

コンクリート専門委員会報告
REPORT OF THE TECHNICAL COMMITTEE ON CONCRETE
F-53

蒸気養生条件がコンクリートの強度発現に及ぼす影響

A Study on the Strength Development of Concrete
under Different Steam Curing Conditions

2006年3月
(March 2006)

社団法人 セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

要旨

普通ポルトランドセメント(N)、早強ポルトランドセメント(H)および高炉セメントB種(BB)を用い、蒸気養生条件を変化させてコンクリートの圧縮強度発現を調べる実験を実施した。コンクリートの配合は、スランブを12cm、水セメント比を45%とし、連行空気を導入しないNon-AEコンクリートを基本としたが、一部にAEコンクリートを追加し、その影響を確認した。蒸気養生条件については、前養生時間(前置き時間)、昇温速度、最高温度、最高温度保持時間を変化させてその影響を調べた。

その結果、蒸気養生条件における各要因の中でも前養生時間の影響が卓越すること、前養生時間が短い場合には、混和剤(高性能減水剤)使用量や昇温速度、最高温度など他の蒸気養生条件の相違によって蒸気養生強度は大きく影響され、著しい強度低下を示す場合があること、その強度低下は材齢の進行によっても回復しないこと、などの結果が得られた。前養生時間が十分な場合には、N、BBでは最高温度が高く、またその保持時間が長いほど、すなわちマチュリティーが大きいほど、材齢1日(脱型時)の蒸気養生強度の発現が良好な結果となった。ただしこれらの影響は材齢経過とともに明瞭でなくなる傾向にあった。一方Hを用いた場合には、材齢1日においても最高温度やその保持時間が蒸気養生強度に及ぼす影響は認められなかった。また蒸気養生後気中養生期間を経た場合は、その後水分供給を行っても強度増進効果はあまり期待できないことが判明した。

AEコンクリートの場合、前養生時間が過少な場合の影響はNon-AEコンクリートよりも大きい。十分な前養生時間をとった場合には、標準養生28日強度に対する蒸気養生強度の比率はNon-AEコンクリートとほぼ同様となった。

セメント種類の影響については、Nを用いた場合と比較して、Hを用いた場合は蒸気養生強度の発現(標準養生28日強度に対する比率)は良好であり、また最高温度やその保持時間など蒸気養生条件の相違が蒸気養生強度の発現に及ぼす影響は小さい傾向にあった。BBを用いた場合は、蒸気養生強度の発現はNに比べてやや小さい傾向にあり、また最高温度やその保持時間など蒸気養生条件の相違が蒸気養生強度の発現に及ぼす影響はNに比べてやや大きい傾向にあった。

ABSTRACT

Compression tests were conducted on concretes made using normal portland cement (N), high-early-strength portland cement (H), and Type-B blast-furnace slag cement (BB) under different steam-curing conditions. These concretes, basically plain concretes with no air entrainment, were proportioned with a water-cement ratio of 45% and a target slump of 12 cm. Air-entrained concretes were also partially used to confirm the effect of entrained air. Steam curing conditions were varied by changing the preliminary curing time (time before steam curing), temperature-rise rate, maximum temperature, and maximum temperature retention time.

The test results revealed that the effect of preliminary curing time predominates over other factors of steam-curing conditions; that an insufficient preliminary curing time causes the strength to be sensitive to other factors, such as the superplasticizer dosage, temperature rise rate, and maximum temperature, leading to significant strength losses in certain cases; and that such strength losses cannot be recovered over time. With a sufficient preliminary curing time, the steam-cured strength of specimens made using N and BB increased at an age of 1 day (at the time of demolding) as the maximum temperature and maximum temperature retention time increased, i.e., as the maturity increased. However, their effects tended to become unclear over time. On the other hand, no such effects of the maximum temperature and maximum retention time on the steam-cured strength were observed in specimens made using H at an age of 1 day. It was also found that a period of air curing after steam curing causes the concrete to develop little strength thereafter even with a subsequent water supply.

The strength of air-entrained concrete was more strongly affected by insufficient preliminary curing time than concrete with no air entrainment. When the preliminary curing time was sufficient, however, the ratio of the steam-cured strength to the standard-cured strength of air-entrained concrete at 28 days was nearly the same as that of non-air-entrained concrete.

The strength development of steam-cured concrete (the ratio to standard-cured strength at 28 days) made using H was greater than that of concrete made using N. Also, it generally tended to be less sensitive to the differences in the steam-curing conditions than concrete made using N. The steam-cured strength of concrete made using BB tended to be slightly lower and slightly more sensitive to changes in the steam curing conditions than concrete made using N.

序

本研究は、最近のセメントを用いて、蒸気養生条件と強度に関する基礎データを収集・検討することにより、コンクリート製品関連の技術的検討における基礎的資料を提供する目的で開始したものである。

ここに、検討結果を報告するものである。

2006年 3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	太平洋セメント株式会社	栩木 隆
委員	住友大阪セメント株式会社	草野 昌夫
		(岡本 英明 2005年10月 交替)
	電気化学工業株式会社	川原 正秀
	株式会社トクヤマ	土井 宏行
	株式会社宇部三菱セメント研究所	大西 利勝
	新日鐵高炉セメント株式会社	兼安 真司
	株式会社宇部三菱セメント研究所	高尾 昇
	社団法人セメント協会	村田 芳樹
		野田 潤一

目次

1. 緒言	1
2. 使用材料	2
2.1 セメント	2
2.2 骨材	3
2.3 練混ぜ水	4
2.4 混和剤	4
3. 試験条件	5
3.1 コンクリートの配合	5
3.2 コンクリートの練混ぜおよび成形	5
3.3 養生	6
3.4 測定項目および測定方法	7
3.5 試験条件一覧	7
3.6 蒸気養生時の温度履歴	9
4. 実験結果と考察	11
4.1 配合とフレッシュコンクリートの性質	11
4.2 圧縮強度試験結果	14
4.3 標準養生 28 日強度	18
4.4 蒸気養生強度	22
4.4.1 標準養生に対する蒸気養生の強度比	22
4.4.2 試験所による影響	22
4.4.3 養生条件の影響	23
4.4.4 AE コンクリートの場合	26
4.4.5 マチュリティーの影響	26
4.4.6 材齢 14 日以降の強度の伸び	26
4.4.7 セメント種類の影響	27
5. 結言	56
参考文献	58
資料編	59

1. 緒言

コンクリート製品の製造にあたっては、型枠の回転率向上や製品の早期出荷のためコンクリートの早期強度の確保が必要となる。そのための最も一般的な方法として、常圧蒸気養生が多くのコンクリート製品工場で採用されている。蒸気養生を行う際の各種条件、すなわちコンクリートの練上がりから昇温開始までの前養生時間、昇温速度、最高温度などがコンクリートの強度発現に及ぼす影響については、これまでも多くの研究が行われているが、セメントの種類や蒸気養生条件を変化させて体系的に行った最近の報告例は少ない。

そこで、今般、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を用い、蒸気養生条件を変化させてコンクリートの圧縮強度発現を調べる実験を実施した。コンクリートの配合は、スランブを12cm、水セメント比を45%とし、連行空気を導入しないNon-AEコンクリートを基本としたが、一部にAEコンクリートを追加し、その影響を確認した。蒸気養生条件については、前養生時間、昇温速度、最高温度、最高温度保持時間を変化させてその影響を調べた。実験は、本専門委員会を構成する7試験所にて分担して実施し、1種類のセメントについて2ないし3試験所が担当した。

本報告は、以上の実験の結果をまとめたものであり、蒸気養生条件がコンクリートの強度発現に及ぼす影響、その際のセメント種類の影響、Non-AEコンクリートとAEコンクリートの差異などについて検討した結果について述べるものである。

なお本実験は、Non-AEコンクリートにより蒸気養生条件の影響を調べたシリーズ1、前養生時間の影響に関する追加実験および一部の条件についてAEコンクリートによる検討を行ったシリーズ2から構成されている。

2. 使用材料

2.1 セメント

セメントは、市販の普通ポルトランドセメント(記号 N)、早強ポルトランドセメント(記号 H)および高炉セメント B 種(記号 BB)の 3 種類を使用した。なお、各種セメントはそれぞれ 3 銘柄を任意に選び、等量混合して試料とした。それらセメントの化学成分および物理的性質を、表-2.1.1 および表-2.1.2 に示す。

表-2.1.1 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	2.05	0.16	20.69	5.56	2.89	64.09	1.19	2.06	0.25	0.41	0.52	0.015
H	1.25	0.07	20.45	4.80	2.63	65.06	1.26	3.20	0.27	0.34	0.50	0.004
BB	1.46	0.13	25.66	9.15	1.68	54.97	3.18	2.04	0.24	0.33	0.46	0.009

表-2.1.2 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)		1日	3日	7日	28日	7日	28日
N	3.15	3290	28.2	2-13	3-26	良	—	29.6	45.8	64.9	332	387
H	3.13	4330	31.2	1-50	3-00	良	27.4	46.3	56.8	68.9	—	—
BB	3.03	3890	29.5	2-20	3-34	良	—	22.5	35.1	63.6	—	—

2.2 骨材

骨材は、各試験所が所有するものを使用した。

本実験で使用した粗骨材、細骨材の粒度およびその物性を表-2.2.1、表-2.2.2 に示す。

表-2.2.1 骨材の粒度

分類	試験所	種類	産地	ふるい通過量(%)								粗粒率		
				20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3		0.15	
粗骨材	A	碎石	硬質砂岩	山口県山口市宮野	99	85	28	1	0	—	—	—	—	6.72
	B		硬質砂岩	北九州市門司	99	89	44	5	0	—	—	—	—	6.52
	C		硬質砂岩	茨城県岩瀬	97	79	33	3	0	—	—	—	—	6.67
	D		硬質砂岩	埼玉県秩父市両神	95	71	42	2	0	—	—	—	—	6.61
	E		硬質砂岩	茨城県岩瀬	99	99	38	4	0	—	—	—	—	6.59
	F		硬質砂岩	新潟県糸魚川市	94	81	33	3	0	—	—	—	—	6.70
	G		硬質砂岩	山口県山口市宮野	99	89	41	1	0	—	—	—	—	6.59
細骨材	A	海砂	福岡県博多	—	—	100	100	91	67	42	24	5	2.71	
	B	海砂	福岡県栗ノ上	—	—	100	99	91	68	42	23	2	2.75	
	C	山砂	静岡県掛川	—	—	—	100	83	61	44	27	9	2.76	
	D	山砂	千葉県木更津市	—	—	100	94	83	71	56	31	3	2.62	
	E	山砂	静岡県菊川市	—	—	—	100	91	66	45	26	9	2.63	
	F	砕砂	新潟県糸魚川市	—	—	—	100	94	64	39	22	11	2.70	
	G	海砂 陸砂	福岡県玄海灘(86) 福岡県遠賀町(14)	—	—	100	100	96	76	40	16	2	2.70	

注) ()内の数値は混合割合(質量比 %)を示す。

表-2.2.2 骨材の物性

分類	試験所	密度 (g/cm ³)		単位容 積質量 (kg/m ³)	実積率 (%)	吸水率 (%)	微粒 分量 (%)	塩分 含有量 (%)
		表乾	絶乾					
粗骨材	A	2.70	2.69	1600	59.5	0.51	0.0	—
	B	2.71	2.70	1667	61.7	0.33	0.5	—
	C	2.65	2.64	1600	60.7	0.54	0.1	—
	D	2.71	2.69	1660	61.6	0.71	0.5	—
	E	2.65	2.63	1590	60.7	0.60	0.0	—
	F	2.66	2.63	1600	60.7	1.34	0.4	—
	G	2.69	2.68	1630	60.9	0.47	0.6	—
細骨材	A	2.57	2.52	1620	64.3	1.97	0.2	0.005
	B	2.58	2.54	1718	66.7	1.51	1.6	0.007
	C	2.58	2.54	1720	67.6	1.37	1.5	—
	D	2.62	2.58	1750	67.6	1.41	0.9	—
	E	2.62	2.58	1725	66.9	1.70	1.6	—
	F	2.63	2.57	1700	66.1	2.11	1.8	—
	G	2.57	2.55	1610	63.9	1.49	0.3	0.006

2.3 練混ぜ水

練混ぜ水は、上水道水を使用した。

2.4 混和剤

混和剤は高性能減水剤(マイティ 150 : 花王社製)、AE 剤(マイティ AE03 : 花王社製)を使用した。

3. 試験条件

3.1 コンクリートの配合

Non-AE コンクリートの配合は、表-3.1.1 に示す配合条件に従い、各試験所にて定めた。配合選定にあたっては、各試験所の実績を参考に、単位水量の目標を 160 kg/m^3 、高性能減水剤使用量の範囲をセメント質量の $1 \pm 0.4\%$ と設定し、目標スランプが得られない場合は単位水量を調整することとした。細骨材量および粗骨材量(細骨材率)の選定は、各試験所の実績に応じて実施することとした。

また AE コンクリートの配合は、Non-AE コンクリートの場合と高性能減水剤使用量を同一とし、単位水量を減ずることにより目標スランプを得ることとした。また粗骨材量は Non-AE コンクリートの場合と同一とし、細骨材量を変化させた。

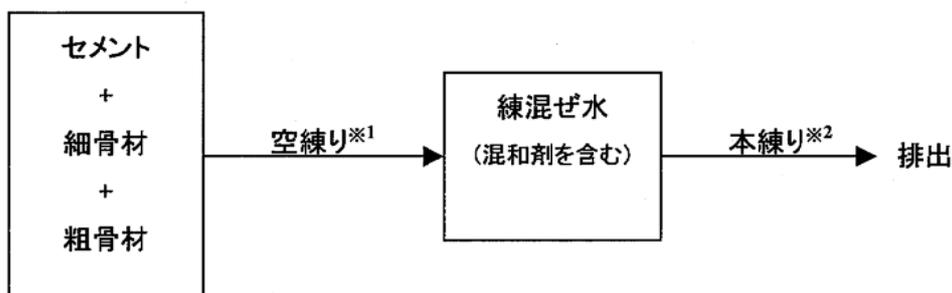
表-3.1.1 配合条件

コンクリートの種類	粗骨材最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	スランプ (cm)	目標空気量	練上がり温度
Non-AE コンクリート	20	45	12 \pm 1.5	2.0%の空気量を見込む	20℃目標
AE コンクリート				4.5 \pm 0.5%	

3.2 コンクリートの練混ぜおよび成形

練混ぜは、各試験所にて使用しているミキサ(強制二軸型、または強制パン型)を用い、各試験所それぞれで、通常用いている練混ぜ方法により実施した。練混ぜの方法を図-3.2.1 に示す。

供試体の成形は、JIS A 1132「コンクリートの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」に従って行った。



※1 試験所 D,F : 15 秒、 試験所 A,B,C,E,G : 30 秒

※2 試験所 A,B,C,D,E,G : 60 秒、 試験所 F : 120 秒

図-3.2.1 コンクリートの練混ぜ方法

3.3 養生

供試体は成形から蒸気養生(または標準養生)開始前まで、ビニールまたはラップフィルム等で被覆し、型枠上面からの水分蒸発を防止し、 $20^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ の恒温室に静置した。

蒸気養生条件は表-3.3.1 に示す要因と水準により実施した。なおここでは、コンクリートの練上がりから蒸気養生における昇温開始までを前養生、前養生の時間を前養生時間、その時の温度を前養生温度と記述することとする。

前養生温度、前養生時間、昇温速度、最高温度については、土木学会のコンクリート標準示方書[施工編]解説¹⁾に記載されている例を参考にして設定し、Non-AE コンクリートの場合について、十分な前養生時間をとった標準的な養生条件として、前養生時間 4 時間、昇温速度 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、最高温度 65°C 、最高温度保持時間 4 時間の条件を設定し、この条件に対して前養生時間を短くした水準や昇温速度を大きくした水準、最高温度を高くした水準などを加えて、蒸気養生条件が過酷な傾向になった場合の影響を調べることにした(シリーズ 1)。

なおシリーズ 1 において、前養生時間が短い(1 時間)場合でも強度低下があまり見られない試験所と、顕著な強度低下が見られた試験所とが認められた。そこで、前養生時間が短くても強度低下があまり見られなかった試験所において、Non-AE コンクリートを AE コンクリートに変えた場合どのような結果になるか、また前養生時間が短い場合に顕著な強度低下が見られた試験所において、どの程度の前養生時間を確保すれば強度低下を防げるかを確認することとした(シリーズ 2)。

蒸気養生終了後(脱型後)はただちに気中養生を所定材齢まで実施したが、その際の養生条件は、温度 20°C 、湿度範囲 60%~75%(可能な限り 60%近傍で実施)とした。なおシリーズ 2 では、蒸気養生後 14 日間 20°C 気中養生を行った後、材齢 28、56 日まで 20°C 水中養生を行った条件を加えた。これは蒸気養生終了後のコンクリート製品が屋外でストックされ、雨水等により水分供給された場合を想定したもので、蒸気養生後、湿潤養生を行わず乾燥期間を経た後に水分の供給が行われた場合に、コンクリートの圧縮強度がどのように推移するかを確認するために実施したものである。

なお本実験では、試験所の相違による影響や各バッチ間の強度差を考慮できるように、バッチごとに標準養生を行う供試体を 3 本ずつ採取し、標準養生 28 日強度に対する比率により蒸気養生強度の検討を行うことにした。

表-3.3.1 蒸気養生の要因と水準

要因	水準
前養生温度	20°C
前養生時間	1 h, (2 h)*, 4 h, 7 h
昇温速度	$20^{\circ}\text{C}/\text{h}$, $40^{\circ}\text{C}/\text{h}$
最高温度	65°C , 80°C
最高温度保持時間	2 h, 4 h
降温速度	$4.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (槽内温度) ・制御可能な場合は上記に合わせてコントロールする。 ・制御不可能な場合は、可能な範囲で上記条件に近づける。
脱型時期	翌日脱型(22~24 時間後)

*シリーズ 2 で実施

3.4 測定項目および測定方法

3.4.1 練上り温度

練上り時のコンクリート温度は、棒状温度計にて測定した。

3.4.2 スランブ試験

スランブ試験は JIS A 1101 「コンクリートのスランブ試験方法」に従って行った。

3.4.3 空気量試験

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」に従って行った。

3.4.4 蒸気養生中の槽内温度測定

蒸気養生中の温度履歴(槽内温度、コンクリート供試体中心温度)を記録した。

3.4.5 圧縮強度試験

圧縮強度試験用供試体は、JIS A 1132 「コンクリートの圧縮試験用供試体の作り方」に従い作製し、JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体にて試験を行なった。また、使用する型枠は、鋼製型枠とした。供試体の端面処理は、各試験所の方法に準拠し実施した。ただし、端面処理を研磨で行なう場合、研磨は試験直前に行なうこととした。試験材齢は 1,7,14,28,91 日(シリーズ 2 では 1,7,14,28,56 日)とした。

3.5 試験条件一覧

試験条件の一覧を表-3.5.1 に示す。なお表中の蒸気養生条件の記号は、図-3.5.1 に示す内容を表している。

本表中に示した条件⑥(4-20-65-4)が、前養生時間を十分にとった標準的な蒸気養生条件として設定したものであり、一方最も過酷な蒸気養生条件としては、前養生時間が短く、昇温速度が大きく、最高温度が高く、保持時間が短い条件③(1-40-80-2)が相当すると考えられる。また、シリーズ 2 における条件⑭、⑯は、シリーズ 1 の条件③、⑥と同一条件であり、再試験の目的で実施したものである。

例：条件 6

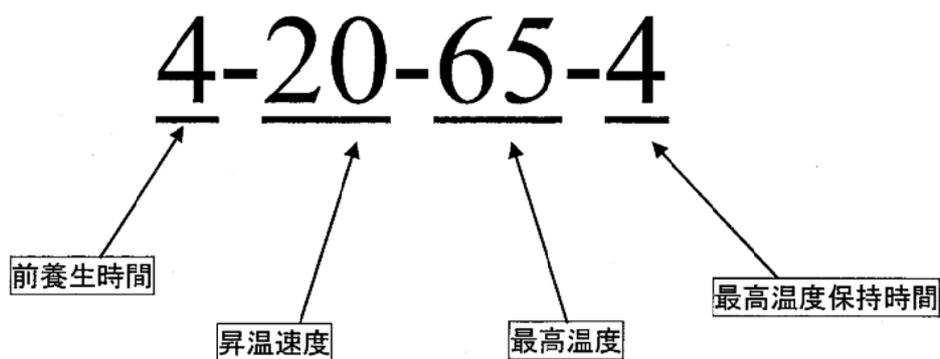


図-3.5.1 蒸気養生条件の記号

表-3.5.1 試験条件一覧

シリーズ	セメントの種類	コンクリートの種類	配合条件	蒸気養生条件								セメントの種類と実施試験所		
				前養生温度 (°C)	前養生時間 (h)	昇温速度 (°C/h)	最高温度 (°C)	保持時間 (h)	降温速度	脱型時期	蒸気養生後の養生と試験材齢		番号	記号
1	N, H, BB	Non-AE コンクリート	水セメント比: 45% 粗骨材最大寸法: 20mm スランプ: 12±1.5cm 練上り温度: 20°C	20	1	20	65	4	4.5 °C/h (槽内温度)	翌日脱型	20°C 空中 材齢 1, 7, 14, 28, 91 日 (標準養生 28 日)	①	1-20-65-4	N : A, E, G H : D, F BB : B, C
												②	1-40-65-4	
												③	1-40-80-2	
												④	1-40-80-4	
												⑤	4-20-65-2	
												⑥	4-20-65-4	
												⑦	4-20-80-2	
												⑧	4-20-80-4	
												⑨	4-40-65-2	
												⑩	4-40-65-4	
												⑪	4-40-80-2	
												⑫	4-40-80-4	
												⑬	7-20-65-4	
2	AE コンクリート	AE コンクリート	空気量: 4.5± 0.5%	20	2	40	80	2	4.5 °C/h (槽内温度)	翌日脱型	20°C 空中 材齢 1, 7, 14, 28, 56 日 20°C 水中 材齢 14 日後 材齢 28, 56 日 (標準養生 28 日)	⑭	1-40-80-2	N : A, E, G H : D, F BB : B, C
												⑮	2-40-80-2	
												⑯	4-20-65-4	
												⑰	1-40-80-2	
												⑱	2-40-80-2	
												⑲	4-20-65-4	

3.6 蒸気養生時の温度履歴

本実験では熱電対により養生条件が変わるごとにコンクリート供試体中心の温度履歴を測定した(資料図-1~図-14)。一例として表-3.5.1における条件③および条件⑥のコンクリート供試体中心の温度履歴を図-3.6.1および図-3.6.2に示す。

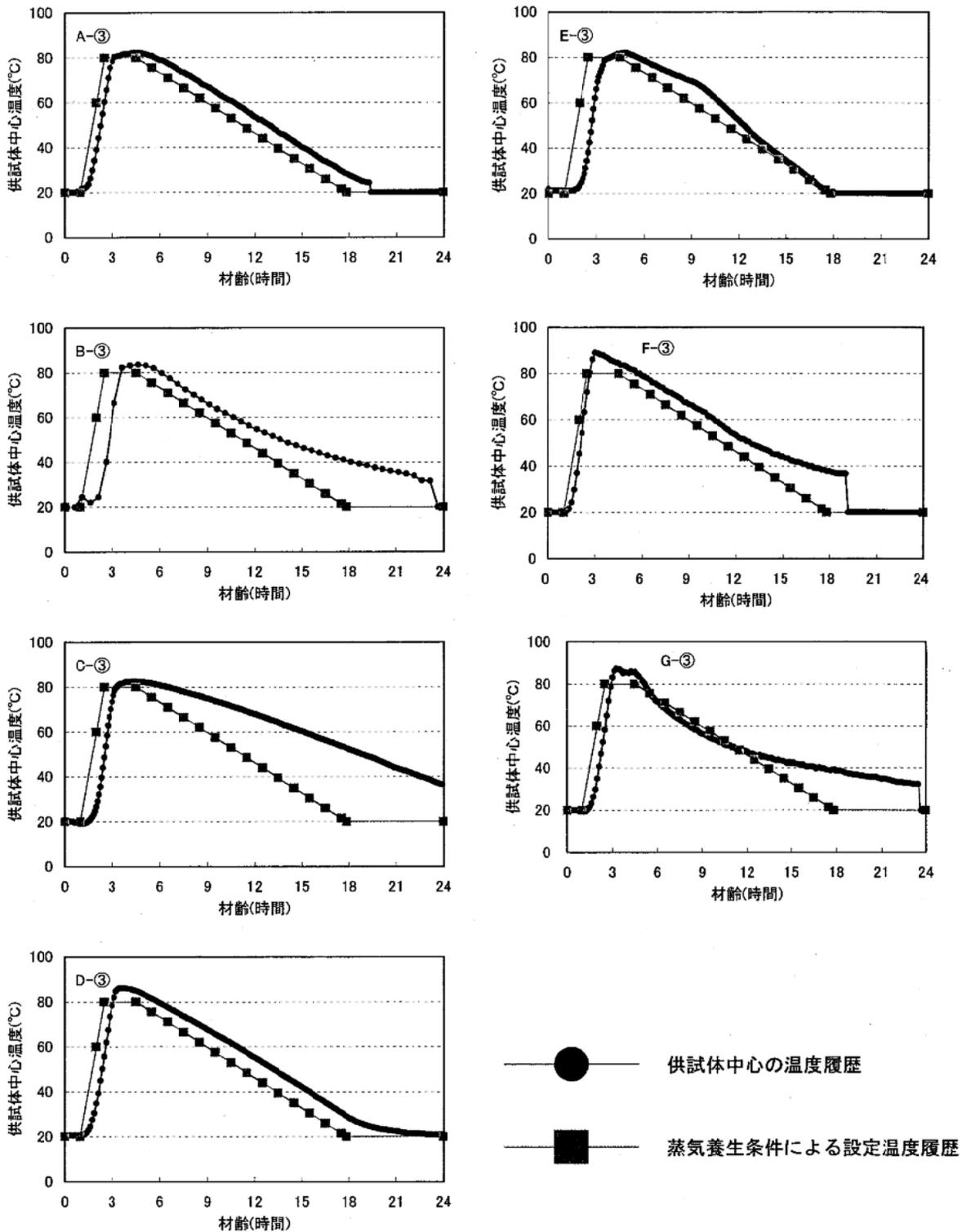


図-3.6.1 蒸気養生時の供試体中心の温度履歴(条件③)

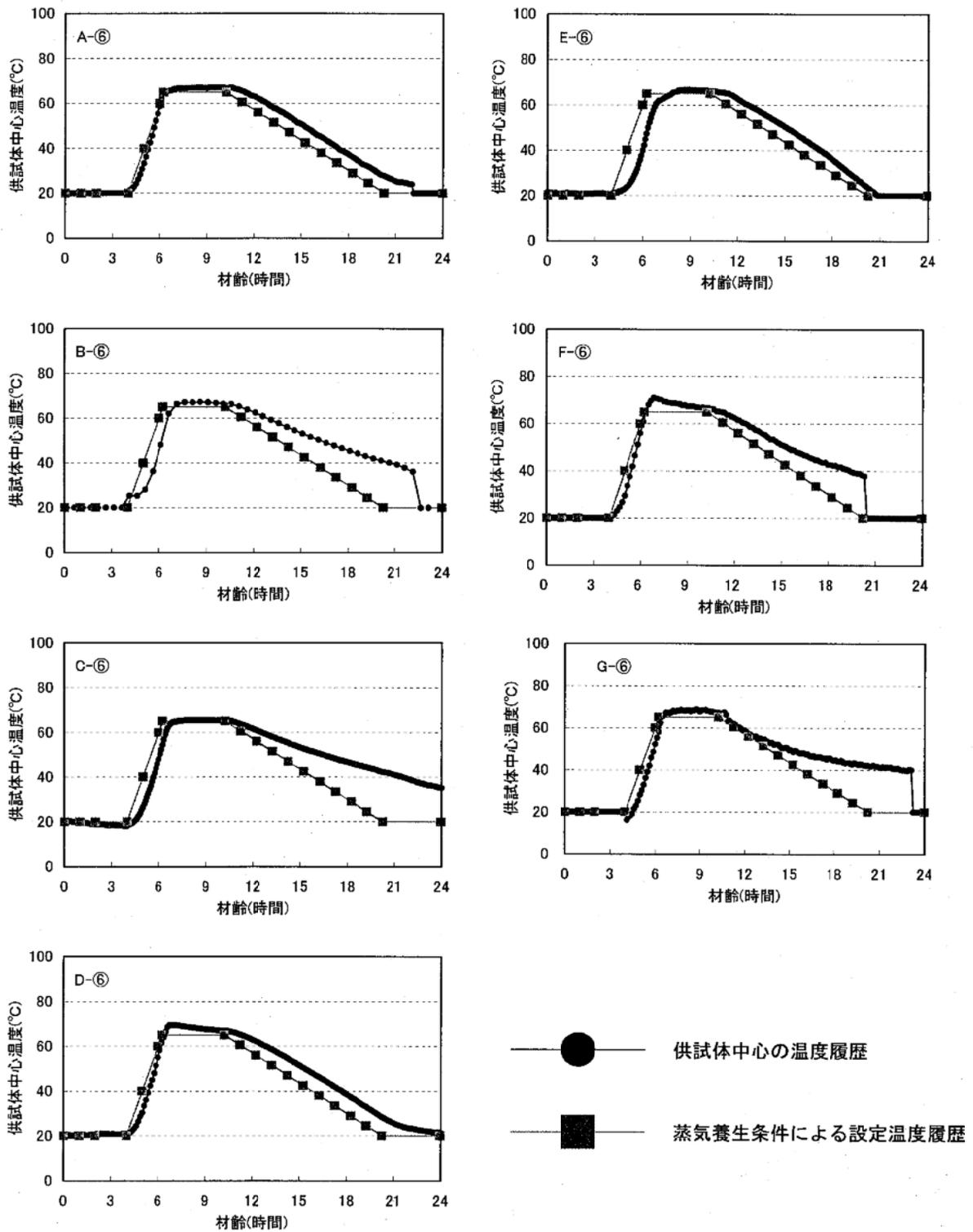


図-3.6.2 蒸気養生時の供試体中心の温度履歴(条件⑥)

4. 実験結果と考察

4.1 配合とフレッシュコンクリートの性質

コンクリートの配合を表-4.1.1 および表-4.1.2 に、フレッシュコンクリートの性質を表-4.1.3 に示す。

Non-AE コンクリートにおいては、ほとんどの試験所が、設定した単位水量 160kg/m^3 の条件で、目標スランプを得ることができ、単位水量の調整を行った試験所においても 162kg/m^3 と、ほぼ同程度の単位水量であった。高性能減水剤使用量の範囲は、セメント質量の 0.7~1.4% の範囲であった。

高性能減水剤使用量について、セメントの種類や試験所別に傾向を見ると、セメント間の差よりも試験所間の差が大きいことがわかる。これは使用骨材、特に細骨材の影響によると思われる、砕砂使用の試験所の使用量が最も多い結果となっている。

空気量の測定結果を見ると、N では 1.5~3.0%、H では 1.6~2.4%、BB では 1.1~1.9% であり、 $N > H > BB$ の順であった。各試験所で使用骨材等の条件が異なるため一概に比較することは難しいが、比表面積の大きい H、BB では N に比べて空気が入りにくい結果となっており、一般的傾向と一致する結果が得られたものと考えられる。

AE コンクリートにおいては、Non-AE コンクリートの場合と高性能減水剤使用量同一の条件下で、Non-AE コンクリートに比べて単位水量を 10kg/m^3 程度減ずることで同一のスランプを得ることが出来た。

なお一部の試験所では、Non-AE コンクリートでの高性能減水剤使用量が、シリーズ 1 とシリーズ 2 とでやや異なった。これは試験時期が異なったため使用骨材の粒度等に若干の変動があったためと思われる。

表-4.1.1 コンクリートの配合 その1(シリーズ1)

セメントの種類	試験所	W/C (%)	s/a (%)	単体量(kg/m ³)				SP**
				W	C	S	G	
N	A	45	45.0	160	356	817	1050	1.00
	E		45.0	160	356	834	1030	1.05
	G		47.8	160	356	874	993	0.90
H	D		44.1	160	356	815	1078	0.70
	F		46.5	162	360	861	1000	1.40
BB	B		41.5	160	356	752	1113	1.30
	C		43.0	160	356	780	1062	1.05

※SP：高性能減水剤添加率(C×質量%)

表-4.1.2 コンクリートの配合 その2(シリーズ2)

セメントの種類	試験所	W/C (%)	s/a (%)	単体量(kg/m ³)				ad	
				W	C	S	G	SP**	AE**
N	A	45	45.0	160	356	817	1046	1.00	—
			44.1	152	338	789	1046	1.00	0.190
	E		45.0	160	356	834	1030	0.80	—
			44.3	150	333	812	1030	0.80	0.040
H	D		47.8	160	356	874	993	0.90	—
			44.1	160	356	815	1078	0.70	—
	F		43.5	150	333	796	1078	0.70	0.040
BB	B		46.5	162	360	861	1000	1.40	—
			41.5	160	356	752	1113	0.70	—
	C	43.0	160	356	780	1062	1.05	—	
		42.3	150	333	759	1062	1.05	0.087	

※SP：高性能減水剤添加率(C×質量%) AE：空気量調整剤添加率(C×質量%)

表-4.1.3 フレッシュコンクリートの性質

シリーズ	セメント種類		N						H						BB									
	試験所		A		E		G		D		F		B		C									
	番号	記号	スラ ンプ (cm)	空気 量 (%)	練上 り 温度 (°C)																			
1	①	1-20-65-4	12.5	2.8	20.5	12.5	1.8	21.4	11.5	3.0	20.4	13.0	2.3	20.5	11.0	2.0	20.4	12.0	1.1	21.7	12.5	1.4	20.1	
	②	1-40-65-4	11.5	2.6	20.5	13.5	2.5	22.0	13.0	2.9	20.0	12.0	2.3	20.6	12.5	1.8	20.7	12.0	1.1	21.7	12.5	1.2	20.3	
	③	1-40-80-2	12.0	2.6	20.5	13.5	2.0	22.9	11.0	2.8	20.0	11.5	2.0	20.7	12.0	1.8	21.0	12.0	1.1	21.7	11.0	1.4	20.3	
	④	1-40-80-4	12.0	2.8	20.5	13.0	2.1	20.0	11.5	3.0	20.3	11.0	2.4	19.9	12.5	2.0	20.7	12.5	1.1	21.6	11.5	1.4	20.0	
	⑤	4-20-65-2	11.5	2.7	21.0	10.5	2.0	21.9	13.0	2.8	20.5	13.0	2.1	20.6	13.0	1.7	20.9	11.5	1.3	21.9	12.5	1.6	20.4	
	⑥	4-20-65-4	12.5	2.6	20.5	13.0	1.8	21.5	13.0	2.6	20.2	13.0	2.0	20.5	12.5	2.0	20.6	11.5	1.3	21.9	12.5	1.5	20.2	
	⑦	4-20-80-2	12.5	2.7	21.0	13.0	1.5	21.3	12.0	2.5	20.5	12.5	2.1	20.0	13.5	1.9	20.8	11.5	1.3	21.9	11.5	1.9	20.4	
	⑧	4-20-80-4	11.0	2.2	21.0	13.5	2.3	21.4	11.0	3.0	20.6	11.0	1.7	20.3	12.5	1.8	21.1	12.5	1.1	21.6	11.5	1.5	20.3	
	⑨	4-40-65-2	11.5	2.9	21.0	13.5	1.5	22.1	11.5	2.8	20.3	12.0	2.1	20.3	10.5	1.8	20.7	10.5	1.2	21.6	10.5	1.4	20.2	
	⑩	4-40-65-4	11.5	2.6	20.5	13.5	2.3	21.9	13.0	2.9	20.6	12.5	1.6	20.2	11.0	2.3	20.7	10.5	1.2	21.6	12.0	1.2	20.1	
	⑪	4-40-80-2	11.0	2.5	20.5	11.0	2.1	23.0	11.0	2.5	20.4	11.0	2.1	20.3	12.5	1.7	21.0	10.5	1.2	21.6	13.0	1.1	20.2	
	⑫	4-40-80-4	11.0	2.7	20.5	11.0	2.0	20.7	12.0	3.0	20.3	11.5	1.8	19.8	11.0	1.9	19.8	12.5	1.1	21.6	10.5	1.4	20.2	
	⑬	7-20-65-4	11.0	2.4	21.0	10.5	1.5	21.5	13.0	3.0	20.0	11.0	1.8	20.4	10.5	1.7	20.3	11.5	1.1	21.8	12.5	1.2	20.6	
	⑭	1-40-80-2	13.0	2.8	20.5	13.5	1.2	21.0	10.5	2.9	19.9	13.5	1.4	21.0	14.0	2.1	20.6	10.5	1.1	19.6	11.0	1.7	19.0	
	⑮	2-40-80-2	-	-	-	-	-	-	-	2.5	20.3	-	-	-	11.5	1.8	20.1	11.0	1.2	19.6	-	-	-	
	⑯	4-20-65-4	-	-	-	-	-	-	-	2.7	19.9	-	-	-	12.5	1.7	20.5	11.0	1.2	19.5	-	-	-	
	⑰	1-40-80-2	10.5	4.5	20.5	13.5	5.0	20.7	-	-	-	13.0	5.0	20.8	-	-	-	-	-	-	13.5	4.3	19.3	
	⑱	2-40-80-2	10.5	4.7	20.5	13.5	5.0	20.3	-	-	-	13.0	4.0	20.7	-	-	-	-	-	-	-	11.0	4.7	19.0
	⑲	4-20-65-4	10.5	5.0	20.5	13.5	4.5	20.0	-	-	-	11.0	4.0	20.1	-	-	-	-	-	-	-	11.0	4.8	19.0
2	⑳	1-40-80-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	㉑	2-40-80-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	㉒	4-20-65-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	㉓	1-40-80-2	10.5	4.5	20.5	13.5	5.0	20.7	-	-	-	13.0	5.0	20.8	-	-	-	-	-	-	13.5	4.3	19.3	
	㉔	2-40-80-2	10.5	4.7	20.5	13.5	5.0	20.3	-	-	-	13.0	4.0	20.7	-	-	-	-	-	-	-	11.0	4.7	19.0
	㉕	4-20-65-4	10.5	5.0	20.5	13.5	4.5	20.0	-	-	-	11.0	4.0	20.1	-	-	-	-	-	-	-	11.0	4.8	19.0

4.2 圧縮強度試験結果

表-4.2.1～表-4.2.4 に圧縮強度試験結果を示す。

表-4.2.1 圧縮強度試験結果(シリーズ1, 普通ポルトランドセメント) (N/mm²)

セメント 種類	試験所	番号	記号	標準養生	蒸気養生後気中				
				28日	1日	7日	14日	28日	91日
N	A	①	1-20-65-4	57.5	27.0	36.0	39.5	41.1	42.1
		②	1-40-65-4	59.0	21.8	29.4	30.7	32.8	37.2
		③	1-40-80-2	60.5	27.5	37.9	39.1	38.9	40.4
		④	1-40-80-4	57.9	26.9	34.4	34.8	37.2	40.0
		⑤	4-20-65-2	57.8	24.6	37.0	40.9	43.3	44.4
		⑥	4-20-65-4	59.6	29.2	41.4	43.6	47.0	48.5
		⑦	4-20-80-2	57.9	32.2	41.5	44.2	46.7	48.6
		⑧	4-20-80-4	58.8	34.6	42.5	45.7	47.1	49.1
		⑨	4-40-65-2	58.6	24.9	38.5	40.9	44.1	44.7
		⑩	4-40-65-4	58.9	27.9	37.9	42.4	45.4	47.1
		⑪	4-40-80-2	60.5	31.4	40.1	43.4	46.2	46.7
		⑫	4-40-80-4	58.1	36.1	43.9	47.8	50.8	51.3
		⑬	7-20-65-4	59.1	31.6	42.1	46.4	48.8	50.0
	E	①	1-20-65-4	61.6	22.2	37.5	41.3	47.3	51.8
		②	1-40-65-4	58.4	20.4	31.7	37.5	41.7	49.7
		③	1-40-80-2	59.2	26.1	34.4	38.6	43.4	45.0
		④	1-40-80-4	59.4	26.9	36.2	38.8	42.9	43.8
		⑤	4-20-65-2	58.7	23.3	39.4	42.9	46.9	52.0
		⑥	4-20-65-4	60.0	24.7	37.8	42.1	47.2	48.5
		⑦	4-20-80-2	57.6	29.2	38.5	43.1	46.7	51.6
		⑧	4-20-80-4	58.1	29.7	40.0	43.3	46.6	51.4
		⑨	4-40-65-2	60.1	22.5	39.2	41.1	43.5	50.4
		⑩	4-40-65-4	59.4	22.7	37.5	42.3	44.0	49.7
		⑪	4-40-80-2	60.5	28.4	40.9	43.9	46.2	49.7
		⑫	4-40-80-4	58.0	30.2	40.4	44.5	48.9	51.1
		⑬	7-20-65-4	59.3	25.8	39.2	44.3	46.7	52.7
	G	①	1-20-65-4	53.6	19.2	28.4	31.9	32.8	34.9
		②	1-40-65-4	53.1	18.2	24.9	27.4	30.5	33.6
		③	1-40-80-2	53.9	18.9	24.6	24.5	25.1	28.1
		④	1-40-80-4	54.4	19.5	24.2	24.7	24.9	29.1
		⑤	4-20-65-2	54.6	25.5	37.1	39.7	42.5	45.1
		⑥	4-20-65-4	53.6	29.4	40.3	42.8	45.1	49.8
		⑦	4-20-80-2	53.5	32.9	40.5	41.9	43.0	48.2
		⑧	4-20-80-4	54.4	32.0	39.2	40.7	42.2	46.4
		⑨	4-40-65-2	55.3	22.0	32.5	35.3	37.9	40.3
		⑩	4-40-65-4	52.9	24.3	33.4	35.8	38.1	40.2
		⑪	4-40-80-2	53.2	24.9	34.4	37.1	39.6	41.8
		⑫	4-40-80-4	51.5	26.6	36.3	39.0	41.4	44.1
		⑬	7-20-65-4	52.8	24.8	34.6	38.6	41.0	43.4

表-4.2.2 圧縮強度試験結果(シリーズ 1, 早強ポルトランドセメント)

セメント 種類	試験所	番号	記号	標準養生	蒸気養生後気中				
				28日	1日	7日	14日	28日	91日
H	D	①	1-20-65-4	56.8	35.7	46.1	48.1	50.8	51.4
		②	1-40-65-4	57.1	34.3	45.6	46.9	53.8	54.5
		③	1-40-80-2	57.9	38.3	45.7	50.3	53.8	55.6
		④	1-40-80-4	58.3	39.3	48.1	49.1	52.9	54.2
		⑤	4-20-65-2	59.0	38.9	48.8	52.8	53.3	54.5
		⑥	4-20-65-4	57.6	39.6	48.4	53.8	55.9	53.7
		⑦	4-20-80-2	60.0	43.4	54.3	58.2	60.1	60.7
		⑧	4-20-80-4	57.2	39.2	45.6	49.6	56.0	56.9
		⑨	4-40-65-2	59.6	39.6	48.4	47.9	54.8	56.1
		⑩	4-40-65-4	60.5	37.2	49.2	54.1	57.3	57.3
		⑪	4-40-80-2	58.1	40.5	49.5	53.5	58.1	55.7
		⑫	4-40-80-4	59.4	42.1	54.7	59.8	61.6	63.3
		⑬	7-20-65-4	57.8	43.0	52.7	56.7	59.2	54.0
	F	①	1-20-65-4	61.6	38.8	48.1	53.8	58.4	66.2
		②	1-40-65-4	60.0	28.3	35.1	36.4	38.7	41.7
		③	1-40-80-2	62.9	30.2	35.5	36.9	40.2	41.4
		④	1-40-80-4	62.8	27.8	30.7	34.0	34.5	37.8
		⑤	4-20-65-2	62.7	42.1	51.0	57.6	59.7	65.8
		⑥	4-20-65-4	61.4	44.7	56.4	57.7	59.9	70.4
		⑦	4-20-80-2	60.0	43.4	49.5	55.2	56.8	64.4
		⑧	4-20-80-4	62.6	45.6	50.5	51.8	58.1	66.9
		⑨	4-40-65-2	62.2	42.2	53.2	57.3	60.6	65.6
		⑩	4-40-65-4	61.6	44.6	53.4	56.2	60.4	66.4
		⑪	4-40-80-2	62.7	46.1	51.6	54.5	58.1	66.7
		⑫	4-40-80-4	61.5	45.7	49.0	54.1	56.9	63.4
		⑬	7-20-65-4	61.6	44.2	52.3	57.5	60.9	66.1

表-4.2.3 圧縮強度試験結果(シリーズ1, 高炉セメントB種) (N/mm²)

セメント 種類	試験所	番号	記号	標準養生	蒸気養生後気中				
				28日	1日	7日	14日	28日	91日
BB	B	①	1-20-65-4	54.8	23.4	32.2	34.7	35.7	37.6
		②	1-40-65-4	54.8	22.6	27.8	30.1	31.3	33.2
		③	1-40-80-2	54.8	26.7	26.6	26.8	29.8	31.6
		④	1-40-80-4	57.3	27.0	28.9	30.2	32.9	34.1
		⑤	4-20-65-2	57.8	24.1	36.1	39.7	40.7	43.2
		⑥	4-20-65-4	57.8	26.9	38.7	40.9	43.2	45.7
		⑦	4-20-80-2	57.8	30.9	41.0	43.7	44.3	46.5
		⑧	4-20-80-4	57.3	32.4	41.5	43.2	45.8	47.6
		⑨	4-40-65-2	59.8	23.6	36.4	40.5	43.0	43.1
		⑩	4-40-65-4	59.8	26.4	39.1	42.1	43.9	45.6
		⑪	4-40-80-2	59.8	31.9	42.9	46.4	46.5	47.0
		⑫	4-40-80-4	57.3	31.4	41.4	44.2	45.4	46.8
		⑬	7-20-65-4	55.3	24.5	37.2	38.9	41.2	42.4
	C	①	1-20-65-4	54.1	20.1	28.2	32.1	34.5	34.8
		②	1-40-65-4	52.4	21.3	29.0	33.3	33.9	34.3
		③	1-40-80-2	54.0	22.9	30.2	34.0	35.5	35.8
		④	1-40-80-4	54.6	27.8	32.0	36.0	38.2	37.1
		⑤	4-20-65-2	57.1	19.9	30.5	33.7	36.1	36.4
		⑥	4-20-65-4	54.8	24.6	33.9	35.9	37.9	39.1
		⑦	4-20-80-2	56.9	28.4	36.3	40.2	41.3	40.6
		⑧	4-20-80-4	55.2	31.8	39.4	40.6	43.5	43.3
		⑨	4-40-65-2	54.3	19.3	29.2	33.5	36.9	36.4
		⑩	4-40-65-4	53.0	23.6	32.8	35.4	37.0	37.4
		⑪	4-40-80-2	55.7	30.4	37.9	40.7	40.8	40.5
		⑫	4-40-80-4	53.4	31.6	37.8	41.0	41.4	41.0
		⑬	7-20-65-4	53.8	23.0	32.5	36.3	38.4	38.6

表-4.2.4 圧縮強度試験結果(シリーズ 2)

(N/mm²)

セメント 種類	試験所	番号	記号	標準 養生	蒸気養生後気中					蒸気養生後 気中後水中*	
				28日	1日	7日	14日	28日	56日	28日	56日
N	A	⑭	1-40-80-2	60.4	25.6	34.6	35.5	38.9	39.4	34.9	36.2
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	53.8	19.3	24.1	23.9	25.8	26.4	22.5	26.6
		⑱	2-40-80-2	54.8	24.0	31.3	31.6	35.2	33.0	30.7	35.8
		⑲	4-20-65-4	53.2	28.1	38.1	40.7	42.9	42.6	39.9	44.4
	E	⑭	1-40-80-2	55.6	24.9	34.7	36.1	38.2	40.7	37.8	43.2
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	49.7	22.7	28.8	28.3	33.9	35.1	33.1	35.6
		⑱	2-40-80-2	54.3	26.1	32.4	32.1	38.7	38.9	36.2	40.2
		⑲	4-20-65-4	50.3	21.2	30.7	33.7	37.9	39.7	36.2	40.6
	G	⑭	1-40-80-2	53.9	20.3	25.2	27.2	29.9	32.7	31.4	32.6
		⑮	2-40-80-2	56.3	23.3	34.5	35.8	37.9	38.7	38.3	38.5
		⑯	4-20-65-4	54.0	27.1	39.6	41.8	44.1	47.4	45.6	49.3
		⑰	1-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑱	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑲	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—	—
H	D	⑭	1-40-80-2	56.5	38.2	46.9	50.2	53.1	52.9	48.5	55.3
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	46.2	23.8	26.4	28.0	29.0	30.7	29.0	29.5
		⑱	2-40-80-2	46.5	36.9	40.6	43.3	47.2	47.7	43.1	44.7
		⑲	4-20-65-4	49.6	36.7	44.7	47.0	51.1	50.6	46.2	49.5
	F	⑭	1-40-80-2	60.9	26.9	31.8	32.7	28.9	31.9	30.0	35.3
		⑮	2-40-80-2	62.1	37.2	40.8	45.8	43.6	47.8	43.5	48.9
		⑯	4-20-65-4	61.0	44.7	53.4	55.8	57.5	66.4	58.3	61.3
		⑰	1-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑱	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑲	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—	—
BB	B	⑭	1-40-80-2	48.5	23.1	28.1	29.9	31.1	31.6	33.2	35.5
		⑮	2-40-80-2	49.4	27.1	34.9	35.0	36.6	37.6	36.9	42.8
		⑯	4-20-65-4	49.4	23.5	32.0	34.5	36.6	36.8	39.1	44.5
		⑰	1-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑱	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑲	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—	—
	C	⑭	1-40-80-2	52.1	17.8	22.7	24.5	22.2	23.5	20.0	23.9
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	46.8	13.8	16.0	17.9	17.2	18.6	15.8	16.8
		⑱	2-40-80-2	47.9	17.6	21.6	23.1	23.9	22.4	20.6	21.4
		⑲	4-20-65-4	46.7	22.2	31.3	31.9	33.7	34.1	39.1	42.9

※蒸気養生後 14 日間 20℃気中養生を行った後、材齢 28、56 日まで 20℃水中養生を行った

4.3 標準養生 28 日強度

各蒸気養生条件ごと(バッチごと)に採取した標準養生供試体の材齢 28 日圧縮強度の変動を試験所別に表-4.3.1 および表-4.3.2 に示す。また図-4.3.1 および図-4.3.2 にそれら標準養生 28 日強度の結果を示す。

表-4.3.1 に示したように、シリーズ 1 において各試験所の変動係数は 1.6~3.3%の範囲にあり、繰返し精度は良好であったと考えられる。セメントの種類ごとの平均値は、N の場合は 3 試験所平均で 57N/mm^2 、H の場合は 2 試験所平均で 60N/mm^2 、BB の場合は 2 試験所平均で 56N/mm^2 であった。

同一試験所でのシリーズ 1 に対するシリーズ 2(Non-AE コンクリート)の強度差を見ると、試験所によってはやや差が大きくなった。これは前述のとおり、試験時期の相違により使用骨材の粒度等が若干変化したこと、またそれによって混和剤使用量も変化したこと等の影響が現れたものと思われる。またシリーズ 2 において、AE コンクリートの圧縮強度の Non-AE コンクリートに対する比率は 84%~93%程度であり、ばらつきはあるが、空気量の増大に伴う強度変化が現れたものと考えられる。

表-4.3.1 標準養生 28 日圧縮強度試験結果の変動(試験所別 シリーズ 1)

セメントの種類	コンクリートの種類	試験所	データ数	平均値 (N/mm ²)	最大値 (N/mm ²)	最小値 (N/mm ²)	範囲 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	変動係数 (%)	
N	Non-AE コンクリート	A	13	58.8	57.2	60.5	57.5	3.0	0.98	1.7
		E	13	59.3		61.6	57.6	4.0	1.12	1.9
		G	13	53.6		55.3	51.5	3.8	0.96	1.8
		範囲		5.7	6.4	6.1		0.16	0.2	
H		D	13	58.4	60.1	60.5	56.8	3.7	1.18	2.0
		F	13	61.8		62.9	60.0	2.9	0.98	1.6
		範囲		3.4		2.4	3.1		0.19	0.4
BB		B	13	57.3	56.0	59.8	54.8	5.0	1.89	3.3
	C	13	54.6	57.1		52.4	4.7	1.41	2.6	
	範囲		2.7	2.7		2.4		0.48	0.7	

表-4.3.2 標準養生 28 日圧縮強度試験結果の変動(試験所別 シリーズ 2)

セメントの種類	コンクリートの種類	試験所	データ数	平均値 (N/mm ²)	シリーズ 1 との強度差 (N/mm ²)	Non-AE コンクリートに対する強度比 (%)	最大値 (N/mm ²)	最小値 (N/mm ²)	範囲 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	変動係数 (%)
N	Non-AE コンクリート	A	1	60.4	1.6		60.4	60.4			
		E	1	55.6	-3.7		55.6	55.6			
		G	3	54.7	1.1		56.3	53.9	2.4	1.3	2.4
		範囲		5.7	5.3		4.9	6.5			
	AE コンクリート	A	3	53.9		89	54.8	53.2	1.6	0.8	1.5
		E	3	51.4		93	54.3	49.7	4.6	2.5	4.9
範囲			2.5		3	0.4	3.5		1.7	3.4	
H	Non-AE コンクリート	D	1	56.5	-1.9		56.5	56.5			
		F	3	61.3	-0.5		62.1	60.9	1.2	0.6	1.0
		範囲		4.8	1.4		5.5	4.4			
	AE コンクリート	D	3	47.4		84	49.6	46.2	3.4	1.9	4.0
BB	Non-AE コンクリート	B	3	49.1	-8.1		49.4	48.5	0.9	0.5	1.0
		C	1	52.1	-2.4		52.1	52.1			
		範囲		3.0	5.7		2.7	3.6			
	AE コンクリート	C	3	47.1		90	47.9	46.7	1.2	0.7	1.4

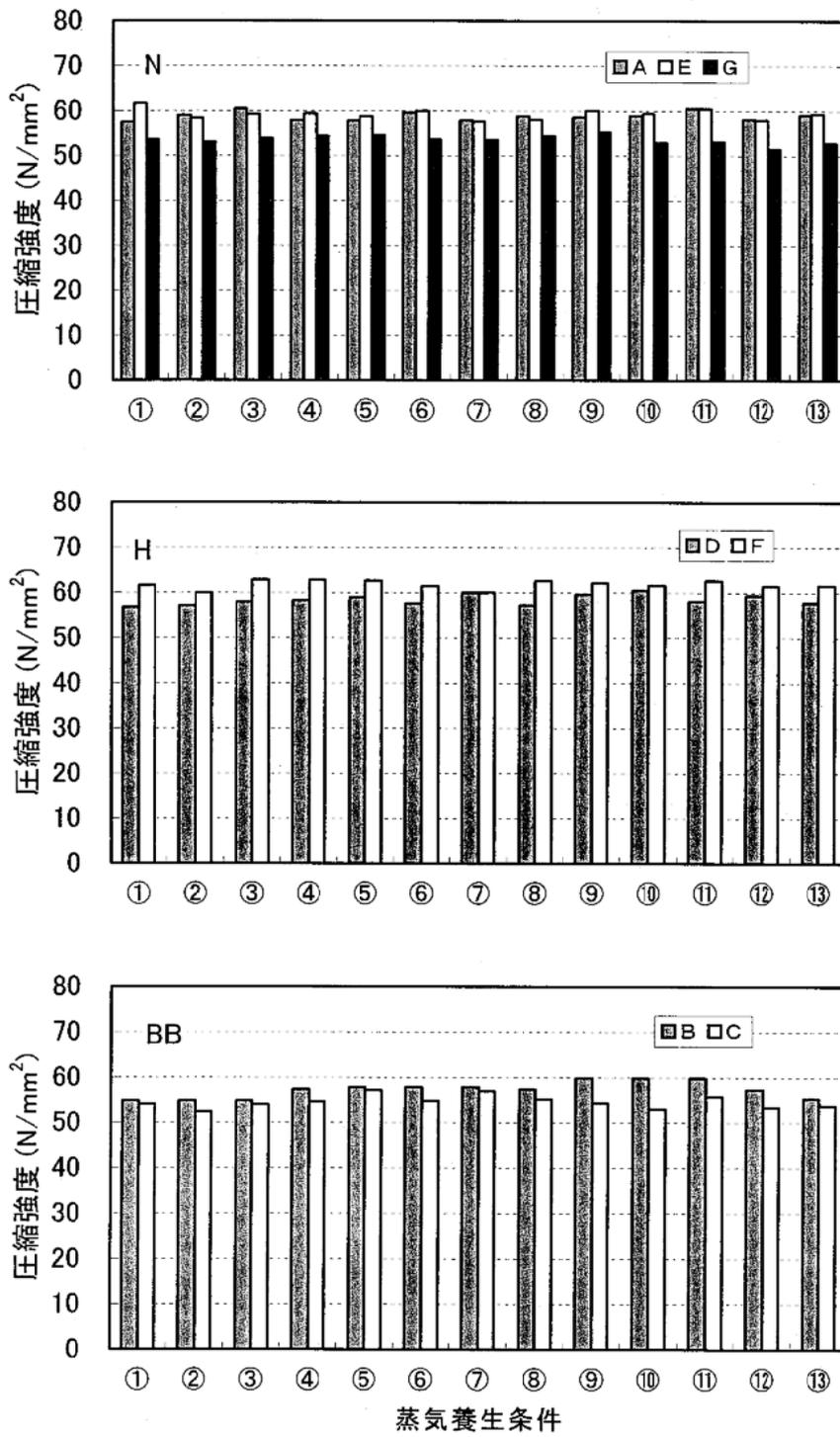


図-4.3.1 標準養生 28日強度(シリーズ 1)

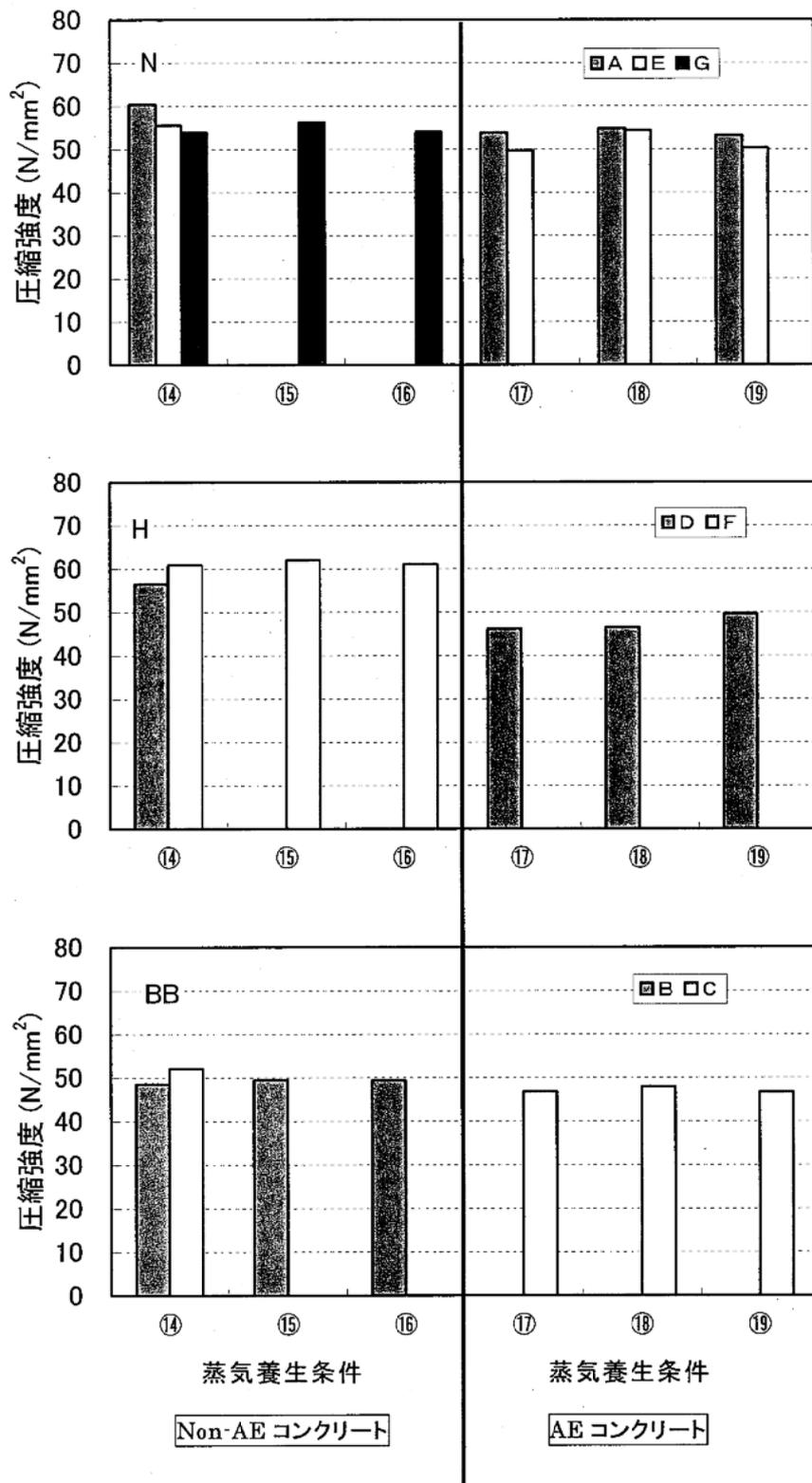


図-4.3.2 標準養生 28 日強度(シリーズ 2)

4.4 蒸気養生強度

4.4.1 標準養生に対する蒸気養生の強度比

表-4.2.1～表-4.2.3により、十分な前養生時間をとった養生条件⑥の場合の材齢14日強度(試験所平均)を比較すると、Nでは43 N/mm²、Hでは56 N/mm²、BBでは38 N/mm²程度であり、先に述べた標準養生の結果に比べてセメント間の差は拡大し、蒸気養生条件下での各セメントの強度発現特性が現れたものと考えられる。ただしこの結果には試験所の相違(使用骨材の相違など)による影響も含まれる。またバッチ間においても若干の強度差が生じるため、蒸気養生条件の影響を検討するためには、これらの影響を考慮する必要がある。

そのため、本実験では前述のとおり、各蒸気養生条件での強度発現性を検討する際に、標準養生28日強度に対する蒸気養生の強度比(以下、蒸気養生強度比)を用いて検討を行った。蒸気養生強度比を表-4.4.1～表-4.4.4に、材齢と蒸気養生強度比の関係を図-4.4.1～図-4.4.6に示す。

表-4.4.1～表-4.4.3より、十分な前養生時間をとった養生条件⑥の場合の蒸気養生強度比(各試験所の平均)を見ると、脱型時(1日)では、Nは48%、Hは71%、BBは46%、材齢14日では、Nは74%、Hは94%、BBは68%、材齢28日では、Nは81%、Hは97%、BBは72%、材齢91日では、Nは85%、Hは104%、BBは75%であり、気中環境下(温度20℃、湿度(R.H.)60～70%)であっても、14日以降も材齢の進行とともにある程度の強度増進が認められことがわかる。NとBBの強度比は、材齢経過とともに差がやや拡大しており、水分供給のない気中環境下ではBBの強度増進はNに比べてやや少ない傾向にあるものと考えられる。

既往の文献^{2)～8)}によれば、標準養生28日強度に対する蒸気養生強度(材齢14日～28日)の一般的な比率については、コンクリートの配合、蒸気養生後の後養生などの諸条件により異なるが、概ね70%～90%程度の結果が多く、今回の実験結果もNについてはほぼその範囲にあった。

次に他の蒸気養生条件も含めて蒸気養生強度比を見ると、脱型時(1日)では、Nは35～62%、Hは44～74%、BBは35～59%、材齢14日では、Nは45～82%、Hは54～101%、BBは50～78%、材齢28日では、Nは47～87%、Hは55～104%、BBは54～80%、また91日では、Nは52～93%、Hは60～115%、BBは58～83%であり、各材齢ともに、試験所や蒸気養生条件の違いによって蒸気養生強度比の差が非常に大きくなっている。

4.4.2 試験所による影響

図-4.4.1～図-4.4.3により、試験所の差異や蒸気養生条件が蒸気養生強度比に及ぼす影響を見てみると、条件①～④、すなわち前養生時間が1時間と短い場合(特に条件③、④、すなわち昇温速度が大きく、最高温度が高い場合)に、試験所によって蒸気養生時の強度発現が大きく異なっていることがわかる。例えば、前養生時間1時間、昇温速度40℃/h、最高温度80℃、同保持時間2時間(条件③、記号：1-40-80-2)におけるNの材齢14日の結果を見ると、試験所A、Eで強度比65%程度、試験所Gで45%程度と大きな差があり、実強度では試験所A、Eで39N/mm²、試験所Gで24 N/mm²と15N/mm²程度の差を生じている。同様の傾向がHにも認められ、BBにおいてもN、Hに比べてその程度は小さいものの、同様の傾向が認められる。

図-4.4.4～図-4.4.6に示すシリーズ2において、シリーズ1の条件③の再試験となる条件④の結果について見ると、NとHにおいてはシリーズ1の傾向が再現され、それぞれ試験所G、試験所Fが小さい強度比を示しているが、BBにおいてはシリーズ1において小さい強度比を示した試験所Bが逆に試験所Cよりも大きな強度比を示し、傾向が逆転している。

前養生時間が短い場合に試験所間の強度差が大きくなった原因としては、まず混和剤(高性能減水剤)使用量の影響が考えられる。混和剤使用量が多い場合、コンクリートの凝結が遅くなり、このため前養生時間が短い場合の影響を大きく受けると考えられる。今回の実験における各試験所の混和剤使用量を見てみると、Hにおいては試験所Dの0.70%に対して試験所Fは1.40%と大きな差があり、BBにおいては試験所Cの1.05%に対して試験所Bはシリーズ1では1.30%と多くなっており、またシリーズ2では0.70%と少なくなっている。これらの結果は前養生時間が短い場合の蒸気養生強度の低下傾向と対応する。ただしNにおいては、3試験所ともに0.90~1.05%とあまり変わらない混和剤使用量であるにもかかわらず、試験所Gは他の試験所よりも前養生時間が短い場合の蒸気養生強度低下が大きく、前養生時間が短い場合の蒸気養生強度発現低下は混和剤使用量の影響のみでは説明できない。

次に図-3.6.1に示した蒸気養生時のコンクリート供試体の温度履歴から検討する。Nにおいて前養生時間が短い場合の影響を大きく受けた試験所Gの温度履歴を、影響が比較的小さかった試験所A、Eと比較すると、試験所Gにおいては最高温度が設定の80℃よりもやや高くなり、温度降下開始時の降下速度がやや大きいという傾向が見られる。これは各試験所で実験に使用した蒸気養生槽の大きさ、加熱・冷却能力や制御方法の相違などによるものであるが、これらに見られる温度履歴の相違が蒸気養生強度に影響を与えた可能性が考えられる。

ただし資料図-1~図-14によれば、供試体の最高温度が設定の80℃をかなり上回り瞬間的には90℃程度に達していても、必ずしも蒸気養生強度の低下につながっていない場合も見られ、蒸気養生時の最高温度の影響だけから蒸気養生強度発現低下を説明することは困難である。

今回の実験結果からはこれらの影響についての詳細な検討は不可能であるが、前養生時間が短い場合においては、以上に述べた混和剤使用量の相違による影響や、コンクリート供試体の温度履歴の相違(設定と実際との差)による影響などが、単独、あるいは複合的に作用して、試験所間の強度差につながった可能性があると考えられる。

4.4.3 養生条件の影響

蒸気養生条件が強度発現に及ぼす影響を詳細に検討するために、シリーズ1の材齢1日、14日および91日の蒸気養生強度比を養生条件ごとに表したものを図-4.4.7~図-4.4.9に、シリーズ2の材齢1日、14日および56日の蒸気養生強度比を養生条件ごとに表したものを図-4.4.10~図-4.4.12に示す。

なお十分な前養生時間をとって蒸気養生を行った場合に期待できる蒸気養生強度に対して、蒸気養生条件が変化した場合(特に過酷な条件となった場合)に、コンクリートの強度発現がどの程度の比率になるのかを検討するために、条件⑥(シリーズ2のAEコンクリートでは条件⑨)の蒸気養生強度比に対する各養生条件の蒸気養生強度比の比率を計算した。その結果は、資料表-2~表-5、資料図-15~図-20に示す。

以下に蒸気養生条件の各要因と蒸気養生強度比との関係について述べる。

(1) 前養生時間

シリーズ1の結果より、前述のとおり、前養生時間を十分に(4時間)とった場合(条件⑥)の、材齢14日の蒸気養生強度比は、Nは75%、Hは95%、BBは70%程度である。また前養生時間が1時間と短い場合(条件①~④)は、前養生時間が4時間、7時間の場合に比べて、全体的に強度発現が小さい傾向にあるだけでなく、前述のように著しく強度比が低下する場合が見られる。前養生時間1時間の場合について、強度発現の低下が比較的少なかった場合の材

齢 14 日の強度比を見ると、N は 60～65%程度、H は 85%程度、BB は 60～65%程度であるが、強度発現の低下が大きい場合の材齢 14 日の強度比は概ね 50～60%程度であり、場合によっては 50%以下に低下している。また強度比の低下は材齢の進行によってもあまり回復しない。

なお十分な前養生時間(4 時間)をとった場合に対する前養生時間が短い場合(1 時間)の強度発現の比率は、比較的強度低下の少ない場合に、材齢 14 日で概ね 80%以上であるが、強度低下が大きかった場合では、60%以下にまで低下する可能性があることがわかる(資料図-15～図-17)。

また前養生時間が短く強度低下が大きい場合で、昇温速度が大きく、最高温度が高い条件が加わると(条件③、④)最も強度発現が小さくなり、逆に昇温速度を小さく、最高温度を低く抑えらると(条件①)、前養生時間が短い場合の影響が緩和される方向にある。これらの傾向は、最高温度を高くする時は前養生時間を長くしたり、温度上昇速度を緩やかにしたりする必要があるとする従来⁴⁾の知見と一致する。

前養生時間が 4 時間の場合(条件⑥)と 7 時間の場合(条件⑬)では強度発現に差は認められない。

シリーズ 2 の結果より、Non-AE コンクリートで前養生時間を 2 時間とした場合の傾向を見ると、図-4.4.10～図-4.4.12 において、N(試験所 G)、H(試験所 F)では前養生時間 1 時間と 4 時間の中間的強度比を示している。ただし試験所 G の場合、前養生時間を 1 時間から 2 時間にすることで、試験所 A、E と同程度の強度比となるのに対して、試験所 F では前養生時間を 1 時間から 2 時間にしても試験所 D の強度比レベルまでは達していない。前述のように、試験所 F では混和剤使用量がかなり多いため、前養生時間を 2 時間としてもまだその影響が残ったのではないかと推察される。

BB(試験所 B)の場合は、前述のとおり、シリーズ 1 に比べて混和剤使用量が少なくなったため、前養生時間が短い場合にもシリーズ 1 に比べて強度比が大きくなり、前養生時間 1 時間～4 時間で強度比の差があまり現れない結果となった。なお前述のとおり、Non-AE コンクリートで前養生時間 1 時間の条件⑭において、試験所 C の強度比は試験所 B の強度比よりも小さく、シリーズ 1 と傾向が逆転している。その結果、試験所 C の材齢 14 日の強度比は 50%以下となり、シリーズ 1 における試験所 B と同様の著しい強度低下を示す結果となっている。このことは、前養生時間が短い場合には、同一材料、同一配合のコンクリートにおいても蒸気養生強度の発現は非常にばらつきが大きくなることを示唆するものである。

以上より、Non-AE コンクリートの場合、前養生時間を 2 時間程度とすれば前養生時間 1 時間と 4 時間の中間的結果が得られることがわかる。また N の場合の結果より推察すると、前養生時間を 2 時間程度とすれば、前養生時間 1 時間の場合に著しい強度比の低下が見られた試験所においても、比較的強度比の低下が少なかった試験所と同程度の強度比が得られると考えられ、一般的に、蒸気養生後の 14 日強度が標準養生 28 日強度の 50%以下となるような、また十分な前養生時間をとった場合の強度の 60%以下となるような、著しい強度低下を示すことは少なくなるものと推察される。

同じくシリーズ 2 の結果より、AE コンクリートにおける傾向を検討する。

図-4.4.10～図-4.4.12 において、N(試験所 A)の場合、前養生時間の増加とともに強度比が増大している。前養生時間 1 時間の場合、AE コンクリートは Non-AE コンクリートよりも強度比が小さく、また強度比が他の試験所と比べて低い傾向にあった試験所 G と比べても強度比が小さい。前養生時間が短い過酷な蒸気養生条件の場合、AE コンクリートでは、コンクリ

ート中の空気泡が急激に膨張して組織に損傷を与える⁹⁾ ことによる影響と考えられる。前養生時間を2時間とすれば AE コンクリートであっても Non-AE コンクリートの前養生時間1時間の場合と同程度の強度比となる。前養生時間が4時間の場合は、材齢14日では Non-AE コンクリートの前養生時間4時間の場合(試験所 G)と同程度の強度比を示しており、AE コンクリートにおいても十分な前養生時間をとれば、Non-AE コンクリートと同程度の蒸気養生強度比が得られることがわかる。なお試験所 E においては、AE コンクリートにおいても前養生時間が過少となった場合の影響が顕著に現れなかったが、その理由については判然としなかった。

H(試験所 D)の結果を見ると、前養生時間1時間の場合に Non-AE コンクリートの強度比と著しい差が見られ、強度比が低い試験所 F と同程度の強度比になっているのに対して、前養生時間を2時間とした場合には強度比が著しく増大し、Non-AE コンクリートの1時間と同程度の強度比が得られている。また前養生時間2時間と4時間の場合では強度比は変わらず、Nとは傾向を異にしている。このことは、混和剤使用量が多い影響を受けている場合などを除き、一般に H では N に比べて前養生時間の短縮が可能²⁾ であり、AE コンクリートにおいても、前養生時間は2時間程度で十分であることを示しているものと考えられる。なお前養生時間が4時間の場合は、Non-AE コンクリート(試験所 F)と同程度の強度比を示している。

BB(試験所 C)の結果を見ると、ほぼ N(試験所 A)の場合と同様の傾向を示し、前養生時間の増加とともに強度比が増大している。また N の場合と同じく、前養生時間2時間の場合は Non-AE コンクリートの前養生時間1時間の場合と同程度の強度比となっている。また前養生時間が4時間の場合は、Non-AE コンクリート(試験所 B)と同程度の強度比を示している。

以上より、AE コンクリートの場合、前養生時間の過少(1時間)が強度発現に及ぼす影響は Non-AE コンクリートの場合よりも大きく、Non-AE コンクリートでの前養生1時間の場合と同程度の強度低下に止めるためには前養生時間を2時間程度とする必要があると考えられる。なお前養生時間が過少(1時間)の場合の材齢14日の蒸気養生強度比をセメントの種類別に見ると、Nは50%、Hは60%、BBは40%程度となっている。

また AE コンクリートにおいても前養生時間を十分にとれば、標準養生28日強度に対する比率として、Non-AE コンクリートと同程度の結果が得られると考えられる。

今回の実験結果に見られるように、前養生時間が短い場合には、使用材料(セメント種類)、配合(高性能減水剤使用量)、蒸気養生条件(昇温速度、最高温度など)の相違により蒸気養生強度は大きく影響され、またこれらを同一としても場合によっては結果が大きくばらつく可能性がある。以上の結果として著しく強度発現が阻害される場合があるため、適切な前養生時間を確保することが重要である。

(2) 昇温速度

図-4.4.7~図-4.4.9において、前養生時間を十分にとった場合(4時間、条件⑤~⑫)では、昇温速度が蒸気養生強度に及ぼす影響はほとんど認められない(条件⑤~⑧≒⑨~⑫)。ただし N において前養生時間が短い場合の強度発現への影響が大きかった試験所 G では、昇温速度が 20°C/h の場合に比べて 40°C/h の場合では強度発現がやや小さい傾向を示していた(条件⑤~⑧>⑨~⑫)。

(3) 最高温度

図-4.4.7~図-4.4.9において、前養生時間を十分にとった場合(4時間、条件⑤~⑫)では、最高温度が 65°C の場合に比べて 80°C の方がやや強度発現が良好な傾向が認められた(条件⑤⑥<⑦⑧、条件⑨⑩<⑪⑫)。この傾向は材齢1日において顕著であり、材齢経過とともにあま

り明瞭でなくなるが、N に比べて BB では 14 日、91 日においてもその傾向が比較的明瞭に認められた。一方 H では材齢 1 日も含めてあまり影響が見られず、N、BB と傾向を異にした。

(4) 最高温度保持時間

図-4.4.7 ~図-4.4.9 より、最高温度保持時間の影響についても最高温度とほぼ同様のことが言え、材齢 1 日の N、BB では保持時間 2 時間に比べて 4 時間の方がやや強度発現が良好な傾向が認められた(条件⑤<⑥、条件⑦<⑧、条件⑨<⑩、条件⑪<⑫)。また N に比べて BB では 14 日、91 日においてもその傾向が比較的明瞭に認められた。

4.4.4 AE コンクリートの場合

前述のとおり、AE コンクリートの場合には Non-AE コンクリートに比べて前養生時間を長くする必要がある。前養生時間が十分であれば、Non-AE コンクリートと同程度の蒸気養生強度比が得られる。

4.4.5 マチュリティーの影響

各蒸気養生条件でのマチュリティーと蒸気養生強度比を表-4.4.5~表-4.4.7 に示す。また両者の関係を試験所ごとに資料図-21~図-27 に示す。図-4.4.13~図-4.4.15 は、前養生時間 4 時間の場合について、セメント種類ごとに材齢 1、14、91 日での両者の関係を示したものである。なおここで用いたマチュリティーは、 -10°C を基準として材齢 24 時間までの実測値について計算したものである。

これによれば、N および BB ではマチュリティーが大きいほど強度発現も大きくなる傾向が見られ、最高温度やその保持時間の影響はマチュリティーによりほぼ整理されることがわかる。ただし個々の試験所での結果については、必ずしも両者の相関が明瞭でない場合も見られる(資料図-23)。また材齢 14 日以降では、両者の関係を示す直線の傾きは小さくなり、関係が明瞭でなくなる傾向にある。なお BB では N に比べてやや直線の傾きが大きく、蒸気養生時の最高温度やその保持時間の影響が N に比べてやや大きいことを反映しているものと考えられる。一方 H では材齢 1 日においてもマチュリティーの増加に伴う強度増大はあまり認められない。また同一マチュリティーでの強度比は $H \gg N > BB$ の順であり、BB は N に比べて幾分小さい。

既往文献⁵⁾では、蒸気養生を行った場合の同一のマチュリティーでの強度比は $H > N > BB$ であり、養生期間の短縮には H の使用が有利であることとともに、H では N、BB よりもやや小さいマチュリティーの段階で、マチュリティーの増加に伴い直線的に圧縮強度が増大する期間が終了し、強度の増大割合が鈍化する傾向が示されている。今回の実験結果において、H ではマチュリティー増加に伴う強度増大が少なかったことについては、上記の既往研究に示される傾向が反映されているものと考えられる。

4.4.6 材齢 14 日以降の強度の伸び

蒸気養生後気中養生 14 日以降の強度の伸びについては、図-4.4.1~図-4.4.3 に見られるように、前養生時間の不足によりコンクリートの強度発現が阻害された場合は、材齢 91 日に至っても強度は回復しないことがわかる。また H については試験所によって傾向にばらつきが見られ、試験所 D では 28 日から 91 日でやや強度が低下している場合も見られた。一方 N と BB については、前養生時間が短い場合を除いて、各養生条件ともに試験所間のばらつきは比較的少なかった。

材齢 14 日からの強度の伸び(28 日/14 日および 91 日/14 日、シリーズ 2 では 28 日/14 日および 56 日/14 日)を表-4.4.8~表-4.4.11 に示す。条件⑥における材齢 14 日から 91 日での強度の伸びは、N では 10~15%程度、H では 0~20%程度、BB では 10%程度であり、N と BB とを比較すると BB はやや強度の伸びが少なかった。また蒸気養生条件と強度の伸びとの関係には明瞭な傾向は見られないようである。蒸気養生後の強度の伸びについて、シリーズ 1 では試験所ごとに全蒸気養生条件の平均を、シリーズ 2 では材齢 14 日後に気中養生を継続した場合と水中養生を行った場合とのそれぞれについて、図-4.4.16 に一括して示す。なおシリーズ 1 については材齢 14 日に対する材齢 91 日の伸びであり、シリーズ 2 については材齢 14 日に対する材齢 56 日の伸びを示している。試験所によって差はあるが、シリーズ 1 での材齢 14 日から 91 日までの強度の伸びはほぼ 5%~20%程度であり、N と BB を比較すると BB の方がやや小さい傾向がうかがえる。

図-4.4.4~図-4.4.6 により、シリーズ 2 において実施した気中養生 14 日以降 20℃水中養生を材齢 56 日まで(水中養生期間は 42 日間)行った場合の強度の推移を見ると、前養生時間の不足によりコンクリートの強度発現が阻害された場合は、気中養生を継続した場合と同じく、途中より水中養生を行った場合でも(少なくとも 42 日間程度の水中養生では)、強度は回復しないことがわかる。

また前養生時間を十分にとった場合(条件⑩、⑪)においても、N、H では材齢 56 日時点での強度比は気中養生を継続した場合とあまり差が無く、蒸気養生後気中養生期間を経た場合は、その後水分供給が行われても、1~2 ヶ月程度の期間では強度増進効果はあまり期待出来ないものと推察される。一方 BB においては、14 日以降水中養生を行った場合は、気中養生を継続した場合に比べて若干強度比が大きく、強度の伸びもやや大きくなっている傾向が認められ、水分供給の有無の影響が他のセメントに比べて大きい傾向にあると考えられる。以上の傾向は、図-4.4.16 に示したシリーズ 2 の材齢 14 日から 56 日の強度の伸びにおける試験所 B、C の結果からも確認される。

なお、一般に蒸気養生後直ちに水中養生を実施した場合は、後養生を実施せず気中放置した場合に比べて強度増進が大きいことが報告されており^{6)、9)}、土木学会コンクリート標準示方書[施工編]解説¹⁾においても、促進養生を行った後に湿潤養生を行うことが望ましいと記述されている。今回の実験結果より、蒸気養生後に湿潤養生を行う場合には、蒸気養生後コンクリートを乾燥状態にさせることなく直ちに実施することが重要であり、蒸気養生終了後材齢が経過してから水分供給が行われても効果は少ないと考えられる。

4.4.7 セメント種類の影響

以上に示した傾向をそれぞれのセメントごとにまとめると、以下のとおりとなる。

(1) 普通ポルトランドセメント

前養生時間を十分に取った場合の蒸気養生強度比は、1 日で 48%、14 日で 74%、91 日で 85%であり、一般にコンクリート製品の品質管理に用いられる 14 日での強度は、標準養生 28 日強度の 75%程度となった。材齢 1 日、すなわち脱型時の強度発現は、前養生時間を十分にとった場合では、最高温度、同保持時間の影響を受け、最高温度は高い方が(65℃よりも 80℃の方が)、保持時間は長い方が(2 時間よりも 4 時間の方が)有利となった。

前養生時間が少ない(1 時間)場合には蒸気養生強度の発現が小さくなる。前養生時間が十分な場合に対する比率は、材齢 14 日で 80~90%程度と考えられるが、条件によっては、前養生時間が十分な場合の 60%以下にまで低下する。

(2) 早強ポルトランドセメント

前養生時間を十分に取った場合の蒸気養生強度比は、1日で71%、14日で94%、91日で104%であり、14日での強度は、標準養生28日強度の95%程度となった。材齢1日(脱型時)の強度発現に対する最高温度、同保持時間の影響がほとんど見られずNと傾向を異にする。なお、H使用コンクリートでは蒸気養生の最高温度の影響を受けにくいことは既往文献²⁾でも示されており、今回の実験結果においても同様の傾向が得られたものと考えられる。

前養生時間が少ない(1時間)の場合には蒸気養生強度の発現が小さくなる。前養生時間が十分な場合に対する比率は、材齢14日で90%程度と考えられるが、条件によっては、Nと同様に前養生時間が十分な場合の60%以下にまで低下する。(強度発現が阻害された場合とそうでない場合とで、著しい強度差を生じているが、この理由としては前記のとおり、試験所間の混和剤使用量の差が影響したことが考えられる。)

(3) 高炉セメントB種

前養生時間を十分に取った場合の蒸気養生強度比は、1日で46%、14日で68%、91日で75%であり、14日での強度は、標準養生28日強度の70%程度となった。材齢1日、すなわち脱型時の強度発現は、前養生時間を十分にとった場合では、Nと同様に、最高温度、同保持時間の影響を受け、最高温度は高い方が、保持時間は長い方が有利となる。またNと比較して、これらの蒸気養生条件の影響は比較的長期材齢にまで及ぶ傾向が見られた。前養生時間が少ない(1時間)の場合には蒸気養生強度の発現が小さくなる。その傾向は概ねNと同様である。

表-4.4.1 標準養生 28 日強度に対する蒸気養生強度比
(シリーズ 1, 普通ポルトランドセメント)

セメント 種類	試験所	番号	記号	蒸気養生強度比(%)				
				1日	7日	14日	28日	91日
N	A	①	1-20-65-4	47.0	62.6	68.8	71.5	73.3
		②	1-40-65-4	36.9	49.9	51.9	55.6	63.0
		③	1-40-80-2	45.5	62.6	64.6	64.2	66.8
		④	1-40-80-4	46.4	59.4	60.0	64.3	69.1
		⑤	4-20-65-2	42.6	64.1	70.8	75.0	76.9
		⑥	4-20-65-4	49.1	69.5	73.3	78.8	81.4
		⑦	4-20-80-2	55.6	71.6	76.4	80.6	84.0
		⑧	4-20-80-4	58.9	72.4	77.8	80.2	83.6
		⑨	4-40-65-2	42.5	65.8	69.9	75.2	76.3
		⑩	4-40-65-4	47.3	64.3	72.0	77.1	80.0
		⑪	4-40-80-2	51.9	66.2	71.8	76.3	77.2
		⑫	4-40-80-4	62.1	75.5	82.2	87.4	88.3
		⑬	7-20-65-4	53.4	71.1	78.4	82.6	84.6
	E	①	1-20-65-4	35.9	60.9	67.1	76.7	84.0
		②	1-40-65-4	34.9	54.3	64.2	71.3	85.0
		③	1-40-80-2	44.0	58.1	65.2	73.3	76.0
		④	1-40-80-4	45.3	61.0	65.3	72.2	73.7
		⑤	4-20-65-2	39.7	67.1	73.0	79.8	88.6
		⑥	4-20-65-4	41.1	63.0	70.3	78.7	80.8
		⑦	4-20-80-2	50.7	66.8	74.8	81.2	89.7
		⑧	4-20-80-4	51.1	68.9	74.6	80.2	88.5
		⑨	4-40-65-2	37.5	65.3	68.5	72.5	84.0
		⑩	4-40-65-4	38.2	63.0	71.1	74.0	83.6
		⑪	4-40-80-2	46.9	67.6	72.5	76.4	82.1
		⑫	4-40-80-4	52.1	69.7	76.8	84.3	88.2
		⑬	7-20-65-4	43.6	66.2	74.7	78.8	88.9
	G	①	1-20-65-4	35.8	53.1	59.6	61.2	65.1
		②	1-40-65-4	34.3	46.8	51.6	57.4	63.3
		③	1-40-80-2	35.1	45.6	45.5	46.6	52.1
		④	1-40-80-4	35.9	44.5	45.4	45.7	53.5
		⑤	4-20-65-2	46.6	67.9	72.7	77.9	82.5
		⑥	4-20-65-4	54.9	75.3	79.9	84.2	93.0
		⑦	4-20-80-2	61.5	75.7	78.2	80.3	90.0
		⑧	4-20-80-4	58.8	72.0	74.8	77.6	85.2
		⑨	4-40-65-2	39.7	58.7	63.8	68.5	72.9
		⑩	4-40-65-4	45.9	63.2	67.7	72.0	76.0
		⑪	4-40-80-2	46.9	64.7	69.7	74.5	78.7
		⑫	4-40-80-4	51.6	70.4	75.7	80.4	85.5
		⑬	7-20-65-4	46.9	65.5	73.2	77.6	82.3

表-4.4.2 標準養生 28 日強度に対する蒸気養生強度比
(シリーズ 1, 早強ポルトランドセメント)

セメント 種類	試験所	番号	記号	蒸気養生強度比(%)				
				1日	7日	14日	28日	91日
H	D	①	1-20-65-4	62.8	81.1	84.6	89.4	90.4
		②	1-40-65-4	60.0	80.0	82.2	94.3	95.6
		③	1-40-80-2	66.1	78.9	86.9	92.8	96.0
		④	1-40-80-4	67.5	82.6	84.2	90.7	93.0
		⑤	4-20-65-2	65.8	82.7	89.4	90.3	92.4
		⑥	4-20-65-4	68.8	84.1	93.3	97.1	93.2
		⑦	4-20-80-2	72.4	90.5	97.1	100.2	101.2
		⑧	4-20-80-4	68.6	79.7	86.8	98.0	99.6
		⑨	4-40-65-2	66.4	81.2	80.3	91.9	94.1
		⑩	4-40-65-4	61.6	81.4	89.5	94.8	94.7
		⑪	4-40-80-2	69.8	85.2	92.2	100.1	95.9
		⑫	4-40-80-4	70.9	92.1	100.6	103.8	106.5
		⑬	7-20-65-4	74.3	91.1	98.0	102.4	93.3
	F	①	1-20-65-4	63.0	78.0	87.3	94.8	107.4
		②	1-40-65-4	47.2	58.4	60.6	64.5	69.5
		③	1-40-80-2	48.0	56.5	58.7	64.0	65.9
		④	1-40-80-4	44.2	48.9	54.1	55.0	60.2
		⑤	4-20-65-2	67.2	81.3	91.8	95.1	104.9
		⑥	4-20-65-4	72.9	92.0	94.0	97.7	114.8
		⑦	4-20-80-2	72.3	82.5	92.1	94.8	107.3
		⑧	4-20-80-4	72.9	80.6	82.7	92.8	106.8
		⑨	4-40-65-2	67.8	85.6	92.1	97.4	105.4
		⑩	4-40-65-4	72.3	86.6	91.2	98.1	107.7
		⑪	4-40-80-2	73.6	82.3	86.9	92.7	106.3
		⑫	4-40-80-4	74.3	79.6	87.9	92.4	103.0
		⑬	7-20-65-4	71.8	84.8	93.4	98.9	107.4

表-4.4.3 標準養生 28 日強度に対する蒸気養生強度比
(シリーズ 1, 高炉セメント B 種)

セメント 種類	試験所	番号	記号	蒸気養生強度比(%)				
				1日	7日	14日	28日	91日
BB	B	①	1-20-65-4	42.7	58.8	63.4	65.2	68.7
		②	1-40-65-4	41.3	50.7	54.9	57.1	60.6
		③	1-40-80-2	48.8	48.6	48.9	54.4	57.8
		④	1-40-80-4	47.1	50.5	52.8	57.5	59.5
		⑤	4-20-65-2	41.6	62.5	68.6	70.4	74.8
		⑥	4-20-65-4	46.6	66.9	70.7	74.8	79.0
		⑦	4-20-80-2	53.4	71.0	75.6	76.6	80.3
		⑧	4-20-80-4	56.6	72.5	75.4	80.0	83.1
		⑨	4-40-65-2	39.5	60.9	67.7	71.9	72.1
		⑩	4-40-65-4	44.1	65.3	70.4	73.4	76.3
		⑪	4-40-80-2	53.4	71.7	77.5	77.8	78.6
		⑫	4-40-80-4	54.8	72.4	77.2	79.2	81.7
		⑬	7-20-65-4	44.3	67.4	70.3	74.5	76.8
	C	①	1-20-65-4	37.1	52.1	59.3	63.7	64.3
		②	1-40-65-4	40.7	55.4	63.5	64.8	65.4
		③	1-40-80-2	42.5	55.9	63.0	65.7	66.3
		④	1-40-80-4	51.0	58.6	66.0	70.1	68.0
		⑤	4-20-65-2	34.9	53.4	59.0	63.2	63.7
		⑥	4-20-65-4	44.9	61.9	65.4	69.1	71.4
		⑦	4-20-80-2	49.9	63.7	70.7	72.6	71.3
		⑧	4-20-80-4	57.6	71.4	73.6	78.9	78.5
		⑨	4-40-65-2	35.6	53.8	61.7	67.9	66.9
		⑩	4-40-65-4	44.6	61.9	66.8	69.8	70.7
		⑪	4-40-80-2	54.5	67.9	73.1	73.3	72.6
		⑫	4-40-80-4	59.3	70.8	76.8	77.5	76.8
		⑬	7-20-65-4	42.8	60.5	67.5	71.4	71.9

表-4.4.4 標準養生 28 日強度に対する蒸気養生強度比(シリーズ 2) (%)

セメント種類	試験所	番号	記号	蒸気養生後気中					蒸気養生後 気中後水中*	
				1日	7日	14日	28日	56日	28日	56日
N	A	⑭	1-40-80-2	42.4	57.3	58.8	64.4	65.2	57.8	59.9
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	35.9	44.8	44.4	48.0	49.1	41.8	49.4
		⑱	2-40-80-2	43.8	57.1	57.7	64.2	60.2	56.0	65.3
		⑲	4-20-65-4	52.8	71.6	76.5	80.6	80.1	75.0	83.5
	E	⑭	1-40-80-2	44.7	62.4	65.0	68.7	73.2	68.0	77.7
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	45.6	57.9	57.0	68.3	70.6	66.6	71.6
		⑱	2-40-80-2	48.0	59.6	59.1	71.3	71.6	66.6	74.0
		⑲	4-20-65-4	42.1	61.1	67.0	75.3	79.0	72.0	80.8
	G	⑭	1-40-80-2	37.7	46.8	50.4	55.4	60.7	58.3	60.5
		⑮	2-40-80-2	41.4	61.4	63.6	67.3	68.8	68.1	68.4
		⑯	4-20-65-4	50.2	73.3	77.3	81.6	87.7	84.4	91.3
		⑰	1-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
		⑱	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
		⑲	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—
	H	D	⑭	1-40-80-2	67.6	82.9	88.9	94.0	93.5	85.8
⑮			2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
⑯			4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—
⑰			1-40-80-2	51.6	57.1	60.6	62.8	66.5	62.8	63.8
⑱			2-40-80-2	79.4	87.3	93.1	101.5	102.7	92.8	96.1
⑲			4-20-65-4	73.9	90.1	94.7	103.0	101.9	93.0	99.8
F		⑭	1-40-80-2	44.1	52.2	53.7	47.4	52.4	49.3	58.0
		⑮	2-40-80-2	60.0	65.8	73.8	70.2	77.0	70.1	78.8
		⑯	4-20-65-4	73.2	87.5	91.4	94.2	108.8	95.5	100.4
		⑰	1-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
		⑱	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
		⑲	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—
BB	B	⑭	1-40-80-2	47.6	57.9	61.5	64.1	65.0	68.3	73.1
		⑮	2-40-80-2	54.9	70.6	70.8	74.1	76.1	74.7	86.6
		⑯	4-20-65-4	47.5	64.9	69.9	74.1	74.6	79.3	90.1
		⑰	1-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
		⑱	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
		⑲	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—
	C	⑭	1-40-80-2	34.2	43.6	47.0	42.6	45.1	38.4	45.9
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	29.5	34.2	38.2	36.8	39.7	33.8	35.9
		⑱	2-40-80-2	36.7	45.1	48.2	49.9	46.8	43.0	44.7
		⑲	4-20-65-4	47.5	67.0	68.3	72.2	73.0	83.7	91.9

*蒸気養生後 14 日間 20°C 気中養生を行った後、材齢 28、56 日まで 20°C 水中養生を行なった

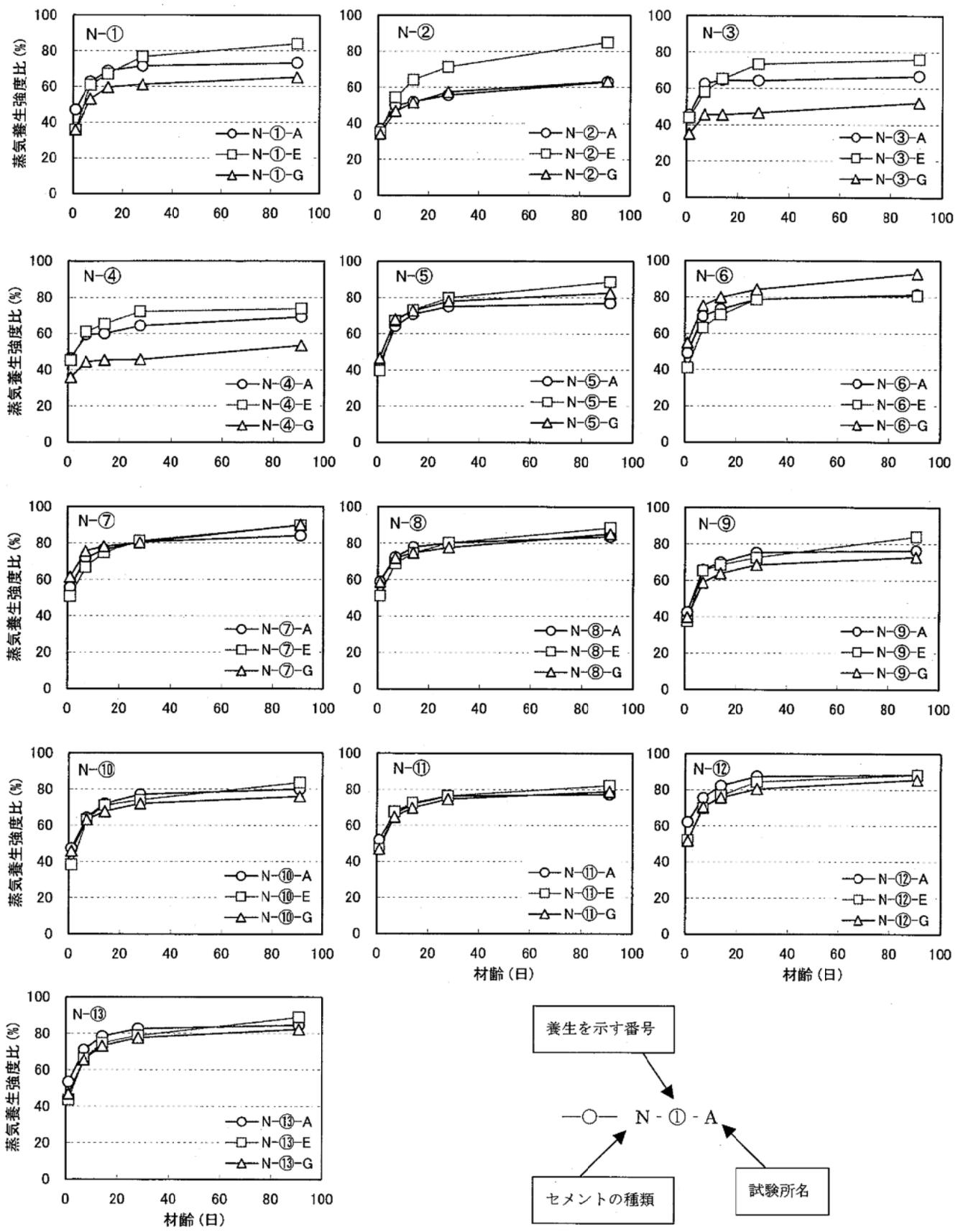


図-4.4.1 普通ポルトランドセメントの蒸気養生強度比(シリーズ1)

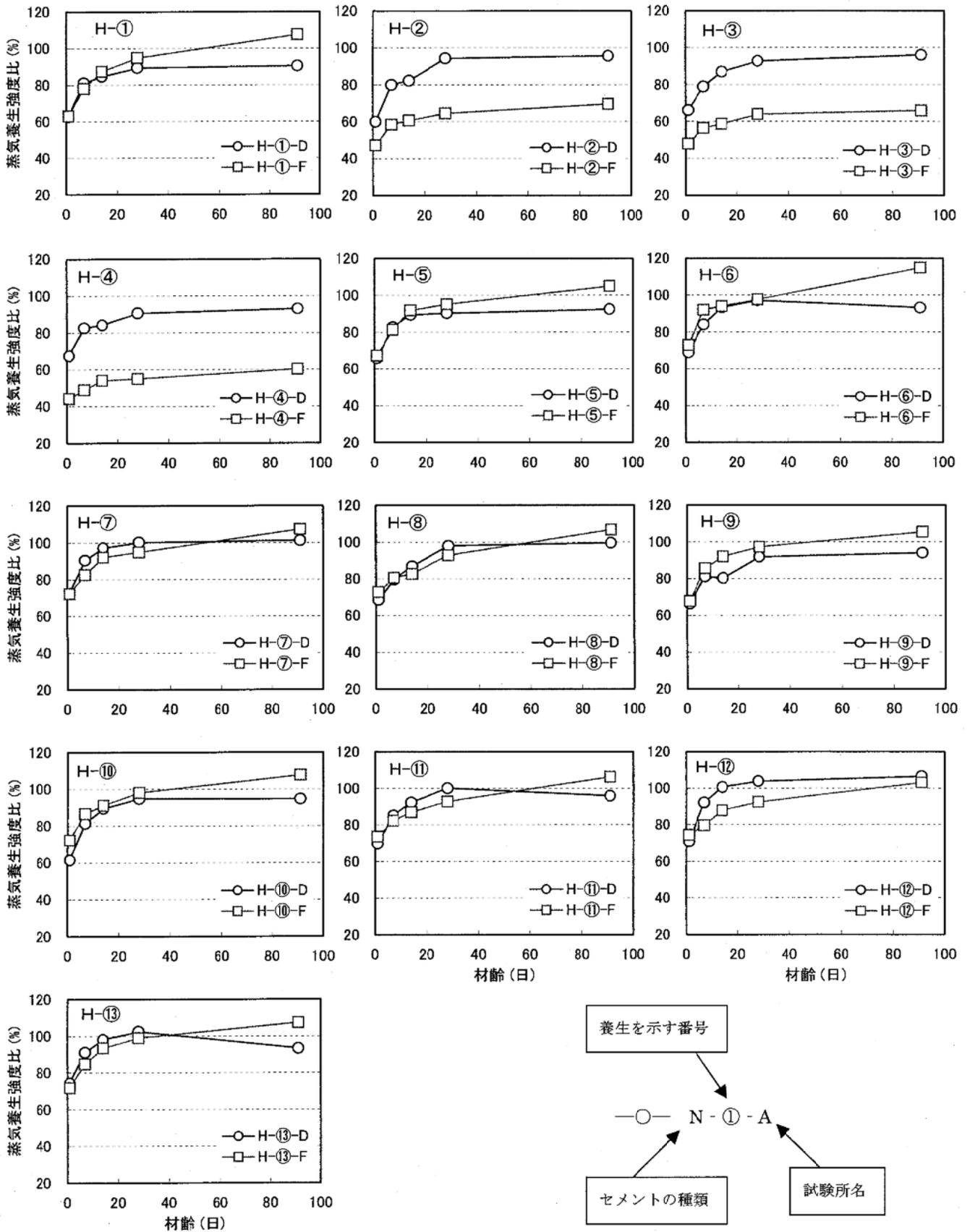


図-4.4.2 早強ポルトランドセメントの蒸気養生強度比(シリーズ 1)

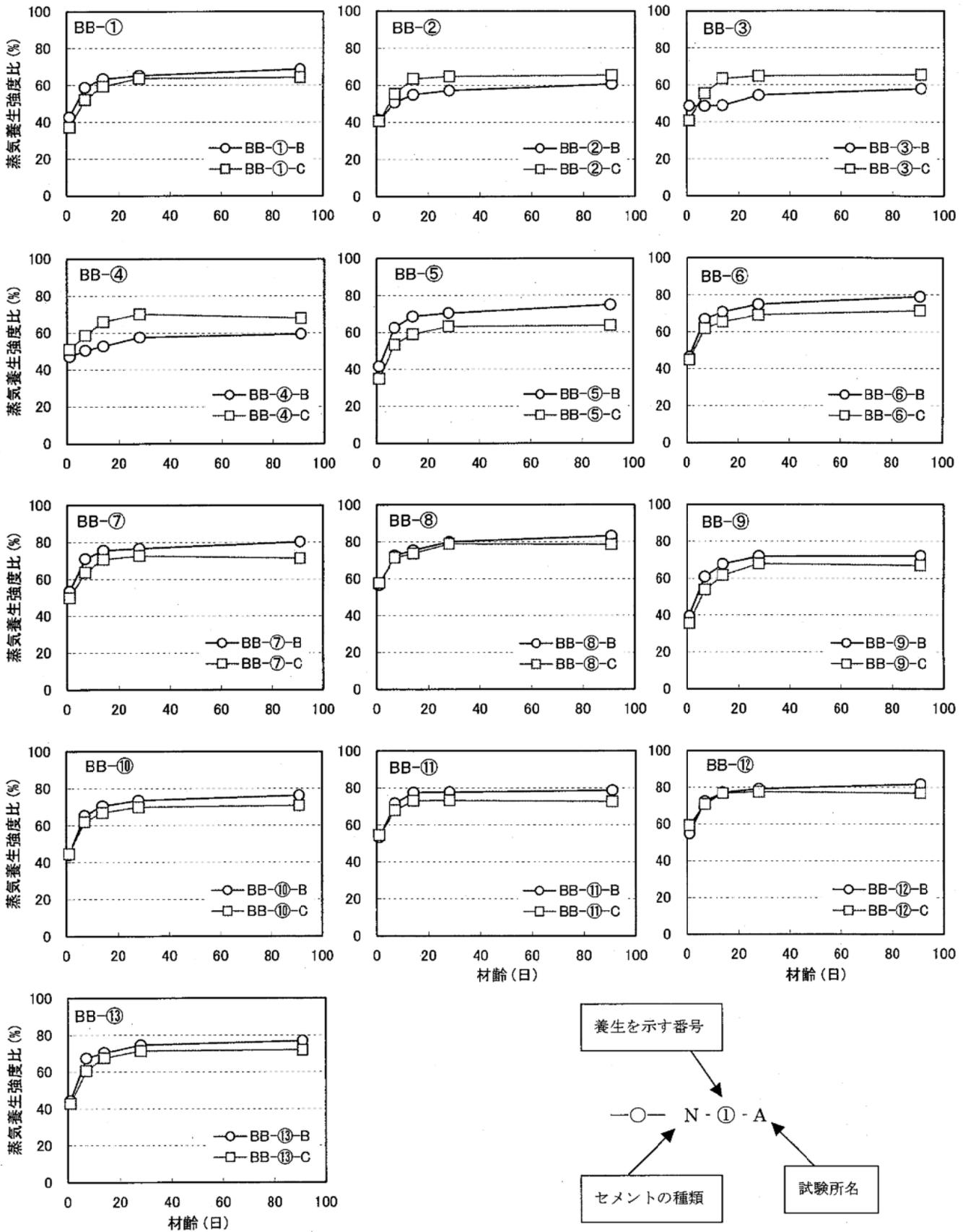


図-4.4.3 高炉セメントB種の蒸気養生強度比(シリーズ1)

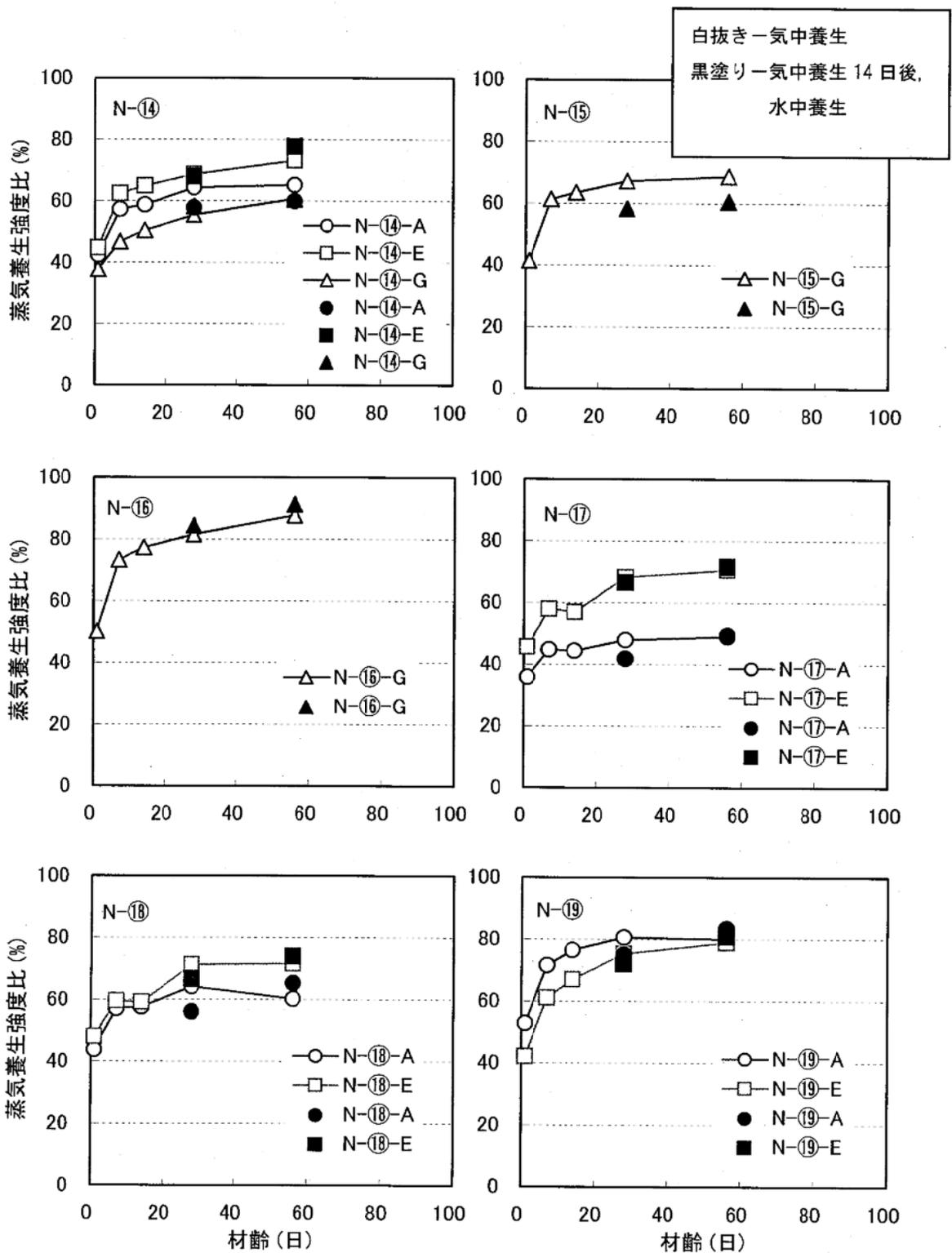


図-4.4.4 普通ポルトランドセメントの蒸気養生強度比(シリーズ 2)

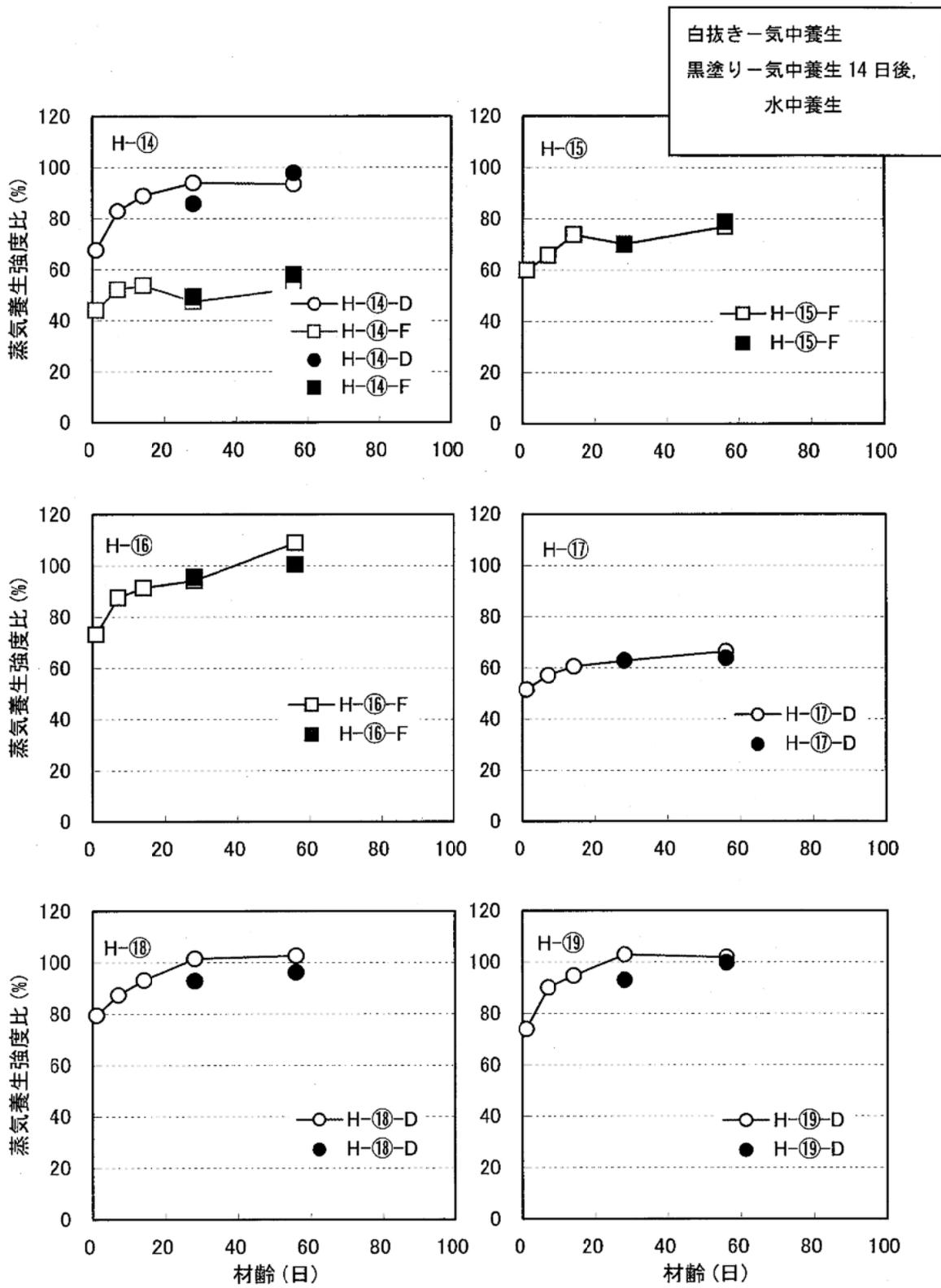


図-4.4.5 早強ポルトランドセメントの蒸気養生強度比(シリーズ 2)

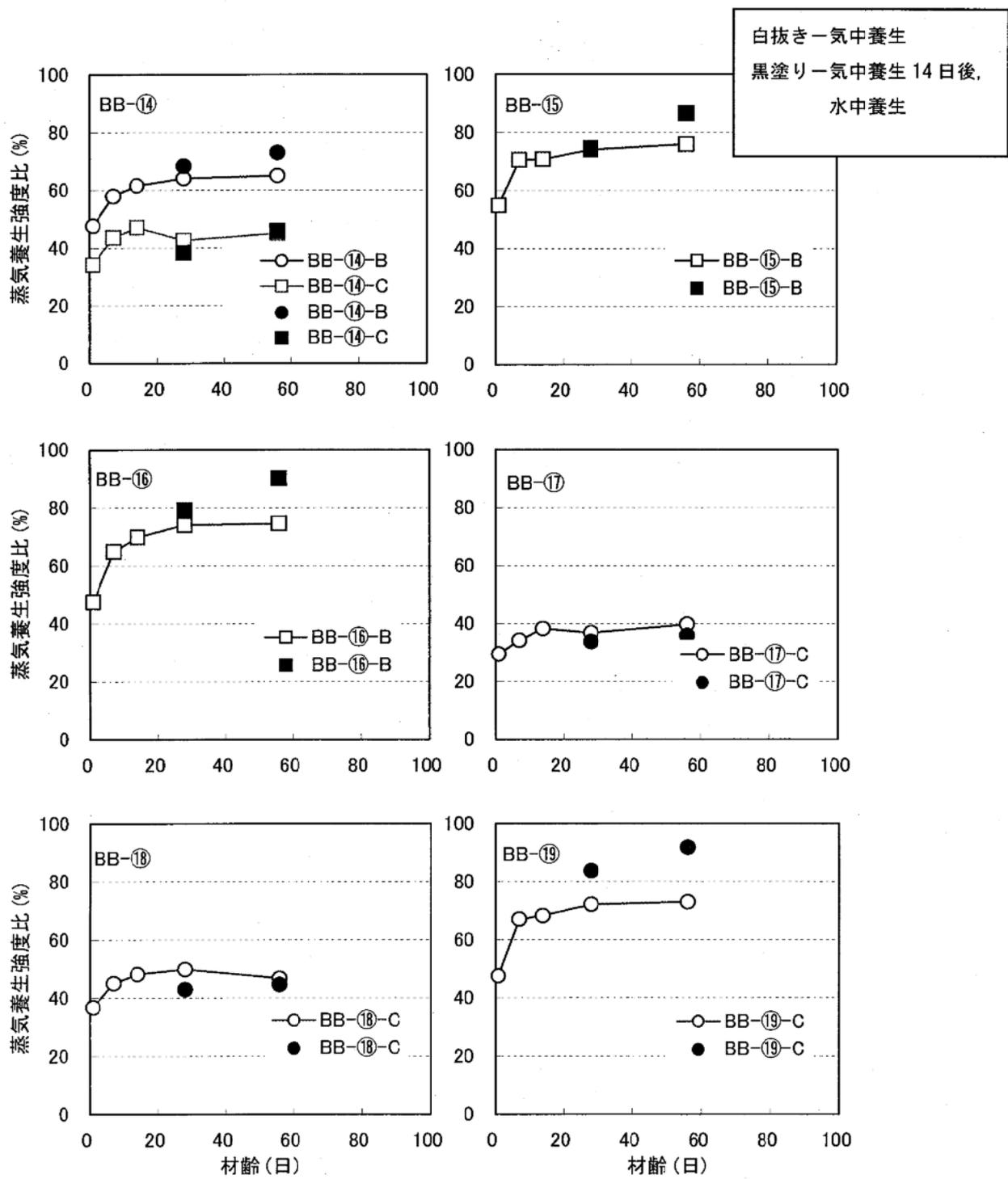


図-4.4.6 高炉セメント B 種の蒸気養生強度比(シリーズ 2)

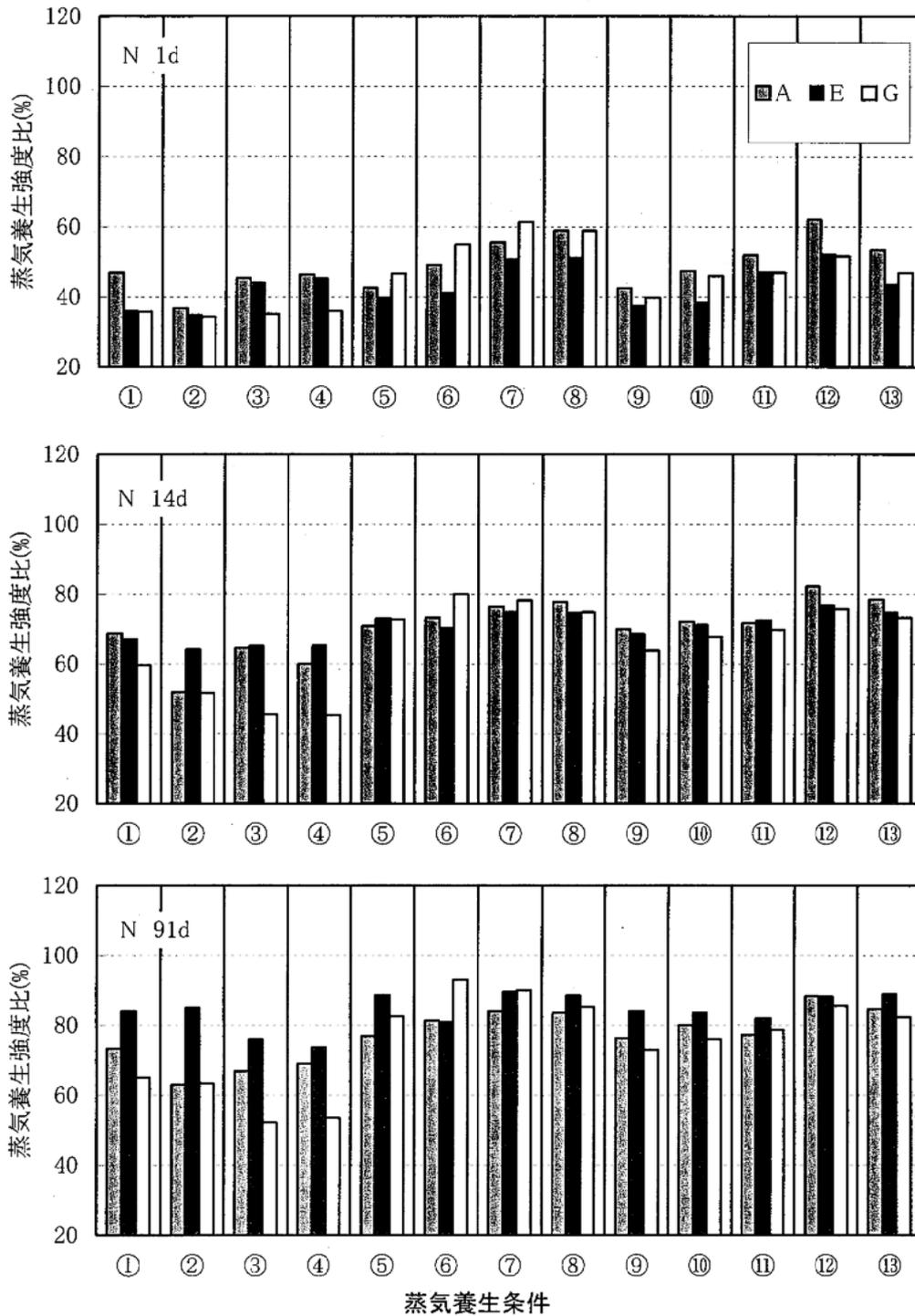


図-4.4.7 蒸気養生条件と蒸気養生強度比の関係
(普通ポルトランドセメント, シリーズ1)

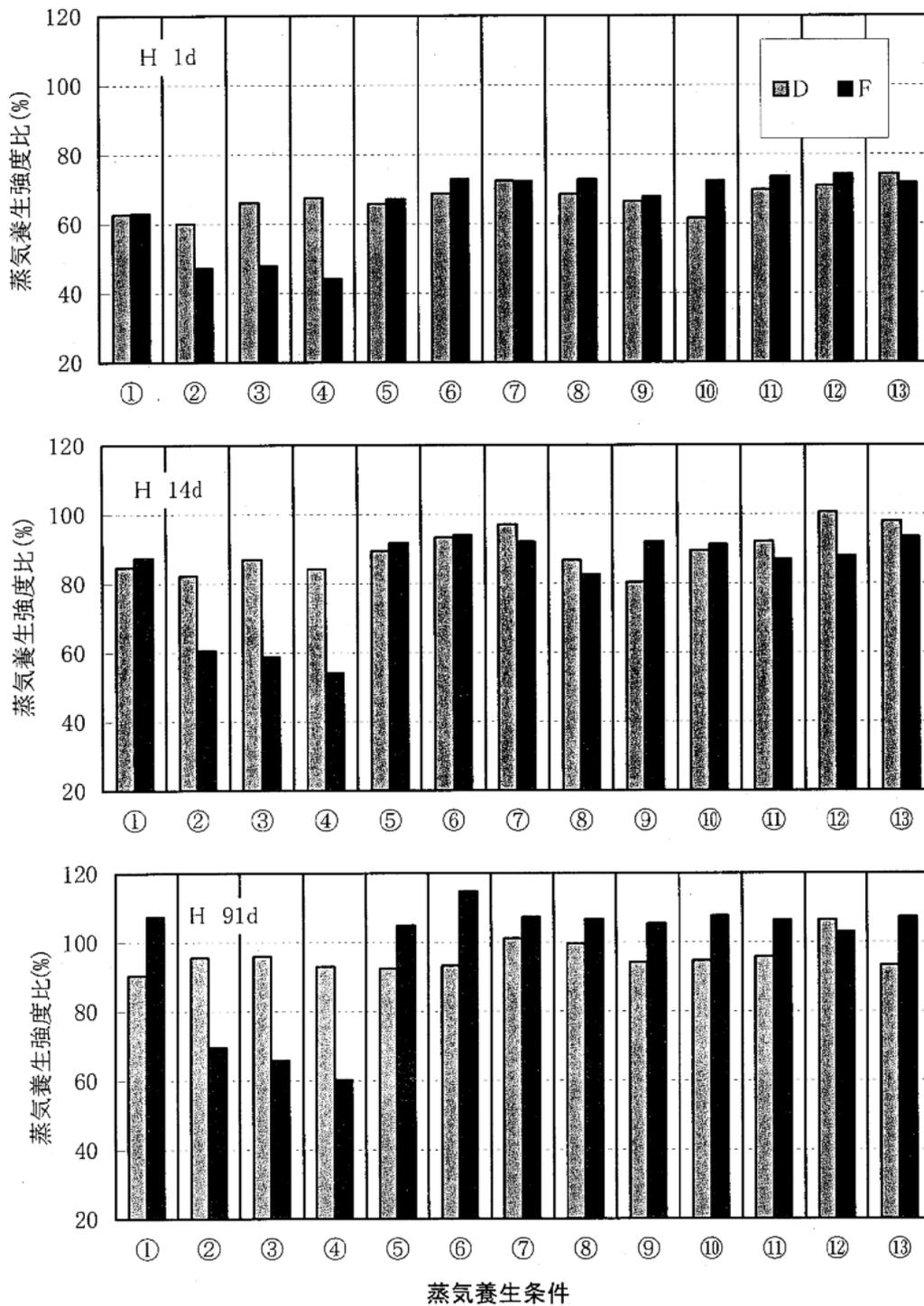


図-4.4.8 蒸気養生条件と蒸気養生強度比の関係
(早強ポルトランドセメント シリーズ1)

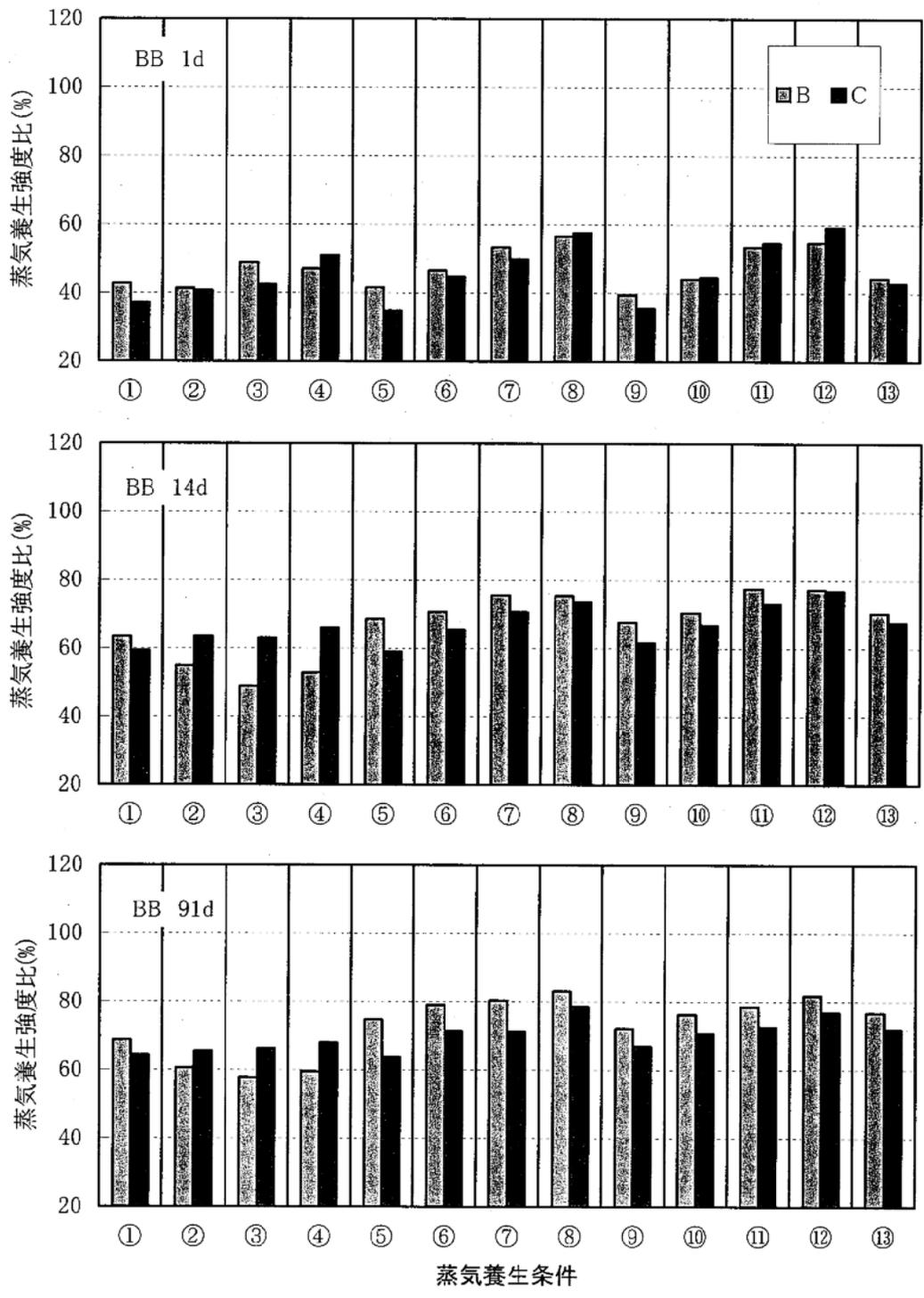


図-4.4.9 蒸気養生条件と蒸気養生強度比の関係
(高炉セメント B 種 シリーズ 1)

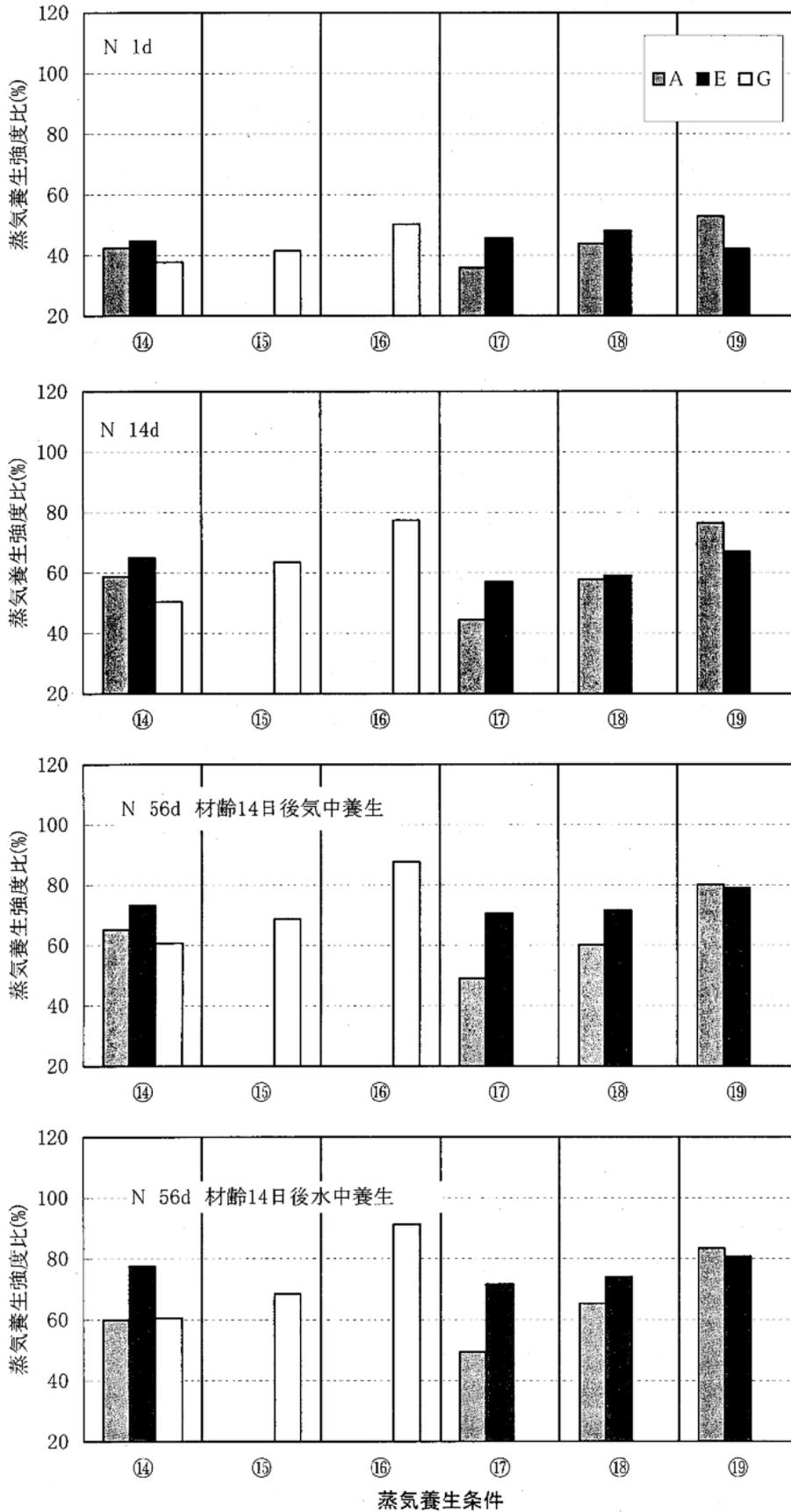


図-4.4.10 蒸気養生条件と蒸気養生強度比の関係
(普通ポルトランドセメント シリーズ2)

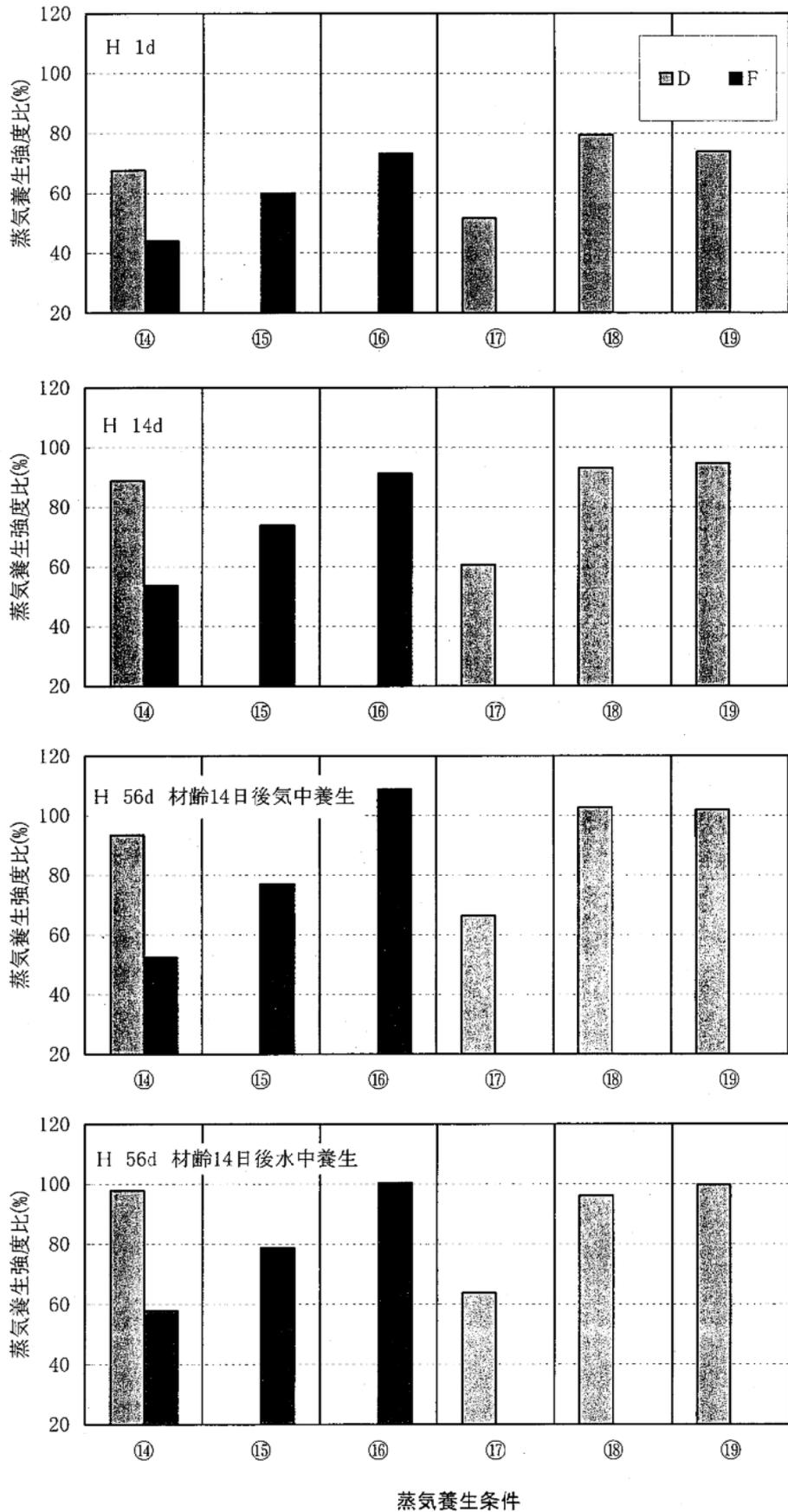


図-4.4.11 蒸気養生条件と蒸気養生強度比の関係
(早強ポルトランドセメント シリーズ2)

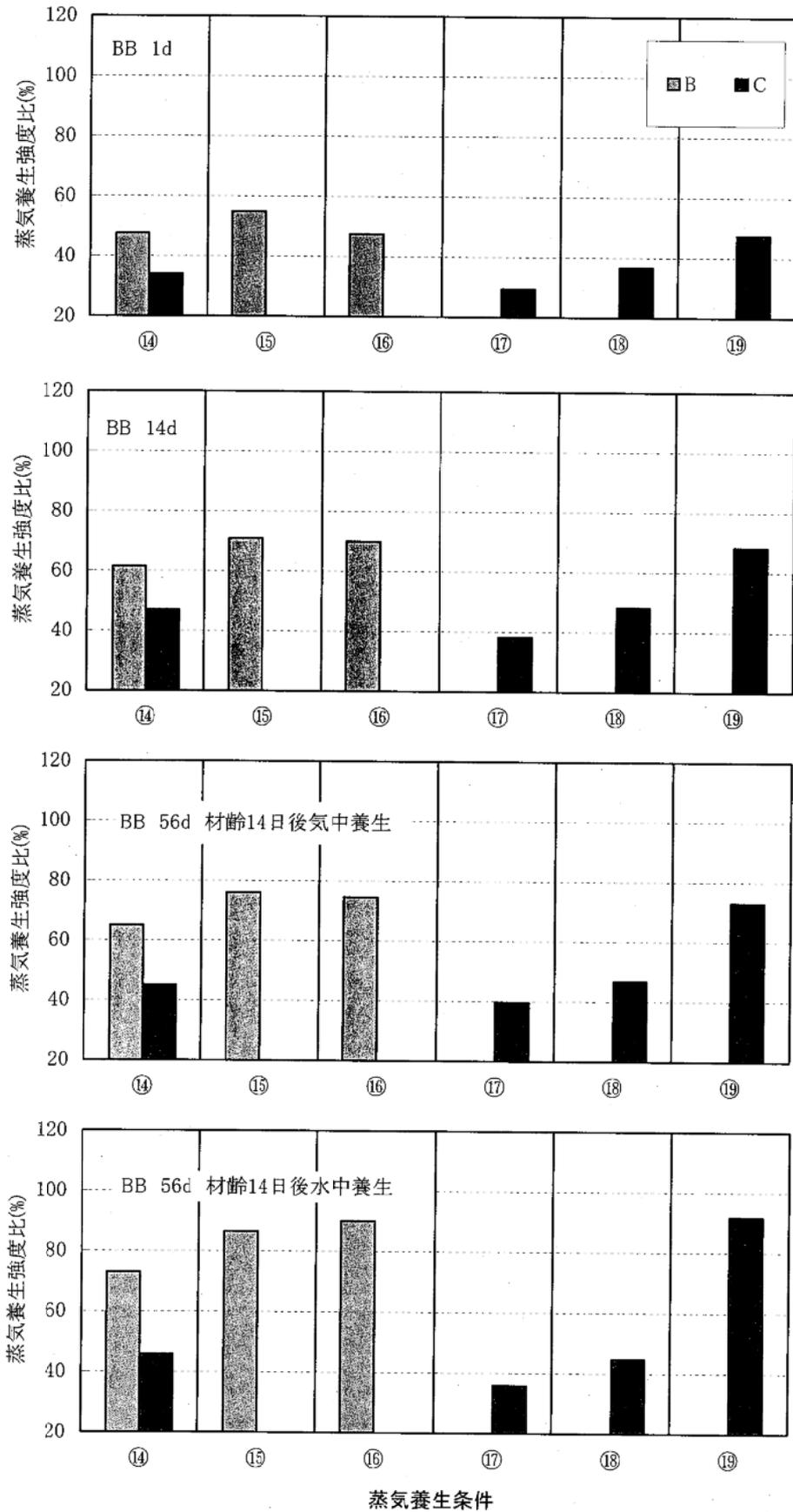


図-4.4.12 蒸気養生条件と蒸気養生強度比の関係(高炉セメントB種 シリーズ2)

表-4.4.5 各蒸気養生条件におけるマチュリティーと蒸気養生強度比
(シリーズ1, 普通ポルトランドセメント)

セメント 種類	試験所	番号	記号	マチュリティー(°C・h)*		蒸気養生強度比(%)		
				設定値	実測値	1日	14日	91日
N	A	①	1-20-65-4	1176	1237	47.0	68.8	73.3
		②	1-40-65-4	1150	1225	36.9	51.9	63.0
		③	1-40-80-2	1285	1361	45.5	64.6	66.8
		④	1-40-80-4	1405	1487	46.4	60.0	69.1
		⑤	4-20-65-2	1086	1161	42.6	70.8	76.9
		⑥	4-20-65-4	1176	1246	49.1	73.3	81.4
		⑦	4-20-80-2	1330	1399	55.6	76.4	84.0
		⑧	4-20-80-4	1450	1505	58.9	77.8	83.6
		⑨	4-40-65-2	1060	1137	42.5	69.9	76.3
		⑩	4-40-65-4	1150	1219	47.3	72.0	80.0
		⑪	4-40-80-2	1285	1353	51.9	71.8	77.2
		⑫	4-40-80-4	1405	1493	62.1	82.2	88.3
		⑬	7-20-65-4	1176	1223	53.4	78.4	84.6
	①	1-20-65-4	1176	1146	35.9	67.1	84.0	
	②	1-40-65-4	1150	1207	34.9	64.2	85.0	
	③	1-40-80-2	1285	1296	44.0	65.2	76.0	
	④	1-40-80-4	1405	1414	45.3	65.3	73.7	
	⑤	4-20-65-2	1086	1136	39.7	73.0	88.6	
	⑥	4-20-65-4	1176	1198	41.1	70.3	80.8	
	⑦	4-20-80-2	1330	1367	50.7	74.8	89.7	
	⑧	4-20-80-4	1450	1481	51.1	74.6	88.5	
	⑨	4-40-65-2	1060	1120	37.5	68.5	84.0	
	⑩	4-40-65-4	1150	1205	38.2	71.1	83.6	
	⑪	4-40-80-2	1285	1306	46.9	72.5	82.1	
	⑫	4-40-80-4	1405	1409	52.1	76.8	88.2	
	⑬	7-20-65-4	1176	1251	43.6	74.7	88.9	
	①	1-20-65-4	1176	1295	35.8	59.6	65.1	
	②	1-40-65-4	1150	1247	34.3	51.6	63.3	
	③	1-40-80-2	1285	1394	35.1	45.5	52.1	
	④	1-40-80-4	1405	1509	35.9	45.4	53.5	
	⑤	4-20-65-2	1086	1159	46.6	72.7	82.5	
	⑥	4-20-65-4	1176	1310	54.9	79.9	93.0	
	⑦	4-20-80-2	1330	1357	61.5	78.2	90.0	
	⑧	4-20-80-4	1450	1442	58.8	74.8	85.2	
	⑨	4-40-65-2	1060	1174	39.7	63.8	72.9	
	⑩	4-40-65-4	1150	1210	45.9	67.7	76.0	
	⑪	4-40-80-2	1285	1307	46.9	69.7	78.7	
	⑫	4-40-80-4	1405	1462	51.6	75.7	85.5	
	⑬	7-20-65-4	1176	1186	46.9	73.2	82.3	

*マチュリティーの基準温度は-10°Cとした。

表-4.4.6 各蒸気養生条件におけるマチュリティーと蒸気養生強度比
(シリーズ1, 早強ポルトランドセメント)

セメント 種類	試験 所	番 号	記号	マチュリティー(°C・h)*		蒸気養生強度比(%)		
				設定値	実測値	1日	14日	91日
H	D	①	1-20-65-4	1176	1254	62.8	84.6	90.4
		②	1-40-65-4	1150	1228	60.0	82.2	95.6
		③	1-40-80-2	1285	1388	66.1	86.9	96.0
		④	1-40-80-4	1405	1498	67.5	84.2	93.0
		⑤	4-20-65-2	1086	1154	65.8	89.4	92.4
		⑥	4-20-65-4	1176	1261	68.8	93.3	93.2
		⑦	4-20-80-2	1330	1413	72.4	97.1	101.2
		⑧	4-20-80-4	1450	1508	68.6	86.8	99.6
		⑨	4-40-65-2	1060	1118	66.4	80.3	94.1
		⑩	4-40-65-4	1150	1211	61.6	89.5	94.7
		⑪	4-40-80-2	1285	1383	69.8	92.2	95.9
		⑫	4-40-80-4	1405	1484	70.9	100.6	106.5
		⑬	7-20-65-4	1176	1250	74.3	98.0	93.3
	F	①	1-20-65-4	1176	1268	63.0	87.3	107.4
		②	1-40-65-4	1150	1281	47.2	60.6	69.5
		③	1-40-80-2	1285	1416	48.0	58.7	65.9
		④	1-40-80-4	1405	1475	44.2	54.1	60.2
		⑤	4-20-65-2	1086	1175	67.2	91.8	104.9
		⑥	4-20-65-4	1176	1268	72.9	94.0	114.8
		⑦	4-20-80-2	1330	1413	72.3	92.1	107.3
		⑧	4-20-80-4	1450	1481	72.9	82.7	106.8
		⑨	4-40-65-2	1060	1139	67.8	92.1	105.4
		⑩	4-40-65-4	1150	1281	72.3	91.2	107.7
		⑪	4-40-80-2	1285	1413	73.6	86.9	106.3
		⑫	4-40-80-4	1405	1475	74.3	87.9	103.0
		⑬	7-20-65-4	1176	1224	71.8	93.4	107.4

*マチュリティーの基準温度は-10°Cとした。

表-4.4.7 各蒸気養生条件におけるマチュリティーと蒸気養生強度比
(シリーズ1, 高炉セメントB種)

セメント 種類	試験 所	番号	記号	マチュリティー(°C・h) [*]		蒸気養生強度比(%)		
				設定値	実測値	1日	14日	91日
BB	B	①	1-20-65-4	1176	1308	42.7	63.4	68.7
		②	1-40-65-4	1150	1318	41.3	54.9	60.6
		③	1-40-80-2	1285	1449	48.8	48.9	57.8
		④	1-40-80-4	1405	1527	47.1	52.8	59.5
		⑤	4-20-65-2	1086	1199	41.6	68.6	74.8
		⑥	4-20-65-4	1176	1300	46.6	70.7	79.0
		⑦	4-20-80-2	1330	1379	53.4	75.6	80.3
		⑧	4-20-80-4	1450	1444	56.6	75.4	83.1
		⑨	4-40-65-2	1060	1200	39.5	67.7	72.1
		⑩	4-40-65-4	1150	1260	44.1	70.4	76.3
		⑪	4-40-80-2	1285	1384	53.4	77.5	78.6
		⑫	4-40-80-4	1405	1422	54.8	77.2	81.7
		⑬	7-20-65-4	1176	1218	44.3	70.3	76.8
	C	①	1-20-65-4	1176	1289	37.1	59.3	64.3
		②	1-40-65-4	1150	1360	40.7	63.5	65.4
		③	1-40-80-2	1285	1582	42.5	63.0	66.3
		④	1-40-80-4	1405	1690	51.0	66.0	68.0
		⑤	4-20-65-2	1086	1150	34.9	59.0	63.7
		⑥	4-20-65-4	1176	1271	44.9	65.4	71.4
		⑦	4-20-80-2	1330	1449	49.9	70.7	71.3
		⑧	4-20-80-4	1450	1488	57.6	73.6	78.5
		⑨	4-40-65-2	1060	1124	35.6	61.7	66.9
		⑩	4-40-65-4	1150	1323	44.6	66.8	70.7
		⑪	4-40-80-2	1285	1525	54.5	73.1	72.6
		⑫	4-40-80-4	1405	1615	59.3	76.8	76.8
		⑬	7-20-65-4	1176	1215	42.8	67.5	71.9

※マチュリティーの基準温度は-10°Cとした。

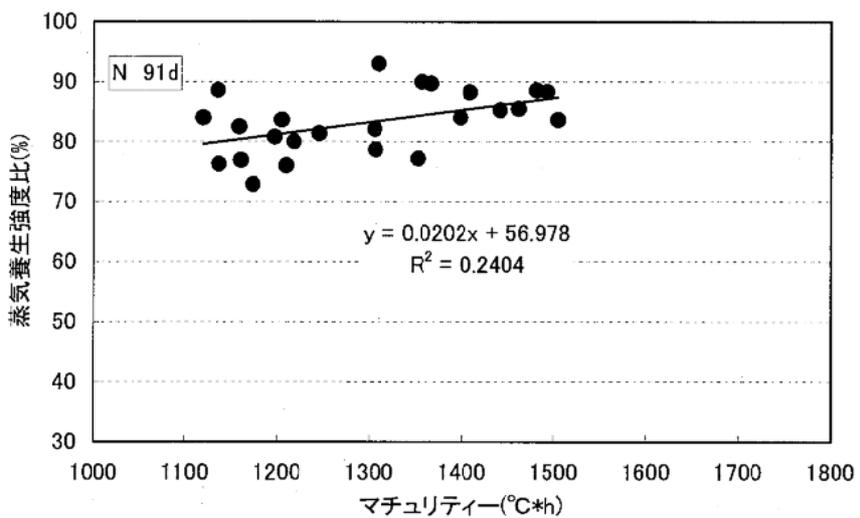
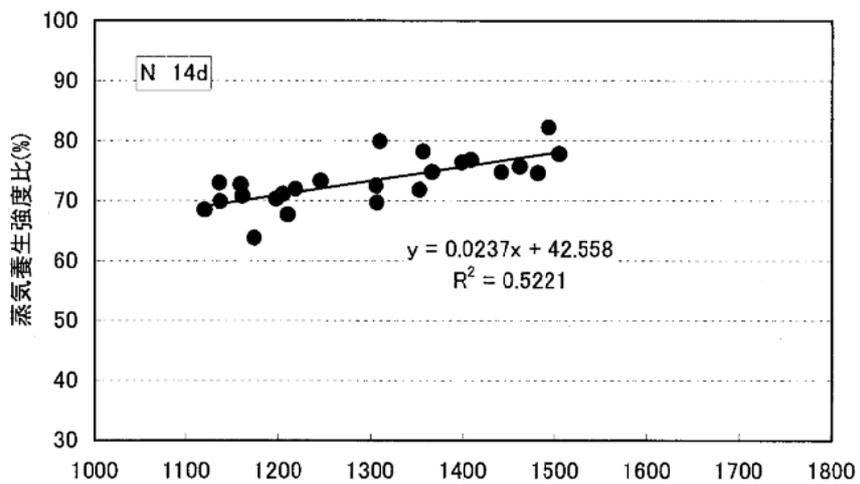
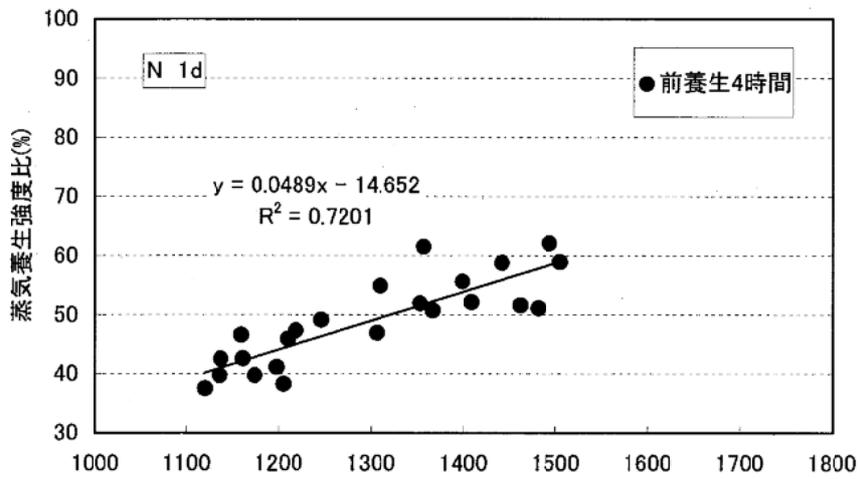


図-4.4.13 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
(シリーズ1, 普通ポルトランドセメント)

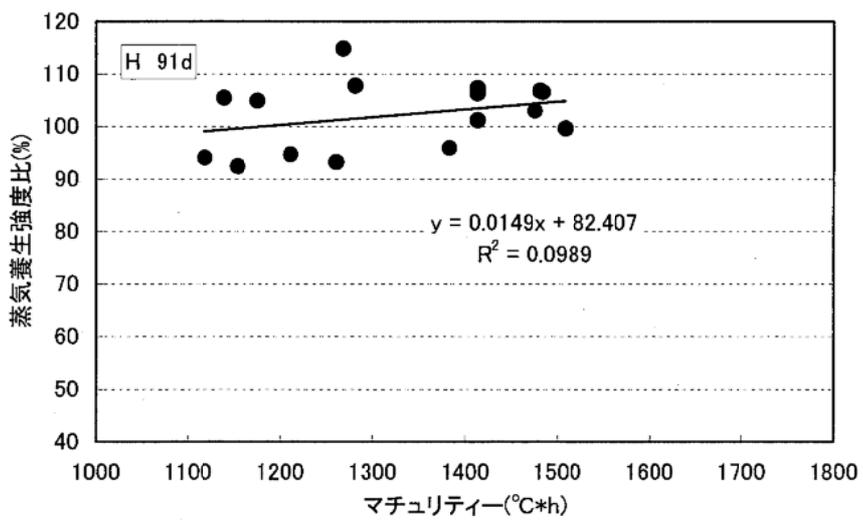
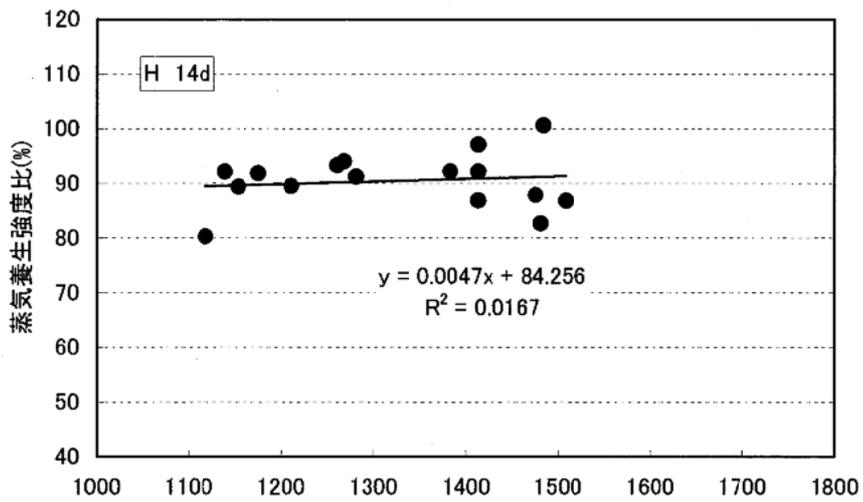
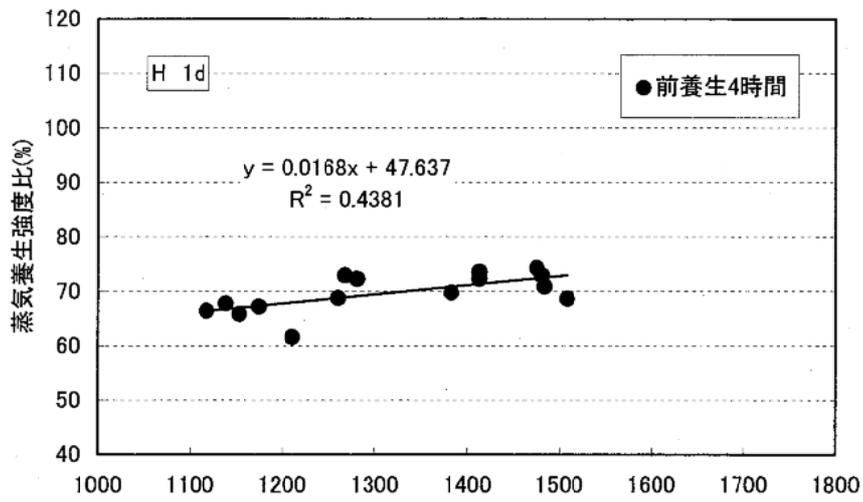


図-4.4.14 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
 (シリーズ1, 早強ポルトランドセメント)

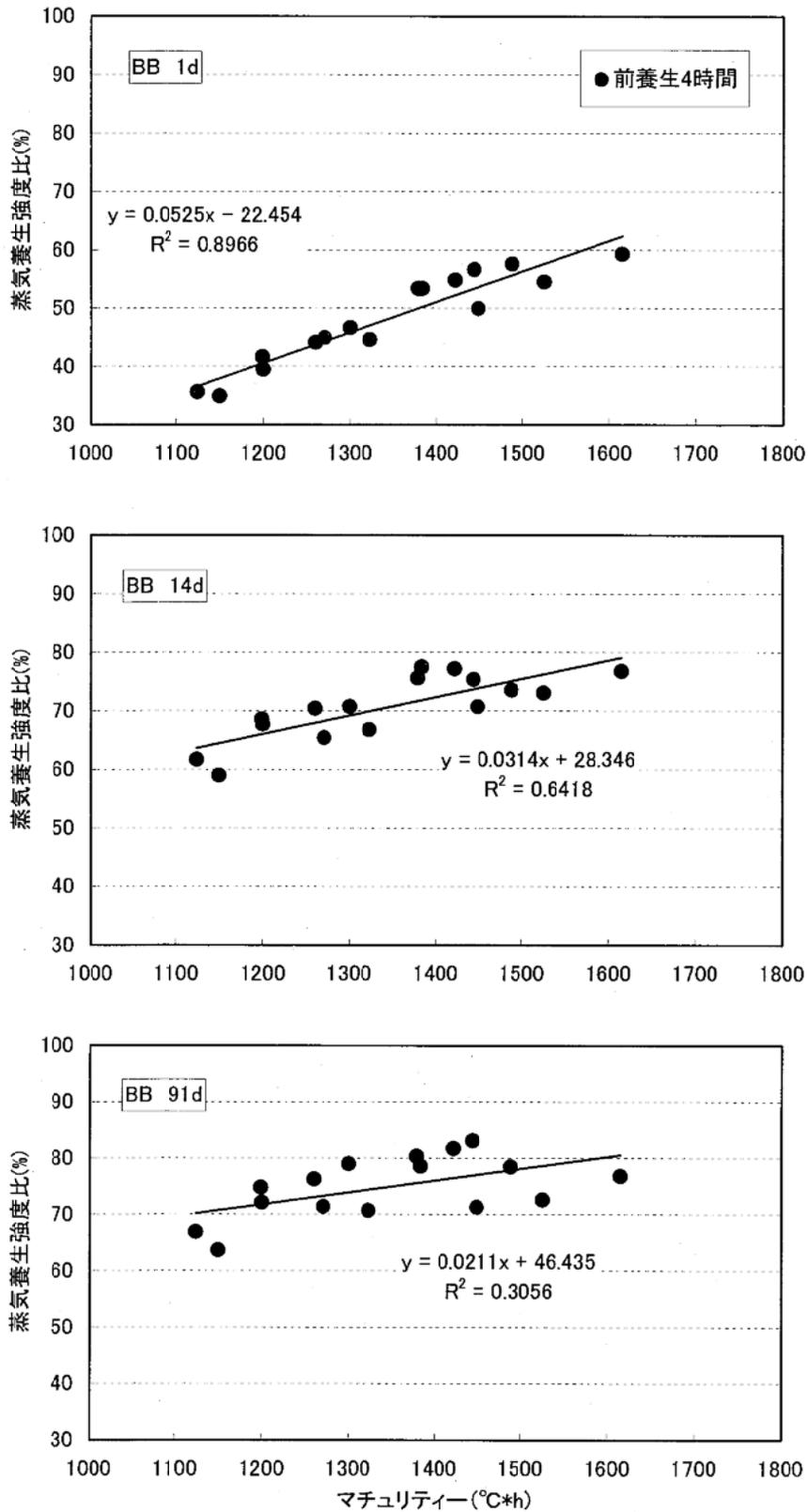


図-4.4.15 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
(シリーズ1, 高炉セメントB種)

表-4.4.8 蒸気養生後の強度の伸び (シリーズ 1, 普通ポルトランドセメント)

セメント 種類	試験所	番号	記号	材齢14日 強度 (N/mm ²)	強度の伸び(%)	
					28日/14日	91日/14日
N	A	①	1-20-65-4	39.5	104	107
		②	1-40-65-4	30.7	107	121
		③	1-40-80-2	39.1	99	103
		④	1-40-80-4	34.8	107	115
		⑤	4-20-65-2	40.9	106	109
		⑥	4-20-65-4	43.6	108	111
		⑦	4-20-80-2	44.2	106	110
		⑧	4-20-80-4	45.7	103	107
		⑨	4-40-65-2	40.9	108	109
		⑩	4-40-65-4	42.4	107	111
		⑪	4-40-80-2	43.4	106	108
		⑫	4-40-80-4	47.8	106	107
		⑬	7-20-65-4	46.4	105	108
	E	①	1-20-65-4	41.3	115	125
		②	1-40-65-4	37.5	111	133
		③	1-40-80-2	38.6	112	117
		④	1-40-80-4	38.8	111	113
		⑤	4-20-65-2	42.9	109	121
		⑥	4-20-65-4	42.1	112	115
		⑦	4-20-80-2	43.1	108	120
		⑧	4-20-80-4	43.3	108	119
		⑨	4-40-65-2	41.1	106	123
		⑩	4-40-65-4	42.3	104	117
		⑪	4-40-80-2	43.9	105	113
		⑫	4-40-80-4	44.5	110	115
		⑬	7-20-65-4	44.3	105	119
	G	①	1-20-65-4	31.9	103	109
		②	1-40-65-4	27.4	111	123
		③	1-40-80-2	24.5	102	115
		④	1-40-80-4	24.7	101	118
		⑤	4-20-65-2	39.7	107	114
		⑥	4-20-65-4	42.8	105	116
		⑦	4-20-80-2	41.9	103	115
		⑧	4-20-80-4	40.7	104	114
		⑨	4-40-65-2	35.3	107	114
		⑩	4-40-65-4	35.8	106	112
		⑪	4-40-80-2	37.1	107	113
		⑫	4-40-80-4	39	106	113
		⑬	7-20-65-4	38.6	106	112

表-4.4.9 蒸気養生後の強度の伸び (シリーズ 1, 早強ポルトランドセメント)

セメント 種類	試験所	番号	記号	材齢14日 強度 (N/mm ²)	強度の伸び(%)	
					28日/14日	91日/14日
H	D	①	1-20-65-4	48.1	106	107
		②	1-40-65-4	46.9	115	116
		③	1-40-80-2	50.3	107	111
		④	1-40-80-4	49.1	108	110
		⑤	4-20-65-2	52.8	101	103
		⑥	4-20-65-4	53.8	104	100
		⑦	4-20-80-2	58.2	103	104
		⑧	4-20-80-4	49.6	113	115
		⑨	4-40-65-2	47.9	114	117
		⑩	4-40-65-4	54.1	106	106
		⑪	4-40-80-2	53.5	109	104
		⑫	4-40-80-4	59.8	103	106
		⑬	7-20-65-4	56.7	104	95
	F	①	1-20-65-4	53.8	109	123
		②	1-40-65-4	36.4	106	115
		③	1-40-80-2	36.9	109	112
		④	1-40-80-4	34	101	111
		⑤	4-20-65-2	57.6	104	114
		⑥	4-20-65-4	57.7	104	122
		⑦	4-20-80-2	55.2	103	117
		⑧	4-20-80-4	51.8	112	129
		⑨	4-40-65-2	57.3	106	114
		⑩	4-40-65-4	56.2	107	118
		⑪	4-40-80-2	54.5	107	122
		⑫	4-40-80-4	54.1	105	117
		⑬	7-20-65-4	57.5	106	115

表-4.4.10 蒸気養生後の強度の伸び (シリーズ1, 高炉セメントB種)

セメント 種類	試験所	番号	記号	材齢14日 強度 (N/mm ²)	強度の伸び(%)	
					28日/14日	91日/14日
BB	B	①	1-20-65-4	34.7	103	108
		②	1-40-65-4	30.1	104	110
		③	1-40-80-2	26.8	111	118
		④	1-40-80-4	30.2	109	113
		⑤	4-20-65-2	39.7	103	109
		⑥	4-20-65-4	40.9	106	112
		⑦	4-20-80-2	43.7	101	106
		⑧	4-20-80-4	43.2	106	110
		⑨	4-40-65-2	40.5	106	106
		⑩	4-40-65-4	42.1	104	108
		⑪	4-40-80-2	46.4	100	101
		⑫	4-40-80-4	44.2	103	106
		⑬	7-20-65-4	38.9	106	109
	C	①	1-20-65-4	32.1	107	108
		②	1-40-65-4	33.3	102	103
		③	1-40-80-2	34.0	104	105
		④	1-40-80-4	36.0	106	103
		⑤	4-20-65-2	33.7	107	108
		⑥	4-20-65-4	35.9	106	109
		⑦	4-20-80-2	40.2	103	101
		⑧	4-20-80-4	40.6	107	107
		⑨	4-40-65-2	33.5	110	109
		⑩	4-40-65-4	35.4	105	106
		⑪	4-40-80-2	40.7	100	100
		⑫	4-40-80-4	41.0	101	100
		⑬	7-20-65-4	36.3	106	106

表-4.4.11 蒸気養生後の強度の伸び (シリーズ2)

セメント 種類	試験 所	番号	記号	材齢14日 強度 (N/mm ²)	強度の伸び(%)			
					気中養生		水中養生	
					28日/14日	56日/14日	28日/14日	56日/14日
N	A	⑭	1-40-80-2	35.5	110	111	98	102
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	23.9	108	110	94	111
		⑱	2-40-80-2	31.6	111	104	97	113
		⑲	4-20-65-4	40.7	105	105	98	109
	E	⑭	1-40-80-2	36.1	106	113	105	120
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	28.3	120	124	117	126
		⑱	2-40-80-2	32.1	121	121	113	125
		⑲	4-20-65-4	33.7	112	118	107	120
	G	⑭	1-40-80-2	27.2	110	120	115	120
		⑮	2-40-80-2	35.8	106	108	107	108
		⑯	4-20-65-4	41.8	106	113	109	118
		⑰	1-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑱	2-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑲	4-20-65-4	—	—	—	—	—
H	D	⑭	1-40-80-2	50.2	106	105	97	110
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	28.0	104	110	104	105
		⑱	2-40-80-2	43.3	109	110	100	103
		⑲	4-20-65-4	47.0	109	108	98	105
	F	⑭	1-40-80-2	32.7	88	98	92	108
		⑮	2-40-80-2	45.8	95	104	95	107
		⑯	4-20-65-4	55.8	103	119	104	110
		⑰	1-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑱	2-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑲	4-20-65-4	—	—	—	—	—
BB	B	⑭	1-40-80-2	29.9	104	106	111	119
		⑮	2-40-80-2	35.0	105	107	105	122
		⑯	4-20-65-4	34.5	106	107	113	129
		⑰	1-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑱	2-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑲	4-20-65-4	—	—	—	—	—
	C	⑭	1-40-80-2	24.5	91	96	82	98
		⑮	2-40-80-2	—	—	—	—	—
		⑯	4-20-65-4	—	—	—	—	—
		⑰	1-40-80-2	17.9	96	104	88	94
		⑱	2-40-80-2	23.1	103	97	89	93
		⑲	4-20-65-4	31.9	106	107	123	134

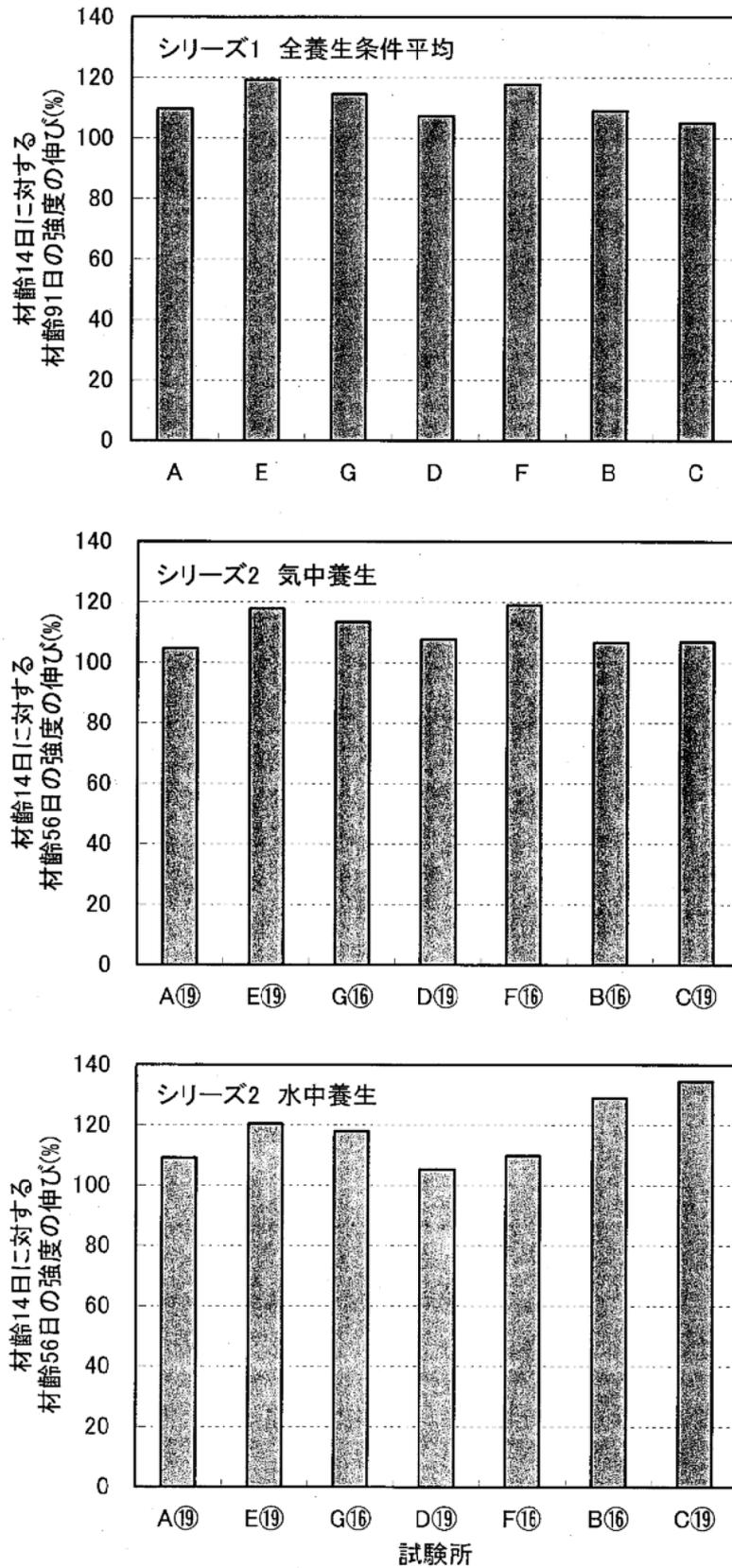


図-4.4.16 蒸気養生後の強度の伸び

5. 結言

普通ポルトランドセメント(N)、早強ポルトランドセメント(H)および高炉セメントB種(BB)を用い、蒸気養生条件を変化させてコンクリートの圧縮強度発現を調べる実験を実施した。コンクリートの配合は、スランブを12cm、水セメント比を45%とし、連行空気を導入しないNon-AEコンクリートを基本としたが、一部にAEコンクリートを追加し、その影響を確認した。蒸気養生条件については、前養生時間、昇温速度、最高温度、最高温度保持時間を変化させてその影響を調べた。

本実験で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1)前養生時間を十分に(4時間)とった場合、蒸気養生後14日間気中養生を行ったコンクリートの強度発現は、標準養生28日強度に対して、Nは75%程度、Hは95%程度、BBは70%程度である。
- (2)養生条件の中では前養生時間の影響が卓越する。前養生時間が過少(1時間)の場合の材齢14日強度は、標準養生28日強度に対して、Nは60~65%程度、Hは85%程度、BBは60~65%程度であり、前養生時間を十分にとった場合に比べて、概ね80~90%程度である。ただし高性能減水剤使用量が多い場合、また蒸気養生時の温度履歴(最高温度など)の相違などの影響により、場合によっては、標準養生28日強度に対して50%以下、前養生時間を十分にとった場合の蒸気養生強度に対して60%以下にまで、著しく強度低下する可能性がある。これらの強度低下は材齢の進行によっても回復しない。
- (3)昇温速度を小さく、最高温度を低く抑えると、前養生時間過少による影響が緩和される傾向にある。
- (4)Non-AEコンクリートの場合、前養生時間を2時間程度にすれば、一般的には上記に示した著しい強度低下を防ぐことが出来ると考えられる。ただし混和剤(高性能減水剤)使用量が多く蒸気養生強度の発現が阻害されている場合などでは、前養生時間2時間では不足となること考えられる。
- (5)AEコンクリートの場合、前養生時間が過少(1時間)の場合の材齢14日強度は、標準養生28日強度に対して、Nは50%程度、Hは60%程度、BBは40%程度であり、前養生時間過少による影響はNon-AEコンクリートよりも大きい。前養生時間を十分にとれば、標準養生28日強度に対する蒸気養生強度の比率はNon-AEコンクリートとほぼ同程度となる。
- (6)AEコンクリートの場合、前養生時間を2時間程度にすれば、概ねNon-AEコンクリートでの前養生時間1時間の結果に対応する結果を得ることが出来る。
- (7)前養生時間を十分に(4時間)とった場合では、昇温速度が蒸気養生強度に及ぼす影響はほとんど認められない。
- (8)前養生時間を十分に(4時間)とった場合では、最高温度は高い方が(65°Cに比べて80°Cの方が)、また最高温度保持時間は長い方が(2時間に比べて4時間の方が)、強度発現が良好となる傾向が認められた。これら傾向は材齢1日(脱型時)に顕著である。ただし、Hについてはこれらの傾向があまり認められず、N、BBと傾向が異なった。
- (9)前養生時間が過少なため強度発現が阻害された場合を除き、NとBBでは蒸気養生時(材齢1日まで)のマチュリティーが大きいほど材齢1日(脱型時)強度も大きくなる傾向が認められた。ただし材齢の経過とともに両者の関係は明瞭でなくなる傾向にあ

る。なおNと比べてBBでは両者の関係を示す直線の傾きがやや大きい。一方Hでは材齢1日においても関係が認められない。

(10)蒸気養生後気中養生を行った場合、材齢14日から91日の強度の伸びは、結果にばらつきがあったが、概ね5~20%程度と考えられる。Nに比べてBBはやや伸びが小さい傾向にあった。

(11)前養生時間が過少なため強度発現が阻害された場合に、気中養生期間を経た後、1~2ヶ月間程度の水分供給を行っても強度は回復しない。前養生時間過少による強度発現の阻害が無い場合でも、気中養生途中より水中養生を行った場合の強度発現は、気中養生を継続した場合と大きな差は見られず、1~2ヶ月間程度の水分供給を行っても強度増進効果はあまり期待できないものと考えられる。

(12)Hを使用した場合は、Nを使用した場合と比較して、標準養生28日強度に対する蒸気養生強度の比率は大きく、また蒸気養生条件(最高温度、同保持時間)の相違が強度発現に及ぼす影響は小さい傾向にあると考えられる。

(13)BBを使用した場合は、Nを使用した場合と比較して、標準養生28日強度に対する蒸気養生強度の比率はやや小さく、また蒸気養生条件(最高温度、同保持時間)の相違が強度発現に及ぼす影響はやや大きい傾向にあると考えられる。

以上の様に、蒸気養生における各種要因の中でも前養生時間(前置き時間)の影響が強度発現において卓越する。またその影響の程度は、混和剤(高性能減水剤)使用量の変化や、他の蒸気養生条件(例えば最高温度など)の相違によっても大きく異なる可能性がある。以上に留意して、十分な前養生時間を確保して蒸気養生を実施することが重要である。

参考文献

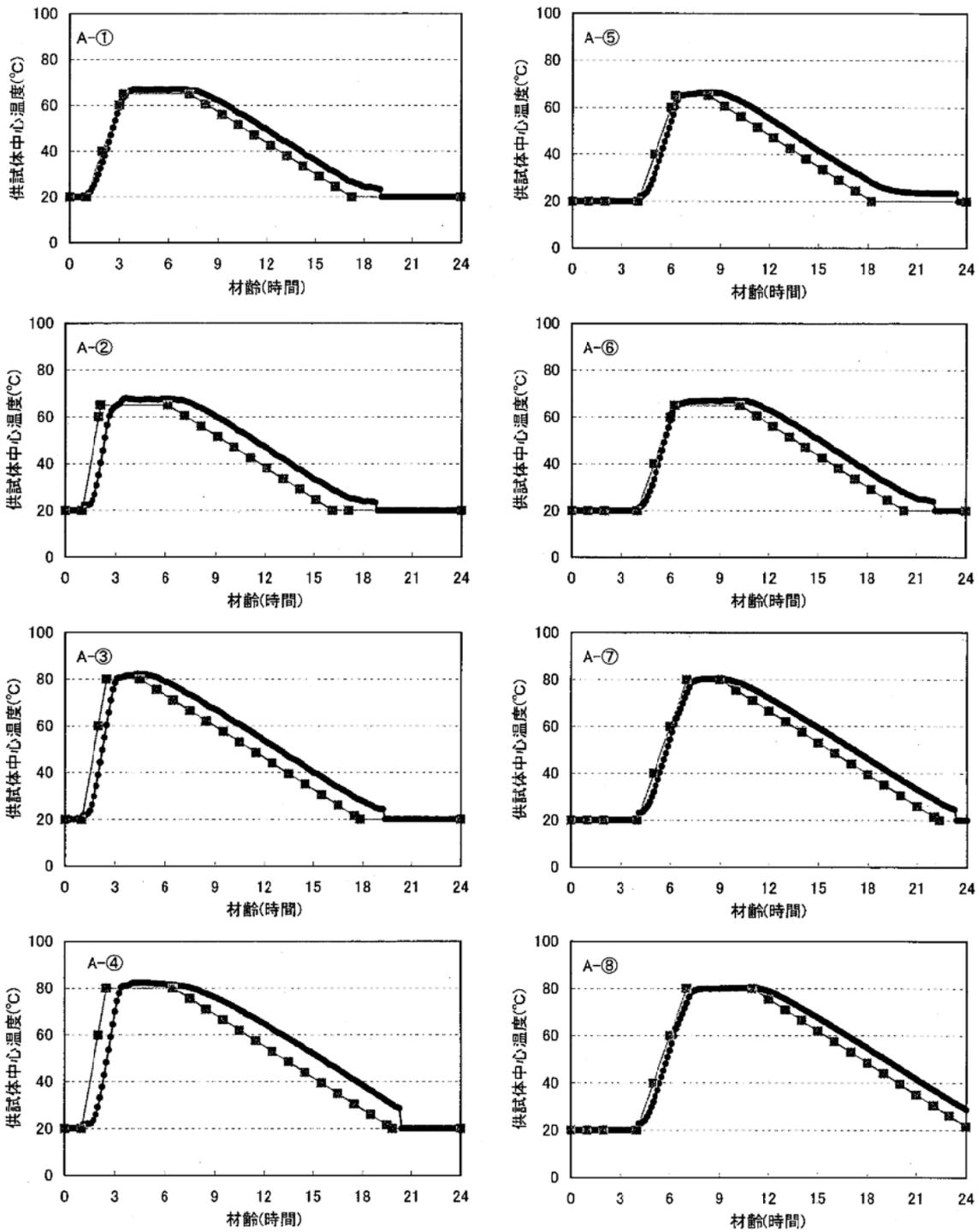
- 1) 2002年制定 コンクリート標準示方書施工編 pp.252~253
- 2) 河野清、江村健三、木下幸一：蒸気養生の際の最高温度がコンクリートの圧縮強度におよぼす影響、小野田研究報告、第17巻 第3冊 第65号、pp.46~55、1965
- 3) 河野清、尾崎義典、遠藤康夫：高炉セメントを用いた二次製品用コンクリートの蒸気養生、小野田研究報告、第18巻 第2冊 第68号、pp.16~21、1966
- 4) 篠沢和久：コンクリートの蒸気養生(1)、建築技術、No.181、pp.57~64、1966.8
- 5) 河野清、新舎博、荒木謙一：蒸気養生の際のマチュリチーと圧縮強度との関係について、セメント技術年報、Vol.28、pp.274~277、1974
- 6) 河野清、江村健三、木下幸一：蒸気養生後の養生条件がコンクリートの圧縮強度におよぼす影響、セメント技術年報、Vol.29、pp.407~412、1975
- 7) 池永博威：温水で二次養生した蒸気養生コンクリートの圧縮強度に関する研究、セメント技術年報、Vol.29、pp.466~469、1975
- 8) 鈴木脩、神田衛：コンクリートの蒸気養生における前置き時間の一考察、セメント技術年報、Vol.30、pp.313~316、1976
- 9) 大森淑孝、河野俊夫：蒸気養生コンクリートの耐久性におよぼす諸要因の影響、セメント技術年報、Vol.40、pp.431~434、1986

資料編

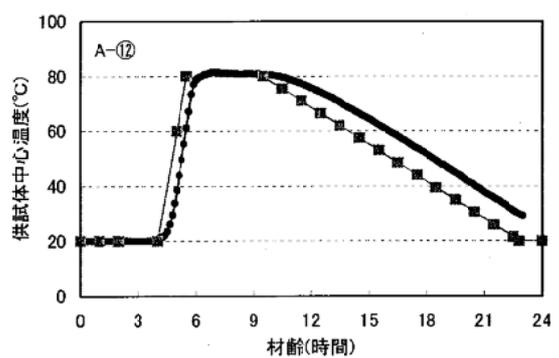
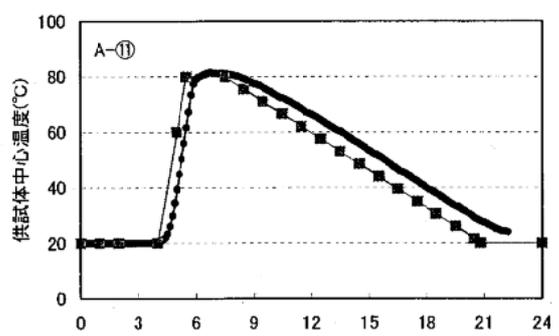
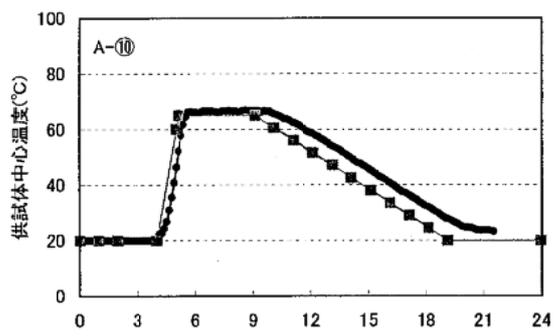
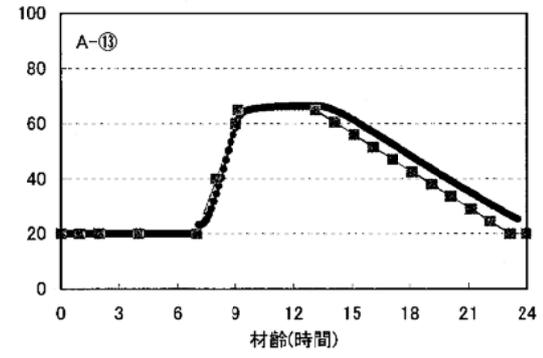
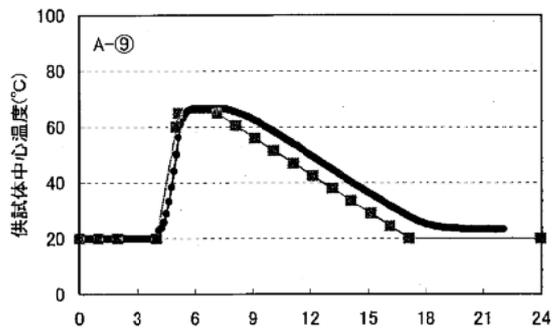
- 表-1 フレッシュコンクリートの性質の変動
- 図-1～14 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴
- 表-2～5 条件⑥及び⑬の蒸気養生強度比に対する各条件の比
- 図-15～20 条件⑥及び⑬の蒸気養生強度比に対する各条件の比
- 図-21～27 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係

資料 表-1 フレッシュコンクリートの性質の変動

セメントの種類	試験所	項目	平均値	最大値	最小値	範囲	標準偏差
N	A	スランプ(cm)	11.7	12.5	11.0	1.5	0.6
		空気量(%)	2.6	2.9	2.2	0.7	0.2
		練上がり温度(°C)	20.7	21.0	20.5	0.5	0.2
	E	スランプ(cm)	12.5	13.5	10.5	3.0	1.2
		空気量(%)	2.0	2.5	1.5	1.0	0.3
		練上がり温度(°C)	21.7	23.0	20.0	3.0	0.8
	G	スランプ(cm)	12.0	13.0	11.0	2.0	0.8
		空気量(%)	2.8	3.0	2.5	0.5	0.2
		練上がり温度(°C)	20.3	20.6	20.0	0.6	0.2
	A、E、G 全体	スランプ(cm)	12.1	13.5	10.5	3.0	1.0
空気量(%)		2.5	3.0	1.5	1.5	0.4	
練上がり温度(°C)		20.9	23.0	20.0	3.0	0.7	
H	D	スランプ(cm)	11.9	13.0	10.5	2.5	0.8
		空気量(%)	2.0	2.4	1.6	0.8	0.2
		練上がり温度(°C)	20.3	20.7	19.8	0.9	0.3
	F	スランプ(cm)	11.9	13.5	10.5	3.0	1.0
		空気量(%)	1.9	2.3	1.7	0.6	0.2
		練上がり温度(°C)	20.7	21.1	19.8	1.3	0.3
	D、F 全体	スランプ(cm)	11.9	13.5	10.5	3.0	0.9
		空気量(%)	2.0	2.4	1.6	0.8	0.2
		練上がり温度(°C)	20.5	21.1	19.8	1.3	0.4
BB	B	スランプ(cm)	11.6	12.5	10.5	2.0	0.7
		空気量(%)	1.2	1.3	1.1	0.2	0.1
		練上がり温度(°C)	21.7	21.9	21.6	0.3	0.1
	C	スランプ(cm)	11.8	13.0	10.5	2.5	0.8
		空気量(%)	1.4	1.9	1.1	0.8	0.2
		練上がり温度(°C)	20.3	20.6	20.0	0.6	0.1
	B、C 全体	スランプ(cm)	11.7	13.0	10.5	2.5	0.8
空気量(%)		1.3	1.9	1.1	0.8	0.2	
練上がり温度(°C)		21.0	21.9	20.0	1.9	0.7	
N、H、BB 全体	スランプ(cm)	11.9	13.5	10.5	3.0	0.9	
	空気量(%)	2.0	3.0	1.1	1.9	0.6	
	練上がり温度(°C)	20.8	23.0	19.8	3.2	0.7	

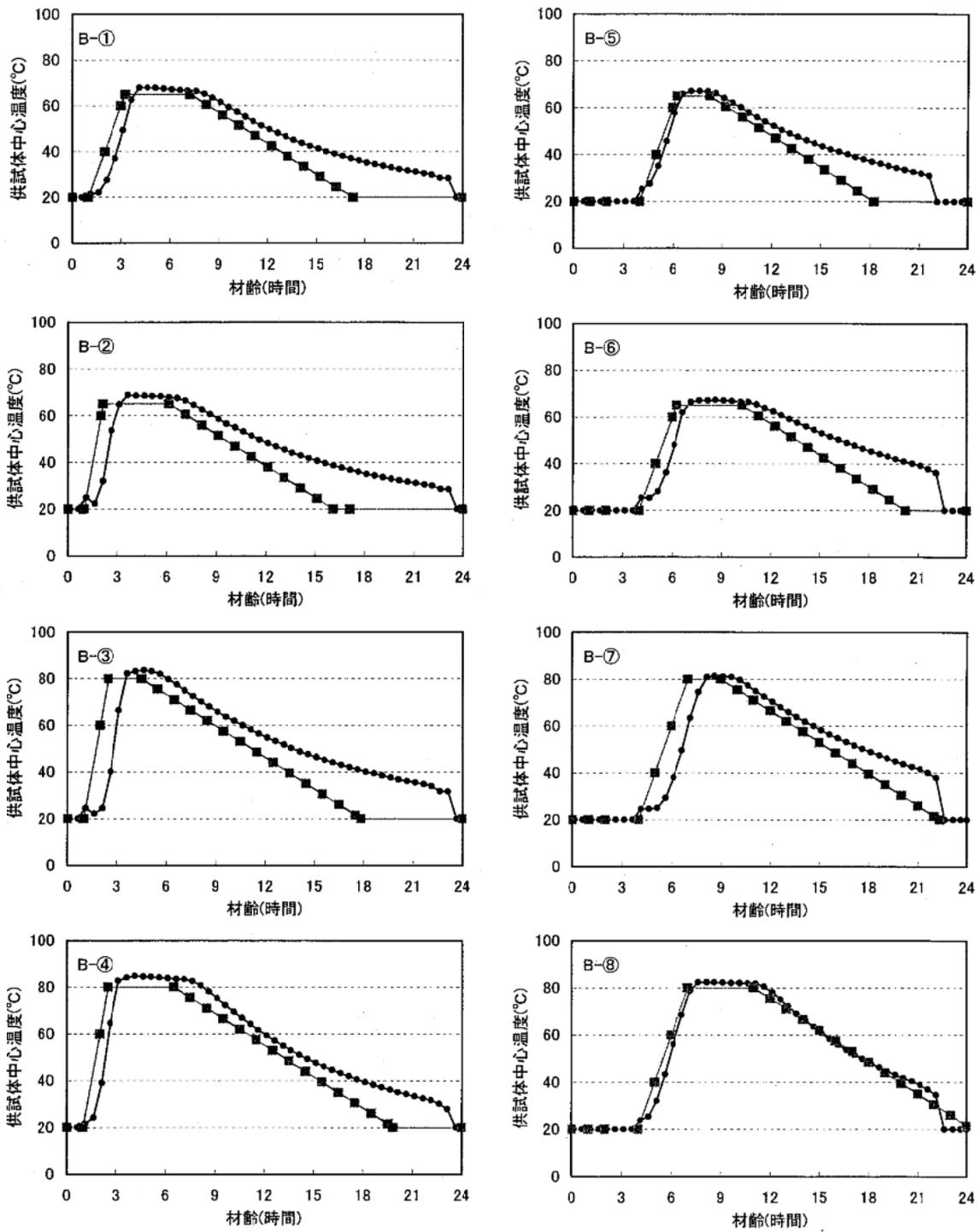


資料 図-1 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 A, 条件①~⑧)

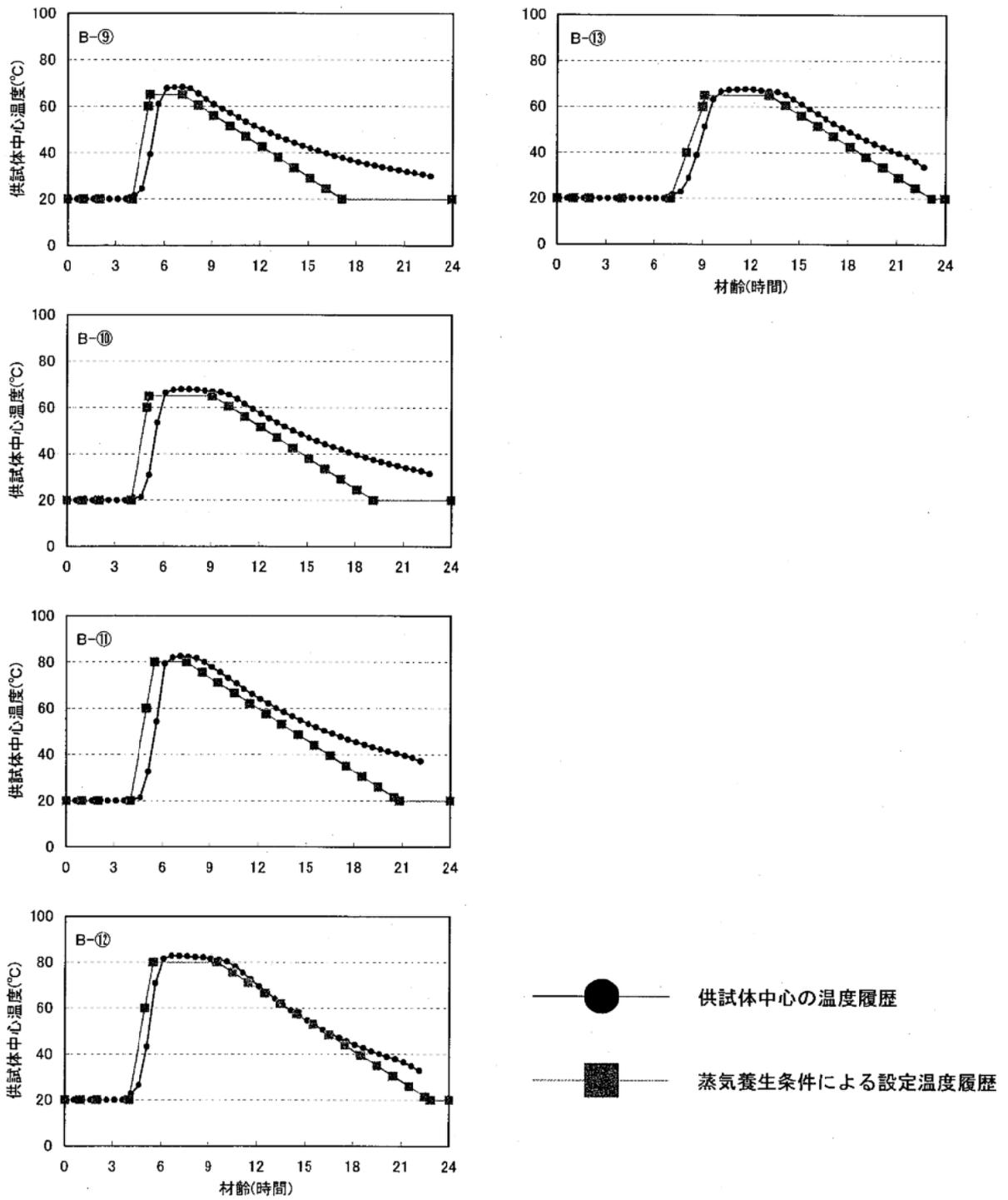


● 供試体中心の温度履歴
 ■ 蒸気養生条件による設定温度履歴

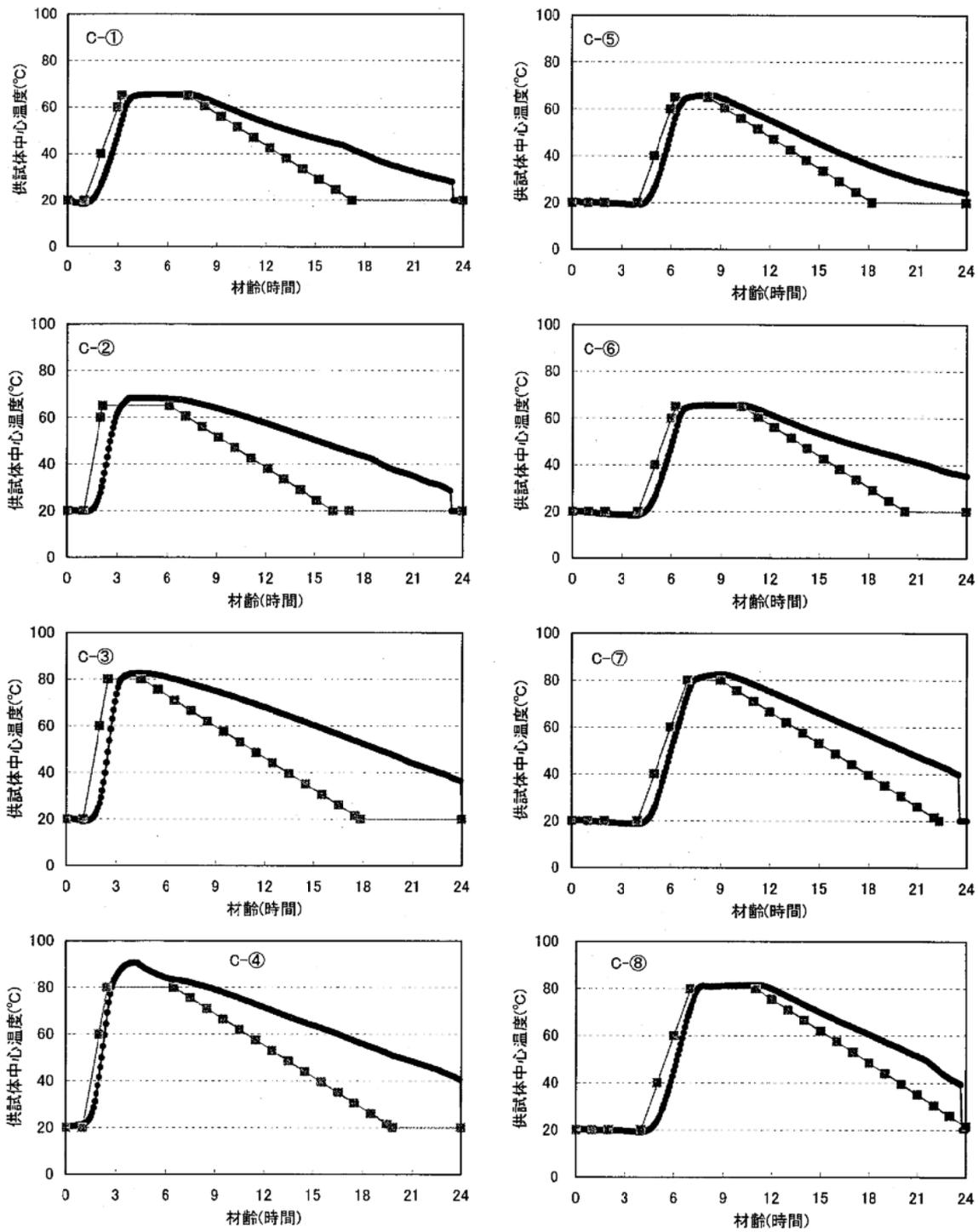
資料 図-2 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 A, 条件⑨~⑬)



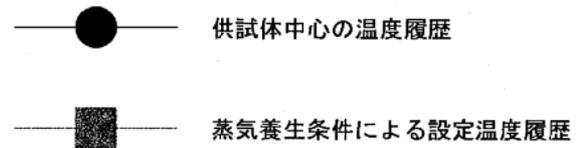
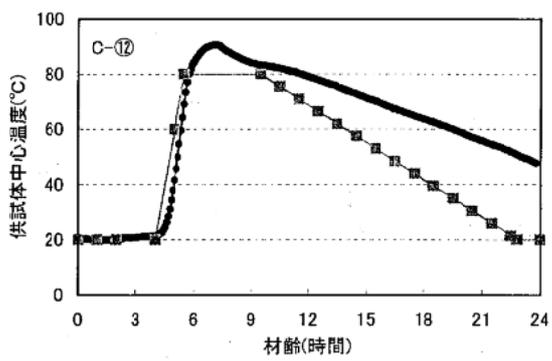
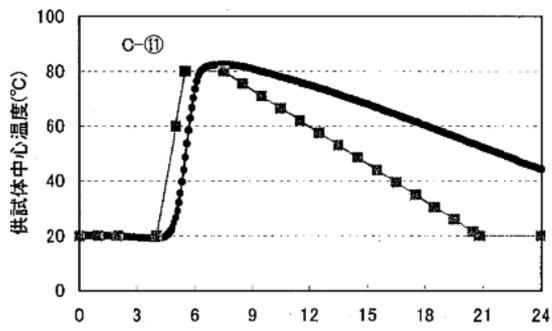
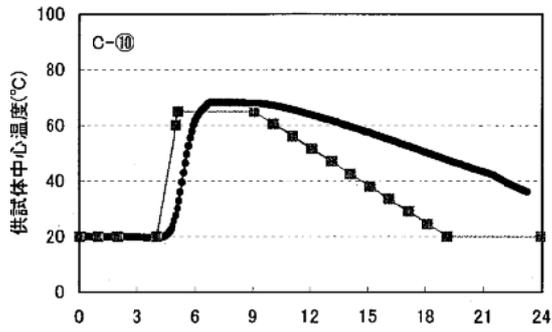
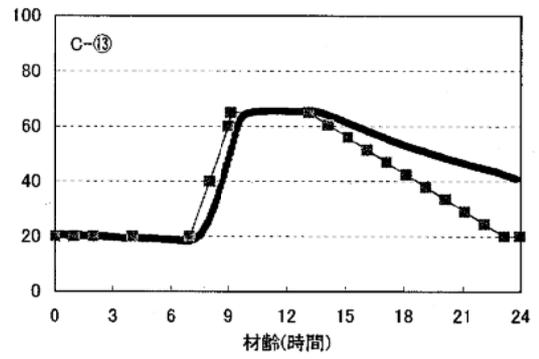
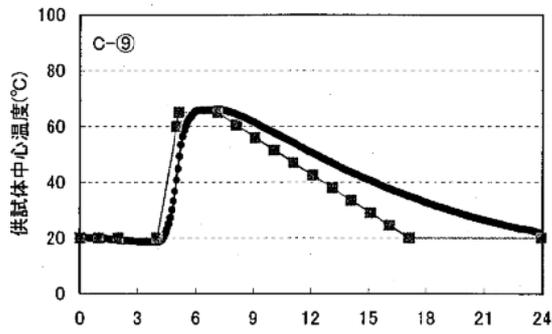
資料 図-3 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 B, 条件①~⑧)



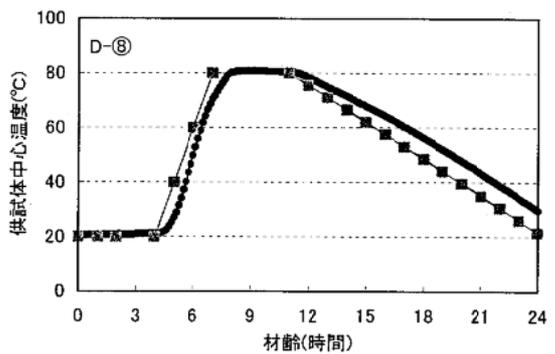
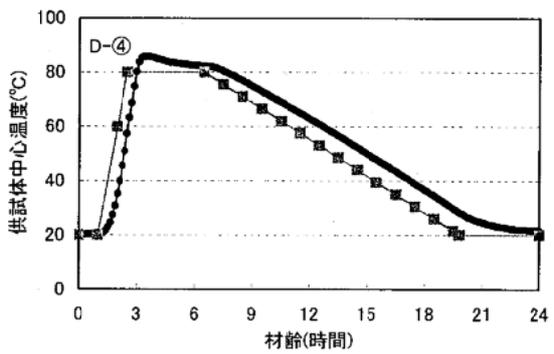
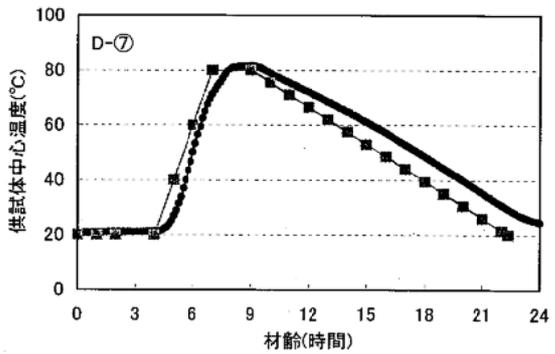
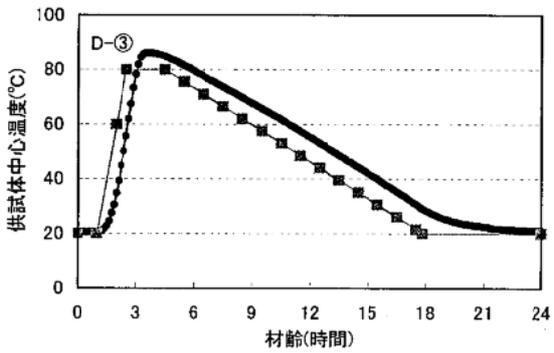
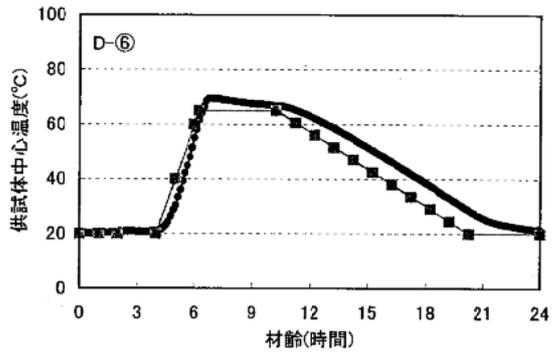
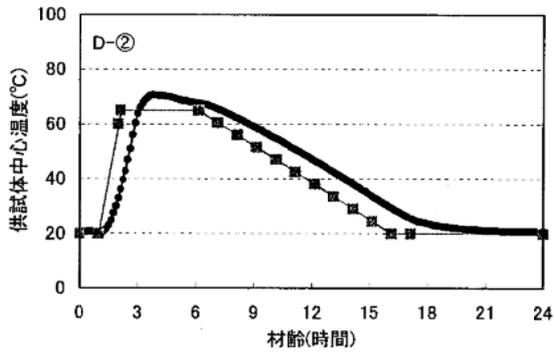
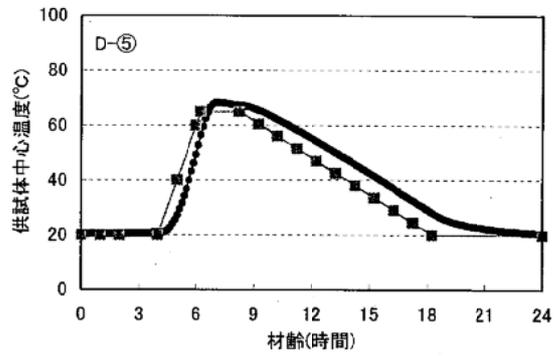
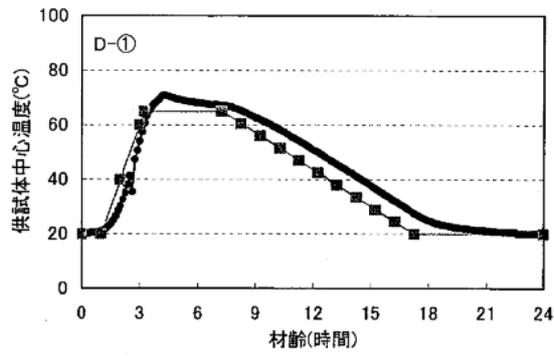
資料 図-4 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 B, 条件⑨~⑬)



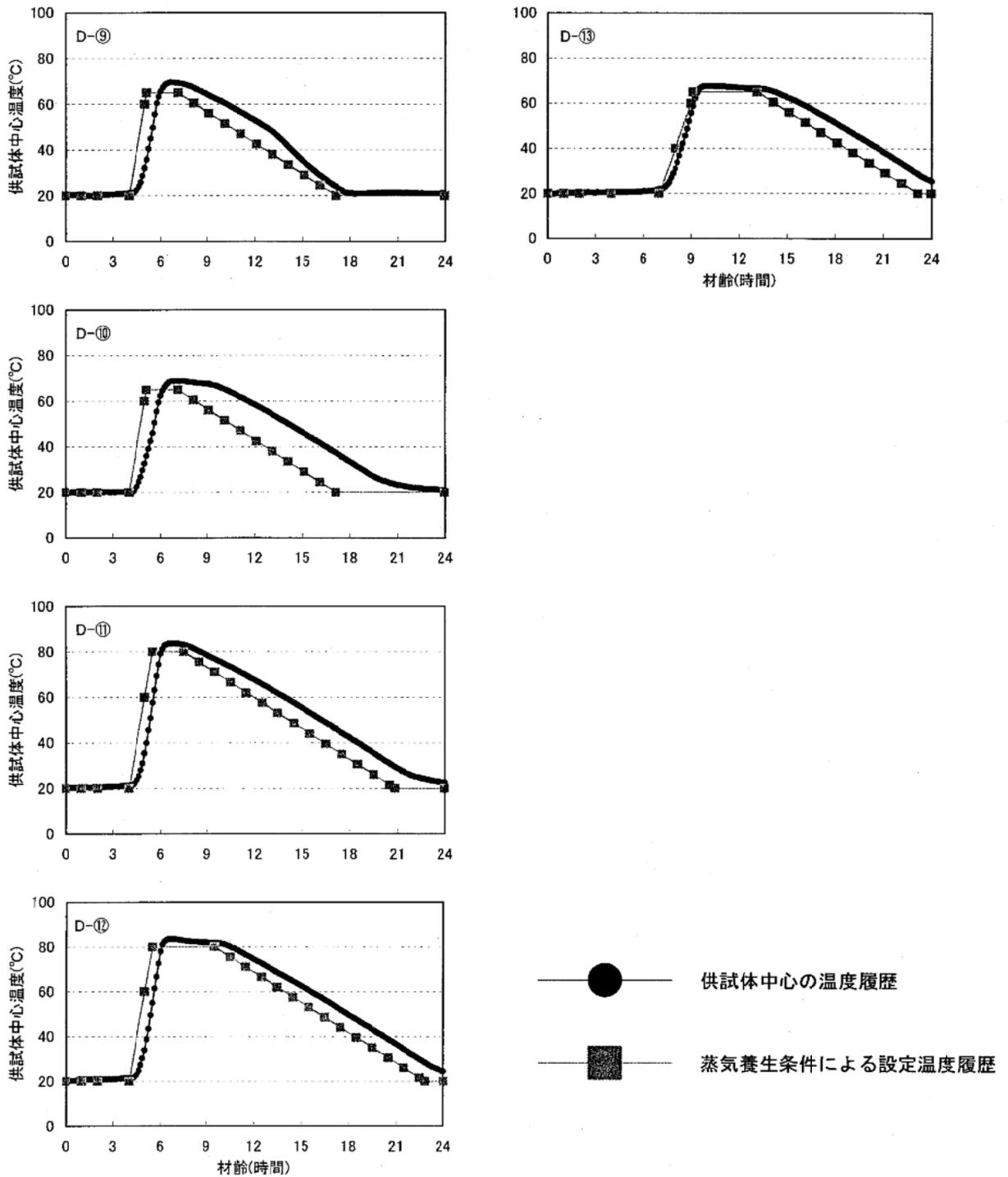
資料 図-5 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 C, 条件①~⑧)



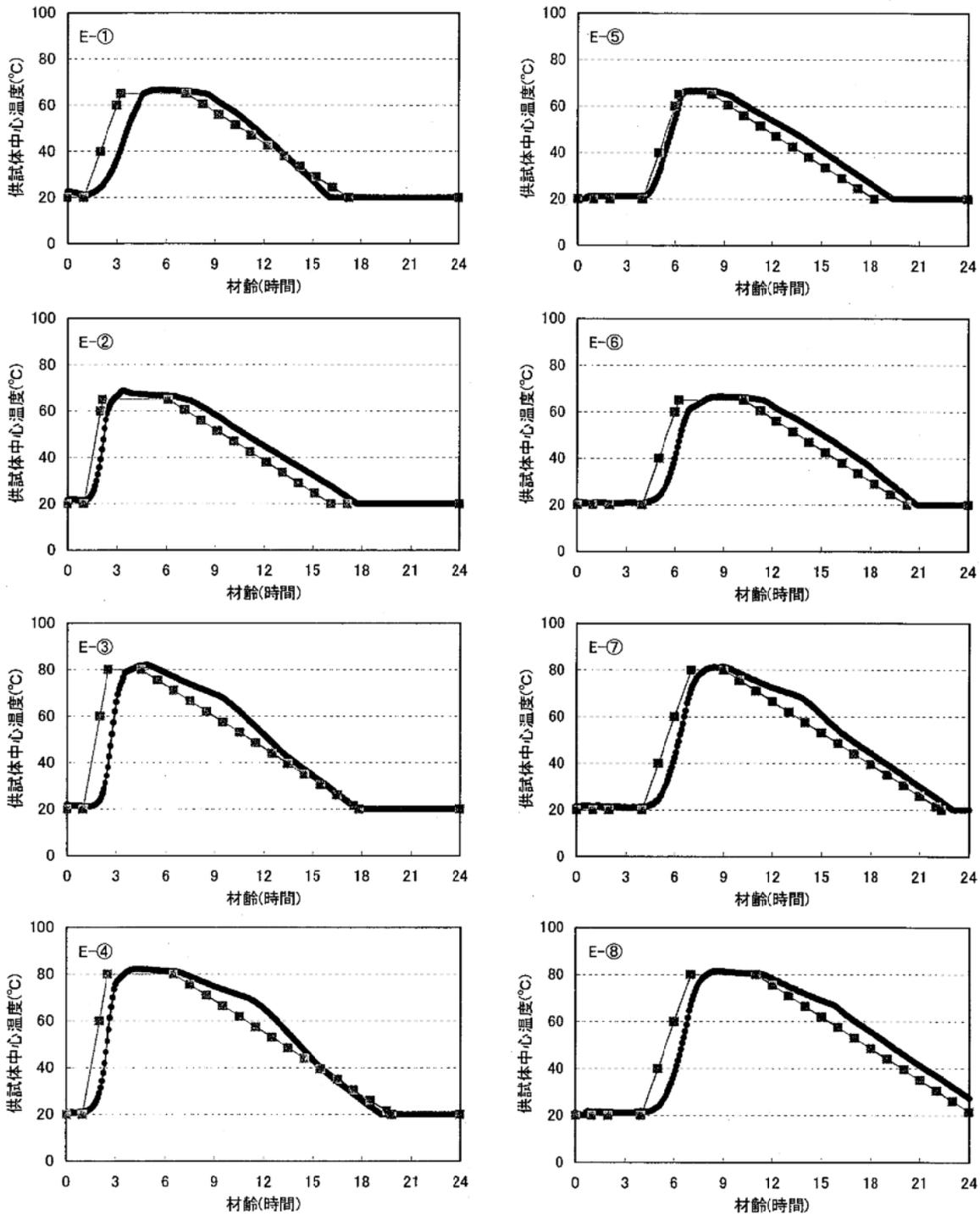
資料 図-6 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 C 条件⑨~⑬)



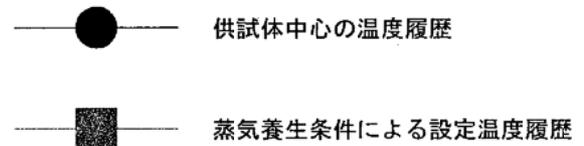
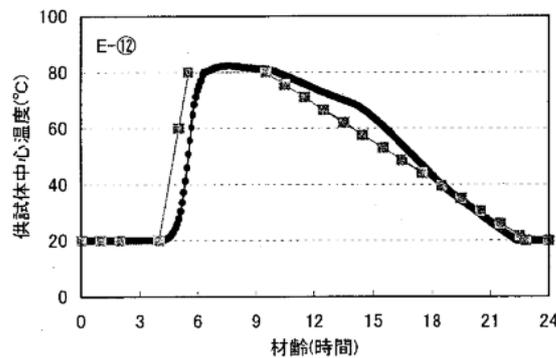
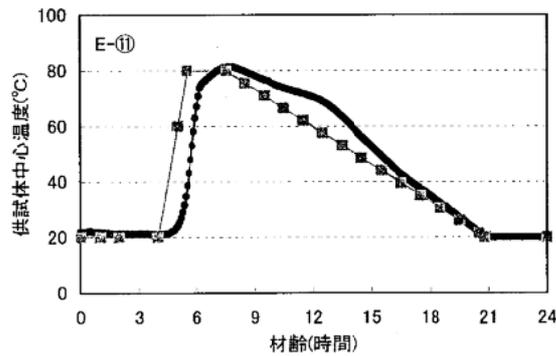
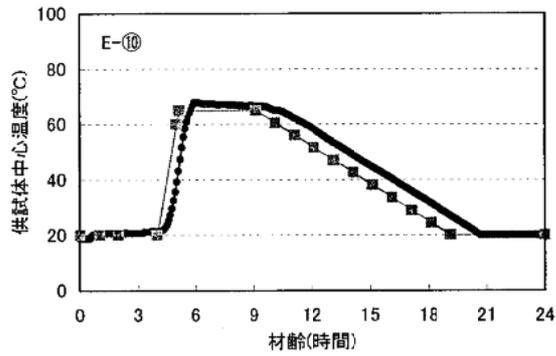
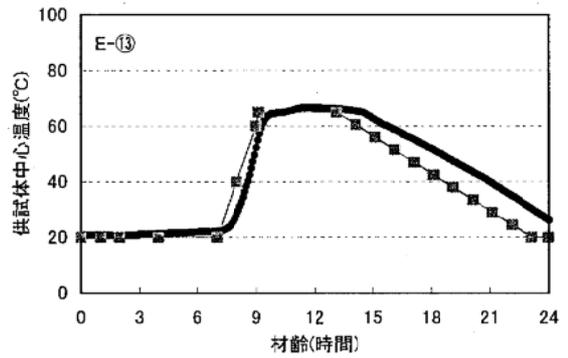
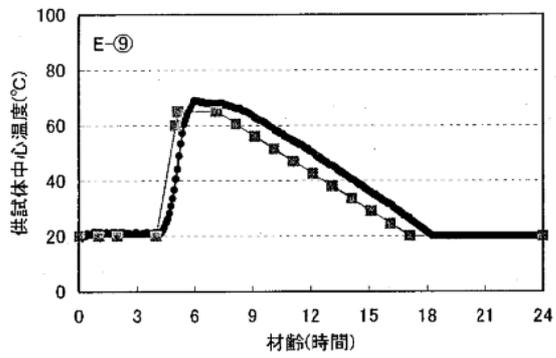
資料 図-7 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 D, 条件①~⑧)



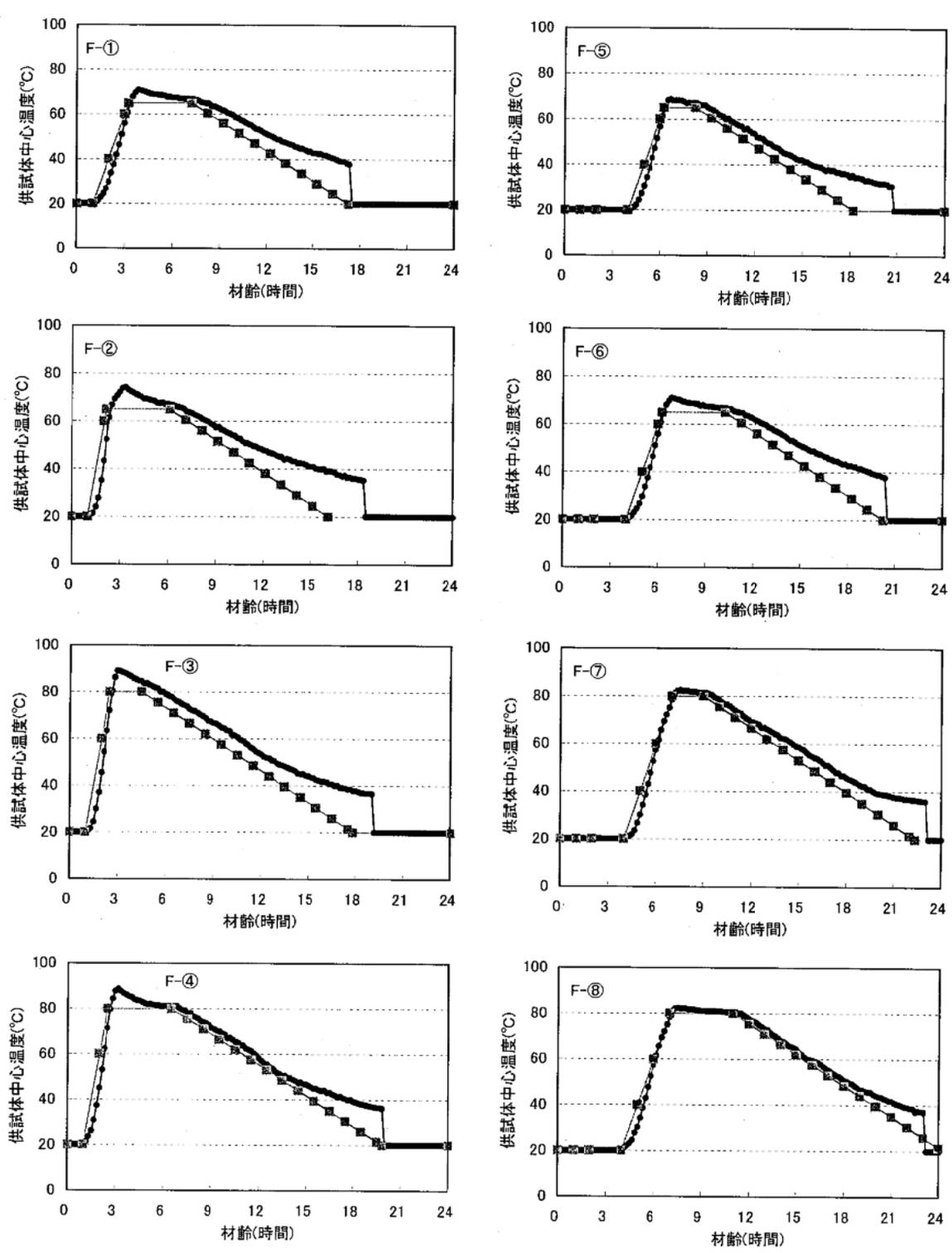
資料 図-8 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 D, 条件⑨~⑬)



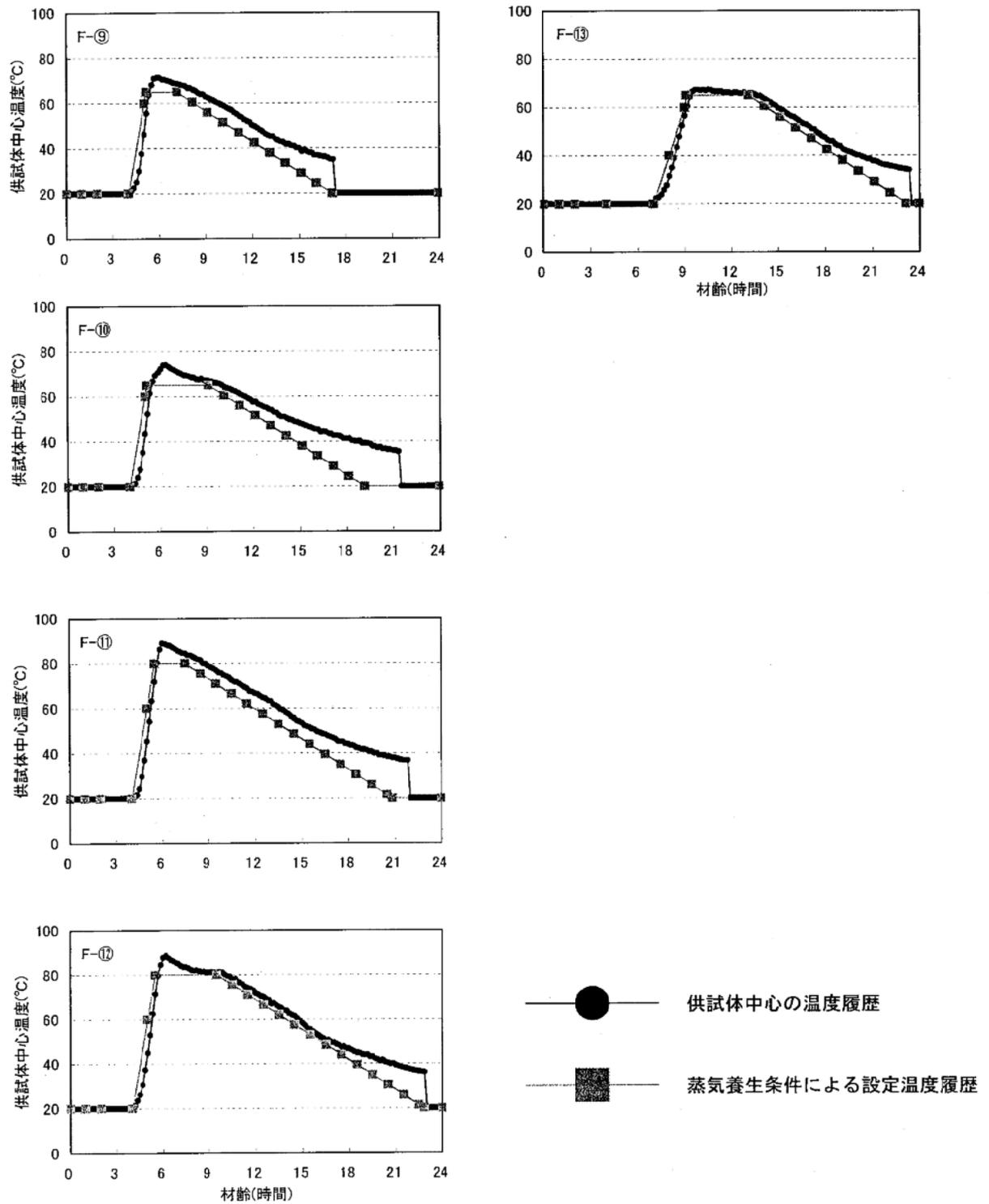
資料 図-9 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 E, 条件①~⑧)



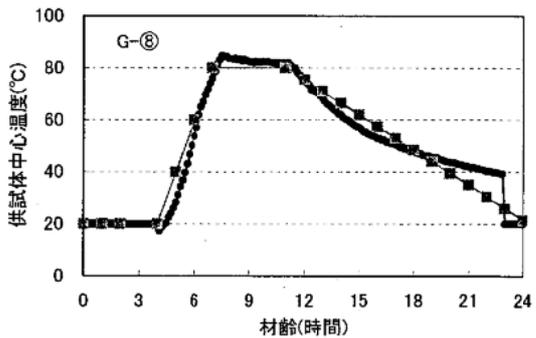
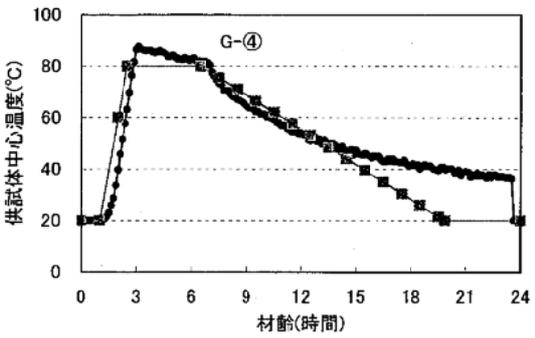
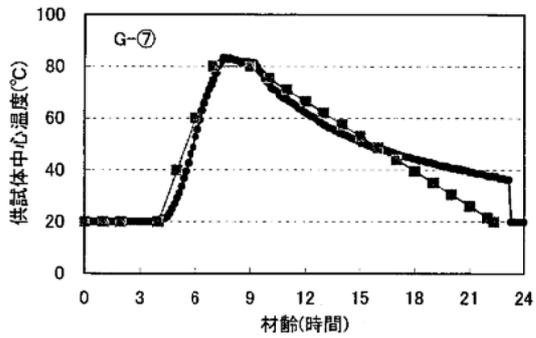
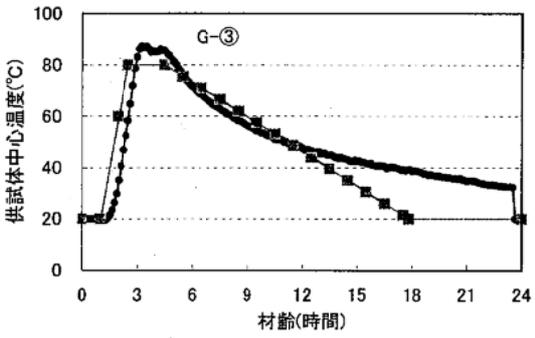
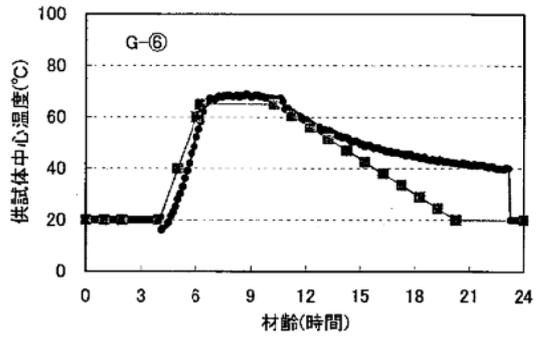
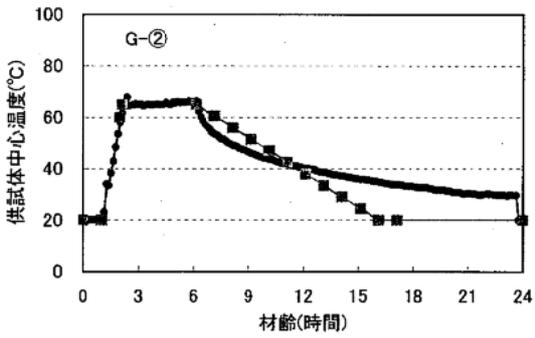
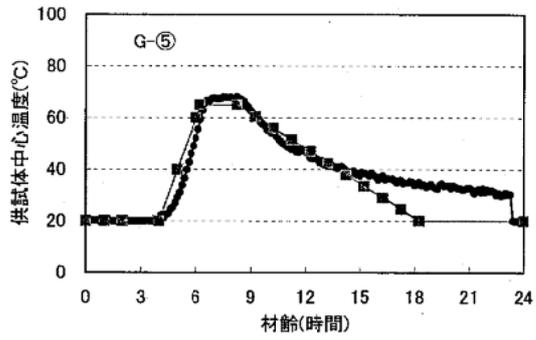
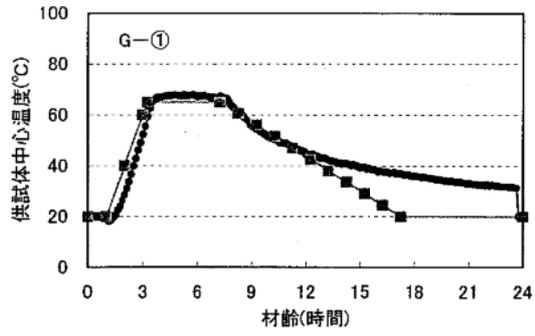
資料 図-10 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 E, 条件⑨~⑬)



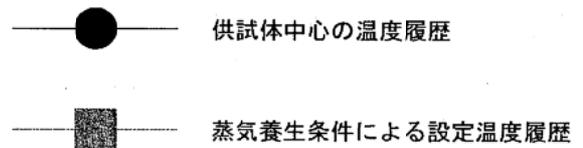
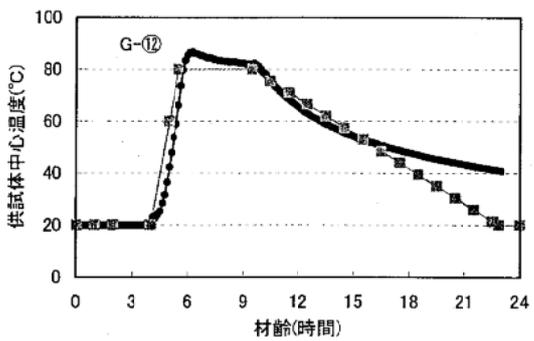
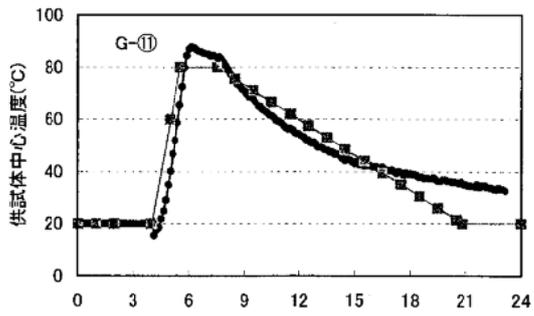
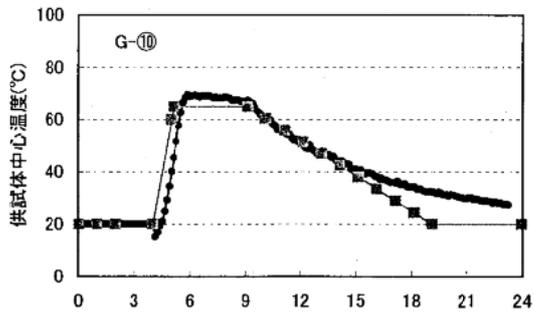
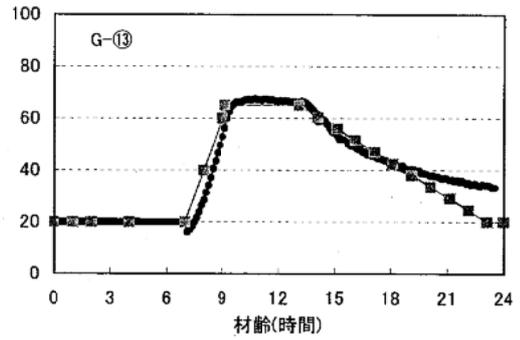
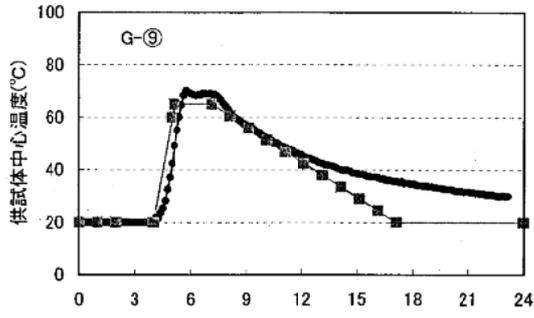
資料 図-11 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 F, 条件①~⑧)



資料 図-12 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 F, 条件⑨~⑬)



資料 図-13 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 G, 条件①~⑧)



資料 図-14 蒸気養生時における供試体中心の温度履歴(試験所 G, 条件⑨~⑬)

資料 表-2 条件⑥の蒸気養生強度比に対する各条件の比
(シリーズ1, 普通ポルトランドセメント)

セメント 種類	試験所	番号	記号	蒸気養生強度比の比(%)				
				1日	7日	14日	28日	91日
N	A	①	1-20-65-4	96	90	94	91	90
		②	1-40-65-4	75	72	71	70	77
		③	1-40-80-2	93	90	88	81	82
		④	1-40-80-4	95	86	82	82	85
		⑤	4-20-65-2	87	92	97	95	94
		⑥	4-20-65-4	100	100	100	100	100
		⑦	4-20-80-2	113	103	104	102	103
		⑧	4-20-80-4	120	104	106	102	103
		⑨	4-40-65-2	87	95	95	95	94
		⑩	4-40-65-4	96	93	98	98	98
		⑪	4-40-80-2	106	95	98	97	95
		⑫	4-40-80-4	126	109	112	111	109
		⑬	7-20-65-4	109	102	107	105	104
	E	①	1-20-65-4	87	97	95	97	104
		②	1-40-65-4	85	86	91	91	105
		③	1-40-80-2	107	92	93	93	94
		④	1-40-80-4	110	97	93	92	91
		⑤	4-20-65-2	97	106	104	101	110
		⑥	4-20-65-4	100	100	100	100	100
		⑦	4-20-80-2	123	106	106	103	111
		⑧	4-20-80-4	124	109	106	102	110
		⑨	4-40-65-2	91	104	97	92	104
		⑩	4-40-65-4	93	100	101	94	103
		⑪	4-40-80-2	114	107	103	97	102
		⑫	4-40-80-4	127	111	109	107	109
		⑬	7-20-65-4	106	105	106	100	110
	G	①	1-20-65-4	65	70	75	73	70
		②	1-40-65-4	62	62	65	68	68
		③	1-40-80-2	64	61	57	55	56
		④	1-40-80-4	65	59	57	54	57
		⑤	4-20-65-2	85	90	91	92	89
		⑥	4-20-65-4	100	100	100	100	100
		⑦	4-20-80-2	112	100	98	95	97
		⑧	4-20-80-4	107	96	94	92	92
		⑨	4-40-65-2	72	78	80	81	78
		⑩	4-40-65-4	84	84	85	85	82
		⑪	4-40-80-2	85	86	87	88	85
		⑫	4-40-80-4	94	94	95	95	92
		⑬	7-20-65-4	86	87	92	92	88

資料 表-3 条件⑥の蒸気養生強度比に対する各条件の比
(シリーズ1, 早強ポルトランドセメント)

セメント 種類	試験所	番号	記号	蒸気養生強度比(%)				
				1日	7日	14日	28日	91日
H	D	①	1-20-65-4	91	96	91	92	97
		②	1-40-65-4	87	95	88	97	103
		③	1-40-80-2	96	94	93	96	103
		④	1-40-80-4	98	98	90	93	100
		⑤	4-20-65-2	96	98	96	93	99
		⑥	4-20-65-4	100	100	100	100	100
		⑦	4-20-80-2	105	108	104	103	109
		⑧	4-20-80-4	100	95	93	101	107
		⑨	4-40-65-2	97	97	86	95	101
		⑩	4-40-65-4	90	97	96	98	102
		⑪	4-40-80-2	102	101	99	103	103
		⑫	4-40-80-4	103	110	108	107	114
		⑬	7-20-65-4	108	108	105	105	100
	F	①	1-20-65-4	86	85	93	97	94
		②	1-40-65-4	65	64	64	66	61
		③	1-40-80-2	66	61	62	65	57
		④	1-40-80-4	61	53	58	56	52
		⑤	4-20-65-2	92	88	98	97	91
		⑥	4-20-65-4	100	100	100	100	100
		⑦	4-20-80-2	99	90	98	97	94
		⑧	4-20-80-4	100	88	88	95	93
		⑨	4-40-65-2	93	93	98	100	92
		⑩	4-40-65-4	99	94	97	100	94
		⑪	4-40-80-2	101	90	92	95	93
		⑫	4-40-80-4	102	87	94	95	90
		⑬	7-20-65-4	98	92	99	101	94

資料 表-4 条件⑥の蒸気養生強度比に対する各条件の比
(シリーズ1, 高炉セメントB種)

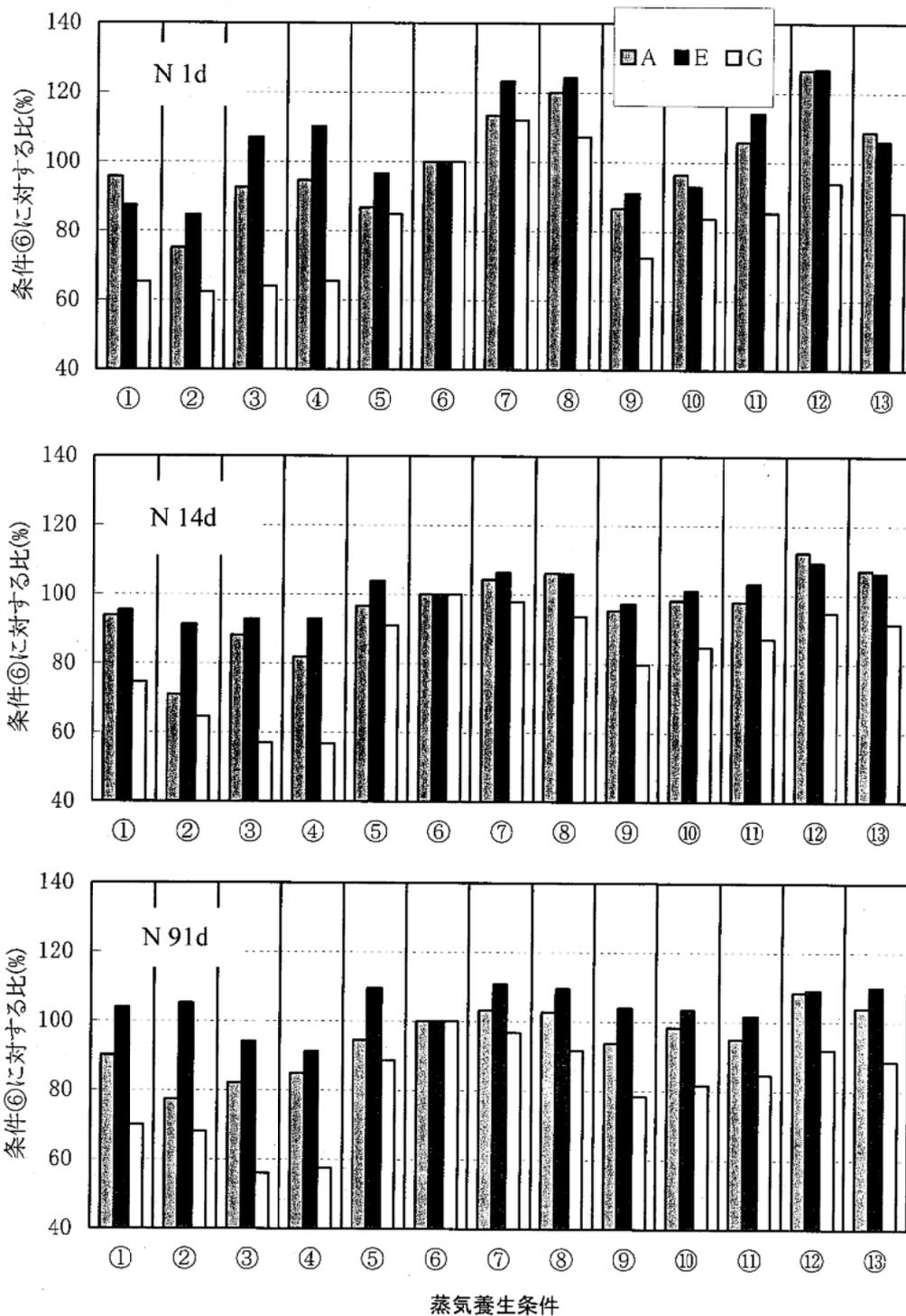
セメント 種類	試験所	番号	記号	蒸気養生強度比(%)				
				1日	7日	14日	28日	91日
BB	B	①	1-20-65-4	92	88	90	87	87
		②	1-40-65-4	89	76	78	76	77
		③	1-40-80-2	105	73	69	73	73
		④	1-40-80-4	101	75	75	77	75
		⑤	4-20-65-2	89	93	97	94	95
		⑥	4-20-65-4	100	100	100	100	100
		⑦	4-20-80-2	115	106	107	102	102
		⑧	4-20-80-4	121	108	107	107	105
		⑨	4-40-65-2	85	91	96	96	91
		⑩	4-40-65-4	95	98	100	98	97
		⑪	4-40-80-2	115	107	110	104	100
		⑫	4-40-80-4	118	108	109	106	103
		⑬	7-20-65-4	95	101	100	100	97
	C	①	1-20-65-4	83	84	91	92	90
		②	1-40-65-4	91	89	97	94	92
		③	1-40-80-2	95	90	96	95	93
		④	1-40-80-4	114	95	101	101	95
		⑤	4-20-65-2	78	86	90	91	89
		⑥	4-20-65-4	100	100	100	100	100
		⑦	4-20-80-2	111	103	108	105	100
		⑧	4-20-80-4	128	115	113	114	110
		⑨	4-40-65-2	79	87	94	98	94
		⑩	4-40-65-4	99	100	102	101	99
		⑪	4-40-80-2	122	110	112	106	102
		⑫	4-40-80-4	132	114	117	112	108
		⑬	7-20-65-4	95	98	103	103	101

資料 表-5 条件⑥及び⑱の蒸気養生強度比に対する各条件の比 (%)

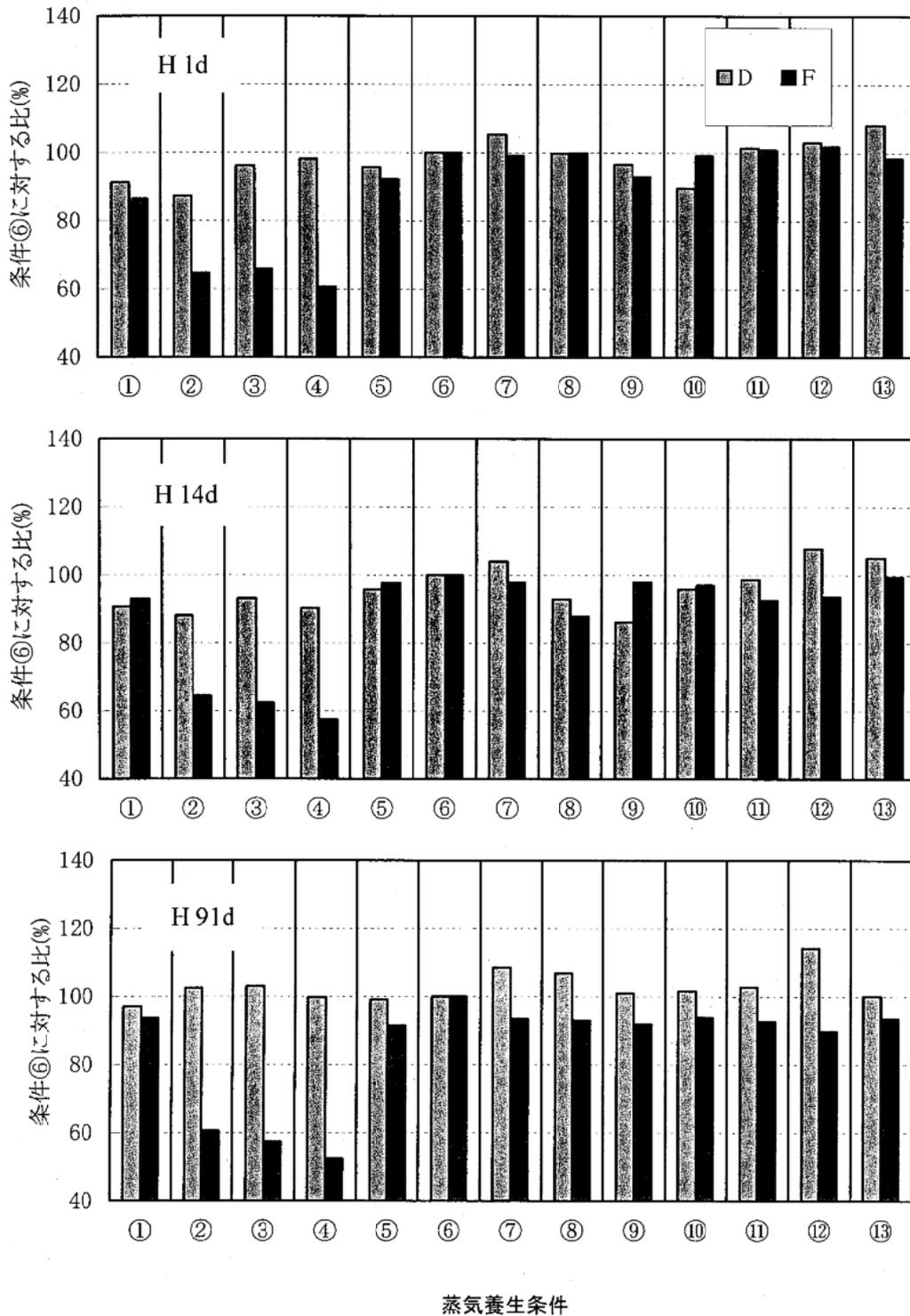
セメントの種類	コンクリートの種類	試験所	番号	記号	蒸気養生後気中					蒸気養生後 気中後水中※1	
					1日	7日	14日	28日	56日	28日	56日
N	AE コンクリート	A	⑰	1-40-80-2	68	63	58	60	61	56	59
			⑱	2-40-80-2	83	80	75	80	75	75	78
			⑲	4-20-65-4	100	100	100	100	100	100	100
		E	⑰	1-40-80-2	108	95	85	91	89	93	89
			⑱	2-40-80-2	114	98	88	95	91	93	92
			⑲	4-20-65-4	100	100	100	100	100	100	100
	Non-AE コンクリート	G	⑭	1-40-80-2	69	62	63	66	—	—	—
			⑮	2-40-80-2	75	82	80	80	—	—	—
			⑯	4-20-65-4	91	97	97	97	—	—	—
H	AE コンクリート	D	⑰	1-40-80-2	70	63	64	61	65	68	64
			⑱	2-40-80-2	107	97	98	99	101	100	96
			⑲	4-20-65-4	100	100	100	100	100	100	100
	Non-AE コンクリート	F	⑭	1-40-80-2	60	57	57	49	—	—	—
			⑮	2-40-80-2	82	72	79	72	—	—	—
			⑯	4-20-65-4	100	95	97	96	—	—	—
BB	Non-AE コンクリート	B	⑭	1-40-80-2	102	87	87	86	—	—	—
			⑮	2-40-80-2	118	106	100	99	—	—	—
			⑯	4-20-65-4	102	97	99	99	—	—	—
	AE コンクリート	C	⑰	1-40-80-2	62	51	56	51	54	40	39
			⑱	2-40-80-2	77	67	71	69	64	51	49
			⑲	4-20-65-4	100	100	100	100	100	100	100

※上記の表は、Non-AEコンクリートの場合、条件⑥の強度比を、AEコンクリートの場合、条件⑱の強度比を分母とした各条件の比を示している。

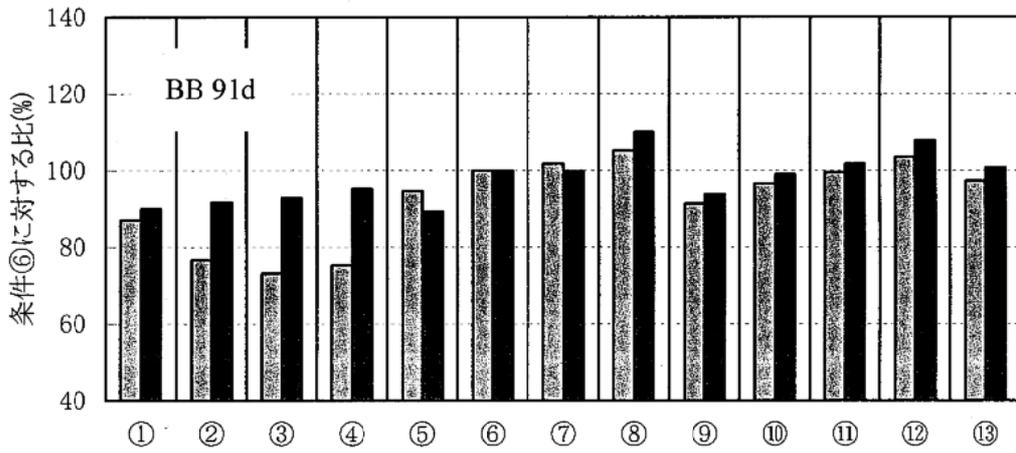
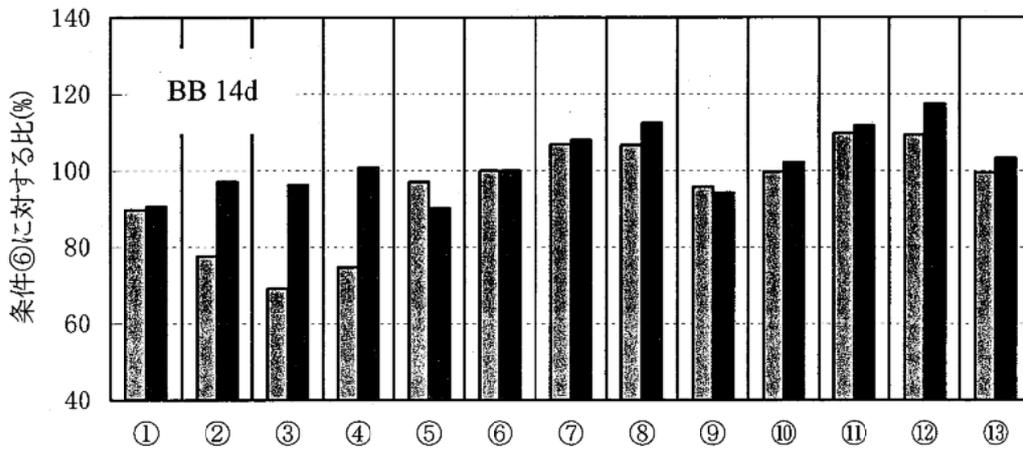
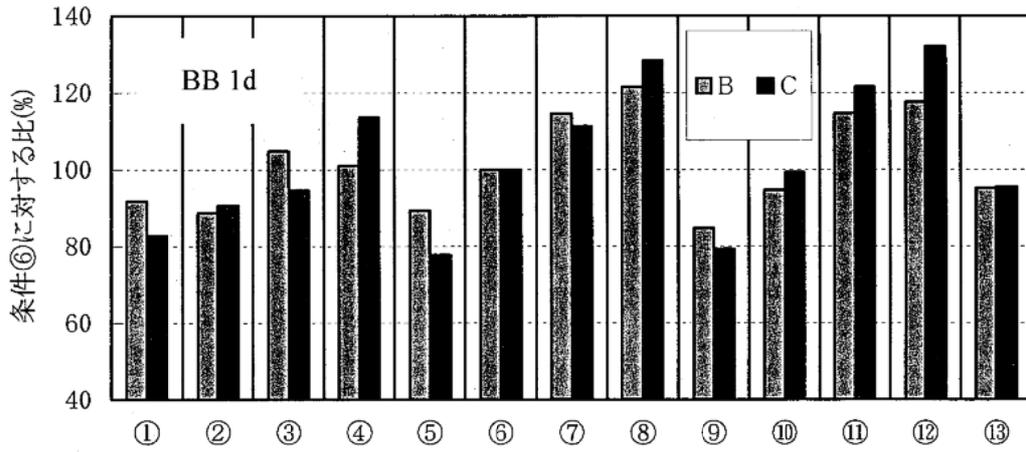
※1 蒸気養生後 14日間 20℃気中養生を行った後、材齢 28、56 日まで 20℃水中養生を行った。



資料 図-15 条件⑥の強度比に対する各条件の比
(普通ポルトランドセメント, シリーズ1)

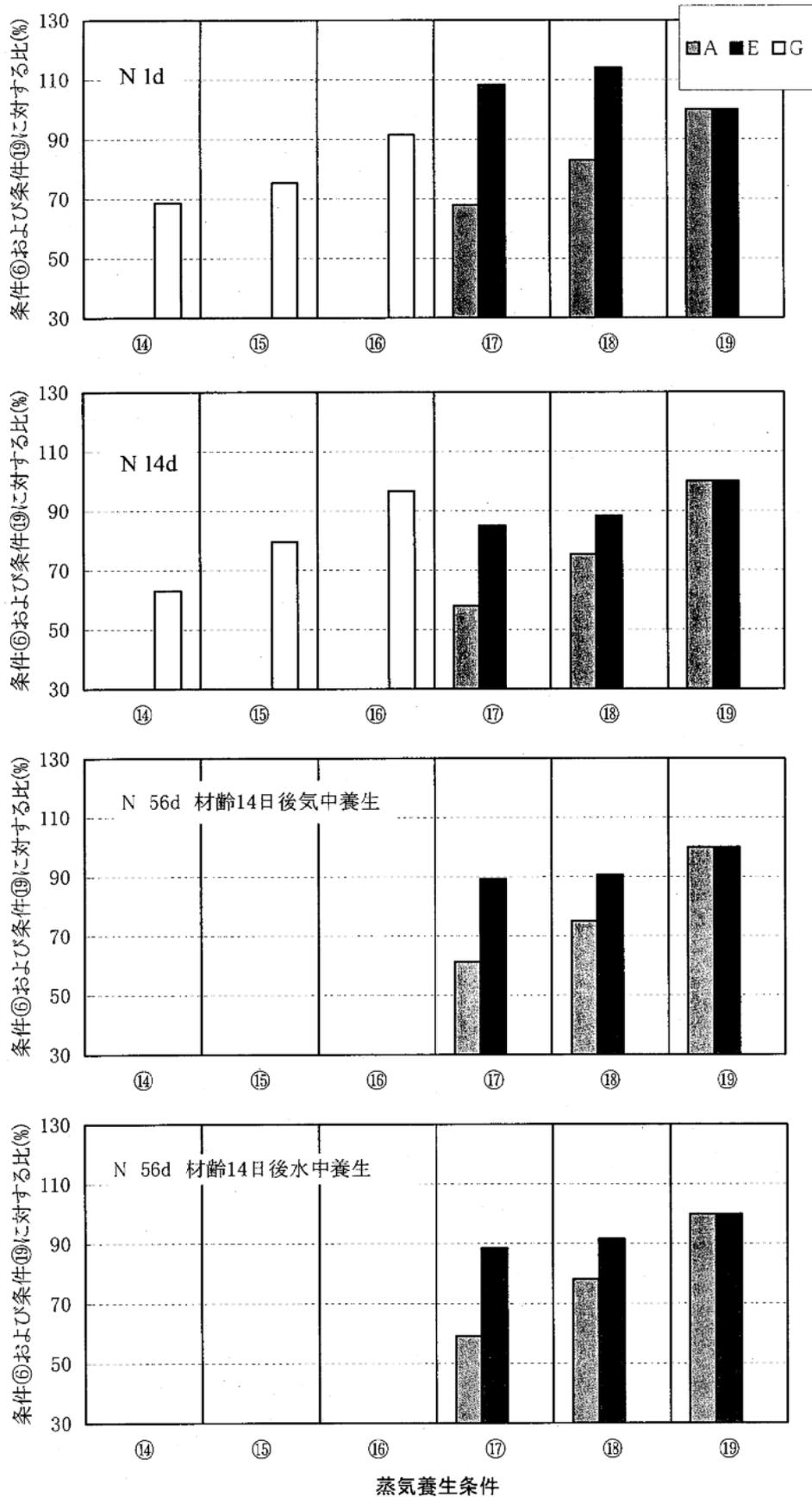


資料 図-16 条件⑥の強度比に対する各条件の比
(早強ポルトランドセメント, シリーズ1)

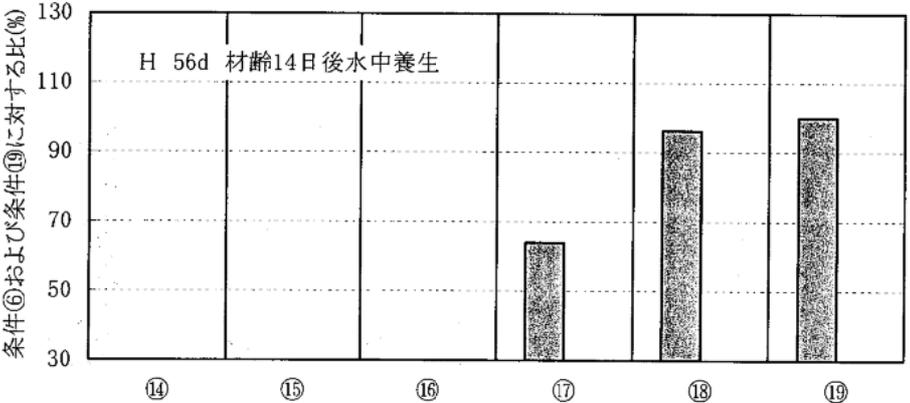
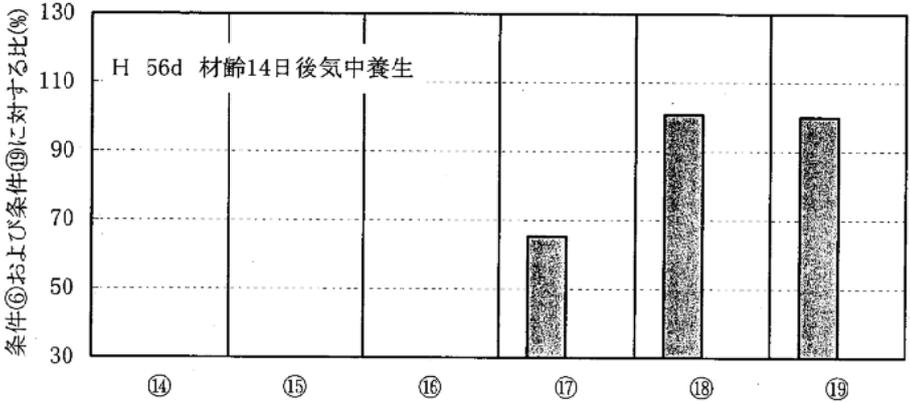
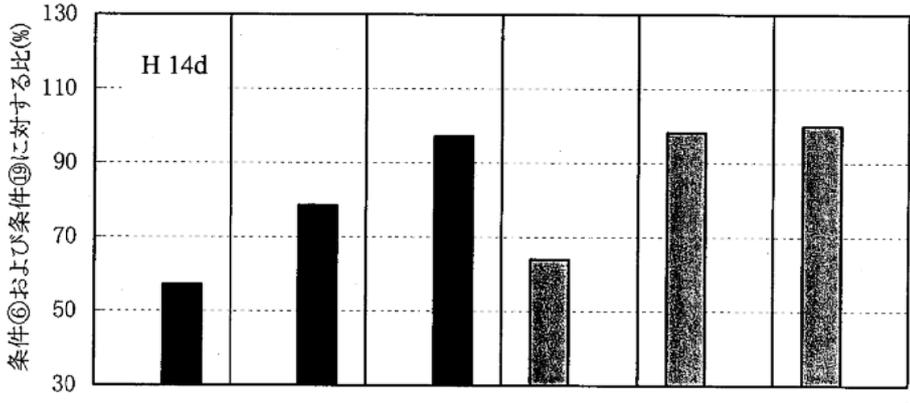
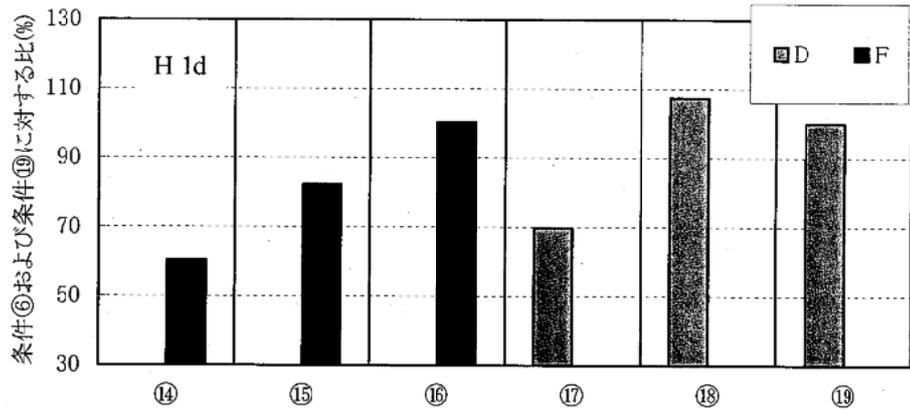


蒸気養生条件

資料 図-17 条件⑥の強度比に対する各条件の比
(高炉セメント B種, シリーズ 1)

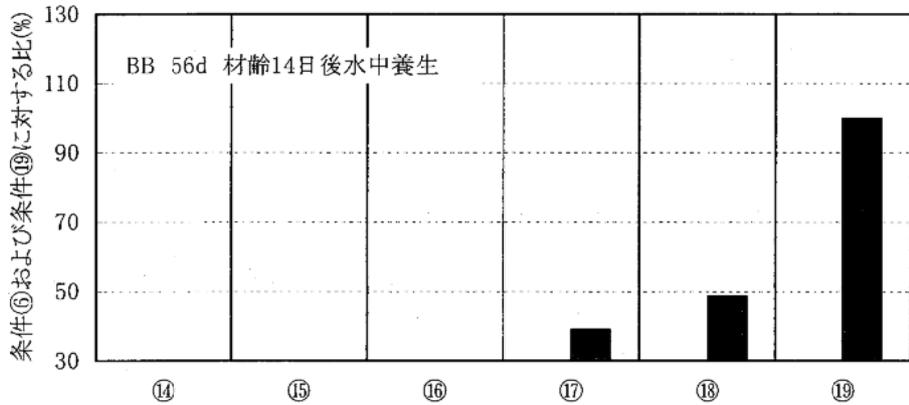
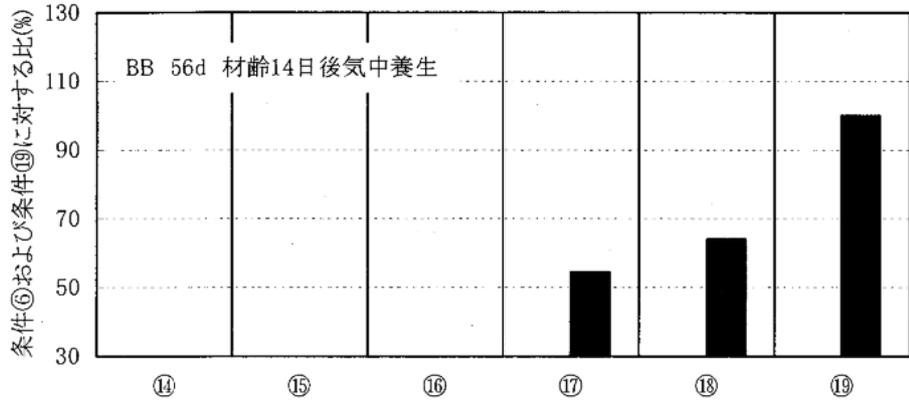
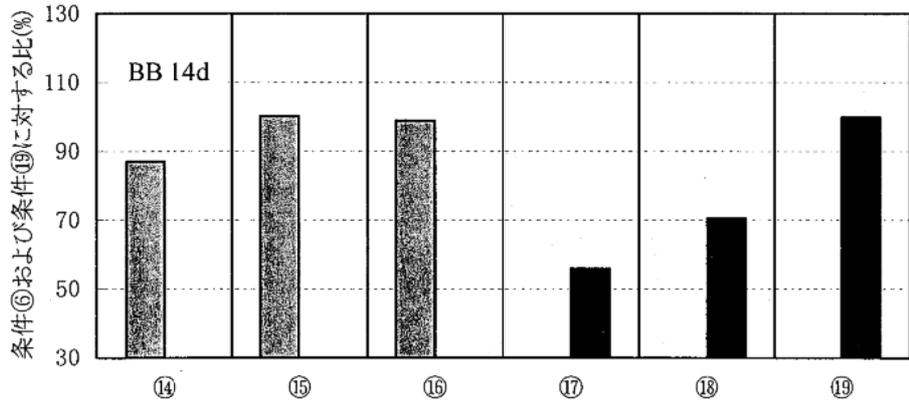
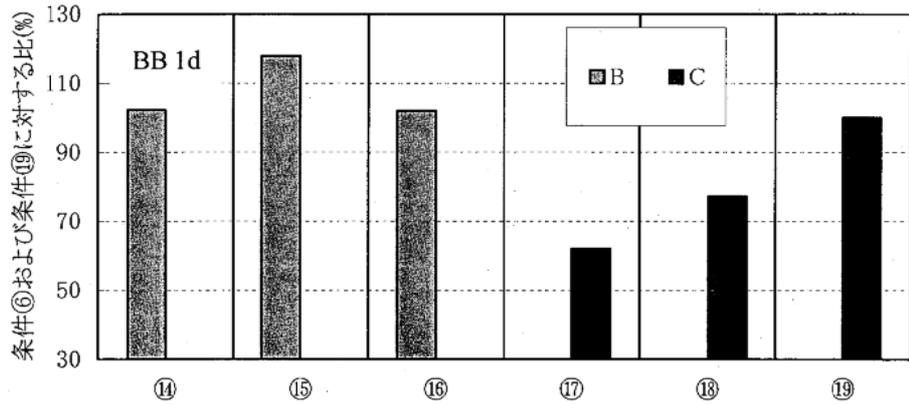


資料 図-18 条件⑥および⑱の強度比に対する各条件の比
(普通ポルトランドセメント, シリーズ2)



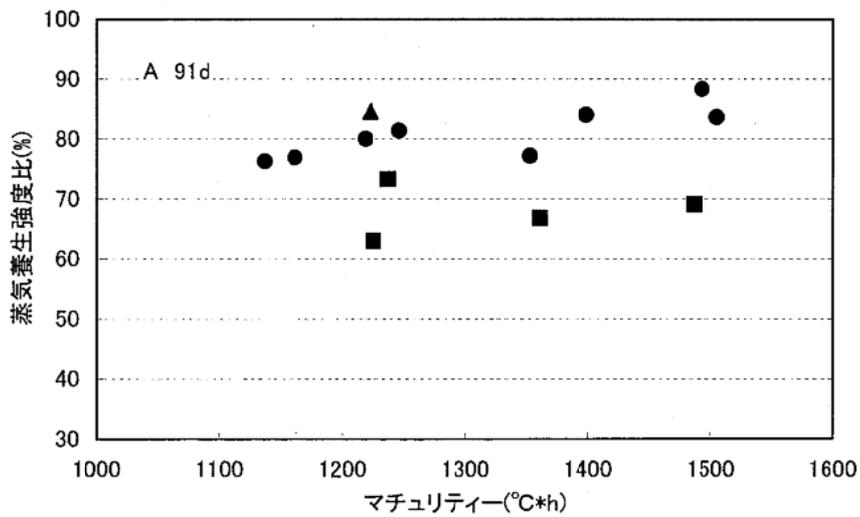
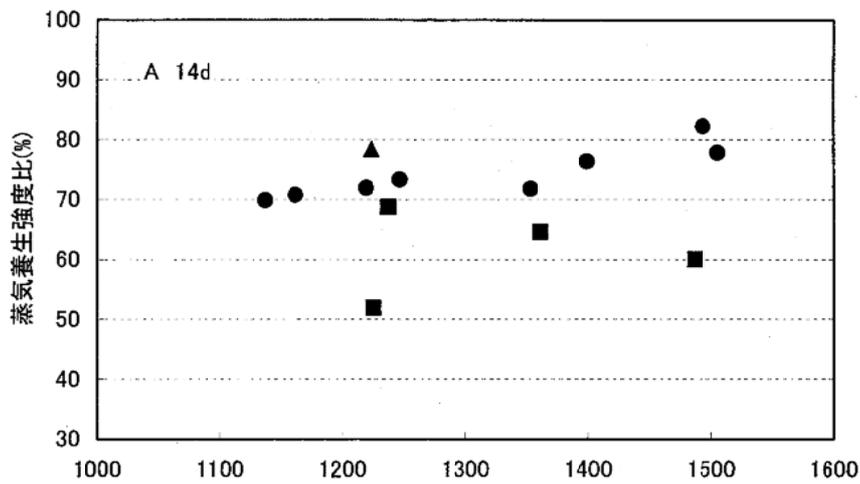
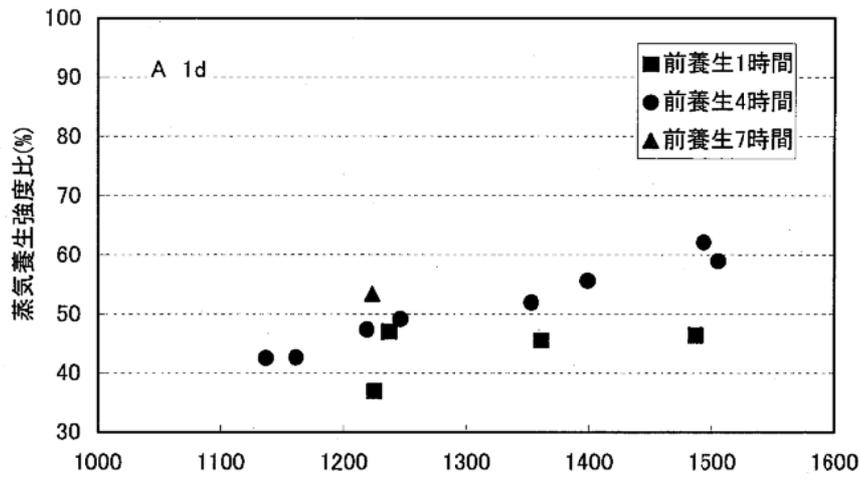
蒸気養生条件

資料 図-19 条件⑥および⑱の強度比に対する各条件の比 (早強ポルトランドセメント, シリーズ 2)

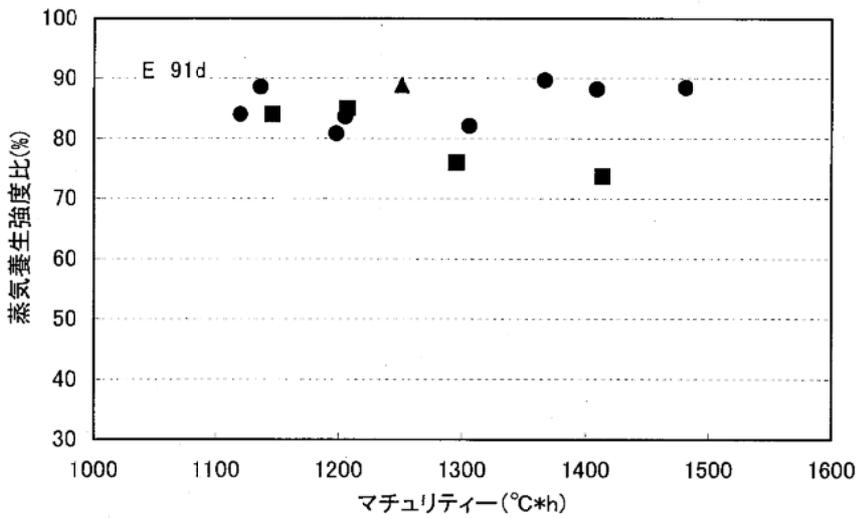
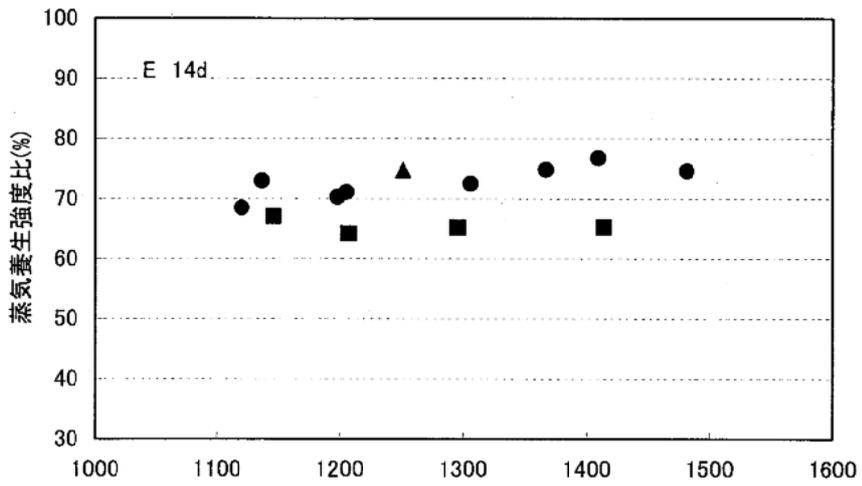
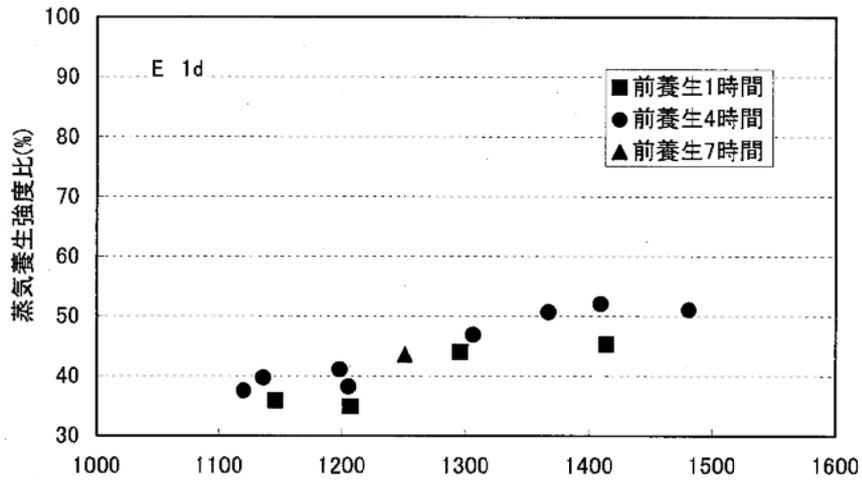


蒸気養生条件

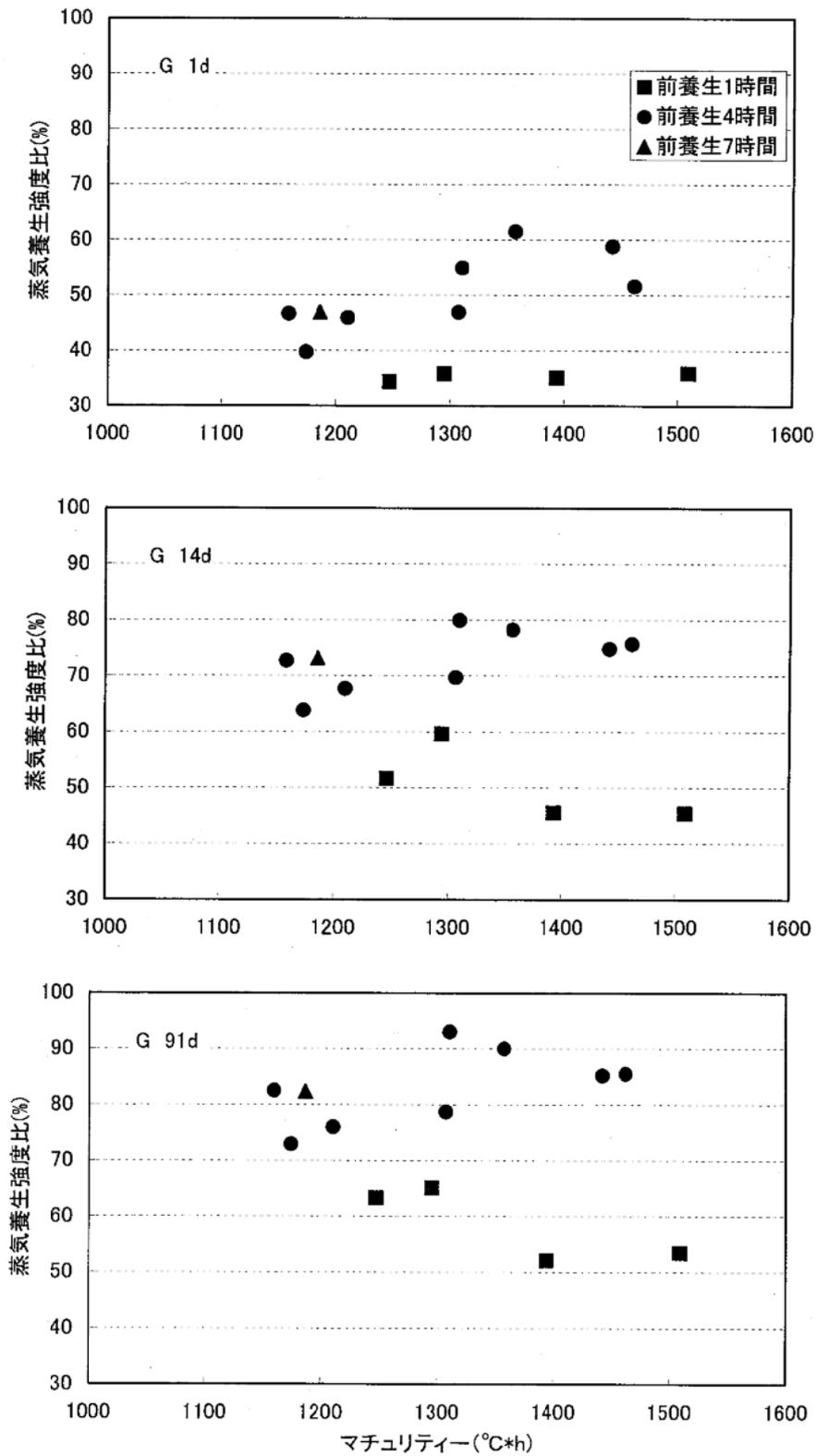
資料 図-20 条件⑥および⑨の強度比に対する各条件の比
(高炉セメントB種, シリーズ2)



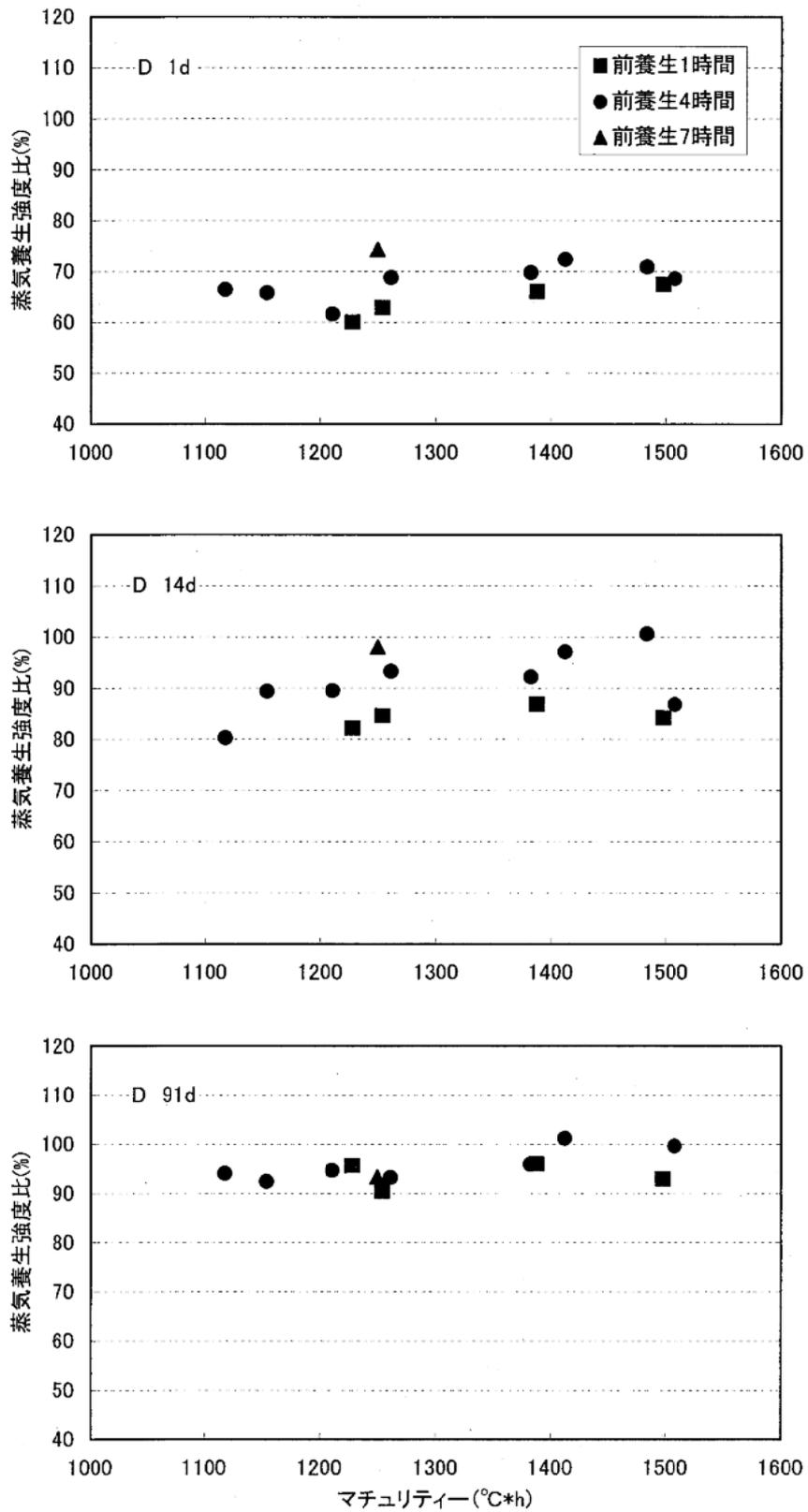
資料 図-21 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
(普通ポルトランドセメント, シリーズ 1, 試験所 A)



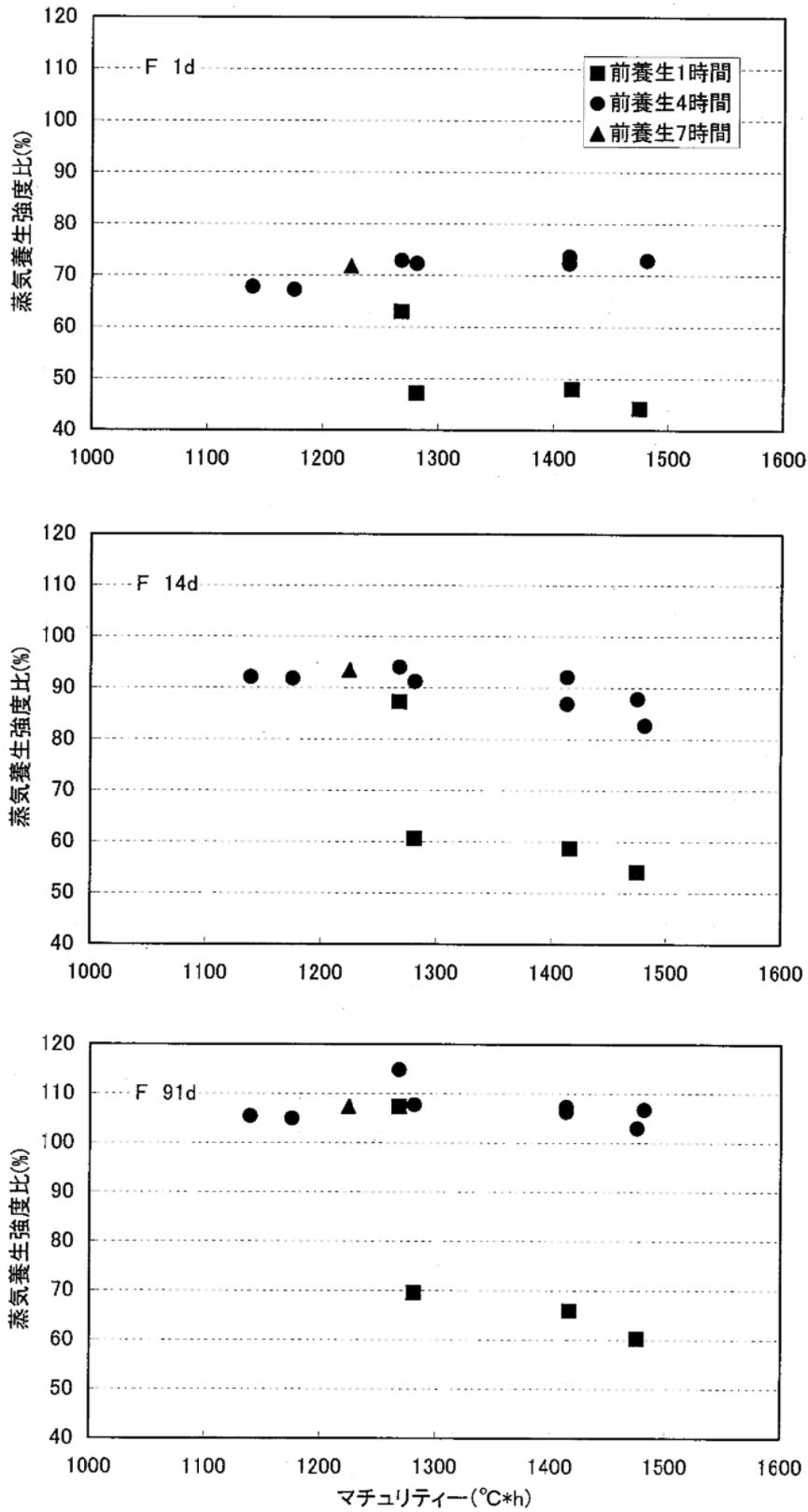
資料 図-22 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
(普通ポルトランドセメント, シリーズ 1, 試験所 E)



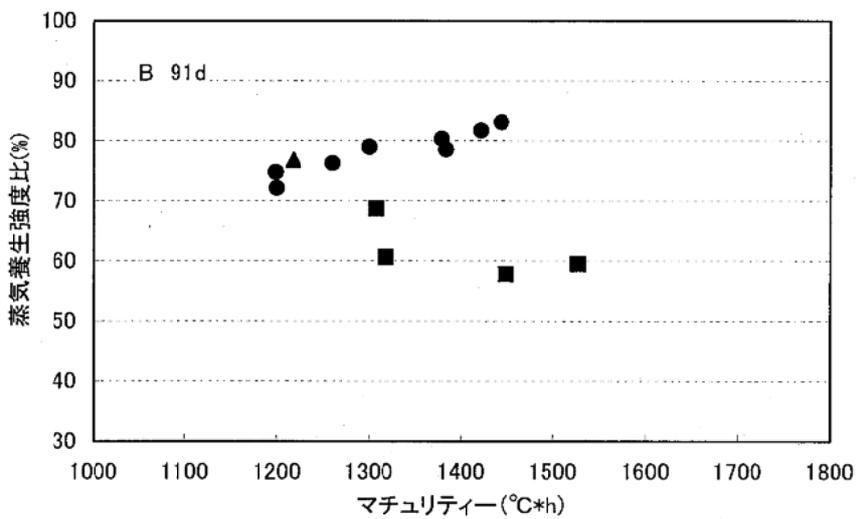
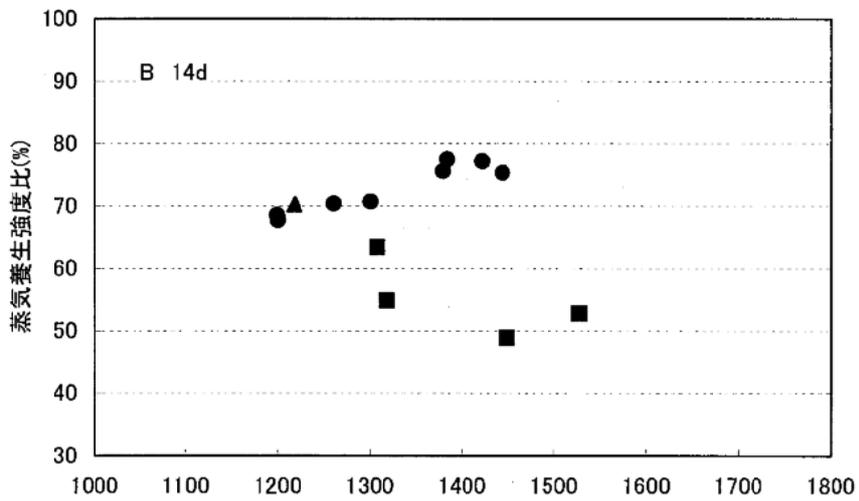
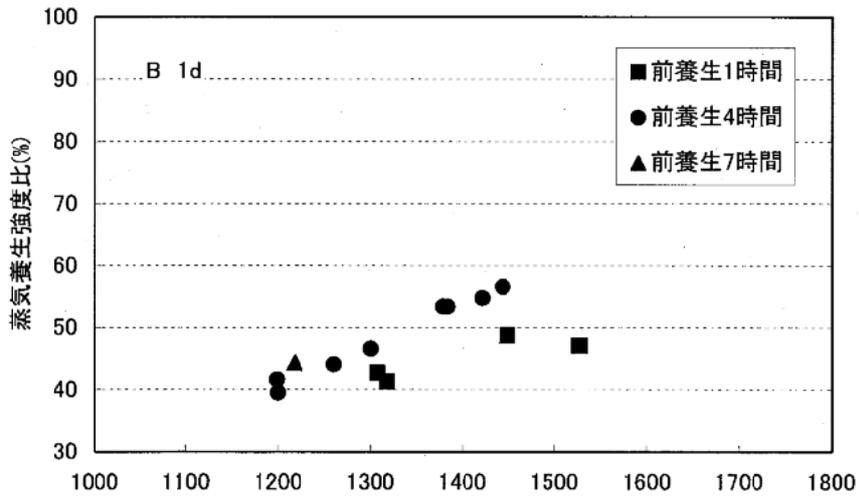
資料 図-23 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
(普通ポルトランドセメント, シリーズ 1, 試験所 G)



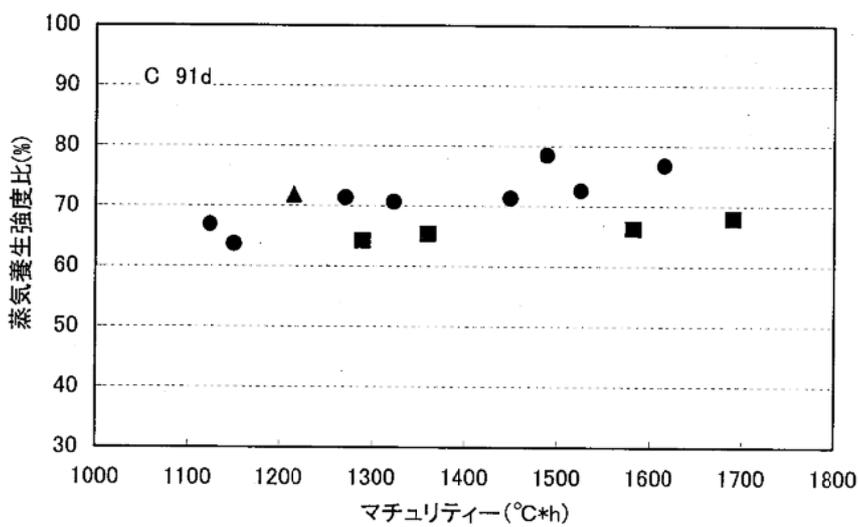
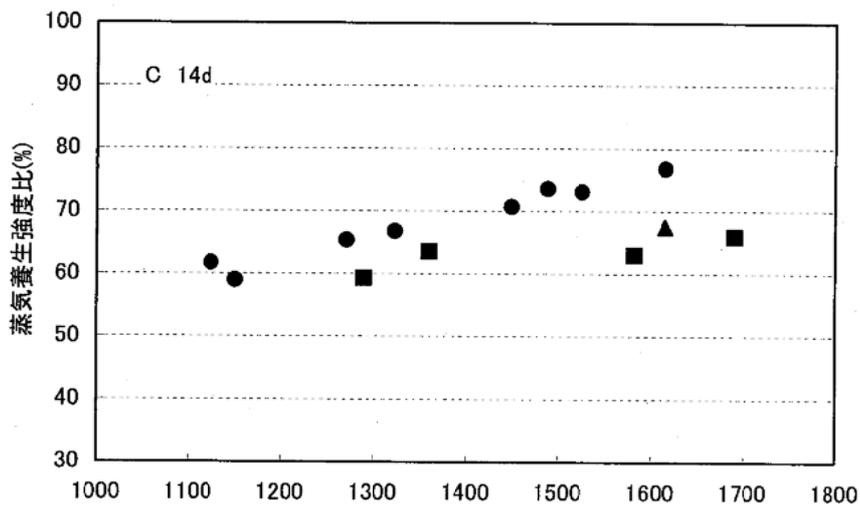
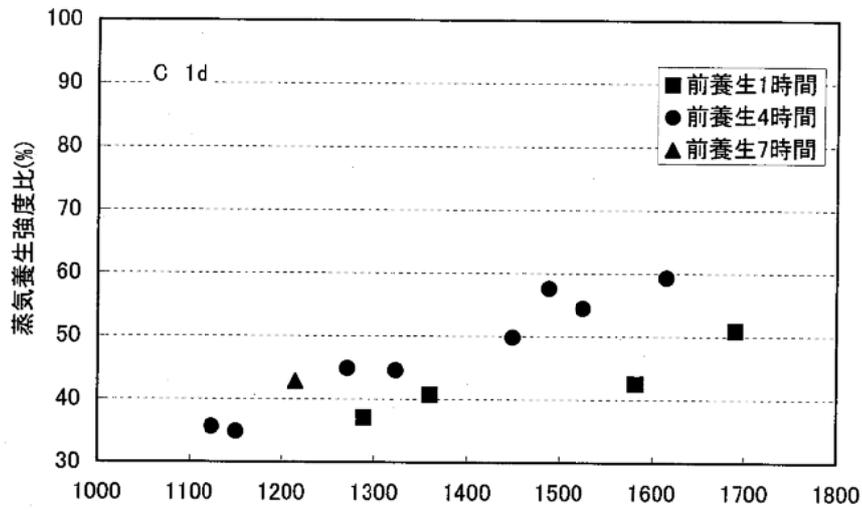
資料 図-24 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
(早強ポルトランドセメント, シリーズ 1, 試験所 D)



資料 図-25 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
(早強ポルトランドセメント, シリーズ1, 試験所F)



資料 図-26 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
 (高炉セメント B 種, シリーズ 1, 試験所 B)



資料 図-27 マチュリティーと蒸気養生強度比の関係
(高炉セメント B 種, シリーズ 1, 試験所 C)

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	スランプ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	富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
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

報告書番号	発行年月	専門委員会報告名
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
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 -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)-
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
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

ISBN4-88175-082-8 C3358 ¥1500E

コンクリート専門委員会報告 F53

平成18年 3月20日 印刷
平成18年 3月25日 発行

定価：本体1,500+税

社団法人 セメント協会
東京都中央区八丁堀4-5-4
ダヴィンチ桜橋702号
電話 03(3523)2701(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 プリントニューライフ
東京都千代田区三崎町2-12-5
電話 03(3263)0633

JCA