

セメントモルタルサスペンションを用いた二液型積層方式の付加製造への適用性評価

宇部興産株式会社 技術開発研究所 正会員 ○高橋 恵輔
宇部興産株式会社 基盤技術研究所 非会員 関 崇宏

1. はじめに

近年、省人化や工期短縮による建設分野の生産性向上にむけて、様々な国が自動化施工などの付加製造に関する研究開発に取り組んでいる。セメントモルタル（以下、モルタル）の付加製造には押出し積層方式や噴射方式などがあり、積層方式では積層性、硬化後の層間接着性や強度の異方性などが議論されている¹⁾。一方で、積層に用いるモルタルの調製は、施工現場で人手をかけて粉体と水を混練しているという現状がある。セメントは水と混練すると数時間から数日間で硬化してしまうため、サスペンション（懸濁液）状態での長期保管が極めて難しいことがその原因と考えられる。本研究では、調製後 1 年間以上硬化せずに保管できるモルタルのサスペンション化技術を用いた二液型積層方式²⁾（図-1）の付加製造への適用性を評価した。当技術は、施工の省人化や工期短縮だけでなく、材料品質の安定化にも貢献できる。

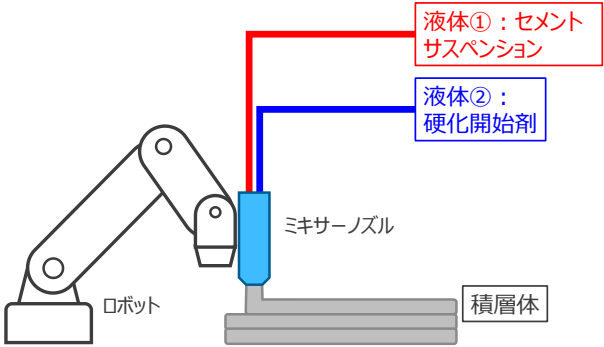


図-1 二液型積層方式のイメージ

2. 実験概要

硬化抑制剤、分散剤及び結合材を機械攪拌により水中に単分散させた後、珪砂細骨材（最大粒径 0.5mm）や増粘剤などを加えてモルタルサスペンションを調製した。調製したサスペンションの状態では約 1 年間硬化せず、ほぼ粘度変化が無いことを確認している。サスペンション状態のモルタルに所定量の硬化開始剤を添加することで、一般のセメント系材料と同様に硬化が始まる²⁾。結合材はアルミナセメントを主成分とし、水結合材比は 0.47 とした。実験には、砂結合材比（S/B）と増粘剤添加量の異なる 2 種類の配合 A 及び B を用いた。

モルタル物性として、JIS R 5201 に準拠してモルタルフロー、凝結時間、圧縮強度及び曲げ強度を測定した。空気量は JIS A 1171 に準拠して測定した。ゴム硬度は JIS K 6301 に準拠して測定した。凝結時間はサスペンション状態のモルタルに硬化開始剤を添加してから凝結終結までの時間を測定した。強度測定には 23°C50RH% で 28 日間気中養生した試験体を用いた。

モルタルの積層性評価には、吐出口直径 20mm のノズルを装着した垂直多関節形の産業用ロボットを用いた。作製する積層体の断面形状は正八角形とし、1 層の厚みを 8mm、1 周の長さを 612mm、ノズル移動速度を 45mm/s（S/B=1.00）および 60mm/s（S/B=1.25）に設定した。ノズル吐出口までのモルタルの圧送には、一軸偏心ねじ構造のポンプ（吐出圧 0.2MPa）を用いた。積層体作製直後に総積層数及び高さを測定した。また、吐出口 50mm×6mm のノズルを用いて別に作製した積層体から切

表-1 モルタル物性

配合		A		B	
モルタルフロー（mm） （打撃前→15打後）		100→110		105→129	
ゴム硬度（N）		2.03		1.87	
空気量（%）		7.2		6.4	
凝結時間（分）		50		50	
圧縮・曲げ 強度 （N/mm ² ）	材齢	圧縮	曲げ	圧縮	曲げ
	1日	30	3.6	37	3.8
	28日	52	5.3	58	5.9

り出した 40mm×40mm×160mm の試験体を 23°C50RH% で 14 日間養生して、力学特性の異方性及び層間接着性（NEXCO 試験法 425 に準拠）の評価に用いた。

3. 実験結果および考察

3. 1 モルタル物性

表-1 にモルタル物性を示す。配合 B は S/B が高いが、増粘剤添加量が少ないため、モルタルフローが大きくなった。

キーワード 付加製造、積層、二液型、モルタルサスペンション、力学特性

連絡先 〒755-8633 山口県宇部市小串沖の山 1-6 宇部興産株式会社 技術開発研究所 TEL 0836-22-6186

3. 2 モルタルの積層性

図-2 に配合 A 及び B を用いて作製した積層体を示す。配合 A は 30 層以上積層することができた。30 層積層した時点での積層高さは 240mm であり、沈降は生じなかった。一方、配合 B は 16 層積層した時点で崩壊した。15 層積層した時点での積層高さは 114mm であり、設計高さ（120mm）と比べて 6mm 沈降していた。



図-2 配合 A（左）及び B（右）を用いた積層体作製の様子

3. 3 積層体の強度特性

積層体の強度の異方性を評価するため、配合 A で作製した試験体の側面（方向 1）及び打込面（方向 2）から载荷した際の圧縮強度及び曲げ強度を測定した。比較として、同じ配合のモルタルを型枠に流し込んで成形した試験体の圧縮強度及び曲げ強度を測定した。図-3 にその結果を示す。型枠で成形した試験体と比べて、積層体から切り出した試験体は若干圧縮強度が低くなったが、その若干の強度低下に方向 1 と方向 2 で大きな違いは無かった。つまり、配合 A を用いた積層体の圧縮強度に大きな異方性は無かったと言える。

図-4 に層間接着強度の測定結果を示す。1 層目を敷いた 5 分後に 2 層目を積層して硬化させた試験体の上下面に引張治具を貼り付け、引張試験に供した。比較として、型枠に流し込んで成形した試験体の接着（引張）強度を測定した。配合 B では、積層体と型枠成形した試験体の接着（引張）強度に大きな差は無かったが、配合 A の積層体は型枠成形の試験体と比べて若干接着（引張）強度が低くなった。この若干の接着強度低下の原因として、配合 A の粘性が高く層間の馴染みが不十分であった可能性や、2 層目を積層する前に 1 層目表層が乾燥していた可能性などが考えられる。

4. まとめ

本研究により、モルタルのサスペンション化技術は二液型積層方式の付加製造に適用できることが示唆された。当技術により、工場で予め製造したモルタルを施工現場に長期間保管することができ、また、用途に応じた製品形態に工夫することで（例えば二液型カートリッジ式のモルタル製品など）、人手を全くかけない完全な自動化施工の実現が可能となると考えられる。これにより、特殊な極限空間、例えば宇宙や深海でのセメント系材料を用いた構造物の構築³⁾が可能になると期待できる。

参考文献

- 1) R.A. Buswell et al., 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research, Cement and Concrete Research, 112 (2018) 37–49
- 2) 高橋恵輔, セメントスラリーの吐出装置, 公開特許公報, 特開 2020-116831
- 3) M. Kobayashi et al., Physicochemical properties of the Portland cement-based mortar exposed to deep seafloor conditions at a depth of 1680 m, Cement and Concrete Research, 142 (2021) 106335

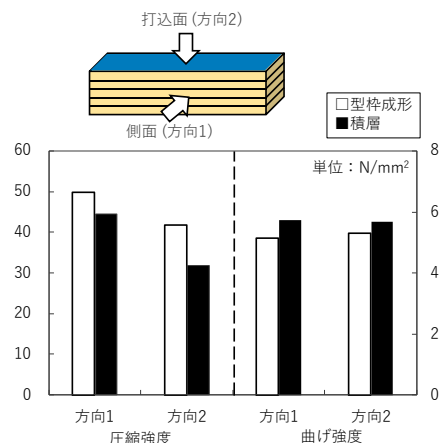


図-3 積層体の強度の異方性（配合 A）

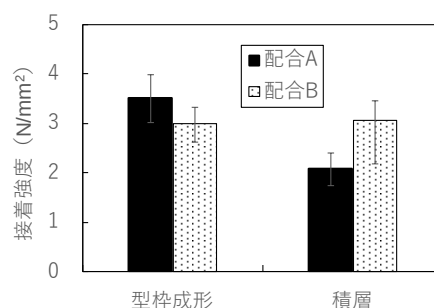


図-4 モルタル積層体の層間接着強度