

取扱注意

プラント構造物経年変化調査

調査報告書

(平成9年8月～平成10年3月)

平成10年3月

三菱重工業株式会社

三菱電機株式会社

大成建設株式会社

1. 概 略

本報告は昭和61年5月より継続実施中のT/G架台経年変化調査に関し、平成9年8月から平成10年3月まで調査結果、並びに今後の対応に関する結果を記したものである。前年度（平成8年度）調査結果の概略は以下の如くであった。

- (1) T/G架台の軸方向伸びは平成8年度分としての計測範囲内では、山側については平成元年頃よりほとんど変化していないが、海側は僅かに増加の傾向が伺える。しかし、定検時以外の季節別のデータでは目立った変化もなく特に増加の傾向は見られなかった。これらの結果から架台軸方向全長の伸びは、ほぼ収束した状態にあるものと判断できる。
- (2) ベンチマーク区間毎の長さ変化からも海山側共伸びは横這いにあり収束傾向にあると言える。
- (3) ベンチマークレベルの変化は主にテーブルデッキコンクリートの垂直方向（あばら筋方向）への膨張によるものと思われ、垂直方向ではいまだに収束していないと言える。
- (4) 架台梁部上面、基礎マット、架台山側梁側面および架台海側柱各点で計測の主筋ひずみは、現在いずれも弾性範囲内にあり、ほぼひずみ増加を収束させつつある傾向が認められる。
- (5) あばら筋のひずみ発生状況については、基礎マット、架台山側梁側面および架台海側柱においては、現状弾性範囲内にある。一方、架台梁部上面における各計測点においては、いずれも降伏領域（平成6年12月時点の最大値；L/P部M-2で約2980~4370 μ ）にあり、今なお、約10~30 μ /年の割合でそのひずみ量を増加させつつある。なお、計測開始以降、ひずみの漸減傾向を示していたM-6、M-8については、それぞれ平成3年3月頃及び平成5年3月頃よりひずみを漸増する傾向に転じており、また、計測開始以降ひずみの漸増傾向を示していたM-7については平成4年9月以降、そのひずみ増加率を増す挙動を示している。
- (6) 巨視的に見ると、各計測ひずみから算定した架台海側柱部材力は現在もなおその絶対値を漸増させており、その絶対値も一部を除いて漸増傾向にある。従って、架台の軸方向伸びの計測結果からは、伸びは収束の方向に向かいつつある様に考えられるものの、平成5年頃から顕著な動きではないがやや漸増傾向にある。また、架台各部の応力状態は、今なお、変動途時にあり、ASRの発生は収束の方向に向か

いつつあると推測されるものの、未だ完全に収束したものとは言い難い。特に、ひずみ挙動における傾向の変化が認められている部位は、いずれも発電機側に集中しており、今後ともこの周辺部位の挙動推移については、注意が必要である。

(7) 2号機の伸びについては、現在までのところ、特に問題となるような挙動は認められない。

(8) 実機解析に先立ち、有限要素モデルでの解析に関し、モデル化の適否を確認するための予備解析を実施した。その結果、今回の解析法の採用により、実機鉄筋コンクリート構造架台のコンクリート部の膨張に伴う架台伸長を模擬し、伸長に伴う架台全体系としての挙動（劣化過程）及び架台各部の鉄筋並びにコンクリートのひずみ発生挙動の把握が可能である事を確認した。

今後本解析法を用い、実機に対する解析を引き続き実施する。

2. 調査内容

今年度に実施の調査内容を表1に示す。

表1 平成9年度調査内容

	H9								H10			
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
主要工程										1-17回 定検		
1U 鉄筋応力計測				○			○			○		
1U 基本内部温度				○			○			○		
1U 梁台柱傾斜				○			○			○		
1U 柱せん断応力計測				○			○			○		
1U 梁成方向変位計測				○			○			○		
1U 基礎調査										○		
1U ベンチマーク間距離計測 (機械側計測)			○				○			×		

3. 調査結果及び考察

3.1 概 要

本年度は、プラント構造物経年変化調査において、これまで計測されてきた各種データを集約・評価するとともに、各データ間の関連性を検討し、構造物の現状評価を行った。しかし、本報告では第17回定検時のベンチマーク間距離計測データが採取されていない為、一年周期での評価がやや困難である。

3.2 実施内容

(1) 計測データの集約

現在蓄積されている下記データを、コンピュータ処理が行なえるように、共通フォーマットで再編集する。また、データの変化状況を判りやすく視覚化（グラフ化）する。

- ① ベンチマーク間距離（機械側測定）
- ② ベンチマークレベル（機械側測定）
- ③ 柱壁の傾斜
- ④ 鉄筋ひずみ
- ⑤ 梁側面の変位

3.3 調査結果及び考察

(1) 架台軸方向の伸び

架台軸方向伸びの定検時の長さ（図1）は、測定時の気温に大きく左右されるため、単純に評価することができない。一方、運転中は蒸気により加熱された状態にあり、定検時に比べると外気温の影響は少ないと言える。そこで、定検時以外のデータを季節別に整理し（図2、図3）、この一年間に注目すると夏期では山側、海側共H 8. 8月とH 9.10月間で架台伸びはほぼ横這い傾向にあるが、冬期においては海山側共H 8.12とH 9.12間では伸びが若干減少している傾向がうかがえる。この傾向については今後定検時データを含め推移を見ながら改めて評価することにする。

(2) ベンチマークレベルの変化

架台レベルの変化は、テーブルデッキコンクリートの垂直方向（あばら筋方向）への膨張によるものが主体と考えられる。測定は絶対レベルを把握することが困難であるため、相対レベルで行っており、各測定時の発電機側端部を基準としたレベル差の変化を図5に示した。図からはレベルは明らかに変化しており、架台軸方向の大きな動きはほぼ収束しているものの、垂直方向ではいまだ収束していないと言える。

(3) 柱傾斜の推移

柱傾斜はデータのばらつきが非常に大きく、細かな動きは判断しにくい。また、測定不能となっていた箇所の計測を再開した箇所を含め、これらのことを踏まえた上で図6を見ると、架台軸直角方向については動きはほぼ落ち着いているように伺える。また、発電機側柱では軸方向の動きはデッキ部伸びが収束し始めた平成元年頃より変位量はやや減少に向っている。

(4) 鉄筋ひずみ

(4)-a テーブルデッキ（図7～図10）

テーブルデッキ部（M1, M2）主筋では、ほぼ収束傾向が伺える。また、相当するベンチマーク区間の長さ変化の傾向と、主筋ひずみの変化傾向はほぼ一致している。しかし、あばら筋では変化は収束しておらず、ほぼ直線的にひずみが増加している。これは、テーブルデッキコンクリートの垂直方向への伸びが継続しているためと考えられる。

M3ではテーブルデッキの他の点と異なり、平成5年頃より主筋ひずみが大きく低下している。ベンチマーク区間長さでは、このような低下は見られず、鉄筋ひずみと対応していない。鉄筋計の劣化がその要因と考えられる。

山側（M8）では、主筋、あばら筋ともにほとんど変化していない。

(4)-b 柱（図11～図13）

タービン側の柱（M4, M5）では、M5主筋のひずみがやや低下傾向にあるのに対し、M4主筋は僅かではあるが増加の傾向が見られる。このため、柱頭が発電機方向に押されたかたちの曲げモーメントが発生している。このモーメントの変化は柱の温度変化に良く対応している。柱温度は

テーブルデッキ温度に当然対応しているはずであるから、テーブルデッキの温度変化による長さ変化によって柱の曲げモーメントが増減していると

言える。この曲げモーメントは温度変化による増減を繰り返しながら全体として増加傾向にあり、収束傾向が見られない。あばら筋ひずみは、僅かに増加の傾向が見られるのものもあるが、全体としてはあまり変化していないようである。

発電機側の柱（M6，M7）ではM6，M7ともに主筋ひずみは低下傾向が続いている。あばら筋ひずみはどちらも増加傾向にあり、特にM7の増加が激しい。曲げモーメントは柱頭がタービン方向に押される形で発生しているが、測定開始からあまり変化していない。また、温度による増減の幅はタービン側柱に比べて小さい。

軸力は、どちらの柱も圧縮側に推移してきており、タービン側柱では収束傾向が伺えるが、発電機側柱ではその傾向は見られない。

(5) 梁側面の変位（図26）

変位計を用いた梁成方向ひずみは平成8年8月より計測を始めたが、初期値より平成10年2月までを見るとM-2，M-8共ひずみの変化はほぼ同様の傾向で推移しているが、これは季節変動温度の影響によるものと思われる。

当該部の真のひずみ変動を評価するためには今後のデータ蓄積が必要である。

(6) ひび割れ

大きなひび割れの進展は見られないが、僅かではあるが0.1～0.5mm程度の新たなひび割れの発生が認められ、架台の変化が完全には収束していないことがわかる。

4. 調査結果のまとめ

上記の結果より、まとめとして以下のことが言える。

- (1) T/G架台の軸方向伸びは平成9年度分としての計測範囲内では、基本的にはこれまでと同様、季節変動および機器の運転状況の変化に伴う架台温度変化に追従した挙動推移を示しているが、巨視的に見れば、第7回定検時（昭和60年8月）を堺に、その伸び増加率を減じ、収束の方向に向かっているものと考えられる。

架台伸びの温度変化による影響を少なくするために、1年を夏期と冬期に2分割してこれまでの伸びをプロットすると、伸びが収束に向っていることが分かる。また、各ベンチマーク区間毎の長さ変化にも目立った変化は見られない。

- (2) ベンチマークレベルは依然として変化しており、これはテーブルデッキコンクリートの垂直方向（あばら筋方向）への膨張によるものが主体と考えられる。

従って、架台軸方向の動きに反し、垂直方向ではまだ収束していないと言える。

- (3) 柱傾斜はデータのばらつきが大きく細かな動きは判断しにくいですが、架台軸直角方向については動きはほぼ落ち着いていること、発電機側柱では軸方向の動きがまだ収束していないことがうかがえる。

- (4) 梁の主筋についてはほぼ収束傾向である。柱主筋については僅かではあるが、変動しているが傾向としては前年までと変わらない。

あばら筋については、梁及び柱共にひずみは増加傾向が続いている。

- (5) 梁側面の変位（テーブルデッキの厚さ方向の変位）計測をH8.8月より開始したが、この時点で評価するにはまだデータ不足につき今後変位の推移を見て評価することにする。

- (6) 架台ひび割れ調査結果によると大きなひび割れの進展は見られないが、僅かではあるが0.1～0.5mm程度の新たなひび割れの発生が認められる。

5. T/G架台構造の健全性評価解析

T/G架台構造の健全性評価を目的に、H6、7年度には設計計算ベースの解析（弾性解析）を行った。しかしながら、弾性解析では非弾性領域における挙動を模擬出来ないため、予測架台最終伸び量である50mm伸長時には、発電機側、HP側両端部の梁及び柱頭部と柱脚部において、発生曲げモーメントが終局曲げモーメントを超える結果となり、架台全体の健全性評価のためには非弾性解析が必要である事、さらに架台実機の伸びは長期間に渡って生じており、これによる応力緩和効果の考慮も必要である事が判った。

この結果を踏まえ、H8年度は実機局部における非弾性領域でのコンクリートと鉄筋との異なる挙動をより忠実に評価出来るよう、有限要素モデルでの解析を実施する事とし、その第1段階としてコンクリート要素モデル、単純梁モデル及び1スパン門形ラーメンモデルを対象とした予備解析を通じ、本有限要素モデルでの解析に用いるモデル化手法の妥当性検討を行なった。その結果、下記のi.及びii.に示す解析法の採用により、実機鉄筋コンクリート構造架台のコンクリート部の膨張に伴う架台伸長を模擬し、伸長に伴う架台全体系としての挙動（劣化過程）及び架台各部の鉄筋並びにコンクリートのひずみ発生挙動の把握が可能である事が確認された。

- i. 架台を構成する各部コンクリート及び鉄筋を有限要素でモデル化する。
- ii. A.S.Rによるコンクリートの膨張は、コンクリート部をモデル化する平面要素に対し膨張ひずみを付与する方法で模擬する。

H9年度は上記H8年度の検討結果に加え、新たにコンクリートの材料強度に対する膨張に起因した劣化を考慮した上で、引続き実機構造を対象とした有限要素モデルを用いた非弾性解析を実施した。

5. 1 解析方法

(1) 解析モデル

実機架台構造は梁、柱、及び壁部材から構成される3次元ラーメン構造であるが、本解析に於いてはそれぞれ軸方向及び軸直交方向の2次元ラーメン構造として個別に取り扱うものとし、H9年度はこの内の軸方向の2次元ラーメン構造を対象に、主にトップデッキ近傍の実機挙動評価に対し影響が生じない程度の範囲での簡略化を目的に、高さ方向にはEL4.2mより上部を解析対象とし、各柱及び壁に対し同位置で完全拘束の境界条件を与えた。

この2次元ラーメン構造に対し、コンクリート部は2次元平面要素でモデル化するとともに、各部に配された主筋及びあばら筋はトラス要素でモデル化した。ここで、コンクリート部のモデル化に際しては投影平面上の各部分において奥行き幅方向に存在する全部材を考慮した断面性能を与えるとともに、鉄筋のモデル化に関しては平面上の同一位置において奥行き幅方向に配された全鉄筋の断面積を考慮した。なお、各

鉄筋とコンクリートとの間の付着は常に保たれた状態を仮定した。

図付1-1、図付1-2に、それぞれコンクリート要素及び鉄筋に対する要素分割を示す。本解析モデルの総節点数は8,969、コンクリート及び鉄筋の総要素数は各々8,506、15,522である。

(2) 使用解析コードと要素タイプ

解析には汎用解析コードMARC (Ver. K7.1) を使用した。

使用要素タイプは、

コンクリート；四辺形平面応力要素 (タイプ3)

鉄筋；3次元トラス要素 (タイプ9)

である。

(3) 実機架台構造各部の膨張程度

実機各部コンクリートの強度に関しては当該部位におけるASRの発生程度に起因した膨張率と密接な関係があり、実機においてASRに起因した変状の認められていない基礎マット部に比し、その発生程度が著しいトップデッキに近づくにつれ、圧縮強度、静弾性係数等の値が低下する事が確認されている。

1986年、1989年及び1992年に四電殿(四C殿)が実施した実機コンクリートに対する強度物性調査結果によれば、ASRによる物性低下は静弾性係数に顕著に現れ、特に、架台海側から採取したコンクリート・コアに対する強度試験結果において、膨張率と静弾性係数との間に良好な相関関係のある事が確認されており、静弾性係数と膨張率との関係式として下式が提案されている。

$$Y = -16.9X + 3.10$$

ここに、

Y；静弾性係数 ($\times 10^5 \text{Kg/cm}^2$)、X；膨張率 (%)

ここで、1989年の同一時期にトップデッキと中間梁に対して得られた夫々の静弾性係数値1.27および2.54をもとに、中間梁のトップデッキに対する膨張率の程度を上式の関係を用いて推定すると約30%となる。

そこで本検討では架台高さ方向の膨張率の程度に対し、上記に加へ、解析モデル下端位置での程度を零として、架台高さ方向の膨張率の分布を以下のように仮定した。

- i. トップデッキの上端から下端に向かって2.5mまでの間の膨張程度を1.0とする。
- ii. 中間梁の上端から下端までの1.5mまでの間の膨張程度を0.3とする。

iii. 解析モデル下端位置での膨張程度を0.0とする。

iv. 他の部分の膨張程度は、その上下端の値を結ぶ直線分布を仮定して得られる値とする。

そしてこの分布がASR発生過程の同一時期に於いては常に成立するものと仮定した。

なお、架台軸方向に対しては、同一高さにおいては同一の膨張率分布を有するものと仮定した。

(4) 材料特性のモデル化

① コンクリート

コンクリートの一軸の圧縮応力-ひずみ関係は、一軸の圧縮試験結果を近似的に擬した多直線で近似し、ひびわれ前の最大圧縮強度及び圧縮降伏応力をそれぞれテストピース圧縮強度 F_c の95%及び70%、降伏後の剛性低下率を50%、最大圧縮強度以降はひずみ増加に対し応力は一定値を保持、圧壊発生ひずみを0.2%と仮定した。

また、クラック発生応力 σ_{cr} はテストピース強度 F_c の1/1.3と仮定し、コンクリートの主応力の最大値が σ_{cr} 以上になるとクラックを生じ、クラック発生後はクラックと直交方向の剛性を零とし、一度クラックが生じた要素の剛性は回復させないものとした。クラック発生後のクラックと直交方向のコンクリート負担応力に対する鉄筋との付着によるテンションステイフネス効果を現わすソフトニング係数に対しては静弾性係数 E の1/10を仮定した。なお、ポアソン比は0.16とした。

コンクリートのクラック面でのせん断剛性の低下は、クラック発生後、一律50%と仮定した。

なお、二軸応力下における圧縮-圧縮域での降伏曲面にはVon-Misesを用いた。

ここで、実機各部のコンクリートに適用する圧縮強度、静弾性係数については以下の考えに基づき設定した。

四C殿の検討によれば、実機架台及び他の調査事例のデータより、コンクリートの採取コアの膨張前後の圧縮強度 F_c 及び静弾性係数 E_c の変化と膨張率の間には有為な相関々係のある事が解っている。

そこで、本解析に用いる圧縮強度 F_c 及び静弾性係数 E_c に関しては、上記四C殿の検討結果を受け、コンクリートの膨張率 d_v (%)に対する圧縮強度比 r_s 及び静弾性係数比 r_e の相関を以下に示す関係式で仮定し、これを実機各部のコンクリートに適用する事とした。

$$\begin{aligned}
r_s &= 1 - 4/3 dv & (0 \leq dv \leq 0.4) \\
&= 1 & (dv < 0) \\
&= 1 - 4/3 \times 0.4 & (dv > 0.4) \\
r_e &= 1 - 7/3 dv & (0 \leq dv \leq 0.4) \\
&= 1 & (dv < 0) \\
&= 1 - 7/3 \times 0.4 & (dv > 0.4)
\end{aligned}$$

ここで、膨張率 $dv=0.0$ の時の圧縮強度 F_c 及び静弾性係数 E_c の値は、ASRに起因した変状の認められていない基礎マット部に対して得られた値を用いる事とし、それぞれ、 397 Kg/cm^2 、 $3.1 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ とした。

なお、膨張率については各コンクリト要素の膨張付与前の形状データと任意の膨張段階時における形状データを基に算定した。

また、本架台コンクリト部には、ASRによりプレストレスに相当する圧縮応力とその伸長に応じて載荷されているため、この圧縮応力に対応したクリープによる応力緩和効果を考慮した。

ここでクリープひずみについては、土木学会コンクリト標準示方書に準拠し、作用する応力による弾性ひずみに比例するものとして、次式で評価するものとした。

$$\varepsilon_{\infty} = \phi \cdot \sigma_{cp} / E_c$$

ここに、

ε_{∞} ; コンクリトの圧縮クリープひずみ

ϕ ; クリープ係数で、上記示方書に記載された屋内に設置された普通コンクリトで、プレストレス載荷時のコンクリト材令1年の値 (=1.1) を適用する。

σ_{cp} ; 作用する圧縮応力

E_c ; コンクリトの静弾性係数

本解析ではクリープひずみが弾性ひずみの1.1倍となる様通常のクリープ則を用い、クリープによる応力緩和を考慮した。

② 鉄筋

鉄筋の応力-ひずみ関係は、実機より採取した代表的鉄筋に対して得られた以下のヤング率、降伏応力等を用いて設定した。

ヤング率 E ; $2.08 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ 、降伏応力 σ_y ; 4180 Kg/cm^2

加工硬化係数 H' ; 8340 Kg/cm^2

なお、ポアソン比は0.3とした。

(5) 解析対象荷重及び解析ケース

荷重は設計計算ベースのものでなく、実機状態に即した荷重を適用した。即ち、荷重種別としてはコンクリート自重、積載荷重、機器重量、復水器の真空吸引力、機器の熱膨張による水平力、機器の定格トルクによる力、機器の不均衡力に起因する静的置換力、地震荷重、及びASRによる伸びを考慮した。

ASRによる伸びについては、5.1(3)で仮定した架台軸方向及び高さ方向の膨張程度の分布に基づき、架台各部のコンクリート部をモデル化した平面要素に膨張ひずみを付与する方法で架台に対する伸びを生じさせ、この時の架台テーブルマット部の軸方向両端部における軸方向変位量を用いて伸びの絶対値を評価した。なお、架台テーブルマット部に与える伸びひずみについては、現在の予測収束伸び(0.112%)までを考慮した。

また、地震荷重については新耐震設計規準に基づき算定された架台高さ方向の水平軸方向加速度分布を架台全体に考慮し、各部の質量に所定の加速度を付与することにより載荷した。

解析ケースは「長期荷重+伸び」及び「長期荷重+予想収束伸び+地震水平力」の組合せを対象とした。

5.2 解析結果と考察

(1) コンクリートの膨張と架台軸方向伸びの関係

図付1-3に今回の検討で対象とした長期荷重載荷時から予想収束伸びに至る迄の間、及び予想収束伸びに至った時点で地震力を載荷する迄の一連の荷重状態時における架台トップデッキコンクリートへの付与膨張ひずみと軸方向変位量との関係を示す。また、図付1-4に架台軸方向の伸び量と、これを架台の軸方向の全長50mで除した伸びひずみとの関係を示す。

図付1-3によれば架台軸方向側面の変位量は今回の検討で対象とした最終の荷重状態に至る迄の間、特にその値を急激に増加させる様な事もなく、コンクリートへの付与膨張ひずみの増加に従い徐々にその値を増加させている。また変位量の絶対値としてはタービン側の値の方が発電機側の値より幾分大きな結果となっている。これは架台発電機側に存在する中間梁の剛性効果の影響と思われる。なお、架台トップデッキに対し、予想収束伸び段階の伸びひずみである0.112%を生じさせる時の架台トップデッキコンクリートへの付与膨張ひずみは約0.15%となっている。

(2) コンクリートの膨張ひずみ量と強度低下の関係

図付1-5-1に架台発電機側のトップデッキ、中間梁、および柱の各代表断面における架台軸方向伸び量と各部コンクリート要素の膨張率との関係例を示す。また、図付1-5-2に同各部材代表断面における架台軸方向伸び量と各部コンクリート

要素の圧縮強度比との関係例を示す。

これらの図によれば、架台の伸長に伴い、高い膨張率を示す架台トップデッキ部コンクリート要素における圧縮強度の低下が大きく、予想収束伸びの段階では初期の段階に比し、約65%程度の値を示している。

(3) 各荷重段階時における架台各部の状況

長期荷重載荷時(状態Ⅰ)、架台伸び37.6mm時(状態Ⅱ)[H8年11月第16回定検時機械側ベンチマーク計測値(海山の平均値)]、(長期荷重+予想収束伸び)載荷時(状態Ⅲ)及び(長期荷重+予想収束伸び+地震水平力)載荷時(状態Ⅳ)等を対象とした架台各部の状況を以下に示す。

- i. 架台各部の変形状況；図 付1-6-1～図 付1-6-4
- ii. 架台コンクリートの最大主応力分布；
図 付1-7-1～図 付1-7-4
- iii. 架台コンクリートの最大主クラックひずみ分布；
図 付1-8-1～図 付1-8-3
- iv. 架台の代表的断面内におけるコンクリートひずみ分布；
図 付1-9-1～図 付1-9-7
- v. 架台の代表的断面内におけるコンクリート応力分布；
図 付1-10-1～図 付1-10-7
- vi. 架台の代表的断面内における鉄筋ひずみ分布；
図 付1-11-1～図 付1-11-7
- vii. 架台の代表的断面内における鉄筋応力分布；
図 付1-12-1～図 付1-12-7
- viii. 架台実機計測位置対応鉄筋のひずみ発生状況；
図 付1-13-1～図 付1-13-6

④長期荷重時(状態Ⅰ)

図 付1-7-1によれば、架台トップデッキ、中間梁の各スパンには下側に凸となる曲げが、また、各柱頭には上に凸となる曲げが作用しており、各柱、壁は何れも圧縮状態にある事が解る。そして、コンクリートに発生最大の主応力の最大値はNo. 1, No. 2LPタービン間の壁頭に認められ、約3Kg/cm²程度の値となっている。なお、図 付1-12-1～図 付1-12-7によれば、各部の鉄筋には何ら問題となるような応力の発生は認められていない。

②架台伸び37.6mm時(状態Ⅱ)

本状態は、架台伸びがH8年11月の第16回定検時に機械側のベンチマークにより計測された値の海山の平均値にほぼ相当する状態である。

図付1-6-2によれば、架台はトップデッキが、そのほぼ軸方向中央点を境に、架台両側面の方に押し出す形で伸びており、各柱、壁はこのトップデッキの伸びに応じた曲げ変形挙動を示している。

図付1-7-2によれば、トップデッキについてはほぼ全面圧縮の最大主応力状態となっているが、発電機側およびHPタービン側の一部には10数Kg/cm²程度の引張り応力の発生が認められている。また、各柱、壁の下端部、トップデッキ及び中間梁との接合部近傍、並びに中間梁の各柱との接合部近傍には、何れも曲げに伴う引張り応力の発生が認められ、その最大値は約20Kg/cm²程度となっている。

図付1-8-1に示すコンクリートの最大主クラックひずみ分布図によれば、発電機側およびHPタービン側の一部柱とトップデッキとの接合部近傍、発電機側の柱と中間梁との接合部近傍、及び発電機側およびHPタービン側柱の下端にコンクリートクラックの発生が認められている。

発電機側の柱とトップデッキとの接合部近傍には、実機においても明確なクラックの発生が確認されているが、発電機側およびHPタービン側柱下端のクラックについては、本解析では各柱下端付近のコンクリートにも膨張ひずみを付与しており、このひずみを各柱下端部で完全に拘束している事も、本部位でのクラック発生要因の一つと考えられる。

図付1-9-1～図付1-9-7及び図付1-10-1～図付1-10-7に示す各評価断面内における軸方向のコンクリートひずみとの応力の関係を見ると、ひずみは引張り側の値を示しているが、応力については鉄筋或いは構造系としての拘束効果により、基本的には圧縮側の値を示し、その殆どの評価点で軸圧縮応力と曲げ応力の合成された応力の発生が認められている。

また、断面内において発生している引張り側の部材軸方向応力の最大値は、評価断面S-58、F2-1及びF5-31で認められ、約25～26Kg/cm²程度の値となっている。そしてこれらの断面内では、いずれも引張り側の分担応力が上記限界応力で頭打ちになっており、当該部材における外表面から部材内部へ向かう応力頭打ちの範囲は、図付1-8-1に示した当該部位のクラックひずみ分布の範囲とほぼ一致している。なお、評価断面S-19、F2-40の様に、大きな曲げを受け、かつ、比較的高いコンクリートの膨張を仮定している部位では、膨張量に依存した強度低下のため、断面内における引張り側分担応力の頭打ちが、上記限界応力以下の応力レベルで生じている。

一方、図付1-12-1～図付1-12-7に示す各評価断面における鉄筋には、

ほぼその全てにおいて引張側の応力が発生しており、その最大値は評価点F-21及びF-240に認められ、いずれも弾性範囲内の約26～27Kg/cm²程度の値を示している。

上記の結果より、一部の部材のコンクリートにはクラックの発生が認められるものの、主筋は何れも弾性状態にあり、今回実施の検討の範囲では、本状態Ⅱの段階では、本架台の構造系としての健全性は確保された状態にあるものと考えられる。

③（長期荷重+予想収束伸び） 載荷時（状態Ⅲ）

本状態は、架台に長期荷重が載荷された後、架台各部のコンクリートに付与する膨張ひずみを徐々に増加させることにより架台に軸方向の伸長を与え、架台の伸びひずみが現時点で想定されている収束伸びひずみ（=0.112%）に達した状態を仮定したものである。

図付1-6-3の架台変形状況図によれば、各部の変形状態は基本的には前述の状態Ⅱとほぼ同様のものとなっており、各部の変位量の絶対値を状態Ⅱの場合に比較して増加させていることが解る。

図付1-7-3に示す架台コンクリートの最大主応力分布によれば、トップデッキに関しては、発電機側およびHPタービン側の一部に、最大で20Kg/cm²弱の引張り応力の発生が認められている以外は、軸方向のほぼ全断面に渡って圧縮の最大主応力状態を示している。また、各柱、壁の下端部、トップデッキ及び中間梁との接合部近傍、並びに中間梁の各柱との接合部近傍には、状態Ⅱの場合とほぼ同様に曲げに伴う引張応力の発生が認められ、最大で約30Kg/cm²程度の値を示している。

図付1-8-2によれば、本荷重状態時における架台コンクリート各部におけるクラックの発生は、状態Ⅱの場合とほぼ同様部位の発電機側およびHPタービン側の一部柱とトップデッキとの接合部近傍、発電機側の柱と中間梁との接合部近傍、及び発電機側およびHPタービン側柱の下端部に認められ、状態Ⅱの場合に比べてその発生領域を拡大している。

図付1-10-1～図付1-10-7に示す各評価断面内におけるコンクリートの軸方向応力を見ると、分布の形態は基本的には状態Ⅱの場合とほぼ同様であり、各評価断面において、圧縮側ではその応力の絶対値を増加させており、最大値は評価断面F-21における約200Kg/cm²程度の値となっている。また引張側では作用力の増加及び当該部位における膨張ひずみ量の増加に伴うコンクリート強度の低下等により、状態Ⅱの場合に引張限界応力の存在に着目した各評価断面において、更に低い引張限界応力レベルでの部材の外表面からより内部へ向かう応力頭打ちの傾向が認められている。

なお、図付1-12-1～図付1-12-7によれば、本状態Ⅱにおいて鉄筋に

作用している引張応力は評価断面F 2-1で最大の約39Kg/cm²程度の値を示しており、これに近い値として、評価断面S-18, F 2-40及びF 5-31でも約36Kg/cm²程度の値を示している。これらはどれも弾性範囲内の値ではあるが、降伏応力41.8Kg/cm²の90%前後の値となっている。

上記に様に、今回の検討の範囲においては、本状態Ⅲでは本架台の構造系としての健全性は確保された状態にあるものと考えられるものの、一部部材のコンクリートには状態Ⅱの場合に認められたのと同じのクラック発生個所において、同状態に比較して、かなり広範囲に進展したクラックの発生が認められ、かつ、主筋にはどれも弾性範囲内の値ではあるものの、降伏応力に対して90%前後の引張応力が発生する事が解った。

③（長期荷重+予想収束伸び+地震水平力） 載荷時（状態Ⅳ）

本状態は、架台に長期荷重を載荷し、さらに架台の伸びひずみが現時点で想定されている収束伸びひずみ（=0.112%）の状態になるまで伸びを与えた後、更に地震荷重として新耐震設計規準に基づき算定された架台高さ方向の水平軸方向加速度分布を架台全体に考慮し、各部の質量に所定の加速度を付与した状態である。

図付1-6-4に示す架台の変形状況図からは、状態Ⅲの場合からの変化は殆ど読み取れていない。事実、先に図付1-3に示した架台両側面の軸方向変位からは、架台全体が負荷した地震加速度の方向に剛体変位をしている様子が読み取れ、その結果、架台の伸びとしては、状態Ⅲの状態をほぼ保持しているものと考えられる。

図付1-7-4によれば、本状態時の架台コンクリート各部の最大主応力は、図付1-7-3に示した状態Ⅲにおける分布に比較して、局部的には若干その絶対値を増加させている所もあるが、基本的にはほぼ同等の分布を示している。そして、トップデッキに関しては、発電機側およびHPタービン側の一部に、最大で約20数Kg/cm²強の引張り応力の発生が認められる以外は、軸方向のほぼ全断面に渡って圧縮の最大主応力状態を示している。また、各柱、壁の下端部、トップデッキ及び中間梁との接合部近傍、並びに中間梁の各柱との接合部近傍には、状態Ⅲの場合とほぼ同様、曲げに伴う引張応力の発生が認められ、最大で約30Kg/cm²程度の値を示している

図付1-8-3によれば、本荷重状態時における架台コンクリート各部におけるクラックの発生状況は状態Ⅲの場合とほぼ同様と見做せ、発電機側およびHPタービン側の一部柱とトップデッキとの接合部近傍、発電機側の柱と中間梁との接合部近傍、及び発電機側およびHPタービン側柱の下端部にクラックの発生が認められるが、状態Ⅲの場合に比べてその発生領域の拡大は殆ど認められていない。

図付1-10-1～図付1-10-7に示す各評価断面内におけるコンクリートの軸方向応力分布によれば、分布の形態、応力レベルの絶対値は基本的には状態Ⅲの

場合とほぼ同様であるが、圧縮側の最大値は評価断面F 2-1における約175 Kg/cm²程度と、状態Ⅲの場合より幾分その値を減じている。なお、引張側についてはその分布性状、レベルに関し、状態Ⅲの場合との差異が殆ど認められていない。

また、鉄筋の応力については、図付1-12-1～図付1-12-7に示す様に、本状態Ⅳでは評価断面F 2-1で最大の約39 Kg/cm²程度の値が、またこれに近い値として評価断面S-18, F 2-40及びF 5-31で約36 Kg/cm²程度の値が生じており、これらは状態Ⅲの場合と殆ど同様のものとなっている。

なお、これらの値は何れも弾性範囲内に止まっているが、評価断面F 2-1で認められている約39 Kg/cm²程度の値は、降伏応力41.8 Kg/cm²の約93%に相当している。

上記に様に、架台に長期荷重を載荷し、さらに架台に現時点で想定されている収束伸びひずみ(=0.112%)の状態になるまで伸びを与えた後、更に地震荷重を載荷した本状態Ⅳにおける架台各部構成要素の応力、ひずみの発生状況を、地震荷重を載荷する前の状態Ⅲの状況と比較すると、両者の間の差異は極僅かであり、本状態において各部に発生している応力、ひずみ状態を支配しているのは、その殆どが状態Ⅲまでに載荷された架台伸びに起因した成分である事が解った。

そして、今回の検討の範囲においては、本状態Ⅳの段階でも、架台の構造系としての健全性は一応確保された状態にある、との結果となったが、一部部材のコンクリートの局部には、かなり広範囲に進展したクラックの発生が認められ、かつ、主筋には何れも弾性範囲内の値ではあるものの、その一部には降伏応力に対して93%に相当する引張応力が発生する事が解った。

(4) 実機計測位置に対応する鉄筋ひずみの解析結果と実測値の比較

図付1-13-1～図付1-13-6に架台実機計測位置対応鉄筋のひずみ発生状況解析結果を示す。図付1-13-1に示す架台テーブルマットに設置した各計測点位置に対応する主筋の架台伸びに伴うひずみ発生状況によれば、架台軸方向の両側面近傍のテーブルマット最上面に配した計測点M1, M3に発生するひずみが、LPタービン近傍及び発電機側テーブルマット側面に配した計測点M2, M8のそれに比して高くなっている。これは、前者には架台伸びに伴う軸方向のひずみの他、架台軸方向両側面における架台テーブルマットの曲げ変形に伴う成分が加算されている結果と考えられる。そして状態Ⅳにおいては、計測点M1で約1600μ(0.16%)程度の値を示している。計測点M1において、1988.3～1996.11迄の間に計測されたひずみは約950～1100μとなっている。これに対し、この間の計測架台伸びの範囲、32.2～37.3mmに対応した解析ひずみは約900～1050μとなっており本計測点に関しては実測値と解析値は良好な対応を示している。

また、同期間における計測点M2については、実測値が約640～810μとなっ

ているのに対し、解析値は約560～650 μ となっており両者はほぼ良好な対応を示している。また、計測点M3, M8については、実測値が約540～700 μ 及び約420～510 μ となっているのに対し、解析値は約840～1010 μ 及び約700～800 μ 程度の対応となっているが、両計測点とも、この期間内の架台伸び変動量に対してのひずみ変動量の観点からは、両者の値は良好な対応を示している。

なお、図付1-13-2～図付1-13-3には、それぞれタービン側及び発電機側柱の奥行き面中央に配した計測点M4, M5及び計測点M6, M7に対応する主筋の解析ひずみを示す。これら計測点に対応する実測値は、架台伸びに対しその値を減じる傾向を示したり、或いは、発生ひずみの絶対値に関し、解析値との間に大きな差異が認められる等、いずれも解析値との整合が極めて悪い結果となっている。

図付1-13-4～図付1-13-5には、それぞれ計測点M2, M8位置のあばら筋に対するひずみ解析結果を示す。それぞれの計測点で、状態Ⅳの段階では約1500 μ 及び約1600 μ 程度のひずみ値が得られている。

なお、上記期間における計測点M2及びM8のひずみは、実測値がそれぞれが約500～1300 μ 及び約850～1250 μ 程度であるのに対し、解析値は約780～960 μ 及び約840～1000 μ 程度の対応となっている。

図付1-13-6に発電機側テーブルマット側面の計測点D8に対応するあばら筋の架台伸びに対応したひずみ発生挙動を示す。同図によれば、状態Ⅳの段階でも約1600 μ 弱の弾性範囲内のひずみ値が発生する結果となっている。

なお、上記の様に、今回の検討で実施した鉄筋ひずみに対する解析結果と実測結果との比較においては、一部の鉄筋を除いて両者の間にあまり良好な対応は得られなかった。これは、

- i. 今回の解析でASRによる架台伸びを表現するために用いたコンクリートへの付与膨張ひずみの分布仮定が、必ずしも実機の状況と一致していなかった。
- ii. 解析では鉄筋のモデル化に際し、奥行き幅方向に存在している全ての鉄筋を纏めて一本の鉄筋要素にモデル化している為、得られたひずみはその位置に存在する奥行き幅方向全鉄筋の平均的ひずみと解釈することが出来る。一方、実機においては奥行き幅方向に存在する複数の鉄筋には当然分布したひずみが発生しており、実測結果はその内の限定された一本の鉄筋に対して得られた結果であり、このため、解析結果との間に差異が存在した。

等に因るものと考えられる。

5. 3 まとめ

実機架台の軸方向に着目し、本構造をモデル化した2次元ラーメン構造を対象に、各部のA 各部のA S Rによるコンクリートの膨張分布を仮定し、かつ、コンクリートの材料強度に対する膨張に起因した劣化を考慮した上で、2次元平面有限要素モデルを用いた非弾性解析を実施し、長期荷重の状態を起点に、さらに架台の伸びひずみが現時点で想定されている収束伸びひずみ(=0.112%)の状態になるまでの伸びを与え、その状態に、さらに地震荷重を載荷するまでの一連の状態における架台各部の状況を検討した。

その結果、今回の検討で用いた解析条件仮定の範囲では、架台軸方向側面の変位量は、今回の検討で対象とした最終の荷重状態に至る迄の間、特に、その値を急激に増加させ、構造系の崩壊につながる様な挙動の発現もなく、A S Rを模擬したコンクリートへの付与膨張ひずみの増加に従い徐々にその値を増加させていた。

そして、一連の荷重状態の内、最終の状態である地震荷重載荷時においても、架台の構造系としての健全性は一応確保された状態にある、との結果が得られたが、架台伸長の影響により、一部部材のコンクリートの局部には、かなり広範囲に進展したクラックの発生が認められ、かつ、各部の主筋には何れも弾性範囲内の値ではあるものの、その一部には降伏応力に対して93%に相当する引張応力が発生する事が解った。

そして、今回検討対象とした架台各部の評価断面の範囲では、この地震荷重載荷時にあばら筋に生じる最大ひずみは弾性範囲内の1600 μ 程度であった。

また、地震荷重を載荷した状態における架台各部構成要素の応力、ひずみの発生状況を、地震荷重を載荷する前の、架台に現時点で想定されている収束伸びひずみ(=0.112%)の状態になるまで伸びを与えた時点の状態と比較すると、両者の間の差異は極僅かであり、本状態において各部に発生している応力、ひずみ状態を支配しているのは、その殆どが状態Ⅲまでに載荷された架台伸びに起因した成分である事が解った。

なお、今回の検討で実施した鉄筋ひずみに対する解析結果と実測結果との比較では、一部の鉄筋を除いて両者の間にあまり良好な対応は得られなかった。これは、今回の解析でA S Rによる架台伸びを表現するために用いたコンクリートへの付与膨張ひずみの分布仮定が、必ずしも実機の状況と一致していなかった事及び今回の解析で用いた鉄筋のモデル化手法では、奥行き幅方向に存在する実機の鉄筋の局部的なひずみ発生挙動までを模擬する事は不可能であること、等がその要因として考えられる。

上記より、実機の構造健全性確保の観点からは、今回の検討で仮定した最終状態としての地震荷重載荷時において、実機の各部は構造的にかなり厳しい状態にある事が解った。

さらに、今回の検討で用いた解析上の各仮定とこれらに対する実機における実体との差異を考慮した場合、本検討で用いた伸びに対する収束予測値以上の伸びに対して

は構造の健全性確保の観点からは問題が有りそうであり、かつ、実機で認められている海側と山側の架台伸びの非対象性等を考慮した場合には、さらに厳しい状態の発現も予想される。

このため、実機に対するより精度の高い構造健全性評価を実施するために、今後は現在実施中の各種実機計測の継続は勿論の事、実機挙動予測手法精度のさらなる改良、及び実機に認められている架台伸長量に対する海側、山側の非対象性を考慮した3次元モデルによる巨視的観点からの解析検討の実施等が必要であると考えられる。

6. 今後の対応方針について

上記の調査結果を踏まえ、今後の方針対策を以下の様に考える。

6.1 長期的対応方針

(1) 平成3年度分の報告の段階で、今後予想される伸び収束までの架台最大伸びに対し、機械側としての対応は一応可能との結論を得ている。

(2) 架台伸びの収束確認が出来るまでは、今後とも以下の事項について検証を加えていく必要がある。

a. 架台伸びの推定（架台伸びの正確な将来予測は、架台構造の健全性評価及び機械系の対応方針策定に対し最も重要な事項）

本項の精度向上には、今後とも、以下を基本とする。

- ◎ 架台軸方向伸びの継続的把握
- ◎ 架台壁、柱傾斜量の継続的把握
- ◎ 架台コンクリートの膨張ポテンシャルの経年変化状況把握
- ◎ 架台伸びのより精度の高い温度補正実施のための、各部コンクリート躯体内部温度の架台伸び計測との継続的並行実施。

b. 架台構造の健全性評価（架台梁部と柱、壁部との取り合い部には、架台梁部の伸長に伴う局所的な過大応力の発生も懸念され、これらの予測は架台構造の健全性評価には不可欠なもの）

本項には、今後とも、以下を基本とする。

- ◎ a. で得られる、より精度の高い予測伸びに対応した架台各部の構造強度解析の実施
- ◎ 上記に必要な架台コンクリート物性の変化状況の把握
- ◎ 上記解析の精度向上に資する各種実機データ（鉄筋ひずみ、コンクリート躯体内部ひずみ、コンクリートクラック分布等）の継続的把握

6.2 平成10年度調査に関する提案

6.1の長期的対応方針を踏へ、平成10年度調査項目として以下を提案する。

(1) T/G架台の各種計測

平成9年度実施の通りとする。ただし、計測回数はプラント運転中で夏、冬各2回の年4回計測とする。

(2) 健全性評価解析については、5に記載した通り、実機に認められている架台伸長量に対する海側、山側の非対象性を考慮した3次元モデルによる巨視的観点からの解析検討の実施等が必要であると考えられる。

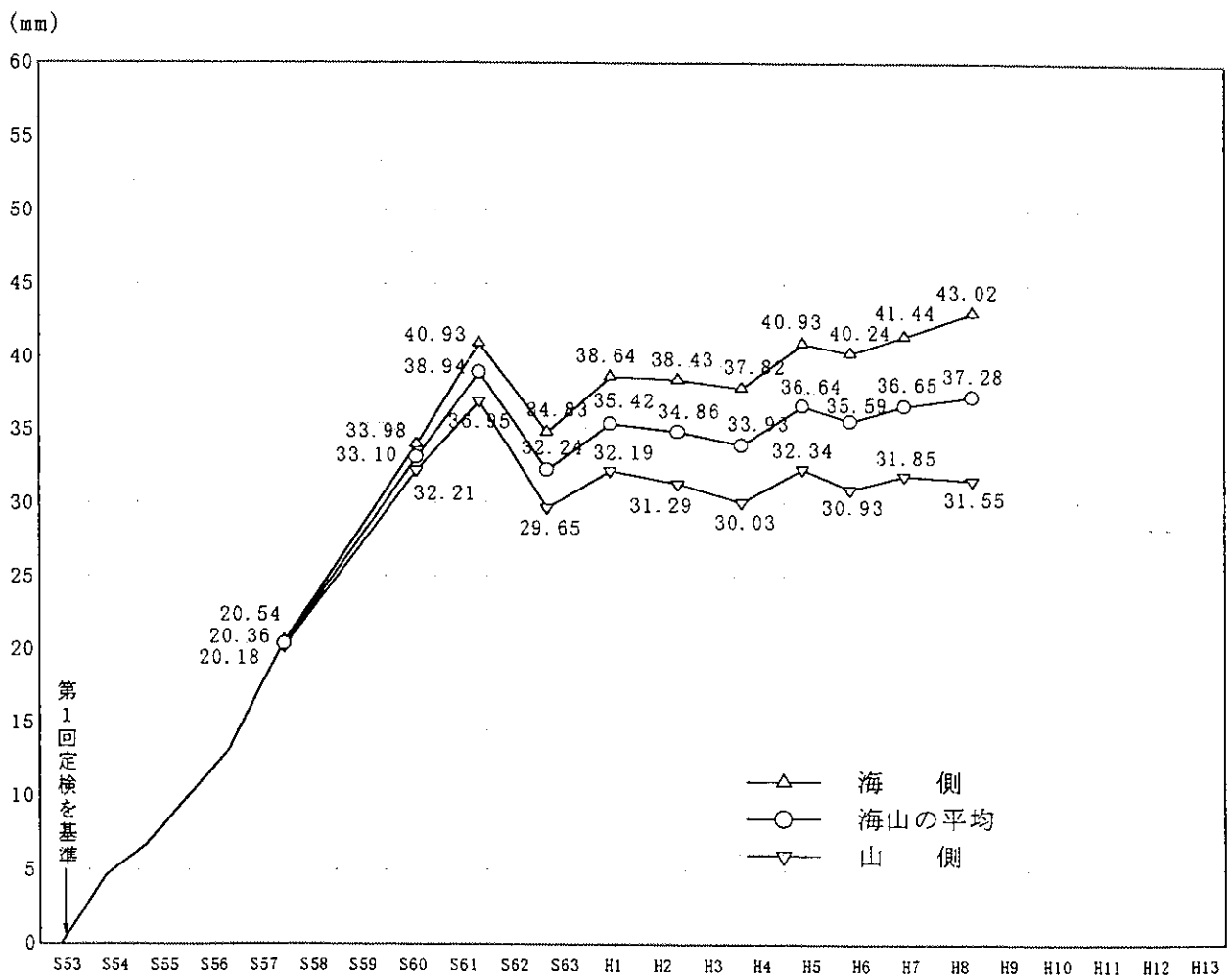


図1 T / G 架台軸方向伸び
 機械側ベンチマーク計測値 (定検時のみ)

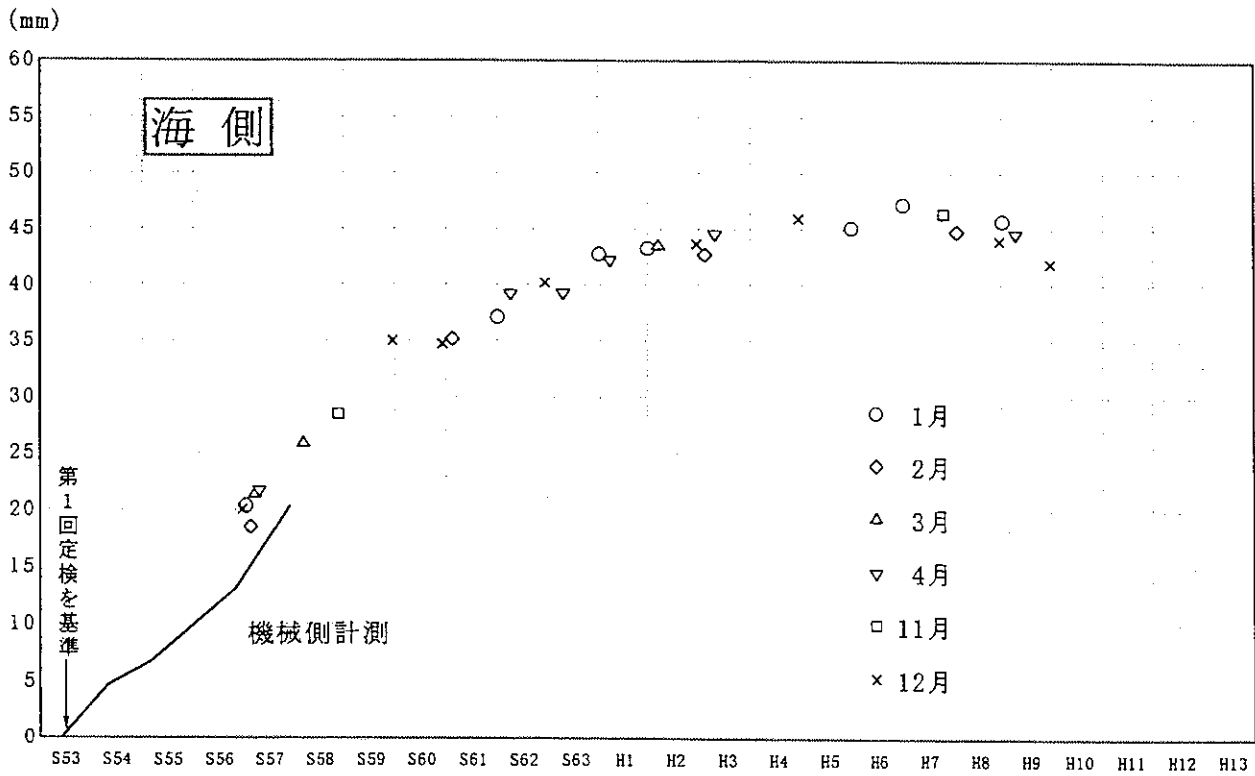
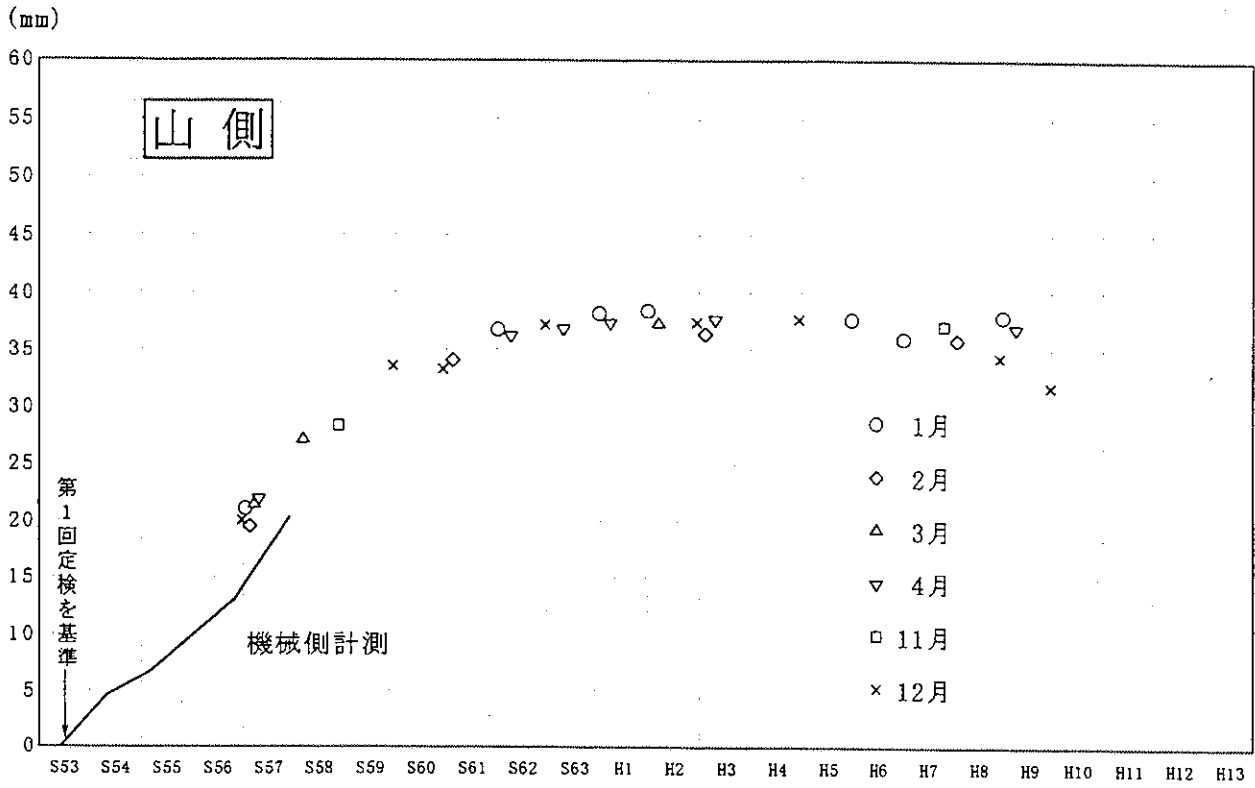


図2 T / G 架台軸方向伸び (測定月別表示、冬期)

機械側ベンチマーク計測値 (定検時データは除く)

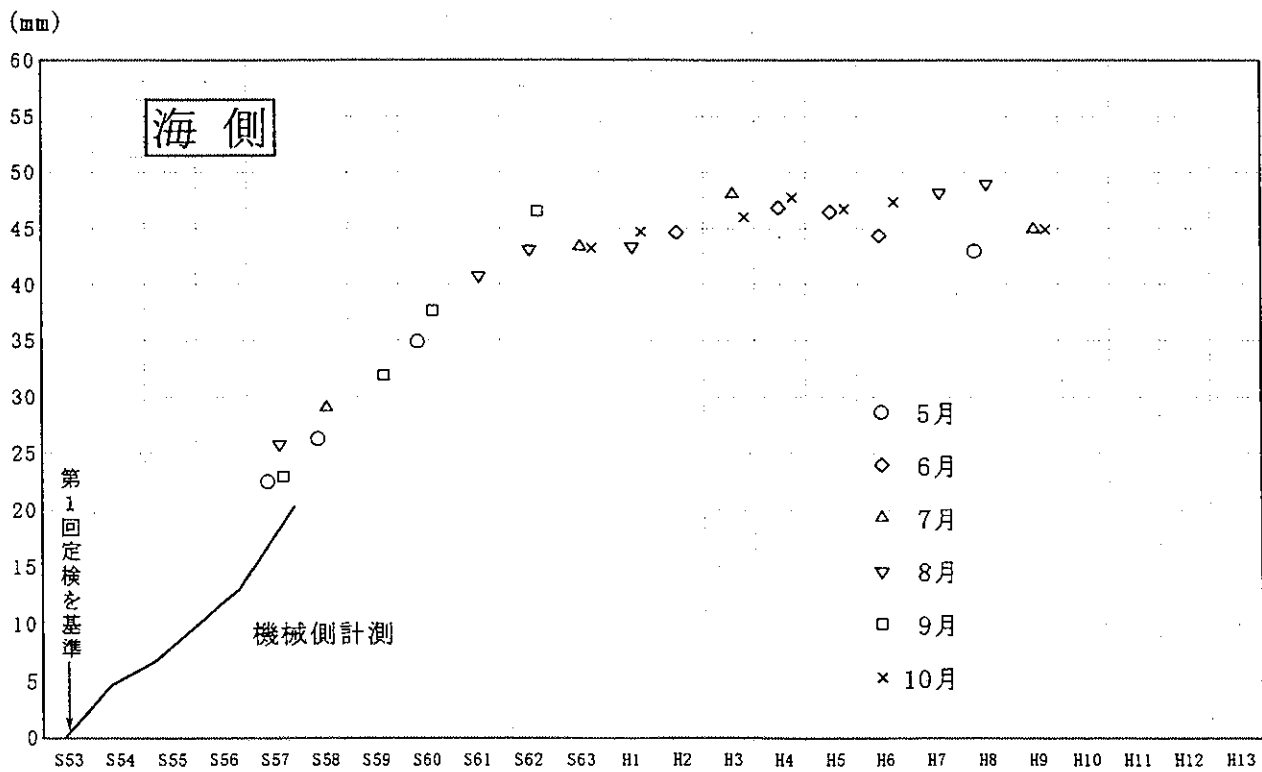
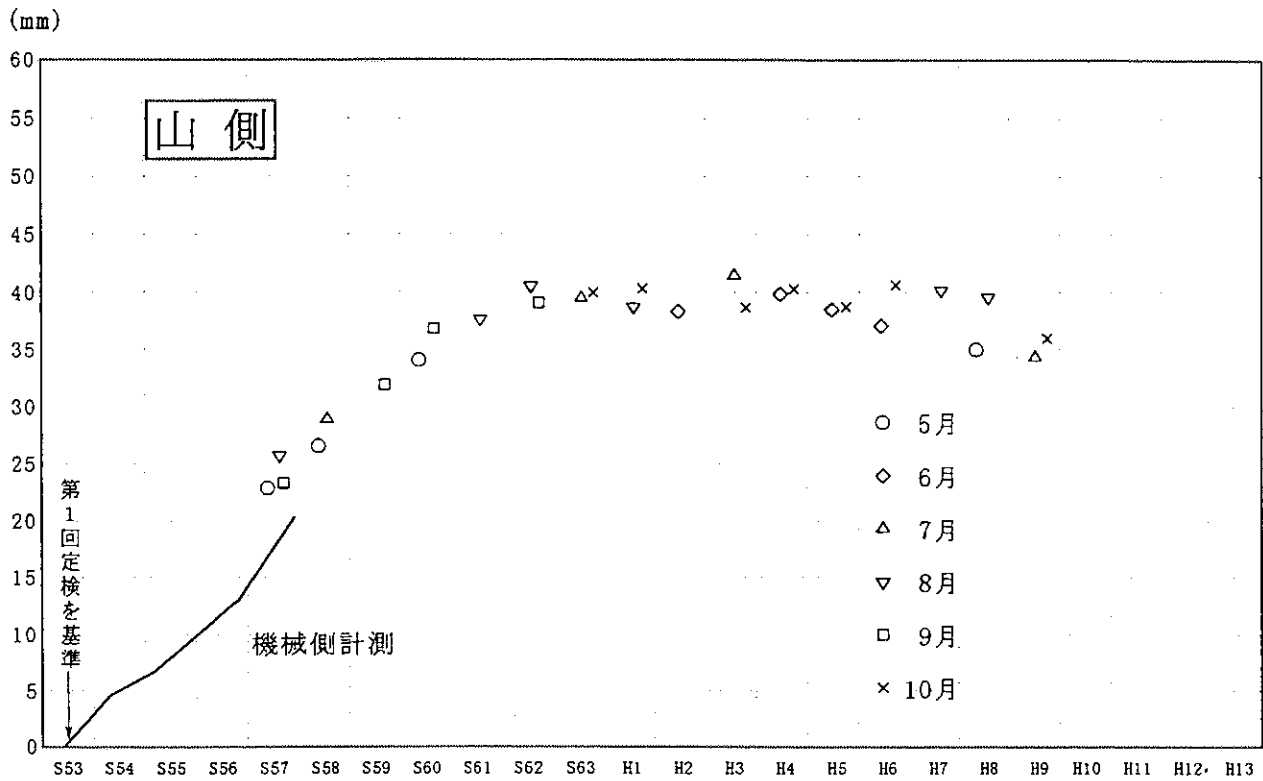


図3 T/G架台軸方向伸び (測定月別表示、夏期)
機械側ベンチマーク計測値 (定検時データは除く)

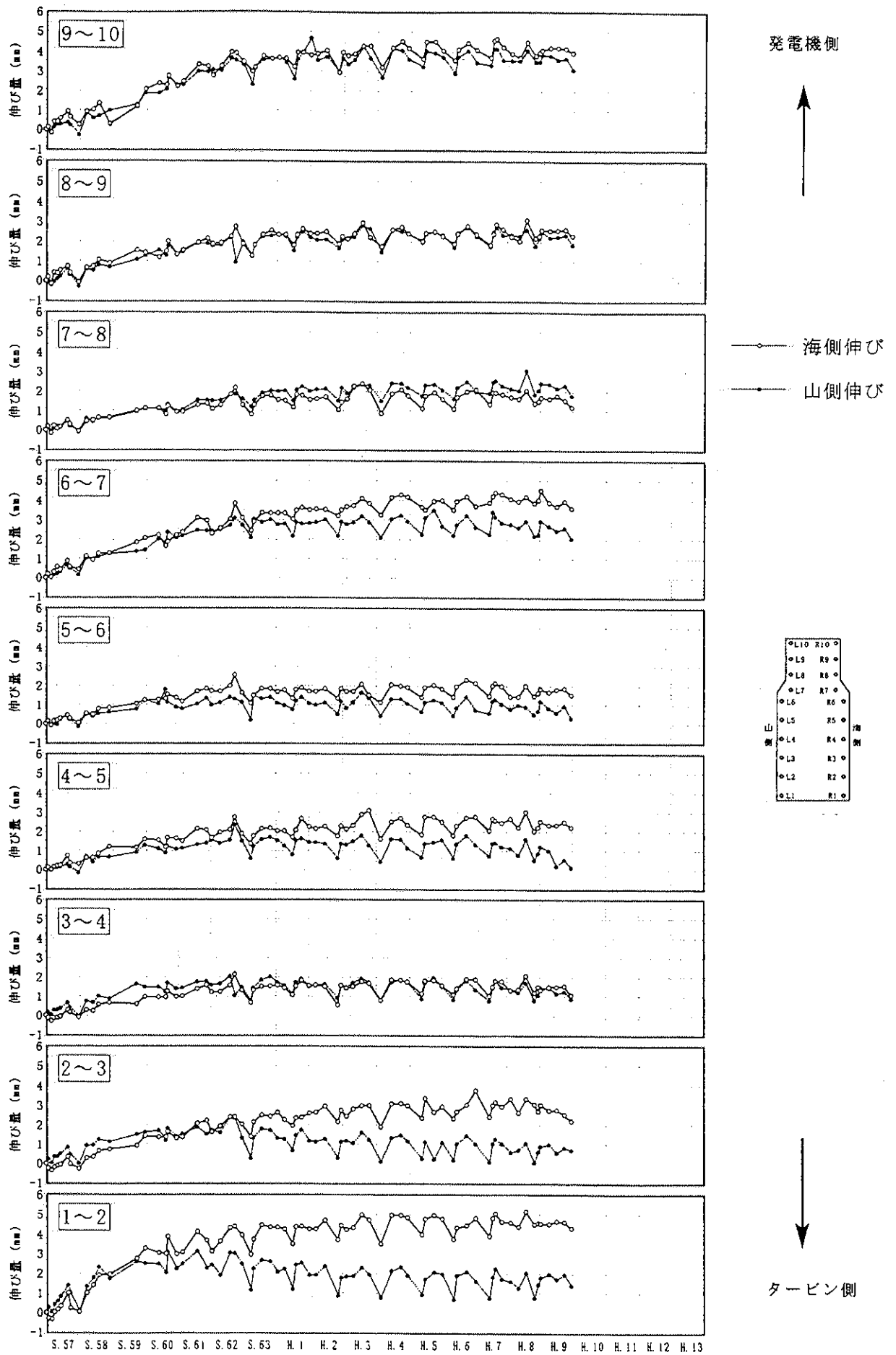


図4 機械側測定各ベンチマーク間距離の推移

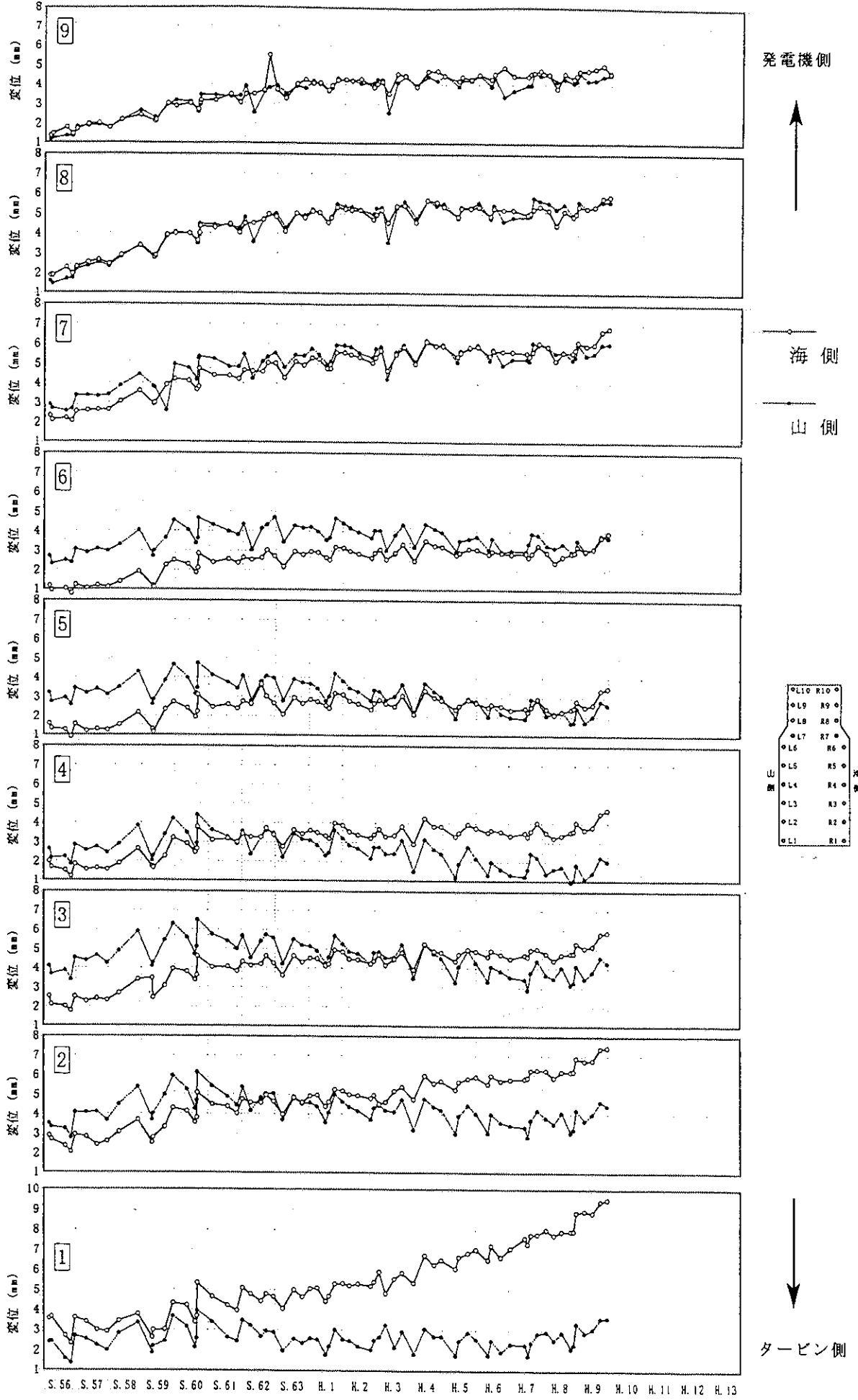
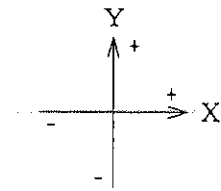
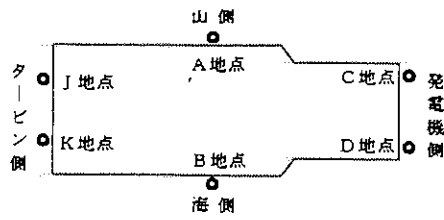


図5 ベンチマークレベルの推移

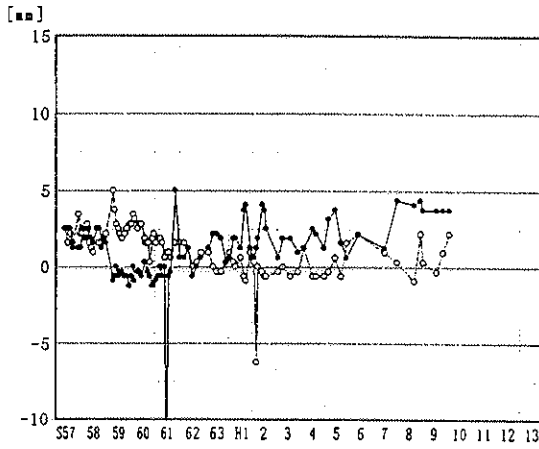
[各測定時のL10, R10に対するレベル差として表示]

lev_all 07

○ : X 方向の変位
● : Y 方向の変位

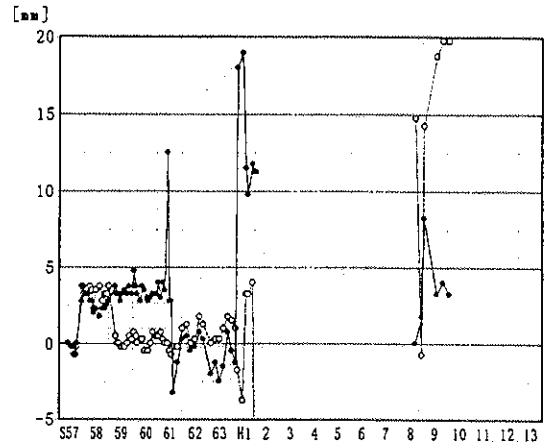


変位量

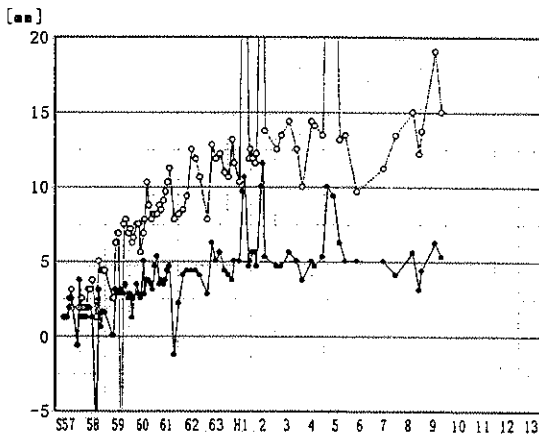


A地点

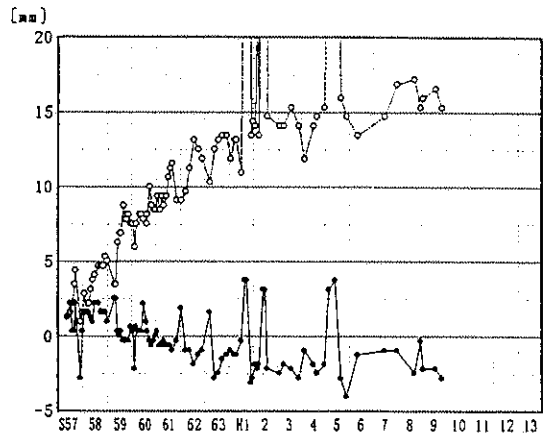
変位量



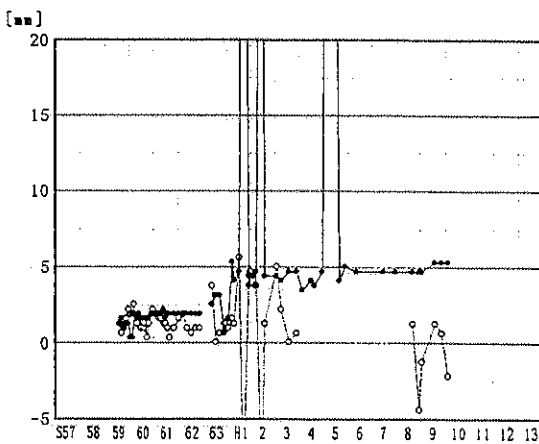
B地点



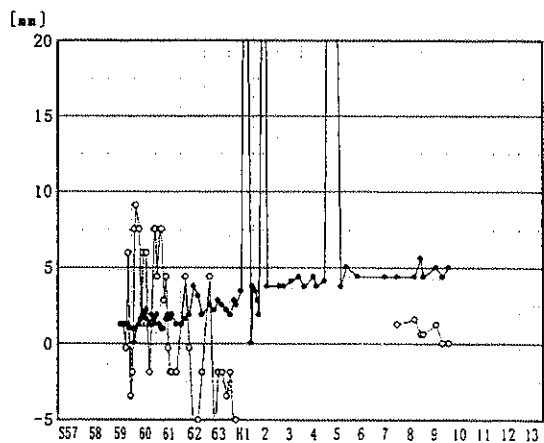
C地点



D地点



J地点

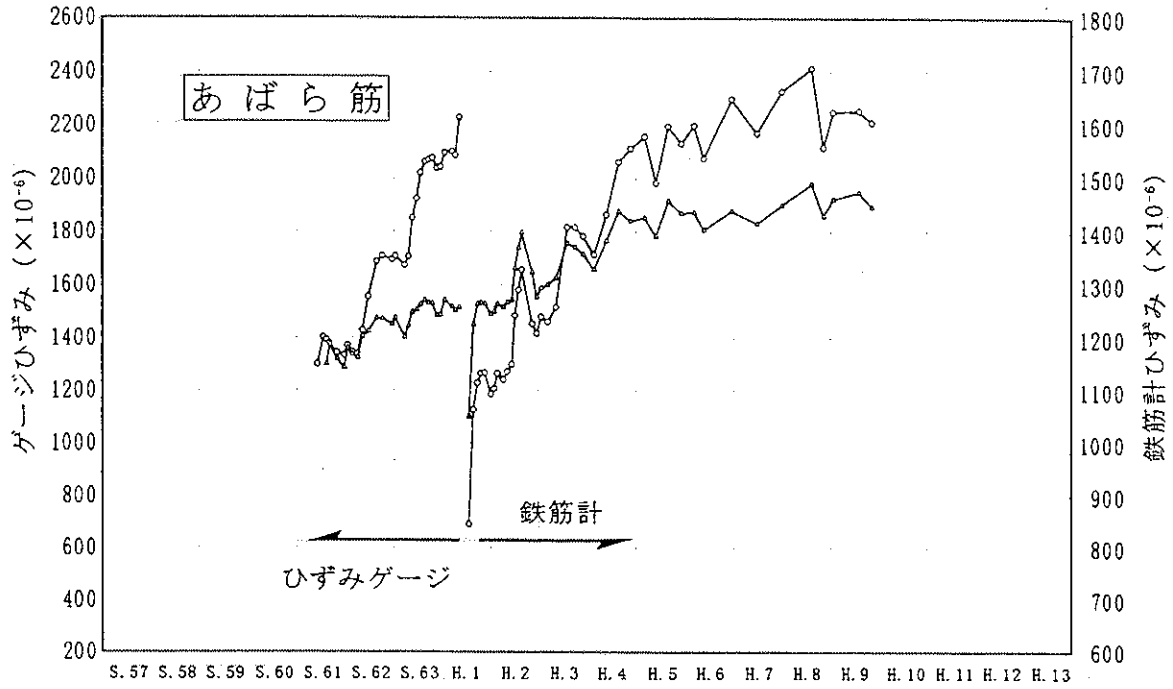
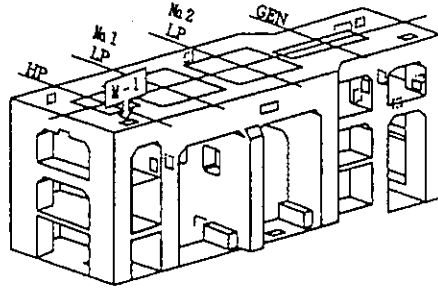


K地点

図6 1u架台の各柱傾斜の推移 (X Y 表示)

VERT_ALL 6

	センサNo.	M-1-A (~1989.5.17)	M-1-B (~1989.5.3)
簡易計測	鉄筋切断時 計測ひずみ	1298×10^{-6} (1986.5.3)	1298×10^{-6} (1986.5.3)
	センサ設置時 導入ひずみ	0×10^{-6} (1986.6.9)	0×10^{-6} (1986.8.13)
	架台温度補正 の基準温度	39℃ (1986.6.9)	45℃ (1986.8.13)
	センサNo.	JZ9384 (1989.7.5~)	JZ9384 (1989.7.5~)
恒久計測	鉄筋切断時 計測ひずみ	1062×10^{-6} (1989.5.31)	1062×10^{-6} (1989.5.31)
	センサ設置時 導入ひずみ	1061×10^{-6} (1989.6.3)	1061×10^{-6} (1989.6.3)
	架台温度補正 の基準温度	26℃ (1989.7.5)	26℃ (1989.7.5)
	記号	○	△



センサNo.	TC3523	鉄筋切断時 計測ひずみ	879×10^{-6} (1986.5.3)	センサ設置時 導入ひずみ	881×10^{-6} (1986.5.3)	架台温度補正 の基準温度	38℃ (1986.5.3)
--------	--------	----------------	------------------------------------	-----------------	------------------------------------	-----------------	-------------------

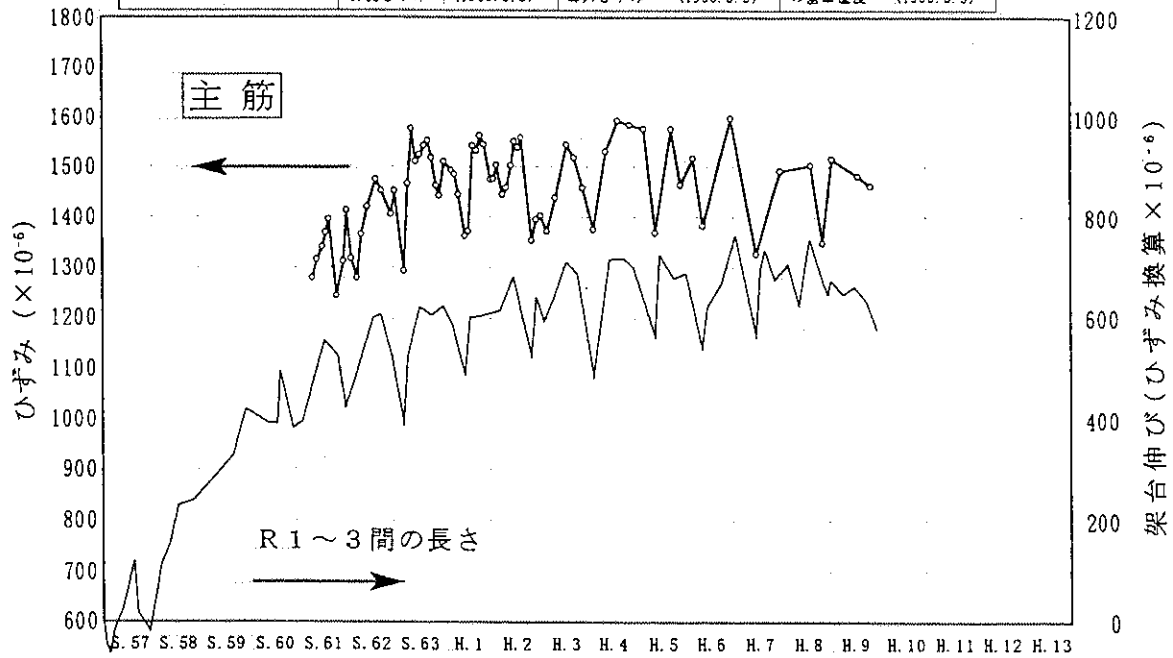


図7 鉄筋ひずみの推移 (M-1)

簡易計測	センサNo.	M-2-A (~1989.5.17)	M-2-B (~1989.5.17)	M-2-C (~1989.5.17)	M-2-D (~1989.5.17)
	鉄筋切断時計測ひずみ		1500×10^{-6} (1986.5.3)	1500×10^{-6} (1986.5.3)	1500×10^{-6} (1986.5.3)
センサ設置時導入ひずみ		0×10^{-6} (1986.8.13)	0×10^{-6} (1986.8.13)	0×10^{-6} (1986.12.17)	0×10^{-6} (1986.12.17)
架台温度補正の基準温度		40℃ (1986.8.13)	40℃ (1986.8.13)	28℃ (1986.12.17)	28℃ (1986.12.17)
恒久計測	センサNo.	J29386 (1989.7.5~)	J29385 (1989.7.5~)	—	—
	鉄筋切断時計測ひずみ	649×10^{-6} (1989.5.25)	563×10^{-6} (1989.5.29)	—	—
	センサ設置時導入ひずみ	635×10^{-6} (1989.6.3)	563×10^{-6} (1989.6.3)	—	—
	架台温度補正の基準温度	25℃ (1989.7.5)	25℃ (1989.7.5)	—	—
	記号	○	△	◇	▽

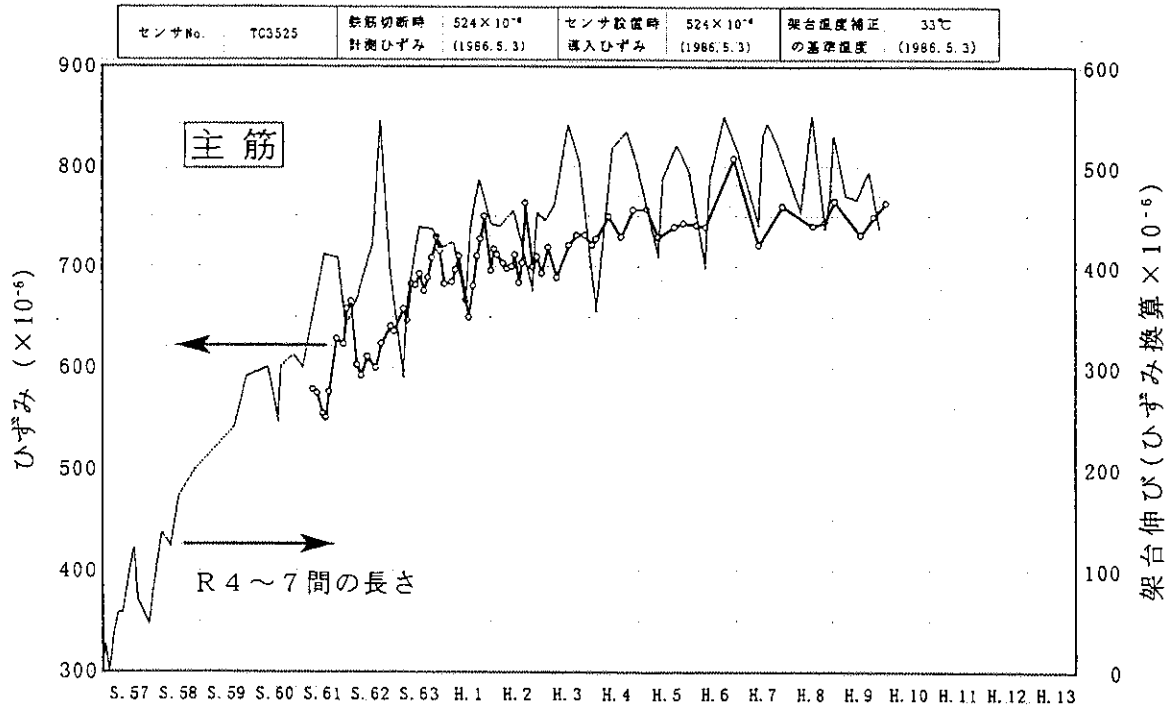
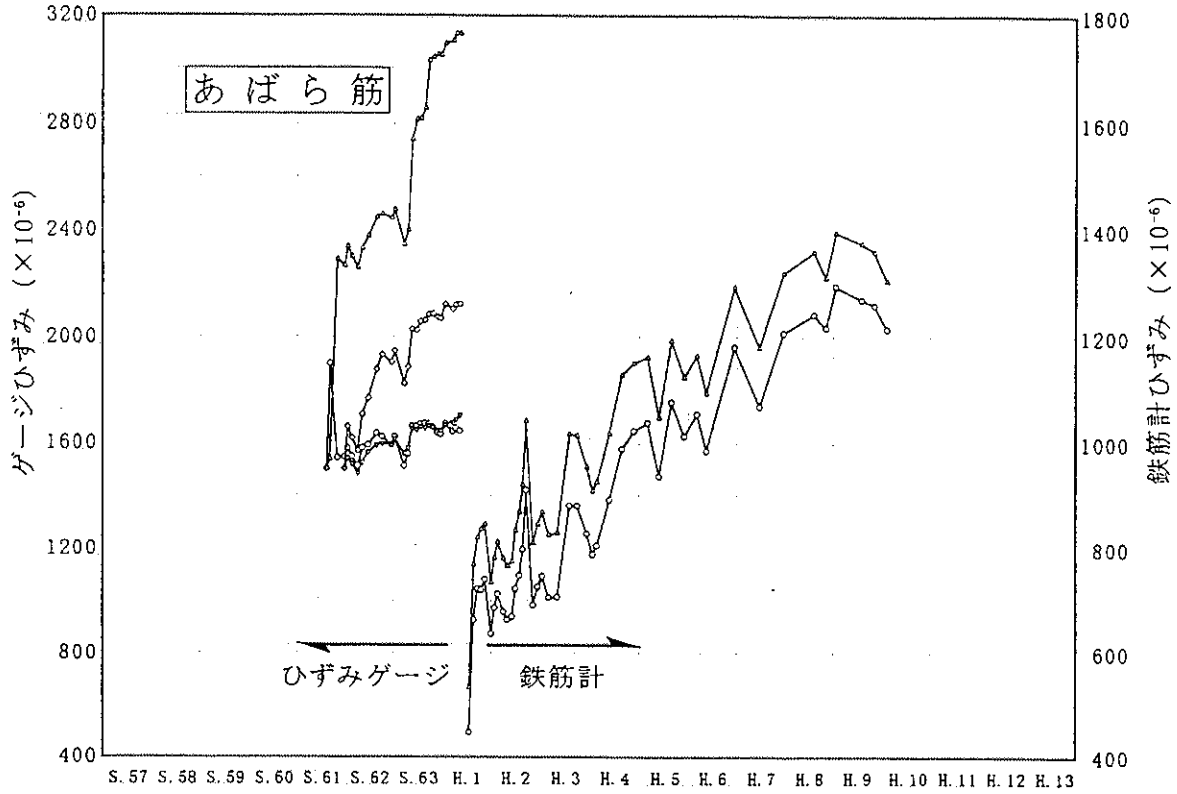
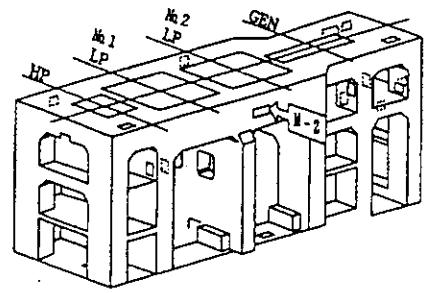


図8 鉄筋ひずみの推移 (M-2)

簡易計測	センサNo.	M-3-A (~1989.5.17)	M-3-B (~1989.5.17)	—
	鉄筋切断時 計測ひずみ		840×10^{-6} (1986.5.3)	840×10^{-6} (1986.5.3)
センサ設置時 導入ひずみ		0×10^{-6} (1986.6.9)	0×10^{-6} (1986.6.9)	—
架台温度補正 の基準温度		34℃ (1986.6.9)	34℃ (1986.6.9)	—
恒久計測	センサNo.	—	J29387 (1989.7.5~)	J29388 (1989.7.5~)
	鉄筋切断時 計測ひずみ	—	918×10^{-6} (1989.6.1)	817×10^{-6} (1989.6.1)
	センサ設置時 導入ひずみ	—	912×10^{-6} (1989.6.4)	819×10^{-6} (1989.6.4)
	架台温度補正 の基準温度	—	26℃ (1989.7.5)	26℃ (1989.7.5)
記号	○	△	◇	

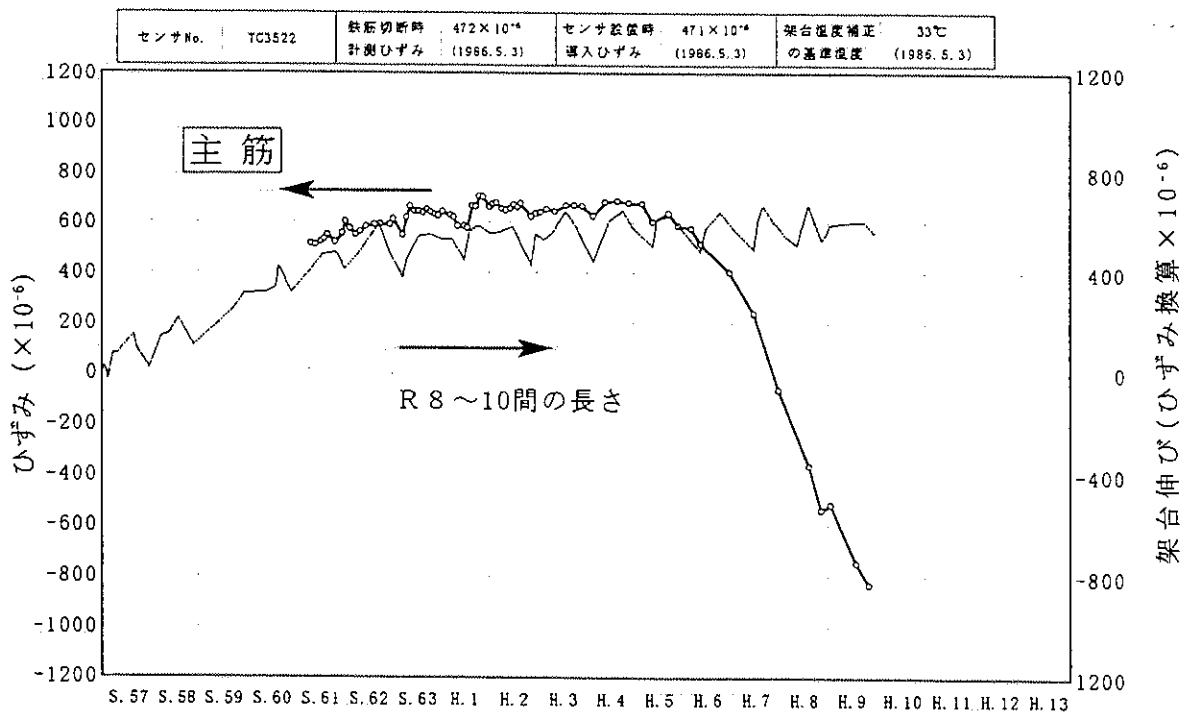
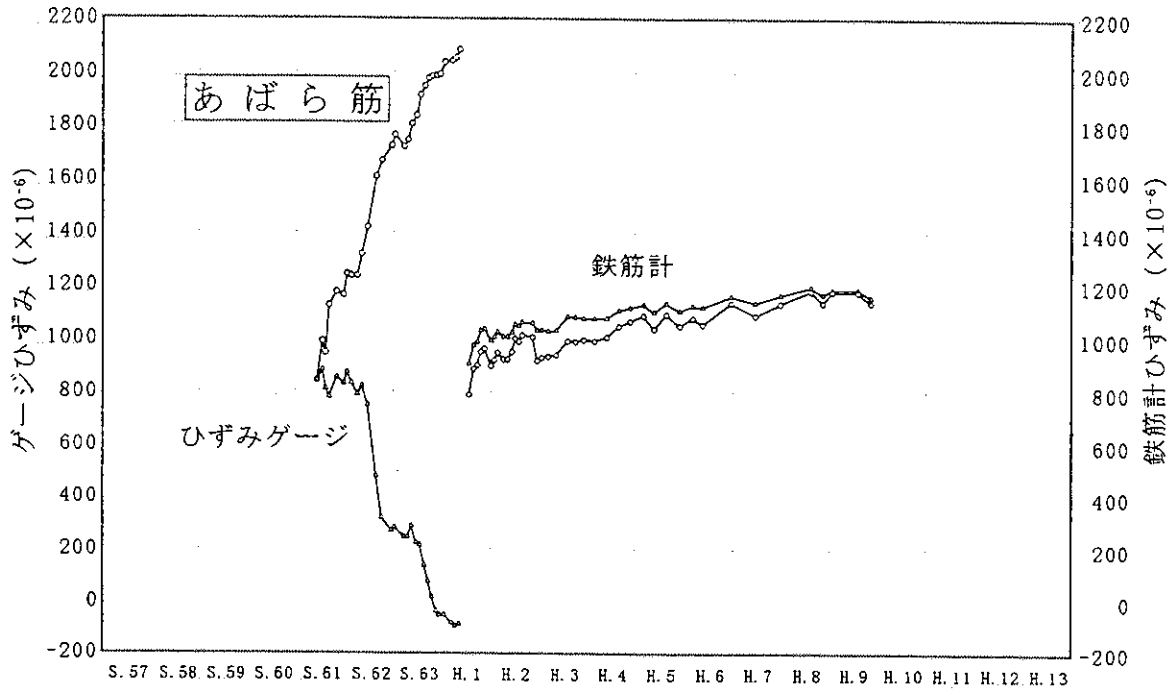
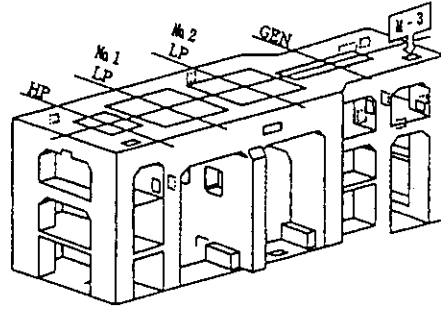


図9 鉄筋ひずみの推移 (M-3)

センサNo.	JZ0777 (1990.10.9~)	JZ0778 (1990.10.9~)
鉄筋切断時 計測ひずみ	1110 × 10 ⁻⁶ (1990.10.7)	1298 × 10 ⁻⁶ (1990.10.7)
センサ設置時 運入ひずみ	1087 × 10 ⁻⁶ (1990.10.9)	1326 × 10 ⁻⁶ (1990.10.9)
架台温度補正 の基準温度	27℃ (1989.11.14)	27℃ (1989.11.14)
記号	○	△

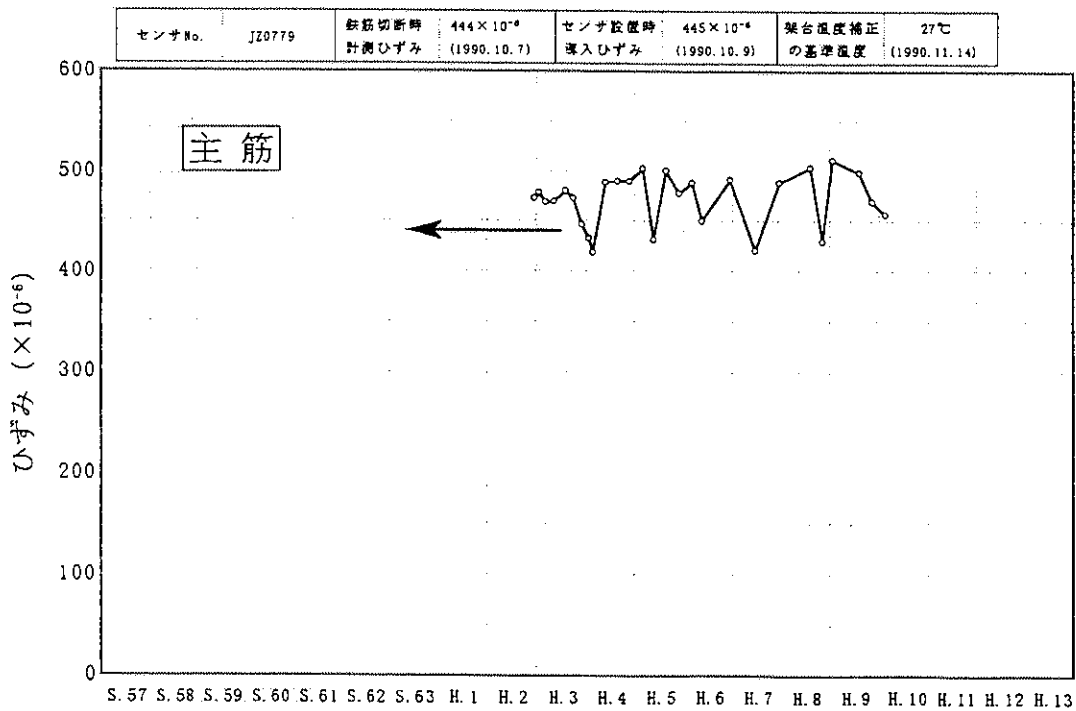
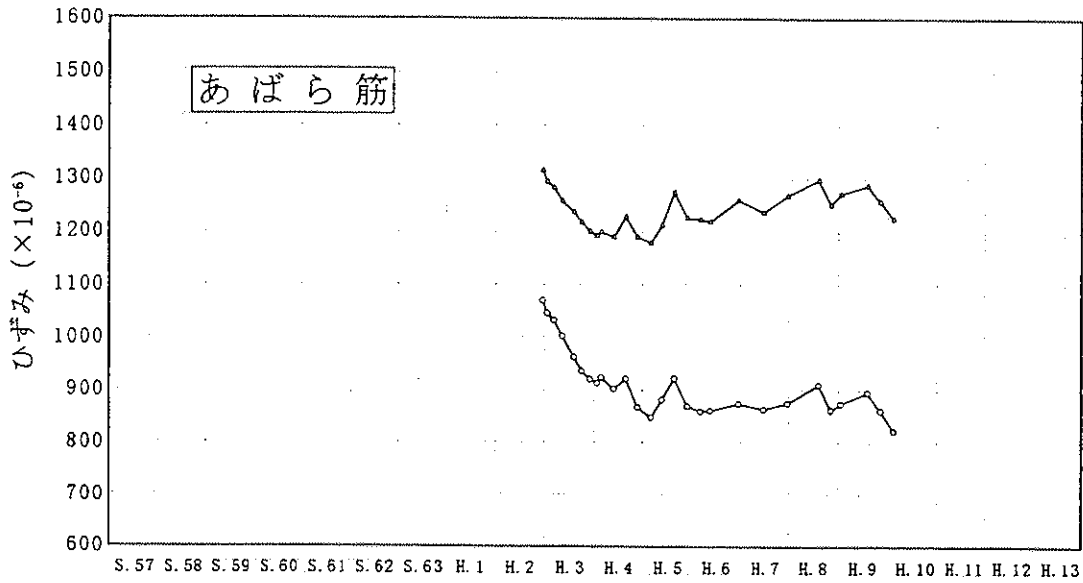
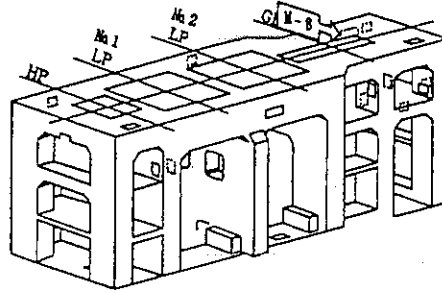
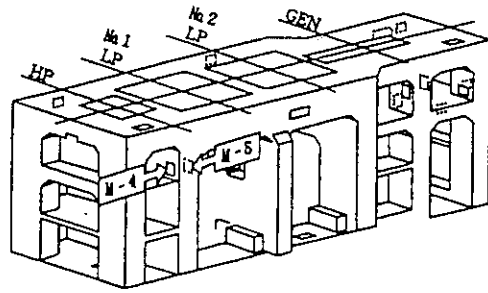


図10 鉄筋ひずみの推移 (M-8)

TK_M8 10



	M-4 主筋	M-4 あばら筋	
センサNo.	J29373	J29375	J29376
鉄筋切断時 計測ひずみ	103×10^{-6} (1989.5.20)	-41×10^{-6} (1989.5.20)	5×10^{-6} (1989.5.20)
センサ設置時 導入ひずみ	103×10^{-6} (1989.5.22)	5×10^{-6} (1989.5.23)	6×10^{-6} (1989.5.23)
架台温度補正 の基準温度	25℃ (1989.7.5)	25℃ (1989.7.5)	25℃ (1989.7.5)
記号	○	△	◇

	M-5 主筋	M-5 あばら筋	
センサNo.	J29371	J29377	J29378
鉄筋切断時 計測ひずみ	-239×10^{-6} (1989.5.19)	72×10^{-6} (1989.5.19)	55×10^{-6} (1989.5.19)
センサ設置時 導入ひずみ	81×10^{-6} (1989.5.25)	73×10^{-6} (1989.5.19)	55×10^{-6} (1989.5.25)
架台温度補正 の基準温度	27℃ (1989.7.5)	27℃ (1989.7.5)	27℃ (1989.7.5)
記号	○	△	◇

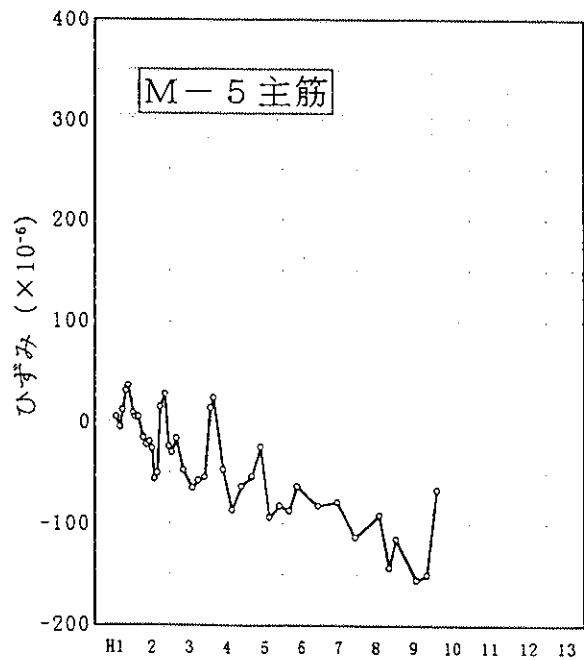
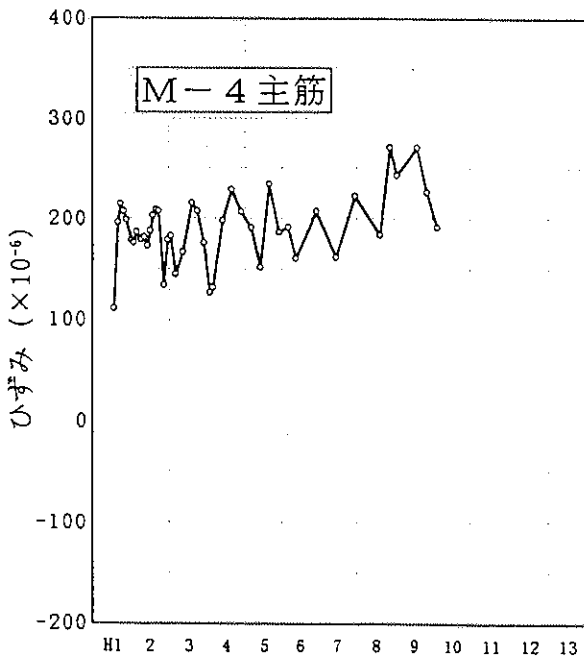
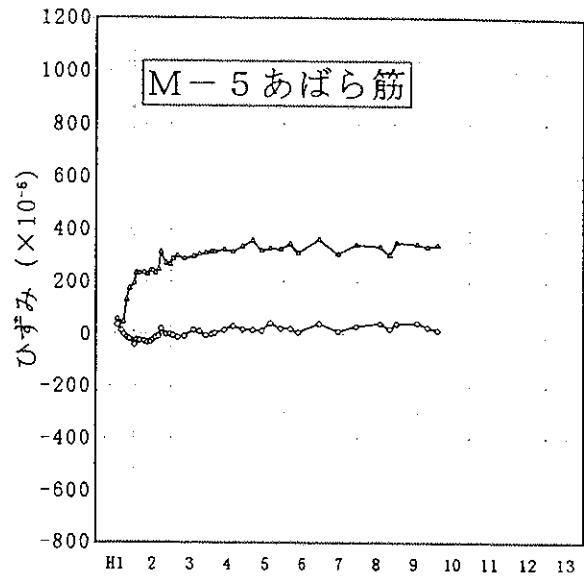
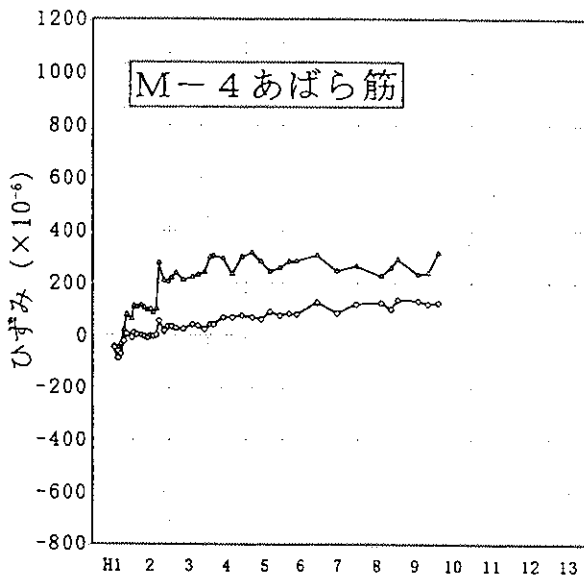
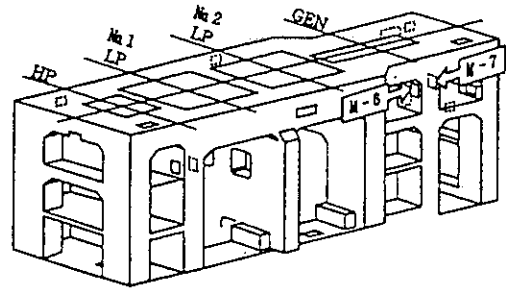


図11 鉄筋ひずみの推移 (M-4、M-5)

TK_M4M5



	M-6 主筋	M-6 あばら筋	
センサNo.	JZ9372	JZ9379	JZ9380
鉄筋切断時 計測ひずみ	-49×10^{-6} (1989.5.20)	544×10^{-6} (1989.5.20)	463×10^{-6} (1989.5.20)
センサ設置時 導入ひずみ	5×10^{-6} (1989.5.27)	544×10^{-6} (1989.5.27)	464×10^{-6} (1989.5.27)
架台温度補正 の基準温度	26℃ (1989.7.5)	26℃ (1989.7.5)	26℃ (1989.7.5)
記号	○	△	◇

	M-7 主筋	M-7 あばら筋	
センサNo.	JZ9374	JZ9381	JZ9382
鉄筋切断時 計測ひずみ	193×10^{-6} (1989.5.21)	389×10^{-6} (1989.5.21)	457×10^{-6} (1989.5.21)
センサ設置時 導入ひずみ	193×10^{-6} (1989.5.27)	388×10^{-6} (1989.5.27)	457×10^{-6} (1989.5.27)
架台温度補正 の基準温度	28℃ (1989.7.5)	28℃ (1989.7.5)	28℃ (1989.7.5)
記号	○	△	◇

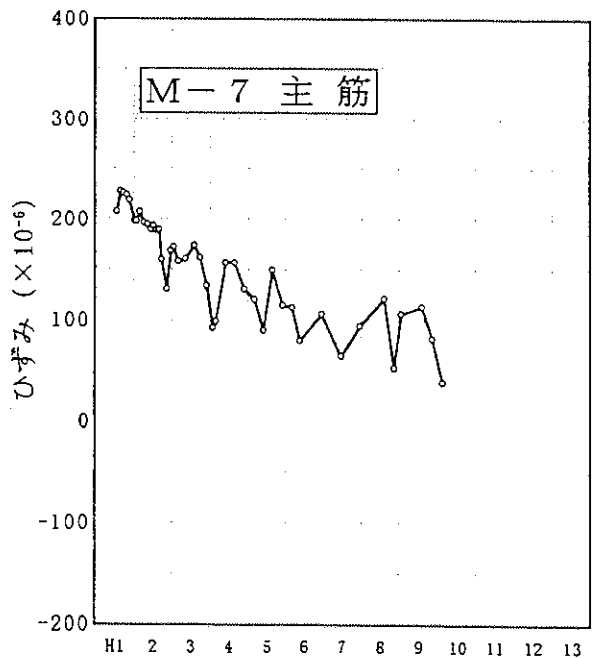
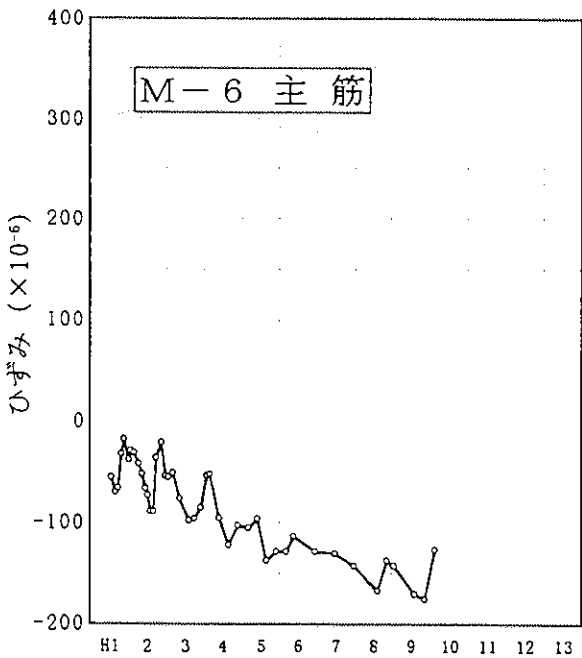
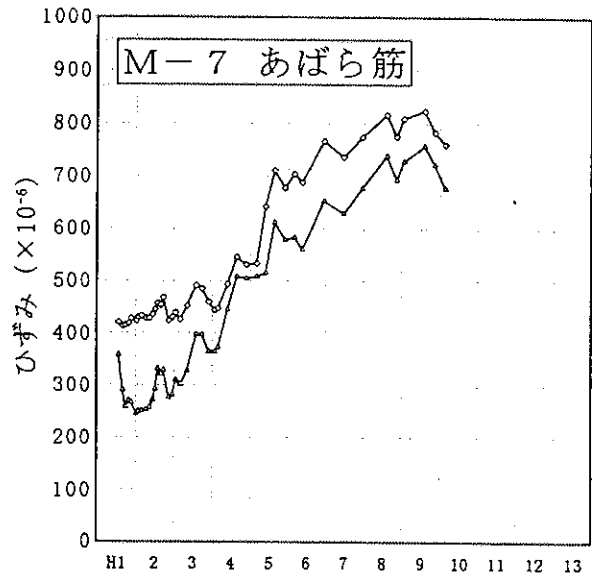
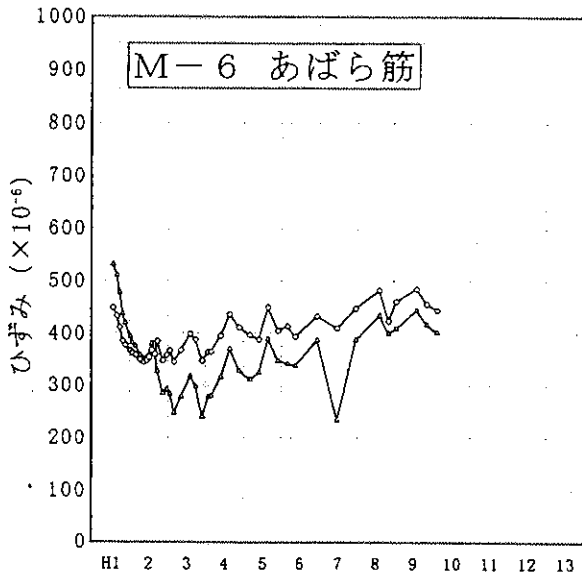
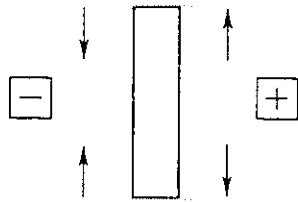
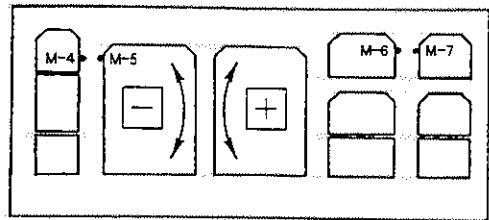


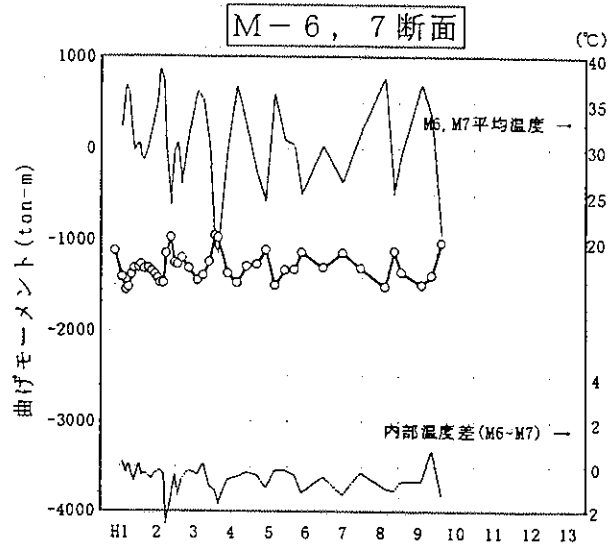
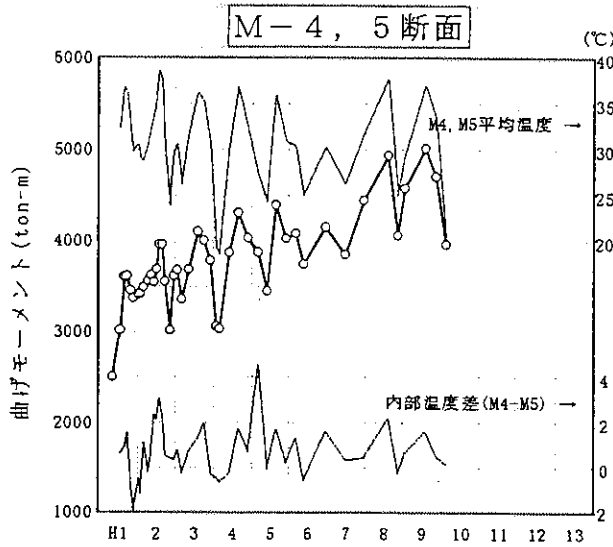
図12 鉄筋ひずみの推移 (M-6、M-7)



軸力



曲げモーメント



架台柱の曲げモーメント経時変化

[鉄筋切断時の初期計測を含めた存在曲げモーメント]

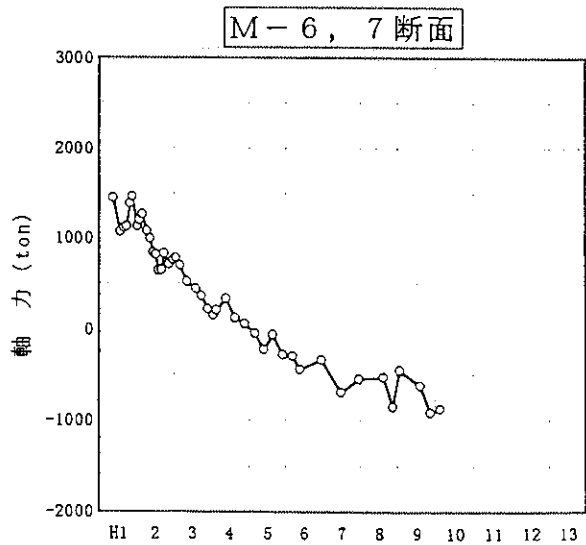
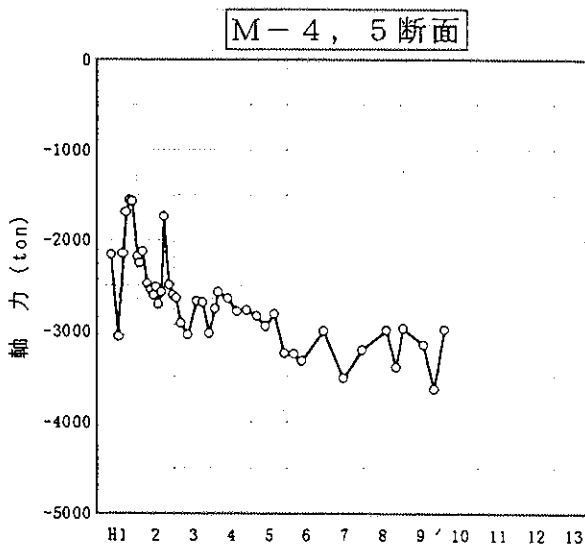


図13 架台柱の軸力経時変化

[鉄筋切断時の初期計測を含めた存在軸力]

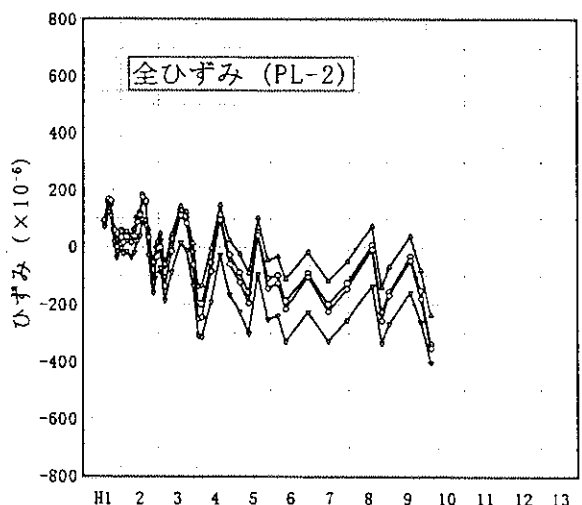
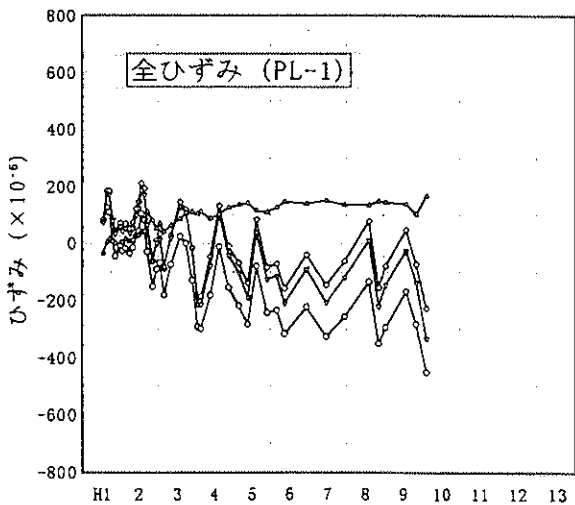
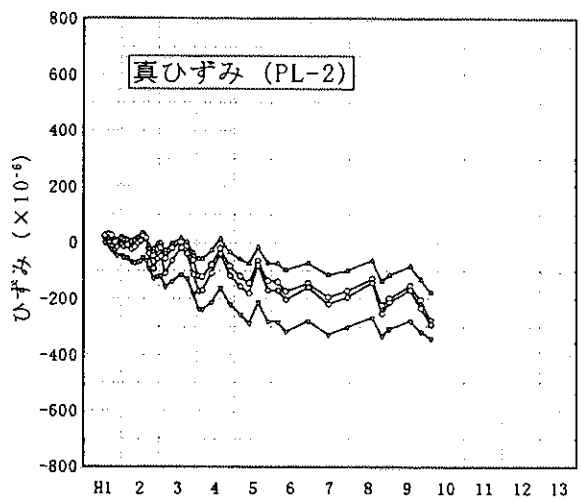
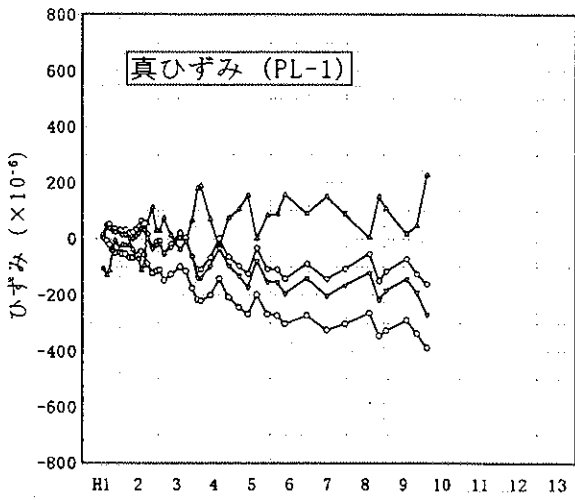
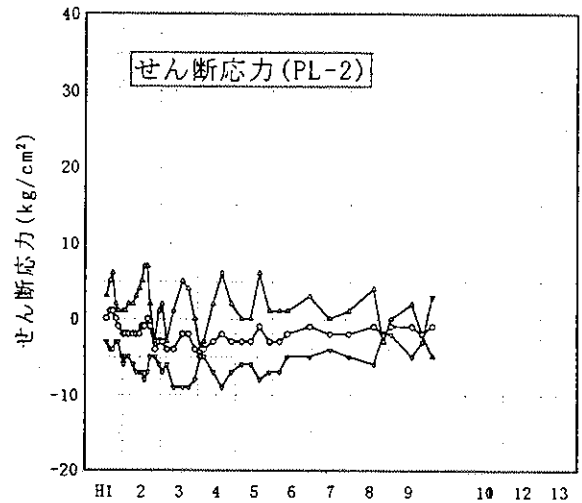
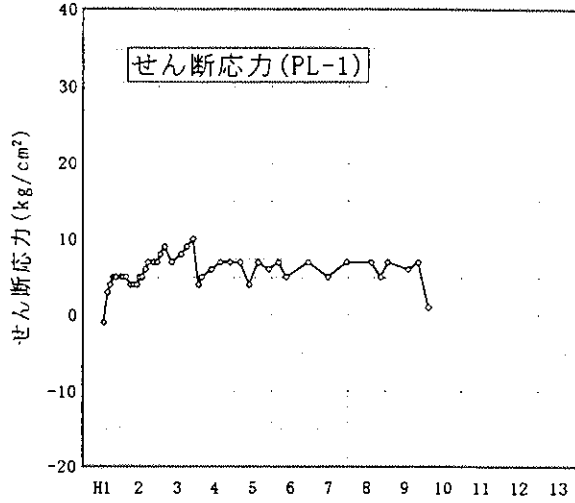
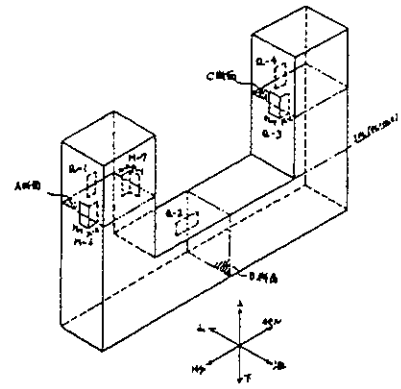
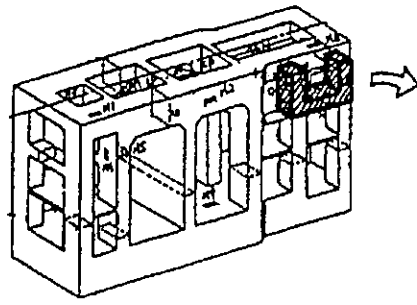


図14 コンクリートひずみ、せん断応力の推移 (M-6)

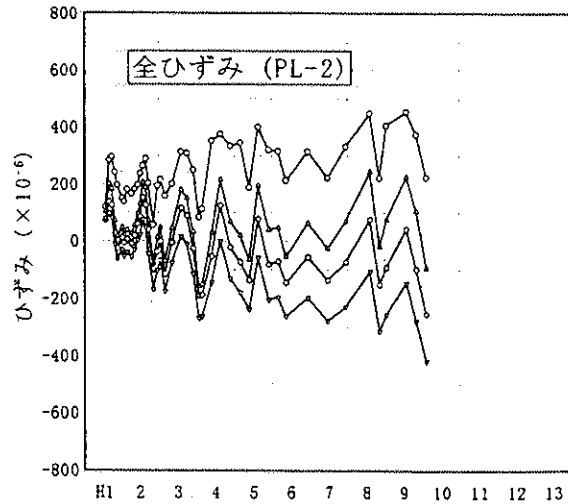
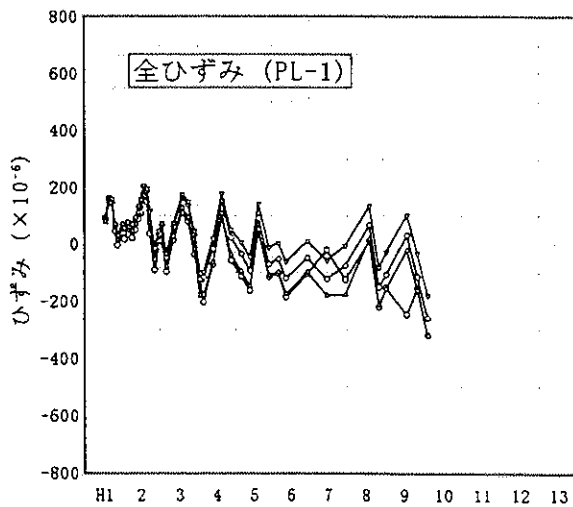
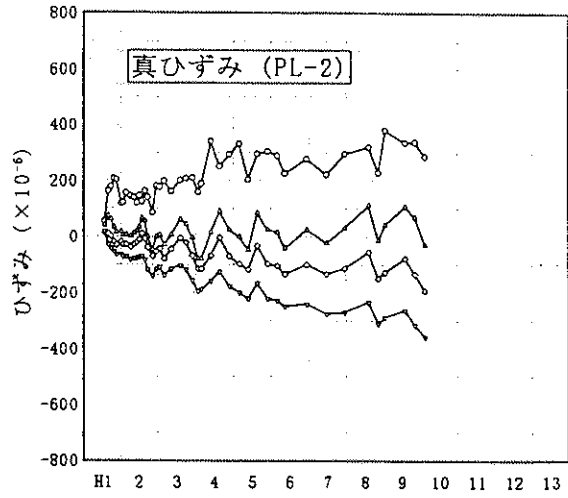
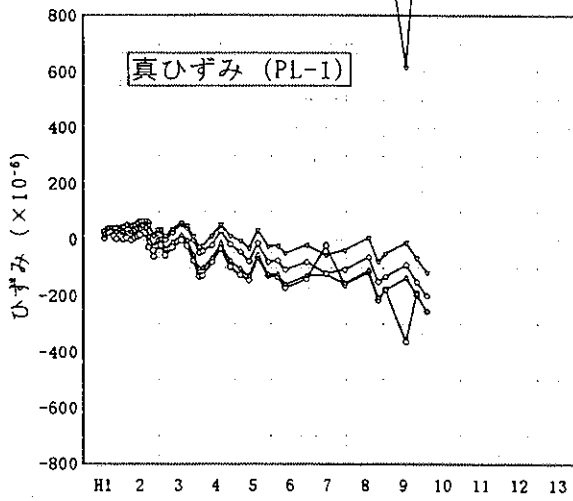
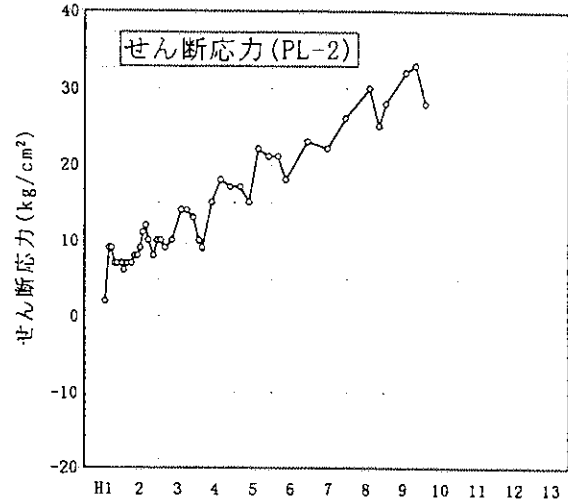
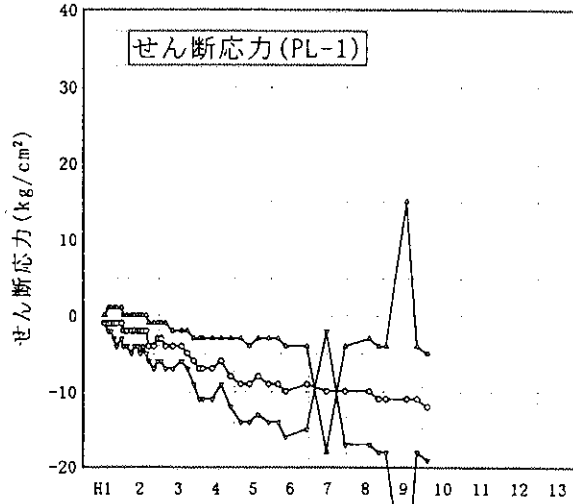
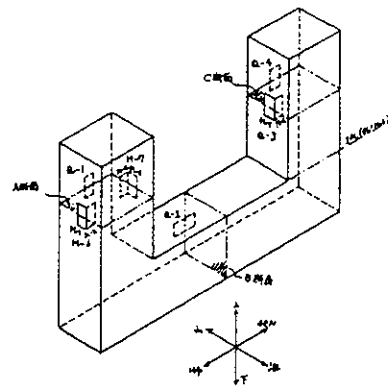
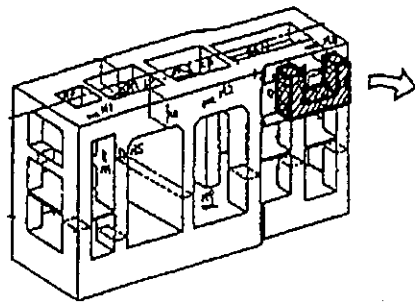


図15 コンクリートひずみ、せん断応力の推移 (M-7)

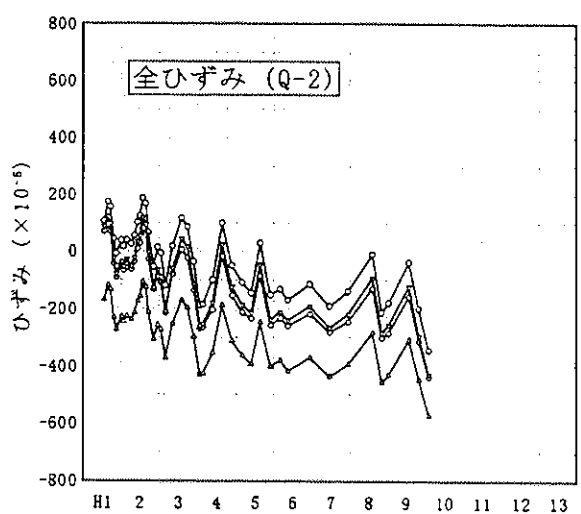
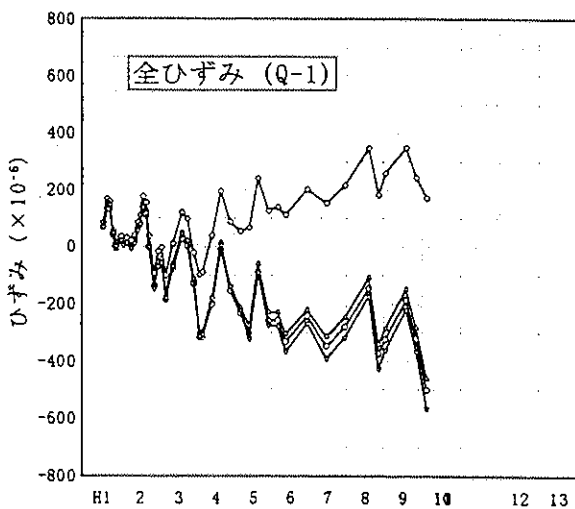
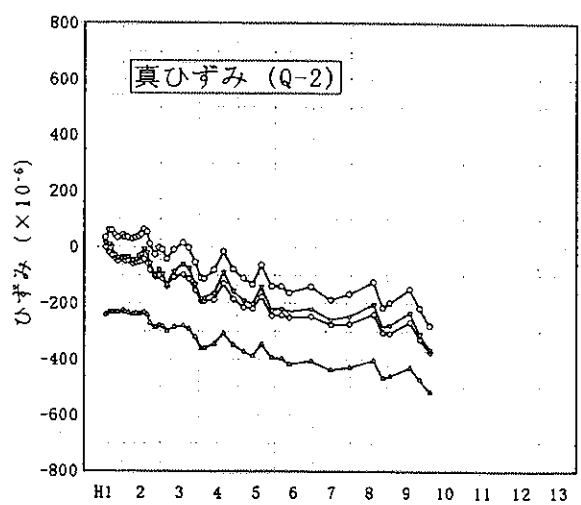
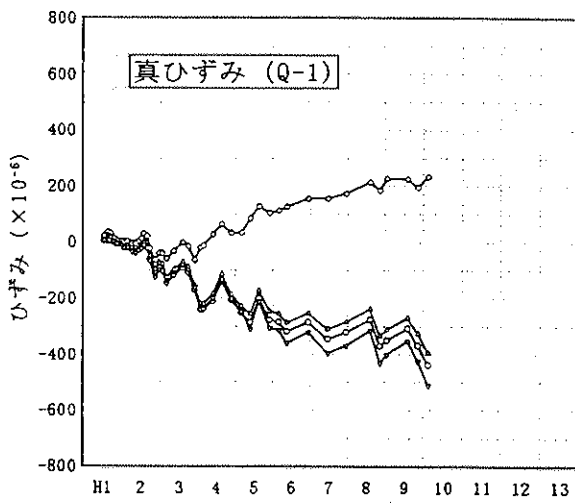
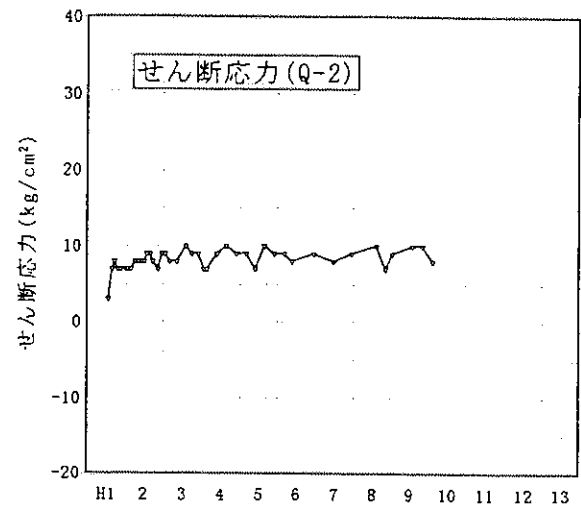
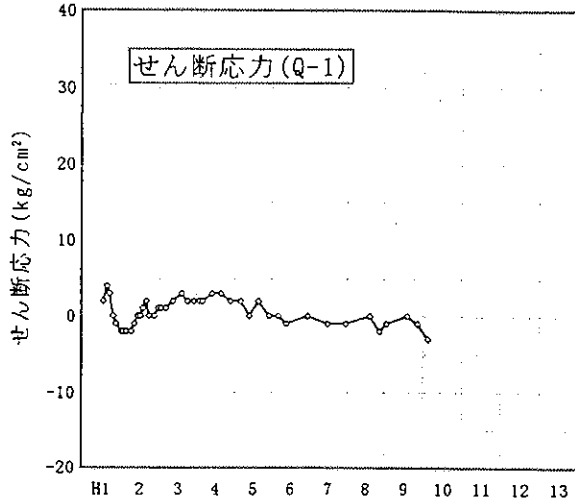
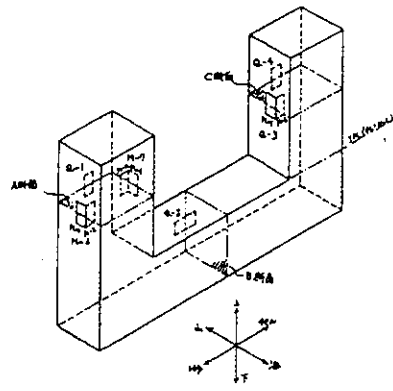
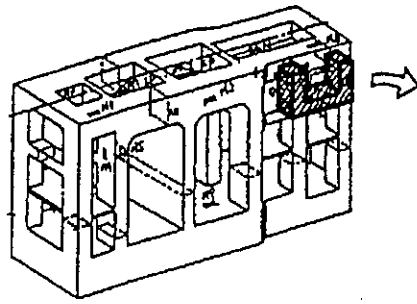


図16 コンクリートひずみ、せん断応力の推移 (Q-1, Q-2)

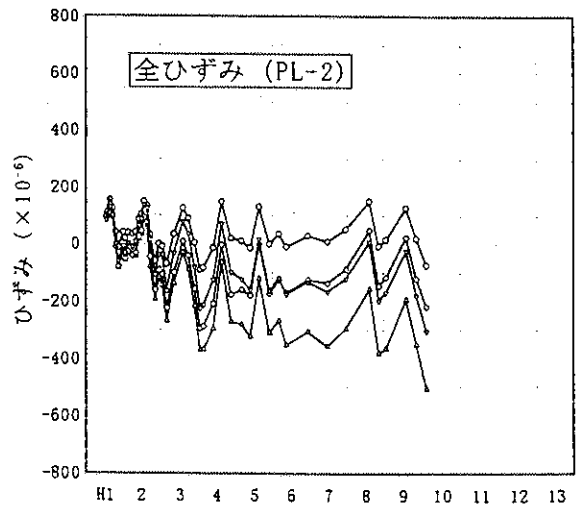
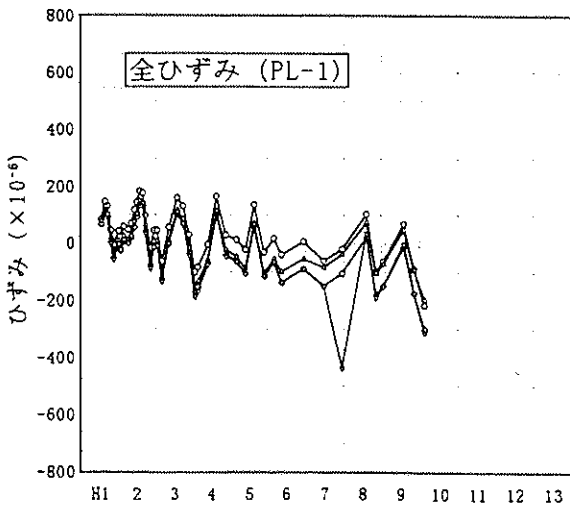
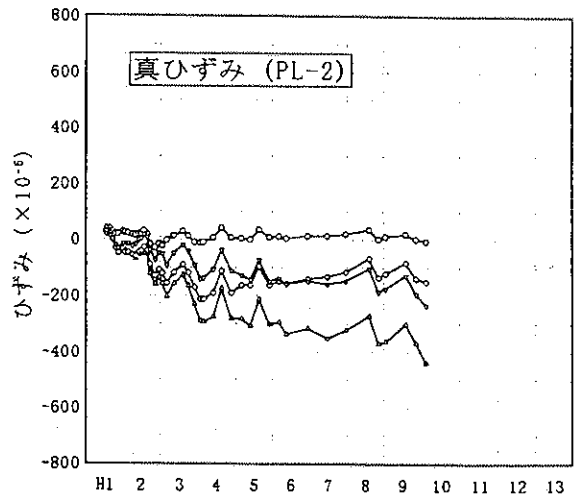
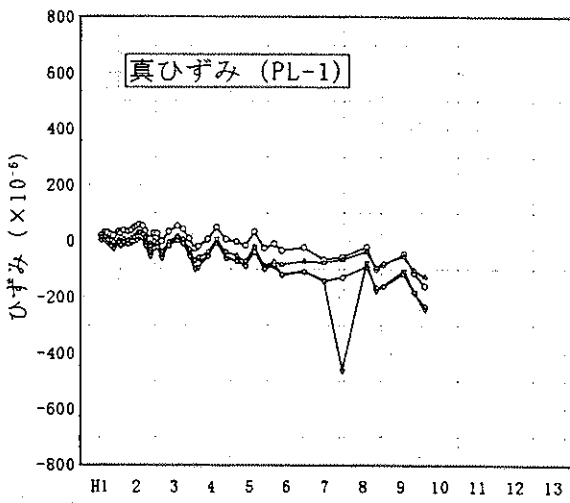
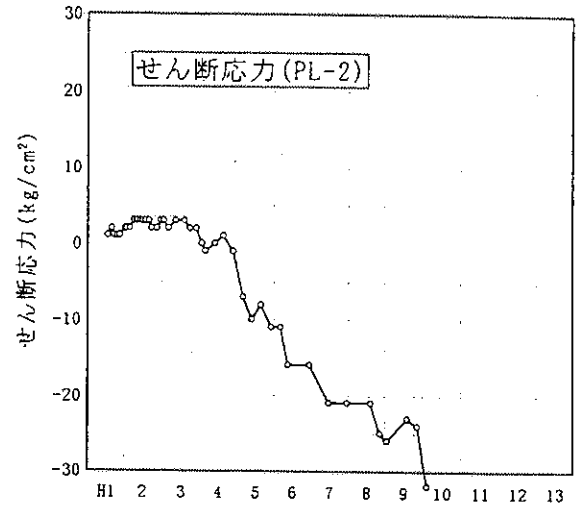
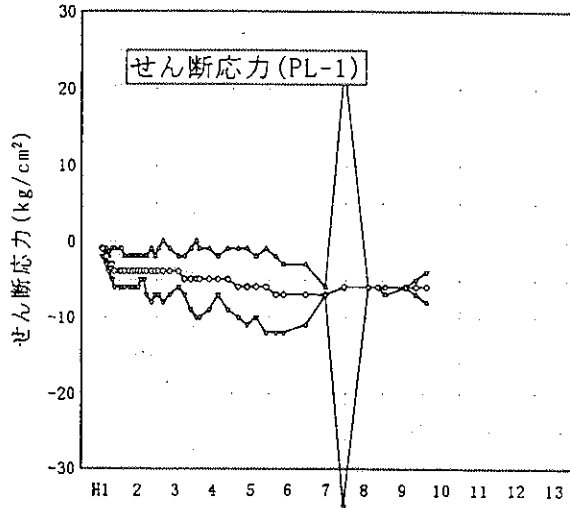
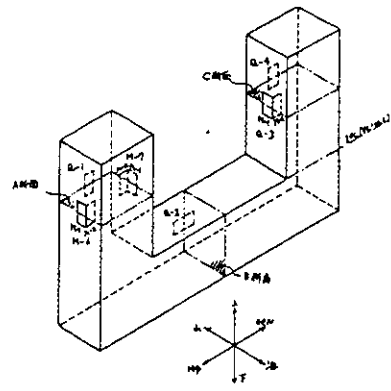
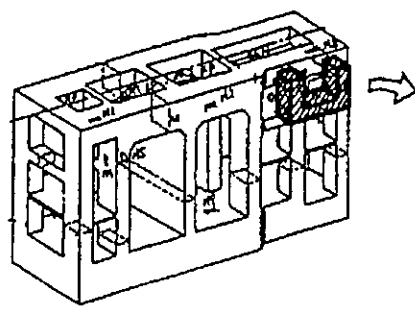


図17 コンクリートひずみ、せん断応力の推移(Q-3)

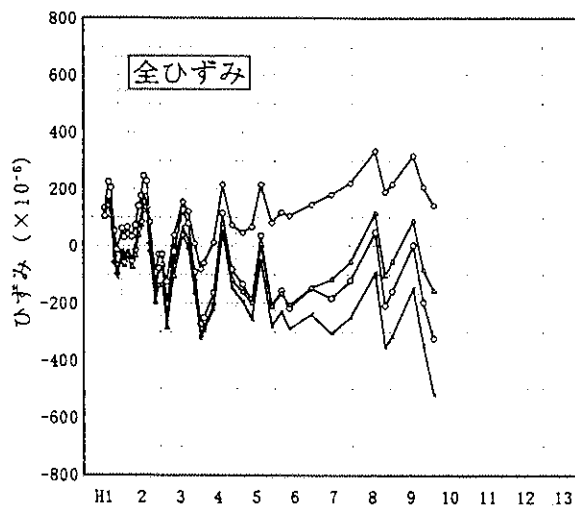
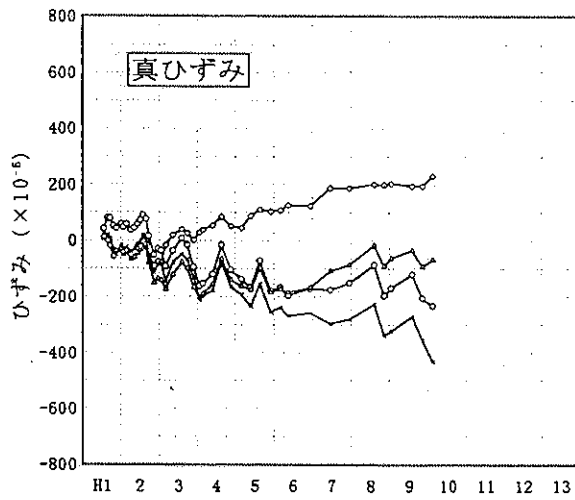
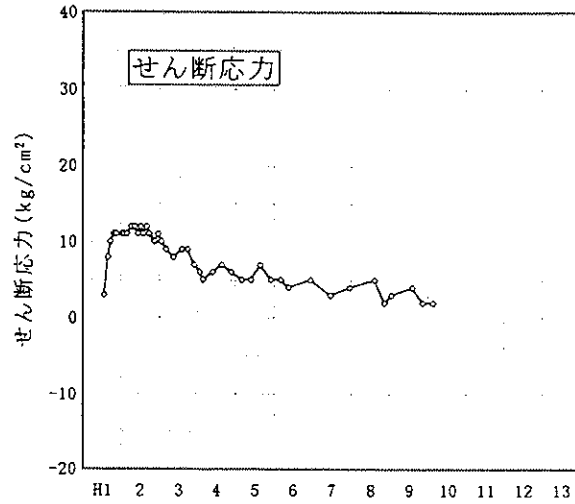
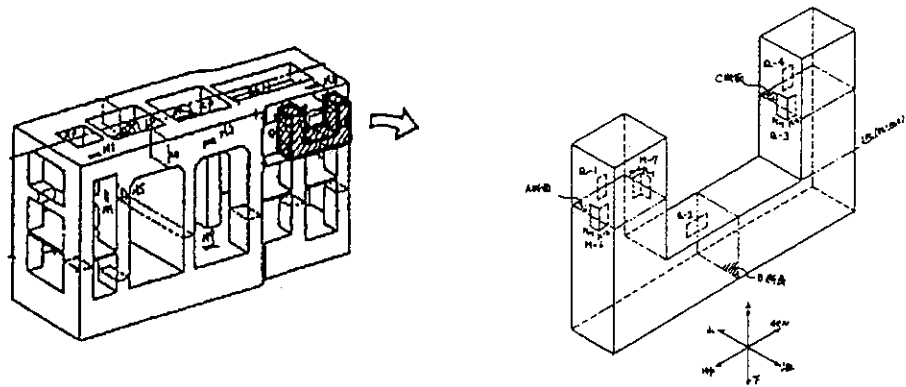


図18 コンクリートひずみ、せん断応力の推移(Q-4)

簡易計測	センサNo.	M-9-A (~1989.5.17)	M-9-B (~1989.5.17)	—	—
	鉄筋切断時 計測ひずみ		-242×10^{-6} (1986.5.3)	-242×10^{-6} (1986.5.3)	—
センサ設置時 導入ひずみ		0×10^{-6} (1986.6.9)	0×10^{-6} (1986.6.9)	—	—
架台温度補正 の基準温度		20℃ (1986.6.9)	20℃ (1986.6.9)	—	—
恒久計測	センサNo.	—	—	JZ9369 (1989.7.5~)	JZ9370 (1989.7.5~)
	鉄筋切断時 計測ひずみ	—	—	-304×10^{-6} (1989.5.30)	-307×10^{-6} (1989.5.30)
センサ設置時 導入ひずみ	—	—	10×10^{-6} (1989.5.31)	10×10^{-6} (1989.5.31)	
架台温度補正 の基準温度	—	—	22℃ (1989.7.5)	22℃ (1989.7.5)	
記号		○	△	◇	▽

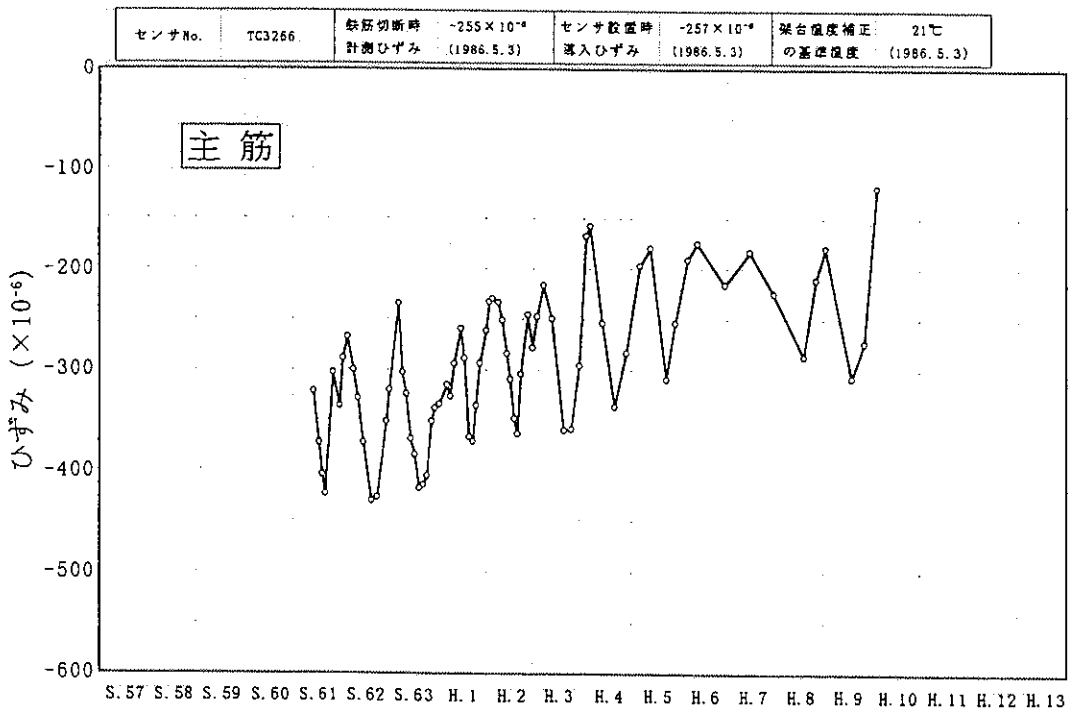
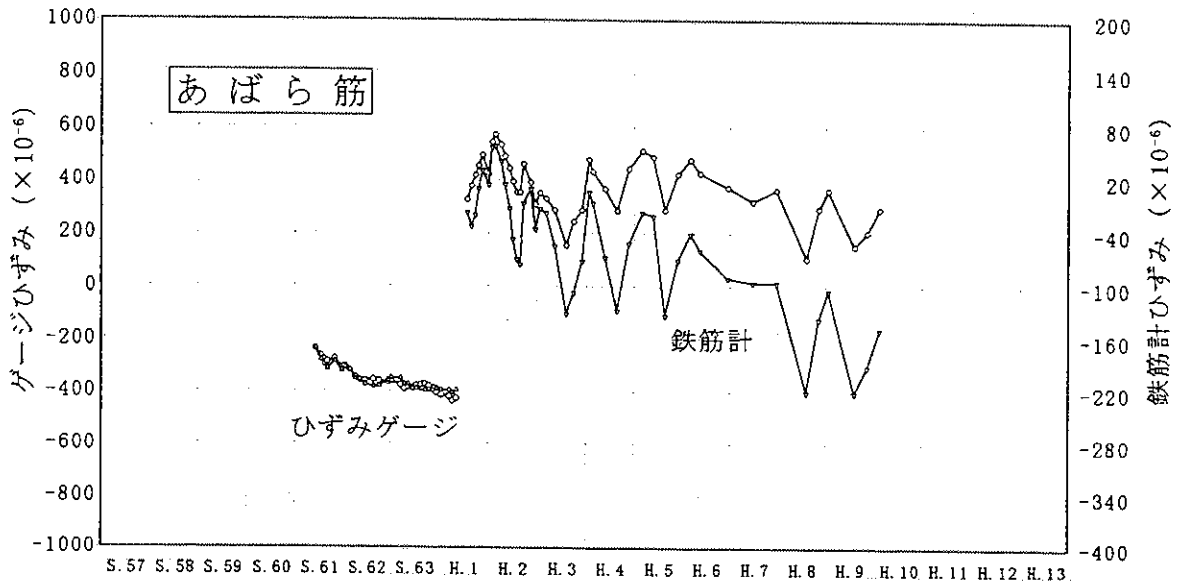
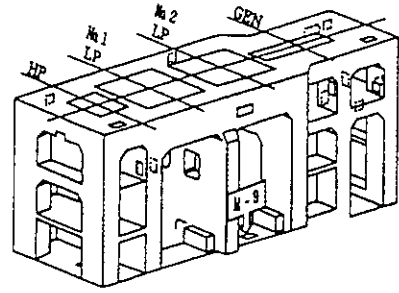


図19 鉄筋ひずみの推移 (M-9)

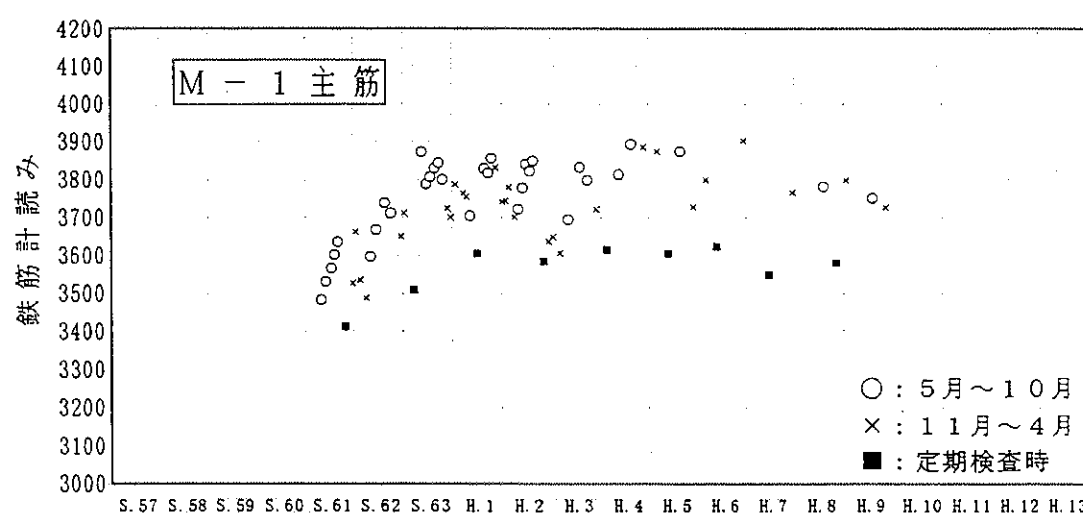
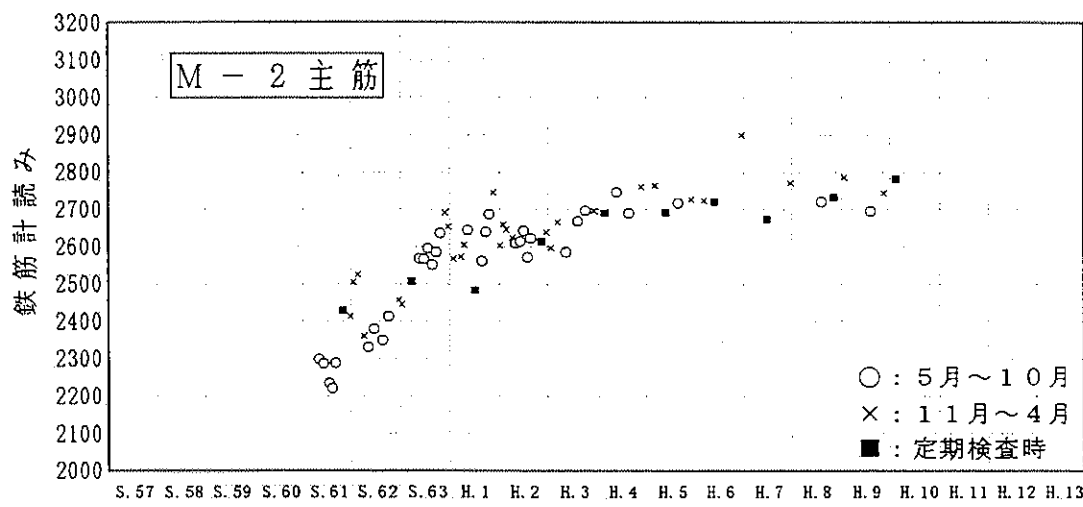
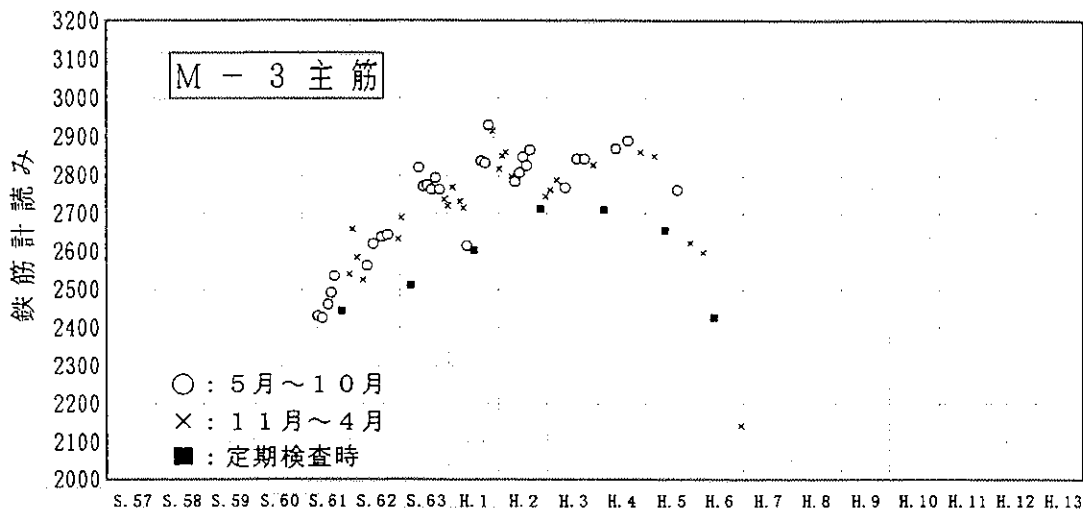
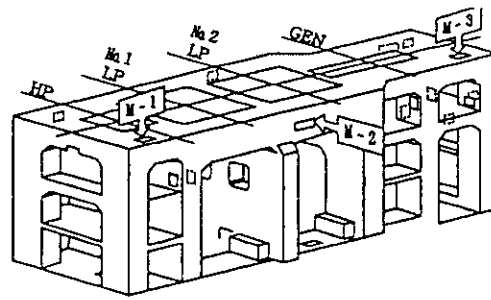


図20 鉄筋計読みの季節別変化

tk_tuki

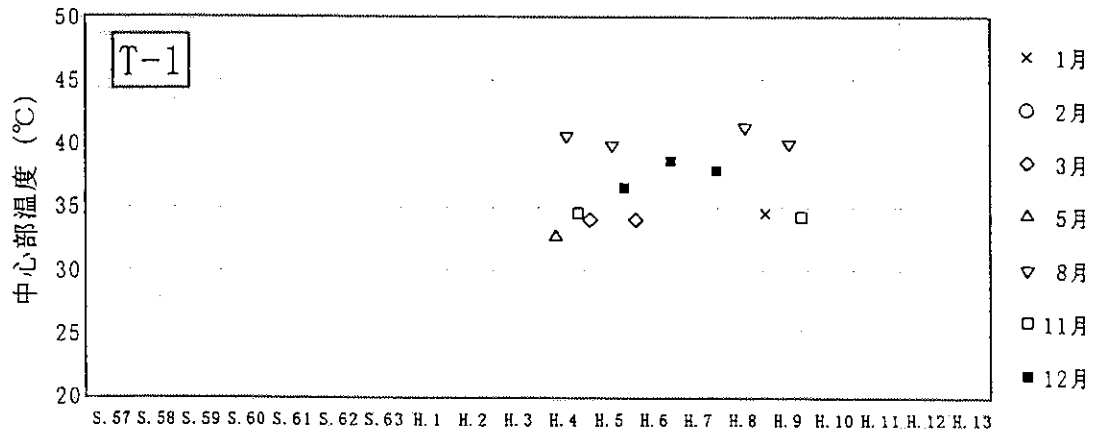
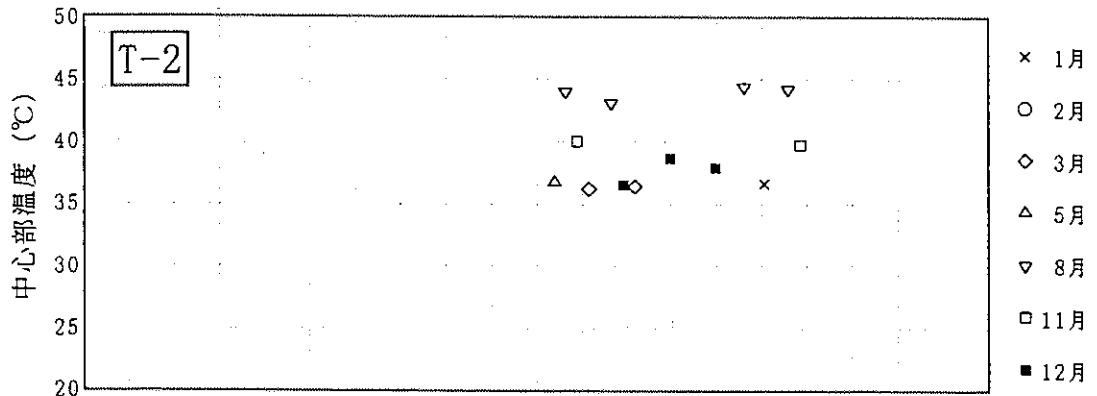
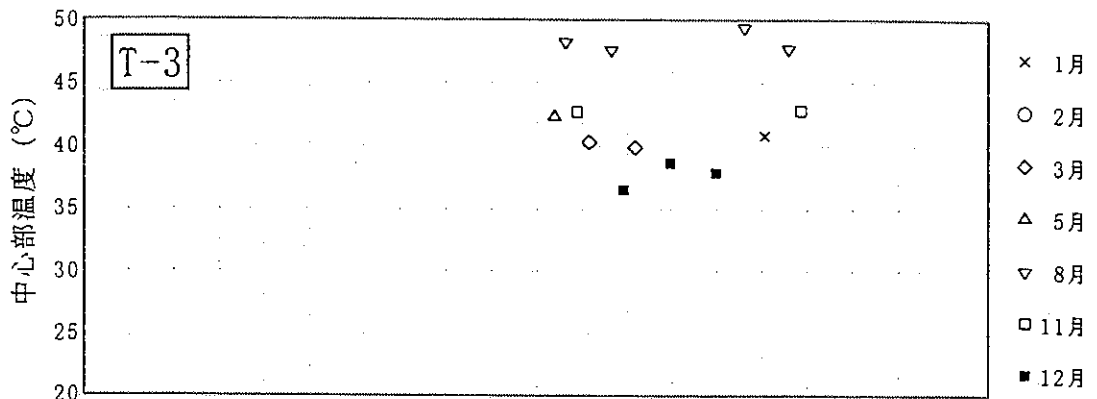
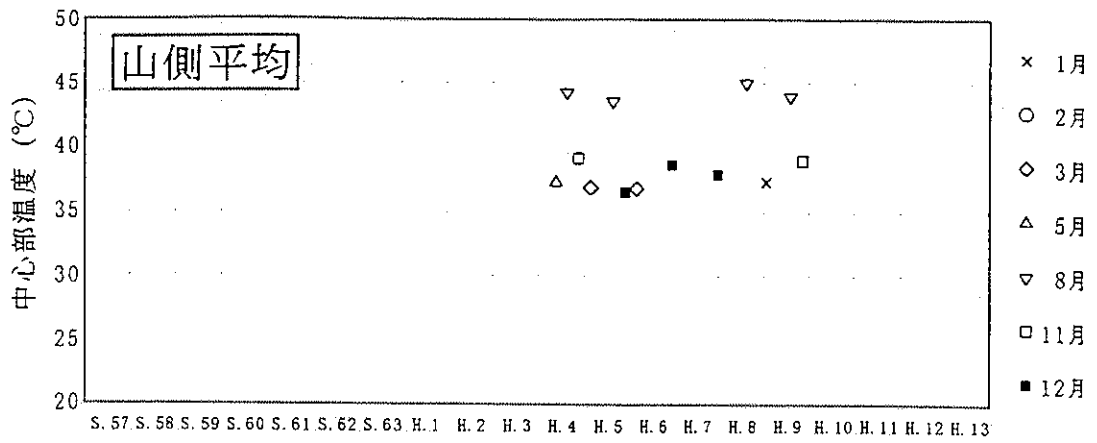
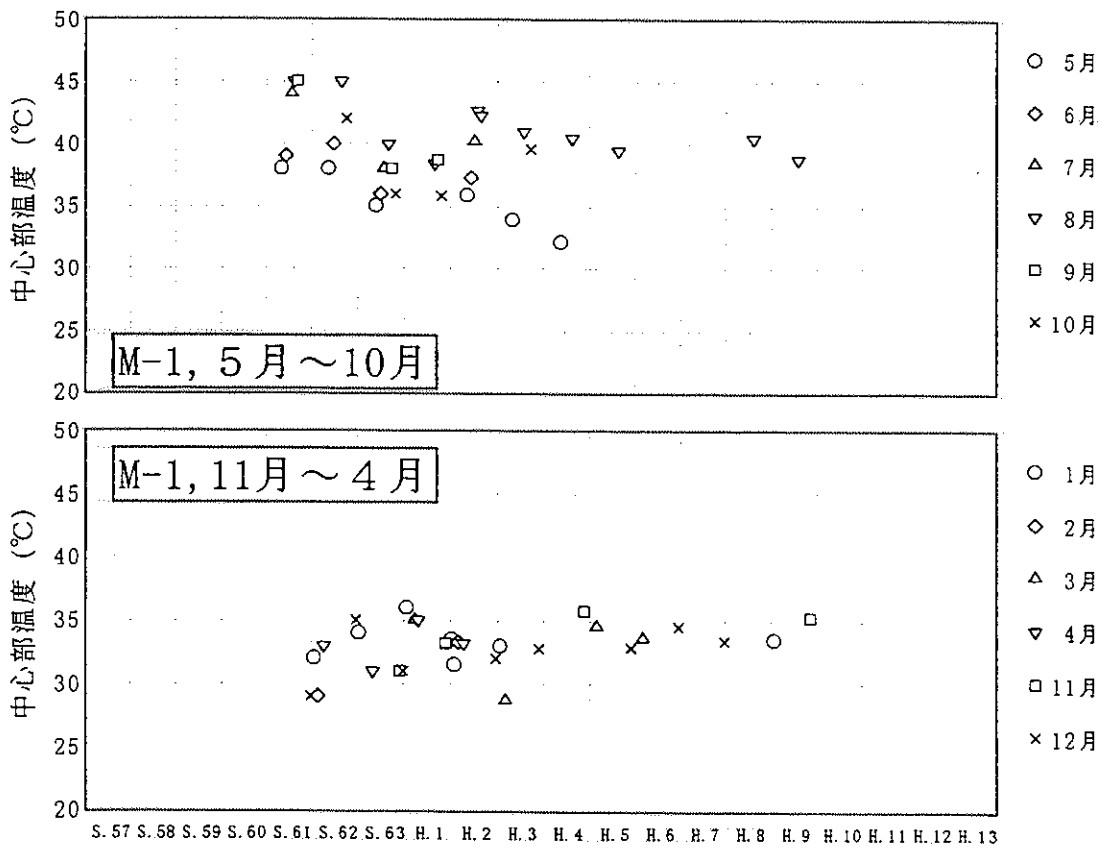
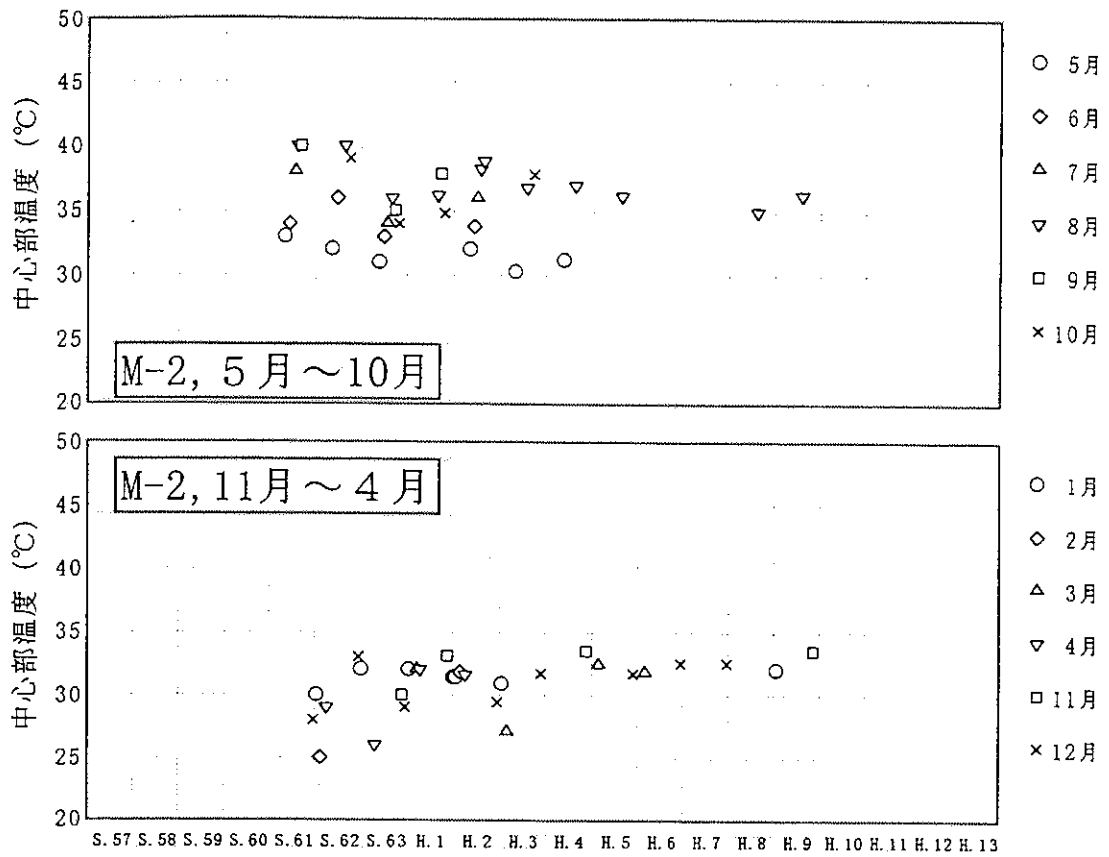


図21 コンクリート内部温度の計測月別変化

t_tuki3 丁



☒22 コンクリート内部温度の計測月別変化

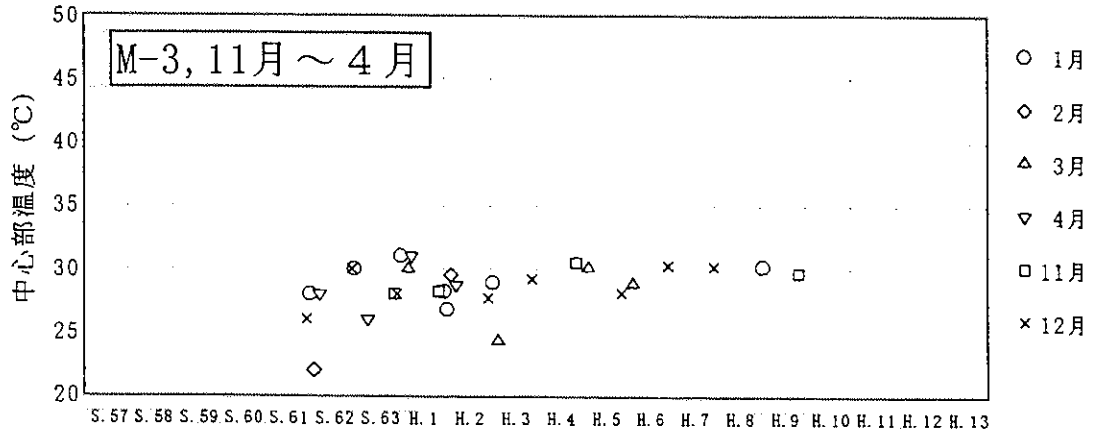
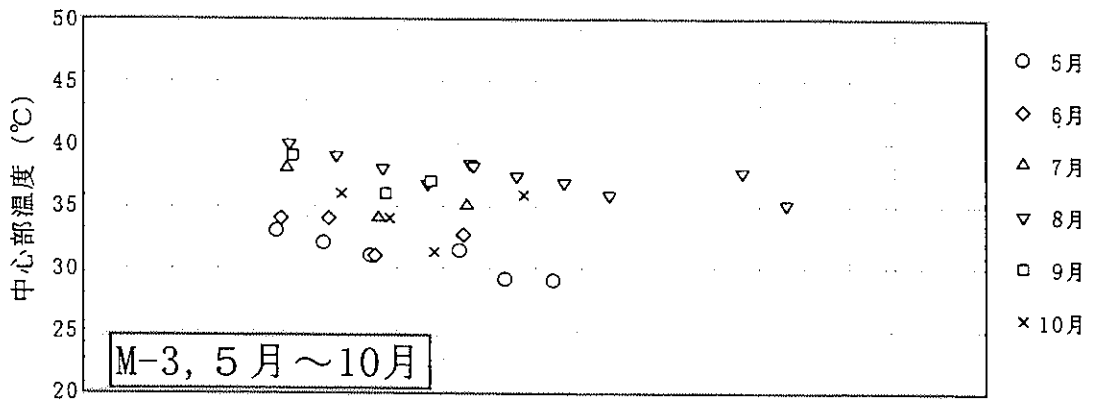
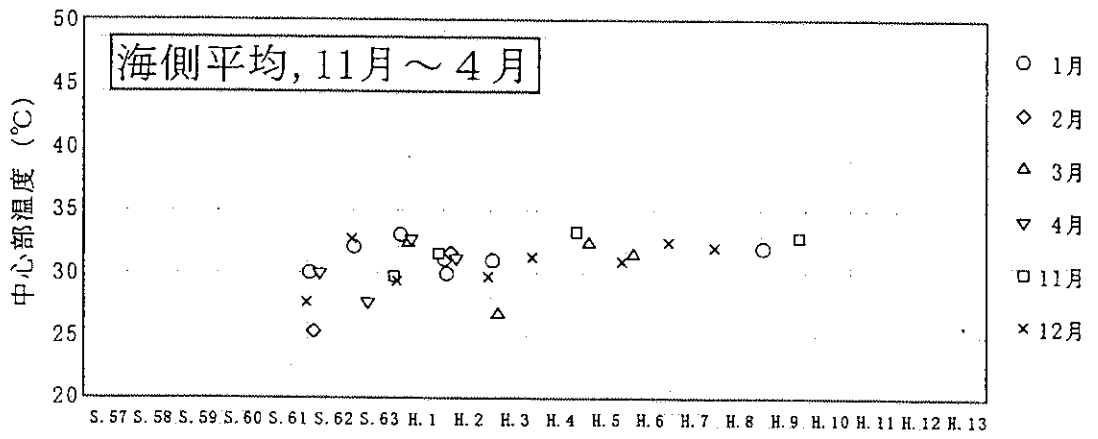
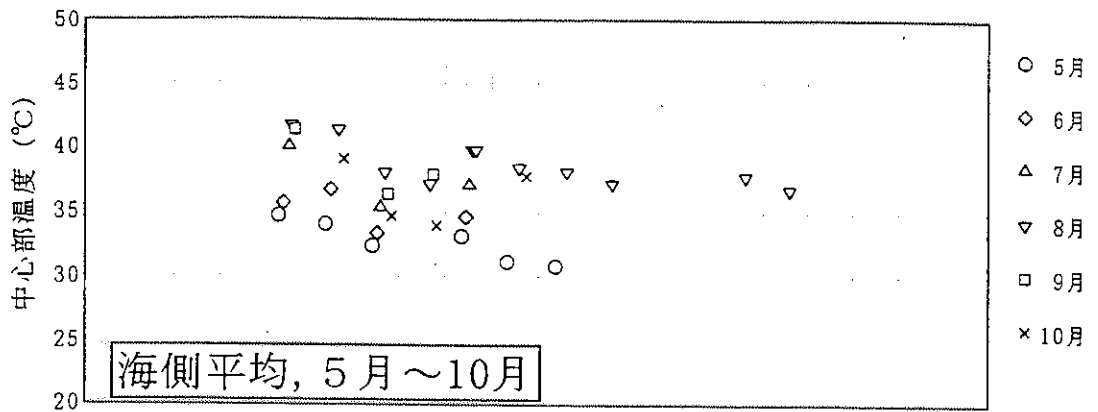


図23 コンクリート内部温度の計測月別変化

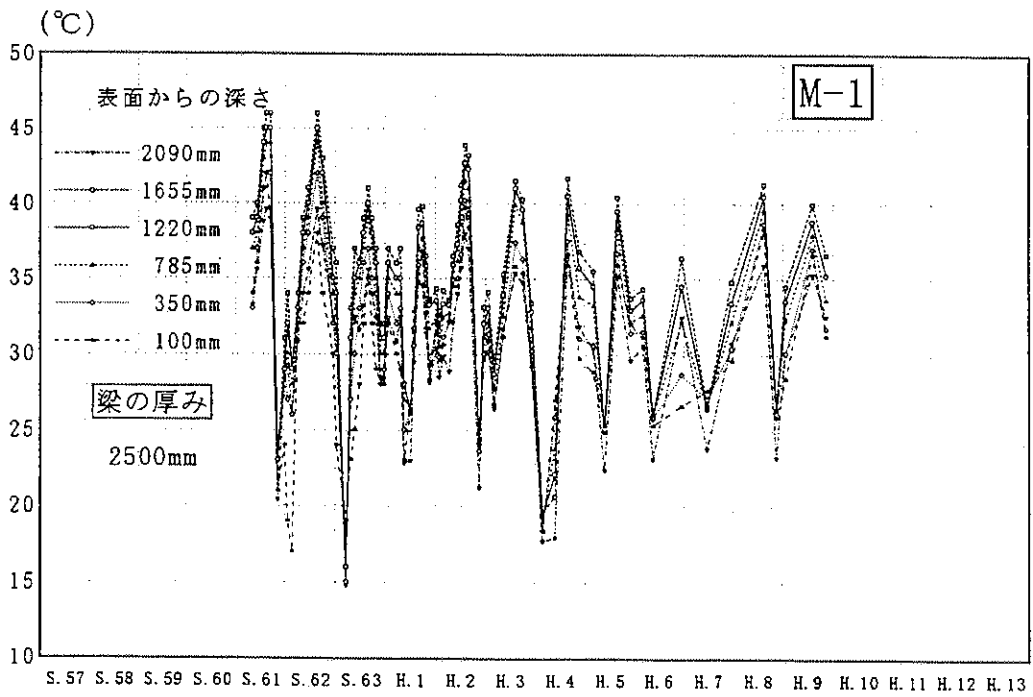
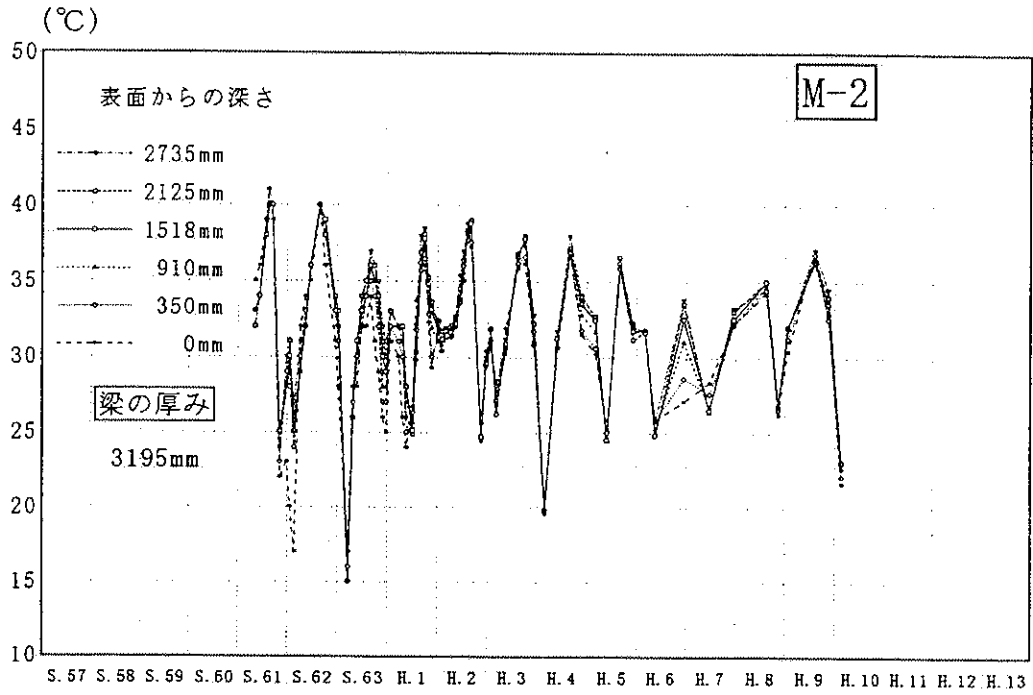
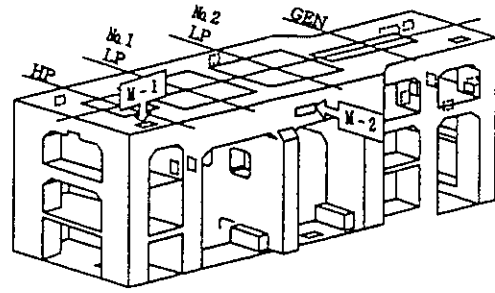


図24 コンクリート内部温度の推移

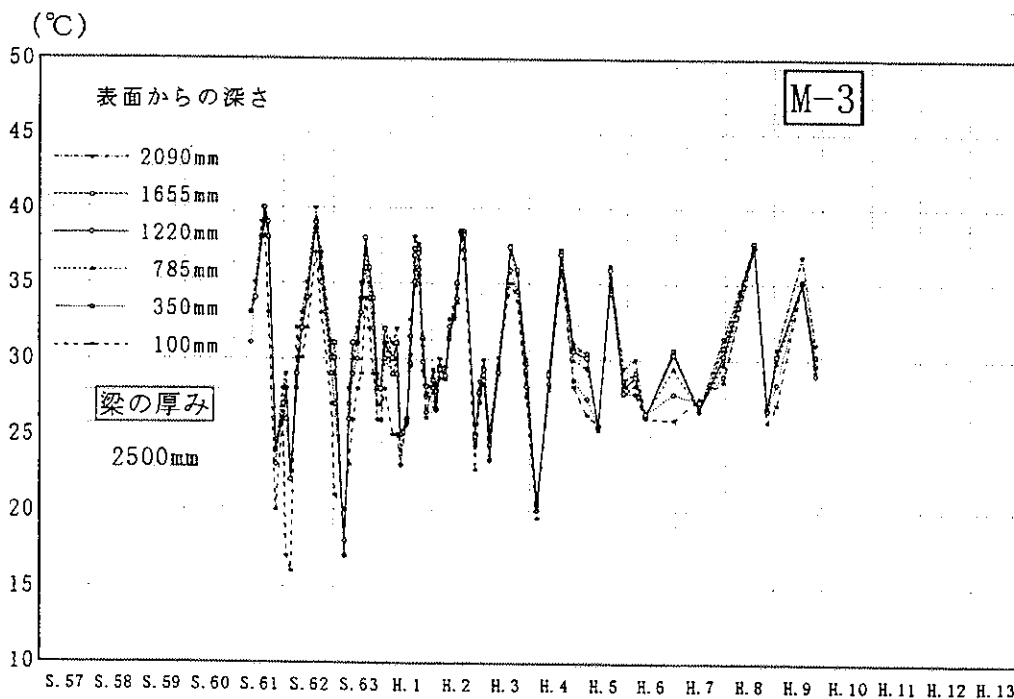
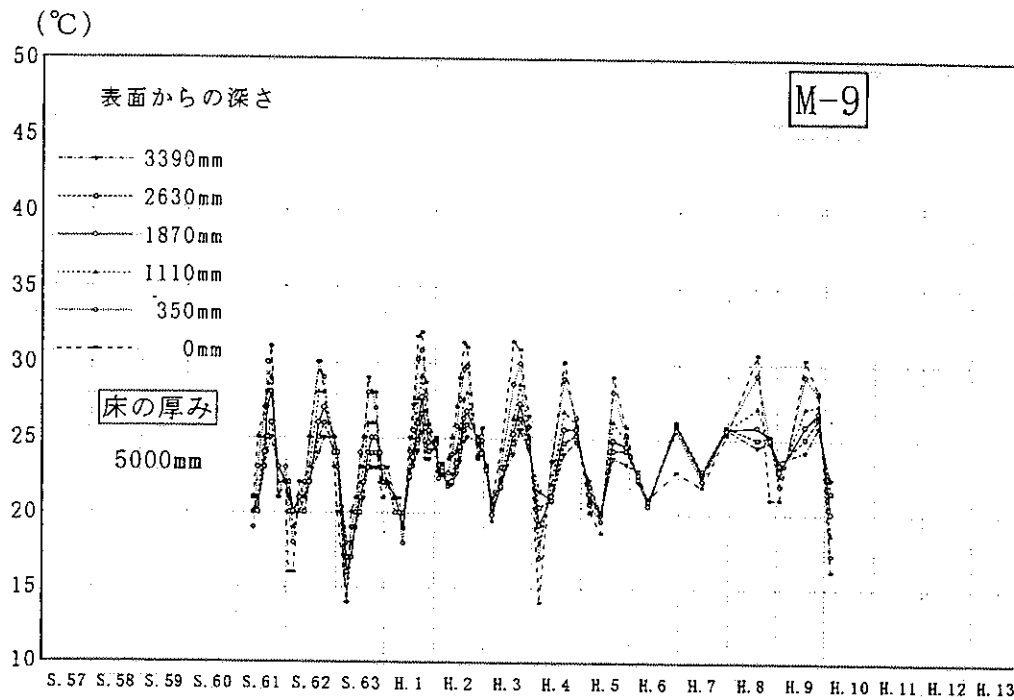
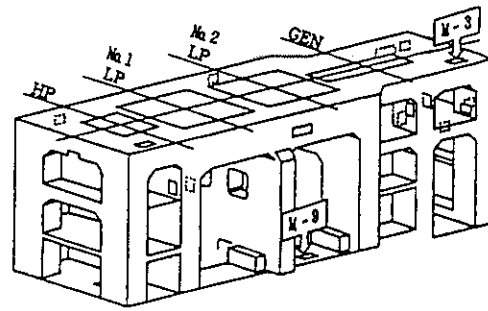


図25 コンクリート内部温度の推移

temp3m9

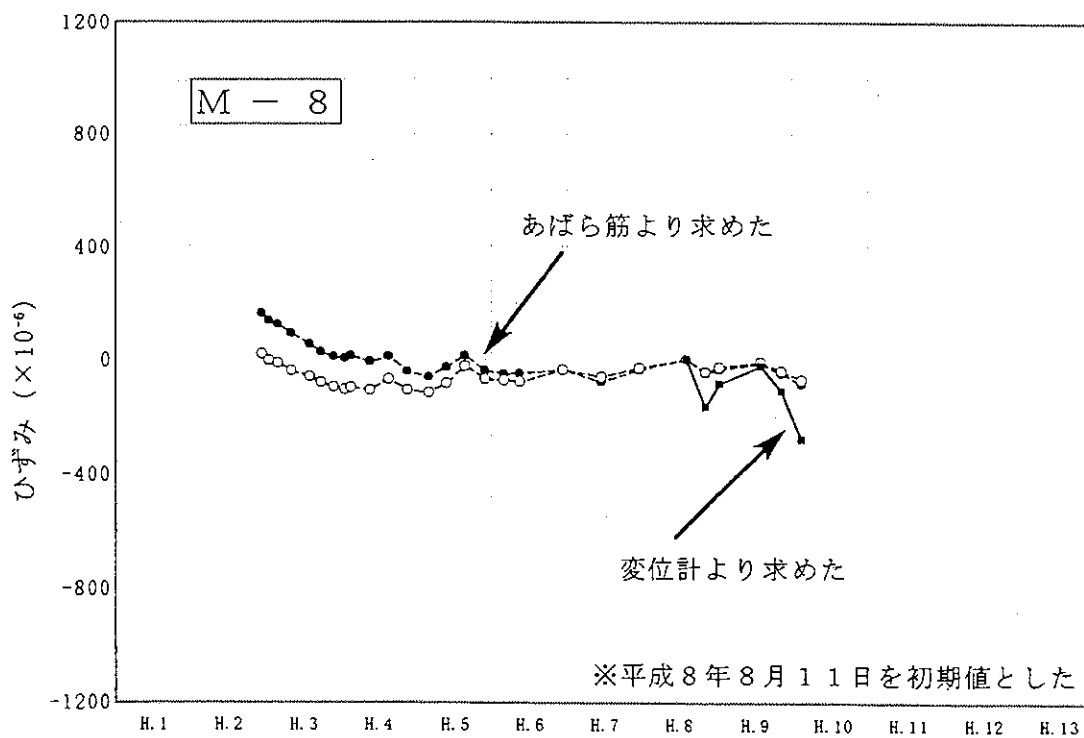
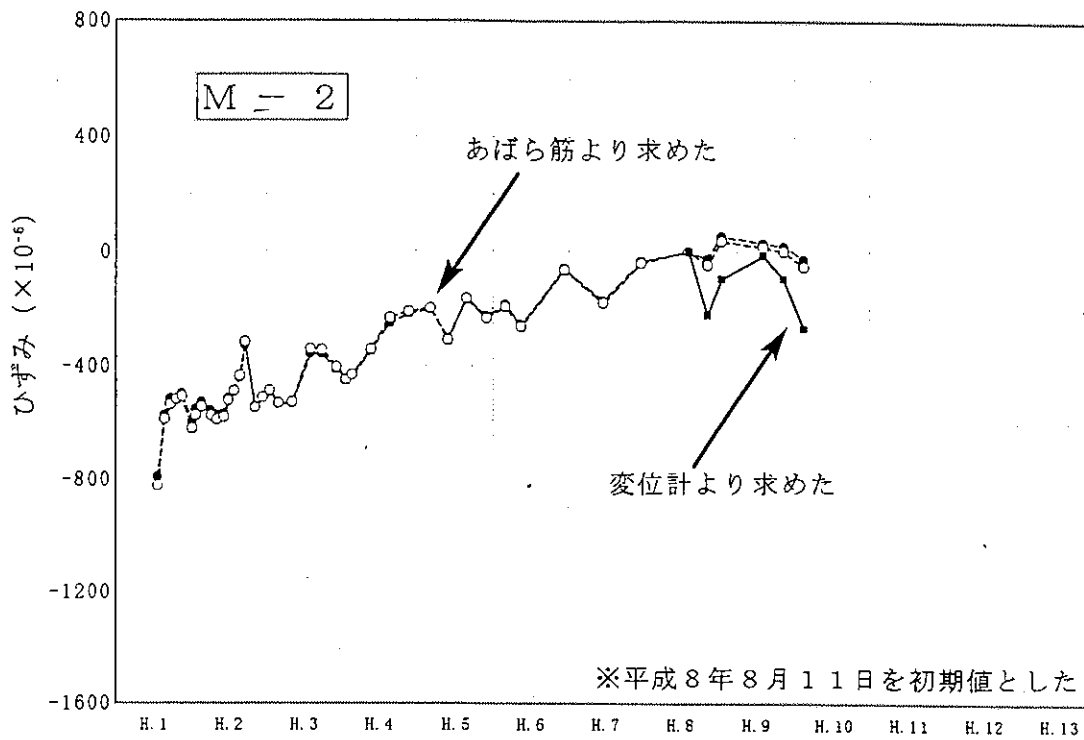
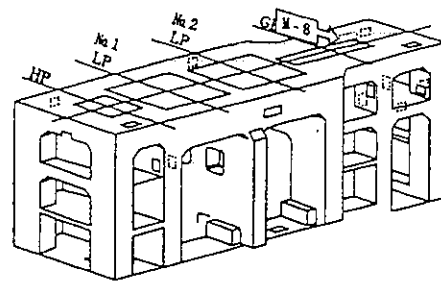
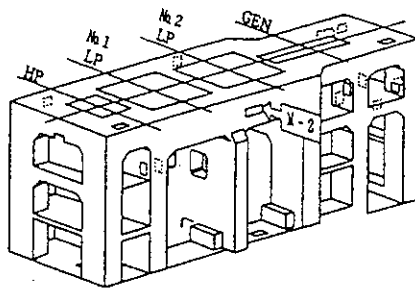
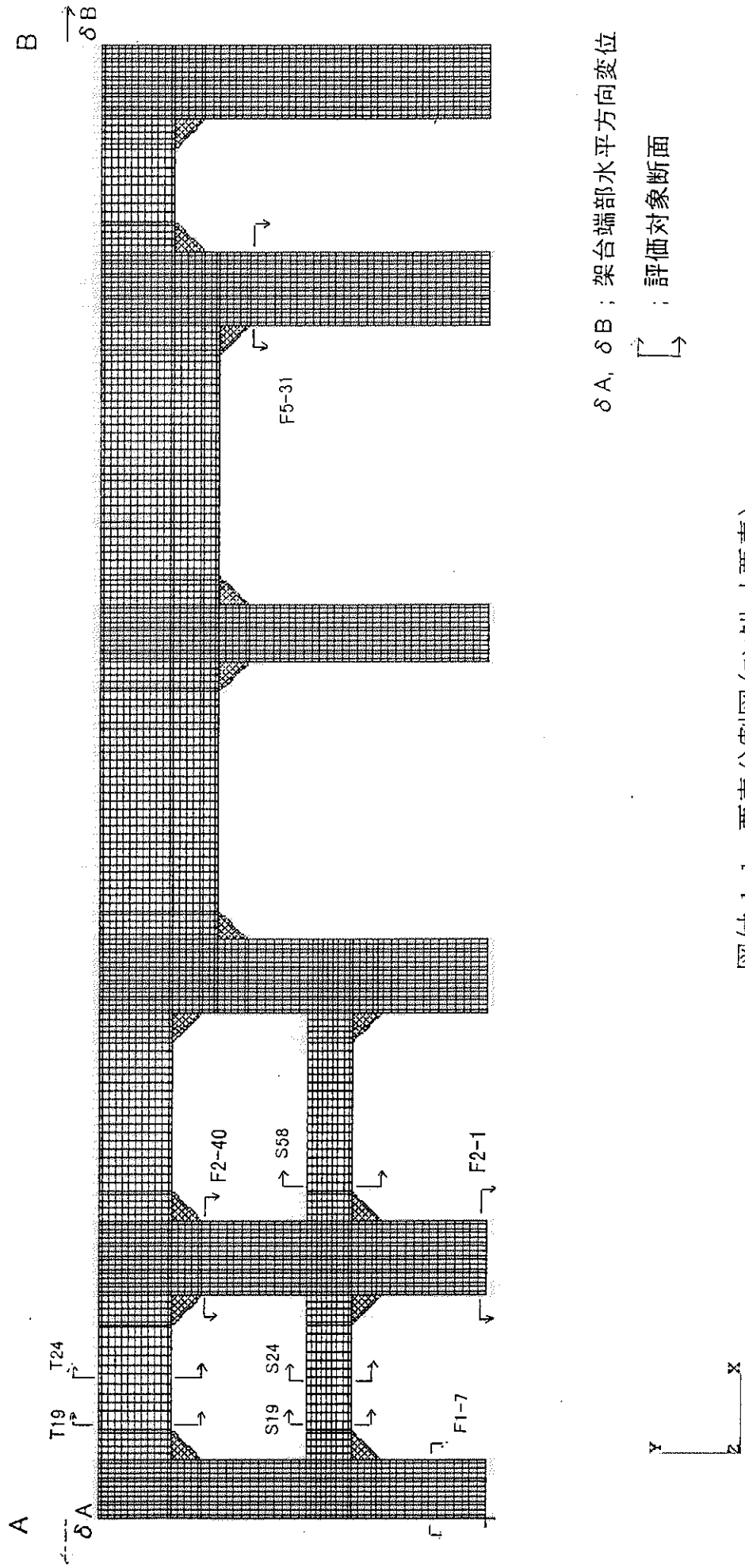


図26 梁成方向ひずみの推移

添付 1

T / G 架台構造の健全性評価解析

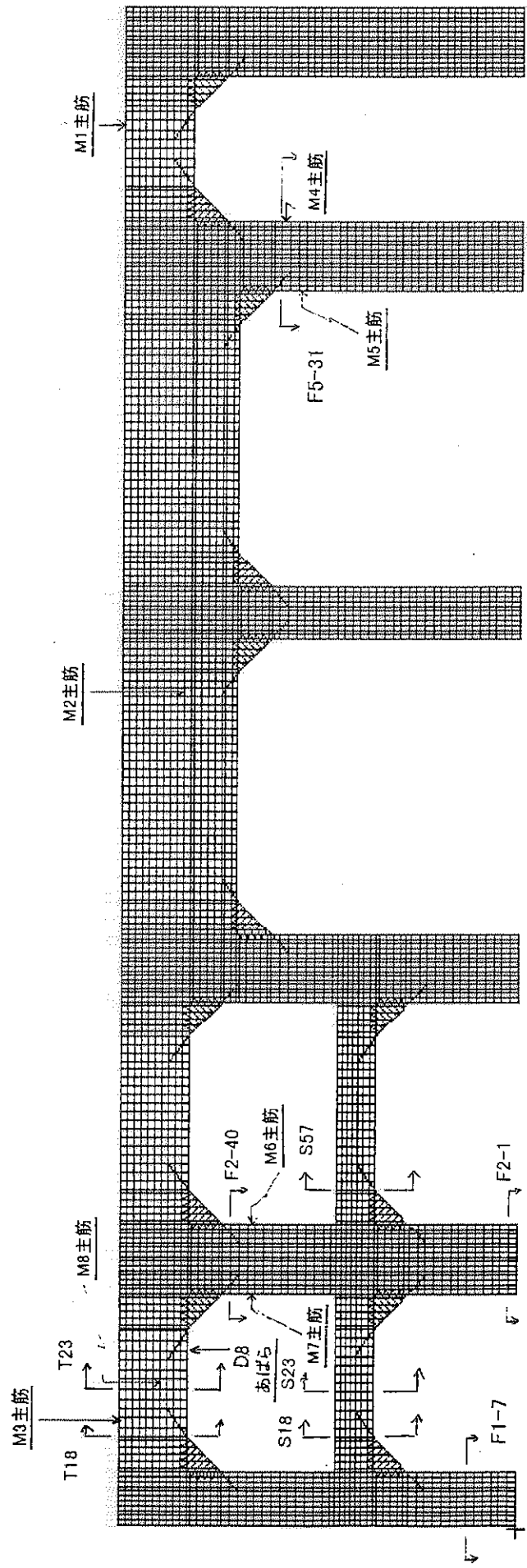
2次元有限要素モデルによる実機挙動解析結果



δA, δB ; 架台端部水平方向変位

┌┐ : 評価対象断面

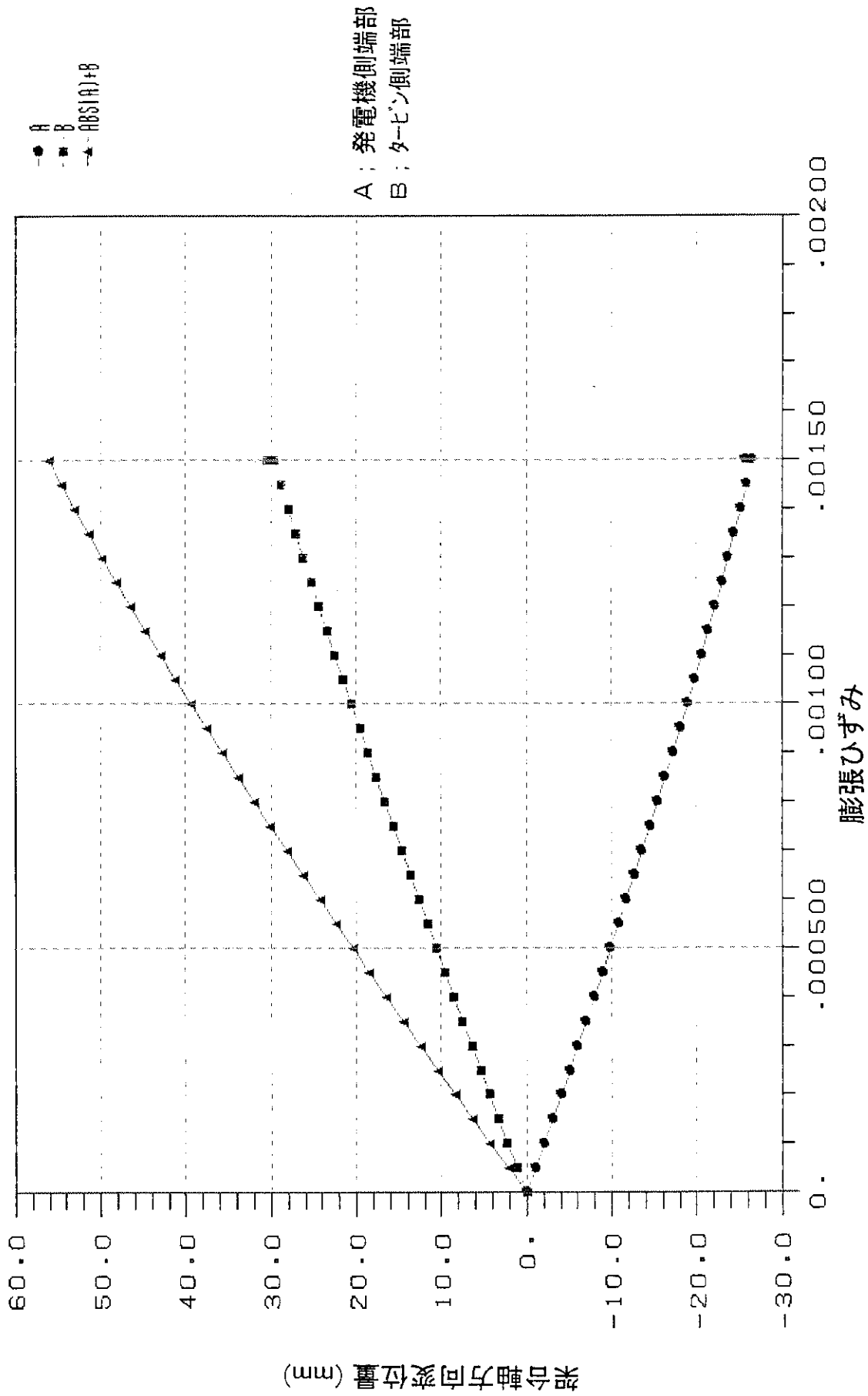
図付 1-1 要素分割図(コンクリート要素)



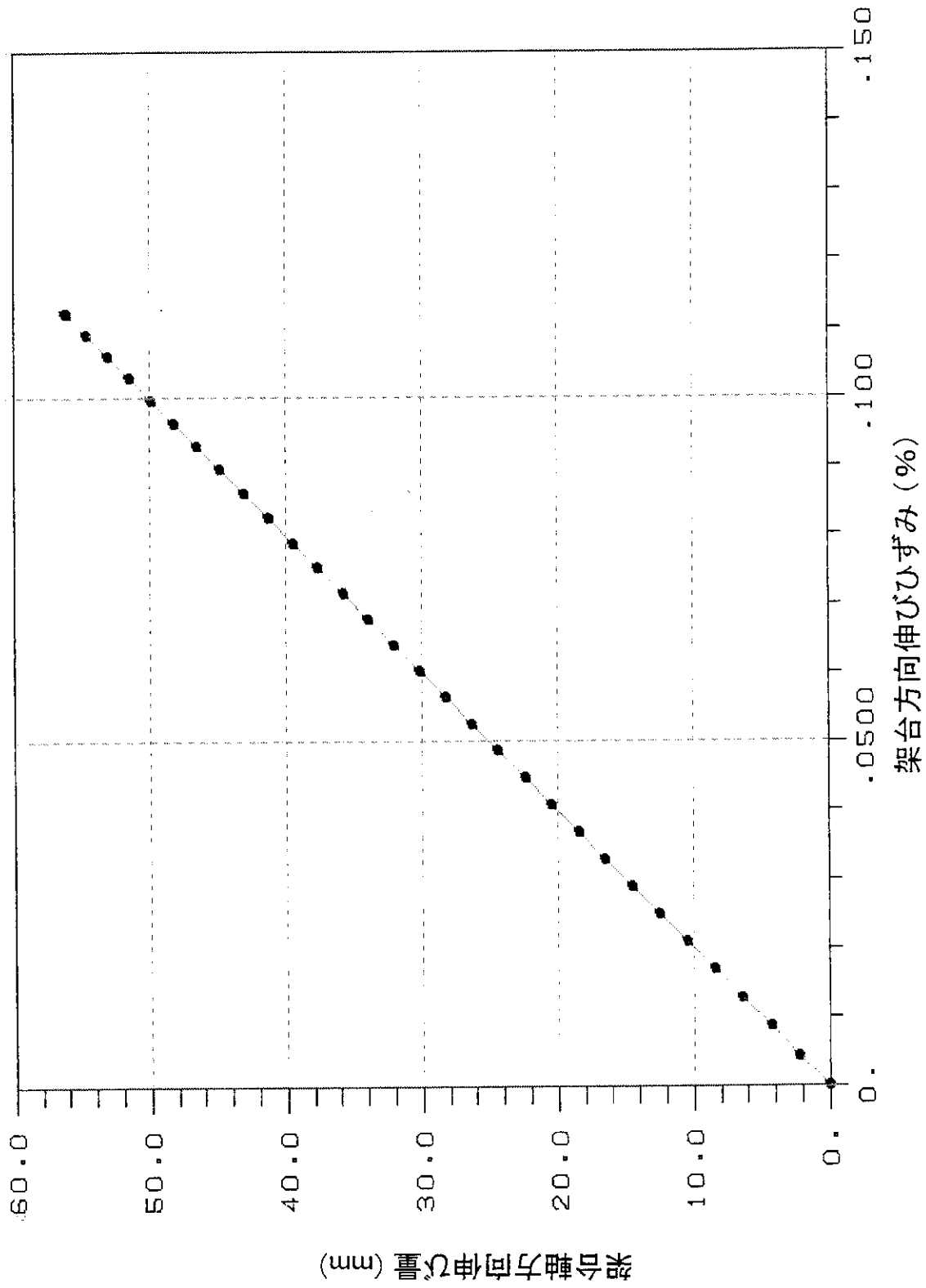
M1 ~ M8, D8 ; 実機計測点

↔ ; 評価対象断面

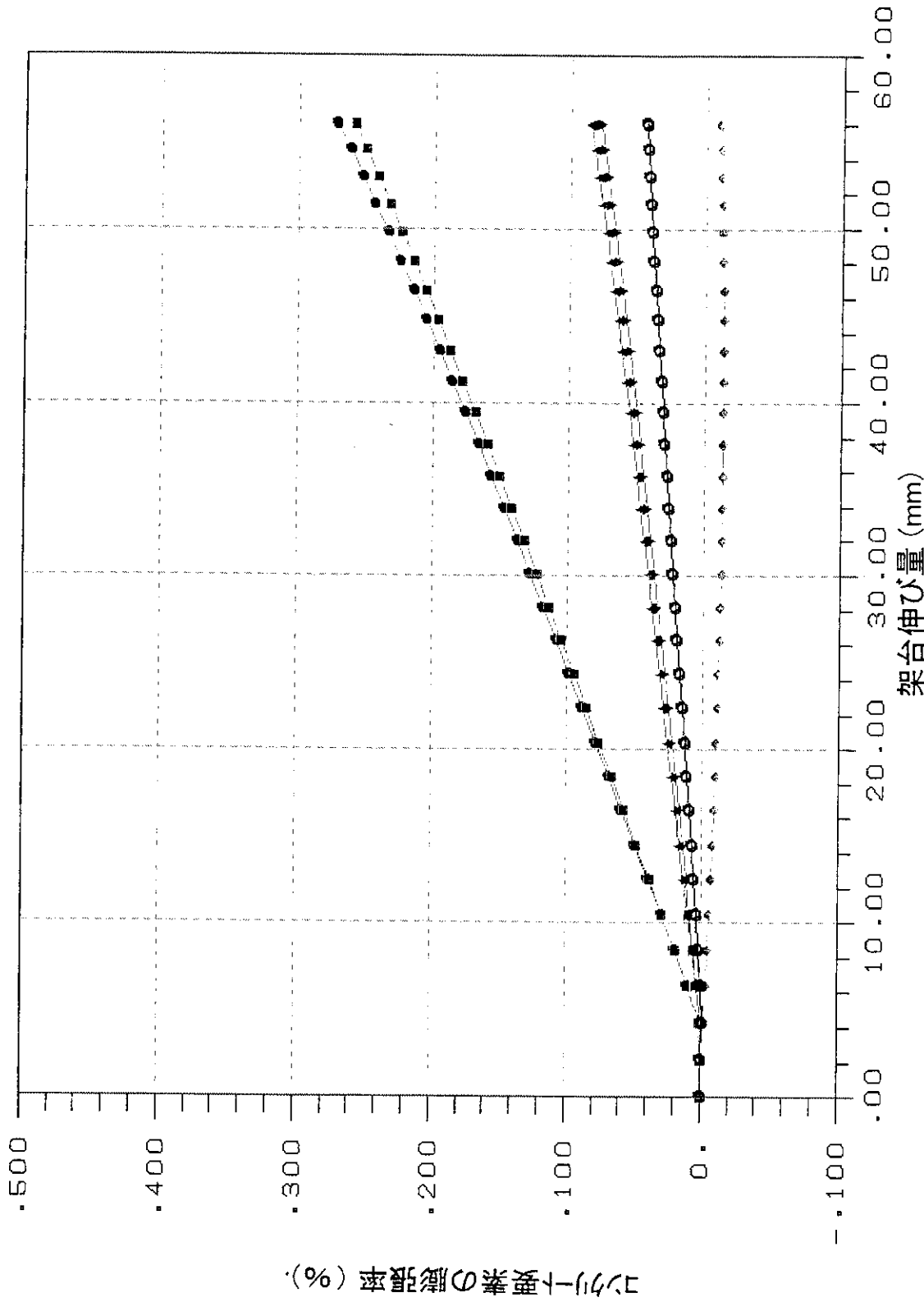
図付 1-2 要素分割図 (鉄筋要素)



図付 1-3 架台トップデッキコンクリートへの付与膨張ひずみと軸方向変位量の関係

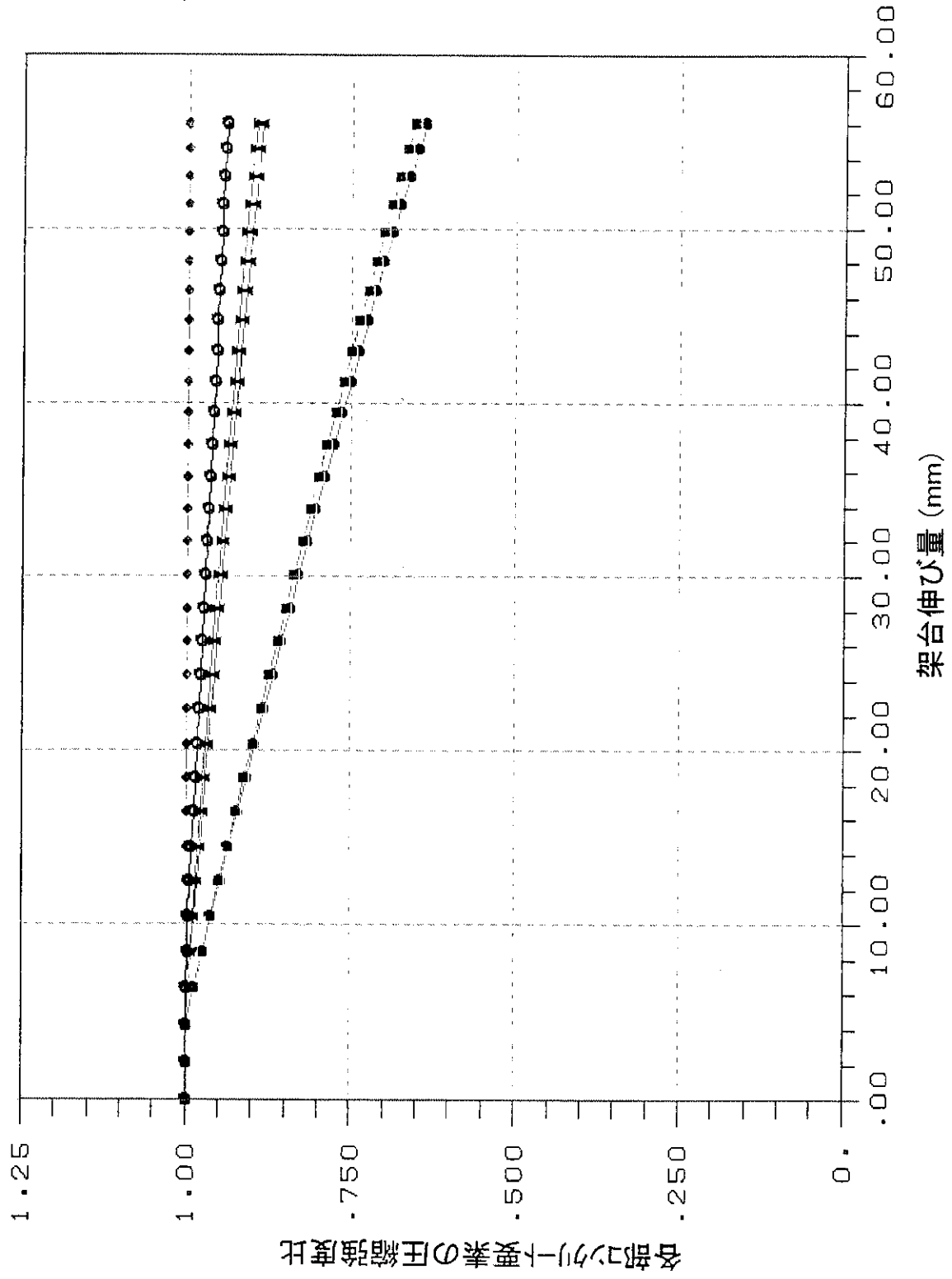


図付 1-4 架台平由方向伸び量と伸びびりとの関係

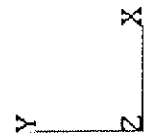
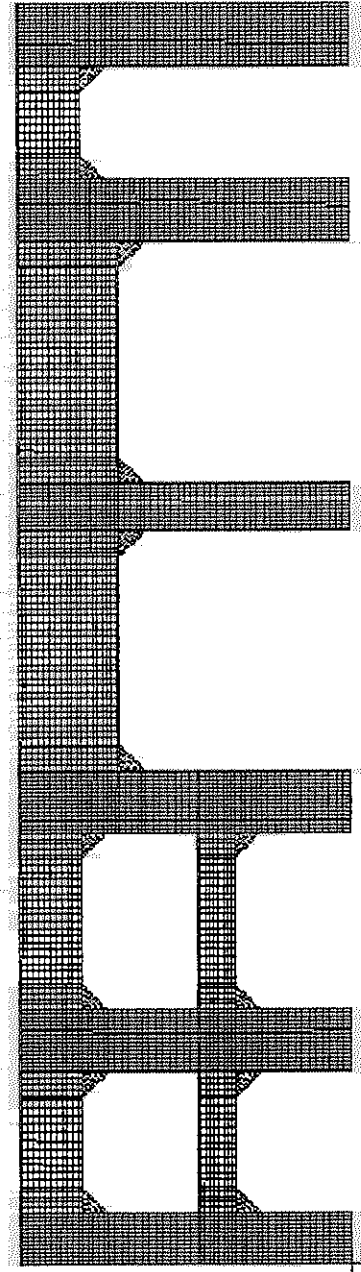


● T24:1126:4 上下
 ■ T24:1049:2 上下
 ▲ S24:888:4 上下
 ▼ S24:792:2 上下
 ◆ F1-7:7:1 発
 ○ F1-7:691:2 タ

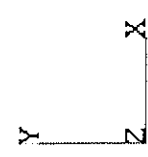
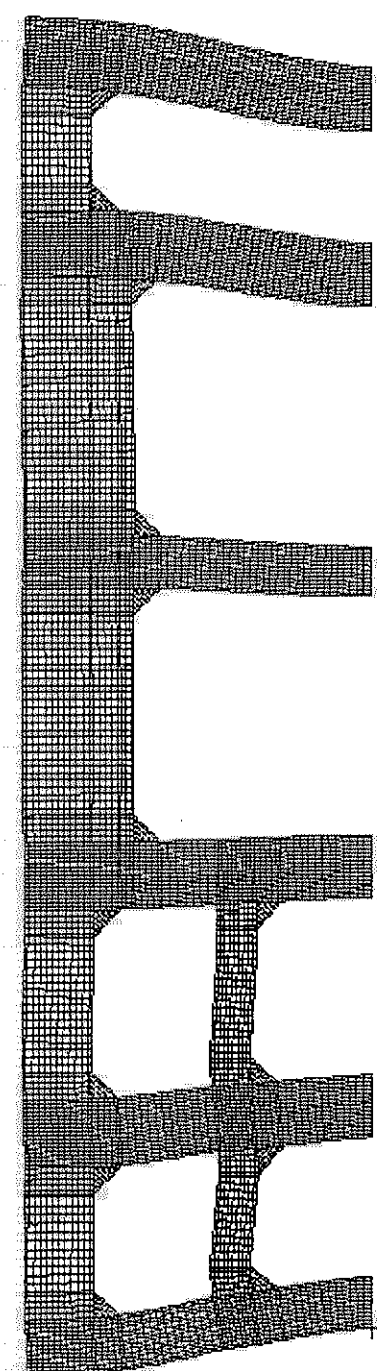
図付 1-5-1 架台軸方向伸び量と各部コンクリート要素の膨張率との関係例



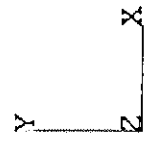
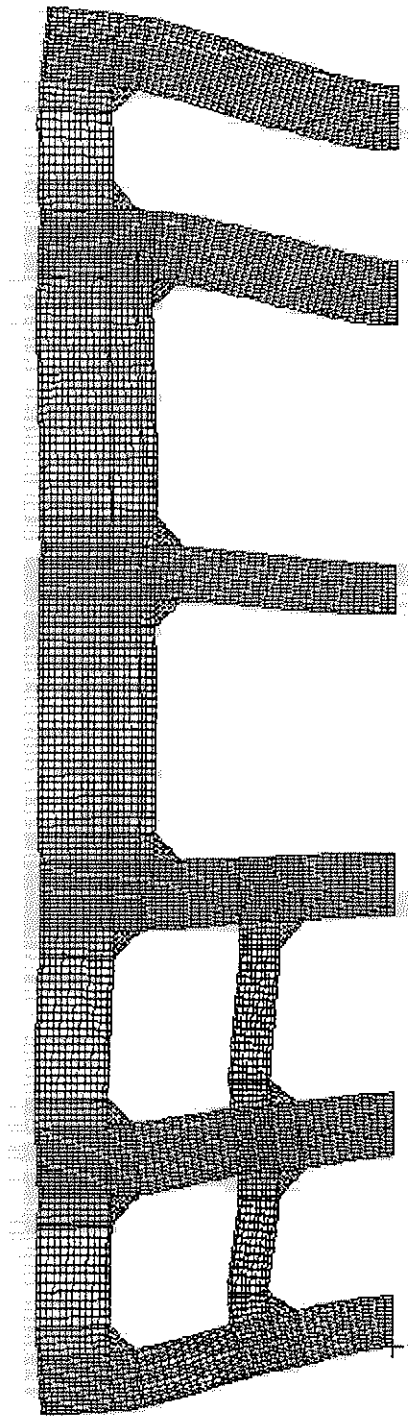
図付 1-5-2 架台軸方向伸び量と各部コンクリート要素の圧縮強度比との関係例



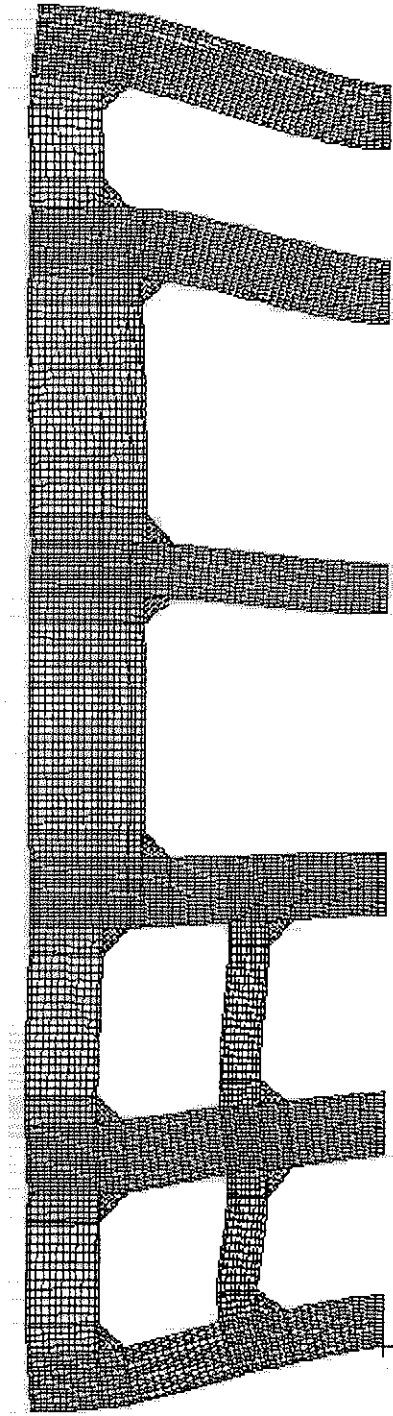
图付 1-6-1 架台变形状况(状态 I)



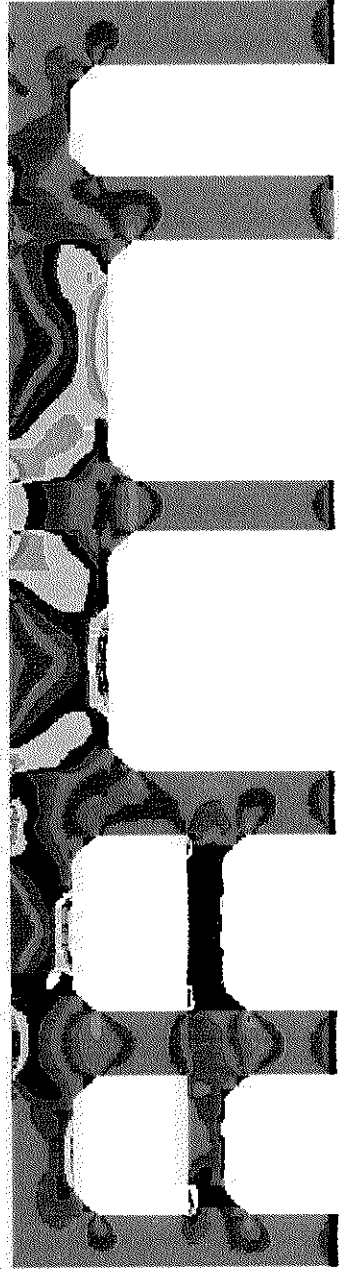
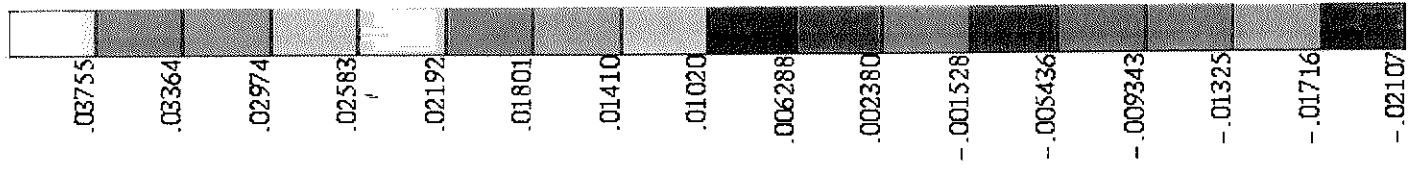
图付 1-6-2 架台变形状况(状态 II)



图付 1-6-3 架台变形状况(状态Ⅲ)

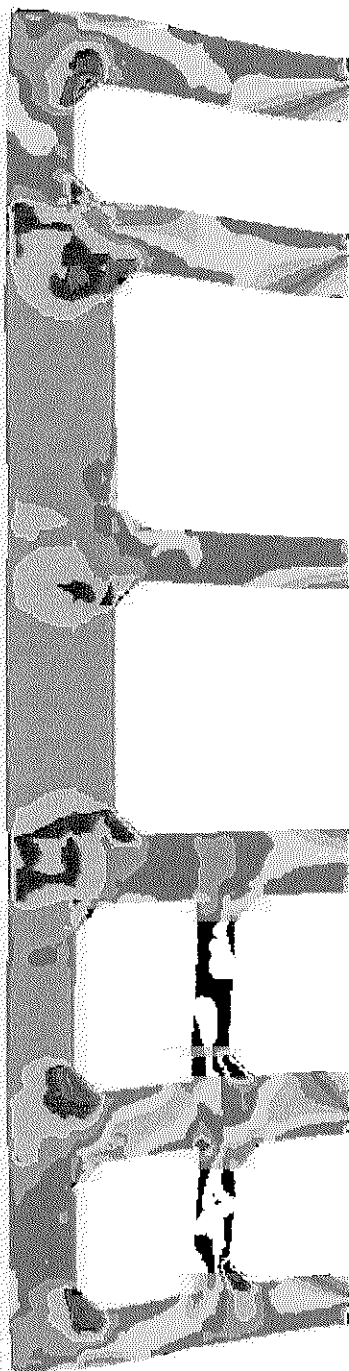
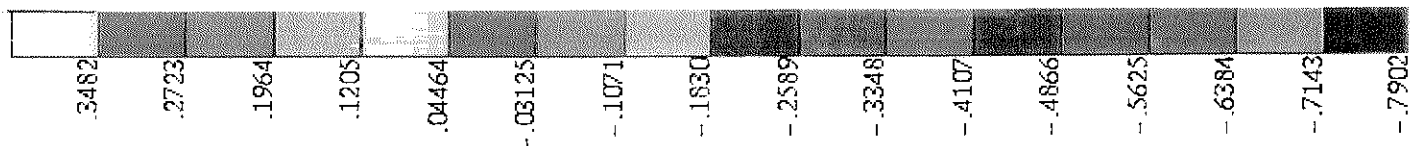


图付 1-6-4 架台变形状况 (状态IV)



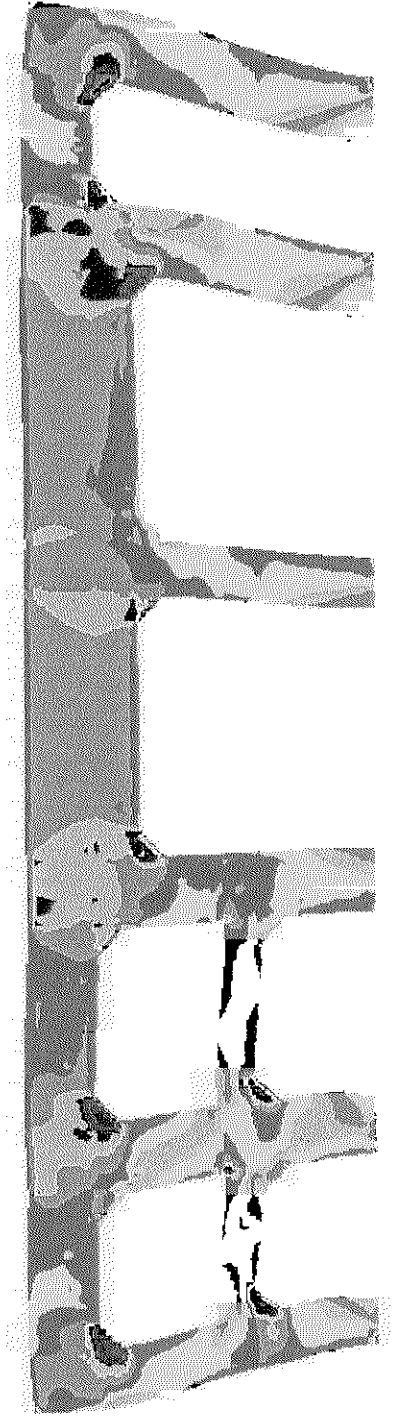
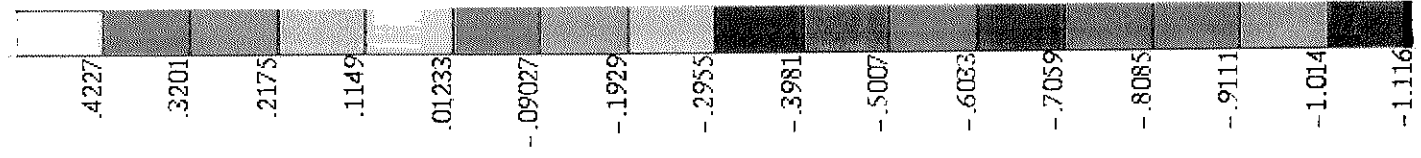
Y
Z — X

図付 1-7-1 架台コンクリートの最大主応力分布(状態 I)



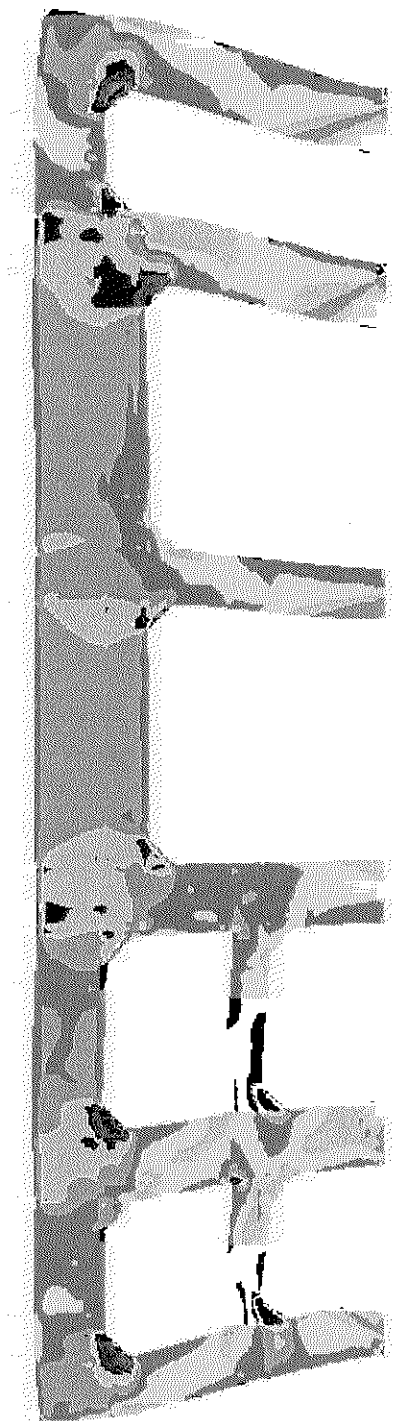
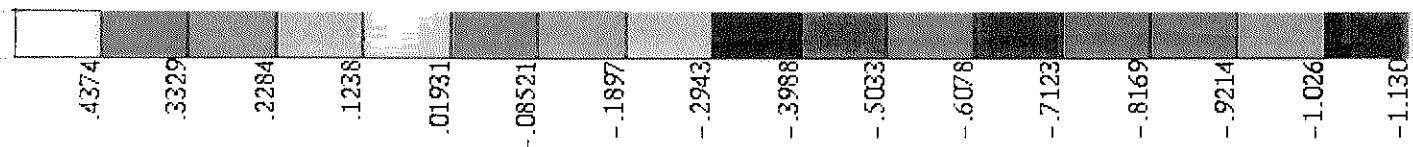
Y
Z X

図付 1-7-2 架台コンクリートの最大主応力分布(状態Ⅱ)



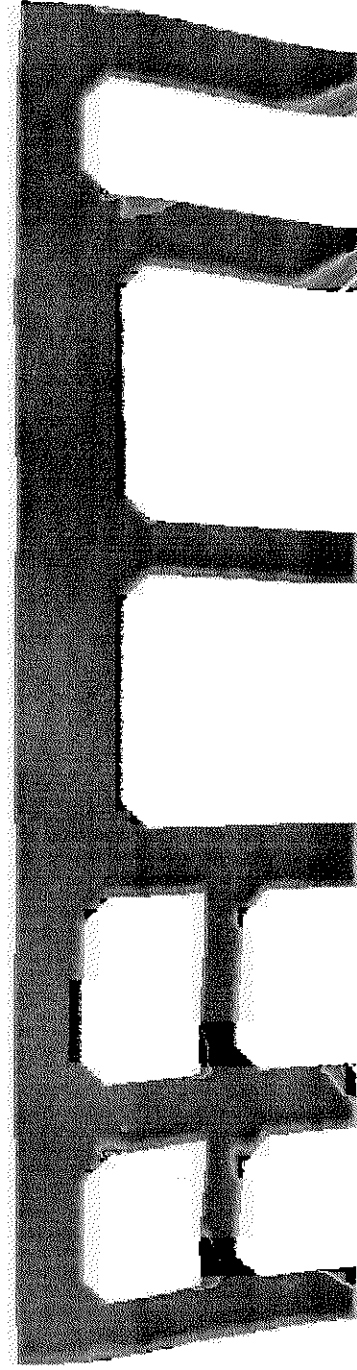
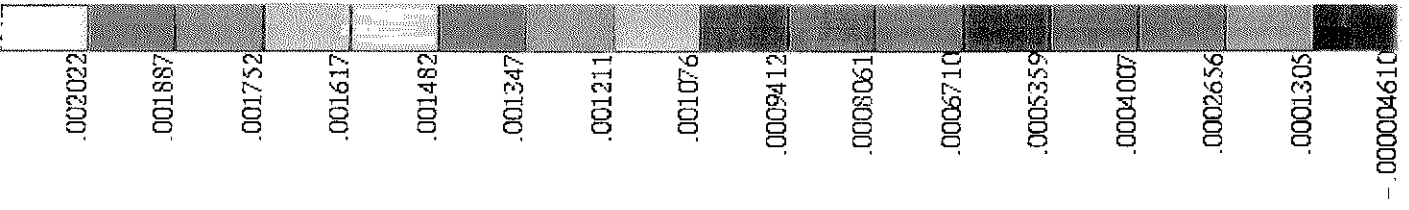
Y
Z X

図付 1-7-3 架台コンクリートの最大主応力分布(状態Ⅲ)



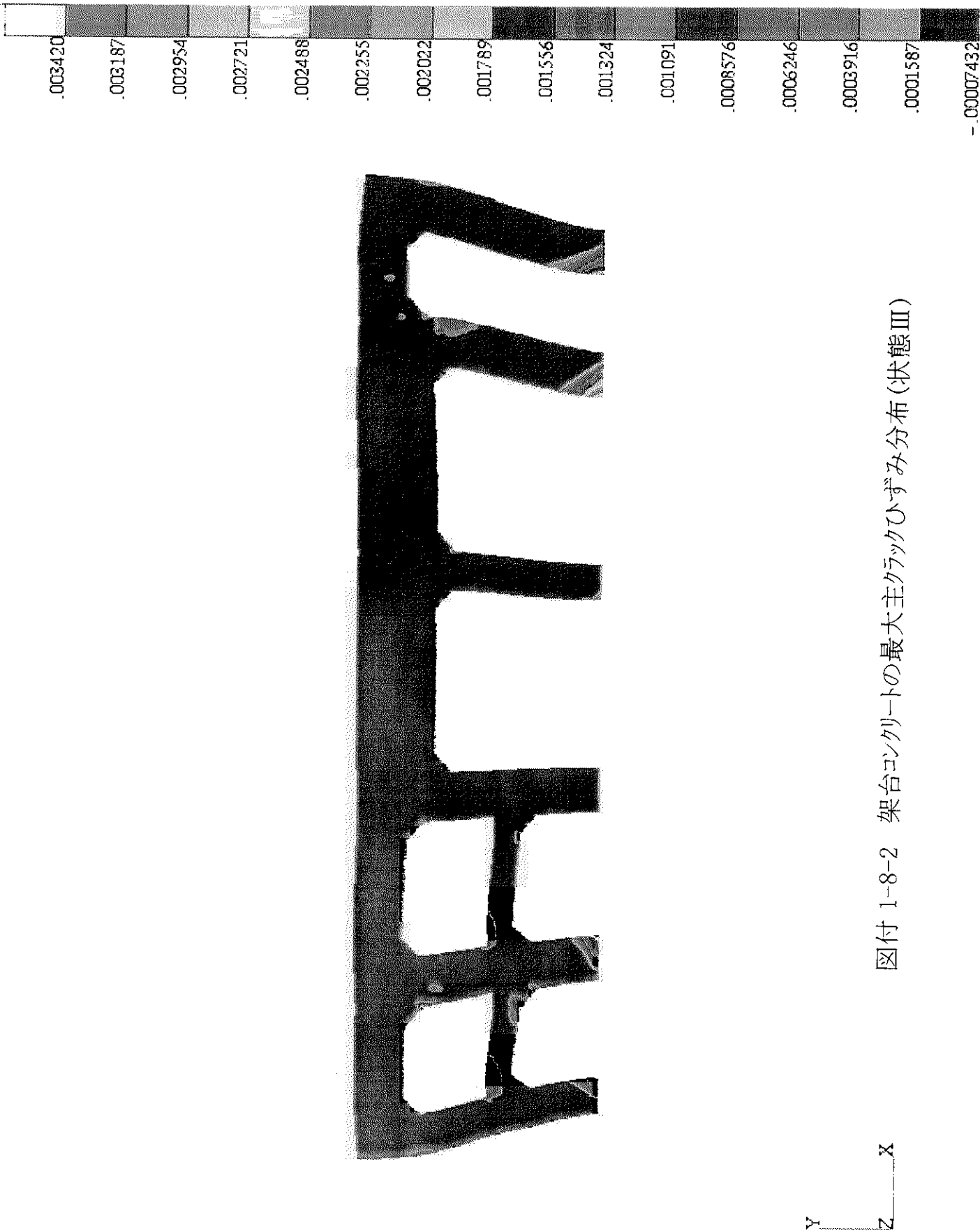
Y
Z X

図付 1-7-4 架台コンクリートの最大主応力分布(状態IV)

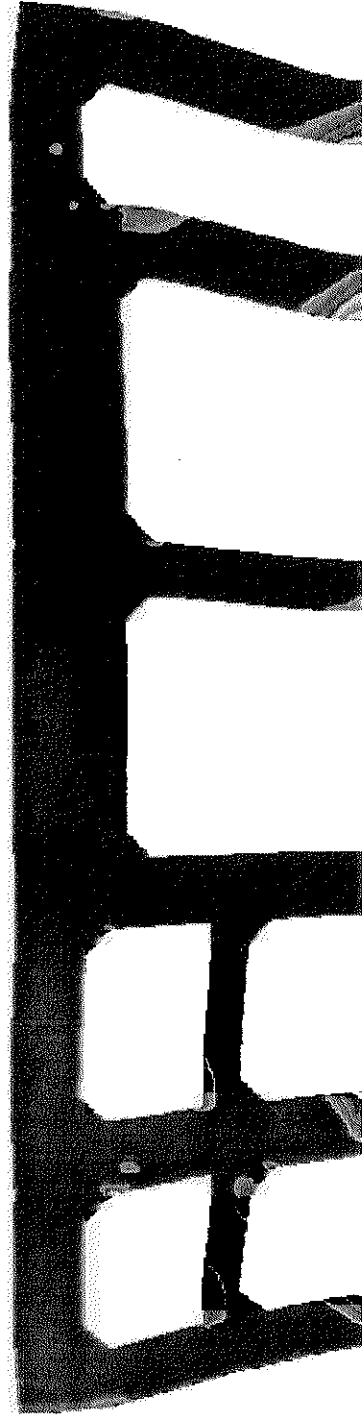
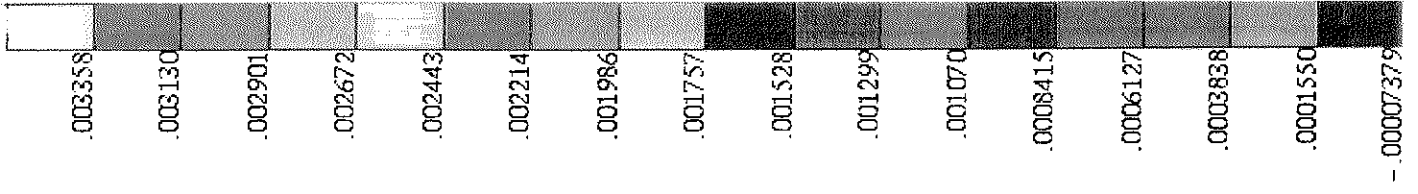


Y
Z — X

図付 1-8-1 架台コンクリートの最大主クラックひびきみ分布 (状態II)



図付 1-8-2 架台コンクリートの最大主クランクひずみ分布 (状態Ⅲ)

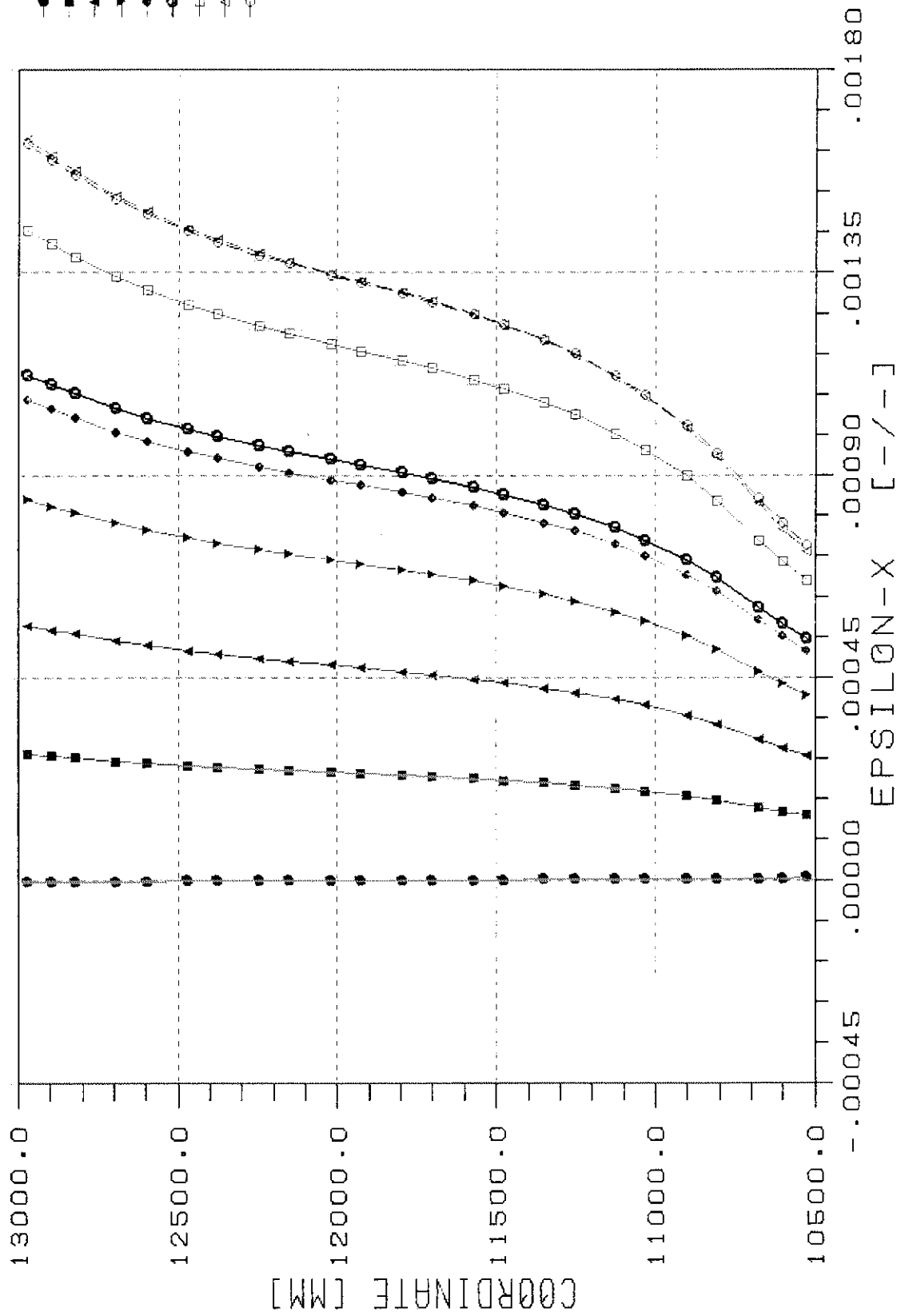


Y
Z X

図付 1-8-3 架台コンクリートの最大主クラックひびきみ分布 (状態IV)

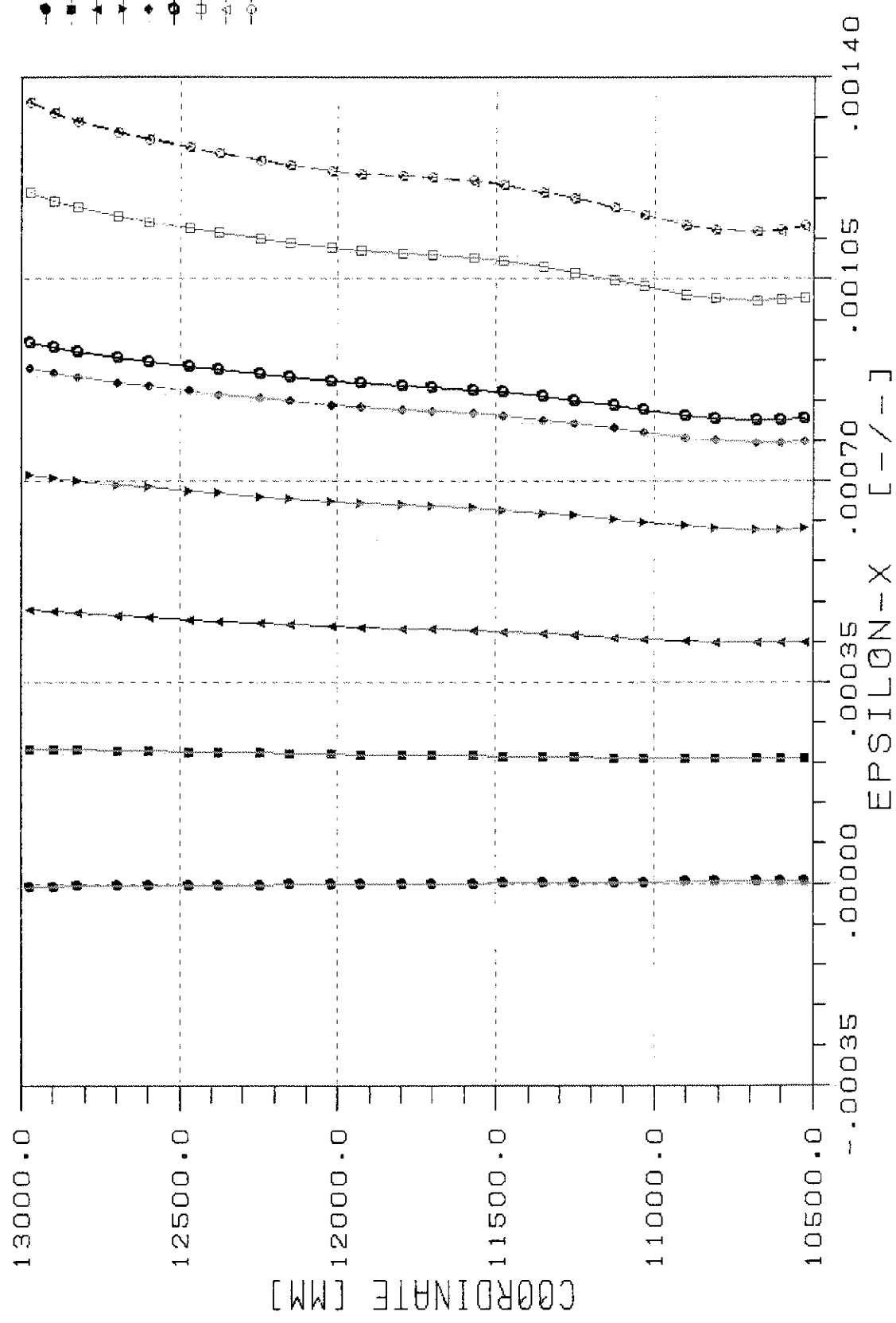
状態

- (MC00) I
- (MC05)
- ▲ (MC10)
- ▼ (MC15)
- ◆ (MC19) II
- (MC20)
- (MC26)
- △ (MC30) III
- ◇ (MC31) IV



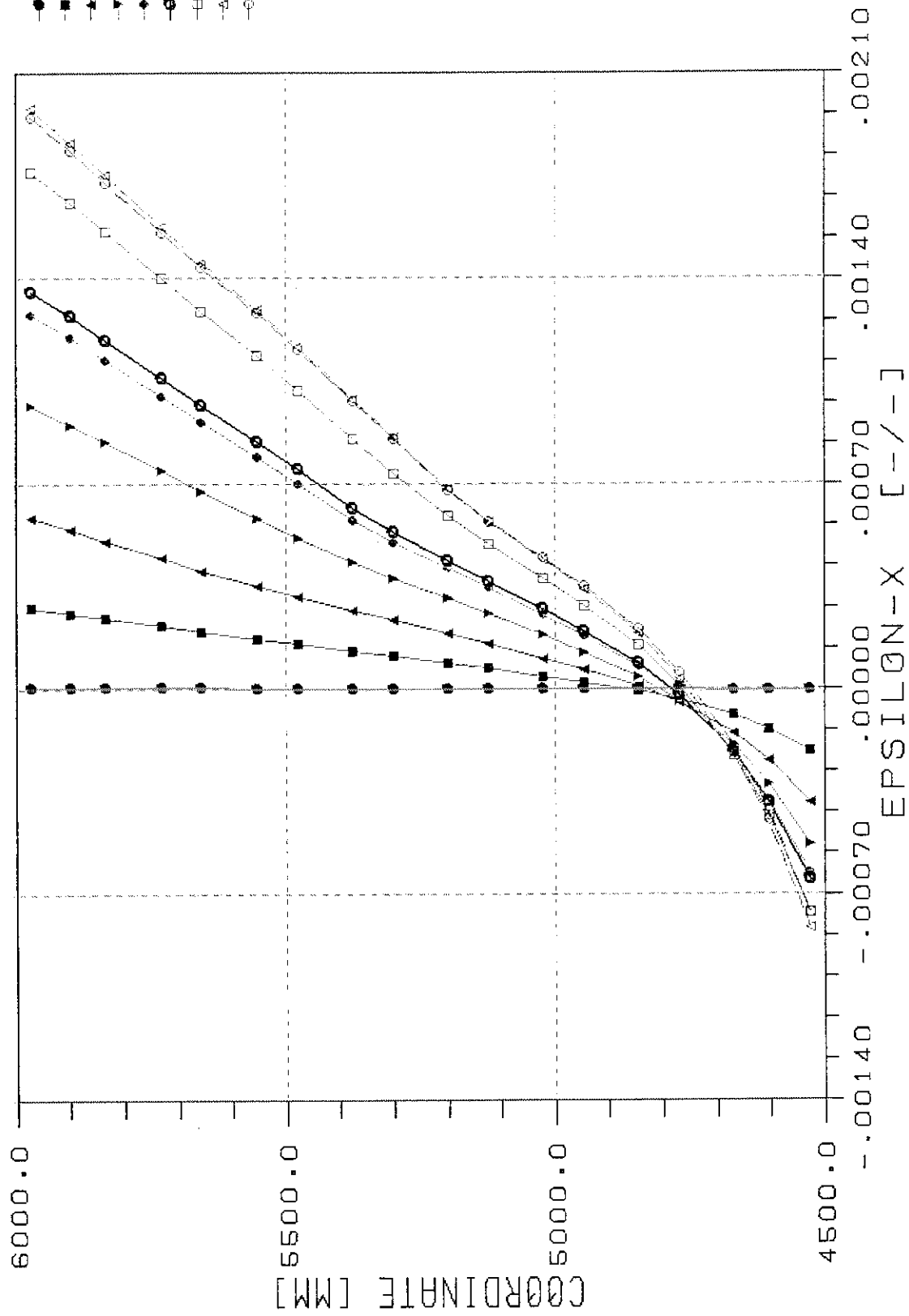
図付 1-9-1 コンクリートのひずみ分布推移(断面 T-19)

状態
 I
 [NC00] ●
 [NC05] ■
 [NC10] ▲
 [NC15] ▼
 II
 [NC19] ◆
 [NC20] ○
 III
 [NC26] □
 [NC30] △
 IV
 [NC31] ⊖



図付 1-9-2 図付 1-9-2 コンクリートのひずみ分布推移 (断面 T-24)

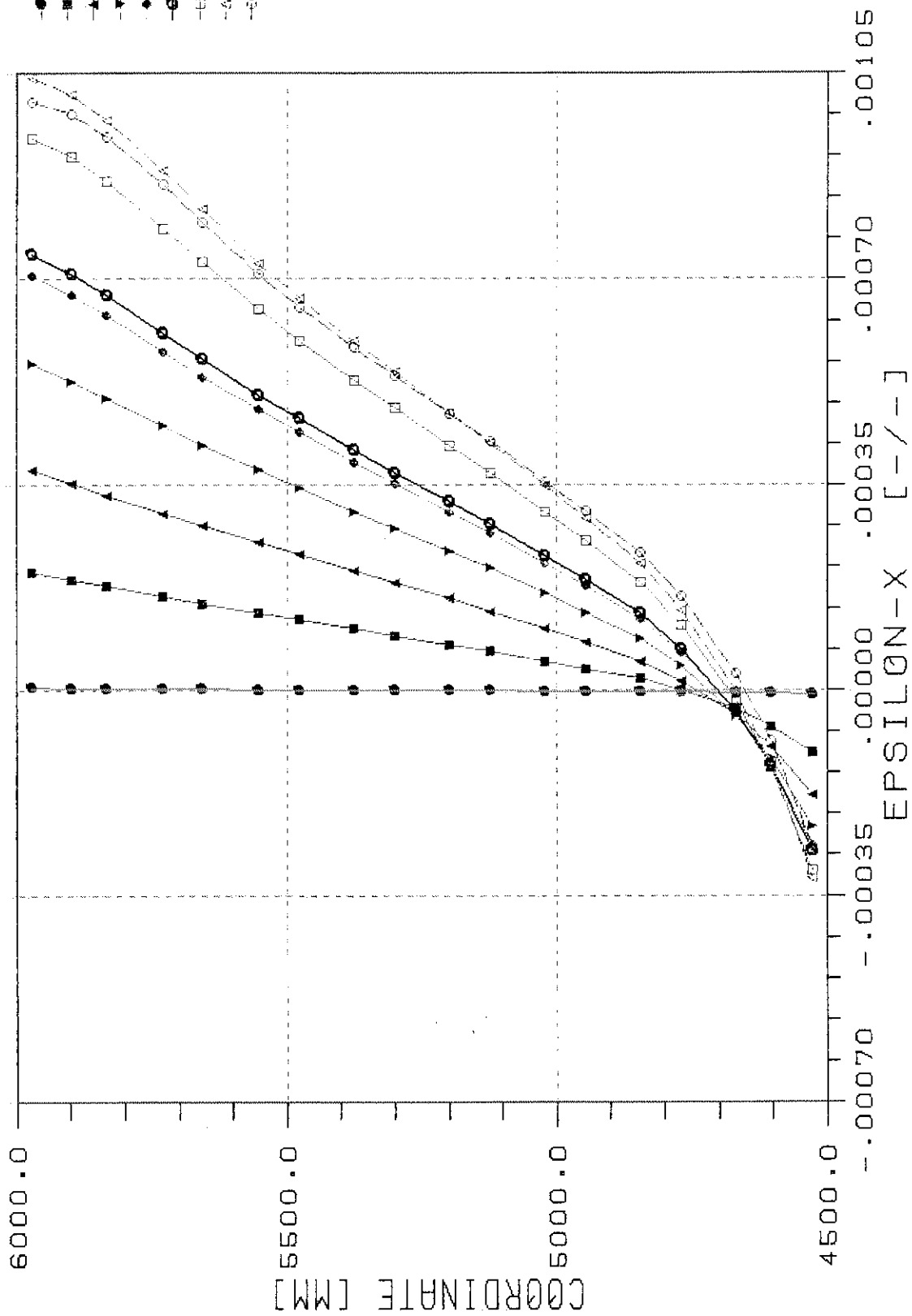
状態
 I
 (NC00) ● (NC05) ■ (NC10) ▲ (NC15) ▼
 II (NC19) ◆ (NC20) ⊙ (NC26) □ (NC30) △ (NC31) ○



図付 1-9-3 コンクリートのひずみ分布推移(断面 S-19)

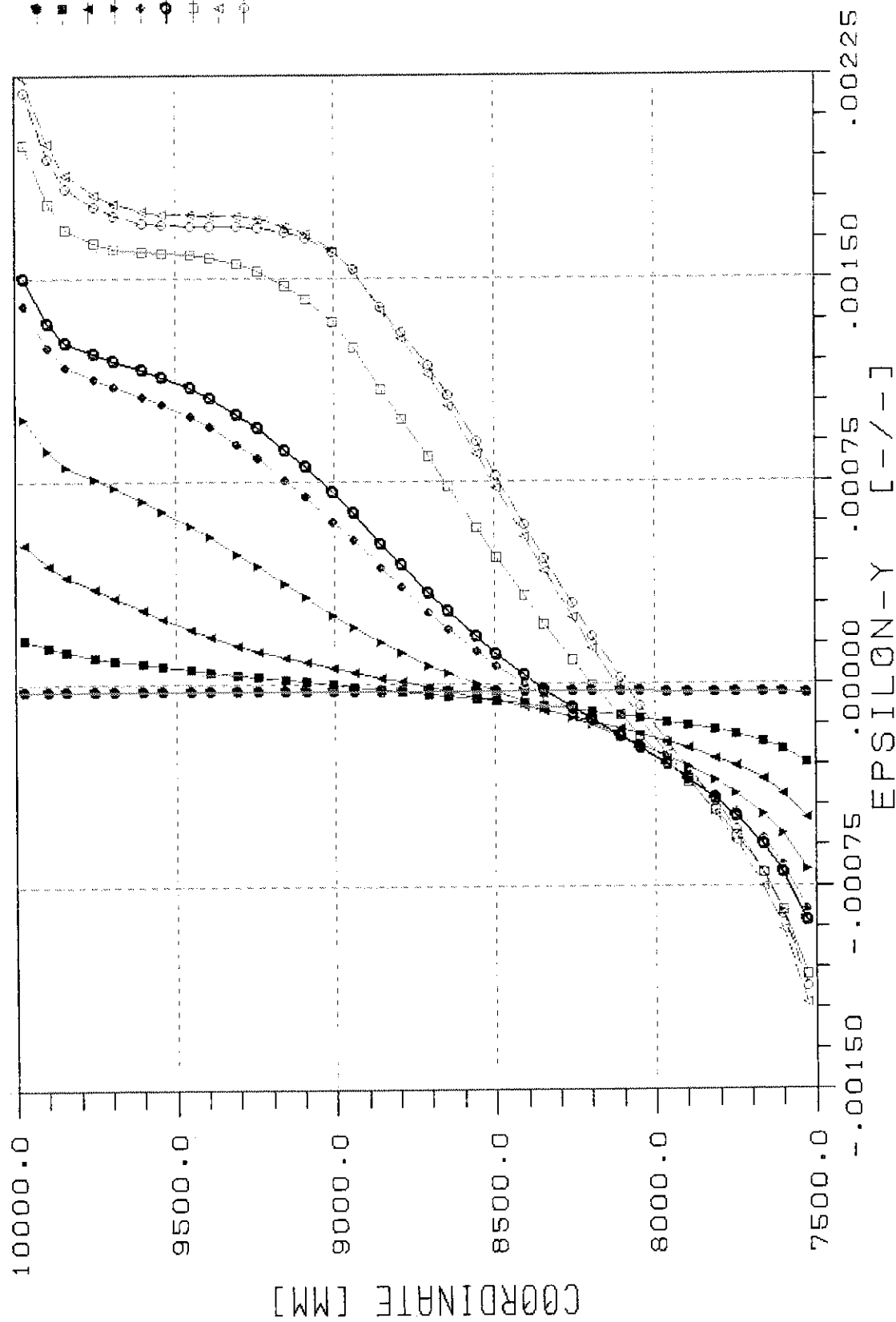
状態

- I NC00
- I NC05
- ▲ I NC10
- ▼ I NC15
- ◆ I NC19
- II NC20
- II NC26
- △ III NC30
- ◇ IV NC31



図付 1-9-4 コンクリートのひずみ分布推移 (断面 S-58)

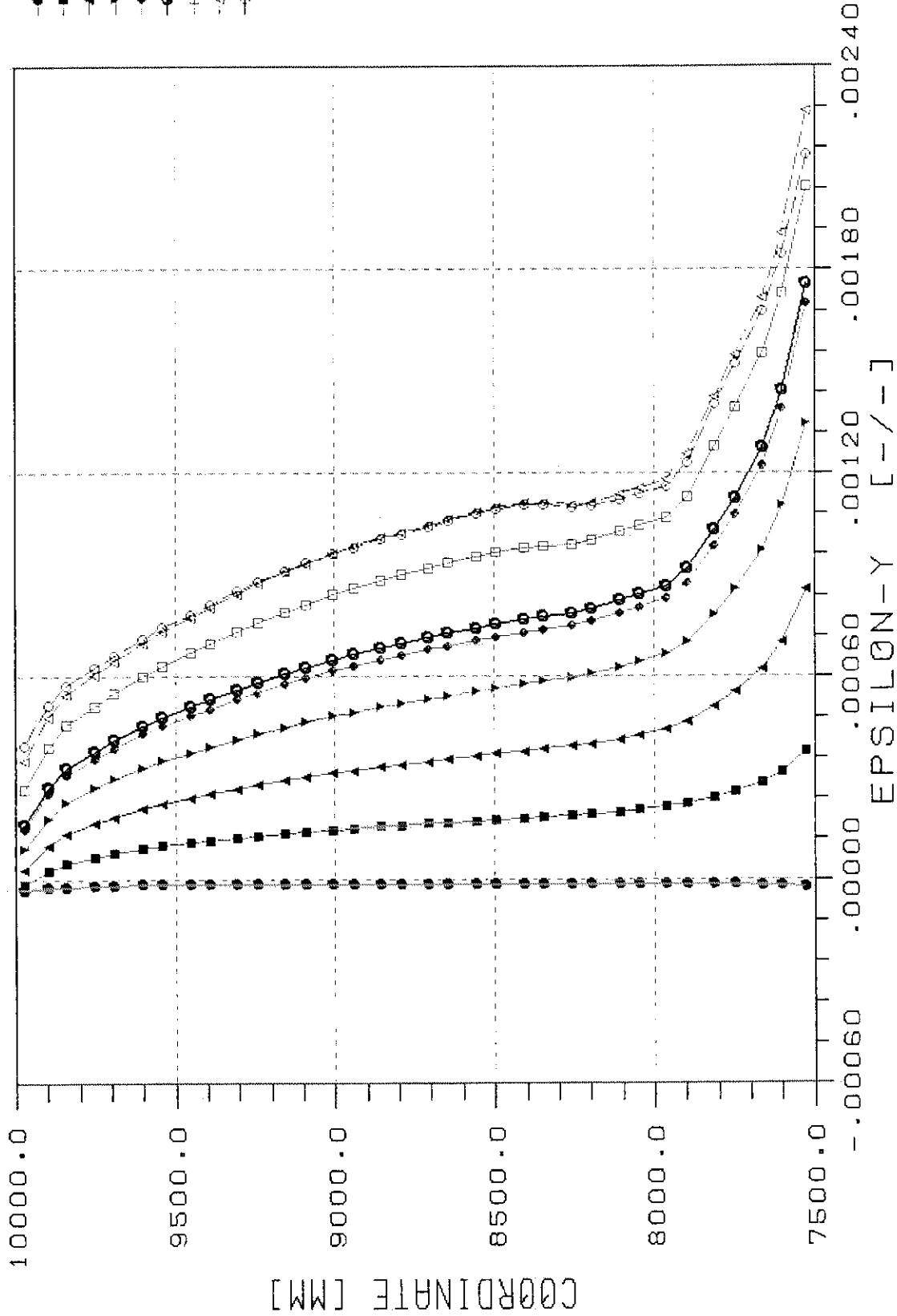
状態
 I
 ● (NC00) ■ (NC05)
 ▲ (NC10) ▼ (NC15)
 ◆ (NC19) ○ (NC20)
 II
 □ (NC26) △ (NC30)
 III
 ○ (NC31)
 IV



図付 1-9-5 エンクリートのひずみ分布推移(断面 F2-1)

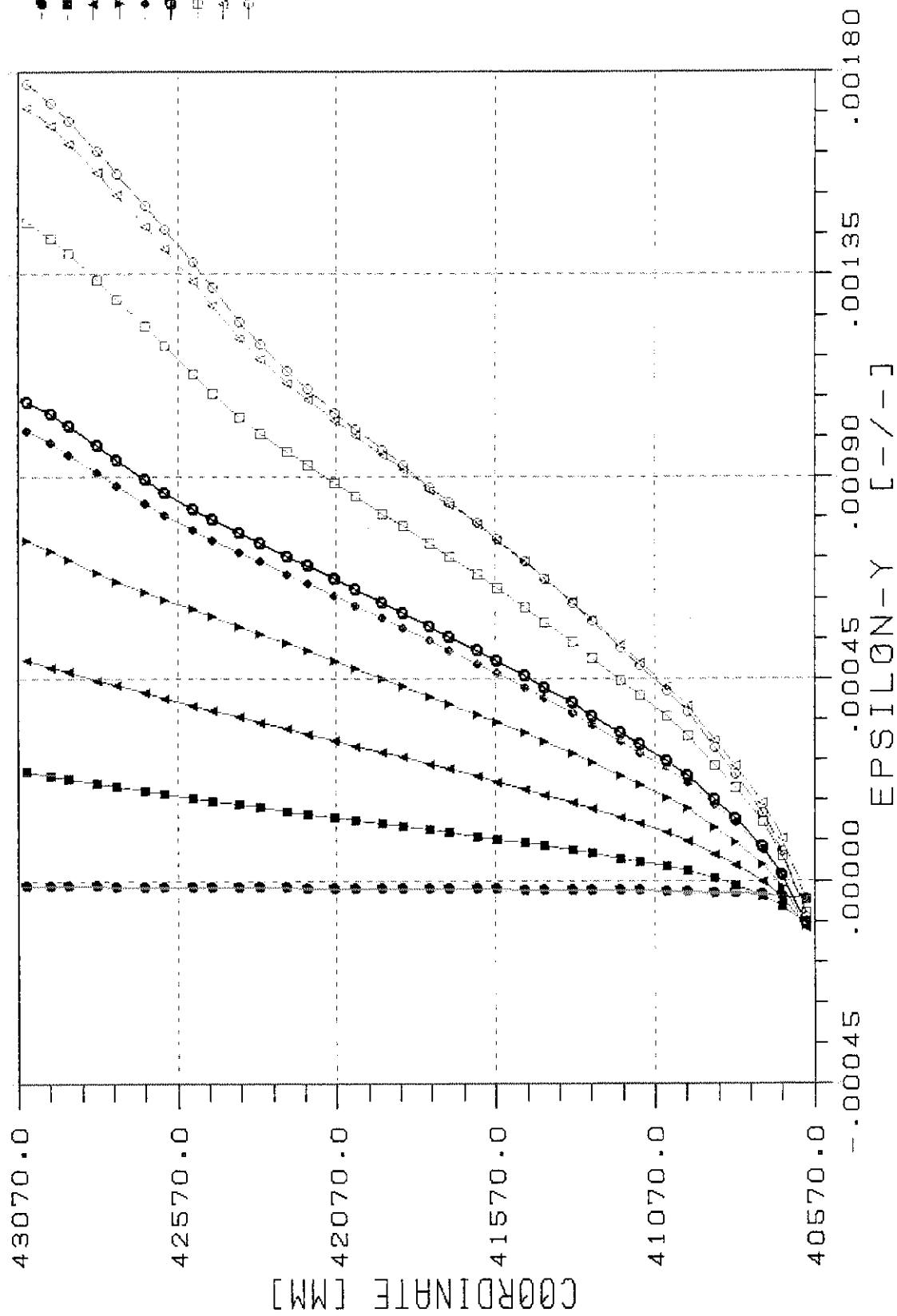
状態

- I
- (NC00 ●)
- (NC05 ■)
- (NC10 ▲)
- (NC15 ▼)
- (NC19 ◆)
- (NC20 ⊙)
- II
- (NC26 +)
- (NC30 △)
- (NC31 ⊖)
- III
- IV



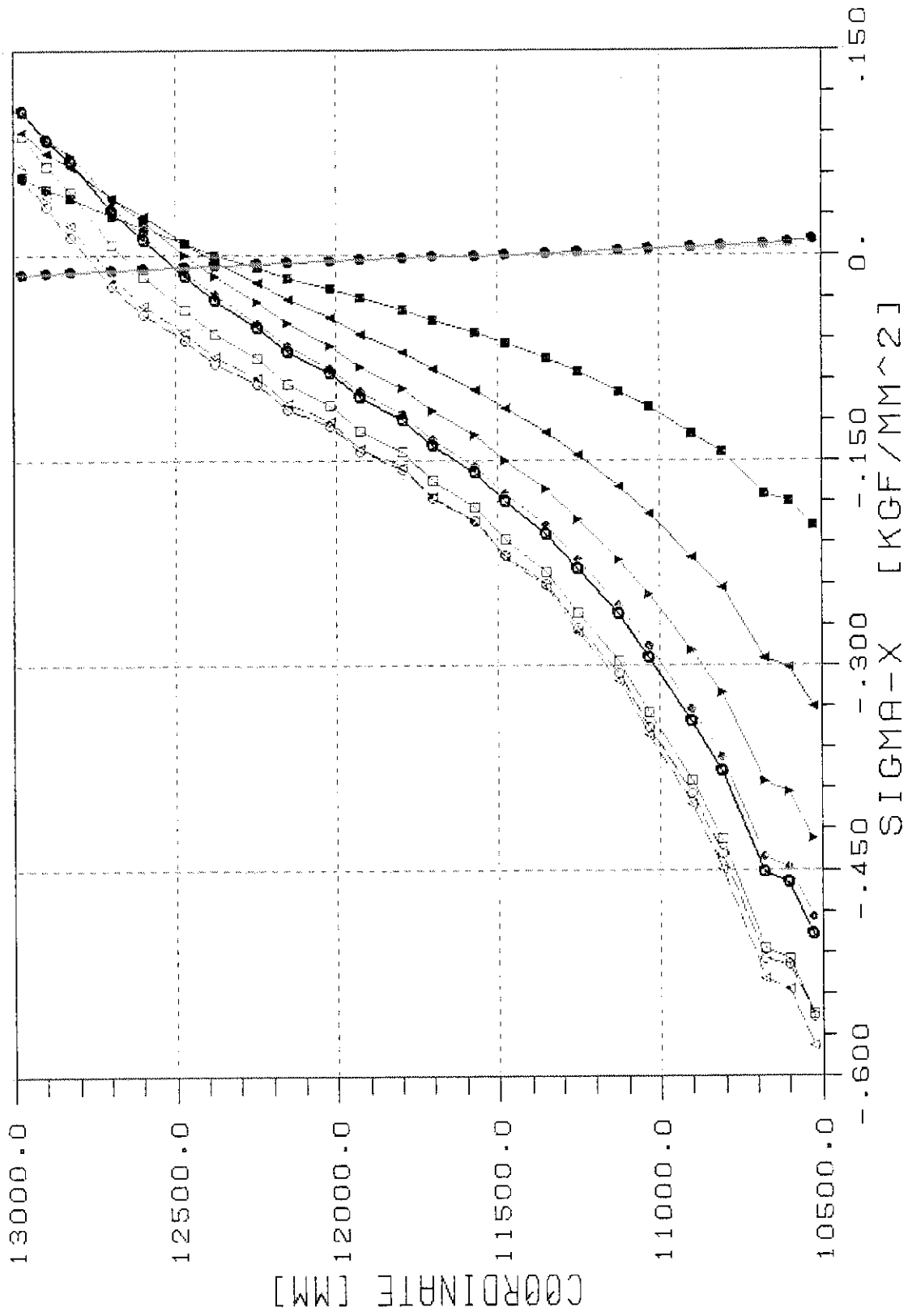
図付 1-9-6 コンクリートのひずみ分布推移(断面 F2-40)

状態 I
 I NC00
 I NC05
 I NC10
 I NC15
 II NC19
 II NC20
 III NC26
 III NC30
 IV NC31

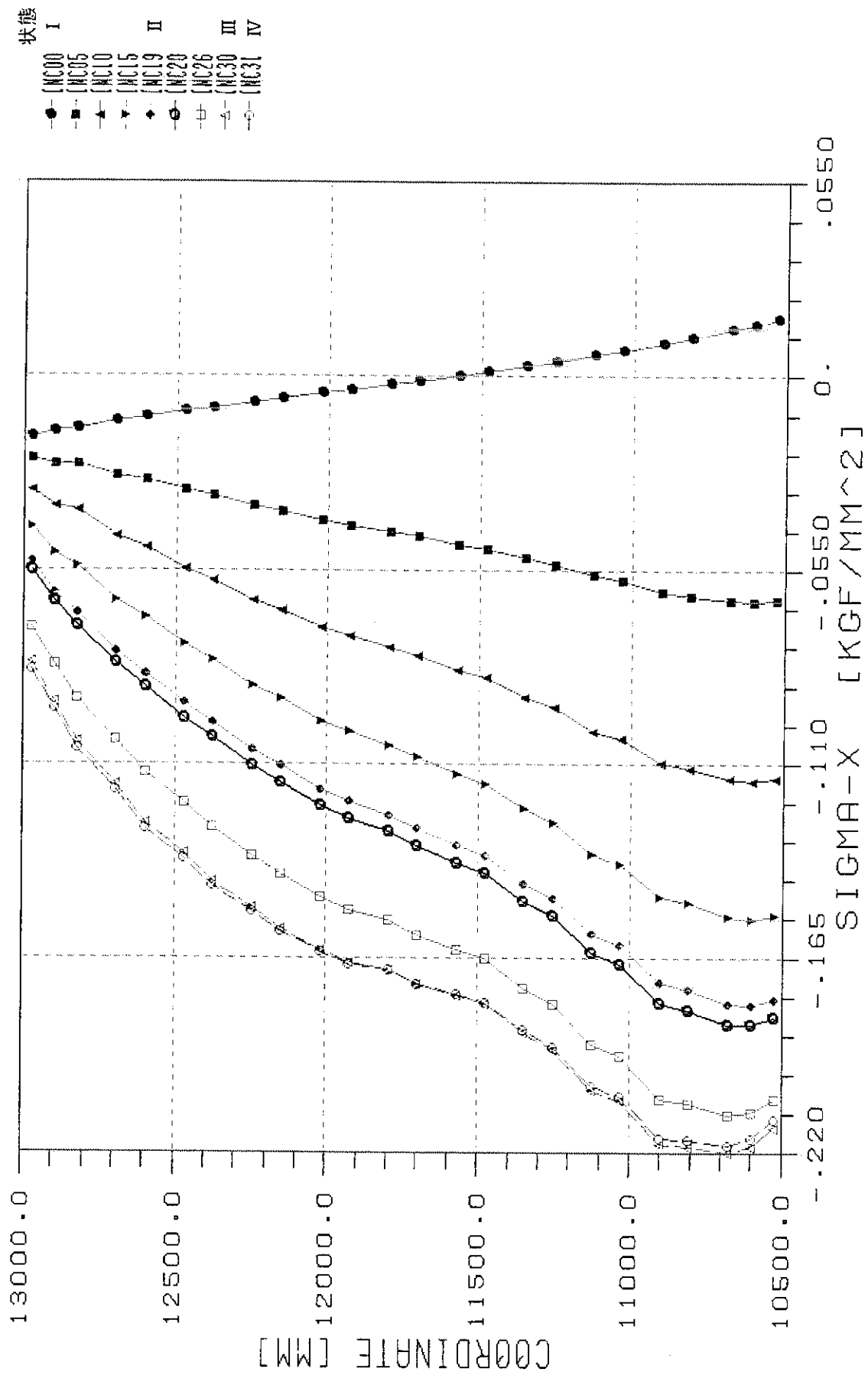


図付 1-9-7 コンクリートのひずみ分布推移 (断面 F5-31)

- 状態
- | | | |
|-----|---|------|
| I | ● | NC00 |
| | ■ | NC05 |
| | ▲ | NC10 |
| II | ▼ | NC15 |
| | ◆ | NC19 |
| | ○ | NC20 |
| III | □ | NC26 |
| | △ | NC30 |
| IV | ◇ | NC31 |



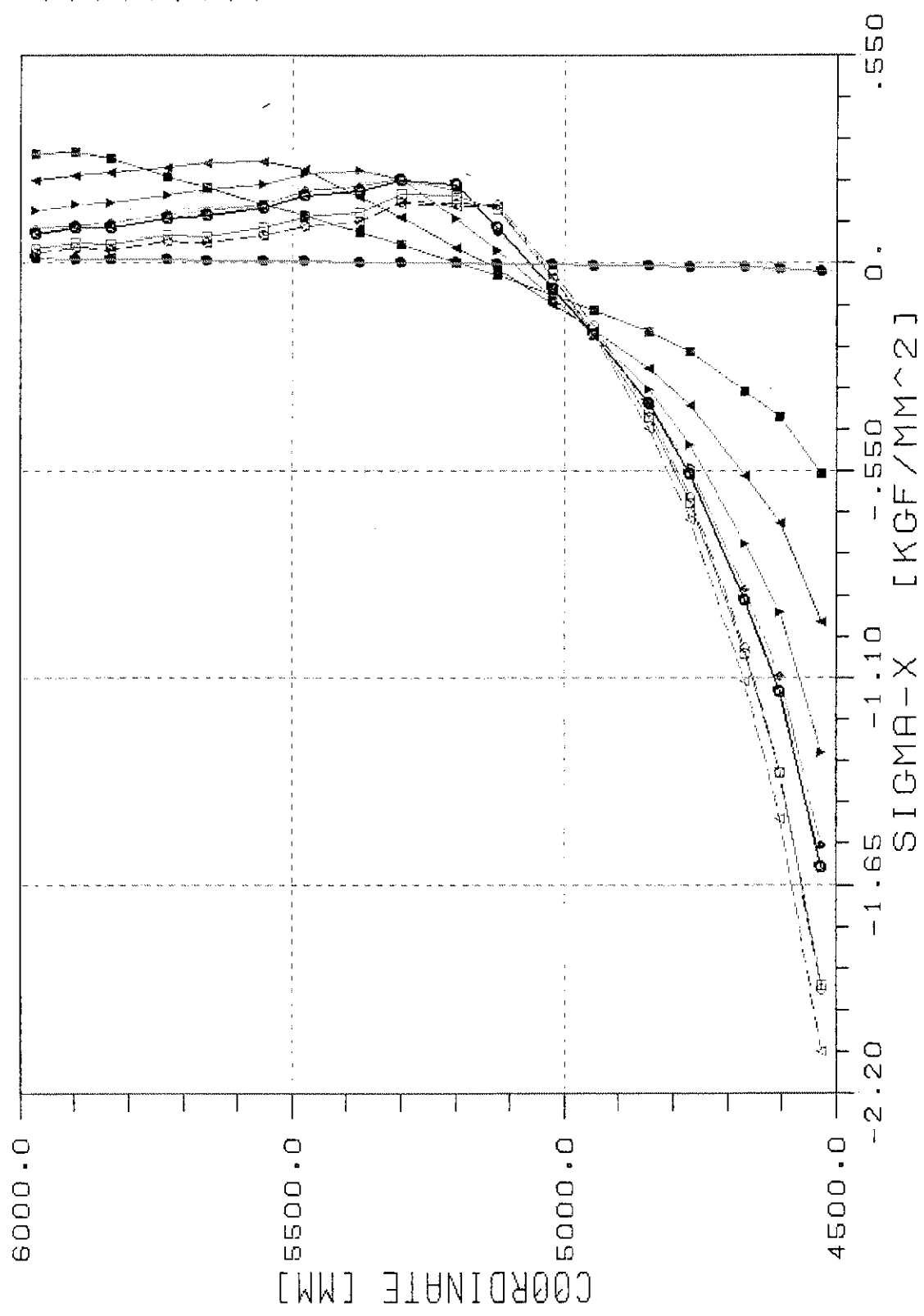
図付 1-10-1 コンクリートの応力分布推移(断面 T-19)



図付 1-10-2 コンクリートの応力分布推移(断面 T-24)

状態

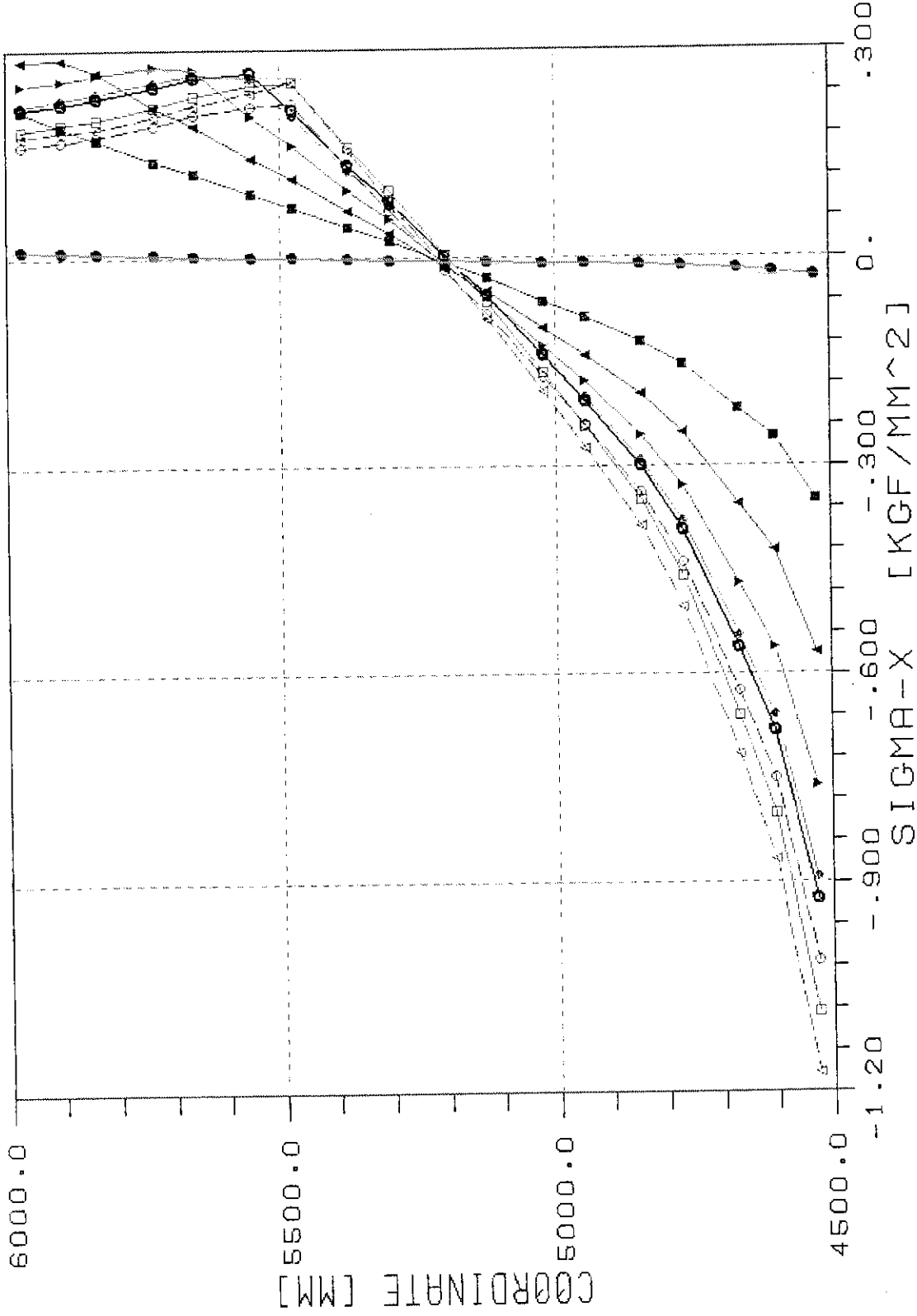
- I
 - II
 - III
 - IV
- (NC00)
 - (NC05)
 - ▲ (NC10)
 - ▼ (NC15)
 - ◆ (NC19)
 - (NC20)
 - (NC26)
 - △ (NC30)
 - ◇ (NC31)



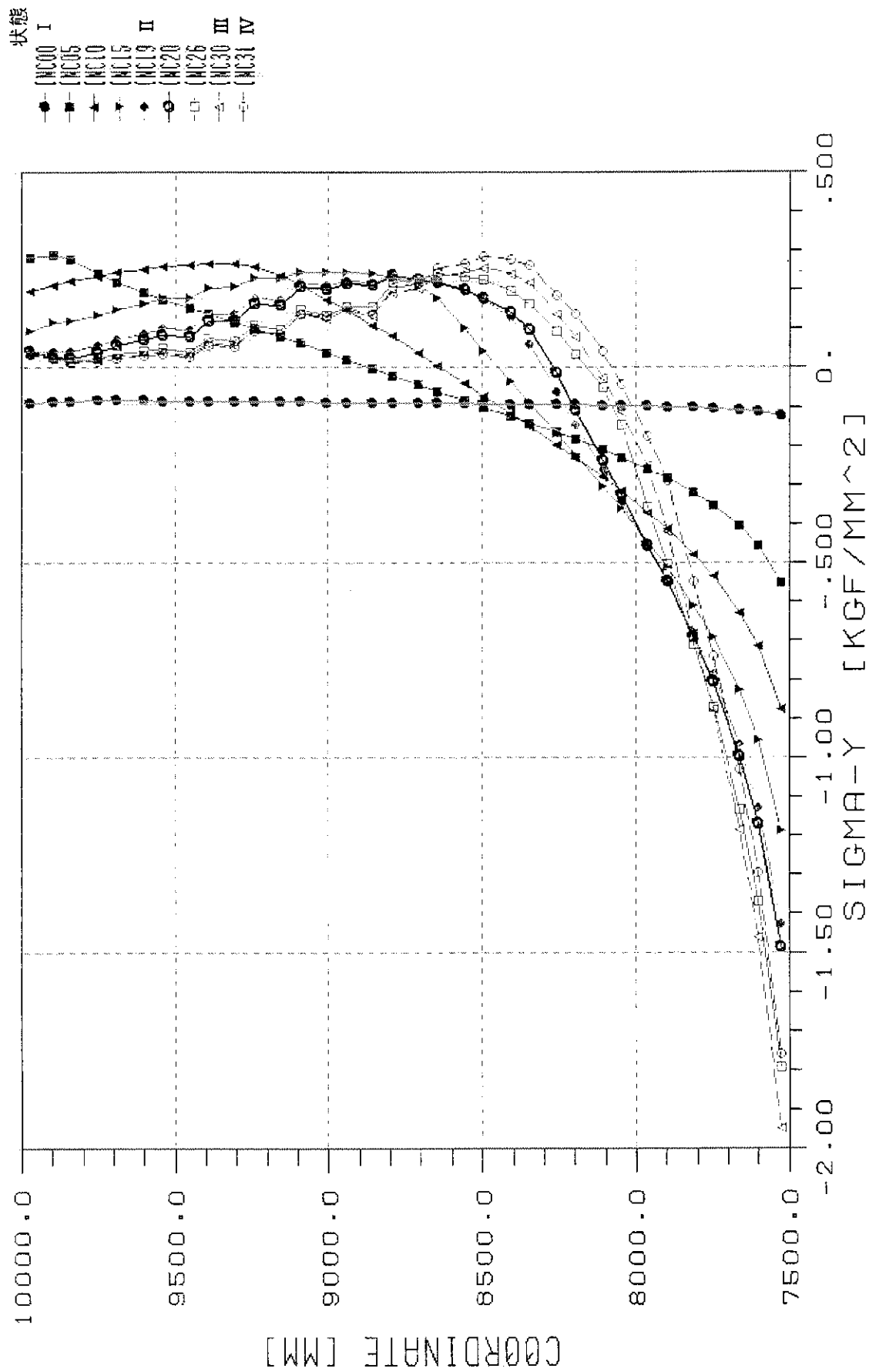
図付 1-10-3 コンクリートの応力分布推移 (断面 S-19)

状態

- I
 - (NC00) ●
 - (NC05) ■
 - (NC10) ▲
 - (NC15) ▼
- II
 - (NC19) ◆
 - (NC20) ⊙
- III
 - (NC26) □
 - (NC30) △
- IV
 - (NC31) ○

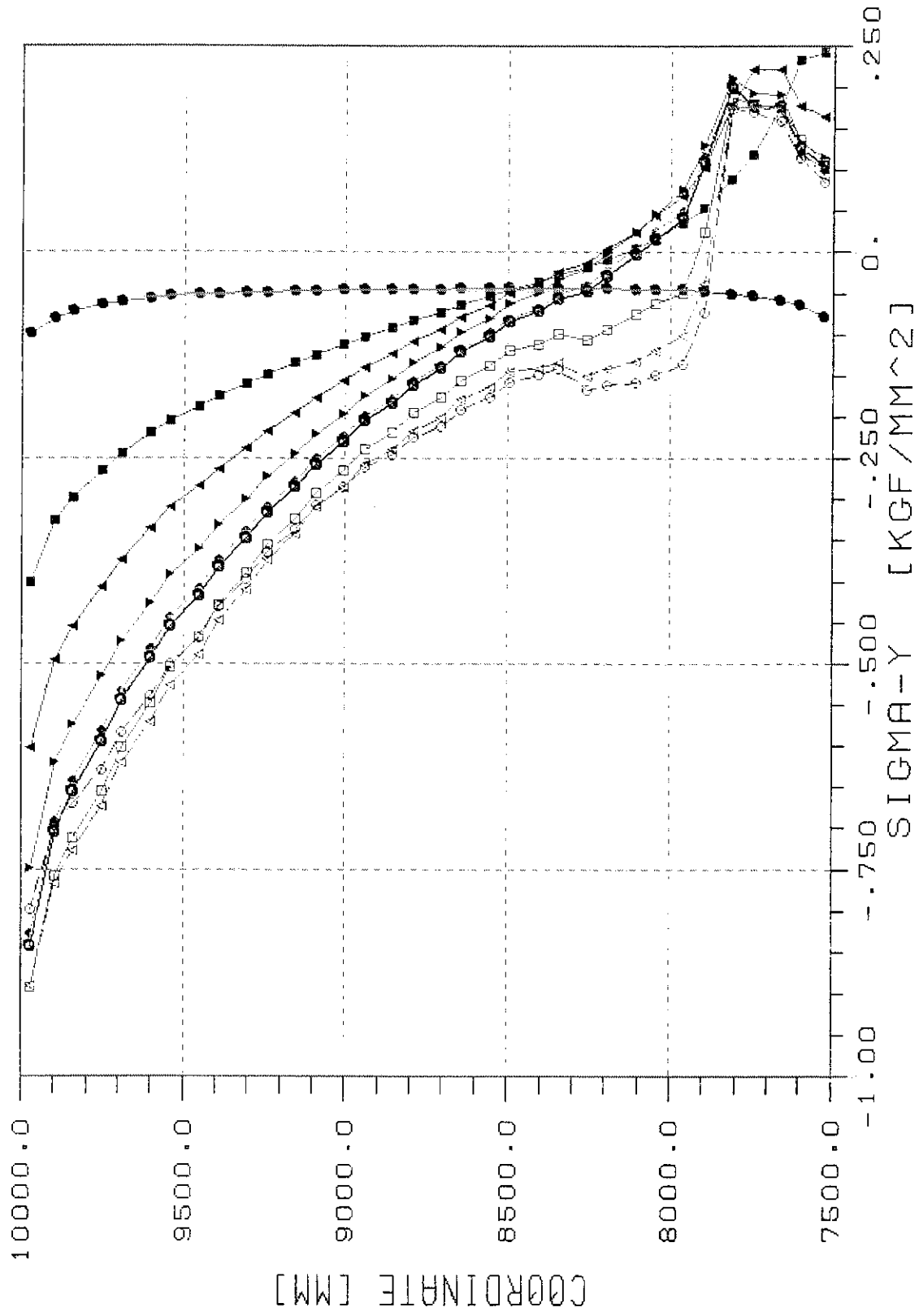


図付 1-10-4 コンクリートの応力分布推移 (断面 S-58)



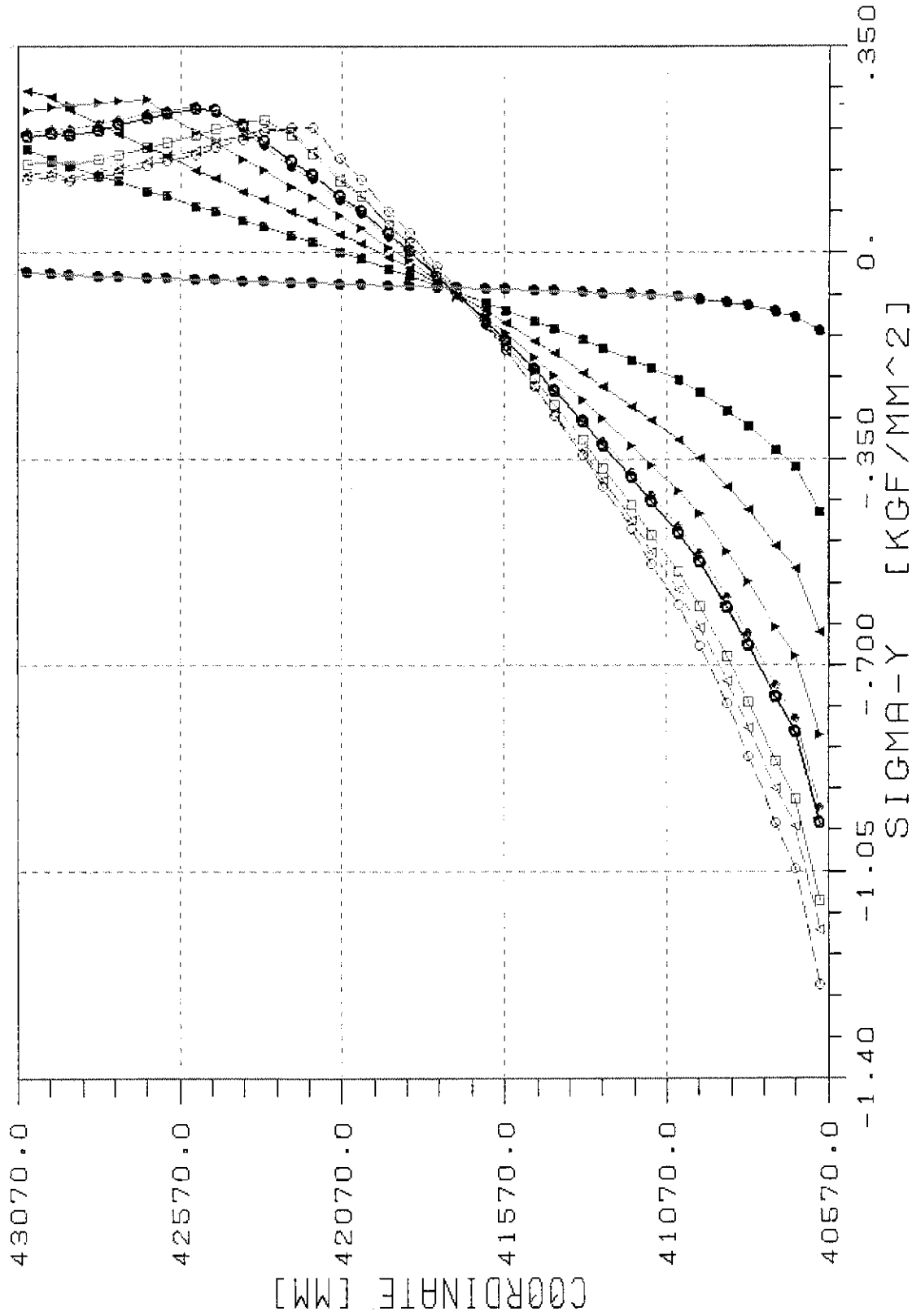
図付 1-10-5 コンクリートの応力分布推移(断面 F2-1)

- 状態
- I
 - (NC00)
 - (NC05)
 - ▲ (NC10)
 - ▼ (NC15)
 - ◆ (NC19)
 - (NC20)
 - II
 - (NC26)
 - △ (NC30)
 - ◇ (NC31)

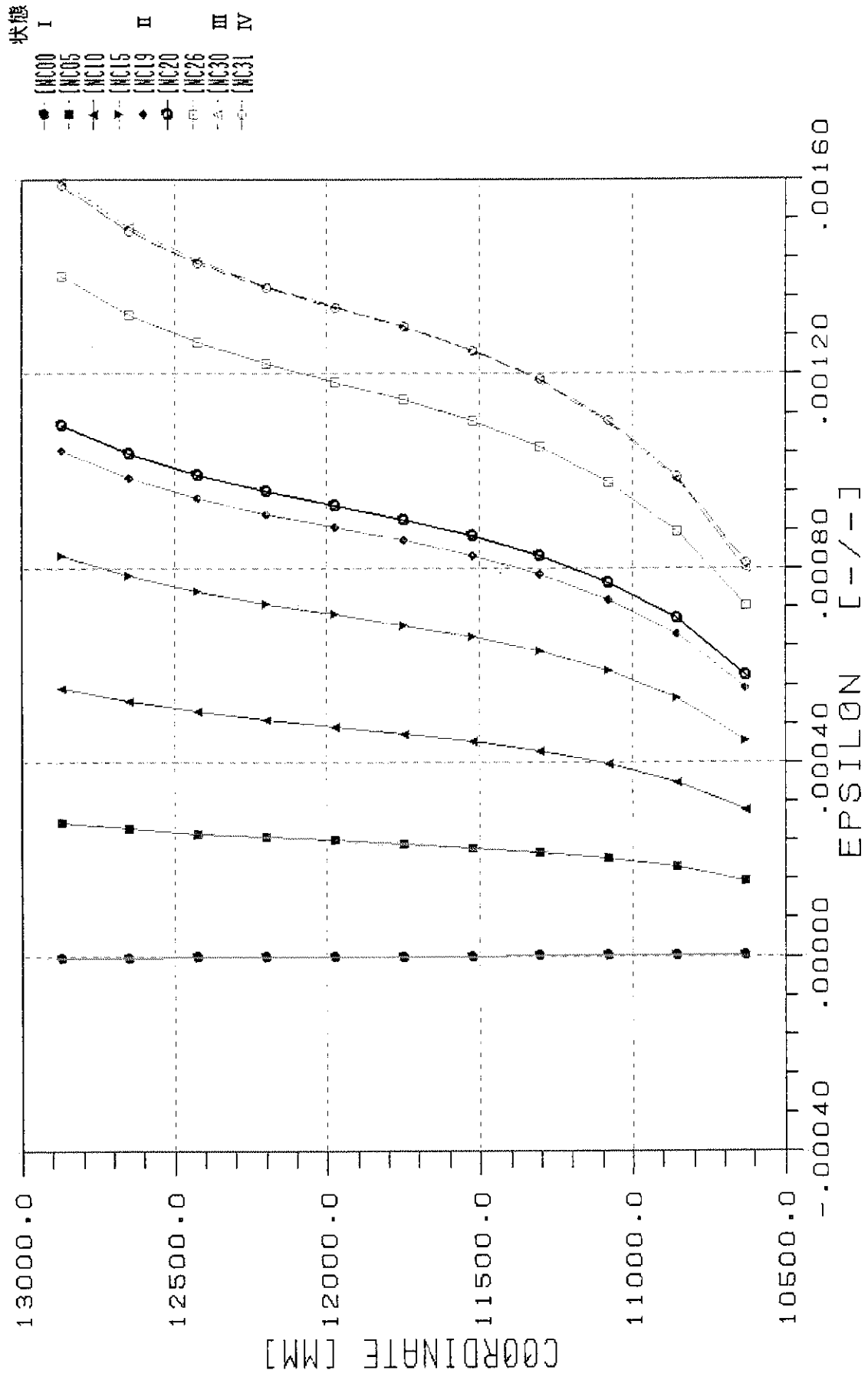


図付 1-10-6 コンクリートの応力分布推移(断面 F2-40)

状態
 I
 (NC00) ● (NC05) ■ (NC10) ▲ (NC15) ▼ (NC19) ◆ (NC20) ⊕
 II
 (NC26) □ (NC30) △ (NC31) ○

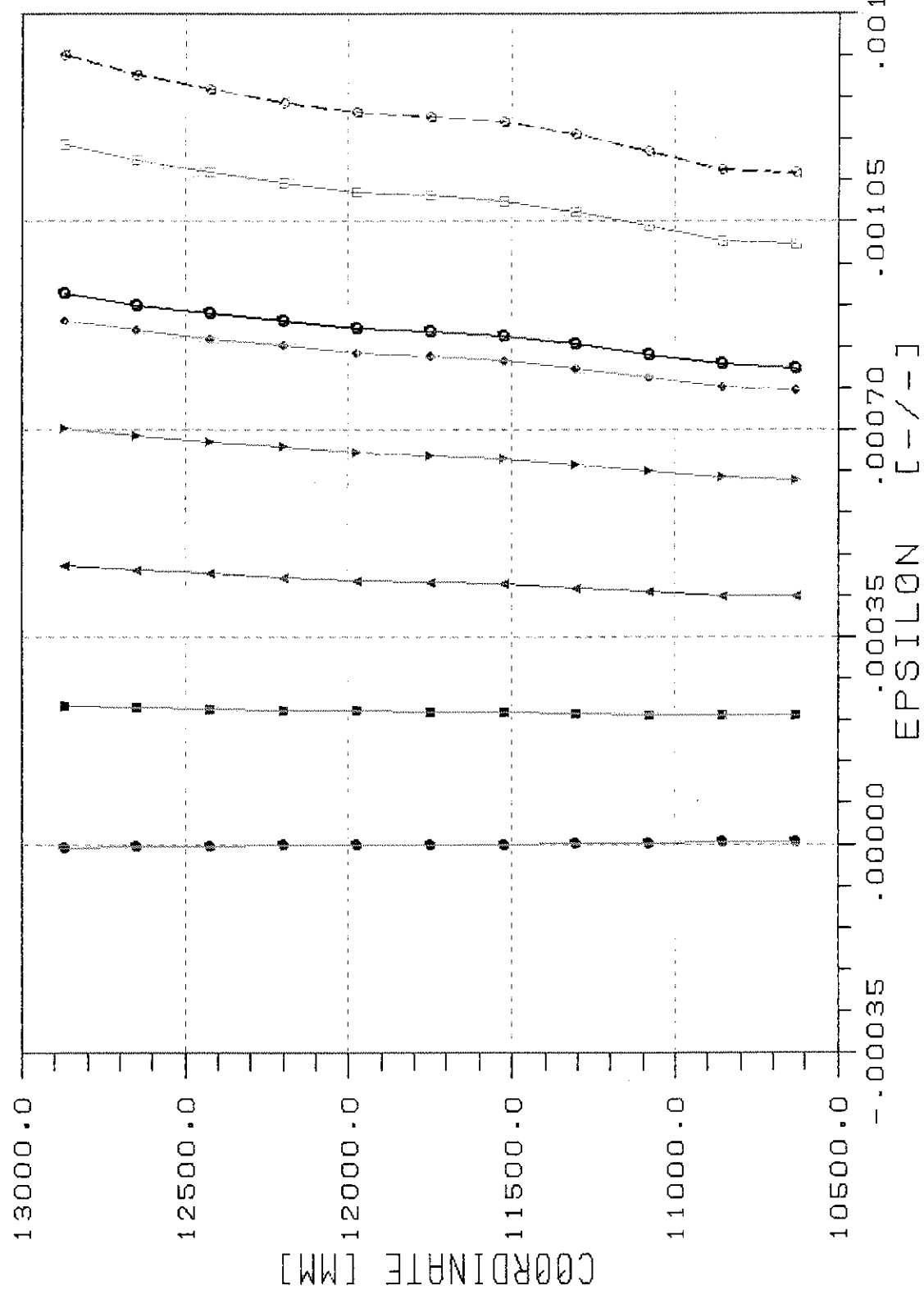


図付 1-10-7 コンクリートの応力分布推移(断面 F5-31)



図付 1-11-1 鉄筋ひずみ分布推移(断面 T-18)

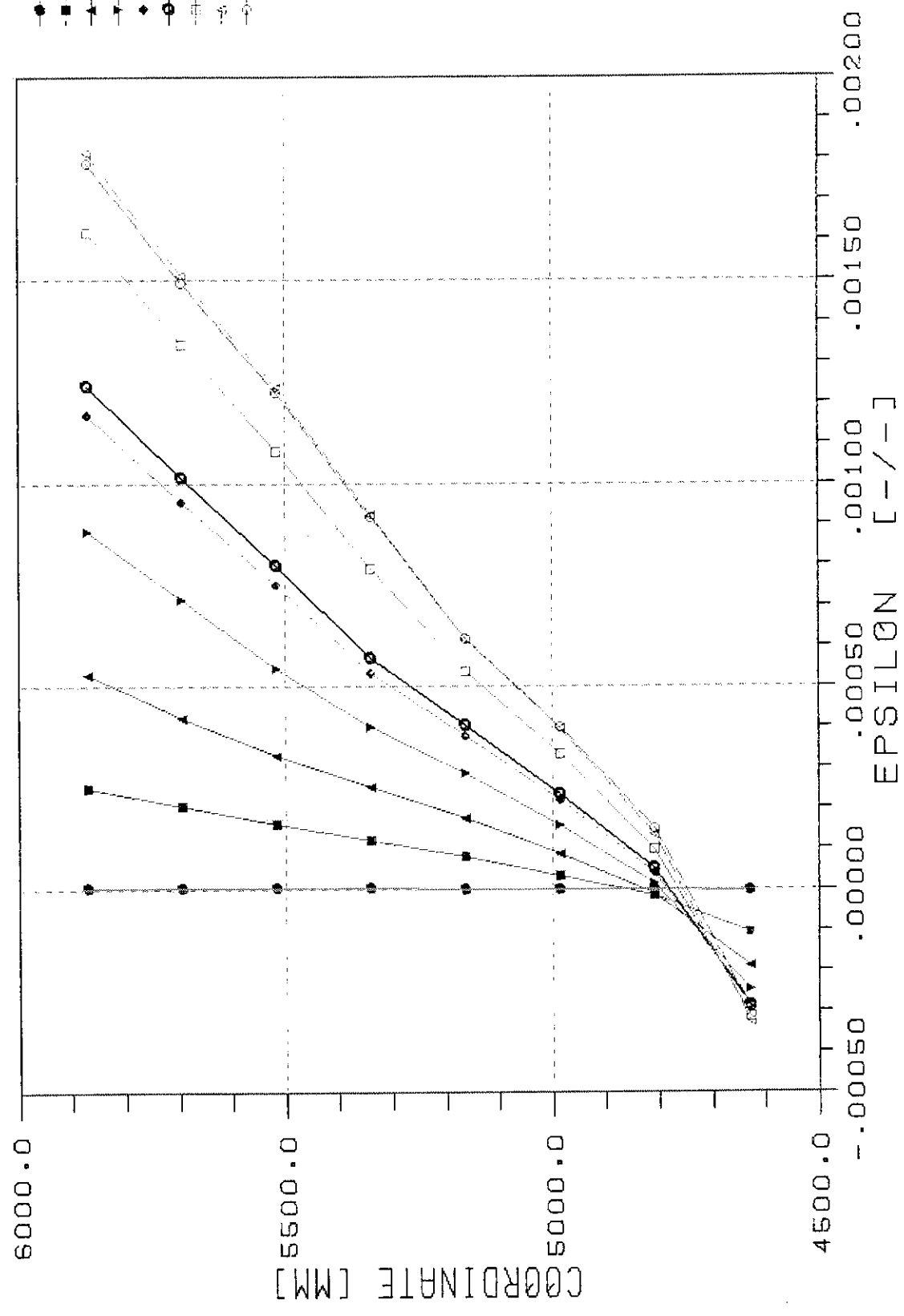
状態
 I
 II
 III
 IV



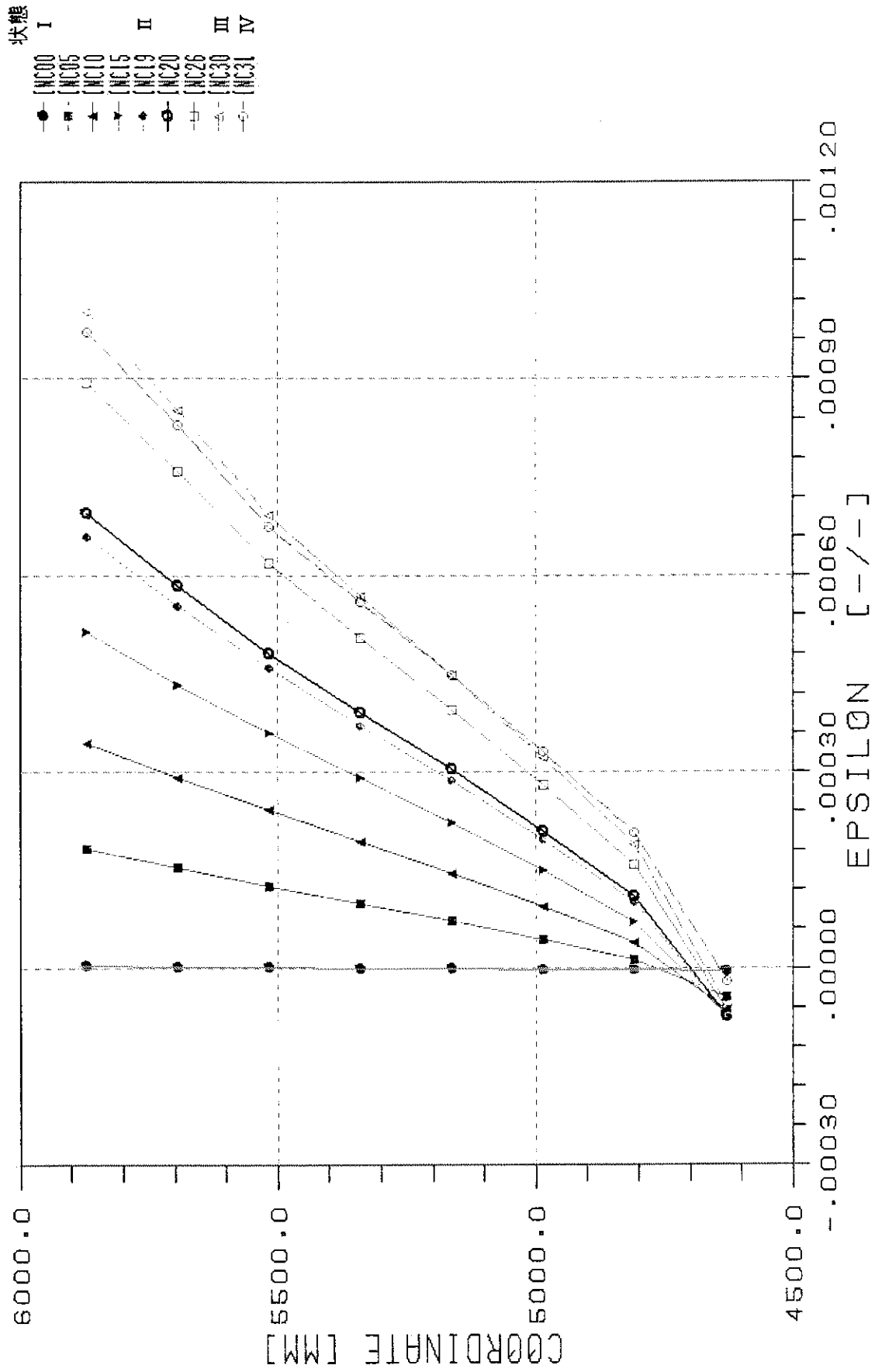
図付 1-11-2 鉄筋ひずみ分布推移(断面 T-23)

状態
 I
 II
 III
 IV

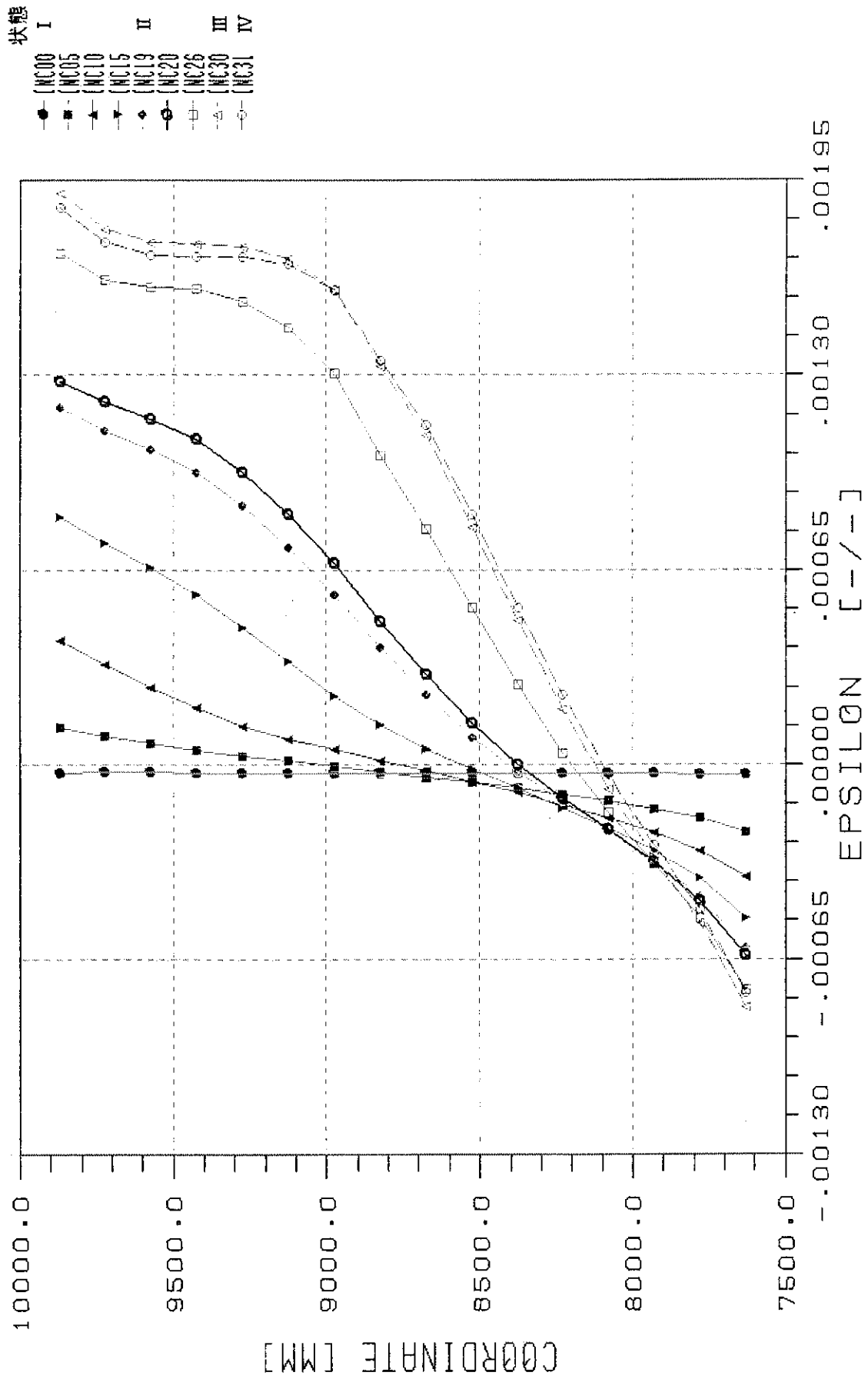
● (NC00) ■ (NC05) ▲ (NC10) ▼ (NC15)
 ◆ (NC19) ○ (NC20) □ (NC26) ◇ (NC30) ○ (NC31)



図付 1-11-3 鉄筋ひずみ分布推移 (断面 S-18)



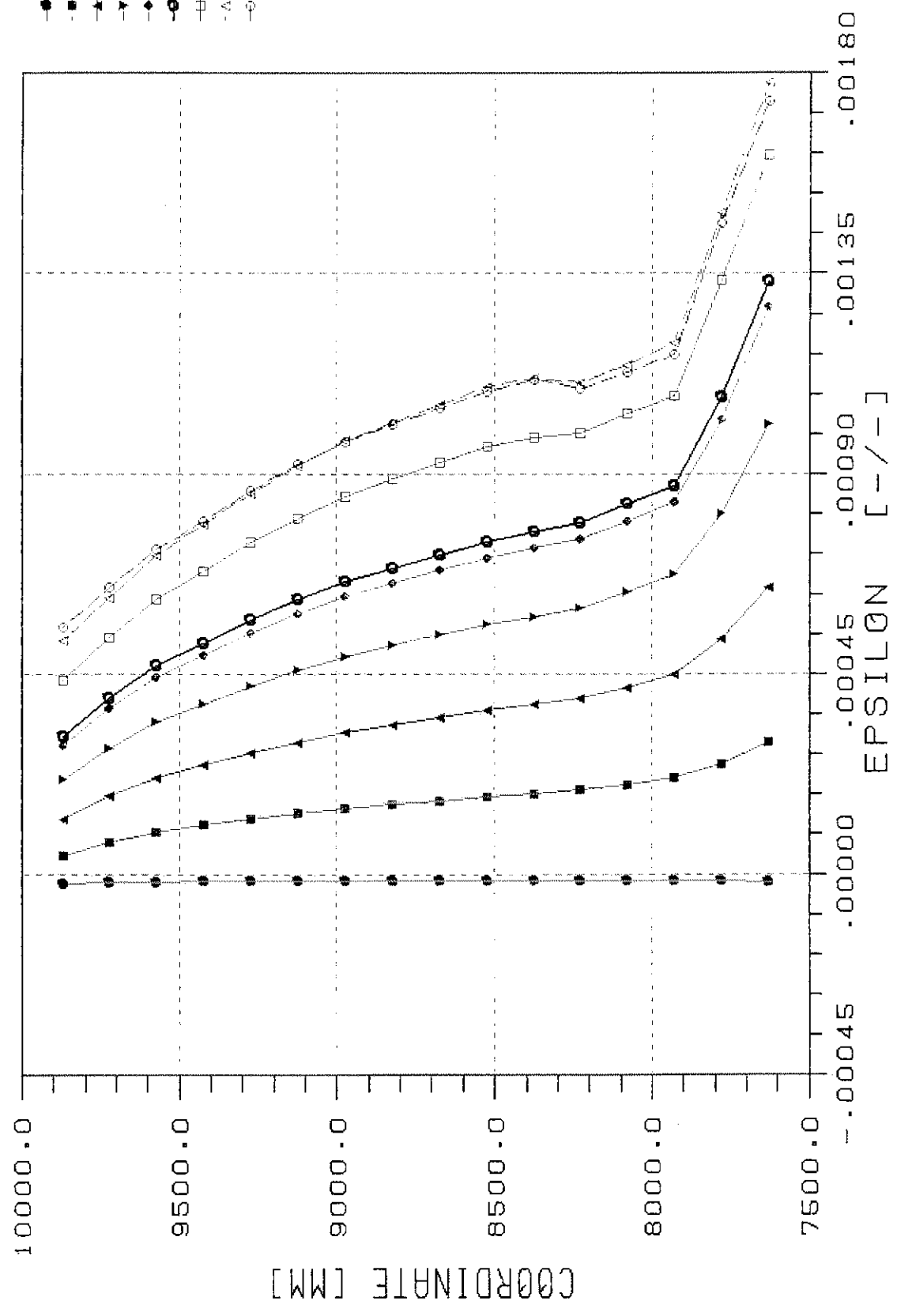
図付 1-11-4 鉄筋ひずみ分布推移 (断面 S-57)



図付 1-11-5 鉄筋ひずみ分布推移 (断面 F2-1)

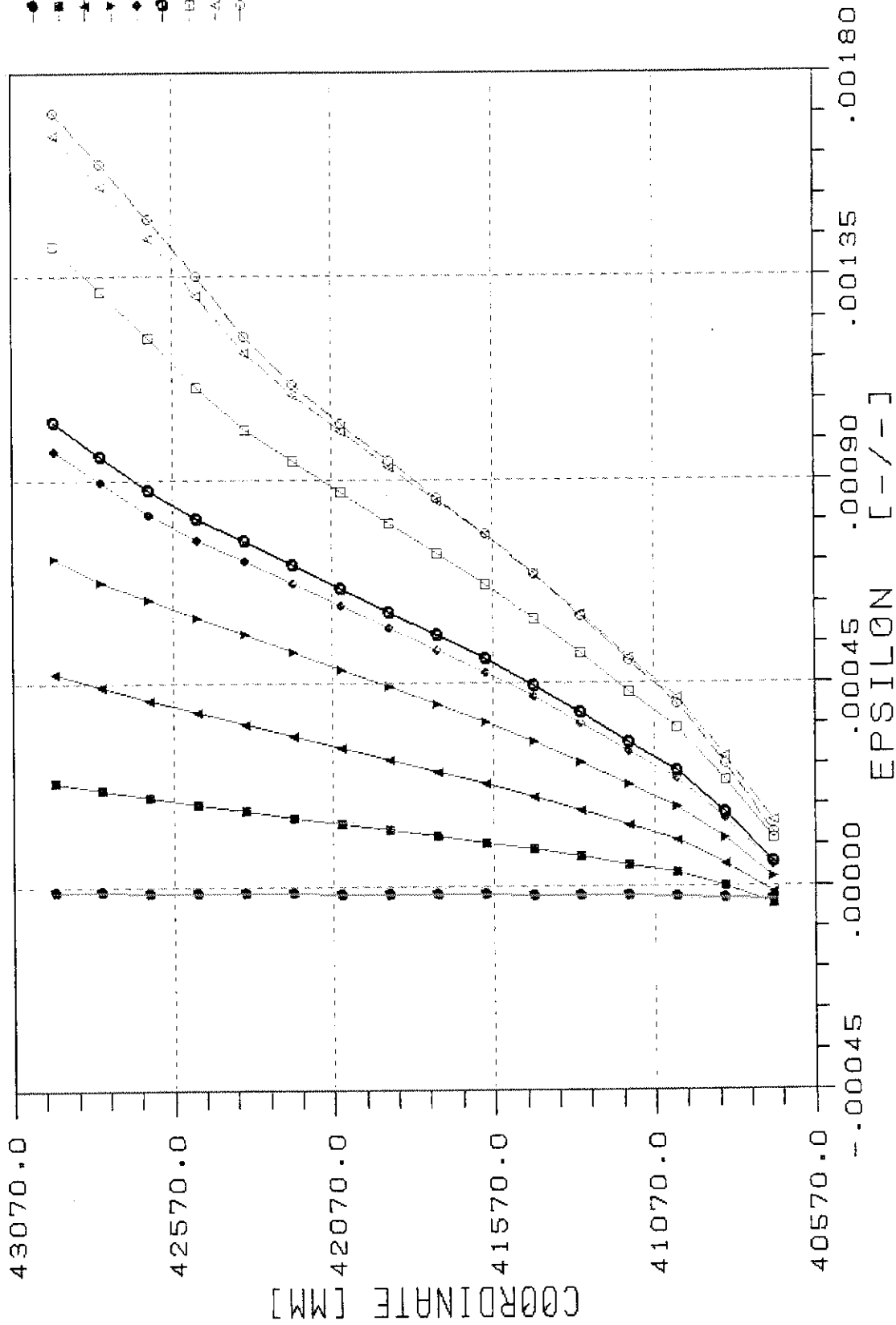
状態 I
 [NC00] ● [NC05] ■ [NC10] ▲ [NC15] ▼ [NC19] ◆ [NC20] ○ [NC26] □ [NC30] △ [NC31] ⊖

II
 III
 IV

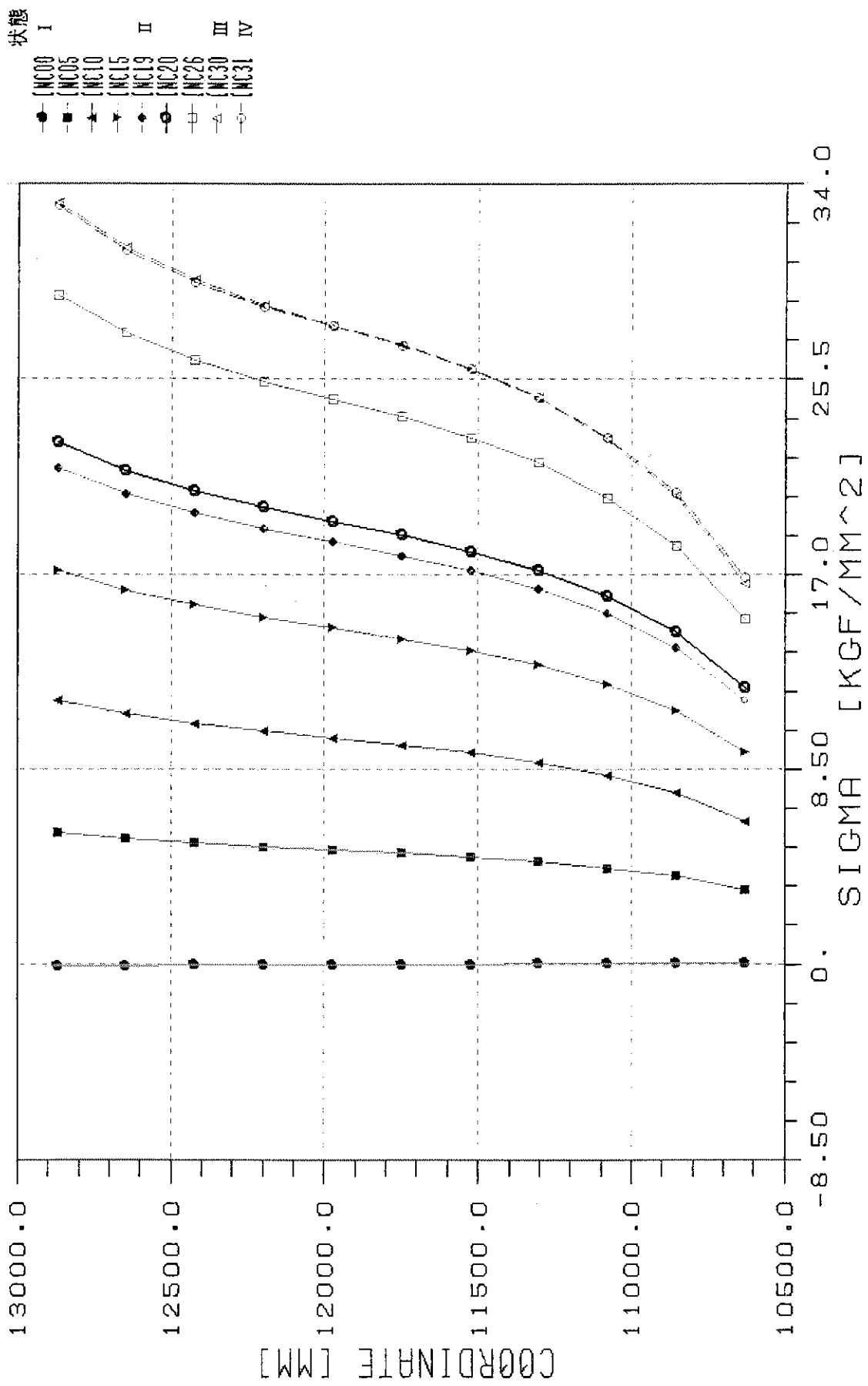


図付 1-11-6 鉄筋ひずみ分布推移(断面 F2-40)

状態 I
 ● (NC00) ■ (NC05) ▲ (NC10) ▼ (NC15) ◆ (NC19) ○ (NC20)
 Ⅱ
 □ (NC26) △ (NC30) ○ (NC31) Ⅲ Ⅳ



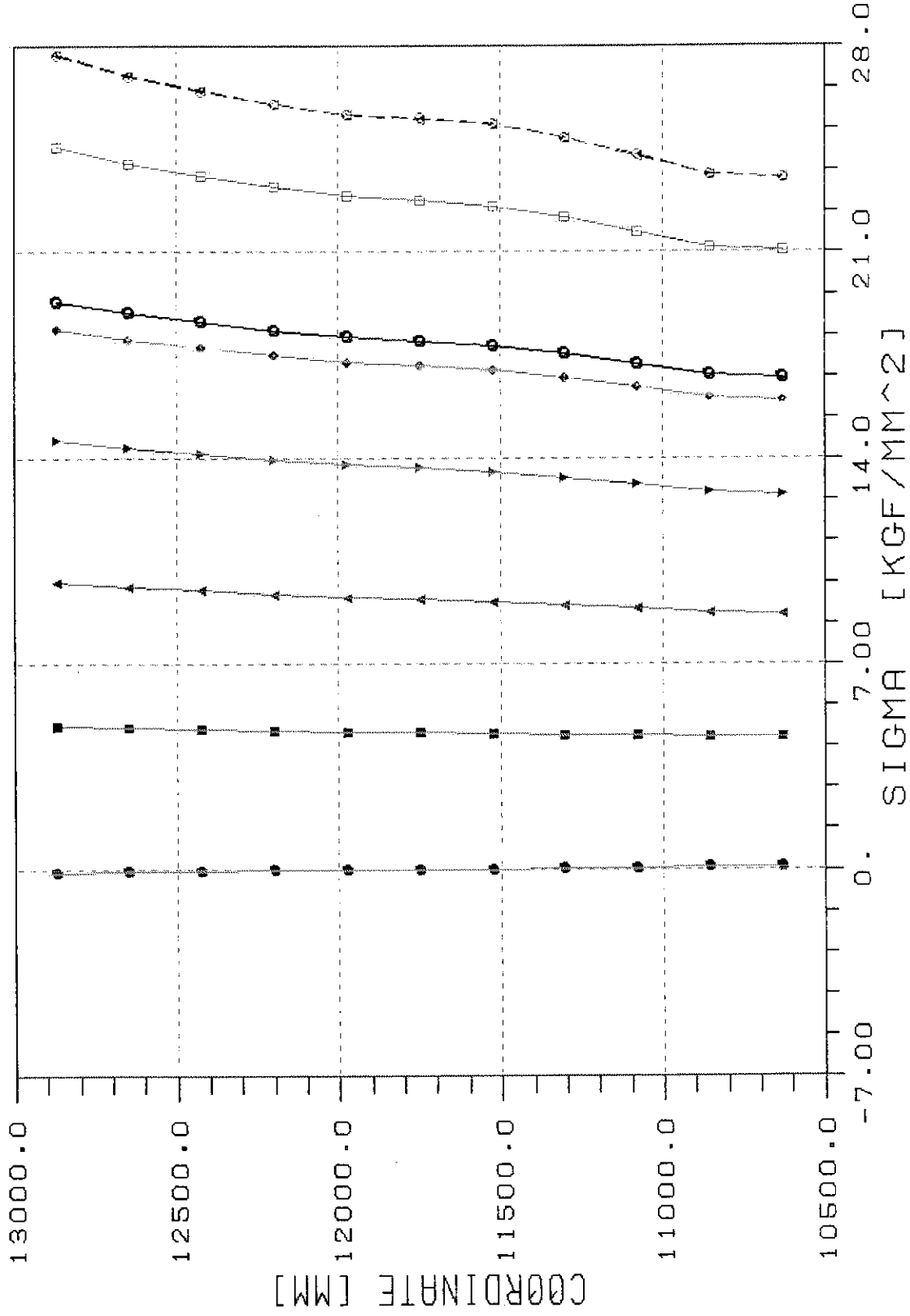
図付 1-11-7 鉄筋ひずみ分布推移 (断面 F5-31)



図付 1-12-1 鉄筋応力分布推移 (断面 T-18)

状態

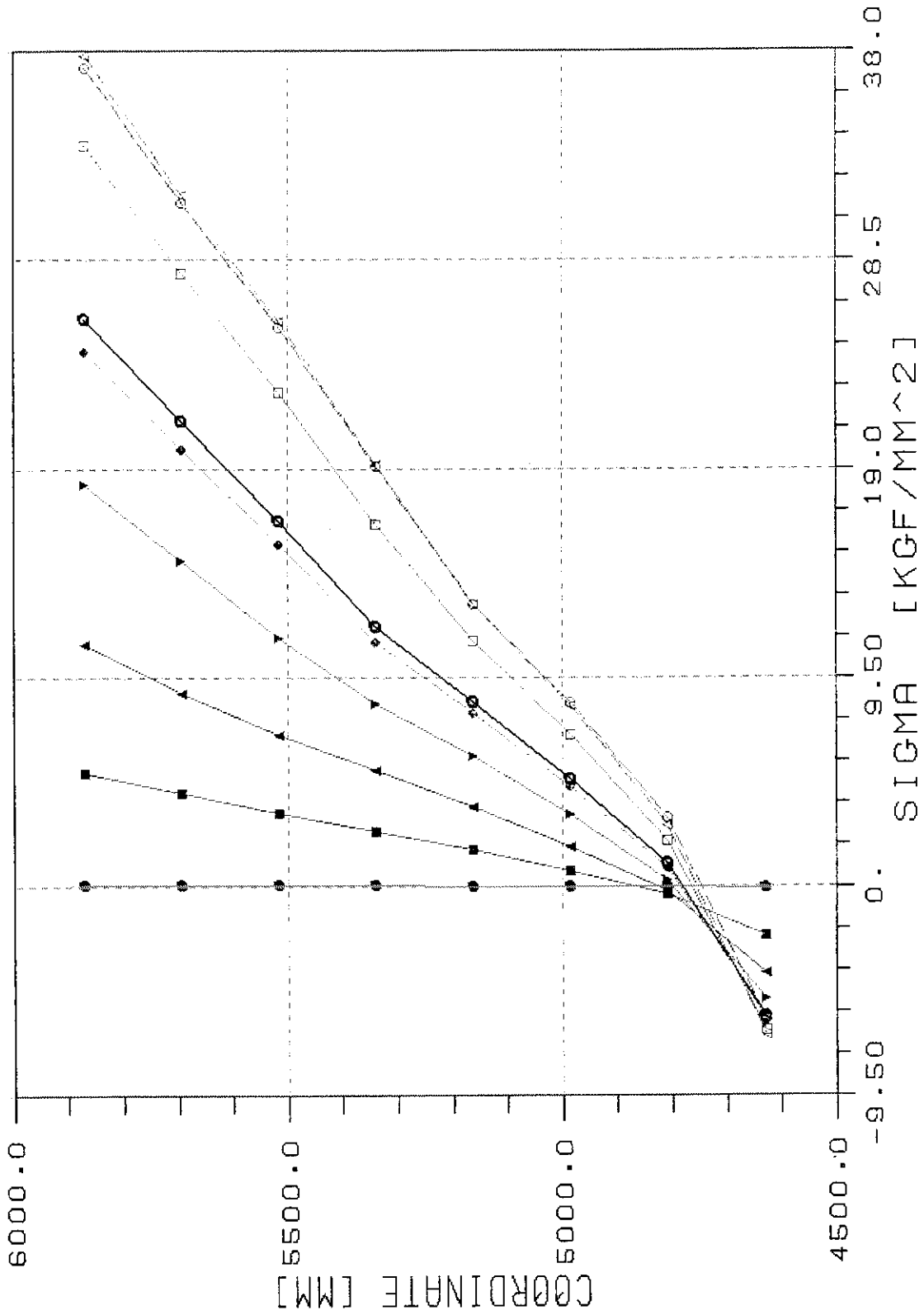
- I
- II
- III
- IV



図付 1-12-2 鉄筋応力分布推移(断面 T-23)

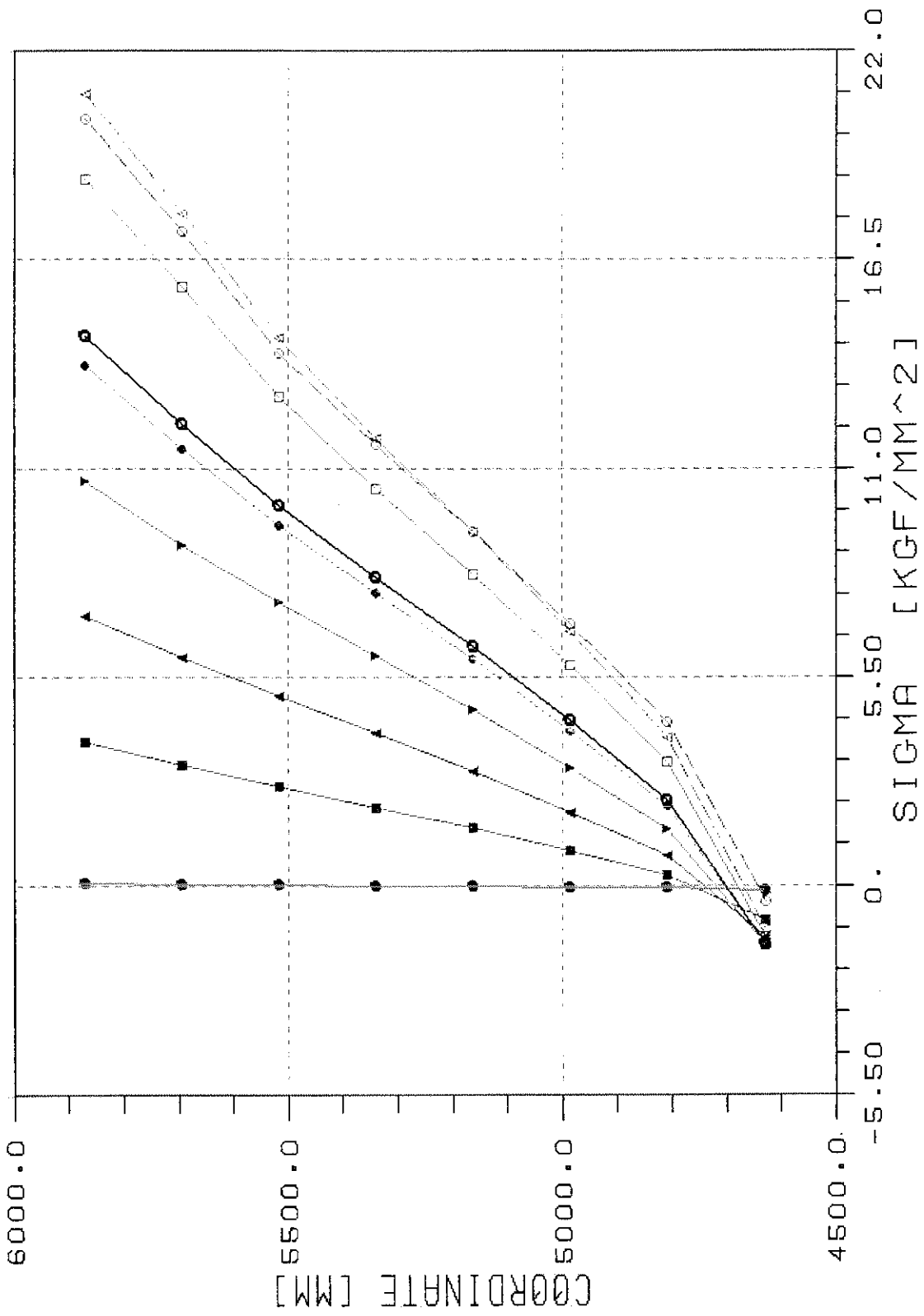
状態

- | | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| I | (●) | (○) | (□) |
| II | (■) | (▲) | (▼) |
| III | (◆) | (◇) | (△) |
| IV | (⊖) | (⊕) | (⊗) |

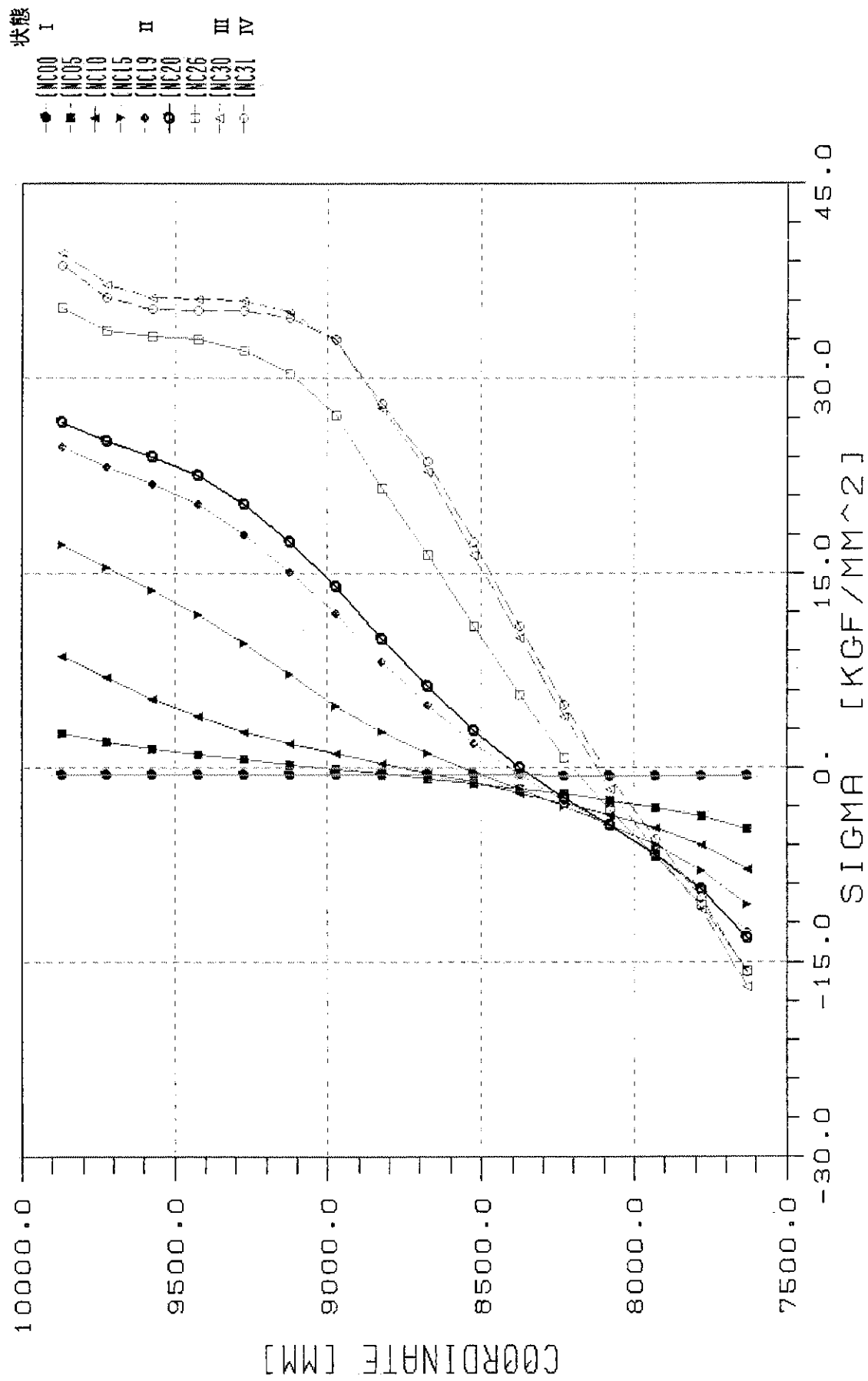


図付 1-12-3 鉄筋芯力分布推移(断面 S-18)

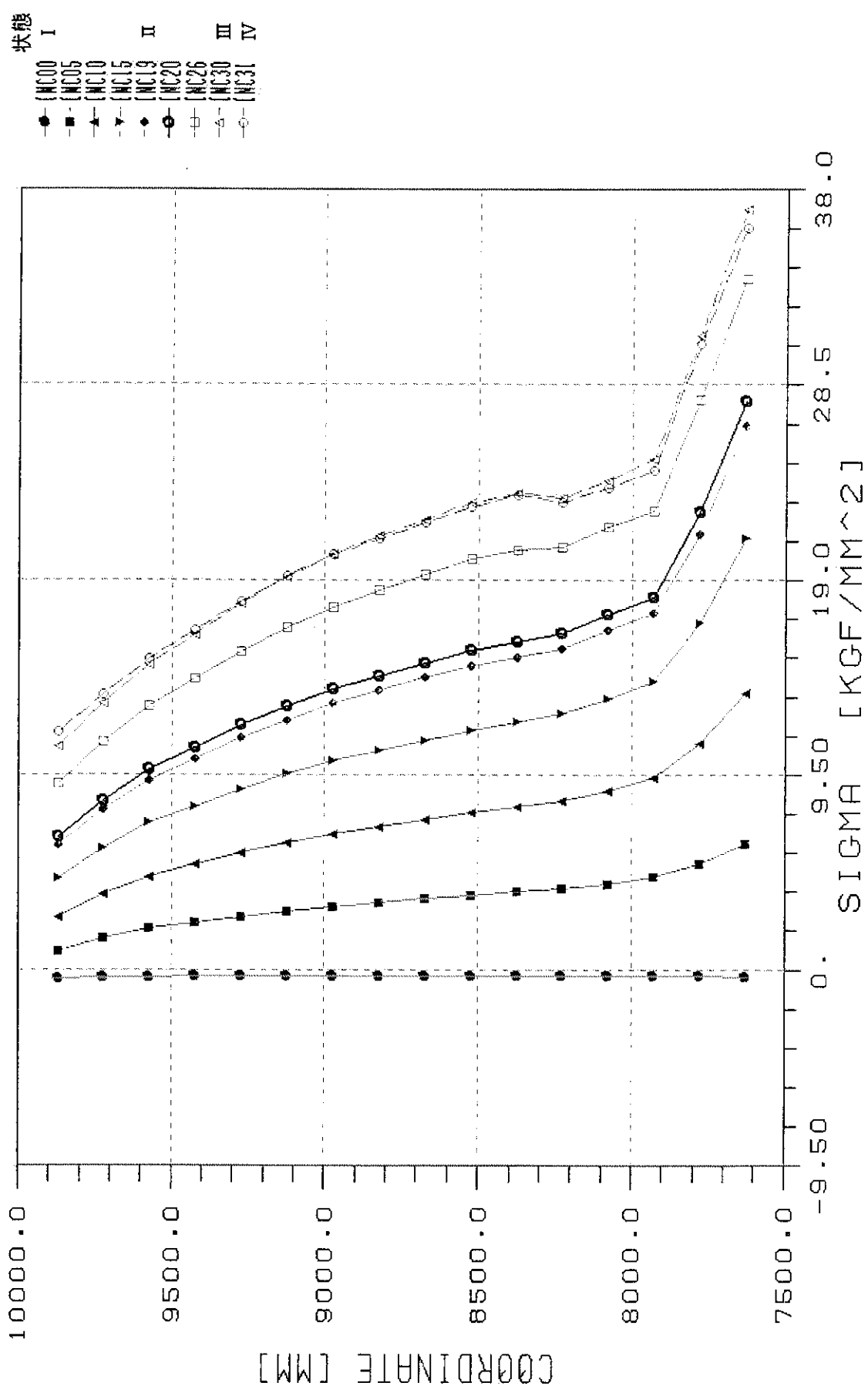
状態
 I
 [NC00] [NC05] [NC10] [NC15] [NC19] [NC20] [NC26] [NC30] [NC31]
 II
 III
 IV



図付 1-12-4 鉄筋応力分布推移(断面 S-57)



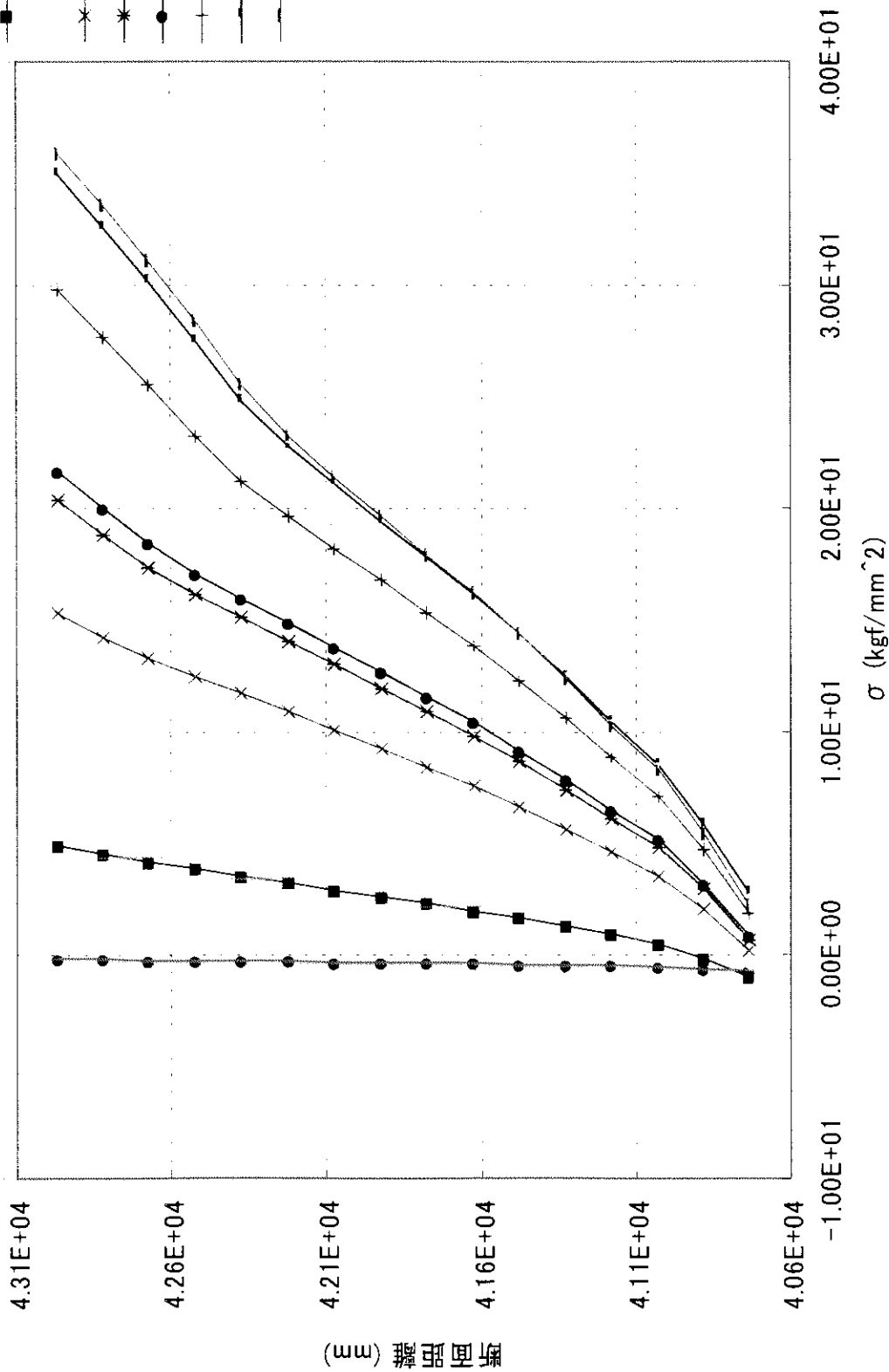
図付 1-12-5 鉄筋応力分布推移 (断面 F2-1)



図付 1-12-6 鉄筋応力分布推移(断面 F2-40)

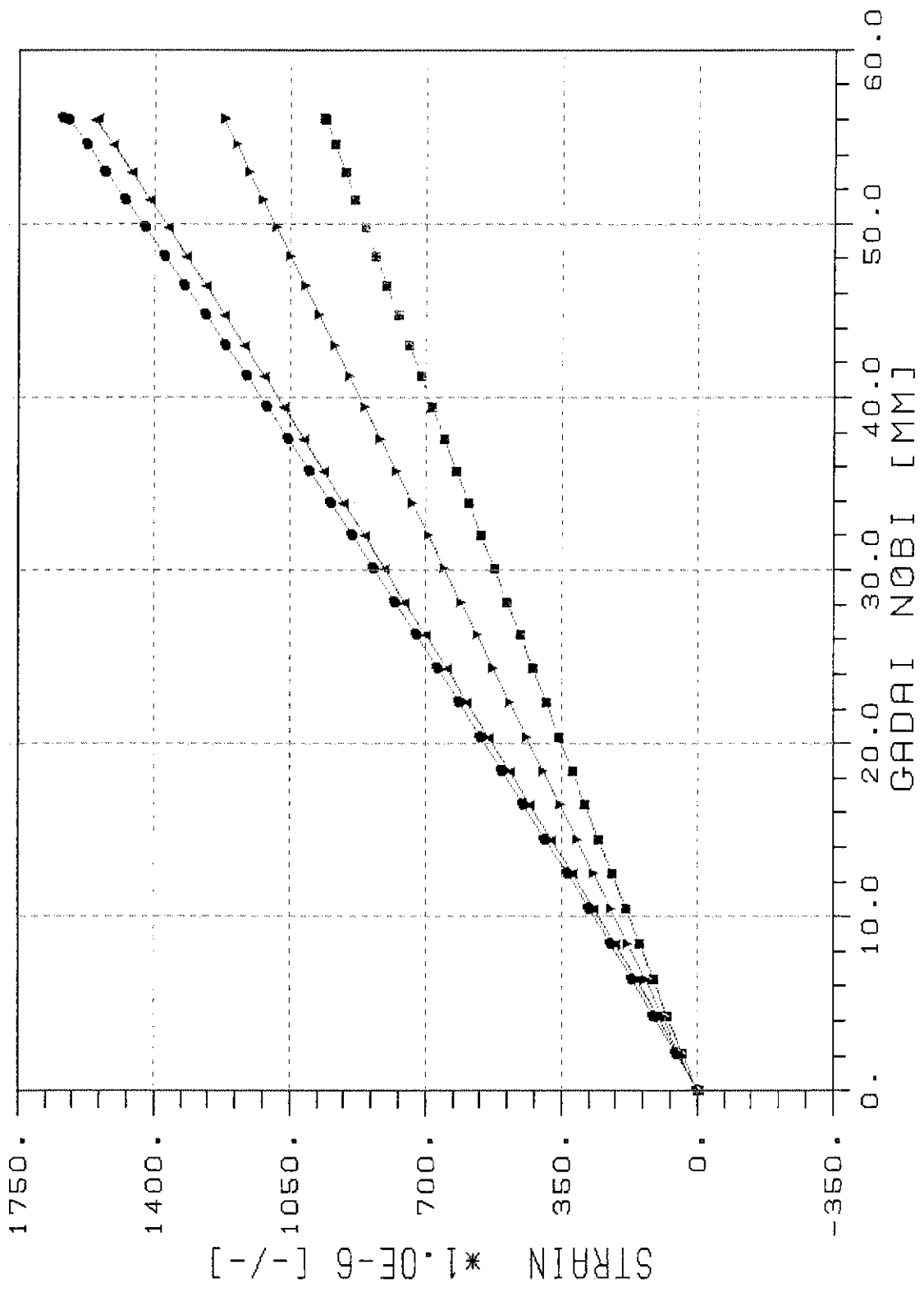
状態

- I
 - INC00
 - INC05
 - × INC10
 - * INC15
 - INC19
 - INC20
 - INC26
 - INC30
 - INC31
- II
- III
- IV

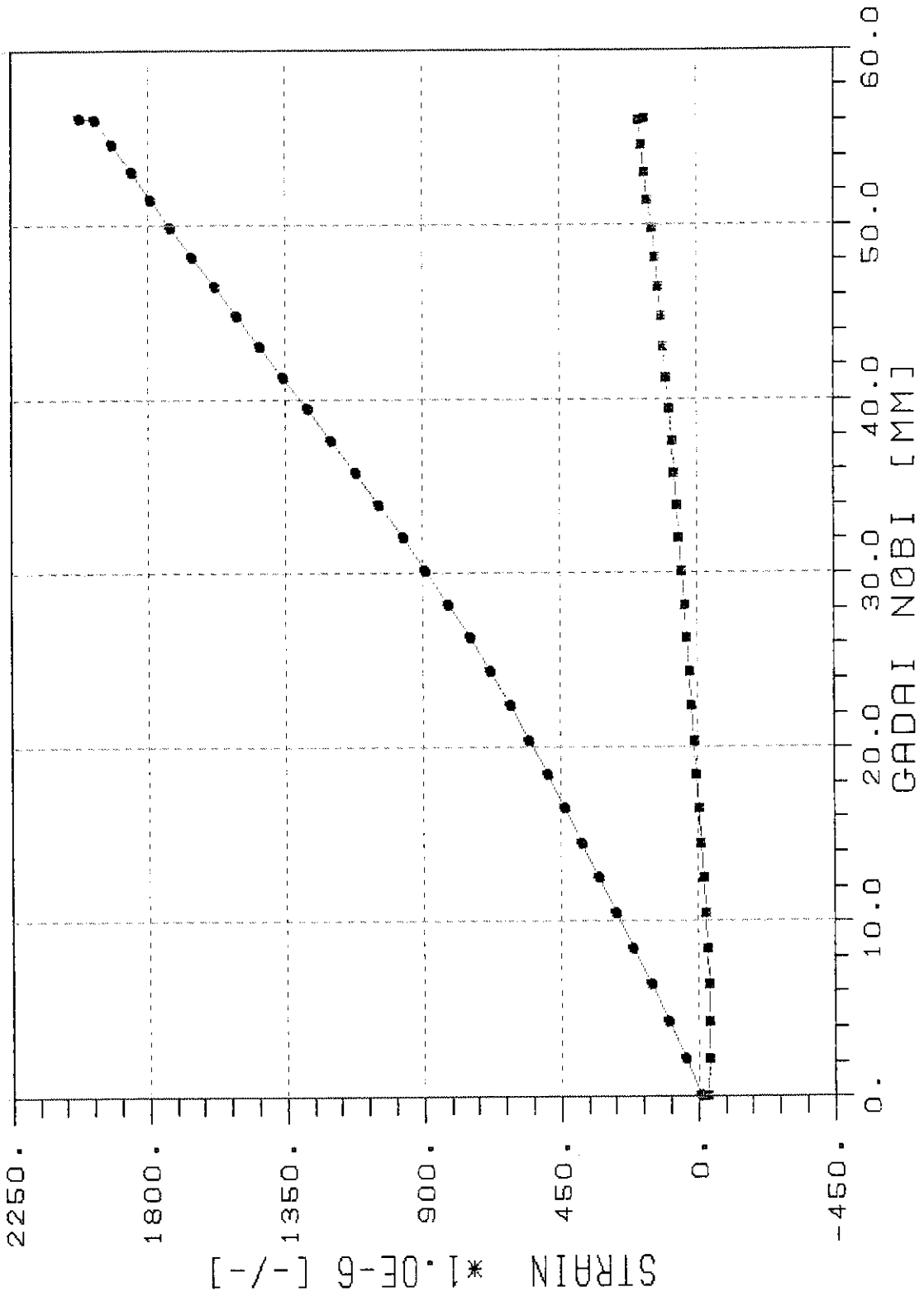


図付 1-12-7 鉄筋応力分布推移 (断面 F5-31)

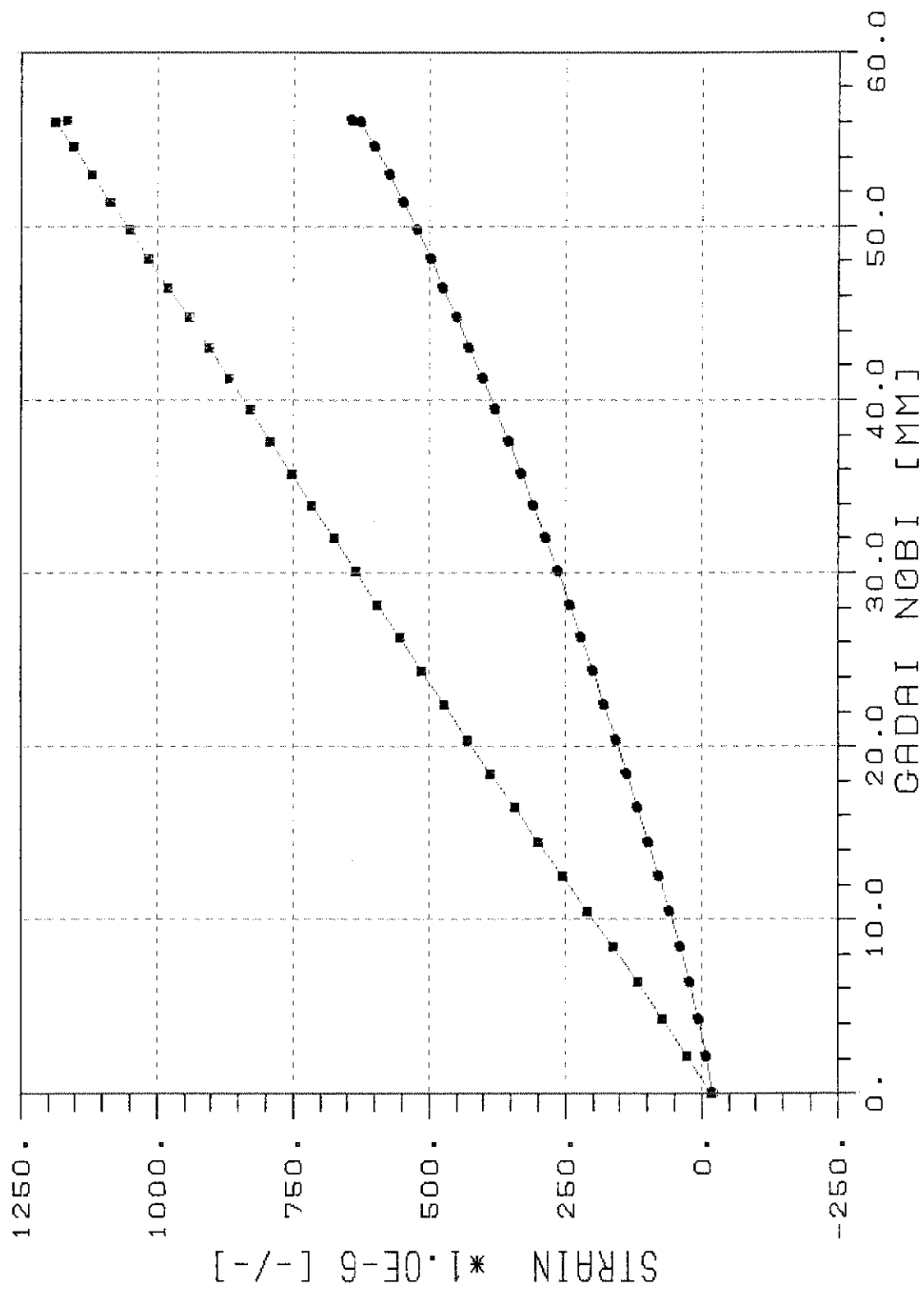
注 本頁は、原本落丁のため、電子データから再印刷しております。



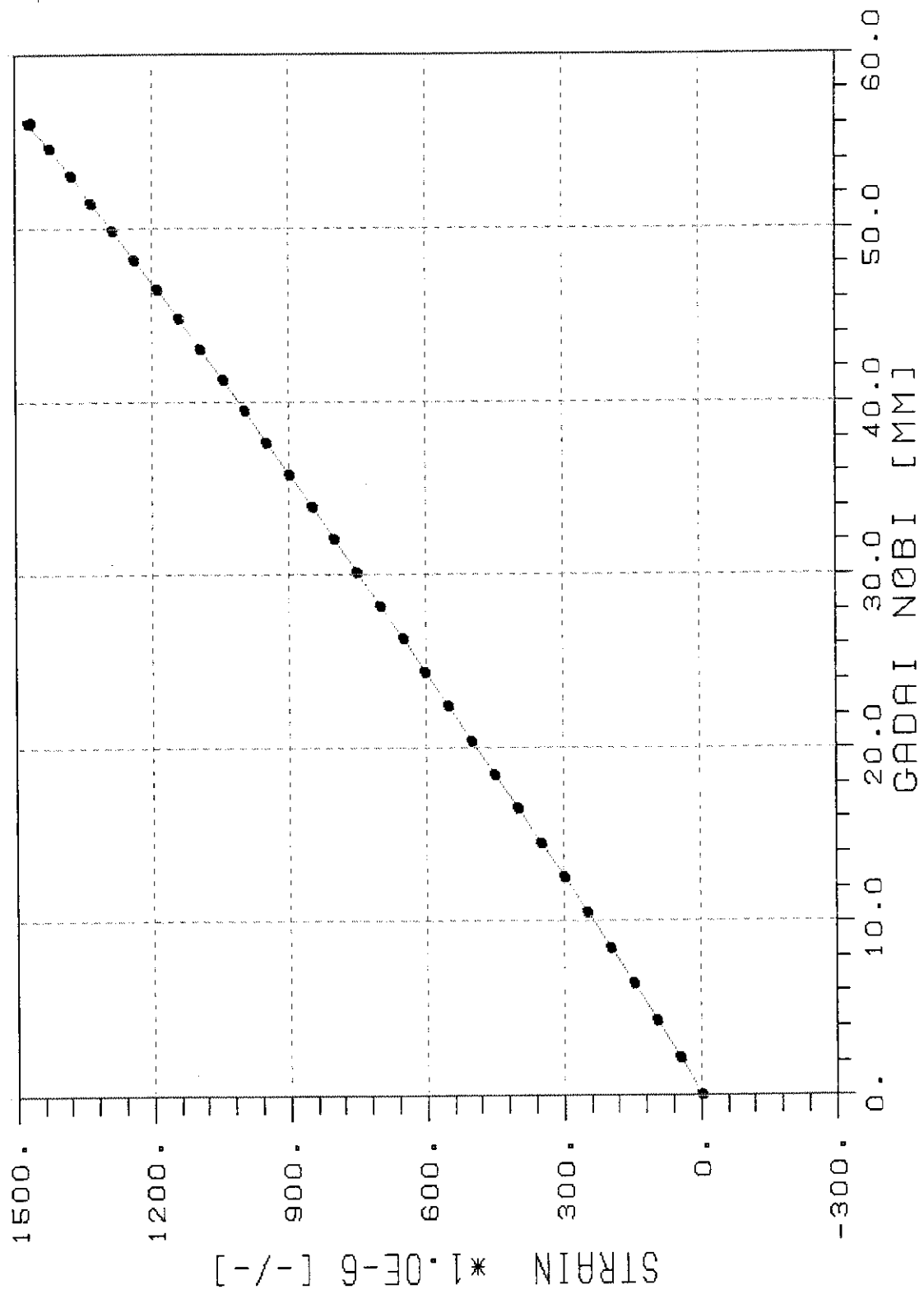
図付 1-13-1 実機計測位置対応鉄筋ひずみ (トップデッキ主筋)



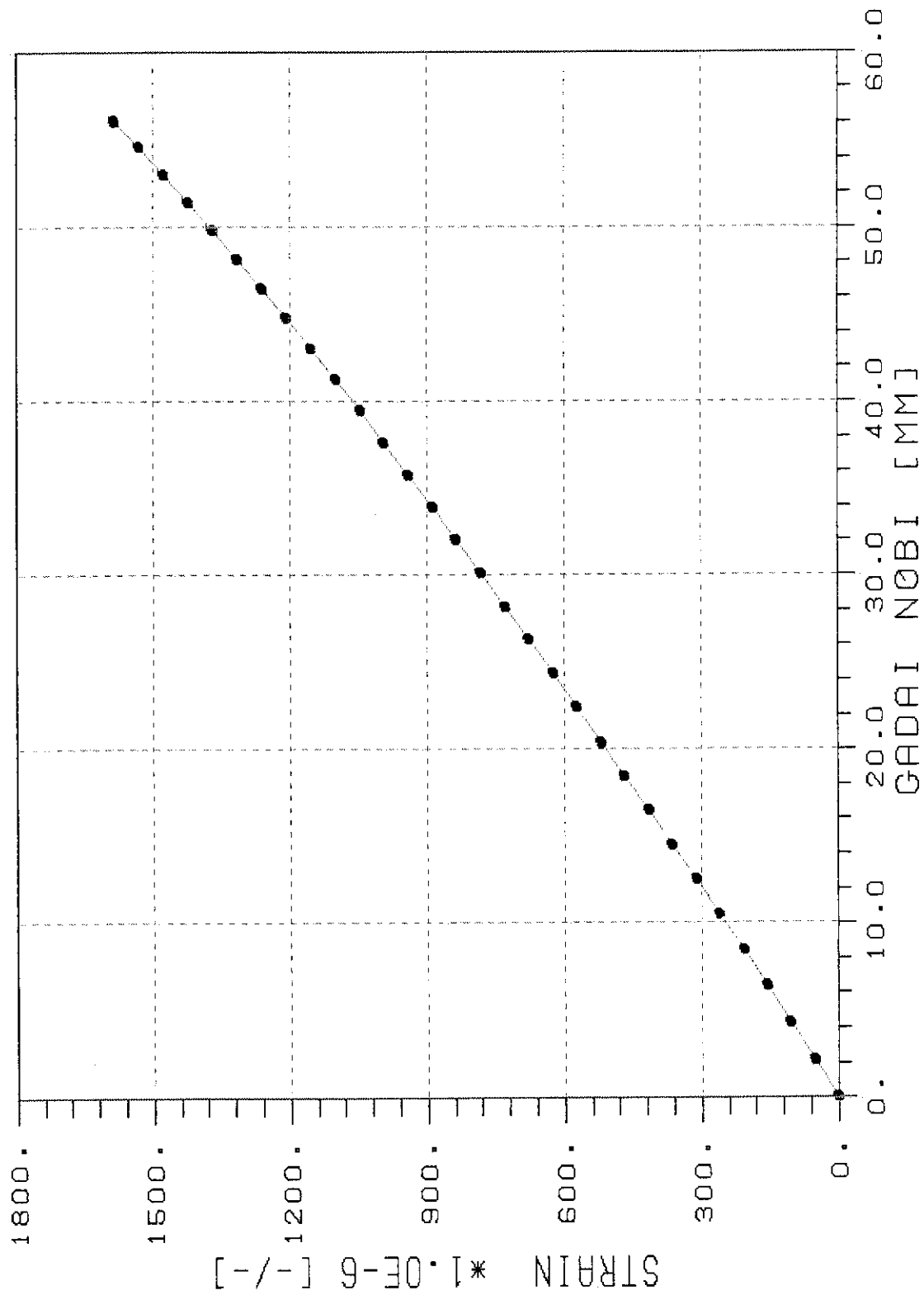
図付 1-13-2 実機計測位置対応鉄筋ひずみ (タービン側柱・主筋)



図付 1-13-3 実機計測位置対応鉄筋ひずみ (発電機側柱・主筋)



図付 1-13-4 実機計測位置対応鉄筋ひずみ(トップデッキ・あばら筋)

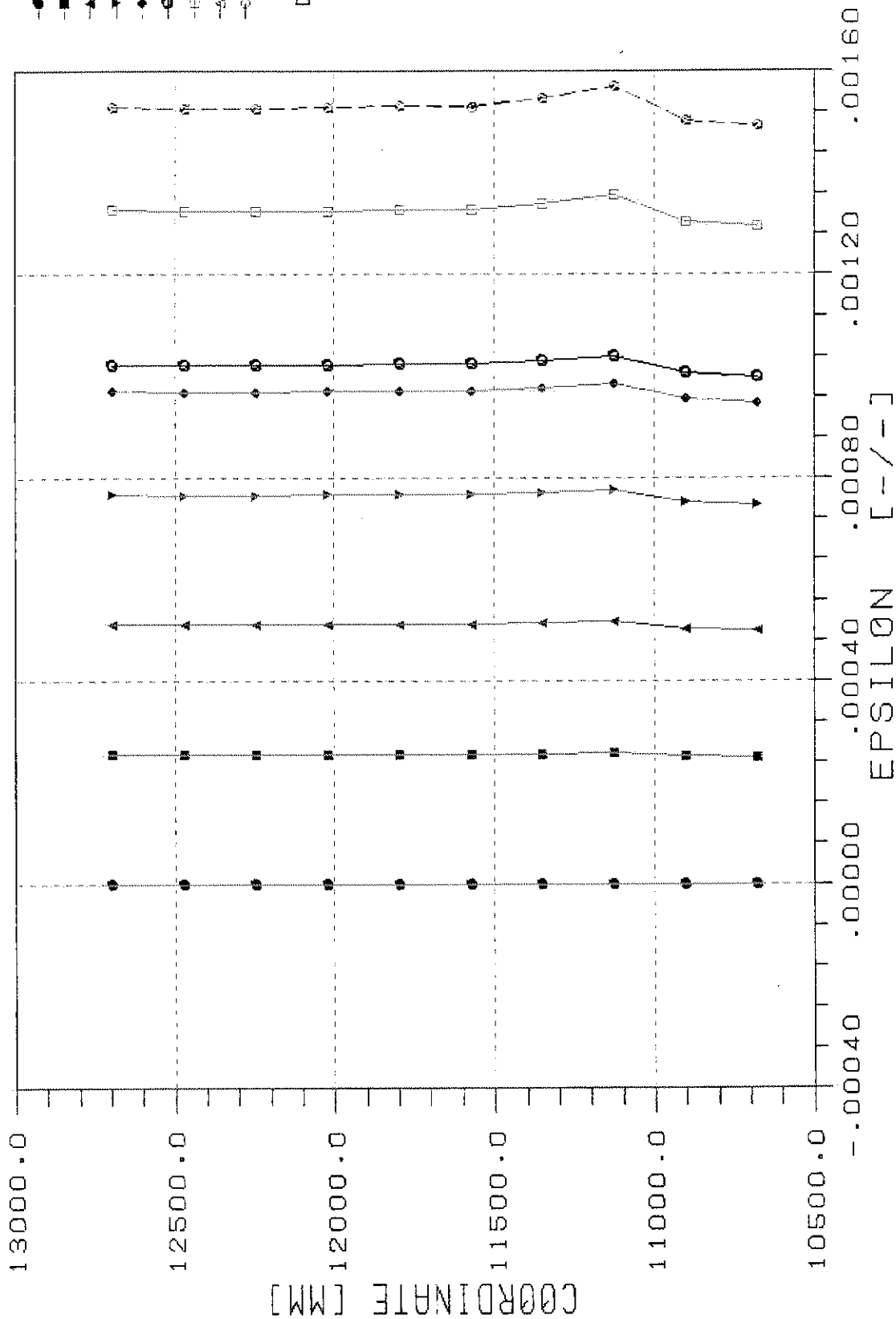


図付 1-13-5 実機計測位置対応鉄筋ひずみ (トップデッキ・あばら筋)

状態

- I
 - (NC00)
 - (NC05)
 - ▲ (NC10)
 - ▼ (NC15)
 - ◆ (NC19)
 - (NC20)
 - ⊕ (NC26)
 - △ (NC30)
 - ⊖ (NC31)
- II
- III
- IV

D8 あばら



図付 I-13-6 実機計測位置対応鉄筋ひずみ (トップデッキ・あばら; 断面 T-27)