

論文 ポリエーテル系分散剤を用いた高流動コンクリートの側圧に関する研究

村原 伸^{*1}・山室 穂高^{*1}・泉 達男^{*2}・河井 徹^{*3}

要旨：高流動コンクリートの問題点のひとつに型枠に作用する側圧の増大がある。そこで、初期硬化物性の改善によりこの問題に対処するという観点に立ち、低温（10℃）と常温（20℃）において、非吸着型増粘剤とポリエーテル系分散剤を用いた単位セメント量 400kg/m³の配合の高流動コンクリートの諸性状の検討を行った。その結果、両温度とも流動性の保持性能を損なうことなく凝結時間を大幅に短縮することが確認でき、型枠に作用する側圧低減の可能性が示唆された。

キーワード：高流動コンクリート, 側圧, 初期硬化物性, ポリエーテル系分散剤, 非吸着型増粘剤

1. はじめに

高流動コンクリートは、施工の合理化やコンクリートの品質向上が期待される一方、型枠に作用する側圧の増大といった問題を抱えている。この側圧は、流動性の低下とともに低減し、次第にゼロに近づいていく [1]。高流動コンクリートにおいて側圧が増大するのは、混和剤量の増加が引き起こす硬化遅延による初期硬化物性の問題として捉えた。そこで、初期硬化物性改善の指標として凝結時間および初期強度に注目し側圧低減の検討を行った。ただし、初期硬化物性の改善には、フレッシュ物性の良好な流動性保持性能を損なわないことが前提となる。

本報では、低温（10℃）および常温（20℃）において、セメントに対する吸着性が低い増粘剤（非吸着型増粘剤）にセメントの水和反応を抑制しにくい吸着形態を有するポリエーテル系分散剤を併用した単位セメント量 400kg/m³の配合の高流動コンクリートについて、良好な流動性保持性能の付与および初期硬化物性の改善の両立について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1に示す。また、モルタルおよびコンクリートの配合をそれぞれ表-2、表-3に示す。なお、本報では分散剤添加量をセメント質量に対する見掛け質量%、増粘剤添加量を練混ぜ水質量に対する固形分質量%として表す。また、本研究における非吸着型増粘剤とは、常温（20℃）において、0.5質量%の増粘剤水溶液を練混ぜ水として練り混ぜた W/C=100%のセメントペーストを遠心分離（3000rpm、15分間）した上澄水の分析から得られた増粘剤の吸着量が、セメント 1gあたり 0.01mg未満のものとする [2]。

*1 花王（株）和歌山研究所 研究員（正会員）

*2 花王（株）和歌山研究所 グループリーダー（正会員）

*3 清水建設（株）技術研究所 建設技術研究部主席研究員（正会員）

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント、比重 3.16、比表面積 3400cm ² /g (C)
細骨材	紀ノ川産川砂:君津産陸砂=1:1、比重 2.57、粗粒率 2.76 (S)
粗骨材	和歌山産碎石、最大寸法 20mm、比重 2.61、粗粒率 7.03 (G)
増粘剤	グリコール系合成高分子 (V)
分散剤 (高性能 AE 減水剤)	ポリエーテル系 徐放性:小 (SP-1)、ポリカルボキシル酸系 徐放性:中 (SP-2) ポリエーテル系 徐放性:大 (SP-3)

2.2 実験方法

2.2.1 モルタル実験

モルタルは、容量 5 ㊦のモルタルミキサに細骨材、セメント、水（分散剤、増粘剤を含む）を投入し、低速回転（63rpm）で 1 分間、高速回転（126rpm）で 2 分間練混ぜた。フレッシュ物性実験では、静置フロー値（JIS R 5201 に準ずる）、空気量（JIS A 1116 に準ずる質量法）、モルタルの塑性粘度を測定した。モルタルの塑性粘度は、練混ぜ直後の試料について、内円筒回転型レオメーター（外筒φ 27mm、内筒φ 14mm、試料高さ 65mm）を用いて求めた。剪断速度を 0~100sec⁻¹まで 50 秒間で指数的に上昇・下降させた時の応力を測定、上昇時の低剪断速度域（0~10sec⁻¹）をビンガム流体に近似し、その傾から塑性粘度を求めた。硬化物性実験では材齢 1 日の圧縮強度 σ_1 （JIS R 5201）の測定を行った。

表-2 モルタル配合

W/C (%)	S/C (%)	練混ぜ量 (g/㊦ ³)		
		W	C	S
42.5	2.17	297.5	700	1519

表-3 コンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
42.5	51.4	170	400	869	836

2.2.2 コンクリート実験

コンクリートミキサは、容量 50 ㊦の強制二軸型を用い、練混ぜ量は 40 ㊦とした。コンクリートは、ミキサに粗骨材、細骨材、セメントを投入し、10 秒間の空練り後、練混ぜ水（分散剤増粘剤を含む）を投入、90 秒間練混ぜた。コンクリート温度と実験室内の温度は、10±2℃または 20±2℃に保った。フレッシュ物性実験では、スランプフロー（土木学会規準 JSCE-F503）、空気量（JIS A 1128）、V ロートの流下時間（吐出口の寸法：65mm×75mm）[3]、モルタル塑性粘度の測定を行った。モルタルの塑性粘度の測定には、コンクリートを網ふるい（呼び寸：5.00mm）でウェットスクリーニングしたモルタルを用いた。経時物性実験では、接水後 30 分間で 90 分まで、スランプフロー、空気量、モルタルの塑性粘度の測定を行った。硬化物性実験では、凝結時間（JIS A 6204 附属書 1）の測定と圧縮強度試験（JIS A 1108）を行った。

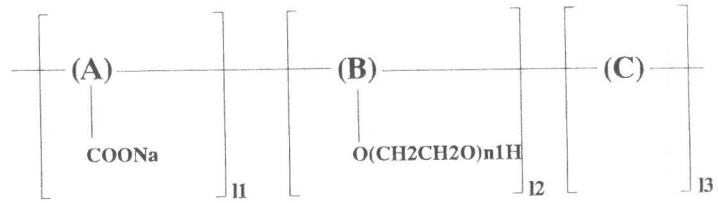
3. 実験結果および考察

セメントの水和はセメントと水との化学反応である。分散剤や増粘剤などの有機物の添加によるコンクリートの凝結あるいは初期硬化の遅延は、有機物がセメント表面に吸着し、セメントと水との接触を阻害することが主原因であると考えられる。使用した増粘剤のセメントに対する吸着特性は極めて小さいので、主に分散剤の吸着形態制御に注目し、初期硬化物性の改善検討を行った。

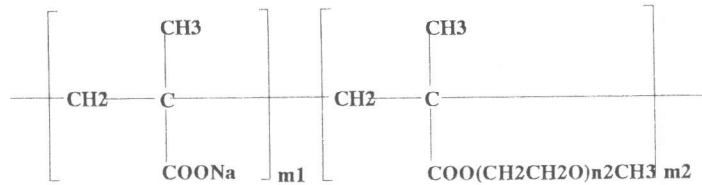
使用した分散剤の分子構造式を図-1に示す。ポリエーテル系分散剤(図-1(a)) [4]は、その分子構造により、ポリカルボン酸系分散剤(図-1(b))に比べて分散性および初期硬化物性に優れた性能を発現すると考えられる。すなわち、高分散性は、その分子中の長いポリエチレングリコール鎖が液相中にゆらいで存在し、セメント粒子の周囲に嵩高い吸着層を形成するために発現されると考えられる。また優れた初期硬化物性は、分散剤の吸着形態がセメント粒子表面の被覆面積を小さくすることによってもたらされたものと推察される(図-2)。

3. 1 モルタル実験

常温(20℃)において、モルタルによるポリエーテル系分散剤を用いた初期硬化物性の改善検討を行った。比較としては、既報[2]で検討されたポリカルボン酸系分散剤を用いた。実験結果を表-4に示



(a) ポリエーテル系分散剤、 $n_1 \geq 60$



(b) ポリカルボン酸系分散剤

組成モル比： $m_1/m_2=7/3$ 、 $n_2=9$

図-1 分散剤の分子構造式



(a) ポリエーテル系分散剤 (b) ポリカルボン酸系分散剤

図-2 分散剤の吸着モデル

表-4 モルタル実験結果 20℃

増粘剤 (%)	分散剤 (%)			測定項目	経過時間(min)				σ_1 (N/mm ²)
	SP-1	SP-2	SP-3		0	30	60	90	
2.5	1.30	-	-	mf	278	244	214	192	17.8
				vis	4.81	5.89	7.20	7.58	
				air	1.4	-	-	2.1	
2.5	-	1.35	-	mf	276	255	233	218	12.7
				vis	4.03	4.51	5.13	5.17	
				air	1.5	-	-	1.7	
2.5	-	-	1.72	mf	276	272	256	241	15.6
				vis	4.71	5.13	5.38	6.29	
				air	1.4	-	-	2.0	

mf: 静置フロー値 (mm)、vis: モルタルの塑性粘度 (Pa·s)、air: 空気量 (%)

す。ポリエーテル系分散剤 (SP-1) を用いると、ポリカルボン酸系分散剤を主剤とする系 (SP-2) よりも初期強度がかなり向上することが分かった。流動性保持性能については、ポリエーテル系分散剤の徐放性を大きくした SP-3 を用いることで、SP-2 と同等以上の結果が得られ、また初期強度の低下も緩和されることが分かった。

3. 2 コンクリート実験

モルタル実験で得られた知見を用い、コンクリートによる確認実験を行った。

常温 (20℃) における実験結果を表-5 に示す。ポリエーテル系分散剤を用いた SP-3 の場合、流動性保持性能は良好 (スランプフロー : 90 分後 55cm 以上) であり、材齢 1 日の圧縮強度も一般に型枠脱型に必要とされる数値 (5N/mm² 以上) を十分満たし、凝結時間もポリカルボン酸系分散剤を用いた SP-2 の場合より 3 時間以上短縮可能となった。

低温 (10℃) では、一般に初期強度や凝結時間などの初期硬化物性の問題が重要視されるため本検討で用いている高流動コンクリート用混和剤の効果が最大限に発揮されることが予想される。そこで、徐放性の小さいポリエーテル系分散剤 (SP-1) を実験の水準に加えた。

実験結果を表-6 に示す。練上がり直後 (経過時間 0 分) で比較した場合、常温 (20℃) と同一の増粘剤添加量にすると、モルタル塑性粘度の増大が見られた (約 1Pa・s 増大) ので、増粘剤添加量を 2.5% から 2.0% に減らし塑性粘度を調整したところ、充填性の指標である V ロートの流下時間は所定範囲内 (10~20sec) に収まり、初期のフレッシュ物性は目標を満足した。流動性保持性能についても、良好な結果 (スランプフロー : 90 分後 55cm 以上) を得ることができた。

初期硬化物性のうち材齢 1 日の圧縮強度は、SP-1 の方が SP-2 の 3 倍以上大きくなったが、目標の 5N/mm² は達成できなかった。しかし、凝結時間は、SP-1 の方が SP-2 よりも 7 時間以上短くなった (SP-1 系の凝結始発=11.1 時間、同終結=14.4 時間)。

この実験の増粘剤添加量の範囲内では、非吸着型増粘剤が凝結時間の遅延におよぼす影響は、その吸着特性から予想されるように小さいことが確認された。わずかに見られた凝結時間の遅延は、増粘剤添加量の増加にともなう初期の流動性低下を、分散剤添加量を増加することで補ったことが影響したものと推察する。

表-5 コンクリート実験結果 20℃

増粘剤 (%)	分散剤 (%)		測定項目	経過時間 (min)				V _{ロト} (sec)	凝結始発 (hr)	凝結終結 (hr)	σ_1 (N/mm ²)
	SP-2	SP-3		0	30	60	90				
2.5	1.50	-	sf	62.5	65.5	62.5	58.0	10	13.7	16.0	5.1
			vis	4.30	4.56	4.94	5.29				
			air	4.0	3.0	3.0	3.0				
2.5	-	2.05	sf	61.0	63.5	63.0	59.0	18	10.5	12.6	9.8
			vis	4.24	5.41	6.38	7.04				
			air	3.9	4.6	5.1	5.1				

sf : スランプフロー (cm)、vis : モルタルの塑性粘度 (Pa・s)、air : 空気量 (%)

表-6 コンクリート実験結果 10℃

増粘剤 (%)	分散剤 (%)		測定項目	経過時間 (min)				V _{0-t} (sec)	凝結始発 (hr)	凝結終結 (hr)	σ ₁ (N/mm ²)
	SP-1	SP-2		0	30	60	90				
2.0	1.43	-	sf	64.0	67.0	69.0	66.0	15	11.1	14.4	2.7
			vis	3.68	3.85	4.80	4.80				
			air	3.0	3.1	4.1	3.8				
2.5	1.52	-	sf	66.5	69.0	67.0	66.0	18	11.3	15.1	2.8
			vis	5.15	5.62	6.09	6.54				
			air	3.8	3.6	3.7	4.6				
2.0	-	1.45	sf	63.0	66.5	62.5	60.0	17	18.1	22.7	0.8
			vis	3.59	3.76	4.29	4.31				
			air	3.0	2.7	2.3	2.1				

sf: スランプフロー (cm)、vis: モルタルの塑性粘度 (Pa・s)、air: 空気量 (%)

3. 3 凝結時間と側圧の関係

高流動コンクリートを打込んだ場合に型枠に作用する初期の側圧は、コンクリートを液体と見なした時の液圧、すなわちコンクリートの単位容積質量に打込み高さに乗じた値が作用するとの報告がある[5]。その後の側圧は、初期値から徐々に低減されていくと考えられる。河井ら[6]はその経時変化に関して詳細に検討を行っている。それによると、コンクリートの凝結始発時間を約7時間と15時間に制御した高流動コンクリートを、それぞれ高さ3mと4mの型枠に0.4m/hの打込み速度で打ち込んだ場合の側圧を測定した結果、前者では約2時間後に最大側圧値約17kPaを示し、後者では約6時間後に最大側圧値約47kPaを示すことが報告されている(図-3)。この結果をまとめた図-4を用いて、本研究で得られた実測凝結始発時間からこの打込み条件における最大側圧値P_{max}を示す時間および最大側圧値を算出した結果を表-7に示す。それに

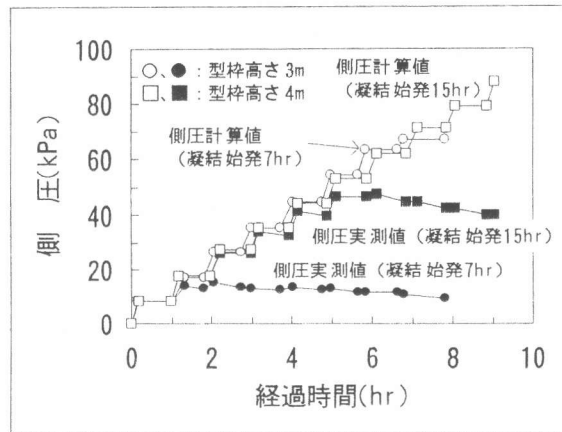


図-3 側圧測定結果と計算値

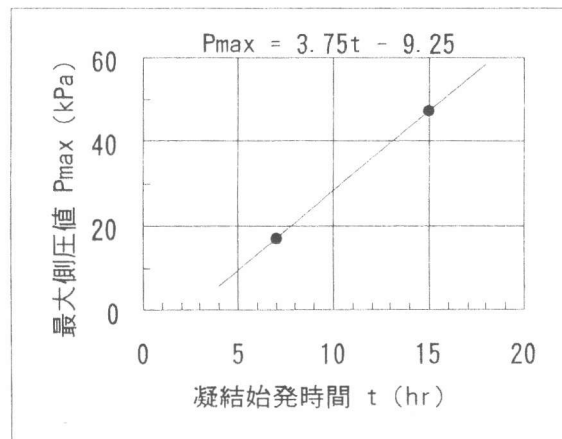


図-4 最大側圧値と凝結始発時間の関係

表-7 凝結始発時間を用いた最大側圧値 Pmax の推定

温度	ポリエーテル系分散剤			ポリカルボン酸系分散剤		
	始発時間 (hr)	Pmax (kPa)	Pmax 時間 (hr)	始発時間 (hr)	Pmax (kPa)	Pmax 時間 (hr)
10℃	11.1	32.4	4.0	18.1	58.6	7.6
20℃	10.5	30.1	3.8	13.7	42.1	5.4

よると、10℃および 20℃における最大側圧値は、ポリエーテル系分散剤を用いた場合は、ポリカルボン酸系分散剤を用いた場合よりも、それぞれ約 26kPa (約 45%) および約 12kPa (約 29%) 小さくなることが推定される。

4. まとめ

低温 (10℃) および常温 (20℃) における単位セメント量 400kg/m³ の配合の高流動コンクリートは、セメントに対する吸着性が低い増粘剤 (非吸着型増粘剤) にセメントの水和反応を抑制しにくい構造を有するポリエーテル系分散剤を併用することで、良好な流動性保持性能を損なうことなく、凝結時間を大幅に短縮することができた。

既往の実験結果から得られた凝結始発時間と最大側圧値の関係に本実験結果の凝結始発時間を用いると、その打込み条件における最大側圧値は、ポリエーテル系分散剤を用いることで、ポリカルボン酸系分散剤を用いた場合よりも、低温 (10℃) および常温 (20℃) において、それぞれ約 45% および約 29% 低減できることが推定された。

(参考文献)

- [1] 岡村 甫, 小澤 一雅: 締固め不要コンクリートの施工
セメント・コンクリート, No. 558, pp. 1-7, 1993. 8
- [2] 山室 穂高, 泉 達男, 水沼 達也, 河井 徹: 非吸着型増粘剤を用いた高流動コンクリートの研究
コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 17, No. 1, pp. 99-104, 1995. 6
- [3] 坂田 昇, 伊藤 孔一, 若松 岳, 小澤 一雅, 岡村 甫: フレッシュコンクリートのためのロート実験
土木学会第 47 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 5, pp. 566-567, 1992. 9
- [4] 倭 富士桜, 藤田 修一, 下田 政朗, 水沼 達也: 新規高性能 AE 減水剤の構造と特性
コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 17, No. 1, pp. 375-380, 1995. 6
- [5] 例えば、小門 武, 三宅 正人: スラグ系締固め不要コンクリートの基礎物性と充填性実験
コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 13, No. 1, pp. 881-886, 1991. 6
- [6] 河井 徹, 黒田 泰弘, 武川 芳廣: 低発熱セメントを用いた高流動コンクリートの諸性質に関する実験的研究, 土木学会論文集, No. 462/VI-18, pp. 111-120, 1993. 3