

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。

01.11.30

[技術情報室]

## ナトリウム-コンクリート反応基礎試験(II)

1983年9月

日本曹達株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた範囲の関係者に配布


本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

配 布 限 定

PNC  270 83-01

1983年9月30日



## ナトリウム-コンクリート反応基礎試験(II)\*

収本敏行<sup>\*\*\*</sup> 橋本幸男 高崎昭次  
荒川 徹 横尾潤二郎 笹川幸雄  
動燃担当者 広井 博<sup>\*\*\*</sup>

### 要 旨

本試験は、高速増殖炉でNaが漏洩し、かつライナが破損した場合に発生するNaとコンクリートの反応に関する知見を得るために行ったものである。

前年度実施した基礎試験(I)では、「もんじゅ」の構造用コンクリートに使用予定である硬質砂岩コンクリートに関するデータを得たので、本年度は、コンクリートの種類の影響、Naとコンクリートの接触面の向きの影響に注目した。

使用したコンクリートは、(i)断熱コンクリートとして「もんじゅ」で使用予定であるパーライトコンクリート、(ii)耐Na性が良好と言われるアルミナセメントを使用したアルミナコンクリート(但し、骨材は硬質砂岩)、(iii)垂直面の試験のための硬質砂岩コンクリートである。

以下の結論が得られた。

- (1) パーライトコンクリートは、硬質砂岩コンクリートと同様に、Naが530℃以上では激しい反応を生じる。反応開始時のコンクリートへの侵食、水素発生は硬質砂岩コンクリートよりもゆるやかであるが、長い時間侵食が継続するので、最終的な侵食深さは硬質砂岩コンクリートの2倍以上となった。
- (2) アルミナセメントを使用した影響は認められず、アルミナコンクリートは硬質砂岩コンクリートと同じ反応挙動であった。
- (3) 垂直面では、水平面の場合に較べてゆるやかに侵食されるが、最終的な侵食深さは同じ程度であった。Na液面よりも上部のコンクリートも侵食された。
- (4) コンクリートの小片を使って、放出水特性、反応熱、強度の温度依存性に関するデ

ータを得た。

---

※ 本報告書は、日本曹達株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

※※ 日本曹達株式会社 二本木工場

※※※ 動燃大洗工学センター 安全工学部 プラント安全工学室

NOT FOR PUBLICATION

PNC IJ 270 83-01

Sep. 30, 1983



## Experimental Studies on Sodium - Concrete Reaction (II)\*

Toshiyuki Unemoto\*\* , Yukio Hashimoto  
Shoji Takasaki , Tohru Arakawa  
Junjiro Yokoo , Yukio Sasagawa  
PNC Editor; Hiroshi Hiroi

### Abstract

Experiments were carried out to study sodium concrete reactions which might occur in an LMFBR plant following a sodium leak and a successive liner failure.

The primary effort was placed on determining the effects of the concrete type and the concrete surface direction in the present study (Series II), since the data on graywacke concrete which is planned for the use as the structural concrete in Monju had been obtained in the Series I test.

Three types of concrete used in Series II test were (i) perlite concrete which has been proposed for the use as the insulating concrete in Monju, (ii) alumina concrete consisting of graywacke aggregate and alumina cement which is said to be stable against sodium and (iii) graywacke concrete with a vertical surface.

Major conclusions are as follows.

- (1) The perlite concrete reacts with sodium violently at temperatures above 530°C as well as the graywacke concrete. The initial penetration rate into the concrete and the hydrogen generation rate were slower in the violent reaction of the perlite concrete than that of the graywacke concrete. But the total penetration depth became twice as deep as in the graywacke concrete, since the reaction lasted for a longer time in the perlite concrete.
- (2) No significant difference of reaction was observed by the use of the alumina cement. The alumina concrete reacts in the identical manner with the graywacke concrete.

- (3) Although the reaction proceeded more slowly in the case of the vertical surface than that of the horizontal surface, the sodium penetrated into the almost same depth. The concrete above the sodium surface was also eroded.
- (4) The water release from heated concrete, the reaction heat per unit mass of concrete, and the effect of temperature on concrete strength were studied using small pieces of concrete.

---

※ Work performed under contracts between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp. and Nippon Soda Co., Ltd.

※※ Nihongi Factory, Nippon Soda Co., Ltd.

※※※ PNC, Oarai Engineering Center, FBR Safety Engineering Division, Plant Safety Section.

# 目 次

|       |                            |    |
|-------|----------------------------|----|
| 1     | はじめに .....                 | 1  |
| 2     | コンクリート試験体の製作法とその特性 .....   | 2  |
| 2.1   | 試験に用いた材料 .....             | 2  |
| 2.2   | 骨材の物理試験 .....              | 2  |
| 2.3   | コンクリートの配合選定 .....          | 3  |
| 2.4   | 試験体の製作, 養生 .....           | 4  |
| 3     | 放出水特性試験 .....              | 5  |
| 3.1   | コンクリート片による試験 .....         | 5  |
| 3.1.1 | 試験方法 .....                 | 5  |
| 3.1.2 | 加熱による脱水量 .....             | 5  |
| 3.1.3 | 加熱による圧縮強度と静弾性係数の変化 .....   | 6  |
| 3.2   | 熱天秤による試験 .....             | 7  |
| 3.2.1 | 試験方法 .....                 | 7  |
| 3.2.2 | 試験結果 .....                 | 7  |
| 4     | 反応熱測定試験 .....              | 9  |
| 4.1   | コンクリート試験体 .....            | 9  |
| 4.2   | 装置および試薬 .....              | 9  |
| 4.3   | 試験方法 .....                 | 10 |
| 4.4   | 結果と考察 .....                | 11 |
| 5     | モデル試験 .....                | 13 |
| 5.1   | コンクリート試験体 .....            | 13 |
| 5.2   | 装置および試薬 .....              | 13 |
| 5.3   | 試験方法 .....                 | 14 |
| 5.4   | 結果 .....                   | 16 |
| 5.4.1 | 水素発生速度および発生量 .....         | 16 |
| 5.4.2 | コンクリート, Na および排ガスの温度 ..... | 17 |
| 5.4.3 | コンクリートの侵食速度 .....          | 17 |
| 5.4.4 | 試験後のコンクリート観察結果 .....       | 18 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 5.4.5 | 反応生成物の分析 .....           | 27  |
| 5.4.6 | 試験終了後の圧縮強度と静弾性係数 .....   | 27  |
| 5.5   | 考 察 .....                | 28  |
| 5.5.1 | ペーライトコンクリート .....        | 28  |
| 5.5.2 | アルミナコンクリート .....         | 29  |
| 5.5.3 | 垂直面の硬質砂岩コンクリート .....     | 29  |
| 5.5.4 | コンクリートと Na の反応 .....     | 29  |
| 5.5.5 | 単位コンクリートと反応する Na 量 ..... | 30  |
| 6     | ま と め .....              | 32  |
| 7     | 謝 辞 .....                | 34  |
| 8     | 参考文献 .....               | 35  |
| 9     | APPENDIX .....           | 117 |



## List of Table

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Table 2.1  | Physical and Mechanical Properties of Cement .....                 | 36 |
| Table 2.2  | Size Distribution of Perlite .....                                 | 36 |
| Table 2.3  | Physical Properties of Fine Aggregate .....                        | 37 |
| Table 2.4  | Physical Properties of Coarse Aggregate .....                      | 37 |
| Table 2.5  | Proportion of Mix and Mechanical Properties of Concrete .....      | 38 |
| Table 3.1  | Weight Loss of Heated Perlite Concrete .....                       | 39 |
| Table 3.2  | Weight Loss of Heated Alumina Concrete .....                       | 40 |
| Table 3.3  | Compressive Strength and Static Modulus of Elasticity for .....    | 41 |
|            | Perlite Concrete   |    |
| Table 3.4  | Compressive Strength and Static Modulus of Elasticity for .....    | 42 |
|            | Alumina Concrete   |    |
| Table 4.1  | Experimental Conditions and Results of Sodium - Concrete .....     | 43 |
|            | Reaction Heat at 530 °C  |    |
| Table 4.2  | Composition of Perlite, Alumina and Graywacke Concrete .....       | 44 |
| Table 5.1  | Experimental Conditions of Sodium - Concrete Reaction .....        | 45 |
| Table 5.2  | List of Maximum Temperatures .....                                 | 46 |
| Table 5.3  | Position of Thermocouples in Concrete after Sodium - .....         | 47 |
|            | Concrete Reactions   |    |
| Table 5.4  | Excursion Time and Penetration Depth .....                         | 48 |
| Table 5.5  | Characteristics of Reaction Products .....                         | 49 |
| Table 5.6  | Results of X - ray Diffraction Analysis of Reaction Products ..... | 50 |
|            | and Original Concretes   |    |
| Table 5.7  | Calculational Result of Sodium reacted with Perlite .....          | 51 |
|            | Concrete at 430 °C   |    |
| Table 5.8  | Calculational Result of Sodium reacted with Perlite .....          | 52 |
|            | Concrete at 530 °C or 630 °C                                       |    |
| Table 5.9  | Calculational Result of Sodium reacted with Alumina .....          | 53 |
|            | Concrete at 530 °C or 630 °C                                       |    |
| Table 5.10 | Appearance, Compressive Strength and Static Modulus .....          | 54 |
|            | of Elasticity after Test   |    |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Table 5.11 | Sampling Location of Test Specimen .....                            | 55 |
| Table 5.12 | Effect of Reaction on Compressive Strength and Static Modulus ..... | 56 |

## List of Figures

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Fig. 2. 1 | Size Distribution of Aggregate .....  | 57 |
| Fig. 2. 2 | Concrete Specimen and Locations of Thermocouples .....  | 58 |
| Fig. 3. 1 | Transient of Weight Loss of Perlite Concrete .....  | 59 |
| Fig. 3. 2 | Relation between Temperature and Weight Loss<br>(Perlite Concrete) .....                                  | 60 |
| Fig. 3. 3 | Transient of Weight Loss of Alumina Concrete .....  | 61 |
| Fig. 3. 4 | Relation between Temperature and Weight Loss<br>(Alumina Concrete) .....                                  | 62 |
| Fig. 3. 5 | Temperature Effect on Compressive Strength and Static<br>Modulus of Elasticity for Perlite Concrete ..... | 63 |
| Fig. 3. 6 | Temperature Effect on Compressive Strength and Static<br>Modulus of Elasticity for Alumina Concrete ..... | 64 |
| Fig. 3. 7 | Weight Loss of Perlite Concrete by TGA (1) .....  | 65 |
| Fig. 3. 8 | Weight Loss of Perlite Concrete by TGA (2) .....  | 66 |
| Fig. 3. 9 | Weight Loss of Alumina Concrete by TGA (1) .....  | 67 |
| Fig. 3.10 | Weight Loss of Alumina Concrete by TGA (2) .....  | 68 |
| Fig. 3.11 | Weight Loss of Graywacke Concrete by TGA (1) .....  | 69 |
| Fig. 3.12 | Weight Loss of Graywacke Concrete by TGA (2) .....  | 70 |
| Fig. 3.13 | Effect of Concrete Type and Measurement Method<br>on Weight Loss .....                                    | 71 |
| Fig. 3.14 | Reaction Peaks of Perlite Concrete by DTA (1) .....   | 72 |
| Fig. 3.15 | Reaction Peaks of Perlite Concrete by DTA (2) .....   | 73 |
| Fig. 3.16 | Reaction Peaks of Alumina Concrete by DTA (1) .....   | 74 |
| Fig. 3.17 | Reaction Peaks of Alumina Concrete by DTA (2) .....   | 75 |
| Fig. 3.18 | Reaction Peaks of Graywacke Concrete by DTA (1) .....   | 76 |
| Fig. 3.19 | Reaction Peaks of Graywacke Concrete by DTA (2) .....   | 77 |
| Fig. 4. 1 | Test Rig for Measurement of Sodium - Concrete Reaction Heat ...   | 78 |
| Fig. 4. 2 | Sodium - Concrete Reaction Vessel .....   | 79 |
| Fig. 4. 3 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction .....   | 80 |

(Exp. 1 H )

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Fig. 4. 4 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 81  |
|           | (Exp. 2 H )   |     |
| Fig. 4. 5 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 82  |
|           | (Exp. 3 H )   |     |
| Fig. 4. 6 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 83  |
|           | (Exp. 4 H )   |     |
| Fig. 4. 7 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 84  |
|           | (Exp. 5 H )   |     |
| Fig. 4. 8 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 85  |
|           | (Exp. 6 H )   |     |
| Fig. 4. 9 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 86  |
|           | (Exp. 7 H )   |     |
| Fig. 4.10 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 87  |
|           | (Exp. 8 H )   |     |
| Fig. 4.11 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 88  |
|           | (Exp. 9 H )   |     |
| Fig. 4.12 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 89  |
|           | (Exp. 10H )   |     |
| Fig. 4.13 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 90  |
|           | (Exp. 11H )   |     |
| Fig. 4.14 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 91  |
|           | (Exp. 12H )   |     |
| Fig. 4.15 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 92  |
|           | (Exp. 13H )   |     |
| Fig. 4.16 | Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ..... | 93  |
|           | (Exp. 14H )   |     |
| Fig. 5. 1 | Test Rig for Sodium - Concrete Reaction .....                 | 94  |
| Fig. 5. 2 | Sodium - Concrete Reaction Vessel ( Exp. 1 M ) .....          | 95  |
| Fig. 5. 3 | Sodium - Concrete Reaction Vessel ( Exp. 2M~8M ) .....        | 96  |
| Fig. 5. 4 | Location of Thermocouples and their Symbols .....             | 97  |
| Fig. 5. 5 | Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 1 M ) ... | 98  |
| Fig. 5. 6 | Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 2 M ) ... | 99  |
| Fig. 5. 7 | Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 3 M ) ... | 100 |
| Fig. 5. 8 | Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 4 M ) ... | 101 |
| Fig. 5. 9 | Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 5 M ) ... | 102 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| Fig. 5.10 | Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 6 M ) ...                                | 103 |
| Fig. 5.11 | Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 7 M ) ...                                | 104 |
| Fig. 5.12 | Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 8 M ) ...                                | 105 |
| Fig. 5.13 | Temperatures of Concrete, Sodium and Exhaust Gas .....<br>( Exp. 1 M )                       | 106 |
| Fig. 5.14 | Temperatures of Concrete, Sodium and Exhaust Gas .....<br>( Exp. 2 M )                       | 107 |
| Fig. 5.15 | Temperatures of Concrete, Sodium and Exhaust Gas .....<br>( Exp. 3 M )                       | 108 |
| Fig. 5.16 | Temperatures of Concrete, Sodium and Exhaust Gas .....<br>( Exp. 4 M )                       | 109 |
| Fig. 5.17 | Temperatures of Concrete, Sodium and Exhaust Gas .....<br>( Exp. 5 M )                       | 110 |
| Fig. 5.18 | Temperatures of Concrete, Sodium and Exhaust Gas .....<br>( Exp. 6 M )                       | 111 |
| Fig. 5.19 | Temperatures of Concrete, Sodium and Exhaust Gas .....<br>( Exp. 7 M )                       | 112 |
| Fig. 5.20 | Temperatures of Concrete, Sodium and Exhaust Gas .....<br>( Exp. 8 M )                       | 113 |
| Fig. 5.21 | Penetration Depth for Perlite Concrete .....   | 114 |
| Fig. 5.22 | Penetration Depth for Graywacke Concrete with Vertical<br>Surface and Alumina Concrete ..... | 115 |

## List of photograph

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| Photo. 1  | Perlite Concrete and its Reaction Product ( right side ) | 116 |
| Photo. 2  | Alumina Concrete and its Reaction Product ( right side ) | 116 |
| Photo. 3  | Reacted Graywacke Concrete ( Vertical Surface )          | 19  |
| Photo. 4  | Reacted Perlite Concrete at 430°C                        | 20  |
| Photo. 5  | Reacted Perlite Concrete at 530°C                        | 21  |
| Photo. 6  | Reacted Perlite Concrete at 630°C                        | 22  |
| Photo. 7  | Reacted Two Layer's Concrete ( Perlite and Graywacke )   | 23  |
| Photo. 8  | Reacted Alumina Concrete at 530°C                        | 24  |
| Photo. 9  | Reacted Alumina Concrete at 630°C                        | 25  |
| Photo. 10 | Reacted Dry Perlite Concrete                             | 26  |
| Photo. 11 | Cross Section of Reacted Perlite Concrete                | 26  |

## 1 はじめに

高速増殖原型炉「もんじゅ」のナトリウム漏洩事故に対しては、スチールライナを設備し、ナトリウムとコンクリートの反応を防止している。しかし、万が一、ライナが破損した場合には、高温のナトリウムとコンクリートが反応して、反応熱や水素ガスを発生するため、その事故事象を評価し、安全余裕を確認しておくことは重要である。また、今後確率論的リスク評価が進められる際には、事故の全スペクトルを解析するために、発生頻度が低いにもかかわらず、ナトリウム・コンクリートの反応の情報が必要となる。

そこで、昭和57年度に、「もんじゅ」で使用が予想されるセメントや骨材を用いて、「ナトリウム・コンクリート反応基礎試験(I)」(PNC SJ 270 82-02)を実施した。その結果、ナトリウム温度が530℃以下ではコンクリート中のSiO<sub>2</sub>とナトリウムの反応が起こらず、反応熱や水素ガスは低くなることがわかった。

ところが、実機ではライナとコンクリートとの間に断熱材としてパーライトコンクリートが使用される計画である。また、米国では耐ナトリウム性に優れたコンクリートの開発をめざして、ハイアルミナコンクリートが検討されている。そこで、本試験では(a)パーライトコンクリートと(b)国内のアルミナセメントを使用したコンクリートを使用した。(註：骨材には硬質砂岩が使用されているが、本報告書ではアルミナコンクリートと呼ぶ。ただし、米国で言われているハイアルミナコンクリートは骨材にもアルミナを使用する計画のものであるから、その成分は本試験で使用したものと異なり、大半がAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>である。)

さらに、基礎試験(I)と同様な(c)硬質砂岩コンクリートを使用して、ナトリウムとコンクリートの接触面の向きの影響を調べた。

本試験は、(i)放水特性試験、(ii)反応熱測定試験、(iii)モデル試験から構成されている。(i)と(ii)はコンクリートの基礎的性質を明らかにするために、コンクリートの小片を用いて実施されたものである。(iii)は実機でのナトリウムとコンクリートの接触を模擬した体系の試験である。

2章では使用したコンクリートの製法と諸特性を、3章から5章では各種試験結果を記述した。

## 2 コンクリート試験体の製作法とその特性

使用した3種類のコンクリート

- (a) パーライトコンクリート
- (b) アルミナコンクリート（ただし、骨材は硬質砂岩）
- (c) 硬質砂岩コンクリート

について、その製作法と特性について述べる。

### 2.1 試験に用いた材料

下記の材料を使用した。

- (1) セメント：小野田セメント(株)製のB種フライアッシュセメントと日本セメント(株)製のアルミナセメント2号（熔融品）を使用した。これら使用セメントのメーカーによる試験成績は Table 2.1 に示すとおりである。
- (2) パーライト：三井金属鉱業(株)製の「三井パーライト・C」を使用した。このパーライトの試験成績は Table 2.2 に示すとおりである。
- (3) 細骨材：福井県葉原産の硬質砂岩質の砕砂と三国産の陸砂を7：3に混合して使用した。
- (4) 粗骨材：福井県葉原産の最大寸法25mmの硬質砂岩碎石を使用した。
- (5) 混和剤：パーライトコンクリートには、日曹マスタービルターズ(株)製のAE減水剤標準形「ポゾリスNo.70」と起泡剤「No.505」を、アルミナコンクリートおよび普通コンクリートには「ポゾリスNo.70」を使用した。

なお、「ポゾリスNo.70」の品質検査成績およびJISS 5T.401,コンクリート表面活性剤の品質規準による性能試験結果を Appendix 1,2 に、「No.505」の品質検査成績を Appendix 3 にそれぞれ示す。

- (6) 練り混ぜ水：上水道水を使用した。

### 2.2 骨材の物理試験

使用した葉原産の細・粗骨材および三国産細骨材について、下記の試験をJISSに基づいて行った。

- (1) 比重および吸水率：JIS A 1109「細骨材の比重および吸水率試験方法」



および JIS A 1110「粗骨材の比重および吸水率試験方法」によった。

(2) ふるい分け：JIS A 1102「骨材のふるい分け試験方法」によった。

(3) 単位容積質量：JIS A 1104「骨材の単位容積質量および実積率試験方法」によった。

結果は Table 2.3, 2.4 および Fig.2.1 に示すとおりで、このことから下記の結論を得た。

(1) 細骨材

試験した諸物性は基礎試験(I)の結果<sup>(1)</sup>とほぼ同等で、いずれも良好な結果を示し、混合砂（砕砂：陸砂，70：30%）の比重，吸水率および粒度は JASS. 5 で定める材料に関する仕様の1級の規定に適合する。

(2) 粗骨材

比重，吸水率および単位容積質量，実積率は基礎試験(I)の試験結果<sup>(1)</sup>とほぼ同様で、いずれも良好であり、JASS. 5 で定める材料に関する仕様の1級の規定に適合するが、25~15mmと15~5mmの粒度に分級された碎石の粗目の粒度がやや細かったため、JASS. 5 の1級骨材の標準粒度範囲に適合する両者の混合比を前回の65：35から80：20に変更することとした。

2.3 コンクリートの配合選定

目標とした配合仕様を下表に示す

| コンクリートの種類       | 配 合  |
|-----------------|--|
| パーライト<br>コンクリート | ス ラ ン プ：12±1cm<br>練り上り単重：0.9~1.0 ton/m <sup>3</sup>  |
| アルミナ<br>コンクリート  | 最 大 寸 法：25mm<br>ス ラ ン プ：12±1cm<br>空 気 量：4±1%   |
| 硬質砂岩<br>コンクリート  | 最 大 寸 法：25mm      設計基準強度：240 kgf/cm <sup>2</sup> 以上<br>ス ラ ン プ：12±1cm    単位容積質量：2.15 ton/m <sup>3</sup> 以上<br>空 気 量：4±1% |

パーライトコンクリートはモルタルに相当するものである。原型炉での配合仕様が未定であるので、通常モルタルの条件を参考にした。またアルミナコンクリートは暫定的に硬質砂岩コンクリートと同じ配合仕様とした。硬質砂岩コンクリートは原型炉の配合仕様である。

各種の予備実験の結果から選定した配合条件と諸物性の試験結果を Table 2.5 に

示す。

なお予備実験の詳細は Appendix 4 にまとめられている。

#### 2.4 試験体の製作, 養生

放出水特性試験用試験体は  $100\text{mm}\phi \times 200\text{mm}$  の円柱である。反応熱測定用は  $100\text{mm}\phi$  の円柱を  $10\text{mm}$  厚にスライスしたものである。モデル試験用試験体は  $203.3\text{mm}\phi \times 305\text{mm}$  であり、6本の熱電対が埋め込まれている。(Fig. 2.2 参照)

モデル試験では Fig. 2.2 で示した形状のものを3種類のコンクリートについて製作したが、その他に、上部  $150\text{mm}$  がパーライトコンクリートで下部  $150\text{mm}$  が硬質砂岩コンクリートの試験体を作った。

これらの試験体は材令28日まで湿潤養生を行い、その後、温度  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $80\%$  の恒温恒湿室で、材令61日まで養生した。

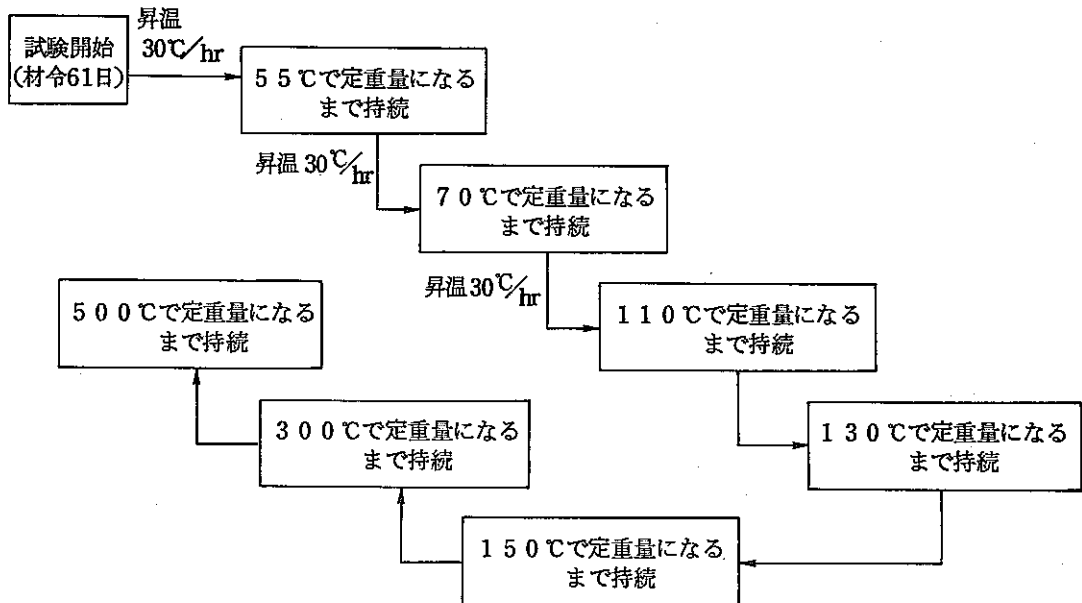
### 3 放出水特性試験

コンクリート片による試験と粉砕コンクリートの熱天秤による試験の2通りの方法で実施した。

#### 3.1 コンクリート片による試験

##### 3.1.1 試験方法

材令28日まで $21 \pm 1$ ℃で湿潤養生を行い、その後、材令61日まで温度 $21 \pm 1$ ℃、湿度80%の恒温室で養生した $\phi 10 \times 20$  cmの試験体を恒温電気加熱炉に入れ、55、70、110、130、150、300℃および500℃の各温度における脱水量とこの時の圧縮強度および静弾性係数を測定した。この試験に於ける加温方式を下図に示す。



試験体本数はパーライトコンクリート、アルミナコンクリートとも放出水特性用を3個、圧縮強度および静弾性係数試験用は加温前の標準養生材令7日、28日、試験開始時および各温度で放出水試験体が定重量となった時点でそれぞれ3本、合計30個である。

##### 3.1.2 加熱による脱水量

###### (1) パーライトコンクリート

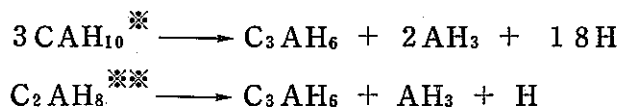
脱水による重量減少のデータを Table 3.1, Fig. 3.1, 3.2 に示す。500℃で30%の重量減少があるが、その大半は130℃までに生ずる。

この130℃までの重量減少は、コンクリート中の自由水の放出、130℃～300℃の間ではゲル水およびエトリンガイドの脱水、500℃付近ではセメントの水和反応によって生成された水酸化カルシウムの一部が脱水したものと考える。

(2) アルミナコンクリート

脱水による重量減少のデータを Table 3.2 , Fig. 3.3 , 3.4 に示す。130℃までに7.2%、500℃では8%の重量減少がある。従って9割の放出水が130℃以下で生じる。

この放出水は自由水と下記の結晶転移反応によるものとする。



[注] (1) \* アルミナセメントが20℃以下の養生温度の水和反応で生成する水和物

\*\* 25℃以上の養生温度で生成する水和物

(2) C = CaO , A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , H = H<sub>2</sub>O

アルミナコンクリートの加熱による減量は130℃でほとんど終了し、それ以上では極めて小さく、500℃までの間で約0.8%であるが、これは普通セメントやフライアッシュセメントと異なり、水和反応によって水酸化カルシウムを生成しないためと考える。

3.1.3 加熱による圧縮強度と静弾性係数の変化

加熱され脱水されると空隙が増加したり、水和化合物が破壊されるので強度が低下する。パーライトコンクリートとアルミナコンクリートの結果を以下に示す。

(1) パーライトコンクリート

結果を Table 3.3 と Fig. 3.5 に示す。同図で明らかなように、加熱温度が70℃で既に加熱開始時の約70%まで低下するが、70℃から150℃までは、ほとんど変化しない。しかし、300℃と500℃では再び急激に低下し、それぞれ試験開始時の46%および34%の強度となる。また、静弾性係数も圧縮強度と同様な傾向を示し、試験開始時の値と比較して、加熱70℃では、約54%、300℃と500℃ではそれぞれ21%および11%まで低下した。

(2) アルミナコンクリート

結果を Table 3.4 と Fig. 3.6 に示す。試験開始時、699 kgf/cm<sup>2</sup> に対し、加熱

温度70℃で327 kgf/cm<sup>2</sup>と47%まで低下し、110℃、130℃、150℃の間では大差なかったが、その後はふたたび大巾に低下し、300℃で20%、500℃では18%となった。

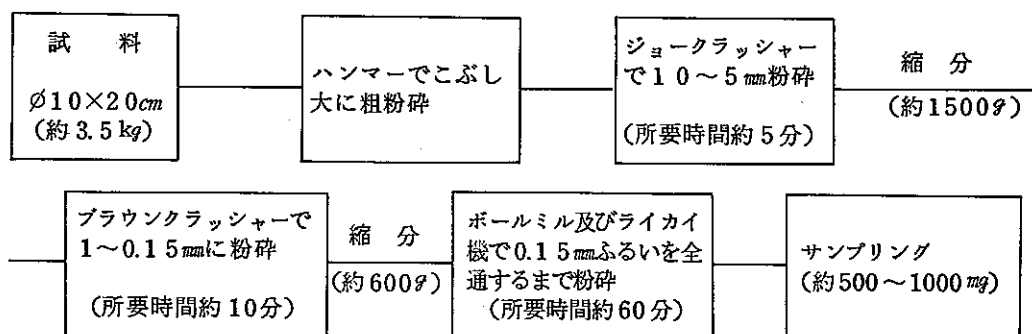
また、静弾性係数も圧縮強度と同様な傾向を示し、試験開始時の3.51×10<sup>5</sup>kgf/cm<sup>2</sup>に対し、加熱70℃で約½となり、110～150℃では44～41%、300℃および500℃では8～6%まで低下した。

### 3.2 熱天秤による試験

#### 3.2.1 試験方法

3種類のコンクリート片を下記の工程にしたがって0.15mmふるいを全通するまで粉砕し、その常温から950℃の範囲に於ける重量変化を熱天秤法によって測定するとともに、参考のためこの間に於ける試料の熱反応特性を示差熱分析装置によって検討した。

#### 粉砕工程



#### 3.2.2 試験結果

熱天秤の結果を Fig. 3.7 - Fig. 3.12 に、示差熱分析の結果を Fig. 3.14 - Fig. 3.19 に示す。また、Fig. 3.13 には2つの測定法による重量減少のデータを比較して示す。

##### (1) パーライトコンクリート

パーライトコンクリートの加熱950℃までの重量減少率は、練り混ぜ時の単位水量が多いため硬質砂岩コンクリートの6.4%より著しく多く、約24%であり、練り混ぜ時の全含水量33.6%の71%に相当する。しかし、この加熱による重量減少率は前項のコンクリート片の500℃加熱による重量減少率より500℃で約11%、950℃加熱時でも約6%少ない。この差は本質的な熱特性によるものではなく試料調製上の物理的原因によるものであって本実験に用いた試料

は、粉碎処理中に比較的大量の水分が飛散したものと考える。

また、Fig. 3.13に示すように低温時において特に2つの測定法の差が大きい。これは熱天秤法の昇温速度が $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ であるため脱水挙動が平衡に達しないため、と考える。

示差熱分析の結果はFig. 3.14, 15に示す通りであり、ポルトランドセメントを用いたコンクリートにみられる一般的な傾向を示しており、約 $100\sim 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $500\sim 560\text{ }^{\circ}\text{C}$ および $800\sim 880\text{ }^{\circ}\text{C}$ の間にそれぞれ吸熱反応が認められている。

これらの反応は既往の研究ではそれぞれ主として自由水およびゲル水の飛散、セメントの水和によって生じた水酸化カルシウムの脱水およびこれと空気中の炭酸ガスの反応によって生じた炭酸カルシウムの分解によるものとされている。

## (2) アルミナコンクリート

アルミナコンクリートの $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加熱による重量減少率は8.9%で練り混ぜ時の全含水量8.5%とほぼ同等であったが、同一骨材を使用し、且つ練り混ぜに要した単位水量がほぼ同等（従って練り混ぜ時の全含水量も同等）な硬質砂岩コンクリートより約2.5%多い値を示した。

示差熱分析結果は、Fig. 3.16, 3.17に示す通りであり、アルミナセメントは組成と水和機構がパーライトコンクリートや普通コンクリートと異なっているため $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $565\text{ }^{\circ}\text{C}$ および $815\text{ }^{\circ}\text{C}$ に於いていずれも比較的軽微な吸熱反応のピークが認められる。これらの各ピークに於ける反応のうち $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下の低温時の反応はコンクリート中の自由水、ゲル水およびアルミン酸カルシウム水和物の一部の脱水、 $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 近辺に於ける反応はアルミナセメントの水和によって生成した水酸化アルミニウムの脱水によるものと考える。

$565\text{ }^{\circ}\text{C}$ および $815\text{ }^{\circ}\text{C}$ 近辺の極めて軽微な反応は不純物として混入したCa塩によって生成した水酸化カルシウムの脱水と炭酸カルシウムの分解によるものと考える。

## (3) 硬質砂岩コンクリート

加熱 $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ までの間に於ける重量減少率は約6.4%であり、この値はコンクリート練り混ぜ時の全含水量8.4%の約76%に相当した。示差熱分析結果はFig. 3.18, 3.19に示す通りで、普通ポルトランドセメントを用いた場合の典型的な挙動を示している。

## 4 反応熱測定試験

この試験は、Na-コンクリート反応によってコンクリートの単位質量あたりに生ずる反応熱を測定するために行なったものである。反応熱はコンクリート片を Na 中に浸漬し、Na の温度上昇から求めた。

### 4.1 コンクリート試験体

試験で使用したコンクリートは、パーライトコンクリートとアルミナコンクリートの2種類で、100 mm  $\phi$   $\times$  10 mm の大きさに切断したものである。

大半の試験には、これらのコンクリートをそのまま使用したが、脱水コンクリートとの反応熱を測定するためには550℃の電気炉で6時間加熱したものを使用した。

### 4.2 装置および試薬

反応熱測定試験装置を Fig.4.1 に、反応槽の詳細を Fig. 4.2 にそれぞれ示した。また、主な使用機器および試薬は、次の通りである。

- (1) 電 流 計      ㈱横川電機製作所製  
型 式      : 2013 (Class 0.5)  
測定範囲    : 10 A , 20 A , 50 A , 100 A
- (2) 電 圧 計      竹田理研製  
型 式      : TR-6320  
デジタル・マルチメーター
- (3) 電気坩堝炉      ㈱いすゞ製作所製  
規 格      : 200 V , 32.5 A  
最高温度    : 1200℃
- (4) マイクロヒーター      助川電気工業㈱製  
型 式      : Nimblox マイクロヒーター  
シース外径    : 3.2 mm  
シース長さ    : 2500 mm  
電気抵抗      : 6.0  $\Omega$
- (5) 熱 電 対      助川電気工業㈱製  
型 式      : T-35-600BK8C-1EXB , K (CA) 接地型  
常用温度      : 800℃

シース外径 : 1.6 mm

シース長さ : 600 mm

(6) スライダック 東京芝浦電気(株)製

型式 : SD-220

規格 : 200 V, 14 A, 2.8 KVA

(7) 攪拌機 新東科学(株)製

型式 : スリーワンモーター 600GS

回転数 : 0~600 rpm

(8) 記録計 日本電子科学(株)製

型式 : ユニコーダ U-631-6P

測定範囲 : 1 mV~500 V

(9) ナトリウム 日本曹達(株)製

規格 : 原子炉級

(10) 水酸化ナトリウム 日本曹達(株)製

規格 : フレーク

純度 : 97%

#### 4.3 試験方法

一定量の Na を充填した反応槽を電気炉で加熱し, Na を 530℃ に保持するように出力をコントロールする。Na 中に温度勾配が生じないようにするため, 攪拌機で Na を攪拌する。Na 中に入れたマイクロヒータに一定電流を通電し, Na 温度の上昇値を測定する。通電時間を変化させて測定を繰返し, 通電による発熱量と Na 温度の上昇値の関係から装置の熱容量を求める。

$$C_p = Q / \Delta T \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

$$Q = I^2 R t / J \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

ここで

$C_p$  : 装置の熱容量 (cal/℃)

$Q$  : 発熱量 (cal)

$\Delta T$  : 温度上昇値 (℃)

$I$  : 通電電流 (A)

$R$  : 抵抗 ( $\Omega$ )

$t$  : 通電時間 (sec)

$J$  : ジュール定数 (= 4.1840 j/cal)



次に、530℃に保持したNa中に試料コンクリートを投下し、Na温度上昇値を測定してNa-コンクリート反応の反応熱を求める。尚、反応系は全てN<sub>2</sub>ガスシール下とした。

#### 4.4 結果と考察

反応熱の測定結果を Table 4.1 および Fig.4.3-4.16 に示す。また、反応前後の外観を Photo 1, 2 に示す。

それによると、パーライトコンクリートは、脱水しない方が、またNaOHを共存させた方が高い反応熱を示した。また、脱水产品とNaOH共存での反応熱は、水和品とNaの反応熱に近い値を示した。

Table 4.2 に示したようにパーライトコンクリートはCa(OH)<sub>2</sub>が目立って多く、次いでSiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の順で構成されている。このうち、Ca(OH)<sub>2</sub>は、Na, NaOHのどちらとも反応しない。<sup>(1)</sup> (ただし、Ca(OH)<sub>2</sub>は580℃以上でCaOとH<sub>2</sub>Oに分解し、生成したH<sub>2</sub>OとNaが反応するが、この場合、530℃であるので分解は起こっていないと考える。) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、NaOHと反応するが、Naとは反応しない。<sup>(1)</sup> また、SiO<sub>2</sub>は、Na, NaOHのいずれとも反応する。<sup>(1)</sup> これらの性質を考慮するならば、Ca(OH)<sub>2</sub>の多いパーライトコンクリートは、反応熱が低くなると推定できる。事実、反応後のパーライトコンクリートは、反応前の形状を維持しており、(Photo 1 参照) アルミナコンクリートや硬質砂岩コンクリートが砂状になる(Photo 2 参照)の対照的な違いを見せている。これは、Ca(OH)<sub>2</sub>が反応に関与せず、その構造を維持したためと考える。

アルミナコンクリートは、Naと反応し、しかも高い反応熱を発生したが、これはコンクリートの骨材にNaとの反応性が高い硬質砂岩を使用したことが原因と考える。またNaOH共存の効果はあまり大きくない。

前報<sup>(1)</sup>で報告した硬質砂岩コンクリートやHEDL<sup>(3)</sup>で報告した玄武岩コンクリートの反応熱は次の通りである。

##### <硬質砂岩コンクリート>

- ・水和コンクリート+Na : 242 cal/g
- ・脱水コンクリート+Na : 193 cal/g
- ・脱水コンクリート+Na+NaOH : 512 cal/g

<玄武岩コンクリート>

•  $133 \pm 133 \text{ cal/g}$  ( $240 \pm 240 \text{ Btu/lb}$ )

これらの値と比較すると、発生する反応熱の大きさは、水和コンクリートでは、

(アルミナコンクリート) > (硬質砂岩コンクリート)  $\approx$  (パーライトコンクリート)  $\geq$  (玄武岩コンクリート)

であり、脱水コンクリートでは、

(硬質砂岩コンクリート)  $\approx$  (パーライトコンクリート)

であった。またNaOH共存下での反応熱の大きさは、水和コンクリートでは、\*

(アルミナコンクリート) > (パーライトコンクリート)

であり、脱水コンクリートでは

(硬質砂岩コンクリート) > (アルミナコンクリート) > (パーライトコンクリート)

であった。

(\*注：NaOH共存下での水和硬質砂岩コンクリートのデータは測定されていないので比較対象からはずした。)

## 5 モデル試験

この試験は、各種コンクリートと Na が実機で想定される接触条件でどのような反応を起すかを調べるために行なったものである。

### 5.1 コンクリート試験体

この試験で使用した試験体は、Fig. 2.2 に示した容器にコンクリートを流し込み、20℃で61日間以上養生したものである。コンクリートの製作から試験までの保管状態は Appendix 5 にまとめた。

試験で使用したコンクリートは、硬質砂岩コンクリート、パーライトコンクリート、二層コンクリート（上層：パーライトコンクリート、下層：硬質砂岩コンクリート）、アルミナコンクリートの4種類である。

なお、試験には、これらのコンクリートの他に、パーライトコンクリートを電気炉で105℃、15時間加熱した乾燥パーライトコンクリートも使用した。

### 5.2 装置および試薬

モデル試験装置を Fig. 5.1 に、反応槽を Fig. 5.2, 5.3 に示す。また、主な使用機器および試薬は次の通りである。

- (1) ガスクロマトグラフ 憫島津製作所製  
型 式 : GC-4PT  
カ ラ ム : SUS 2m  
充 填 材 : シリカゲル
- (2) インテグレーター 憫島津製作所製  
型 式 : クロマトパック C-E1B
- (3) 積算流量計 憫水谷精器製作所製  
型 式 : WT-10B
- (4) マイクロヒーター 助川電気工業憫製  
型 式 : Nimblox マイクロヒーター  
シース外径 : 4.8mm  
シース長さ : 10,000mm  
電気抵抗 : 15.5Ω
- (5) 電力制御装置 ヤマト科学憫製  
型 式 : SPB-26

規 格 : 200V, 30A

コントロール温度 : 0~1,200℃

(6) 熱電対 助川電気工業(株)製

型 式 : K接地型, T-35-600BK8C-1EXB

常用温度 : 800℃

シース外径 : 1.6 mm

シース長さ : 600 mm

(7) デジタル温度計 (株)横川電機製作所製

型 式 : 2575

測定範囲 : -100~1,370℃

(8) 打点式温度記録計 (株)横川電機製作所製

型 式 : ER187型-G15

温度範囲 : 0~1,000℃

(9) 記録計 日本電子科学(株)製

型 式 : ユニコーダー U-631-6P

(10) フローコントローラー 大倉電気(株)製

型 式 : CF-225

(11) X線回折測定装置 理学電機(株)製

型 式 : RAD-ⅢA (グラフィットモノクロメーター装備)

セ ル : 50 mm × 35 mm × 1.5 mm のアルミ板に 20 mm × 18 mm の穴をあけたもの

マイラフィルム : 厚さ 6 μm

アルミ箔 : 厚さ 17 μm

(12) ナトリウム 日本曹達(株)製

規 格 : 原子炉級

### 5.3 試験方法

Na とコンクリートの反応条件を Table 5.1 に示す。

Na 貯槽であらかじめ所定の温度 (430℃, 530℃あるいは630℃) に加熱した Na を窒素圧でコンクリート試験体のある反応槽へ移送する。移送した Na 量は, Na 貯槽中に設定した接触式液面計によって確認する。また反応槽の Na は周囲に巻き付けたマイクロヒータで所定温度に保持される。

(1) 水素発生速度および発生量

窒素を反応槽に一定流量流し，Na とコンクリートの反応で生成する水素を排出する。

反応中の排ガス量は積算流量計で，排ガス中の水素濃度はガスクロマトグラフでそれぞれ測定する。

水素発生速度は，次式から求める。

$$R_H = \frac{R_N \cdot H}{V - H} \dots\dots\dots (5-1)$$

ここで  $\left\{ \begin{array}{l} R_H : \text{水素発生速度 (Nl/min)} \\ R_N : \text{窒素流入速度 (Nl/min)} \\ V : \text{ガスクロに採取した排ガス量 (Nl)} \\ H : \text{採取ガス中の水素量 (Nl)} \end{array} \right.$

また，水素発生量は次式から求める。

$$V_H = \frac{1}{2} \Sigma (R_t + R_{t+\Delta t}) \cdot \Delta t \dots\dots\dots (5-2)$$

ここで  $\left\{ \begin{array}{l} V_H : \text{水素発生量 (Nl)} \\ R_t : \text{時間 } t \text{ における水素発生速度 (Nl/min)} \\ R_{t+\Delta t} : \text{時間 } (t+\Delta t) \text{ における水素発生速度 (Nl/min)} \end{array} \right.$

(2) コンクリート，Na および排ガスの温度

コンクリート，Na および排ガスの温度は，Fig. 5.4 に示したそれぞれの熱電対で測定し打点式温度記録計に記録した。なお温度変化のはげしい位置での温度記録は連続式記録計を併用し，打点式記録計のデータを補充した。

(3) コンクリートの侵食速度

いくつかの試験で，コンクリート中の熱電対が温度の急上昇を示し，Na プール温度を越えている場合が認められる。また，この急上昇は時間遅れを伴ってコンクリートの深部に伝播していることが分る。そこで，この急上昇はNa とコンクリートの反応界面が到達しているものとみなし，侵食速度を推定した。

(4) 反応後のコンクリートの観察

Na とコンクリートを8時間反応させた後，反応槽の加熱を止め一夜放冷する。その後反応槽を解体してコンクリートの反応状況を観察する。

コンクリートの未反応部分は，コンクリート強度試験の試料とする。

尚，選別回収可能なNa およびNaOHは回収し重量測定によりその回収量を求

めた。

#### (5) 反応生成物の分析

反応後、適当な場所から反応生成物をサンプリングし、それをX線回折測定して含有する化合物を周定する。

採取した反応生成物は、全て吸湿性があるためアルゴンガス雰囲気グローブボックス中で試料調製した。まず、試料を磁製乳鉢で微粉末に粉碎し、マイラフィルムやアルミ箔を張った標準アルミセルに充填し、反対面には、アルミ箔を張ってシールした。これを装置に取り付け、X線回折測定を行なった。

X線回折測定条件は、下記の通りである。

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| スキャンモード  | : | ステップスキャン |
| ステップ巾    | : | 0.0 2°   |
| ステップ測定時間 | : | 0.1 sec  |
| ターゲット    | : | Cu       |
| 管電圧      | : | 40 kV    |
| 管電流      | : | 40 mA    |

### 5.4 結 果

#### 5.4.1 水素発生速度および発生量

水素発生速度および発生量の測定結果を Fig. 5.5 ~ 5.12 に示す。

アルミナコンクリート (Exp. 6M~7M) は硬質砂岩コンクリート<sup>(1)</sup>と似た水素発生状況を示し、パーライトコンクリートと異なる。アルミナコンクリートと硬質砂岩コンクリートは、Na と接触後約1時間で反応が始まり、それと共に水素発生速度が増大し、ピークを示す。その後、水素発生速度は急激に小さくなり、以後徐々に水素発生量が減少して行く傾向が見られた。

パーライトコンクリート (Exp. 2M~4M, 8M) は、Na と接触後約1時間で反応を開始する。水素発生速度は、ある程度の大きさでかなり長時間持続する傾向が見られる。

硬質砂岩コンクリート垂直面の反応 (Exp. 1M) では、水平面<sup>(1)</sup>の場合と比べて、水素発生速度の最大値は、約 $\frac{1}{3}$ と低いが、ゆるやかな減少を示し、総発生量はだいたい同程度であった。

#### 5.4.2 コンクリート, Na および排ガスの温度

コンクリート, Na および排ガスの温度測定の結果を Fig. 5.1 3～5.2 0 に示す。また, 各測定位置で記録した最高温度を Table 5.2 に, 反応終了後の熱電対の位置を Table 5.3 に示す。

Fig. 5.1 3に示すように, 硬質砂岩コンクリートの垂直面との反応 (Exp. 1M) でも, 水平面との場合<sup>(1)</sup>と同様に, Naが530℃の時に激しい反応に移行している。最高温度はCRT-20の位置で観測され, コンクリート中の深部の最高温度ほど CRT-20の最高温度より低くなった。

パーライトコンクリートについては, Na 温度の影響を調べるため, 430℃\*, 530℃, 630℃目標でNa 温度をコントロールした。(※実際は420～480℃であった)

430℃の場合と530℃の場合とでは, コンクリート中の最高温度に著しい差があった。(Fig. 5.1 4とFig. 5.1 5を比較)また, 前項で示したように水素ガス発生量においても530℃の場合は430℃の場合の3倍であった。従って, パーライトコンクリートにおいても激しい反応のしきい値は530℃であると考え。一方, Na が530℃と630℃との場合には, 顕著な差が認められない。

乾燥パーライトコンクリート (Exp. 8M) は乾燥されていないもの (Exp. 3M, 4M) と同様に530℃で激しい反応を示した。(Fig. 5.2 0参照)但し, CRT-20, CRT-40 と順に測定された高温が, CRT-70ではそれらと異なる形状となり, CRT-150で再びスパイク状の高温が測定されている点は, Exp. 3M, 4Mと異なる。

アルミナコンクリートは硬質砂岩コンクリート<sup>(1)</sup>と同じ挙動である。

#### 5.4.3 コンクリートの侵食速度

前報<sup>(1)</sup>では硬質砂岩コンクリートに関して次式を得ている。

$$D = 9 (1 - e^{-0.03t}) \quad \dots\dots\dots (5-3)$$

ここで  $\left\{ \begin{array}{l} D : \text{侵食深さ (cm)} \\ t : \text{反応開始からの時間 (min)} \end{array} \right.$

また, HEDLでは, 磁鉄鉱コンクリートと石灰岩コンクリートに関して試験し, 次式を得ている。<sup>(4)(5)</sup>

$$\text{磁鉄鉱} : D = 17.5 (1 - e^{-0.2t}) \quad \dots\dots\dots (5-4)$$

$$\text{石灰岩} : D = 1.04 (1 - e^{-0.4t}) \dots\dots\dots (5-5)$$

ここで  $\left\{ \begin{array}{l} D : \text{侵食深さ (mm)} \\ t : \text{Na と接触してからの時間 (hr)} \end{array} \right.$

その他, SNLでも玄武岩コンクリートに関して測定を行なっている。<sup>(7)</sup>

本試験では, コンクリート中の熱電対が急上昇し, ピークを示した時点で反応界面が通過したものとして侵食速度を推定し, その測定結果を Table 5.4 に示した。

侵食時間の基準を CRT-20 の熱電対が侵食した時としたのは, コンクリート表面で反応を開始した時間を求めることができなかつたからであり, 反応開始時間は計算から推定した。

(1) パーライトコンクリートについては 3 M, 4 M, 5 M の結果から,

$$D = 2.3 (1 - e^{-0.004t}) \dots\dots\dots (5-6)$$

を得た。(Fig. 5.2 1 参照)

ただし, 乾燥パーライトコンクリート (8 M) については, 侵食限界が求められなかつたので式が表わせなかつた。しかし, 反応初期の侵食速度は水和パーライトと同じ程度である。(Table 5.4 参照)

(2) 垂直面の硬質砂岩コンクリートについては 1 M の結果から,

$$D = 8.5 (1 - e^{-0.012t}) \dots\dots\dots (5-7)$$

を得た。水平面の場合の (5-3) 式も合わせて, Fig. 5.2 2 に示したが, 垂直面の場合の方が侵食速度は小さい。

(3) アルミナコンクリートについては, 硬質砂岩コンクリートの水平面の式が適用できる。

#### 5.4.4 試験後のコンクリート観察結果

Na と反応後に冷却され, 解体されたコンクリートの観察結果を以下にまとめた。また反応生成物の色, 外観, 硬さ, 吸湿性, 水との反応性に関する特徴を Table 5.5 に示した。なお, 観察図中の数値は mm 単位であり, Sample No は, 次項で述べられる分析結果 (Table 5.6) の Sample No と対応している。



<Exp. 1 M> 硬質砂岩コンクリート（垂直面）+ Na（530℃，5.0 kg）

Na と接触していた下部の侵食がはげしく、黒色生成物を生じているが、上部は侵食が弱く、茶～灰白色を呈していた。茶色の部分は水とは反応しなかったが、黒色部は水と反応して発火した。未反応の Na は、確認されず黒紫色部に吸蔵された様であった。反応生成物は全てアルカリ性を示し、アセチレン臭がした。

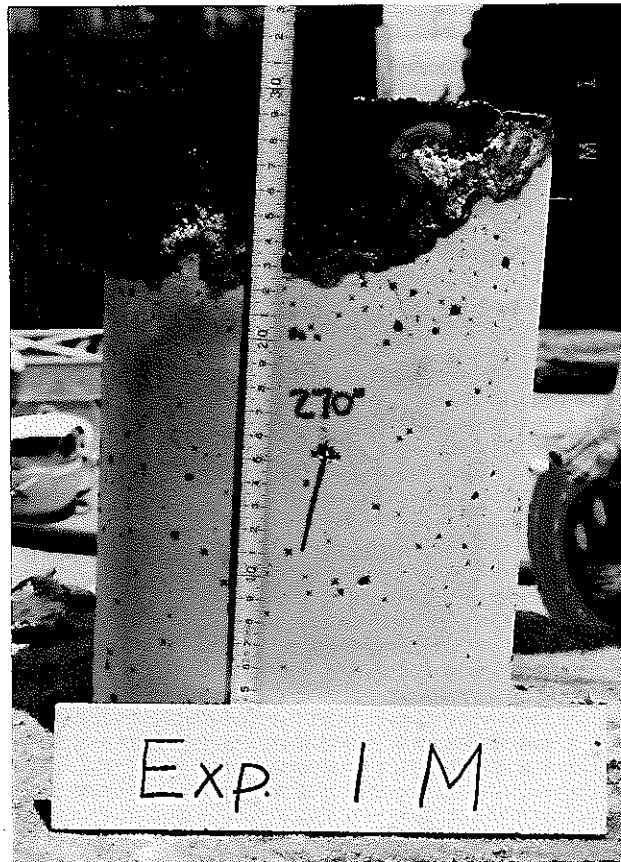
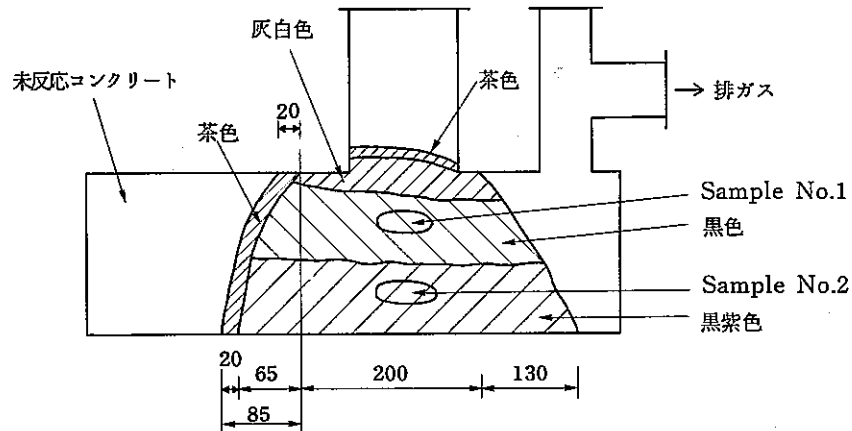


Photo. 3 Reacted Graywacke Concrete (Vertical Surface)

<Exp. 2 M> パーライトコンクリート+Na (430℃, 8.1 kg)

生成した反応生成物は、ほとんどNaOHであった。青緑色に着色しているのは、反応容器の侵食による $Fe^{2+}$ が含まれているためと考える。この青緑色の部分は吸湿により茶色( $Fe^{3+}$ )に変化した。また、このNaOHと判定した部分を水中に入れるとはげしく気体を発生し、よく溶けることから、少量のNaが含まれていると考える。反応の特徴として、侵食された部分のコンクリートは、体積減少を示していた。パーライトコンクリートは、断熱材としての性質を持っているため、容器壁からの熱伝導が相対的に大きく、そのため容器壁での侵食が中心部より深くまで達していた。これは未反応コンクリートの脱水状況からも推察される。

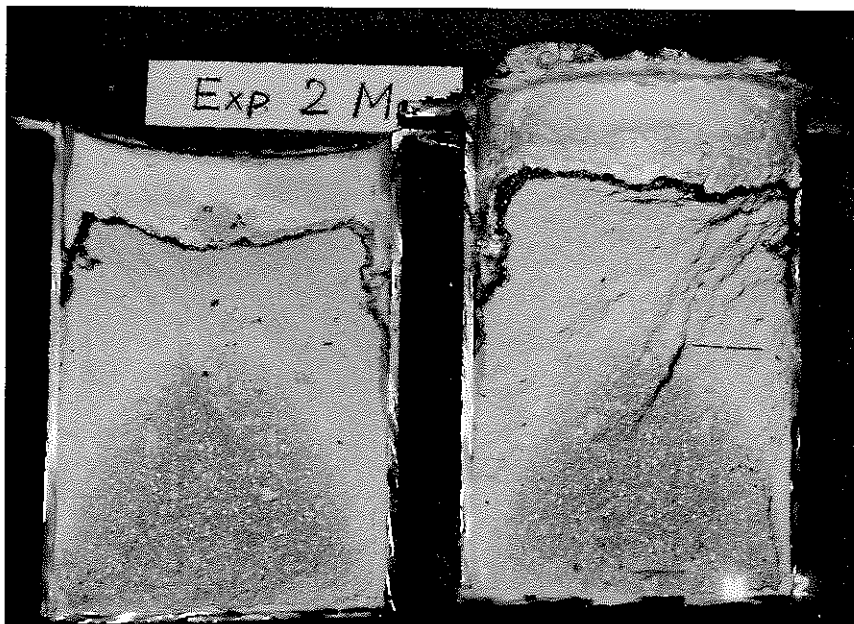
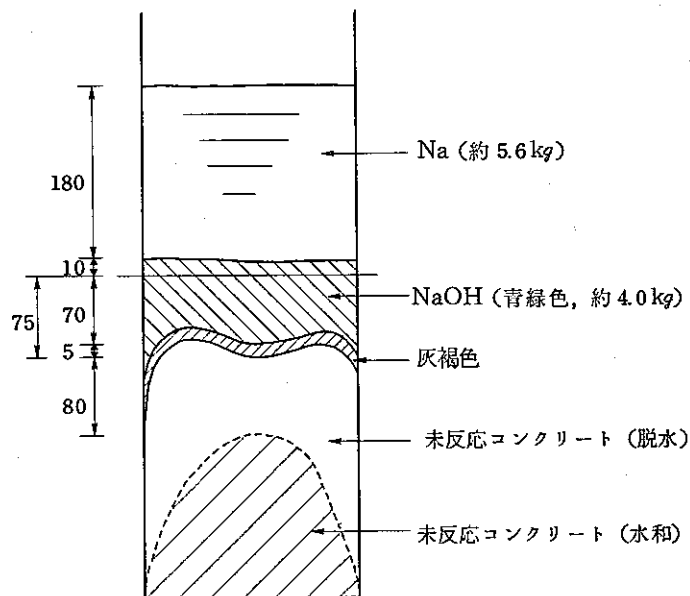


Photo. 4 Reacted Perlite Concrete at 430℃

< Exp. 3 M > パーライトコンクリート + Na ( 530℃ , 8.1 kg )

反応生成物の大部分は、NaOHであり、その下に灰黒色生成物が凝集していた。コンクリート中の熱電対位置は、ほとんど設定位置からずれていないので、反応は比較的穏やかに進行したものと考える。

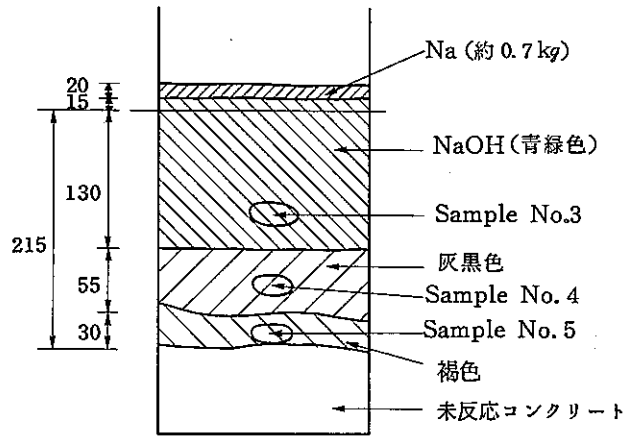


Photo. 5 Reacted Perlite Concrete at 530℃

<Exp. 4 M> パーライトコンクリート+Na (630℃, 8.1 kg)

反応後の状況は、Exp. 3 Mと同様であったが、NaOH層が上下二層に分れ、中が空洞となっている点が特徴的であった。

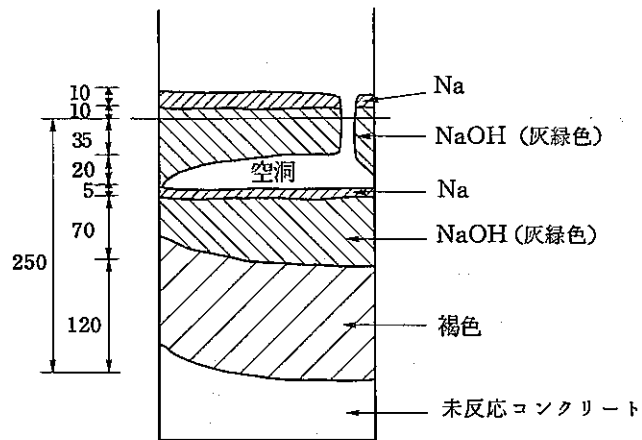


Photo. 6 Reacted Perlite Concrete at 630℃

< Exp. 5 M > 二層コンクリート (パーライト+硬質砂岩)+Na(530℃, 8.1kg)

反応は、主としてパーライトコンクリートで起こっていた。反応生成物は、上にNaOH層があり、その下に灰黒色層が生成しており、Exp. 3 Mの状況と似ていた。硬質砂岩コンクリートは、ほとんど反応しておらず、主としてコンクリート中に浸透したNa粒が散在しているのが見られた。

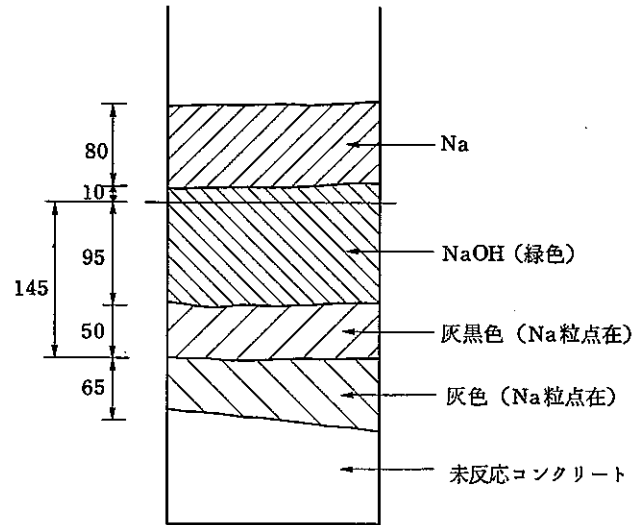
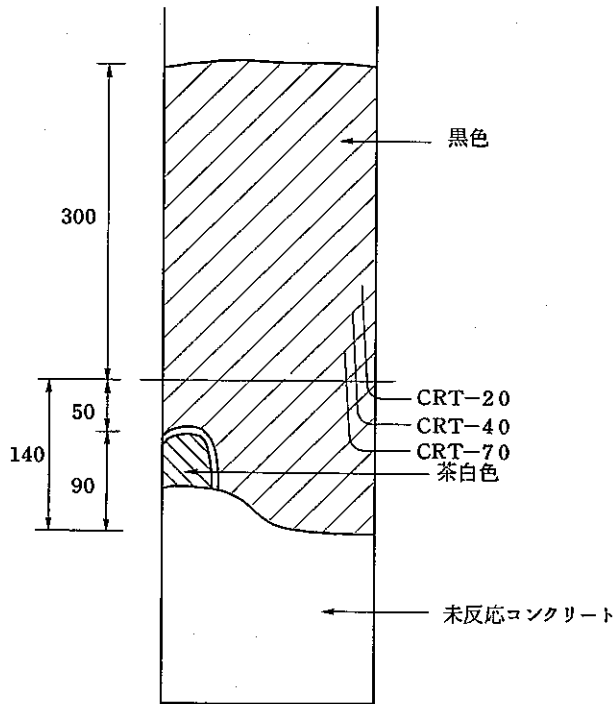


Photo. 7 Reacted Two Layer's Concrete  
(Perlite and Graywacke)

< Exp. 6 M > アルミナコンクリート + Na (530℃, 8.1 kg)

反応生成物は、ほとんど黒色生成物であり、反応界面付近に茶白色生成物が見られた。黒色生成物は、硬質砂岩コンクリートの生成物と同様、水と反応して発火したが、茶白色生成物は反応しなかった。硬質砂岩コンクリート<sup>(1)</sup>と比べると、ほぼ同じ深さまで反応していた。反応の激しさを物語るかのように、熱電対が上へ押し上げられていた。これはパーライトコンクリートの反応 (Exp. 2M~5M) と比べると対照的であった。アセチレン臭あり。



したが、茶白色生成物は反応しなかった。硬質砂岩コンクリート<sup>(1)</sup>と比べると、ほぼ同じ深さまで反応していた。反応の激しさを物語るかのように、熱電対が上へ押し上げられていた。これはパーライトコンクリートの反応 (Exp. 2M~5M) と比べると対照的であった。アセチレン臭あり。



Photo. 8 Reacted Alumina Concrete at 530℃

<Exp. 7M> アルミナコンクリート+Na (630℃, 8.1kg)

反応生成物は、ほとんど黒色生成物であり、反応界面付近に塊状のNaOH層および茶白色層が存在していた。黒色層下部の灰色層は、コンクリートが吸湿しただけで、特に反応した様子はなかった。侵食の程度はExp. 6Mと同程度と考えられる。黒色生成物は、水と反応して発火した。アセチレン臭あり。

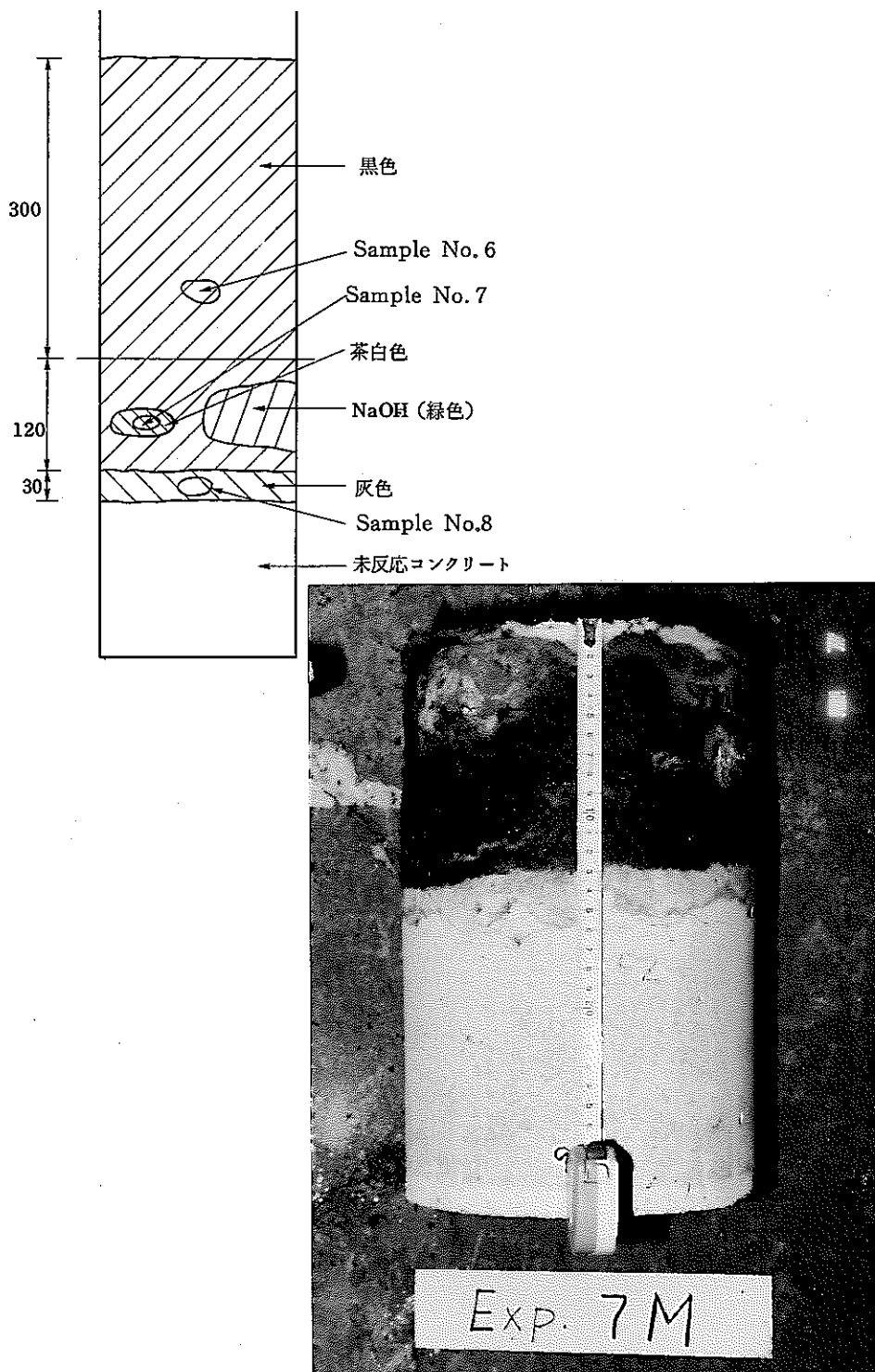


Photo. 9 Reacted Alumina Concrete at 630℃

< Exp. 8 M > 乾燥パーライトコンクリート + Na (530℃, 8.1 kg)

反応は、コンクリート最下部まで達しており、上部にはNaOH, 下部には砂状の生成物が固っていた。砂状生成物は、茶白色生成物と黒色生成物から成っており、黒色生成物は水と反応して発火した。

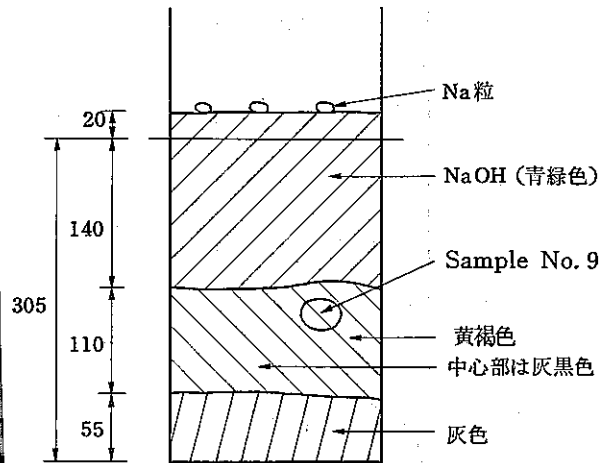
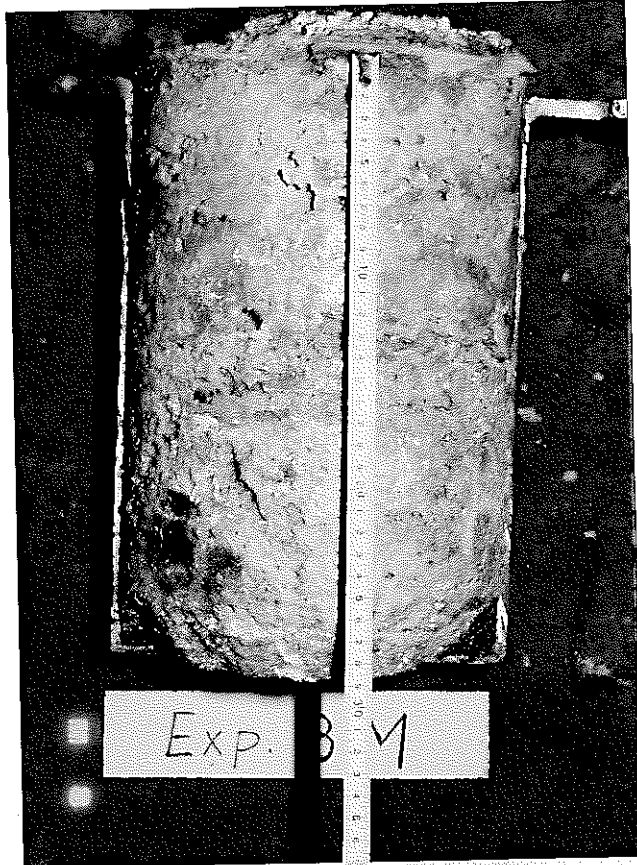


Photo.10 Reacted Dry Perlite Concrete



Photo.11 Cross Section of Reacted Perlite Concrete



#### 5.4.5 反応生成物の分析

前項で述べたサンプル位置の反応生成物のX線回折測定結果を、Table 5.6にまとめた。

- (1) 硬質砂岩コンクリートに関する (Exp. 1 M) No. 1 と No. 2 の試料は、同じ黒色生成物の上と下から採取したものであるが、両者の組成に若干の違いが見られた。No. 1 は、未反応物の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  が多く、反応生成物の  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  が少ないのに対して、No. 2 では、反応生成物の  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  や  $\text{NaOH}$  が多く見られ、未反応物は少なかった。また、いずれの試料にも未反応の  $\alpha\text{-SiO}_2$  は、ほとんど見られなかった。
- (2) No. 3 ~ No. 5 の試料は、パーライトコンクリートの反応生成物 (Exp. 3 M) である。No. 3 と No. 4 は、 $\text{NaOH}$  が主成分で、その中にその他の反応生成物が含まれていたが、No. 5 は、同定不能物が主成分で、その他に  $\beta\text{-NaAlO}_2$  等が含まれていた。
- (3) No. 6 ~ No. 8 の試料は、アルミナコンクリートの反応生成物 (Exp. 7 M) である。No. 8 は、ほとんど未反応コンクリートであったが、No. 6 と No. 7 では、若干の違いはあるが、いずれも  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  や  $\beta\text{-NaAlO}_2$  等が見られた。
- (4) No. 9 の試料は、脱水パーライトコンクリートの反応生成物 (Exp. 8 M) であるが、先の水和パーライトコンクリート (No. 3, No. 4) とほとんど同じ反応生成物が見られた。

#### 5.4.6 試験終了後の圧縮強度と静弾性係数

Na-コンクリート反応試験の終了した残存コンクリートの外観と試験結果はTable 5.7に示すとおりで、原形を留めていた試験体は1個もなく、Naとの接触側はいずれも欠損し、試験体1M, 6Mおよび7Mは原容積の約 $\frac{2}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ 、2M~5Mはいずれも原容積の $\frac{1}{2}$ 以下でパーライトコンクリート(2M~4M)の欠損が特に著しかった。

コア採取の詳細はTable 5.8に示すとおりで、Na-コンクリート反応試験終了後の試験体欠損が著しいため、当初計画していたようなコアの採取はほとんど不可能であったので、試験体の形状に応じてコアの直径を変え、採取可能な限り長いコアを採取した。

Na-コンクリート反応試験終了後のコア強度と静弾性係数試験結果はTable 5.9に示すとおりで、脱水試験開始時の値に対して、パーライトコンクリートの場合は、圧縮強度が65~39% (430~630℃)、静弾性係数が50% (430℃)、また、同様にアルミナコンクリートの場合は圧縮強度31~27% (530~630℃)、静

弾性係数が20% (530℃)まで低下した。

これらに対し530℃で反応させた試験体1Mの硬質砂岩コンクリートは、材令28日標準養生に比べ、圧縮強度が87%、静弾性係数が50%であり、前者と比較して高い値を示している。

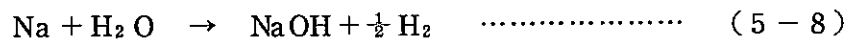
また、5Mは硬質砂岩コンクリートの標準供試体とほぼ同等な強度を示しているが、上部のパーライトコンクリートによって保護されたためと考える。

## 5.5 考 察

本試験の主パラメータは、(A)コンクリートの種類、(B)ナトリウムとの接触面の向きである。コンクリートにはパーライトコンクリート、アルミナコンクリートを使用した。

### 5.5.1 パーライトコンクリート

(1) 530℃以下では、硬質砂岩コンクリートと同様に穏かな反応である。反応生成物から推定して



の反応が生じている。(Exp. 2Mの結果)

ただし、以下の2点は硬質砂岩の場合と異なる。(i)コンクリート中の温度はNa温度より高い540℃に達した。(ii)反応生成物であるNaOHが硬質砂岩ではコンクリートの上に沈殿していたが、パーライトではコンクリート中に侵食していた。

(2) 530℃以上では、硬質砂岩の場合と同様に激しい反応が生じた。その結果、8.1kgのNaが全量消費され、コンクリートは215～250mm侵食された。熱電対から推定できる侵食の時間変化は、

$$D = 2.3 (1 - e^{-0.004t}) \quad \dots\dots\dots (5-6)$$

で表わせる。

(3) 式で表わされているように、硬質砂岩に較べて、反応は長く、ゆるやかに続く。

(Fig. 5.2 1と5.2 2を参照)これは水素発生率のパターンにも現われている。

(4) 反応終了後、反応生成物の容積は、初期のコンクリートだけの容積に減少していた。これは硬質砂岩の場合と異なる特徴である。

(5) もんじゅで使用が計画されている乾燥パーライトの場合(Exp. 8M)、コンクリートの侵食量はさらに大きく、30cmのコンクリートの全長に達した。ただし、初期の侵食速度は同じであった。

### 5.5.2 アルミナコンクリート

- (1) セメントにアルミナセメントを，骨材には硬質砂岩を使用したコンクリートである。SiO<sub>2</sub> が約60%，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が約20%の成分である。（cf 硬質砂岩；SiO<sub>2</sub> ≒75%，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≒7%）
- (2) 侵食データ，水素ガス発生率，反応生成物の種類等すべての面で，硬質砂岩コンクリートと顕著な差は認められなかった。

### 5.5.3 垂直面の硬質砂岩コンクリート

- (1) 垂直面でも，コンクリート温度の急上昇を伴う激しい反応が認められた。この時の侵食の時間変化は

$$D = 8.5 (1 - e^{-0.012t}) \quad \dots\dots\dots (5-7)$$

で表わせる。これは水平面の場合よりゆっくりした侵食である。

- (2) 初期のNa液位よりも上のコンクリートも侵食された。
- (3) 反応生成物の堆積状況は，水平面の場合と異なり，コンクリート面と平行で垂直な層（茶白色）と，重力により分離した水平な層（黒色）が認められた。

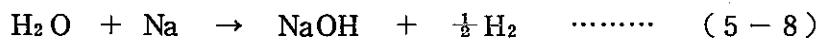
### 5.5.4 コンクリートとナトリウムの反応

- (1) パーライトコンクリート

パーライトコンクリートの組成は，Table 4.2 および Table 5.6 を見るとCa(OH)<sub>2</sub>とSiO<sub>2</sub>が主成分で，その他Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等が少量含まれている。また，含水量が非常に高いことも特徴である。

- ① 430℃のNaと反応した場合（Exp. 2M），Fig. 5.14を見ると，コンクリート温度は，CRT-40で記録した541℃が最高であった。この温度は，SiO<sub>2</sub>がNaと反応開始する530℃より若干高い値であるが，この温度は，瞬間最高値であり，それ以後は温度が低下しているのでSiO<sub>2</sub>はNaと反応していないのではないかと考える。また，Ca(OH)<sub>2</sub>の分解温度である580℃より低い値であることからCa(OH)<sub>2</sub>も分解していないと考える。なお，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は，NaOHと反応したか確認できなかったため，ここでは反応しなかったものとした。

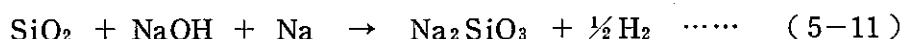
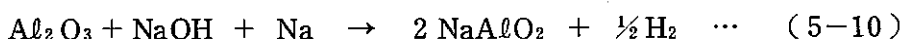
以上のことから，430℃のNaと反応したパーライトコンクリートの構成成分は，H<sub>2</sub>O であると考えられる。



② 530℃および630℃のNaと反応した場合 (Exp. 3M~4M)

Fig. 5.15~Fig. 5.16を見ると、コンクリート温度は最高900℃前後まで上昇している。この条件下では、SiO<sub>2</sub>がNaと反応していることは明らかであり、Ca(OH)<sub>2</sub>は分解してH<sub>2</sub>Oを放出しており、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>はNaOHと反応していることがTable 5.6からわかる。

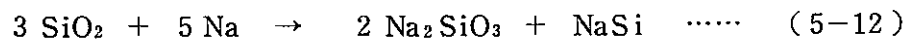
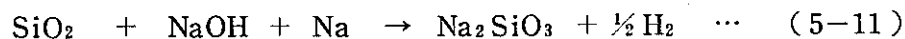
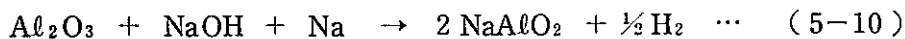
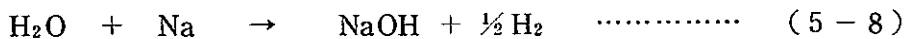
以上のことから、530℃および630℃のNaと反応したパーライトコンクリートの構成成分は、Ca(OH)<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびH<sub>2</sub>Oであると考ええる。



(2) アルミナコンクリート

アルミナコンクリートの組成は、Table 4.2およびTable 5.6をみるとSiO<sub>2</sub>とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>がほとんどであり、その他CaOやH<sub>2</sub>Oが少量含まれている。なお、アルミナセメントは、その性質上、Ca(OH)<sub>2</sub>は生成しておらず、CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>・10H<sub>2</sub>Oとなっているが、本報では、CaOとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に分けて取扱った。

530℃と630℃のNaと反応した場合 (Exp. 6M~7M)、硬質砂岩コンクリート<sup>(1)</sup>と同様に、Na温度が530℃に達した後に激しい反応が起っている。これは、骨材に硬質砂岩を使用したためであり、Naと反応したのは、硬質砂岩コンクリートと同様に<sup>(1)</sup>に、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>Oであると考ええる。



5.5.5 単位コンクリートと反応するNa量

パーライトコンクリートおよびアルミナコンクリートが、5.5.4項に示した反応を起す時、反応で消費するNa量を計算で求めた結果がTable 5.7~Table 5.9である。

(1) パーライトコンクリート

① 430℃のNa ..... 272g/kgコンクリート

- ② 530℃および630℃のNa …… 518g/kgコンクリート
- (2) アルミナコンクリート
- 530℃および630℃のNa …… 461g/kgコンクリート

## 6 ま と め

1. 本試験で使用したコンクリートは、(i)パーライトコンクリート、(ii)アルミナコンクリート、(iii)硬質砂岩コンクリートの3種類である。パーライトコンクリートは細骨材にパーライトCを使い、ほかにフライアッシュB種セメント、起泡剤、AE減水剤を加えたものである。アルミナコンクリートは、骨材に硬質砂岩を、セメントにアルミナセメント2号を使用し、AE減水剤が添加されている。硬質砂岩コンクリートは、硬質砂岩の骨材、フライアッシュB種セメント、AE減水剤からなる。

本試験ではこれらのコンクリート種類と、ナトリウムとのコンクリートの接触面の向きの影響を調べた。

2. コンクリートはJISに基づく試験を行い、61日以上養生した。
3. 基礎試験として、加熱コンクリートからの放出水特性を、(i)コンクリート片の電気炉による方法と、(ii)熱天秤による方法とで行い、両方のデータを比較した。また、加熱による圧縮強度と静弾性係数の変化のデータを得た。
4. 基礎試験として、コンクリート片をナトリウム中に浸漬し、単位コンクリートあたりの発熱量を求めた。
5. モデル試験として、実機で想定される接触条件で反応させ、コンクリート中温度と発生水素量の測定、試験後の外観検査、反応生成物の分析を実施し、以下のことが明らかにされた。
  - (1) パーライトコンクリートも硬質砂岩コンクリートと同様に、530℃以上では激しく反応し、硬質砂岩よりも深く浸食される。この時の浸食の時間変化は、

$$D = 2.3 (1 - e^{-0.004t})$$

D = 浸食深さ (cm)

t = 反応開始からの時間 (min)

で表わせる。

- (2) アルミナコンクリートは、ナトリウムとの反応について硬質砂岩コンクリートと顕著な差が認められなかった。
- (3) 垂直面での接触でも、反応は本質的に差がなく、少しゆるやかになる程度であり、この時、浸食は、

$$D = 8.5 (1 - e^{-0.012t})$$

で表わせる。

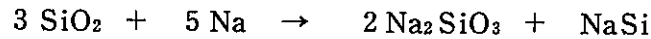
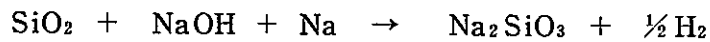
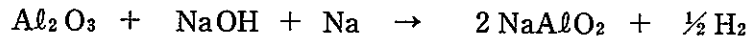
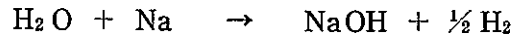
6. コンクリートと Na の反応は、以下の通りであることがわかった。

(1) パーライトコンクリートと Na の反応

430℃では

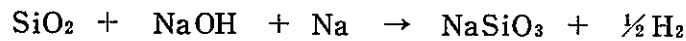
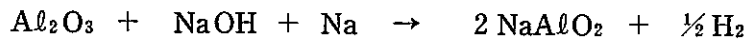


530℃および630℃では



(2) アルミナコンクリートと Na の反応

530℃および630℃では



7. 単位コンクリートと反応する Na 量を計算したところ次の結果を得た。

(1) パーライトコンクリートと430℃のNa …………… 272g/kgコンクリート

(2) パーライトコンクリートと530℃および630℃のNa … 518g/kgコンクリート

(3) アルミナコンクリートと530℃および630℃のNa …… 461g/kgコンクリート

## 7 謝 辞

本研究を行うに当りいろいろ御指導と助言を賜りました動力炉・核燃料開発事業団高速増殖炉開発本部宮原信哉氏，大洗工学センター佐藤稔室長に深く感謝の意を表します。

コンクリートの製作，諸試験を実施して戴き，適切な助言を賜りました日曹マスタービルダーズ(株)中央研究所御所窪邦男次長を始め中央研究所の皆様に，また，試料のX線回折測定に御指導と助言を賜りました日曹化成(株)商品開発研究所井戸原満所長，竹村英二課長補佐を始め商品開発研究所の皆様に深く感謝の意を表します。

外部との交渉を始め資料収集に御尽力戴きました日本曹達(株)化学品本部太野垣孟主席部員，長谷芳文課長補佐に，適切な御配慮と激励を賜りました二本木工場酒井外茂雄工場長，生産技術研究所笹井和儀所長に，試料の分析を実施して戴き，適切な助言を賜りました検査課中沢弘課長，田中政義課長補佐，長尾五作氏，池田道夫氏，市村才治氏に，試験の実施に協力して戴きました金曹係八橋文一氏，東條修一氏，岡田源次氏，片昭治氏，内田幸一氏，チタン二係高橋秀蔵氏，山崎照正氏を始め二本木工場の皆様に深く感謝の意を表します。



## 8 参考文献

- (1) 取本敏行, 他「Na-コンクリート反応基礎試験」, PNC SJ 270 82-02, 1982.
- (2) 日曹マスタービルダーズ(株), 「Na-コンクリート反応試験用試験体の製作等に関する試験結果報告」, PNC-OEC, 57 A 5110.
- (3) 森井正, 他「ナトリウムとコンクリート反応実験法の調査・検討」, PNC SJ 206 80-09, 1980.
- (4) J.A. Hassberger, et al., "Intermediate - Scale Sodium - Concrete Reaction Tests with Basalt and Limestone Concrete", HEDL - TME 79 - 55, Jan. 1981.
- (5) Alan E. Walter, Albert B. Reynolds, "Fast Breeder Reactors", P.682, Pergamon Press New York.
- (6) R.P. Colburn, et al., "Sodium Concrete Reactions", Proc. International Meeting on Fast Safty Technology, Seattle, Aug. 19 - 23, 1979. P.2093~2134.
- (7) R.U. Acton, et al., "Molten Sodium Interactions with Basalt Concrete and Siliceous Firebrick", NUREG/CR - 0934, SAND 79 - 0938. R7, Aug. 1979.
- (8) O.T. Foust, "Sodium - NaK Engineering Handbook" Vol.1 "Sodium Chemistry and Physical Properties", P.232. GORDON AND BREACH, SCIENCE PUBLISHERS, INC., N.Y.
- (9) 加藤敬五, 他「蛇紋岩コンクリートと高温ナトリウムとの反応確認試験」, PNC SJ 270 78-01, 1978.

Table 2.1 Physical and Mechanical Properties of Cement

| 銘柄・種類            | 比重   | 粉末度   | 凝結時間 (h : m) |      |      | 安定性 | フロー値 | 曲げ強さ (kgf/cm <sup>2</sup> ) |    |    |     | 圧縮強さ (kgf/cm <sup>2</sup> ) |     |     |     |
|------------------|------|-------|--------------|------|------|-----|------|-----------------------------|----|----|-----|-----------------------------|-----|-----|-----|
|                  |      |       | W/C (%)      | 始発   | 終結   |     |      | 1日                          | 3日 | 7日 | 28日 | 1日                          | 3日  | 7日  | 28日 |
| 小野田<br>フライアッシュB種 | 2.96 | 3.110 | 27.1         | 2:50 | 3:55 | 良   | 253  | -                           | 30 | 45 | 65  | -                           | 118 | 220 | 380 |
| アサノ<br>アルミナ 2号   | 3.02 | 4.530 | 32.0         | 4:18 | 4:43 | 良   | 284  | 89                          | -  | -  | 119 | 614                         | -   | -   | 874 |

Table 2.2 Size Distribution of Perlite

| 銘柄・種類     | 単位容積質量<br>(kg/l) | 粒度分布 (残留容積%) |     |     |     |     |      | 粗粒率  |
|-----------|------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|           |                  | 5(mm)        | 2.5 | 1.2 | 0.6 | 0.3 | 0.15 |      |
| 三井パーライト・C | 0.200            | 0            | 12  | 45  | 64  | 75  | 83   | 2.79 |

備考 1) 単位容積質量は軽詰

Table 2.3 Physical Properties of Fine Aggregate

| 産地・種類                | 比重             | 吸水率<br>(%) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 粒度分布 (残留%) |     |     |     |     |      | 粗粒率  |
|----------------------|----------------|------------|----------------------|------------|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|                      |                |            |                      |            | 5 (mm)     | 2.5 | 1.2 | 0.6 | 0.3 | 0.15 |      |
| 硬質砂岩砕砂<br>(葉原産) 1)   | 2.60<br>(2.54) | 2.35       | 1.66                 | 65.4       | 2          | 20  | 50  | 72  | 86  | 95   | 3.25 |
| 陸砂<br>(三國産) 2)       | 2.62<br>(2.56) | 2.38       | 1.59                 | 62.1       | —          | —   | 0   | 32  | 93  | 99   | 2.24 |
| 混合砂 1):2)<br>70%:30% | 2.61<br>(2.55) | 2.36       | 1.61                 | 63.1       | 1          | 14  | 35  | 60  | 88  | 96   | 2.94 |

備考 1) 比重の ( ) 内は絶乾比重

Table 2.4 Physical Properties of Coarse Aggregate

| 産地・種類                 | 骨材の<br>大きさ<br>(mm) | 比重             | 吸水率<br>(%) | 単位容積<br>質量<br>(kg/l) | 実積率<br>(%) | 粒度分布 (残留%) |    |    |    |    | 粗粒率  |
|-----------------------|--------------------|----------------|------------|----------------------|------------|------------|----|----|----|----|------|
|                       |                    |                |            |                      |            | 25 (mm)    | 20 | 15 | 10 | 5  |      |
| 硬質砂岩砕石<br>(葉原産)       | 25~10 1)           | 2.62<br>(2.60) | 0.80       | 1.52                 | 58.5       | 0          | 15 | 64 | 98 | 99 | 7.12 |
|                       | 15~5 2)            | 2.62<br>(2.60) | 0.90       | 1.51                 | 58.1       | —          | —  | 0  | 44 | 90 | 6.33 |
| 混合砕石 1):2)<br>80%:20% | 25~5               | 2.62<br>(2.60) | 0.82       | 1.52                 | 58.5       | 0          | 12 | 51 | 63 | 97 | 6.72 |

備考 1) 比重の ( ) 内は絶乾比重

Table 2.5 Proportion of Mix and Mechanical Properties for Concrete

| 配合種別            | 水・セメント比<br>(%) | 細骨材率<br>(%) | 単 位 量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      |  | スランブ<br>(cm <sup>3</sup> ) | 空気量<br>(%) | 単位容積質量<br>(kg/ℓ) |                                | 圧 縮 強 度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |     |     |     | 静弾性係数<br>(×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |      |
|-----------------|----------------|-------------|-------------------------------|-----|-----|------|--|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|--|------|
|                 |                |             | セメント                          | 水   | 細骨材 | 粗骨材  | 混和剤                                    |                            |            | 練り<br>上り時        | 硬化後                            | 1 日                               | 3 日 | 7 日 | 28日 | 7 日  | 28日  |
| パーライト<br>コンクリート | 77.5           | (C/P)<br>¼  | 396                           | 307 | 212 | —    | (No.70)<br>0.990ℓ<br>(No.505)<br>0.178 | 12.0                       | —          | 0.916            | (気乾)<br>0.849<br>(絶乾)<br>0.672 | —                                 | —   | 50  | 67  | 0.28   | 0.31 |
| アルミナ<br>コンクリート  | 55.0           | 46.0        | 304                           | 167 | 831 | 979  | ℓ<br>0.760                             | 12.0                       | 4.6        | 2.29             | 2.33                           | 504                               | 516 | 585 | 612 | 3.37   | 3.48 |
| 硬質砂岩<br>コンクリート  | 55.0           | 44.0        | 300                           | 165 | 794 | 1022 | ℓ<br>0.750                             | 12.0                       | 4.2        | 2.30             | —                              | —                                 | —   | 210 | 344 | 2.50   | 3.02 |

備考 1) コンクリート温度：20～21℃

2) 単位容積質量：パーライトコンクリートの硬化（絶乾）は、室温20℃・湿度80%の恒温室で材令28日まで養生後、105℃で4日間乾燥

Table 3.1 Weight Loss of Heated Perlite Concrete

| 測定項目       |    | 加熱溫度<br>(°C) | 加熱時間<br>(hr) | 供試體重量 | 55   |      |      | 70   |      |       | 100   |       |       | 130   |       | 150   |       | 300   |       | 500   |     |
|------------|----|--------------|--------------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
|            |    |              |              |       | 16   | 46   | 70   | 86   | 109  | 133   | 1485  | 1725  | 196   | 237   | 2605  | 274   | 298   | 314   | 338   | 356   | 380 |
| 減少量<br>(g) | 1  | 14546        |              | 133   | 170  | 174  | 55.8 | 70.4 | 70.6 | 265.7 | 271.0 | 272.0 | 329.3 | 330.1 | 340.4 | 340.6 | 393.4 | 394.0 | 430.8 | 431.6 |     |
|            | 2  | 14102        |              | 10.4  | 14.0 | 14.4 | 51.6 | 65.9 | 66.1 | 254.9 | 260.1 | 261.1 | 310.1 | 310.9 | 321.0 | 321.1 | 371.6 | 372.3 | 408.4 | 409.5 |     |
|            | 3  | 14580        |              | 15.4  | 18.9 | 19.5 | 61.1 | 74.4 | 74.5 | 284.1 | 289.8 | 291.0 | 345.6 | 346.4 | 356.7 | 357.7 | 409.4 | 410.1 | 446.2 | 447.1 |     |
|            | 平均 | 14409        |              | 13.0  | 16.6 | 17.1 | 56.2 | 70.2 | 70.4 | 268.2 | 273.6 | 274.7 | 328.3 | 329.1 | 339.4 | 339.8 | 391.4 | 392.1 | 428.5 | 429.4 |     |
| 減少率<br>(%) | 1  |              |              | 0.91  | 1.17 | 1.20 | 3.84 | 4.84 | 4.85 | 18.27 | 18.63 | 18.70 | 22.64 | 22.69 | 23.40 | 23.42 | 27.05 | 27.09 | 29.62 | 29.67 |     |
|            | 2  |              | -            | 0.74  | 0.99 | 1.02 | 3.66 | 4.67 | 4.69 | 18.08 | 18.44 | 18.52 | 21.99 | 22.05 | 22.76 | 22.77 | 26.35 | 26.40 | 28.96 | 29.04 |     |
|            | 3  |              |              | 1.06  | 1.30 | 1.34 | 4.19 | 5.10 | 5.11 | 19.49 | 19.88 | 19.96 | 23.70 | 23.76 | 24.47 | 24.53 | 28.08 | 28.13 | 30.60 | 30.67 |     |
|            | 平均 |              | -            | 0.90  | 1.15 | 1.19 | 3.90 | 4.87 | 4.88 | 18.61 | 18.98 | 19.06 | 22.78 | 22.83 | 23.54 | 23.57 | 27.16 | 27.21 | 29.73 | 29.79 |     |

Table3.2 Weight Loss of Heated Alumina Concrete

| 測定項目       |    | 加熱温度<br>(°C) | 加熱時間<br>(hr) | 供試体重量 | 55    |       |       |       | 70    |       |       |       | 110   |       | 130   |       | 150   |       | 300   |       | 500 |       |
|------------|----|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
|            |    |              |              |       | 48    | 96    | 171   | 195   | 219   | 315.4 | 364   | 387   | 420   | 464   | 543   | 567   | 582   | 605.2 | 630   | 653.9 | 693 | 717.9 |
| 減少量<br>(%) | 1  | 3664.9       | 67.4         | 101.5 | 109.2 | 109.6 | 182.9 | 222.1 | 226.6 | 226.8 | 242.4 | 243.0 | 258.6 | 259.1 | 261.8 | 262.6 | 275.6 | 276.2 | 284.8 | 285.4 |     |       |
|            | 2  | 3619.9       | 75.3         | 106.8 | 112.9 | 113.6 | 188.2 | 228.4 | 232.5 | 232.7 | 248.0 | 248.7 | 264.2 | 264.8 | 267.5 | 268.3 | 286.7 | 287.3 | 297.4 | 297.9 |     |       |
|            | 3  | 3608.8       | 64.5         | 96.4  | 103.6 | 103.9 | 185.1 | 224.3 | 228.6 | 229.0 | 244.6 | 245.2 | 260.6 | 261.2 | 264.0 | 264.8 | 274.6 | 275.2 | 285.0 | 285.5 |     |       |
|            | 平均 | 3631.2       | 69.1         | 101.6 | 108.6 | 109.0 | 185.4 | 224.9 | 229.2 | 229.5 | 245.0 | 245.6 | 261.1 | 261.7 | 264.4 | 265.2 | 279.0 | 279.6 | 289.1 | 289.6 |     |       |
| 減少率<br>(%) | 1  |              | 1.84         | 2.77  | 2.98  | 2.99  | 4.99  | 6.06  | 6.18  | 6.19  | 6.61  | 6.63  | 7.06  | 7.07  | 7.14  | 7.17  | 7.52  | 7.54  | 7.77  | 7.79  |     |       |
|            | 2  | —            | 2.08         | 2.95  | 3.12  | 3.14  | 5.20  | 6.31  | 6.42  | 6.43  | 6.85  | 6.87  | 7.30  | 7.32  | 7.39  | 7.41  | 7.92  | 7.94  | 8.22  | 8.23  |     |       |
|            | 3  |              | 1.79         | 2.67  | 2.87  | 2.88  | 5.13  | 6.22  | 6.34  | 6.35  | 6.78  | 6.80  | 7.23  | 7.24  | 7.32  | 7.34  | 7.62  | 7.63  | 7.90  | 7.91  |     |       |
|            | 平均 | —            | 1.90         | 2.80  | 2.99  | 3.00  | 5.11  | 6.20  | 6.31  | 6.32  | 6.75  | 6.77  | 7.20  | 7.21  | 7.28  | 7.31  | 7.69  | 7.70  | 7.96  | 7.98  |     |       |

Table 3.3 Compressive Strength and Static Modulus of Elasticity for Perlite Concrete

| 加熱温度<br>(°C) | 試験開始から<br>の加熱時間<br>(hr) | 圧縮強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )        | 静弾性係数<br>(×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------------|---------------------------------------|--|
| 試験開始時<br>20  | —                       | 82.8 }<br>84.0 } 83.4<br>83.4 } (100) | 0.30 }<br>0.28 } 0.28<br>0.27 } (100)            |
| 70           | 107.5                   | 66.6 }<br>56.0 } 60.2<br>57.9 } (72)  | 0.14 }<br>0.15 } 0.15<br>0.15 } (54)             |
| 110          | 173                     | 54.1 }<br>66.6 } 60.6<br>61.1 } (73)  | 0.12 }<br>0.15 } 0.14<br>0.15 } (50)             |
| 130          | 237.5                   | 59.8 }<br>61.1 } 60.7<br>61.1 } (73)  | 0.12 }<br>0.15 } 0.13<br>0.13 } (46)             |
| 150          | 275                     | 50.9 }<br>70.0 } 57.5<br>51.6 } (69)  | 0.11 }<br>0.15 } 0.14<br>0.15 } (50)             |
| 300          | 310.5                   | 39.5 }<br>39.2 } 38.7<br>37.3 } (46)  | 0.06 }<br>0.05 } 0.06<br>0.06 } (21)             |
| 500          | 338.1                   | 29.9 }<br>29.3 } 28.6<br>26.7 } (34)  | 0.03 }<br>0.03 } 0.03<br>0.03 } (11)             |

備考 1) ( ) 内は試験開始時に対する比

Table 3.4 Compressive Strength and Static Modulus of Elasticity for Alumina Concrete

| 加熱温度<br>(°C) | 試験開始からの加熱時間<br>(hr) | 圧縮強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )    | 静弾性係数<br>(×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------------|-----------------------------------|--|
| 試験開始時<br>20  | —                   | 719 }<br>685 } 699<br>693 } (100) | 3.54 }<br>3.44 } 3.51<br>3.54 } (100)            |
| 70           | 387                 | 334 }<br>334 } 327<br>313 } (47)  | 2.11 }<br>2.02 } 2.04<br>1.98 } (58)             |
| 110          | 464                 | 318 }<br>309 } 314<br>315 } (45)  | 1.56 }<br>1.53 } 1.55<br>1.56 } (44)             |
| 130          | 567                 | 322 }<br>309 } 314<br>311 } (45)  | 1.59 }<br>1.53 } 1.54<br>1.50 } (44)             |
| 150          | 605.2               | 283 }<br>287 } 285<br>285 } (41)  | 1.50 }<br>1.41 } 1.43<br>1.39 } (41)             |
| 300          | 653.6               | 140 }<br>143 } 137<br>127 } (20)  | 0.33 }<br>0.25 } 0.27<br>0.24 } (8)              |
| 500          | 717.9               | 129 }<br>131 } 129<br>126 } (18)  | 0.22 }<br>0.23 } 0.21<br>0.19 } (6)              |

備考 1) ( ) 内は試験開始時に対する比



Table 4.1 Experimental Conditions and Results of Sodium - Concrete Reaction Heat at 530 °C

| Exp. No | Concrete              | Weight (g)          | Na (kg) | NaOH (kg) | Reaction Heat (cal/g) |     |
|---------|-----------------------|---------------------|---------|-----------|-----------------------|-----|
| 1 H     | Perlite               | 74.7                | 5.0     | —         | 218                   | 241 |
| 2 H     | Perlite               | 69.3                | 5.0     | —         | 263                   |     |
| 3 H     | Alumina               | 200.0               | 5.2     | —         | 380                   | 345 |
| 4 H     | Alumina               | 194.2               | 5.1     | —         | 310                   |     |
| 5 H     | Dehydrated Perlite ※1 | 109.7<br>(147.9) ※2 | 5.1     | —         | 147                   | 148 |
| 6 H     | Dehydrated Perlite ※1 | 108.5<br>(145.6) ※2 | 5.1     | —         | 149                   |     |
| 7 H     | Perlite               | 69.6                | 5.0     | 1.0       | 333                   | 332 |
| 8 H     | Perlite               | 67.5                | 5.0     | 1.0       | 331                   |     |
| 9 H     | Dehydrated Perlite ※1 | 113.3<br>(147.7) ※2 | 5.0     | 1.0       | 299                   | 263 |
| 10 H    | Dehydrated Perlite ※1 | 111.7<br>(142.0) ※2 | 5.0     | 1.0       | 226                   |     |
| 11 H    | Alumina               | 192.6               | 5.0     | 1.0       | 504                   | 493 |
| 12 H    | Alumina               | 187.3               | 5.0     | 1.0       | 482                   |     |
| 13 H    | Dehydrated Alumina ※1 | 187.6<br>(200.9) ※2 | 5.0     | 1.0       | 410                   | 410 |
| 14 H    | Dehydrated Alumina ※1 | 200.0<br>(214.8) ※2 | 5.0     | 1.0       | 409                   |     |

※1 Dehydrated at 550 °C for 6 hrs.

※2 Concrete weight before dehydration

Table 4.2 Compositions of Perlite, Alumina and Graywacke Concrete

( wt % )

| Constituent                    | Perlite concrete | Alumina concrete | Graywacke concrete |
|--------------------------------|------------------|------------------|--------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 32.0             | 58.8             | 74.9               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 7.6              | 20.8             | 7.2                |
| Ca(OH) <sub>2</sub>            | 34.3             | 5.5 (as CaO)     | 8.9                |
| NaOH                           | 1.2              | 3.6              | 3.5                |
| KOH                            | 1.6              | 3.1              | 3.3                |
| MgO                            | 0.3              | 0.7              | 0.9                |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.7              | 2.4              | —                  |
| H <sub>2</sub> O ※1            | 21.3 ※2          | 5.1              | 1.3                |

※1 Residual is considered as H<sub>2</sub>O

※2 Water content varies with conditions of the atmosphere.

Table 5.1 Experimental Conditions of Sodium - Concrete Reaction

| Exp. No. | Concrete                           |                     | Na added  |            | Duration (hr) |
|----------|------------------------------------|---------------------|-----------|------------|---------------|
|          | Species                            | Weight(kg)          | Temp (°C) | Weight(kg) |               |
| 1 M      | Graywacke                          | 2 2.7 6             | 5 3 0     | 5.0        | 8             |
| 2 M      | Perlite                            | 9.5 1               | 4 3 0     | 8.1        | 8             |
| 3 M      | Perlite                            | 9.4 6               | 5 3 0     | 8.1        | 8             |
| 4 M      | Perlite                            | 9.4 0               | 6 3 0     | 8.1        | 8             |
| 5 M      | Two layer<br>(Perlite + Graywacke) | 1 6.6 9             | 5 3 0     | 8.1        | 8             |
| 6 M      | Alumina                            | 2 2.5 6             | 5 3 0     | 8.1        | 8             |
| 7 M      | Alumina                            | 2 2.4 5             | 6 3 0     | 8.1        | 8             |
| 8 M      | Dry<br>Perlite ※1                  | 8.8 6<br>(9.4 5) ※2 | 5 3 0     | 8.1        | 8             |

※1 Dehydrated at 105 °C for 15 hours.

※2 Weight before dehydration.

Table 5.2 List of Maximum Temperatures

(°C)

| Exp. No. | ①<br>Ex. Gas | ②<br>Na-200 | ③<br>Na-100 | ④<br>Na - 0 | ⑤<br>CRT-20 | ⑥<br>CRT-40 | ⑦<br>CRT-70 | ⑧<br>CRT-150 | ⑨<br>CRT-290 | ⑩<br>CRT-150s | ⑪<br>Na-60 |
|----------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|------------|
| 1 M      | 368          | —           | —           | —           | 874         | 820         | 720         | 379          | 201          | 378           | 625        |
| 2 M      | 45           | 490         | 495         | 470         | 520         | 541         | 374         | 111          | 90           | 173           | —          |
| 3 M      | 72           | 557         | 557         | 532         | 790         | 848         | 885         | 707          | 141          | 720           | —          |
| 4 M      | 160          | 670         | 670         | 668         | 814         | 952         | 859         | 709          | 154          | 718           | —          |
| 5 M      | 59           | 551         | 551         | 551         | 783         | 932         | 857         | 508          | 205          | 508           | —          |
| 6 M      | 61           | 609         | 619         | 712         | 920         | 963         | 812         | 605          | 218          | 421           | —          |
| 7 M      | 90           | 680         | 687         | 758         | 813         | 885         | 795         | 498          | 221          | 412           | —          |
| 8 M      | 71           | 537         | 537         | 545         | 791         | 1047        | 795         | 1120         | 851          | 2942          | —          |

Table 5.3 Position of Thermocouples in Concrete after Sodium-Concrete Reactions

(mm)

| Exp. No.          | Position |        |        |        |         |         |          |
|-------------------|----------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|
|                   | *        | CRT-20 | CRT-40 | CRT-70 | CRT-150 | CRT-290 | CRT-150s |
| Standard position | V        | 20     | 40     | 70     | 150     | 290     | 150      |
|                   | H        | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 75       |
| 1 M               | V        | -10    | 40     | 70     | 150     | 290     | 150      |
|                   | H        | +15    | 0      | 0      | 0       | 0       | 75       |
| 2 M               | V        | 20     | 40     | 70     | 150     | 290     | 150      |
|                   | H        | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 75       |
| 3 M               | V        | 20     | 40     | 70     | 150     | 290     | 150      |
|                   | H        | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 75       |
| 4 M               | V        | 20     | 40     | 70     | 150     | 290     | 150      |
|                   | H        | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 75       |
| 5 M               | V        | 20     | 40     | 70     | 130     | 290     | 150      |
|                   | H        | 0      | 0      | 0      | 10      | 0       | 75       |
| 6 M               | V        | -80    | -60    | -30    | 150     | 290     | 150      |
|                   | H        | 90     | 85     | 85     | 0       | 0       | 75       |
| 7 M               | V        | -80    | -20    | 20     | 150     | 290     | 150      |
|                   | H        | 95     | 20     | 50     | 0       | 0       | 75       |
| 8 M               | V        | 16     | 40     | 70     | 150     | 290     | 150      |
|                   | H        | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 75       |

\* V : Vertical distance from concrete surface

H : Horizontal distance from concrete center axis

Table 5.4 Excursion Time and Penetration Depth

| Exp. No. | Concrete                           | Time of CRT-20's<br>Excursion from<br>Sodium Spill ( <i>min</i> ) | Time from CRT-20's Excursion ( <i>min</i> ) |          |                     |         | Total Penetration<br>Depth<br>( <i>mm</i> ) |
|----------|------------------------------------|---|---|----------|---------------------|---------|---|
|          |                                    |   | CRT - 40                                    | CRT - 70 | CRT-150<br>CRT-150s | CRT-290 |   |
| 1 M      | Graywacke                          | 101   | 38  | 96-124   | —<br>—              | —       | 85  |
| 2 M      | Perlite                            | 161   | 79  | —        | —<br>—              | —       | 75  |
| 3 M      | Perlite                            | 81  | 22-35                                       | 67-72    | 185-218<br>145      | —       | 215   |
| 4 M      | Perlite                            | 98  | 20  | 58-63    | 287<br>184          | —       | 250   |
| 5 M      | Tow layer<br>(Perlite + Graywacke) | 75  | 31  | 68       | —<br>—              | —       | 145   |
| 6 M      | Alumina                            | 52  | 7   | 42-53    | —<br>—              | —       | 80-140                                      |
| 7 M      | Alumina                            | 48  | 5   | 67-74    | —<br>—              | —       | 80-130                                      |
| 8 M      | Dry<br>Perlite                     | 79  | 35  | 71       | 283<br>269          | 342     | ≥305  |

Table 5.5 Characteristics of Reaction Products

| Exp. No. | Position         | Color             | Appearance | Hardness  | Hygroscopicity | Reactivity with water |
|----------|------------------|-------------------|------------|-----------|----------------|-----------------------|
| 1 M      | Surface          | Brown             | Rocky      | Hard      | Hygroscopic    | Nothing               |
|          | Upper            | Gray white        | Rocky      | Hard      | Hygroscopic    | Nothing               |
|          | Middle           | Black             | Granular   | Brittle   | Hygroscopic    | Combustible           |
|          | Lower            | Black violet      | Granular   | Brittle   | Hygroscopic    | Combustible           |
| 2 M      | Upper            | Red violet        | Na         | Soft      | Hygroscopic    | Explosive             |
|          | Middle           | Blue green        | NaOH       | Very hard | Hygroscopic    | Active                |
|          | Lower            | Gray brown        | Rocky      | Brittle   | Hygroscopic    | Nothing               |
| 3 M      | Surface          | Red violet        | Na         | Soft      | Hygroscopic    | Explosive             |
|          | Upper            | Blue green        | NaOH       | Very hard | Hygroscopic    | Active                |
|          | Middle           | Gray black        | Rocky      | Hard      | Hygroscopic    | Active                |
|          | Lower            | Brown             | Rocky      | Hard      | Hygroscopic    | Nothing               |
| 4 M      | Surface          | Red violet        | Na         | Soft      | Hygroscopic    | Explosive             |
|          | Upper            | Gray green        | NaOH       | Very hard | Hygroscopic    | Active                |
|          | Lower            | Brown             | Rocky      | Hard      | Hygroscopic    | Nothing               |
| 5 M      | Surface          | Red violet        | Na         | Soft      | Hygroscopic    | Explosive             |
|          | Upper            | Green             | NaOH       | Very hard | Hygroscopic    | Active                |
|          | Middle           | Gray black        | Granular   | Brittle   | Hygroscopic    | Combustible           |
|          | Lower            | Gray              | Rocky      | Hard      | Hygroscopic    | Nothing               |
| 6 M      | Upper            | Black             | Lava       | Brittle   | Hygroscopic    | Combustible           |
|          | Lower            | Brown white       | Rocky      | Brittle   | Hygroscopic    | Nothing               |
| 7 M      | Upper            | Black             | Lava       | Brittle   | Hygroscopic    | Combustible           |
|          | Middle           | Green             | NaOH       | Hard      | Hygroscopic    | Active                |
|          | Middle           | Brown white       | Rocky      | Hard      | Hygroscopic    | Nothing               |
|          | Lower            | Gray              | Rocky      | Hard      | Hygroscopic    | Nothing               |
| 8 M      | Surface          | Red violet        | Na         | Soft      | Hygroscopic    | Explosive             |
|          | Upper            | Yellow(Blue)green | NaOH       | Very hard | Hygroscopic    | Active                |
|          | Middle           | Yellow brown      | Rocky      | Hard      | Hygroscopic    | Active                |
|          | Middle<br>center | Gray black        | Rocky      | Brittle   | Hygroscopic    | Combustible           |
|          | Lower            | Gray              | Rocky      | Brittle   | Hygroscopic    | Nothing               |

Table 5.6 Results of X-ray Diffraction Analysis of Reaction Products and Original Concretes

| Sample No.            | Exp. No. | Substance   |
|-----------------------|----------|---|
| 1                     | 1 M      | Ca(OH) <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , Undetermined   |
| 2                     | 1 M      | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , NaOH , NaAlSiO <sub>4</sub> , Undetermined                                     |
| 3                     | 3 M      | NaOH , CaO , Ca(OH) <sub>2</sub> , β- NaAlO <sub>2</sub> , Undetermined   |
| 4                     | 3 M      | NaOH , CaO , Ca(OH) <sub>2</sub> , β- NaAlO <sub>2</sub> , Undetermined   |
| 5                     | 3 M      | Undetermined , β- NaAlO <sub>2</sub>  |
| 6                     | 7 M      | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , Na <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> , β- NaAlO <sub>2</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub> |
| 7                     | 7 M      | Na <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> , β- NaAlO <sub>2</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> |
| 8                     | 7 M      | α- SiO <sub>2</sub> , NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>  |
| 9                     | 8 M      | NaOH , CaO , Ca(OH) <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , β- NaAlO <sub>2</sub><br>Undetermined       |
| Graywacke<br>Concrete | —        | α- SiO <sub>2</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub> , NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                                    |
| Perlite<br>Concrete   | —        | Ca(OH) <sub>2</sub> , Undetermined , α- SiO <sub>2</sub>  |
| Alumina<br>Concrete   | —        | α- SiO <sub>2</sub> , NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , CaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O  |



Table 5.7 Calculational Result of Sodium reacted with Perlite Concrete at 430℃

(mole)

| Constituent                             | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ca(OH) <sub>2</sub> | NaOH           | KOH            | MgO            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> O | Reacted Na       |
|---|------------------|--------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| Composition of Perlite Concrete of 1 kg | 5.33<br>(32.0%)  | 0.75<br>(7.6%)                 | 4.63<br>(34.3%)     | 0.30<br>(1.2%) | 0.29<br>(1.6%) | 0.07<br>(0.3%) | 0.11<br>(1.7%)                 | 11.83<br>(21.3%) | —                |
| Reaction 1                              |                  |                                |                     | +11.83         |                |                |                                | -11.83           | 11.83            |
| Total                                   | 5.33             | 0.75                           | 4.63                | 12.13          | 0.29           | 0.07           | 0.11                           | 0                | 11.83<br>(27.2%) |

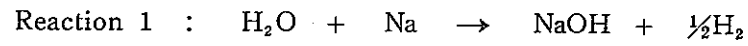


Table 5.8 Calculational Result of Sodium reacted with Perlite Concrete at 530 °C or 630 °C

(mole)

| Constituent                             | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ca(OH) <sub>2</sub> | NaOH           | KOH            | MgO            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> O | Reacted Na      |
|---|------------------|--------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------|-----------------|
| Composition of Perlite Concrete of 1 kg | 5.33<br>(32.0%)  | 0.75<br>(7.6%)                 | 4.63<br>(34.3%)     | 0.30<br>(1.2%) | 0.29<br>(1.6%) | 0.07<br>(0.3%) | 0.11<br>(1.7%)                 | 11.83<br>(21.3%) | —               |
| Reaction 1                              |                  |                                | -4.63               |                |                |                |                                | + 4.63           | —               |
| Reaction 2                              |                  |                                |                     | +16.46         |                |                |                                | -16.46           | 16.46           |
| Reaction 3                              |                  | -0.75                          |                     | - 0.75         |                |                |                                |                  | 0.75            |
| Reaction 4                              | -5.33            |                                |                     | - 5.33         |                |                |                                |                  | 5.33            |
| Reaction 5                              |                  |                                |                     |                |                |                |                                |                  | —               |
| Total                                   | 0                | 0                              | 0                   | 10.68          | 0.29           | 0.07           | 0.11                           | 0                | 22.54<br>(518g) |

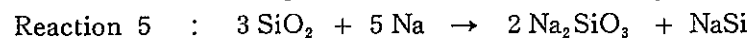
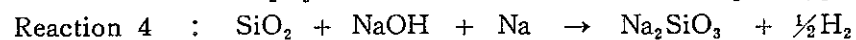
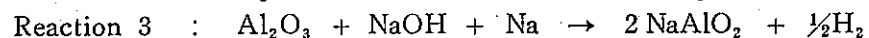
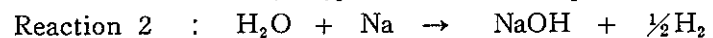
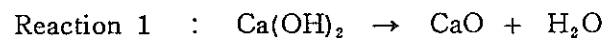


Table 5.9 Calculational Result of Sodium reacted with Alumina Concrete at 530 °C or 630 °C

| Constituent                             | (mole)           |                                |                |                |                |                |                                |                  |                 |
|---|------------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------|-----------------|
|   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO            | NaOH           | KOH            | MgO            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> O | Reacted Na      |
| Composition of Alumina Concrete of 1 kg | 9.79<br>(58.8%)  | 2.04<br>(20.8%)                | 0.98<br>(5.5%) | 0.90<br>(3.6%) | 0.55<br>(3.1%) | 0.17<br>(0.7%) | 0.15<br>(2.4%)                 | 2.83<br>(5.1%)   | —               |
| Reaction 1                              |                  |                                |                | +2.83          |                |                |                                | -2.83            | 2.83            |
| Reaction 2                              |                  | -2.04                          |                | -2.04          |                |                |                                |                  | 2.04            |
| Reaction 3                              | -1.69            |                                |                | -1.69          |                |                |                                |                  | 1.69            |
| Reaction 4                              | -8.10            |                                |                |                |                |                |                                |                  | 13.50           |
| Total                                   | 0                | 0                              | 0.98           | 0              | 0.55           | 0.17           | 0.15                           | 0                | 20.06<br>(461%) |

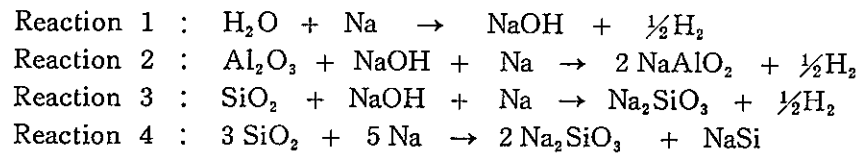

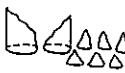







Table 5.10 Appearance Compressive Strength and Static Modulus of Elasticity after Test

| 供試体<br>No. | 供試体                                       |   | 試験体の性状とクラックの状態  | 圧縮強度<br>( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) | 静弾性係数<br>( $\times 10^5 \text{kgf}/\text{cm}^2$ ) | コンクリート種別および<br>コア供試体の寸法                                       |
|------------|---|---|---|--------------------------------------|---|---|
|            | 寸法<br>( $l \times h$ )<br>( $\text{cm}$ ) | 形状  |   |                                      |   |   |
| 1 M        | 20×19                                     |    | 底面から19cmまでしか試験体なし、クラックなし  | 300                                  | 1.50  | 普通<br>$\phi 10 \times 10 \text{ cm}$                          |
| 2 M        | 10×21<br>9×15<br>10×5<br>(6ヶ)             |    | 底面から15～21cmまでしか試験体なし、半分に割れている。<br>他に小さく割れたもの6ヶ、クラックなし   | 53.9                                 | 0.14  | パーライト $\phi 5 \times 8 \text{ cm}$<br>( $\phi 5$ でしか抜けず)      |
| 3 M        | 15×9                                      |    | 底面から9cmまでしか試験体なし、中心で $\frac{1}{2}$ にクラック入っている。<br>クラック巾2mm                                    | 32.3                                 | 測定不能  | パーライト $\phi 5 \times 4 \text{ cm}$<br>( $\phi 5$ でしか抜けず)      |
| 4 M        | 13×9                                      |    | 底面から9cmまでしか試験体なし、片側部分完全に割れている。<br>クラックなし、コア採取不能   | —                                    | —   | —   |
| 5 M        | 9×9<br>9×11                               |   | 底面から9～11cmまでしか試験体なし、 $0^\circ$ から $180^\circ$ にかけて2ヶに割れている。上面部分に横方向に長さ3～5cmのクラックあり、クラック巾0.5mm | 36.2                                 | 測定不能  | パーライト+普通<br>$\phi 10 \times 6 \text{ cm}$                     |
| 6 M        | 20×15                                     |  | 底面から10～15cmまでしか試験体なし、上面部分に2ヶ所長さ3～5cmのクラックあり、クラック巾0.5mm  | 216                                  | 0.70  | アルミナ<br>$\phi 10 \times 8 \text{ cm}$                         |
| 7 M        | 20×14                                     |  | 底面から14cmまでしか試験体なし、上面から長さ3cmのクラック4ヶあり、クラック巾0.5mm   | 188                                  | 測定不能  | アルミナ $\phi 5 \times 7 \text{ cm}$<br>(コアが正常に抜けず $\phi 5$ とした) |

備考 1) 3M及び5Mの静弾性係数は長さが足りないため、測定不能であった。

2) 7Mの静弾性係数は、骨材の寸法が25mmに対し、 $\phi 5 \times 7 \text{ cm}$ のコアしか採取できず、寸法が小さすぎるため測定できなかった。

Table 5.11 Sampling Location of Test Specimen

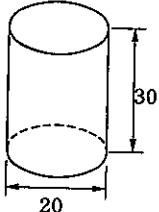
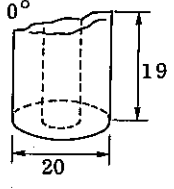
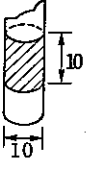
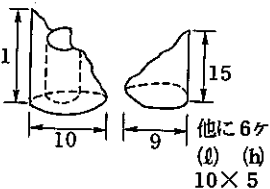
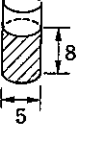
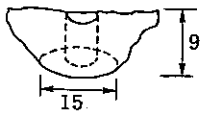
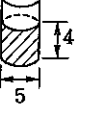
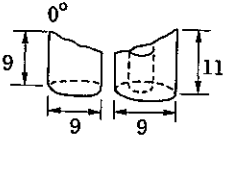
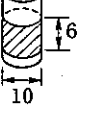
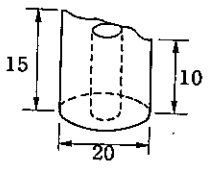
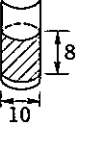
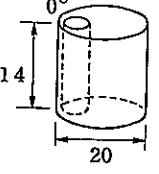
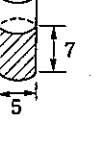
| 供試体<br>No. | コンクリート<br>種 別 | 試験前の試験体の寸法<br>(cm)  | 試験後の供試体の寸法および<br>強度試験体採取部<br>(cm)  |   |
|------------|---------------|---|--|---|
| 1 M        | 普 通           |  |    |    |
| 2 M        | パーライト         | 同上  |    |    |
| 3 M        | パーライト         | 同上  |   |   |
| 4 M        | パーライト         | 同上  | 採取不能   | —   |
| 5 M        | パーライト<br>+ 普通 | 同上  |  |  |
| 6 M        | アルミナ          | 同上  |  |  |
| 7 M        | アルミナ          | 同上  |  |  |

Table 5.12 Effect of Reaction on Compressive Strength and Static Modulus of Elasticity

| コンクリート種別       | 試験体 No.   | 反応温度<br>(Na °C) | 圧縮強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 静弾性係数<br>(×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) | 備考               |
|----------------|-----------|-----------------|--------------------------------|--|------------------|
| パーライト          | φ10×20標準  | —               | 83.4 (100)                     | 0.28 (100)                                       |                  |
|                | 2 M       | 430             | 53.9 (65)                      | 0.14 (50)  |                  |
|                | 3 M       | 530             | 32.9 (39)                      | 測定不能   |                  |
|                | 4 M       | 630             | 測定不能                           | 測定不能   |                  |
| アルミナ           | φ10×20標準  | —               | 69.9 (100)                     | 3.51 (100)                                       |                  |
|                | 6 M       | 530             | 21.6 (31)                      | 0.70 (20)  |                  |
|                | 7 M       | 630             | 18.8 (27)                      | 測定不能   |                  |
| 硬質砂岩           | ※φ10×20標準 | —               | 34.4 (100)                     | 3.02 (100)                                       |                  |
|                | 1 M       | 530             | 30.0 (87)                      | 1.50 (50)  |                  |
| パーライト+<br>硬質砂岩 | ※※ 5 M    | 430~530<br>~630 | 36.2 (—)                       | 測定不能   | 試験体は硬質砂岩コンクリートのみ |

- 注 1) ※ φ10×20標準は材令28日強度, 他のφ10×20標準は材令61日強度  
 2) ※※ 5Mはパーライト+硬質砂岩コンクリートであるがコア部分は硬質砂岩コンクリートのみ  
 3) 圧縮強度, 静弾性係数の( )内はφ10×20標準に対する比

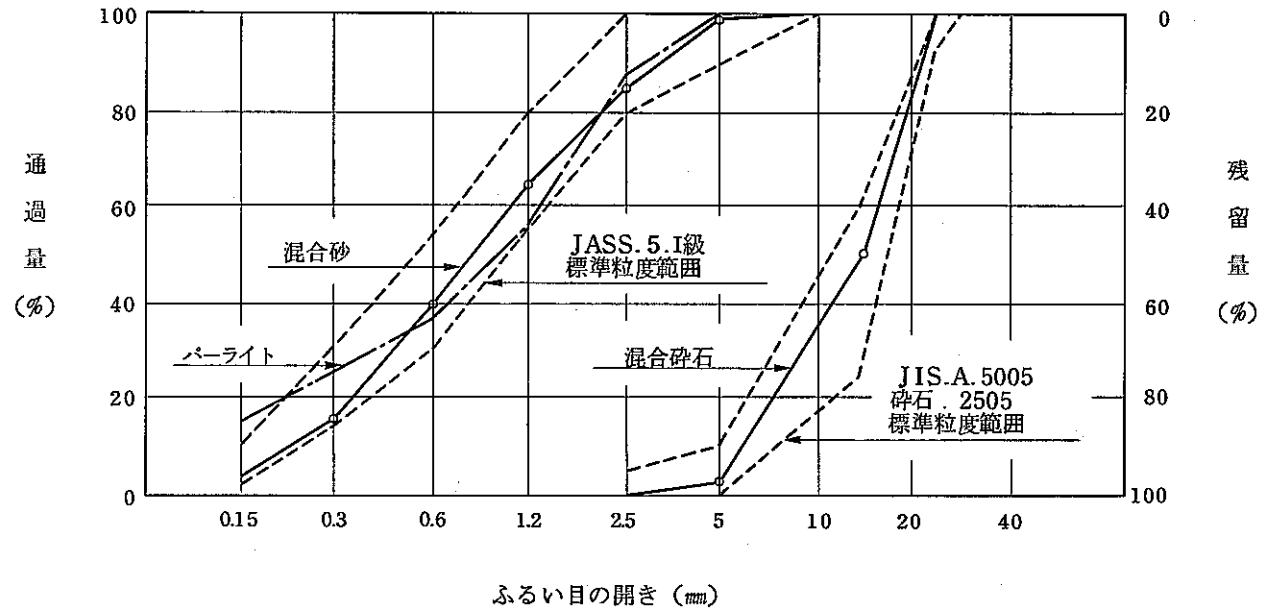


Fig. 2.1 Size Distribution of Aggregate

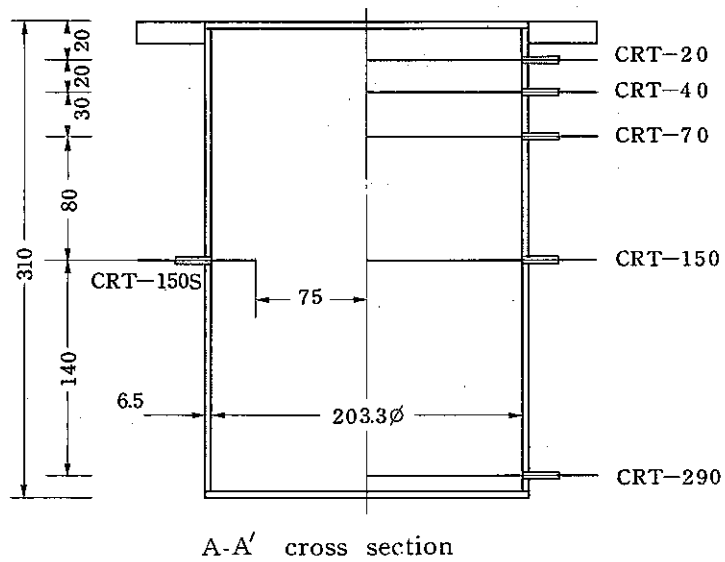
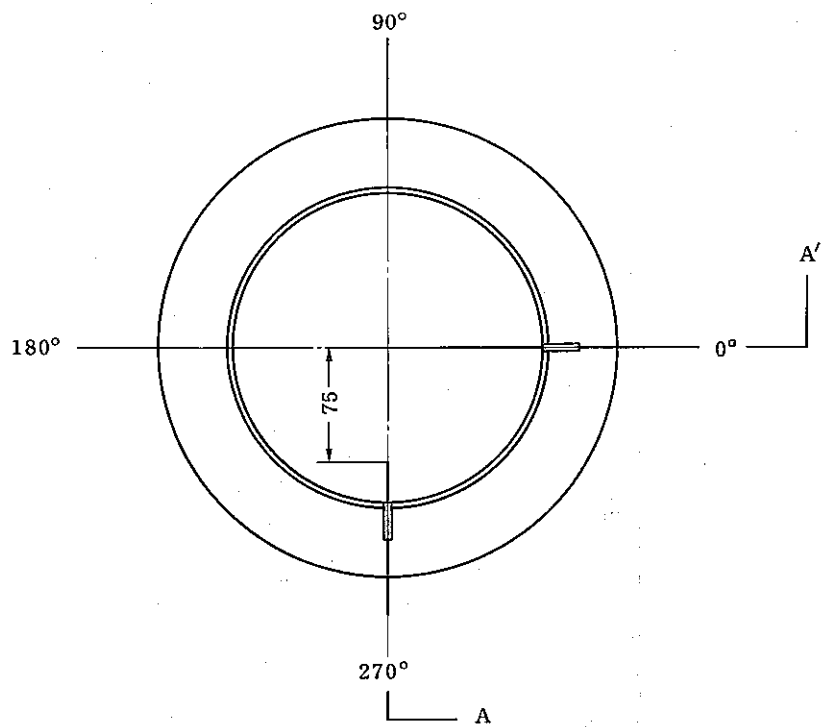


Fig. 2.2 Concrete Specimen and Locations of Thermocouples



加熱時間 (hr)

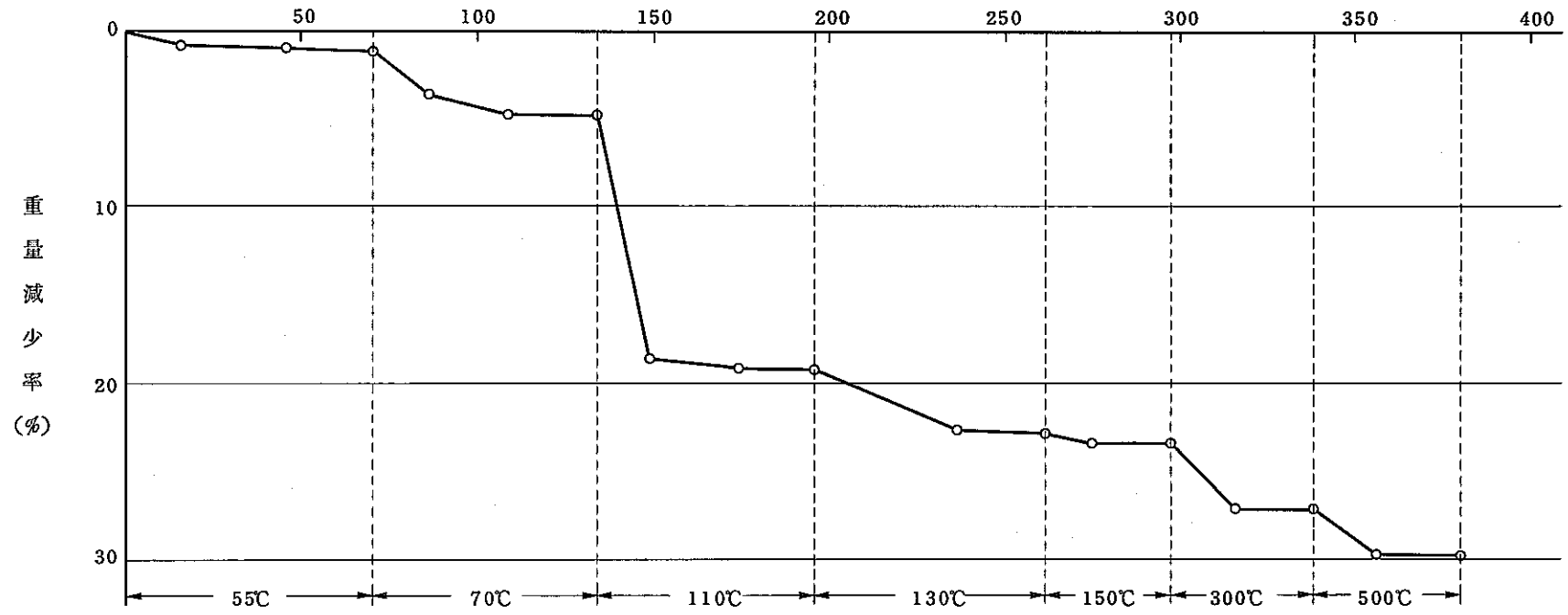


Fig. 3.1 Transient of Weight Loss of Perlite Concrete

加 熱 温 度 (°C)

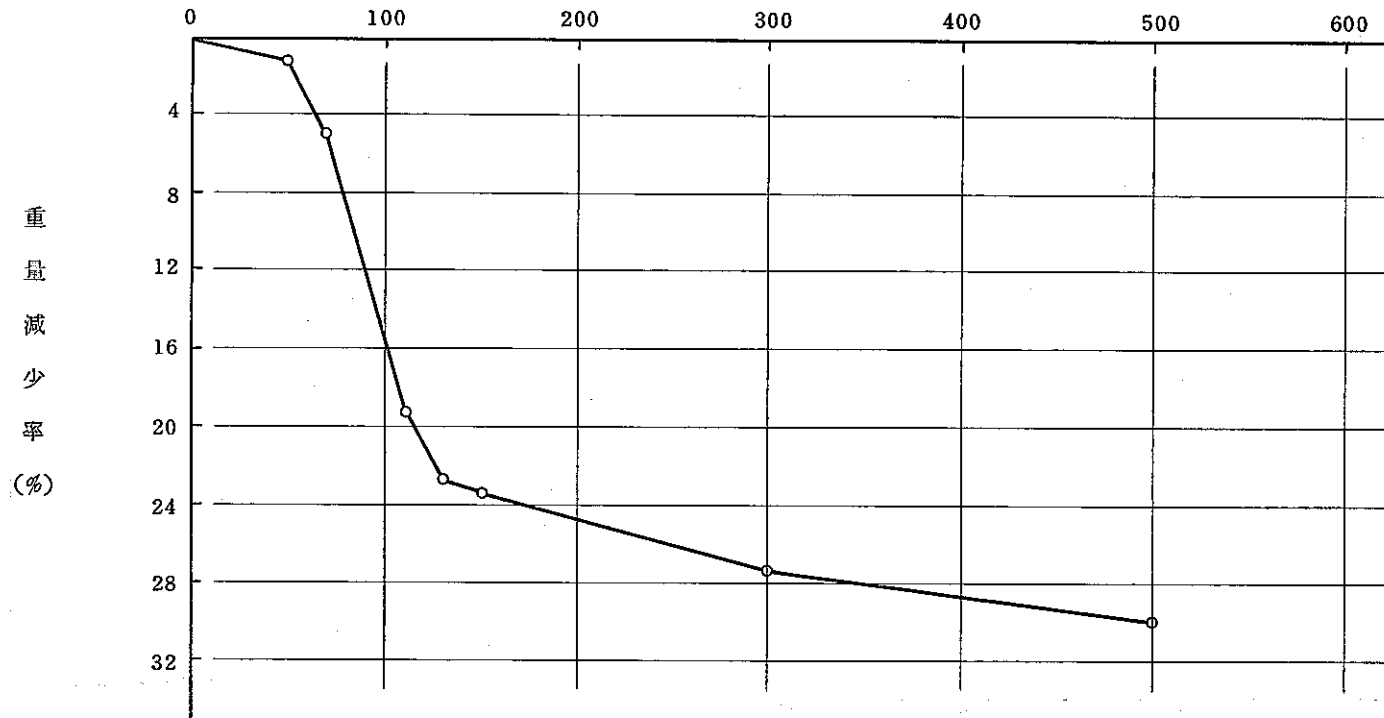


Fig. 3.2 Relation between Temperature and Weight Loss ( Perlite Concrete )

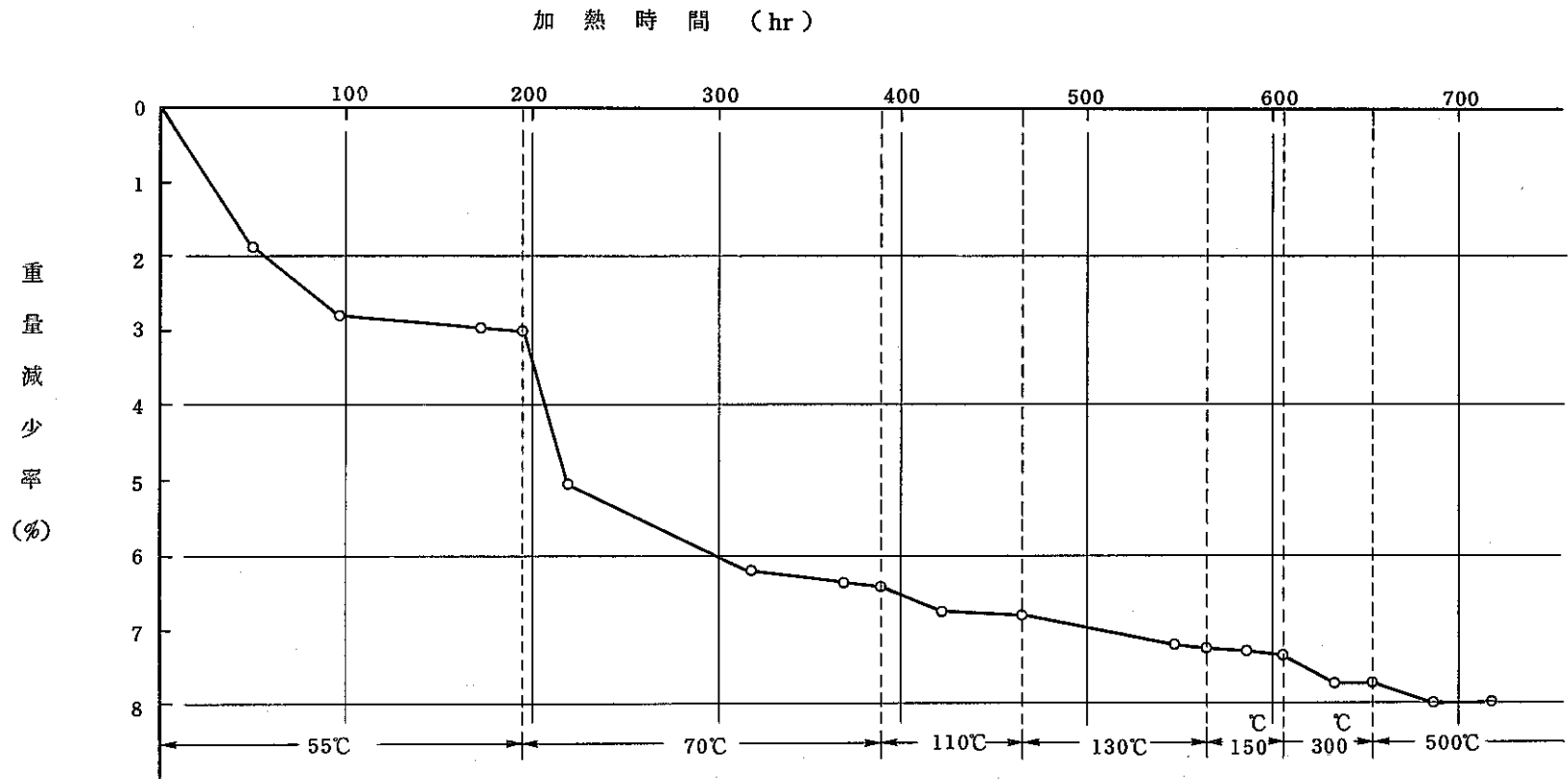


Fig. 3.3 Transient of Weight Loss of Alumina Concrete

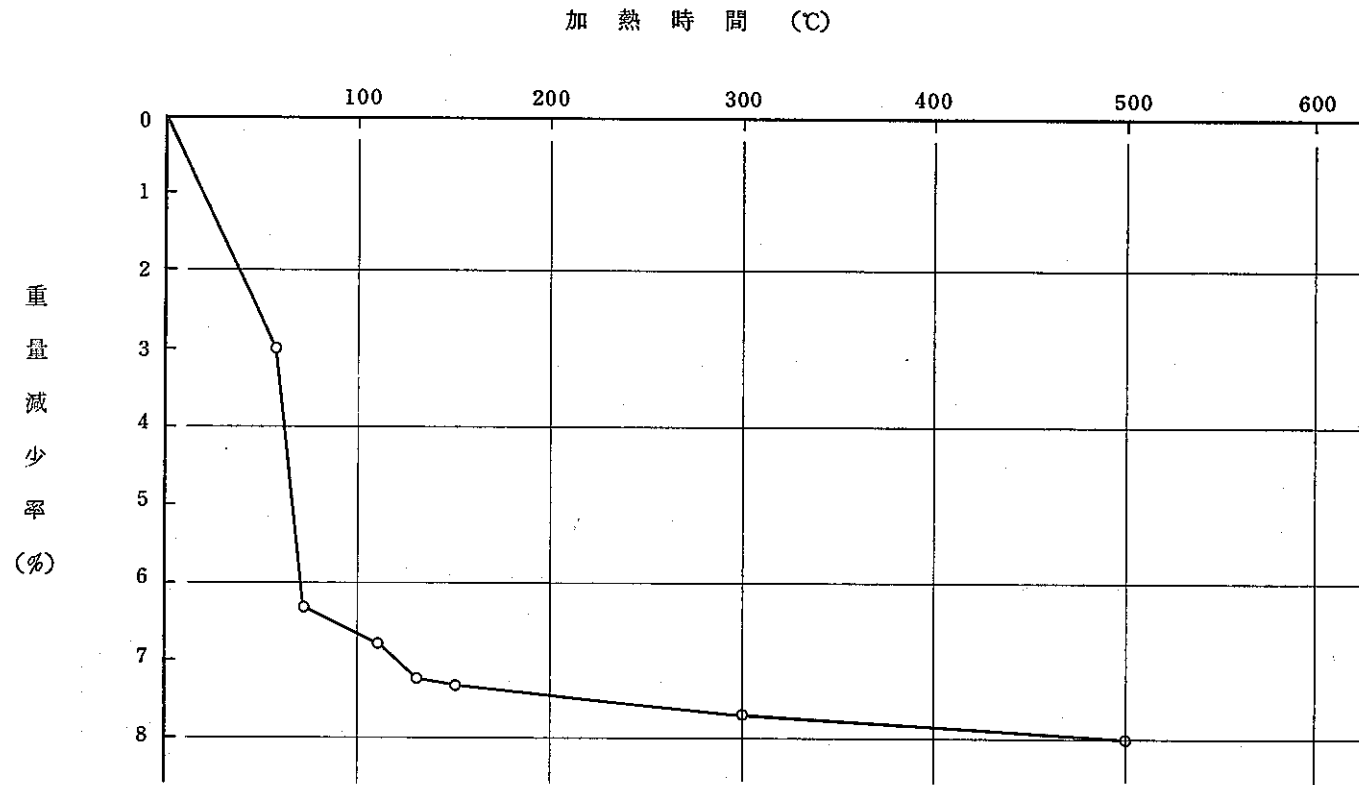


Fig. 3.4 Relation between Temperature and Weight Loss ( Alumina Concrete )

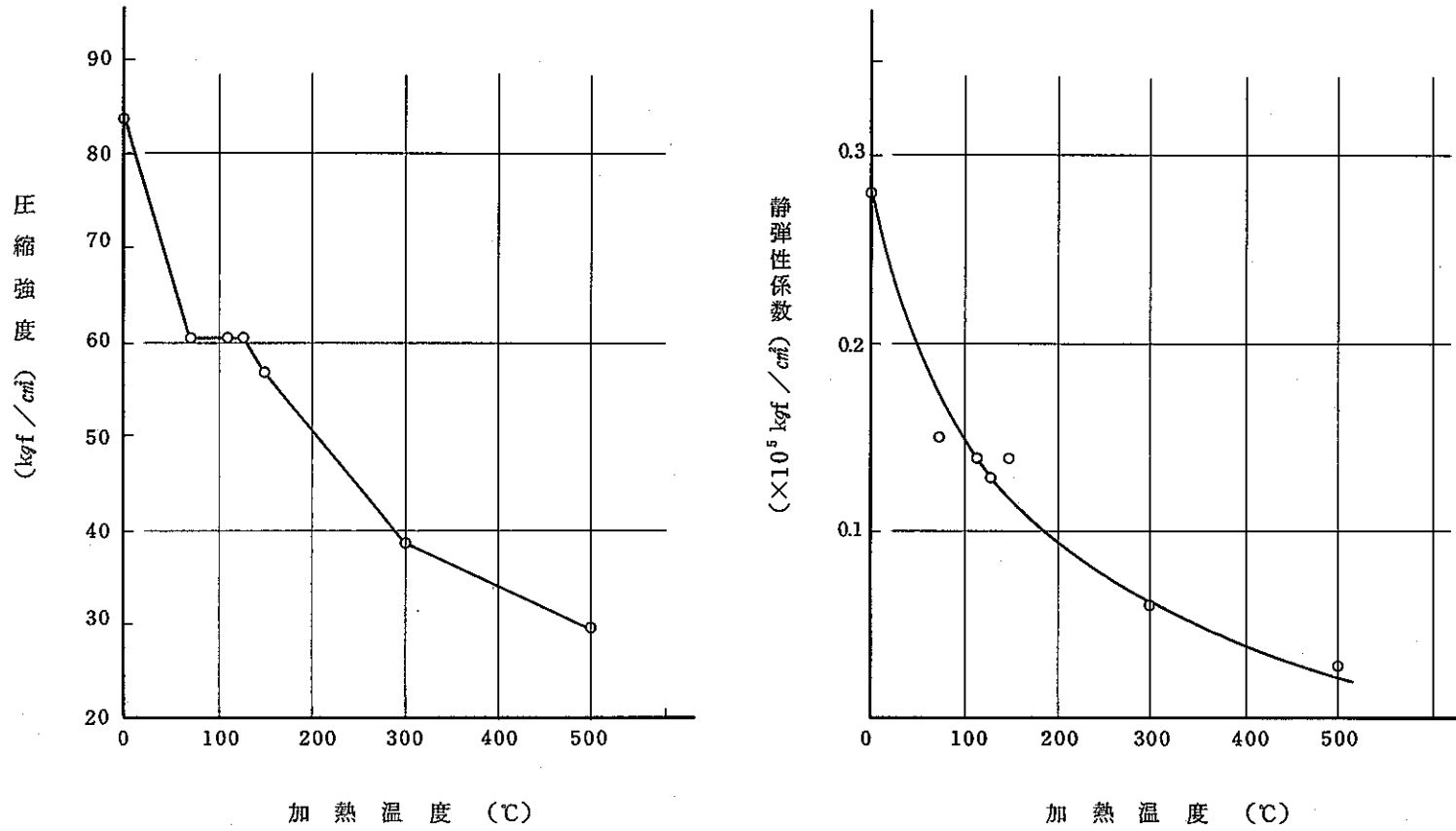


Fig. 3.5 Temperature Effect on Concrete Strength and Static Modulus of Elasticity for Perlite Concrete

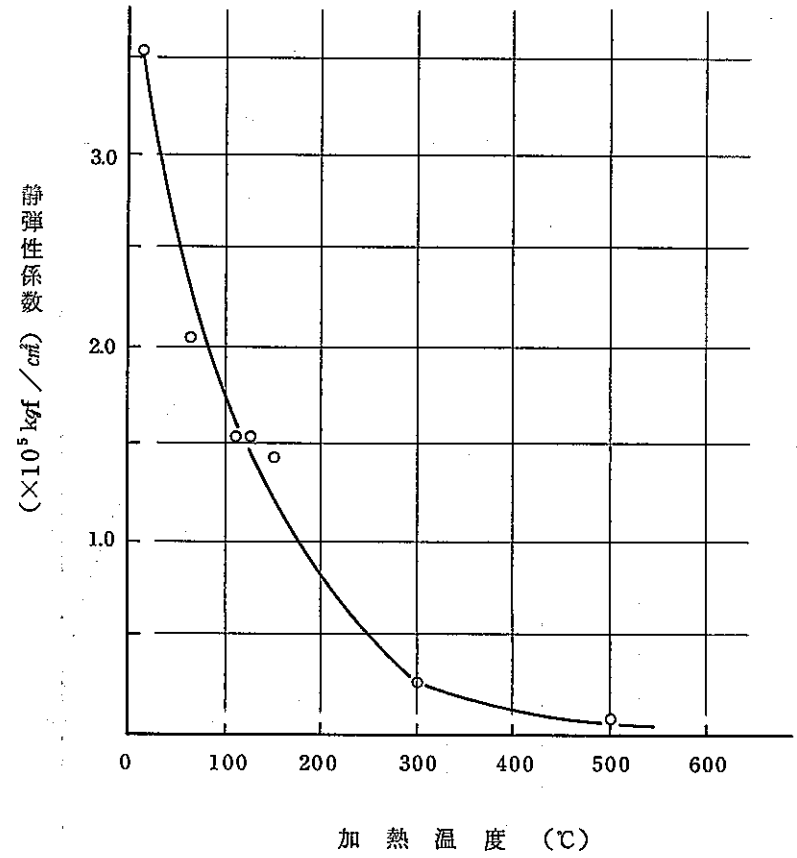
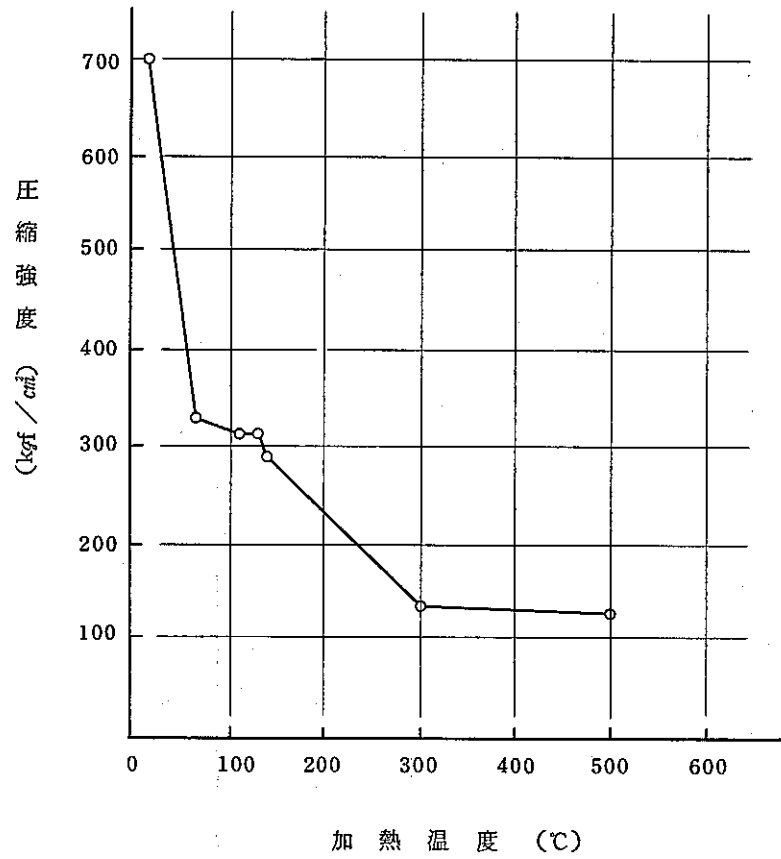


Fig. 3.6 Temperature Effect on Compressive Strength and Static Modulus of Elasticity for Alumina Concrete

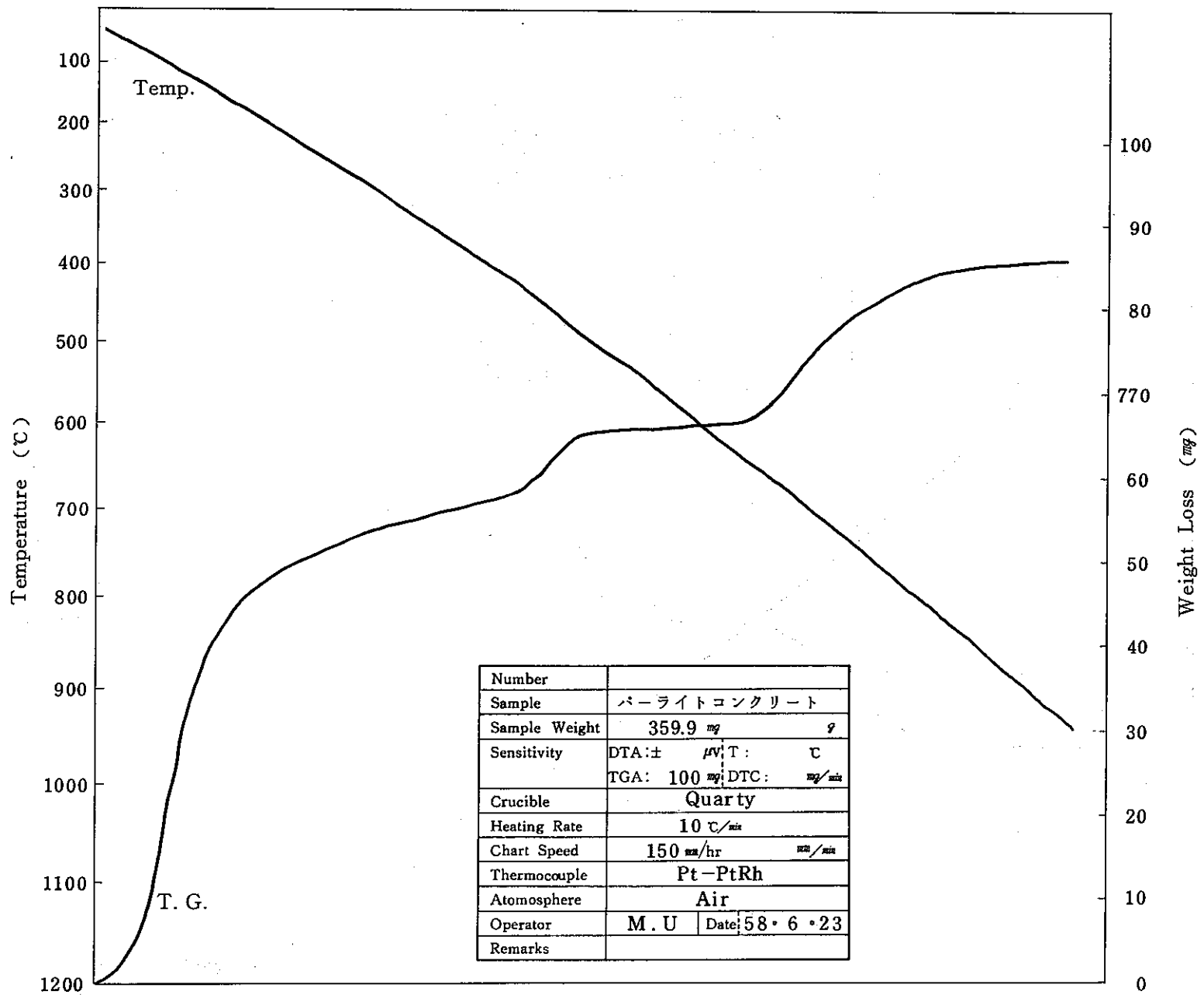


Fig. 3.7 Weight Loss of Perlite Concrete by TGA (1)

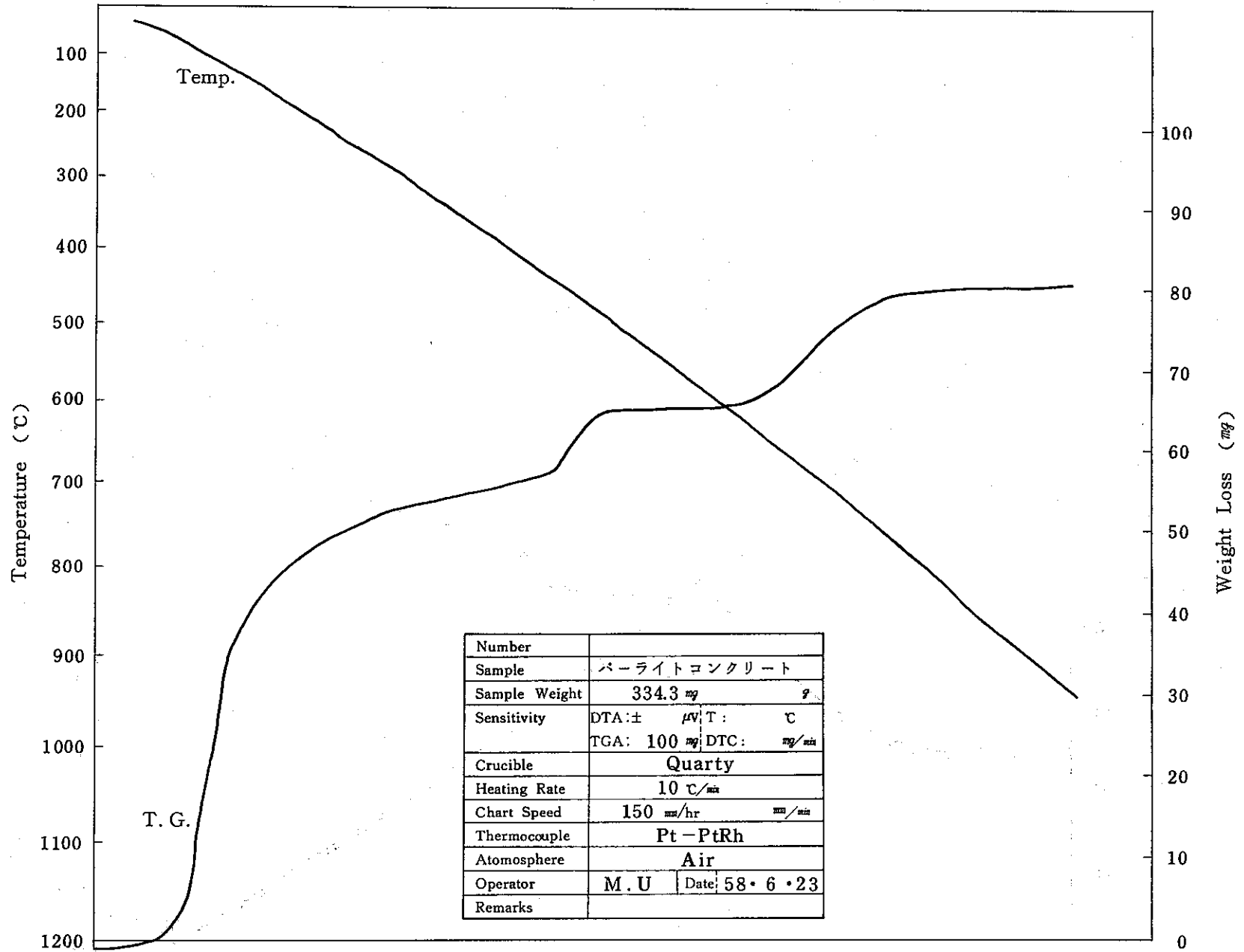


Fig. 3.8 Weight Loss of Perlite Concrete by TGA (2)



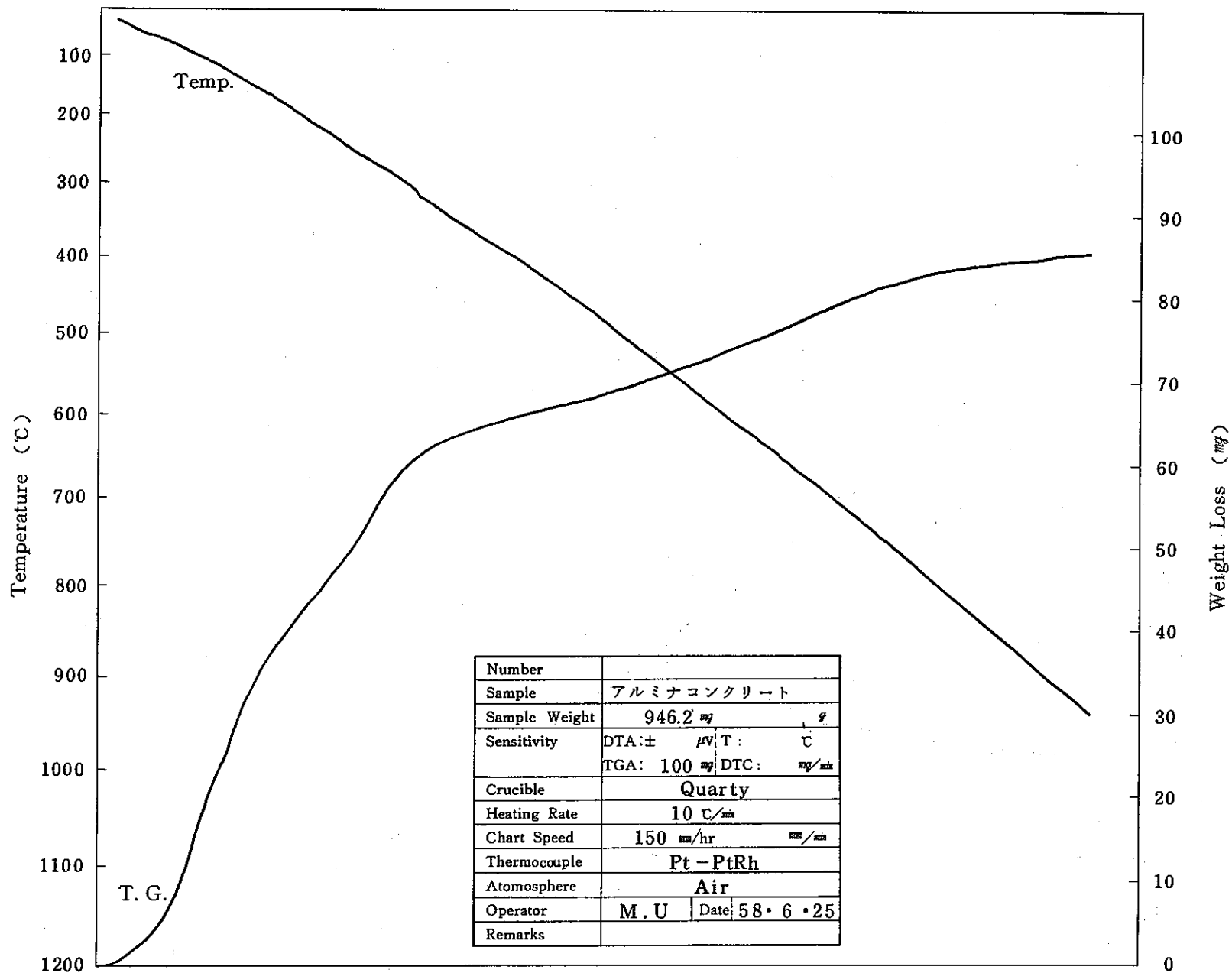


Fig. 3.9 Weight Loss of Alumina Concrete by TGA (1)

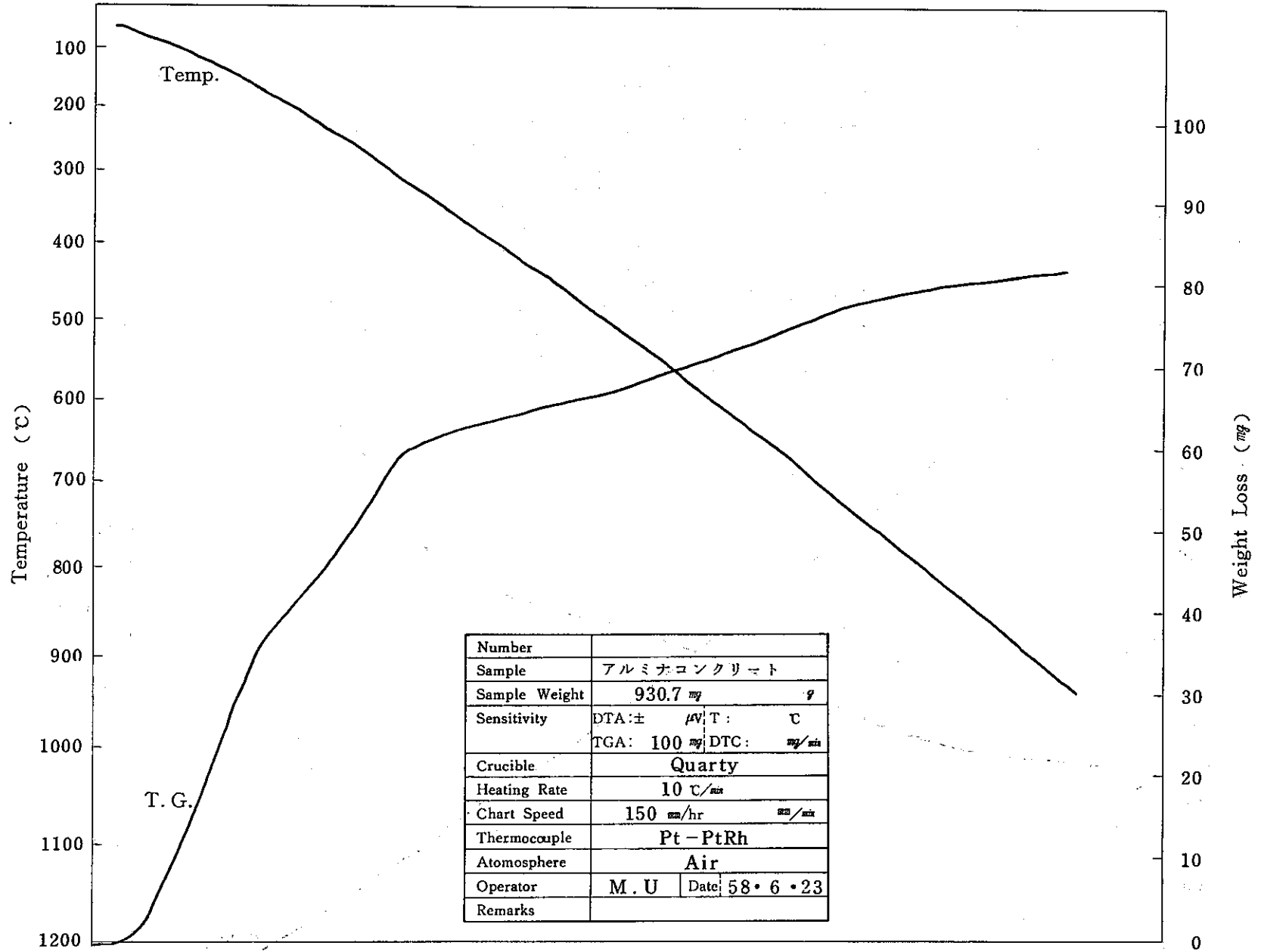


Fig. 3.10 Weight Loss of Alumina Concrete by TGA (2)

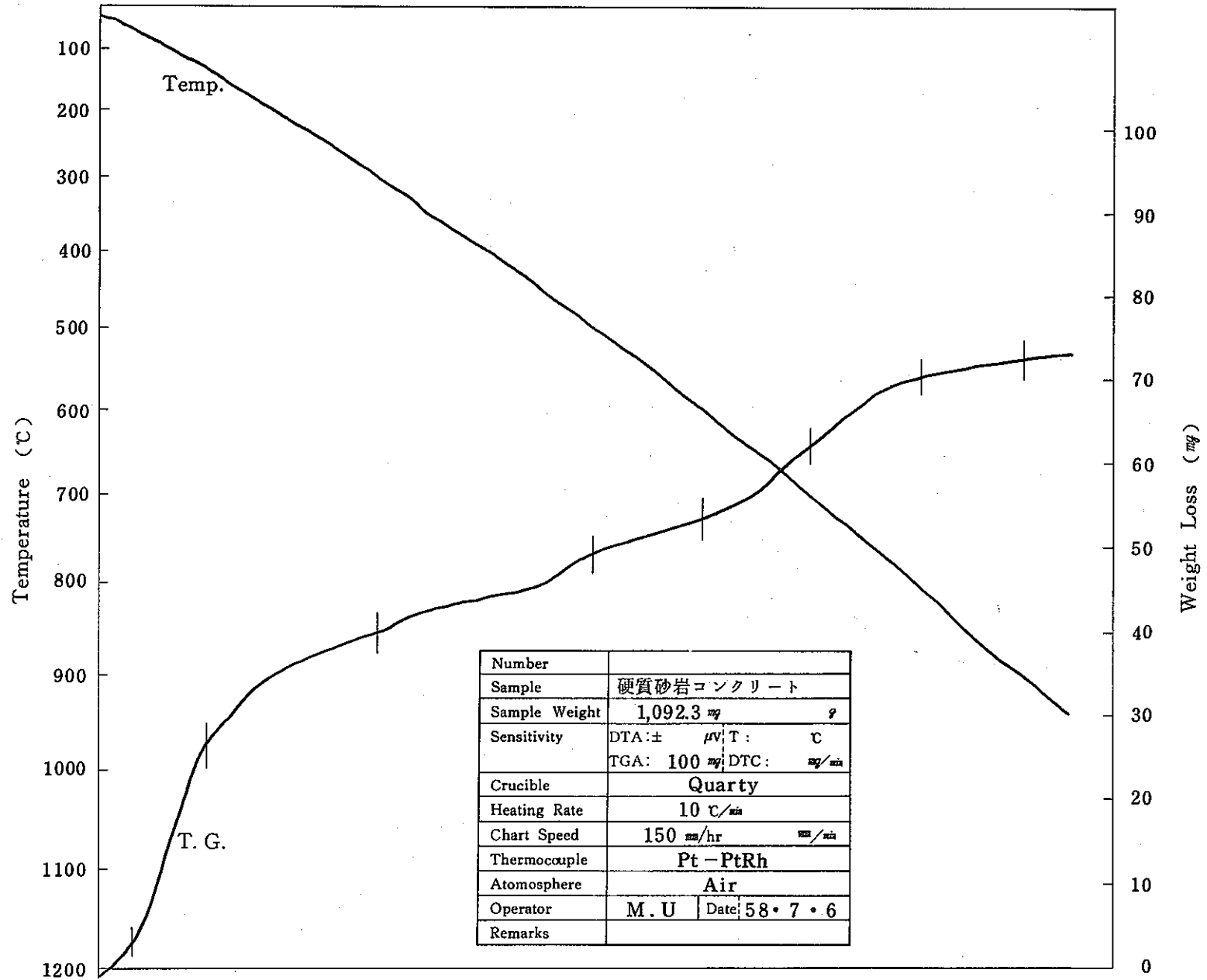


Fig.3.11 Weight Loss of Graywacke Concrete by TGA (1)

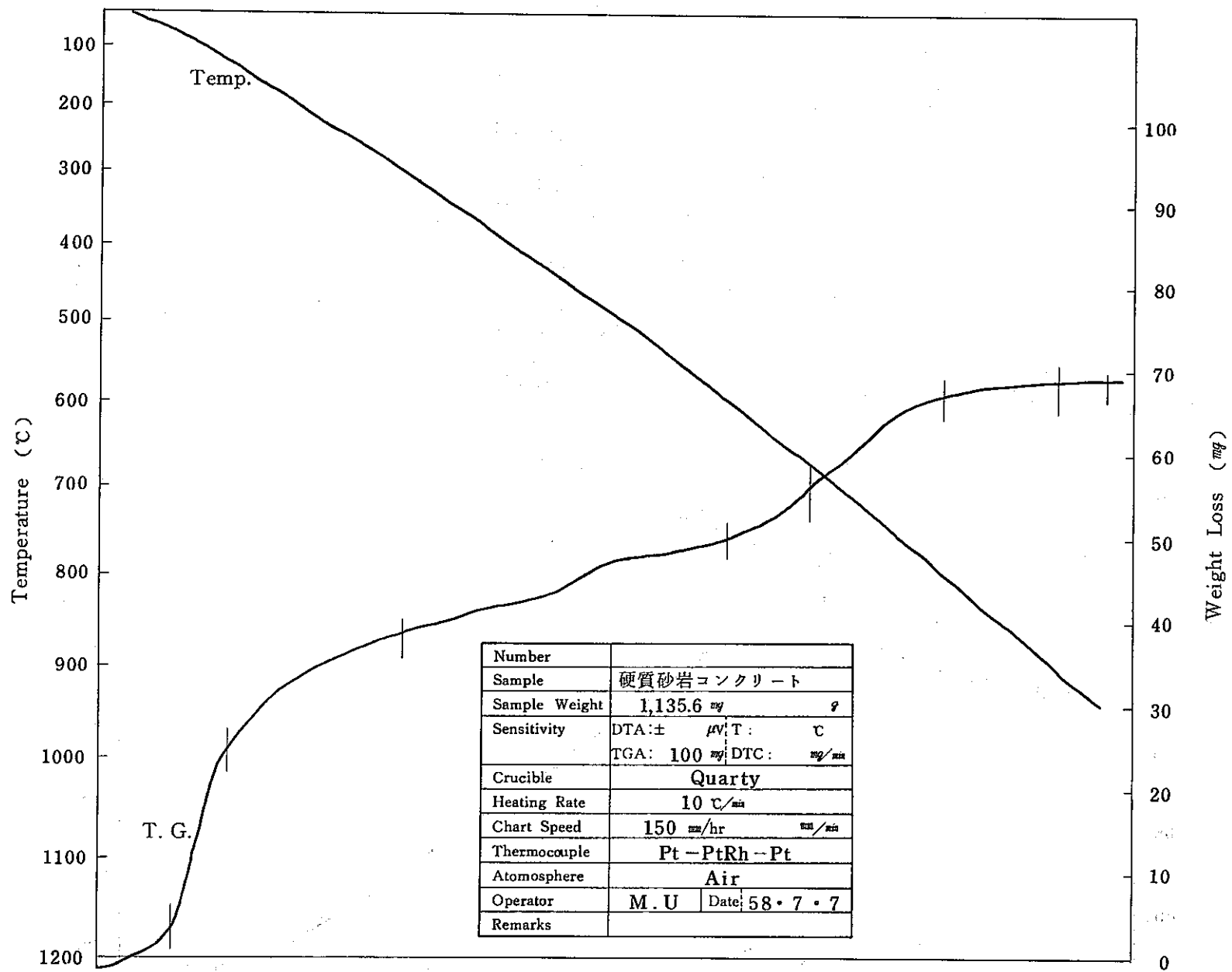


Fig. 3.12 Weight Loss of Graywacke Concrete by TGA (2)

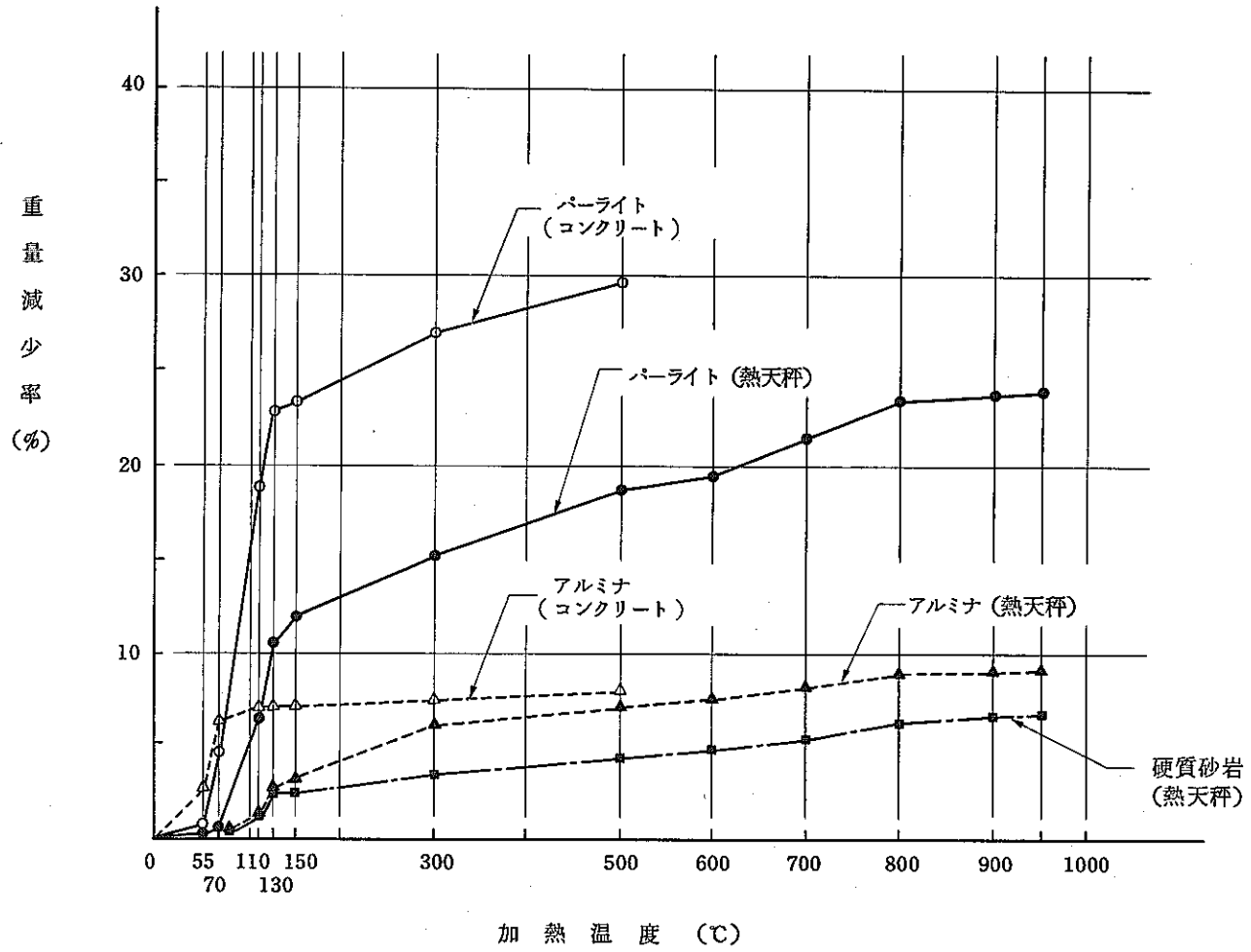


Fig. 3.13 Effect of Concrete Type and Measurement Method on Weight Loss

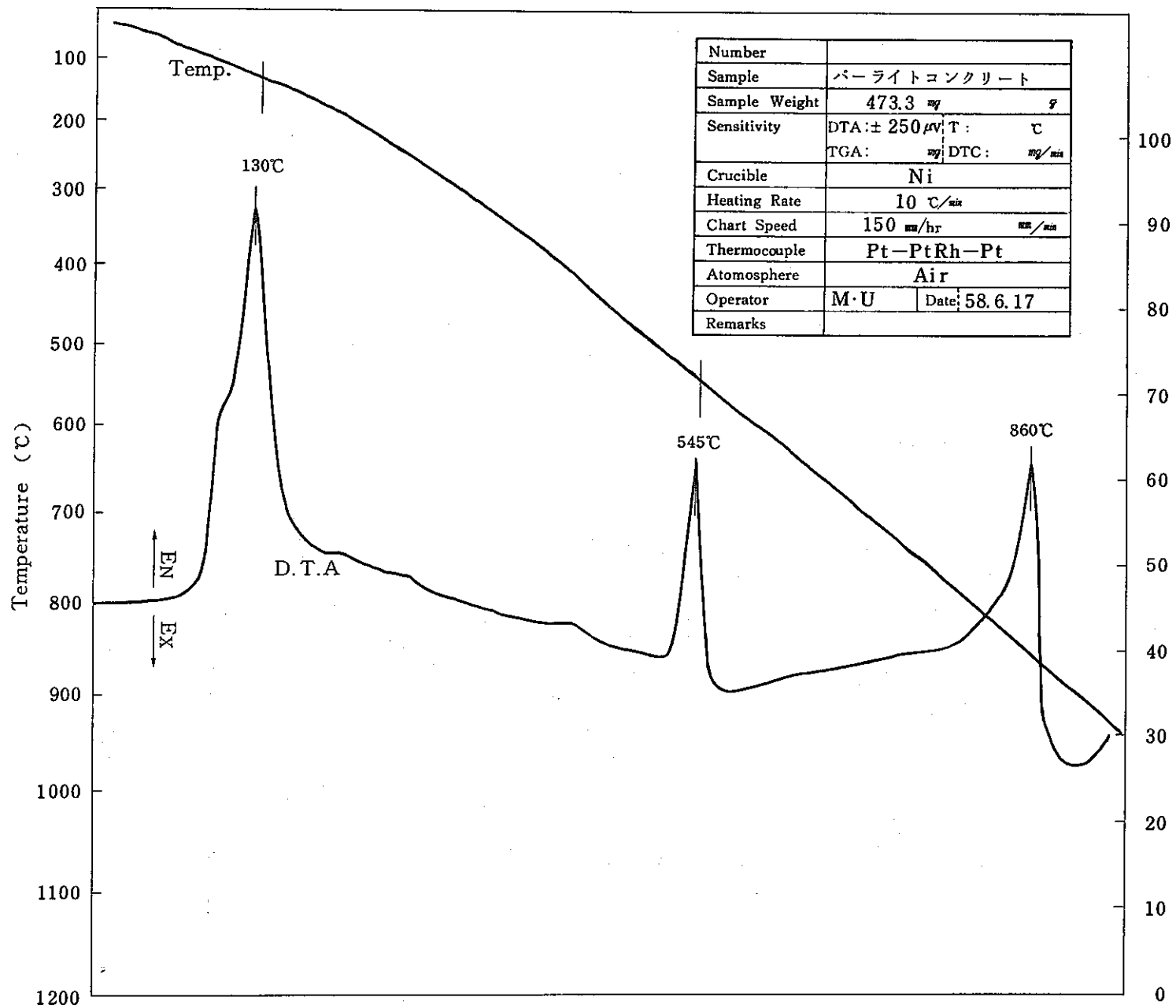


Fig. 3.14 Reaction Peaks of Perlite Concrete by DTA (1)

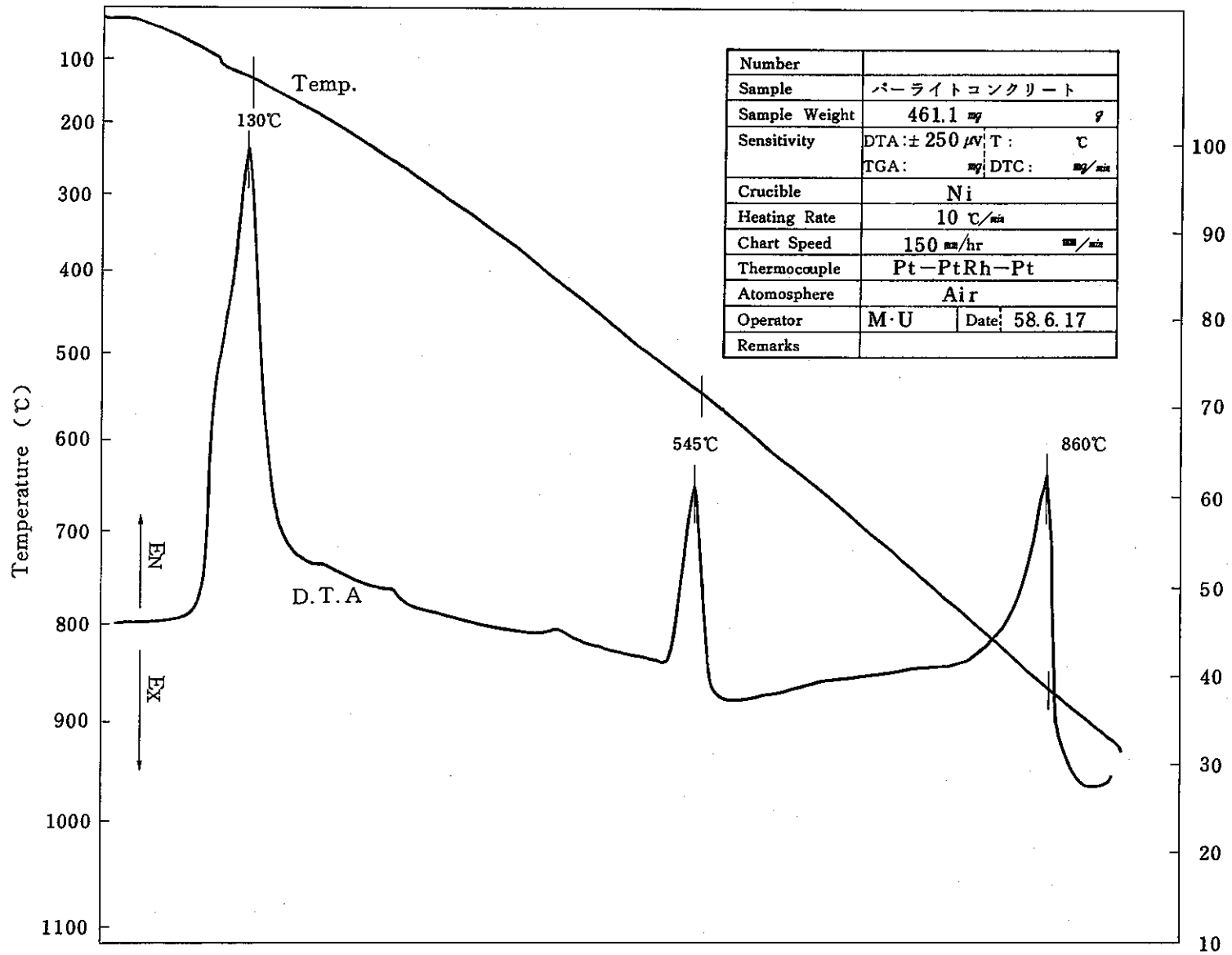


Fig. 3.15 Reaction Peaks of Perlite Concrete by DTA (2)

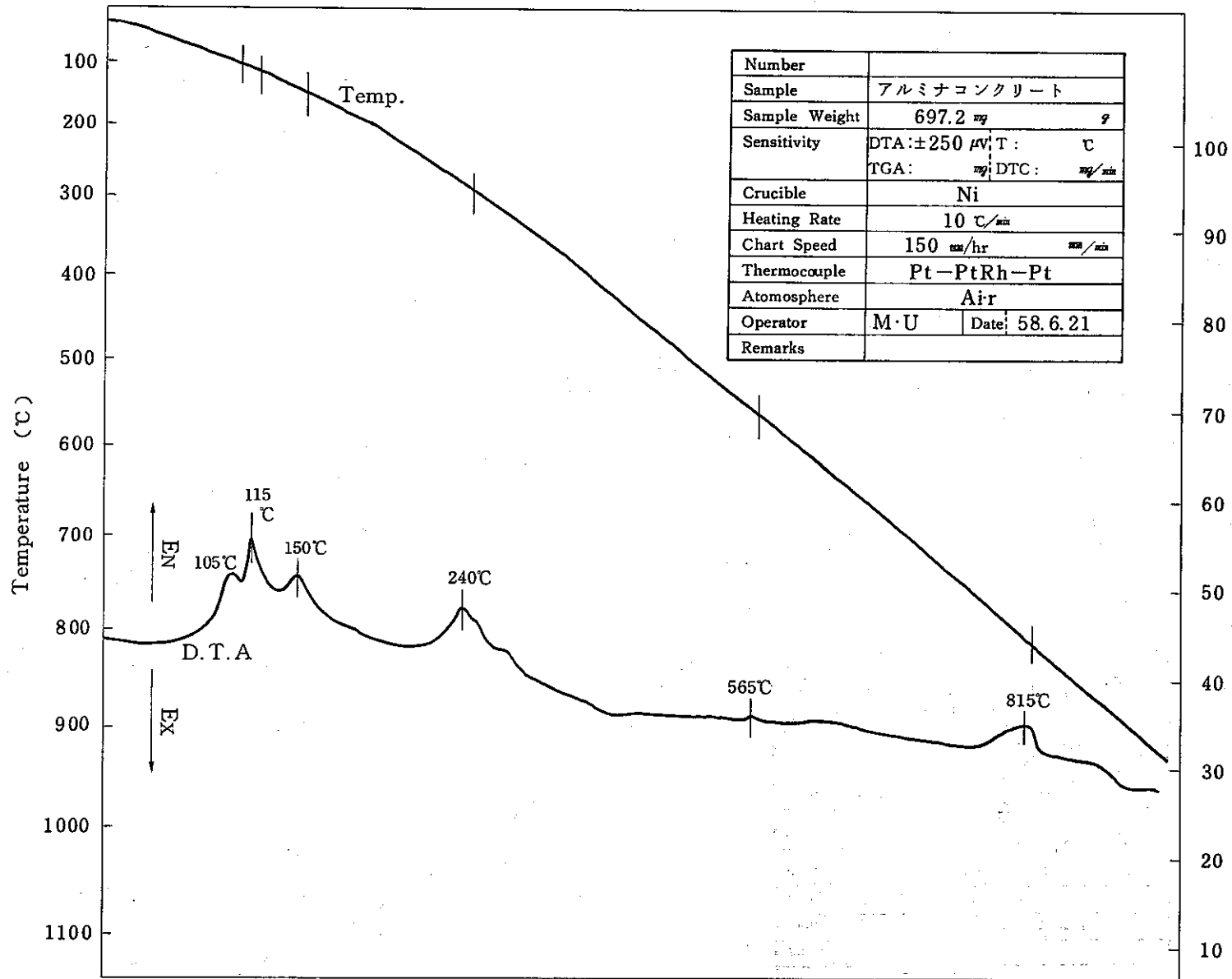


Fig. 3.16 Reaction Peaks of Alumina Concrete by DTA (1)



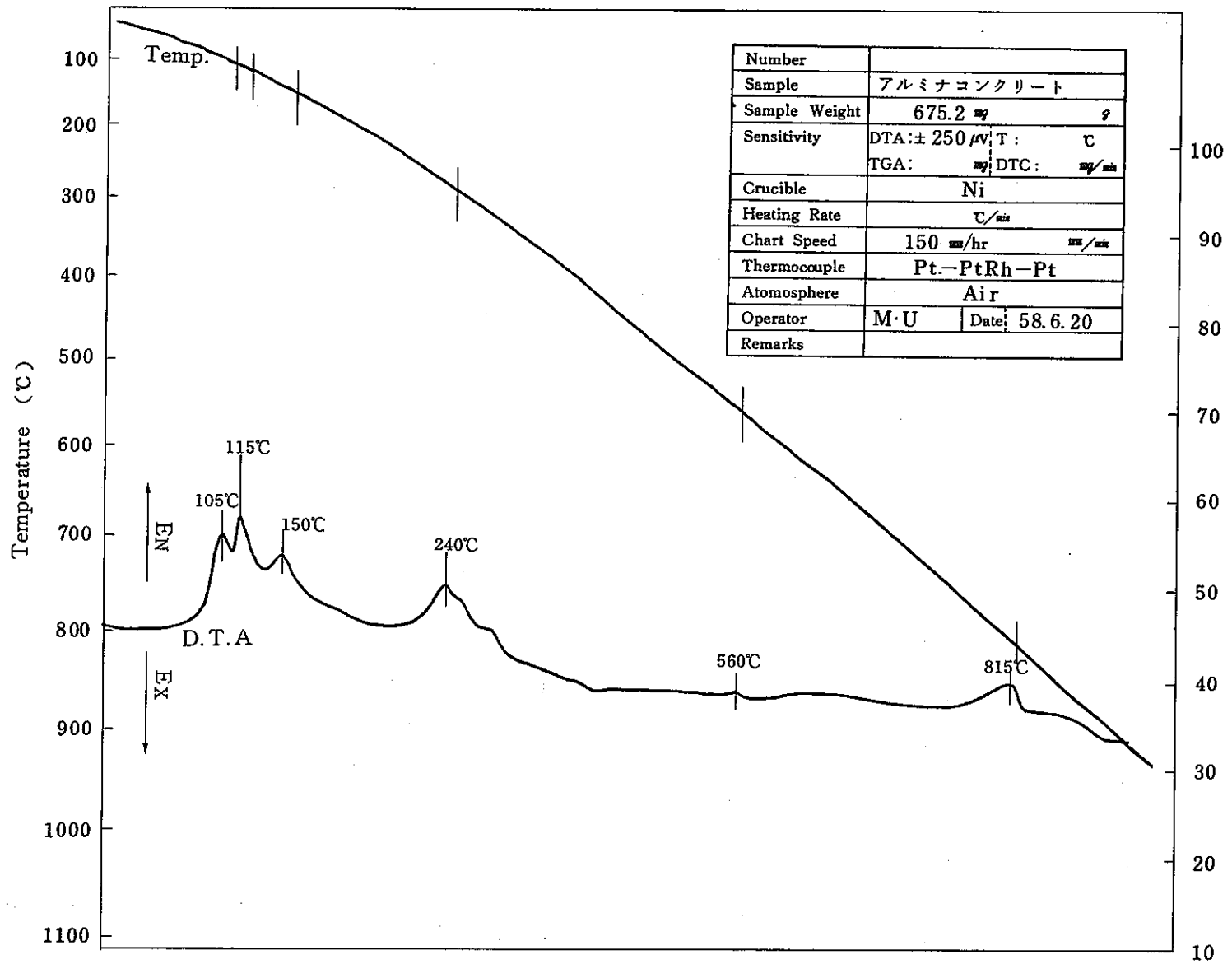


Fig. 3.17 Reaction Peaks of Alumina Concrete by DTA (2)

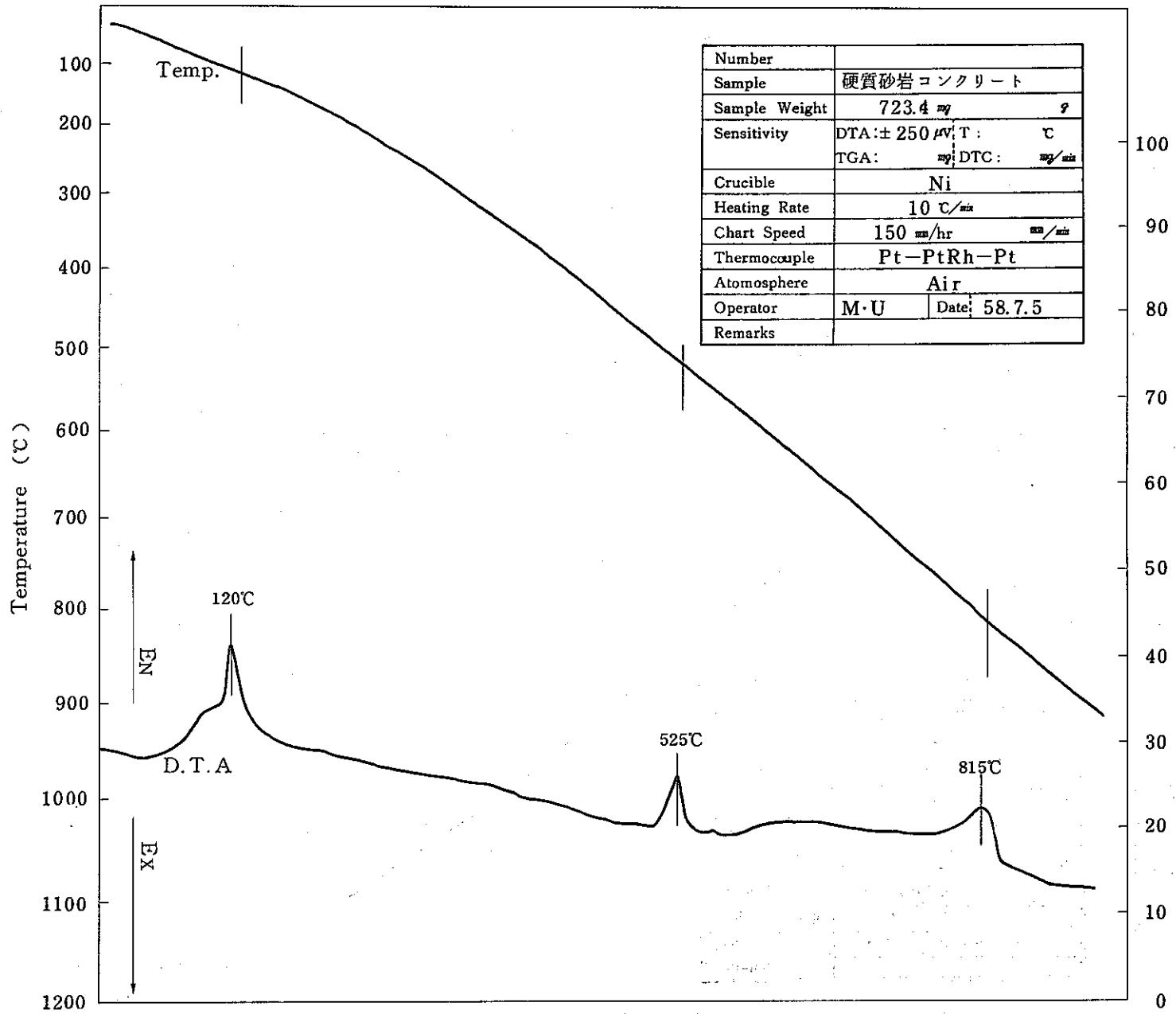


Fig. 3.18 Reaction Peaks of Graywacke Concrete by DTA (1)

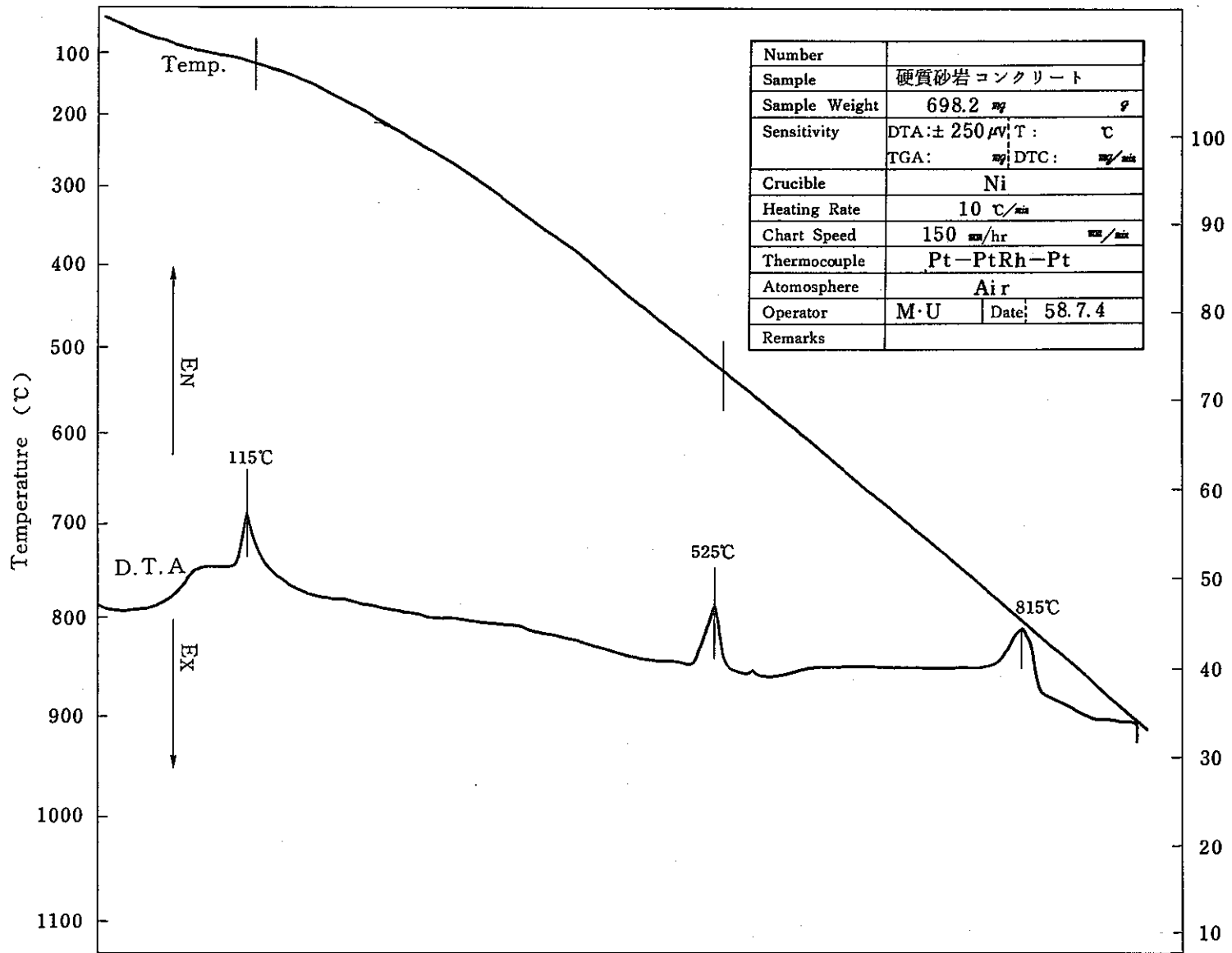


Fig. 3.19 Reaction Peaks of Graywacke Concrete by DTA (2)

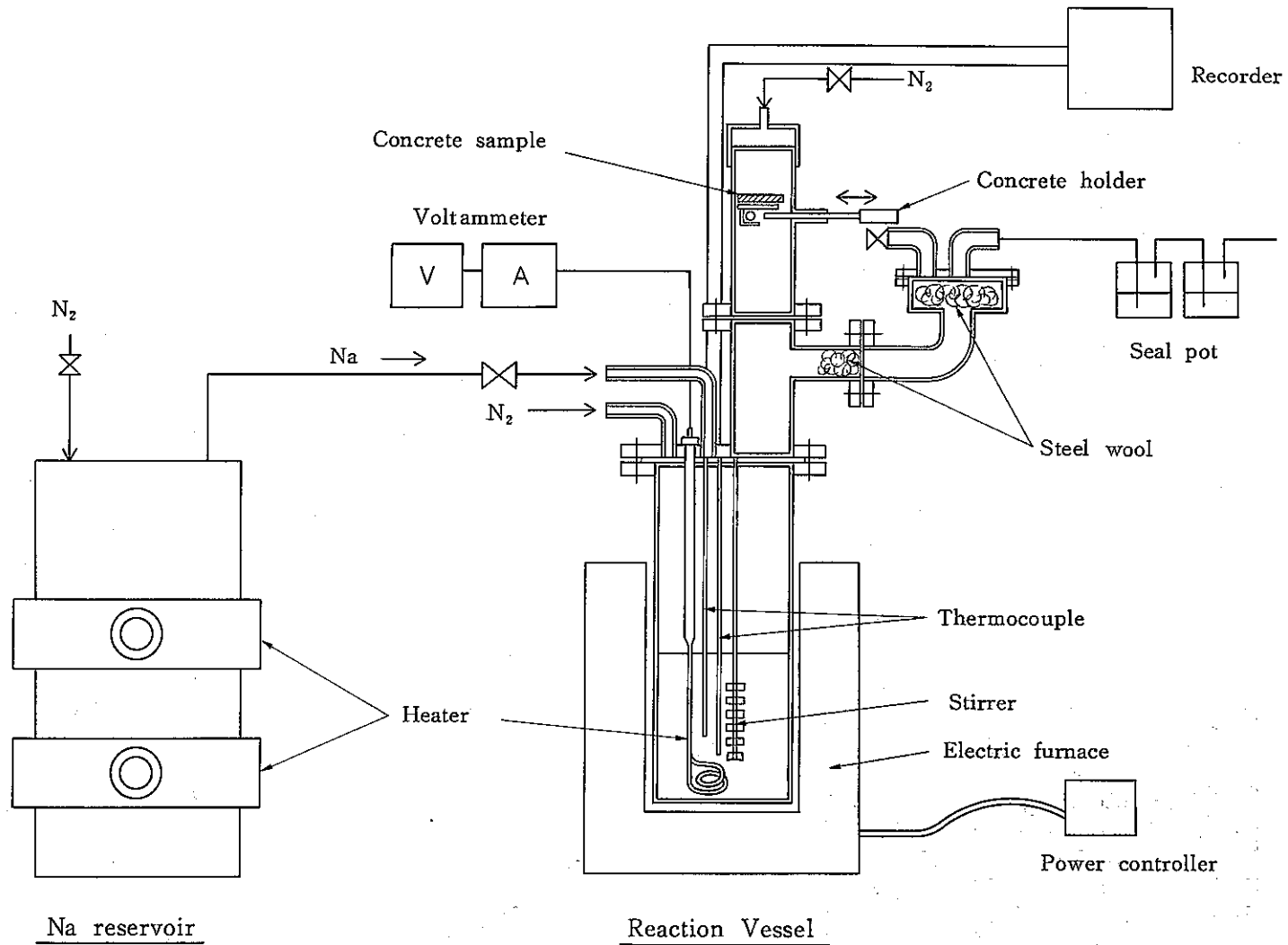


Fig.4.1 Test Rig for Measurement of Sodium - Concrete Reaction Heat

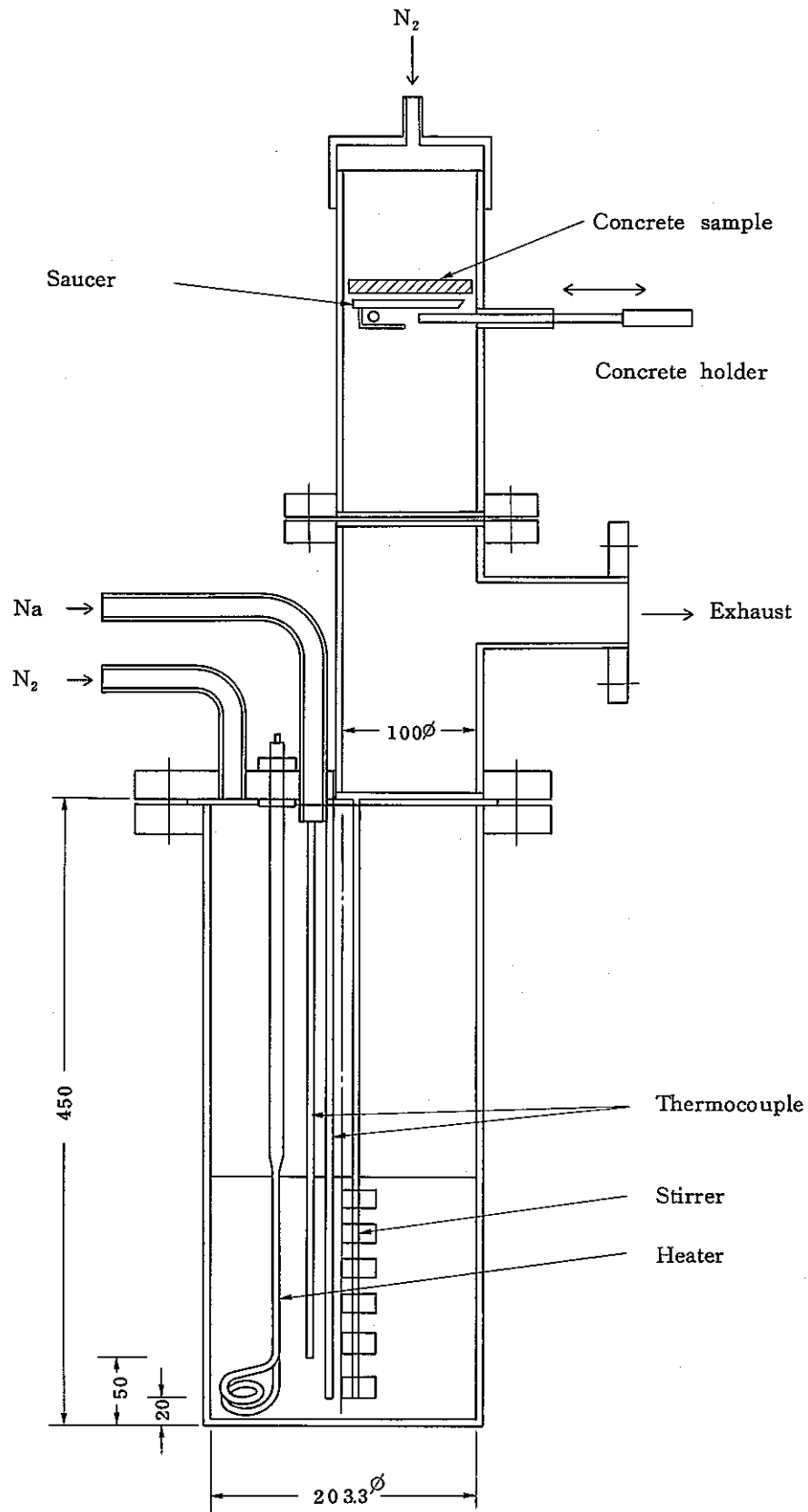


Fig. 4.2 Sodium - Concrete Reaction Vessel

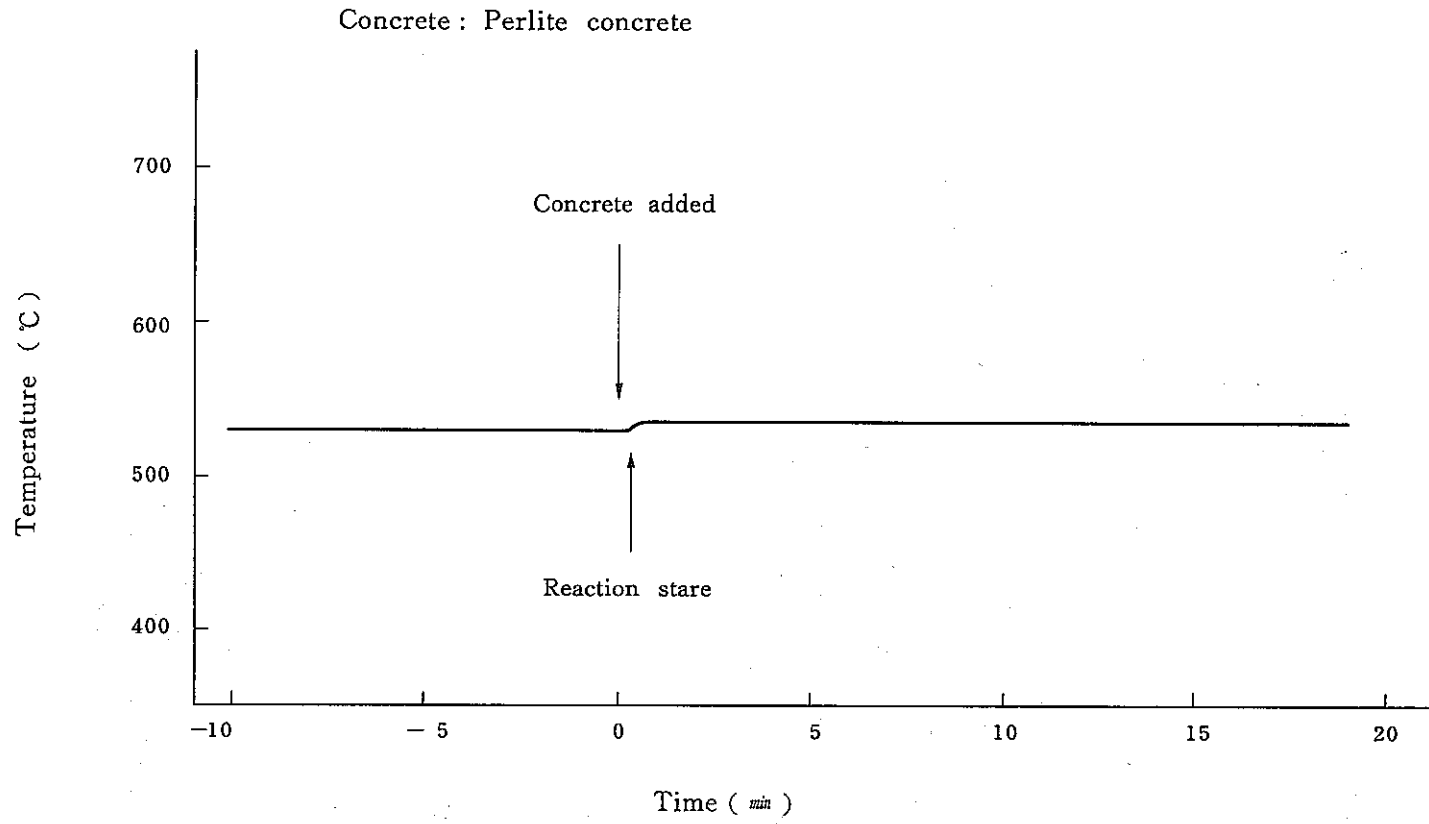


Fig. 4.3 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 1 H )

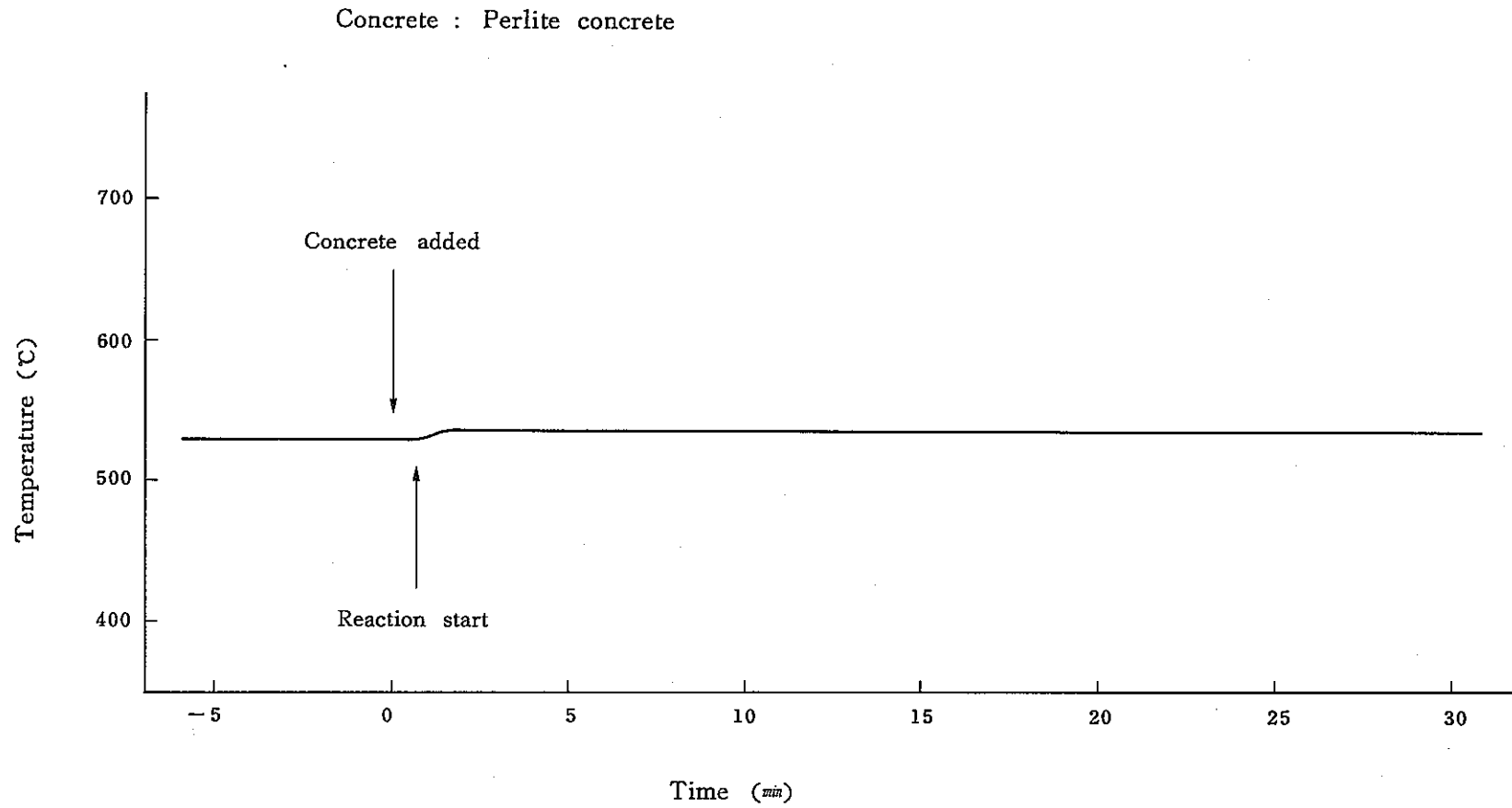


Fig. 4.4 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ( Exp. 2 H )

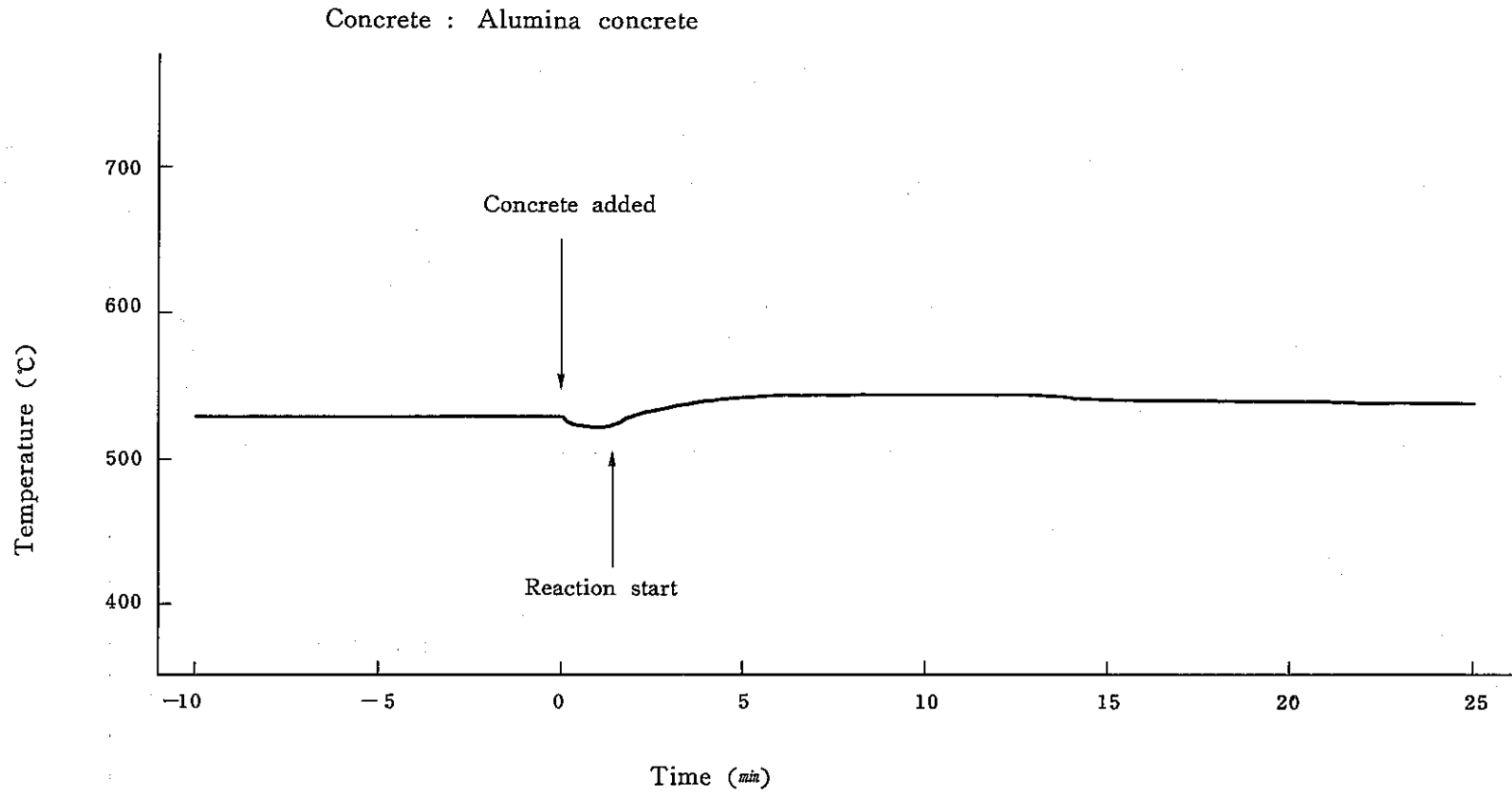


Fig. 4.5 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ( Exp. 3 H )



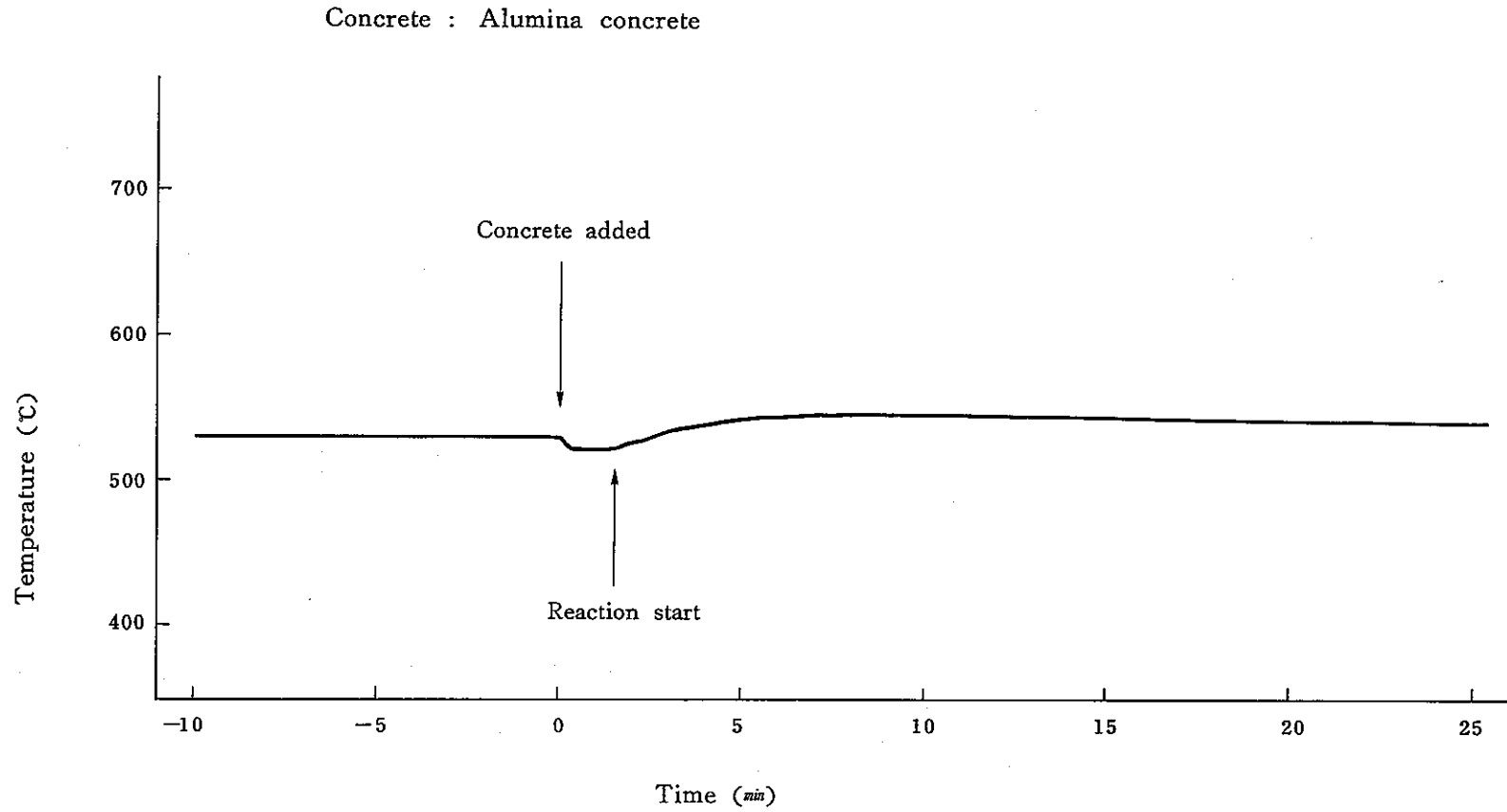


Fig. 4.6 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 4 H )

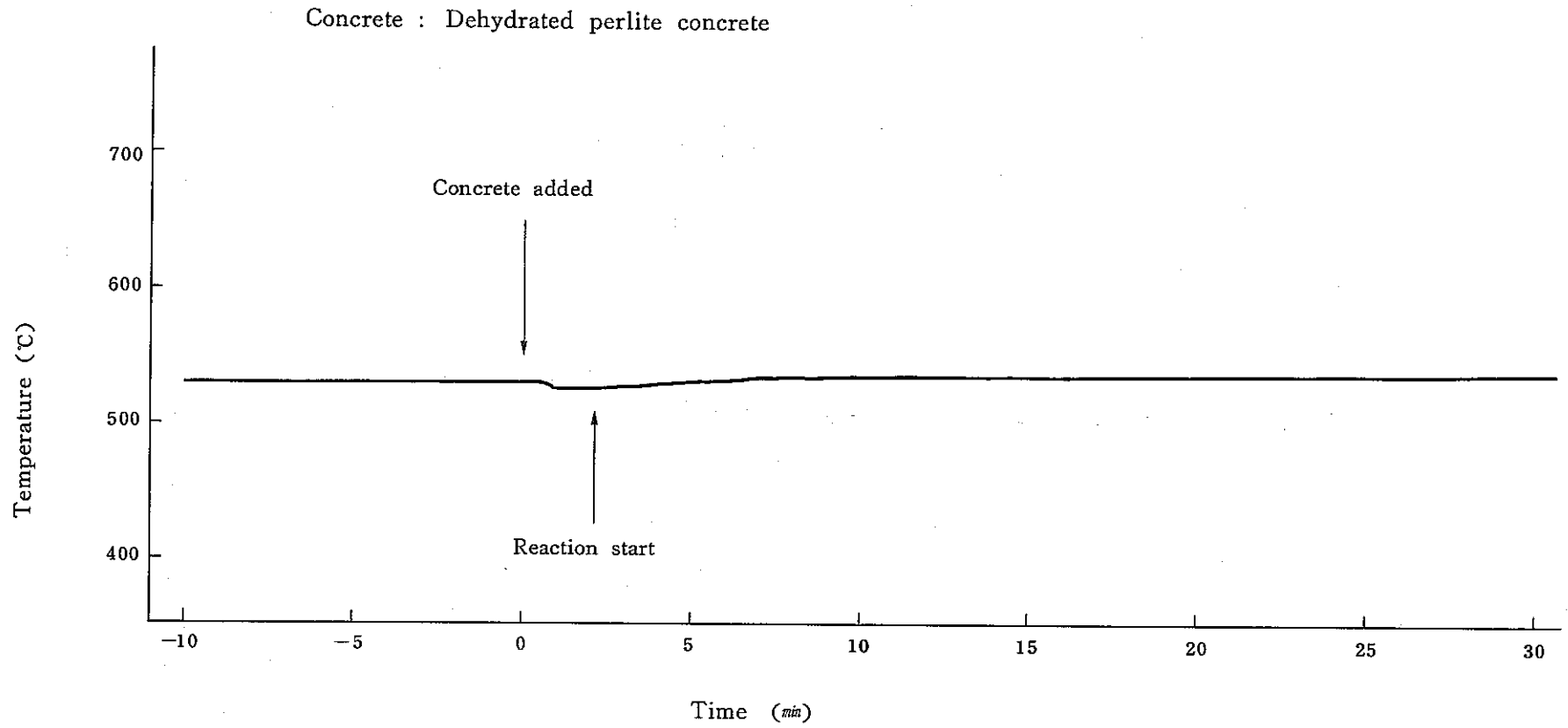


Fig. 4.7 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 5 H )

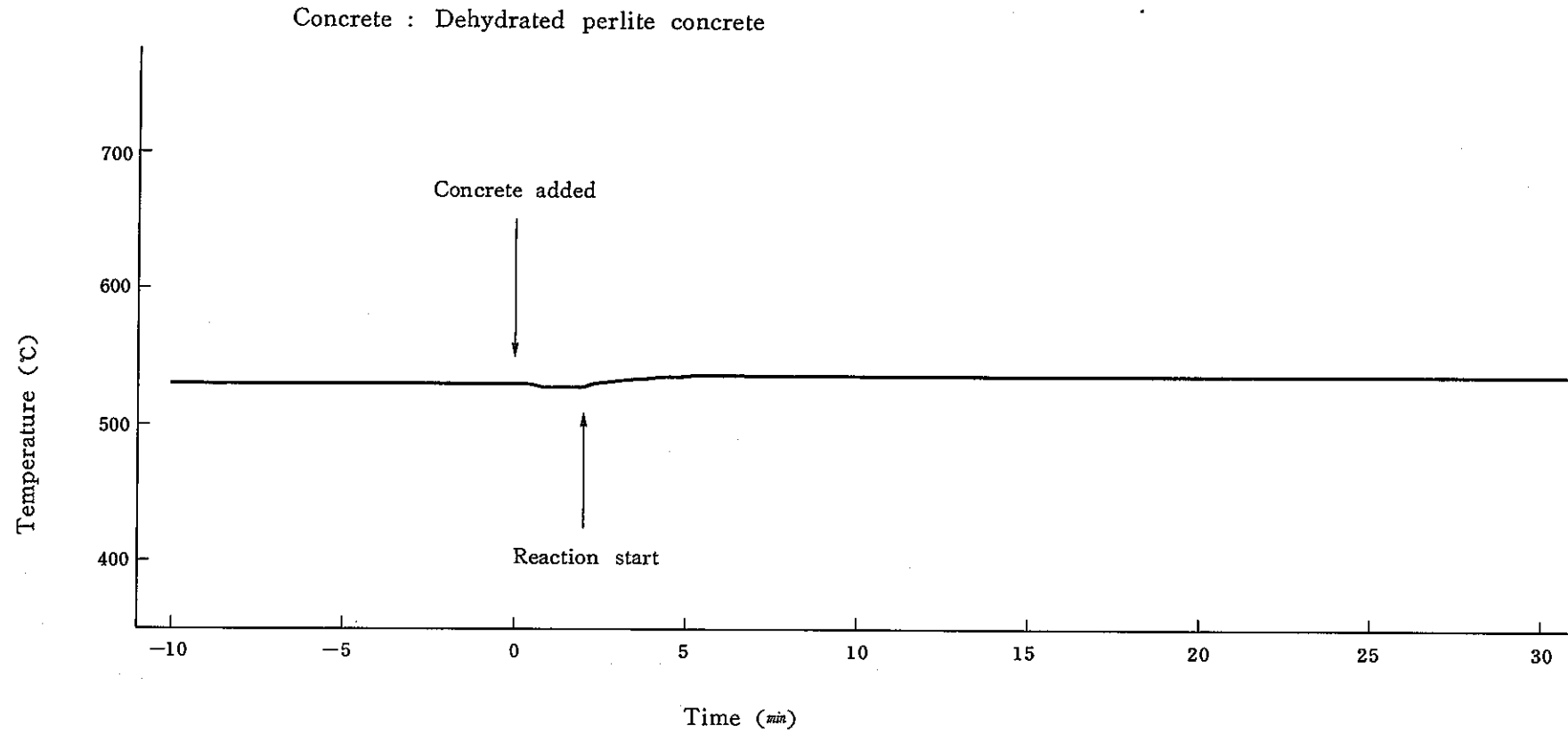


Fig. 4.8 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 6 H )

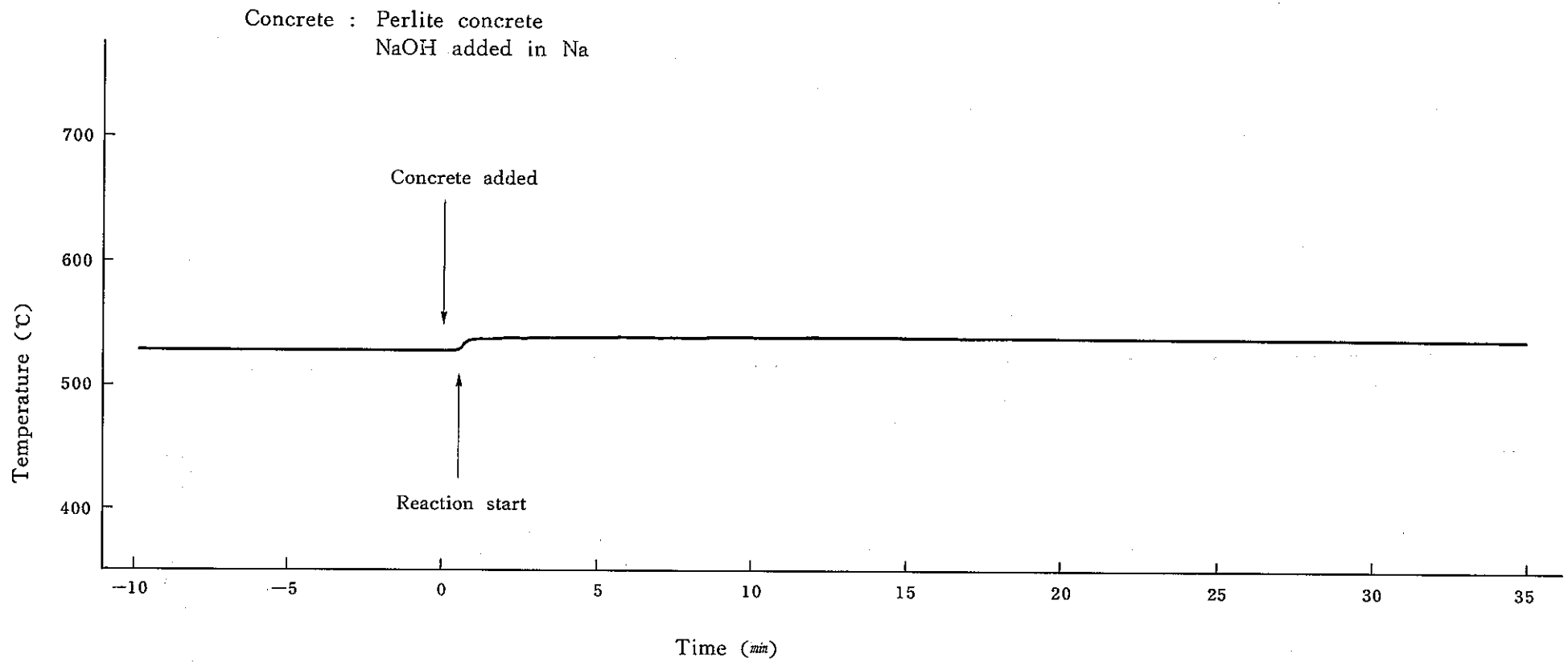


Fig. 4.9 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 7 H )

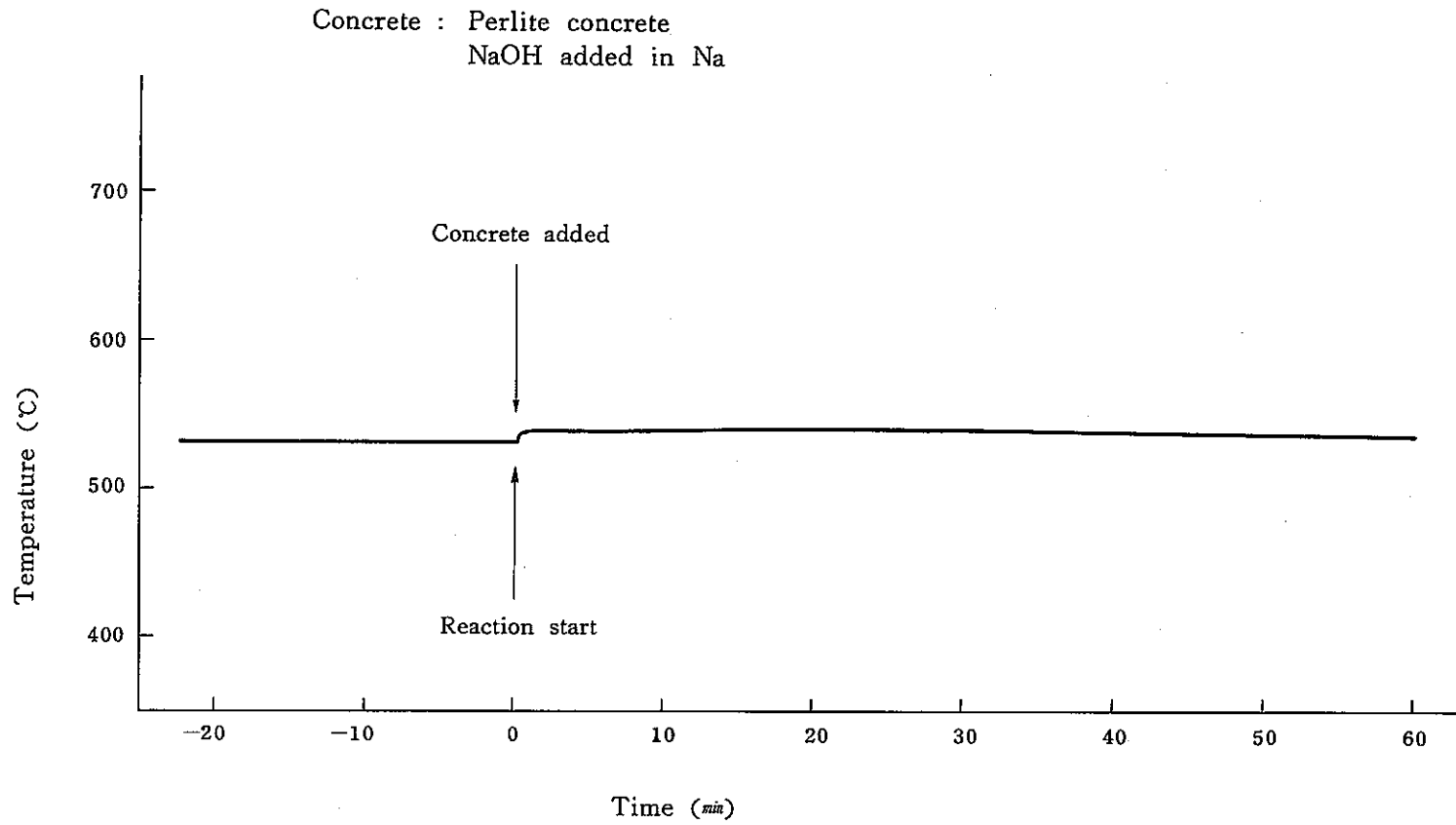


Fig.4.10 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 8 H )

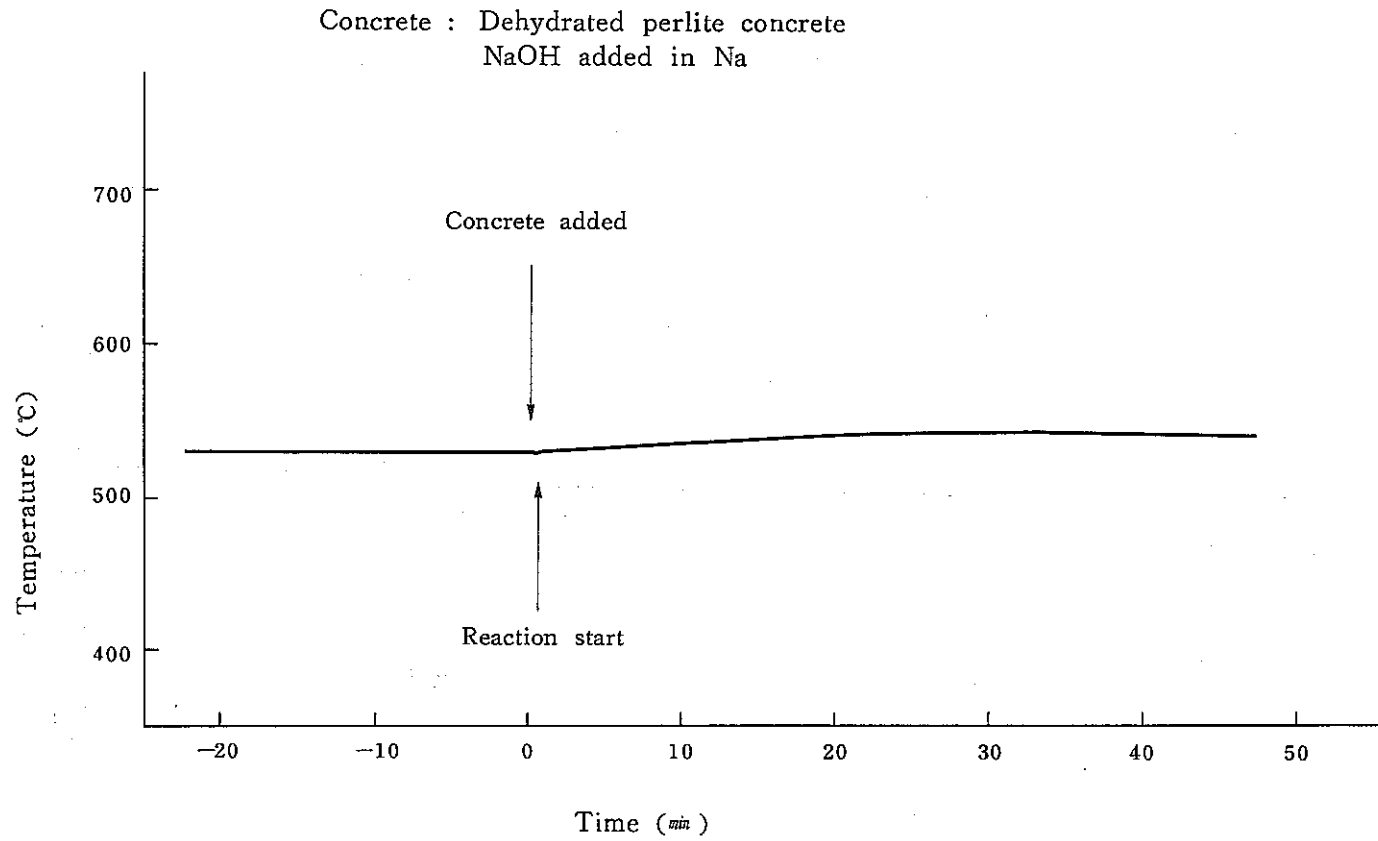


Fig. 4.11 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 9 H )

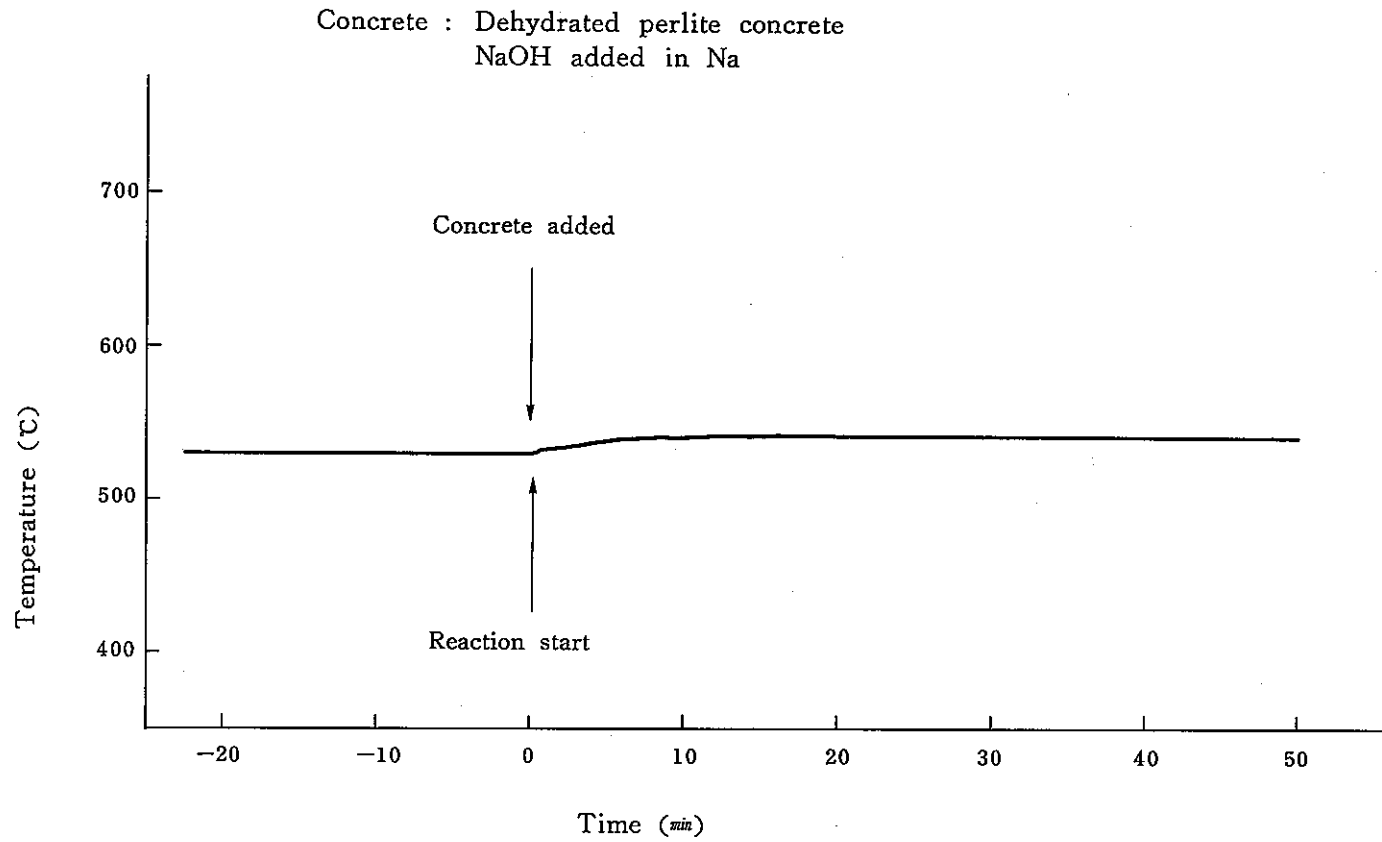


Fig. 4.12 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 10 H )

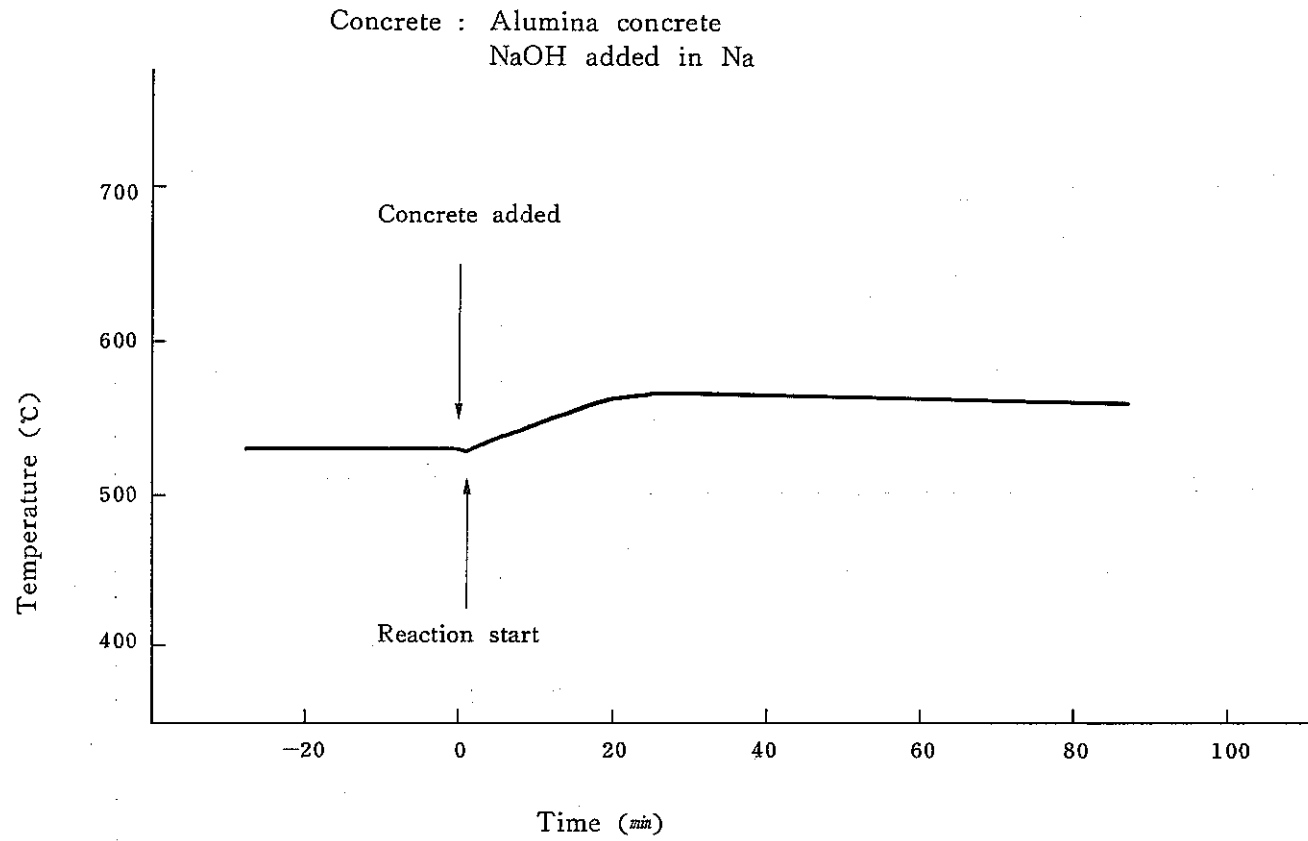


Fig. 4.13 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 11 H)



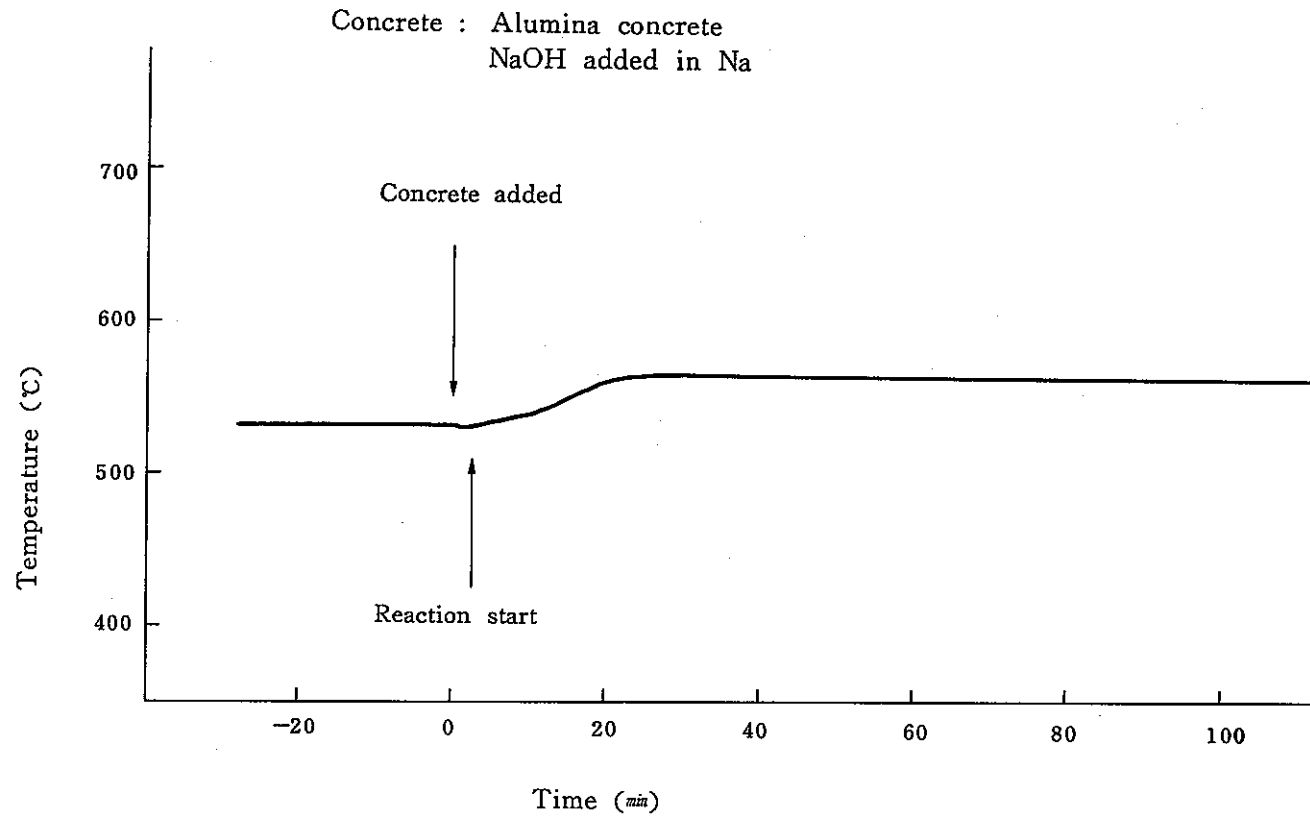


Fig. 4.14 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction (Exp. 12 H )

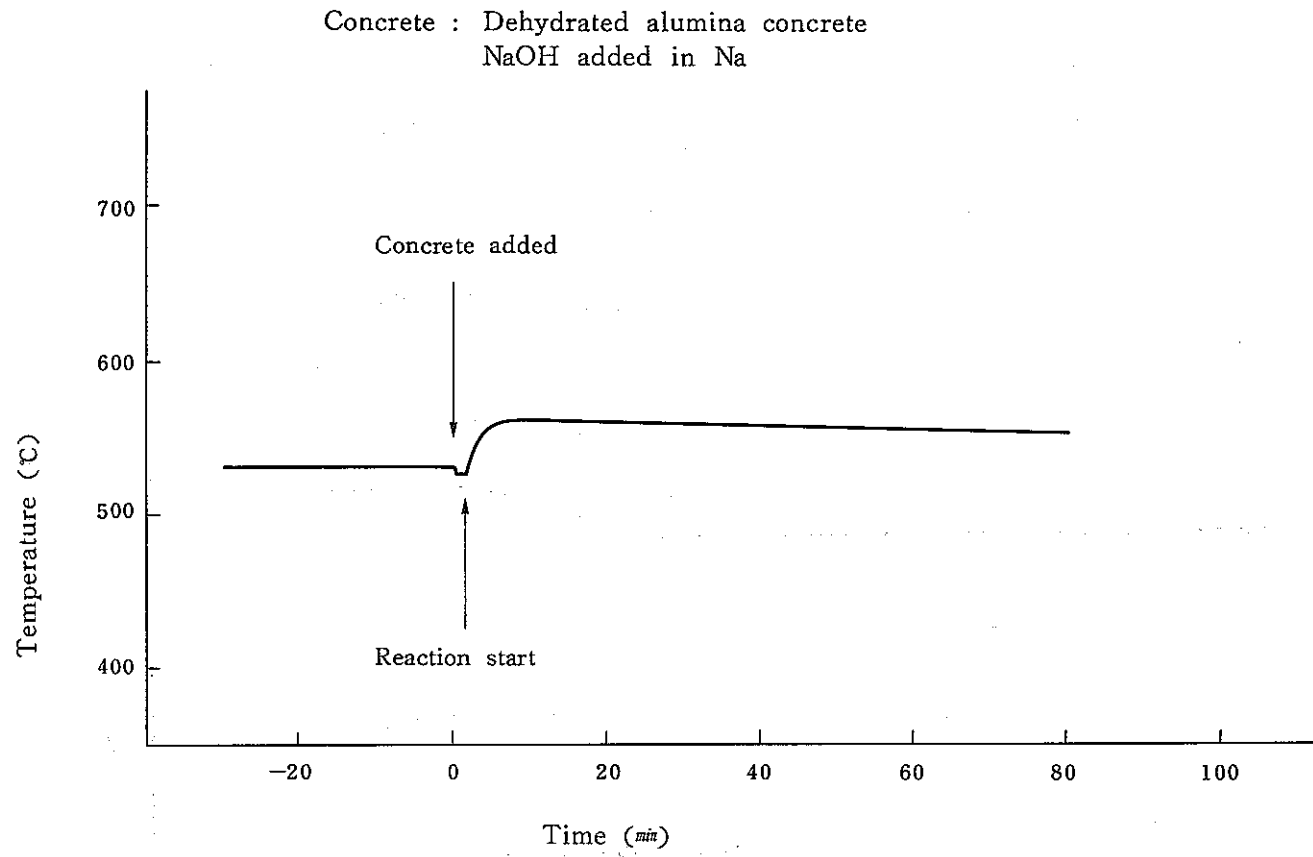


Fig. 4.15 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ( Exp. 13 H )

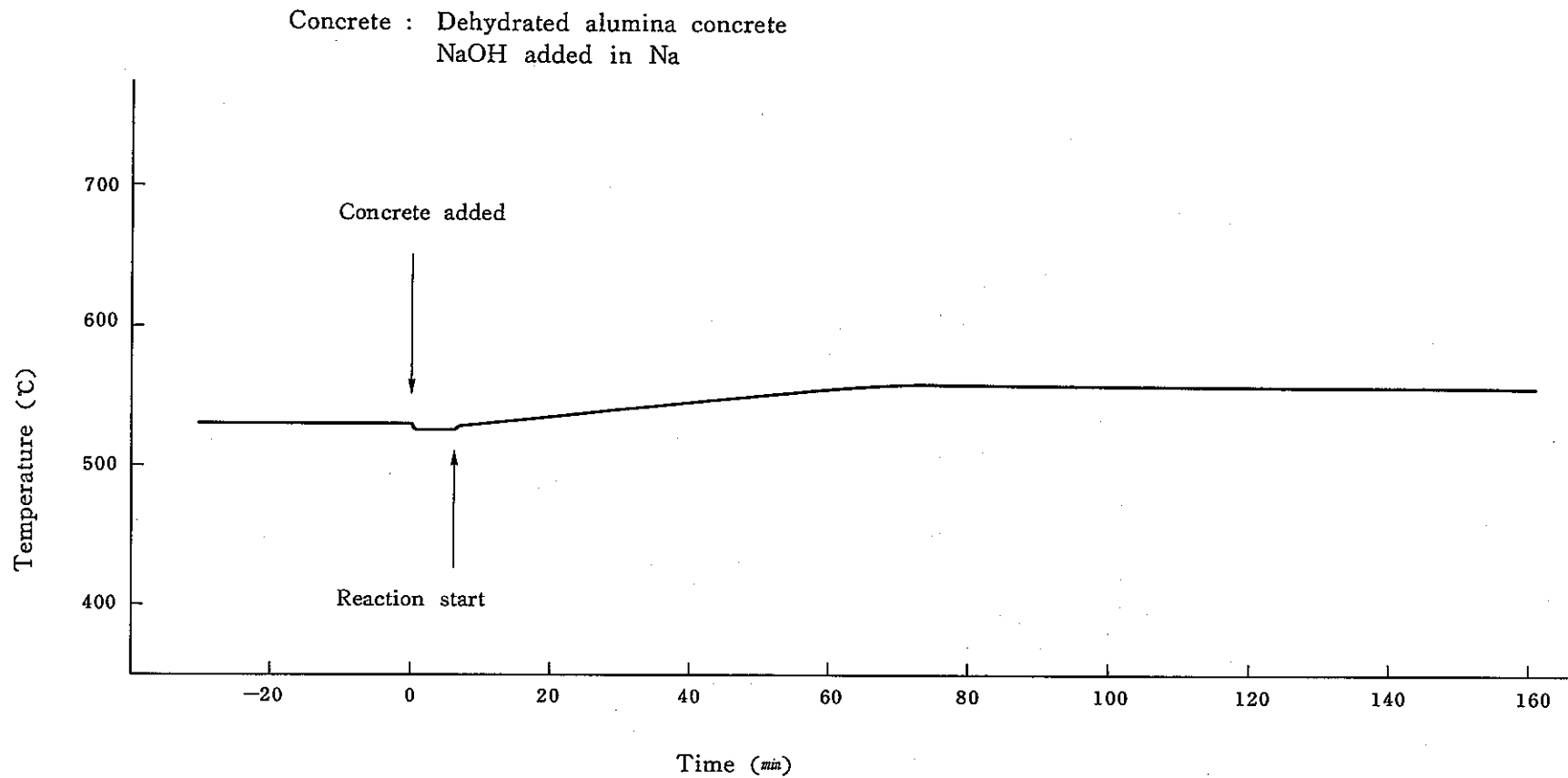


Fig. 4.16 Sodium Temperature Change by Sodium - Concrete Reaction ( Exp. 14 H )

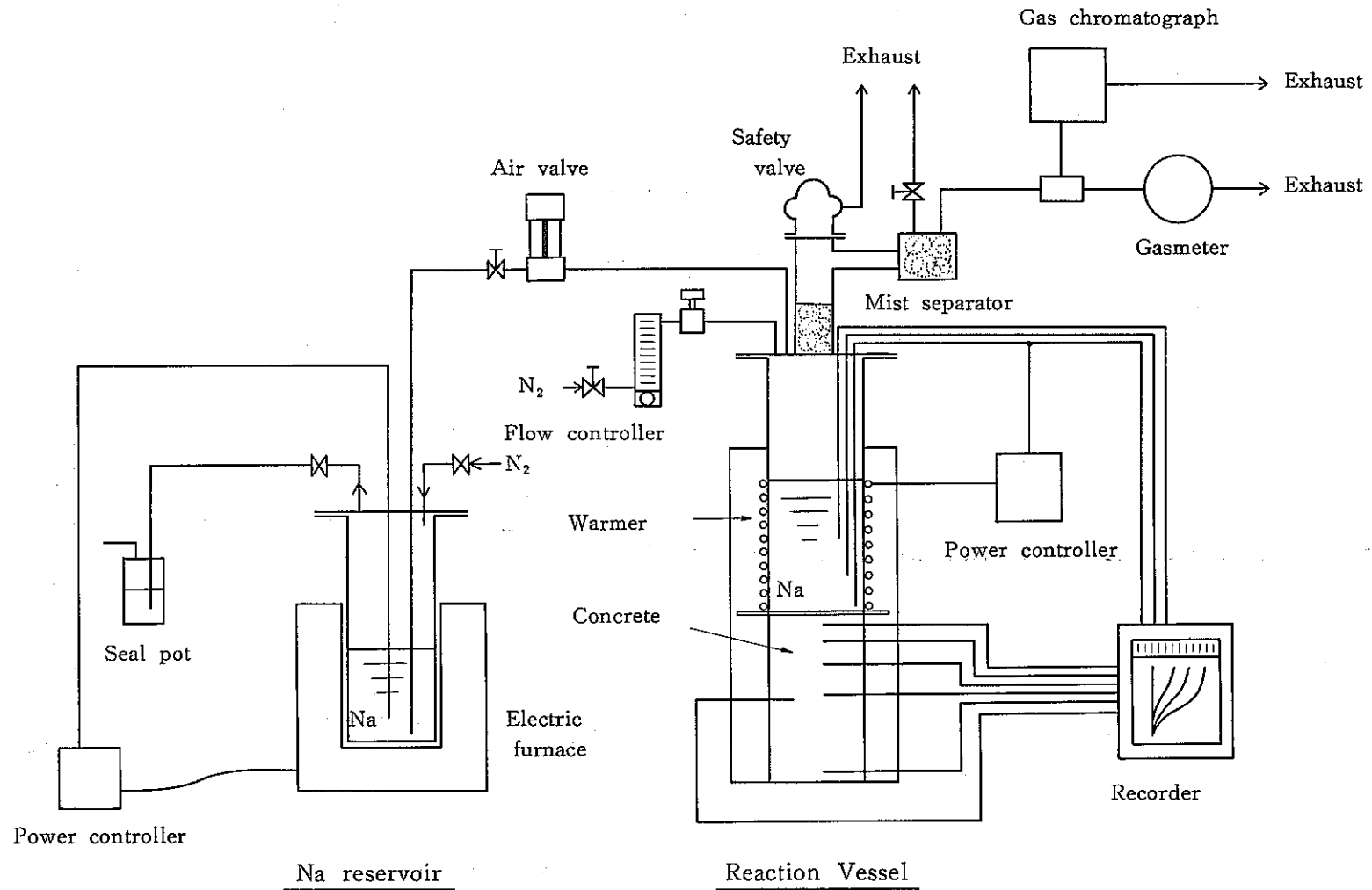


Fig. 5.1 Test Rig for Sodium - Concrete Reaction

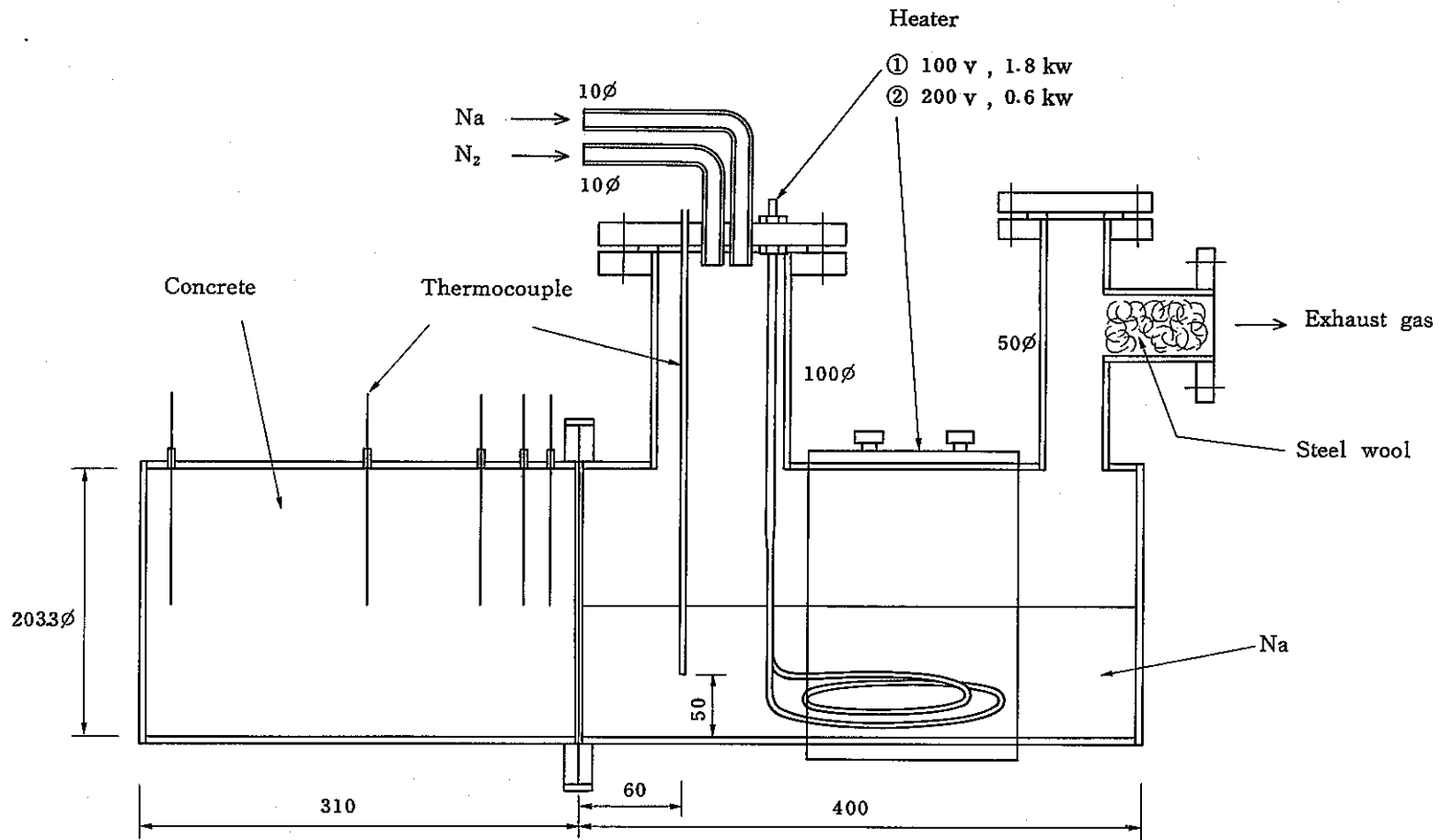


Fig. 5.2 Sodium - Concrete Reaction Vessel ( Exp. 1 M )

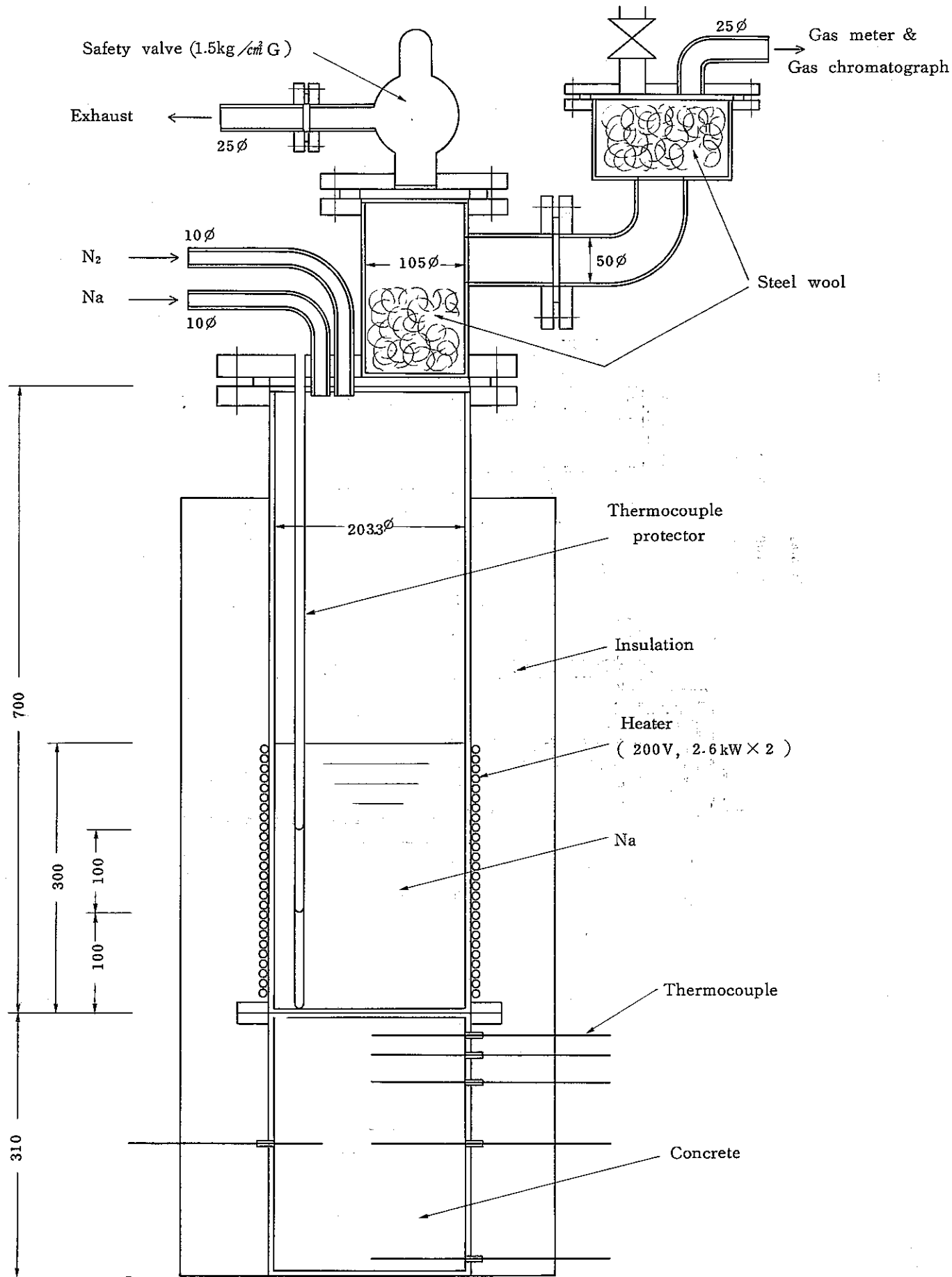
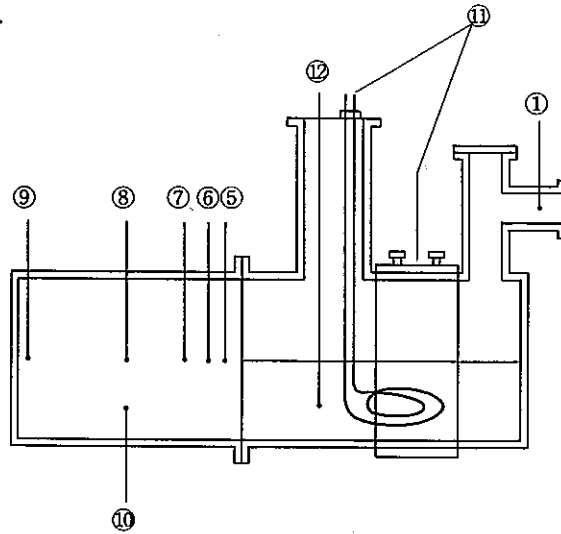
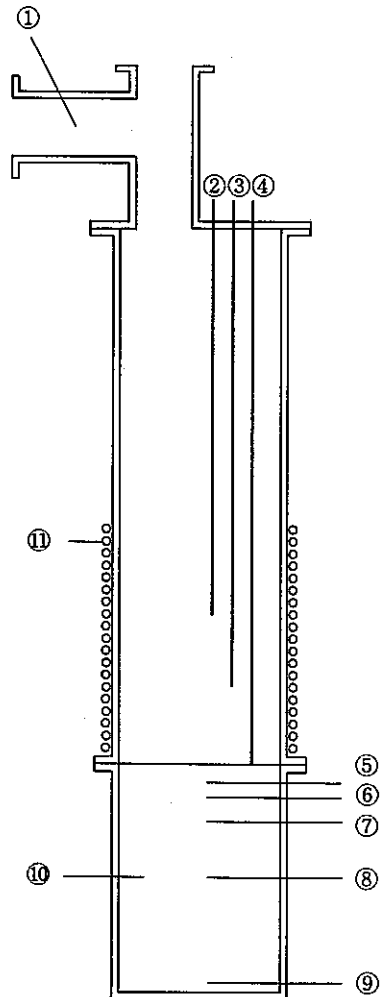


Fig. 5.3 Sodium - Concrete Reaction Vessel ( Exp. 2 M ~ 8 M )

< Exp. 1 M >



< Exp. 2M~ 8M >



| No. | Symbol | Location                                  |
|-----|--------|---|
| ①   | —————  | Exhaust gas                               |
| ②   | -----  | Na - 200                                  |
| ③   | -----  | Na - 100                                  |
| ④   | —————  | Na - 0                                    |
| ⑤   | -----  | CRT - 20                                  |
| ⑥   | -----  | CRT - 40                                  |
| ⑦   | -----  | CRT - 70                                  |
| ⑧   | -----  | CRT - 150                                 |
| ⑨   | -----  | CRT - 290                                 |
| ⑩   | -----  | CRT - 150S                                |
| ⑪   | ⏏      | Heater ON - OFF<br>(Controlled by ④ or ⑫) |
| ⑫   | —————  | Na - 60                                   |

Fig.5.4 Location of Thermocouples and their Symbols

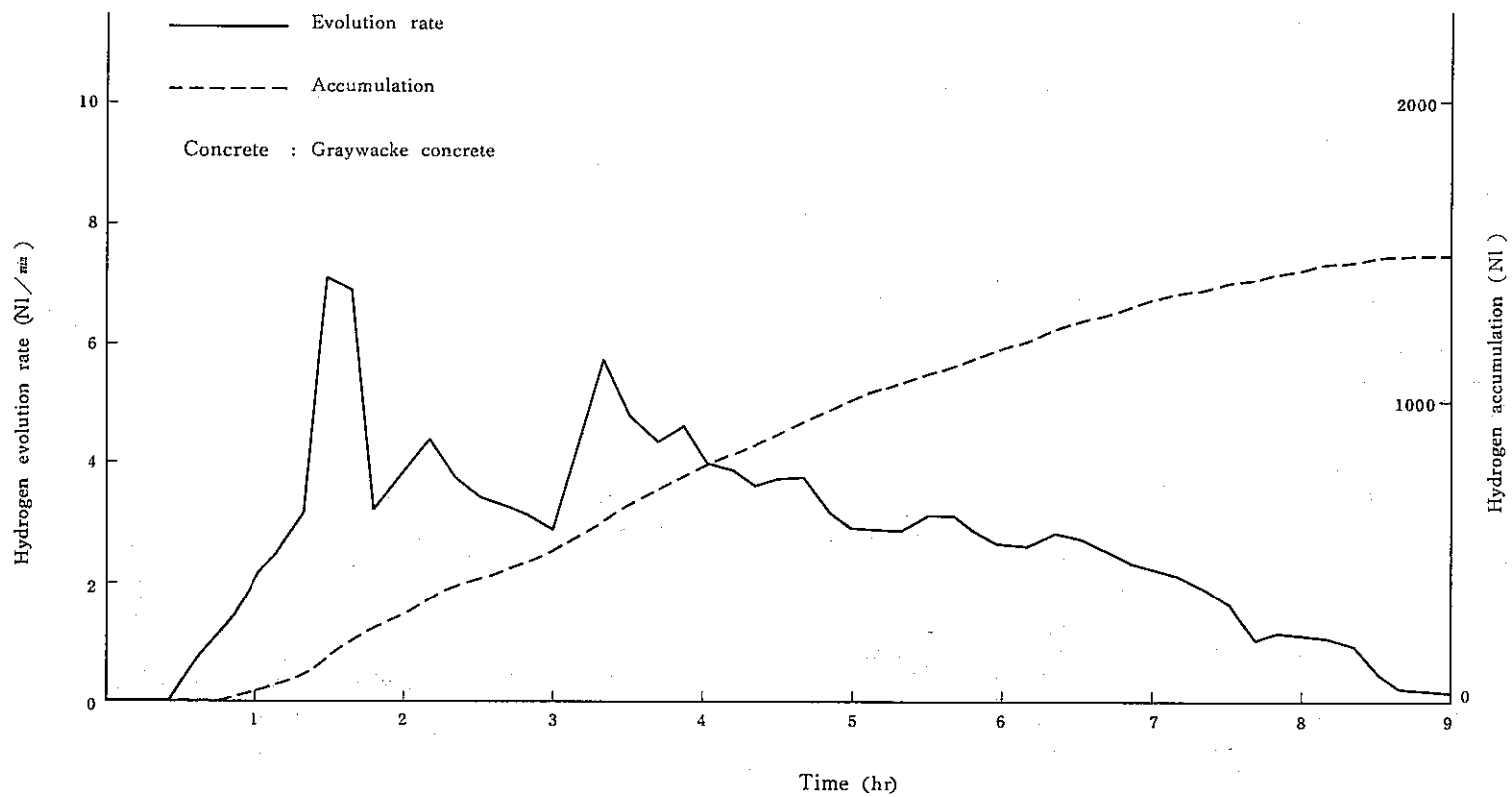


Fig. 5.5 Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 1 M )



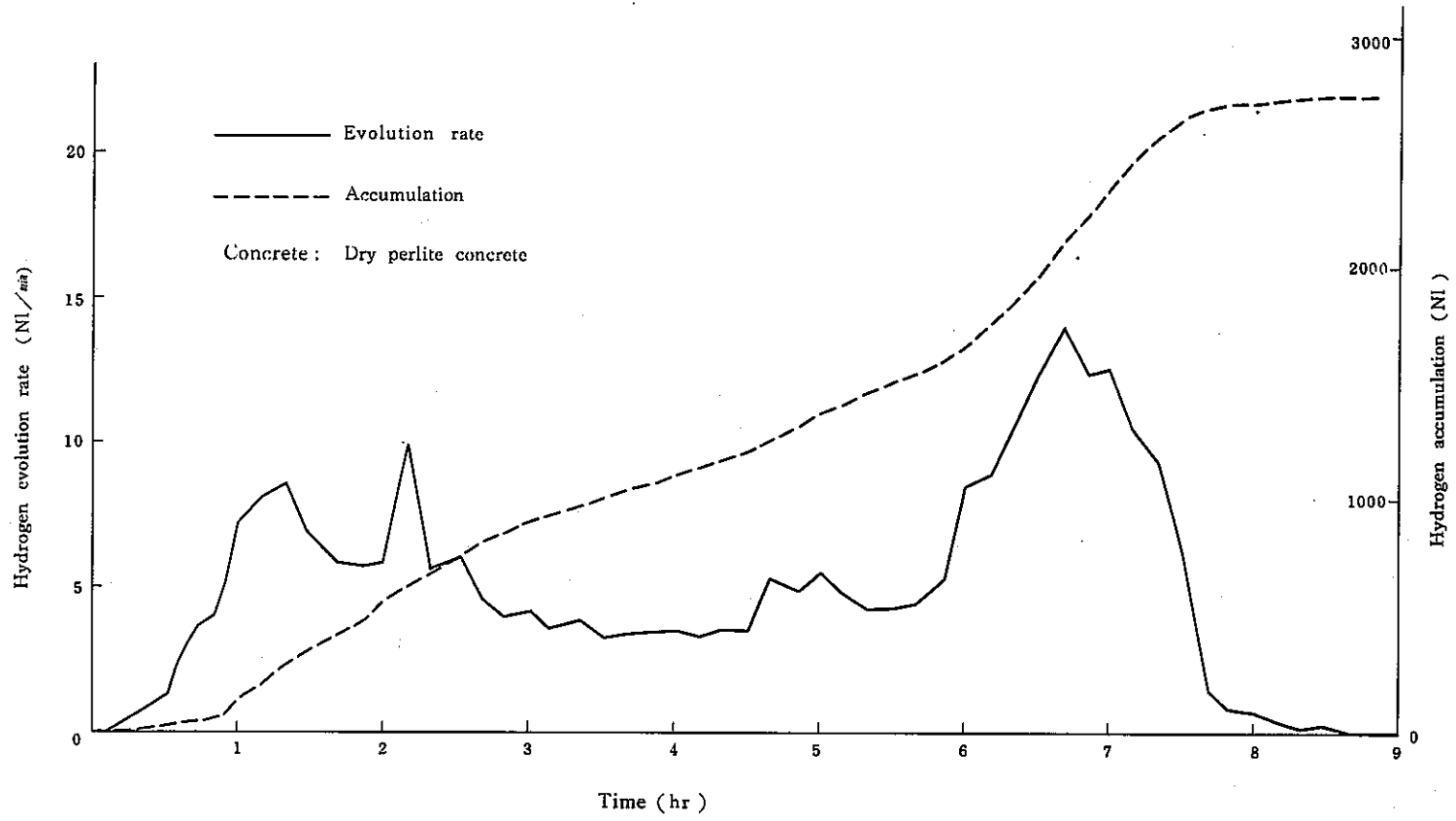


Fig. 5.6 Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 2 M )

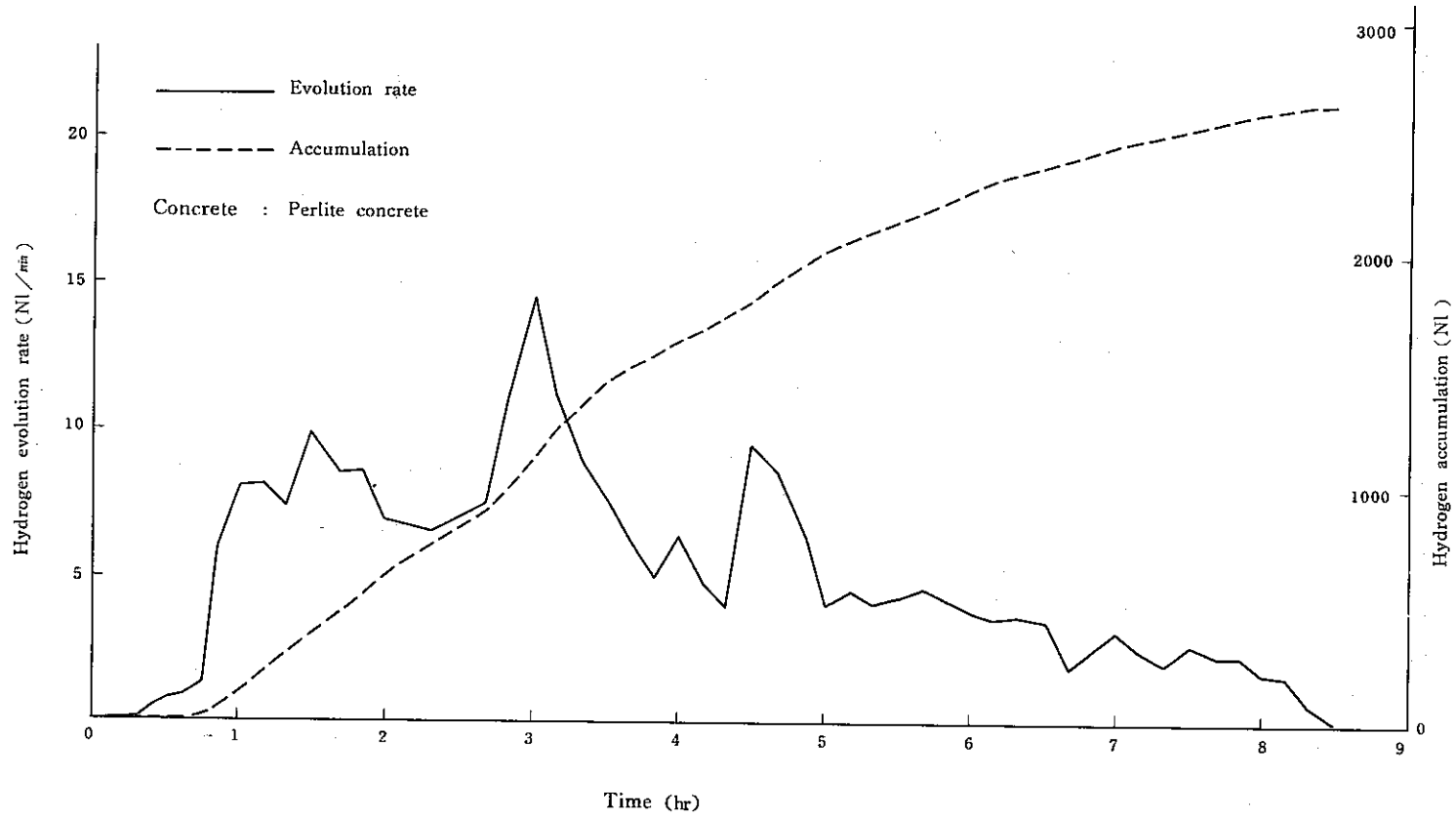


Fig. 5.7 Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 3 M )

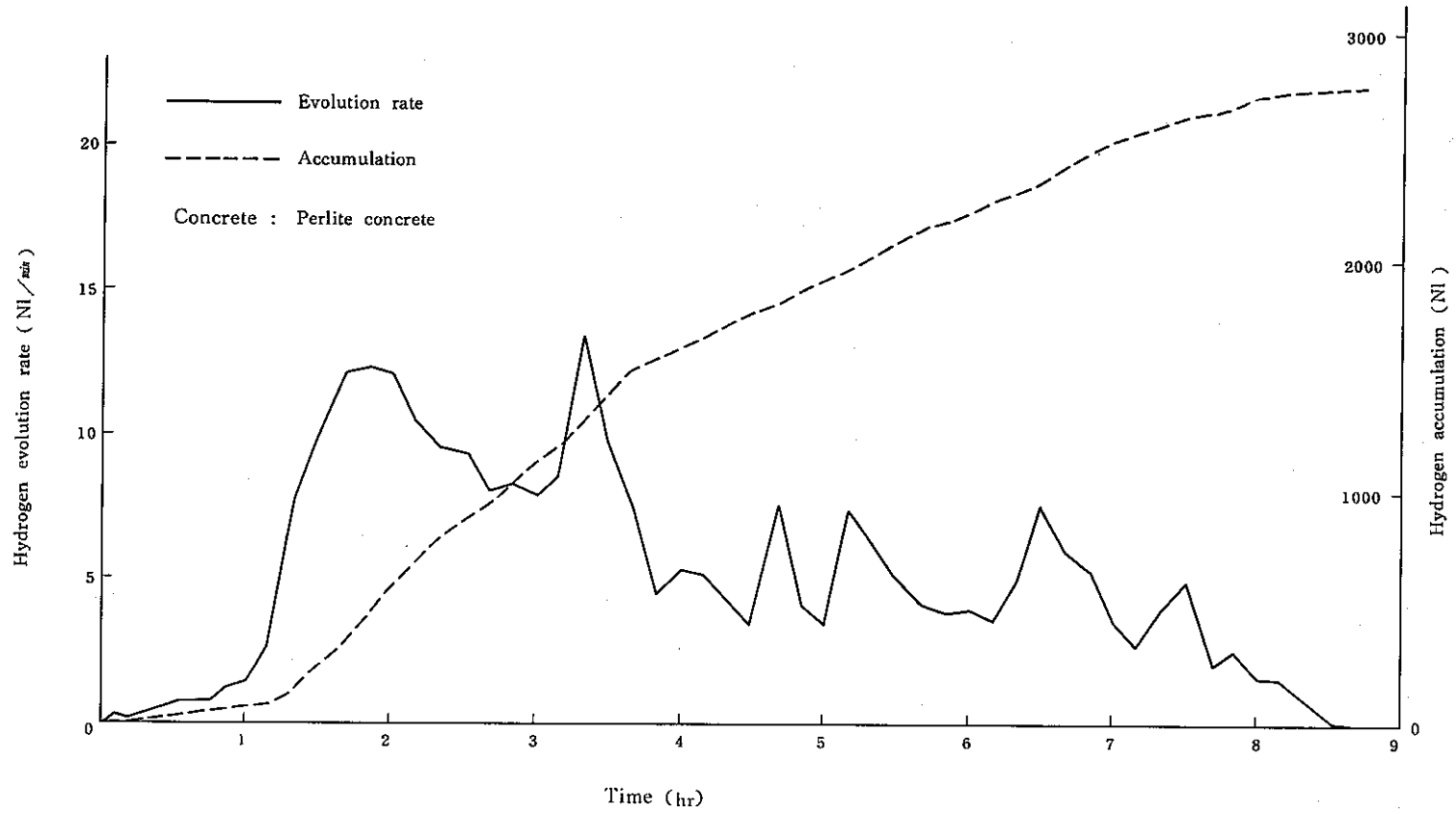


Fig. 5.8 Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 4 M )

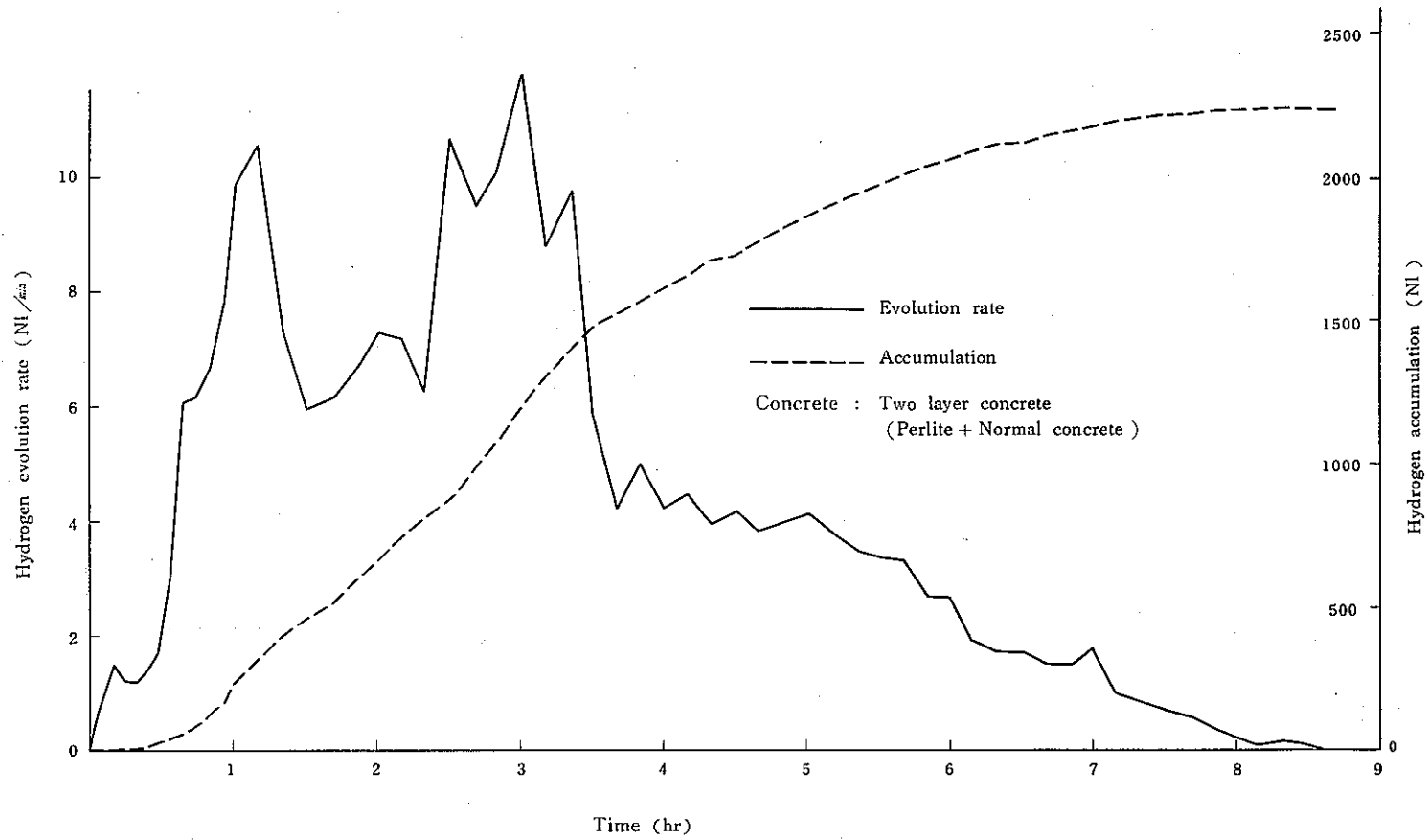


Fig. 5.9 Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 5 M )

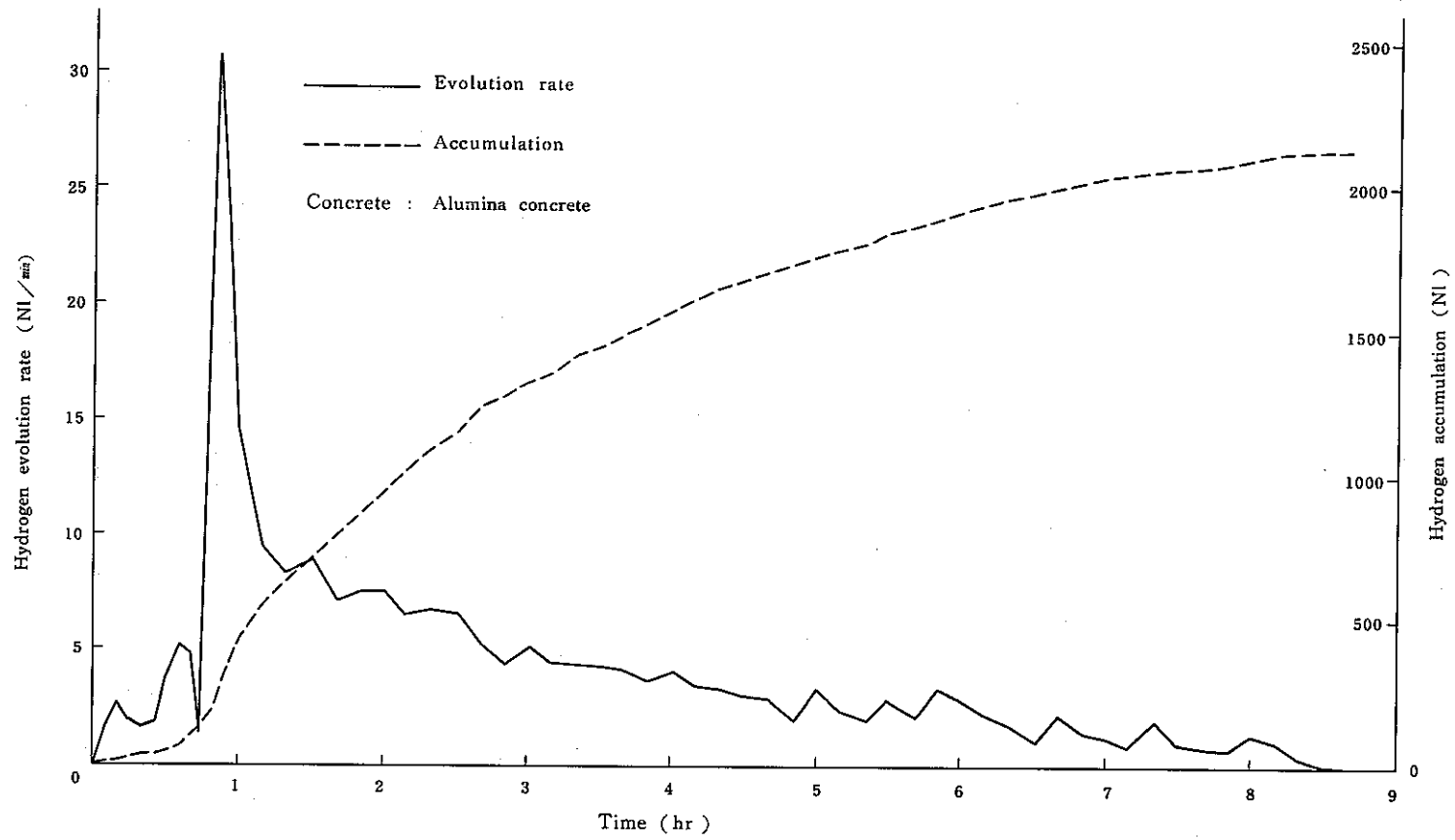


Fig. 5.10 Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 6 M )

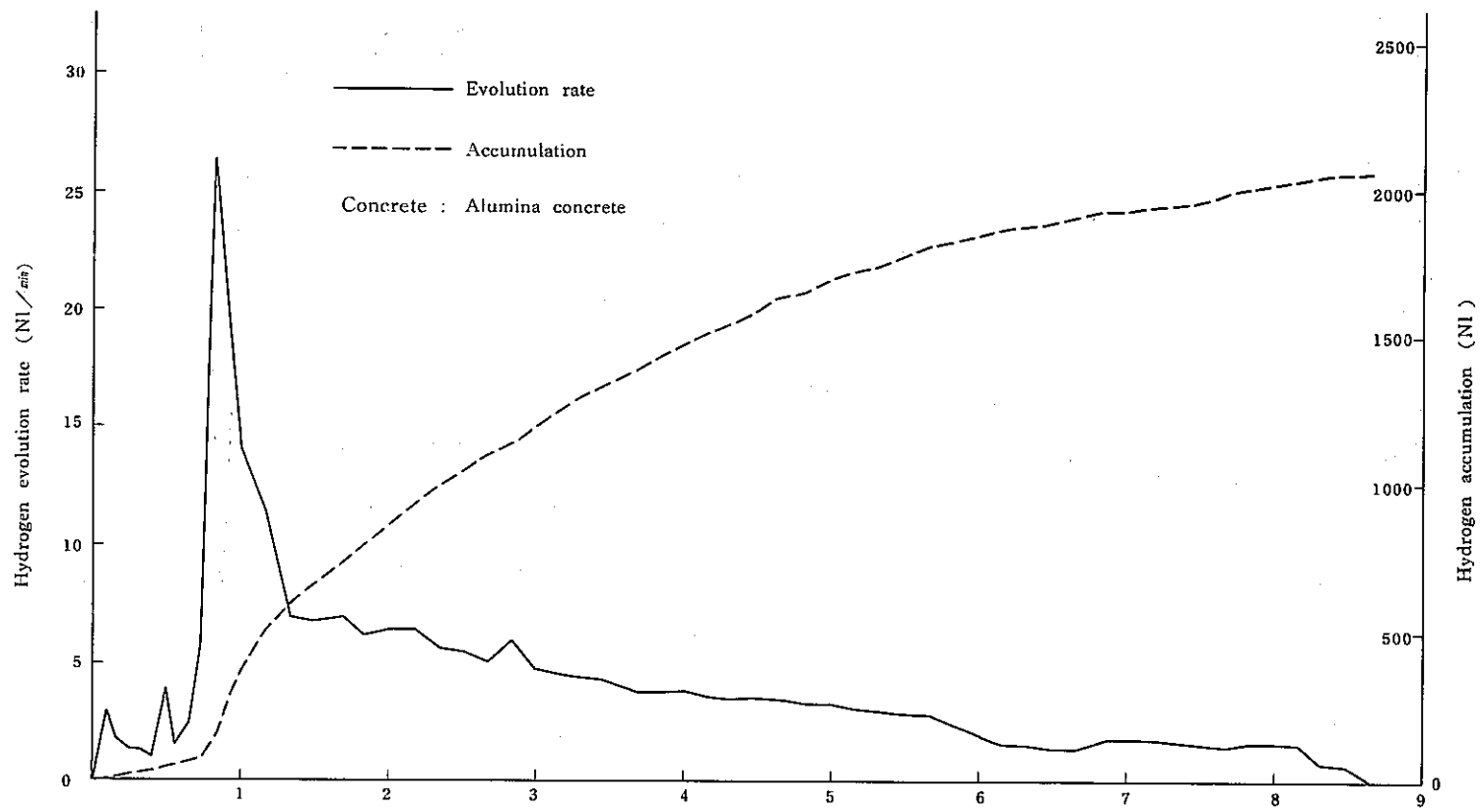


Fig. 5.11 Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 7 M )

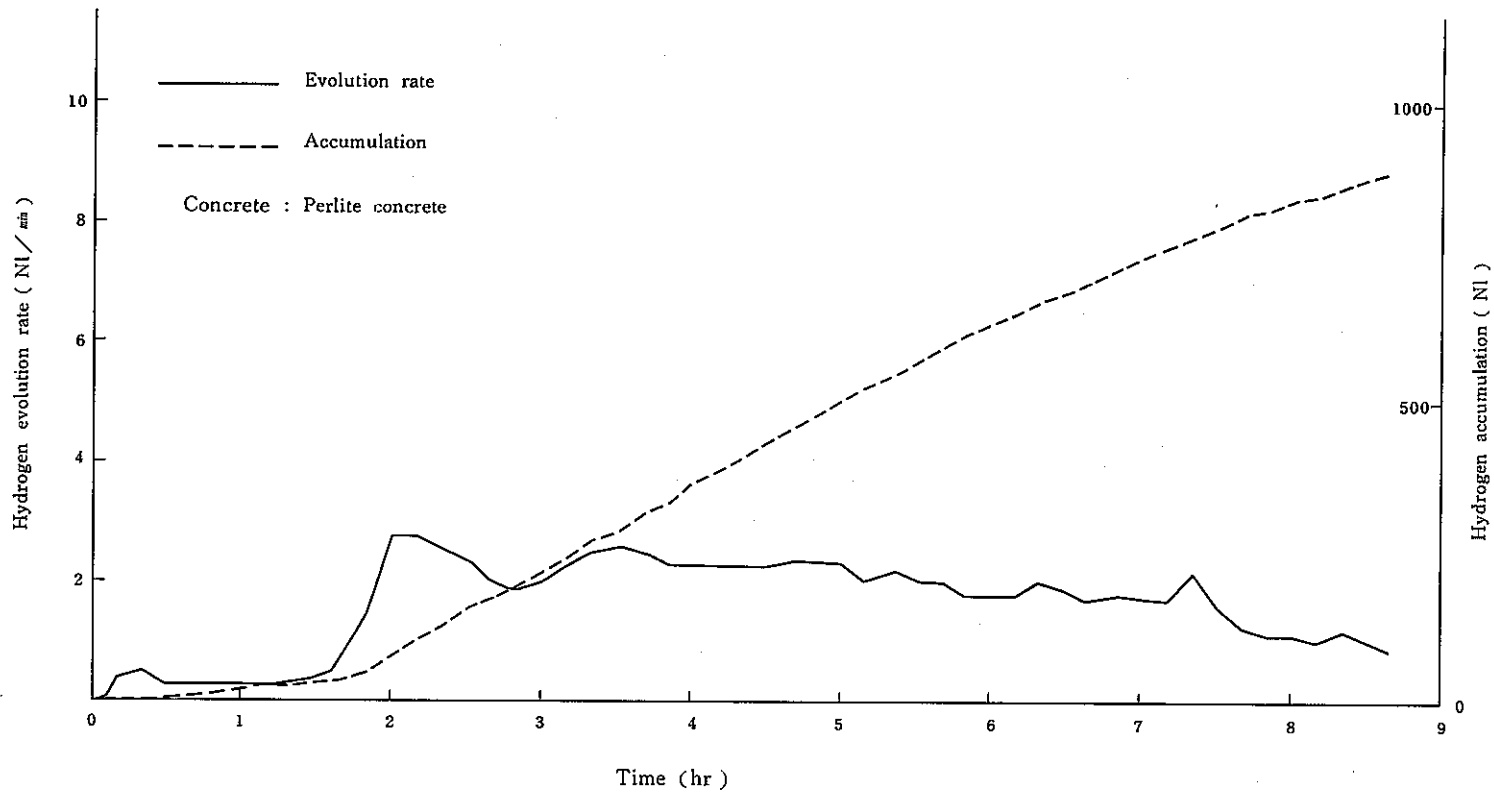


Fig. 5.12 Hydrogen Evolution Rate and its Accumulation ( Exp. 8 M )

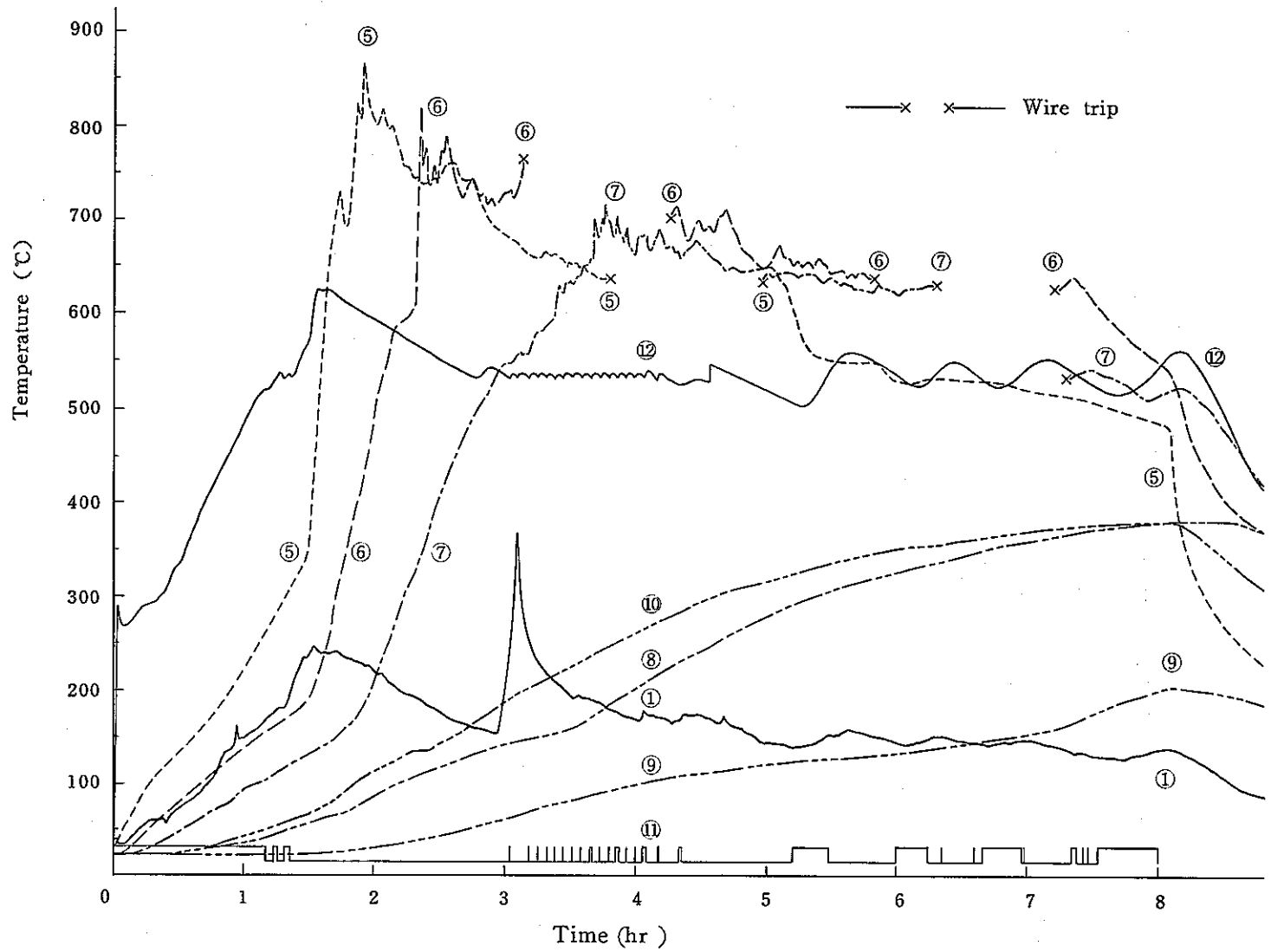


Fig. 5.13 Temperatures of Concrete, Sodium and Exhaust Gas ( Exp. 1M )



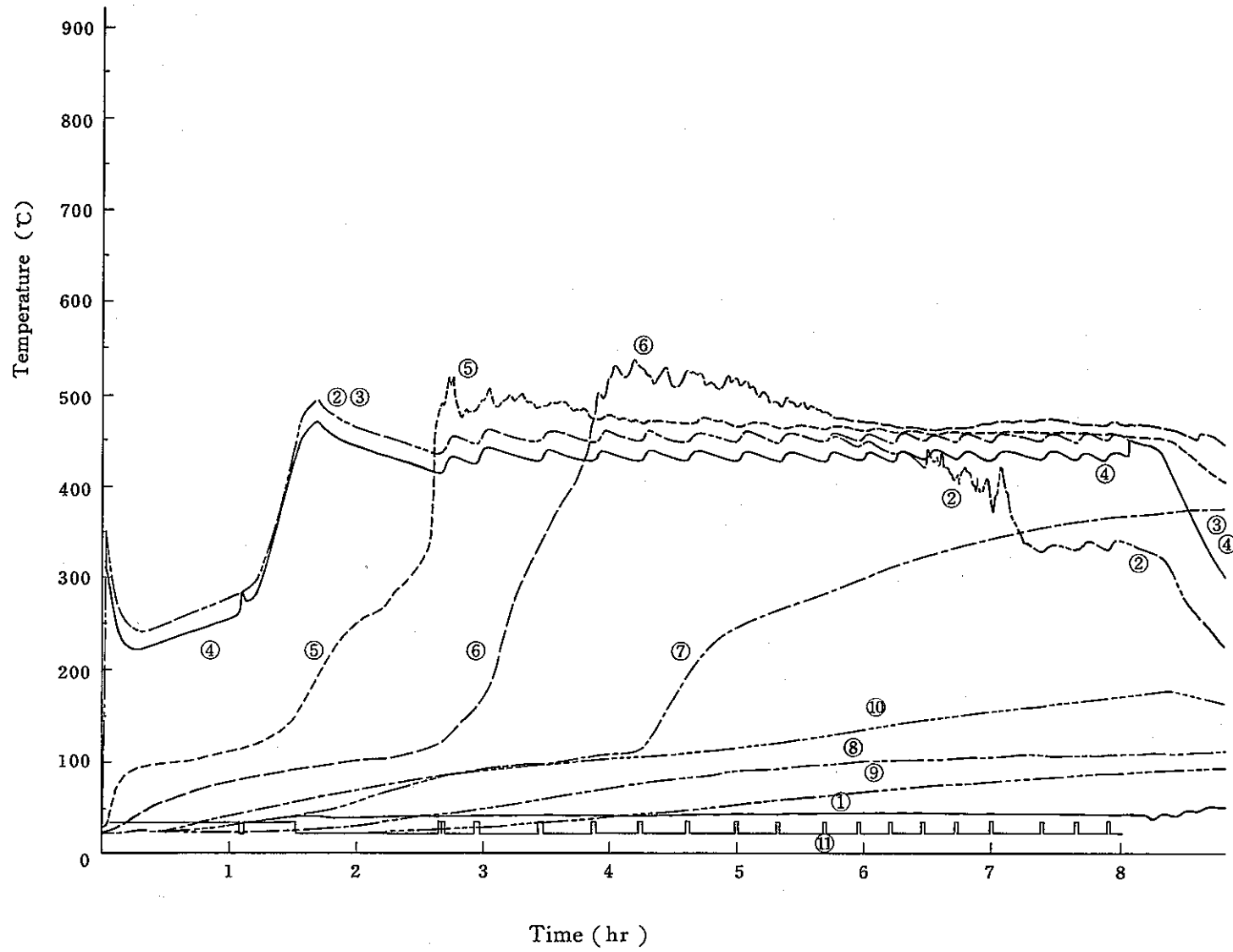


Fig. 5.14 Temperature of Concrete , Sodium and Exhaust Gas ( Exp. 2 M )

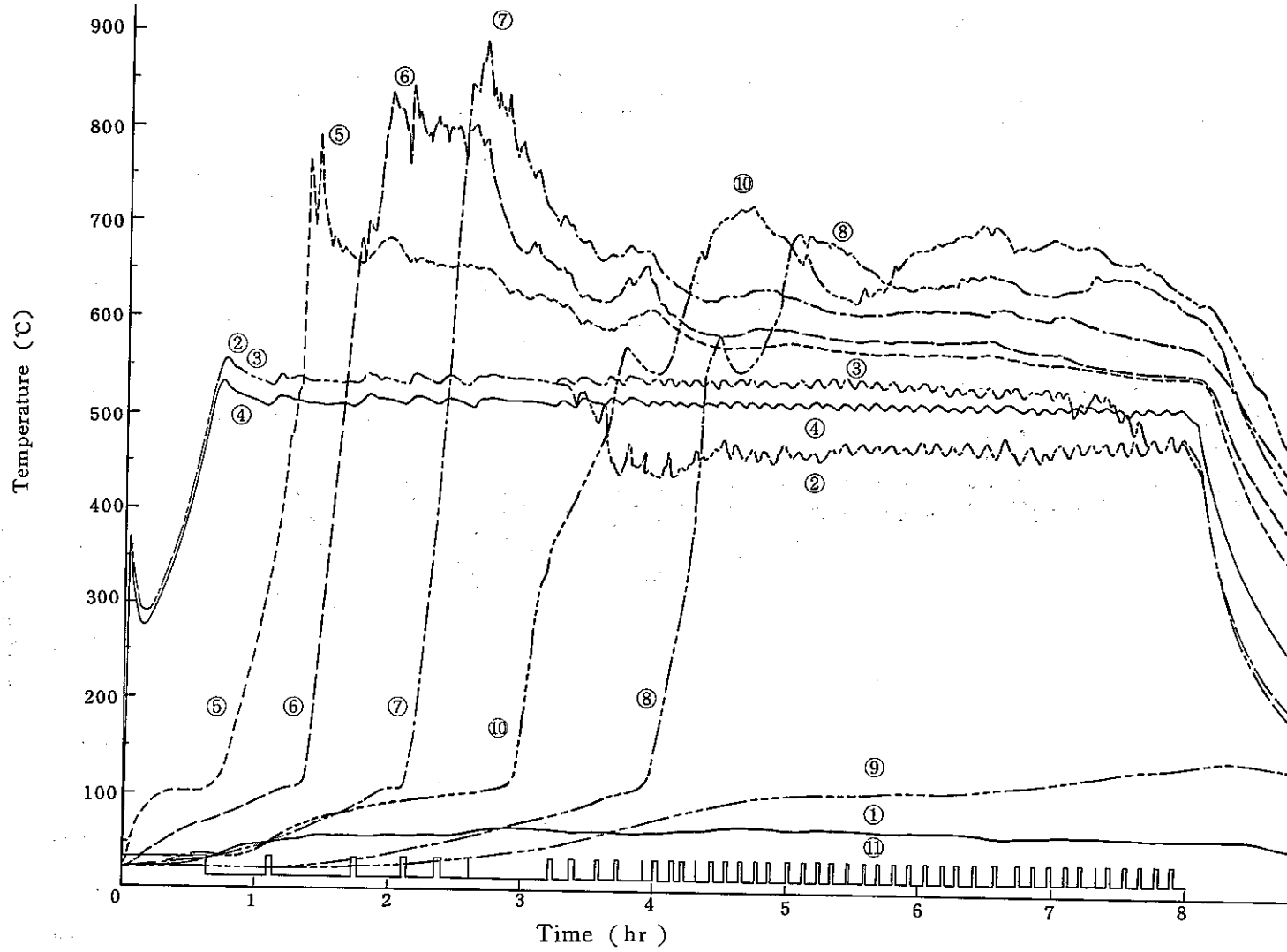


Fig. 5.15 Temperatures of Concrete , Sodium and Exhaust Gas ( Exp. 3 M )

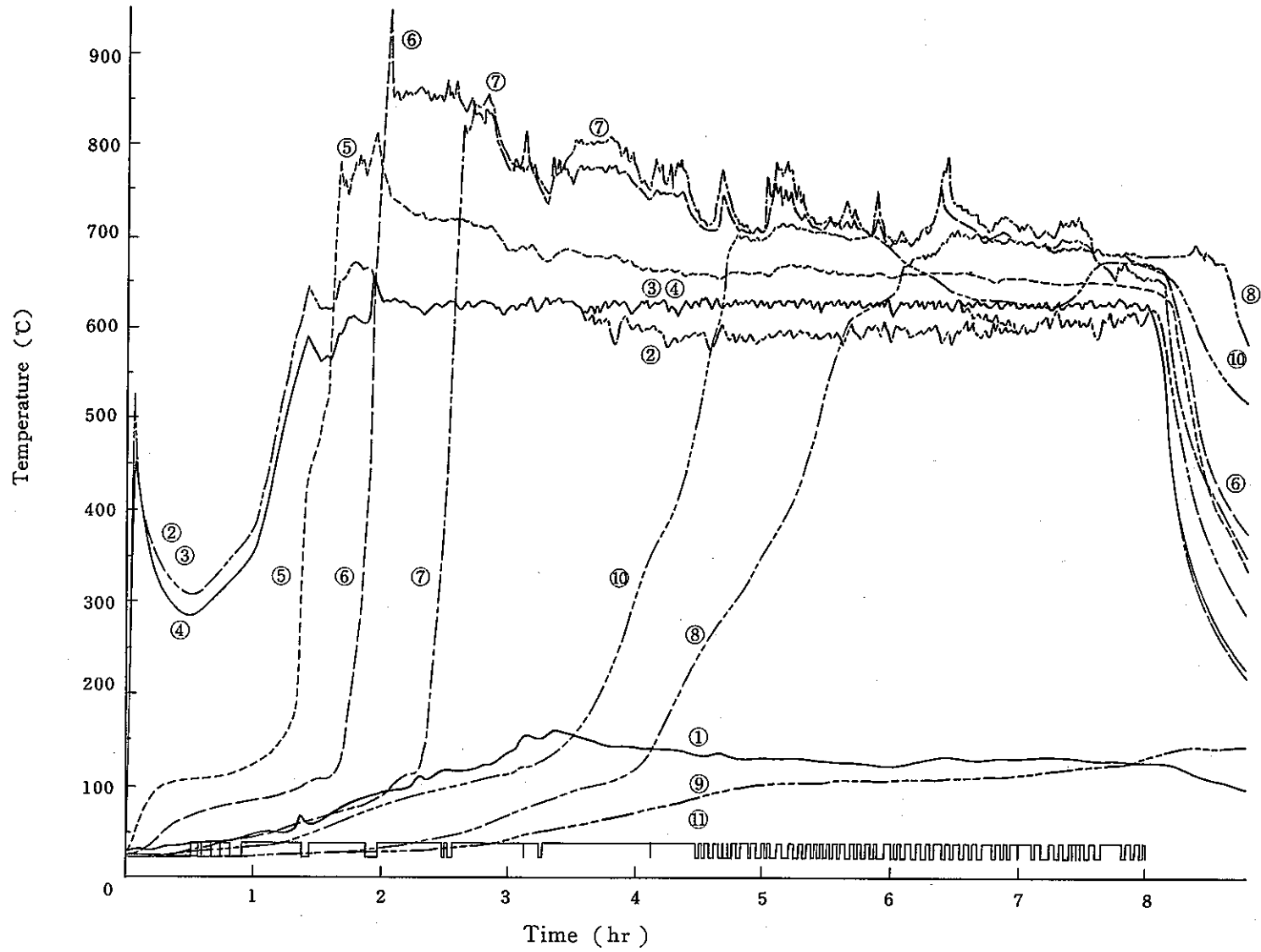


Fig. 5.16 Temperatures of Concrete , Sodium and Exhaust Gas ( Exp. 4 M )

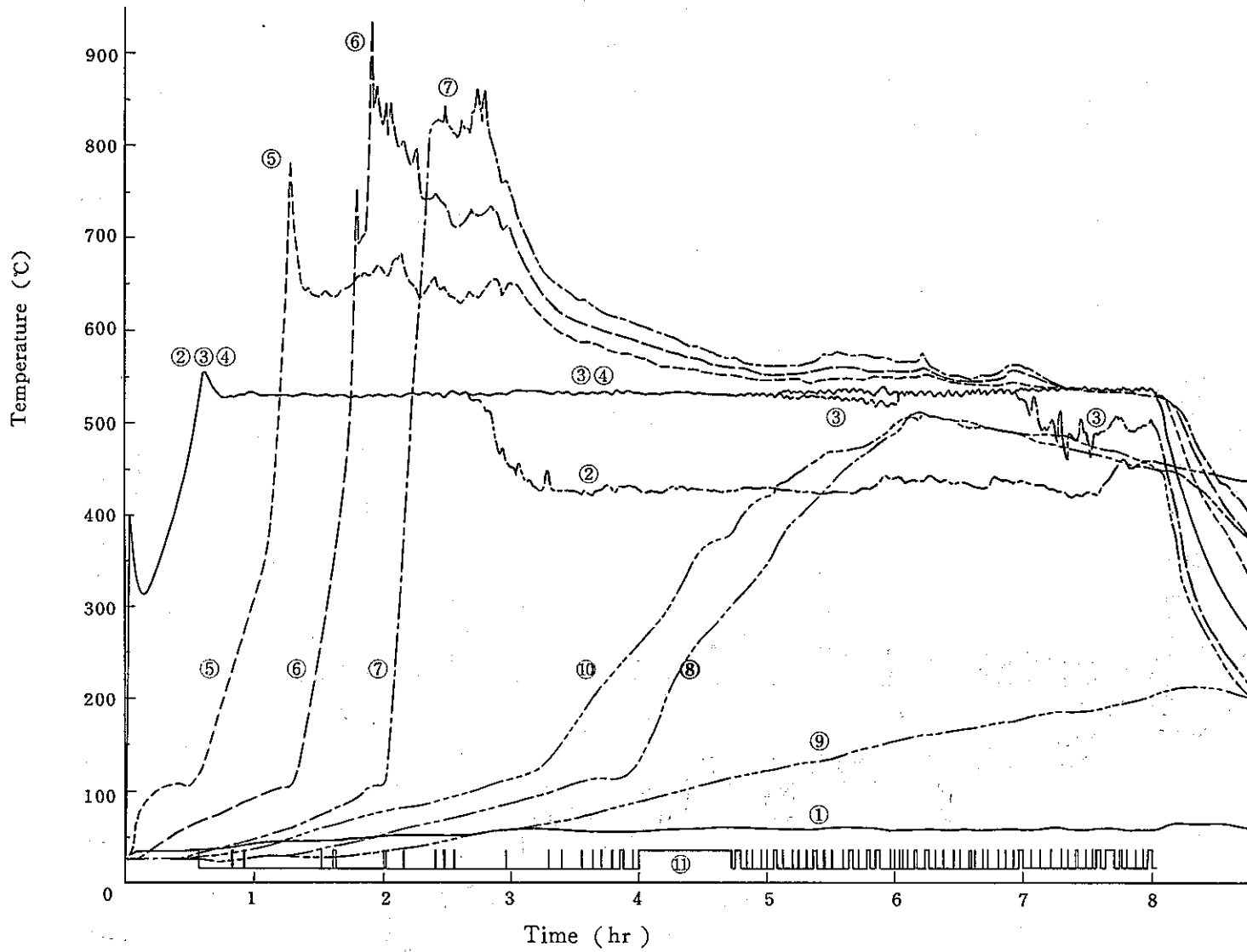


Fig. 5.17 Temperatures of Concrete , Sodium and Exhaust Gas ( Exp. 5 M )

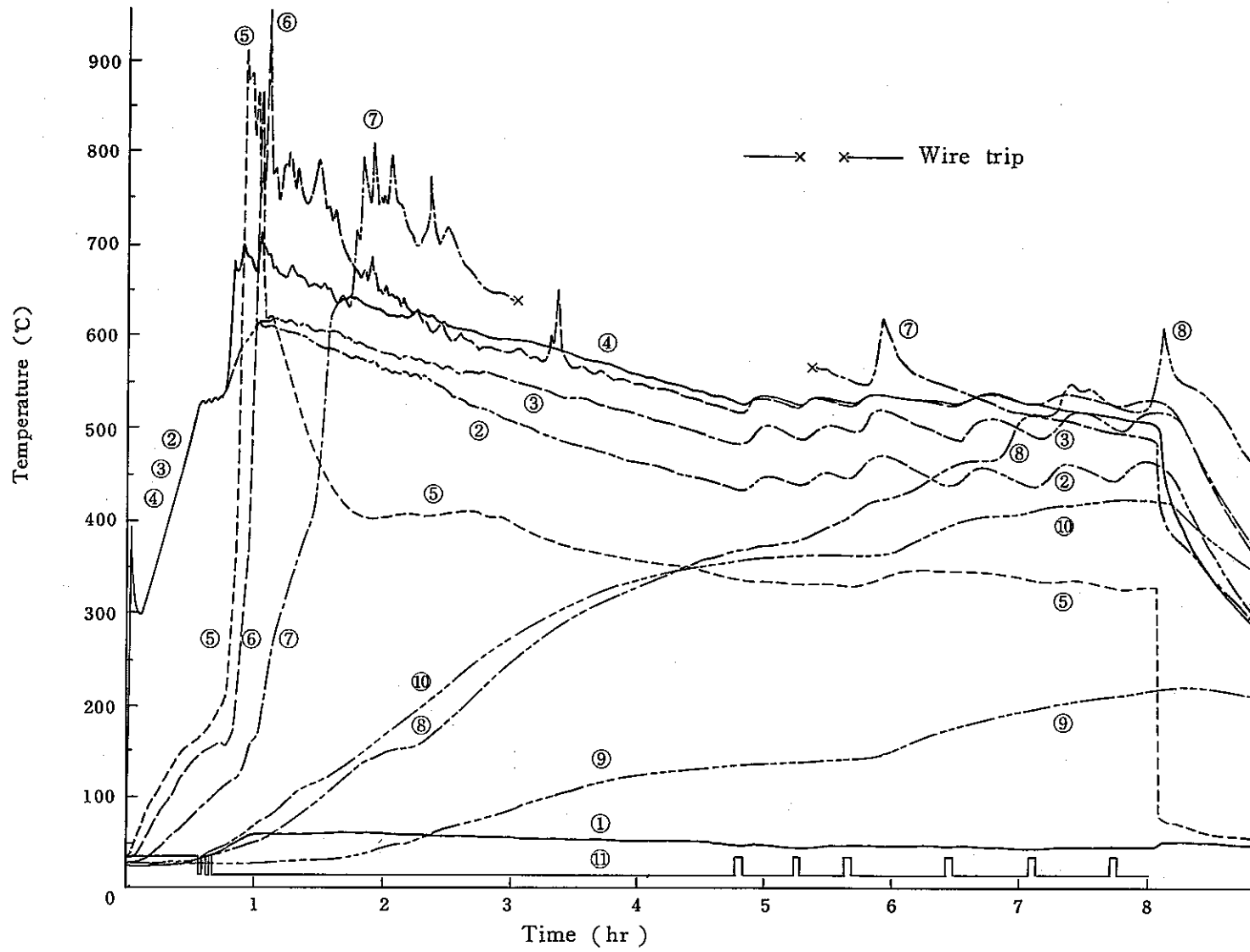


Fig. 5.18 Temperatures of Concrete , Sodium and Exhaust Gas ( Exp. 6 M )

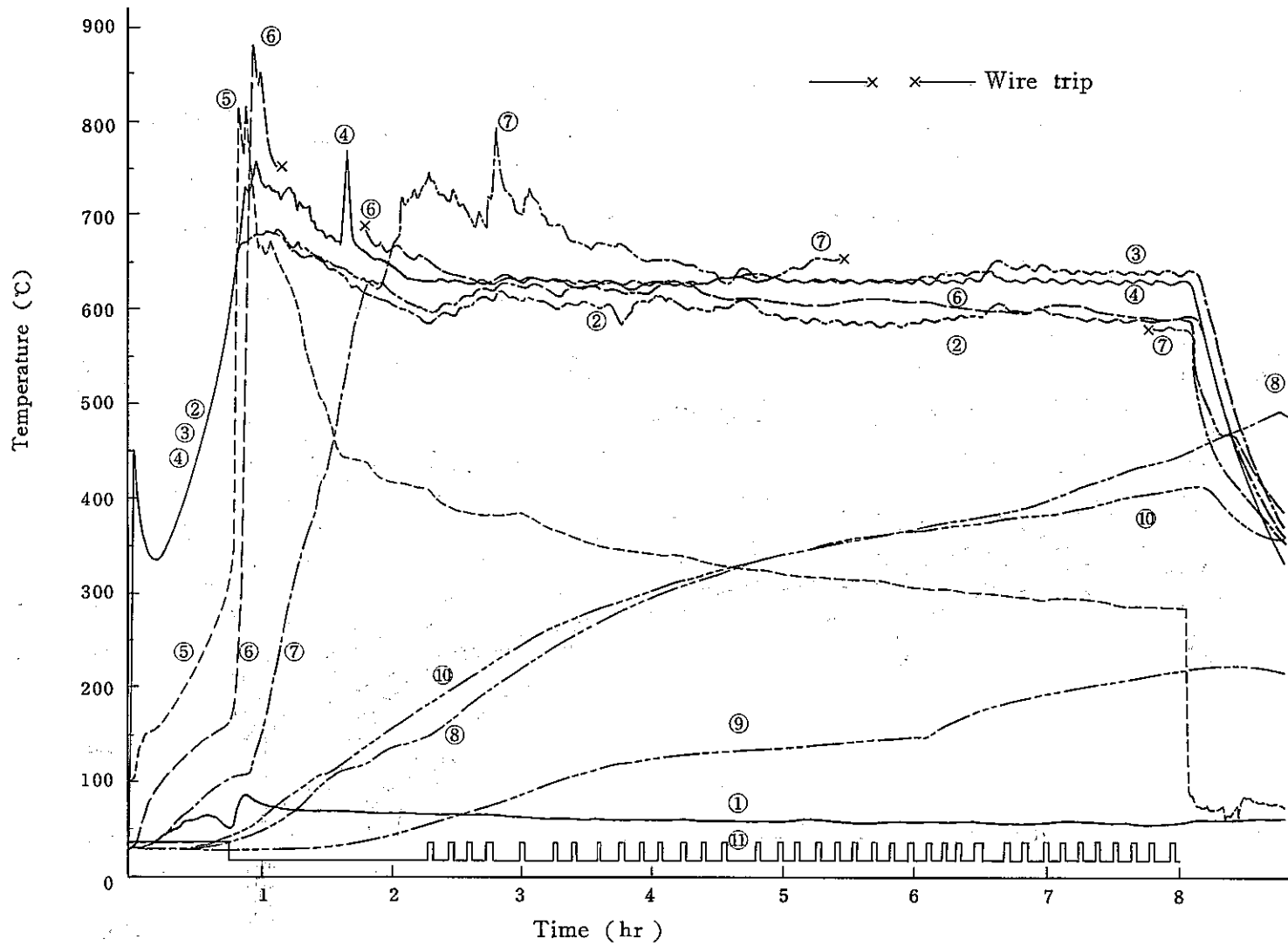


Fig. 5.19 Temperatures of Concrete , Sodium and Exhaust Gas ( Exp. 7 M )

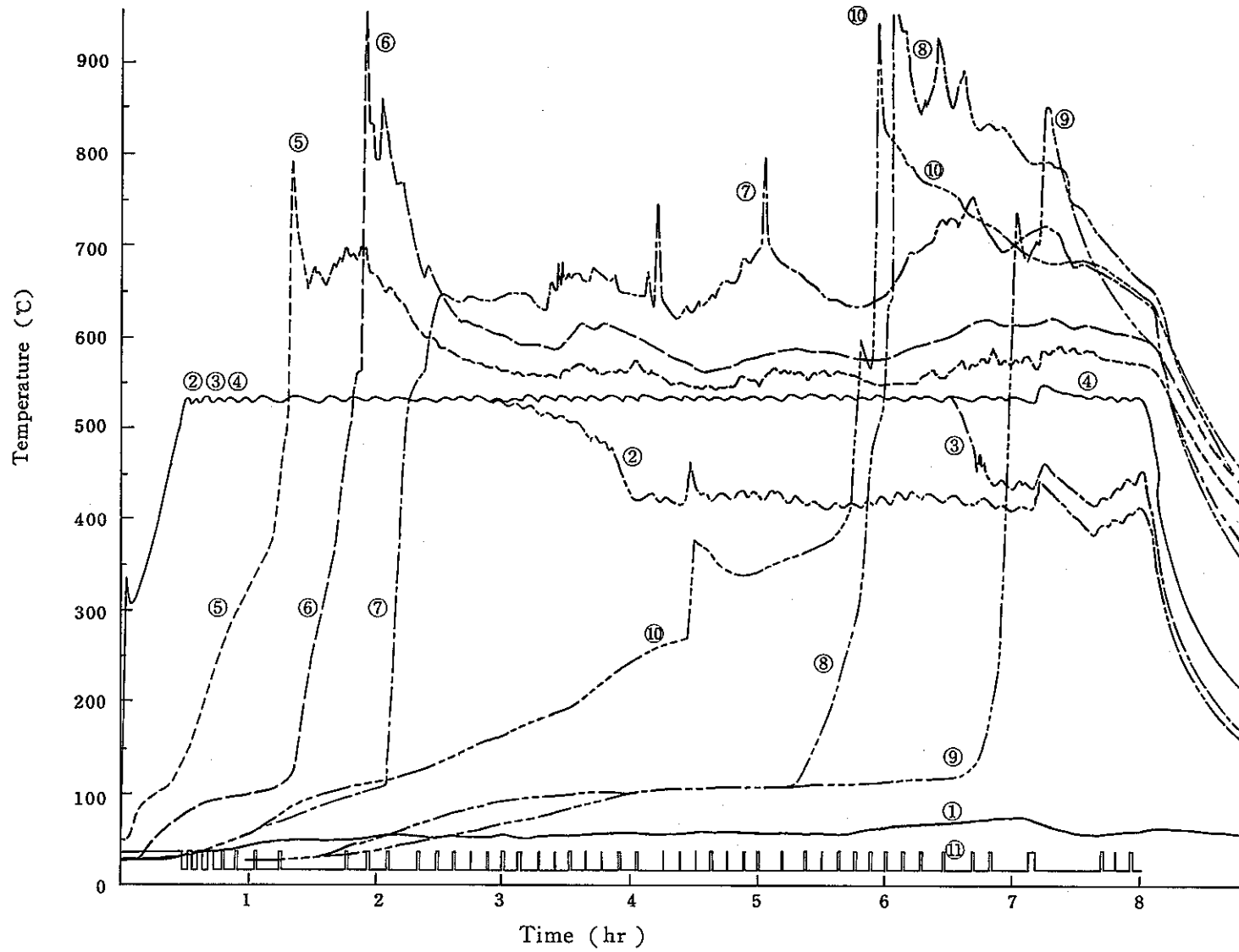


Fig. 5.20 Temperatures of Concrete , Sodium and Exhaust Gas ( Exp. 8 M )

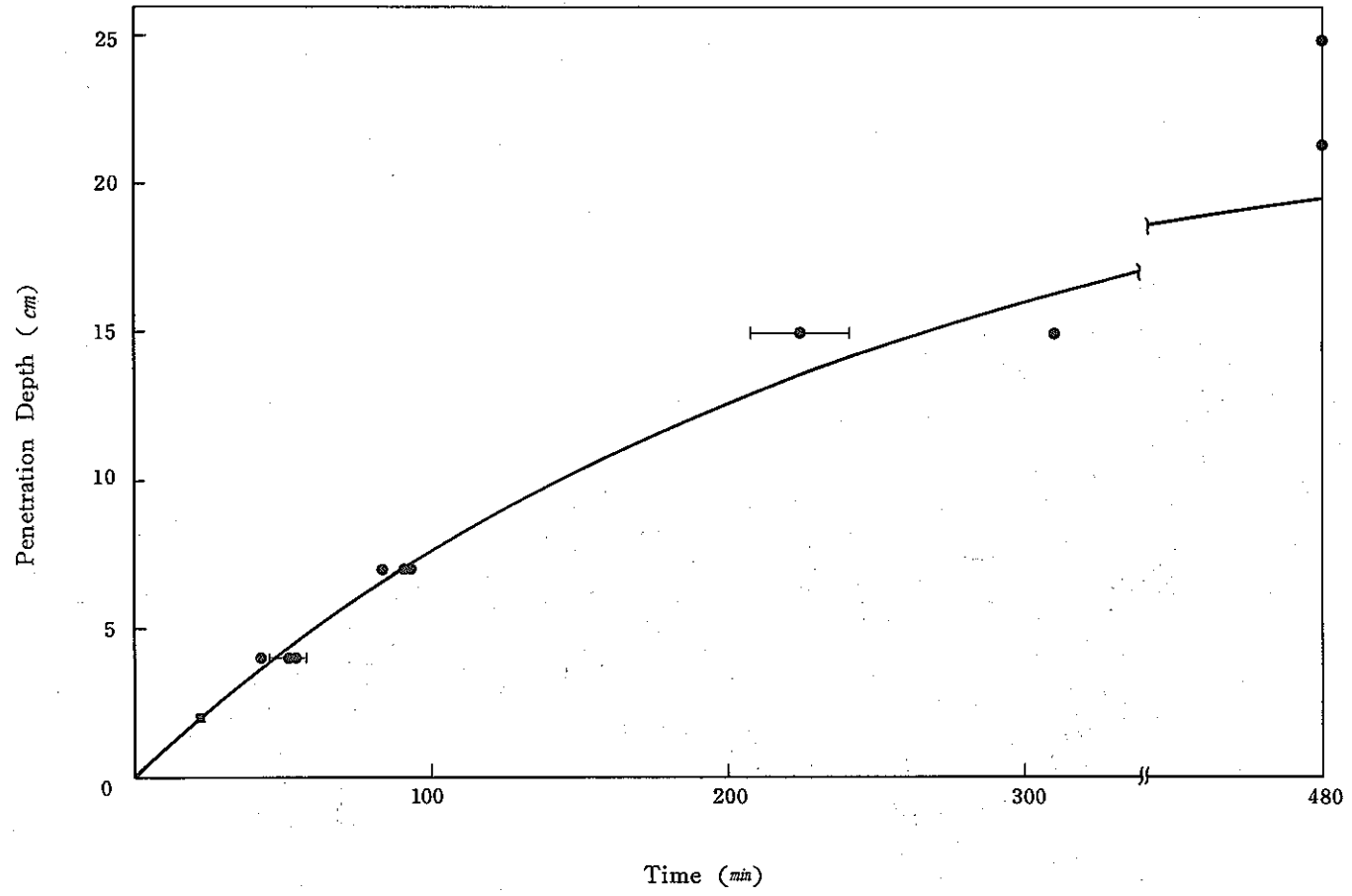


Fig. 5.21 Penetration Depth for Perlite Concrete



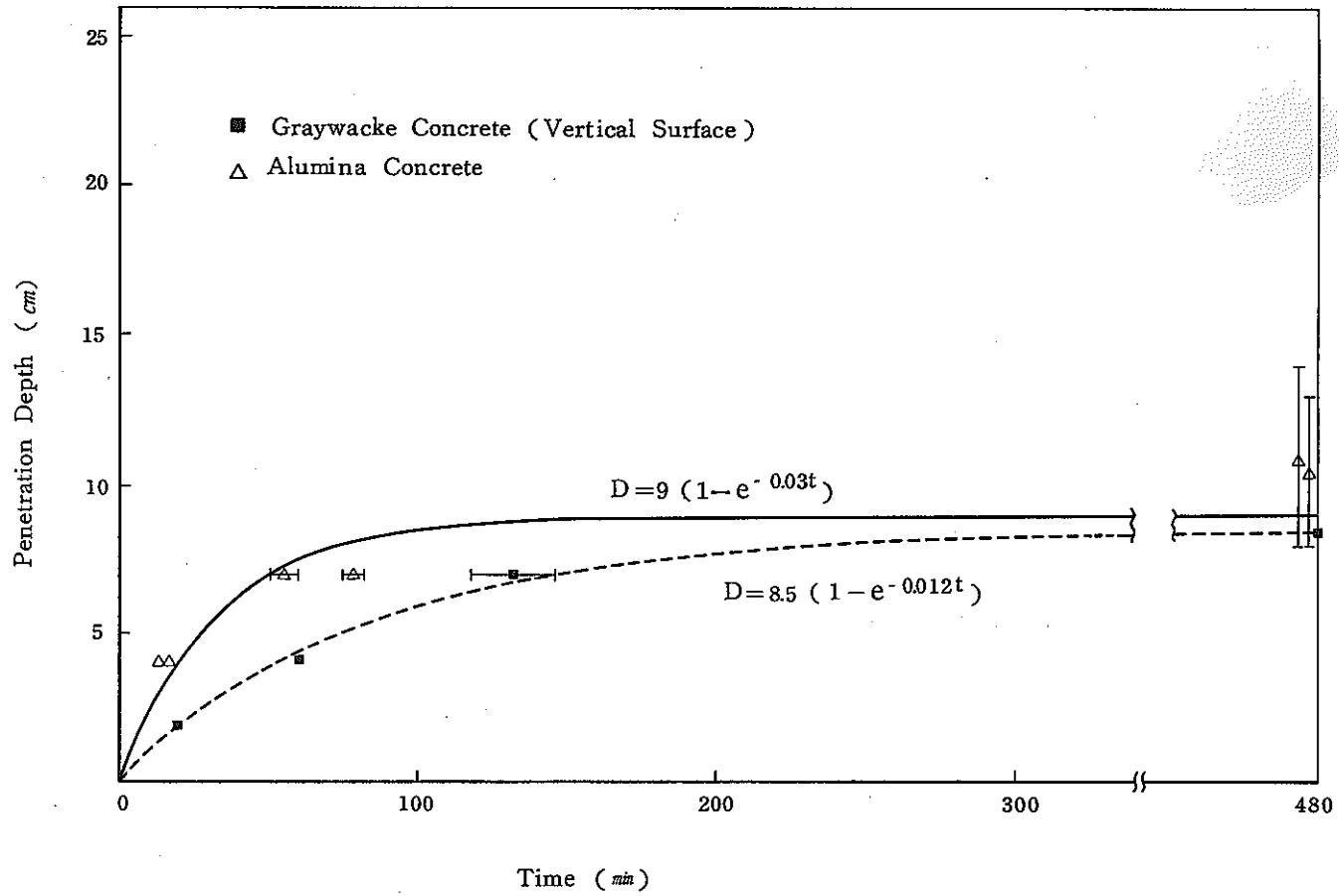


Fig. 5.22 Penetration Depth for Graywacke Concrete with Vertical Surface and Alumina Concrete

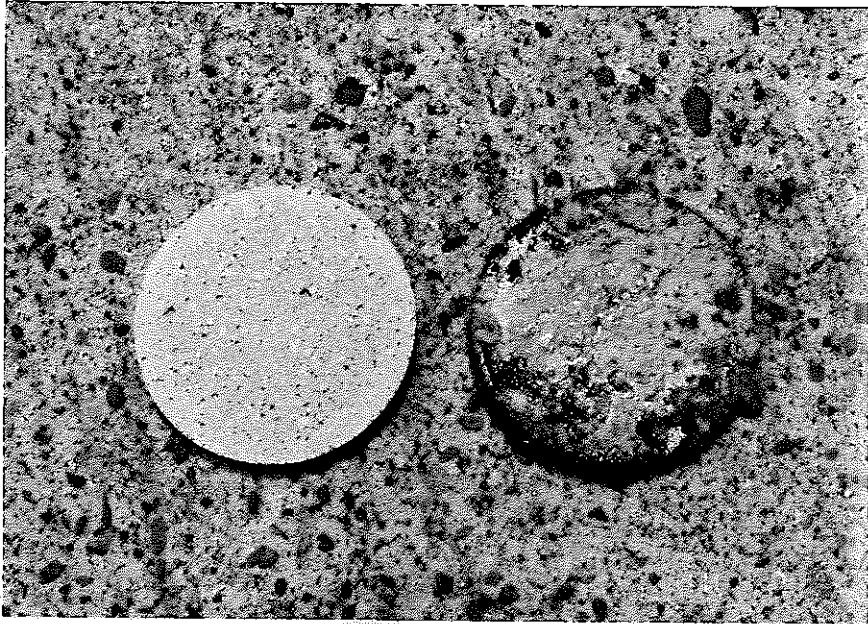


Photo. 1 Perlite Concrete and its Reaction Product (right side )

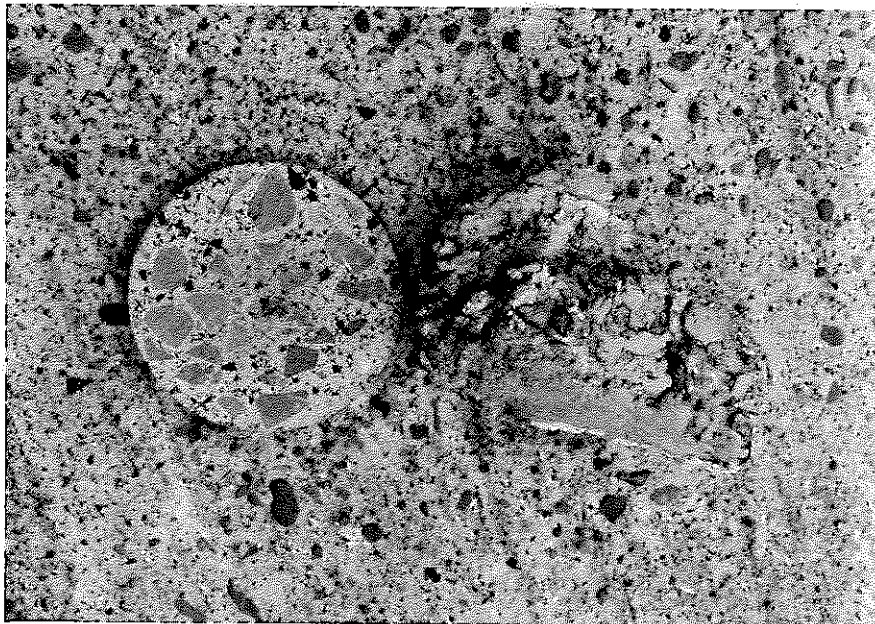


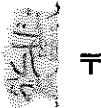
Photo. 2 Alumina Concrete and its Reaction Product (right side )

# Appendix 1

No. 1983-02-155500000

1983年 3月 1日

## ポゾリス品質検査成績表



御中

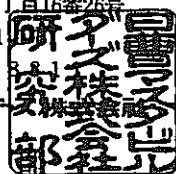
東京都港区六本木3丁目16番26号

郵便番号 106

電話 03 (582) 2111

日商マスタービルダ

研 究



品 名 キヤク ホソリス NO.70

4ハイキ

検査対象・検査数量 1983/02 生産分, 12 ロット

| 検査項目                               | 分 類     | 規 格 値         | 平 均 値 | ロット最大値 | ロット最小値 |
|------------------------------------|---------|---------------|-------|--------|--------|
| 比 重 (21℃)                          |         | 1.26-1.24     | 1.251 | 1.253  | 1.247  |
| P H (21℃)                          |         | 7 以上          | 10.2  | 10.4   | 10.0   |
| 不溶解残渣(%)                           |         | 1 以下          | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| モ<br>ル<br>ス<br>タ<br>ル<br>ト         | フロー(%)  | ※<br>基準値 ± 10 | 1     | 4      | -2     |
|                                    | 空気量(%)  | ※<br>基準値 ± 2  | -0.1  | 0.8    | -0.8   |
| 稀釈液                                | 比重(21℃) | 1.070-1.060   | 1.067 | 1.068  | 1.066  |
| ※                                  |         |               |       |        |        |
| (特記事項) 1: 標準試料を用いて試験を行なった値を基準値とする。 |         |               |       |        |        |
| 基準値 : フロー = 194 %                  |         |               |       |        |        |
| : 空気量 = 8.1 %                      |         |               |       |        |        |
| 2. 本製品には、塩化物を含有していない。              |         |               |       |        |        |

Appendix 2

JASS5T-401によるコンクリート試験結果

No. A-04

昭和 58 年 4 月 15 日

品名 ポリス NO.70

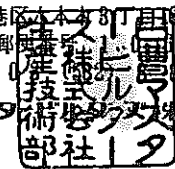
試験年月 58 年 3 月

種類: AE 減水剤 標準形

東京都港区本町3丁目16番26号

電話 03-3581-1111

日曹マスター技術株式会社



| 項目   | 規 準 値   | 試 験 値         |       | 標準コンクリート              |                        |                        |
|--|---------|---------------|-------|-----------------------|------------------------|------------------------|
|  |         | 7.5cm         | 18cm  | 7.5cm                 | 18cm                   |                        |
| 減 水 率 (%)                                    | 10 以上   | 13.2          | 11.8  | 174 kg/m <sup>3</sup> | 195 kg/m <sup>3</sup>  |                        |
| ブリージング量の比 (%)                                | 70 以下   | -             | -     | - cd/cd               | - cd/cd                |                        |
| 圧縮強度比 (%)                                    | 材 令 3 日 | 115 以上        | 140   | 143                   | 130 kg/cm <sup>2</sup> | 107 kg/cm <sup>2</sup> |
|  | " 7 日   | 110 "         | 134   | 136                   | 219 "                  | 203 "                  |
|  | " 28 日  | 110 "         | 118   | 119                   | 389 "                  | 330 "                  |
| 曲げ強度比 (%)                                    | 材 令 7 日 | 105 以上        | -     | -                     | - "                    | - "                    |
|  | " 28 日  | 95 "          | -     | -                     | - "                    | - "                    |
| 長さ変化比 (%)<br>(乾燥期間 6 か月)                     | 120 以下  | -             | -     | - ×10 <sup>-4</sup>   | - ×10 <sup>-4</sup>    |                        |
| 凝結時間の差 (時間:分)                                | 始発      | -1:00 ~ +1:30 | +0:15 | +0:20                 | 5:30 時分                | 6:10 時分                |
|  | 終結      | -1:00 ~ +1:30 | +0:10 | +0:10                 | 7:55 "                 | 8:20 "                 |
| 凍結融解に対する抵抗性(200 サイクル) 低下率 <sup>(1)</sup> (%) | 20 以下   | -             | -     | - %                   | - %                    |                        |

[注] (1). 参考試験項目

コンクリート調合

|                     | 標 準 |     | 試 験                |                    |
|---------------------|-----|-----|--------------------|--------------------|
| スランプcm              | 7.5 | 18  | 7.5                | 18                 |
| C kg/m <sup>3</sup> | 300 | 320 | 300                | 320                |
| s/a %               | 46  | 48  | 44                 | 46                 |
| 混 和 剤               | -   | -   | 250CC/<br>C=100KGC | 250CC/<br>C=100KGC |

コンクリート材料

セメント: 普通ポルトランドセメント 9 種等量混合

細骨材: 川 砂

粗骨材: 砕 石

備 考

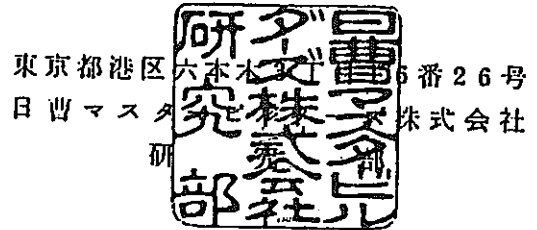
Appendix 3

No K-03

昭和 58年 3月 15日

No 505 品質検査成績表

股



品 名 No 505

検査対象 58 . 2 出荷分

検査数量 1 ロット

| 項 目            |                 | 規 格 値        | 測 定 値 |
|----------------|-----------------|--------------|-------|
| 比 重<br>( 21℃ ) |                 | 1.04 ~ 1.06  | 1.048 |
| P H            |                 | 9 ~ 11       | 9.7   |
| モルタル<br>試 験    | フ ロ ー<br>( mm ) | ※<br>基準値 ± 5 | 186   |
|                | 空 気 量<br>( % )  | ※<br>基準値 ± 2 | 59.3  |

( 特記事項 ) ※ 標準試料を用いて試験を行なった値を基準値とする。

基準値 : フロー = 188 mm

: 空気量 = 57.8 %

## Appendix 4 コンクリート配合選定予備実験

### A 4.1 パーライトコンクリート

まず所要スランブが得られる水セメント比 ( $W/C$ ) を選定するために、セメント/パーライト比 ( $C/P$ ) を  $1/4$  に固定して、 $W/C = 70 \sim 85\%$  に変化させた。その結果を Table A 4.1 に示す。特に  $W/C$  とスランブの関係を Fig. A 4.1 に示すように、目標スランブ  $12\text{ cm}$  は  $W/C \approx 78\%$  のときである。

また、起泡剤使用量の影響も同時に調べており、その結果も同様に示されている。

次にスランブが  $12\text{ cm}$  になるような  $W/C$  を選び、同時に  $C/P$  が  $1/3$ ,  $1/4$ ,  $1/5$ ,  $1/6$  なる配合で試験し、単位容積質量、圧縮強度との関係を調べた。その結果、Table A 4.2 に示すように、単位容積質量が目標仕様に一番近い  $C/P = 1/4$  を選定した。

なお、練り混ぜは、容量  $100\text{ l}$  の強制練りミキサを用い、全材料投入後  $90$  秒行われた。

### A 4.2 アルミナコンクリート

所定のセメント、骨材を用いて所要スランブ (ワーカビリティ) が得られる範囲内で単位水量が最小となる適正細骨材率を選定する試験をまず実施し、さらに水セメント比と強度の関係を求める試験を実施した。

結果を Table A 4.3, A 4.4, Fig. A 4.2, A 4.3 に示す。

Table A 4.1 Test Results of Perlite Concrete (No. 1)

| セメント/<br>パーライト比 | 水セメント<br>比<br>(%) | 起泡剤<br>使用量<br>(C×%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |     |            |       | スランブ<br>(cm) | 単位容積質量(kg/l) |             | 材令28日<br>圧縮強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-------------------|---------------------|----------------------------|-------|-----|------------|-------|--------------|--------------|-------------|---|
|                 |                   |                     | セメント                       | パーライト | 水   | 混和剤<br>(l) | 起泡剤   |              | 練り<br>上り時    | 硬化後<br>(気乾) |   |
| 1/4             | 85                | 0.04                | 380                        | 202   | 323 | 0.950      | 0.152 | 18.0         | 0.905        | 0.831       | 45                                      |
|                 | 80                | 0.04                | 407                        | 217   | 326 | 1.018      | 0.163 | 13.0         | 0.950        | 0.887       | 76                                      |
|                 |                   | 0.03                | 439                        | 234   | 351 | 1.098      | 0.132 | 15.0         | 1.024        | 0.961       | 95                                      |
|                 |                   | 0.02                | 470                        | 251   | 376 | 1.175      | 0.094 | 17.5         | 1.097        | 1.030       | 114                                     |
|                 | 75                | 0.04                | 474                        | 252   | 355 | 1.185      | 0.190 | 10.0         | 1.081        | 0.998       | 98                                      |
|                 | 70                | 0.04                | 504                        | 268   | 353 | 1.260      | 0.202 | 8.0          | 1.125        | 1.067       | 121                                     |

備考 1) 混和剤：ボゾリスNo.70の使用量250cc/C:100kg  
 2) コンクリート温度：20～21℃

Table A 4.2 Test Results of Perlite Concrete (No. 2)

| セメント/<br>パーライト比 | 水セメント<br>比<br>(%) | 起泡剤<br>使用量<br>(C×%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |     |       |       | スランブ<br>(cm) | 単位容積質量(kg/l) |             | 圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> ) |     |
|-----------------|-------------------|---------------------|----------------------------|-------|-----|-------|-------|--------------|--------------|-------------|----------------------------|-----|
|                 |                   |                     | セメント                       | パーライト | 水   | 混和剤   | 起泡剤   |              | 練り<br>上り時    | 硬化後<br>(気乾) | 7日                         | 28日 |
| 1/3             | 65                | 0.04                | 446                        | 178   | 290 | 1.115 | 0.174 | 11.0         | 0.914        | 0.849       | 50                         | 70  |
| 1/4             | 80                | 0.04                | 405                        | 216   | 324 | 1.013 | 0.101 | 12.0         | 0.946        | 0.877       | 48                         | 70  |
| 1/5             | 90                | 0.04                | 343                        | 229   | 309 | 0.858 | 0.137 | 12.0         | 0.880        | 0.826       | 34                         | 49  |
| 1/6             | 100               | 0.04                | 319                        | 255   | 319 | 0.798 | 0.128 | 13.0         | 0.894        | 0.830       | 30                         | 41  |

備考 1) 混和剤：ポゾリスNo.70の使用量250cc/C:100kg  
 2) コンクリート温度：20～21℃



Table A 4.3 Optimization of Sand Percentage for Alumina Concrete

| 細骨材率<br>(%) | 水セメント<br>比<br>(%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      |            | スランプ<br>(cm) | 沈下度<br>(sec) | 空気量<br>(%) |
|-------------|-------------------|----------------------------|-----|-----|------|------------|--------------|--------------|------------|
|             |                   | セメント                       | 水   | 細骨材 | 粗骨材  | 混和剤<br>(ℓ) |              |              |            |
| 44          | 55.7              | 300                        | 167 | 797 | 1018 | 0.750      | 11.0         | 7.0          | 4.3        |
| 46          | 55.7              | 300                        | 167 | 833 | 982  | 0.750      | 12.0         | 6.2          | 4.3        |
| 48          | 55.7              | 300                        | 167 | 869 | 946  | 0.750      | 10.5         | 7.8          | 4.2        |
| 50          | 55.7              | 300                        | 167 | 906 | 909  | 0.750      | 8.5          | 10.2         | 4.3        |

備考 1) 混和剤：ポゾリスNo.70の使用量：250cc/C：100kg  
 2) コンクリート温度：19.0～20.5℃

Table A 4.4 Relation between Water Cement Ratio and Compressive Strength for Alumina Concrete

| 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |         | スランブ (cm) | 空気量 (%) | 圧 縮 強 度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |     |     |     |
|------------|----------|----------------------------|-----|-----|-----|---------|-----------|---------|--------------------------------|-----|-----|-----|
|            |          | セメント                       | 水   | 細骨材 | 粗骨材 | 混和剤 (ℓ) |           |         | 1日                             | 3日  | 7日  | 28日 |
| 50         | 45       | 334                        | 167 | 801 | 983 | 0.835   | 11.0      | 4.3     | 500                            | 556 | 603 | 661 |
| 55         | 46       | 304                        | 167 | 831 | 979 | 0.760   | 12.0      | 4.7     | 480                            | 524 | 572 | 650 |
| 60         | 47       | 278                        | 167 | 860 | 973 | 0.695   | 12.5      | 4.5     | 462                            | 512 | 557 | 598 |
| 65         | 48       | 257                        | 167 | 887 | 965 | 0.642   | 11.0      | 4.3     | 448                            | 508 | 529 | 588 |

備考 1) 混和剤：ポゾリスNo.70の使用量 250cc/C:100kg  
 2) コンクリート温度：19.0～20.5℃

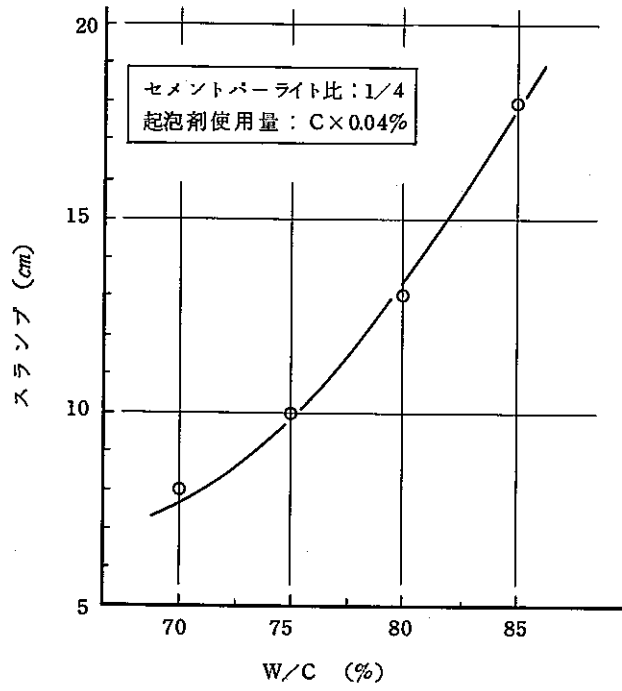


Fig. A4.1 Relation between W/C and Slump (Perlite Concrete)

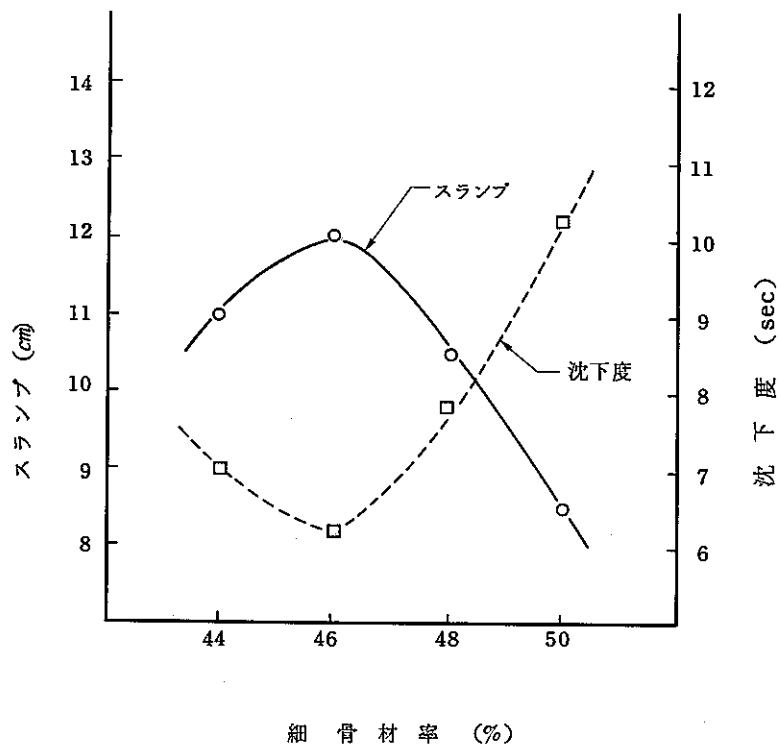


Fig. A4.2 Relations between Sand Percentage and Slump or Settlement (Alumina Concrete)

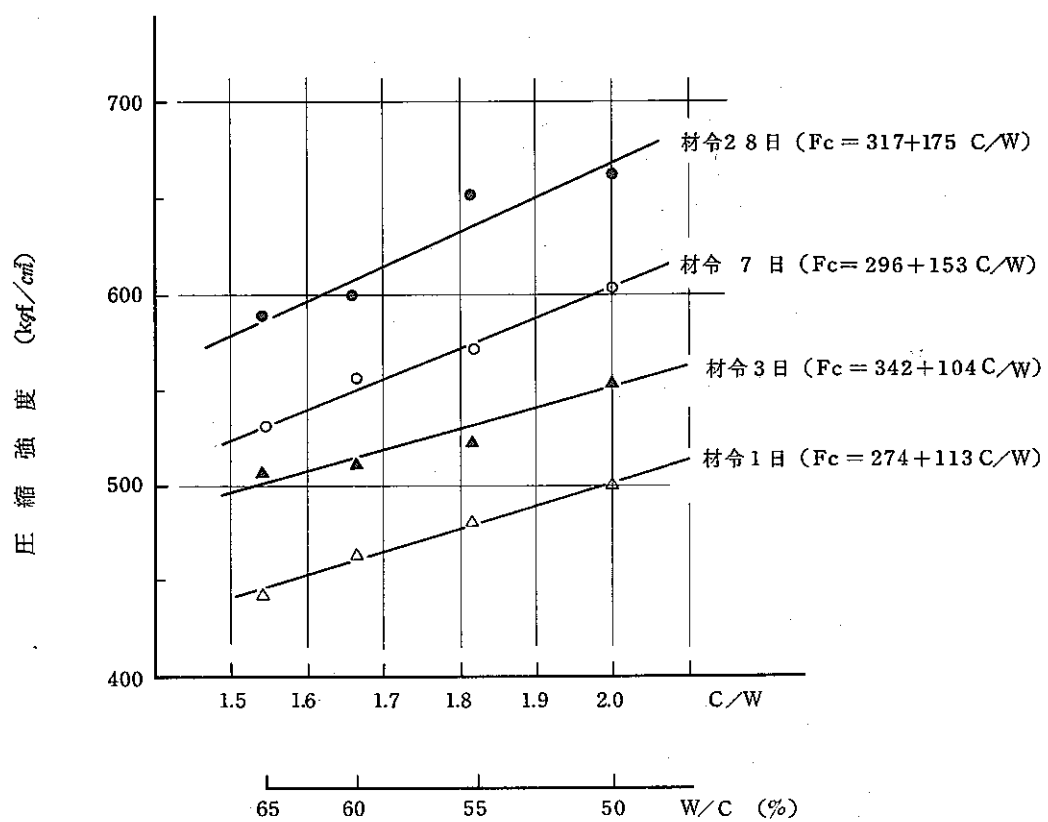


Fig. A4.3 Relation between C/W and Compressive Strength ( Alumina Concrete )

Appendix 5 本試験で使用したコンクリートの保管状況 (その1)

| 試験項目                  | 試験種類         | コンクリート<br>製作日                                  | ロット | 養生期間                               | 養生後の保管   | 試験日  | 備考  |
|-----------------------|--------------|--|-----|------------------------------------|--|--|---|
| コンクリートの放出水特性試験        | コンクリート片による試験 | 昭和58年<br>2月16日<br>(コンクリート)<br>2月17日<br>(パーライト) |     | 20℃湿潤<br>28日<br>20℃,80%RH<br>33日   | 養生終了の翌日<br>試験開始  | 昭和58年<br>4月18日<br>(コンクリート)<br>4月19日<br>(パーライト)                             |   |
|                       | 熱天秤による試験     | 同上   |     | 同上                                 | 養生終了後<br>から室内静置  | 6月17日<br>" 20日<br>" 21日<br>" 23日<br>" 25日<br>7月 4日<br>" 5日<br>" 6日<br>" 7日 |   |
| 加温による<br>圧縮強度<br>ヤング率 | 55℃          | 同上   |     | 同上                                 | 3日間加温<br>(8日 " )   | 4月23日<br>重量のみ測定  | 加温開始<br>4月20日   |
|                       | 70℃          |  |     |                                    | 6日間加温<br>(16日 " )  | 4月28日<br>(5月 8日)   | 加温終了2<br>日後に試験  |
|                       | 110℃         |  |     |                                    | 8日間加温<br>(19日 " )  | 4月30日<br>(5月11日)   |   |
|                       | 130℃         |  |     |                                    | 11日間加温<br>(24日 " )   | 5月 3日<br>(5月16日)   | ( )内は<br>コンクリート<br>他はパーライト  |
|                       | 150℃         |  |     |                                    | 13日間加温<br>(25日 " )   | 5月 5日<br>(5月17日)   |   |
|                       | 300℃         |  |     |                                    | 14日間加温<br>(27日 " )   | 5月 6日<br>(5月19日)   |   |
|                       | 500℃         |  |     |                                    | 16日間加温<br>(30日 " )   | 5月 8日<br>(5月22日)   |   |
| 反応熱試験                 | 1H           | 同上   |     | 養生後ただちに<br>スライス<br>7日間20℃<br>80%RH | 養生終了後5日<br>間室内静置<br>5月1日<br>日曹マスターピ<br>ルターズ発<br>5月2日<br>日本曹達二本木<br>工場着以後室内<br>静置 | 5月18日  | コンクリート<br>は3H~4H<br>および11H<br>~14H<br><br>パーライトは<br>1H~2Hお<br>よび 5H~<br>10H |
|                       | 2H           |  |     |                                    |  | 7月 8日  |   |
|                       | 3H           |  |     |                                    |  | 5月24日  |   |
|                       | 4H           |  |     |                                    |  | 5月26日  |   |
|                       | 5H           |  |     |                                    |  | 6月 1日  |   |
|                       | 6H           |  |     |                                    |  | 6月 3日  |   |
|                       | 7H           |  |     |                                    |  | 6月13日  |   |
|                       | 8H           |  |     |                                    |  | 6月15日  |   |
|                       | 9H           |  |     |                                    |  | 6月20日  |   |
|                       | 10H          |  |     |                                    |  | 6月22日  |   |
|                       | 11H          |  |     |                                    |  | 6月24日  |   |
|                       | 12H          |  |     |                                    |  | 6月27日  |   |
|                       | 13H          |  |     |                                    |  | 6月29日  |   |
|                       | 14H          |  |     |                                    |  | 7月 4日  |   |

Appendix 5 本試験で使用了たコンクリートの保管状況 (その2)

| 試験項目  | 試験種類 | コンクリート<br>製作日                                  | ロット | 養生期間         | 養生後の保管  | 試験日   | 備考  |
|-------|------|--|-----|--------------|---|-------|---|
| モデル試験 | 1 M  | 昭和58年<br>2月16日<br>(コンクリート)<br>2月17日<br>(パーライト) |     | 20℃湿潤<br>28日 | 養生終了後12<br>日間室内静置<br>5月1日<br>日曹マスタービ<br>ルダーズ発<br>5月2日<br>日本曹達二本木<br>工場着以後室内<br>静置 | 7月22日 | コンクリート<br>は1M, 5M,<br>6M, 7M<br>パーライトは<br>2M, 3M,<br>4M, 8M |
|       | 2 M  |  |     |              |   | 7月18日 |   |
|       | 3 M  |  |     |              |   | 7月20日 |   |
|       | 4 M  |  |     |              |   | 7月26日 |   |
|       | 5 M  |  |     |              |   | 7月28日 |   |
|       | 6 M  |  |     |              |   | 8月 1日 |   |
|       | 7 M  |  |     |              |   | 8月 4日 |   |
|       | 8 M  |  |     |              |   | 8月10日 |   |