

屋外暴露した3Dプリント積層体の透水性評価

清水建設（株） 正会員 ○阿部 寛之，小倉 大季，山本 伸也，菊地 竜

1. はじめに

建設 3D プリンティング技術で作製した積層体を実案件に適用される事例が国内で増えてきているが，3D プリント積層体の物質移動抵抗性などの耐久性を評価した研究事例は少なく，耐久性に関するデータは不足している．そこで筆者らは，耐久性データの蓄積を目的として，写真-1 に示す実案件に適用した柱型枠¹⁾と同一の条件で試験体を積層造形し，屋外暴露試験に供した．本稿では，材齢 855 日における積層体の透水性と表面観察の結果を報告する．透水性については，表面吸水試験を用いて評価し，同一材齢まで恒温恒湿室に保管した積層体²⁾の結果との比較を行った．

2. 実験概要

2. 1 積層体の作製方法および養生方法

作製した積層体の形状は，高さが 1.4 m，断面は下端から上端に向かって捻れながら，直径 2.2 m から 2.6 m に拡幅していく 3 次元曲面を有する形状である．写真-2 に，3D プリンティングの状況を示す．ノズルの移動速度は 100 mm/秒，プリント幅は 70 mm に設定した．

プリント材料には，水粉体比を 0.24，砂粉体比を 0.80，繊維混入率を 0.75 vol.%とした繊維補強モルタルを用いた．粉体には，普通ポルトランドセメント，シリカフューム，フライアッシュ，石灰石微粉末を用いた．砂には，最大粒径 0.85 mm のものを用いた．繊維には，長さ 6 mm のポリエチレン繊維を用いた．材料練上り直後の空気量は 4.9%，フロー値は 132 mm（JIS R 5201）が得られた．

積層後は，ビニルシートで覆い，水分が逸散しない状態で実験室に 1 日間静置した．その後，材齢 1 日から封かん養生を開始し，材齢 2 日に屋外へ移動させた．材齢 1 か月時点に封かん養生を解き，屋根や壁に囲まれていない直射日光や降雨を受ける環境（東京都江東区）で暴露した．図-1 は，東京都の平均気温と降水量のデータである．なお，この積層体からコア抜きした供試体の圧縮強度は，102 MPa（材齢 30 日）であった．

比較用の恒温恒湿室に保管した積層体は，既出の報告²⁾に示す手順で作製し，温度 20℃，湿度 60%RH の環境で気中静置していたものである．



写真-1 豊洲 MiChi の駅への適用



写真-2 3D プリンティングの状況

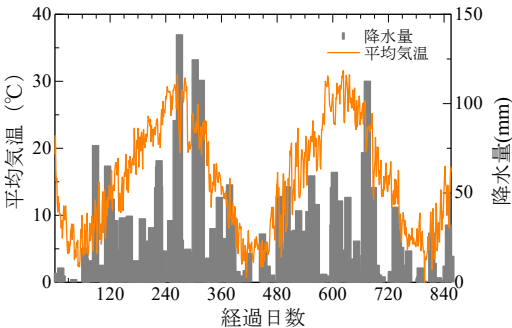


図-1 屋外暴露中の環境（気象庁：東京）

表-1 評価方法の一覧

評価方法	備考
表面観察	目視による観察
水分率測定	高周波容量式，電気抵抗式の水分計
表面吸水試験	SWAT 法の表面吸水速度による評価

キーワード 3D プリンティング，繊維補強モルタル，積層造形，表面吸水試験，屋外暴露

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設（株）技術研究所 TEL 03-3820-5504

2. 2 評価方法

評価方法の一覧を表-1に示す。表面観察は目視で行い、積層体の全体の変状を調べた。水分率測定は高周波容量式と電気抵抗式の水分計を用いて、表面吸水試験を行う直前に行った。高周波容量式は表面から 40 mm 程度の深さまでの平均的な水分率を、電気抵抗式は表層の水分率を各々評価できる水分計である。なお、積層表面には、凹凸があるため、最上層の平滑な上面で測定した。

表面吸水試験では、SWAT 法により表面吸水速度を測定した。一般的には、平滑な面に対して行う試験であるが、積層表面の凹凸を含む面を評価するために、SWAT 法の吸水カップを貼り付けて試験を行った (写真-3)。

3. 実験結果

3. 1 表面観察

写真-4 に、写真-3 の黄色の点線で囲んだ部分の拡大写真を示す。積層表面に着目すると、劣化要因を誘発するようなひび割れが発生していないこと、各プリント層の界面(積層界面)に変状が起きていないこと、不均一な色むらがないことが確認された。

3. 2 水分率測定

水分率測定の結果一覧を表-2に示す。いずれの保管条件においても、水分率が同等であり、表面吸水試験を行う直前の状態がほぼ同条件であることが確認された。

3. 3 表面吸水試験

表面吸水試験の結果一覧を表-3に示す。屋外暴露のケースは測定点3か所、恒温恒湿室に保管したケースは測定点2か所の結果である。表には、恒温恒湿室に保管した積層体の材齢406日の結果²⁾も併記した。屋外の積層体の積層表面の表面吸水速度は 0.02 ml/m²/s 以下であり、SWAT 法の品質グレードの「良 (0.25 ml/m²/s 以下)」の評価が得られた。屋外暴露の結果が恒温恒湿室の結果と同等であり、ばらつきが小さいことから、屋外環境下であっても透水性が低下することがないことが確認された。なお、ここで得られた表面吸水速度は、水セメント比が 40 % のコンクリートを型枠存置期間 28 日とした場合の材齢 91 日における表面吸水速度の結果³⁾よりも小さい値である。

4. おわりに

本研究では、材齢 855 日時点まで屋外暴露した積層体に対して、SWAT 法により透水性を評価した。表面吸水速度は、恒温恒湿室に保管した積層体と同等の値であり、本条件で作製した積層体は、屋外環境下であっても透水性が低下することなく、ひび割れなどの変状も生じていないことが確認された。

参考文献

1) 小倉大季：建設用 3D プリンティング技術の開発と実践，Structure，No.161，pp.38-41，2022。
2) 阿部寛之ほか：3D プリンティング技術で積層造形した繊維補強モルタルの積層界面の一体性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.1，pp.1552-1557，2022。
3) 林和彦ほか：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究，土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造)，Vol.69，No.1，pp.82-97，2013。

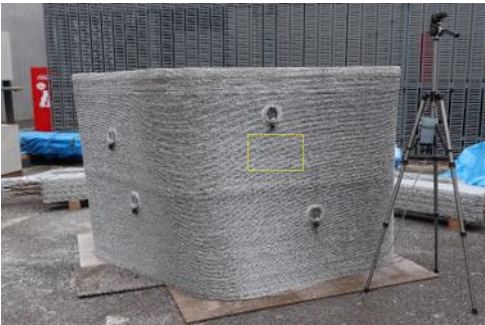


写真-3 表面吸水試験の状況
(屋外暴露した積層体)

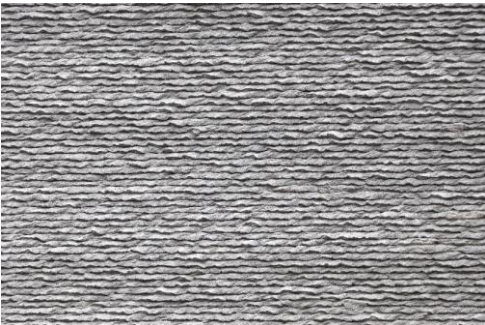


写真-4 積層表面の状態 (材齢 855 日)

表-2 水分率測定の結果一覧

保管条件	材齢 [日]	高周波容量式 [%]	電気抵抗式 [%]
屋外暴露	855	4.3	2.5
恒温恒湿室	406	4.4	2.9
	855	4.3	2.4

表-3 表面吸水試験の結果一覧

保管条件	材齢 [日]	表面吸水速度 P_{600} [ml/m ² /s]	品質 グレード
屋外暴露	855	0.02	良
		0.01	
		0.01	
恒温恒湿室	406	0.00	良
		0.01	
	855	0.03 0.02	良