

3. 増粘剤1液タイプの高性能AE減水剤を用いたコンクリートのポンプ機種が 圧送性に及ぼす影響

Study on Influence of Type of Pumping Equipment for Pumpability of Concrete Using Air-entraining and High-range Water Reducing Agent of Thickener Type

河合 智寛*¹ 新田 稔*² 宇井 衛*¹ 山崎 順二*³

要 旨

増粘剤1液タイプの高性能AE減水剤を用いた収縮低減型中・高流動コンクリート「SMOOTH FILLCRETE (スムーズフィルクリート)」を開発し、一般財団法人 日本建築総合試験所 (GBRC) による技術審査証明 (GBRC 性能証明 第 15-20 号『スムーズフィルクリートー収縮低減型中・高流動コンクリートー』, 2016 年 2 月 4 日付) を取得した。実施工においてスムーズフィルクリートを圧入施工した際、ポンプ機種や圧送状況 (圧送速度, 輸送管長など) の違いでフレッシュ性状や圧送性に差異が生じる可能性が示唆された。そこで、ポンプ機種の違いがスムーズフィルクリートの性状および圧送性に及ぼす影響を調査する事を目的として実大圧送実験を実施した。

キーワード：ポンプ/圧送性/膨張材/ピストン式/スクイズ式/スランプフロー

1. はじめに

当社で開発した増粘剤1液タイプの高性能AE減水剤を用いる収縮低減型中・高流動コンクリート「SMOOTH FILLCRETE (スムーズフィルクリート)」について、このコンクリートを使用する施工事例が増えてきた。

しかし、実施工の現場において、スムーズフィルクリートを圧入施工した際、ポンプ機種や圧送状況 (圧送速度, 輸送管長など) の違いで、フレッシュ性状や圧送性に差異が生じる可能性が示唆された。

そこで、ポンプ機種の違いがスムーズフィルクリートの性状および圧送性に及ぼす影響を調査する事を目的として実大圧送実験を実施した。

2. 実験計画の概要

2. 1 実験の概要

ポンプ圧送の実大圧送実験は、2018 年 3 月 22 日に行った。コンクリートの製造は、K 工場で行い実験場所は技術研究所の敷地内で実施した。

2. 2 配管計画

ポンプ圧送実験の配管計画を図 1 に示す。実験に使用したコンクリートポンプ車は、4t スクイズ式ポンプ車 1 台 (型式 PH65-18) および 8t ピストン式ポンプ車 1 台 (型式 PY115A26B) を使用した。圧送距離は、約 130m で行った。

実験で圧送したコンクリートは、ポンプ車ごとに水結合材比 (W/B) やスランプフローなどが異なる 4 種類のコンクリートで行った。前半の 4 台分は、8t ピストン式ポンプ車のブームを使用して、敷地内の仮設土間コンクリートの打込みに使用した。また、後半の 4 台分は、配管の先端から空になったアジテータ車に直接コンクリートを投入し、WA を添加後、攪拌し再生碎石を場内に荷卸した。

輸送管は、φ125A 管を使用し、輸送管同士のジョイント部には M 型ジョイントを用いた。

2. 3 使用材料および調査

実大圧送実験に用いた使用材料を表 1 に、コンクリートの調査を表 2 に示す。

*¹ 技術研究所 *² 東京本店建築部品質管理室 兼 技術研究所 *³ 技術研究所 兼 大阪本店建築部品質管理室

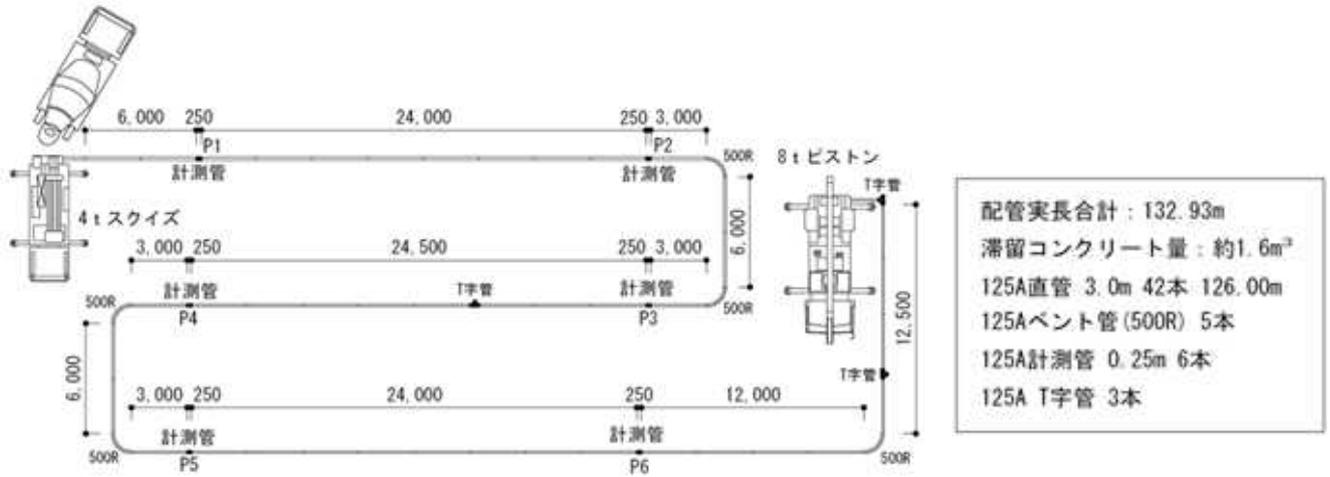


図1 ポンプ圧送実験の配管計画図

表1 使用材料

材料	種類	産地または品名	(表乾)密度 g/cm ³	粗粒率	実積率 %
セメント	C:普通ポルトランドセメント	U社製	3.16	—	—
水	W:回収水(上澄水)	—	—	—	—
細骨材	S1: 砕砂	大阪府高槻産	2.66	2.80	—
	S2: 石灰石砕砂	福岡県北九州産	2.69	2.40	—
粗骨材	G: 砕石	大阪府箕面産	2.68	—	158.0
混和剤	SP: 高性能AE減水剤 (増粘剤1液タイプ)	B社製	—	—	—
混和材	E: 膨張材(構造用)	T社製	3.16	—	—

¹⁾粒形判定実積率

※【細骨材混合割合】砕砂:石灰石砕砂=60%:40%(容積比)

表2 コンクリートの調合

No.	調合記号	単位量(kg/m ³)						SP B×%	Ad (A,T)	W/B(C+E) (%)	s/a (%)
		C	E	W	S1	S2	G				
①	33-55-4tS	358	25	180	551	371	828	1.0	2.0A +2.5T	47.0	52.8
②	30-55-4tS	335	25	180	564	382	832	1.1	2.0A +1.5T	50.0	53.6
③	30-55-SP-4tS	335	25	180	564	382	832	1.0	—	50.0	53.6
④	30-60-4tS	335	25	180	564	382	832	1.2	6.5A +3.5T	50.0	53.6
⑤	33-55-8tP	358	25	180	551	371	828	1.0	2.0A	47.0	52.8
⑥	30-55-8tP	335	25	180	564	382	832	1.1	4.0A	50.0	53.6
⑦	30-55-SP-8tP	335	25	180	564	382	832	1.0	6.5A +3.0T	50.0	53.6
⑧	30-60-8tP	335	25	180	564	382	832	1.2	3.0A +1.5T	50.0	53.6

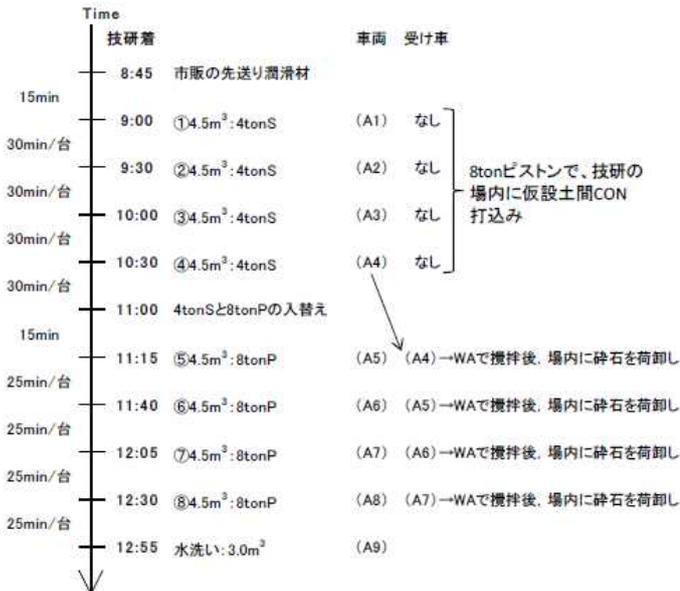


図2 圧送順序



図3 実験のフロー

2. 4 圧送計画

コンクリートの圧送順序を図2に示す。K工場から実験場所までの運搬時間は概ね60分であり、アジテータ車に積載するコンクリート量は4.5m³とした。なお、輸送管内のコンクリートの入替えに必要なコンクリート量は、約1.6m³である。今回の実験ではコンクリートの圧送に先立ち、市販の先送り潤滑材を使用し、さらに輸送管内をコンクリートで充填することを目的として、各調合のコンクリートを毎回約2.0m³程度圧送した。これは輸送管内を調合条件ごとのコンクリートで確実に入替えることを意図しており、毎回2.0m³程度のコンクリートを圧送した後、次工程の実験開始とした。

実験のフローを図3に示す。コンクリートの練上り直後、K工場で試料を採取して工程検査を実施した。その後、ポンプ圧送実験場所に運搬し、アジテータ車が到着後、荷卸し試料の採取を行った。ポンプ圧送実験は、輸送管内のコンクリートの入替え後を実験開始とし、アジテータ車のコンクリートが全て排出された時点で、筒先の試料の採取を行った。圧送実験で要した各調合の総ストローク数を表3に示す。

圧送速度は、圧送開始直後は15~20m³/h程度(最小限の低速)とし、徐々に圧送速度を速くした。計画では、同一圧送速度で圧送する量は、8tピストン式ポンプ車で8ストローク、4tスクイズ式ポンプ車で30ストローク(15回転)とし、4~5段階で最高速度に達するように圧送した。コンクリート圧送中は、圧送圧力をポンプ車の圧力計で確認し、管内圧力は計測管を図1に示す6ヶ所に設けて測定を実施した。ポンプ車の機種および仕様を表4に示す。

3. 試験項目および試験方法

3. 1 フレッシュコンクリート試験

フレッシュコンクリートの試験は、K工場の練上り直後に行った工程検査の他に、ポンプ圧送における圧送前と圧送後として荷卸し時と筒先で試料採取を行い、試験を実施した。フレッシュコンクリートの試験項目および試験方法を表5に示す。

3. 2 硬化コンクリート試験

硬化コンクリートの試験は、圧縮強度の確認でφ100×200mmの簡易型枠を使用した標準養生にお

ける1週および4週の供試体を採取し、膨張材を使用したコンクリートの長さ変化試験として、100×100×400mmの鋼製型枠を用いた供試体採取をそれぞれ荷卸し時と筒先において実施した。

3. 3 管内圧力測定

ポンプ圧送の管内圧力の計測箇所は、図1に示すように、φ125A輸送管に6ヶ所の計測管を設けて測定を実施した。

3. 4 化学分析試験

コンクリートに添加した混和剤の吸着率を、i)現場到着時(ポンプ圧送前)、ii)ポンプ圧送後およびiii)ポンプ圧送を行っている時間一輪車内で静置したコンクリートについて測定を行った。以下に、その手順を示す。

表3 実験で要したポンプ車の総ストローク数

調査No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
実験記号	33-55-4tS	30-55-4tS	30-55-SP-4tS	30-60-4tS	33-55-8tP	30-55-8tP	30-55-SP-8tP	30-60-8tP
総ストローク数	261	271	266	274	95	94	90	93

表4 ポンプ車の機種および仕様

形式	シリンダ径 (mm)	ストローク (mm)	標準				圧力比	空運転圧力 (MPa)	最大油圧 (MPa)	吐出口径 (mm)	ロータリー1回転当たり吐出量 (m ³)	
			吐出量 Q1 (m ³)	最大圧力 P1 (MPa)	吐出量 Q2 (m ³)	最大圧力 P2 (MPa)						
4tonスクイズ	PH65-18	127	38	2.2	55	1.5	12.5	0.4	27.4	130	0.0307	
8tonピストン	PY115A26B	205	1650	55	5.6	100	3	4.9	0.6	27.4	175	—

表5 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	試験時期		
		練上り	荷卸し	筒先
スランプフロー	JIS A 1150	○	○	○
50cmフロー到達時間		—	○	○
フロー停止時間		—	○	○
空気量	JIS A 1128	○	○	○
Lフロー初速度	JSCE-F 514	—	○	○
Vポート	JSCE-F 512	—	○	○
コンクリート温度	JIS A 1156	○	○	○
外気温	温度計による	—	○	○

- ① コンクリートを専用の容器に採取し、簡易加圧ろ過装置により液相を濾別した。
- ② 濾別した液相を 10 倍に希釈し塩酸により酸性にしたものを試料として、島津製作所製の全有機炭素計(TOC-V CPN)により、濾液中の全有機炭素濃度を測定した。
- ③ 使用した化学混和剤に含まれる有機炭素量を別途測定し、濾液中の全有機炭素濃度から濾液に含まれる化学混和剤量を算出した。

4. 試験結果

4. 1 実験に用いたコンクリート条件

工場出荷から実験現場(荷卸し)までに要した時間を、図 4 に示す。

工場集荷から荷卸しまでの時間は、最初の 1 台目に段取り等による手間を理由に、やや時間がかかっているが、2 台目以降は、概ね 90 分以内に荷卸しできた結果が得られている。

4. 2 フレッシュコンクリート試験

フレッシュコンクリート試験の結果一覧を表 6 に示す。

また、圧送前後の 50cm フロー到達時間、V ロート流下時間、L フロー初速度の関係を図 5、図 6 および図 7 に出荷時および圧送前後の空気量の関係を図 8 に示す。スランプフローは、ポンプ機種により圧送前後のフローが異なる傾向であった。4t スクイズは、圧送によりスランプフローが小さくなり、8t ピストンは圧送によりスランプフローが大きくなる傾向があった。なお、図 8 より空気量は、8t ピストンでは圧送により、空気量が増える傾向が見られるが、4t スクイズでは大きな傾向は見られなかった。

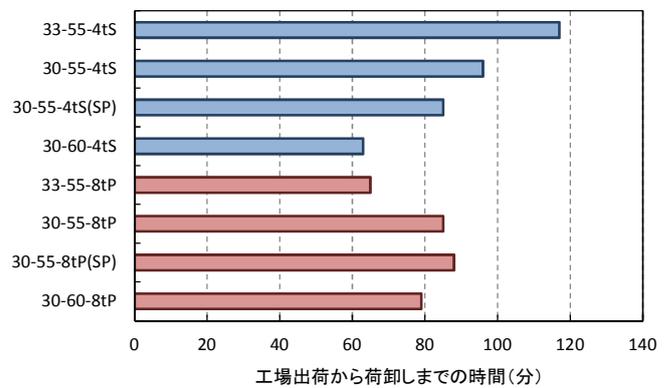


図 4 工場出荷から荷卸しまで要した時間

表 6 フレッシュコンクリート試験結果

実験記号	納入時刻		試料採取場所	スランプフロー	同左平均	50cmフロー到達時間 (sec)	フロー停止時間 (sec)	空気量 (%)	Lフロー				Vロート (sec)	CT (°C)	AT (°C)	TP	
	工場発	現場着							初速度 (cm/s)			停止時間 (sec)				1W	4W
									V1	V2	avg						
33-55-4tS	7:44	8:54	練上り	56.2 × 52.5	54.5	-	-	5.8	-	-	-	-	14	-	○	○	
			荷卸し	53.4 × 50.3	52.0	-	-	6.5	16.2	18.2	17.2	14.38	4.75	14	10	○	○
			筒先	47.1 × 46.1	46.5	-	6.85	4.6	20.1	20.2	20.2	9.47	4.34	16	13	○	○
30-55-4tS	8:16	9:20	練上り	54.5 × 53.5	54.0	-	-	5.8	-	-	-	-	14	-	○	○	
			荷卸し	52.9 × 51.5	52.0	7.20	16.66	5.4	19.5	20.5	20.0	22.25	5.94	14	10	○	○
			筒先	54.1 × 53.2	53.5	5.68	10.72	5.1	22.2	22.7	22.5	11.90	4.44	16	11	○	○
30-55-SP-4tS	8:48	9:58	練上り	51.5 × 51.0	51.5	-	-	2.0	-	-	-	-	14	-	○	○	
			荷卸し	62.5 × 58.7	60.5	9.22	22.72	2.1	18.7	18.5	18.6	21.91	18.44	16	11	○	○
			筒先	53.2 × 51.9	52.5	6.15	14.97	3.9	25.7	25.4	25.6	12.75	9.28	17	15	○	○
30-60-4tS	10:00	11:00	練上り	61.5 × 61.0	61.5	-	-	5.5	-	-	-	-	15	-	○	○	
			荷卸し	61.4 × 59.3	60.5	2.38	16.94	7.0	21.4	21.8	21.6	18.75	5.28	16	13	○	○
			筒先	60.4 × 58.5	59.5	2.20	14.12	7.0	34.0	36.8	35.4	15.90	2.97	16	12	○	○
33-55-8tP	10:45	11:35	練上り	54.5 × 52.0	53.5	-	-	4.1	-	-	-	-	15	-	○	○	
			荷卸し	53.0 × 50.9	52.0	3.20	11.81	5.8	18.3	16.8	17.6	12.06	7.62	17	14	○	○
			筒先	54.6 × 54.4	54.5	1.85	7.63	6.9	40.2	42.4	41.3	9.68	2.88	16	12	○	○
30-55-8tP	11:10	12:10	練上り	57.0 × 54.0	55.5	-	-	4.0	-	-	-	-	15	-	○	○	
			荷卸し	50.9 × 49.1	50.0	3.80	12.41	6.3	33.2	35.7	34.5	14.00	4.03	16	12	○	○
			筒先	53.1 × 52.7	53.0	2.65	9.81	6.8	34.4	37.3	35.9	7.56	2.85	17	13	○	○
30-55-SP-8tP	11:39	13:05	練上り	50.0 × 49.0	49.5	-	-	3.6	-	-	-	-	15	-	○	○	
			荷卸し	50.0 × 45.6	48.0	-	13.22	3.4	11.2	11.2	11.2	12.31	12.31	17	13	○	○
			筒先	43.1 × 42.8	43.0	-	5.16	5.2	18.8	20.0	19.4	4.50	5.41	18	13	○	○
30-60-8tP	12:16	13:30	練上り	58.5 × 57.5	58.0	-	-	5.7	-	-	-	-	15	-	○	○	
			荷卸し	60.8 × 60.0	60.5	3.40	21.00	5.6	27.2	29.0	28.1	25.12	19.15	17	13	○	○
			筒先	64.9 × 62.1	63.5	2.58	16.60	6.4	32.3	34.4	33.4	18.54	2.72	18	12	○	○

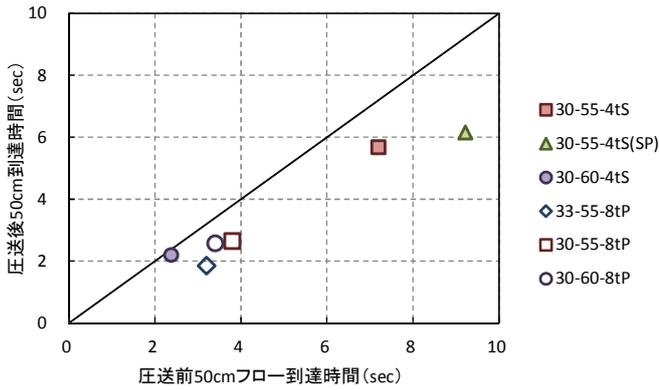


図5 圧送前後の50cmフロー到達時間の関係

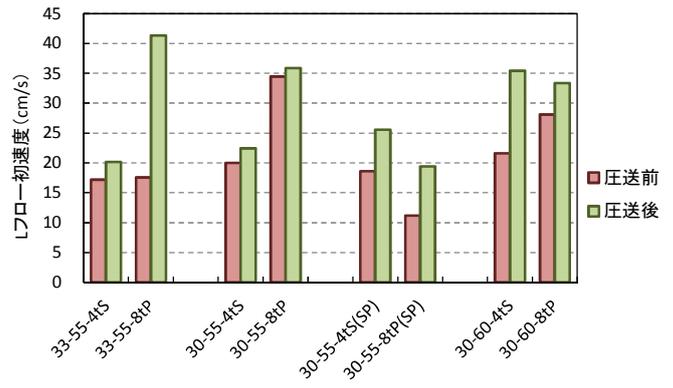


図7 各調合のLフロー初速度の関係

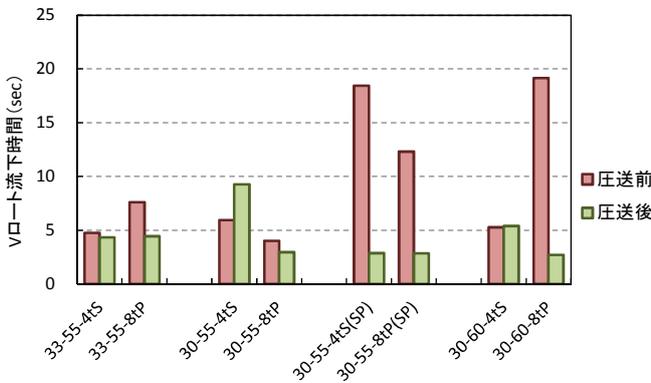


図6 各調合のVロート流下時間の関係

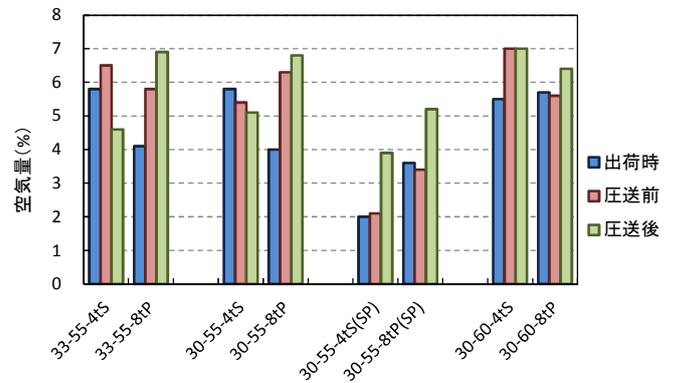


図8 出荷時および圧送前後の空気量の関係

圧送前後の50cmフロー到達時間とVロート流下時間の関係は、いずれも圧送前よりも圧送後の方が、時間が早くなっていた。また、Lフロー初速度では、圧送前よりも圧送後の初速度が大きくなる結果が得られた。

4. 3 硬化コンクリート

圧縮強度の試験結果を表7に示す。圧縮強度は、ポンプ機種による影響は見られなかったが、空気量の影響と考えられる圧送前後での圧縮強度の増減が見られた。

このため、フレッシュ時の試験値より得られた空気量から、 σ_{28} 圧縮強度を空気量により補正した σ_{28} 補正圧縮強度を図9に示す。

その結果、全てのコンクリート調合において、圧縮強度の発現性には問題ないと考えられる試験結果が得られ、概ねポンプ機種による影響は見られないと考えられる。

表7 圧縮強度試験の結果

実験記号	試料採取場所	圧縮強度(N/mm ²)							
		材齢7日			材齢28日				
		1	2	3 avg	1	2	3 avg		
33-55-4tS	練上り	34.3	35.0	34.6	34.6	44.6	43.8	44.9	44.4
	荷卸し					42.8	42.8	41.8	42.5
	筒先					46.4	48.0	47.0	47.1
30-55-4tS	練上り	30.7	31.4	31.7	31.3	40.4	39.5	41.0	40.3
	荷卸し	30.1	29.8	29.9	29.9	39.9	41.2	40.9	40.7
	筒先	32.9	32.3	31.5	32.2	44.2	44.1	44.1	44.1
30-55-SP-4tS	練上り	36.7	37.2	35.9	36.6	49.7	48.8	48.8	49.1
	荷卸し					46.6	47.7	46.9	47.1
	筒先					44.0	44.6	45.6	44.7
30-60-4tS	練上り								
	荷卸し					45.1	45.3	45.1	45.2
	筒先					40.4	39.4	39.5	39.8
33-55-8tP	練上り								
	荷卸し					45.0	44.9	46.5	45.5
	筒先					43.2	43.5	45.4	44.0
30-55-8tP	練上り								
	荷卸し	28.3	29.6	27.8	28.6	39.8	39.5	39.6	39.6
	筒先	29.5	30.1	29.6	29.7	39.6	38.3	39.3	39.1
30-55-SP-8tP	練上り								
	荷卸し					45.0	44.7	42.9	44.2
	筒先					43.1	44.1	44.7	44.0
30-60-8tP	練上り								
	荷卸し					38.5	39.8	39.3	39.2
	筒先					41.0	39.5	39.0	39.8

4. 4 管内圧力

4t スクイズ式および 8t ピストン式ポンプ車の実吐出量と水平管 1m 当りの管内圧力損失の関係を図 10 に示す。図 10 に示した実吐出量と水平管 1m 当りの管内圧力損失の関係では、ポンプ機種が圧送性に及ぼす影響は見られなかった。

4. 5 化学分析試験

化学混和剤の吸着率は、以下の式より算出を行った。

$$AD_a = (AD_{all} - AD_{na}) / AD_{all} \times 100 \quad (\text{式})$$

- AD_a: 吸着率 (%)
- AD_{all}: 練混ぜ水中の化学混和剤濃度 (mg/L)
- AD_{na}: 濾液中の化学混和剤濃度 (mg/L)

各コンクリート調合における、圧送前、圧送後並びに圧送後の時間まで静置した条件における吸着率の変化を図 11 に示す。

各条件によって、ばらつきはあるが、全体的にはポンプ圧送をすることにより混和剤の吸着率は、圧送前および静置での経時変化と比較して、圧送後の吸着率が増加する傾向が見られる。今回の化学混和剤において吸着率が増加するということは、セメント粒子の分散性能が上がっていると考えられる。

5. まとめ

4. 試験結果における各調合の V ロート流下時間の関係、L フロー初速度の関係および化学分析試験の吸着率の結果から、圧送前後に着目すると、図 12 および図 13 の結果が得られた。

ポンプ機種の違いによる圧送性に及ぼす影響を調べるために、圧送距離を 130m とした実大圧送実験を実施したが、各調合において、輸送管内でコンクリート閉塞は発生せずに良好な圧送性を示した。しかし、一方、50cm フロー到達時間、V ロート流下時間、L フロー初速度の結果を総合的に評価すると、図 12 および図 13 により、V ロート流下時間、L フロー初速度の関係から圧送後のコンクリートは、圧送前のコンクリートよりもセメント粒子の分散性が増加しており、比較的さらっとした流動性を保持し、圧送後においてフレッシュコンクリートの粘性が圧送圧力や圧送中の管内およびホッパーでの再攪拌など何らかの作用もしくは

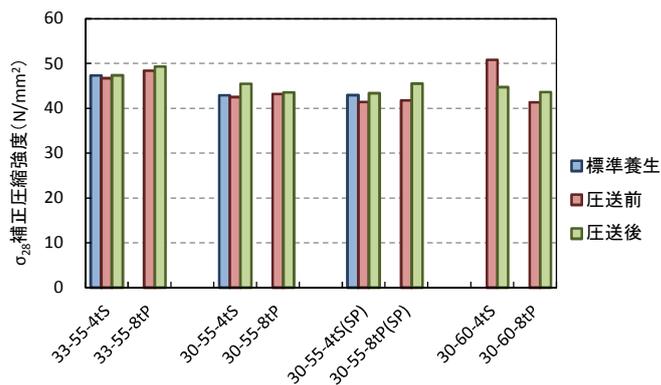


図 9 σ₂₈ 補正圧縮強度の試験結果

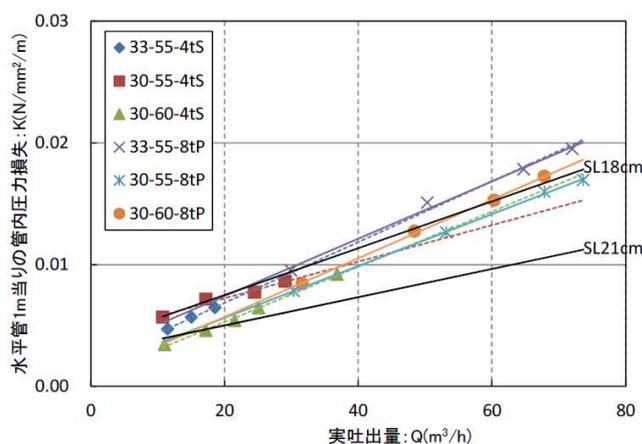


図 10 実吐出量と水平管 1m 当りの管内圧力損失の関係

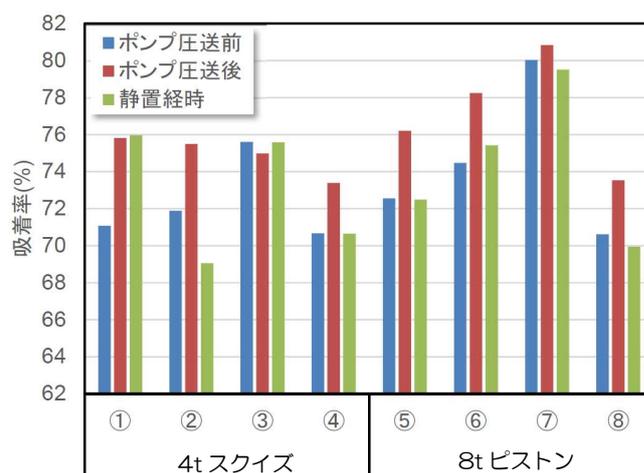


図 11 各条件における吸着率の変化

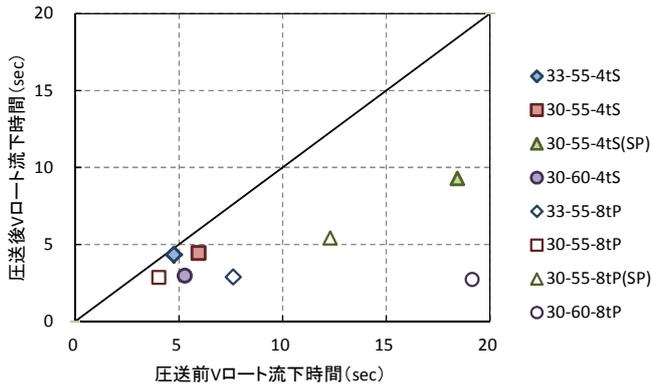


図 1.2 圧送前後のVロート流下時間の関係

[参考文献]

- 1) 河合智寛, 山崎順二, 立松和彦: 増粘剤1液タイプ高性能 AE 減水剤を用いた中流動コンクリートの物性に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), pp.1109, 2014.9
- 2) 河合智寛, 新田稔, 山崎順二, 福島和将: 増粘剤1液タイプ高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートのポンプ機種が圧送性に及ぼす影響, その1 実験の概要 1, 日本建築学会学術講演梗概集(東北), pp.1209, 2018.9
- 3) 新田稔, 河合智寛, 山崎順二, 福島和将: 増粘剤1液タイプ高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートのポンプ機種が圧送性に及ぼす影響, その2 実験の概要 2 およびフレッシュコンクリートの性状, 日本建築学会学術講演梗概集(東北), pp.1210, 2018.9

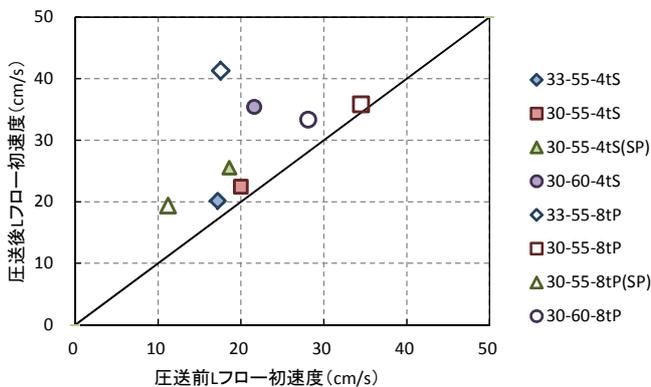


図 1.3 圧送前後のLフロー初速度の関係

影響によって若干ではあるが低下する傾向が伺えた。

今後の課題として、実施工でも従来の流し込み施工の他に、圧入で施工される場面が多くなってきていることを鑑みると、調合・打設時期・施工条件によっては、必ずしもポンプ機種に限らず、別の要因が圧送性に影響を及ぼすとも考えられ、施工時における打設口（シャッターバルブ）の設置位置の検討（配筋との干渉など）や打設時期や条件（圧送速度および輸送管長）によっては、それに対応する調合修正などの検討が必要である。今後も作業所ニーズに迅速に対応できるよう、調査および分析を継続して実施する所存である。