

3D プリンティング積層体の振動締固め方法の検討

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

1. はじめに

3D プリンティング積層体（以下、3DP 積層体）の力学性能は突固め試験体に比べて低下する。特に割裂引張強度が載荷方向と積層方向が一致する場合（縦目）は20%程度強度が低下する。これは、積層構造による積層間の一体性の低下に起因すると考えられる。

そこで、3DP 積層体に対して、振動による形状変化をさせることなく締固めを可能とする直径2mm程度の極小径振動体を有した振動締固め装置を試作し、試作した振動締固め装置を用いて、振動強さ、振動の有無などをパラメータとした割裂引張強度により、振動締固め効果を確認した。

2. 振動締固め装置の概要

試作した振動締固め装置の概要を図-1 に示す。振動締固め装置は、起振機、振動体およびスライドレールを有したフレームからなり、振動体を平行方向、鉛直方向に移動できるようにした。起振機は主な振動方向は鉛直方向とした。振動体は、一辺100mm、厚さ10mmの鋼板に直径1mmあるいは2mm、長さ70mmの棒鋼を25mm間隔で接着したものである。振動体は着脱可能であり、起振機と振動体はボルトによって固定した。

3. 突固め試験体による層間の振動締固め効果

3DP 積層体の層間を模擬した打継面（不連続面）を製作し、試作した装置により振動締固めを行い、打継面を割裂方向とする割裂引張試験により振動締固めによる効果を確認した。割裂引張試験体の製作方法を図-2 に示す。材料の練り混ぜ、養生は20℃、70%R.H.の恒温恒湿室にて行った。モルタルの配合表を表-1 に示す。結合材（P）には速硬性セメント（密度：3.08g/cm³）を用い、細骨材には砕砂（S1）および微粉末（S2）を併用して使用した。混和剤には、分離低減剤（V）を用いた。W/P=29%とした。試験体は、100×100×400mmとし、下層を高さ50mmまで打設し突き固め、所定の打継時間した後、上層を高さ100mmまで打ち継いだ。上層のモルタルは、下層との打継面を乱さないように突き棒による締固めをせずに静かに配置した。試験の一覧を表-2

に示す。打継面の打継時間は、0、10、20分とし、振動体の直径は、1mm、2mmとした。鉛直方向の振動強さは、L1（最大加速度90m/s²、振幅0.2mm）、L2（最大加速度139m/s²、振幅0.4mm）の2水準とし、振動時間はコア抜き箇所につき10秒、20秒とした。材齢5日で打継面が中心を通るように直径50mmのコアを各ケース3体採取し、材齢7日で割裂引張試験を行った。

割裂引張試験の結果を図-3 に示す。棒グラフは平均値、エラーバーは標準偏差を示している。振動締固めをしない場合（10-L0、20-L0）は打継時間が長いほど、割裂引張強度は低減する。打継時間10分では、振動体の

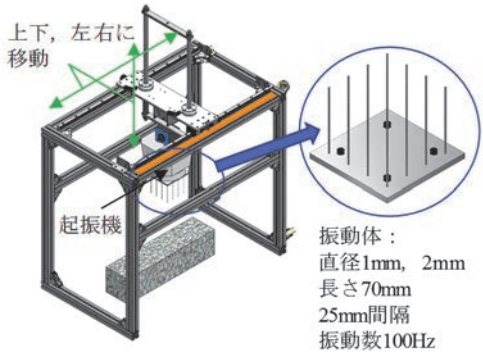


図-1 振動締固め装置

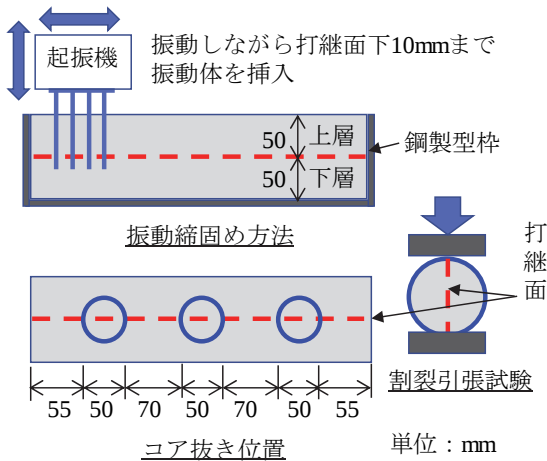


図-2 割裂引張試験体の製作方法

表-1 配合表

	W/P (%)	単位量 (kg/m ³)					繊維混入率 (vol.%)
		W	P	S1	S2	V	
3章	29	307	1060	636	265	21	-
4章	31	322	1038	623	259	21	2.5

キーワード 3D プリンティング、振動締固め、短繊維、割裂引張強度

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

表-2 割裂引張試験の一覧

ケース名	打継時間 (分)	振動体の 直径 (mm)	振動条件		
			振動時間 (秒)	最大加速度 (m/s ²)	振幅 (mm)
0-L0	0	-	-	-	-
10-L0	10	-	-	-	-
10-L1-φ1		1	20	90	0.2
10-L1-φ2		2	10		
10-L2-φ2		2	20		
20-L0	20	-	-	-	-
20-L2-φ2		2	20	139	0.4

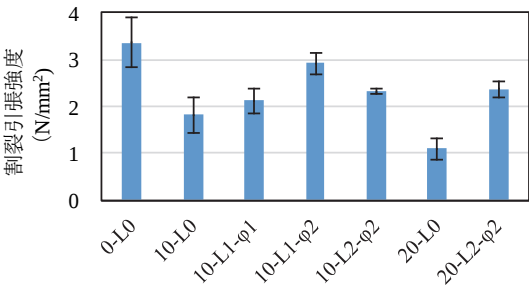


図-3 割裂引張試験結果

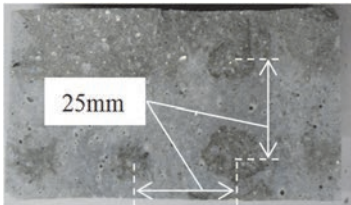


図-4 割裂面の状況 (20-L2-φ2)

直径が大きいほど割裂引張強度は改善し、振動強度 (L1) の場合打継面なしに比べて、46%減から直径 1mm (10-L1-φ1) の場合 37%減、直径が 2mm (10-L1-φ2) の場合 13%減まで改善した。振動強度 L2 のみで実施した打継時間 20 分においても、振動の有無により打継面なしに比べて、67%減から 30%減まで改善した。必ずしも振動強度が強いほど割裂引張強度が改善するわけではなかった。また、20-L2-φ2 のケースの割裂面は、振動体の挿入した位置で付着破壊しており (図-4)、振動締固めによって上下層の一体性が改善したものと考えられる。

4. 3DP 積層体の振動締固めによる力学特性

3DP 積層体についても、振動締固めが割裂引張強度に与える影響を確認した。モルタルの配合表を表-1 に示す。モルタルにはビニロン繊維を混入した。押し出される材料の幅は 25mm、積層体の高さは 1 層 10mm であり、5 層積層ごとにコア抜き箇所において直径 2mm、25mm 間隔の振動体を用いて 1 箇所につき 10 秒ずつ振動締固めを行った。積層時間は 5 層ごとに振動を含めて 10 分程度であり、振動締固めで積層を中断する時間は 3~5 分程度であった。材齢 1 日まで封かん養生とし、

表-3 3DP 積層体の割裂引張試験の一覧

ケース名	作製方法、コア抜き方向	振動強度
TC	突固め φ100×110mm	-
TPU	積層体コア φ100×110mm	上抜き
TPU-L1		
TPU-L2		
TPS		側面抜き
TPS-L1		
TPS-L2		

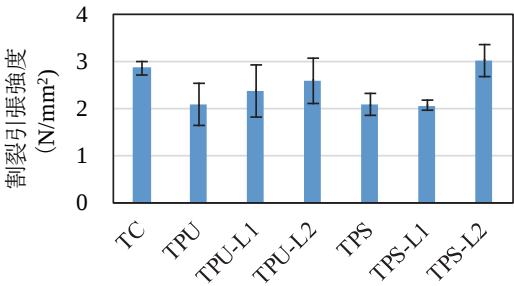


図-5 3DP 積層体の割裂引張試験結果

脱型後は材齢 4 日まで 20℃、99%R.H.環境にて湿潤養生した。その後は 20℃70%R.H.環境で気中養生した。3DP 積層体の試験一覧を表-3 に示す。積層体のコア抜き方向を上抜き (U)、側面抜き (S) とし、载荷方向と積層痕の方向が一致する向き (縦目) ¹⁾ で割裂引張試験をした。試験体数は各ケース 3 体とした。

材齢 7 日の 3DP 積層体の割裂引張試験の結果を図-5 に示す。棒グラフは平均値、エラーバーは標準偏差を示している。突固め (TC) に対して、3DP 積層体 (TPU、TPS) は、27%減となる。上抜きの振動あり (TPU-L1、L2) は振動締固めが強くなるほど改善し (17%減、9%減)、側面抜きの振動あり (TPS-L1、L2) では L1 では振動なしと同等であったが、L2 では突固めと同等まで向上した。振動体の主な振動方向が鉛直方向であったため、上抜きでの振動締固め効果が小さかった可能性がある。したがって、試験のばらつきもあるが、3DP 積層体においても振動締固めによる力学特性の改善が見られた。

5. まとめ

3DP 積層体に対する振動締固め装置を試作し、試作した振動締固め装置による振動の有無などをパラメータとした割裂引張強度試験から、振動締固めによる 3DP 積層体の割裂引張強度の改善効果を確認できた。

参考文献

1) 村田哲，張文博，木ノ村幸士，畑明仁：3D プリントで製作した積層体の硬化物性と収縮特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，pp.1852-1857,2020.