

建設 3D プリンティング材料のポンプ圧送性に関する一考察

大成建設 (株) 技術センター 正会員 ○ 張 文博 木ノ村 幸士 田中 俊成
大成建設 (株) 横浜支店 正会員 村田 哲

1. はじめに

建設 3D プリンティング施工において、ノズル押出の待機やトラブル発生などによりポンプ圧送が一時停止する場合が想定される。その場合、高チキソトロピー性の材料が配管中に静置させることにより急速にこぼばっており、ポンプ再開ないし圧送効率に支障をきたす可能性がある。本報では、ポンプ圧送が一時中断した場合の吐出圧力、および圧送効率について実験的に検討を行った。

2. 試験概要

図-1 はポンプ圧送試験の概要を示すものである。水平と垂直方向の圧送距離をそれぞれ 3.5m と 2.0m にし、直角カーブを三箇所設けた。ポンプはスクイズ方式であり、吐出口近傍で圧力計を装着した。ホースは内径 50mm のものであった。また、筒先で排出試料の質量の経時変化を記録した。

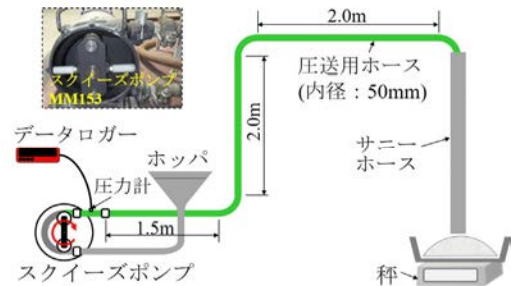


図-1 ポンプ圧送試験装置の概要

試験内容は実施工の状況を考慮して図-2 に示す 4 ケースとした。ケース(i)~(iii)では練り直後に圧送を開始し、圧送途中にそれぞれ 15 分、30 分および 45 分間にポンプを一旦停止した。ケース(iv)では、練り直後に試料を予め 30 分間静置した後圧送し、その後圧送を 2 回繰り返した。各段階での圧送は吐出圧力が安定してから 5 分間である。また、材料のフレッシュ性状を把握するため、別途ベーンせん断試験を同時に実施した。

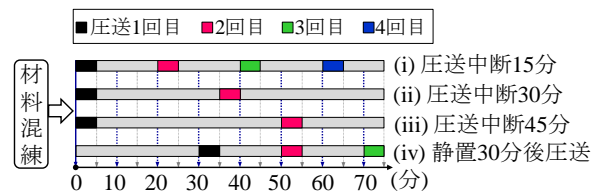


図-2 ポンプ圧送試験の内容

試験は 20°C70%RH の恒温恒湿室で行った。用いた配合は別報りと同様であり、詳細は表-1 に示す。

表-1 配合表

W/P (%)	外割添加量(P×%)			単位量(kg/m ³)				
	SP	De	Re	W	P	S1	S2	V
37	0.20	0.20	0.90	264	713	856	428	36

3. 試験結果

3.1 吐出圧力に関する考察

圧送中にポンプの停止および再開を繰り返した場合の吐出圧力を図-3 に示す。ケース(i)の結果に着目すると、1 回目の圧送において、試料が筒先から安定的に出されるまでは、吐出圧力のピーク値が時間とともに増大し、最終的に 0.3MPa 程度維持した。また、試料をホース内に 15 分静置させて 2 回目圧送を行ったところ、吐出圧力が1回目より若干低くなったが、大差はなかった。同じ手順で 3 回目と 4 回目の圧送を実施したが、ポンプ再開直後の吐出圧力のピーク値が停止回数の増加に伴い増大した傾向がみられる。

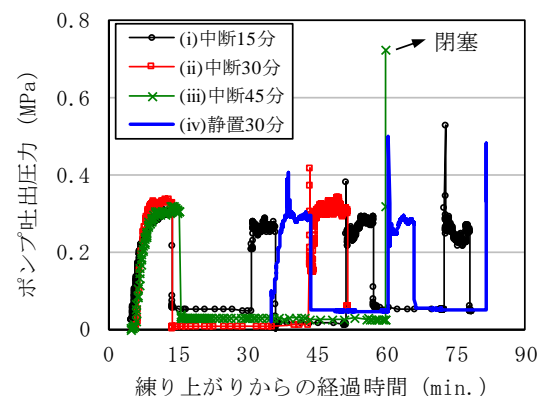


図-3 吐出圧力ピーク値の経時変化

そこで、各圧送段階の吐出圧力のピーク値を検出し、試料の累積静置時間との関係を図-4 のように整理した。累積静置時間は、ホッパーに投入する前とホース中の静置時間の合計時間としたが、前回圧送がある場合、圧送中に試料を乱された 5 分間を除いた。図-4 より、静置する前の圧

キーワード 3D プリンティング, ポンプ圧送性, 吐出圧力, 圧送効率, ベーンせん断強さ

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

力ピーク値が0.3~0.35MPaであった。また、ケース(i), (ii), および(iv)を比較すると、それまでに圧送する・しないに拘わらず、累積静置時間30分程度では、吐出圧力の最大値は約0.4MPaであった。それ以降でもこの傾向が続き、累積静置時間が長くなると、ポンプ再開に必要な最大圧力が0.5MPa程度であった。ここで、45分間中断したケースの場合、閉塞が生じて圧送継続ができなかったが、30分以内に試料を乱された場合、圧送に必要なとなる吐出圧力のピーク値は、試料の累積静置時間と関係があると推察される。

また、図-3において、いずれの圧送段階においても圧力が最大値に達したあとすぐに0.3MPa程度まで減少し、それ以降維持し続けた。このことは、安定的なポンプ圧送に必要な圧力が0.3MPaであることが示された。

ベーンせん断強さの計測結果は図-5に示す。図示「×」の標記は、その測定時点の次の計測でベーンせん断試験機の測定限界である16.2kPaを超えたことを意味する。初期、30分および60分から静置を継続した場合、いずれもベーンせん断強さが時間と共に大きくなり、図-4のポンプ吐出圧力ピーク値の経時変化を予測する可能性が窺える。また、30分毎攪拌した際のベーンせん断強さがほぼ一致していることから、ポンプ圧送の各段階において圧力が安定する時の状態を評価できると考えられる。

3.2 圧送効率に関する考察

一例としてケース(iv)の1回目と2回目圧送における試料の累積圧送量の経時変化を図-6に示す。同図より、圧送中断前の1回目圧送で得られた質量増加は、圧送再開した後の2回目より明らかに大きい傾向がみられる。また、各試験ケースで得られた圧送量は圧送時間に伴いほぼ線形であることから、線形回帰によって各ケースの各段階の圧送効率を求め、横軸を圧送回数として図-7に示している。ケース(iv)以外でも、1回目の圧送において圧送効率が最も高かったが、圧送を一旦中断させて再開した場合、圧送効率が明らかに低下した。また、3回目の圧送で圧送効率がさらに低下する傾向が認められた。また、ケース(iv)では、圧送効率が他のケースより下回っている。今回、実験上のトラブルでケース(i)の1回目と4回目のデータが取得できなかったが、このことは、圧送履歴以外に材料性質の経時変化に関連すると考えたため、静置し続けた試料のベーンせん断強さと圧送効率の関係を図-8のように整理した。圧送効率は静置状態のベーンせん断強さに関連するよう見受けられるが、今回のデータ数が少ないため、今後さらに検討を加える必要がある。

4. おわりに

ポンプ圧送を一時中断して再開した場合、最大吐出圧力は累積静置時間に伴い増加する傾向があるが、最大吐出圧力を超えると定常的な吐出圧力を維持することがわかった。これらのことは、ベーンせん断強さ試験によって予測できる可能性が窺えた。また、ポンプ圧送を一旦中断させて再開した場合、圧送効率が低下することが認められた。

参考文献

- 1) 田中俊成ほか：ベーンせん断試験による建設用3Dプリンティング材料のチキソトロピー性評価，第77回土木学会年次学術講演会講演概要集，2022。（投稿中）。

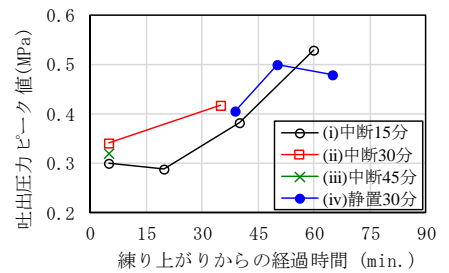


図-4 各段階の吐出圧力ピーク値

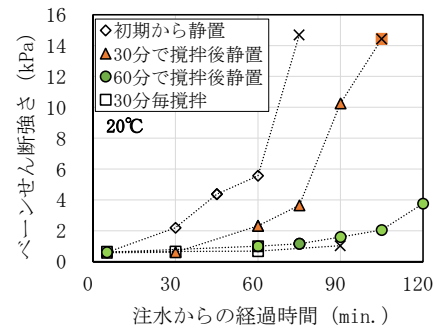


図-5 ベーンせん断強さの経時変化

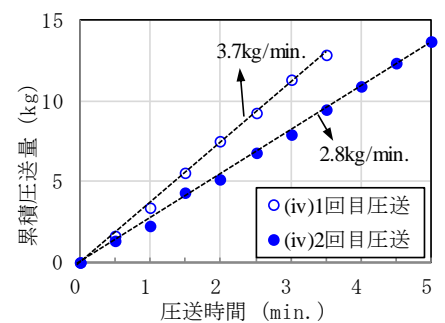


図-6 圧送量の経時変化

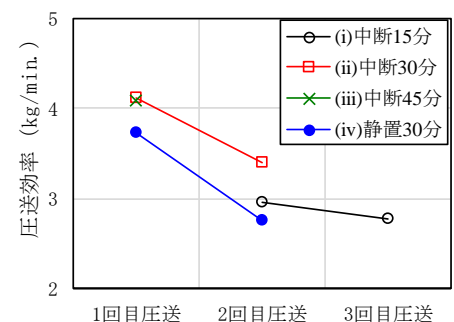


図-7 圧送効率の変化

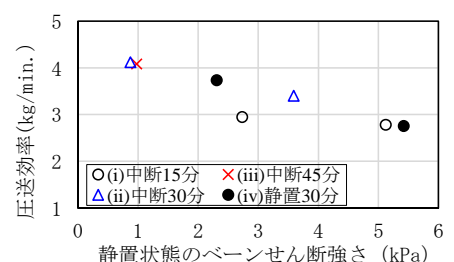


図-8 圧送効率 vs ベーンせん断強さ