

コンクリート専門委員会報告

REPORT OF THE TECHNICAL COMMITTEE ON CONCRETE

F-50

コンクリートの断熱温度上昇試験方法に関する研究

Study on the Test Method for Adiabatic Temperature Rise of Concrete

1999年3月
(Mar.1999)

社団法人 セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

要旨

断熱温度上昇試験に関し、セメント協会コンクリート専門委員会構成会社の12試験所が保有する装置およびその試験方法の調査を行い、さらに共通試験を実施することにより測定値の試験所間のばらつきの実態を把握するとともに、断熱温度上昇試験結果に及ぼす各種要因の影響について検討した。

試験装置は熱媒として空気を用いる空気循環式と液体を用いる液体循環式に大きく分けられるが、12試験所全てが空気循環式の装置を所有し、そのうち2社は液体循環式の装置も所有している。また、同一メーカーの空気循環式の装置であっても、試験所によって、供試コンクリートの量、型枠の寸法・厚さ、試料型枠の外側に設置する容器（外槽）の有無、装置のキャリブレーション方法などに違いがある。装置の設置環境も12試験所中9試験所は20℃を中心とした恒温あるいは温度調整可能な室内であるが、他は温度管理がなされていない。

共通試験により現状の試験方法で行った場合には断熱温度上昇試験結果の試験所間のばらつきはかなり大きいことが明らかになった。そこで測定値に影響を及ぼすと考えられる制御可能な要因について検討した結果、型枠の厚さ、外槽の有無などが測定値に影響することが認められた。型枠は厚く熱容量の大きい場合には断熱温度上昇量は小さくなり、また、外槽を設置した場合には初期の温度上昇量が小さくなる傾向にある。これらの影響は発熱速度の小さい低発熱型のセメントを使用する場合に大きくなる。なお、装置のキャリブレーションで求めた偏差を試験中の温度上昇に追従させて調整する方法と、偏差を予想終局温度近傍に固定して測定する場合との測定値の差はほとんど認められない。

本研究から得られた適切な試験方法および試験の留意点は次の通りである。

- ①試験装置は熱媒として空気を用いる空気循環式と液体を用いる液体循環式のいずれも使用できる。
- ②装置のキャリブレーションを一点で行う場合には、予想最高温度近傍の温度で行う。
- ③型枠はできる限り薄く熱容量の小さいものを使用する。
- ④空気循環式の場合外槽は使用しないほうが好ましい。
- ⑤供試コンクリート量はできる限り多いほうが好ましい。
- ⑥装置の設置環境はできるだけ温度変化の小さい恒温室が好ましい。

ABSTRACT

Japan Cement Association (JCA) Technical Committee (TC) on Concrete investigated various test apparatuses used to evaluate the adiabatic temperature rise of concrete. Existing devices in 12 different laboratories that are members of JCA TC as well as test procedures adopted by each laboratory are investigated. A common test procedure is introduced, thus eliminates the dispersions in test results caused by the difference in test procedure among various laboratories.

The findings of this investigation are summarized as follows:

Test apparatuses can be classified with respect to the category of the heating medium into two types: air or liquid type. Except two laboratories that used liquid-heating medium, all considered laboratories used air-heating medium. Concerning the air-heating medium device type manufactured by the same maker, the variation in the volume of concrete, size and thickness of the mold, and the adopted method for calibration among various devices was observed. Considering all devices, it's observed that 9 of them were set up in a constant or adjustable room temperature of 20°C while the 3 remaining devices were set up in non-adjustable room temperature.

The results of common tests are outlined as follows:

A considerable dispersion in test results obtained using different test methods was observed. By comparing test results to each other, it's confirmed that the thickness of mold and the presence of an outer container affect the results. The use of a thicker or a larger heat-capacity mold resulted in lower adiabatic temperature rise of concrete. Also, the use of an outer container resulted in lower early-adiabatic temperature rise. These variations became large for concrete with low initial-heat generation.

Our relevant recommendations to ensure an appropriate test method to evaluate the adiabatic temperature rise of concrete are as follows:

1. The heating medium of test apparatus can be air or liquid type.
2. The calibration of the test apparatus should be carried out using a temperature value near the expected maximum temperature rise of concrete.
3. The mold should be as thinly as possible and its heat capacity as small as possible.
4. The outer container is not necessary in the case of test apparatus with an air-heating medium.
5. A large sample of concrete is preferred.
6. It's better to set up the device in a constant room temperature.

序

本委員会では 1993 年 4 月から 6 年間にわたり、断熱温度上昇試験値の試験所間のばらつきの把握と試験結果に及ぼす各種要因の影響を検討するために共通試験を実施してきた。ここに、検討結果がまとまったので報告する。

1999 年 3 月

社団法人 セメント協会 コンクリート専門委員会

委員長 太平洋セメント株式会社	小 野 義 徳	
	(富 田 六 郎	1997 年 9 月 1 日交替)
(住友大阪セメント株式会社	中 野 錦 一(故)	1994 年 4 月 1 日交替)
委 員 宇部興産株式会社	松 永 篤	
(宇部三菱セメント株式会社	米 田 俊 一	1993 年 8 月 1 日交替)
住友大阪セメント株式会社	長 岡 誠 一	
	(銀 山 功	1994 年 11 月 1 日退任)
(太平洋セメント株式会社	新 居 健 司	1998 年 9 月 31 日退任)
	(棚 木 隆	1994 年 11 月 1 日退任)
新日鐵高炉セメント株式会社	檀 康 弘	
(敦賀セメント株式会社	中 村 隆 之	1996 年 3 月 31 日退任)
電気化学工業株式会社	玉 木 俊 之	
株式会社トクヤマ	土 井 宏 行	
	(牛 山 宏 隆	1998 年 7 月 12 日交替)
三菱マテリアル株式会社	鳴 瀬 浩 康	
社団法人セメント協会	宇賀神 尊 信	
	岩 下 直 義	
	佐々木 健 一	
	(森 山 容 州	1998 年 3 月 31 日交替)
	(石 井 一 幸	1996 年 10 月 31 日退任)
	(村 田 芳 樹	1995 年 3 月 31 日交替)
	(吉 本 徹	1993 年 10 月 31 日交替)

目 次

1. 緒言	1
2. コンクリートの断熱温度上昇試験装置に関する調査	2
2.1 目的	2
2.2 調査項目	2
2.3 調査結果	2
3. 一次試験；断熱温度上昇試験結果のばらつきの実態把握	6
3.1 目的	6
3.2 試験方法	6
3.2.1 使用材料	6
(1) セメント	6
(2) 骨材	7
(3) 練混ぜ水	7
(4) 混和剤	7
3.2.2 コンクリートの配合および練混ぜ	7
(1) コンクリートの示方配合	7
(2) コンクリートの練混ぜ	8
3.2.3 試験項目および方法	9
(1) スランプ	9
(2) 空気量	9
(3) コンクリート温度	9
(4) 圧縮強度	9
(5) 断熱温度上昇	9
①供試体の成形	9
②試験装置	9
③キャリブレーション	9
④測定間隔および期間	9
3.3 試験結果	10
3.3.1 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度	10
3.3.2 断熱温度上昇	11
3.4 考察	14
3.4.1 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度	14

3. 4. 2	断熱温度上昇	16
(1)	断熱温度上昇量に関する定数	16
(2)	既往の断熱温度上昇量との対比	18
①	普通ボルトランドセメント	18
②	早強ボルトランドセメント	19
(3)	試験所間のばらつき	21
(4)	試験装置の違いについて	23
3. 5	まとめ	24
4.	二次試験；断熱温度上昇試験結果のばらつき要因に関する検討	25
4. 1	目的	25
4. 2	試験方法	25
4. 2. 1	使用材料	25
(1)	セメント	25
(2)	骨材	25
(3)	練混ぜ水	26
(4)	混和剤	26
4. 2. 2	コンクリートの配合および練混ぜ	26
(1)	コンクリートの示方配合	26
(2)	コンクリートの練混ぜ	26
4. 2. 3	試験項目および方法	26
(1)	スランプ	26
(2)	空気量	26
(3)	コンクリート温度	26
(4)	圧縮強度	26
(5)	断熱温度上昇	27
①	供試体の成形	27
②	試験装置	27
③	キャリブレーション	27
④	測定間隔および期間	27
⑤	偏差の設定	27
4. 2. 4	試験要因、水準および担当試験所	28
4. 3	試験結果	30
4. 3. 1	フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度	30
4. 3. 2	断熱温度上昇装置のキャリブレーション	31
4. 3. 3	断熱温度上昇	32
4. 4	考察	34
4. 4. 1	フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度	34

4. 4. 2	断熱温度上昇装置のキャリブレーション	37
4. 4. 3	断熱温度上昇	39
(1)	試験所間のばらつき	39
①	終局断熱温度上昇量Kについて	39
②	温度上昇速度の定数 α について	39
(2)	試験条件の影響	42
①	外槽の有無について	43
②	型枠の種類の違いについて	44
③	偏差の調整について	44
④	試験装置の違いについて	48
4. 5	まとめ	49
5.	三次試験；試験装置および方法の標準化によるばらつきの低減効果	50
5. 1	目的	50
5. 2	試験方法	50
5. 2. 1	使用材料	50
(1)	セメント	50
(2)	骨材	50
(3)	練混ぜ水	50
(4)	混和剤	50
5. 2. 2	コンクリートの配合および練混ぜ	51
(1)	コンクリートの示方配合	51
(2)	コンクリートの練混ぜ	51
5. 2. 3	試験項目および方法	51
(1)	スランプ	51
(2)	空気量	51
(3)	コンクリート温度	51
(4)	圧縮強度	51
(5)	断熱温度上昇	51
①	供試体の成形	51
②	試験装置	51
③	キャリブレーション	51
④	測定間隔および期間	51
⑤	偏差の設定	52
5. 2. 4	試験要因、水準および担当試験所	52
5. 3	試験結果	53
5. 3. 1	フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度	53
5. 3. 2	断熱温度上昇	55

5. 4 考察	56
5. 4. 1 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度	56
5. 4. 2 断熱温度上昇	58
(1) キャリブレーション温度の影響	58
(2) 外槽の影響	60
(3) 型枠の影響	62
5. 5 まとめ	65
6. 結言	66
参考文献	68
資料編	69

1. 緒言

セメントの水和熱に起因したコンクリートの温度上昇が温度ひび割れを発生させることは良く知られていることである。一般に、温度ひび割れが問題となるマスコンクリートにおいては、温度応力解析に基づく低発熱セメントの適用や単位セメント量の低減等の材料、配合面からの対策、また、クーリング等の施工面からの対策がとられている。

温度応力解析に関する研究は、コンクリート工学協会を中心に約 20 年にわたって行われ¹⁾、解析方法の開発と解析精度の向上が達成されている。温度応力解析を精度良く行うには、コンクリート部材の温度変化に伴う挙動および物性変化を的確に推定することが重要である。そのためには、コンクリートの熱的性質、弾・塑性等の基礎的性質を把握する必要がある、中でも部材の温度上昇量を推定するためのコンクリートの断熱温度上昇は最も重要である。

この断熱温度上昇の特性値は、セメントの水和熱により推定される方法²⁾とコンクリートによる試験を行って求められる方法がある。現状では後者による方法が一般的であり、既往の研究^{例えば 3)~16)}も多く、信頼性も高い。しかし、断熱温度上昇試験に関しては、原理的には試験方法は画一化されているものの標準化されたものはなく、温度追従方式、制御方法の異なる種々の試験装置が用いられているのが現状である。

そこで、セメント協会コンクリート専門委員会では、委員会構成会社の試験所保有の断熱温度上昇試験装置およびその試験方法の調査、および断熱温度上昇試験結果に及ぼすと考えられる各種要因の影響について検討し、適切な試験結果を得るための方法を明らかにすることを目的に、以下の三次にわたる共通試験を実施した。

一次試験：各試験所の通常の試験装置および試験方法による場合の測定値のばらつきを、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中庸熱フライアッシュセメントを用い、セメント量を 2 水準としたコンクリートにより検討

二次試験：結果に及ぼす外槽（供試体型枠の外側に熱媒の温度の乱れによる供試体への直接の影響を防ぐために設ける容器）の有無、型枠の寸法、厚さの違い、および装置のキャリブレーション方法の違いの影響を普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートにより検討

三次試験：二次試験までに得られた測定値のばらつきを小さくする方法により、試験所間の差が大きい傾向にある断熱温度上昇の遅い中庸熱フライアッシュセメントによる検証試験

2. コンクリートの断熱温度上昇試験装置に関する調査

2. 1 目的

現在、コンクリートの断熱温度上昇試験に関しては、原理的には試験方法は画一化されているものの、標準化されたものはなく、温度追従方式、制御方法の異なる種々の試験機を用いて、各試験機関が独自に試験を実施しているのが現状である。

そこで、本委員会の構成会社の試験所で行われている試験方法についての調査を実施した。

2. 2 調査項目

試験装置に要求される性能として最も重要なのは、断熱状態の保持能力とその制御方法にある。そこで、各試験所における装置の仕様を以下の項目について調査した。

- (1) 断熱形式
- (2) 外槽
- (3) 供試体の寸法、形状、容器等
- (4) 制御方法および精度
- (5) 装置の置かれている環境
- (6) キャリブレーション方法（偏差の調整方法）

2. 3 調査結果

調査した試験装置の分類を図-2.3.1、装置の概略を図-2.3.2、各試験所における試験装置のキャリブレーションの方法を表-2.3.1に示す。

(1)断熱形式

一般的に断熱温度上昇試験装置の断熱形式は空気循環式と液体循環式に2分される。今回の試験に使用した装置は12試験所中10試験所の装置が空気循環式の装置であり、そのうち9試験所の装置は製造メーカーも同一であるため、断熱形式の仕様もほぼ同一であった。

(2)外槽

装置内において、供試体の周囲に熱媒の流れによる温度の乱れを防ぐために、さらに外槽を設けているものがある。空気循環式の装置では、C社製の9装置のうち、5装置が外槽（外枠）を有している。また、D社製の装置およびC社製の1装置（試験所D）では外槽内部が断熱材で構成されている。

(3)供試体の寸法、形状、容器等

供試体寸法は、A社製の装置が最も大きく、コンクリート試料の量で約170Lを要する。それ以外の装置については、直径が35～50cm、高さも同程度で、試料の量は40～50L程度である。また、形状については、円柱型が主で、それ以外は逆円錐台型もある。

(4)制御方法および精度

断熱に関する制御については、いずれの装置も供試体の中心温度と断熱層内の1点若しくは複数点の温度差を零にするような制御方法を採用している。特に外槽がある場合の層内温度の検出については、C社製では外槽の外側にて行っており、D社製のものは供試体に接触したところで行っている。

(5)装置の置かれている環境

装置の置かれている環境は、12試験所中9試験所で20℃を中心とした恒温あるいは温（湿）度調整可能な試験室である。

(6)キャリブレーション方法（偏差の調整）

いずれの試験所においても試験装置のキャリブレーション（供試体／槽内偏差調整器により、所定の温度を一定に保つことができるように装置の電気的な補正を行うことにより、断熱状態を保つための装置特有の較正值（以下“偏差”と呼ぶ）を求める作業）を実施している。方法としては一定温度（60℃、推定K値、予想最高温度等）の温水を使用し、一定期間（1～2日）における温度の変動を所定の範囲内（0.1℃以内）に調整するものが最も多い。

断熱形式	製造メーカー	外 槽	供試体	容積	型枠材質	型枠厚	試験所
液体循環式	A社製	無	$\phi 600 \times h 600(\text{mm})$	170(L)	鉄	1.2(mm)	A
	B社製	無	$\phi 400 \times h 400$	50	ステンレス	3.0	B
空気循環式	C社製	有	$\phi 400 - \phi 300 \times h 400$	39	鋼/ステンレス	3.0/4.5	C/D
			$\phi 350 \times h 350$	34	ブリキ	0.3	E
			$\phi 400 \times h 400$	50	鋼/鋼	8.8/0.6	F/G
		無	$\phi 400 - \phi 300 \times h 400$	39	鋼/鋼	6.0/6.0	H/I
			$\phi 400 \times h 400$	50	鋼	0.6/0.6	J、K
	D社製	有	$\phi 400 \times h 450$	56	ステンレス	1.0	L

(断熱材)

図-2.3.1 断熱温度上昇試験装置の分類

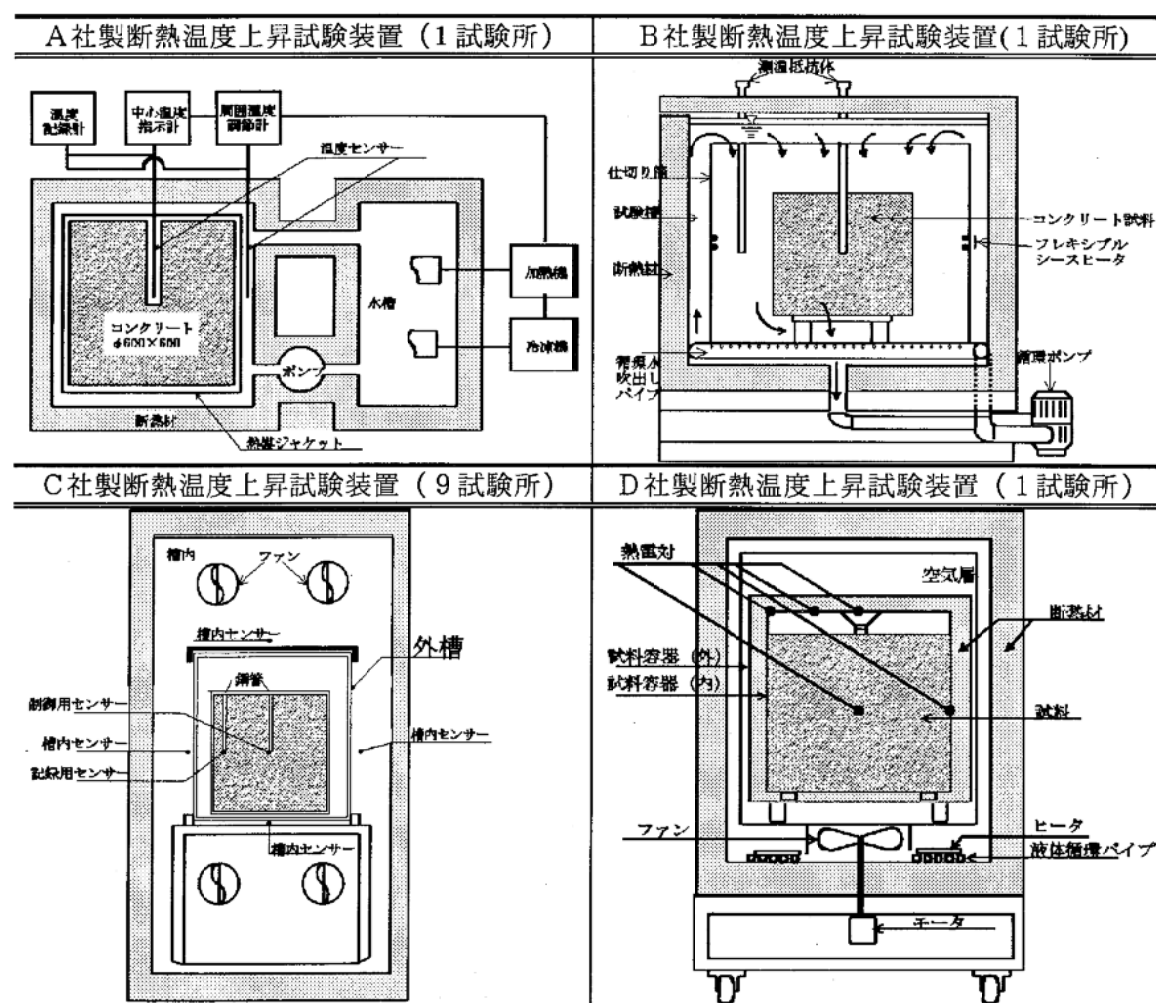


図-2.3.2 断熱温度上昇試験装置概略図

表-2.3.1 各試験所における試験装置のキャリブレーション方法

試験所	キャリブレーションの方法
A	試験済みの供試体を用いて、20℃および 80℃における温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／3 日以内に保持できるような偏差をそれぞれ求め、この 2 点による直線を求める。直線上の 1 点（通常は 50℃）の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／3 日以内に保持できるような偏差を求め、この点が直線上に一致することを確認後、試験時には、この直線を用いて、コンクリート温度に追従させて自動調整
B	試験済みの供試体を用いて、20～80℃の範囲で 10℃毎に、温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／2 日以内に保持できるような偏差をそれぞれ求め、温度と偏差の直線回帰式を求める。試験時には、この回帰式を用いて、コンクリート温度に追従させて調整
C	50 $\pm$ 10℃の温水の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／1 日以内に保持できるように調整
D	60℃の温水の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／2 日以内に保持できるように調整
E	60℃近傍の温水の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／2 日以内に保持できるように調整
F	60℃の温水の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／2 日以内に保持できるように調整
G	60℃の温水の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／2 日以内に保持できるように調整
H	セメントの水和熱より推定した最高温度近傍の温水の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／1 日以内に保持できるように調整
I	セメントの水和熱より推定した最高温度近傍の温水の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／1 日以内に保持できるように調整
J	50℃、60℃および 70℃の温水の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／1 日以内に保持できるような偏差をそれぞれ求め、温度と偏差の直線回帰式を求める。試験時には、この回帰式より求めた予想最高温度の偏差に調整
K	60℃近傍の温水の温度変化が $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ／2 日以内に保持できるように調整
L	ヒーター内臓アルミブロックテストピースに起電力を加え、既存のデーターとの整合性により調整

3. 一次試験；断熱温度上昇試験結果のばらつきの実態把握

3. 1 目的

断熱温度上昇試験装置の実態を調査した結果、その仕様が大きく異なるものと、ほぼ同一の装置でありながら微細な部分で異なるものがあることが明らかとなった。そこで、12の試験所が各試験所の装置および方法により、共通の材料と配合による共通試験を実施し、試験所間の断熱温度上昇試験結果のばらつきの現状を把握することとした。

3. 2 試験方法

3. 2. 1 使用材料

(1) セメント

セメントは、1工場で製造した同一ロット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）および中庸熟フライアッシュセメント（記号：MF）（F/(C+F) = 30%）を使用した。それぞれのセメントの化学成分および物理的性質を表-3.2.1 および表-3.2.2 に示す。

表-3.2.1 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	R ₂ O	Cl
N	1.2	0.0	21.4	5.3	2.7	64.6	1.6	2.0	0.38	0.41	0.66	0.005
H	0.9	0.1	20.4	5.1	3.0	64.6	1.5	2.9	0.29	0.51	0.63	0.006
MF	1.2	25.6	17.4	3.4	3.3	45.8	0.7	1.5	0.20	0.29	0.39	0.001

表-3.2.2 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	91日	7日	28日
N	3.16	3260	28.1	2-35	3-40	良	—	14.9	27.8	43.2	—	318	367
H	3.12	4450	29.0	1-54	2-53	良	15.3	25.5	35.7	45.2	—	381	421
MF	2.85	3560	30.4	2-50	5-25	良	—	6.7	9.9	21.3	40.0	204	263

*JIS R 5201-1992 による

(2) 骨材

細骨材は、東京都青梅産砕砂を、粗骨材は、東京都青梅産の 2005 砕石（硬質砂岩系）を使用した。骨材の粒度および物性を表-3.2.3 に示す。

表-3.2.3 骨材の粒度および物性

骨材 区分	表乾 比重	吸水 率 (%)	ふるい通過量(%)									粗粒率	備考
			20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		
粗骨材 (碎石)	2.65	0.64	98	81	27	1	—	—	—	—	—	6.93	全種セメント用
細骨材 (砕砂)	2.62	1.61	—	—	—	100	83	55	34	21	8	2.99	Nセメント用
	2.62	1.28	—	—	—	100	87	58	35	22	10	2.88	Hセメント用
	2.62	1.34	—	—	—	100	87	55	35	21	7	2.95	MFセメント用

(3) 練混ぜ水

コンクリートの練混ぜ水は、上水道水を使用した。

(4) 混和剤

混和剤は、同一ロットの減水剤標準形（(株) NMB製、ポゾリス No.200N、主成分：ポリオール複合体）を使用した。

3. 2. 2 コンクリートの配合および練混ぜ

(1) コンクリートの示方配合

コンクリートの示方配合を表-3.2.5 に示す。配合は、スランプが 12cm 程度となるように 1 試験所で試練りにより定めたものであり、各試験所は、骨材の表面水率の補正を行った後練混ぜを行い、スランプおよび空気量の調整は行わなかった。なお、コンクリートの練上がり温度が $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ になるように、練混ぜ水により調整した。

表-3.2.5 コンクリートの示方配合および記号

配 合 番 号	セメントの 種 類	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	目標 スランプ (cm)	目 標 空気量 (%)	単位量 (kg/m^3)				(cc/m^3)
						W	C	S	G	混和剤
N250	N	74.0	46.0	12	2.0	185	250	863	1024	875
N350		52.3	42.0	12	2.0	183	350	755	1055	1225
H250	H	72.0	44.0	12	2.0	180	250	830	1068	875
H350		52.8	42.0	12	2.0	185	350	751	1049	1225
MF250	MF	74.0	46.0	12	2.0	185	250	852	1012	875
MF350		52.8	46.0	12	2.0	185	350	810	962	1225

(2) コンクリートの練混ぜ

練混ぜ方法を図-3.2.1 に示す。練混ぜは容量 50～100L のパン型強制練りミキサを使用し、練混ぜ量は使用するミキサの容量によって、試験練りで容量の 50%以上、本練りで容量の 60%以上を目安とした。なお、各試験所は、練り上がったコンクリート全量が断熱温度上昇試験用型枠に投入できるように、コンクリートの練混ぜ量および使用するミキサを定めた。

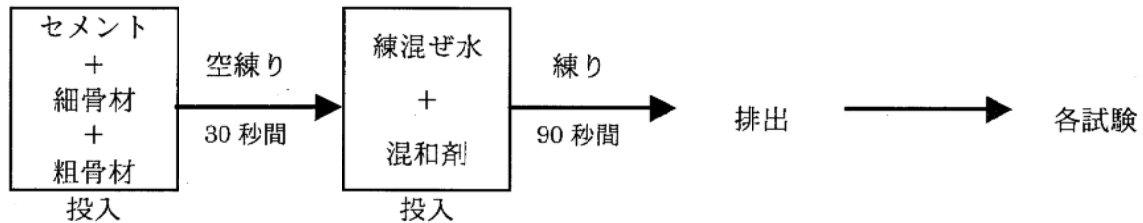


図-3.2.1 コンクリートの練混ぜ方法

成形は、次の手順で行った。捨て練り→試験練り（スランプ、空気量、練り上がり温度の測定、強度用供試体の成形）→本練り（スランプ、空気量、練り上がり温度の測定、断熱温度上昇試験用供試体の成形）

なお、本練り時には、常にスランプ、空気量の測定を実施し、試料を戻してから断熱温度上昇試験用供試体の成形を行った。

3. 2. 3 試験項目および方法

(1) スランプ

スランプの測定は JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」に従って行った。

(2) 空気量

空気量の測定は 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) コンクリート温度

練上がり時のコンクリート温度を棒状またはデジタル温度計により測定した。

(4) 圧縮強度

圧縮強度試験用供試体は、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に従って作製し、JIS A 1108「コンクリートの圧縮試験方法」に従って $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の供試体で試験を行った。なお、養生は標準養生とし、材齢は、N250、N350、H250 および H350 については 3、7 および 28 日、MF250 および MF350 については 7、28 および 91 日とした。

(5) 断熱温度上昇

① 供試体の成形

断熱温度上昇試験用供試体の成形は、フレッシュコンクリートの各種試験終了後、練り上がったコンクリート全量を打設することとした。また、打込みは 2 層で行い、棒バイブレーターを用いて各層 3 カ所を締め固めた。

② 試験装置

試験装置は、図-2.3.2 に示した各試験所所有の装置を使用した。

③ キャリブレーション

試験装置のキャリブレーションは、表-2.3.1 に示した各試験所が通常行っている方法で行った。

④ 測定間隔および期間

測定は、練混ぜ水の注水から 15 分以内に開始した。また、測定間隔は 6 時間毎とし、測定期間は、N250、N350、H250 および H350 については 10 日間、MF250 および MF350 については 14 日間とした。

3.3 試験結果

3.3.1 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度

各試験所で実施したフレッシュコンクリートの試験結果を表-3.3.1 に、圧縮強度試験結果を表-3.3.2 に示す。

表-3.3.1 フレッシュコンクリート試験結果

配 合 番 号	項 目	試験所												平 均
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
N250	スランプ (cm)	12.5	10.0	8.0	10.5	8.5	9.0	5.0	10.0	7.5	6.0	11.0	5.5	8.9
	空気量 (%)	0.9	1.3	1.5	0.8	1.0	1.2	1.0	1.1	1.1	1.3	1.8	1.2	1.2
	練上がり温度(℃)	19.8	21.5	20.5	20.0	19.5	20.6	19.7	20.5	20.0	19.0	19.4	20.0	20.0
N350	スランプ (cm)	11.5	11.0	7.5	11.5	8.0	11.5	11.0	11.0	7.5	8.5	18.0	10.5	10.6
	空気量 (%)	0.8	1.8	1.4	0.8	1.0	1.5	0.6	1.0	1.1	1.2	2.1	1.3	1.2
	練上がり温度(℃)	19.6	21.5	20.0	20.0	20.0	20.5	19.4	20.0	19.7	19.0	20.6	20.0	20.0
H250	スランプ (cm)	8.0	4.5	6.5	9.5	8.0	4.0	5.0	—	6.0	4.0	5.5	3.5	6.1
	空気量 (%)	1.2	1.3	2.0	1.8	1.0	1.6	1.2	—	1.0	1.2	1.9	1.7	1.4
	練上がり温度(℃)	20.0	21.0	20.5	20.5	20.0	19.5	20.7	—	21.0	19.5	20.8	20.5	20.4
H350	スランプ (cm)	9.0	8.5	7.0	12.0	11.0	9.5	7.5	—	9.0	6.5	10.0	8.5	9.0
	空気量 (%)	1.4	1.4	2.3	1.0	1.0	1.5	1.0	—	1.4	1.4	1.8	1.9	1.4
	練上がり温度(℃)	19.9	21.5	20.0	20.5	20.0	19.5	21.0	—	20.0	19.5	20.0	20.5	20.2
MF250	スランプ (cm)	13.0	13.5	8.0	10.0	12.5	7.5	8.0	11.5	11.5	11.5	16.5	12.0	11.2
	空気量 (%)	0.6	1.4	1.0	1.1	1.4	1.7	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.8	1.1
	練上がり温度(℃)	20.3	20.5	20.0	19.2	21.0	20.9	20.1	19.7	20.0	19.0	19.5	20.1	20.0
MF350	スランプ (cm)	13.5	13.0	7.0	12.0	13.0	9.5	11.0	11.0	10.5	18.0	19.5	17.5	12.5
	空気量 (%)	0.9	1.7	1.0	1.0	1.4	2.0	0.9	1.2	1.1	1.0	1.5	1.7	1.2
	練上がり温度(℃)	20.0	20.5	20.0	19.1	21.0	19.8	19.8	19.0	21.3	18.5	19.5	20.1	19.9

表-3.3.2 圧縮強度試験結果

配 合 番 号	材 齡	圧 縮 強 度 (N/mm ²)												平 均
		試 験 所												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
N250	3 日	14.5	13.5	19.3	19.0	15.8	14.1	15.0	15.1	16.4	14.3	20.4	13.4	16.1
	7 日	22.4	21.2	27.8	24.1	24.3	22.6	23.6	22.8	24.5	22.1	23.9	21.2	23.6
	28 日	30.4	29.7	35.0	30.4	32.1	30.7	32.6	31.6	36.4	31.1	31.1	30.0	31.9
N350	3 日	25.1	24.5	30.7	33.9	26.7	24.1	30.1	25.7	27.9	26.1	25.0	23.8	27.3
	7 日	39.2	34.4	41.5	40.8	39.9	39.3	42.9	37.4	40.2	39.3	38.2	36.6	39.4
	28 日	46.8	44.7	53.3	50.1	51.0	48.7	52.6	44.8	48.4	50.7	46.2	47.5	48.8
H250	3 日	21.0	21.2	24.8	22.7	23.9	21.7	25.4	—	24.5	20.5	23.1	20.7	22.9
	7 日	28.9	26.6	31.3	26.6	30.6	27.8	29.8	—	29.7	27.4	27.8	26.6	28.7
	28 日	34.5	30.4	36.3	32.3	35.4	32.1	34.3	—	36.5	31.8	33.6	30.2	33.7
H350	3 日	36.6	34.9	37.3	33.2	36.6	33.0	38.6	—	36.1	37.2	32.3	33.3	35.6
	7 日	45.4	42.2	47.2	39.3	45.7	42.2	46.2	—	44.4	45.3	43.6	43.0	44.2
	28 日	51.1	47.3	55.0	49.2	50.3	49.8	52.9	—	49.6	52.2	54.7	49.2	51.2
MF250	3 日	7.1	6.9	7.2	6.9	7.6	6.3	7.1	6.4	7.4	6.0	6.4	6.6	6.8
	7 日	15.8	16.2	19.9	16.6	17.3	15.1	16.9	18.8	17.4	15.1	21.3	16.1	17.3
	28 日	27.5	29.9	33.1	30.0	31.2	28.1	32.3	36.4	34.0	27.4	29.1	29.0	30.8
MF350	3 日	17.0	15.2	15.6	15.4	16.5	14.6	14.3	14.7	14.4	14.3	15.5	15.1	15.2
	7 日	38.3	32.6	35.8	35.4	33.9	29.8	32.2	35.8	36.3	34.0	33.8	33.4	34.4
	28 日	58.5	51.5	55.3	54.5	54.3	51.0	55.5	53.2	54.1	55.2	52.2	53.3	54.1

3.3.2 断熱温度上昇

試験所A～試験所Lにおける、断熱温度上昇曲線（実測値）を各配合別に図-3.3.1に示す。

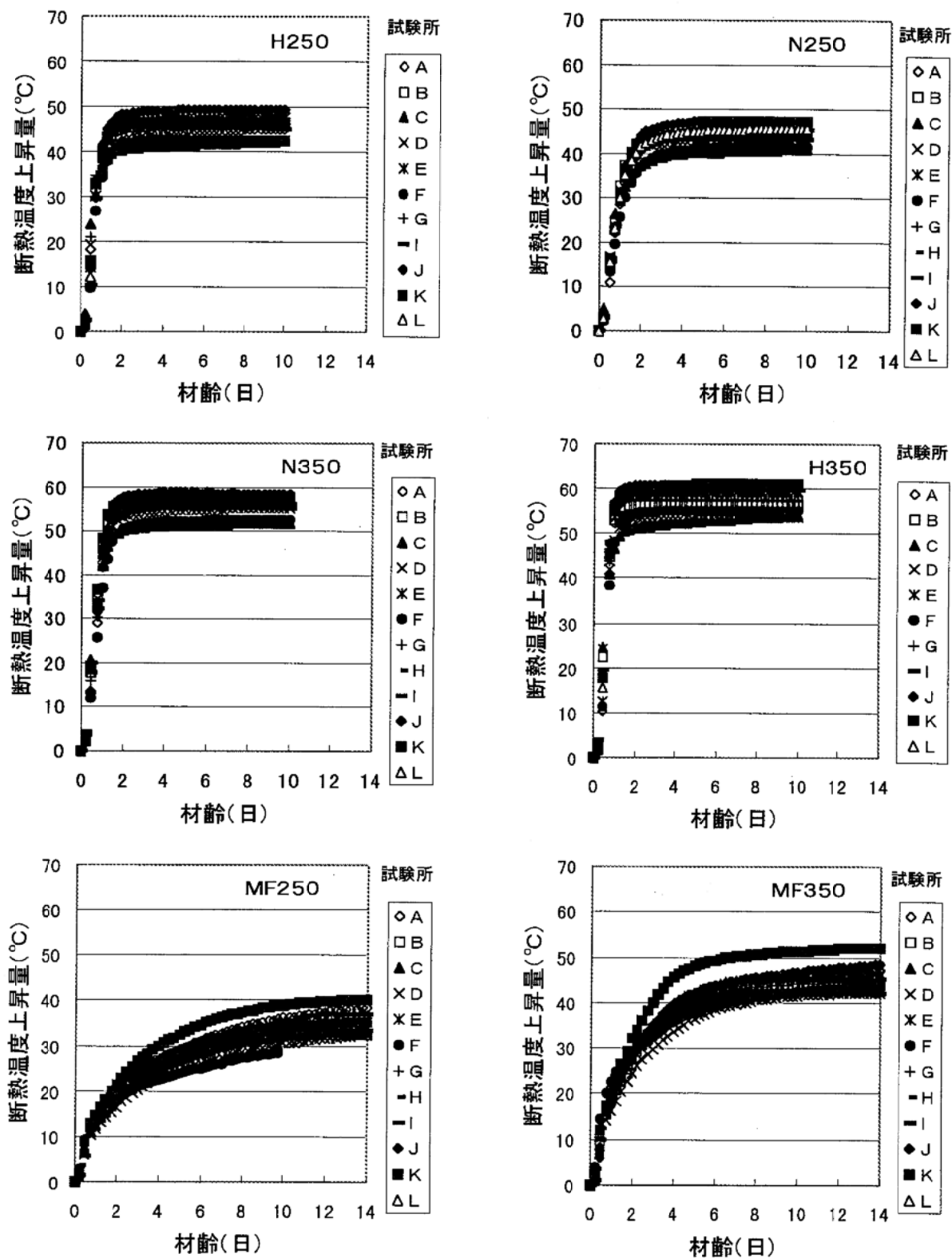


図-3.3.1 各配合毎の断熱温度上昇曲線（実測値）

柳田による方法⁵⁾および塚山による方法⁶⁾により推定した終局断熱温度上昇量K、およびそれらの値を用いて式(1)(以下、 α 式と呼ぶ。)に近似させた場合の温度上昇速度の定数 α と式(2)(以下、 $\alpha\beta$ 式と呼ぶ。)に近似させた場合の温度上昇速度の定数 α および実験定数 β を、表-3.3.3に示す。

なお、終局断熱温度上昇量Kの柳田による推定方法は、図-3.3.2に示すように、n日と(n+1)日との温度上昇量をプロットし、その直線回帰式の直線 $y=x$ との交点を終局断熱温度上昇量Kと推定するものである。

$$T = K(1 - e^{-\alpha t}) \quad \cdots \cdots \text{式(1) (以下、}\alpha\text{式と呼ぶ。)}$$

$$T = K(1 - e^{-\alpha t^\beta}) \quad \cdots \cdots \text{式(2) (以下、}\alpha\beta\text{式と呼ぶ。)}$$

ここに、T：断熱温度上昇量(°C)、K：終局断熱温度上昇量(°C)
t：材齢(日)、 α ：温度上昇速度の定数、 β ：実験定数

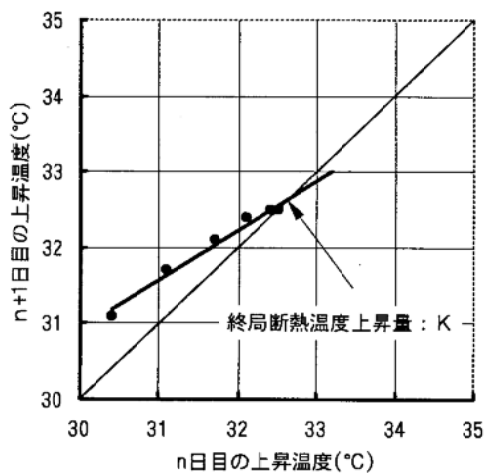


図-3.3.2 柳田による終局断熱温度上昇量Kの推定方法

表-3.3.3 断熱温度上昇試験結果

配 番 号	計算方式	定 数	試験所												
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	平均
N250	実測値	K	45.4	47.2	41.0	42.9	46.0	41.5	45.4	45.2	43.2	47.3	43.8	45.8	44.6
	塚山 α 式	K	45.2	47.4	40.7	43.0	45.8	41.7	45.1	44.8	43.6	47.6	44.2	45.7	44.6
		α	0.963	1.071	1.197	1.206	1.045	0.956	1.022	1.089	1.187	1.055	1.135	1.039	1.080
	柳田 α 式	K	45.5	47.2	41.3	42.8	46.2	41.5	46.1	45.1	42.3	47.3	43.8	45.8	44.6
		α	0.946	1.082	1.144	1.162	1.017	0.967	0.962	1.063	1.211	1.072	1.159	1.035	1.068
N350	実測値	K	58.2	56.6	51.8	55.1	56.6	52.5	56.9	56.3	55.3	58.6	57.5	56.5	56.0
	塚山 α 式	K	57.9	57.2	51.9	55.3	56.7	53.0	57.2	56.4	55.8	59.3	58.1	56.9	56.3
		α	1.092	1.030	1.356	1.236	1.245	1.088	1.175	1.267	1.339	1.207	1.355	1.259	1.221
	柳田 α 式	K	60.3	56.6	51.3	55.3	57.0	52.5	56.9	56.3	55.3	58.6	57.8	56.5	56.2
		α	0.974	1.341	1.365	1.236	1.228	1.116	1.191	1.274	1.367	1.239	1.366	1.284	1.248
H250	実測値	K	45.0	46.1	42.4	42.6	47.6	42.4	47.0	—	45.3	49.4	46.5	46.5	45.5
	塚山 α 式	K	44.8	46.6	41.9	42.6	47.6	42.8	47.1	—	45.8	49.7	46.8	46.7	45.7
		α	1.293	1.413	1.672	1.436	1.330	1.243	1.516	—	1.311	1.327	1.422	1.285	1.386
	柳田 α 式	K	45.9	46.1	42.4	42.5	47.6	42.4	47.0	—	45.3	49.6	46.5	46.5	45.6
		α	1.220	1.427	1.619	1.428	1.308	1.274	1.522	—	1.334	1.346	1.446	1.302	1.384
H350	実測値	K	60.7	56.2	54.1	53.8	59.3	54.9	60.2	—	59.8	60.8	61.2	58.7	58.2
	塚山 α 式	K	60.6	56.7	53.3	53.9	59.8	55.5	60.3	—	60.4	61.4	61.6	59.3	58.4
		α	1.286	1.606	1.516	1.569	1.396	1.347	1.442	—	1.557	1.513	1.427	1.477	1.467
	柳田 α 式	K	63.0	56.2	57.3	53.8	59.2	54.9	60.2	—	59.8	60.3	61.2	58.7	58.6
		α	1.161	1.600	1.219	1.579	1.421	1.382	1.448	—	1.590	1.543	1.448	1.512	1.446
MF250	実測値	K	38.3	32.5	33.3	32.3	35.3	(28.6)	35.3	36.9	33.5	34.8	40.2	36.4	35.3
	塚山 α 式	K	37.2	32.6	32.7	31.4	34.4	(27.9)	34.7	36.0	33.2	34.5	39.8	35.4	34.7
		α	0.340	0.464	0.382	0.338	0.364	(0.450)	0.362	0.371	0.450	0.404	0.352	0.354	0.380
	柳田 α 式	K	41.4	32.5	33.7	36.9	36.0	34.2	35.7	36.9	33.5	34.8	40.5	37.3	36.1
		α	0.247	0.467	0.349	0.342	0.315	0.266	0.326	0.342	0.437	0.393	0.346	0.302	0.344
	塚山 $\alpha\beta$ 式	K	37.3	32.6	32.7	31.4	34.4	(26.6)	34.7	36.0	33.0	34.5	39.8	35.4	34.7
		α	0.340	0.465	0.382	0.338	0.364	(0.576)	0.357	0.371	0.472	0.404	0.366	0.354	0.383
		β	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	(0.998)	0.997	0.997	0.996	0.997	0.997	0.997	0.997
	柳田 $\alpha\beta$ 式	K	41.4	32.5	33.7	36.9	36.0	34.2	35.7	36.9	33.5	34.8	40.5	37.3	36.1
		α	0.316	0.440	0.420	0.302	0.350	0.442	0.356	0.442	0.402	0.373	0.364	0.358	0.380
		β	0.824	1.066	0.868	0.773	0.904	0.634	0.931	0.838	1.044	1.031	0.985	0.871	0.897
MF350	実測値	K	46.9	43.8	42.9	42.1	46.2	43.9	45.4	45.3	42.4	48.3	52.1	45.8	45.4
	塚山 α 式	K	46.4	44.2	42.8	42.0	46.2	42.1	45.2	45.2	42.4	47.3	51.9	45.8	45.1
		α	0.481	0.523	0.575	0.421	0.466	0.562	0.514	0.537	0.576	0.455	0.493	0.456	0.505
	柳田 α 式	K	48.3	43.8	43.0	42.3	46.3	46.3	45.4	45.3	42.4	49.2	52.7	45.8	45.9
		α	0.424	0.535	0.567	0.412	0.453	0.396	0.508	0.532	0.573	0.402	0.470	0.456	0.477
	塚山 $\alpha\beta$ 式	K	46.4	44.1	42.8	42.0	46.2	41.6	45.1	45.2	42.3	47.3	51.7	45.7	45.0
		α	0.482	0.511	0.576	0.422	0.466	0.577	0.500	0.538	0.558	0.456	0.481	0.454	0.502
		β	0.997	1.030	0.997	0.997	0.997	0.995	1.042	0.997	1.053	0.997	1.035	1.008	1.012
	柳田 $\alpha\beta$ 式	K	48.3	43.8	43.0	42.3	46.3	46.3	45.4	45.3	42.4	49.2	52.7	54.8	46.7
		α	0.393	0.393	0.565	0.565	0.367	0.464	0.553	0.513	0.436	0.386	0.459	0.370	0.455
		β	0.921	0.921	0.943	0.943	1.043	0.834	0.666	1.021	1.244	0.925	0.926	1.110	0.958

備考) () 内の数値は、測定期間に満たないうちに装置が停止したため、平均より除外した。

3.4 考察

3.4.1 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度

各試験所で実施したフレッシュコンクリートの試験結果の平均値、最大値、最小値および範囲を配合毎に、表-3.4.1に示す。

試験所間のスランプのばらつきは、配合によっては比較的大きく、例えば、N250 ではスランプ 5.0～12.5cm、N350 では 7.5～18.0cm の範囲にある。これは、各試験所でのミキサの違い等の影響が主因と考えられるが、ばらつきの要因を特定することはできない。空気量は、概ね 1～2 % 程度、練上がり温度は、18.5～21.5℃の範囲にある。

表-3.4.1 フレッシュコンクリート試験結果の基礎統計量

配合番号	項目	平均値	最大値	最小値	範囲
N250	スランプ (cm)	8.9	12.5	5.0	7.5
	空気量 (%)	1.2	1.8	0.8	1.0
	練上がり温度(℃)	20.0	21.5	19.0	2.5
N350	スランプ (cm)	10.6	18.0	7.5	10.5
	空気量 (%)	1.2	2.1	0.6	1.5
	練上がり温度(℃)	20.0	21.5	19.0	2.5
H250	スランプ (cm)	6.1	9.5	4.0	5.5
	空気量 (%)	1.4	2.0	1.0	1.0
	練上がり温度(℃)	20.4	21.0	19.5	1.5
H350	スランプ (cm)	9.0	12.0	6.5	5.5
	空気量 (%)	1.4	2.3	1.0	1.3
	練上がり温度(℃)	20.2	21.5	19.5	2.0
MF250	スランプ (cm)	11.2	16.5	7.5	9.0
	空気量 (%)	1.1	1.7	0.6	1.1
	練上がり温度(℃)	20.0	21.0	19.0	2.0
MF350	スランプ (cm)	12.5	19.5	7.0	12.5
	空気量 (%)	1.2	2.0	0.9	1.1
	練上がり温度(℃)	19.9	21.3	18.5	2.8

また、各試験所で実施した圧縮強度試験結果の基礎統計量を配合毎に、表-3.4.2に示す。

圧縮強度については、配合および材齢に関係なく変動係数で5 %程度以上の試験所間のばらつきが認められる。圧縮強度のばらつきの原因については判然としないが、例えば、練混ぜ、養生から強度試験に至るまでの操作上の違いなどが累加された結果と考えられる。また、スランプ、空気量および練上がり温度と圧縮強度との関係には、明確な傾向は認められなかった。

表-3.4.2 圧縮強度試験結果の基礎統計量

配合 番号	材 齢	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 (%)
N250	3 日	16.1	20.4	13.5	6.9	2.39	14.8
	7 日	23.6	27.8	21.2	6.6	1.80	7.6
	28 日	31.9	36.4	29.7	6.7	2.04	6.4
N350	3 日	27.3	33.9	24.1	9.8	3.12	11.4
	7 日	39.4	42.9	34.4	8.5	2.28	5.8
	28 日	48.8	53.3	44.7	8.6	2.86	5.9
H250	3 日	22.9	25.4	20.5	4.9	1.78	7.8
	7 日	28.7	31.3	26.6	4.7	1.69	5.9
	28 日	33.7	36.5	30.4	6.1	2.21	6.6
H350	3 日	35.6	38.6	32.3	6.3	2.13	6.0
	7 日	44.2	47.2	39.3	7.9	2.27	5.1
	28 日	51.2	55.0	47.3	7.7	2.42	4.7
MF250	7 日	6.8	7.6	6.0	1.6	0.49	7.2
	28 日	17.3	21.3	15.1	6.2	1.91	11.0
	91 日	30.8	36.4	27.4	9.0	2.80	9.1
MF350	7 日	15.2	17.0	14.3	2.7	0.86	5.7
	28 日	34.4	38.3	29.8	8.5	2.22	6.5
	91 日	54.1	58.5	51.0	7.5	2.04	3.8

3.4.2 断熱温度上昇

(1) 断熱温度上昇量に関する定数

断熱温度上昇量の考察は、測定期間の異なる一連の試験結果の全てを相対的に評価できるように、例えば温度上昇過程で測定が中断した場合であっても、温度上昇量の終局値を比較的正確に推定できると考えられる柳田による方法により推定した終局断熱温度上昇量 K 、および柳田による方法で推定した終局断熱温度上昇量 K を用い「 $T(\text{断熱温度上昇量})=K(1-e^{-\alpha t})$ 、 t :材齢(日)」の式に近似させた場合の温度上昇速度の定数 α により行った。なお、これらの値を、以降、柳田 α 式による終局断熱温度上昇量 K および温度上昇速度の定数 α と呼ぶこととする。

表-3.4.3 は、各配合の柳田 α 式による終局断熱温度上昇量 K の基礎統計量を示したものである。終局断熱温度上昇量 K の範囲は 6.0～10.4℃、標準偏差は 2.2～3.0℃となった。また、変動係数は、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の場合が 4.3～5.0%、中庸熱フライアッシュセメントの場合が 6.5～7.5%となり、初期の発熱速度が小さい中庸熱フライアッシュセメントの方が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の場合に比べて大きくなる傾向を示した。

表-3.4.3 各配合の終局断熱温度上昇量 K の基礎統計量

	N250	N350	H250	H350	MF250	MF350
サンプル数 n	12	12	11	11	12	12
K の最大値(℃)	47.3	60.3	49.6	63.0	41.4	52.7
K の最小値(℃)	41.3	51.3	42.4	53.8	32.5	42.3
K の平均値(℃)	44.6	56.2	45.6	58.6	36.1	45.9
範囲(℃)	6.0	9.0	7.2	9.2	8.9	10.4
標準偏差(℃)	2.2	2.4	2.3	2.8	2.7	3.0
変動係数(%)	4.9	4.3	5.0	4.8	7.5	6.5

表-3.4.4 は、各配合の柳田 α 式による温度上昇速度の定数 α の基礎統計量を示したものである。温度上昇速度の定数 α の範囲は 0.177～0.439、標準偏差は 0.064～0.146 となった。また、変動係数は、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の場合が 8.1～10.1%、中庸熱フライアッシュセメントの場合が 13.4～18.6%となり、終局断熱温度上昇量 K の場合と同様、初期の発熱速度が小さい中庸熱フライアッシュセメントの方が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の場合に比べて大きくなる傾向を示した。

表-3.4.4 各配合の温度上昇速度の定数 α の基礎統計量

	N250	N350	H250	H350	MF250	MF350
サンプル数 n	12	12	11	11	12	12
α の最大値	1.211	1.367	1.619	1.600	0.467	0.573
α の最小値	0.946	0.974	1.220	1.161	0.247	0.396
α の平均値	1.068	1.248	1.384	1.446	0.344	0.477
範囲	0.265	0.393	0.399	0.439	0.220	0.177
標準偏差	0.087	0.116	0.117	0.146	0.064	0.064
変動係数(%)	8.1	9.3	8.5	10.1	18.6	13.4

以上の様に、断熱温度上昇試験の結果は試験所間の変動が大きく、特に、初期の発熱速度が小さいセメントを用いた場合に顕著であった。その原因としては、各試験所の装置および装置の操作方法が異なっていることが考えられる。特に、装置に関しては外槽の有無および型枠の寸法、厚みの違いが、また、装置の操作方法に関してはキャリブレーションによる偏差の設定方法の違いが試験結果に影響を及ぼしたものと考えられる。

(2) 既往の断熱温度上昇量との対比

①普通ポルトランドセメント

コンクリート標準示方書〔施工編〕平成8年版¹⁷⁾に示されるコンクリートの断熱温度上昇量に関する定数の標準値(普通ポルトランドセメント)は次の通りである。ただし、コンクリート標準示方書では、終局断熱温度上昇量は Q 、温度上昇速度に関する定数は γ で示されるが、ここではそれぞれ K 、 α で示す。

$$K = 0.11 \times C + 13.0 \quad , \quad \alpha = 3.8 \times 10^{-3} \times C - 0.036$$

ここに、 C は単位セメント量(kg/m^3)

また、マスコンクリートのひびわれ制御指針¹⁸⁾に示されるコンクリートの断熱温度上昇係数(普通ポルトランドセメント)は次の通りである。

$$K = 0.100 \times C + 10.3 \quad , \quad \alpha = 0.0016 \times C + 0.4089$$

ここに、 C は単位セメント量(kg/m^3)

本試験で得られた各配合の柳田による方法で推定した終局断熱温度上昇量 K (すなわち、柳田 α 式の K)およびその K を用いて「 $T = K(1 - e^{-\alpha t})$ 、 t :材齢(日)」の式に近似させた場合の温度上昇速度の定数 α (すなわち、柳田 α 式の α)の平均値とRC示方書の標準値およびひびわれ制御指針の値とを対比させて表-3.4.5に示す。また、この柳田 α 式による各試験所の終局断熱温度上昇量 K とRC示方書の標準値およびひびわれ制御指針の値との比較を図-3.4.1に示し、各試験所の温度上昇速度の定数 α とRC示方書の標準値およびひびわれ制御指針の値との比較を図-3.4.2に示す。

表-3.4.5 推定値 K および α 、RC示方書の標準値、ひびわれ制御指針の値(普通ポルトランドセメント)

項目	終局断熱温度上昇量 K		温度上昇速度の定数 α	
	$C: 250\text{kg}/\text{m}^3$	$C: 350\text{kg}/\text{m}^3$	$C: 250\text{kg}/\text{m}^3$	$C: 350\text{kg}/\text{m}^3$
柳田 α 式の値の平均値	44.6	56.2	1.068	1.248
RC示方書	40.5	51.5	0.914	1.294
ひびわれ制御指針	35.3	45.3	0.809	0.969

本試験での終局断熱温度上昇量 K は、RC示方書の標準値に比べて、単位セメント量 $250\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $350\text{kg}/\text{m}^3$ ともに約 4°C 大きく、ひびわれ制御指針に比べてそれぞれ約 10°C 大きい。温度上昇速度の定数 α については、セメント量の違いによって傾向が異なり、単位セメント量が $250\text{kg}/\text{m}^3$ の場合には本試験での α 値が大きく、次いでRC示方書、ひびわれ制御指針の順に小さくなり、単位セメント量が $350\text{kg}/\text{m}^3$ の場合にはRC示方書の値が大きく、次いで本試験の値、ひびわれ制御指針の値の順に小さくなった。

②早強ポルトランドセメント

土木学会コンクリート委員会では、最近の早強ポルトランドセメントの断熱温度上昇量を検討しており、「マスコンクリート技術の現状と動向」¹⁹⁾にその結果が記述されており、そのデータを引用して本試験結果と対比したものを表-3.4.6に示す。

表-3.4.6 推定値Kおよび α 、土木学会の値(早強ポルトランドセメント)

項目	終局断熱温度上昇量K		温度上昇速度の定数 α	
	C : 250kg/m ³	C : 350kg/m ³	C : 250kg/m ³	C : 350kg/m ³
柳田 α 式の値の平均値	45.6	58.6	1.384	1.446
ひびわれ制御指針	45.0	58.8	1.276	1.529

本試験における柳田 α 式の値の平均値と土木学会コンクリート委員会の実施した結果とは、終局断熱温度上昇量K、温度上昇速度の定数 α ともにほぼ同等といえる。一方、土木学会コンクリート委員会では、既往の研究結果（塚山隆一博士）との終局断熱温度上昇量K、温度上昇速度の定数 α の対比を行っており、既往の研究成果の方が終局断熱温度上昇量K、温度上昇速度の定数 α ともかなり小さいとの結果であり、その理由として試験方法の差の他、セメント自体の変化があり得ることを述べている¹⁹⁾。

以上のことから、最近の普通ポルトランドセメントの終局断熱温度上昇量Kは、コンクリート標準示方書の標準値よりもやや大きく、マスコンクリートのひびわれ制御指針による値よりもかなり大きい。また、早強ポルトランドセメントについても普通ポルトランドセメントと同様に、既往の研究結果の値よりも最近の試験結果の方が大きいといえる。断熱温度上昇試験は、試験装置や制御方式などが従来とは変化してきており、試験方法が定まっていないことが本試験結果と既往の結果とが相違した理由と考えられるが、セメント自体の変化があることも十分考えられる。

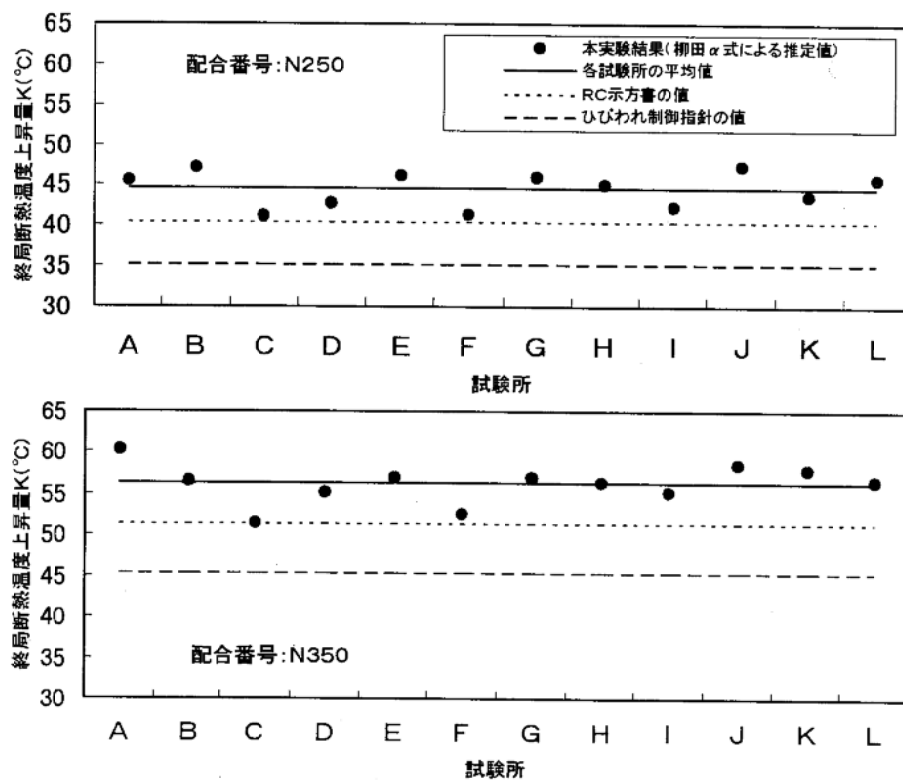


図-3.4.1 終局断熱温度上昇量Kと既往の結果との比較

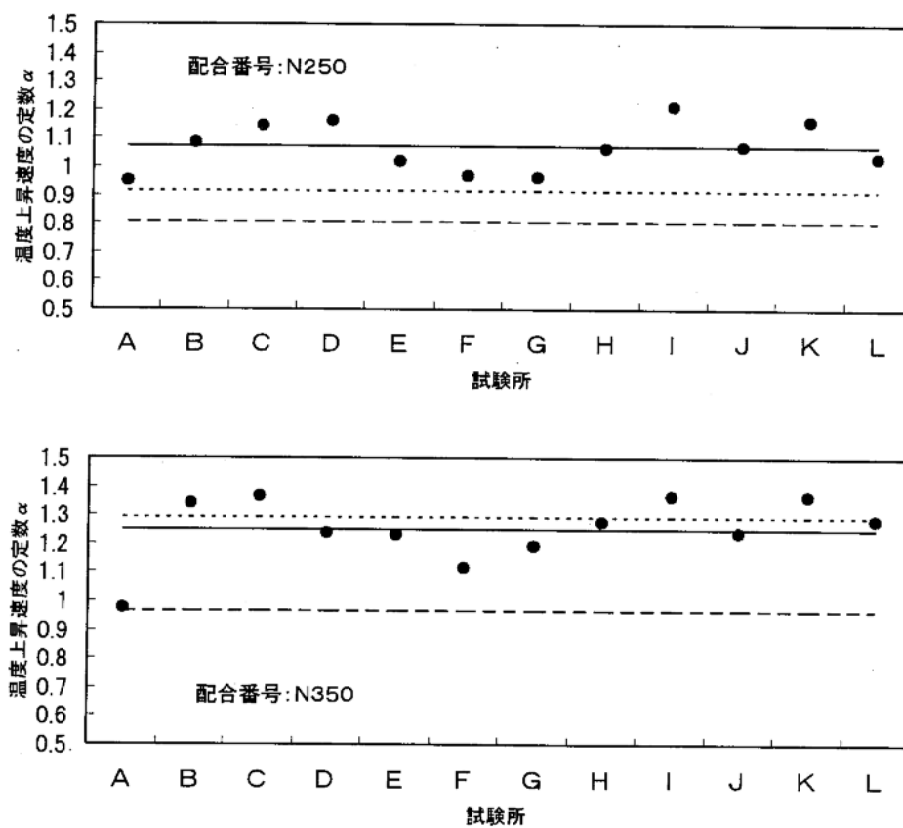


図-3.4.2 温度上昇速度の定数αと既往の結果との比較

(3) 試験所間のばらつき

各試験所毎の柳田 α 式による終局断熱温度上昇量 K および温度上昇速度の定数 α を図-3.4.3～図-3.4.8に示す。

終局断熱温度上昇量 K 、温度上昇速度の定数 α ともに試験所間の違いが認められ、例えば普通ポルトランドセメントの終局断熱温度上昇量 K が全試験所の平均よりも大きい試験所では、早強ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントともに終局断熱温度上昇量 K が大きく、逆に、普通ポルトランドセメントの終局断熱温度上昇量 K が全試験所の平均よりも小さい試験所では、早強ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントともに終局断熱温度上昇量 K が小さい。このことから、試験所間の違いによって試験結果に偏りがあると思われる、この理由としては、試験装置（装置の設置場所の環境などを含め）の固有の特性の違い、または試験方法の違いやそれらの複合の影響が、試験所間の差を生じさせたものと考えられる。

終局断熱温度上昇量 K が平均よりも比較的大きい試験所は、試験所A、試験所Jおよび試験所Kで、小さい試験所は、試験所F、試験所Cおよび試験所Dである。一方、温度上昇速度の定数 α が平均よりも大きい試験所は、試験所Bおよび試験所Iであり、小さい試験所は、試験所Aである。このように、試験所間のばらつきの傾向は、終局断熱温度上昇量 K と温度上昇速度の定数 α とで異なった。

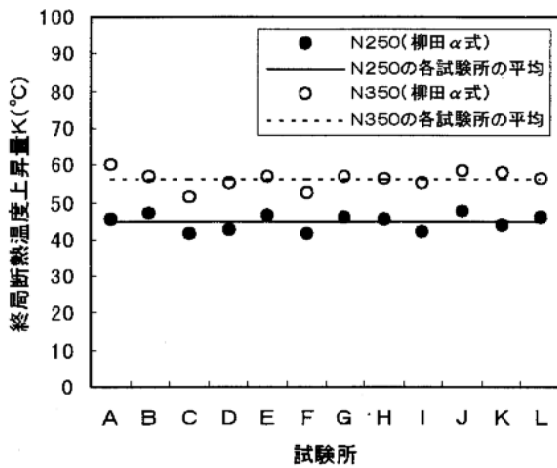


図-3.4.3 各試験所の終局断熱温度上昇量 K

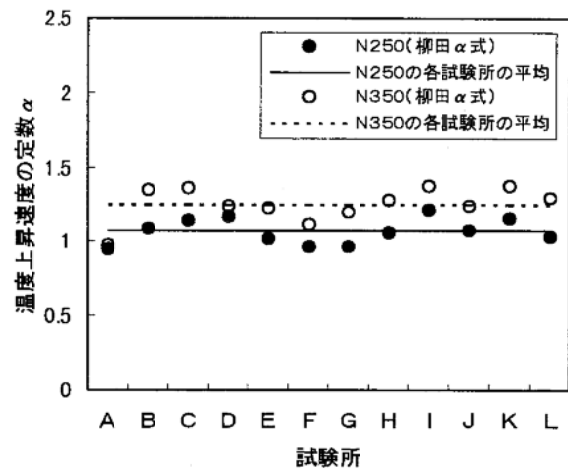


図-3.4.4 各試験所の温度上昇速度の定数 α

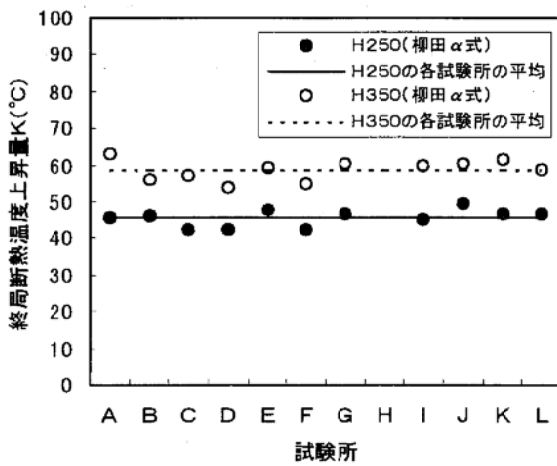


図-3.4.5 各試験所の終局断熱温度上昇量 K

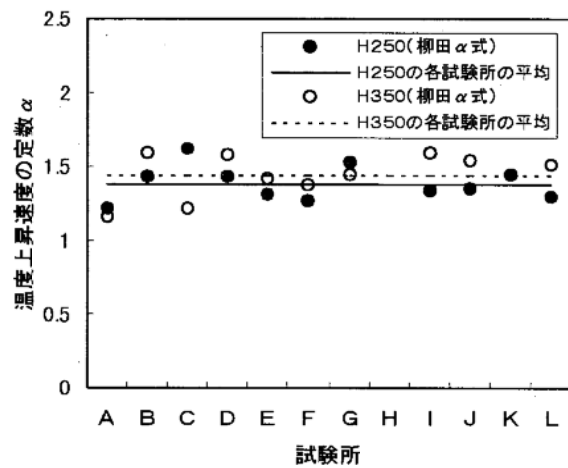


図-3.4.6 各試験所の温度上昇速度の定数 α

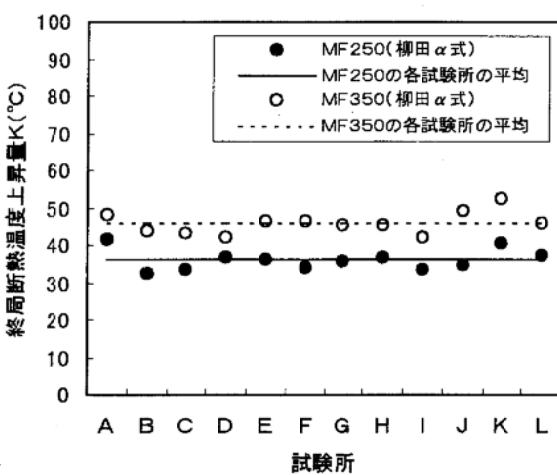


図-3.4.7 各試験所の終局断熱温度上昇量 K

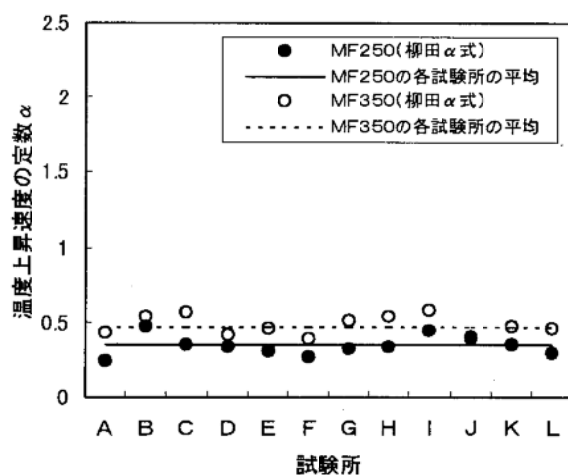


図-3.4.8 各試験所の温度上昇速度の定数 α

(4) 試験装置の違いについて

柳田 α 式による終局断熱温度上昇量 K および温度上昇速度の定数 α を試験装置毎にまとめた結果を、表-3.4.7に示す。

試験装置の製造メーカーが同じであっても、試験所間で終局断熱温度上昇量 K および温度上昇速度の定数 α は大きくばらついた。これは、同一メーカーの試験装置であってもヒーターや冷凍機などが異なること、および供試体の設置条件および方法等が試験所間で相違することによるものと考えられる。また、試験装置の違いに着目すると、B社製装置およびD社製装置は終局断熱温度上昇量 K および温度上昇速度の定数 α のほとんどがC社製装置のばらつきの範囲内にあるのに対し、A社製装置は終局断熱温度上昇量 K ではC社製装置よりも高くなり、温度上昇速度の定数 α では小さくなる傾向であった。これは、装置の制御方法や精度もさることながら、A社製の装置のみがコンクリート試料量 170Lと他の装置の 40~50L に比べて極めて多いことによるものと考えられる。

表-3.4.7 試験所毎の終局断熱温度上昇量 K および温度上昇速度の定数 α

定数	配合番号	試験所 A	試験所 B	試験所 C~K			試験所 L
		A社製装置	B社製装置	C社製装置			D社製装置
				平均	最大	最小	
終局断熱温度 上昇量 K	N250	45.5	47.2	44.0	47.3	41.3	45.8
	N350	60.3	56.6	55.7	58.6	51.3	56.5
	H250	45.9	46.1	45.4	49.6	42.4	46.5
	H350	63.0	56.2	58.3	61.2	53.8	58.7
	MF250	41.4	32.5	35.8	40.5	33.5	37.3
	MF350	48.3	43.8	45.9	52.7	42.3	45.8
温度上 昇速度 の定数 α	N250	0.946	1.082	1.084	1.211	0.962	1.035
	N350	0.974	1.341	1.265	1.367	1.116	1.284
	H250	1.220	1.427	1.410	1.619	1.274	1.302
	H350	1.161	1.600	1.454	1.590	1.219	1.512
	MF250	0.247	0.467	0.346	0.437	0.266	0.302
	MF350	0.424	0.535	0.479	0.573	0.396	0.456

3.5 まとめ

従来総合的に検討されたことのなかった断熱温度上昇試験について、各試験所で現状行われている方法により共通試験を行い、得られた結果に若干の考察を加えてきた。

試験の結果、試験所間での配合毎の終局断熱温度上昇量 K のばらつきは、範囲で $6.0\sim 10.4^{\circ}\text{C}$ 、標準偏差で $2.2\sim 3.0^{\circ}\text{C}$ 、変動係数で $4.3\sim 7.5\%$ であった。また、温度上昇速度の定数 α のばらつきは、範囲で $0.177\sim 0.439$ 、標準偏差で $0.064\sim 0.146$ 、変動係数で $8.1\sim 18.6\%$ であった。これらのばらつきは、特に初期に発熱の少ないタイプのコンクリートで大きくなることが明らかとなった。

このように、装置間あるいは試験所間での試験結果のばらつきの状況が明らかとなったが、それには、外槽の有無、型枠の違いなどの試験装置の仕様の違いや、キャリブレーション方法の違いが大きく影響していると考えられる。

4. 二次試験；断熱温度上昇試験結果のばらつき要因に関する検討

4. 1 目的

一次試験の結果、断熱温度上昇試験装置の仕様や操作方法の違いが結果のばらつきの原因であると推測された。そこで、C社製の試験装置を用い、外槽の有無、型枠の寸法、形状およびキャリブレーション方法を主要因として取り上げ、使用材料および配合を統一して試験を行った。また、製造メーカーの異なる試験装置による使用材料および配合を統一した試験も併せて実施した。

4. 2 試験方法

4. 2. 1 使用材料

(1) セメント

セメントは、1工場で製造した同一ロットの普通ポルトランドセメント（記号：N）を使用した。セメントの化学成分および物理的性質を表-4.2.1 および表-4.2.2 に示す。

表-4.2.1 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	R ₂ O	Cl
N	1.2	0.0	21.4	5.3	2.7	64.6	1.6	2.0	0.38	0.41	0.66	0.005

表-4.2.2 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	91 日	7 日	28 日
N	3.16	3260	28.1	2-35	3-40	良	—	14.9	27.8	43.2	—	318	367

*JIS R 5201-1992 による

(2) 骨材

細骨材は、浜岡産陸砂（共通品）を、粗骨材は、各試験所が所有する 2005 碎石（硬質砂岩系、安山岩系）を使用した。骨材の粒度および物性を表-4.2.3 に示す。

表-4.2.3 骨材の粒度および物性

骨材 区分	試験 所	産地	表乾 比重	吸水 率 (%)	ふるい通過量(%)									粗粒 率
					20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
細骨材	共通	静岡県浜岡産	2.60	1.60	—	—	—	100	89	62	39	23	8	2.79
粗骨材	A	大阪府高槻産	2.70	0.60	95	82	31	1	—	—	—	—	—	6.73
	B	山口県宮野産	2.71	0.54	97	89	46	0	—	—	—	—	—	6.57
	C	北九州市門司産	2.72	0.50	94	74	30	0	—	—	—	—	—	6.76
	D	東京都青梅産	2.65	0.69	96	81	43	1	—	—	—	—	—	6.60
	F	茨城県岩瀬産	2.65	0.60	100	88	32	1	—	—	—	—	—	6.67
	H	北九州市門司産	2.84	0.42	99	87	44	2	—	—	—	—	—	6.55
	I	東京都青梅産	2.64	0.66	94	73	25	0	—	—	—	—	—	6.81
	K	山口県宮野産	2.70	0.56	94	78	27	0	—	—	—	—	—	6.79
	L	東京都八王子産	2.65	0.80	100	85	33	2	—	—	—	—	—	6.65

(3) 練混ぜ水

コンクリートの練混ぜ水は、上水道水を使用した。

(4) 混和剤

混和剤は、同一ロットの減水剤標準形（(株) NMB 製、ポゾリス No.200N、主成分：ポリオール複合体）を使用した。

4. 2. 2 コンクリートの配合および練混ぜ

(1) コンクリートの示方配合

コンクリートの示方配合を表-4.2.4 に示す。単位水量および単位セメント量は、全試験所において同一とした。また、目標スランブを $12\text{cm} \pm 2\text{cm}$ とし、各試験所は、細骨材率を変化させてスランブの調整を行った。なお、空気量の調整は行わなかった。また、コンクリートの練上がり温度が $20 \pm 1^\circ\text{C}$ になるように、練混ぜ水により調整した。

表-4.2.4 コンクリートの示方配合および記号

試験所	セメントの種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	目標スランブ [°] (cm)	目標空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				(cc/m ³)
						W	C	S	G	混和剤
A	N	61.7	42.0	12	2	185	300	764	1096	600
B			42.0					764	1100	
C			47.0					855	1009	
D			45.0					819	1020	
F			45.0					816	1020	
H			45.0					819	1093	
I			47.0					855	983	
K			45.0					819	1020	
L			45.0					819	1020	

(2) コンクリートの練混ぜ

3章の 3.2.2 項を参照。

4. 2. 3 試験項目および方法

(1) スランブ

3章の 3.2.3 項を参照。

(2) 空気量

3章の 3.2.3 項を参照。

(3) コンクリート温度

3章の 3.2.3 項を参照。

(4) 圧縮強度

3章の 3.2.3 項を参照。なお、材齢は、3、7 および 28 日とした。

(5) 断熱温度上昇

①供試体の成形

3章の3.2.3項を参照。

②試験装置

3章の3.2.3項を参照。なお、型枠については、図-2.3.2に示す各試験所が常時使用している型枠（以下、常用型枠と呼ぶ）および各試験所間で同一の型枠（以下、共通型枠と呼ぶ）を使用した。試験に使用した各試験所の常用型枠および共通型枠の寸法・形状概略は、図-4.2.2に示す通りである。

③キャリブレーション

断熱温度上昇試験用の型枠に入れた温水の温度変化が2日間で 0.1°C 以内になるように、30、50および 70°C 近傍の偏差をそれぞれ求め、温度と偏差の関係から直線回帰式を求めた。なお、キャリブレーションは、各々の試験条件毎に行った。

④測定間隔および期間

測定は、練混ぜ水の注水から15分以内に開始した。測定の間隔は6時間毎とし、測定期間は7日間とした。

⑤偏差の設定

測定中の試験装置の偏差の設定方法は、予想最高温度での偏差に固定する方法（偏差固定）と所定時間毎にその時点のコンクリート温度に応じた偏差に調整する方法（偏差調整）の2種類とした。偏差を固定する場合、キャリブレーションにより求めた直線回帰式から算出した 70°C の偏差に設定した。偏差を調整する場合、測定開始から30時間までは1時間毎に1回、以降開始から48、72、96、120、144および168時間経過時に、キャリブレーションにより求めた直線回帰式から算出した偏差に調整した。

4.2.4 試験要因、水準および担当試験所

断熱温度上昇試験の実施にあたっての試験要因、水準を表-4.2.5 に、試験要因の概略図を図-4.2.1 に示す。また、試験要因として取り上げた型枠の寸法および形状の概略を表-4.2.6 に、試験実施場所を表-4.2.7 に示す。

表-4.2.5 試験要因および水準

要因			水準	
記号	分類	項目		
要因①	装置に関するもの	外槽の有無	外槽有り*	外槽無し
要因②		型枠の寸法、形状	共通型枠	常用型枠
要因③	操作に関するもの	偏差の設定方法	偏差固定	偏差調整

*：試験所Dにおいては、外槽に断熱材が挿入されたものを使用した。

要因①：外槽の有無

供試体型枠の外側にもう一層の容器を設置したもの（外槽有り）としないもの（外槽無し）

要因②：型枠

各試験所間で同一の型枠（共通型枠： $\phi 400 \times h 400 \text{mm}$ の円柱型で、側板の厚さが 0.6mm の鋼製使い捨て型枠）を使用した場合と各試験所で常時使用している型枠（常用型枠： $\phi 400 \times h 400 \text{mm}$ の円柱型あるいは $\phi 400 \cdot \phi 300 \times h 400 \text{mm}$ の逆円錐台型の型枠で、側板の厚さ（3.0～8.8mm）および材質が試験所により異なる）を使用した場合

要因③：偏差の設定方法

偏差を予想最高温度での偏差に固定した場合と所定時間毎にその時点のコンクリート温度に応じて、キャリブレーションで得られた直線回帰式より求めた偏差に調整した場合

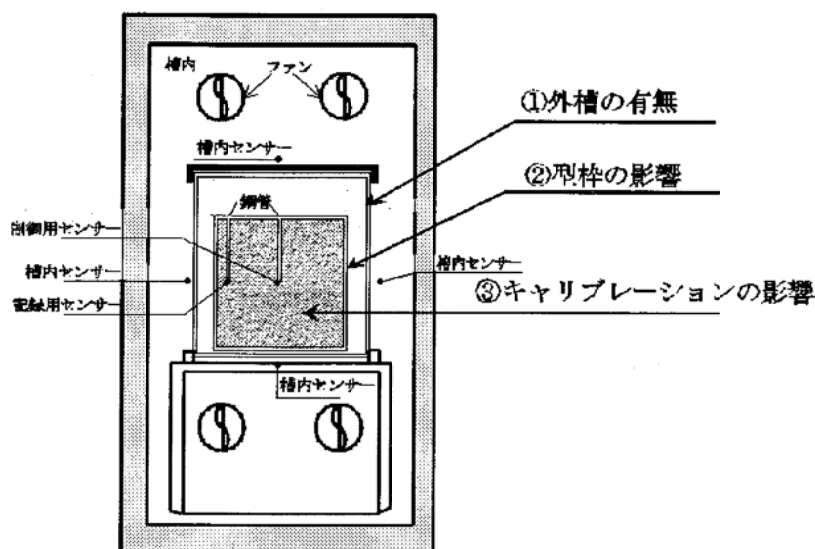


図-4.2.1 試験要因概略図

表-4.2.6 型枠の寸法および形状の概略

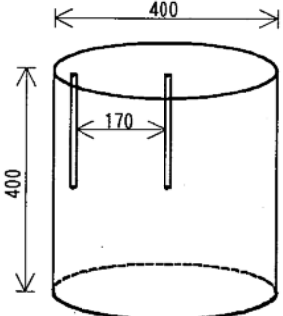
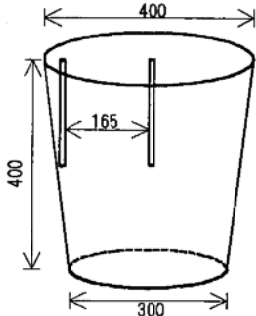
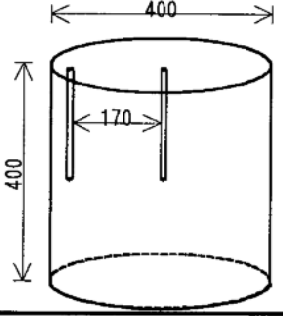
種別	型枠寸法、形状	備考	試験所
円柱型		鋼製型枠 1 側板の厚さ：0.6mm、鉄製	A、K、L
		鋼製型枠 2 側板の厚さ：3.2mm、鉄製	B
		鋼製組み立て型枠 側板の厚さ：8.8mm、外側：鉄製、 内側：ステンレス製	F
逆円錐台型		鋼製型枠 3 側板の厚さ：3mm	C
		ステンレス型枠 側板の厚さ：4.5mm	D
		鋼製型枠 4 側板の厚さ：6mm	H、I
円柱型		共通型枠 側板の厚さ：0.6mm、鉄製	

表-4.2.7 試験要因、水準および試験実施場所

記号	製 造 メーカ－	試験要因および水準			試験所									
		外槽	型枠	偏差	A	B	C	D	F	H	I	K	L	
有－共－固	C社製	有	共通	固定	○	○	○	○				○		
有－共－調				調整	○	○	○	○				○		
有－常－固			常用	固定		○	○	○						
有－常－調				調整		○	○	○						
無－共－固		無	共通	固定	○			○	○	○	○	○	○	
無－共－調				調整				○	○	○	○	○	○	
無－常－固			常用	固定				○	○	○	○		○	
無－常－調				調整				○	○	○	○		○	
－	A社製	各試験所の 標準試験方法で実施			○									
	B社製					○								
	D社製													○

4. 3 試験結果

4. 3. 1 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度

各試験所で実施したフレッシュコンクリートの試験結果および圧縮強度試験結果を表-4.3.1 に示す。

表-4.3.1 フレッシュコンクリートの試験および圧縮強度試験結果

製 造 メーカ－	外 槽	型 枠	偏差	試験所	スランプ (c m)	空 気 量 (%)	練上り 温 度 (℃)	圧縮強度 (N/mm ²)		
								3 日	7 日	2 8 日
C社製	有り	共通	固定	A	12.0	1.8	20.5	18.8	28.1	36.5
				B	10.0	2.3	20.0	17.5	26.3	35.9
				C	12.0	1.6	19.2	—	—	—
				D	11.0	1.6	21.0	—	—	—
				K	13.5	2.0	20.0	—	—	—
			調整	A	13.0	1.7	21.0	—	—	—
				B	10.5	2.0	19.8	—	—	—
				C	11.5	1.8	20.0	—	—	—
				D	10.5	1.8	20.0	—	—	—
				K	9.0	2.0	20.5	—	—	—
		常用	固定	B	10.0	2.0	20.3	—	—	—
				C	12.0	1.6	19.2	—	—	—
				D	11.0	1.8	20.5	—	—	—
			調整	B	10.0	2.0	20.3	—	—	—
				C	11.0	1.5	20.7	18.7	29.3	36.8
				D	11.5	1.8	20.2	—	—	—
	無し	共通	固定	A	12.0	2.3	20.1	—	—	—
				D	11.5	1.8	20.8	—	—	—
				F	11.0	1.5	21.0	—	—	—
				H	13.0	1.5	20.2	—	—	—
				I	12.5	2.0	20.0	—	—	—
				K	15.5	1.8	19.8	16.4	24.6	33.5
				L	11.0	2.3	20.5	—	—	—
			調整	A	10.5	1.5	20.6	—	—	—
				D	11.0	1.5	20.5	—	—	—
				F	11.0	1.9	21.0	—	—	—
				H	14.0	1.8	20.6	21.8	31.2	39.8
				I	11.5	1.8	20.5	15.8	26.4	33.4
				K	16.0	2.0	19.8	—	—	—
				L	10.5	2.9	20.0	—	—	—
		常用	固定	D	10.0	1.6	20.8	—	—	—
				F	12.5	1.5	21.0	16.6	24.5	33.1
				H	14.0	1.6	20.7	—	—	—
				I	12.5	2.3	20.5	—	—	—
			調整	L	11.0	2.7	20.7	—	—	—
				D	11.5	1.8	20.2	17.3	27.3	34.6
A社製 B社製 D社製	各試験所の標準試験方法で実施			A	7.0	1.5	20.6	—	—	—
				B	10.5	1.7	20.3	—	—	—
				L	11.5	2.5	20.3	—	—	—

4.3.2 断熱温度上昇装置のキャリブレーション

各試験所で実施したキャリブレーション結果を、表-4.3.2 に示す。

表-4.3.2 キャリブレーション結果

製 造 メ ー カ ー	外 槽	型 枠	試験所	安定温度 (°C)	偏差実測値	直線回帰式	相関 係数	回帰式から算出した偏差 (Y)		
								X = 30 °C	X = 50 °C	X = 70 °C
C社製	有 り	共通	A	35.0	-0.030	$Y = -0.00311 X + 0.097$	0.860	0.004	-0.059	-0.121
				52.9	-0.030					
				70.1	-0.140					
			B	31.8	-0.177	$Y = -0.00568 X + 0.004$	1.000	-0.166	-0.280	-0.394
				50.0	-0.280					
				71.1	-0.400					
			C	31.8	0.025	$Y = -0.00654 X + 0.237$	0.999	0.041	-0.090	-0.221
				48.0	-0.070					
				71.0	-0.230					
			D	30.5	0.600	$Y = 0.01596 X + 0.041$	0.940	0.520	0.839	1.158
				50.0	0.700					
				71.7	1.250					
			K	21.4	0.100	$Y = -0.01059 X + 0.324$	1.000	0.006	-0.206	-0.417
				30.5	0.000					
				50.4	-0.215					
				69.6	-0.410					
		常用	B	29.1	-0.310	$Y = -0.00227 X - 0.245$	1.000	-0.313	-0.359	-0.404
				48.1	-0.355					
				66.6	-0.395					
			C	30.9	-0.005	$Y = -0.00297 X + 0.092$	0.989	0.003	-0.057	-0.116
				51.3	-0.050					
				71.3	-0.125					
			D	30.0	0.600	$Y = 0.600$	1.000	0.600	0.600	0.600
				50.0	0.600					
				70.0	0.600					
	無 し	共通	A	31.8	0.000	$Y = -0.00677 X + 0.224$	0.994	0.021	-0.115	-0.250
				50.4	-0.100					
				70.3	-0.260					
			D	34.3	-0.400	$Y = 0.04036 X - 1.784$	1.000	-0.573	0.234	1.041
				50.4	0.250					
				72.7	1.150					
			F	31.8	-0.030	$Y = -0.00646 X + 0.167$	0.994	-0.027	-0.156	-0.285
				51.2	-0.180					
				70.5	-0.280					
			H	30.5	0.000	$Y = -0.00738 X + 0.239$	0.972	0.018	-0.130	-0.278
				50.4	-0.100					
				63.4	-0.250					
			I	28.3	0.130	$Y = -0.00502 X + 0.261$	0.982	0.110	0.010	-0.090
				52.1	-0.025					
				71.6	-0.085					
			K	20.4	0.095	$Y = -0.00943 X + 0.298$	0.999	0.015	-0.174	-0.362
				30.7	0.020					
				51.1	-0.180					
			L	69.8	-0.365	$Y = -0.00595 X + 0.168$	0.989	-0.011	-0.130	-0.249
				20.8	0.030					
				29.4	0.000					
		常用	D	49.2	-0.100	$Y = 0.05070 X - 1.129$	0.994	0.392	1.406	2.420
				67.7	-0.250					
				30.0	0.450					
			F	52.4	1.400	$Y = -0.00510 X + 0.122$	0.943	-0.031	-0.133	-0.235
				71.2	2.550					
				30.6	-0.050					
			H	53.1	-0.110	$Y = -0.00945 X + 0.312$	0.991	0.029	-0.161	-0.350
				68.3	-0.250					
				31.7	0.000					
			I	51.7	-0.150	$Y = -0.00713 X + 0.245$	0.999	0.031	-0.112	-0.254
				68.5	-0.350					
				30.0	0.035					
			L	50.0	-0.120	$Y = -0.00526 X + 0.134$	0.969	-0.024	-0.129	-0.234
				70.0	-0.250					
				20.0	0.000					
			L	29.5	0.000	$Y = -0.00526 X + 0.134$	0.969	-0.024	-0.129	-0.234
				49.9	-0.100					
			L	68.8	-0.250	$Y = -0.00526 X + 0.134$	0.969	-0.024	-0.129	-0.234
				68.8	-0.250					

4.3.3 断熱温度上昇

C社製装置による各試験条件毎の断熱温度上昇曲線（実測値）を図-4.3.1に示す。

また、柳田 α 式および塚山 α 式による終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α を表-4.3.3に示す。

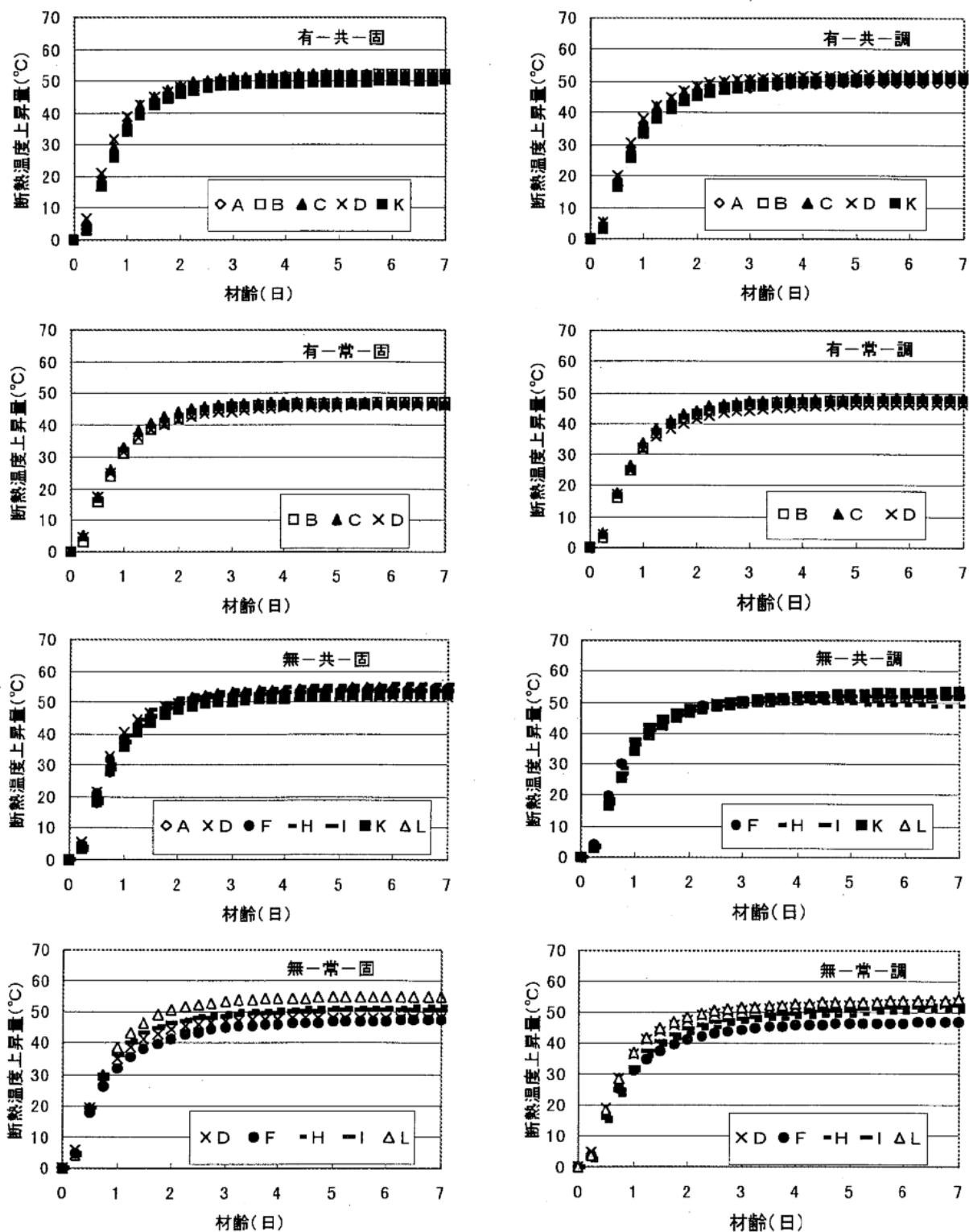


図-4.3.1 各試験条件毎の断熱温度上昇曲線（実測値）

表-4.3.3 終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α

製 造 メーカ	外 槽	型 枠	偏差	試験所	最高温度 (°C)		終局断熱温度上昇量K (°C)				温度上昇速度の定数 α			
					各試験 所毎	試験所 平均	柳田 α 式		塚山 α 式		柳田 α 式		塚山 α 式	
							各試験 所毎	試験所 平均	各試験 所毎	試験所 平均	各試験 所毎	試験所 平均	各試験 所毎	試験所 平均
C社製	有り	共通	固定	A	50.5	51.4	50.5	51.5	51.0	51.6	1.106	1.102	1.075	1.096
				B	52.2		52.5		52.4		0.991		0.995	
				C	52.2		52.2		52.6		1.159		1.133	
				D	51.6		51.8		51.5		1.220		1.242	
				K	50.4		52.3		50.5		0.954		1.058	
			調整	A	49.5	51.0	49.5	51.1	49.9	51.2	1.097	1.080	1.074	1.076
				B	51.1		51.3		51.3		1.006		1.006	
				C	51.2		51.2		51.7		1.168		1.139	
				D	52.2		52.4		52.3		1.161		1.167	
				K	50.9		51.6		50.8		0.956		1.000	
		常用	固定	B	47.1	46.8	47.2	46.8	47.5	47.2	1.014	1.081	0.995	1.054
				C	47.3		47.3		47.8		1.146		1.116	
				D	46.4		46.5		46.4		1.049		1.055	
			調整	B	47.1	47.2	47.1	47.2	47.7	47.5	1.086	1.091	1.052	1.070
				C	48.0		48.0		48.5		1.132		1.101	
				D	46.4		46.5		46.4		1.049		1.055	
	無し	共通	固定	A	54.6	53.8	55.0	54.0	54.6	54.0	0.991	1.096	1.009	1.098
				D	51.4		51.4		52.0		1.346		1.309	
				F	53.7		54.0		53.5		1.092		1.120	
				H	55.7		55.9		55.9		1.087		1.090	
				I	53.8		54.0		54.2		1.076		1.063	
				K	52.8		54.0		52.6		0.972		1.046	
				L	54.9		55.2		55.2		1.071		1.073	
			調整	(A)	(41.6)	51.8	(41.6)	51.9	(40.9)	52.2	(1.396)	1.079	(1.464)	1.063
				(D)	(28.4)		(28.7)		(27.7)		(0.888)		(0.996)	
				F	52.7		52.9		52.6		1.071		1.089	
				H	49.8		49.8		50.2		1.204		1.180	
				I	52.0		52.0		52.6		1.136		1.103	
				K	53.3		54.0		53.3		0.930		0.965	
				L	52.3		53.0		52.4		0.957		0.986	
		常用	固定	D	48.1	50.6	48.1	50.8	48.3	50.7	1.179	1.089	1.162	1.096
				F	47.5		47.9		47.2		0.985		1.026	
				H	51.5		51.7		51.7		1.086		1.089	
				I	50.8		51.0		50.8		1.119		1.131	
				L	55.1		55.3		55.4		1.083		1.078	
			調整	D	52.9	51.3	53.2	52.0	52.8	51.1	1.039	0.931	1.063	0.982
				F	46.7		46.8		46.7		1.008		1.015	
				H	50.7		52.2		50.4		0.805		0.892	
				I	52.3		54.0		51.7		0.799		0.909	
				L	54.0		54.7		53.9		0.992		1.035	
A社製	各試験所の 標準試験方法で 実施	A	50.1	—	50.3	—	50.4	—	1.019	—	1.015	—		
B社製		B	49.6		49.9		49.7		0.978		0.990			
D社製		L	52.1		52.3		52.4		1.021		1.013			

備考) 試験所平均値は、各試験所の断熱温度上昇実測値を平均した断熱温度上昇曲線から算出した値であり、括弧内データは試験装置の異常が考えられるため除外した。

4. 4 考察

4. 4. 1 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度

スランブ試験結果を図-4.4.1 に示す。9 試験所において、1 試験所当たり 4 回以上のスランブ試験を実施した。合計 43 回の試験の内、C 社製断熱温度上昇試験装置を使用した共通試験に供したコンクリートのスランブ試験は 40 回であり、この 40 回の試験におけるスランブ試験結果は、目標スランブ値の $12 \pm 2\text{cm}$ に対してスランブの全平均値は 11.8cm 、最小は 9.0cm 、最大は 16.0cm であった。40 回の試験の内、37 回の試験で目標スランブの範囲を満足しており、範囲を外れたのは 3 回であった。

一方、各試験所毎のスランブ試験において、その平均値に対するばらつきが $\pm 1\text{cm}$ の範囲である試験所は 6 試験所で、 $\pm 2\text{cm}$ の範囲は 2 試験所、 $\pm 2\text{cm}$ の範囲を超えた試験所は 1 試験所であり、9 試験所の内、8 試験所においては全て目標スランブの範囲を満足した。9 試験所の内の 1 試験所のみが目標スランブ値が得られず、またそのばらつきが大きかったが、スランブ試験は比較的時間を長く要する断熱温度上昇試験を 4 回行うという期間に実施しており、この間の粗骨材の品質変動がスランブのばらつきを大きくしたものと考えられる。

空気量試験結果を図-4.4.2 に示す。9 試験所における空気量試験の全平均値は 1.9% であり、最小は 1.5% 、最大は 2.9% であった。1 試験所における空気量のばらつきは殆ど無く、全ての試験所において、その 4 回の試験の平均値に対して空気量は $\pm 0.5\%$ 以内であった。

試験所間で、スランブ値および空気量が他の試験所に比べて大きめ、または小さめとなる状況が認められたが、この場合のスランブ値と空気量との関係、例えば空気量が大きめの試験所はスランブ値が大きいというような相関は認められない。

コンクリートの練上がり温度の測定結果を図-4.4.3 に示す。練上がり温度の全平均値は 20.4°C であり、最小は 19.2°C 、最大は 21.0°C であった。全水準において $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の範囲を満足した。

コンクリートの圧縮強度試験結果を図-4.4.4 に示す。9 試験所の圧縮強度の平均値は、材齢 3 日で 17.7N/mm^2 、材齢 7 日で 27.0N/mm^2 、材齢 28 日で 35.2N/mm^2 であった。

圧縮強度試験結果は試験所間によってばらつきが生じた。この場合、材齢 3 日の強度が低い試験所は材齢 7 日、材齢 28 日ともに低く、材齢 3 日の強度が高い試験所は材齢 7 日、材齢 28 日とも高い傾向が認められた。圧縮強度がばらついた原因としては、脱型までの湿空養生条件の違いや粗骨材の品質の違いなどが考えられる。

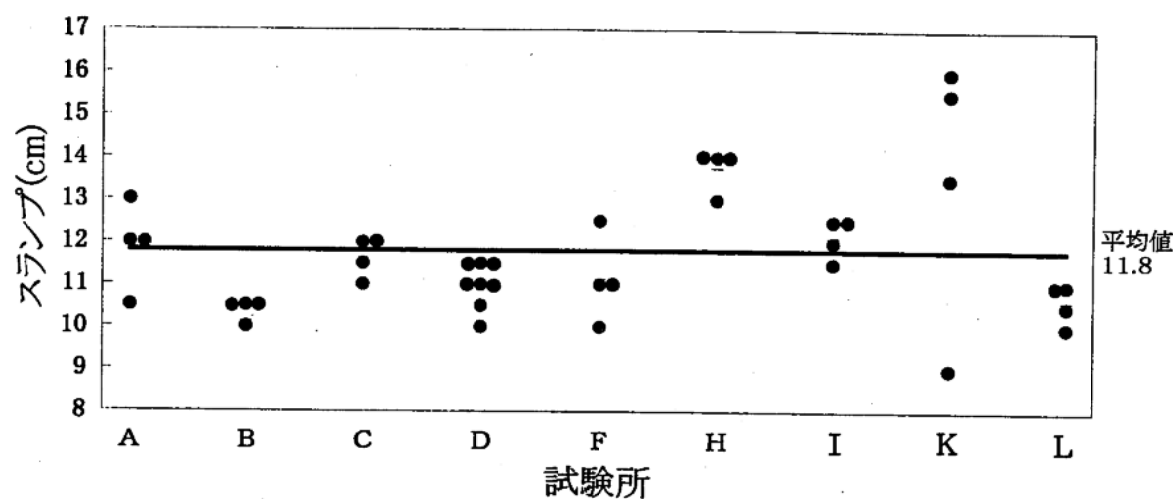


図-4.4.1 スランプ測定値の範囲

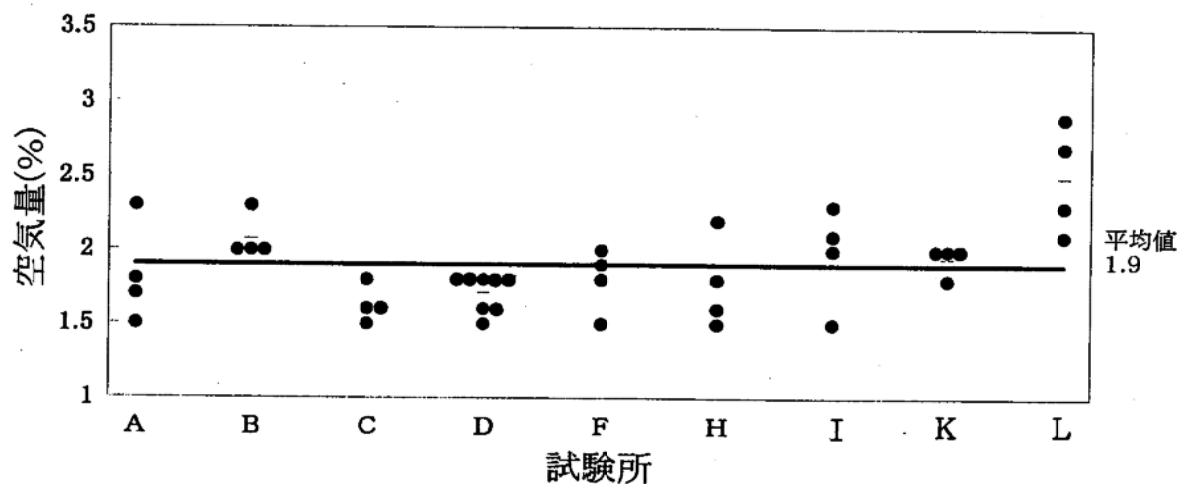


図-4.4.2 空気量測定値の範囲

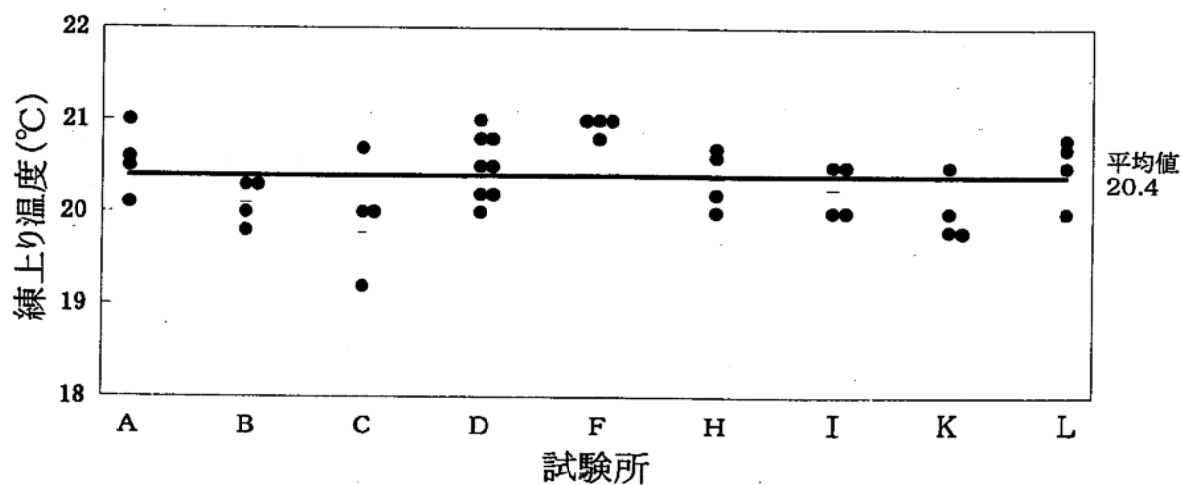


図-4.4.3 練上がり温度測定値の範囲

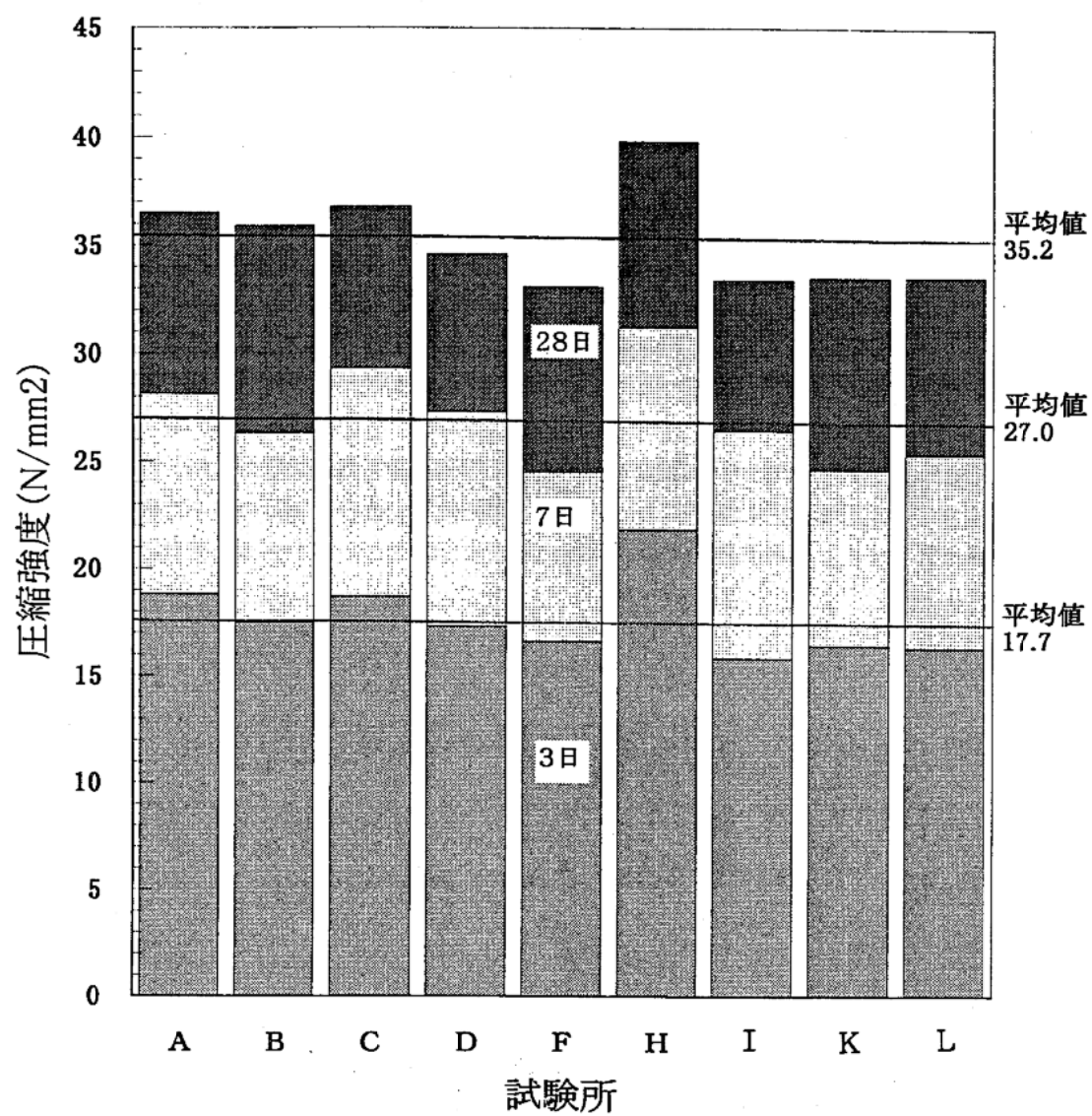


図-4.4.4 強度発現性

4. 4. 2 断熱温度上昇装置のキャリブレーション

約 30℃、50℃および 70℃の 3 水準の温度において、C 社製断熱温度上昇試験装置のキャリブレーション操作における偏差（の調整目盛の変化）の測定を行った。その結果を図-4.4.5 に示す。

キャリブレーション温度と偏差との関係は一次式で近似でき、一部を除きその相関係数は 0.95～0.99 である。この一次式は、負の傾きであり、温度が高くなるにつれて偏差（の読み値）は負の方向に大きくなる。ただし、試験所 D の温度と偏差との関係は、前述の他試験所の挙動とは異なり、一次式で近似できるものの正の勾配であって、その傾きは大きい。試験所 D の温度と偏差との関係が他試験所と異なる挙動を示したのは、偏差の調整において、その電気信号の増幅の程度や偏差目盛の付し方が他の試験所とは異なっていることが考えられる。従って、他の試験所においても装置毎の特性に違いがあることが推測されるので、本試験で取り上げた要因、すなわち外槽の有無、型枠の違いがキャリブレーション温度と偏差との関係における回帰直線の傾きおよび Y 切片の大小に影響を及ぼすかの評価を試みた。しかし、試験条件の違いが偏差に及ぼす影響についての明瞭な差は認められなかった。

以上をまとめると、キャリブレーションを行う場合、温度の違いにより偏差は変化し、その関係は直線で近似できる。

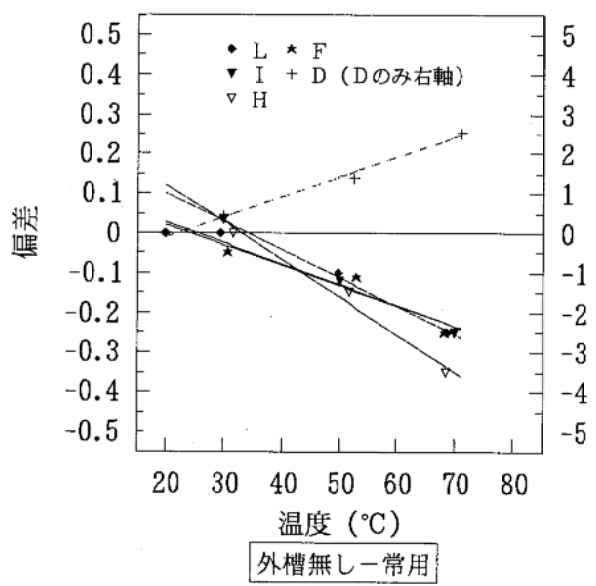
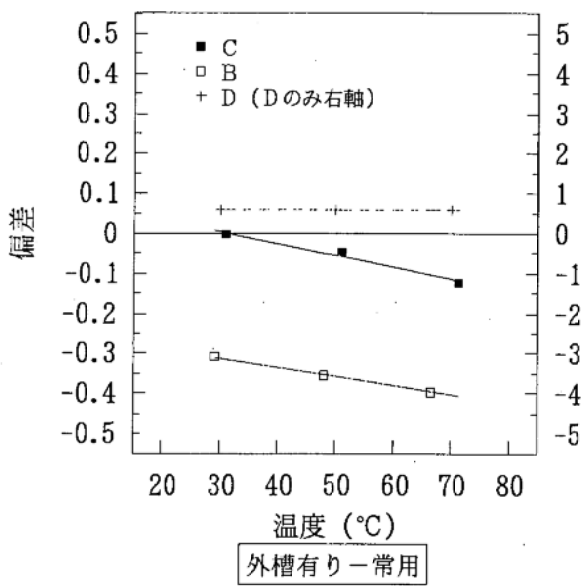
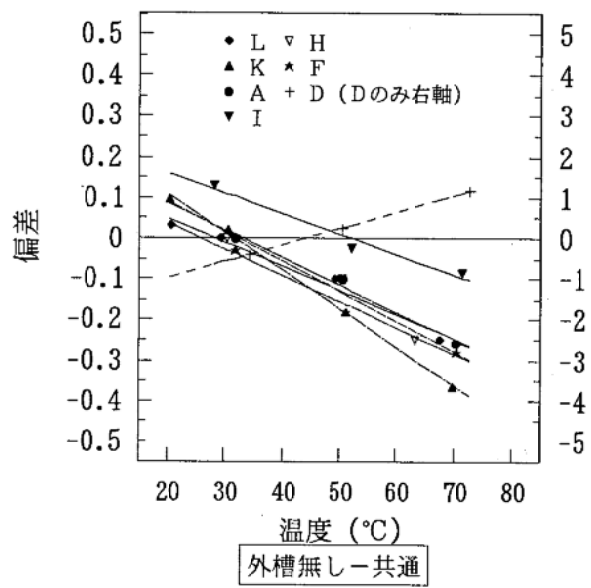
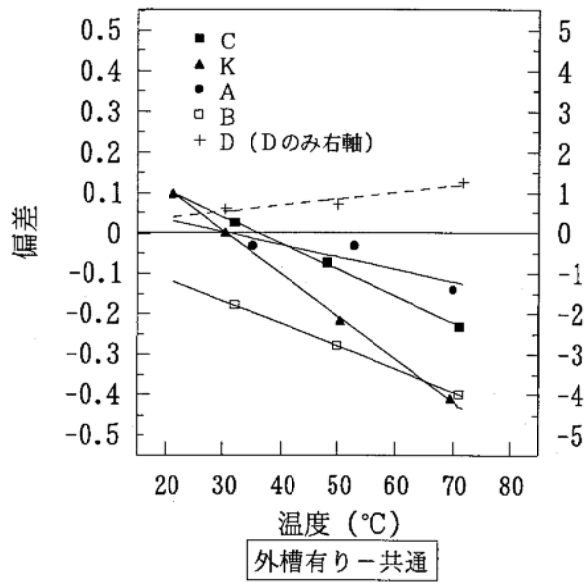


図-4.4.5 キャリブレーション結果

4. 4. 3 断熱温度上昇

(1) 試験所間のばらつき

C社製断熱温度上昇試験装置による共通試験結果として、柳田 α 式による終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α を表-4.4.1および表-4.4.2に示す。

①終局断熱温度上昇量Kについて

終局断熱温度上昇量Kの全データの平均値は51.4℃、最大値は55.9℃、最小値は46.5℃、範囲は9.4℃であり、試験所間と試験条件の違いの両者のばらつきを包含した結果として、そのばらつきはかなり大きかった。

試験条件を同一として実施した終局断熱温度上昇量Kの範囲は、試験条件によって相違し、範囲は0.8～7.9℃、標準偏差は0.5～3.1℃、変動係数は1.1～5.9%であるが、8試験条件の内の2条件を除く6条件の場合、すなわち、〔外槽無し-常用型枠-偏差固定〕および〔外槽無し-常用型枠-偏差調整〕の2条件を除く6条件の場合における範囲は0.8～4.5℃、標準偏差は0.5～1.6℃、変動係数は1.1～3.1%で、この6条件の範囲の平均値は2.7℃、標準偏差の平均値は1.0℃、変動係数の平均値は2.0%となった。試験所間の差が大きかった2条件については、〔外槽無し-常用型枠-偏差固定〕の場合の終局断熱温度上昇量Kの平均値は50.8℃、〔外槽無し-常用型枠-偏差調整〕の場合は52.2℃であり、全条件の平均値50.8℃に比べてほとんど差がないものの、試験所間のばらつきを大きくする条件として着目できる。

また、共通の型枠を使用した4条件、すなわち〔外槽有り-共通型枠-偏差固定〕、〔外槽有り-共通型枠-偏差調整〕、〔外槽無し-共通型枠-偏差固定〕、〔外槽無し-共通型枠-偏差調整〕の4条件の場合における範囲は2.0～4.5℃、標準偏差は0.8～1.6℃、変動係数は1.5～3.1%で、この4条件の範囲の平均値は3.4℃、標準偏差の平均値は1.2℃、変動係数の平均値は2.3%となった。これらの試験方法を統一した場合のばらつきは、共通一次試験における試験所間のばらつき、すなわち範囲で6.0～10.4℃、標準偏差で2.2～3.0℃、変動係数で4.3～7.5%に比べて小さくなった。

一方、試験所毎に試験条件が異なる4回の試験を実施した（試験所Dは8回実施）が、この場合の各試験所の終局断熱温度上昇量Kの範囲は2.3～7.2℃であり、9試験所の範囲の平均値は4.8℃である。これは、前述した8試験条件の範囲の平均値3.9℃よりも大きく、更に、ばらつきの大きかった2試験条件を除く6試験条件の範囲の平均値2.7℃から判断して、試験条件の適性化と統一（規定）を行えば、試験所間の終局断熱温度上昇量Kのばらつきは $\pm 1\sim 2^\circ\text{C}$ 程度に小さくすることが可能と思われる。

②温度上昇速度の定数 α について

温度上昇速度の定数 α の全データの平均値は1.061、最大値は1.346、最小値は0.799、範囲は0.547であった。

同一試験条件における各試験所間のばらつきを比較すると、範囲は、小さい場合で0.083、大きい場合で0.374、平均値で0.222であった。一方、同一試験所における4回の試験において、試験条件を変えた場合の範囲は、小さい場合で0.036、大きい場合で0.399、平均値で0.174であった。このことから、温度上昇速度の定数 α のばらつきについては、試験所間の違いによるものと試験方法の違いによるものとは、前者の方がやや大きい傾向にあると思えるが、両者のばらつきに明瞭な差があるとはいえない。

試験所間の終局断熱温度上昇量 K のばらつきが大きかった〔外槽無し・常用型枠・偏差固定〕および〔外槽無し・常用型枠・偏差調整〕の2条件においての温度上昇速度の定数 α のばらつきは小さく、また、終局断熱温度上昇量 K の大小による温度上昇速度の定数 α の大小に関しては、その関係はほとんど認められなかった。

また、共通の型枠を使用した4条件、すなわち〔外槽有り・共通型枠・偏差固定〕、〔外槽有り・共通型枠・偏差調整〕、〔外槽無し・共通型枠・偏差固定〕、〔外槽無し・共通型枠・偏差調整〕の4条件の場合における範囲は0.212～0.374、標準偏差は0.094～0.122、変動係数は8.7～11.2%で、この4条件の範囲の平均値は0.282、標準偏差の平均値は0.111、変動係数の平均値は10.3%となった。これらの試験方法を統一した場合のばらつきは、共通一次試験における試験所間のばらつき、すなわち範囲で0.177～0.439、標準偏差で0.064～0.146、変動係数で8.1～18.6%に比べて同等か若干小さくなった。試験条件の適性化と統一（規定）を行えば、試験所間の温度上昇速度の定数 α のばらつきについても若干小さくすることが可能と思われる。

表-4.4.1 断熱温度上昇試験結果（柳田 α 式による終局断熱温度上昇量 K ）

試験所	C社製断熱温度上昇試験装置による共通試験											
	試験条件								平均	最大	最小	範囲
	有-共-固	有-共-調	有-常-固	有-常-調	無-共-固	無-共-調	無-常-固	無-常-調				
A	50.5	49.5	—	—	55.0	(41.6)	—	—	51.7	55.0	49.5	5.5
B	52.5	51.3	47.2	47.1	—	—	—	—	49.5	52.5	47.1	5.4
C	52.2	51.2	47.3	48.0	—	—	—	—	49.7	52.2	47.3	4.9
D	51.8	52.4	46.5	46.5	51.4	(28.7)	48.1	53.2	50.0	53.2	46.5	6.7
F	—	—	—	—	54.0	52.9	47.9	46.8	50.4	54.0	46.8	7.2
H	—	—	—	—	55.9	49.8	51.7	52.2	52.4	55.9	49.8	6.1
I	—	—	—	—	54.0	52.0	51.0	54.0	52.8	54.0	51.0	3.0
K	52.3	51.6	—	—	54.0	54.0	—	—	53.0	54.0	51.6	2.4
L	—	—	—	—	55.2	53.0	55.3	54.7	54.6	55.3	53.0	2.3
平均	51.9	51.2	47.0	47.2	54.2	52.3	50.8	52.2	51.4*	54.0	49.2	4.8
最大	52.5	52.4	47.3	48.0	55.9	54.0	55.3	54.7	52.5			
最小	50.5	49.5	46.5	46.5	51.4	49.8	47.9	46.8	48.6			
範囲	2.0	2.9	0.8	1.5	4.5	4.2	7.4	7.9	3.9			
標準偏差	0.8	1.1	0.5	0.8	1.4	1.6	3.0	3.1	1.5			
変動係数	1.5	2.1	1.1	1.7	2.6	3.1	5.9	5.9	3.0			

注1) 括弧内データは、試験装置の異常が考えられるため、統計処理データから除外した。

注2) 平均値*は、全データの平均値とした。

表-4.4.2 断熱温度上昇試験結果（柳田 α 式による温度上昇速度の定数 α ）

試験所	C社製断熱温度上昇試験装置による共通試験											
	試験条件								平均	最大	最小	範囲
	有-共-固	有-共-調	有-常-固	有-常-調	無-共-固	無-共-調	無-常-固	無-常-調				
A	1.106	1.097	—	—	0.991	(1.396)	—	—	1.065	1.106	0.991	0.115
B	0.991	1.006	1.014	1.086	—	—	—	—	1.024	1.086	0.991	0.095
C	1.159	1.168	1.146	1.132	—	—	—	—	1.151	1.168	1.132	0.036
D	1.220	1.161	1.049	1.049	1.346	(0.888)	1.179	1.039	1.149	1.346	1.039	0.307
F	—	—	—	—	1.092	1.071	0.985	1.008	1.039	1.092	0.985	0.107
H	—	—	—	—	1.087	1.204	1.086	0.805	1.046	1.204	0.805	0.399
I	—	—	—	—	1.076	1.136	1.119	0.799	1.033	1.136	0.799	0.337
K	0.954	0.956	—	—	0.972	0.930	—	—	0.953	0.972	0.930	0.042
L	—	—	—	—	1.071	0.957	1.083	0.992	1.026	1.083	0.957	0.126
平均	1.086	1.078	1.070	1.089	1.091	1.060	1.090	0.929	1.061*	1.133	0.959	0.174
最大	1.220	1.168	1.146	1.132	1.346	1.204	1.179	1.039	1.179			
最小	0.954	0.956	1.014	1.049	0.972	0.930	0.985	0.799	0.957			
範囲	0.266	0.212	0.132	0.083	0.374	0.274	0.194	0.240	0.222			
標準偏差	0.112	0.094	0.068	0.042	0.122	0.116	0.070	0.117	0.093			
変動係数	10.3	8.7	6.4	3.9	11.2	10.9	6.4	12.6	8.8			

注1) 括弧内データは、試験装置の異常が考えられるため、統計処理データから除外した。

注2) 平均値*は、全データの平均値とした。

(2) 試験条件の影響

柳田 α 式による各試験条件毎の終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α の基礎統計量を、表-4.4.3に示す。また、着目した要因毎の終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α の基礎統計量を、表-4.4.4に示す。なお、〔外槽無し-共通型枠-偏差調整〕における試験所の平均値は、明らかに特異と考えられる結果2点を除いたものである。

表-4.4.3 各試験条件の終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α の基礎統計量

製造メーカー		C社								A社	B社	D社
試験条件		有・共・固	有・共・調	有・常・固	有・常・調	無・共・固	無・共・調	無・常・固	無・常・調	—	—	—
サンプルn		5	5	3	3	7	5	5	5	1	1	1
K	平均値(°C)	51.9	51.2	47.0	47.2	54.2	52.3	50.8	52.2	50.3	49.9	52.3
	最大値(°C)	52.5	52.4	47.3	48.0	55.9	54.0	55.3	54.7			
	最小値(°C)	50.5	49.5	46.5	46.5	51.4	49.8	47.9	46.8			
	範囲(°C)	2.0	2.9	0.8	1.5	4.5	4.2	7.4	7.9			
	標準偏差(°C)	0.8	1.1	0.5	0.8	1.4	1.6	3.0	3.1			
	変動係数(%)	1.5	2.1	1.1	1.7	2.6	3.1	5.9	5.9			
α	平均値	1.086	1.078	1.070	1.089	1.091	1.060	1.090	0.929	1.019	0.978	1.021
	最大値	1.220	1.168	1.146	1.132	1.346	1.204	1.179	1.039			
	最小値	0.954	0.956	1.014	1.049	0.972	0.930	0.985	0.799			
	範囲	0.266	0.212	0.132	0.083	0.374	0.274	0.194	0.240			
	標準偏差	0.112	0.094	0.068	0.042	0.122	0.116	0.070	0.117			
	変動係数(%)	10.3	8.7	6.4	3.9	11.2	10.9	6.4	12.6			

表-4.4.4 着目要因毎の終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α の基礎統計量

製造メーカー		C社					
着目要因		外槽		型枠		偏差	
条件		有	無	共通	常用	固定	調整
サンプルn		16	22	22	16	20	18
K	平均値(°C)	49.9	52.4	52.6	49.8	51.7	51.1
	最大値(°C)	52.5	55.9	55.9	55.3	55.9	54.7
	最小値(°C)	46.5	46.8	49.5	46.5	46.5	46.5
	範囲(°C)	6.0	9.1	6.4	8.8	9.4	8.2
	標準偏差(°C)	2.4	2.5	1.7	3.2	3.0	2.6
	変動係数(%)	4.8	4.8	3.2	6.4	5.8	5.1
α	平均値	1.080	1.047	1.079	1.036	1.086	1.033
	最大値	1.220	1.346	1.346	1.179	1.346	1.204
	最小値	0.954	0.799	0.930	0.799	0.954	0.799
	範囲	0.266	0.547	0.416	0.380	0.392	0.405
	標準偏差	0.081	0.122	0.105	0.107	0.095	0.114
	変動係数(%)	7.5	11.7	9.7	10.3	8.7	11.0

試験条件の違いが断熱温度上昇試験結果に及ぼす影響は、次のようである。

①外槽の有無について

図-4.4.6 は、外槽の有無に着目して試験結果を整理した断熱温度上昇曲線である。これによると、いずれの場合においても、外槽が無い方が有る場合に比べて断熱温度上昇量が大きくなっている。また、この傾向は、共通型枠の場合よりも常用型枠の場合で顕著となっている。

このように、外槽が無い方が断熱温度上昇量が大きくなる理由としては、外槽が有る場合には、それを昇温させるために熱量が奪われることが考えられる。

すなわち、型枠および外槽の昇温に寄与する熱源をコンクリートの発熱（セメントの水和熱）のみであると仮定すると、熱量の収支に関しては次の関係が成り立つ。

$$W_1 \cdot C_{p1} \cdot T_A + W_2 \cdot C_{p2} \cdot T_A = W_1 \cdot C_{p1} \cdot T_B + W_2 \cdot C_{p2} \cdot T_B + W_3 \cdot C_{p3} \cdot T_B$$

ここに、

W_1 : コンクリートの質量(kg)

W_2 : 型枠の質量(kg)

W_3 : 外槽の質量(kg)

C_{p1} : コンクリートの比熱(kcal/kg・°C)

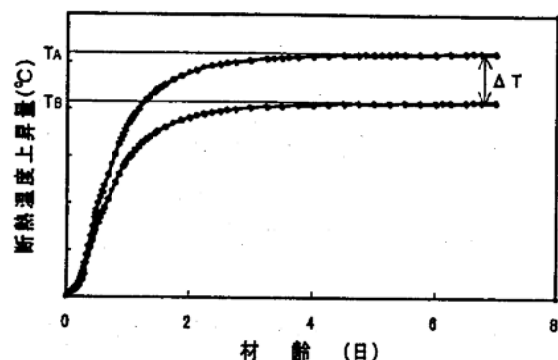
C_{p2} : 型枠の比熱(kcal/kg・°C)

C_{p3} : 外槽の比熱(kcal/kg・°C)

T_A : 外槽が無い場合の断熱温度上昇量(°C)

T_B : 外槽が有る場合の断熱温度上昇量(°C)

ΔT : 外槽が有る場合と無い場合の断熱温度上昇量の差(°C) (上図参照)



上式より、

$$T_B = (W_1 \cdot C_{p1} + W_2 \cdot C_{p2}) / (W_1 \cdot C_{p1} + W_2 \cdot C_{p2} + W_3 \cdot C_{p3}) \times T_A$$

したがって、

$$\Delta T = T_A - T_B = (W_3 \cdot C_{p3}) / (W_1 \cdot C_{p1} + W_2 \cdot C_{p2} + W_3 \cdot C_{p3}) \times T_A$$

ここで、 $W_1 = 2.34(\text{kg/l}) \times 50(\text{l}) = 117\text{kg}$

$W_2 = 4.76\text{kg}$ (実測の一例)

$W_3 = 21.56\text{kg}$ (実測値の一例)

$C_{p1} = 0.28(\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C})$ (土木学会 コンクリート標準示方書における平均値)

$C_{p2} = C_{p3} = 0.11(\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C})$ (鉄の比熱)

を代入すると、 $\Delta T = 0.067T_A$ となる。

すなわち、 T_A が約 50°C の場合には、 ΔT は約 3°C となり、試験結果の 2.6°C とほぼ一致する。実際には、外槽の昇温においては、コンクリートの発熱だけでなく試験装置から供される温風も影響する（特に、外槽の外側）。したがって、上式による熱量の収支のみでは説明できないが、外槽が有る場合には、これを昇温させるための熱量が必要となり、外槽が無い場合に比べてコンクリートの断熱温度上昇量が小さくなることは明らかである。

②型枠の種類の違いについて

図-4.4.7 は、型枠の種類の違いに着目して試験結果を整理した断熱温度上昇曲線である。これによると、いずれの場合においても、共通型枠を用いた方が常用型枠を用いた場合に比べて断熱温度上昇量は大きくなっている。また、この傾向は、外槽が無い場合よりも有る場合で顕著となっている。

このように、型枠の種類により断熱温度上昇量が異なる理由としては、常用型枠の側板の厚みが 3.0～8.8mm であるのに対し、共通型枠は 0.6mm とかなり薄く、型枠そのものの熱容量にかなり差があるためと考えられる。

例えば、常用型枠に $\phi 400\text{-}\phi 300\times H400\text{mm}$ 、側板の厚みが 6mm の型枠を用いた場合、型枠の質量は約 30kg となる。共通型枠の質量は約 5kg（前述の W_2 ）であるので、この場合の質量差は約 25kg となる。

①の外槽の有無の場合と同様に、型枠の昇温に寄与する熱源をコンクリートの発熱（セメントの水和熱）のみと仮定すると、 $\Delta T' = 0.076T_c$ となる。

ここで、 $\Delta T'$ ：共通型枠を用いた場合と常用型枠を用いた場合の断熱温度上昇量の差（℃）

T_c ：共通型枠を用いた場合の断熱温度上昇量（℃）

すなわち、 T_c が約 50℃ の場合には、 $\Delta T'$ は約 4℃ となり、試験結果の 3.1℃ と比較的良く一致する。したがって、常用型枠の全てがこのサイズのものでないことを考慮すると、型枠の種類による断熱温度上昇量の差は、型枠の熱容量の差で説明できるものと考えられる。

同様に、共通型枠の断熱温度上昇量に及ぼす影響は、 $\Delta T'' = 0.0165T_d$ となる。

ここで、 $\Delta T''$ ：型枠を用いない場合と共通型枠を用いた場合の断熱温度上昇量の差（℃）

T_d ：型枠を用いない場合の断熱温度上昇量（℃）

すなわち、 T_d が約 50℃ の場合には、 $\Delta T''$ は約 0.8℃ となり、断熱温度上昇量に及ぼす共通型枠の影響は比較的小さいと考えられる。しかしながら、型枠を用いる限り断熱温度上昇量は、コンクリートのみの場合に比べて若干小さく測定されるものと考えられる。

なお、型枠の材質については、実際に使用されているものが鋼製、ステンレス製、亜鉛引き鉄板の 3 種類のみであり、この範囲においては、比熱がほぼ等しいことより材質の影響はほとんどないと考えられる。

③偏差の調整について

図-4.4.8 は、偏差の調整の有無に着目して試験結果を整理した断熱温度上昇曲線である。これによると、〔外槽無し－共通型枠〕において若干の差が認められるものの、その他の条件においてはほとんど差が認められず、また、全平均においてもほとんど差が認められない結果となっている。

これは、偏差固定の場合のキャリブレーション温度が 70℃ と終局温度とほぼ一致していたことによるものと考えられる。このことより、終局温度が予測できる場合には、その温度でキャリブレーションを行えば、温度上昇過程における偏差の調整は特には必要ないものと考えられる。

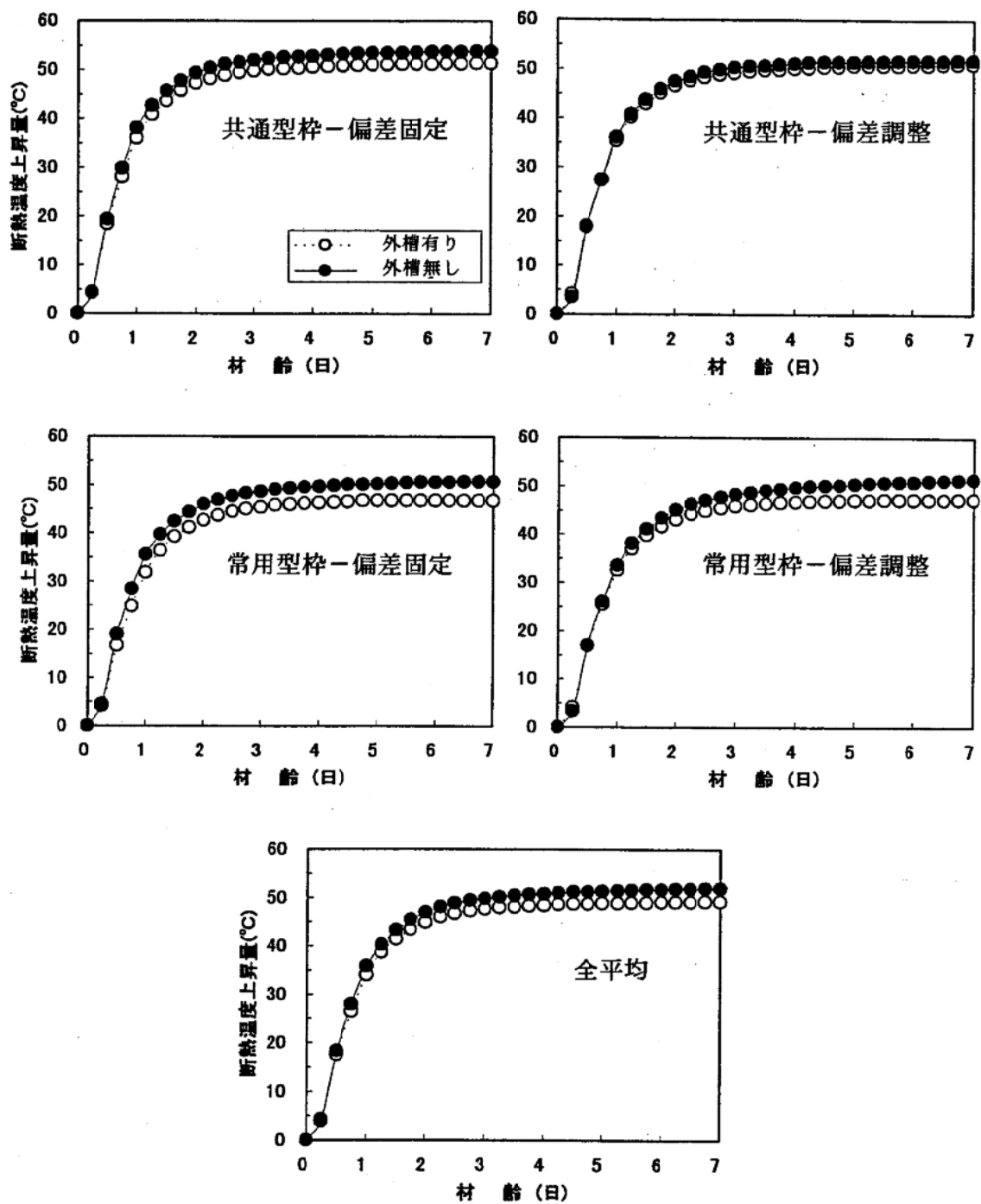


図-4.4.6 外槽の有無の影響

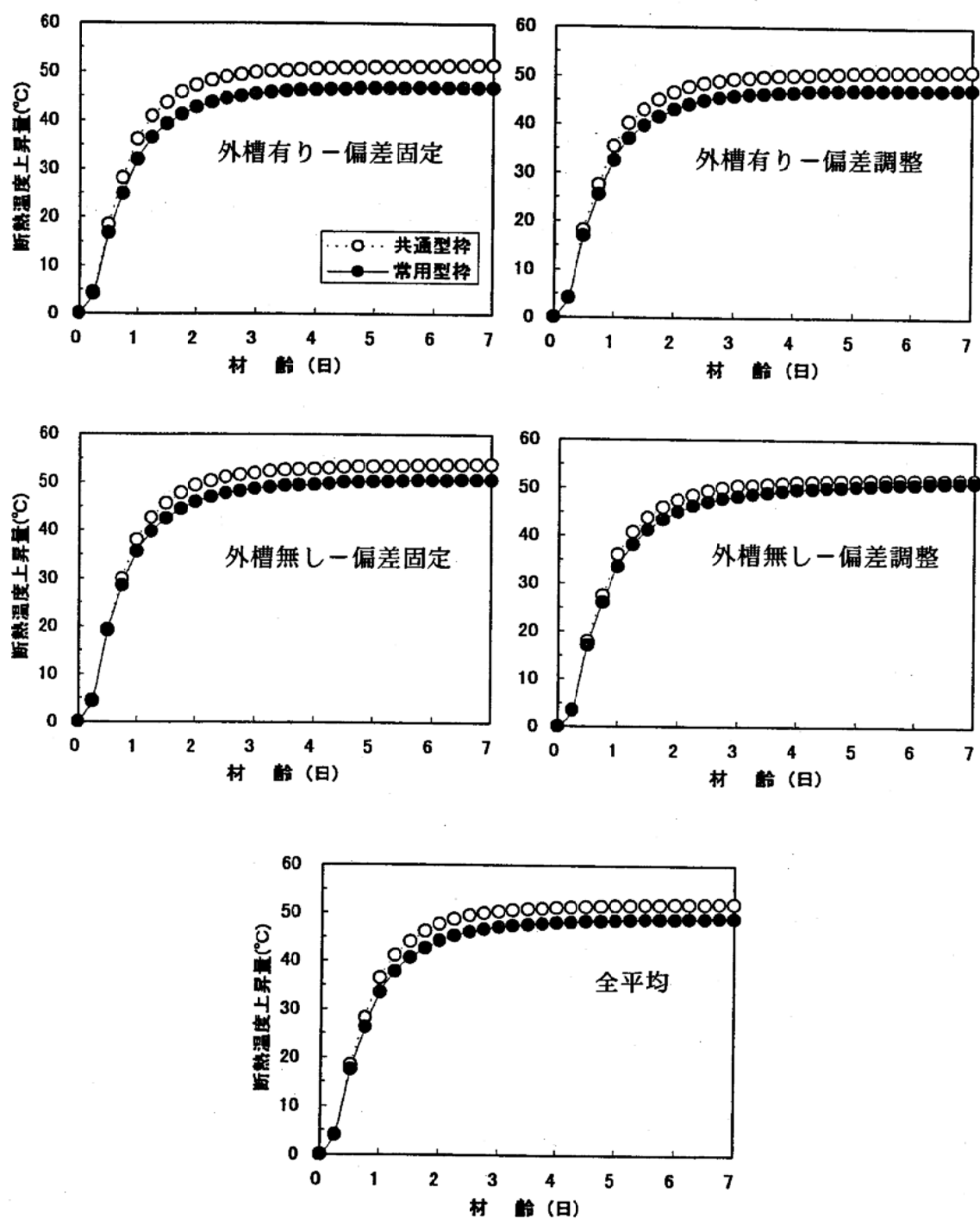


図-4.4.7 型枠の種類の影響

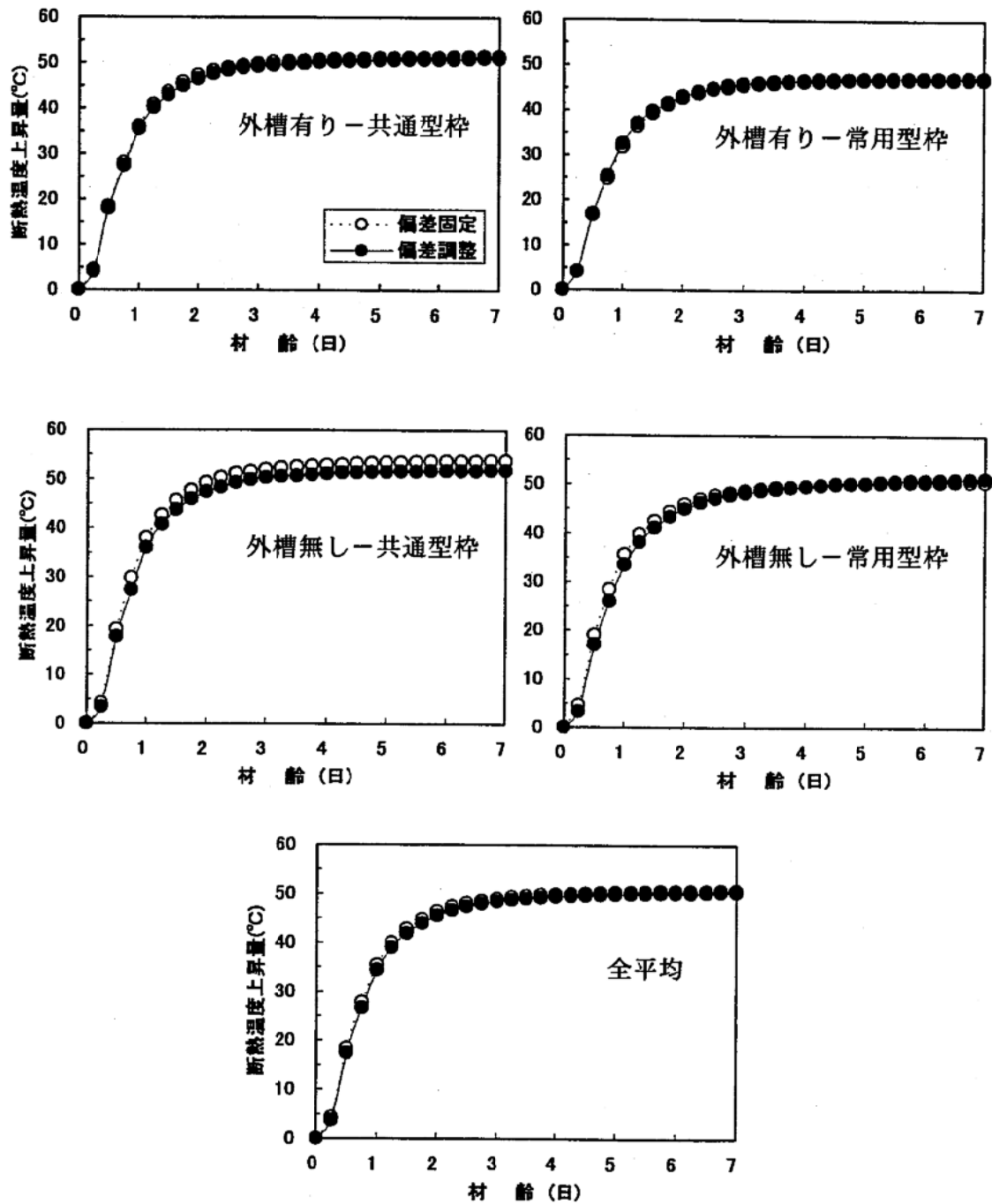


図-4.4.8 偏差調整方法の影響

④試験装置の違いについて

C社製の試験装置を用いた場合、断熱温度上昇量は「外槽無し－共通型枠」のときに最も大きくなり、「外槽有り－常用型枠」のときに最も小さくなることが明らかになった。

そこで、製造メーカーによる違いについて検討するために、3試験所がそれぞれの試験装置を用いて、その装置固有の試験方法により行った断熱温度上昇試験結果を、C社製の試験装置を用いた上記条件における試験結果とともに図-4.4.9に示す。

3試験所ともそれぞれ固有の方法により試験を行ったが、断熱温度上昇量は、いずれもC社製の試験装置を用いた場合の最大値と最小値を示す条件の範囲内であった。すなわち、C社製の試験装置を用いた場合の試験条件の相違による変動の範囲内にあり、試験装置自体による差は比較的小さいものと考えられる。

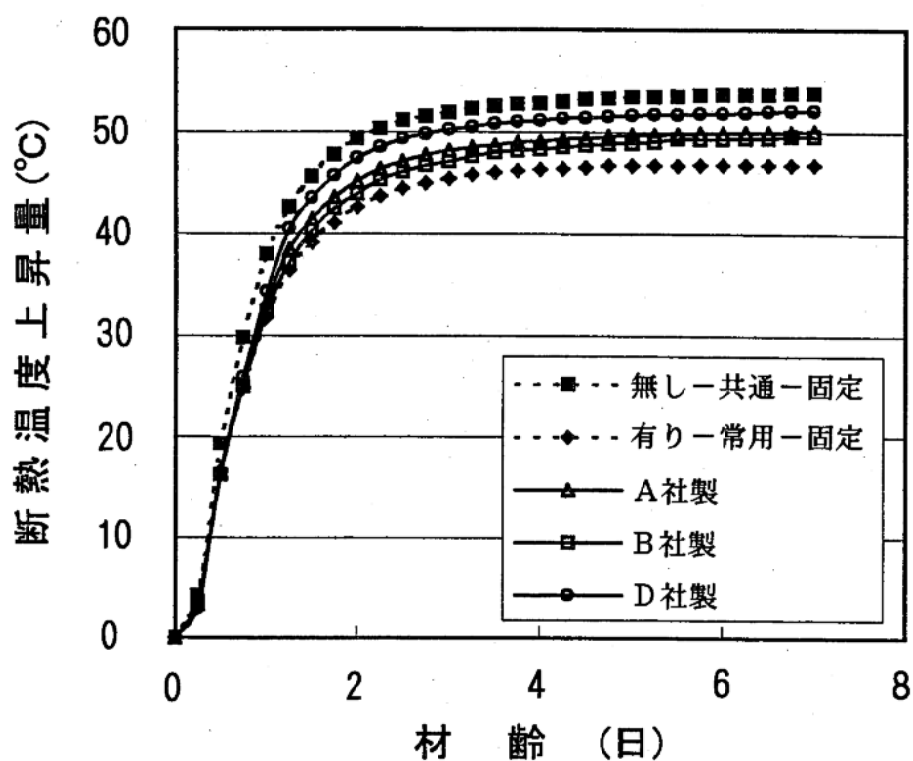


図-4.4.9 製造メーカー別断熱温度上昇曲線

4. 5 まとめ

コンクリートの断熱温度上昇試験は、その装置、試験方法の規定・規格が定められておらず、試験装置による違いや試験所間によって測定値にばらつきが生じることが容易に想像される。

本章は、3章の一次試験の結果を踏まえて、コンクリートの断熱温度上昇試験の測定値に影響を与え、と考えられる試験装置の操作上および試料容器の要因を取り上げて、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートでの共通試験を実施した。

本章の範囲で得られた結果を要約すると、以下の通りである。

- 1) 使用する粗骨材は試験所間で異なるものであったが、フレッシュコンクリートの性状は、試験所間での違いはほとんど認められない。
- 2) コンクリートの水セメント比は試験所間で同一としたが、コンクリートの圧縮強度は、粗骨材の品質の違い等のため、試験所間での差が大きい。
- 3) キャリブレーション操作において、試料容器内の水温を一定に保つために容器内温度と外部温度測定用の熱電対の起電力を調整する必要があるが(偏差の調整)、この調整量は、キャリブレーション温度の違いによって相違する。ここで、キャリブレーション温度と偏差との関係は、直線で近似できる。
- 4) 断熱温度上昇試験結果の試験所間のばらつきは、試験方法を統一することにより小さくなり、特に終局断熱温度上昇量 K のばらつきが小さくなる傾向にある。
- 5) 試料容器の外側に設置する断熱槽(外槽)の有無の影響については、断熱槽(外槽)を設置する場合の方が断熱温度上昇量が小さくなる傾向にあり、また、ばらつきは小さくなる傾向にある。
- 6) 設定温度によって変化する偏差を、温度上昇に追従して随時調整する方法と、最高温度近傍での偏差に固定して測定する方法とでは、両者に断熱温度上昇量の差はほとんど認められない。
- 7) 共通型枠(側板の厚さ: 0.6mm)に対して、各試験所の常用型枠(側板の厚さ: 3.0mm~8.8mm)を使用した場合の方が、断熱温度上昇量は小さくなる傾向にある。
- 8) 共通試験を行った試験機種と異なる機種の断熱温度上昇量は、共通試験を行った試験機種の結果の範囲内にある。

5. 三次試験；試験装置および方法の標準化によるばらつきの低減効果

5. 1 目的

二次試験までに得られた断熱温度上昇試験のばらつきを小さくする試験条件および方法を用い、断熱温度上昇速度の遅いセメントを用いた場合についての検証試験を行った。

5. 2 試験方法

5. 2. 1 使用材料

(1) セメント

セメントは、1工場で製造した同一ロットの中庸熟フライアッシュセメント（記号：MF30）を使用した。セメントの化学成分および物理的性質を表-5.2.1および表-5.2.2に示す。

表-5.2.1 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	R ₂ O	Cl
MF30	1.1	21.7	18.8	4.4	3.3	46.6	1.2	1.8	0.23	0.37	0.47	0.002

表-5.2.2 セメントの物理的性質

セメント の種類	密度 (g/cm³)	比表面積 (cm²/g)	凝結			安定性	圧縮強さ (N/mm²)					水和熱 (J/g)	
			水量 (%)	始発 (h-m)	終結 (h-m)		1日	3日	7日	28日	91日	7日	28日
MF30	2.87	3280	29.1	3-30	4-55	良	—	14.5	19.6	37.5	63.0	228	269

*JIS R 5201-1997 による

(2) 骨材

細骨材は、静岡県小笠郡浜岡産の陸砂を、粗骨材は、東京都青梅産の 2005 砕石（硬質砂岩系）を使用した。骨材の粒度および物性を表-5.2.3 に示す。

表-5.2.3 骨材の粒度および物性

骨材区分	表乾比重	吸水率 (%)	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 (砕石)	2.65	0.47	100	92	44	1	—	—	—	—	—	6.55
細骨材 (陸砂)	2.60	1.74	—	—	—	100	89	58	36	21	8	2.88

(3) 練混ぜ水

コンクリートの練混ぜ水は、上水道水を使用した。

(4) 混和剤

混和剤は、同一ロットの減水剤標準形（(株) NMB 製、ポソリス No.200N、主成分：ポリオール複合体）を使用した。

5. 2. 2 コンクリートの配合および練混ぜ

(1) コンクリートの示方配合

コンクリートの示方配合を表-5.2.4 に示す。スランプが 12cm 程度となるように試練りにより定めた配合で、各試験所が同一配合の条件で試験を実施した。コンクリートの練上がり温度が $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ になるように、練混ぜ水により調整した。スランプおよび空気量の調整は行わなかった。

表-5.2.4 コンクリートの示方配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	目 標 スランプ ^o (cm)	目 標 空気量 (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 (cc/m ³)
				W	C	S	G	
61.7	47.0	12	2	185	300	844	970	600

(2) コンクリートの練混ぜ

3 章の 3.2.2 項を参照。

5. 2. 3 試験項目および方法

(1) スランプ

3 章の 3.2.3 項を参照。

(2) 空気量

3 章の 3.2.3 項を参照。

(3) コンクリート温度

3 章の 3.2.3 項を参照。

(4) 圧縮強度

3 章の 3.2.3 項を参照。なお、材齢は、7、28 および 91 日とした。

(5) 断熱温度上昇

①供試体の成形

3 章の 3.2.3 項を参照。

②試験装置

試験装置は、C 社製空気循環方式を使用した。

③キャリブレーション

試験装置のキャリブレーションは、予想最高温度 60°C (偏差 B) とその $\pm 10^{\circ}\text{C}$ (偏差 A または偏差 C)、外断熱槽の有無や型枠の違いに関して、各試験所が担当する各々の条件 (ケース) 毎に行い、温水の温度変化が 2 日間で 0.1°C 以内に安定する偏差を求めた。なお、キャリブレーション時の設定温度の変動幅は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ とした。

④測定間隔および期間

測定は、練混ぜ水の注水から 15 分以内に開始した。また、測定間隔は、測定時間 0 ~ 72 時間は 2 時間毎に、それ以降は 6 時間毎とし、測定期間は 14 日間とした。

⑤偏差の設定

測定時の偏差の設定は、キャリブレーションにおいて求めた偏差に固定する方法とした。なお、偏差は、予想最高温度での偏差を基準とし、水準としては予想最高温度の 60℃およびその±10℃での偏差を用いた。

5. 2. 4 試験要因、水準および担当試験所

試験要因および水準を表-5.2.5 および表-5.2.6 に示す。

表-5.2.5 試験要因および水準

要因		水準	
		基準	比較
操作に関するもの	偏差	予想最高温度 60℃での偏差に設定 表-5.2.6 の偏差 B	予想最高温度±10℃での偏差に設定 表-5.2.6 の偏差 A (50℃) および偏差 C (70℃)
装置に関するもの	外槽	外槽有り	外槽無し
	型枠	共通品: φ40×40cm 円柱	各試験所の常用品

表-5.2.6 試験要因、水準および担当試験所

製 造 メーカ	ケース No.	要因	試験要因および水準			A	B	C	D	F	H	K	L
			偏差	外槽	型枠								
C 社	1	型枠	B	有り	常用		○ 3.8mm	○ 3mm		○ 8.8mm	○ 6mm		
	2				共通	○	○	○		○	○	○	
	2	外槽	B	有り	共通	●	●	●		●	●	●	
	3						○	○	○	○	○		○
	4	偏差	A	有り	共通	○						○	
	2		B			●	●	●		●	●	●	
	5		C			○						○	
	6		A	無し	共通				○				○
	3		B				●	●	●	●	●		●
	7		C						○				○

○：実施する条件、●：実施しなくても含まれる条件

常用型枠○** **：型枠の厚さ

5.3 試験結果

5.3.1 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度

各試験所で実施したフレッシュコンクリートの試験結果を表-5.3.1に、圧縮強度試験結果を表-5.3.2に示す。

表-5.3.1 フレッシュコンクリート試験結果

製 造 メーカ	ケース No.	要因	試験要因および水準			試験所	スランブ (cm)	空気量 (%)	練上がり温度 (℃)		
			偏差	外槽	型枠						
C社	1	型枠	B	有り	常用	B	12.5	1.4	20.0		
						C	12.5	1.6	19.7		
	F					14.5	1.3	20.0			
	H					19.5	0.8	19.5			
	共通				A	14.5	1.1	20.3			
					B	13.5	1.2	19.7			
					C	12.0	1.8	20.2			
					F	16.5	1.0	20.0			
	2	外槽	B	有り	共通	H	17.0	0.8	19.0		
						K	18.0	1.2	20.0		
	A					14.5	1.1	20.3			
	B					13.5	1.2	19.7			
	共通				C	12.0	1.8	20.2			
					F	16.5	1.0	20.0			
					H	17.0	0.8	19.0			
					K	18.0	1.2	20.0			
	3	外槽	B	無し	共通	B	13.5	1.2	20.2		
						C	13.0	1.6	19.5		
	D					12.0	0.6	20.0			
	F					14.5	1.7	20.0			
	共通				H	18.5	1.1	19.0			
					L	19.5	0.9	20.5			
					A	14.0	1.3	20.8			
					K	18.5	1.4	19.9			
	4	偏差	A	有り	共通	A	14.5	1.1	20.3		
						B	13.5	1.2	19.7		
	C					12.0	1.8	20.2			
	F					16.5	1.0	20.0			
	共通				H	17.0	0.8	19.0			
					K	18.0	1.2	20.0			
					A	13.5	0.8	20.5			
					K	9.5	1.3	20.8			
	5	偏差	A	有り	共通	D	13.5	0.6	20.0		
						L	14.0	0.8	20.2		
	B					13.5	1.2	20.2			
	C					13.0	1.6	19.5			
	共通				D	12.0	0.6	20.0			
					F	14.5	1.7	20.0			
					H	18.5	1.1	19.0			
					L	19.5	0.9	20.5			
	6	偏差	B	無し	共通	D	13.5	0.8	20.5		
						L	9.5	1.3	20.8		
A	14.6					1.4	20.9				
B	11.5					1.3	20.0				
7	偏差				C	無し	共通	C	13.5	1.5	19.5
								D	12.0	0.7	20.0
F								—	—	—	
H								19.5	0.8	19.5	
共通		K	18.0	1.5			20.0				
		L	19.5	0.9			20.5				
		試験練り（圧縮強度試験用供試体採取バッチ）の測定結果					A	14.6	1.4	20.9	
		B	11.5	1.3			20.0				
C	13.5	1.5	19.5								
D	12.0	0.7	20.0								
F	—	—	—								
H	19.5	0.8	19.5								
K	18.0	1.5	20.0								
L	19.5	0.9	20.5								

表-5.3.2 圧縮強度試験結果

試験所	圧縮強度 (N/mm ²)		
	7 日	28 日	91 日
A	7.96	21.1	36.2
B	7.96	19.8	33.2
C	8.70	20.3	36.8
D	8.89	22.4	35.9
F	—	—	—
H	7.80	20.2	35.1
K	9.34	21.8	37.5
L	7.53	20.5	33.8
平均	8.31	20.9	35.5

5.3.2 断熱温度上昇

柳田 α 式による終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α を表-5.3.3に示す。

表-5.3.3 終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α

製 造 メーカ-	ケース No.	要因	試験要因および水準			試験所	終局断熱温度上昇量K		温度上昇速度の定数 α							
			偏差	外槽	型枠		各試験所(℃)	平均(℃)	各試験所(℃)	平均						
C社	1	型枠	B	有り	常用	B	43.3	41.5	0.324	0.336						
						C	41.2		0.359							
						F	40.9		0.345							
						H	40.7		0.314							
					2	共通	A	45.5	43.8	0.366	0.386					
							B	45.1		0.324						
							C	43.3		0.506						
							F	45.5		0.372						
	2	外槽	B	有り	共通	H	43.0	43.8	0.335	0.386						
						K	40.4		0.413							
						A	45.5		0.366							
						B	45.1		0.324							
						C	43.3		0.506							
						F	45.5		0.372							
						H	43.0		0.335							
						K	40.4		0.413							
	3	無し	共通	B	45.1	43.2	0.475	0.484								
				C	43.0		0.512									
				D	43.9		0.482									
				F	45.2		0.473									
				H	43.3		0.450									
				L	38.7		0.514									
				4	偏差		A		有り	共通	A	45.9	44.8	0.585	0.475	
											K	43.6		0.365		
	A	45.5	43.8			0.366		0.386								
	B	45.1				0.324										
	C	43.3				0.506										
	F	45.5				0.372										
	5	C	無し			共通		H			43.0	44.6		0.335		0.429
								K			40.4			0.413		
				A	45.4		0.487	0.429								
				K	43.7		0.371									
	6	A	有り	共通	D	41.4	43.0	0.548	0.491							
					L	44.5		0.434								
					B	45.1		43.2		0.475	0.484					
					C	43.0				0.512						
					D	43.9				0.482						
					F	45.2				0.473						
					3	B		無し		共通	H	43.3	43.2	0.450	0.468	
											L	38.7		0.514		
	D	49.1	43.2	0.394			0.468									
	L	37.2		0.541												

5. 4 考察

5. 4. 1 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度

各試験所で実施したスランプ試験結果を図-5.4.1 に、空気量試験結果を図-5.4.2 に、練上り温度の測定結果を図-5.4.3 に、全試験結果の基礎統計量を表-5.4.1 に示す。

コンクリートの練上り温度に関しては、 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ になるように練混ぜ水により調整することとしたため、ばらつきが小さくなっている。一方、スランプおよび空気量は、使用材料および配合を統一したにもかかわらず大きなばらつきを示した。また、試験所間のばらつき同様に、試験所内におけるばらつきが大きい試験所も見受けられた。この原因としては、使用ミキサの違いおよび試験所間、試験時期による骨材の含水状態の違いなどが考えられる。

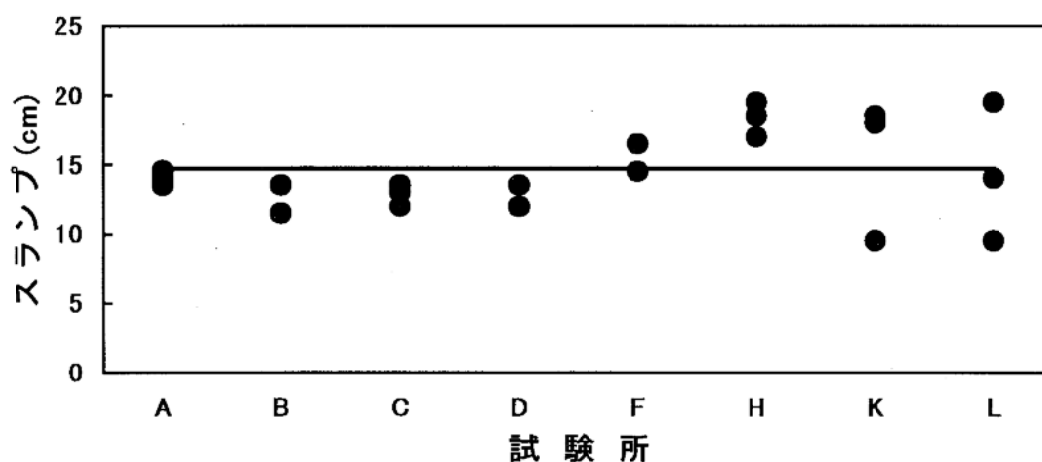


図-5.4.1 スランプ試験結果

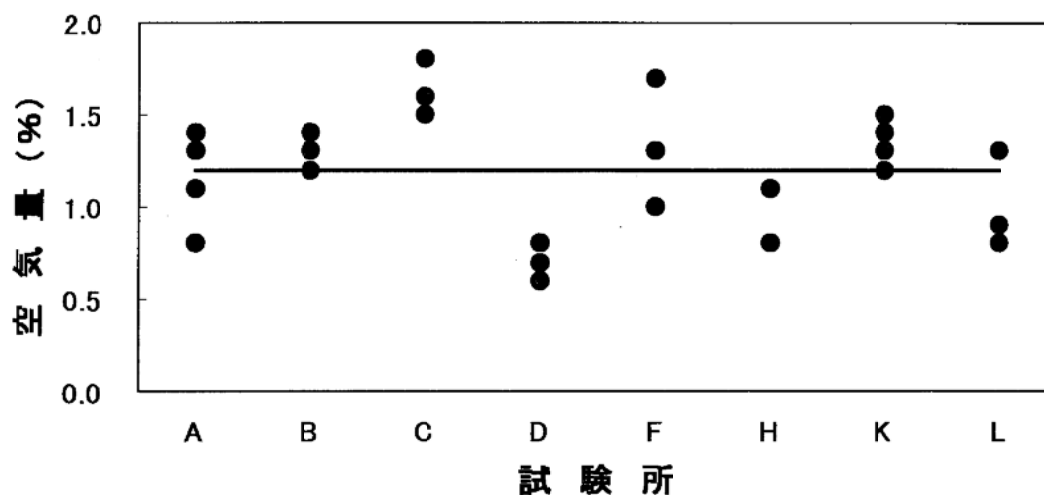


図-5.4.2 空気量試験結果

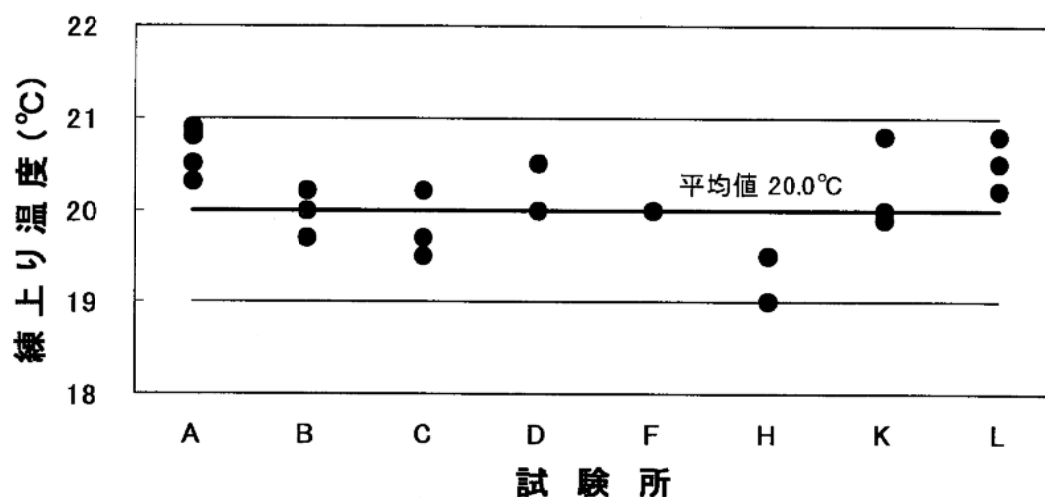


図-5.4.3 コンクリートの練上り温度測定結果

表-5.4.1 フレッシュコンクリート試験結果の基礎統計量

	スランプ	空気量	練上り温度
サンプル数 n	31	31	31
平均値	14.7 cm	1.2 %	20.0 °C
最大値	19.5 cm	1.8 %	20.9 °C
最小値	9.5 cm	0.6 %	19.0 °C
範囲	10.0 cm	1.2 %	1.9 °C
標準偏差	2.94 cm	0.34 %	0.49 °C
変動係数 (%)	20.0	28.3	2.5

各試験所で実施した圧縮強度試験結果の基礎統計量を表-5.4.2に示す

試験所間の圧縮強度のばらつきは、スランプおよび空気量に比べ小さいものとなっている。これは、配合および使用材料を統一したことによるもので、ミキサの違いや粗骨材の含水率の圧縮強度に及ぼす影響は比較的小さかったものと考えられる。

表-5.4.2 圧縮強度試験結果の基礎統計量

	材 齢 (日)		
	7	28	91
平均 (N/mm ²)	8.31	20.9	35.5
最大 (N/mm ²)	9.34	22.4	37.5
最小 (N/mm ²)	7.53	19.8	33.2
範囲 (N/mm ²)	1.81	2.6	4.3
標準偏差 (N/mm ²)	0.67	0.94	1.56
変動係数 (%)	8.1	4.5	4.4

5.4.2 断熱温度上昇

(1) キャリブレーション温度の影響

キャリブレーション温度を変えた場合の断熱温度上昇試験結果を図-5.4.4 に示す。また、キャリブレーション温度が断熱温度上昇試験結果に及ぼす影響を試験所毎にみると、表-5.4.3 のようになる。

図-5.4.4 および表-5.4.3 よりキャリブレーション温度は終局断熱温度上昇量 K または温度上昇速度の定数 α に影響を及ぼすことは明らかであるが、規則性は認められなかった。

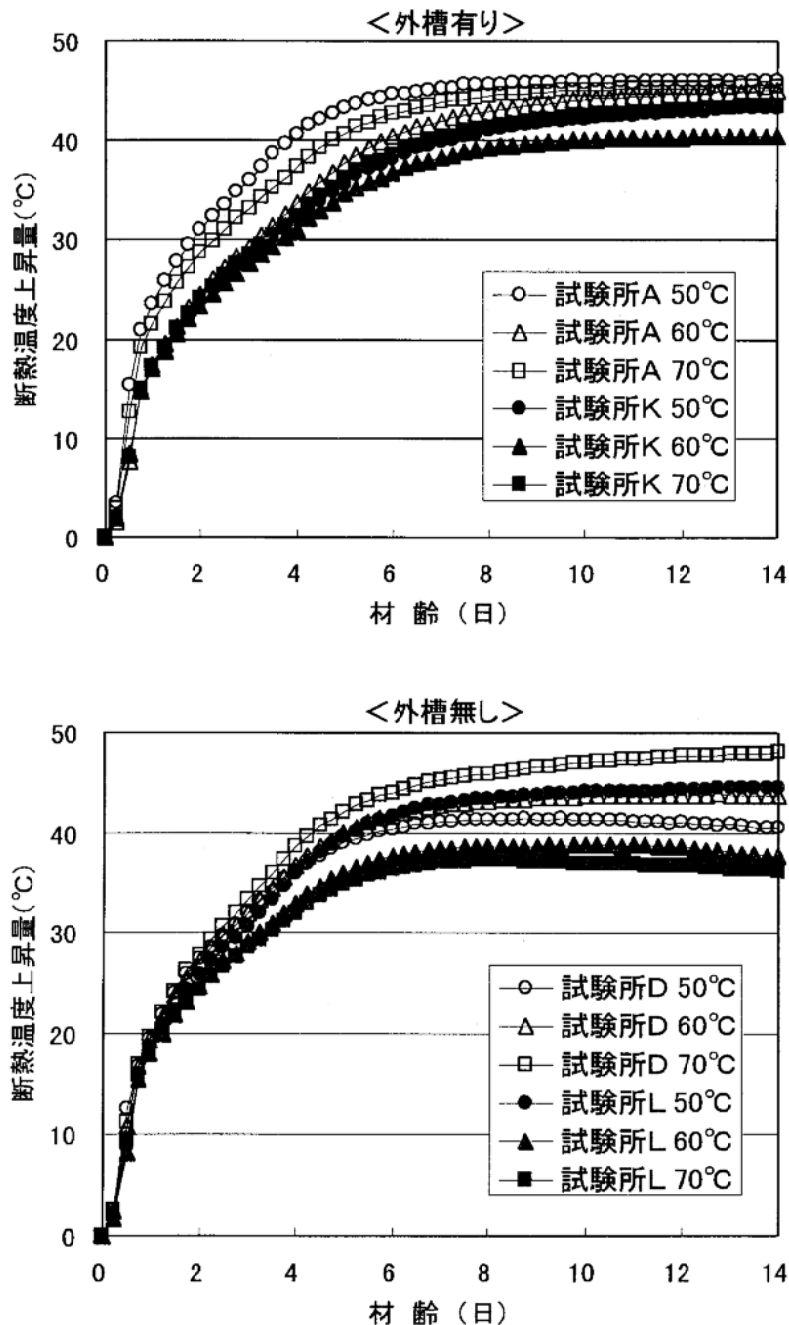


図-5.4.4 キャリブレーション温度を変えた場合の断熱温度上昇試験結果

表-5.4.3 断熱温度上昇試験結果に及ぼすキャリブレーション温度の影響

試験所	試験要因		断熱温度上昇試験結果の傾向
	外槽	型枠	
A	有り	共通	キャリブレーション温度に関係なく終局断熱温度上昇量Kはほぼ同じ。温度上昇速度の定数 α はキャリブレーション温度により異なるが、規則性はない。
K			キャリブレーション温度が60℃の場合のみ終局断熱温度上昇量Kが小さい。これに伴い、温度上昇速度の定数 α はキャリブレーション温度60℃で大きい。
D	無し		終局断熱温度上昇量Kはキャリブレーション温度の上昇に伴って大きくなっている。逆に、温度上昇速度の定数 α は小さくなっている。
L			終局断熱温度上昇量Kはキャリブレーション温度の上昇に伴って小さくなっている。逆に、温度上昇速度の定数 α は大きくなっている。

次に、キャリブレーション温度を変えた場合の終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α の基礎統計量を表-5.4.4に示す。なお、キャリブレーション温度60℃については、他の要因に着目した試験結果を合わせた場合についても示した。

表-5.4.4の平均値に着目すると、終局断熱温度上昇量K、温度上昇速度の定数 α ともキャリブレーション温度による顕著な差は認められない。一方、範囲、標準偏差、変動係数等のばらつきに着目すると、終局断熱温度上昇量Kについてはキャリブレーション温度70℃で他の温度に比べてばらつきが大きくなっており、逆に温度上昇速度の定数 α についてはばらつきが小さくなっている。また、本試験範囲においてはキャリブレーション温度60℃が終局温度に最も近く、終局断熱温度上昇量K、温度上昇速度の定数 α ともばらつきが全体の中間的な値になっている。

以上のことより、キャリブレーションは予想最高温度近傍の値を用いて行えばよいものと考えられる。

表-5.4.4 キャリブレーション温度を変えた場合の終局断熱温度上昇量K
および温度上昇速度の定数 α の基礎統計量

定数	キャリブレーション温度 (℃)	サンプル数	基礎統計量					
			平均	最大	最小	範囲	標準偏差	変動係数 (%)
終局断熱温度 上昇量 K	50	4	43.9℃	45.9℃	41.4℃	4.5℃	1.89℃	4.3
	60	4	42.5℃	45.5℃	38.7℃	6.8℃	3.12℃	7.3
		12	43.5℃	45.5℃	38.7℃	6.8℃	2.12℃	4.9
	70	4	43.9℃	49.1℃	37.2℃	11.9℃	4.97℃	11.3
温度上 昇速度 の定数 α	50	4	0.483	0.585	0.365	0.220	0.102	21.1
	60	4	0.444	0.514	0.366	0.148	0.081	18.2
		12	0.440	0.514	0.335	0.179	0.097	22.0
	70	4	0.448	0.541	0.371	0.170	0.061	13.6

(2) 外槽の影響

サンプル数の多いキャリブレーション温度が 60℃で共通型枠を用いた場合の断熱温度上昇曲線を図-5.4.5 に、外槽の有無に着目して断熱温度上昇試験結果をまとめたものを表-5.4.5 に示す。また、外槽の有無毎に 5 試験所の平均値を用いた断熱温度上昇曲線を図-5.4.6 に示す。なお、試験所 K は外槽の質量が 37.5kg と他の試験所の約 22kg と大きく異なり、試験所 L は外槽無しで温度上昇過程において測定値が低下する傾向を示したために考察からは除外することとした。

表-5.4.5 によると、終局断熱温度上昇量 K は外槽の有無による差がほとんどなく、またばらつきも同程度となっており、外槽の影響は認められない。一方、温度上昇速度の定数 α は表-5.4.5 および図-5.4.5 から明らかなように、外槽が有る場合は無い場合に比べてばらつきが大きくなっている。また、 α の絶対値は顕著に小さくなっている。

外槽がある場合に温度上昇速度の定数 α が小さくなったのは、外槽を昇温するためにコンクリートの発熱による熱量が奪われたためと考えられる。このため、図-5.4.6 に示すように温度上昇過程においては断熱温度上昇量に差が生じている。実際には外槽を昇温させる熱源は、コンクリートの発熱により昇温された外槽と型枠間の空気（参考図 1 中の A）および装置のヒータにより昇温された外槽外側の空気（参考図 1 中の B）である。外槽がある場合には、外槽を昇温させる熱源としてこのどちらが卓越するかによりコンクリートの発熱による熱量の奪われる程度が異なり、温度上昇速度の定数 α のばらつきが大きくなったものと考えられる。

温度応力解析結果の一例を資料編の 1 に示すが、解析条件によっては温度ひび割れ指数に及ぼす影響は終局断熱温度上昇量 K よりもむしろ温度上昇速度の定数 α の方が大きくなる場合もある。したがって、より真値に近く、ばらつきの小さい温度上昇速度の定数 α を求める必要があり、このためには外槽は無い方がよいと考えられる。

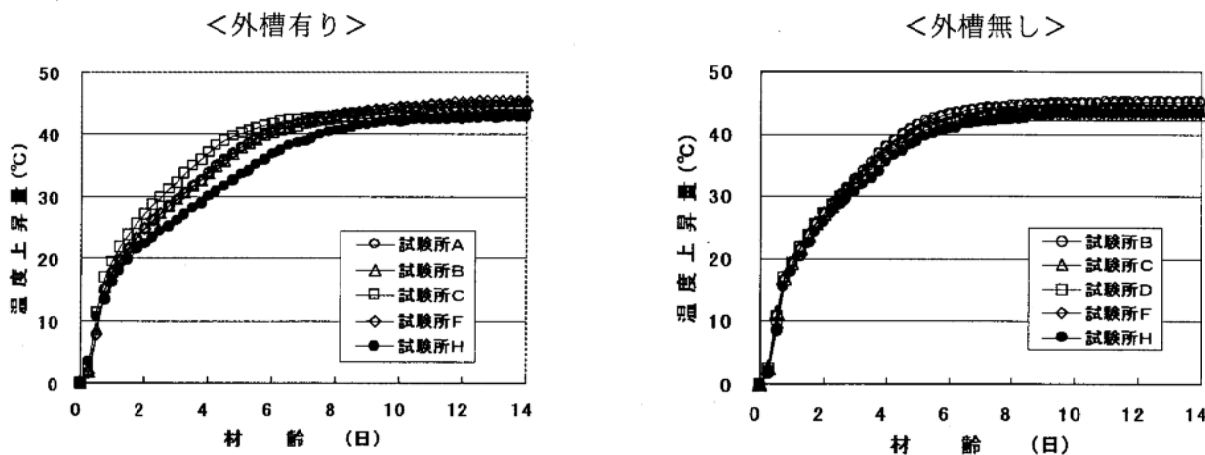


図-5.4.5 断熱温度上昇曲線（キャリブレーション温度 60℃、共通型枠）

表-5.4.5 外槽の有無による試験結果の差（キャリブレーション温度 60℃、共通型枠）

試験所	終局断熱温度上昇量 K (°C)		温度上昇速度の定数 α	
	外槽有り	外槽無し	外槽有り	外槽無し
A	45.5	—	0.366	—
B	45.1	45.1	0.377	0.475
C	43.3	43.0	0.506	0.512
D	—	43.9	—	0.482
F	45.5	45.2	0.372	0.473
H	43.0	43.3	0.335	0.450
サンプル数 n	5	5	5	5
平均	44.5	44.1	0.391	0.478
標準偏差	1.2	1.0	0.066	0.022
変動係数(%)	2.7	2.3	16.9	4.6

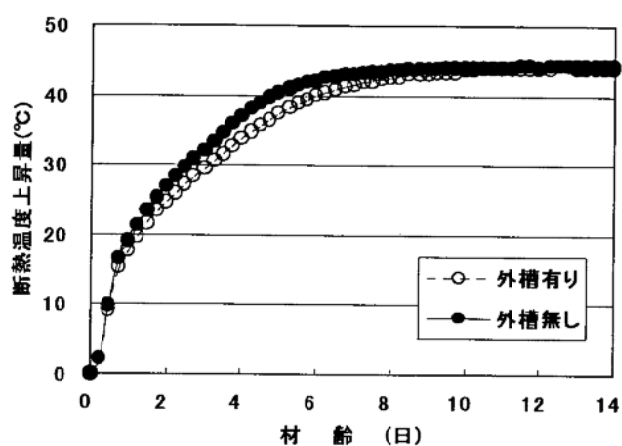
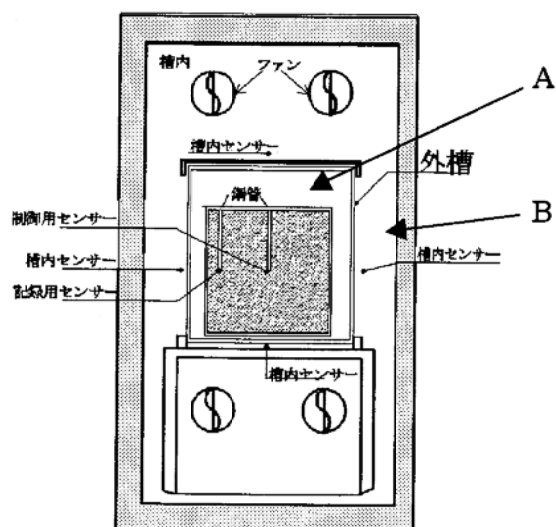


図-5.4.6 5試験所の平均値による断熱温度上昇曲線（キャリブレーション温度 60℃、共通型枠）



参考図 1

(3) 型枠の影響

型枠の違いに着目して断熱温度上昇試験結果をまとめると、表-5.4.6 に示す通りである。なお、外槽の影響の場合と同様に、試験所Kは除外している。

表-5.4.6 より、常用型枠を用いた場合、共通型枠に比べて終局断熱温度上昇量K、温度上昇速度の定数 α とも小さくなることが明らかである。また、この傾向は型枠質量が大きくなるか、コンクリート量が少なくなるほど顕著である。試験所間のばらつきは、終局断熱温度上昇量Kについては同等で、温度上昇速度の定数 α については共通型枠の方が大きくなっている。温度上昇速度の定数 α において共通型枠の方がばらつきが大きくなったのは、1 試験所（試験所C）の値が他の試験所に比べてかなり大きくなっていたため、この値を除くと同程度になっている。

表-5.4.6 型枠の違いによる断熱温度上昇試験結果の差（外槽有り、キャリブレーション温度 60℃）

試験所	共 通 型 枠				常 用 型 枠			
	型枠質量 (kg)	型枠容積 (L)	K (℃)	α	型枠質量 (kg)	型枠容積 (L)	K (℃)	α
A	4.8	50	45.5	0.366	—	—	—	—
B			45.1	0.377	29.8	50	43.3	0.324
C			43.3	0.506	26.3	39	41.2	0.359
F			45.5	0.372	38.4	50	40.9	0.345
H			43.0	0.335	31.5	39	40.7	0.314
平 均	—		44.5	0.391	—		41.5	0.336
標準偏差			1.2	0.066			1.2	0.020
範 围			2.5	0.171			2.6	0.045

本試験結果は外槽有りの場合であるため、型枠が装置のヒータにより昇温された空気により直接昇温されることはない。したがって、型枠を昇温させる主な熱源はコンクリートの発熱による熱量であると考えられる。そこで、型枠の昇温に寄与する熱源はコンクリートの発熱による熱量のみであり、外槽には熱量が奪われないものとする。熱量の収支に関して次の関係が成り立つ。（参考図2 参照）

$$W_1 \cdot C_{P1} \cdot T_A = (W_1 \cdot C_{P1} + W_2 \cdot C_{P2}) \cdot T_B$$

$$W_3 \cdot C_{P1} \cdot T_A = (W_3 \cdot C_{P1} + W_4 \cdot C_{P2}) \cdot T_C$$

ここに、

W_1 : 共通型枠を使用した場合のコンクリートの質量 (kg)

W_2 : 共通型枠の質量 (kg)

W_3 : 常用型枠を使用した場合のコンクリートの質量 (kg)

W_4 : 常用型枠の質量 (kg)

C_{P1} : コンクリートの比熱 (kJ/kg℃)

C_{P2} : 型枠の比熱 (kJ/kg℃)

T_A : 型枠を使用しない場合の断熱温度上昇量 (℃)

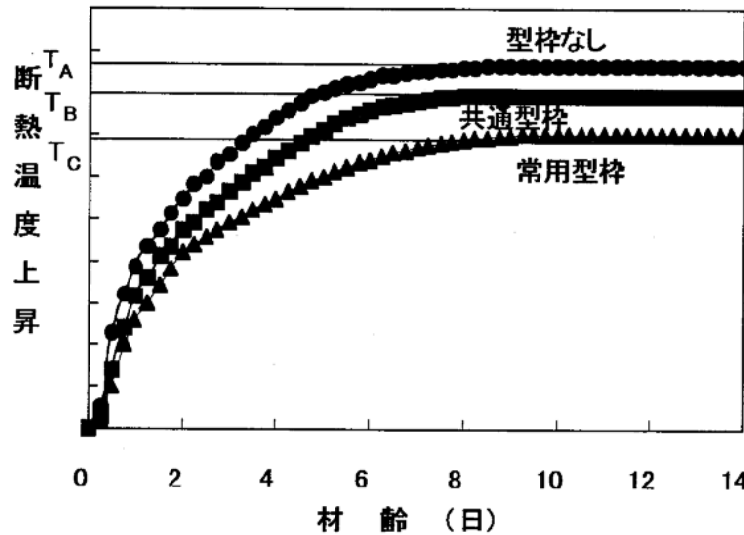
T_B : 共通型枠を使用した場合の断熱温度上昇量 (℃)

T_C : 常用型枠を使用した場合の断熱温度上昇量 (℃)

上式より、

$$T_B = \frac{W_1 \cdot C_{P1} \cdot (W_3 \cdot C_{P1} + W_4 \cdot C_{P2})}{(W_1 \cdot C_{P1} + W_2 \cdot C_{P2}) \cdot W_3 \cdot C_{P1}} \cdot T_C$$

となる。



参考図 2

この関係から、 $C_{P1}=1.17 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ (土木学会 コンクリート標準示方書における平均値)、 $C_{P2}=0.46 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ (鉄の比熱) として、常用型枠を使用した場合の終局断熱温度上昇量 K を共通型枠を使用した場合の終局断熱温度上昇量 K に補正した。その結果を表-5.4.7 に示す。

共通型枠を使用した場合と常用型枠を使用した場合の終局断熱温度上昇量 K の平均値の差の検定を行うと、有意水準 5% で差が認められた。一方、常用型枠において補正値を用いて共通型枠との平均値の差の検定を行うと、差が認められなくなった。したがって、終局断熱温度上昇量 K に関しては型枠質量による補正が可能と考えられる。なお、常用型枠における補正値は共通型枠を用いた場合に比べて若干高い値となっているが、この原因としては外槽の昇温に奪われたコンクリートの発熱による熱量を見逃したこと、コンクリートの比熱に実測値を用いなかったことなどが考えられる。

つぎに、同様の方法により常用型枠を使用した場合の断熱温度上昇量を各入力ステップ (6 時間) ごとに補正し、共通型枠の場合と同様の方法で温度上昇速度の定数 α を求めた。その結果を表-5.4.8 に示す。

本補正方法においては、温度上昇速度の定数 α は終局断熱温度上昇量 K と異なり、補正を行ってもほとんど値は変化しなかった。したがって、温度上昇速度の定数 α の補正についてはさらなる検討が必要と考えられる。

いずれにしても型枠の種類、具体的には型枠の熱容量 (一般的には質量) が断熱温度上昇試験結果に大きく影響することは明らかで、できる限り熱容量の小さい型枠を使用するのが望ましいと考えられる。

表-5.4.7 常用型枠を用いた場合の終局断熱温度上昇量K

試験所	共通型枠を用いた 場合の終局断熱温 度上昇量K (°C)	常用型枠を用いた場合の 終局断熱温度上昇量K (°C)	
		実測値	補正值
A	45.5	—	—
B	45.1	43.3	46.9
C	43.3	41.2	44.2
F	45.5	40.9	45.5
H	43.0	40.7	45.5
平均	44.5	41.5	45.5
標準偏差	1.2	1.2	1.1
範囲	2.5	2.6	2.7

表-5.4.8 常用型枠を用いた場合の温度上昇速度の定数 α

試験所	共通型枠を用いた 場合の温度上昇 速度の定数 α	常用型枠を用いた場合の 温度上昇速度の定数 α	
		実測値	補正值
A	0.366	—	—
B	0.377	0.324	0.325
C	0.506	0.359	0.378
F	0.372	0.345	0.346
H	0.335	0.314	0.311
平均	0.391	0.336	0.340
標準偏差	0.066	0.020	0.029
範囲	0.171	0.045	0.067

5. 5 まとめ

二次試験までで得られた断熱温度上昇試験のばらつきを小さくする試験条件および方法を用い、断熱温度上昇速度の遅いセメントを用いた場合についての検証試験を三次試験として行った。

三次試験における全試験結果の基礎統計量を、同じ種類のセメント（中庸熱フライアッシュセメント）を用いた一次試験結果と比較して表-5.5.1 に示す。全試験結果においては、三次試験結果のばらつきは終局断熱温度上昇量 K 、温度上昇速度の定数 α とも一次試験と同等かそれ以上であった。

そこで、二次試験と同様に測定値にばらつきを与える要因について考察したところ、一部、具体的には外槽のばらつきに及ぼす影響を除くと、断熱温度上昇速度の遅いセメントを用いた場合でも二次試験の普通ポルトランドセメントを用いた場合と同様の傾向が認められ、断熱温度上昇試験のばらつきを小さくする試験条件および方法がかなり明確になった（表-4.5.1 参照）。また、より真値に近い試験値を得るための条件も明らかになったと考えられる。

三次試験により明らかになった断熱温度上昇試験のばらつきを小さくする試験条件および方法、さらにはより真値に近い試験値を得るための条件は次の通りである。

- ① キャリブレーションは予想最高温度近傍の温度で実施する。
- ② 外槽は使用しない。
- ③ 測定は断熱温度上昇量が収束するまで行う。（本試験では 14 日間）
- ④ 型枠はできる限り熱容量の小さいものを使用する。
- ⑤ 試験に使用するコンクリート量はできる限り多くする。

なお、これらの条件は C 社製空気循環方式の試験装置を用いた場合に限定されるが、上記②～⑤に関しては他の試験装置を用いた場合においても共通すると考えられる。

表-5.5.1 三次試験における全試験結果の基礎統計量

定数	シリーズ	単位セメント量 (kg/m ³)	サンプル数	平均	最大	最小	範囲	標準偏差	変動係数 (%)
終局断熱温度上昇量 K	一次	250	12	36.1	41.4	32.5	8.9	2.7	7.5
		350	12	45.9	52.7	42.3	10.4	3.0	6.5
	三次(全結果)	300	24	43.3	49.1	37.2	11.9	2.6	6.0
	三次(条件統一)	300	5	44.1	45.2	43.0	2.2	1.0	2.3
温度上昇速度の定数 α	一次	250	12	0.344	0.467	0.247	0.220	0.064	18.6
		350	12	0.477	0.573	0.396	0.177	0.064	13.4
	三次(全結果)	300	24	0.431	0.585	0.314	0.271	0.080	18.6
	三次(条件統一)	300	5	0.478	0.512	0.450	0.062	0.022	4.6

※：三次(条件統一)の条件は、キャリブレーション温度 60°C、共通型枠使用、外槽無しである

6. 結言

コンクリートの断熱温度上昇試験は、その装置、試験方法が規定されておらず、試験装置や試験所の違いによって測定値に差が生じることが予想される。

本研究は、現状の断熱温度上昇試験装置およびその試験方法の調査結果に基づき、断熱温度上昇試験結果に影響を及ぼすと考えられる要因について共通試験により検討を行ったものであり、以下の主な結果を得た。

(1) 断熱温度上昇試験装置の現状とそれによる測定値

- ① 断熱温度上昇試験装置は、熱媒として空気を用いる空気循環式と液体を用いる液体循環式に大きく分けられる。今回の 12 試験所中 10 試験所は空気循環式の装置で、内 9 試験所は同一メーカー製のものである。なお、液体循環式の 2 試験所においても空気循環式の装置を所有している。
- ② 同一メーカーの空気循環式の装置であっても、試験所によって、供試コンクリートの量、型枠の材質・寸法・厚さ、外槽（供試体型枠の外側に熱媒の温度の乱れによる供試体への直接の影響を防ぐための容器）の有無、装置のキャリブレーション方法の違いが認められる。また、装置の設置環境も 12 試験所中 9 試験所は 20℃を中心とした恒温あるいは温度調整可能な室内であるが、他は温度管理がなされていない。
- ③ 同一材料を用いて現状の測定方法で行った結果は次頁の表の通りであり、発熱速度の遅い中庸熱フライアッシュセメントを用いた場合のほうが普通あるいは早強ポルトランドセメントを用いた場合に比べて試験所間のばらつきが大きくなる傾向にある。

(2) 断熱温度上昇試験結果に及ぼす各種要因の影響

- ① 装置のキャリブレーションとして、型枠に入れた水の温度を一定に保つための校正值（偏差）を求める必要があるが、この偏差はキャリブレーション温度と直線で近似できる。
- ② 普通ポルトランドセメントおよび中庸熱フライアッシュセメントのいずれの場合も外槽を設置すると初期の温度上昇量が小さくなる傾向にあり、また、発熱速度の遅い中庸熱フライアッシュセメントの場合には試験所間のばらつきも大きくなる。
- ③ 偏差を試験中の温度上昇に追従させて調整しながら測定した断熱温度上昇量は、予想終局温度近傍に偏差を固定して測定する場合とほとんど差が認められない。
- ④ 厚く熱容量の大きい型枠を使用するほど断熱温度上昇量は小さくなる。
- ⑤ 液体循環式の断熱温度上昇試験装置による測定結果は空気循環式装置による測定値の変動の範囲内にあり、装置の違いによる影響は認められない。

以上のことより、断熱温度上昇試験結果のばらつきを小さくし、より真値に近い測定値を得るための試験条件および方法として次の結論を得た。この推奨方法による試験結果は次頁の表の通りである。

- ・ 試験装置は熱媒として空気を用いる空気循環式と液体を用いる液体循環式のいずれも使用できる。
- ・ 装置のキャリブレーションを一点で行う場合には予想最高温度近傍の温度で行う。
- ・ 型枠はできる限り薄く熱容量の小さいものを使用する。
- ・ 空気循環式の場合外槽は使用しないほうが好ましい。

また、その他として次の留意点があげられる。

- ・ 供試コンクリート量はできる限り多いほうが好ましい。
- ・ 装置の設置環境はできるだけ温度変化の小さい恒温室が好ましい。

現状および推奨方法による断熱温度上昇測定値の比較

セメント種類	定数	試験方法	単位セメント量 (kg/m³)	サンプル数	平均	最大	最小	範囲	標準偏差	変動係数 (%)
普通ポルトランドセメント	終局断熱温度上昇量 K	現状	250	12	44.6	47.3	41.3	6.0	2.2	4.9
			350	12	56.2	60.3	51.3	9.0	2.4	4.3
	温度上昇速度の定数 α	推奨	300	7 (6)	54.2 (54.7)	55.9 (55.9)	51.4 (54.0)	4.5 (1.9)	1.4 (0.8)	2.6 (1.5)
			現状	250	12	1.069	1.211	0.946	0.265	0.087
		350		12	1.248	1.367	0.974	0.393	0.116	9.3
			推奨	300	7 (6)	1.091 (1.048)	1.346 (1.092)	0.972 (0.972)	0.374 (0.120)	0.122 (0.053)
中庸熟フライアッシュセメント	K			現状	250	12	36.1	41.4	32.5	8.9
早強ポルトランドセメント		α	現状		350	12	45.9	52.7	42.3	10.4
	推奨			300	5	44.1	45.2	43.0	2.2	1.0
		現状	250	12	0.344	0.467	0.247	0.220	0.064	18.6
	推奨		350	12	0.477	0.573	0.396	0.177	0.064	13.4
			推奨	300	5	0.478	0.512	0.450	0.062	0.022
	早強ポルトランドセメント			K	現状	250	11	45.6	49.6	42.4
350		11	58.6			63.0	53.8	9.2	2.8	4.8
α		250	11	1.384		1.619	1.220	0.399	0.117	8.5
		350	11	1.446		1.600	1.161	0.439	0.146	10.1

注) 括弧内は、傾向の異なるデータを除いた場合の値。

参考文献

- 1)小野 定、田辺 忠顕、梅原 秀哲／マスコンクリートの温度ひび割れ制御技術の現状、コンクリート工学、Vol 36、No.8、pp.10～18、1998
- 2)宮路 栄二、梶川 春樹／コンクリートの水和熱による断熱温度上昇特性、日本建築学会大会学術梗概集(中国)、昭和 43 年 10 月
- 3)柳田 力、上野 裕康／コンクリートの断熱温度上昇測定装置について、セメント技術年報、Vol.19、pp.317～318、1965
- 4)塚山 隆一／マッシブな鉄筋コンクリートの断熱温度上昇ならびに温度ひびわれに関する基礎研究、学位論文
- 5)柳田 力／マスコンクリートにおける上昇温度の実用的推定方法、土木技術資料、11-4、pp.3～9、1969
- 6)塚山 隆一他／各種セメントを用いたコンクリートの温度上昇、セメント技術年報、Vol 25、pp.220～224、1971
- 7)小野 定／断熱温度上昇試験方法の比較、マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集、pp.7～10、1982
- 8)平賀 友晃、倉林 清／コンクリートの断熱温度上昇特性に関する既往の研究成果について、マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集、pp.1～6、1982
- 9)鈴木 康範／コンクリート中のセメントの水和発熱過程と定量化に関する研究、学位論文
- 10)佐藤 利幸、鈴木 康範、原田 修輔、横田 紀男／新試験装置によるコンクリートの断熱温度上昇量、コンクリート工学年次論文報告集、9-2、pp.1～6、1987
- 11)鈴木 康範、原田 修輔、前川 宏一、辻 幸和／コンクリートの断熱温度上昇試験装置に関する性能試験方法について、土木学会論文集、第 402 号/V-10、pp.81～86、1989
- 12)日本コンクリート工学協会、品質評価試験方法研究委員会報告書、pp.51～73、1998
- 13)佐々木 健一／コンクリートの断熱温度上昇試験結果に及ぼす試験方法の影響、コンクリートの品質評価試験方法に関するシンポジウム論文集、pp.1～8、1998
- 14)鍵本 広之、佐藤 道生、前田 哲宏／断熱温度上昇試験機の制御精度検証方法とその結果について、コンクリートの品質評価試験方法に関するシンポジウム論文集、pp.9～13、1998
- 15)小野田 裕一、寺野 宜成、鈴木 康範／断熱温度上昇試験方法の検定方法について、コンクリートの品質評価試験方法に関するシンポジウム論文集、pp.15～20、1998
- 16)近松 竜一、中村 博之、十河 茂幸／簡易断熱温度上昇試験によるコンクリートの発熱特性の評価、コンクリートの品質評価試験方法に関するシンポジウム論文集、pp.21～30、1998
- 17)土木学会コンクリート委員会／コンクリート標準示方書〔施工編〕平成 8 年度版、1996
- 18)日本コンクリート工学協会／マスコンクリートのひび割れ指針、1991
- 19)土木学会コンクリート委員会／マスコンクリート技術の現状と動向、コンクリート技術シリーズ No.8、1994

資 料 編

1. 温度応力解析結果の一例 ----- 71
2. 断熱温度上昇共通一次試験結果データ集 ----- 77
3. 断熱温度上昇共通二次試験結果データ集 ----- 83
4. 断熱温度上昇共通三次試験結果データ集 ----- 92

資料-1 温度応力解析結果の一例

1. 概 要

断熱温度上昇試験のばらつきを小さくすることを目的に一次～三次試験までの共通試験を実施した結果、各試験所間や試験条件の違いにより終局断熱温度上昇量 K および温度上昇速度の定数 α にはそれぞれ6%および19%程度の変動のあることが判明した。

そこで断熱温度上昇試験条件の違いによる終局断熱温度上昇量 K 、温度上昇速度の定数 α の変動が実構造物を想定した温度解析や温度応力解析の結果に与える影響を(社)日本コンクリート工学協会の提唱する方法により算定した。

2. 算定条件

2.1 断熱温度上昇量

算定に用いた断熱温度上昇試験値は三次試験に関連しF試験所にて実施した3種類の異なる条件での試験結果を用いた。具体的な試験条件と算定に使用した断熱温度上昇試験データを資料-表-1.1、資料-表-1.2にそれぞれ示す。

資料-表-1.1 算定に用いた断熱温度上昇試験条件

断熱温度試験条件				備 考
Case. 1	F 試験所	キャリブレーション温度 60℃	外槽あり、常用型枠	本文 5.3.2 章の「表-5.3.3、表-5.3.4」に示すケース1、ケース2参照
Case. 2			外槽あり、共通型枠	
Case. 3			外槽なし、共通型枠	

資料表-1.2 算定に用いた断熱温度上昇量

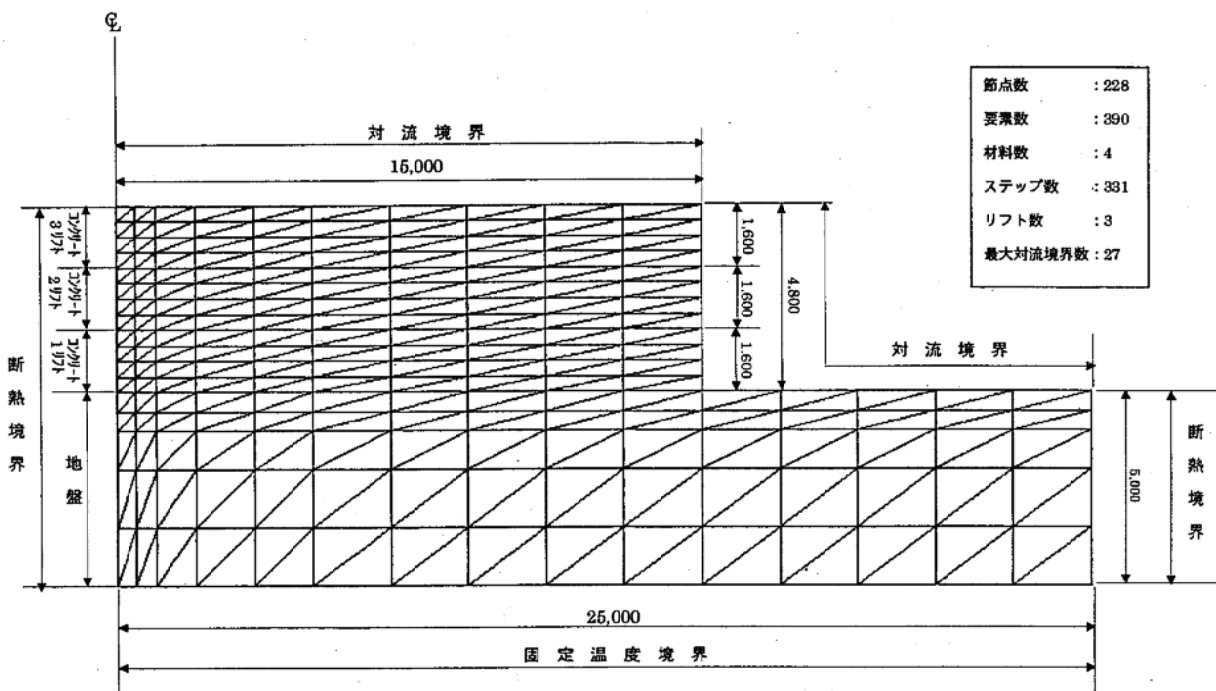
材 齢 (日)	断熱温度上昇量 (℃)			材 齢 (日)	断熱温度上昇量 (℃)		
	Case. 1	Case. 2	Case. 3		Case. 1	Case. 2	Case. 3
0.00	0.0	0.0	0.0	7.50	37.8	42.6	44.2
0.25	1.7	1.6	1.9	7.75	38.1	42.9	44.3
0.50	7.7	7.6	9.1	8.00	38.4	43.1	44.4
0.75	13.7	15.2	16.6	8.25	38.7	43.3	44.5
1.00	15.8	17.8	19.3	8.50	38.8	43.5	44.5
1.25	17.4	19.7	21.6	8.75	39.0	43.6	44.6
1.50	19.0	21.5	23.7	9.00	39.2	43.8	44.6
1.75	20.4	23.2	25.6	9.25	39.4	44.0	44.7
2.00	21.7	24.7	27.3	9.50	39.5	44.1	44.8
2.25	22.9	26.1	28.9	9.75	39.6	44.2	44.8
2.50	24.0	27.3	30.3	10.00	39.8	44.4	44.8
2.75	25.0	28.4	31.3	10.25	39.9	44.5	44.9
3.00	25.8	29.5	32.9	10.50	40.0	44.6	44.9
3.25	26.7	30.6	34.2	10.75	40.1	44.7	44.9
3.50	27.5	31.7	35.5	11.00	40.2	44.9	44.9
3.75	28.3	32.7	36.8	11.25	40.2	44.9	45.0
4.00	29.1	33.9	38.0	11.50	40.3	45.0	45.0
4.25	29.9	35.0	39.0	11.75	40.3	45.1	45.0
4.50	30.7	36.0	40.0	12.00	40.4	45.1	45.0
4.75	31.6	37.0	40.7	12.25	40.4	45.2	45.1
5.00	32.4	37.9	41.4	12.50	40.5	45.3	45.1
5.25	33.1	38.7	41.9	12.75	40.5	45.3	45.1
5.50	33.8	39.4	42.4	13.00	40.5	45.3	45.1
5.75	34.5	40.0	42.8	13.25	40.6	45.3	45.1
6.00	35.1	40.5	43.2	13.50	40.6	45.4	45.1
6.25	35.7	41.0	43.4	13.75	40.6	45.4	45.1
6.50	36.2	41.4	43.7	14.00	40.7	45.4	45.1
6.75	36.6	41.8	43.9	13.75	40.6	45.4	45.1
7.00	37.0	42.1	44.0	14.00	40.7	45.4	45.1
7.25	37.4	42.4	44.1	柳田の方法によるK値およびα			
7.50	37.8	42.6	44.2		K = 40.9 α = 0.345	K = 45.5 α = 0.372	K = 45.2 α = 0.473
7.75	38.1	42.9	44.3				

2.2 解析モデル

温度解析および応力解析に用いたモデル(対象とする構造物)は、地盤上に3層に分け打設されるコンクリートスラブを想定し、その形状寸法とFEM法の要素分割図を資料-図-1.1に示す。

〔構造物と施工概要〕

- ・長さ30m、厚さ4.8mで奥行き方向に十分な広がりをもったコンクリート版
- ・コンクリートの打設高さは1.6mとし、3層に分け全高さ4.8mを打設
- ・コンクリートの断熱温度上昇量、物理定数は各層とも同一とする
- ・温度解析は左右対称構造物であるため構造体の右半分のモデルにて実施する



資料-図-1.1 解析モデル図

2.3 解析方法および解析条件

1) 解析方法

温度解析および温度応力解析は、(社)日本コンクリート工学協会発行の「マスコンクリートの温度応力計算用パソコン・プログラム(WINDOWS 版)」を、コンクリート物性等に関しては同協会編「マスコンクリート温度応力の計算方法(1985年5月)」、「マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書 外部拘束係数の見直しとCP法の適用範囲拡大(1998年4月)」および(社)土木学会編「コンクリート標準示方書・施工編」、「最新のマスコンクリート技術」を参考に定めた。

2) 解析条件

温度解析および温度応力解析に用いたコンクリートの打設方法、物理定数を資料-表-1.3に示す。

資料-表-1.3 解析に用いた条件

項 目			単 位	地盤およびコンクリートの条件				備 考
				地 盤	コンクリート1 (1リフト)	コンクリート2 (2リフト)	コンクリート3 (3リフト)	
温度 解析	解析方法		—	コンクリート工学協会法の FEM(2 次元)法				
	解析モデル		—	資料-図-1.1 参照				
	打設材齢		日	0		3	7	
	材料条件	比熱	J/kg℃	1,047	1,298			
		熱伝導率	W/m℃	2.26	2.91			
		密度	Kg/m³	2,600	2,300			
		断熱温度 上昇量		試験実測値 3 種類 (Case.1, Case.2, Case.3)				
	温度条件	初期温度	℃	底部 15 表面 20	20	20	20	地盤底部は 温度固定境界
		外気温	℃	20				
境界条件	熱伝達率	W/m²℃	11.63					
温度 応力 解析	解析方法		—	コンクリート工学協会法の CP 法				
	解析モデル		—	資料-図-1.1 参照				
	線膨張係数		×10⁶/℃	10.0				
	強度条件	圧縮強度	N/mm²	—	f _c (t)=t/(5.079+0.841t)・35.5			σ _{7d} , σ _{28d} より算出
		引張強度	N/mm²	—	f _t (t)=0.35・f _c (t) ^{0.5}			
		弾性係数	N/mm²	—	E=4.7×10³・f _c (t) ^{0.5}			
		クリープ 係数	—	—	材齢 3 日まで Φ=0.73 材齢 5 日以降 Φ=1.00			材齢 3~5 日は 線形補間
	拘束条件	L	m	—	15.0	15.0	15.0	
		H	m	—	1.6	3.2	4.8	
		L/H	—	—	9.38	4.69	3.13	
		拘束体の 種類	—	—	地 盤			
		E _c	N/mm²	—	21,500	21,500	21,500	
		E _r	N/mm²	—	—	—	—	
		E _c /E _r	—	—	50	50	50	
		R ₁	—	—	0.1	0.0037	0.0025	マシコンクリート温度 応力研究委 員会報告 (1998.4)
		R _{N1}	—	—	0.87	0.248	0.04	
		R _{N2}	—	—	1.25	0.6	0.32	

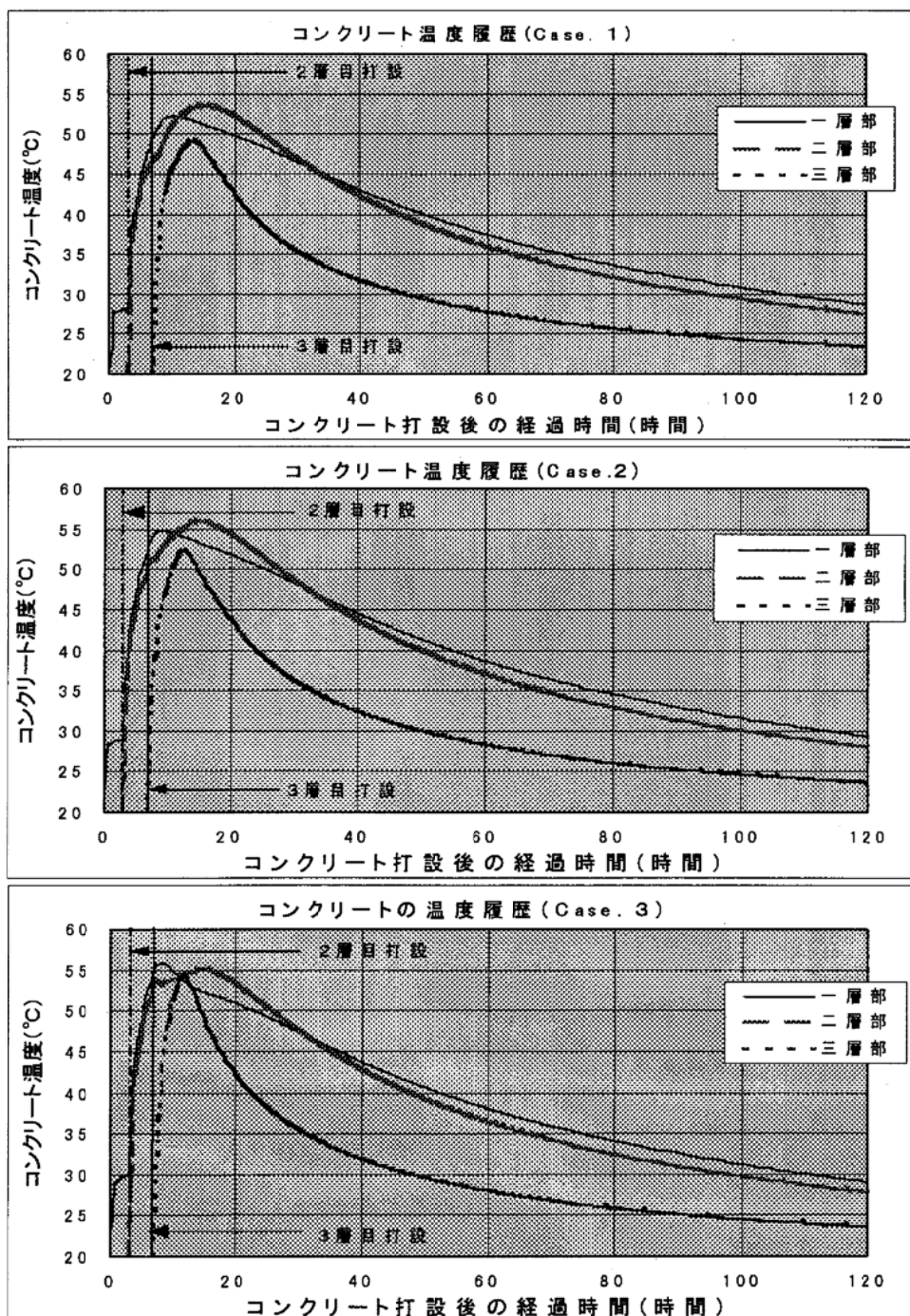
3. 解析結果

1) 温度解析結果

3種類の断熱温度上昇試験結果を用いコンクリートスラブの温度解析を実施し、最も温度上昇の大きい箇所の温度を資料-表-1.4に各層中央部の温度履歴を資料-図-1.2にて示す。

資料-表-1.4 スラブ中央部の最高温度

施工時期 断熱温度上昇 ΔT と最高温度	最高温度 (°C)		
	Case. 1	Case. 2	Case. 3
第1リフト打設後	42.5	45.0	47.8
第2リフト打設後	52.1	54.8	55.8
第3リフト打設後	54.6	57.0	56.8



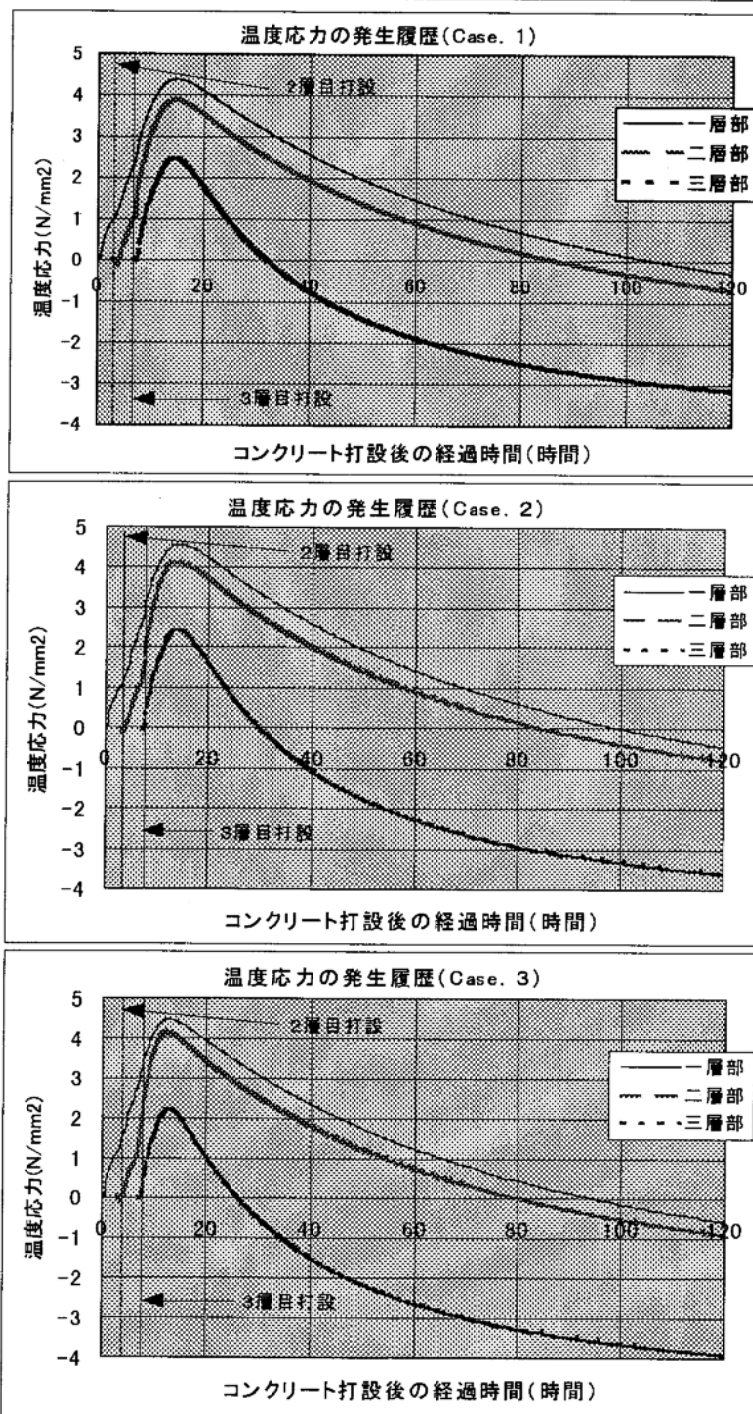
資料-図-1.2 断熱温度上昇量と各層の温度履歴

2) 温度応力解析結果

前項の温度解析結果に基づき温度応力解析を実施したところ、最大引張応力はスラブ端部に発生し、それぞれの最大発生応力を資料-表-1.5 に温度応力発生履歴を資料-図-1.3 にて示す。

資料-表-1.5 スラブコンクリートに発生する最大引張応力

断熱温度上昇パターン と引張応力 施工時期	最大引張応力(N/mm ²)		
	Case. 1	Case. 2	Case. 3
第1リフト施工後	1.0	1.1	1.2
第2リフト施工後	2.9	3.1	3.3
第3リフト施工後	4.5	4.5	4.4



資料-図-1.3 温度応力発生履歴

3) 温度ひびわれ指数

温度解析結果に基づき算定した各材齢ごとの最大発生引張応力 $\sigma_t(t)$ を土木学会の示方書に記載されている「温度ひび割れ指数」にて整理し、その結果を資料-表-1.6 に示す。

$$\text{ひび割れ指数} = \frac{\text{コンクリートの引張強度 } f_t(t)}{\text{温度応力(発生引張応力) } \sigma_t(t)}$$

資料-表-1.6 スラブコンクリートの温度ひび割れ指数

断熱温度上昇パターン とひび割れ指数 施工時期	最大ひび割れ指数		
	Case. 1	Case. 2	Case. 3
第1リフト施工後	1.22	1.20	1.05
第2リフト施工後	0.60	0.55	0.49
第3リフト施工後	0.42	0.42	0.41

4. まとめ

共通試験の結果、各試験所間や試験条件の違いにより終局断熱温度上昇量Kおよび温度上昇速度の定数 α にバラツキが生じることが明かとなった。そのため、これらバラツキが実構造物を想定した温度応力解析の結果にどのような影響を与えるかを(社)日本コンクリート工学協会の方法に準じ解析した。その結果、本想定構造物および条件での解析結果では、次のことが判明した。

- ・コンクリート構造物の最高温度上昇量には、終局断熱温度上昇量Kの影響が大きい。
- ・終局断熱温度上昇量Kがほぼ同等であれば、温度ひび割れ指数の大小には温度上昇速度の定数 α の影響が大きい。

資料－2 断熱温度上昇共通一次試験結果データ集

配合条件；セメント：普通ポルトランドセメント、単位セメント量：250kg/m³

経過時間 (日)	試験所											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	3.0	3.2	4.9	3.4	3.1	2.2	2.7	3.0	3.4	2.8	2.7	2.9
0.50	10.7	16.3	16.1	16.6	15.9	13.5	15.0	15.7	16.3	15.7	15.0	15.7
0.75	22.2	24.8	26.6	23.6	23.7	19.6	22.5	23.6	24.0	23.7	23.0	23.3
1.00	28.8	32.5	29.3	31.4	30.6	25.6	29.4	31.4	31.0	31.2	30.3	30.0
1.25	33.3	37.3	32.8	35.5	35.4	30.1	34.3	35.8	35.8	37.0	35.6	35.2
1.50	36.9	40.1	34.8	38.5	38.3	33.3	37.5	38.3	38.6	40.3	38.9	38.3
1.75	39.2	42.0	36.4	40.5	40.2	35.6	39.6	40.0	40.3	42.5	40.8	40.3
2.00	40.6	43.2	37.2	41.3	41.5	36.9	41.0	41.1	41.5	44.0	42.1	41.6
2.25	41.6	44.1	37.9	41.6	42.4	38.1	41.9	41.8	42.3	44.8	42.8	42.5
2.50	42.2	44.7	38.4	41.8	43.0	38.9	42.5	42.3	42.7	45.4	43.3	43.1
2.75	42.7	45.0	39.0	41.9	43.4	39.4	43.0	42.8	42.9	45.8	43.6	43.5
3.00	43.1	45.5	39.2	42.1	43.7	39.8	43.4	42.9	43.1	46.1	43.7	43.9
3.25	43.3	45.9	39.6	42.2	44.0	40.0	43.5	43.1	43.2	46.3	43.8	44.2
3.50	43.5	46.2	39.8	42.2	44.2	40.3	43.8	43.5	43.2	46.5	43.8	44.3
3.75	43.7	46.2	40.0	42.3	44.4	40.5	43.9	43.6	43.2	46.7	43.8	44.5
4.00	43.9	46.4	40.0	42.4	44.5	40.7	44.1	43.7	43.2	46.8	43.8	44.6
4.25	44.0	46.6	40.1	42.4	44.7	40.8	44.2	43.7	43.2	46.9	43.8	44.8
4.50	44.1	46.8	40.1	42.4	44.8	40.9	44.2	43.9	43.2	47.0	43.8	44.9
4.75	44.2	46.9	40.2	42.5	45.0	41.0	44.3	44.1	43.2	47.1	43.7	45.0
5.00	44.3	47.0	40.2	42.5	45.1	41.1	44.4	44.0	43.2	47.1	43.7	45.1
5.25	44.4	47.1	40.3	42.5	45.1	41.1	44.5	44.1	43.2	47.1	43.8	45.2
5.50	44.5	47.2	40.3	42.6	45.2	41.2	44.6	44.3	43.2	47.2	43.8	45.2
5.75	44.5	47.2	40.4	42.6	45.3	41.2	44.6	44.4	43.2	47.2	43.8	45.3
6.00	44.6	47.2	40.5	42.6	45.4	41.3	44.6	44.3	43.2	47.2	43.7	45.3
6.25	44.7	47.2	40.5	42.7	45.4	41.3	44.7	44.3	43.2	47.2	43.8	45.4
6.50	44.8	47.2	40.5	42.7	45.5	41.4	44.7	44.6	43.2	47.2	43.8	45.3
6.75	44.8	47.2	40.6	42.7	45.5	41.4	44.7	44.7	43.2	47.2	43.7	45.4
7.00	44.9	47.2	40.6	42.7	45.6	41.4	44.8	44.5	43.2	47.3	43.7	45.4
7.25	45.0	47.2	40.7	42.7	45.6	41.4	44.9	44.7	43.2	47.2	43.7	45.6
7.50	45.0	47.2	40.7	42.8	45.7	41.4	44.9	44.8	43.2	47.3	43.8	45.6
7.75	45.1	47.2	40.8	42.8	45.7	41.5	44.9	44.9	43.2	47.3	43.8	45.6
8.00	45.2	47.2	40.8	42.8	45.8	41.5	45.1	44.7	43.2	47.3	43.8	45.7
8.25	45.1	47.2	40.8	42.8	45.8	41.5	45.1	44.8	43.2	47.3	43.8	45.7
8.50	45.2	47.2	40.8	42.8	45.9	41.5	45.0	45.0	43.2	47.3	43.7	45.7
8.75	45.2	47.2	40.9	42.8	45.9	41.5	45.1	45.0	43.2	47.2	43.7	45.8
9.00	45.3	47.2	40.9	42.8	45.9	41.5	45.2	45.1	43.2	47.3	43.8	45.8
9.25	45.3	47.2	41.0	42.8	46.0	41.5	45.2	45.1	43.2	47.2	43.8	45.8
9.50	45.3	47.2	41.0	42.8	46.0	41.5	45.3	45.1	43.2	47.2	43.8	45.8
9.75	45.4	47.2	41.0	42.9	46.0	41.5	45.3	45.2	43.2	47.2	43.8	45.8
10.00	45.4	47.2	41.0	42.9	46.0	41.5	45.4	45.2	43.2	47.2	43.8	45.8
実測値K	45.4	47.2	41.0	42.9	46.0	41.5	45.4	45.2	43.2	47.3	43.8	45.8
塚山式K	45.2	47.4	40.7	43.0	45.8	41.7	45.1	44.8	43.6	47.6	44.2	45.7
α	0.963	1.071	1.197	1.206	1.045	0.956	1.022	1.089	1.187	1.055	1.135	1.039
柳田式K	45.5	47.2	41.3	42.8	46.2	41.5	46.1	45.1	42.3	47.3	43.8	45.8
α	0.946	1.082	1.144	1.162	1.017	0.967	0.962	1.063	1.211	1.072	1.159	1.035

配合条件；セメント：普通ポルトランドセメント、単位セメント量：350kg/m³

経過時間 (日)	試験所											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	1.9	2.2	3.6	3.6	2.3	2.2	2.3	3.8	4.3	2.8	2.9	2.5
0.50	13.5	18.5	20.6	18.3	18.5	12.1	15.8	17.6	19.8	13.2	19.3	17.9
0.75	28.9	34.8	33.8	34.6	33.2	25.9	30.3	32.4	34.2	31.6	36.5	33.0
1.00	41.8	46.5	42.1	43.9	44.5	36.9	42.6	44.3	45.2	45.9	48.2	44.9
1.25	48.7	51.9	46.4	48.7	50.1	43.7	49.3	50.4	50.4	52.8	53.5	50.7
1.50	52.2	54.1	48.5	51.2	52.5	47.5	52.6	52.5	52.7	56.0	55.5	53.3
1.75	53.6	55.0	49.4	52.2	53.5	49.4	54.0	54.3	53.8	57.1	56.3	54.3
2.00	54.3	55.5	49.9	52.8	54.1	50.3	54.7	54.4	54.3	57.6	56.7	54.9
2.25	54.8	55.8	50.3	53.3	54.6	50.8	55.2	54.9	54.5	57.9	57.0	55.3
2.50	55.2	56.1	50.5	53.5	54.8	51.2	55.6	55.2	54.7	58.2	57.2	55.5
2.75	55.5	56.2	50.7	53.8	55.1	51.4	55.9	55.6	54.8	58.3	57.4	55.7
3.00	55.7	56.3	50.9	54.0	55.3	51.7	56.1	55.4	54.9	58.4	57.5	55.9
3.25	55.9	56.5	51.0	54.1	55.4	51.8	56.2	55.6	55.0	58.5	57.5	56.0
3.50	56.1	56.5	51.2	54.2	55.6	52.0	56.5	55.8	55.0	58.5	57.5	56.1
3.75	56.3	56.6	51.2	54.3	55.7	52.1	56.6	55.8	55.1	58.6	57.5	56.2
4.00	56.4	56.6	51.3	54.4	55.7	52.2	56.6	56.1	55.1	58.6	57.5	56.2
4.25	56.5	56.6	51.4	54.5	55.8	52.3	56.9	56.0	55.2	58.6	57.5	56.3
4.50	56.7	56.6	51.4	54.6	55.9	52.3	56.7	56.0	55.2	58.6	57.5	56.3
4.75	56.8	56.6	51.5	54.6	55.9	52.3	56.7	56.1	55.2	58.6	57.4	56.4
5.00	56.9	56.6	51.5	54.7	56.0	52.4	56.7	56.1	55.3	58.6	57.4	56.4
5.25	56.9	56.6	51.5	54.7	56.1	52.4	56.7	56.3	55.3	58.6	57.5	56.5
5.50	57.0	56.6	51.6	54.8	56.1	52.4	56.5	56.1	55.3	58.6	57.5	56.4
5.75	57.1	56.6	51.5	54.9	56.2	52.4	56.5	56.3	55.3	58.5	57.5	56.5
6.00	57.2	56.6	51.6	54.9	56.3	52.5	56.5	56.1	55.3	58.6	57.4	56.4
6.25	57.2	56.6	51.6	54.9	56.3	52.5	56.7	56.1	55.3	58.6	57.5	56.5
6.50	57.3	56.6	51.6	54.9	56.3	52.5	56.3	56.1	55.3	58.5	57.5	56.4
6.75	57.4	56.6	51.6	54.9	56.3	52.5	56.6	56.0	55.3	58.5	57.5	56.5
7.00	57.5	56.6	51.6	55.0	56.4	52.5	56.7	55.9	55.3	58.5	57.5	56.4
7.25	57.5	56.6	51.7	55.0	56.4	52.5	56.8	56.0	55.3	58.6	57.4	56.5
7.50	57.6	56.6	51.7	55.0	56.4	52.5	56.7	55.9	55.3	58.5	57.5	56.4
7.75	57.7	56.6	51.7	55.1	56.4	52.5	56.7	56.0	55.3	58.5	57.4	56.5
8.00	57.7	56.6	51.7	55.1	56.4	52.5	56.7	55.7	55.3	58.5	57.5	56.5
8.25	57.8	56.6	51.7	55.1	56.4	52.5	56.7	55.7	55.3	58.5	57.5	56.5
8.50	57.8	56.6	51.7	55.1	56.4	52.5	56.6	55.7	55.3	58.5	57.5	56.4
8.75	57.9	56.6	51.7	55.1	56.4	52.5	56.5	55.6	55.3	58.5	57.5	56.5
9.00	58.0	56.6	51.7	55.1	56.5	52.5	56.5	55.4	55.3	58.5	57.5	56.5
9.25	58.1	56.6	51.8	55.1	56.6	52.5	56.6	55.5	55.3	58.5	57.5	56.5
9.50	58.1	56.6	51.8	55.1	56.6	52.5	56.5	55.4	55.3	58.5	57.5	56.4
9.75	58.2	56.6	51.8	55.1	56.6	52.5	56.6	55.6	55.3	58.5	57.5	56.4
10.00	58.2	56.6	51.8	55.1	56.6	52.5	56.4	55.2	55.3	58.5	57.5	56.4
実測値K	58.2	56.6	51.8	55.1	56.6	52.5	56.9	56.3	55.3	58.6	57.5	56.5
塚山式K	57.9	57.2	51.9	55.3	56.7	53.0	57.2	56.4	55.8	59.3	58.1	56.9
α	1.092	1.030	1.356	1.236	1.245	1.088	1.175	1.267	1.339	1.207	1.355	1.259
柳田式K	60.3	56.6	51.3	55.3	57.0	52.5	56.9	56.3	55.3	58.6	57.8	56.5
α	0.974	1.341	1.365	1.236	1.228	1.116	1.191	1.274	1.367	1.239	1.366	1.284

配合条件；セメント：早強ポルトランドセメント、単位セメント量：250kg/m³

経過時間 (日)	試験所											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	3.3	1.6	3.9	2.2	1.8	1.6	2.3	—	2.5	2.1	2.2	1.8
0.50	18.3	14.9	23.8	19.3	14.4	9.8	21.0	—	10.3	14.1	15.8	12.1
0.75	29.8	32.8	33.0	30.0	32.6	26.8	34.8	—	29.7	33.5	32.8	30.5
1.00	35.2	40.1	37.0	35.7	39.8	34.2	40.8	—	38.1	41.5	40.2	38.5
1.25	38.3	43.3	39.0	38.3	42.9	37.8	43.6	—	41.8	45.0	43.3	41.9
1.50	40.1	44.6	39.8	39.7	44.5	39.7	44.9	—	43.6	46.6	44.9	43.7
1.75	41.3	45.4	40.3	40.5	45.3	40.8	45.6	—	44.5	47.5	45.7	44.5
2.00	42.0	45.8	40.5	41.0	45.8	41.4	46.0	—	45.0	48.1	46.0	45.0
2.25	42.5	45.9	40.7	41.3	46.1	41.8	46.3	—	45.2	48.3	46.3	45.3
2.50	42.9	46.1	40.8	41.5	46.3	41.9	46.4	—	45.3	48.5	46.4	45.5
2.75	43.2	46.1	40.8	41.6	46.5	42.2	46.5	—	45.3	48.7	46.4	45.7
3.00	43.5	46.1	40.9	41.8	46.6	42.2	46.7	—	45.3	48.8	46.5	45.8
3.25	43.6	46.1	41.0	41.9	46.7	42.3	46.8	—	45.3	48.9	46.5	45.8
3.50	43.8	46.1	41.1	41.9	46.8	42.3	46.9	—	45.3	49.0	46.4	45.9
3.75	43.9	46.1	41.2	42.0	46.9	42.4	46.9	—	45.3	49.0	46.4	46.0
4.00	44.1	46.1	41.2	42.1	46.9	42.4	47.0	—	45.3	49.0	46.4	46.1
4.25	44.2	46.1	41.4	42.1	47.0	42.4	46.9	—	45.3	49.0	46.3	46.1
4.50	44.3	46.1	41.4	42.1	47.0	42.4	46.9	—	45.3	49.1	46.3	46.1
4.75	44.3	46.1	41.5	42.2	47.0	42.4	46.9	—	45.3	49.2	46.3	46.2
5.00	44.4	46.1	41.5	42.2	47.1	42.4	46.9	—	45.3	49.2	46.3	46.2
5.25	44.5	46.1	41.6	42.2	47.1	42.4	46.9	—	45.3	49.2	46.4	46.3
5.50	44.5	46.1	41.6	42.3	47.1	42.4	46.9	—	45.3	49.2	46.4	46.2
5.75	44.6	46.1	41.7	42.3	47.2	42.4	46.8	—	45.3	49.2	46.4	46.3
6.00	44.6	46.1	41.7	42.3	47.2	42.4	46.8	—	45.3	49.2	46.4	46.3
6.25	44.7	46.1	41.8	42.4	47.3	42.4	46.8	—	45.3	49.3	46.4	46.3
6.50	44.7	46.1	41.8	42.4	47.3	42.4	46.8	—	45.3	49.3	46.4	46.3
6.75	44.8	46.1	41.8	42.4	47.3	42.4	46.7	—	45.3	49.3	46.4	46.4
7.00	44.8	46.1	41.8	42.4	47.3	42.4	46.7	—	45.3	49.3	46.4	46.4
7.25	44.8	46.1	41.9	42.4	47.4	42.4	46.7	—	45.3	49.4	46.4	46.4
7.50	44.8	46.1	41.9	42.5	47.4	42.4	46.7	—	45.3	49.4	46.4	46.4
7.75	44.8	46.1	42.0	42.5	47.4	42.4	46.7	—	45.3	49.3	46.4	46.4
8.00	44.9	46.1	42.0	42.5	47.4	42.4	46.6	—	45.3	49.4	46.4	46.4
8.25	44.9	46.1	42.0	42.5	47.4	42.4	46.6	—	45.3	49.3	46.4	46.5
8.50	44.9	46.1	42.0	42.5	47.4	42.4	46.6	—	45.3	49.4	46.4	46.5
8.75	44.9	46.1	42.1	42.5	47.5	42.4	46.6	—	45.3	49.4	46.4	46.5
9.00	44.9	46.1	42.2	42.5	47.5	42.4	46.5	—	45.3	49.4	46.4	46.5
9.25	44.9	46.1	42.3	42.5	47.5	42.4	46.5	—	45.3	49.3	46.4	46.5
9.50	44.9	46.1	42.3	42.5	47.6	42.4	46.5	—	45.3	49.3	46.4	46.5
9.75	44.9	46.1	42.4	42.6	47.6	42.4	46.4	—	45.3	49.3	46.4	46.5
10.00	45.0	46.1	42.4	42.6	47.6	42.4	46.4	—	45.3	49.4	46.4	46.5
実測値 K	45.0	46.1	42.4	42.6	47.6	42.4	47.0	—	45.3	49.4	46.5	46.5
塚山式 K	44.8	46.6	41.9	42.6	47.6	42.8	47.1	—	45.8	49.7	46.8	46.7
α	1.293	1.413	1.672	1.436	1.330	1.243	1.516	—	1.311	1.327	1.422	1.285
柳田式 K	45.9	46.1	42.4	42.5	47.6	42.4	47.0	—	45.3	49.6	46.5	46.5
α	1.220	1.427	1.619	1.428	1.308	1.274	1.522	—	1.334	1.346	1.446	1.302

配合条件；セメント：早強ポルトランドセメント、単位セメント量：350kg/m³

経過時間 (日)	試験所											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	1.3	2.2	2.4	2.2	1.7	1.5	1.9	—	3.9	2.6	2.4	1.9
0.50	10.2	22.4	24.5	24.1	12.4	11.4	17.1	—	19.5	18.0	17.6	15.8
0.75	40.8	44.9	40.8	41.9	43.7	38.2	45.4	—	47.8	47.6	45.6	45.4
1.00	52.2	52.8	46.7	48.4	53.8	48.1	54.2	—	56.2	56.7	54.9	54.5
1.25	56.4	55.3	49.4	51.0	57.1	52.2	57.2	—	58.4	59.2	58.1	57.2
1.50	57.6	55.9	50.3	51.9	57.9	53.6	58.0	—	59.0	60.1	59.0	57.9
1.75	58.1	56.2	50.8	52.3	58.3	54.1	58.4	—	59.3	60.5	59.5	58.2
2.00	58.4	56.2	51.0	52.6	58.6	54.4	58.7	—	59.4	60.6	59.8	58.4
2.25	58.6	56.2	51.3	52.8	58.8	54.6	58.9	—	59.5	60.7	60.0	58.5
2.50	58.8	56.2	51.4	52.9	58.8	54.7	59.1	—	59.6	60.7	60.2	58.5
2.75	58.9	56.2	51.7	53.0	58.9	54.8	59.2	—	59.7	60.8	60.3	58.6
3.00	59.1	56.2	51.8	53.1	59.0	54.8	59.3	—	59.7	60.8	60.4	58.6
3.25	59.2	56.2	52.0	53.2	59.0	54.9	59.4	—	59.8	60.8	60.5	58.7
3.50	59.3	56.2	52.0	53.2	59.0	54.9	59.5	—	59.8	60.8	60.6	58.7
3.75	59.3	56.2	52.2	53.2	59.1	54.9	59.5	—	59.8	60.8	60.6	58.7
4.00	59.4	56.2	52.2	53.4	59.1	54.9	59.7	—	59.8	60.8	60.7	58.7
4.25	59.5	56.2	52.4	53.4	59.1	54.9	59.7	—	59.8	60.8	60.7	58.7
4.50	59.5	56.2	52.4	53.5	59.1	54.9	59.8	—	59.8	60.7	60.8	58.7
4.75	59.6	56.2	52.6	53.4	59.1	54.9	59.8	—	59.8	60.8	60.9	58.7
5.00	59.6	56.2	52.6	53.5	59.1	54.9	60.0	—	59.8	60.7	61.0	58.7
5.25	59.7	56.2	52.7	53.5	59.1	54.9	60.1	—	59.8	60.7	61.0	58.7
5.50	59.8	56.2	52.8	53.6	59.1	54.9	60.2	—	59.8	60.7	61.0	58.7
5.75	59.8	56.2	52.9	53.6	59.1	54.9	60.0	—	59.8	60.8	61.1	58.7
6.00	59.9	56.2	52.9	53.6	59.1	54.9	59.9	—	59.8	60.7	61.1	58.7
6.25	59.9	56.2	53.0	53.6	59.2	54.9	59.9	—	59.8	60.8	61.2	58.7
6.50	60.0	56.2	53.0	53.6	59.2	54.9	59.9	—	59.8	60.8	61.2	58.7
6.75	60.0	56.2	53.1	53.6	59.2	54.9	59.8	—	59.8	60.7	61.2	58.7
7.00	60.1	56.2	53.2	53.6	59.2	54.9	59.8	—	59.8	60.7	61.2	58.7
7.25	60.2	56.2	53.3	53.7	59.2	54.9	59.8	—	59.8	60.7	61.2	58.7
7.50	60.2	56.2	53.3	53.6	59.2	54.9	59.8	—	59.8	60.8	61.2	58.7
7.75	60.3	56.2	53.5	53.7	59.2	54.9	59.8	—	59.8	60.7	61.2	58.7
8.00	60.3	56.2	53.5	53.7	59.2	54.9	59.7	—	59.8	60.7	61.2	58.7
8.25	60.4	56.2	53.6	53.7	59.2	54.9	59.7	—	59.8	60.7	61.2	58.7
8.50	60.4	56.2	53.6	53.7	59.2	54.9	59.6	—	59.8	60.7	61.2	58.7
8.75	60.4	56.2	53.7	53.7	59.2	54.9	59.7	—	59.8	60.8	61.2	58.7
9.00	60.5	56.2	53.7	53.7	59.2	54.9	59.7	—	59.8	60.7	61.2	58.7
9.25	60.5	56.2	53.9	53.8	59.3	54.9	59.6	—	59.8	60.7	61.2	58.7
9.50	60.6	56.2	53.9	53.7	59.3	54.9	59.7	—	59.8	60.6	61.2	58.7
9.75	60.6	56.2	54.1	53.8	59.3	54.9	59.7	—	59.8	60.7	61.2	58.7
10.00	60.7	56.2	54.1	53.7	59.3	54.9	59.7	—	59.8	60.7	61.2	58.7
実測値 K	60.7	56.2	54.1	53.8	59.3	54.9	60.2	—	59.8	60.8	61.2	58.7
塚山式 K	60.6	56.7	53.3	53.9	59.8	55.5	60.3	—	60.4	61.4	61.6	59.3
α	1.286	1.606	1.516	1.569	1.396	1.347	1.442	—	1.557	1.513	1.427	1.477
柳田式 K	63.0	56.2	57.3	53.8	59.2	54.9	60.2	—	59.8	60.3	61.2	58.7
α	1.161	1.600	1.219	1.579	1.421	1.382	1.448	—	1.590	1.543	1.448	1.512

配合条件；セメント：中庸熟フライアッシュセメント、単位セメント量：250kg/m³

経過時間 (日)	試験所											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	1.4	1.7	3.0	1.2	1.2	3.0	1.6	3.5	1.5	1.4	2.1	1.7
0.50	6.4	8.9	9.1	6.2	7.0	8.9	7.1	10.0	5.6	6.7	9.0	7.4
0.75	12.3	12.0	10.9	10.4	12.3	12.5	11.8	14.1	13.1	12.4	12.7	12.3
1.00	14.4	13.9	12.5	11.7	14.1	14.2	13.4	16.0	15.4	14.2	14.5	14.0
1.25	15.8	15.6	14.1	13.0	15.5	15.6	14.8	17.8	16.3	15.7	16.4	15.4
1.50	17.2	17.1	15.4	14.2	16.8	16.8	16.1	19.3	17.8	17.1	18.1	16.6
1.75	18.5	18.6	16.8	15.4	18.2	17.7	18.0	20.3	19.2	18.4	19.8	18.1
2.00	19.9	19.9	18.2	16.5	19.4	18.5	18.7	20.9	20.4	19.8	21.4	19.3
2.25	21.1	21.1	19.4	17.6	20.4	19.2	19.9	21.7	21.5	21.1	22.9	20.5
2.50	22.1	22.2	20.5	18.6	21.5	19.8	21.0	22.6	22.5	22.0	24.3	21.4
2.75	23.1	23.2	21.5	19.5	22.1	20.3	22.0	23.3	23.4	23.2	25.4	22.4
3.00	24.0	24.0	22.3	20.3	22.8	20.8	22.8	23.7	24.2	24.1	26.5	23.2
3.25	24.8	24.8	23.0	21.0	23.4	21.2	23.5	24.3	24.9	24.8	27.4	24.0
3.50	25.5	25.4	23.7	21.7	23.9	21.7	24.2	24.9	25.5	25.5	28.2	24.5
3.75	26.2	26.0	24.3	22.3	24.5	22.1	24.8	25.5	26.1	26.1	29.0	25.2
4.00	26.8	26.5	24.8	22.8	25.1	22.4	25.4	25.8	26.6	26.8	29.7	25.8
4.25	27.4	27.1	25.3	23.2	25.6	22.7	26.0	26.4	27.0	27.3	30.4	26.3
4.50	27.9	27.6	25.8	23.7	26.2	23.1	26.5	27.1	27.6	27.8	31.1	26.9
4.75	28.5	28.1	26.3	24.1	26.7	23.5	27.1	27.6	28.1	28.3	31.7	27.5
5.00	29.0	28.6	26.8	24.5	27.2	23.7	27.6	27.9	28.5	28.8	32.4	28.0
5.25	29.5	29.1	27.2	24.9	27.7	24.1	28.0	28.5	28.9	29.3	33.0	28.5
5.50	30.0	29.5	27.7	25.3	28.2	24.4	28.5	29.1	29.4	29.7	33.5	29.0
5.75	30.5	29.9	28.1	25.7	28.7	24.7	28.9	29.6	29.8	30.2	34.0	29.6
6.00	31.0	30.4	28.5	26.0	29.2	25.0	29.5	30.0	30.2	30.5	34.5	30.0
6.25	31.5	30.7	28.9	26.4	29.6	25.2	29.9	30.6	30.5	30.9	35.0	30.4
6.50	31.9	31.1	29.2	26.8	30.0	25.5	30.3	31.1	30.8	31.4	35.4	30.8
6.75	32.3	31.4	29.6	27.1	30.4	25.9	30.7	31.6	31.2	31.7	35.8	31.2
7.00	32.7	31.7	29.8	27.4	30.7	26.1	31.1	31.9	31.5	32.0	36.2	31.5
7.25	33.1	31.9	30.1	27.8	31.1	26.5	31.4	32.4	31.6	32.3	36.5	31.9
7.50	33.4	32.1	30.4	28.1	31.4	26.7	31.7	32.9	31.9	32.6	36.8	32.2
7.75	33.8	32.3	30.7	28.3	31.7	26.9	32.0	33.2	32.1	32.9	37.0	32.5
8.00	34.1	32.4	30.9	28.6	32.0	27.2	32.3	33.5	32.3	33.1	37.3	32.7
8.25	34.4	32.4	31.1	28.8	32.2	27.4	32.6	33.8	32.4	33.3	37.5	33.0
8.50	34.7	32.5	31.4	29.2	32.5	27.7	32.8	34.1	32.6	33.5	37.7	33.2
8.75	34.9	32.5	31.5	29.4	32.7	27.8	33.1	34.4	32.7	33.6	37.9	33.5
9.00	35.2	32.5	31.7	29.6	32.9	28.1	33.2	34.6	32.9	33.7	38.2	33.7
9.25	35.4	32.5	31.8	29.8	33.1	28.2	33.4	34.9	33.0	33.9	38.4	33.9
9.50	35.6	32.5	31.9	30.0	33.3	28.4	33.6	35.3	33.1	34.0	38.6	34.1
9.75	35.8	32.5	32.1	30.1	33.5	28.6	33.8	35.4	33.1	34.1	38.7	34.3
10.00	36.1	32.5	32.2	30.4	33.7	—	33.9	35.4	33.2	34.1	38.9	34.5
10.25	36.3	32.5	32.3	30.6	33.9	—	34.1	35.7	33.2	34.3	39.1	34.7
10.50	36.4	32.5	32.4	30.7	34.0	—	34.2	36.2	33.3	34.3	39.2	34.8
10.75	36.6	32.5	32.5	30.9	34.2	—	34.3	36.3	33.4	34.5	39.3	35.0
11.00	36.7	32.5	32.6	31.0	34.2	—	34.4	36.3	33.4	34.5	39.4	35.2
11.25	36.9	32.5	32.7	31.2	34.4	—	34.6	36.5	33.4	34.5	39.5	35.4
11.50	37.1	32.5	32.8	31.3	34.5	—	34.6	36.8	33.4	34.6	39.6	35.4
11.75	37.2	32.5	32.8	31.5	34.6	—	34.7	36.9	33.5	34.6	39.7	35.6
12.00	37.3	32.5	32.9	31.6	34.7	—	34.8	36.9	33.5	34.7	39.8	35.6
12.25	37.5	32.5	33.0	31.6	34.8	—	34.9	36.9	33.4	34.7	39.9	35.8
12.50	37.6	32.5	33.0	31.8	34.9	—	35.0	36.9	33.5	34.8	39.9	35.9
12.75	37.7	32.5	33.1	31.9	35.0	—	35.0	36.9	33.5	34.8	40.1	35.9
13.00	37.9	32.5	33.2	31.9	35.0	—	35.1	36.9	33.5	34.8	40.1	36.1
13.25	38.0	32.5	33.2	32.1	35.1	—	35.1	36.9	33.5	34.7	40.2	36.1
13.50	38.1	32.5	33.2	32.2	35.2	—	35.2	36.9	33.5	34.7	40.2	36.2
13.75	38.2	32.5	33.3	32.2	35.2	—	35.2	36.9	33.5	34.7	40.2	36.3
14.00	38.3	32.5	33.3	32.3	35.3	—	35.3	36.9	33.5	34.8	40.2	36.4
実測値 K	38.3	32.5	33.3	32.3	35.3	(28.6)	35.3	36.9	33.5	34.8	40.2	36.4
塚山式 K	37.2	32.6	32.7	31.4	34.4	(27.9)	34.7	36.0	33.2	34.5	39.8	35.4
α	0.340	0.464	0.382	0.338	0.364	(0.450)	0.362	0.371	0.450	0.404	0.352	0.354
柳田式 K	41.4	32.5	33.7	36.9	36.0	34.2	35.7	36.9	33.5	34.8	40.5	37.3
α	0.247	0.467	0.349	0.342	0.315	0.266	0.326	0.342	0.437	0.393	0.346	0.302

配合条件；セメント：中庸熟フライアッシュセメント、単位セメント量：350kg/m³

経過時間 (日)	試験所											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	1.0	1.5	2.9	1.4	1.3	4.0	1.9	3.7	1.1	1.7	2.4	1.2
0.50	8.0	9.6	12.7	6.6	7.8	14.6	7.5	12.5	9.8	6.0	12.0	6.9
0.75	16.5	16.3	16.7	14.1	16.0	20.2	16.6	17.7	16.6	15.9	17.4	15.6
1.00	19.5	19.1	19.6	16.4	18.8	22.7	19.8	20.2	19.4	20.0	20.4	18.4
1.25	22.1	21.5	22.4	18.5	21.3	24.6	22.3	22.7	22.1	22.4	23.4	20.7
1.50	24.6	24.2	25.0	20.6	23.7	26.1	24.7	25.4	24.6	24.7	26.6	23.1
1.75	26.8	26.3	27.2	22.6	26.0	27.4	26.9	27.5	26.8	26.9	29.4	25.5
2.00	28.8	28.3	29.1	24.4	28.0	28.5	28.8	29.4	28.6	28.9	32.0	27.4
2.25	30.5	30.0	30.7	26.0	29.7	29.7	30.6	31.2	30.3	30.6	34.1	29.2
2.50	32.1	31.5	32.1	27.4	31.3	30.6	32.0	32.8	31.8	32.2	36.2	30.6
2.75	33.5	33.0	33.3	28.5	32.7	31.6	33.4	34.0	33.1	33.6	38.1	32.1
3.00	34.9	34.2	34.6	29.7	34.1	32.6	34.7	35.0	34.5	34.9	39.9	33.5
3.25	36.2	35.5	35.6	30.7	35.4	33.4	36.0	36.4	35.6	36.1	41.6	34.9
3.50	37.4	36.7	36.7	31.7	36.7	34.3	37.2	37.7	36.8	37.2	43.2	36.1
3.75	38.6	37.8	37.6	32.6	37.8	35.1	38.3	38.5	37.7	38.3	44.5	37.2
4.00	39.5	38.9	38.3	33.5	38.9	35.8	39.3	39.2	38.5	39.3	45.5	38.4
4.25	40.4	39.7	39.0	34.3	39.8	36.5	39.3	40.2	39.1	40.2	46.3	39.3
4.50	41.1	40.4	39.5	35.1	40.6	37.0	41.0	41.2	39.9	41.0	46.9	40.1
4.75	41.7	40.9	40.1	35.9	41.2	37.5	41.6	41.9	40.1	41.6	47.5	40.7
5.00	42.2	41.5	40.4	36.5	41.8	38.0	42.2	42.0	40.5	42.1	48.0	41.4
5.25	42.6	41.9	40.7	37.1	42.2	38.4	42.7	42.6	40.8	42.6	48.4	41.8
5.50	43.0	42.3	41.0	37.6	42.7	38.8	43.1	43.1	41.1	42.9	48.7	42.2
5.75	43.4	42.7	41.3	38.0	43.1	39.1	43.5	43.3	41.3	43.2	49.0	42.7
6.00	43.7	42.9	41.5	38.4	43.4	39.5	43.8	43.7	41.5	43.6	49.3	43.0
6.25	44.0	43.1	41.7	38.8	43.7	39.7	44.1	43.9	41.6	43.7	49.5	43.3
6.50	44.2	43.4	41.9	39.1	44.0	40.0	44.5	44.2	41.8	44.1	49.7	43.6
6.75	44.4	43.6	42.0	39.4	44.2	40.2	44.7	44.3	41.9	44.4	49.9	43.8
7.00	44.6	43.6	42.1	39.7	44.4	40.4	44.8	44.4	41.9	44.7	50.1	44.0
7.25	44.8	43.7	42.2	39.9	44.6	40.7	44.8	44.4	42.1	45.0	50.2	44.1
7.50	44.9	43.7	42.4	40.1	44.8	40.9	45.2	44.8	42.2	45.2	50.3	44.3
7.75	45.0	43.8	42.4	40.3	44.9	41.1	45.3	44.9	42.2	45.4	50.4	44.5
8.00	45.1	43.8	42.5	40.5	45.0	41.3	45.4	44.7	42.2	45.6	50.6	44.6
8.25	45.3	43.8	42.5	40.6	45.1	41.4	45.4	44.9	42.3	45.7	50.7	44.7
8.50	45.4	43.8	42.6	40.8	45.2	41.6	45.1	45.1	42.3	45.9	50.8	44.7
8.75	45.4	43.8	42.6	41.1	45.3	41.7	45.1	45.3	42.3	46.0	50.9	44.8
9.00	45.5	43.8	42.6	41.1	45.4	41.8	45.2	45.0	42.4	46.1	51.0	44.9
9.25	45.6	43.8	42.6	41.2	45.5	42.0	45.2	45.1	42.4	46.2	51.1	45.0
9.50	45.7	43.8	42.6	41.4	45.6	42.1	45.3	45.2	42.3	46.4	51.1	45.0
9.75	45.8	43.8	42.6	41.3	45.6	42.2	45.2	45.1	42.3	46.6	51.2	45.2
10.00	45.9	43.8	42.7	41.5	45.7	42.4	45.1	45.0	42.2	46.6	51.3	45.2
10.25	46.0	43.8	42.7	41.6	45.7	42.5	45.0	45.0	42.2	46.8	51.3	45.3
10.50	46.0	43.8	42.7	41.6	45.8	42.6	45.0	45.0	42.1	47.0	51.4	45.3
10.75	46.1	43.8	42.7	41.8	45.8	42.7	45.0	45.1	42.1	47.1	51.5	45.4
11.00	46.2	43.8	42.7	41.7	45.9	42.8	44.9	45.0	42.1	47.1	51.5	45.4
11.25	46.2	43.8	42.7	41.8	45.9	42.9	44.9	45.1	42.2	47.3	51.6	45.5
11.50	46.3	43.8	42.8	41.8	45.9	43.0	44.8	45.0	42.2	47.4	51.7	45.5
11.75	46.4	43.8	42.8	41.9	46.0	43.1	44.7	45.1	42.1	47.5	51.7	45.6
12.00	46.4	43.8	42.8	41.9	46.0	43.2	44.6	45.1	42.1	47.6	51.8	45.6
12.25	46.5	43.8	42.8	41.9	46.0	43.3	44.5	45.0	42.1	47.7	51.8	45.7
12.50	46.6	43.8	42.8	42.0	46.1	43.4	44.5	45.2	42.0	47.8	51.9	45.7
12.75	46.6	43.8	42.8	42.0	46.1	43.5	44.3	45.1	42.0	47.9	51.9	45.7
13.00	46.7	43.8	42.8	42.0	46.1	43.6	44.2	45.1	42.0	48.0	51.9	45.7
13.25	46.8	43.8	42.8	42.1	46.1	43.6	44.2	45.1	42.0	48.1	52.0	45.8
13.50	46.8	43.8	42.8	42.1	46.1	43.8	44.1	45.0	41.9	48.1	52.0	45.7
13.75	46.9	43.8	42.8	42.1	46.2	43.8	44.0	45.1	41.9	48.3	52.1	45.8
14.00	46.9	43.8	42.9	42.1	46.2	43.9	44.4	45.1	41.9	48.3	52.1	45.8
実測値 K	46.9	43.8	42.9	42.1	46.2	43.9	45.4	45.3	42.4	48.3	52.1	45.8
塚山式 K	46.4	44.2	42.8	42.0	46.2	42.1	45.2	45.2	42.4	47.3	51.9	45.8
α	0.481	0.523	0.575	0.421	0.466	0.562	0.514	0.537	0.576	0.455	0.493	0.456
柳田式 K	48.3	43.8	43.0	42.3	46.3	46.3	45.4	45.3	42.4	49.2	52.7	45.8
α	0.424	0.535	0.567	0.412	0.453	0.396	0.508	0.532	0.573	0.402	0.470	0.456

資料－3 断熱温度上昇共通二次試験結果データ集

試験条件：外槽有り－共通型枠－偏差固定

経過時間 (日)	試験所					試験所 平 均
	A	B	C	D	K	
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	3.3	3.2	4.9	6.6	3.8	4.4
0.50	17.7	16.7	19.3	21.2	17.0	18.4
0.75	27.1	26.0	29.1	31.9	26.1	28.0
1.00	35.1	34.3	37.5	39.0	34.1	36.0
1.25	40.0	39.7	42.4	42.5	39.3	40.8
1.50	42.9	42.8	45.1	45.0	42.3	43.6
1.75	45.0	45.1	47.0	46.7	44.5	45.7
2.00	46.6	46.8	48.6	47.9	45.9	47.2
2.25	47.7	48.0	49.5	48.7	47.2	48.2
2.50	48.4	48.8	50.1	49.2	47.9	48.9
2.75	49.0	49.4	50.7	49.6	48.3	49.4
3.00	49.3	49.9	51.1	49.9	48.7	49.8
3.25	49.6	50.3	51.3	50.2	49.0	50.1
3.50	49.8	50.5	51.5	50.3	49.1	50.2
3.75	49.9	50.8	51.6	50.5	49.2	50.4
4.00	50.1	51.0	51.8	50.7	49.3	50.6
4.25	50.2	51.2	51.9	50.9	49.3	50.7
4.50	50.3	51.3	51.9	50.9	49.4	50.8
4.75	50.4	51.5	52.0	51.0	49.5	50.9
5.00	50.4	51.6	52.1	51.1	49.6	51.0
5.25	50.4	51.7	52.1	51.2	49.7	51.0
5.50	50.5	51.8	52.1	51.3	49.8	51.1
5.75	50.5	51.9	52.1	51.3	49.9	51.1
6.00	50.4	52.0	52.2	51.4	50.0	51.2
6.25	50.5	52.1	52.2	51.4	50.1	51.3
6.50	50.5	52.1	52.2	51.6	50.2	51.3
6.75	50.5	52.2	52.2	51.6	50.3	51.4
7.00	50.4	52.2	52.2	51.6	50.4	51.4
実測値 K	50.5	52.2	52.2	51.6	50.4	51.4
塚山式 K	51.0	52.4	52.6	51.5	50.5	51.6
α	1.075	0.995	1.133	1.242	1.058	1.096
柳田式 K	50.5	52.5	52.2	51.8	52.3	51.5
α	1.106	0.991	1.159	1.220	0.954	1.102
塚山式 K	50.0	51.3	51.7	50.8	49.5	50.7
α	1.120	1.016	1.199	1.344	1.095	1.148
β	1.451	1.408	1.430	1.353	1.448	1.410
柳田式 K	50.5	52.5	52.2	51.8	52.3	51.5
α	0.893	0.795	0.992	1.077	0.802	0.932
β	1.298	1.079	1.181	0.922	0.889	1.053

試験条件：外槽有り－共通型枠－偏差調整

経過時間 (日)	試験所					試験所 平 均
	A	B	C	D	K	
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	3.6	3.2	4.9	5.0	3.6	4.1
0.50	17.4	16.4	18.9	20.3	16.9	18.0
0.75	26.5	25.7	28.6	30.5	25.7	27.4
1.00	34.3	33.9	36.9	38.3	33.6	35.4
1.25	39.1	39.1	41.6	42.3	38.3	40.1
1.50	41.9	42.1	44.3	44.9	41.3	42.9
1.75	43.9	44.3	46.4	46.9	43.5	45.0
2.00	45.4	45.9	47.8	48.4	45.2	46.5
2.25	46.5	47.1	48.8	49.2	46.3	47.6
2.50	47.2	47.9	49.4	49.7	47.2	48.3
2.75	47.8	48.5	49.9	50.2	47.8	48.8
3.00	48.1	48.9	50.2	50.6	48.2	49.2
3.25	48.4	49.2	50.5	50.8	48.6	49.5
3.50	48.6	49.5	50.6	51.1	48.9	49.7
3.75	48.8	49.8	50.7	51.2	49.2	49.9
4.00	49.0	50.0	50.8	51.4	49.3	50.1
4.25	49.1	50.1	50.9	51.5	49.6	50.2
4.50	49.1	50.3	51.0	51.6	49.8	50.4
4.75	49.2	50.4	51.0	51.7	49.9	50.4
5.00	49.3	50.5	51.1	51.9	50.1	50.6
5.25	49.3	50.6	51.1	51.8	50.2	50.6
5.50	49.3	50.7	51.1	52.0	50.3	50.7
5.75	49.4	50.8	51.1	52.0	50.4	50.7
6.00	49.4	50.9	51.1	52.1	50.5	50.8
6.25	49.4	50.9	51.2	52.1	50.6	50.8
6.50	49.4	51.0	51.2	52.2	50.7	50.9
6.75	49.5	51.1	51.2	52.2	50.8	51.0
7.00	49.4	51.1	51.2	52.2	50.9	51.0
実測値K	49.5	51.1	51.2	52.2	50.9	51.0
塚山式K	49.9	51.3	51.7	52.3	50.8	51.2
α	1.074	1.006	1.139	1.167	1.000	1.076
柳田式K	49.5	51.3	51.2	52.4	51.6	51.1
α	1.097	1.006	1.168	1.161	0.956	1.080
塚山式K	48.9	50.2	50.8	51.4	49.8	50.2
α	1.118	1.031	1.206	1.249	1.022	1.122
β	1.427	1.417	1.441	1.392	1.343	1.399
柳田式K	49.5	51.3	51.2	52.4	51.6	51.1
α	0.907	0.808	1.010	0.992	0.792	0.903
β	1.163	1.089	1.166	0.996	0.986	1.062

試験条件：外槽有り－常用型枠－偏差固定

経過時間 (日)	試験所			試験所 平 均
	B	C	D	
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	3.1	4.9	4.4	4.1
0.50	15.6	17.5	17.0	16.7
0.75	23.7	25.8	24.9	24.8
1.00	30.8	33.1	31.6	31.8
1.25	35.6	37.9	35.8	36.4
1.50	38.6	40.6	38.3	39.2
1.75	40.7	42.5	40.1	41.1
2.00	42.3	43.9	41.5	42.6
2.25	43.5	45.0	42.6	43.7
2.50	44.4	45.7	43.4	44.5
2.75	45.0	46.2	43.9	45.0
3.00	45.4	46.5	44.3	45.4
3.25	45.8	46.8	44.7	45.8
3.50	46.0	46.9	45.0	46.0
3.75	46.3	47.1	45.2	46.2
4.00	46.4	47.1	45.4	46.3
4.25	46.5	47.2	45.6	46.4
4.50	46.7	47.2	45.7	46.5
4.75	46.8	47.3	45.9	46.7
5.00	46.8	47.3	45.9	46.7
5.25	46.9	47.3	46.0	46.7
5.50	46.9	47.2	46.1	46.7
5.75	47.0	47.2	46.2	46.8
6.00	47.0	47.2	46.2	46.8
6.25	47.0	47.1	46.3	46.8
6.50	47.1	47.1	46.3	46.8
6.75	47.1	47.0	46.4	46.8
7.00	47.1	46.9	46.4	46.8
実測値 K	47.1	47.3	46.4	46.8
塚山式 K	47.5	47.8	46.4	47.2
α	0.995	1.116	1.055	1.054
柳田式 K	47.2	47.3	46.5	46.8
α	1.014	1.146	1.049	1.081
塚山式 K	46.6	47.0	45.7	46.4
α	1.009	1.160	1.084	1.083
β	1.376	1.397	1.282	1.354
柳田式 K	47.2	47.3	46.5	46.8
α	0.828	1.011	0.901	0.915
β	1.143	1.300	1.040	1.221

試験条件：外槽有り－常用型枠－偏差調整

経過時間 (日)	試験所			試験所 平 均
	B	C	D	
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	3.2	4.6	4.4	4.1
0.50	16.2	17.6	17.0	16.9
0.75	24.9	26.3	24.9	25.4
1.00	32.3	33.6	31.6	32.5
1.25	37.0	38.2	35.8	37.0
1.50	39.7	41.0	38.3	39.7
1.75	41.5	42.9	40.1	41.5
2.00	43.1	44.3	41.5	43.0
2.25	44.2	45.5	42.6	44.1
2.50	45.0	46.1	43.4	44.8
2.75	45.6	46.6	43.9	45.4
3.00	46.0	47.0	44.3	45.8
3.25	46.3	47.2	44.7	46.1
3.50	46.5	47.4	45.0	46.3
3.75	46.7	47.5	45.2	46.5
4.00	46.8	47.7	45.4	46.6
4.25	46.9	47.8	45.6	46.8
4.50	47.0	47.9	45.7	46.9
4.75	47.0	47.9	45.9	46.9
5.00	47.1	48.0	45.9	47.0
5.25	47.1	48.0	46.0	47.0
5.50	47.1	48.0	46.1	47.1
5.75	47.1	48.0	46.2	47.1
6.00	47.1	48.0	46.2	47.1
6.25	47.1	48.0	46.3	47.1
6.50	47.1	48.0	46.3	47.1
6.75	47.1	48.0	46.4	47.2
7.00	47.1	48.0	46.4	47.2
実測値 K	47.1	48.0	46.4	47.2
塚山式 K	47.7	48.5	46.4	47.5
α	1.052	1.101	1.055	1.070
柳田式 K	47.1	48.0	46.5	47.2
α	1.086	1.132	1.049	1.091
塚山式 K	46.7	47.7	45.7	46.7
α	1.085	1.146	1.084	1.106
β	1.421	1.387	1.282	1.364
柳田式 K	47.1	48.0	46.5	47.2
α	0.885	0.976	0.901	0.927
β	1.346	1.265	1.040	1.141

試験条件：外槽無し－共通型枠－偏差固定

経過時間 (日)	試験所							試験所 平 均
	A	D	F	H	I	K	L	
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	3.6	5.7	4.8	4.3	3.2	3.9	3.8	4.2
0.50	18.1	21.7	21.1	19.3	18.0	18.2	18.6	19.3
0.75	27.7	32.8	31.7	30.3	28.4	27.9	29.6	29.8
1.00	36.2	40.4	38.2	39.4	37.2	36.0	38.3	38.0
1.25	41.5	44.2	42.0	44.2	42.4	40.6	43.2	42.6
1.50	44.8	46.7	44.8	47.3	45.7	43.4	46.4	45.6
1.75	47.1	48.4	46.8	49.4	48.0	45.8	48.7	47.7
2.00	48.8	49.5	48.4	51.0	49.5	47.4	50.3	49.3
2.25	50.1	50.2	49.4	52.0	50.6	48.5	51.4	50.3
2.50	50.9	50.7	50.1	52.8	51.4	49.5	52.1	51.1
2.75	51.5	50.9	50.8	53.1	51.9	50.0	52.6	51.5
3.00	52.0	51.1	51.4	53.6	52.2	50.3	53.0	51.9
3.25	52.4	51.3	51.7	53.9	52.5	50.7	53.3	52.3
3.50	52.7	51.4	52.0	54.2	52.8	50.9	53.6	52.5
3.75	53.0	51.4	52.3	54.3	52.9	51.1	53.8	52.7
4.00	53.2	51.4	52.5	54.7	53.0	51.2	53.9	52.8
4.25	53.4	51.4	52.7	54.8	53.1	51.4	54.1	53.0
4.50	53.6	51.4	52.9	55.0	53.4	51.6	54.2	53.2
4.75	53.7	51.4	53.2	55.1	53.4	51.7	54.3	53.3
5.00	53.8	51.4	53.2	55.3	53.5	51.9	54.4	53.4
5.25	54.0	51.4	53.2	55.3	53.5	52.1	54.5	53.4
5.50	54.1	51.4	53.2	55.4	53.6	52.2	54.6	53.5
5.75	54.3	51.4	53.4	55.4	53.7	52.3	54.7	53.6
6.00	54.3	51.4	53.5	55.6	53.7	52.4	54.8	53.7
6.25	54.3	51.4	53.5	55.6	53.7	52.5	54.8	53.7
6.50	54.4	51.4	53.7	55.6	53.7	52.6	54.8	53.7
6.75	54.5	51.4	53.7	55.7	53.8	52.7	54.9	53.8
7.00	54.6	51.4	53.7	55.7	53.8	52.8	54.9	53.8
実測値 K	54.6	51.4	53.7	55.7	53.8	52.8	54.9	53.8
塚山式 K	54.6	52.0	53.5	55.9	54.2	52.6	55.2	54.0
α	1.009	1.309	1.120	1.090	1.063	1.046	1.073	1.098
柳田式 K	55.0	51.4	54.0	55.9	54.0	54.0	55.2	54.0
α	0.991	1.346	1.092	1.087	1.076	0.972	1.071	1.096
塚山式 K	53.5	51.2	52.8	54.8	53.1	51.7	54.1	53.0
α	1.034	1.481	1.170	1.150	1.111	1.083	1.125	1.155
β	1.378	1.519	1.268	1.438	1.492	1.367	1.452	1.408
柳田式 K	55.0	51.4	54.0	55.9	54.0	54.0	55.2	54.0
α	0.806	1.245	0.925	0.898	0.862	0.811	0.874	0.911
β	1.037	1.420	0.981	1.048	1.104	0.929	1.049	1.043

試験条件：外槽無し－共通型枠－偏差調整

経過時間 (日)	試験所							試験所 平均
	(A)	(D)	F	H	I	K	L	
0.00	(0.0)	(0.0)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	(3.4)	(1.0)	4.2	3.8	3.3	2.9	2.9	3.4
0.50	(17.1)	(10.5)	19.9	18.9	17.2	16.4	16.4	17.8
0.75	(26.0)	(14.6)	29.9	28.4	27.2	25.6	25.9	27.4
1.00	(33.5)	(18.3)	36.9	36.3	38.1	34.2	34.3	36.0
1.25	(38.0)	(21.5)	40.8	41.0	42.3	39.9	39.4	40.7
1.50	(40.1)	(23.6)	43.6	43.8	45.2	43.2	42.6	43.7
1.75	(41.0)	(24.6)	45.9	45.8	47.2	45.6	44.9	45.9
2.00	(41.5)	(24.6)	47.4	47.0	48.5	47.3	46.7	47.4
2.25	(41.6)	(24.5)	48.6	48.1	49.5	47.9	48.0	48.4
2.50	(41.6)	(23.9)	49.4	48.9	50.2	49.3	48.8	49.3
2.75	(41.4)	(23.9)	50.0	49.2	50.7	49.9	49.5	49.9
3.00	(41.3)	(24.7)	50.4	49.5	51.0	50.4	50.0	50.3
3.25	(41.1)	(25.3)	50.8	49.6	51.1	50.8	50.2	50.5
3.50	(40.7)	(25.8)	51.1	49.6	51.4	51.1	50.5	50.7
3.75	(40.7)	(26.2)	51.2	49.8	51.5	51.4	50.7	50.9
4.00	(40.4)	(26.6)	51.5	49.8	51.6	51.6	50.9	51.1
4.25	(40.3)	(26.9)	51.6	49.8	51.8	51.9	51.2	51.3
4.50	(40.1)	(27.2)	51.8	49.8	51.9	52.1	51.3	51.4
4.75	(40.1)	(27.4)	52.0	49.8	52.0	52.2	51.5	51.5
5.00	(40.0)	(27.6)	52.2	49.6	51.9	52.4	51.6	51.5
5.25	(39.9)	(27.9)	52.2	49.5	51.9	52.5	51.7	51.6
5.50	(39.8)	(28.0)	52.2	49.5	51.9	52.7	51.8	51.6
5.75	(39.7)	(28.1)	52.4	49.3	51.9	52.8	51.9	51.7
6.00	(39.7)	(28.2)	52.4	49.2	51.8	52.9	52.0	51.7
6.25	(39.6)	(28.3)	52.5	49.2	51.8	53.0	52.0	51.7
6.50	(39.5)	(28.3)	52.5	49.0	51.9	53.1	52.1	51.7
6.75	(39.5)	(28.4)	52.6	49.0	52.0	53.2	52.2	51.8
7.00	(39.4)	(28.4)	52.7	49.0	51.9	53.3	52.3	51.8
実測値K	(41.6)	(28.4)	52.7	49.8	52.0	53.3	52.3	51.8
塚山式K	(40.9)	(27.7)	52.6	50.2	52.6	53.3	52.4	52.2
α	(1.464)	(0.996)	1.089	1.180	1.103	0.965	0.986	1.063
柳田式K	(41.6)	(28.7)	52.9	49.8	52.0	54	53	51.9
α	(1.396)	(0.888)	1.071	1.204	1.136	0.930	0.957	1.079
塚山式K	(40.4)	(27.2)	51.7	49.3	51.5	52.1	51.3	51.2
α	(1.841)	(1.041)	1.133	1.266	1.181	0.981	1.005	1.107
β	(1.925)	(1.220)	1.302	1.525	1.595	1.404	1.413	1.443
柳田式K	(41.6)	(28.7)	52.9	49.8	52.0	54	53.0	51.9
α	(1.580)	(0.667)	0.895	1.044	0.909	0.735	0.759	0.878
β	(1.953)	(1.056)	1.012	1.494	1.373	1.039	1.035	1.121

備考) 試験所平均は、() を除いて計算した。

試験条件：外槽無し－常用型枠－偏差固定

経過時間 (日)	試験所					試験所 平 均
	D	F	H	I	L	
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	5.5	4.5	4.0	4.7	4.0	4.5
0.50	19.1	18.0	19.4	19.4	19.1	19.0
0.75	28.1	26.0	28.8	29.6	29.6	28.4
1.00	35.0	31.8	36.1	36.4	38.5	35.6
1.25	38.9	35.4	40.5	40.4	43.5	39.7
1.50	41.3	37.9	43.1	43.2	46.6	42.4
1.75	43.0	39.9	45.2	45.1	48.9	44.4
2.00	44.3	41.5	46.6	46.3	50.6	45.9
2.25	45.3	42.7	47.7	47.2	51.7	46.9
2.50	46.0	43.6	48.5	47.9	52.4	47.7
2.75	46.4	44.3	49.1	48.3	52.9	48.2
3.00	46.8	44.8	49.7	48.6	53.3	48.6
3.25	47.1	45.2	50.0	48.9	53.6	49.0
3.50	47.3	45.7	50.3	49.4	53.9	49.3
3.75	47.5	45.9	50.4	49.6	54.1	49.5
4.00	47.7	46.0	50.6	49.7	54.2	49.6
4.25	47.8	46.3	50.8	49.9	54.4	49.8
4.50	47.9	46.5	51.1	50.3	54.5	50.1
4.75	47.9	46.6	51.1	50.4	54.6	50.1
5.00	48.0	46.8	51.2	50.5	54.7	50.2
5.25	48.0	46.9	51.2	50.6	54.8	50.3
5.50	48.1	47.1	51.4	50.7	54.9	50.4
5.75	48.1	47.2	51.4	50.7	54.9	50.5
6.00	48.1	47.2	51.4	50.7	55.0	50.5
6.25	48.1	47.3	51.4	50.8	55.0	50.5
6.50	48.1	47.4	51.5	50.8	55.0	50.6
6.75	48.1	47.4	51.5	50.8	55.1	50.6
7.00	48.1	47.5	51.5	50.8	55.1	50.6
実測値 K	48.1	47.5	51.5	50.8	55.1	50.6
塚山式 K	48.3	47.2	51.7	50.8	55.4	50.7
α	1.162	1.026	1.089	1.131	1.078	1.096
柳田式 K	48.1	47.9	51.7	51.0	55.3	50.8
α	1.179	0.985	1.086	1.119	1.083	1.089
塚山式 K	47.6	46.7	50.8	50.0	54.3	49.9
α	1.224	1.043	1.134	1.196	1.128	1.142
β	1.321	1.173	1.330	1.338	1.440	1.320
柳田式 K	48.1	47.9	51.7	51.0	55.3	50.8
α	1.033	0.859	0.906	0.948	0.893	0.924
β	1.152	0.964	1.053	1.017	1.067	1.027

試験条件：外槽無し－常用型枠－偏差調整

経過時間 (日)	試験所					試験所 平 均
	D	F	H	I	L	
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	4.8	3.7	2.0	2.7	3.5	3.3
0.50	18.7	17.1	14.7	15.9	18.4	17.0
0.75	28.4	25.3	23.3	24.7	28.3	26.0
1.00	36.4	31.2	30.9	32.2	36.6	33.5
1.25	41.0	34.9	36.0	37.2	41.5	38.1
1.50	43.8	37.5	39.3	40.5	44.5	41.1
1.75	45.9	39.5	41.5	42.8	46.7	43.3
2.00	47.6	41.1	43.2	44.5	48.5	45.0
2.25	48.7	42.3	44.6	45.8	49.5	46.2
2.50	49.5	43.1	45.5	46.7	50.3	47.0
2.75	50.0	43.8	46.4	47.4	50.9	47.7
3.00	50.5	44.3	46.9	48.0	51.4	48.2
3.25	50.8	44.7	47.3	48.6	51.7	48.6
3.50	51.1	45.1	47.8	49.0	52.0	49.0
3.75	51.4	45.4	48.1	49.4	52.3	49.3
4.00	51.6	45.6	48.4	49.7	52.5	49.6
4.25	51.7	45.9	48.5	50.0	52.7	49.8
4.50	51.9	45.9	48.8	50.3	52.9	50.0
4.75	52.0	46.1	49.0	50.5	53.0	50.1
5.00	52.2	46.1	49.2	50.7	53.1	50.3
5.25	52.3	46.3	49.6	51.0	53.3	50.5
5.50	52.4	46.5	49.8	51.3	53.4	50.7
5.75	52.5	46.5	49.9	51.4	53.5	50.8
6.00	52.5	46.5	50.1	51.5	53.6	50.8
6.25	52.6	46.7	50.4	51.7	53.7	51.0
6.50	52.7	46.6	50.5	51.9	53.9	51.1
6.75	52.8	46.6	50.7	52.1	53.9	51.2
7.00	52.9	46.7	50.7	52.3	54.0	51.3
実測値 K	52.9	46.7	50.7	52.3	54.0	51.3
塚山式 K	52.8	46.7	50.4	51.7	53.9	51.1
α	1.063	1.015	0.892	0.909	1.035	0.982
柳田式 K	53.2	46.8	52.2	54.0	54.7	52.0
α	1.039	1.008	0.805	0.799	0.992	0.931
塚山式 K	51.9	46.0	49.2	50.7	52.8	50.1
α	1.101	1.033	0.894	0.915	1.072	1.000
β	1.331	1.224	1.323	1.274	1.379	1.304
柳田式 K	53.2	46.8	52.2	54.0	54.7	52.0
α	0.887	0.846	0.622	0.653	0.805	0.763
β	0.984	1.072	1.034	0.975	0.991	0.998

装置製造メーカー：A社製、B社製、D社製

経過時間 (日)	装置製造メーカー、試験所		
	A社製、A	B社製、B	D社製、L
0.00	0.0	0.0	0.0
0.25	3.3	3.5	2.9
0.50	16.4	16.2	16.4
0.75	25.4	25.0	25.9
1.00	33.3	32.4	34.3
1.25	38.5	37.2	40.5
1.50	41.5	40.3	43.5
1.75	43.6	42.5	45.7
2.00	45.2	43.9	47.4
2.25	46.3	45.3	48.5
2.50	47.1	46.1	49.3
2.75	47.7	46.7	49.8
3.00	48.2	47.1	50.2
3.25	48.5	47.6	50.5
3.50	48.7	48.0	50.8
3.75	49.0	48.2	51.0
4.00	49.1	48.3	51.1
4.25	49.3	48.5	51.3
4.50	49.4	48.7	51.4
4.75	49.6	48.8	51.5
5.00	49.7	48.9	51.6
5.25	49.7	49.0	51.7
5.50	49.8	49.3	51.7
5.75	49.9	49.3	51.8
6.00	49.9	49.3	51.8
6.25	50.0	49.4	51.9
6.50	50.0	49.4	52.0
6.75	50.0	49.6	52.1
7.00	50.1	49.6	52.1
実測値 K	50.1	49.6	52.1
塚山式 K	50.4	49.7	52.4
α	1.015	0.990	1.013
柳田式 K	50.3	49.9	52.3
α	1.019	0.978	1.021
塚山式 K	49.3	48.7	51.3
α	1.040	1.007	1.040
β	1.412	1.345	1.491
柳田式 K	50.3	49.9	52.3
α	0.828	0.805	0.806
β	1.085	1.049	1.109

資料－４ 断熱温度上昇共通三次試験結果データ集

ケース No.1：偏差：B、外槽：有り、型枠：常用

経過時間 (日)	試験所			
	B	C	F	H
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	1.6	1.9	1.7	4.3
0.50	8.2	8.3	7.7	11.4
0.75	14.4	14.2	13.7	14.3
1.00	16.5	16.2	15.8	15.9
1.25	18.2	18.0	17.4	17.5
1.50	19.7	19.4	19.0	18.9
1.75	21.1	21.0	20.4	20.2
2.00	22.5	22.3	21.7	21.2
2.25	23.6	23.6	22.9	22.3
2.50	24.6	24.7	24.0	23.3
2.75	25.6	25.7	25.0	24.1
3.00	26.4	26.5	25.8	24.9
3.25	27.3	27.4	26.7	25.7
3.50	28.3	28.1	27.5	26.4
3.75	29.2	28.9	28.3	27.1
4.00	30.1	29.8	29.1	27.9
4.25	31.1	30.6	29.9	28.6
4.50	32.1	31.6	30.7	29.4
4.75	33.0	32.3	31.6	30.1
5.00	33.9	33.1	32.4	30.7
5.25	34.7	33.9	33.1	31.6
5.50	35.4	34.6	33.8	32.3
5.75	36.1	35.2	34.5	33.0
6.00	36.6	35.8	35.1	33.3
6.25	37.2	36.4	35.7	34.0
6.50	37.6	36.8	36.2	34.5
6.75	38.1	37.2	36.6	34.9
7.00	38.5	37.6	37.0	35.3
7.25	38.8	38.0	37.4	35.7
7.50	39.1	38.3	37.8	36.0
7.75	39.4	38.5	38.1	36.4
8.00	39.7	38.8	38.4	36.6
8.25	39.9	39.0	38.7	36.9
8.50	40.1	39.2	38.8	37.2
8.75	40.3	39.5	39.0	37.4
9.00	40.5	39.7	39.2	37.4
9.25	40.7	39.9	39.4	37.8
9.50	40.8	40.0	39.5	38.0
9.75	40.9	40.1	39.6	38.0
10.00	41.1	40.2	39.8	38.2
10.25	41.2	40.3	39.9	38.3
10.50	41.3	40.4	40.0	38.5
10.75	41.4	40.5	40.1	38.5
11.00	41.5	40.6	40.2	38.5
11.25	41.6	40.7	40.2	38.8
11.50	41.7	40.8	40.3	38.9
11.75	41.8	40.8	40.3	38.9
12.00	41.8	40.9	40.4	39.0
12.25	41.9	40.9	40.4	39.1
12.50	42.0	41.0	40.5	39.0
12.75	42.0	41.0	40.5	39.2
13.00	42.1	41.0	40.5	39.3
13.25	42.2	41.1	40.6	39.4
13.50	42.2	41.1	40.6	39.3
13.75	42.3	41.1	40.6	39.5
14.00	42.3	41.1	40.7	39.7
実測値 K	42.3	41.1	40.7	39.7
柳田式 K	43.3	41.2	40.9	40.7
α	0.324	0.359	0.345	0.314
α	0.348	0.356	0.346	0.429
β	0.931	1.025	1.008	0.796

ケース No.2 : 偏差 : B、外槽 : 有り、型枠 : 共通

経過時間 (日)	試験所					
	A	B	C	F	H	K
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	1.6	1.8	2.7	1.6	3.2	2.0
0.50	7.7	8.6	11.3	7.6	10.5	8.4
0.75	15.0	15.4	16.9	15.2	13.5	14.7
1.00	17.5	17.8	19.3	17.8	16.0	17.0
1.25	19.5	19.8	21.7	19.7	18.0	18.8
1.50	21.3	21.7	23.7	21.5	19.8	20.5
1.75	23.1	23.4	25.6	23.2	21.3	22.0
2.00	24.6	24.9	27.1	24.7	22.3	23.4
2.25	26.0	26.2	28.6	26.1	23.3	24.6
2.50	27.2	27.4	29.8	27.3	24.3	25.7
2.75	28.4	28.5	31.1	28.4	25.1	26.7
3.00	29.4	29.6	32.2	29.5	25.9	27.6
3.25	30.5	30.6	33.6	30.6	27.0	28.5
3.50	31.5	31.7	34.8	31.7	28.0	29.3
3.75	32.6	32.5	36.0	32.7	28.9	30.2
4.00	33.7	33.6	37.1	33.9	29.9	31.1
4.25	34.8	34.7	38.0	35.0	30.9	32.1
4.50	35.9	35.7	38.9	36.0	31.6	32.9
4.75	36.8	36.7	39.6	37.0	32.5	33.8
5.00	37.8	37.8	40.1	37.9	33.5	34.6
5.25	38.6	38.5	40.6	38.7	34.1	35.2
5.50	39.2	39.2	41.0	39.4	35.0	35.8
5.75	39.8	39.8	41.3	40.0	35.9	36.3
6.00	40.4	40.3	41.7	40.5	36.8	36.8
6.25	40.9	40.7	42.0	41.0	37.4	37.3
6.50	41.3	41.1	42.2	41.4	38.0	37.7
6.75	41.6	41.5	42.3	41.8	38.6	38.0
7.00	42.0	41.8	42.5	42.1	38.8	38.3
7.25	42.3	42.1	42.6	42.4	39.5	38.6
7.50	42.5	42.3	42.7	42.6	39.9	38.8
7.75	42.7	42.5	42.8	42.9	40.3	39.0
8.00	42.9	42.7	42.9	43.1	40.5	39.2
8.25	43.1	42.9	43.0	43.3	40.8	39.4
8.50	43.3	43.1	43.1	43.5	41.1	39.5
8.75	43.5	43.2	43.1	43.6	41.3	39.7
9.00	43.6	43.3	43.1	43.8	41.3	39.7
9.25	43.7	43.5	43.2	44.0	41.7	39.9
9.50	43.9	43.6	43.2	44.1	41.8	39.9
9.75	44.0	43.7	43.2	44.2	42.0	40.0
10.00	44.1	43.8	43.2	44.4	41.9	40.0
10.25	44.2	43.9	43.3	44.5	42.0	40.1
10.50	44.2	44.0	43.3	44.6	42.3	40.2
10.75	44.3	44.0	43.3	44.7	42.4	40.2
11.00	44.4	44.1	43.3	44.9	42.4	40.3
11.25	44.4	44.2	43.3	44.9	42.5	40.3
11.50	44.5	44.3	43.3	45.0	42.6	40.3
11.75	44.6	44.3	43.3	45.1	42.7	40.3
12.00	44.7	44.4	43.3	45.1	42.5	40.3
12.25	44.7	44.4	43.3	45.2	42.7	40.4
12.50	44.7	44.5	43.3	45.3	42.8	40.4
12.75	44.8	44.6	43.3	45.3	42.9	40.4
13.00	44.8	44.6	43.2	45.3	42.8	40.4
13.25	44.8	44.6	43.2	45.3	42.9	40.4
13.50	44.9	44.6	43.2	45.4	43.0	40.4
13.75	45.0	44.7	43.2	45.4	43.0	40.4
14.00	45.0	44.7	43.2	45.4	42.9	40.4
実測値 K	45.0	44.7	43.3	45.4	43.0	40.4
柳田式 K	45.5	45.1	43.3	45.5	43.0	40.4
α	0.366	0.324	0.506	0.372	0.335	0.413
α	0.355	0.348	0.469	0.342	0.365	0.390
β	0.992	0.931	1.098	1.057	0.995	1.067

ケース No.3 : 偏差 : B、外槽 : 無し、型枠 : 共通

経過時間 (日)	試験所					
	B	C	D	F	H	K
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	2.2	3.4	2.5	1.9	1.6	1.7
0.50	9.8	11.6	10.8	9.1	8.6	8.2
0.75	16.5	17.6	16.8	16.6	15.4	15.4
1.00	19.2	20.1	19.4	19.3	17.9	18.0
1.25	21.5	22.3	21.7	21.6	20.2	20.0
1.50	23.6	24.2	23.7	23.7	22.4	21.8
1.75	25.5	26.0	25.5	25.6	24.2	23.2
2.00	27.2	27.5	27.2	27.3	25.7	24.7
2.25	28.7	28.8	28.5	28.9	27.2	25.9
2.50	30.1	30.0	29.8	30.3	28.5	27.1
2.75	31.4	31.0	30.8	31.3	29.6	28.0
3.00	32.7	32.0	32.0	32.9	30.5	29.0
3.25	34.0	33.1	33.2	34.2	31.7	30.0
3.50	35.4	34.2	34.4	35.5	33.0	30.9
3.75	36.8	35.3	35.5	36.8	34.1	31.9
4.00	38.0	36.3	36.6	38.0	35.2	32.9
4.25	39.1	37.2	37.6	39.0	36.3	33.8
4.50	40.0	38.2	38.5	40.0	37.3	34.6
4.75	40.8	38.9	39.2	40.7	38.1	35.3
5.00	41.4	39.5	39.9	41.4	38.8	36.0
5.25	42.0	40.0	40.5	41.9	39.4	36.5
5.50	42.5	40.5	41.0	42.4	40.0	36.9
5.75	42.8	40.9	41.5	42.8	40.5	37.3
6.00	43.2	41.3	41.7	43.2	40.9	37.6
6.25	43.4	41.7	42.1	43.4	41.1	37.9
6.50	43.7	41.9	42.3	43.7	41.6	38.0
6.75	43.9	42.1	42.6	43.9	41.8	38.2
7.00	44.0	42.2	42.7	44.0	41.9	38.4
7.25	44.2	42.4	42.9	44.1	42.1	38.4
7.50	44.3	42.5	43.0	44.2	42.4	38.5
7.75	44.4	42.6	43.2	44.3	42.5	38.5
8.00	44.5	42.7	43.2	44.4	42.5	38.5
8.25	44.6	42.8	43.3	44.5	42.6	38.6
8.50	44.7	42.8	43.4	44.5	42.9	38.6
8.75	44.7	42.8	43.4	44.6	42.9	38.6
9.00	44.8	42.9	43.6	44.6	42.8	38.6
9.25	44.9	42.9	43.6	44.7	42.9	38.7
9.50	44.9	42.9	43.6	44.8	43.1	38.6
9.75	44.9	42.9	43.6	44.8	43.2	38.7
10.00	44.9	42.9	43.7	44.8	42.9	38.7
10.25	45.0	42.9	43.7	44.9	43.2	38.7
10.50	45.0	42.9	43.7	44.9	43.2	38.7
10.75	45.0	42.9	43.7	44.9	43.3	38.6
11.00	45.1	42.9	43.8	44.9	43.1	38.7
11.25	45.1	42.9	43.8	45.0	43.2	38.7
11.50	45.1	42.9	43.8	45.0	43.3	38.6
11.75	45.1	42.9	43.8	45.0	43.3	38.6
12.00	45.1	43.0	43.8	45.0	43.1	38.5
12.25	45.1	43.0	43.8	45.1	43.2	38.4
12.50	45.1	43.0	43.8	45.1	43.3	38.3
12.75	45.1	43.0	43.9	45.1	43.3	38.2
13.00	45.1	43.0	43.8	45.1	43.1	38.0
13.25	45.1	43.0	43.7	45.1	43.2	37.9
13.50	45.1	43.0	43.8	45.1	43.2	37.8
13.75	45.1	42.9	43.8	45.1	43.2	37.7
14.00	45.1	42.9	43.8	45.1	43.1	37.6
実測値 K	45.1	43.0	43.9	45.1	43.3	38.7
柳田式 K	45.1	43.0	43.9	45.2	43.3	38.7
α	0.475	0.512	0.482	0.473	0.450	0.514
α	0.421	0.500	0.454	0.427	0.385	0.435
β	1.122	1.057	1.057	1.062	1.138	1.182

ケース No.4：偏差：A、外槽：有り、型枠：共通

経過時間 (日)	試験所	
	A	K
0.00	0.0	0.0
0.25	3.4	2.0
0.50	15.3	8.2
0.75	20.9	14.9
1.00	23.5	17.2
1.25	25.8	19.0
1.50	27.8	20.8
1.75	29.5	22.5
2.00	31.0	23.9
2.25	32.3	25.2
2.50	33.6	26.3
2.75	34.8	27.3
3.00	36.1	28.3
3.25	37.4	29.3
3.50	38.7	30.2
3.75	39.7	31.1
4.00	40.7	32.0
4.25	41.6	33.0
4.50	42.2	33.9
4.75	42.8	34.9
5.00	43.3	35.7
5.25	43.7	36.5
5.50	44.1	37.1
5.75	44.3	37.6
6.00	44.6	38.2
6.25	44.7	38.7
6.50	44.9	39.2
6.75	45.0	39.5
7.00	45.2	39.9
7.25	45.3	40.1
7.50	45.5	40.5
7.75	45.5	40.7
8.00	45.6	41.0
8.25	45.6	41.2
8.50	45.7	41.4
8.75	45.7	41.6
9.00	45.8	41.8
9.25	45.8	41.9
9.50	45.8	42.0
9.75	45.9	42.2
10.00	45.8	42.2
10.25	45.9	42.4
10.50	45.8	42.6
10.75	45.9	42.6
11.00	45.8	42.6
11.25	45.9	42.8
11.50	45.9	42.8
11.75	45.9	42.9
12.00	45.9	43.0
12.25	45.9	43.0
12.50	45.9	43.0
12.75	45.9	43.1
13.00	45.9	43.2
13.25	45.8	43.2
13.50	45.9	43.2
13.75	45.9	43.3
14.00	45.9	43.3
実測値 K	45.9	43.3
柳田式 K	45.9	43.6
α	0.585	0.365
α	0.563	0.370
β	1.033	0.978

ケース No.5：偏差：C、外槽：有り、型枠：共通

経過時間 (日)	試験所	
	A	K
0.00	0.0	0.0
0.25	2.8	2.0
0.50	12.7	8.1
0.75	19.2	15.0
1.00	21.5	17.3
1.25	23.7	19.1
1.50	25.6	21.0
1.75	27.2	22.6
2.00	28.7	24.1
2.25	29.8	25.3
2.50	31.0	26.5
2.75	32.1	27.6
3.00	33.1	28.6
3.25	34.2	29.5
3.50	35.2	30.5
3.75	36.3	31.5
4.00	37.4	32.4
4.25	38.3	33.5
4.50	39.3	34.4
4.75	40.0	35.3
5.00	40.7	36.1
5.25	41.3	36.9
5.50	41.8	37.5
5.75	42.3	38.0
6.00	42.7	38.5
6.25	43.0	39.0
6.50	43.3	39.5
6.75	43.5	39.8
7.00	43.8	40.2
7.25	44.0	40.5
7.50	44.1	40.8
7.75	44.3	41.0
8.00	44.4	41.3
8.25	44.6	41.5
8.50	44.7	41.6
8.75	44.7	41.8
9.00	44.8	41.9
9.25	44.9	42.1
9.50	45.0	42.2
9.75	45.0	42.4
10.00	45.0	42.4
10.25	45.1	42.5
10.50	45.1	42.6
10.75	45.2	42.7
11.00	45.2	42.8
11.25	45.2	42.9
11.50	45.2	42.9
11.75	45.3	43.0
12.00	45.3	43.1
12.25	45.3	43.1
12.50	45.3	43.2
12.75	45.4	43.3
13.00	45.3	43.3
13.25	45.4	43.4
13.50	45.4	43.4
13.75	45.3	43.4
14.00	45.4	43.4
実測値 K	45.4	43.4
柳田式 K	45.4	43.7
α	0.487	0.371
α	0.483	0.373
β	0.997	0.984

ケース No.6 : 偏差 : A、外槽 : 無し、型枠 : 共通

経過時間 (日)	試験所	
	D	L
0.00	0.0	0.0
0.25	2.4	1.9
0.50	12.5	8.8
0.75	16.7	16.0
1.00	19.4	18.6
1.25	21.8	20.7
1.50	24.0	22.3
1.75	25.8	24.3
2.00	27.3	25.8
2.25	28.5	27.2
2.50	29.7	28.5
2.75	30.8	29.5
3.00	31.9	30.7
3.25	33.0	32.0
3.50	34.1	33.3
3.75	35.3	34.6
4.00	36.2	35.9
4.25	37.1	36.9
4.50	37.7	38.0
4.75	38.4	38.8
5.00	39.0	39.6
5.25	39.4	40.2
5.50	39.8	40.8
5.75	40.1	41.3
6.00	40.3	41.7
6.25	40.5	42.1
6.50	40.8	42.4
6.75	40.8	42.8
7.00	41.0	42.8
7.25	41.1	42.9
7.50	41.2	43.1
7.75	41.2	43.3
8.00	41.3	43.4
8.25	41.3	43.5
8.50	41.3	43.6
8.75	41.4	43.7
9.00	41.3	43.8
9.25	41.3	43.9
9.50	41.4	43.9
9.75	41.3	44.0
10.00	41.3	44.1
10.25	41.2	44.1
10.50	41.2	44.1
10.75	41.2	44.1
11.00	41.1	44.2
11.25	41.0	44.2
11.50	41.0	44.2
11.75	40.9	44.3
12.00	41.0	44.3
12.25	40.8	44.3
12.50	40.8	44.3
12.75	40.7	44.4
13.00	40.8	44.4
13.25	40.6	44.4
13.50	40.5	44.4
13.75	40.5	44.4
14.00	40.4	44.4
実測値 K	41.4	44.4
柳田式 K	41.4	44.5
α	0.548	0.434
α	0.498	0.399
β	1.122	1.060

ケース No.7 : 偏差 : C、外槽 : 無し、型枠 : 共通

経過時間 (日)	試験所	
	D	L
0.00	0.0	0.0
0.25	2.5	2.1
0.50	11.2	9.5
0.75	16.9	15.7
1.00	19.5	18.0
1.25	22.0	19.9
1.50	24.2	21.6
1.75	26.2	23.1
2.00	27.8	24.4
2.25	29.3	25.6
2.50	30.7	26.6
2.75	31.9	27.6
3.00	33.2	28.5
3.25	34.6	29.3
3.50	36.0	30.2
3.75	37.3	31.2
4.00	38.6	32.0
4.25	39.6	32.8
4.50	40.6	33.6
4.75	41.3	34.2
5.00	42.1	34.8
5.25	42.7	35.2
5.50	43.2	35.7
5.75	43.7	36.0
6.00	44.0	36.3
6.25	44.3	36.5
6.50	44.6	36.7
6.75	45.0	36.9
7.00	45.2	37.0
7.25	45.4	37.1
7.50	45.6	37.1
7.75	45.8	37.2
8.00	45.9	37.2
8.25	46.1	37.2
8.50	46.2	37.2
8.75	46.4	37.1
9.00	46.5	37.1
9.25	46.6	37.1
9.50	46.7	37.0
9.75	46.9	36.9
10.00	47.0	36.9
10.25	47.1	36.8
10.50	47.2	36.8
10.75	47.3	36.8
11.00	47.3	36.8
11.25	47.4	36.7
11.50	47.5	36.7
11.75	47.6	36.6
12.00	47.7	36.6
12.25	47.8	36.6
12.50	47.8	36.5
12.75	47.8	36.5
13.00	47.9	36.4
13.25	47.9	36.4
13.50	48.0	36.3
13.75	48.0	36.3
14.00	48.1	36.2
実測値 K	48.1	37.2
柳田式	49.1	37.2
α	0.394	0.541
α	0.427	0.486
β	0.882	1.131

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	碎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	碎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

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

ISBN4-88175-039-9 C3358 ¥3000E

コンクリート専門委員会報告 F-50

定 価: 本体3,000 + 税

平成11年3月25日 印刷	社団法人 セメント協会
平成11年3月30日 発行	東京都中央区京橋1丁目10番3号
	服部ビル4階
	電話 03 (3561) 8632 (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