

付加積層技術を応用した新たなコンクリート施工法の開発 ～基礎検討～

大成建設(株) 技術センター 正会員 〇村田 哲 木ノ村幸士 橋本 貴之
フェロー会員 坂本 淳 丸屋 剛

1. はじめに

近年、3次元形状をコンピュータで薄い層状の断面に分割し、分割した層を順に付加積層することで3次元の積層体を得る3Dプリンティング技術をコンクリート施工に応用した事例が数多く報告されている¹⁾。著者らは、コンクリート工の生産性向上を目的として付加積層技術を応用した新たなコンクリート施工法の開発に取り組んできた。本稿では、開発した材料の流動性および自立安定性について検証するとともに、付加積層が硬化後の強度特性へ及ぼす影響について述べる。

2. 積層材料の配合検討

(1) 試験概要

付加積層に適した材料の要求性能については、開発概要で述べたとおりである²⁾。これらの要求性能を満たす材料となるよう、モルタルフロー試験(JIS R 5201)、二重円筒式回転粘度計によるレオロジー試験(JIS Z 8803)およびモルタルの付加積層が可能な小型試作機(写真-1)による付加積層試験を繰り返すことにより、配合選定した³⁾。モルタルの配合を表-1に示す。使用材料は、ポルトランドセメントを主成分とするプレミックス粉体P、最大粒径2.5mmの陸砂S、凝結調整材R、繊維長12mmの短繊維Fである。短繊維Fは外割で添加した。配合F0.3およびF0.5は、W253に対してW/P=30%として単位水量を5kgおよび10kg増加した配合に、短繊維Fを0.3および0.5vol.%添加した配合である。

(2) 試験結果および考察

モルタルフロー試験の結果、4配合とも概ね170～180mmのモルタルフローを60分間保持しており、繊維を0.5vol.%混入しても流動保持性が変わらないことが分かった³⁾。付加積層試験の結果、4配合ともポンプからノズルまでの圧送性が良好であり、閉塞は見られなかった。ノズル抽出後は自立安定し、目視では変形を確認できなかった。一方、配合選定の過程で練上りのモルタルフローが170mm以下の配合を付加積層した場合はノズルなどの狭隘部で閉塞する場合があります、練上りのモル

タルフローが180mm以上の場合は自重で下層が変形する傾向であった。

3. 硬化物性に関する基礎検討

(1) 試験概要

付加積層による打重ねが硬化体の強度特性へ及ぼす影響を確認するために、付加積層によって作製した試験体(以下、積層試験体)の圧縮強度試験および曲げタフネス試験を実施し、標準的に突固めを行った試験体(以下、突固め試験体)に対する強度と異方性について比較



写真-1 小型試作機の外観

表-1 モルタルの配合

配合	W/P (%)	単位量 (kg/m ³)				F (vol.%)
		W	P	S	R	
W253	30	253	844	1148	P×1.5%	-
F0.1						0.1
F0.3		258	860	1121		0.3
F0.5		263	876	1093		0.5

表-2 硬化物性試験の試験ケース

配合	試験体作製方法	圧縮強度				曲げタフネス	
		1日	3日	7日	28日	方向1	方向2
						7日	7日
W253	突固め	○	○	○	○	○*	
	積層	○	○	○	○	○	○
F0.1	積層	-	-	○	-	○	○
F0.3	突固め	○	○	○	○	○*	
	積層	○	○	○	○	○	○
F0.5	積層	-	-	○	-	○	○

※突固め試験体は荷重方向2で代表させた。

キーワード 付加積層, 高チキソ性, フレッシュ性状, 硬化物性, 異方性

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 045-814-7228

検討した。試験ケースおよび試験材齢を表-2に、試験体概要および載荷方向を図-2に、それぞれ示す。圧縮強度試験には $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱試験体を、曲げタフネス試験には $\square 100 \times 100 \times 400 \text{mm}$ の角柱試験体を用いた。積層試験体は、型枠内に積層材料を積層することで作製した。一層の厚さは 20mm とし、型枠内に一層毎に所定の容積の材料を打ち込んだ後表面を均し、2分間の積層時間間隔毎に上記作業を繰り返した。突き棒、木槌による締固めは行わないこととした。突固め試験体および積層試験体は材齢1日まで 20°C 封緘養生とし、脱型後は 20°C 、 $60\% \text{R.H.}$ の試験室にて気中養生を行った。圧縮強度試験の載荷方向は打設面から型枠底面へ方向とし、曲げタフネス試験の載荷方向は打設面から型枠底面へ方向を載荷方向1、側面からの方向を載荷方向2とした。

(2) 試験結果および考察

材齢毎の圧縮強度を図-3に、曲げ強度および曲げじん性係数を表-3に、それぞれ示す。材齢7日の圧縮強度は試験体作製方法および繊維添加率によらずほぼ同等であった一方、材齢28日の圧縮強度は10%以内の強度差ではあるが積層試験体<突固め試験体、配合F0.3<配合W253となり、試験体作製方法および繊維添加が圧縮強度の増進に影響を及ぼした可能性がある。強度増進が停滞した要因としては、積層界面からの水分の逸散や、繊維添加による粗大な空気の巻き込みが考えられる。曲げ強度は、配合F0.3の 6.5 N/mm^2 が比較的大きい点を除けば、 $4.6 \sim 5.3 \text{ N/mm}^2$ の範囲であった。配合W253およびF0.3の曲げ強度は載荷方向1>載荷方向2であり、積層方向に対する異方性を示している可能性がある。なお、配合F0.1およびF0.5では載荷方向1と2で曲げ強度は同等であった。曲げじん性係数は、配合F0.3およびF0.5と比較して、F0.1は極めて小さい。配合F0.3およびF0.5は、積層試験体の曲げじん性係数が載荷方向1>載荷方向2で5%程度大きく、積層方向に対する異方性を示している可能性がある。ただし、ひび割れ性状および破壊性状は、目視観察による差は確認できなかった。異方性の要因は、積層試験体作製時に一層毎に均すため、繊維方向が型枠底面に平行な方向に配向しやすいこと、型枠底面を薄く均したため密実に打ち込まれており、載荷方向1ではひび割れ面に架橋する繊維本数が多かったことが考えられる。なお、曲げ強度および曲げじん性係数の異方性、ばらつきの程度については、今後データを蓄積する必要がある。

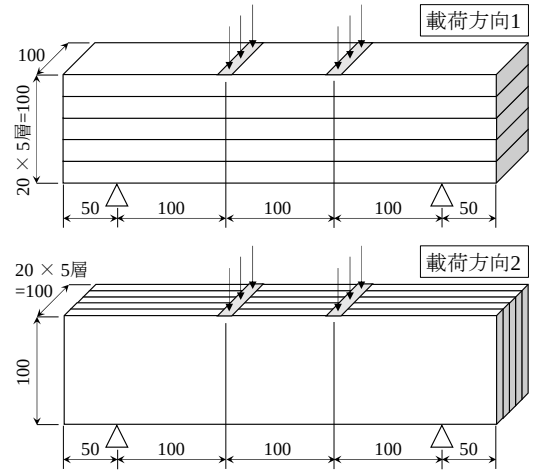


図-2 試験体概要および載荷方向

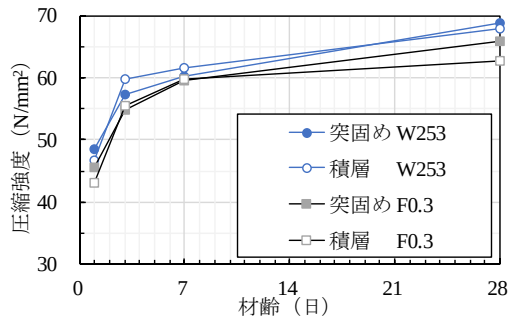


図-3 材齢-圧縮強度

表-3 曲げ強度および曲げじん性係数

配合	試験体 作製方法	曲げ強度 (N/mm^2)		曲げじん性係数 (N/mm^2)	
		方向1	方向2	方向1	方向2
W253	突固め	5.2		-	
	積層	5.3	4.7	-	-
F0.1	積層	4.7	4.7	0.1	0.1
F0.3	突固め	4.6		2.0	
	積層	6.5	5.1	2.1	1.8
F0.5	積層	5.1	5.2	2.5	2.4

4. まとめ

付加積層技術に用いるモルタル材料を開発した。この材料を用いて硬化物性に関する基礎検討をした結果、試験体作製方法および繊維添加が材齢7日以降の圧縮強度の増進に影響を及ぼした可能性がある。また、材齢7日の曲げ強度および曲げじん性係数に積層方向に対して異方性がある可能性がある。

参考文献

1) Wangler, T., Lloret, E., Reiter, L. et al: Digital Concrete: Opportunities and Challenges, RILEM Technical Letters, pp.67-75, (2016)1
2) 木ノ村ら：付加積層技術を応用した新たなコンクリート施工法の開発 ～開発概要～，第73回土木学会年次学術講演会講演概要集，2018（投稿中）
3) 村田哲ら：高チキソ性材料のフレッシュ性状および硬化物性に関する基礎検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.40, 2018（投稿中）