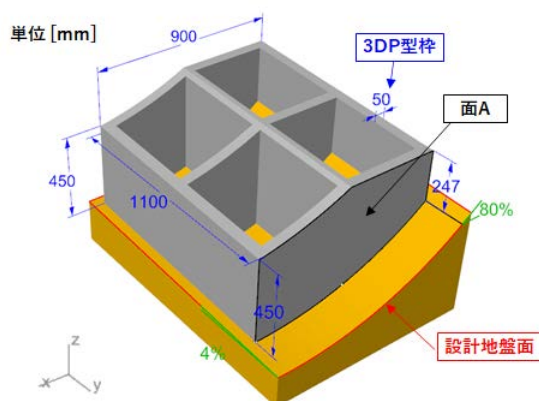


図-1 設計地盤面と 3DP モデル



図-2 作製した模擬地盤面

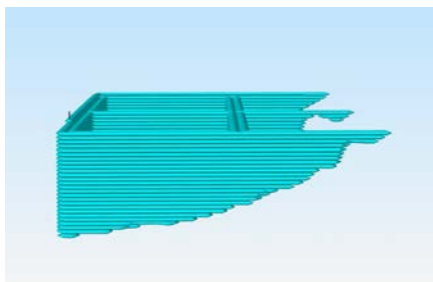


図-3 25 層目までのプリントパス



図-4 25 層目までのプリント状況

キーワード 3D プリンティング, 不陸面, 勾配, 凹凸, 3D スキャン, 型枠

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 TEL 070-1078-5737

2. 3 出来形の評価と打込み時の側圧による変状評価

硬化後の 3DP 型枠の側面を 3D スキャナーにより 3D スキャンし、出来形を確認した。また、プリント完了から 18 時間後にスランプ 15 cm のコンクリートを打込み、側圧による 3DP 型枠の変状がないかを確認した。

3. 結果

図-4 に図-3 と同じ 25 層目までのプリント状況を示す。図-4 の赤丸の部分に着目すると、模擬地盤面に沿って凸部は避けつつ凹部は埋めるように積層されていることが分かる。プリント完了時の状況を図-5 に示す。全層にわたって、ノズルが地盤面と衝突することはなく、パス計算方法が妥当であることを確認することができた。

図-6 には 3D スキャンによる側面の出来形評価の結果を示す。カラーマップは、設計モデルとの水平方向の誤差を表し、外側方向をプラスとした。図-6 において、矢印 1 や矢印 2 の付近で出来形が +10 mm 程度と比較的大きくなっているのは、材料性状の経時変化に起因する。また、矢印 3 の付近でも出来形が +15 mm 程度の箇所があるが、この位置は積層開始点および終点であり、閉合部の密着性確保のため、材料を余分に射出する設定としたためプラスの出来形になった。

一方、設計地盤面の勾配下手方向に倒れこむような変形は認められなかった。また、地盤面の不陸に起因した積層の乱れもなかった。全体として設計モデルとの誤差は平均で +3.90 mm、標準偏差が 2.46 mm、最大値が +14.6 mm、最小値が -6.20 mm であった。例えば、国土交通省工事のインバート工の部材幅の管理規格値²⁾は -50 mm 以上、同様に護岸基礎工²⁾では -30 mm 以上であり、これらの基準を十分に満足する出来形であった。

図-7 には 3DP 型枠にコンクリートを打込んだ後の状況を示す。3DP 型枠には、側圧によるひび割れ等の変状は確認されなかった。また、地盤面付近の 3DP 型枠にブリーディング水による濡れ色が観察されたが、3DP 型枠と地盤面の界面や、3DP の層同士の間からのモルタル分の漏れはなかった。

4. おわりに

勾配 80%かつ、最大 100 mm のランダムな凹凸を有する不陸の大きな地盤面上でも安定的かつ高精度にプリント可能なことを確認した。また、プリント終了から 18 時間というごく若材齢の時点で埋設型枠として使用可能なことを確認した。今後、掘削地盤面に直接接する箇所のコンクリート工への適用を検討していく。

参考文献

- 1) 村田哲ら：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，第 78 回土木学会年次学術講演会講演概要集，2023。（投稿中）
- 2) 国土交通省東北地方整備局：土木工事施工管理基準及び規格値 令和 4 年版

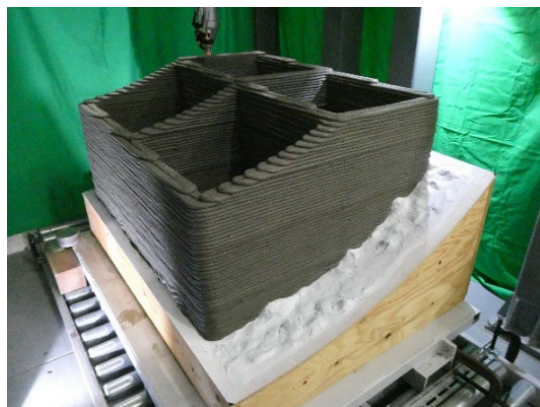


図-5 プリント完了時の状況

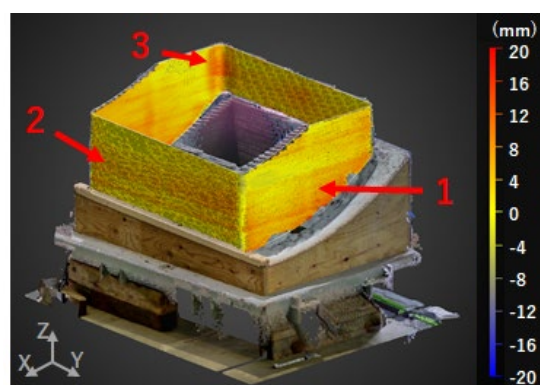


図-6 設計モデルに対する出来形



図-7 コンクリート打込み後の状況