

CO₂ 吸収モルタルを用いた 3D プリンティングによる層間付着強度の評価

金沢工業大学 学生会員 ○池田 響

金沢工業大学 正会員 花岡 大伸

鹿島建設(株) 正会員 小林 聖

1. はじめに

建設業界では少子高齢化による人材不足が課題となっており、その解決策として、省人化・省力化技術のひとつであるセメント系材料を用いた 3D プリンティングが注目されている¹⁾。また、地球温暖化の一因である CO₂ 排出量の削減も建設業界に求められており、CO₂ と反応する特殊混和材 γ -C₂S を混和し、強制的に CO₂ を吸収させる環境配慮型コンクリートが開発・実適用されている²⁾。この 2 つの技術は親和性が高く 3D プリンティング技術により表面積を大きくした形状にすることで、効率よく CO₂ を吸収させることができ、省人化・省力化を達成しつつ、カーボンニュートラルに大きく貢献できると考えられる。

本研究では、特殊混和材 γ -C₂S を混和したモルタルで積層した造形物における層間付着強度を評価した。

2. 実験概要

モルタルの材料を表-1に、配合を表-2に示す。なお、今回は強制的に CO₂ を吸収させずに試験に供した。

直接引張試験は、図-1に示すように 50×50mm のロの字の造形物を 3D プリンタで積層し、その直線部から切り出した供試体で行い、層間付着強度を求めた。表-3に直接引張試験の実験ケースを示す。3D プリンタのノズルの形状を 40×20mm、モルタルの吐出量や積層速度を一定とし、1 層あたりの積層厚さを 10, 13, 16, 20mm と変化させた。また、積層数が層間付着強度に及ぼす影響を調べるため、1 層あたりの積層厚さを 10mm に固定し、積層数を 2~7 層まで変化させたケースも実施した。

積層した造形物は、温度 20℃の室内で 28 日間気中養生し、湿式コンクリートカッターで切断・成形し、供試体を作製した。その後エポキシ樹脂を使用して供試体の上下面に治具を取付け、直接引張試験を行った。また、積層有無の影響を調べるため、40×40×160mm の鋼製型枠にモルタルを打ち込み、同様の手

表-1 使用材料

材料名	記号	摘要
水	W	-
普通ポルトランドセメント	N	密度:3.16g/cm ³
γ -C ₂ S	γ	密度:2.85g/cm ³
シリカフューム	SF	密度:2.23g/cm ³
珪砂	S	密度:2.61g/cm ³
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤
	DF	消泡剤

表-2 モルタルの配合

W/P (%)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)						
		W	N	γ	SF	S	SP	DF
31	150	280	187	496	211	970	8.95	4.74
圧縮強度 σ_{28} (N/mm ²)							37.7	

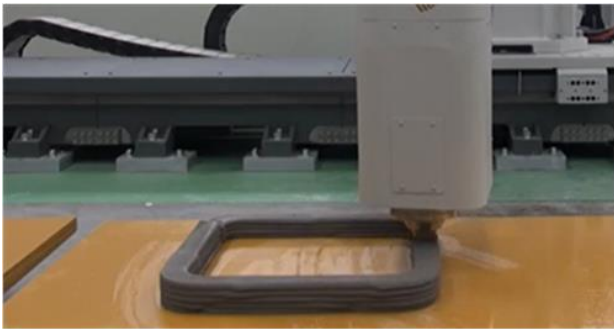


図-1 3D プリンタによる積層状況

表-3 直接引張試験の実験ケース

供試体の作製方法	1 層の積層厚さ	積層数
鋼製型枠に打込み	-	-
3D プリンタで積層  ※造形物から切り出した供試体	10mm	5
	13mm	
	16mm	
	20mm	
	10mm	2
		3
		4
	10mm	5
		6
	10mm	7

キーワード 3D プリンティング, 積層, 直接引張試験, 層間付着強度

連絡先 〒924-0838 石川県白山市八束穂 3-1 金沢工業大学 TEL 076-274-7733

順で養生・成形した供試体も同時に作製した。

3. 実験結果および考察

1 層あたりの積層厚さをパラメータとした供試体の直接引張試験の結果を図-2 に示す。なお、引張強度は、最大荷重を破断面の断面積で除して算出した。実験結果から型枠に打ち込んだ場合の層間付着強度（引張強度）は 3.0N/mm^2 であるのに対し、積層厚さ 10mm の場合の層間付着強度は型枠に打ち込んだ場合とほぼ同等であることが分かる。なお、積層厚さ 16mm , 20mm の場合の層間付着強度は約 2.0N/mm^2 であり、1 層あたりの積層厚さが大きくなるほど、層間付着強度が低下していることが分かる。積層厚さ 20mm の場合でも層間付着強度は断面修復材の規格値 (1.5N/mm^2)³⁾ 以上であるため十分な付着強度を確保できているといえる。代表的な破断状況を図-3 に示す。各積層厚さの破断位置を比較すると、積層厚さ 10mm , 13mm のときは積層間以外で破断した割合が 0% , 12% に対して、積層厚さ 16mm , 20mm のときは全て積層間で破断している。積層厚さ 10mm の場合にはノズルの先端と既に積層した下層との距離が近い。一方で、積層厚さ 20mm の場合には、下層に押し付けることなく、下層に乗せるように積層することとなる。既往の研究⁴⁾においても同様の報告がされており、今回の結果は妥当であると考えられる。

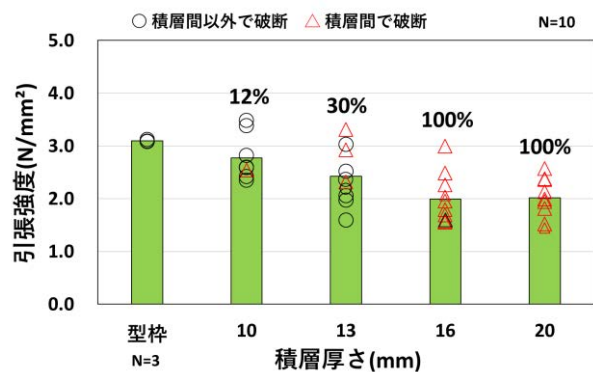
1 層あたりの積層厚さを 10mm とし、積層数を変えた場合の層間付着強度を図-4 に示す。全てのケースで引張強度が約 3.0N/mm^2 であり大きな差は見られなかった。また、供試体の破断位置を比較しても積層間以外での破断が多く見られ、破断位置に関しても大きな差は見られなかった。これらのことから今回の実験の範囲では、積層数が層間付着強度に及ぼす影響はないと考える。

4. まとめ

1 層あたりの積層厚さを 10mm 程度とすることで層間付着強度に及ぼす影響は小さくなり、積層数に関わらず層間付着強度が確保できることが確認された。今後は強制的に CO_2 を吸収させたモルタルで層間付着強度を確認するとともに、耐久性の評価も行う予定である。

参考文献

1) 日本コンクリート工学会：3D プリンティングによ



※数値は積層間で破断した割合を示す

図-2 積層厚さが異なる場合の引張強度

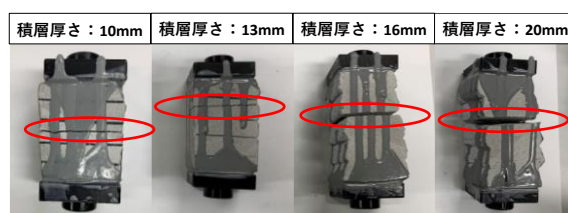
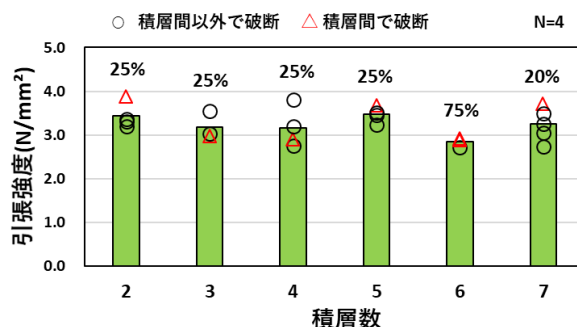


図-3 試験後の供試体



※数値は積層間で破断した割合を示す

図-4 積層数が異なる場合の引張強度

(1 層あたりの積層厚さ 10mm)

るコンクリート構造物構築に関する研究委員会報告書, 2021.

2) 取違剛, 横関康祐, 吉岡一郎, 中本健二, 盛岡実, 樋口隆行: CO_2 排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート CO_2 -SUICOM, セメント・コンクリート, Vol.786, pp.26-31, 2012

3) 国立研究開発法人土木研究所: コンクリート構造物の補修対策施行マニュアル(案), <https://www.pwri.go.jp/team/imarrc/research/tech-info/tech4343.pdf>, 2023.04.03

4) Panda, B. et al.: Measurement of tensile bond strength of 3D mortar, Measurement. Vol.113, pp.108-116, 2018.1.