

配布限定

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

分置

ライナ・埋込金物部総合健全性試験 成果報告書

| 技術資料 | | |
|---|------------|------------|
| 開示区分 | レポートNo. | 受領日 |
| S | J222 84-07 | 1997.10.15 |
| この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室 | | |

1984年6月

持出厳禁

三菱重工業株式会社

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)

用等には事業団の承認が必要です。

動力炉・核燃料開発事業団
計画管理部技術情報室



配布限定

PNC ~~S~~J222 84-07

1984年6月30日

ライナ・埋込金物部総合健全性試験^{*}

| | | | |
|-------|----|-------|----|
| 清水 誠一 | ** | 黒川真佐夫 | ** |
| 永田 薫 | ** | 鈴木智巳 | ** |
| 佐野 保 | ** | 東口洋一 | ** |
| 上田三男 | ** | | ** |

要 旨

本報告書は高速増殖原型炉“もんじゅ”のナトリウム配管が設置される部に設置予定である固定式ライナと各機器のサポート・台座、配管貫通部等をコンクリートに堅固に固定する埋込金物との取り合い部を対象として実施した総合健全性試験及び構造解析の結果をとりまとめたものである。

試験と解析では以下に述べる結果が得られた。

1. 総合健全性試験

- (1) 埋込金物を含む固定式ライナ供試体に電気ヒータによる加熱と高温ナトリウム注入を伴う試験を行ない、これらによって実機での使用状態及び大量ナトリウム漏洩時に相当する熱履歴を与えたが、試験中ライナ機能を損う様な損傷や異常は認められなかった。

* 本報告書は、三菱重工業株式会社が動力炉・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。

** 三菱重工業株式会社 神戸造船所 新型炉設計部

** 三菱重工業株式会社 神戸造船所 鉄構部

** 三菱重工業株式会社 技術本部 高砂研究所

- (2) 試験終了後の供試体のライナプレート及び溶接部に対する各種非破壊検査からも割れ等の異常は認められなかった。
- (3) 試験時最高到達温度(530℃)時点でのライナプレートの最大面外変位は5.05 mmである。

2. 埋込金物を含むライナプレートの弾塑性構造解析

- (1) 試験に対応した条件のもとで、埋込金物を考慮したライナプレートの詳細弾塑性構造解析を実施し、その結果は試験結果と良好な一致を示した。
- (2) 上記詳細弾塑性構造解析に基づき、埋込金物を考慮したライナプレートの簡易解析手法を提案した。

Integrity Test for Embedment Portion of Fixed-Type Liner System*

Seiichi Shimizu**, Masao Kurokawa**
Kaoru Nagata**, Tomomi Suzuki**,
Tamotsu Sano**, Youichi Touguchi**,
Sabuo Ueda**

Abstract

This report presents the result of structural integrity test and structural analysis for the embedment portion of fixed-type liner system that is being proposed for a few cells containing sodium loop of the prototype fast breeder reactor "Monju".

The summary of the present test and analysis is as follows.

1. Structural integrity test

A mock-up test model of fixed-type liner system consisting of floor liner and thickened embedment plate was subjected to the structural integrity test (i.e., a hot gas heating and a hot sodium filling tests).

These tests were conducted so as to simulate the reactor operating condition and the accident condition that would be generated in consequence of a sodium leak.

- (1) Although the liner plate of test model was subjected to repeated thermal load and enforced displacement from thickened embedment plate during the test, no crack nor disintegration of the liner plate was found.
- (2) Post-test examination of the liner plate and the seam weld showed no indication of crack.

* Work performed under contracts between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, and Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

** Advanced Nuclear Plant Engineering department, Kobe Shipyard & Engine Works, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

** Steel structure department, Kobe Shipyard & Engine Works, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

** Takasago Technical Institute, Technical Headquarters, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

(3) The maximum liner temperature during the test was 530°C. At this temperature, maximum thermal deformation of the liner plate was 50.5 mm.

2. Elasto-plastic structural analysis of the liner plate taking account of thickened embedment plate

(1) The detailed elasto-plastic structural analysis of the liner plate which took account of thickened embedment plate was carried out under the condition corresponding to the structural integrity test.

The result of detailed analysis showed good coincidence with the test result.

(2) Based on above detailed analysis, we proposed simplified analysis method for the liner plate taking account of embedment plate.

目 次

| | ページ |
|--------------------|-----|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 構造健全性試験 | 2 |
| 2.1 概 要 | 2 |
| 2.2 供試体 | 2 |
| 2.2.1 供試体の概要 | 2 |
| 2.2.2 供試体の製作 | 3 |
| 2.2.3 供試体の検査 | 3 |
| 2.3 試験方法 | 3 |
| 2.3.1 試験装置 | 3 |
| 2.3.2 計測項目及び計測方法 | 4 |
| 2.3.3 試験条件及び試験方法 | 7 |
| 2.4 試験結果 | 10 |
| 2.4.1 供試体各部の変位 | 10 |
| 2.4.2 供試体各部の温度分布 | 12 |
| 2.4.3 ライナプレートの変形 | 16 |
| 2.4.4 試験後の供試体の検査結果 | 17 |
| 2.5 考 察 | 18 |
| 2.5.1 ライナプレートの変位 | 18 |
| 2.5.2 供試体各部の温度 | 19 |
| 2.5.3 ライナプレートの変形 | 24 |
| 3. 照合解析 | 25 |
| 3.1 概 要 | 25 |
| 3.2 弾塑性大変形解析 | 25 |
| 3.2.1 解析の概要 | 25 |

| | | |
|-------|---------------------------|-----|
| 3.2.2 | 解析方法及び解析条件 | 25 |
| 3.3 | 解析結果 | 27 |
| 3.3.1 | 変位 | 27 |
| 3.3.2 | 等価歪み | 27 |
| 3.3.3 | ライナプレート端部に発生する等価歪み | 28 |
| 3.4 | 試験結果と照合解析結果との比較 | 29 |
| 3.4.1 | 変位 | 29 |
| 3.4.2 | 歪み | 29 |
| 4. | 簡易評価手法の検討 | 30 |
| 4.1 | 概要 | 30 |
| 4.2 | スリットモデルによる簡易解析 | 30 |
| 4.2.1 | 解析の概要 | 30 |
| 4.2.2 | 埋込金物との取り合い部を有する固定式ライナ | 30 |
| 4.2.3 | 固定式ライナ | 31 |
| 4.2.4 | 簡易解析結果 | 32 |
| 4.3 | 簡易評価手法 | 32 |
| 4.3.1 | 概要 | 32 |
| 4.3.2 | 簡易解析結果と詳細解析結果との対比 | 32 |
| 4.3.3 | 簡易評価手法 | 33 |
| 5. | 評価及びまとめ | 34 |
| 6. | 謝辞 | 36 |
| | 参考文献 | 37 |
| | APPENDIX A 試験データ集 | A-i |
| | APPENDIX B 「MARC」インプットリスト | B-i |

図 リ ス ト
List of Figure

| | | ページ |
|--------------|--|-----|
| Fig. 2.2.1-1 | 供試体 | 38 |
| Fig. 2.2.2-1 | Test Rig | |
| Fig. 2.2.3-1 | ライナ法検査用測定装置 | 39 |
| Fig. 2.2.3-1 | Arrangement of the Gauges for Dimension Determination of the Test Rig | |
| Fig. 2.3.1-1 | ナトリウム載荷実験概略系統図 | 40 |
| Fig. 2.3.1-1 | Flow Sheet of Test Apparatus | |
| Fig. 2.3.1-2 | ナトリウムの注入位置, ノズル | 41 |
| Fig. 2.3.1-2 | Relative Heights of Insulating Cover, Sodium Level and Liner Plate. | |
| Fig. 2.3.2-1 | 温度計測点配置図 | 42 |
| Fig. 2.3.2-1 | Location of Thermocouples for Temperature Determination of the Test Rig | |
| Fig. 2.3.2-2 | 変位計測点配置図 | 43 |
| Fig. 2.3.2-2 | Location of the Wire-Type Displacement Gauges for the Liner Plate and the Embedded Plate | |
| Fig. 2.3.2-3 | 変位計測の要領 | 44 |
| Fig. 2.3.2-3 | Detailed Arrangement of the Wire-Type Displacement Gauges | |
| Fig. 2.3.2-4 | ライナプレート用の歪みゲージ配置図 | 45 |
| Fig. 2.3.2-4 | Arrangement of Straingauges for the Liner Plate | |
| Fig. 2.3.2-5 | データ集録, 処理システム | 46 |
| Fig. 2.3.2-5 | Block Diagram of Data Acquisition System | |
| Fig. 2.3.3-1 | ライナ平均温度の定義 | 47 |
| Fig. 2.3.3-1 | Definition of Average Liner Temperature | |
| Fig. 2.3.3-2 | RUN-1のライナ平均温度の推移 | 48 |
| Fig. 2.3.3-2 | Record of Average Liner Temperature in RUN-1 | |
| Fig. 2.3.3-3 | RUN-2, RUN-3のライナ平均温度の推移 | 49 |
| Fig. 2.3.3-3 | Record of Average Liner Temperature from RUN-2 to RUN-3. | |
| Fig. 2.3.3-4 | RUN-4のライナ平均及びコンクリート温度の推移 | 50 |
| Fig. 2.3.3-4 | Record of Average Liner Temperature and Concrete Temperature in RUN-4. | |
| Fig. 2.4.1-1 | ライナプレート及び埋込金物の面外・面内変位分布(RUN-1) | 51 |
| Fig. 2.4.1-1 | Out-of-Plane and In-Plane Displacement of the Liner Plate and the Embedded Plate (RUN-1) | |

| | | |
|------------------------------|--|----|
| Fig. 2.4.1-2 Fig. 2.4.1-2 | ライナプレート及び埋込金物の面外・面内変位分布 (RUN-2) Out-of-Plane and In-Plane Displacement of the Liner Plate and the Embedded Plate (RUN-2) | 52 |
| Fig. 2.4.1-3 Fig. 2.4.1-3 | ライナプレート及び埋込金物の面外・面内変位分布 (RUN-3) Out-of-Plane and In-Plane Displacement of the Liner Plate and the Embedded Plate (RUN-3) | 53 |
| Fig. 2.4.1-4 Fig. 2.4.1-4 | ライナプレート DL-8 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-8) at RUN-4 | 54 |
| Fig. 2.4.1-5 Fig. 2.4.1-5 | ライナプレート及び埋込金物の面外・面内変位分布 (RUN-4) Out-of-Plane and In-Plane Displacement of the Liner Plate and the Embedded Plate (RUN-4) | 55 |
| Fig. 2.4.1-6 Fig. 2.4.1-6 | ライナプレートの面外残留変位分布 (RUN-4 試験完了後室温) Residual Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (after RUN-4) | 56 |
| Fig. 2.4.2-1 Fig. 2.4.2-1 | 温度分布 (Na 注入前) Temperature Distribution (Before Sodium Charge) | 57 |
| Fig. 2.4.2-2 Fig. 2.4.2-2 | 温度分布 (Na 充填途中 ; Time = 0:03) Temperature Distribution (During Charge; Time=0:03) | 58 |
| Fig. 2.4.2-3 Fig. 2.4.2-3 | 温度分布 (充填完了直後 ; Time = 0:05) Temperature Distribution (Charge Terminated; Time=0:05) | 59 |
| Fig. 2.4.2-4 Fig. 2.4.2-4 | 温度分布 (昇温途中 ; Time = 1:00) Temperature Distribution (During Heating; Time=1:00) | 60 |
| Fig. 2.4.2-5 Fig. 2.4.2-5 | 温度分布 (530°C 到達後 ; Time = 4:00) Temperature Distribution (After Heating up to 530°C ; Time = 4:00) | 61 |
| Fig. 2.4.2-6 Fig. 2.4.2-6 | 温度分布 (ヒータ OFF 直前) Temperature Distribution (Just before Heater Off ; Time = 24:00) | 62 |
| Fig. 2.4.2-7 Fig. 2.4.2-7 | コンクリート温度の代表例 (TC-9 ~ 13) Temperature Record of the Concrete (TC-9 ~ 13) | 63 |
| Fig. 2.4.2-8 Fig. 2.4.2-8 | コンクリート温度の代表例 (TC-1, 2, 3, TS-1) Temperature Record of the Concrete (TC-1, 2, 3, TS-1) | 64 |
| Fig. 2.4.3-1 Fig. 2.4.3-1 | ライナプレートの歪み測定値 (RUN-1) Observed Strain of the Liner Plate (RUN-1) | 65 |

| | | |
|--|--|----|
| Fig. 2.4.3-2 Fig. 2.4.3-2 | ライナプレートの変形測定値 (RUN-2) Observed Strain of the Liner Plate (RUN-2) | 66 |
| Fig. 2.4.3-3 Fig. 2.4.3-3 | ライナプレートの変形測定値 (RUN-3) Observed Strain of the Liner Plate (RUN-3) | 67 |
| Fig. 2.4.3-4 Fig. 2.4.3-4 | ライナプレートの変形測定値 (RUN-4) Observed Strain of the Liner Plate (RUN-4) | 68 |
| Fig. 2.4.4-1 Fig. 2.4.4-1 | ライナ溶接部検査位置図 Seam Weld Lines and Liner Plate Inspected at Post-Test Examinations | 69 |
| Fig. 2.4.4-2 Fig. 2.4.4-2 | 耐熱コンクリートの表面クラックのスケッチ Sketch of Cracks on the Heat Resisting Concrete | 70 |
| Fig. 2.5.1-1 Fig. 2.5.1-1 | 弾塑性大変形熱座屈解析によるライナプレートの座屈モード Buckling Mode of the Liner Plate by Elasto-Plastic Large Displacement Thermal Buckling Analysis | 71 |
| Fig. 2.5.2-1 Fig. 2.5.2-1 | ライナ温度経時変化; 前回試験と今回試験の比較 Transitional Temperature of Liner; Comparison between Previous and This Work | 72 |
| Fig. 2.5.2-2 Fig. 2.5.2-2 | コンクリート温度経時変化; 前回試験と今回試験の比較 Transitional Temperature of Concrete; Comparison between Previous and This Work | 73 |
| Fig. 2.5.2-3 Fig. 2.5.2-3 | コンクリート温度経時変化; 計算値と実験値の比較 Transitional Temperature of Concrete; Comparison between Calculation and Experiment | 74 |
| Fig. 3.2.2-1 Fig. 3.2.2-1 | 解析モデル要素分割図と境界条件 FEM Mesh and Boundary Conditions of Analysis Model | 75 |
| Fig. 3.2.2-2 Fig. 3.2.2-2 | ライナプレート材 (SM41B 母材) 材料強度の温度依存性 Temperature Dependent of the Physical Properties of the Liner Plate (SM41B Base Metal) | 76 |
| Fig. 3.2.2-3 Fig. 3.2.2-3 | ライナプレート材 (SM41B 材) の応力-ひずみ関係 Temperature Dependent of the Non-Linear Stress-Strain Curves Used in Stress Analysis of the Liner Plate (SM41B Base Metal) | 77 |
| Fig. 3.3.1-1(1/3) Fig. 3.3.1-1(1/3) | 解析による変位 (RUN-1, RUN-2) Calculated Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (RUN-1, RUN-2) | 78 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Fig. 3.3.1-1(2/3) | 解析による変位 (RUN-3, RUN-4) | 79 |
| Fig. 3.3.1-1(2/3) | Calculated Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (RUN-3, RUN-4) | |
| Fig. 3.3.1-1(3/3) | 解析による変位 (降温完了後) | 80 |
| Fig. 3.3.1-1(3/3) | Calculated Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (After Cool down) | |
| Fig. 3.3.1-2 | 最大変位点の変位挙動 | 81 |
| Fig. 3.3.1-2 | Behaviour of Displacement at the Maximum Displacement Point | |
| Fig. 3.3.2-1(1/3) | 解析による等価膜歪み (RUN-1, RUN-2) | 82 |
| Fig. 3.3.2-1(1/3) | Calculated Von Mises Effective Strain for Membrane of the Liner Plate (RUN-1, RUN-2) | |
| Fig. 3.3.2-1(2/3) | 解析による等価膜歪み (RUN-3, RUN-4) | 83 |
| Fig. 3.3.2-1(2/3) | Calculated Von Mises Effective Strain for Membrane of the Liner Plate (RUN-3, RUN-4) | |
| Fig. 3.3.2-1(3/3) | 解析による等価膜歪み (降温完了後) | 84 |
| Fig. 3.3.2-1(3/3) | Calculated Von Mises Effective Strain for Membrane of the Liner Plate (After Cool down) | |
| Fig. 3.3.2-2(1/3) | 解析による等価(膜+曲げ)歪み(表面) (RUN-1, RUN-2) | 85 |
| Fig. 3.3.2-2(1/3) | Calculated Von Mises Effective Strain for Combined Membrane plus Bending (Upper Surface) of the Liner Plate (RUN-1, RUN-2) | |
| Fig. 3.3.2-2(2/3) | 解析による等価(膜+曲げ)歪み(表面) (RUN-3, RUN-4) | 86 |
| Fig. 3.3.2-2(2/3) | Calculated Von Mises Effective Strain for Combined Membrane plus Bending (Upper Surface) of the Liner Plate (RUN-3, RUN-4) | |
| Fig. 3.3.2-2(3/3) | 解析による等価(膜+曲げ)歪み(表面) (降温完了後) | 87 |
| Fig. 3.3.2-2(3/3) | Calculated Von Mises Effective Strain for Combined Membrane plus Bending (Upper Surface) of the Liner Plate (After Cool down) | |
| Fig. 3.3.3-3(1/3) | 解析による等価(膜+曲げ)歪み(裏面) (RUN-1, RUN-2) | 88 |
| Fig. 3.3.3-3(1/3) | Calculated Von Mises Effective Strain for Combined Membrane plus Bending (Lower Surface) of the Liner Plate (RUN-1, RUN-2) | |
| Fig. 3.3.3-3(2/3) | 解析による等価(膜+曲げ)歪み(裏面) (RUN-3, RUN-4) | 89 |
| Fig. 3.3.3-3(2/3) | Calculated Von Mises Effective Strain for Combined Membrane plus Bending (Lower Surface) of the Liner Plate (RUN-3, RUN-4) | |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Fig. 3.3.3-3(3/3) | 解析による等価(膜+曲げ)歪み(裏面)(降温完了後) | 90 |
| Fig. 3.3.3-3(3/3) | Calculated Von Mises Effective Strain for Combined Membrane plus Bending (Lower Surface) of the Liner Plate (After Cool down) | |
| Fig. 3.4.1-1(1/4) | ライナ変位に関する解析値と実験値との対比 (RUN-1, 66°C) | 91 |
| Fig. 3.4.1-1(1/4) | Distribution of the Liner Plate Displacement (RUN-1, 66°C); Comparison between Calculated Value and Observed Value | |
| Fig. 3.4.1-1(2/4) | ライナ変位に関する解析値と実験値との対比 (RUN-2, 86°C) | 92 |
| Fig. 3.4.1-1(2/4) | Distribution of the Liner Plate Displacement (RUN-2, 86°C); Comparison between Calculated Value and Observed Value | |
| Fig. 3.4.1-1(3/4) | ライナ変位に関する解析値と実験値との対比 (RUN-3, 121°C) | 93 |
| Fig. 3.4.1-1(3/4) | Distribution of the Liner Plate Displacement (RUN-3, 121°C); Comparison between Calculated Value and Observed Value | |
| Fig. 3.4.1-1(4/4) | ライナ変位に関する解析値と実験値との対比 (RUN-4, 530°C) | 94 |
| Fig. 3.4.1-1(4/4) | Distribution of the Liner Plate Displacement (RUN-4, 530°C); Comparison between Calculated Value and Observed Value | |
| Fig. 4.2.2-1 | 解析モデル要素分割図と境界条件 | 95 |
| Fig. 4.2.2-1 | FEM Mesh and Boundary Conditions of Analysis Model | |
| Fig. 4.2.3-1 | 解析モデル要素分割図と境界条件 | 96 |
| Fig. 4.2.3-1 | FEM Mesh and Boundary Conditions of Analysis Model | |

表 リ ス ト
List of Table

| | | ページ |
|---------------|--|-----|
| Table 2.2.2-1 | 供試体製作手順 | 97 |
| Table 2.2.2-1 | Procedure of the Test Rig Construction | |
| Table 2.2.2-2 | ライナ鋼材のミルシート | 99 |
| Table 2.2.2-2 | Mechanical Properties of Steel Plates for Liner Plate and Embedded Plate | |
| Table 2.2.2-3 | コンクリートの調合, 強度 | 100 |
| Table 2.2.2-3 | Composition and Compressive Strength of Concrete | |
| Table 2.3.3-1 | 試験条件 | 101 |
| Table 2.3.3-1 | Test Conditions | |
| Table 3.2.2-1 | ライナプレート材料強度物性値 | 102 |
| Table 3.2.2-1 | Temperature Dependent Member Properties of Liner Plate | |
| Table 3.2.2-2 | ライナプレート材の応力-ひずみ関係 | 103 |
| Table 3.2.2-2 | Stress-Strain Data vs Temperature Relationship Data Used in Structural Analysis of the Liner Plate | |
| Table 3.3.2-1 | 解析による等価歪みの最大値 | 104 |
| Table 3.3.2-1 | Maximum Von Mises Effective Strain by Analysis | |
| Table 3.3.3-1 | 歪み発生分布より予想される周端部最大等価歪み | 105 |
| Table 3.3.3-1 | Maximum Von Mises Effective Strain developed at the Edge of the Liner Plate Estimated by Strain Distribution | |
| Table 4.2.4-1 | 最大等価ひずみ(埋込金物との取り合い部を有する固定式ライナ) | 106 |
| Table 4.2.4-1 | Maximum Von Mises Effective Strain (Fixed-Type Liner with Embedment Portion) | |
| Table 4.2.4-2 | 最大等価歪み(固定式ライナ) | |
| Table 4.2.4-2 | Maximum Von Mises Effective Strain (Fixed-Type Liner) | 106 |
| Table 4.3.2-1 | 簡易解析と詳細解析の最大等価歪み比較(埋込金物との取り合い部を有する固定式ライナ) | 107 |
| Table 4.3.2-1 | Maximum Von Mises Effective Strain; Comparison between the Calculated Value by Simplified Analysis and that by Detailed Analysis (Integrity Test for Embedment Portion of Fixed-Type Liner System) | |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Table 4.3.2-2 | 簡易解析と詳細解析の最大等価歪み比較 (固定式ライナ) | 107 |
| Table 4.3.2-2 | Maximum Von Mises Effective Strain ; Comparison between the Calculated Value by Simplified Analysis and that by Detailed Analysis (Structural Integrity Test of Typical Floor Liner System) | |
| Table 4.3.2-3 | 係数 α | 108 |
| Table 4.3.2-3 | Coefficient α | |
| Table 4.3.3-1 | 詳細解析による最大等価歪みと簡易評価法による等価歪みの比較 (埋込金物との取り合い部を有する固定式ライナ) | 109 |
| Table 4.3.3-1 | Comparison between the Maximum Von Mises Effective Strain Calculated by Detailed Analysis and the Von Mises Effective Strain Calculated by Simplified Estimation Method (Integrity Test for Embedment Portion of Fixed-Type Liner System) | |
| Table 4.3.3-2 | 詳細解析による最大等価歪みと簡易評価法による等価歪みの比較 (固定式ライナ) | 109 |
| Table 4.3.3-2 | Comparison between the Maximum Von Mises Effective Strain Calculated by Detailed Analysis and the Von Mises Effective Strain Calculated by Simplified Estimation Method (Structural Integrity Test of Typical Floor Liner System) | |

写真リスト
List of Photograph

| | | ページ |
|-----------------|--|-----|
| Photo. 2.2.2-1 | 配筋状況 | 110 |
| Photo. 2.2.2-1 | Arrangement of Reinforcing Bar | |
| Photo. 2.2.2-2 | 高強度コンクリートの打設 | 110 |
| Photo. 2.2.2-2 | Filling of High Strength Concrete into the Test Rig | |
| Photo. 2.2.2-3 | 耐熱コンクリートの打設 | 111 |
| Photo. 2.2.2-3 | Filling of Heat Resisting Concrete into the Test Rig | |
| Photo. 2.2.2-4 | 耐熱コンクリートの表面仕上げ | 111 |
| Photo. 2.2.2-4 | Surface Finishing of Heat Resisting Concrete | |
| Photo. 2.2.2-5 | 天板の溶接 | 112 |
| Photo. 2.2.2-5 | Welding for the Top Plate. | |
| Photo. 2.2.2-6 | 供試体の試験セルへの吊り込み | 112 |
| Photo. 2.2.2-6 | Lifting and Bringing the Test Rig into the Experimental Cell | |
| Photo. 2.2.2-7 | ライナ裏面へのゲージの取り付け | 113 |
| photo. 2.2.2-7 | Setting of the Gauges to the Lower Surface of the Liner Plate | |
| Photo. 2.2.2-8 | ライナプレート, 埋込金物の取り付け | 113 |
| Photo. 2.2.2-8 | Set up of the Liner Plate and the Embedded plate | |
| Photo. 2.2.2-9 | 溶接部の液体浸透探傷検査 | 114 |
| Photo. 2.2.2-9 | Dye Penetration Test for the Seam Weld Lines of the Liner Plate | |
| Photo. 2.2.2-10 | 溶接部の真空箱漏洩検査 | 114 |
| Photo. 2.2.2-10 | Leak Test by Vacuum Box for the Seam Weld Lines of the Liner Plate | |
| Photo. 2.2.2-11 | 断熱プラグの据え付け, ナトリウム配管の取り付け | 115 |
| Photo. 2.2.2-11 | Setting of Insulating Cover and Sodium Piping | |
| Photo. 2.2.2-12 | ナトリウム加熱用ヒータの取り付け | 115 |
| Photo. 2.2.2-12 | Setting of Heater for Sodium Heating | |
| Photo. 2.3.3-1 | 断熱プラグ開放後のライナ表面 | 116 |
| Photo. 2.3.3-1 | Liner Plate Surface after the Insulating Cover Removal | |
| Photo. 2.4.4-1 | ナトリウム除去後のライナ表面 | 116 |
| Photo. 2.4.4-1 | Liner Plate Surface after the Sodium Removal | |

- | | | |
|----------------|--|-----|
| Photo. 2.4.4-2 | 試験後の耐熱コンクリートの表面状況 | 117 |
| Photo. 2.4.4-2 | Heat Resisting Concrete Surface after the Test | |
| Photo. 2.4.4-3 | 試験後の耐熱コンクリートの表面(クラック部) | 117 |
| photo. 2.4.4-3 | Heat Resisting Concrete Surface after the Test (Cracked Portion) | |

1. まえがき

高速増殖原型炉“もんじゅ”のナトリウム配管が設置されている部屋に設置予定である固定式ライナと各機器のサポート・台座、配管貫通部等をコンクリートに堅固に固定する埋込金物との取り合い部のナトリウム漏洩事故に対する健全性を実験的に確認するため、埋込金物を含む固定式ライナプレートを製作し、高温ガス雰囲気と高温ナトリウムを使用した構造健全性試験を行なった。

また、試験に引き続いて、供試体に対する詳細な弾塑性構造解析を実施し、その結果をふまえて、簡易解析手法を提案したものである。

2. 構造健全性試験

2.1 概要

本試験は、高速増殖原型炉のナトリウム配管が設置されている部屋に設置予定である固定式ラジナヒ、各機器のサポート・台座、配管貫通部等をコンクリートに堅固に固定する埋込金物との取り合い部を対象に、“もんじゅ”の通常運転時から大量ナトリウム漏洩時までの各状態におけるラジナの挙動の把握及びラジナ構造健全性を実験的に確認することを目的とするものである。

2.2 供試体

2.2.1 供試体の概要

供試体は埋込金物を模擬した板厚90mmの600mm×600mmの矩形厚板を中央部に有し、その周辺に板厚8mmの2000mm×2000mmのライナプレートを設置したものである。

供試体形状をFig. 2.2.1-1に示す。同図に示すように、埋込金物とライナプレートは突合せ溶接により接合されており、埋込金物は固定金物を用い供試体底部コンクリートに貫通固定されている。

ライナプレートの周囲には鋼製Boxの中に高強度コンクリート(設計基準強度 $f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$)を充填したコンクリート充填Box構造の拘束枠を設置し、ライナプレート周端部に配したアンカボルトをこの拘束枠に貫通固定させることによりライナプレート周端部の固定条件を保証した。

また、拘束枠のコンクリートには 30 kg/cm^2 のプレストレス力をPC鋼棒により導入し、その剛性をさらに高めている。

なお、埋込金物を模擬した矩形厚板のサイズ(600mm×600mm)は、実施計画策定段階において、簡単な手計算によりライナプレートの発生歪み量が“ライナ設計基準(案)”に示された許容歪みの値にほぼ等しくなると推定されるサイズとして採用したものである。

2.2.2 供試体の製作

供試体の製作手順を Table 2.2.2-1 に示す。

使用したラスタ用鋼材のミルシートを Table 2.2.2-2 に、ラスタ裏面に布設した耐熱コンクリート及び構造用コンクリートの調合及び圧縮強度試験結果を Table 2.2.2-3 に示す。

2.2.3 供試体の検査

供試体のラスタについて次の検査を行った。

(1) ラスタ寸法検査

製作時に Fig. 2.2.3-1 に示す測定装置で各部の寸法測定を行い、ラスタの床面、埋込金物部について基準面(点)からの面外たわみ、高低差を測定し、下に示す公差内に製作されていることを確認した。

据付寸法精度

| 対象部位 | 基準 |
|---------|------------------------|
| ラスタプレート | 面外たわみ $\pm 6\text{mm}$ |
| 埋込金物 | 高低差 3mm |

(2) 溶接部検査

開先部の液体浸透探傷検査、最終溶接面の磁粉探傷検査、溶接部の真空箱による漏洩検査を行った、異常の無いことを確認した。

2.3 試験方法

2.3.1 試験装置

(1) 試験セル

供試体は、一次収納構造健全性試験装置の試験セル内に設置した。試験セルには万一の試験設備等の破損に対応するため、ナトリウム火災時のイフロソルの放出処理装置と内部雰囲気と N_2 ガス雰囲気にするための N_2 供給設備が設けられている。試験セルの大きさは、床 $6\text{m} \times 6\text{m}$ 、高さ 7.3m で、内部に供試体用の架台が設置されている。天井には、 $4\text{m} \times 4\text{m}$ のハッチが設けられ、供試体の出し入れに使用

される。

また、試験セルにはアクセスできる搬入口(2m高さ×1.5m幅)がある。

(2) ナトリウム系

Fig. 2.3.1-1に試験装置の概略系統図を示す。ナトリウムは、供給タンクのArカバーガスを加圧するこゝによって、供給体のうすナ上に供給される。供給体からのナトリウム・ドレンは、ドレン系配管を經由して行なわれ、ドレン・ナトリウムは回収タンクへドレンされる。一方、供給体には撚熱フラグが設けられ、ナトリウム・エアロゾル雰囲気は供給体の内部にのみ限定し、また、供給体の内部を除く試験セル内雰囲気は空気にするこゝができる。なお、撚熱フラグには、ナトリウム加熱ヒータや温度計、液面計などが取り付けられている。

Fig. 2.3.1-2に供給体内のナトリウム配管、撚熱フラグ及び試験時ナトリウム・レベルの相対位置関係を示す。ナトリウム・レベルはうすナ床上約200mmで、この時のナトリウムの総注入量は0.8m³である。注入したナトリウムの加熱は電気ヒータ(容量120kWh)で行なわれる。

2.3.2 計測項目及び計測方法

(1) 温度

供給体の温度計測は Fig. 2.3.2-1に示した様に以下の部分について行なった。

- ・うすナ上のナトリウム温度
- ・うすナ表面、裏面温度
- ・埋込金物表面、裏面温度
- ・コンクリート温度
- ・固定金物温度

使用した熱電対は下に示した仕様のものである。

熱電対の主要目

| | |
|------|--|
| 種類 | クロメル-アルメルシース熱電対 |
| 型式 | 非接地 |
| シース径 | $\phi 1.6\text{ mm}$ $\phi 2.3\text{ mm}$ $\phi 3.2\text{ mm}$ |
| 等級 | JIS 0.75級 |

(2) ウラナ, 埋込金物及び固定金物の変位

以下においては, ウラナの面に対して鉛直方向に生じる変位を面外変位, 又, ウラナの面に対して水平方向に生じる変位を面内変位と定義する。

ウラナの面外, 埋込金物及び固定金物の面内変位は, Fig. 2.3.2-2に示した各位置でそれらの計測を行なった。

計測方法は Fig. 2.3.2-3 に示す様に, 対象箇所にはスランレス製ワシヤの先端を取り付け, 他端に荷重を加えてこのワシヤに一定の強力を加え, 生じた変位とワシヤ他端の物軸距離として歪みゲージ式変位計により検出するものである。

なお, ワシヤは計測時には昇温を伴うため, 熱膨脹による変位誤差が生じる。このため, 試験時にこのウラナの変位を伴わない代表的な箇所にて温度補償用のガニワシヤを設置し, これにより熱膨脹分を補正できるようにした。

使用した変位計の仕様を下に示す。

変位計主要目

| | |
|----------|--------------|
| 測定範囲 | 100 mm |
| メーカー | 共和電業 |
| 型番 | DT-100A |
| 測定反力 | 500g |
| ゲージ抵抗 | 120 Ω |
| 精度(非直線性) | 0.5% FS |

(3) ラクナアレットの歪み

ラクナアレット上に発生する歪みの絶対値を測定することは困難である。

ここでは、試験中の急激な変形の有無を参考までに把握する目的で、Fig. 2.3.2-4 に示すラクナの表面と裏面に歪みゲージを取り付けて計測を行った。

歪みゲージは下記の仕様のものである。

歪みゲージの仕様

| | |
|---------|------------|
| メーカー | 共和電業 |
| 型番 | KHC-20 |
| ゲージ抵抗 | 120Ω ± 10Ω |
| ゲージ抵抗素子 | Ni-Cr-V |
| 歪み限界 | ± 3000μ |
| 使用温度範囲 | 550°C |

なお、上に示した歪みゲージは高温用で、自由熱膨脹に対する温度補償を行うためにタミゲージが組み込まれているが、線膨脹係数の異なる板に使用すると温度の影響が生じる。このため、ライナの残材にバージンゲージを貼り、これを予め温度の影響を調べ、この時のデータに基づき試験時に得た歪み計測値に温度補正を加えた。

(4) データ集録及び処理

温度、変位、歪みの各データは、それぞれの変換器、増幅器を経て電気信号に変換し、データ集録、処理装置に入力後、磁気ディスクに収録した。また実験後は、これらのデータを必要に応じて演算処理し、図形および数値出力した。なお、一部のデータは、ペンレコーダ、打点記録計などにも記録した。

データ集録、処理装置のシステム図を Fig. 2.3.2-5 に示す。

また、使用機器の主要目と以下に示す。

データ集録、処理装置の主要目。

| | |
|-----------|----------------------------|
| 型式 | HP-1000システム(横河ヒューレットパッカード) |
| 入力チャンネル数 | 176チャンネル |
| 入力インピーダンス | 5MΩ |
| サンプリング速度 | 8000コ/秒 |
| 入力レベル | ±10～800mV |
| 分解能 | 10μV |
| 精度 | ±0.38 |
| データ収録法 | 磁気ディスク、磁気テープ |

2.3.3 試験条件及び試験方法

(1) 試験条件

実機のランプの使用条件と設計条件を検討した上で、Table 2.3.3-1に示す4ケースの試験を行った。この表で、RUN-1～RUN-3は、それぞれフロント状態Ⅰ(通常運転時)、フロント状態Ⅱ(零周気調節装置短期停止時)、フロント状態Ⅲ(零周気調節装置長期停止時)に対応し、RUN-4は大量ナトリウム漏洩事故時に対応する。

(2) 試験方法

(a) RUN-1～RUN-3

RUN-1～RUN-3は連続して行なった試験で、試験体の床ライナの上部に配置した電気ヒータで零周気空気を加熱し、ライナを所望温度にまで順次加熱して行なったものである。ここで、ランプの平均温度はFig. 2.3.3-1に示した8点の各計測点からの温度データに基づき、次式でそれらの加重平均を求めたものである。

$$t_m = \frac{\sum t_i A_i}{\sum A_i}$$

ただし t_m : ランプ平均温度(°C)

t_i : 計測した点の温度(°C)

A_i : 点か代表するランプ表面積(cm²)

(Fig. 2.3.3-1に記載)

Fig. 2.3.3-2 に RUN-1 のラスタ平均温度の推移を、Fig. 2.3.3-3 に RUN-2 及び RUN-3 のラスタ平均温度の推移を示す。

(6) RUN-4

この RUN-4 の片が高温ナトリウムを使用した試験である。

試験では供試体へのナトリウム注入前に、まずラスタ平均温度と実機の通常運転時のラスタ平均温度に相当する約 55°C に保持した。次に供試体内に窒素ガスを供給し、酸素濃度を 0.1% 以下とした。これに続くナトリウムの注入条件は Table 2.3.3-1 に示した通りで、この表以外の条件は以下の通りである。

- ・ 注入ナトリウム流量 約 280 l/min (推定)
- ・ 注入時間 約 4分

ナトリウム温度はナトリウム注入後、供試体の吸熱のために 530°C から一旦約 285°C まで低下する。このため供試体に取り付けた電気ヒータ (120 kW) によりナトリウムを加熱し、ラスタの温度保持を行った。Fig. 2.3.3-4 にこの間のラスタ平均温度の推移を示す。ナトリウム注入後約 2時間 30分 でラスタは目標温度の 530°C に到達し、その後、一定に保持されていくことが判る。

Fig. 2.3.3-4 には固定金物部温度 TS-1, コンフリート温度の代表として TC-10, TC-15 の値が示されているが、ナトリウム注入後から徐々に上昇している。試験では床上部の耐熱コンフリートの温度を示すこの TC-10 が目標値の 250°C に到達した時点 (ナトリウム注入後約 24 時間) で電気ヒータを遮断し、降温及びナトリウム回収を行った。ナトリウム回収後は、ナトリウム注入時点から約 400 時間経過した時点でラスタは、ほぼ室温までに冷却されたため計測を終了した。

(3) ナトリウムの除去と洗浄

試体の冷却後に、試体内部をフラスコで観察した。この結果 残留ナトリウムの厚さは床とが5~10mm、側壁、天井が薄い付着物状であった。洗浄にあたっては、まず耐熱フラグを開放する前に、床面の残存ナトリウム表面に流動パラフィン油を散布し、ナトリウムの潮解を防止し、その後耐熱フラグを開放除去し (Photo 2.3.3-1)、床上のナトリウムを機械力および人力により削り取り、最後は水拭きによってラスタの洗浄を完了した。

(4) 試験後の試体検査

ナトリウムの除去と洗浄後は、ラスタ表面の目視外観検査、液体浸透探傷検査及び真空箱による発泡検査を行ない、クラックの発生の有無を確認した。また、各部の残留変位量を計測し、残留変位のプロファイルを求めた。コンフリートの表面については、それらの点検を行うために、ライナをガス切断によって除去し、後の2.4.4項に示す検査を実施した。

2.4 試験結果

2.4.1 供試体各部の変位

まず (RUN-1) で、試験実施中に測定したライナプレート及び埋込金物各部の面外変位、並びに埋込金物及び固定金物の面内変位を Fig. 2.4.1-1 に示す。なお、面外変位については正符号を鉛直上向き、負符号を鉛直下向きとする。この時のライナ平均温度は 66.3°C であったが、面外変位の下向きの最大値は埋込金物に現われ -0.6 mm であり、上向きの最大値はライナプレートと埋込金物に現われ、その値は 0.4 mm である。又、面内変位の最大値は固定金物に現われ 0.6 mm である。同様な測定結果は (RUN-2) 及び (RUN-3) でも得られ、それらは Fig. 2.4.1-2 と Fig. 2.4.1-3 に示したが、ライナ平均温度がそれぞれ 86.6°C と 121.5°C と上昇しているため、面外変位量は増加しており、最大変位の現われる場所はライナプレートとなり、(RUN-2) では 1.4 mm 、(RUN-3) では 7.6 mm の最大面外変位を得た。面内変位については (RUN-2) では固定金物及び埋込金物でそれぞれ 0.5 mm の最大面内変位を、又、(RUN-3) では固定金物部で 0.6 mm の最大面内変位を得た。

次にナトリウム注入試験である (RUN-4) について、Fig. 2.4.1-4 にナトリウム注入後の変位の時間変化の一例として、ライナプレート DL-8 部の面外変位を示した。同様なデータは、他の箇所と面内変位についても得られているが、それらは Appendix の Fig. A-2-1 ~ Fig. A-2-19 に示した。また、Fig. 2.4.1-5 に RUN-4 最高到達温度 (530°C) におけるライナプレート及び埋込金物各部の面外変位、並びに埋込金物及び固定金物の面内変位を、Fig. 2.4.1-6 に RUN-4 試験完了後の残留変位分布を示す。Fig. 2.4.1-5 から、 530°C 時の最大変位は、面外変位についてはライナプレートに現われ 50.5 mm であり、面内変位については埋込金物に現われ 2.8 mm であることが

わかる。なお、530°C 時臭の埋込金物の面外変位は最大 -0.5mm であり、ライナプレート の面外変位に比べ十分小さく、埋込金物は十分な固定度を持っていたと言える。次に Fig. 2.4.1-6 から試験完了後の残留面外変位がドレン孔取り付け部を除く部分では、ライナプレートの隅角部の対角線上のほぼ中央部で大きいことが明らかで、最大 11.6mm の値を示している。

2.4.2 供試体各部の温度分布

本節ではナトリウム載荷試験時の供試体各部の温度分布測定結果について述べる。

(1) ライナ, 埋込金物及び固定金物

(a) ライナ平均温度

ライナについては、すでに2.3.3節で示したように、加重平均による温度を算出し、それをライナ平均温度として用いているが、この温度が 530°C に到達したのちにヒータを自動制御に切換え、 530°C 一定に保つよう保持した。この状態で約24時間経過させた所、深さ150mmの一般部コンクリート温度が目標としていた 250°C を越えることが既述となった為、ここでヒータを遮断し、ナトリウムの回収を行なった。回収後には Fig. 2.3.3-4 に示したごとくすみやかに降下したが、室温に戻るまでには約1週間を要した。

(b) ライナ, 埋込金物及び固定金物温度分布

ここではライナ, 埋込金物及び固定金物の温度分布について、その主な特徴を述べる。

(i) ナトリウム注入時の温度分布

ナトリウム注入直前は Fig. 2.4.2-1 に示すごとく、ライナ平均温度を約 55°C に保持していた。この時点で特徴的にみとめられることはライナ周辺部の温度が中心部より低く、周辺部からの熱損失が大きいことを示している点である。ナトリウムを注入すると、Fig. 2.4.2-2 のごとく、ライナ中央付近で温度が高く、埋込金物よりライナ周辺部で温度の低い分布となり、これは中央の埋込金物の熱との差は 140°C 位ある。

容量が大きいこととライナ周辺部への熱損失が大きいことを示している。次にナトリウム注入完了時点での温度分布を Fig. 2.4.2-3 に示すが、埋込金物の温度はやや上昇してきたが、これでもライナに比べると、約 50°C 程度低い。又、固定金物下端温度 TS-1 はナトリウム注入時間の約 5 分程度の間とはま、たゞ変化してはいない。

(6) 昇温途上と目標温度到達時の温度分布

昇温途中の温度分布を Fig. 2.4.2-4 に、又、ライナ平均温度が目標である 530°C に達した後の温度分布代表例を Fig. 2.4.2-5 に示す。これより、埋込金物の温度はライナとほぼ等しくなってきたことがみとめられる。さらに顕著に現れている特徴として、ライナの隅角部^{温度が低く}、対角線上の温度がやや高めになっていることと、ライナ周辺部^{熱損失}の大きいことがみとめられる。前者の原因としては前節で述べたように、ライナの面外変形が隅角部の対角線上で大きいので、ライナとコンクリートの間に一種のガス断熱層が形成された状態になったことが考えられる。ライナ周辺部の熱損失は^(F2112)周囲拘束装置への熱損失に基づくものであり、実験装置固有の損失である。

又、固定金物下端温度上昇も顕著にみとめられた。

(7) 降温直前の温度分布

Fig. 2.4.2-6 に示すごとく、ライナ温度は基本的には (6) のときとほとんど変わらないが、ライナ周辺部温度はやや高くなってきた。さうまでもなく、吸熱源の中心である周囲拘束装置自体の温度が徐々に上昇し出しているためである。この時点で固定金物下端温度は 220°C となった。

(C) ライナ表裏面の温度差

既出の Fig 2.4.2-1 ~ Fig 2.4.2-6 の図ではライナの表裏面温度も併せて示している。これらの図からみとめられる特徴を挙げると次の通りである。

- (i) ナトリウム注入初期はナトリウム側からの大きな熱流束のために温度差が大きくなっていることが判る。
- (ii) 埋込金物の際の表裏温度差の方が、ライナのそれよりもかなり大きい。ほぼ準定常状態と考えられる Fig 2.4.2-5 では、埋込金物の場合で表裏温度差が 20°C 程度であるのに対し、ライナでは $2 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 程度である。

(2) コンクリート

(a) 断面温度分布

既出の Fig 2.4.2-1 ~ Fig 2.4.2-6 の図の下部にコンクリートの断面温度分布を模式的に示した。これらの図よりみとめられる主な特徴を以下に説明する。

- (i) 固定金物近傍のコンクリート温度は他の一般部分と比べて高いことがみとめられる。固定金物からの熱流入が大きいことを示している。
- (ii) もっとも高い温度に近くなる降温前では、50 mm 深さのコンクリートで約 400°C 、150 mm 深さのコンクリートで約 250°C の温度まで上昇した。既に述べたように今回の実験では耐熱コンクリートを用いている。

(b) コンクリート温度の時間変化

Fig 2.4.2-7 および Fig 2.4.2-8 に代表例の温度時間変化を示す。これらから判ることは次の通りである。

- (i) 深さ 50 mm のコンクリートは最高 400°C まで上昇し、ナトリウムドレン後は比較的速やかに降溫していき、深さ 150 mm のコンクリート温度はナトリウムドレン後も昇溫が継続し、最終的には約 250°C まで上昇している。
- (ii) 固定金物下端温度 T_{S-1} は前に述べたようにナトリウムドレン時まで温度上昇をつづけ、最終的には約 220°C まで上昇している。固定金物上端温度は 530°C であるので、下端までの 425 mm の間に約 310°C の温度降下が準定常的に存在していることを示している。固定金物周囲のコンクリートの収熱作用がかなり大きいことを示している。

2.4.3 ライナプレートの変形

参考計測用として使用したライナプレートの歪みゲージのRUN-1～RUN-4における計測結果をFig. 2.4.3-1～Fig. 2.4.3-4に示したが、最大歪みはRUN-4時に生じ、隅角部の対角線方向のライナプレート裏面の歪みゲージが $2230 \mu strain$ の値を示している。

なお、RUN-4におけるライナプレートの歪み挙動をAppendixのFig. A-2-20～Fig. A-2-28にそのデータを集録したが、ナトリウム注入初期時点で、SL-7、SL-8はそれぞれ $3000 \mu strain$ 及び $-3000 \mu strain$ の歪みを記録している。

2.4.4 試験後の供試体の検査結果

(1) ラスタの割れの有無の検査

ラスタの割れの有無を調べるため、以下の検査を Fig. 2.4.4-1 に示す検査箇所に対しに行った。

(a) 外観検査

ラスタの外観検査項目は次の通りである。

- ・板および溶接部の割れの有無
- ・板および溶接部の異常な変形の有無
- ・ナトリウム液位境界部の顕著な腐食跡の有無

(b) 液体浸透探傷検査

コーナー部やラスタ板の溶接部については、上記の外観検査後、次に示す浸透液、現像液を用いて液体浸透探傷検査を行った。

- ・浸透液； SUPER CHECK UP-T
- ・現像液； SUPER CHECK UD-T

(c) 真空箱による発泡検査

液体浸透探傷検査のみと、溶接部とその周辺については、真空箱による発泡検査を行った。漏水の有無を調べた。

Photo 2.4.4-1 にラスタ表面状態を示したが、上記のいずれかの検査においてラスタおよびラスタ溶接部には割れは認められなかった。

(2) 耐熱コンクリートの外観

耐熱コンクリート表面の目視観察を行った。表面に緻密なクラックが縦横に入っていた。

Fig. 2.4.4-2 にクラックの概略スケッチを示す。photo 2.4.4-2 ~ 2.4.4-3 にコンクリート表面写真を示す。

2.5 考察

2.5.1 ライナプレートの変位

Fig. 2.4.1-2 ~ Fig. 2.4.1-3 に示した RUN-2 ~ RUN-3 におけるライナプレートの面外変位分布を見ると, RUN-3 の場合に特に顕著であるが, 隅角部の対角線上の変位が下向きとなるモードを示している。これに關し座層解析を実施し, この様な変位モードが座層モードとして存在するか否かを検討した。その結果を Fig. 2.5.1-1 に示すが, 同 Fig. に示す如く座層モードとしてこの様な変位モードは得られなかった。従って, 今回 RUN-3 時に得られた様な隅角部の対角線上の変位が下向きとなる面外変位モードは, 初期不整, 残留応力, あるいは温度分布の不均一性に影響されて発生したものと推定される。Fig. 2.4.1-4 並びに Appendix の Fig. A-2-3 ~ Fig. A-2-5, Fig. A-2-7 ~ Fig. A-2-8 及び Fig. A-2-11 ~ Fig. A-2-15 に示す RUN-4 におけるナトリウム注入後のライナプレートの面外変位時間変化を見ると, ナトリウムの注入初期時点においては, 一部の計測点にライナプレート上の温度の不均一性に帰因する変位々相の逆転が認められるものの, その後は各計測点の変位とも時間の推移とともに飛び移り座層的な現象の発生なくスムーズに増加する傾向を示しており, 温度の上昇に伴い曲げ屈服していく様子が認められる。なお, RUN-2 ~ RUN-3 で認められた隅角部の対角線上の下向き変位は RUN-4 時には認められず, ナトリウムの載荷初期から鉛直上向きに向けて変位している。

そして, 最高温度到達時(530°C)においては, Fig. 2.4.1-5 に示す如く, ライナプレートは基本的にはライナプレートの内外周を結ぶスパン中央で最大値をよえる様態一山モードを示している。このモードは, Fig. 2.5.1-1 に示した座層解析結果と同様のモードとなっている。

2.5.2 供試体各部の温度

2.4.2節において、供試体各部の温度分布測定結果について述べた。この結果に照し、若干の検討を行なう。

(1) ライナ、埋込金物及び固定金物

(a) ライナ平均温度

前回「一次収納構造ライナコーナ部健全性総合試験⁽¹⁾」のときとヒータ容量や操作手順はほぼ同一であり、異なるのは次の点である。

- (イ) 前回はライナ裏面にパーライトコンクリートを用いていたのに対し、今回はパーライトコンクリートを用いていない。その代りに耐熱コンクリートを用いている。耐熱コンクリートは普通コンクリート並の熱伝導率と言われているが、断熱性はさほど良くない。
- (ロ) 前回は周囲二面に拘束器具を設置していたのに対し、今回は周囲四面共拘束器具を設置しており、供試体の鋼材熱容量としては、今回のものが大きい。

Fig. 2.5.2-1 にライナ平均温度の経時変化について、前回データと今回データを比較して示す。この比較より次のことが判る。

- (i) ナトリウム注入完了直後の温度は前回が360℃程度、今回が300℃程度であり、熱容量の差を考慮すればほぼ予想通りの結果になっている。
- (ii) ライナ平均温度が目標温度に到達するまでに、前回試験では約24℃/hであったのに対し、今回試験では約75℃/hであり、おおよそ3倍の昇温速度となった。上記(イ)、(ロ)のことからは今回の方が昇温速度は小さくなることを予測していたが、実際には逆の結果となった。この原因としては次のことが推察される。

- 今回試験のライナではかなり大きな面外変形が生じており、ナトリウム注入時に最大50mm程度のエプギャップが生じている。これが大きな熱抵抗になり、実質的に断熱コンクリートと同等もしくはそれ以上の効果を示したものと考えられる。図中の10-ライトコンクリートの熱伝導率を $0.2 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 、厚さを50mmとしたとき、相当熱通過率 α_p は次のようになる。

$$\alpha_p = \frac{0.2}{0.05} = 4 \text{ (kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C)} \text{ ----- (2.5.2-1)}$$

一方、エプギャップを10mm位としたとき、これの相当熱通過率 α_a は次のようになる。但し空気の熱伝導率は $0.04 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ とした。

$$\alpha_a = \frac{0.04}{0.01} = 4 \text{ (kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C)} \text{ ----- (2.5.2-2)}$$

上記の単純な比較から判断するに、今回のエプギャップは前回の10-ライトコンクリート並の断熱性を持つという可能性がある。もちろんエプギャップの広がりもあり、せり所もあると一概には言えない。

- もうひとつ考えられる効果として、前回テーマ検討でも述べたように、前回試験ではセラミックファイバやパーライトコンクリートの吸水が予想以上に多く、ライナが加熱されたときに水が蒸発、放出されたための潜熱分が大きい点でも考えられる。

(B) 固定金物温度

固定金物下端温度 T_{S-1} は思いのほか低く、固定金物周囲コンクリートの吸熱作用がかなり大きいものであることが実験的に示されたが、このことにより、やや過量的な検討を行なう。

固定金物を一種の放熱フィンと見て、モデル化を行なう。まず、物体の加熱面を 0°C より若干下状態 $\theta_0^\circ\text{C}$ まで加熱したとき

物体内部の温度を積分法による近似解で求めると次のようになる。

$$\theta = \theta_0 \left[- \left(\frac{x}{\sqrt{12\alpha t}} \right)^2 + 2 \left(\frac{x}{\sqrt{12\alpha t}} \right) \right] \quad \text{----- (2.5.2-3)}$$

ここに θ ; 物体内部温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 x ; 加熱面からの距離 (cm)
 t ; 経過時間 (h)
 α ; 物体の温度伝導率 (m^2/h)

7インチ鉄板外面の熱伝達率を算出するため上式を次のようにして求める。

$$\alpha = \lambda \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0} / \theta_0 = \frac{2\lambda}{\sqrt{12\alpha t}} \quad \text{----- (2.5.2-4)}$$

ここに λ ; 物体の熱伝導率 ($\text{kcal}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)

耐熱コンクリートの λ , α とし次の値を用いる。

$$\begin{cases} \lambda = 2 \quad (\text{kcal}/\text{m}^{\circ}\text{C}) \\ \alpha = 4.35 \times 10^{-3} \quad (\text{m}^2/\text{h}) \end{cases} \quad \text{----- (2.5.2-5)}$$

上式をみると分母には相当熱伝達率 α は時間 t により変化するが、仮定から命ずるようには、27、70度加熱した場合の式であるので t を余り大きくすると不合理になる。そこで一例として $t=1\text{h}$ とすると α は次のようになる。

$$\alpha = \frac{2\lambda}{\sqrt{12\alpha t}} = \frac{2 \times 2}{\sqrt{12 \times 4.35 \times 10^{-3} \times 1}} = 17.5 \quad \text{--- (2.5.2-6)}$$

($\text{kcal}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)

固定金物の伝導面積を $A\lambda$, 単位長さあたりの放熱面積を A_f

とすると次のようになる。なお A_f には

$$\begin{cases} A\lambda = 7.95 \times 10^{-3} \quad (\text{m}^2) \\ A_f = 0.77 \quad (\text{m}^2/\text{m}) \end{cases} \quad \text{----- (2.5.2-7)}$$

次の m を定義する。

$$m = \sqrt{\frac{A_s \cdot \alpha}{\lambda_s \cdot A\lambda}} \quad \text{-----} \quad (2.5.2-8)$$

ここに λ_s : 固定金物の熱伝導率 (= 36 kcal/mh°C)

m は次のように計算される。

$$m = \sqrt{\frac{0.77 \times 17.5}{36 \times 1.85 \times 10^{-3}}} = 6.9 \quad \text{-----} \quad (2.5.2-9)$$

フィン効率 ϕ は固定金物の長さを H (= 0.425 m) とすると次のようになる。

$$\phi = \frac{\tanh(mH)}{mH} = \frac{\tanh(6.9 \times 0.425)}{6.9 \times 0.425} = 0.34 \dots (2.5.2-10)$$

これよりフィン効率 ϕ は (約) かなり小さいことが判る。固定金物下端温度は下式で近似される。

$$\frac{\theta_w - \theta_I}{\theta_w - \theta_E} = \frac{1}{\cosh(mH)} = \frac{1}{\cosh(6.9 \times 0.425)} = 0.1 \quad \text{-----} \quad (2.5.2-11)$$

ここに θ_w : 固定金物上端温度 (°C)

θ_E : コンクリートの初期温度 (°C)

例として $\theta_w = 380^\circ\text{C}$ $\theta_E = 10^\circ\text{C}$ とすると θ_D は次の

ようになる。

$$\theta_D = 47^\circ\text{C} \quad \text{-----} \quad (2.5.2-12)$$

実験での 1 h 後の T - θ は θ_D とし $\overset{\text{約}}{\simeq} 33^\circ\text{C}$ と判る。本り、

上記計算の仮定が大略的であることを懸念すれば、固定金物

周囲コンクリートの保熱作用は充分なものと見做すことが適当である。

(2) コンクリート

前項で示したようにライナ温度については、前回の「一次収納構造ライナコーナ部健全性総合試験」⁽¹⁾の実験結果とおおよそに差異がある。コンクリートについても比較を行なうが一般部コンクリートに近いため、すなわち固定金物から離れた部分を対象として、前回データと比較する。

比較図も Fig. 2.5.2-2 に示す。図より次のことが言える。

- (i) 測定箇所においてはやはり前回実験データの方がコンクリート温度が総じて低い。コンクリート温度がかなりの期間 100°C 一定値に保持されている。前回データではやはり含有水の蒸発過程が大きく影響していたことが窺える。
- (ii) 初期の含有水蒸発過程が存在する期間では前回と今回の昇温速度は大きく異なりが、それ以降は昇温速度に大きな差異はない。換言すれば、^{養生段階には}加温筒のライナから受ける熱量には大きな差異がないことを示しており、パーライトコンクリート並みのエアギャップ効果のありことを窺わせている。

次に一般部において、ライナ平均温度実測値をインアット境界条件として、コンクリート深さ方向の温度分布を一次元計算により求めた結果と実測データとの比較を Fig. 2.5.2-3 に示す。これより、次のことが言える。

- (iii) ライナ温度も同一としとも、コンクリート内部温度は計算値の方が実測値よりもかなり高くなる。前述のようにライナ裏面のエアギャップが計算では考慮されていない為と考えられる。

2.5.3 ライナプレートの変形

Fig. 2.4.3-1 ~ Fig. 2.4.3-4 に示した各 RUN 実施時におけるライナプレートの変形分布を見ると, RUN-1 (66.3°C) 及び RUN-2 (86.6°C) ではライナプレートには圧縮膜ひずみの卓越している様子が認められるが, RUN-3 (121.5°C) 及び RUN-4 (530°C) では曲げ変形が卓越する様になり, ライナプレートが曲げ変形している様子が窺える。なお, Appendix の Fig. A-2-20 ~ Fig. A-2-28 に示した RUN-4 における歪の経時変化を見ると, 温度の上昇に伴いライナプレートの曲率が変化している様子が認められ, 又, これらのデータからは, ライナプレートの急激な飛び移り座屈的現象は見られていない。

3. 照合解析

3.1 概要

本章では、2章に述べた“とんじゆ”の供試体の通常運転状態から大量ナトリウム漏洩時までの各状態における弾塑性大変形解析を行ない、そこで得た結果と試験結果との比較を通じ解析手法を検証し、もって、ライナプレートに発生する歪み量を推定した。

3.2 弾塑性大変形解析

3.2.1 解析の概要

本節では、2章で述べた供試体のライナ部を対象に、試験で得た室温からRUN-4の最高温度状態を経て再び常温に降温するまでの温度荷重及び埋込金物の水平自由熱膨脹量のそれぞれを入力値とする弾塑性大変形解析を実施した。

3.2.2 解析方法及び解析条件

(1) 使用解析プログラム及び使用解析要素

(a) 使用解析プログラム

本研究に先立ち、STAGSコードを用いて「⁽²⁾一次収納基本構造確認試験」で対象とした固定式ライナに対し弾塑性大変形解析を実施したが、昇温途中において解析不能となったため、今回の解析では上記「⁽²⁾一次収納基本構造確認試験」で検証済みの大型汎用プログラム MARCコードを使用した。今後、「⁽¹⁾一次収納構造ライナコーナ部健全性総合試験」で対象としたコーナライナ部の様々な曲げ歪み及び卓越する様な構造に対しては STAGSコードを、又、今回の試験で対象としている固定式ライナの様に腹歪みが支配的な構造に対しては、MARCコードを使用するという様な使い分けが必要であると思われる。

(b) 使用解析要素

使用解析要素は、三次元矩形平板要素（応力解析要素50）とした。

(2) 解析モデル

解析対象は2章で述べた供試体のライナ部とした。なお、ライナ各部には予めライナの鉛直方向最大変位が供試体板厚の20分の1（ $= 8\text{mm}/20 = 0.4\text{mm}$ ）となる一様圧力載荷モード相当の初期変位を与えた。

境界条件として、ライナ部内外周を完全拘束した。但し、ライナ部内周には、埋込金物の効果として(4)に述べる強制変位を与えた。

Fig 3.2.2-1 に、解析モデルの要素分割を示す。同図に示す通り、解析は、対称性を利用して、1/4 モデルで行なう。なお、解析モデルの総節点数は、112、総要素数は、91 である。

(3) 材料強度物性値

ライナ材(SM41B)の材料強度物性値は、「一次収納基本構造確認試験鋼材料の強度及び熱特性試験」成果報告書〔PNC SJ222 82-03(02)〕に基づき、以下の通り定めた。

| | |
|----------|----------------------------|
| ヤング率 | Table 3.2.2-1, Fig 3.2.2-2 |
| 第1比例限度力値 | Table 3.2.2-1 |
| 応力-歪み関係 | Table 3.2.2-2, Fig 3.2.2-3 |
| ポアソン比 | $\nu = 0.3$ |
| 線膨張係数 | Table 3.2.2-1, Fig 3.2.2-2 |

(4) 荷重条件

(i) 温度荷重

2章に述べた供試体の試験開始前の室温(13°C)を初期状態として設定し、試験実施時に得られた最高温度(530°C)を経て降完了時の温度(14.7°C)に至るまでの過程を解析した。

なお、この解析での各温度増分過程におけるライナの温度分布は、一様として取り扱った。

(ii) 強制変位

埋込金物の効果として、ライナ部内周に埋込金物の自由熱膨脹量に相当する強制変位を Fig 3.2.2-1 に示す通り、水平2方向に与えた。

なお、自由熱膨脹量は、下式により計算した。

$$\Delta\delta = L \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

ここに $\Delta\delta$... 自由熱膨脹量

L ... 埋込金物の長さ (300mm)

α ... 線膨張係数 (Fig 3.2.2-2 に示す温度依存性を考慮)

ΔT ... 温度荷重増分

3.3 解析結果

3.3.1 変位

Fig.3.3.1-1 ($1/3 \sim 3/3$) に、2章で述べた Run 1 ~ Run 4 の各評価温度及び降温完了時に對するラスタ部の鉛直方向変位を示す。

同図より、ラスタは、温度上昇に伴ない、基本的にラスタ内外周を結ぶスパン中央で最大値を与える1山モードを保持しながら鉛直上向きにはびみ出して行くが、高温域になると隅角部近傍では、鉛直下向きの変位の発生が認められる。

最大鉛直変位は、隅角部に結ぶ対角線上のスパン中央で生じ、その値は、各評価温度 $66^\circ, 86^\circ, 121^\circ$ 及び 530°C でそれぞれ 14.2mm , 17.9mm , 23.2mm 及び 55.8mm 、降温完了時 14.7°C で 10.7mm である。

次に、Fig.3.3.1-2 に 最大変位点の変位挙動を示す。同図より、変位は、 28°C 付近でラスタの曲げ降伏開始に伴ない急増するが、徐々に膜剛性の効果により増加率が減少する現象がよくわかる。

3.3.2 等価歪み

Fig.3.3.2-1 ($1/3 \sim 3/3$), Fig.3.3.2-2 ($1/3 \sim 3/3$) 及び Fig.3.3.2-3 ($1/3 \sim 3/3$) に、各評価温度及び降温完了時に對するラスタ各部の等価重心位置における等価膜歪み及び等価(膜+曲げ)歪みの分布状況を示す。

Table 3.3.2-1 に各評価温度及び降温完了時に對する等価歪みの最大値の発生要素及びその値を示す。

Fig.3.3.2-1 ~ Fig.3.3.2-3 及び Table 3.3.2-1 より ラスタの等価歪みは、温度上昇に伴って、膜及び(膜+曲げ)成分ともに増加し RUN 4 (530°C) 時点で最大値に達する。

等価膜歪みについては、RUN 1 (66°C) 及び RUN 2 (86°C) では全要素ではほぼ一様と見做せる分布を示すが RUN 3 (121°C) 及び RUN 4 (530°C) では 内外周を結ぶスパン中央及び隅角部近傍で

他の部分に比し低くなる傾向を示す。各評価温度面の等価膜歪みの最大値は、それぞれ 909μ 、 1341μ 、 3235μ 及び 17716μ である。

等価(膜+曲げ)歪みについては、板表面では基本的に変形に対する拘束度の高い外周端で高い値を示し、板裏面では基本的に内外周を結ぶスパン中央で高い値を示す。各評価温度面の等価(膜+曲げ)歪みの最大値は、それぞれ、 2520μ 、 3720μ 、 5870μ 及び 23980μ である。

なお、Fig. 3.3.2-1 ~ Fig. 3.3.2-3 に示すごとく、埋込金物とライナプレートとの接合部には、特に歪み集中の発生は認められていない。

3.3.3 ライナプレート端部に発生する等価歪み

各評価温度における要素重心点の等価歪み最大値の発生要素及びその絶対値は Table 3.3.2-1 に示した通りであるが Fig. 3.3.2-1 ~ Fig. 3.3.2-3 に示す等価歪みの分布状況からみて、ライナプレートの最外周端部に最大等価歪みの発生が予測される場合について外挿によりその概略値を求めると Table 3.3.3-1 の通りである。

同表においては、各プラント状態の発生歪み量を“ライナ設計基準(案)”に示された許容歪み値と比較しているが、プラント状態 II の板表面でわずかにではあるが、許容値を越えた歪みの発生が認められる。

3.4 試験結果と照合解析結果との比較

3.4.1 変位

Fig. 3.4.1-1 (1/4~4/4) にラスタの鉛直方向変位に関する解析値と実験値の比較を示す。

同図に示す通り、RUN1 (66°C)、RUN2 (86°C) 及び RUN3 (121°C) においては、試験結果は解析結果に比し極端に小さく極性の異なる点も見受けられる。これは、計測値において、2章で述べたようにガス中加熱ではラスタ温度が一定とならない（計測範囲内では RUN1 では 44.6~76.7°C、平均 66°C、RUN2 では 57.6~97.5°C、平均 86°C、RUN3 では 79.4~141.8°C、平均 121°C）ため、初期不整あるいは残留応力の影響を大きく受けているためである。

これに対し、Na 蒸気である RUN4 (530°C) においては、試験結果と解析結果とは、定性的にも定量的にも良い一致を示し、今回の解析が充分なる精度を有するこゝがわかる。

3.4.2 歪み

2章で述べた様に、今回の試験にて参考計測として実施したラスタプレート各点における歪み測定では得られたデータも少なく、計測値よりラスタプレートに発生している歪みの絶対量を直接評価することは困難である。

そこで今回は変位分布によりラスタプレートに発生する歪み量に評価することとしたが、3.4.1 で述べたラスタプレートの変位に関する解析結果と測定結果の整合度から考え、今回の解析による歪み量は、試験時における歪み量を安全側もしくは正寄りに評価しているものと考えられる。

4. 簡易評価手法の検討

4.1 概要

本章では、“もんじゅ”の供試体の通常運転状態から事故状態までの各状態におけるライナフレートの等価歪みに簡易的に算出するため“スリットモデル”を用いた弾塑性大変形解析を実施した。続いて、この計算結果と既存のライナフレートの詳細解析結果とを対比を通じて、“スリットモデル”による解析の精度を検討し、この検討結果に基づいて簡易評価手法を提案した。

4.2 スリットモデルによる簡易解析

4.2.1 解析の概要

ライナフレートの簡易解析として、ライナスパン短辺^{*}と結ぶ単位幅のスリットモデルの弾塑性大変形解析を行った。

解析は、今回の「埋込金物との取り合い部を有する固定式ライナ」及び「一次収納基本構造確認試験⁽³⁾」で取り扱った「固定式ライナ」について、それぞれ詳細解析と同様の条件下で実施した。

4.2.2 埋込金物との取り合い部を有する固定式ライナ

(1) 使用解析プログラム及び使用解析要素

3章と同様、解析プログラムは“MARC”を、解析要素は三次元矩形平板要素(応力解析要素50)を使用した。

(2) 解析モデル

解析対象として、2章で述べた供試体のライナ部のライナスパン短辺と結ぶ単位幅のライナを取り出した。なお、ライナの各部には、予めライナの鉛直方向最大変位が供試体板厚の20分の1となる3-様圧力載荷モード相当の初期変位を与えた。

Fig. 4.2.2-1に解析モデルの要素分割を示す。同図に示す通り、モデルの節点数は12、要素数は5である。境界条件としては、ライナ端部を完全拘束とし、切り出し面2面を含む残り3面には対称条件を与えた。なお、ライナ端部には、埋込金物の効果として、(4)に示す強制変位を与えた。

* 先に実施した $1\text{m} \times 1\text{m}$, $1\text{m} \times 2.5\text{m}$, $1\text{m} \times 3\text{m}$, $1\text{m} \times 4\text{m}$ の各ライナの解析によると、最大等価歪みは長辺の長さによらず“ほぼ”一定であることより、短辺の長さに依存するものと考えられる。

(3) 材料強度物性値

ラスタ材 (SM41B) の材料強度特性は、3章と同様、文献(2)に基づき定めた。(3.2.2 (3) 参照)

(4) 荷重条件

(1) 温度荷重

2章に述べた供試体の試験開始前の室温 (13°C) に初期状態として設定し、試験実施時に得られた最高温度 (530°C) に至るまでの過程を解析した。

なお、この解析での各温度場分布過程におけるラスタの温度分布は一律として取り扱った。

(2) 強制変位

埋込金物の効果として、ラスタ部内周に埋込金物の自由膨脹量を相当する強制変位を Fig. 4.2.2-1 に示す通りラスタスパン方向に与えた。

4.2.3 固定式ラスタ

(1) 使用解析ソフトウェア及び使用解析要素

3章及び文献(3)と同様、解析ソフトウェアは "MARC" を、解析要素は、三次元矩形平板要素 (応力解析要素 5D) を使用した。

(2) 解析モデル

解析対象として文献(3)で述べた $1\text{m} \times 3\text{m}$ ラスタ供試体のラスタスパン範囲を給が単位幅のラスタと取り扱った。なお、ラスタ各部には、予めラスタの鉛直方向最大変位が供試体板厚の 20 分の 1 とする一様圧力荷重モード相当の初期変位を与えた。

Fig. 4.2.3-1 に解析モデルの要素分割を示す。同図に示す通り、モデルの総節点数は 12、要素数は 5 であり、境界条件としては、

ラウチ端部を完全拘束とし、切り出し面2面を含む残る3面に拘束条件を与えた。

(3) 材料強度特性値

ラウチ材 (SM413) の材料強度特性は、3年及び文献(3)と同様、文献(2)に見て定められた。(3.2.2(3)参照)

(4) 荷重条件

文献(3)に述べた試験体の試験開始前の室温(21°C)を初期状態として設定し、試験実施時に得られた最高温度(530°C)に至るまでの過程を解析した。

なお、この解析での各温度増分過程におけるラウチの温度分布は一様として取り扱った。

4.2.4 簡易解析結果

4.2.2及び4.2.3に述べた簡易解析の結果として、「埋込金物との取り合い部を有する固定式ラウチ」と「固定式ラウチ」の最大等価歪みを各評価温度毎にTable 4.24-1, 4.24-2に示す。

なお、同表の等価歪みは、要素毎の値から推定した最大値を表わす。

4.3 簡易評価手法

4.3.1 概要

本節では、4.2.4で述べた簡易解析結果と3年及び文献(3)の詳細解析結果との対比を通じて、簡易解析の精度を検討し、その結果に基づき簡易評価手法を提案した。

4.3.2 簡易解析結果と詳細解析結果との対比

「埋込金物との取り合い部を有する固定式ラウチ」と「固定式ラウチ」のそれぞれについて、各評価温度毎の簡易解析結果と詳細解析結果との比較をTable 4.3.2-1, 4.3.2-2に示す。

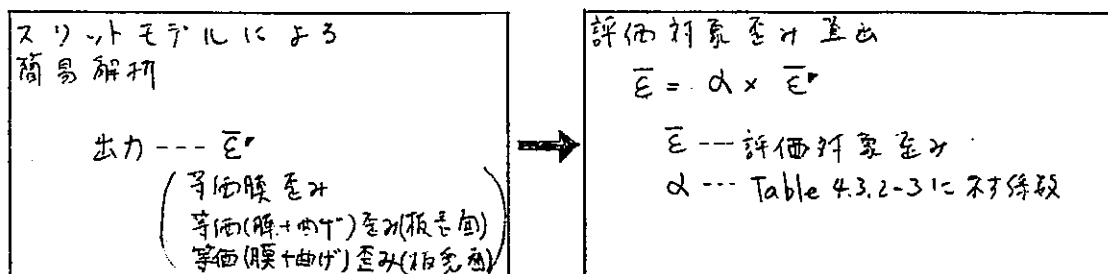
同表より、簡易解析値の詳細解析値に対する誤差は、膜成分では20~60%、板表面の(膜+肉付)成分では、30%~130%、板裏面の

(膜+曲ヤ)成分では、0~30%程度までかわかる。こゝの誤差は、スリットモデルによる等価歪みには、ラスタ形状の不連続による歪み集中あるいはせん断歪みを含むものである。詳細解析では隅部などに歪み集中あるいはせん断歪みを含むためであり、事実、上記の歪み集中が小さくなるフラット状態における膜成分および板表面の(膜+曲ヤ)成分に大まな誤差を認められる。

Table 4.3.2-1 および 4.3.2-2 より、詳細解析における等価歪みに合致させるために簡易解析値に乘すべき係数と各等価歪み成分、各フラット状態毎にまとめると Table 4.3.2-3 の通りとなる。

4.3.3 簡易評価手法

ラスタプレート上の簡易評価手法として、下記の手法を提案する。



上記の簡易評価手法の適用例として、「埋込金物と取り合い部を有する固定式ラスタ」と「固定式ラスタ」について、詳細解析と上記係数を用いた簡易評価の対比を Table 4.3.3-1, 4.3.3-2 に示す通りである。フラット状態 I では、1~39%、II では 4~12%、III では 4~61%、IV では 1~50%、それぞれ実測値との値と与える。

なお、今回の「埋込金物と取り合い部を有する固定式ラスタ」における詳細解析と簡易解析との計算時間の比は 1 : 0.05 であり、大幅な短縮となった。

5. 評価及びまとめ

高速増殖原型炉“もんじゅ”のナトリウム配管が設置される部屋に設置予定である固定式ライナと各機器のサポート・台座、配管貫通部等をコンクリートに堅固に固定する埋込金物との取り合い部を対象として、板厚90mmの600mm×600mm矩形埋込金物を中央に有する2000mm×2000mmの固定式ライナの実物大供試体を製作した。

なお、埋込金物のサイズ(600mm×600mm)は実施計画策定段階において、簡単な手計算によりライナプレートの発生歪み量が“ライナ設計基準(案)”に示された許容歪みの値にほぼ等しくなると推定されるサイズとして採用したものである。

次に上記供試体を高温ガス雰囲気にさらすとともに、その中に高温熔融ナトリウムを注入し、これらによって熱荷重を加え、実機プラントの使用状態から大量ナトリウム漏洩時に至るまでの熱履歴を与えた。

これらの結果、試験実施中、特にライナの機能を損うような破壊は認められず、かつ、試験終了後に実施したライナプレート及び溶接部に対する各種非破壊検査の結果からも異常のないことが判明した。

試験に引き続き、ライナプレートに発生した歪み量を求めるために試験に対応した条件のもとで、埋込金物の効果を考慮したライナプレートの詳細弾塑性構造解析を既検証済みコード「MARC」により実施した。この詳細弾塑性構造解析結果の変位モードは試験結果と良好な一致を示した。詳細弾塑性構造解析によるライナプレートの最大発生歪みは、RUN-1、RUN-3、RUN-4においては“ライナ設計基準(案)”の許容歪み以内であるが、RUN-2(プラント状態Ⅱ; 雰囲気調整装置短期停止時)においてライナプレート表面の(膜+曲げ)歪みが許容歪み4000 μ をわずかに上回っている。これは前述のごとく、ライナプレートの発生歪み量が許容歪みにほぼ等しくなるよう埋込金物の

サイズを決定したためである。なお、歪み分布をみると、ライナプレートと埋込金物との取り合い部には局所的な歪み集中は起こっていない。

続いて、上記詳細弾塑性構造解析結果の検討に基づき、埋込金物の効果を考慮したライナプレートの簡易解析手法を提案した。この簡易解析手法によれば、計算時間は詳細解析の20分の1となる。

6. 謝 辞

この試験研究の実施にあたっては、動力炉・核燃料開発事業団の
関係各位に多大の御教示、御指導をいただきました。

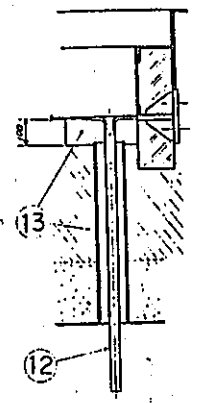
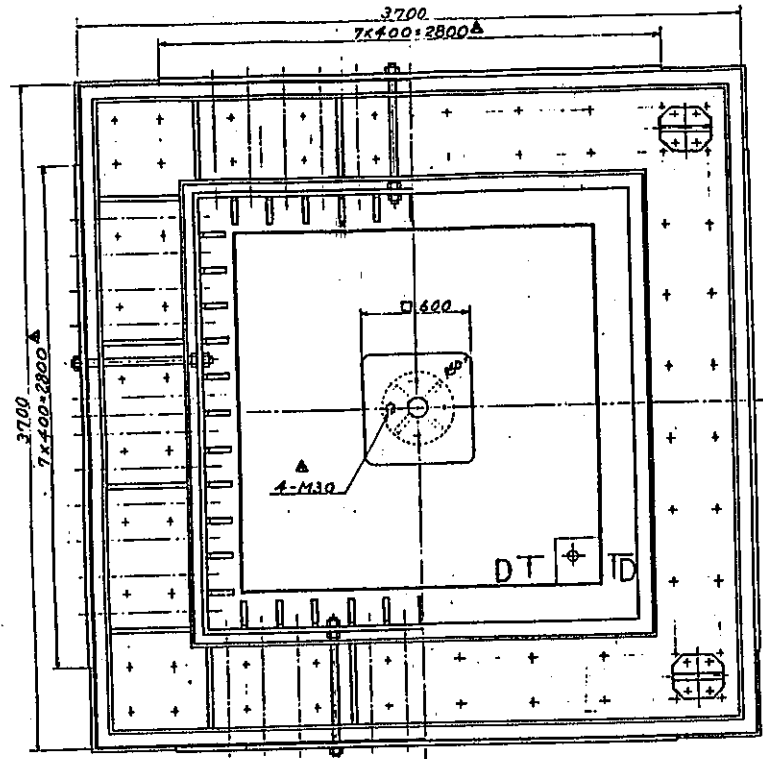
ここに記して感謝いたします。

参考文献

- (1) 清水, 他 ; 「一次収納構造ライナコーナー部健全性総合試験」
 , PNC SJ 222 83-11 (1983)
- (2) 清川, 他 ; 「一次収納基本構造確認試験・鋼材料の強度及び
熱特性試験」, PNC SJ 222
83-03 (02) (1982)
- (3) 清川, 他 ; 「一次収納基本構造確認試験・床ライナ基本構造
解析検証試験及び照合解析」, PNC SJ 222
83-03 (01) (1982)

△ 1:4 斜度 E 部詳細
 △ 1:10 斜度 F 部詳細
 △ 1:20 斜度 G 部詳細
 △ 1:50 斜度 H 部詳細
 △ 1:100 斜度 I 部詳細

73-16532.6



Section D-D

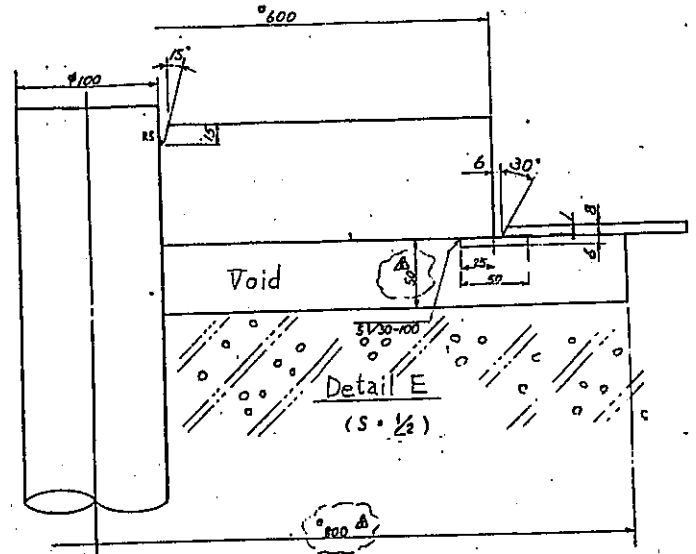
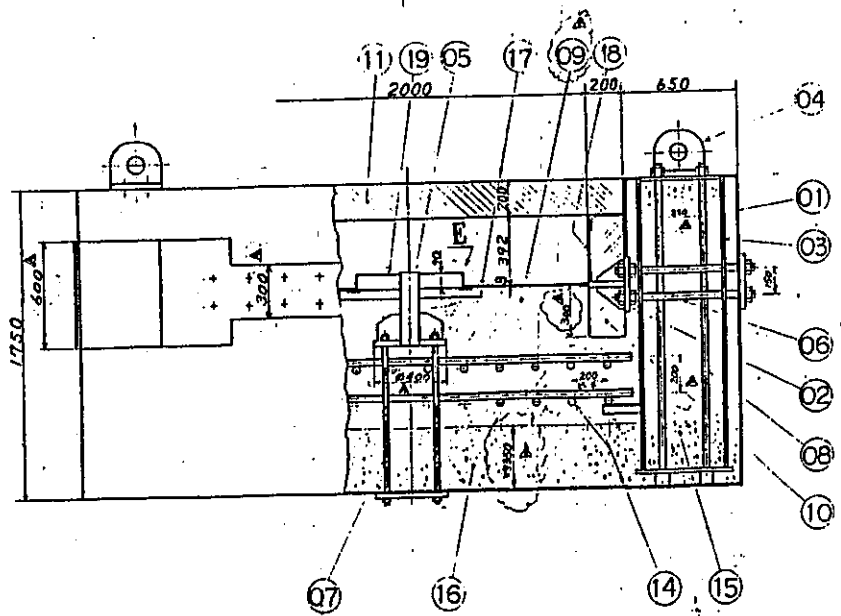


Fig. 2.2.1-1 係試体
 Fig. 2.2.1-1 Test Rig



| | | | | |
|----|-----------|----------|-----|-----------------------|
| 20 | △ スクワッド | SS21 | 1 | |
| 19 | △ 屋根ラテ | SM41B | 1 | |
| 18 | △ 板 | SM41B | 1 | |
| 17 | △ ライト | SM41B | 1 | |
| 16 | △ コンクリート | | 1 | FC.240 ^{1/4} |
| 15 | △ コンクリート | | 1 | FC.400 ^{1/4} |
| 14 | △ 鉄筋 | SD.35 | 1/8 | D41 |
| 13 | △ 断熱材 | E-22-N | 1 | |
| 12 | △ ドレン | SP222 | 1 | 50A |
| 11 | △ 断熱材 | SP222 | 1 | (1.5E) |
| 10 | △ 断熱材 | E-22-N | 1 | |
| 09 | △ 断熱材 | E-22-N | 1 | |
| 08 | △ PC 鋼筋 | SBR | 1 | |
| 07 | △ アンカボルト | S.S.C. | 1 | |
| 06 | △ アンカボルト | S.N.C.H. | 1 | |
| 05 | △ 貫通金物 | S.15C | 1 | |
| 04 | △ AA フレート | SM41C | 1 | |
| 03 | △ 拘束材 | SS41 | 1 | |
| 02 | △ 内枠 | SM41B | 1 | |
| 01 | △ 外枠 | SS41 | 1 | |

| | | | |
|----------|--|---------------|--|
| 第三試験機 | | 動力炉・核燃料開発事業団殿 | |
| 有試験部 | | 一次収納構造健全性総合試験 | |
| 有試験部 | | 貫通部試験体 | |
| 73-16532 | | △ | |

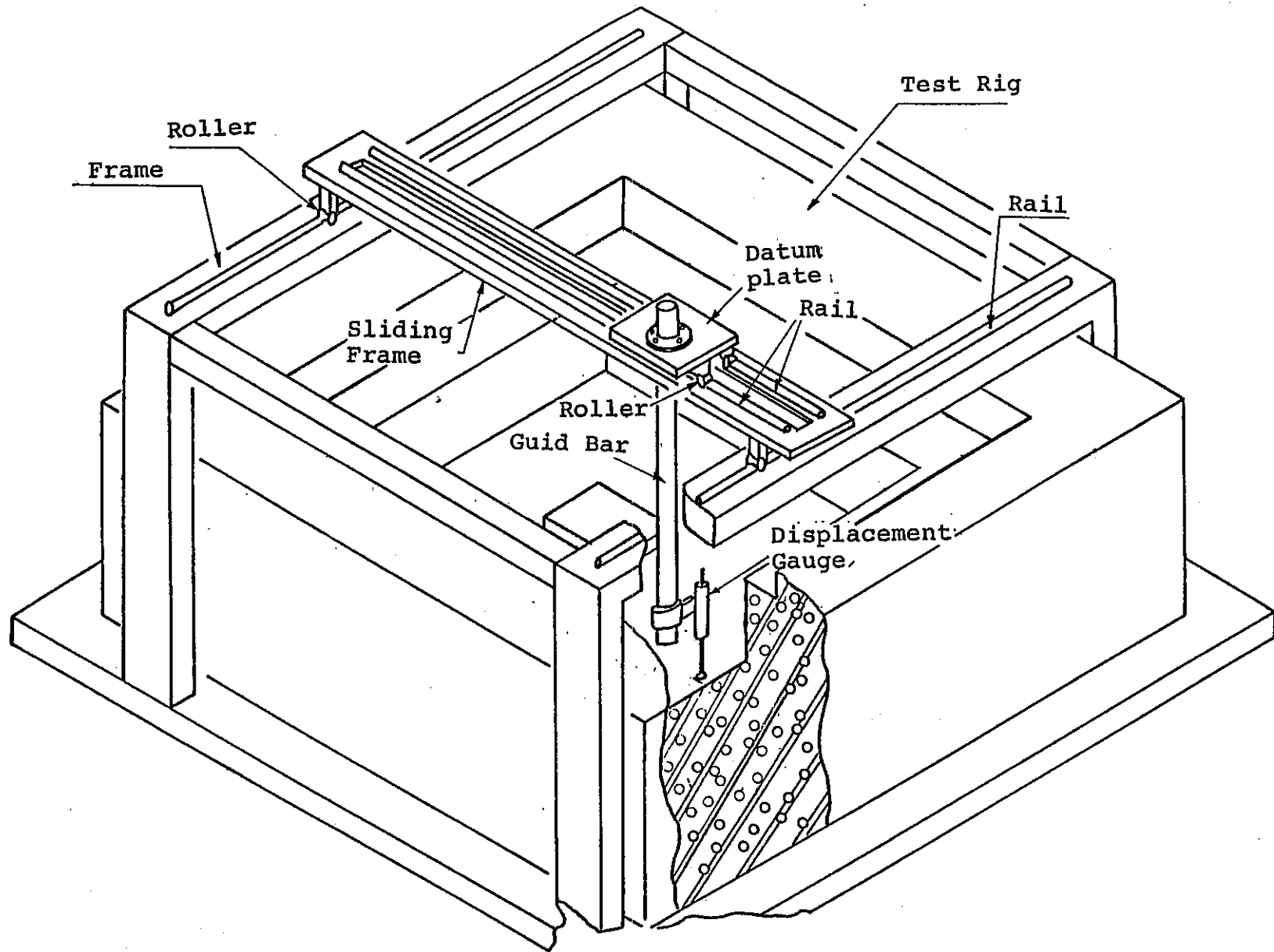
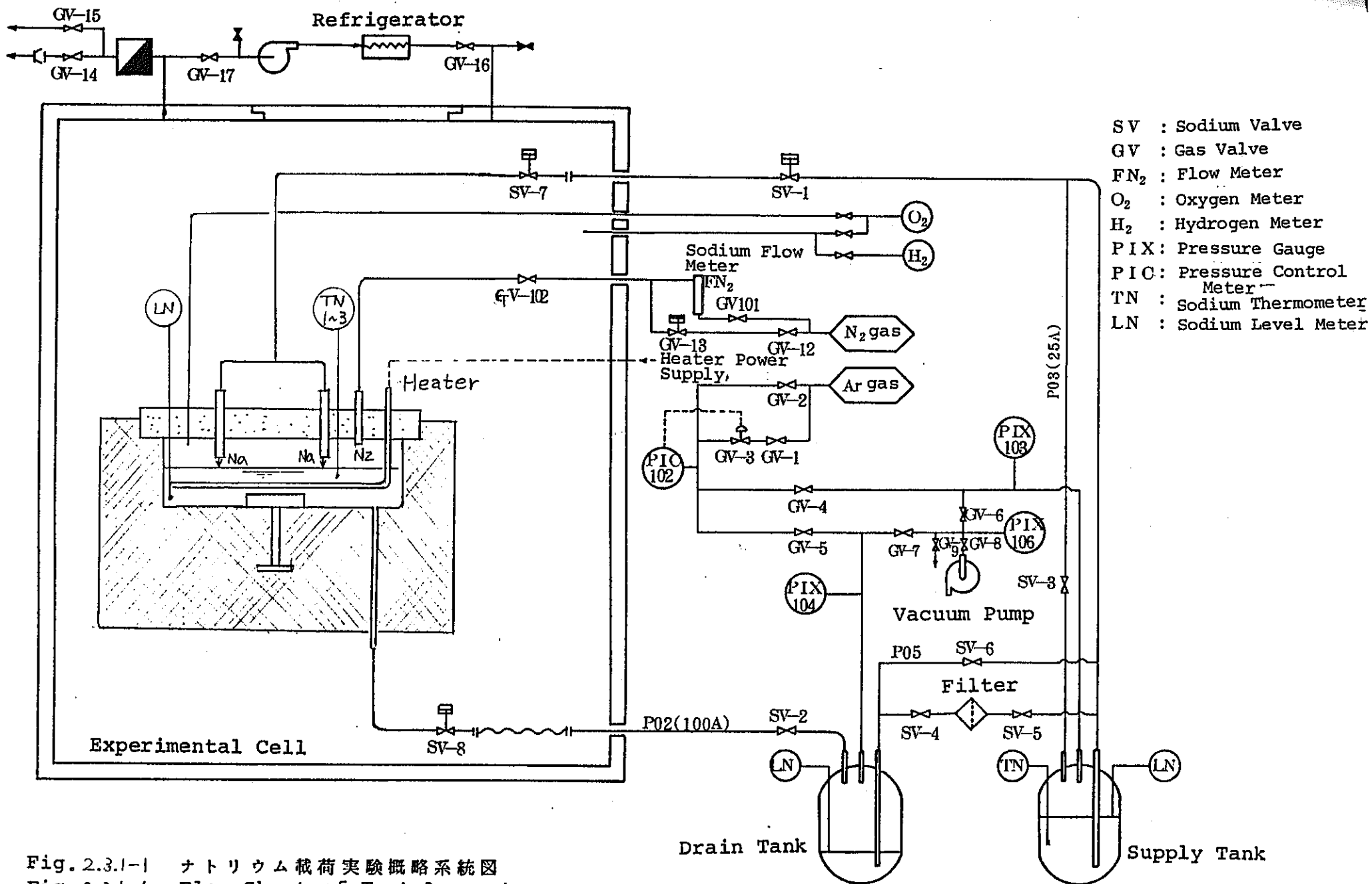


Fig. 2.2.3-1 ライナ寸法検査用測定装置
 Fig. 2.2.3-1 Arrangement of the Gauges for Dimension
 Determination of the Test Rig.



21

Fig. 2.3.1-1 ナトリウム载荷実験概略系統図
 Fig. 2.3.1-1 Flow Sheet of Test Apparatus

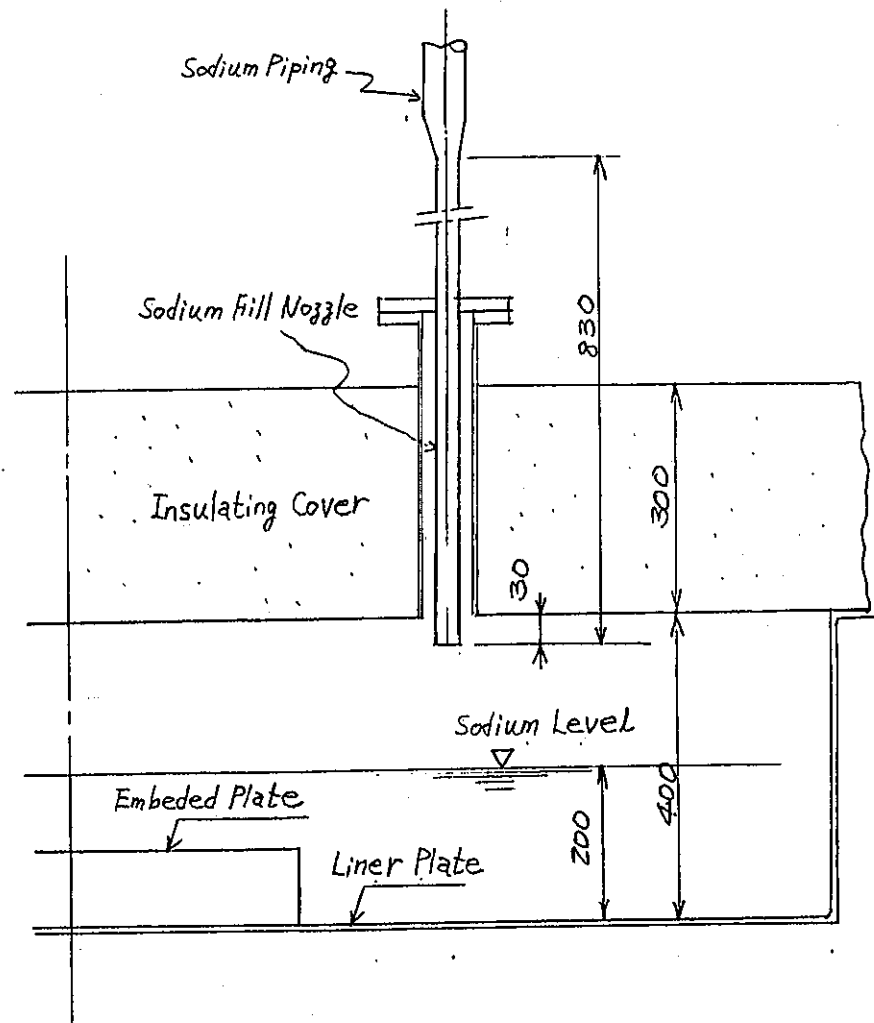
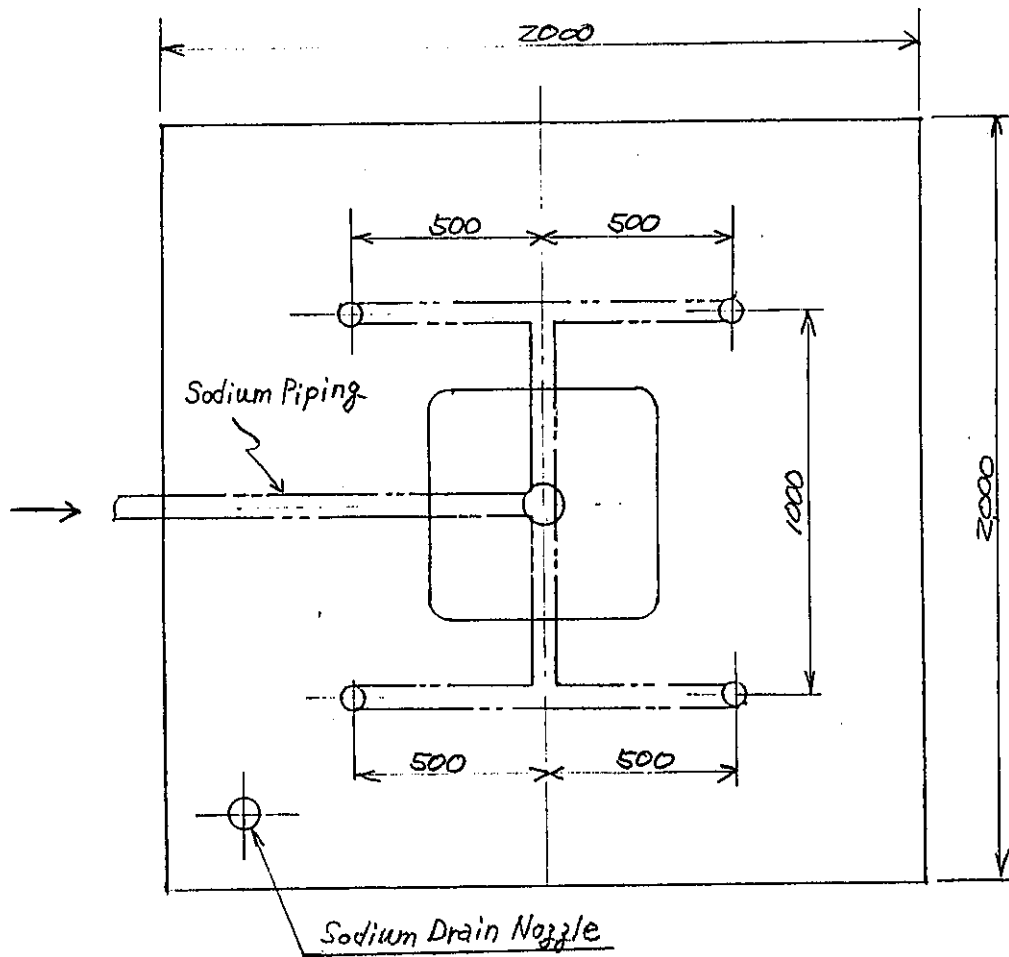


Fig. 2.3.1-2 ナトリウムの注入位置, 12'11"

Fig. 2.3.1-2 Relative Heights of Insulating Cover, Sodium Level and Liner Plate

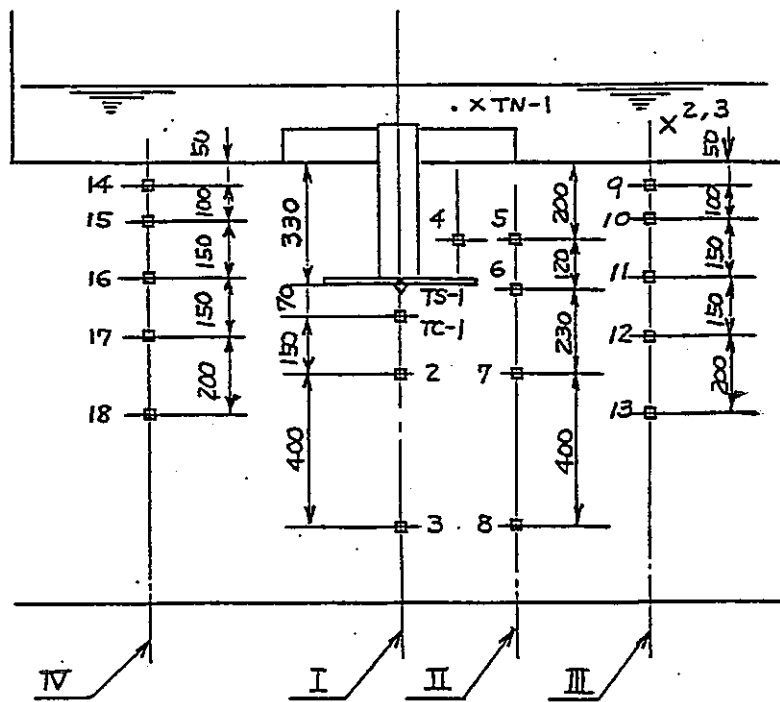
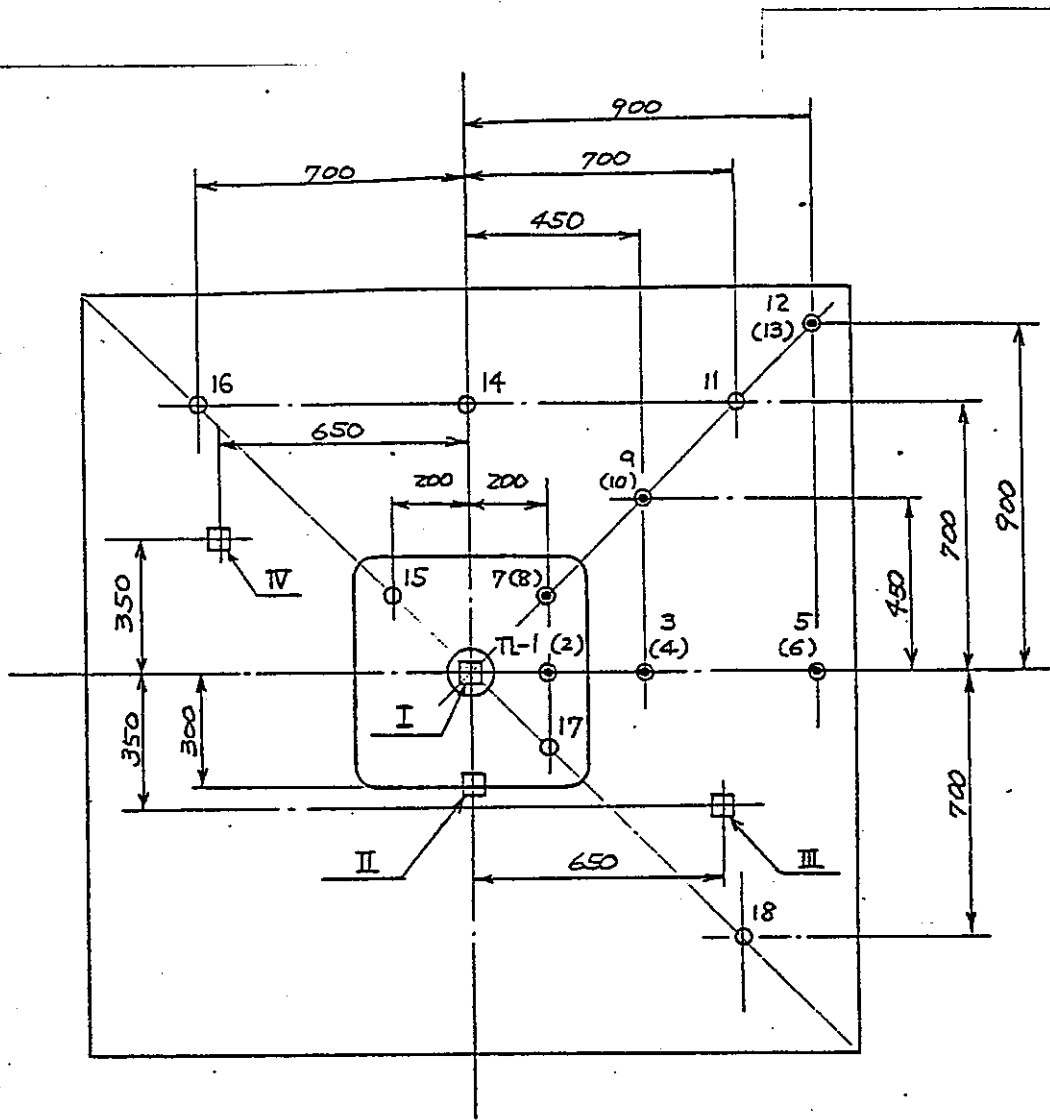


Fig. 2.3.2-1 温度計測点配置図

Fig. 2.3.2-1 Location of Thermocouples for Temperature Determination of the Test Rig

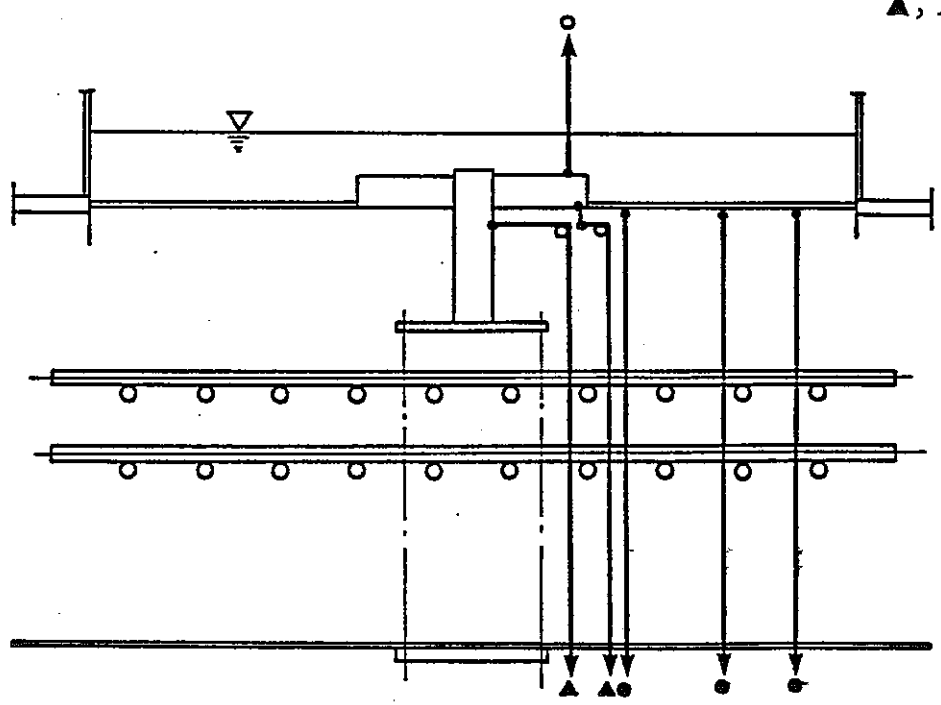
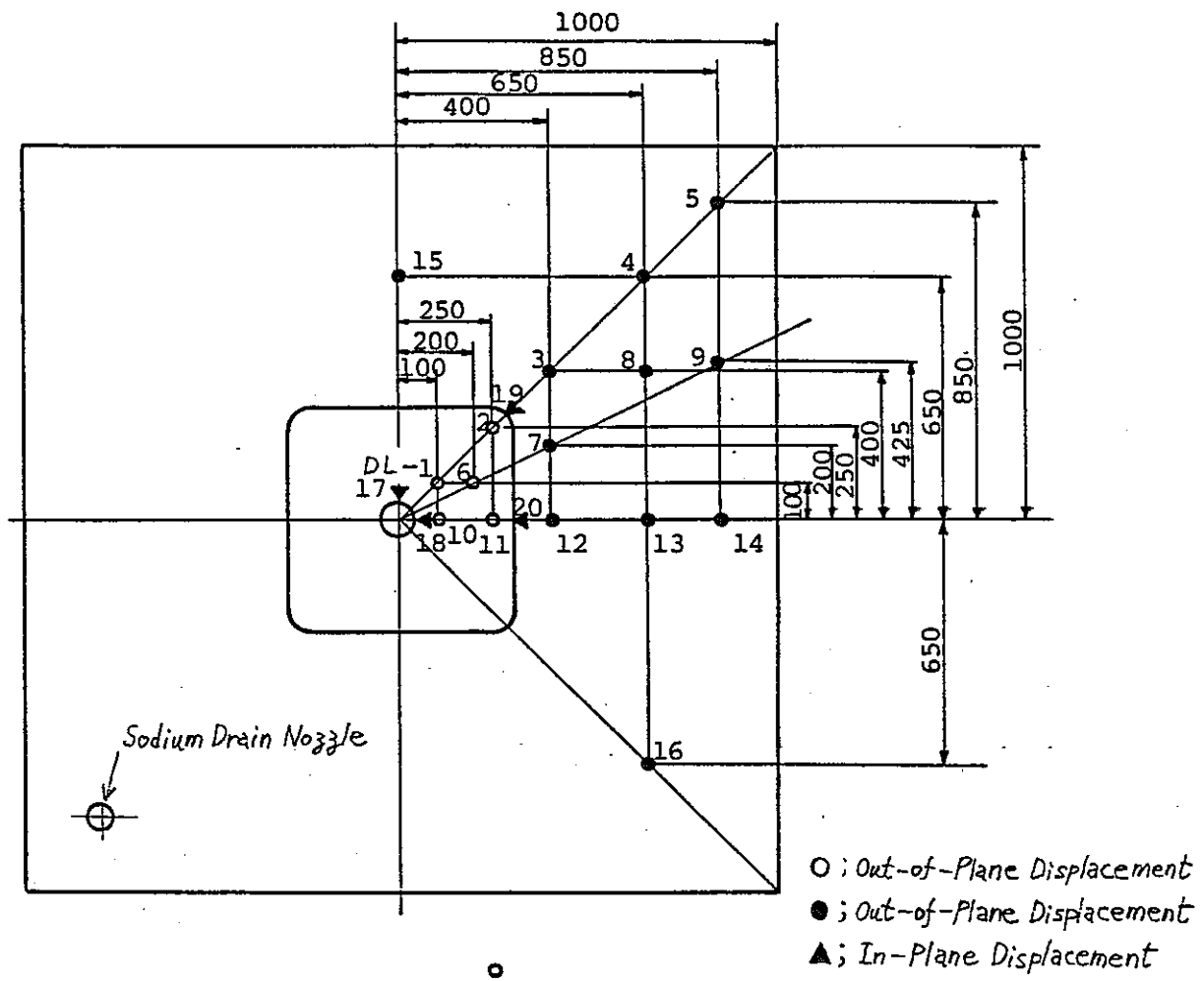
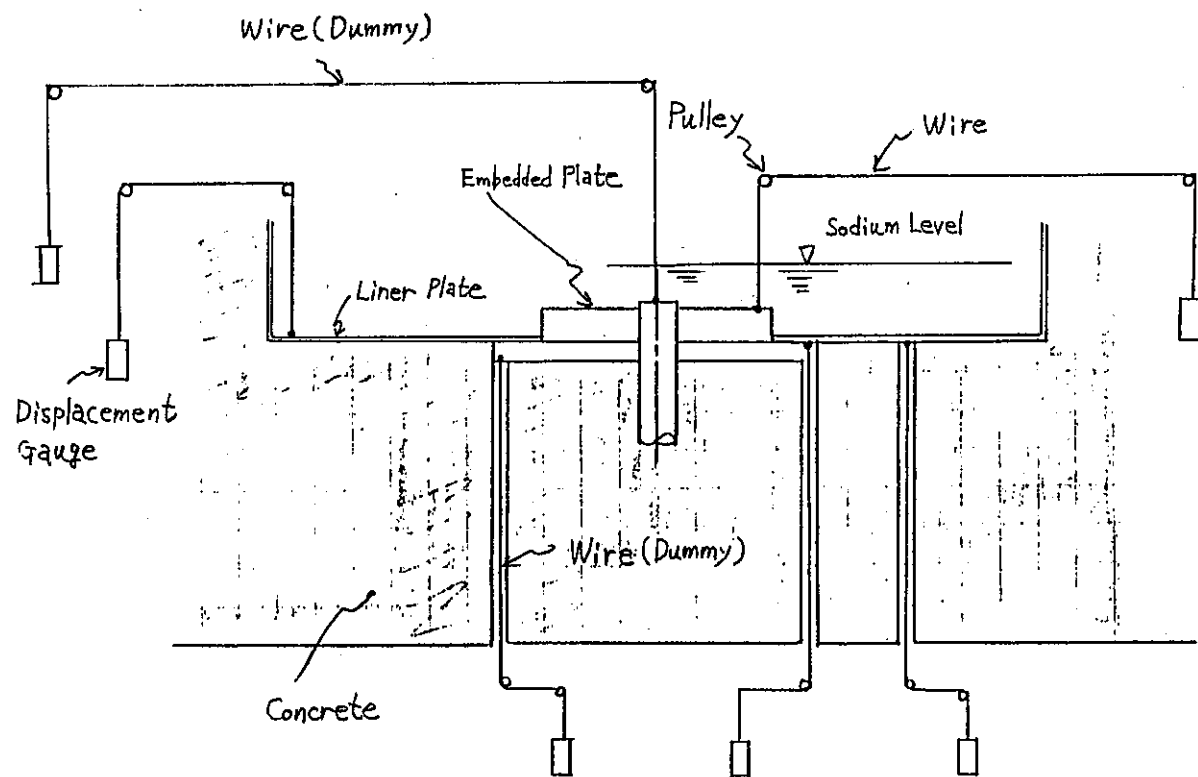
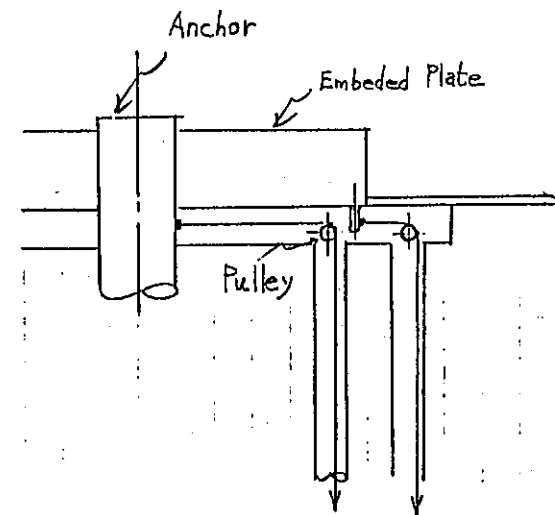


Fig. 2.3.2-2 変位計測点配置図
 Fig. 2.3.2-2 Location of the Wire-Type Displacement Gauges for the Liner Plate and the Embedded Plate



Detail of Wire Connection for Out-of-Plane Displacement Gauges



Detail of Wire Connection for In-Plane Displacement Gauges

Fig. 2.3.2-3 変位計測の要領
 Fig. 2.3.2-3 Detailed Arrangement of the Wire-Type Displacement Gauges.

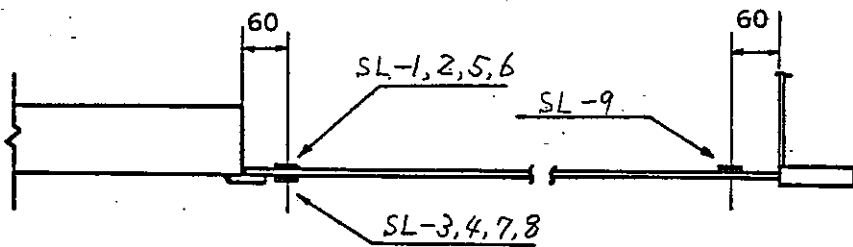
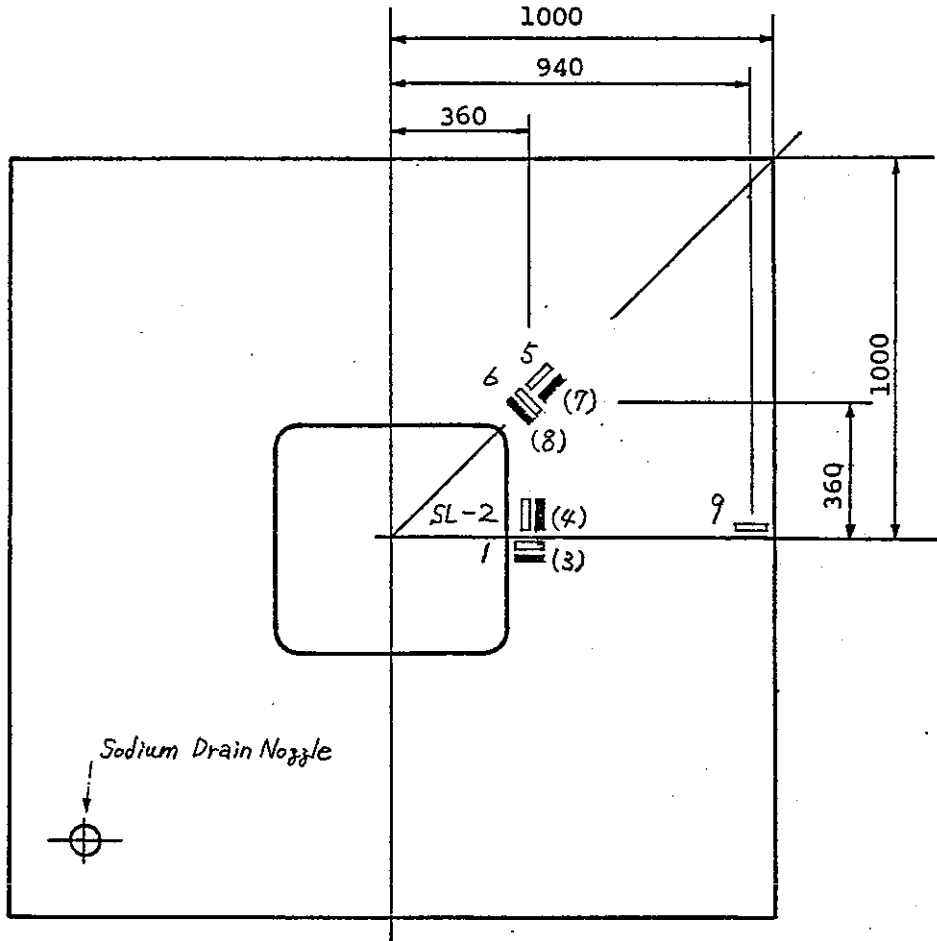


Fig. 2.3.2-4 ライナプレート用の歪みゲージ配置図

Fig. 2.3.2-4 Arrangement of Straingauges for the Liner Plate

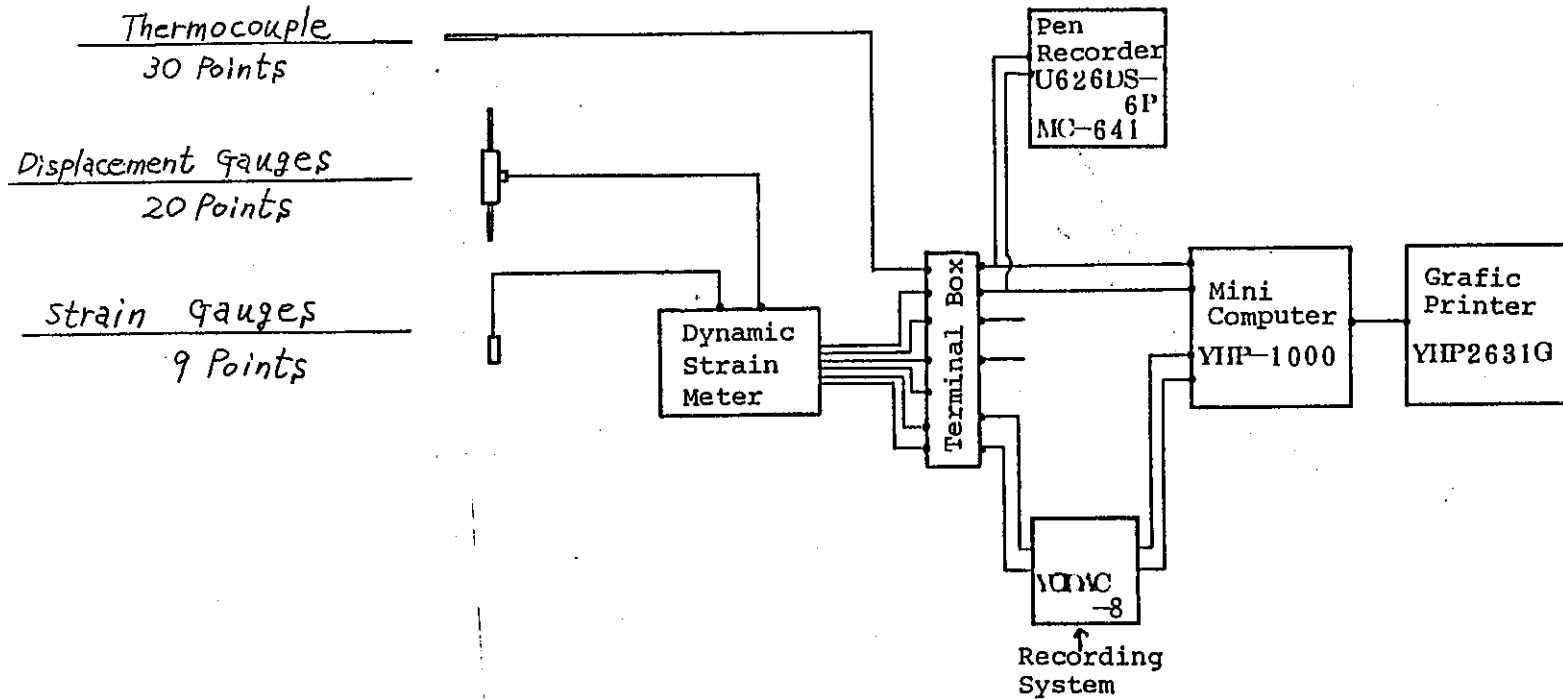
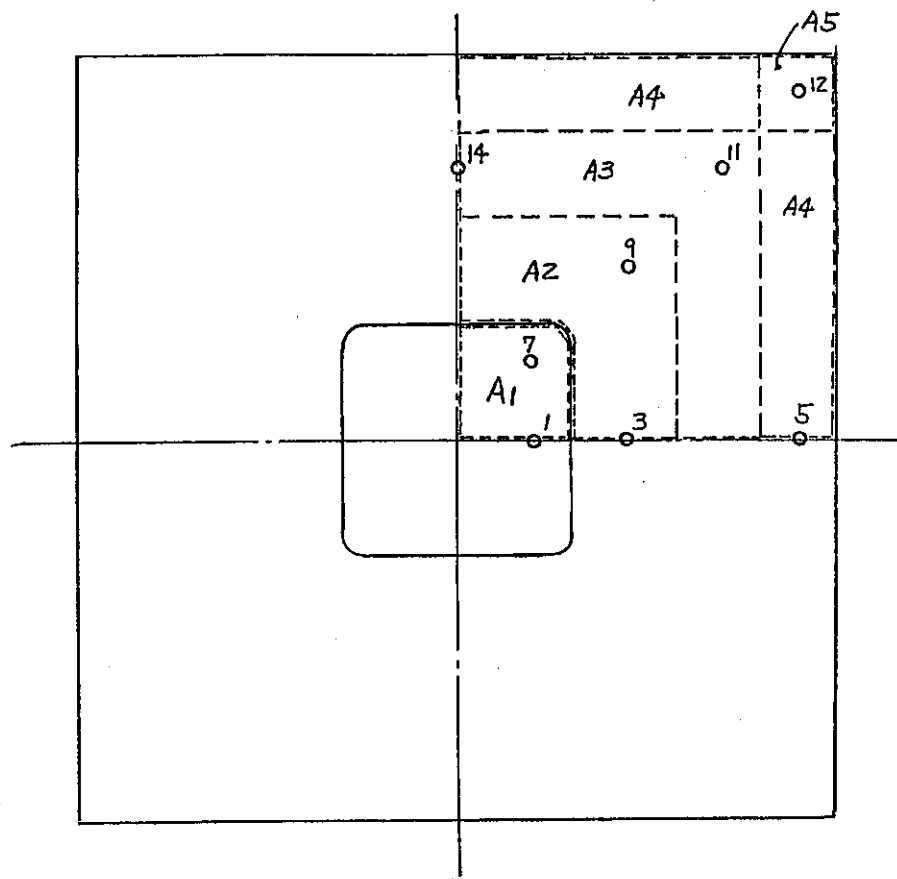


Fig.2.3.2-5 データ集録, 処理システム
 Fig.2.3.2-5 Block Diagram of Data Acquisition System



| Area | Measuring Point |
|----------------------------|-----------------|
| $A_1 = 0.088 \text{ m}^2$ | TL 1, TL 7 |
| $A_2 = 0.242 \text{ m}^2$ | TL 3, TL 9 |
| $A_3 = 0.310 \text{ m}^2$ | TL 11, TL 14 |
| $A_4 = 0.320 \text{ m}^2$ | TL 5 |
| $A_5 = 0.040 \text{ m}^2$ | TL 12 |
| <hr/> | |
| $\Sigma = 1.0 \text{ m}^2$ | |

$$t_m = \frac{\sum t_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

t_m ; Average Liner Temp. ($^{\circ}\text{C}$)

t_i ; Measured Temp. of Point i ($^{\circ}\text{C}$)

A_i ; Area of Liner Plate or Embedded Plate (m^2)

Fig. 2.3.3-1 ライナ平均温度の定義

Fig. 2.3.3-1 Definition of Average Liner Temperature

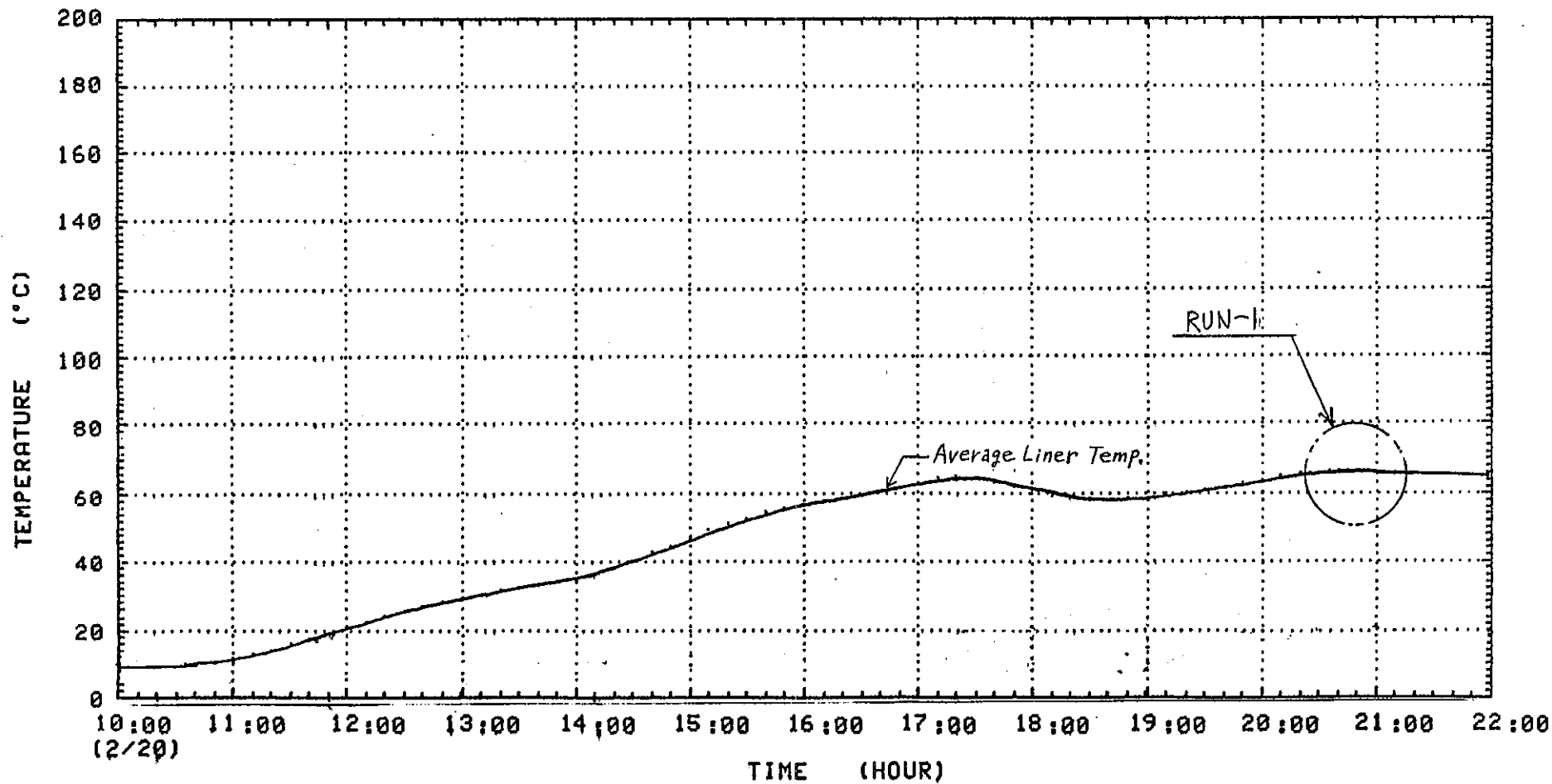


Fig.2.3.3-2 RUN-1 の ライナ平均温度の推移
 Fig.2.3.3-2 Record of Average Liner Temperature in RUN-1

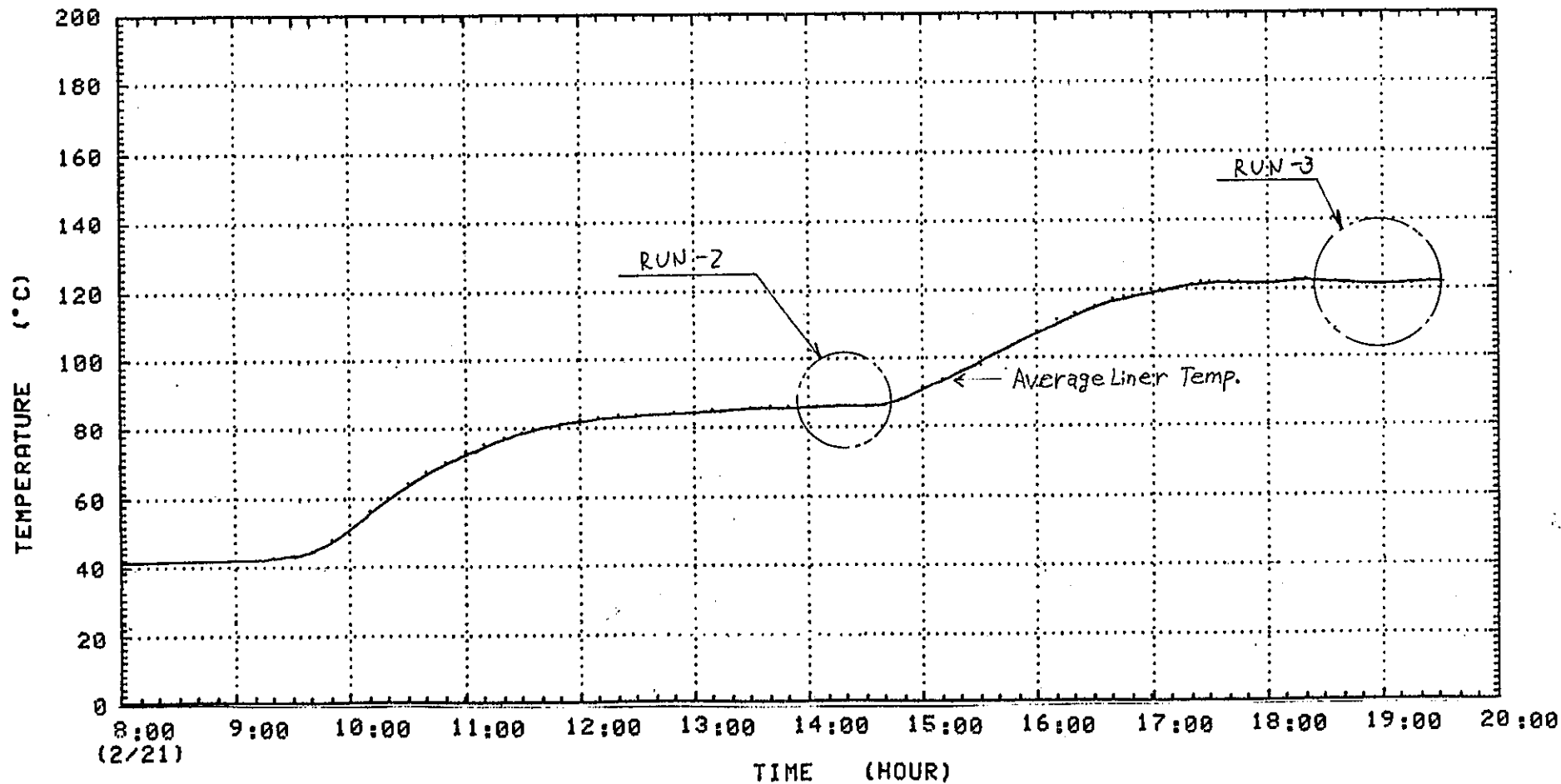


Fig. 2.3.3-3 RUN-2, RUN-3のライナー平均温度の推移
 Fig. 2.3.3-3 Record of Average Liner Temperature from
 RUN-2 to RUN-3

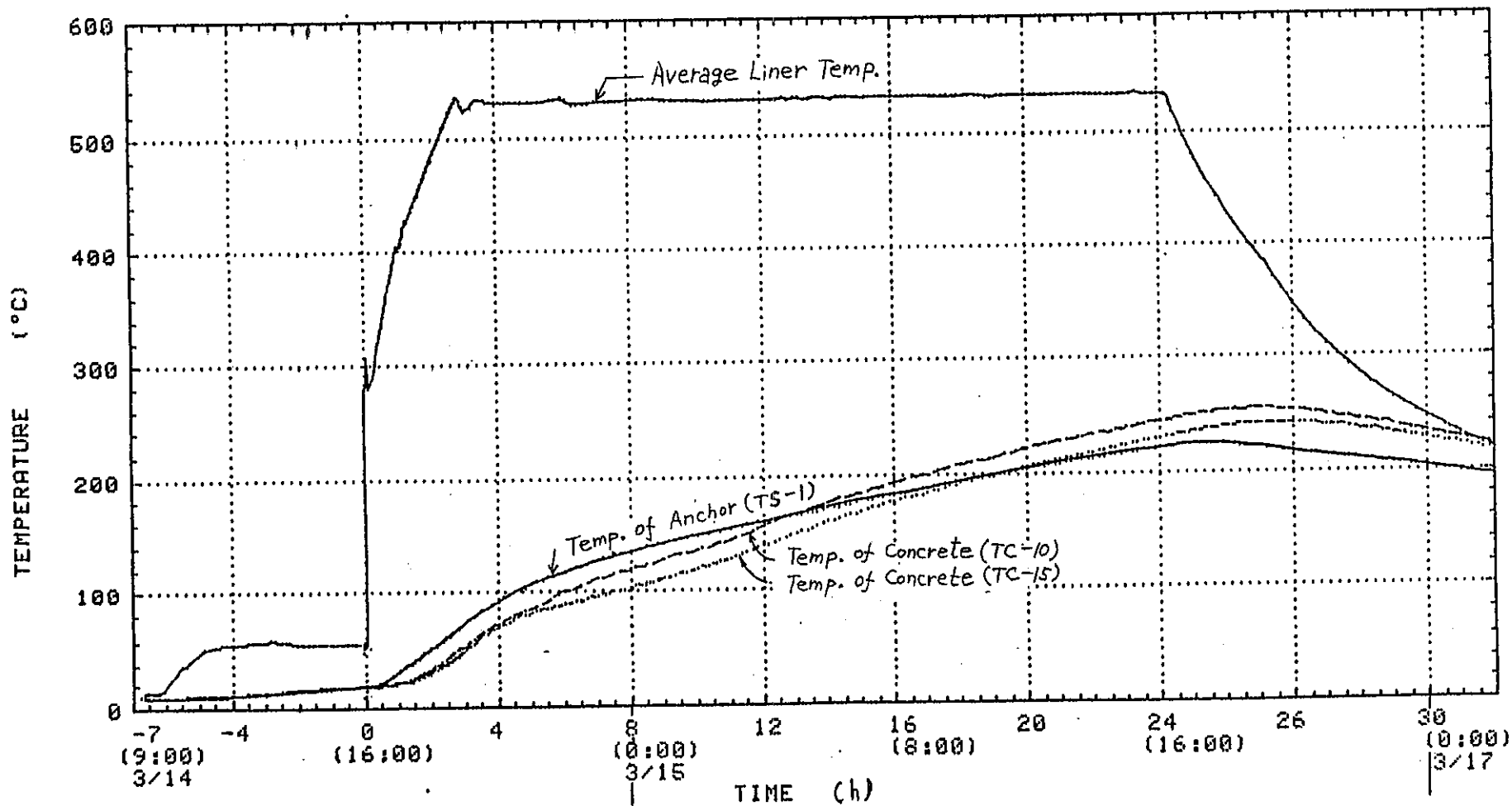
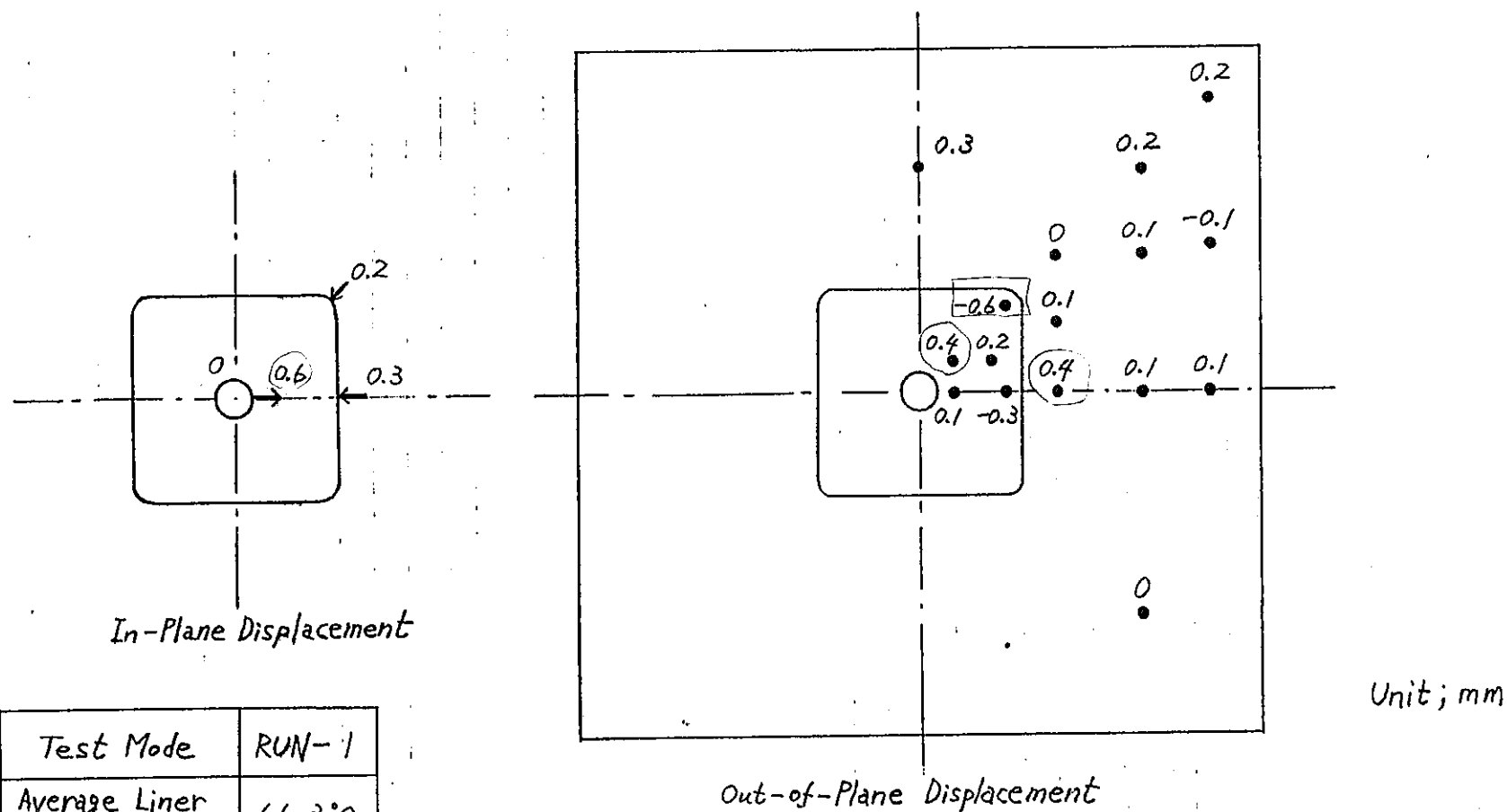


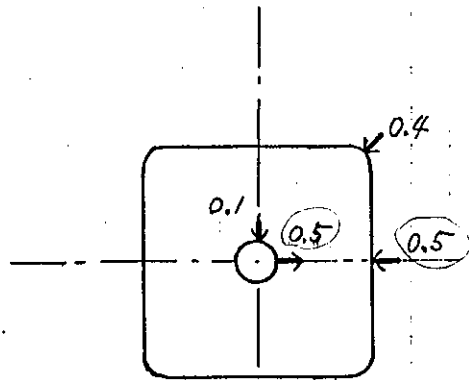
Fig. 2.3.3-4
Fig. 2.3.3-4

RUN-4のライナ平均及びコンクリート温度の推移
Record of Average Liner Temperature and Concrete Temperature
in RUN-4



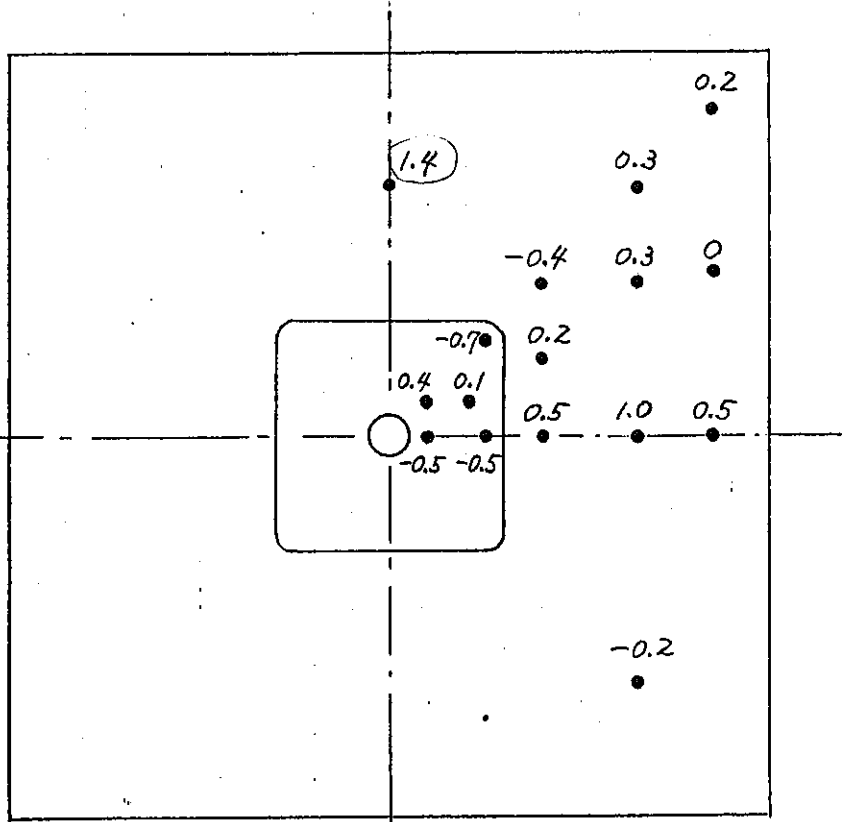
| | |
|---------------------|--------|
| Test Mode | RUN-1 |
| Average Liner Temp. | 66.3°C |

Fig. 2.4.1-1 ライナプレート及び埋込金物の面外・面内変位分布 (RUN-1)
 Fig. 2.4.1-1 Out-of-Plane and In-Plane Displacement of the Liner Plate and the Embedded Plate (RUN-1)



In-Plane Displacement

| | |
|---------------------|--------|
| Test Mode | RUN-2 |
| Average Liner Temp. | 86.6°C |



Out-of-Plane Displacement

Unit; mm

Displacement Sign (-); Lower Side Direction

Fig. 2.4.1-2
Fig. 2.4.1-2

ライナプレート及び埋込金物の面外・面内変位分布 (RUN-2)
Out-of-Plane and In-Plane Displacement of the Liner Plate
and the Embedded Plate (RUN-2)

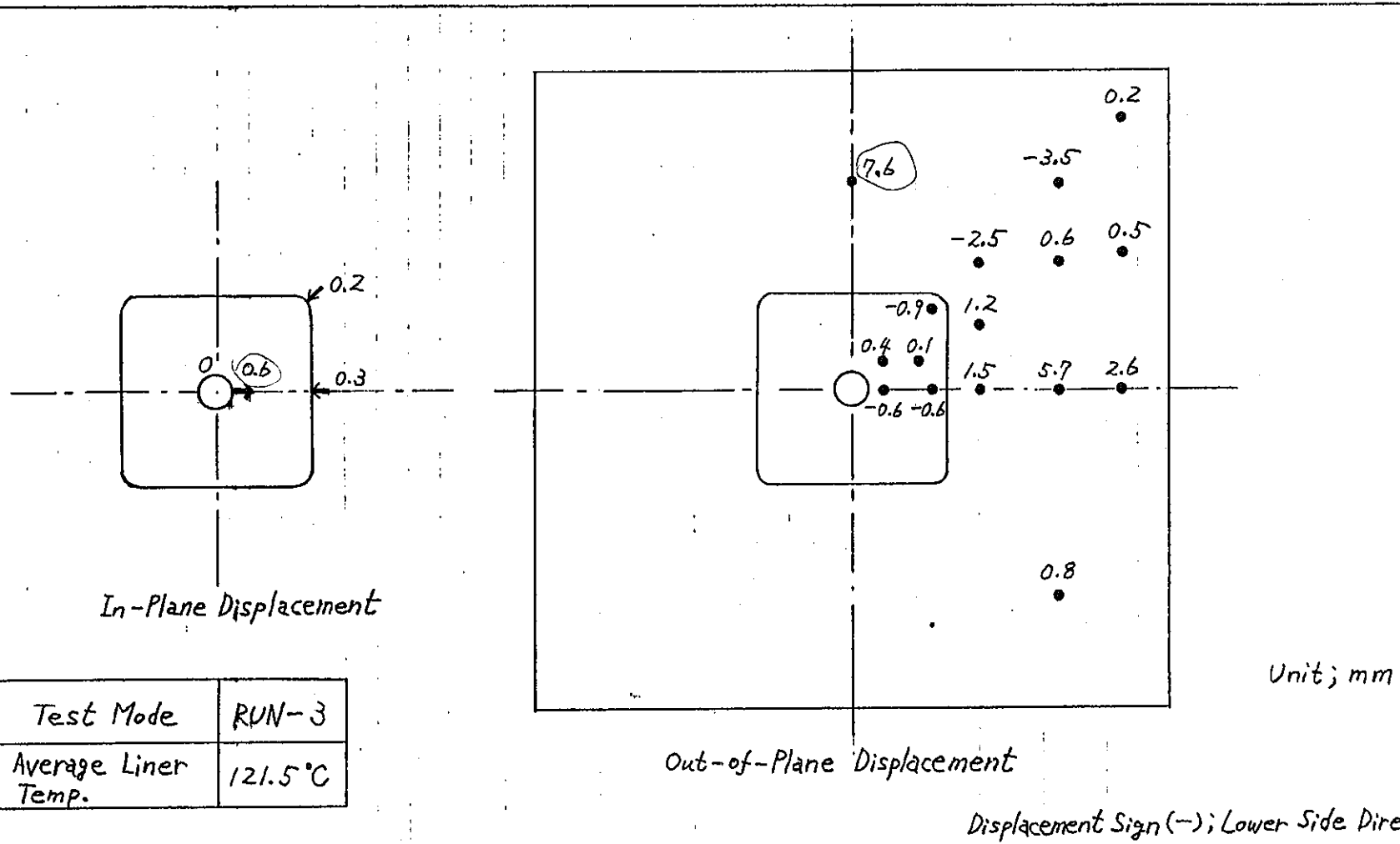


Fig. 2.4.1-3 ライナプレート及び埋込金物の面外・面内変位分布 (RUN-3)
 Fig. 2.4.1-3 Out-of-Plane and In-Plane Displacement of the Liner Plate and the Embedded Plate (RUN-3)

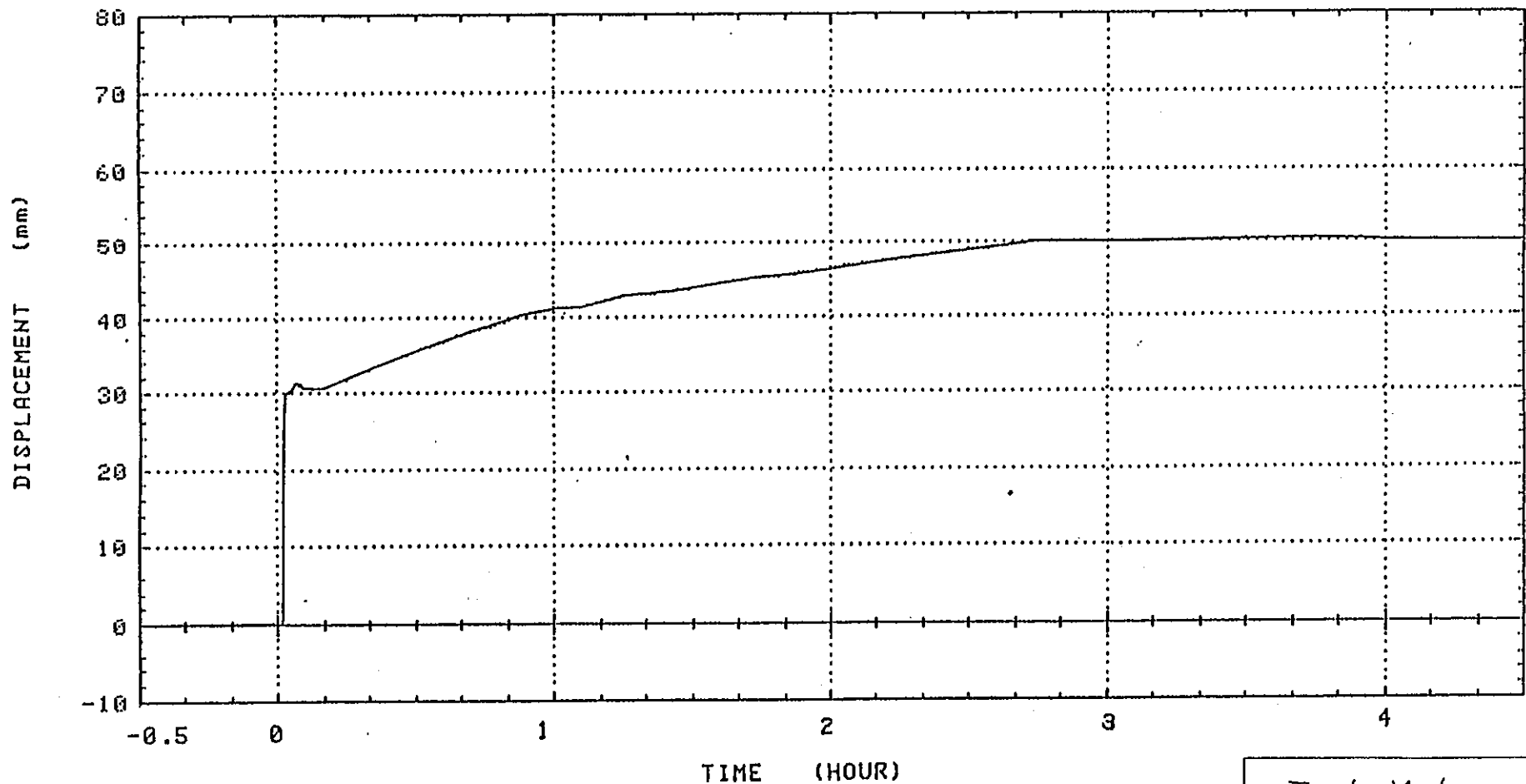
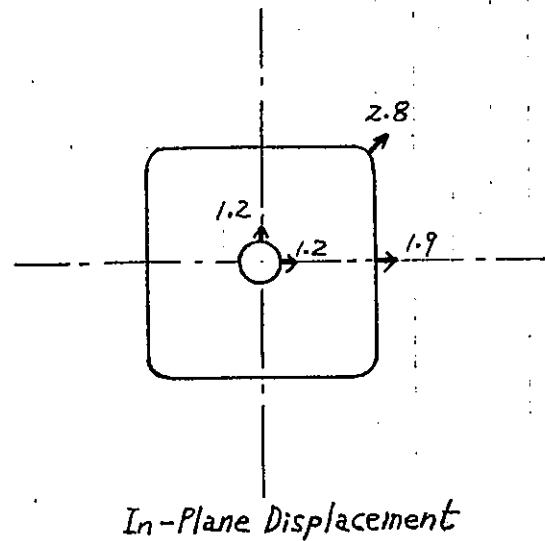
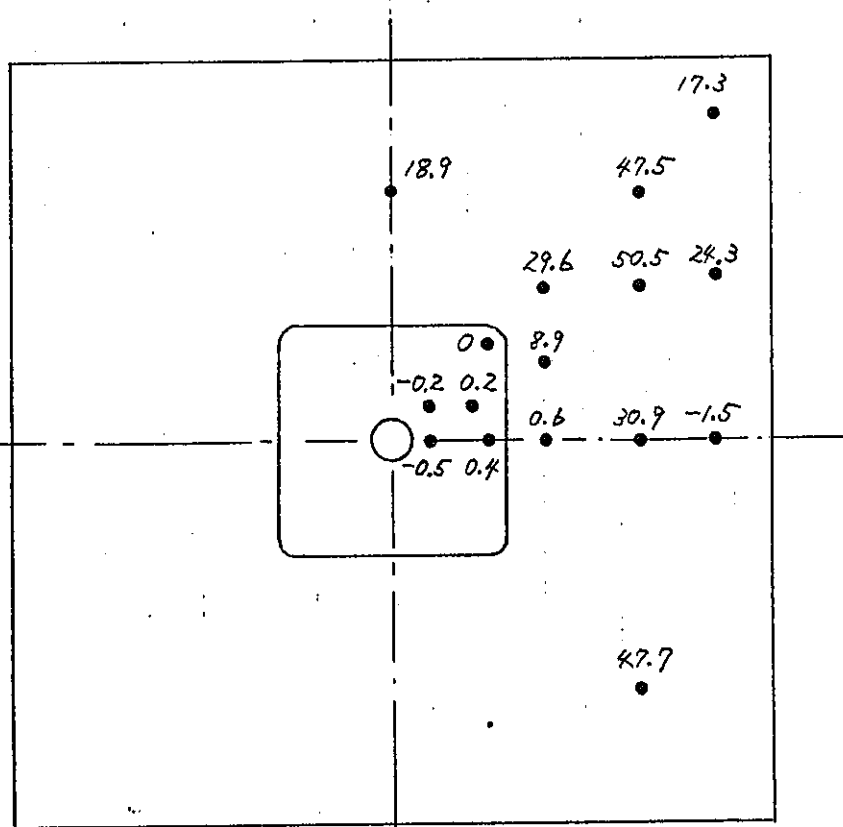


Fig. 2.4.1-4 ライナプレートDL-8部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. 2.4.1-4 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-8) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-8 |



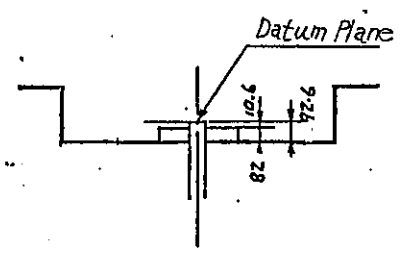
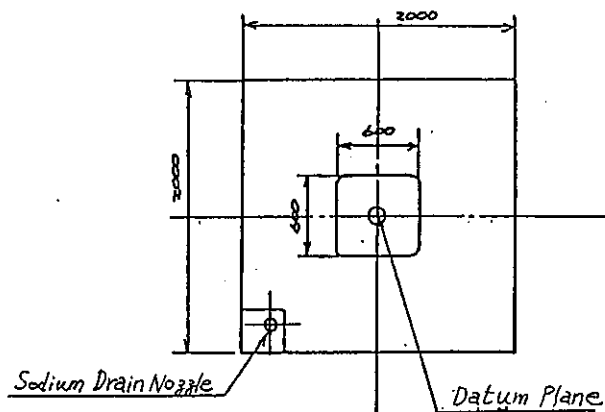
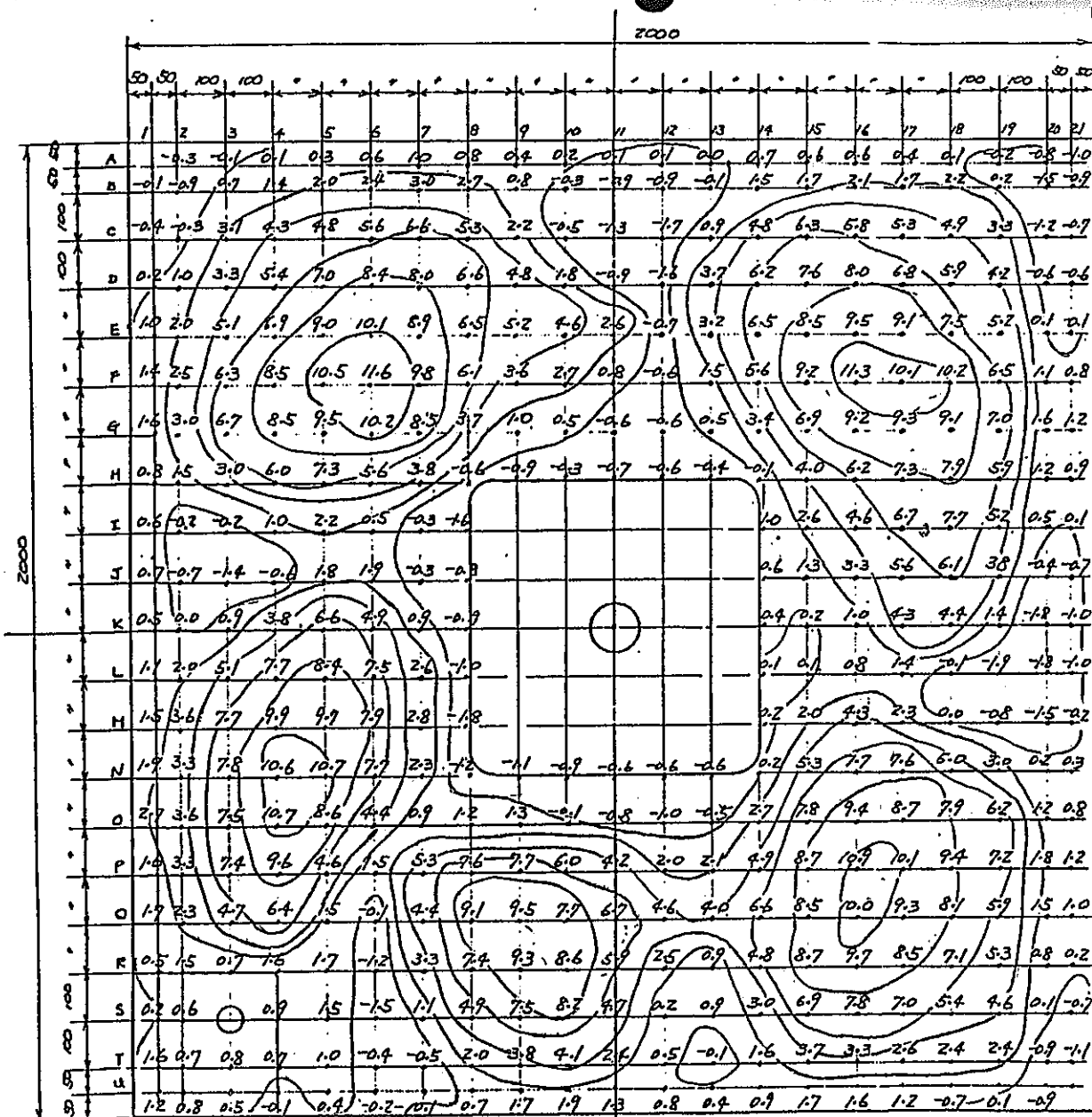
| | |
|---------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Average Liner Temp. | 530°C |



Unit; mm

Displacement Sign (-); Lower Side Direction

Fig. 2.4.1-5 ライナプレート及び埋込金物の面外・面内変位分布 (RUN-4)
 Fig. 2.4.1-5 Out-of-Plane and In-Plane Displacement of the Liner Plate and the Embedded Plate (RUN-4)



Unit; mm

Fig. 2.4.1-6 ライナプレートの外側残留変位分布 (RUN-4試験完了後室温)
 Fig. 2.4.1-6 Residual Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (after RUN-4)

DATE = 59. 3.14
 TIME = 16: 5 0'

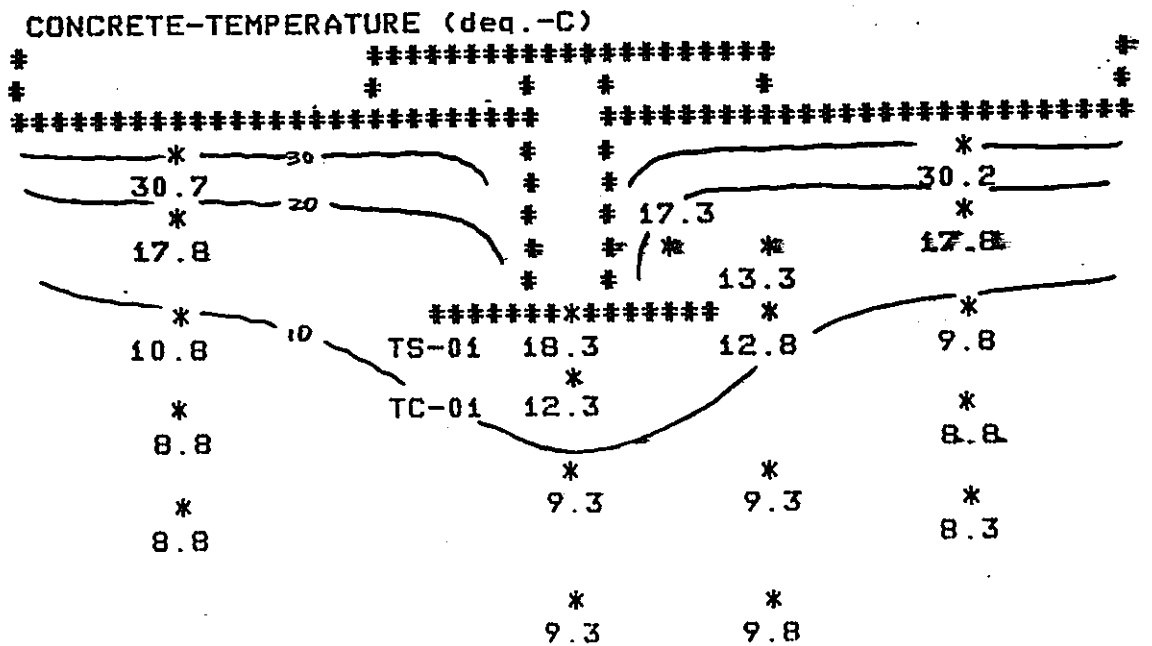
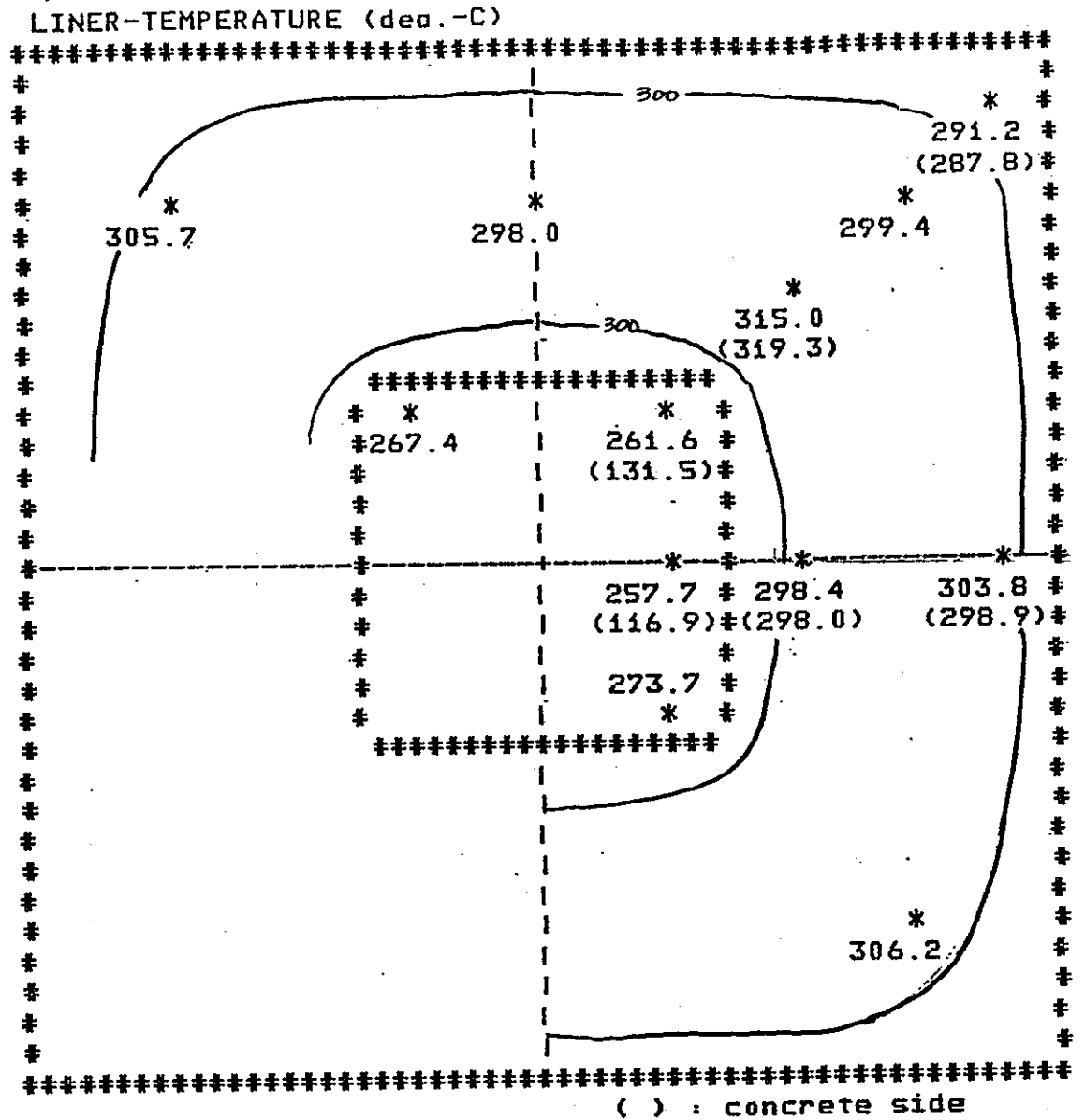


Fig. 2.4.2-3 温度分布 (壳埋完了直後) ; Time = 0:05

Fig. 2.4.2-3 Temperature Distribution (Change Terminated) ; Time = 0:05

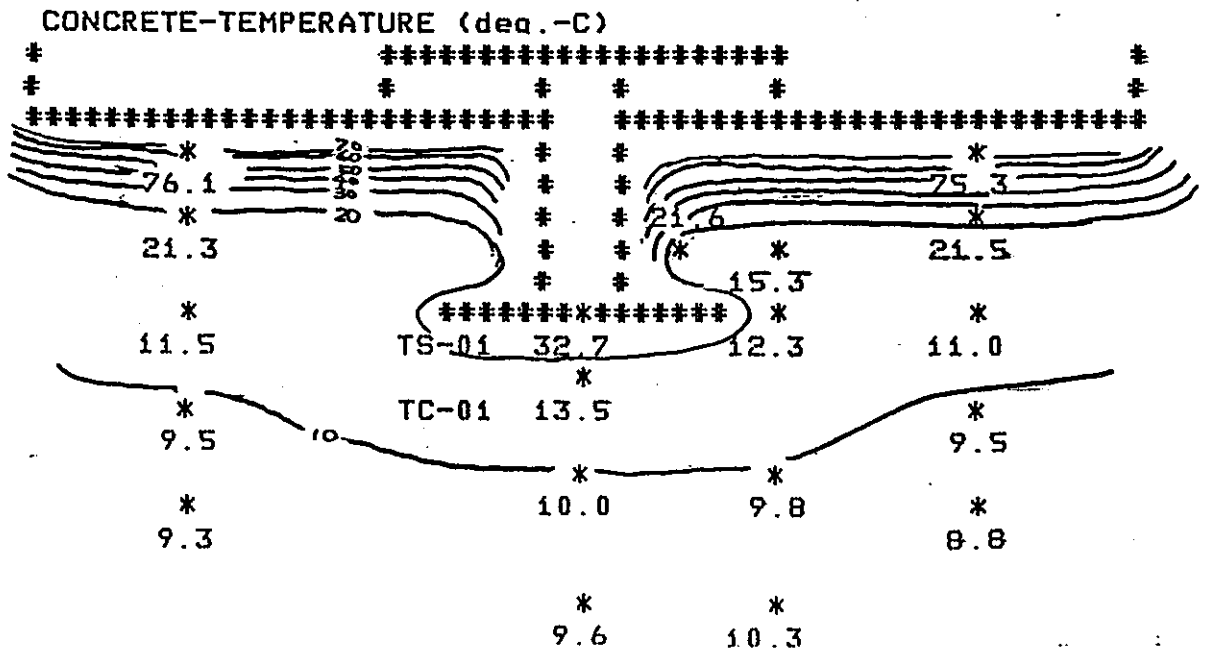
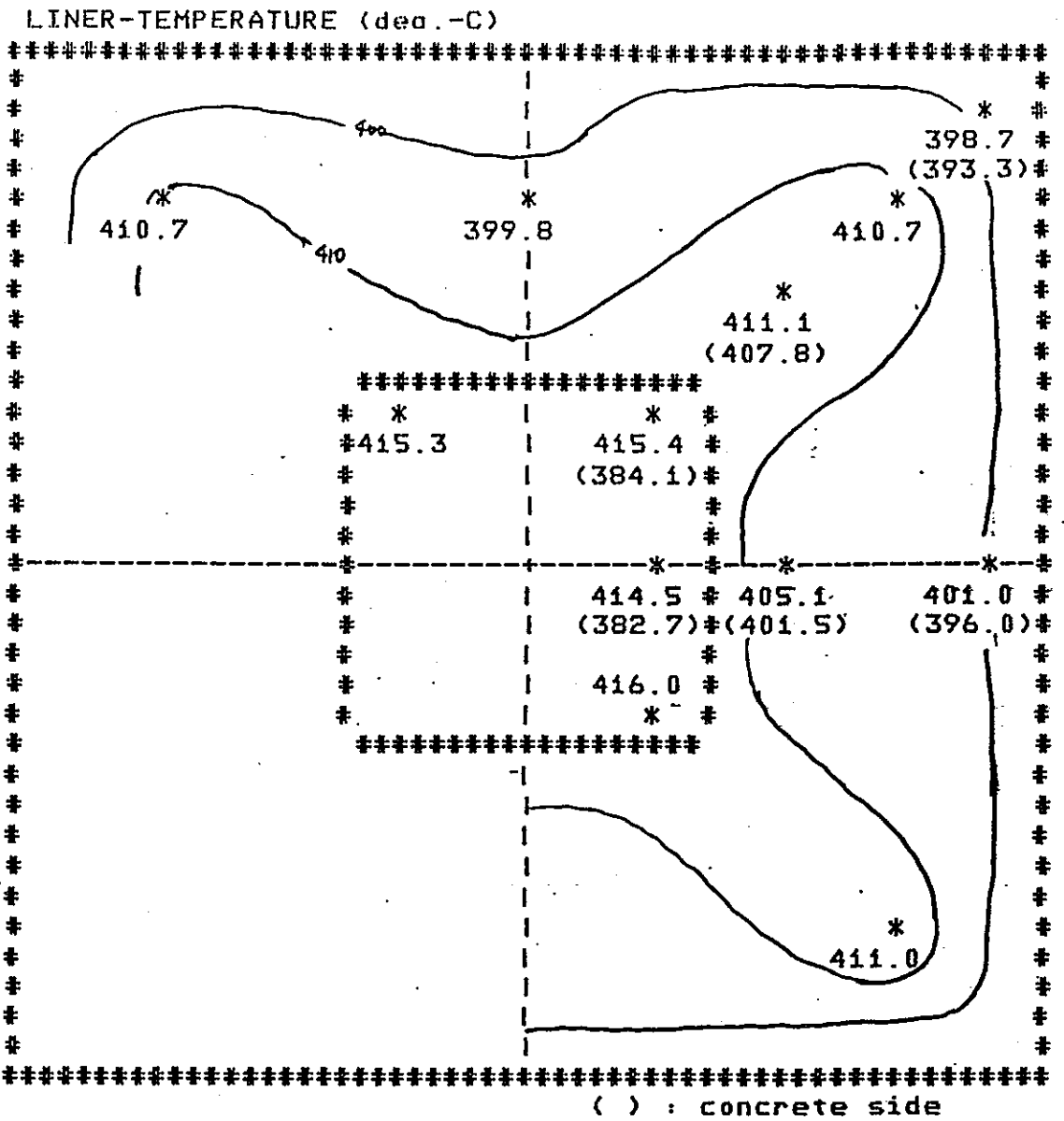


Fig.2.4.2-4 温度分布 (昇温途中 ; Time = (1:00))

Fig.2.4.2-4 Temperature Distribution (During Heating ; Time = (1:00))

DATE = 59. 3.15
 TIME = 16: 0 0'

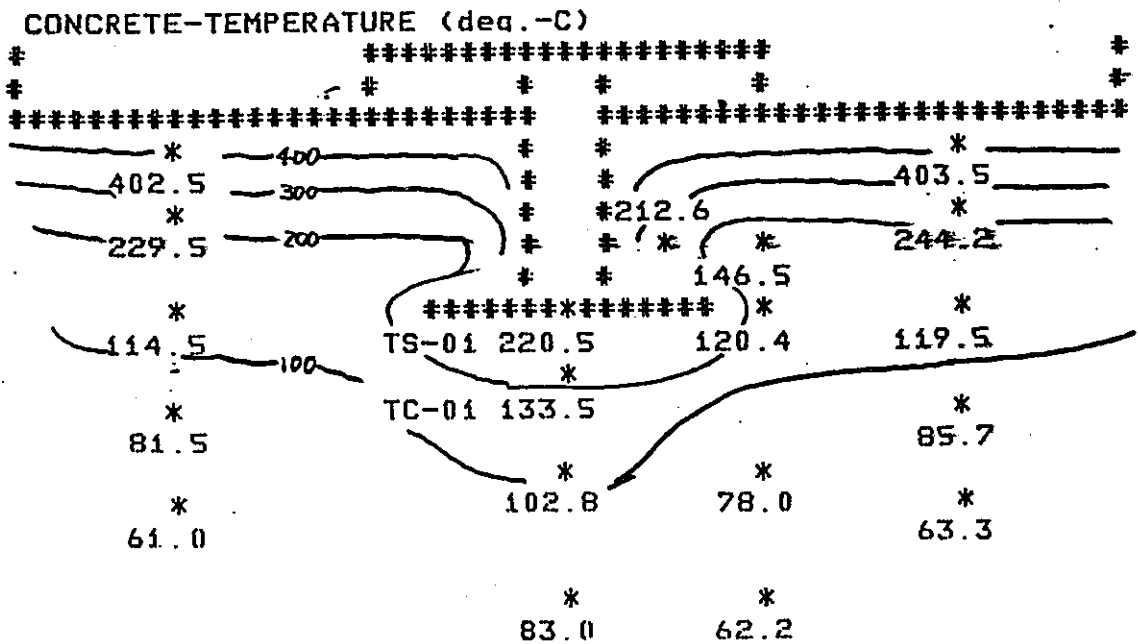
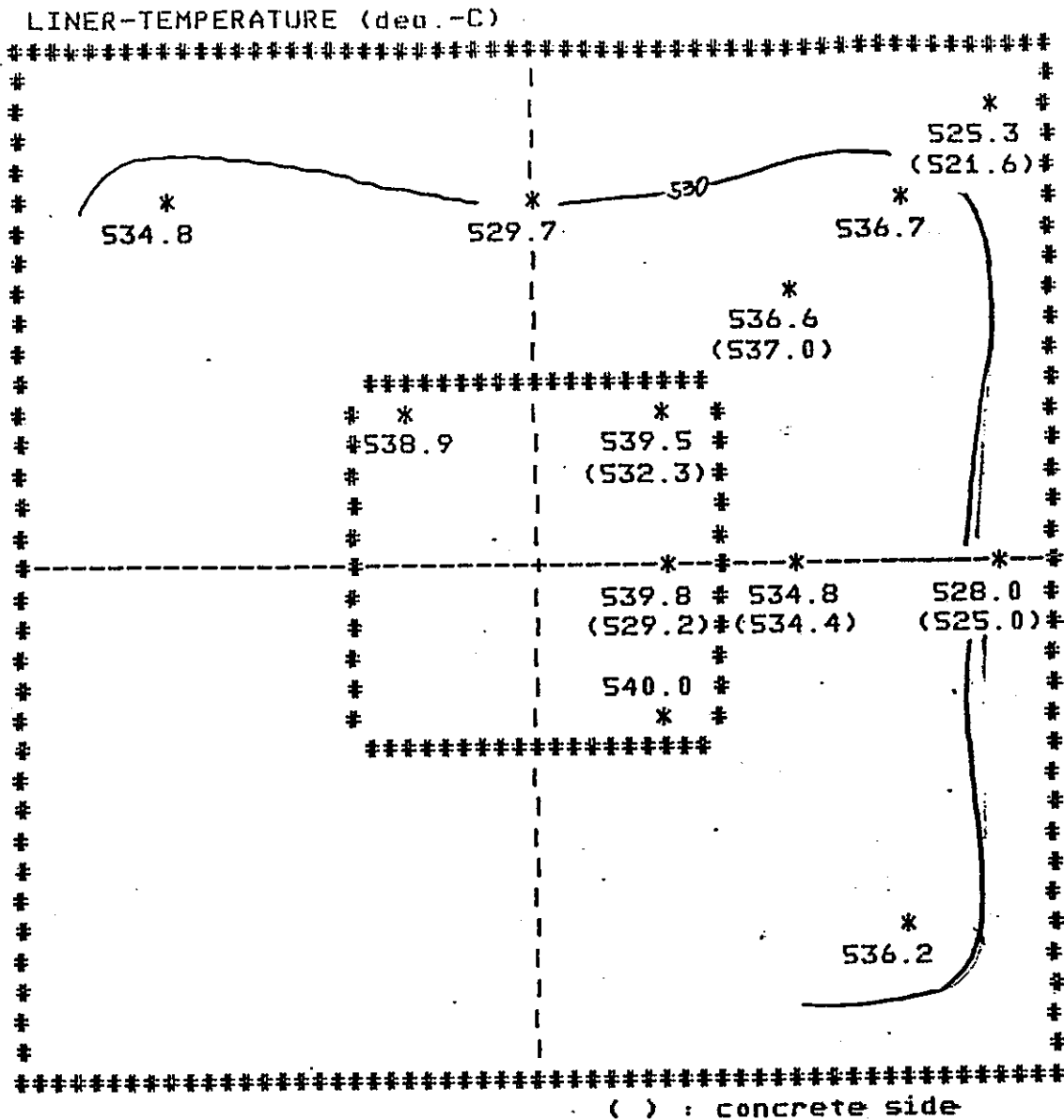


Fig. 2.4.2-6 温度分布 (E-9 OFF直前 ; Time = 24:00)

Fig. 2.4.2-6 Temperature Distribution (Just before Heater Off ; Time = 24:00)

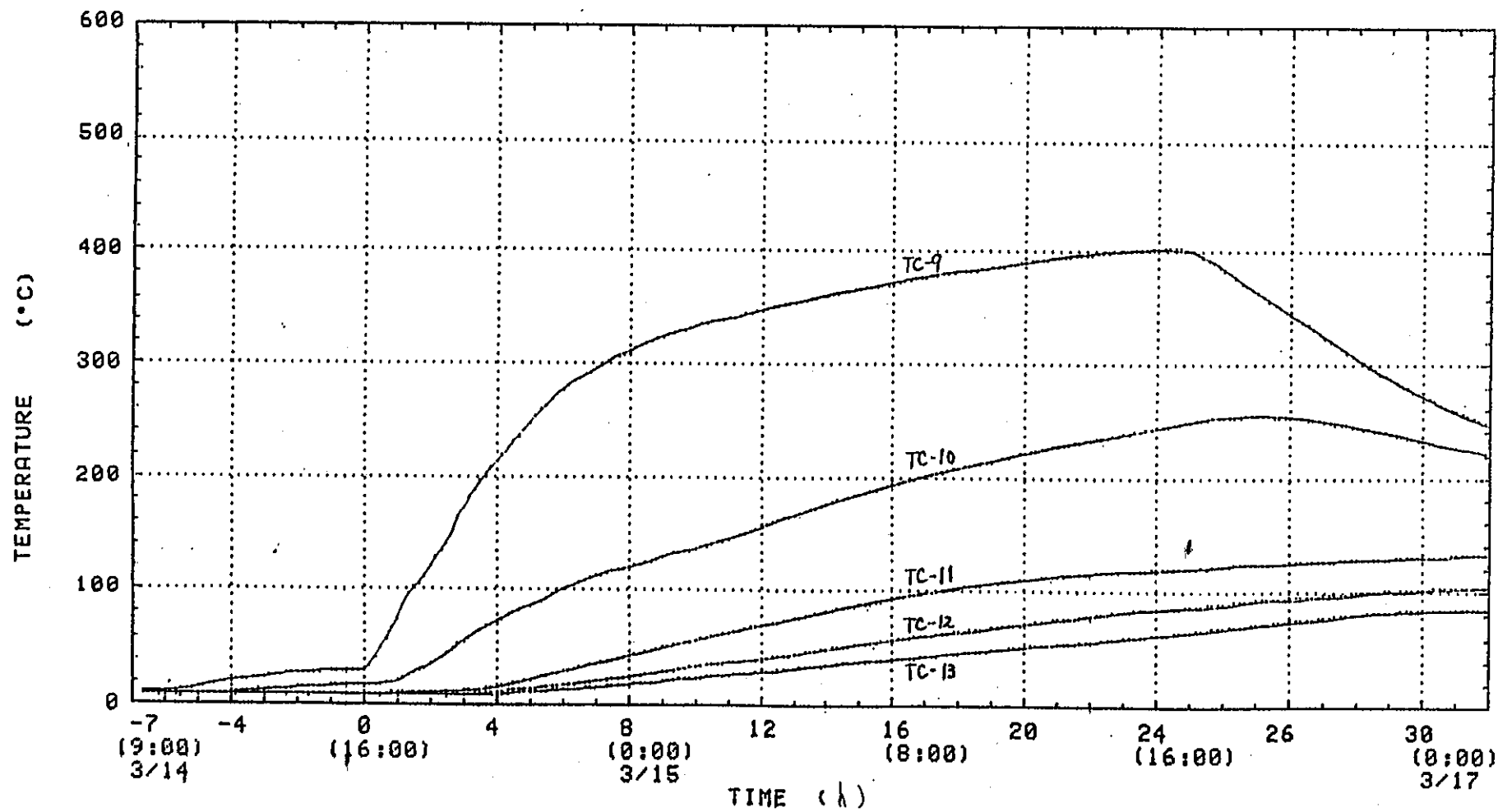


Fig. 2.4.2-7 コンクリート温度の代表例 (TC-9~13)

Fig. 2.4.2-7 Temperature Record of the Concrete (TC-9~13)

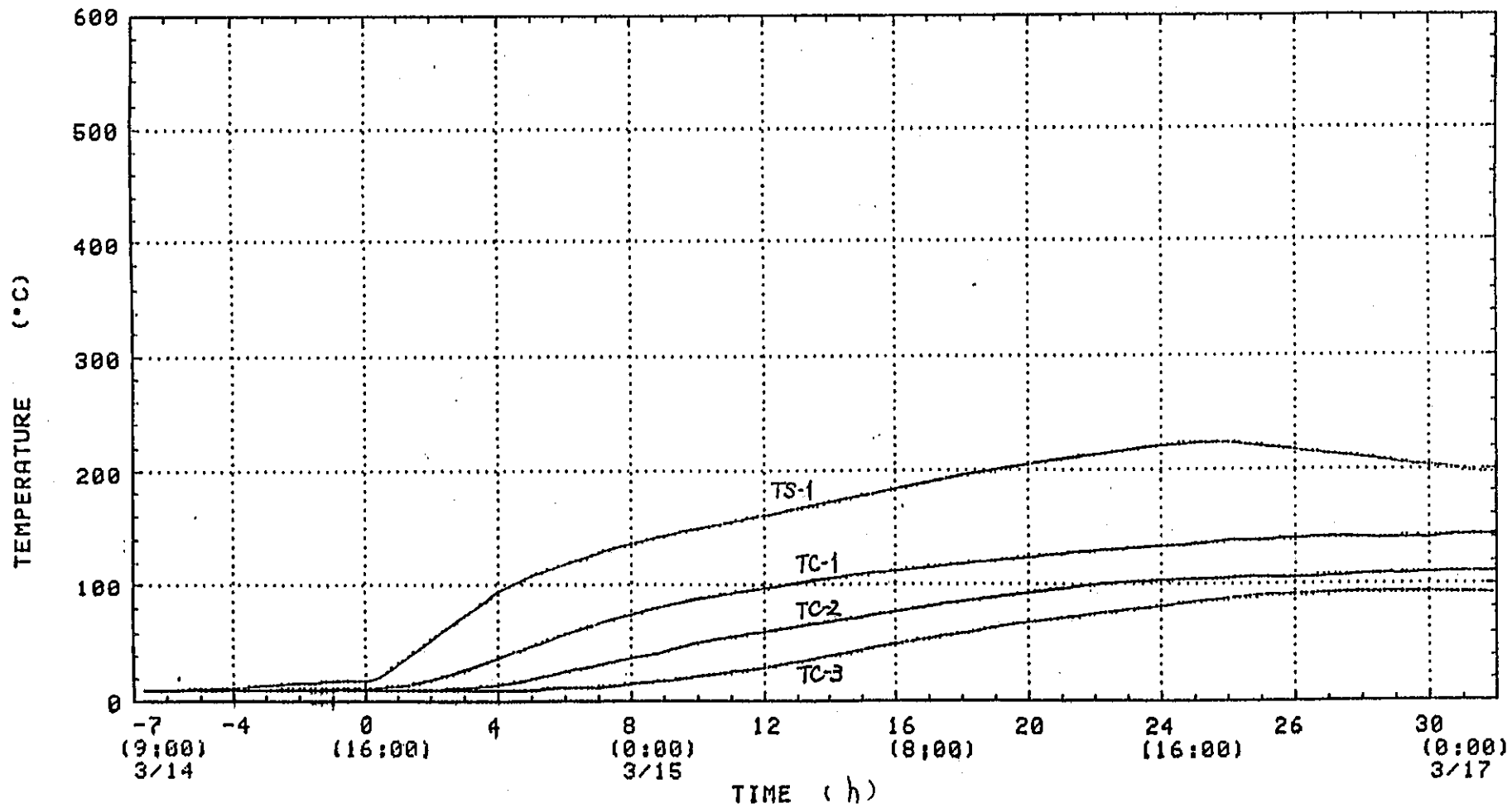
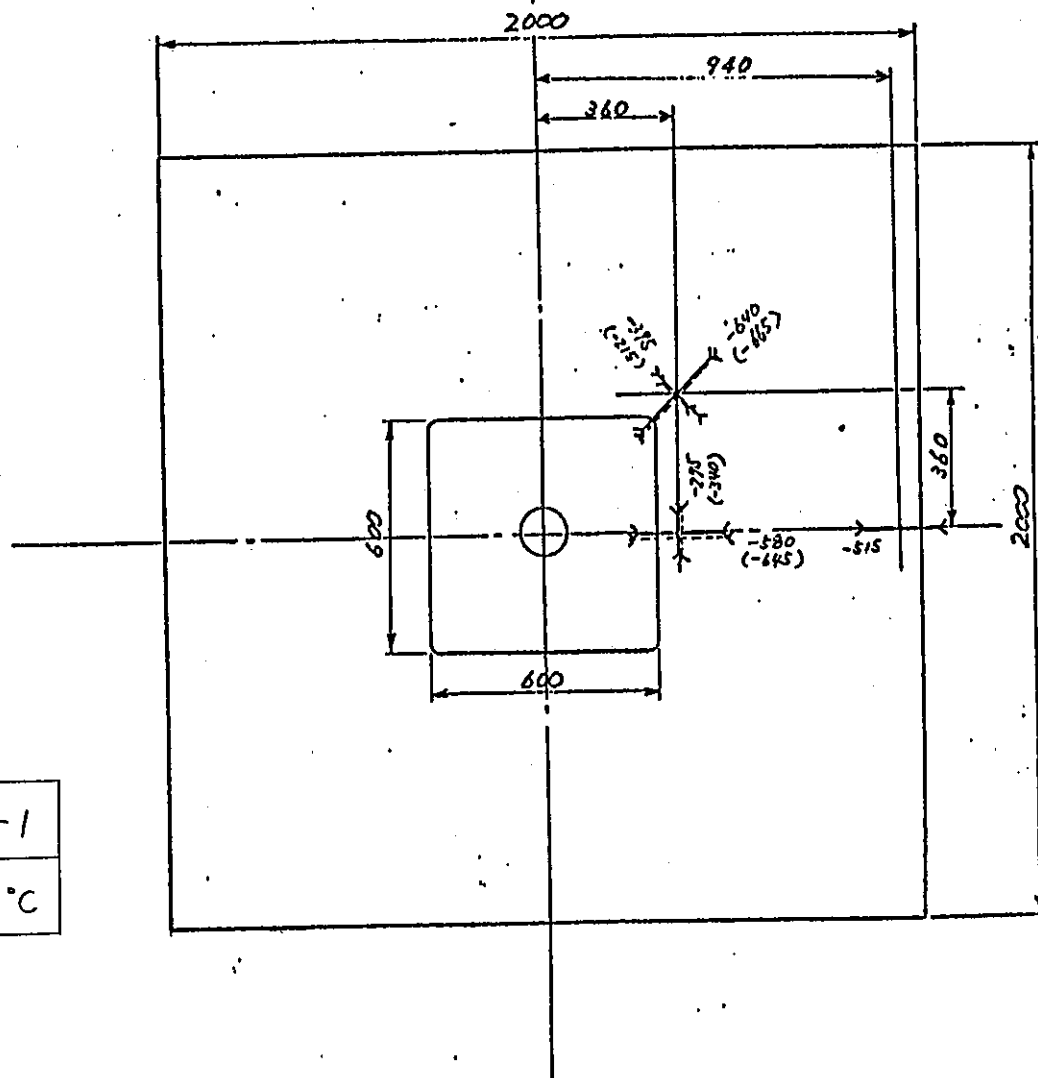


Fig. 2.4.2-8 3277-K 温度の代表例 (TC-1,2,3, TS-1)
 Fig. 2.4.2-8 Temperature Record of the Concrete (TC-1,2,3; TS-1)

| | |
|---------------------|--------|
| Test Mode | RUN-1 |
| Average Liner Temp. | 66.3°C |

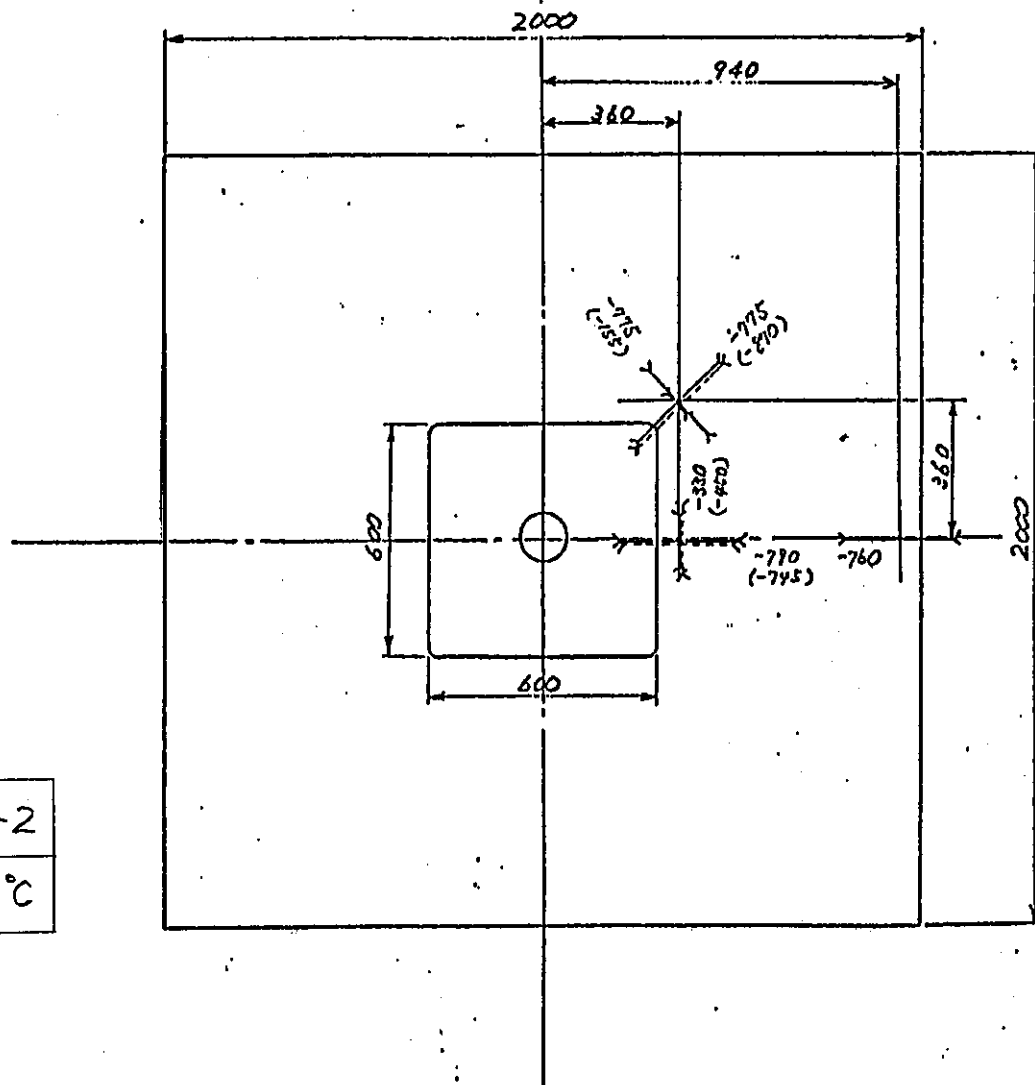


— ; Upper Surface
 - - - ; Lower Surface

Unit ; $\times 10^{-6}$

Fig. 2.4.3-1 ライナプレートの変形測定値 (RUN-1).
 Fig. 2.4.3-1 Observed strain of the Liner Plate. (RUN-1)

| | |
|---------------------|--------|
| Test Mode | RUN-2 |
| Average Liner Temp. | 86.6°C |



; Upper Surface
 ; Lower Surface

Unit ; $\times 10^{-6}$

Fig. 2.4.3-2 ライナプレートの変形測定値 (RUN-2)
 Fig. 2.4.3-2 Observed Strain of the Liner Plate (RUN-2)

| | |
|---------------------|---------|
| Test Mode | RUN-3 |
| Average Liner Temp. | 121.5°C |

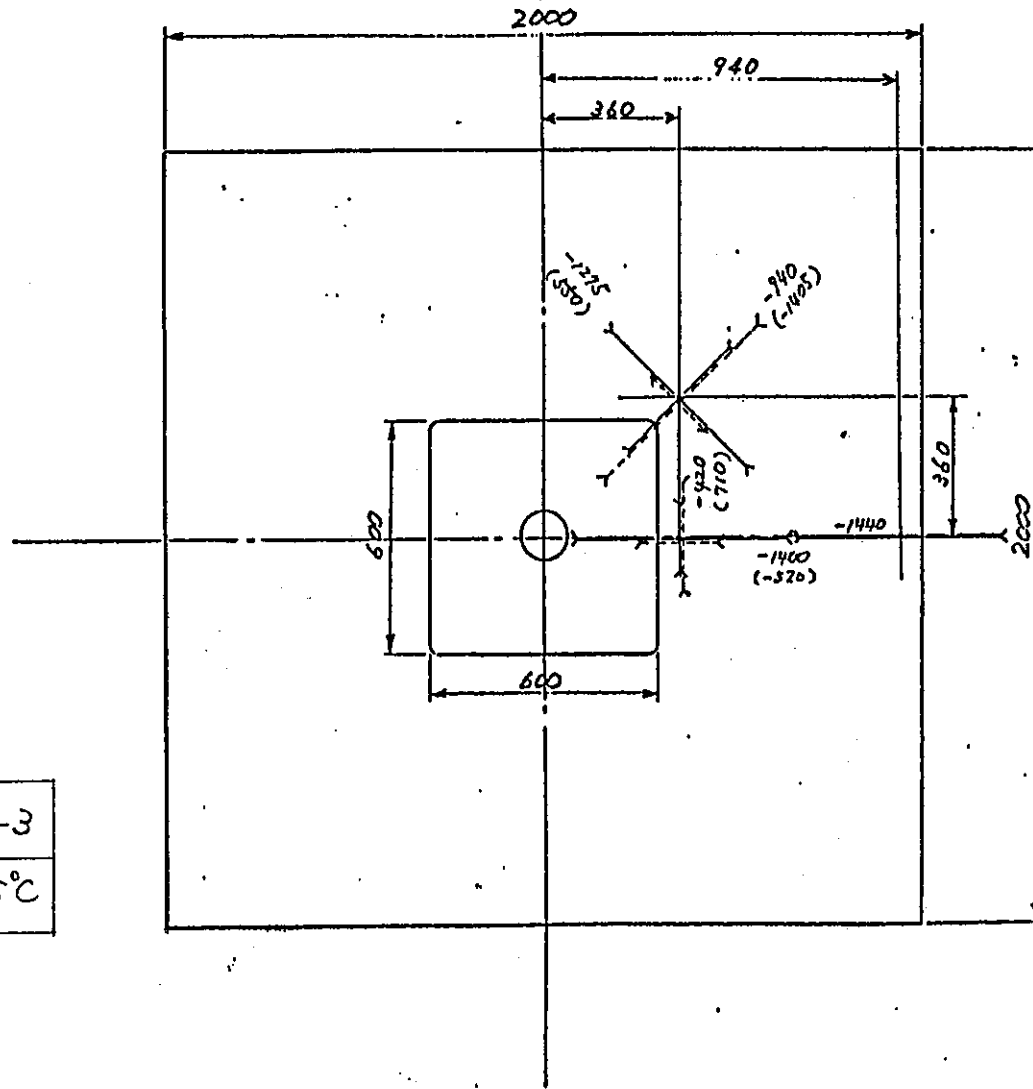
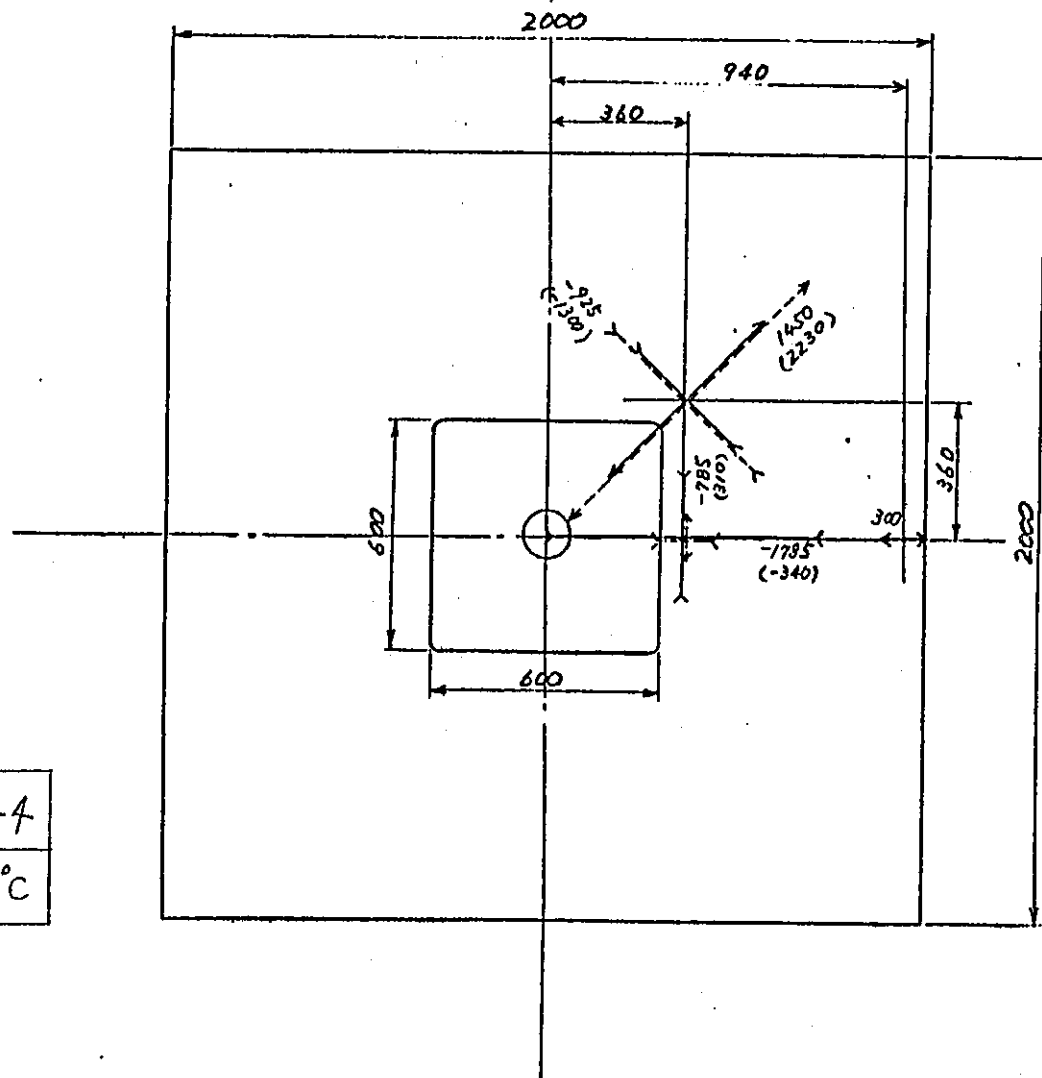


Fig. 2.4.3-3 ライナプレートの変形測定値 (RUN-3)

Fig. 2.4.3-3 Observed Strain of the Liner Plate (RUN-3)

| | |
|---------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Average Liner Temp. | 530°C |



>---< ; Upper Surface
 >---< ; Lower Surface

Unit; $\times 10^{-6}$

Fig. 2.4.3-4 ライナープレートの変形測定値 (RUN-4)

Fig. 2.4.3-4 Observed Strain of the Liner Plate (RUN-4)

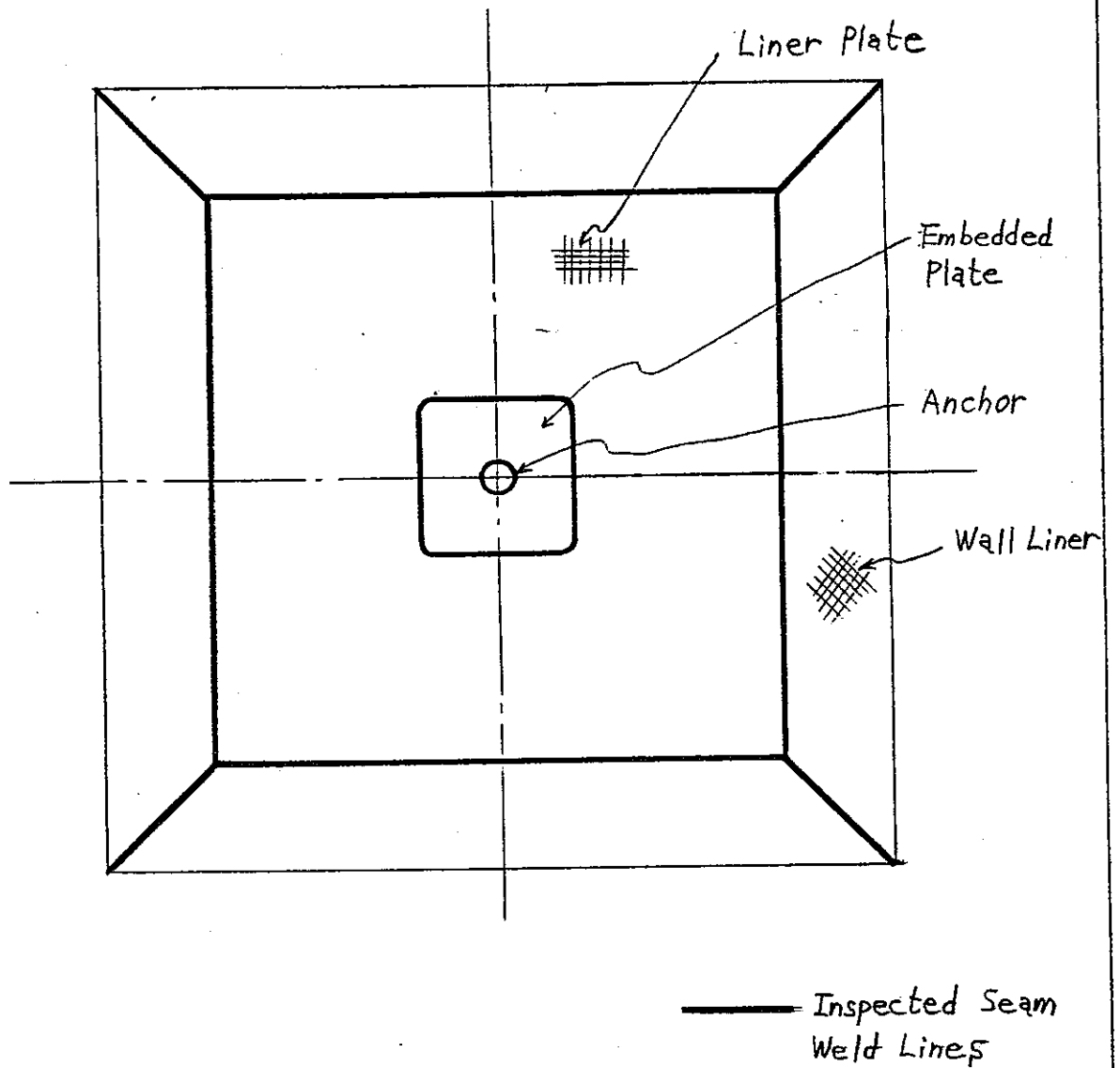


Fig. 2.4.4-1 ライナ溶接部検査位置図

Fig. 2.4.4-1 Seam Weld Lines and Liner Plate Inspected at Post-Test Examinations

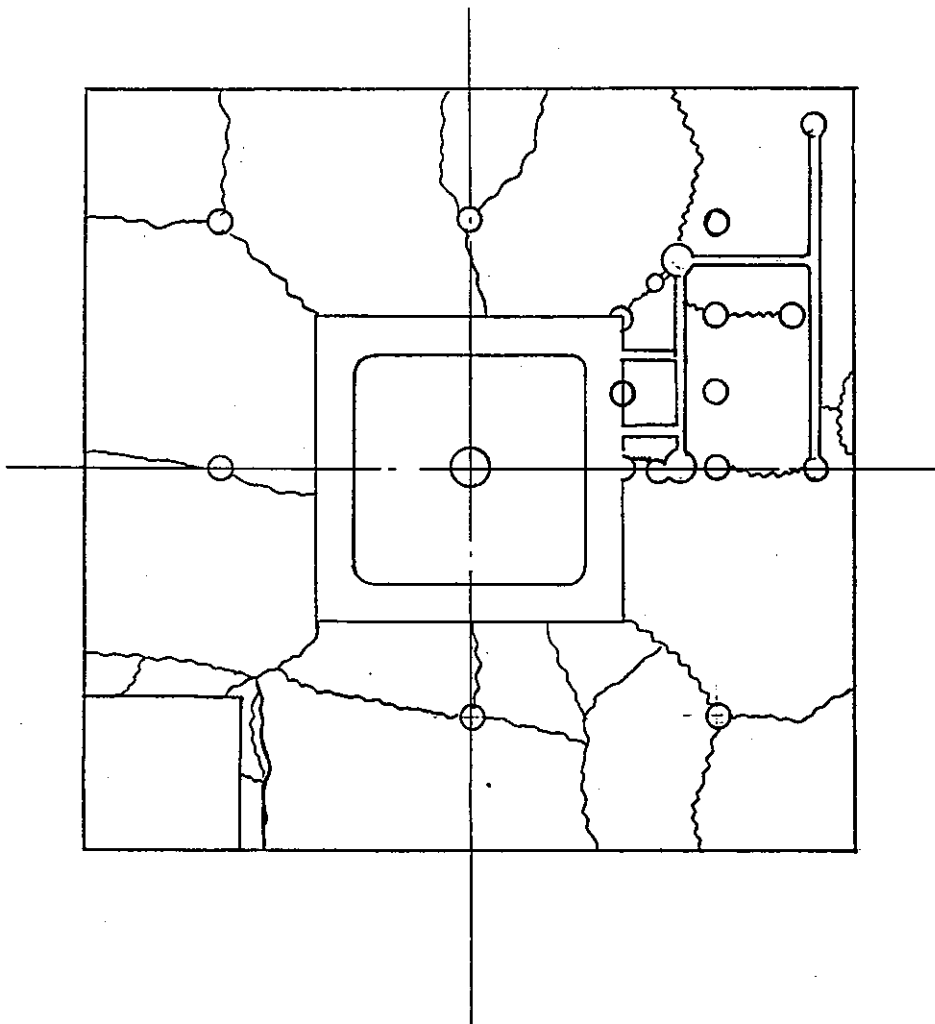


Fig.2.4.4-2 耐熱コンクリートの表面クラックのスケッチ

Fig.2.4.4-2 Sketch of Cracks on the Heat Resisting Concrete

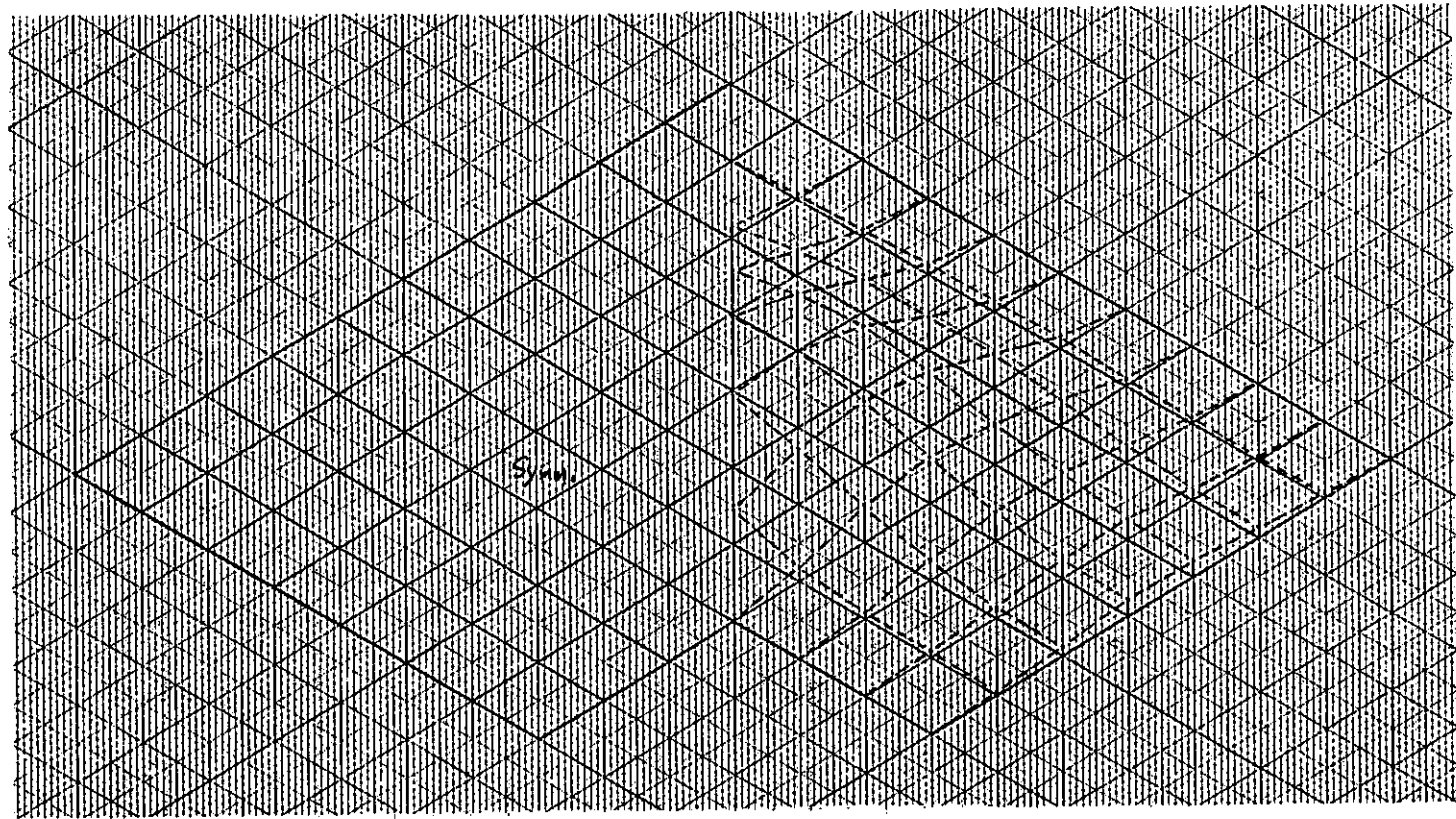


Fig.2.5.1-1. 弾塑性大変形熱変位解析によるラジナプレートの変形モード

Fig.2.5.1-1 Buckling Mode of the Liner Plate by Elasto-Plastic Large Displacement Thermal Buckling Analysis

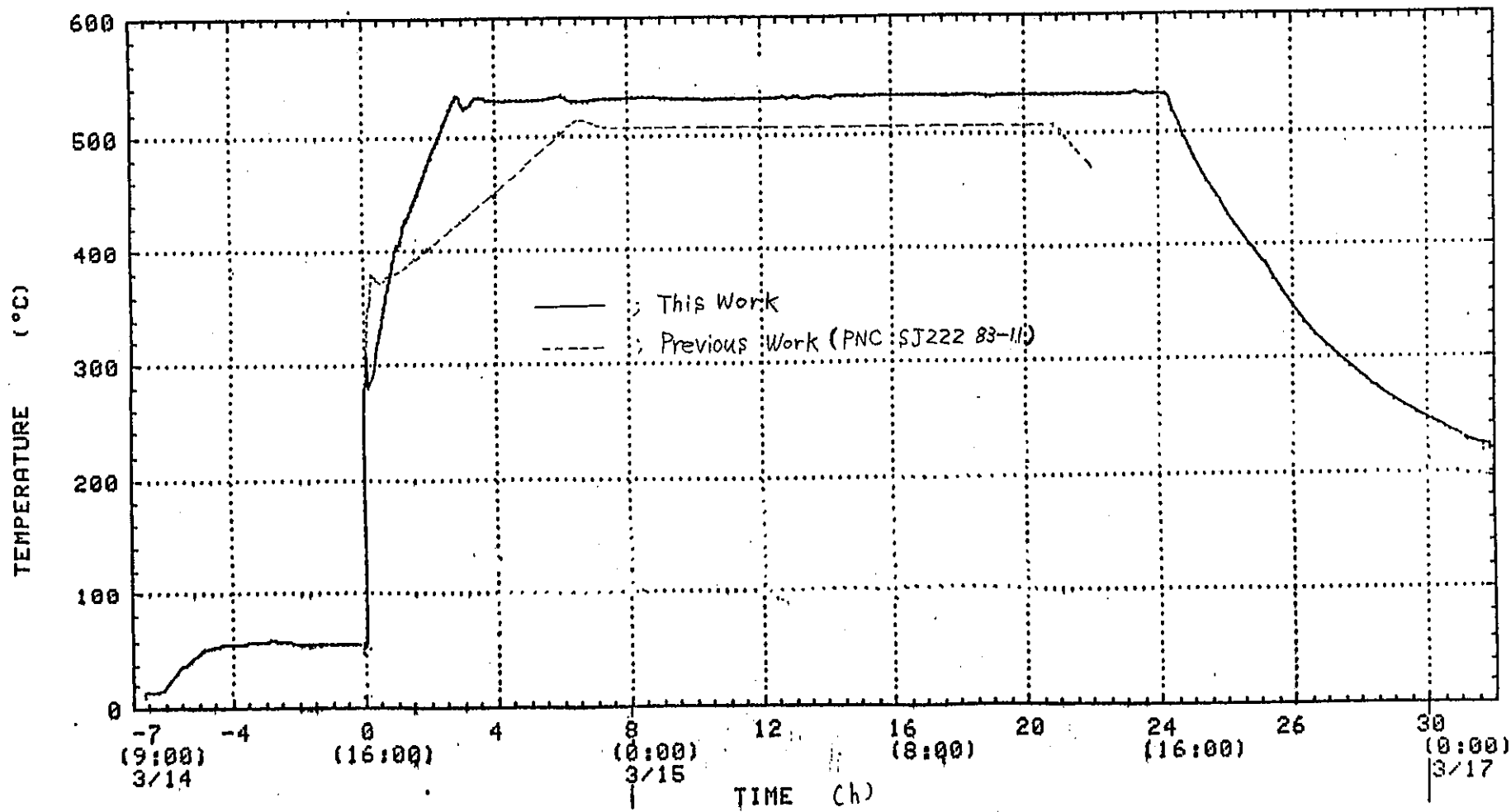


Fig. 2.5.2-1 ライナ温度経時変化 ; 前回試験と今回試験の比較
 Fig. 2.5.2-1 Transitional Temperature of Liner ; Comparison between Previous and This Work

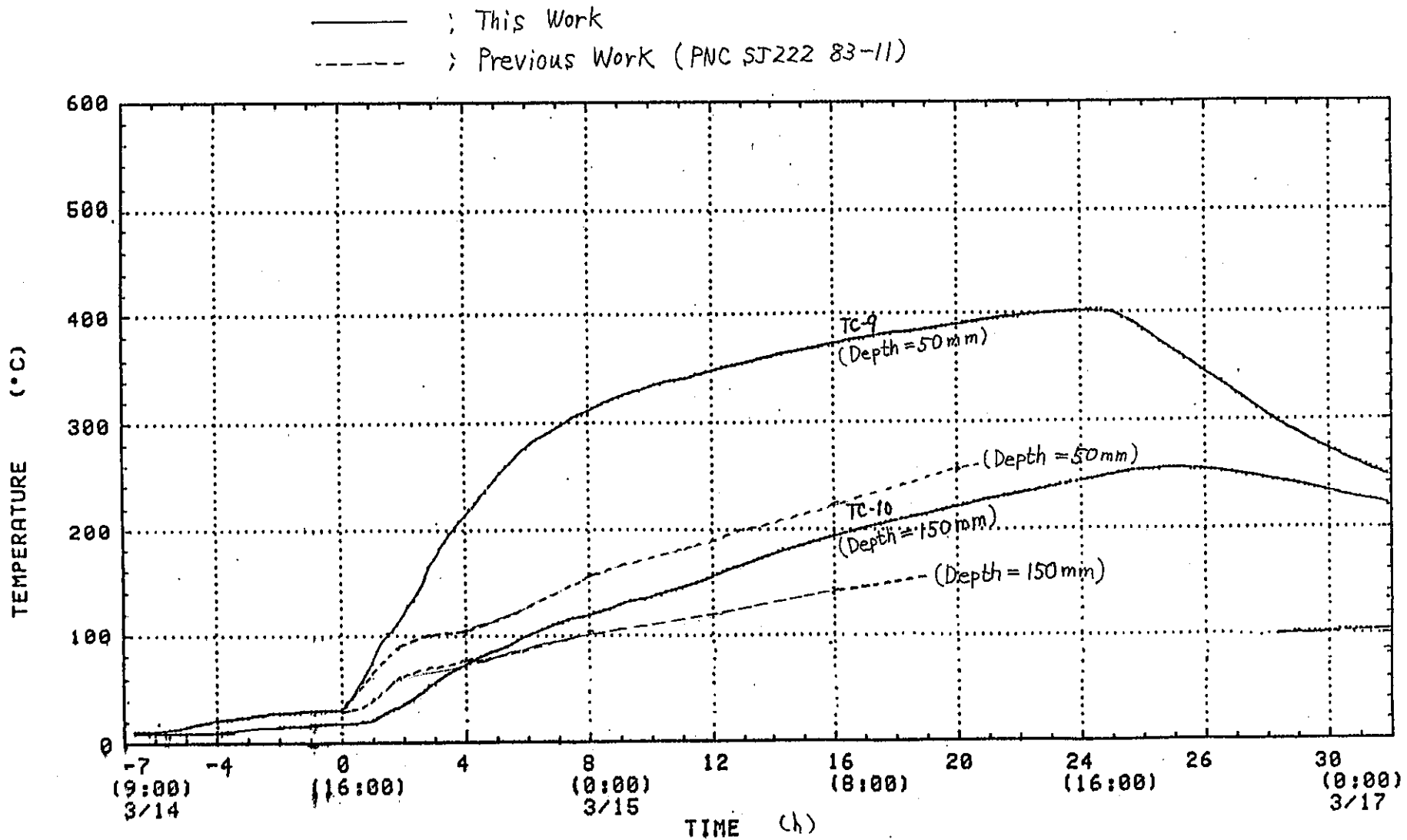


Fig. 2.5.2-2 コンクリート温度経時変化；前回試験と今回試験の比較

Fig. 2.5.2-2 Transitional Temperature of Concrete; Comparison between Previous and This Work

— ; Measured Value
 - - - ; Calculated Value by One Dimensional Model

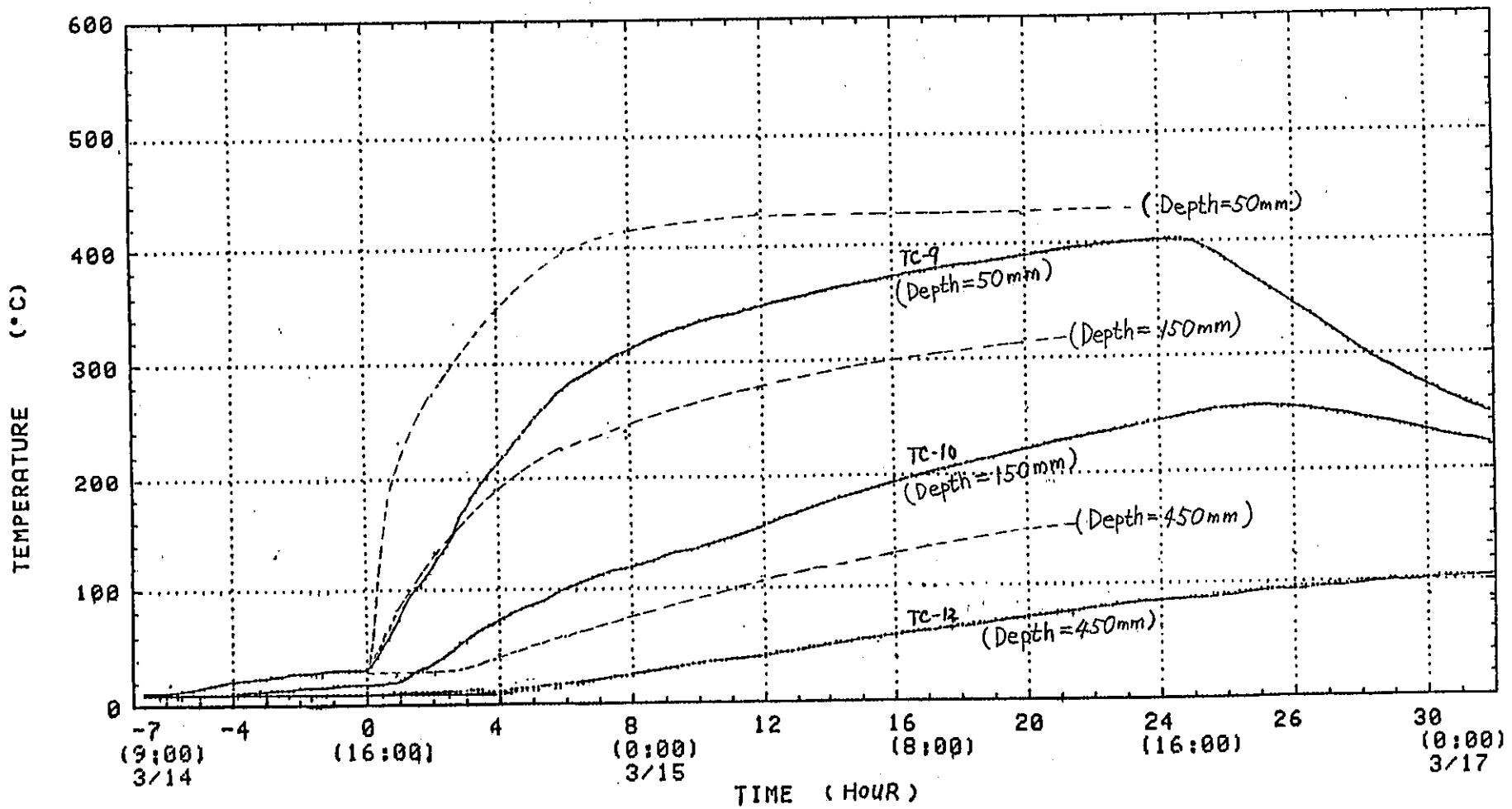
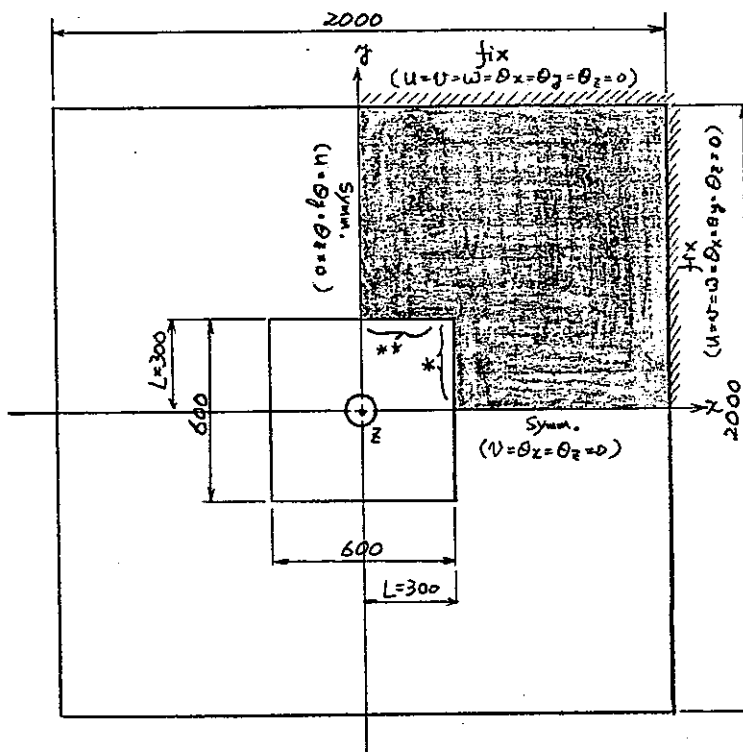


Fig.2.5.2-3 コンクリート温度経時変化 ; 計算値と実測値の比較

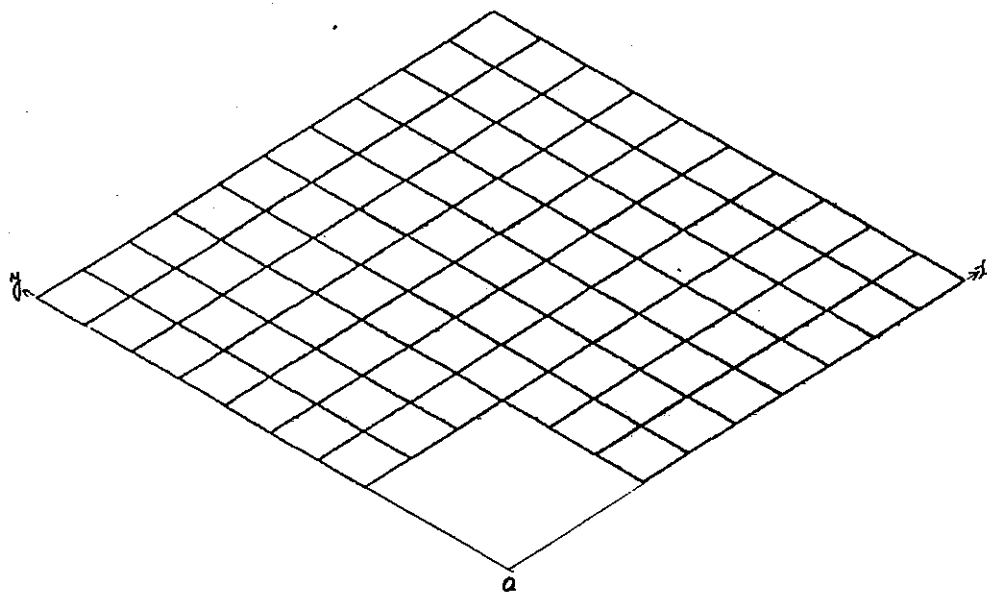
Fig.2.5.2-3 Transitional Temperature of Concrete ; Comparison between Calculation and Experiment #4



* $w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$
 $u = x \cdot d \cdot T = L \cdot d \cdot T$
 $v = y \cdot d \cdot T$

** $w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$
 $u = x \cdot d \cdot T$
 $v = y \cdot d \cdot T = L \cdot d \cdot T$

(a) Boundary Conditions



(b) F.E.M. Mesh

Fig.3.2.2-1 解析モデル要素分割図と境界条件

Fig.3.2.2-1 FEM Mesh and Boundary Conditions of Analysis Model

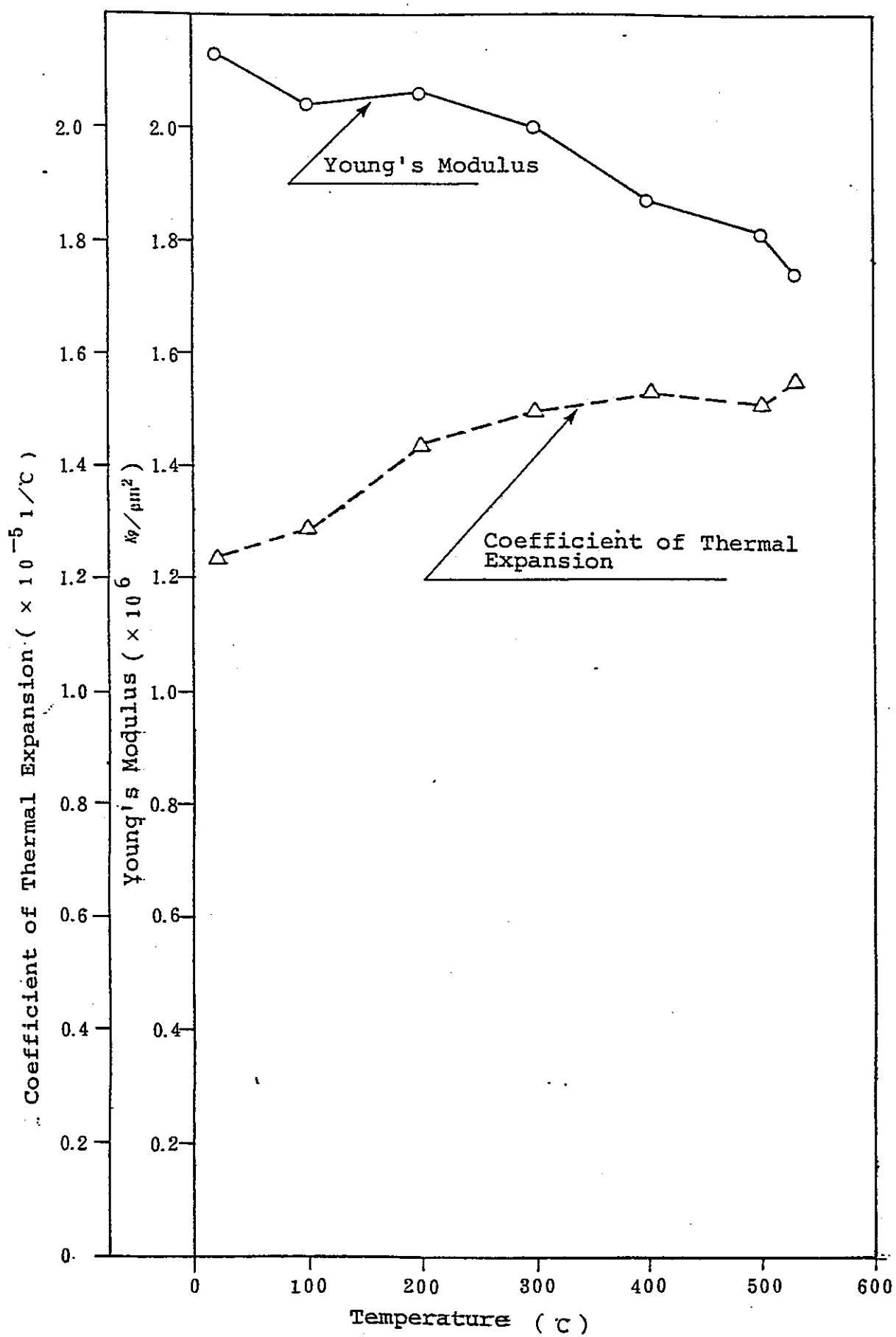


Fig.3.2.2-2 ライナプレート材 (SM41B 母材) 材料強度の温度依存性
Fig-3.2.2-2 Temperature Dependent of the Physical Properties of the Liner Plate (SM41B Base Metal).

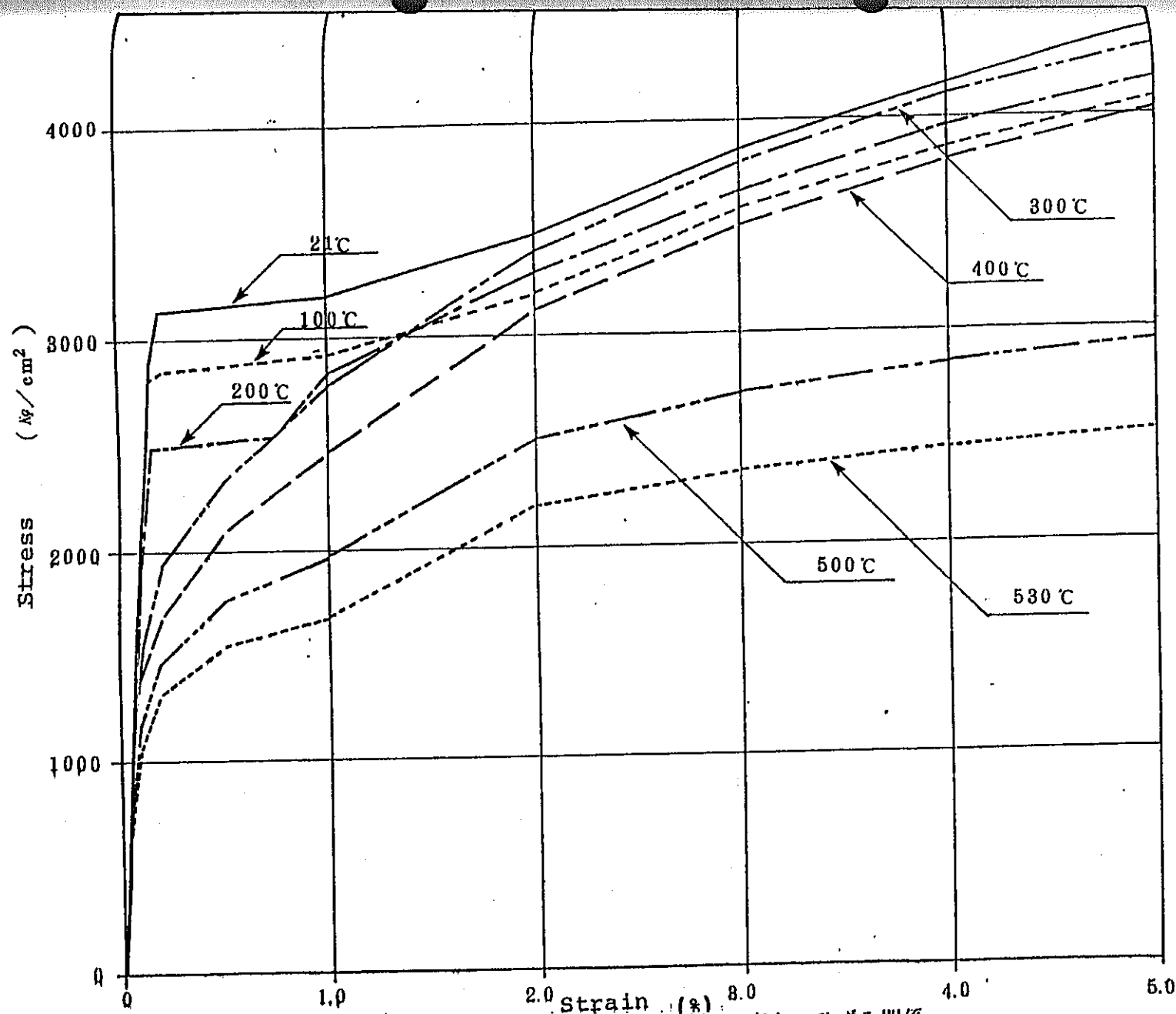
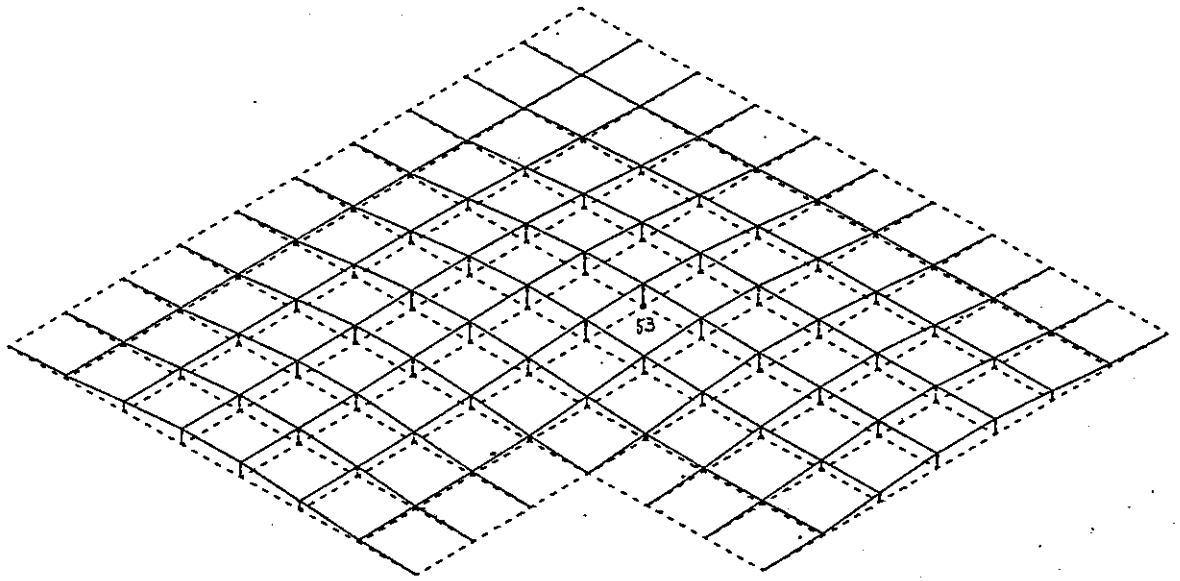


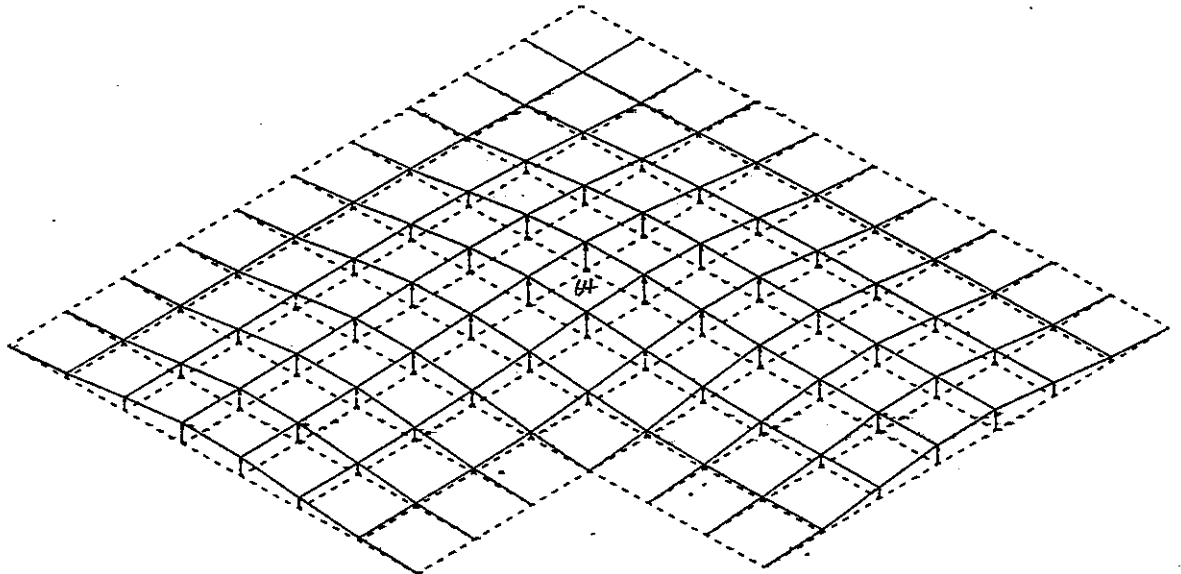
Fig. 3.2.2-3
Fig. 3.2.2-3

ライナプレート材 (SM41B 材) の応力-ひずみ関係
 Temperature Dependent of the Non-Linear Stress -
 Strain Curves Used in Stress Analysis of the
 Liner Plate (SM41B Base Metal)



Max. Displacement = 14.2 mm (Node 53)

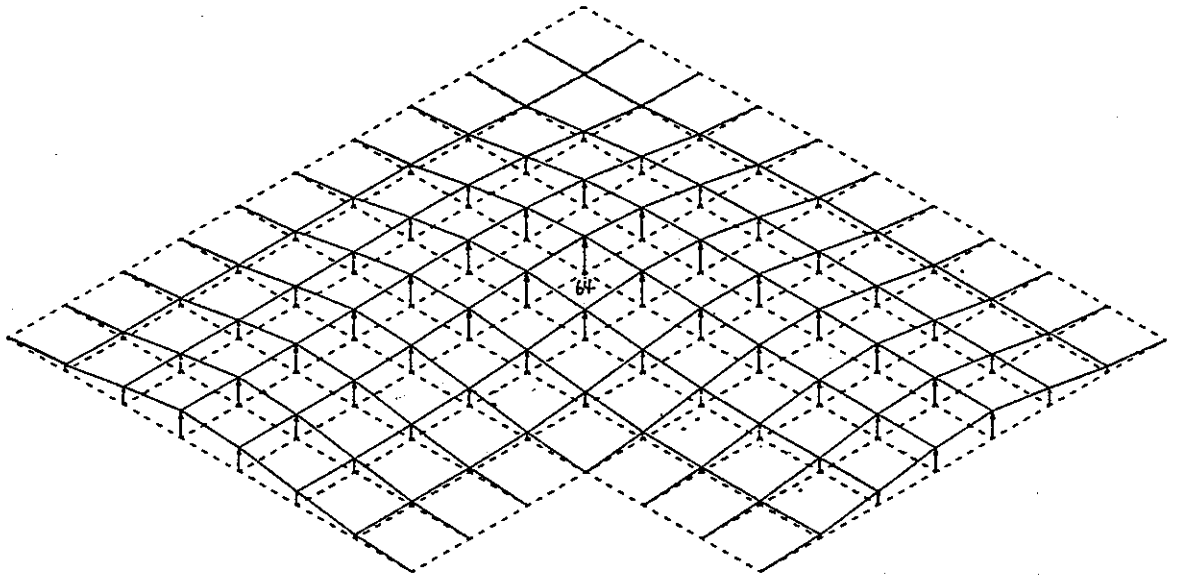
(a) RUN-1 (66°C)



Max. Displacement = 17.9 mm (Node 64)

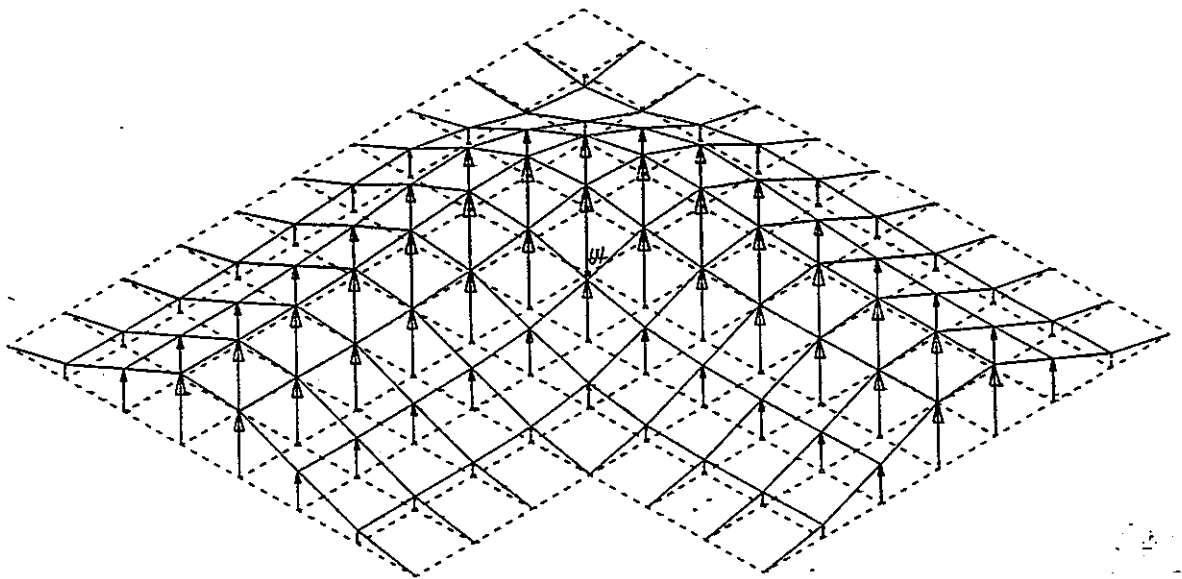
(b) RUN-2 (86°C)

Fig. 3.3.1-1 (1/3) 解析による変位 (RUN-1, RUN-2)
 Fig. 3.3.1-1 (1/3) Calculated Out-of-Plane Displacement
 of the Liner Plate (RUN-1, RUN-2)



Max. Displacement = 23.2 mm (Node 64)

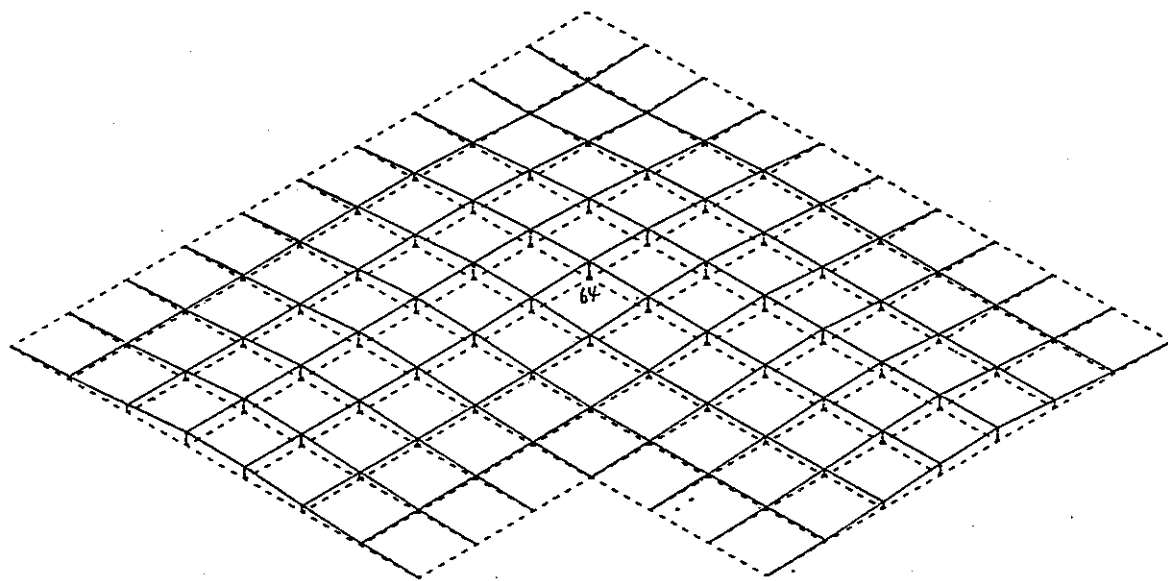
(c) RUN-3 (121°C)



Max. Displacement = 55.8 mm (Node 64)

(d) RUN-4 (530°C)

Fig. 3.3.1-1 (2/3) 解析による変位 (RUN-3, RUN-4)
 Fig. 3.3.1-1 (2/3) Calculated Out-of-Plane Displacement
 of the Liner Plate (RUN-3, RUN-4)



Max. Displacement = 10.7 mm (Node 64)

(e) After Cool down (14.7°C)

Fig. 3.3.1-1 (3/3) 解析による変位 (降温完了後)

Fig. 3.3.1-1 (3/3) Calculated Out-of-Plane Displacement
of the Liner Plate (After Cool down)

AEEIC

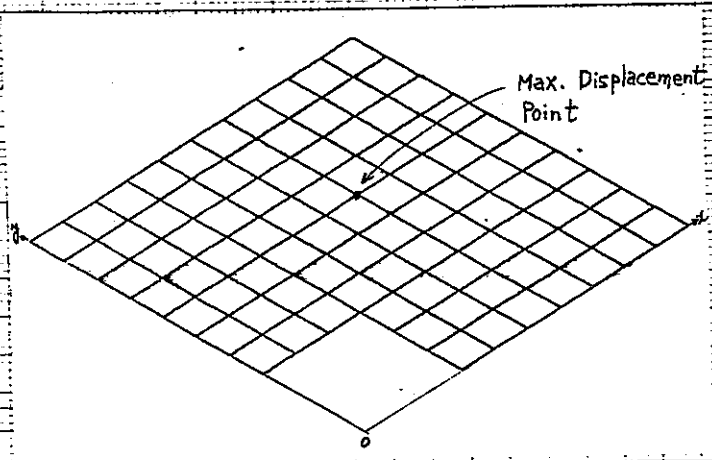
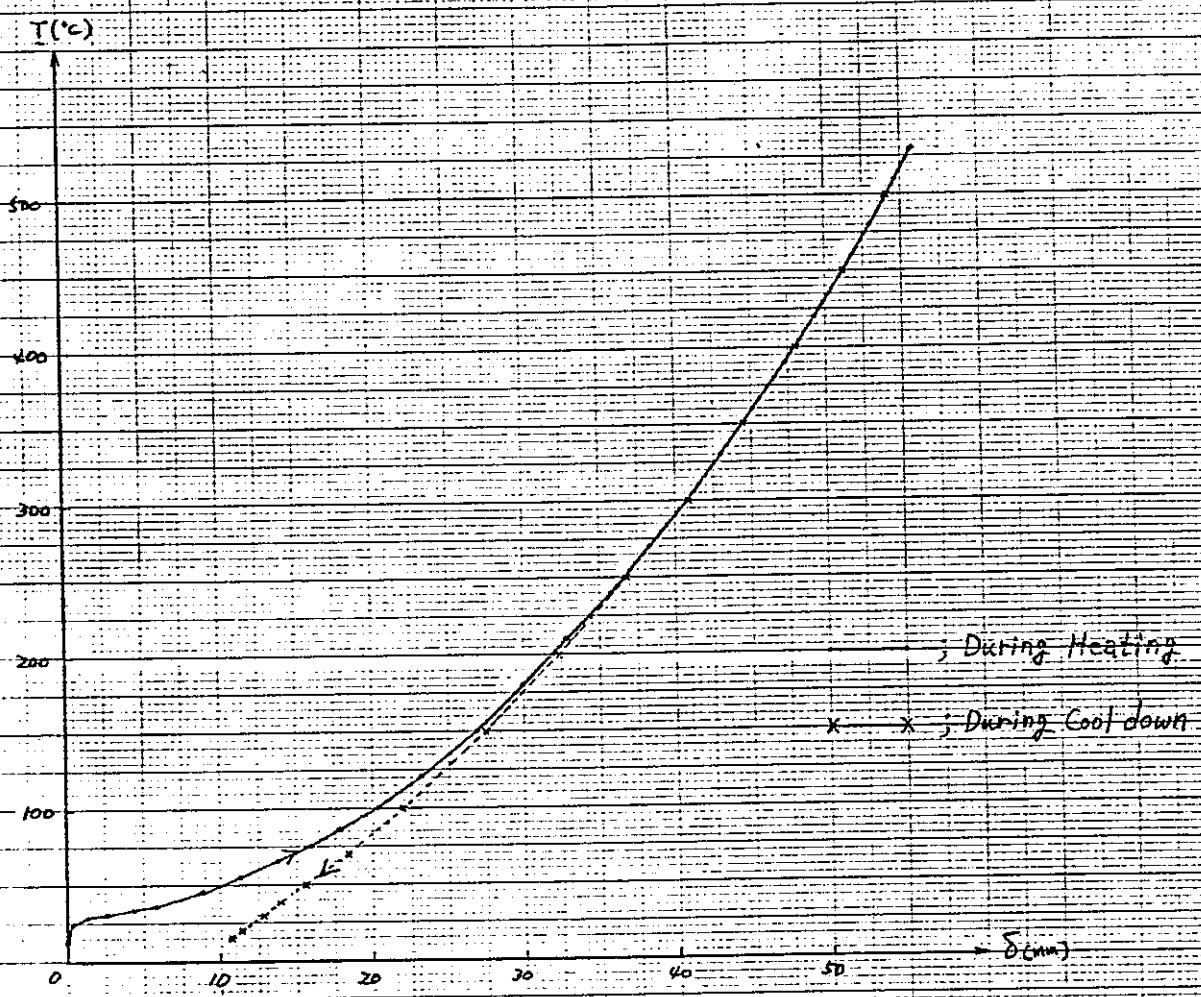
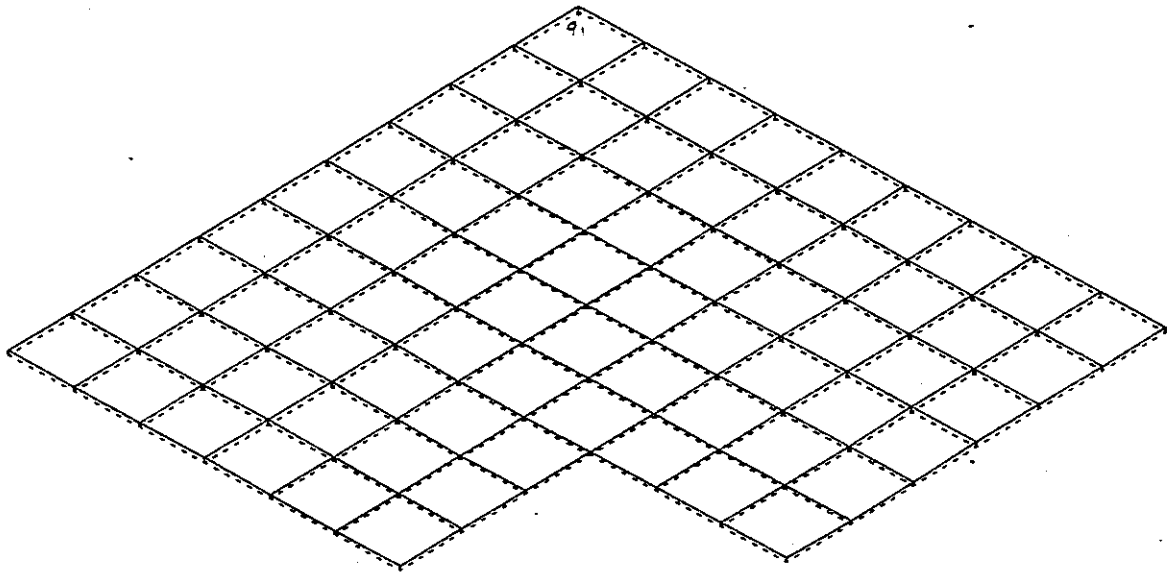
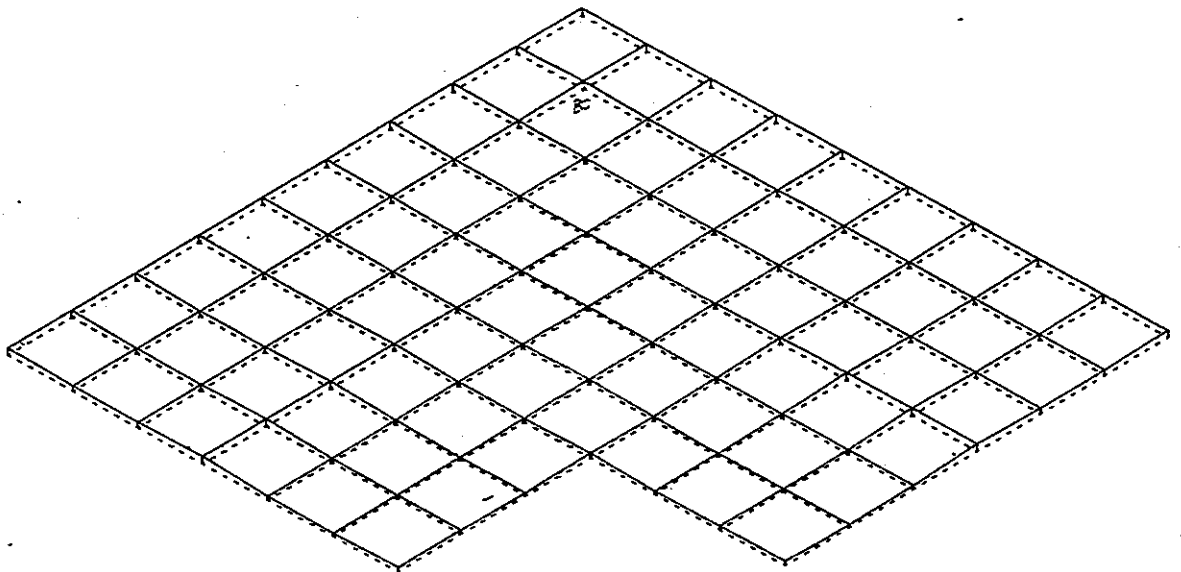


Fig. 3.3.1-2 最大変位点の変位挙動
 Behaviour of Displacement at the Maximum Displacement Point



Max. Strain = 909×10^{-6} (Element 91)

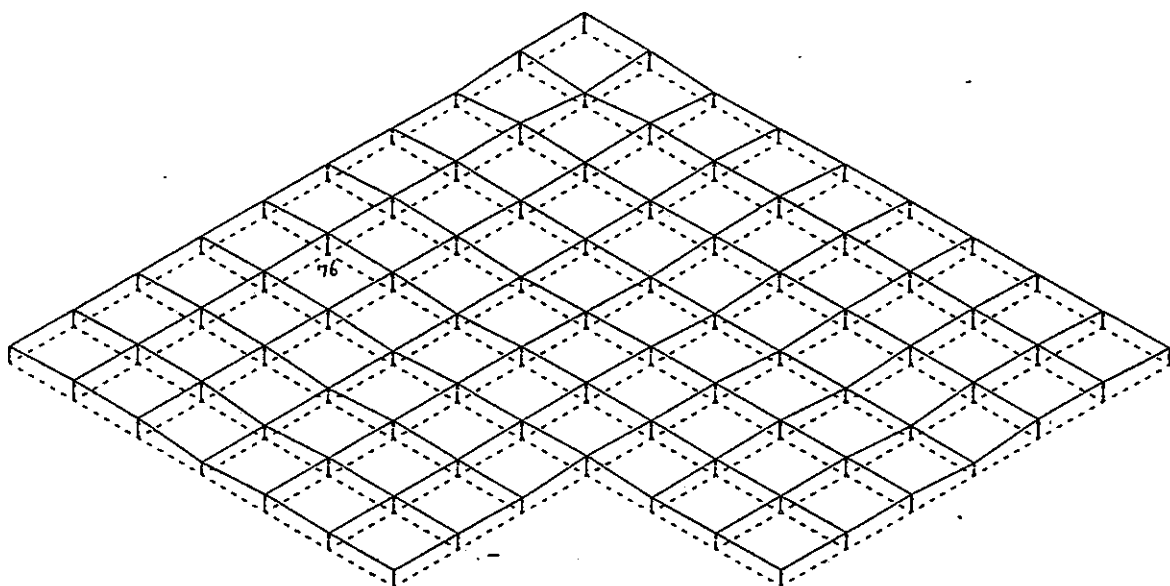
(a) RUN-1 (66°C)



Max. Strain = 1341×10^{-6} (Element 80)

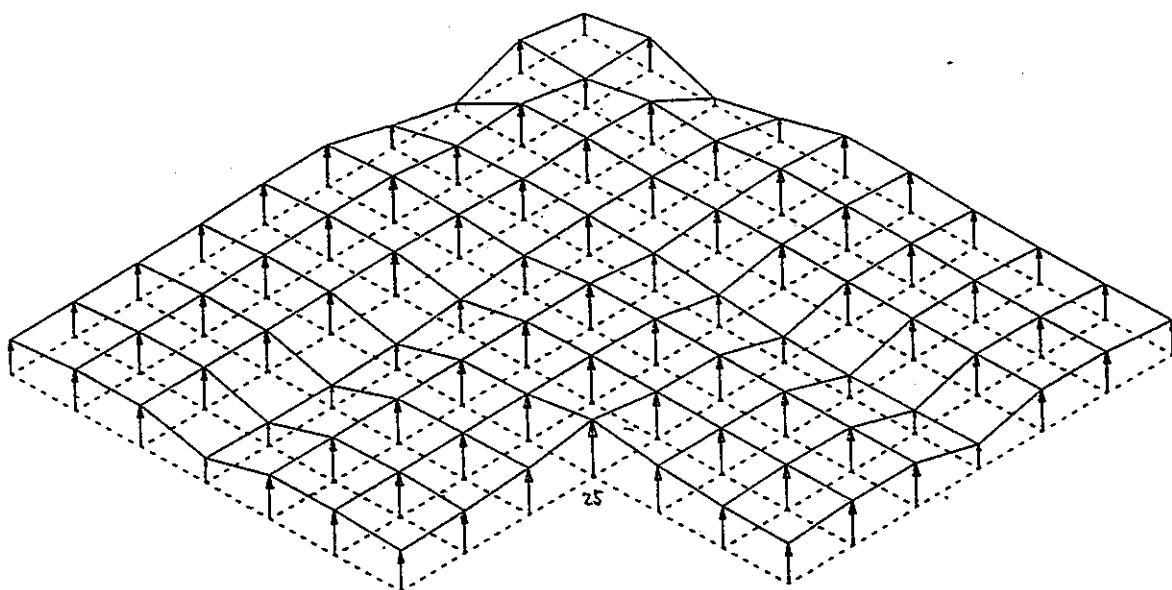
(*) RUN-2 (86°C)

Fig. 3.3.2-1 (1/3) 解析的 - 3 層の膜歪み (RUN-1, RUN-2)
 Fig. 3.3.2-1 (1/3) Calculated Von Mises Effective Strain
 for Membrane of the Liner Plate (RUN-1, RUN-2)



Max. Strain = 3235×10^{-6} (Element 76)

(c) RUN-3 (121°C)



Max. Strain = 17716×10^{-6} (Element 25)

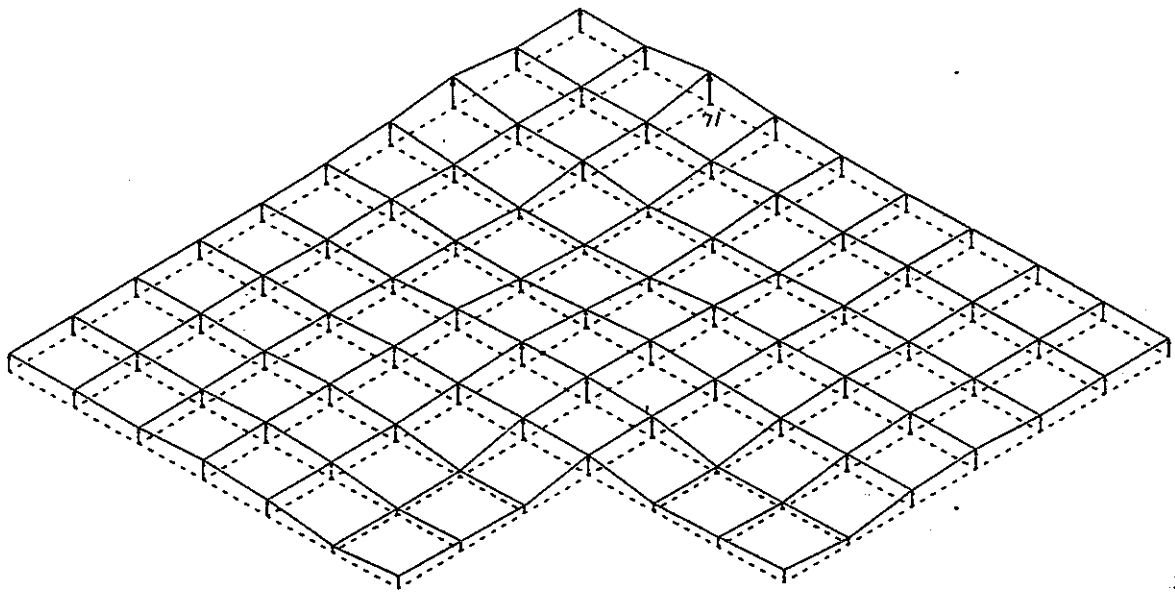
(d) RUN-4 (530°C)

Fig. 3.3.2-1 (2/3)

Fig. 3.3.2-1 (2/3)

解析による等価線形 (RUN-3, RUN-4)

Calculated Von Mises Effective Strain
for Membrane of the Liner Plate (RUN-3, RUN-4)

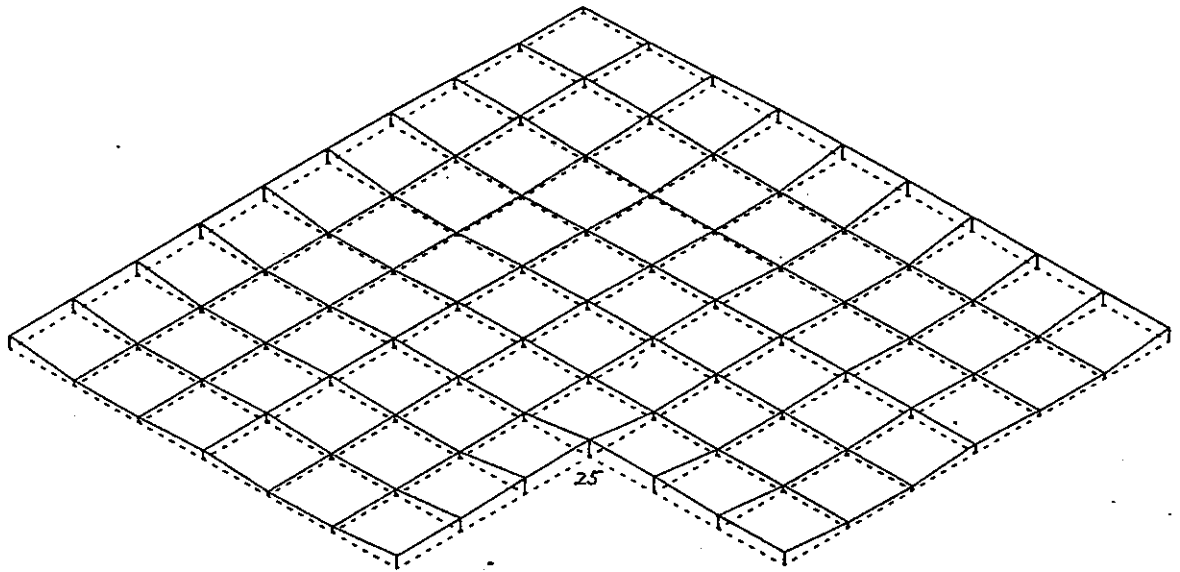


Max. Strain = 5017×10^{-6} (Element 71)

(e) After Cool down (147.°C)

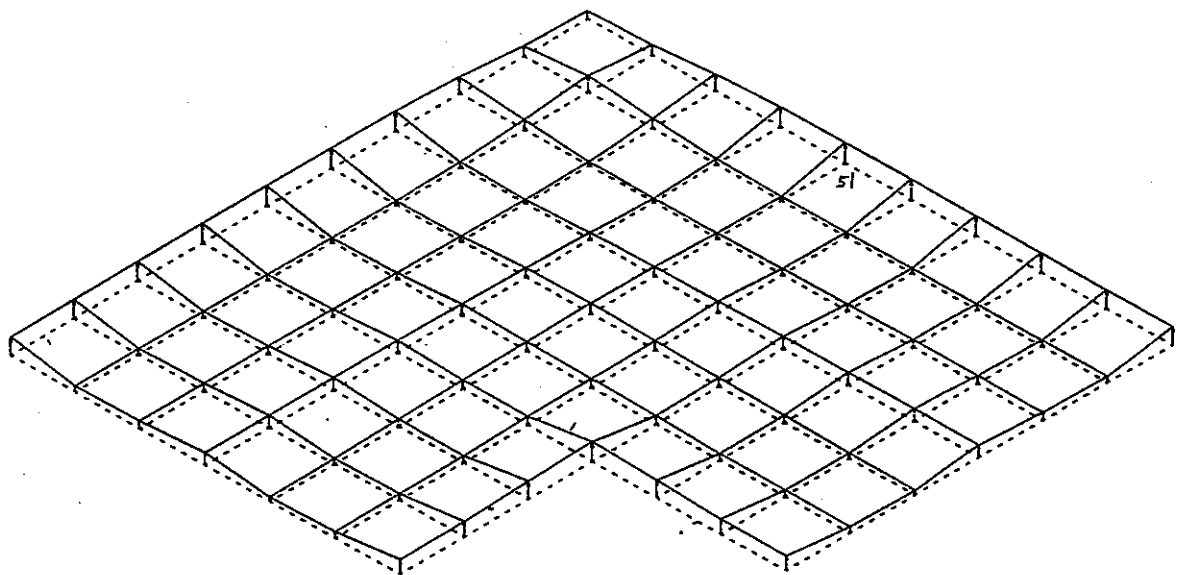
Fig.3.3.2-1 (3/3) 解析による等価膜歪率 (降温完了後)

Fig.3.3.2-1 (3/3) Calculated Von Mises Effective Strain
for Membrane of the Liner Plate
(After Cool down)



Max. strain = 2641×10^{-6} (Element 25)

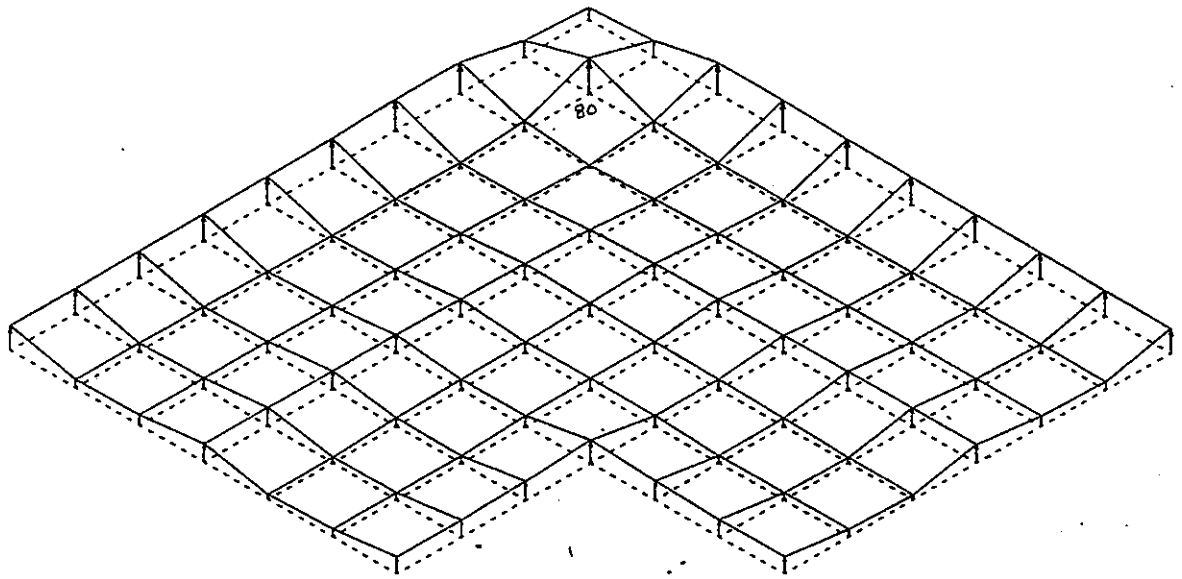
(a) RUN-1 (66°C)



Max. strain = 3222×10^{-6} (Element 51)

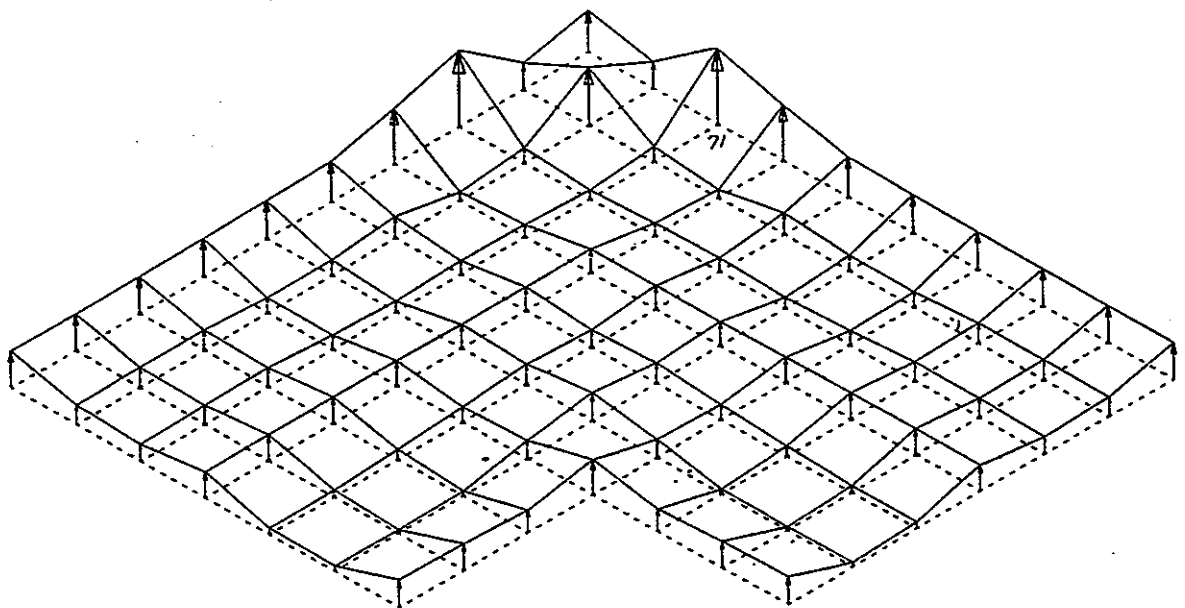
(b) RUN-2 (86°C)

Fig.3.3.2-2(1/3) 解析による等価(膜+曲牛)歪率(表面)(RUN-1, RUN-2)
 Fig.3.3.2-2(1/3) Calculated Von Mises Effective Strain for Combined
 Membrane plus Bending (Upper Surface) of the Liner
 Plate (RUN-1, RUN-2)



Max. Strain = 5602×10^{-6} (Element 80)

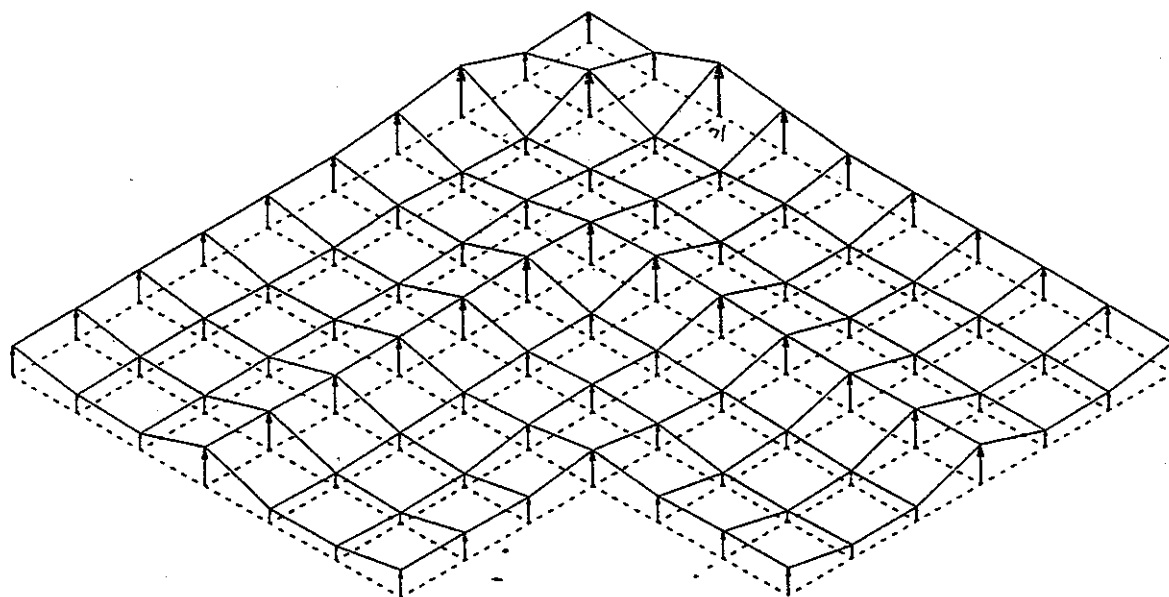
(c) RUN-3 (121°C)



Max. Strain = 23980×10^{-6} (Element 71)

(d) RUN-4 (530°C)

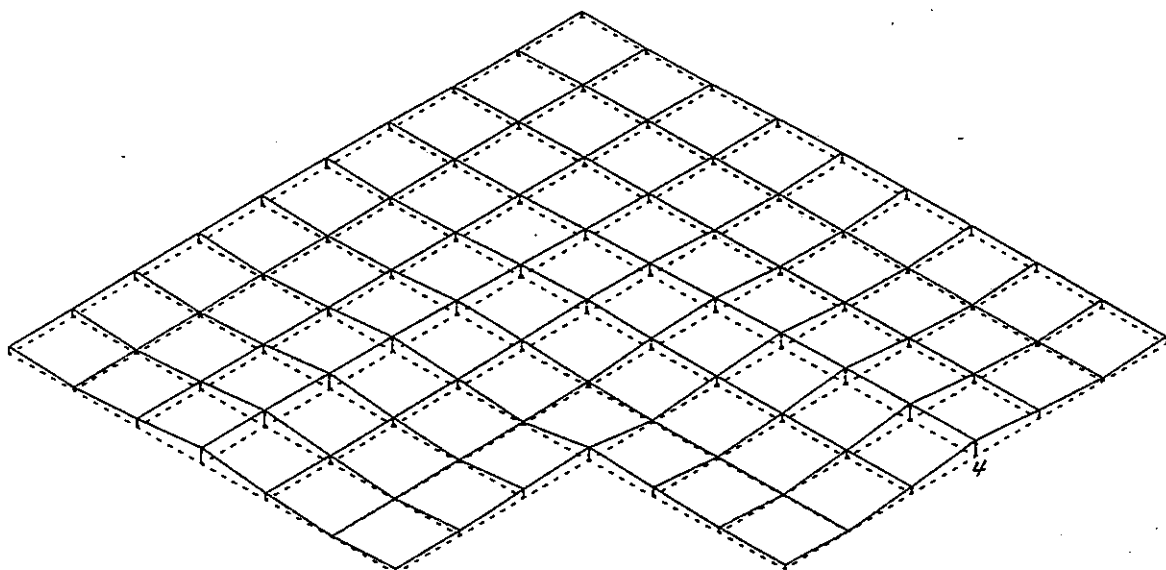
Fig. 3.3.2-2 (2/3) 解析に於ける等価(膜+曲げ)歪率(表面)(RUN-3, RUN-4)
 Fig. 3.3.2-2 (2/3) Calculated Von Mises Effective Strain for Combined Membrane plus Bending (Upper Surface) of the Liner Plate (RUN-3, RUN-4)



Max. Strain = 8244×10^{-6} (Element 71)

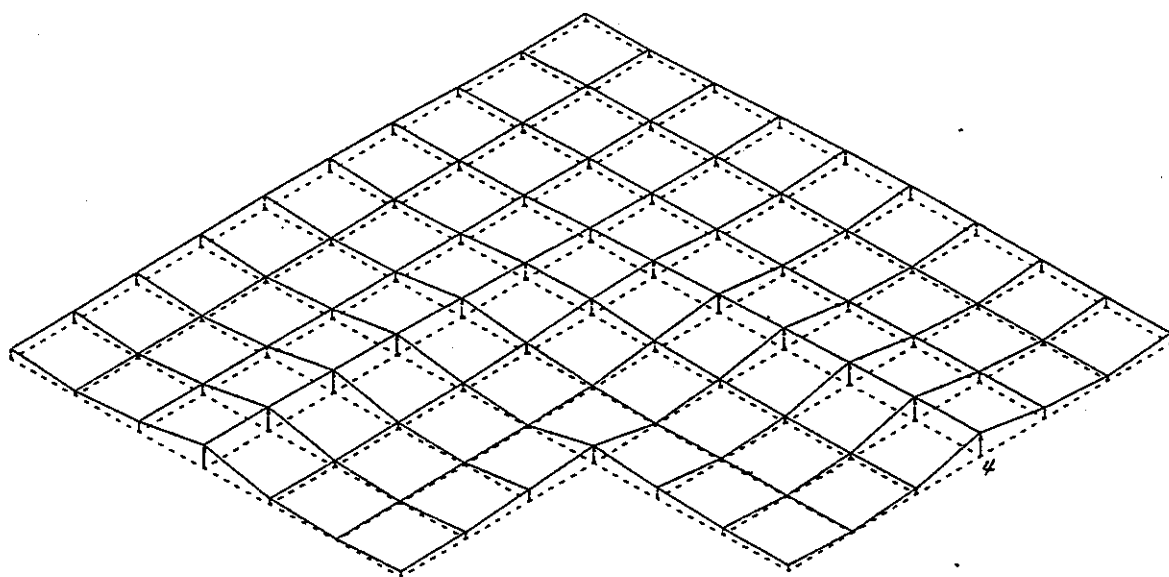
(e) After Cool down (14.7°C)

Fig 3.3.2-2 (3/3) 解析による等価(最大曲率)歪率(表面)(降温完了後)
Fig.3.3.2-2 (3/3) Calculated Von Mises Effective Strain for Combined Membrane plus Bending (Upper Surface) of the Liner Plate (After Cool down)



Max. Strain = 2520×10^{-6} (Element 4)

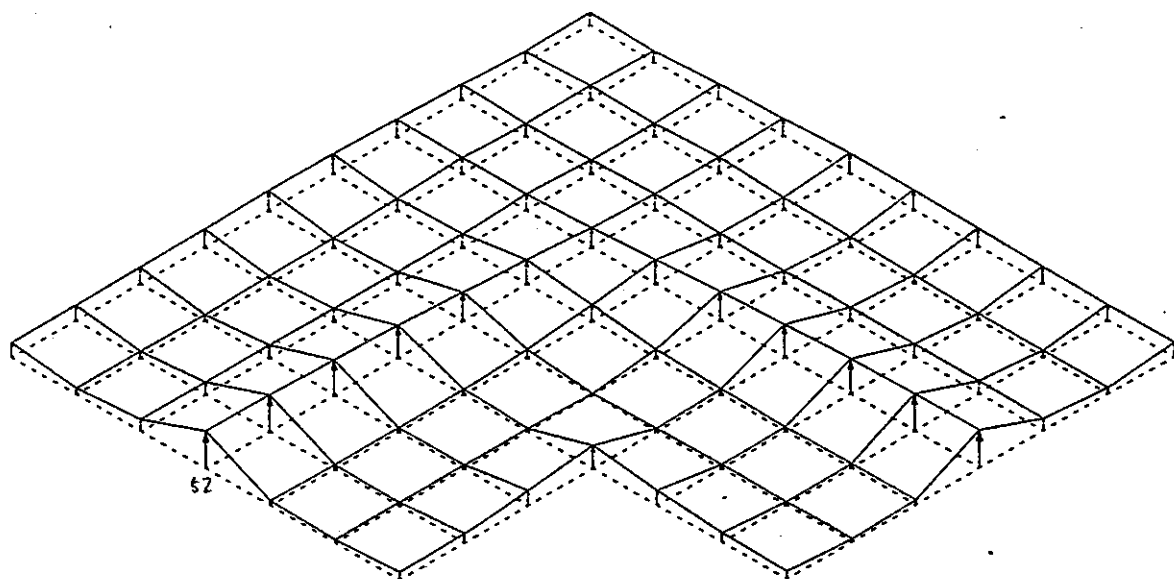
(a) RUN-1 (66°C)



Max. Strain = 3720×10^{-6} (Element 4)

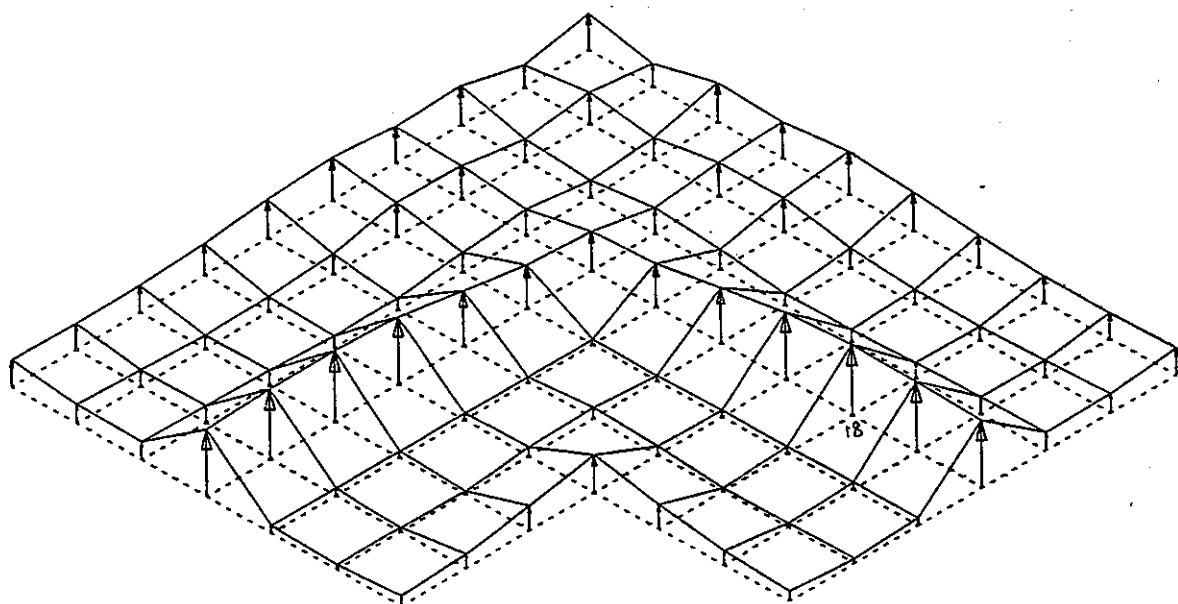
(b) RUN-2 (86°C)

Fig.3.3.2-3 (1/3) 解析による等価(膜+曲げ)歪み(裏面) (RUN-1, RUN-2)
 Fig.3.3.2-3 (1/3) Calculated Von Mises Effective Strain for Combined
 Membrane plus Bending (Lower Surface) of the Liner
 Plate (RUN-1, RUN-2)



Max. Strain = 5870×10^{-6} (Element 52)

(c) RUN-3 (121° C)



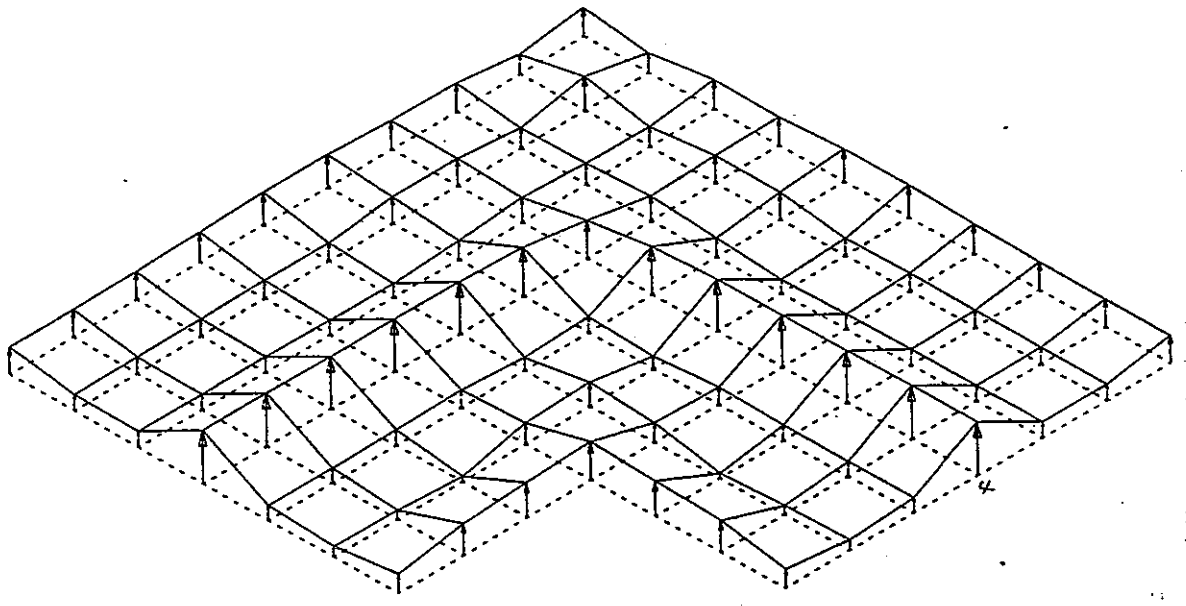
Max. Strain = 22213×10^{-6} (Element 18)

(d) RUN-4 (530° C)

Fig. 3.3.2-3 (3/3)

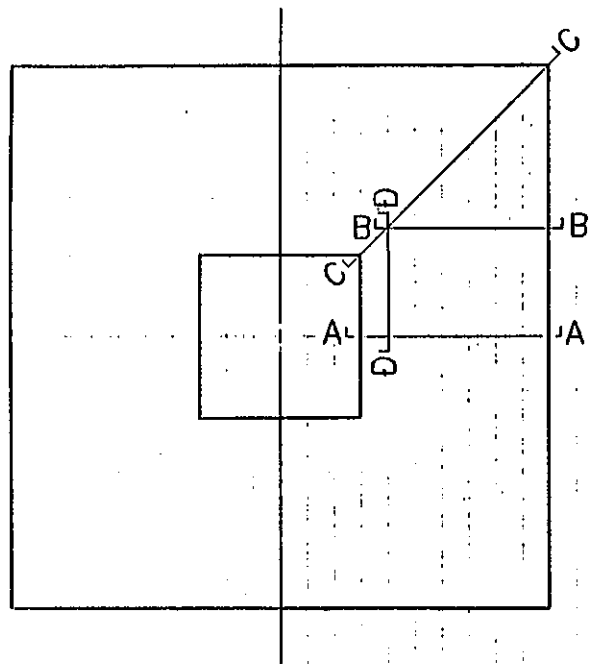
Fig. 3.3.2-3 (2/3)

解析による等価(膜+曲げ)歪み(裏面)(RUN-3, RUN-4)
 Calculated Von Mises Effective Strain for Combined
 Membrane plus Bending (Lower Surface) of the Liner
 Plate (RUN-3, RUN-4)



Max. Strain = 8334×10^{-6} (Element 4)
 (e) After Cool down (14.7°C)

Fig. 3.3.2-3 (3/3) 解析による等価(膜+曲げ)歪率(裏面)(降温完了後)
 Fig. 3.3.2-3 (3/3) Calculated Von Mises Effective Strain for Combined Membrane plus Bending (Lower Surface) of the Liner Plate (After Cool down)



Unit; mm

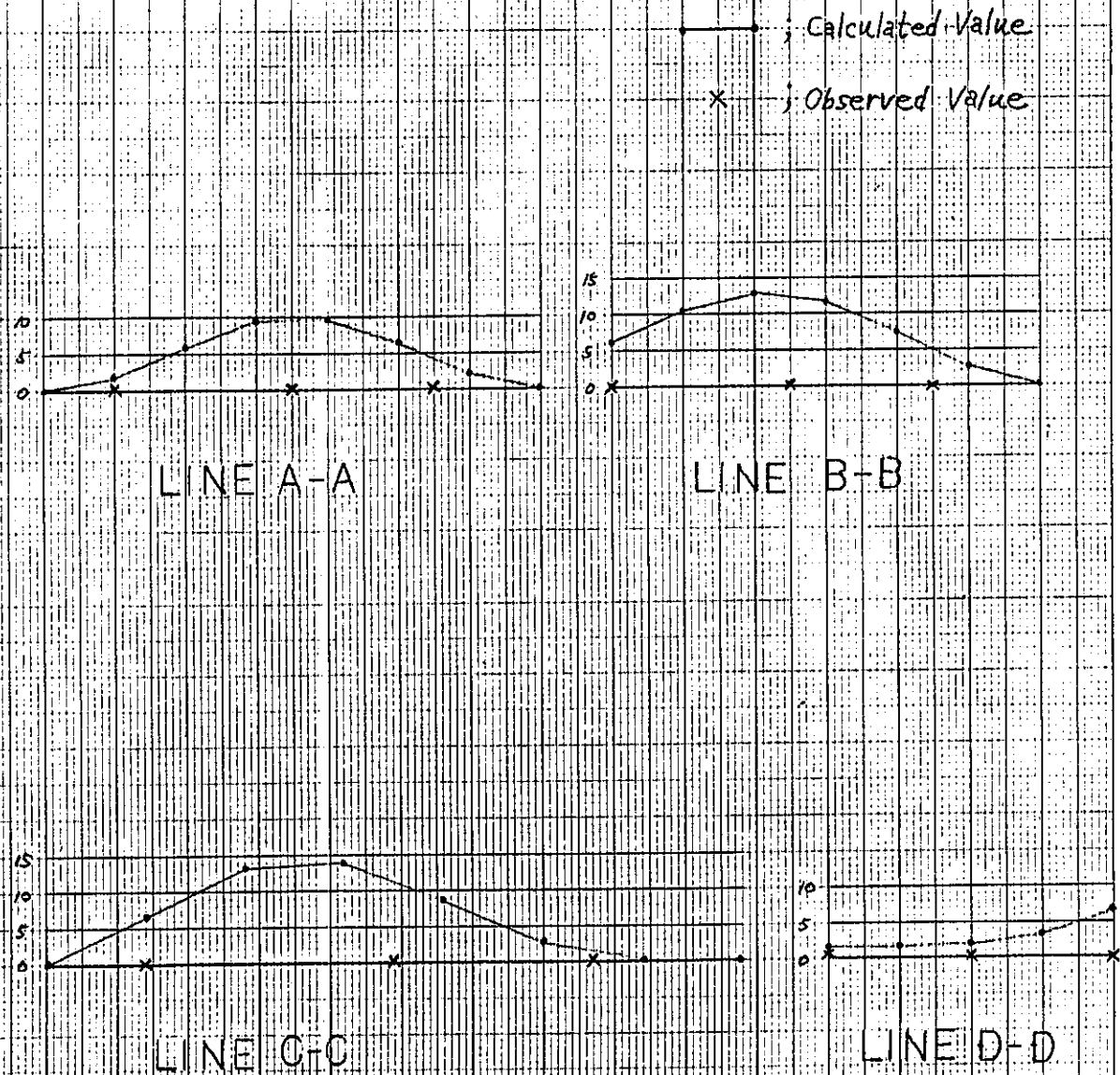
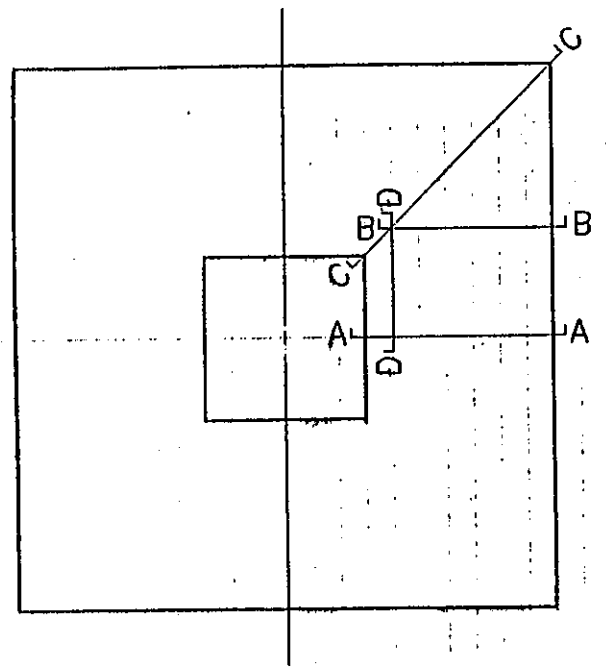


Fig.3.4.1-1 (1/4) ライナプレートに關する解析値と実験値の對比 (RUN-1, 66°C)
 Fig.3.4.1-1 (1/4) Distribution of the Liner Plate Displacement (RUN-1, 66°C); Comparison between Calculated Value and Observed Value



Unit; mm

— ; Calculated Value
 x ; Observed Value

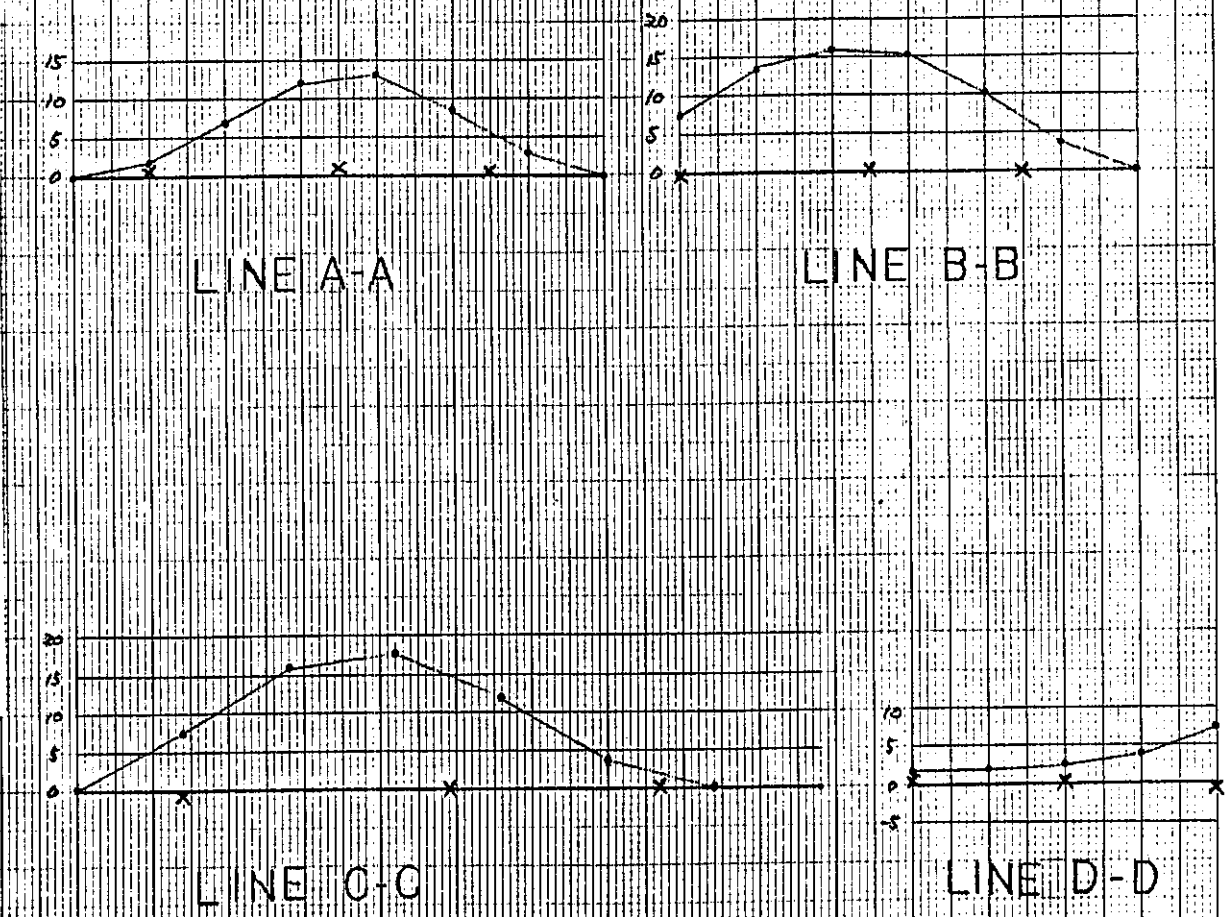
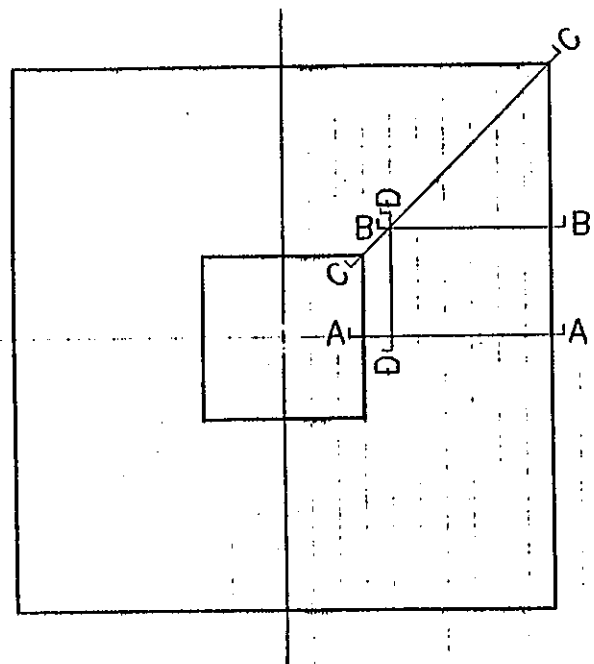


Fig.3.4.1-1 (2/4) 設計変位に際する解析値と実験値との対比 (RUN-2, 86°C)
 Fig.3.4.1-1 (2/4) Distribution of the Liner Plate Displacement (RUN-2, 86°C); Comparison between Calculated Value and Observed Value.



Unit: mm

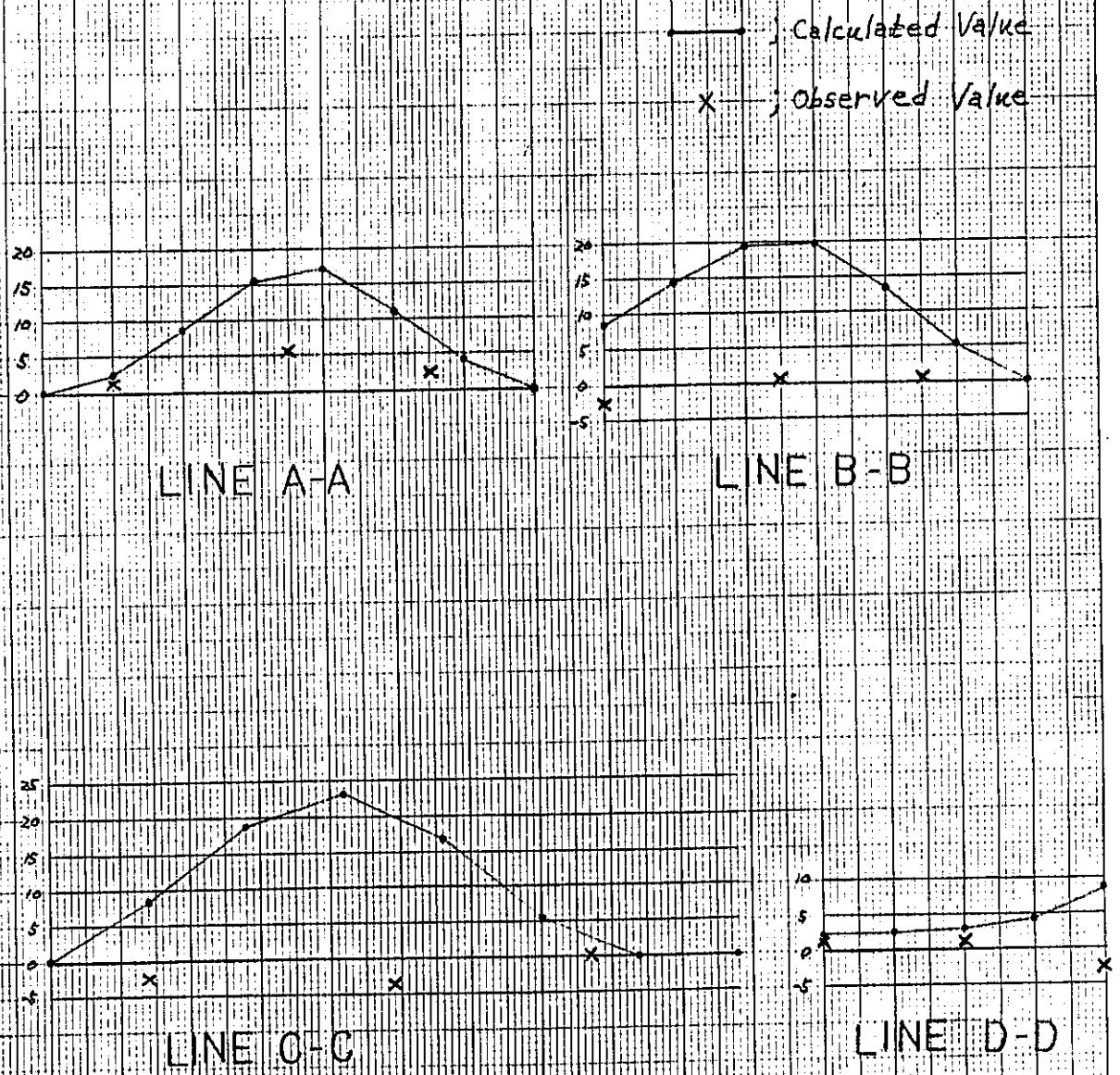
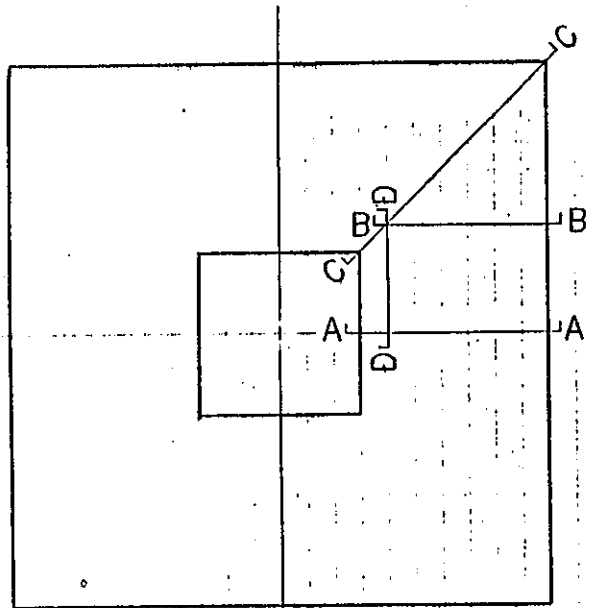


Fig. 3.4.1-1 (3/4) 5T 変位=限 3/4 解析値と実験値との対比 (RUN-3, 121°C)
 Distribution of the Liner Plate Displacement (RUN-3, 121°C); Comparison between
 Calculated Value and Observed Value



Unit; mm

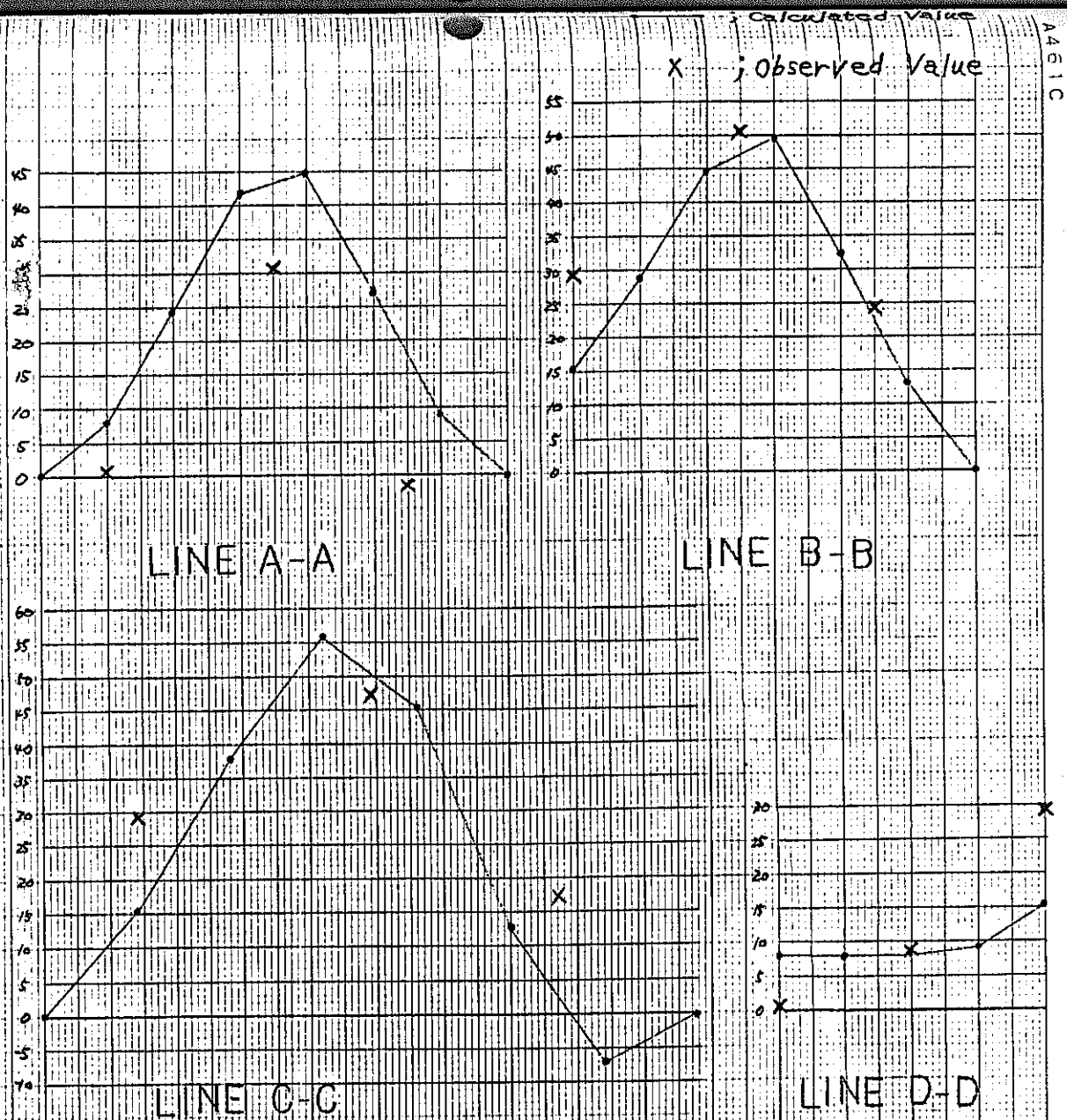
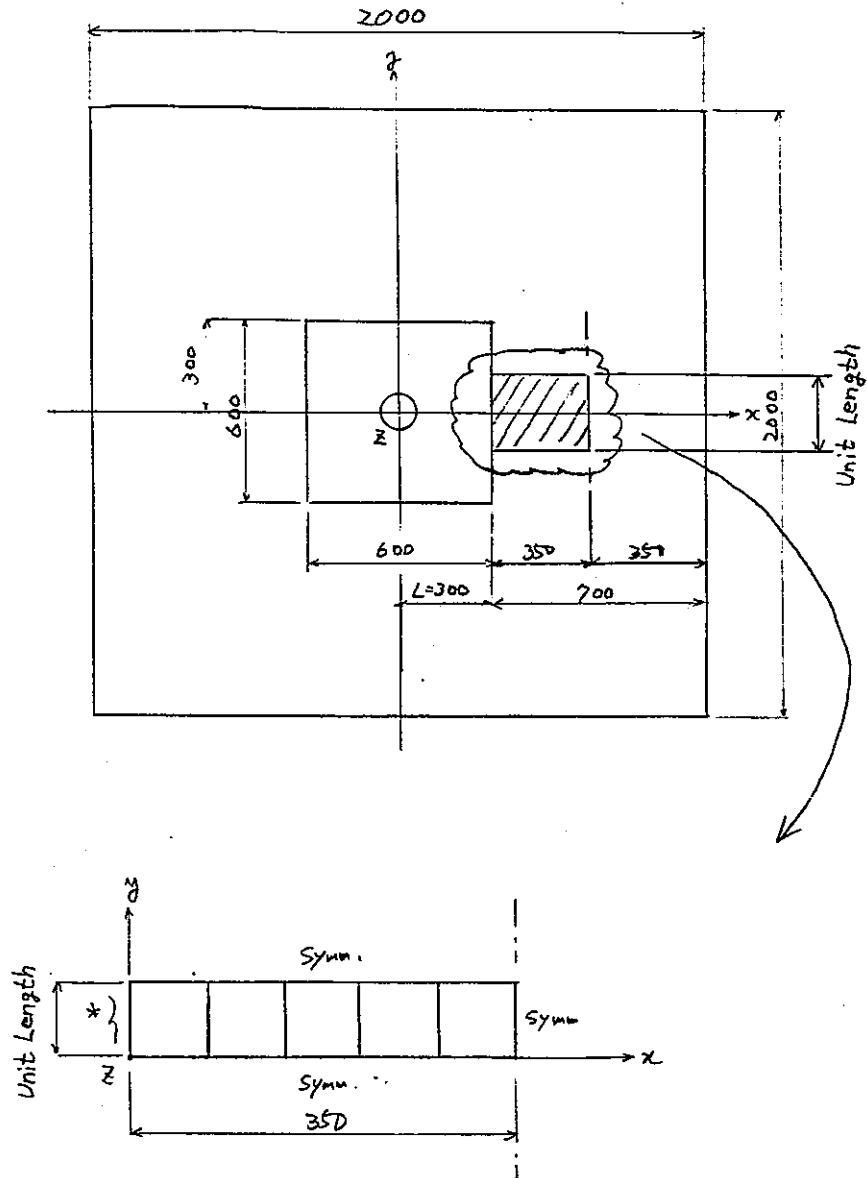


Fig.3.4.1-1 (4/4) ランク変位に関する鋼桁組の変位値の対比 (RUN-4, 530°C)
 Fig.3.4.1-1 (4/4) Distribution of the Liner Plate Displacement (RUN-4, 530°C); Comparison between Calculated Value and observed Value



$$* \quad v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$$

$$u = \frac{L \cdot d \cdot T}{z}$$

Fig. 4.2.2-1 解析无行儿要素分割图及边界条件.

Fig. 4.2.2-1 FEM Mesh and Boundary Conditions of Analysis Model

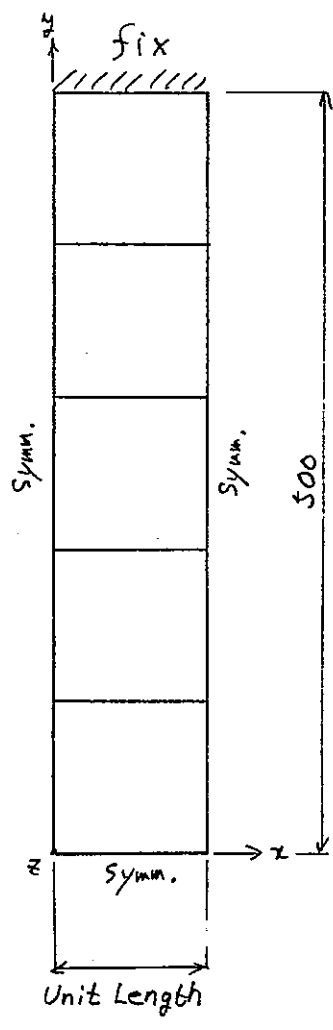
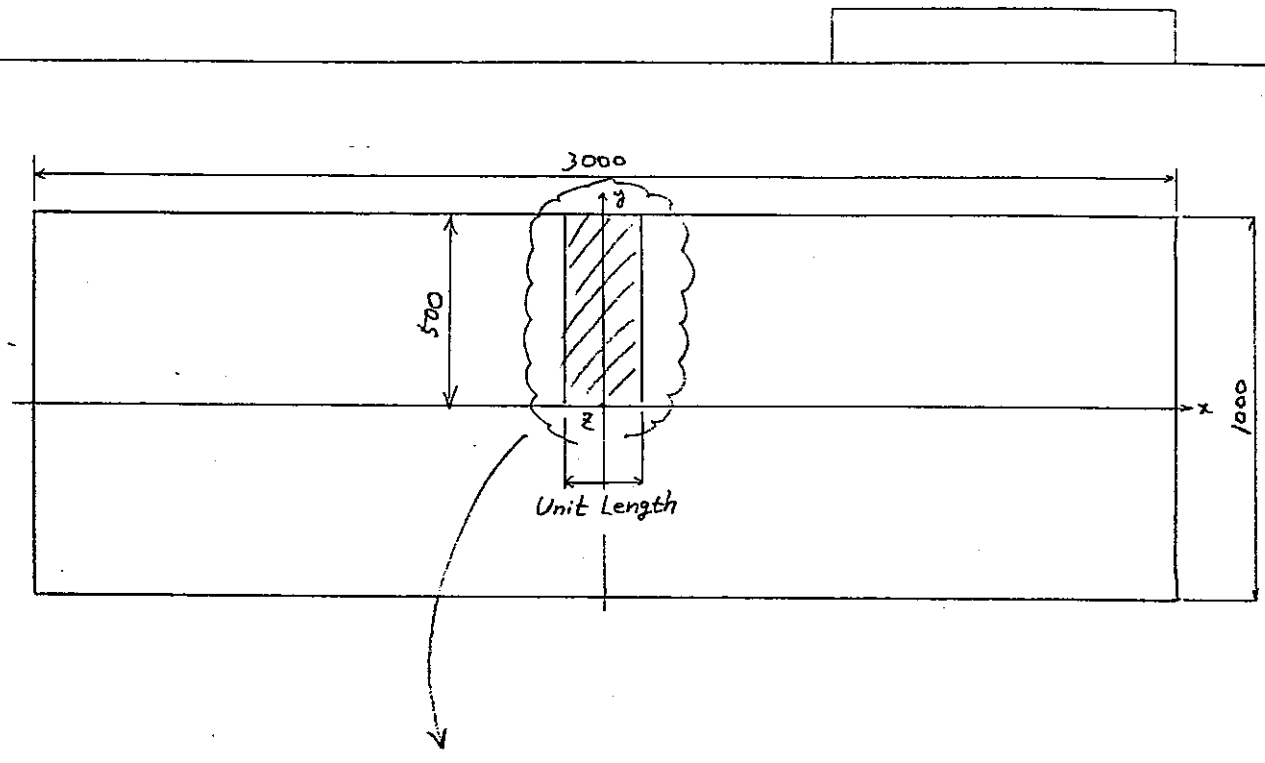


Fig. 4.2.3-1 解析モデル要素分割図と境界条件
 Fig. 4.2.3-1 FEM Mesh and Boundary Conditions of Analysis Model

Table 2.2.2-1(1/2) 供試体製作手順

Table 2.2.2-1(1/2) Procedure of the Test Rig Construction

| NO | 大工程 | 作業内容 | 備考 |
|----|----------|--|--|
| 1. | 部品製作 | (1) 外枠 (2) 内枠 (3) 拘束枠 (4) 固定金物 (5) その他 | |
| 2. | 拘束枠組立 | (1) 各部品を組み立て、側壁用アカボルト を締め込み、外枠、内枠、拘束枠を 組立 (2) 床下貫通用計測スリーブの取付 | |
| 3. | 鉄筋組立 | (1) 床部に鉄筋を配置 (2) 固定金物をセット (3) コンクリートおよび固定金物用熱電対 の取付 | Photo. 2.2.2-1 |
| 4. | コンクリート打設 | (1) 拘束枠内に高強度コンクリートを打設 (2) 床部および外周に普通コンクリートを打設 (3) 耐熱コンクリートの打設 (4) 2週間養生 | Photo. 2.2.2-2 Photo. 2.2.2-3 Photo. 2.2.2-4 |
| 5. | プレストレス導入 | (1) 2週間経過後、拘束枠部のPC 鋼棒を締め付け、高強度コンクリートに プレストレスを導入 | |
| 6. | 天板溶接 | (1) 外枠天板部を溶接し、吊ア イメントを取付 | Photo. 2.2.2-5 |
| 7. | セルへの吊込み | (1) 試験セルの天井ハッチを開く (2) フレックにより試験セル内に 吊り込み、所定位置にセット | Photo. 2.2.2-6 |

Table 2.2.2-1 (1/2) 供試体製作手順
 Table 2.2.2-1 (1/2) Procedure of the Test Rig Construction

| No. | 大工程 | 作業内容 | 備考 |
|-----|-------------------|--|---|
| 8 | 床ラフテ取付 側部ラフテ取付 | (1) 側部アンカボルトまわりに断熱材を 布設 (2) 側部ラフテを溶接 (3) ラフテ裏面につけるセンサ (熱電対, 変位 計, 歪計) を所定位置にセット (4) 床ラフテを取付 (5) 埋込金物を取付 (6) 溶接部の液体浸透探傷検査, 真空箱漏洩検査 | Photo. 2.2.2-7 Photo. 2.2.2-8 Photo. 2.2.2-9 Photo. 2.2.2-10 |
| 9 | 計測用センサ の取付 | (1) ラフテ表面上に取付けるセンサ (熱電対, 変位計, 歪計) を所定位置 にセット | |
| 10 | 断熱プラグ取付 | (1) 断熱プラグを試験体上に設置 (2) 熱電対, 変位計, 歪計のリード線と 断熱プラグに貫通させ外部へ引出し (3) Na加熱用ヒータを設置 | Photo. 2.2.2-11 Photo. 2.2.2-12 |

Table 2.2.2-2 ライナ鋼材のミルシート
 Table 2.2.2-2 Mechanical Properties of Steel Plates
 for Liner Plate and Embedded Plate

| 部材 (板厚) | | ライナ (8 mm) | | 埋込金物 (90 mm) | |
|---------------|--------------------------------------|------------|------------|--------------|------------|
| 区 分 | | 規格値 | 照明書記載値 | 規格値 | 照明書記載値 |
| 製造メーカー | | / | 川崎製鉄 | / | 川崎製鉄 |
| 照明書番号 | | | KP0908-3/4 | | KP0910-1/1 |
| 製品番号 | | | BM845A | | BA585A |
| 引張 試験 | 降伏点 (kg/mm^2) | 25以上 | 33 | 22以上 | 30 |
| | 引張強さ (%) | 41 ~ 52 | 47 | 41 ~ 52 | 45 |
| | 伸び (%) | 18以上 | 30 | 24以上 | 41 |
| 曲げ試験 180° | | — | G00B | — | — |
| シャルピー 衝撃試験 | 吸収エネルギー ($\text{kg}\cdot\text{m}$) | — | — | 2.8以上 | 18.4 |
| | 横断縮量 (mm) | — | — | — | — |

Table 2.2.2-3 コンクリートの調合、強度

Table 2.2.2-3 Composition and Compressive Strength of Concrete

| コンクリート種 (呼び強度) | | 普通コンクリート ($F_c = 240 \text{ kg/cm}^2$) | 高強度コンクリート ($F_c = 400 \text{ kg/cm}^2$) | 耐熱コンクリート ($F_c = 240 \text{ kg/cm}^2$) | | | |
|--|---------------------------------|---|--|---|------|-------|-------|
| 配 合 | セメント (kg/m^3) | 316 | 534 | 371 | | | |
| | 水 (") | 174 | 187 | 137 | | | |
| | 細骨材 (") | 776 | 532 | 851 | | | |
| | 粗骨材 (") | 1030 | 1062 | 1080 | | | |
| | 水和材 (") | 0.790 | 1.335 | — | | | |
| | 水セメント比 (%) | 55 | 35 | 37 | | | |
| | 細骨材比 (%) | 44.3 | 33.9 | 44 | | | |
| バッチ番号 | | — | — | 2バッチ | 5バッチ | 10バッチ | 12バッチ |
| スランプ (cm) | | 12.0 | 11.1 | 5.0 | 7.1 | 8.8 | 8.4 |
| 圧 縮 強 度 (kg/cm^2) | 材令 7日 | 189 | 349 | 403 | 353 | 344 | 345 |
| | 材令 14日 | — | — | 450 | 424 | 402 | 434 |
| | 材令 28日 | 261 | 425 | 555 | 463 | 458 | 495 |
| | 材令 91日 | — | — | 619 | — | — | 596 |
| | (kg/cm^2) (No 載荷試験日) | — | — | 599 | — | — | 603 |

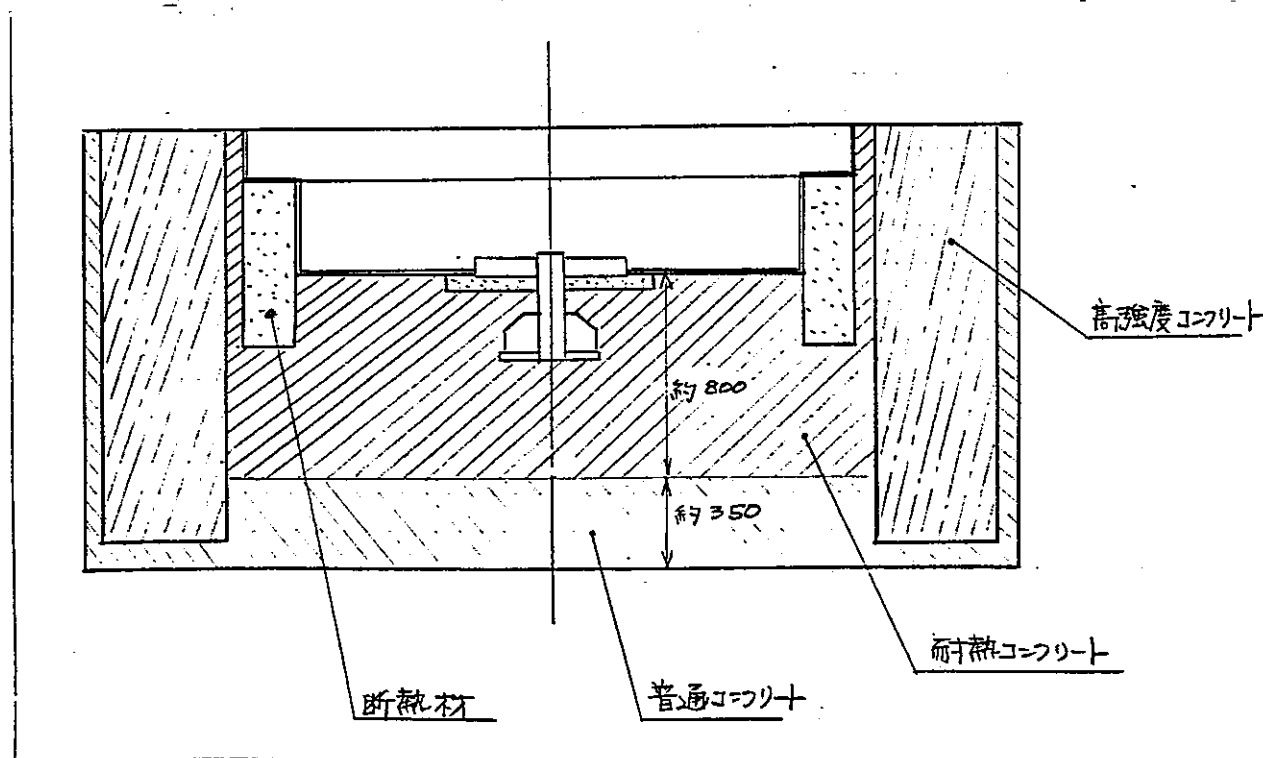


Table 2.3.3-1 試験条件表
Table 2.3.3-1 Test Conditions

| RUN NO. | | RUN-1 | RUN-2 | RUN-3 | RUN-4 |
|-------------------|----|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| ライナ温度 (平均温度) | 目標 | (*1) 室温 +39℃ | (*1) 室温 +59℃ | (*1) 室温 +94℃ | 530℃ |
| | 実績 | 66.3℃ | 86.6℃ | 121.5℃ | 530℃ |
| 加熱方法 | | ナトリウム加熱用電気ヒータにより、 雰囲気ガスを加熱し、そのガスにより ライナを間接的に加熱する。 | | | 熔融ナトリウム の注入による。 |
| 漏洩Na温度 | | | | | 530℃ |
| ナトリウム・プールの の深さ | | | | | 約0.2 m |

*I “室温”とは、供試体にライナ板を溶接固定したときの温度である。

Table 3.2.7-1 ライナプレートの材料強度物性値
 Table 3.2.7-1 Temperature Dependent Member Properties of
 Liner Plate

| Value Temp. (°C) | Young's Modulus (kg/cm ²) | *Stress at the 1st Proportional Limit (kg/cm ²) | Coefficient of Thermal Expansion (1/°C) |
|------------------------|--|---|---|
| 21 | 2.13×10^6 | 615.6 | 1.24×10^{-5} |
| 100 | 2.04×10^6 | 589.6 | 1.29×10^{-5} |
| 200 | 2.06×10^6 | 595.3 | 1.44×10^{-5} |
| 300 | 2.00×10^6 | 578.0 | 1.50×10^{-5} |
| 400 | 1.87×10^6 | 540.4 | 1.53×10^{-5} |
| 500 | 1.81×10^6 | 523.1 | 1.51×10^{-5} |
| 530 | 1.74×10^6 | 502.9 | 1.55×10^{-5} |

* The Stress at 0,0289% Total Strain of Stress-Strain Relationship Used in the Analysis.

Table 3.2.2-2 ライナプレート材の応力-ひずみ関係
 Table 3.2.2-2 Stress-Strain Data vs Temperature Relationship
 Data Used in Structural Analysis of the Liner
 Plate.

(Stress ; kg/cm²)

| Temp. (°C) Total Strain (%) | 21 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 530 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0289 | 615.6 | 589.6 | 595.3 | 578.0 | 540.4 | 523.1 | 502.9 |
| 0.05 | 1065.0 | 1020.0 | 1030.0 | 987.7 | 878.9 | 778.5 | 668.5 |
| 0.1 | 2069.3 | 2040.0 | 1915.4 | 1535.0 | 1397.0 | 1161.0 | 1061.0 |
| 0.15 | 2864.5 | 2819.1 | 2493.1 | 1739.0 | 1538.5 | 1314.0 | 1189.0 |
| 0.20 | 3126.2 | 2847.7 | 2497.4 | 1943.0 | 1680.0 | 1467.0 | 1317.0 |
| 0.35 | 3136.9 | 2860.2 | 2510.5 | 2141.2 | 1882.7 | 1614.0 | 1426.3 |
| 0.50 | 3147.6 | 2872.8 | 2523.5 | 2340.0 | 2086.0 | 1761.0 | 1535.0 |
| 0.75 | 3165.3 | 2893.7 | 2545.3 | 2559.5 | 2273.0 | 1860.5 | 1605.0 |
| 1.0 | 3183.1 | 2914.6 | 2824.0 | 2779.0 | 2460.0 | 1960.0 | 1675.0 |
| 2.0 | 3474.0 | 3189.0 | 3292.0 | 3412.0 | 3113.0 | 2508.0 | 2191.0 |
| 3.0 | 3871.0 | 3585.0 | 3660.0 | 3811.0 | 3508.0 | 2714.0 | 2351.0 |
| 4.0 | 4162.0 | 3867.0 | 3971.0 | 4119.0 | 3806.0 | 2846.0 | 2451.0 |
| 5.0 | 4450.0 | 4079.0 | 4187.0 | 4343.0 | 4028.0 | 2941.0 | 2519.0 |

Table 3.3.2-1 解析による等価歪みの最大値
 Table 3.3.2-1 Maximum Von Mises Effective Strain by Analysis

| フロント状態 | 温度 (°C) | 等価膜歪み | | 等価(膜+曲り)歪み | | | |
|---------|---------|-------|-----------------------|------------|-----------------------|------|-----------------------|
| | | 発生要素 | 値 x10 ⁶ | 板表面 | | 板裏面 | |
| | | | | 発生要素 | 値 x10 ⁶ | 発生要素 | 値 x10 ⁶ |
| I | 66 | 91 | 909 | 25 | 2641 | 4 | 2520 |
| II | 86 | 80 | 1341 | 51 | 3222 | 4 | 3720 |
| III | 121 | 76 | 3235 | 80 | 5602 | 52 | 5870 |
| IV | 530 | 25 | 17716 | 71 | 23980 | 18 | 22213 |
| (降温完了時) | 14.7 | 71 | 5017 | 71 | 8244 | 4 | 8334 |

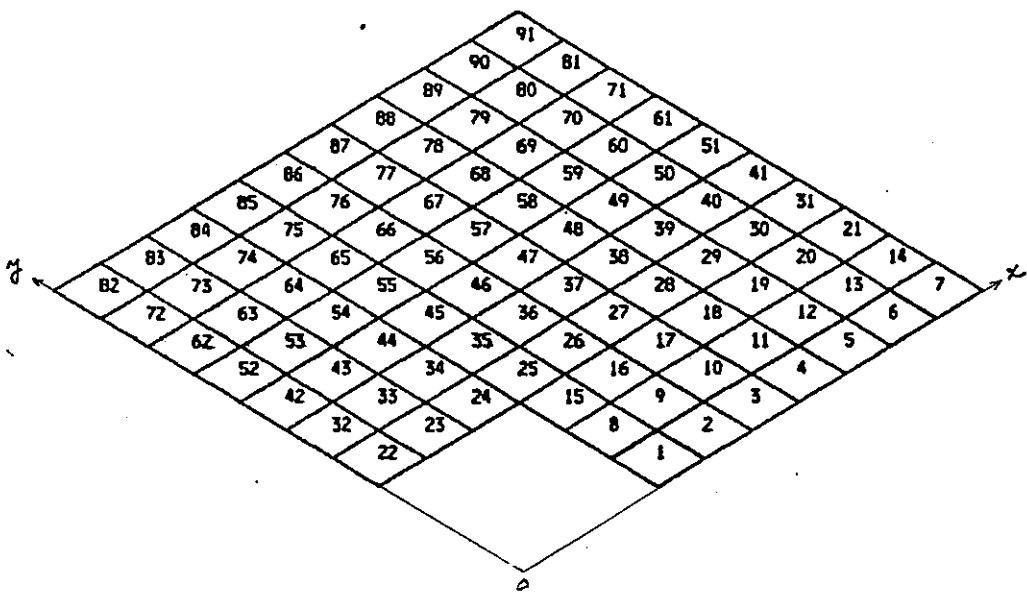


Table 3.3.3-1 歪み発生分布より予想される周端部最大等価歪み.

Table 3.3.3-1 Maximum Von Mises Effective Strain developed at the Edge of the Liner Plate Estimated by Strain Distribution

| Plant Condition | Temp. (°C) | Effective Membrane Strain | | | Effective Strain for Combined Membrane plus Bending | | | | | |
|-----------------|------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| | | Element | Calculated Value ($\times 10^{-6}$) | Allowable Value ($\times 10^{-6}$) | Upper Surface | | | Lower Surface | | |
| | | | | | Element | Calculated Value ($\times 10^{-6}$) | Allowable Value ($\times 10^{-6}$) | Element | Calculated Value ($\times 10^{-6}$) | Allowable Value ($\times 10^{-6}$) |
| I | 66 | 91 | 940 | 2000 | 25 | 3400 | 4000 | 25 | 2660 | 4000 |
| II | 86 | 80 | *1341 | 2000 | 51 | 4500 | 4000 | 25 | 3800 | 4000 |
| III | 121 | 91 | 3340 | 5000 | 71 | 6500 | 10000 | 52 | 5920 | 10000 |
| IV | 530 | 25 | 21000 | 38000 | 71 | 33000 | 50920 | 18 | *22213 | 50920 |

* ; Strain Developed at the Center of the Element stated in Table 3.3.2-1. Strain developed at the Edge of the Liner Plate is less than This Value.

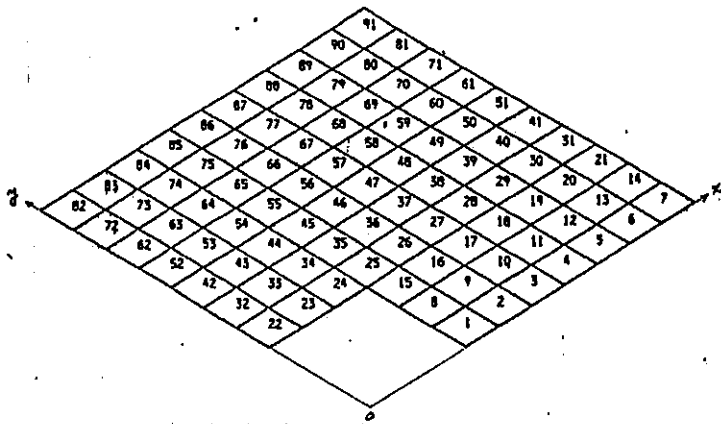


Table 4.2.4-1 最大等価ひずみ (埋込金物を用いた固定型ライナ)
 Table 4.2.4-1 Maximum Von Mises Effective Strain (Fixed-Type Liner with Embedment Portion)

| アライメント状態 | 温度 (°C) | 等価埋込率 | | 等価(膜+嵌り)歪み | | | |
|----------|---------|-------|--------------------|------------|--------------------|-----|--------------------|
| | | | | 板表面 | | 板裏面 | |
| | | 割合 | 値 $\times 10^{-4}$ | 割合 | 値 $\times 10^{-4}$ | 割合 | 値 $\times 10^{-4}$ |
| I | 66 | 1 | 783 | 1 | 2281 | 5 | 2281 |
| II | 86 | 1 | 1120 | 1 | 3355 | 5 | 3355 |
| III | 121 | 3 | 3351 | 1 | 4948 | 5 | 4948 |
| IV | 530 | 3 | 12706 | 1 | 16812 | 5 | 16812 |

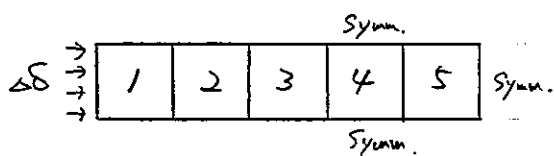


Table 4.2.4-2 最大等価歪み (固定式ライナ)
 Table 4.2.4-2 Maximum Von Mises Effective Strain (Fixed-Type Liner)

| アライメント状態 | 温度 (°C) | 等価埋込率 | | 等価(膜+嵌り)歪み | | | |
|----------|---------|-------|--------------------|------------|--------------------|-----|--------------------|
| | | | | 板表面 | | 板裏面 | |
| | | 割合 | 値 $\times 10^{-4}$ | 割合 | 値 $\times 10^{-4}$ | 割合 | 値 $\times 10^{-4}$ |
| I | 81 | 1,5 | 969 | 1 | 2460 | 5 | 2460 |
| II | 116 | 3 | 3229 | 1 | 3750 | 5 | 3750 |
| IV | 512 | 3 | 12859 | 1 | 13150 | 5 | 13150 |

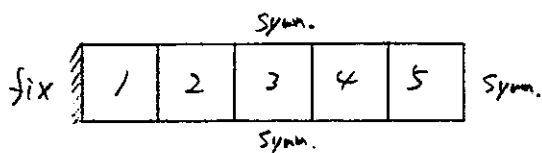


Table 4.3.2-1 簡易解析と詳細解析の最大等価歪み比較 (埋込金物との取り合い部を有する固定式ライナ)
 Table 4.3.2-1 Maximum Von Mises Effective Strain; Comparison between the Calculated Value by Simplified Analysis and that by Detailed Analysis (Integrity Test for Embedment Portion of Fixed-Type Liner System)

| フラット 状態 | 温度 (°C) | 等価歪み $\times 10^{-6}$ | | | 等価(最大)歪み $\times 10^{-6}$ | | | | | |
|------------|------------|-----------------------|-------|----------|---------------------------|-------|----------|-------|-------|----------|
| | | | | | 板上面 | | | 板下面 | | |
| | | 詳細解析 | 簡易解析 | 比(詳細/簡易) | 詳細解析 | 簡易解析 | 比(詳細/簡易) | 詳細解析 | 簡易解析 | 比(詳細/簡易) |
| I | 66 | 940 | 783 | 1.20 | 3400 | 2281 | 1.49 | 2660 | 2281 | 1.17 |
| II | 86 | 1341 | 1120 | 1.20 | 4500 | 3355 | 1.34 | 3800 | 3355 | 1.13 |
| III | 121 | 3340 | 3357 | 1.00 | 6500 | 4948 | 1.31 | 5920 | 4948 | 1.20 |
| IV | 530 | 21000 | 12706 | 1.65 | 33000 | 16812 | 1.96 | 22213 | 16812 | 1.32 |

Table 4.3.2-2 簡易解析と詳細解析の最大等価歪み比較 (固定式ライナ)
 Table 4.3.2-2 Maximum Von Mises Effective Strain; Comparison between the Calculated Value by Simplified Analysis and that by Detailed Analysis (Structural Integrity Test of Typical Floor Liner System)

| フラット 状態 | 温度 (°C) | 等価歪み $\times 10^{-6}$ | | | 等価(最大)歪み $\times 10^{-6}$ | | | | | |
|------------|------------|-----------------------|-------|----------|---------------------------|-------|----------|-------|-------|----------|
| | | | | | 板上面 | | | 板下面 | | |
| | | 詳細解析 | 簡易解析 | 比(詳細/簡易) | 詳細解析 | 簡易解析 | 比(詳細/簡易) | 詳細解析 | 簡易解析 | 比(詳細/簡易) |
| I | 81 | 1200 | 969 | 1.24 | 3300 | 2460 | 1.34 | 2211 | 2460 | 0.90 |
| II | 114 | 2506 | 3229 | 0.78 | 7250 | 3750 | 1.93 | 2905 | 3750 | 0.77 |
| IV | 512 | 15671 | 12859 | 1.17 | 30000 | 13150 | 2.28 | 13175 | 13150 | 1.00 |

Table 4.3.2-3 係數 α
 Table 4.3.2-3 Coefficient α

| 下斗 狀態 | 等侖膜成力 | 等侖(膜下料)成力 | |
|----------|-------|-----------|------|
| | | 板表面 | 板底面 |
| I | 1.25 | 1.50 | 1.25 |
| II | 1.25 | 1.50 | 1.25 |
| III | 1.25 | 2.00 | 1.25 |
| IV | 1.75 | 2.50 | 1.50 |

Table 4.3.3-1 詳細解析による最大等価歪みと簡易評価法による等価歪みの比較 (埋込金物との取り合い部を有する固定式ライナ)
 Table 4.3.3-1 Comparison between the Maximum Von Mises Effective Strain Calculated by Detailed Analysis and the Von Mises Effective Strain Calculated by Simplified Estimation Method (Integrity Test for Embedment Portion of Fixed-Type Liner System)

| フラット 状態 | 温度 (°C) | 等価線歪み $\times 10^{-6}$ | | | 等価 (膜+曲) 歪み $\times 10^{-6}$ | | | | | |
|------------|------------|------------------------|-------|----------|------------------------------|-------|----------|-------|-------|----------|
| | | | | | 板上面 | | | 板下面 | | |
| | | 詳細解析 | 簡易評価 | 比(簡易/詳細) | 詳細解析 | 簡易評価 | 比(簡易/詳細) | 詳細解析 | 簡易評価 | 比(簡易/詳細) |
| I | 66 | 940 | 979 | 1.04 | 3400 | 3422 | 1.01 | 2660 | 2851 | 1.07 |
| II | 86 | 1341 | 1400 | 1.04 | 4500 | 5033 | 1.12 | 3800 | 4194 | 1.10 |
| III | 121 | 3340 | 4189 | 1.25 | 6500 | 9896 | 1.52 | 5920 | 6185 | 1.04 |
| IV | 530 | 21000 | 22236 | 1.06 | 33000 | 42030 | 1.27 | 22213 | 25218 | 1.14 |

Table 4.3.3-2 詳細解析による最大等価歪みと簡易評価法による等価歪みの比較 (固定式ライナ)
 Table 4.3.3-2 Comparison between the Maximum Von Mises Effective Strain Calculated by Detailed Analysis and the Von Mises Effective Strain Calculated by Simplified Estimation Method (Structural Integrity Test of Typical Floor Liner System)

| フラット 状態 | 温度 (°C) | 等価線歪み $\times 10^{-6}$ | | | 等価 (膜+曲) 歪み $\times 10^{-6}$ | | | | | |
|------------|------------|------------------------|-------|----------|------------------------------|-------|----------|-------|-------|----------|
| | | | | | 板上面 | | | 板下面 | | |
| | | 詳細解析 | 簡易評価 | 比(簡易/詳細) | 詳細解析 | 簡易評価 | 比(簡易/詳細) | 詳細解析 | 簡易評価 | 比(簡易/詳細) |
| I | 81 | 1200 | 1211 | 1.01 | 3300 | 3690 | 1.12 | 2211 | 3075 | 1.39 |
| II | 115 | 2506 | 4036 | 1.61 | 7250 | 7500 | 1.03 | 2905 | 4688 | 1.61 |
| IV | 512 | 15971 | 22503 | 1.49 | 30000 | 32875 | 1.10 | 13175 | 19725 | 1.50 |



Photo. 2.2.2-1 配筋状況
 Photo. 2.2.2-1 Arrangement of Reinforcing Bar

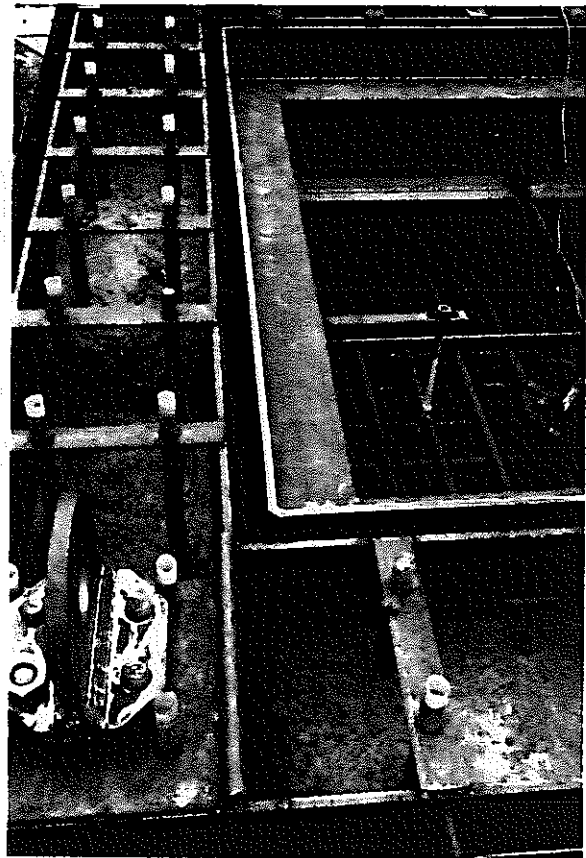


Photo. 2.2.2-2 高強度コンクリートの打設
 Photo. 2.2.2-2 Filling of High Strength Concrete into the Test Specimen

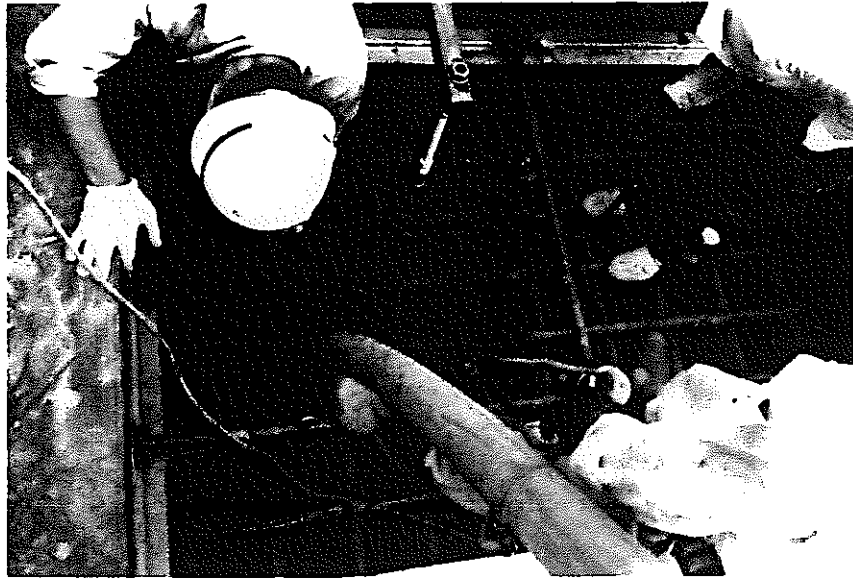
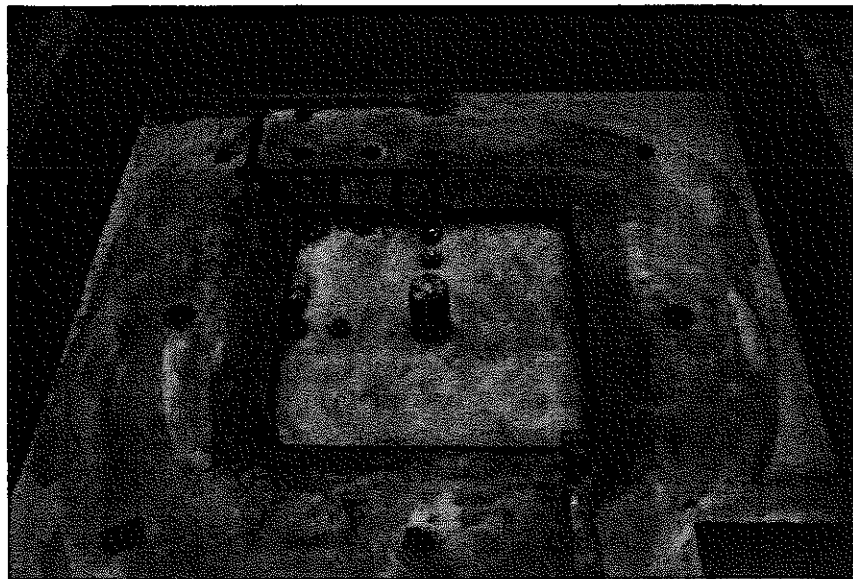
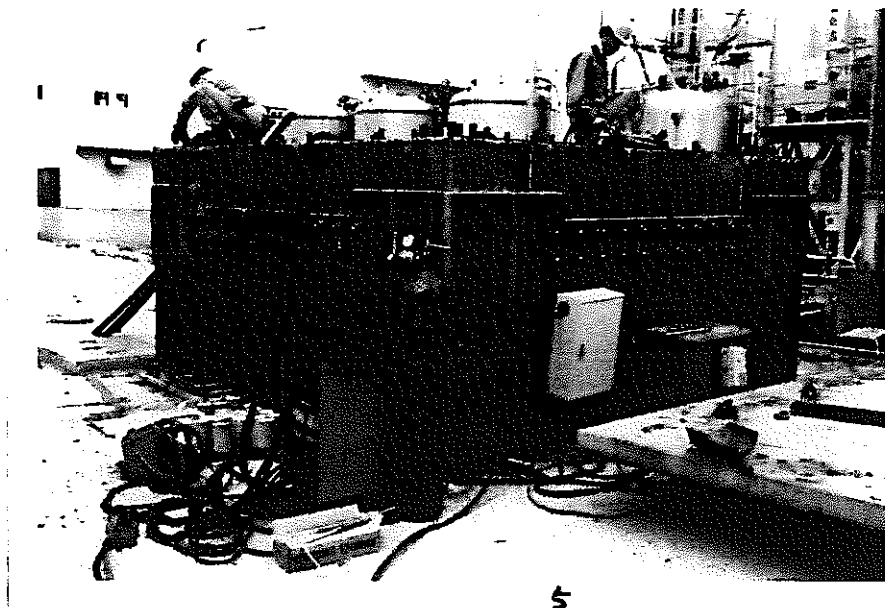


Photo. 2.2.2-3 耐熱コンクリートの打設
photo. 2.2.2-3 Filling of Heat Resisting Concrete into
the Test Rig.



12

Photo. 2.2.2-4 耐熱コンクリートの表面仕上げ
Photo. 2.2.2-4 Surface Finishing of Heat Resisting Concrete



5

Photo. 2.2.2-5 天板の溶接
Photo. 2.2.2-5 Welding on the Top Plate

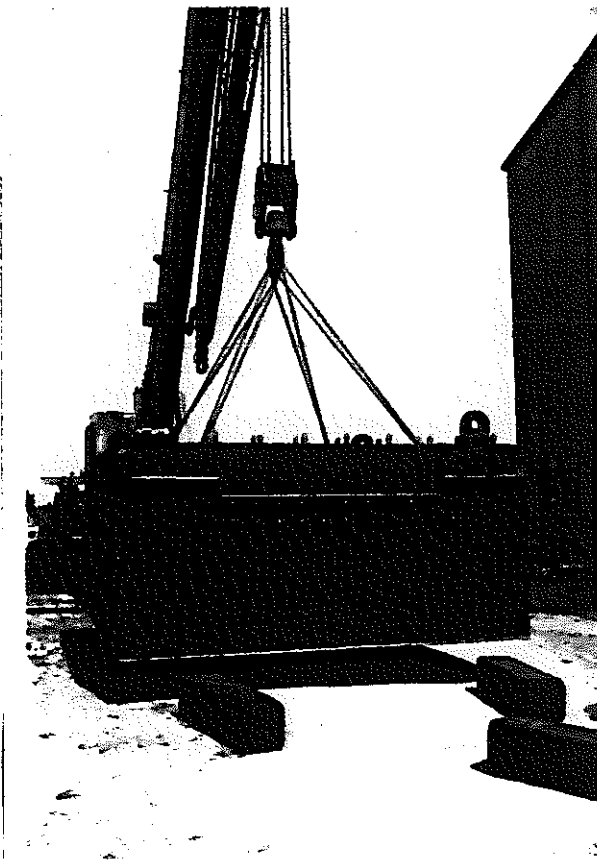
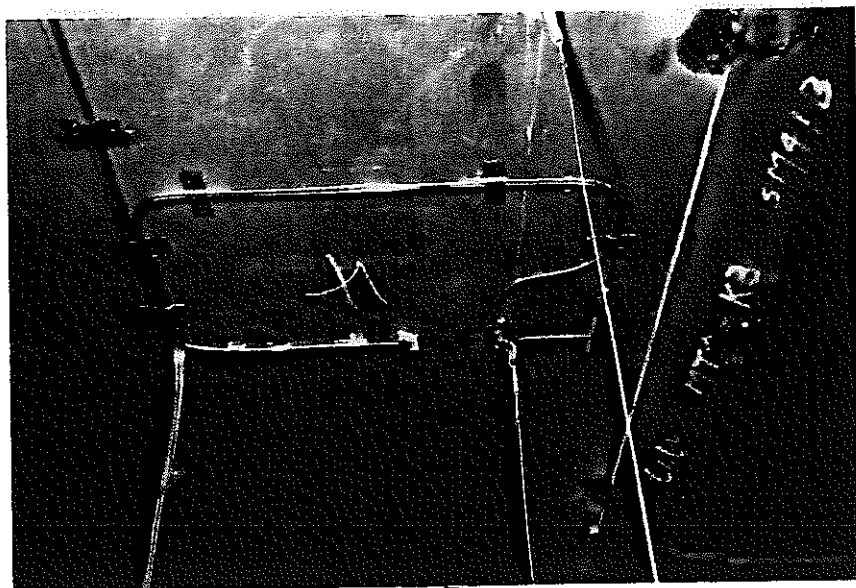


Photo. 2.2.2-6 供試体の試験セルへの吊り込み
Photo. 2.2.2-6 Lifting and Bringing the Test Rig
into the Experimental Cell



1894-17A

Photo. 2.2.2-7 ライナ裏面へのゲージの取り付け
 Photo. 2.2.2-7 Setting of the Gauges to the Lower Surface
 of the Liner Plate

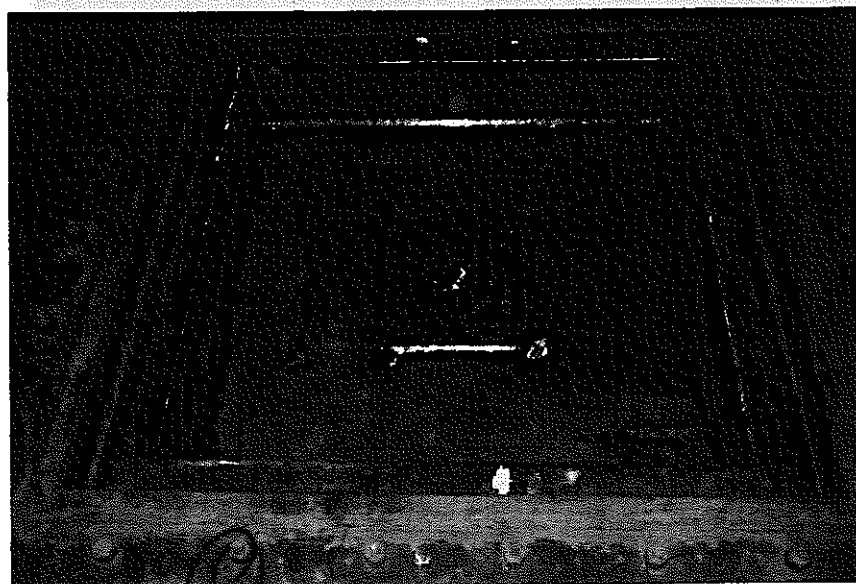


Photo. 2.2.2-8 ライナプレート, 埋込金物の取り付け
 Photo. 2.2.2-8 Set up of the Liner Plate and the Embedded
 Plate

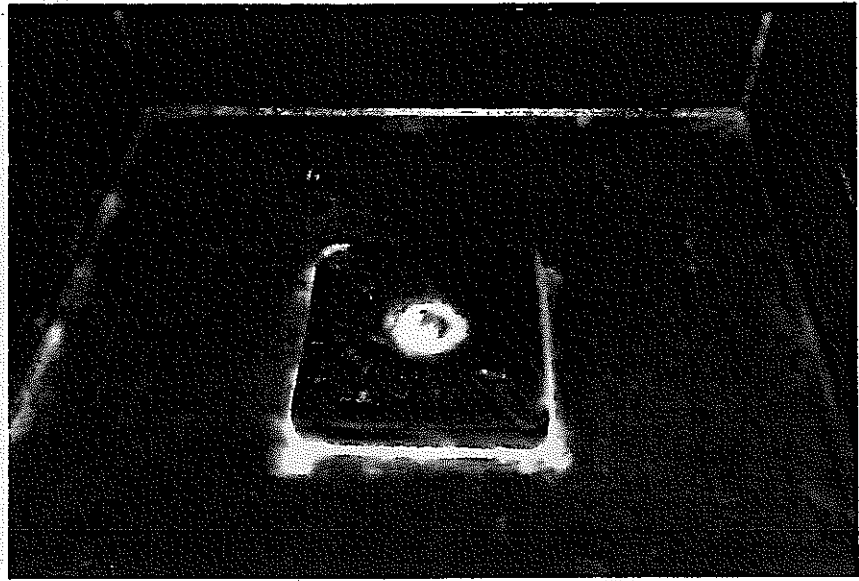


Photo. 2.2.2-9 溶接部の液体浸透探傷検査
 Photo. 2.2.2-9 Dye Penetration Test for the Seam Weld Lines
 of the Liner Plate



Photo. 2.2.2-10 溶接部の真空箱漏洩検査
 Photo. 2.2.2-10 Leak Test by Vacuum Box for the Seam
 Weld Lines of the Liner Plate

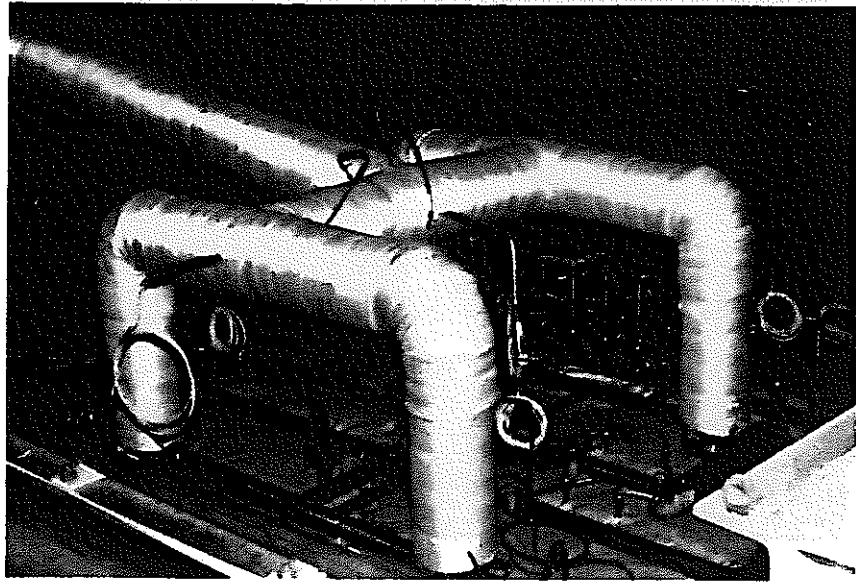


Photo. 2.2.2-11 断熱アラブ^oの据え付け, ナトリウム配管の取り付け
Photo. 2.2.2-11 Setting of Insulating Cover and Sodium Piping

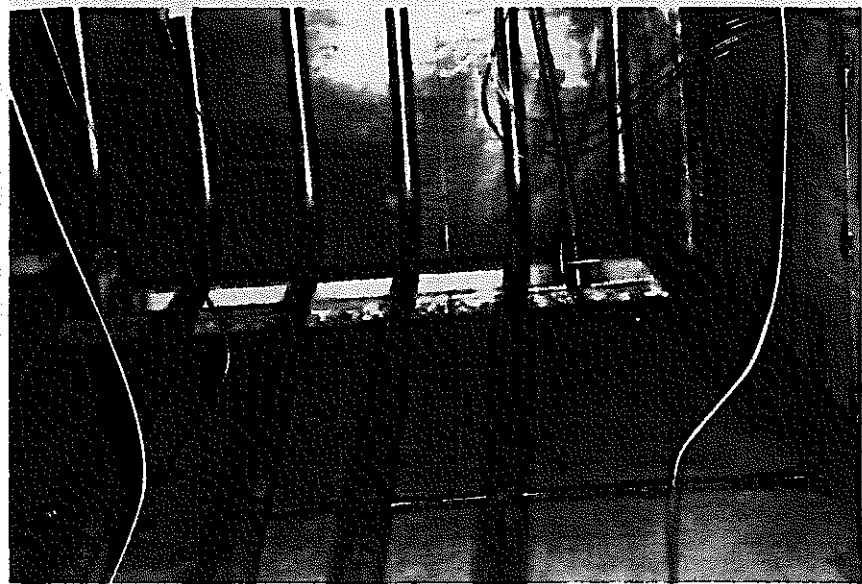


Photo. 2.2.2-12 ナトリウム加熱用ヒタの取り付け
Photo. 2.2.2-12 Setting of Heater for Sodium Heating



Photo. 2.3.3-1 断熱フタを開取後のライナ表面
Photo. 2.3.3-1 Liner Plate Surface after the Insulating
Cover Removal



Photo. 2.4.4-1 ナトリウム除去後のライナ表面
Photo. 2.4.4-1 Liner Plate Surface after the Sodium
Removal



Photo. 2.4.4-2 試験後の耐熱コンクリートの表面状況

Photo. 2.4.4-2 Heat Resisting Concrete Surface after the Test



Photo. 2.4.4-3 試験後の耐熱コンクリートの表面 (クラック部)

Photo. 2.4.4-3 Heat Resisting Concrete Surface after the Test (Cracked Part)

APPENDIX A 試験データ集

図 リ ス ト
List of Figure

| | | ページ |
|----------------------------|---|------|
| Fig. A-2-1 Fig. A-2-1 | 埋込金物 DL-1 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Embedded Plate (DL-1) at RUN-4 | A-1 |
| Fig. A-2-2 Fig. A-2-2 | 埋込金物 DL-2 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Embedded Plate (DL-2) at RUN-4 | A-2 |
| Fig. A-2-3 Fig. A-2-3 | ライナプレート DL-3 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-3) at RUN-4 | A-3 |
| Fig. A-2-4 Fig. A-2-4 | ライナプレート DL-4 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-4) at RUN-4 | A-4 |
| Fig. A-2-5 Fig. A-2-5 | ライナプレート DL-5 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-5) at RUN-4 | A-5 |
| Fig. A-2-6 Fig. A-2-6 | 埋込金物 DL-6 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Embedded Plate (DL-6) at RUN-4 | A-6 |
| Fig. A-2-7 Fig. A-2-7 | ライナプレート DL-7 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-7) at RUN-4 | A-7 |
| Fig. A-2-8 Fig. A-2-8 | ライナプレート DL-9 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-9) at RUN-4 | A-8 |
| Fig. A-2-9 Fig. A-2-9 | 埋込金物 DL-10 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Embedded Plate (DL-10) at RUN-4 | A-9 |
| Fig. A-2-10 Fig. A-2-10 | 埋込金物 DL-11 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Embedded Plate (DL-11) at RUN-4 | A-10 |
| Fig. A-2-11 Fig. A-2-11 | ライナプレート DL-12 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-12) at RUN-4 | A-11 |
| Fig. A-2-12 Fig. A-2-12 | ライナプレート DL-13 部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-13) at RUN-4 | A-12 |

| | | |
|----------------------------|--|------|
| Fig. A-2-13 Fig. A-2-13 | ライナプレート DL-14部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-14) at RUN-4 | A-13 |
| Fig. A-2-14 Fig. A-2-14 | ライナプレート DL-15部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-15) at RUN-4 | A-14 |
| Fig. A-2-15 Fig. A-2-15 | ライナプレート DL-16部の面外変位時間変化 (RUN-4) Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-16) at RUN-4 | A-15 |
| Fig. A-2-16 Fig. A-2-16 | 固定金物 DL-17部の面内変位時間変化 (RUN-4) Record of In-Plane Displacement of the Anchor (DL-17) at RUN-4 | A-16 |
| Fig. A-2-17 Fig. A-2-17 | 固定金物 DL-18部の面内変位時間変化 (RUN-4) Record of In-Plane Displacement of the Anchor (DL-18) at RUN-4 | A-17 |
| Fig. A-2-18 Fig. A-2-18 | 埋込金物 DL-19部の面内変位時間変化 (RUN-4) Record of In-Plane Displacement of the Embedded Plate (DL-19) at RUN-4 | A-18 |
| Fig. A-2-19 Fig. A-2-19 | 埋込金物 DL-20部の面内変位時間変化 (RUN-4) Record of In-Plane Displacement of the Embedded Plate (DL-20) at RUN-4 | A-19 |
| Fig. A-2-20 Fig. A-2-20 | ライナプレート SL-1部の歪み時間変化 (RUN-4) Record of the Strain of the Liner Plate (SL-1) at RUN-4. | A-20 |
| Fig. A-2-21 Fig. A-2-21 | ライナプレート SL-2部の歪み時間変化 (RUN-4) Record of the Strain of the Liner Plate (SL-2) at RUN-4. | A-21 |
| Fig. A-2-22 Fig. A-2-22 | ライナプレート SL-3部の歪み時間変化 (RUN-4) Record of the Strain of the Liner Plate (SL-3) at RUN-4 | A-22 |
| Fig. A-2-23 Fig. A-2-23 | ライナプレート SL-4部の歪み時間変化 (RUN-4) Record of the Strain of the Liner Plate (SL-4) at RUN-4. | A-23 |
| Fig. A-2-24 Fig. A-2-24 | ライナプレート SL-5部の歪み時間変化 (RUN-4) Record of the Strain of the Liner Plate (SL-5) at RUN-4 | A-24 |
| Fig. A-2-25 Fig. A-2-25 | ライナプレート SL-6部の歪み時間変化 (RUN-4) Record of the Strain of the Liner Plate (SL-6) at RUN-4 | A-25 |

- | | | |
|----------------------------|--|------|
| Fig. A-2-26 Fig. A-2-26 | ライナプレート SL-7部の歪み時間変化 (RUN-4) Record of the Strain of the Liner Plate (SL-7) at RUN-4 | A-26 |
| Fig. A-2-27 Fig. A-2-27 | ライナプレート SL-8部の歪み時間変化 (RUN-4) Record of the Strain of the Liner Plate (SL-8) at RUN-4 | A-27 |
| Fig. A-2-28 Fig. A-2-28 | ライナプレート SL-9部の歪み時間変化 (RUN-4) Record of the Strain of the Liner Plate (SL-9) at RUN-4 | A-28 |

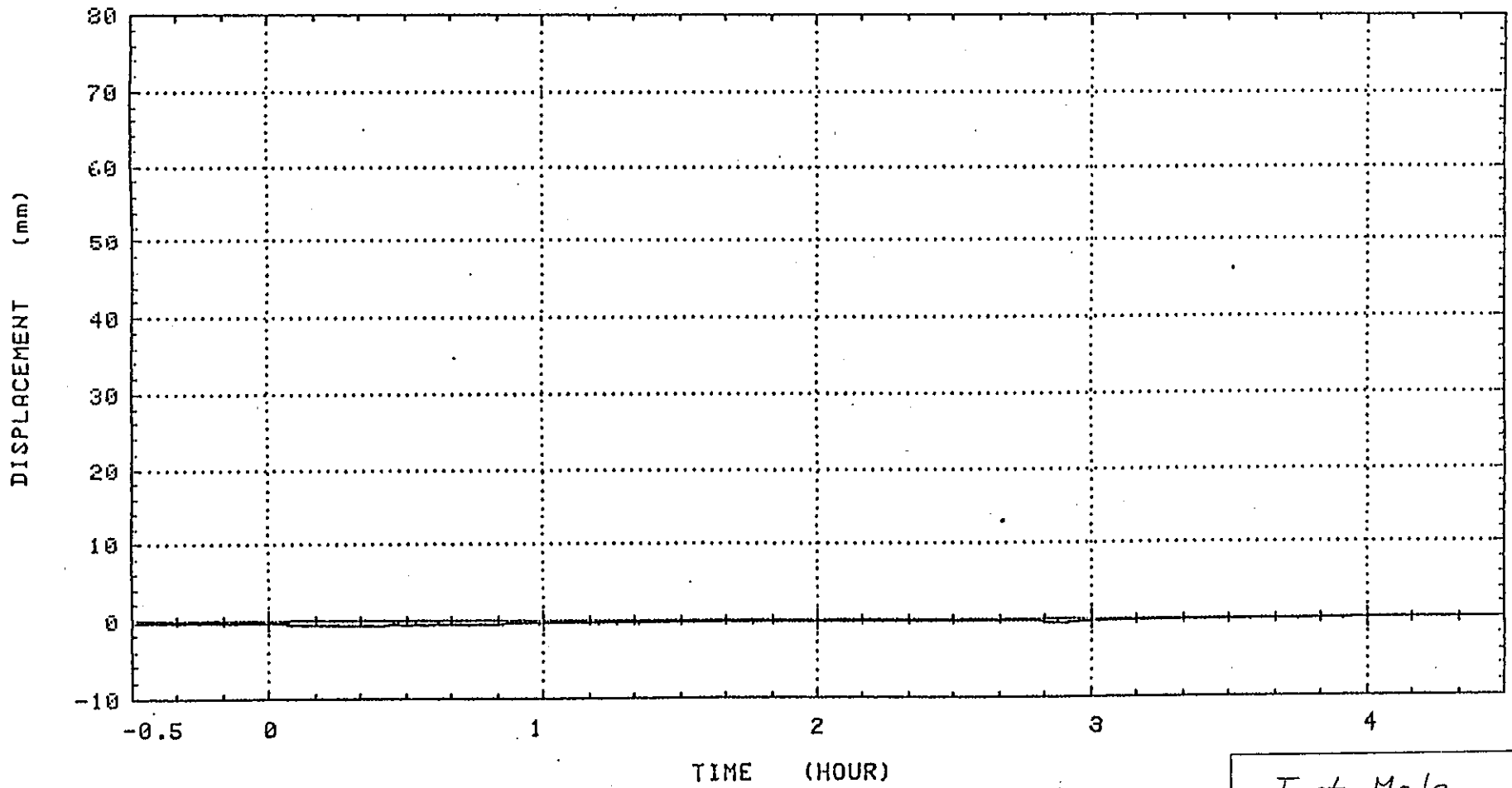


Fig. A-2-1 埋込金物 DL-1部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-1 Record of Out-of-Plane Displacement of the Embedded Plate
 (DL-1) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-1 |

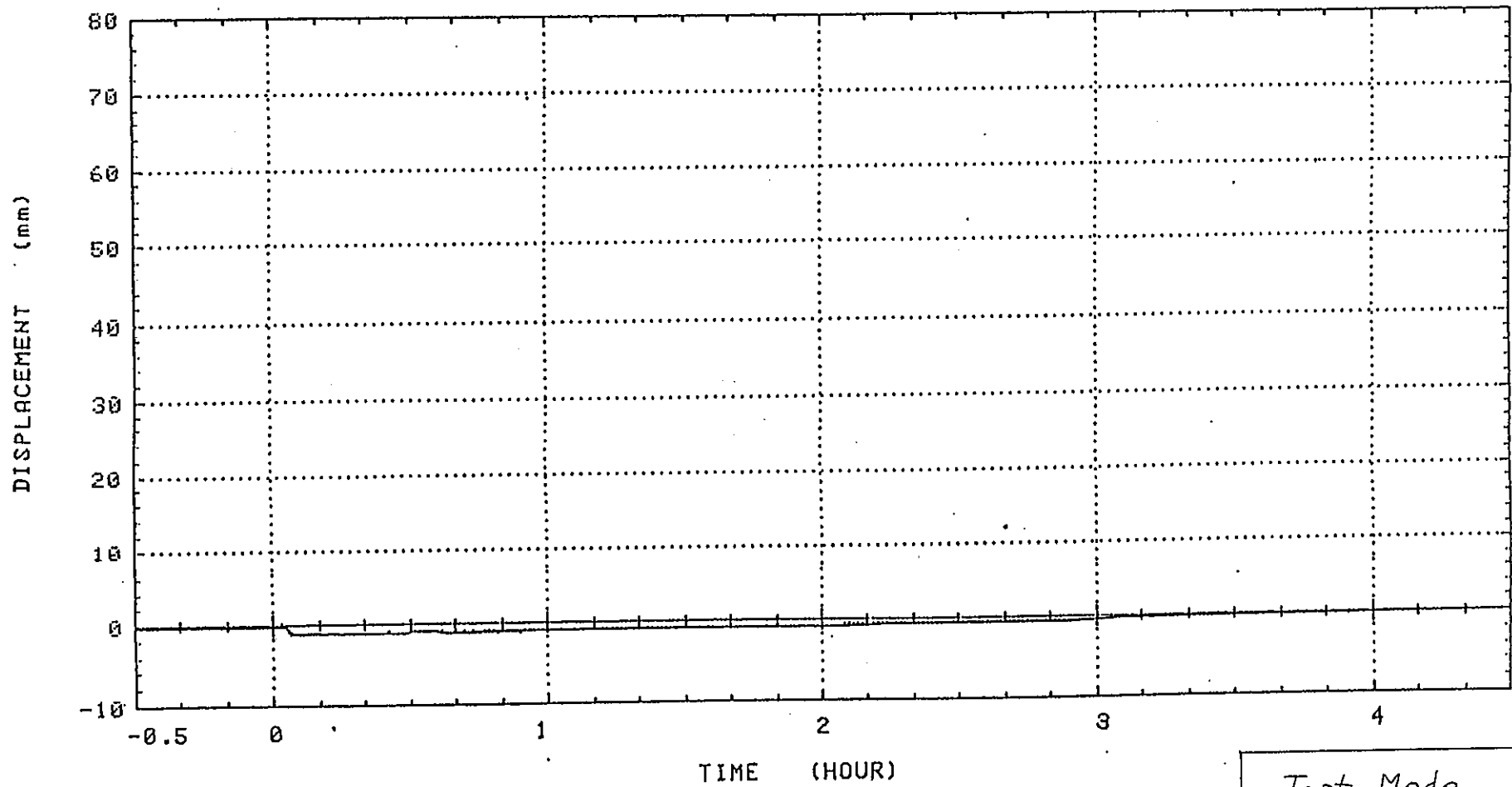


Fig. A-2-2 埋込金物 DL-2部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-2 Record of Out-of-plane Displacement of the Embedded Plate
 (DL-2) at RUN-4

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-2 |

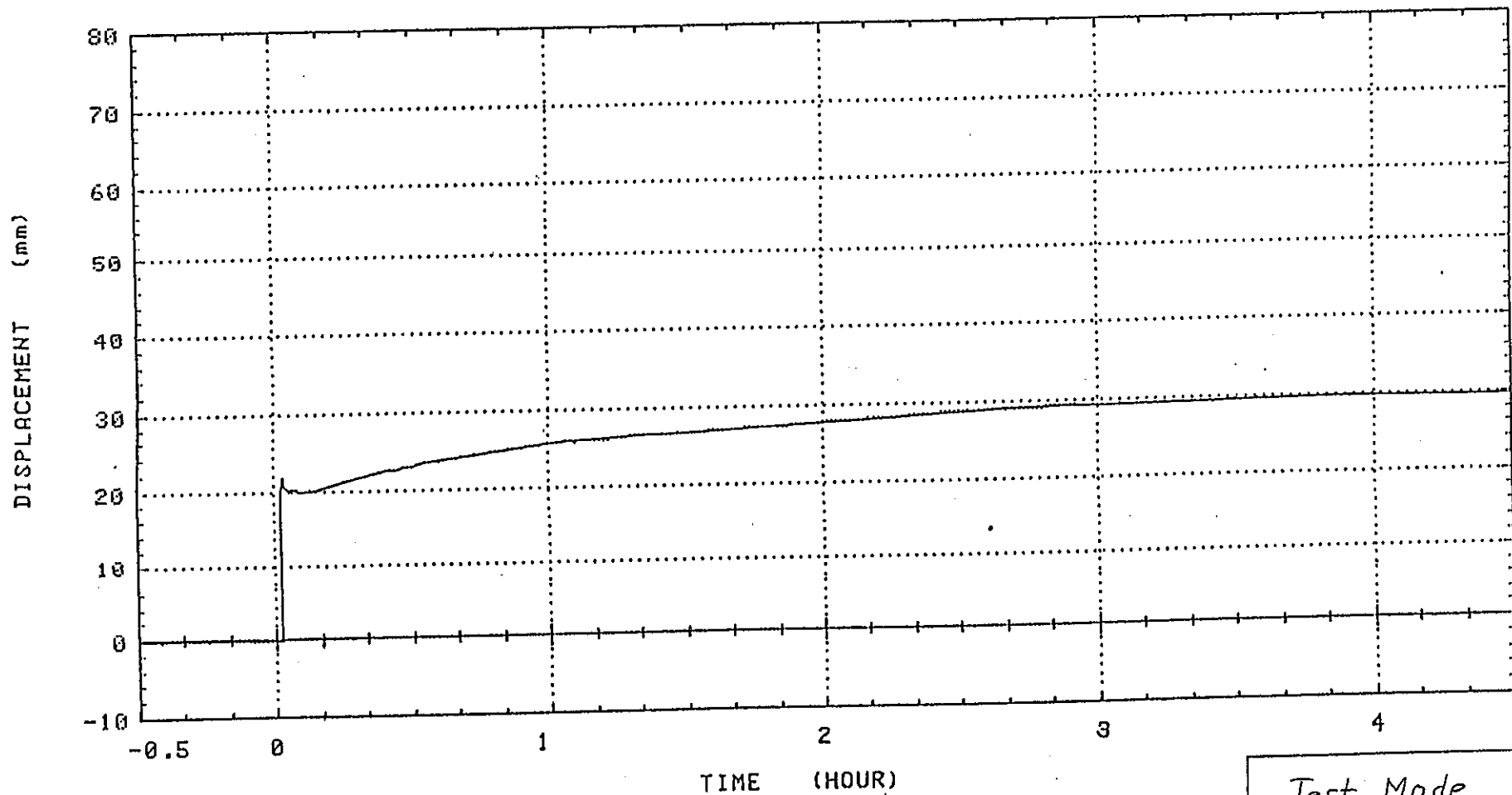


Fig. A-2-3. ライナプレート DL-3部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-3 Record of Out-of-Plane Displacement of the Linear Plate
 (DL-3) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-3 |

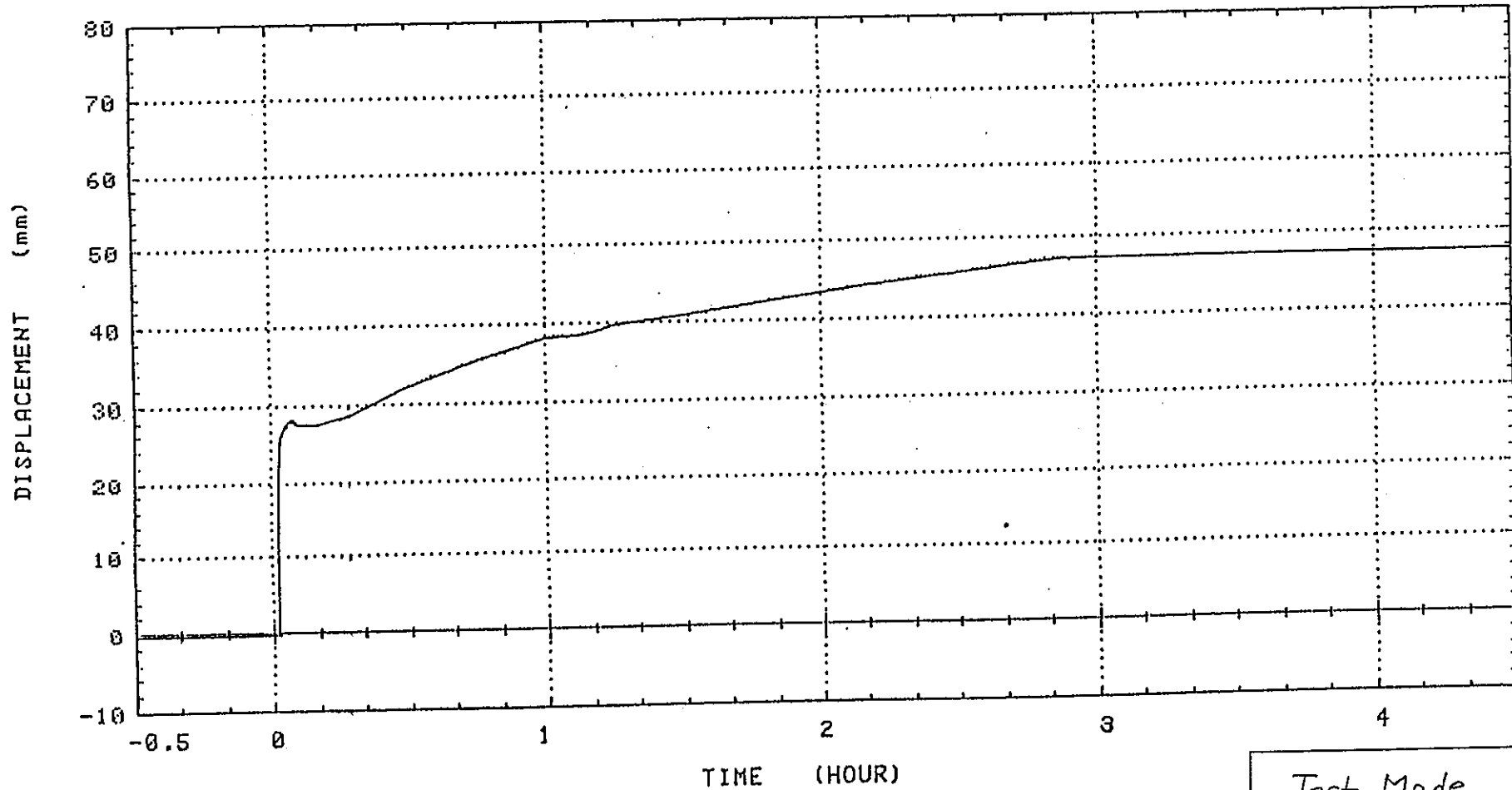


Fig. A-2-4 ライナプレート DL-4部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-4 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate
 (DL-4) at RUN-4

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-4 |

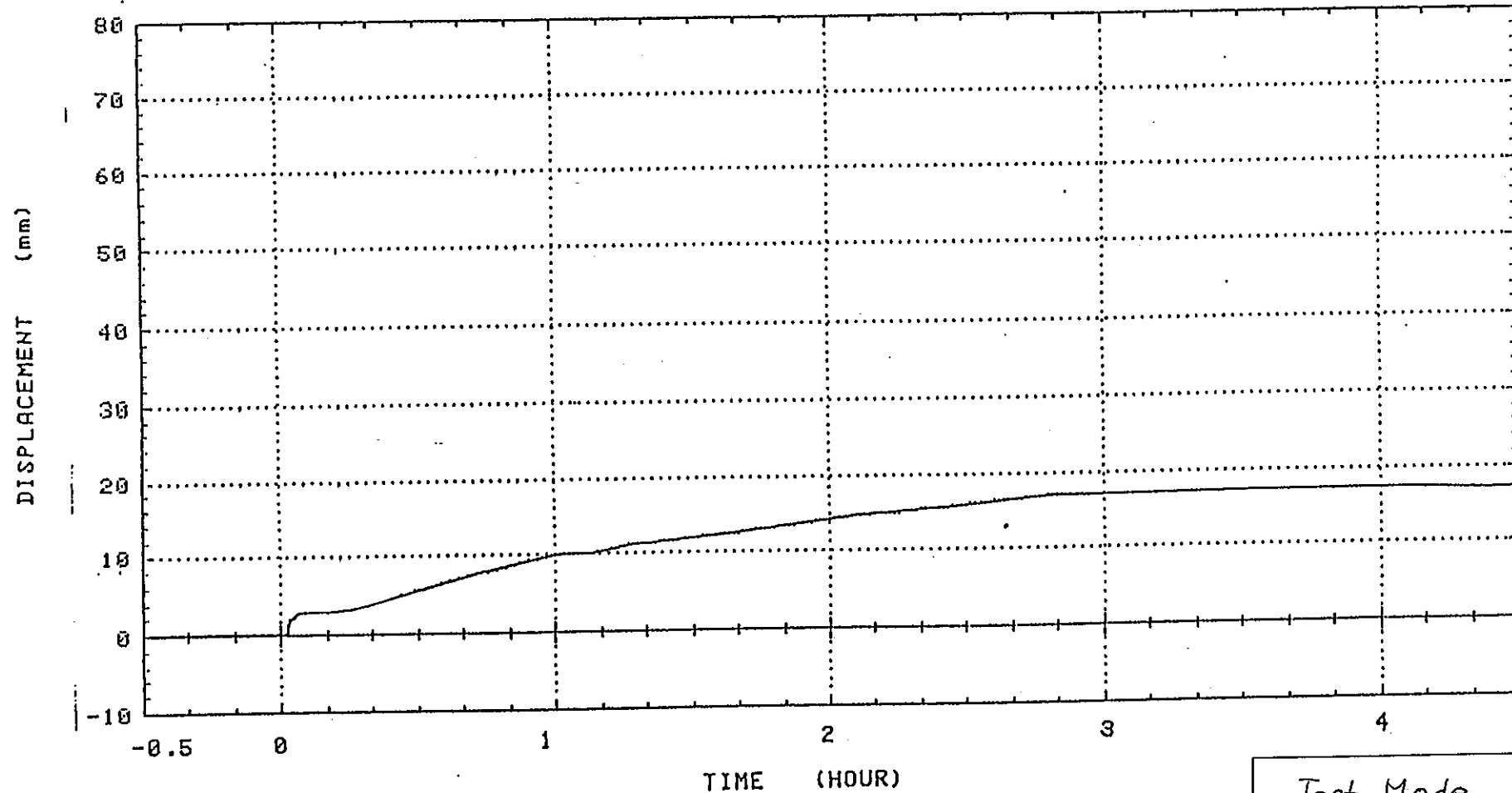


Fig. A-2-5 ライナプレート DL-5部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-5 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate
 (DL-5) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-5 |

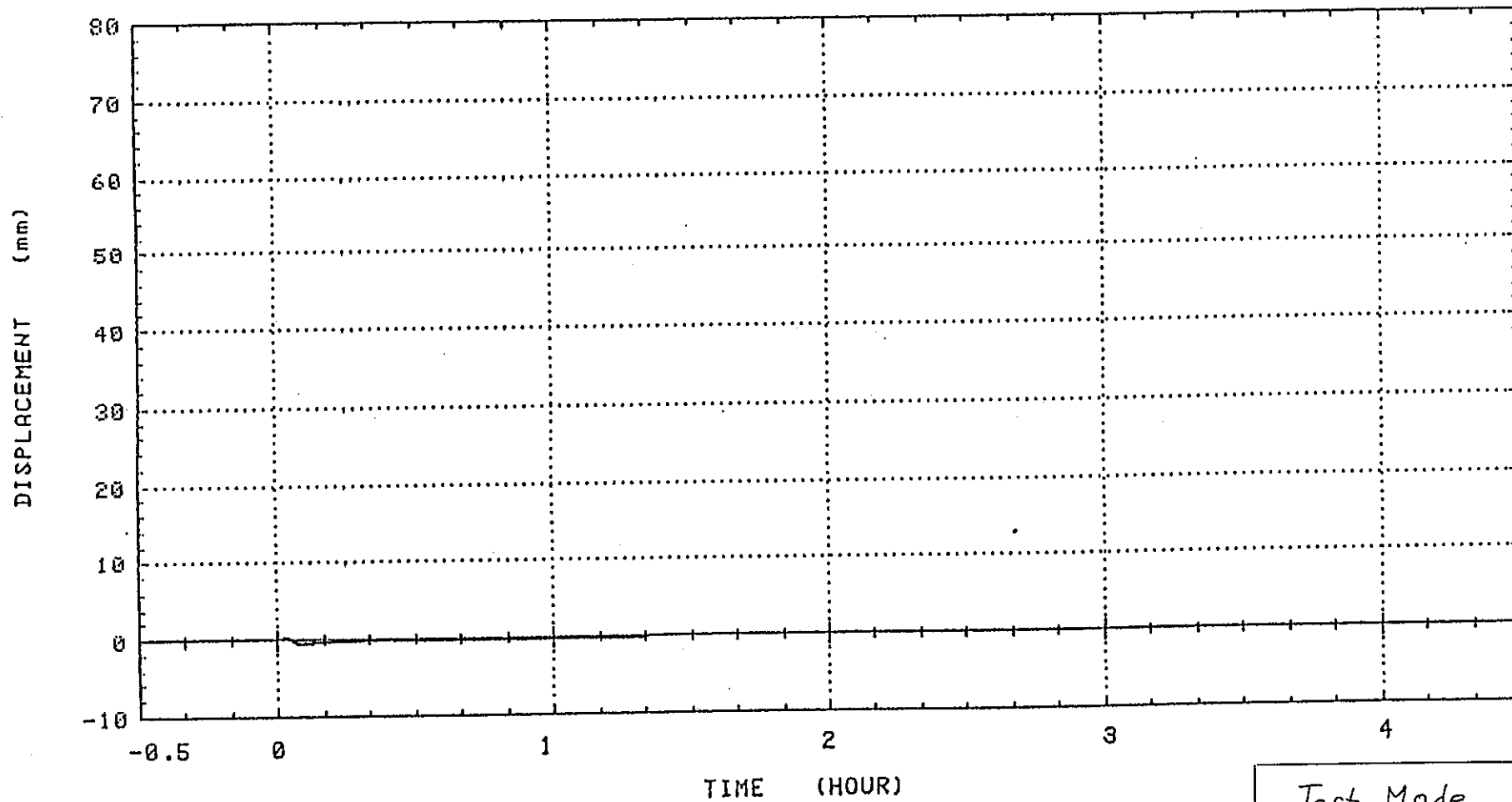


Fig. A-2-6 埋込金物 DL-6部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-6 Record of Out-of-Plane Displacement of the Embedded Plate
 (DL-6) at RUN-4

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-6 |

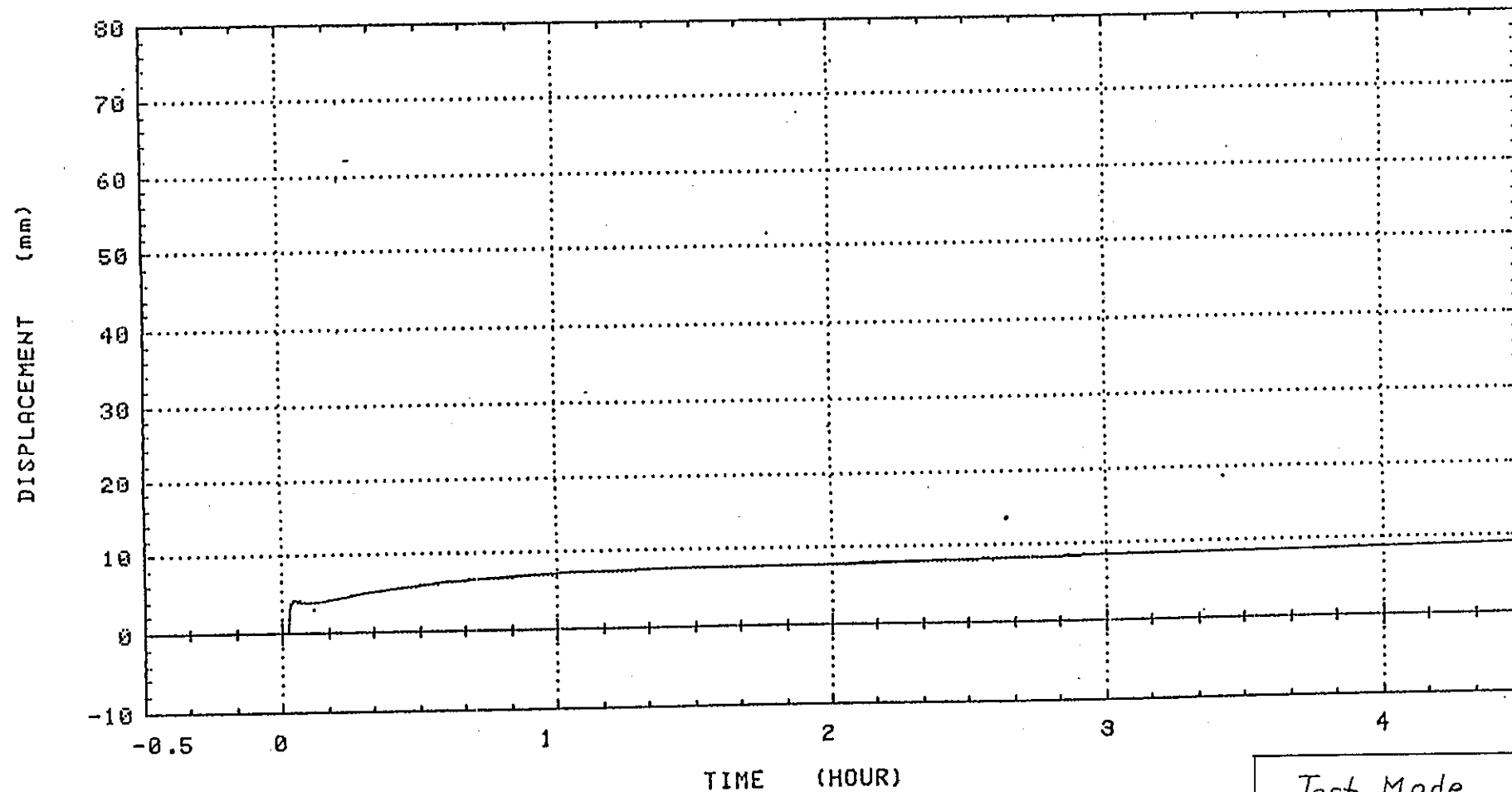


Fig.A-2-7 ライナプレートDL-7部の面外変位時間変化 (RUN-4)

Fig.A-2-7 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-7) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-7 |

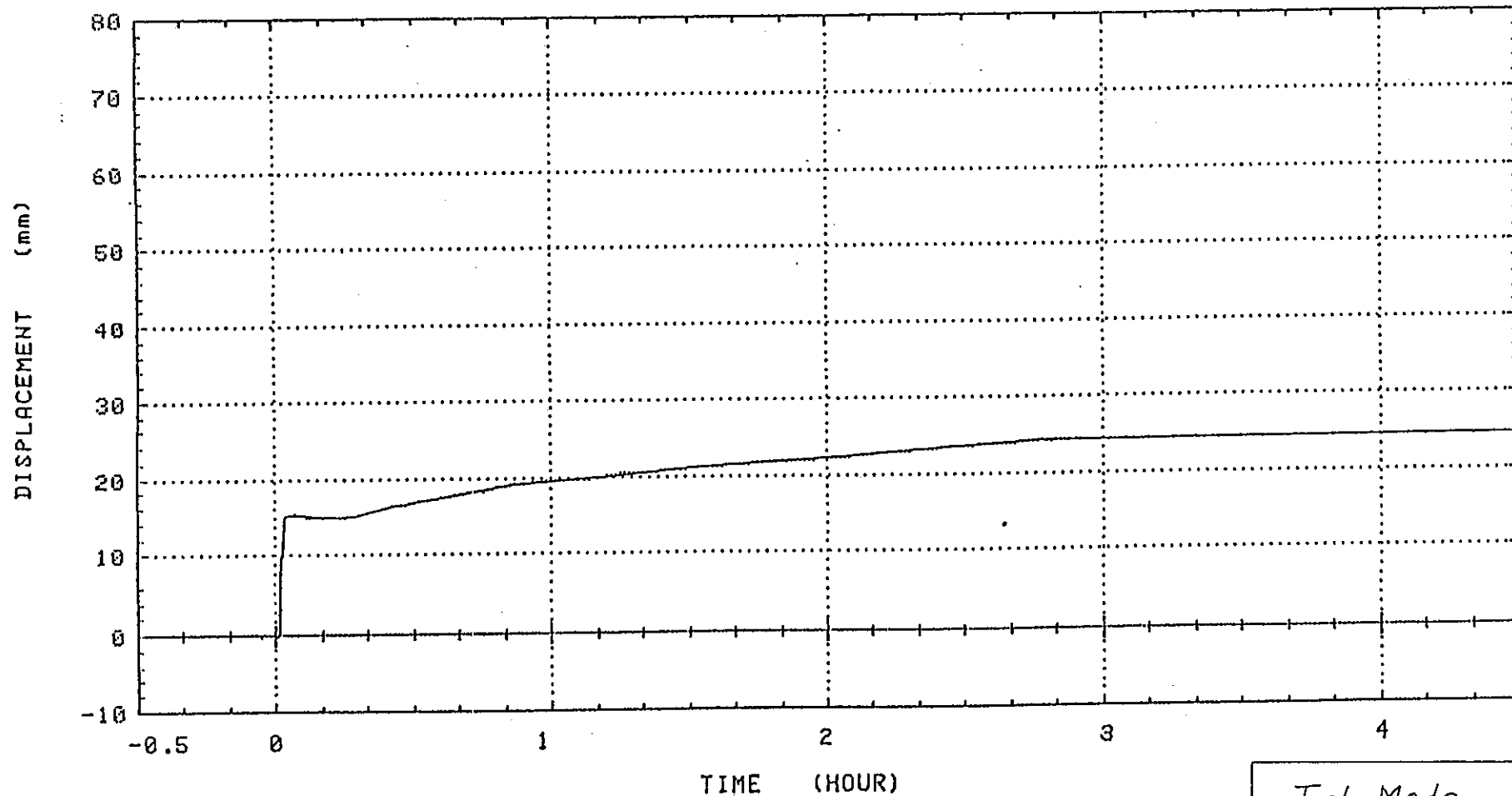


Fig.A-2-8 ライナプレートDL-9部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig.A-2-8 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate
 (DL-9) at RUN-4

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-9 |

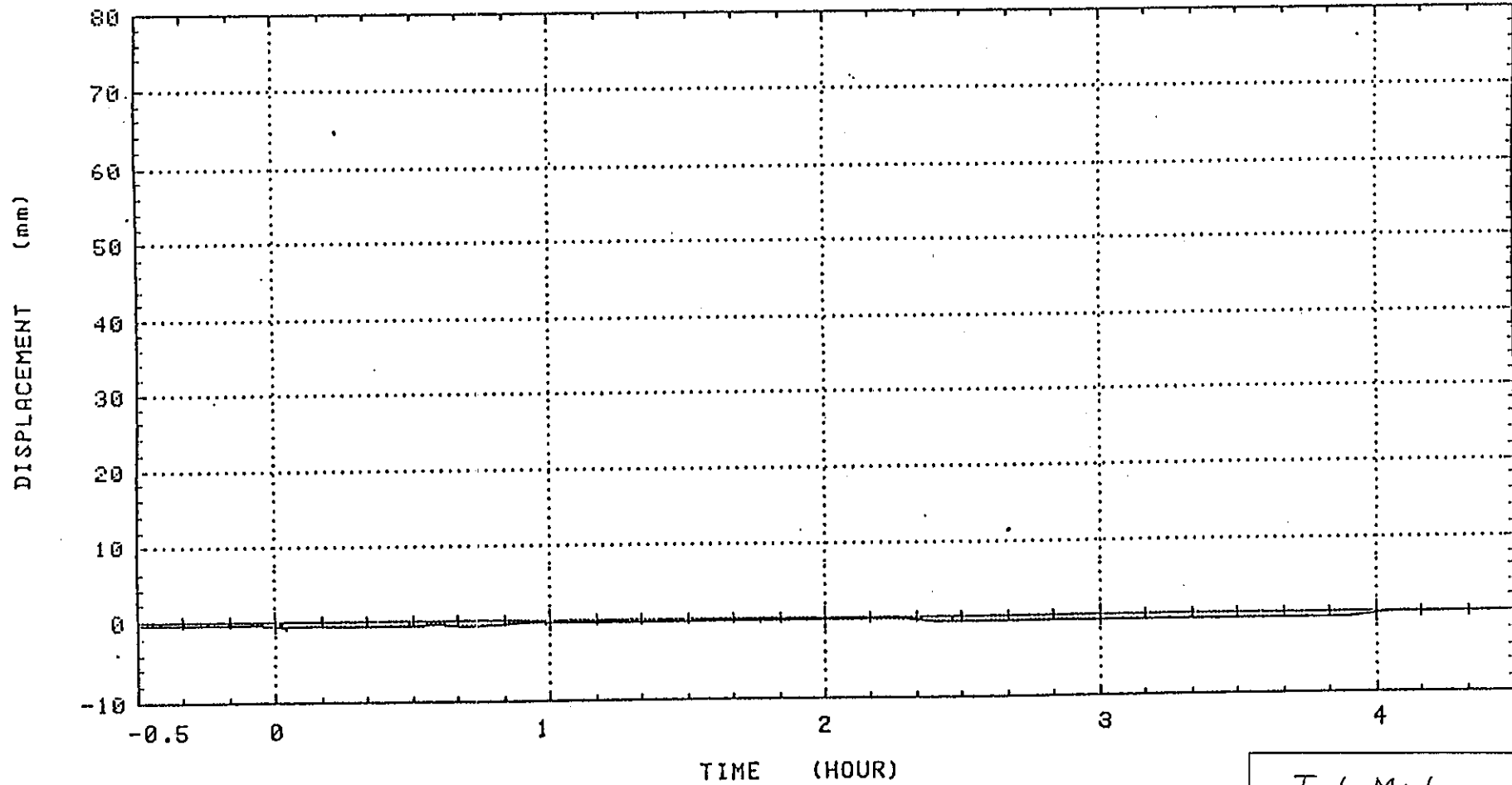


Fig.A-2-9 埋込金物 DL-10部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig.A-2-9 Record of Out-of-Plane Displacement of the Embedded Plate
 (DL-10) at RUN-4

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-10 |

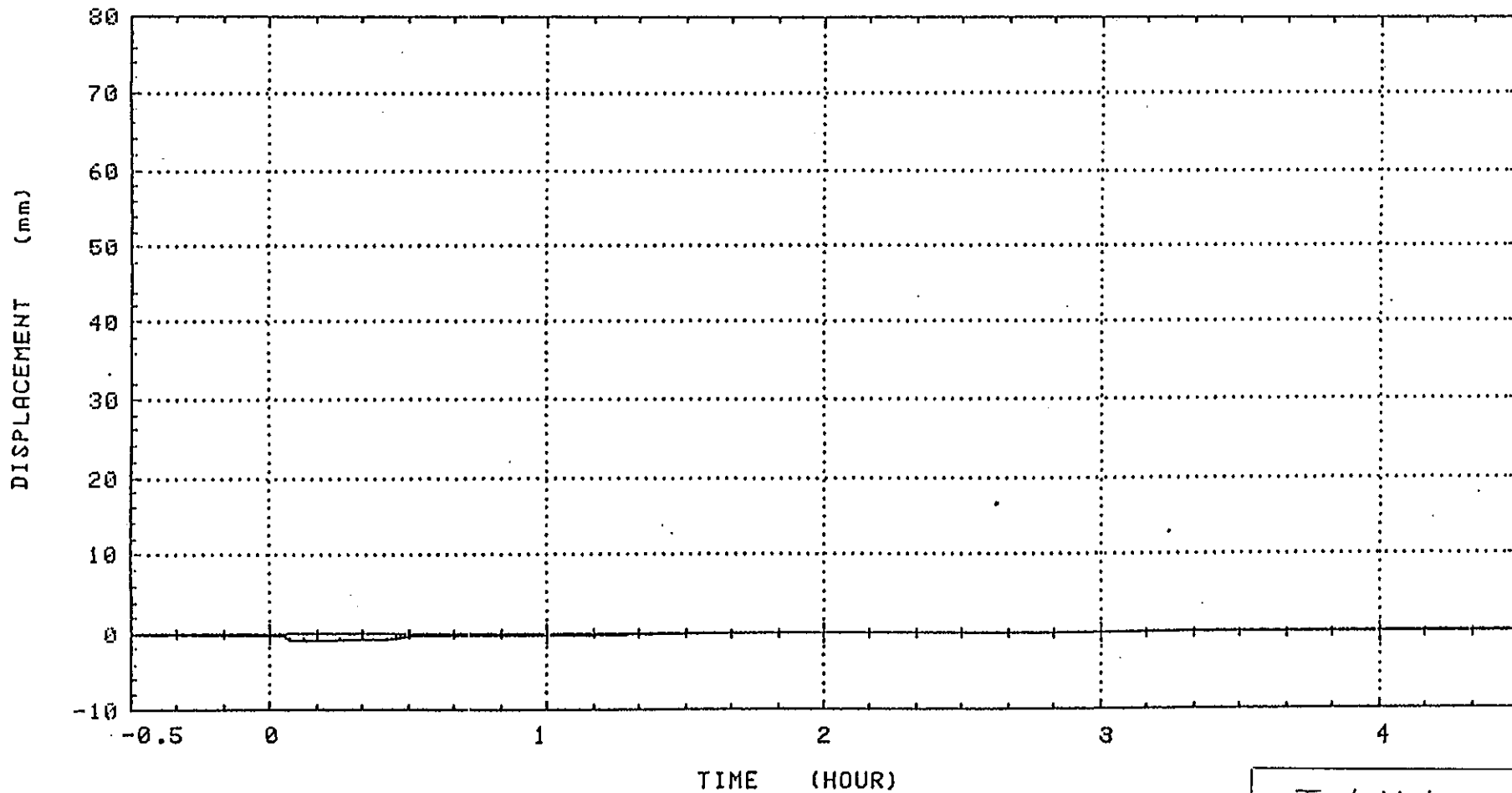


Fig.A-2-10 埋込金物 DL-11部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig.A-2-10 Record of Out-of-Plane Displacement of the Embedded Plate (DL-11) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-11 |

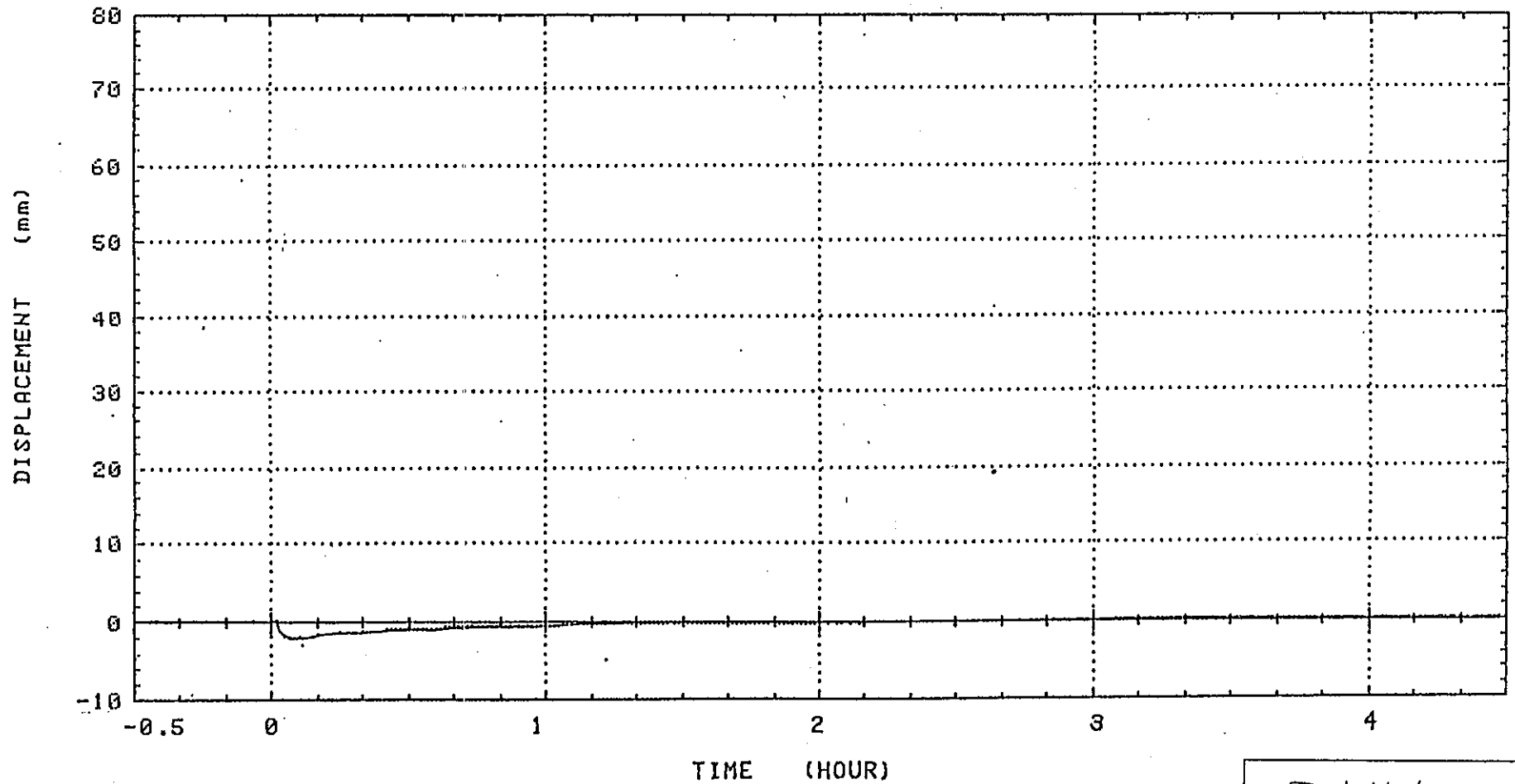


Fig.A-2-11 ライナプレートDL-12部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig.A-2-11 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate
 (DL-12) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-12 |

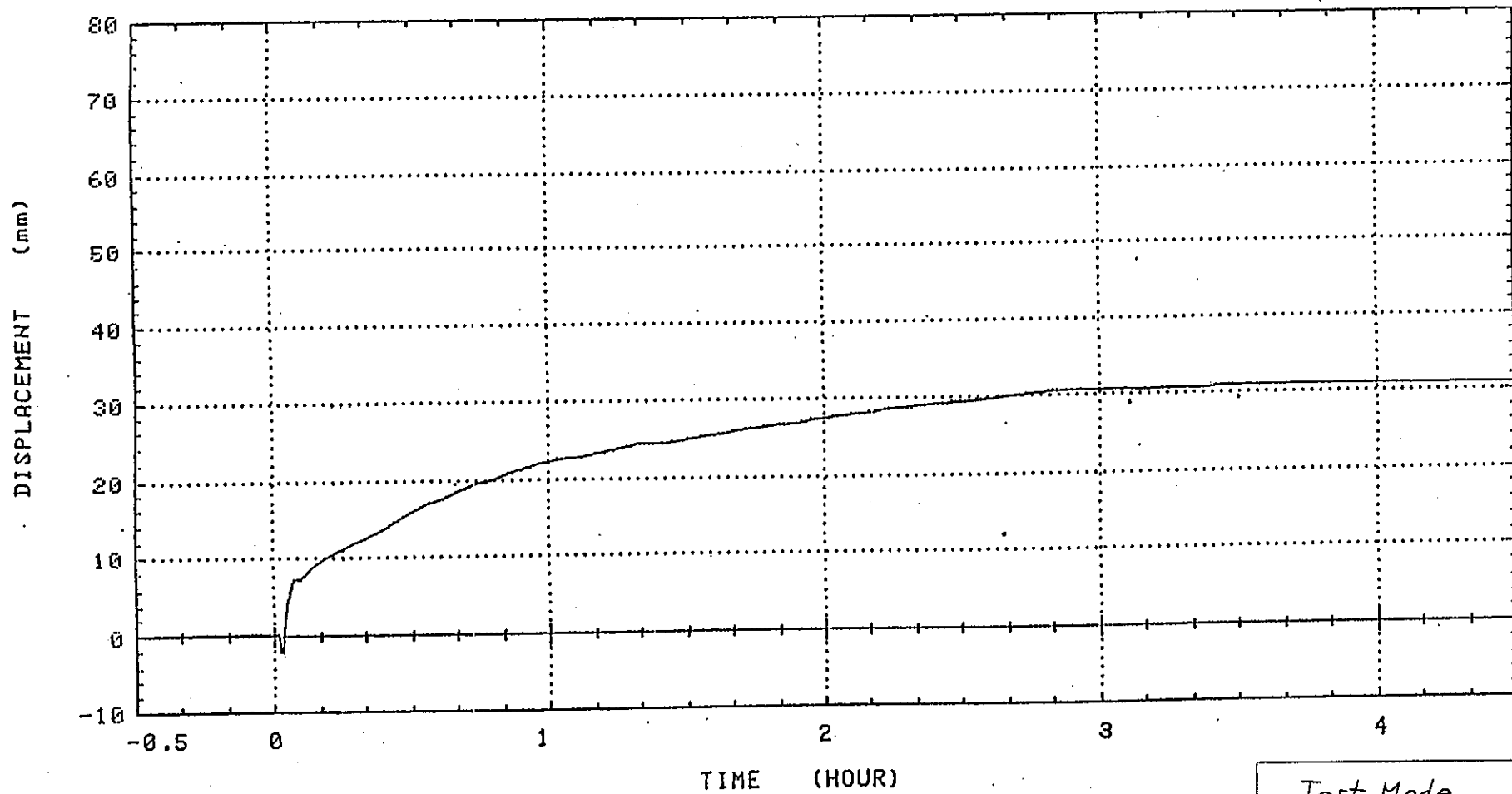


Fig. A-2-12 ライナプレート DL-13部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-12 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate
 (DL-13) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-13 |

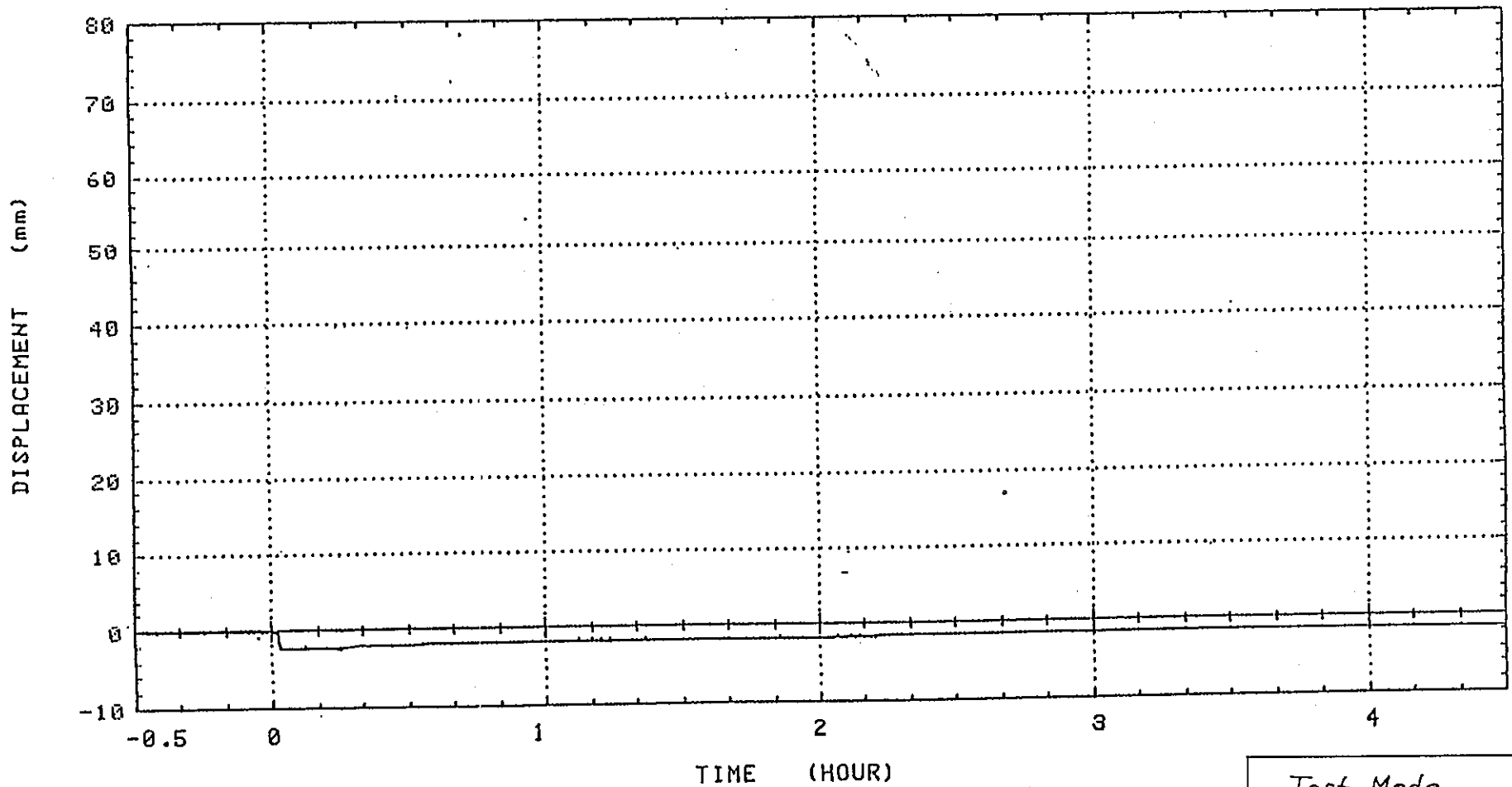


Fig. A-2-13 ライナープレート DL-14部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-13 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate
 (DL-14) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-14 |

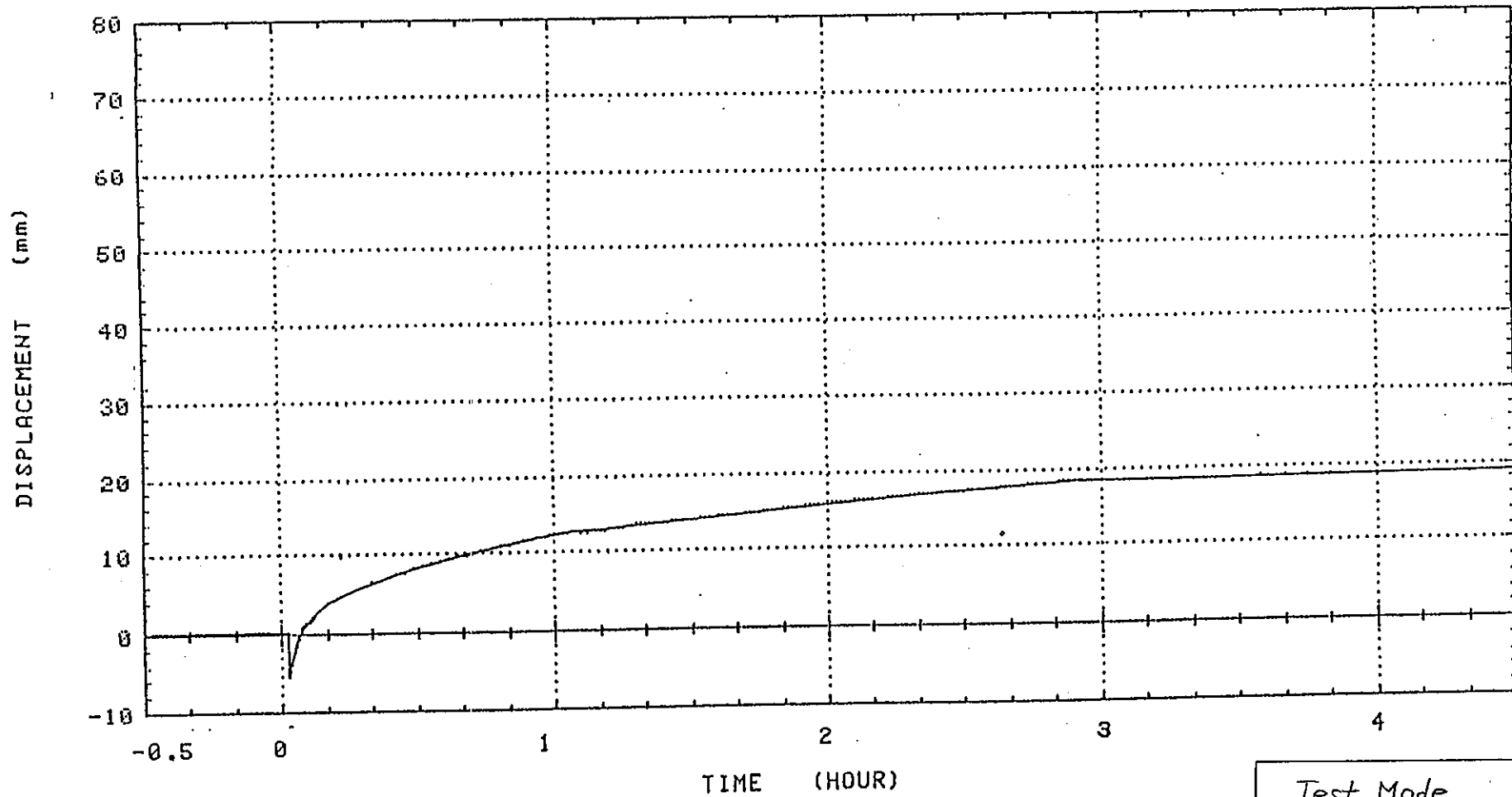


Fig.A-2-14 ライナープレート DL-15部の面外変位時間変化 (RUN-4)
 Fig.A-2-14 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate
 (DL-15) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-15 |

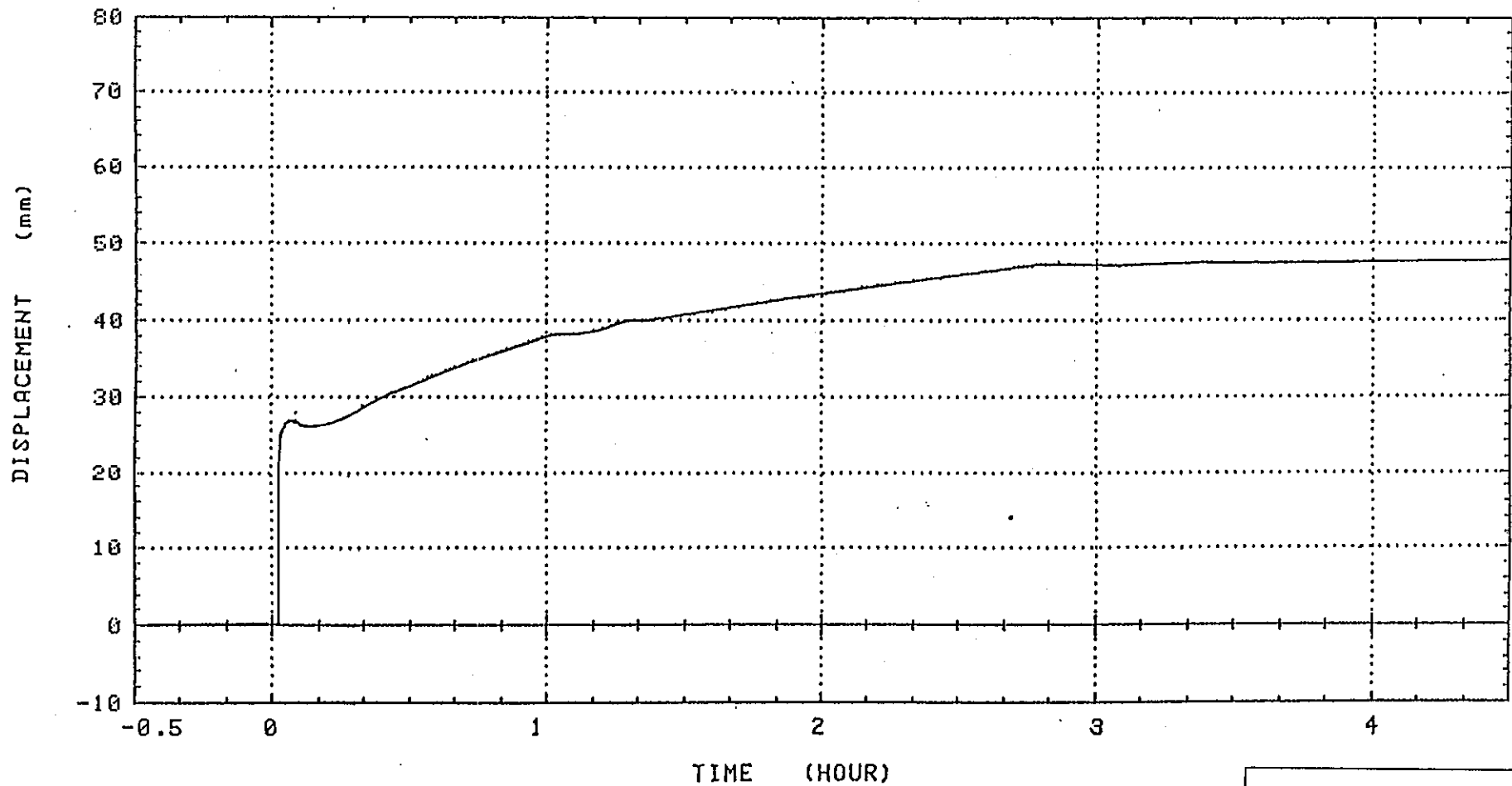


Fig.A-2-15 ライナプレート DL-16部の面外変位時間変化 (RUN-4)

Fig.A-2-15 Record of Out-of-Plane Displacement of the Liner Plate (DL-16) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement gauge | DL-16 |

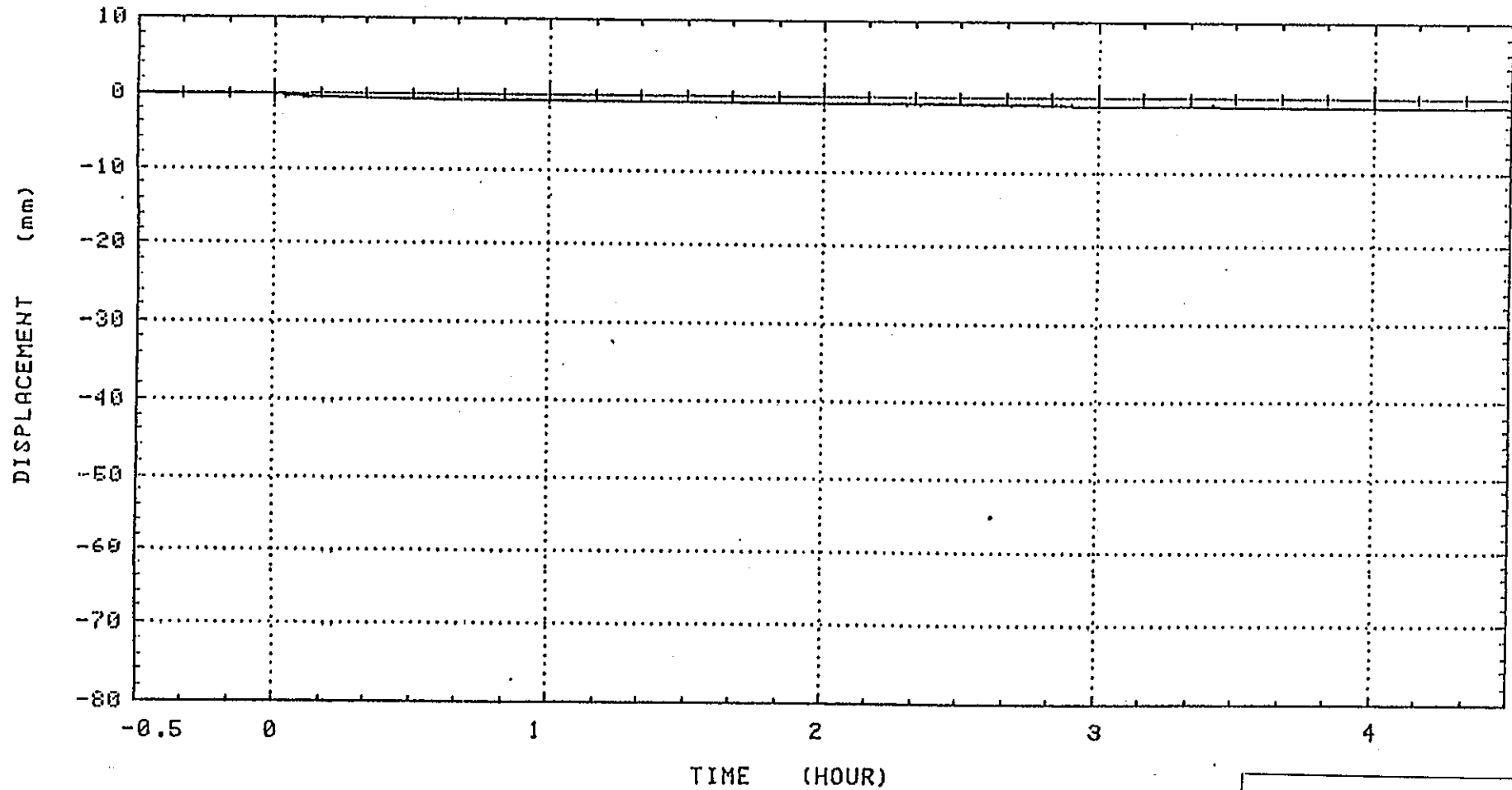


Fig.A-2-16 固定金物 DL-17部の面内変位時間変化 (RUN-4)
 Fig.A-2-16 Record of In-Plane Displacement of the Anchor
 (DL-17) at RUN-4

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-17 |

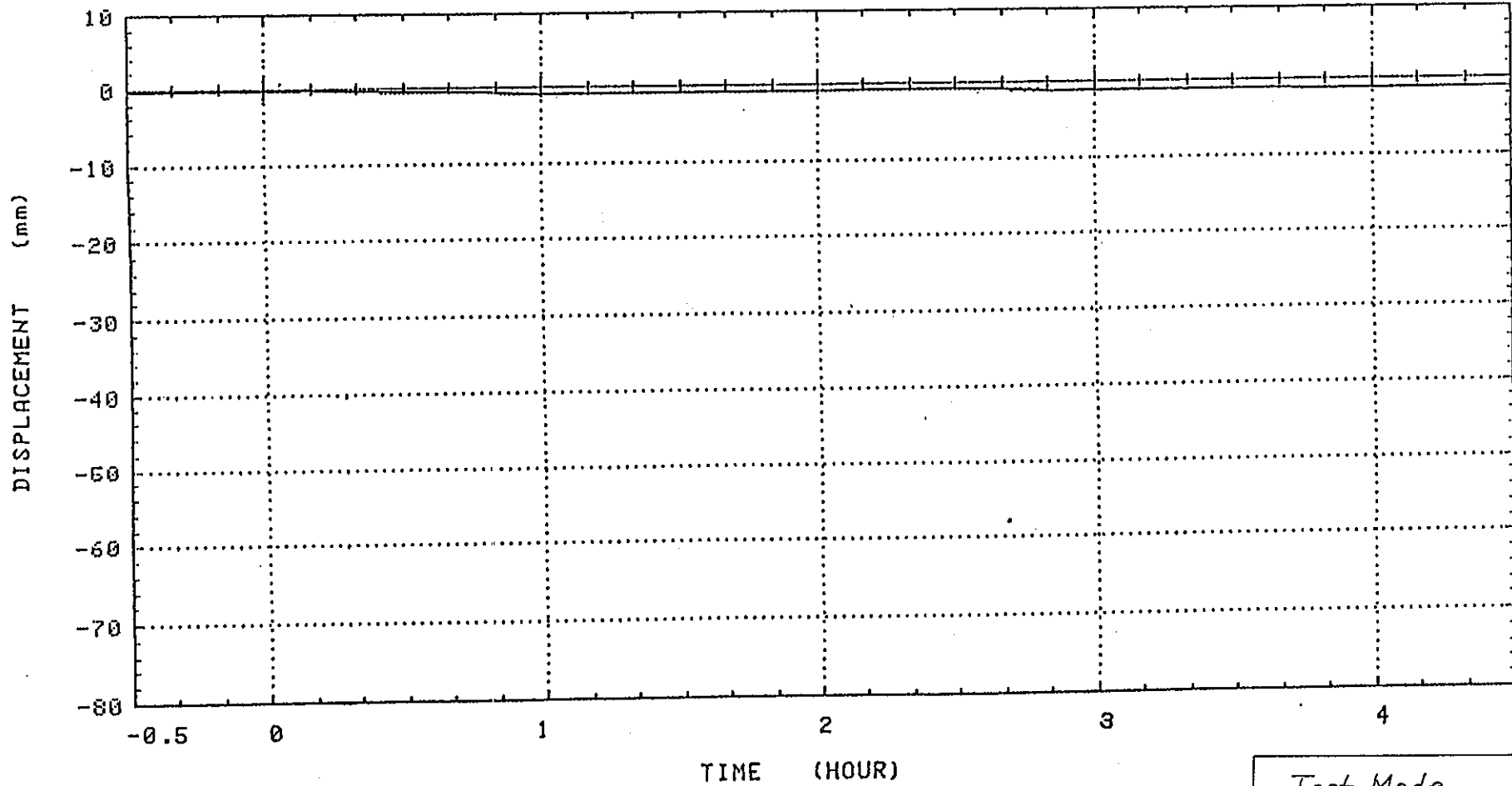


Fig. A-2-17 固定金物 DL-18部の面内変位時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-17 Record of In-Plane Displacement of the Anchor
 (DL-18) at RUN-4

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-18 |

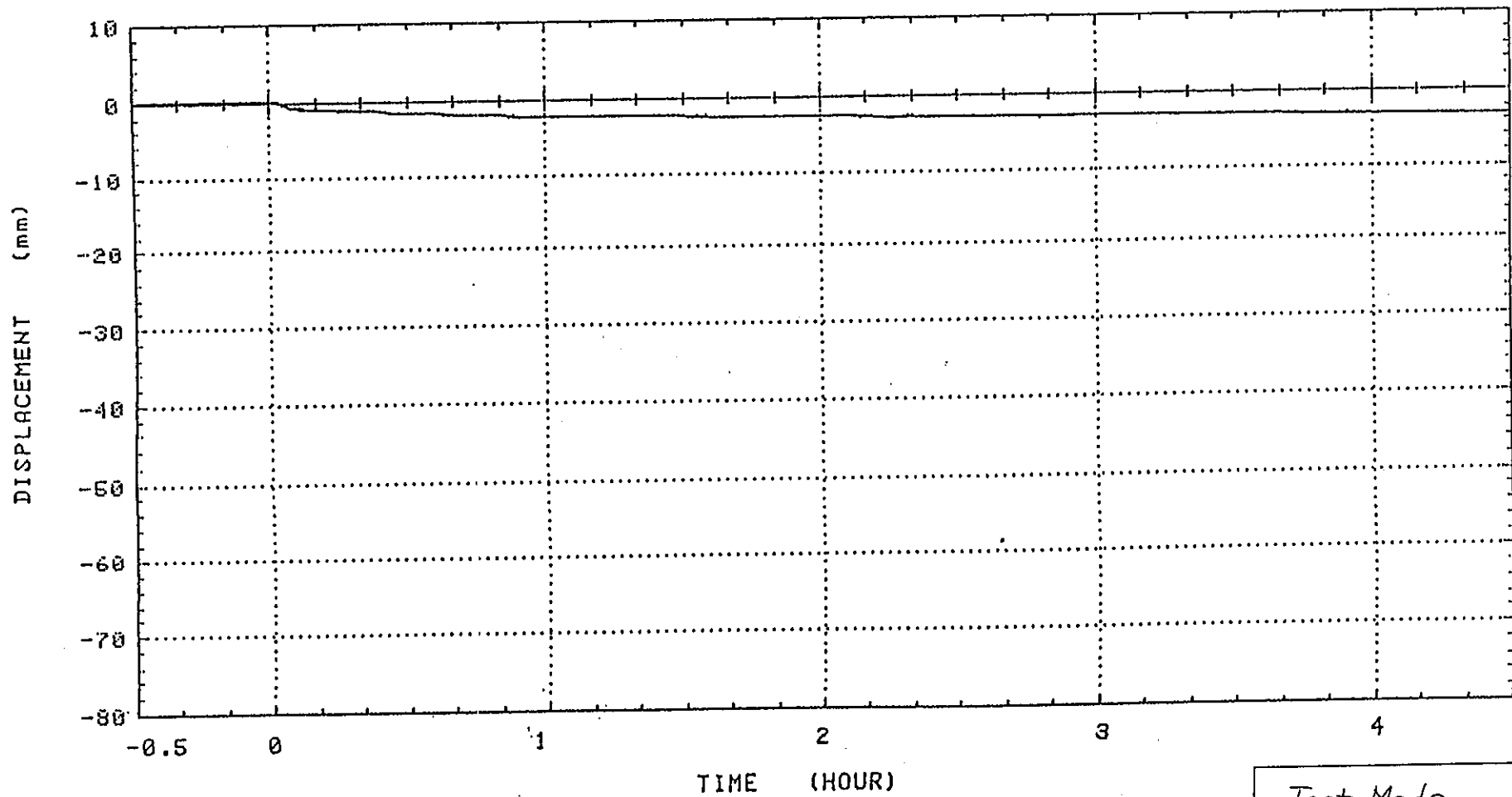


Fig.A-2-18 埋込金物 DL-19部の面内変位時間変化(RUN-4)
 Fig.A-2-18 Record of In-Plane Displacement of the Embedded Plate
 (DL-19) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-19 |

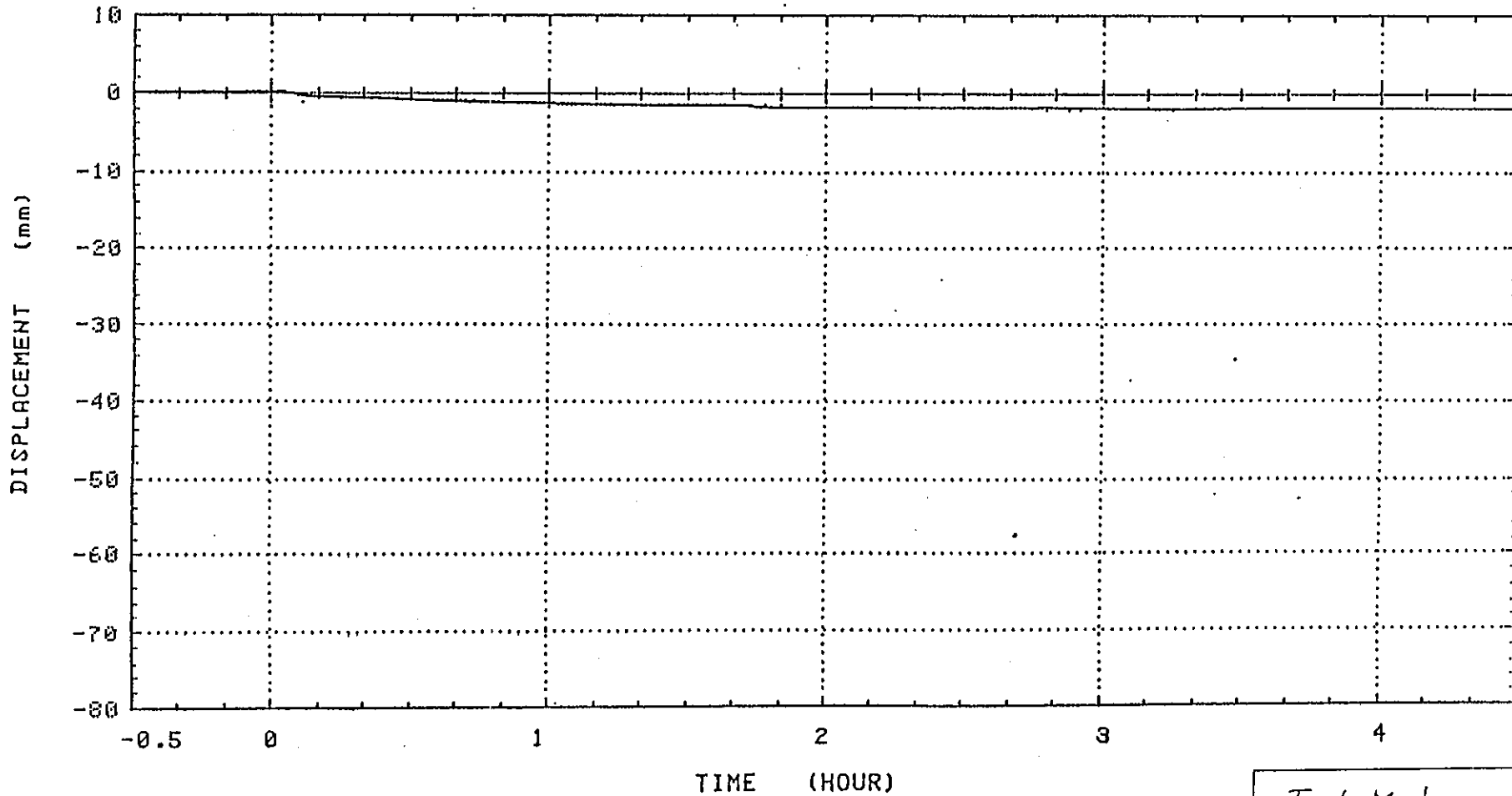


Fig.A-2-19 埋込金物DL-20部の面内変位時間変化(RUN-4)
 Fig.A-2-19 Record of In-Plane Displacement of the Embedded Plate
 (DL-20) at RUN-4.

| | |
|-------------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Displacement Gauge | DL-20 |

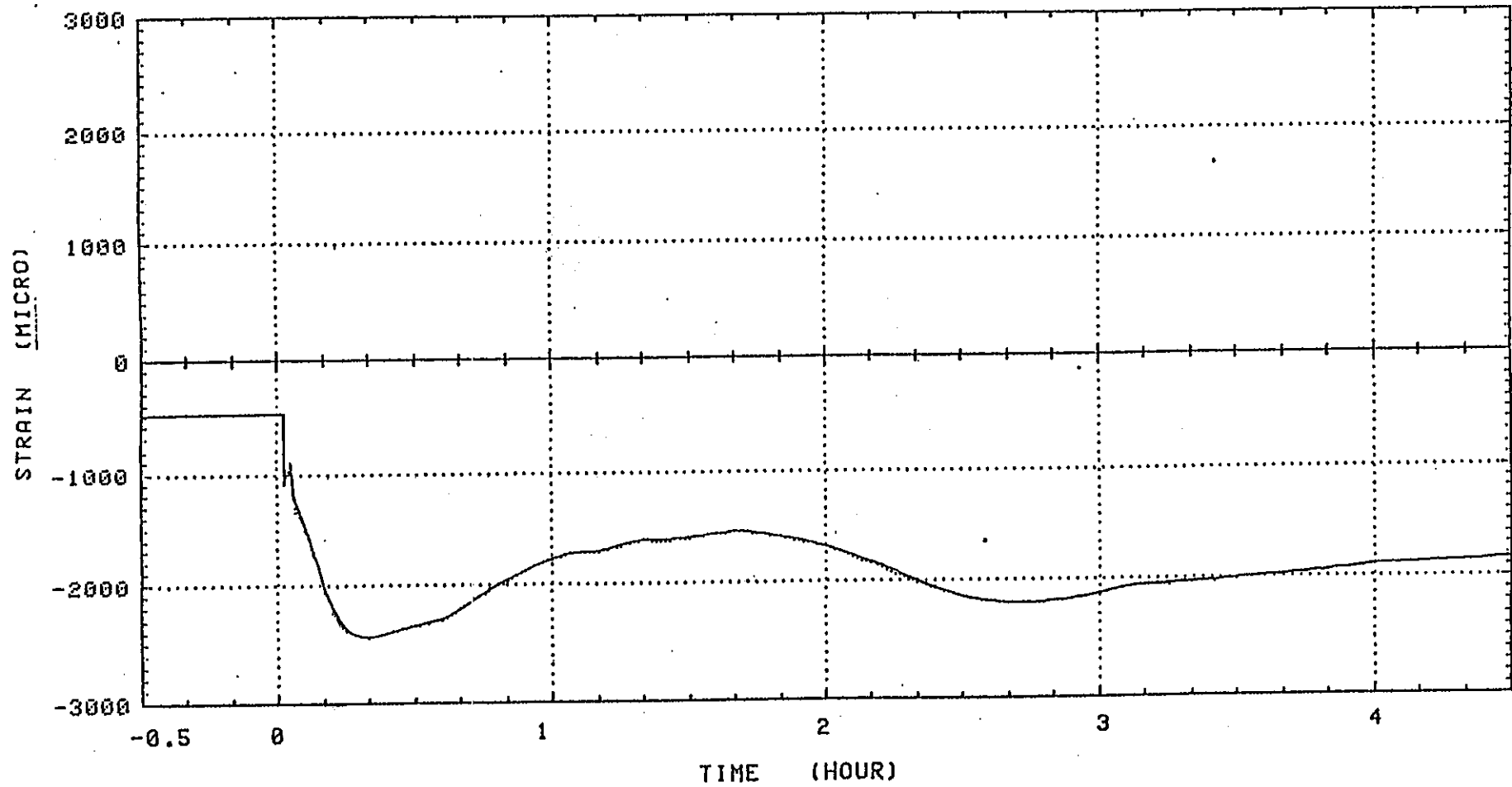


Fig. A-2-20 ライナプレート SL-1 部の歪み時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-20 Record of the Strain of the Liner Plate (SL-1)
 at RUN-4

| | |
|-------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Strain Gauge | SL-1 |

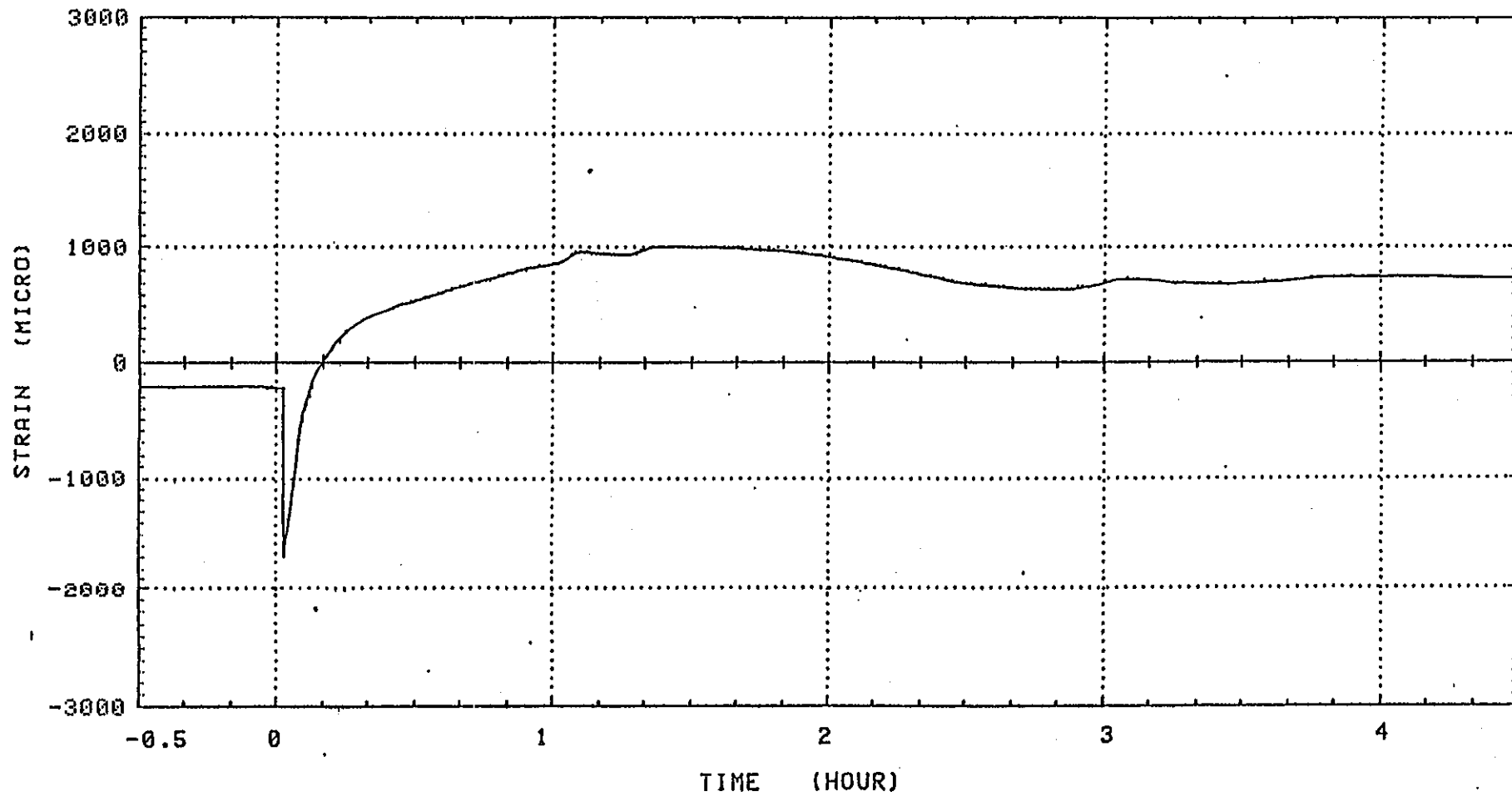


Fig. A-2-21 ライナ7°L - ト SL-2部の歪み時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-21 Record of the Strain of the Liner Plate (SL-2)
 at RUN-4

| | |
|-------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Strain Gauge | SL-2 |

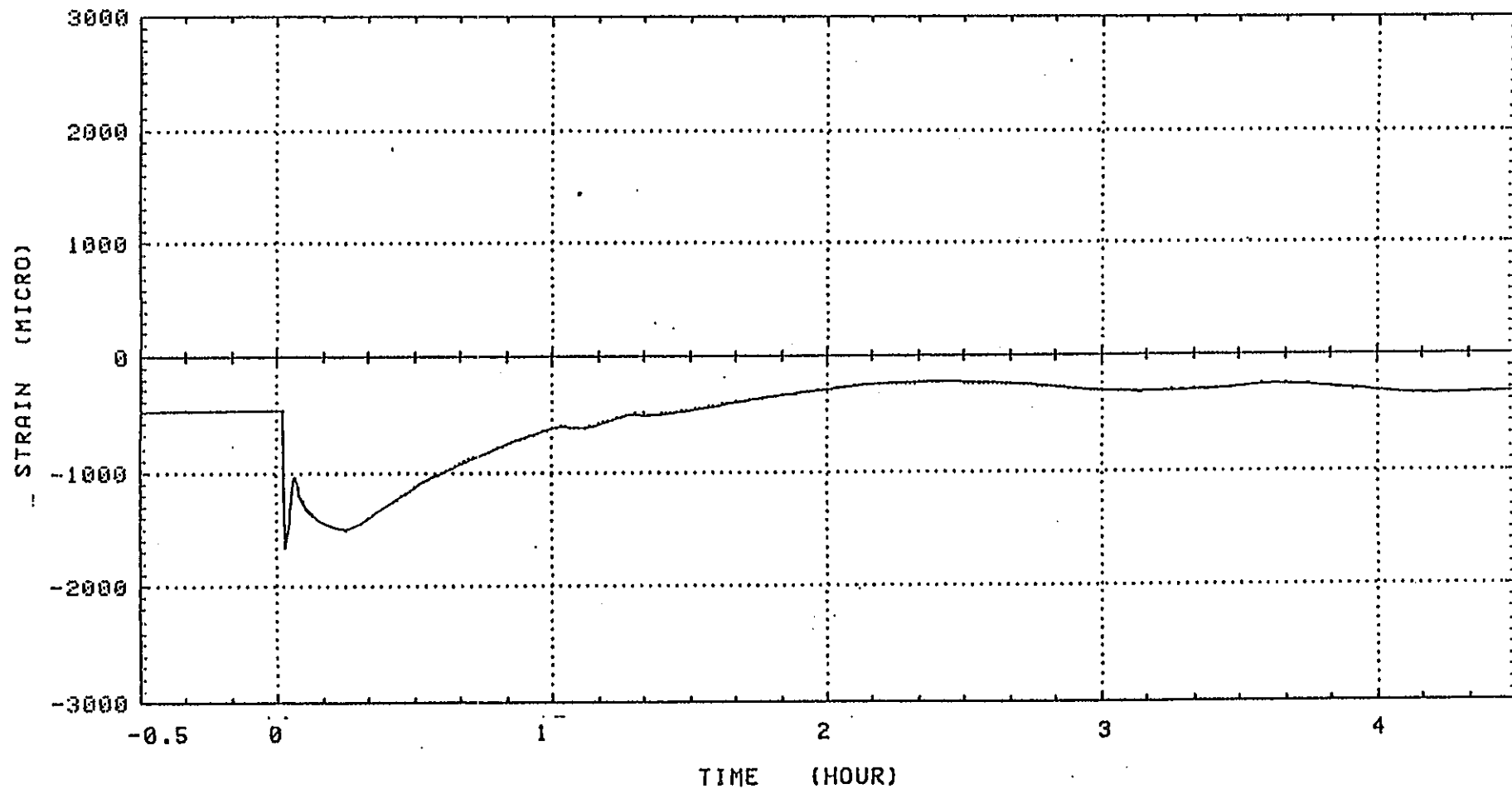


Fig. A-2-22 ライナプレート SL-3 部の歪み時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-22 Record of the Strain of the Liner Plate (SL-3)
 at RUN-4

| | |
|-------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Strain Gauge | SL-3 |

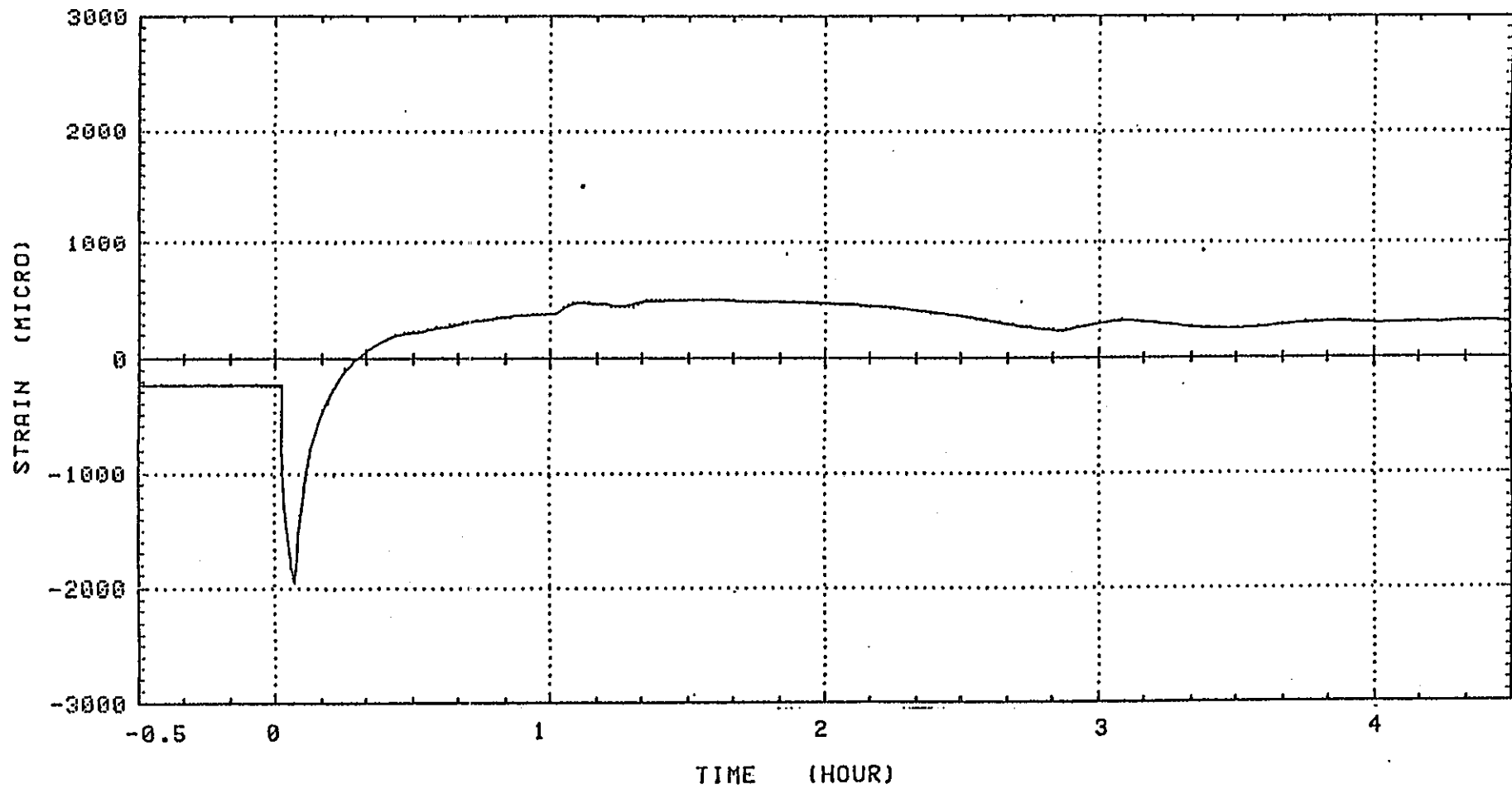


Fig. A-2-23 ライナプレート SL-4部の歪み時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-23 Record of the Strain of the Liner Plate (SL-4)
 at RUN-4

| | |
|-------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Strain Gauge | SL-4 |

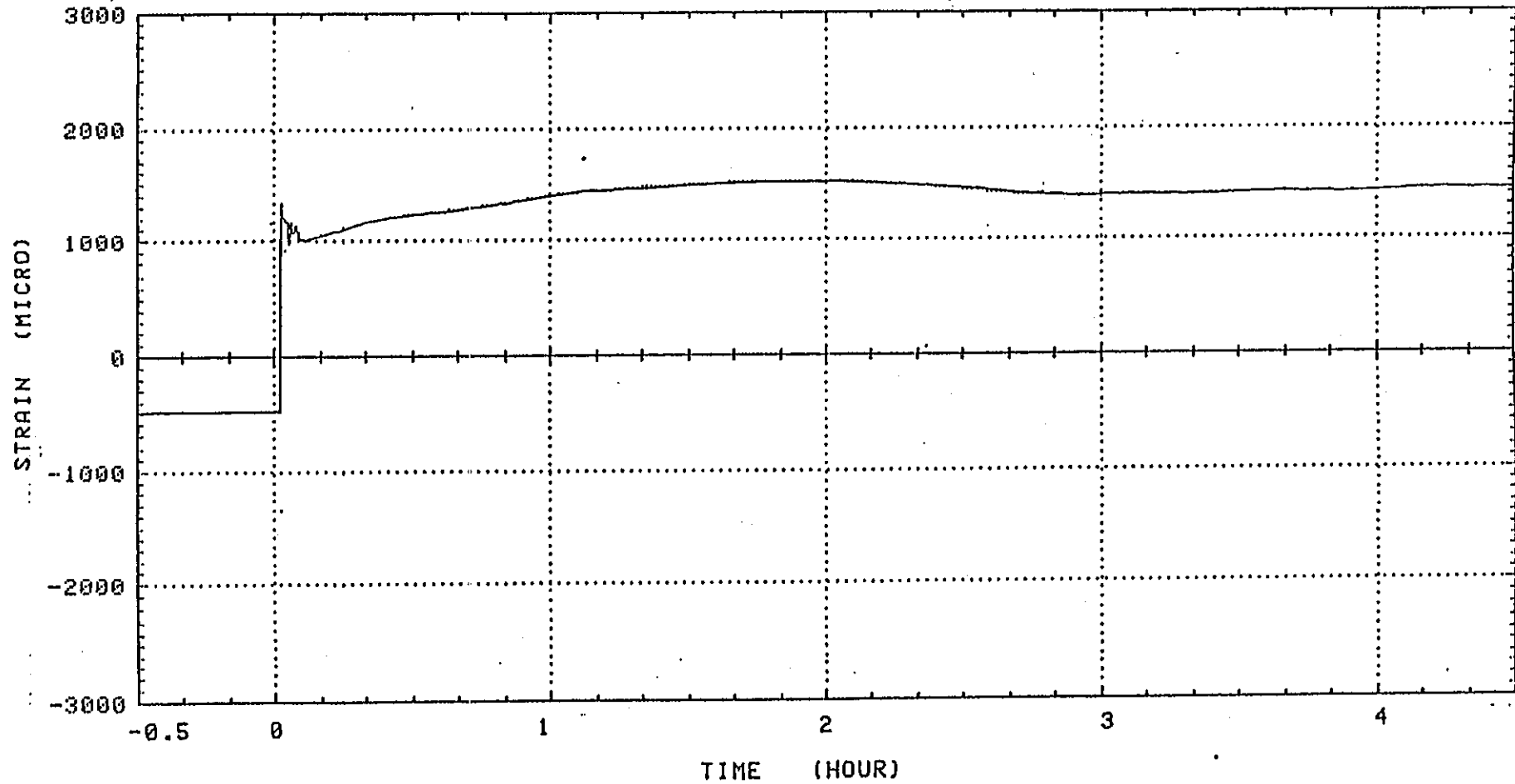


Fig. A-2-24 ライナプレート SL-5部の歪み時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-24 Record of the Strain of the Liner Plate (SL-5)
 at RUN-4

| | |
|-------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Strain Gauge | SL-5 |

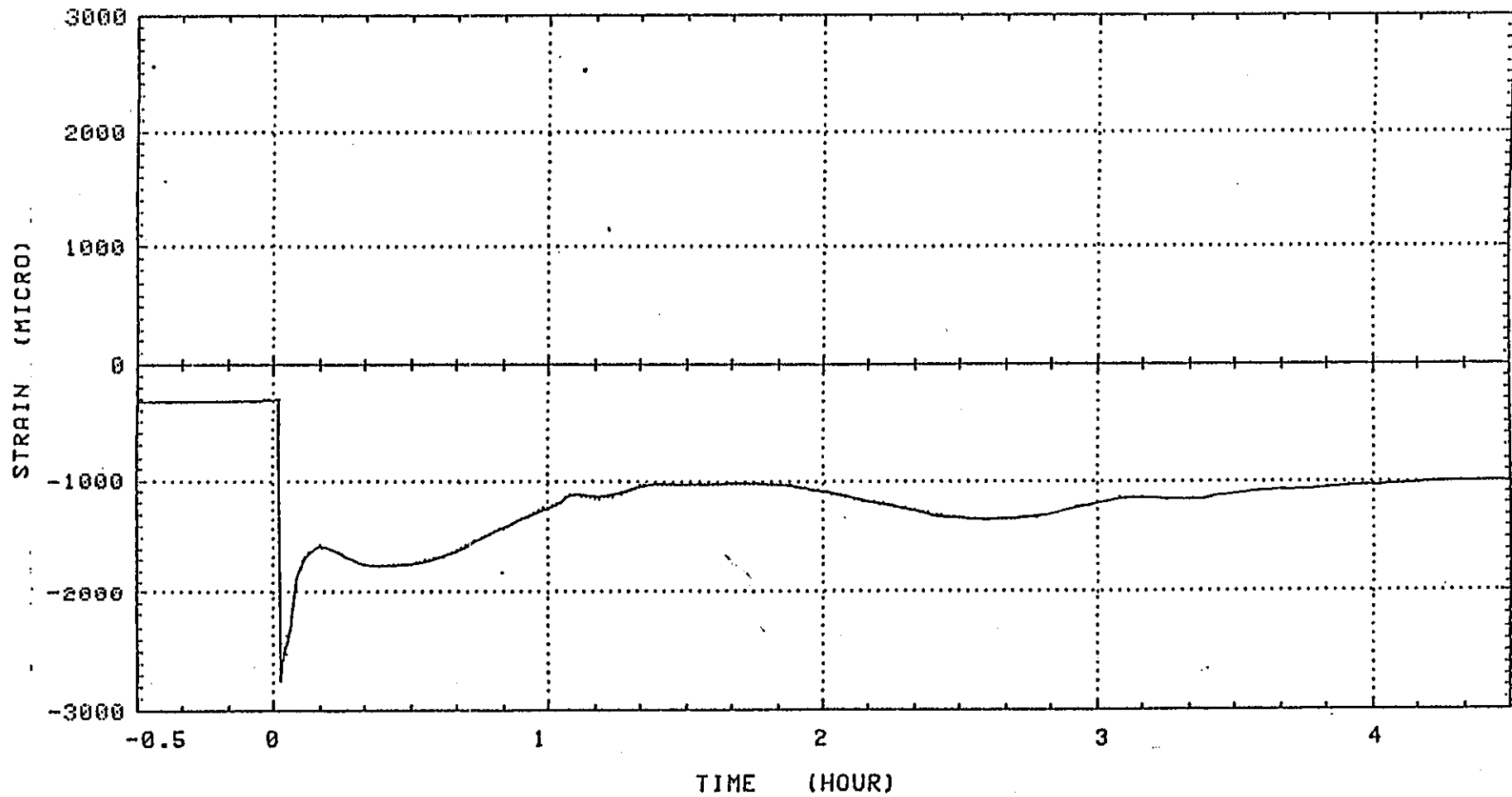


Fig. A-2-25 ライナ7°L - ト SL-6 部の歪み時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-25 Record of the Strain of the Liner Plate (SL-6)
 at RUN-4

| | |
|-------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Strain Gauge | SL-6 |

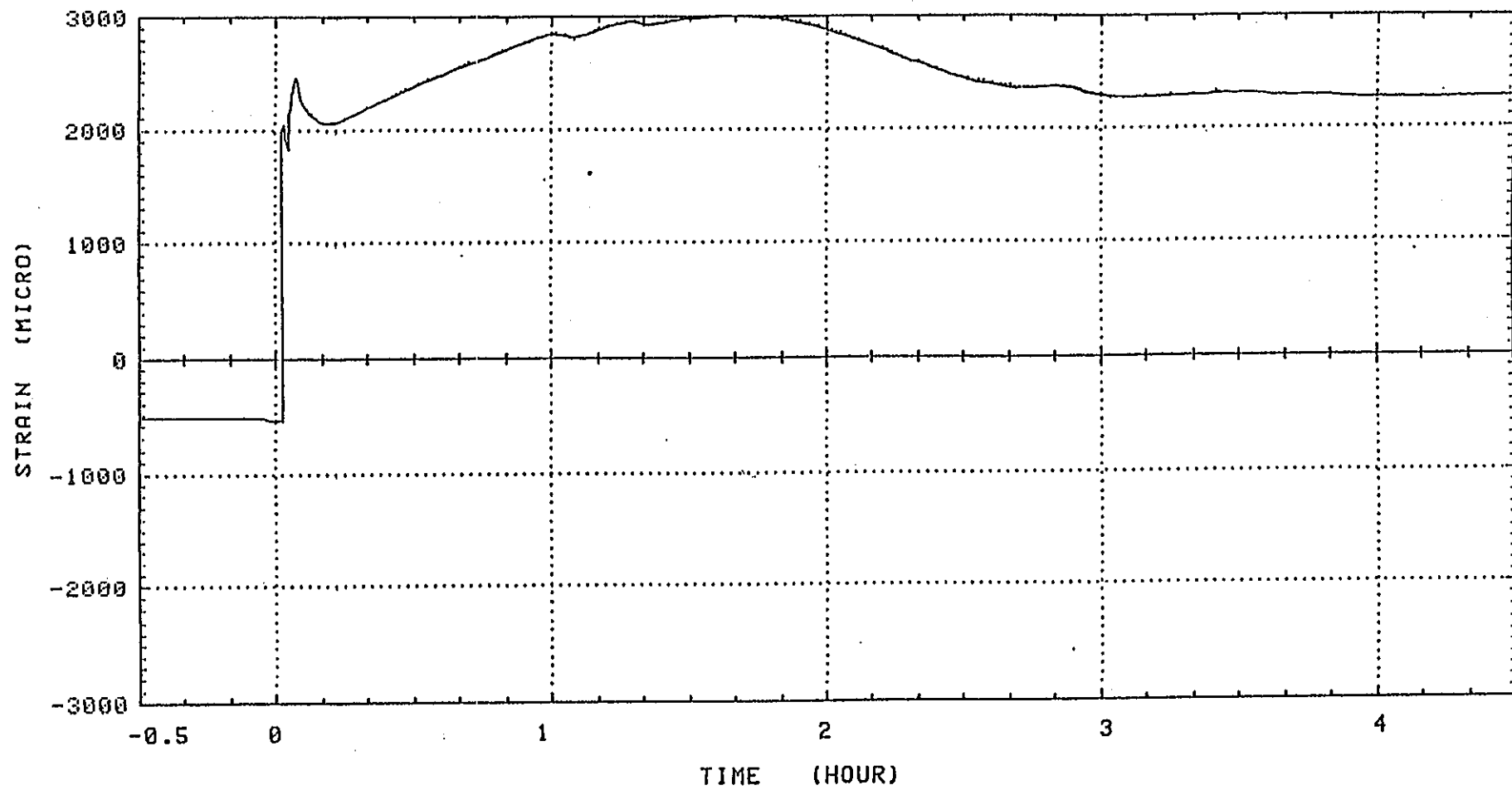


Fig. A-2-26 ライナプレート SL-7 部の歪み時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-26 Record of the Strain of the Liner Plate (SL-7)
 at RUN-4

| | |
|-------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Strain Gauge | SL-7 |

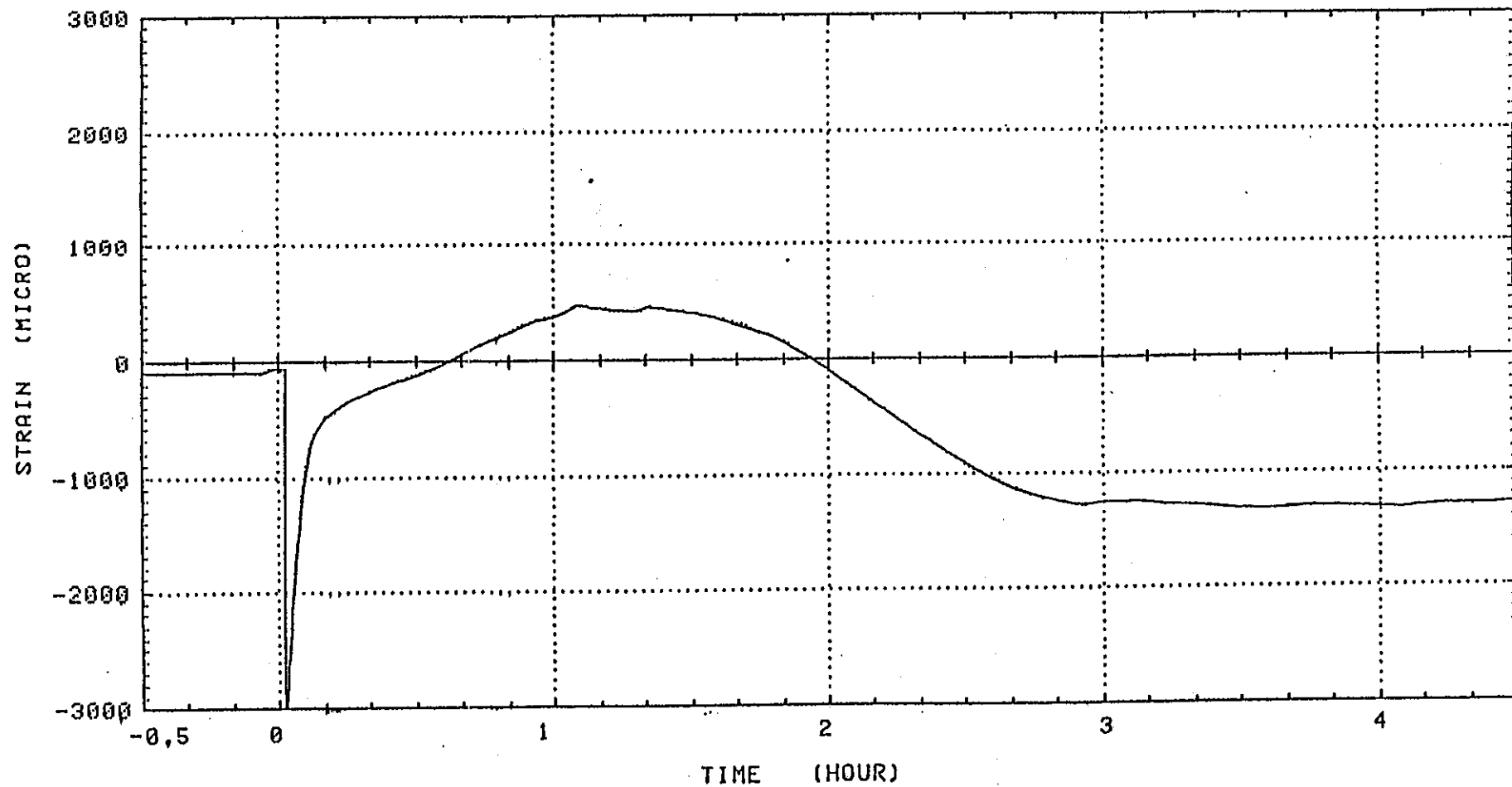


Fig. A-2-27 ライナー部 SL-8 部の歪み時間変化 (RUN-4)
 Fig. A-2-27 Record of the Strain of the Liner Plate (SL-8)
 at RUN-4

| | |
|-------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Strain Gauge | SL-8 |

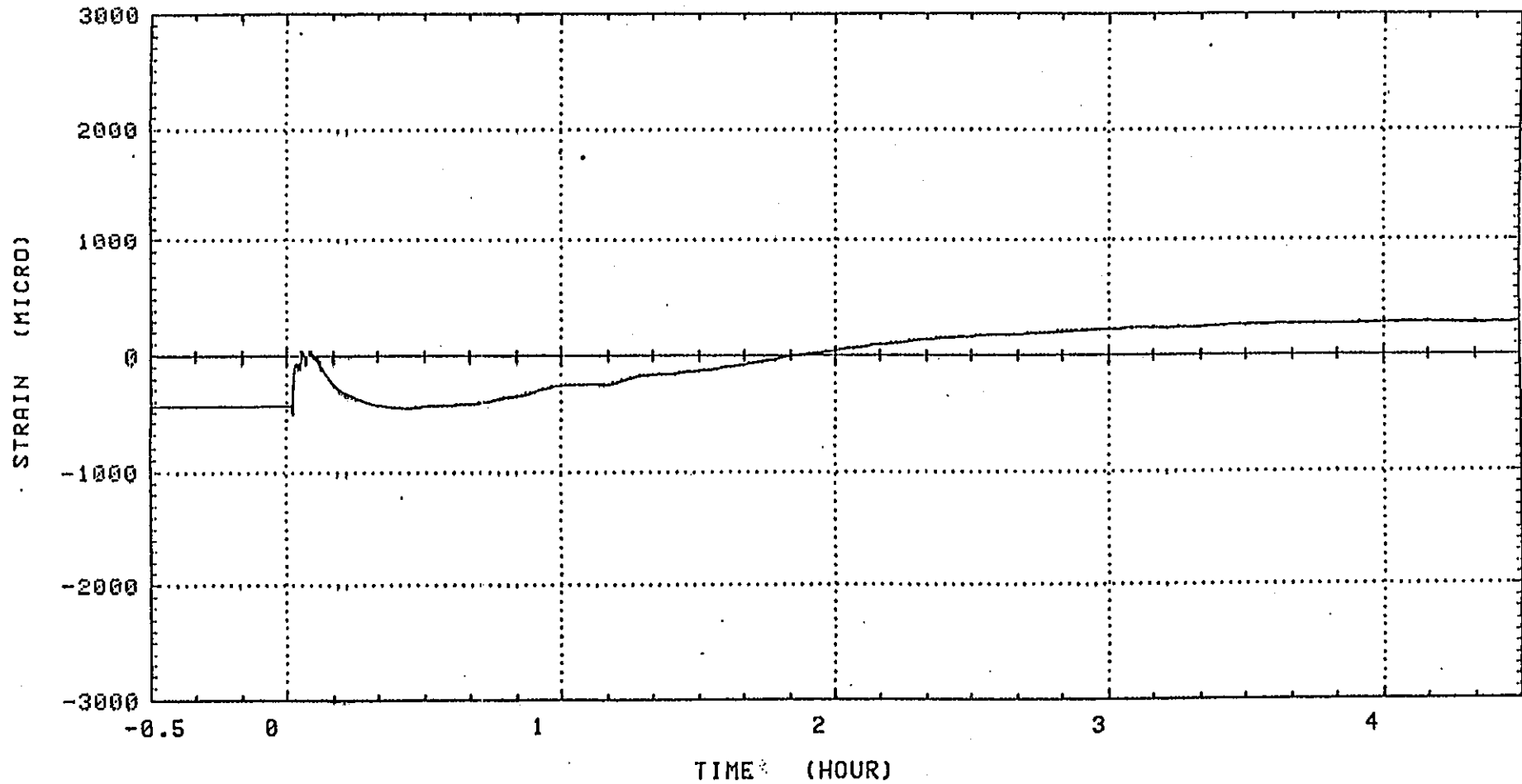


Fig.A-2-28 ライナプレート SL-9部の歪み時間変化 (RUN-4)
 Fig.A-2-28 Record of the Strain of the Liner Plate (SL-9)
 at RUN-4

| | |
|-------------------------|-------|
| Test Mode | RUN-4 |
| Tag No. of Strain Gauge | SL-9 |

APPENDIX B 「MARC」インアットリスト

3章で述べた「MARC」のインアットリストを添付する。

MARC - IBM
CARD INPUT DATA

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

TITLE *MONJU* LINER PLATE
SIZING 450000 91 112 1000 91 50
ALL POINTS
LARGE DISP
UPDATE
FINITE
THERMAL
MATERIAL 1 6
RESTART
POST 95
END
POST

- 95
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 9
- 111
- 211
- 311
- 411
- 511
- 611
- 711
- 811
- 911
- 1011
- 1111
- 112
- 212
- 312
- 412
- 512
- 612
- 712
- 812
- 912
- 1012
- 1112
- 113
- 213
- 313
- 413
- 513
- 613
- 713
- 813
- 913
- 1013
- 1113
- 117
- 217
- 317
- 417
- 517
- 617
- 717
- 817
- 917
- 1017
- 1117

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
|--------------|-------|------|----|----|----|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 121 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 221 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 321 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 421 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 521 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 621 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 721 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 821 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 921 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1021 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1121 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 122 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 222 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 322 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 422 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 522 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 622 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 722 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 822 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 922 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1022 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1122 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 123 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 223 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 323 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 423 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 523 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 623 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 723 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 823 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 923 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1023 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1123 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 127 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 227 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 327 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 427 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 527 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 627 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 727 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 827 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 927 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1027 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1127 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RESTART | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 1 | 91 | | | | | | | | | | | | | | |
| PRINT CHOICE | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 21 | 25 | 31 | 36 | 41 | 47 | 51 | 58 | 61 | 69 | 71 | 80 | 81 | 91 | 91 | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONTROL | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 500 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OPTIMIZE | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COORDINATES | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 112 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 300. | 0. | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 400. | 0. | | | | 0.069 | | | | | | | | | | |
| 3 | 500. | 0. | | | | 0.193 | | | | | | | | | | |
| 4 | 600. | 0. | | | | 0.280 | | | | | | | | | | |
| 5 | 700. | 0. | | | | 0.280 | | | | | | | | | | |
| 6 | 800. | 0. | | | | 0.194 | | | | | | | | | | |
| 7 | 900. | 0. | | | | 0.070 | | | | | | | | | | |
| 8 | 1000. | 0. | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 300. | 100. | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 400. | 100. | | | | 0.070 | | | | | | | | | | |
| 11 | 500. | 100. | | | | 0.198 | | | | | | | | | | |
| 12 | 600. | 100. | | | | 0.285 | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |

| 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
|----|-------|----|------|----|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 13 | 700. | | 100. | | 0.284 | | | | | | | | | | |
| 14 | 800. | | 100. | | 0.197 | | | | | | | | | | |
| 15 | 900. | | 100. | | 0.070 | | | | | | | | | | |
| 16 | 1000. | | 100. | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 300. | | 200. | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 400. | | 200. | | 0.076 | | | | | | | | | | |
| 19 | 500. | | 200. | | 0.211 | | | | | | | | | | |
| 20 | 600. | | 200. | | 0.301 | | | | | | | | | | |
| 21 | 700. | | 200. | | 0.296 | | | | | | | | | | |
| 22 | 800. | | 200. | | 0.203 | | | | | | | | | | |
| 23 | 900. | | 200. | | 0.072 | | | | | | | | | | |
| 24 | 1000. | | 200. | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 0. | | 300. | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 100. | | 300. | | | | | | | | | | | | |
| 27 | 200. | | 300. | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 300. | | 300. | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 400. | | 300. | | 0.105 | | | | | | | | | | |
| 30 | 500. | | 300. | | 0.250 | | | | | | | | | | |
| 31 | 600. | | 300. | | 0.331 | | | | | | | | | | |
| 32 | 700. | | 300. | | 0.316 | | | | | | | | | | |
| 33 | 800. | | 300. | | 0.213 | | | | | | | | | | |
| 34 | 900. | | 300. | | 0.075 | | | | | | | | | | |
| 35 | 1000. | | 300. | | | | | | | | | | | | |
| 36 | 0. | | 400. | | 0.069 | | | | | | | | | | |
| 37 | 100. | | 400. | | 0.070 | | | | | | | | | | |
| 38 | 200. | | 400. | | 0.076 | | | | | | | | | | |
| 39 | 300. | | 400. | | 0.105 | | | | | | | | | | |
| 40 | 400. | | 400. | | 0.202 | | | | | | | | | | |
| 41 | 500. | | 400. | | 0.316 | | | | | | | | | | |
| 42 | 600. | | 400. | | 0.371 | | | | | | | | | | |
| 43 | 700. | | 400. | | 0.336 | | | | | | | | | | |
| 44 | 800. | | 400. | | 0.221 | | | | | | | | | | |
| 45 | 900. | | 400. | | 0.077 | | | | | | | | | | |
| 46 | 1000. | | 400. | | | | | | | | | | | | |
| 47 | 0. | | 500. | | 0.193 | | | | | | | | | | |
| 48 | 100. | | 500. | | 0.198 | | | | | | | | | | |
| 49 | 200. | | 500. | | 0.211 | | | | | | | | | | |
| 50 | 300. | | 500. | | 0.250 | | | | | | | | | | |
| 51 | 400. | | 500. | | 0.316 | | | | | | | | | | |
| 52 | 500. | | 500. | | 0.382 | | | | | | | | | | |
| 53 | 600. | | 500. | | 0.400 | | | | | | | | | | |
| 54 | 700. | | 500. | | 0.344 | | | | | | | | | | |
| 55 | 800. | | 500. | | 0.222 | | | | | | | | | | |
| 56 | 900. | | 500. | | 0.077 | | | | | | | | | | |
| 57 | 1000. | | 500. | | | | | | | | | | | | |
| 58 | 0. | | 600. | | 0.280 | | | | | | | | | | |
| 59 | 100. | | 600. | | 0.285 | | | | | | | | | | |
| 60 | 200. | | 600. | | 0.301 | | | | | | | | | | |
| 61 | 300. | | 600. | | 0.331 | | | | | | | | | | |
| 62 | 400. | | 600. | | 0.371 | | | | | | | | | | |
| 63 | 500. | | 600. | | 0.400 | | | | | | | | | | |
| 64 | 600. | | 600. | | 0.390 | | | | | | | | | | |
| 65 | 700. | | 600. | | 0.324 | | | | | | | | | | |
| 66 | 800. | | 600. | | 0.206 | | | | | | | | | | |
| 67 | 900. | | 600. | | 0.071 | | | | | | | | | | |
| 68 | 1000. | | 600. | | | | | | | | | | | | |
| 69 | 0. | | 700. | | 0.280 | | | | | | | | | | |
| 70 | 100. | | 700. | | 0.284 | | | | | | | | | | |
| 71 | 200. | | 700. | | 0.296 | | | | | | | | | | |
| 72 | 300. | | 700. | | 0.316 | | | | | | | | | | |
| 73 | 400. | | 700. | | 0.336 | | | | | | | | | | |
| 74 | 500. | | 700. | | 0.344 | | | | | | | | | | |
| 75 | 600. | | 700. | | 0.324 | | | | | | | | | | |
| 76 | 700. | | 700. | | 0.264 | | | | | | | | | | |
| 77 | 800. | | 700. | | 0.167 | | | | | | | | | | |
| 78 | 900. | | 700. | | 0.058 | | | | | | | | | | |
| 79 | 1000. | | 700. | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 0. | | 800. | | 0.194 | | | | | | | | | | |
| 81 | 100. | | 800. | | 0.197 | | | | | | | | | | |

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
|--------------|-------|----|----|-------|-----------|-------|----|----|----|-------|----|----|----|----|----|----|
| 82 | 200. | | | 800. | | 0.203 | | | | | | | | | | |
| 83 | 300. | | | 800. | | 0.213 | | | | | | | | | | |
| 84 | 400. | | | 800. | | 0.221 | | | | | | | | | | |
| 85 | 500. | | | 800. | | 0.222 | | | | | | | | | | |
| 86 | 600. | | | 800. | | 0.206 | | | | | | | | | | |
| 87 | 700. | | | 800. | | 0.167 | | | | | | | | | | |
| 88 | 800. | | | 800. | | 0.105 | | | | | | | | | | |
| 89 | 900. | | | 800. | | 0.037 | | | | | | | | | | |
| 90 | 1000. | | | 800. | | | | | | | | | | | | |
| 91 | 0. | | | 900. | | 0.070 | | | | | | | | | | |
| 92 | 100. | | | 900. | | 0.070 | | | | | | | | | | |
| 93 | 200. | | | 900. | | 0.072 | | | | | | | | | | |
| 94 | 300. | | | 900. | | 0.075 | | | | | | | | | | |
| 95 | 400. | | | 900. | | 0.077 | | | | | | | | | | |
| 96 | 500. | | | 900. | | 0.077 | | | | | | | | | | |
| 97 | 600. | | | 900. | | 0.071 | | | | | | | | | | |
| 98 | 700. | | | 900. | | 0.058 | | | | | | | | | | |
| 99 | 800. | | | 900. | | 0.037 | | | | | | | | | | |
| 100 | 900. | | | 900. | | 0.013 | | | | | | | | | | |
| 101 | 1000. | | | 900. | | | | | | | | | | | | |
| 102 | 0. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 103 | 100. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 104 | 200. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 105 | 300. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 106 | 400. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 107 | 500. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 108 | 600. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 109 | 700. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 110 | 800. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 111 | 900. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| 112 | 1000. | | | 1000. | | | | | | | | | | | | |
| CONNECTIVITY | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 50 | 1 | 2 | 10 | 9 | | | | | | | | | | | |
| 15 | 50 | 17 | 18 | 29 | 28 | | | | | | | | | | | |
| 22 | 50 | 25 | 26 | 37 | 36 | | | | | | | | | | | |
| CONN GENER | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 7 | 1 | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| CONN GENER | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 14 | 1 | 7 | 1 | 4 | | | | | | | | | | | |
| CONN GENER | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 21 | 15 | 15 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| CONN GENER | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 31 | 22 | 22 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| CONN GENER | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 91 | 22 | 31 | 1 | 4 | | | | | | | | | | | |
| PROPERTY | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21300. | 0.3 | | | | 0.0000124 | 13. | | | | 6.156 | | | | | | |
| 1 | 91 | | | | | | | | | | | | | | | |
| GEOMETRY | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 91 | | | | | | | | | | | | | | | |
| WURK HARD | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

TEMPERATURE EFFECTS

6 6 6

| | | |
|--------------|-----|------|
| -2.988505 | E-3 | 13. |
| 5.7 | E-4 | 100. |
| -1.73 | E-3 | 200. |
| -3.76 | E-3 | 300. |
| -1.73 | E-3 | 400. |
| -6.7333333 | E-3 | 500. |
| -1.034482759 | E+1 | 13. |
| 2. | E+0 | 100. |
| -6. | E+0 | 200. |
| -1.3 | E+1 | 300. |
| -6. | E+0 | 400. |
| -2.3333333 | E+1 | 500. |
| 5.747126437 | E-9 | 13. |
| 1.5 | E-8 | 100. |
| 6. | E-9 | 200. |
| -3. | E-9 | 300. |
| -2. | E-9 | 400. |
| 1.3333333 | E-8 | 500. |

BOUNDARY CONDITIONS

0 1 22

THERMAL LOADS

2

END OPTION

BOUNDARY CHANGE

0

0 1 22

THERMAL LOADS

2

CONTINUE

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80