

論文 分離低減剤を用いた準高流動コンクリートの調合と諸性質

三好 征夫^{*1}・樹田 佳寛^{*2}・安田 正雪^{*3}・荒金 直樹^{*4}

要旨：通常の強度レベルで目標スランプフローが450mmの、若干の締固めは必要であるが、流動性に優れ、じゃんかなどの施工欠陥を作りにくい分離低減剤を用いた準高流動コンクリートの開発を目標として、高性能AE減水剤や分離低減剤の使用量、粗骨材量を変化させて、スランプフローやVルート流下時間などのフレッシュ性状や硬化物性を検討した。この結果、準高流動コンクリートは、少量の分離低減剤を使用し、350kg/m³程度の粗骨材量で、建築用の軟練りのコンクリートと高流動コンクリートの中間に位置する諸性状を有することが明らかとなった。

キーワード：準高流動コンクリート，調合，分離低減剤，高性能AE減水剤，粗骨材量

1. はじめに

近年、スランプフローが600mmを超える自己充填性を備えた高流動コンクリートが開発され、締固め作業が不可能な箇所や困難な箇所に適用されるようになった。しかし高流動コンクリートを建築物に適用する場合、製造や打ち込み区画の計画が難しく、材料コストも高いため、建築物の一般の部位・部材にはあまり適用されて

いないのが現状である。そこで、自己充填性はもたないが、スランプ18～21cmの軟練りの普通コンクリートと自己充填性をもつ高流動コンクリートとの中間の、良好な施工性を有する経済的なコンクリートの出現が期待される。

本研究は、通常の強度レベルの、スランプフローが400～500mm程度で、若干の締固めは必要とするが、流動性に優れ、じゃんかなどの施工

表-1 実験計画

コンクリートの種類	W/C (%)	単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	スランプフロー (mm)	分離低減剤の使用量 ²⁾	試験項目 ³⁾						
					10℃		20℃			30℃	
					低温用	常温用	低温用	常温用	高温用	常温用	高温用
準高流動	45	0.57	450	0.03	○			○●△□■			○
	50	0.54	450	0.03	○			○●			○
		0.57	450	—	○			○△□			○△
			450	0.03				○●△□■			
			400	0.10				○●△□■			
			450		○□	○△□	○△□	○●△□■	○△□	○△□	○△□
			500					○●△□■			
			450					○●△□■			
		0.61	450	0.17	○			○●			○
	55	0.57	450	0.17	○			○●△□■			○
高流動	45	0.54	600	0.10				○●△□■			
	50	0.54	550	0.17	○			○●△□■			○
普通	50	0.61	SL18 ¹⁾	—	○			○△□■			○

(注) 1) スランプ (cm) 2) 単位水量×(%)

3) 試験項目の記号

○:スランプ, スランプフロー, 空気量, 圧縮強度 ●:モルタルレオロジー

□:凝結, ブリーディング, ■:乾燥収縮, △:スランプフローの経時変化

*1 宇都宮大学大学院 工学研究科建設学専攻 (正会員)

*2 宇都宮大学教授 工学部建設学科 工博 (正会員)

*3 東洋建設株式会社総合技術研究所美浦研究所材料研究室主任研究員 (正会員)

*4 東洋建設株式会社総合技術研究所美浦研究所材料研究室研究員 工修 (正会員)

欠陥を作りにくい分離低減剤を用いたコンクリート（以下、準高流動コンクリートという）を対象に、その調合及びフレッシュ性状や圧縮強度などについて検討した結果をとりまとめたものである。

2. 実験方法

2.1 実験概要

実験計画を表－1に示す。高性能AE減水剤はポリカルボン酸エーテル系のものであり、施工時期の外気温によるフレッシュコンクリートの経時変化への配慮から、スランプ保持成分混和の

有無あるいは混和量を調整することで低温用、常温用、高温用とした3種類のものを適宜使用した。比較のために、分離低減剤を用いた高流動コンクリートや通常のコンクリートについて

表－2 使用材料と物性

材 料	種類(記号)	物 性
セメント	普通ポルトランドセメント(C)	比重3.16, 比表面積3330cm ² /g
水	上水道水(W)	
細骨材	鹿島産陸砂(S1)	表乾比重2.57, 吸水率2.11%, 粗粒率2.62
	笠間産砕砂(S2)	表乾比重2.61, 吸水率1.74%, 粗粒率3.03
粗骨材	笠間産碎石(G)	表乾比重2.65, 吸水率0.62, 実積率60.6%, 粗粒率6.81
混和材料	高性能AE	低温用
	減水剤 (SP)	ポリカルボン酸エーテル系
		常温用
		高温用
	分離低減剤(V)	セルロースエーテル系

表－3 分離低減剤使用コンクリートの調合とフレッシュ性状

種類 1)	温度 (℃)	W/C (%)	目標 スランプ フロー ²⁾ (mm)	粗骨材 かさ 容積 (m ³ /m ³)	S/a (%)	V (W×%)	SP		直後の性状		注水15分後の性状			モルタル		評価 ⁴⁾		
							種類	使用量 (C×%)	スランプ ²⁾ (mm)	空気 量 (%)	スランプ ²⁾ フロー ²⁾ (mm)	空気 量 (%)	Vロー ト ³⁾ (秒)	塑性 粘度 (Pa・s)	降伏 値 (Pa)	直 後	15 分 後	
準	10	45	450	0.57	48	0.03	低温用	1.3	438	4.5	(12.5)	3.7	-			○	■	
		50	450	0.54	51	0.03	低温用	1.6	503	4.5	238	4.0	10			○	■	
		50	450	0.57	48	0.00	低温用	1.6	568	5.3	303	3.8	13.7			△	■	
		50	450	0.57	48	0.10	低温用	1.6	430	4.9	(9.5)	3.5	-			○	■	
							常温用	2.0	373	6.5	393	5.1	21.3			○	○	
		50	450	0.61	45	0.17	低温用	1.5	403	6.0	285	3.9	45.7×			○	■	
		55	450	0.57	49	0.17	低温用	1.9	450	7.0	353	4.5	13.8			○	○	
		高 普	50	550	0.54	51	0.17	低温用	2.4	493	7.2	525	3.9			24	○	○
50	(18)		0.61	45	0	低温用	1.1	(18.5)	3.6	(13.0)	3.8	-	○	■				
準	20	45	450	0.57	48	0.03	常温用	2.0	393	4.5	410	3.8	27×	2.42	8.6	○	○	
		50	450	0.54	51	0.03	常温用	2.3	410	4.8	418	4.3	24	1.83	11	○	○	
		50	450	0.57	48	0.0	常温用	2.3	443	4.0	418	3.0	-	-	-	△	○	
		50	450	0.57	48	0.03	常温用	2.1	410	4.1	390	4.1	20	2.07	6.6	○	○	
		50	400	0.57	48	0.10	常温用	2.1	368	4.5	380	4.1	30	2.61	13	○	○	
		50	450	0.57	48	0.10	低温用	1.8	360	4.2	(8.5)	3.0	1×	-	-	○	■	
							常温用	2.2	430	4.7	433	4.2	33	2.12	11	○	○	
							高温用	2.8	420	4.0	563	3.5	61	-	-	○	○	
		50	500	0.57	48	0.10	常温用	2.3	408	4.5	493	4.0	46	2.79	15	○	○	
		50	450	0.57	48	0.17	常温用	2.3	430	4.7	430	4.5	36	3.83	22	○	○	
		50	450	0.61	45	0.17	常温用	2.2	418	5.2	458	4.0	40×	2.95	15	○	○	
							55	450	0.57	49	0.17	常温用	2.5	380	5.5	405	4.5	44
高 普	45	600	0.54	50	0.1	常温用	3.1	548	4.2	640	3.2	42	3.24	18	○	△		
	50	550	0.54	51	0.17	常温用	2.9	430	5.9	538	5.1	16	2.06	4.8	○	○		
準	30	50	(18)	0.61	45	-	常温用	1.8	(18.5)	4.0	(17.5)	3.8	2×	-	-	○	○	
		45	450	0.57	48	0.03	高温用	2.3	463	5.2	378	5.2	19			○	○	
		50	450	0.54	51	0.03	高温用	2.6	450	5.5	380	5.0	23			○	○	
		50	450	0.57	48	0	高温用	2.6	495	4.4	420	4.2	19×			○	○	
		50	450	0.57	48	0.1	常温用	2.4	465	3.7	313	3.8	15×			○	■	
							高温用	2.6	460	5.7	410	5.5	27×			○	○	
		50	450	0.61	45	0.17	高温用	2.4	453	5.1	420	4.6	35×			○	○	
		55	450	0.57	49	0.17	高温用	2.8	445	4.5	430	4.7	19×			○	○	
		高 普	50	550	0.54	51	0.17	高温用	3.1	450	4.2	523	4.5			10.5	○	○
			50	(18)	0.61	45	0	高温用	1.9	(19.5)	4.9	(16.0)	5.0			-	○	○

注) 1) コンクリートの種類 準:準高流動, 高:高流動, 普:普通 2) ()書きはスランプ(cm) 3) ×:閉塞
4) コンクリートの状態(目視による判断) ◎:良好, ○:普通, △:やや分離気味 ■:粘性大

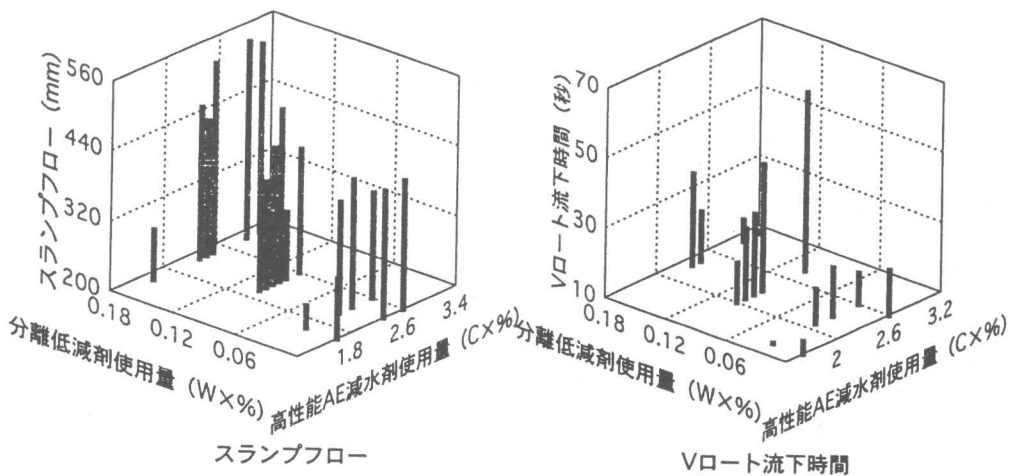


図-1 フレッシュコンクリートの性状

も実験した。

2.2 使用材料およびコンクリートの調合

使用材料と物性を表-2に示す。細骨材は、鹿島産陸砂と笠間産砕砂を8:2で混合して使用した。コンクリートの調合条件は、目標空気量が $4.5 \pm 1.0\%$ とし、単位水量は 175 kg/m^3 で一定とした。コンクリートの調合を表-3に示す。なお、コンクリートの経時変化試験では高性能AE減水剤の使用量を一部変化させた。

2.3 試験方法

コンクリートの練混ぜは、温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\% \text{ RH}$ の室内で、容量100ℓパン型強制練りミキサを用いて行い、1回の練混ぜ量を60ℓとした。練混ぜ方法は、一括練混ぜ方式とし、セメント、分離低減剤及び細骨材をミキサに投入し15秒間攪拌した後、粗骨材、水及び混和剤を投入し90秒間攪拌後、容器に排出し、直ちにスランプ、スランプフロー及び空気量を測定した。その後、注水15分後まで静置させ再試験し、さらにVロート（吐出口 $65 \times 75 \text{ mm}$ ）の流下時間やモルタルの流動特性を試験し、圧縮強度試験用などの供試体を作製した。モルタルの流動特性の測定は、ウェットスクリーニングしたモルタルを用いてR型回転粘度計（回転数 0.5 rpm ）で塑性粘度と降伏値を求めた。コンクリートの経時変化試験は、練混ぜ直後、注水後15分、30分、45分、60分、75分、90分で行い、容器に静置した状態で保存し、

試験直前に練り混ぜスcoopで練り返して試験に供した。

3. 実験結果及び考察

3.1 フレッシュコンクリートの性質

(1)モルタルのレオロジー特性

モルタルのレオロジー特性は表-3に示すようであり、分離低減剤の使用量を増やすと塑性粘度および降伏値は大きくなる傾向にある。塑性粘度が大きくなるとスランプフローは小さくなり、Vロート流下時間は長くなる傾向がみられる。

(2)コンクリートの調合と流動特性

図-1にコンクリートのスランプフローならびにVロート流下時間に及ぼす分離低減剤および高性能AE減水剤使用量の影響を示す。分離低減剤の使用量を一定として、高性能AE減水剤の使用量を増加すると、スランプフローは大きくなっているが、Vロート流下時間は変動が大きく、一定の傾向はつかめない。一方、高性能AE減水剤の使用量を一定とした場合、分離低減剤の使用量とスランプフローとの関係は必ずしも明確ではないが、Vロート流下時間との間には、分離低減剤が増加すると流下時間がやや大きくなっている傾向が見られる。

そこで、準高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす調合の影響を定量評価するために

説明変数として、分離低減剤と高性能AE減水剤の使用量の他に単位粗骨材かさ容積を取り上げ、重回帰分析を行った。

$$X_1 = a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 + a_{14} \quad (1)$$

$$X_2 = a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 + a_{24} \quad (2)$$

ここで、 X_1 ：スランブフロー、 X_2 ：Vロート流下時間、 a_{ij} ：偏回帰係数($i=1\sim 2, j=1\sim 4$)、 x_1 ：高性能AE減水剤使用量、 x_2 ：単位粗骨材かさ容積、 x_3 ：分離低減剤使用量である。

表-4、図-2に分析結果を示すように、スランブフローには高性能AE減水剤の使用量が影響しているが、Vロート流下時間は単位粗骨材かさ容積が影響しているものの、重相関係数が0.66

表-4 重回帰分析結果

式	重相関係数 R	偏回帰係数(上段)及び検定値(下段)				
		$i \setminus j$	1	2	3	4
(1)	0.82	1	149 4.43	-7.54 -0.01	318 1.53	46.2 0.12
(2)	0.66	2	10.6 1.22	592 2.76	32.4 0.57	-332 -2.63

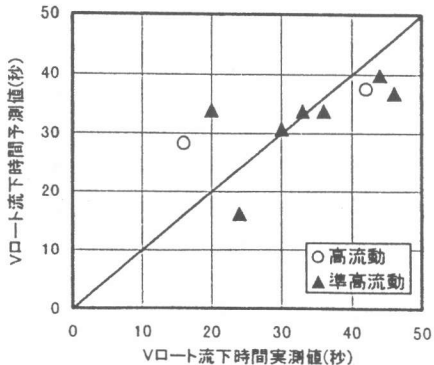
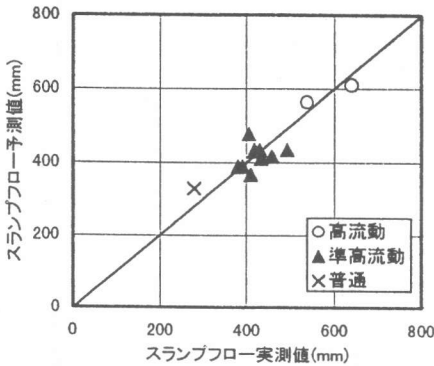


図-2 コンクリートの調合と流動性

であり、十分良い精度では予測できるとはいえないと考えられる。

(3) モルタルのレオロジー特性とコンクリートの流動特性

コンクリートの流動性は、それを構成するモルタルのレオロジー特性と粗骨材量に左右されると考えられる。そこで、説明変数として、モルタルの塑性粘度、降伏値及び単位粗骨材かさ容積を取り上げ重回帰分析を行った。

$$Y_1 = b_{11} \cdot y_1 + b_{12} \cdot y_2 + b_{13} \cdot y_3 + b_{14} \quad (3)$$

$$Y_2 = b_{21} \cdot y_1 + b_{22} \cdot y_2 + b_{23} \cdot y_3 + b_{24} \quad (4)$$

ここで、 Y_1 ：スランブフロー、 Y_2 ：Vロート流下時間、 b_{ij} ：偏回帰係数($i=1\sim 2, j=1\sim 4$)、 y_1 ：

表-5 重回帰分析結果

式	重相関係数 R	偏回帰係数(上段)及び検定値(下段)				
		$i \setminus j$	1	2	3	4
(3)	0.65	1	-2183 -1.92	101 1.53	-5.58 -0.82	1501 2.4
(4)	0.85	2	81.4 0.46	-2.71 -0.39	1.68 2.18	-29.1 -0.3

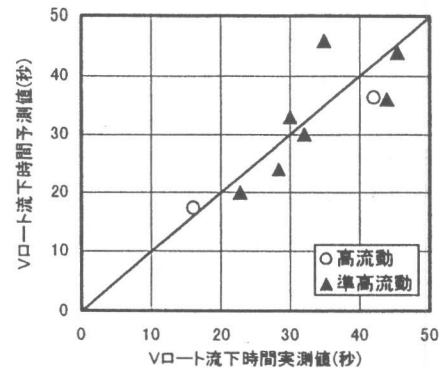
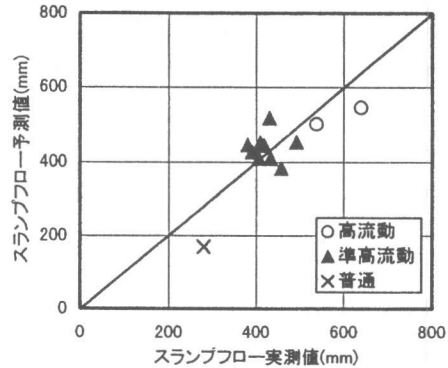


図-3 モルタルレオロジー特性とコンクリートの流動性

単位粗骨材かさ容積, y_2 : モルタルの塑性粘度, y_3 : モルタルの降伏値である。

表-5, 図-3に分析結果を示すようにVロート流下時間には降伏値が影響しているが, スランブフローは単位粗骨材かさ容積が影響しているものの, 重相関係数が0.65で, 十分良い精度では予測できるとはいえないと考えられる。

(4) スランブフローの経時変化

容器に静置して保存した時のスランブフローの経時変化を図-4に示す。まず, 温度20℃の結果では高性能AE減水剤の使用量が多く, 練混ぜ直後のスランブフローが大きい場合は, 15分でスランブフローは最大となり, その後徐々に低下する。逆に, 高性能AE減水剤の使用量が少なく, 練混ぜ直後のスランブフローが小さい場合は, スランブフローは急激に低下する。また, 分離低減剤の使用量が多くなると高性能AE減水剤の使用量も多くなり, 15分でスランブフローは一端大きくなる傾向がある。しかし, その後のスランブフローの低下には分離低減剤の使用量の影響はなかった。

次に, 高温用の高性能AE減水剤を20℃で使用すると, 長時間スランブフローを保持できたが, 10℃で常温用を使用してもスランブフローの保持は30分程度であり, また, 30℃では高温用を使用しても30分でスランブフローは急激に低下した。空気量の経時変化は小さかった。

(5) 凝結時間とブリーディング

図-5に, 凝結時間の試験結果を示す。準高流動コンクリートの凝結時間は, 分離低減剤の影響は小さく, 高性能AE減水剤の種類や温度の影響

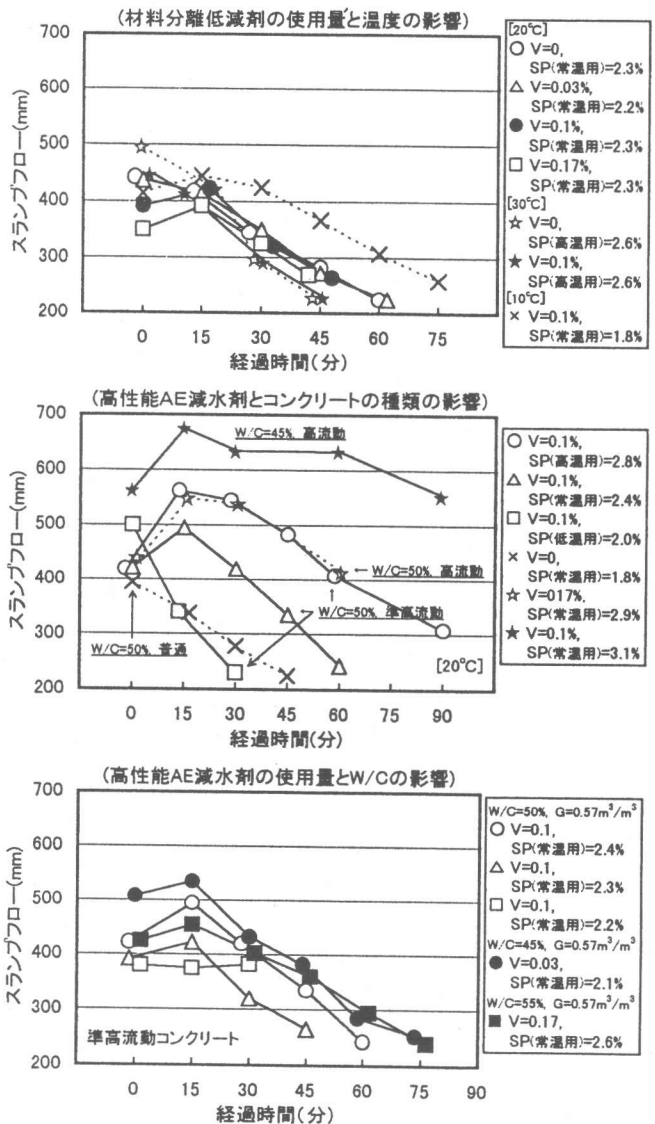


図-4 スランブフローの経時変化

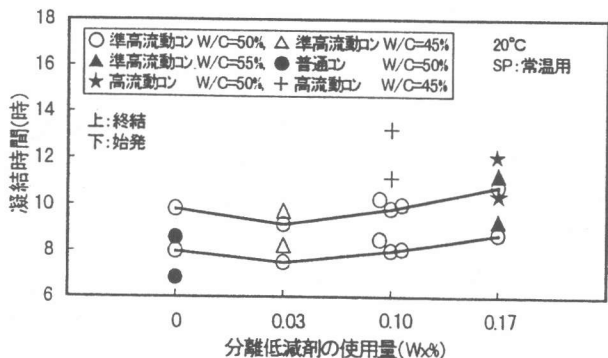


図-5 凝結時間と分離低減剤使用量

響が高いといえる。ブリーディング量は、 20°C における普通コンクリートが $0.12\text{cm}^3/\text{cm}^2$ に対して、分離低減剤を使用した準高流動コンクリートはいずれの温度においても $0.04\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 以下であり少ないといえる。

3.2 硬化コンクリートの性質

(1) 圧縮強度

図-6に、凝結終結時間と圧縮強度の関係を示す。終結時間が長いほどコンクリートの初期強度は小さい。準高流動コンクリートの初期材齢における強度発現は、高流動コンクリートと比較して早い、普通コンクリートと比較して遅い。しかし、材齢28日になるといずれのコンクリートの種類においても圧縮強度に及ぼす凝結時間の影響はほとんど認められない。

(2) 乾燥収縮

図-7に、乾燥期間26週における乾燥収縮率を示す。準高流動コンクリートの乾燥収縮率は普通コンクリートと比較して大差はない。また、分離低減剤の使用量が多くなると、乾燥収縮率はやや大きくなる傾向にある。

4. まとめ

スランプフローが $450 \pm 50\text{mm}$ の、良好なワーカビリティをもつ準高流動コンクリートについて本実験の範囲で、以下のことがいえる。

(1) 分離低減剤の使用量が多いほどウェットスクリーニングしたモルタルの塑性粘度および降伏値は大きくなり、コンクリートのVロート流下時間は短くなる。

(2) 分離低減剤を用いた準高流動コンクリートのスランプフロー、Vロート流下時間を、高性能AE減水剤、分離低減剤の使用量および単位粗骨材かさ容積から式(1)、(4)を用いて推測できる。

(3) 高性能AE減水剤の使用量を多くし、初期のス

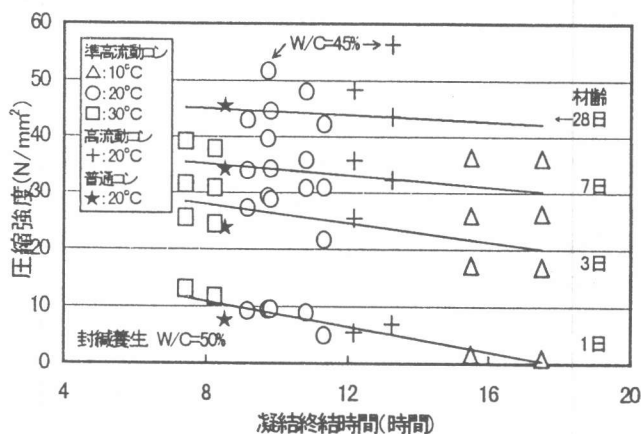


図-6 凝結終結時間と強度の関係

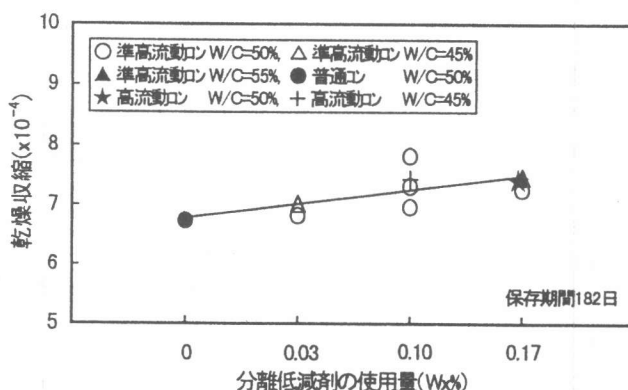


図-7 乾燥収縮

ランプフローを大きくすると、スランプフローの経時変化を抑えることができる。

(4) 準高流動コンクリートの凝結時間は高流動コンクリートと比較して若干早くなる。

(5) 準高流動コンクリートの圧縮強度発現性や乾燥収縮は、普通コンクリートと大差はない。

(謝辞) ポゾリス物産養宮氏、宇都宮大学工学部卒論生(現 東京都立大学大学院生)後藤氏及び八洋コンクリートコンサルタント桜井氏の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 梶田佳寛ほか：準高流動コンクリートに関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.219～224，1997