

論文 材料及び配合条件を考慮した圧送改善剤の圧送改善効果に関する基礎的研究

竹山 博之*1・橋本 紳一郎*2・北野 潤一*3・谷所 美明*4

要旨: 本研究では、細骨材の種類や配合条件が、圧送改善剤の圧送改善効果に与える影響について検討した。その結果、単位セメント量が少なく圧送が困難とされる領域において、圧送改善剤は細骨材の種類や物理的性質、単位セメント量により圧送改善効果が異なることを示した。更に、圧力条件下におけるコンクリートの性状および圧送性の低下抑制を目的とし、主要4成分で構成されている圧送改善剤の流動保持性を高めた改良型圧送改善剤を用いて検討した。その結果、細骨材の種類や物理的性質、単位セメント量の影響を受けず、圧送性を改善できることを確認した。

キーワード: 圧送性, 混和剤, 細骨材, 単位セメント量, 閉塞

1. はじめに

近年、コンクリートポンプ工法は、殆どの建設工事において採用され、必要不可欠な施工技術となっている。その一方で、施工環境や圧送条件、コンクリートの使用材料や配合条件により、閉塞を引き起こすことが課題として挙げられる。閉塞の発生は、配管の復旧に伴う時間の確保や費用の増大、過度な圧送圧による配管の破裂事故など、多くの問題を引き起こしている¹⁾。そのため、コンクリートポンプ工法において、閉塞の発生を抑制することは非常に重要である。

これらに対して、土木学会「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(2016年版)」²⁾(以降、施工性能指針と称す)では、圧送性を確保するための荷卸しのスランプと単位セメント量の関係や安定した圧送を行うために必要となる圧送段階でのスランプの最小値の目安を示しており、これらは細骨材の種類によって異なるとされている。そのため、順調な圧送性を確保するためには、コンクリートの配合や使用材料を考慮することは非常に重要である。しかし、使用材料を考慮した配合設計を行い、スランプや空気量、圧縮強度を確保できた場合でも、施工環境や圧送条件によって生じるコンクリートの性状の変化までを予測することは困難である。そのため、レディーミクストコンクリート工場から購入したコンクリート(JIS認証品)であっても、順調な圧送性を確保できず、閉塞を生じる場合がある。

これらの課題に対して、混和剤の添加による性状変化が小さく、圧送性を改善できる圧送改善剤を開発した。圧送改善剤は、特に単位セメント量が少なく圧送が困難とされる領域において、コンクリートの変形性、圧送性

を改善できることを明らかにした³⁾。しかし、コンクリートの配合や使用材料、特に細骨材の種類を考慮した検討までは至っていない。そこで本研究では、相違する細骨材を使用した配合に圧送改善剤を適用した場合の圧送改善効果の検討を行い、また、それらの検討とともに改良型圧送改善剤についても検討した。

2. 本実験の構成

本研究では、圧送性を確保するために必要とされる単位セメント量が少なく圧送が困難とされる領域を対象に、細骨材の種類や配合条件が圧送改善剤の圧送改善効果に与える影響について2つのシリーズで検討した。シリーズ1では、細骨材及び配合条件の異なるコンクリートに対する圧送改善剤の圧送改善効果について検討した。シリーズ2では、圧力条件下におけるコンクリートの性状および圧送性の低下抑制を目的とし、主要4成分で構成されている圧送改善剤の流動保持性(ポリカルボン酸系)を高めた改良型圧送改善剤を用いて検討した。

3. 圧送改善剤に関する検討(シリーズ1)

3.1 試験概要

本研究の使用材料及びコンクリートの配合を表-1、表-2に示す。既往の研究³⁾と同様に、潤滑剤(合成系高分子)、分離防止剤(セルロース系)、気泡制御剤(アニオン系)、流動保持性(ポリカルボン酸系)の4成分で構成されている圧送改善剤(ADV1)を使用した。施工性能指針に示されている天然砂の山砂および海砂、人工砂の砕砂を使用した場合の「圧送性を確保するための荷卸しのスランプと単位セメント量の関係」を図-1、図-2

*1 福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (学生会員)

*2 福岡大学 工学部社会デザイン工学科助教 博(工) (正会員)

*3 福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (学生会員)

*4 花王(株) テクノケミカル研究所 主任研究員

表-1 コンクリートの使用材料

	記号	概要
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度:3.15g/cm ³
細骨材	S1	山砂, 密度:2.56g/cm ³ , F.M:2.81, 実積率:66.1%
	S2	砕砂, 密度:2.61g/cm ³ , F.M:2.79, 実積率:64.8%
	S3	海砂, 密度:2.61g/cm ³ , F.M:2.81, 実積率:65.0%
粗骨材	G	碎石, 密度:2.75g/cm ³ , Gmax:20mm, 実積率:59.4%
	Ad1	AE減水剤(リグニンスルホン酸系)
混和剤	Ad2	消泡剤(ポリアルキレングリコール誘導体)
	Ad3	AE剤(アルキルエーテル系)
	ADV1	圧送改善剤(潤滑剤、分離防止剤、気泡制御剤、流動保持剤)

表-2 コンクリートの配合表

配合No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)									
			W	C	S1	S2	S3	G	Ad1	Ad2	Ad3	ADV1
1	61	43	165	270	781	-	-	1131	1.08	0.27	-	-
2			170	279	767	-	-	1119	1.11	0.28	-	1.0
3			170	279	767	-	-	1119	1.11	0.28	-	-
4			170	279	767	-	-	1119	1.11	0.28	-	1.0
5			172	282	-	778	-	1113	1.13	-	0.28	-
6			172	282	-	778	-	1113	1.13	-	0.28	1.0
7			175	287	-	773	-	1107	1.15	-	0.57	-
8			175	287	-	773	-	1107	1.15	-	0.57	1.0
9			162	266	-	-	789	1111	1.73	-	-	-
10			162	266	-	-	789	1111	1.73	-	-	1.0

に示す。本研究は、既往の研究³⁾で圧送改善剤による圧送性の改善効果が大きかった、単位セメント量が少なく圧送が困難とされる領域において、3種類の細骨材を使用して検討した。単位セメント量については、山砂を用いた配合は270kg/m³と279kg/m³、砕砂を用いた配合は282kg/m³と287kg/m³の2水準とし、海砂を用いた配合は266kg/m³の1水準とした。また、各配合に圧送改善剤の有無を設定し、比較検討した。

コンクリートのフレッシュ性状試験は、スランブ試験(JIS A 1101)、空気量試験(JIS A 1128)をそれぞれの試験方法に準拠して行い、所定のスランブ(目標スランブ: 8.0±1.0cm)と空気量(目標空気量: 4.5±1.0%)を満足していることを確認した後、各性状試験および圧送実験を実施した。スランブと空気量の実測値を表-3に示す。また、タンピング試験は、参考文献²⁾に示される試験方法に準拠して行い、タンピング回数を48回まで評価をした。加圧ブリーディング試験(JSCE-F502-2010)およびフレッシュコンクリートの変形性評価試験方法(JSCE-509-2010)についても、各試験方法に準拠し試験を行った。フレッシュコンクリートの変形性評価試験方法は、テーパ管を有する小型圧送試験装置を用いて、圧送状態の目視確認、平均ポンプ油圧(MPa)およびポンプ主油圧の変動係数(%)を測定し、既往の研究⁴⁾を参考にコンクリートの圧送性の評価を行った。

3.2 結果及び考察

(1) 加圧ブリーディング試験

図-3、図-4に加圧ブリーディング試験結果を各配合における圧送改善剤の添加の有無で示す。圧送改善剤無添加の配合の脱水量は全体的に加圧開始初期の脱水量が多く、また、材料分離側である標準曲線Bに位置しており、材料分離気味の配合であった。これら配合に対して、圧送改善剤添加の配合は加圧開始初期に脱水量の減少が顕著に見られ、標準曲線Bと標準曲線Cの中央に値が位置し、加圧ブリーディング試験においては圧送改善剤の改善効果を示した。

(2) タンピング試験結果

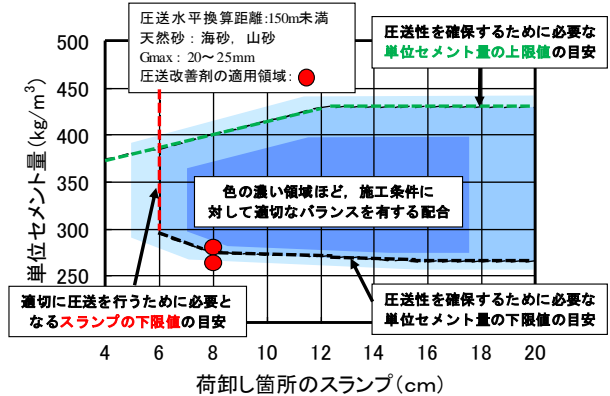


図-1 圧送性を確保するための荷卸しのスランブと単位セメント量の関係²⁾(海砂, 山砂)

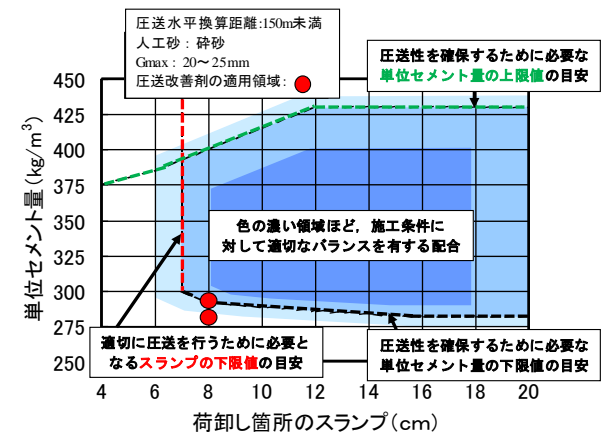


図-2 圧送性を確保するための荷卸しのスランブと単位セメント量の関係²⁾(砕砂)

表-3 フレッシュ性状試験結果および圧送実験の結果

配合No.	フレッシュ性状試験結果		圧送改善剤の添加	圧送状態
	実測スランブ(cm)	実測空気量(%)		
1	8.0	4.5	-	閉塞
2	8.5	4.3	○	閉塞
3	8.5	5.0	-	閉塞
4	8.0	5.0	○	不安定⇒順調
5	7.5	4.5	-	閉塞
6	8.0	4.6	○	閉塞
7	8.5	4.5	-	閉塞
8	8.5	5.0	○	不安定⇒順調
9	9.0	4.7	-	閉塞
10	8.5	4.7	○	不安定⇒順調

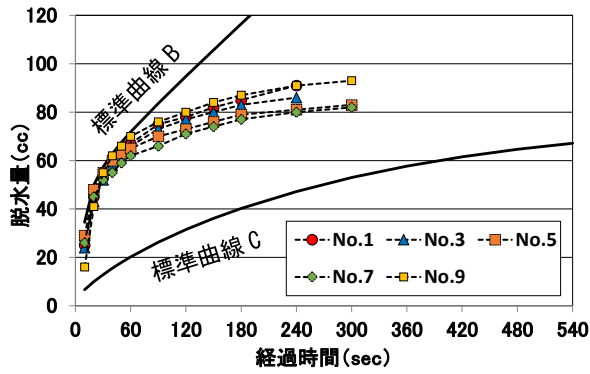


図-3 加圧ブリーディング試験結果
(圧送改善剤：無添加)

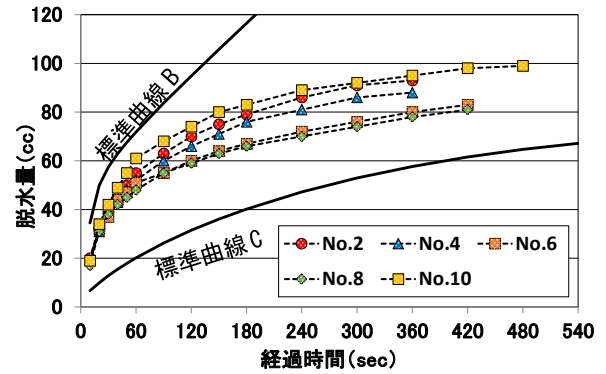


図-4 加圧ブリーディング試験結果
(圧送改善剤：添加)

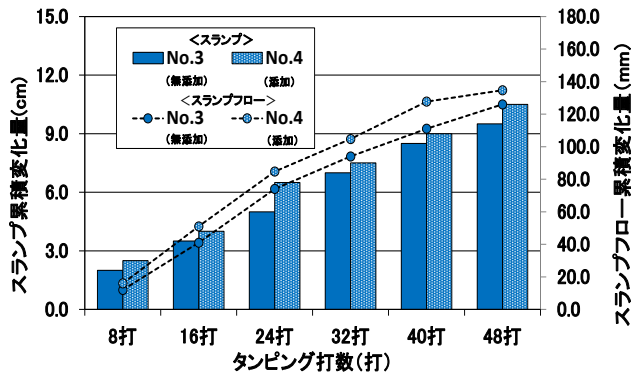


図-5 タンピング試験結果 (配合 No. 3, 配合 No. 4)

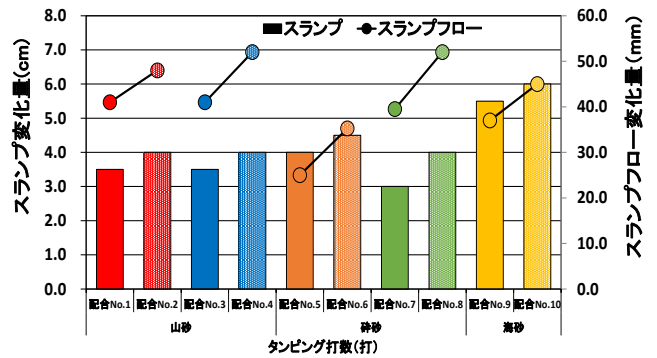


図-6 16 打時におけるタンピング試験結果

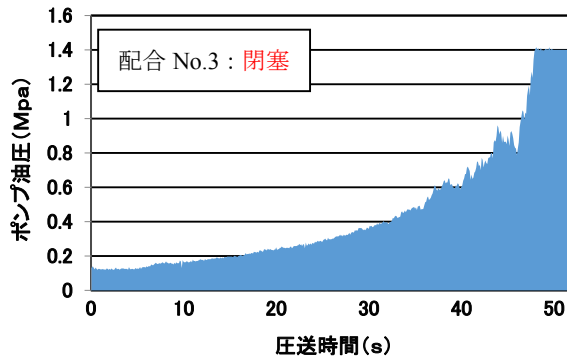


図-7 圧送時間とポンプ主油圧の関係 (配合 No. 3)

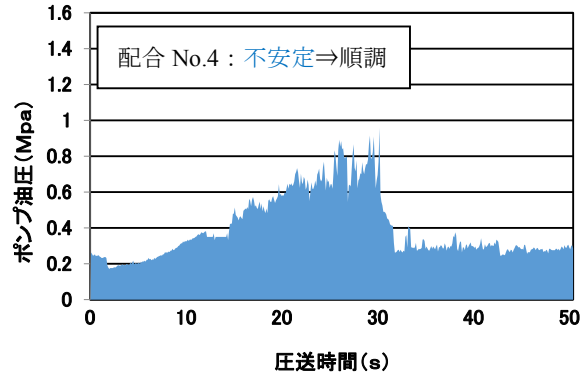


図-8 圧送時間とポンプ主油圧の関係 (配合 No. 4)

図-5 に結果の一例として配合 No.3, 4 のタンピング試験結果, 図-6 に各配合におけるタンピング 16 回時のタンピング試験結果を示す。図-5 のタンピング試験結果では、圧送改善剤の添加により各タンピング回数でスランプおよびスランプフローの累積変化量が増加した。特に、タンピング回数の初期 (16 打時) から圧送改善剤の添加による変形性の違いが確認できており、加圧ブリーディング試験結果と同様、試験開始初期に圧送改善剤の効果が見られた。その他の配合においても同様に、圧送改善剤添加の配合のスランプフローはタンピング回数の初期 (16 打時) から変形性が向上する傾向を示した。既往の研究³⁾により、タンピング試験結果で材料分離が

生じず、コンクリートの変形性が大きい配合は、圧送性が良好になることが示されている。そのため、本研究のタンピング試験結果においても圧送改善剤の圧送改善効果が見られると考えられる。

(2) 変形性評価試験結果

表-3 に変形性評価試験から目視確認および平均ポンプ油圧とポンプ主油圧の変動係数の関係から得られた圧送状態, 図-7, 図-8 に結果の一例として配合 No.3, 4 の計測時間とポンプ主油圧の関係, 図-9 に平均ポンプ油圧と変動係数の関係を示す。既往の文献⁵⁾を参考に各配合の圧送状態は、(1) 順調圧送状態 (順調): 連続的に筒先からコンクリートが排出されている状態、(2) 不安定

圧送状態（不安定）：不連続かつ不規則に筒先から排出される状態、(3) 閉塞状態（閉塞）：管内でコンクリートが詰まり、全く筒先から排出されない状態で評価した。なお、既往の研究⁴⁾により、圧送状態が順調な領域は、平均ポンプ油圧が 0.2Mpa 以下でかつ変動係数が 15%以下とされており、それ以上の領域は不安定や閉塞を生じることが示されている。

圧送改善剤無添加の配合（配合 No.1, 3, 5, 7, 9）は、目視確認及び既往の研究⁴⁾により、平均ポンプ油圧とポンプ主油圧の変動係数から閉塞と判断した。配合 No.3 の計測時間とポンプ主油圧の計測結果に示されたように、圧送開始初期からポンプ主油圧が徐々に上昇し、最大ポンプ主油圧 1.40Mpa に達した。また、平均ポンプ油圧とポンプ主油圧の変動係数も非常に高い値を示した。

圧送改善剤添加の配合の中で配合 No.4, 8, 10 は、目視確認及び既往の研究⁴⁾により、平均ポンプ油圧とポンプ主油圧の変動係数から圧送可能（不安定⇒順調）と判断した。配合 No.4 の計測時間とポンプ主油圧の計測結果に示されたように、圧送開始初期からポンプ油圧が上昇し変動を繰り返したが、その後は安定して圧送した。また、圧送改善剤無添加の配合に比べ、平均ポンプ油圧で 0.1～1.5Mpa、ポンプ主油圧の変動係数で 20～40%の改善効果が確認できた。これは、圧送改善剤の添加により、加圧ブリーディング試験やタンピング試験の計測初期から見られた脱水量の減少や変形性の向上が、圧送性の改善にもつながったと考えられる。

しかし、圧送改善剤添加の配合の中で配合 No.2, 6 は閉塞であった。計測時間とポンプ主油圧の計測結果は、配合 No.3 の計測結果と同様の傾向を示し、平均ポンプ油圧とポンプ主油圧の変動係数も高い値を示した。配合 No.2, 6 は、同様の山砂（S1）と砕砂（S2）を使用して圧送性の改善効果の見られた配合 No.4, 8 に比べて、各配合の単位セメント量が少ない。また、砕砂（S2）は、他の細骨材に比べて実積率が低い。これらのことが影響し、配合 No.2, 6 は加圧ブリーディング試験やタンピング試験の計測初期から見られた脱水量の減少や変形性の向上が加圧条件下で持続できなかったため、圧送性の改善につながらなかったと考えられる。

以上から、単位セメント量が少なく圧送が困難とされる領域において、異なる細骨材を用いた配合条件においても圧送改善剤の添加により圧送性は向上するが、細骨材の種類や物理的性質、単位セメント量により圧送改善効果が異なることを示した。

4. 改良型圧送改善剤に関する検討（シリーズ2）

シリーズ1より、圧送改善剤による圧送性改善効果は、単位セメント量が少なく圧送が困難とされる領域におい

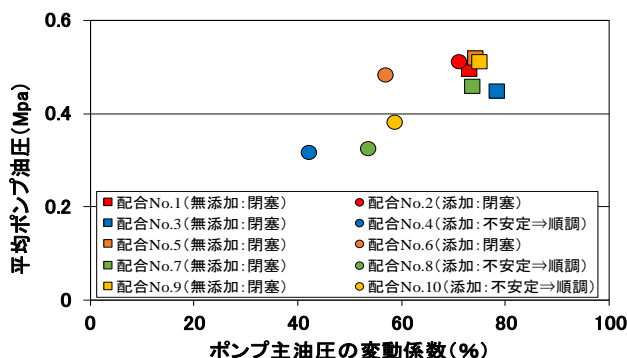


図-9 平均ポンプ油圧と変動係数との関係

表-4 モルタル試験に用いた配合

配合 No.	W/C (%)	S/C (%)	単位量 (g/バッチ)					
			W	C	S	ADV1	ADV2	ADV3
1	50	2.28	591	1183	2700	1000	-	-
-						1000	-	
-						-	1000	

表-5 モルタル試験の測定条件

区分	概要
攪拌法	湿潤状態で静置した試料を測定前にモルタルミキサーにて15秒間低速(63rpm)攪拌した
載荷法	フローコーンに充填した試料に500グラムの荷重を積載し、所定の時間まで静置した

て、細骨材の種類や物理的性質、単位セメント量に応じて違いが見られ、配合 No.2, 配合 No.6 のような単位セメント量および使用骨材の条件下では、圧送改善剤を添加した場合においても、閉塞が発生した。そこで、圧送中（加圧条件下）のコンクリートの性状および圧送性の低下抑制を目的とし、圧送改善剤の主成分である流動保持性（ポリカルボン酸系）を ADV1 に対して、2 倍（以降、ADV2 と称す）、3 倍（以降、ADV3 と称す）増量させた、改良型圧送改善剤を開発することとした。

シリーズ2では、まずモルタルによるフレッシュ性状試験を行い、添加による過度の性状変化が見られない範囲内で、流動保持性の増量値を選定し、選定後の改良型圧送改善剤による圧送性の改善効果を標準型の圧送改善剤と比較検討した。その結果を踏まえ、シリーズ1より圧送改善剤添加においても、閉塞が発生した配合 No.2, 配合 No.6 に対して、改良型圧送改善剤を適用した。

4.1 モルタルの試験概要

モルタル試験の配合を表-4 に示す。モルタルの使用材料および配合条件は、圧送改善剤と改良型圧送改善剤を比較するため、既往の研究⁶⁾と同一条件で行うこととした。また、圧送改善剤の添加による圧送性の向上は、既往の研究³⁾で報告されているため、本モルタル試験では圧送改善剤と改良型圧送改善剤のみで評価することとした。シリーズ1より、圧送改善剤を用いたコンクリートの変形性は、繰り返しの衝撃回数が比較的少ない段階

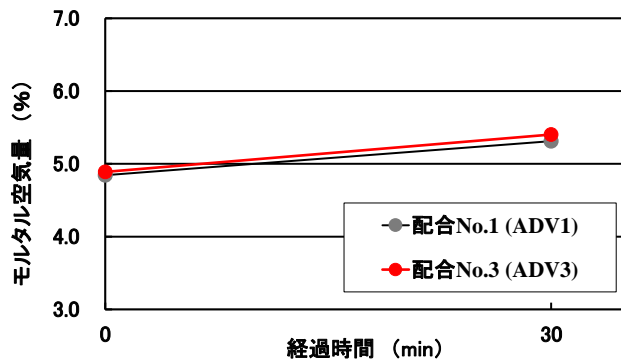


図-10 空気安定性試験

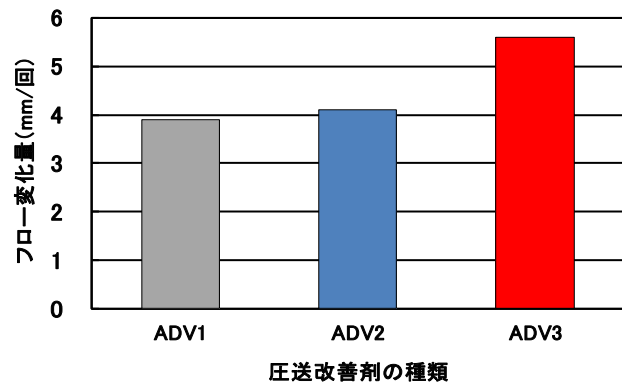


図-11 単位フロー変化量の試験結果
(載荷法：5打時)

表-6 コンクリートの配合

配合No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)										
			W	C	S1	S2	S3	G	Ad1	Ad2	Ad3	ADV1	ADV3
2	61	43	165	270	781	-	-	1131	1.08	0.27	-	1.0	-
11			172	282	-	778	-	1113	1.13	-	0.28	-	1.0
6			172	282	-	778	-	1113	1.13	-	0.28	-	1.0
12			172	282	-	778	-	1113	1.13	-	0.28	-	1.0

表-7 フレッシュ性状試験結果

配合No.	フレッシュ性状試験結果		コンクリート温度(°C)	圧送状態
	実測スランプ(cm)	実測空気量(%)		
2	8.5	4.3	20.0	閉塞
11	8.0	4.6	18.6	不安定→順調
6	8.0	4.6	20.8	閉塞
12	8.5	4.7	18.6	不安定→順調

で顕著に見られた。そのため、モルタルフロー試験はフローコーン引き上げ後、フローテーブルを5回落下時のフロー値を評価に用いることとした。モルタルフロー試験の測定条件を表-5に示す。改良型圧送改善剤は、圧送中（加圧条件下）における変形性および圧送性の保持効果が期待されるため、材料に圧密や沈降が促進された状態を評価できる載荷法を用いた。また、流動保持性が増量されたことにより、空気量の増加が懸念されるため、空気連行性を測定するが、その場合は攪拌法によるモルタルを用いることにした。

4.2 モルタルの試験結果及び考察

配合 No.1, 配合 No.3 におけるモルタルの空気量試験結果を図-10に示す。流動保持性が増量されたことにより、空気量の増加が懸念されたが、空気量の大きな増加は見られず、流動保持性の増量が3倍程度の範囲内であれば、添加による過度の性状変化がないことを明らかにした。

各配合におけるモルタルフロー試験結果を図-11に示す。改良型圧送改善剤 (ADV3) を用いた配合 No.3 は、配合 No.1 (ADV1) および配合 No.2 (ADV2) に比べて、加圧条件下において5打時におけるフロー変化量は増加する傾向を示し、配合 No.1 に比べ、配合 No.3 はフロー変化量が1.4倍程度大きくなることを確認した。この結果より、標準型より加圧条件下での圧送改善効果を高めるためには、流動保持性の増量は圧送改善剤 (ADV1) から3倍程度が適していることを明らかにした。

4.3 コンクリートの試験概要

コンクリートの試験に用いた配合およびフレッシュ性

状試験結果を表-6, 表-7に示す。コンクリートの配合は、モルタル試験により選定した改良型圧送改善剤 (ADV3) を使用し、圧送性改善効果を検討した。なお、コンクリートの試験項目は、加圧ブリーディング試験を除き、シリーズ1で行った試験と同様の項目および方法で行った。

4.4 コンクリートの試験結果及び考察

配合 No.2, 配合 No.11 における圧送時間とポンプ油圧の関係を図-12, 図-13に示す。標準型の圧送改善剤 (ADV1) を添加した配合 No.2 では、目視確認およびポンプ油圧から閉塞であると判断された。これに対し、同一配合に改良型圧送改善剤 (ADV3) を添加した配合 No.11 では、圧送開始後にポンプ油圧が急激に上昇しているが、変動を繰り返した後、安定していることが分かる。また、目視確認において、配合 No.11 は、圧送 (加圧) による材料分離等は見られず、練混ぜ直後の性状を維持したまま、一体となって排出され、安定した圧送であった。この結果は、圧送改善剤 (ADV1) を用いた配合 No.2 とは明らかに異なる圧送状態を示しており、使用骨材が異なる配合 No.12 においても同様の傾向を示した。改良型圧送改善剤 (ADV3) が単位セメント量及び使用骨材の条件を問わず、コンクリートに圧送改善効果を付与することが明らかとなった。

配合 No.2, 11 および、配合 No.6, 12 における平均ポンプ油圧とポンプ主油圧の変動係数の関係を図-14に示す。配合 No.11 は配合 No.2 に比べて、平均ポンプ油圧およびポンプ主油圧の変動係数を約30%低減する結果が得られた。この傾向は、使用骨材が異なる配合 No.6, 12

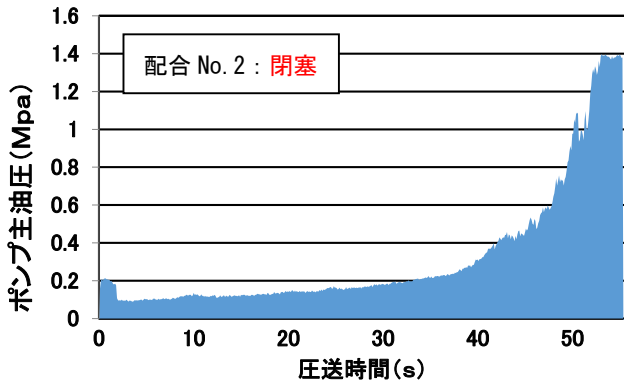


図-12 圧送時間とポンプ油圧の関係

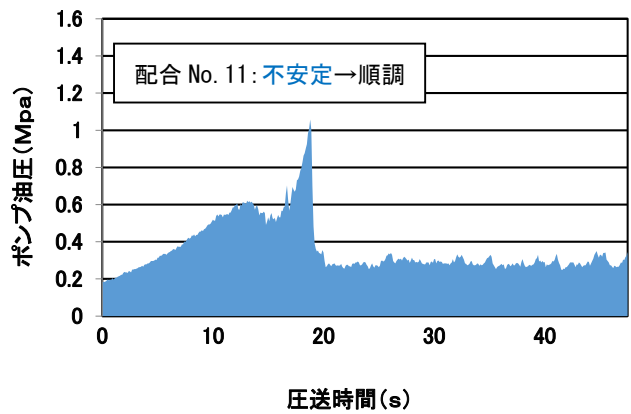


図-13 圧送時間とポンプ油圧の関係

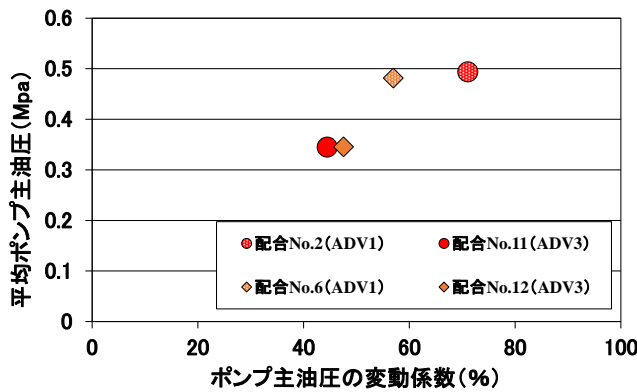


図-14 平均ポンプ油圧と変動係数の関係

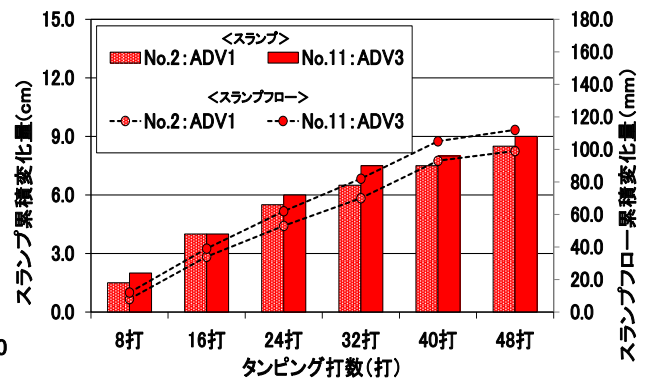


図-15 タッピング試験結果

においても同様であり、圧送改善剤(ADV1)に比べて、改良型圧送改善剤(ADV3)の方が圧送性の改善効果が高いことを定量的に確認することができた。

配合 No.2 および配合 No.11 におけるタッピング試験フローの累積変化量が増加する傾向を示しており、初期のタッピング 5 回時のみならず、最終 48 回においても改良型圧送改善剤(ADV3)の添加により高い変形性を維持していることが確認できた。この傾向は使用骨材の異なる配合 No.6 および配合 No.12 を比較した場合においても、同様の結果であった。改良型圧送改善剤(ADV3)は、圧送改善剤(ADV1)に比べて、コンクリートに付与する変形性の向上効果が高く、圧送性の改善効果も優れていることを見出した。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 圧送改善剤(ADV1)の添加により、加圧ブリーディング試験やタッピング試験の計測初期(16打時)から脱水量の減少や変形性の向上を確認できた。
- (2) 単位セメント量が少なく圧送が困難とされる領域において、圧送改善剤は細骨材の種類や物理的性質、単位セメント量により圧送改善効果が異なる。
- (3) 圧力条件下におけるコンクリートの性状および圧送

性の低下抑制を目的として開発した改良型圧送改善剤(ADV3)は、細骨材の種類や物理的性質、単位セメント量の影響を受けず、圧送性を改善できる。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー135号，コンクリートのポンプ施工指針（2012年版）
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー145号，施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針（2016年版）
- 3) 北野潤一，橋本紳一郎，泉達男，谷所美明：圧送改善剤を用いたコンクリートの圧送性に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp1225-1230，2017
- 4) 山地功二，橋本親典，渡辺健，石丸啓輔：フライアッシュ混入コンクリートのポンプ圧送時の変形性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp129-134，2002
- 5) 橋本紳一郎，江本幸雄，伊達重之，橋本親典：コンクリートのポンプ圧送性簡易評価手法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1186-1191，2012
- 6) 谷所美明，泉達男，橋本紳一郎，北野潤一：化学混和剤によるモルタル特性の改質向上に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp1255-1260，2017