

# 45 その他

## 公共工事における土木構造物に対する建設用3Dプリンター活用の効果検証

宮崎県土木施工管理技士会

旭建設株式会社

取締役専務

木下 哲治

### 1. はじめに

本工事は、令和元年9月の台風17号の影響により発生した大規模地すべりに対する地すべり対策工事である。

工事内容は、頭部排土工として切土掘削及び残土運搬を行い、地すべり抑止工としてグラウンドアンカーを施工する。また、グラウンドアンカーの反力となる鋼製受圧板に対し、切土法面の方向と法勾配を調整する構造物として、裏込め工（ざぶとんわく）が計画されていた。

#### 工事概要

- 工事名：令和4年度復旧治山事業竹元谷
- 発注者：宮崎県児湯農林振興局
- 工事場所：宮崎県児湯郡西米良村大字板谷
- 工期：R5年8月8日～R6年9月30日

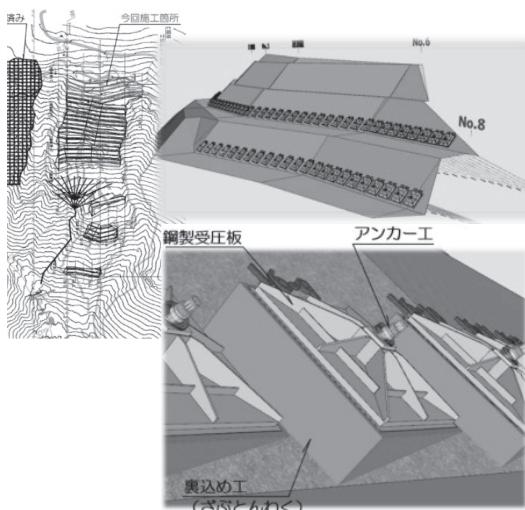


図-1 工事概要

### 2. 現場における課題・問題点

本工事では、法面工におけるコンクリート構造物である裏込め工（ざぶとんわく）にフォーカスした。それは、後に示す従来施工における各種の問題点をいかに解消し、深刻化する法面技能者の担い手不足・高齢化が進む中で生産性向上を図っていくことが喫緊の課題だからである。

まず、裏込め工（ざぶとんわく）の従来施工での作業手順を以下に示す。

- 型枠組立として、表面に大型の溶接金網（2.0m × 2.0m）、外周には吹付用金網を法面に設置する。
- 吹付時に型枠が動かないようアンカーピンにより各所を固定する。
- 型枠内をモルタル吹付により充填する。
- 吹付完了後、裏込め工（ざぶとんわく）表面を

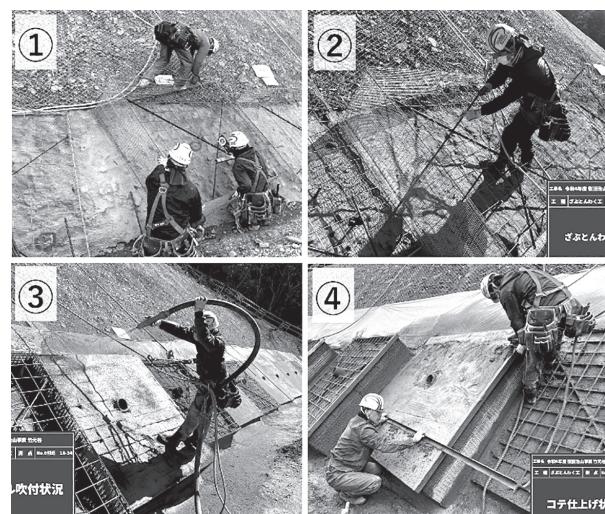


図-2 従来の施工手順

定規やコテを使用し平滑に仕上げる。

従来、裏込め工（ざぶとんわく）の作業環境は、足場のない法面上において、常に親綱ロープにぶら下がりながら、資材運搬や金網型枠の設置、モルタル吹付、コテ仕上げを人力作業にて行っている。平均的な作業人員は4名～6名である。

次に、裏込め工（ざぶとんわく）の従来施工に伴う問題点は以下に示す。

- ①斜面上における作業は常に重労働を伴い、墜落・転落の危険性のリスクは高まる。
- ②モルタル吹付、コテあてに伴う熟練技能者（ノズルマン、ガンマン等）の不足。
- ③大掛かりな吹付プラントが必要である（モルタルガン、コンプレッサー、発電機等）



図-3 吹付プラント（従来施工）

- ④現地に合わせた型枠組立により、型枠端材（金網、鉄筋くず）が発生する。
- ⑤吹付リバウンドの発生、コテあて時のモルタル廃材により産業廃棄物の処理が必要となる。

以上の施工プロセスにおける問題点に対し、省人化・省力化、安全性向上を目的とした作業環境の改善が課題である。

### 3. 対応策・工夫・改善点

従来施工における問題点における解決策の一つとして、裏込め工（ざぶとんわく）に建設用3Dプリンターを活用することとした。省人化・省力化及び安全性等の効果検証を行うものである。

建設用3Dプリンターによる裏込め工（ざぶとんわく）造形については、現場作業との並行作業により工程短縮が図れることも効果として考慮しオフサイトでの実施とした。

実際に行った建設用3Dプリンター造形プロセ

スは次の通りである。

#### ①建設用3Dプリンター設置・設定

建設用3Dプリンターの設計図として、裏込め工（ざぶとんわく）の3Dモデルデータを作成し、3Dプリンターが正常に駆動するか確認を行った。

設備としてプリンター、ミキシングポンプ、水タンク等、また造形する材料を置く必要があるため平坦な場所に造形スペース（8m×4m）を確保した。また、印刷中の造形物は外部環境の影響を受けやすい。急激な乾燥を防止するため、屋根や周囲に幕を設置した。



図-4 3DP設置・設定作業

#### ②造形準備

材料には増粘剤をプレミックスしたモルタル粉体を使用しミキサー・ホッパーに投入し水と攪拌する。その際、材料の圧力やノズルヘッドから排出される材料の状態を確認しながら造形可能な練り具合になるよう調整を行った。

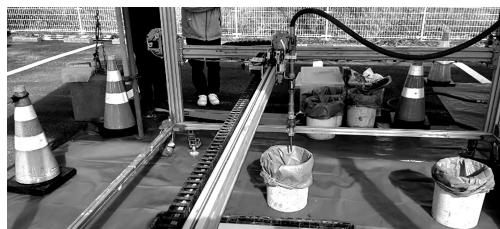


図-5 3DP練り具合調整

### ③造形（印刷）

裏込め工（ざぶとんわく）の造形開始に先立ち、モルタルの品質確認として供試体を採取した後、造形（印刷）を開始、排出される材料の状態や温度に注意しながら混合の調整や圧送の調整を繰り返しながら印刷を進めていく。

裏込め工（ざぶとんわく）1基に対する積層作業時間は約2時間、完了後は、モルタル表面の急激な水分蒸発によるクラックを発生させないためポリラップにより封かん養生を行った。

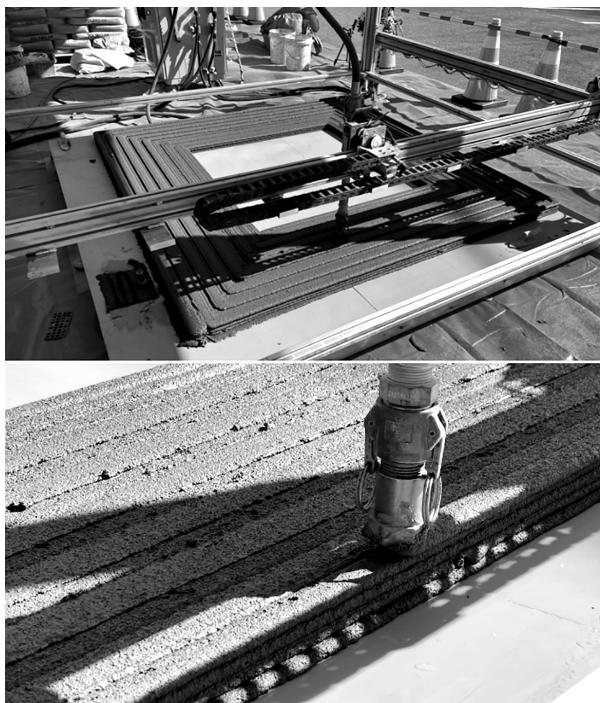


図-6 3DP積層（印刷）状況

### ④造形物運搬・据付け

供試体の強度確認後（1週強度37.2N/mm<sup>2</sup>）、造形した裏込め工（ざぶとんわく）を4tユニックにて現場搬入し、クレーン機能付きバックホウにより法面に据え付けた。

今回は効果検証ということもあり、開口部よりモルタル吹付を行い地山と密着させることとした。



図-7 運搬・据付け

## 4. 検証結果、効果

裏込め工（ざぶとんわく）に対する従来施工（モルタル吹付）と建設用3Dプリンティングについての比較検証結果は下表の通りである。

-表- 比較検証結果一覧表（10基当たり）

項目	従来施工 (モルタル吹付)	建設用3Dプリンター	従来との 比較評価
生産性 (省人化)	①金網型枠設置 3日×4名=12名 ②プラント設置 1日×4名= 4名 ③モルタル吹付 3日×6名=18名  合計 34名	①プリンター設置、設定 1日×2名= 2名 ②印刷（積層） 3日×2名= 6名 ③据付 2日×3名= 6名  合計 14名	○ 59%削減
工程	①金網型枠設置 3日 ②プラント設置 1日 ③モルタル吹付 3日 ④養生 7日  合計 14日	①プリンター設置 1日 ②印刷（積層） 3日 ③養生 3日 ④据付 1日  合計 8日	○ 43%削減
施工ヤード 占用面積	（吹付プラント） 延長20m×幅3m=60m <sup>2</sup>	（プリンター設備） 幅8m×幅4m=32m <sup>2</sup>	○ 47%削減
安全性	・組立、吹付作業時の墜落転落リスク	・据付け作業における吊り荷の落下災害リスク	○ 向上
環境性	・型枠廃材（金網、鉄筋くず）発生 ・吹付リバウンド発生	・必要最小限の材料 → 型枠端材が発生しない	○ 向上
経済性	—	・従来単価の10倍以上と高価	× 低下

建設用3Dプリンティングに対する主要な効果（メリット）について4つ列挙する。

1つ目は、省人化である。

モルタル積層中は1人の作業員がプリンティングの作業時間設定や、モルタル積層での圧力調整を行うのみである。3Dモデルデータを元に機械が自動で造形（印刷）するため、コンクリート工のSCM改善による作業工程の簡略化が図られる。そのことにより、熟練技能者を必要とせず、省人化による一人当たりの生産性が向上することを確認した。

2つ目は、工程短縮である。

現場での掘削作業と並行で作業できることに加え、テントや倉庫内であれば雨天での作業も可能である。また、高強度材料であることから養生期間も3日（従来は7日）と大幅に短縮可能であることがわかった。

3つ目は、廃棄物の削減である。

建設用3Dプリンターでは必要最低限のモルタル材料しか使用しない。また、型枠も必要としな

いため、従来施工で発生する型枠廃材や鉄筋くず・吹付リバウンド等のモルタル殻の発生がなく、環境への配慮に効果を認めた。

#### 4つ目は、安全性の向上である。

裏込め工（ざぶとんわく）の据付時に吊り荷落下災害等のリスクが発生するものの、法面からの転落や苦渋作業等の人的災害リスクが大幅に低減され、安全に作業できることが確認できた。

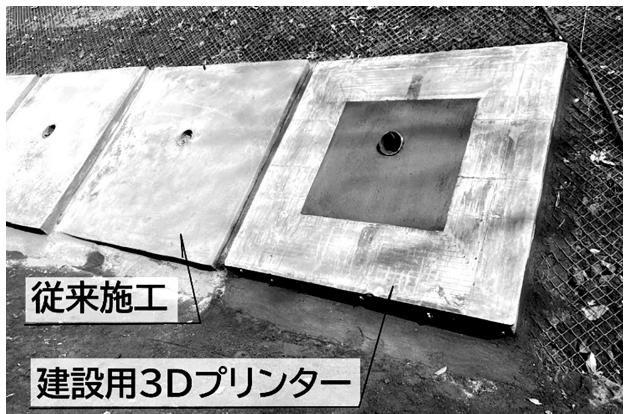


図-8 3DP「ざぶとんわく」(写真右側)

## 5. おわりに（今後の課題、展望）

法面での作業という現場条件もあり、ここ数十年、機械化が全く進んでいない。いまだ多くの工程が人手による作業に依存している。

今回、法面に特化した構造物である裏込め工（ざぶとんわく）について、従来施工（型枠組立 + モルタル吹付）と建設用3Dプリンターによる造形（印刷）の施工比較を行うことで、4. 検証結果、効果の通り、建設用3Dプリンターでの施工は、人材・工程・原材料の効率化及び、安全性向上、産廃抑制など、全体最適化が図れるメリットを享受できたと考える。

反面、建設用3Dプリンターでの施工で浮き彫りとなった今後の課題点を3つ列挙する。

1つ目は、法面との密着性（一体化）である。今回この点を解消するため、裏込め工（ざぶとんわく）設置時に地山法面との隙間をモルタル吹付により充填を行った。背面の密着性については、パッカーやポリエチレンフォーム等の使用など検討が必要である。

2つ目は、積層という造形の性質と、法面という地形上、オンサイトプリントが不可能であり、吊り作業及び据付け作業が伴う。クレーン等の荷役・揚重機械の作業半径内での適用となるため、造形する構造物を分割施工により軽量化するか、従来施工との棲み分けの検討が必要である。

3つ目は、高価な施工費用である。従来施工と比較して10倍以上の単価となる。人件費や製造プラントでの機械費等の削減は図れるものの、積層されるモルタルの品質性能を確保するための特殊モルタルが高価であることが要因である。

しかし、工程短縮による現場管理者の従事期間の短縮や現場事務所等の経費削減、また、道路規制を伴う工事であれば、交通誘導員や規制材等の削減など、全体的な経済比較により検討を図ることが肝要であると考える。

今後、建設用3Dプリンターは、省人化、工程短縮等の多様な観点でのメリットを考慮した設計検討に加え、脱炭素社会への貢献、品質・出来形管理基準の確立、労働基準安全衛生法の遵守を通して、建設DXの一つとして技術革新が進んでいくものと考える。

最後に、これから法面作業における熟練技術者の減少・高齢化、及び若手人材の担い手不足が加速度的に進行することは避けることができない。

相まって、気候変動に伴う激甚化も頻発しており、豪雨災害に対する斜面防災の遅れは国民の生活、生命・財産が脅かされることに繋がる。

そのことからも、建設分野のDX化・社会実装は急務である。人とテクノロジーの共存により生産性向上を図るとともに、3K領域の職場環境を魅力ある業界に変革していくことが重要である。

とは言え、今回の建設用3Dプリンターや、ICT施工、無人化遠隔バックホウ、XR、BIM／CIM、センシング技術などDX技術は、手段・ツールである。インフラ整備のプレーヤーとして本来の目的を見失うことなく、現場作業環境に応じた効果検証を行い、現場にあった建設DX技術の適正な選定・駆使に努めていきたい。