

39 その他

用・排水構造物における3Dプリンター製品の適用

岡山県土木施工管理技士会

蜂谷工業株式会社

現場技術員

秀 平 旭

1. はじめに

現在の日本では、少子高齢化による人口減少から建設作業員の担い手不足が問題となっている。

この問題を解決するため、生産性向上を目指して、様々な新技術が開発されている。

その一つとして、3Dプリンターを活用した、建設部材の製作がある。

今回、用・排水路の部材を建設用3Dプリンターで製作し、施工を行ったのでその概要を報告する。

工事概要

(1) 工事名：山陽自動車道 第二西藤橋他1橋
耐震補強工事

(2) 発注者：西日本高速道路株式会社
中国支社 福山高速道路事務所

(3) 工事場所：自) 広島県福山市東村町
(KP208.750)
至) 広島県尾道市美ノ郷町本郷
(KP214.514)

(4) 工期：令和3年3月20日～
令和6年3月3日

2. 現場における課題・問題点

今回の適用箇所は、本工事で撤去した用・排水路の復旧であり、周囲の道路幅員や地盤高、法面勾配の関係から現状復旧が必要であった。

そのため、水路のルートや集水枠の位置、二次製品の規格などが事前に決まっていた。

その中で水路に屈曲箇所があり、直線部はコンクリート二次製品を使用して復旧するが、屈曲箇所は、場所打ちコンクリート水路とする計画で、掘削から埋戻しまで養生期間を含めて2週間程度の日数が必要となっていた。



図-1 水路屈曲箇所

しかし、用・排水路復旧の施工時期が完工前であったことから、他工種からの工程圧迫や多くの工事が完工時期を迎え繁忙度が増し、様々な作業が輻輳しており、次工程もあったため、排水路の埋戻しをできるだけ早く行い工程の遅れを出さない必要があった。

一方、コンクリート二次製品は、継手がソケットタイプのものを計画しており、製品切断による接続は、品質低下になる恐れが高いため、切断接

続は避けて、継手はソケット形状のまま施工したい。

そこで、水路の屈曲箇所は、3Dプリンターで二次製品の規格と屈曲箇所を再現して、作業時間の効率化や製品の一体性による漏水防止で品質確保を図った。

3. 対応策・工夫・改善点と適用結果

(1) 使用した建設用3Dプリンター、プリンティング技術

・3Dプリンターの特性

平面図や各断面図から立体的な3Dモデルを作成し、それを具現化できる画期的な技術である。

今回の建設用3Dプリンター部材製作は、(株)Polyuseに依頼した。

その特徴としては、ポリマーセメントを積層させて3Dモデルを造作するタイプであった。

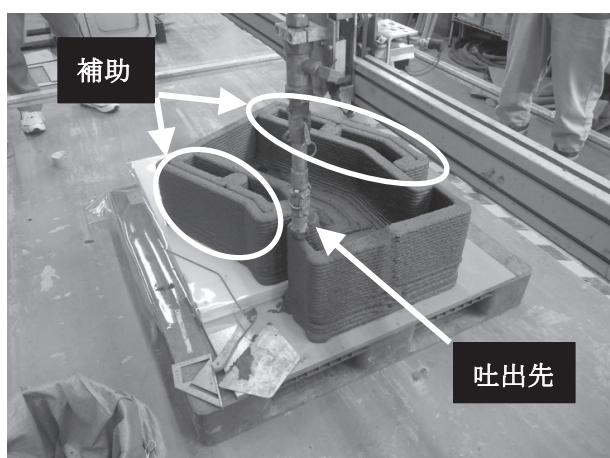


図-2 3Dプリンター製品の製作状況
(モルタル積層状況)

・使用材料

建設用3Dプリンターのプリント材料としてプレミックスモルタル材料の「POLYMO-HP」を用いた。POLYMO-HPは、結合材、細骨材及び複数の混和材料が3Dプリント用に独自配合されており、プリント時には上水道水と練り混ぜて使用した。

・材料特性 mm^2

各強度については、以下の通りであった。

圧縮強度 $\sigma 7$ 45N/mm^2 $\sigma 28$ 56N/mm^2

曲げ強度 $\sigma 28$ 7.8N/mm^2

・モデル作成の工夫

基本的には、平面図と各断面図があれば3Dプリントは可能である。

しかし、水路の斜めの立ち上がり角度や厚み、R形状、ソケット部分のテーパー部の形状は、図示されていなかったためメーカーへ問い合わせをし、細かい寸法の把握が必要であった。

それを踏まえて、二次製品細部の形状再現のために3回のテストプリントを行った。

- ① 二次製品の平面図、断面図からイメージモデルの作成（作業時間1時間程度）
- ② イメージモデルを元に3Dプリントを行うため3Dプリントマシンのプログラミングデータの作成（作業時間1時間程度）
- ③ プログラミングデータより1回目のテストプリント（作業時間30分程度）
- ④ プログラミングデータの修正とチェック（作業時間6時間程度）
- ⑤ 修正したプログラミングデータより2回目のテストプリント（作業時間30分程度）
- ⑥ プログラミングデータの修正とチェック（作業時間6時間程度）
- ⑦ 修正したプログラミングデータより2回目のテストプリント（作業時間30分程度）

以上の平面図や造形物の正確な寸法などの必要情報の打合せやテストプリントなどの下準備を約2週間程度行ない本製品の製作をした。

テストプリントでは、側壁部の傾斜を再現することは、材料硬化時間の関係から難しいため、傾斜部分の外側へ補助的にモルタルを積層して成形し、硬化後補助部分を撤去した（図-2）。

また、二次製品と接続がスムーズに行えるかを確認するため、直線部で実際に使用する二次製品と建設用3Dプリンターで造形した製品を接続し、水路の天端と流水部に段差が無いかや接続部分に隙間が出来ないか接続具合を確認した。

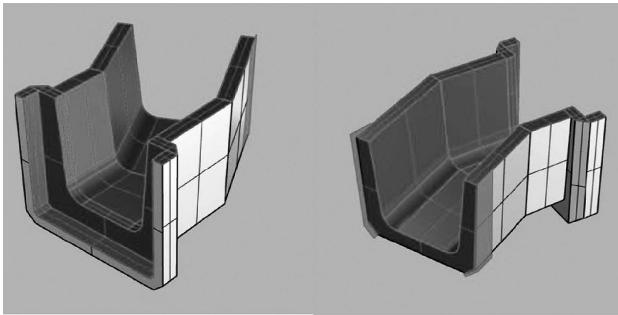


図-3 イメージモデル

(2) 3Dプリンターの問題点と解決方法

3Dプリントマシンとモルタルの積層には、以下の問題点があった。

- ・今回の3Dプリントマシンの特性上、常にモルタルの吐出先が下を向き製作するため（図-2）水平方向への配筋は可能であったが、鉛直方向への配筋が不可能であったため、土圧により変形する懸念があった。

そのため、土圧による曲げ引張応力度についてコンクリート引張応力で確認したが、耐久性に問題は無く車両や歩行者の通行は、安全であると判断した。

- ・モルタルの硬化に一定の時間が掛かるため、傾斜のある立壁の製作は難しい。

そのため、傾斜部分の外側へ補助的にモルタルを積層し成形して硬化後、補助部分を撤去する必要があった。

- ・モルタルを積層して造形するため、全面に凹凸が出来てしまい、出来形寸法にバラつきが出来てしまうことや流水箇所の粗度係数が大きくなることがある。

そのため、二次製品との接続部分や流水部分は、出来形寸法と粗度係数を担保するため左官工で寸法や表面の整形を行った。



図-4 整形の様子

左官工での寸法調整は、型枠を図面通りの寸法で機械加工した物を用意し、正面と断面部分の寸法を確認しながら作業を行った（図-5）。

建設用3Dプリンターでの造形物は、大きさが50cm程度であり、重量は約60kgであったため、運搬は、宅急便で現場まで搬入することができた。製作費用としては、二次製品に比べて約10倍となった。二次製品はL=2000、建設用3Dプリンターの造形物は、L=500であることを考慮すると、さらに価格差が大きくなる。

しかし、掘削から埋戻しまで養生期間を含める2週間の工程短縮と作業員4人×10日、重機作業を削減し、省人化・省力化ができた。

通常の水路の屈曲箇所では、二次製品を屈曲角度に合わせて切断し、少し隙間を空けて据付、目地仕上げ作業が必要となる。そのため、目地部分の剥離や劣化が原因で漏水する恐れがあるが一体化が図れたことによりそれらの弱点は、克服できた。

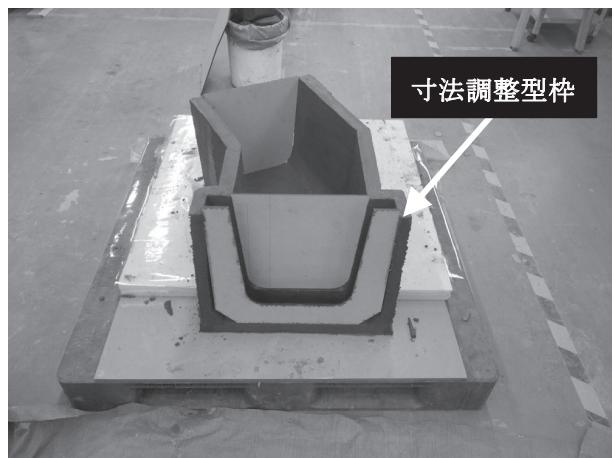


図-5 寸法調整の様子

(3) 現地設置状況について

設置については、従来通りクランプ式の専用吊り金具とクレーン仕様のバックホウ0.15m³級で揚重作業を行い、据え付け作業を行った。

必要であれば、目ネジアンカーを製品中に埋め込み、アイボルトを取付けて揚重作業を行なうことも可能である。

今回の据付時は、水路屈曲角度や位置については問題なかったが、二次製品との接合部分で必要になるパッキンを取付けての接合具合を確認していなかったため、据付作業がスムーズに行えず何度もやり直し、多少であったが時間がかかってしまった。

また、部材の重心位置が確認しにくいため、揚重中のバランスが取りにくくことも作業時間の増加につながってしまった。



図-6 現地設置後

4. おわりに

今回使用した建設用3Dプリンター製品は、現状建設業全体でも数少ない事例であった。

技術的には、一部の配筋が不可能なことや表面が滑らかにできないこと等の問題点があり、解決が必要である。しかし、特殊な形状の部材を製作することが可能な点は、大きな長所である。今後さらに、コストダウンを含めた諸問題点が解決できれば、建設業が抱える省人化・省力化対策として、より大きな可能性をもっていると考えられる。

今回は、製作部材が1個のため、工場で製作後、現地へ搬入したが、部材数が増えれば3Dプリンターを現地へ設置し、部材製作することも可能である。これにより、異なった部材寸法や形状等の細かい対応が可能となる。

今回、弱点や短所が多く新技術を活用するには労力、時間をかなり費やすことがわかったが、まずは「やってみる」と挑戦への精神が大切であると痛感した。

今後も良いモノづくりをモットーに、従来の施工方法にとらわれず、効率化や品質向上を図れる新技術を取り入れ、建設業の発展、進化に貢献したいと思う。