PNC-TN9410 87-068

# 「もんじゅ」パーライトコンクリート
# 物　性　試　験

１９８７年３月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については，下記にお問い合わせください。
〒311-13　茨城県東茨城郡大洗町成田町4002
動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター　システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団（Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation）

PNC-TN9410 87-068
1 9 8 7 年 3 月

# 「もんじゅ」パーライトコンクリート物性試験

（筆者氏名*）　大平博昭*　宇都宮一博*
進藤正宏*　亀井　満*

## 要　旨

高速増殖原型炉「もんじゅ」で、一次冷却材が漏洩するという仮想事故が想定される。この時、漏洩ナトリウムにより、コンクリート構造物の急激な温度上昇が生じると考えられるが、この条件下でも耐えうるように断熱性能に優れたパーライトコンクリートが内部コンクリート構造物とライナプレートとの間に施工される。

そこで、この冷却材漏洩事故時に於いてパーライトコンクリートの熱伝導率が当初の設計通りであることの確証を目的として本試験を行なった。

試験は実機を模擬した条件を含む、種々の条件について行なったが、いずれの条件に於いても当初の設計条件は満足されることが確かめられた。

本試験により得られた主な結果は以下の通りである。

(1) 「もんじゅ」に施工されるパーライトコンクリートの熱伝導率は、いかなる条件に於いても設計条件（450℃で0.25kcal／mh℃以下）を満足する。

(2) パーライトコンクリートの熱伝導率の温度依存性は、含まれている水分の熱伝導率が支配因子となっている。

(3) パーライトコンクリートの熱伝導率は、空隙率を用いることにより、定式化することができた。

＊大洗工学センター機器構造開発部高速増殖炉機器開発室

PNC-TN9410 87-068

March, 1987

(Title) Thermal Properties Of "Monju" Perlite Concrete

(筆者氏名*) Hiroaki OHIRA , Kazuhiro UTSUNOMIYA*,
Masahiro SHINDO* and Mitsuru KAMEI*

Abstract

In the LMFBR "Monju" a good heat insulator, perlite concrete, is to be used between the inner concrete structures and the liner plate against the rapid-temperature increase of concrete structures when the hypothetical coolant leak accidents are occured.

The purpose of present test is to confirm its safety even in the accidents.

The tests were conducted in various conditions, which ofcource include "Monju"design conditions (at 450℃, $\lambda \leq 0.25$kcal/mh℃) and it was confirmed that the design conditions of "Monju" were satisfied even in any kind of situations.

The main results of tests are as follows.

1) The design conditions of thermal conductivity of "Monju" perlite concrete were satisfied even in any test conditions.
2) Temperature dependence of its thermal conductivity was mainly dominated by that of water included in the perlite concrete.
3) The characteristics of its thermal conductivity could well explained by using its porosity.

---

* FBR Components Development Section, O-arai Engineering Center

# 目　　次


1. 緒　　言 …… 1
2. 試験目的 …… 3
3. 試験体 …… 4
3.1 使用材料 …… 4
3.2 パーライトコンクリートの練り混ぜ法、試験体の成型方法 …… 5
3.3 試験体の養生方法 …… 5
3.4 試験体のシール方法 …… 6
4. 試験方法 …… 6
4.1 測定方法 …… 6
4.1.1 熱伝導率の測定方法 …… 6
4.1.2 熱拡散率の測定方法 …… 8
4.1.3 密度の測定方法 …… 9
4.1.4 強度の測定方法 …… 9
4.2 試験体への熱電対の埋め込みおよび温度測定位置 …… 9
4.2.1 熱伝導率測定用試験体 …… 9
4.2.2 熱拡散率測定用試験体 …… 10
4.2.3 密度測定用試験体 …… 10
4.2.4 強度測定用試験体 …… 10
4.3 温度測定法 …… 10
4.3.1 熱伝導率 …… 10
4.3.2 熱拡散率 …… 11
4.3.3 密度および強度 …… 11
4.4 測定時における設定温度および加熱ステップ …… 11
4.4.1 熱伝導率 …… 11
4.4.2 熱拡散率 …… 12
4.4.3 密度 …… 12
4.4.4 強度 …… 12

4.5　熱伝導率（円筒法）における試験体端部の断熱 …… 12
4.6　試験体の寸法および質量測定 …… 12
5.　試験結果 …… 14
5.1　使用したパーライトコンクリートの性質 …… 14
5.2　熱伝導率の測定結果 …… 14
5.3　熱拡散率の測定結果 …… 15
5.4　密度の測定結果 …… 16
5.5　強度の測定結果 …… 16
5.6　各試験体の試験前後のクラックの状況 …… 16
5.7　熱伝導率の再現性試験の検討 …… 17
6.　考　察 …… 18
6.1　450 ℃での熱伝導率 …… 18
6.2　養生中重量変化 …… 18
6.3　測定精度 …… 19
6.3.1　測定系の比率誤差 …… 19
6.3.2　軸方向温度ムラによる影響 …… 21
6.4　熱伝導率の温度依存性 …… 22
6.4.1　λの標準的温度依存傾向 …… 22
6.4.2　各試験体のλの温度依存 …… 26
6.4.3　λの温度依存モデル …… 30
7.　結　論 …… 34
8.　謝　辞 …… 35
参考文献 …… 36

# 図・表　リスト

## 図


図－A．1(a)　「もんじゅ」　主要建物

図－A．1(b)　A部拡大

図－A．2　「もんじゅ」での設計条件

図－C．1　密度の増減概要

図－C．2　軸方向熱洩れ評価

図－C．3　パーライトコンクリートのλと普通ポルトランドセメントの熱変化

図－C．4　パーライトコンクリートのλの温度依存性（Ⅰ）

図－C．5　パーライトコンクリートのλの温度依存性（Ⅱ）

図－C．6　パーライトコンクリートのλの温度依存性（Ⅲ）

図－C．7　試験体の水分の挙動

図－C．8　パーライトコンクリートの微小体積の模式化

図－C．9　単純モデル

図－C．10　等価回路

図－3．1　熱伝導率（円筒法）試験体（測定条件：アンシール）

図－3．2　熱伝導率（円筒法）試験体（測定条件：シール）

図－3．3　円筒型電気炉概要図

図－3．4　熱伝導率（円筒法）測定システム概要図

図－3．5　角型電気炉概要図

図－3．6(a)　熱伝導率（熱線法）試験体

図－3．6(b)　熱伝導率（熱線法）測定システム概要図

図－3．7(a)　熱拡散率測定試験体

図－3．7(b)　熱拡散率測定システム概要図

図－5．1　熱伝導率測定結果（試験体No.X）

図－5．2　熱伝導率測定結果（試験体No.A－1）

図－5．3　熱伝導率測定結果（試験体No.A－2）

図－５．４　　熱伝導率測定結果（試験体No.Ｃ）

図－５．５　　熱伝導率測定結果（試験体No.Ｄ）

図－５．６　　熱伝導率測定結果（試験体No.Ｅ）

図－５．７　　熱伝導率測定結果（試験体No.Ｂ）

図－５．８　　熱拡散率及び比熱

図－５．９　　密度測定結果（試験体No.Ｇ－Ｃ）

図－５．10　　密度測定結果（試験体No.Ｇ－Ｄ）

図－５．11　　密度測定結果（試験体No.Ｇ－Ｅ）

図－５．12　　密度測定結果（試験体No.Ｇ－Ｆ１）

図－６．１　　熱伝導率測定結果

図－６．２　　単純モデルと測定値との比較

# 表

表－A．1　パーライトコンクリートと一般コンクリートの比較
表－B．1　パーライトコンクリートの密度
表－C．1　450 ℃での熱伝導率
表－3．1　パーライトコンクリート試験条件の組み合わせ
表－3．2　セメントの物理試験結果
表－3．3　パーライトの粒径等
表－3．4　パーライトコンクリートの調合比
表－3．5　各バッチから製作した試験体
表－4．1　熱伝導率（円筒法）における設定温度
表－4．2　熱伝導率（熱線法）における設定温度
表－4．3　熱拡散率における設定温度
表－4．3　試験体の軸方向温度分布
表－5．1　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様
表－5．2　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様
表－5．3　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様
表－5．4　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様
表－5．5　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様
表－5．6　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様
表－5．7　熱伝導率（熱線法）試験体の寸法および仕様
表－5．8　熱伝導率（円筒法）測定結果
表－5．9　熱伝導率（円筒法）測定結果
表－5．10　熱伝導率（熱線法）測定結果及び熱拡散率測定結果
表－5．11　熱拡散率試験体の寸法および仕様
表－5．12　密度試験体の寸法および仕様
表－5．13　密度測定結果
表－5．14　強度試験体の寸法・仕様および圧縮強度試験体結果
表－5．15　試験前の密度変化

# 写　真　の　リ　ス　ト

写真－1　熱伝導率（円筒法）試験体製作用型わく
写真－2　熱伝導率（熱線法）試験体製作用型わく
写真－3　熱拡散率試験体製作用型わく
写真－4　パーライトコンクリートの練り混ぜ
写真－5　試験体の成型状況（熱伝導率（円筒法）試験体）
写真－6　試験体の成型状況（強度試験用）
写真－7　脱型直後の熱伝導率（円筒法）用試験体
写真－8　脱型直後の熱伝導率（熱線法）用試験体
写真－9　脱型直後の熱拡散率用試験体
写真－10　試験体の養生状況
写真－11　熱伝導率（円筒法）測定時のアンシールの状態
写真－12　熱伝導率（円筒法）測定時のシールの状態
写真－13　試験体中空部の加熱ヒーター
写真－14　円筒型電気炉内に設置した熱伝導率（円筒法）試験体
写真－15　熱伝導率（円筒法）測定状況
写真－16　熱拡散率測定状況
写真－17　密度測定状況
写真－18　強度測定状況
写真－19　熱伝導率（円筒法）試験体内面温度測定用熱電対の固定
写真－20　熱伝導率（円筒法）試験体外面温度測定用熱電対の固定
写真－21　熱伝導率（熱線法）の熱線と熱電対の固定
写真－22　熱拡散率の熱電対の固定
写真－23　試験体No.Ｘ－１の測定前の状態
写真－24　試験体No.Ｘ－１の測定後の状態
写真－25　試験体No.Ａ１－１の測定前の状態
写真－26　試験体No.Ａ１－１の測定後の状態
写真－27　試験体No.Ａ２－１の測定前の状態
写真－28　試験体No.Ａ２－１の測定後の状態

写真－29　試験体No.Ｃ－１の測定前の状態

写真－30　試験体No.Ｃ－１の測定後の状態

写真－31　試験体No.Ｄ－１の測定前の状態

写真－32　試験体No.Ｄ－１の測定後の状態

写真－33　試験体No.Ｅ－１の測定前の状態

写真－34　試験体No.Ｅ－１の測定後の状態

写真－35　試験体No.Ｂ－１の測定前の状態

写真－36　試験体No.Ｂ－１の測定後の状態

写真－37　試験体No.Ｆ－１の測定前の状態

写真－38　試験体No.Ｆ－１の測定後の状態

写真－39　試験体No.Ｇ－Ｃの測定前の状態

写真－40　試験体No.Ｇ－Ｃの測定後の状態

写真－41　試験体No.Ｇ－Ｄの測定前の状態

写真－42　試験体No.Ｇ－Ｄの測定後の状態

写真－43　試験体No.Ｇ－Ｅの測定前の状態

写真－44　試験体No.Ｇ－Ｅの測定後の状態

写真－45　試験体No.Ｇ－Ｆ１の測定前の状態

写真－46　試験体No.Ｇ－Ｆ１の測定後の状態

写真－47　圧縮強度試験終了後の試験体の状況（試験体No.Ｈ－１～３）

写真－48　圧縮強度試験終了後の試験体の状況（試験体No.Ｈ－４～６）

写真－49　熱伝導率の再現性試験のため測定終了後養生４日目のクラックの状況

写真－50　試験体の解体状況

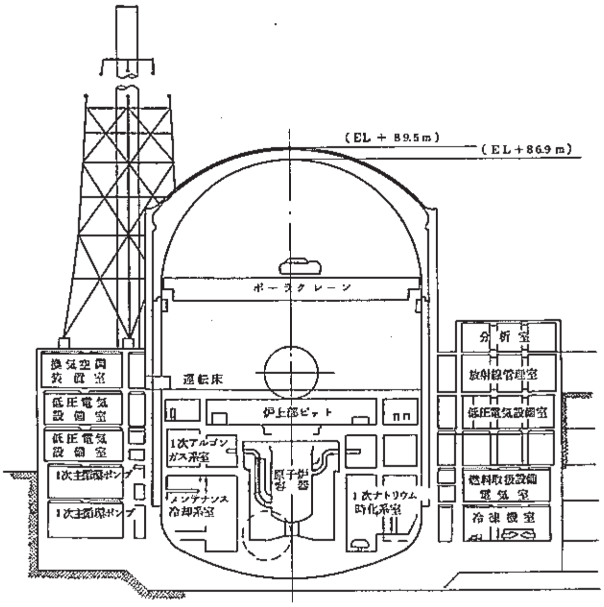
# 1. 緒　　言

高速増殖原型炉「もんじゅ」では、原子炉容器、一次冷却材ポンプ等の一次循環機器は、各機器毎に内部コンクリート構造物の部屋に納められ、配管により連結されている。そして、この内部コンクリート構造物の外側には、放射線の遮蔽、及び一次冷却材漏洩事故対策として鋼製の格納容器とコンクリート製の原子炉建物が施工されている。

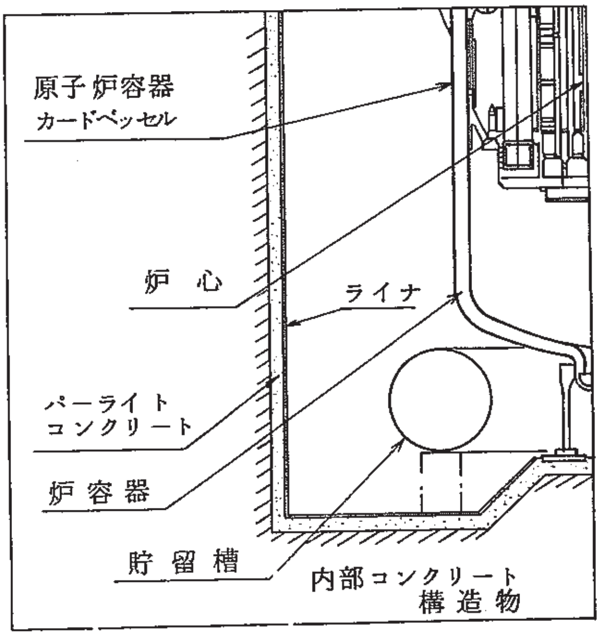
内部コンクリート構造物中の各部屋は、一次冷却材（ナトリウム）の漏洩事故を想定し、漏洩ナトリウムとコンクリート構造物との直接接触を防止するために、鋼製のライナが内張りされている。

漏洩ナトリウムがライナ上に堆積した時、ライナの表面温度は450℃となり、コンクリート構造物の急激な温度上昇が想定される。これを防止するために「もんじゅ」では、ライナとコンクリート構造物との間に断熱性能に優れたパーライトコンクリートが施工され、直下のコンクリート構造物の温度が90℃を越えないように設計されている。このことは、パーライトコンクリートの熱伝導率が450℃に於いて、0.25kcal／mh℃を越えないことに相当する。

図－A．1(a)に「もんじゅ」主要建物を、図－A．1(b)にライナ、パーライトコンクリート、そして内部コンクリート構造物の構成を示す。又、図－A・2に「もんじゅ」での設計条件を示す。

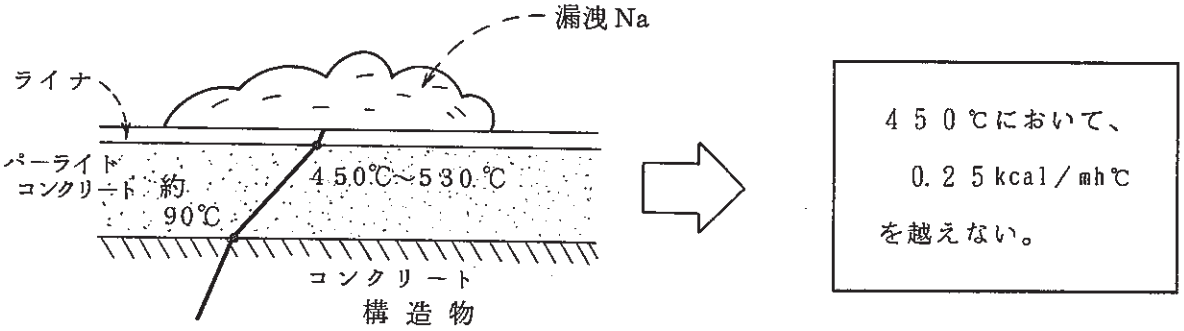



図－A．1(a)「もんじゅ」主要建物




図－A．1(b) A部拡大

図－Ａ．２　「もんじゅ」での設計条件




表－Ａ・１にパーライトコンクリートと一般コンクリートとの概略の比較を示す。ここで、パーライトは比重が約0.2、熱伝導率が0.03～0.05kcal／mh℃の軽量かつ断熱性能に優れた物質で、吸湿性が非常に低いため、パーライトコンクリート中に多くの空隙が存在し、一般コンクリートに比べ、軽量かつ断熱性能に優れていることがわかる。

表－Ａ．１　パーライトコンクリートと一般コンクリートの比較

| | パーライトコンクリート | 一般コンクリート |
|---|---|---|
| 主要構造物 | セメント<br>＋<br>パーライト*<br>（水：パーライト：セメント＝１：３：０.６５） | セメント<br>＋<br>砂、ジャリ　etc |
| 比重 | 約0.8 | 1.9～2.3 |
| 熱伝導率（kcal／mh℃） | 0.25以下（設計値） | 1.6～3.0 |

＊パーライト
比　重………約0.2
熱伝導率………0.03～0.05〔kcal／mh℃〕

## 2. 試験目的

「緒言」で記した「もんじゅ」でのパーライトコンクリートの設計条件は、解析コードによる評価である。また、これまでに得られている試験データは温度が100℃前後までのものであり、ナトリウム漏洩事故時のような高温での試験データはない。一方、一般コンクリートでは高温（～約800℃まで）でのデータは存在しているものの、コンクリートの打込条件、養生条件により、種々の異なった傾向を示している。そこで、本試験では、

1）パーライトコンクリートの熱伝導率が450℃で0.25kcal／mh℃以下であることを確証すること。

2）常温からナトリウム漏洩事故時までの熱伝導率を把握すること。

3）パーライトコンクリート中での温度の伝導の良否（熱拡散率）を把握すること。

4）漏洩ナトリウムにより、温度履歴を受けた後のパーライトコンクリートの健全性（強度）を確めること。

を目的としている。

# 3. 試験体

## 3.1 使用材料

(1) セメント

小野田セメント株式会社製の普通ポルトランドセメントを使用した。

セメントの試験成績書（東邦パーライト株式会社からの提出資料）を表－3.2に示す。

(2) 骨 材

骨材は、東邦パーライト株式会社製のパーライトＴＭ品である。パーライトの粒径等（東邦パーライト株式会社からの提出資料）を表－3.3に示す。

(3) 混和剤

混和剤は、山宗化学株式会社製の混和剤（商品名：ヴィンソル）を使用した。

## 3.2 パーライトコンクリートの練り混ぜ方法、試験体の成型方法

コンクリートの練り混ぜは、佐官用モルタルミキサー4切（第1バッチ）および3切（第2、第3および第4バッチ）を用い、1バッチ当りの練り混ぜ量は70～90ℓとした。各バッチにおける調合比を表－3.4に示す。各バッチから製作した試験体を表－3.5に示す。

練り混ぜ方法は、まず、ミキサーにセメントとパーライトを投入し、から練りを1分間おこなった後、あらかじめ混和剤を混入した水を注ぎ3分間実練りをした。。ミキサーから排出後、練り舟中で約30秒間切り返しをおこない、スランプ、密度、練り上り温度を測定した。続いて、それぞれの型わくにコンクリートを詰め込み、突き棒、木ハンマーで締め固めをおこない、試験体を成型した。

その状況を写真－1～9に示す。

成型の終った試験体は、打込み翌々日に脱型し、それぞれの質量を測定した後所定の条件（表－3.1参照）で養生した。

試験体の製作に用いた型わくは下記の通りである。

(1) φ67㎜×190㎜中空円筒………熱伝導率（円筒法）および密度用

（材質：塩化ビニル樹脂製、中心部にセラミック管埋め込み）

(2) 200㎜×100㎜×100㎜………熱伝導率（熱線法）用

（材質：押出発泡ポリスチレン製）

(3)　200mm×200mm×200mm………熱拡散率および密度用

（材質：アクリル樹脂製厚5mm）

(4)　φ100mm×200mm………強度用

（コンクリートシリンダー用型わく、材質：鋳鉄）

3.3　試験体の養生方法

各試験体の測定時までの養生条件を表－3.1に示す。養生は室温20℃±3℃、相対湿度65％±5％に保持された日本建築総合試験所第4熱実験室（恒温恒湿室）内（写真－10参照）でおこなった。養生方法の詳細は以下の通りである。

・　気乾養生………恒温恒湿室内で試験開始直前まで気乾養生

・　気乾養生後、絶乾状態………恒温恒湿室内で気乾養生後、105±1℃の電気定温乾燥機内で絶乾状態（最後の1～2日間はデシケーター中で冷却）とした。絶乾状態に要した日数は、試験体No.A－2で4日間、No.Bで9日間である。

・　湿空養生………室温20±3℃、相対湿度100％の恒温恒湿箱内で気乾養生。

3.4　試験体のシール方法

熱伝導率（円筒法）測定では、測定時の暴露条件を、アンシール（試験体No.A－2）およびシール（試験体No.A－1）の2種類とした。これらの概略図を図－3.1(a)及び図－3.2(a)に示す。アンシールの詳細は図－3.1(b)および写真－11に示すとおり、試験体表面をガラスクロス（厚0.5mm）で巻いただけであり、水蒸気の放散が速やかにおこなわれる。シールの詳細は図－3.2(b)および写真－12に示すようにその全周をステンレス製の円筒管で密閉し、通気孔としてφ1.15mmの孔(*)を円筒上部に1ケ所だけ設け、アンシールと比べて試験体中の水分の放散を遅らせるようにしたものである。

---

*シールは、実機を模擬している。実機では、パーライトコンクリート及び内部コンクリート構造物から生じた蒸気は、ベント孔を通じて外部に放出されることになっている。本試験体に於いては、ライナをシール容器と想定し、ライナ面積に対するベント孔面積の割合に等しい孔をシール容器に設けた。
したがって、シール（試験体No.A－1）が、実機「もんじゅ」に最も近い条件となっている。

# 4. 試験方法

## 4.1 測定方法

### 4.1.1 熱伝導率の測定方法

(1) 円筒法

中空部に加熱ヒーターを内蔵する円筒試験体（図－3.1および図－3.2参照）を、円筒型電気炉内の空気中中央部に設置し、電気炉および試験体中空部の加熱ヒーターにより試験体の内外面をそれぞれ所定の温度（内面温度＞外面温度）に保つ。

試験体内外の温度勾配が一定（定常状態）となったとき、中空部の加熱ヒーターの単位時間に発生する熱量から次式により熱伝導率を算出した。

$$\lambda = \frac{Q \ln (r_o / r_i)}{2 \pi \ell (T_i / T_o)}$$

$\lambda$：熱伝導率（kcal／mh℃）

Q：ヒーターが単位時間に発生する熱量（kcal／h）

$Q = W \times 0.860$（kcal／h）

W：実効電力（WATT）

$r_o$：　試験体の外半径（m）

$r_i$：　試験体の内半径（m）

$\ell$　：　試験体の長さ　（m）

$T_o$：　試験体外面温度（℃）

$T_i$：　試験体内面温度（℃）

円筒型電気炉の概要図を図－3.3に、測定システムを図－3.4に示す。

測定状況を写真－13～15に示す。

なお、加熱ヒーターの単位時間に発生する熱量は、実測された値から。加熱ヒーターに接続されたリード線（白金線$\phi$0.5mm、長さ1000mm）の発熱量を差し引いたものである。これらの値の比率は温度によって異なるので、あらかじめ各設定温度においてヒーターとリード線の電気抵抗を測定して補正値を求め、計測された実効電力の補正をおこなった。

その補正値を次に示す。

実効電力の補正値

| 設定温度（℃） | 30 | 80 | 130 | 200 | 330 | 450 | 530 | 600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 補正値 | 0.976 | 0.973 | 0.971 | 0.968 | 0.963 | 0.958 | 0.955 | 0.952 |

(2) 熱線法

熱電対の測温接点が溶接された熱線（幅2.0mm×厚0.2mmリボン状）を中心部に埋め込んだ試験体を、角型電気炉内の空気中中央部に設置し、熱電対の出力が一定（定常状態）となったとき、直流消去電圧発生器により熱電対の出力を消去する。次いで熱線に一定電流を流し、熱線の温度上昇と時間との関係を記録する。得られた熱線の温度上昇曲線より、時間の常用対数と上昇温度の関係が直線状となることを確認し、次式により熱伝導率を算出した。なお、今回の熱伝導率の算出には、測定開始0.5分から5分の間の測定値を用いた。

$$\lambda = \frac{I^2 R}{4\pi} \cdot \frac{\ln(t_2/t_1)}{\theta_2 - \theta_1} \times 0.860$$

$\lambda$　：　熱伝導率（kcal／mh℃）

I　：　熱線に流した電流値（A）

R　：　熱線の電気抵抗（Ω／m）

$t_1$, $t_2$：　熱線に通電後の時間（min）

$t_1 = 0.5$ min , $t_2 = 5$ min

$\theta_1$, $\theta_2$：$t_1$, $t_2$における熱線の温度（℃）

角型電気炉の概要図を図－3.5に、試験体の概略、及び測定システムを図－3.6(a)及び図－3.6(b)に示す。

測定に使用した熱線の各設定温度における電気抵抗Rの値を以下に示す。

熱線の電気抵抗R

| 設定温度（℃） | 20 | 30 | 80 | 130 | 200 | 330 | 450 | 530 | 600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 電気抵抗R（Ω／m） | 3.02 | 3.03 | 3.05 | 3.07 | 3.10 | 3.15 | 3.17 | 3.17 | 3.16 |

4.1.2　熱拡散率の測定方法

測定は、周期定常法によりおこない、角型電気炉内で一定の雰囲気温度となった試験体の底面をニクロム線ヒータで周期的に加熱した。試験体には熱電対が厚さ方向に等間隔で埋め込んであり、試験体内部の温度変動曲線が一定周期で安定したのち、次式により熱拡散率を算出した。試験体への周期的加熱は、ヒータのＯＮ－ＯＦＦ各１時間の１周期２時間としたが、試験体内部の温度曲線はひずみ成分を含む正弦波となるので、$A_1$、$A_2$の算出にあたっては、調和分析をおこなった。

$$a = \frac{\pi x^2}{T\left(\ln \dfrac{A_1}{A_2}\right)^2}$$

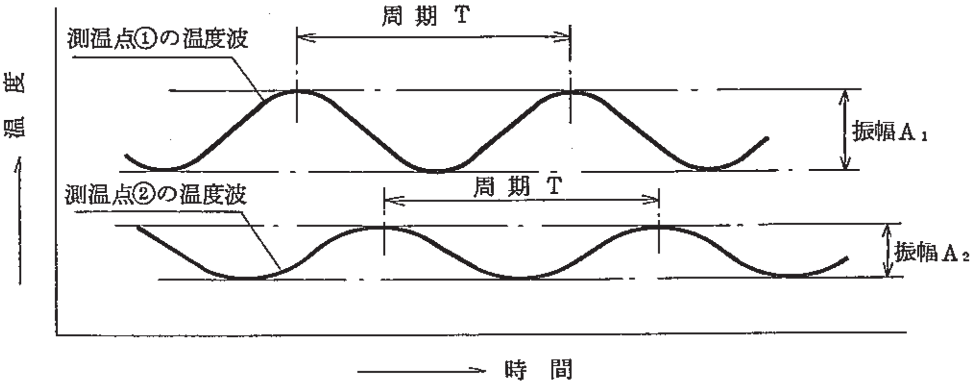
a　：　熱拡散率（㎡／ｈ）

x　：　測温点間の距離（ｍ）

T　：　周期（ｈ）

$A_1$：　測温点①の温度波の振幅（℃）

$A_2$：　測温点②の温度波の振幅（℃）




試験体内部における温度波モデル

試験体の概略、及び測定システムを図－3.7(a)、及び図－3.7(b)に、その測定状況を写真－16に示す。

#### 4.1.3 密度の測定方法

角型電気炉の上に設置した電子天秤よりニクロム線で試験体を炉内に吊り下げた状態とし、熱伝導率（円筒法）および熱拡散率測定時と同一の温度時間履歴を与えた。一定の経過時間毎に試験体質量を測定し、次式により密度を算出した。その測定状況を写真－17に示す。

$$\rho = W / V$$

$\rho$ ： 密度（kg／m³）

W ： 質量（kg）

V ： 体積（m³）

#### 4.1.4 強度の測定方法

試験は、JIS A 1108－1976「コンクリートの圧縮強度試験方法」により、熱伝導率（円筒法）測定時と同一温度履歴を与えたもの（試験体No.H－1）と与えないもの（試験体No.H－2）の2種類についておこなった。載荷には100tfアムスラー型万能試験機（10tfレンジ使用）を用いた。

その試験状況を写真－18に示す。

### 4.2 試験体への熱電対の埋め込みおよび温度測定位置

#### 4.2.1 熱伝導率測定用試験体

(1) 円筒法

試験体の内面温度測定用の熱電対は、あらかじめセラミック管外表面にエチレン酢酸ビニル樹脂系接着剤で測温接点以外の部分を仮固定しておき、この周囲にパーライトコンクリートを打設した。一方、外面温度測定用熱電対は、脱型後のパーライトコンクリート表面にエチレン酢酸ビニル樹脂系接着剤で部分的に固定し、外表面に対する浮き上がりを防ぐ意味から、試験体全周にガラスクロス（厚0.5mm）を巻き付け、その上から針金で固定した（この作業は熱伝導率測定直前におこなった）。

温度測定は試験体内面、外面ともに中央部各4点について行なったが、周方向の温度分布は認められなかった。熱電対の取り付け位置を図－3.1(b)に、その状

況を写真－19および20に示す。

なお、試験体に埋め込んだ熱電対の正確な位置は、試験終了後、試験体を切断して実測し、これをもとに熱伝導率を算出した。

(2) 熱線法

あらかじめ中央部に熱電対の測温接点が溶接された一対の熱線を、熱線が試験体の長手方向に、また測温接点が試験体の中心にくるように型わくに固定しておき、その周囲にパーライトコンクリートを打設した。

その熱電対の埋め込み状況を写真－2および写真－21に示す。

4.2.2 熱拡散率測定用試験体

あらかじめ熱電対の測温接点が試験体の中央部にくるように、厚さ方向に約25㎜間隔で4本の熱電対を型わくに固定しておき、この周囲にパーライトコンクリートを打設した。パーライトコンクリート打設前の熱電対の状況を写真－22に示すが、試験体に埋め込んだ熱電対の正確な位置は、試験終了後に試験体を切断して実測し、これをもとに熱拡散率を算出した。

4.2.3 密度測定用試験体

各試験体には、熱伝導率（円筒法）および熱拡散率測定用試験体と同一の方法により熱電対を取り付けた。なお、試験体外周に巻き付けたガラスクロスの質量は、試験体を異なった雰囲気温度においても、まったく変化しないことが認められた。

4.2.4 強度測定用試験体

6体の試験体のうち、熱伝導率（円筒法）測定と同一の温度履歴を与えるもの3体については、外面温度測定用熱電対1本を熱伝導率（円筒法）測定用試験体と同一の方法で取り付けた。

## 4.3 温度測定方法

### 4.3.1 熱伝導率

(1) 円筒法

温度の測定には、CA熱電対（クロメルアルメル、φ0.3㎜）を用い、デジタル温度計測装置およびハイブリット記録計により記録した。なお、熱電対は温度履歴の影響を考え、各試験体毎に新品に取り替えた。

(2) 熱線法

温度の測定には、CA熱電対（クロメルアルメル、φ0.3mm）を用いた。測定に際しては直流消去電圧発生器により、定常状態での熱電対の出力を消去し、通電後の温度上昇分のみをペンレコーダーに記録した。なお、熱伝導率の測定は、各設定温度終了1時間前より30分毎に3回おこなった。

4.3.2 熱拡散率

温度の測定には、CA熱電対（クロメルアルメル、φ0.3mm）を用いた。
測定に際しては、各測定点における温度変動を、ハイブリッド記録計により連続記録したが、各設定条件において試験体が周期的定常に入ったと考えられる約12時間は、デジタル温度計装置による30秒毎のデータ打出しを併用した。

4.3.3 密度および強度

温度測定には、CA熱電対（クロメルアルメル、φ0.3mm）を用い、ハイブリッド記録計により記録した。

## 4.4 測定時における設定温度および加熱ステップ

各設定温度における試験体の定常状態の確認は、設定温度到達後において、
熱伝導率（円筒法）試験体……温度で±1℃/h、質量で±0.5g/h以内、
熱伝導率（熱線法）試験体……温度で±1℃/h、質量で±1.5g/h以内、
熱拡散率試験体…………………温度で±1℃/h、質量で±5.0g/h以内、
とした。しかし、熱伝導率測定あるいは熱拡散率測定と同時に試験体の質量測定をおこなうことは困難である。そこで質量変化については、室温20℃、相対湿度65%で気乾養生した上記と同一形状をもつ他の試験体を用い、事前の確認実験をおこなった。

4.4.1 熱伝導率

(1) 円筒法

測定時における設定温度および加熱ステップを表－4.1に示す。各ステップ間の昇降温速度は約0.5～1℃/minとした。なお、次に挙げる試験体につ

(2) 熱線法

測定時における設定温度および加熱ステップを表－4.2に示す。各ステップ間の昇降温速度は約0.5～1℃/minとした。

### 4.4.2 熱拡散率

測定時における設定温度および加熱ステップを表－4.3に示す。各ステップ間の昇降温速度は約0.5～1℃/minとした。また、周期的加熱は昇降温開始6時間後からとし、周期は2時間とした。

設定温度は、熱拡散率の算出をおこなった2つの温度波（今回の測定では試験体下面より約25mmと50mmの位置）の平均温度とし、その測定値を測定部平均温度と呼ぶ。

### 4.4.3 密　度

各試験体の加熱条件は、それぞれ表－4.1および表－4.3に示す熱伝導率（円筒法）または熱拡散率の設定温度および加熱ステップと同一とした。しかし、熱拡散率用試験体に対応する試験体No.G－F1においては、ステップ3と10の設定温度130℃および降温30℃での測定ピッチは48時間とした。

### 4.4.4 強度

温度履歴を与える試験体は、表－4.1に示す熱伝導率（円筒法）の設定温度および加熱ステップと同一条件とし、温度履歴を与えない試験体はこの間気乾養生とした。

## 4.5 熱伝導率（円筒法）における試験体端部の断熱

熱伝導率（円筒法）測定にあたっては、試験体両端部からの熱放散を防ぐため断熱材として熱伝導率0.045kcal/mh℃のセラミックファイバー（厚50mm）を用いた（図－3.1および図－3.2参照）。また、両端部の断熱材の厚みが十分であるかを確認するため、試験体No.A2－1の試験時に、試験体外面両端部の温度測定をおこなったが、中央部との温度差は最大でも1.2℃であり、断熱性は十分であると考えられた。試験体No.A2－1における温度の測定結果を表－4.4に示す。

これにより、他の試験体に於いても、軸方向の温度分布は、無視できる程度であることがわかる。

## 4.6 試験体の寸法および質量測定

試験体の寸法及び質量は、試験前後にそれぞれ測定するものとし、寸法測定にはノギス（精度：0.05mm）を、質量測定には電子天秤（精度：0.1g）を使用した。試験

体の密度はこの測定結果より算出した。なお、試験体内に埋め込んだセラミック管、ニクロム線および熱電対の試験前後における質量変化は、事前の確認測定では、まったく認められなかった。

# 5. 試験結果

## 5.1 使用したパーライトコンクリートの性質

パーライトコンクリートの練り混ぜ時および温度履歴付与前後で測定した密度を表－Ｂ．１に示す。

表－Ｂ．１ パーライトコンクリートの密度

| 測定項目 | 実験体No. | 密度ρ（kg／m³） | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 練り混ぜ時 | 測定前 | 測定後 |
| 熱伝導率 | X | 759 | 801 | 700 |
| | A－1 | 759 | 811 | 723 |
| | A－2 | 759 | 750 | 705 |
| | C | 759 | 835 | 686 |
| | D | 759 | 803 | 706 |
| | E | 699 | 701 | 619 |
| | B | 759 | 748 | 694 |
| 熱拡散率 | F－1 | 760 | 806 | 691 |
| 密度 | G－C | 759 | 826 | 672 |
| | G－D | 759 | 786 | 694 |
| | G－E | 699 | 714 | 628 |
| | G－F1 | 760 | 764 | 648 |
| 強度 | H－1 | 759 | 656 | |
| | H－2 | | 763 | |

## 5.2 熱伝導率の測定結果

熱伝導率測定時の試験体の寸法および仕様を表－5.1～5.7に、熱伝導率の測定結果を表－5.8～5.10および図5.1～5.7に示す。

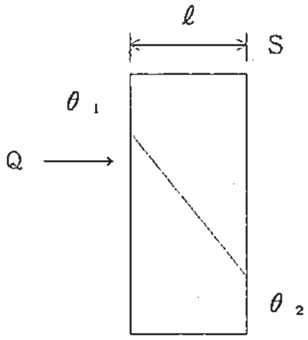
測定結果は試験体温度を以下に述べる平均温度で整理している。又、各試験体の試験前後の状態を写真－23～36に示す。

平均温度の設定

平板比較法では、平均温度は平板間の温度$\theta_1$，$\theta_2$により、（$\theta_1+\theta_2$）／2で規定されているが、これは対象物の持つ熱エネルギーが同等となる温度を平均温度としている。

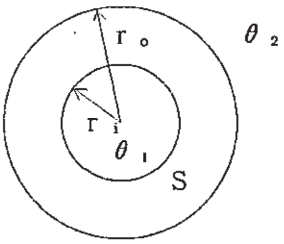
円筒法も同じ考え方で平均温度を求めた。

＜平均比較法＞




$$\theta_m = \frac{\int_0^{\ell} S\theta d\chi}{\int_0^{\ell} S d\chi} = (\theta_1+\theta_2)/2$$

＜円筒法＞




$$\theta_m = \frac{\int_{r_i}^{r_o} 2\pi r\theta dr}{\int_{r_i}^{r_o} 2\pi r\theta dr}$$

$$= \theta_1 - 0.704(\theta_1+\theta_2)$$

図－5.1～5.7より、いずれの条件においても、熱伝導率は450℃で0.25kcal／mh℃を越えないことが確証された。

## 5.3　熱拡散率の測定結果

熱拡散率測定時の試験体の寸法および仕様を表－5.11に、熱拡散率の測定結果を表－5.10および図－5.8に示す。

各試験体の試験前後の状態を写真－37、38に示す。

又、本試験で得られた熱伝導率、密度及び熱拡散率を用いて、下式により比熱を算出した。

$$C = \lambda / \rho a \qquad (5.1)$$

a　：　熱拡散率　[$m^2/h$]

λ　：　熱伝導率　[kcal/mh℃]

ρ　：　密度　　　[$kg/m^3$]

C　：　比熱　　　[kcal/kg℃]

結果を図－5.8に示す。

ここで、式（5.1）中のρ及びaは試験体No.F－1で直接測定を行なったが、λは測定しなかったため、試験開始まで同一条件で養生した試験体No.Dのλを用いて算出した。

## 5.4　密度の測定結果

密度測定時の試験体の寸法および仕様を表－5.12に、密度の測定結果の詳細を表－5.13および図－5.9～5.12に示す。

各試験体の試験前後の状態を写真－39～46に示す。

図－5.9～5.12では、試験開始前の試験体の密度を100％とし、温度履歴により密度がどのように変化したかを示した。

## 5.5　強度の測定結果

強度測定時の試験体の寸法、仕様、及び圧縮強度の試験結果の詳細を表－5.14に示す。

本試験のように、常温から600℃前後まで昇温し、再び常温に戻す一連の熱サイクルをかけると、パーライトコンクリートの圧縮強度は½以下に減少することがわかった。

各試験体の状態を写真－47及び48に示す。

## 5.6　各試験体の試験前後のクラックの状況

各試験体の試験前後のパーライトコンクリート表面を観察した結果は以下の通りである。

(1)　熱伝導率測定用試験体

円筒法試験体では、試験前に養生時の乾燥収縮と思われる幅0.05mm程度のクラックが円周方向に1～2本（長さ約10cm）入っていた。試験後にはそのクラックの幅が0.2～0.3mmに拡がり、新たに細いクラックが生じた。

熱線法用試験体では、試験前後ともクラックの発生は認められなかった。

(2) 熱拡散率測定用試験体

試験前では、クラックの発生は認められなかったが、試験後に写真－68に示すような幅0.2～0.5mmのクラックが生じた。

(3) 密度測定用試験体

熱伝導率および熱拡散率測定用試験体と同じようなクラックが生じた。

(4) 強度測定用試験体

圧縮試験前では、温度履歴を与えたものも与えないものも試験体表面にはクラックが認められなかった。

## 5.7 熱伝導率の再現性試験の検討

円筒法による熱伝導率測定後、この試験体（No.A－2）を室温20℃、相対湿度65％の恒温恒湿室内に静置した結果、数日後には発生していたクラックの幅がさらに拡がった。その結果、再現性試験については、試験体内の熱の伝導がクラックによって不均一となる恐れがあるため円筒法での測定は見合わすことにした。そこで試験体内部を調べたところ、クラックの深さは約10～20mmでセラミック管までは達していなかった。また、測定直後にクラックが生じていなかった熱線法用試験体でも、その後の気乾養生中にクラックが生じたため、熱伝導率の再現性試験はいずれの測定法においても不可能となった。

クラックの状況を写真－89～92に示す。

# 6. 考　察

## 6.1　450℃での熱伝導率

各条件での熱伝導率測定結果を図－6.1に、また、450℃での測定結果を表－C.1に示す。

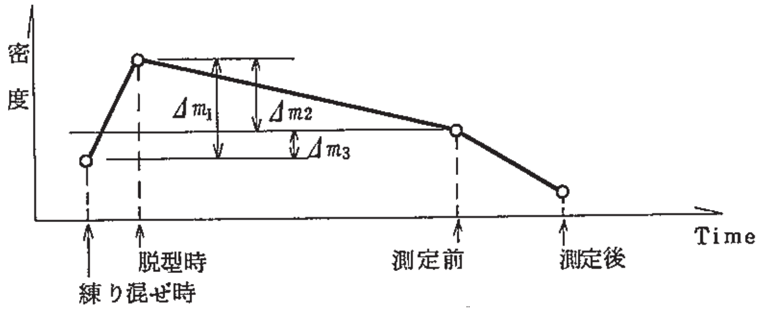
これにより、いずれの試験体に於いても、パーライトコンクリートの熱伝導率は、450℃で0.25Kcal/mh℃を越えないことが確認された。

表－C．1　450℃での熱伝導率

| 試験体 No. | 熱伝導率 〔Kcal/mh℃〕 |
|---|---|
| X | 0.242 |
| A－1 | 0.245 |
| A－2 | 0.215 |
| C | 0.209 |
| D | 0.216 |
| E | 0.202 |
| B | 0.236 |

## 6.2　養生中重量変化

パーライトコンクリートの密度は練り混ぜ時よりも試験前（養生後）の方が大きくなっている。これは一見養生中に水分が抜けて軽くなるコンクリートの常識に反しているように受け取れる。しかし、実際には表－5.15に示すように打込時に密度が増加し、その後の養生中に重量減少が起っている。パーライトコンクリートは空隙率（空気含有率）が高いため練り混ぜ時には最大の空隙率（密度最小）であっても型へ流し込む際の棒つきや振動により空隙率は落ち密度が増すためと考えられる。その後は一般コンクリート同様水分の抜けに伴い密度が減少している。




図－C．1　密度の増減概要

表－5.15$\Delta m_1$打込時の密度変化、$\Delta m_2$養生中の密度変化及び$\Delta m_3$練り混ぜから試験前までの密度変化を示す。この表からわかるように養生条件の同じもの（20℃65％RH13週間養生）については養生中の密度は平均約3.6％減少しており、試験体毎のバラツキは少ない。

ところが、打込時の密度増加は試験体毎のバラツキが大きく、3.9～12.9％である。型わく形状の違いによる傾向は特にみられない。

以上より

① 養生中の密度減少は条件が一定であれば試験体形状には依存しない。これから13週間の養生期間が含水率を平衡にするには充分な期間であり、パーライトコンクリート内部の水分分布は平衡に達っしていると考えられる。

② 打込時の密度増加はバラツキが大きく、型わくの違いというよりは打込時のつき方、振動の与え方等打込方法により変わると考えられる。

## 6.3 測定精度

### 6.3.1 測定系の比率誤差

円筒法及び熱線法の測定系の誤差は以下に示すようにそれぞれ6.8％及び6.4％である。

(1) 円筒法

円筒法での熱伝導率λは次式で求まる。

$$\lambda = \frac{Q \ln(r_o / r_i)}{2\pi \ell (T_i - T_o)}$$

測定値は、Q、$r_o$、$r_i$、$\ell$、$T_i$、$T_o$でありいずれも独立に誤差が関与するので、各項の誤差の和がλの誤差となる。

Q：測定誤差±0.03W

比率誤差は±0.03／5 ＝±0.006＝0.6%

$\ell$：測定誤差±0.2mm

比率誤差は±0.2／190＝±0.001＝0.1%

$r_i$、$r_o$：測定誤差±0.1mm　$\ln(r_o / r_i)$の誤差は±0.015

比率誤差は±0.015／ln（67／17）＝±0.011＝±1.1%

$T_i$、$T_o$：測定誤差±0.5℃　$T_i - T_o$の誤差±1.0℃

比率誤差は±1.0／20＝±0.05＝±5%

total　6.8%

(2) 熱線法

熱線法での熱伝導率λは次式による。

$$\lambda = \frac{I^2 R \ln(t_2 / t_1)}{4\pi(\theta_2 - \theta_1)} \times 0.86$$

誤差は円筒法と同様にして求める。

R：測定誤差±0.02Ω

比率誤差は±0.02／3 ＝±0.007＝±0.7%

I：測定誤差±0.005A　$I^2$では±0.01A

比率誤差は±0.01／1.5＝±0.007＝±0.7%

$t_1$、$t_2$：$t_1$、$t_2$の測定誤差を0.5分で0.5秒として

約2%　$\ln(t_2 / t_1)$の誤差±0.022

比率誤差は±0.022／loge10＝±1.0%

$\theta_1$、$\theta_2$：スタート時の温度をゼロとしてその後の温度上昇分のみを１μV（Ｃ－Ａ熱電対出力）単位で測定するので、測定誤差は大きめにみて±0.1℃

比率誤差は±0.2 ／5＝±0.04＝±４％

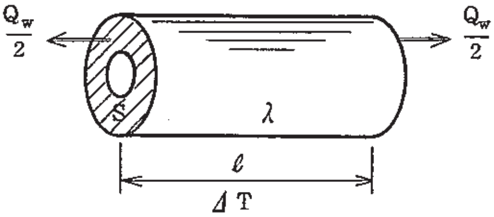
total　6.4％

6.3.2　軸方向温度ムラによる影響

円筒法では軸方向に外表面で最大1.2℃端部へ向って下る温度勾配があった。これがλへ与える影響を以下で検討する。

円筒の内部もすべて軸方向最大1.2℃の温度勾配があるとする。（実際には内部にヒータがあるため、外表面ほど大きな温度勾配はつかないと考えられる。）

この温度勾配によって端部たら逃げる熱量$Q_w$が誤差となる。




図－Ｃ．２
軸方向熱洩れ評価

$$Q_w = \frac{\lambda \cdot \Delta T \cdot S}{\ell / 2} \times 2$$

$$= \frac{0.25\times10^{-3}\times1.2\times(67^2-17^2)\frac{\pi}{4}}{190/2} \times 2$$

$$= 2.1\times10^{-2}\text{Kcal/h}$$

発熱量Ｑは４Kcal／h なので

$$\frac{Q_w}{Q} = \frac{2.1\times10^{-2}}{4} = 0.0052 = \underline{0.52\%}$$

従って、軸方向の温度ムラは、熱伝導率に最大約0.5％の誤差として入り込む可能性がある。

## 6.4 熱伝導率の温度依存性

### 6.4.1 λの標準的温存依存傾向

今回報告する熱伝導率の試験は、表－3.1の試験条件に示してあるように、円筒法（No.X～E）、及び熱線法（No.B）による熱伝導率（以下、λと略記する。）である。調合は、No.Eを除いて全て1：3となっており、又、養生条件及び測定条件は各々異なっている。

これらの結果を、まとめて図－6.1に示す。

図からわかるように、試験体は全てλの温度依存傾向が異なっている。一般に、標準的パーライトコンクリートは、20℃、65％RHで91日間養生した後、大気開放状態で使用する。この状態のものを「標準的」とすると、試験体No.Dが最も「標準的」に近いと考えられるので、これを基準にして、各条件での温度依存性を検討する。

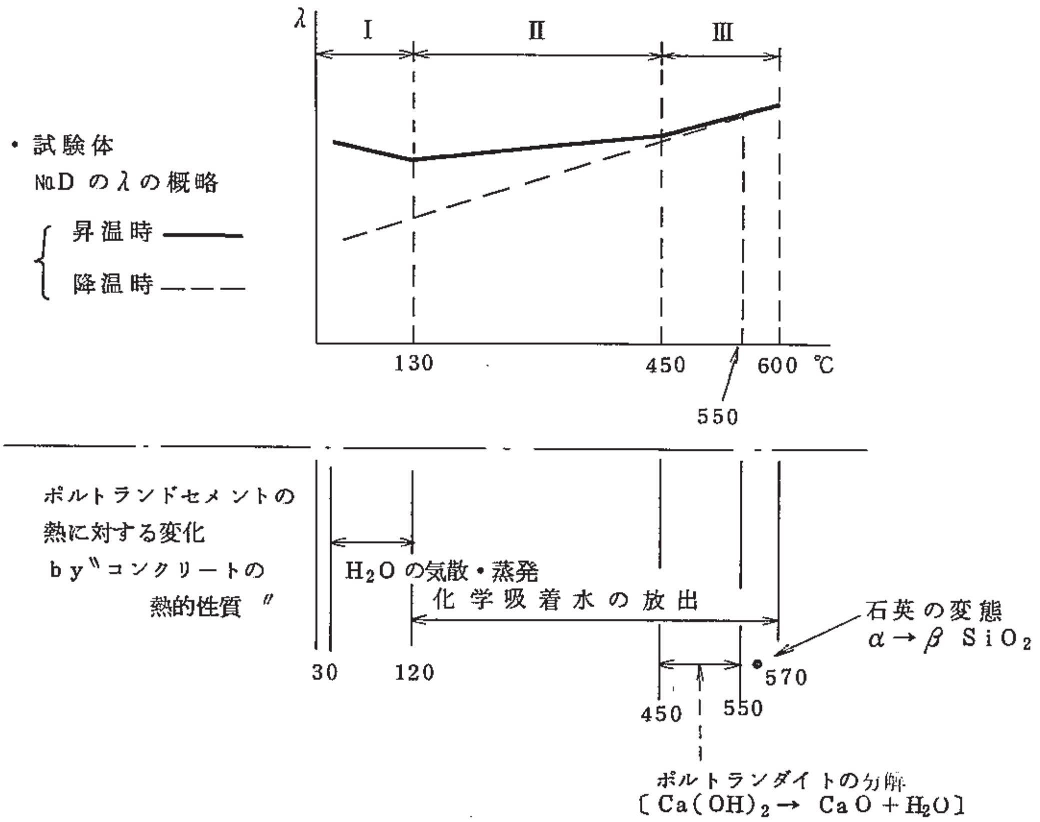
図－C．3に、試験体No.Dと普通ポルトランドセメントの温度による成分変化の比較を示す。

図－C．3から、パーライトコンクリートのλは、温度上昇により以下の3領域に分割できると思われる。

① $\overline{T} \leqq 130℃$ （Ⅰ領域） （$\overline{T}$：平均温度）

② $130℃ \leqq \overline{T} \leqq 450℃$ （Ⅱ領域）

③ $450℃ \leqq \overline{T}$ （Ⅲ領域）




図－C．3　パーライトコンクリートのλと普通ポルトランドセメントの熱変化

骨材として、東邦パーライトＴＭ品を使用(*1)したが、本試験での温度範囲では成分変化は生じていないと考えられる。そこで、λの温度依存性について、普通ポルト

---

(*1) 東邦パーライトＴＭ品を使用した理由
ＴＭ品は他の種類に比べて、粒径が均一ではない。（0.15～3.5㎜）このことは、パーライトが占める割合（空隙率）をできる限り大きくすることにより、λを小さくするためである。
粒径が全て、同一であると、最も多く詰った状態（最密充填）で、（空隙率）＝0.26であるが、粒径に変化を持たせると最密充填された粒子間にも小さな粒子が入るのでporosity＞0.26となる。

ランドセメントの熱に対する成分変化と、試験体No.Dのλとの比較を図－C．3で行なう。図より、パーライトコンクリートのλの変曲点の温度とポルトランドセメントの成分変化の生じる温度が概そ一致していることがわかる。このことから、パーライトコンクリートのλの温度依存性は、骨材よりも、むしろポルトランドセメントの構成成分の変化によるものと推察できる。

①$\overline{T}$≦130℃の範囲（Ⅰ領域）

ポルトランドセメントでは、～130℃近辺までは、自由水が気散、蒸発する領域である。λについては、“低温下に於いては湿潤状態のコンクリートのλは非常に高”く、これは、“ポアや空隙の壁からの熱移動はポアや空隙が水で満たされていると比較的、良くなる”ためである。（「コンクリートの熱的性質」by U. シュナイダー）

したがって、低温下ではλは高く、温度上昇に従い自由水が気散・蒸発するに伴なってλが減少するものと考えられる。

パーライトコンクリートでも、ポルトランドセメント中の水分、及びパーライトの表面部分に含有されている水分（パーライトの最大含水率は25％vl）が気散・蒸発されるため、水分（自由水）の減少によってλも減少するものと推定できる。

試験条件によっても異なるが、～130℃付近で自由水はほぼ完全に気散・蒸発し、ポアや空隙のほとんどが蒸気で満たされる。その他の水分はセメントモルタル中に結晶水として存在しているのみである。

② 130℃≦$\overline{T}$≦450℃の範囲　（Ⅱ領域）

一般に、“骨材の種類は、コンクリートの熱伝導率に重要な影響がある。”
（「コンクリートの熱的性質」by U. シュナイダー）

Ⓐ　パーライトコンクリートの場合、骨材はパーライトであり、このλは、－280℃～1100℃の範囲で、ほぼ一定の値（0.03～0.05Kcal／mh℃）をとる。
したがって、パーライトコンクリートの骨組[*注1]のλは、ほぼ、一定値[*注2]をとるものと思われる。

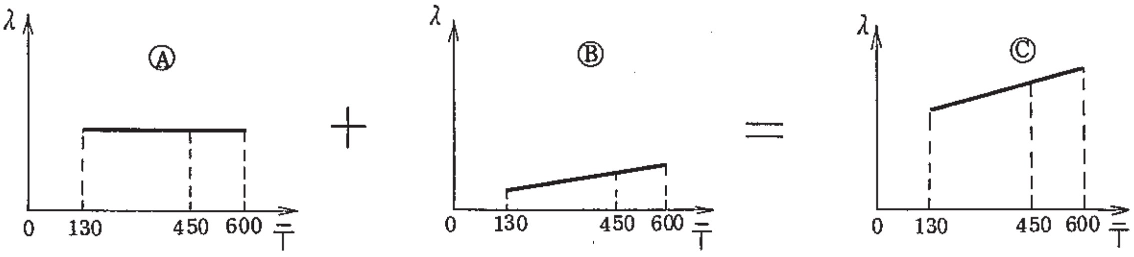
---

＊注１　ここで言う骨組とは、セメントモルタルから結晶水を除いたものである。

＊注２　Ｐ28参照

Ⓑ　しかし、$\overline{T}$≧130℃の領域では、ポアや空隙に自由水は存在しないものの、結晶水析出による蒸気が存在している。この蒸気のλは、図－6.1に示したように温度上昇にほぼ比例して増加している。

以上ⒶとⒷの内容をまとめ、模式的に示すと図Ｃ．４のⒸ図になると考えられる。

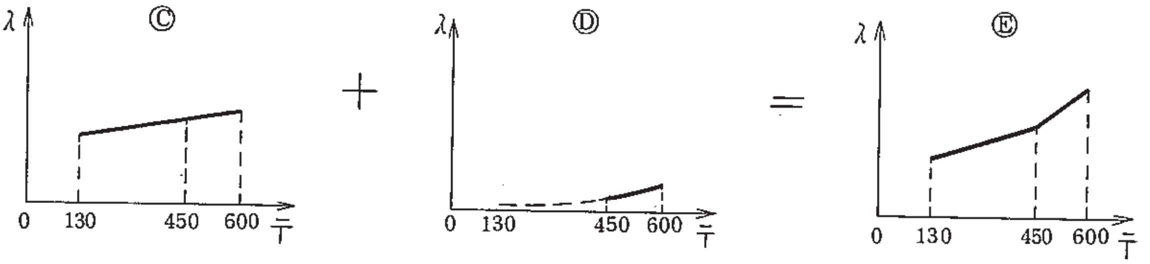



図－Ｃ．４　パーライトコンクリートのλの温度依存性（Ｉ）

また、試験体№.Ｄのλの温度依存性（図－6.1）では、130℃≦$\overline{T}$≦450℃の領域に於いては、蒸気のλの傾きと一致していることからも、上記の事柄は推察できる。

③　$\overline{T}$≧450℃の領域　（Ⅲ領域）

図－6.1のλの傾きは、$\overline{T}$＝450℃を境に大きくなっている。これは、主に輻射による影響が効いているためと考えられる。一般にコンクリートでは、"600℃以降から、熱伝導率は再びわずかながら上昇することが予想される。この状態では、ポア壁間の熱の移動が主に輻射によって起るからである。（$T^4$に比例）"
（「コンクリートの熱的性質」by U. シュナイダー）
である。パーライトコンクリートの場合、輻射の起こる場所が上記ポア壁間に加えて、骨材のパーライト（"軽石"のように空隙が多数存在）壁間でも起こるため、600℃より低い温度（450℃）で、輻射による影響が現われていると、思われる。したがって、$\overline{T}$≧450 ℃の領域でのλの傾向は、図－Ｃ．５のⒸにさらに輻射の要素Ⓓを加え、図－Ｃ．⑥Ｅのようになる。




図－C．5　パーライトコンクリートのλの温度依存性（Ⅱ）

以上、①、②、③より、パーライトコンクリートのλの温度依存性は、図－C．3に示した、試験体No.Dの傾向が標準的傾向であると考えられる。

6.4.2　各試験体のλの温度依存

ここでは、前途の試験体No.Dの標準的傾向を基にして各条件での試験体について考察する。

(1)　試験体No.A－1

本試験体は測定条件がシール状態であることのみが、No.Dと異なっている。この条件は、実機「もんじゅ」のパーライトコンクリートが鋼製ライナで覆われ、蒸気抜きのためのベント孔を設けてあることより、同縮尺のベント孔を設け*、「もんじゅ」とほぼ同じにしたものである。したがって、No.A－1が、実機に最も近い条件となっている。

図－5.2と図－5.5（又は、図－6.1）でNo.A－1とNo.Dを比較する。

①　Ⅰ領域

この領域では、No.A－1は上昇して130℃前後で急減しているのに対し、No.Dでは単調に増加している。又、各温度に於いてもNo.A－1は全体的に高い値となっている。これはNo.A－1がシール状態であり、試験体からの自由水の気散・蒸散がNo.Dに比べて遅いため含水量が高くなっているためと考えられる。

水のλは150℃付近までは温度上昇に伴なって増加する。試験体No.A－1では、130℃付近までは自由水の気散・蒸散が遅いため、自由水の減少によるλの低下効果（No.Dはこの効果が大）よりも、自由水のλの温度上昇に伴なう影響が効いているためであると考えられる。

---

＊　3.4項参照

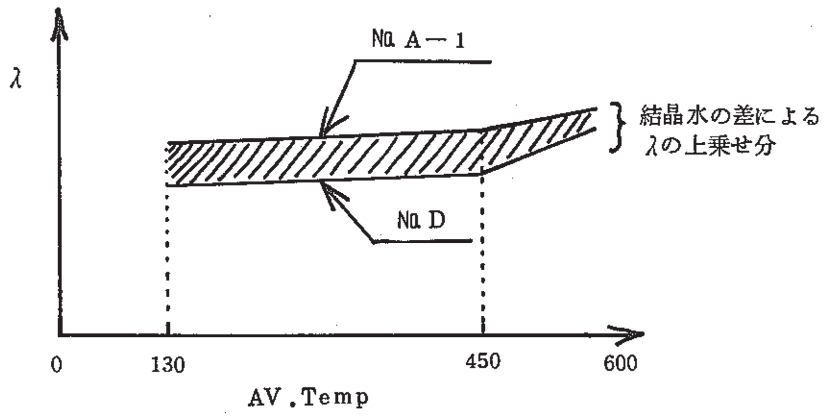
そして、130℃前後になると試験体に含まれている自由水の多くは放出され（それでもNo.Dよりは多く残っていると思われる。）、したがってパーライトコンクリートのλは急減すると思われる。

② Ⅱ領域、及び、Ⅲ領域

この領域では、No.A－1とNo.Dは、上昇率はほぼ同じ傾向を示している。ただ、No.A－1はNo.Dに比べて全体的に高い値となっているのみである。

これは、No.Dに比べてセメントペースト中に存在している結晶水の量が多く、この分のλがNo.Dのλに上乗せされて全体的に高い値となっていると考えられる。（図－C．6参照）

このことは、6.4.3でいくつかの仮定を用いたモデルにより説明する。




図－C．6　パーライトコンクリートのλの温度依存製（Ⅲ）

(2) 試験体No.A－2

No.A－2は、養生は同じであるが、試験開始前に105℃まで昇温し、絶乾状態にした後に測定を行なっている。このことは、試験体に含まれる自由水がほぼ完全に放出されてしまい、No.Dでの105℃の状態と同じ状態になっていると考えられる。

パーライトコンクリート中に存在するポアや空隙は、ほぼ蒸気で満たされているため、温度上昇に伴なって蒸気のλが上昇することから、本試験体のλもそれに伴なって上昇しているものと考えられる。

そして、130℃前後になると、No.Dと同じ状態となり、以後、同じ値をとりながら上昇していく。（図－6.1参照）

(3) 試験体No.C

本試験体は、材齢期間とその雰囲気温度は標準的な試験体No.Dと同一であるが、養生時の相対湿度が100％と、養生時に水分が抜けていない点が異なっている。このため、試験体中に残存している自由水のため、試験開始直後では、λは高い値となっている。

温度上昇に従って、自由水が除々に気散、蒸発されほぼ完全に放出されてしまう温度（約130℃）になると、No.Dと同じ状態となり、λの値も以後、同じ値をとりつつ上昇していると考えられる。

(4) 試験体No.E

本試験体は、前述したように、調合比が他の試験体と異なっている。すなわち、他の試験体では、水／パーライト比が1/3であるのに対し、本試験体では1/4となっている。これは、パーライト含有量の差によりセメントモルタルの物性そのものが異なり、ポアや空隙に含まれている自由水の多少の問題だけではなく、養生時からの結晶水の形成状態が異なっているものと考えられる。

通常の調合比、養生状態では、セメントモルタルのλは温度にかかわらず、ほぼ一定とみなすことができるが、(*注)本試験体では、標準的な試験体よりも、水分比が小さく、従がって結晶水も少ないため、セメントモルタルのλも小さな値となっていると考えられる。したがって、全温度範囲に於いて、λの温度依存性は、空隙部分に含まれている、自由水や蒸気の挙動により、No.Dと同様に温度と供に上昇して行くものの、セメントモルタルのλの値がNo.Dより小さいために、全温度範囲に於いて、小さい値となっていると考えられる。

(5) 試験体No.B

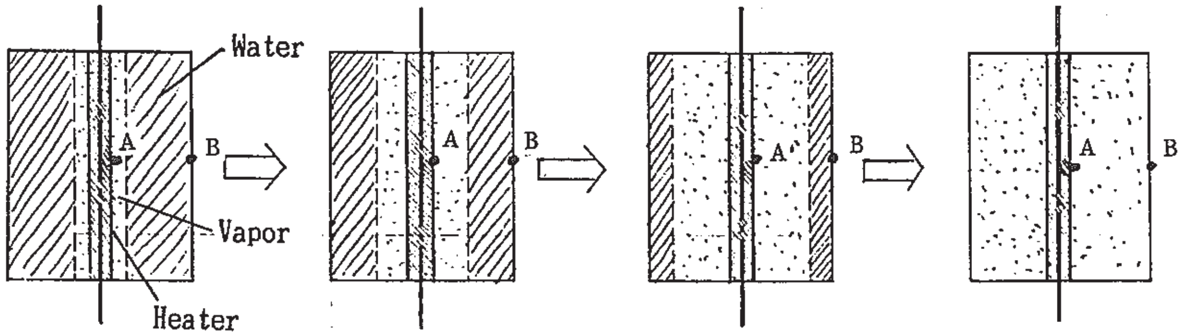
本試験体は、測定法が他の試験体と異なり、熱線法により行なった。したがって、図－6.1からわかるように、円筒法とは異なり、全温度範囲に於いてほぼ一定のλの値となっていることがわかる。このことを、円筒法と比較すると、以下のように考えられる。

---

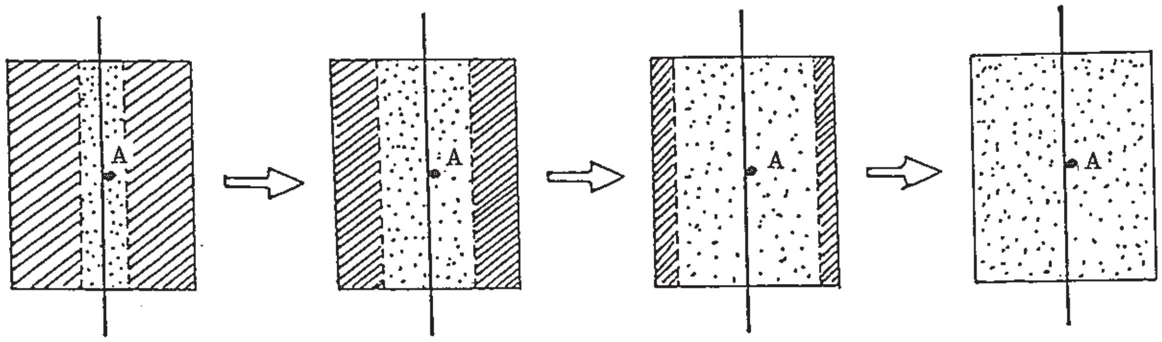
＊ 参考文献4）参照

コンクリート中の空隙内には、水分が含まれており、この水分の挙動が熱伝導率に大きな影響をおよぼす。

円筒法及び熱線法は、供にヒータに近い中央部分から乾いていく。すなわち、温度の上昇に従い、Vapor領域が拡がっていき、最後にはVapor領域のみとなる。




（円　筒　法）




(i)　$t = t_2$℃　　(ii)　$t = t_2$℃　　(iii)　$t = t_3$℃　　(iv)　$t = t_4$℃

（熱　線　法）

図－C．7　試験体の水分挙動

この時、ヒータからの熱Qのうち、ΔQだけ潜熱として奪われ、残りのQ－ΔQが外表面に出ることになる。

熱線法では、上図の点Aのみを測定している。すなわち、全ての温度スッテプで乾いた点のみを測定している。したがって、Qそのものによるλであるため、昇温時は一定に近い値となる。

一方、円筒法では、試験体の内外表面温度（点Ａ、Ｂ間）からλを求めているため、Vapor領域の大小により、又、ΔＱの大小のよってλの値は異なってくる。

530℃近傍で（iv）の状態に達し、ΔＱ＝０となる。このため、全体平均λ（円筒法）も局所的λ（熱線法）もほぼ同じ値となる。

6.4.3　λの温度依存モデル

本節では、前記の“パーライトコンクリートのλの温度依存性は、水分（自由水、蒸気、結晶水）のλに支配されている”ことを確かめるために、単純なモデルを作成し、測定値との比較を行なう。ただし、実機で特に問題となるⅡ領域（130℃≦$\overline{T}$≦450℃の範囲）に限定して行なった。

パーライトコンクリートは、巨視的に見れば、骨材（パーライト）、空隙及び、セメントモルタルより構成されている。骨材と空隙中には、雰囲気温度により、蒸気、空気または自由水が存在し、又、セメントモルタル中には結晶水が存在している。このことを模式的に図に示すと図－Ｃ．８のように考えられる。

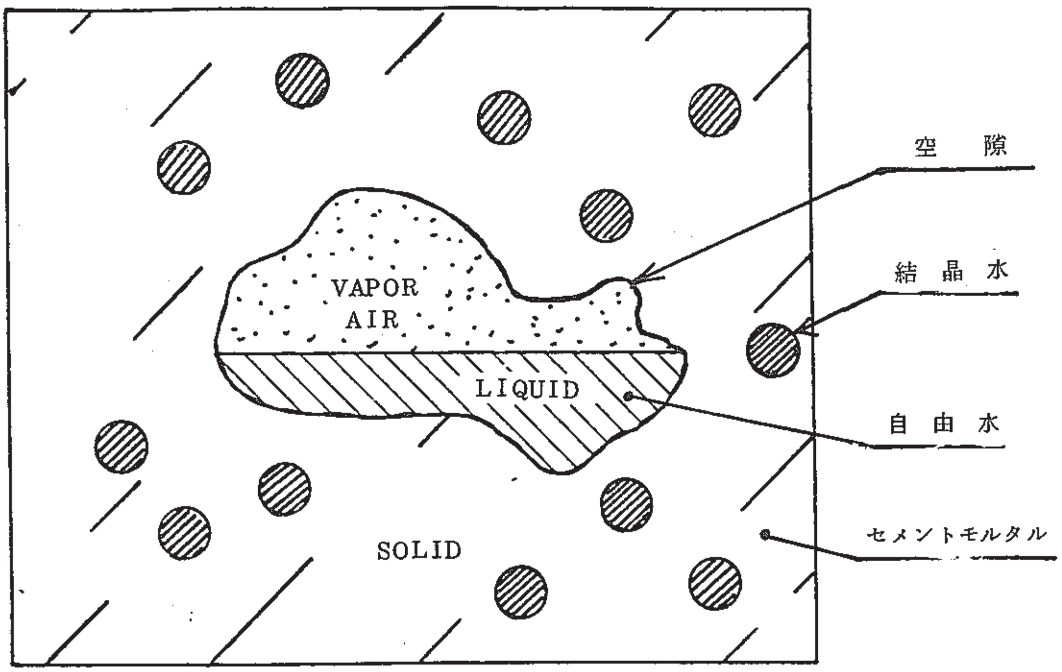
ここで、図中のVAPOR, AIRとは、空隙部分に含まれている蒸気及び空気を、LIQUIDとは、空隙部分に含まれている自由水を示している。さらに、SOLIDとは、セメントモルタル中の結晶水以外の固体部分*を示す。

この、パーライトコンクリートの微小体積を、図－Ｃ．９の単純モデルとして考える。すなわち、パーライトコンクリートの微小体積を一辺Δ$\chi_0$の立方体、その中に存在する空隙（小さな空隙が無数に存在するが、まとめて、１個とする。）の体積を一辺Δχの立方体と考える。

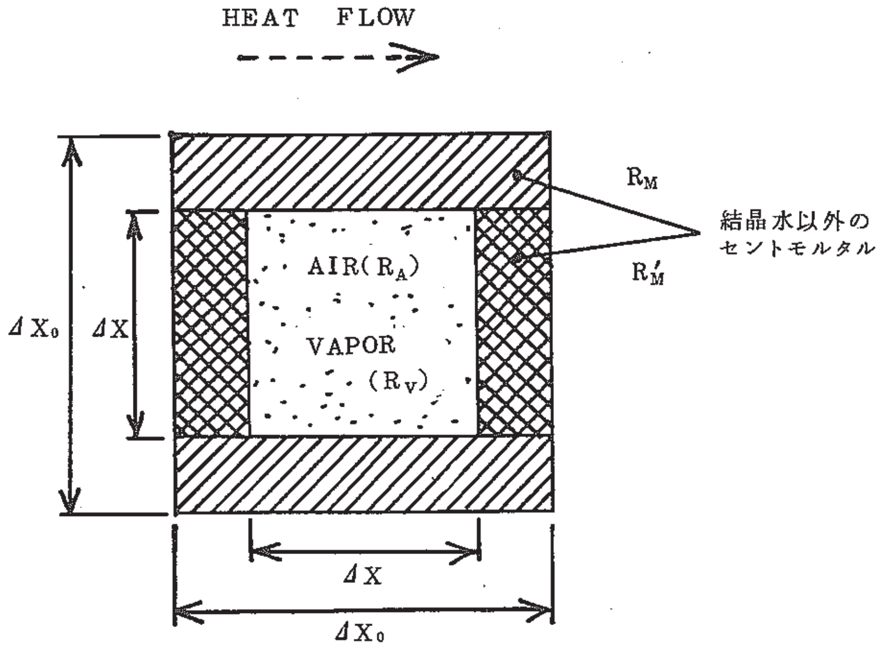
図中の点線矢印の方向に熱が伝わるものとし、結晶水を除くセメントモルタルの熱抵抗を　$R_M$（Heat　Flowと垂直なΔχ四方のセメントモルタルの熱抵抗は$R'_M$）、空気、蒸気の熱抵抗をそれぞれ$R_A$、$R_V$とすると、モデル全体の熱抵抗（Ｒ）は図－Ｃ．10に示す等価回路となり、したがって、式（6.1）で表わすことができる。

---

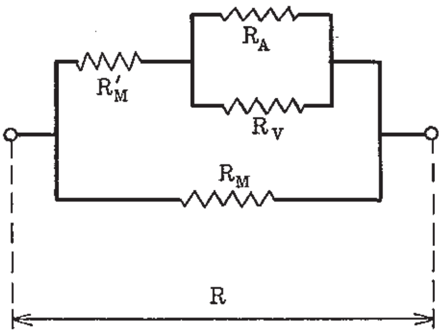
＊ Ｐ24で言う骨組のことである。




図－C．8　パーライトコンクリート微小体積の模式化




図－C．9　単　純　モ　デ　ル




図－C．10　等価回路

$$1/R = 1/R_M + \cfrac{1}{R_M' + \cfrac{1}{1/R_A + 1/R_V}} \qquad (6.1)$$

さらに、モデルを単純化する。すなわち、空気と蒸気のλの値は、ほぼ等しいことから空気の代わりに、全て蒸気であると考える。式（6.1）は、式（6.2）となる。

$$1/R = 1/R_M + \frac{1}{R_M' + R_V} \qquad (6.2)$$

ここで、空隙率 $\varepsilon = (\Delta\chi / \Delta\chi_o)^3$ とし、セメントモルタル、及び蒸気の熱伝導率を $\lambda_M$、$\lambda_V$ とすると、式（6.2）は、下式のようになる。

$$\lambda = (1-\varepsilon)^{2/3}\lambda_M + \cfrac{\varepsilon^{2/3}}{\cfrac{1-\varepsilon^{1/3}}{\lambda_M} + \cfrac{\varepsilon^{1/3}}{\lambda_V}} \qquad (6.3)$$

このとき、$\lambda_M$ は全温度領域に渡って一定値（0.30Kcal／mh℃）(＊注)をとるものと

＊　参考文献4）参照

すると、ε＝0.160、及び0.230のとき、式（6.3）の結果と測定結果との比較は、図－6.2のようになる。

図から、試験体No.A－1はε＝0.160、他の試験体（No.A-2、No.C、No.D）はε＝0.230 のときにほぼ一致していることがわかる。

このことから、No.A－1はNo.A－2、No.C、No.Dに比べて空隙が少ないことがわかる。

従って、領域Ⅱでは自由水は存在していないので含まれている結晶水の差により空隙率の差が生じているものと考えられる。故に、6.4.1及び6.4.2での考察の通り、パーライトコンクリート中に含まれている水分の熱伝導率が支配因子となっていることがわかる。

# 7. 結　論

1）「もんじゅ」に施工されるパーライトコンクリートの熱伝導率は、全ての条件に於いて、設計条件、450℃で0.25Kcal／mh℃を越えることはないことが確証された。

2）パーライトコンクリートの熱伝導率の温度依存性は、水分の熱伝導率が支配因子となっている。

3）パーライトコンクリートの熱伝導率λpは、空隙率をεとすると、次式で予測することができる。

$$\lambda p = (1-\varepsilon)^{2/3}\lambda M + \frac{\varepsilon^{2/3}}{\dfrac{1-\varepsilon^{1/3}}{\lambda M} + \dfrac{\varepsilon^{1/3}}{\lambda V}}$$

（ただし、T≧ 130℃）

## 8. 謝　　辞

本試験の実施にあたり、計画および実施に御協力頂いた日本建築総合試験所の上田哲夫主研、小南和也氏、また、東邦パーライト株式会社の林嘉章課長に厚く御礼申しあげます。

## 参考文献


1）　岩崎訓明著、コンクリートの特性：コンクリート・セミナー①、共立出版 (1975)

2）　U.シュナイダー、コンクリートの熱的性質、技報堂出版 (1983)

3）　A. M. Neville, Properties of Concrete, John Wiley, New York (1973)

4）　A. Dayan, E. L. Gluekler, Heat And Mass Transfer Within An Intensely Heated Concrete Slab, Int. J. Heat Mass Transfer Vol.25 (1982)

5）　C. L. D. Hvang, Multi-Phase Moisture Transfer In Porous Media, Int. J. Heat Mass Transfer Vol.22 (1979)

6）　A. Dayan, E. L. Gluekler, Concrete Failure Modes At Elevated Temperatures, ANL. 78-10

7）　J. D. McCormack, A. K. Postma and J. A. Schur, Water Evolution From Heated Concrete, HEDL-TME 78-87, uc-79 h, P

表－3.1　パーライトコンクリート試験条件の組み合わせ

| 測定項目 | 試験体No. | 測定法 | 調合 | 測定時までの養生条件 | 測定時条件 | 試験体寸法（mm） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 熱伝導率 | X | 円筒法 | 1:3 | 材令28日まで20±3℃<br>65±5%RH　気乾養生 | ｱﾝｼｰﾙ | φ67×190<br>（中空円筒） |
| | A-1 | 〃 | 〃 | 材令91日まで20±3℃<br>65±5%RH　気乾養生 | シール<br>(ﾍﾞﾝﾄ付) | 〃 |
| | A-2 | 〃 | 〃 | 同上養生後<br>絶乾状態(105±1℃) | ｱﾝｼｰﾙ | 〃 |
| | C | 〃 | 〃 | 材令91日まで20±3℃<br>100%RH　湿空養生 | 〃 | 〃 |
| | D | 〃 | 〃 | 材令91日まで20±3℃<br>65±5%RH　気乾養生 | 〃 | 〃 |
| | E | 〃 | 1:4 | 同　　上 | 〃 | 〃 |
| | B | 熱線法 | 1:3 | 同上養生後<br>絶乾状態(105±1℃) | 〃 | 200×100×100 |
| 熱拡散率 | F-1 | 周期定常法 | 1:3 | 材令91日まで20±3℃<br>65±5%RH　気乾養生 | 〃 | 200×200×200 |
| 密度 | G-C<br>D<br>E<br>F1 | | 1:3<br>1:4 | C,D,E,F1,と同一寸法同一養生したものについて | 〃 | φ67×190<br>（中空円筒）<br>200×200×200 |
| 強度 | H | 圧縮 | 1:3 | 材令91日まで20±3℃<br>65±5%RH　気乾養生後<br>熱伝導率測定時と同じ温度履歴を与える＊ | 〃 | φ100×200 |

＊　温度履歴を与えないものも比較のために試験する。（３体）。

表－3.2　セメントの物理試験結果

| 比　　重 | 比表面積<br>（cm²／g） | 凝 | 結 | | 安定性 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 水　量<br>（％） | 始　発<br>（時－分） | 終　結<br>（時－分） | |
| 3.16 | 3240 | 27.1 | 2 － 24 | 3 － 28 | 良 |

| 酸　　化<br>マグネシウム<br>（％） | 三酸化硫黄<br>（％） | 強熱減量<br>（％） | 圧縮強さ（Kgf／cm²） | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 3　日 | 7　日 | 28　日 |
| 1.3 | 1.8 | 0.6 | 140 | 241 | 420 |

（東邦パーライト株式会社提出資料）

表－3.3　パーライトの粒径等

| 名　　称 | 品　名 | 形　状 | 粒　径<br>（mm） | かさ比重<br>（kg／ℓ） | 吸水率<br>（％） |
|---|---|---|---|---|---|
| 黒曜石パーライト | T　M | 球　形 | 0.15～3.5 | 0.20 | 20 |

| 熱伝導率<br>（kcal／mh℃） | 主　要　成　分 | 耐　水　性 |
|---|---|---|
| 0.03 ～ 0.05 | $SiO_2$……75.41％、$K_2O$……4.55％<br>$Al_2O_3$…12.85％、$Na_2O$…3.70％ | 表面のみ吸水<br>残存空隙率　75％ |

（東邦パーライト株式会社提出資料）

表－3.4　パーライトコンクリートの調合比

| 成分<br>バッチ | 打設日 | セメント<br>(kg) | パーライト<br>(袋) | 混和剤<br>(cc) | 加　水<br>(ℓ) | 密　度<br>(kg/m³) | スランプ<br>(cm) | 練り上り温　度 | 練り量<br>(ℓ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S 61.12.10 | 40 | 2.5 | 120 | 16.9 | 759 | 17.0 | 23.0 | 90 |
| 2 | S 61.12.18 | 32 | 2 | 96 | 14.7 | 766 | 14.6 | 13.0 | 73 |
| 3 | | 32 | 2 | 96 | 14.7 | 760 | 14.6 | 12.0 | 73 |
| 4 | | 26.7 | 2 | 107 | 13.8 | 699 | 17.8 | 12.0 | 70 |

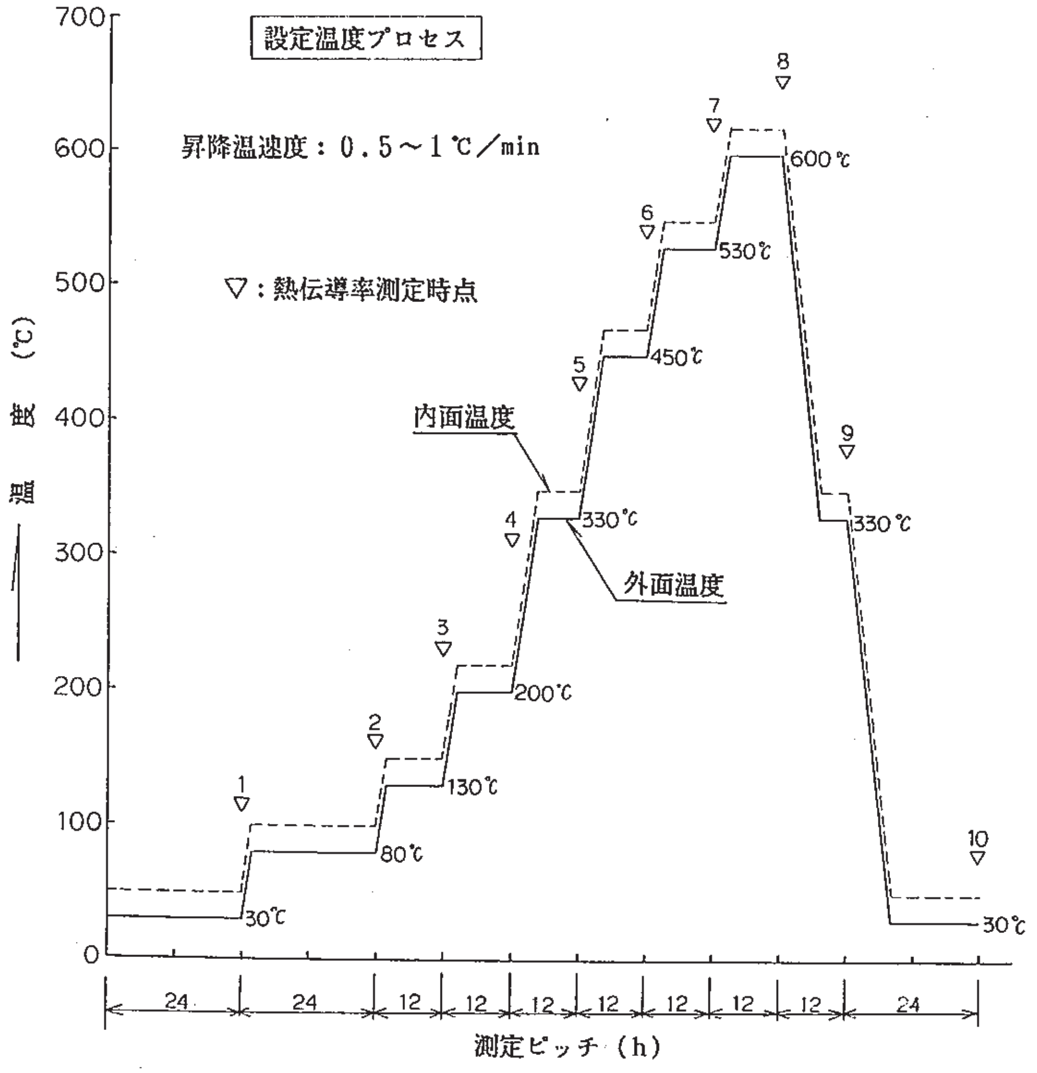
注）パーライトの１袋当たりの容積は３３ℓである。

表－3.5　各バッチから製作した試験体

| バッチ | 試　験　体 |
|---|---|
| 1 | ・熱伝導率（円筒法）　Ｘ，Ａ１，Ａ２，Ｃ，Ｄ<br>（熱線法）　Ｂ<br>・密　度　Ｇ－Ｃ，Ｇ－Ｄ<br>・強　度　Ｈ |
| 2 | —— |
| 3 | ・熱拡散率　Ｆ１<br>・密　度　Ｇ－Ｆ１ |
| 4 | ・熱伝導率（円筒法）　Ｅ<br>・密　度　Ｇ－Ｅ |

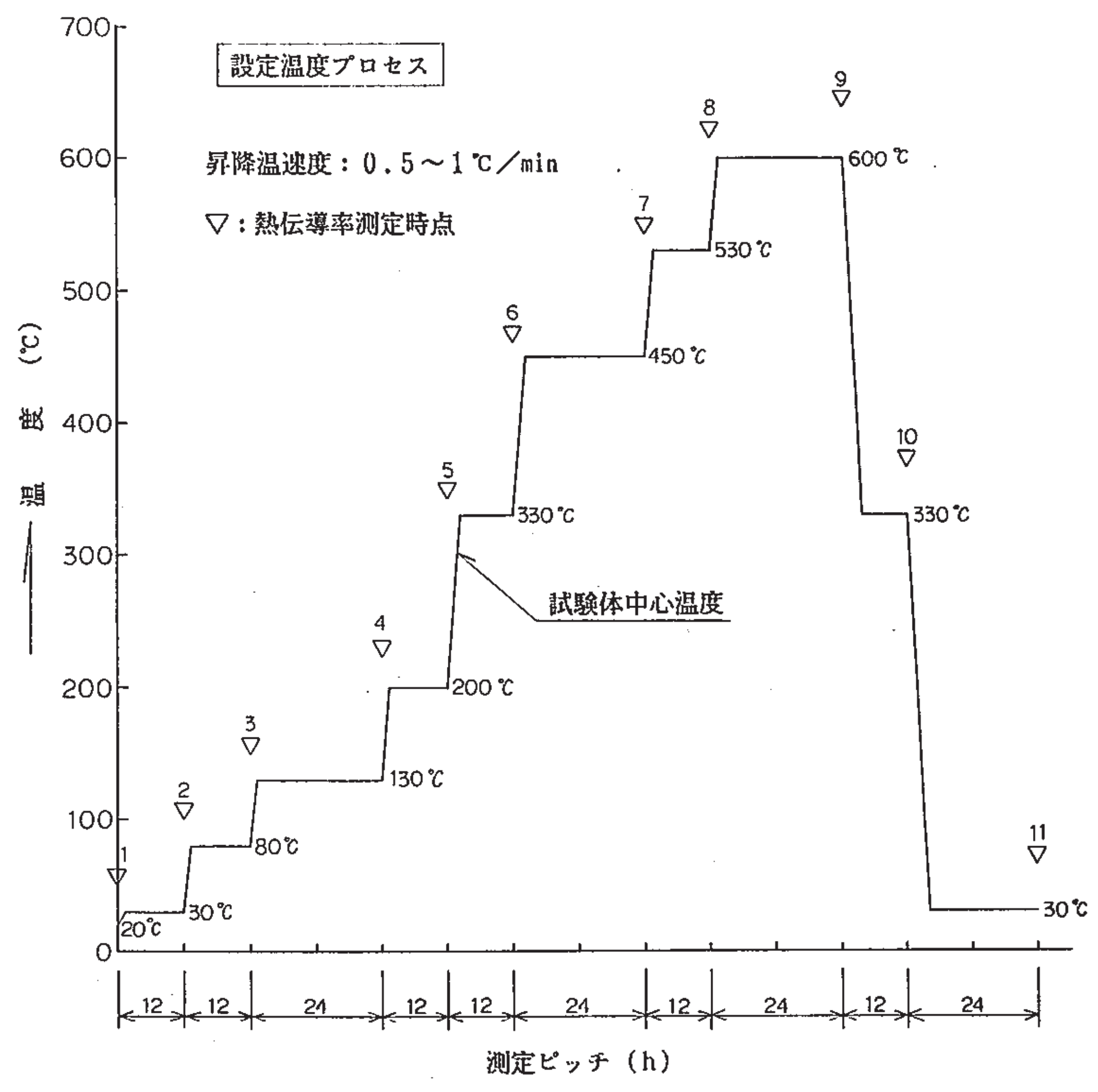
表－4.1　熱伝導率（円筒法）における設定温度

| | 昇 | | | | 温 | | | | 降 | 温 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ステップ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 内面温度（℃） | 50 | 100 | 150 | 220 | 350 | 470 | 550 | 620 | 350 | 50 |
| 外面温度（℃） | 30 | 80 | 130 | 200 | 330 | 450 | 530 | 600 | 330 | 30 |
| 定常時間（h） | 24 | 24 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 24 |



表－4.2　熱伝導率（熱線法）における設定温度

| | 昇温 | | | | | | | | | 降温 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ステップ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 試験体中心温度（℃） | 20 | 30 | 80 | 130 | 200 | 330 | 450 | 530 | 600 | 330 | 30 |
| 測定ピッチ（h） | — | 12 | 12 | 24 | 12 | 12 | 24 | 12 | 24 | 12 | 24 |



表－4.3　熱拡散率における設定温度

| | 昇 | | | | 温 | | | | 降 | 温 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ステップ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 測定部平均温度(℃) | 30 | 80 | 130 | 200 | 330 | 450 | 530 | 600 | 330 | 30 |
| 測定ピッチ (h) | 48 | 72 | 72 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 72 |

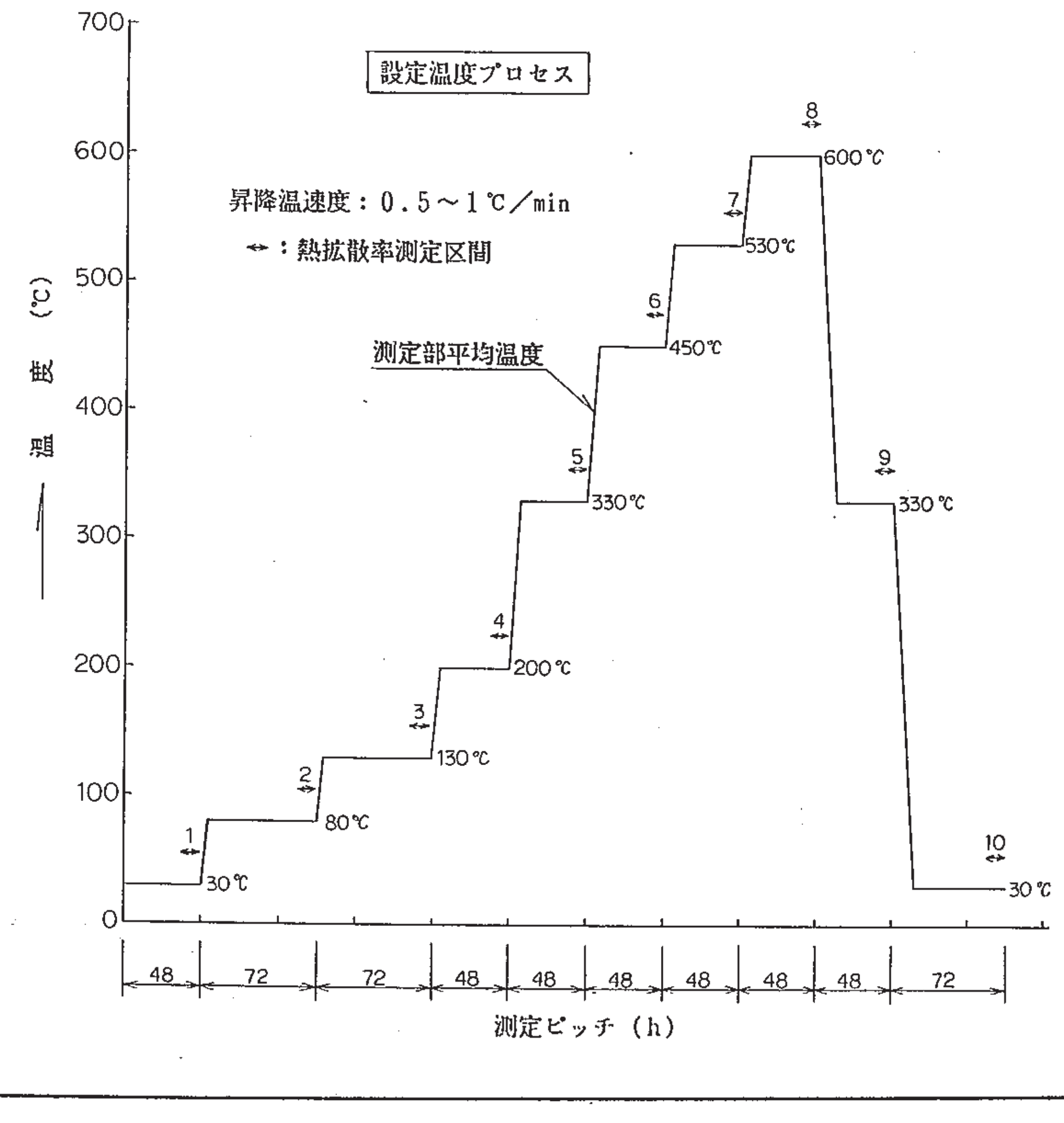
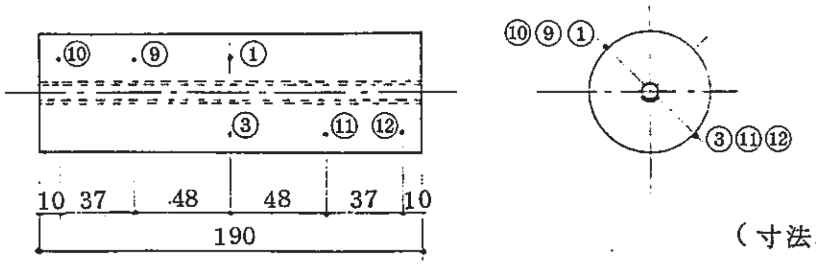


表4.4　試験体の軸方向の温度分布（試験体No.A２）

| 測定位置 ＼ 条件 | 外表面温度（℃） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ① | ⑨ | ⑩ | ③ | ⑪ | ⑫ |
| 30 | 37.3 | 37.4 | 37.2 | 36.6 | 37.4 | 37.4 |
| 80 | 79.2 | 79.3 | 79.1 | 78.5 | 79.3 | 79.4 |
| 130 | 127.6 | 127.7 | 127.6 | 127.0 | 127.6 | 127.9 |
| 200 | 199.0 | 199.2 | 199.1 | 198.7 | 199.0 | 199.3 |
| 330 | 326.0 | 326.2 | 326.2 | 326.1 | 325.9 | 326.3 |
| 450 | 449.6 | 449.5 | 449.8 | 449.8 | 449.3 | 449.6 |
| 530 | 529.7 | 529.7 | 530.0 | 530.1 | 529.5 | 529.7 |
| 600 | 599.6 | 599.5 | 599.9 | 600.1 | 599.2 | 599.6 |
| 330 | 331.9 | 331.9 | 332.0 | 331.8 | 331.6 | 332.0 |
| 30 | 31.8 | 31.9 | 31.8 | 30.8 | 31.8 | 32.0 |

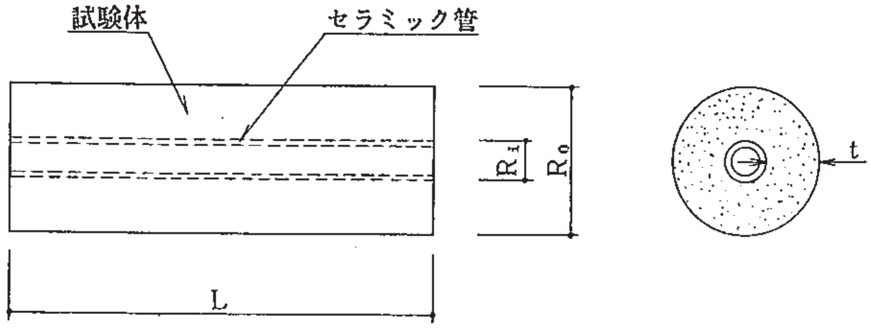



（寸法単位：mm）

表－5.1　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様

| 試験体 No. | | X－1 | X－2 | X－3 | X－4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | S60.12/10 | S60.12/10 | S60.12/10 | S60.12/10 |
| 試験年月日 | | S61.1/14～1/21 | S61.1/21～1/28 | S61.1/29～2/5 | S61.2/6～2/13 |
| 材令*1 | | 35日 | 42日 | 50日 | 58日 |
| 外径 $R_o$ (mm) | | 66.7 | 66.7 | 66.9 | 66.7 |
| 内径*2 $R_i$ (mm) | | 17.2 | 17.3 | 17.1 | 17.2 |
| 長さ L (mm) | | 191.6 | 191.7 | 190.4 | 190.5 |
| 厚さ $t=\frac{R_o-R_i}{2}$ (mm) | | 24.8 | 24.7 | 24.9 | 24.8 |
| 体積 V (cm³) | | 624.96 | 624.77 | 625.55 | 621.37 |
| 試験前 | 質量*3 M (g) | 498.1 | 505.6 | 503.5 | 493.2 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 797 | 809 | 805 | 794 |
| 試験後 | 質量*3 M (g) | 436.7 | 440.2 | 439.1 | 433.1 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 699 | 705 | 702 | 697 |
| 養生条件 | | 室温２０℃，相対湿度６５％の恒温恒湿室内で気乾養生。 | | | |

試験体の寸法図

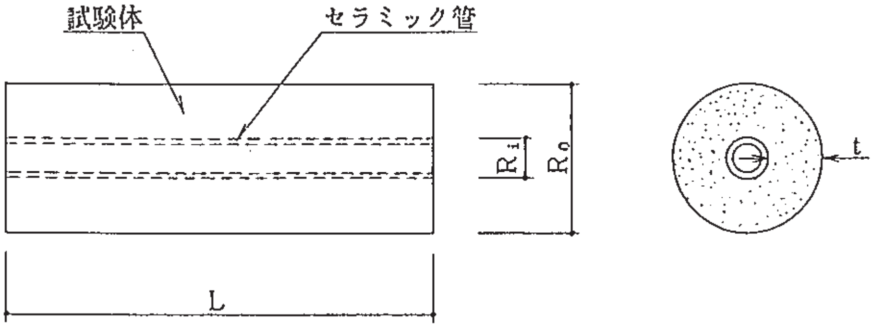



＊１：材令は、試験体打設日から試験開始までの材令である。
＊２：内径は、セラミック管の外径を測定した値である。
＊３：質量は、試験体に埋め込んだセラミック管および熱電対を取り除いたパーライトコンクリートのみの質量である。
・試験体の寸法は、試験前後でノギス（精度：0.05mm）により測定したが、いづれの試験体も寸法的変化はなかった。

表－5.2　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様

| 試験体 No. | | D－1 | D－2 | D－3 |
|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | S 60.12/10 | S 60.12/10 | S 60.12/10 |
| 試験年月日 | | S 61. 6/3 ～ 6/10 | S 61. 6/3 ～ 6/10 | S 61.6/20 ～ 6/27 |
| 材令 *1 | | 175 日 | 175 日 | 192 日 |
| 外径 $R_o$ (mm) | | 66.7 | 66.8 | 66.8 |
| 内径 *2 $R_i$ (mm) | | 17.3 | 17.1 | 17.0 |
| 長さ L (mm) | | 190.4 | 190.9 | 190.9 |
| 厚さ $t = \frac{R_o - R_i}{2}$ (mm) | | 24.7 | 24.8 | 24.9 |
| 体積 V (cm³) | | 620.53 | 625.19 | 625.70 |
| 試験前 | 質量 *3 M (g) | 497.5 | 505.5 | 499.4 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 802 | 809 | 798 |
| 試験後 | 質量 *3 M (g) | 437.5 | 444.9 | 438.8 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 705 | 712 | 701 |
| 養生条件 | | 室温２０℃，相対湿度６５％の恒温恒湿室内で気乾養生。 | | |

試験体の寸法図

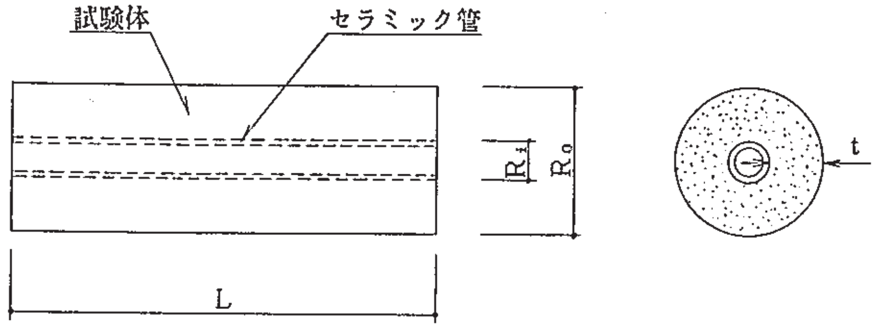



＊１：材令は、試験体打設日から試験開始までの材令である。
＊２：内径は、セラミック管の外径を測定した値である。
＊３：質量は、試験体に埋め込んだセラミック管および熱電対を取り除いたパーライトコンクリートのみの質量である。
・試験体の寸法は、試験前後でノギス（精度：０.０５mm）により測定したが、いづれの試験体も寸法的変化はなかった。

表－5.3　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様

| 試験体 No. | | A2－1 | A2－2 | A2－3 |
|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | S 60.12/10 | S 60.12/10 | S 60.12/10 |
| 試験年月日 | | S 61.4/11 ～ 4/18 | S 61.4/19 ～ 4/26 | S 61.4/19 ～ 4/26 |
| 材令 *1 | | 122 日 | 130 日 | 130 日 |
| 外径 $R_o$ (mm) | | 66.8 | 66.6 | 66.6 |
| 内径 *2 $R_i$ (mm) | | 17.1 | 17.0 | 17.0 |
| 長さ L (mm) | | 190.7 | 190.4 | 191.1 |
| 厚さ $t = \frac{R_o - R_i}{2}$ (mm) | | 24.8 | 24.8 | 24.8 |
| 体積 V (cm³) | | 624.54 | 620.08 | 622.36 |
| 試験前 | 質量 *3 M (g) | 472.6 | 465.1 | 463.3 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 757 | 750 | 744 |
| 試験後 | 質量 *3 M (g) | 443.5 | 435.6 | 436.7 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 710 | 702 | 702 |
| 養生条件 | | 室温20℃，相対湿度65%の恒温恒湿室内で気乾養生後、試験開始4日前より105℃で絶乾状態とした。 | | |

試験体の寸法図

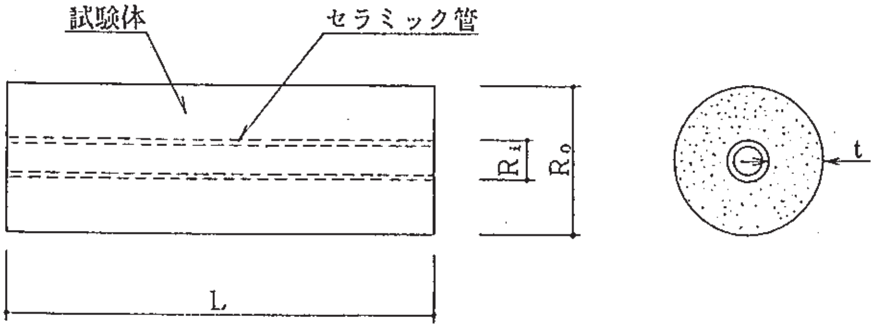



＊1：材令は、試験体打設日から試験開始までの材令である。
＊2：内径は、セラミック管の外径を測定した値である。
＊3：質量は、試験体に埋め込んだセラミック管および熱電対を取り除いたパーライトコンクリートのみの質量である。
・試験体の寸法は、試験前後でノギス（精度：0.05mm）により測定したが、いづれの試験体も寸法的変化はなかった。

表－5.4　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様

| 試験体 No. | | C－1 | C－2 | C－3 |
|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | S 60.12/10 | S 60.12/10 | S 60.12/10 |
| 試験年月日 | | S 61.6/11 ～ 6/18 | S 61.6/11 ～ 6/18 | S 61.6/20 ～ 6/26 |
| 材令 *1 | | 183 日 | 183 日 | 192 日 |
| 外径 $R_o$ (mm) | | 66.8 | 66.9 | 66.7 |
| 内径 *2 $R_i$ (mm) | | 17.3 | 17.2 | 17.3 |
| 長さ L (mm) | | 191.0 | 190.9 | 190.8 |
| 厚さ $t = \frac{R_o - R_i}{2}$ (mm) | | 24.8 | 24.8 | 24.7 |
| 体積 V (cm³) | | 624.49 | 626.87 | 622.83 |
| 試験前 | 質量 *3 M (g) | 506.9 | 524.4 | 533.0 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 812 | 837 | 856 |
| 試験後 | 質量 *3 M (g) | 416.2 | 429.7 | 440.5 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 666 | 685 | 707 |
| 養生条件 | | 室温２０℃，相対湿度１００％の恒温恒湿箱内で湿空養生。 | | |

試験体の寸法図

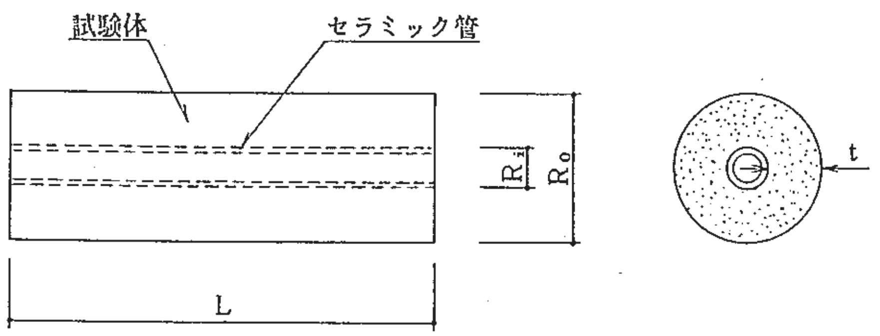



＊１：材令は、試験体打設日から試験開始までの材令である。
＊２：内径は、セラミック管の外径を測定した値である。
＊３：質量は、試験体に埋め込んだセラミック管および熱電対を取り除いたパーライトコンクリートのみの質量である。
・試験体の寸法は、試験前後でノギス（精度：0.０５mm）により測定したが、いづれの試験体も寸法的変化はなかった。

表－5.5　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様

| 試験体 No. | | A1－1 | A1－2 | A1－3 |
|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | S 60.12/10 | S 60.12/10 | S 60.12/10 |
| 試験年月日 | | S 61.5/ 6 ～ 5/13 | S 61.5/14 ～ 5/21 | S 61.5/14 ～ 5/21 |
| 材令 *1 | | 147 日 | 155 日 | 155 日 |
| 外径 $R_0$ (mm) | | 66.7 | 66.9 | 66.8 |
| 内径 *2 $R_i$ (mm) | | 17.1 | 17.0 | 17.0 |
| 長さ L (mm) | | 191.5 | 189.8 | 190.9 |
| 厚さ $t=\frac{R_0-R_i}{2}$ (mm) | | 24.8 | 25.0 | 24.9 |
| 体積 V (cm³) | | 625.15 | 624.09 | 625.70 |
| 試験前 | 質量 *3 M (g) | 509.0 | 496.2 | 514.7 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 814 | 795 | 823 |
| 試験後 | 質量 *3 M (g) | 454.7 | 443.4 | 458.5 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 727 | 710 | 733 |
| 養生条件 | | 室温２０℃，相対湿度６５％の恒温恒湿室内で気乾養生。 | | |

試験体の寸法図

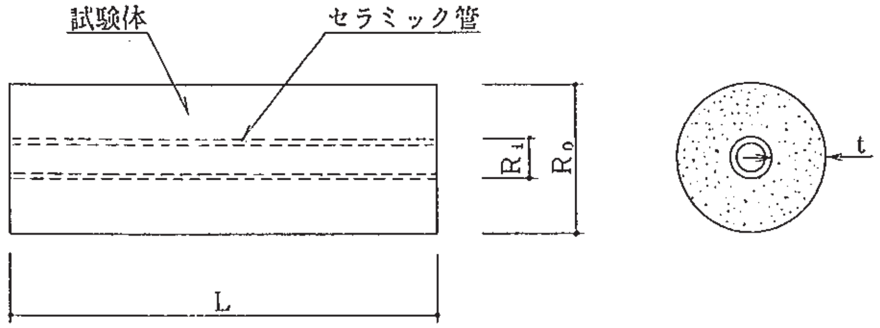



＊１：材令は、試験体打設日から試験開始までの材令である。
＊２：内径は、セラミック管の外径を測定した値である。
＊３：質量は、試験体に埋め込んだセラミック管および熱電対を取り除いたパーライトコンクリートのみの質量である。
・試験体の寸法は、試験前後でノギス（精度：０.０５mm）により測定したが、いづれの試験体も寸法的変化はなかった。

表－5.6　熱伝導率（円筒法）試験体の寸法および仕様

| 試験体No. | | E－1 | E－2 | E－3 |
|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | S 60. 12/18 | S 60. 12/18 | S 60. 12/18 |
| 試験年月日 | | S 61. 6/27 ～ 7/4 | S 61. 6/27 ～ 7/4 | S 61. 7/4 ～ 7/11 |
| 材令 *1 | | 191 日 | 191 日 | 198 日 |
| 外径 $R_o$ (㎜) | | 66.8 | 66.6 | 66.7 |
| 内径 *2 $R_i$ (㎜) | | 17.0 | 17.2 | 17.0 |
| 長さ L (㎜) | | 191.4 | 191.6 | 191.4 |
| 厚さ $t=\frac{R_o-R_i}{2}$ (㎜) | | 24.9 | 24.7 | 24.8 |
| 体積 V (㎤) | | 627.34 | 622.95 | 625.34 |
| 試験前 | 質量 *3 M (g) | 445.7 | 432.4 | 437.3 |
| | 密度 ρ (kg/㎥) | 710 | 694 | 699 |
| 試験後 | 質量 *3 M (g) | 394.0 | 381.7 | 385.1 |
| | 密度 ρ (kg/㎥) | 628 | 613 | 616 |
| 養生条件 | | 室温２０℃，相対湿度６５％の恒温恒湿室内で気乾養生。 | | |

試験体の寸法図

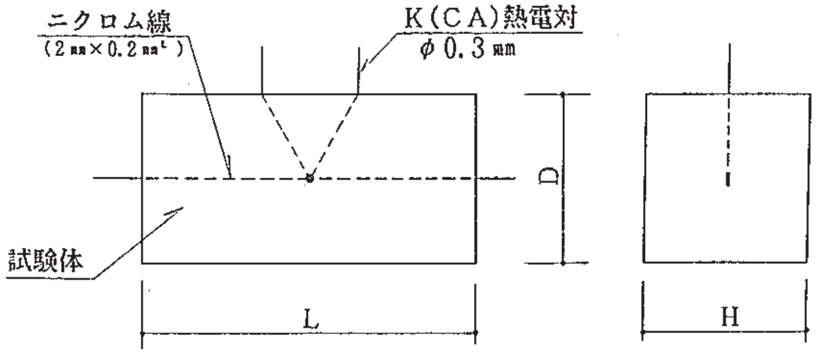



＊１：材令は、試験体打設日から試験開始までの材令である。
＊２：内径は、セラミック管の外径を測定した値である。
＊３：質量は、試験体に埋め込んだセラミック管および熱電対を取り除いたパーライトコンクリートのみの質量である。
・試験体の寸法は、試験前後でノギス（精度：0.０５㎜）により測定したが、いづれの試験体も寸法的変化はなかった。

表－5.7　熱伝導率（熱線法）試験体の寸法および仕様

| 試験体No. | | B－1 | B－2 | B－3 |
|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | S 60.12/10 | S 60.12/10 | S 60.12/10 |
| 試験年月日 | | S 61.4/ 8 ～ 4/15 | S 61.4/16 ～ 4/23 | S 61.4/16 ～ 4/23 |
| 材令 *1 | | 119 日 | 127 日 | 127 日 |
| 幅 D (mm) | | 101.1 | 99.8 | 101.6 |
| 高さ H (mm) | | 101.5 | 101.3 | 101.7 |
| 長さ L (mm) | | 202.1 | 200.6 | 200.0 |
| 体積 V (cm³) | | 2073.9 | 2028.0 | 2066.5 |
| 試験前 | 質量 *2 M (g) | 1550.8 | 1521.9 | 1539.4 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 748 | 750 | 745 |
| 試験後 | 質量 *2 M (g) | 1438.7 | 1412.9 | 1425.4 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 694 | 697 | 690 |
| 養生条件 | | 室温２０度，相対湿度６５％の恒温恒湿室内で気乾養生後、試験開始９日前より１０５℃で絶乾状態とした。 | | |

試験体の寸法図




＊１：材令は、試験体打設日から試験開始までの材令である。
＊２：質量は、試験体に埋め込んだニクロム線および熱電対を取り除いたパーライトコンクリートのみの質量である。　　管および熱電対を取り除いたパーライト
・試験体の寸法は、試験前後でノギス（精度：0.０５mm）により測定したが、いづれの試験体も寸法的変化はなかった。

表－5.8　熱伝導率（円筒法）測定結果

** NO.X ***

| TF | TR | TI | TO | TIO | TM | RAMDA | SD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30. | 24.1 | 49.2 | 32.1 | 17.1 | 37.17 | 0.216 | 0.0021 |
| 80. | 70.9 | 98.6 | 78.5 | 20.2 | 84.44 | 0.207 | 0.0036 |
| 130. | 121.6 | 147.4 | 128.1 | 19.3 | 133.85 | 0.205 | 0.0076 |
| 200. | 192.7 | 217.6 | 198.1 | 19.5 | 203.91 | 0.212 | 0.0102 |
| 330. | 322.8 | 346.9 | 327.5 | 19.4 | 333.28 | 0.224 | 0.0101 |
| 450. | 442.9 | 465.7 | 446.8 | 18.9 | 452.37 | 0.242 | 0.0052 |
| 530. | 523.9 | 547.5 | 527.5 | 20.0 | 533.43 | 0.238 | 0.0044 |
| 600. | 595.1 | 617.1 | 597.8 | 19.3 | 603.50 | 0.250 | 0.0044 |
| 330. | 327.1 | 352.8 | 331.4 | 21.4 | 337.74 | 0.196 | 0.0044 |
| 30. | 22.4 | 49.9 | 29.4 | 20.5 | 35.48 | 0.138 | 0.0015 |

** NO.A1 ***

| TF | TR | TI | TO | TIO | TM | RAMDA | SD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30. | 25.3 | 50.3 | 36.5 | 13.8 | 40.58 | 0.227 | 0.0066 |
| 80. | 68.2 | 97.9 | 80.0 | 17.9 | 85.27 | 0.235 | 0.0121 |
| 130. | 119.4 | 150.7 | 131.1 | 19.6 | 136.91 | 0.212 | 0.0057 |
| 200. | 191.1 | 219.7 | 200.1 | 19.6 | 205.91 | 0.217 | 0.0044 |
| 330. | 326.4 | 350.6 | 331.1 | 19.6 | 336.86 | 0.229 | 0.0051 |
| 450. | 447.4 | 469.6 | 449.6 | 20.0 | 455.55 | 0.245 | 0.0032 |
| 530. | 530.0 | 550.8 | 530.0 | 20.8 | 536.18 | 0.243 | 0.0040 |
| 600. | 601.2 | 618.0 | 599.2 | 18.8 | 604.77 | 0.272 | 0.0078 |
| 330. | 329.9 | 352.1 | 332.2 | 19.9 | 338.10 | 0.211 | 0.0104 |
| 30. | 25.3 | 51.8 | 34.8 | 17.0 | 39.87 | 0.161 | 0.0092 |

** NO.A2 ***

| TF | TR | TI | TO | TIO | TM | RAMDA | SD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30. | 30.1 | 55.5 | 37.3 | 18.2 | 42.72 | 0.180 | 0.0056 |
| 80. | 74.2 | 100.5 | 80.7 | 19.8 | 86.57 | 0.190 | 0.0044 |
| 130. | 122.6 | 147.6 | 127.6 | 20.0 | 133.49 | 0.191 | 0.0042 |
| 200. | 195.0 | 218.4 | 198.4 | 20.0 | 204.35 | 0.197 | 0.0065 |
| 330. | 325.6 | 346.5 | 326.8 | 19.6 | 332.64 | 0.209 | 0.0060 |
| 450. | 449.3 | 469.3 | 449.0 | 20.3 | 455.04 | 0.215 | 0.0029 |
| 530. | 527.6 | 546.5 | 526.6 | 19.9 | 532.52 | 0.226 | 0.0042 |
| 600. | 600.8 | 618.4 | 575.5 | 42.9 | 588.16 | 0.241 | 0.0032 |
| 330. | 326.2 | 347.5 | 327.2 | 20.3 | 333.22 | 0.186 | 0.0032 |
| 30. | 25.4 | 49.9 | 31.1 | 18.8 | 36.70 | 0.136 | 0.0040 |

ＴＦ：設定温度　〔℃〕　ＴＩＯ＝ＴＩ－ＴＯ　〔℃〕

ＴＲ：雰囲気温度〔℃〕　ＴＭ：平均温度　〔℃〕

ＴＩ：内壁温度　〔℃〕　ＲＡＭＤＡ：熱伝導率〔Kcal/mh ℃〕

ＴＯ：外壁温度　〔℃〕　ＳＤ：標準偏差

表－5.9　熱伝導率（円筒法）測定結果

** NO.C ***

| TF | TR | TI | TO | TIO | TM | RAMDA | SD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30. | 25.6 | 48.3 | 33.4 | 14.9 | 37.80 | 0.241 | 0.0028 |
| 80. | 74.8 | 100.5 | 81.4 | 19.1 | 87.05 | 0.206 | 0.0021 |
| 130. | 123.9 | 148.5 | 129.1 | 19.4 | 134.86 | 0.201 | 0.0035 |
| 200. | 195.9 | 218.8 | 199.5 | 19.3 | 205.23 | 0.205 | 0.0007 |
| 330. | 328.0 | 348.6 | 329.1 | 19.5 | 334.87 | 0.212 | 0.0028 |
| 450. | 449.9 | 471.7 | 449.6 | 22.2 | 456.12 | 0.209 | 0.0014 |
| 530. | 530.3 | 550.4 | 529.1 | 21.4 | 535.42 | 0.225 | 0.0035 |
| 600. | 601.8 | 620.3 | 599.6 | 20.7 | 605.78 | 0.236 | 0.0021 |
| 330. | 328.7 | 349.5 | 329.5 | 20.0 | 335.43 | 0.178 | 0.0021 |
| 30. | 25.7 | 49.9 | 31.2 | 18.8 | 36.75 | 0.124 | 0.0021 |

** NO.D ***

| TF | TR | TI | TO | TIO | TM | RAMDA | SD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30. | 25.6 | 49.3 | 33.0 | 16.4 | 37.81 | 0.201 | 0.0017 |
| 80. | 74.6 | 100.4 | 81.1 | 19.3 | 86.82 | 0.194 | 0.0026 |
| 130. | 123.9 | 149.5 | 129.1 | 20.4 | 135.16 | 0.193 | 0.0021 |
| 200. | 195.9 | 219.9 | 199.5 | 20.4 | 205.50 | 0.198 | 0.0032 |
| 330. | 328.2 | 348.4 | 329.1 | 19.2 | 334.83 | 0.211 | 0.0031 |
| 450. | 450.1 | 469.9 | 449.6 | 20.3 | 455.60 | 0.216 | 0.0040 |
| 530. | 530.6 | 549.1 | 529.2 | 19.9 | 535.10 | 0.228 | 0.0040 |
| 600. | 601.1 | 618.7 | 598.9 | 19.8 | 604.76 | 0.243 | 0.0049 |
| 330. | 326.9 | 348.4 | 327.7 | 20.6 | 333.84 | 0.184 | 0.0031 |
| 30. | 24.8 | 49.1 | 30.8 | 18.3 | 36.19 | 0.137 | 0.0021 |

** NO.E ***

| TF | TR | TI | TO | TIO | TM | RAMDA | SD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30. | 25.4 | 52.3 | 32.6 | 19.7 | 38.42 | 0.166 | 0.0015 |
| 80. | 74.6 | 99.9 | 80.2 | 19.7 | 86.06 | 0.167 | 0.0015 |
| 130. | 124.6 | 149.7 | 129.0 | 20.8 | 135.11 | 0.165 | 0.0006 |
| 200. | 196.3 | 219.1 | 199.0 | 20.1 | 204.95 | 0.173 | 0.0006 |
| 330. | 327.9 | 349.6 | 328.5 | 21.1 | 334.78 | 0.189 | 0.0006 |
| 450. | 450.4 | 469.6 | 449.3 | 20.3 | 455.30 | 0.202 | 0.0006 |
| 530. | 530.1 | 548.1 | 528.2 | 19.9 | 534.11 | 0.219 | 0.0021 |
| 600. | 602.4 | 620.0 | 599.9 | 20.2 | 605.84 | 0.230 | 0.0010 |
| 330. | 326.9 | 348.2 | 327.4 | 20.8 | 333.53 | 0.168 | 0.0006 |
| 30. | 24.2 | 49.4 | 29.9 | 19.5 | 35.70 | 0.120 | 0.0015 |

ＴＦ：設定温度　〔℃〕　ＴＩＯ＝ＴＩ－ＴＯ　〔℃〕

ＴＲ：雰囲気温度〔℃〕　ＴＭ：平均温度　〔℃〕

ＴＩ：内壁温度　〔℃〕　ＲＡＭＤＡ：熱伝導率〔Kcal/mh ℃〕

ＴＯ：外壁温度　〔℃〕　ＳＤ：標準偏差

表－5.10　熱伝導率（熱線法）および熱拡散率測定結果

| 試験体<br>ＮＯ | 設定温度<br>（℃） | λ（平均）<br>（kcal／mh℃） | λ標準偏差 |
|---|---|---|---|
| B | 20 | 0.203 | 0.002 |
| | 30 | 0.210 | 0.002 |
| | 80 | 0.218 | 0.001 |
| | 130 | 0.230 | 0.002 |
| | 200 | 0.232 | 0.001 |
| | 330 | 0.234 | 0.003 |
| | 450 | 0.236 | 0.001 |
| | 530 | 0.229 | 0.003 |
| | 600 | 0.236 | 0.002 |
| | 330 | 0.183 | 0.002 |
| | 30 | 0.142 | 0.001 |

熱伝導率（熱線法）

** NO.F1. ***

| TF | TR | A1 | A2 | A1/A2 | A | SD | RO | RAM | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30.0 | 32.6 | 2.41 | 0.90 | 2.664 | 1.010 | 0.0173 | 759.0 | 0.201 | 0.262 |
| 80.0 | 81.4 | 1.94 | 0.76 | 2.559 | 1.097 | 0.0153 | 711.0 | 0.194 | 0.249 |
| 130.0 | 130.5 | 2.36 | 0.95 | 2.493 | 1.160 | 0.0346 | 698.0 | 0.193 | 0.238 |
| 200.0 | 199.9 | 2.48 | 1.00 | 2.477 | 1 180 | 0.0361 | 688.0 | 0.198 | 0.244 |
| 330.0 | 328.6 | 2.37 | 0.96 | 2.457 | 1.120 | 0.0458 | 676.0 | 0.211 | 0.260 |
| 450.0 | 441.9 | 2.53 | 1.04 | 2.436 | 1.223 | 0.0351 | 655.0 | 0.216 | 0.269 |
| 530.0 | 518.5 | 2.74 | 1.14 | 2.404 | 1.260 | 0.0100 | 649.0 | 0.228 | 0.279 |
| 600.0 | 597.2 | 2.99 | 1.33 | 2.254 | 1.463 | 0.0153 | 641.0 | 0.243 | 0.259 |
| 330.0 | 326.7 | 3.33 | 1.37 | 2.434 | 1.217 | 0.0306 | 643.0 | 0.184 | 0.236 |
| 30.0 | 36.9 | 2.74 | 1.12 | 2.446 | 1.203 | 0.0058 | 648.0 | 0.137 | 0.175 |

熱拡散率

ＴＦ：設定温度〔℃〕
ＴＲ：雰囲気温度〔℃〕
Ａ１、Ａ２：温度波の振幅〔℃〕
Ａ　：熱拡散率〔$m^2$／ｈ〕$\times 10^{-3}$
ＳＤ：標準偏差
ＲＯ：密度〔kg／$m^3$〕
ＲＡＭ：熱伝導率〔kcal／mh℃〕
Ｃ　：比熱（計算値）
$C = (RAM / (RO * A) \times 10^3$

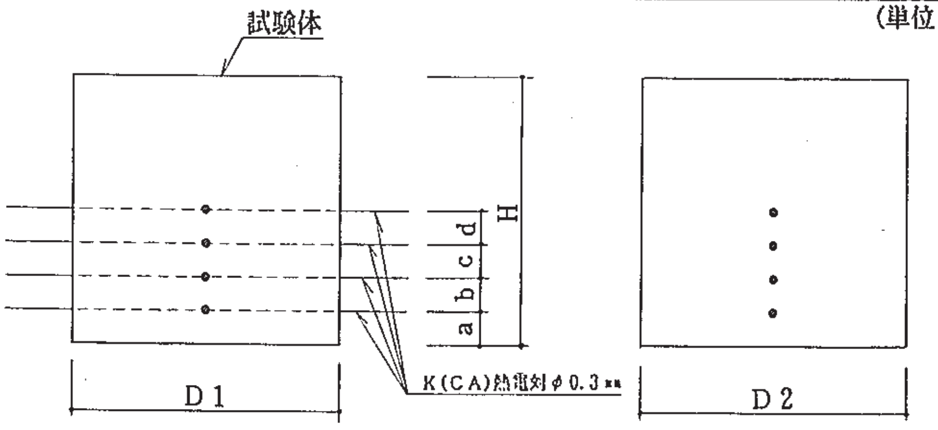
表－5.11 熱拡散率試験体の寸法および仕様

| 試験体No. | | F1－1 | F1－2 | F1－3 |
|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | S 60.12/18 | S 60.12/18 | S 60.12/18 |
| 試験年月日 | | S 61.6/19 ～ 7/12 | S 61.6/19 ～ 7/12 | S 61.7/12 ～ 8/4 |
| 材令*1 | | 183 日 | 183 日 | 206 日 |
| 幅 D1 (mm) | | 200.0 | 200.3 | 200.4 |
| 幅 D2 (mm) | | 201.0 | 201.4 | 200.9 |
| 高さ H (mm) | | 199.3 | 199.6 | 199.9 |
| 体積 V (cm³) | | 8011.9 | 8051.9 | 8048.0 |
| 試験前 | 質量*2 M (g) | 6240.4 | 6642.8 | 6540.3 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 779 | 825 | 813 |
| 試験後 | 質量*2 M (g) | 5376.6 | 5688.2 | 5607.3 |
| | 密度 ρ (kg/m³) | 671 | 706 | 697 |
| 養生条件 | | 室温20℃，相対湿度65％の恒温恒湿室内で気乾養生。 | | |

試験体の寸法図

| | a | b | c | d |
|---|---|---|---|---|
| F1－1 | 26.2 | 24.3 | 25.8 | 25.9 |
| F1－2 | 25.5 | 25.7 | 24.8 | 24.3 |
| F1－3 | 24.9 | 24.6 | 24.5 | 26.4 |

(単位：mm)




＊1：材令は、試験体打設日から試験開始までの材令である。
＊2：質量は、試験体に埋め込んだ熱電対を取り除いたパーライトコンクリートのみの質量である。

表－5.12　密度試験体の寸法及び仕様

| 試験体No. | | G－C | G－D | G－E | G－F1 |
|---|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | S 60.12/10 | S 60.12/10 | S 60.12/18 | S 60.12/18 |
| 試験年月日 | | S 61.5/6～5/13 | S 61.3/13～3/20 | S 61.5/13～5/20 | S 61.5/21～6/11 |
| 材令*1 | | 147日 | 93日 | 146日 | 154日 |
| 試験体寸法 (mm) | | 熱伝導率（円筒法）と同一形状<br>外径 $R_o$=66.9<br>内径*2 $R_i$=17.0<br>長さ L＝190.8<br>厚さ t＝25.0 | 熱伝導率（円筒法）と同一形状<br>外径 $R_o$=66.8<br>内径*2 $R_i$=17.0<br>長さ L＝190.7<br>厚さ t＝24.9 | 熱伝導率（円筒法）と同一形状<br>外径 $R_o$=66.7<br>内径*2 $R_i$=17.0<br>長さ L＝191.4<br>厚さ t＝24.8 | 熱拡散率と同一形状<br>幅 $D_1$=200.6<br>幅 $D_2$=200.6<br>高さ H＝199.8 |
| 体積 V (cm³) | | 627.38 | 625.05 | 625.34 | 8040.0 |
| 試験前 | 質量*3M (g) | 517.9 | 491.4 | 446.2 | 6138.3 |
| | 密度ρ (kg/m³) | 825 | 786 | 714 | 763 |
| 試験後 | 質量*3M (g) | 421.3 | 433.7 | 392.7 | 5208.6 |
| | 密度ρ (kg/m³) | 672 | 694 | 628 | 648 |
| 養生方法 | | 室温２０℃，相対湿度１００％の恒温恒湿箱内で湿空養生。 | 室温２０℃，相対湿度６５％の恒温恒湿室内で気乾養生。 | | |

＊１：材令は、試験体打設日から試験開始までの材令である。
＊２：内径は、セラミック管の外径を測定した値である。
＊２：質量は、試験体に埋め込んだセラミック管および熱電対を取り除いたパーライトコンクリートのみの質量である。

・試験体の寸法は、試験前後でノギス（精度：０．０５mm）により測定したが、いづれの試験体も寸法的変化はなかった。

表－5.13 密 度 測 定 結 果

| 試験体 No. | 設定温度 (℃) | 炉内温度 (℃) | 試験体*1 外面温度 (℃) | 試験体体積 V (cm³) | 試験体質量 M (g) | 密度 ρ (kg/m³) | 密度比 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G－C | 測定直前 | —— | —— | 627.38 | 517.9 | 825 | 100.0 |
| | 30 | 30.8 | 30.4 | | 510.5 | 814 | 98.7 |
| | 80 | 79.8 | 78.3 | | 469.4 | 748 | 90.7 |
| | 130 | 129.7 | 128.8 | | 456.7 | 728 | 88.2 |
| | 200 | 201.0 | 200.5 | | 447.0 | 712 | 86.3 |
| | 330 | 332.1 | 331.7 | | 436.1 | 695 | 84.2 |
| | 450 | 451.1 | 450.8 | | 418.2 | 667 | 80.8 |
| | 530 | 530.0 | 529.4 | | 415.5 | 662 | 80.2 |
| | 600 | 601.2 | 600.1 | | 410.3 | 654 | 79.3 |
| | 330 | 333.0 | 332.7 | | 412.8 | 658 | 79.8 |
| | 30 | 29.2 | 29.9 | | 421.3 | 672 | 81.5 |
| G－D | 測定直前 | —— | —— | 625.05 | 491.4 | 786 | 100.0 |
| | 30 | 31.8 | 31.3 | | 490.0 | 784 | 99.7 |
| | 80 | 82.4 | 82.0 | | 466.9 | 747 | 95.0 |
| | 130 | 132.5 | 131.6 | | 460.3 | 736 | 93.6 |
| | 200 | 202.9 | 202.1 | | 454.3 | 727 | 92.5 |
| | 330 | 332.0 | 330.9 | | 448.1 | 717 | 91.2 |
| | 450 | 452.9 | 452.4 | | 437.5 | 700 | 89.1 |
| | 530 | 530.6 | 529.9 | | 433.6 | 694 | 88.3 |
| | 600 | 598.9 | 597.8 | | 428.9 | 686 | 87.3 |
| | 330 | 335.8 | 335.6 | | 430.6 | 689 | 87.7 |
| | 30 | 40.1 | 40.7 | | 433.7 | 694 | 88.3 |
| G－E | 測定直前 | —— | —— | 625.34 | 446.2 | 714 | 100.0 |
| | 30 | 30.1 | 30.0 | | 442.9 | 708 | 99.2 |
| | 80 | 78.4 | 77.7 | | 427.0 | 683 | 95.7 |
| | 130 | 130.1 | 128.9 | | 421.1 | 673 | 94.3 |
| | 200 | 200.7 | 199.4 | | 416.2 | 666 | 93.3 |
| | 330 | 332.0 | 330.8 | | 411.2 | 658 | 92.2 |
| | 450 | 451.0 | 450.5 | | 403.8 | 646 | 90.5 |
| | 530 | 531.3 | 530.7 | | 396.8 | 635 | 88.9 |
| | 600 | 599.7 | 598.4 | | 387.9 | 620 | 86.8 |
| | 330 | 334.3 | 334.6 | | 389.1 | 622 | 87.1 |
| | 30 | 29.2 | 29.2 | | 392.7 | 628 | 88.0 |
| G－F1 | 測定直前 | —— | —— | 8040.0 | 6138.3 | 763 | 100.0 |
| | 30 | 30.4 | 29.9 | | 6099.1 | 759 | 99.5 |
| | 80 | 86.9 | 81.6 | | 5719.6 | 711 | 93.2 |
| | 130 | 131.4 | 131.2 | | 5611.7 | 698 | 91.5 |
| | 200 | 199.2 | 199.7 | | 5532.6 | 688 | 90.2 |
| | 330 | 327.7 | 328.3 | | 5435.0 | 676 | 88.6 |
| | 450 | 455.5 | 449.0 | | 5265.6 | 655 | 85.8 |
| | 530 | 539.8 | 537.0 | | 5215.6 | 649 | 85.1 |
| | 600 | 601.1 | 598.9 | | 5151.2 | 641 | 84.0 |
| | 330 | 332.6 | 335.8 | | 5166.2 | 643 | 84.3 |
| | 30 | 28.7 | 30.4 | | 5208.6 | 648 | 84.9 |

＊1：試験体外面温度は、試験体No.G－F1については試験体中心温度である。

表－5.14　強度試験体の寸法・仕様および圧縮強度試験体結果

| 試験体No. | | H－1 | | H－2 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 試験体打設日 | | 昭和60年12月10日 | | | |
| | | 平均値 | 標準偏差 | 平均値 | 標準偏差 |
| 直径R(mm) | | 100.0 | 0.06 | 99.9 | 0.06 |
| 高さH(mm) | | 200.1 | 0.68 | 200.3 | 1.20 |
| 体積V(cm³) | | 1571.6 | 6.68 | 1571.0 | 7.90 |
| 温度履歴前 | 質量M(g) | 1198.2 | 3.41 | ——— | ——— |
| | 密度P(kg/m³) | 762.7 | 4.93 | ——— | ——— |
| 温度履歴後(圧縮強度直前) | 質量M(g) | 1030.7 | 2.86 | 1198.0 | 6.64 |
| | 密度P(kg/m³) | 656 | 3.46 | 762.7 | 1.53 |
| 養生条件 | | 20℃.65%RHで気乾養生後、熱伝導率(円筒法)と同一温度履歴を与えた。 | | 20℃.65%RHで気乾養生 | |
| 圧縮強度試験日 | | 昭和61年5月1日 | | | |
| 材令 | | 142日 | | | |
| 圧縮荷重(t) | | 1.80 | 0.11 | 4.43 | 0.07 |
| 圧縮強度(kg/cm²) | | 23.0 | 1.37 | 56.5 | 0.93 |

表－5.15 試験前の密度変化

| 試験体No. | | Δm₁ | Δm₁/m₁% | Δm₂ | Δm₂/m₂% | Δm₃ | Δm₃/m₃% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A－1 | | －80 | －10.6 | 86 | 3.4 | －51.7 | －6.8 |
| A－2 | | －73 | －9.6 | 30 | 3.6 | －43.0 | －5.6 |
| B | | －87 | －11.5 | 33 | 3.9 | －53.7 | －6.9 |
| C | | －74 | －9.8 | 3.7 | 0.5 | －78 | －10.3 |
| D | | －72 | －9.6 | 54 | 4.0 | －39 | －5.1 |
| E | | －28 | －4.0 | 30 | 4.1 | ＋1.7 | ＋0.3 |
| G | C | －60 | －7.9 | 5.4 | 0.6 | －65 | －8.6 |
| | D | －57 | －7.5 | 30 | 3.7 | －27 | －3.6 |
| | E | －39 | －5.6 | 31 | 4.2 | －8.0 | －1.1 |
| | F | －30 | －3.9 | 27 | 3.4 | －3.0 | －0.4 |
| F－1 | | －61 | －8.0 | 26 | 3.1 | －35 | －4.6 |
| H－1 | | －34 | －4.5 | 31 | 3.9 | －2.7 | －0.4 |
| H－2 | | －34 | －4.4 | 31 | 3.9 | －3.0 | －0.4 |
| 平均値 | | | －8.1 (σ＝3.0) | | 3.6 (σ＝0.4) | | |
| max | | | －12.9％ | | 4.2％ | | |
| min | | | －3.9％ | | 2.7％ | | |

$m_1$：練り混ぜ時

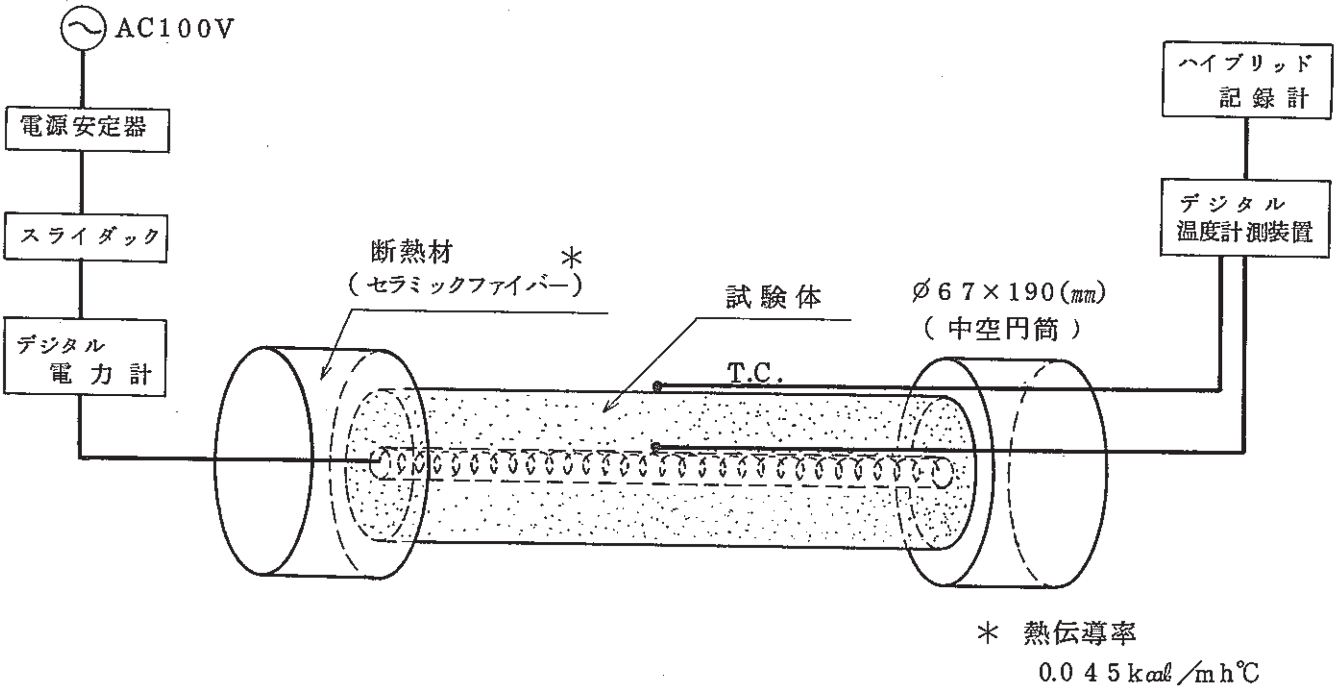
$m_2$：脱型後

$m_3$：試験前

$\Delta m_1 = m_1 - m_2$

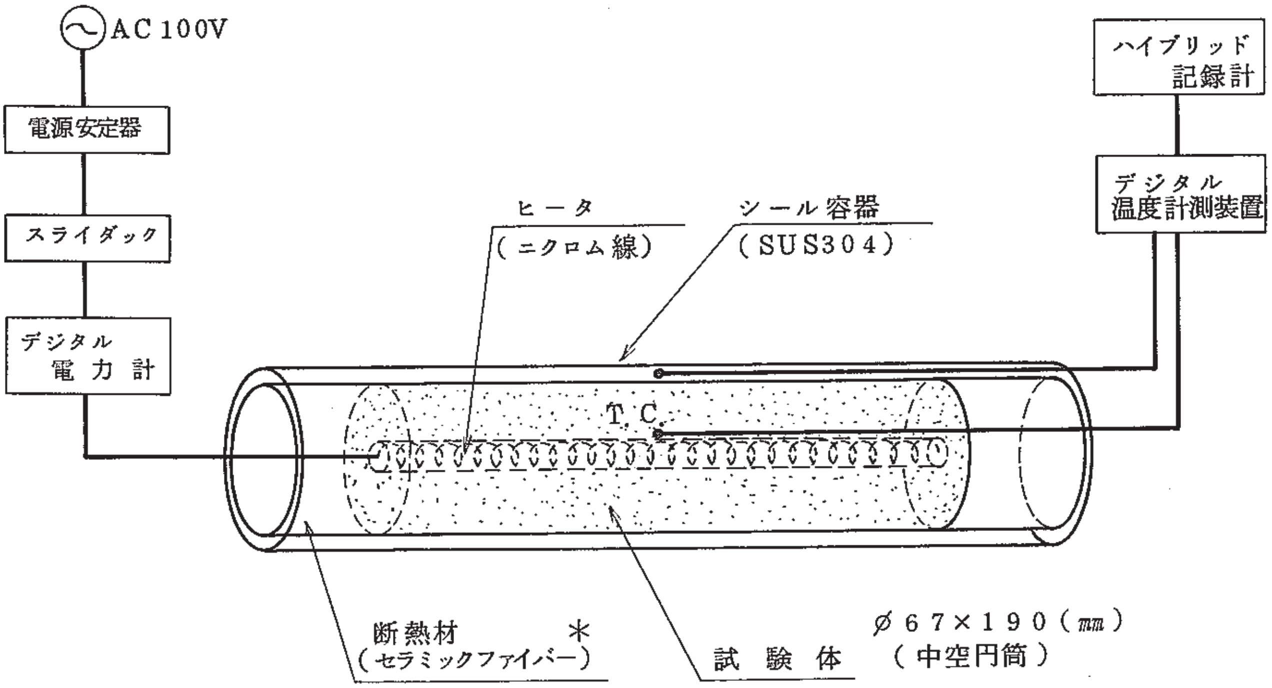
$\Delta m_2 = m_2 - m_3$

$\Delta m_3 = m_1 - m_3$



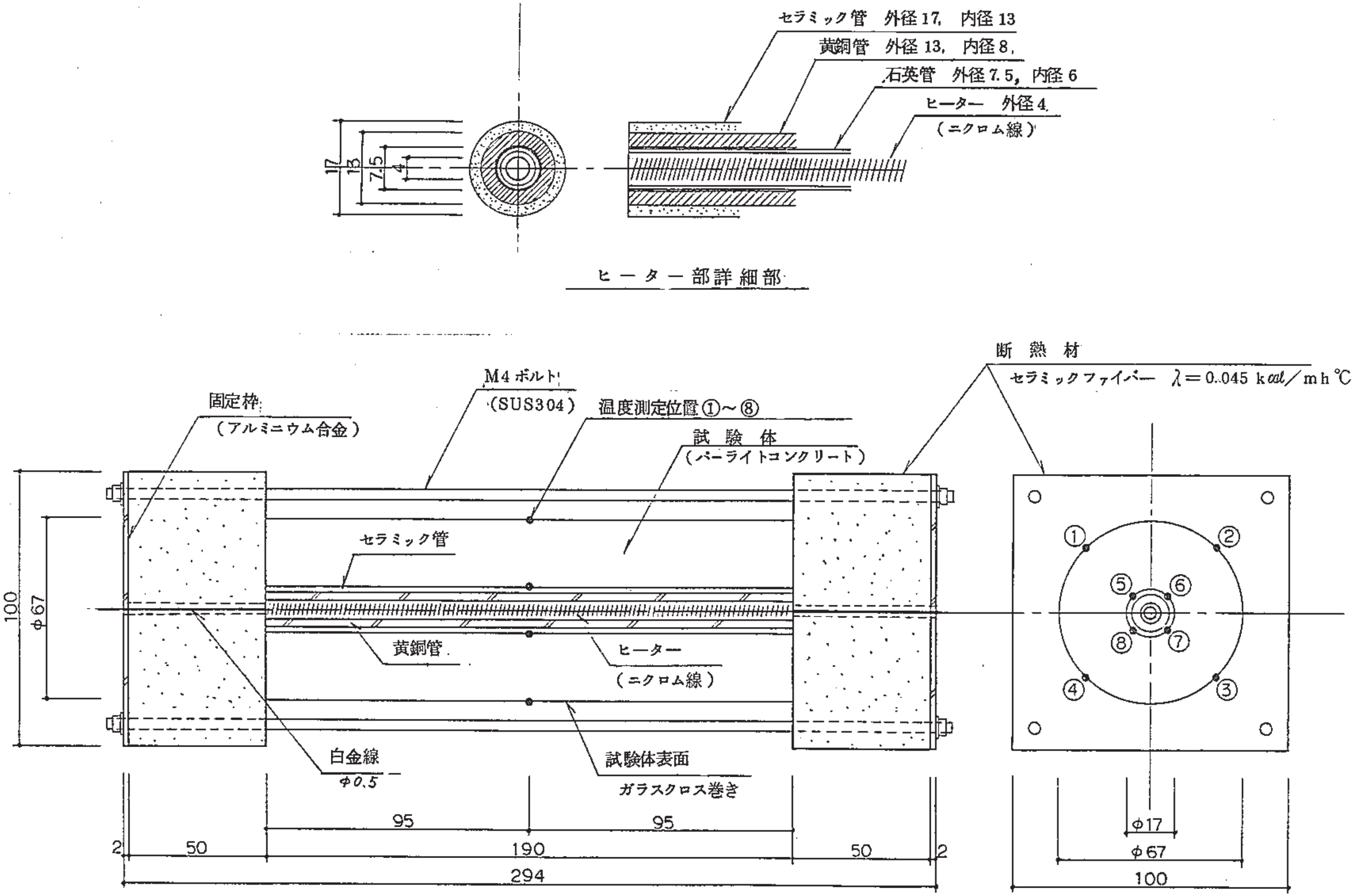

図－3.1(a) 熱伝導率（円筒法）試験体

（測定条件：アンシール）

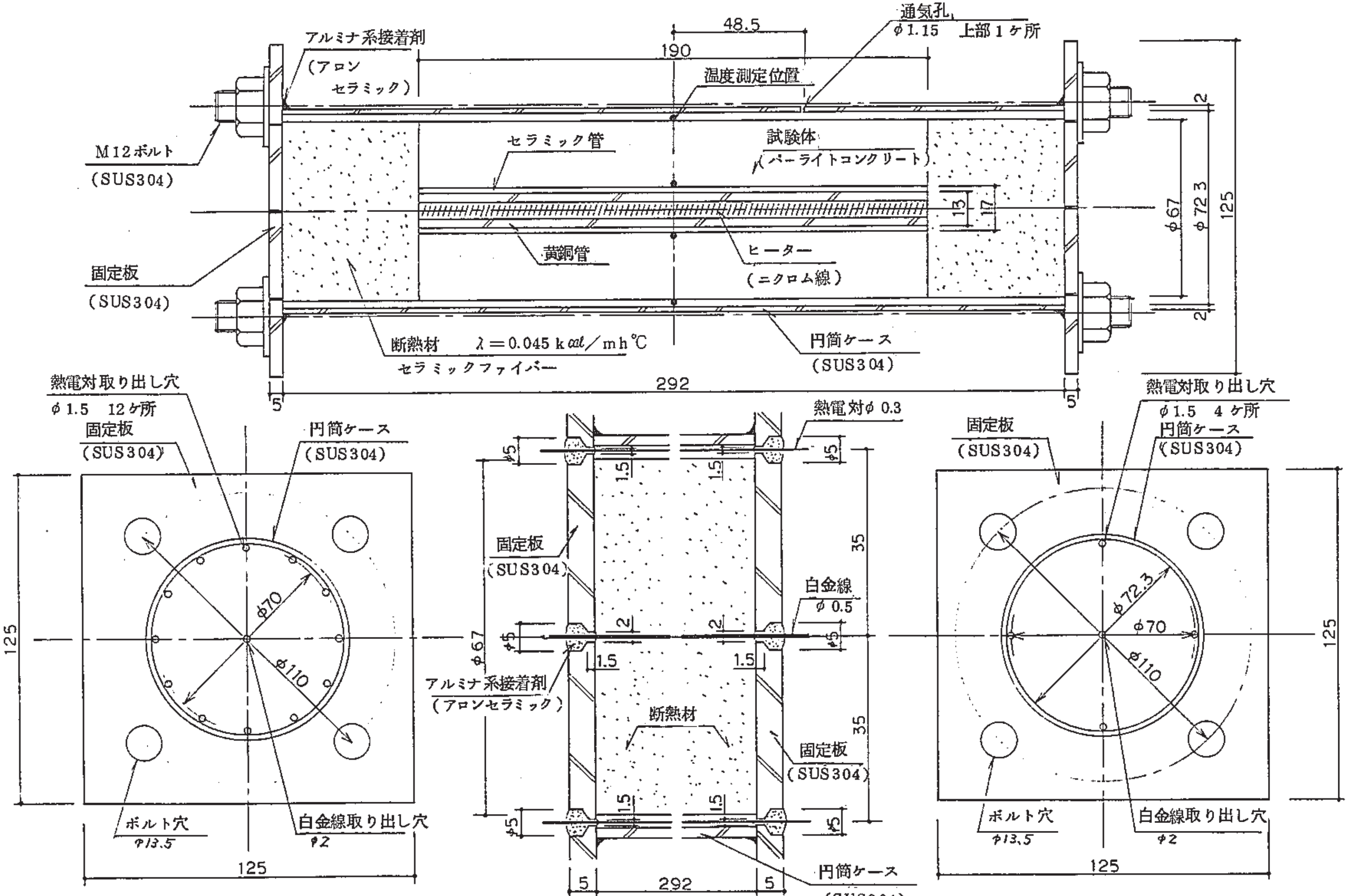



図－3.2(a) 熱伝導率（円筒法）試験体

（測定条件：シール）

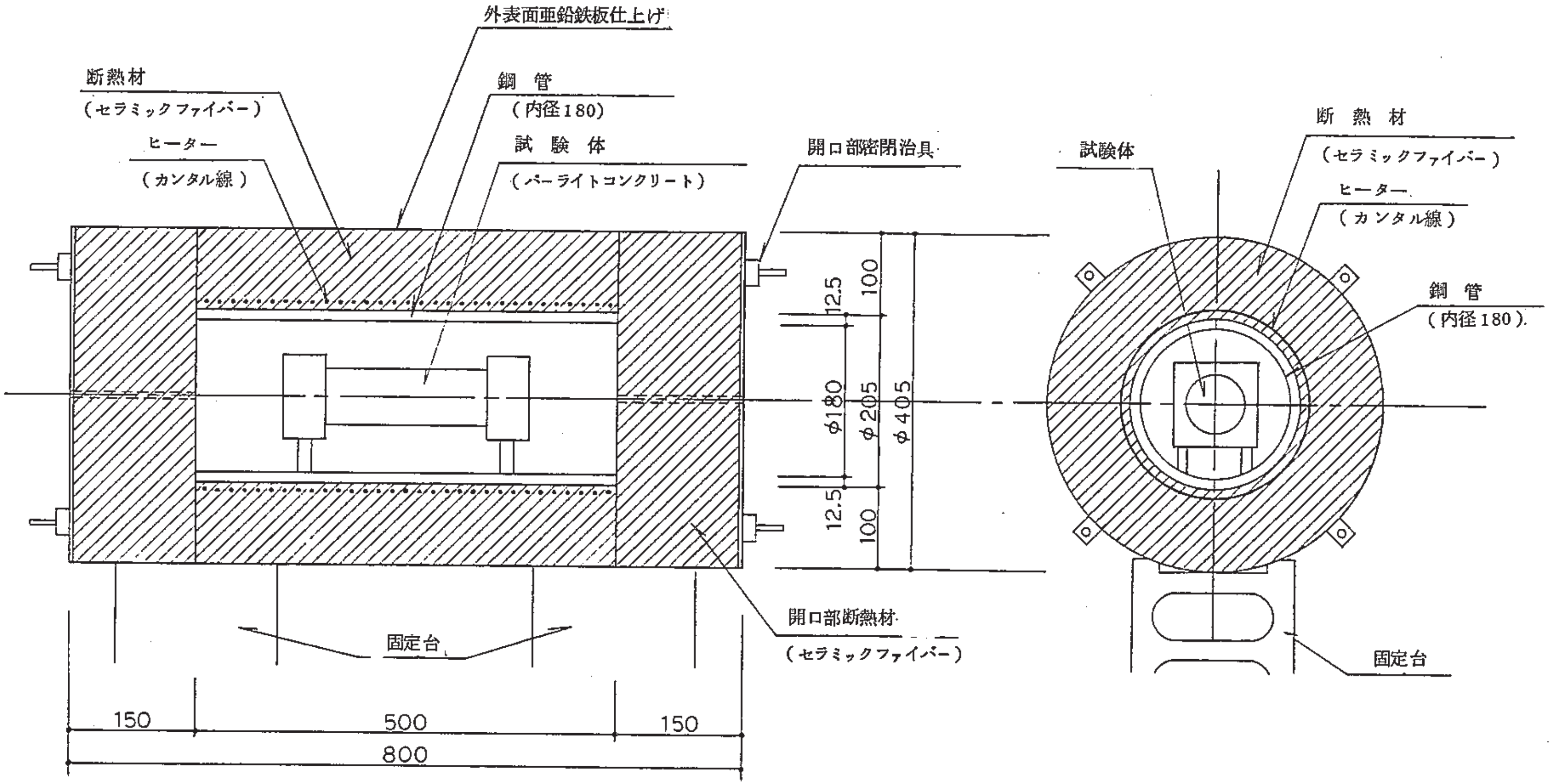



図－3.1(b) 熱伝導率(円筒法)試験体概要図 (測定時条件：アンシール)



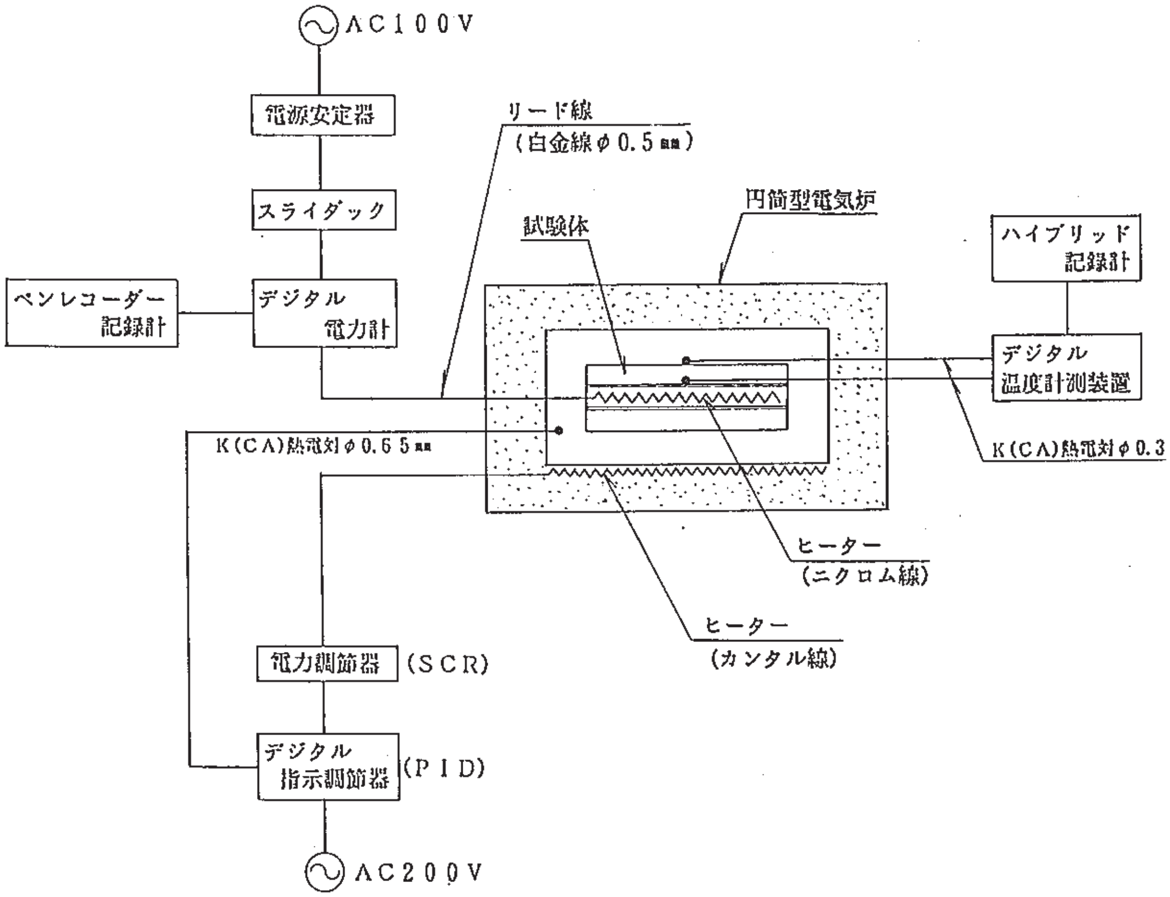

（寸法単位；mm）

図－3.2(b)　熱伝導率（円筒法）試験体概要図　（測定時条件：シール）




（寸法単位：mm）

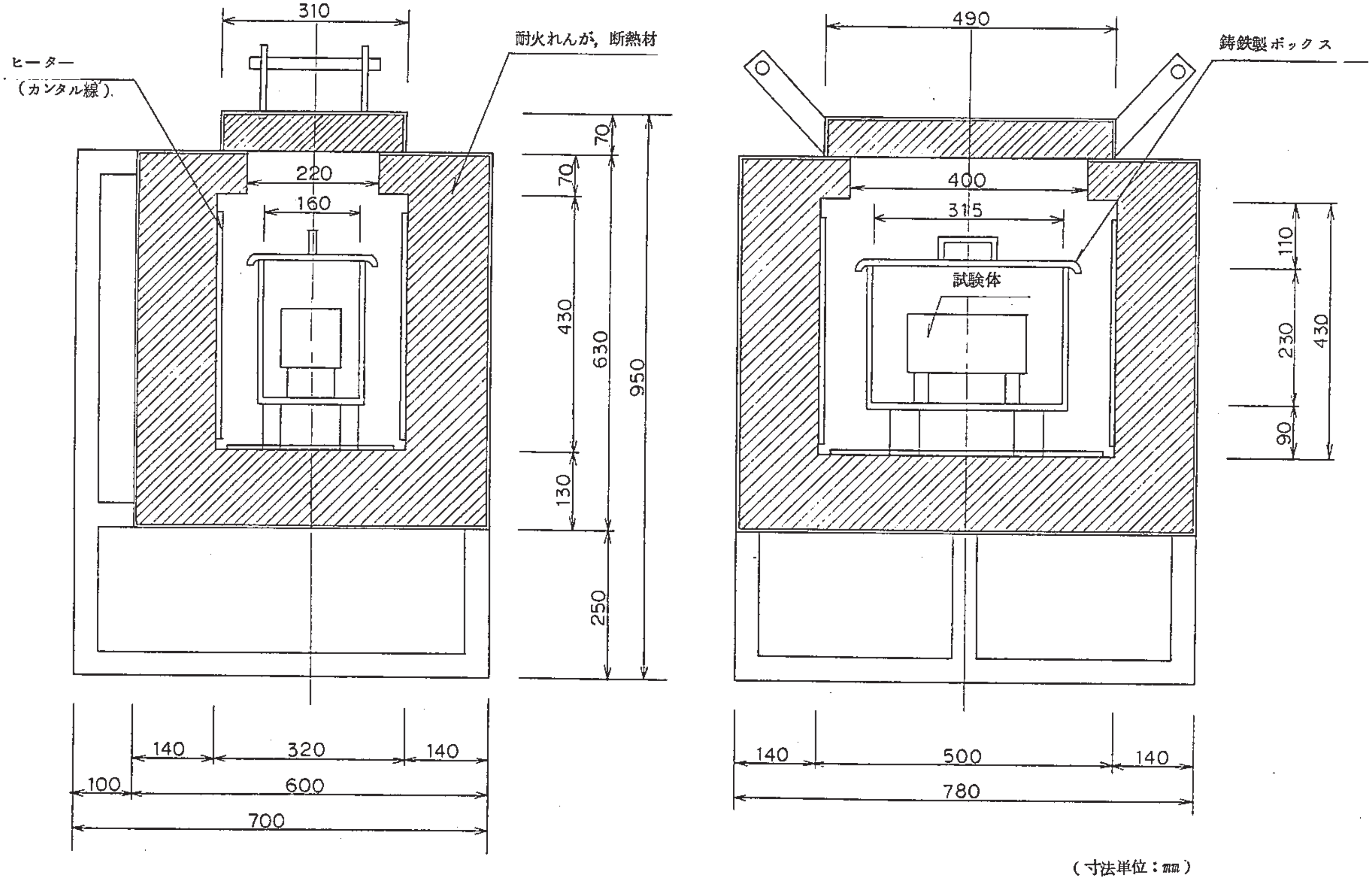
図－3.3　円　筒　型　電　気　炉　概　要　図




| 計　　器 | 器　　種 |
|---|---|
| デジタル温度計測装置 | 横河北辰電機株式会社製　YODAC－8 |
| ハイブリット記録計 | 横河北辰電機株式会社製　MODEL　3087 |
| デジタル電力計 | 横河北辰電機株式会社製　TYPE　2504 |
| ペンレコーダー記録計 | 横河北辰電機株式会社製　TYPE　3056－13 |

注）各測定計器の仕様を巻末の付録に示す。

図－3.4　熱伝導率（円筒法）測定システム概要図




図－3.5 角型電気炉概要図

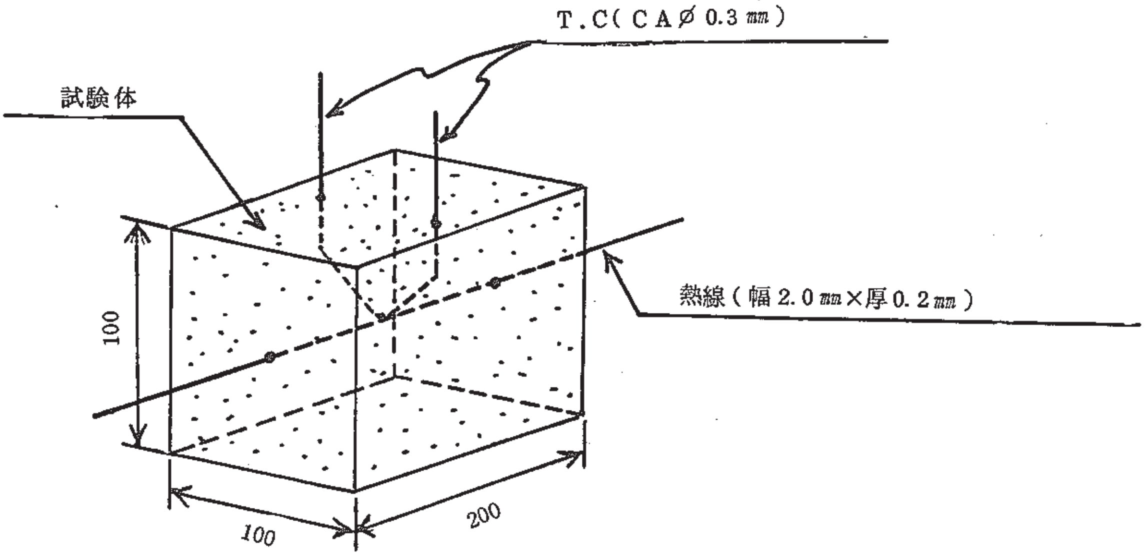



図-3.6(a) 熱伝導率(熱線法)試験体

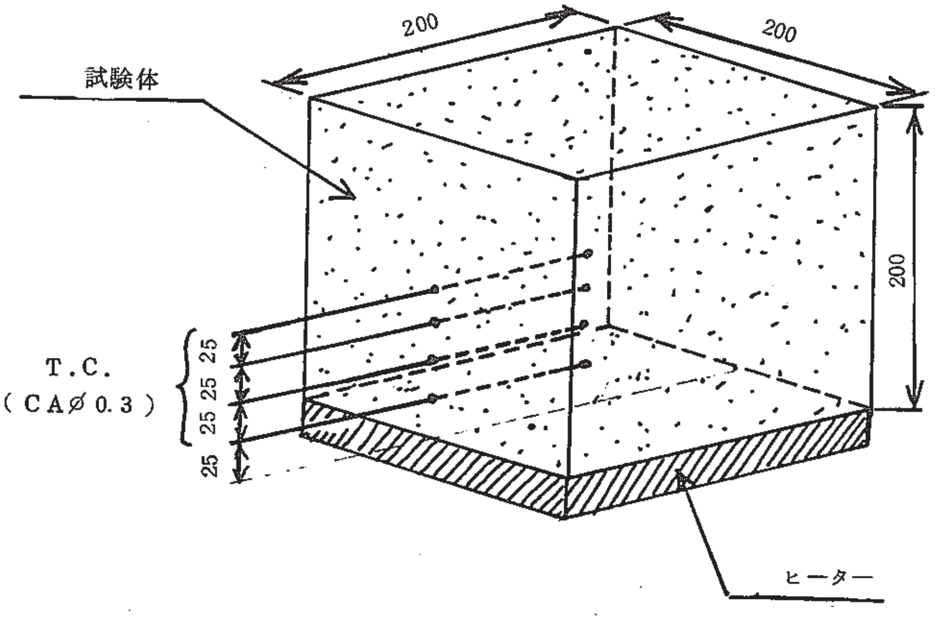
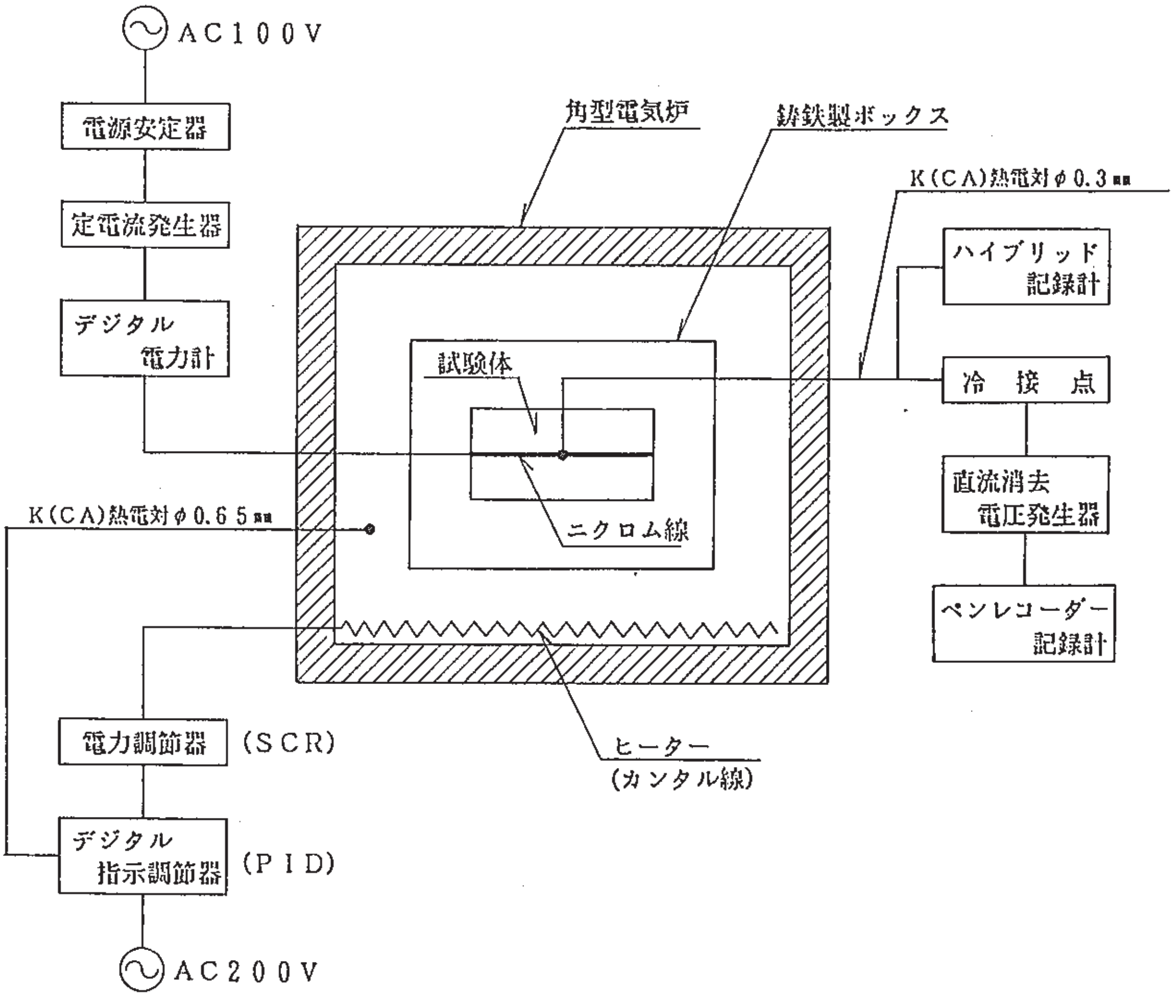


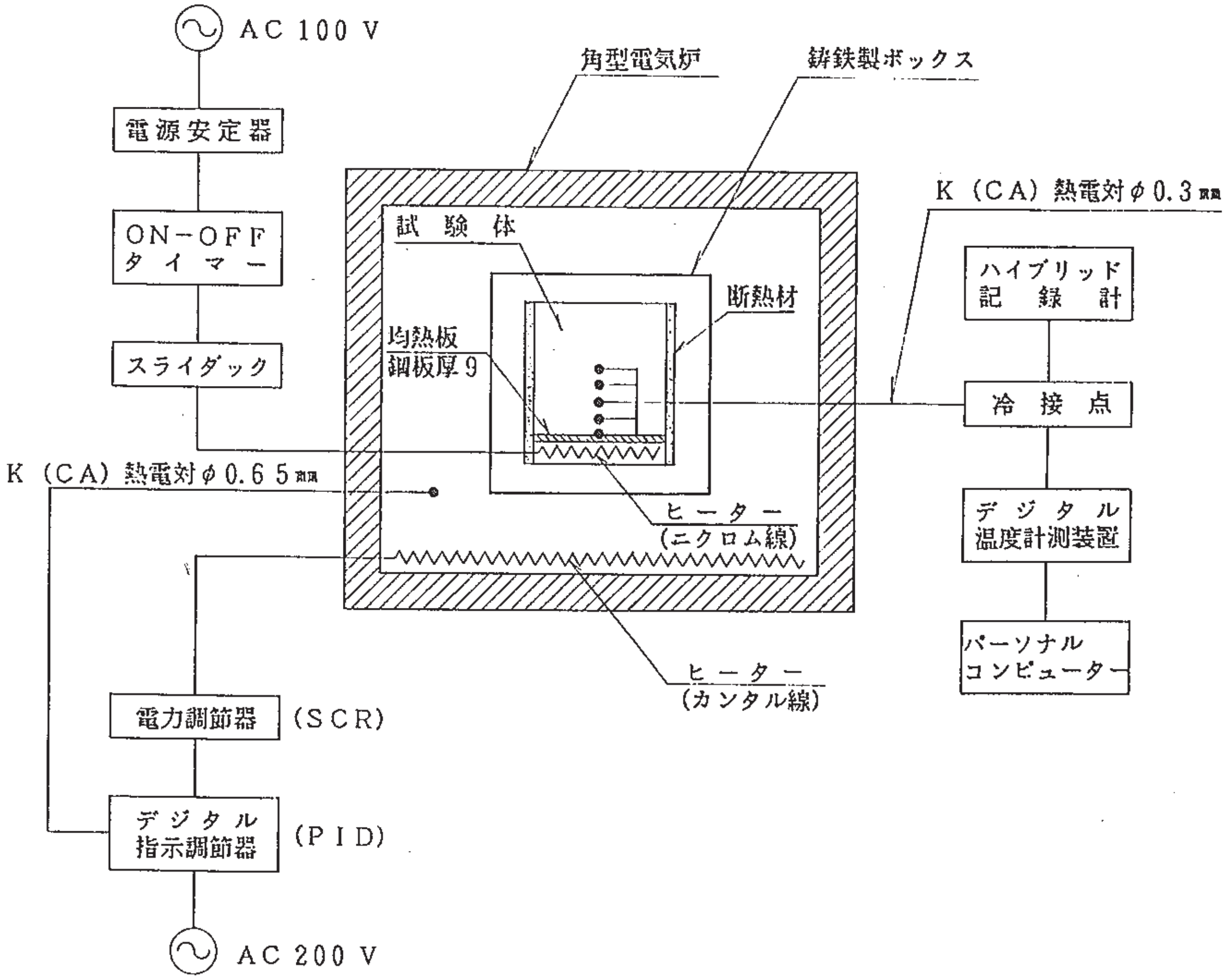

図-3.7(a) 熱拡散率測定試験体




| 計器 | 品名 |
|---|---|
| ハイブリット記録計 | 横河北辰電機株式会社製　MODEL　3087 |
| 冷接点 | 小松エレクトロニクス株式会社製　MODEL　ZC-114 |
| 直流消去電圧発生器 | 横河北辰電機株式会社製　TYPE　2553 |
| ペンレコーダー記録計 | 横河北辰電機株式会社製　TYPE　3056-13 |
| デジタル電力計 | 横河北辰電機株式会社製　TYPE　2504 |
| 定電流発生器 | 京都電子工業株式会社製　TC-21 |

注）各測定計器の仕様を巻末の付録に示す。

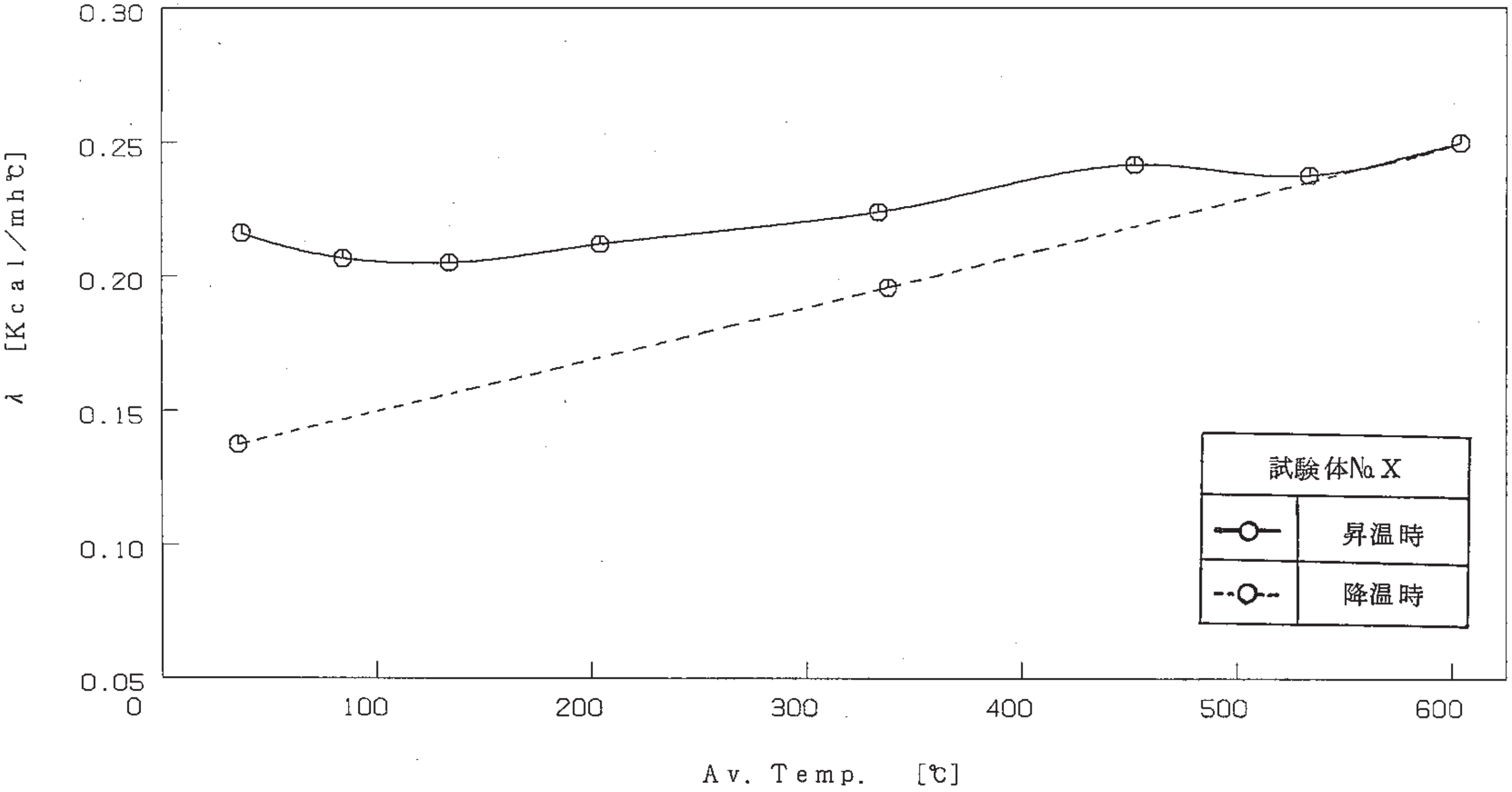
図-3.6(b)　熱伝導率（熱線法）測定システム概要図



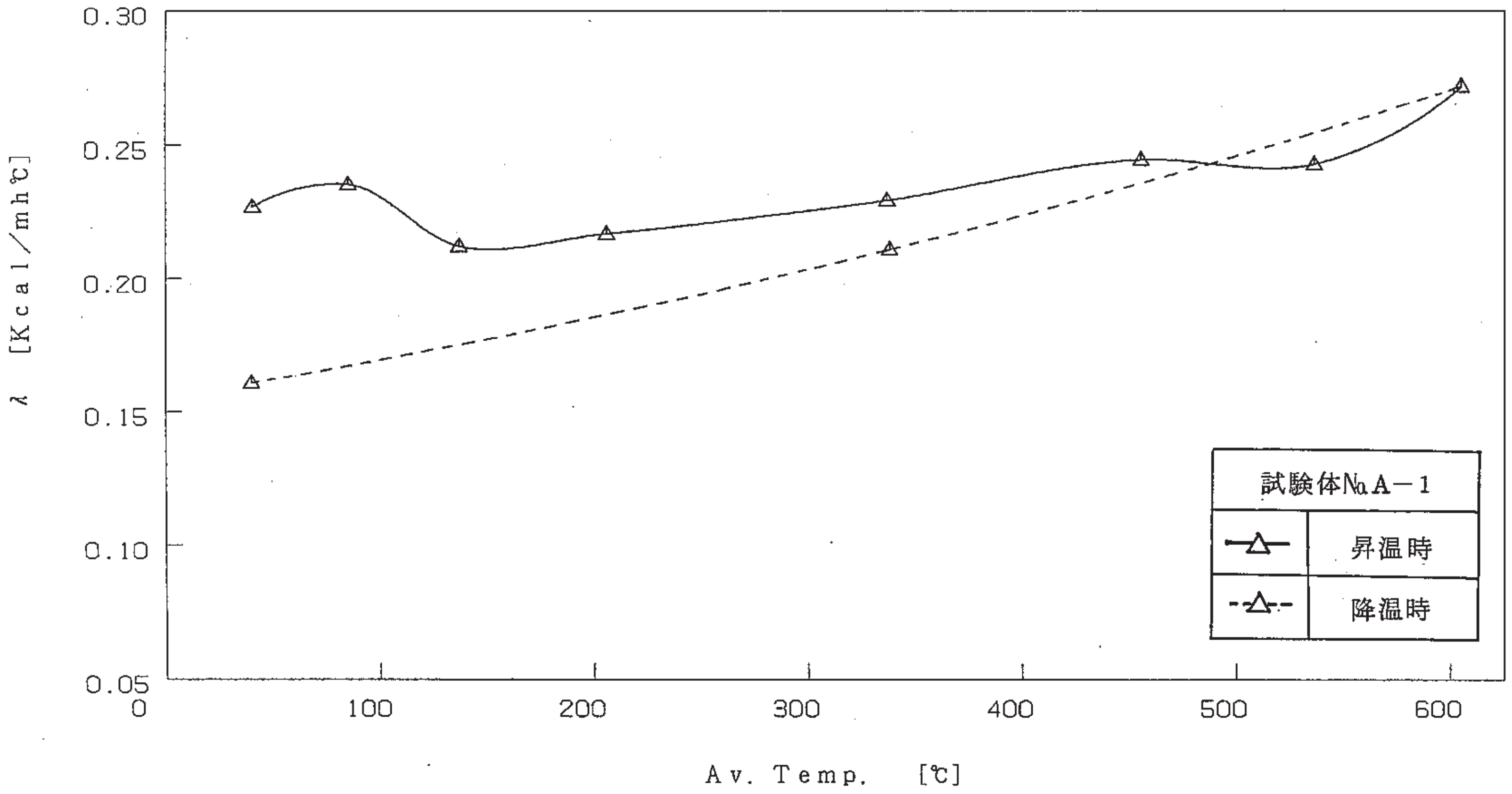

| 計　　器 | 品　　名 | |
|---|---|---|
| デジタル温度計測装置 | 横河北辰電機株式会社製 | YODAC－8 |
| ハイブリット記録計 | 横河北辰電機株式会社製 | MODEL－3081 |
| 冷　接　点 | 小松エレクトロニクス株式会社製 | MODEL　ZC－114 |

注）各測定計器の仕様を巻末の付録に示す。

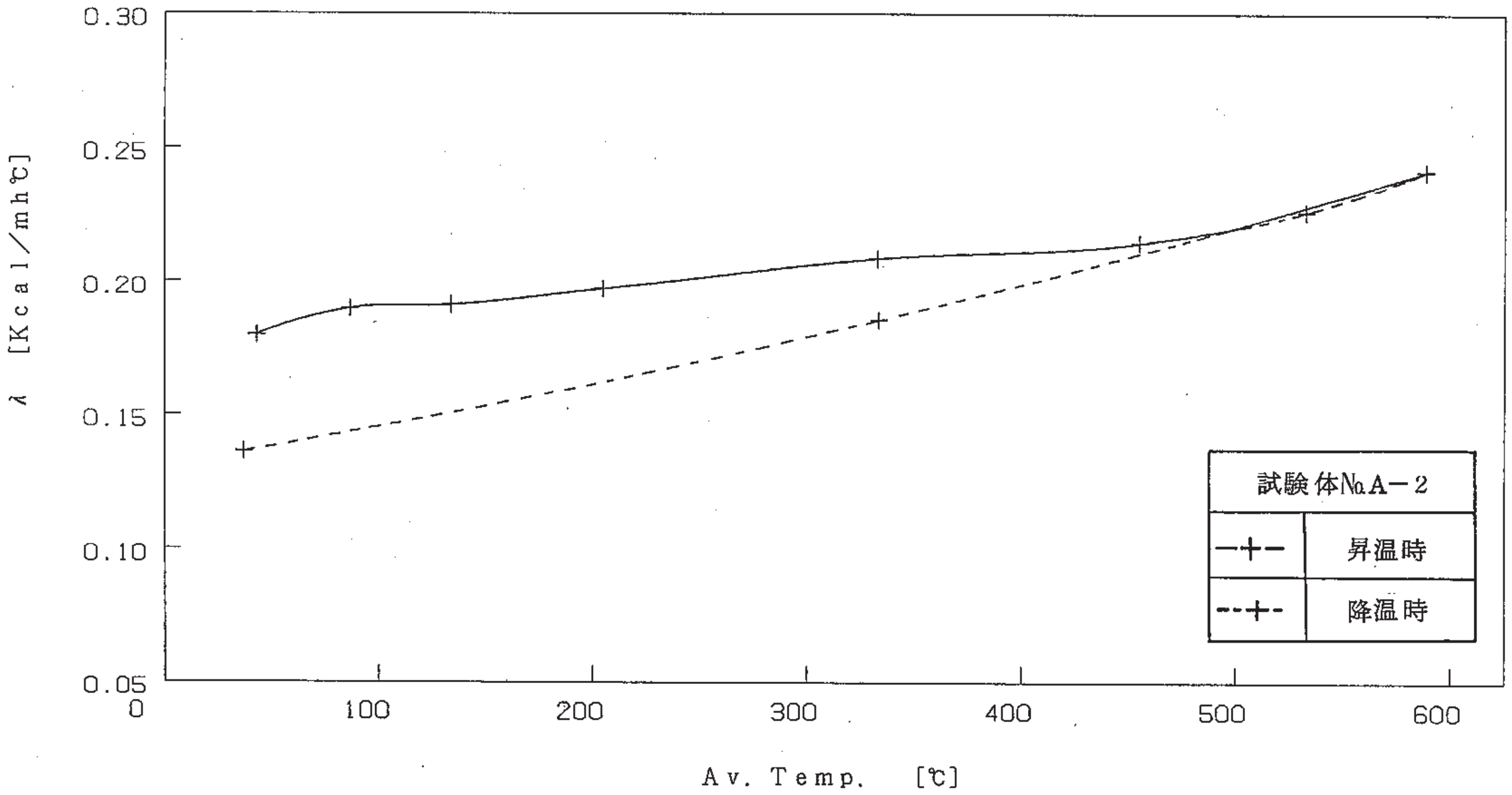
図－3.7(b)　熱拡散測定システム概要図



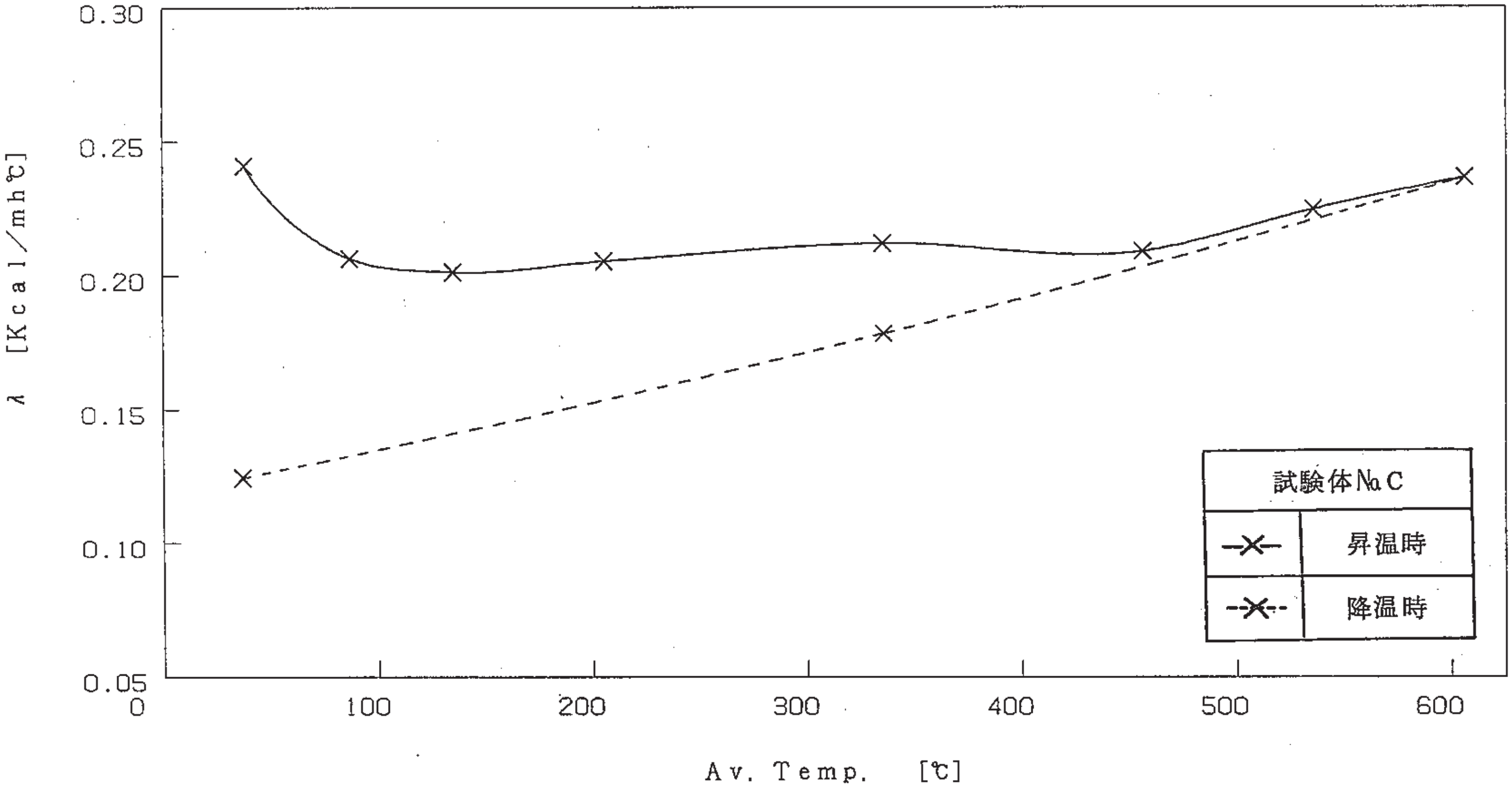

図－5.1 熱伝導率測定結果（試験体No. X）



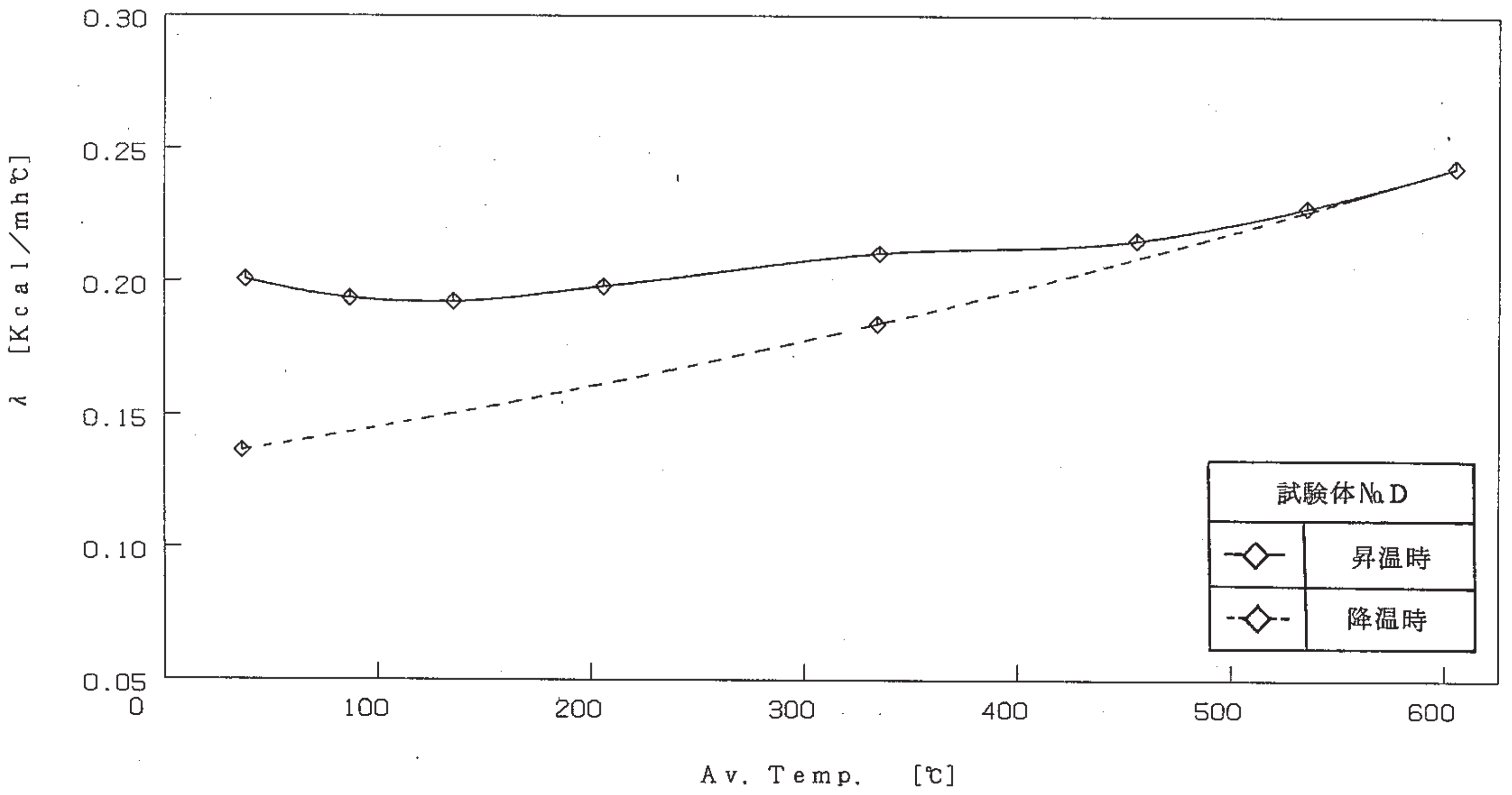

図−5.2 熱伝導率測定結果（試験体No.A−1）



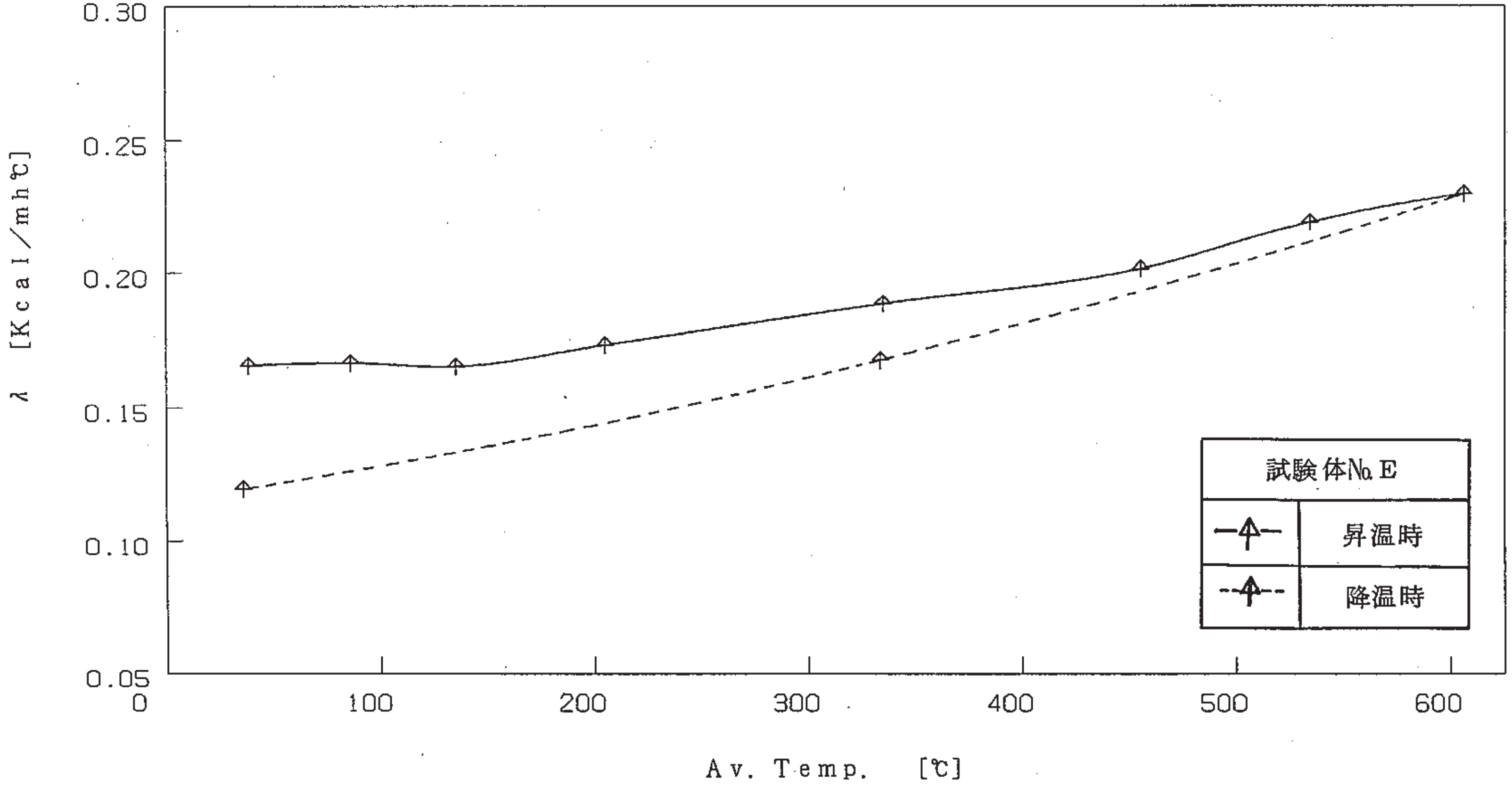

図−5.3 熱伝導率測定結果（試験体No.A−2）



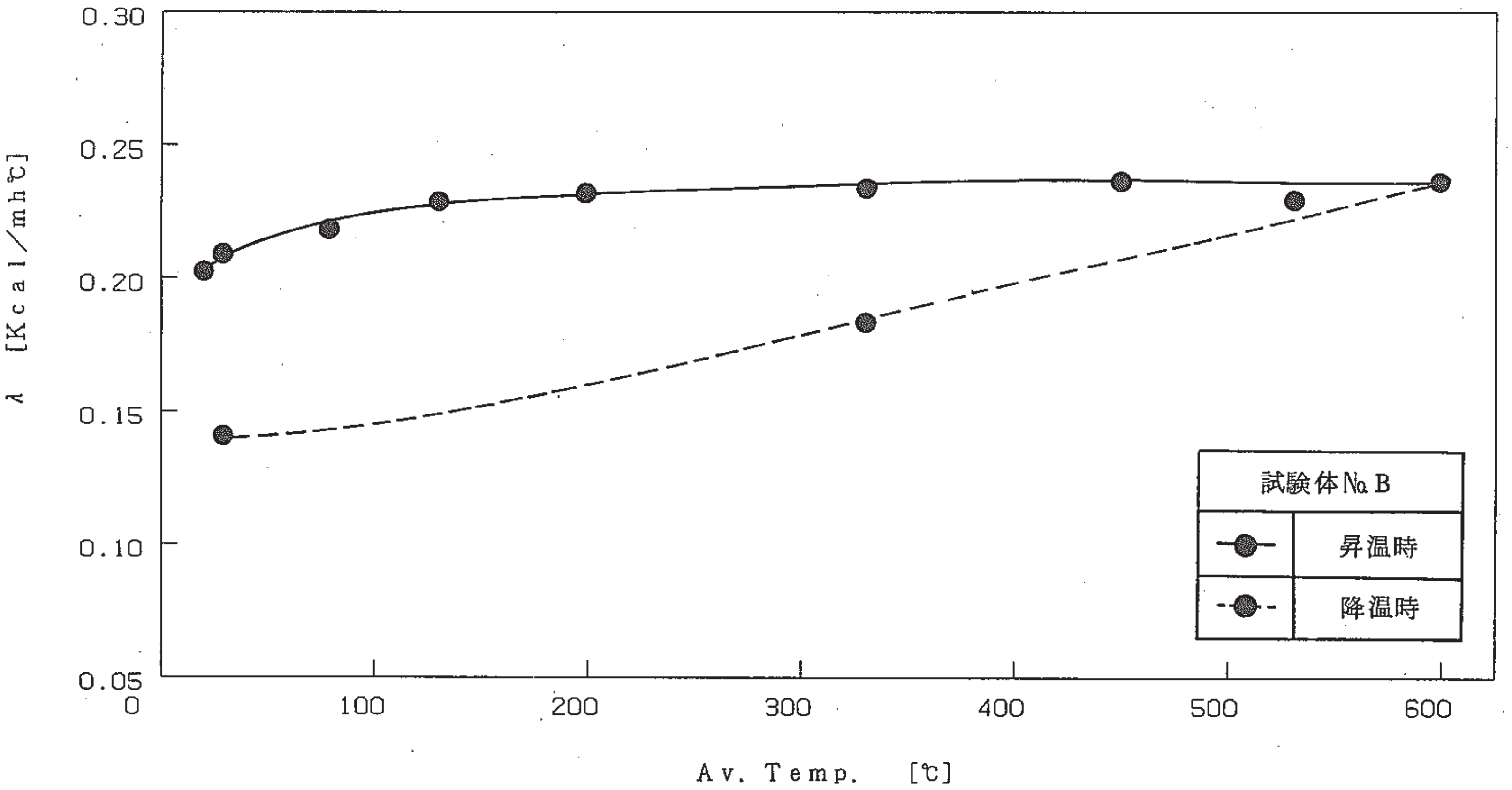

図－5.4　熱伝導率測定結果（試験体№C）



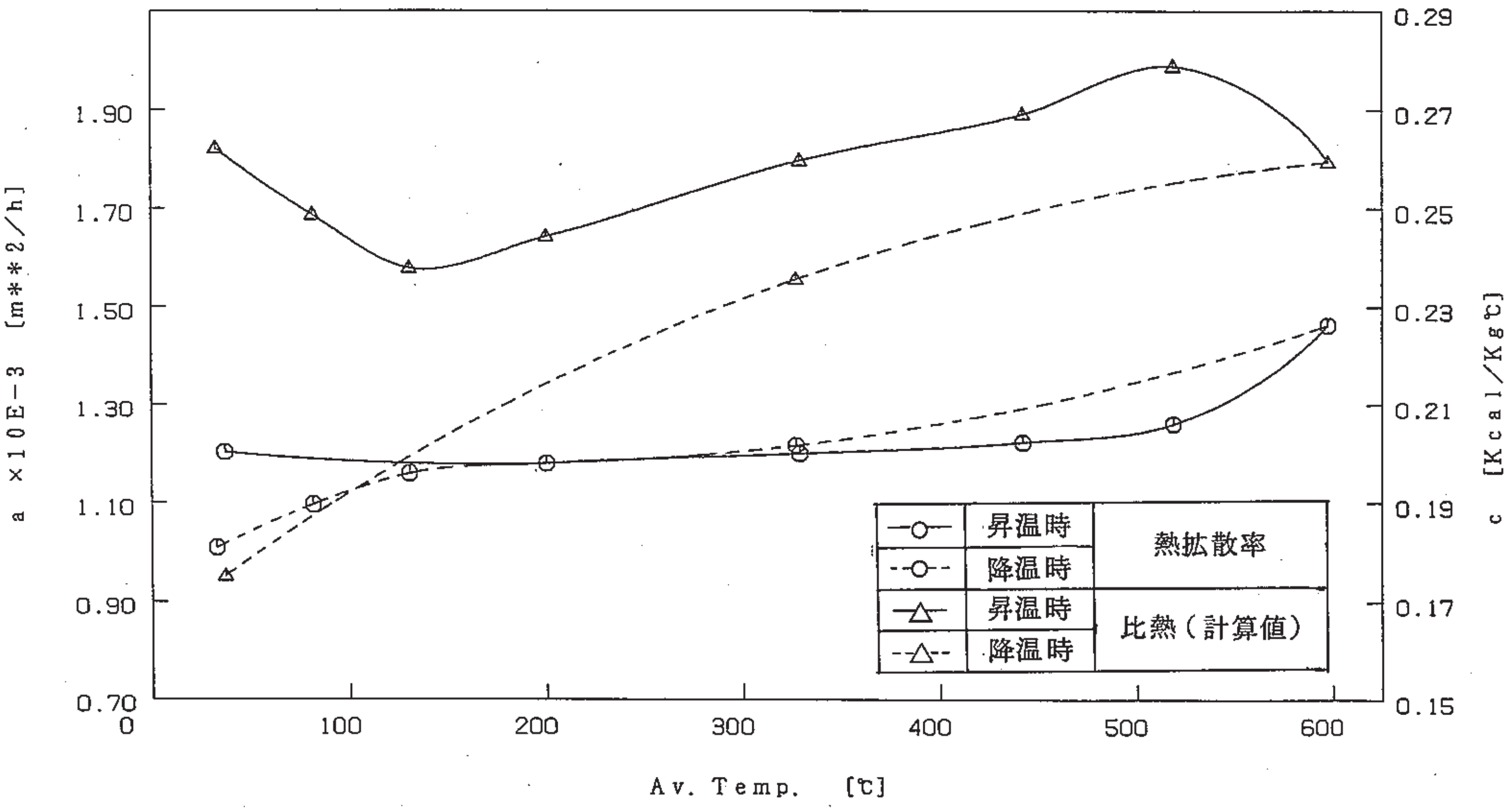

図－5.5　熱伝導率測定結果（試験体No.D）



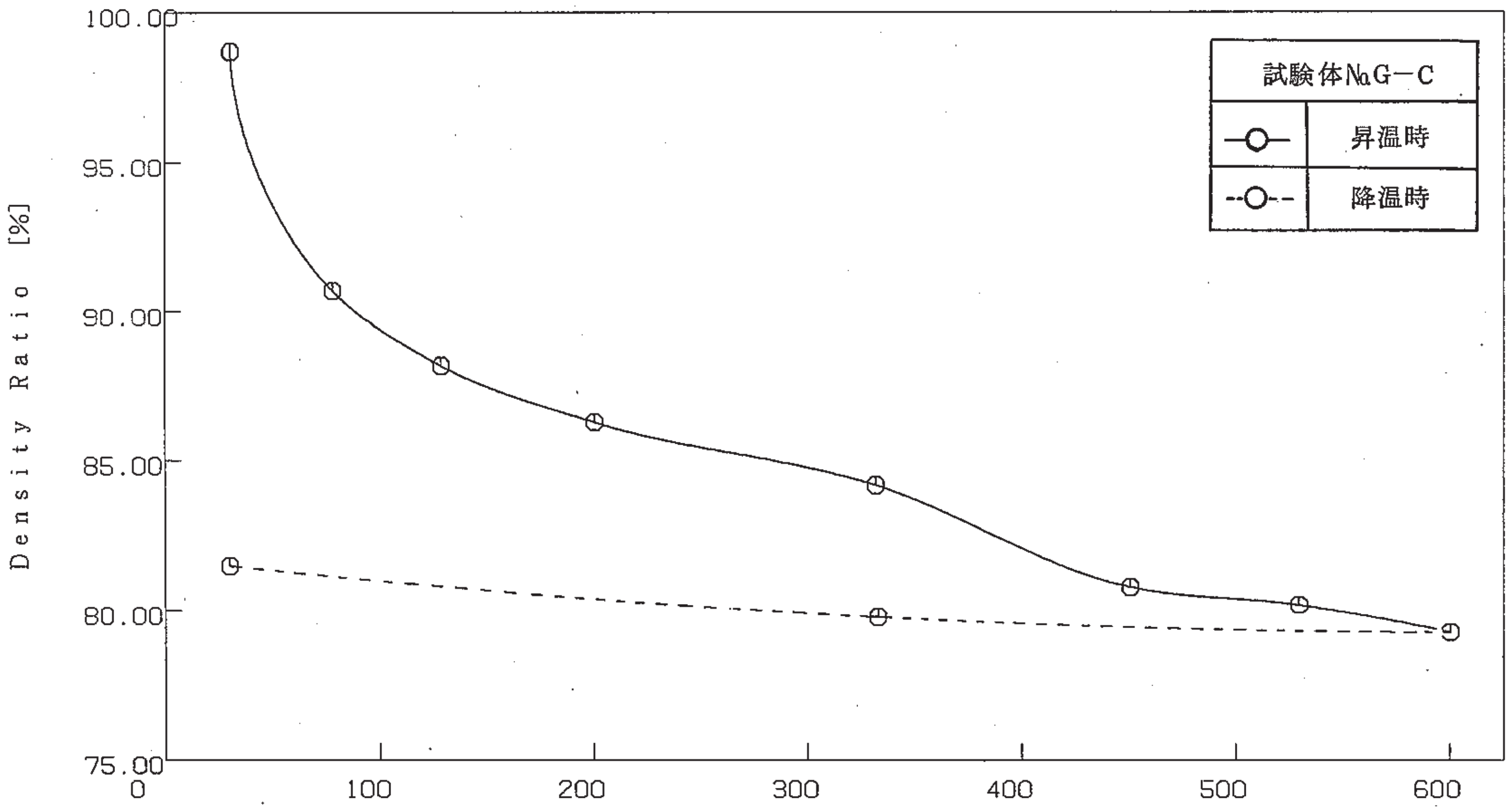

図－5.6　熱伝導率測定結果（試験体No.E）



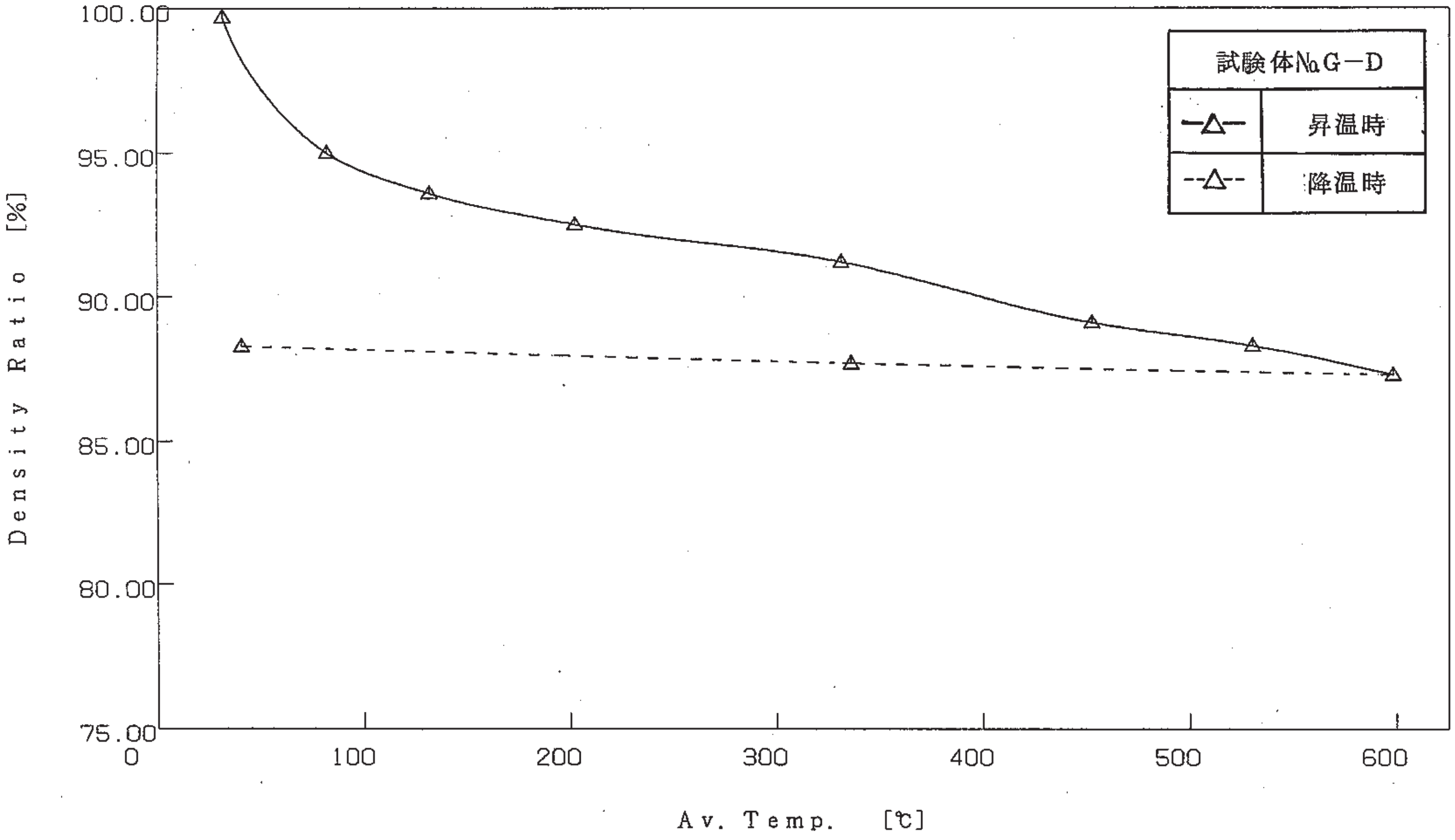

図－5.7　熱伝導率測定結果（試験体No.B）



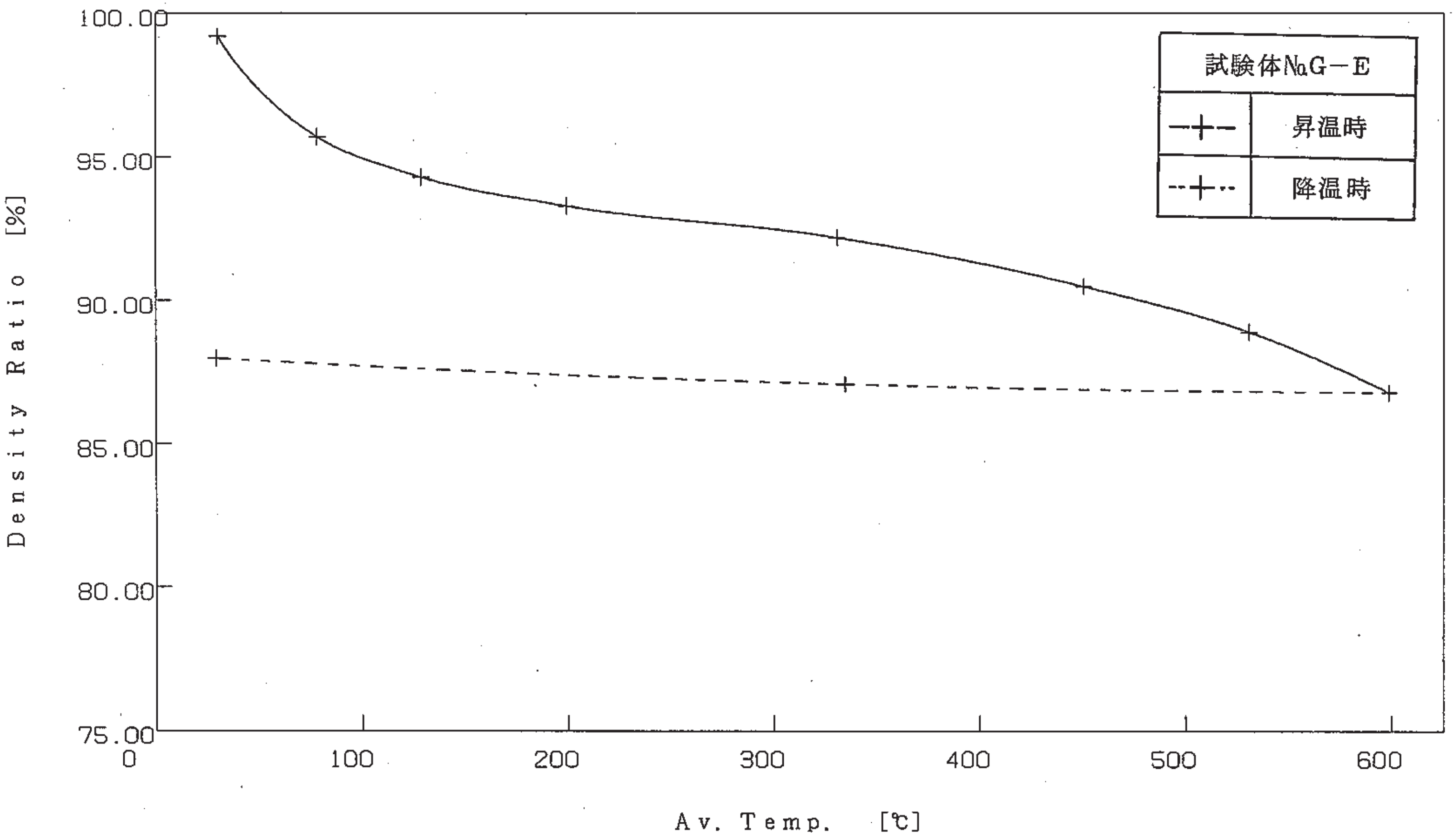

図－5.8　熱拡散率及び比熱



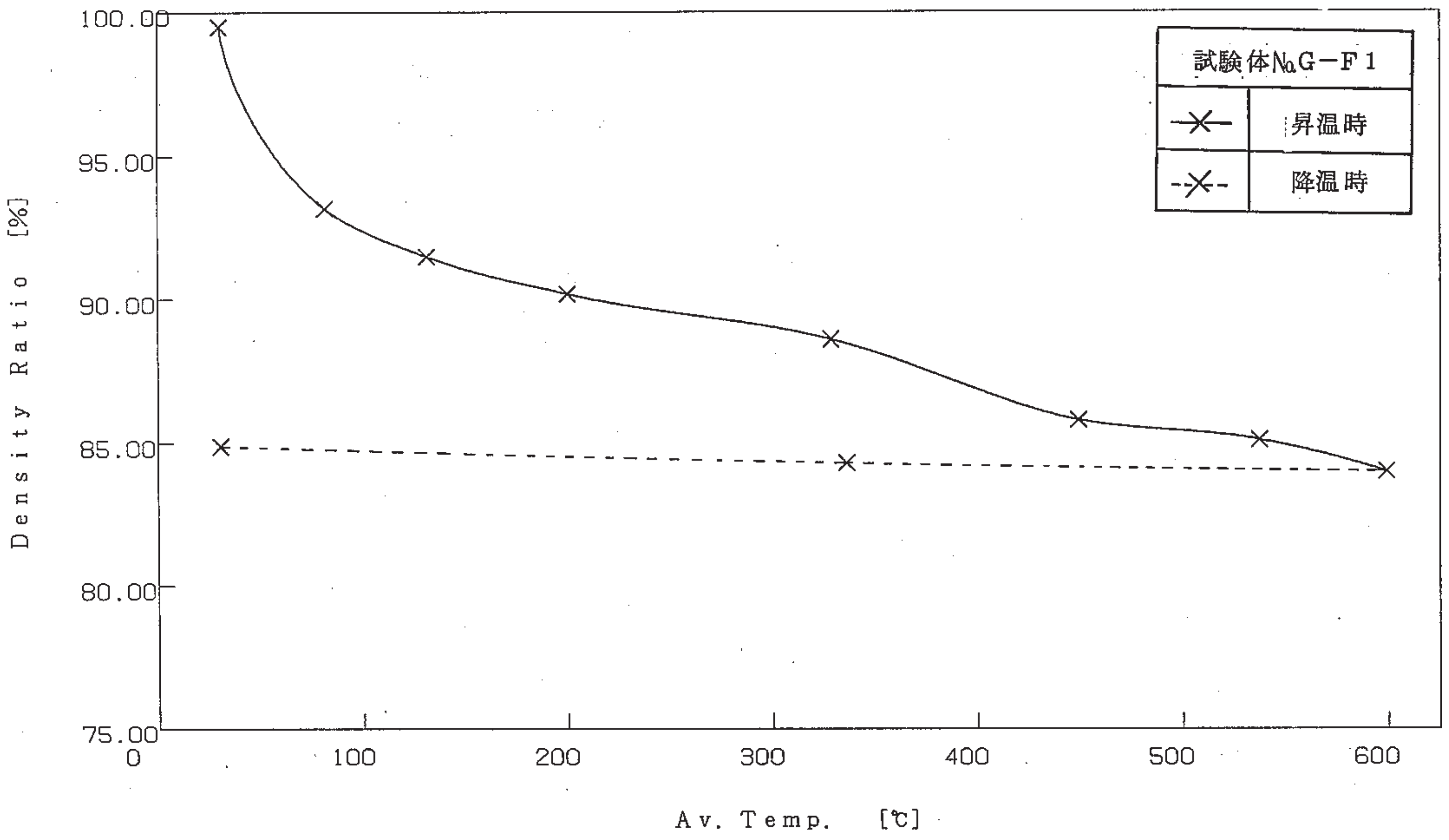

図－5.9　密度測定結果（試験体№G－C）



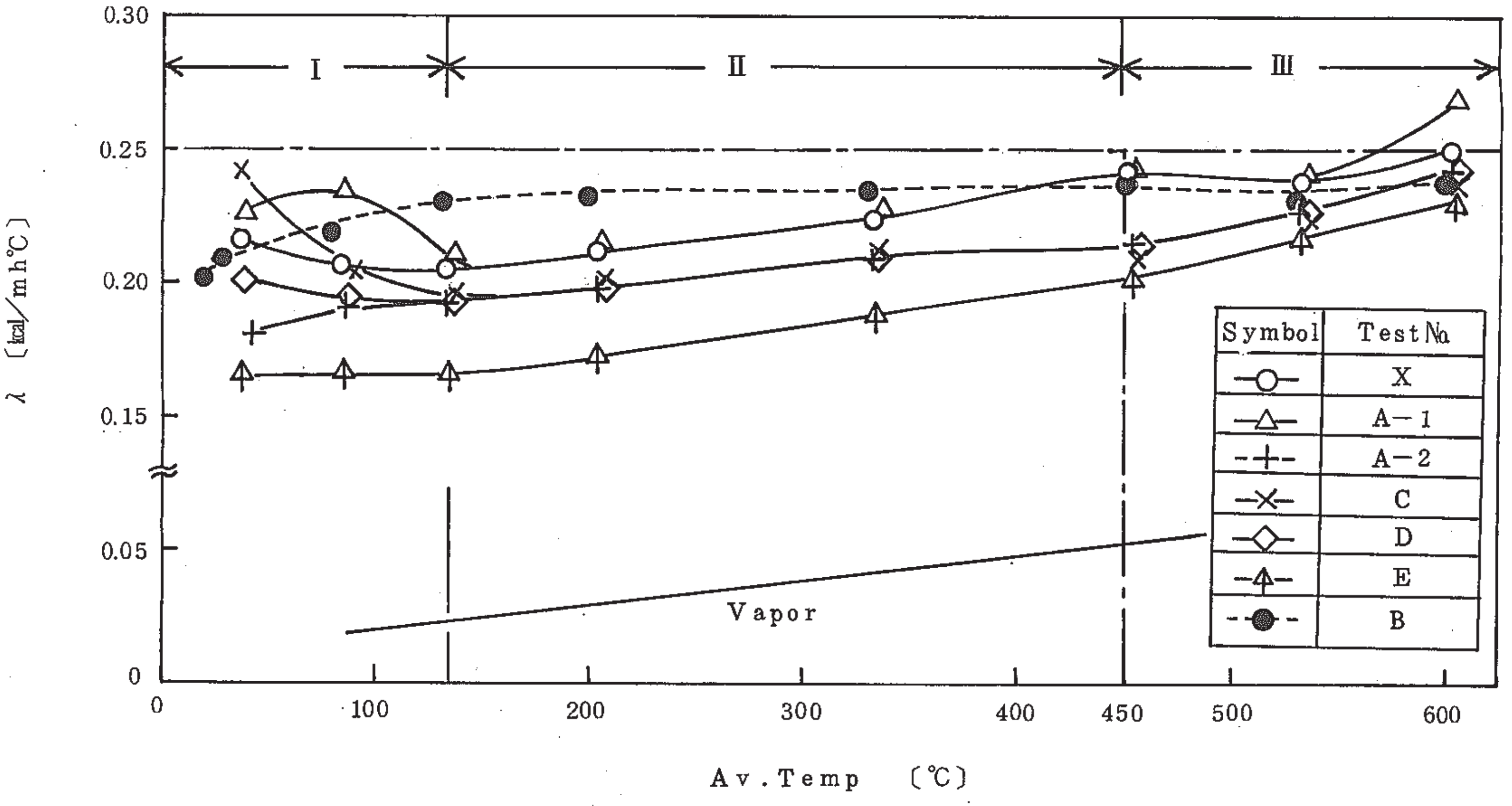

図－5.10　密度測定結果（試験体№G－D）



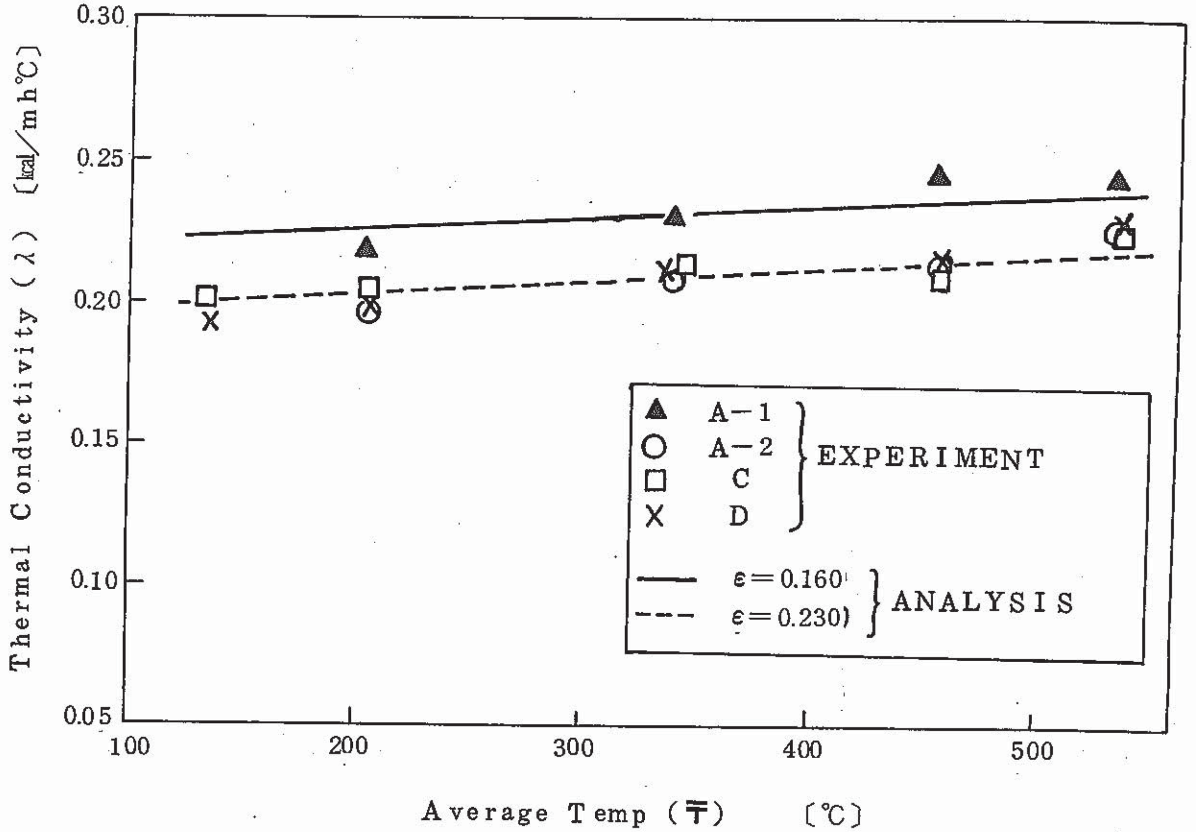

図－5.11　密度測定結果（試験体№G－E）



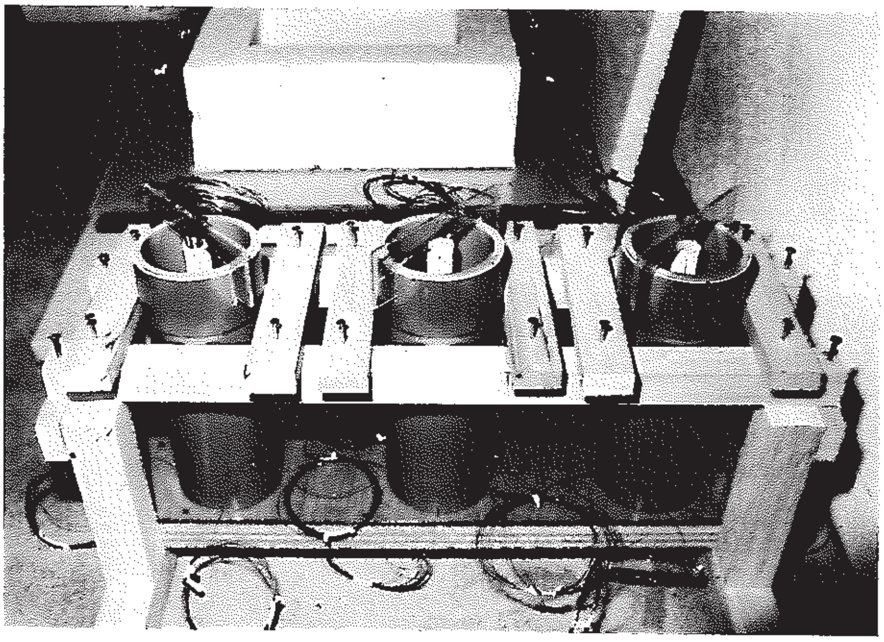

図−5.12 密度測定結果（試験体№G−F1）



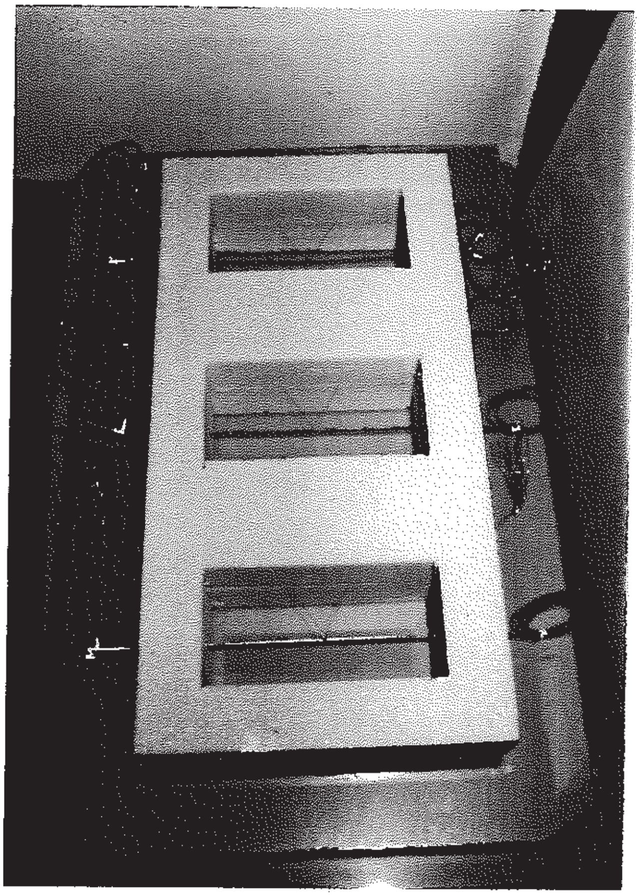

図－6.1　熱伝導率測定結果



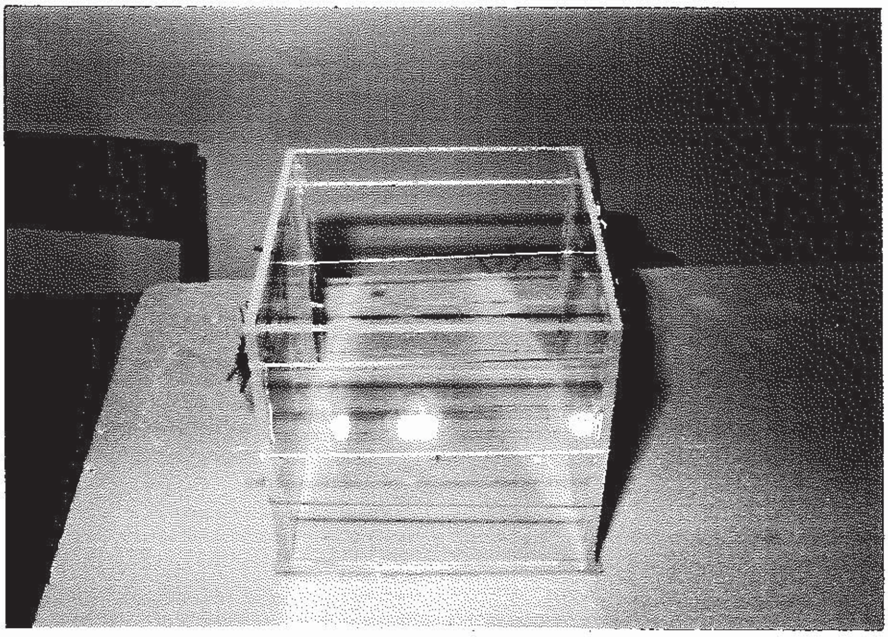

図－6.2 単純モデルと測定値との比較



写真－1　　熱伝導率（円筒法）試験体製作用型わく

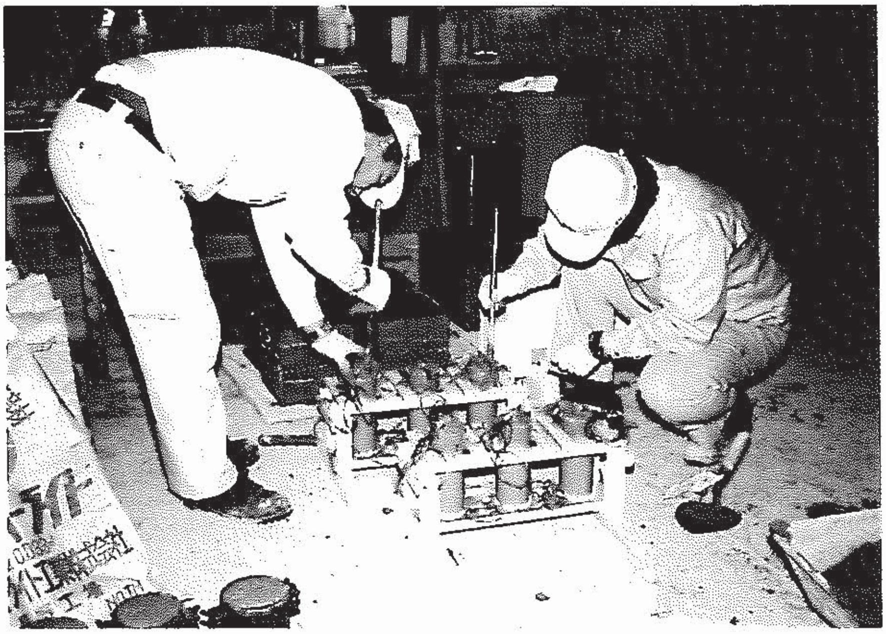


写真－2　　熱伝導率（熱線法）試験体製作用型わく

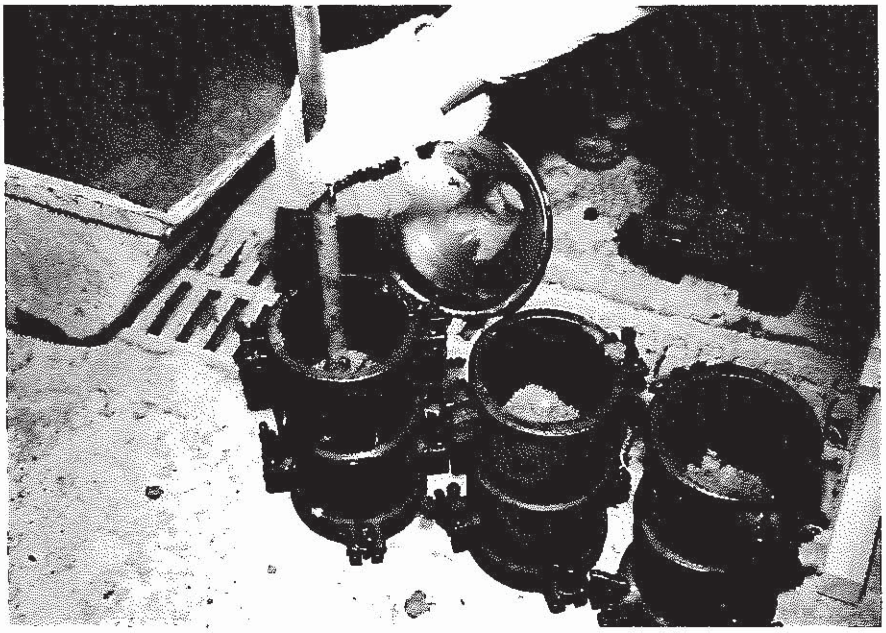


写真－3　　熱拡散試験体製作用型わく

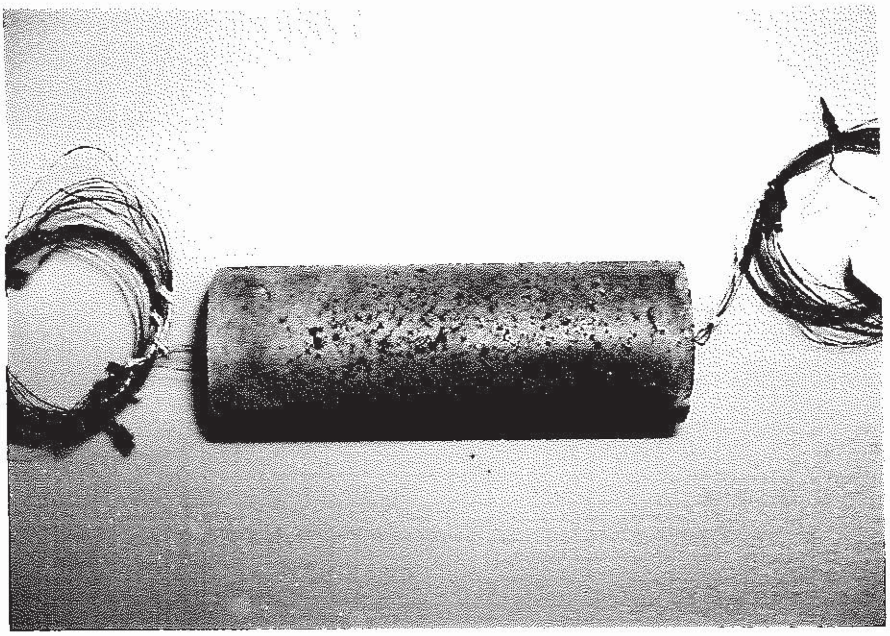
写真－4　　パーライトコンクリートの練り混ぜ



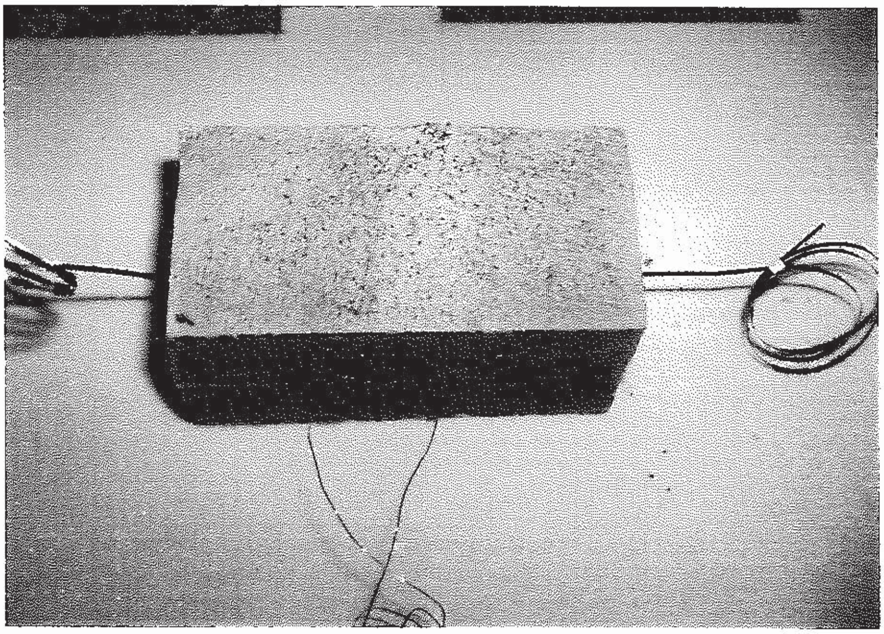
写真－5　　試験体の成型状況（熱伝導率（円筒法）試験体）



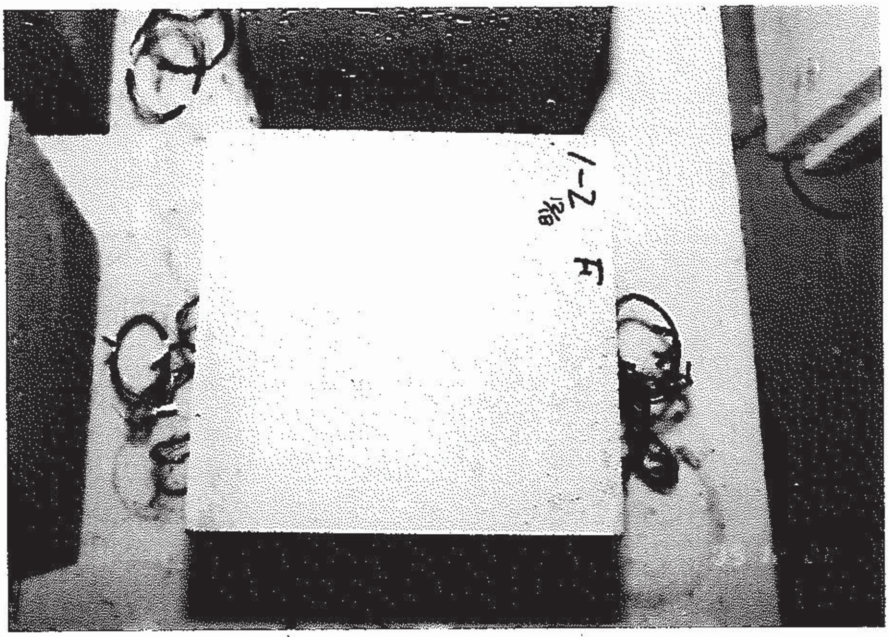
写真－6　　試験体の成型状況（強度試験用）



写真－７　　脱型直後の熱伝導率（円筒法）用試験体

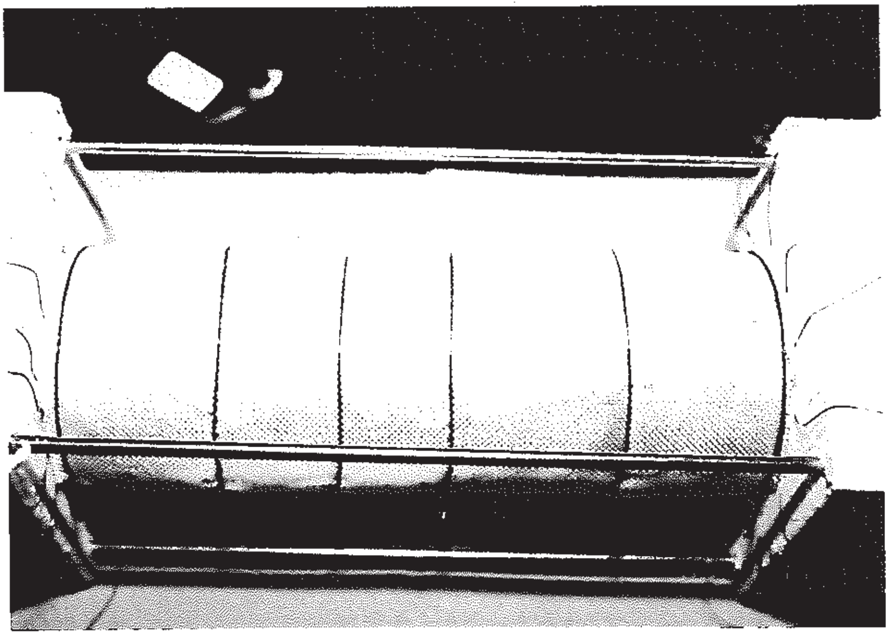


写真－８　　脱型直後の熱伝導率（熱線法）用試験体

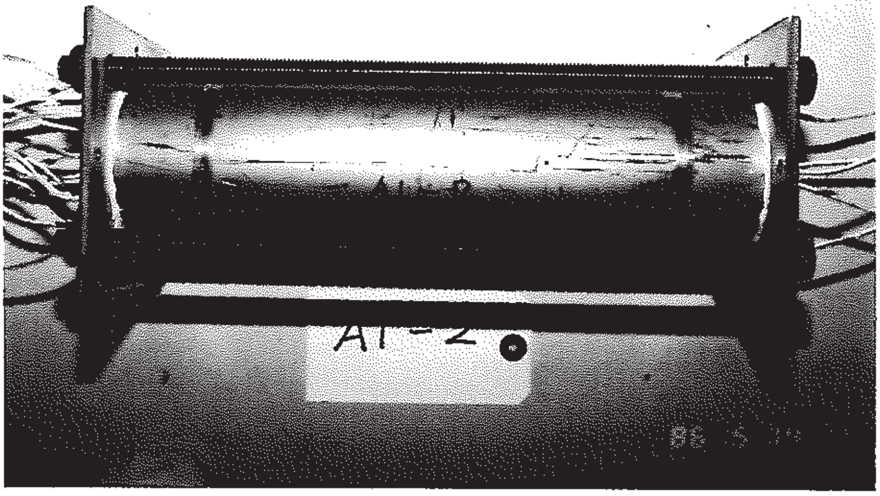


写真－９　　脱型直後の熱拡散率用試験体

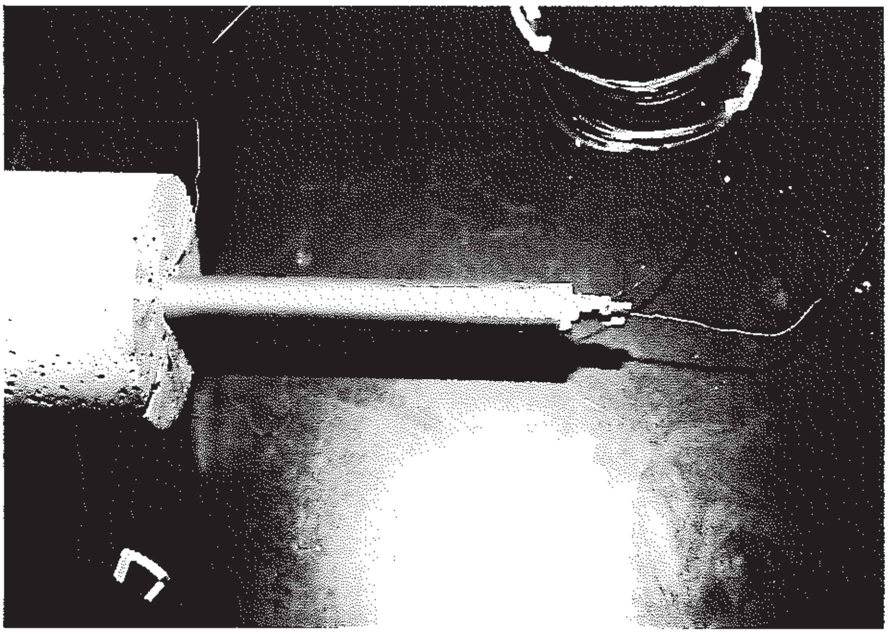
写真－１０　　試験体の養生状況



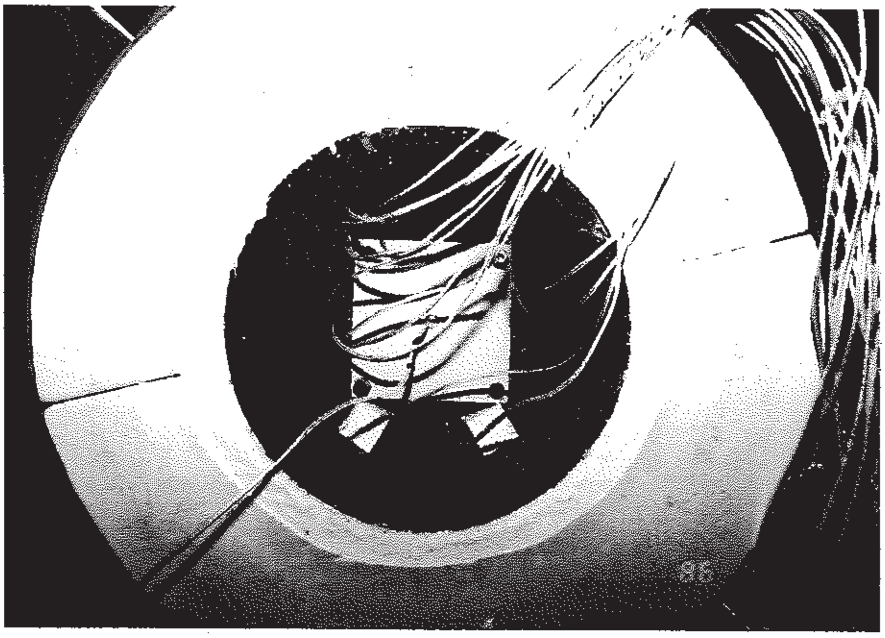
写真－１１　　熱伝導率（円筒法）測定時のアンシールの状態



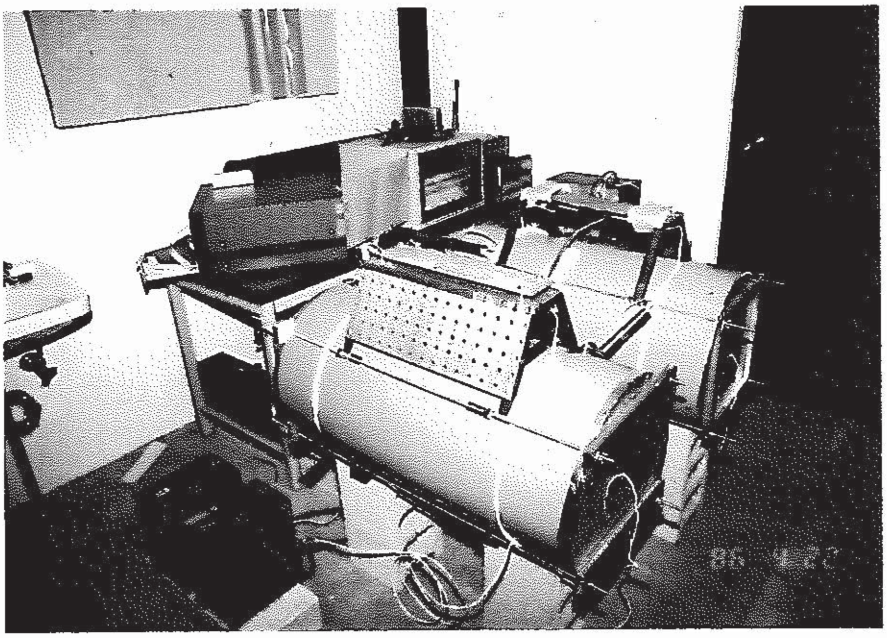
写真－１２　　熱伝導率（円筒法）測定時のシールの状態



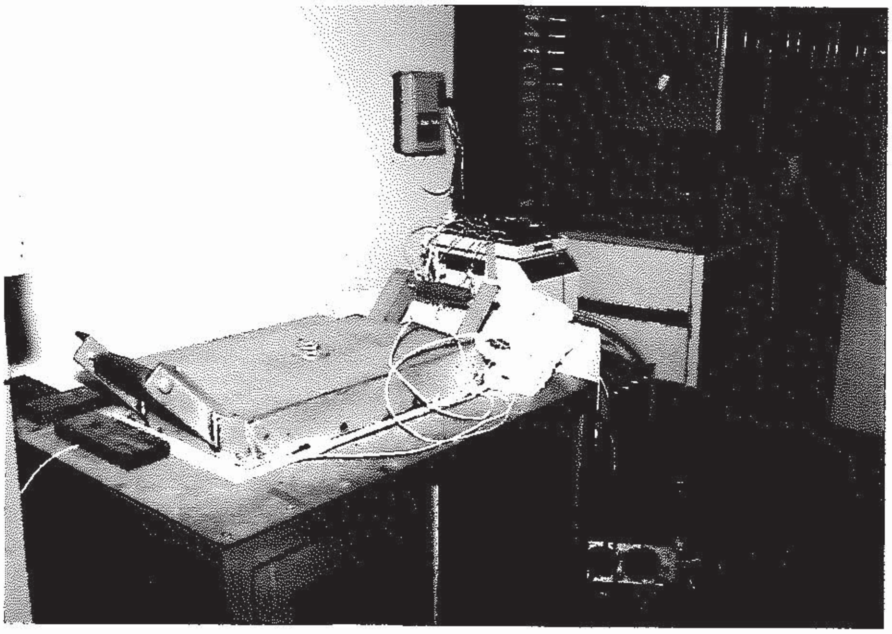
写真－１３　　試験体中空部の加熱ヒーター



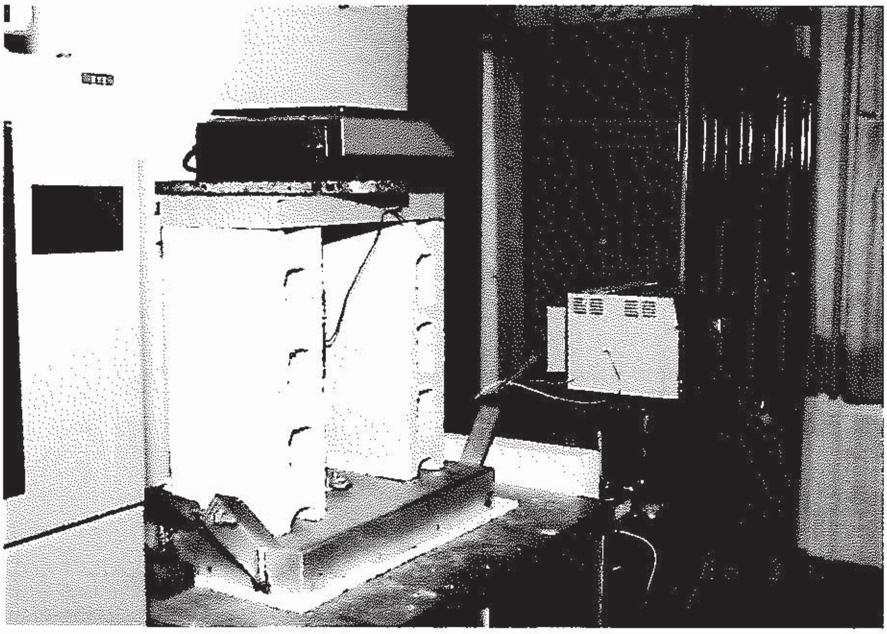
写真－１４　　円筒型電気炉内に設置した熱伝導率（円筒法）試験体



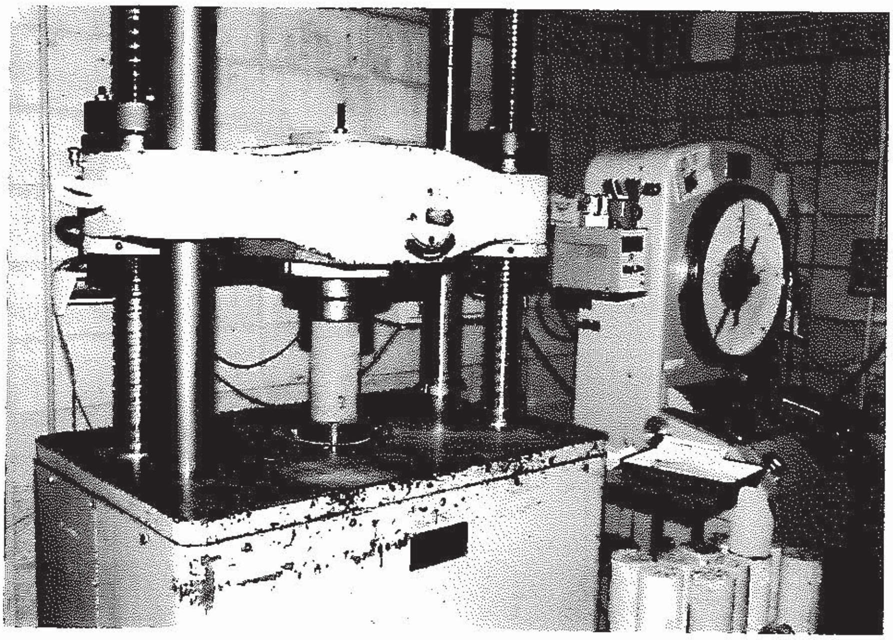
写真－１５　　熱伝導率（円筒法）測定状況



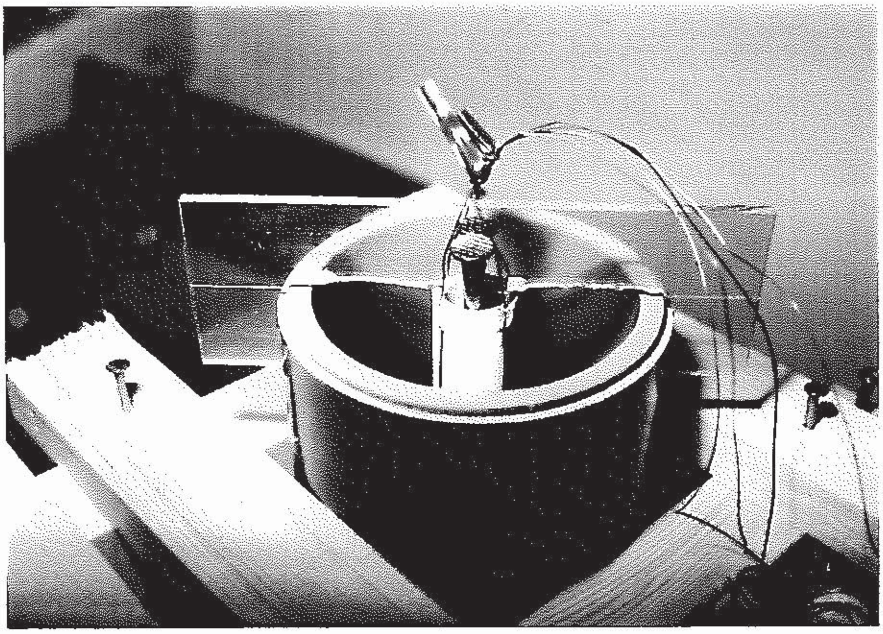
写真－１６　　熱拡散率測定状況



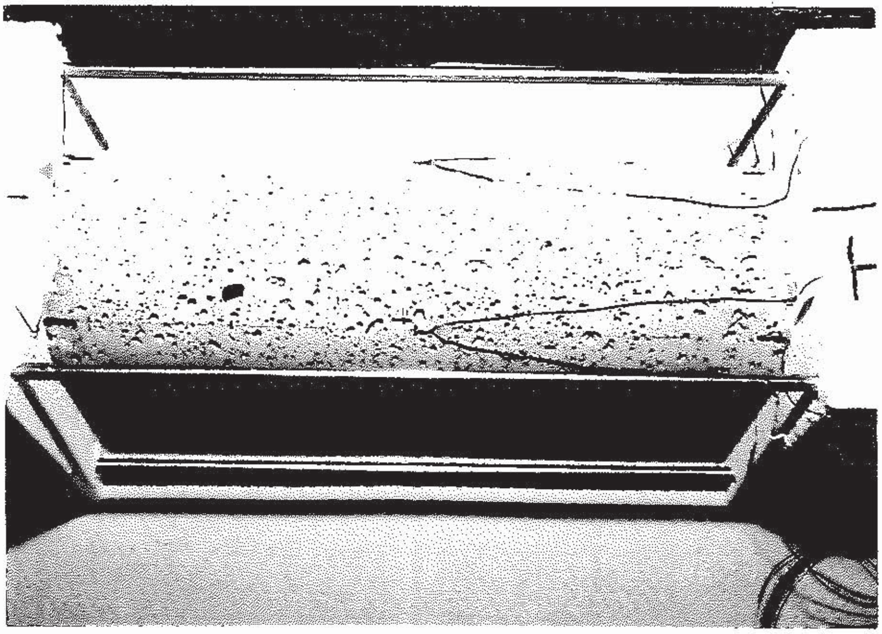
写真－１７　　密度測定状況



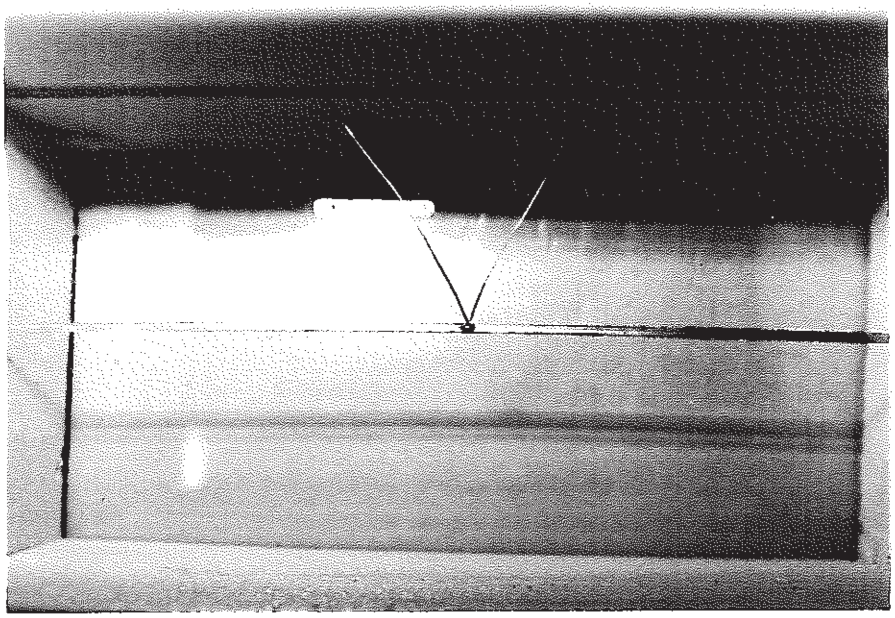
写真－１８　　強度測定状況



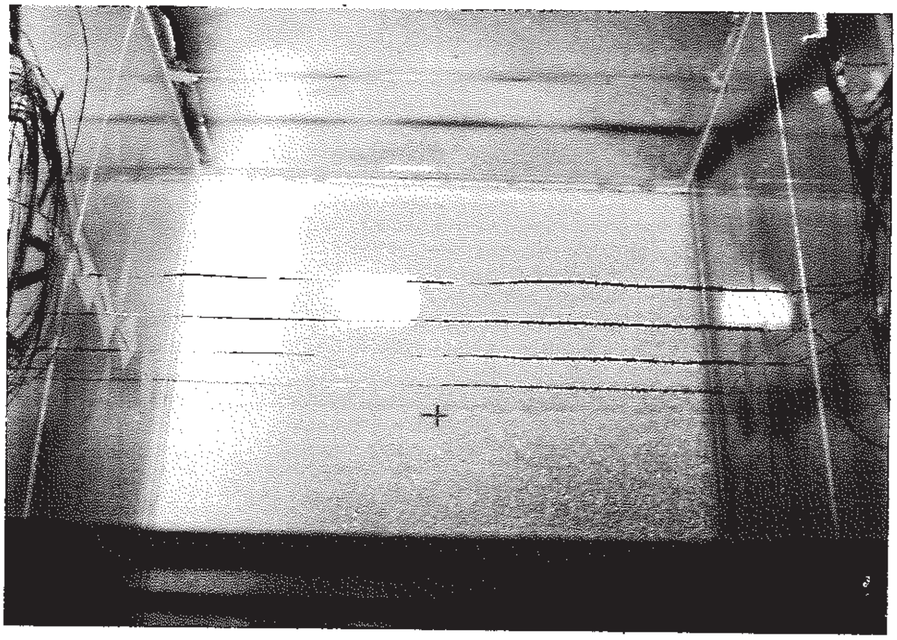
写真－１９　　熱伝導率（円筒法）試験体内面温度測定用熱電対の固定



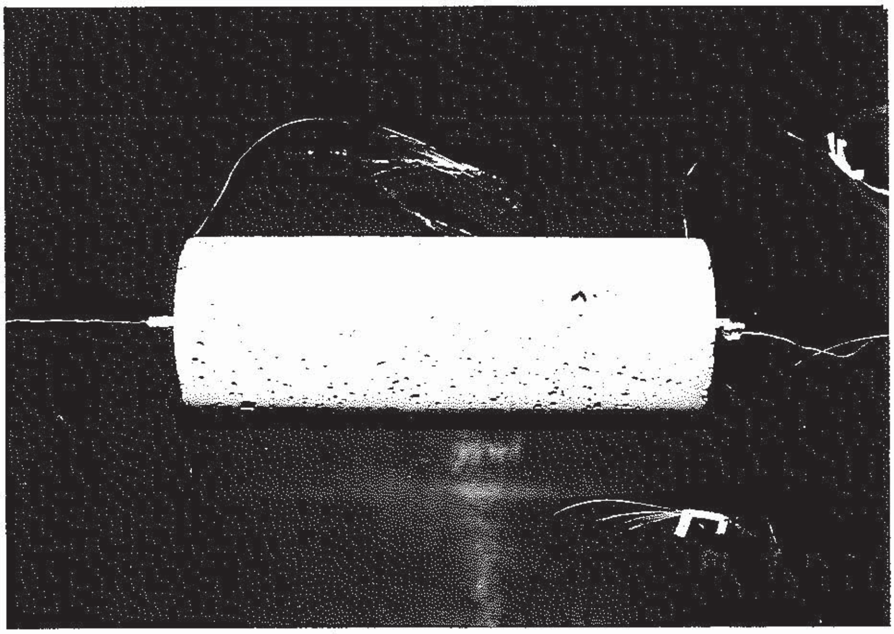
写真－２０　　熱伝導率（円筒法）試験体外面温度測定用熱電対の固定



写真－２１　　熱伝導率（熱線法）の熱線と熱電対の固定

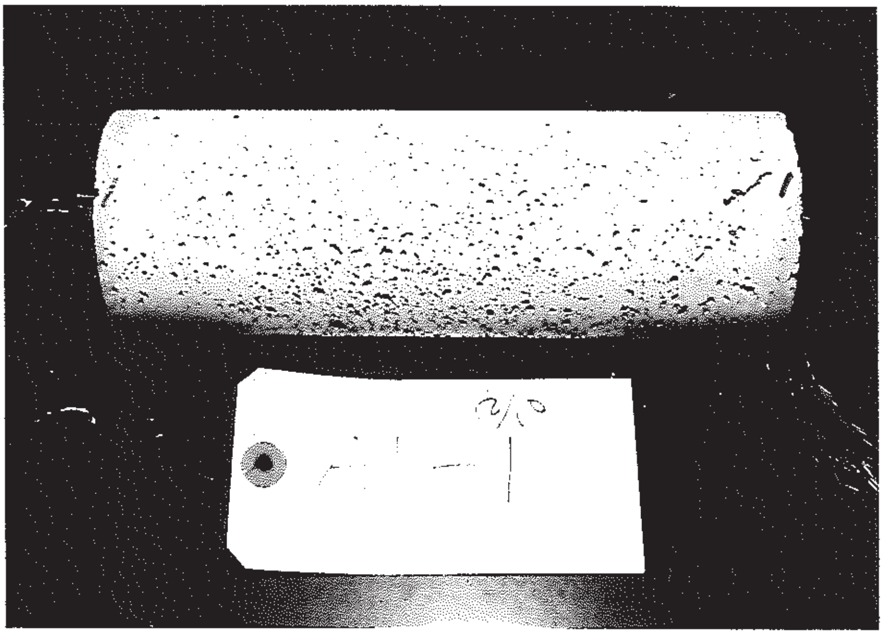


写真－２２　　熱拡散率の熱電対の固定



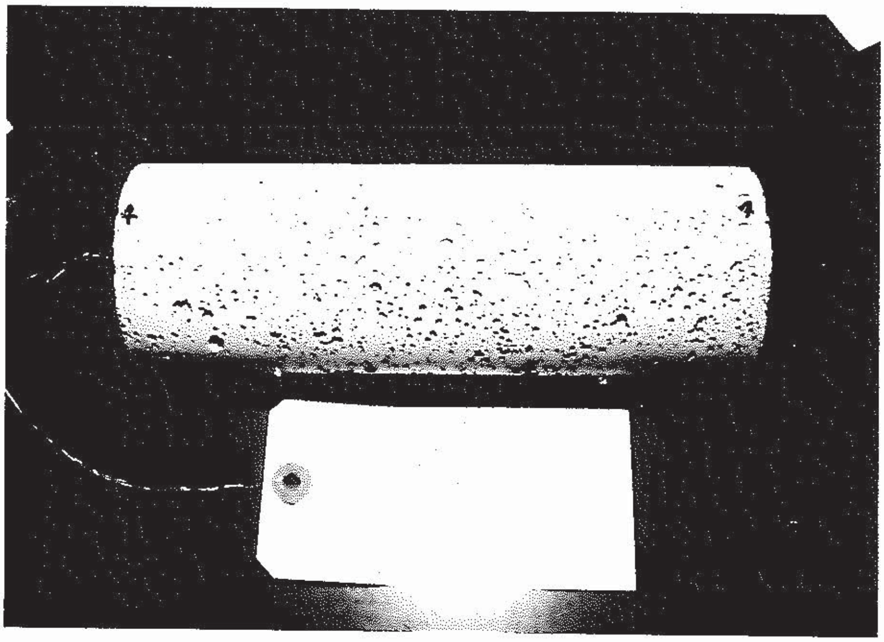
写真－２３　　試験体No.Ｘ－１の測定前の状態

写真－２４　　試験体No.Ｘ－１の測定後の状態

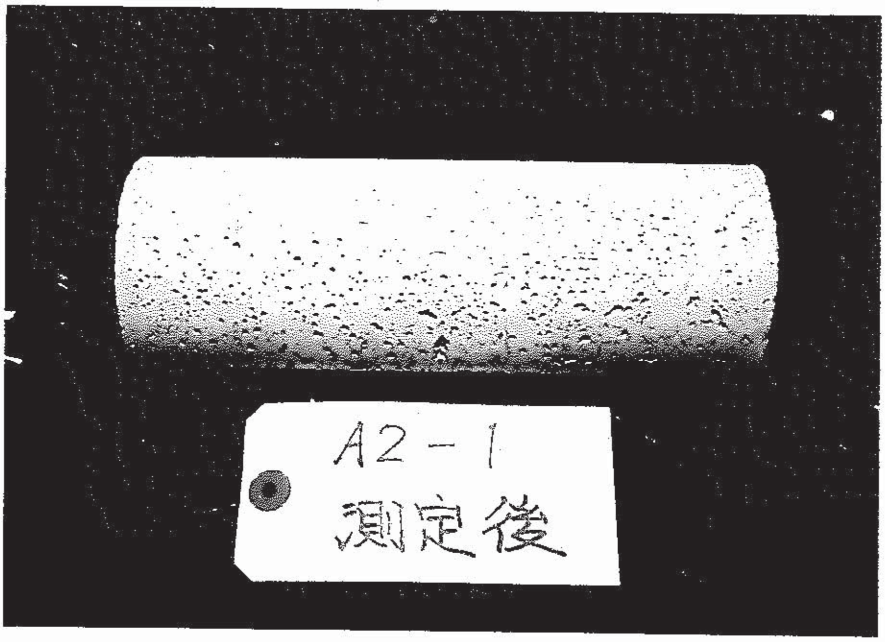


写真－２５　　試験体No.Ａ１－１の測定前の状態

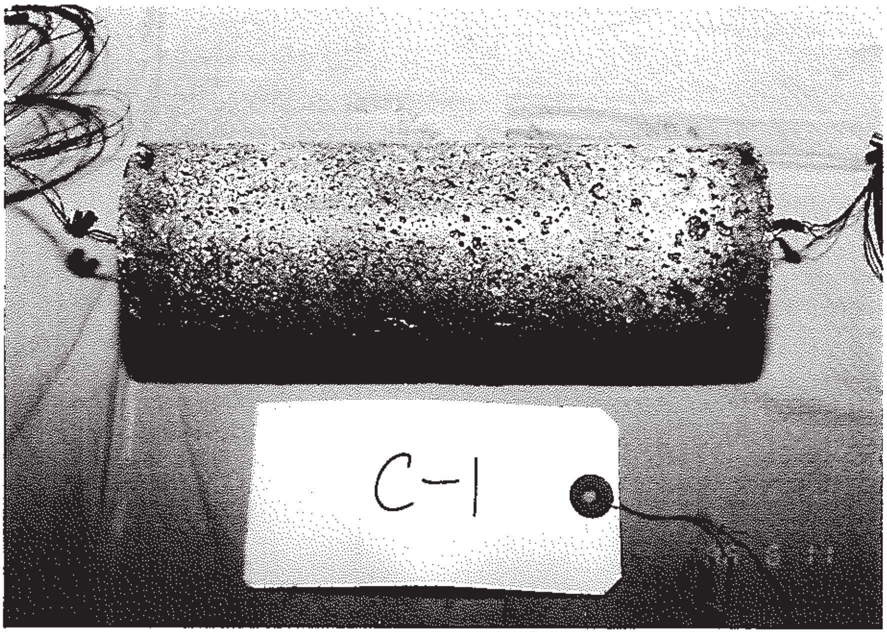
写真－２６　　試験体No.Ａ１－１の測定後の状態



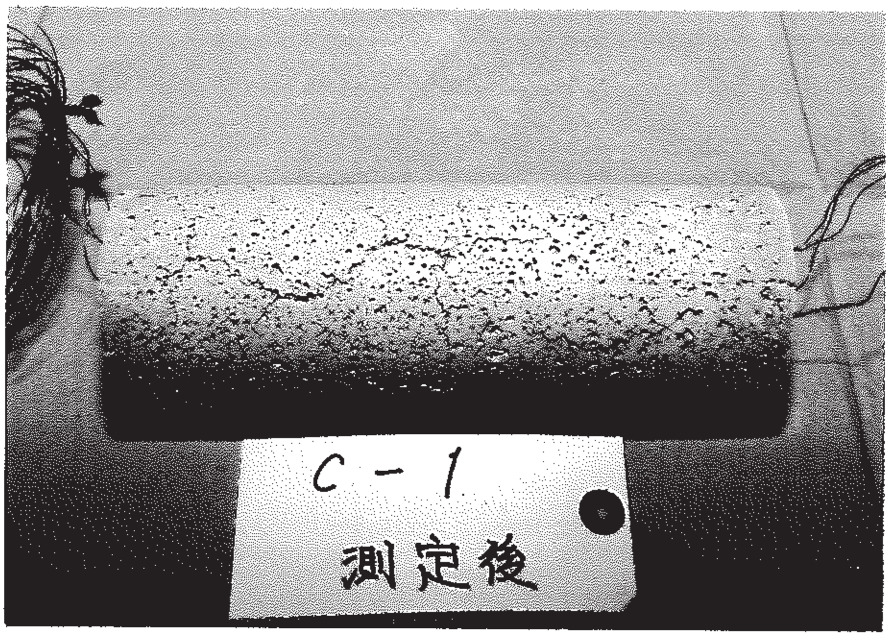
写真－２７　　試験体No.Ａ２－１の測定前の状態



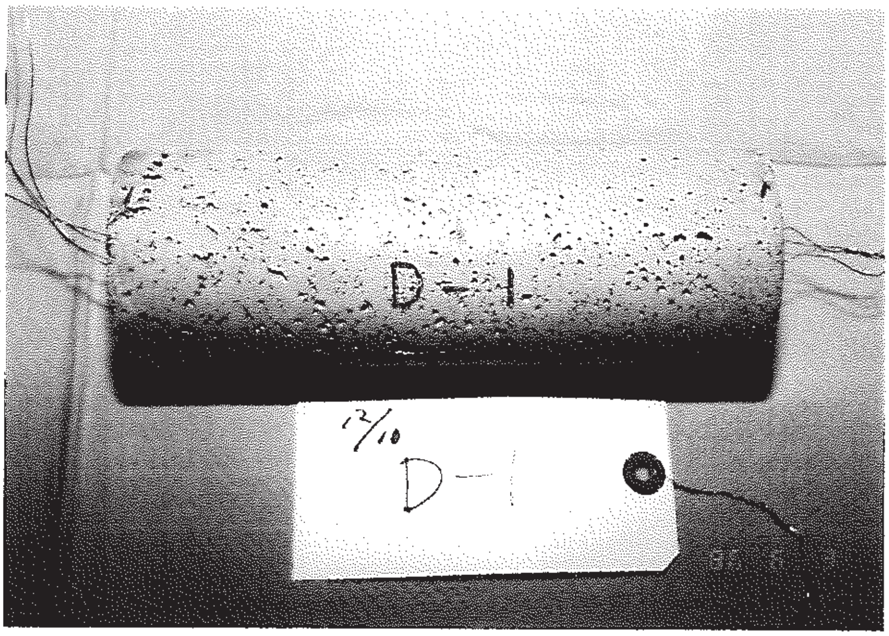

写真－２８　　試験体No.Ａ２－１の測定後の状態



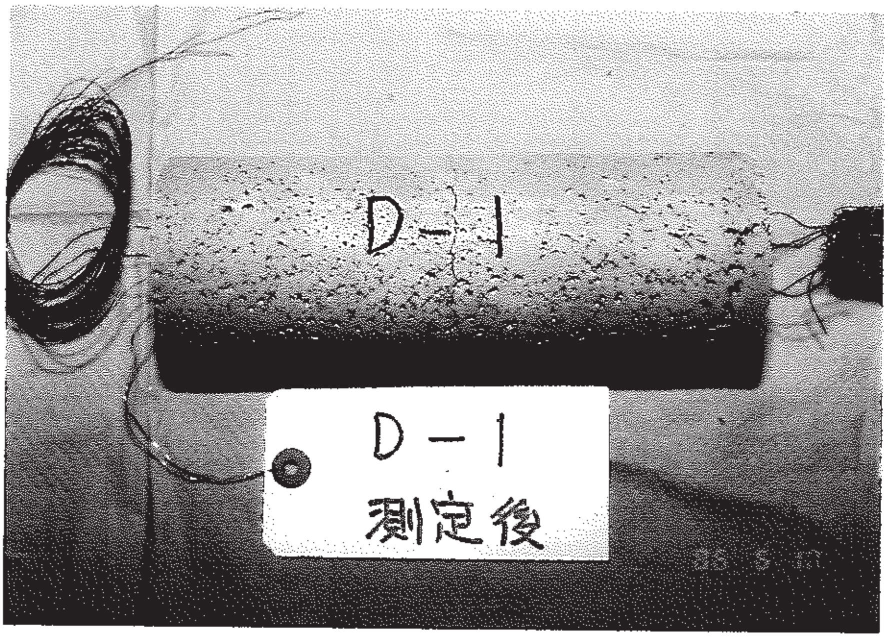

写真－２９　　試験体No.Ｃ－１の測定前の状態



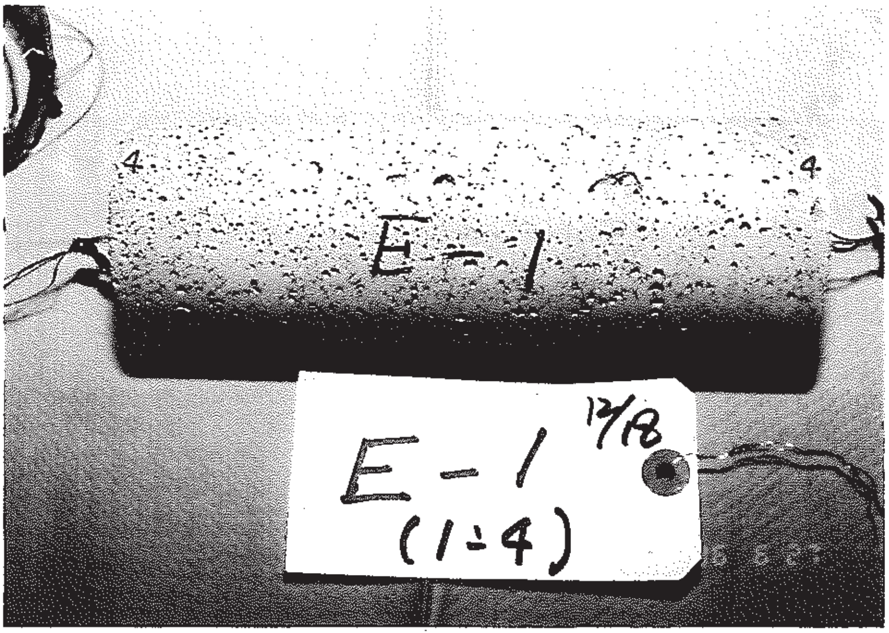

写真－３０　　試験体No.Ｃ－１の測定後の状態




写真－３１　　試験体No.Ｄ－１の測定前の状態

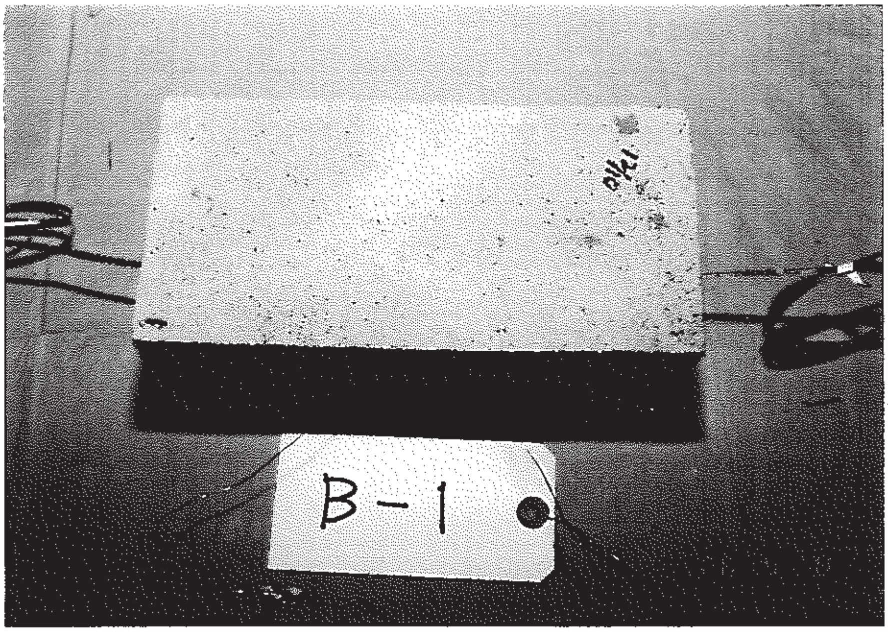



写真－３２　　試験体No.Ｄ－１の測定後の状態

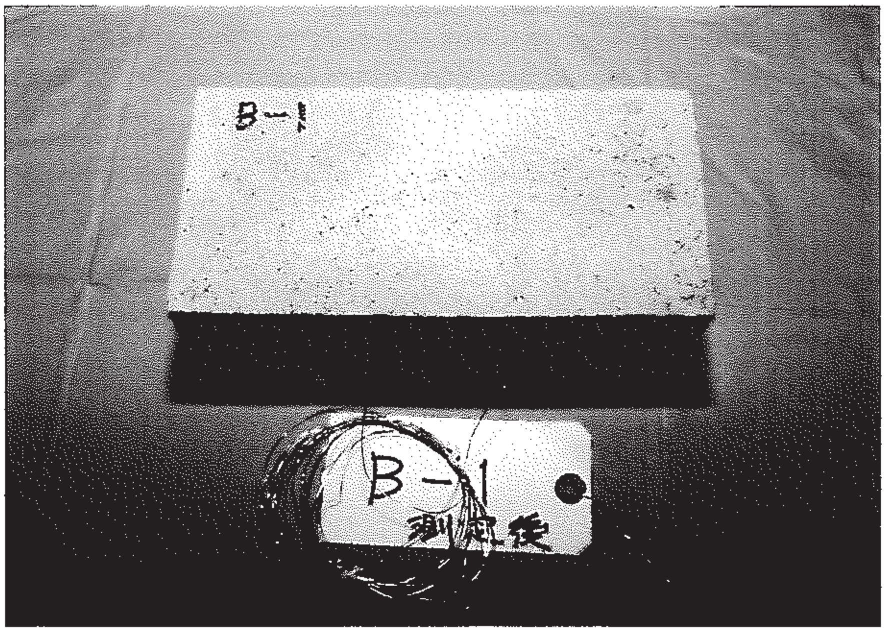



写真－３３　　試験体No.Ｅ－１の測定前の状態

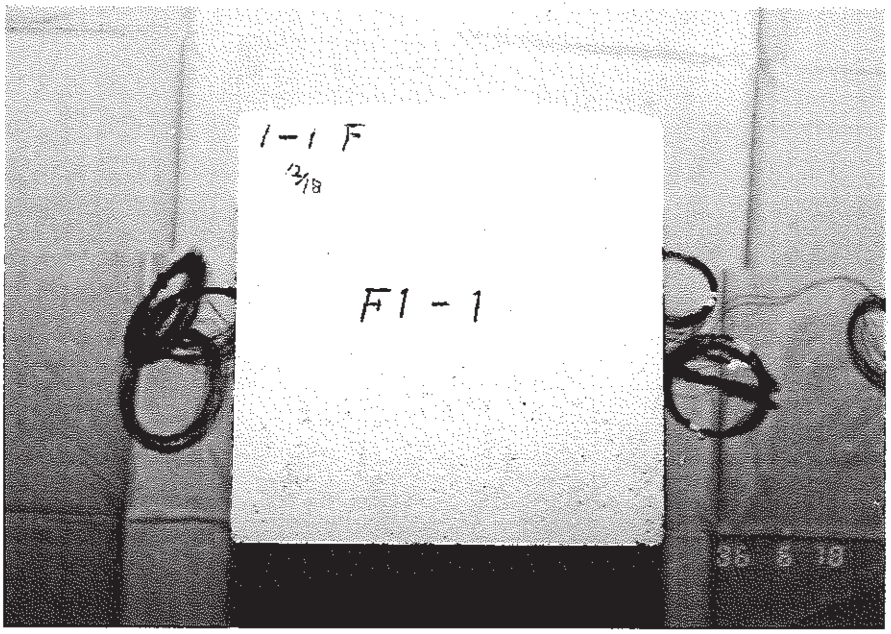
写真－３４　　試験体No.Ｅ－１の測定後の状態



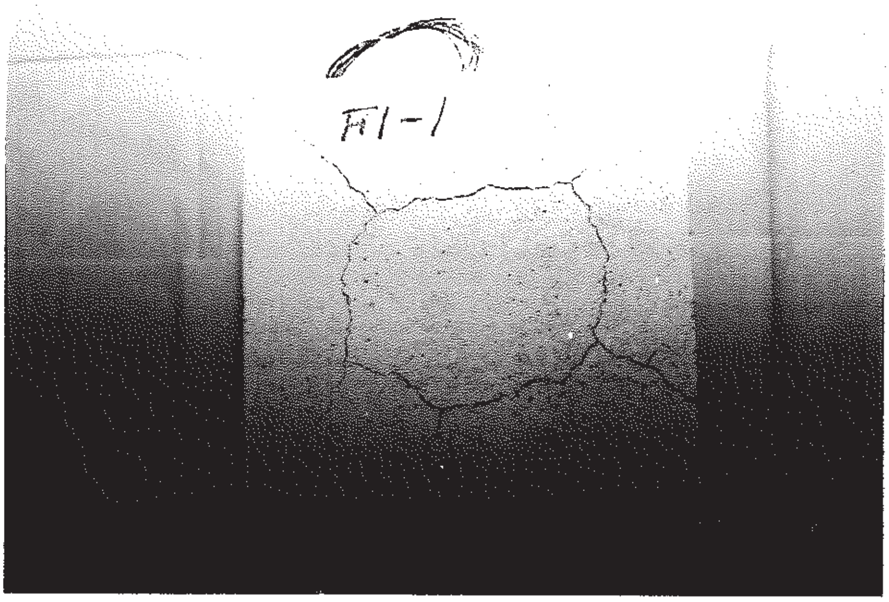

写真－３５　　試験体No.Ｂ－１の測定前の状態



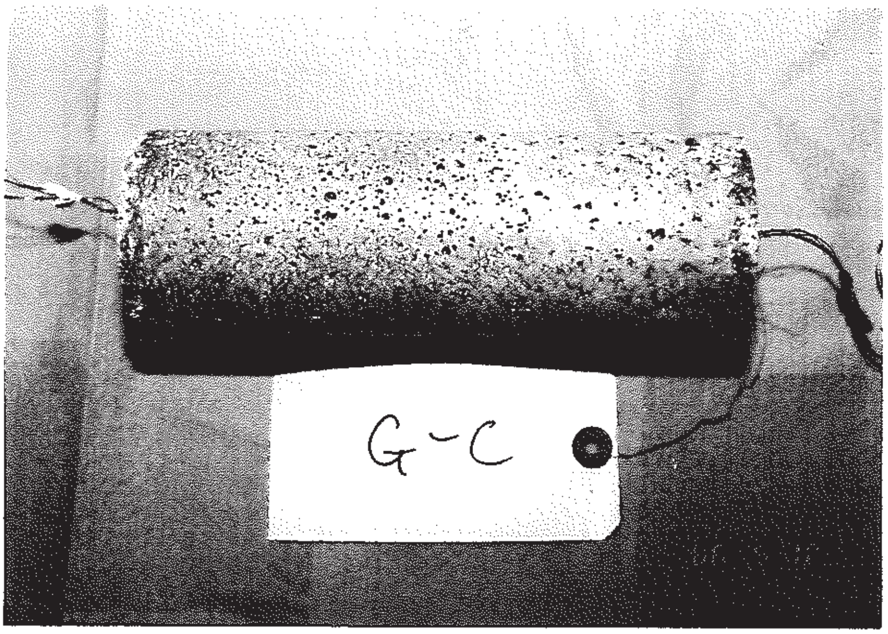

写真－３６　　試験体No.Ｂ－１の測定後の状態



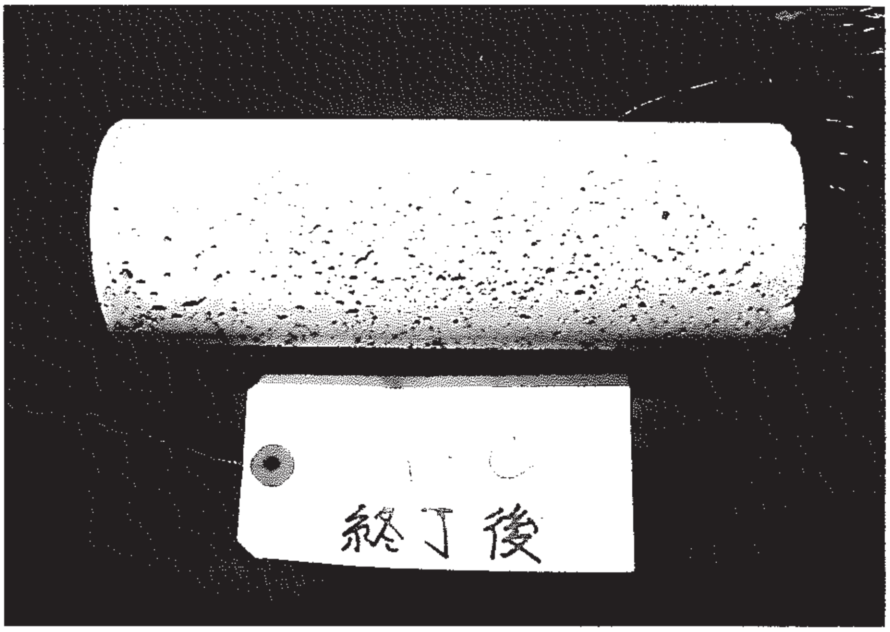

写真－３７　　試験体№Ｆ－１の測定前の状態




写真－３８　　試験体№Ｆ－１の測定後の状態



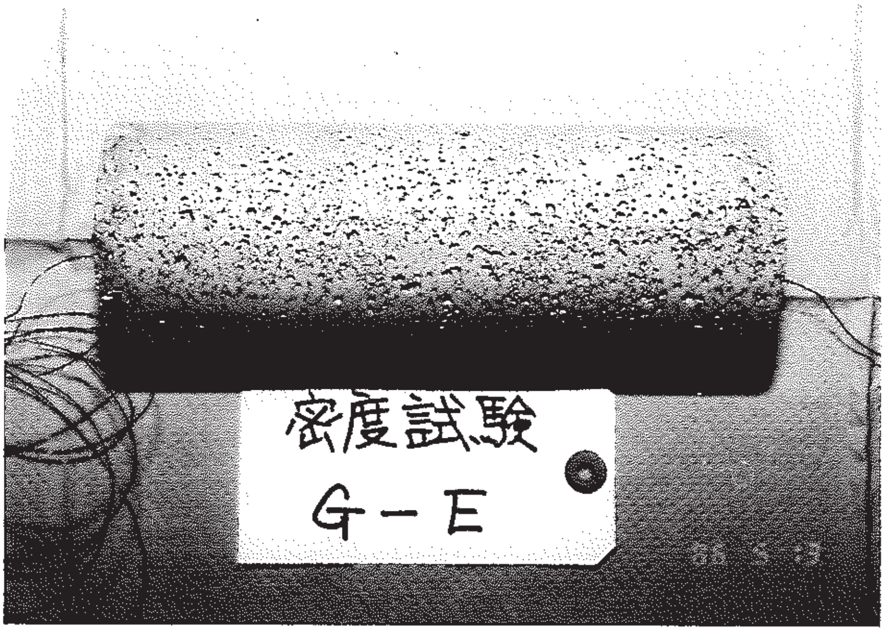

写真－３９　　試験体No.Ｇ－Ｃの測定前の状態



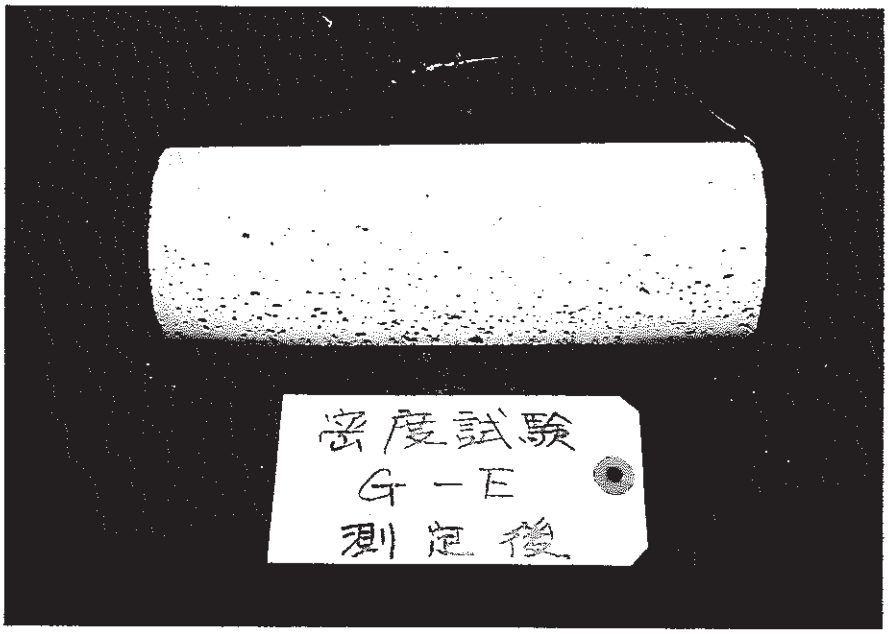

写真－４０　　試験体No.Ｇ－Ｃの測定後の状態

写真－４１　　試験体No.Ｇ－Ｄの測定前の状態

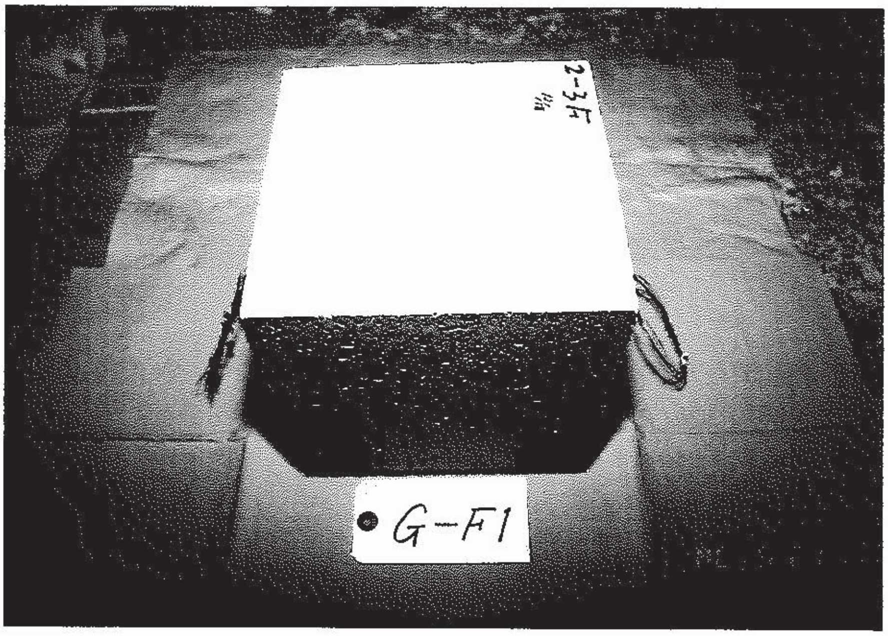
写真－４２　　試験体No.Ｇ－Ｄの測定後の状態




写真－４３　　試験体No.Ｇ－Ｅの測定前の状態

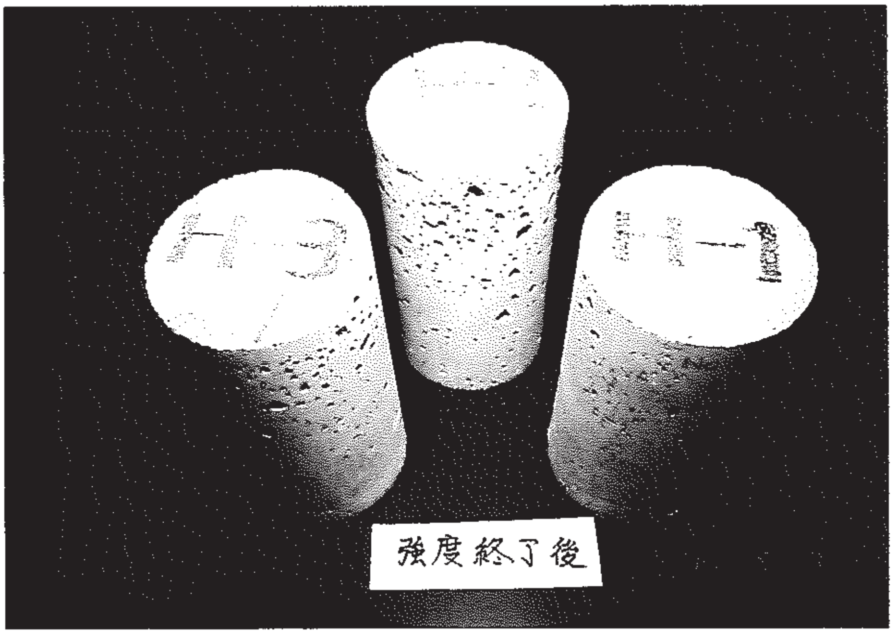



写真－４４　　試験体No.Ｇ－Ｅの測定後の状態

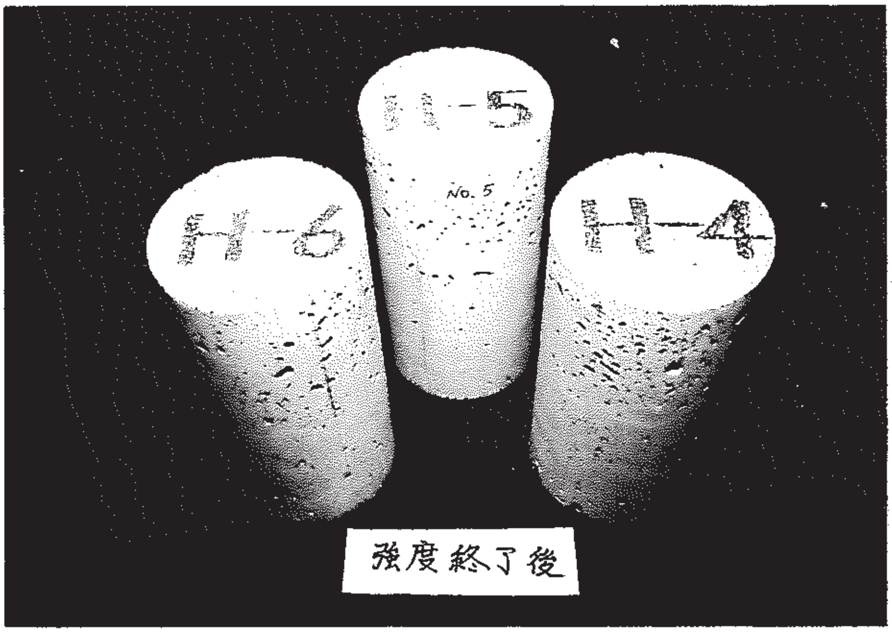



写真－４６　　試験体No.Ｇ－Ｆ１の測定後の状態

写真－４５　　試験体No.Ｇ－Ｆ１の測定前の状態




写真－４７　　圧縮強度試験終了後の試験体の状況
（試験体No.Ｈ－１～３）




写真－４８　　圧縮強度試験終了後の試験体の状況
（試験体No.Ｈ－４～６）

写真－４９　　熱伝導率の再現性試験のため測定終了後
養生４日目のクラックの状況

写真－５０　　試験体の解体状況