

短繊維補強モルタルを用いたプリント積層硬化体の強度異方性に関する検討

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○木ノ村 幸士 鈴木 三馨
白井 達哉 張 文博

1. はじめに

セメント系材料を材料押出し方式によってプリント製作した積層硬化体は、積層方向と載荷方向の組合せにより強度異方性があることが指摘されている¹⁾。一方、筆者らは、3D プリンティング (3DP) による埋設型砕製作を想定し、流動保持性、圧送性、自立安定性に優れ、押出し積層時の繊維分散性も良好な 3DP 用短繊維補強モルタルの開発を進めてきた²⁾。本報では、本モルタルを対象に圧縮、割裂引張、曲げ強度試験を実施し、積層硬化体の強度異方性について実験的検討を行った。

2. 配合および前提条件

使用したモルタル配合を表-1 に示す。結合材 (P) は速硬性を有するセメント、細骨材には最大粒径 2mm の砕砂 (S1) および微粉末 (S2) を併用した。混和剤には分離低減剤 (V)、短繊維には長さ 15mm、径 0.3mm のビニロン繊維を用い、混入率は 2.5Vol.% とした。

後述する各試験共通の養生条件を図-1 に示す。試験には、モールド内に突固めて製作した比較用の供試体、および、プリント製作した積層体ブロックからコア採取した (曲げ試験の場合は切り出した) 供試体を用いた。なお、積層体ブロックの製作に使用した 3DP 装置および本モルタルのフレッシュ性状については、既報に示す通りである²⁾。3DP 装置のノズル幅は 25mm、一層高さは 10mm、プリント速度は 80mm/sec である。

3. 圧縮および割裂引張強度試験

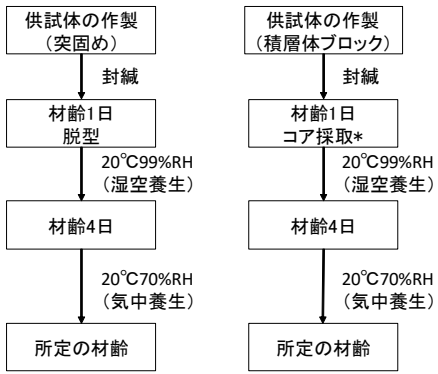
実施した試験ケースを表-2 に示す。圧縮強度試験では積層体ブロックの上面から採取したコアを、割裂引張試験では上面および側面から採取したコアを使用した。なお、割裂引張強度試験は、図-2 のように積層方向と載荷方向が一致する向きを縦目、直交する向きを横目と分類し、上面および側面採取コアに対し実施した。供試体の断面サイズはいずれも φ100mm で、例えば、上面採取コアの断面は 4 列で構成される (図-2)。

両試験の試験結果を図-3 に示す。結果は供試体 3 本の平均値である。材齢 28 日での圧縮強度はコアおよび

突固め供試体で同等であった。これに対し、割裂引張試験では、コア採取面の違いによらず、縦目では層間でひび割れが発生し突固めに対し著しく強度低下した。一方で、横目では突固めに対しいずれも大幅に強度が増加した。別途、X 線 CT 観察により積層方向に沿って短繊維が配向する傾向を確認しており、繊維の様な配向性が大幅な強度増加をもたらしたと考えられる。

表-1 短繊維補強モルタルの配合

W/P (%)	単位量 (kg/m ³)					繊維混入率 (vol.%)
	W	P	S1	S2	V	
31	322	1038	623	259	21	2.5



* 曲げ試験の場合は供試体を切り出し

図-1 供試体の養生条件 (各試験共通)

表-2 圧縮および割裂引張強度試験の試験ケース

試験	試験体			ラベル	試験材齢 (日)
	寸法 (mm)	作製方法	備考		
圧縮強度 JIS A1108	φ100×200	積層体コア (上面採取)		CP	4,7,28
		突固め		CC	4,7,28
割裂引張強度 JIS A1113	φ100×110	積層体 コア	上面採取, 縦目	TPUv	7,28
			上面採取, 横目	TPUh	7,28
			側面採取, 縦目	TPSv	7,28
			側面採取, 横目	TPSh	7,28
		突固め		TC	4,7,28

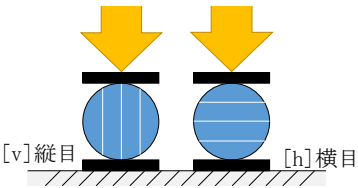


図-2 積層方向と載荷方向の関係

キーワード 3D プリンティング, 短繊維, 異方性, 圧縮強度, 割裂引張強度, 曲げ強度

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 TEL 045-814-7221

4. 曲げ強度試験

(1) 積層方向の違いに関する影響検討

3DP 装置を用いて長さ 200mm、幅 150mm、高さ 50mm の小型積層供試体を製作し、支間長を 150mm、等曲げ区間を 50mm として 4 点曲げ強度試験を行った。積層方向の違いによる曲げ強度への影響を確認するため、供試体の製作方法は図-4 に示す 4 通りとした。

試験結果を図-5 に示す。試験材齢は 7 日、結果は供試体 3 体の平均値およびばらつきの幅を示している。曲げ強度は、強軸>突固め>互層>弱軸の順となった。割裂引張強度と同様に、供試体製作時の短繊維の配向性の違いが曲げ強度結果に影響していると考えられる。

(2) 載荷面の違いに関する影響検討

つづいて、積層方向は強軸方向として載荷面を上面および側面とする試験を行った。図-6 に示す通りプリント製作した積層体ブロックから層境に沿って 100×100×400mm の曲げ供試体を 3 体切り出し、これを 4 ブロック分、計 12 体を製作、養生して曲げ試験に用いた。試験材齢は 28 日、JIS A1106 に準拠して試験を行った。

試験結果を図-7 に示す。なお、比較用の突固め供試体は 3 体の平均値、積層供試体は各載荷面につき 6 体の平均値とばらつきの幅を示している。切り出した積層供試体の曲げ強度は、載荷面の違いによらず突固め供試体強度の 1.3 倍程度となった。突固め供試体では、短繊維がランダムに配向するのに対し、積層供試体では積層方向に沿って配向するため強軸の架橋効果が大きく、ひび割れ発生後の耐力が向上したと考えられる。

5. まとめ

短繊維補強モルタルを用いたプリント積層体では、割裂引張と曲げ強度で異方性が大きく、これは短繊維の配向性と架橋効果の違いに起因すると考えられた。

謝辞

本報で使用した 3DP 用短繊維補強モルタルは太平洋セメント(株)と共同開発し材料提供を受けたものです。ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) T.T. Le et al, Hardened properties of high-performance printing concrete, Cement and Concrete Research, Vol.42, Issue 3, pp.558-566, 2012
- 2) 前堀伸平ら:3D プリンティングに適した短繊維補強モルタルの配合および押出性に関する実験的検討,コンクリート工学年次論文集, Vol.43, 2021.(投稿中)

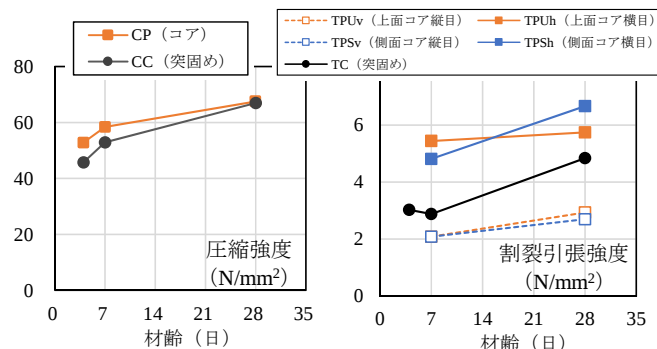


図-3 圧縮および割裂引張試験強度の結果

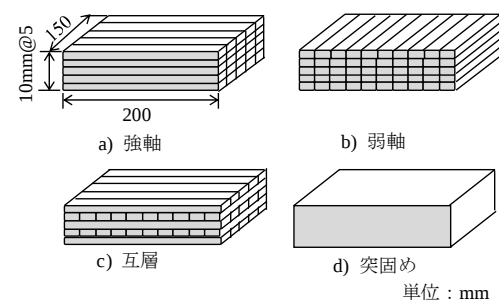


図-4 小型積層供試体の製作方法

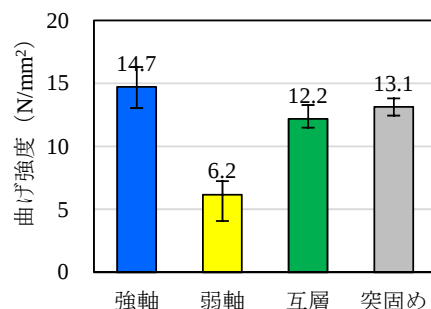


図-5 積層方向の違いによる曲げ強度の比較 (材齢 7 日)

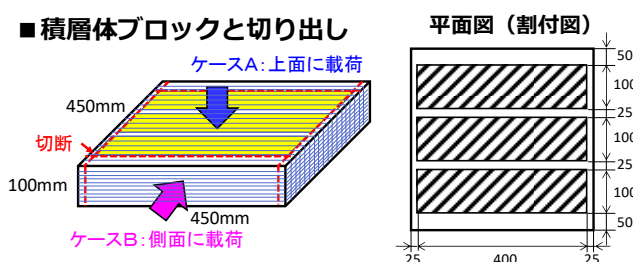


図-6 供試体製作方法と載荷方向の関係

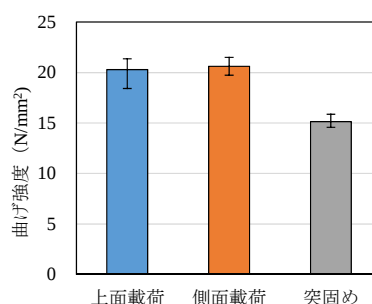


図-7 載荷面の違いによる曲げ強度の比較 (材齢 28 日)