

3D プリンティングに用いるモルタルの配合検討と実機による積層実験

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

近年の土木・建築業界の社会的背景として、人材不足が問題となっている。その対策として建設現場の省人化・省力化技術が着目されている。その一つとして建設用 3D プリンティング技術がある。この技術は、フレッシュなモルタルをポンプで圧送・吐出し、任意の形状に積層するものであり、造形の自由度が高く、意匠性の高いデザインの部材・構造物を造ることが可能である。また、自動化かつ型枠不要という点で省人化・省力化が期待できる。しかし、そのためにはモルタルに良好な圧送性と積層性が求められる。一方で CO₂と反応する特殊混和材 γ -C₂S を混和した環境負荷低減を実現する CO₂ 吸収コンクリート¹⁾が開発されている。3D プリンティング技術により表面積を増やした形状にすることで効率よく CO₂ を吸収することができ、カーボンネガティブに貢献できると考える。

本研究では、 γ -C₂S を混入したモルタルを用いた建設用 3D プリンタの実用化を目的とし、積層に適したモルタル配合検討を行い、モルタルの性状（フレッシュ性状、強度）と、モルタルガンによる模擬積層実験と実機による積層性を確認した。

2. 3D プリンティングに適したモルタルの配合検討

実験に使用したモルタルの材料を表-1 に、配合を表-2 に示す。モルタルの配合は、水結合材比 30～40%とし、特殊混和材に加えてシリカフェームを結合材の一部として使用した。また、混和剤として、高性能 AE 減水剤を使用した。モルタルのフレッシュ性状の確認として、モルタルフロー試験（0 打、

15 打）を行った。配合 1 は水結合材比 40%、モルタルフローは 0 打で 104mm、15 打で 166mm であった。配合 2 は、水結合材比を 30%に下げて粘性を高め、モルタルフローは 0 打で 100mm、15 打で 112mm であった。配合 3 は高性能 AE 減水剤の添加率を上げることでモルタルフローは 0 打で 106mm、15 打で 151mm であった。配合 4 は配合 3 の高性能 AE 減水剤の添加率を上げて流動性を高め、モルタルフローは 0 打で 116mm、15 打で 174mm であった。



写真-1 モルタルガンによる模擬積層実験

表-1 使用材料

材料	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
炭酸化混和材	γ -C ₂ S	密度:2.85g/cm ³
シリカフェーム	SF	密度:2.23g/cm ³
珪砂	S	密度:2.61 g/cm ³
混和剤	SP	高性能AE減水剤

表-2 モルタル配合表およびフレッシュ性状

配合	W/P(%)	W/C(%)	単位量(kg/m ³)						モルタルフロー(mm)	
			W	N	γ -C ₂ S	SF	S	SP	0打	15打
1	40	165	260	158	345	147	1260	5.2	104	166
2	30	124	275	222	477	215	970	4.57	100	112
3	31	150	280	187	496	211		8.95	106	151
4								13.42	116	174

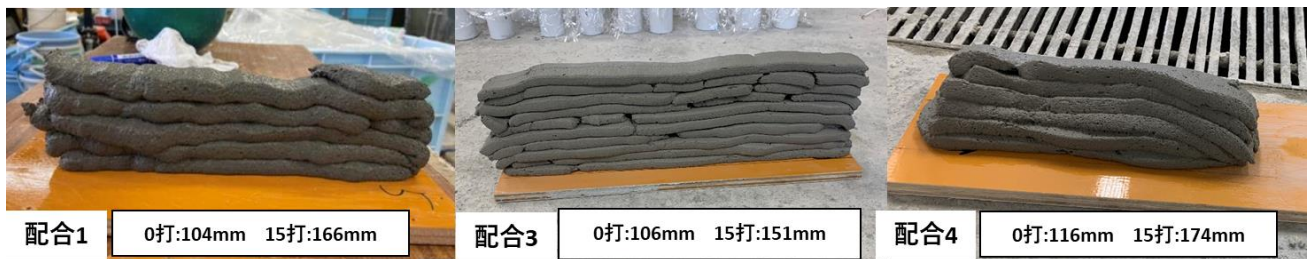


図-1 モルタルガンによる簡易な積層実験

3. モルタルガンによる模擬積層実験

前述したモルタルの積層性を簡易に調べる目的で、練上り直後のモルタルを市販のモルタルガン（吐出口：38mm×12mm）で吐出・積層した。図-1にモルタルガンによる積層実験の結果を示す。配合1においては、僅かにモルタルのダレがみられた。配合2においては、15打フローが112mmと低く、圧送することができなかった。配合3においては、ダレもみられず、最も積層性が良いことが確認された。配合4においては、0打フローが116mmと大きいため、積層中にダレがみられた。本実験の範囲では、モルタルフローが0打で100～110mm、15打で150mm以下の性状が積層に適していると判断した。

4. 3Dプリンタによる積層実験

配合3を用いて3Dプリンタによる積層実験を行った。モルタルをポンプで圧送し、ノズルからモルタルを吐出して積層を行った。積層の様子を写真-2に示す。1辺が50cmの中空の角柱を50cmまで積層することができ、圧送性・積層性共に良好であることが確認された。

ポンプ圧送がモルタルのフレッシュ性状と硬化物性（材齢28日）に及ぼす影響を確認した。表-3より、圧送前と圧送後（圧送距離20m）でのモルタルフローおよび空気量は大きな変化は見られず、圧縮強度、静弾性係数においても大きな差が見られなかった。このことからポンプ圧送がフレッシュ性状および硬化物性に与える影響はほとんどないことが確認された。

5. まとめ

・建設用3Dプリンティング材料の特性（圧送性・積層性）はモルタルフロー試験により評価を行うことができる。0打フローでは積層性について評価を行うことができ、100mmに近いほど積層性は高いといえる。15打フローは圧送性について評価を行うことができ、フロー値が大きいほど圧送性に優れるが、積層性が低

表-3 実機圧送前・圧送後によるモルタルの品質

	15打フロー (mm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
圧送前	143	7.5	37.7	26.0
圧送後	140	6.0	42.0	26.0

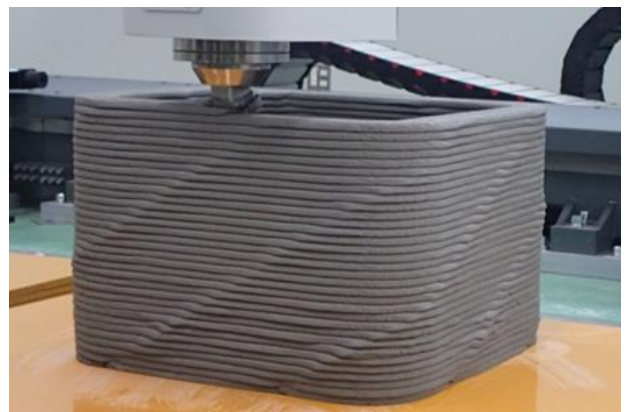


写真-2 実機による積層実験

くなる。

・ポンプ圧送前・圧送後では、フレッシュ性状（15打フロー、空気量）および圧縮強度、静弾性係数に大きな差が見られなかったため、ポンプ圧送前と圧送後でのモルタルの性質は変化しないことが分かった。

参考文献

- 1) 取違剛：コンクリート分野におけるCO₂排出削減・有効利用と『CO₂-SUICOM』：日本エネルギー学会機関誌えねるみくす, Vol.99, No.4, pp.360-365, 2020.
- 2) 日本コンクリート工学会：3Dプリンティングによ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.