

コンクリート専門委員会報告
REPORT OF THE TECHNICAL COMMITTEE ON CONCRETE
F-57

各種セメントを用いた暑中コンクリートの
諸性質に関する研究
A Study on hot weather concrete using various cements

2012 年 6 月

(June 2012)

社団法人 セメント協会

JAPAN CEMENT ASSOCIATION

要旨

日平均気温が 25℃を超えるような暑中コンクリート工事では、使用材料の温度制御などの対策を講じて、打込み又は荷卸し時のコンクリート温度が 35℃を超えることが避けられない事態が想定される。このような状況を踏まえ、本研究は、今後の留意すべき暑中コンクリート対策のための基礎的資料を得ることを目的として、初期の環境温度が 35℃を超えたときのコンクリートの各種性状を調査した。

実験には普通 (N)、中庸熱 (M)、低熱 (L) の各ポルトランドセメントおよび高炉 B 種 (BB) の合計 4 種類のセメントを使用した。コンクリートは、環境温度を 20℃、30℃および 40℃とし、コンクリートの水セメント比は 52.0%、43.0%および 33.3%の 3 水準とした。

本研究では、コンクリートのフレッシュ性状の経時変化ならびに標準水中養生と構造体コンクリートを模擬した簡易断熱養生による強度発現性を調査した。また環境温度 40℃では、脱型までの材齢を 1 日および 2 日とし、初期養生条件が強度発現性に及ぼす影響についても加えて検討した。

コンクリートのフレッシュ性状に関して、スランプまたはスランプフローの経時変化は、環境温度が高くなるにつれ総じて大きくなり、特に N は他のセメントに比べ、経時変化が大きかった。

コンクリートの標準水中養生時の圧縮強度に関して、環境温度が 20℃と 30℃では、セメントの種類や W/C に関らず、圧縮強度は大差なかった。しかし、環境温度が 40℃では、20℃と 30℃のものに比べ、強度の増進が小さくなり、N は材齢 7 日以降で、他のセメントは材齢 28 日以降で圧縮強度が低くなった。また、コンクリートの C/W と圧縮強度の関係から、20℃のときの圧縮強度と同一強度を得られる W/C を推定した。その結果、環境温度 40℃では、N は 2.9~5.0%、M は 1.5~3.8%、L は 1.5~4.3%の範囲で W/C を低減すれば同程度の圧縮強度を得られることが明らかとなった。環境温度 40℃において、W/C43.0%の配合で、脱型材齢の違いが圧縮強度に及ぼす影響を評価した。その結果、いずれも圧縮強度は同等であり、供試体を水分の逸散がない状態で適切に保管すれば、初期養生期間の違いが圧縮強度に及ぼす影響は殆どないことが明らかとなった。

W/C43.0%のコンクリートの簡易断熱養生時の圧縮強度に関して、環境温度が 40℃では、30℃のものに比べ、圧縮強度は低くなり、特に N は他のセメントよりも低かった。また、簡易断熱養生時の圧縮強度より算出した、環境温度が 40℃におけるコンクリートの構造体強度補正值 ($_{28}S'_{91}$) は、N で 10.6N/mm²、M、L および BB は 0N/mm² となり、セメントの種類で異なることが明らかとなった。

序

本研究は、普通、中庸熱、低熱の各ポルトランドセメントおよび高炉 B 種の合計 4 種類のセメントを用い、水セメント比を 3 水準に変化させたコンクリートによる暑中コンクリートの諸性質に関する基礎データを収集し、考察した。

コンクリートの環境温度は 20℃、30℃および 40℃の 3 水準とし、フレッシュ性状や標準水中養生と構造体コンクリートを模擬した簡易断熱養生による強度発現性を調査した。また、環境温度 40℃において初期養生条件が強度発現性に及ぼす影響についても検討した。

今般、実験結果を取りまとめたので報告する。

2012 年 6 月

社団法人 セメント協会 コンクリート専門委員会
(敬称略 順不同)

委員長	三菱マテリアル株式会社	中山 英明
委員	日鐵セメント株式会社	小倉 東
	株式会社トクヤマ	加藤 弘義
	太平洋セメント株式会社	田中 敏嗣
		(石川 雄康 2012 年 4 月交替)
	宇部興産株式会社	大和 功一郎
	電気化学工業株式会社	川原 正秀
	新日鐵高炉セメント株式会社	大塚 勇介
	住友大阪セメント株式会社	草野 昌夫
事務局	社団法人セメント協会	佐藤 智泰
	〃	小林 幸一
	〃	島崎 泰
	〃	泉尾 英文

目 次

1. 緒言	1
2. 研究の概要	2
3. 実験の概要	4
3.1 使用材料	4
3.1.1 セメント	4
3.1.2 骨材	4
3.1.3 練混ぜ水	5
3.1.4 混和剤	5
3.2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状	6
3.3 コンクリートの練混ぜおよび成形	7
3.4 コンクリートの試験方法および条件	7
3.4.1 スランプ, スランプフローおよび空気量試験	7
3.4.2 圧縮強度試験	7
4. 試験結果および考察	10
4.1 コンクリートの配合	10
4.2 フレッシュコンクリートの経時変化	12
4.3 環境温度と強度発現性	16
4.3.1 標準水中養生	16
4.3.2 簡易断熱養生	22
5. 結言	25
参考文献	27

1. 緒言

暑中コンクリートでは、コンクリートの温度が高くなるため、例えば、運搬時のスランプの経時変化が大きくなること、長期強度の増進が小さくなること、およびコールドジョイントや初期ひび割れといった不具合が発生しやすいことが指摘されている^{1) 2) 3)}。このため、2007年制定の土木学会「コンクリート標準示方書 施工編」では、打込み時のコンクリート温度は35℃以下でなければならないこと⁴⁾が、また、2009年の日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5」では、荷卸し時のコンクリートの温度は原則として35℃以下とすること⁵⁾が記載されている。

生コン工場では荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超えないように、使用材料の変更や温度制御等の様々な対策を講じている。しかし、近年、夏期の気温が高く、日平均気温が25℃以上の期間および日数が増えており¹⁾、練上りから荷卸しまでのコンクリートの温度上昇に伴い、打込みまたは荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超えることが避けられない事態が想定される。

打込みまたは荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超える場合、コンクリートの性状に及ぼす影響は大きくなる可能性はあるものの、現状では、コンクリート温度が35℃を超える時のフレッシュ性状や強度発現性に関するデータは殆どない。そこで、本委員会では、打込みまたは荷卸し時の温度が35℃を超えるコンクリートの各種性状を調査し、今後の留意すべき暑中コンクリート対策のための基礎的資料を収集することとした。

本研究では、普通、中庸熱、低熱の各ポルトランドセメントおよび高炉B種の合計4種類のセメントを用い、コンクリートの水セメント比は52.0%、43.0%および33.3%の3水準とした。環境温度を20℃、30℃および40℃として、コンクリートのフレッシュ性状および標準水中養生と構造体コンクリートを模擬した簡易断熱養生による強度発現性を調査した。また環境温度40℃では、脱型材齢を1日または2日として、初期養生条件が強度発現性に及ぼす影響についても検討した。

2. 研究の概要

本研究は、コンクリート温度が 35℃を超えるコンクリートのフレッシュ性状や強度発現性の基礎データを収集することを目的として行った。実験は、4 種類のセメントを用い、水セメント比（以下、W/C と略）、環境温度をそれぞれ 3 水準に変化させたコンクリートで実施した。これらの実験条件を以下に示す。

〔コンクリートの実験条件〕

(1) セメントの種類…………… 4 種類 : セメントの種類を表-2.1 に示す。

表-2.1 セメントの種類

系	セメントの種類	略称
ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント	N
	中庸熱ポルトランドセメント	M
	低熱ポルトランドセメント	L
混合セメント	高炉セメント B 種	BB

(2) 水セメント比 (W/C) ……… 3 水準 : 52.0%, 43.0%, 33.3%

(3) 環境温度…………… 3 水準 : 20℃, 30℃, 40℃

(4) 試験条件…………… 試験条件を表-2.2 に示す。

表-2.2 試験条件

W/C (%)	環境温度 (℃)	セメントの種類			
		N	M	L	BB
52.0	20	○	○	○	○
	30	○	○	○	○
	40	○	○	○	○
43.0	20	○	○	○	○
	30	○	○	○	○
	40	○	○	○	○
33.3	20	○	○	○	
	30	○	○	○	
	40	○	○	○	

(5) 試験項目と試験方法…………… 試験項目と試験方法を表-2.3 に示す。

表-2.3 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法	内容
スランプ ^{※1}	JIS A 1101	測定時間： ①練上り直後 ②注水から 30 分経過後 ③注水から 60 分経過後
スランプフロー ^{※1}	JIS A 1105	
空気量 ^{※2}	JIS A 1128	
圧縮強度	JIS A 1108	養生条件： ①標準水中養生（材齢 7 日，28 日，91 日） ②簡易断熱養生 ^{※3} （材齢 7 日，28 日，56 日，91 日）

※1 W/C52.0%および 43.0%は練上り直後の目標スランプを $18 \pm 2.5\text{cm}$ とし，W/C33.3%は練上り直後の目標スランプフローを $60 \pm 7.5\text{cm}$ とした。

※2 W/C52.0%および 43.0%は練上り直後の目標空気量を $4.5 \pm 1.0\%$ とし，W/C33.3%は練上り直後の目標空気量を 3.0%以下とした。

※3 W/C43.0%の環境温度 30℃および 40℃で行った。簡易断熱養生の期間は約 7 日間とし，その後，20℃環境下にて各材齢まで封かん養生し，圧縮試験に供した。

3. 実験の概要

3.1 使用材料

3.1.1 セメント

セメントは、市販の普通ポルトランドセメント（以下、N と略）、中庸熱ポルトランドセメント（以下、M と略）、低熱ポルトランドセメント（以下、L と略）および高炉セメント B 種（以下、BB と略）の 4 種類を使用した。なお、L は 2 銘柄、その他はそれぞれ 3 銘柄を任意に選定し、等量で混合したものを試料とした。

これらセメントの化学成分および物理的性質を表-3.1.1.1 および表-3.1.1.2 に示す。

表-3.1.1.1 セメントの化学成分

セメントの種類	化学成分 (%)											
	ig. loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Na ₂ Oeq	Cl ⁻
N	2.37	0.12	20.35	5.41	2.91	64.58	1.07	2.03	0.22	0.41	0.49	0.013
M	0.62	0.07	24.30	3.47	3.29	64.00	0.95	2.36	0.23	0.34	0.45	0.005
L	0.67	0.11	26.06	2.95	3.13	62.99	0.79	2.47	0.20	0.34	0.42	0.005
BB	1.15	0.12	26.20	8.96	1.96	55.19	3.33	1.76	0.24	0.33	0.46	0.012

表-3.1.1.2 セメントの物理的性質

セメントの種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	凝結			安定性	圧縮強さ (N/mm ²)				水和熱 (J/g)	
			水量 (%)	始発 (h-m)	終結 (h-m)		3日	7日	28日	91日	7日	28日
N	3.16	3300	28.0	2-11	3-26	良	27.9	44.2	61.8	—	—	—
M	3.21	3460	27.2	2-46	4-09	良	19.5	28.1	59.8	—	257	321
L	3.24	3720	27.0	3-39	5-03	良	11.8	16.8	56.7	84.4	198	273
BB	3.03	3640	28.4	2-43	4-09	良	20.3	32.8	62.8	—	—	—

3.1.2 骨材

骨材は、粗骨材に東京都青梅市産の硬質砂岩砕石を、細骨材に千葉県君津産の山砂を使用した。これらの骨材の粒度および物性を表-3.1.2.1 および表-3.1.2.2 に示す。

表-3.1.2.1 骨材の粒度

分類	種類	産地	ふるい目の寸法 (mm)	ふるい通過量 (%)										粗粒率
				25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
粗骨材	硬質砂岩砕石	東京都青梅市産		100	98	91	41	1	0	—	—	—	—	6.60
細骨材	山砂	千葉県君津市産		—	—	—	100	92	80	67	52	29	3	2.77

表-3.1.2.2 骨材の物性

分類	密度		単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	吸水率 (%)	微粒 分量 (%)
	表乾	絶乾				
	(g/cm ³)					
粗骨材	2.64	2.62	1.68	63.9	0.82	0.2
細骨材	2.65	2.61	1.76	67.6	1.37	0.5

3.1.3 練混ぜ水

練混ぜ水は、上水道水を使用した。

3.1.4 混和剤

混和剤は、BASF ポゾリスしゃ株式会社製を使用し、AE 減水剤に標準形（I 種）（ポゾリス No.70）および遅延形（I 種）（ポゾリス No.8）を、高性能 AE 減水剤に標準形（I 種）（レオビルド SP8SV）および遅延形（I 種）（レオビルド SP8RV）を使用した。環境温度 20℃では標準形を、30℃および 40℃では遅延形を使用した。

また、AE 減水剤を使用したコンクリートは AE 剤（I 種）（マイクロエア 303A）で、高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートは空気量調整剤（マイクロエア 404）で空気量を調整した。これらの混和剤の種類を表-3.1.4.1 に示す。

表-3.1.4.1 混和剤の種類

水準		混和剤の種類	
W/C (%)	環境温度 (℃)	AE 減水剤	高性能 AE 減水剤
52.0	20	標準形（I 種）※1	—
	30	遅延形（I 種）※1	—
	40	遅延形（I 種）※1	—
43.0	20	標準形（I 種）※1	—
	30	遅延形（I 種）※1	—
	40	遅延形（I 種）※1	—
33.3	20	—	標準形（I 種）※2
	30	—	遅延形（I 種）※2
	40	—	遅延形（I 種）※2

※1 AE 剤を使用した。

※2 空気量調整剤を使用した。

3.2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-3.2.1 に示す。コンクリートの配合は、W/C を 52.0、43.0 および 33.3% の 3 水準とし、所要の目標スランプまたは目標スランプフローが得られるように、W/C が 52.0% および 43.0% の配合は単位水量で、W/C が 33.3% の配合は高性能 AE 減水剤の使用量で調整した。なお、AE 減水剤の使用量は単位セメント量に対する 0.25% の容量一定とし、高性能 AE 減水剤の使用量は環境温度やセメントの種類に応じて適宜、変化させた。

表-3.2.1 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

W/C (%)	環境 温度 (℃)	セメン トの種 類	細骨 材率 (%)	単位量						フレッシュ性状			
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤 または 高性能AE減水剤※1	AE剤	空気量 調整剤	スランプ または スランプフロー※2※3 (cm)	空気量 (%)※4	練上り 温度 (℃)
52.0	20	N	47.0	170	327	348	953	818	9	—	18.5	4.6	22.0
		M	47.0	169	325	352	957	813	10	—	18.5	4.5	20.7
		L	47.0	169	325	353	959	813	10	—	19.5	4.3	21.9
		BB	47.0	170	327	342	946	818	10	—	17.0	4.5	21.2
	30	N	47.0	175	337	339	942	843	9	—	18.5	4.6	30.0
		M	47.0	169	325	353	958	813	23	—	19.5	5.0	31.1
		L	47.0	169	325	354	959	813	46	—	19.5	4.7	30.6
		BB	47.0	172	331	339	943	828	20	—	19.5	4.1	30.9
	40	N	47.0	175	337	339	942	843	35	—	18.5	4.8	39.1
		M	47.0	169	325	353	958	813	36	—	18.5	5.0	38.8
		L	47.0	169	325	354	959	813	59	—	20.5	4.1	39.2
		BB	47.0	172	331	339	943	828	31	—	19.5	4.1	39.0
43.0	20	N	45.0	178	414	769	937	1035	11	—	18.5	4.3	22.4
		M	45.0	174	405	780	950	1013	19	—	18.0	4.9	22.1
		L	45.0	174	405	781	952	1013	28	—	18.5	4.6	22.1
		BB	45.0	178	414	762	929	1035	15	—	19.5	4.5	21.3
	30	N	45.0	183	426	760	925	1065	14	—	18.0	4.8	31.1
		M	45.0	177	412	775	943	1030	40	—	18.5	4.1	30.9
		L	45.0	177	412	776	945	1030	62	—	19.0	4.1	30.9
		BB	45.0	180	419	759	925	1048	28	—	19.0	4.5	30.5
	40	N	44.0	197	458	715	906	1145	64	—	19.0	5.0	38.7
		M	44.0	197	458	717	910	1145	65	—	19.5	4.0	38.5
		L	45.0	177	412	776	945	1030	75	—	19.0	4.7	38.1
		BB	44.0	200	465	701	889	1163	62	—	20.0	3.7	37.8
33.3	20	N	49.0	168	504	835	865	(8064)	—	38	(64.0×62.0)	1.4	22.1
		M	49.0	168	504	837	869	(6552)	—	38	(68.0×66.0)	1.2	21.2
		L	49.0	168	504	839	871	(5544)	—	38	(54.0×53.0)	0.9	21.9
	30	N	49.0	173	520	821	852	(8060)	—	39	(59.0×57.0)	0.9	31.3
		M	49.0	168	505	837	868	(6616)	—	38	(66.0×66.5)	1.0	30.9
		L	49.0	168	505	839	870	(5909)	—	38	(67.0×67.0)	0.7	31.0
	40	N	49.0	173	520	821	852	(7280)	—	39	(66.0×64.5)	0.7	38.7
		M	49.0	168	505	837	868	(5606)	—	38	(65.5×63.5)	0.8	37.6
		L	49.0	168	505	839	870	(5808)	—	38	(64.5×62.5)	1.4	38.2

備考 ※1 () 内は高性能 AE 減水剤の単位量を指す。

※2 () 内はスランプフローを指す。

※3 W/C52.0% および 43.0% は練上り直後の目標スランプを 18±2.5cm とし、W/C33.3% は練上り直後の目標スランプフローを 60±7.5cm とした。

※4 W/C52.0% および 43.0% は練上り直後の目標空気量を 4.5±1.0% とし、W/C33.3% は練上り直後の目標空気量を 3.0% 以下とした。

3.3 コンクリートの練混ぜおよび成形

コンクリートの練混ぜおよび成形は、JIS A 1132「コンクリート強度試験用供試体の作り方」および JIS A 1138「試験室におけるコンクリートの作り方」に準じて行った。

使用する材料は、成形日の前日に $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ および $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ で管理した各環境温度内で保存した。各材料が各環境温度に対して $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の範囲内であることを確認してコンクリートを成形した。

ミキサは、パン型強制練りミキサ(公称容量 55 リットル)を使用し、W/C52.0%および 43.0%の配合は材料投入後、2 分間練混ぜた。また、W/C33.3%の配合は材料投入後、2 分間練混ぜ、ミキサ内で 5 分間静置させた後、再度 30 秒間練混ぜて排出した。これらコンクリートの練混ぜ方法を図-3.3.1 に示す。

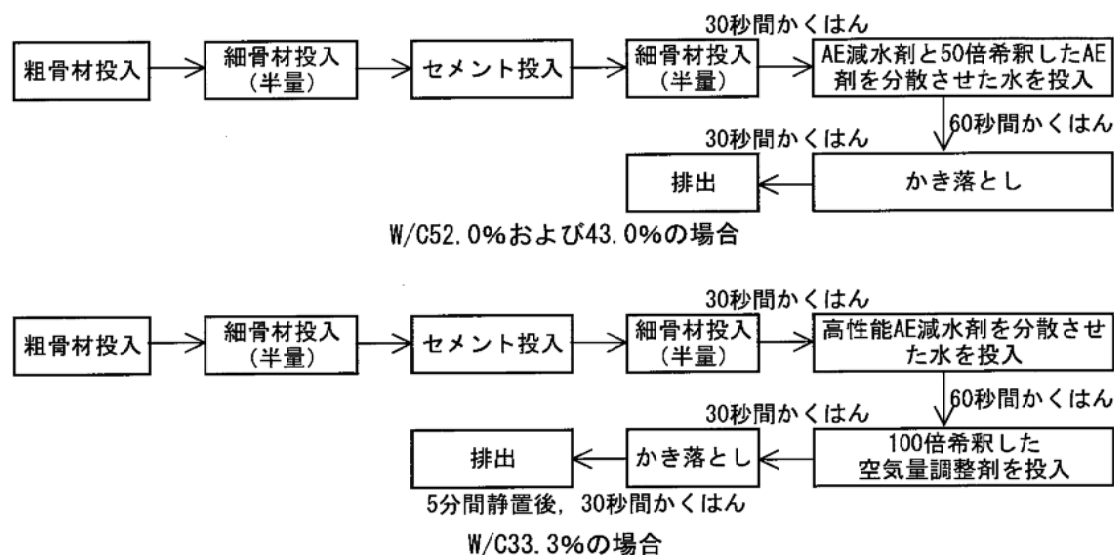


図-3.3.1 コンクリートの練混ぜ方法

3.4 コンクリートの試験方法および条件

3.4.1 スランプ、スランプフローおよび空気量試験

スランプ試験は JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」、スランプフロー試験は JIS A 1150「コンクリートのスランプフロー試験方法」、空気量試験は JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法—空気室圧力方法」に準拠して行った。また、練混ぜ直後と注水から 30 分および 60 分後の経時変化も測定した。

3.4.2 圧縮強度試験

圧縮強度試験は JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して行った。供試体の寸法は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体とした。供試体は作製後、上面を密封してそれぞれ 20°C 、 30°C および 40°C の環境下に翌日まで保管した後に脱型して、各材齢まで標準水中養

生（ $20\pm2^{\circ}\text{C}$ ）を実施した。また環境温度が 40°C では、初期養生条件が圧縮強度に及ぼす影響を評価するため、W/C43.0%の配合において、材齢2日まで 40°C 環境下に保管した後に脱型して、各材齢まで標準水中養生（ $20\pm2^{\circ}\text{C}$ ）を実施した。

「日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5」では、セメントの種類に関わらず、特記がない場合の暑中期間における構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ の標準値を 6N/mm^2 としている。そこで、各種セメントを使用したコンクリートのS値を把握するため、W/C43.0%の配合において、環境温度を 30°C と 40°C で簡易断熱養生した時の圧縮強度を測定した。供試体は図-3.4.2.1の簡易断熱養生箱に静置し、それぞれの環境下に約7日間保管した後、供試体を取り出し、 $20\pm2^{\circ}\text{C}$ の環境下で所定の材齢まで封かん養生した。なお、簡易断熱養生箱の中心部には温度計測用供試体を静置し、中心温度も計測した。実施した圧縮強度の試験条件を表-3.4.2.1に示す。

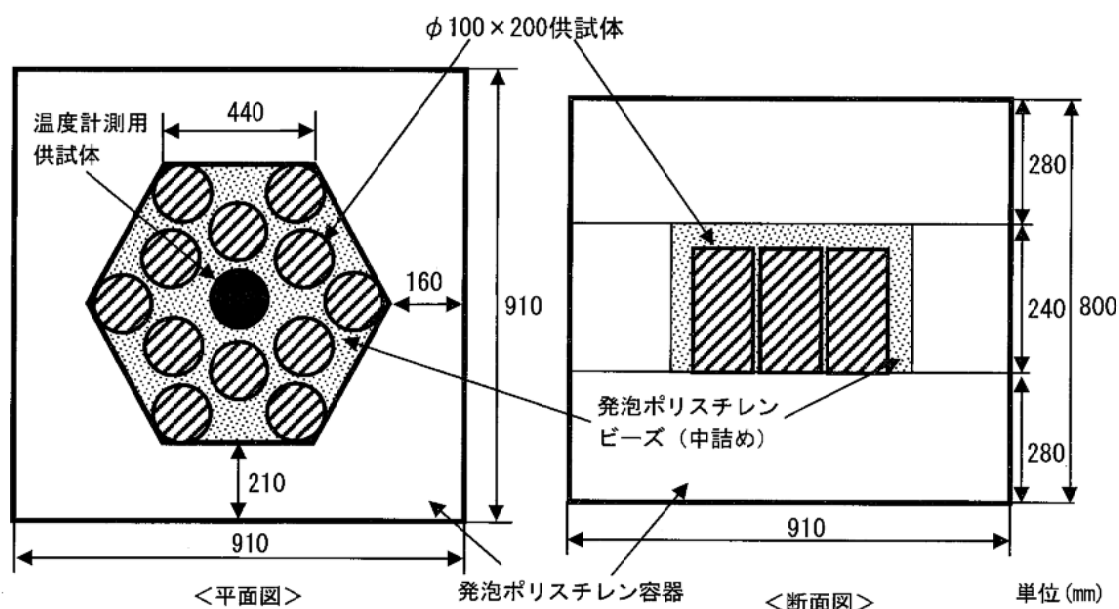


図-3.4.2.1 簡易断熱養生箱

表-3.4.2.1 圧縮強度の試験条件

W/C (%)	環境温度 (°C)	セメント の種類	標準水中養生 ^{※1} の材齢			実施した簡易 断熱養生条件 ^{※3}
			7日	28日	91日	
52.0	20	N	○	○		
		M	○	○		
		L	○	○	○	
		BB	○	○		
	30	N	○	○		
		M	○	○		
		L	○	○	○	
		BB	○	○		
	40	N	○	○		
		M	○	○		
		L	○	○	○	
		BB	○	○		
43.0	20	N	○	○	○	
		M	○	○	○	
		L	○	○	○	
		BB	○	○	○	
	30	N	○	○	○	○
		M	○	○	○	○
		L	○	○	○	○
		BB	○	○	○	○
	40	N ^{※2}	○	○	○	○
		M ^{※2}	○	○	○	○
		L ^{※2}	○	○	○	○
		BB ^{※2}	○	○	○	○
33.3	20	N	○	○		
		M	○	○		
		L	○	○	○	
	30	N	○	○	○	
		M	○	○	○	
		L	○	○	○	
	40	N	○	○	○	
		M	○	○	○	
		L	○	○	○	

※1 練上り温度と同一環境温度に保管し、翌日（材齢 1 日）に脱型した後、標準水中養生した。

※2 練上り温度と同一環境温度に保管し、翌々日（材齢 2 日）に脱型した後、標準水中養生した条件を追加した。

※3 簡易断熱養生における試験材齢は 7, 28, 56, 91 日とした。

4. 試験結果および考察

4.1 コンクリートの配合

(1) 練上りコンクリート温度が単位水量に及ぼす影響

表-3.2.1 のコンクリートの配合およびフレッシュ性状より，AE 減水剤を使用した W/C52.0%および 43.0%の配合を対象に，練上りコンクリート温度と単位水量を図-4.1.1 に示す。なお，図中の黒塗りした凡例は混和剤の種類が標準形を，白抜きした凡例は混和剤の種類が遅延形を指す。

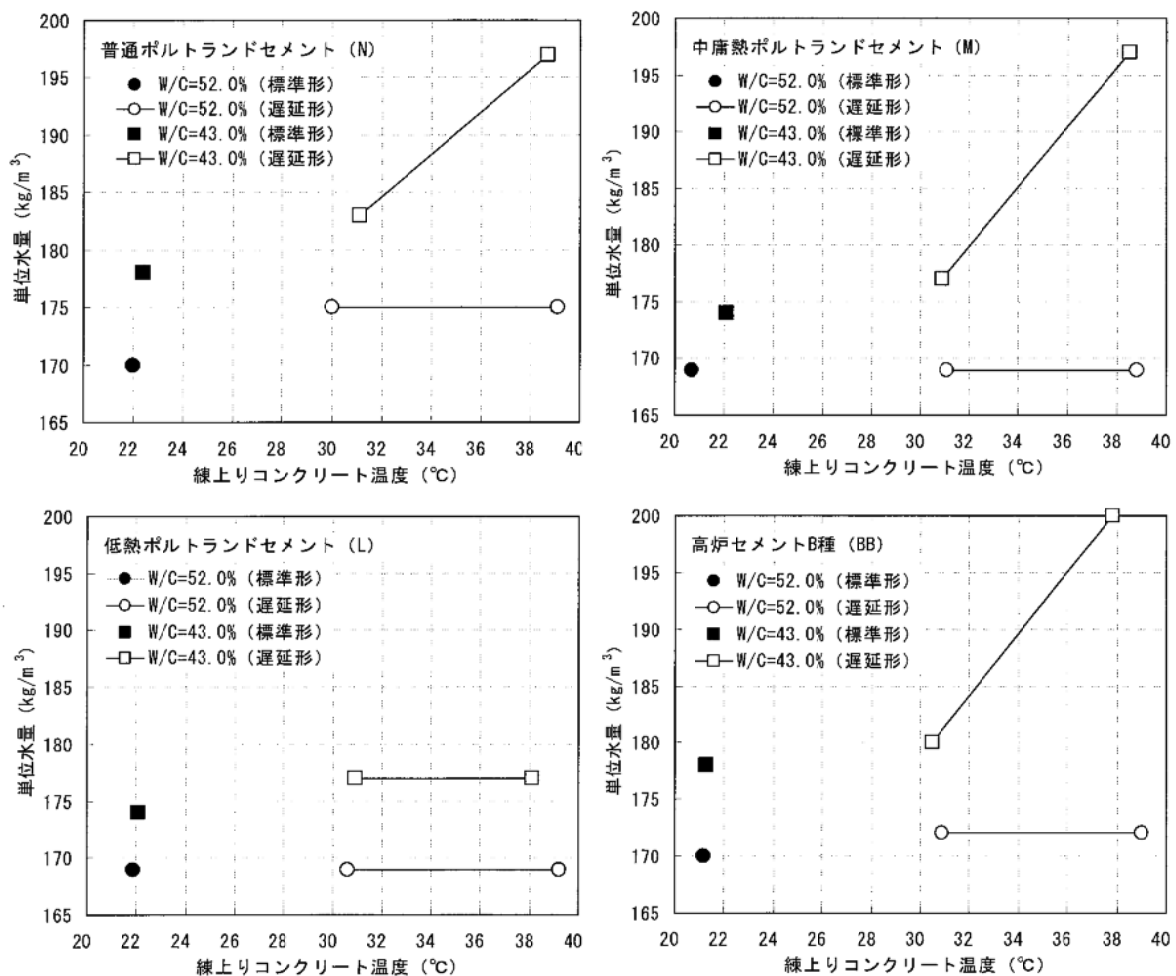


図-4.1.1 練上りコンクリート温度と単位水量

図-4.1.1より，練上りコンクリート温度が単位水量に及ぼす影響は，AE 減水剤の種類，セメントの種類および W/C で傾向が異なった。練上りコンクリート温度 30℃において 20℃と同程度のスランプを得るための単位水量は，遅延形の AE 減水剤を使用することで，2～5kg/m³の増加となっている。この傾向は，セメントの種類や W/C に関わらず同じであった。暑中コンクリートにおいては，混和剤の種類を遅延形に変更することで単位水量の増加を

抑制する効果があると示唆された。

また、練上りコンクリート温度 40℃の場合、W/C52.0%においては、全てのセメントで 30℃と同一の単位水量で同程度のスランプが得られた。W/C43.0%の場合は、Lを除くセメントで単位水量が 14~20kg/m³の範囲で増加した。

暑中コンクリートにおいて練上りコンクリート温度が単位水量に及ぼす影響は、W/C52.0%に比べて W/C43.0%の方が大きい結果であった。一方、セメントの種類で見ると、Lは他のセメントに比べて W/C52.0%、43.0%ともに単位水量の変化は小さく、練上りコンクリート温度が単位水量に及ぼす影響が最も小さいセメントであった。

(2) 練上りコンクリート温度が高性能 AE 減水剤の添加率に及ぼす影響

表-3.2.1 より、高性能 AE 減水剤を使用した W/C33.3%の配合を対象に、練上りコンクリート温度と高性能 AE 減水剤添加率を図-4.1.2 に示す。なお、図中の黒塗りした凡例は混和剤の種類が標準形を、白抜きした凡例は混和剤の種類が遅延形を指す。

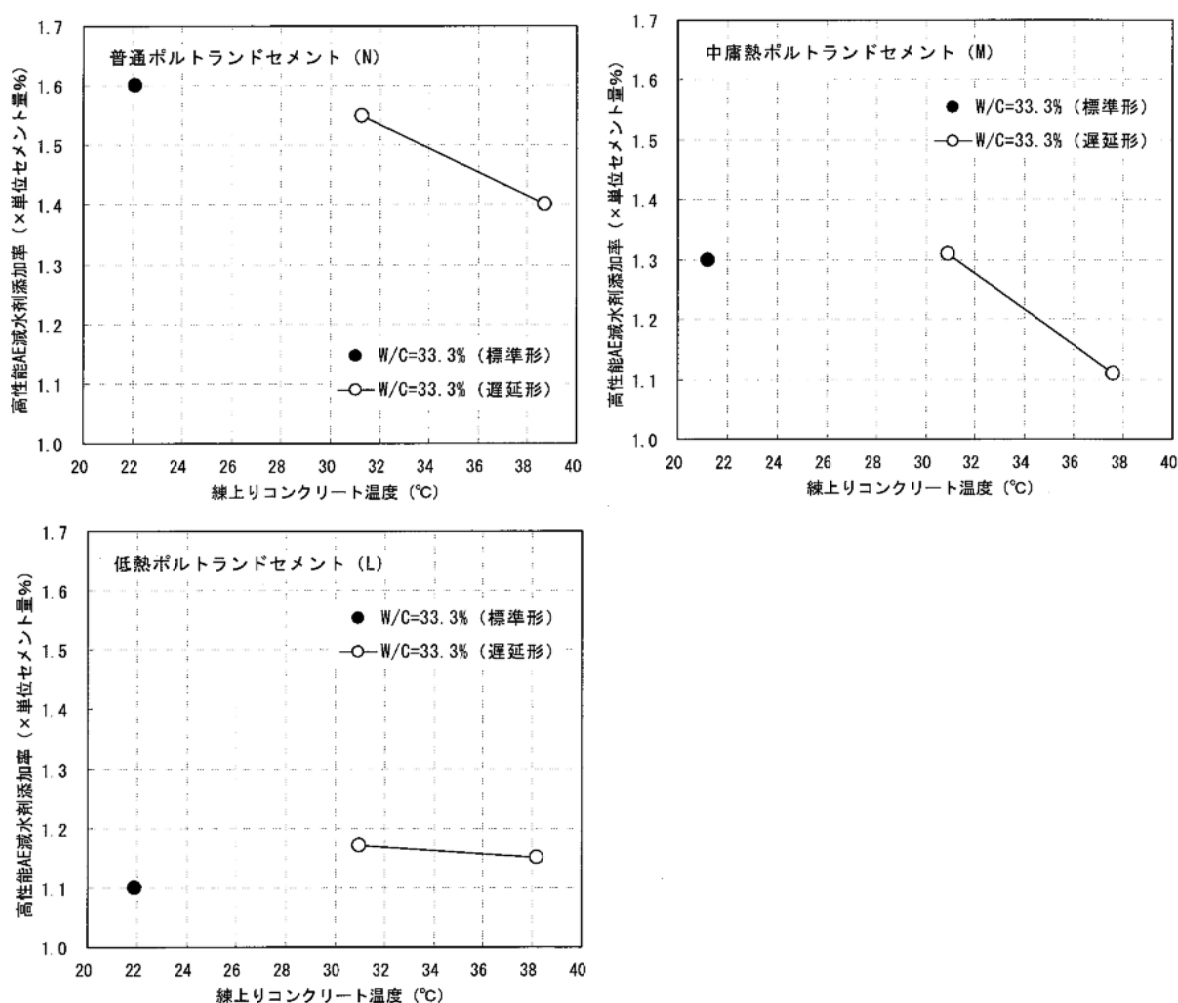


図-4.1.2 練上りコンクリート温度と高性能 AE 減水剤添加率

図-4.1.2より、練上りコンクリート温度 30℃において 20℃と同程度のスランプを得るための高性能 AE 減水剤添加率は、遅延形の高性能 AE 減水剤を用いることで同程度になっている。しかしながら、高性能 AE 減水剤添加率を同程度にするため、N の単位水量は 20℃配合に比べ 5kg/m³ 大きくなっている。また、練上りコンクリート温度 40℃の場合、全てのセメントで 30℃より高性能 AE 減水剤添加率は小さくなる傾向であった。

暑中コンクリートにおいて、W/C33.3%の場合、セメントの種類に関らず練上りコンクリート温度が高性能 AE 減水剤添加率に及ぼす影響は小さい結果であった。

4.2 フレッシュコンクリートの経時変化

(1) スランプおよびスランプフロー

スランプおよびスランプフローの経時変化の結果を表-4.2.1に示す。また、W/C52.0%のスランプの経時変化を図-4.2.1に、W/C43.0%のスランプの経時変化を図-4.2.2に、W/C33.3%のスランプフローの経時変化を図-4.2.3に示す。なお、W/C52.0%と 43.0%は、AE 減水剤を用いており、W/C33.3%は、高性能 AE 減水剤を用いている。図中の黒塗りした凡例は混和剤の種類が標準形を、白抜きした凡例は混和剤の種類が遅延形を指す。

表-4.2.1 スランプまたはスランプフローの経時変化

W/C (%)	環境温度 (°C)	セメントの種類	経過時間 (分)			環境温度 (°C)	経過時間 (分)			環境温度 (°C)	経過時間 (分)		
			0	30	60		0	30	60		0	30	60
52.0	20	N	18.5	11.5	8.5	30	18.5	11.0	6.5	40	18.5	9.5	3.5
		M	18.5	13.0	8.5		19.5	14.5	8.5		18.5	9.5	3.5
		L	19.5	12.0	8.5		19.5	19.0	15.5		20.5	18.5	11.0
		BB	17.0	11.0	7.5		19.5	17.0	8.5		19.5	12.0	5.0
43.0	20	N	18.5	11.5	9.5	30	18.0	10.0	5.0	40	19.0	9.0	5.5
		M	18.0	14.0	10.5		18.5	10.0	7.0		19.5	12.0	7.0
		L	18.5	14.0	12.0		19.0	15.0	10.0		19.0	14.0	8.0
		BB	19.5	15.0	12.5		19.0	10.5	6.5		20.0	14.5	8.5
33.3	20	N	(63.0)	(56.5)	(45.5)	30	(58.0)	(45.0)	(35.5)	40	(65.0)	(44.0)	(32.0)
		M	(67.0)	(66.5)	(63.5)		(66.0)	(59.0)	(53.0)		(64.5)	(57.5)	(48.0)
		L	(53.5)	(50.0)	(46.0)		(67.0)	(62.5)	(54.0)		(63.5)	(53.5)	(44.0)

備考 () はスランプフローの測定値を指す。

図-4.2.1より、W/C52.0%において遅延形を用いた環境温度 30℃と 40℃を比較すると、40℃の方が 30℃よりもスランプの経時変化が大きくなった。なお、環境温度 30℃のスランプの経時変化は、Lを除いて標準形を用いた 20℃の場合と大差なかった。

図-4.2.2より、W/C43.0%において遅延形を用いた環境温度 30℃と 40℃のスランプの経時変化を比較すると、両者に大差はなかった。これは、環境温度 40℃において 30℃の場合よりも単位水量および単位セメント量が大幅に多くなったことが一因と考えられる。なお、環境温度 30℃のスランプの経時変化は、標準形を用いた環境温度 20℃の場合よりも大きくなった。

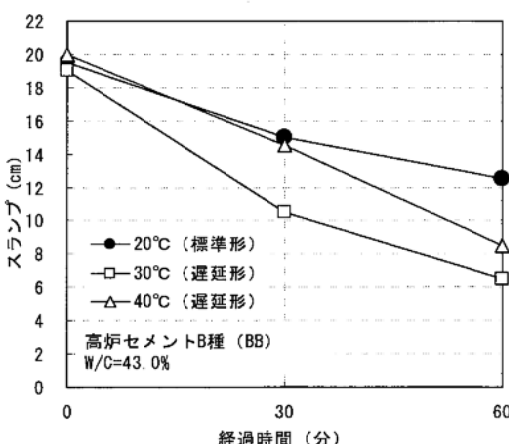
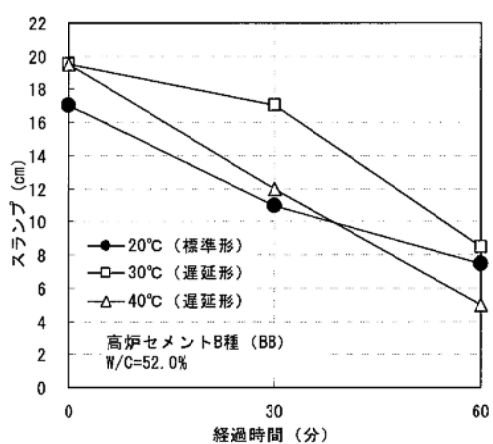
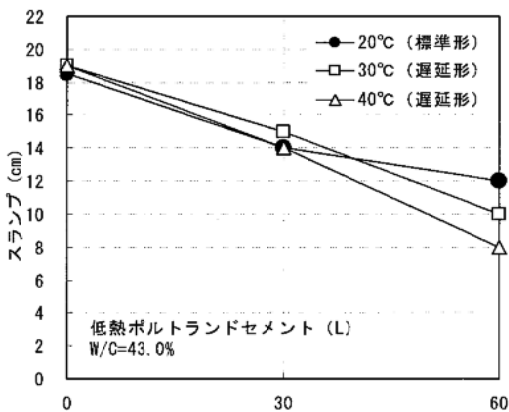
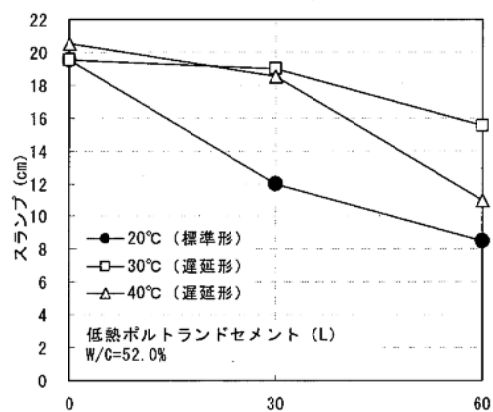
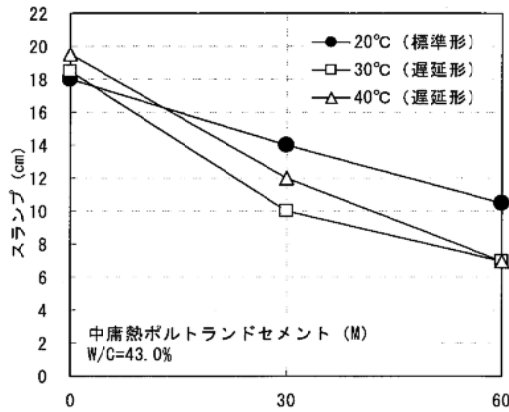
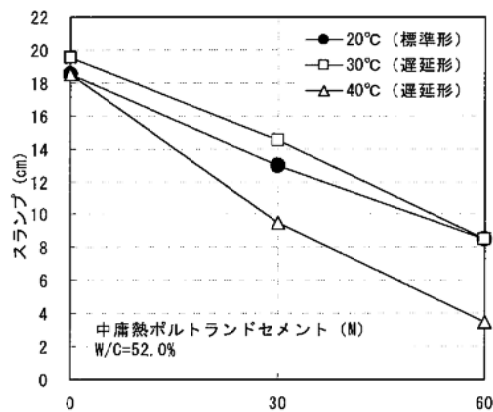
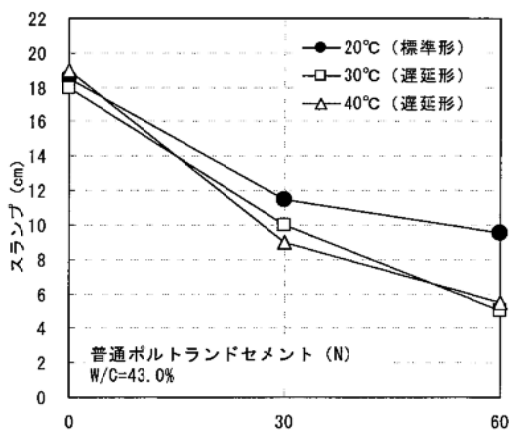
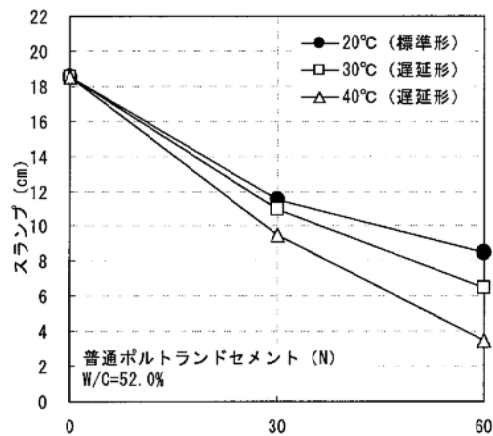


図-4.2.1 スランプの経時変化
(W/C52.0%)

図-4.2.2 スランプの経時変化
(W/C43.0%)

図-4.2.3 より、W/C33.3%では環境温度が高くなるほどスランプフローの経時変化が大きくなる傾向がみられた。これは、遅延形を用いた30℃と40℃については、環境温度の高い40℃の方が、混和剤添加率が若干小さかったことが一因と考えられる。

W/C の影響については、AE 減水剤を用いたW/C52.0%と43.0%を比較すると、W/Cの小さい43.0%の方がスランプの経時変化は小さくなった。これは、W/C43.0%の方がW/C52.0%よりも単位水量および単位セメント量が多いためと考えられる。

セメントの種類の影響については、いずれのW/Cの場合も、Nは他のセメントに比べて経時変化が大きくなる傾向がみられた。AE 減水剤を用いたW/C52.0%、43.0%の場合、Lの経時変化が小さくなる傾向がみられた。

(2) 空気量

空気量の経時変化の結果を表-4.2.2 に示す。配合やセメントの種類に関わらず、空気量の経時変化は1.0%程度以下であり、環境温度40℃までは空気量の経時変化に及ぼす環境温度の影響は小さいと考えられる。

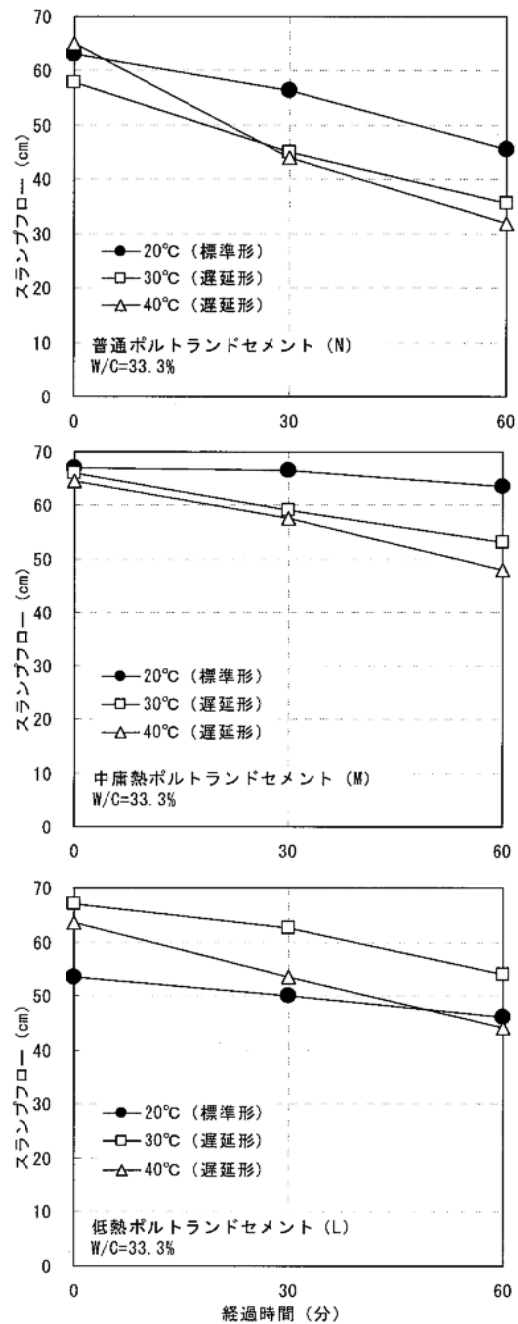


図-4.2.3 スランプフローの経時変化(W/C33.3%)

表-4.2.2 空気量の経時変化

W/C (%)	環境 温度 (℃)	セメ ント の 種類	経過時間 (分)			環境 温度 (℃)	経過時間 (分)			環境 温度 (℃)	経過時間 (分)		
			0	30	60		0	30	60		0	30	60
52.0	20	N	4.6	4.4	4.0	30	4.6	4.1	3.9	40	4.8	5.5	3.8
		M	4.5	3.6	3.4		5.0	4.9	4.6		5.0	4.0	5.5
		L	4.3	3.4	3.2		4.7	4.6	4.6		4.1	4.4	4.5
		BB	4.5	3.5	3.3		4.1	4.1	4.1		4.1	3.9	3.4
43.0	20	N	4.3	3.5	3.5	30	4.8	4.4	3.8	40	5.0	5.2	4.7
		M	4.9	4.6	4.2		4.1	4.1	4.1		4.0	4.3	3.6
		L	4.6	4.4	4.2		4.1	4.1	4.1		4.7	4.6	5.3
		BB	4.5	3.8	3.5		4.5	4.3	4.0		3.7	3.8	4.2
33.3	20	N	1.4	1.3	1.3	30	0.9	0.9	0.9	40	0.7	0.7	1.3
		M	1.2	1.1	1.1		1.0	1.0	1.0		0.8	0.8	1.2
		L	0.9	0.9	0.9		0.7	0.7	1.2		1.4	1.4	2.1

4.3 環境温度と強度発現性

4.3.1 標準水中養生

標準水中養生した圧縮強度の結果を表-4.3.1 に示す。なお、表中の（ ）は環境温度 40℃で翌々日（材齢 2 日）に脱型した条件での圧縮強度を指す。

表-4.3.1 標準水中養生した圧縮強度

W/C (%)	環境温度 (°C)	セメントの種類	材齢 (日)			環境温度 (°C)	材齢 (日)			環境温度 (°C)	材齢 (日)		
			7	28	91		7	28	91		7	28	91
52.0	20	N	28.8	39.2	-	30	30.4	41.2	-	40	23.0	30.2	-
		M	16.0	36.3	-		15.3	32.9	-		13.6	27.8	-
		L	8.4	30.1	54.2		7.7	26.9	47.2		6.9	22.6	41.4
		BB	18.5	34.2	-		18.6	33.4	-		19.4	30.3	-
43.0	20	N	37.1	47.1	55.5	30	35.1	47.1	54.6	40	29.6 (29.7)	37.4 (35.8)	44.5
		M	24.5	44.8	60.1		21.7	41.9	55.6		26.3 (28.9)	41.0 (39.8)	57.6
		L	13.1	38.8	63.0		13.0	36.7	56.1		13.2 (15.8)	29.8 (32.0)	49.9 (50.1)
		BB	23.8	41.6	56.0		24.7	39.8	52.8		27.1 (28.1)	38.2 (38.1)	49.7
33.3	20	N	69.7	86.3	-	30	65.9	80.5	93.1	40	59.4	74.5	85.7
		M	51.8	82.6	-		51.2	81.1	104.6		51.7	75.2	95.9
		L	35.7	78.8	103.2		34.4	77.8	102.4		34.4	72.5	99.7

備考 () は翌々日（材齢2日）に脱型した条件での圧縮強度を指す。

単位 N/mm²

(1) 翌日脱型（材齢 1 日）条件における強度発現性

翌日に脱型（材齢 1 日）して標準水中養生した W/C52.0%の圧縮強度を図-4.3.1.1 に、W/C43.0%の圧縮強度を図-4.3.1.2 に、W/C33.3%の圧縮強度を図-4.3.1.3 に示す。

環境温度 30℃では 20℃と比較するとセメントの種類や W/C に関らず、圧縮強度の差は小さかった。しかし、環境温度 40℃では材齢 28 日および材齢 91 日で圧縮強度が低くなる傾向を示した。

材齢 7 日では、N を使用したコンクリートは環境温度 30℃に比べて 40℃の方が、圧縮強度は W/C52.0%で 7.4N/mm²、W/C43.0%で 5.5N/mm²、W/C33.3%で 6.5N/mm² 低かった。一方、M、L および BB は材齢 7 日時点では、40℃と 30℃の圧縮強度はほぼ同等となった。

材齢 28 日では、N を使用したコンクリートは環境温度 30℃に比べて 40℃の方が、圧縮強度は W/C52.0%で 11.0N/mm²、W/C43.0%で 9.7N/mm²、W/C33.3%で 6.0N/mm² 低くなり、W/C52.0%および W/C43.0%で材齢 7 日より環境温度の影響が大きくなった。M、L および BB を使用したコンクリートは材齢 7 日で環境温度の影響は小さかったが、材齢 28 日ではセメントの種類や W/C で傾向が異なるが、強度は低くなる傾向を示した。M で 3.8～8.5N/mm²、L で 6.3～9.0N/mm²、BB は W/C52.0%と 43.0%の二つの配合条件に限られるが 3.4～3.9N/mm² 低くなり、全てのセメントの種類で材齢 7 日に比べて材齢 28 日の方が環境温度の影響を受けた。

材齢 91 日では、環境温度 30℃に比べて 40℃の方が、全てのセメントの種類、W/C においても材齢 28 日より圧縮強度の差が大きくなる傾向を示し、材齢 28 日から材齢 91 日にかけての強度増進が鈍化した結果となった。

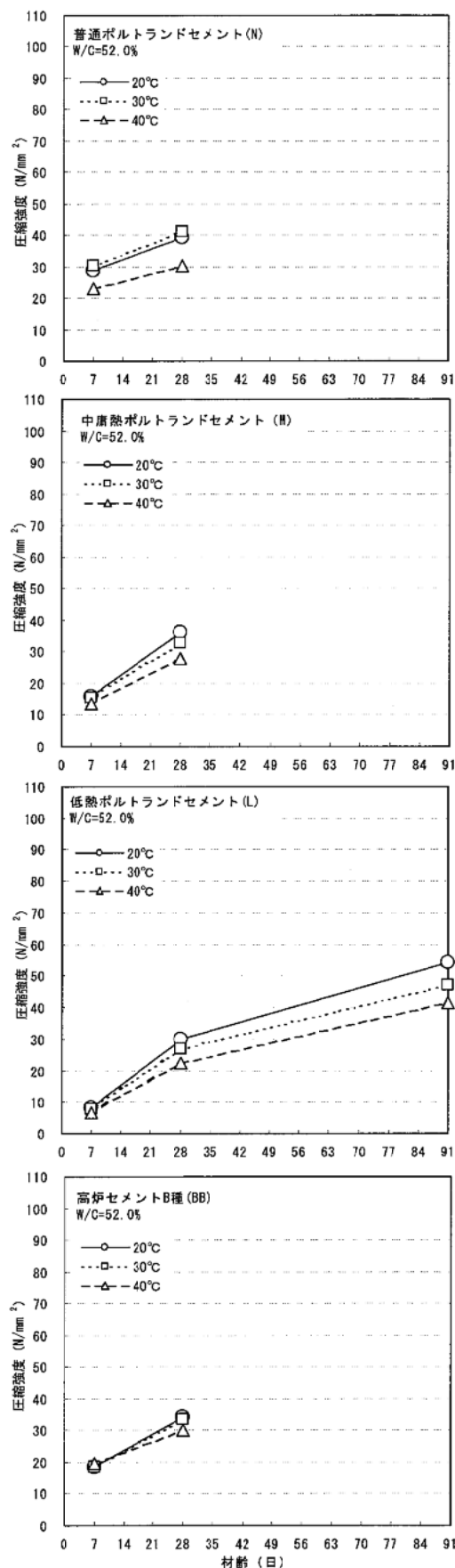


図-4.3.1.1 圧縮強度 (W/C52.0%)

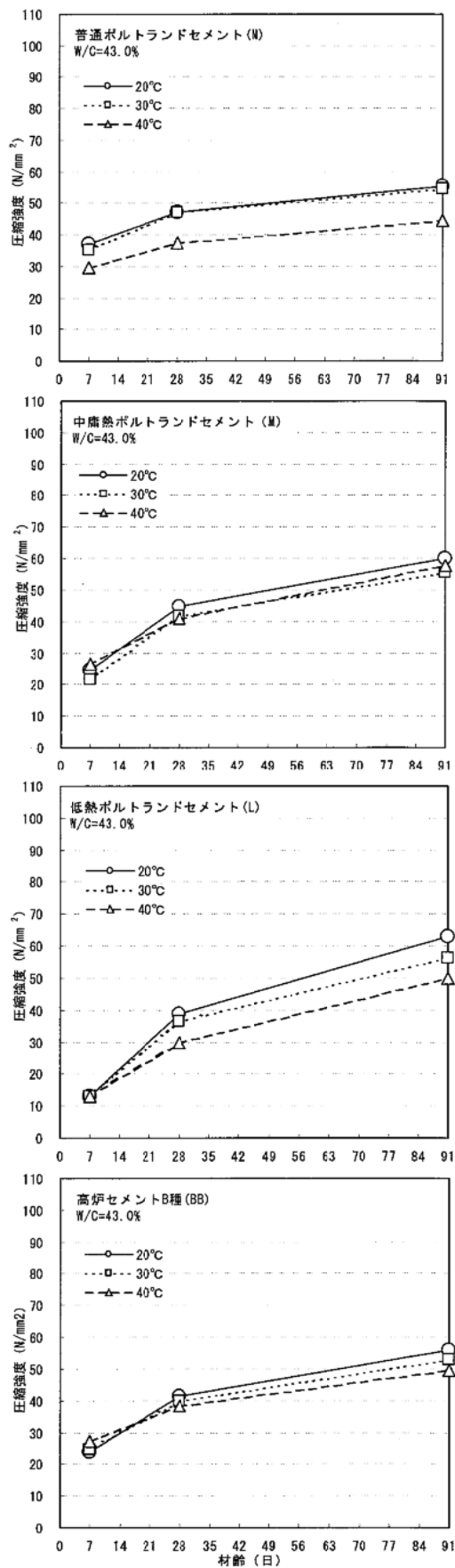


図-4.3.1.2 圧縮強度 (W/C43.0%)

松藤ら⁶⁾は普通ポルトランドセメントを使用した W/C57% のコンクリートを用いて、また、關ら⁷⁾は普通および中庸熱、低熱ポルトランドセメントを使用した W/C39.5% のコンクリートを用いて、打込みから脱型までの環境温度を変え、環境温度が圧縮強度発現性に与える影響を評価している。これらによれば長期強度に最も影響を及ぼすのは打込みから脱型までの環境温度であり、材齢が長期になるに伴い、また、強度発現の早いセメントほど圧縮強度が低くなることが示されており、今回得られた結果はこれらの既往の結果と同様の傾向を示している。

また、練上り温度、環境温度により強度発現性が低下する原因について、地濃ら^{8) 9)}は超早強、早強、普通および中庸熱ポルトランドセメントを使用し、久我ら¹⁰⁾は普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントを用いて、高温履歴を受けたセメントペーストの水和反応や細孔組織等について実験を行っている。これらによると、材齢24時間までの初期養生において高温で養生された場合、セメントペースト硬化体は、材齢24時間で総細孔量は小さくなるものの、その後養生において、初期に形成された粗大な空隙が埋まらずに長期にわたり残存するため、圧縮強度発現性が鈍化するとしている。

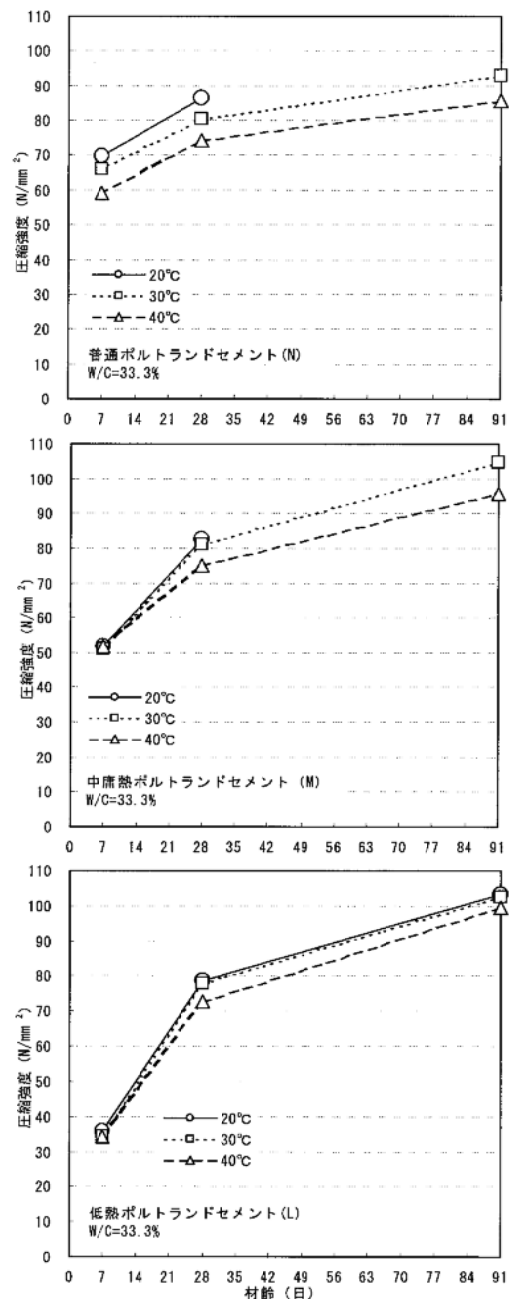


図-4.3.1.3 圧縮強度 (W/C33.3%)

(2) C/W と圧縮強度の関係

セメントの種類毎に材齢 7 日の C/W と圧縮強度を図-4.3.1.4 に、材齢 28 日の C/W と圧縮強度を図-4.3.1.5 に示す。なお、N、M および L については、環境温度毎に近似式を付記した。C/W と圧縮強度の相関係数は全ての近似式で 0.96 以上であり、高い相関性が認められた。

セメントの種類に関わらず、環境温度 20℃と 30℃では、C/W と圧縮強度の関係はほぼ同等であるが、環境温度 40℃では、N の材齢 7 日と材齢 28 日、M の材齢 28 日、L の材齢 28 日の条件で 20℃のものに比べ圧縮強度が低くなっている。BB は環境温度 40℃での材齢 28 日の圧縮強度の差が最も小さく、いずれの材齢においても 20℃の場合とあまり変わらないことから、本実験の範囲では、今回使用した 4 種類のセメントの中で最も温度の影響が小さかった。

N、M および L において、図中の近似式を用いて、環境温度 20℃と 40℃の材齢 28 日における圧縮強度の差がどの程度の W/C に相当するかを推定した。

その結果、N を用いたコンクリートの場合、環境温度 20℃における W/C52.0%と同一の圧縮強度が得られる環境温度 40℃での W/C は 47.0%となり、その差は 5.0%であった。同様に W/C33.3%では 30.4%となり、その差は 2.9%であった。従って、環境温度 40℃の場合、20℃の場合に比べ、W/C を 2.9～5.0%の範囲で低減する必要がある。M および L でも同様に計算すると、環境温度 40℃の場合、20℃の場合に比べ、M は 1.5～3.8%の範囲で、L は 1.5～4.3%の範囲で W/C を低減すれば、20℃の場合と同等の圧縮強度を得られることが計算で示された。

以上の結果より、環境温度 40℃でコンクリートを打設し、その環境温度を 1 日間維持した環境条件下での材齢 28 日の圧縮強度はセメントの種類や W/C でその程度は異なるものの、総じて圧縮強度が低くなるため、20℃の場合と同一圧縮強度を得るためには、W/C を低減させて対応する必要があると考えられる。

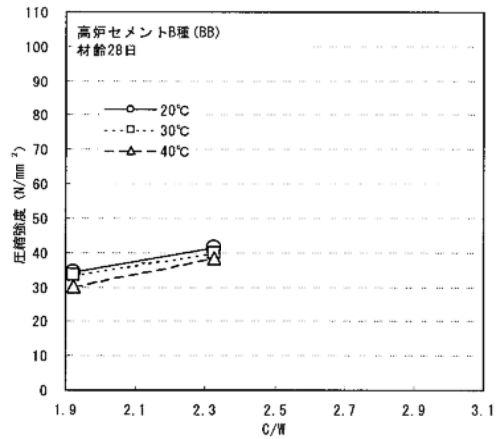
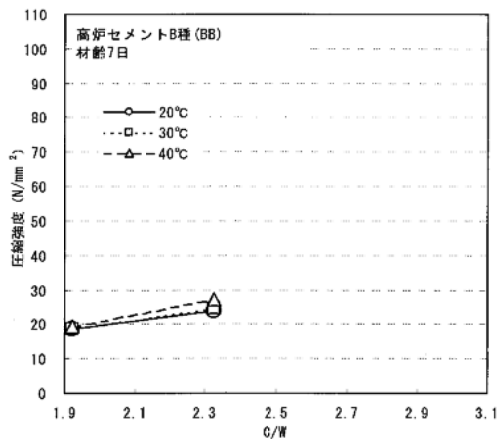
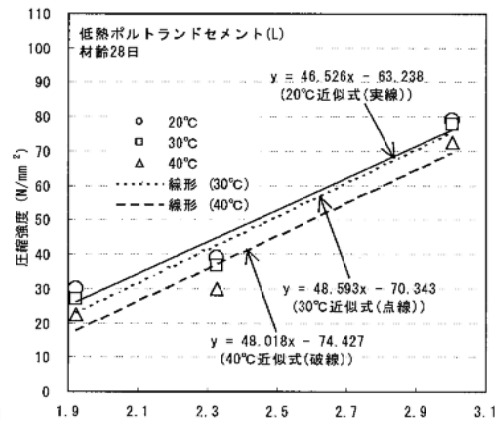
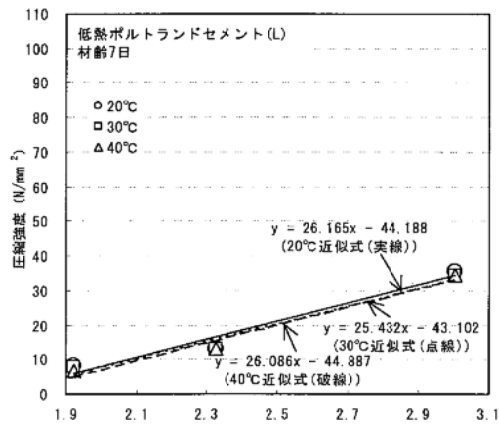
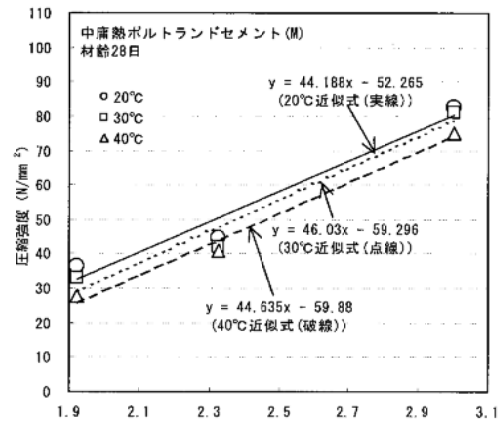
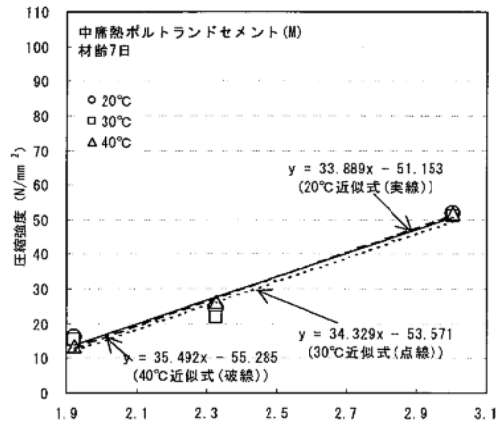
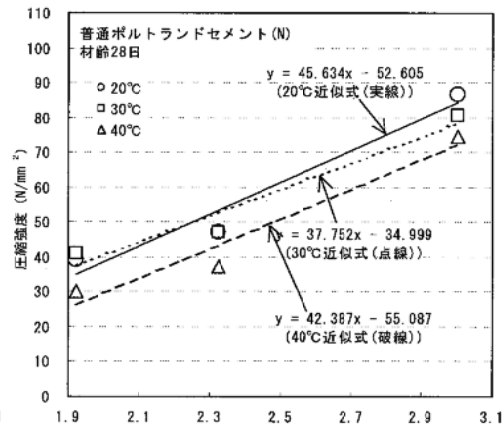
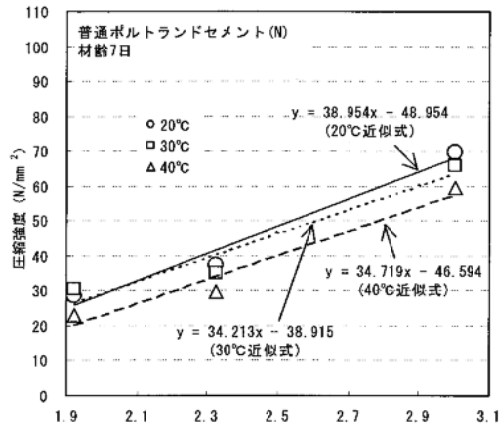


図-4.3.1.4 C/Wと圧縮強度
(材齢7日)

図-4.3.1.5 C/Wと圧縮強度
(材齢28日)

(3) 初期養生条件（脱型時期）が強度発現性に及ぼす影響

コンクリート温度が 35℃を超える高温環境下において，初期養生条件が強度に及ぼす影響を評価するため，環境温度 40℃における脱型時期を変えた場合の圧縮強度を図-4.3.1.6 に示す。なお，養生条件は，脱型までは練上り温度と同一環境温度に保管し，脱型後は標準水中養生とした。

図-4.3.1.6 より，W/C43.0%の配合条件において，セメントの種類に関わらず，材齢 1 日での脱型と材齢 2 日での脱型の違いが圧縮強度に及ぼす影響は殆どなかった。このことにより，環境温度 40℃では，水分の逸散がない状態で保管し，初期養生期間が 2 日以内であれば，圧縮強度への影響は小さいと考えられる。

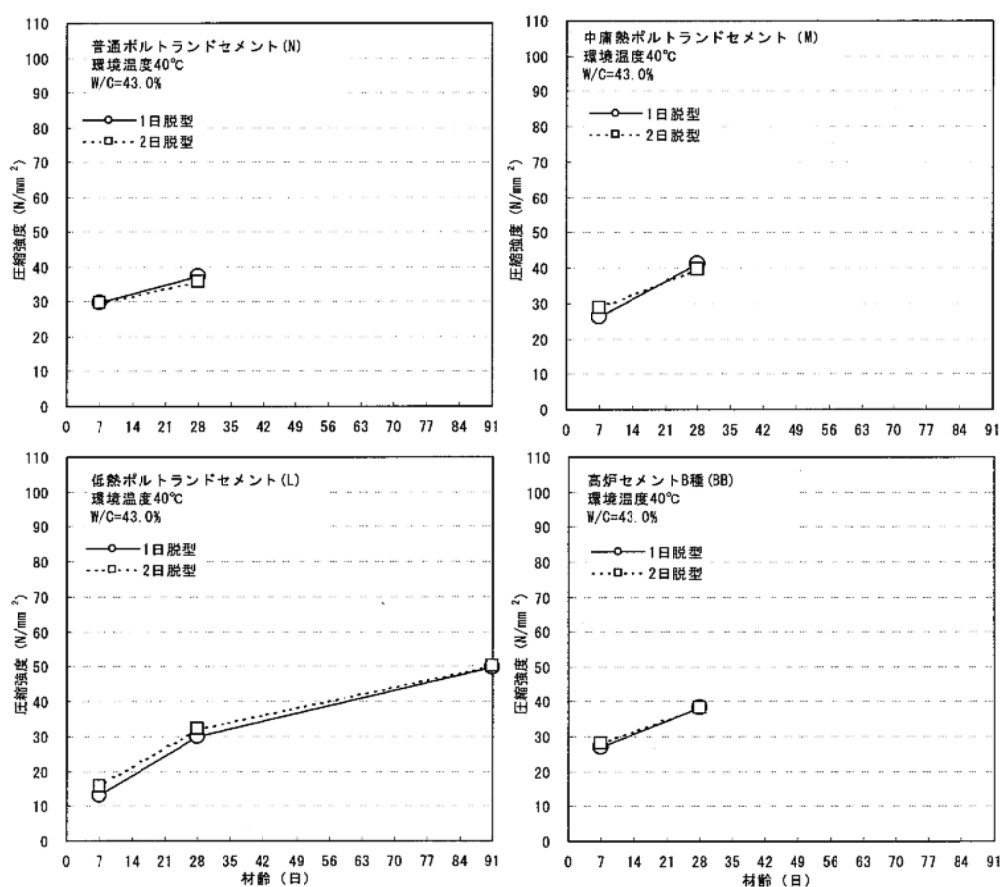


図-4.3.1.6 環境温度 40℃における脱型時期と圧縮強度 (W/C43.0%)

4.3.2 簡易断熱養生

(1) 温度上昇

図-4.3.2.1に30℃および40℃の環境温度を約7日間維持したW/C43.0%のコンクリートにおける簡易断熱養生の供試体中心温度を示す。また、表-4.3.2.1に最大温度到達時間、最大温度および最大温度上昇量を示す。

供試体の最大温度は、環境温度30℃および40℃ともに $N > BB > M > L$ の順に高くなった。最大温度上昇量は、環境温度30℃に比べて40℃の方がセメントの種類に関わらず若干高めに推移し、その差はNで1.9℃、Mで4.5℃、Lで1.0℃、BBで3.0℃となった。最大温度到達時間は、N、MおよびBBで環境温度30℃よりも40℃の方が早く到達し、その差はNで6.3時間、Mで1.2時間、BBで2.7時間となった。Lは、環境温度が40℃よりも30℃の方が最大温度に到達する時間が若干短く1.9時間となった。このことから、Nは他のセメントと比較して、最大温度到達時間の差が大きいため、高温時における環境温度の影響を最も受けやすいセメントであると推察される。

(2) 圧縮強度

表-4.3.2.2および図-4.3.2.2に簡易断熱養生した圧縮強度の結果を示す。なお、養生方法は30℃および40℃の各環境温度で約7日間維持し、供試体は簡易断熱養生後に簡易断熱養生箱から取り出し、20℃の環境下で封かん養生して所定の材齢で試験に供した。

簡易断熱養生を実施したコンクリートの強度発現は、4.3.1で示した標準水中養生と比較して材齢7日で高い値を示したものの、それ以降の材齢で停滞する傾向が認められ、既往の研究¹¹⁾¹²⁾と同様の傾向となった。

表-4.3.2.2より、圧縮強度は、環境温度30℃では材齢7日を除く材齢において $L > M > N > BB$ の順で、環境温度40℃では全ての材齢において概ね $M > L > BB > N$ の順となり、強度発

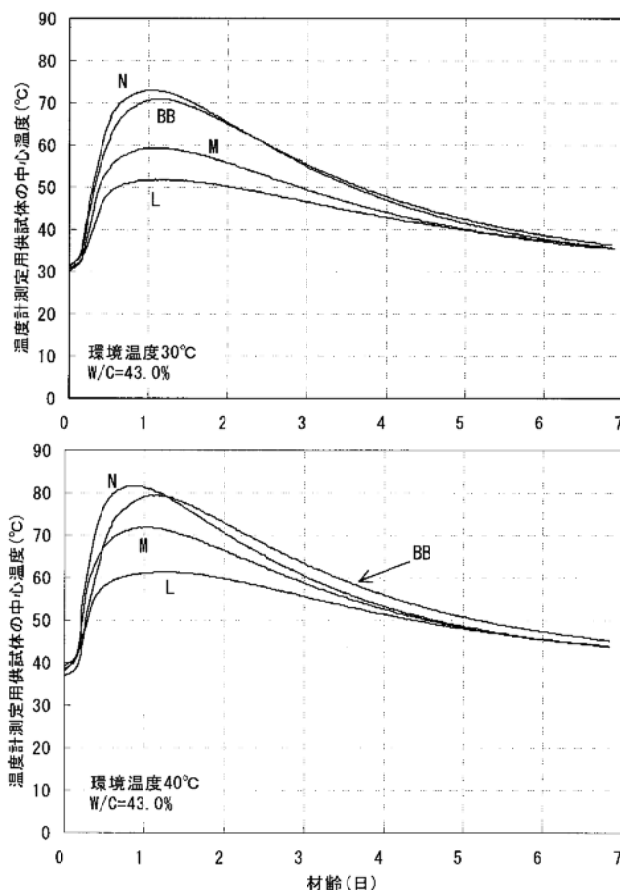


図-4.3.2.1 簡易断熱養生における温度計測
定用供試体の中心温度 (W/C43.0%)

表-4.3.2.1 最大温度到達時間、最大温度および最大温度上昇量

W/C (%)	環境温度 (°C)	セメントの種類	最大温度到達時間 (時間)	最大温度 (°C)	最大温度上昇量 (°C)
43.0	30	N	26.1	73.0	41.7
		M	24.4	59.2	28.9
		L	26.4	51.8	21.1
		BB	27.9	70.9	39.5
	40	N	19.8	81.7	43.6
		M	23.2	71.9	33.4
		L	28.3	61.4	22.1
		BB	25.2	79.4	42.5

現性が遅い M および L 方が圧縮強度は高くなる傾向となった。また、図-4.3.2.2 より、環境温度 30℃と 40℃における圧縮強度の差はセメントの種類によって異なり、材齢の経過とともに大きくなる傾向を示した。この差をセメントの種類で見ると、 $N > L > M \approx BB$ の順となり、4.3.1 で述べた標準水中養生と同様の傾向であった。

表-4.3.2.2 簡易断熱養生した圧縮強度

W/C (%)	環境 温度 (℃)	セメント の種類	材 齢 (日)			
			7	28	56	91
43.0	30	N	39.6	42.6	45.1	46.2
		M	36.4	42.7	46.9	49.9
		L	34.2	44.2	51.0	54.0
		BB	37.3	41.0	43.6	46.0
	40	N	32.8	34.0	33.9	36.5
		M	38.1	42.4	44.9	47.7
		L	36.0	41.6	45.1	46.5
		BB	34.9	38.9	40.3	43.2

単位 N/mm^2

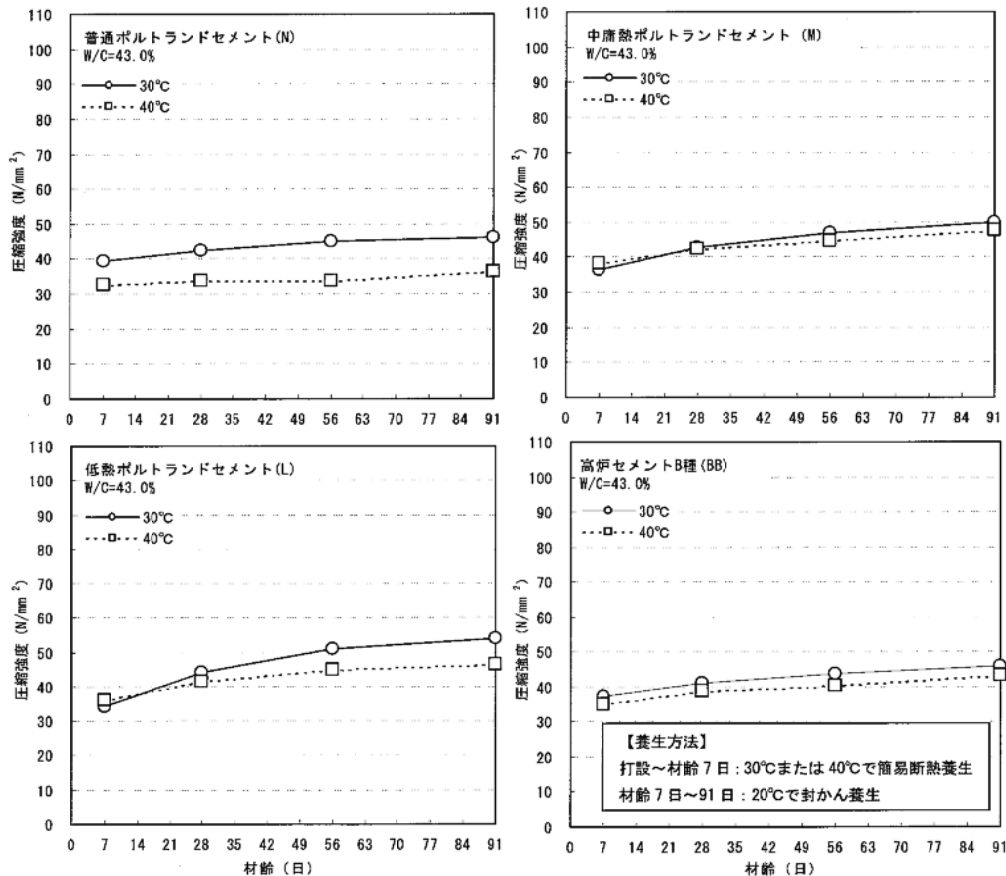


図-4.3.2.2 環境温度 30℃と 40℃の簡易断熱養生した圧縮強度 (W/C43.0%)

最も差が大きかった環境温度 40℃における N の圧縮強度は、測定開始材齢である 7 日から低めに推移し、環境温度 30℃と比較して材齢 7 日で $6.8N/mm^2$ 、材齢 28 日で $8.6N/mm^2$ 、材齢 56 日で $11.2N/mm^2$ 、材齢 91 日で $9.7N/mm^2$ 低くなった。L は材齢 28 日までは環境温度の違いによる影響は殆ど見られないものの、材齢 28 日以降から圧縮強度に差が見受けられ、

環境温度 40℃における材齢 91 日の圧縮強度は、環境温度 30℃に比べ 7.5N/mm²低くなった。M および BB については、環境温度 30℃と 40℃の圧縮強度の差は僅かな値で推移した。

今回行った構造体コンクリートを模擬した簡易断熱養生の環境下では、セメントの種類によって傾向が異なった。これは強度発現性に対して環境温度と温度履歴が関係しているものと推測され、それらの温度が高くなると材齢の経過とともに圧縮強度が低めに推移する傾向が窺える。従って、実環境下にて 35℃を超える高温が想定される場合には、これらに留意して W/C やセメントの種類を適宜選定する必要があると考えられる。

(3) 構造体補正強度

JASS5 によれば、セメントの種類に関わらず、暑中期間における構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ は、特記がない場合は 6N/mm²を標準としている。この構造体強度補正值は、標準水中養生した供試体の材齢 28 日における圧縮強度と構造体コンクリートの材齢 91 日における圧縮強度の差を表す。

これを本試験結果に適用すれば、標準水中養生による材齢 28 日の圧縮強度から簡易断熱養生による材齢 91 日の圧縮強度を差し引いた値となる。

環境温度 30℃および 40℃における各種セメントを使用したコンクリートの標準水中養生の強度と簡易断熱養生の強度との差を算出し図-4.3.2.3 に示した。

前述したように、全てのセメントの種類において、環境温度が 30℃から 40℃となると、簡易断熱養生における材齢 91 日の圧縮強度は低くなった。また、その差はセメントの種類により異なった。すなわち、標準水中養生における材齢 28 日と簡易断熱養生における材齢 91 日の圧縮強度の差を環境温度 30℃と 40℃で比較すると、N で 0.9N/mm²から 10.6N/mm²に、M で -5.1N/mm²から -2.9N/mm²に、L で -15.2N/mm²から -7.7N/mm²に、BB で -4.4N/mm²から -1.6N/mm²となり、いずれも 40℃の方が大きくなった。

また本試験の範囲では、環境温度 40℃で N を用いた W/C43.0%のコンクリートでは、構造体強度補正值が、JASS5 に記述されている $_{28}S_{91}$ の標準値 (6N/mm²) よりも大きくなる可能性があることが判った。一方、M, L および BB は環境温度 40℃において、いずれも標準水中養生による材齢 28 日に比べて簡易断熱養生による材齢 91 日の圧縮強度の方が高く、構造体強度補正值は 0 となった。

以上の結果より、環境温度 40℃では、30℃に比べ、標準水中養生および簡易断熱養生のいずれにおいても、圧縮強度に及ぼす影響が大きくなることが明らかとなった。

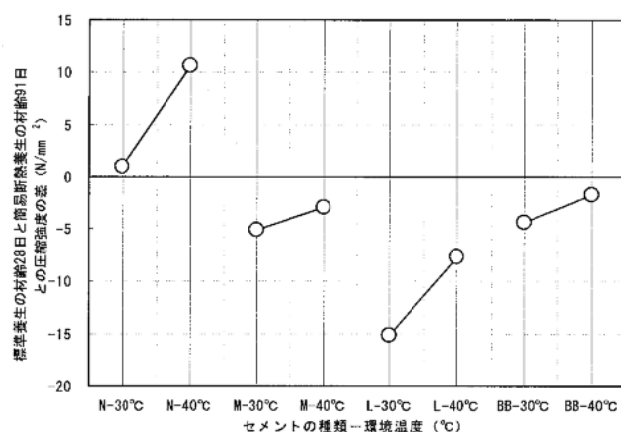


図-4.3.2.3 標準水中養生の材齢28日と簡易断熱養生の材齢91日との圧縮強度の差 (W/C43.0%)

5. 結言

今後の留意すべき暑中コンクリート対策のための基礎的資料を得ることを目的として、環境温度が 20℃、30℃および 40℃におけるコンクリートの各種性状を調査した。

普通 (N)、中庸熟 (M)、低熟 (L) の各ポルトランドセメントおよび高炉 B 種 (BB) の合計 4 種類のセメントを使用し、コンクリートの W/C は 52.0%、43.0%および 33.3%の 3 水準として、コンクリートのフレッシュ性状ならびに標準水中養生と構造体コンクリートを模擬した簡易断熱養生による強度発現性について実験を行った。また環境温度が 40℃にて、脱型材齢を 1 日および 2 日とし、初期養生条件の強度発現性に及ぼす影響についても加えて検討した。

本研究により得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) コンクリートのフレッシュ性状

①練上りコンクリート温度が単位水量に及ぼす影響

W/C52.0%の場合、練上りコンクリート温度が 40℃では、30℃のものと比べ、同一スランブを得るための単位水量は殆ど変わらなかった。しかし、W/C43.0%の場合、練上りコンクリート温度が 40℃では、30℃のものと比べ、L を除くセメントで同一スランブを得るための単位水量が 14~20kg/m³ の範囲で増加した。

②練上りコンクリート温度が高性能減水剤添加率に及ぼす影響

W/C33.3%の場合、練上りコンクリート温度が 40℃では、30℃のものと比べ、同一スランブフローを得るための高性能 AE 減水剤添加率は、全てのセメントで小さくなるものの、その割合は小さかった。

③経時変化

20℃、30℃および 40℃の環境温度で経過時間 60 分までの経時変化を測定した。

a. スランブまたはスランブフロー

W/C52.0%の場合、環境温度 40℃では、30℃のものと比べ、スランブの低下が大きくなった。しかし、W/C43.0%の場合、両者に差はなかった。これは、環境温度 40℃において 30℃の場合よりも単位水量および単位セメント量が大幅に多くなったことが一因と考えられる。また、本実験の範囲では、N は、M、L および BB を用いたものよりも、スランブまたはスランブフローの経時変化が大きかった。

b. 空気量

環境温度に関わらず、空気量の経時変化は配合やセメントの種類の違いによってあまり変化がなかった。

(2) 圧縮強度発現性

①標準水中養生

環境温度が 20℃および 30℃では、セメントの種類や W/C に関らず、標準水中養生時の圧縮強度は同等となった。しかし、環境温度が 40℃になると、強度の増進が小さくなり、N は材齢 7 日以降、他のセメントは材齢 28 日以降で他の環境温度より圧縮強度が低くなった。

②同一圧縮強度を得るための W/C

環境温度 40℃において、C/W と圧縮強度の関係より、環境温度が 20℃のときの圧縮強度と同一強度を得られる W/C を推定した。その結果、N は 2.9～5.0%，M は 1.5～3.8%，L は 1.5～4.3% の範囲で W/C を低減すれば同等の圧縮強度が得られることが計算で示された。

③初期養生条件の影響

環境温度 40℃において、W/C43.0% の配合で脱型材齢を 1 日と 2 日としたときの圧縮強度はいずれも同等となり、供試体からの水分の逸散がない状態で適切に保管すれば、初期養生期間の違いが圧縮強度に及ぼす影響は殆どないことが明らかとなった。

④簡易断熱養生

環境温度 30℃および 40℃にて、W/C43.0% のコンクリートの簡易断熱養生を行い、温度上昇量と圧縮強度を測定した。

a. 温度上昇量

環境温度 30℃および 40℃のいずれも、最大温度は、 $N > BB > M > L$ の順で高くなった。また、環境温度 40℃では、30℃のものに比べて最大温度上昇量が 1.0～4.5℃高くなった。

b. 圧縮強度

圧縮強度は、環境温度 30℃では材齢 7 日を除く材齢において $L > M > N > BB$ の順で、環境温度 40℃では全ての材齢において概ね $M > L > BB > N$ の順となり、強度発現性が遅い M および L の方が圧縮強度は高くなる傾向となった。また、環境温度 30℃と 40℃の圧縮強度の差は、 $N > L > M \approx BB$ の順となり、標準水中養生と同様の傾向であった。環境温度 40℃では、30℃に比べて、材齢 91 日の圧縮強度が、N は 9.7N/mm^2 、L は 7.5N/mm^2 低くなった。M および BB は、環境温度 30℃と 40℃の圧縮強度の差は相対的に小さかった。

c. 構造体強度補正值

標準水中養生材齢 28 日の圧縮強度と簡易断熱養生材齢 91 日の圧縮強度との差は、 $N > BB > M > L$ の順となり、また、環境温度 40℃の方が、30℃のものよりも大きくなった。

環境温度 40℃における W/C43.0% のコンクリートの構造体強度補正值 ($_{28}S'_{91}$) は、N は 10.6N/mm^2 、M、L および BB は 0N/mm^2 のとなり、セメントの種類で異なることが明らかとなった。

以上より、環境温度が 40℃では、30℃に比べ、コンクリートのフレッシュ性状や強度発現性に及ぼす影響が大きくなることおよびセメントの種類によりその影響は異なることが明らかとなった。

本報告が今後の暑中コンクリート対策の際の参考資料の一つとして役立てば幸いである。

参考文献

- 1) 小山智幸, 小山田英弘, 伊藤是清: 暑中コンクリートの現状と対策, コンクリート工学, Vol. 50, No. 3, pp. 239~244, 2012 年 3 月
- 2) 日本建築学会近畿支部 大阪広域生コンクリート協同組合: 暑中コンクリート工事に関する技術の現状と夏期対策, 2010 年 6 月
- 3) 松藤泰典, 小山智幸: 日本建築学会・暑中コンクリートの施工指針 改定, セメント・コンクリート, No. 650, pp. 36~43, 2001. 4
- 4) 土木学会: 2007 制定 コンクリート標準示方書 施工編, p. 170, 2007 年 12 月
- 5) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同会説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2009, p. 60, 2009 年 1 月
- 6) 松藤泰典, 大久保孝昭, 原田志津男, Victor SAMPEBULU: 暑中環境下で製造・施工されるコンクリートの強度性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 10, No. 2, pp. 277~280, 1988
- 7) 關裕司, 三本巖, 女屋英明, 斉藤丈士: 打込みから養生までの温度の違いが硬化コンクリートの品質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 1, pp. 527~532, 2010
- 8) 地濃茂雄, 川瀬清孝: 暑中環境下コンクリートの凝結硬化・強度発現性状に関する考察, 自然環境とコンクリート性能に関するシンポジウム 論文集, JCI-C32, pp. 1~8, 1993 年 5 月
- 9) 地濃茂雄, 仕入豊和: 練混ぜ時および養生初期に高温下にあるコンクリートの長期強度増進性の改善方法に関する研究—初期の水和温度の制御からの検討—, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 350 号, pp. 1~8, 昭和 60 年 4 月
- 10) 久我 龍一郎, 森 寛晃, 鶴澤 正美: 初期高温履歴を受けた高炉スラグ微粉末添加セメントの水和に及ぼす養生条件の影響, 材料, Vol. 60, No. 8, pp. 693~700, 2011
- 11) 西田朗, 橘大介, 江原恭二, 熊谷仁志: 高強度コンクリートの高層建築物への適用に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 375~380, 1993
- 12) 西田朗, 森田武, 大田達見: 暑中環境における高強度コンクリートの諸性状, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No. 1, pp. 1111~1116, 2005

関係報告

報告書番号	発行年月	専門委員会報告名
F-1	昭和28年5月	最近のポルトランドセメントを用いたコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係に関する報告(I)
F-2	昭和29年5月	最近のポルトランドセメントを用いたコンクリートのセメント水重量比と圧縮強さの関係に関する報告(II)
F-3	昭和30年5月	最近のポルトランドセメントを用いたコンクリートのセメント水重量比と圧縮強度の関係に関する報告(III)
F-4	昭和31年5月	最近のポルトランドセメントを用いたコンクリートのセメント水重量比と曲げおよび圧縮強さとの関係に関する報告
F-5	昭和32年5月	最近のポルトランドセメントを用いたコンクリートのセメント水重量比と圧縮強度および引張強さ係数との関係に関する報告
F-6	昭和33年5月	最近のポルトランドセメントを用いた舗装用コンクリートを対象とするAEコンクリートのセメント水重量比と曲げおよび圧縮強度との関係に関する報告
F-7	昭和34年5月	各種セメントを用いた舗装用AEコンクリートのセメント水重量比と強度との関係に関する報告(その2 早強および中庸熟ポルトランドセメント)
F-8	昭和35年4月	各種セメントを用いた舗装用AEコンクリートのセメント水重量比と強度との関係に関する報告(その3 高炉セメント)
F-9	昭和36年4月	各種セメントを用いた舗装用AEコンクリートのセメント水重量比と強度との関係に関する報告(その4 シリカセメントおよびフライアッシュセメント)
F-10	昭和36年4月	コンクリート強度におよぼす細骨材の影響に関する共同試験報告
F-11	昭和36年4月	コンクリート圧縮強度におよぼす試験方法の影響に関する共同試験報告
F-12	昭和37年5月	コンクリート圧縮強度におよぼす試験方法の影響に関する共同試験報告(その2)
F-13	昭和38年3月	コンクリート圧縮強度におよぼす試験方法の影響に関する共同試験報告(その3)
F-14	昭和39年6月	各種のセメントを用いたコンクリートの圧縮強度に関する共同試験報告(その1)
F-15	昭和40年8月	各種のセメントを用いたコンクリートの圧縮強度に関する共同試験報告(その2)
F-16	昭和41年9月	スランブの相違をも含めたコンクリートのセメント水比と圧縮強度との関係に関する報告
F-17	昭和42年4月	各種のセメントを用いたコンクリートの長期強度に関する共同試験報告
F-18	昭和42年9月	硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告
F-19	昭和43年5月	高配合かた練りコンクリートのセメント水比と圧縮強度および引張強度との関係に関する報告
F-20	昭和43年10月	砕石を用いた舗装用コンクリートの圧縮強度および曲げ強度に関する報告
F-21	昭和44年9月	砕石を用いた軟練りコンクリートの配合および強度に関する報告
F-22	昭和45年9月	舗装用コンクリートの曲げ強度および引張強度に関する共同試験報告
F-23	昭和46年3月	硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告(その2)
F-24	昭和47年9月	コンクリートの強度試験方法に関する共同試験報告(その1) I 圧縮強度試験におけるキャッピング材料およびキャッピング方法 II 引張強度試験における支承材の有無および支承材の材質 III 曲げ強度試験における供試体の寸法および載荷方法
F-25	昭和48年10月	レデーミクストコンクリート工場の回収水を用いたコンクリートに関する共同試験報告

報告書番号	発行年月	専門委員会報告名
F-26	昭和50年9月	レデーミクストコンクリート工場の回収水を用いたコンクリートに関する共同試験報告(Ⅱ) 1.回収水使用コンクリートの性質に及ぼす温度の影響 2.減水剤を用いたコンクリートに及ぼす回収水の影響 3.スラッジの経過日数がコンクリートの性質に及ぼす影響 4.回収水とスラッジの品質調査
F-27	昭和50年9月	レデーミクストコンクリート工場の回収水を用いたコンクリートに関する共同試験報告(Ⅲ) 回収水使用コンクリートの性質に及ぼすスラッジ組成の影響 (付)F-25における中性化試験の中間報告
F-28	昭和51年12月	細骨材の品質調査報告
F-29	昭和52年10月	粗骨材の品質調査報告
F-30	昭和52年9月	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する促進試験報告
F-25 追加報告	昭和53年4月	レデーミクストコンクリート工場の回収水を用いたコンクリートに関する共同試験 コンクリートの中性化試験結果
F-31	昭和54年6月	粗骨材の品質がコンクリートの諸性質におよぼす影響
F-32	昭和56年3月	細骨材の品質がコンクリートの諸性質におよぼす影響
F-33	昭和56年3月	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究 —材齢5年中間報告(その1)—
F-34	昭和57年5月	最近のセメントによるコンクリートの初期強度に関する共同試験報告(その1) —普通ポルトランドセメントおよび早強ポルトランドセメントを用いた場合—
F-35	昭和57年7月	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究 —材齢5年中間報告(その2)—
F-36	昭和58年2月	最近のセメントによるコンクリートの初期強度に関する共同試験報告(その2) —高炉セメントB種およびフライアッシュセメントB種を用いた場合—
F-37	昭和59年3月	コア供試体の圧縮強度におよぼす各種試験要因の影響
F-38	昭和60年7月	初期の乾燥がコンクリートの諸性質におよぼす影響
F-39	昭和61年6月	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究 —材齢10年中間報告(その1)—
F-40	昭和62年8月	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究 —材齢10年中間報告(その2)—
F-41	昭和63年4月	コンクリートによる高炉スラグ微粉末の混合率に関する研究
F-42	昭和63年1月	コンクリートによるアルカリ反応性骨材の膨張特性に関する研究(その1) —40℃湿空条件における試験結果—
F-43	1989年8月	コンクリートによるアルカリ反応性骨材の膨張特性に関する研究(その2) —屋外暴露および20℃海水反復浸漬条件における試験結果—
F-44	1989年9月	コンクリートによるアルカリ・シリカ反応の防止に関する研究
F-45	1991年6月	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究 —材齢15年中間報告—
F-46	1992年10月	石灰石骨材コンクリートに関する研究
F-47	1994年3月	石灰石骨材のアルカリ炭酸塩岩反応に関する調査・研究

報告書番号	発行年月	専門委員会報告名
F-48	1998 年 4 月	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究 材齢 20 年最終報告
F-49	1999 年 3 月	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究 ーセメントの種類、養生条件および海洋暴露条件の影響(材齢 10 年試験)ー
F-50	1999 年 3 月	コンクリートの断熱温度上昇試験方法に関する研究
F-51	2002 年 3 月	各種セメントを用いたコンクリートの初期強度発現および断熱温度上昇
F-52	2006 年 3 月	各種低発熱セメントを用いたコンクリートの海洋環境下での鉄筋の腐食に関する研究 材齢 5 年報告
F-53	2006 年 3 月	蒸気養生条件がコンクリートの強度発現に及ぼす影響
F-54	2008 年 3 月	寒冷地に暴露した AE コンクリートの耐凍害性 - 材齢 20 年報告 -
F-55	2008 年 3 月	各種セメントを用いたコンクリートの耐久性に関する研究
F-56	2010 年 3 月	各種低発熱セメントを用いたコンクリートの海洋環境下での鉄筋の腐食に関する研究 材齢 10 年最終報告
F-55(追補)	2011 年 3 月	各種セメントを用いたコンクリートの耐久性に関する研究 (コンクリートの乾燥収縮に関する実験結果)
F-57	2012 年 6 月	各種セメントを用いた暑中コンクリートの諸性質に関する研究

ISBN978-4-88175-114-5 C3358 ¥1000E

コンクリート専門委員会報告 F57

定価： 本体 1,000 + 税

平成 24 年 6 月 22 日	印刷	社団法人 セメント協会
平成 24 年 6 月 29 日	発行	東京都中央区日本橋本町1丁目9番4号
		Daiwa 日本橋本町ビル7階
		電話 03 (5200) 5051 (代)
		発行所 社団法人 セメント協会 研究所
		東京都北区豊島4丁目17番33号
		電話 03 (3914) 2691 (代)
		印刷所 有限会社 イー・エム・ピー
		東京都千代田区三崎町二丁目14番地6号 T.M 水道橋ビル2F
		電話 03 (3265) 6050

JCA