

3D プリンティング用モルタルのひび割れ対策の検討

金沢工業大学大学院 学生会員 ○浦上和也 金沢工業大学 正会員 宮里心一
鹿島建設(株) 正会員 小林 聖 田口翔也

1. はじめに

建設業の抱える課題として、施工における省人化、省力化による生産性向上が挙げられる。この解決策の1つとして、3D プリンティング (3DP) による施工が着目されている。3DP 施工では機械化による省人化、省力化が可能である。また、地球温暖化の一因である CO₂ の削減も、建設業界に求められている。この課題に対し筆者らは、製造時に大量に CO₂ を排出するセメントの使用量を減らし、かつ若材齢からコンクリートに強制的に CO₂ を吸収させる環境配慮型コンクリート (CO₂ 吸収コンクリート) を開発した¹⁾。このコンクリートは、表面から CO₂ を吸収することから、体積に対して表面積が大きいほど CO₂ 吸収速度が速くなる²⁾。3DP では、自由な形状の構造物をつくることが可能であり、その特徴を生かし、表面積を大きくすることで CO₂ の吸収効率を高めた形状の構造物が作製可能である。以上から、建設業のもつ課題を効率的に解決できると考え、3DP と CO₂ 吸収コンクリートを組み合わせた技術開発を進めている。しかしながら、薄型や、複雑な形状の積層物で、打設後初期に多数のひび割れが発生し、構造物としての性能の低下が懸念された。そこで、本研究では、モルタルを積層する際の基盤 (下地材) (図-1) による拘束、打込み高さに対する接地長さ(L/H)、形状、収縮の4つの要素が初期ひび割れにおよぼす影響を確認し、3DP 用モルタルのひび割れの対策を検討した。

2. 実験概要

モルタルの配合を表-1に示す。水結合材比は、自立性を確保する目的で31%とした。試験ケースを表-2に示す。まず、Case1, 2で下地材による拘束の影響を確認した。Case1については、化粧合板にシート (ポリ塩化ビニリデン) を取り付け、その上に打設することでモルタル下面での拘束の影響を低減した。次に、Case2, 3, 4でL/Hの影響を確認した。幅は40mm、1辺の長さ (L) は500mmに統一し、高さ (H) を30, 60, 100mmとした。その際、それぞれのL/Hは16.7, 8.3, 5.0であった。さらに、Case4, 5, 6で形状の影響を確認した。Case5, 6については、直線形状と比べ拘束点の多い、中空の角柱形状とした。また、収縮の影響を確認するため高さ40mm×幅40mm×長さ160mmの試験体を造り、埋め込みひずみ計により、モルタルの全収縮量を測定した。埋め込み型ひずみ計は試験体の中心に埋設した。打設および養生環境は20℃、60%RHとした。なお、本研究内では3Dプリンターで積層せずに、型枠にモルタルを打ち込み、打設後直ちに側枠を脱型して積層を模擬した。

3. 実験結果

3.1 下地材による拘束の影響

ひび割れ状況を図-2に示す。なお、写真内の矢印はひび割れが発生した箇所を表している。シートにより下地材の拘束の影響を低減したCase1ではひび割れが発生せず、シートを設置していないCase2ではひび割れが発生した。既往の文献³⁾では、数種類の下地材に対しコンクリートを打設すると、その種類によって乾燥収縮によるひび

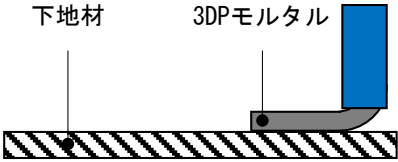


図-1 3DP モルタル積層状況および下地材

表-1 モルタルの配合

水結合材比 (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)			
		水	結合材	細骨材	混和剤
31	2.0	280	895	970	4.46

結合剤：特殊プレミックス材、密度 2.77g/cm³
細骨材：珪砂、密度 2.61g/cm³
混和剤：高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸)

表-2 試験ケース

Case	形状	下地材	高さ (mm)	幅 (mm)	1 辺の 長さ (mm)	L/H
1	直線	シート	30	40	500	16.7
2		化粧合板	60			16.7
3			100			8.3
4	150		5.0			
5	角柱 (中空)		250			3.3
6			2.0			



図-2 ひび割れ状況 (下地材による拘束の影響)

割れの進展状況がそれぞれ異なり、中でも拘束力を低減するシート上ではひび割れが生じにくいとされている。本実験でも同様の傾向を示したことから、下地材による拘束力を低減することは、ひび割れ対策の1つとして有効と考えられる。

3.2 L/H の影響

ひび割れ状況を図-3 に示す。ひび割れは、Case2 では3箇所、Case3 では1箇所、Case4 では発生しなかった。L/H としては、8.3 と 5.0 の間にひび割れ発生との閾値があると考えられる。既往の文献⁴⁾では、L/H が小さいほど拘束が緩和され、応力が小さくなるとされている。本実験でも同様の傾向が得られたことから、L/H を小さくすることは、ひび割れ対策の1つとして有効と考えられる。

3.3 形状の影響

角柱（中空）形状の試験体におけるひび割れ状況を図-4、図-5 に示す。Case5 において、対角線上となる隅角部に2箇所の貫通ひび割れが生じた。直線形状の Case4 に比べ Case5 の方が L/H が小さいことから、前述の検討結果によれば、Case5 の方がひび割れにくいと考えられるが、Case5 の方が隅角部にひずみが集中しやすいためひび割れが発生したと考えられる。一方で、L/H をさらに小さくした Case6 においてはひび割れが生じなかった。以上より、複雑な形状になるほど、ひずみが集中しやすい点が増えるためひび割れが発生する確率が高くなるが、L/H を適切に設定することで、複雑な形状においてもひび割れ防止が可能であると考えられる。

3.4 収縮の影響

モルタルのひずみを図-6 に示す。打設直後から急激に収縮を始め、12 時間時点で 1000 μ 程度の収縮ひずみが発生したが、12 時間以降の変化は穏やかになった。また、上述した検討により、発生したひび割れは、いずれも 12 時間以内に発生した。したがって、積層後の初期養生が重要であると考えられる。3DP で積層した構造物は表面積が大きいいため、乾燥収縮が大きくなることが想定される。そのため、シートなどで積層物を覆い、湿潤状態を保つことが初期のひび割れ対策の1つとして考えられる。なお、長期的な収縮によるひび割れについては、今後確認する予定である。

4. おわりに

本稿では、3DP 用モルタルの初期ひび割れの対策について検討した。その結果、下地材による拘束力を低減すること、L/H を適切に設定すること、初期の収縮を抑制することが有効な対策として挙げられた。今後は、実際の 3DP による構造物において、今回挙げたひび割れ対策の有効性を確認する。また、炭酸化養生がひび割れに与える影響を確認する。

参考文献

- 1) 取違ほか：CO₂ 排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート CO₂-SUICOM, セメント・コンクリート, Vol.786, pp.26-31, 2012
- 2) 小林聖ほか：供試体寸法および初期養生がコンクリートの炭酸化深さに与える影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会概要集, 第V部門, pp.1387-1388, 2010
- 3) 渡辺誠一：現場打ちコンクリートスラブの下地材の違いによるスラブ表面乾燥ひび割れに関する実験的研究, 日本建築学会構造論文集, Vol.562, pp.1-7, 2002
- 4) マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 日本コンクリート工学会, pp.35-36

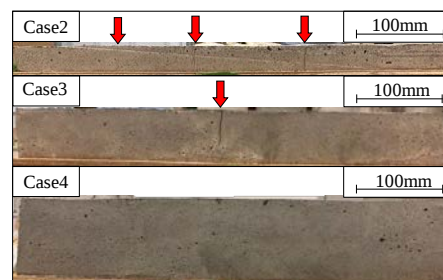


図-3 ひび割れ状況（L/H の影響）

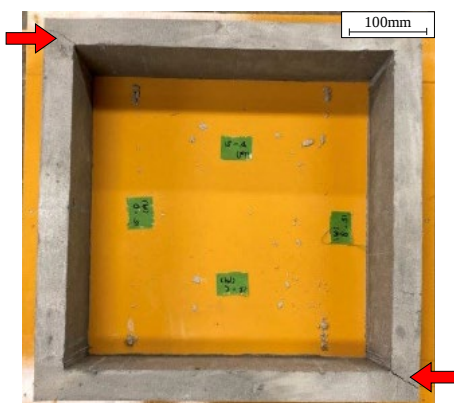


図-4 ひび割れ状況（Case5）

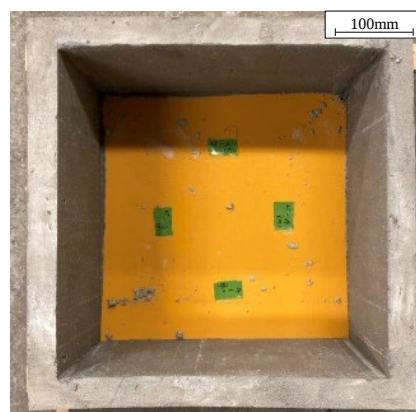


図-5 ひび割れ状況（Case6）

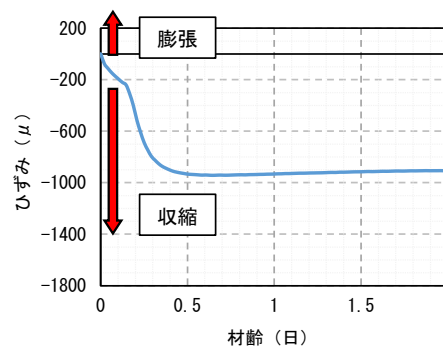


図-6 ひずみの測定結果