

# 熱過渡荷重を受ける板厚不連続部の解析

n乗型の応力ひずみ関係による解析計算

1993年12月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団  
技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

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

1993年12月

# 熱過渡荷重を受ける板厚不連続部の解析 n乗型の応力ひずみ関係による解析計算

報告者 石川昌幸\*

実施責任者 笠原直人\*\*

## 要 旨

熱過渡荷重を受ける板厚不連続部に対してn乗型の応力ひずみ関係による応力解析（非線形弾性モデルによるn乗則解析）を行った。

熱過渡条件は、高温状態からのコールドトランジェント(0.17 °C/sec)である。

本解析におけるパラメータは以下の通りである。材料特性のパラメータであるn乗則指数は、 $n=1, 3, 5, 7$ 、ポアソン比は0.3、0.5とした。また、形状は板厚の異なる円筒殻を2つつないだモデルで薄肉部の板厚10mm、厚肉部の板厚20mmのモデル(M20)、薄肉部の板厚10mm、厚肉部の板厚40mmのモデル(M40)、薄肉部の板厚10mm、厚肉の板厚100mmのモデル(M100)の3ケースとした。

さらに、対応する弾性解析結果と組み合わせることにより、全ひずみに対する弾性追従パラメータ $q_{\dots}$ 、総体的挙動による公称ひずみに対する弾性追従パラメータ $q_{\dots}$ を算出し、次のような知見を得た。

### (1) 局所ひずみに対する弾性追従パラメータ $q_{\dots}$

上記n乗則による弾性追従パラメータ $q_{\dots}$ は、R止端部近傍の評価断面において、M20は0.89~1.70、M40は1.08~1.99、M100は0.88~1.93であり、また平滑部の評価断面において、M20は1.24~2.01、M40は1.30~2.21、M100は1.13~1.69である。

### (2) 総体的挙動による公称ひずみに対する弾性追従パラメータ $q_{\dots}$

上記n乗則による弾性追従パラメータ $q_{\dots}$ は、R止端部近傍の評価断面において、M20は0.76~1.49、M40は0.88~1.74、M100は0.88~1.93であり、また平滑部の評価断面において、M20は1.24~2.01、M40は1.30~2.21、M100は1.13~1.69である。

また、n乗指数及びポアソン比の違いにより、最大応力発生位置がR止端部近傍から平滑部へと移動するケースがあり、R部止端部の弾性追従パラメータはn指数が大きくなると減少するが、平滑部の弾性追従パラメータはn指数が大きくなると増加する傾向がある。

\* 常陽産業株式会社

\*\*大洗工学センター 機器構造開発部 構造工学室

## 目 次

1. 緒言 .....	1
2. 板厚不連続部の n 乗則を用いた熱過渡解析 .....	2
2. 1 解析モデル .....	2
2. 2 材料特性 .....	2
2. 3 境界条件及び負荷 .....	4
2. 4 解析結果 .....	4
2. 4. 1 解析結果整理方法 .....	4
2. 4. 2 評価断面の定義 .....	5
2. 4. 3 温度分布解析 .....	6
2. 4. 4 弾性解析結果 .....	6
2. 4. 5 非線形弾性解析結果 .....	6
3. 結言 .....	7
参考文献 .....	15
Appendix-1 .....	17
FINAS入力データセット一覧 .....	17

## LIST OF TABLES

Table2.4.1	n乗則解析ケース一覧 ( n=1, 3, 5, 7 )	19
Table2.4.2(1)	最大応力発生時点における弾性解析結果	20
Table2.4.2(2)	最大応力発生時点における弾性解析結果	21
Table2.4.3	弾性解析及びn乗則解析結果におけるグラフ凡例の説明	22

## LIST OF FIGURES

Fig. 2. 1. 1	各モデル形状及び主要寸法	23
Fig. 2. 2. 1	n乗則応力-ひずみ関係 (n = 3, 5, 7)	24
Fig. 2. 3. 1	温度分布解析用境界条件	25
Fig. 2. 3. 2	応力解析用境界条件	26
Fig. 2. 3. 3	各モデルにおける熱過渡条件	27
Fig. 2. 4. 1	評価断面及び評価ラインの位置 (M20)	28
Fig. 2. 4. 2	評価断面及び評価ラインの位置 (M40)	29
Fig. 2. 4. 3	評価断面及び評価ラインの位置 (M100)	30
Fig. 2. 4. 4	温度コンター (M20)	31
Fig. 2. 4. 5	温度コンター (M40)	32
Fig. 2. 4. 6	温度コンター (M100)	33
Fig. 2. 4. 7	ミーゼスの相当応力コンター (M20)	34
Fig. 2. 4. 8	ミーゼスの相当応力コンター (M40)	35
Fig. 2. 4. 9	ミーゼスの相当応力コンター (M100)	36
Fig. 2. 4. 10	評価ラインに沿った各応力、ひずみ成分分布比較 (M20、弾性、 $\nu=0.3, 0.5$ )	37
Fig. 2. 4. 11	評価ラインに沿った各応力、ひずみ成分分布比較 (M40、弾性、 $\nu=0.3, 0.5$ )	38
Fig. 2. 4. 12	評価ラインに沿った各応力、ひずみ成分分布比較 (M100、弾性、 $\nu=0.3, 0.5$ )	39
Fig. 2. 4. 13	評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較 (M20、n=3、 $\nu=0.3, 0.5$ )	40
Fig. 2. 4. 14	評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較 (M20、n=5、 $\nu=0.3, 0.5$ )	41
Fig. 2. 4. 15	評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較 (M20、n=7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	42
Fig. 2. 4. 16	評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較 (M40、n=3、 $\nu=0.3, 0.5$ )	43
Fig. 2. 4. 17	評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較 (M40、n=5、 $\nu=0.3, 0.5$ )	44
Fig. 2. 4. 18	評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較 (M40、n=7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	45

Fig. 2. 4. 19	評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較	46
	(M100、n=3、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 20	評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較	47
	(M100、n=5、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 21	評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較	48
	(M100、n=7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 22	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	49
	(評価断面-1、M20、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 23	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	50
	(評価断面-2、M20、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 24	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	51
	(評価断面-3、M20、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 25	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	52
	(評価断面-4、M20、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 26	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	53
	(評価断面-5、M20、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 27	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	54
	(評価断面-6、M20、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 28	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	55
	(評価断面-1、M40、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 29	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	56
	(評価断面-2、M40、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 30	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	57
	(評価断面-3、M40、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 31	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	58
	(評価断面-4、M40、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 32	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	59
	(評価断面-5、M40、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 33	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	60
	(評価断面-6、M40、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 34	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	61
	(評価断面-1、M100、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 35	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	62
	(評価断面-2、M100、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 36	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}, q_{ppn}$ )	63
	(評価断面-3、M100、n=1, 3, 5, 7、 $\nu=0.3, 0.5$ )	

Fig. 2. 4. 37	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}$ , $q_{ppn}$ )	64
	(評価断面-4、M100、 $n=1, 3, 5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 38	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}$ , $q_{ppn}$ )	65
	(評価断面-5、M100、 $n=1, 3, 5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 39	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}$ , $q_{ppn}$ )	66
	(評価断面-6、M100、 $n=1, 3, 5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 40	同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{pp}$ , $q_{ppn}$ )	67
	(評価断面-7、M100、 $n=1, 3, 5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$ )	
Fig. 2. 4. 41	最大ひずみ発生位置における弾性追従パラメータの比較	68
	(M20、LINE-1, 3, 6)	
Fig. 2. 4. 42	最大ひずみ発生位置における弾性追従パラメータの比較	69
	(M40、LINE-1, 3, 6)	
Fig. 2. 4. 43	最大ひずみ発生位置における弾性追従パラメータの比較	70
	(M100、LINE-1, 3, 7)	



## 1 . 緒 言

本解析は、板厚の異なる直列円筒殻のモデルを使用して $n$ 乗型の応力ひずみ関係による熱応力解析を行ったものである。

本報において想定した過渡熱荷重は、高温状態からのコールドトランジェント ( $0.17^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ ) である。対象とした構造は3種類であり、その形状は

- ① 薄肉部板厚10mm、厚肉部板厚20mmとしたモデル (M20)
- ② 薄肉部板厚10mm、厚肉部板厚40mmとしたモデル (M40)
- ③ 薄肉部板厚10mm、厚肉部板厚100mmとしたモデル (M100)

である。

材料特性は非線形弾性モデルによる $n$ 乗則を使用し、そのパラメータとしては、 $n = 1, 3, 5, 7$ 、 $\nu = 0.3, 0.5$ とした。

解析結果については、ひずみの表面に沿った分布及び全ひずみによる弾性追従パラメータ $q_{pp}$ 、公称ひずみに対する総体的弾性追従パラメータ $q_{pp}$ と最大応力発生時点の応力成分の履歴等についてまとめた。

## 2. 板厚不連続部の n 乗則を用いた熱過渡解析

### 2.1 解析モデル

モデル形状及び主要寸法をFig.2.1.1に示す。なお、本熱過渡解析で使用したコードはFINAS Ver.12.0である。<sup>(1)</sup> 温度解析に使用した要素は、熱伝導8節点四辺形軸対称要素HQA X 8、熱伝導6節点三角形軸対称要素HTA X 6、熱伝達3節点軸対称要素FCA X 3、応力解析は8節点四辺形軸対称要素QA X 8、6節点三角形軸対称要素TA X 6である。なお、本熱過渡解析で用いた形状は以下に示す板厚の異なる円筒構造の形状である。

主な形状パラメータを以下に示す。

#### (1) M20モデル (Fig.2.1.1)

胴外径： $D=980$  mm 薄肉部板厚： $t_1=10$ mm 厚肉部板厚： $t_2=20$ mm  
薄肉部高さ： $h_1=500$  mm 厚肉部高さ： $h_2=500$  mm  
交叉アール部曲率半径： $\rho=5$ mm

#### (2) M40モデル (Fig.2.1.1)

胴外径： $D=980$  mm 薄肉部板厚： $t_1=10$ mm 厚肉部板厚： $t_2=40$ mm  
薄肉部高さ： $h_1=500$  mm 厚肉部高さ： $h_2=500$  mm  
交叉アール部曲率半径： $\rho=5$ mm

#### (3) M100モデル (Fig.2.1.1)

胴外径： $D=980$  mm 薄肉部板厚： $t_1=10$ mm 厚肉部板厚： $t_2=100$ mm  
薄肉部高さ： $h_1=500$  mm 厚肉部高さ： $h_2=500$  mm  
交叉アール部曲率半径： $\rho=5$ mm

### 2.2 材料特性

材料特性パラメータを以下に示す。

#### (1) 熱伝導

熱伝導率、密度及び比熱は、温度依存性を考慮したSUS304の値を用いる (FINASライブラリ使用)。

## (2) 熱弾性

$$\begin{aligned} \text{縦弾性係数} & : E = 16200 \quad (\text{kg/mm}^2) \\ \text{ポアソン比} & : \nu = 0.3 \\ \text{線膨張係数} & : \alpha = 20.28 \times 10^{-6} \quad (1/^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

## (3) n乗則 (非線形弾性モデル)

n乗則 (非線形弾性モデル) 解析で使用したn乗則応力-ひずみ関係を Fig. 2.2.1 に示す。

- ・ n乗則応力-ひずみ関係に従う非線形弾性モデル

$$\varepsilon = B \sigma^n \quad \text{ここで、} \begin{aligned} \varepsilon & : \text{全ひずみ (mm/mm)} \\ \sigma & : \text{応力 (kg/mm}^2) \\ B & : n \text{乗則の係数 } 10^{-8} \\ n & : n \text{乗則の指数 } 1, 3, 5, 7 \end{aligned}$$

- ・ 構成モデル組み込み時に使用する材料定数

$$\begin{aligned} \text{ポアソン比} & : \nu = 0.3, 0.5 (\text{正確には} 0.499) \\ \text{線膨張係数} & : \alpha = 20.28 \times 10^{-6} \quad (1/^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

なお、n乗則解析の材料特性は、FINAS V12.0の機能であるユーザーサブルーチンを用いて上記の構成モデルをFINASに組み込んで解析を行った。

今回使用したユーザーサブルーチンはXMAT1 (剛性の計算) とXMAT2 (応力増分の計算) である。詳細は、「汎用非線形構造解析システム FINAS Version 12.0における機能拡張」<sup>(2)</sup> を参照のこと。また、構成モデル組み込み時に使用する材料定数のパラメータであるポアソン比を0.499とした理由は、以下に示す弾性体に対する剛性マトリックスの $A_1$ 、 $A_2$ 係数の $\nu$ を0.5とすると、 $A_1$ 、 $A_2$ 係数の解が不定となり解析不可能となるからである。

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_1 & A_2 & A_2 & 0 & 0 & 0 \\ & A_1 & A_2 & 0 & 0 & 0 \\ & & A_1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & A_3 & 0 & 0 \\ \text{sym.} & & & & A_3 & 0 \\ & & & & & A_3 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}$$

$$A_1 = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$A_2 = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$A_3 = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

## 2. 3 境界条件及び負荷

### (1) 境界条件

温度分布解析に用いる境界条件をFig. 2. 3. 1、応力解析に用いる境界条件をFig. 2. 3. 2 に示す。(境界条件は全ケース全て同じ)

### (2) 負荷

負荷条件として、高温状態から0.17°C/secでコールドトランジェント(500°C⇒400°C)の熱荷重を平滑部材側に加えた。

以下に条件を示す。

流体温度 0.17°C/sec (500°C⇒400°C) コールドトランジェント

熱伝達率 内 面 : 10000kcal/m<sup>2</sup>hr°C

上 記 以 外 : 断熱

上記負荷流体温度時刻歴をFig. 2. 3. 3 に示す。

なお、熱伝達率に関しては、本解析において、十分な熱応力が生じる値として熱伝達率として10000kcal/m<sup>2</sup>hr°Cとした。

弾性、n乗則解析における負荷として、Fig. 2. 4. 4 ~ 2. 4. 9 に示す最大応力発生時点の温度分布をそのまま使用すると応力が小さいく数値解析上解析精度が低下するため、 $S n / \sigma y = 5$ 程度になるように温度データに係数倍した温度分布を与えた。

## 2. 4 解析結果

各解析ケースについて、弾性追従パラメータ $q_{\dots}$ 、 $q_{\dots}$ の整理を行なった。また、パラメータ解析の各解析ケースについての一覧表をTable 2. 4. 1 に示す。

### 2. 4. 1 解析結果整理方法

以下に示す弾性追従パラメータについて解析結果の整理を行った。

#### (1) 全ひずみに対する弾性追従パラメータ $q_{\dots}$

通常の弾性追従パラメータは、次式(A)により定義される。

$$q_{\dots} = \frac{\Delta \varepsilon - \Delta \varepsilon^{\circ} (\Delta \bar{\sigma} / \Delta \bar{\sigma}^{\circ})}{\Delta \varepsilon^{\circ} (1 - \Delta \bar{\sigma} / \Delta \bar{\sigma}^{\circ})} \quad (A)$$

n乗則解析における弾性追従パラメータは、Advanced Creep-Fatigue Evaluation Rules for FBR Components (POST SMiRT Seminar No.11) <sup>(3)</sup> 及び報告書「定常的熱応力を受けるY型接合構造の解析」非線形弾性モデルによるn乗則解析計算 <sup>(4)</sup> のAppendix-1の方法により求めた。

純粋なn乗則応力-ひずみ関係での弾性追従パラメータは、弾性ひずみとn乗則によるひずみ比となる。

従って、全ひずみに対する弾性追従パラメータ  $q_{ep}$  は

$$q_{ep} = n \text{乗則のひずみ} / \text{弾性のひずみ}$$

となる。

(2) 公称ひずみに対する総体的弾性追従パラメータ  $q_{epn}$

全ひずみによる弾性追従パラメータ  $q_{ep}$  は、局所的挙動による弾性追従パラメータと総体挙動による弾性追従パラメータを使って(1)式により定義される。

なお、詳細は報告書「定常的熱応力を受けるY型接合構造の解析」非線形弾性モデルによるn乗則解析計算 <sup>(4)</sup> のAppendix-1参照のこと。

全ひずみによる弾性追従パラメータ  $q_{ep}$  は

$$\text{局所的挙動} (q_l) \times \text{総体挙動} (q_{epn}) \dots \dots \dots (1)$$

となる。また、局所的挙動 ( $q_l$ ) は  $K^{(n-1)/(n+1)}$  であり従って

総体的弾性追従パラメータ  $q_{epn}$  は

$$q_{epn} = \frac{q_{ep}}{K^{(n-1)/(n+1)}}$$

となる。

ここでKは応力集中係数、nはn乗則指数である。なお、詳細は Advanced Creep-Fatigue Evaluation Rules for FBR Components (POST SMiRT Seminar No.11) <sup>(3)</sup>

参照のこと。

## 2. 4. 2 評価断面の定義

評価断面を設定するにあたり、Fig. 2. 4. 10~2. 4. 21に示すように、n乗則指数及びポアソン比の違いにより最大ひずみ発生断面のバラツキが見られる。従って評価断面を設定する際に、r止端部における最大ひずみ発生時点及びその前後2断面と平滑部における最大ひずみ発生時点とした。各モデルにおける評価断面の位置をFig. 2. 4. 1 ~2. 4. 3 に示す。また、各モデルにおける最大応力発生評価断面は、ほぼ評価断面3である。Fig. 2. 4. 1 ~2. 4. 3 に示した評価点は、各評価断面のオール部側の表面とする。弾性追従パラメータ  $q_{ep}$ 、 $q_{epn}$  を算出する場合、n乗則解析結果によるひずみと弾性解析結果によるひずみを使用してFig.

2.4.1～2.4.3 に示した同一の評価断面にて計算を行って整理した。また、 $q_{\text{eff}}$  を計算する場合に用いる  $K$  (応力集中係数) は、弾性解析の最大応力発生評価断面 (設計時には、弾性解析の最大応力発生位置の値を用いるため、 $q_{\text{eff}}$  を計算する場合に用いる  $K$  は弾性解析の最大応力発生位置の値とした。) における表面応力と等価線形応力の比を用いた。

### 2.4.3 温度分布解析

各解析モデルにおける最大応力発生時点での温度コンターを Fig. 2.4.4～2.4.6 に示す。また、各モデルの最大応力発生時間は M20 は 800秒、M40 は 820秒、M100 は 1400秒である。

### 2.4.4 弾性解析結果

各解析モデルにおける最大応力発生時点でのミーゼスの相当応力コンターを Fig. 2.4.7～2.4.9 に示す。また、評価ラインに沿った各応力、ひずみ成分及び相当ひずみの分布を Fig. 2.4.10～2.4.12 に示す。また最大応力発生時点における各応力成分、等価線形応力  $S_n$ 、ミーゼスの相当応力を Table 2.4.2 に示す。なお、Fig. 2.4.22以降で横軸に使用している  $\sigma_y$  は  $8.1 \text{ kg/mm}^2$  である。

### 2.4.5 非線形弾性解析結果

#### (1) 評価ラインに沿ったひずみ分布の比較

総体的弾性追従挙動を調べるために  $n$  乗則の最大応力発生時点における各ひずみ成分の評価ラインに沿った分布を Fig. 2.4.13～2.4.21 に示す。(各評価ラインは Fig. 2.4.1～2.4.3 参照) なお、ひずみの座標は評価断面の座標系である。

#### (2) 弾性追従パラメータの比較 (評価断面毎)

荷重依存性の有無を調べるために各解析モデルに対して評価断面毎の全ひずみに対する弾性追従パラメータ  $q_{\text{eff}}$ 、総体的弾性追従パラメータ  $q_{\text{eff}}$  の比較を Fig. 2.4.22～2.4.40 に示す。

#### (3) 評価断面の違いによる弾性追従パラメータ及び最大ひずみ発生位置の比較

各解析モデルにおける代表的な評価断面の全ひずみに対する弾性追従パラメータ  $q_{\text{eff}}$  及び最大ひずみ発生位置を Fig. 2.4.41～2.4.43 に示す。弾性解析結果及び非線形弾性解析結果で示したグラフの凡例の説明を Table 2.4.3 に示す。

### 3. 結 言

板厚の異なる直列円筒構造について、形状を薄肉部板厚10mm、厚肉部板厚20mmとしたモデル、薄肉部板厚10mm、厚肉部板厚40mmとしたモデル、薄肉部板厚10mm、厚肉部板厚20mmとした3種類のモデル、材料特性を $n$ 乗則 ( $n=3, 5, 7$ )、ポアソン比 $\nu=0.3, 0.5$ による熱過渡荷重パラメータ解析を行った。また、上記解析結果を全ひずみに対する弾性追従パラメータと総体的弾性追従パラメータについて整理した。また、熱過渡荷重の違いによる最大ひずみ発生位置の違いについてまとめた。

その結果弾性追従パラメータについて以下に示す知見が得られた。

#### (1) 弾性追従パラメータ (評価断面毎)

- ・ M20 (薄肉部板厚10mm、厚肉部板厚20mmとしたモデル)

M20モデルの熱過渡荷重下における評価断面3 ( $n$ 乗則における最大応力発生断面)の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ は、ポアソン比が同じであれば、 $n$ 指数の違いによらずほぼ同じ値となる。評価断面3の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、ポアソン比0.3において0.89~1.0、 $q_{\sigma n}$ は、0.76~0.91であり、ポアソン比0.5において弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、1.65~1.7、 $q_{\sigma n}$ は、1.46~1.49である。

同様に、 $n$ 乗則における最大応力発生評価断面近傍部の評価断面1、2、4、5の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ は、ポアソン比が同じであれば、 $n$ 指数の違いによらずほぼ同じである。最大応力発生評価断面近傍部の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、ポアソン比0.3において0.72~1.08、 $q_{\sigma n}$ は、0.61~1.07であり、ポアソン比0.5においての弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、1.49~1.65、 $q_{\sigma n}$ は、1.27~1.6である。

また、平滑部における弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ は、ポアソン比及び $n$ 指数の違いにより差異が生じている。平滑部における評価断面6の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、ポアソン比0.3において1.24~1.54、 $q_{\sigma n}$ は、1.24~1.54であり、ポアソン比0.5においての弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ とも、1.65~2.01である最大応力発生評価断面近傍部と平滑部の弾性追従パラメータを比較してみると、最大応力発生評価断面近傍部 (R止端部) においては、 $n$ が大きくなるにつれて、弾性追従パラメータは減少するが、平滑部においては増加する傾向が見られる。

## &lt;M20 評価断面-1&gt;

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.51
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	0.93
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.58
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	0.84
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.42

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.51
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	0.82
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.55
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	0.71
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.35

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	0.72
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.49
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	0.61
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.27

## &lt;M20 評価断面-2&gt;

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.48
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	0.96
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.61
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	0.86
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.45

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.48
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	0.87
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.62
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	0.76
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.41

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	0.78
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.58
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	0.67
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.35

## &lt;M20 評価断面-3&gt;

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.47
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	1.00
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.65
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	0.91
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.49

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.47
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	0.95
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.7
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	0.83
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.49

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	0.89
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.7
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	0.76
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.46

## &lt;M20 評価断面-4&gt;

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.45
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	1.04
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.6
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	0.97
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.51

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.45
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	1.01
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.64
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	0.93
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.52

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	0.97
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.65
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	0.88
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.5

Fig. 2.4.22~2.4.25 参照。



< M 2 0 評価断面 - 5 >

q <sub>o,p</sub> n=1, ν=0.5	1.46
q <sub>o,p</sub> n=3, ν=0.3	1.08
q <sub>o,p</sub> n=3, ν=0.5	1.59
q <sub>o,p,n</sub> n=3, ν=0.3	1.07
q <sub>o,p,n</sub> n=3, ν=0.5	1.58

q <sub>o,p,n</sub> n=1, ν=0.5	1.46
q <sub>o,p</sub> n=5, ν=0.3	1.07
q <sub>o,p</sub> n=5, ν=0.5	1.62
q <sub>o,p,n</sub> n=5, ν=0.3	1.06
q <sub>o,p,n</sub> n=5, ν=0.5	1.6

q <sub>o,p</sub> n=7, ν=0.3	1.04
q <sub>o,p</sub> n=7, ν=0.5	1.62
q <sub>o,p,n</sub> n=7, ν=0.3	1.03
q <sub>o,p,n</sub> n=7, ν=0.5	1.6

< M 2 0 評価断面 - 6 >

q <sub>o,p</sub> n=1, ν=0.5	1.4
q <sub>o,p</sub> n=3, ν=0.3	1.24
q <sub>o,p</sub> n=3, ν=0.5	1.65
q <sub>o,p,n</sub> n=3, ν=0.3	1.24
q <sub>o,p,n</sub> n=3, ν=0.5	1.65

q <sub>o,p,n</sub> n=1, ν=0.5	1.4
q <sub>o,p</sub> n=5, ν=0.3	1.4
q <sub>o,p</sub> n=5, ν=0.5	1.85
q <sub>o,p,n</sub> n=5, ν=0.3	1.4
q <sub>o,p,n</sub> n=5, ν=0.5	1.85

q <sub>o,p</sub> n=7, ν=0.3	1.54
q <sub>o,p</sub> n=7, ν=0.5	2.01
q <sub>o,p,n</sub> n=7, ν=0.3	1.54
q <sub>o,p,n</sub> n=7, ν=0.5	2.01

Fig. 2.4.26~2.4.27 参照。

・M40（薄肉部板厚10mm、厚肉部板厚40mmとしたモデル）

M40モデルの熱過渡荷重下における各評価断面の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ は、ポアソン比及び $n$ 指数の違いにより差異が生じている。最大応力発生評価断面3の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、ポアソン比0.3において0.99~1.22、 $q_{\sigma n}$ は、0.76~0.94であり、ポアソン比0.5において弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、1.97~2.06、 $q_{\sigma n}$ は、1.52~1.73である。

同様に、 $n$ 乗則における最大応力発生評価断面近傍部の評価断面1、2、4、5の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ は、ポアソン比及び $n$ 指数の違いにより差異が生じている。最大応力発生評価断面近傍部の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、ポアソン比0.3において0.73~1.2、 $q_{\sigma n}$ は、0.64~1.09であり、ポアソン比0.5における弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、1.68~1.99、 $q_{\sigma n}$ は、1.27~1.8である。

また、平滑部における弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ も同様に、ポアソン比及び $n$ 指数の違いにより差異が生じている。平滑部における評価断面6の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 及び $q_{\sigma n}$ ともポアソン比0.3において1.3~1.57であり、ポアソン比0.5における弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ とも、1.77~2.21である。

最大応力発生評価断面近傍部と平滑部の弾性追従パラメータを比較してみると、M20モデルと同様に、最大応力発生評価断面近傍部（R止端部）においては、 $n$ が大きくなるにつれて、弾性追従パラメータは減少するが、平滑部においては増加する傾向が見られる。

<M40 評価断面-1>

$q_{\sigma}$ $n=1, \nu=0.5$	1.86
$q_{\sigma}$ $n=3, \nu=0.3$	1.01
$q_{\sigma}$ $n=3, \nu=0.5$	1.97
$q_{\sigma n}$ $n=3, \nu=0.3$	0.84
$q_{\sigma n}$ $n=3, \nu=0.5$	1.63

$q_{\sigma n}$ $n=1, \nu=0.5$	1.86
$q_{\sigma}$ $n=5, \nu=0.3$	0.88
$q_{\sigma}$ $n=5, \nu=0.5$	1.83
$q_{\sigma n}$ $n=5, \nu=0.3$	0.68
$q_{\sigma n}$ $n=5, \nu=0.5$	1.43

$q_{\sigma}$ $n=7, \nu=0.3$	0.73
$q_{\sigma}$ $n=7, \nu=0.5$	1.68
$q_{\sigma n}$ $n=7, \nu=0.3$	0.55
$q_{\sigma n}$ $n=7, \nu=0.5$	1.27

<M40 評価断面-2>

$q_{\sigma}$ $n=1, \nu=0.5$	1.82
$q_{\sigma}$ $n=3, \nu=0.3$	1.05
$q_{\sigma}$ $n=3, \nu=0.5$	2.0
$q_{\sigma n}$ $n=3, \nu=0.3$	0.88
$q_{\sigma n}$ $n=3, \nu=0.5$	1.67

$q_{\sigma n}$ $n=1, \nu=0.5$	1.82
$q_{\sigma}$ $n=5, \nu=0.3$	0.96
$q_{\sigma}$ $n=5, \nu=0.5$	1.92
$q_{\sigma n}$ $n=5, \nu=0.3$	0.75
$q_{\sigma n}$ $n=5, \nu=0.5$	1.51

$q_{\sigma}$ $n=7, \nu=0.3$	0.84
$q_{\sigma}$ $n=7, \nu=0.5$	1.81
$q_{\sigma n}$ $n=7, \nu=0.3$	0.64
$q_{\sigma n}$ $n=7, \nu=0.5$	1.38

< M 4 0 評価断面 - 3 >

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.79
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	1.22
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	2.06
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	0.94
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.73

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.79
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	1.07
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	2.04
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	0.85
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.73

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	0.99
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.97
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	0.76
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.52

Fig. 2.4.28~2.4.30 参照。

< M 4 0 評価断面 - 4 >

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.73
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	1.15
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.99
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	1.01
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.74

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.73
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	1.14
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.98
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	0.95
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.65

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	1.08
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.91
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	0.88
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.56

< M 4 0 評価断面 - 5 >

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.72
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	1.2
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.95
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	1.09
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.8

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.72
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	1.19
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.95
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	1.07
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.73

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	1.15
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.88
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	1.01
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.65

< M 4 0 評価断面 - 6 >

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.41
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	1.3
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.77
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	1.3
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.77

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.41
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	1.45
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	2.01
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	1.45
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	2.01

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	1.57
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	2.21
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	1.57
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	2.21

Fig. 2.4.31~2.4.33 参照。

・M100 (薄肉部板厚10mm、厚肉部板厚40mmとしたモデル)

M100モデルの熱過渡荷重下における各評価断面の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ はM40モデルと同様に、ポアソン比及びn指数の違いにより差異が生じている。最大応力発生評価断面3の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、ポアソン比0.3において0.86~0.98、 $q_{\sigma n}$ は0.86~0.98であり、ポアソン比0.5において弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、1.62~2.09、 $q_{\sigma n}$ は1.62~2.09である。

同様に、n乗則における最大応力発生評価断面近傍部の評価断面1、2、4、5の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ は、ポアソン比及びn指数の違いにより差異が生じている。最大応力発生評価断面近傍部の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、ポアソン比0.3において0.87~0.99、 $q_{\sigma n}$ は0.87~0.99であり、ポアソン比0.5における弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ は、1.53~1.93、 $q_{\sigma n}$ は1.53~1.93である。

また、平滑部における弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ も同様に、ポアソン比及びn指数の違いにより差異が生じている。平滑部における評価断面6、7の弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 及び $q_{\sigma n}$ ともポアソン比0.3において1.05~1.15であり、ポアソン比0.5における弾性追従パラメータ $q_{\sigma}$ 、 $q_{\sigma n}$ とも、1.46~1.69である。最大応力発生評価断面近傍部と平滑部の弾性追従パラメータを比較してみると、M20モデルと同様に、最大応力発生評価断面近傍部(R止端部)においては、nが大きくなるにつれて、弾性追従パラメータは減少するが、平滑部においては増加する傾向が見られる。

<M100 評価断面-1>

$q_{\sigma}$ n=1, $\nu=0.5$	2.28
$q_{\sigma}$ n=3, $\nu=0.3$	0.97
$q_{\sigma}$ n=3, $\nu=0.5$	2.08
$q_{\sigma n}$ n=3, $\nu=0.3$	0.97
$q_{\sigma n}$ n=3, $\nu=0.5$	2.08

$q_{\sigma n}$ n=1, $\nu=0.5$	2.28
$q_{\sigma}$ n=5, $\nu=0.3$	0.91
$q_{\sigma}$ n=5, $\nu=0.5$	1.78
$q_{\sigma n}$ n=5, $\nu=0.3$	0.91
$q_{\sigma n}$ n=5, $\nu=0.5$	1.78

$q_{\sigma}$ n=7, $\nu=0.3$	0.87
$q_{\sigma}$ n=7, $\nu=0.5$	1.53
$q_{\sigma n}$ n=7, $\nu=0.3$	0.87
$q_{\sigma n}$ n=7, $\nu=0.5$	1.53

<M100 評価断面-2>

$q_{\sigma}$ n=1, $\nu=0.5$	2.2
$q_{\sigma}$ n=3, $\nu=0.3$	0.96
$q_{\sigma}$ n=3, $\nu=0.5$	2.08
$q_{\sigma n}$ n=3, $\nu=0.3$	0.96
$q_{\sigma n}$ n=3, $\nu=0.5$	2.08

$q_{\sigma n}$ n=1, $\nu=0.5$	2.2
$q_{\sigma}$ n=5, $\nu=0.3$	0.9
$q_{\sigma}$ n=5, $\nu=0.5$	1.81
$q_{\sigma n}$ n=5, $\nu=0.3$	0.9
$q_{\sigma n}$ n=5, $\nu=0.5$	1.81

$q_{\sigma}$ n=7, $\nu=0.3$	0.86
$q_{\sigma}$ n=7, $\nu=0.5$	1.57
$q_{\sigma n}$ n=7, $\nu=0.3$	0.86
$q_{\sigma n}$ n=7, $\nu=0.5$	1.57

<M100 評価断面-3>

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	2.13
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	0.98
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	2.09
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	0.98
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	2.09

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	2.13
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	0.91
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.85
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	0.91
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.85

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	0.86
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.62
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	0.86
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.62

Fig. 2.4.34~2.4.36 参照。

<M100 評価断面-4>

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.97
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	0.98
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.93
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	0.98
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.93

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.97
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	0.92
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.72
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	0.92
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.72

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	0.88
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.52
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	0.88
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.52

<M100 評価断面-5>

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.84
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	0.99
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.8
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	0.99
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.8

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.84
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	0.93
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.6
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	0.93
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.6

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	0.93
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.43
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	0.93
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.43

<M100 評価断面-6>

$q_{sp}$ $n=1, \nu=0.5$	1.24
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.3$	1.07
$q_{sp}$ $n=3, \nu=0.5$	1.46
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.3$	1.07
$q_{spn}$ $n=3, \nu=0.5$	1.46

$q_{spn}$ $n=1, \nu=0.5$	1.24
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.3$	1.06
$q_{sp}$ $n=5, \nu=0.5$	1.5
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.3$	1.06
$q_{spn}$ $n=5, \nu=0.5$	1.5

$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.3$	1.05
$q_{sp}$ $n=7, \nu=0.5$	1.51
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.3$	1.05
$q_{spn}$ $n=7, \nu=0.5$	1.51

## &lt;M100 評価断面-7&gt;

$q_{\sigma p}$ $n=1, \nu=0.5$	1.19	$q_{\sigma p n}$ $n=1, \nu=0.5$	1.19	$q_{\sigma p}$ $n=7, \nu=0.3$	1.15
$q_{\sigma p}$ $n=3, \nu=0.3$	1.13	$q_{\sigma p}$ $n=5, \nu=0.3$	1.15	$q_{\sigma p}$ $n=7, \nu=0.5$	1.69
$q_{\sigma p}$ $n=3, \nu=0.5$	1.45	$q_{\sigma p}$ $n=5, \nu=0.5$	1.59	$q_{\sigma p n}$ $n=7, \nu=0.3$	1.15
$q_{\sigma p n}$ $n=3, \nu=0.3$	1.13	$q_{\sigma p n}$ $n=5, \nu=0.3$	1.15	$q_{\sigma p n}$ $n=7, \nu=0.5$	1.69
$q_{\sigma p n}$ $n=3, \nu=0.5$	1.45	$q_{\sigma p n}$ $n=5, \nu=0.5$	1.59		

Fig. 2.4.37~2.4.40 参照。

## (2) 最大ひずみ発生位置における弾性追従パラメータの比較

各モデルにおける最大ひずみ発生位置は、Fig. 2.4.41~2.4.43に示したようにM20及びM40に関しては、各解析ケースにおいてLINE-3 (R止端部近傍) に $n=5$ ポアソン比0.3、 $n=7$ 、ポアソン比0.3のケースを除いて、ほとんどが集中しているが、M100のモデルに関しては、最大ひずみ発生位置がR止端部近傍から平滑部へとほとんどが移動している。Fig. 2.4.41~2.4.43に示した結果より、不連続部の板厚が厚くなるにつれて、最大ひずみ発生位置がR止端近傍部から平滑部へと移動していることがわかる。

また、R止端部及び平滑部の弾性追従パラメータは、R止端部において $n$ 指数が大きくなるにつれて減少するが、平滑部においては $n$ 指数が大きくなるにつれて増加する傾向がみられる。

## (3) 応力集中係数

以下に通常起動及び手動トリップにおける応力集中係数を示す。なお、応力集中係数は $K$  (応力集中係数) = 相当応力 (表面値) / 等価線形応力により計算される。

## &lt;応力集中係数K&gt;

モデル名	K	モデル名	K	モデル名	K
M20-評価断面-1	1.24	M40-評価断面-1	1.45	M100- 評価断面-1	1.0
M20-評価断面-2	1.23	M40-評価断面-2	1.44	M100- 評価断面-2	1.0
M20-評価断面-3	1.22	M40-評価断面-3	1.41	M100- 評価断面-3	1.0
M20-評価断面-4	1.13	M40-評価断面-4	1.31	M100- 評価断面-4	1.0
M20-評価断面-5	1.02	M40-評価断面-5	1.19	M100- 評価断面-5	1.0
M20-評価断面-6	1.0	M40-評価断面-6	1.0	M100- 評価断面-6	1.0
				M100- 評価断面-7	1.0

参 考 文 献

- (1) 「FINAS 使用説明書 VERSION 12.0」  
PNC TN9520 92-006 1993年3月
- (2) 岩田他、汎用非線形構造解析システム  
FINAS Version 12.0における機能拡張  
PNC ZN9410 92-197 1992年3月
- (3) 笠原他、Advanced Creep-Fatigue Evaluation Rules for FBR Components  
-- Generalization of Elastic Follow-up Model --  
( POST SMiRT Seminar No.11 , 1991)
- (4) 石川他、定常的熱応力を受けるY型接合構造の解析  
— 非線形弾性モデルによるn乗則解析計算 —  
PNC PN9450 93-018 1993年 8月

## A p e n d i x - 1

## F I N A S 入 力 デ ー タ 一 覧

本解析に使用したF I N A Sの入力データは、大型計算機上の以下のIDに記録してある。

- n乗型構造解析（ソリッド）

登録ID：POD2A11 データセット名：FILENJYO. DATA

F I N A Sバージョン：12.0

<メンバー一覧>

メンバー名	メンバー内容	備考
¥HEAT	熱伝導解析用JCL	
¥RANGEDT	RANGE用JCL	
¥STRSDS	応力解析用JCL	
¥NJYO	n乗則解析JCL	
¥FNSEEDIT	FNSEEDIT用JCL	
FNSEDTCI	F I N A S FNSEEDITデータ	
MF100E	M100用モデルデータ（応力）	
MF100H	M100用モデルデータ（温度）	
MF20E	M20用モデルデータ（応力）	
MF20H	M20用モデルデータ（温度）	
MF40E	M40用モデルデータ（応力）	
MF40E	M40用モデルデータ（応力）	
MF40H	M40用モデルデータ（温度）	
RNG100L1	M100 RANGE用データ（内面）	



メンバー名	メンバー内容	備考
RNG100L2	M100 RANGE用データ(外面)	
RNG20L1	M20 RANGE用データ(内面)	
RNG20L2	M20 RANGE用データ(外面)	
RNG40L1	M40 RANGE用データ(内面)	
RNG40L2	M40 RANGE用データ(外面)	
T1FT100E	弾性解析用入力データ(M100)	
T1FT100H	熱伝導解析用入力データ(M100)	
T1FT100N	M100非線形弾性モデル(n=3,5,7)	
T1FT20E	弾性解析用入力データ(M20)	
T1FT20H	熱伝導解析用入力データ(M20)	
T1FT20N	M20非線形弾性モデル(n=3,5,7)	
T1FT40E	弾性解析用入力データ(M40)	
T1FT40H	熱伝導解析用入力データ(M40)	
T1FT40N	M40非線形弾性モデル(n=3,5,7)	

Table 2.4.1 n乗則解析ケース一覧 (n = 1, 3, 5, 7)

&lt;弾性およびn乗則(非線形)&gt;

解析ケース名	解析の種類	$\rho$ (mm)	$t_1$ (mm)	$t_2$ (mm)	$\alpha$	n	備 考
T1FT100E	弾性	5	10	100	20.28E-6	—	E=16200 形状図⇒Fig. 2.1.1
T1FT40E	弾性	5	10	40	20.28E-6	—	E=16200 形状図⇒Fig. 2.1.1
T1FT20E	弾性	5	10	20	20.28E-6	—	E=16200 形状図⇒Fig. 2.1.1
T1FT100N	非線形	5	10	100	20.28E-6	1, 3, 5, 7	n乗則 形状図⇒Fig. 2.1.1
T1FT40N	非線形	5	10	40	20.28E-6	1, 3, 5, 7	n乗則 形状図⇒Fig. 2.1.1
T1FT20N	非線形	5	10	20	20.28E-6	1, 3, 5, 7	n乗則 形状図⇒Fig. 2.1.1

$\rho$  : 交叉アール部曲率半径       $\alpha$  : 線膨張係数  
 $t_1$  : 薄肉部                      n : n乗則の指数  
 $t_2$  : 厚肉部

&lt;熱伝導&gt;

解析ケース名	解析の種類	$\rho$ (mm)	$t_1$ (mm)	$t_2$ (mm)	材料特性	備 考
T1FT100H	熱伝導	5	10	100	熱伝達率= 10000Kcal/m <sup>2</sup> h°C 他は温度依存(SUS 304)	形状図⇒Fig. 2.1.1
T1FT40H	熱伝導	5	10	40		形状図⇒Fig. 2.1.1
T1FT20H	熱伝導	5	10	20		形状図⇒Fig. 2.1.1

$\rho$  : 交叉アール部曲率半径  
 $t_1$  : 薄肉部  
 $t_2$  : 厚肉部

Table 2.4.2(1) 最大応力発生時点における弾性解析結果

Unit: 応力 kg/mm<sup>2</sup>  
: ひずみ %

M 2 0 - 評価断面 3

	r 成分	z 成分	$\theta$ 成分	rz成分	
応力 (表面値)	-0.286	-51.269	22.066	-0.157	S n = 36.439 相当応力 (表面値) = 44.309
膜応力	-2.023	-0.214	4.424	0.170	
曲げ応力	-2.559	-40.471	-29.363	-2.637	
ひずみ (表面値)	-0.135	-0.275	-0.04	-0.003	

M 2 0 - 評価断面 6

	r 成分	z 成分	$\theta$ 成分	rz成分	
応力 (表面値)	-0.027	-36.048	-10.367	4.92E-2	S n = 40.602 相当応力 (表面値) = 32.124
膜応力	2.45E-2	-0.121	7.706	0.255	
曲げ応力	-0.028	-40.481	-23.168	-0.011	
ひずみ (表面値)	8.64E-2	-0.203	3.25E-3	7.90E-4	

M 4 0 - 評価断面 3

	r 成分	z 成分	$\theta$ 成分	rz成分	
応力 (表面値)	-0.237	-41.859	-7.745	-0.127	S n = 27.170 相当応力 (表面値) = 38.423
膜応力	-1.815	-0.126	12.081	-0.274	
曲げ応力	-2.06	-30.432	-20.252	-1.677	
ひずみ (表面値)	9.10E-2	-0.244	3.07E-2	2.05E-3	

M 4 0 - 評価断面 6

	r 成分	z 成分	$\theta$ 成分	rz成分	
応力 (表面値)	-0.059	-31.193	0.554	-0.137	S n = 32.718 相当応力 (表面値) = 31.404
膜応力	3.14E-2	9.38E-2	12.776	6.60E-2	
曲げ応力	-0.03	-32.625	-13.947	6.23E-3	
ひずみ (表面値)	5.68E-2	-0.193	6.17E-2	2.20E-3	

Table 2.4.2(2) 最大応力発生時点における弾性解析結果

M100-評価断面3

Unit: 応力  $\text{kg}/\text{mm}^2$   
: ひずみ %

	r成分	z成分	$\theta$ 成分	rz成分	
応力 (表面値)	-0.085	-12.096	20.247	-0.062	S n = 28.685 相当応力 (表面値) = 28.317
膜応力	-0.533	0.148	28.695	-1.608	
曲げ応力	-0.398	-8.113	-8.7	-0.703	
ひずみ (表面値)	-0.016	-0.112	0.148	9.99E-4	

M100-評価断面7

	r成分	z成分	$\theta$ 成分	rz成分	
応力 (表面値)	-0.059	-22.826	14.266	5.06E-2	S n = 37.266 相当応力 (表面値) = 32.125
膜応力	1.38E-2	-0.122	21.935	-0.594	
曲げ応力	3.62E-2	-22.398	-7.185	1.89E-2	
ひずみ (表面値)	1.56E-2	-0.167	0.1313	8.14E-4	

Table 2.4.3 弾性解析及びn乗則解析結果におけるグラフ凡例の説明

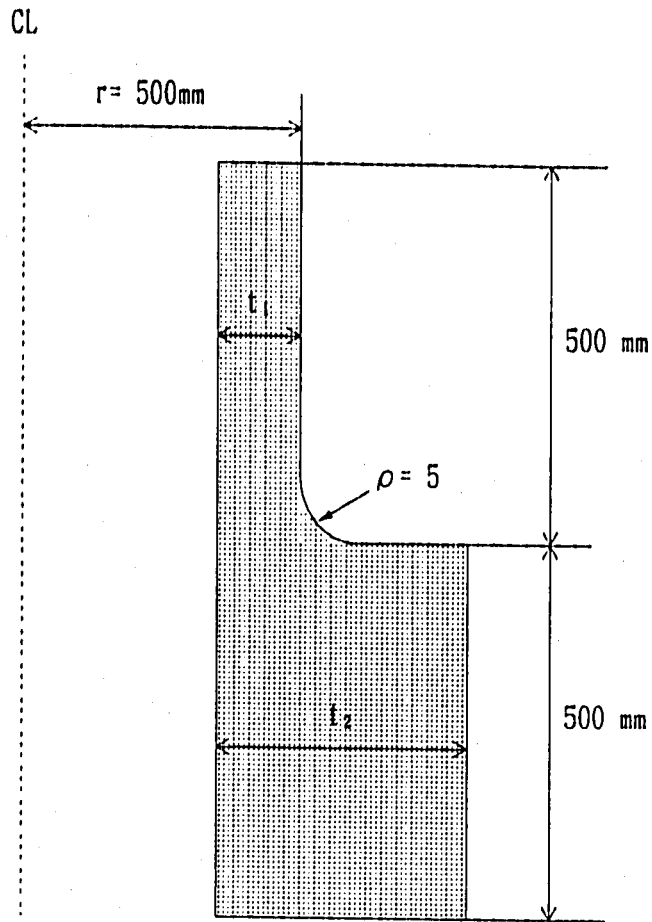
&lt;非線形弾性解析&gt;

Fig. 2.4.22~2.4.40

評価断面No.はタイトルに表示

凡 例	凡 例 説 明
qep-N15	局所ひずみによる $q_{opp}$ 、 N15 $\Rightarrow$ n乗則指数=1、 $\nu=0.5$
qep-N33	局所ひずみによる $q_{opp}$ 、 N33 $\Rightarrow$ n乗則指数=3、 $\nu=0.3$
qep-N35	局所ひずみによる $q_{opp}$ 、 N33 $\Rightarrow$ n乗則指数=3、 $\nu=0.5$
qep-N53	局所ひずみによる $q_{opp}$ 、 N53 $\Rightarrow$ n乗則指数=5、 $\nu=0.3$
qep-N55	局所ひずみによる $q_{opp}$ 、 N55 $\Rightarrow$ n乗則指数=5、 $\nu=0.5$
qep-N73	局所ひずみによる $q_{opp}$ 、 N73 $\Rightarrow$ n乗則指数=7、 $\nu=0.3$
qep-N75	局所ひずみによる $q_{opp}$ 、 N75 $\Rightarrow$ n乗則指数=7、 $\nu=0.5$

凡 例	凡 例 説 明
qepn-N15	総体的挙動による $q_{oppn}$ 、 N15 $\Rightarrow$ n乗則指数=1、 $\nu=0.5$
qepn-N33	総体的挙動による $q_{oppn}$ 、 N33 $\Rightarrow$ n乗則指数=3、 $\nu=0.3$
qepn-N35	総体的挙動による $q_{oppn}$ 、 N33 $\Rightarrow$ n乗則指数=3、 $\nu=0.5$
qepn-N53	総体的挙動による $q_{oppn}$ 、 N53 $\Rightarrow$ n乗則指数=5、 $\nu=0.3$
qepn-N55	総体的挙動による $q_{oppn}$ 、 N55 $\Rightarrow$ n乗則指数=5、 $\nu=0.5$
qepn-N73	総体的挙動による $q_{oppn}$ 、 N73 $\Rightarrow$ n乗則指数=7、 $\nu=0.3$
qepn-N75	総体的挙動による $q_{oppn}$ 、 N75 $\Rightarrow$ n乗則指数=7、 $\nu=0.5$



unit: mm

モデル名	$t_1$	$t_2$
M100	10	100
M40	10	40
M20	10	20

Fig. 2.1.1 各モデル形状及び主要寸法

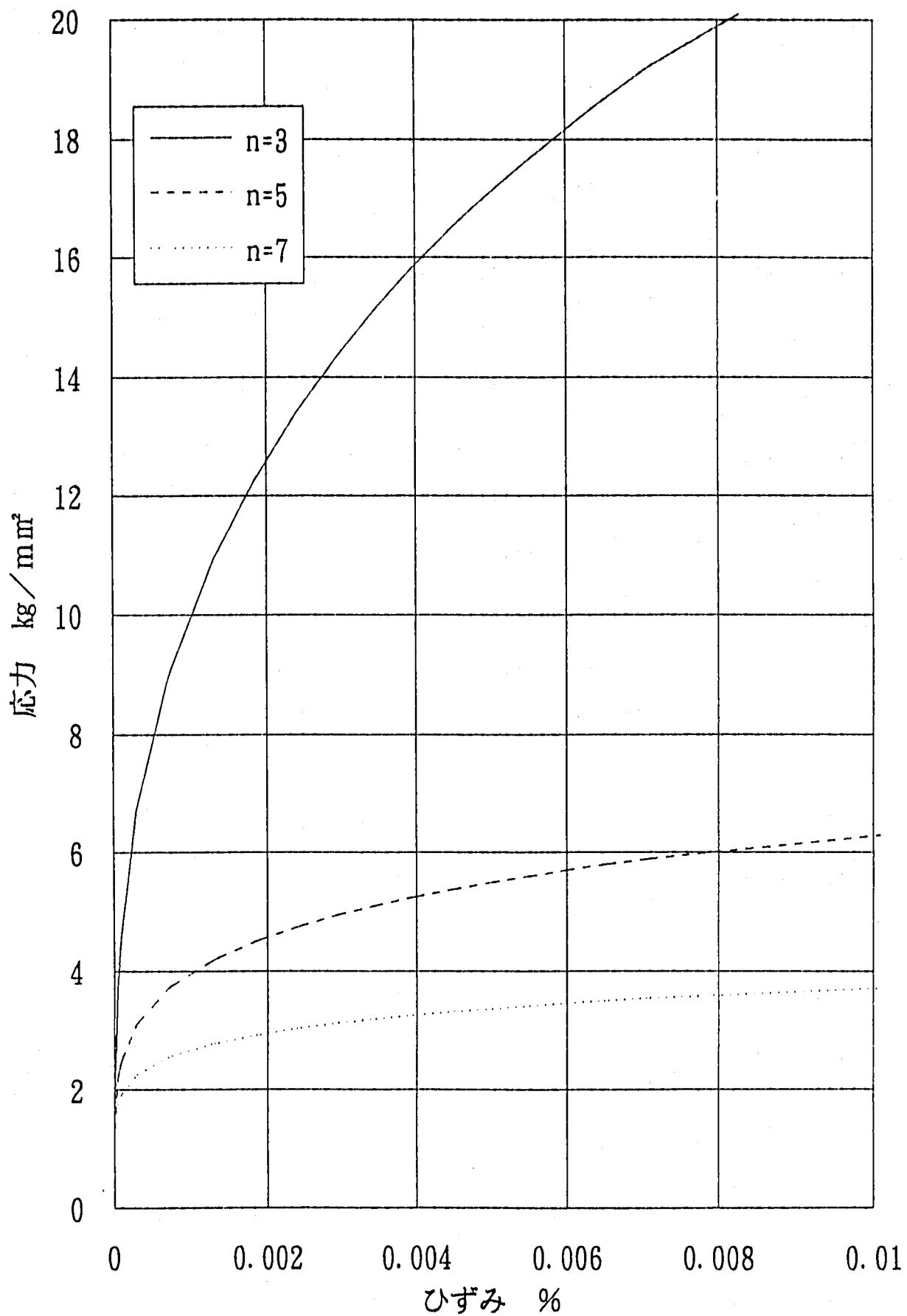
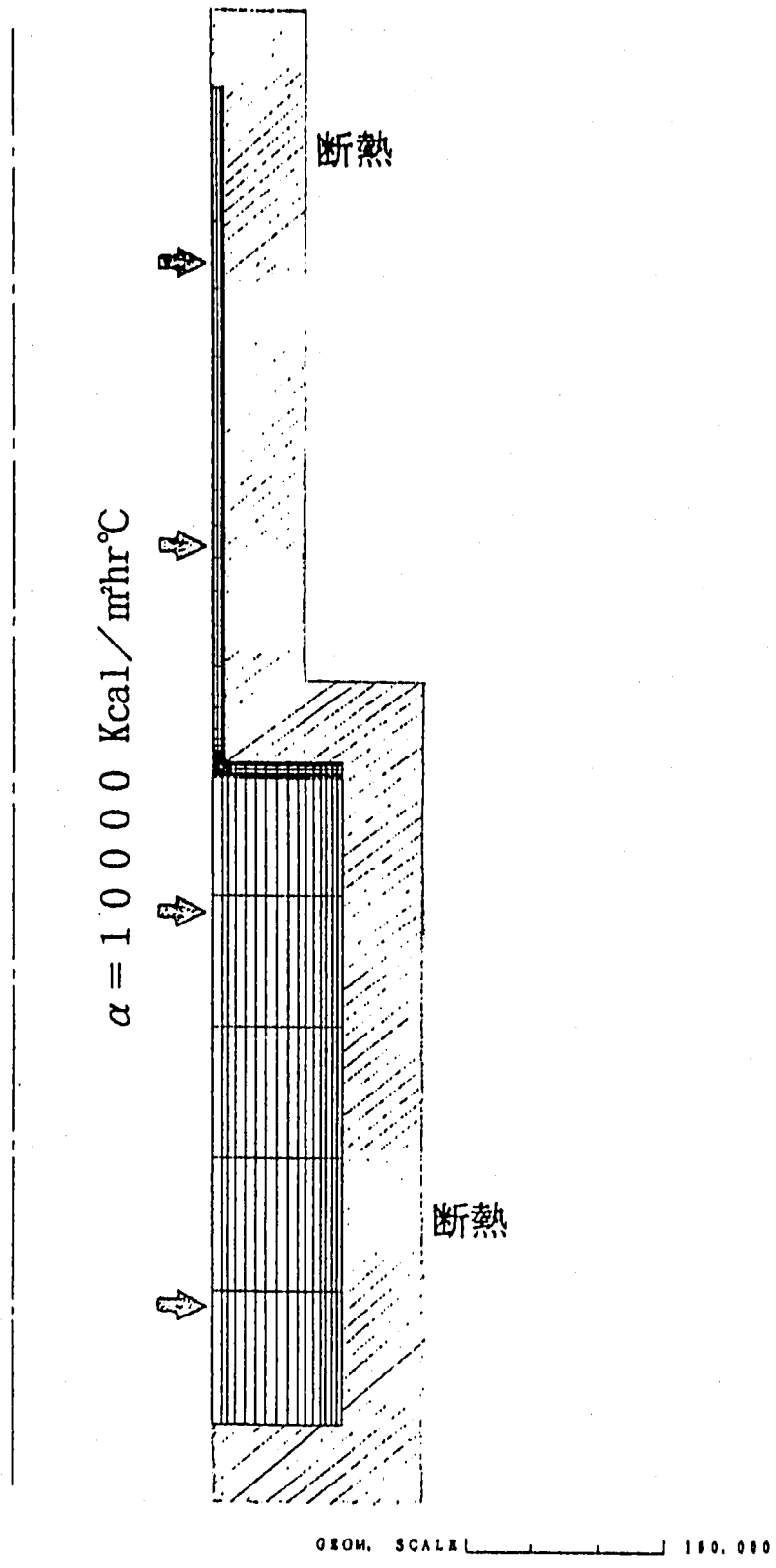


Fig.2.2.1  $n$ 乗則応力-ひずみ関係 ( $n=3, 5, 7$ )

FINAS

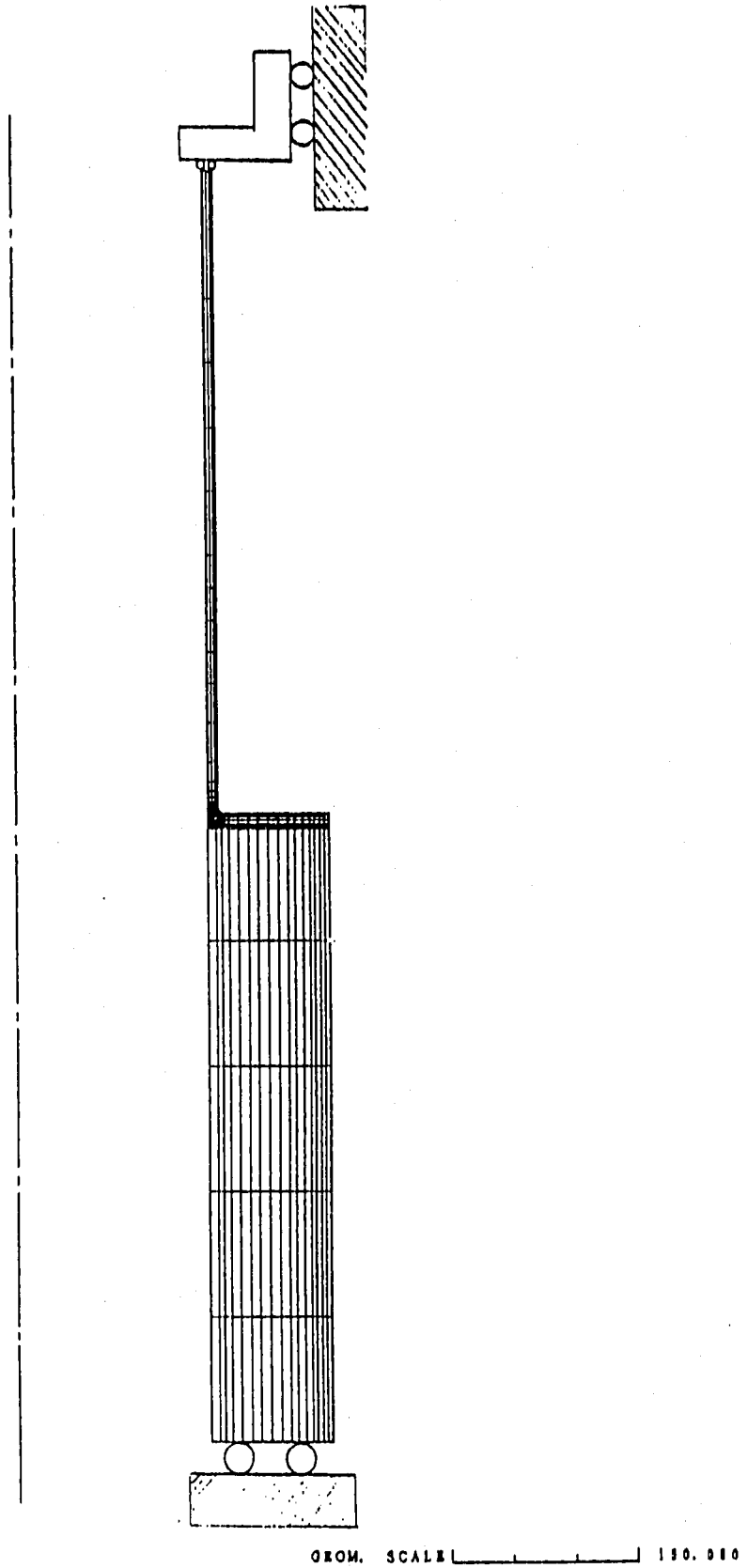


T-100 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

Fig.2.3.1 温度分布解析用境界条件



PINAS



T-100 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

Fig.2.3.2 応力解析用境界条件

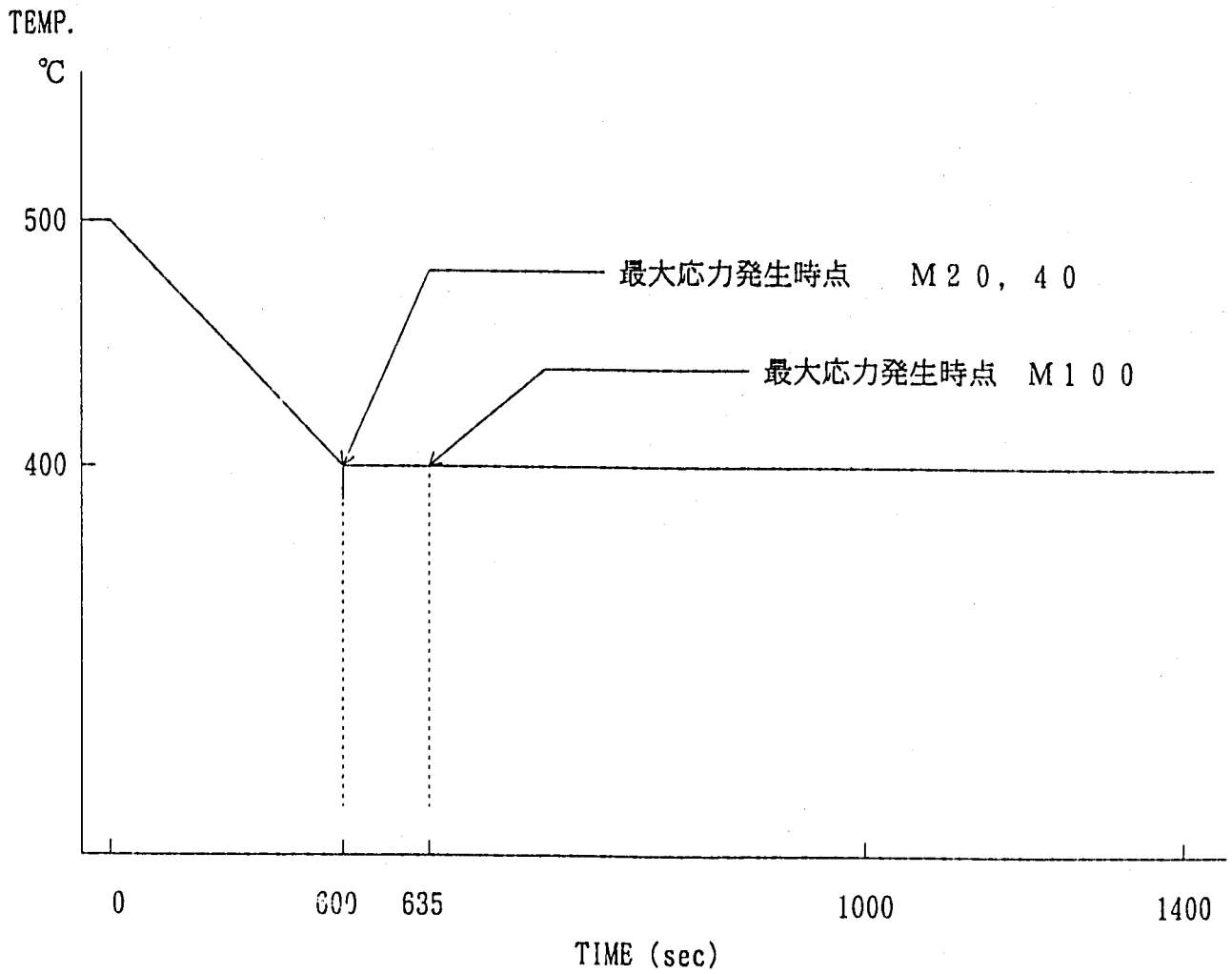
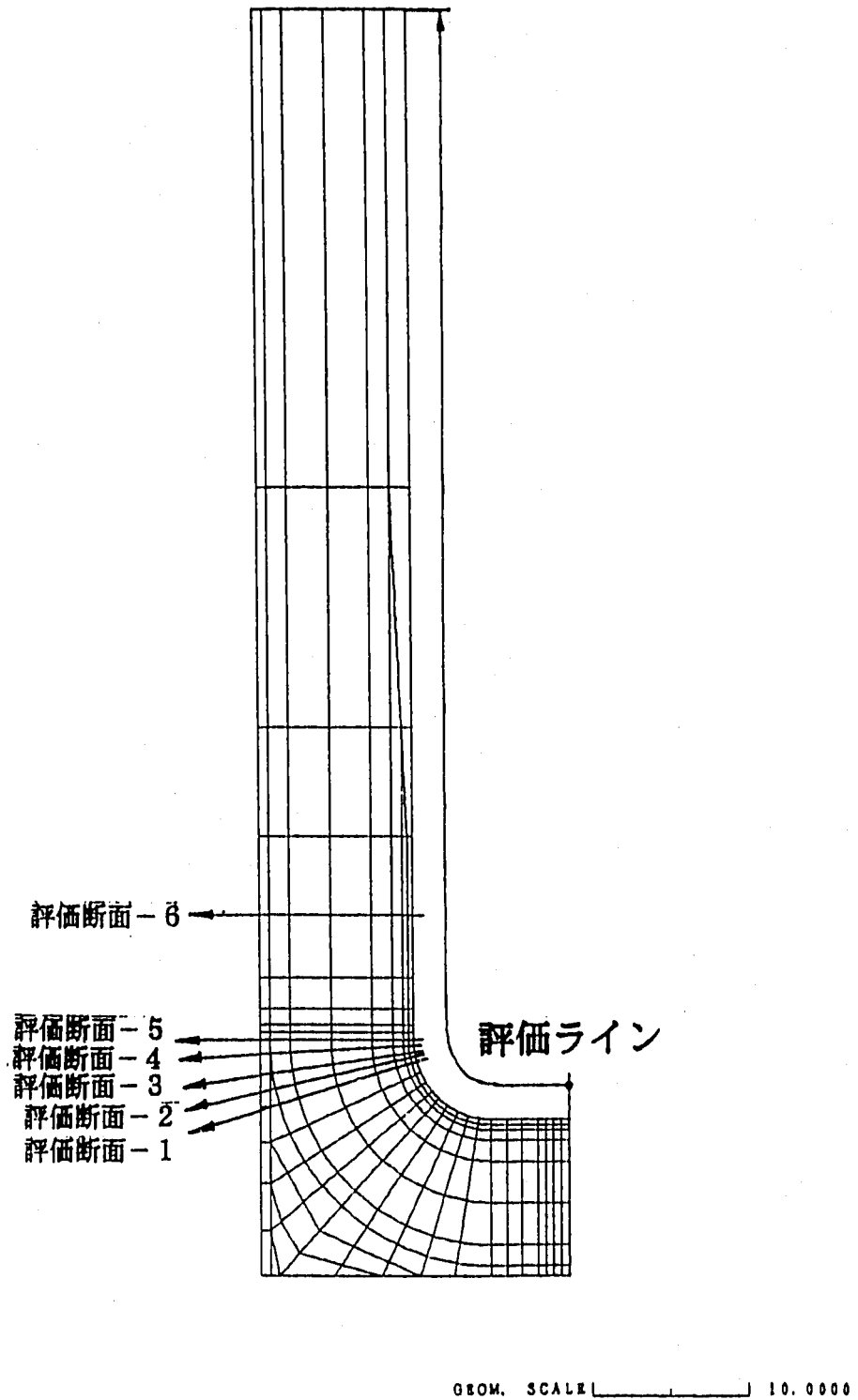


Fig. 2.3.3 各モデルにおける熱過渡条件

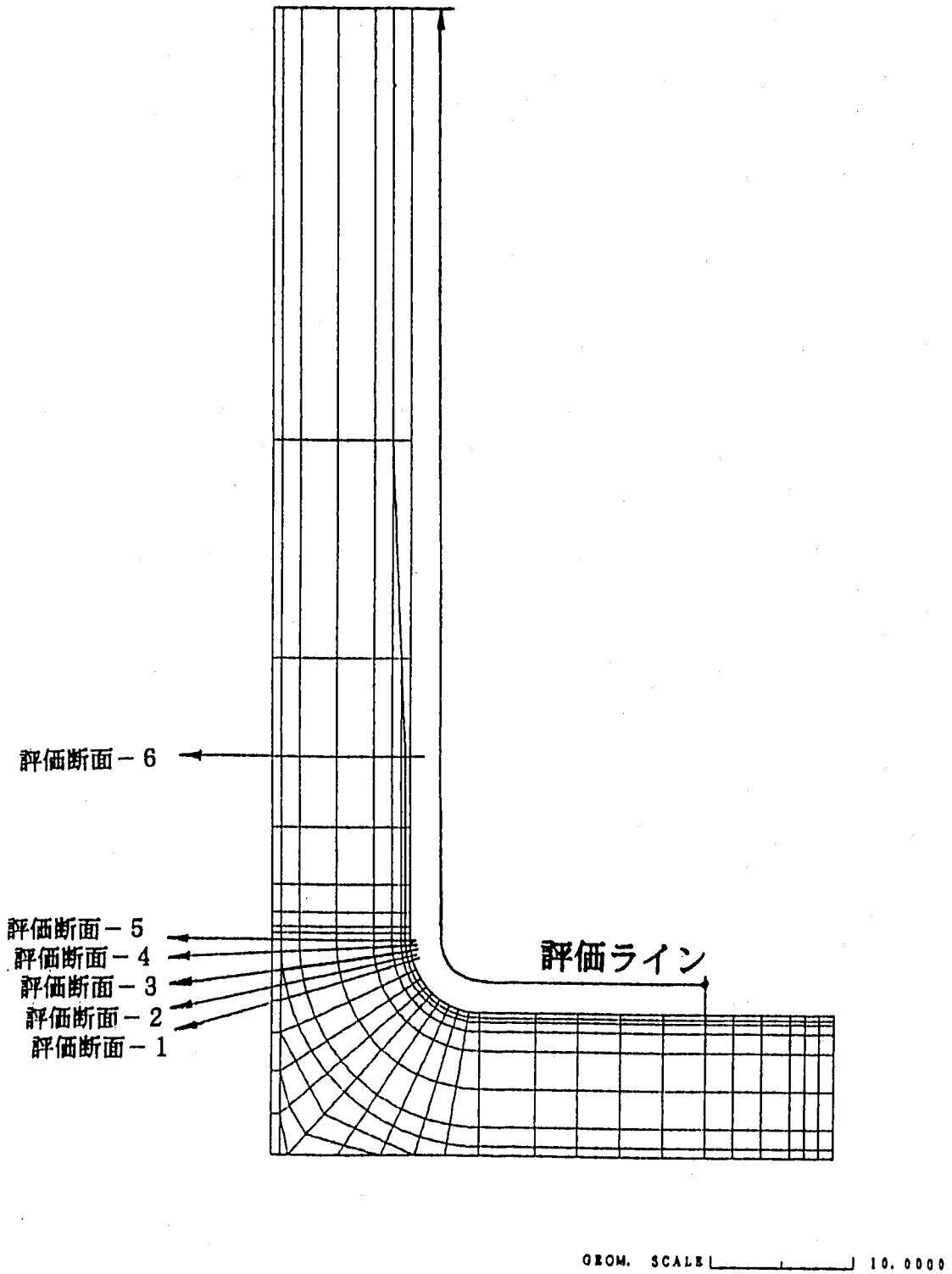
FINAS



T-20 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

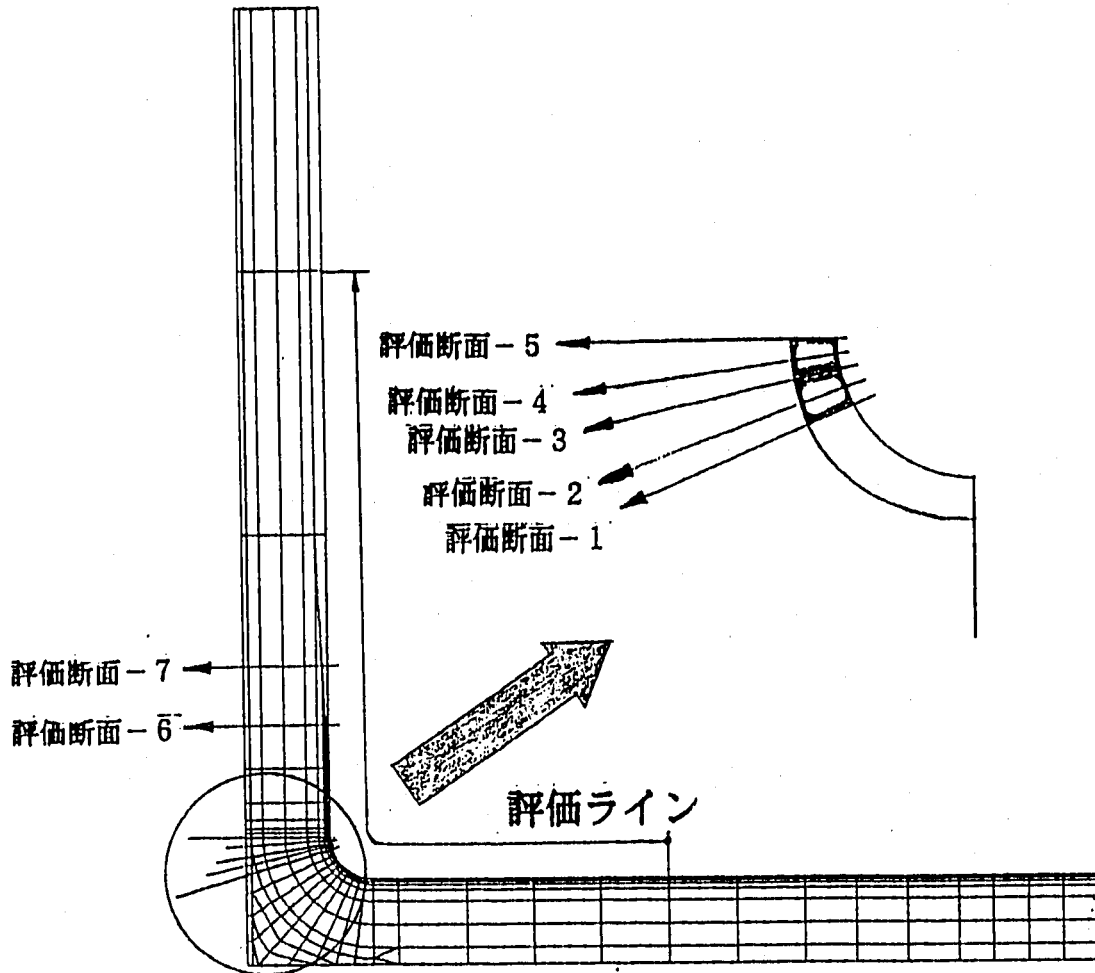
Fig.2.4.1 評価断面及び評価ラインの位置 ( M20 )

FINAS



T-40 DT=100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

Fig.2.4.2 評価断面及び評価ラインの位置 (M40)



GEOM. SCALE 20.0000

T-100 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

Fig.2.4.3 評価断面及び評価ラインの位置 (M100)

FINAS  
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	481.8182
2	481.8181
3	482.8188
4	483.8187
5	484.8186
6	485.8185
7	485.8184
8	486.8179
9	487.8177
10	488.8175



STEP NO. 18

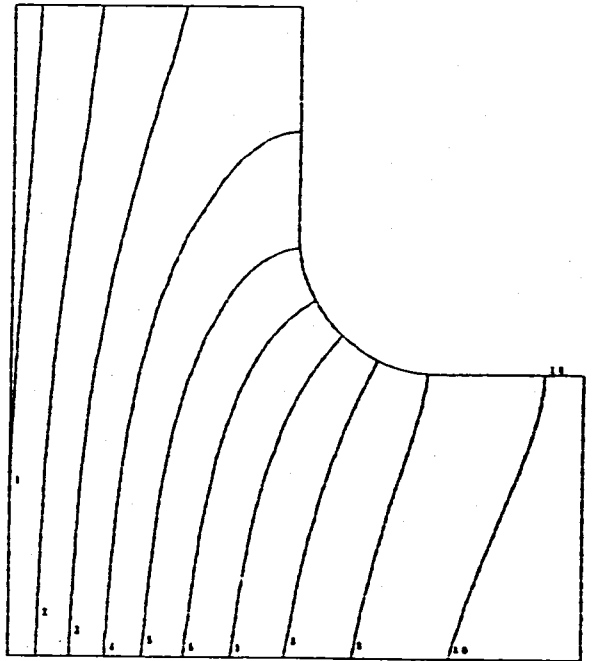
GEOM. SCALE: 100.000

T18 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

FINAS  
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	481.8182
2	481.8683
3	482.5383
4	482.2482
5	482.9883
6	484.1282
7	483.4582
8	486.1882
9	485.8181
10	487.8482



STEP NO. 18

GEOM. SCALE: 1.00000

T18 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

Fig.2.4.4 温度コンター (M20)

FINAS  
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

- 1 482.1884
- 2 485.2882
- 3 488.3882
- 4 491.4881
- 5 494.5881
- 6 497.6881
- 7 500.7885
- 8 503.8885
- 9 506.9882
- 10 510.0881



STEP NO. 60

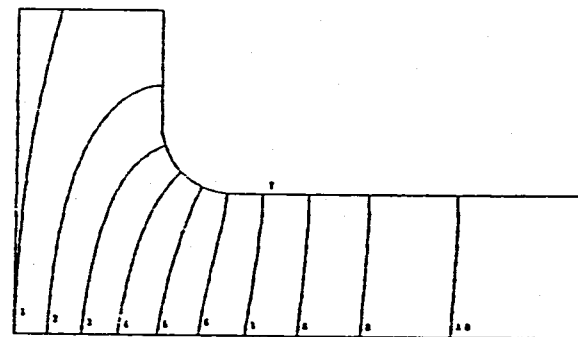
GEOM. SCALE 100.000

T40 DT-100 DEG. NAIMEN-PLAT MODEL

FINAS  
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

- 1 482.2885
- 2 485.3885
- 3 488.4882
- 4 491.5882
- 5 494.6882
- 6 497.7886
- 7 500.8886
- 8 503.9886
- 9 507.0887
- 10 510.1886



STEP NO. 60

GEOM. SCALE 10.0000

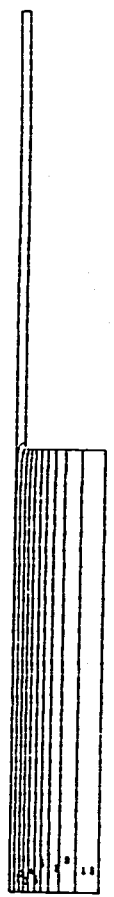
T40 DT-100 DEG. NAIMEN-PLAT MODEL

Fig.2.4.5 温度コンター (M40)

FINAS  
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	483.8994
2	472.4002
3	471.8991
4	428.8992
5	428.2992
6	448.8997
7	483.4996
8	464.8994
9	472.8992
10	481.2991



STEP NO. 41

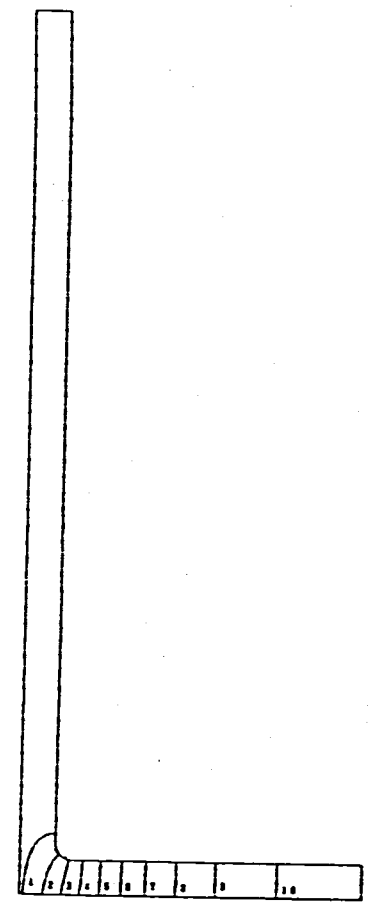
GEOM. SCALE 100.000

T-100 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

FINAS  
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	483.8994
2	472.4002
3	471.8991
4	428.8992
5	428.2992
6	448.8997
7	483.4996
8	464.8994
9	472.8992
10	481.2991



STEP NO. 41

GEOM. SCALE 100.000

T-100 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

Fig.2.4.6 温度コンター (M100)



FEMAS  
VON MISES STRESS

CONTOUR VALUES

- 1 6.00000
- 2 11.00000
- 3 16.00000
- 4 21.00000
- 5 26.00000
- 6 31.00000
- 7 36.00000
- 8 41.00000
- 9 46.00000
- 10 51.00000



STEP NO. 101

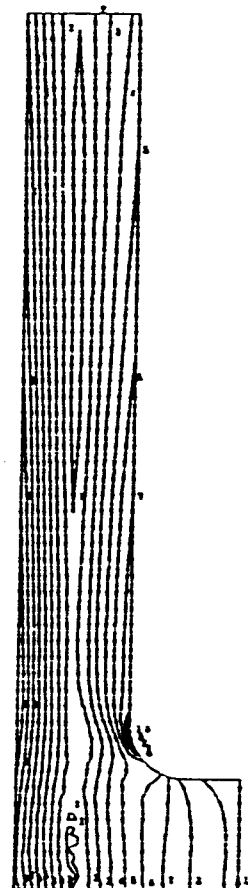
GEOM. SCALE: 100.000

T-20 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

FEMAS  
VON MISES STRESS

CONTOUR VALUES

- 1 3.00000
- 2 7.00000
- 3 11.00000
- 4 15.00000
- 5 20.00000
- 6 24.00000
- 7 28.00000
- 8 32.00000
- 9 37.00000
- 10 42.00000



STEP NO. 101

GEOM. SCALE: 10.0000

T-20 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

Fig.2.4.7 ミーゼスの相当応力コンター (M20)

FINAS  
VON MISES STRESS

CONTOUR VALUES

- 1 6.00000
- 2 14.00000
- 3 22.00000
- 4 30.00000
- 5 42.00000
- 6 52.00000
- 7 62.00000
- 8 71.00000
- 9 80.00000
- 10 88.00000



GEOM. SCALE 100.000

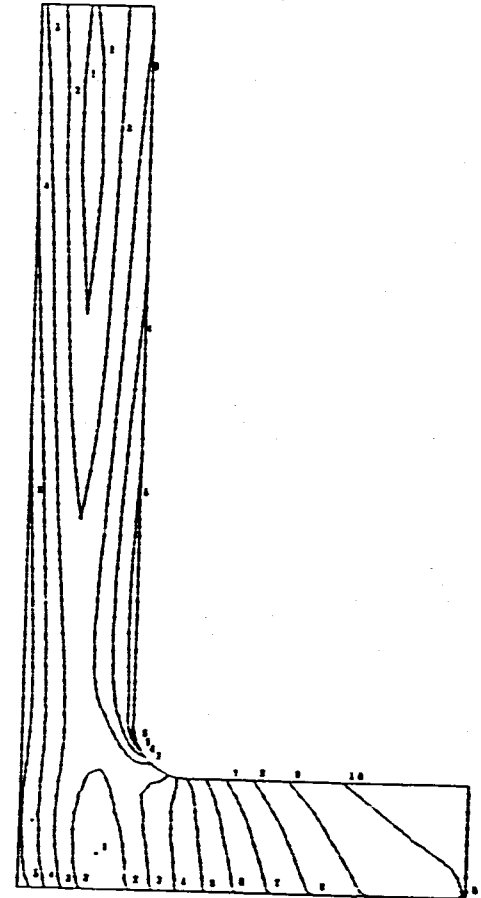
STEP NO. 101

T-48 DT-180 DEG. HAIMEN-FLAT MODEL

FINAS  
VON MISES STRESS

CONTOUR VALUES

- 1 2.00000
- 2 8.00000
- 3 13.00000
- 4 22.00000
- 5 29.00000
- 6 34.00000
- 7 41.00000
- 8 47.00000
- 9 52.00000
- 10 58.00000



GEOM. SCALE 10.0000

STEP NO. 101

T-48 DT-180 DEG. HAIMEN-FLAT MODEL

Fig.2.4.8 ミーゼスの相当応力コンター (M40)

FINAS  
VON MISES STRESS

CONTOUR VALUES

1	5.00000
2	11.00000
3	19.00000
4	33.00001
5	55.00001
6	87.00001
7	122.00002
8	155.00000
9	187.00000
10	222.00000



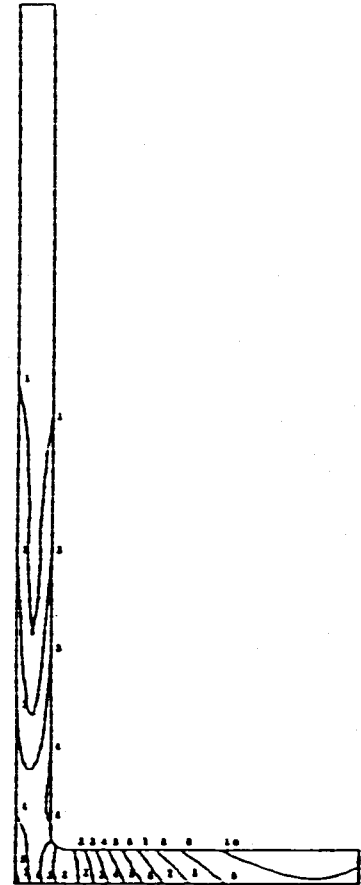
STEP NO. 101

T-100 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

FINAS  
VON MISES STRESS

CONTOUR VALUES

1	4.00000
2	11.00000
3	22.00000
4	38.00000
5	58.00000
6	82.00000
7	110.00000
8	142.00000
9	178.00000
10	218.00000

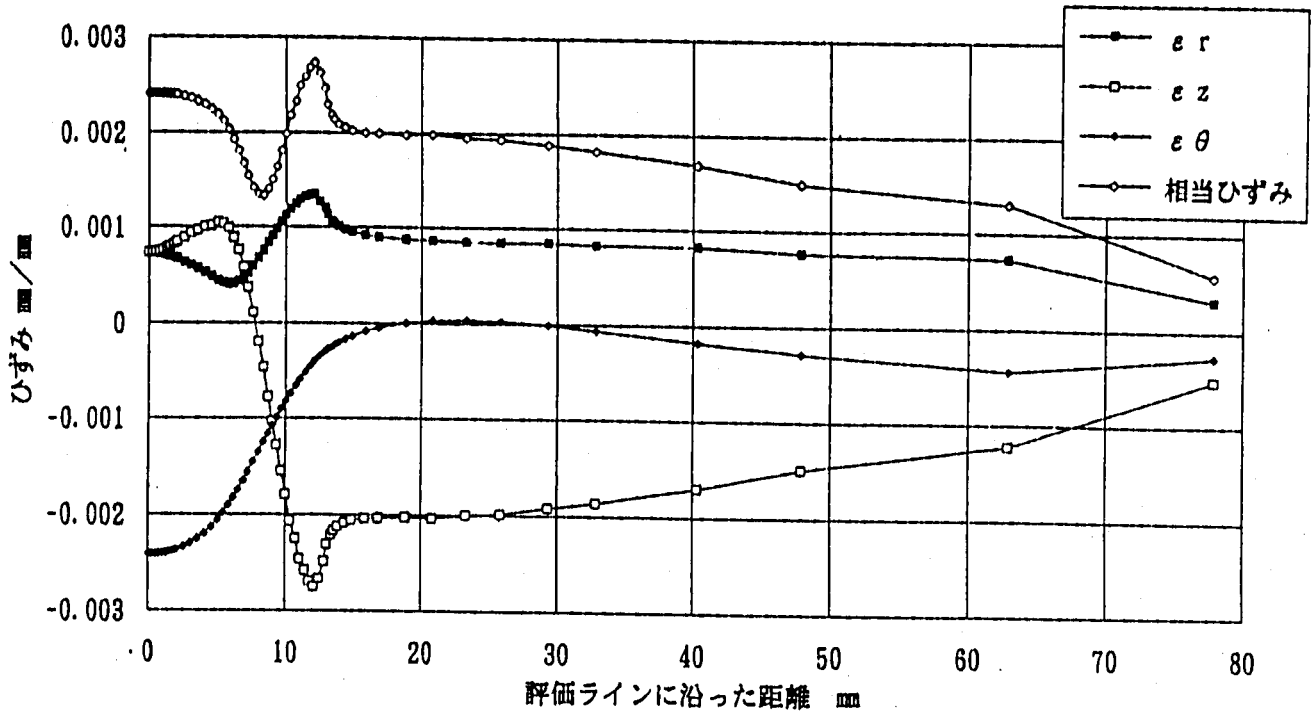


STEP NO. 101

T-100 DT-100 DEG. NAIMEN-FLAT MODEL

Fig.2.4.9 ミーゼスの相当応力コンター (M100)

評価ラインに沿ったひずみ分布 (t = 20) n = 1,  $\nu = 0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t = 20) n = 1,  $\nu = 0.5$

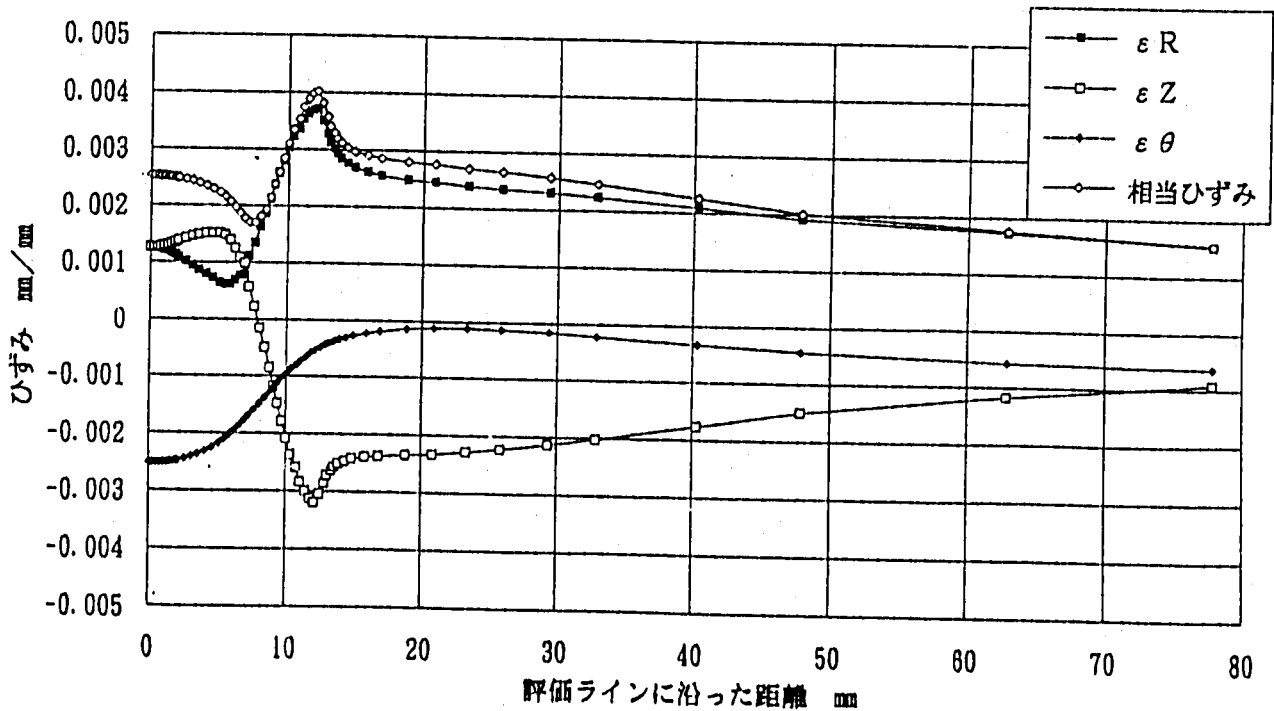
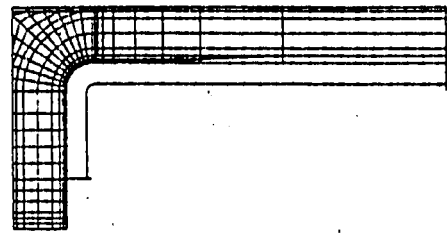
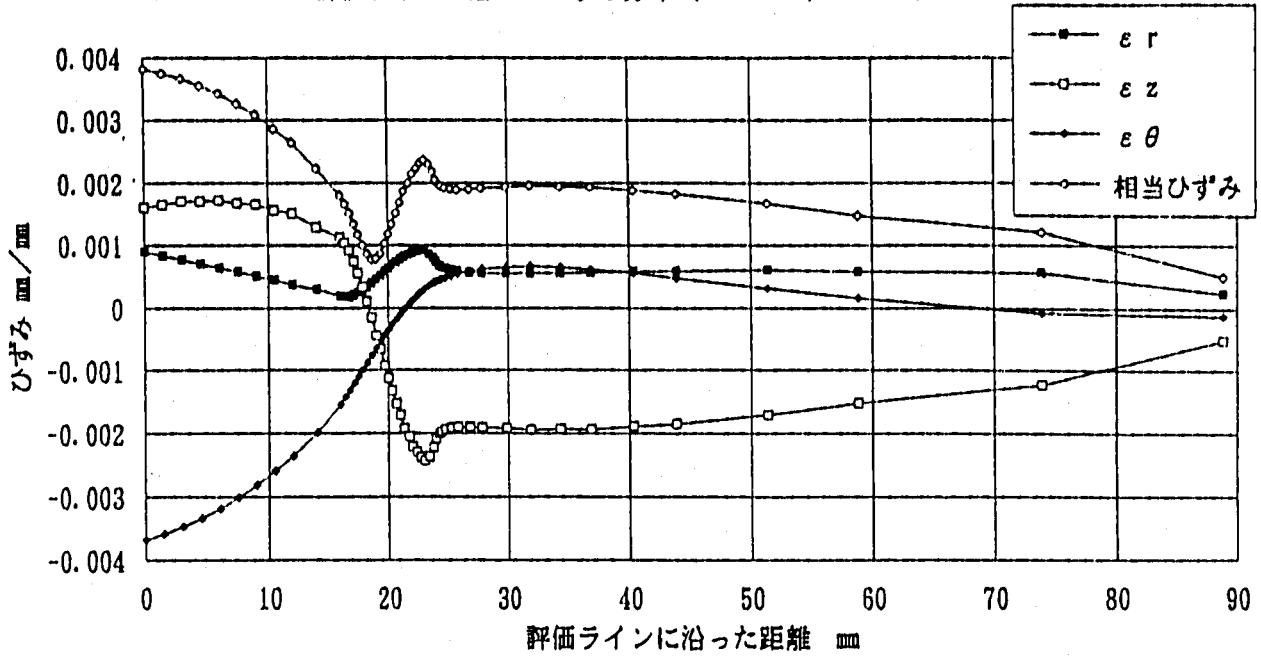


Fig. 2.4.10 評価ラインに沿った各応力、ひずみ成分分布比較  
(M20、弾性、 $\nu = 0.3, 0.5$ )

評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=40) n=1、 $\nu=0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=40) n=1、 $\nu=0.5$

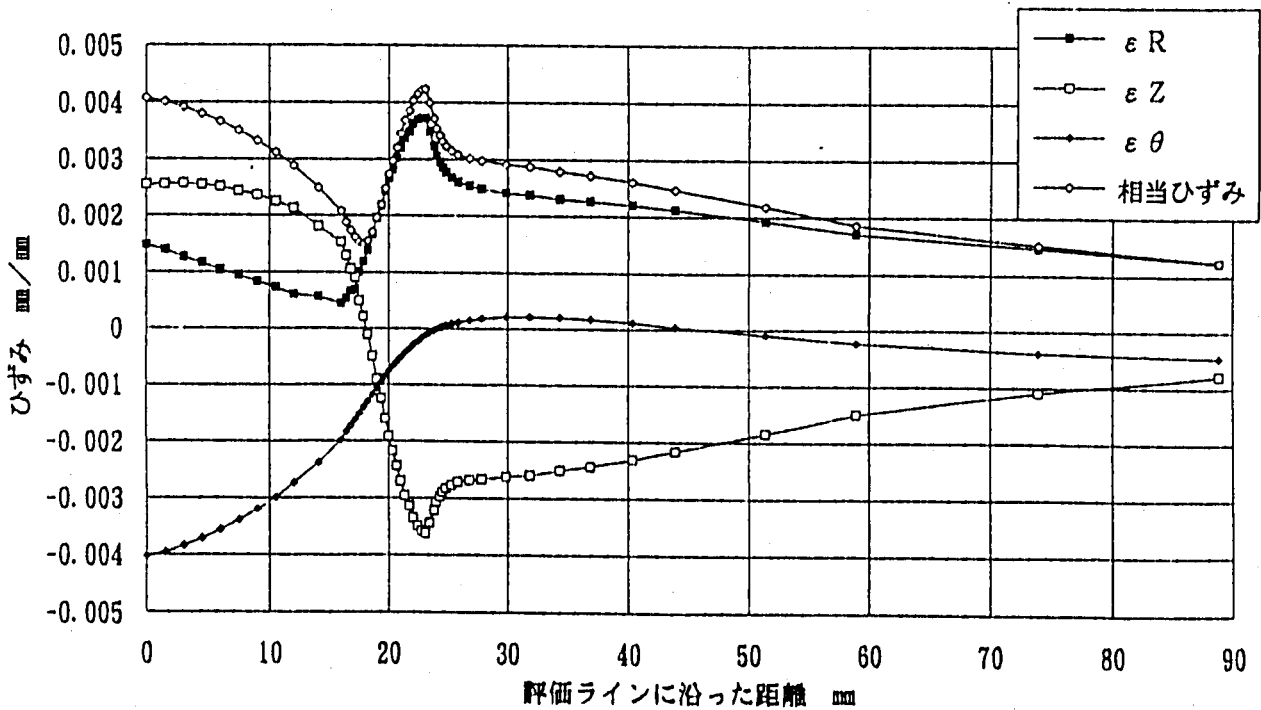
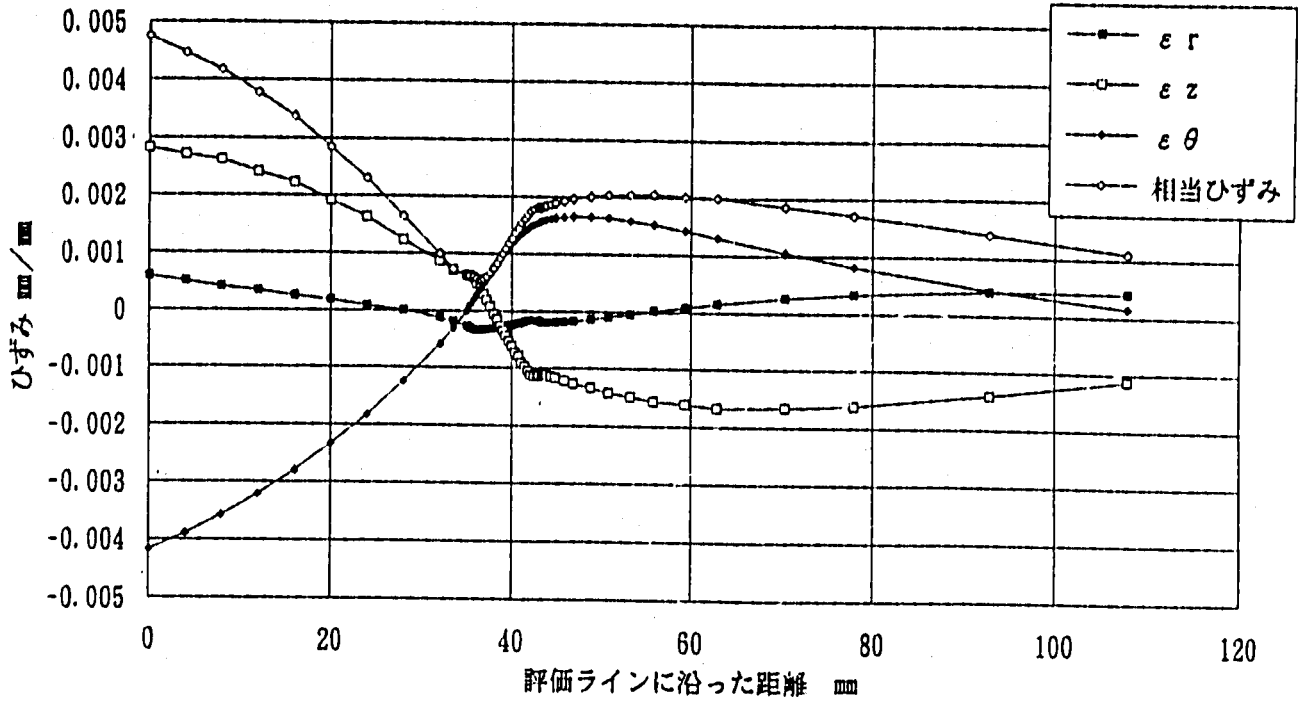


Fig.2.4.11 評価ラインに沿った各応力、ひずみ成分分布比較  
(M40、弾性、 $\nu=0.3, 0.5$ )

評価ラインに沿ったひずみ分布 (t = 100) n = 1, ν = 0.3



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t = 100) n = 1, ν = 0.5

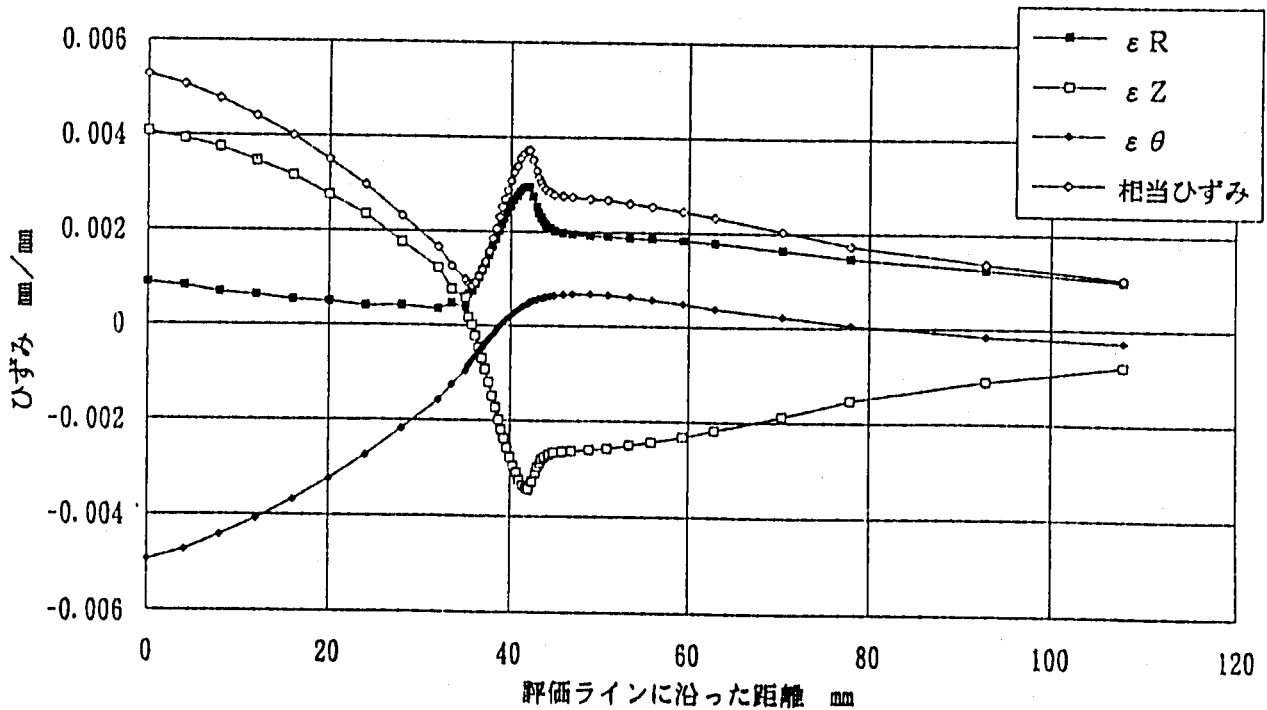
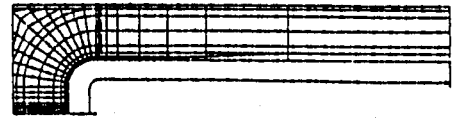
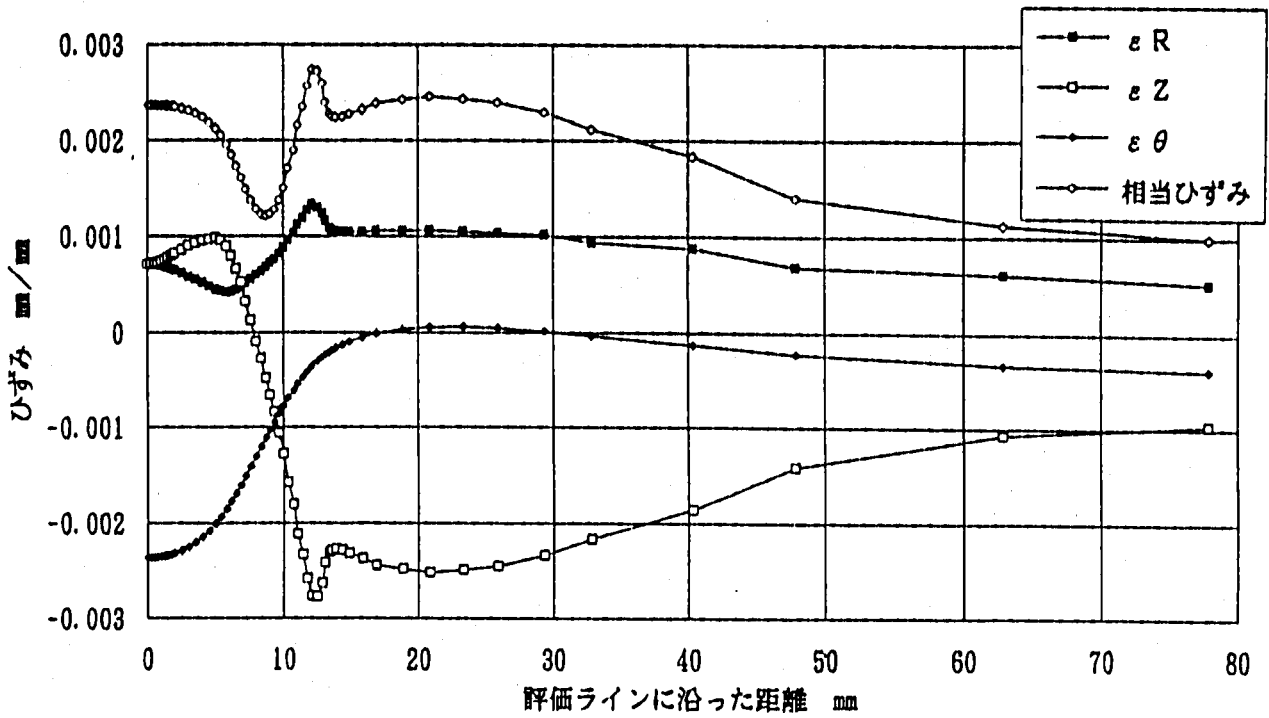


Fig.2.4.12 評価ラインに沿った各応力、ひずみ成分分布比較  
(M100、弾性、ν = 0.3, 0.5)

評価ラインに沿ったひずみ分布 ( $t=20$ )  $n=3$ 、 $\nu=0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 ( $t=20$ )  $n=3$ 、 $\nu=0.5$

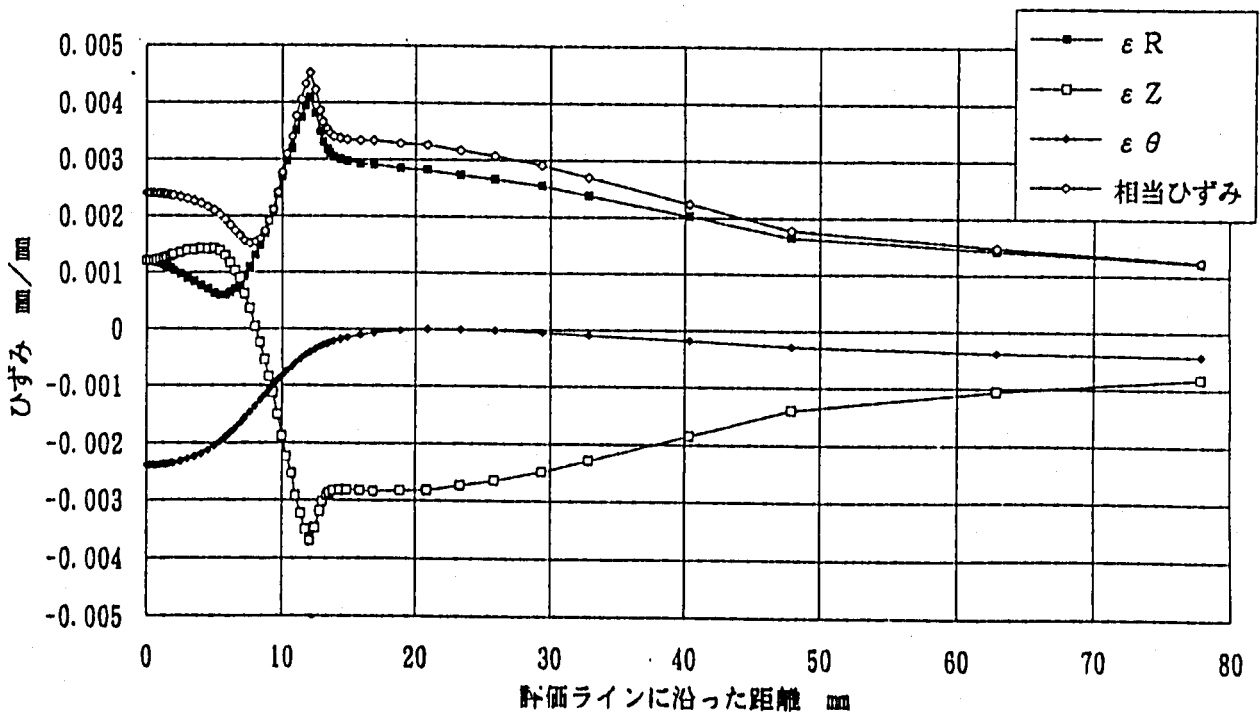
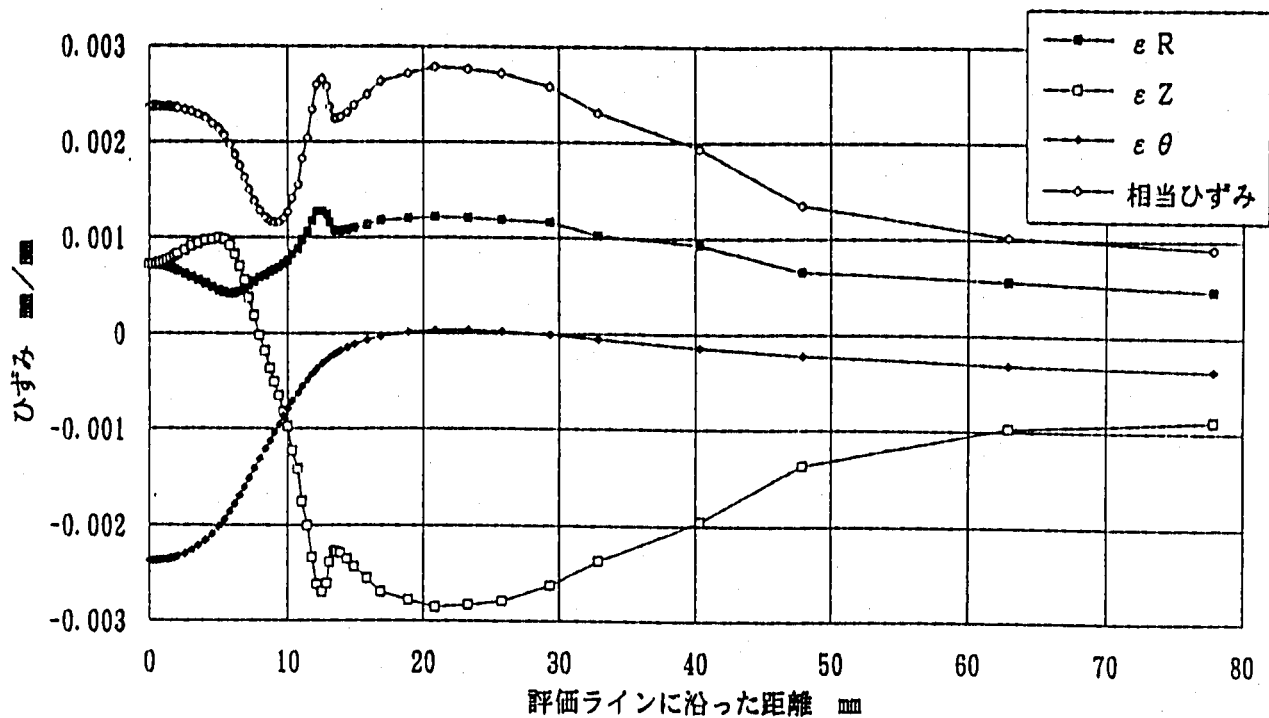


Fig.2.4.13 評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較  
(M20、 $n=3$ 、 $\nu=0.3, 0.5$ )

評価ラインに沿ったひずみ分布 ( $t=20$ )  $n=5$ 、 $\nu=0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 ( $t=20$ )  $n=5$ 、 $\nu=0.5$

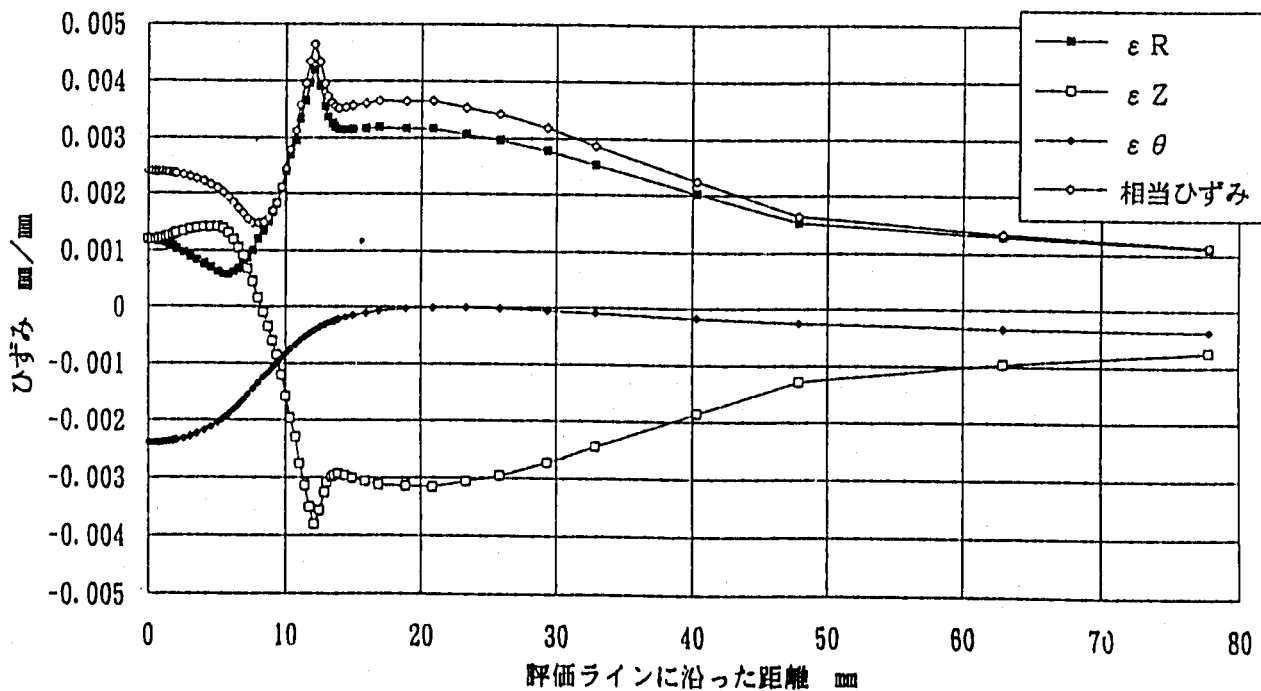
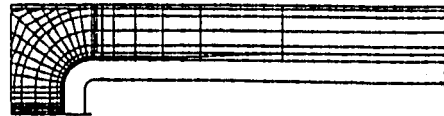
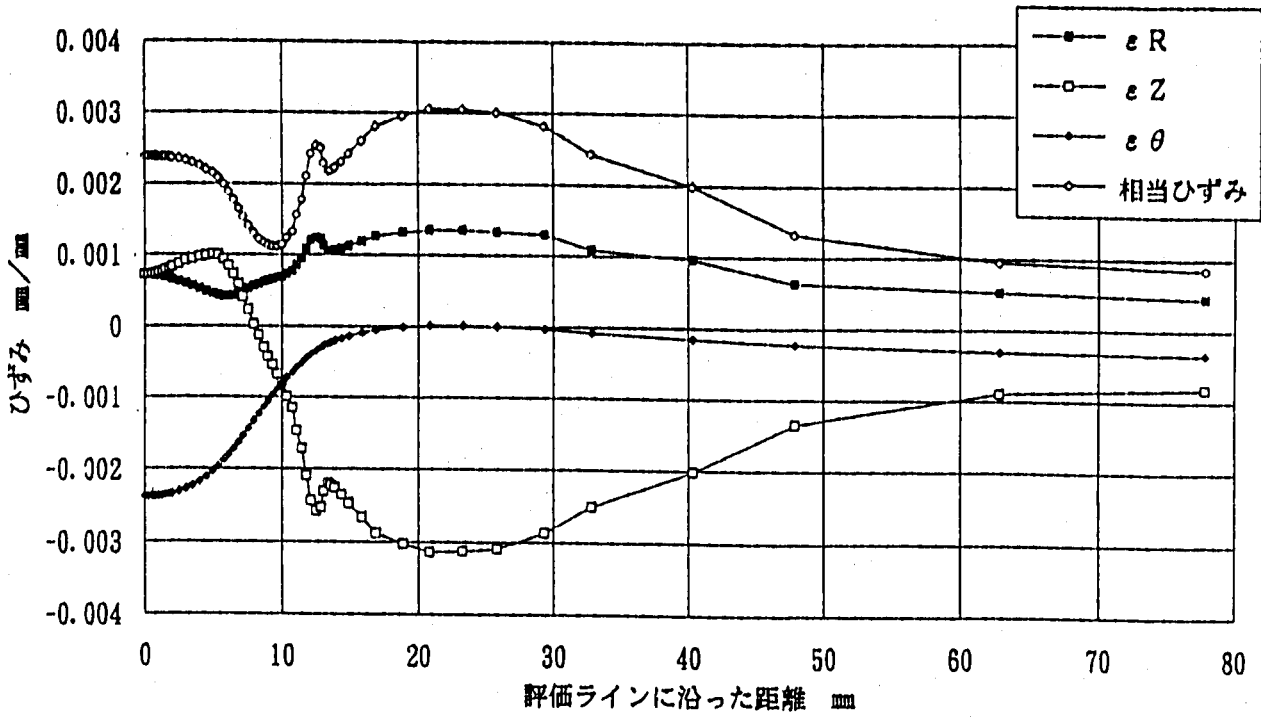


Fig.2.4.14 評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較  
(M20、 $n=5$ 、 $\nu=0.3, 0.5$ )



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=20) n=7、 $\nu=0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=20) n=7、 $\nu=0.5$

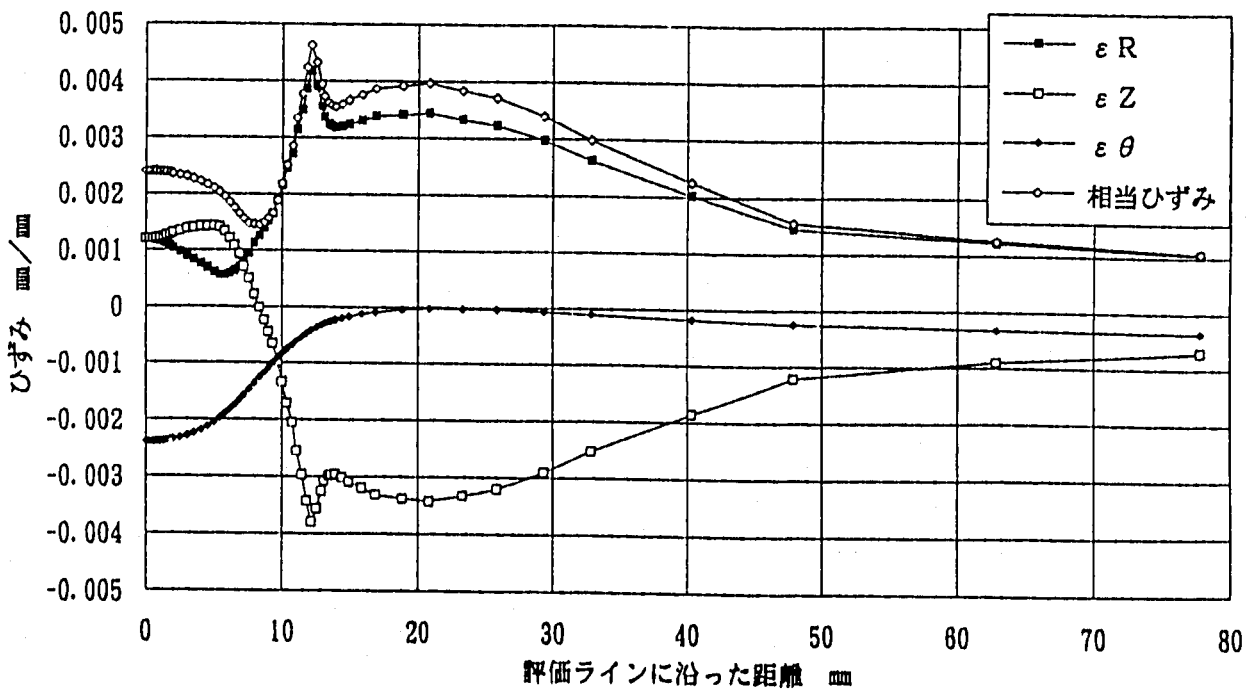
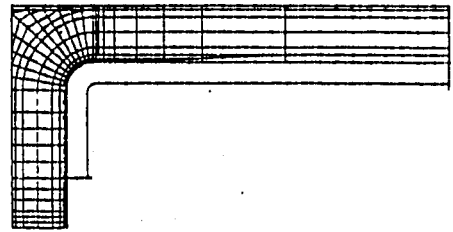
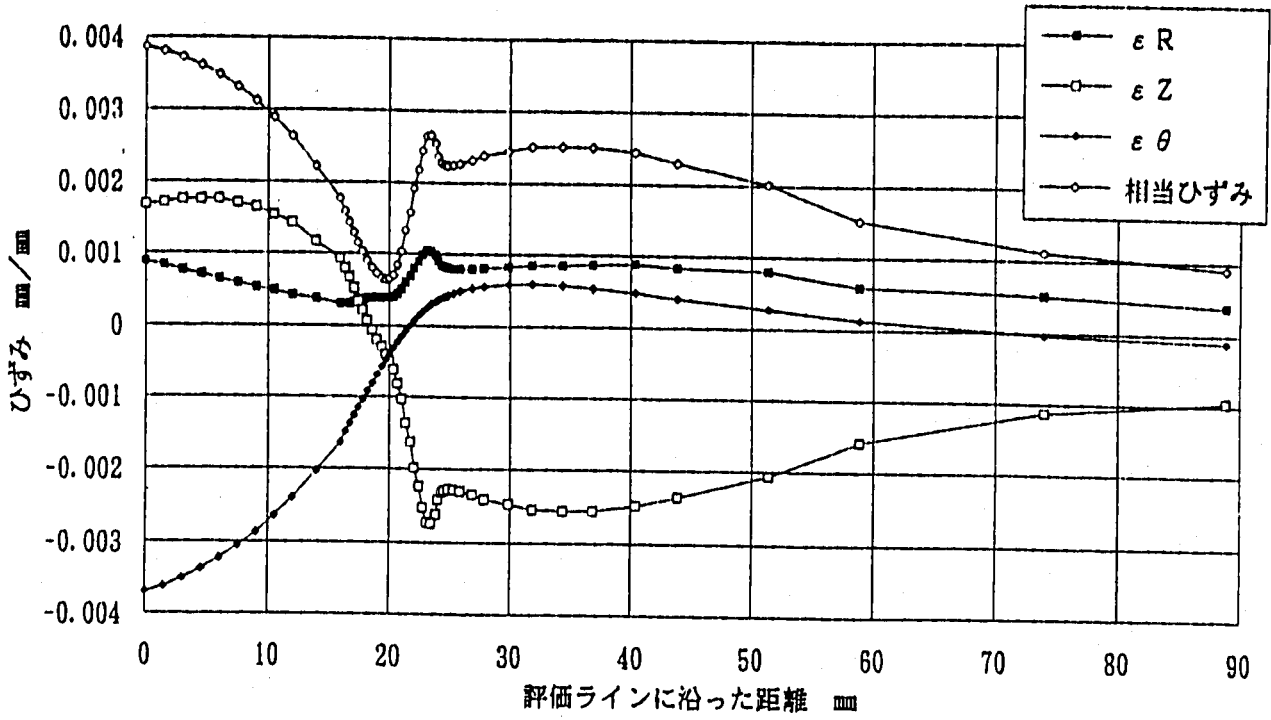


Fig.2.4.15 評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較  
(M20、n=7、 $\nu=0.3, 0.5$ )

評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=40) n=3,  $\nu=0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=40) n=3,  $\nu=0.5$

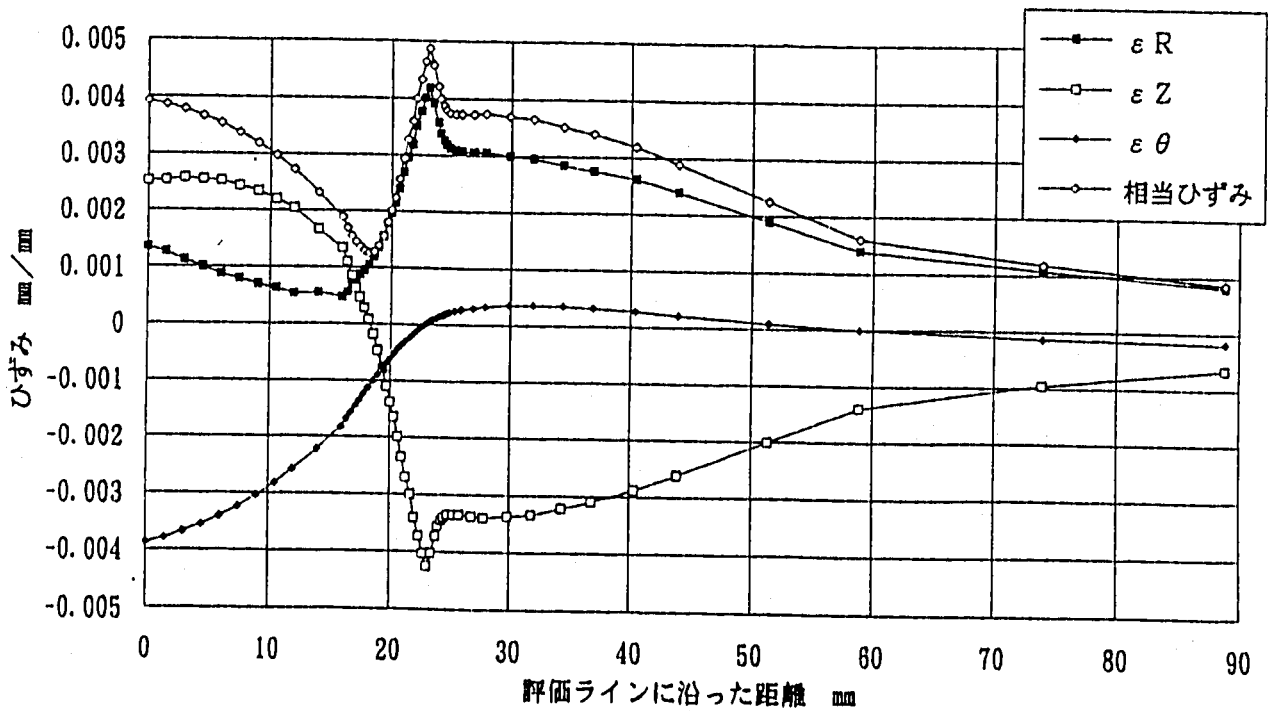
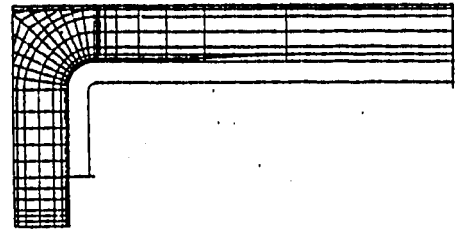
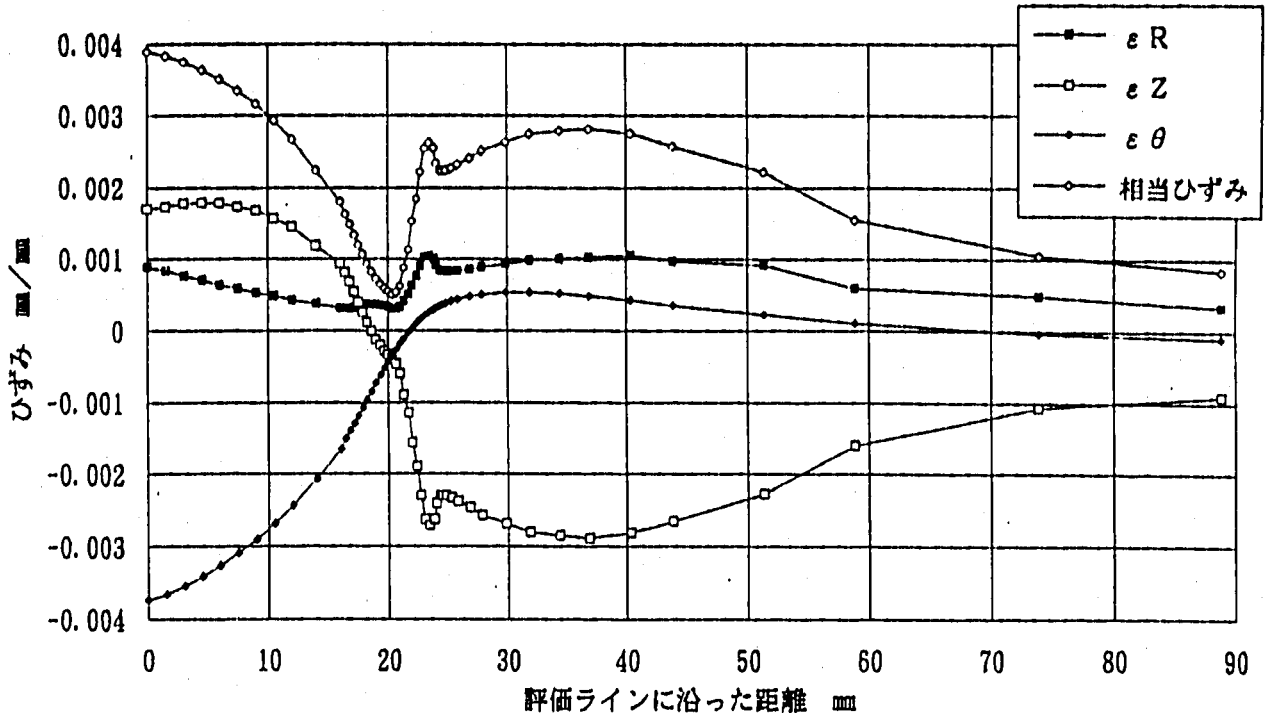


Fig.2.4.16 評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較  
(M40, n=3,  $\nu=0.3, 0.5$ )

評価ラインに沿ったひずみ分布 (t = 40) n = 5、 $\nu = 0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t = 40) n = 5、 $\nu = 0.5$

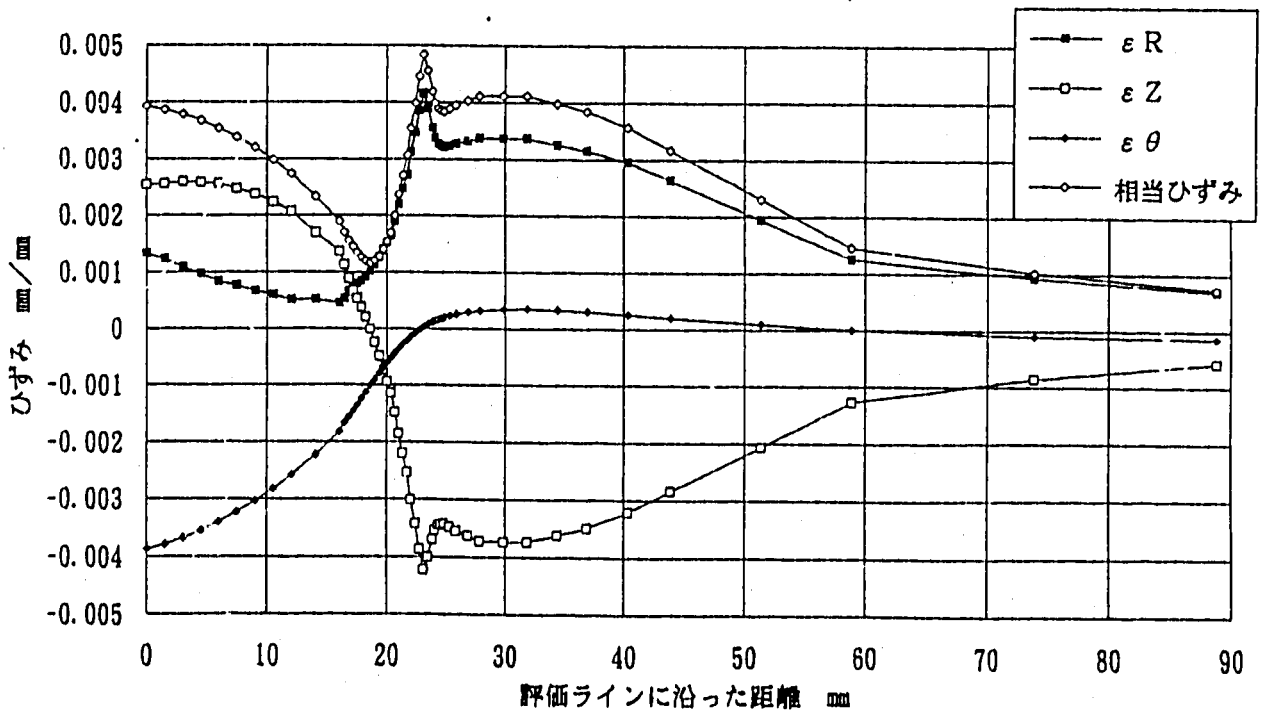
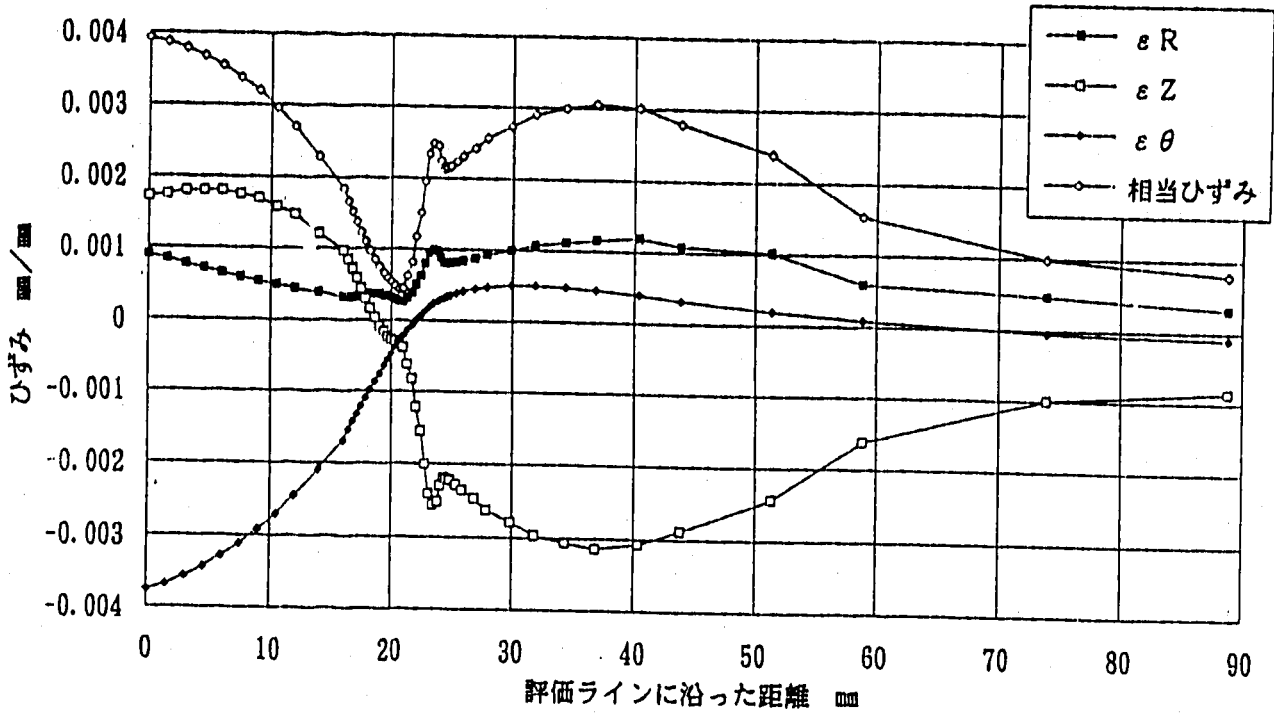


Fig.2.4.17 評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較  
(M40、n = 5、 $\nu = 0.3, 0.5$ )

評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=40) n=7、 $\nu=0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=40) n=7、 $\nu=0.5$

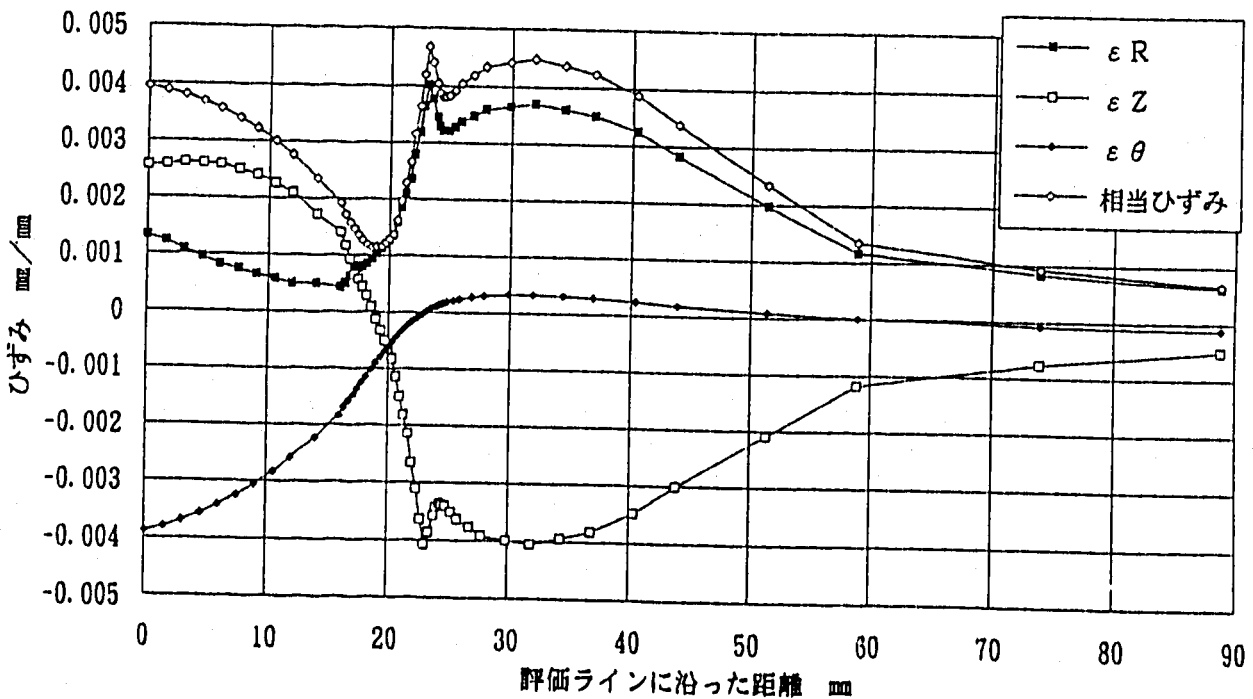
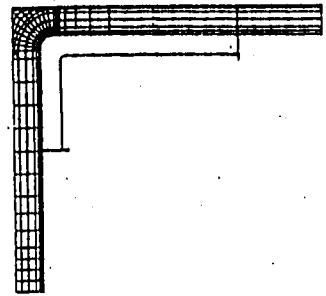
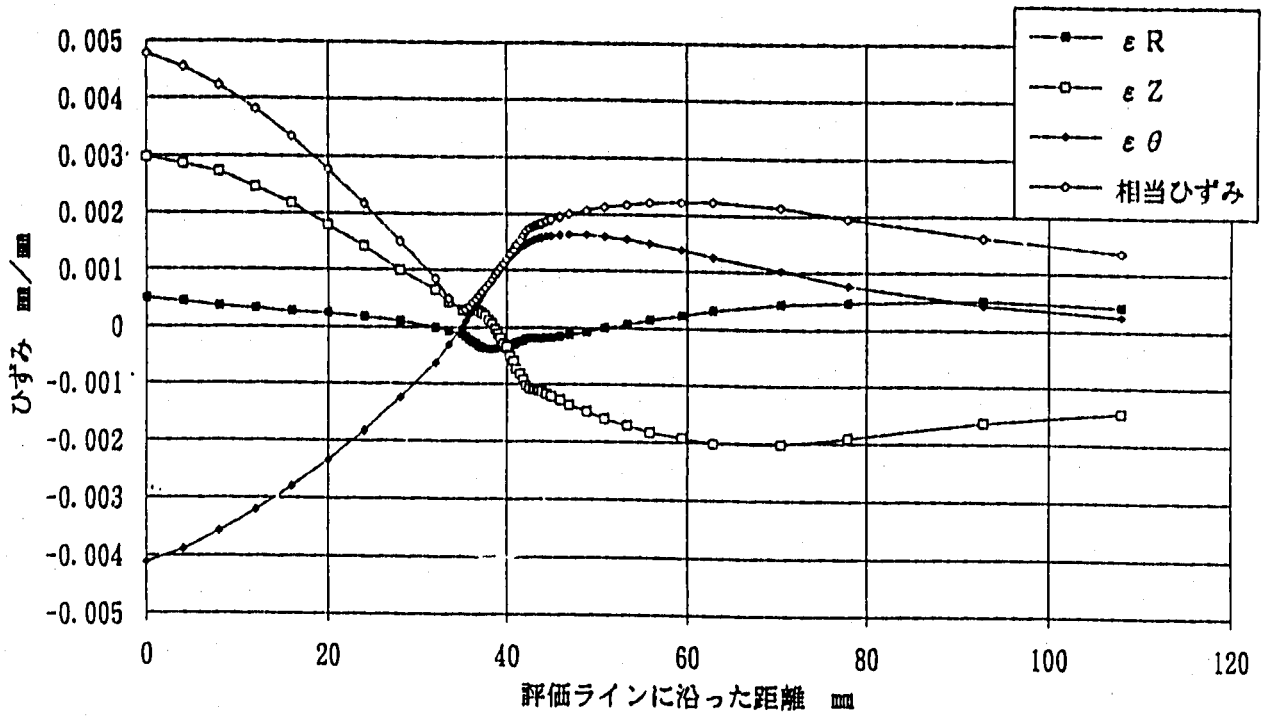


Fig.2.4.18 評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較  
(M40、n=7、 $\nu=0.3, 0.5$ )

評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=100) n=3、ν=0.3



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=100) n=3、ν=0.5

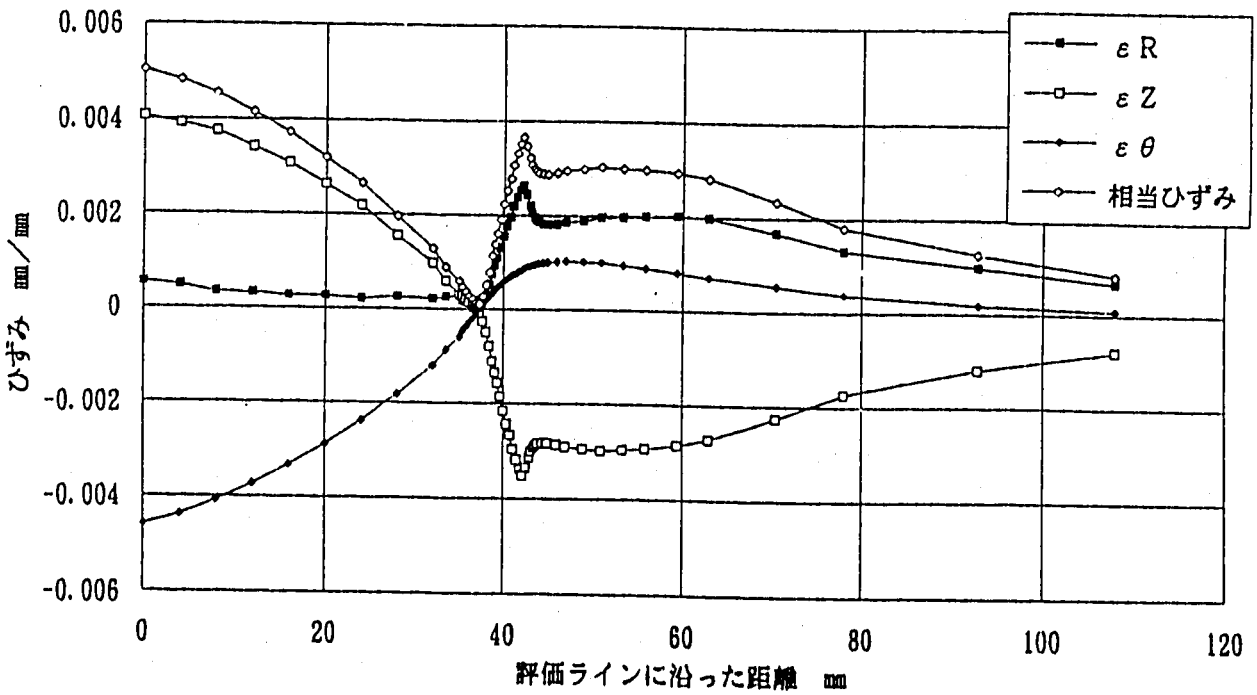
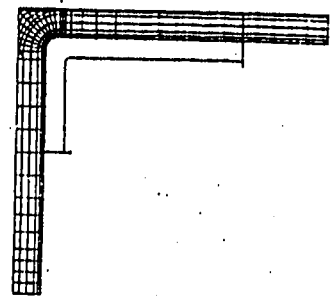
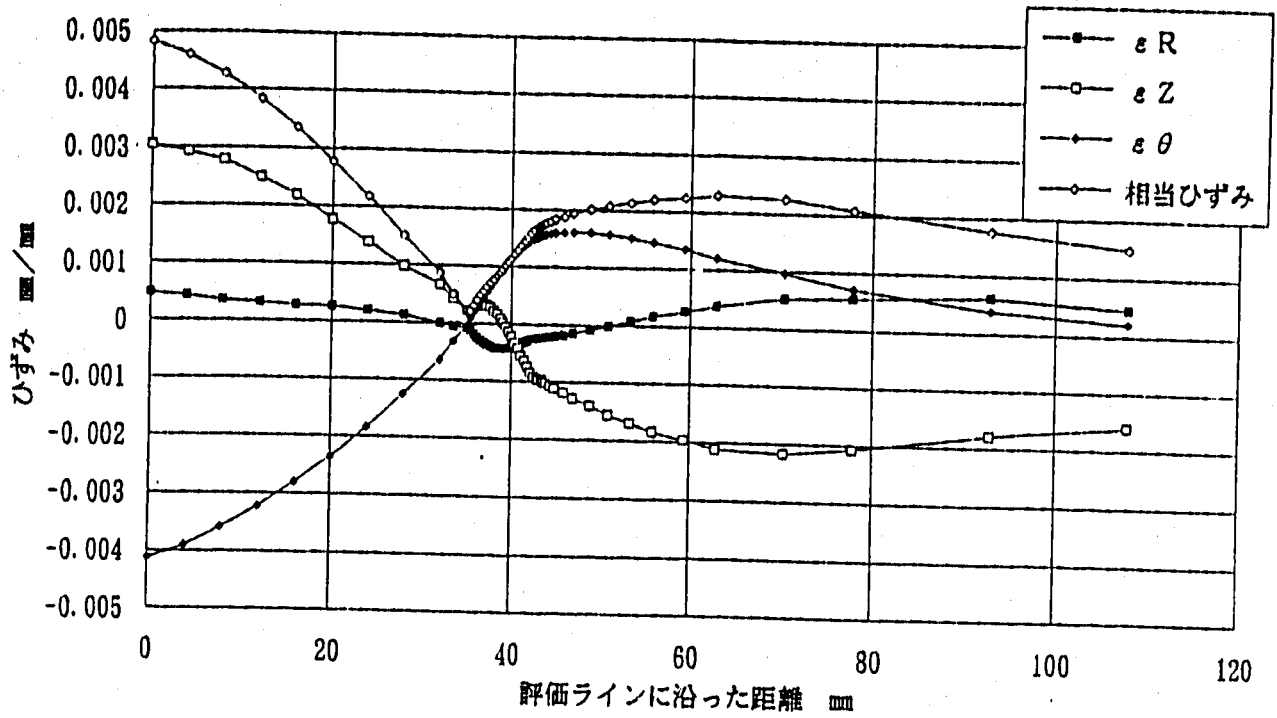


Fig.2.4.19 評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較  
(M100、n=3、ν=0.3, 0.5)

評価ラインに沿ったひずみ分布 ( $t=100$ )  $n=5$ 、 $\nu=0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 ( $t=100$ )  $n=5$ 、 $\nu=0.5$

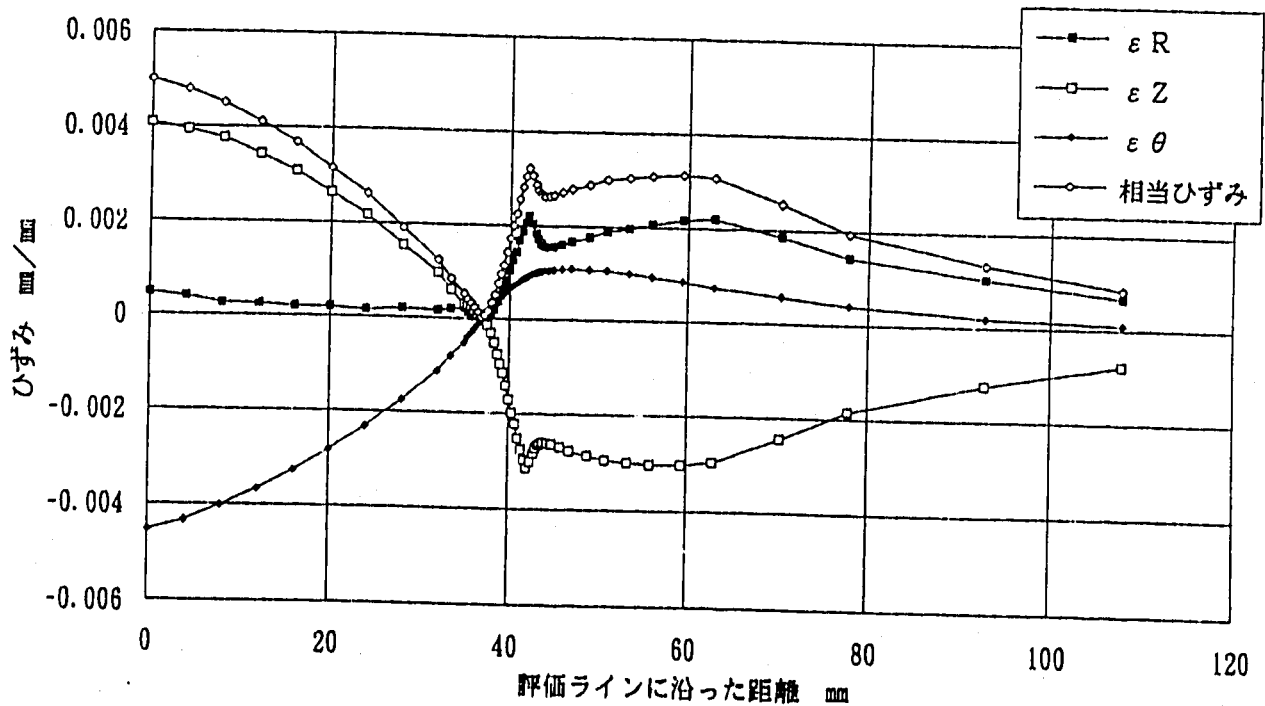
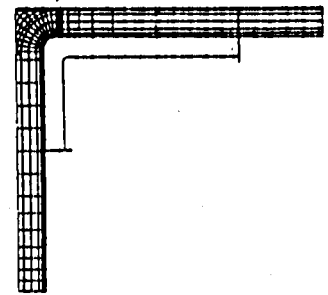
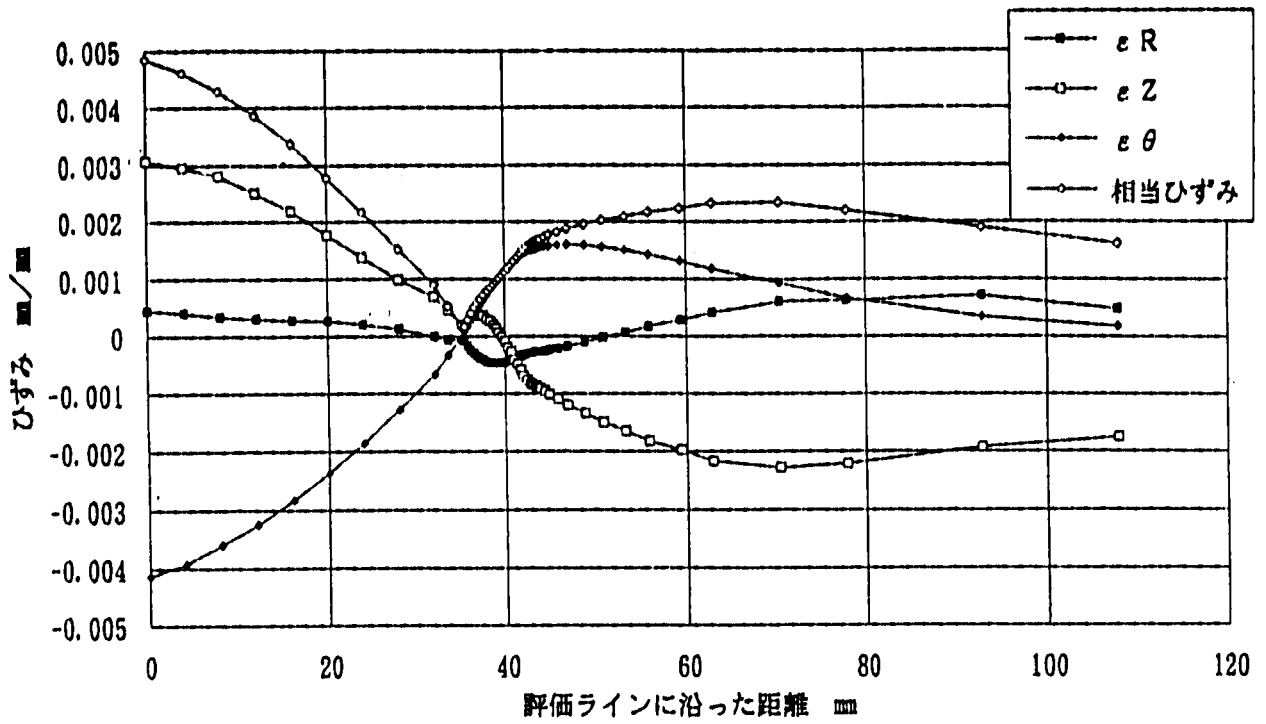


Fig.2.4.20 評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較  
( $M100$ 、 $n=5$ 、 $\nu=0.3$ 、 $0.5$ )

評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=100) n=7、 $\nu=0.3$



評価ラインに沿ったひずみ分布 (t=100) n=7、 $\nu=0.5$

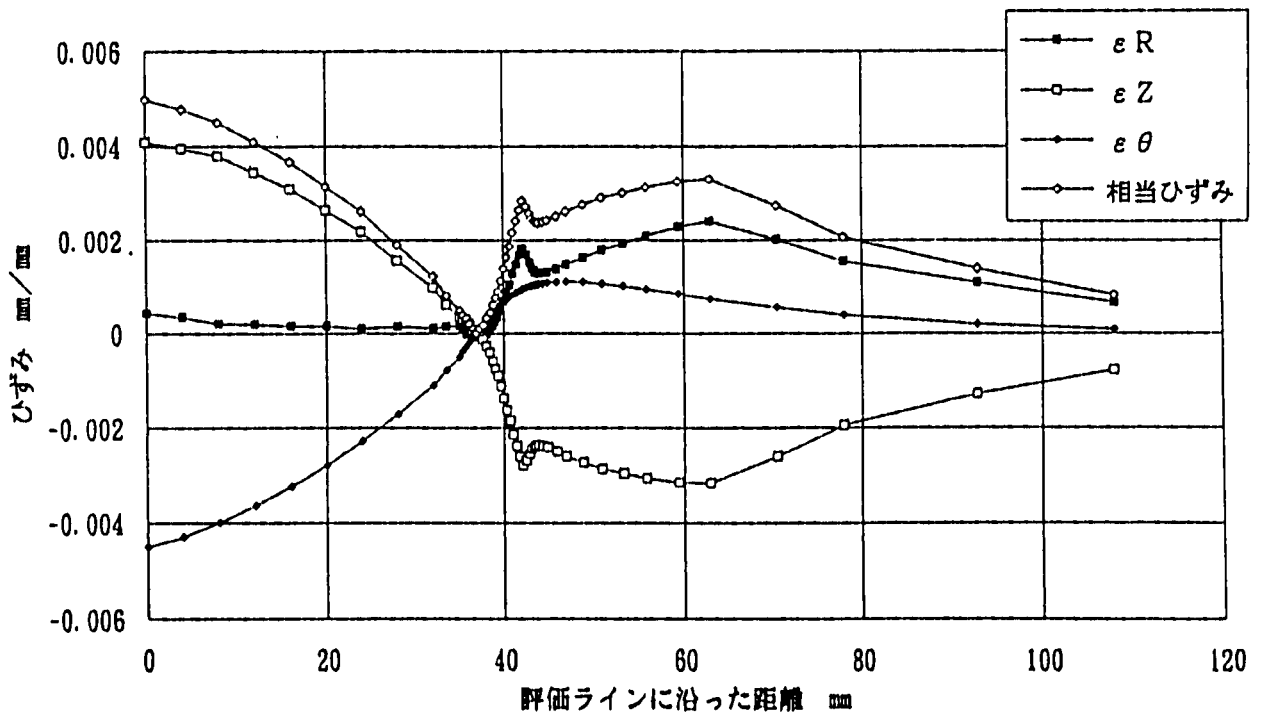
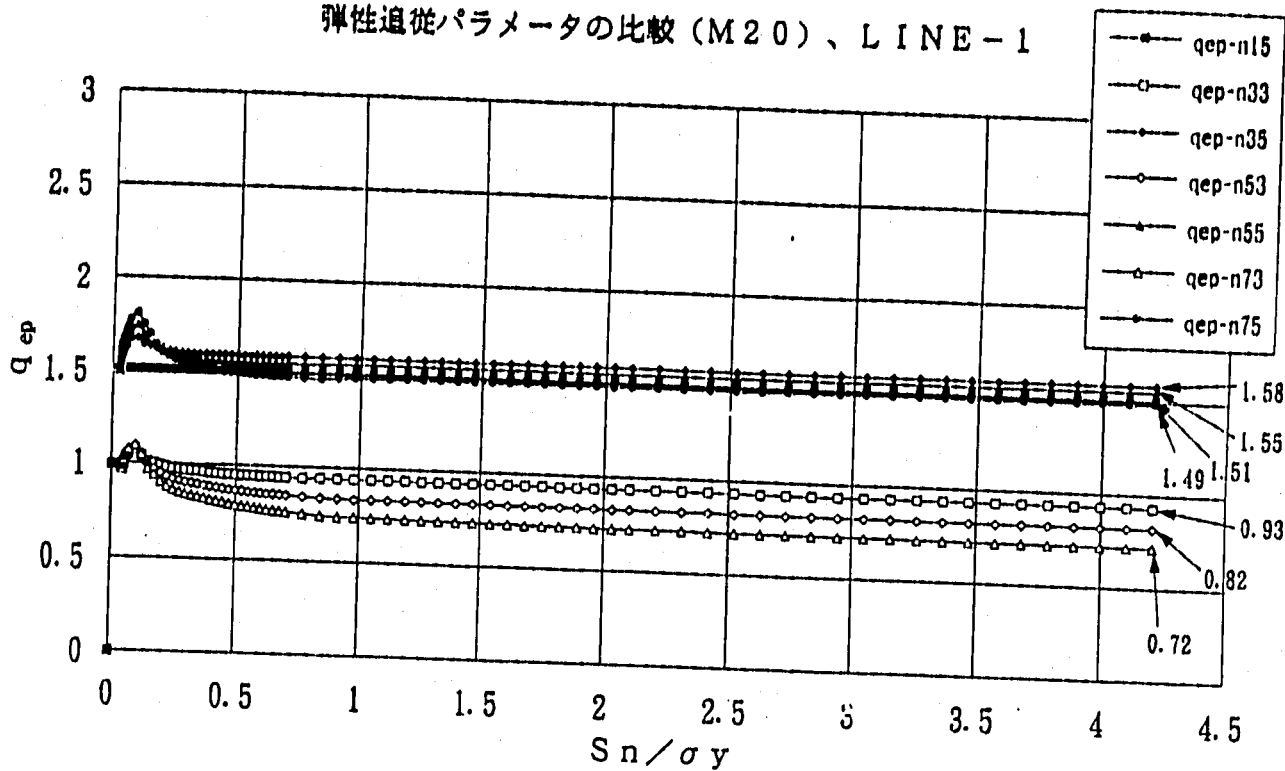


Fig.2.4.21 評価ラインに沿った各ひずみ成分分布比較  
(M100、n=7、 $\nu=0.3, 0.5$ )

弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-1



総体的弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-1

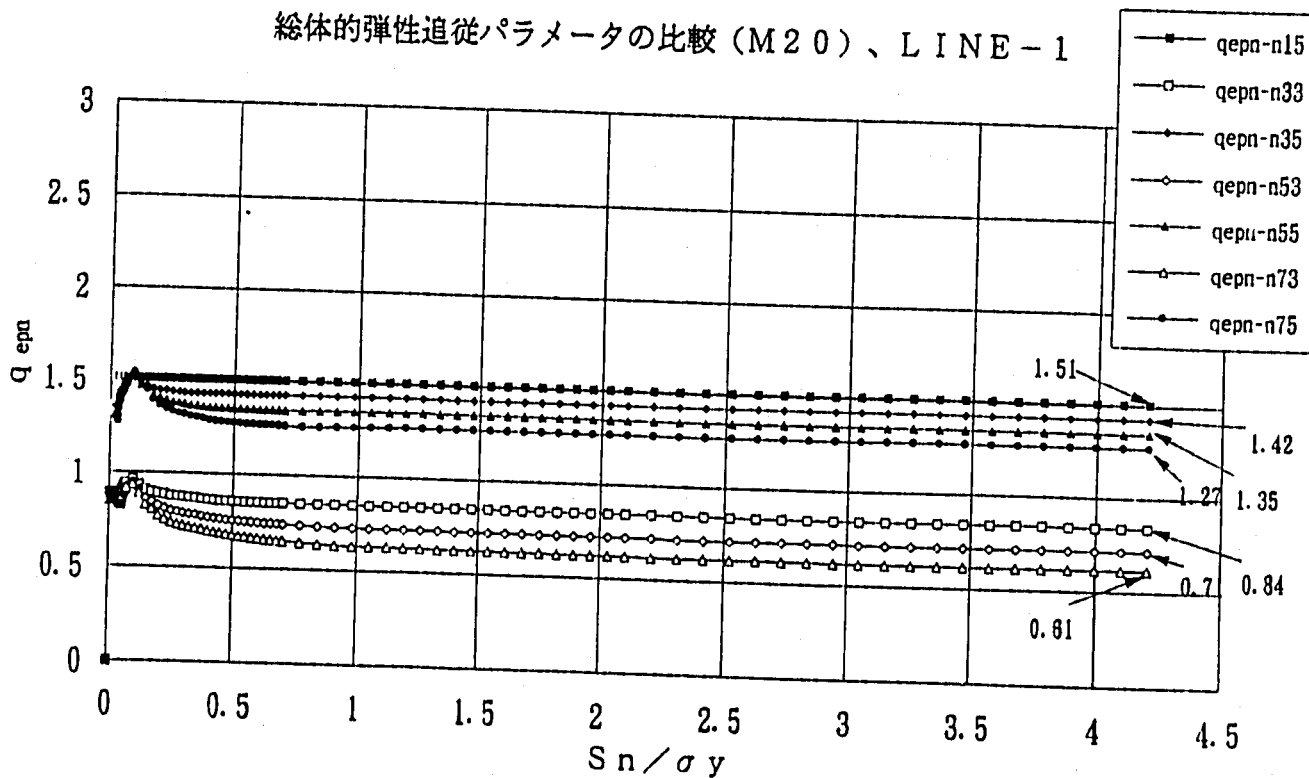
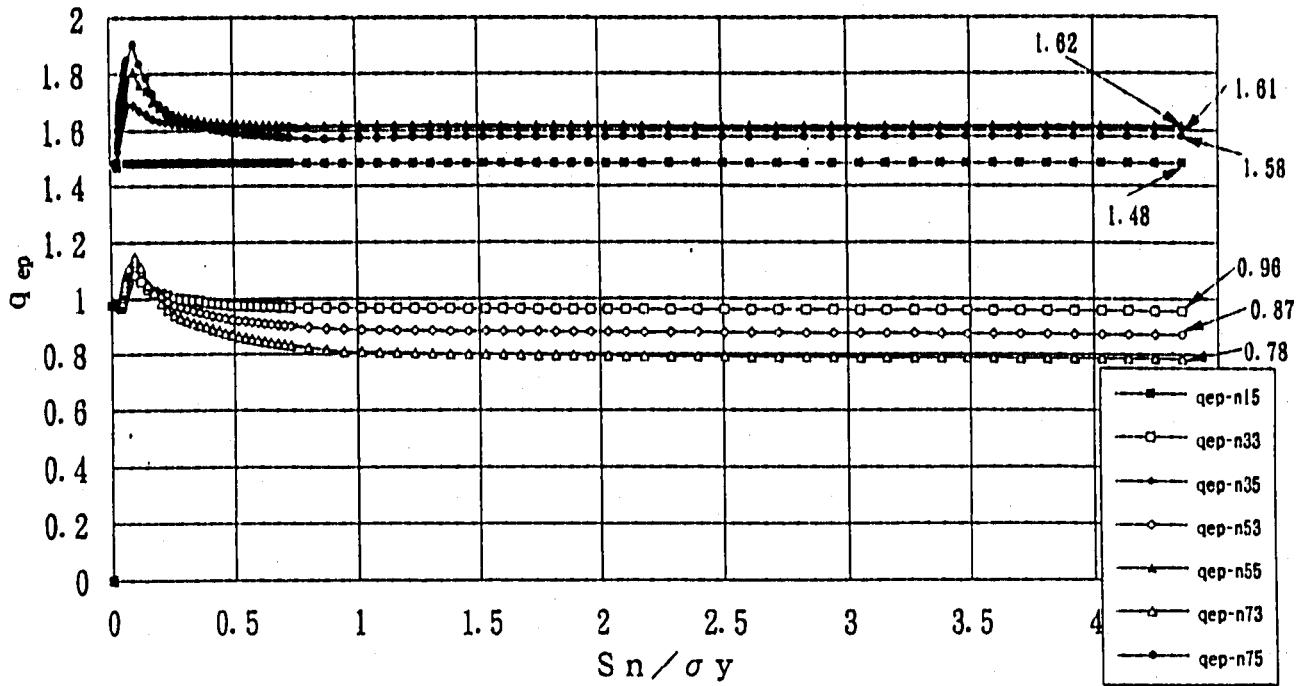


Fig.2.4.22 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}, q_{epn}$ )  
(評価断面-1、M20、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )



弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-2



総体的弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-2

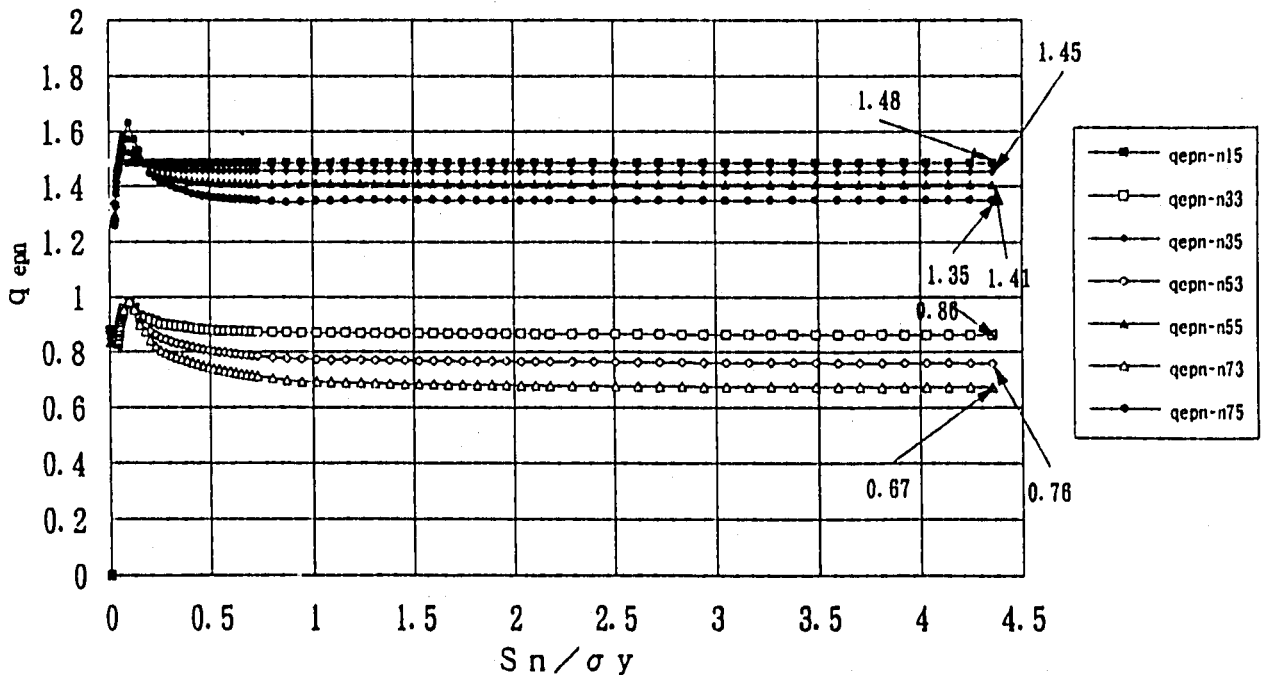
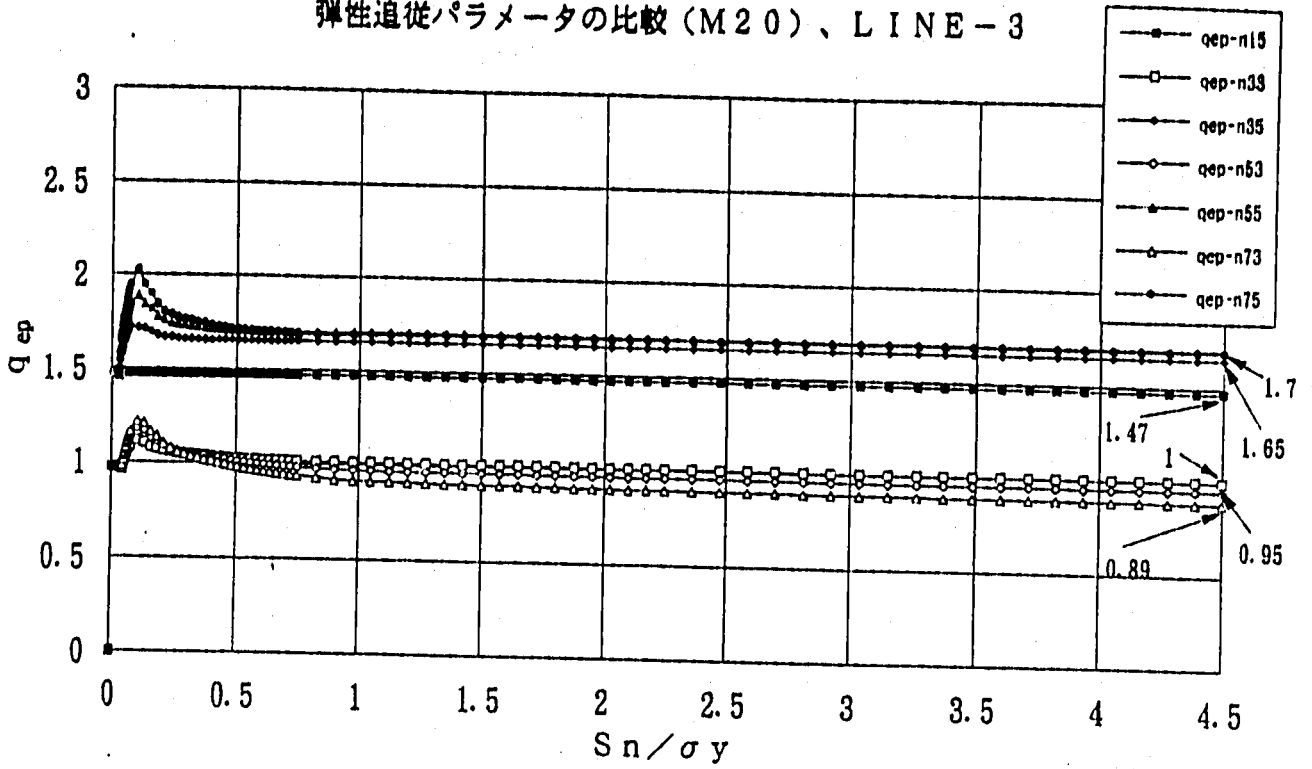


Fig.2.4.23 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
(評価断面 - 2、M20、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-3



総合的弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-3

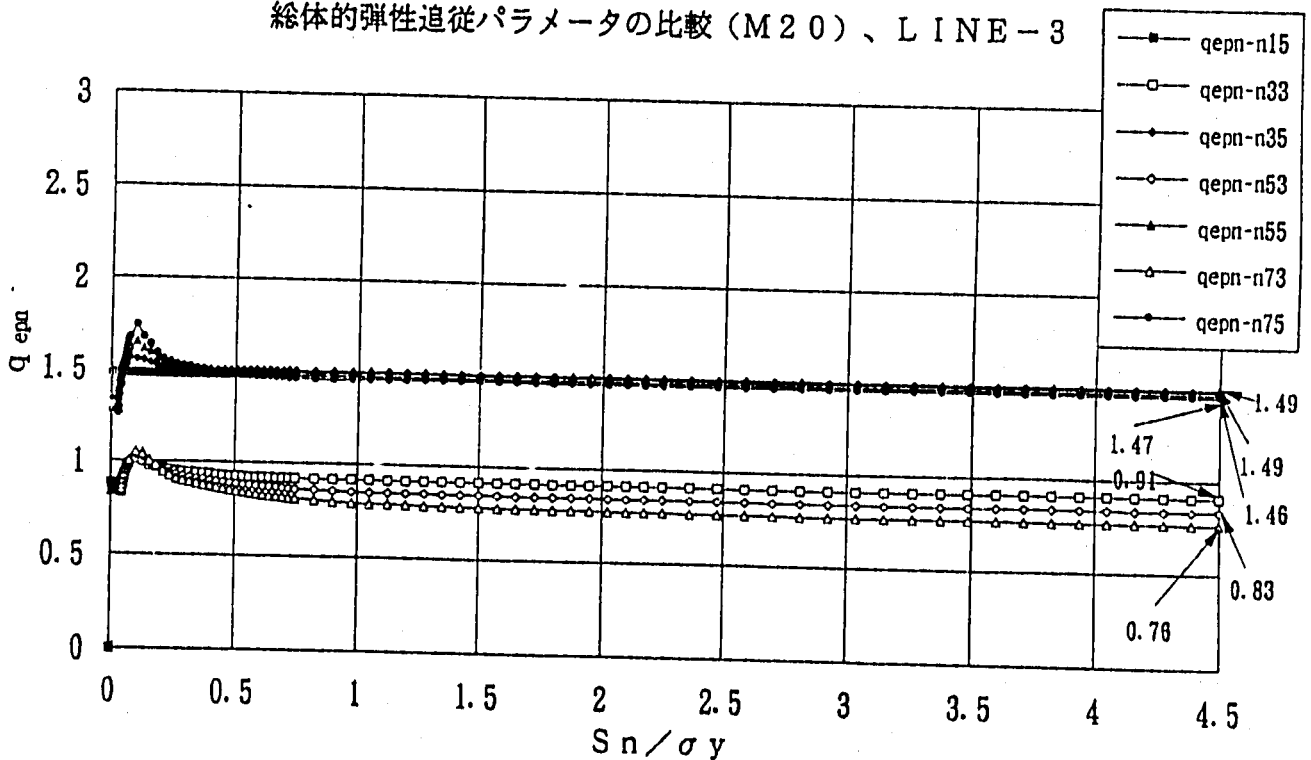
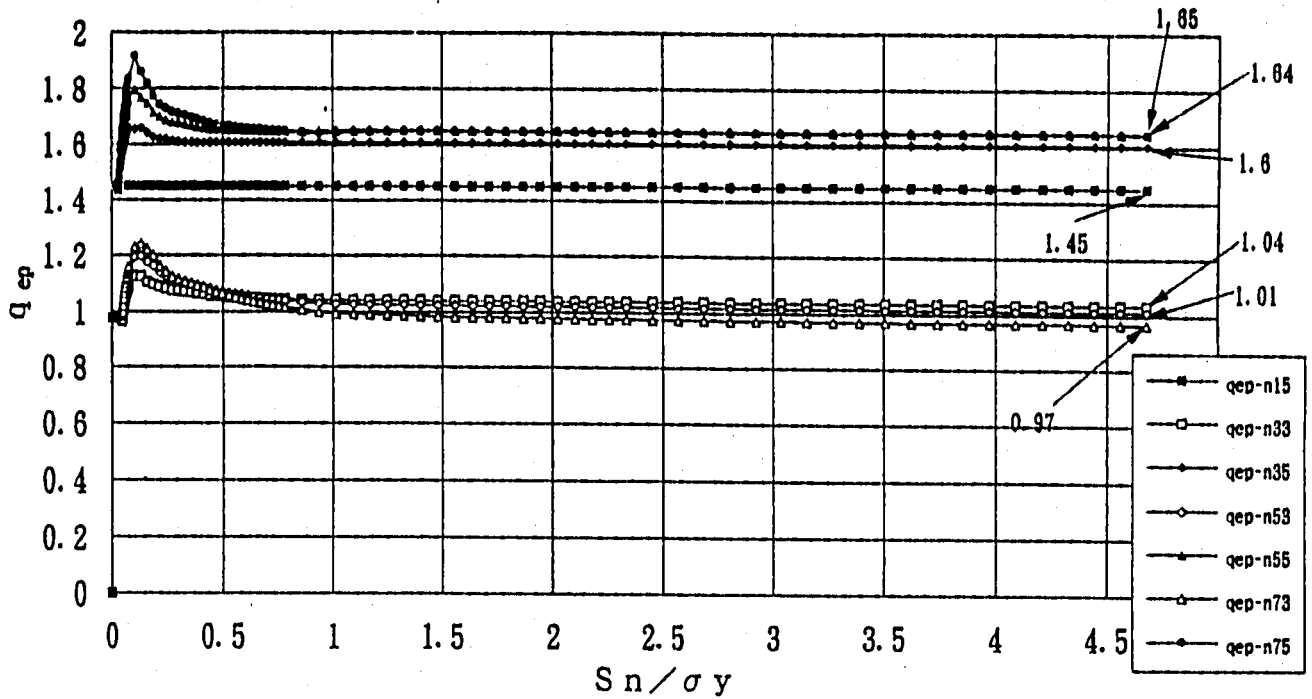


Fig.2.4.24 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}, q_{epn}$ )  
(評価断面-3、M20、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-4



総体的弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-4

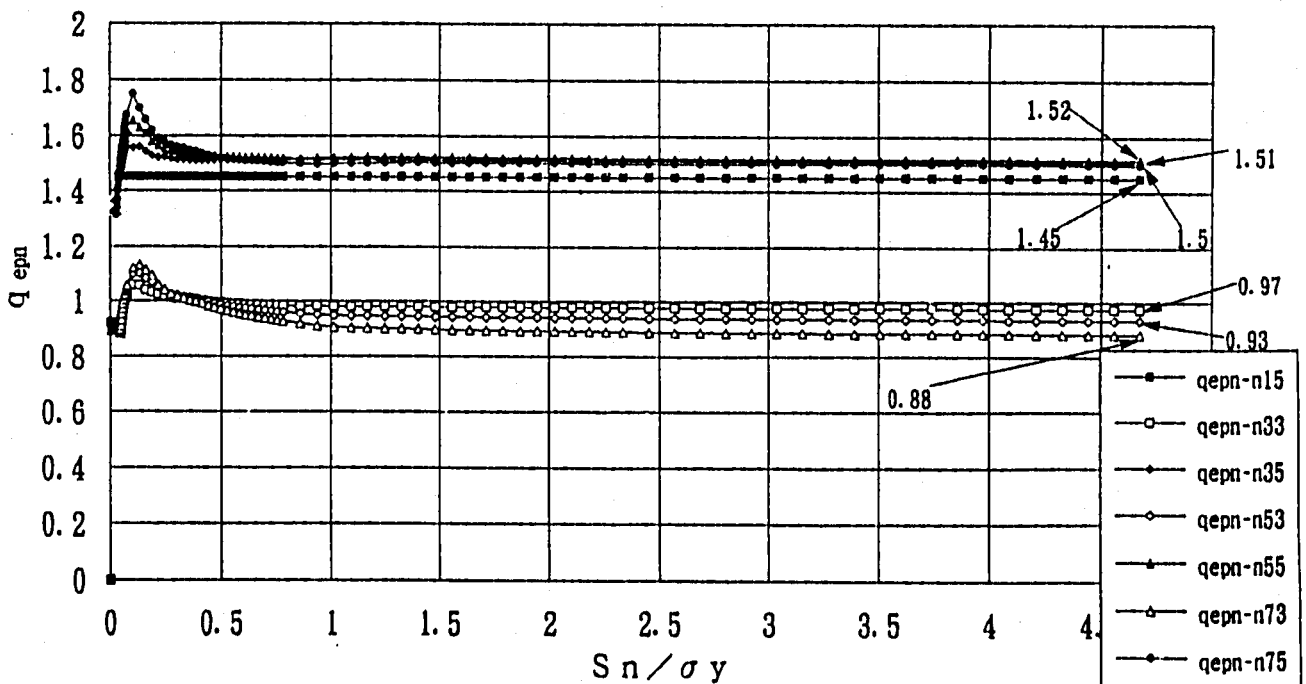
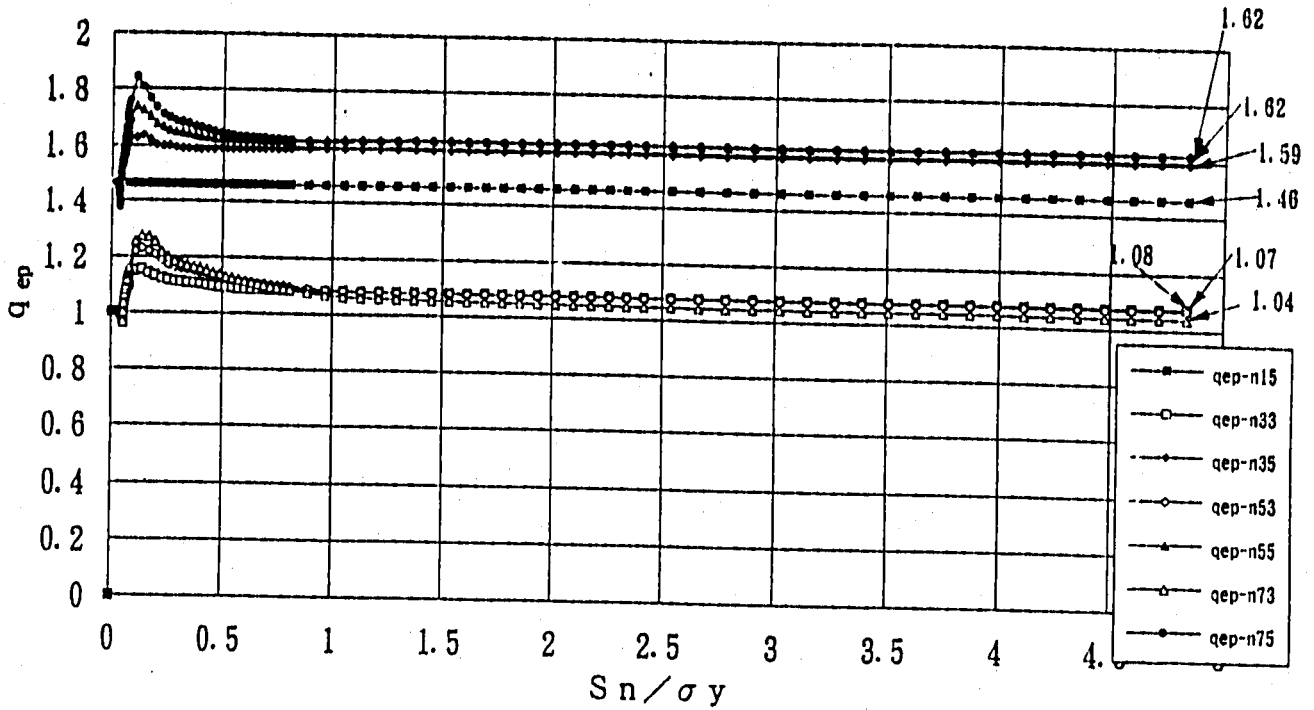


Fig.2.4.25 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
(評価断面-4、M20、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-5



総体的弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-5

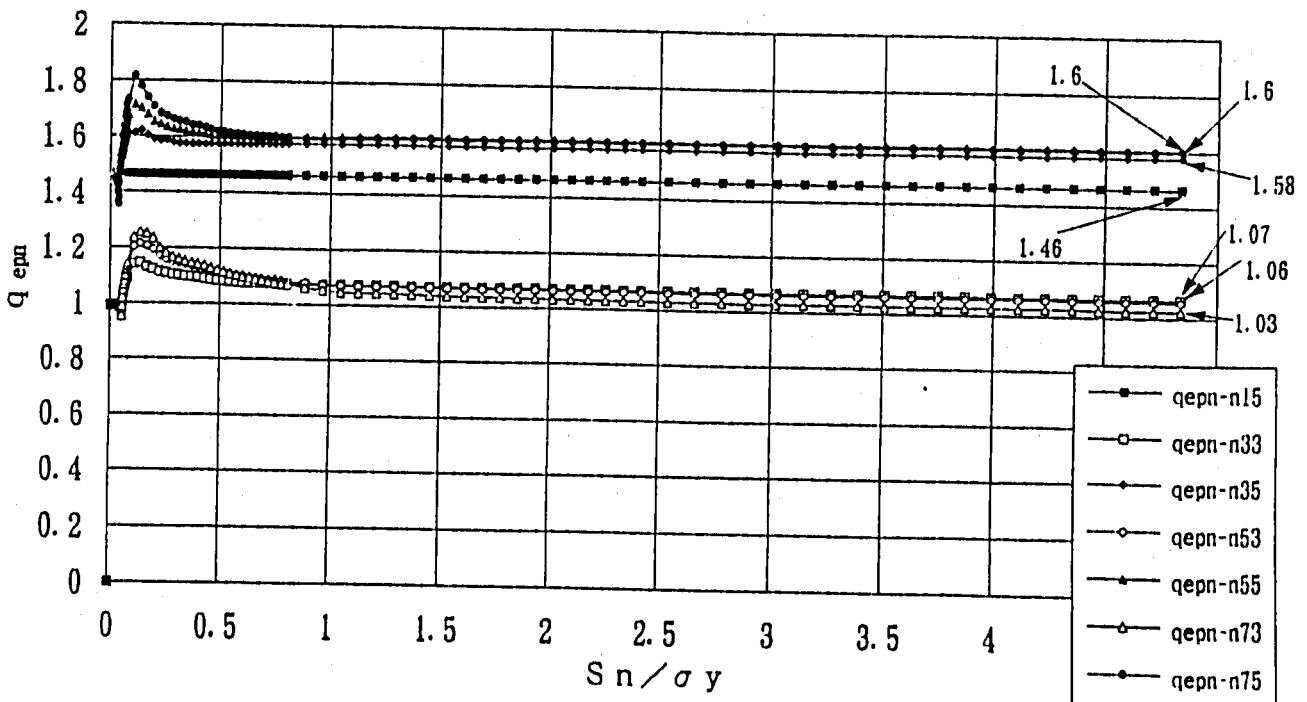
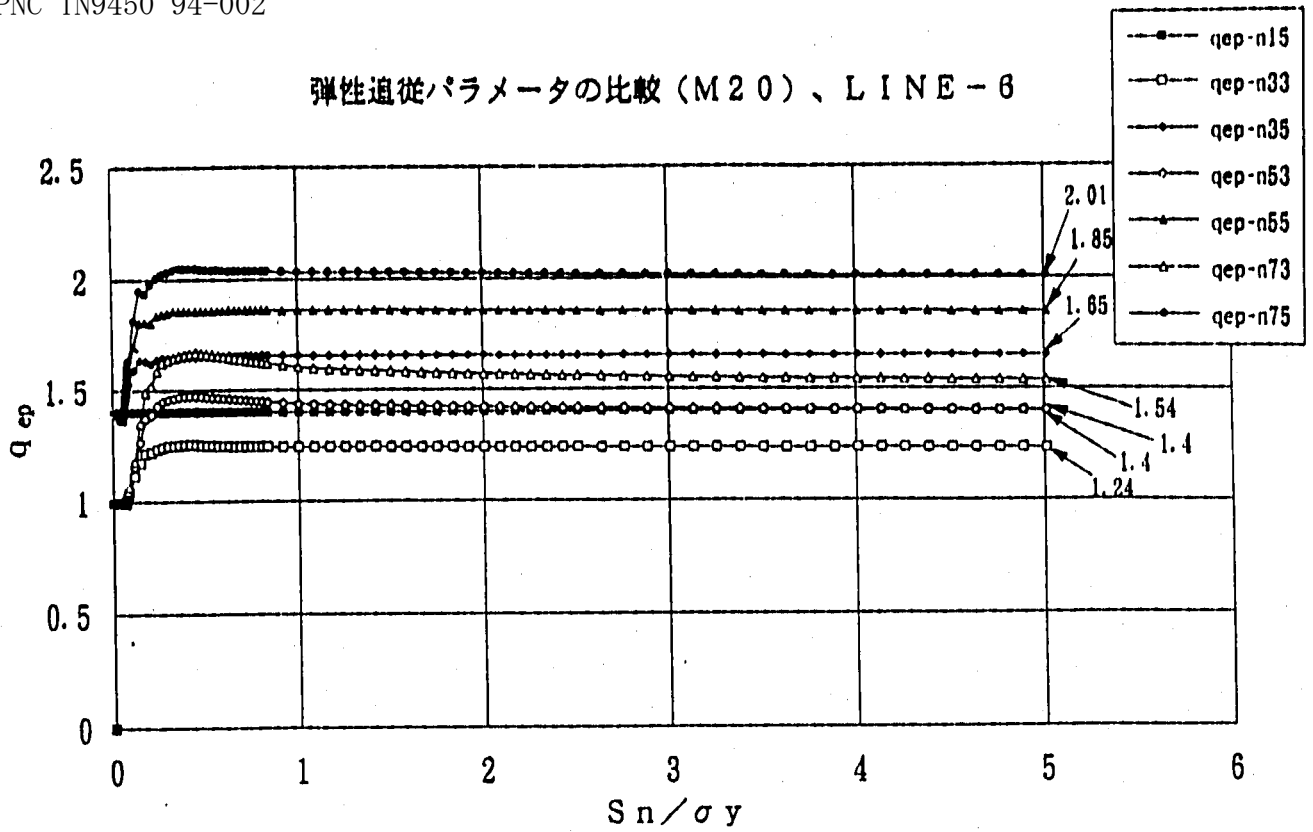


Fig.2.4.26 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
(評価断面 - 5、M20、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-6



総体的弾性追従パラメータの比較 (M20)、LINE-6

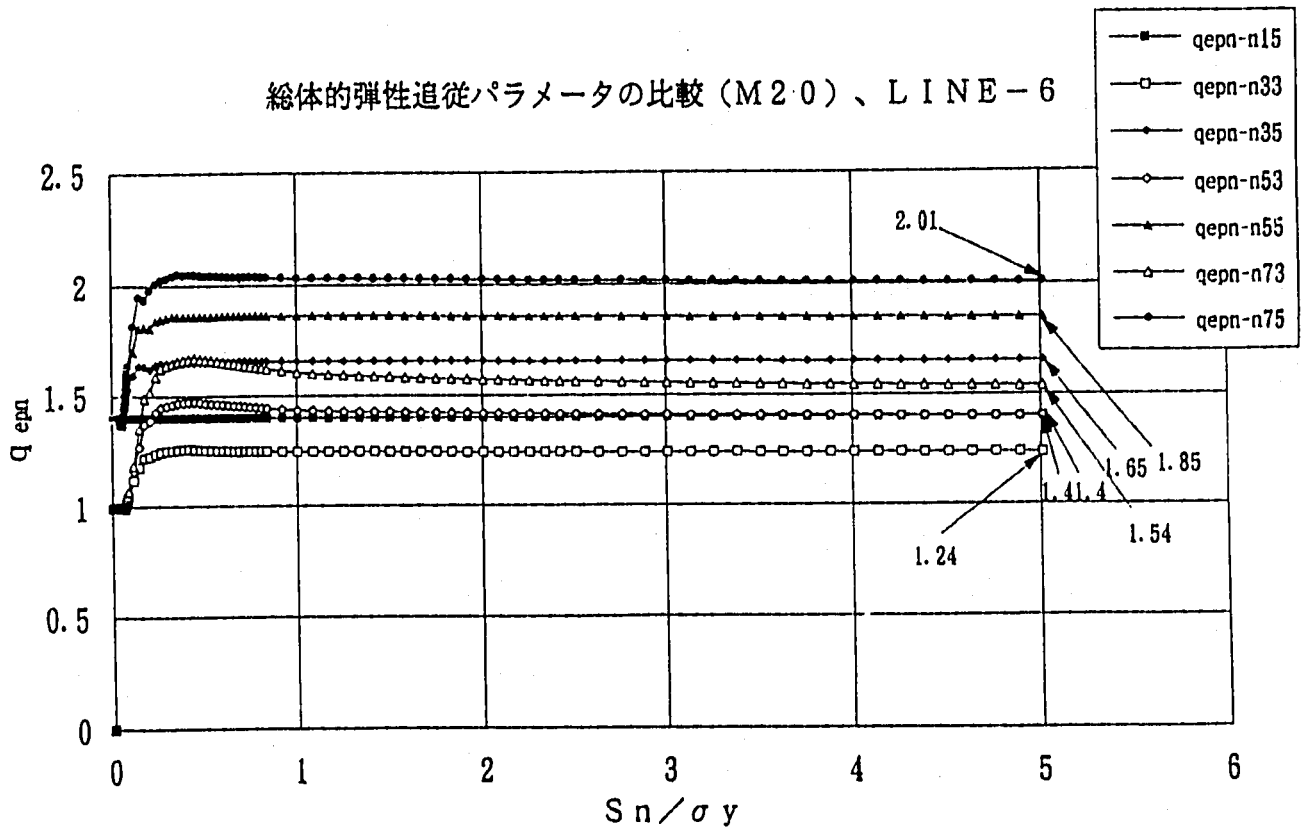


Fig.2.4.27 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}, q_{epn}$ )  
(評価断面 - G、M20、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

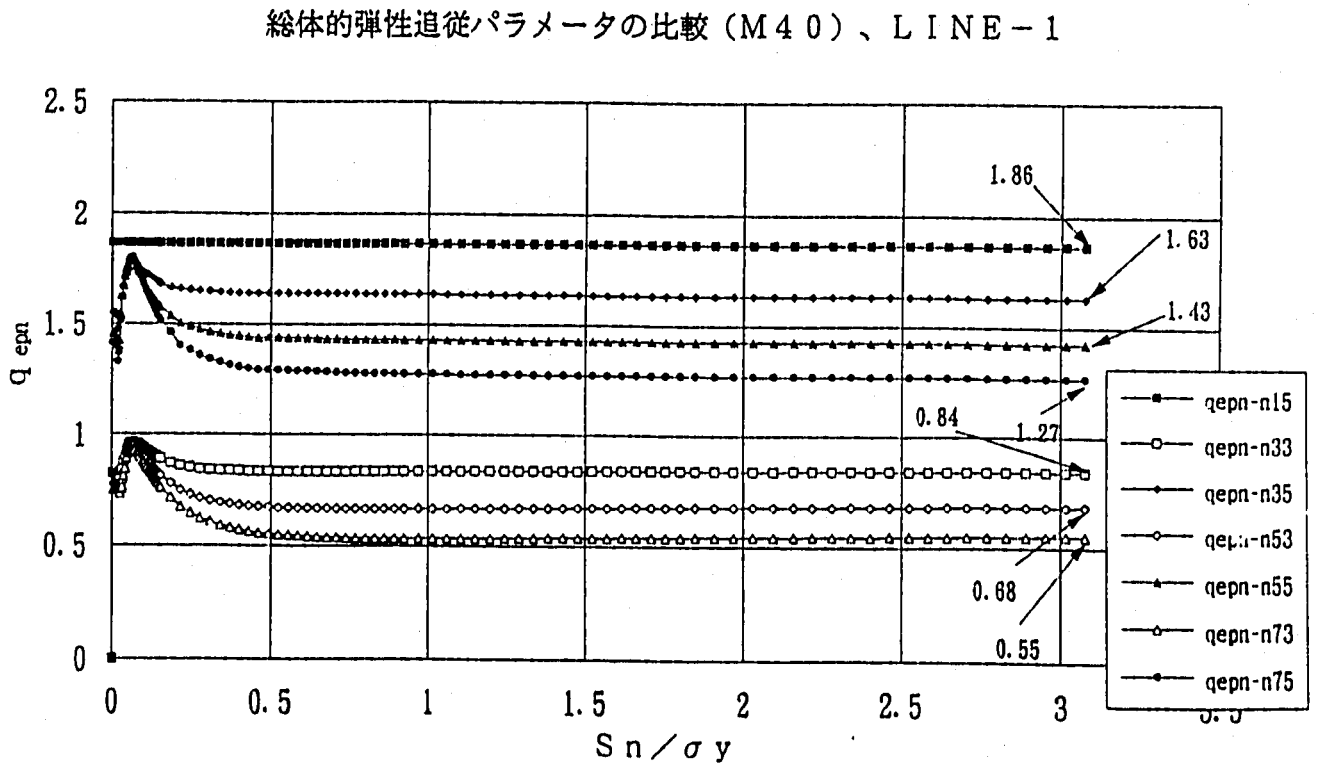
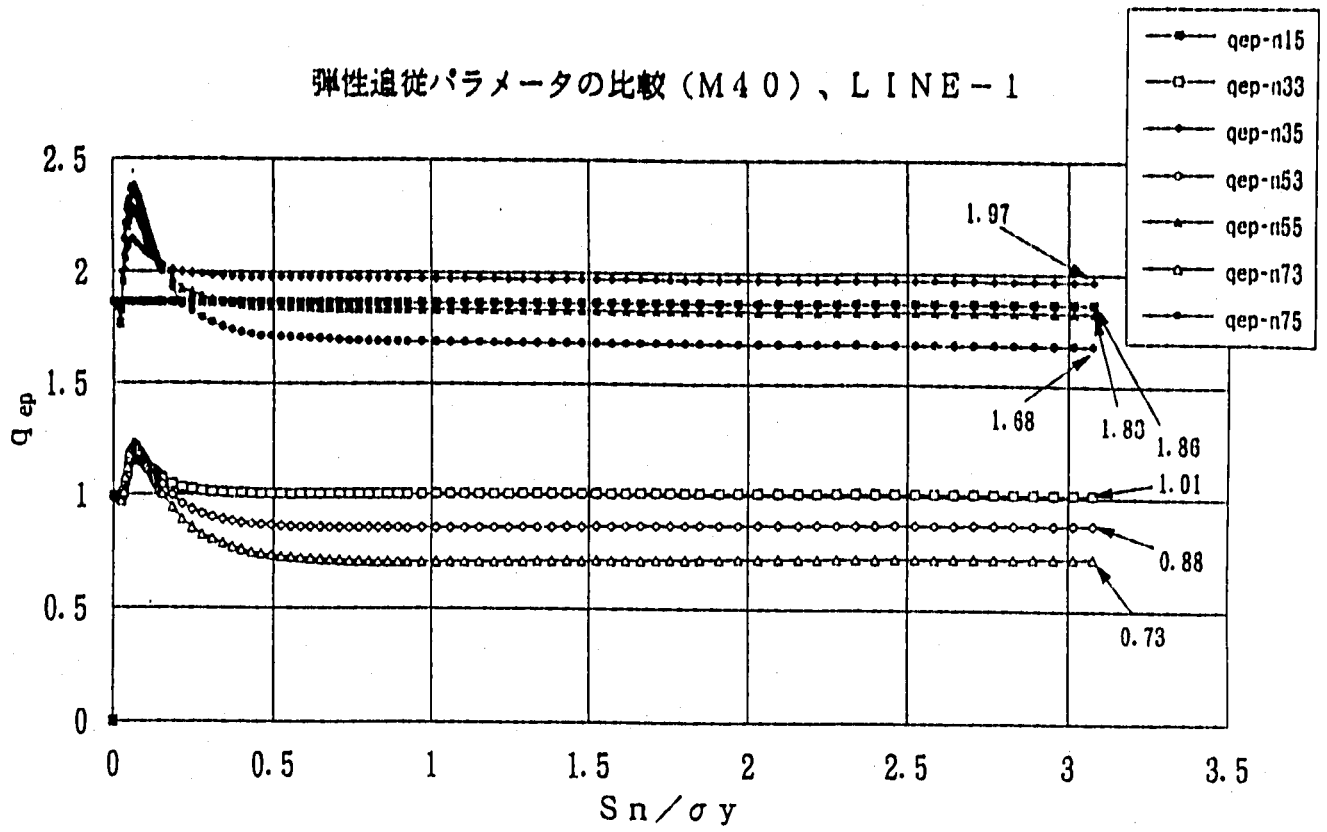
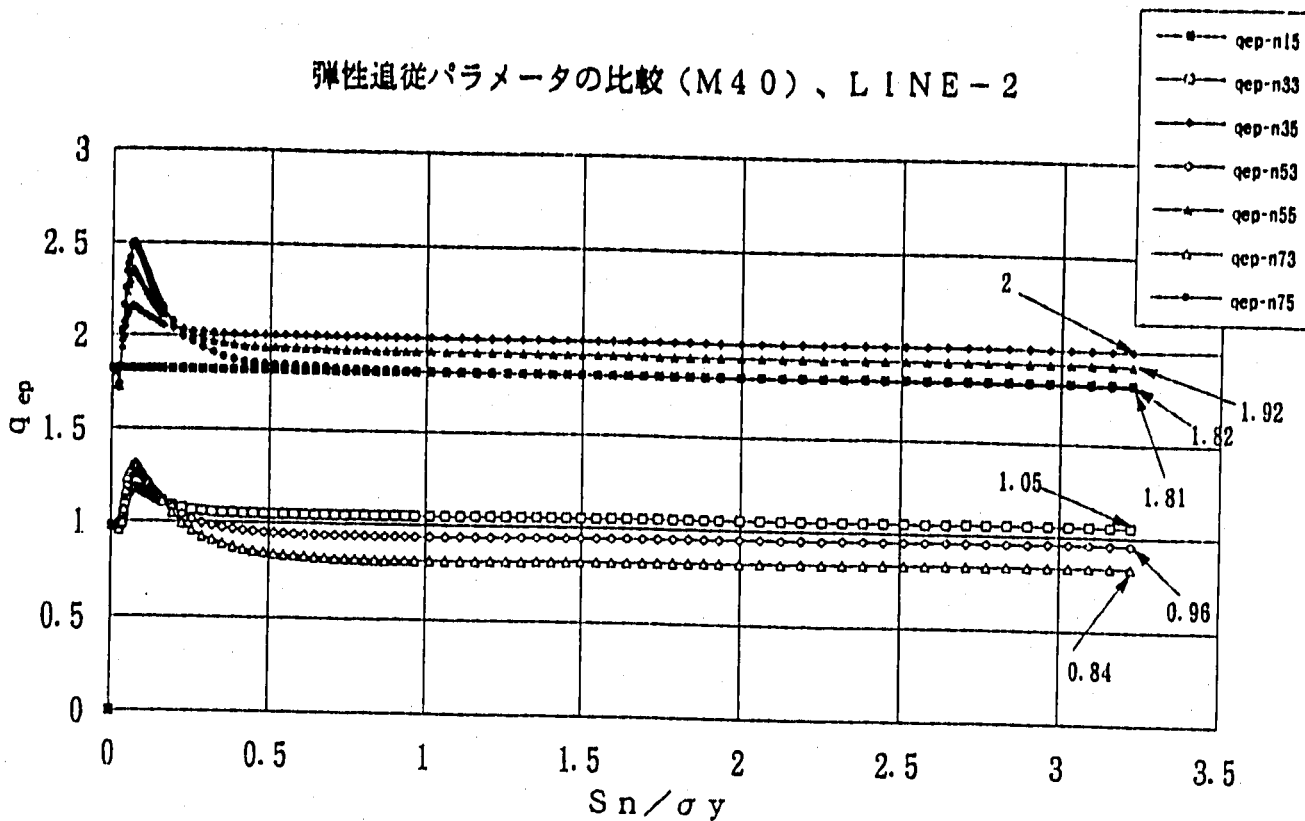


Fig.2.4.28 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
 (評価断面-1, M40,  $n=1,3,5,7$ ,  $\nu=0.3,0.5$ )

弾性追従パラメータの比較 (M40)、LINE-2



総体的弾性追従パラメータの比較 (M40)、LINE-2

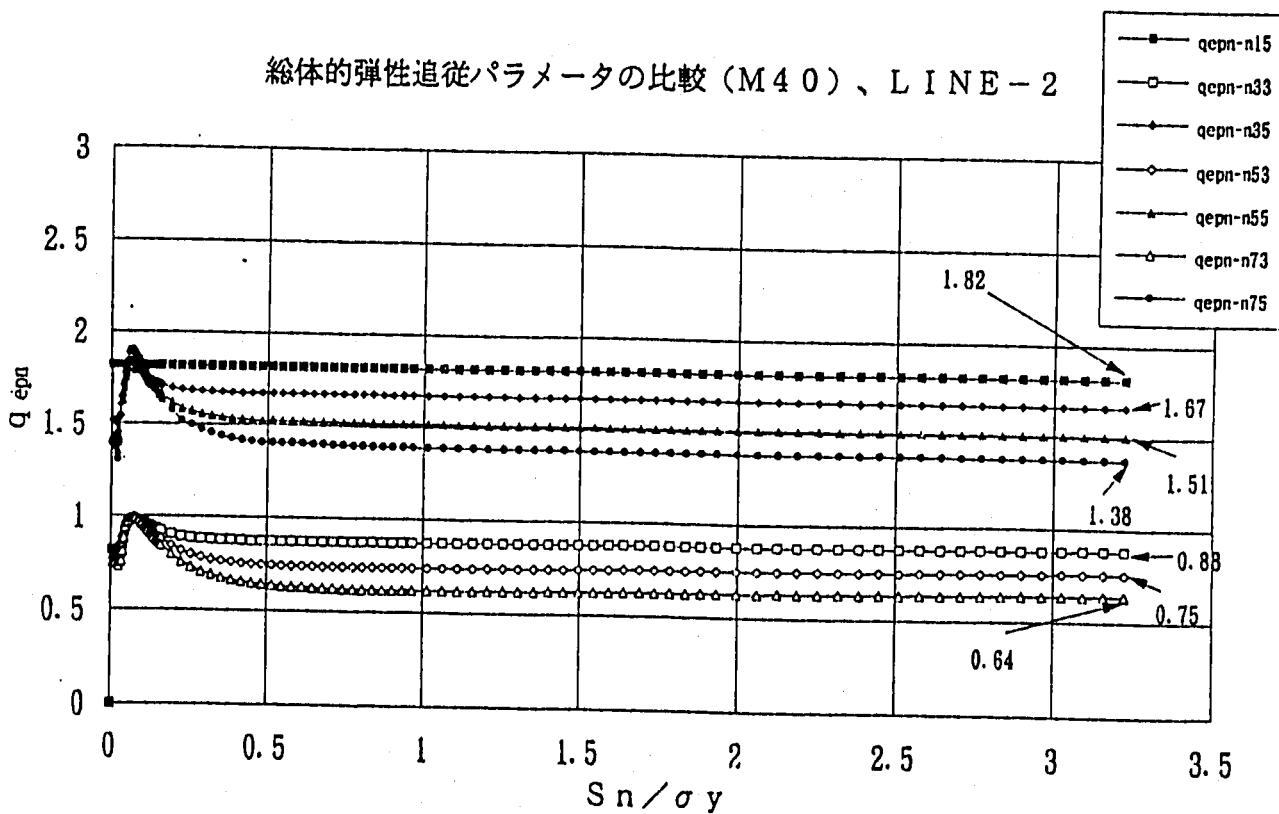


Fig.2.4.29 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}, q_{epn}$ )  
(評価断面 - 2、M40、 $n=1, 3, 5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$ )

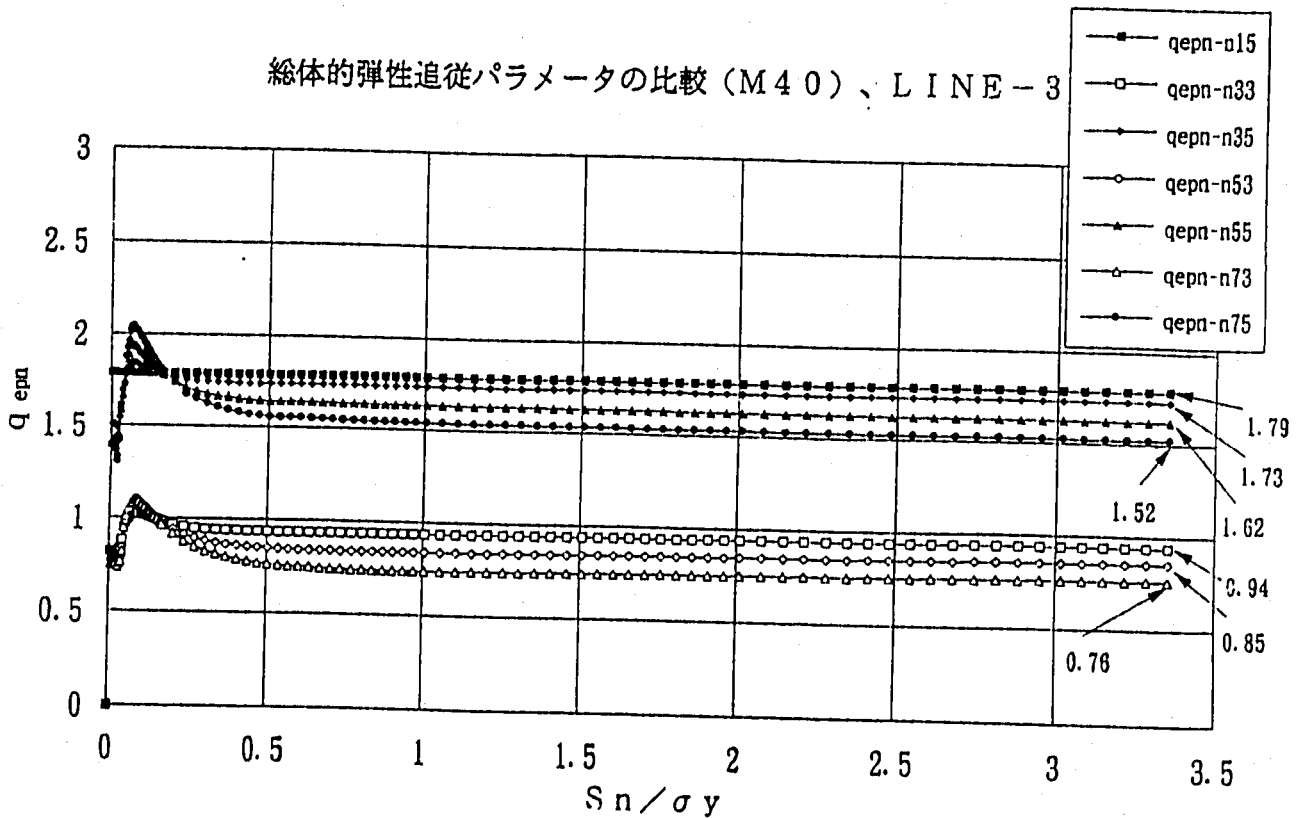
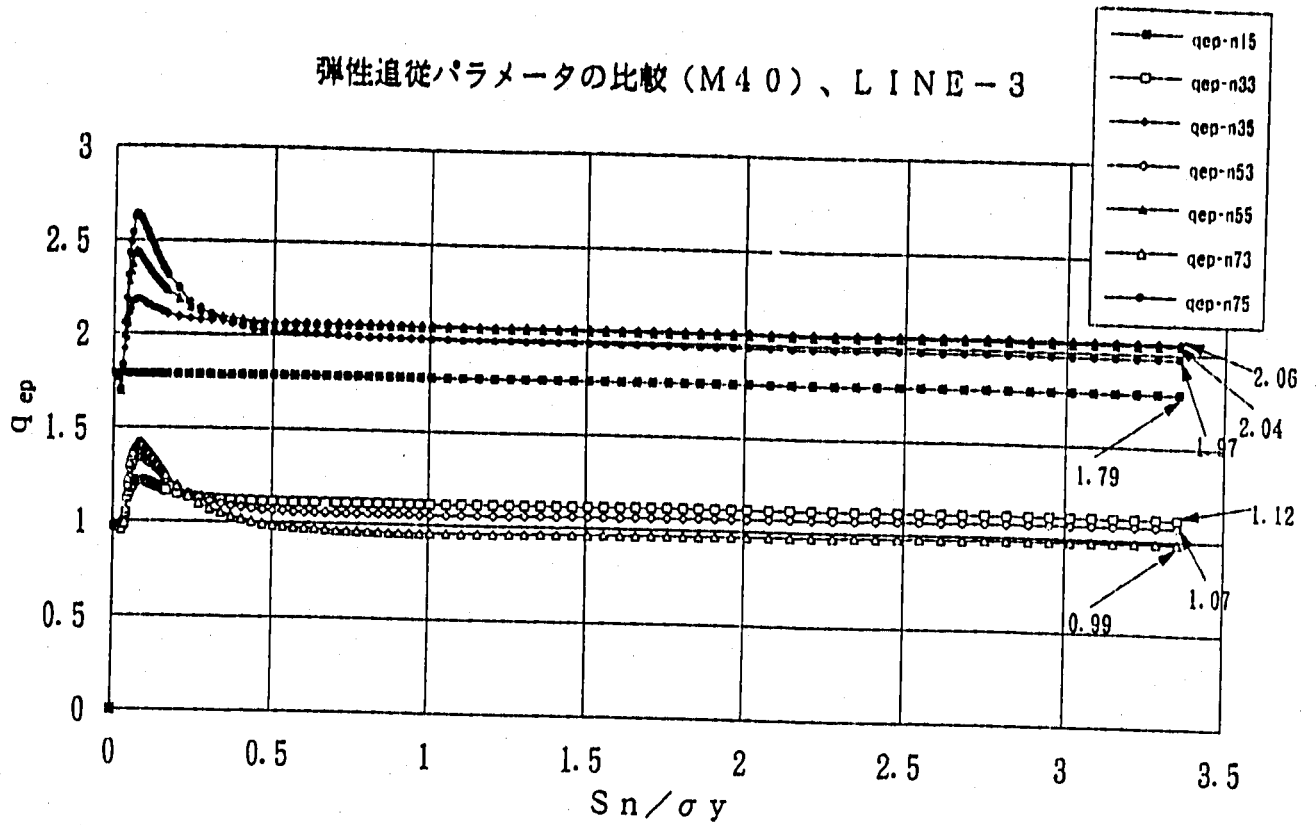


Fig.2.4.30 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
 (評価断面: 3, M40,  $n=1, 3, 5, 7$ ,  $\nu=0.3, 0.5$ )



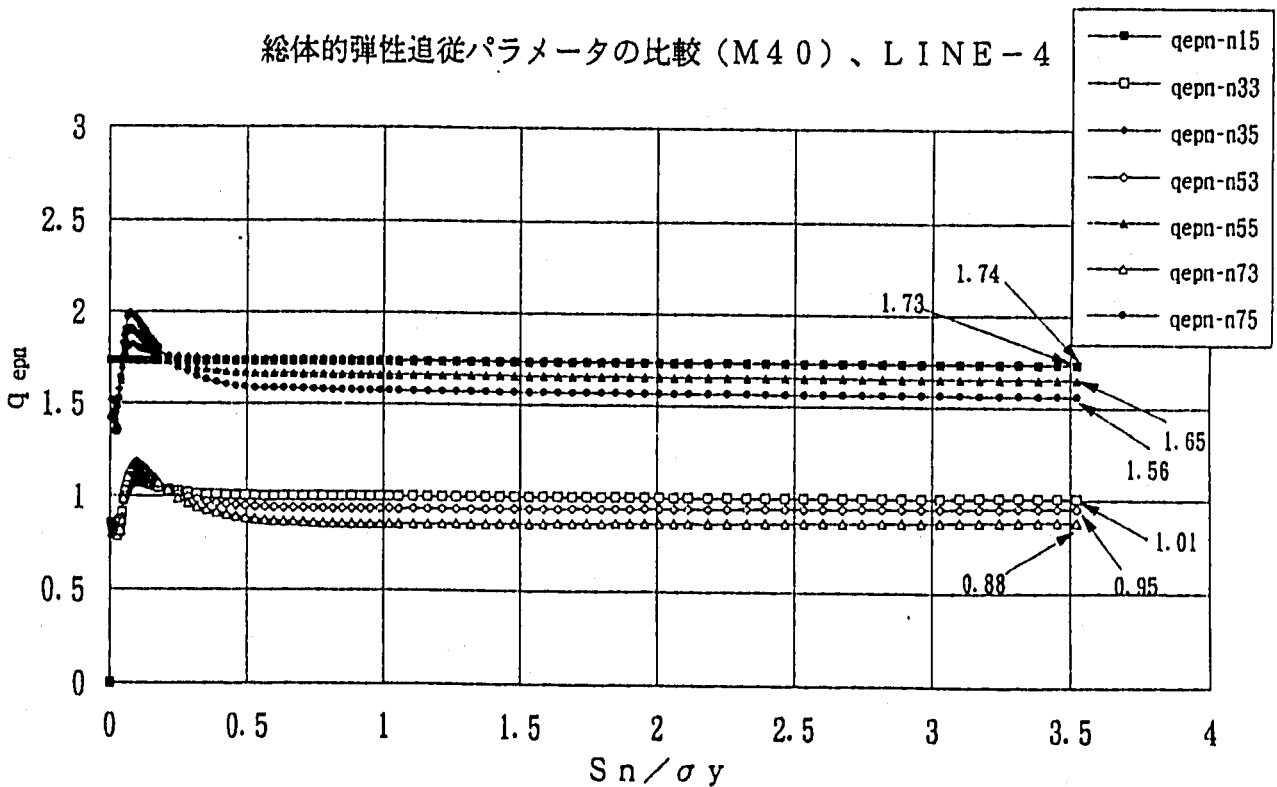
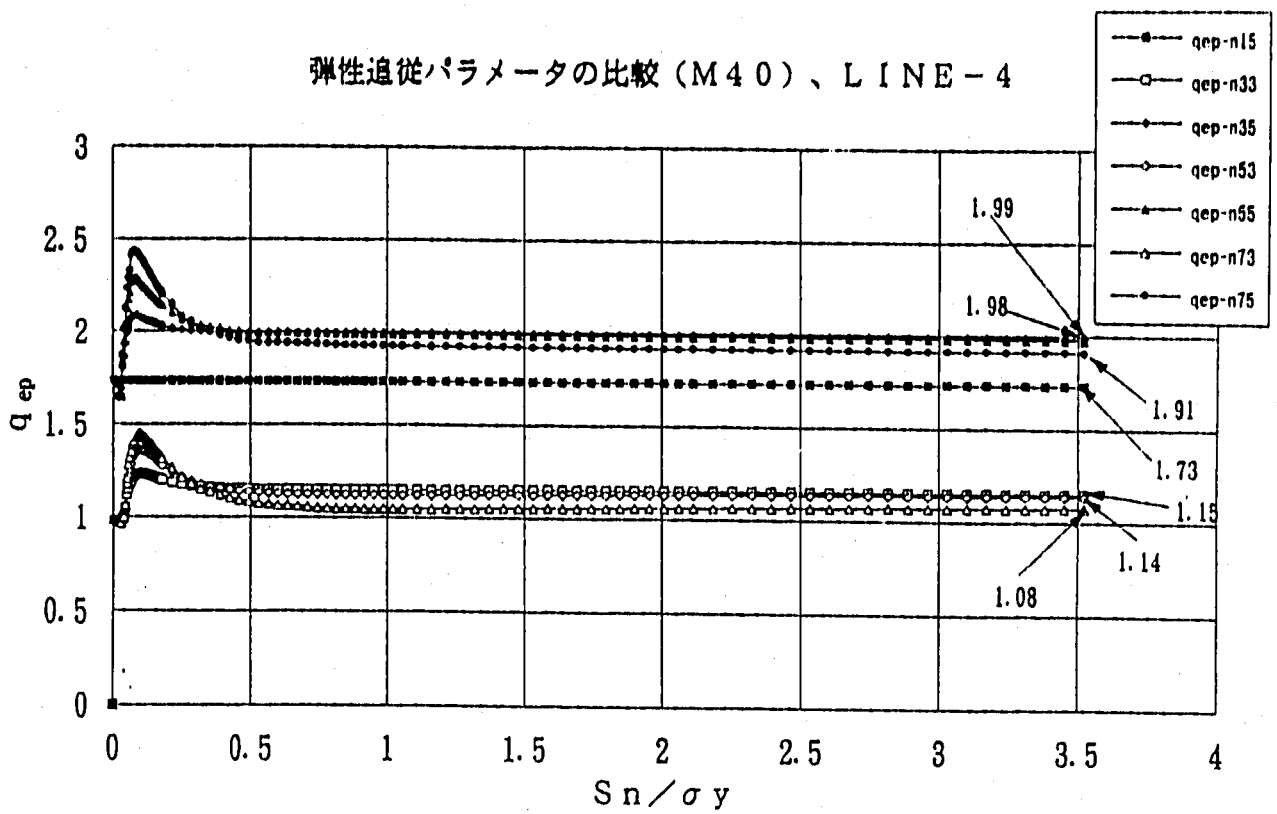


Fig.2.4.31 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}, q_{epn}$ )  
(評価断面-4、M40、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

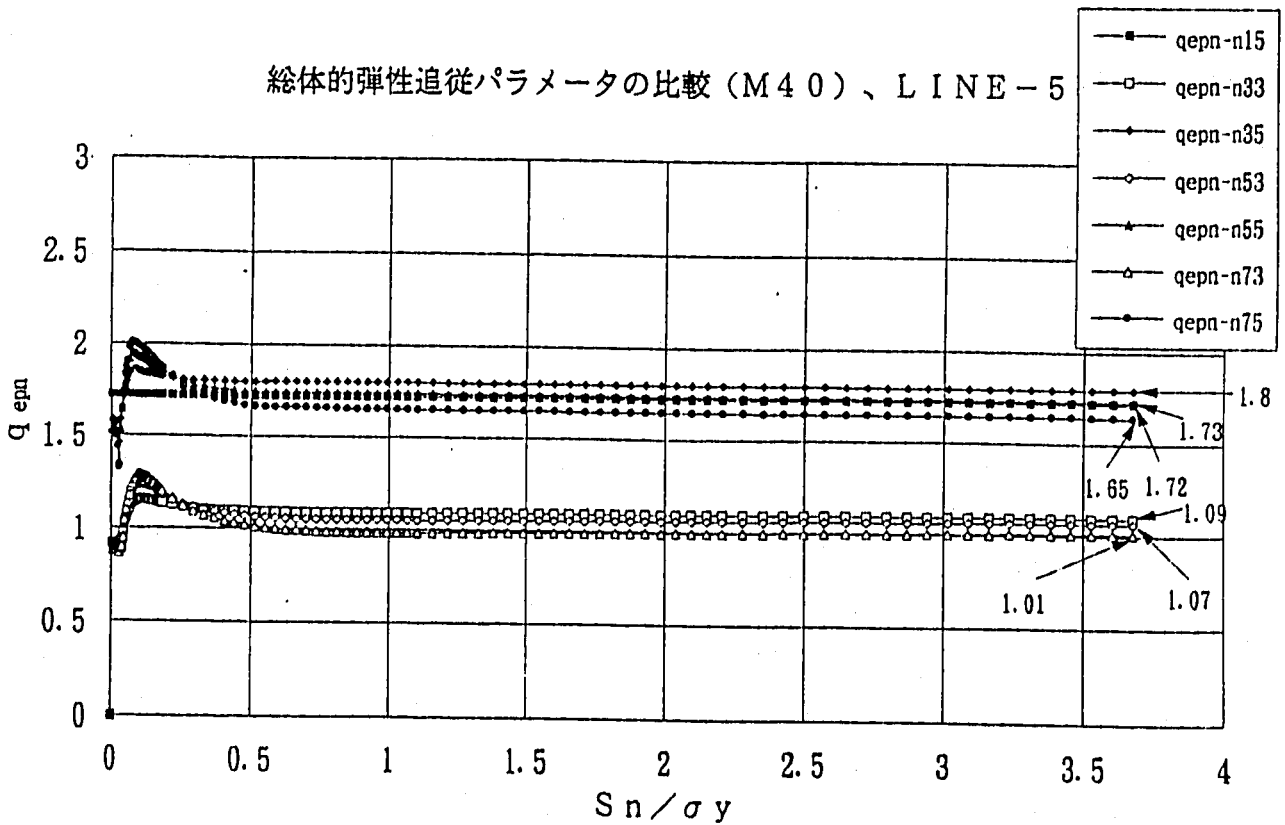
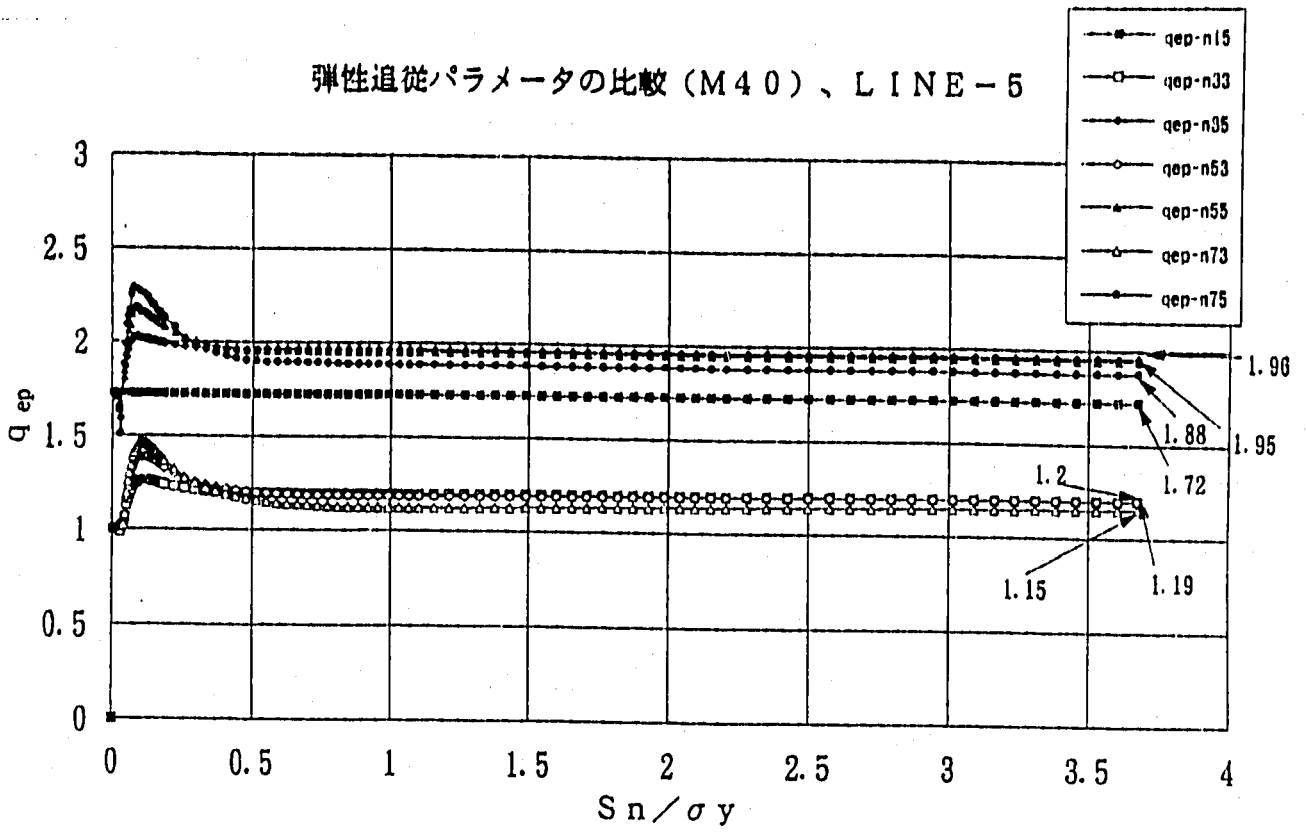
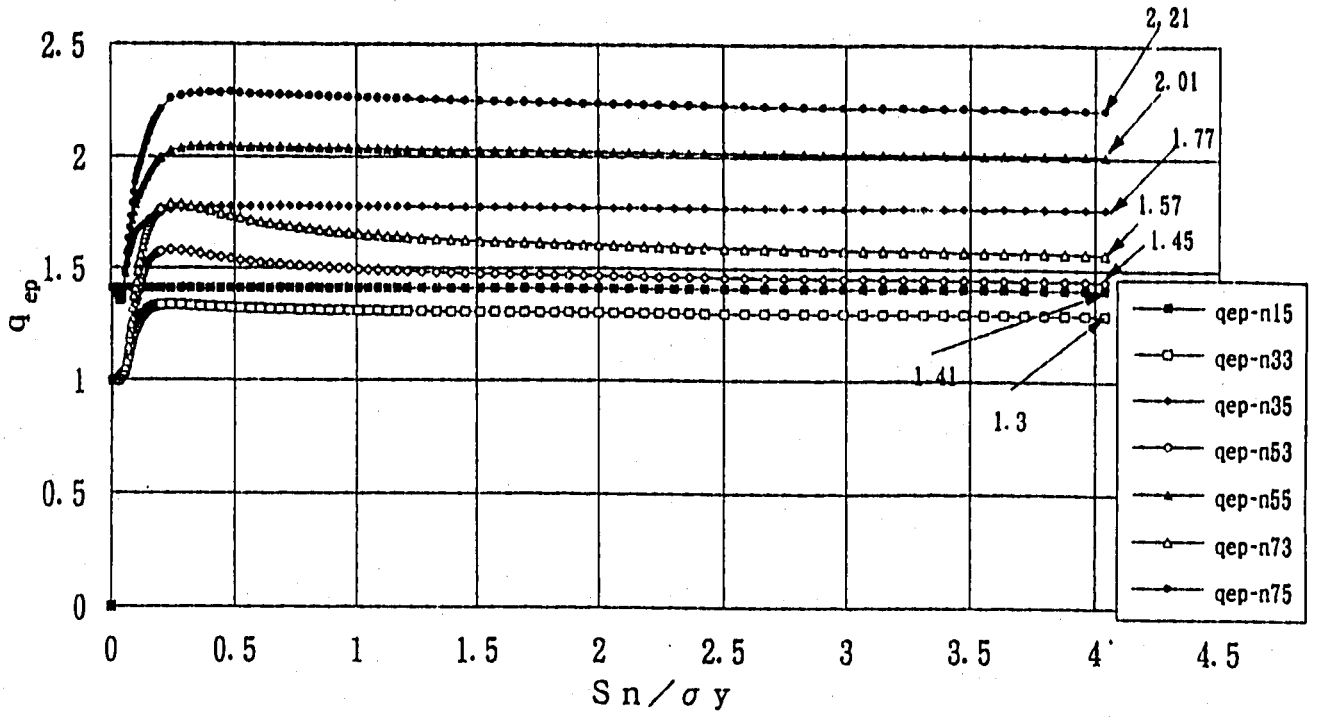


Fig.2.4.32 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
 (評価断面 5, M40,  $n=1,3,5,7$ ,  $\nu=0.3,0.5$ )

弾性追従パラメータの比較 (M40)、LINE-6



総体的弾性追従パラメータの比較 (M40)、LINE-6

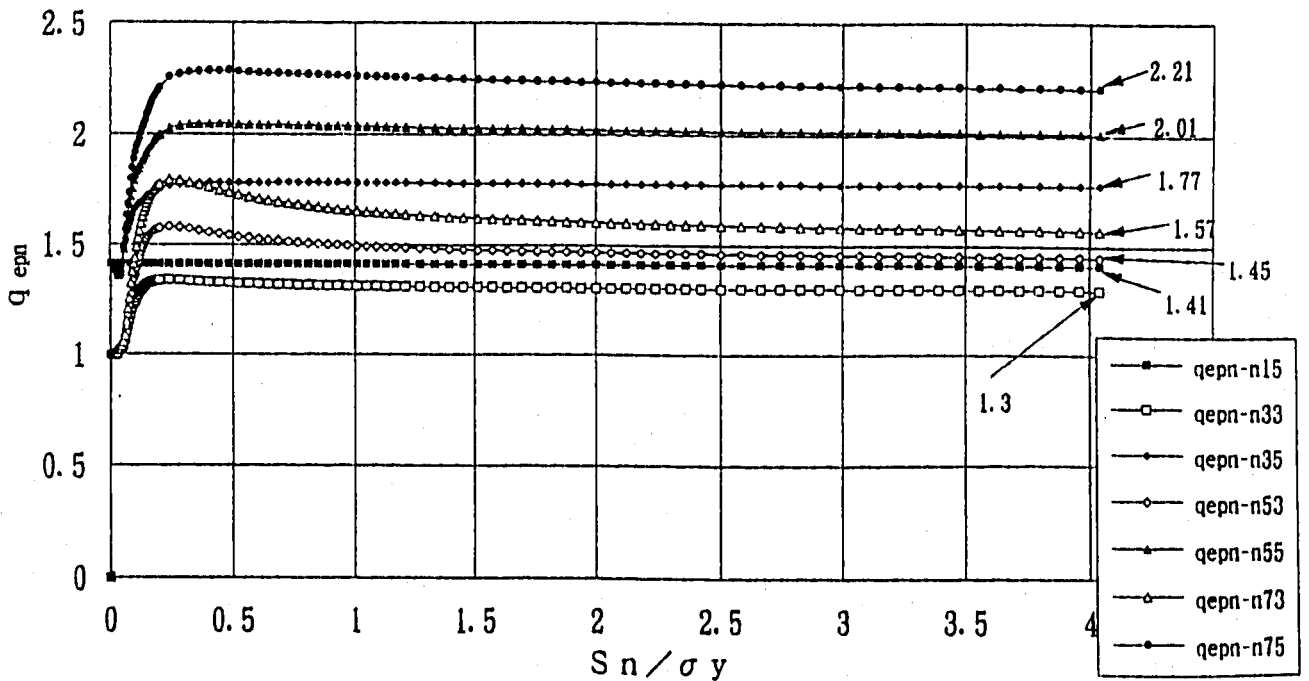


Fig.2.4.33 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
(評価断面-6、M40、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

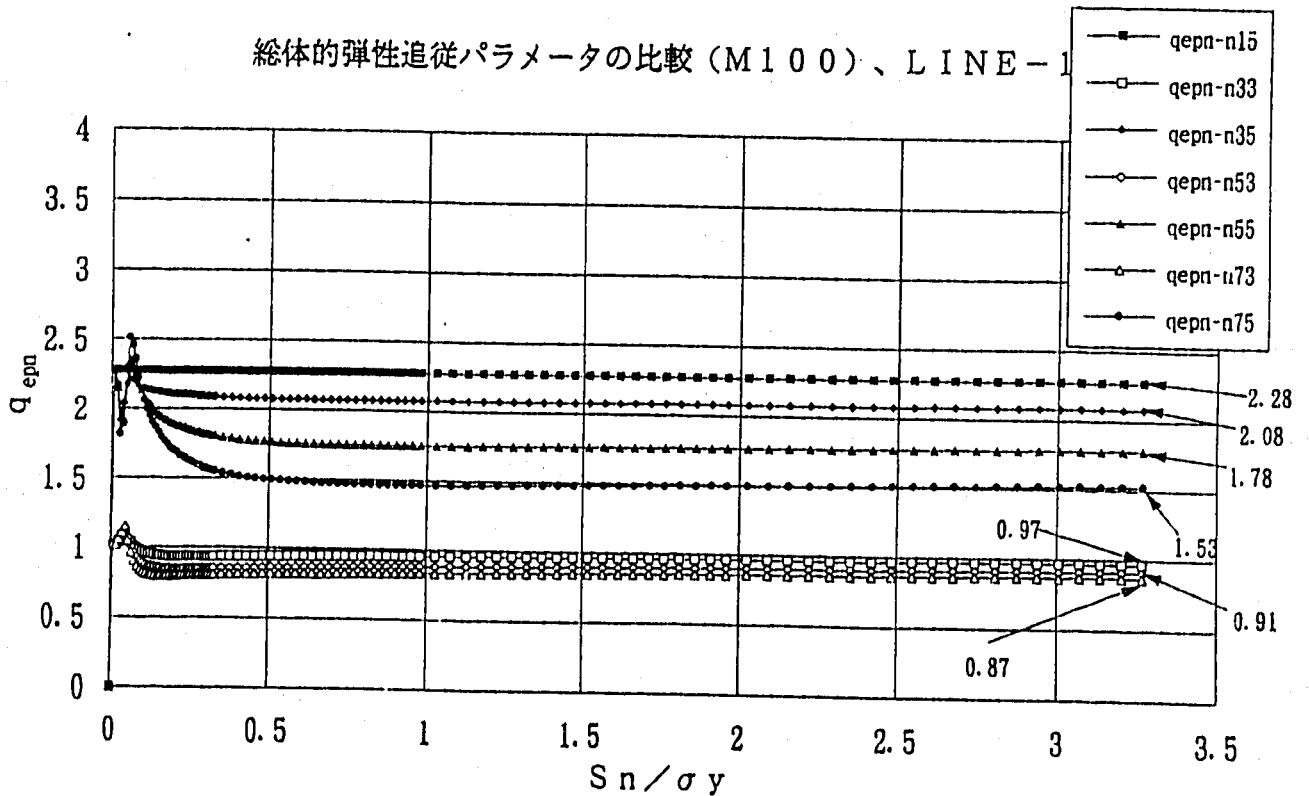
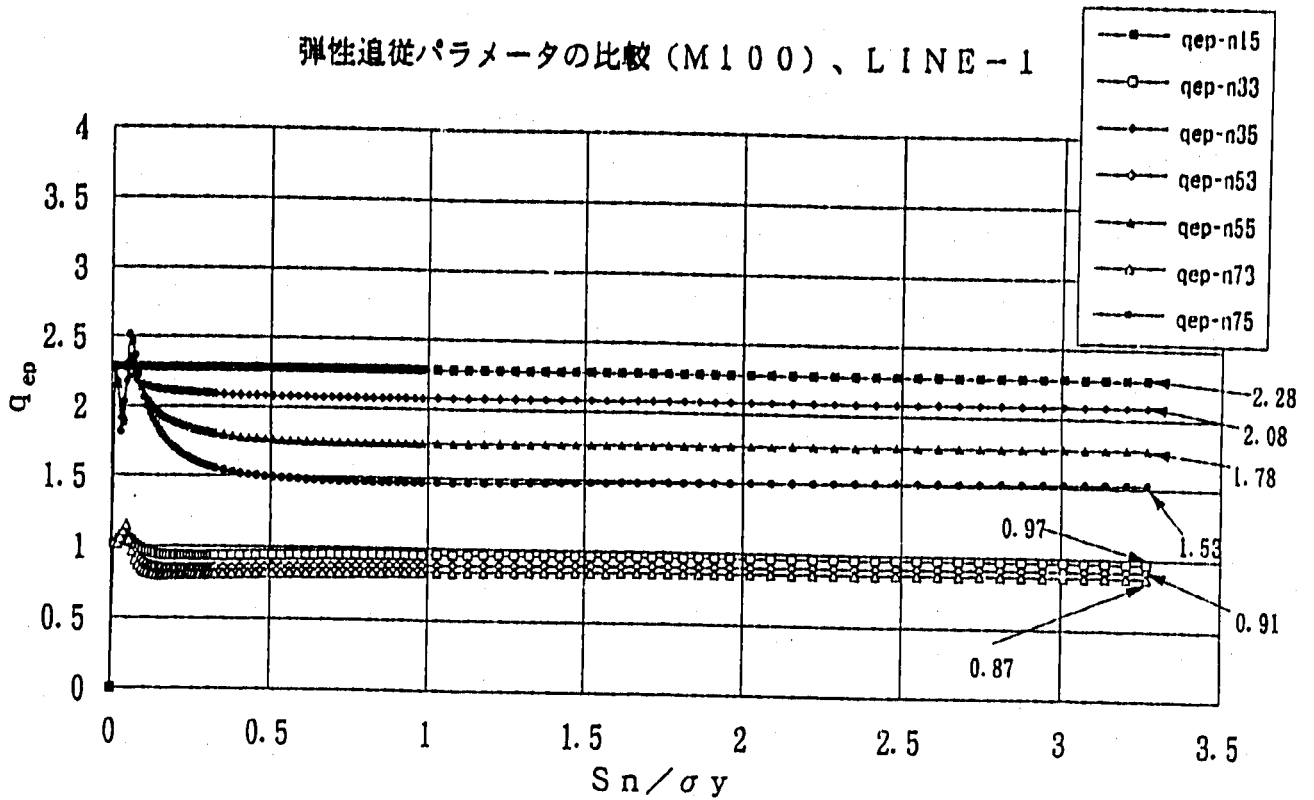


Fig.2.4.34 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
 (評価断面・1、M100、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

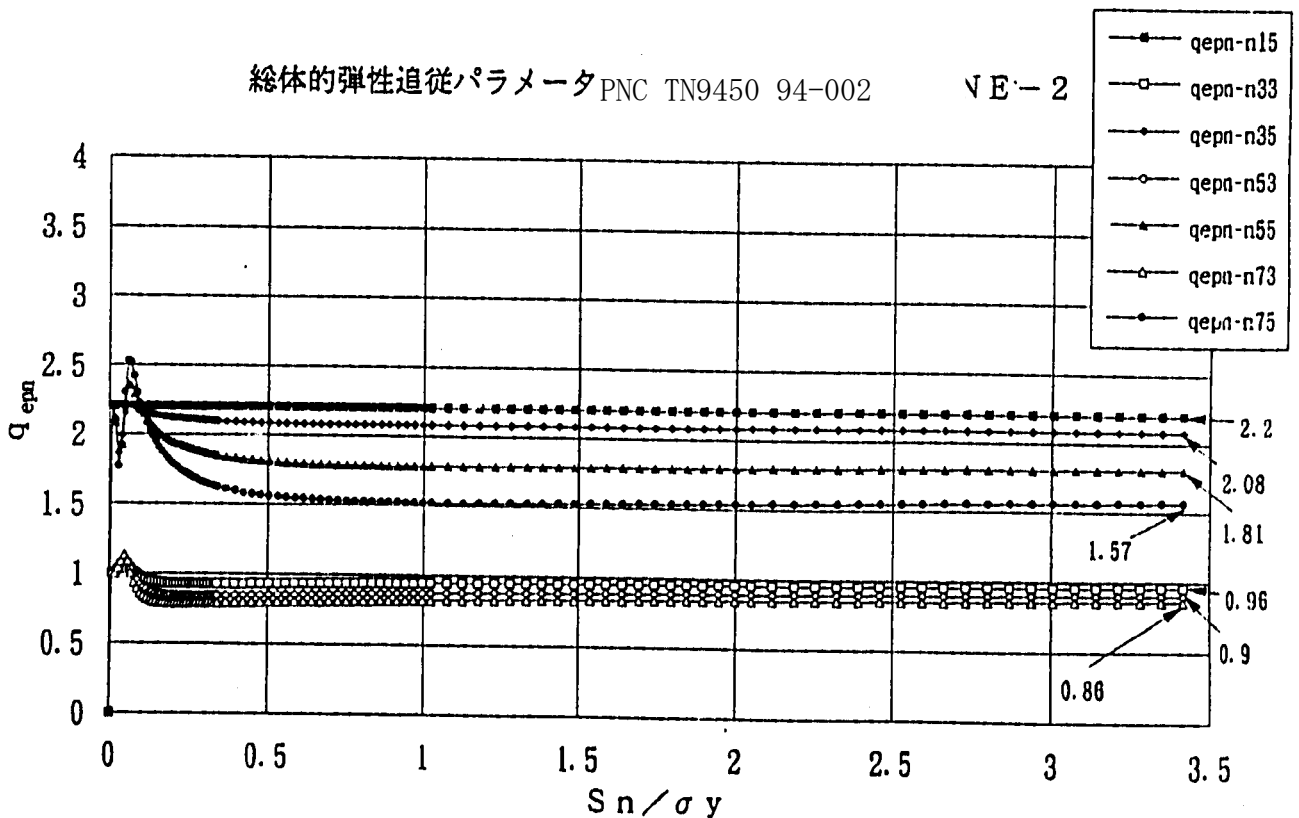
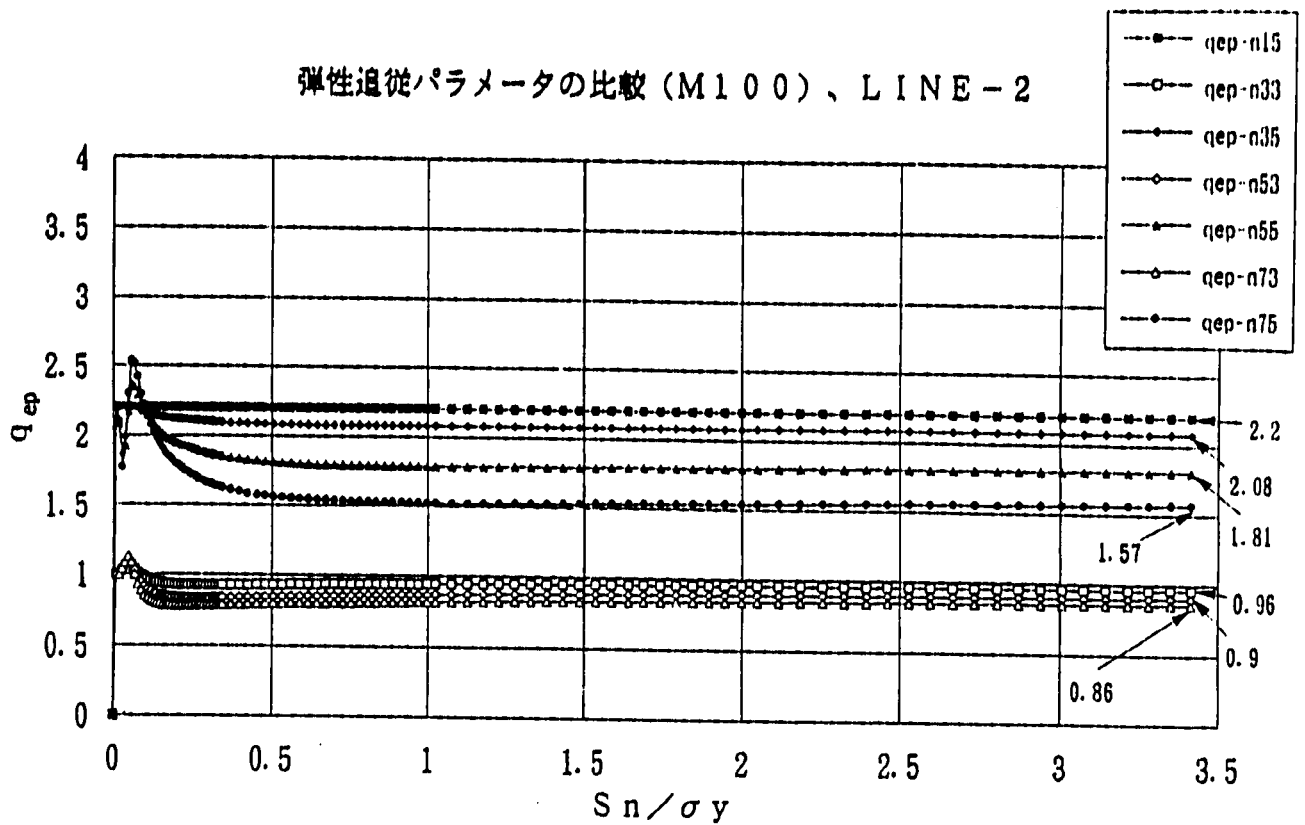
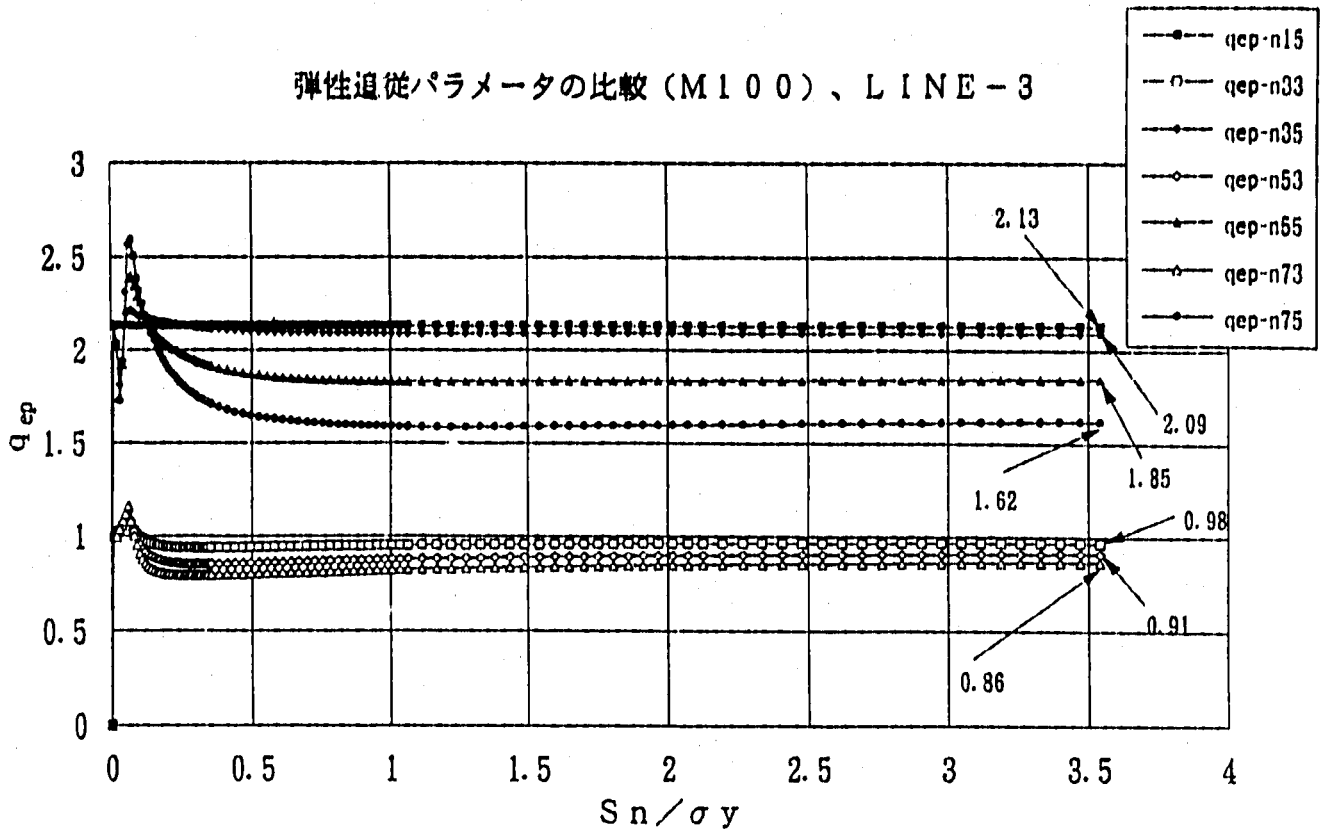


Fig.2.4.35 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
 (評価断面 2、M100、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

弾性追従パラメータの比較 (M100)、LINE-3



総体的弾性追従パラメータの比較 (M100)、LINE-3

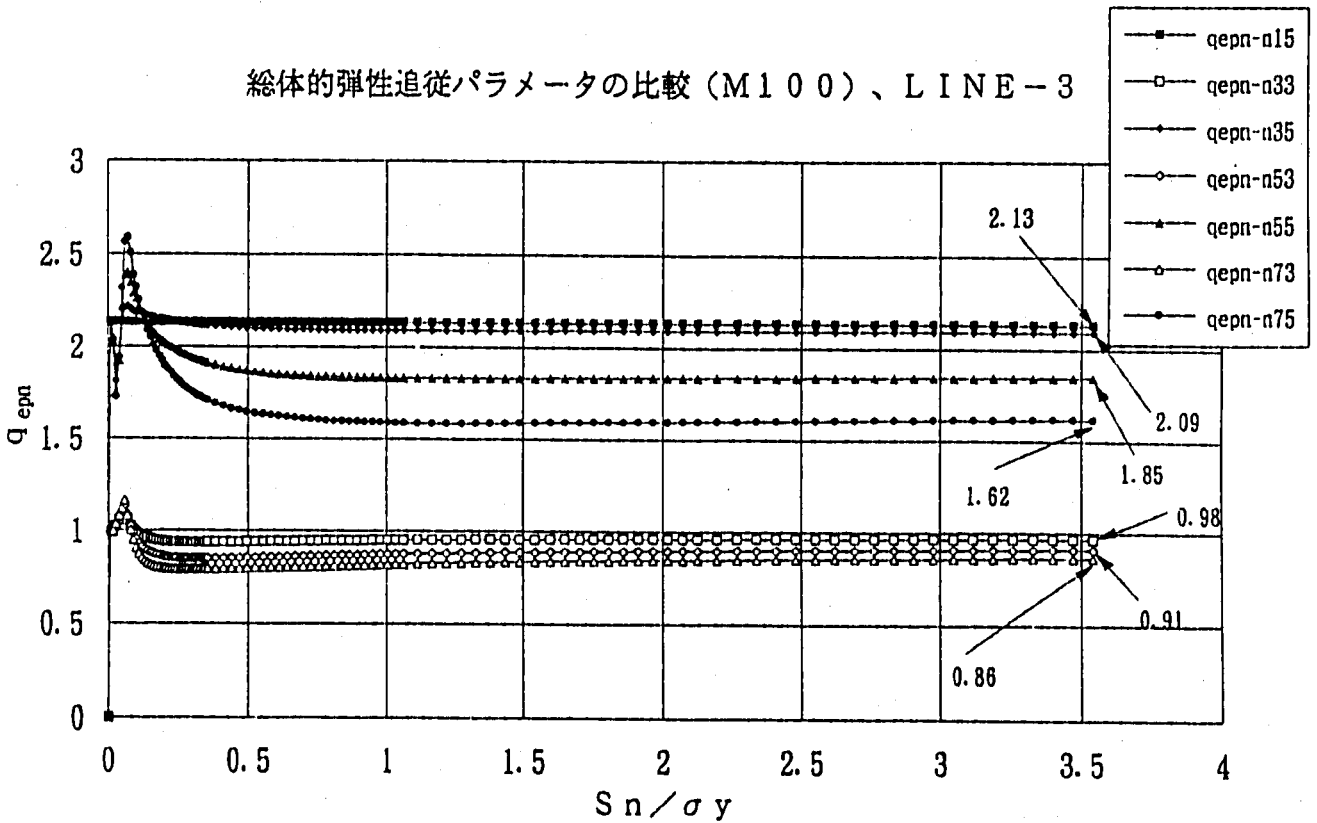
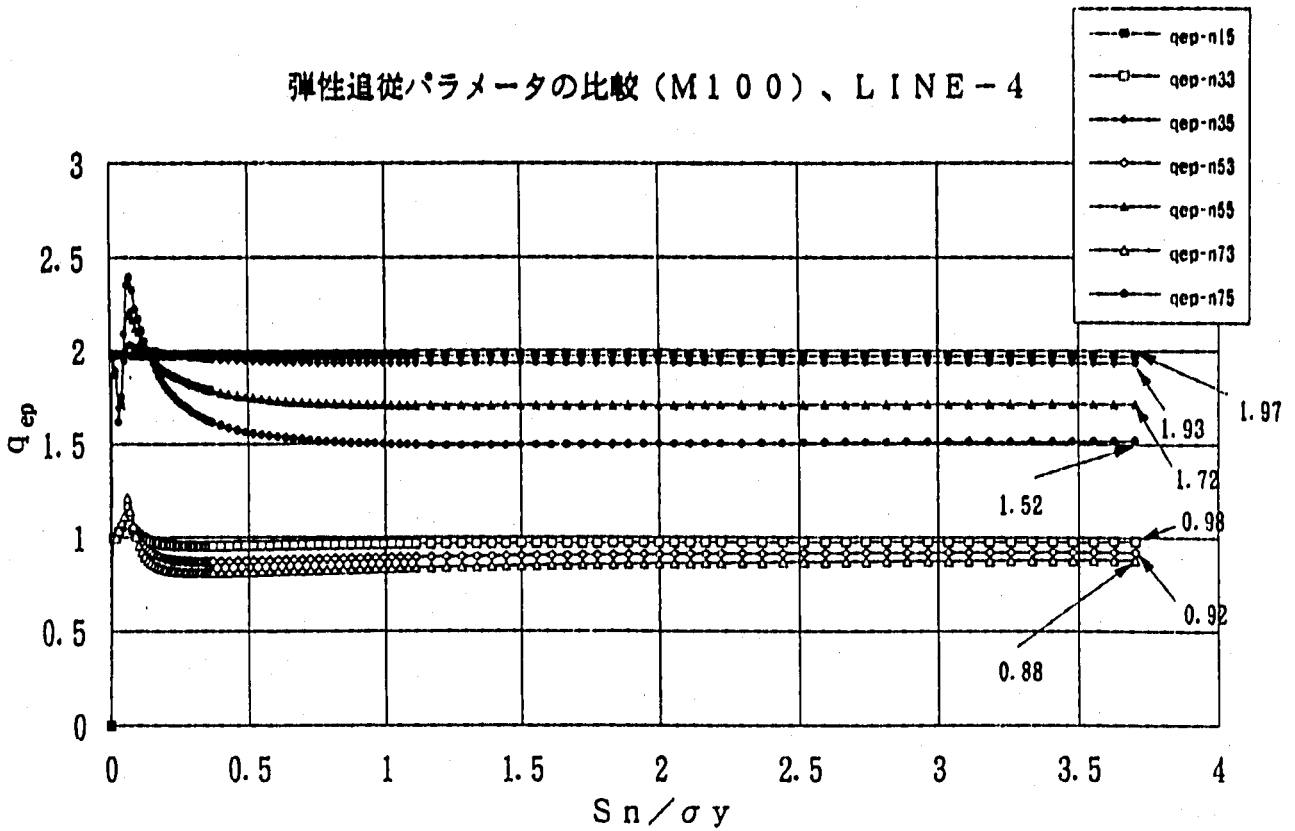


Fig.2.4.36 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q<sub>ep</sub>, q<sub>epn</sub>)  
(評価断面-3、M100、n=1,3,5,7、ν=0.3,0.5)

弾性追従パラメータの比較 (M100)、LINE-4



総体的弾性追従パラメータの比較 (M100)、LINE-4

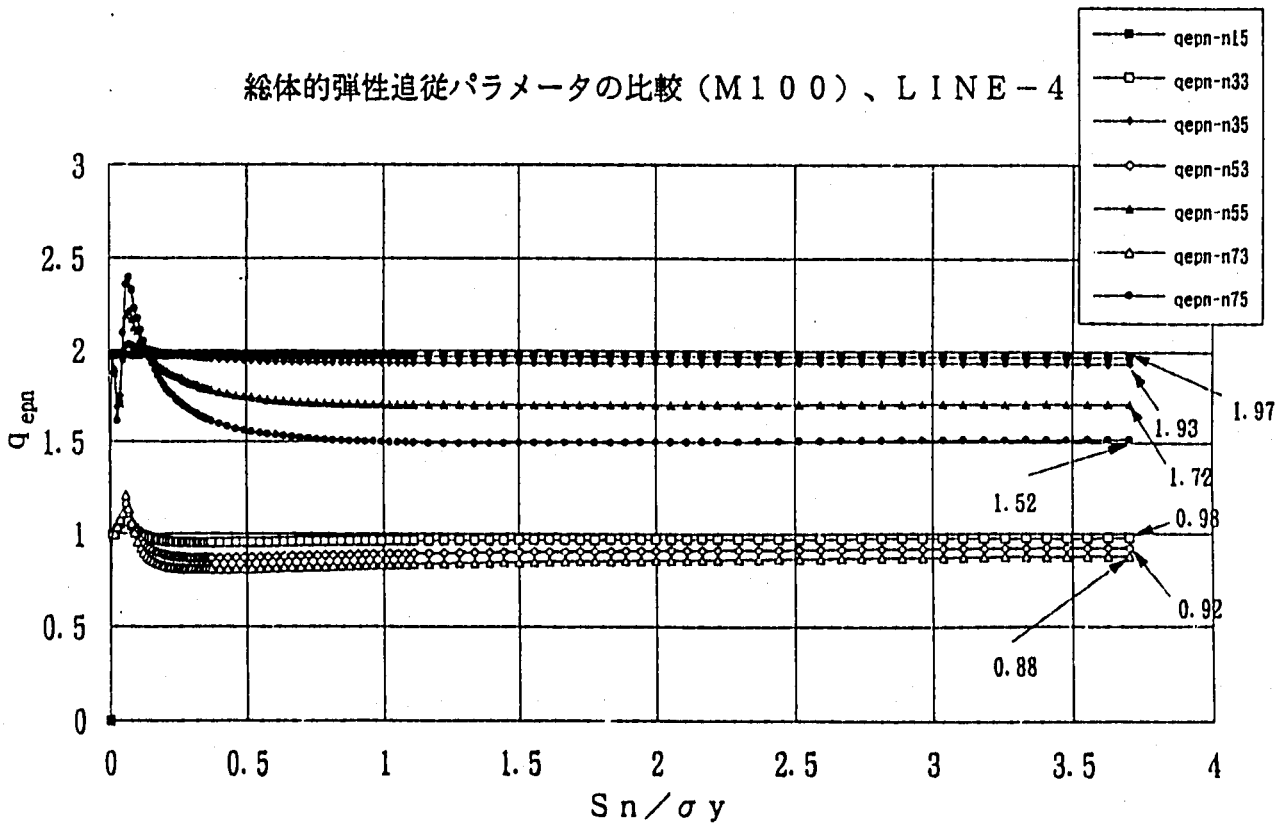


Fig.2.4.37 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
(評価断面: 4, M100,  $n=1,3,5,7$ ,  $\nu=0.3,0.5$ )

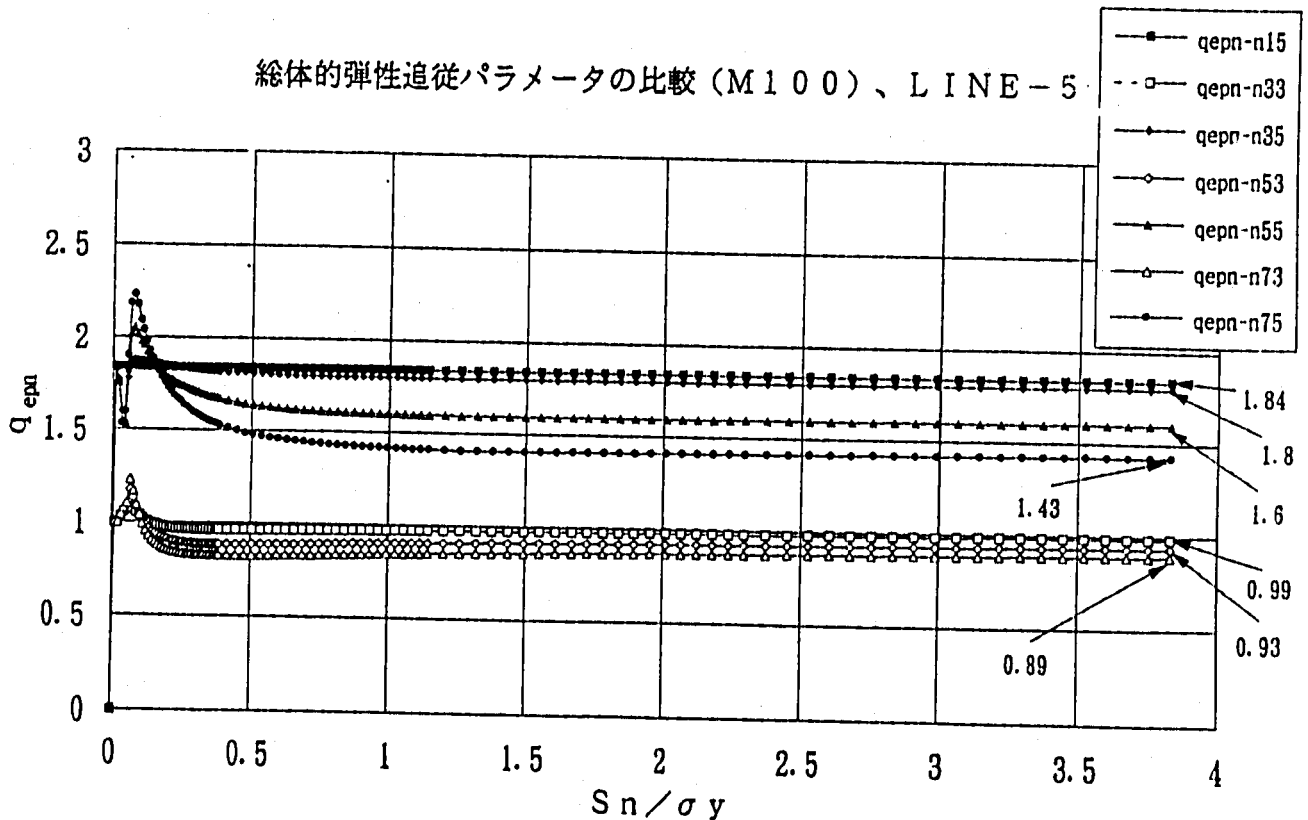
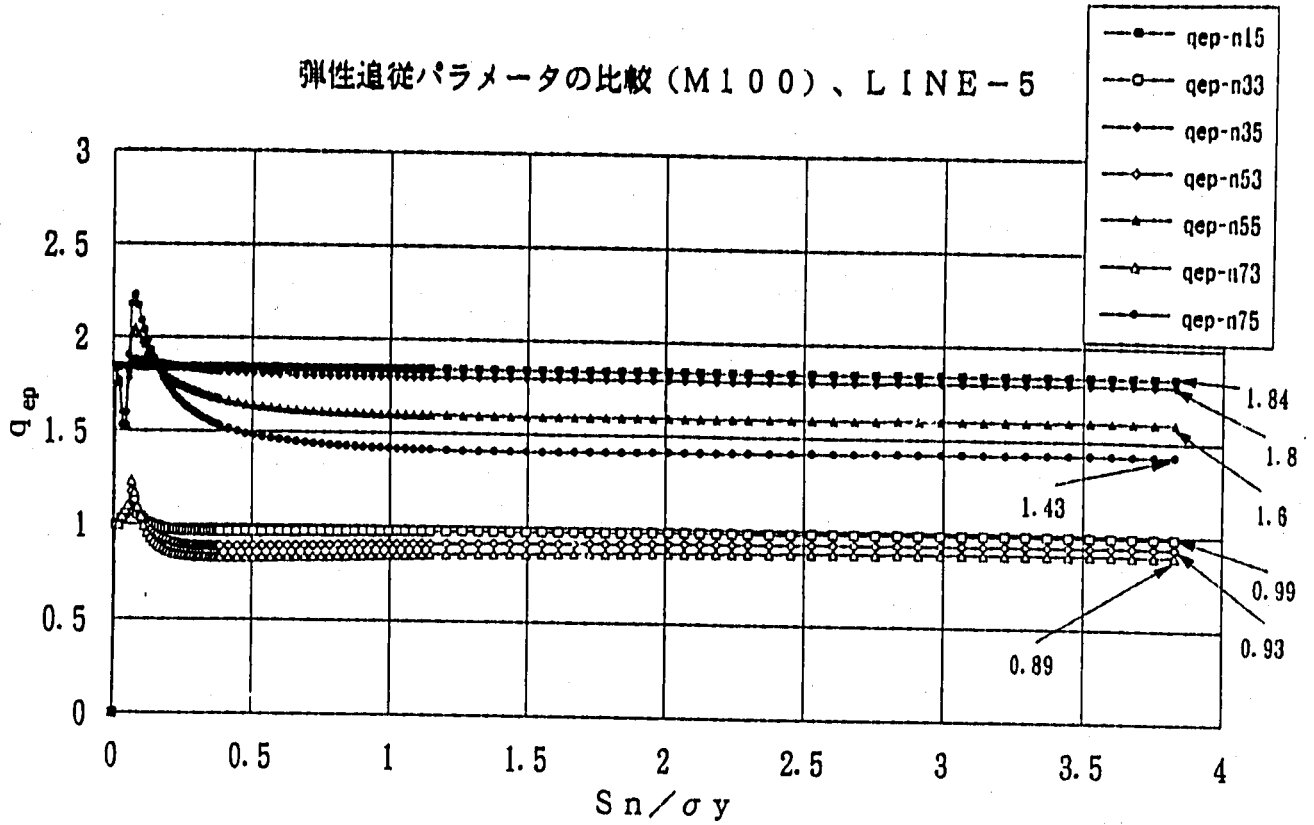
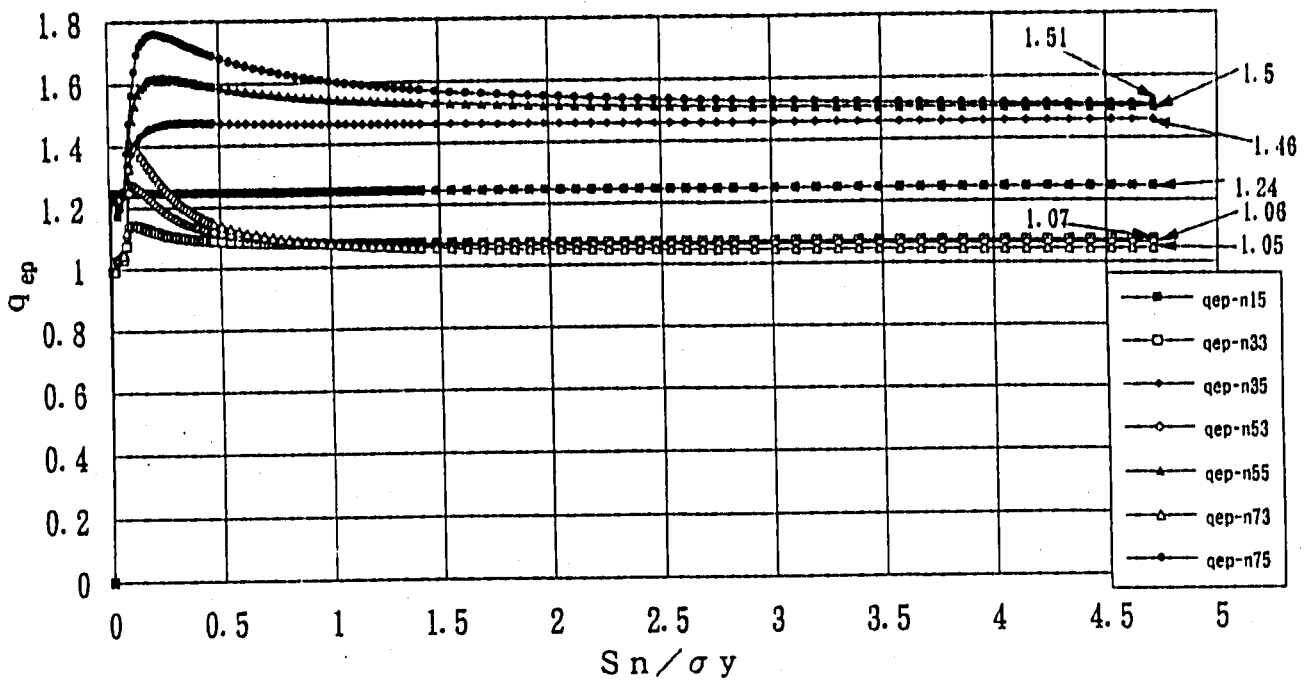


Fig.2.4.38 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}, q_{epn}$ )  
(評価断面 - 5、M100、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )



弾性追従パラメータの比較 (M100)、LINE-6



総体的弾性追従パラメータの比較 (M100)、LINE-6

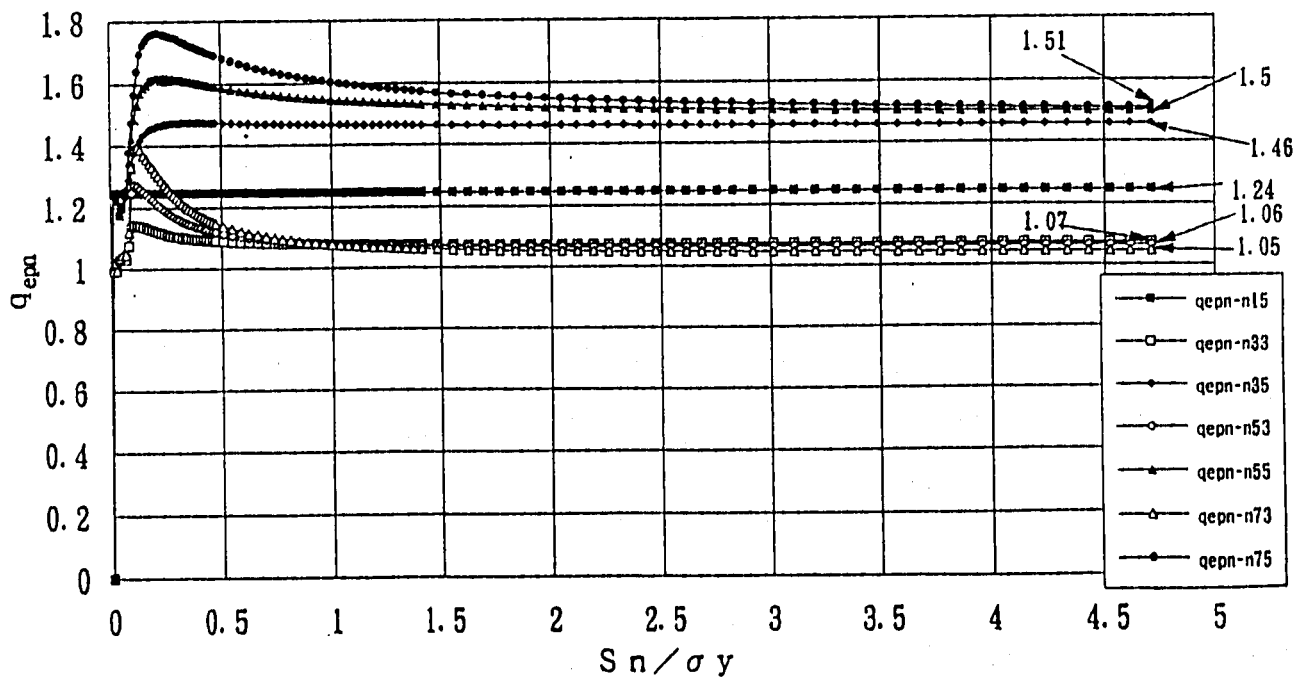
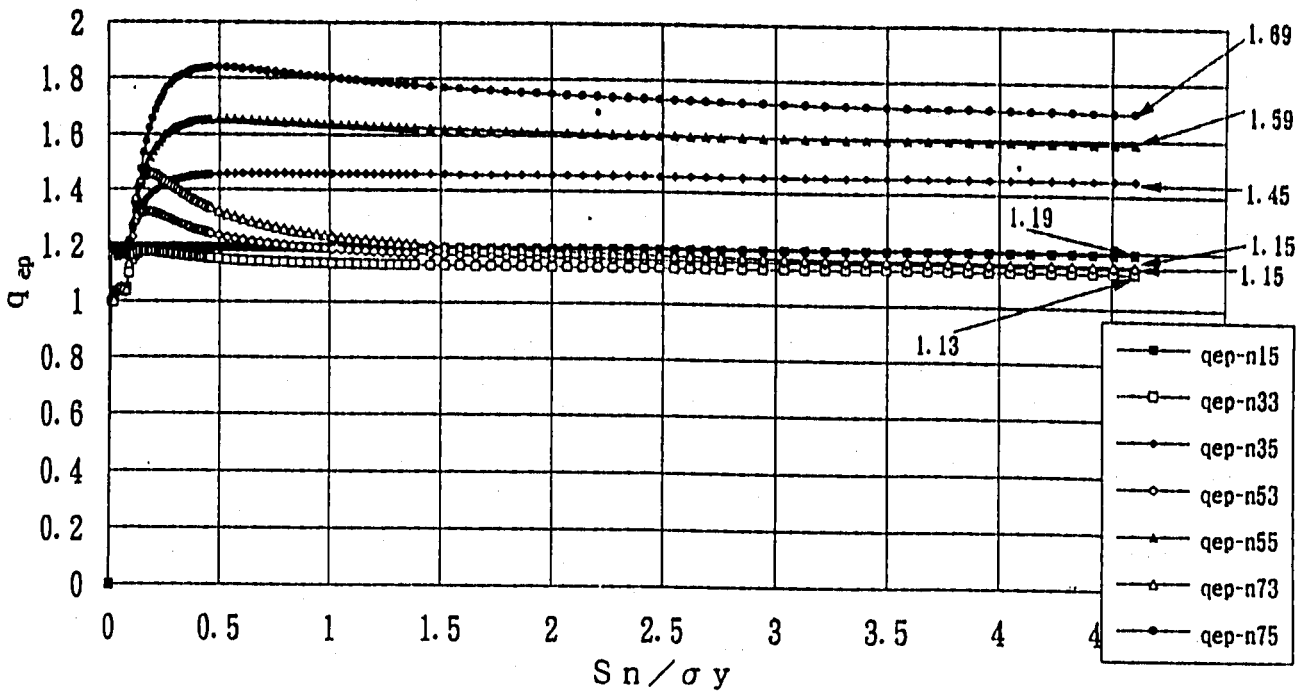


Fig.2.4.39 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}$ ,  $q_{epn}$ )  
(評価断面 - 6、M100、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )

弾性追従パラメータの比較 (M100)、LINE-7



総体的弾性追従パラメータの比較 (M100)、LINE-7

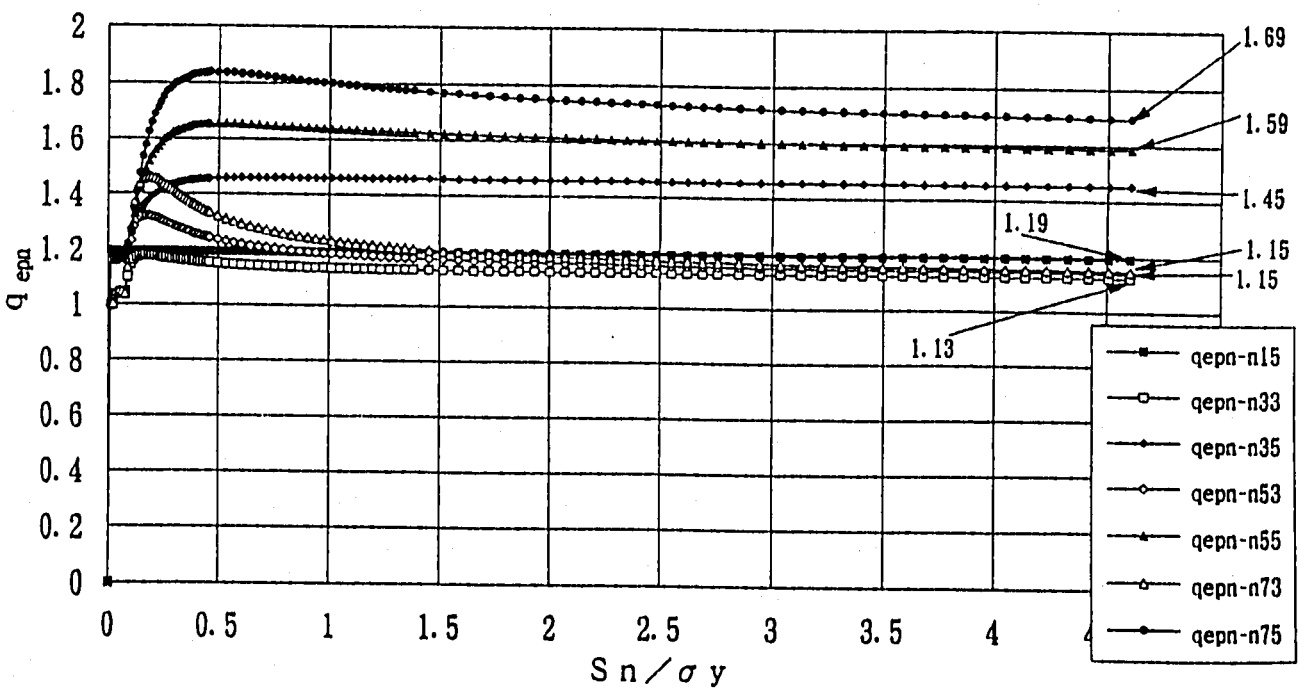
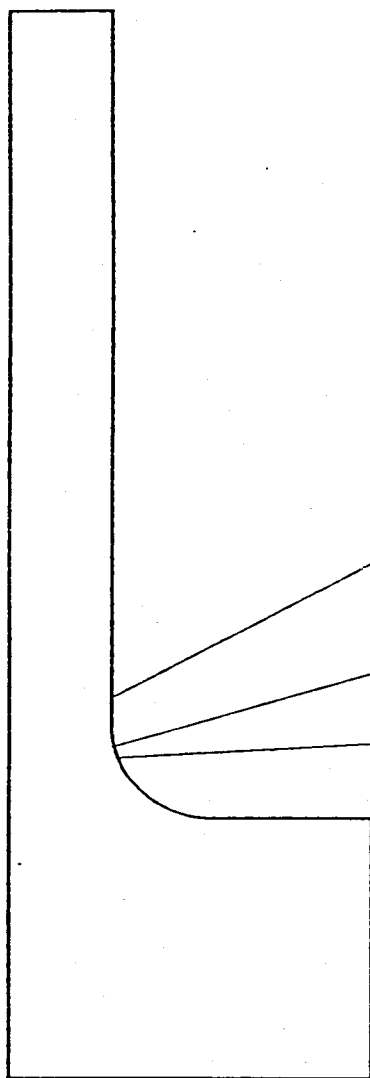


Fig.2.4.40 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 ( $q_{ep}, q_{epn}$ )  
(評価断面-7、M100、 $n=1,3,5,7$ 、 $\nu=0.3,0.5$ )



最大ひずみ発生位置

LINE-6 (弾性追従パラメータ)

$\nu$ \ n	n=1	n=3	n=5	n=7
0.3	1.0	1.24	1.40	1.54
0.5	1.46	1.65	1.85	2.01

LINE-3 (弾性追従パラメータ)

$\nu$ \ n	n=1	n=3	n=5	n=7
0.3	1.0	1.0	0.95	0.89
0.5	1.47	1.65	1.70	1.69

LINE-1 (弾性追従パラメータ)

$\nu$ \ n	n=1	n=3	n=5	n=7
0.3	1.0	0.93	0.82	0.82
0.5	1.51	1.58	1.55	1.49

Fig. 2.4.41

最大ひずみ発生位置における弾性追従パラメータの比較  
(M20、LINE-1、3、6)

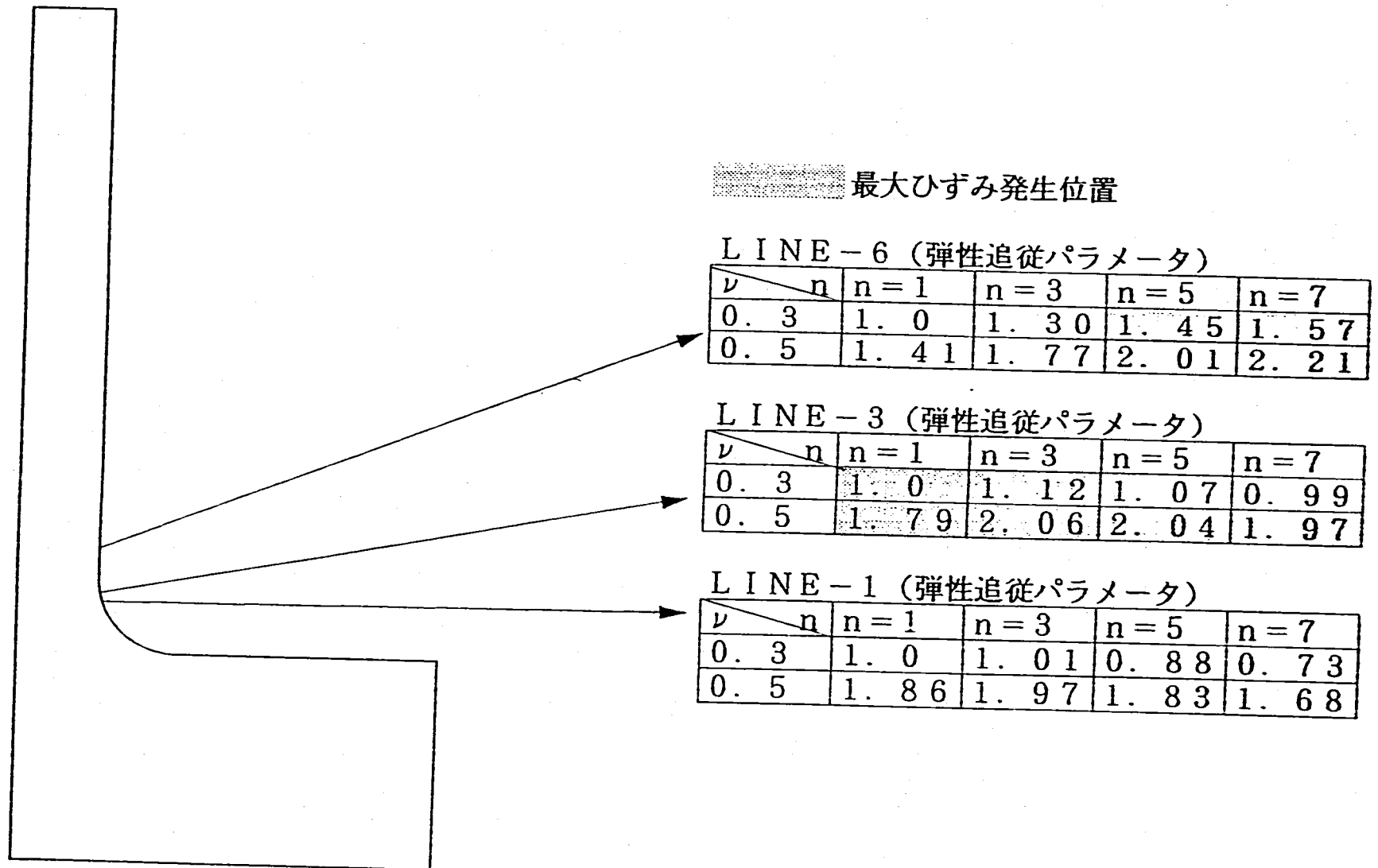


Fig. 2.4.42

最大ひずみ発生位置における弾性追従パラメータの比較  
(M40、LINE-1、3、6)

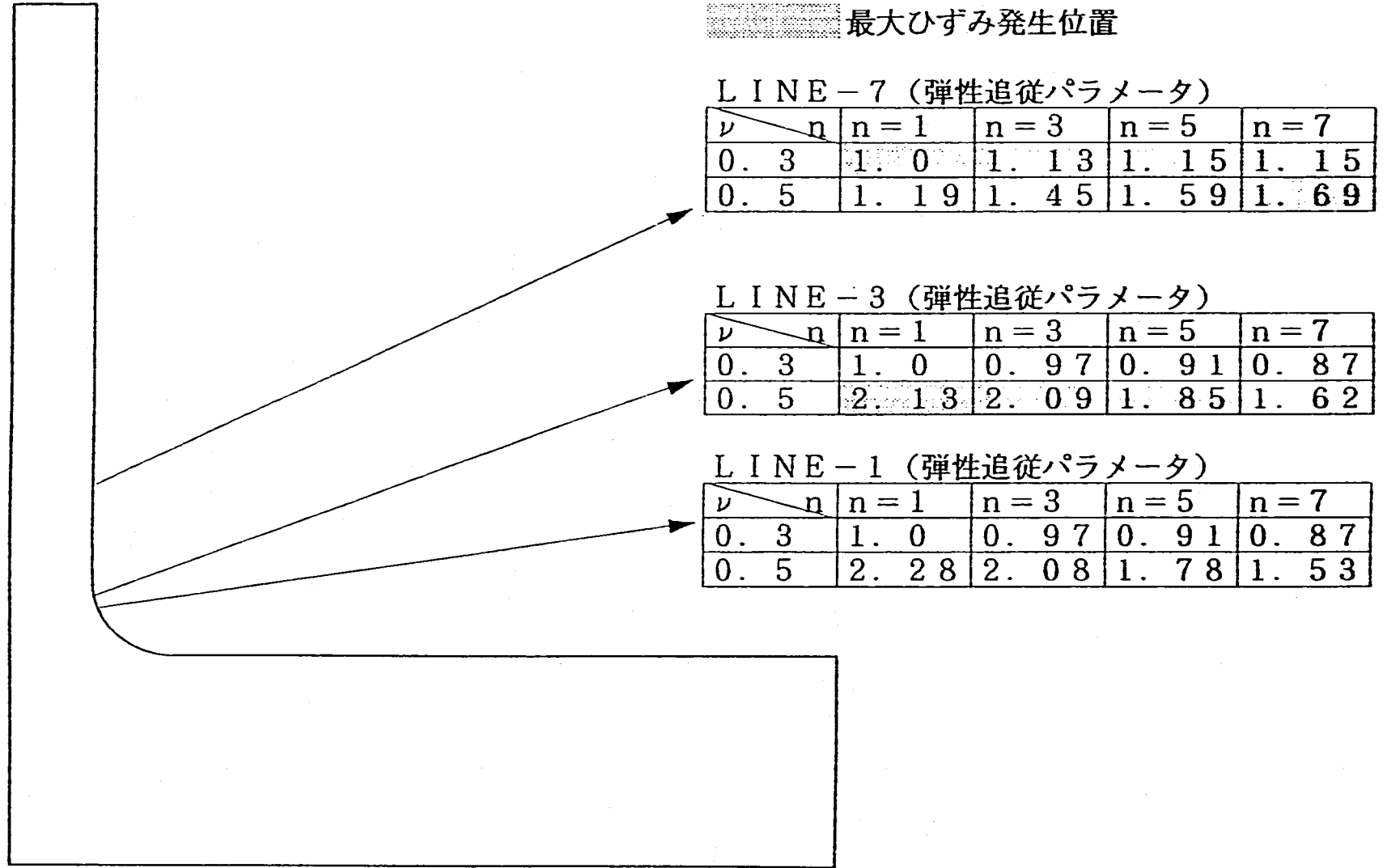


Fig. 2.4.43 最大ひずみ発生位置における弾性追従パラメータの比較 (M100、LINE-1、3、7)