

ASP 施設クレーンレールの熱変形解析

—アスファルト固化処理施設内クレーンレール受梁の熱変形に係る弾塑性解析—

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1997年8月

株式会社 日立製作所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒 319-11

茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 (Tokai Works)

技術開発推進部・技術管理室

(Technology Management Section)

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1997

公開資料

PNC TJ8124 97-011

1997年8月

ASP 施設クレーンレールの熱変形解析

—アスファルト固化処理施設内クレーンレール受梁の熱変形に係る弾塑性解析—

植田徳生**、本永哲司 *

要　旨

アスファルト固化処理施設内のクレーンレール受梁は火災・爆発事故に伴い変形（残留歪）を生じており、爆発後のドラム火災による熱影響と推定している。クレーンレール受梁の残留熱変形解析を行い、現場の変形状態と比較することによって燃焼したアスファルト固化体本数を推定する。

本解析作業では、火災想定ドラム本数、火災想定ドラム位置、除熱条件、クレーンレール支持条件をパラメータとした熱過渡解析及び熱弾塑性解析を行った。

以下に、解析により得られた知見を示す。

(1) 热過渡解析

火災想定ドラムとして同時に2本を想定した熱流束を設定すると、金属温度は約1250°Cに達し鉄の融点(約1300°C)とほぼ等しい温度となる為、2本同時の火災は発生していないと判断する。

また、受梁の熱伝達率として5 kcal/m²°Cと10 kcal/m²°Cの結果を比較すると、最高温度で約8%の差異を生ずるが、熱伝達率を2倍にしても最高温度に与える影響は少ないことが分かった。

(2) 热弾塑性解析

北側クレーンレールについては、実測値（上方へ変位）が約60mm変形しているのに対して、解析では最小35.6mm、最大186.6mmの解析結果が得られており、残留変形の傾向もほぼ一致する。

一方、南側クレーンレールについては、実測値（水平方向へ変位）が約100mm変形しているのに対して76.4mmの解析結果が得られたが、同時に上方へ251.8mm変形する結果となっており実現象を解析では十分模擬出来なかった。

本報告書は、株式会社日立製作所が動力炉・核燃料開発事業団の契約により実施した業務の成果である。

契約番号………09C8067

事業団担当部課室：アスファルト事故原因究明班 大森 栄一

* (株) 日立製作所 日立工場バックエンドセンター・バックエンド企画グループ

** 日立エンジニアリング (株) コンサルティングエンジニアリング第2部応用解析グループ

PNC TJ8124 97-001
August 1997

Thermal Deformation Analysis of Crane-rail in Bituminization Facility
- Elasto-Plastic Analysis due to Thermal Deformation of Crane-rail Beams in Bituminization Facility -

Norio Ueda**
Tetsuji Motonaga*

ABSTRACT

Crane-rail support beams in Bituminization Facility were deformed (had residual strain) after explosion and fire accident. It is supposed to be a phenomena which is caused by thermal effect after Asphalt drum fire accident. This is to estimate the number of drum burned through the comparison between analysis results and the actual deformation.

Thermal transient analysis followed by Elasto-Plastic Analysis were performed under various conditions in the number of drums burned, the position of drums burned, the cooling conditions and the beams support conditions.

(1) Thermal transient analysis

In the case that two(2) drums are burned simultaneously, the temperature is reached 1250°C which is close to the melting point of 1300°C. Therefore it is concluded that two(2) drums or more did not cause fire simultaneously.

The difference of heat transfer coefficient of support beams between 5kcal/m²°C and 10kcal/m²°C makes only 8% difference in metal temperature and it is concluded that twice of heat transfer coefficient has less effect in the maximum metal temperature.

(2) Thermal Elasto-Plastic Analysis

The north side support beam deformed 60mm upward actually. On the other hand, analysis results showed minimum deformation of 35.6mm, maximum deformation of 186.6mm and well simulated the deformation tendency.

The south side support beam deformed 100mm horizontally. On the other hand, analysis results showed 76.4mm deformation horizontally and 251.8mm upward at the same time. The analysis could not simulate sufficiently the actual phenomena.

Work Performed by Hitachi, Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation
PNC Liaison : Investigation Group for Bituminization Facility Accident

* Hitachi, Ltd. Hitachi Works Back End Center Back End Project Sect.

** Hitachi Engineering Co., Ltd Second Consulting Engineering Dept Design Analysis Engineering Sect.

目 次

1. 目的	1
2. 作業範囲	1
2.1 作業概要	1
2.2 クレーンレールの形状	1
3. 解析条件	1
3.1 熱過渡解析	1
3.1.1 解析コード	1
3.1.2 要素分割	1
3.1.3 境界条件	2
3.1.4 熱材料特性	3
3.2 熱弾塑性解析	3
3.2.1 解析コード	3
3.2.2 境界条件	3
3.2.3 強度材料特性	4
3.2.4 荷重条件	4
4. 解析結果	4
4.1 熱過渡解析結果	4
4.2 熱弾塑性解析結果	5
5. まとめ	6

図 目 次

図 2-1 解析対象及びモデル化範囲（北側）	7
図 2-2 解析対象及びモデル化範囲（南側）	8
図 3-1 解析モデル（北側クレーンレール）	9
図 3-2 解析モデル（南側クレーンレール）	10
図 3-3 解析モデルに与えた熱流束（ケース 1～ケース 3）	11
図 3-4 各ケース毎の熱境界条件	12
図 3-5 解析モデルに与えた熱流束（ケース 4）	13
図 3-6 北側クレーンレール拘束条件図	15
図 3-7 北側クレーンレール拘束条件図	16
図 4-1-1 ケース 1 北側クレーンレール 2 時間後の温度分布	17
図 4-1-2 ケース 2 北側クレーンレール 2 時間後の温度分布	18
図 4-1-3 ケース 3 北側クレーンレール 2 時間後の温度分布	19
図 4-1-4 ケース 4 北側クレーンレール 2 時間後の温度分布	20
図 4-1-5 ケース 6 北側クレーンレール 2 時間後の温度分布	21
図 4-1-6 ケース 7 北側クレーンレール 2 時間後の温度分布	22
図 4-1-7 ケース 1 南側クレーンレール 2 時間後の温度分布	23
図 4-1-8 ケース 2 南側クレーンレール 2 時間後の温度分布	24
図 4-1-9 ケース 3 南側クレーンレール 2 時間後の温度分布	25
図 4-1-10 ケース 4 南側クレーンレール 2 時間後の温度分布	26
図 4-1-11 ケース 1 温度履歴（北側レール）	27
図 4-1-12 ケース 2 温度履歴（北側レール）	28
図 4-1-13 ケース 3 温度履歴（北側レール）	29
図 4-1-14 ケース 4 温度履歴（北側レール）	30
図 4-1-15 ケース 6 温度履歴（北側レール）	31
図 4-1-16 ケース 7 温度履歴（北側レール）	32
図 4-1-17 ケース 1 温度履歴（南側レール）	33
図 4-1-18 ケース 2 温度履歴（南側レール）	34
図 4-1-19 ケース 3 温度履歴（南側レール）	35
図 4-1-20 ケース 4 温度履歴（南側レール）	36
図 4-2-1 ケース 1 北側クレーンレール 残留変形図	38
図 4-2-2 ケース 2 北側クレーンレール 残留変形図	39
図 4-2-3 ケース 3 北側クレーンレール 残留変形図	40
図 4-2-4 ケース 4 北側クレーンレール 残留変形図	41
図 4-2-5 ケース 1 南側クレーンレール 残留変形図	42
図 4-2-6 ケース 2 南側クレーンレール 残留変形図	43
図 4-2-7 ケース 3 南側クレーンレール 残留変形図	44
図 4-2-8 ケース 4 南側クレーンレール 残留変形図	45
図 4-2-9 ケース 5 南側クレーンレール 残留変形図	46
図 4-2-10 ケース 1 鉛直方向（Y）変位履歴（北側レール）	47
図 4-2-11 ケース 2 鉛直方向（Y）変位履歴（北側レール）	48
図 4-2-12 ケース 3 鉛直方向（Y）変位履歴（北側レール）	49
図 4-2-13 ケース 4 鉛直方向（Y）変位履歴（北側レール）	50
図 4-2-14 ケース 1 水平方向（X）変位履歴（南側レール）	51
図 4-2-15 ケース 2 水平方向（X）変位履歴（南側レール）	52
図 4-2-16 ケース 3 水平方向（X）変位履歴（南側レール）	53
図 4-2-17 ケース 4 水平方向（X）変位履歴（南側レール）	54
図 4-2-18 ケース 5 水平方向（X）変位履歴（南側レール）	55

表 目 次

表 3-1 热材料特性 (SS 41)	14
表 3-2 強度材料特性 (SS 41)	14
表 4-1 各解析ケースの最高温度	4
表 4-2 解析結果のまとめ	39

1. 目的

アスファルト固化処理施設において発生した火災・爆発事故の原因究明作業の一つとして、火災・爆発事象進展を調査評価している。その中で爆発発生後に長時間の火災があつたものと推定しており、これを裏付けるための評価の一つとして、火災の熱影響による事象の一つと考えられるクレーンレール受梁熱変形に着目し、この熱変形量から炎上したドラム本数を推定するものである。

このため、クレーンレール受梁が火災により生じた残留熱変形を解析で模擬し、同受梁が受けた熱量を算出して、火災を生じたドラム本数を推定するものである。

2. 作業範囲

2.1 作業概要

アスファルト固化処理施設内ドラムハンドリングマニプレータ（DHM）のレール（通称クレーンレール）の受梁は、アスファルト充填室（R152）内の北側及び南側に設置されている。このクレーンレール受梁は火災・爆発事故に伴い変形（残留歪）を生じており、爆発後のドラム火災による熱影響と推定している。過去に行われた模擬アスファルト固化体の燃焼実験結果やクレーンレール受梁の形状などを基に、アスファルト固化体燃焼時の輻射熱量を求め、同受梁の残留熱変形解析を行い、現場の変形状態と比較することによって燃焼したアスファルト固化体本数を推定する。

2.2 クレーンレール受梁の形状

アスファルト固化処理施設内のクレーンレールは北側及び南側に設置されており、解析対象及びモデル化範囲（点線で囲んだ部分）を図2-1、図2-2に示す。

モデル化範囲の設定は、ビデオ撮影より残留変形が確認できる範囲とした。

3. 解析条件

3.1 熱過渡解析

3.1.1 解析コード

①使用コード

汎用構造解析プログラム：ANSYS V5.3

②非定常温度分布解析

③使用要素

熱伝導 8節点 6面体要素

3.1.2 要素分割

解析モデル図を図3-1（北側）及び図3-2（南側）に示す。

北側レール：節点数 2853

要素数 1470

南側レール：節点数 5073

要素数 2634

3.1.3 境界条件

(1) 輻射熱流束

S 5 7年に実施している「アスファルト固化燃焼試験」の輻射強度を基に設定する。

但し、上記試験結果平均値は3 m地点で3100kcal/m²h、5 m地点で1500kcal/m²hとなっておりクレーンレール点での輻射熱流束を外挿する場合、距離の2乗に比例するのが適切であるが、上記2点の関係は25%の誤差が生じている。

ここで、3 m地点の熱流束を3600kcal/m²h（実測値プラス16%）、5 m地点の熱流束を1296kcal/m²h（実測値マイナス16%）と補正し反比例則を満足させた。距離と熱流束の関係を図3-3に示す。

ドラム缶とクレーンレールの距離関係は、クレーンレールを5分割し、分割されたブロックの中心とドラム缶上端の距離をそれぞれ求めた。（図3-3①～⑩参照）求めた距離から、上記反比例則より熱流束を設定した。

(2) 火災想定ドラム缶本数

当初、ドラム缶2本の火災を想定して解析を実施することとしていたが、ドラム缶2本の火災を想定した場合、最高温度が1000°Cを超えるケースが発生したことにより、本解析ではドラム缶1本の火災を想定した熱流束を入力している。

（1000°Cを超えると強度材料データが無く、また、鉄の融点は約1300°Cであることより、1000°C以内で解析するのが望ましいと判断した。）

火災想定ドラム缶は、後で説明する解析ケース4以外は全て図3-3に示すD1とD5の中心位置とした。

(3) 入熱面及び解析ケース

図3-4に各ケース毎の熱流束負荷範囲を示す。

(i) ケース1

残留熱変形はビデオ撮影結果より、北側クレーンレールは上方へ、南側クレーンレールは水平方向に変形していることがわかっている。この変形を促す為、北側クレーンレールはH鋼下面のみ、南側クレーンレールはH鋼側面のみを入熱面とする。

(ii) ケース2

熱源からの投影入熱面であるH鋼下面+側面を入熱面とする。

(iii) ケース 3

ケース 2 に対して受熱面以外の面に雰囲気温度と熱伝達により放熱を設定。

尚、熱伝達率は $5 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ とし、雰囲気温度は 20°C より 400°C に 2 時間で線形に上昇するものとする。

(iv) ケース 4

ケース 3 に対してドラム缶 D 1 が 1 時間火災発生し、その後ドラム缶 D 5 が 1 時間火災発生した場合を想定する。熱流束の設定を図 3-5 に示す。

(v) ケース 5

南側クレーンレールのボルト拘束を 2 本を 1 本にした場合の解析を実施する。
1 本にしたことにより水平方向に回転しやすくなることから、水平方向の変位を促す。熱条件はケース 4 の条件とする。

(vi) ケース 6

放熱条件が設定されてもドラム缶 2 本同時火災で 1000°C 以上になるかを確認する為、北側クレーンレールについて、ケース 3 の条件で熱流束を 2 倍（ドラム缶 2 本分）にて温度分布解析を実施する。

(vii) ケース 7

ケース 3 で熱伝達率を $5 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ と設定しているが、自然対流による熱伝達率は通常 $1 \sim 10 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ を用い、密閉された部屋・空調のある部屋で使い分けるのが通常である。ケース 7 では、熱伝達率を $10 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ として解析を実施し、熱伝達率の設定が解析結果及ぼす影響を確認する。

(4) 入熱時間

上記の熱流束を 2 時間一定に入熱する。

3.1.4 热材料特性

热材料特性を表 3-1 に示す。（伝熱工学資料第 4 版：日本機械学会出版）

3.2 热弾塑性解析

3.2.1 解析コード

①热弾塑性解析

②使用要素

8 節点 6 面体構造要素

* 解析プログラム及び解析モデルは热過渡解析と同一である。

3.2.2 境界条件

拘束条件を図 3-6 及び図 3-7 に示す。

ボルト部位置を拘束、壁に接触する部分の軸方向を拘束する。

尚、クレーンレールの残留変形が発生している部分はボルトは無いものとする。
(ボルトの切断に至る過程は解析対象外である。)

3.2.3 強度材料特性

強度材料特性を表 3-2 に示す。 (動燃大洗工学センター安全工学部機器構造
安全工学室材料試験結果より)

弾塑性特性は 2 直線近似の等方硬化則を用いた。

3.2.4 荷重条件

先に実施した熱過渡解析結果を各節点に温度入力し、熱荷重を負荷する。
尚、冷却（除熱）の過程は熱過渡解析を実施していない為、各節点の温度は 2 時間後の温度より室温（20°C）に線形に温度降下したものとする。

4. 解析結果

4.1 热過渡解析結果

各解析ケースの最高温度を表 4-1 に示す。

表 4-1 各解析ケースの最高温度 単位 (°C)

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
北側レール	455.0 (図 4-1-1)	801.6 (図 4-1-2)	706.0 (図 4-1-3)	732.3 (図 4-1-4)	—	1250.0 (図 4-1-5)	647.4 (図 4-1-6)
南側レール	276.3 (図 4-1-7)	530.3 (図 4-1-8)	506.1 (図 4-1-9)	489.3 (図 4-1-10)	—	—	—

表 4 よりケース 1 とケース 2 を比較すると、ケース 2 の方が入熱面積 2 倍と
しているため、最高温度も約 2 倍となっている。

ケース 2 とケース 3 を比較すると、熱伝達による除熱の効果により北側クレーン
レールでは、95.6 °C (12% : ケース 2 とケース 3 の比) 温度が低くなっている。
南側クレーンレールでは、24.2°C (5% : ケース 2 とケース 3 の比) 温度が低く
なっている。

除熱量は、雰囲気温度とクレーンレールの温度差により決定され、次式 (1) で
示される。

$$Q = h * A * (T_1 - T_2) \quad \dots \quad (1)$$

Q : 热量

h : 热伝達率

A : 面積 (放熱面積)

T 1 : クレーンレール温度

T 2 : 霧囲気温度 (20°Cより 400°Cに 2 時間で線形に上昇)

北側クレーンレールと南側クレーンレールで温度の降下比が異なる理由としては、式(1)よりクレーンレール温度と霧囲気温度の差が大きい北側クレーンレールの方が除熱量が大きくなることより、温度の降下比が大きくなる。

ケース3とケース4を比較すると、北側クレーンレールで26.3°C上昇し、南側クレーンレールでは、16.8°C降下している。これは、熱流束の設定に距離の2乗反比例則を用いており、火災発生ドラム缶の位置を時間毎に移動したため北側クレーンレールの方がより多くの熱流束を受けたためである。

ケース6の最高温度は1260°Cであり、鉄の融点(1300°C)とほぼ等しい温度となっている。クレーンレールが鉄の融点に達すると、残留変形はH鋼の形をとどめない個所及び滴のような個所が発生すると思われる。

ビデオの撮影結果より、このような残留変形が発生していないことより、本解析条件ではドラム缶2本同時火災は発生していないと判断できる。

ケース7の最高温度は647.4°Cであり、ケース3の熱伝達率を5 kcal/m²hr°Cを10 kcal/m²hr°C条件変更しても、706.0°Cから58.6°C温度降下が確認出来たが、熱伝達率を2倍にしても、最高温度に大きな相違が発生しないことが分かった。

各解析ケースの2時間後の温度分布図を図4-1-1～図4-1-10に示す。

また、各ケースのH鋼軸方向の温度分布時間変化グラフを図4-1-11～図4-1-20に示す。いずれのケースも最高温度の相違はあるが入熱条件が一定と設定しているため、同様な傾向で温度上昇する。

また、図4-1-11～図4-1-20よりプラケット支持部はH鋼側板が無いため熱容量(比熱*密度)が減少し、熱伝導による除熱が無いため温度が高くなっている。

4.2 热弹性解析結果

解析結果のまとめを表4-2に示す。

上段が2時間後の温度・変形を示し、下段が冷却後の残留変形を示す。

実測のクレーンレールの残留変形はビデオ及び写真より北側クレーンレールは上方へ約60mm、南側クレーンレールは水平方向へ約100mmとなっている。

今回の解析結果で、実測と最も近い解析結果は、北側クレーンレールでケース1

で 35.6mm、ケース 3 で 154.0mm の結果が得られた。（上方変位）

南側クレーンレールでケース 5 で 76.4mm の結果が得られた。（水平変位）

北側クレーンレールは、残留変形の傾向が実測とほぼ一致しており、解析条件のパラメータ（入熱条件及び熱伝達率）解析を実施すると、残留変形量も一致すると思われる。

南側クレーンレールは水平方向 76.4mm の残留変形が最も実測に近い解析結果であるが、各ケースとも水平方向の約 3～5 倍の上方変位が発生しており、実測には見られない傾向となっている。

各解析ケースの冷却後の変形図を図 4-2-1～図 4-2-9 に示す。

また、各ケースの H 鋼軸方向の変形時間変化グラフを図 4-2-10～図 4-2-18 に示す。

5. まとめ

- ① 熱過渡解析結果より今回の解析条件では、2 本同時の固化体火災は発生していないと推察される。
- ② 热弾塑性解析結果では、北側クレーンレールでは傾向の一一致は見られたが、南側クレーンレールは、実測とは一致が見られなかった。

北側クレーンレールは上方へ、南側クレーンレールは水平方向へ変位させるには、北側、南側で同様な解析条件で解析を実施すると上記の現象（変位）が得られないものと考えられる。

今後、より詳細な究明が必要となった場合は、現場の調査状況（進捗）によるが、

- ・ボルト切断の有無確認
- ・ボルト切断面の確認後、切断順序の推定
- ・ブラケットの変形、壁との接合状態の確認

等を確認、推定して解析条件に反映するとより実測に近い解析結果が得られると考えられる。

(13)

R152

Jbit

クレーンレール受梁

- クレーンレールを乗せる鋼材
材質: SS-41
- : カメラで観察した形状
- : 変形前の正常な状態

S1～S16: プラケット位置

レール受梁の変形状態は、側面カメラ(A121)及び天井カメラ(A234)の映像から推定したもので、正確なものではない。

垂直方向の変形状態はカメラ位置の関係で、確認できない。

(14)

この間、特に変形は認められない。

(ジョイント部)

S5

S16

S1 S2 S3 S4

写真F 写真G

プラケット

クレーンレール受梁を支える架台
材質: SS-41

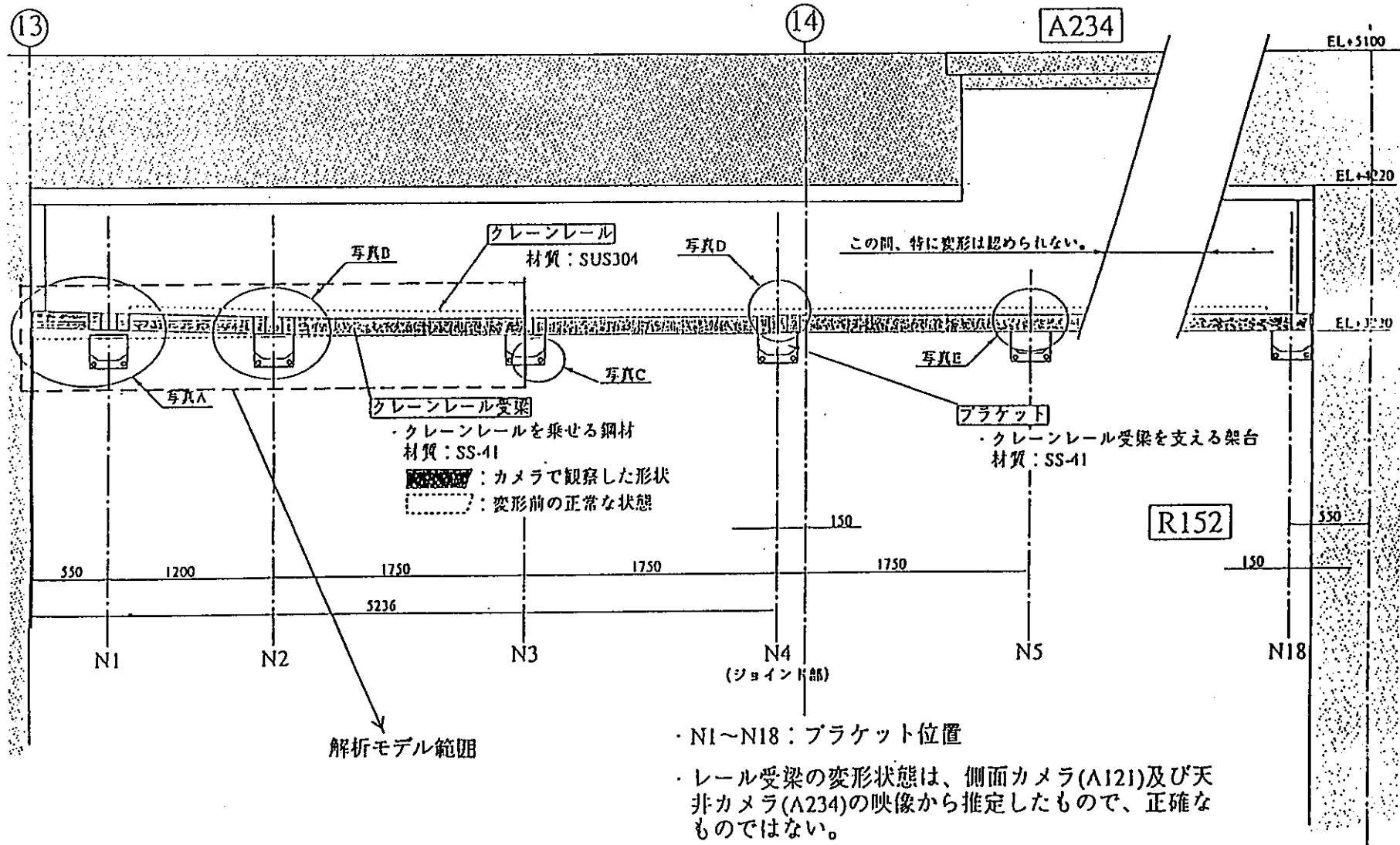
550 1050 800 1750 1250 500 1750 1700 400

5886

解析モデル範囲

天井(A234) カメラ及び側面(A121)カメラから観た
R152内クレーンレール受梁の変形状態 (南側平面図)

図 2-2 解析対象及びモデル化範囲 (南側レール)



天井(A234) カメラ及び側面(A121)カメラから観た
R152内グレーンレール受梁の変形状態 (北側側面図)

ANSYS 5.3
JUN 10 1997
11:47:33
PLOT NO. 1
ELEMENTS
TYPE NUM

XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=1404
XF =-1752
YF =2090
ZF =-1084
PRECISE HIDDEN

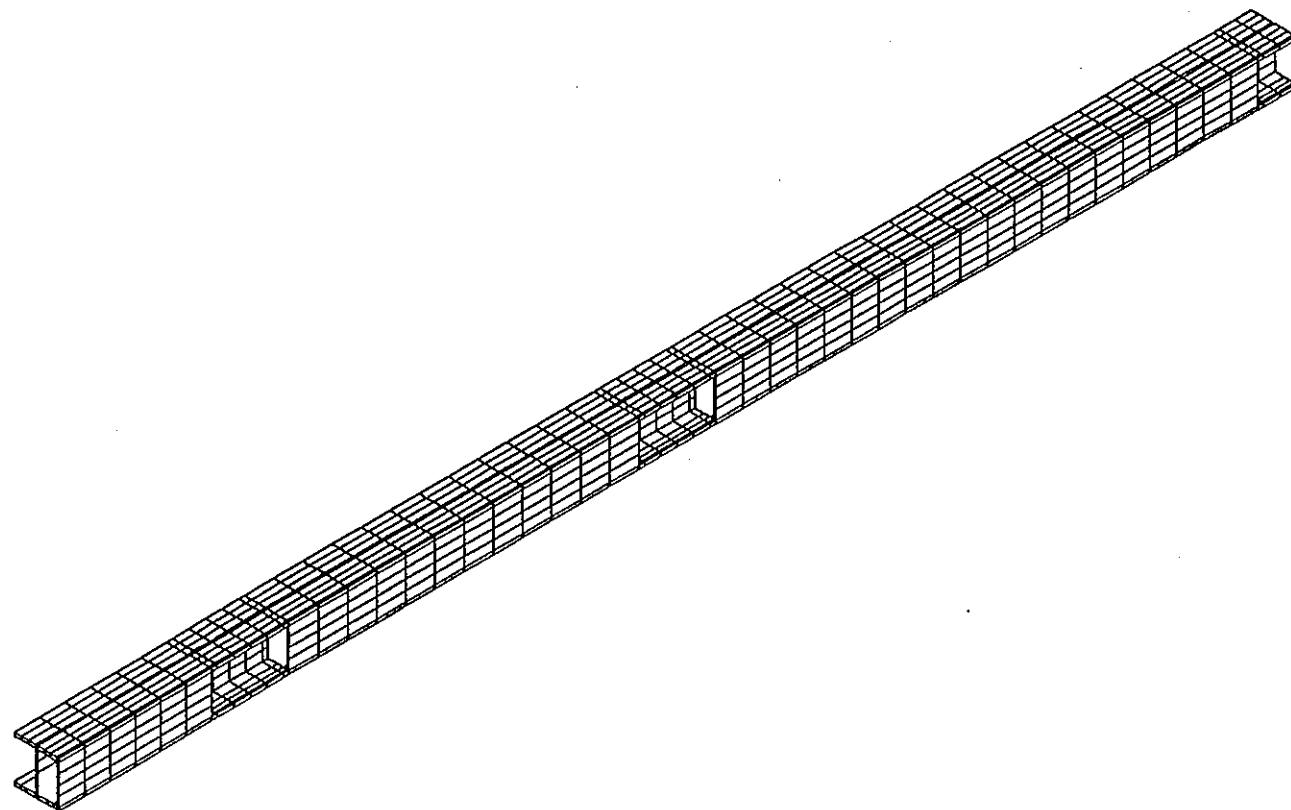


図3-1 解析モデル（北側クレーンレール）

ANSYS 5.3
JUN 10 1997
11:50:21
PLOT NO. 1
ELEMENTS
TYPE NUM

XV =-1
YV =1
ZV =1
DIST=2380
XF =2708
YF =2090
ZF =-2216
PRECISE HIDDEN

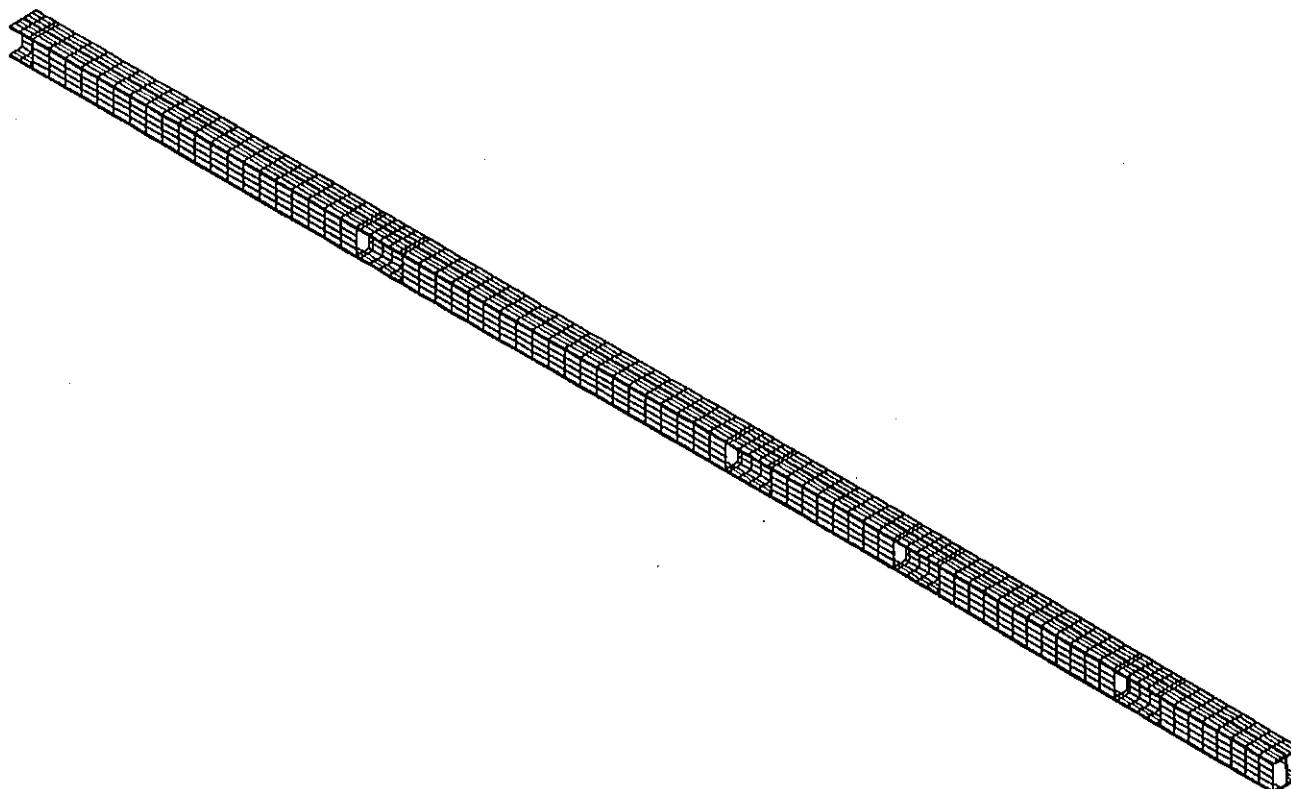


図3-2 解析モデル（南側クレーンレール）

番号	距離 (m)	熱流束 (kcal/m ² h)	熱流束 (kcal/mm ² s)
①	2.656	4593	1.276E-06
②	2.668	4552	1.264E-06
③	2.85	3989	1.108E-06
	3	3600	1.000E-06
④	3.194	3176	8.822E-07
⑥	3.338	2908	8.077E-07
⑦	3.481	2674	7.427E-07
⑤	3.627	2463	6.841E-07
⑧	4	2025	5.625E-07
⑨	4.773	1422	3.951E-07
	5	1296	3.600E-07
⑩	5.717	991	2.754E-07
	7	661	1.837E-07
	9	400	1.111E-07

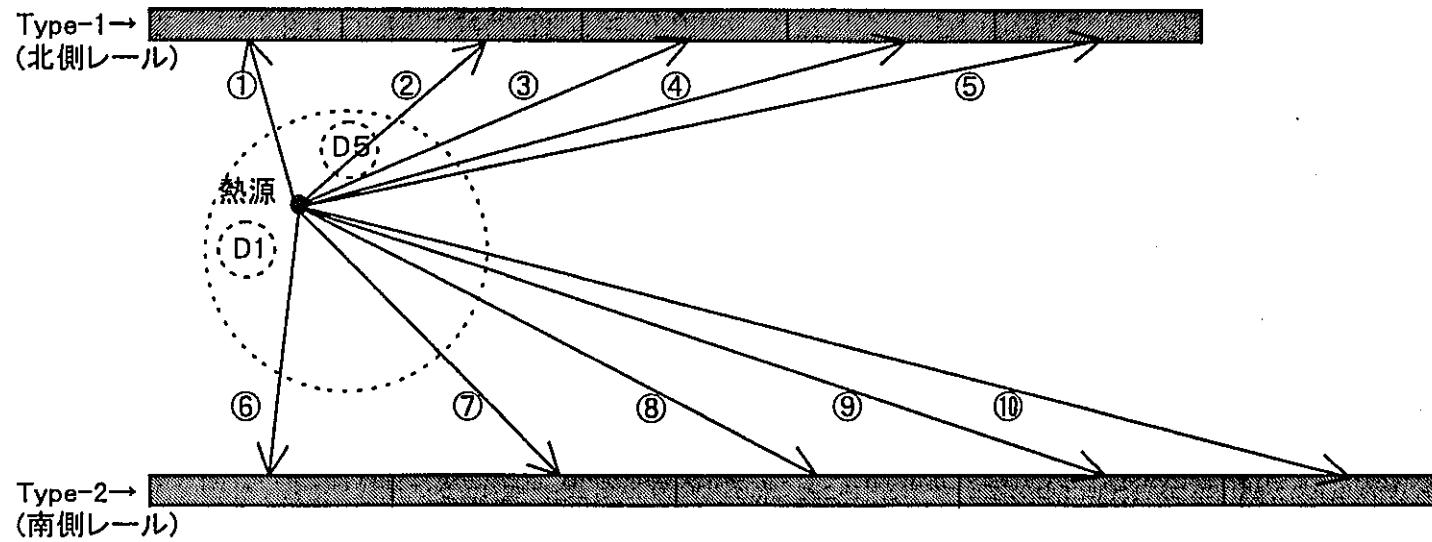
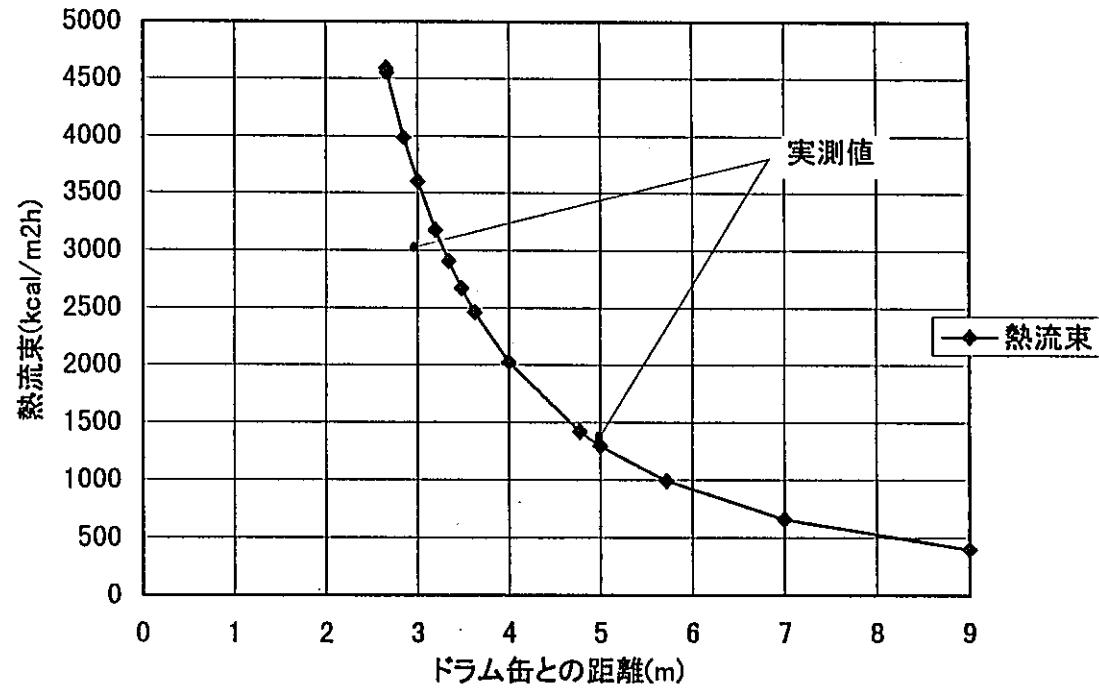


図 3-3 解析モデルに与えた熱流束(ケース1～ケース3)

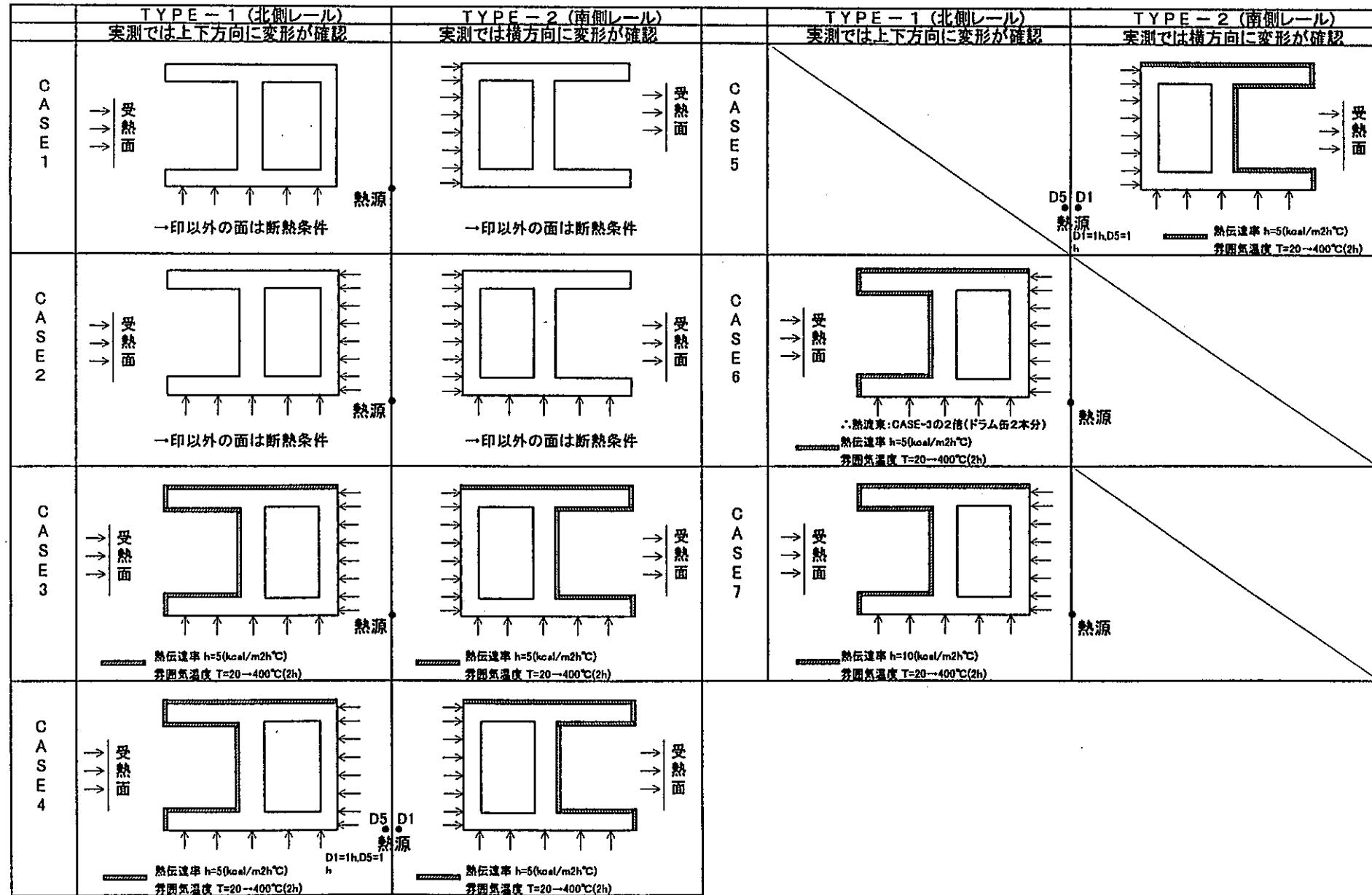


図 3-4 各ケース毎の熱境界条件

~CASE-4 热流束設定状態~

TYPE-1 北側レール

D1				D5					
番号	入力点	距離(m)	熱流束(kcal/m ² h)	番号	入力点	距離(m)	熱流束(kcal/m ² h)		
1	a	2.931	3771	1.048E-06	1	a	2.467	5324	1.479E-06
		3	3600	1.000E-06	2	b	2.389	5677	1.577E-06
2	b	3.013	3569	9.914E-07	3	c	2.51	5143	1.429E-06
3	c	3.246	3075	8.542E-07	4	d	2.804	4121	1.145E-06
4	d	3.601	2499	6.941E-07			3	3600	1.000E-06
5	e	4.046	1979	5.498E-07	5	e	3.225	3115	8.653E-07
		5	1296	3.600E-07			5	1296	3.600E-07
		7	661	1.836E-07			7	661	1.836E-07
		9	400	1.111E-07			9	400	1.111E-07

TYPE-2 南側レール

D1				D5					
番号	入力点	距離(m)	熱流束(kcal/m ² h)	番号	入力点	距離(m)	熱流束(kcal/m ² h)		
		3	3600	1.000E-06			3	3600	1.000E-06
1	f	3.007	3583	9.953E-07	1	f	3.715	2348	6.521E-07
2	g	3.285	3002	8.340E-07	2	g	3.749	2305	6.403E-07
3	h	3.926	2102	5.839E-07	3	h	4.145	1886	5.238E-07
4	i	4.786	1414	3.929E-07	4	i	4.815	1398	3.882E-07
		5	1296	3.600E-07			5	1296	3.600E-07
5	j	5.769	974	2.704E-07	5	j	5.663	1010	2.806E-07
		7	661	1.836E-07			7	661	1.836E-07
		9	400	1.111E-07			9	400	1.111E-07

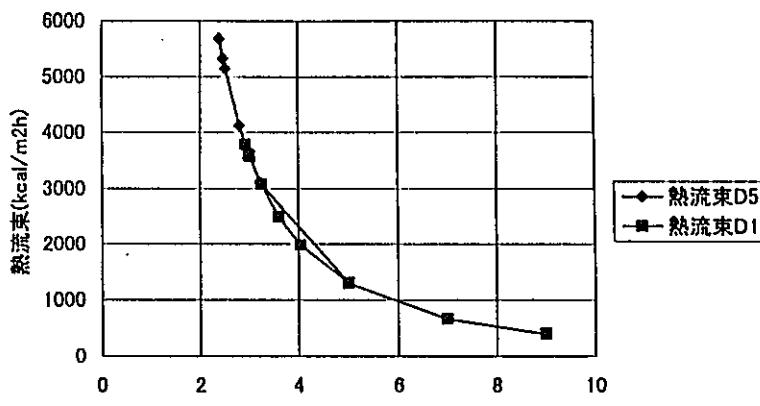


図 热流束曲線(TYPE-1 北側レール)

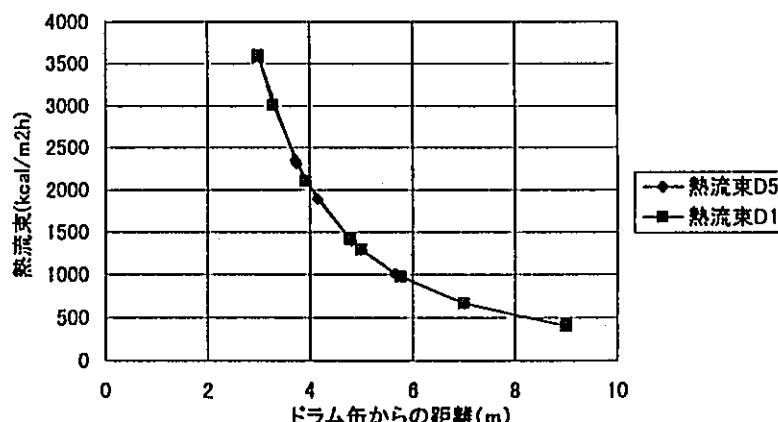
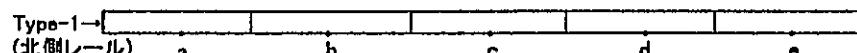


図 热流束曲線(TYPE-2 南側レール)



○ D5
○ D1

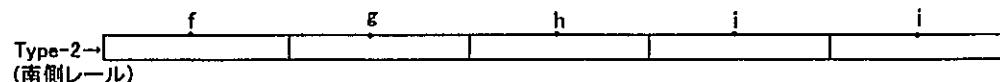


図 3-5 解析モデルに与えた热流束(ケース4)

表3-1 热材料特性(SS41)

温度 (°C)	密度 ρ (kgf/mm ³)	比熱 c(kcal/kgf°C)	熱伝導率 λ (kcal/mms°C)
27	7.85E-06	0.111	1.027E-05
227	7.79E-06	0.126	9.219E-06
527	7.70E-06	0.149	6.616E-06

表3-2 強度材料特性(SS41)

温度 (°C)	ヤング率 E(kgf/mm ²)	ポアソン比 ν (-)	熱膨張率 α (mm/mm°C)	降伏応力 σ_y (kgf/mm ²)	加工硬化係数 Et(kgf/mm ²)
RT(20)	18706	0.3	1.24E-05	28.7	1.0
100	18531	0.3	1.29E-05	26.2	1.0
300	16974	0.3	1.50E-05	16.69	881.1
500	13599	0.3	1.51E-05	13.1	398.5
600	11147	0.3	1.59E-05	5.26	173.5
900	5500	0.3	1.76E-05	1.34	72.4

ANSYS 5.3
JUN 10 1997
11:47:33
PLOT NO. 1
ELEMENTS
TYPE NUM

XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=1404
XF =-1752
YF =2090
ZF =-1084
PRECISE HIDDEN

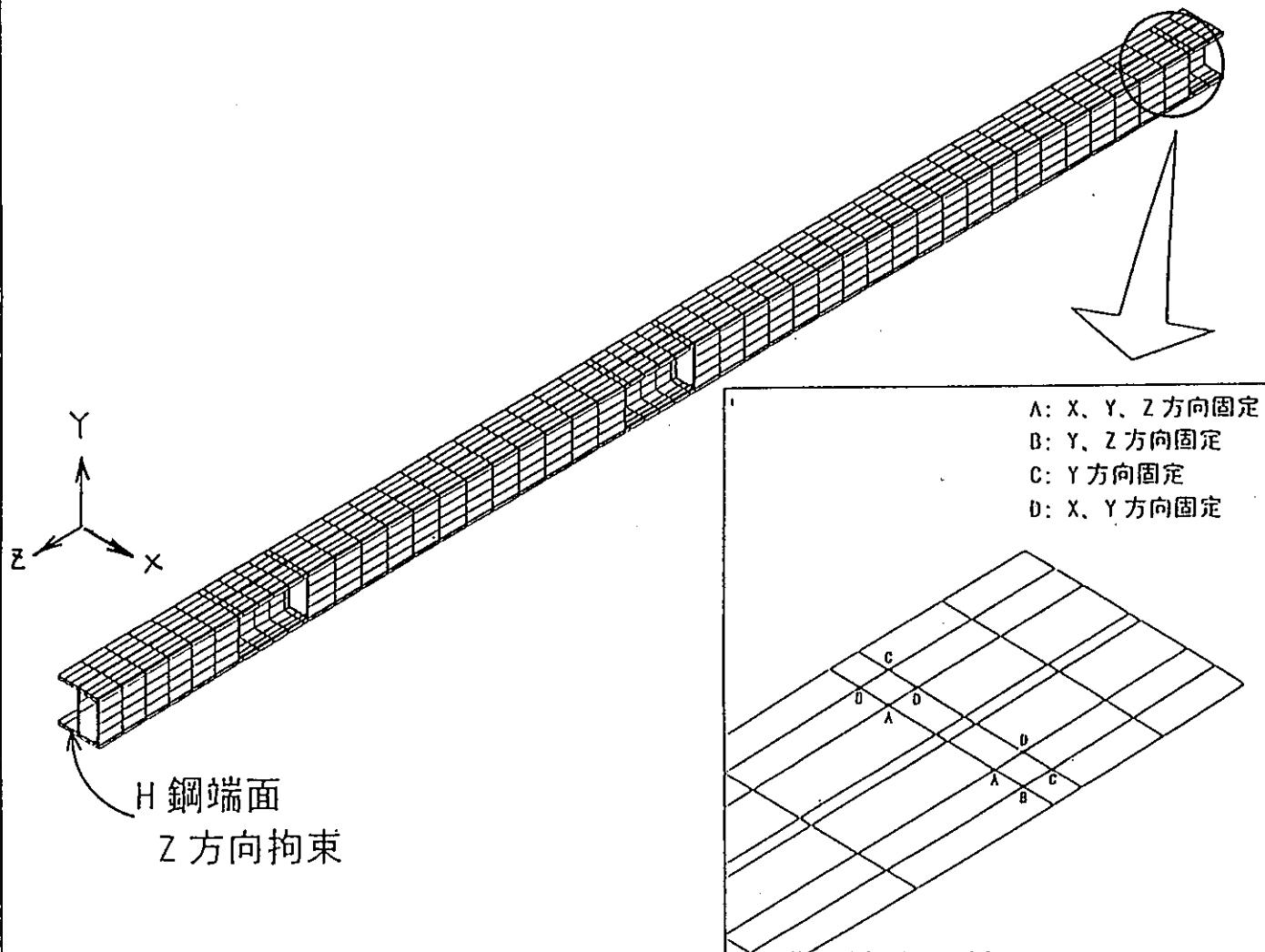


図 3-6 北側クレーンレール拘束条件図

1

ANSYS 5.3
JUN 10 1997
11:50:21
PLOT NO. 1
ELEMENTS
TYPE NUM

XV = -1
YV = 1
ZV = 1
DIST=2380
XF = 2708
YF = 2090
ZF = -2216
PRECISE HIDDEN

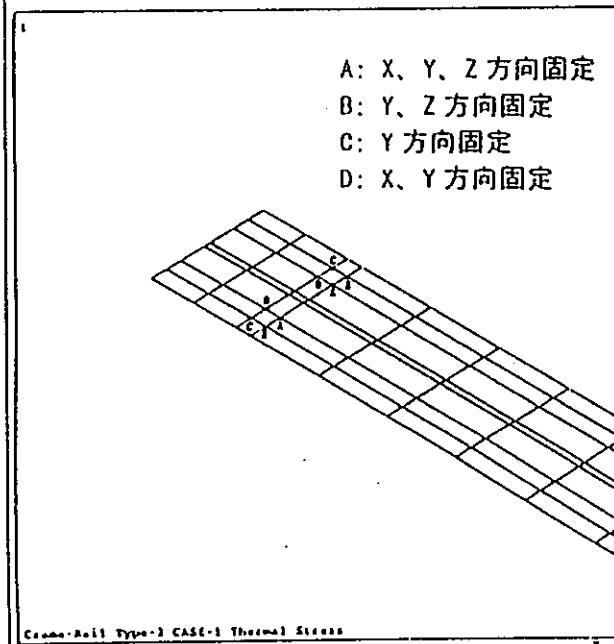


図 3-7 南側クレーンレール拘束条件図

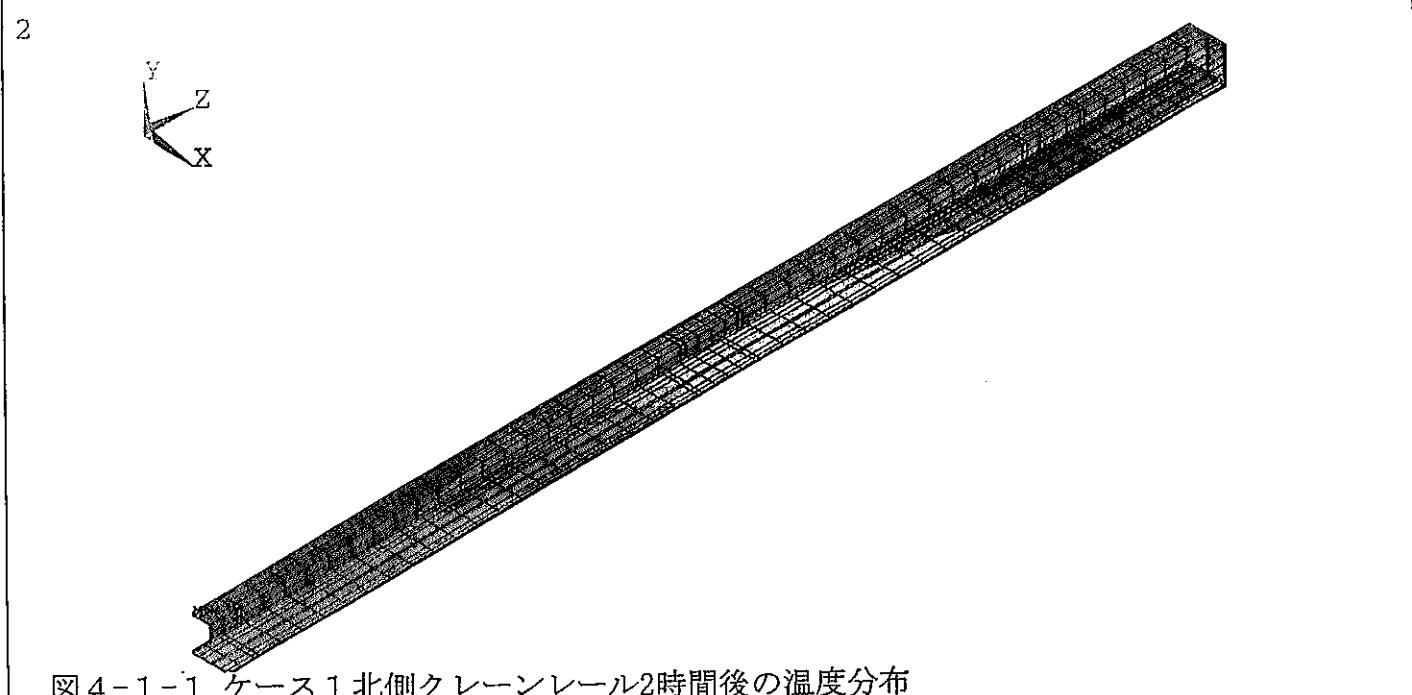
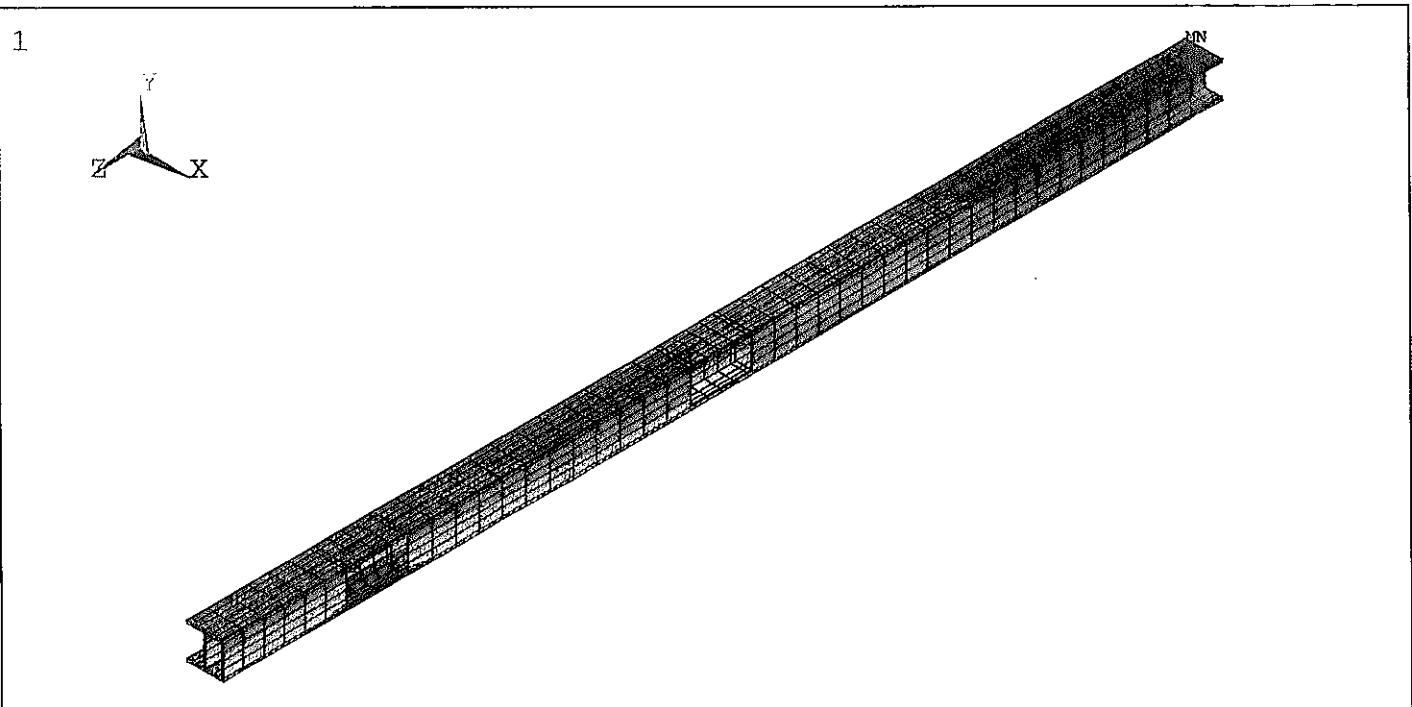
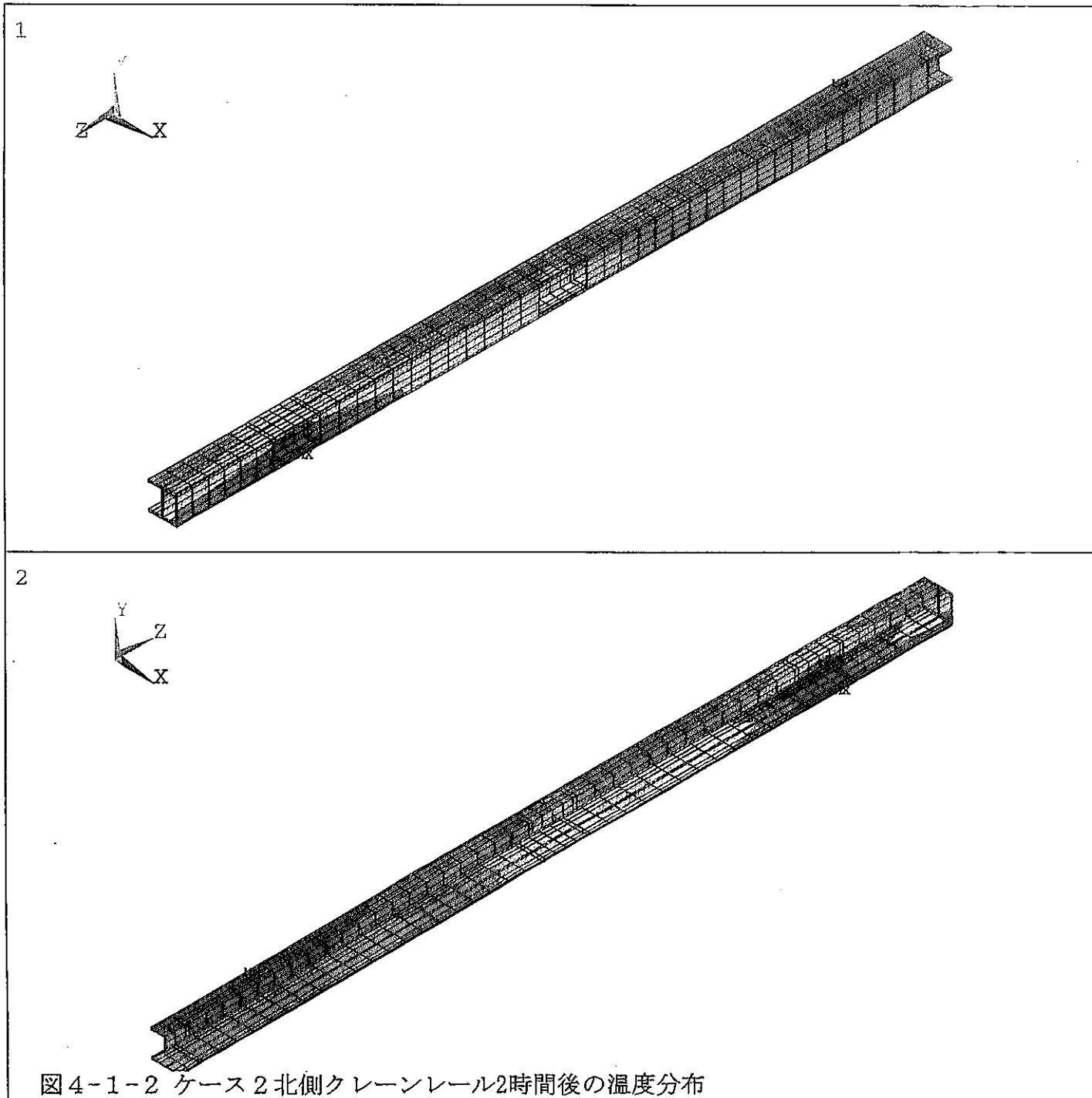


図 4-1-1 ケース 1 北側クレーンレール2時間後の温度分布



ANSYS 5.3
JUN 18 1997
10:10:00
PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=20
SUB =1
TIME=7200
TEMP
TEPC=24.994
SMN =348.752
SMX =801.581
348.752
399.066
449.381
499.695
550.01
600.324
650.638
700.953
751.267
801.581
348.752
399.066
449.381
499.695
550.01
600.324
650.638
700.953
751.267
801.581

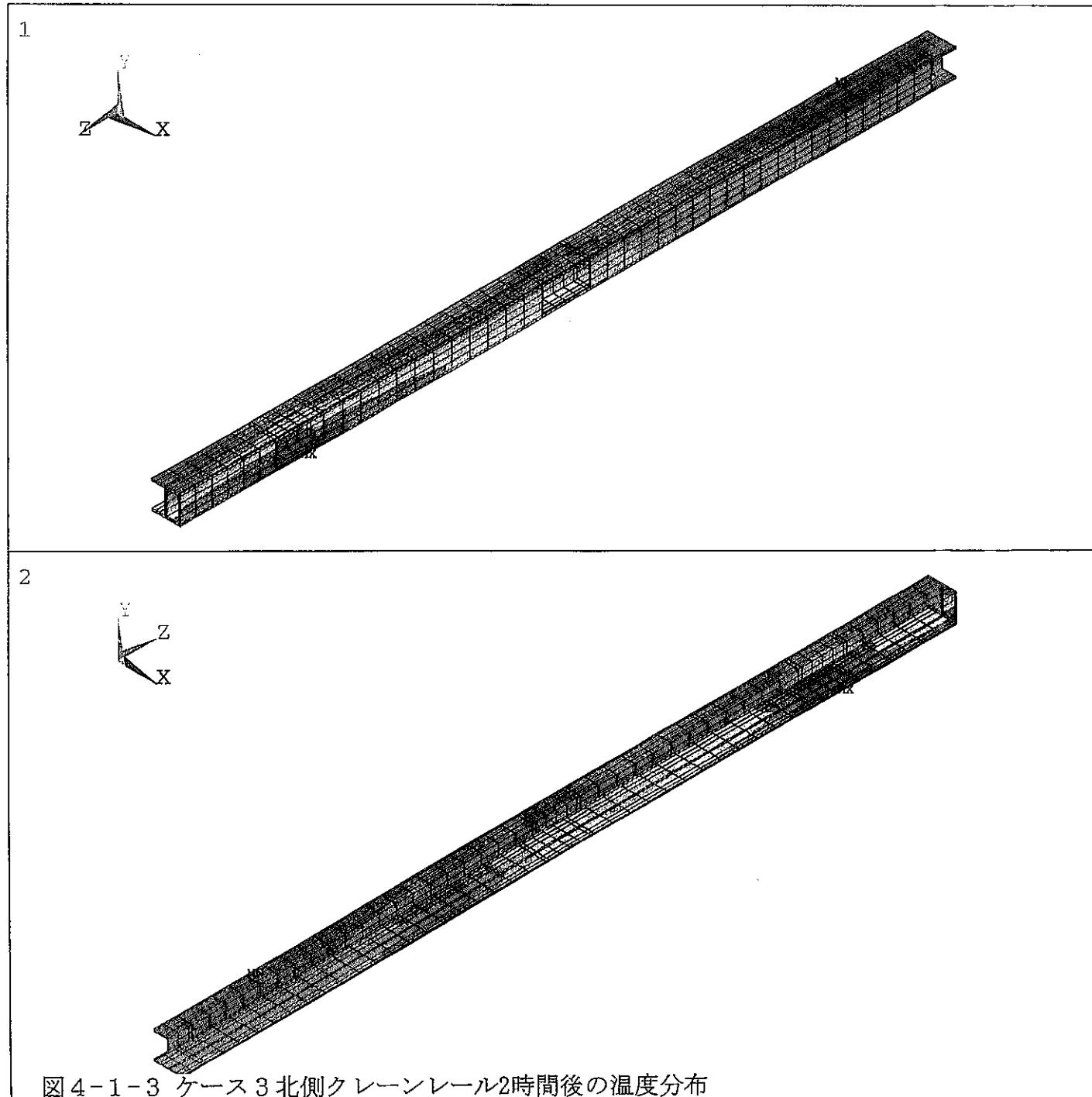
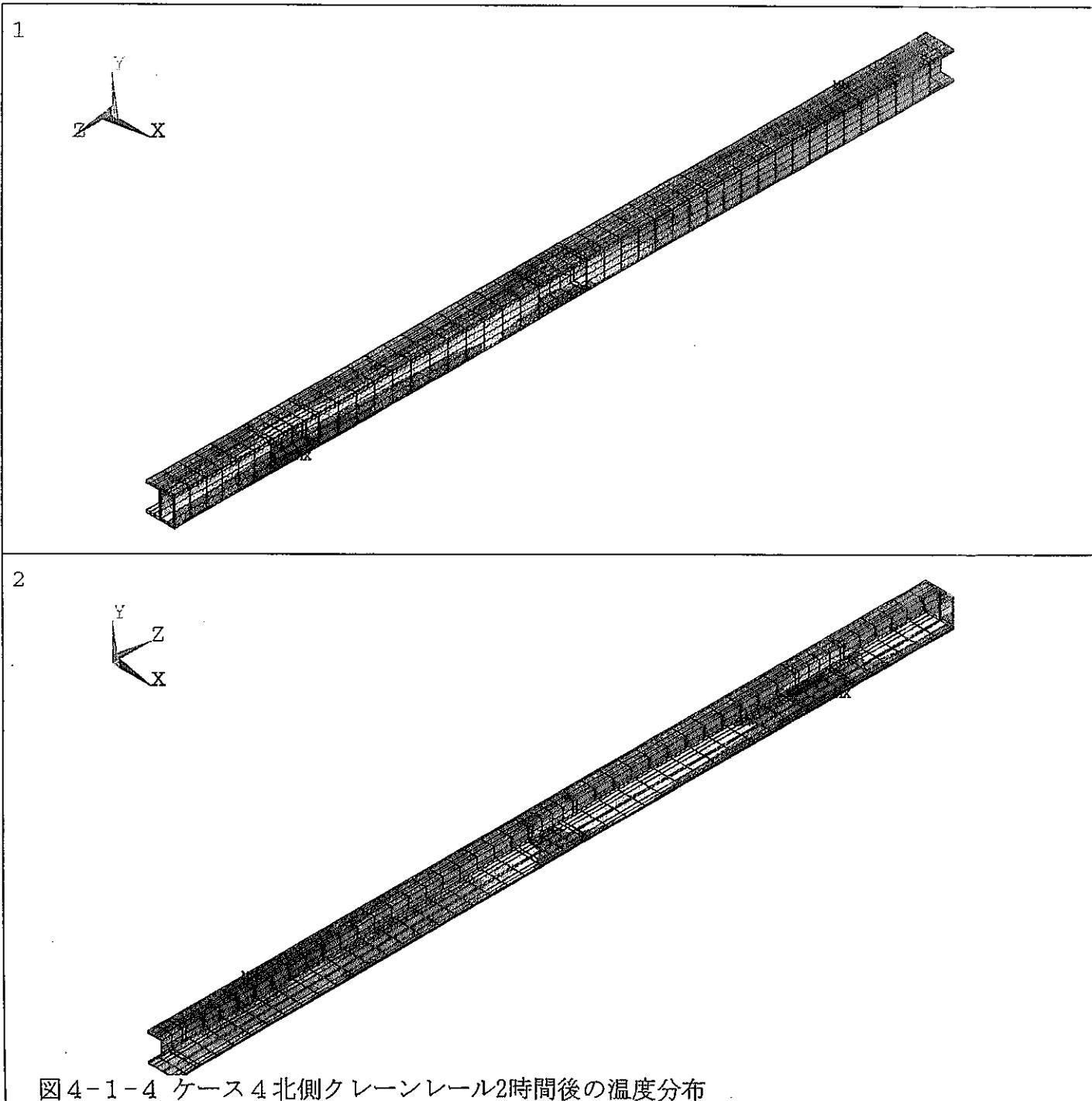


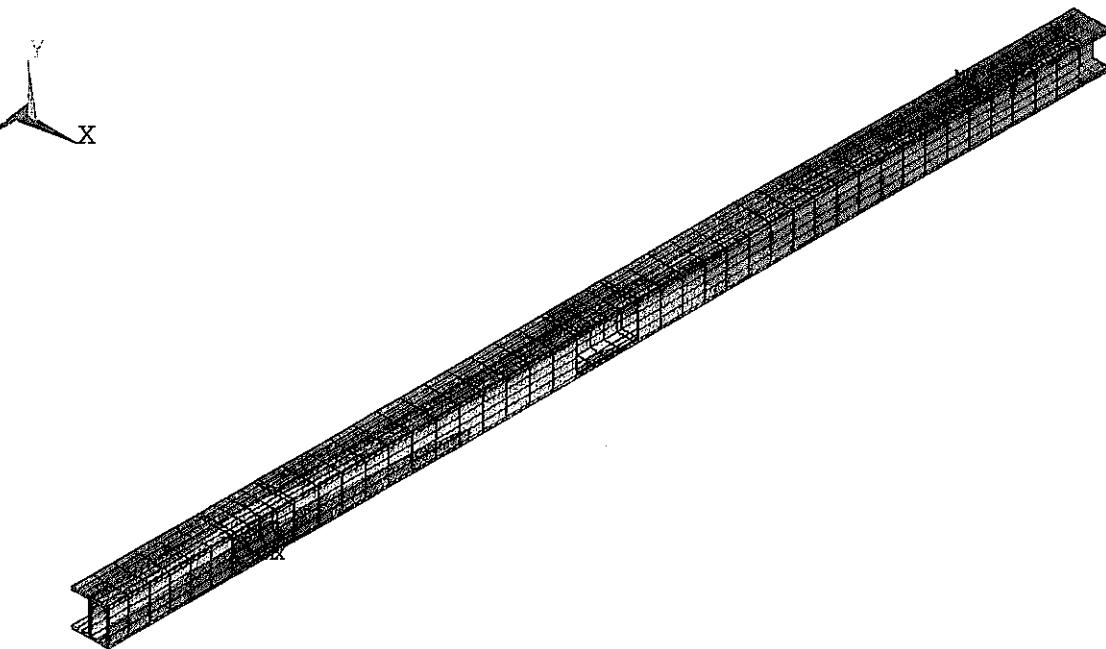
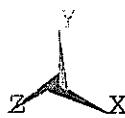
図 4-1-3 ケース 3 北側クレーンレール2時間後の温度分布

ANSYS 5.3
JUN 18 1997
10:10:54
PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=20
SUB =1
TIME=7200
TEMP
TEPC=7.238
SMN =361.376
SMX =706.01
361.376
399.669
437.962
476.254
514.547
552.84
591.132
629.425
667.718
706.01
361.376
399.669
437.962
476.254
514.547
552.84
591.132
629.425
667.718
706.01

ANSYS 5.3
JUN 18 1997
10:13:28
PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=20
SUB =1
TIME=7200
TEMP
TEPC=8.378
SMN =367.608
SMX =732.308
367.608
408.131
448.653
489.175
529.697
570.219
610.741
651.264
691.786
732.308
367.608
408.131
448.653
489.175
529.697
570.219
610.741
651.264
691.786
732.308



1



ANSYS 5.3
JUN 18 1997
10:11:44
PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=20
SUB =1
TIME=7200
TEMP
TEPC=9.843
SMN =500.493
SMX =1250
500.493
583.785
667.078
750.37
833.663
916.955
1000
1084
1167
1250
500.493
583.785
667.078
750.37
833.663
916.955
1000
1084
1167
1250

2

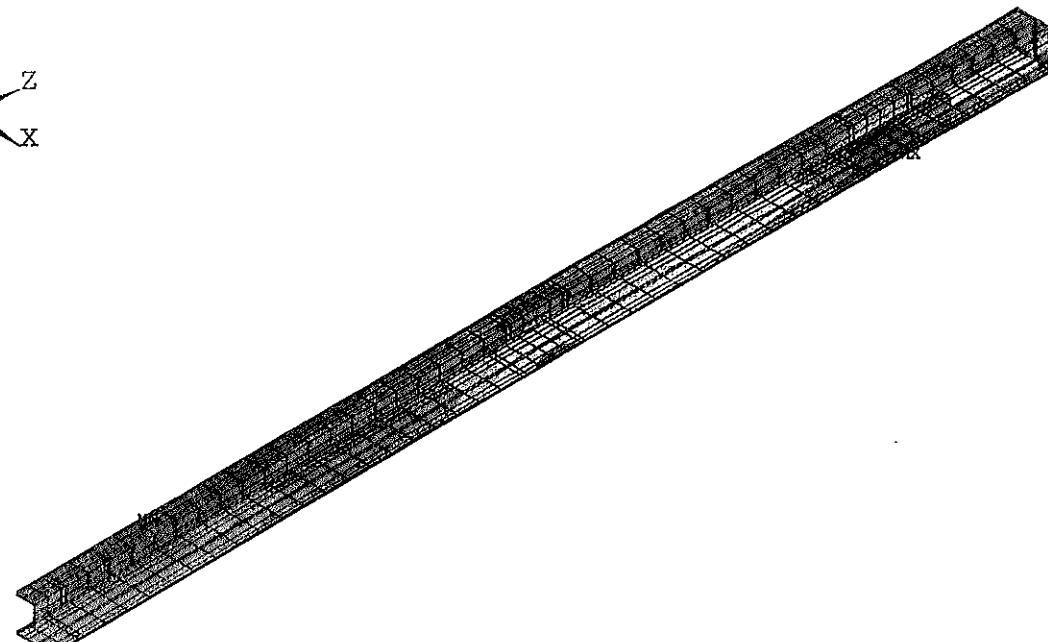


図 4-1-5 ケース 6 北側クレーンレール2時間後の温度分布

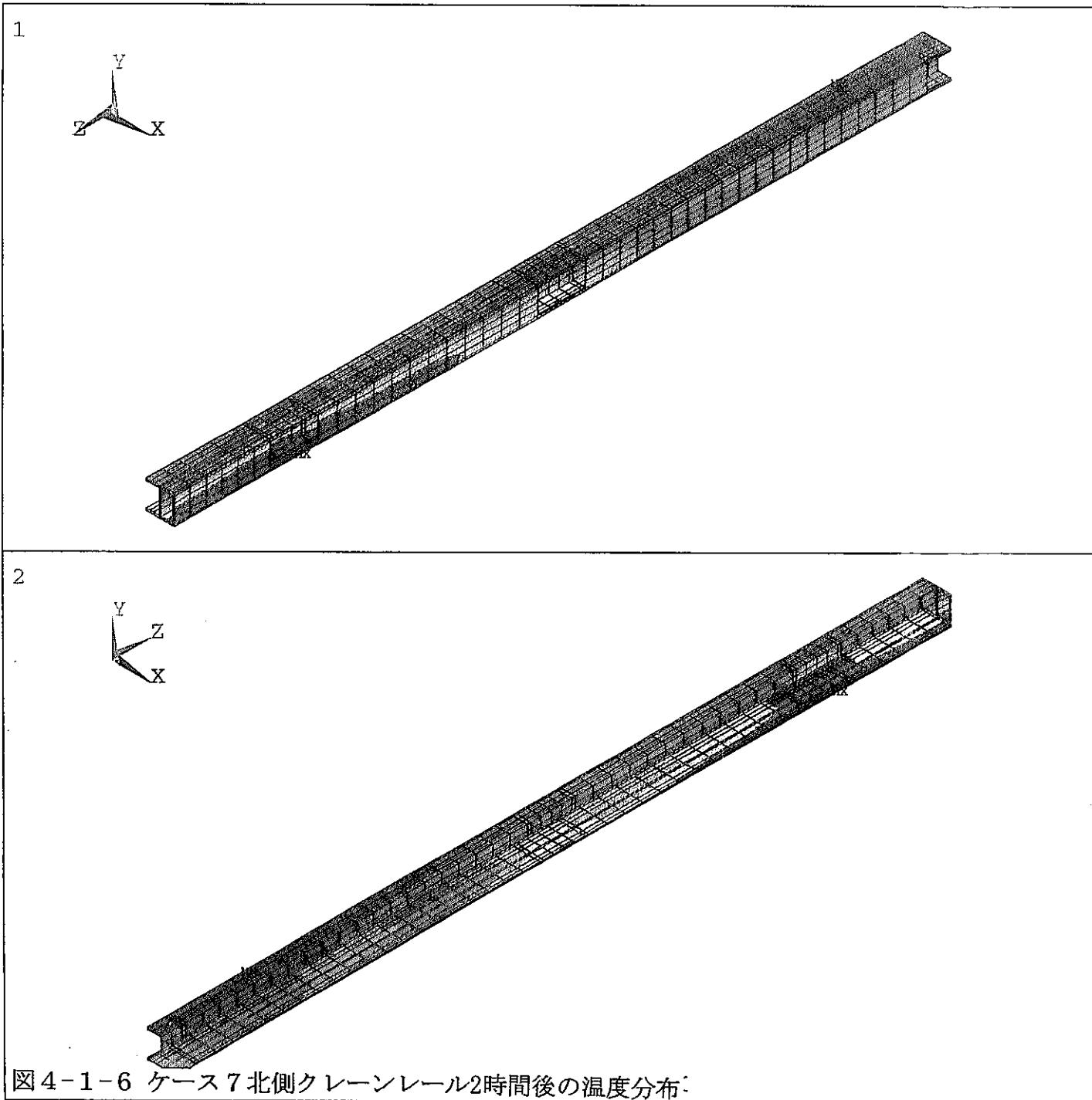
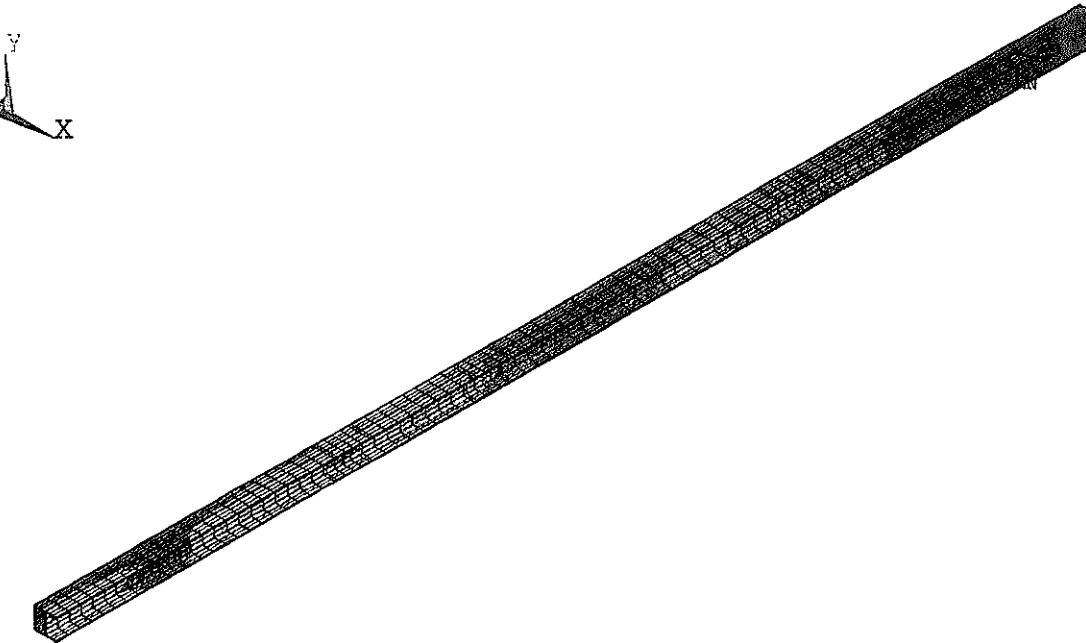
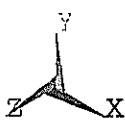


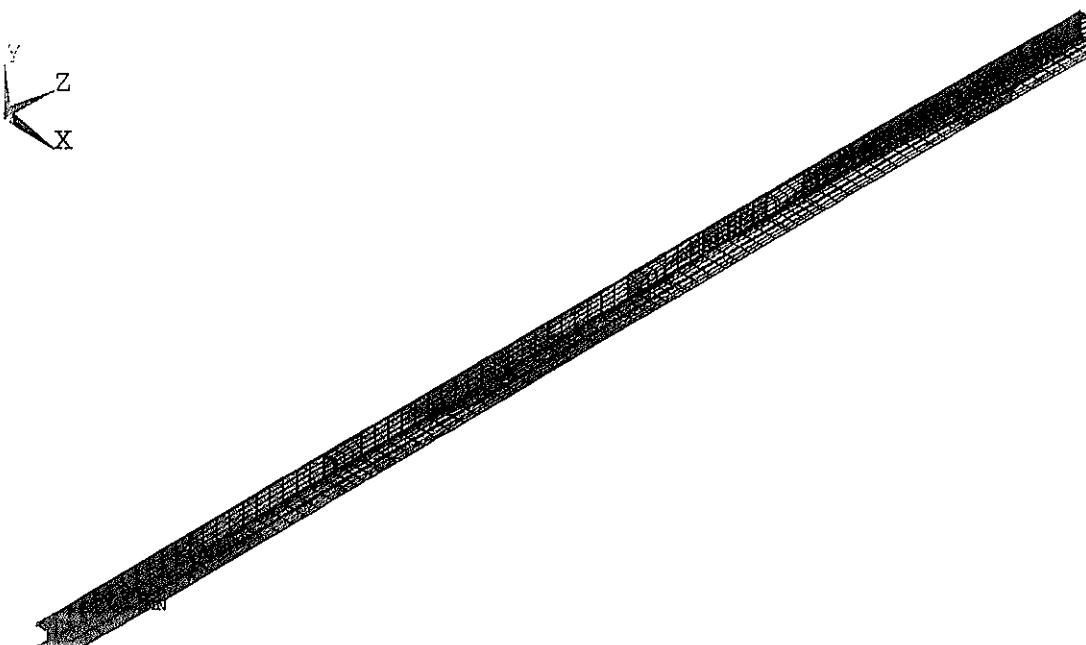
図4-1-6 ケース7 北側クレーンレール2時間後の温度分布

ANSYS 5.3
JUN 18 1997
10:12:36
PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=20
SUB =1
TIME=7200
TEMP
TEPC=5.471
SMN =368.205
SMX =647.421
368.205
399.229
430.253
461.277
492.301
523.325
554.349
585.373
616.397
647.421
368.205
399.229
430.253
461.277
492.301
523.325
554.349
585.373
616.397
647.421

1



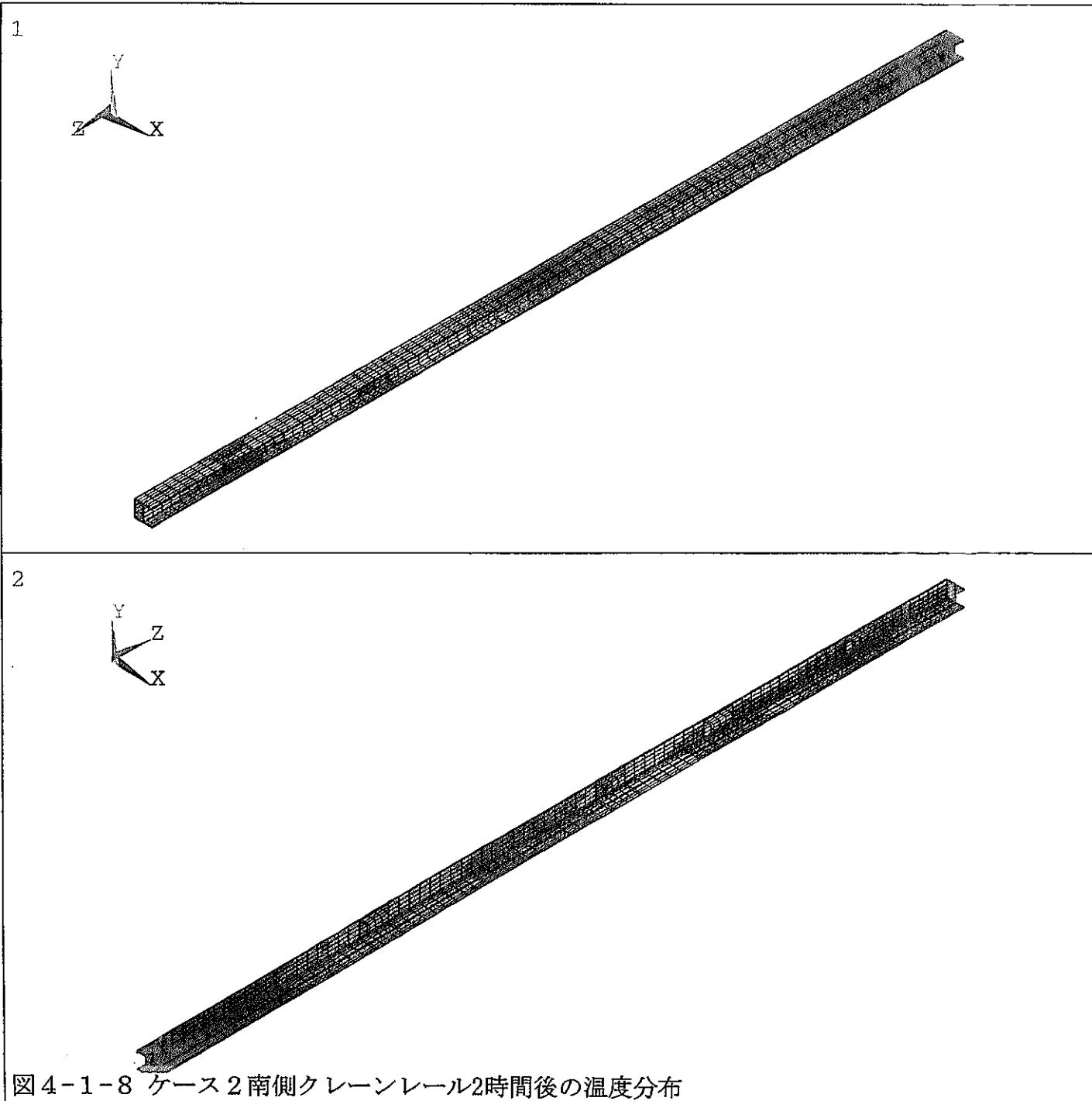
2

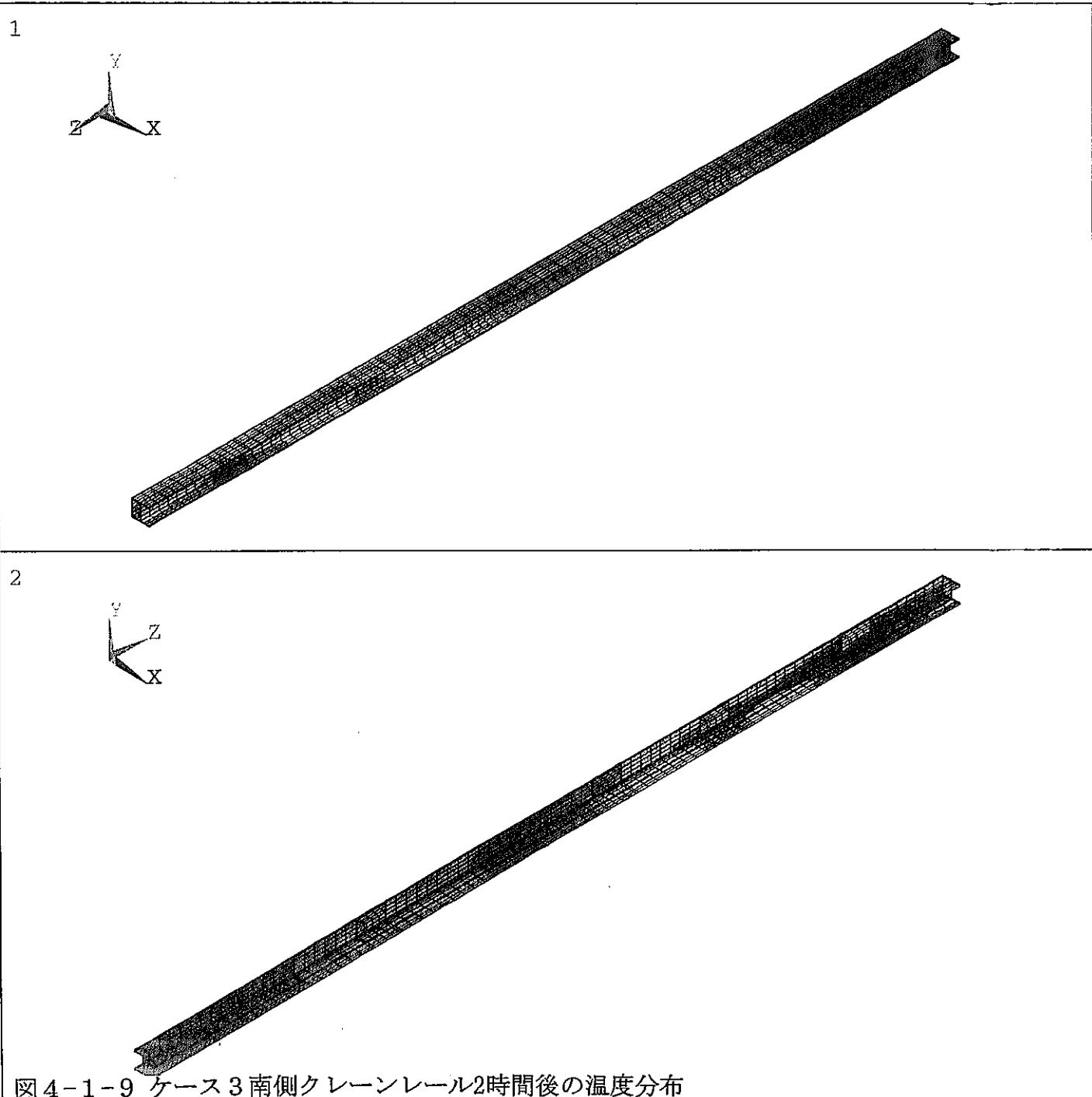


ANSYS 5.3
JUN 18 1997
10:14:57
PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=20
SUB =1
TIME=7200
TEMP
TEPC=31.604
SMN =94.559
SMX =276.265
94.559
114.748
134.938
155.128
175.317
195.507
215.697
235.886
256.076
276.265
94.559
114.748
134.938
155.128
175.317
195.507
215.697
235.886
256.076
276.265

図 4-1-7 ケース 1 南側クレーンレール2時間後の温度分布

ANSYS 5.3
JUN 18 1997
10:16:02
PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=20
SUB =1
TIME=7200
TEMP
TEPC=26.45
SMN =159.806
SMX =530.268
159.806
200.968
242.131
283.293
324.455
365.618
406.78
447.943
489.105
530.268
159.806
200.968
242.131
283.293
324.455
365.618
406.78
447.943
489.105
530.268

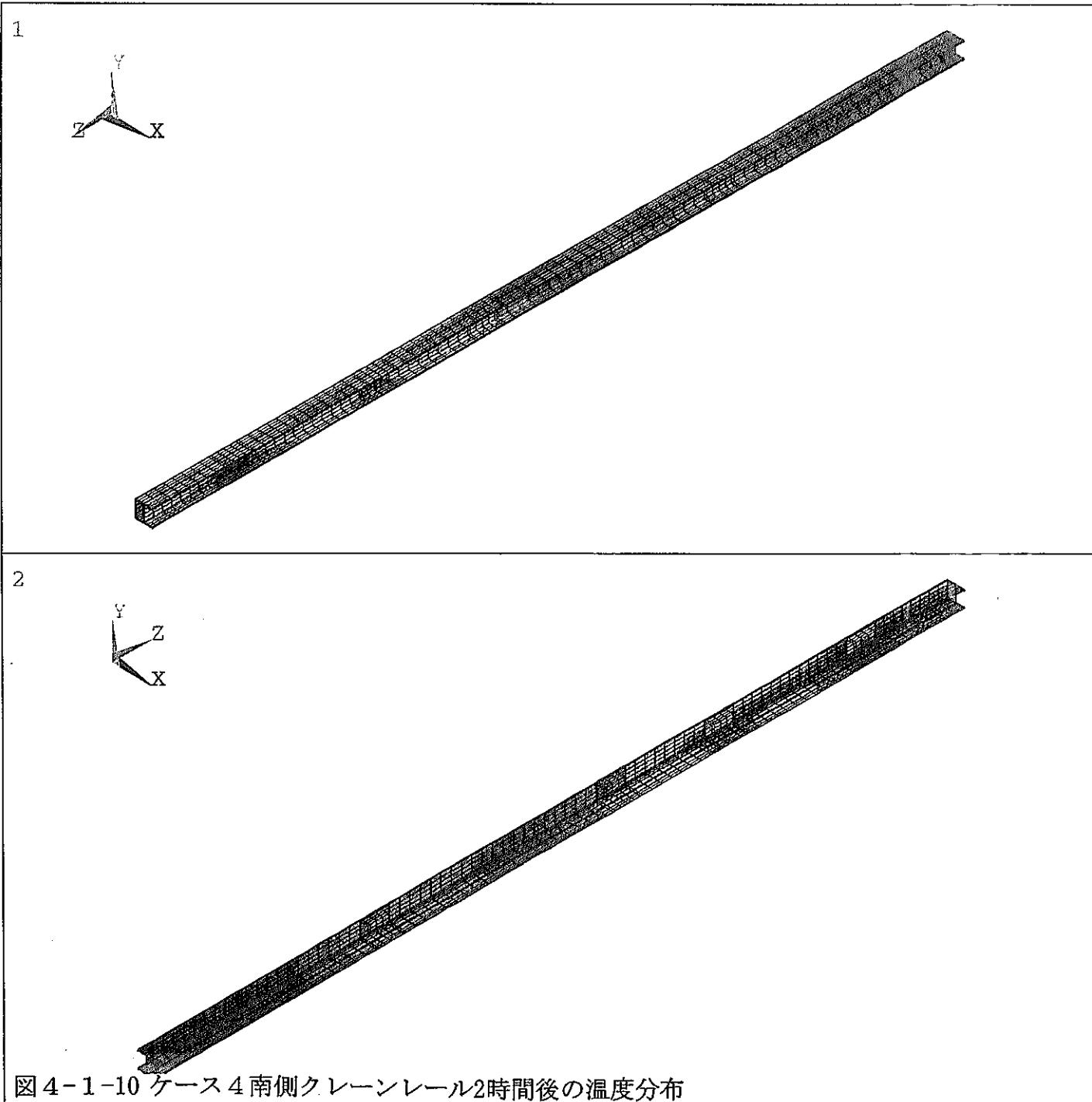




ANSYS 5.3
JUN 18 1997
10:17:20
PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=20
SUB =1
TIME=7200
TEMP
TEPC=4.855
SMN =257.548
SMX =506.094
257.548
285.164
312.78
340.396
368.013
395.629
423.245
450.861
478.478
506.094
257.548
285.164
312.78
340.396
368.013
395.629
423.245
450.861
478.478
506.094

図 4-1-9 ケース 3 南側クレーンレール2時間後の温度分布

ANSYS 5.3
JUN 18 1997
10:18:33
PLOT NO. 1
NODAL SOLUTION
STEP=20
SUB =1
TIME=7200
TEMP
TEPC=4.271
SMN =257.864
SMX =489.349
257.864
283.585
309.305
335.026
360.746
386.467
412.187
437.908
463.628
489.349
257.864
283.585
309.305
335.026
360.746
386.467
412.187
437.908
463.628
489.349



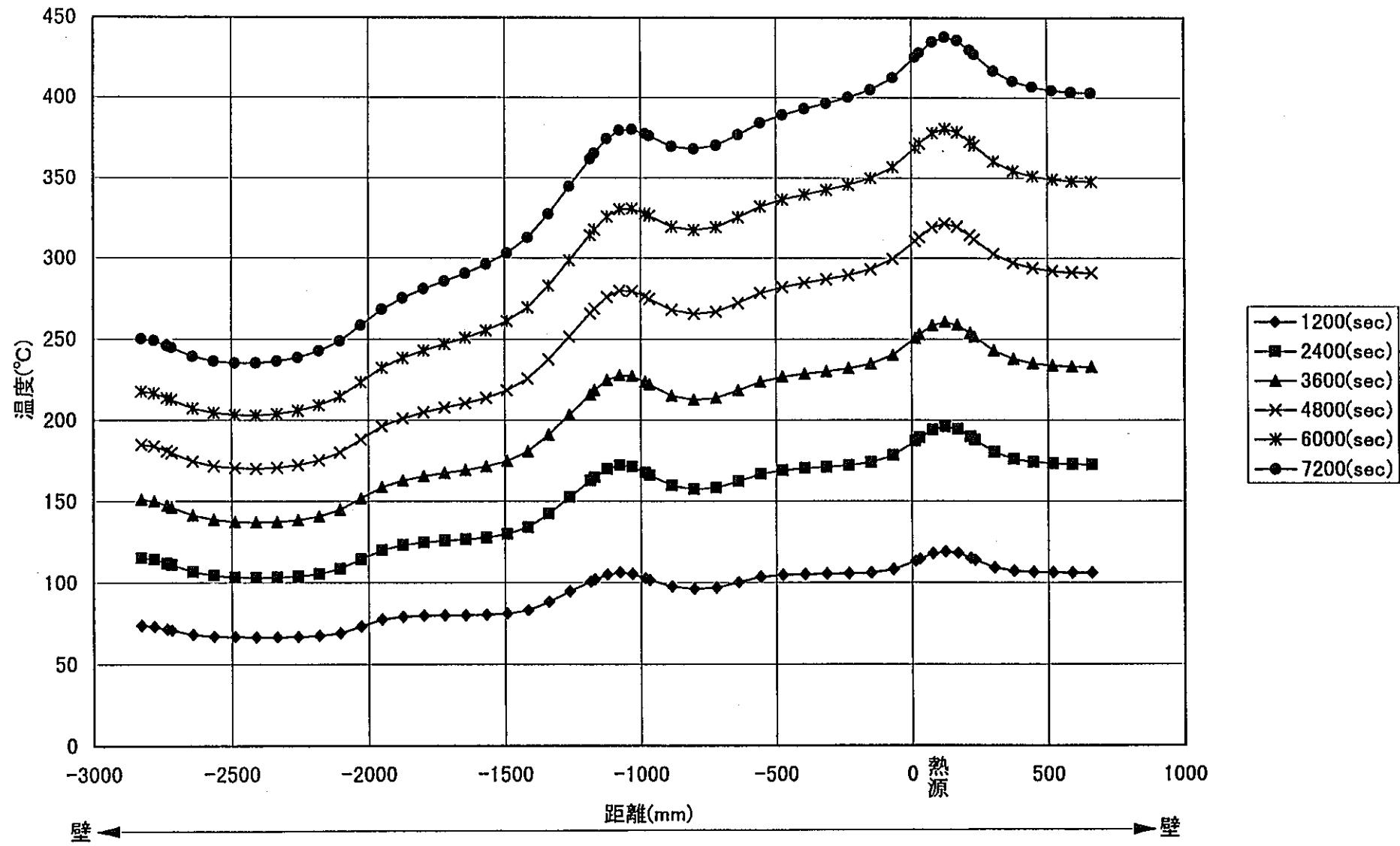


図4-1-11 ケース1 温度履歴(北側レール)

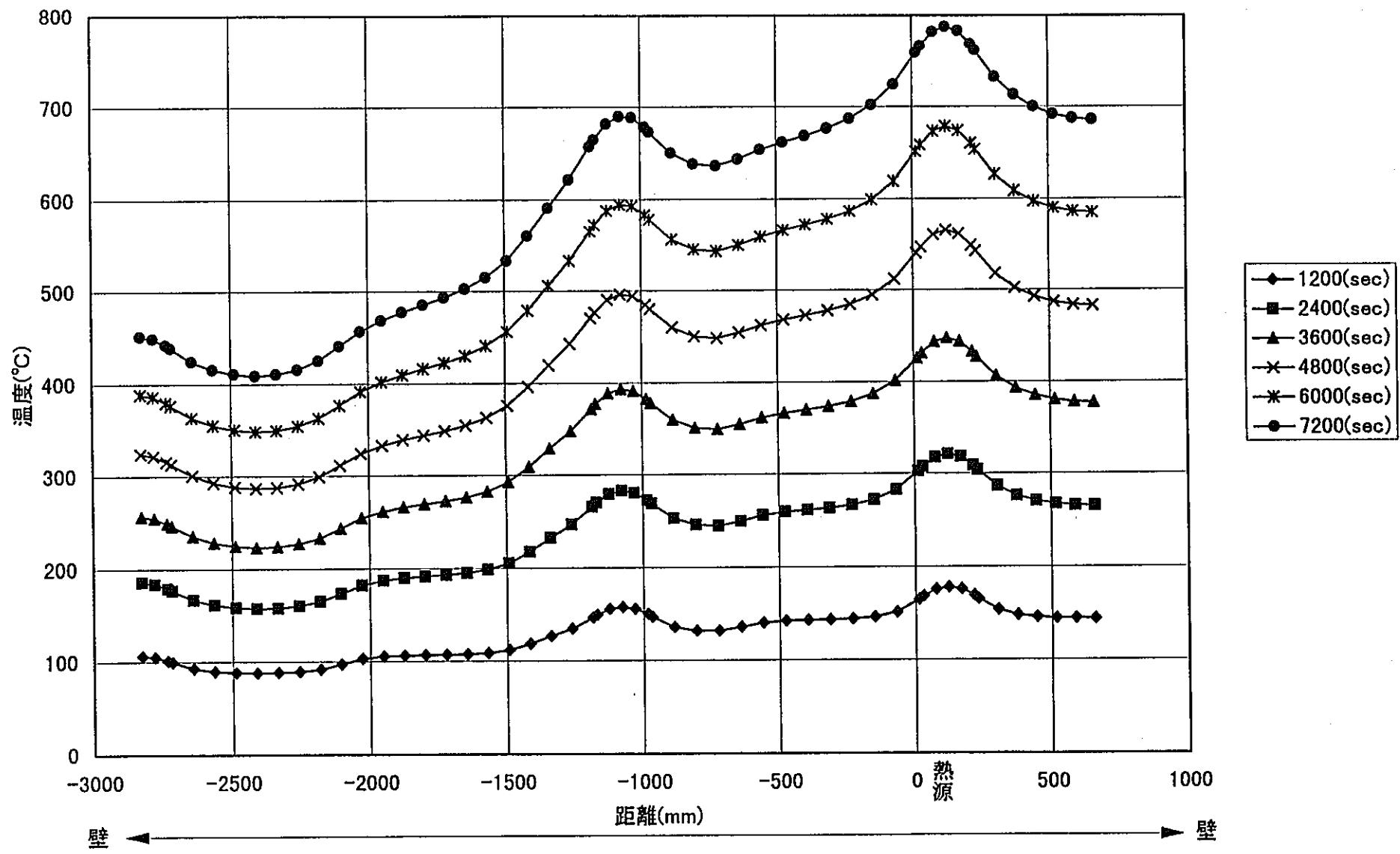


図4-1-12 ケース2 温度履歴(北側レール)

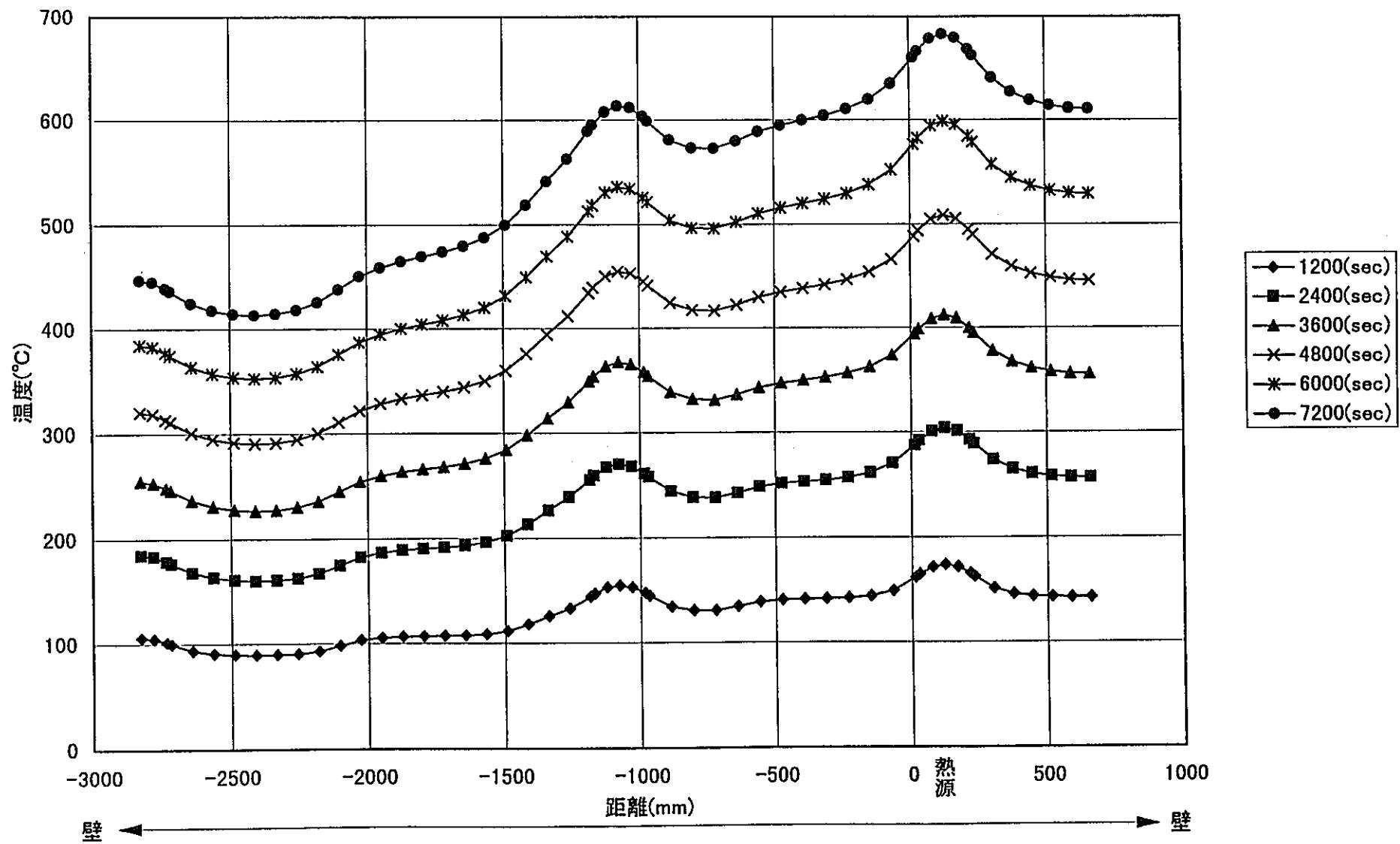


図4-1-13 ケース3 温度履歴(北側レール)

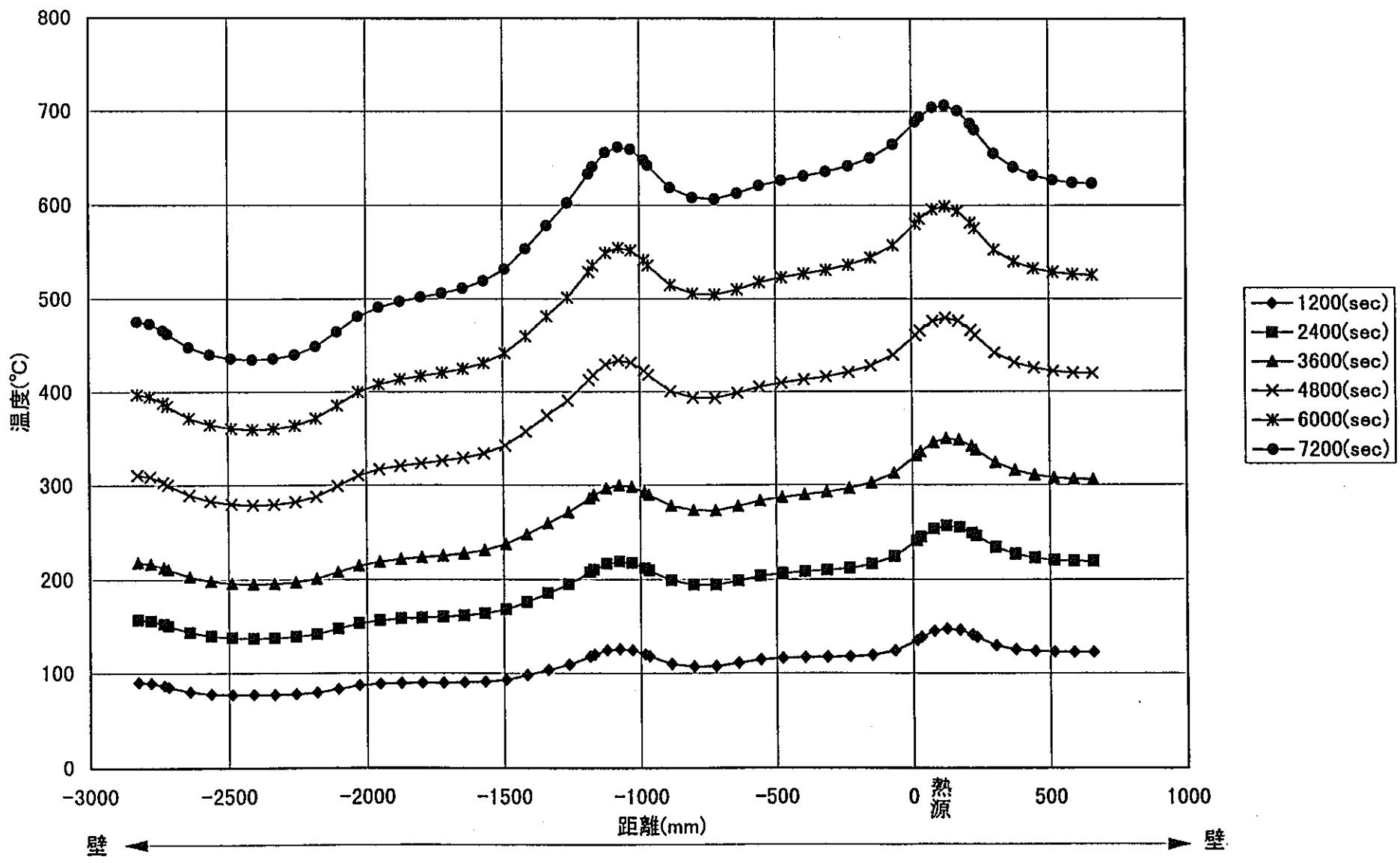


図4-1-14 ケース4 温度履歴(北側レール)

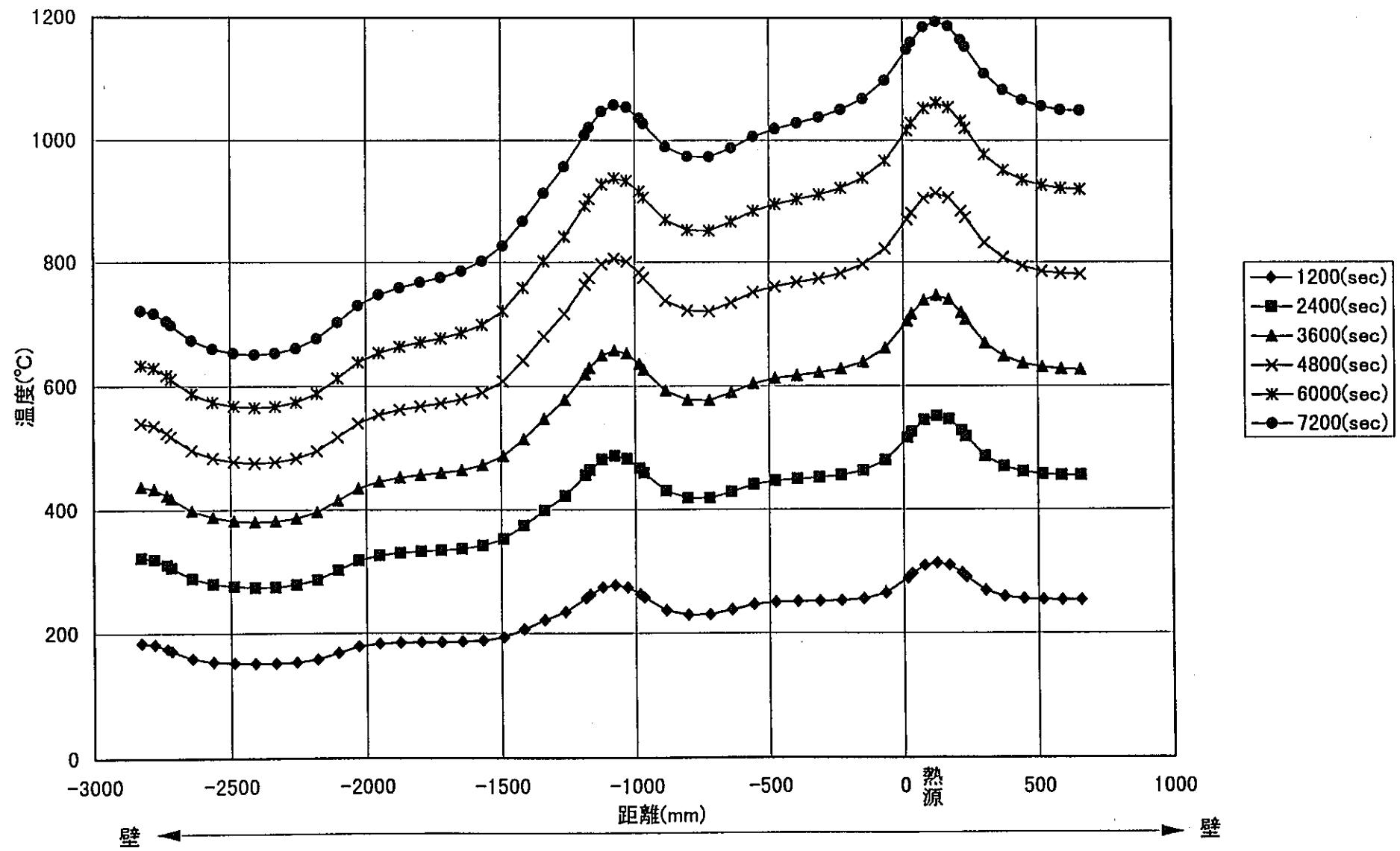


図4-1-15 ケース 6 温度履歴(北側レール)

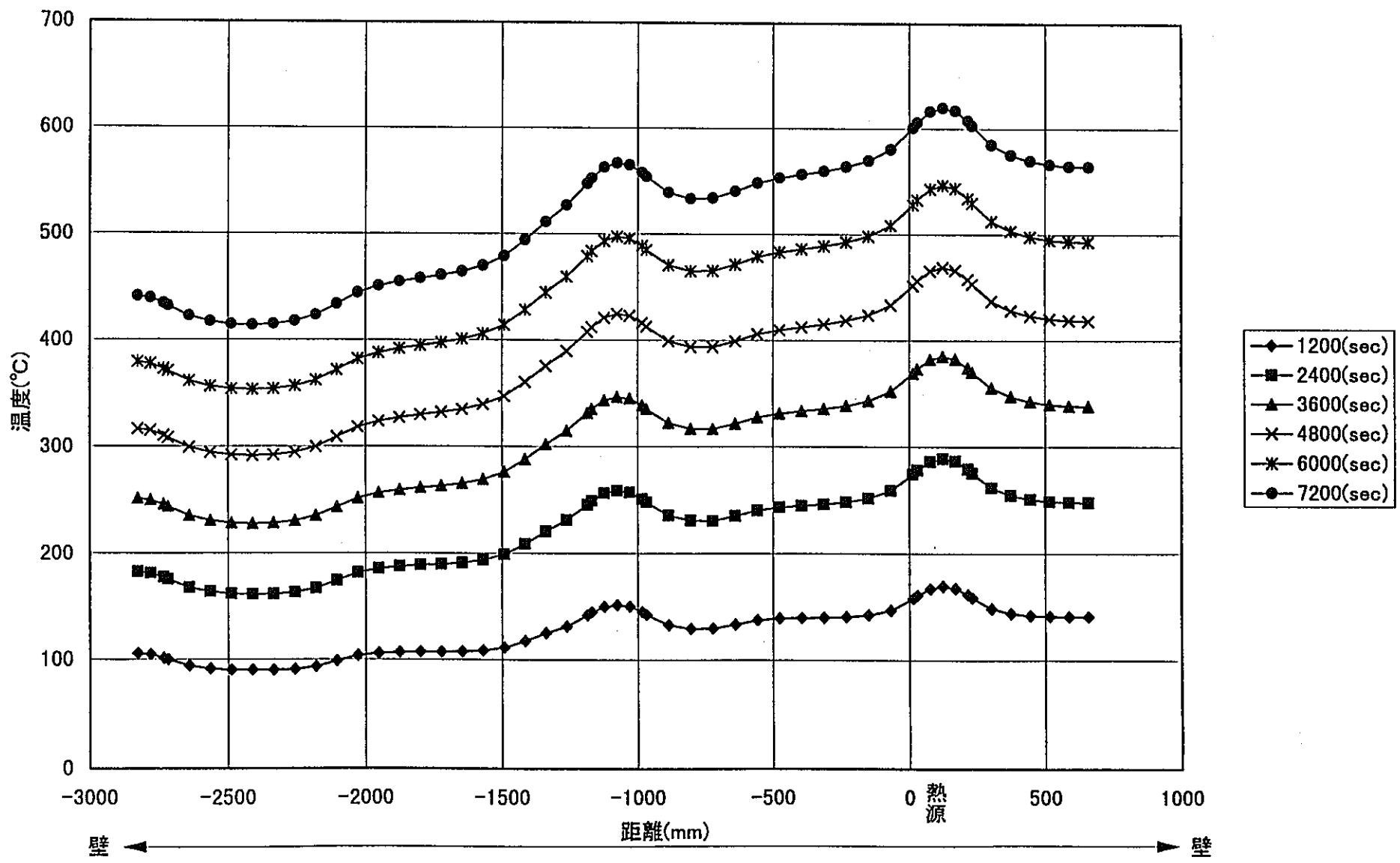


図4-1-16 ケース7 温度履歴(北側レール)

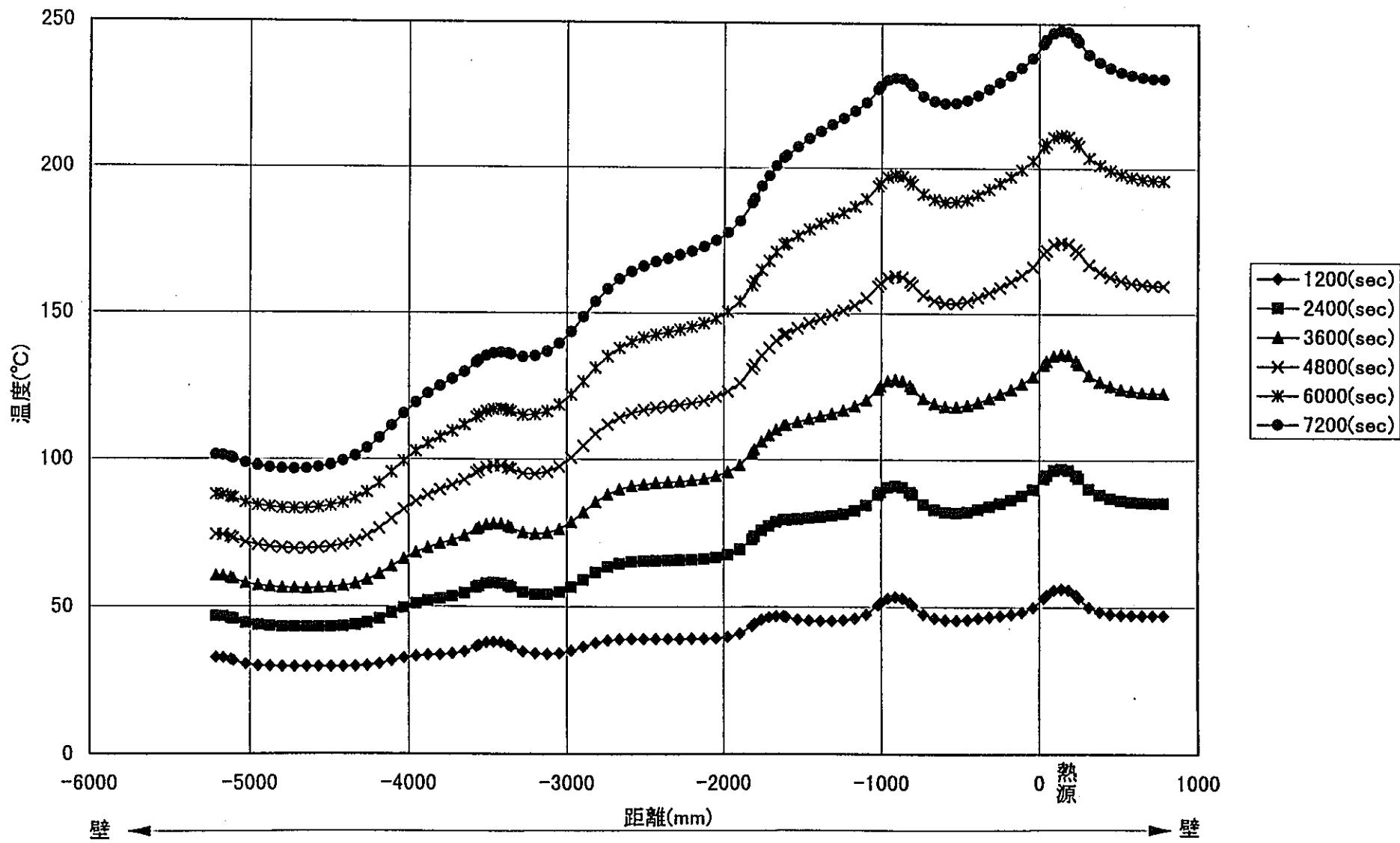


図4-1-17 ケース1 温度履歴(南側レール)

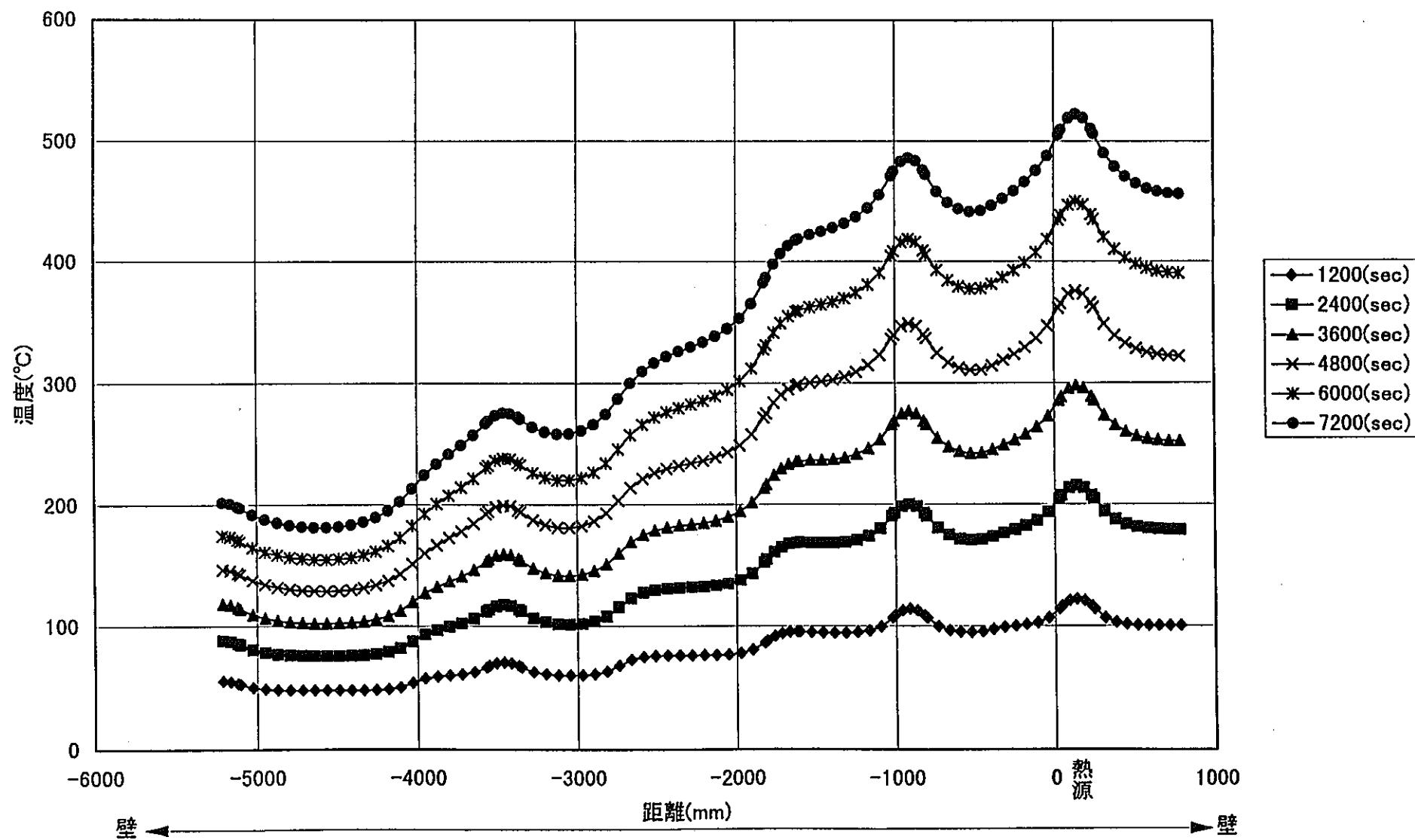


図4-1-18 ケース2 温度履歴(南側レール)

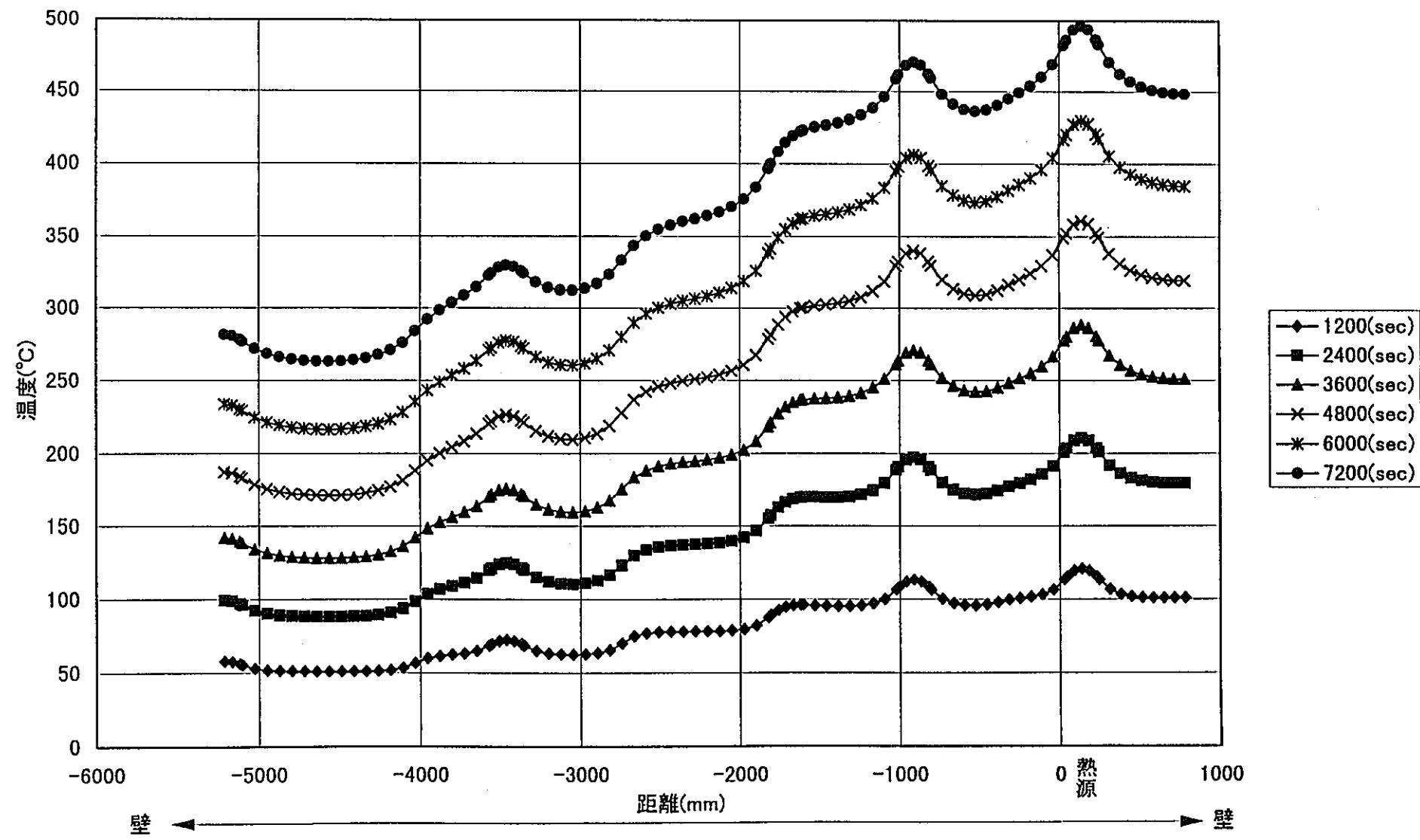


図4-1-19 ケース3 温度履歴(南側レール)

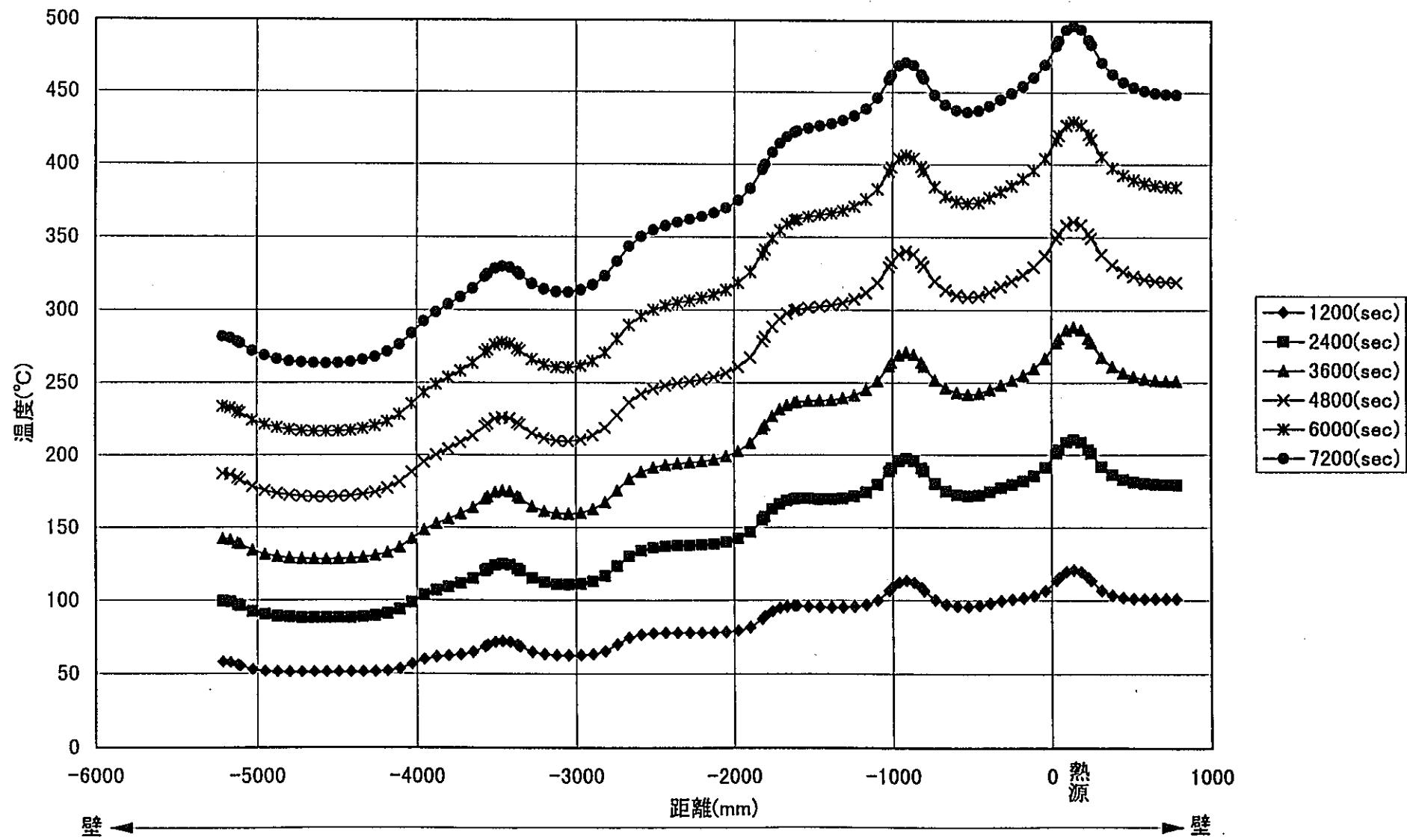
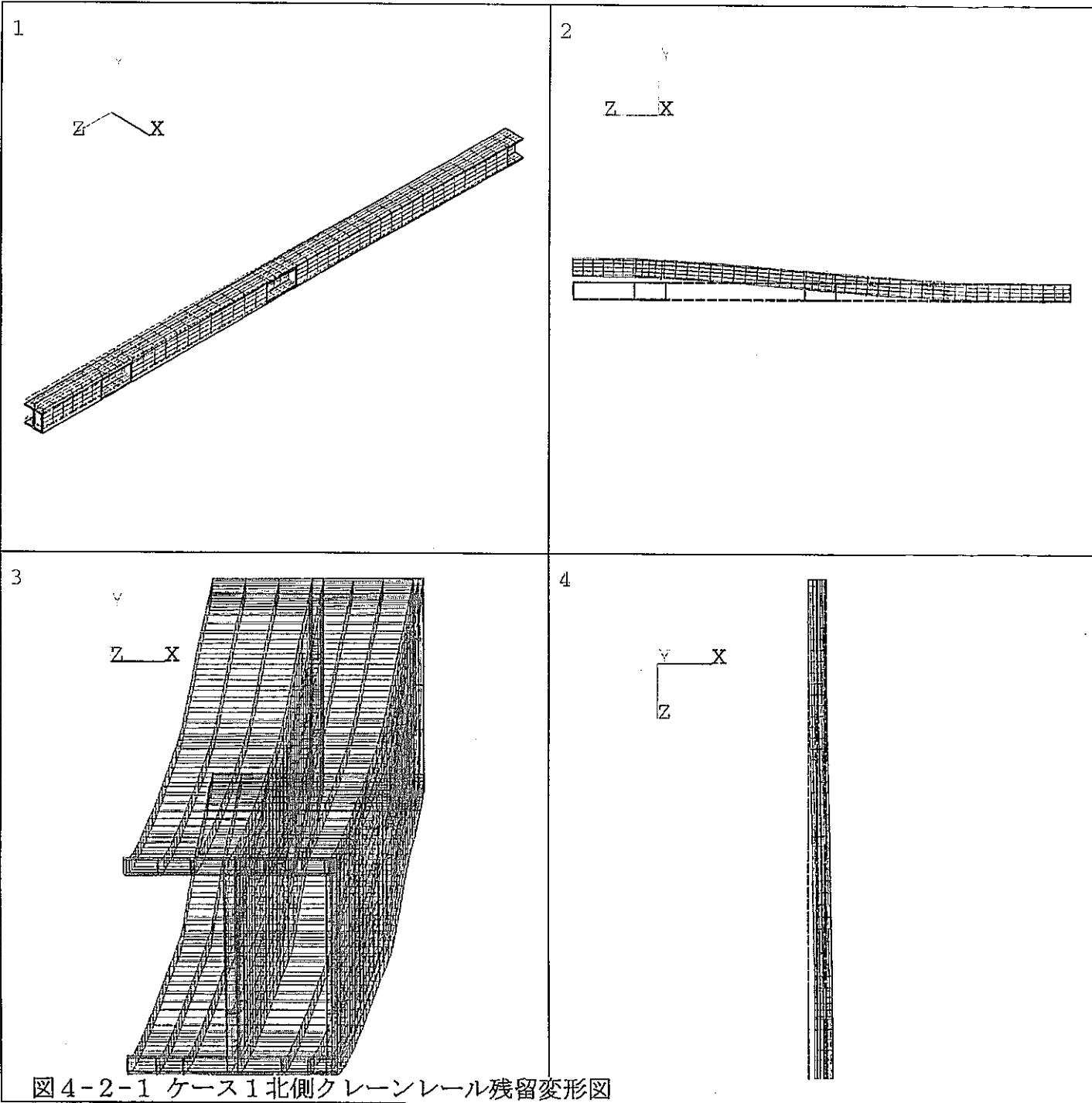


図4-1-20 ケース4 温度履歴(南側レール)

表 4-2 解析結果のまとめ

解析ケース	解析条件	状態	変形量 (mm)		温度 (°C)
			δ X (水平)	δ Y (鉛直)	
CASE-1 北側レール	下面のみ入熱	2時間後	13.7	222.0	455.0
		冷却後	11.2	35.6	20.0
CASE-2	下面、側面入熱	2時間後	17.8	526.8	801.6
		冷却後	-38.1	186.6	20.0
CASE-3	下面、側面入熱 他は放熱 (h=5, T=400°C)	2時間後	24.8	462.5	706.0
		冷却後	-23.2	154.0	20.0
CASE-4	下面、側面入熱 (D1=1h, D5=1h) 他は放熱 (h=5, T=400°C)	2時間後	22.7	460.0	732.3
		冷却後	-33.0	155.8	20.0
CASE-5					
CASE-6	CASE-3の入熱を2倍	2時間後	-	-	1250.0
		冷却後	-	-	20.0

解析ケース	解析条件	状態	変形量 (mm)		温度 (°C)
			δ X (水平)	δ Y (鉛直)	
CASE-1 南側レール	側面のみ入熱	2時間後	-32.4	380.6	276.3
		冷却後	-10.7	51.0	20.0
CASE-2	下面、側面入熱	2時間後	-50.7	861.8	530.3
		冷却後	-22.6	184.0	20.0
CASE-3	下面、側面入熱 他は放熱 (h=5, T=400°C)	2時間後	-52.2	900.5	506.1
		冷却後	-23.2	153.6	20.0
CASE-4	下面、側面入熱 (D1=1h, D5=1h) 他は放熱 (h=5, T=400°C)	2時間後	-49.6	884.4	489.3
		冷却後	-26.3	143.9	20.0
CASE-5	CASE-3のボルト1本削除	2時間後	-521.4	598.9	506.1
		冷却後	76.4	251.8	20.0
CASE-6					



ANSYS 5.3
JUN 4 1997
15:52:48
PLOT NO. 10
DISPLACEMENT
STEP=21
SUB =4
TIME=21
RSYS=0
DMX =37.312

*DSCA=1
XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=1409
XF =-1747
YF =2107
ZF =-1084
PRECISE HIDDEN

WIND=2
DSCA=4.671
XV =1
DIST=1917
XF =-1726
YF =2171
ZF =-1084

WIND=3
DSCA=4.671
ZV =1
DIST=162.29

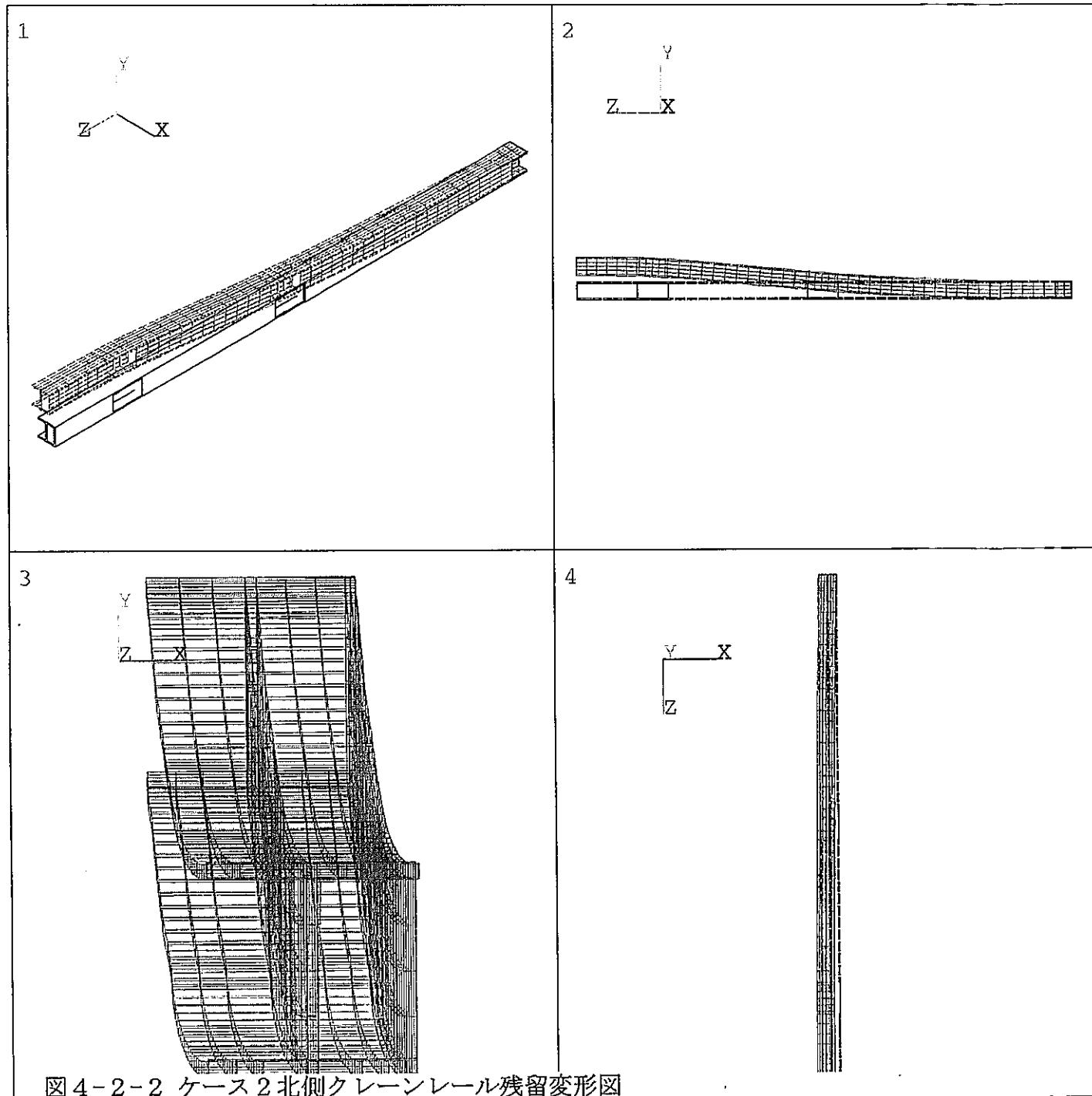


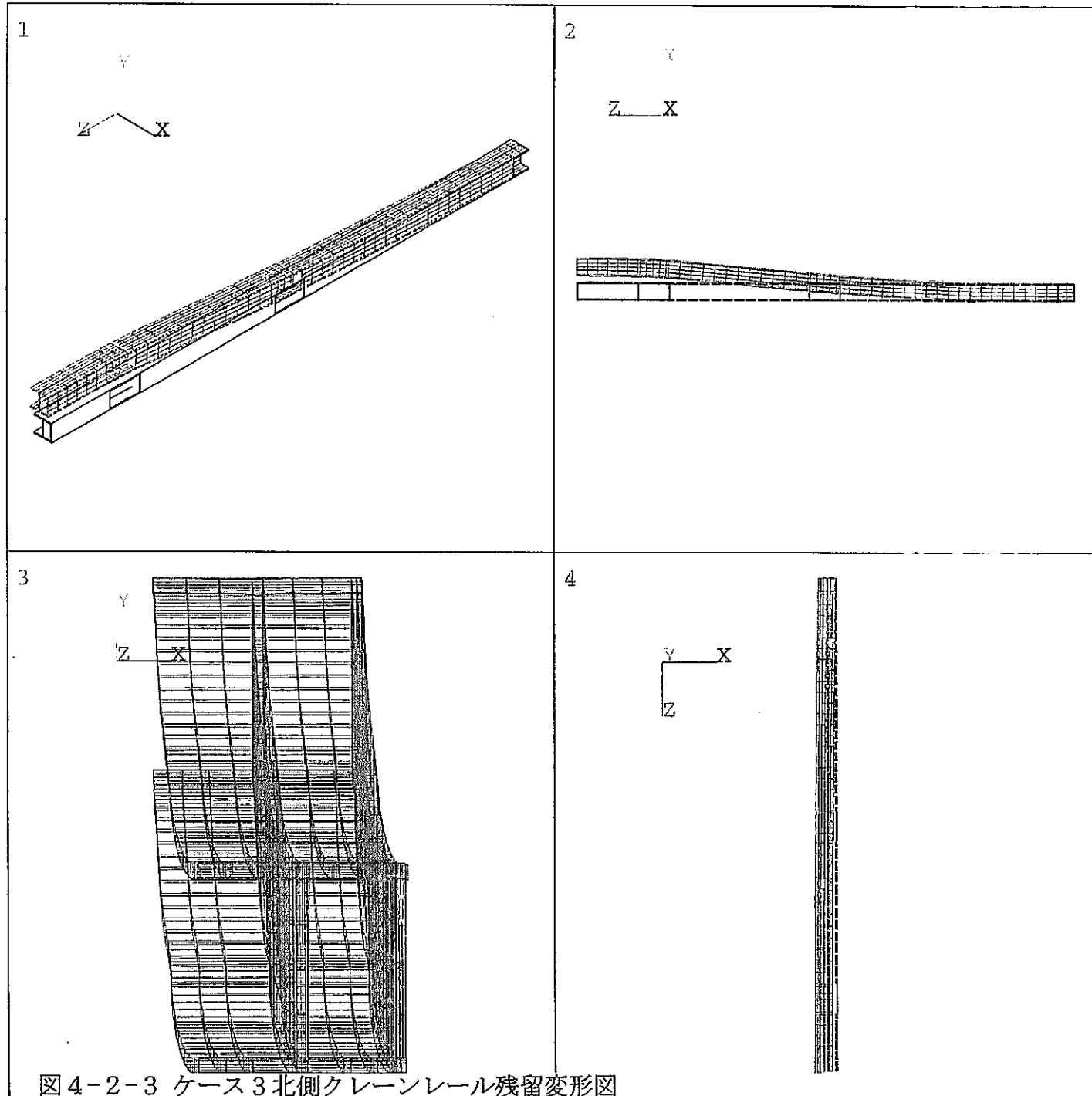
図 4-2-2 ケース 2 北側クレーンレール残留変形図

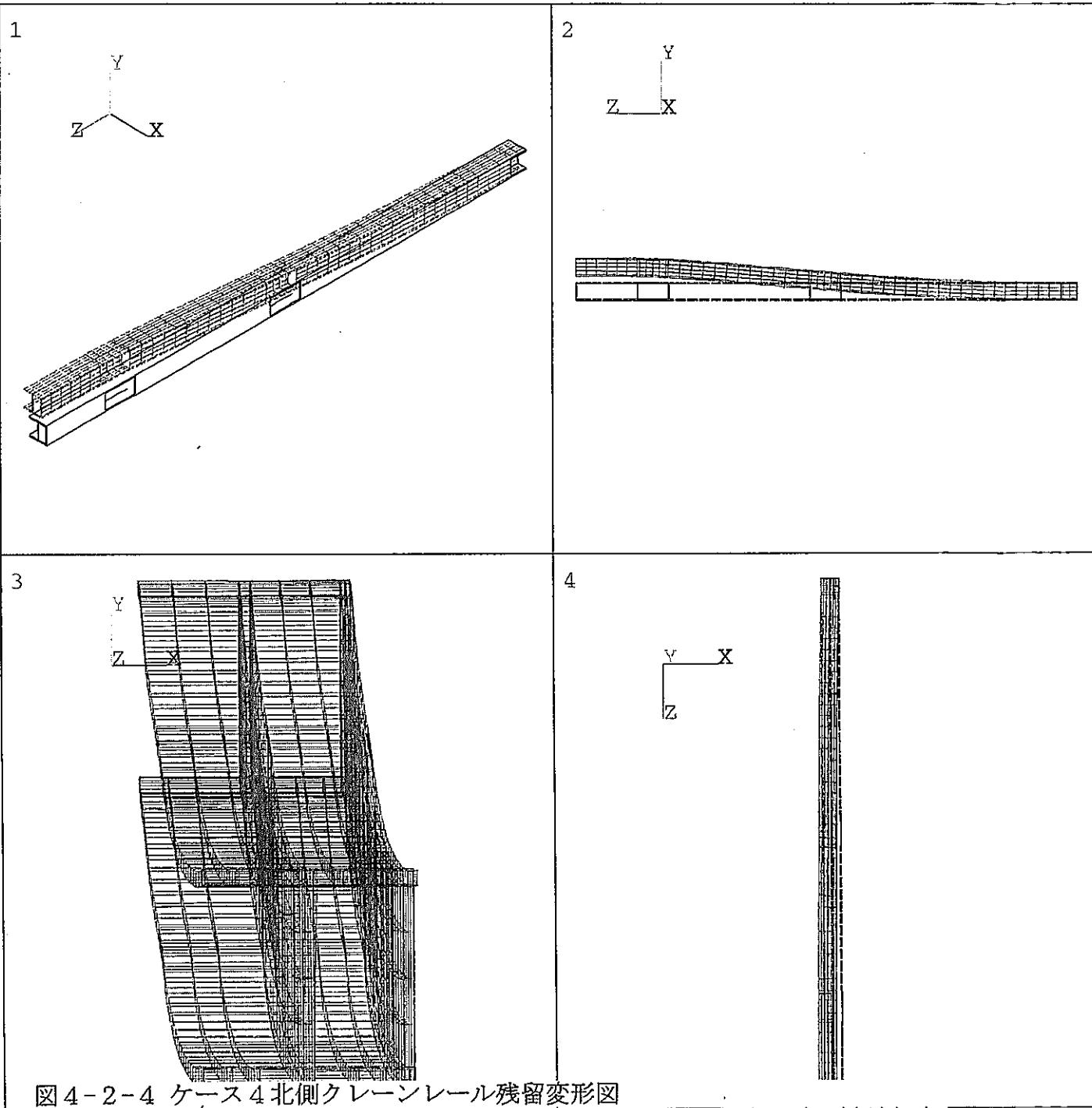
ANSYS 5.3
JUN 5 1997
09:52:52
PLOT NO. 10
DISPLACEMENT
STEP=21
SUB =5
TIME=21
RSYS=0
DMX =190.385

*DSCA=1
XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=1420
XF =-1770
YF =2182
ZF =-1084
PRECISE HIDDEN

WIND=2
DSCA=.915515
XV =1
DIST=1917
XF =-1768
YF =2174
ZF =-1084

WIND=3
DSCA=.915515
ZV =1
DIST=163.408



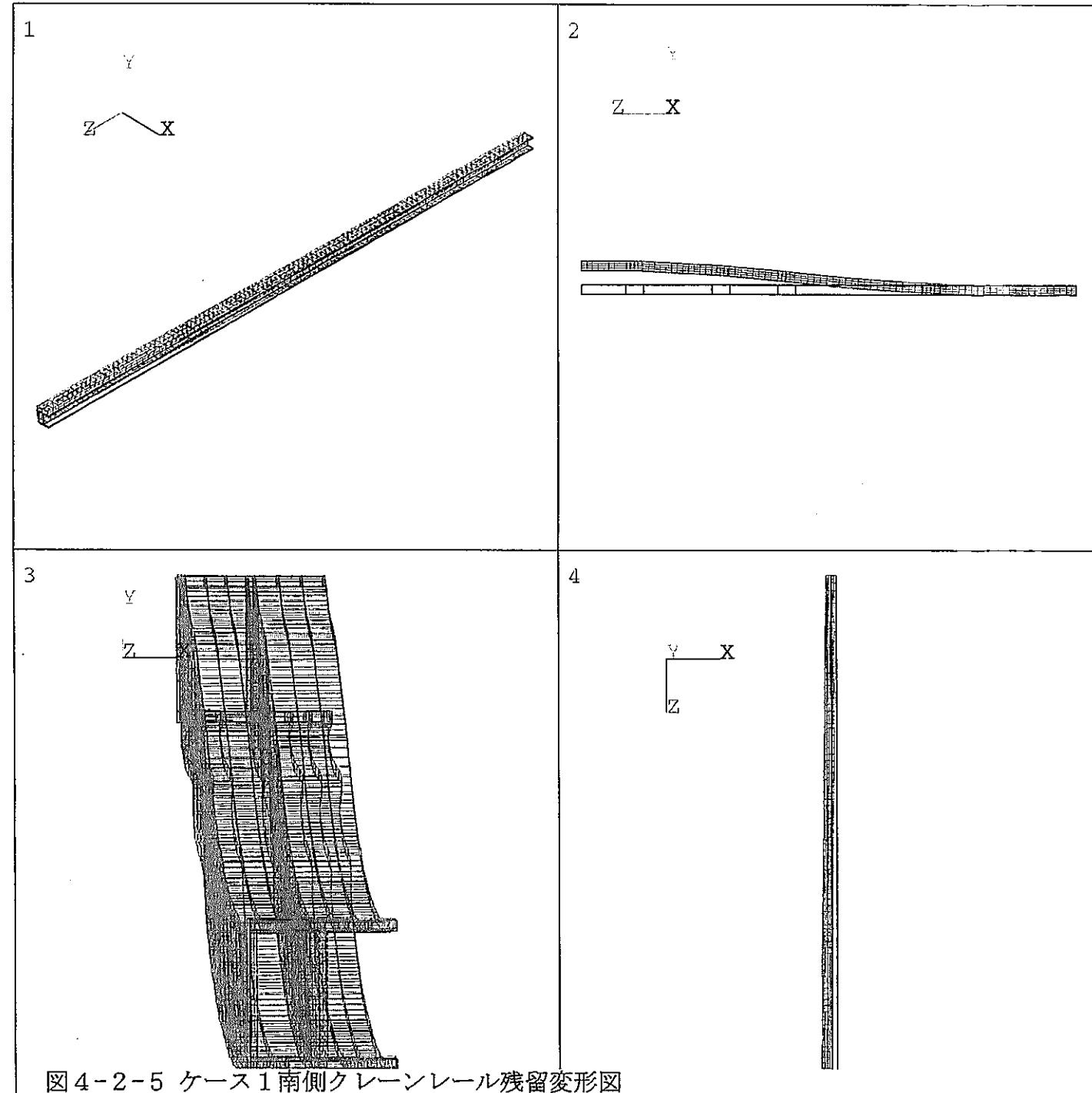


ANSYS 5.3
 JUN 9 1997
 15:14:13
 PLOT NO. 10
 DISPLACEMENT
 STEP=21
 SUB =5
 TIME=21
 RSYS=0
 DMX =159.265

*DSCA=1
 XV =1
 YV =1
 ZV =1
 DIST=1418
 XF ==-1767
 YF =2167
 ZF ==-1084
 PRECISE HIDDEN

WIND=2
 DSCA=1.094
 XV =1
 DIST=1917
 XF ==-1769
 YF =2174
 ZF ==-1084

WIND=3
 DSCA=1.094
 ZV =1
 DIST=163.239

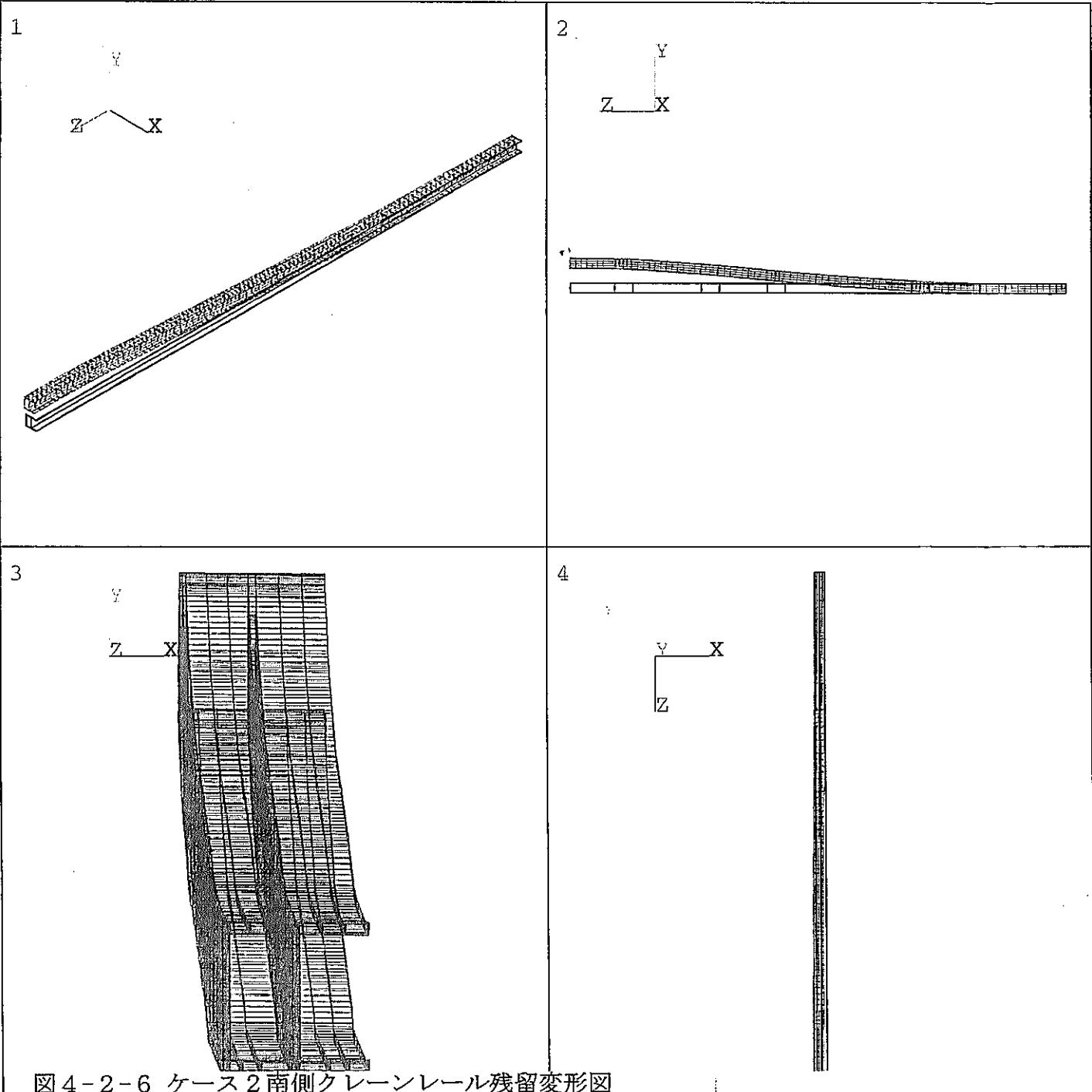


ANSYS 5.3
JUN 5 1997
13:11:05
PLOT NO. 10
DISPLACEMENT
STEP=21
SUB =4
TIME=21
RSYS=0
DMX =52.045

*DSCA=1
XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=2384
XF =2703
YF =2115
ZF =-2216
PRECISE HIDDEN

WIND=2
DSCA=5.759
XV =1
DIST=3298
XF =2677
YF =2235
ZF =-2216

WIND=3
DSCA=5.759
ZV =1
DIST=231.924

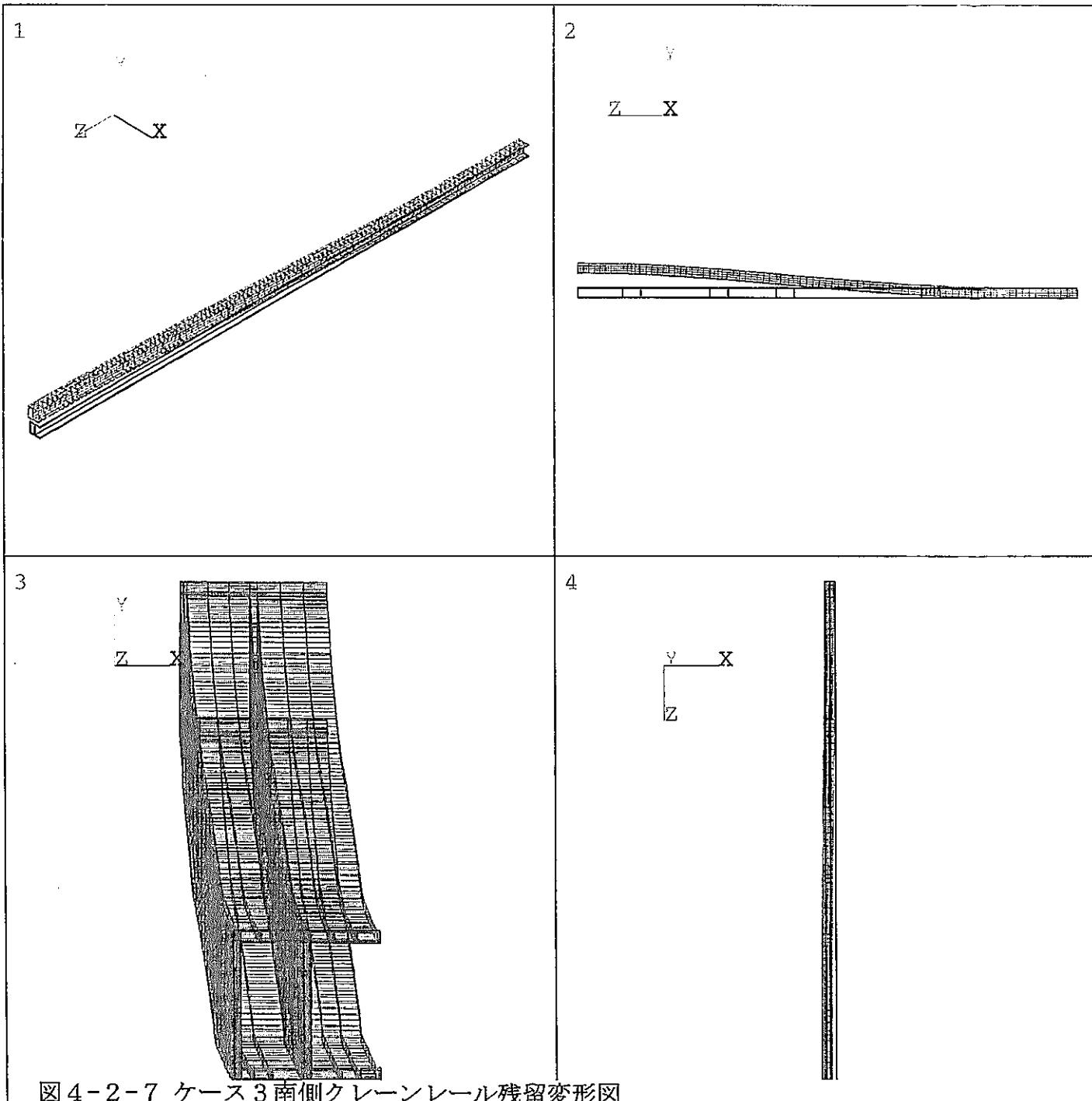


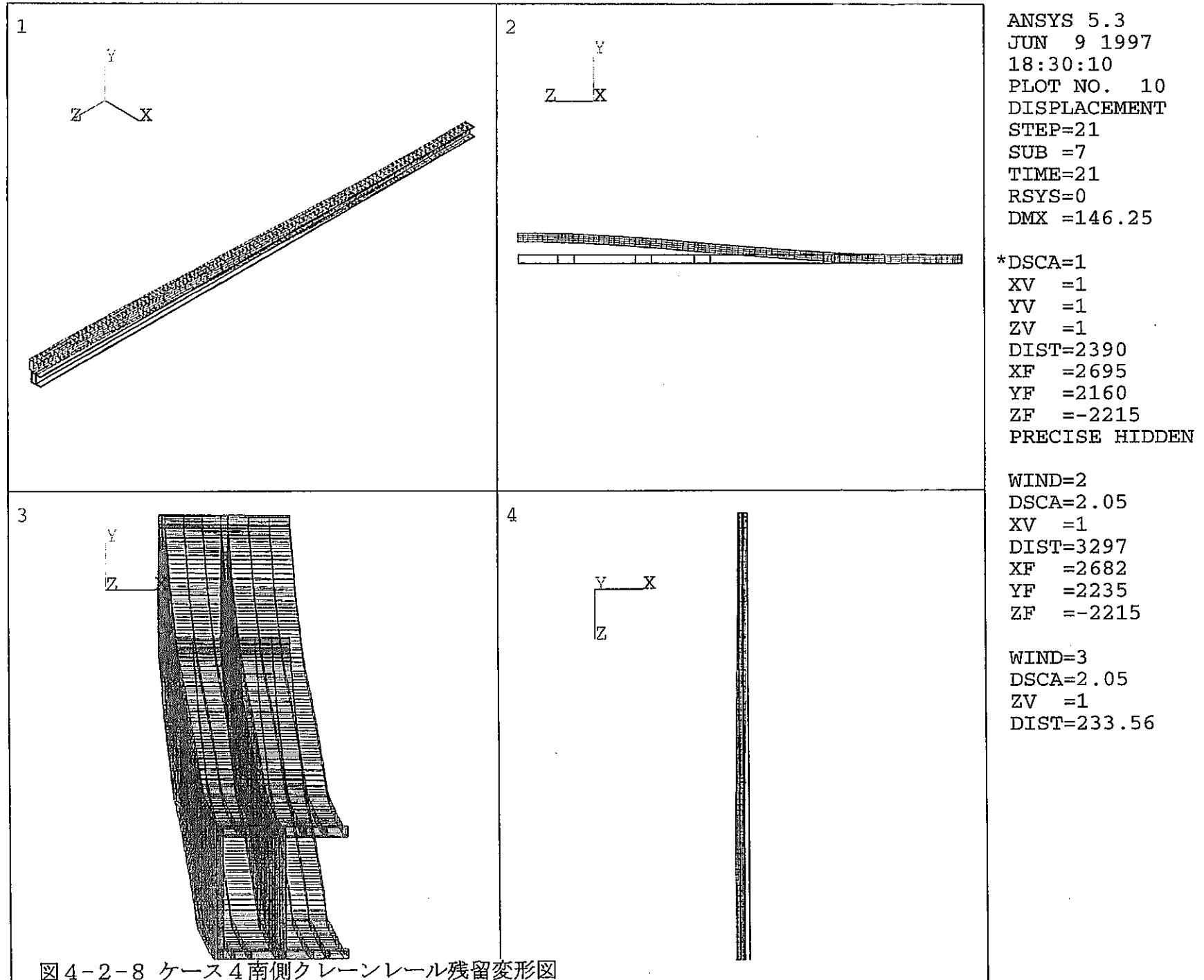
ANSYS 5.3
JUN 6 1997
10:16:45
PLOT NO. 10
DISPLACEMENT
STEP=21
SUB =7
TIME=21
RSYS=0
DMX =185.261

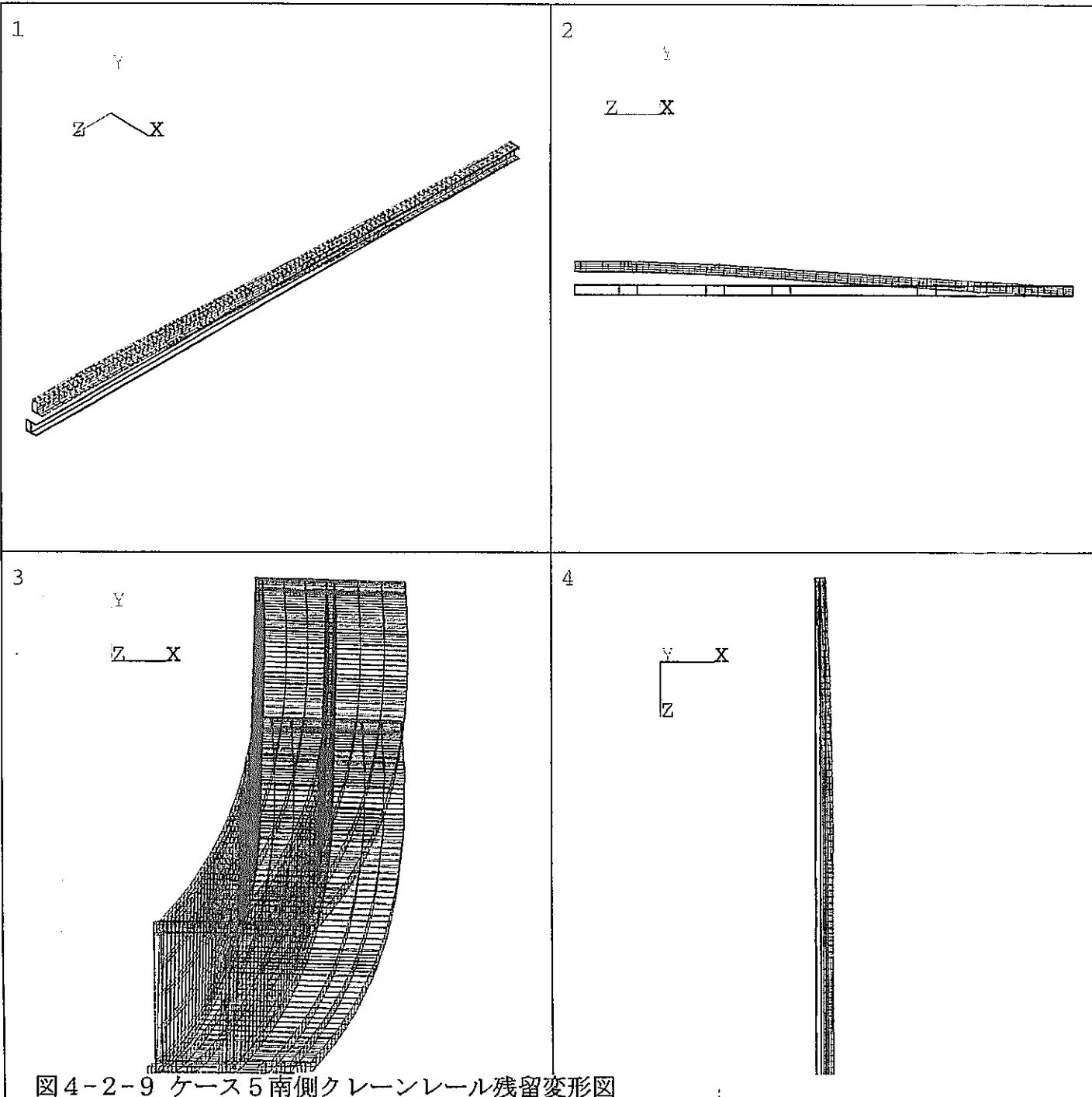
*DSCA=1
XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=2389
XF =2697
YF =2181
ZF =-2215
PRECISE HIDDEN

WIND=2
DSCA=1.618
XV =1
DIST=3297
XF =2690
YF =2237
ZF =-2215

WIND=3
DSCA=1.618
ZV =1
DIST=234.105







ANSYS 5.3
JUN 17 1997
18:46:34
PLOT NO. 10
DISPLACEMENT
STEP=21
SUB =9
TIME=21
RSYS=0
DMX =262.574

*DSCA=1
XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=2413
XF =2743
YF =2214
ZF =-2217
PRECISE HIDDEN

WIND=2
DSCA=1.142
XV =1
DIST=3299
XF =2748
YF =2231
ZF =-2217

WIND=3
DSCA=1.142
ZV =1
DIST=229.199

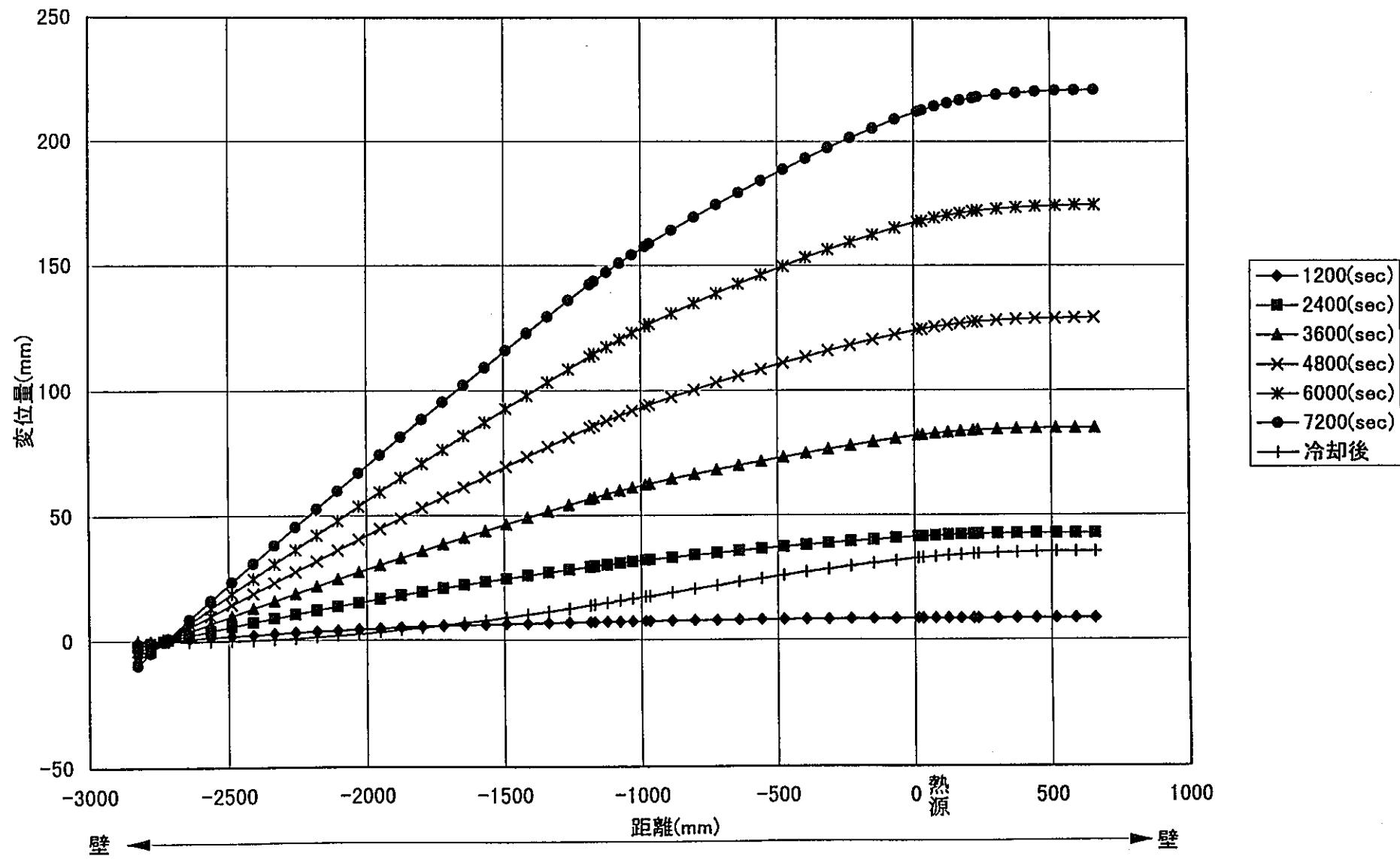


図4-2-10 ケース1 鉛直方向(Y)変位履歴(北側レール)

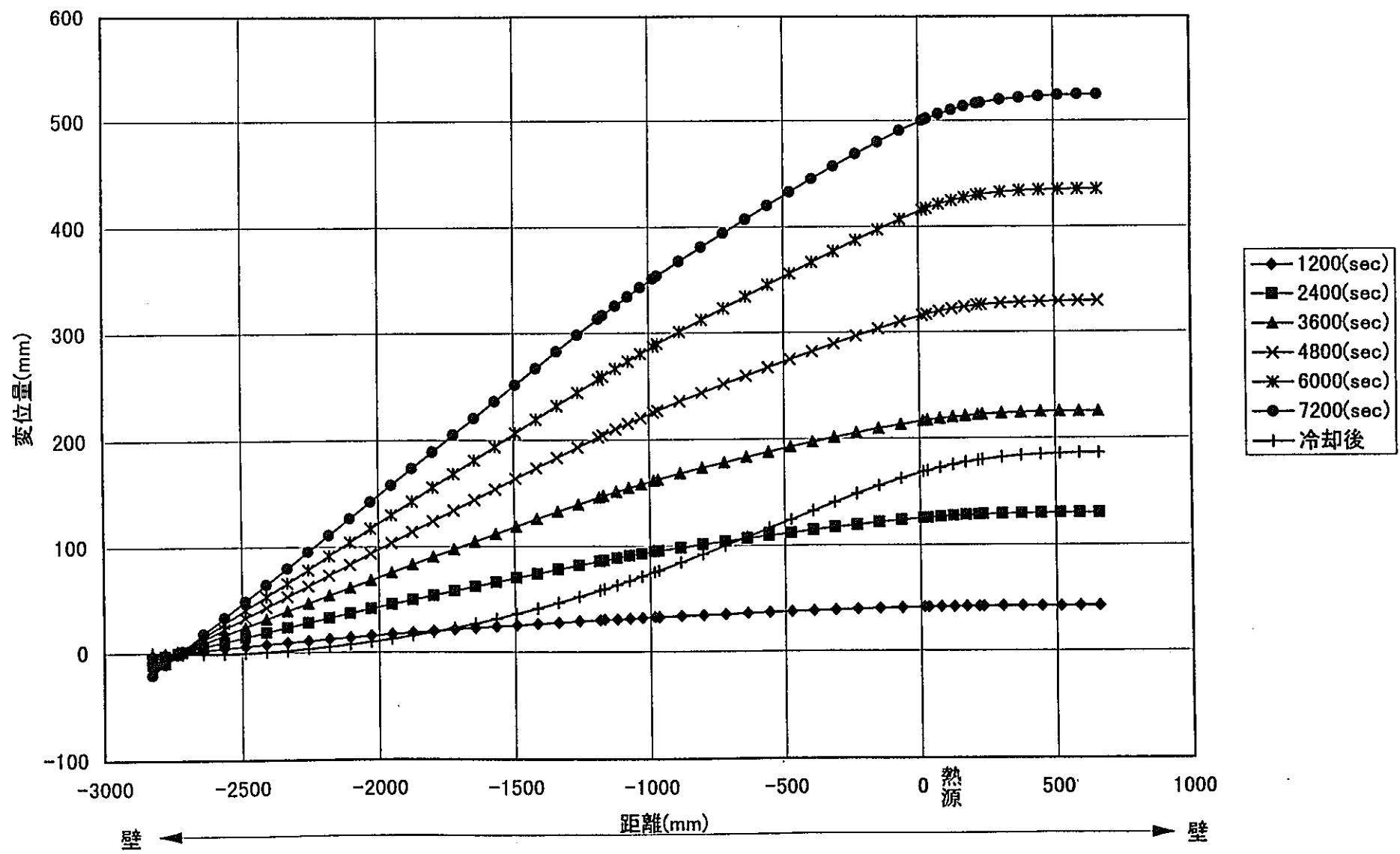
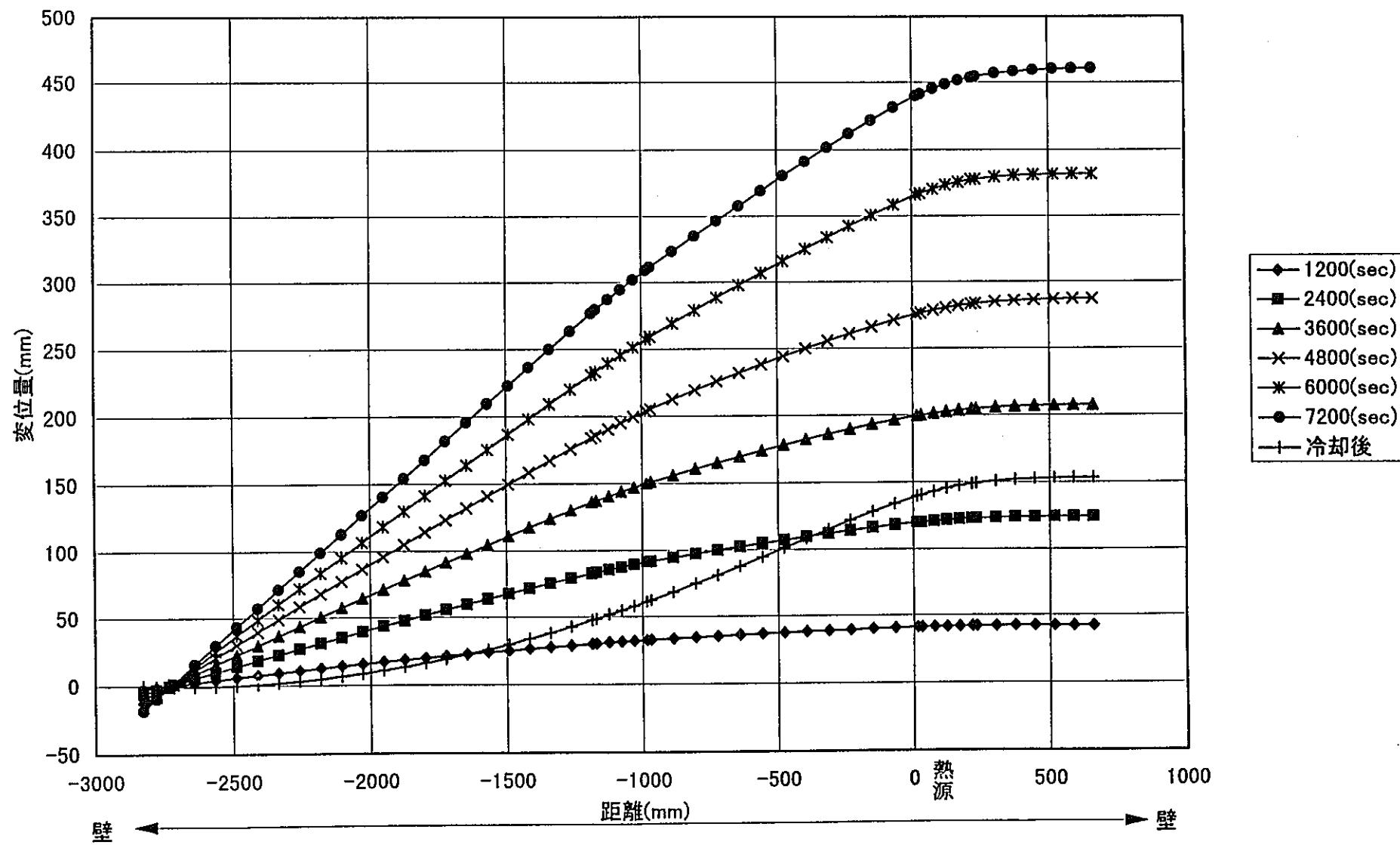
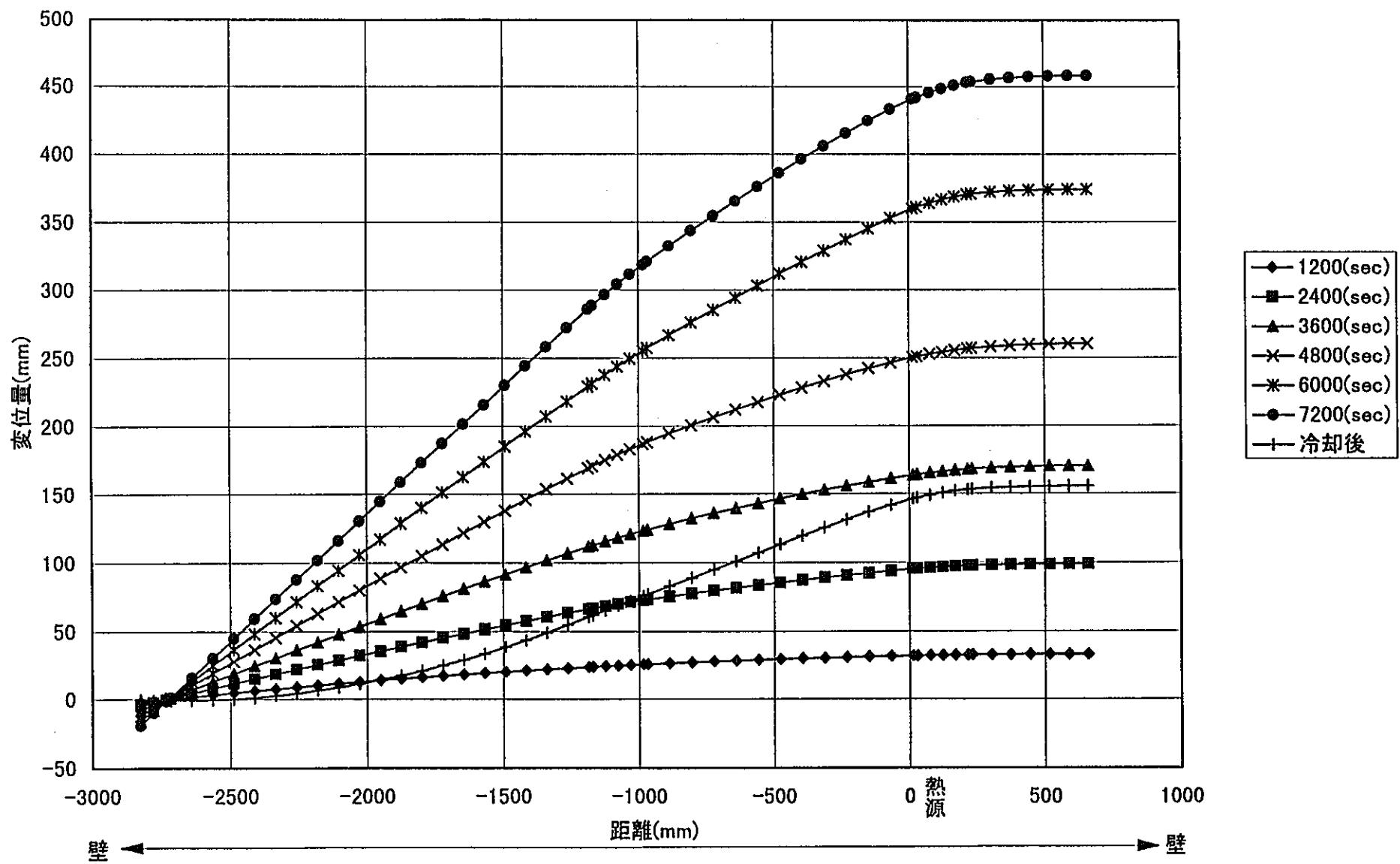


図4-2-11 ケース2 鉛直方向(Y)変位履歴(北側レール)





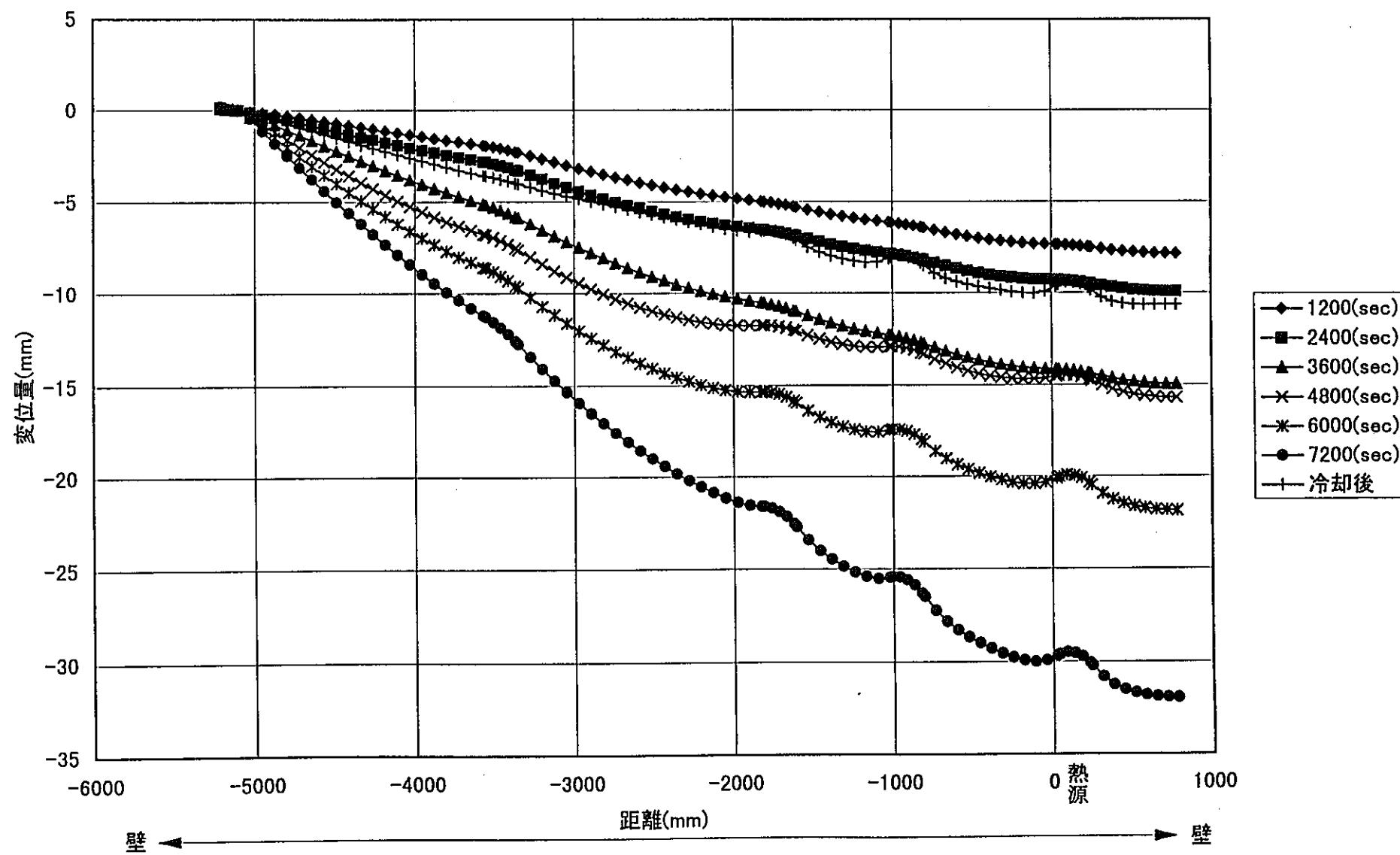


図4-2-14 ケース1 水平方向(X)変位履歴(南側レール)

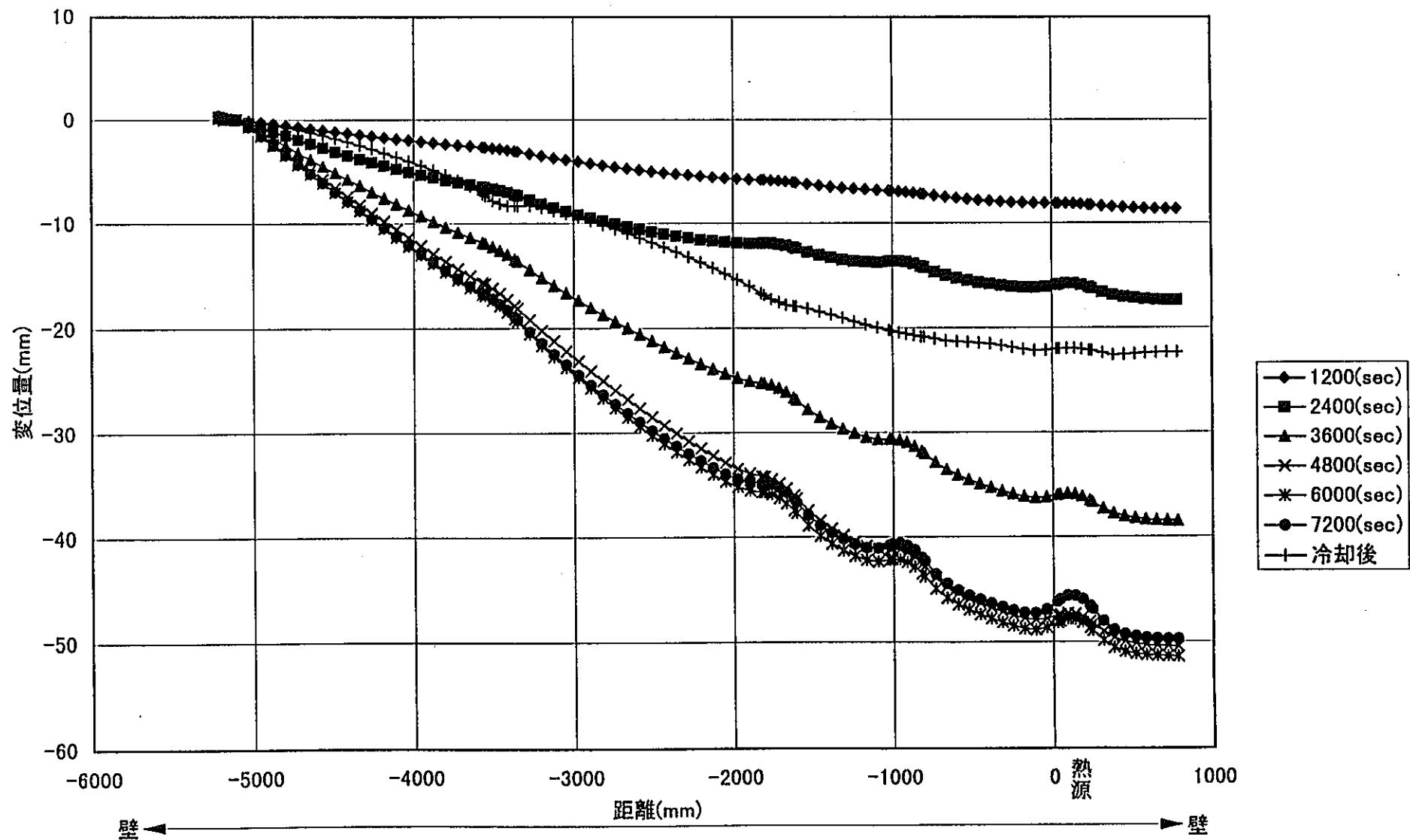


図4-2-15 ケース2 水平方向(X)変位履歴(南側レール)

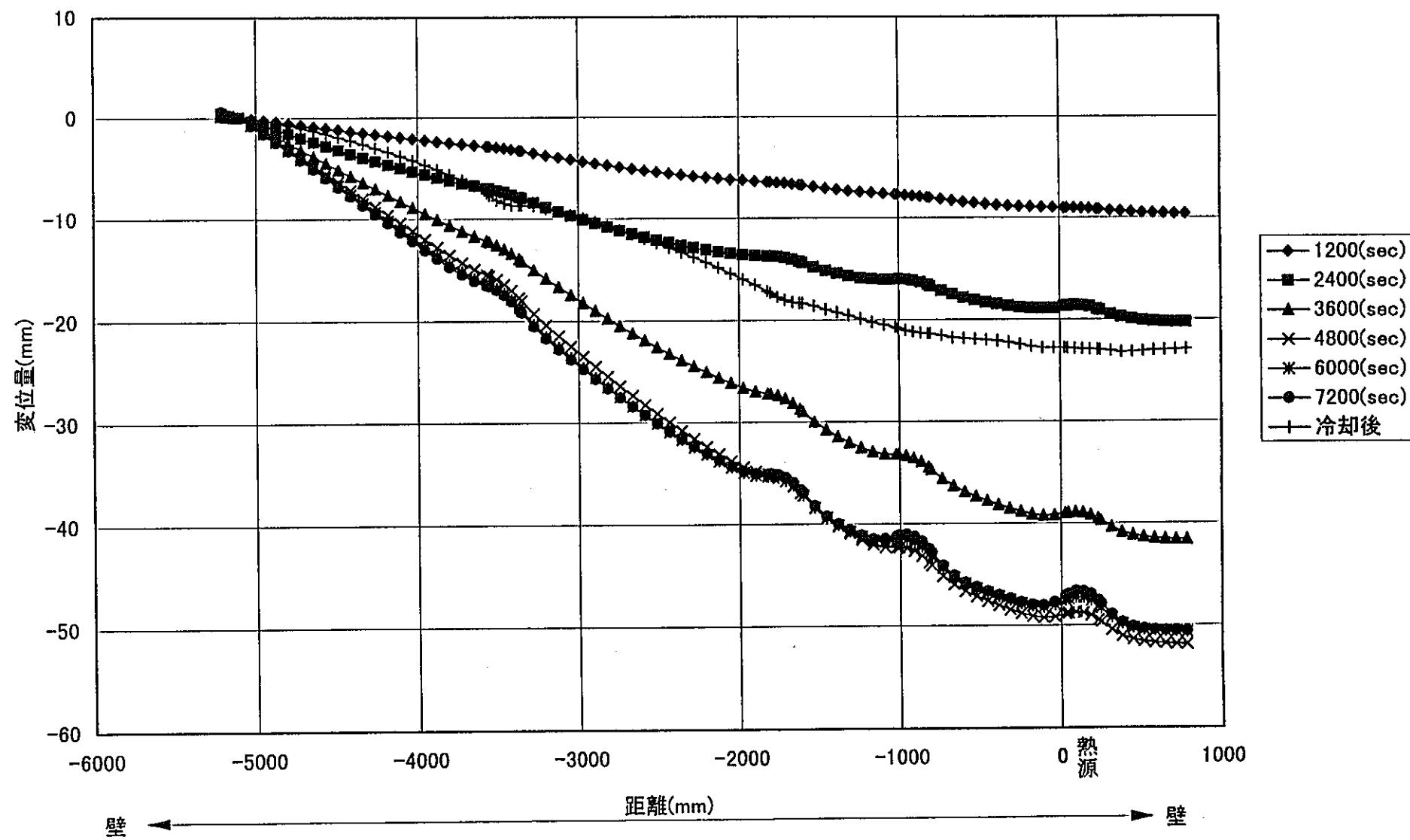


図4-2-16 ケース3 水平方向(X)変位履歴(南側レール)

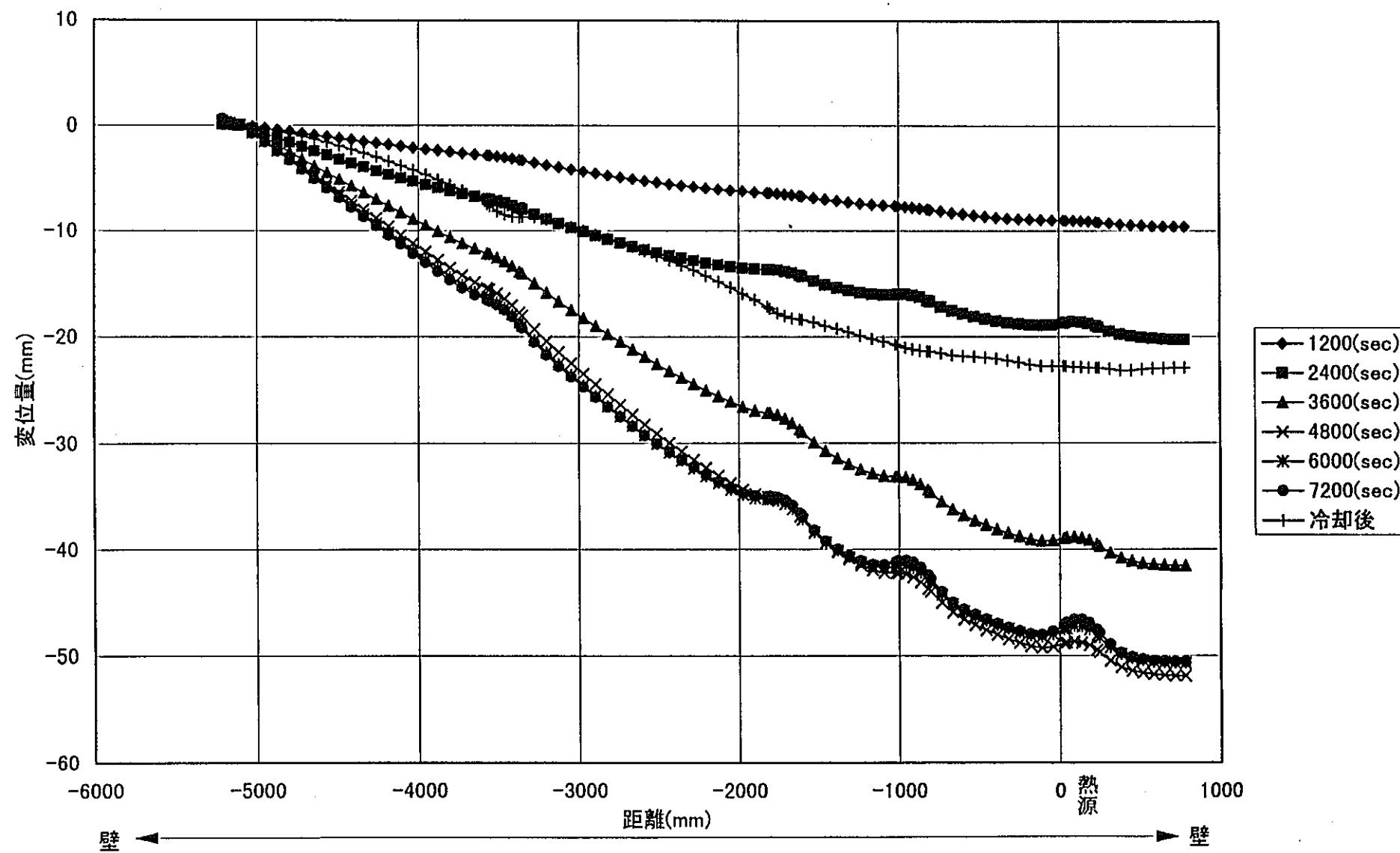


図4-2-17 ケース4 水平方向(X)変位履歴(南側レール)

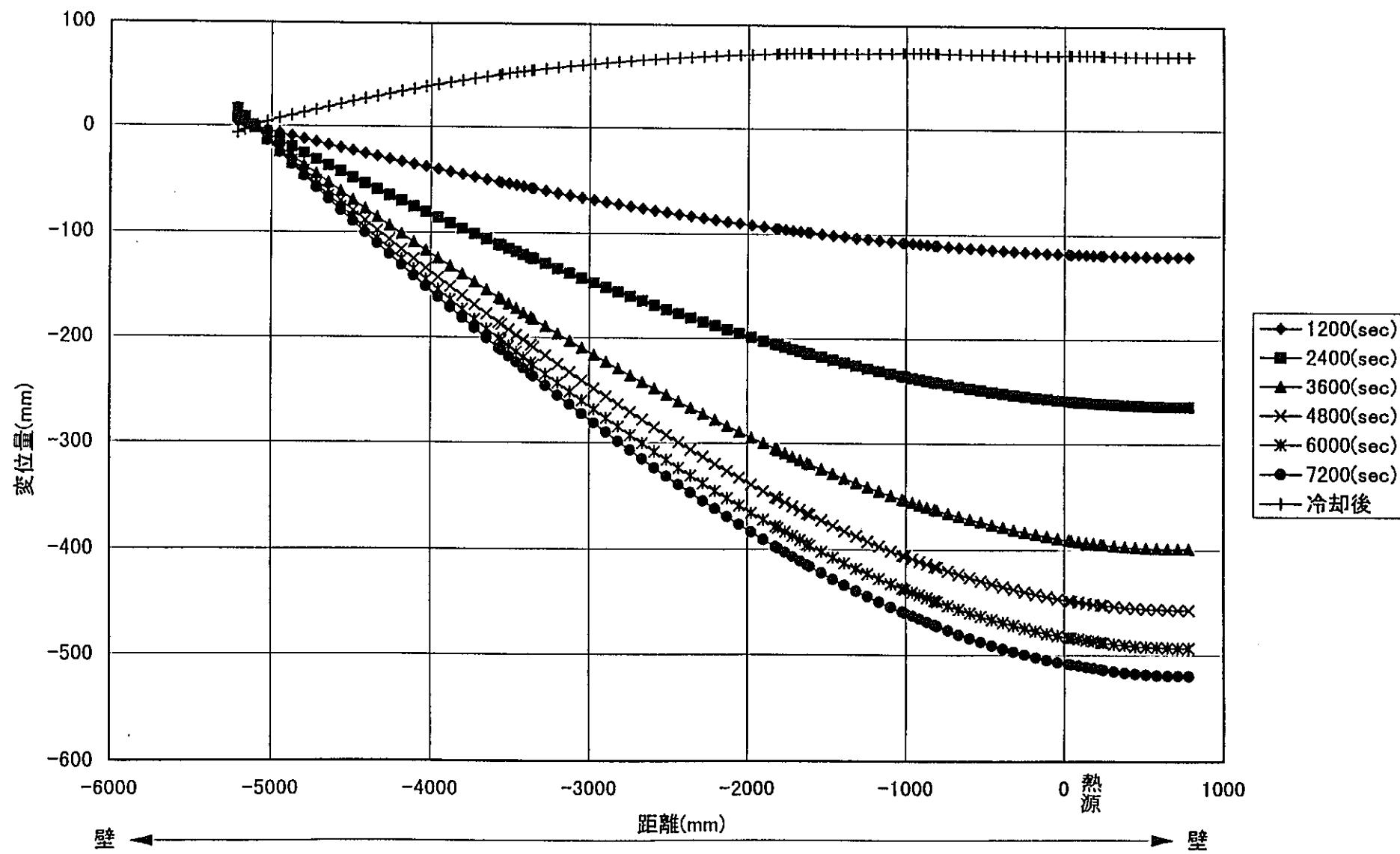


図4-2-18 ケース 5 水平方向(X)変位履歴(南側レール)