

7. スランプフローで管理するコンクリートの圧送性評価

Evaluation on Pumpability of Concrete Managed by Slump Flow

山崎 順二*¹ 荒木 朗*¹

要 旨

2019年にJIS A 5308が改定され、呼び強度27～45のコンクリートにおいて、スランプフローで管理するコンクリート（以下、高流動性コンクリート）がJIS適合品として扱えるようになった。そこで、今後の有効活用を指向し、まずは、呼び強度27～40の範囲の高流動性コンクリートのフレッシュ性状と圧送性を調査した。実大規模の圧送実験の結果、圧送後にスランプフローがやや低下し空気量が増加したが、圧送後も良好なワーカビリティを有していることが確認できた。また、圧送時の管内圧力損失や吸込み効率は普通コンクリートと概ね同等であることが確認できた。

キーワード：高流動コンクリート／スランプフロー／圧送性／生産性向上／省力化／

1. はじめに

2019年にJIS A 5308が改定され、呼び強度27～45のコンクリートにおいて、スランプフローで管理するコンクリート（以下、高流動性コンクリート）がJIS品として扱えるようになった。高流動性コンクリートは、その高いワーカビリティにより軽微な締固めでも打込み欠陥が生じにくく、構造体コンクリートの品質確保と施工省力化に貢献する材料である。

本報では、呼び強度27～40のスランプフロー45cm～60cmの高流動性コンクリートのフレッシュ性状と圧送性について調査した結果¹⁾を述べる。

なお、本報に示す一連の実験結果は、近畿生コンクリート圧送協同組合から（社）日本建築学会近畿支部材料・施工部会（主査：山崎順二）が委託を受けて部会内に組織したポンプ工法WG（委員長：木村芳幹）によって実施されたものである。関係者の皆様にはここに記して感謝の意を表します。

2. 実験概要

2.1 圧送実験に供した高流動性コンクリート

実験の要因と水準を表-1に、実験に供した高流動性コンクリートの調合を表-2に示す。調合方針は、単位水量を175kg/m³、スランプフローを45,50,55,60cmの4水準とした。粗骨材かさ容積を540L/m³とし、各呼び強度に対する水セメント比は大阪広域生コンクリート協同組合の標準配合に従い、呼び強度27, 30, 33, 36, 40の順にW/C=54, 50, 47, 44, 40%とした。さらに呼び強度27において、6 銘柄の増粘剤 1 液タイプ高性能 AE 減水剤（VSP:(A～F)）と高性能 AE 減水剤（SP:a）、混和材とし

表-1 圧送実験に供するコンクリートの種類

スランプおよび スランプフロー(㎝) (左規格値、右目標値)	呼び強度									
	27		30		33		36		40	
	SP	VSP	SP	VSP	SP	VSP	SP	VSP	SP	VSP
18⇒21.5 (スランプ)			○							
45⇒52.5	○	○		○				○		○
50⇒57.5						○				
55⇒62.5								○		
60⇒67.5									○	

表-2 高流動性コンクリートの調合

実験記号* ¹	W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m ³)								混和剤 (kg/m ³) ad1 (タイプ) ad2				目標 スランプ フロー (cm)
											ad1		ad2		
			W	C	S1	S2	G1	G2	FA	VSP	SP	AE剤 (Aタイプ)	消泡剤 (Tタイプ)		
①27-45A	54	53.8	175	324	488	470	570	253	0	4.31		1.3	2.0	52.5	
②27-45B										3.82		0.8	0.0		
③27-45C										3.73		3.2	1.0		
④27-45D										4.21		1.2	0.5		
⑤27-45E										3.73		3.3	1.5		
⑥27-45F										6.67		2.0	1.5		
⑦27-45af	54	53.8* ²	175	324	439	422	570	253	83		2.92	15.0	0.8	52.5	
⑧30-45A	50	53.2	175	350	477	459	570	253	0	6.06		0.5	2.0	52.5	
⑨33-50A	47	52.7	175	372	468	450	570	253	0	4.84		1.3	2.0	57.5	
⑩36-45A	44	52.1	175	398	457	440	570	253	0	3.98		1.5	2.0	52.5	
⑪36-55A										5.25		1.4	2.0	62.5	
⑫40-45A										8.02		1.5	2.0	52.5	
⑬40-60A	40	51.2	175	438	440	423	570	253	0	6.26		0.5	2.0	67.5	
⑭27-45a	54	53.8	175	324	439	422	570	253	0		5.51	3.0	0.8	52.5	
⑮40-60a	40	51.2	175	438	440	423	570	253	0		5.39	2.7	0.8	67.5	
⑯30-18a	50	49.9	180	360	442	426	602	267	0		1.91	0.5	0.8	20.5* ³	

*¹：実験記号 実験番号・呼び強度・スランプフロー規格値・混和剤・混和剤記号

*²：フライアッシュを含む

*³：目標スランプ

てフラアッシュ(af)を使用した調合を加えた計15調合の高流動性コンクリートを用いて圧送実験を行った。

JIS A 5308では、スランプフロー45,50,55cmの許容範囲は±7.5cm、60cmで±10cmであり、スランプフローが大きいほどコンクリートが分離し圧送性に支障をき

*¹ 技術研究所 建築材料研究グループ

たすことが想定される。そこで本実験では、設計スランプフロー（規格値）に対して出荷時のスランプフローの目標値を規格値+7.5cmとした。

使用材料は、通常生コン工場が常備している骨材を用い、細骨材には石灰砕砂 S1 と流紋岩砕砂 S2 を、粗骨材には流紋岩砕石 G1 と石灰砕石 G2 を使用した。混合比率は細骨材 S1 : S2=50:50(容積比)、粗骨材 G1 : G2=70 : 30(容積比)とした。

2.2 コンクリートの試験項目と試験方法

実大圧送実験において実施したフレッシュコンクリートの試験の項目と試験の時期（出荷時・圧送前・圧送後）を表-3に示す。JIS やその他の基規準類にある試験以外に、コンクリートの圧送性や閉塞危険性の評価手法として筆者らが提案している A ロート試験も併せて実施した。A ロート試験の状況を写真-1に示す。試料は突固めを行わずロート上部から 1 層で流し込み、ロート下部の吐出口を解放してからコンクリートの流下が終わるまでの時間を測定する。全てのコンクリートが流下したことの判断は、ロート上部から吐出口が確認できた瞬間とした。一方、コンクリートが全量流下せず流下途中で閉塞した場合は、ロート内のコンクリートの流動が停止するまでの時間と、ロート上面からのコンクリートのロート中央部の下がり高さを測定した。A ロート試験は下部の径が異なる 4 つのロート（φ85mm, φ75mm, φ65mm, φ55mm）について行い、吐出口の径が大きなロートで閉塞した場合でも 4 つのロートを使用して測定を行った。

L 形フロー試験は、試料を鉛直型枠部に突固めや振動を与えずに 1 層で入れ、上面をコテでならした。その後、仕切りゲートを開け、コンクリート先端までの距離を測定し、これを L フロー値(Lf)とした。速度センサーを流動距離 5,10,15cm の位置に取り付け、5-10cm 間(Lv5-10)と 10-15cm 間(Lv10-15)の流動速度を測定し、その平均値を L フロー初速度とした。

写真-1に示す円筒貫入試験は、均等に練り混ぜたコンクリートを 5ℓ の手つきポリエステル製ビーカーに入れ、穴あきの円筒形のシリンダを 3 秒かけてコンクリートに挿入し、10 秒間静置してシリンダに入ったモルタル量を計測した。測定状況と試験器を写真-1に示す。

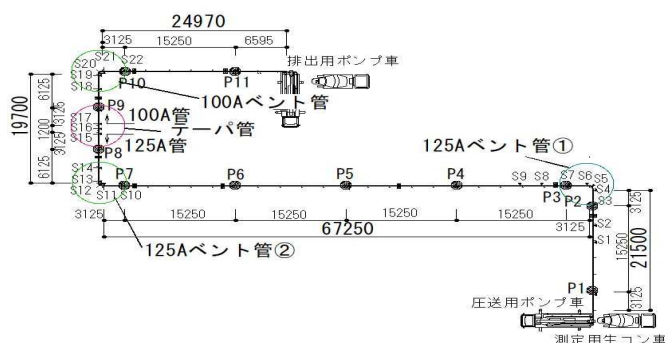
高流動性コンクリートの分離抵抗性を評価するために今回新たに提案する粗骨材沈降量試験(写真-1)は、エアメータの窯にコンクリートを 3 層に詰め、各層 25 回突き固めた後、定規で天端を平たんにし、窯側面を木槌で 20 回叩いた。沈降量の測定は表面(天端)からコンクリート中の粗骨材上面までの距離を測定した。測定器具は

表-3 試験項目および方法と試験の時期

試験項目	試験方法	試験時期			備考
		出荷時	圧送前	圧送後	
スランプフロー	JIS A 1150	●	●	●	各層5回突き
空気量	JIS A 1128	●	●	●	各層25回突き
コンクリート温度	JIS A 1156	●	●	●	CT
外気温	温度計による	●	●	●	気温
単位容積質量	エアメータ重量の測定	●	●	●	—
単位水量の推定	高周波加熱乾燥法	●	—	—	—
Aロート試験	(本報2.2に記載)	—	●	●	1層突固めなし
L形フロー試験	JSCE-F 514	—	●	●	L _f , Lv5-10, Lv10-15
円筒貫入試験	(本報2.2に記載)	—	●	●	—
粗骨材沈降量試験	(本報2.2に記載)	—	●	●	—



写真-1 各試験の様子



鋼製定規を用いて写真-1に示す 9 か所で粗骨材に触れるまでの深さを測定し、それらの平均値を粗骨材沈降量とした。また、硬化コンクリートの試験として、圧送前後での圧縮強度および動弾性係数の測定を行った。

2.3 配管計画および高流動性コンクリートの圧送

実験に用いるコンクリートポンプはピストン式ブーム車(PY115-26(8B 仕様))、圧送距離は 135.8m とした。配管状況を図-1に示す。輸送管の接続は 125A 管では M 型、100A 管には S 型ジョイントを用いた。

コンクリートの製造は、圧送実験の進捗に応じて概ね 45 ~60 分ごとに 1 種類 (1 台) とした。生コン車に積載す

るコンクリート量は 4.5m^3 とした。なお、輸送管内のコンクリートの入替えに必要な量は約 1.5m^3 となる。

高流動性コンクリートの圧送に先立ち、 $C=550$ モルタルを 1.0m^3 先送りした。 4.5m^3 の練混ぜ終了時刻を「出荷時」とし、出荷 20 分後に「圧送前」のフレッシュコンクリートの試料を採取した。圧送開始は出荷後約 30 分とした。圧送実験の手順を図-2に、その詳細を(1)~(4)に示す。

(1) ポンプホッパに実験に供する高流動性コンクリートを投入して 32 ストローク圧送し、輸送管内のコンクリートを入れ替えた後に圧送を開始した。

(2) 圧送開始直後は $15\sim 20\text{m}^3/\text{h}$ 程度の圧送速度(低速)とし、安定した圧送が行われることを確認した後、段階的に圧送速度を上げた。その際、同一圧送速度でのストローク数は7ストローク程度として管内圧力を計測した。

(3) 4段階で圧送速度を最高速度まで上げた後に段階的に圧送速度を下げ、生コン車のコンクリートが全量排出されるまで(約 52 ストローク)管内圧力の計測を継続した。

(4) 計測終了後に圧送後のコンクリートを筒先採取した。

圧送中の管内圧力の計測は容量 5MPa の圧力変換器を用い、計 11 箇所(図-1のP1~P11)に設置した。圧力計測ピッチは 10Hz とし、1ストロークにおいて連続する0.5秒間の変動係数が最も小さくなる時の値をストローク毎の測定値とし、同一圧送速度における7ストローク程度の測定値の平均をその計測点での管内圧力とした。

3. 高流動性コンクリートの試験結果および考察

高流動性コンクリートの圧送前後のスランプフローの変化を図-3に示す。同一凡例における図中のプロットは、経過時間の原点側から、出荷時・圧送前・圧送後の3時点を示している。増粘剤1液タイプ高性能AE減水剤を使用した高流動性コンクリートは、呼び強度30以上の調合で圧送後にスランプフローが $5\sim 7\text{cm}$ 程度低下する傾向がみられた。図-4に、圧送前後の空気量の変化を示す。空気量は、混和剤Cを除き圧送後に $0.5\sim 1.0\%$ 程度増加した。一般に、高性能AE減水剤を使用したコンクリートでは、コンクリートをポンプ車ホッパに排出してから筒先に到達するまでの間に空気量が増大する傾向みられ、その要因として圧送による化学混和剤の再活性化が指摘されているが²⁾、本実験に使用した増粘剤1液タイプ高性能AE減水剤においても同様の傾向が伺える。圧送前後のAロート($\phi 85\text{mm}$)流下速度の変化を図-5に示す。全ての調合で圧送後にスランプフローは低下したが流下速度は速くなっており、圧送によってコンクリ

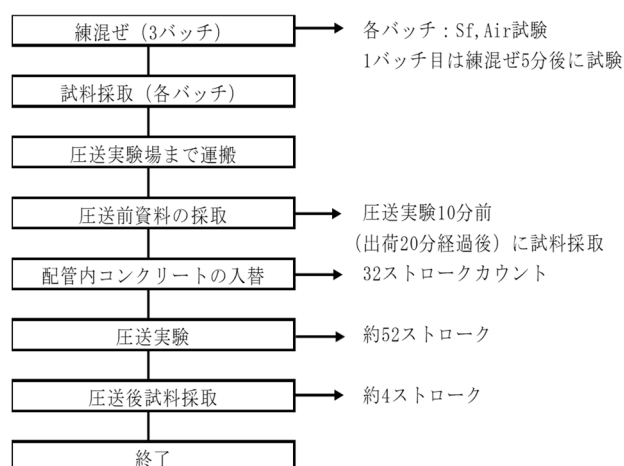


図-2 圧送実験のフロー

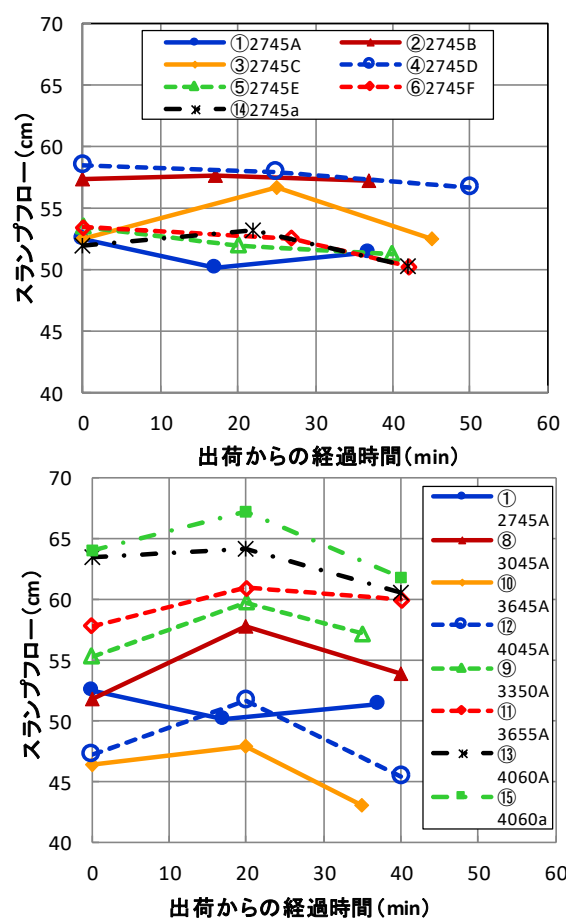


図-3 スランプフロー(圧送前後)

ートの降伏値が増大し粘性が低下したと推察される。また、図-6に示すLフロー初速度についても圧送後に概ね $10\text{cm}/\text{sec}$ 程度速くなり、図-7に示す円筒貫入試験によるモルタル流入量も圧送後にやや多くなっていることから、圧送後にはモルタルマトリックスの粘性がやや低下していることが推察される。

一方、図-8に示した粗骨材沈降量は、圧送後に粘性が低下したことで圧送後の粗骨材沈降量が大きくなると推

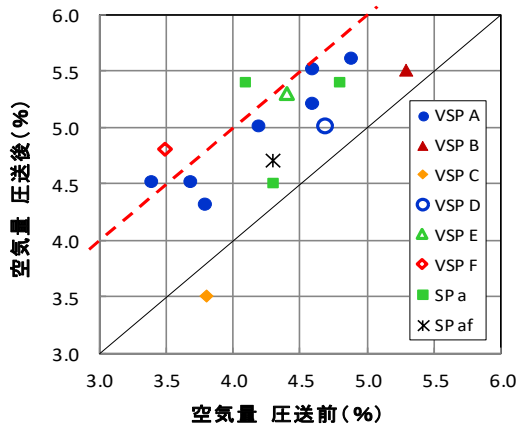


図-4 空気量(圧送前後)

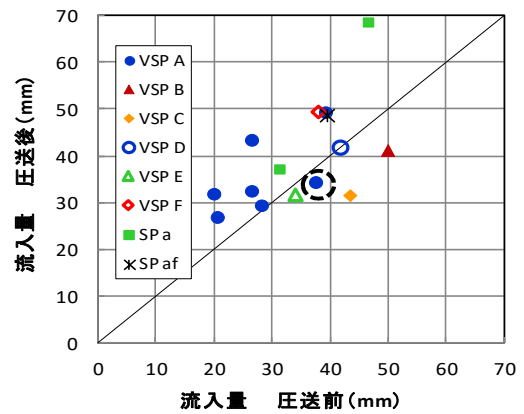


図-7 円筒貫入試験 (圧送前後)

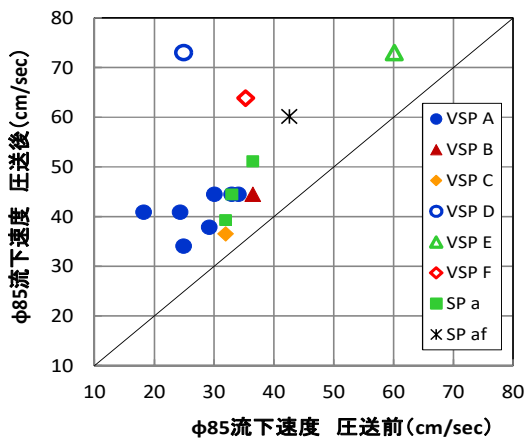


図-5 A ロート流下速度(圧送前後)

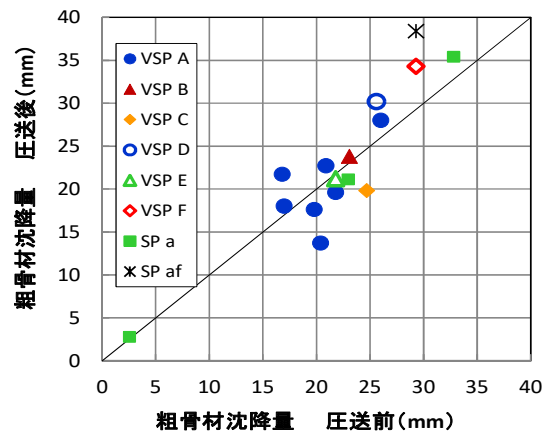


図-8 粗骨材沈降量(圧送前後)

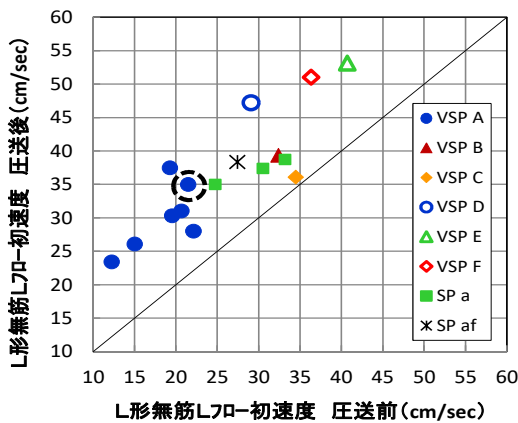


図-6 L フロー初速度 (圧送前後)

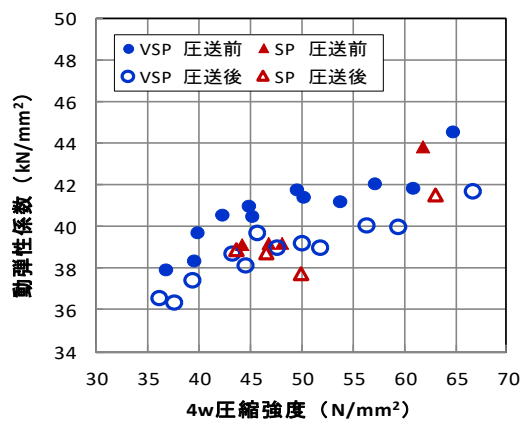


図-9 強度・動弾性係数 (圧送前後)

察されたが、SP afを除き、増粘剤1液タイプ高性能AE減水剤(VSP)を使用した調査では圧送前後で概ね同程度であった。また、図-9に動弾性係数と圧縮強度の関係を示す。圧送後に動弾性係数がやや低下する傾向が伺えた。以上の結果から、圧送により高流動性コンクリートのコンシステンシーやワーカビリティが損なわれることはなく、圧送後においても良好なワーカビリティを有することが確認できた。

4. 高流動性コ高流動性コンクリートの圧送性

4.1 圧力計による管内圧力

図-10に、①27-45Aと⑩30-18aの圧送距離と管内圧力の関係を一例として示す。ポンプ車根元から筒先に向かって管内圧力は減少しているが、ベント管部直後の圧力計から得られた管内圧力(P8)は直前とほぼ同等、テーパー部直後の管内圧力(P9)は直前より大きく減少する傾向がみられた。特に125Aベント1直後のP3の管内圧力が

大きく、P2-P3 間と P4-P6 間の圧力勾配に連続性がないことが特徴的である。この現象は直前のベント管の影響を受けている可能性が高いと考えられ、⑩30-18a においても概ね共通している。ここで、①27-45A と⑩30-18a を比較すると、①27-45A の方がテーパ管前後(P8-P9)での圧力勾配が大きくなっている。このことから、高流動性コンクリートは、スランプ 18cm の普通コンクリートよりも一般に降伏値が小さいため、テーパ管を通過する際に若干の分離傾向となり、テーパ管内で骨材のかん合が生じることで、閉塞するまでの影響はないものの、テーパ管前後での圧力勾配が大きくなったものと推察される。

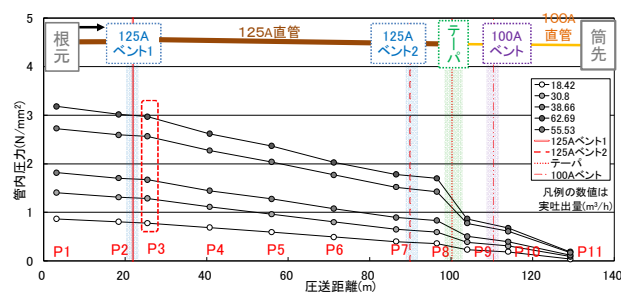
4.2 管内圧力損失

図-11 に⑩30-45A の圧送距離と管内圧力損失の関係を示す。図では直前の圧力計から求めた管内圧力損失を圧力計間の中心位置を横軸にしてプロットした。本実験結果から管内圧力損失を算定する際、125A 直管部は P1-P2 間と P3-P7 間、100A 直管部は P10-P11 から求めるのが一般的と想定されるが、圧力計 P3 の管内圧力が直前の 125A ベント管の影響によって大きくなったことにより、P4-P7 間の圧力損失よりも P3-P4 間の管内圧力損失が著しく大きくなっている。P8-P9 間も同様である。これより、125A 直管部の管内圧力損失は直前のベント管の影響を除くことを考慮して P4-P6 間の管内圧力損失から算定し、同様に 100A 直管部については P10-P11 間から算出することとした。

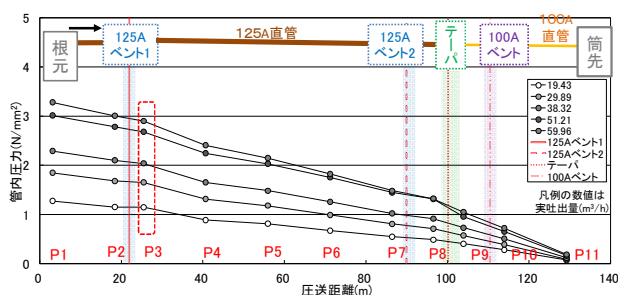
図-12 に、125A 直管の全調査の実吐出量と管内圧力損失の関係を示す。呼び強度 27 では SP と VSP は同程度の管内圧力損失を示したが、呼び強度 40 では VSP の方が SP よりも大きい値となっている。また、スランプフローが大きくなるほど管内圧力損失が小さくなる傾向にあり、100A 直管より 125A 直管でこの傾向が顕著でとなった 1)。これは、125A 管では 100A 管よりもせん断流動の割合が多く、スランプフローの影響を受けやすいためと考えられる。他方、100A 管ではせん断流動よりもすべり流動が卓越し、スランプフローの影響を受けにくくなったと推察される。

4.3 吸込み効率

本実験における高流動性コンクリート(凡例の2019年)のスランプフローと吸込み効率(機械効率)の関係を図-13 に示す。実験結果から、スランプフローが大きくなるほど吸込み効率がやや大きくなる 3) ことが見受けられ、スランプフロー45cm において 0.85 以上、55cm 以上で 0.90 以上となることが確認でき、指針類 3) と同様の結果が得られた。



(a) ①27-45A



(b) ⑩30-18a

図-10 圧送距離と管内圧力の計測の例

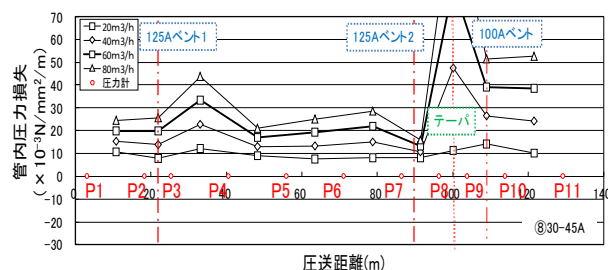


図-11 圧送距離と管内圧力損失 (⑩30-45A)

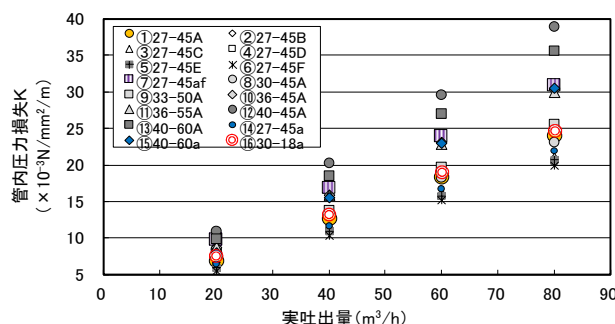


図-12 直管の管内圧力損失 (125A 管)

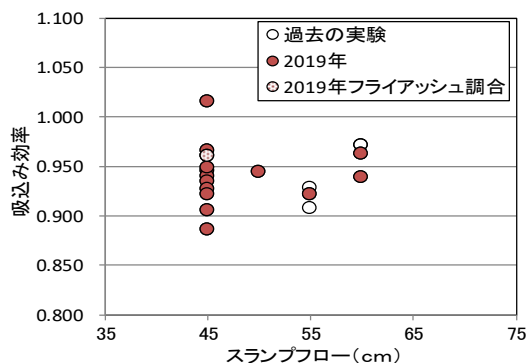


図-13 高流動性コンクリートの吸込み効率

5. まとめ

高流動性コンクリートの圧送性に関して実大圧送実験を行い調査した結果、以下のことが確認できた。

- (1) 圧送後にスランプフローがやや低下し空気量が増加したが、圧送後も良好なワーカビリティを有していた。
- (2) 圧送計画に必要な高流動性コンクリートの管内圧力損失および吸込み効率を実験結果に基づき示した。

以上、高流動性コンクリートはワーカビリティが高くスランプ管理の普通コンクリートと比較して施工省力化と品質確保に貢献できる。今後の有効活用に期待したい。

【参考文献】

- 1) 共田昌一・杉本勝幸・岩清水隆・木村芳幹・中村成春・山崎順二ほか：高流動性コンクリートの圧送性に関する研究, その 1～その 23, 日本建築学会学術講演梗概集（関東）, pp.245-290, 2020.9
- 2) 宮田敦典・中田善久・大塚秀三・岡本圭市：コンクリートポンプ工法における圧送距離が圧送前後の品質変化に及ぼす一考察, 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 688 号, 1035-1044, 2013.6
- 3) 全国コンクリート圧送事業団体連合会：最新コンクリートポンプ圧送マニュアル, p.134, 2020.11 日本建設業協会（旧：大阪建設業協会）編, 事例に学ぶ音の基礎知識, 大阪建設業協会, 2007.12