

定常熱応力を受ける 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 —

1993年7月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

技術開発部 技術管理室

定常熱応力を受ける 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 —

報告者 石川昌幸*

実施責任者 笠原直人**

要 旨

Y型接合構造に関する荷重依存性のない弾性追従パラメータを求めることを目的として定常熱応力を受けるY型接合構造について、材料特性をn乗則でモデル化して非線形解析を行った。

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、 $n=5$ 、 7 、ポアソン比は 0.3 、 0.5 とした。また、形状はスカート板厚 50mm 、胴板厚 30mm 、接合部を補強したモデル(IHX)、スカート板厚 50mm 、胴板厚 30mm のモデル(MD2)、スカート板厚 30mm 、胴板厚 50mm のモデル(MD3)の3ケースに関してのパラメータ解析を行った。

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、局所ひずみによる弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ 、総体的挙動による弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ 、n乗則解析における最大応力発生評価断面と弾性解析における最大応力発生評価断面の組み合わせについての $q_{e,n}$ 、 $q_{e,n}$ を算出し、次のような知見を得た。

(1) 局所ひずみによる弾性追従パラメータ $q_{e,n}$

上記パラメータによる弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ は、n乗指数=5の場合は $2.1 \sim 3.5$ であり、n乗指数=7の場合は、 $2.3 \sim 4.5$ である。

(2) 総体的挙動による弾性追従パラメータ $q_{e,n}$

上記パラメータによる弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ は、n乗指数=5の場合は $1.6 \sim 3.2$ であり、n乗指数=7の場合は、 $1.9 \sim 4.1$ である。

(3) 弾性解析における最大応力発生評価断面とn乗則における最大応力発生評価断面による弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ 、 $q_{e,n}$

上記パラメータによる弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ は、n乗指数=5の場合は $2.7 \sim 3.2$ であり、n乗指数=7の場合は、 $3.2 \sim 4.0$ 、同様に $q_{e,n}$ はn乗指数=5の場合は $2.4 \sim 2.8$ 、n乗指数=7の場合は、 $2.8 \sim 3.4$ である。

今後は熱過渡荷重のパラメータ解析を行い、定常荷重下における本結果との比較を行う予定である。

* 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. Y型接合構造のn乗則を用いた解析	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	3
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	6
2. 4. 3 温度分布解析	6
2. 4. 4 弾性解析結果	6
2. 4. 5 n乗則解析結果	6
3. 結言	68
参考文献	75
Appendix-1	
弾性追従パラメータの算出方法	76
Appendix-2	
FINAS入力データセット一覧	79

L i s t o f T a b l e s

Table2. 4. 1 n乗則解析ケース一覧 (n=5, 7)

Table2. 4. 2(1) 高温定常状態 (最終ステップ) における弾性解析結果

Table2. 4. 2(2) 高温定常状態 (最終ステップ) における弾性解析結果

Table2. 4. 3(1) 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

Table2. 4. 3(2) 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

L i s t o f F i g u r e s

- Fig. 2. 1. 1 モデル形状及び要素分割図 (IHX-Y)
 Fig. 2. 1. 2 モデル形状及び要素分割図 (MD2-Y)
 Fig. 2. 1. 3 モデル形状及び要素分割図 (MD3-Y)
- Fig. 2. 3. 1 温度分布解析及び応力解析の境界条件
 Fig. 2. 3. 2 温度コンター (IHX)
 Fig. 2. 3. 3 温度コンター (MD2)
 Fig. 2. 3. 4 温度コンター (MD3)
- Fig. 2. 4. 1 評価断面及び評価ラインの位置 (IHX-Y)
 Fig. 2. 4. 2 評価断面及び評価ラインの位置 (MD2-Y)
 Fig. 2. 4. 3 評価断面及び評価ラインの位置 (MD3-Y)
 Fig. 2. 4. 4 各応力成分の履歴 (IHX-Y)
 (評価断面 - 1、2)
 Fig. 2. 4. 5 各応力成分の履歴 (IHX-Y)
 (評価断面 - 3)
 Fig. 2. 4. 6 各応力成分の履歴 (MD2-Y)
 (評価断面 - 1、2)
 Fig. 2. 4. 7 各応力成分の履歴 (MD2-Y)
 (評価断面 - 3)
 Fig. 2. 4. 8 各応力成分の履歴 (MD3-Y)
 (評価断面 - 1、2)
 Fig. 2. 4. 9 各応力成分の履歴 (MD3-Y)
 (評価断面 - 3)
 Fig. 2. 4. 10 相当応力-相当ひずみの履歴 (IHX-Y)
 (評価断面 - 1、2)
 Fig. 2. 4. 11 相当応力-相当ひずみの履歴 (IHX-Y)
 (評価断面 - 3)
 Fig. 2. 4. 12 相当応力-相当ひずみの履歴 (MD2-Y)
 (評価断面 - 1、2)
 Fig. 2. 4. 13 相当応力-相当ひずみの履歴 (MD2-Y)
 (評価断面 - 3)
 Fig. 2. 4. 14 相当応力-相当ひずみの履歴 (MD3-Y)
 (評価断面 - 1、2)
 Fig. 2. 4. 15 相当応力-相当ひずみの履歴 (MD3-Y)
 (評価断面 - 3)

- Fig. 2. 4. 16 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
(評価断面-1、IHX-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- Fig. 2. 4. 17 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
(評価断面-2、IHX-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- Fig. 2. 4. 18 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
(評価断面-3、IHX-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- Fig. 2. 4. 19 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
(評価断面-1、MD2-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- Fig. 2. 4. 20 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
(評価断面-2、MD2-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- Fig. 2. 4. 21 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
(評価断面-3、MD2-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- 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_{ep}, q_{enn})
(評価断面-1、MD3-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- 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_{ep}, q_{enn})
(評価断面-2、MD3-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- 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_{ep}, q_{enn})
(評価断面-3、MD3-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- Fig. 2. 4. 25 最大応力発生評価断面同志による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
(IHX-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- Fig. 2. 4. 26 最大応力発生評価断面同志による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
(MD2-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- Fig. 2. 4. 27 最大応力発生評価断面同志による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
(MD3-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)
- Fig. 2. 4. 28 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
($n=5$ 、 $\nu=0.3$ 、評価断面-1、IHX-Y、MD2、MD3)
- Fig. 2. 4. 29 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
($n=5$ 、 $\nu=0.3$ 、評価断面-2、IHX-Y、MD2、MD3)
- Fig. 2. 4. 30 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
($n=5$ 、 $\nu=0.3$ 、評価断面-3、IHX-Y、MD2、MD3)
- Fig. 2. 4. 31 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
($n=5$ 、 $\nu=0.5$ 、評価断面-1、IHX-Y、MD2、MD3)
- Fig. 2. 4. 32 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
($n=5$ 、 $\nu=0.5$ 、評価断面-2、IHX-Y、MD2、MD3)
- Fig. 2. 4. 33 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
($n=5$ 、 $\nu=0.5$ 、評価断面-3、IHX-Y、MD2、MD3)
- Fig. 2. 4. 34 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{enn})
($n=7$ 、 $\nu=0.3$ 、評価断面-1、IHX-Y、MD2、MD3)

- Fig. 2.4.35 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
($n=7$, $\nu=0.3$, 評価断面-2, IHX-Y, MD2, MD3)
- Fig. 2.4.36 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
($n=7$, $\nu=0.3$, 評価断面-3, IHX-Y, MD2, MD3)
- Fig. 2.4.37 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
($n=7$, $\nu=0.5$, 評価断面-1, IHX-Y, MD2, MD3)
- Fig. 2.4.38 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
($n=7$, $\nu=0.5$, 評価断面-2, IHX-Y, MD2, MD3)
- Fig. 2.4.39 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
($n=7$, $\nu=0.5$, 評価断面-3, IHX-Y, MD2, MD3)
- Fig. 2.4.40 評価ラインに沿った応力及びひずみ成分の分布比較 (IHX-弾性)
- Fig. 2.4.41 評価ラインに沿った応力及びひずみ成分の分布比較 (MD2-弾性)
- Fig. 2.4.42 評価ラインに沿った応力及びひずみ成分の分布比較 (MD3-弾性)
- Fig. 2.4.43 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (IHX $n=5$)
(ポアソン比=0.3、0.5)
- Fig. 2.4.44 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (IHX $n=7$)
(ポアソン比=0.3、0.5)
- Fig. 2.4.45 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (MD2 $n=5$)
(ポアソン比=0.3、0.5)
- Fig. 2.4.46 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (MD2 $n=7$)
(ポアソン比=0.3、0.5)
- Fig. 2.4.47 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (MD3 $n=5$)
(ポアソン比=0.3、0.5)
- Fig. 2.4.48 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (MD3 $n=7$)
(ポアソン比=0.3、0.5)

1. 緒言

本解析は、定常熱応力を受けるY型接合構造について、荷重依存性のない弾性追従パラメータを求めることを目的として、形状・材料特性をパラメータとして行ったものである。

形状パラメータは、胴板厚30mm、スカート板厚50mm接合部を補強したモデル(IHX)、胴板厚30mm、スカート板厚50mmとしたモデル(MD2)と胴板厚50mm、スカート板厚30mmのモデル(MD3)である。

材料特性は、非線形弾性モデルによるn乗則で、n乗則指数は、 $n = 5$ 、 7 、ポアソン比は 0.3 、 0.5 とした。

解析結果については、局所ひずみによる弾性追従パラメータ $q_{e,pn}$ 、総体的な弾性追従パラメータ $q_{e,pn}$ 、最大応力発生時点の応力成分の履歴についてまとめた。

また、一般にはn乗則解析と弾性解析の最大応力発生断面が異なるので、最大応力発生評価断面同志の組み合わせによる弾性追従パラメータ $q_{e,pn}$ 、 $q_{e,pn}$ についてもまとめた。

2. Y型接合構造のn乗則を用いた解析

2.1 解析モデル

モデル形状及び要素分割図をFig. 2.1.1～2.1.3に示す。なお、解析で使用したコードはFINAS Ver. 12.0である。⁽¹⁾ 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HQAX、熱伝達3節点軸対称要素FCAX3、応力解析は8節点四辺形軸対称要素QAX8である。なお、本解析で用いた形状は「準定常的熱応力を受けるY型接合構造の弾性及び非弾性解析計算」⁽²⁾と同一の形状である。

主な形状パラメータを以下に示す。

(1) IHX-Yモデル (Fig. 2.1.1)

胴外径 : $D = 3000\text{mm}$ 胴板厚 : $t_v = 30\text{mm}$ 胴高さ : $h = 2250\text{mm}$
 スカート板厚 : $t_s = 50\text{mm}$ $h_s = 1500\text{mm}$ 交叉角度 : $\theta = 30^\circ$
 交叉アール部曲率半径 : $\rho = 30\text{mm}$ 接合部テーパによる補強あり

(2) MD2-Yモデル (Fig. 2.1.2)

胴外径 : $D = 3000\text{mm}$ 胴板厚 : $t_v = 30\text{mm}$ 胴高さ : $h = 2250\text{mm}$
 スカート板厚 : $t_s = 50\text{mm}$ $h_s = 1500\text{mm}$ 交叉角度 : $\theta = 30^\circ$
 交叉アール部曲率半径 : $\rho = 30\text{mm}$

(3) MD3-Yモデル (Fig. 2.1.3)

胴外径 : $D = 3000\text{mm}$ 胴板厚 : $t_v = 50\text{mm}$ 胴高さ : $h = 2250\text{mm}$
 スカート板厚 : $t_s = 30\text{mm}$ $h_s = 1500\text{mm}$ 交叉角度 : $\theta = 30^\circ$
 交叉アール部曲率半径 : $\rho = 30\text{mm}$

2.2 材料特性

材料特性パラメータを以下に示す。

(1) 弾性

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

(2) n乗則 (非線形弾性モデル)

n乗則応力-ひずみ関係に従う非線形弾性モデル

$$\varepsilon = B \sigma^n$$

ここで、 ε : 全ひずみ (mm/mm)

σ : 応力 (kg/mm²)

B : n乗則の係数 10^{-8}

n : n乗則の指数 5、7

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_{ep} 、 q_{epn} 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) 局所ひずみによる弾性追従パラメータ q_{ep}

通常の弾性追従パラメータは、次式(A) により定義される。

$$q_{ep} = \frac{\Delta \varepsilon - \Delta \varepsilon^e (\Delta \sigma / \Delta \sigma^e)}{\Delta \varepsilon^e (1 - \Delta \sigma / \Delta \sigma^e)} \dots \dots \dots (A)$$

n乗則解析における弾性追従パラメータは、変断面棒モデルによる弾性追従パラメータ算出方法を用いて算出した。変断面棒の弾性追従パラメータは(1)式により定義され負荷に依存しなくなる。また、変断面棒における純粋な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ひずみの非線形成分とのひずみ比となる。

したがって、弾性追従パラメータ q_{ep} は、

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

なお、詳細は Advanced Creep-Fatigue Evaluation Rules for FBR Components (POST SMiRT Seminar No.11) ⁽¹⁾ 参照のこと。

以下に変断面棒における弾性追従パラメータ q_{ep} の算出法の概要を示す。

最も簡単な変断面棒では、弾性追従パラメータ q_{ep} は以下ようになる。

(Appendix-1 参照。)

$$q_{ep} = \frac{1 + (l_2 / l_1) (a_1 / a_2)}{1 + (A_2 / A_1) (l_2 / l_1) (a_1 / a_2)^n} \dots \dots \dots (1)$$

ここで

- l_1 : 長さ
- l_2 : 長さ
- a_1 : 断面積
- a_2 : 断面積
- A_1 : 非線形項係数
- A_2 : 非線形項係数

また、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、以下のように弾性ひずみとひずみの非線形成分との比となる。

$$\text{適合条件 } l_1 \varepsilon_1 + l_2 \varepsilon_2 = \delta \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{釣合条件 } a_1 \sigma_1 = a_2 \sigma_2 = F \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\varepsilon_1 = A_1 \sigma_1^n \quad \dots\dots\dots (3) \quad \varepsilon_2 = A_2 \sigma_2^n \quad \dots\dots\dots (4)$$

(2)、(3)、(4) より

$$\varepsilon_2 = A \left(a_1 / a_2 \right)^n \sigma_1^n = \left(A_2 / A_1 \right) \left(a_1 / a_2 \right)^n \varepsilon_1 \quad (5)$$

$$\varepsilon_1 = \delta / \left(l_1 + l_2 \left(A_2 / A_1 \right) \left(a_1 / a_2 \right)^n \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

弾性体の場合、式(3)、(4)において $A_1 = A_2$ 、で $n=1$ と考えればよいので(6)より

$$\varepsilon_{1e} = \delta / \left(l_1 + l_2 \left(a_1 / a_2 \right) \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

(6)、(7) よりひずみ集中係数は応力によらず一定となり、上記の $q_{e,n}$ と一致する。

$$K \varepsilon = \frac{1 + \left(l_2 / l_1 \right) \left(a_1 / a_2 \right)}{1 + \left(A_2 / A_1 \right) \left(l_2 / l_1 \right) \left(a_1 / a_2 \right)^n} = q_{e,n}$$

したがって、 $q_{e,n} = n$ 乗則のひずみ/弾性のひずみとなる。

実際の構造物の場合の多軸性に関しては、弾性は(Mises応力) / (縦弾性係数)、n 乗則に関しては

$$(1.5)/(1+\nu) \sqrt{2/3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 + 1.5 \gamma_{12}^2}$$

により定義される等価ひずみを用いて、FEM計算により $q_{e,n}$ を求めた。

(2) 総体的弾性追従パラメータ $q_{e,n}$

$q_{e,n}$ は局所ひずみに関する弾性追従パラメータで次式により定義される。

(Appendix-1 参照。)

弾性追従パラメータ ($q_{e,n}$) = 局所的挙動 (q_1) × 総体挙動 ($q_{e,n}$) と
なる。また、局所的挙動 (q_1) は $K^{(n-1)/(n+1)}$ でありよって総体的弾性追従
パラメータ $q_{e,n}$ は

$$q_{e,n} = \frac{q_{e,n}}{K^{(n-1)/(n+1)}} \quad \text{となる。}$$

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) (4) 参照。また、本解析に使用した弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ 、 $q_{e,n}$ の算出方法に関して Advanced Creep-Fatigue Evaluation Rules for FBR Components から抜粋したものを Appendix-1 に示す。

2. 4. 2 評価断面の定義

各グラフの説明の中で評価断面1はn乗解析による最大応力発生断面、評価断面2は弾性解析による最大応力発生断面、評価断面3は弾性解析による最大応力発生評価断面に隣接する評価断面とした。各モデルにおける評価断面及び評価ラインの位置をFig. 2. 4. 1 ~ 2. 4. 3 に示す。また評価点は、各評価断面のアール部側の表面とする。弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ 、 $q_{e,p,n}$ 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、n乗解析と弾性解析の最大応力発生断面が一般には異なるので、解析結果を整理するにあたり、同一評価断面を用いた計算以外に最大応力発生評価断面同志の組み合わせにより弾性追従パラメータの計算を行った。なお、 $q_{e,p,n}$ 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、 $q_{e,p,n}$ 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高温定常状態の温度コンターは、「準定常的熱応力を受けるY型接合構造の弾性及び非弾性解析計算」⁽²⁾ を参照のこと。

2. 4. 4 弾性解析結果

各解析モデルの評価点における各応力成分の履歴をFig. 2. 4. 4 ~ 2. 4. 9 に示し、高温定常状態（最終ステップ）の各応力成分、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。また、評価点を含む内表面の応力分布は「準定常的熱応力を受けるY型接合構造の弾性及び非弾性解析計算」⁽²⁾ を参照のこと。

2. 4. 5 n乗則解析結果

(1) 相当応力-相当ひずみの比較

各解析モデルに対して評価断面毎のミーゼス型の相当応力-相当ひずみの履歴をFig. 2. 4. 10~2. 4. 15に示す。

(2) 弾性追従パラメータの比較（評価断面毎）

各解析モデルに対して評価断面毎の表面値に関する弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ 、総体的弾性追従パラメータ $q_{e,p,n}$ の比較をFig. 2. 4. 16~2. 4. 24に示す。

(3) 弾性及びn乗則の最大応力発生断面同志における弾性追従パラメータの比較

各解析モデルにおける弾性解析の最大応力発生評価断面と、n乗則解析による最大応力発生評価断面の表面値に関する弾性追従パラメータ $q_{e,n}$ 、総体的弾性追従パラメータ $q_{e,p,n}$ の比較をFig. 2. 4. 25~2. 4. 27に示す。

(4) 解析モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較

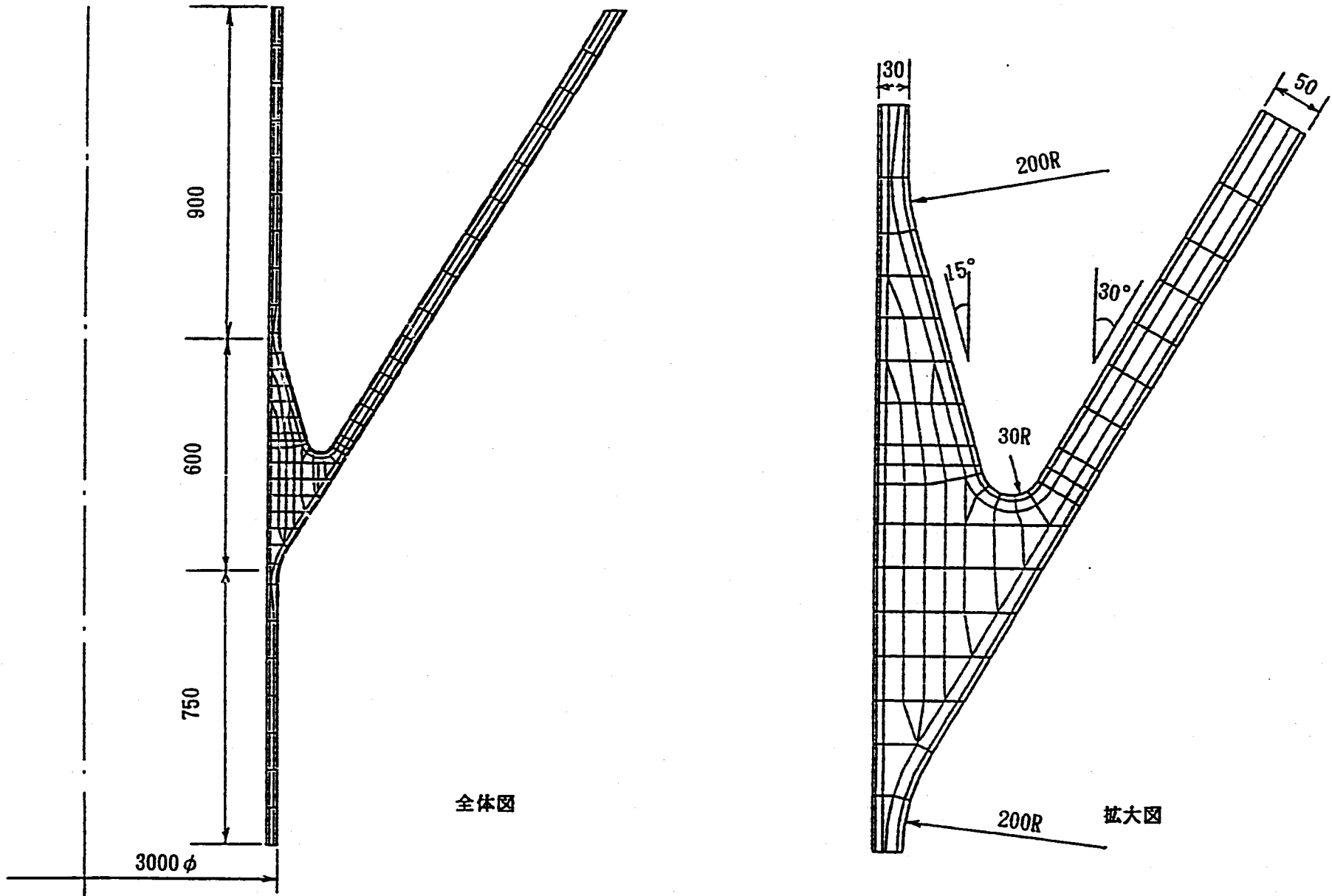
各解析モデルの違いによる評価断面毎の相当ひずみ増分の表面値に関する弾性追従パラメータ q_{app} 、総体的弾性追従パラメータ q_{app} の比較をFig. 2. 4. 28~2. 4. 39に示す。

(5) 評価ラインに沿った応力およびひずみ分布の比較

弾性解析の最大応力発生時点における各応力、ひずみ成分の評価ラインに沿った分布をFig. 2. 4. 40~2. 4. 42に示す。(各評価ラインはFig. 2. 4. 1 ~2. 4. 3 参照)

また、弾性解析と同様に 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. 43~2. 4. 48に示す。なお、応力、ひずみの座標は評価断面の座標系である。

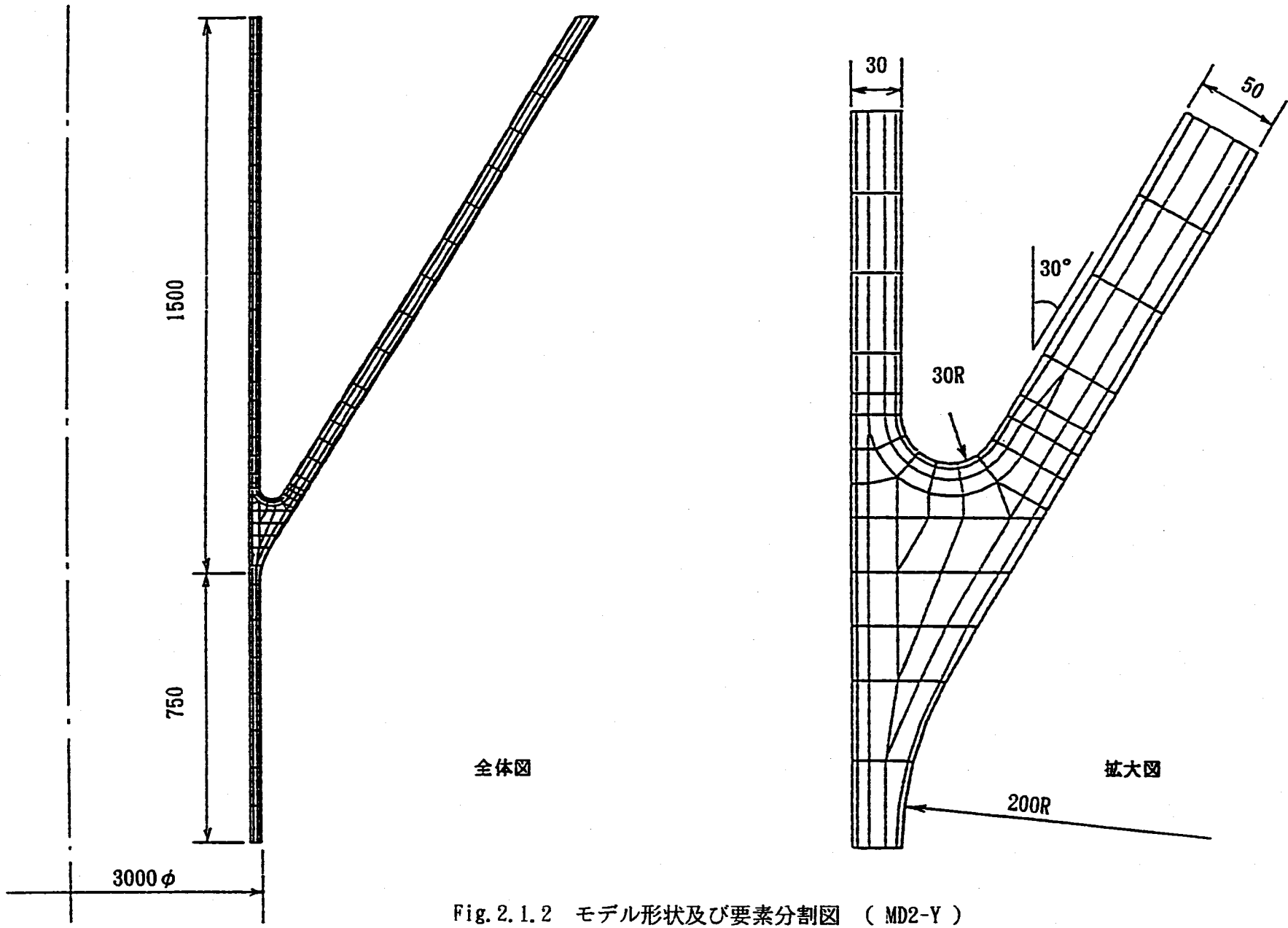
弾性解析結果および n 乗則解析結果で示したグラフの凡例の説明をTable 2. 4. 3 に示す。



全体図

拡大図

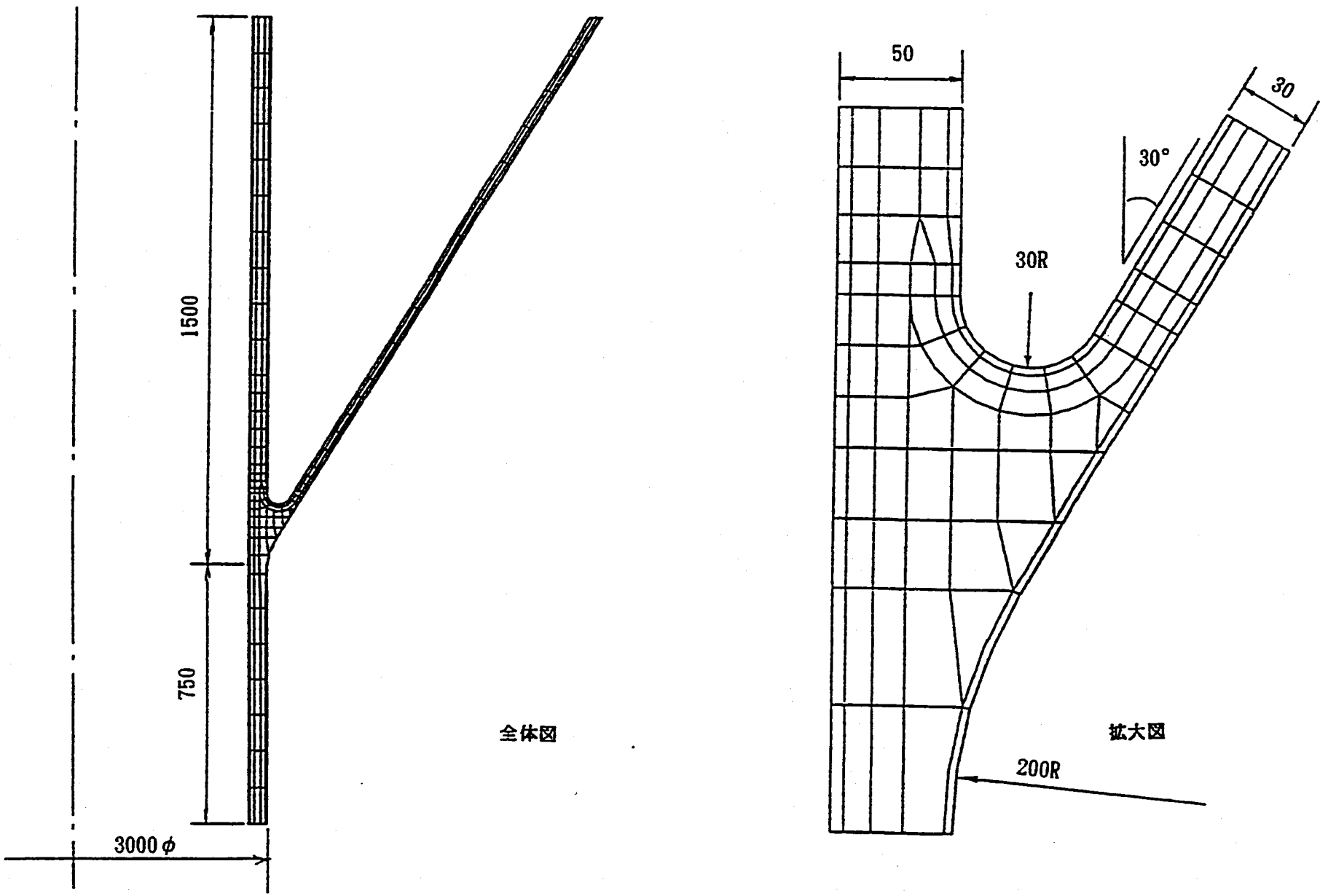
Fig. 2.1.1 モデル形状及び要素分割図 (IHX-Y)



全体図

拡大図

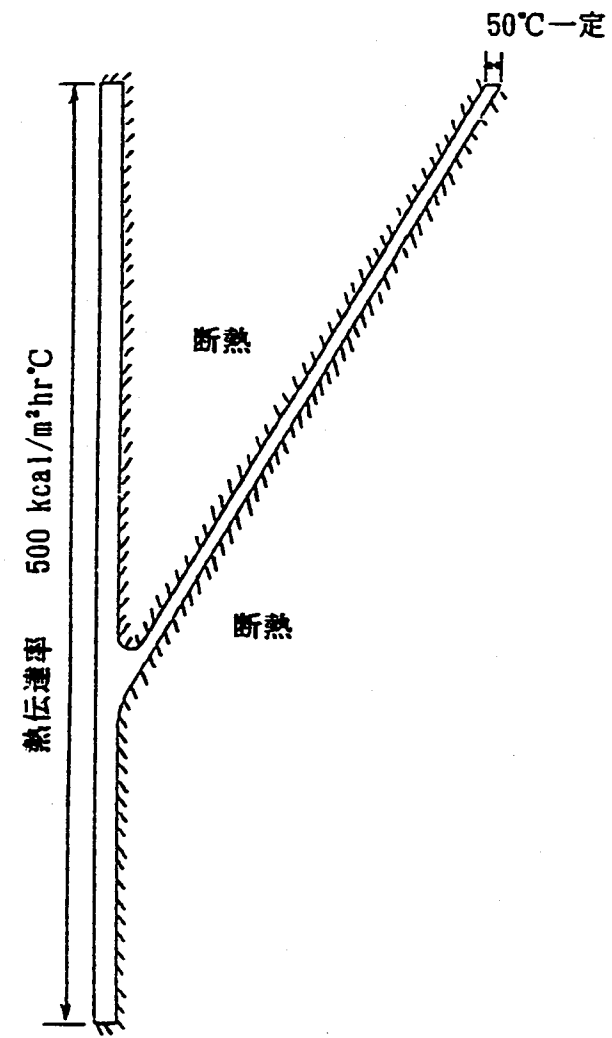
Fig. 2.1.2 モデル形状及び要素分割図 (MD2-Y)



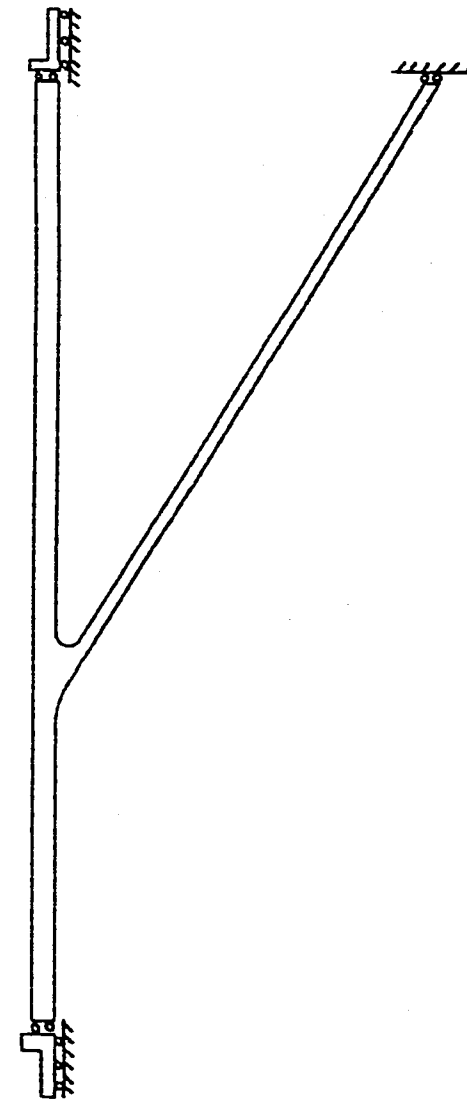
全体図

拡大図

Fig. 2.1.3 モデル形状及び要素分割図 (MD3-Y)



温度分布解析



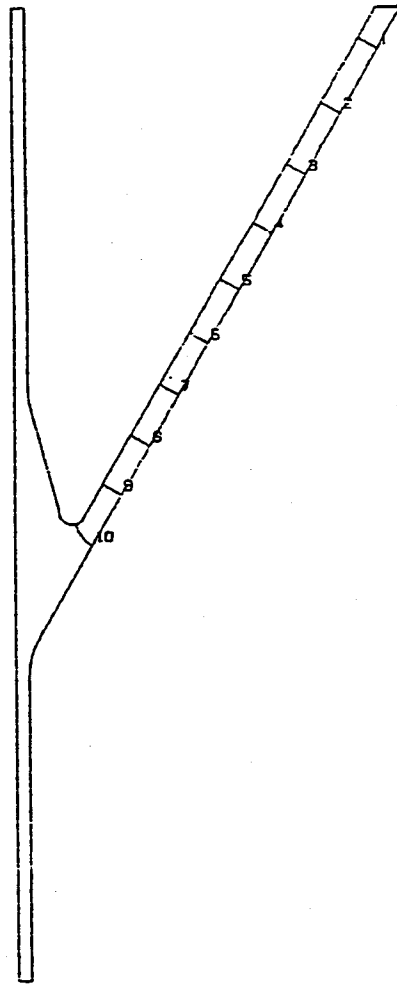
応力解析

Fig. 2.3.1 温度分布解析及び応力解析の境界条件

FINAS
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	75.0000
2	125.0000
3	175.0000
4	225.0000
5	275.0000
6	325.0000
7	375.0000
8	425.0000
9	475.0000
10	525.0000



STEP NO. 1

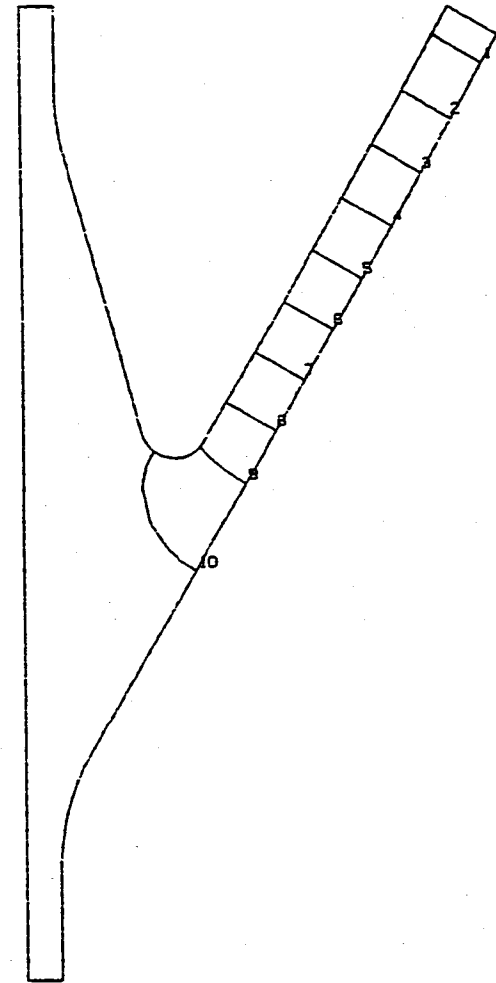
GEOM. SCALE 300.000

HIHXC1 TEMPERATURE CONTOUR (0 SEC)

FINAS
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	356.0000
2	376.0000
3	396.0000
4	415.9999
5	436.0000
6	456.0000
7	476.0000
8	496.0000
9	516.0000
10	536.0000



STEP NO. 1

GEOM. SCALE 100.000

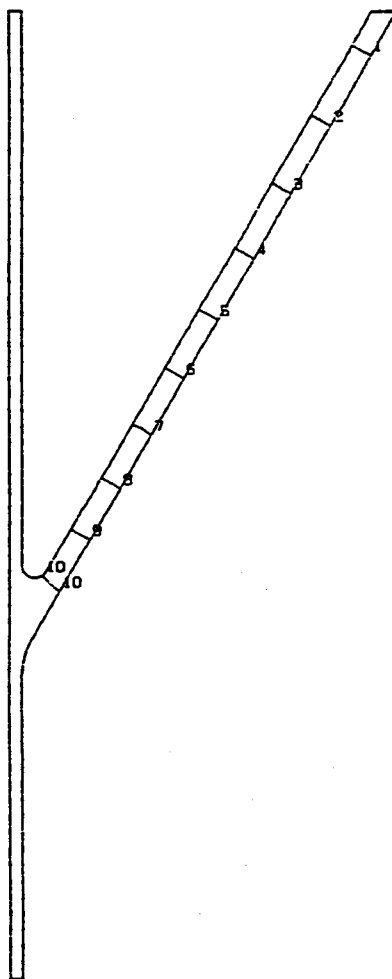
HIHXC1 TEMPERATURE CONTOUR (0 SEC)

Fig. 2.3.2 温度コンター (IH)

FINAS
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	75.0000
2	125.0000
3	175.0000
4	225.0000
5	275.0000
6	325.0000
7	375.0000
8	425.0000
9	475.0000
10	525.0000



STEP NO. 1

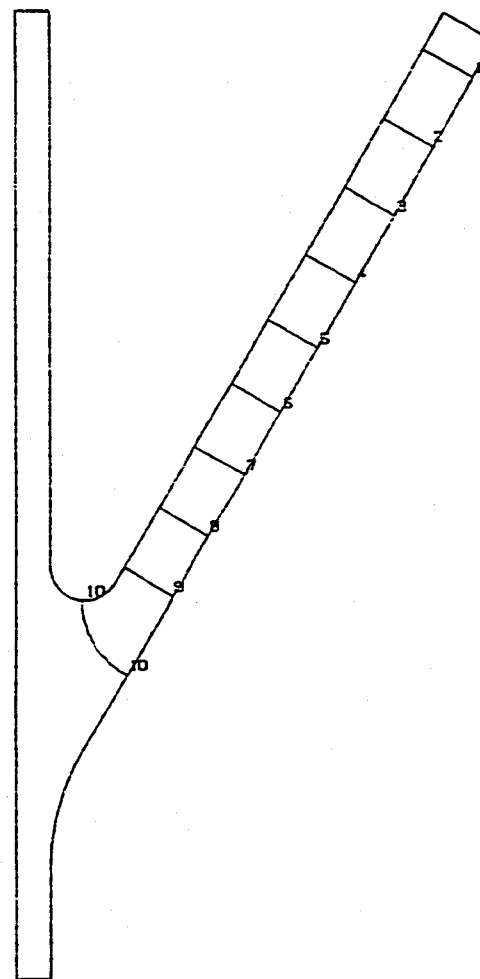
GEOM. SCALE | 300.000

MODEL2-1 TEMPERATURE CONTOUR (0 SEC) HMD2C1

FINAS
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	327.9999
2	351.0000
3	373.9999
4	397.0000
5	419.9999
6	443.0000
7	465.9999
8	489.0000
9	512.0000
10	535.0000



STEP NO. 1

GEOM. SCALE | 100.000

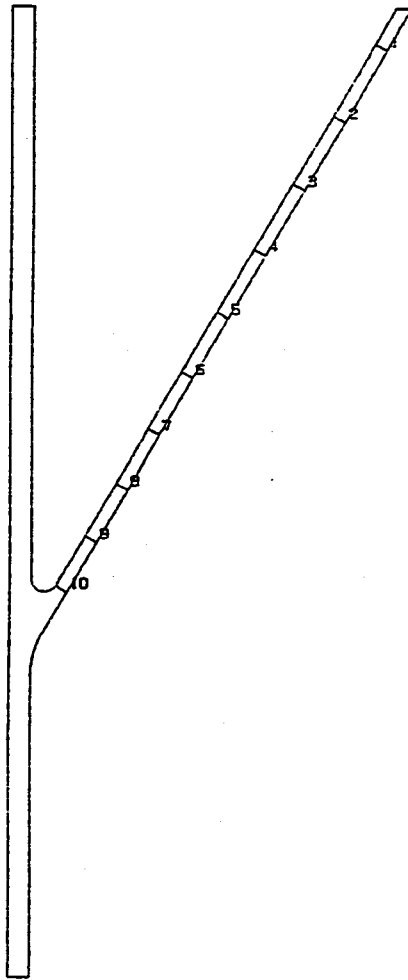
MODEL2-1 TEMPERATURE CONTOUR (0 SEC) HMD2C1

Fig. 2.3.3 温度コンター (MD2)

FINAS
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

- 1 75.0000
- 2 125.0000
- 3 175.0000
- 4 225.0000
- 5 275.0000
- 6 325.0000
- 7 375.0000
- 8 425.0000
- 9 475.0000
- 10 525.0000



STEP NO. 1

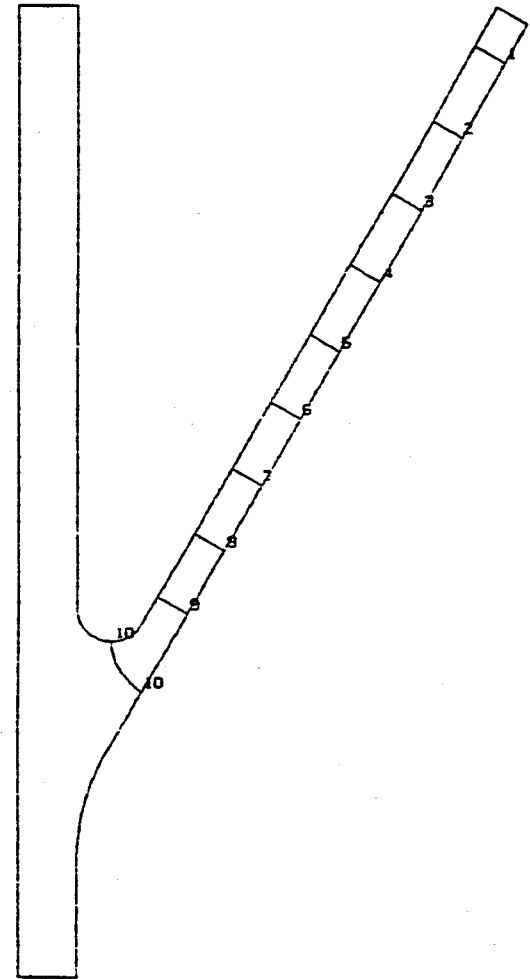
GEOM. SCALE: 300.000

MODEL3-1 TEMPERATURE CONTOUR (0 SEC) HMD3C1

FINAS
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

- 1 322.0000
- 2 346.0000
- 3 369.9999
- 4 394.0000
- 5 418.0000
- 6 442.0000
- 7 465.9999
- 8 490.0000
- 9 514.0000
- 10 538.0000



STEP NO. 1

GEOM. SCALE: 100.000

MODEL3-1 TEMPERATURE CONTOUR (0 SEC) HMD3C1

Fig. 2.3.4 温度コンター (MD3)

Table 2.4.1 n乗則解析ケース一覧 (n=5,7)

解析ケース名	解析の種類	ρ (mm)	t_v (mm)	t_s (mm)	α	n	備 考
E1HXC1	弾性	30	30 *1	50	20.28E-6	—	E=16200 形状図⇒Fig. 2.1.1
EMD2C1	弾性	30	30	50	20.28E-6	—	E=16200 形状図⇒Fig. 2.1.2
EMD3C1	弾性	30	50	30	20.28E-6	—	E=16200 形状図⇒Fig. 2.1.3
EPIHC3N	非線形	30	30 *1	50	20.28E-6	5,7	n乗則 形状図⇒Fig. 2.1.1
EPM2C3N	非線形	30	30	50	20.28E-6	5,7	n乗則 形状図⇒Fig. 2.1.2
EPM3C3N	非線形	30	50	30	20.28E-6	5,7	n乗則 形状図⇒Fig. 2.1.3

ρ : 交叉アール部曲率半径
 t_v : 胴板厚
 t_s : スカート板厚

*1 テーバ部補強あり

Table 2.4.2(1) 高温定常状態（最終ステップ）における弾性解析結果

Unit: 応力 kg/mm²
: ひずみ %

IHX-評価断面1

	r成分	z成分	θ成分	rz成分	
応力（表面値）	0.02	-50.48	-10.75	-2.08	S n = 39.06 相当応力（表面値） = 46.21
膜応力	-2.24	-1.02	4.60	-1.74	
曲げ応力	-1.64	-41.04	-13.90	-2.35	
ひずみ（表面値）	0.11	-0.29	2.77E-2	-0.03	

IHX-評価断面2

	r成分	z成分	θ成分	rz成分	
応力（表面値）	-3.27	-50.90	-15.35	0.02	S n = 37.71 相当応力（表面値） = 51.66
膜応力	-2.94	-2.77	2.85	-1.56	
曲げ応力	-4.67	-42.31	-14.87	3.66	
ひずみ（表面値）	0.12	-0.34	2.30E-2	3.22E-4	

IHX-評価断面3

	r成分	z成分	θ成分	rz成分	
応力（表面値）	0.29	-54.61	-13.55	0.80	S n = 29.60 相当応力（表面値） = 49.47
膜応力	-3.68	-2.10	1.74	-0.62	
曲げ応力	-3.94	-11.55	-11.55	6.51	
ひずみ（表面値）	0.13	-0.31	1.76E-2	1.29E-2	

MD2-評価断面1

	r成分	z成分	θ成分	rz成分	
応力（表面値）	0.07	-28.16	-9.29	-0.76	S n = 21.97 相当応力（表面値） = 24.94
膜応力	-1.17	-0.35	8.75E-2	-0.83	
曲げ応力	-0.83	-23.33	-8.64	-1.36	
ひずみ（表面値）	7.02E-2	-0.16	-4.96E-2	-0.01	

MD2-評価断面2

	r成分	z成分	θ成分	rz成分	
応力（表面値）	-1.18	-33.17	-11.78	0.03	S n = 20.83 相当応力（表面値） = 28.22
膜応力	-1.83	-1.34	-1.07	-0.69	
曲げ応力	-2.09	-23.32	-8.80	1.67	
ひずみ（表面値）	7.65E-2	-0.18	8.71E-2	4.80E-4	

Table 2.4.2(2) 高温定常状態（最終ステップ）における弾性解析結果

MD 2 - 評価断面 3

	r成分	z成分	θ 成分	rz成分	
応力（表面値）	0.40	-30.94	-11.35	0.29	S n = 16.16 相当応力（表面値） = 27.42
膜応力	-1.77	-0.50	-1.47	-0.52	
曲げ応力	-2.14	-18.76	-7.54	3.40	
ひずみ（表面値）	8.13E-2	-0.17	1.31E-2	4.61E-3	

MD 3 - 評価断面 1

	r成分	z成分	θ 成分	rz成分	
応力（表面値）	0.12	-35.33	-7.22	-0.89	S n = 30.44 相当応力（表面値） = 32.45
膜応力	-1.04	-0.42	3.49	-0.94	
曲げ応力	-0.68	-31.43	-10.24	-1.27	
ひずみ（表面値）	8.01E-2	-0.20	2.11E-2	-0.01	

MD 3 - 評価断面 2

	r成分	z成分	θ 成分	rz成分	
応力（表面値）	-1.62	-40.44	-9.93	0.06	S n = 29.64 相当応力（表面値） = 35.41
膜応力	-1.96	-2.20	1.93	-1.06	
曲げ応力	-2.01	-31.20	-10.39	2.84	
ひずみ（表面値）	8.39E-2	-0.23	1.71E-2	9.63E-4	

MD 3 - 評価断面 3

	r成分	z成分	θ 成分	rz成分	
応力（表面値）	0.54	-35.15	-8.38	0.41	S n = 22.43 相当応力（表面値） = 32.18
膜応力	-1.26	-0.37	1.83	-0.72	
曲げ応力	-2.83	-24.43	-8.40	5.03	
ひずみ（表面値）	8.44E-2	-0.20	1.28E-2	6.56E-3	

Table 2.4.3(1) 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

<弾性解析>

Fig. 2.4.10~2.4.15

凡例	凡 例 説 明
???-N53?	???⇒解析モデル名、N53?⇒n 乗則指数=5、 $\nu=0.3$ 、?=評価断面No.
???-N55?	???⇒解析モデル名、N55?⇒n 乗則指数=5、 $\nu=0.5$ 、?=評価断面No.
???-N73?	???⇒解析モデル名、N73?⇒n 乗則指数=7、 $\nu=0.3$ 、?=評価断面No.
???-N75?	???⇒解析モデル名、N75?⇒n 乗則指数=7、 $\nu=0.5$ 、?=評価断面No.
???-?-E	???⇒解析モデル名、-? ⇒評価断面No.、-E ⇒弾性解析

<n乗則解析>

Fig. 2.4.16~2.4.24

評価断面Noはタイトルに表示

凡 例	凡 例 説 明
Qep-???-N53	局所ひずみによる q_{ep} 、???⇒解析モデル名、N53 ⇒n 乗則指数=5、 $\nu=0.3$
Qep-???-N55	局所ひずみによる q_{ep} 、???⇒解析モデル名、N55 ⇒n 乗則指数=5、 $\nu=0.5$
Qep-???-N73	局所ひずみによる q_{ep} 、???⇒解析モデル名、N73 ⇒n 乗則指数=7、 $\nu=0.3$
Qep-???-N75	局所ひずみによる q_{ep} 、???⇒解析モデル名、N75 ⇒n 乗則指数=7、 $\nu=0.5$

凡 例	凡 例 説 明
Qepn-???-N53	総体的挙動による q_{epn} 、???⇒解析モデル名、N53 ⇒n 乗則指数=5、 $\nu=0.3$
Qepn-???-N55	総体的挙動による q_{epn} 、???⇒解析モデル名、N55 ⇒n 乗則指数=5、 $\nu=0.5$
Qepn-???-N73	総体的挙動による q_{epn} 、???⇒解析モデル名、N73 ⇒n 乗則指数=7、 $\nu=0.3$
Qepn-???-N75	総体的挙動による q_{epn} 、???⇒解析モデル名、N75 ⇒n 乗則指数=7、 $\nu=0.5$

Table2.4.3(2) 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

Fig. 2.4.25~2.4.27

評価断面は弾性解析、n乗則解析の最大応力発生評価断面

凡 例	凡 例 説 明
Qep-???-N53P	局所ひずみによる $q_{p,n}$ 、???⇒解析モデル名、N53P⇒n乗則指数=5、 $\nu=0.3$
Qep-???-N55P	局所ひずみによる $q_{p,n}$ 、???⇒解析モデル名、N55P⇒n乗則指数=5、 $\nu=0.5$
Qep-???-N73P	局所ひずみによる $q_{p,n}$ 、???⇒解析モデル名、N73P⇒n乗則指数=7、 $\nu=0.3$
Qep-???-N75P	局所ひずみによる $q_{p,n}$ 、???⇒解析モデル名、N75P⇒n乗則指数=7、 $\nu=0.5$

凡 例	凡 例 説 明
Qepn-???-N53P	総体的挙動による $q_{p,n}$ 、???⇒解析モデル名、N53P⇒n乗則指数=5、 $\nu=0.3$
Qepn-???-N55P	総体的挙動による $q_{p,n}$ 、???⇒解析モデル名、N55P⇒n乗則指数=5、 $\nu=0.5$
Qepn-???-N73P	総体的挙動による $q_{p,n}$ 、???⇒解析モデル名、N73P⇒n乗則指数=7、 $\nu=0.3$
Qepn-???-N75P	総体的挙動による $q_{p,n}$ 、???⇒解析モデル名、N75P⇒n乗則指数=7、 $\nu=0.5$

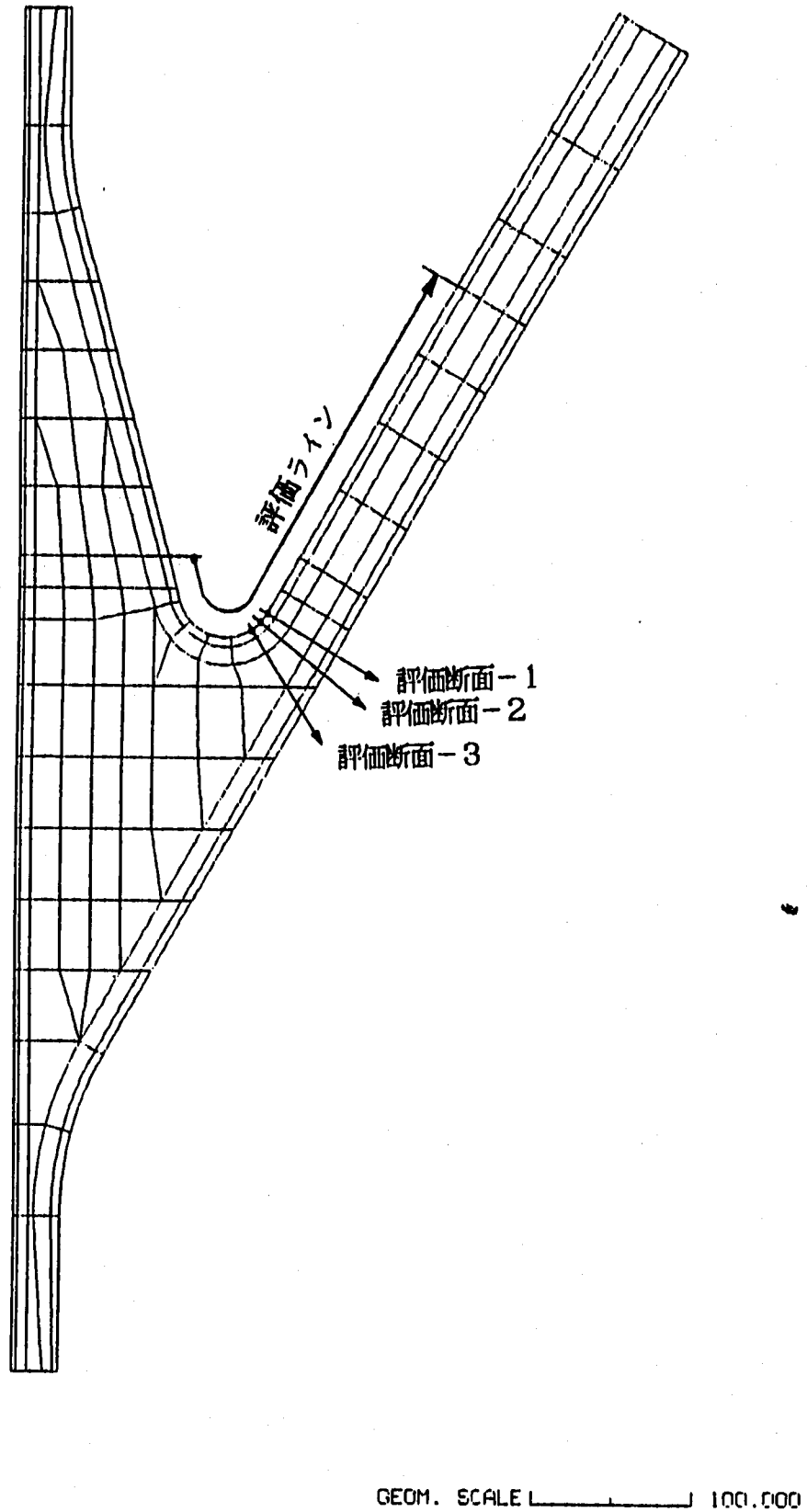
Fig. 2.4.28~2.4.39

評価断面はタイトルに表示

凡 例	凡 例 説 明
Qep-IHX-N??	局所ひずみによる $q_{p,n}$ 、解析モデル(IHX)、N?? ⇒n乗則指数=5.7、 $\nu=0.3, 0.5$
Qep-MD2-N??	局所ひずみによる $q_{p,n}$ 、解析モデル(MD2)、N?? ⇒n乗則指数=5.7、 $\nu=0.3, 0.5$
Qep-MD3-N??	局所ひずみによる $q_{p,n}$ 、解析モデル(MD3)、N?? ⇒n乗則指数=5.7、 $\nu=0.3, 0.5$

凡 例	凡 例 説 明
Qepn-IHX-N??	総体的挙動による $q_{p,n}$ 、解析モデル(IHX)、N?? ⇒n乗則指数=5.7、 $\nu=0.3, 0.5$
Qepn-MD2-N??	総体的挙動による $q_{p,n}$ 、解析モデル(MD2)、N?? ⇒n乗則指数=5.7、 $\nu=0.3, 0.5$
Qepn-MD3-N??	総体的挙動による $q_{p,n}$ 、解析モデル(MD3)、N?? ⇒n乗則指数=5.7、 $\nu=0.3, 0.5$

FINAS



CASE-1-1 IHX-Y

Fig. 2.4.1 評価断面及び評価ラインの位置 (IHX-Y)

FINAS

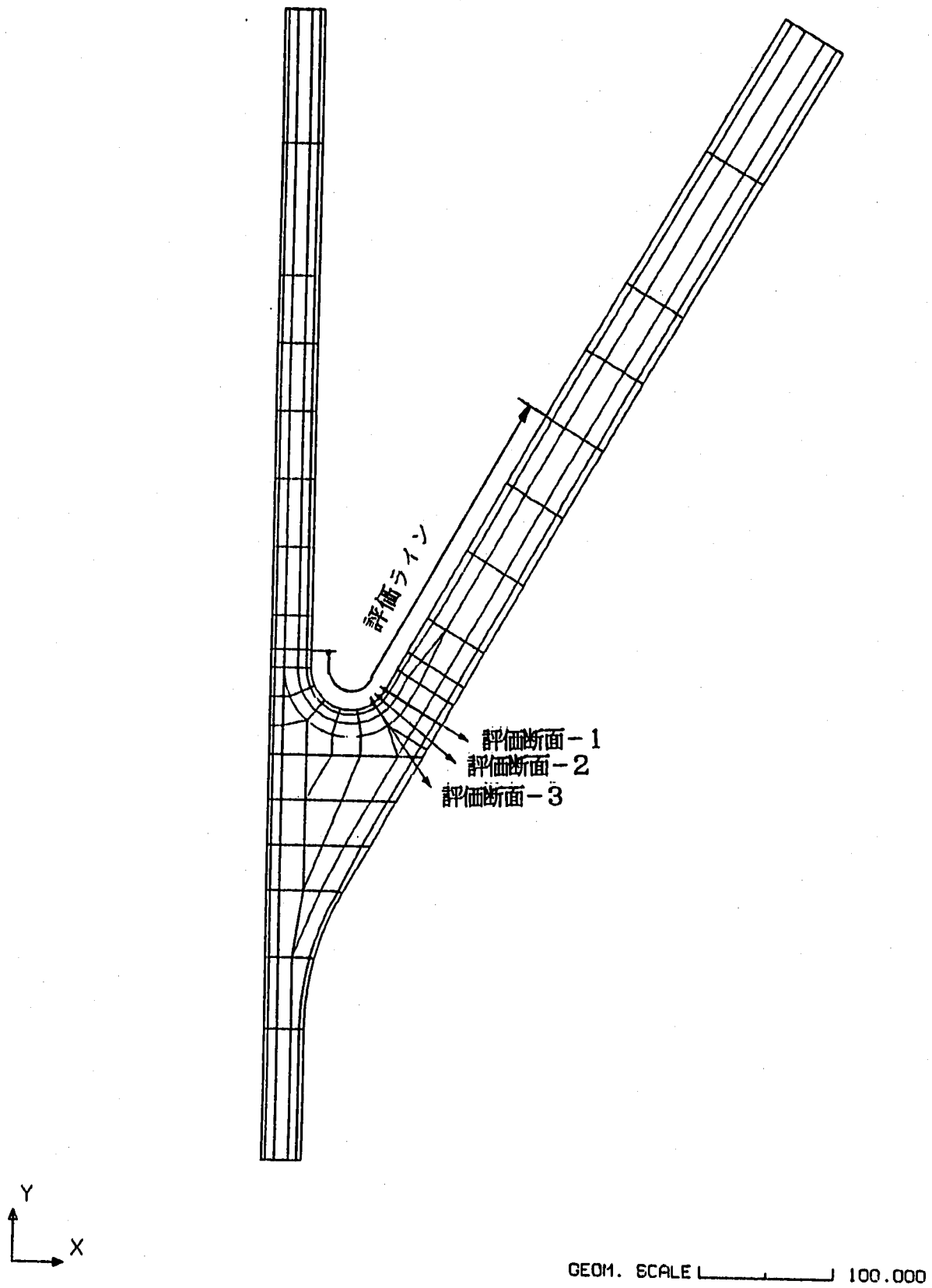


Fig. 2.4.2 評価断面及び評価ラインの位置 (MD2-Y)

FINAS

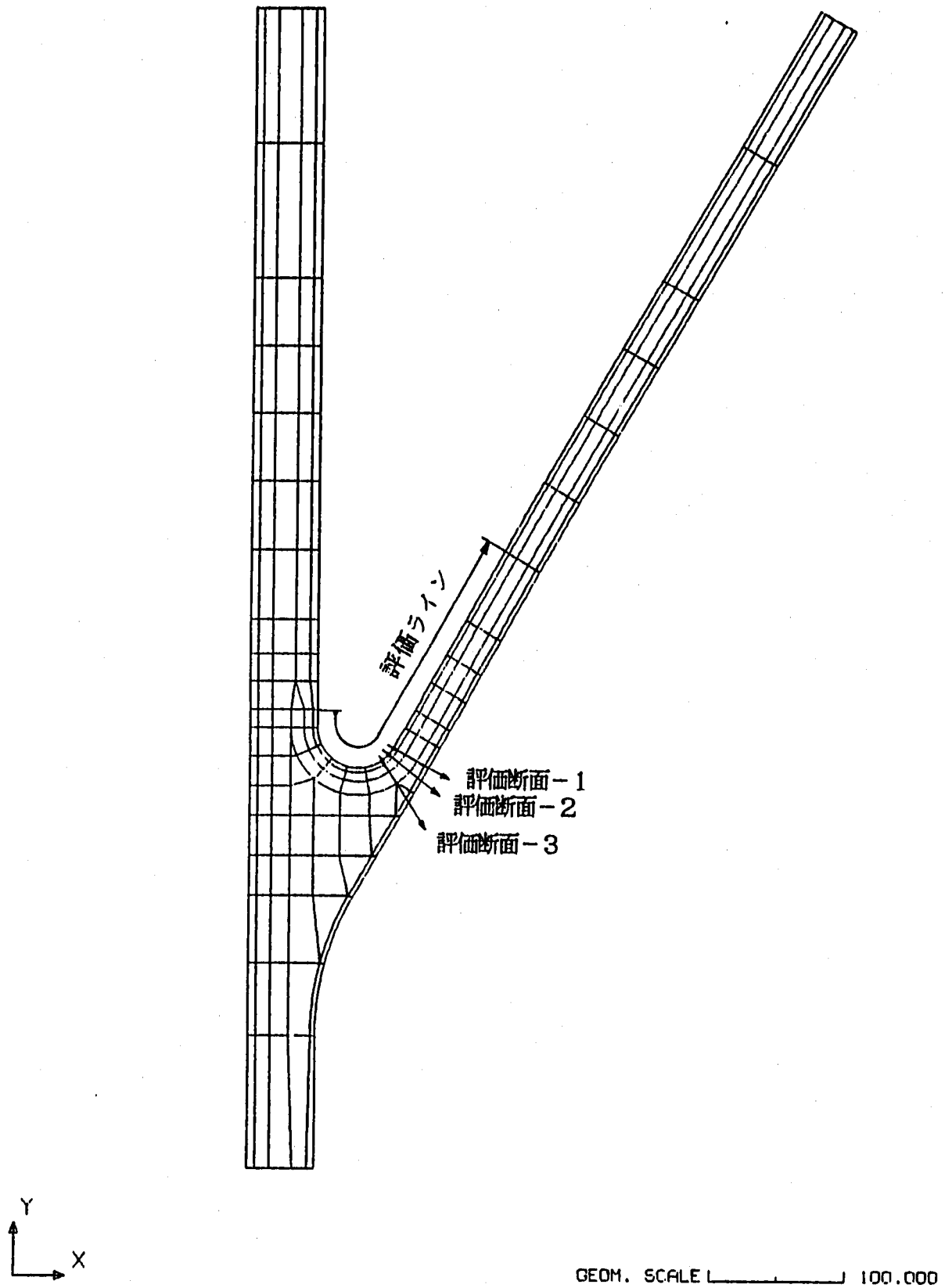
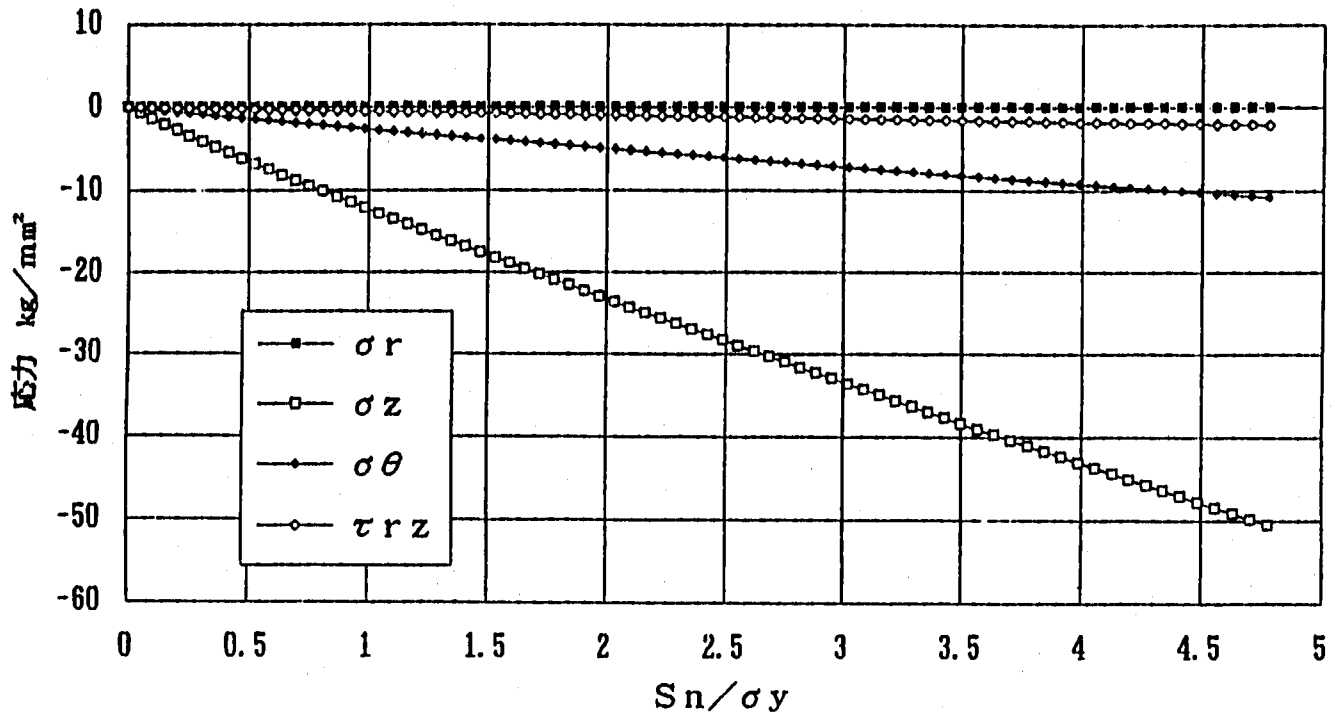


Fig. 2.4.3 評価断面及び評価ラインの位置 (MD3-Y)

各応力成分の比較 (IHX-E)

評価断面-1



各応力成分の比較 (IHX-E)

評価断面-2

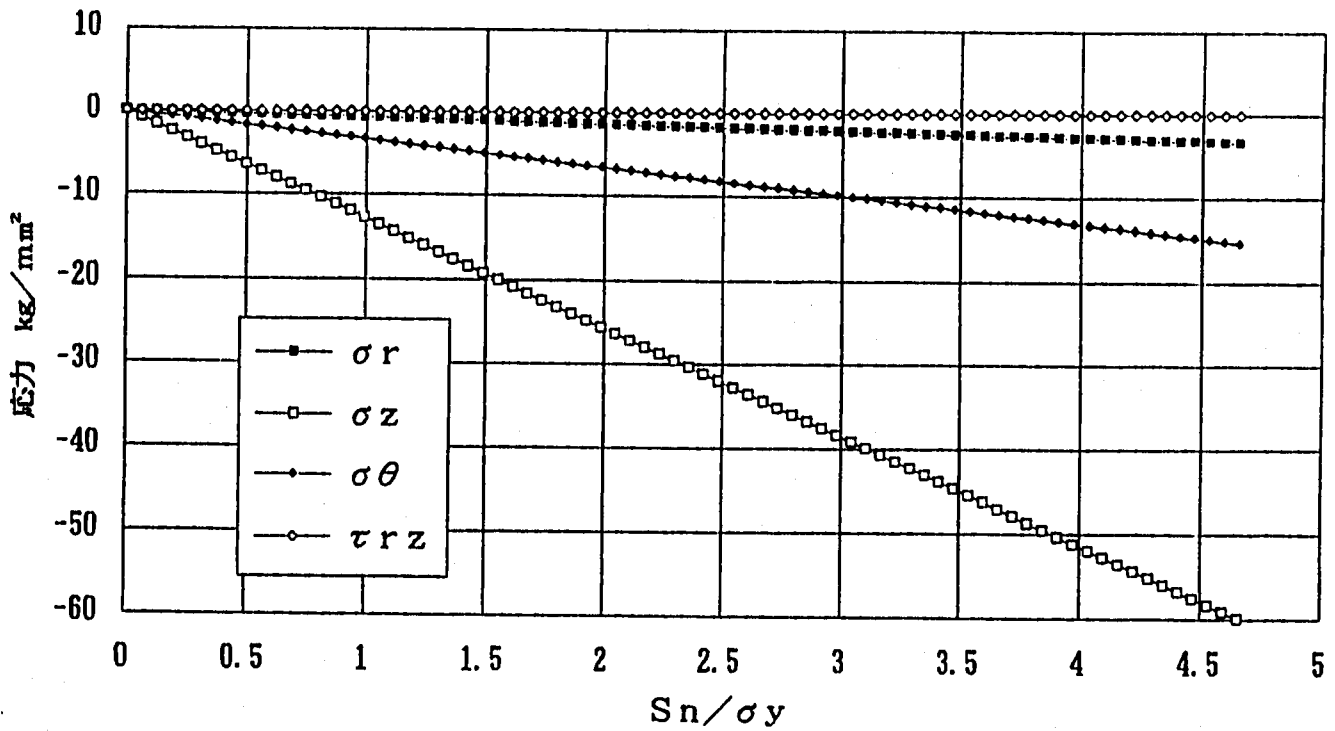


Fig. 2.4.4 各応力成分の履歴 (IHX-Y)
(評価断面-1、2)

各応力成分の比較 (IHX-E)

評価断面-3

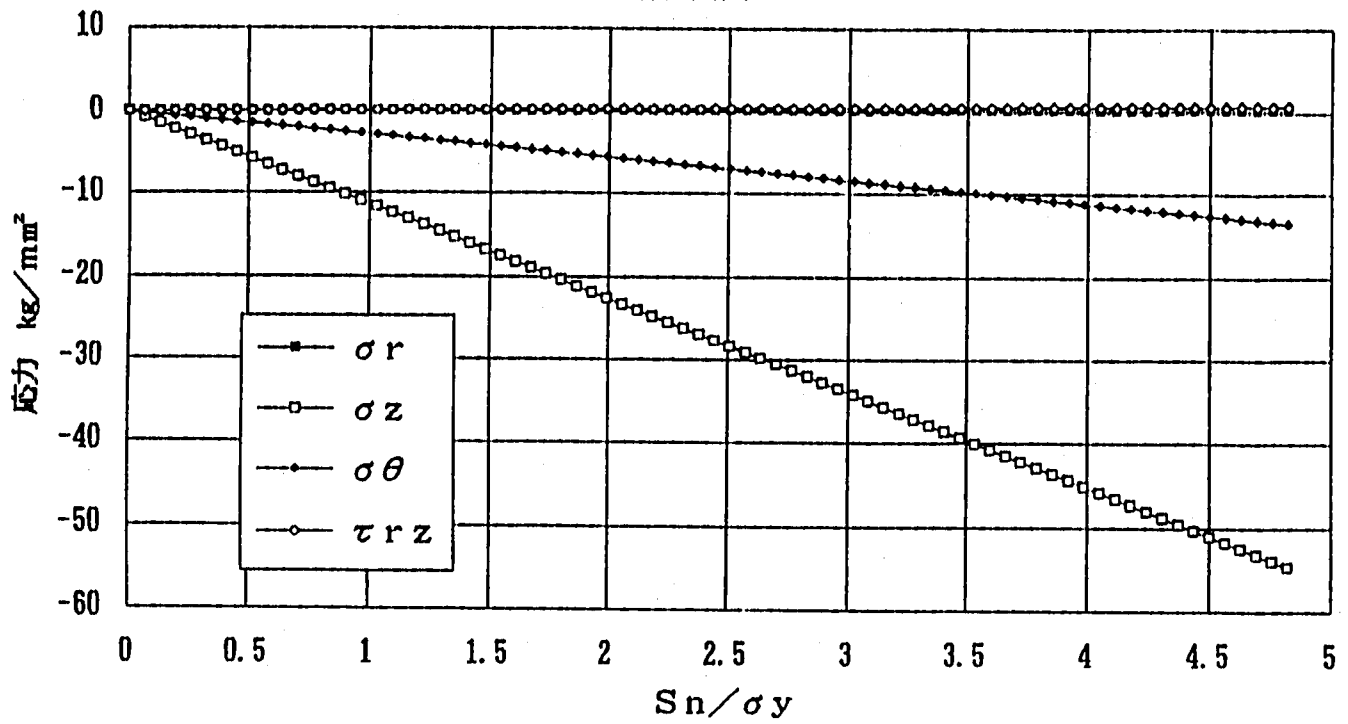
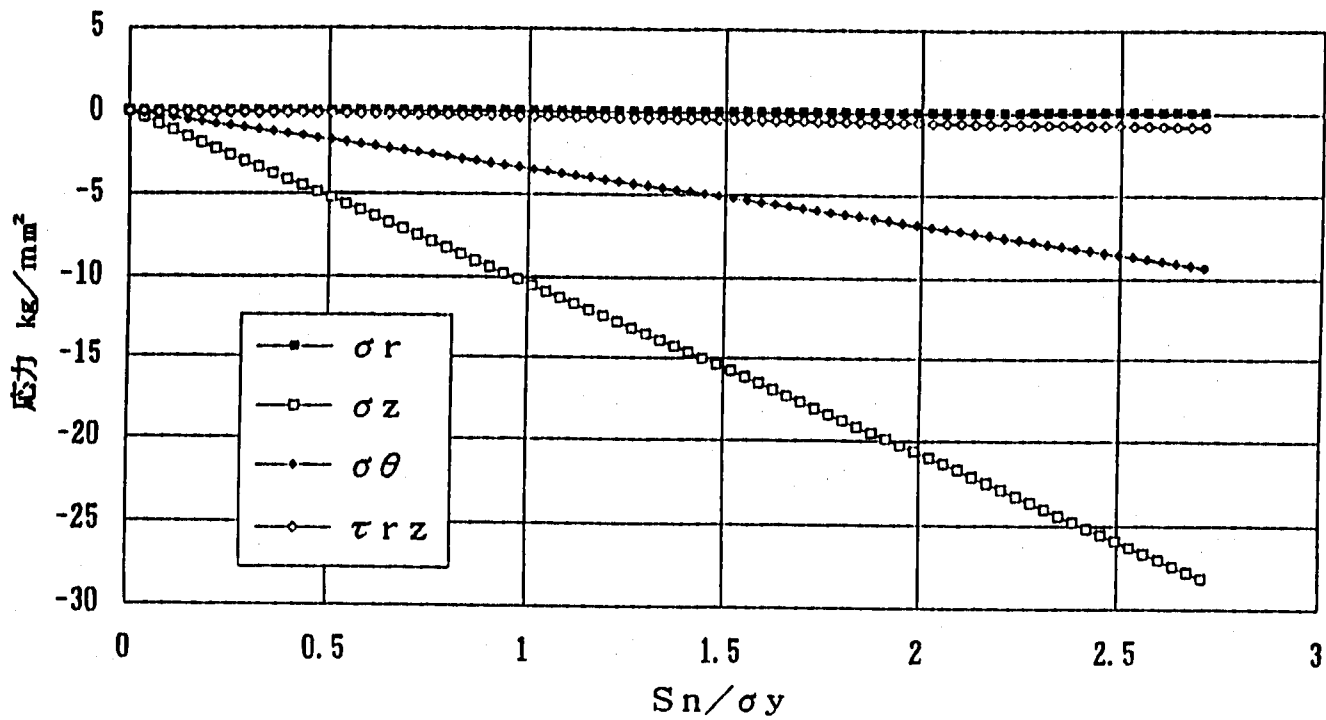


Fig. 2.4.5 各応力成分の履歴 (IHX-Y)
(評価断面-3)

各応力成分の比較 (MD2-E)

評価断面-1



各応力成分の比較 (MD2-E)

評価断面-2

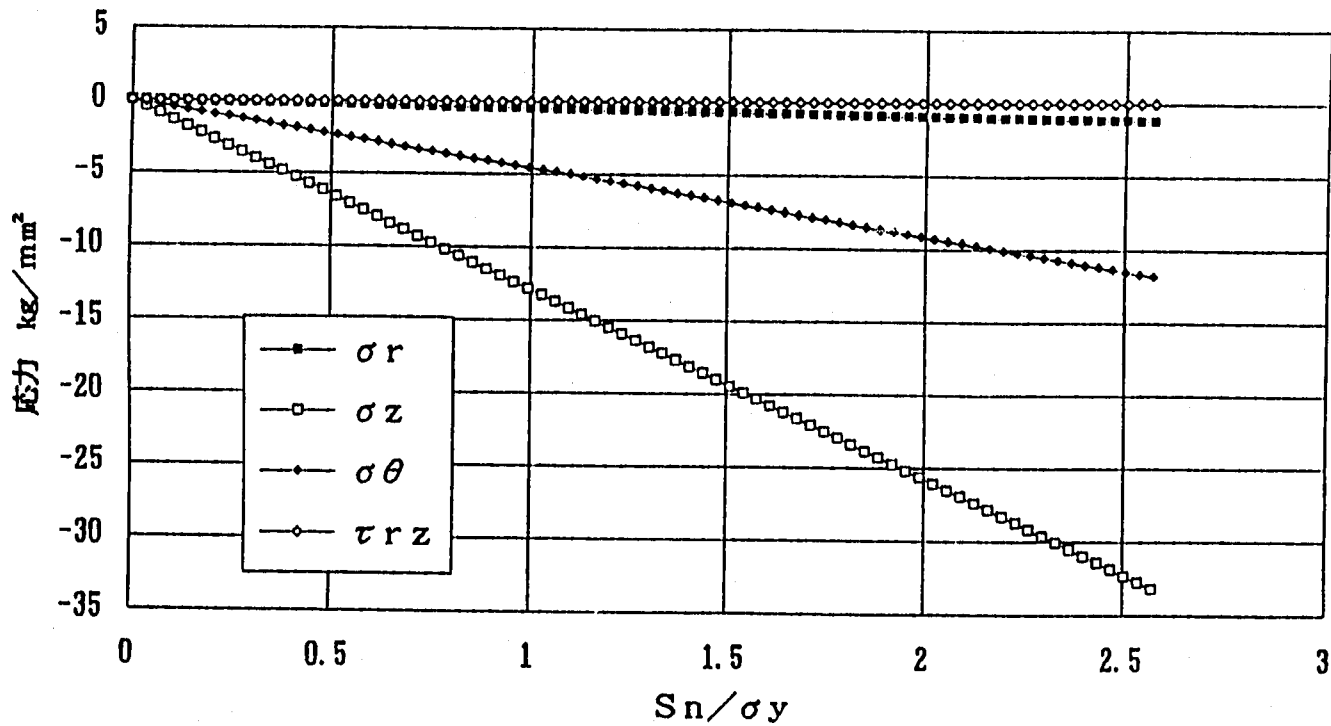


Fig. 2.4.6 各応力成分の履歴 (MD2-Y)
(評価断面-1、2)

各応力成分の比較 (MD 2-E)
評価断面-3

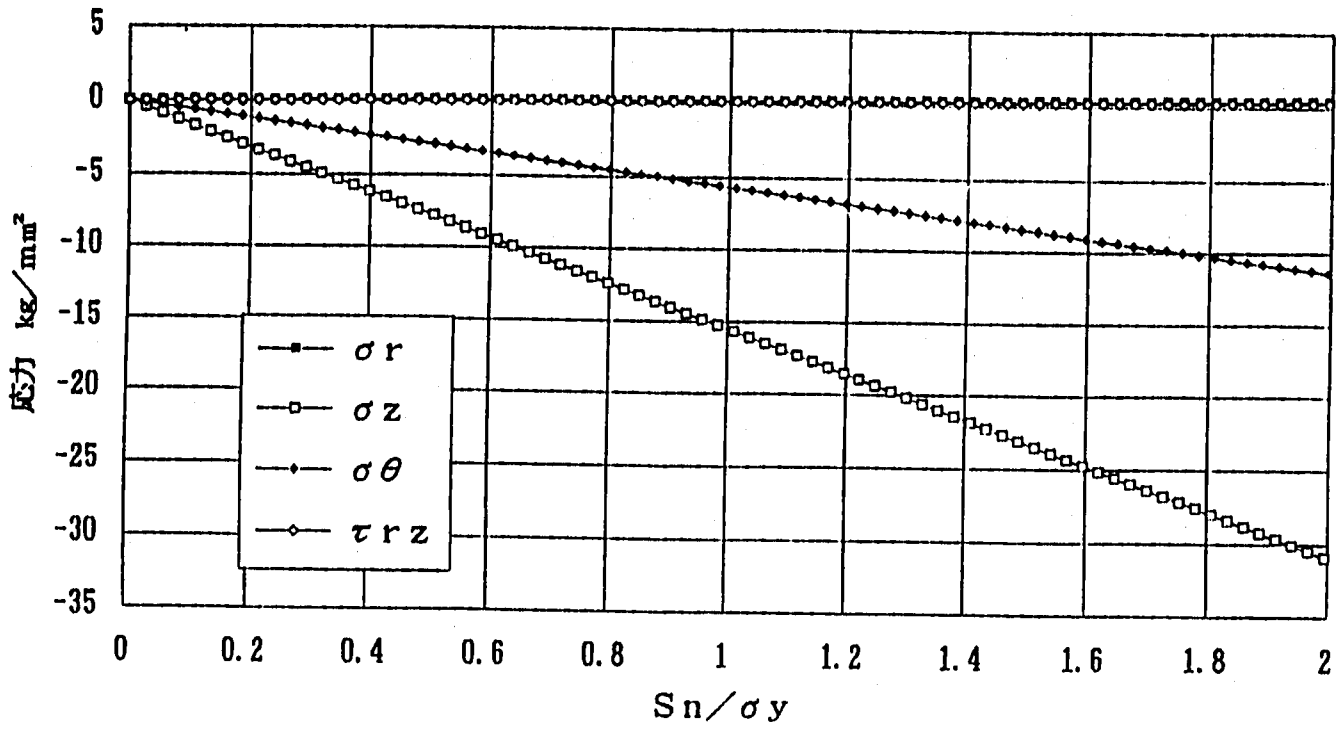
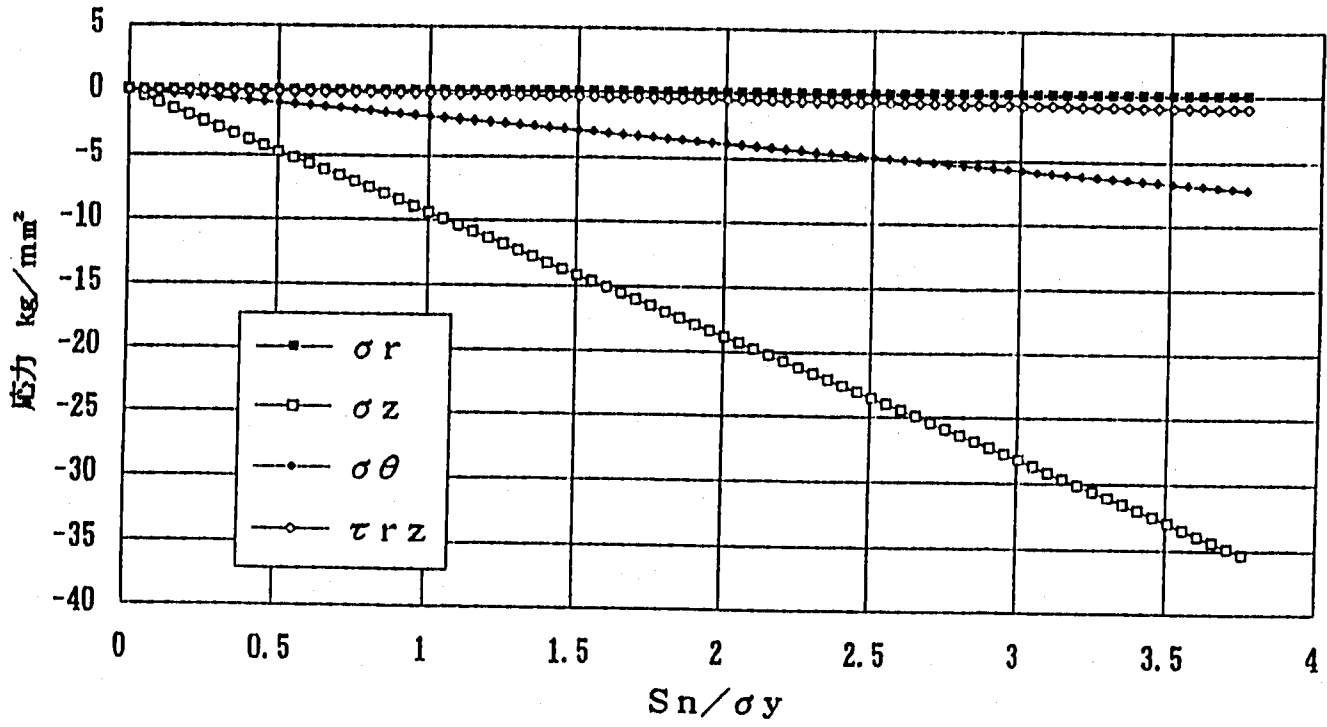


Fig. 2.4.7 各応力成分の履歴 (MD2-Y)
(評価断面-3)

各応力成分の比較 (MD3-E)
評価断面-1



各応力成分の比較 (MD3-E)
評価断面-2

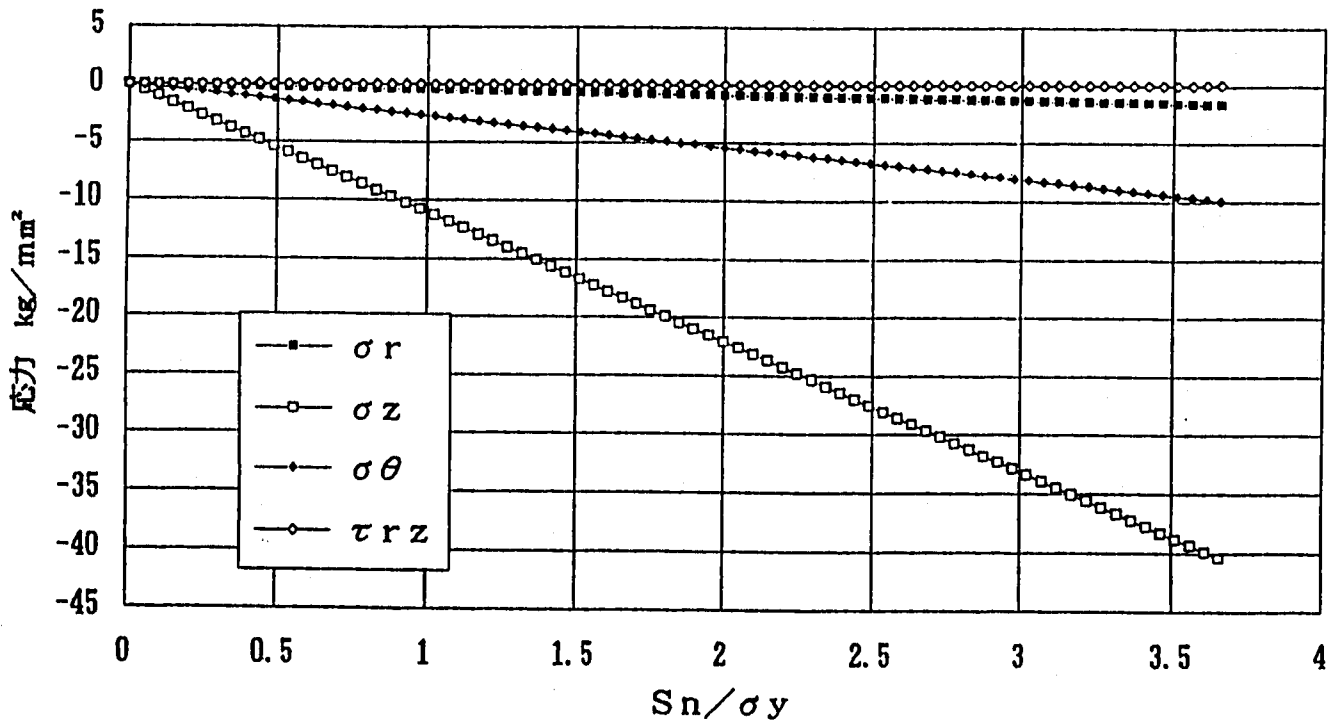


Fig. 2.4.8 各応力成分の履歴 (MD3-Y)
(評価断面-1、2)

各応力成分の比較 (MD3-E)
評価断面-3

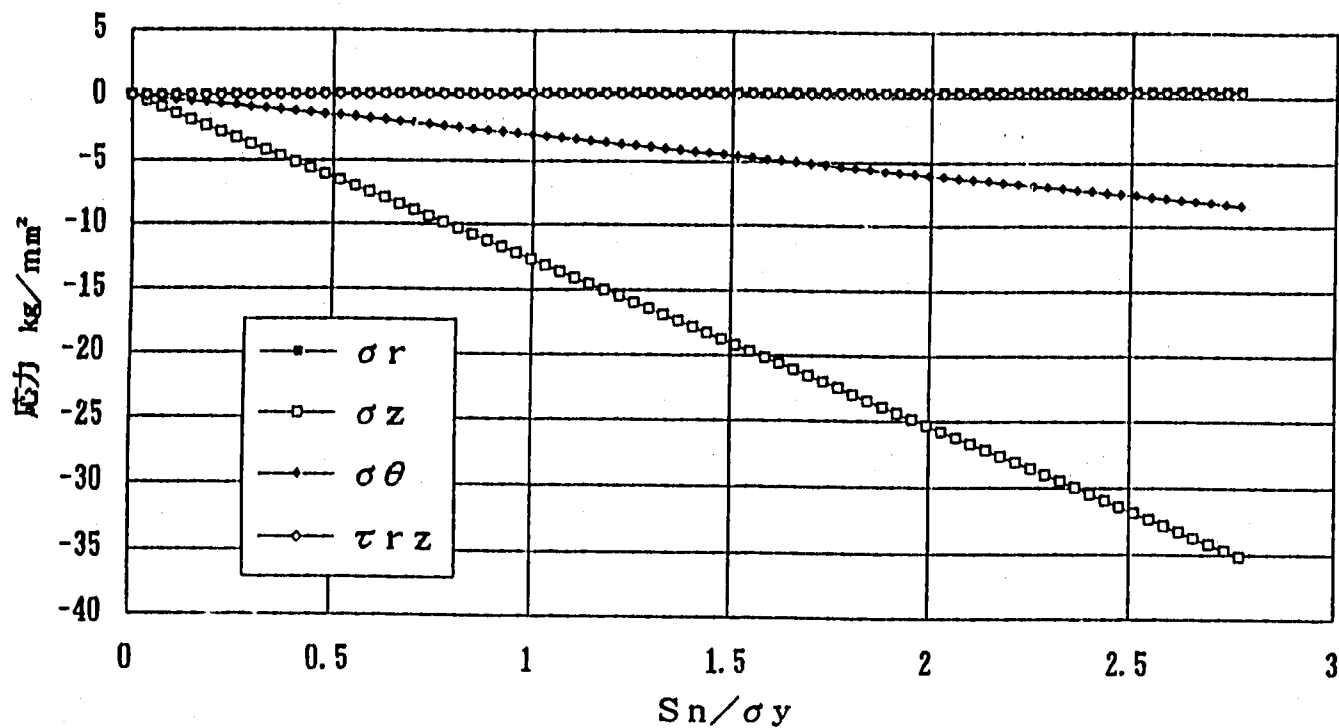
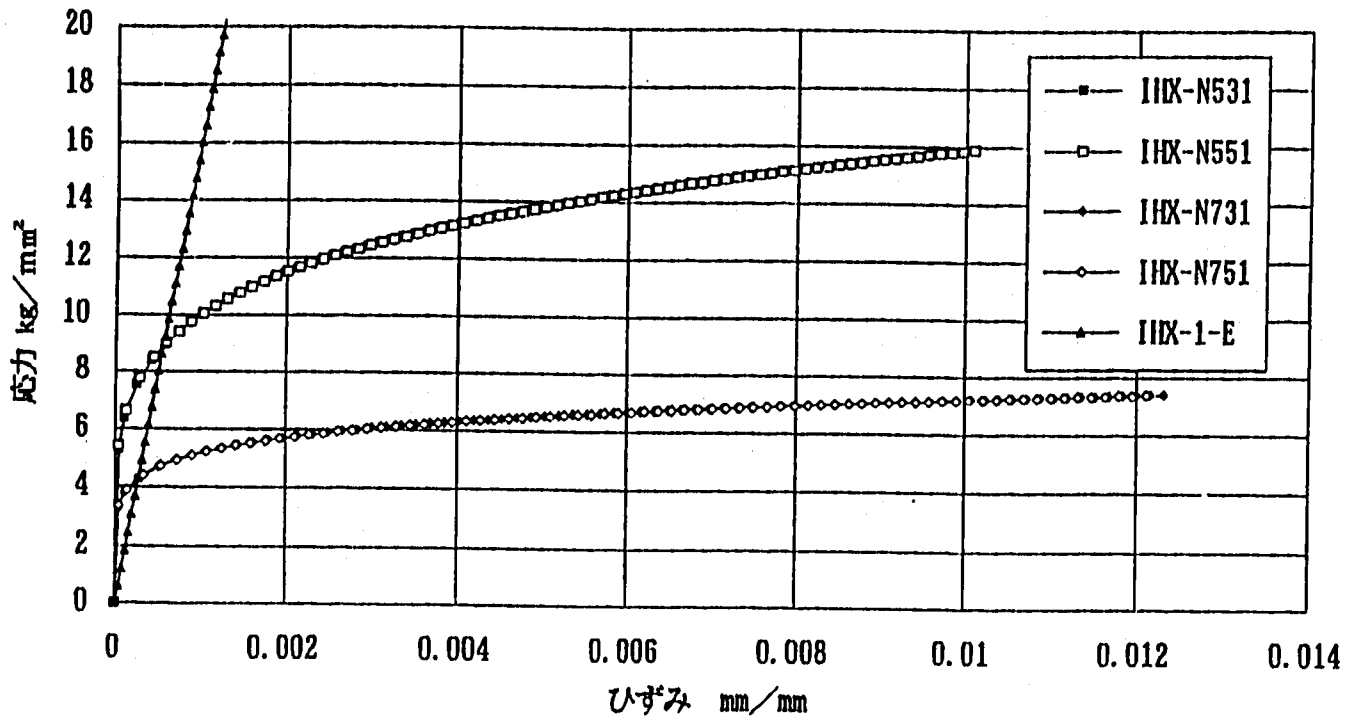


Fig. 2.4.9 各応力成分の履歴 (MD3-Y)
(評価断面-3)

相当応力-相当ひずみの比較
IHX-評価断面1



相当応力-相当ひずみの比較
IHX-評価断面2

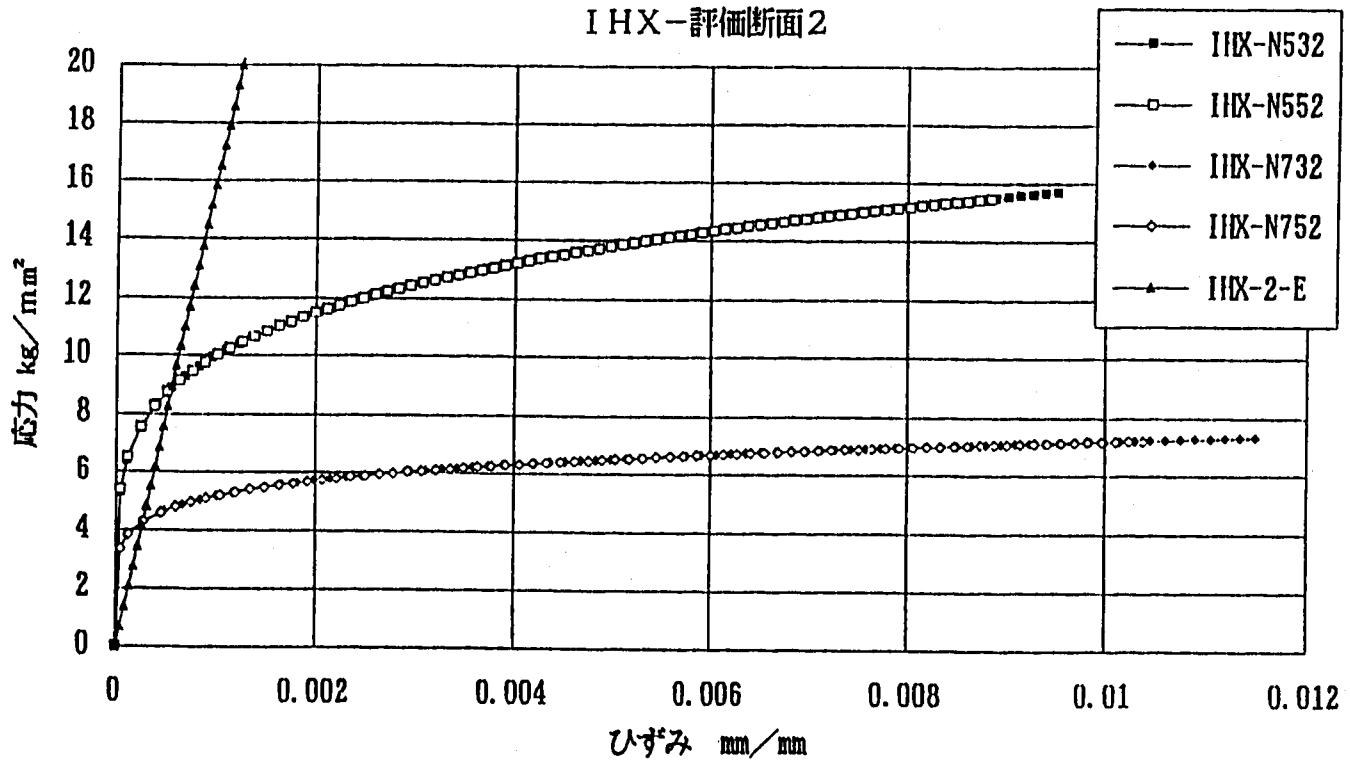


Fig. 2.4.10 相当応力-相当ひずみの履歴 (IHX-Y)
(評価断面-1、2)

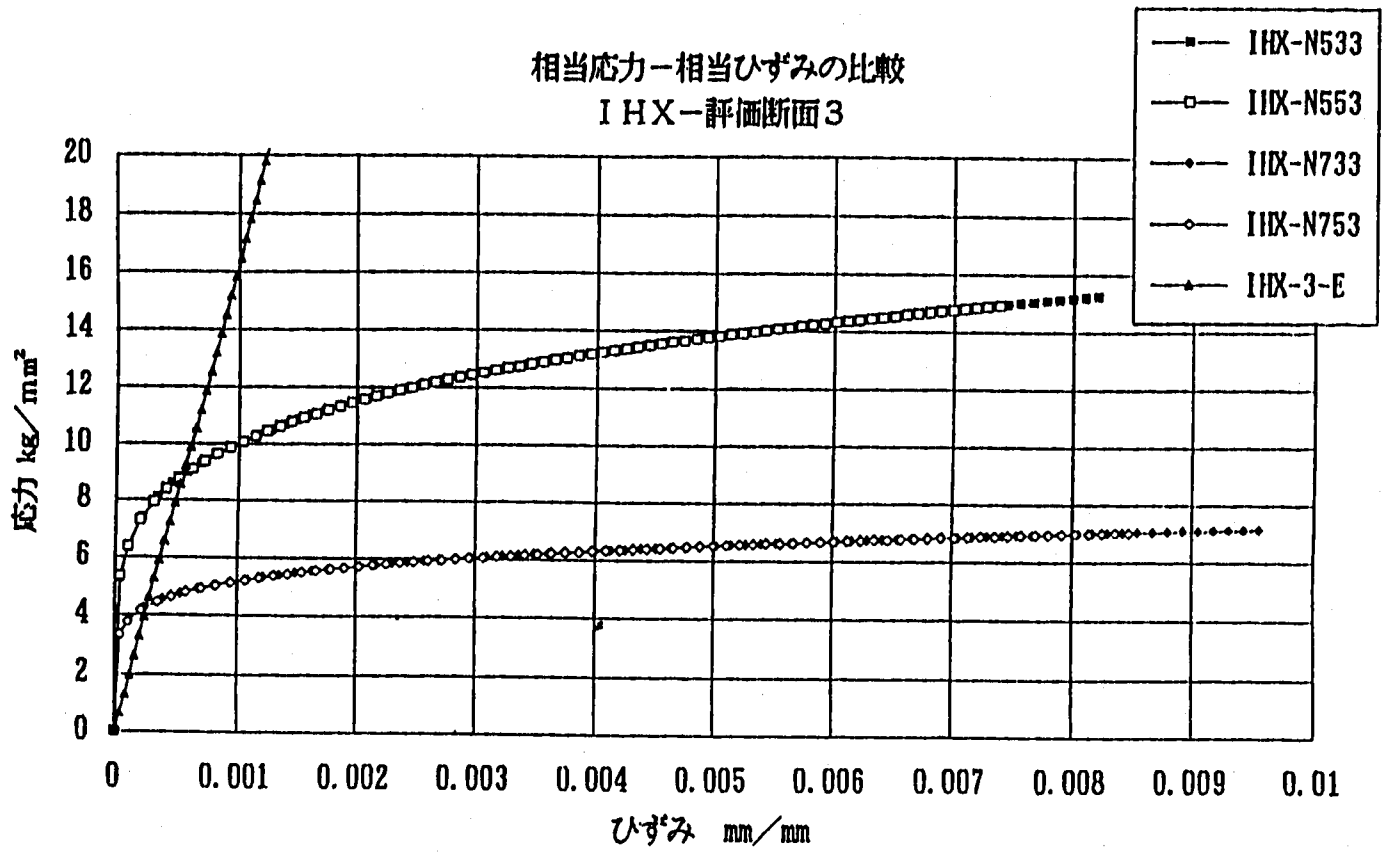
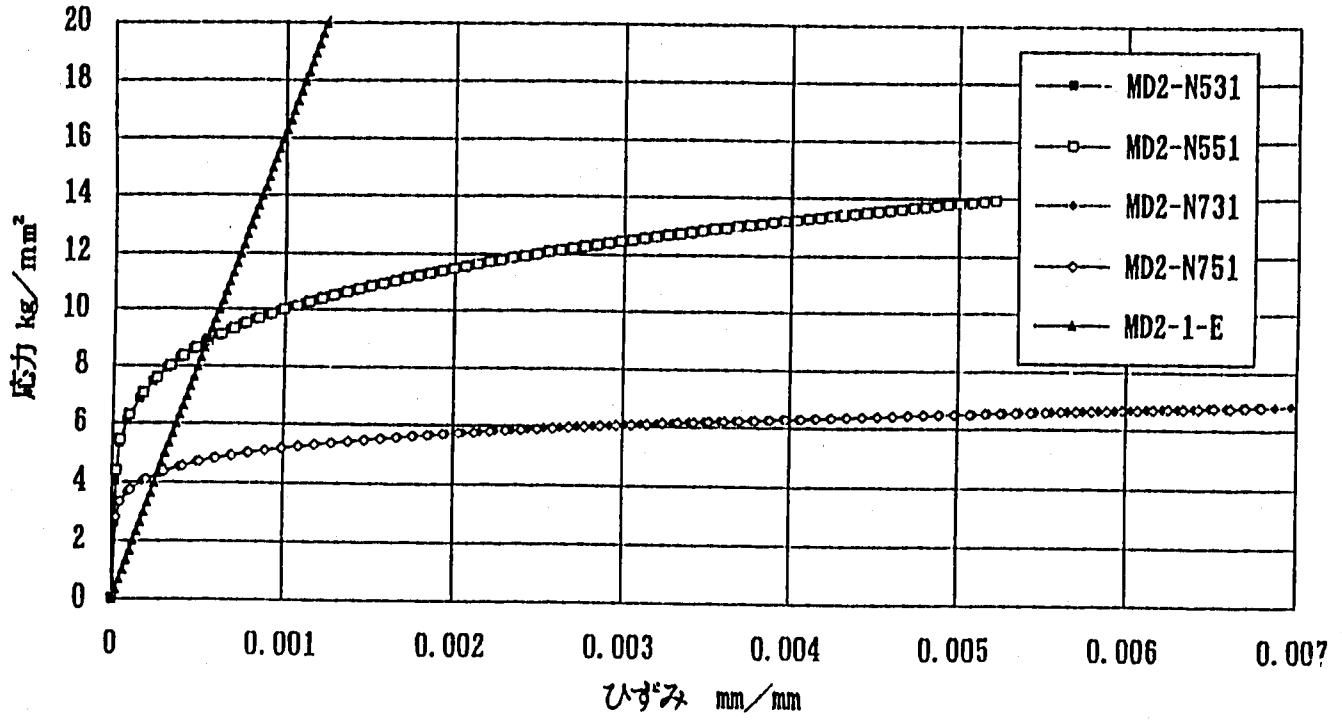


Fig. 2.4.11 相当応力-相当ひずみの履歴 (IHX-Y)
(評価断面-3)

相当応力-相当ひずみの比較
MD 2-評価断面 1



相当応力-相当ひずみの比較
MD 2-評価断面 2

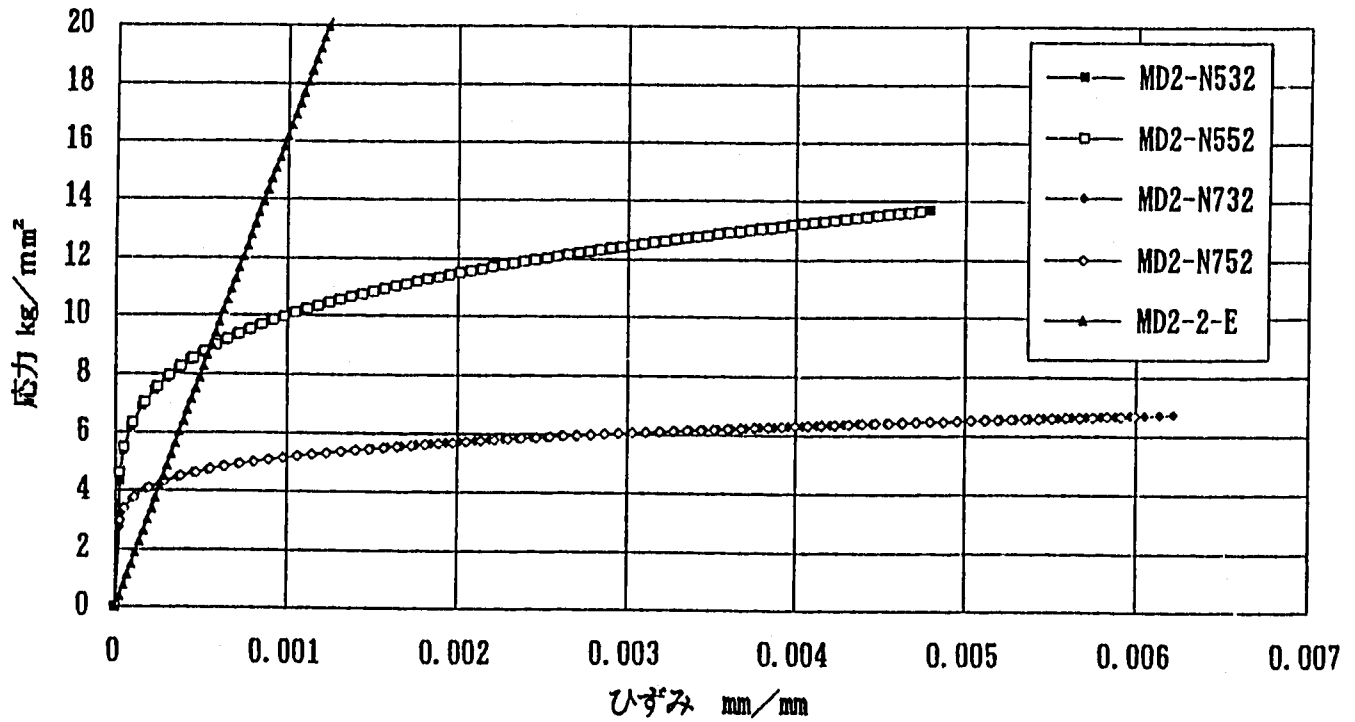


Fig. 2.4.12 相当応力-相当ひずみの履歴 (MD2-Y)
(評価断面-1、2)

相当応力-相当ひずみの比較
MD2-評価断面3

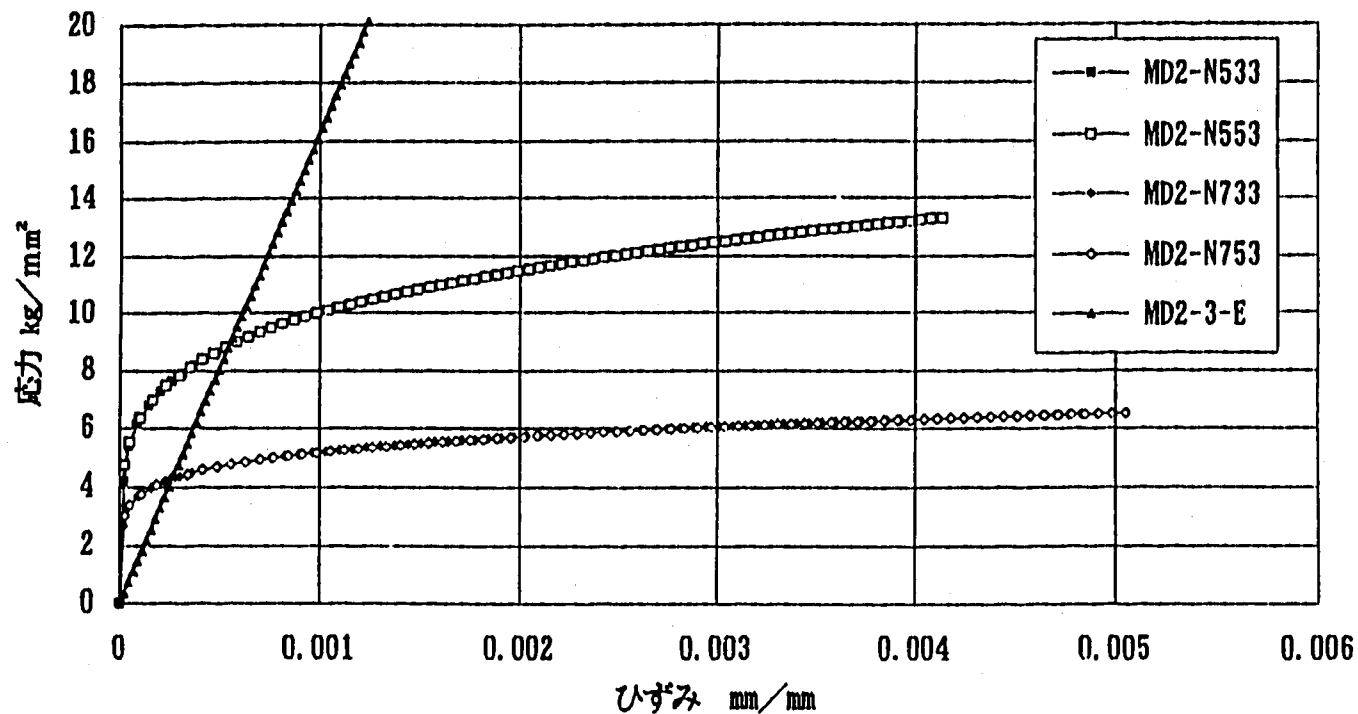
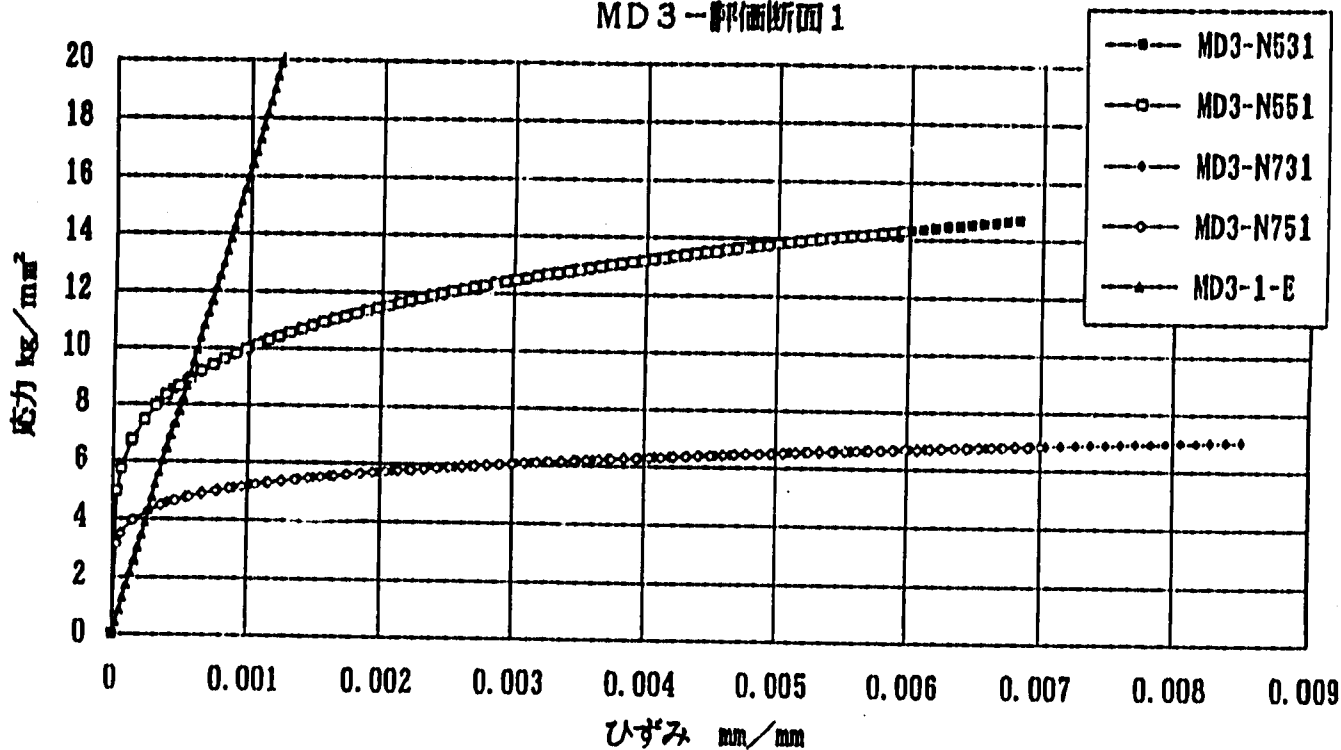


Fig. 2.4.13 相当応力-相当ひずみの履歴 (MD2-Y)
(評価断面 - 3)

相当応力-相当ひずみの比較
MD3-評価断面1



相当応力-相当ひずみの比較
MD3-評価断面2

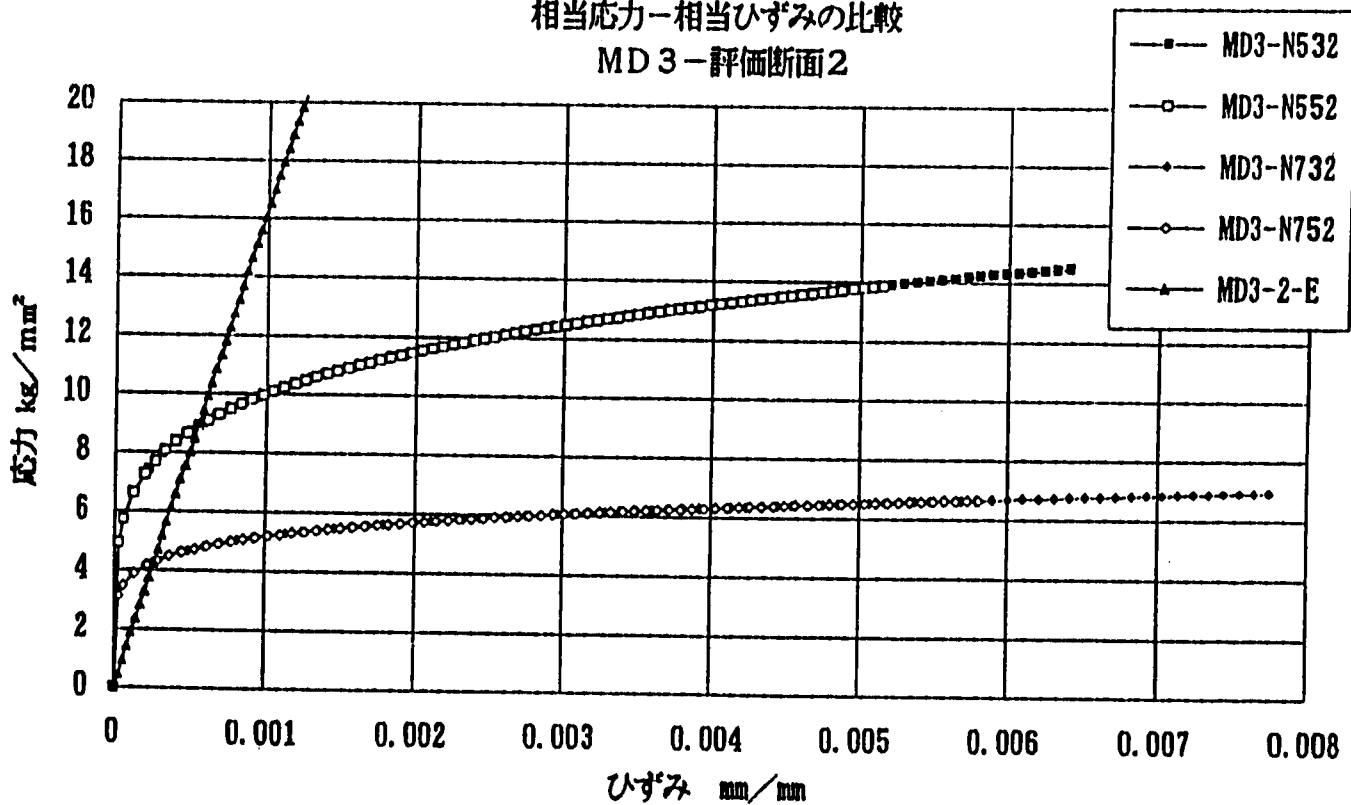


Fig. 2.4.14 相当応力-相当ひずみの履歴 (MD3-Y)
(評価断面-1、2)

相当応力-相当ひずみの比較
MD3-評価断面3

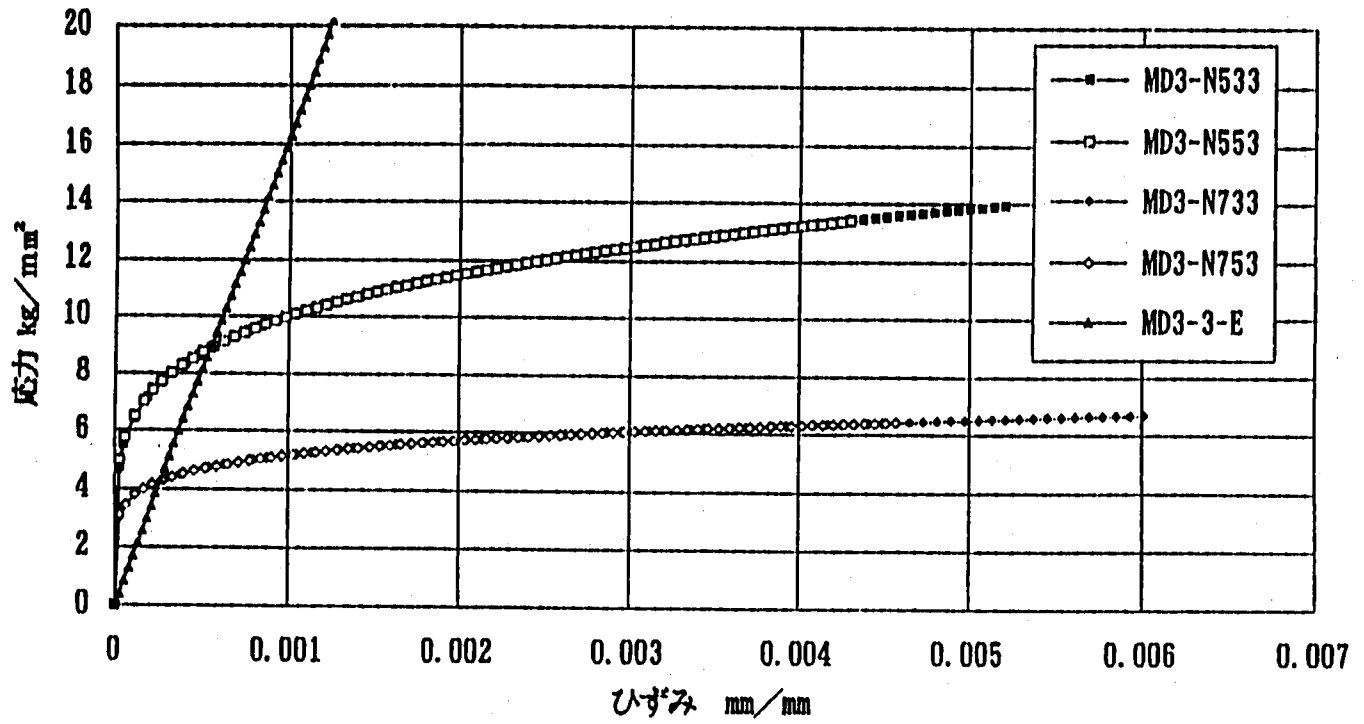
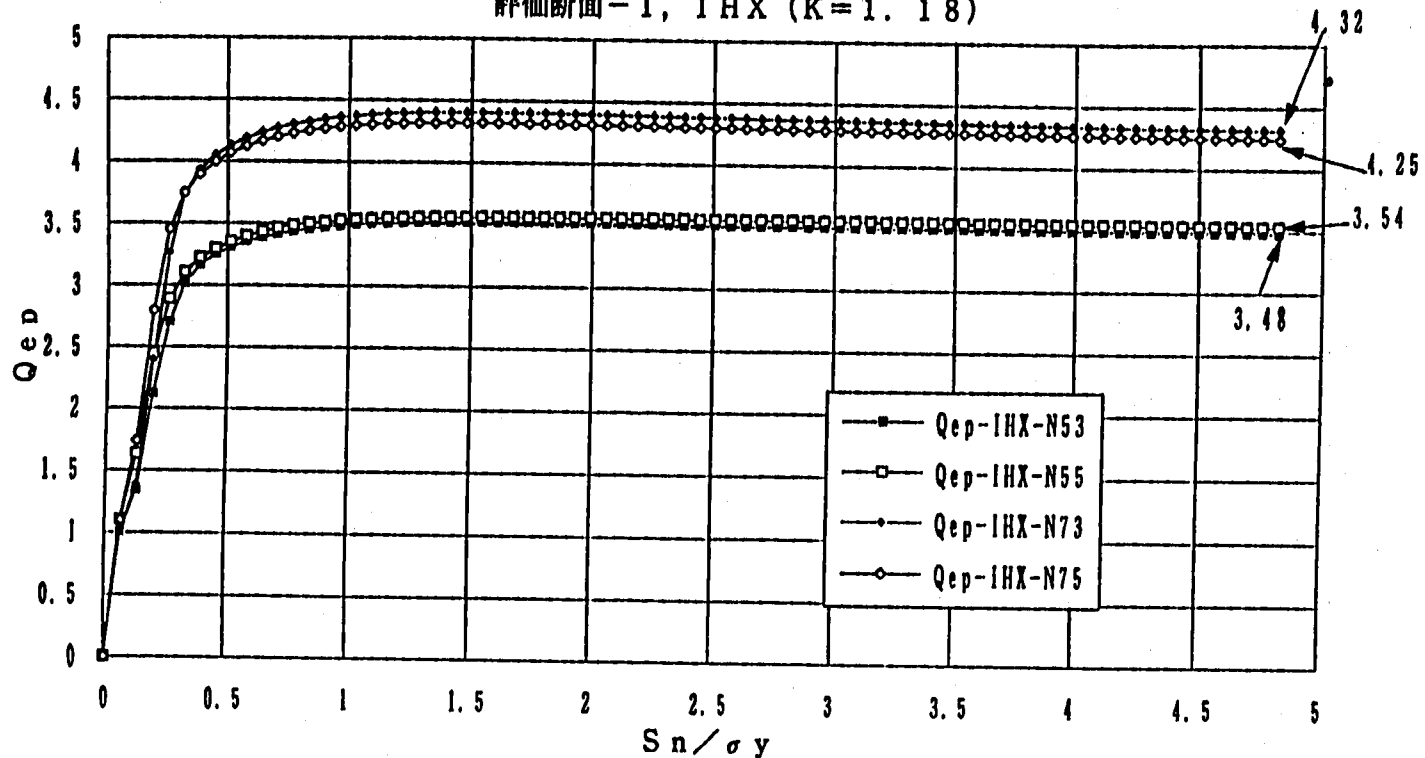


Fig. 2.4.15 相当応力-相当ひずみの履歴 (MD3-Y)
(評価断面-3)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面-1, IHX (K=1.18)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面-1, IHX (K=1.18)

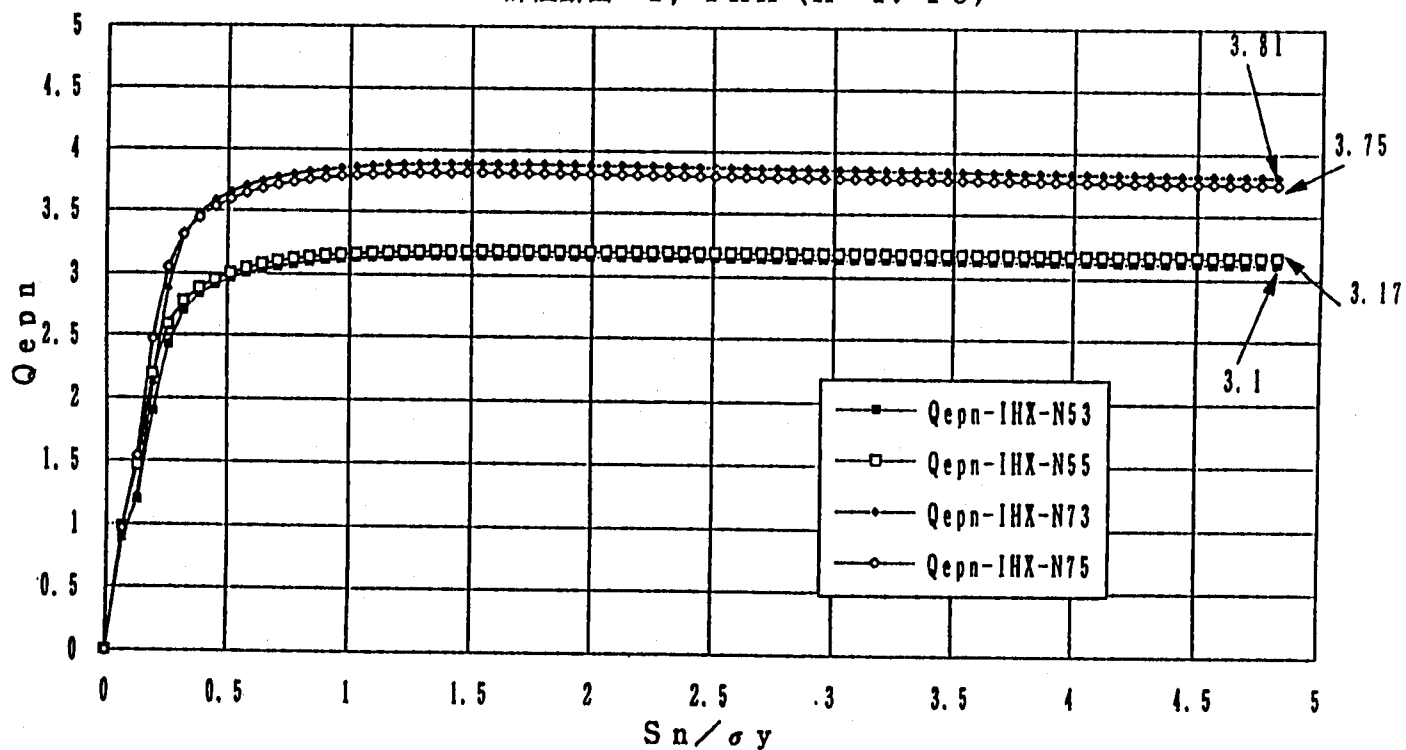
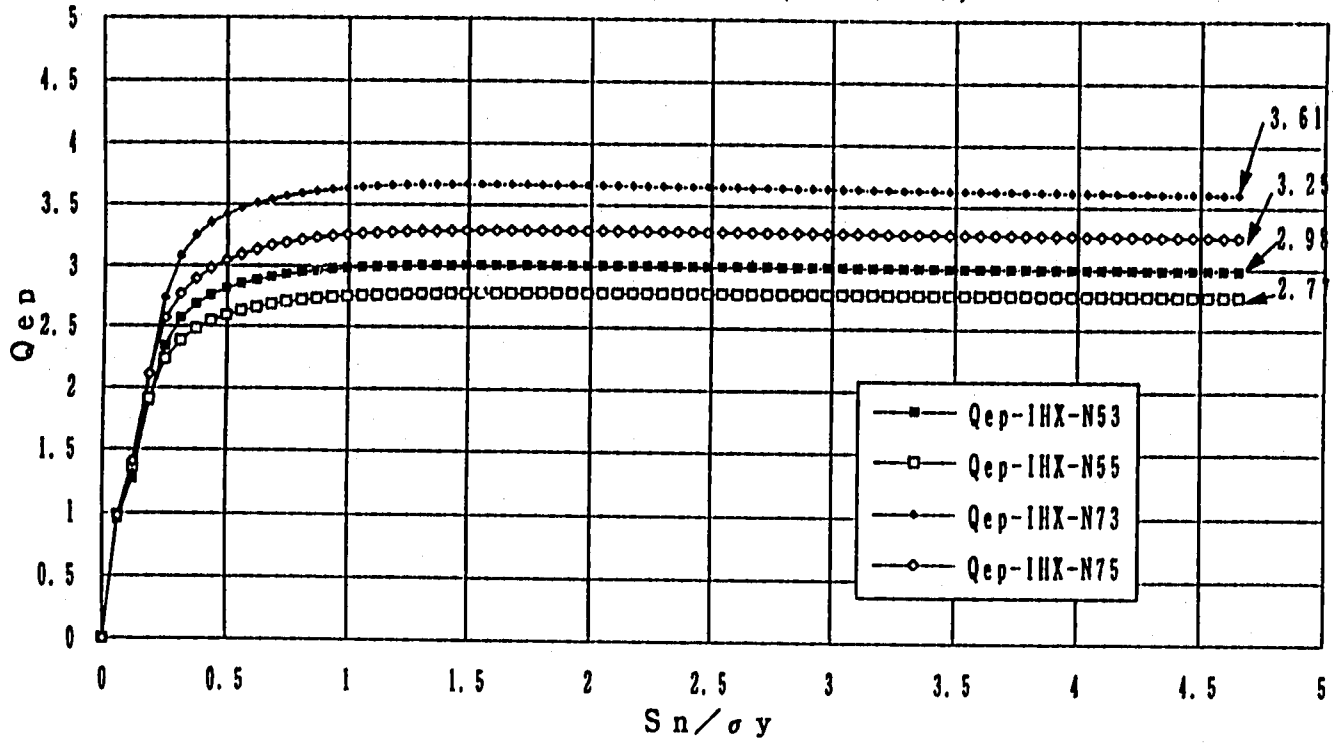


Fig. 2.4.16 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (評価断面-1, IHX-Y, n=5, 7, $\nu=0.3, 0.5$)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面-2, IHX (K=1.37)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面-2, IHX (K=1.37)

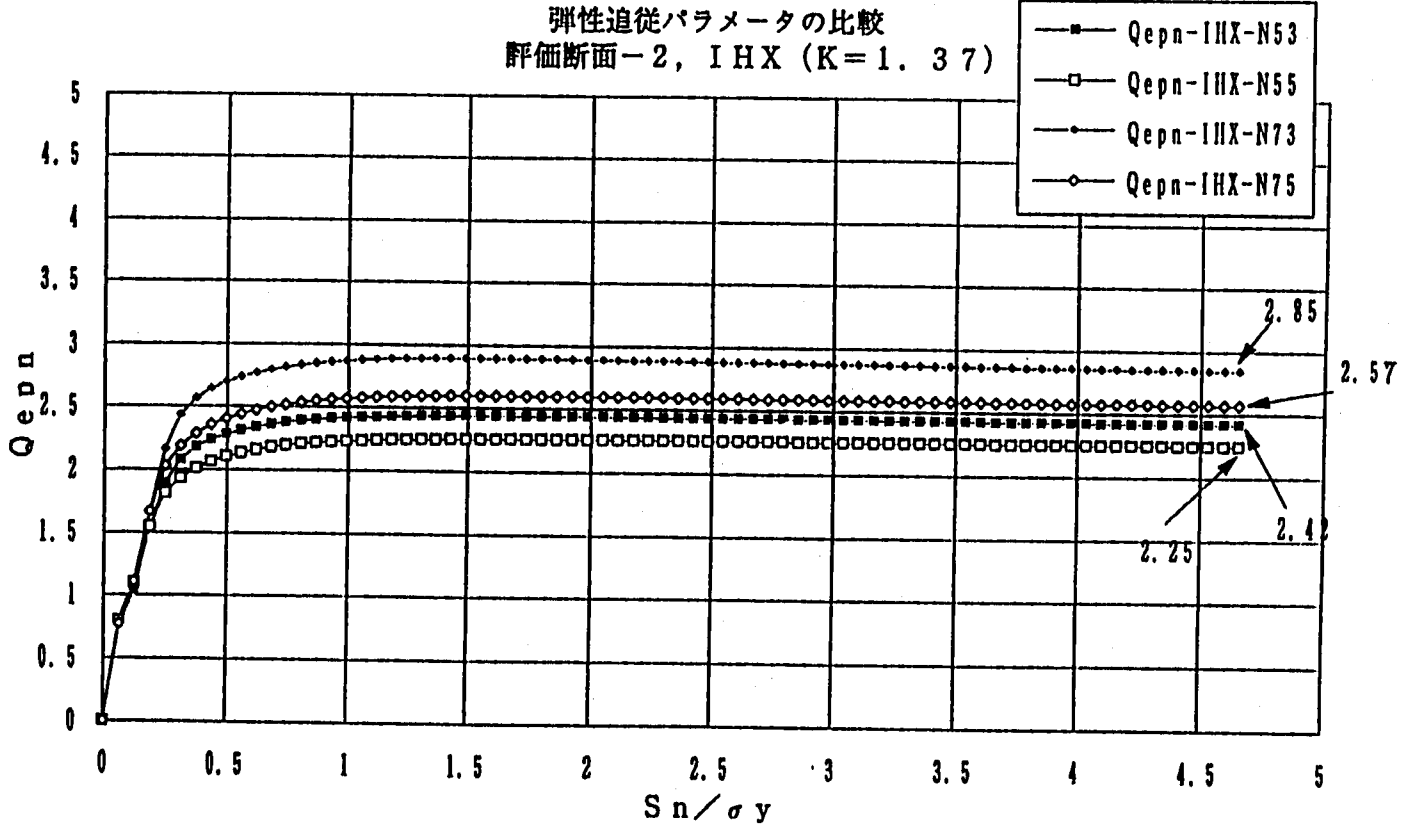


Fig. 2.4.17 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (評価断面-2, IHX-Y, n=5, 7, $\nu=0.3, 0.5$)

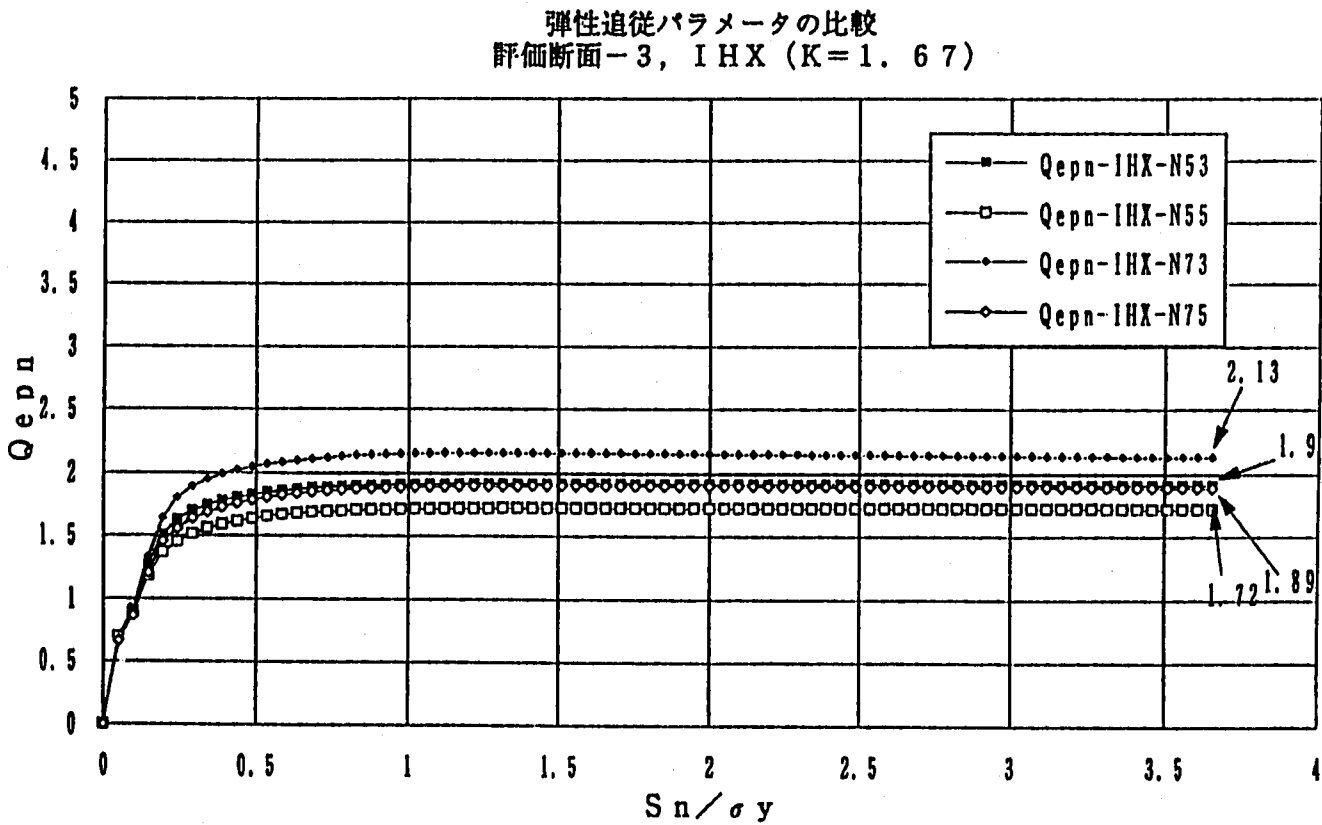
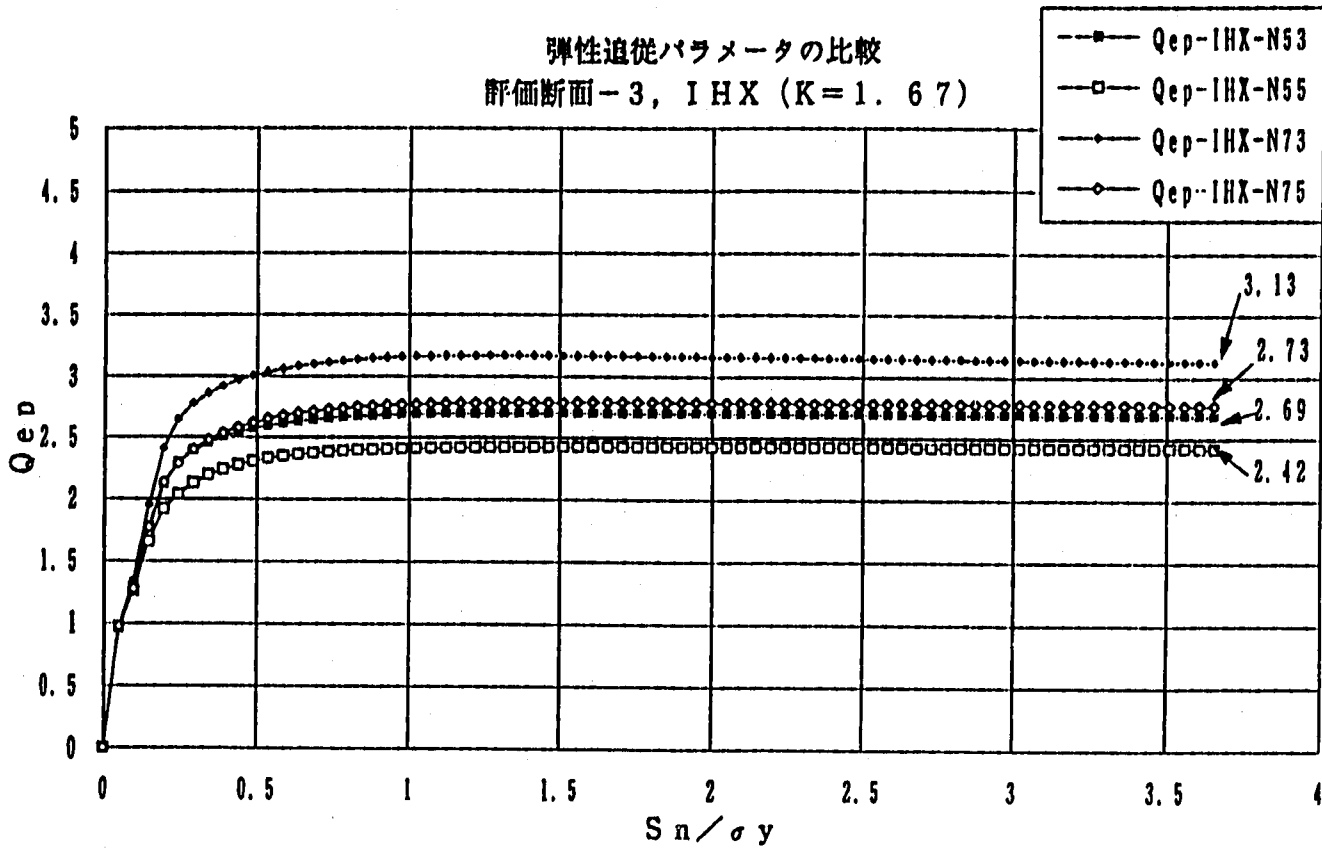
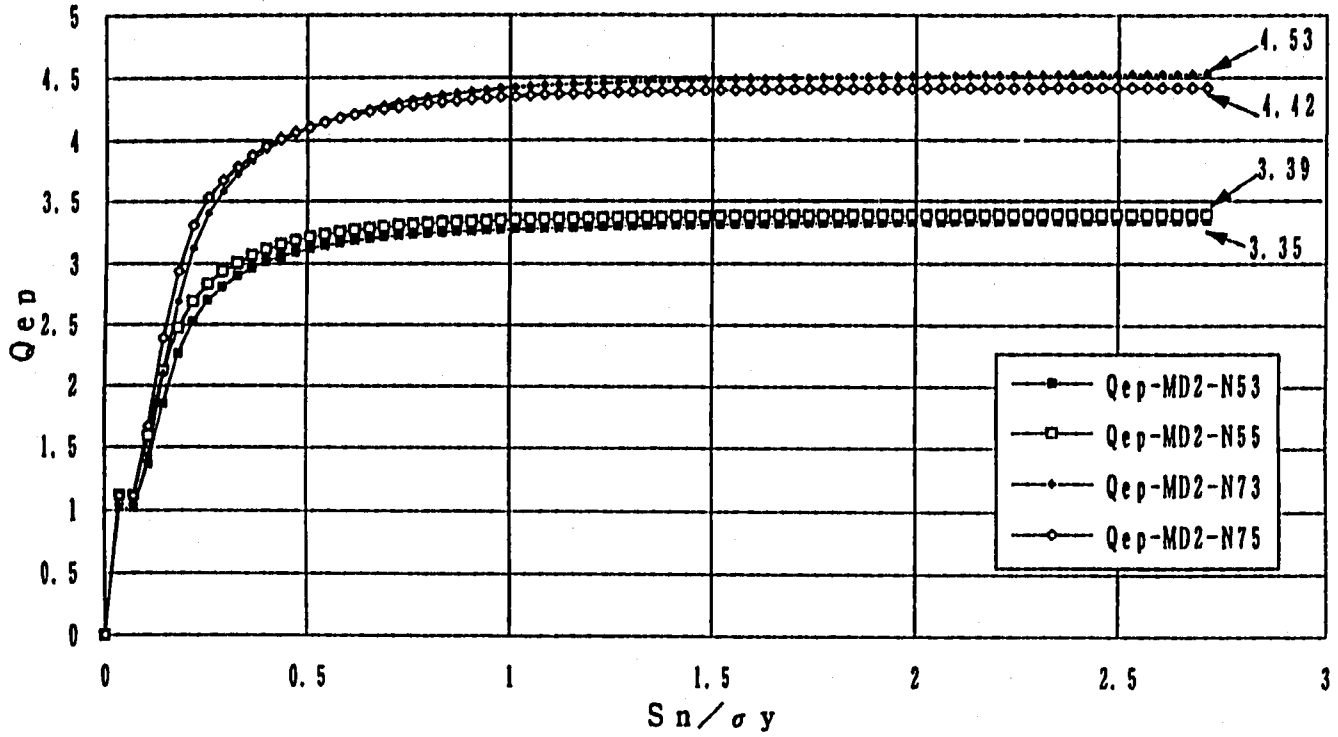


Fig. 2.4.18 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
(評価断面-3, IHX-Y, n=5, 7, $\nu=0.3, 0.5$)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面-1, MD2 (K=1.14)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面-1, MD2 (K=1.14)

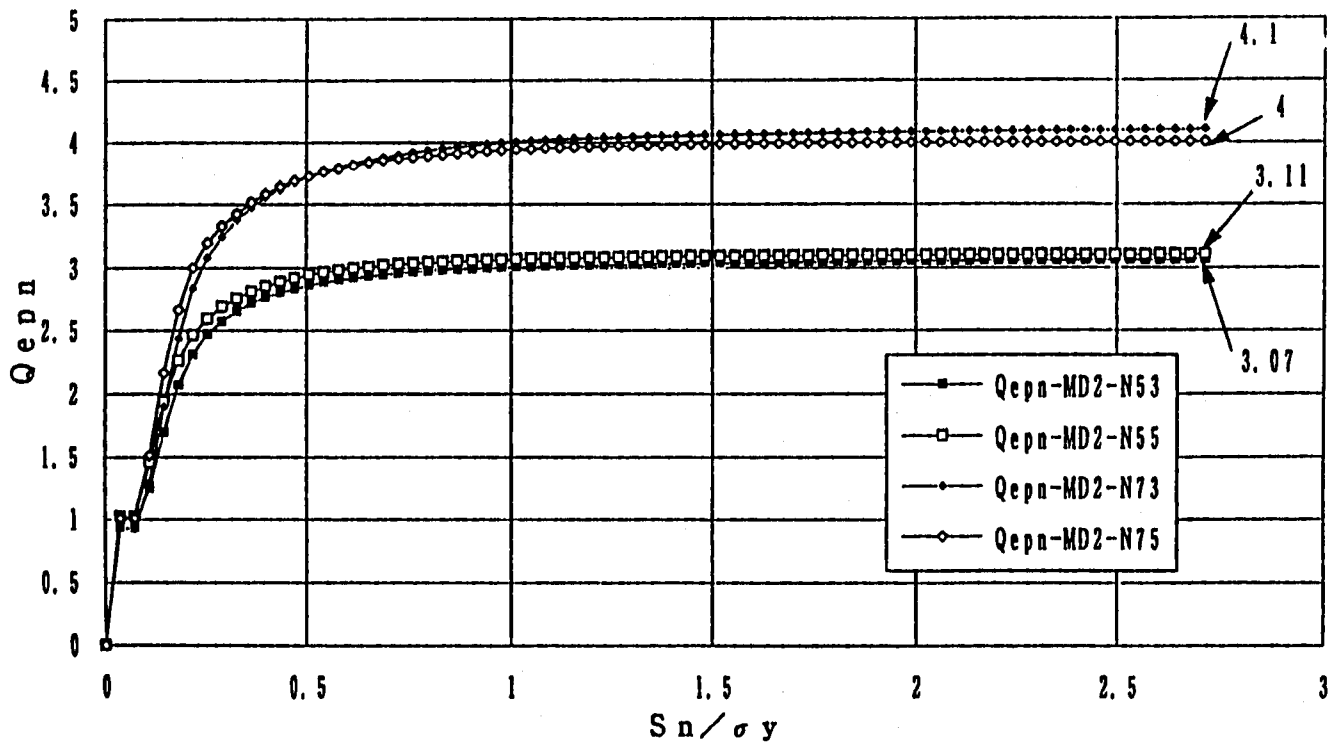
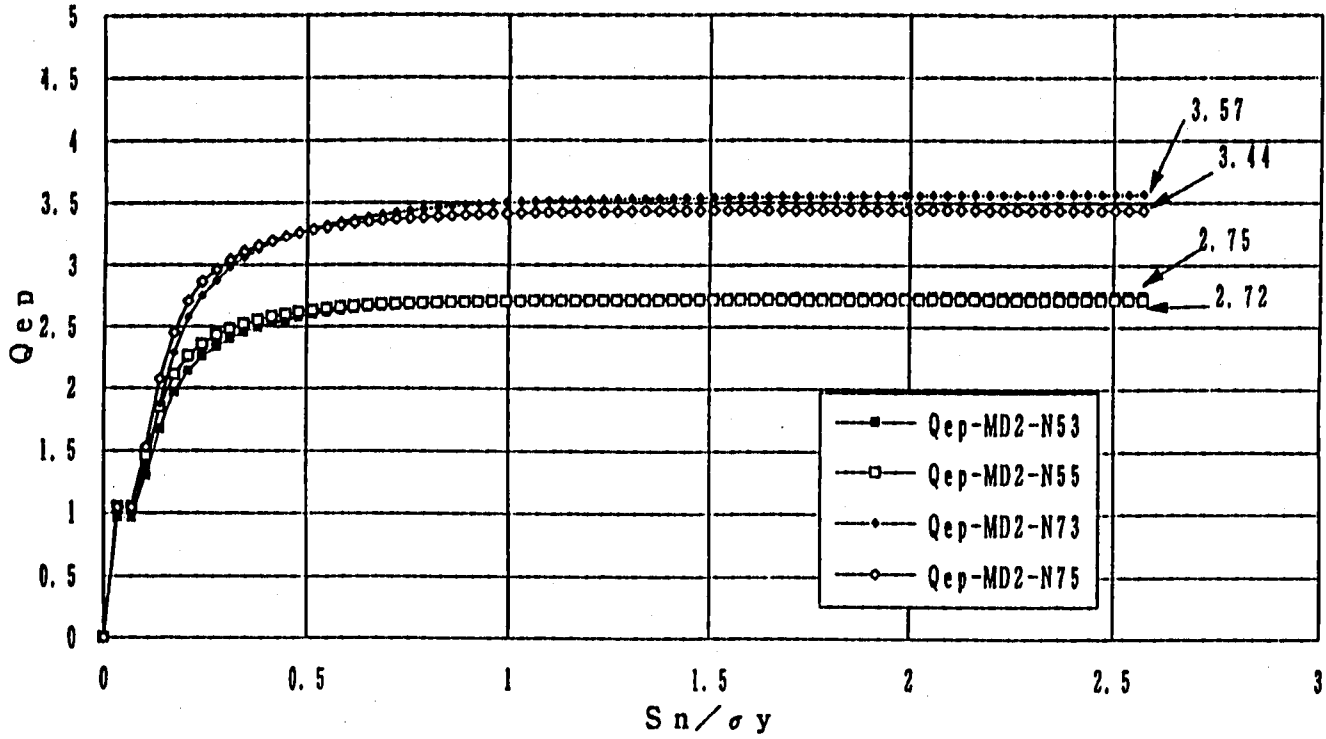


Fig. 2.4.19 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
 (評価断面-1, MD2-Y, n=5, 7, $\nu=0.3, 0.5$)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面-2, MD2 (K=1.36)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面-2, MD2 (K=1.36)

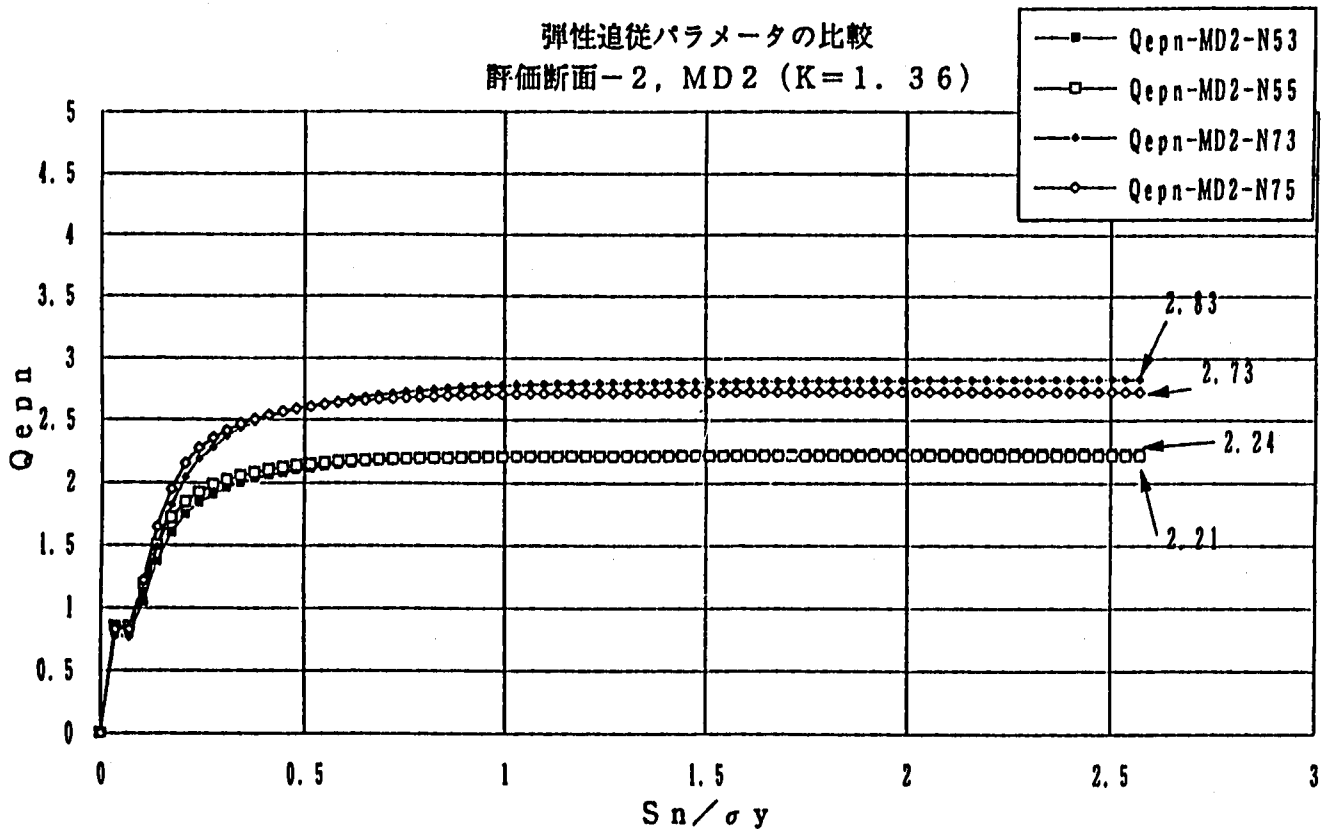
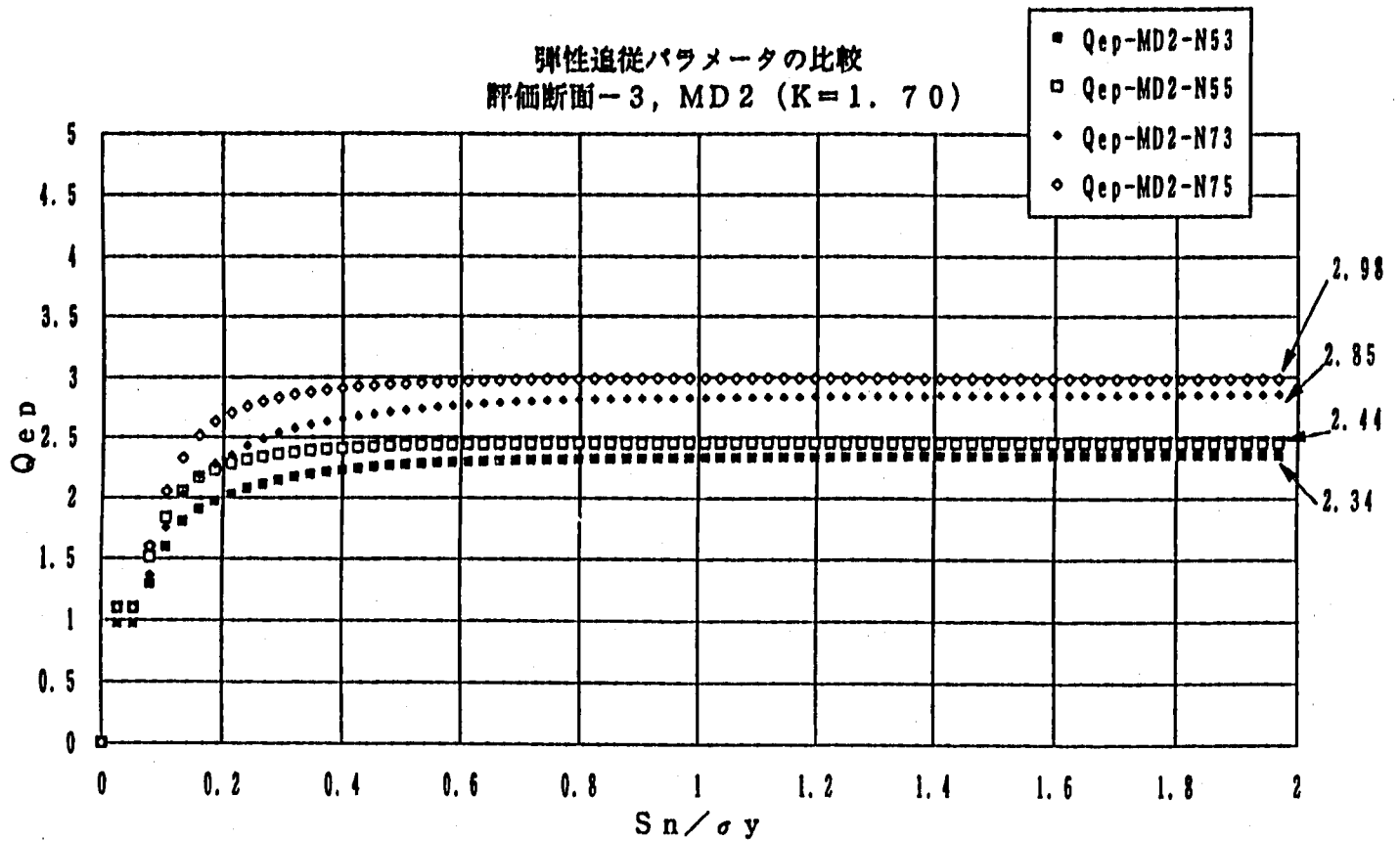


Fig. 2.4.20 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (評価断面-2, MD2-Y, n=5, 7, $\nu=0.3, 0.5$)

弾性追従パラメータの比較
評価断面-3, MD2 (K=1.70)



弾性追従パラメータの比較
評価断面-3, MD2 (K=1.7)

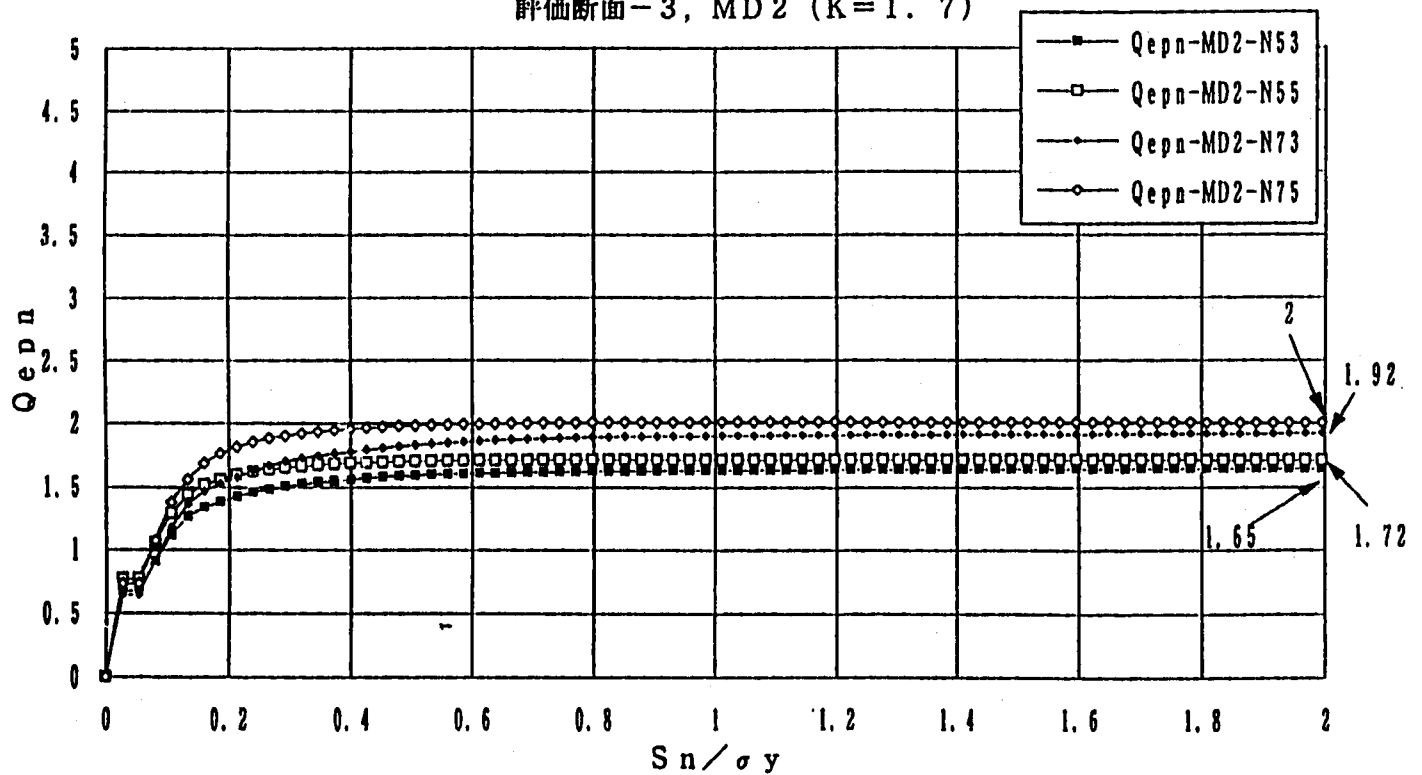
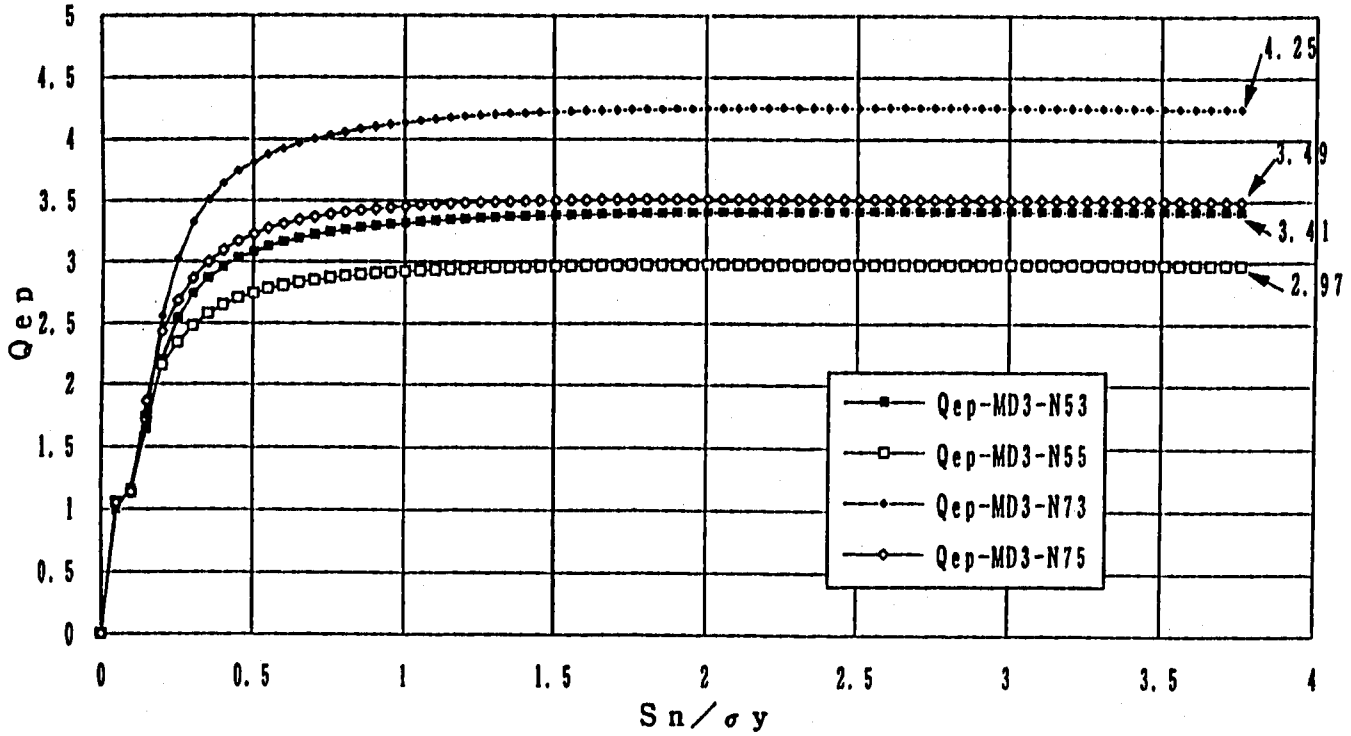


Fig. 2.4.21 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
(評価断面-3, MD2-Y, n=5, 7, ν=0.3, 0.5)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面-1, MD3 (K=1.07)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面-1, MD3 (K=1.07)

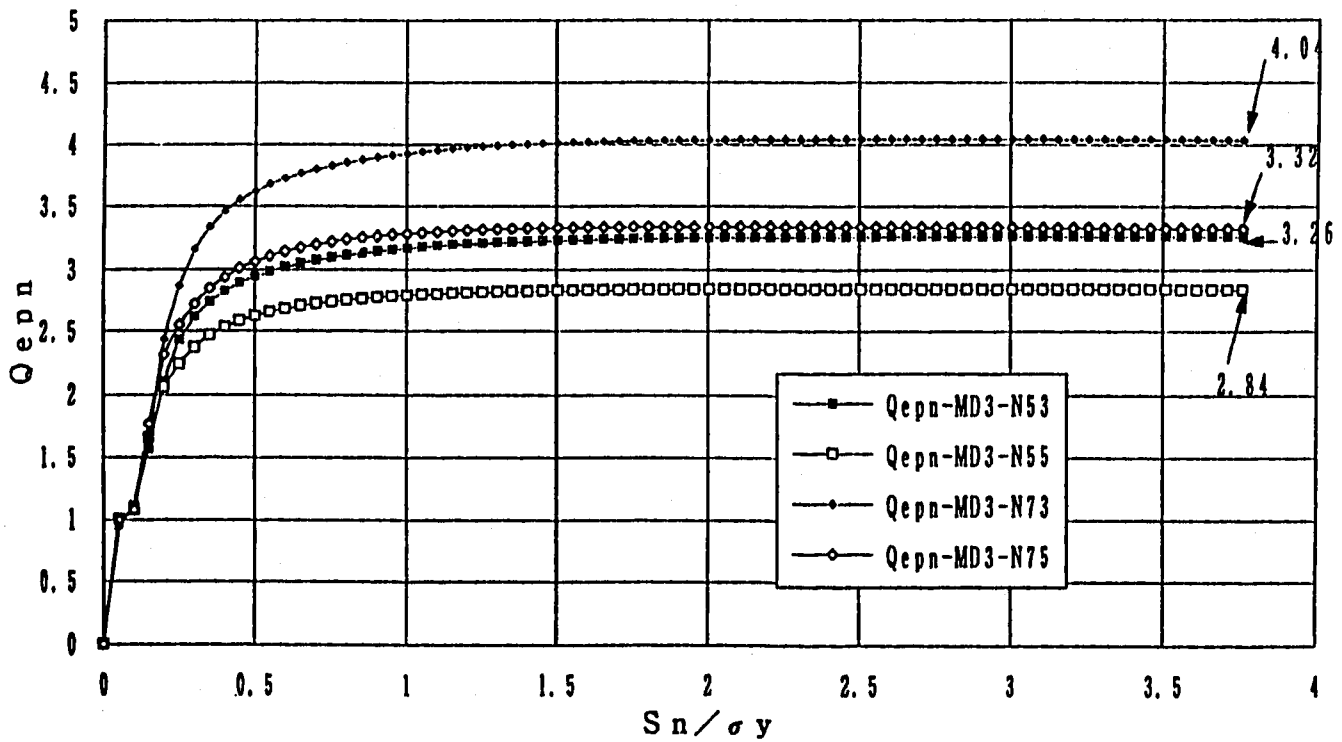
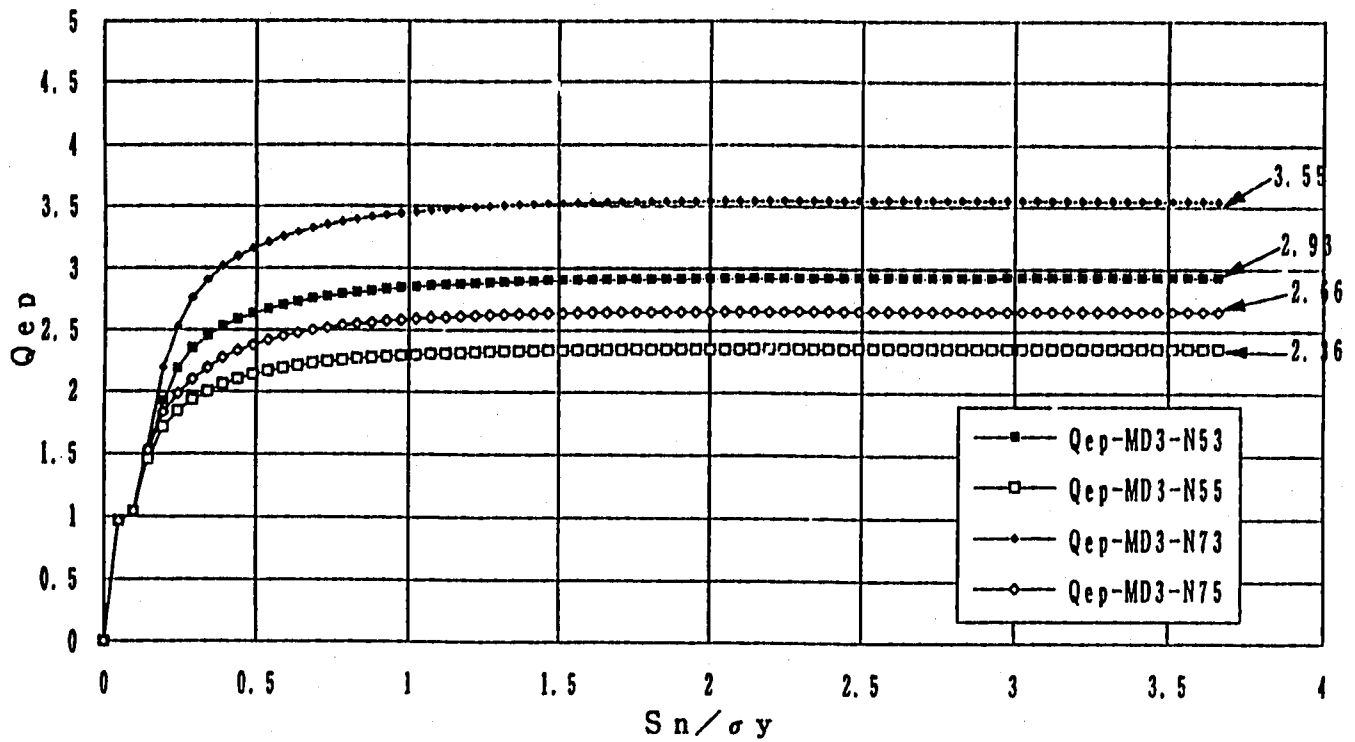


Fig. 2.4.22 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (評価断面-1、MD3-Y、 $n=5, 7$ 、 $\nu=0.3, 0.5$)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面-2, MD3 (K=1.19)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面-2, MD3 (K=1.19)

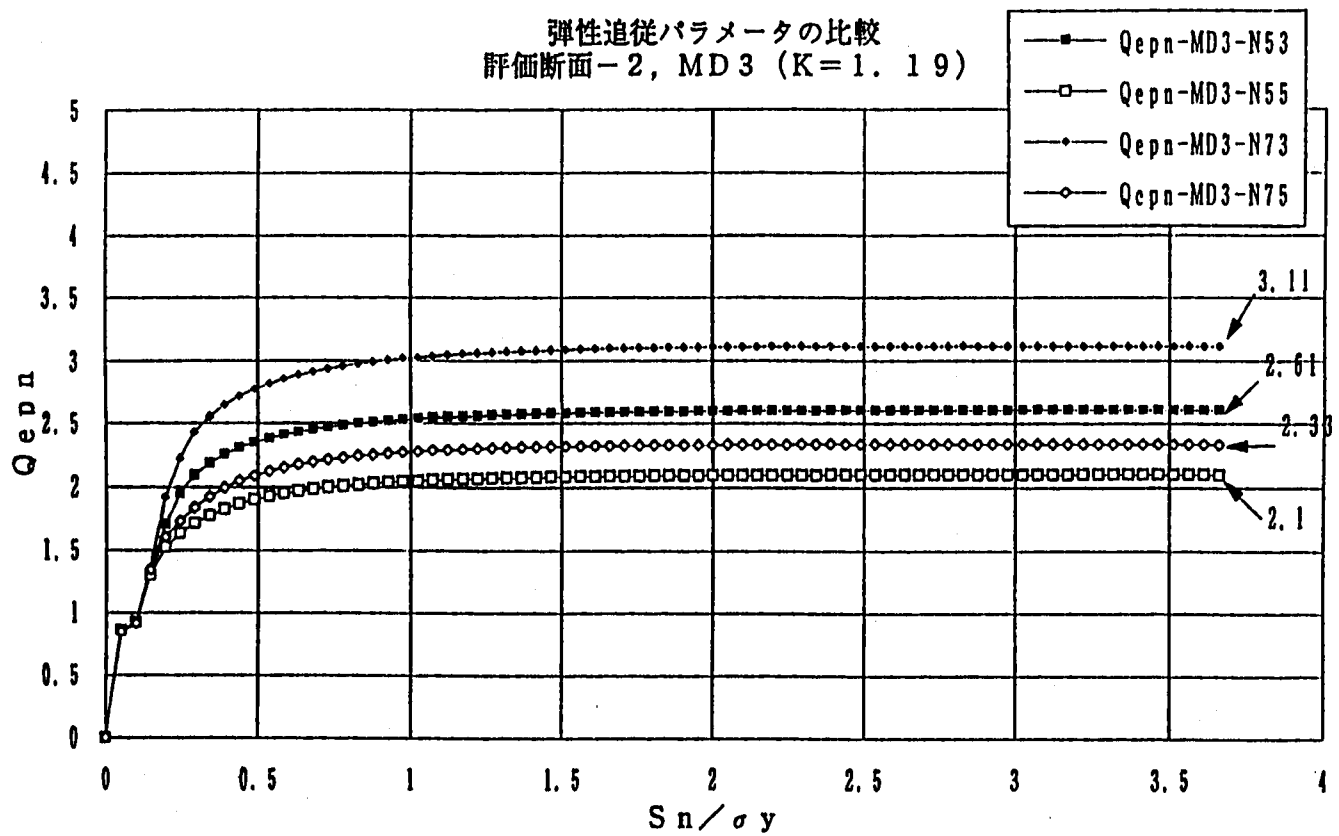
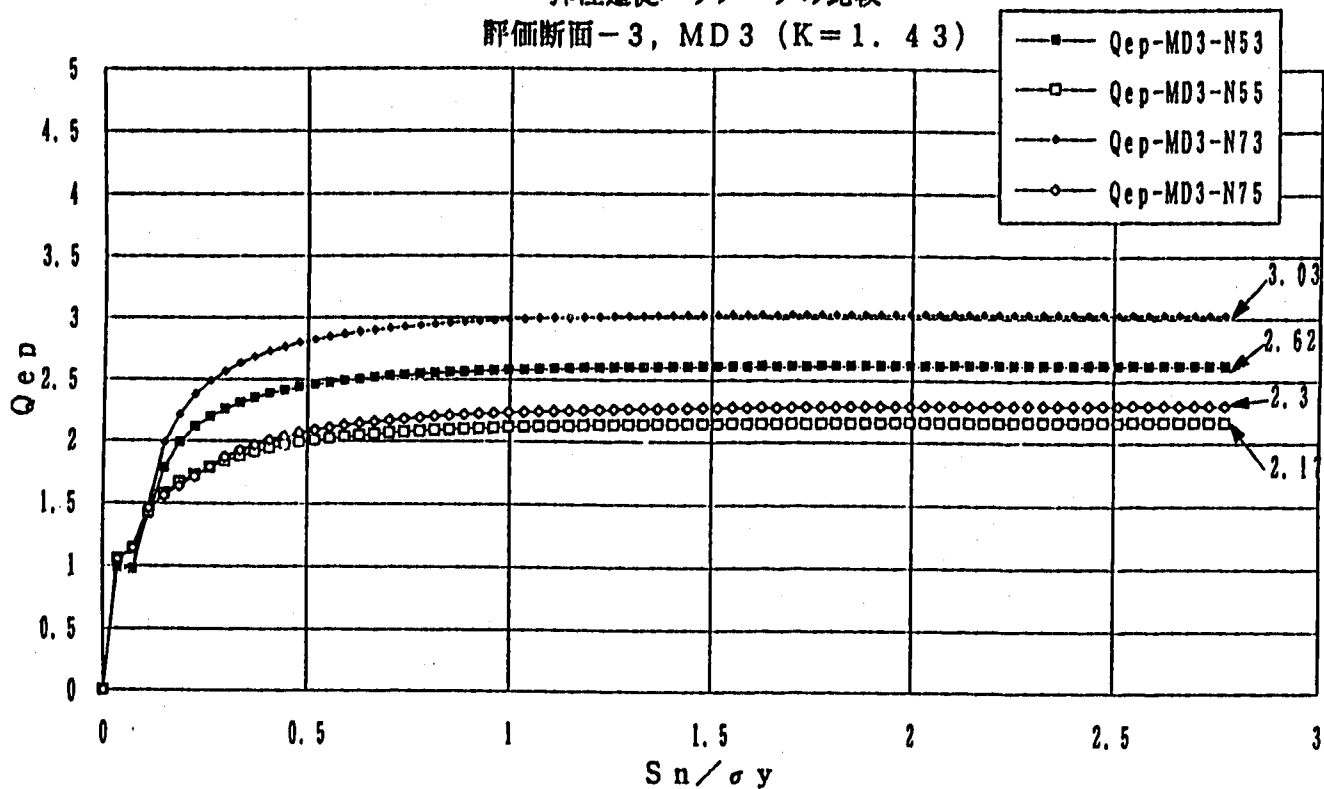


Fig. 2.4.23 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (評価断面-2, MD3-Y, $n=5, 7$, $\nu=0.3, 0.5$)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面-3, MD3 (K=1.43)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面-3, MD3 (K=1.43)

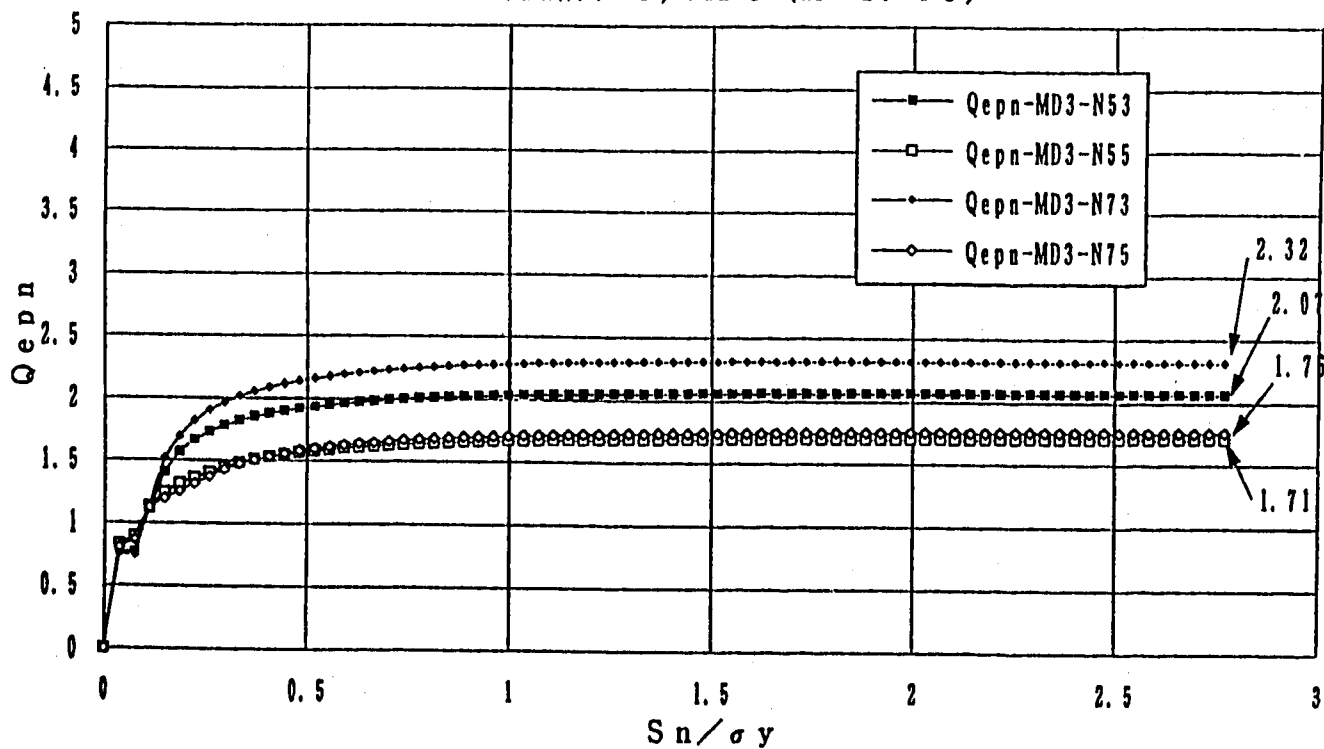
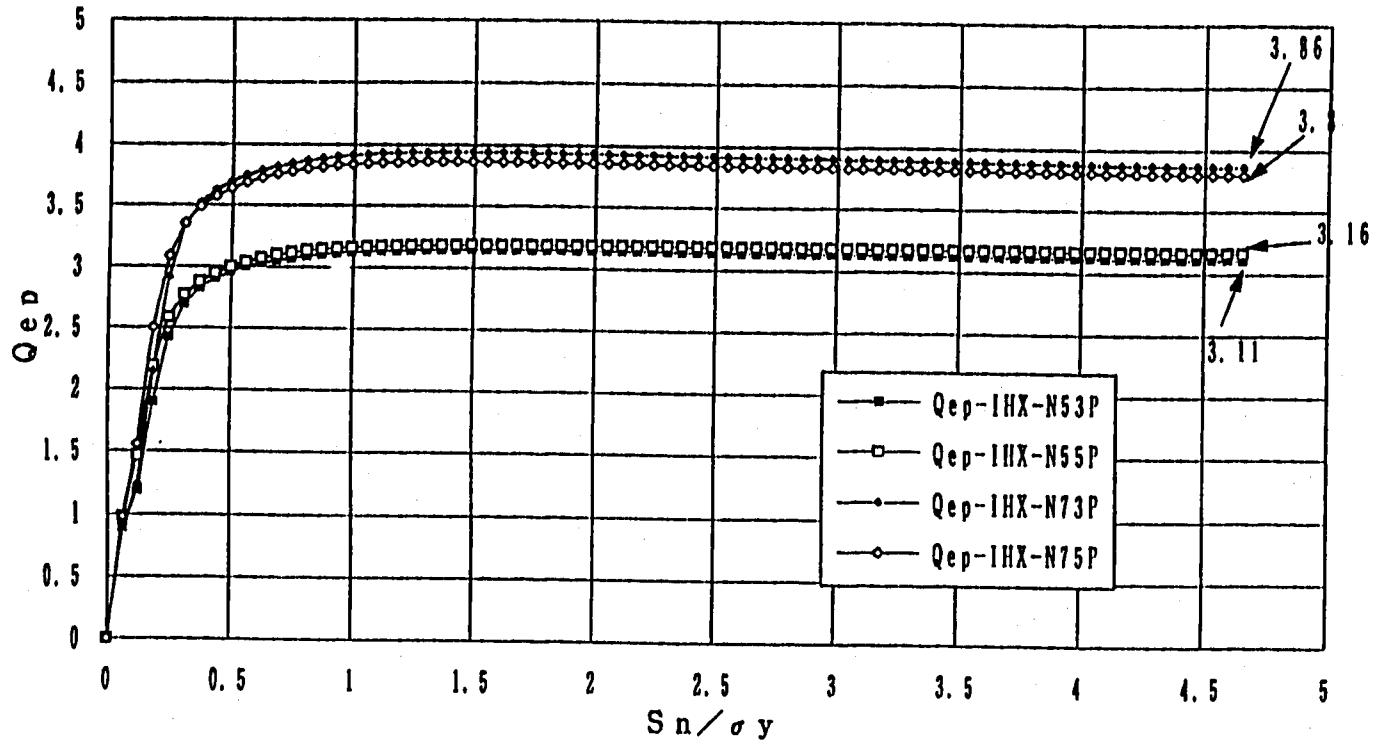


Fig. 2.4.24 同一評価断面による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (評価断面-3, MD3-Y, n=5, 7, $\nu=0.3, 0.5$)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面 (ピーク), IHX (K=1.37)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面 (ピーク), IHX (K=1.37)

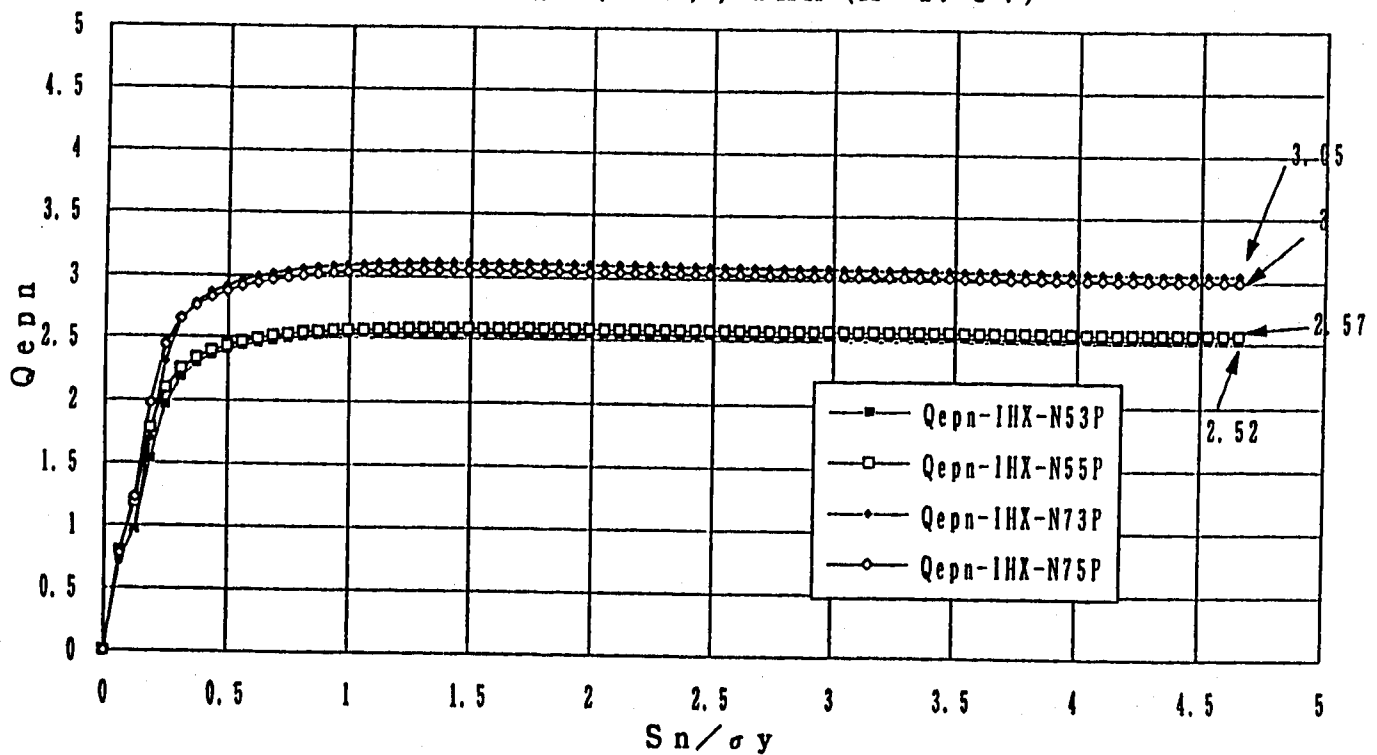
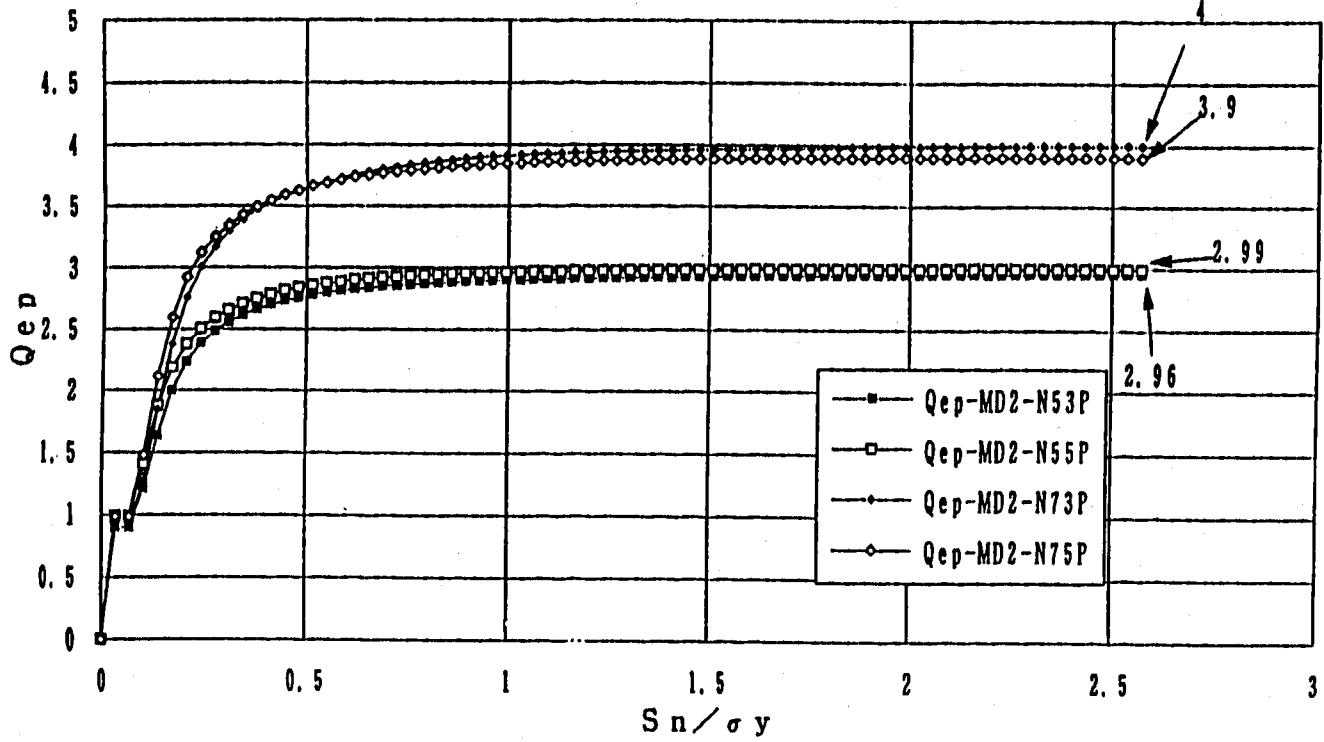


Fig. 2.4.25 最大応力発生評価断面同志による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (IHX-Y, n=5, 7, $\nu=0.3, 0.5$)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面 (ピーク), MD2 (K=1.36)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面 (ピーク), MD2 (K=1.36)

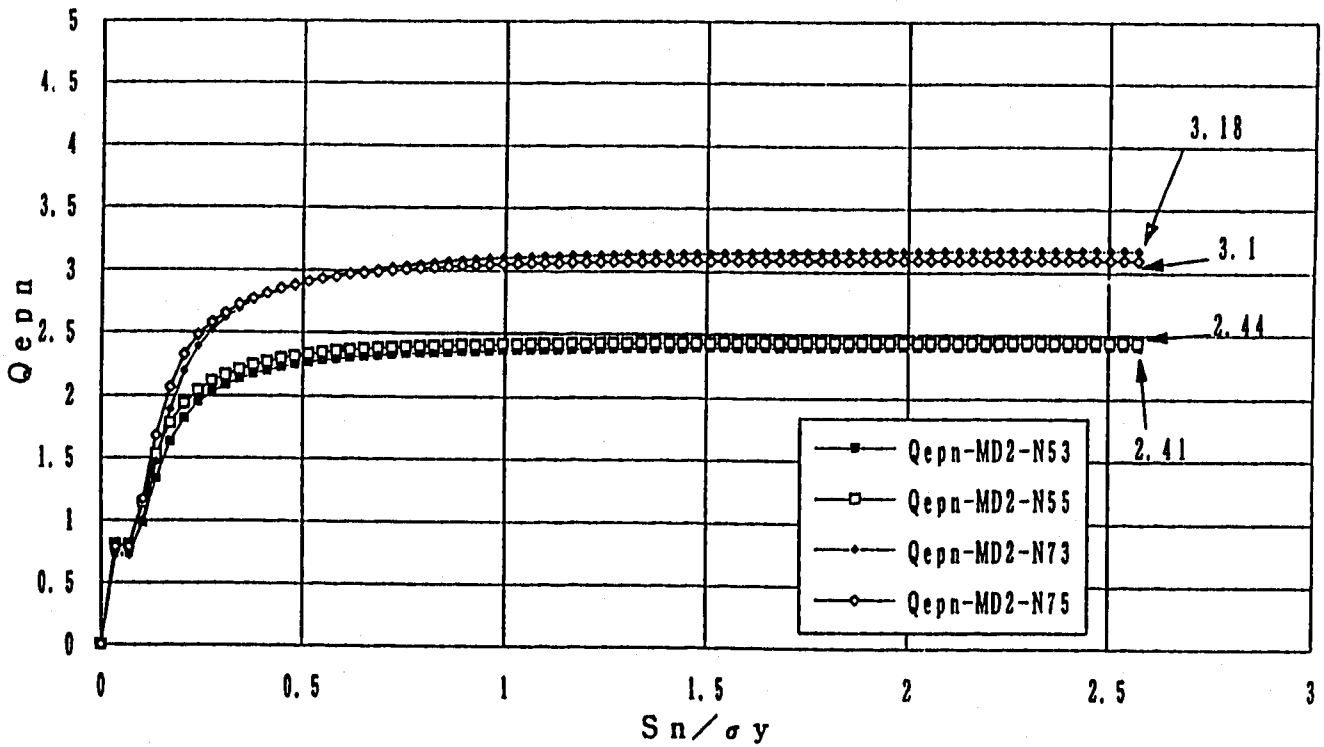
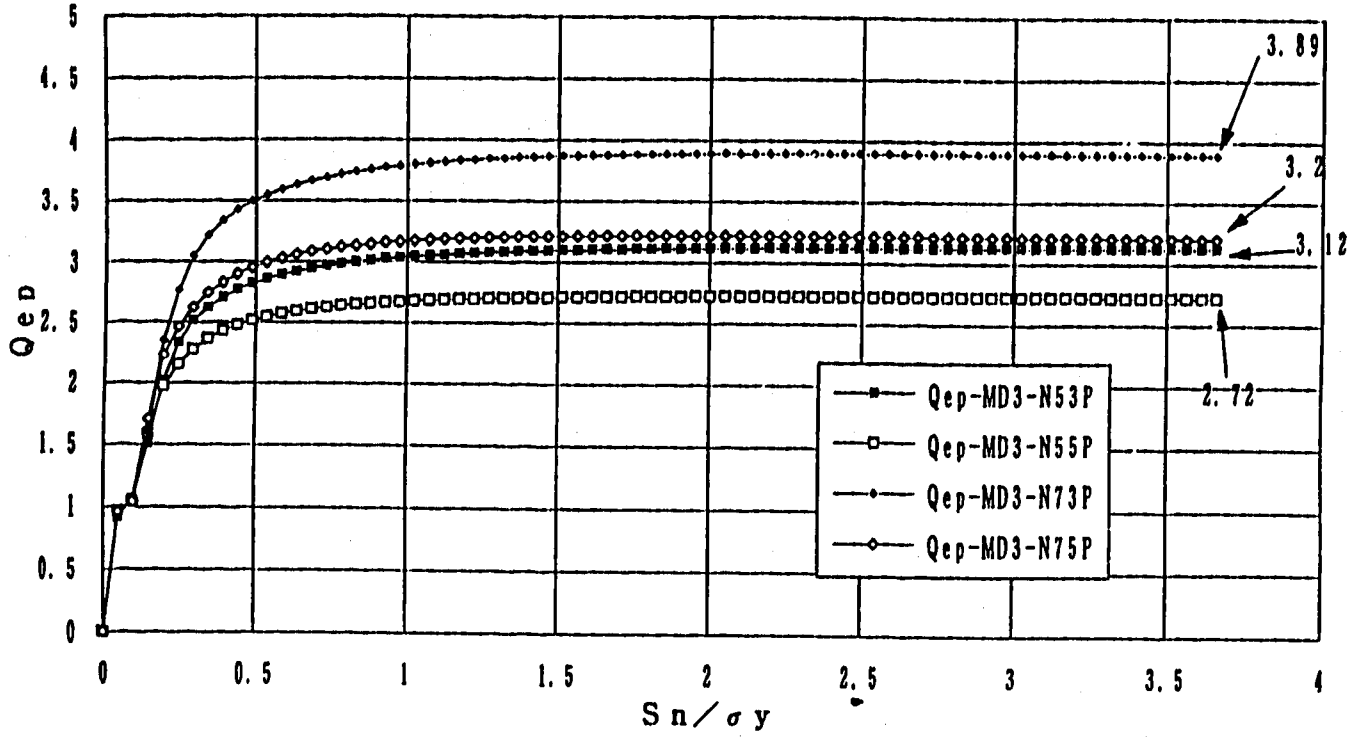


Fig. 2.4.26 最大応力発生評価断面同志による弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (MD2-Y, n=5, 7, $\nu=0.3, 0.5$)

弾性追従パラメータの比較
 評価断面 (ピーク), MD3 (K=1.19)



弾性追従パラメータの比較
 評価断面 (ピーク), MD3 (K=1.19)

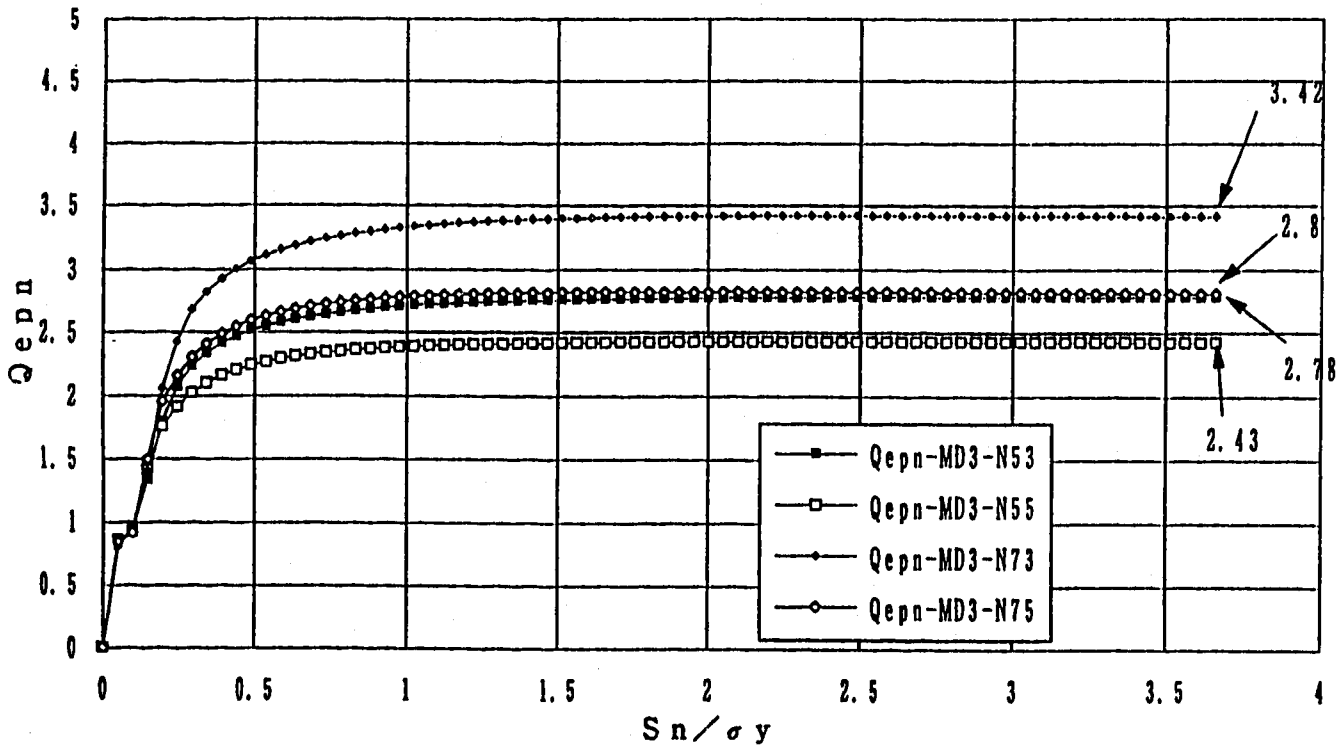
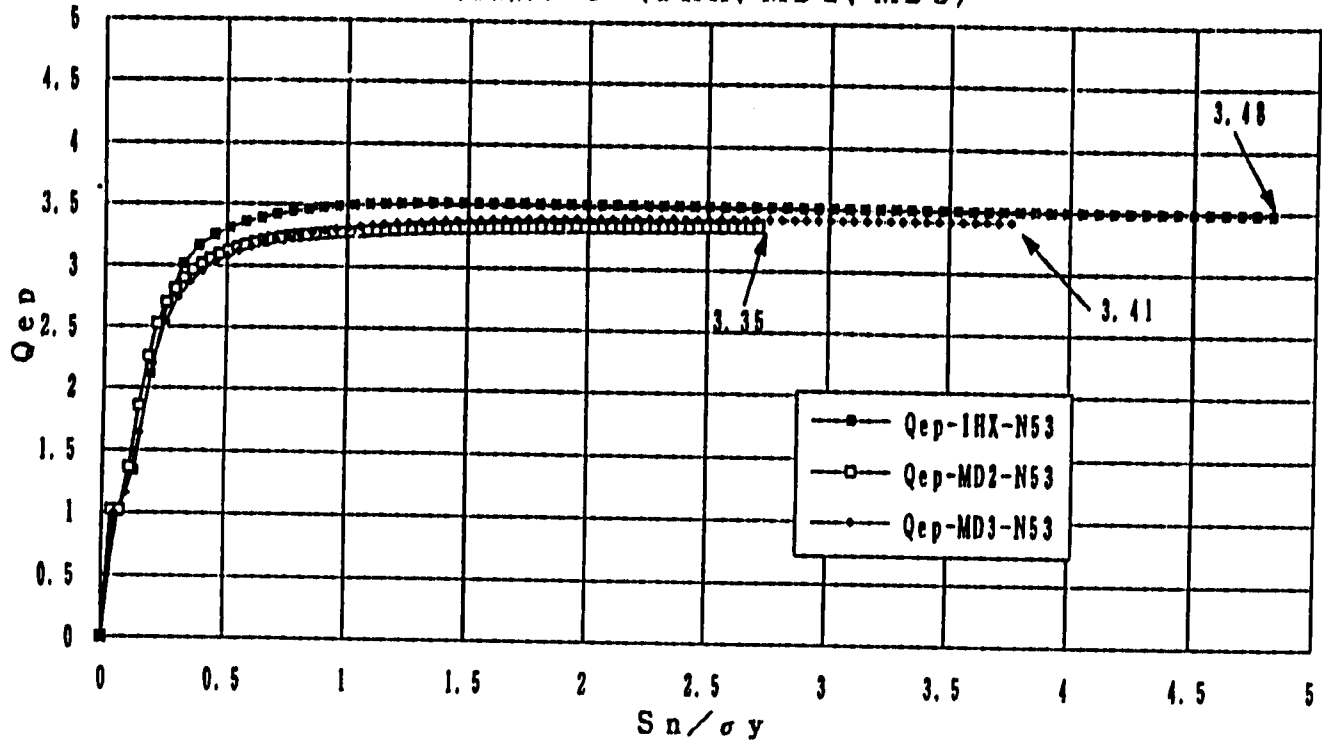


Fig. 2.4.27 最大応力発生評価断面同志による弾性追従パラメータの比較 (q_{epn}, q_{epn})
 (MD3-Y, n=5, 7, ν=0.3, 0.5)

弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.3)
 評価断面-1 (IHx、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.3)
 評価断面-1 (IHx、MD2、MD3)

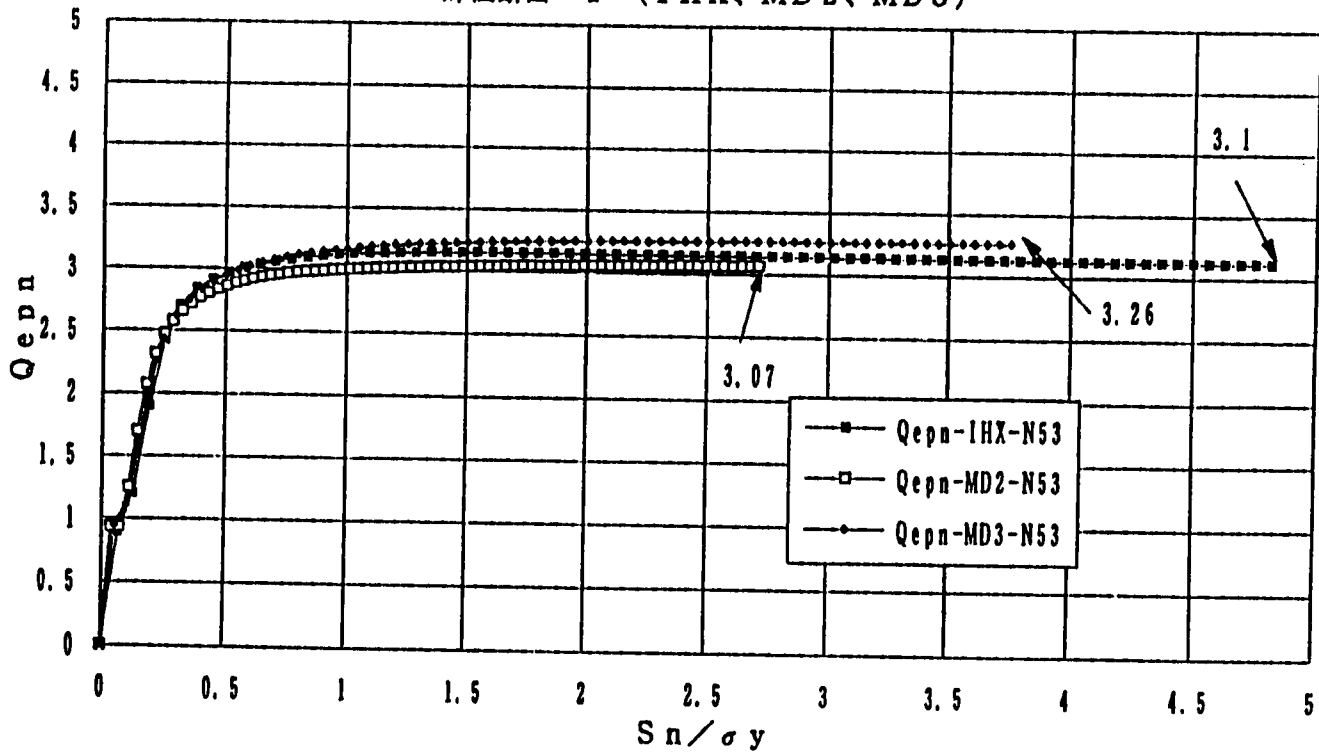
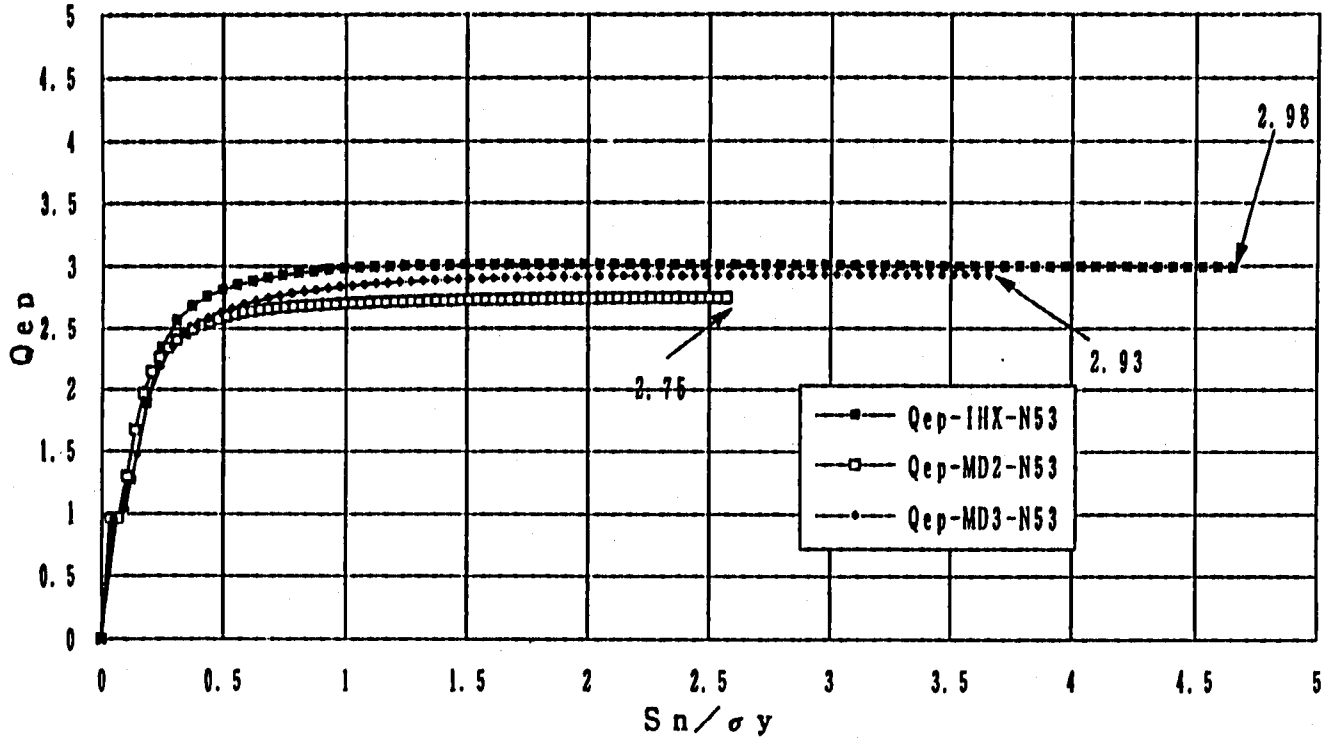


Fig. 2.4.28 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
 (n=5, $\nu=0.3$, 評価断面-1、IHx-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.3)
評価断面-2 (IH X、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.3)
評価断面-2 (IH X、MD2、MD3)

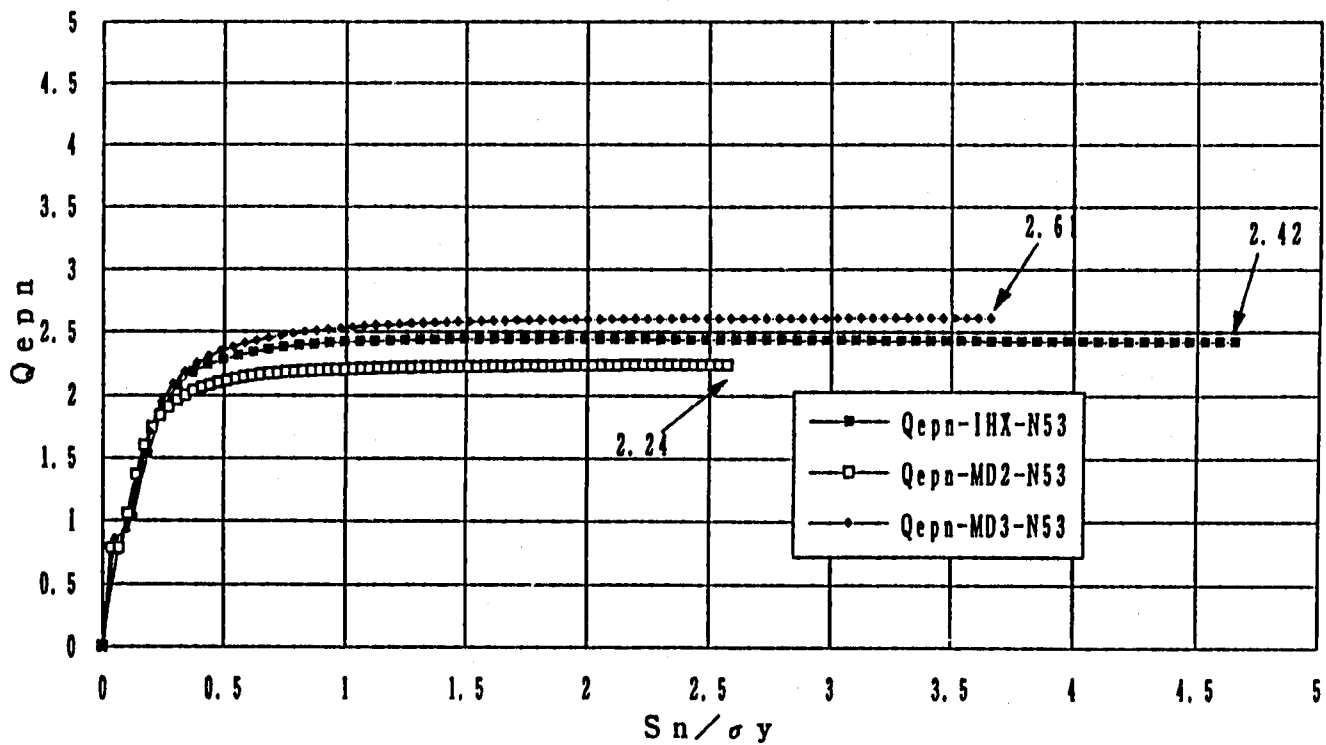
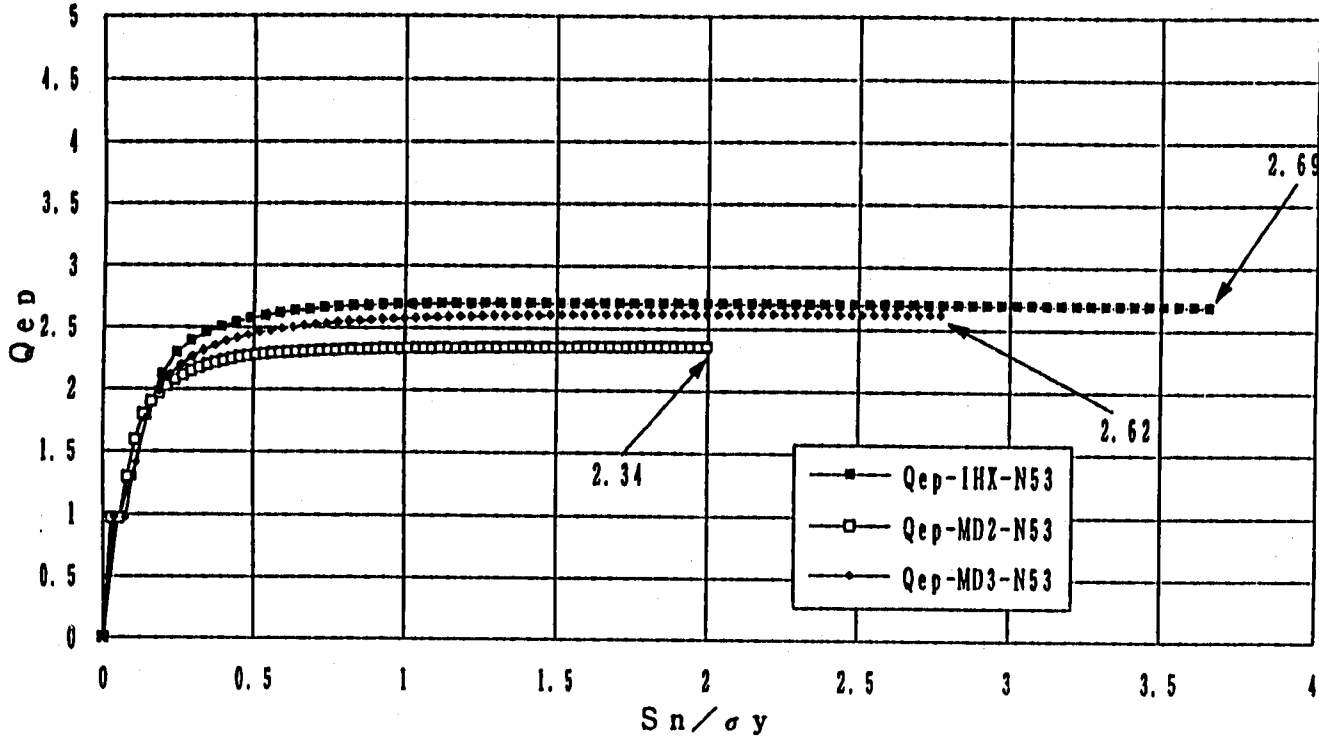


Fig. 2.4.29 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
(n=5, $\nu=0.3$, 評価断面-2、IH X-Y、MD2、MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.3)
 評価断面-3 (IH X、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.3)
 評価断面-3 (IH X、MD2、MD3)

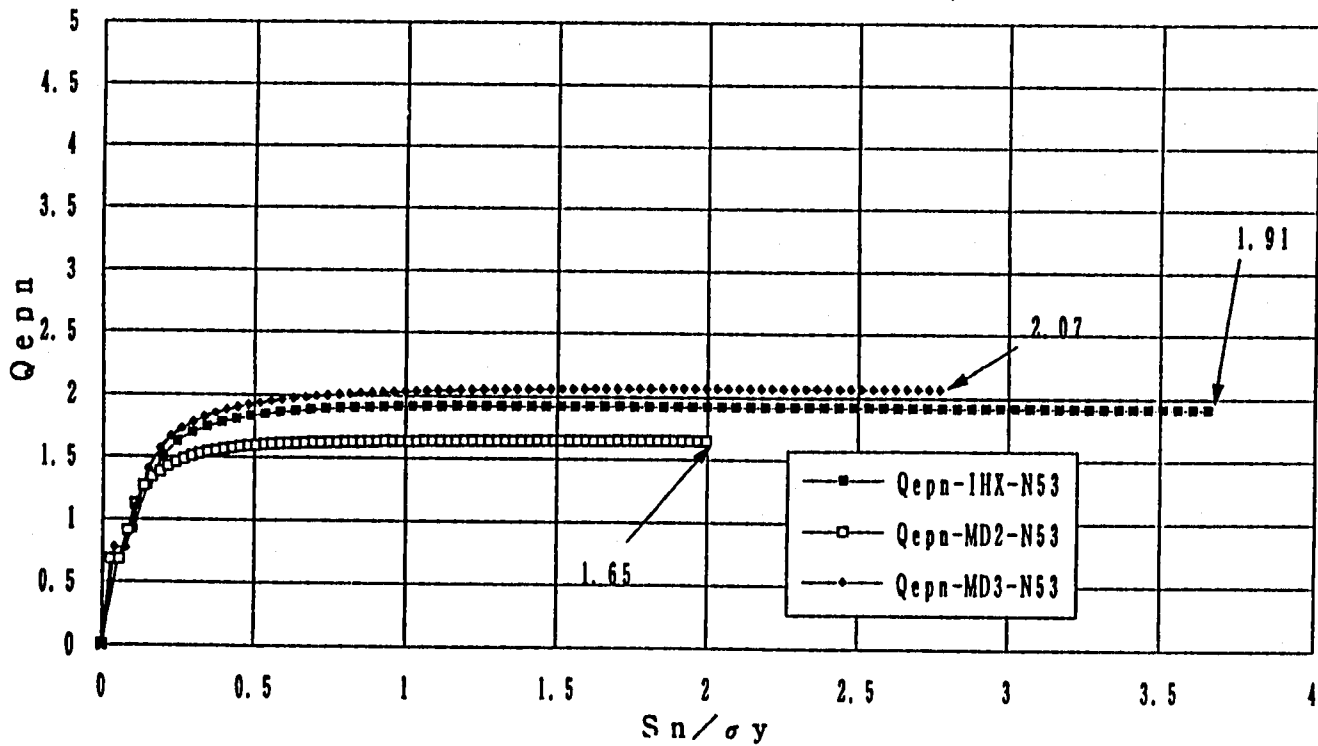
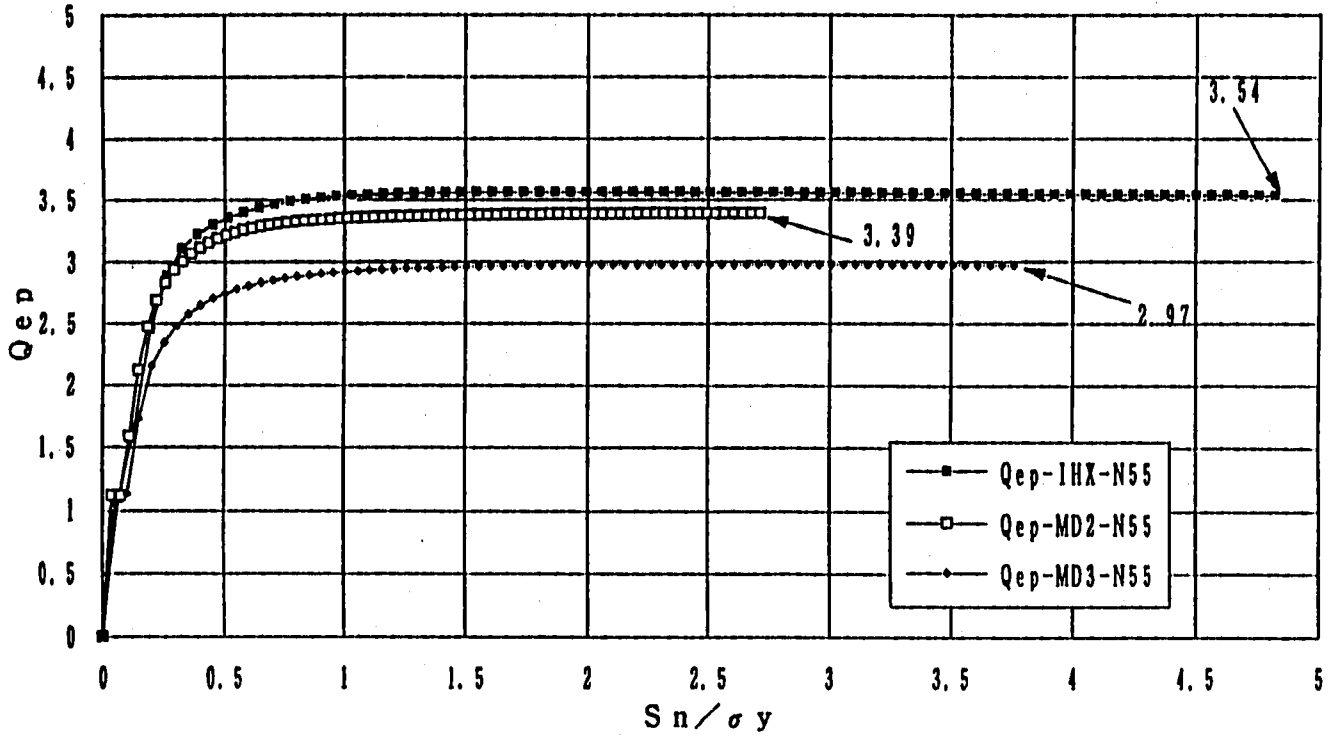


Fig. 2.4.30 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{epn}, q_{epn})
 (n=5, $\nu=0.3$, 評価断面-3、IH X-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.5)
 評価断面-1 (IHx、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.5)
 評価断面-1 (IHx、MD2、MD3)

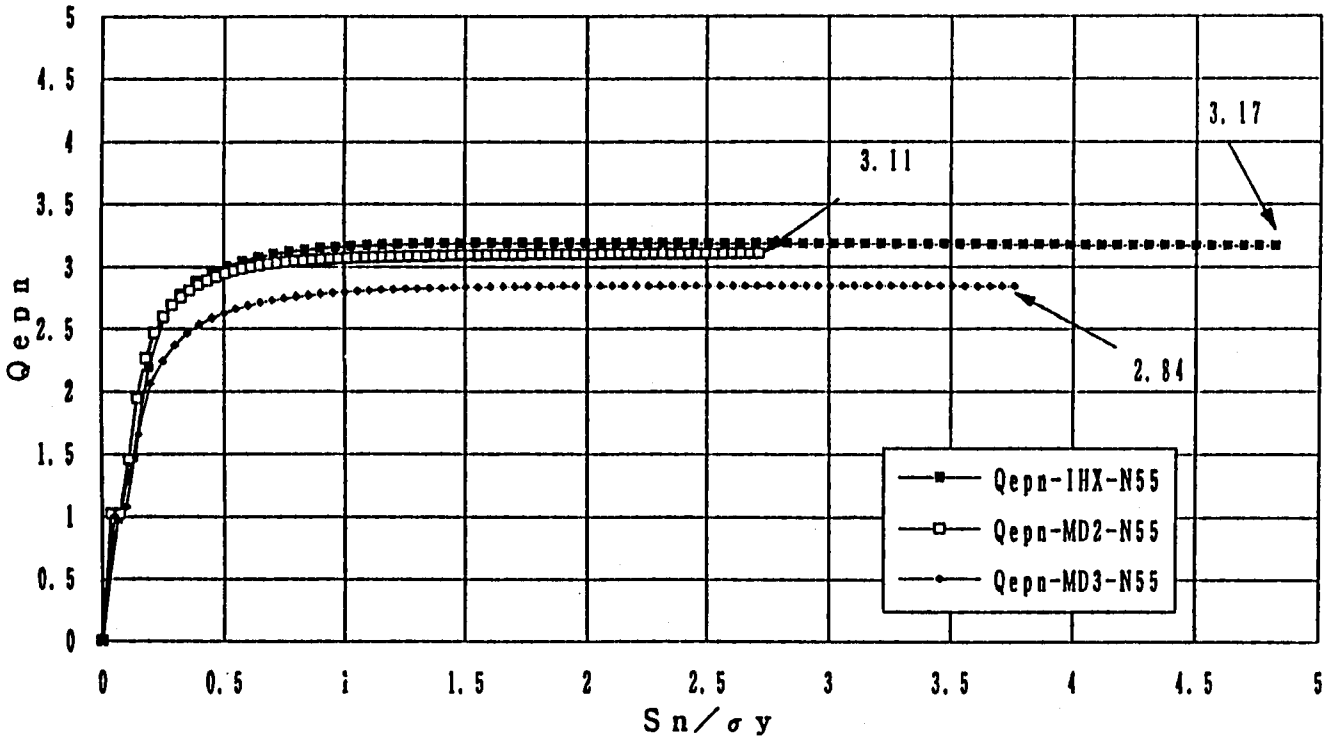
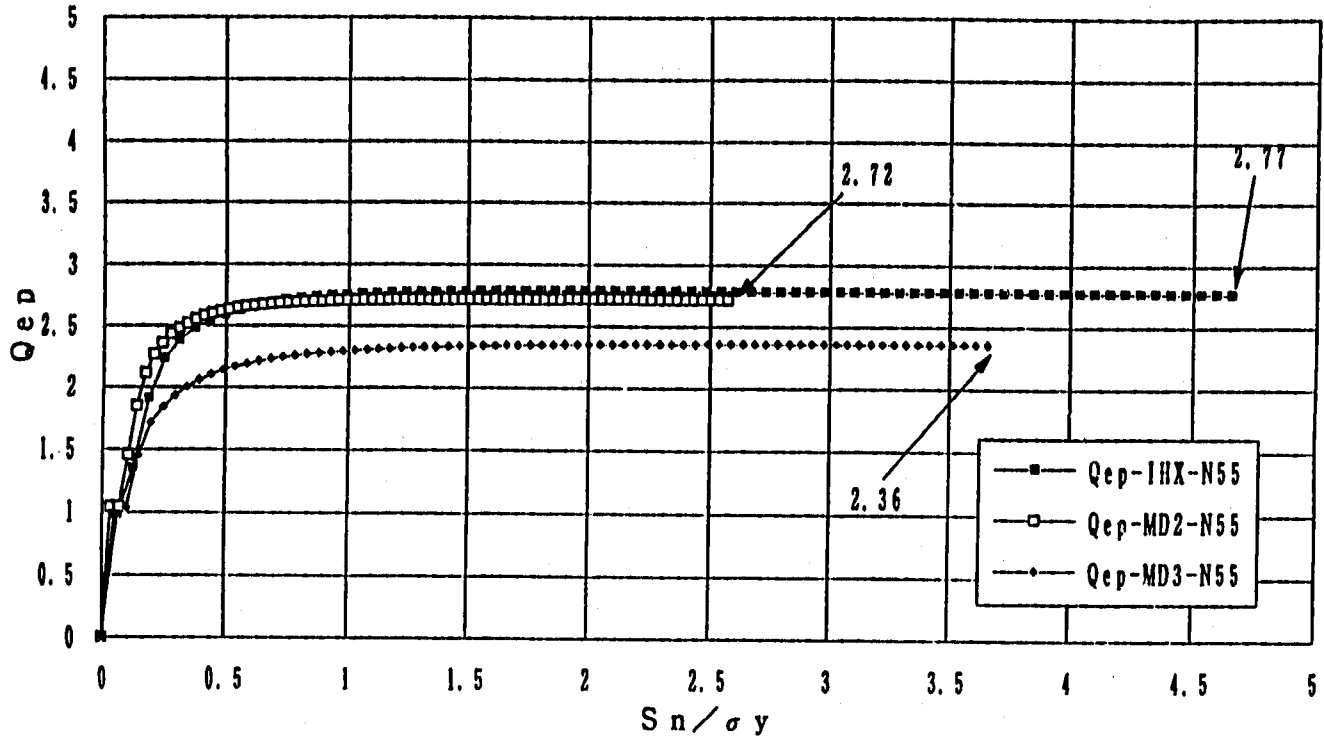


Fig. 2.4.31 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (n=5, $\nu=0.5$, 評価断面-1、IHx-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.5)
 評価断面-2 (IHX、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.5)
 評価断面-2 (IHX、MD2、MD3)

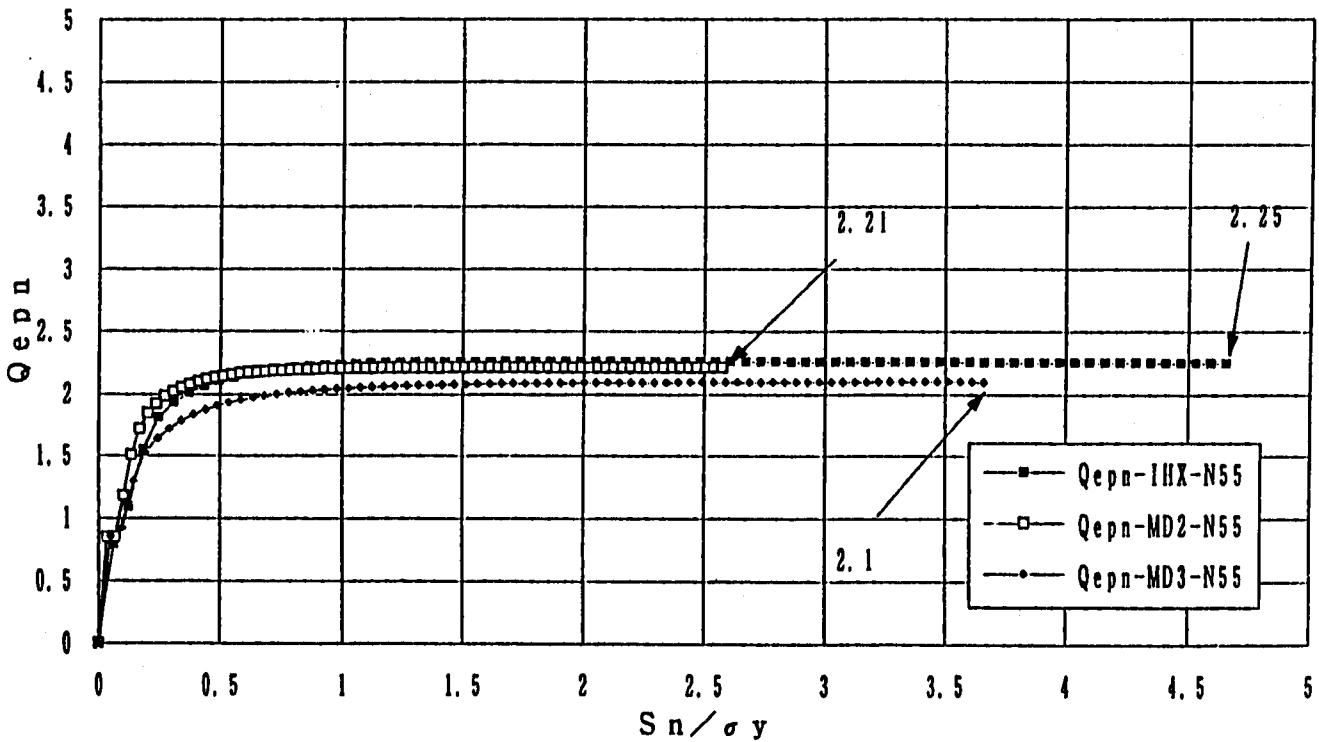
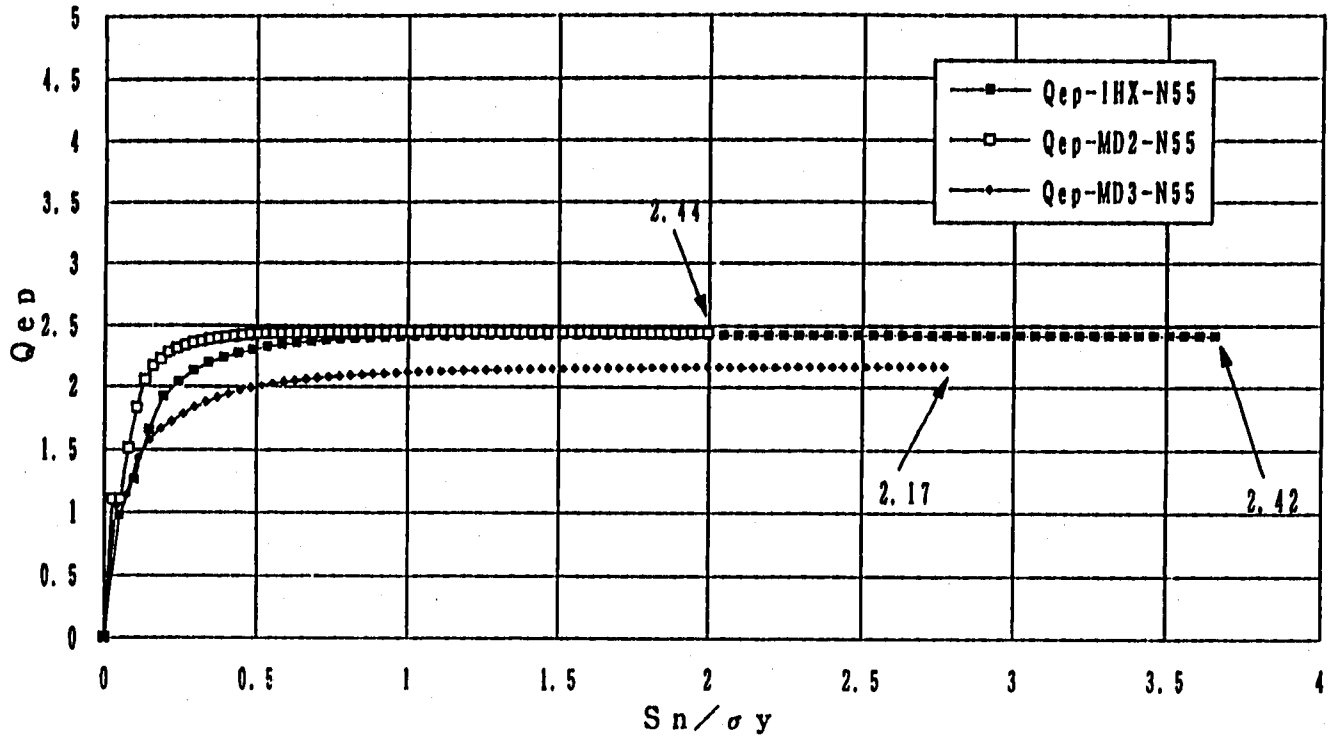


Fig. 2.4.32 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (n=5, ν=0.5, 評価断面-2、IHX-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.5)
 評価断面-3 (IH X、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=5、ポアソン比0.5)
 評価断面-3 (IH X、MD2、MD3)

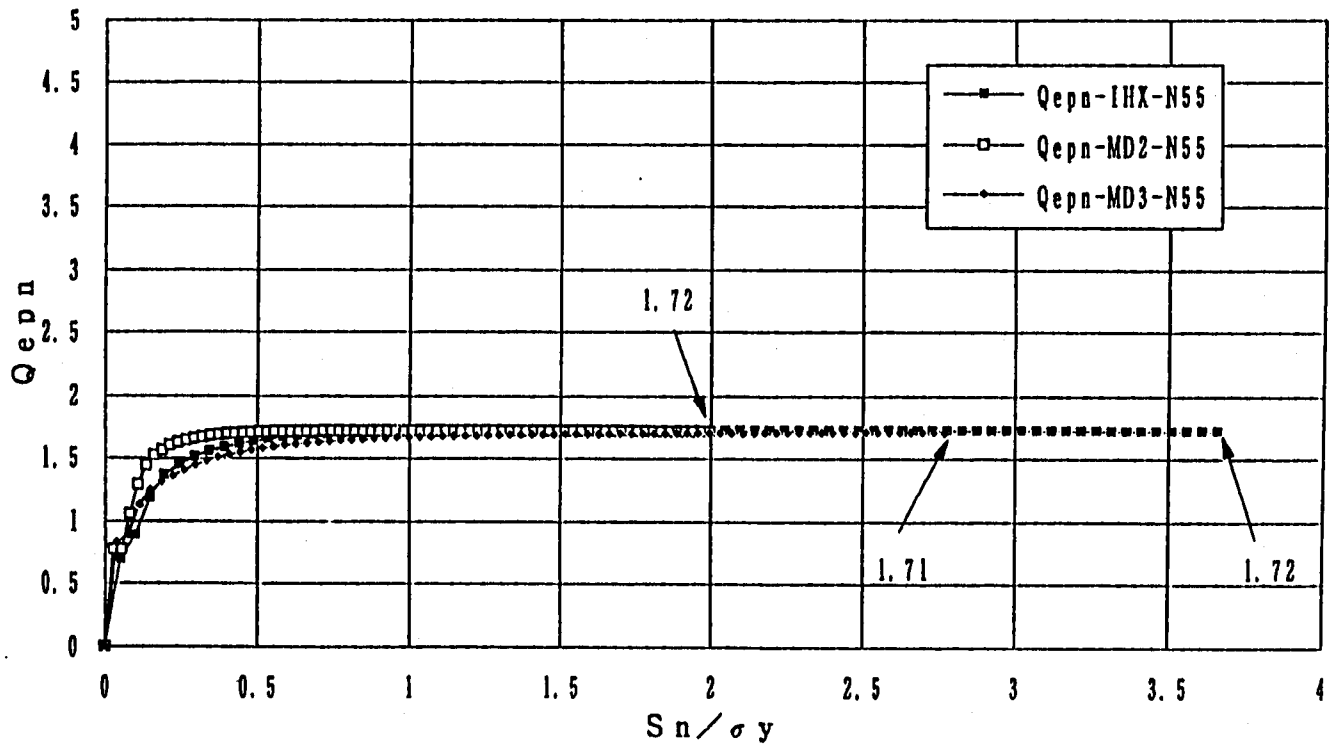
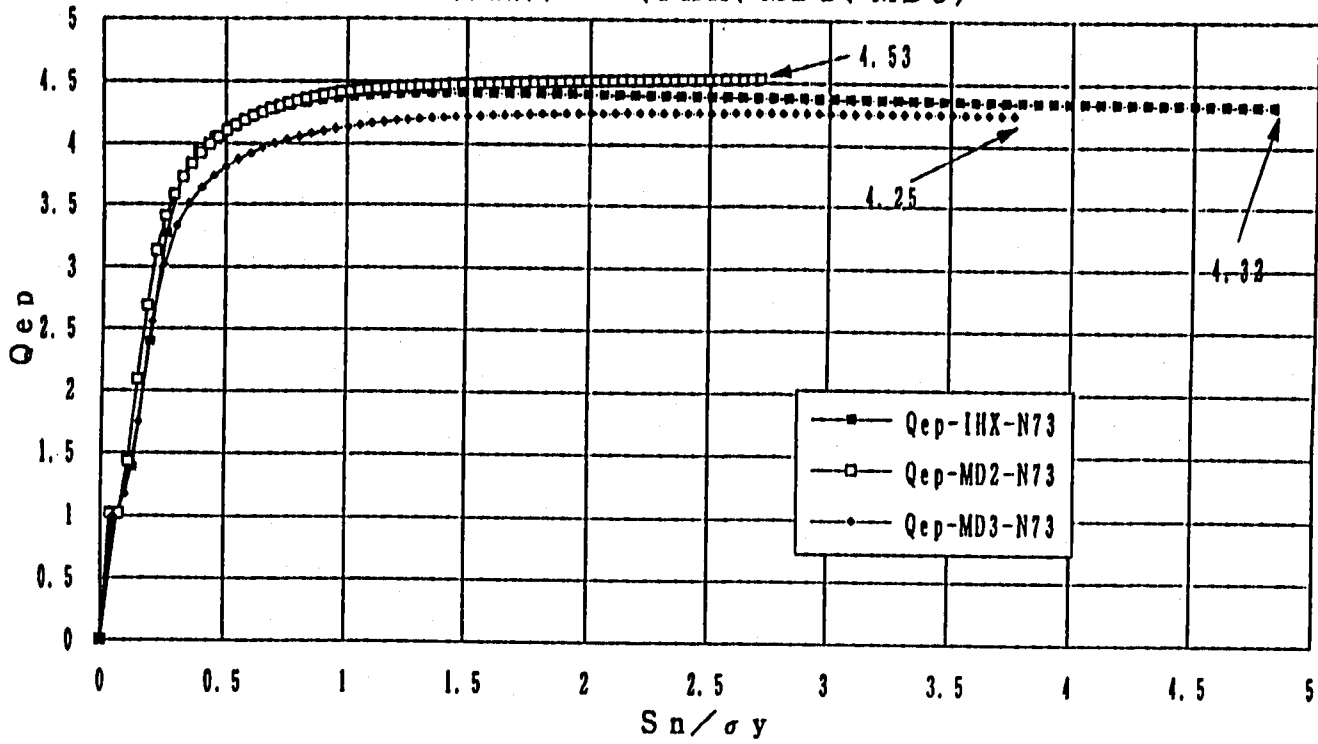


Fig. 2.4.33 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (n=5, ν=0.5, 評価断面-3、IH X-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.3)
 評価断面-1 (IHx、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.3)
 評価断面-1 (IHx、MD2、MD3)

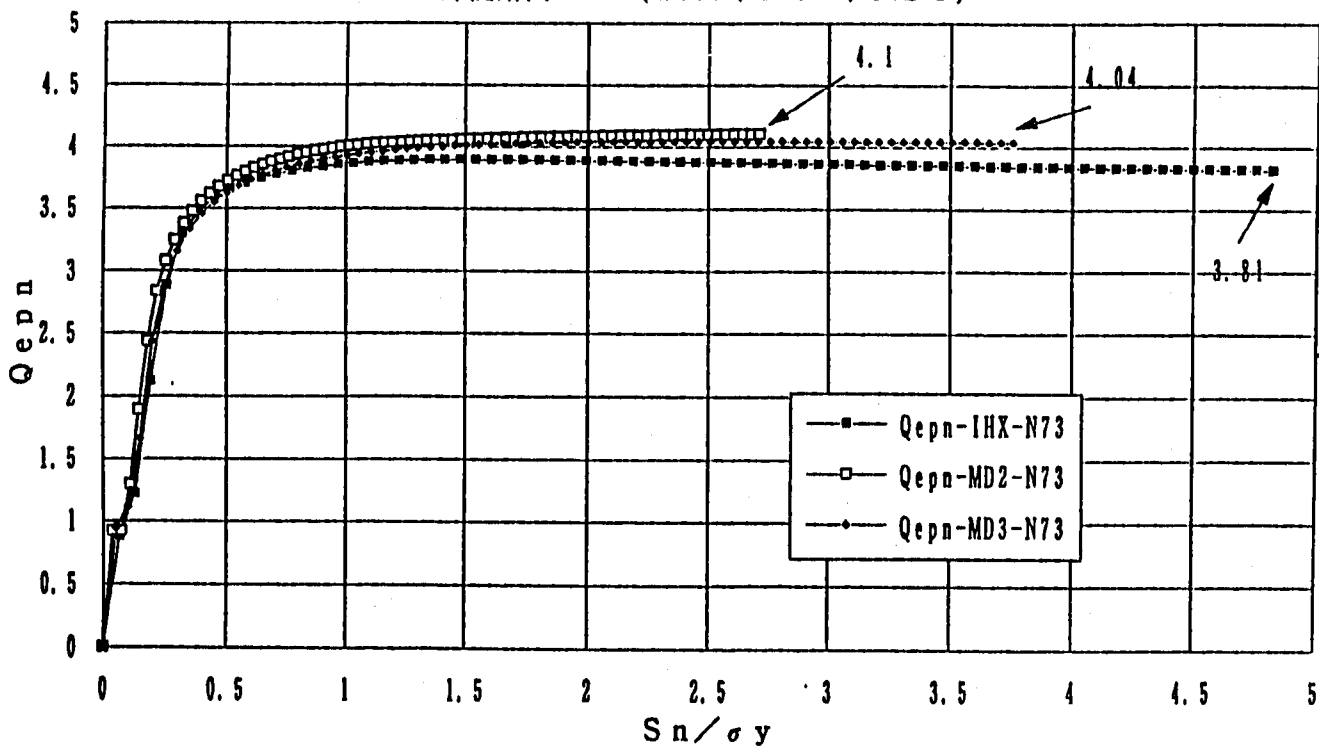
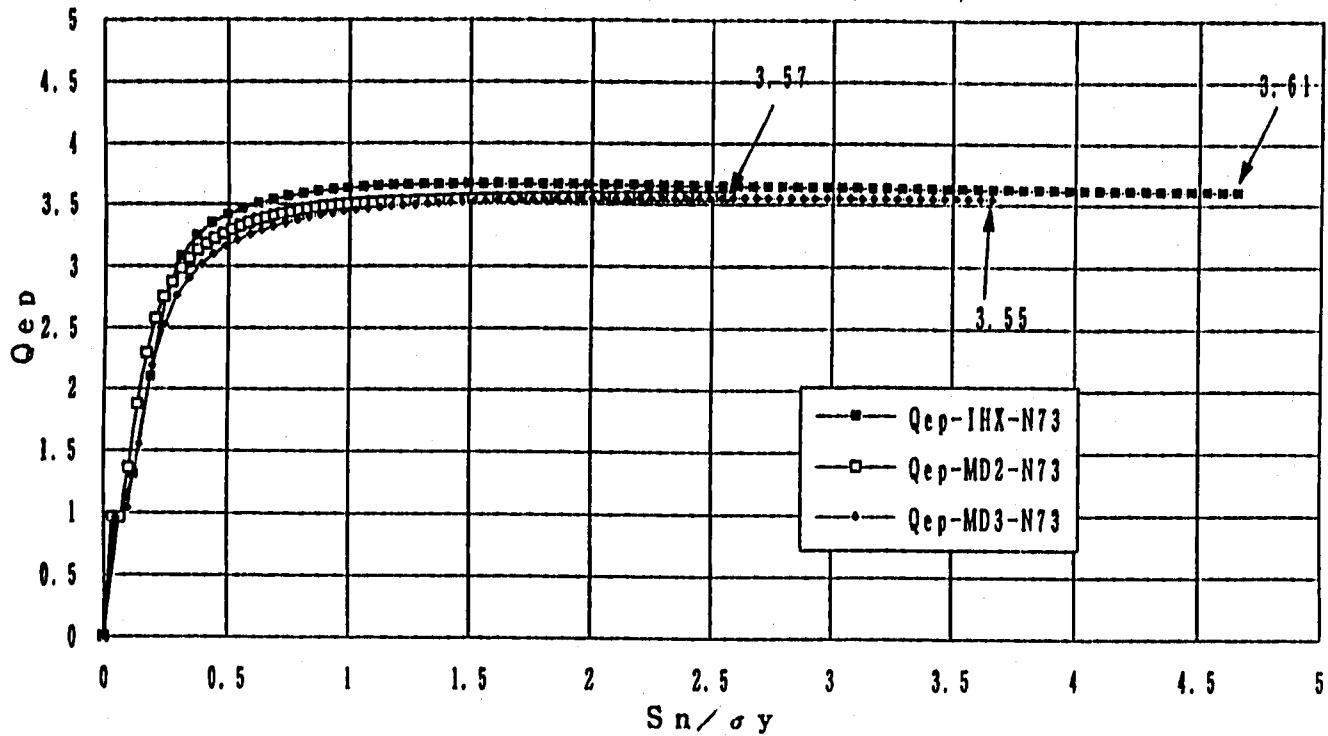


Fig. 2.4.34 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
 (n=7, $\nu=0.3$, 評価断面-1, IHx-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.3)
 評価断面-2 (IHX、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.3)
 評価断面-2 (IHX、MD2、MD3)

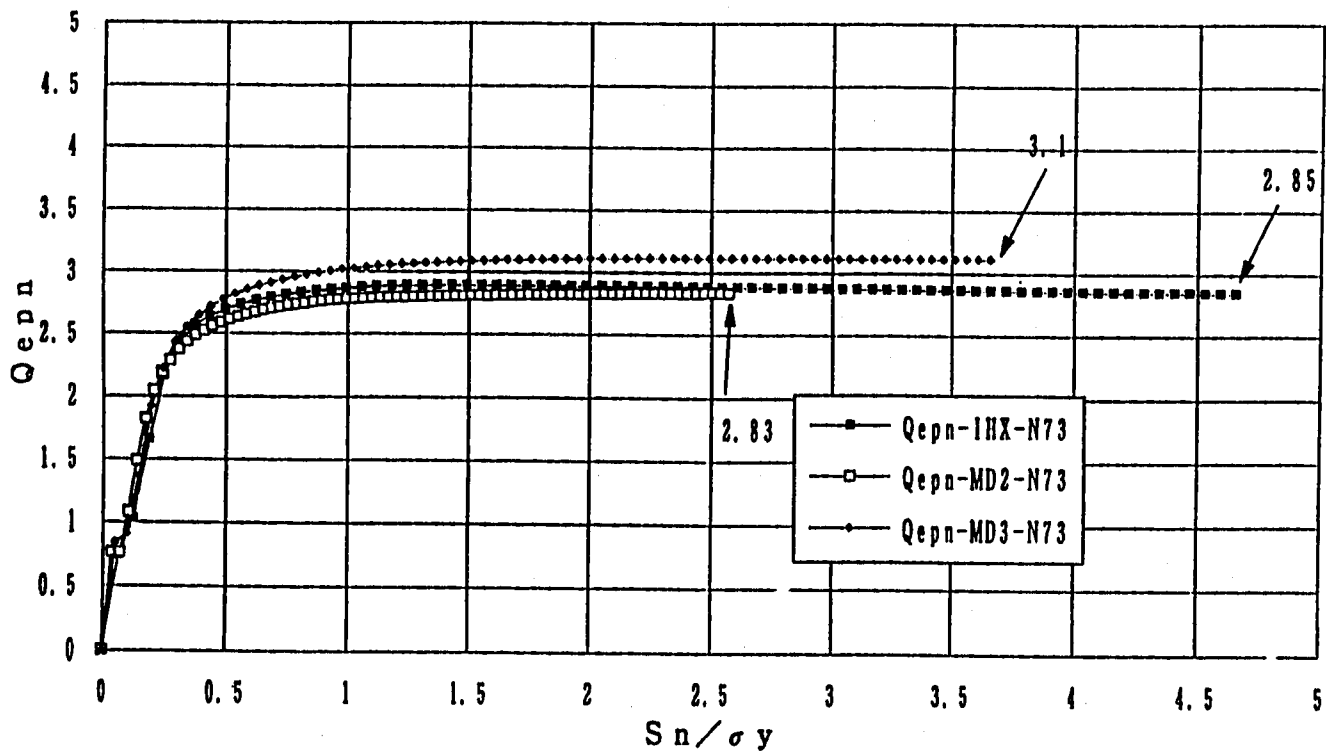
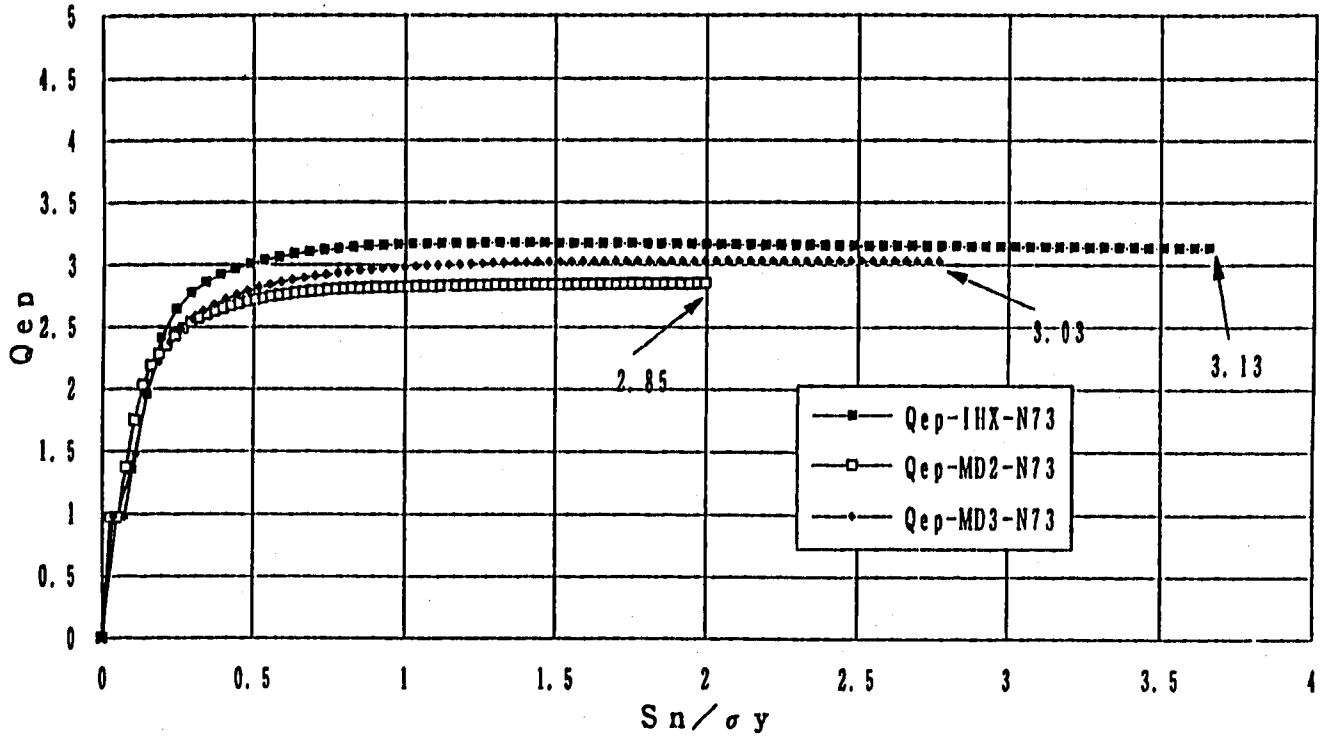


Fig. 2.4.35 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (n=7, ν=0.3, 評価断面-2、IHX-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.3)
 評価断面-3 (IHx、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.3)
 評価断面-3 (IHx、MD2、MD3)

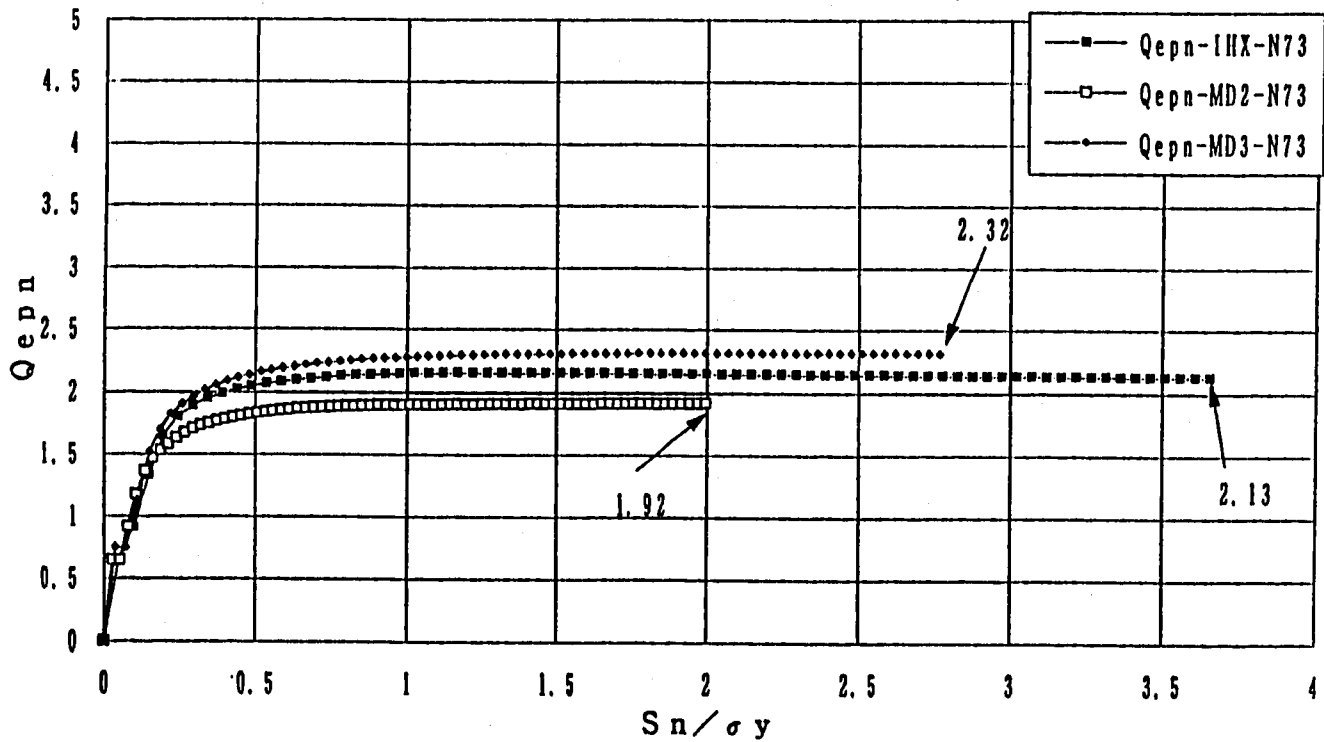
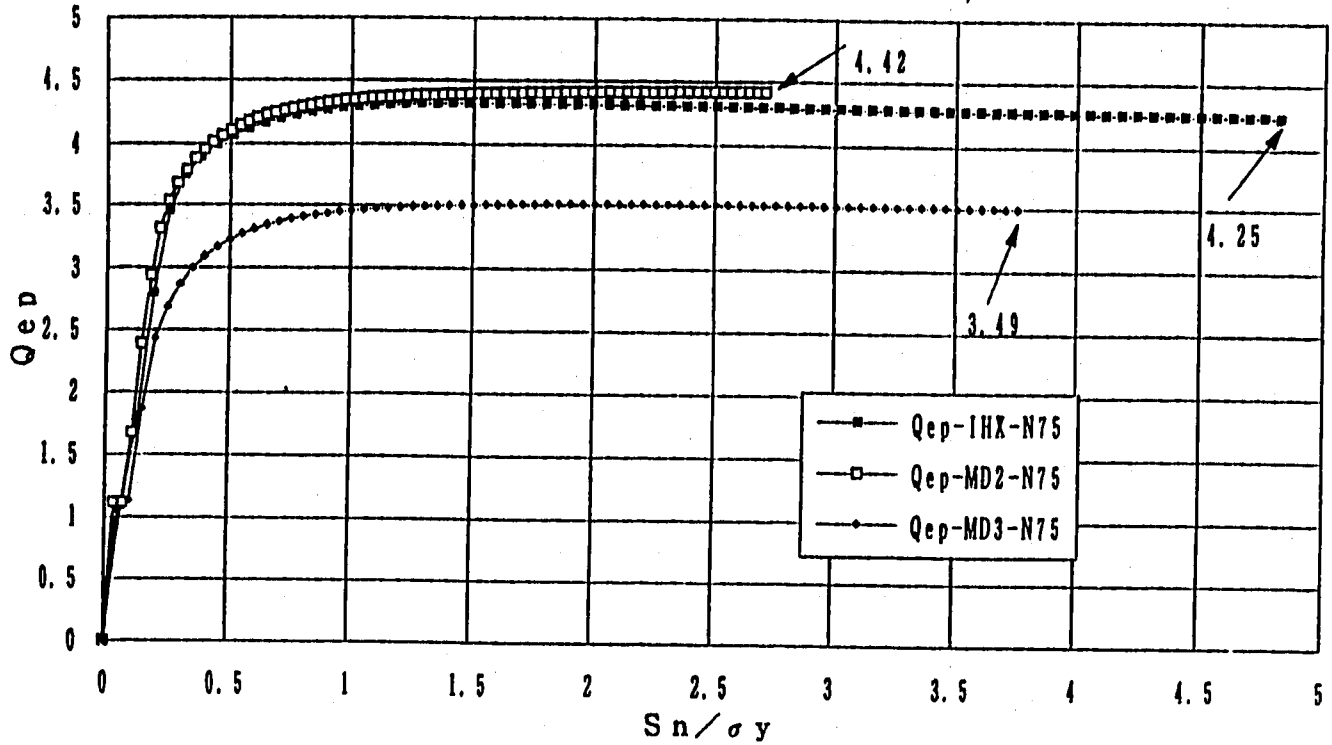


Fig. 2.4.36 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep}, q_{epn})
 (n=7, $\nu=0.3$, 評価断面-3、IHx-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.5)
 評価断面-1 (IHx、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.5)
 評価断面-1 (IHx、MD2、MD3)

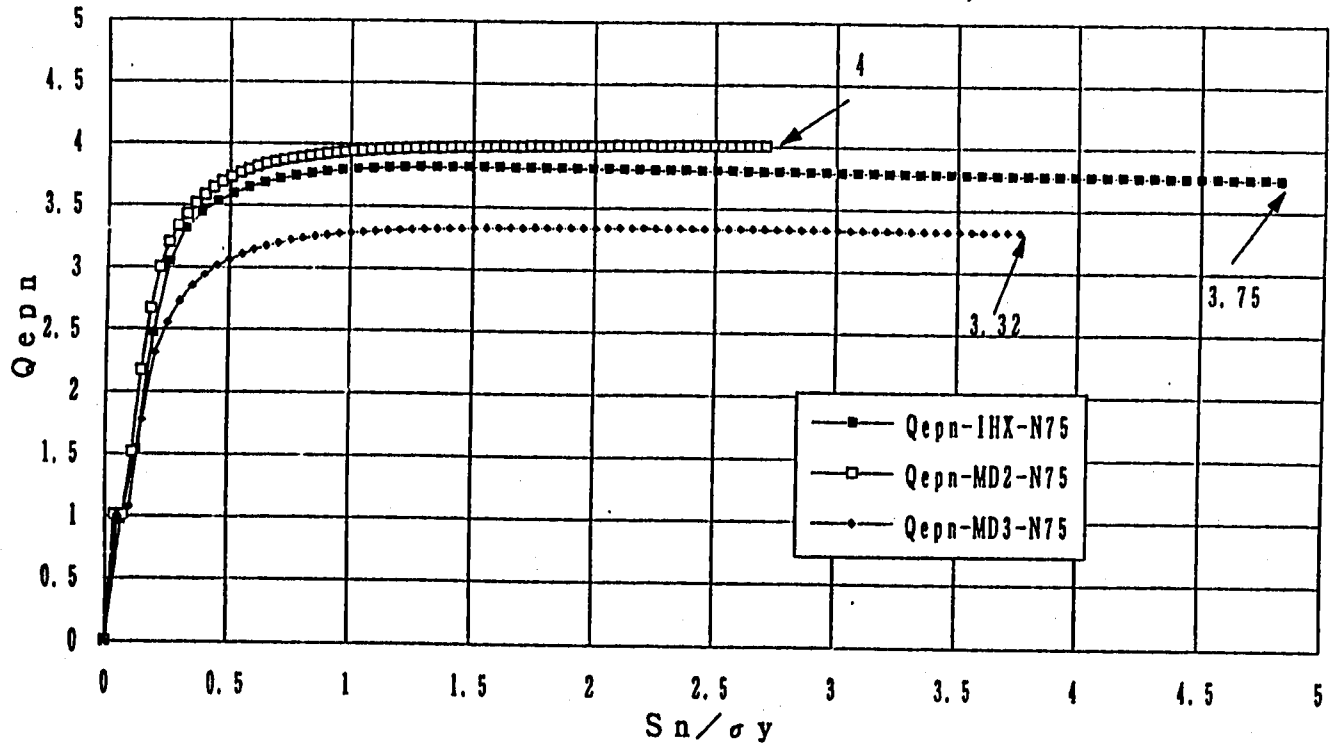
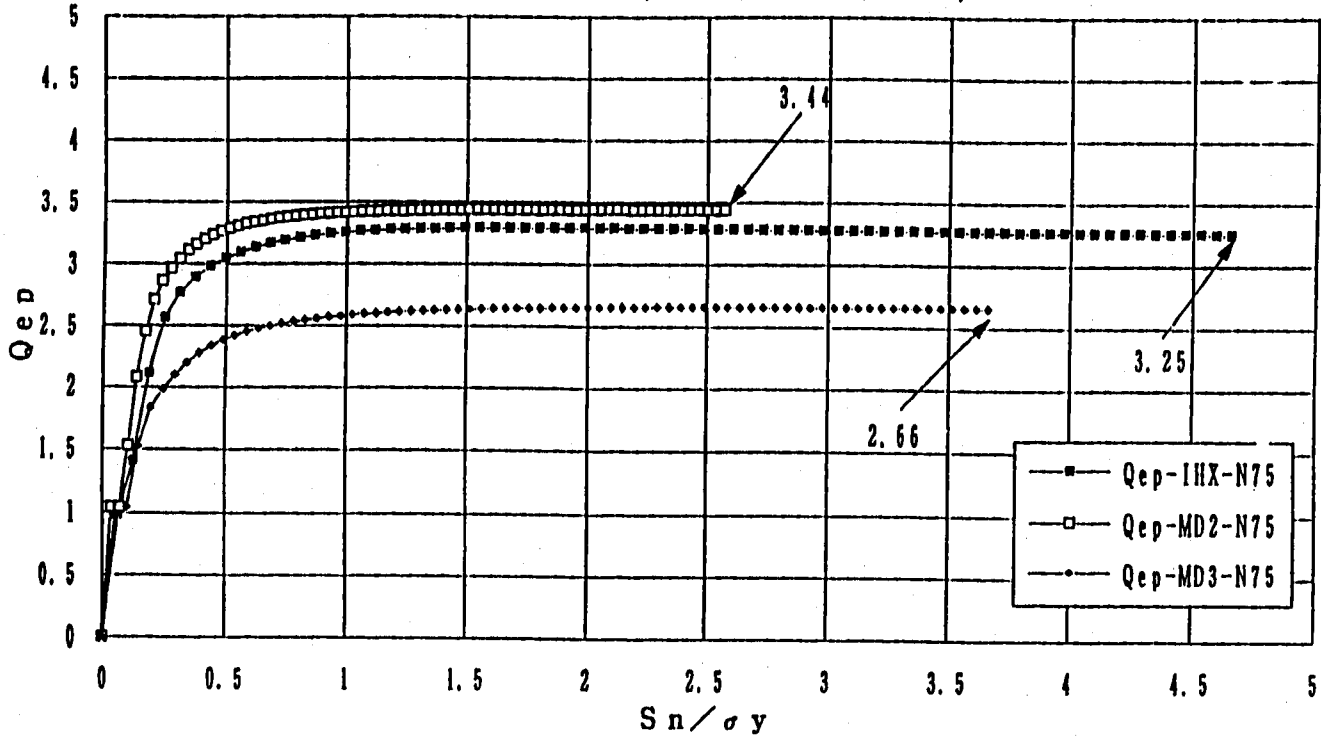


Fig. 2.4.37 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{epn}, q_{epn})
 (n=7, $\nu=0.5$, 評価断面-1、IHx-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.5)
評価断面-2 (IHX、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.5)
評価断面-2 (IHX、MD2、MD3)

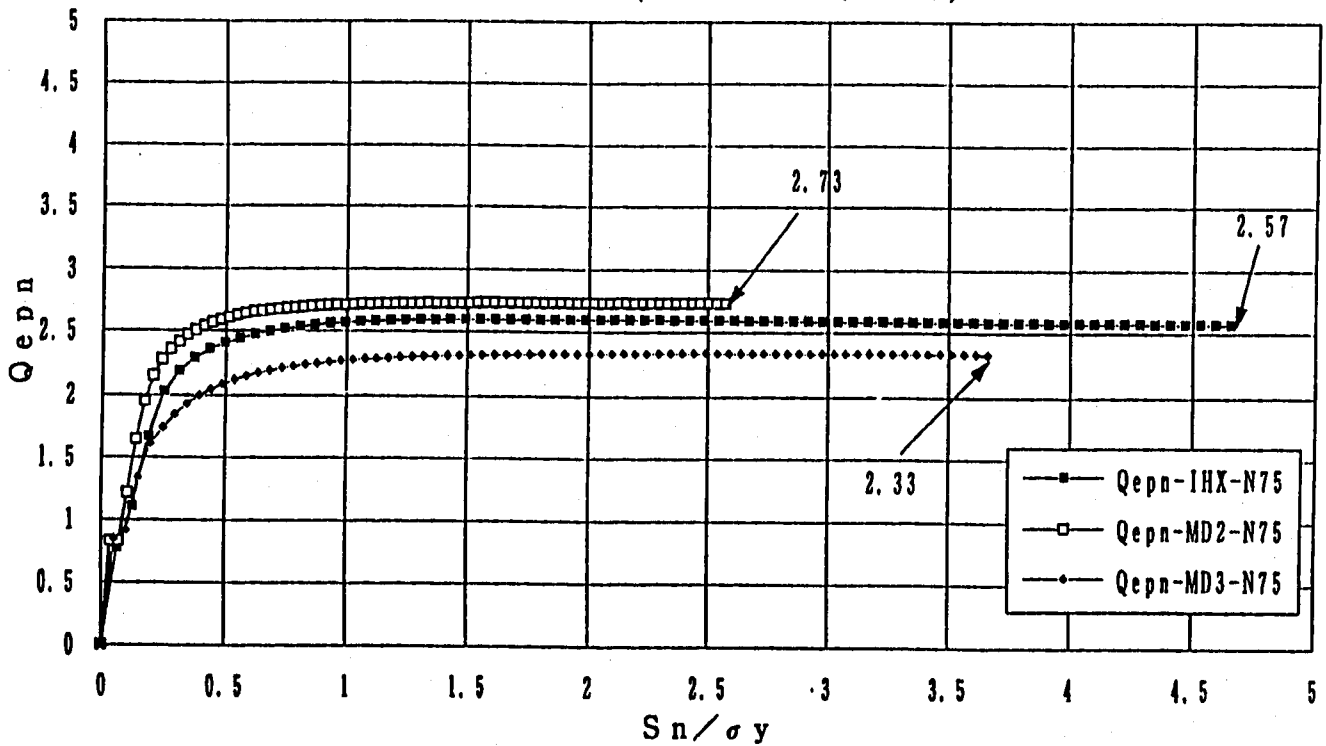
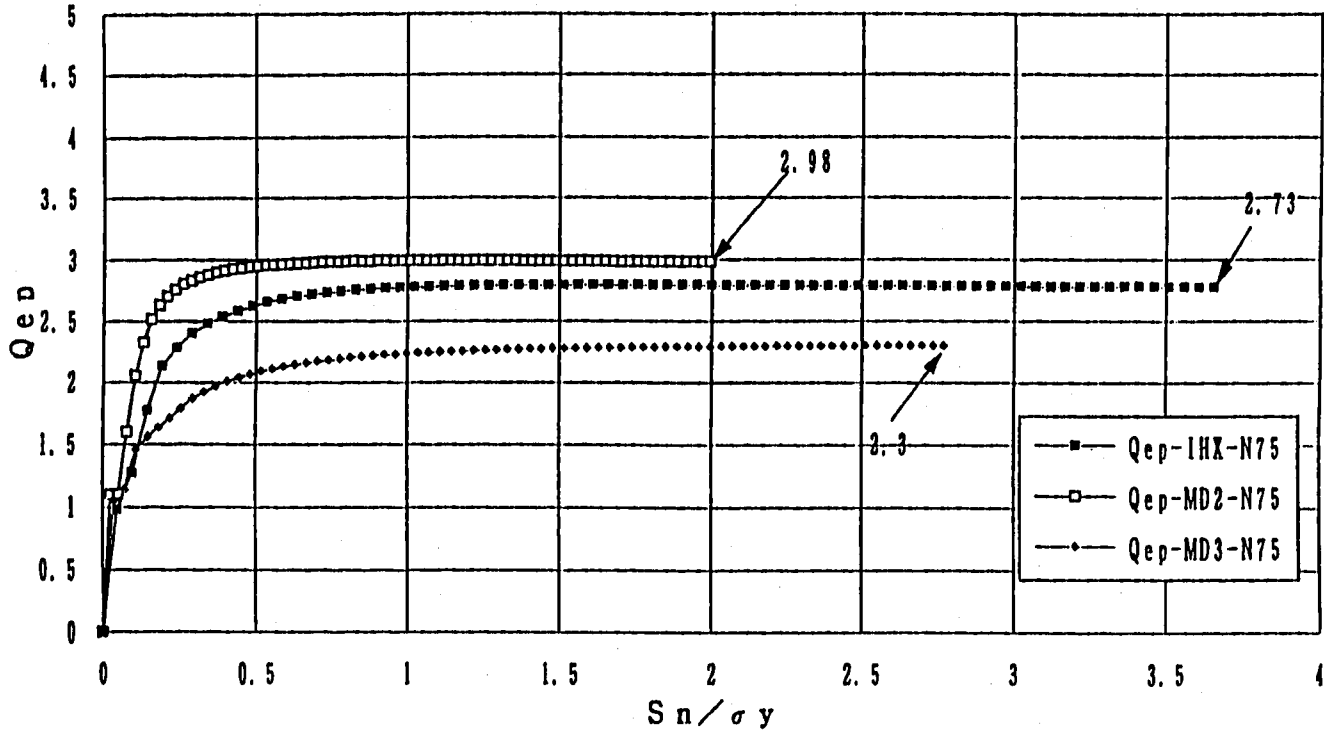


Fig. 2.4.38 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
(n=7, $\nu=0.5$, 評価断面-2、IHX-Y, MD2, MD3)

弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.5)
 評価断面-3 (IHx、MD2、MD3)



弾性追従パラメータの比較 (n=7、ポアソン比0.5)
 評価断面-3 (IHx、MD2、MD3)

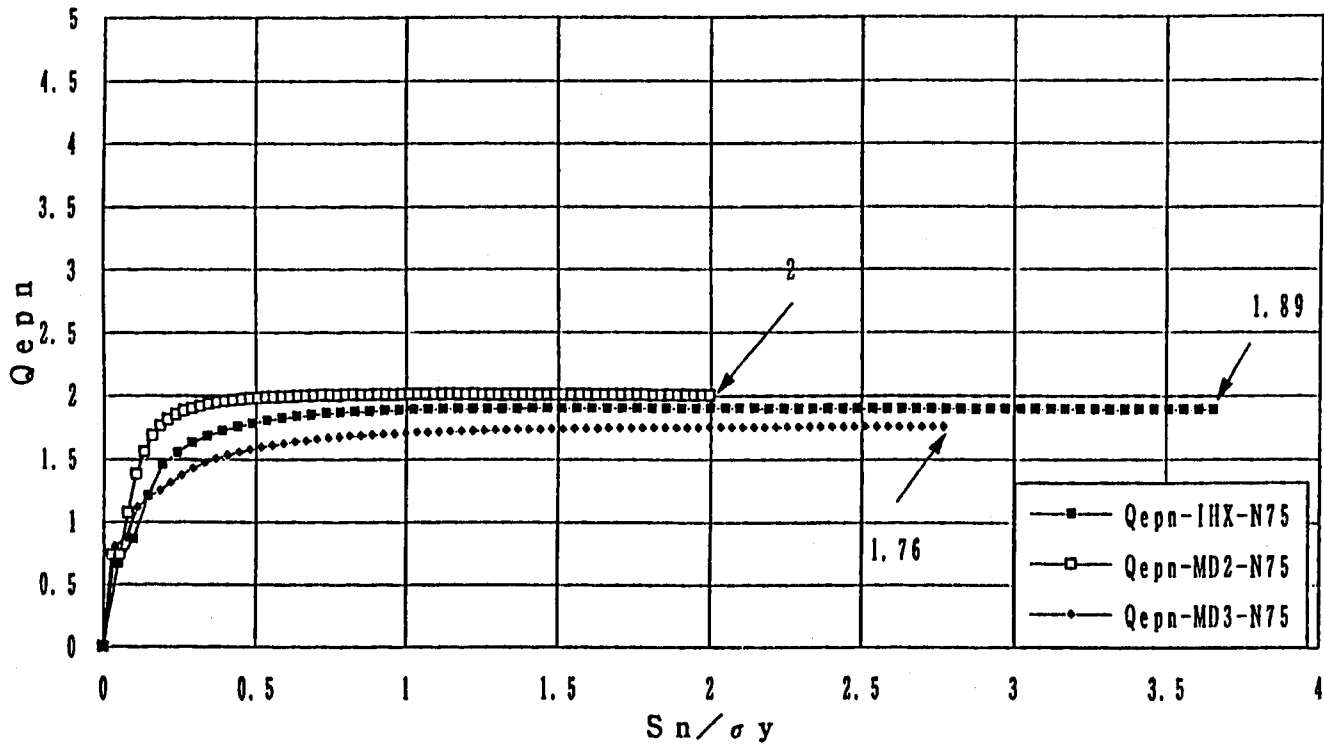
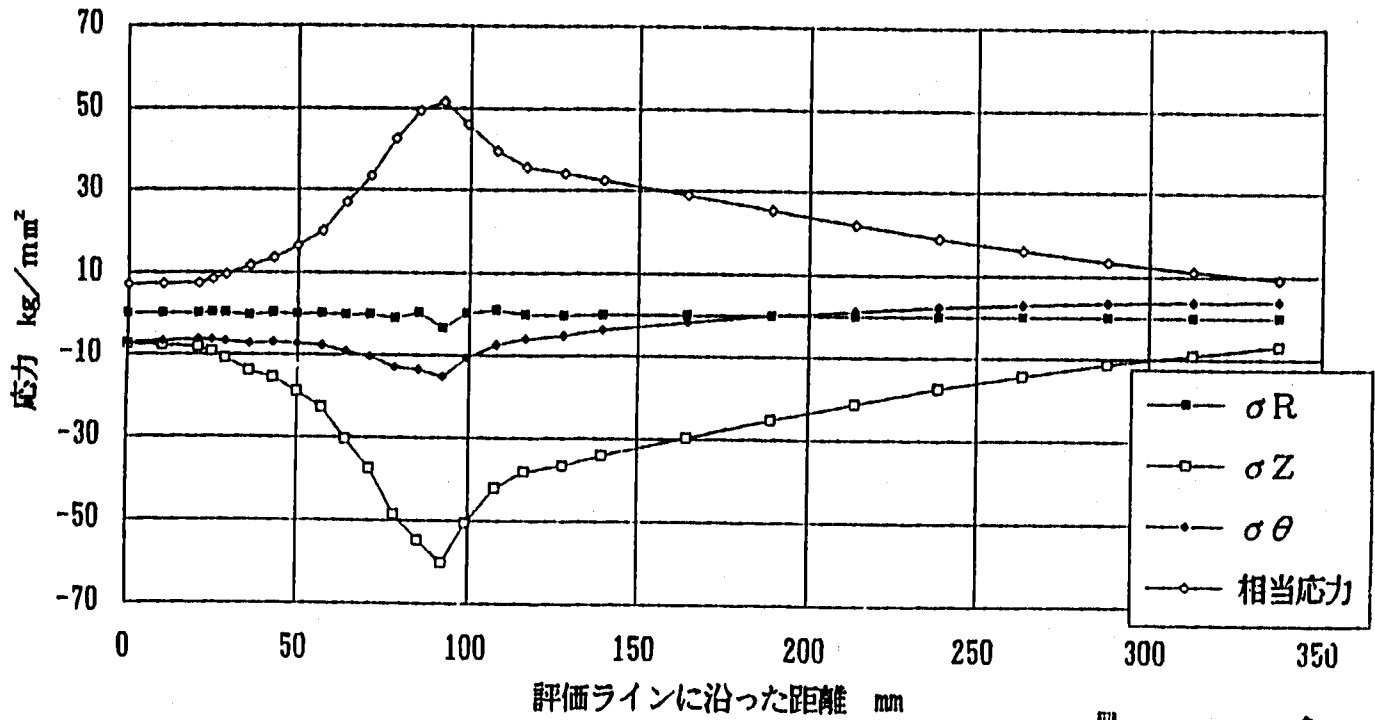


Fig. 2.4.39 モデルの違いによる弾性追従パラメータの比較 (q_{ep} , q_{epn})
 (n=7, $\nu=0.5$, 評価断面-3、IHx-Y, MD2, MD3)

評価ラインに沿った応力分布 (IHX-弾性)



評価ラインに沿ったひずみ分布 (IHX-弾性)

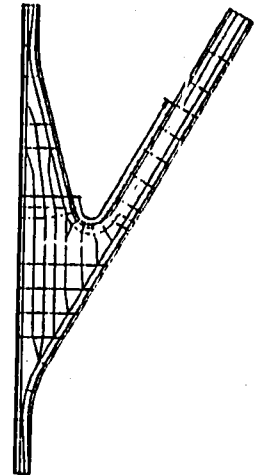
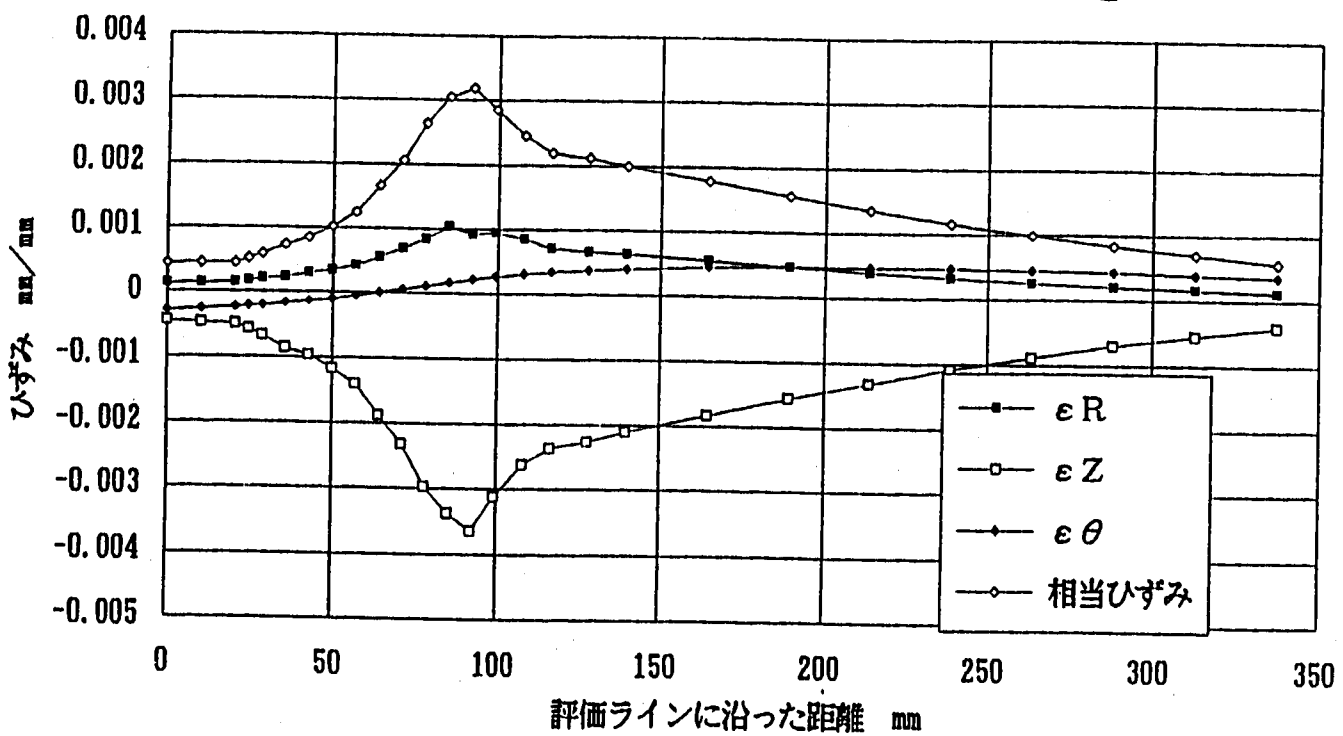
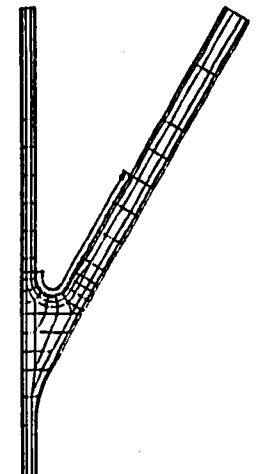
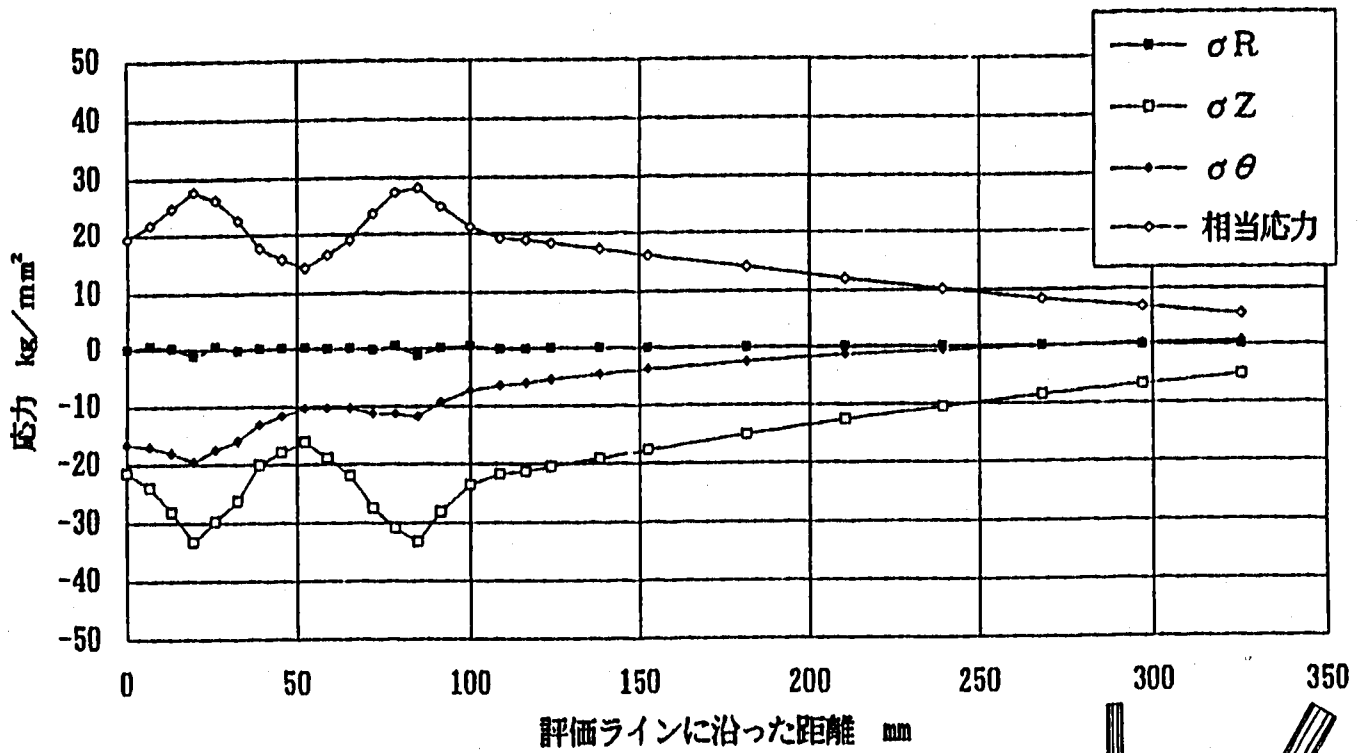


Fig. 2.4.40 評価ラインに沿った応力及びひずみ成分の分布比較 (IHX-弾性)

評価ラインに沿った応力分布 (MD 2-弾性)



評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD 2-弾性)

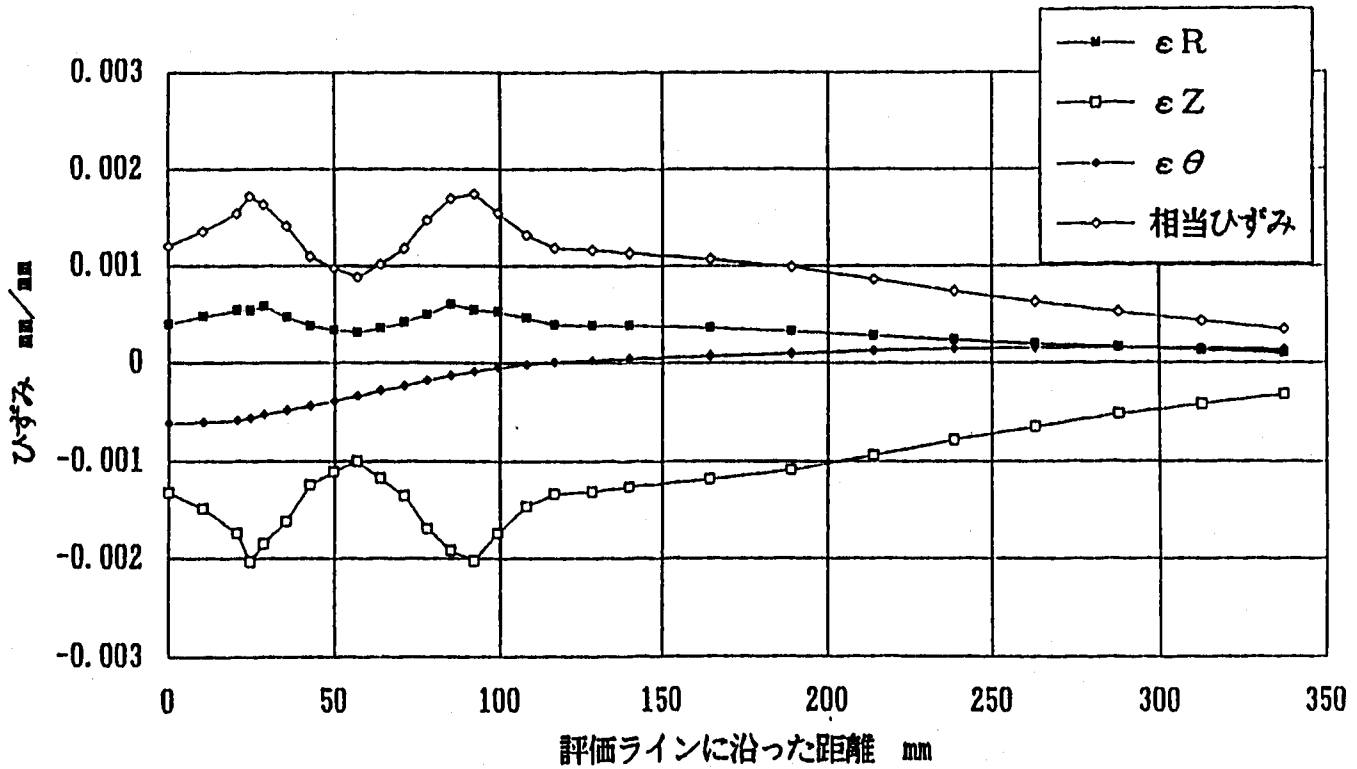
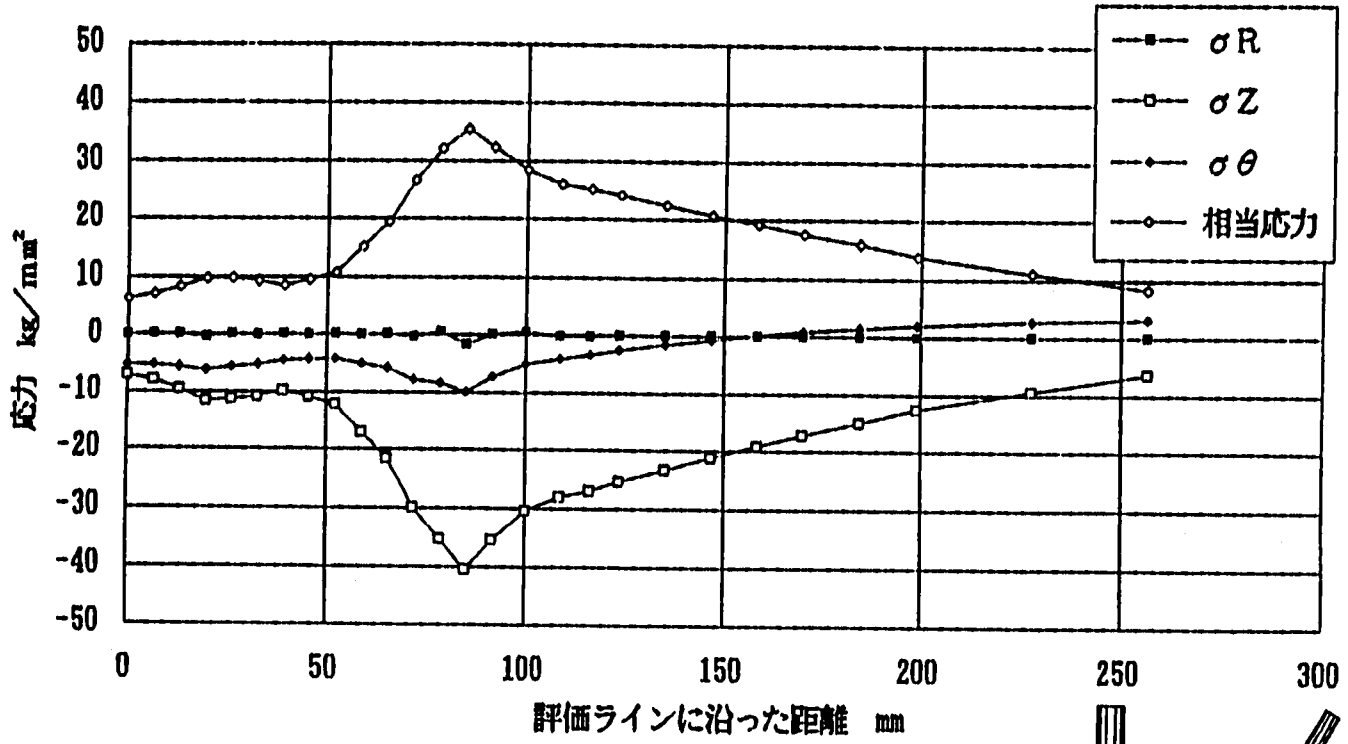


Fig. 2. 4. 41 評価ラインに沿った応力及びひずみ成分の分布比較 (MD 2-弾性)

評価ラインに沿った応力分布 (MD3-弾性)



評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD3-弾性)

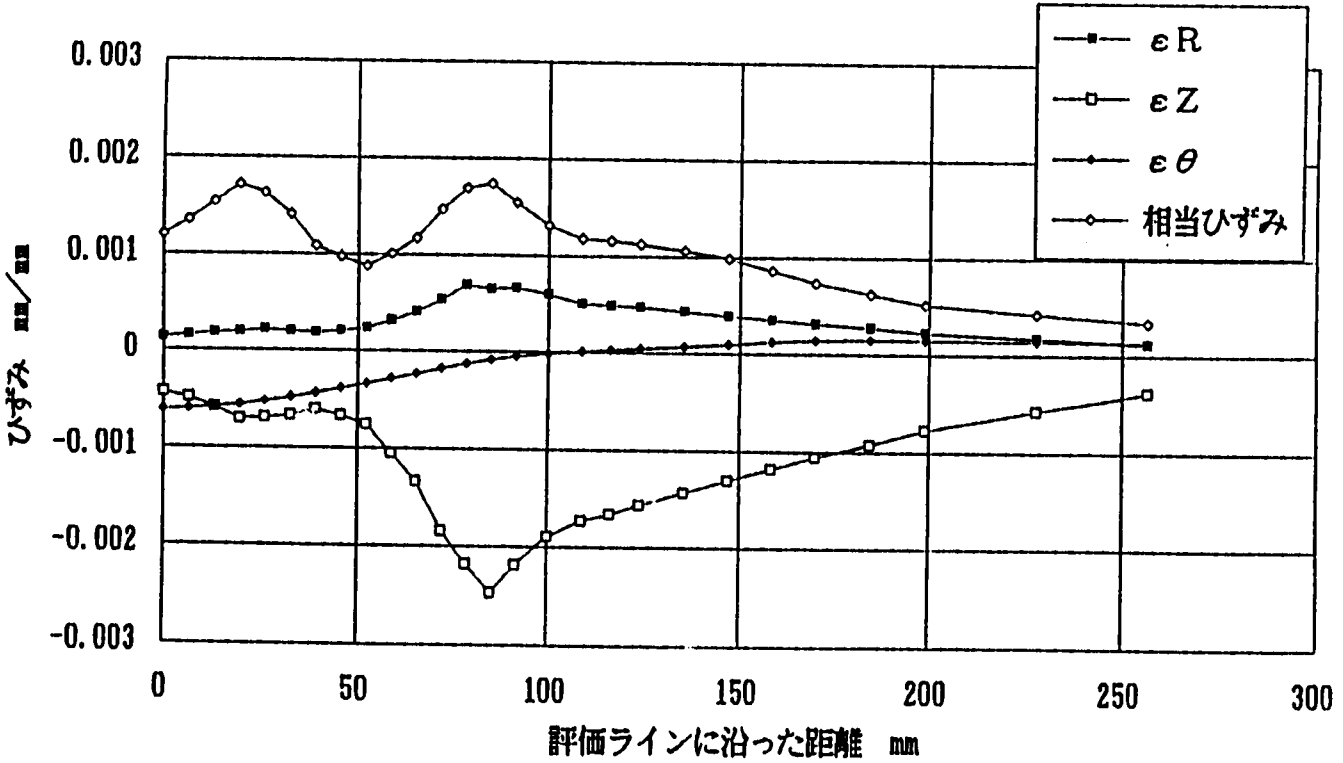
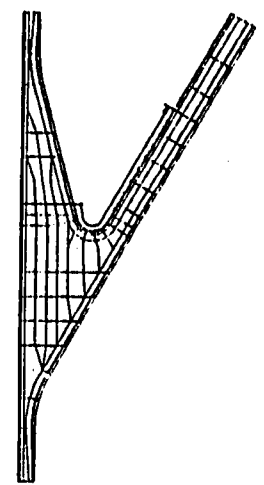
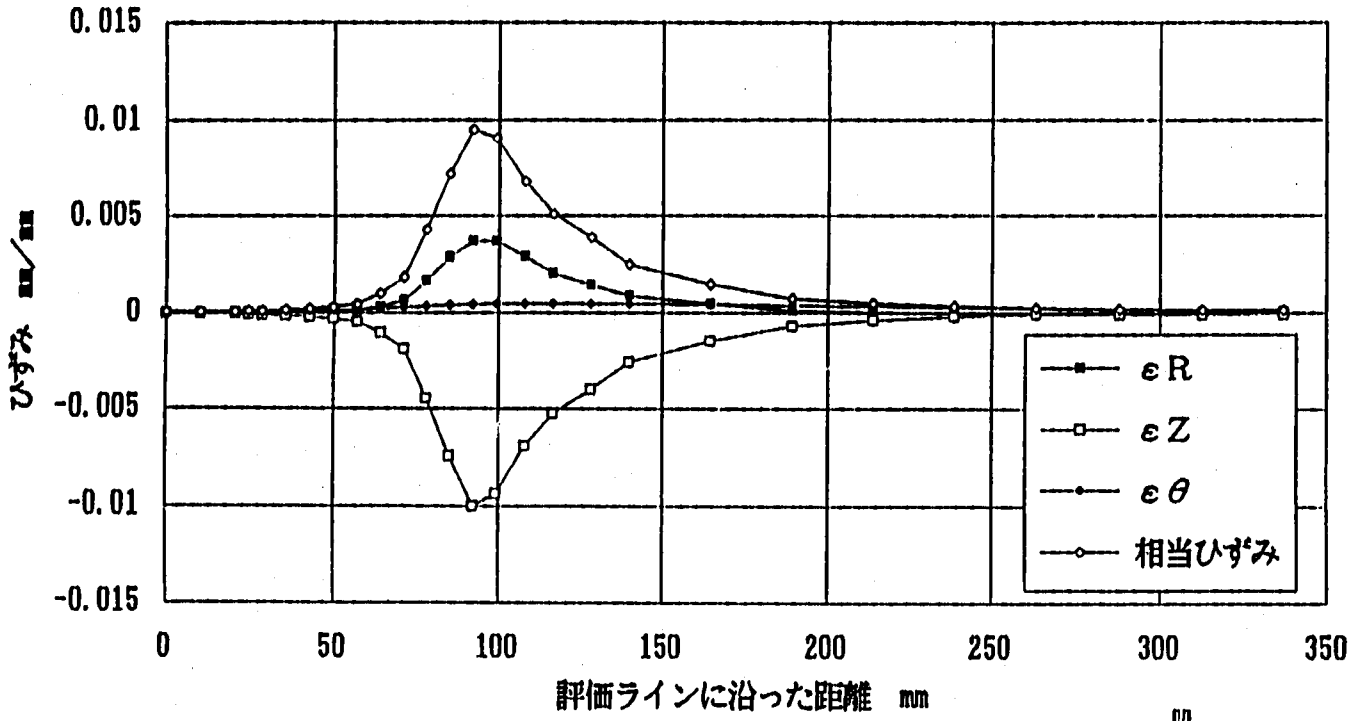


Fig. 2.4.42 評価ラインに沿った応力及びひずみ成分の分布比較 (MD3-弾性)

評価ラインに沿ったひずみ分布 (IHX-N53)



評価ラインに沿ったひずみ分布 (IHX-N55)

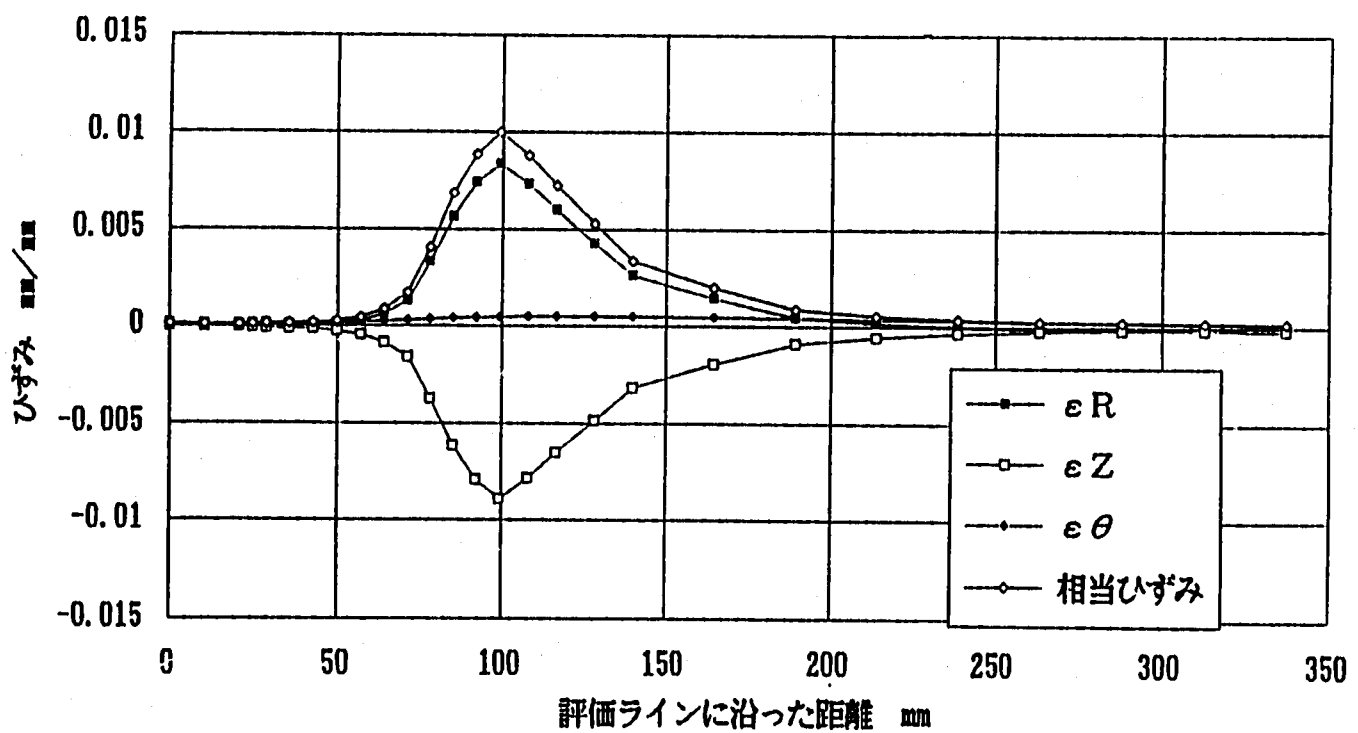
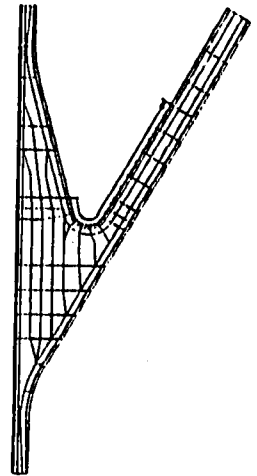
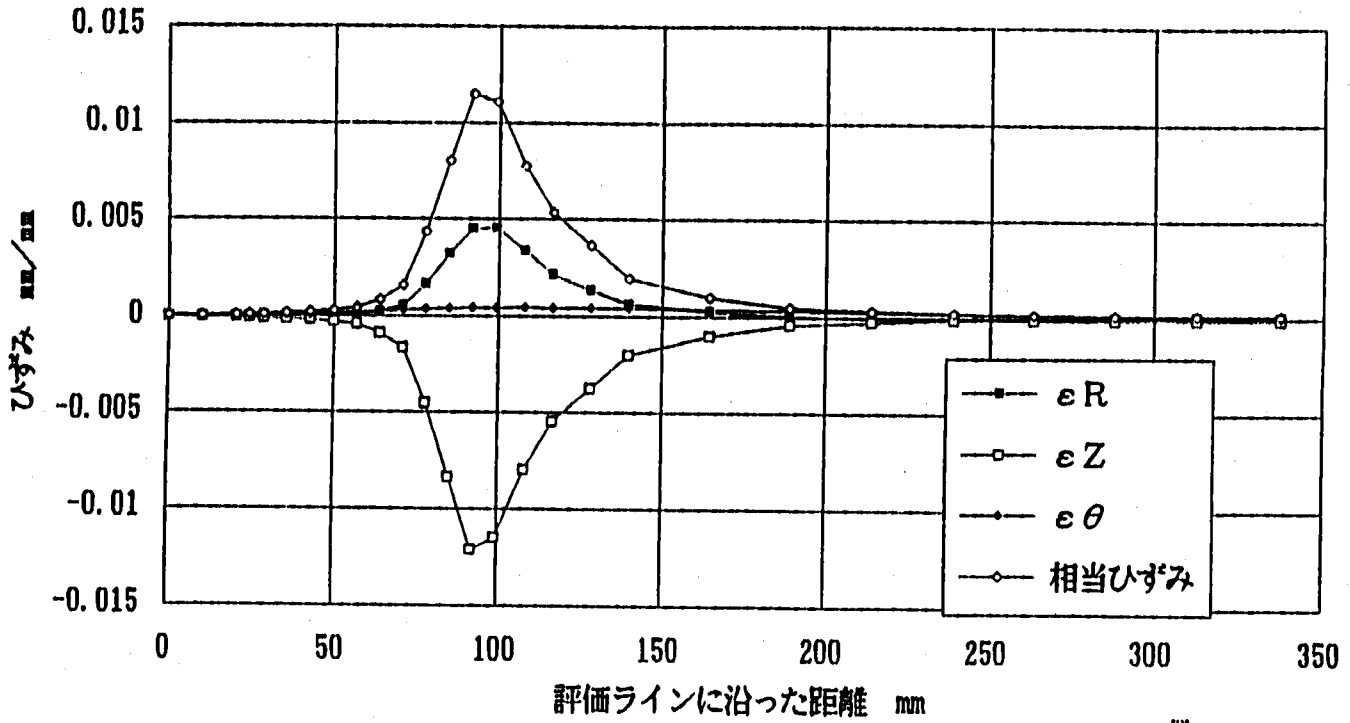


Fig. 2.4.43 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (IHX n=5)
(ポアソン比=0.3、0.5)

評価ラインに沿ったひずみ分布 (IH X-N73)



評価ラインに沿ったひずみ分布 (IH X-N75)

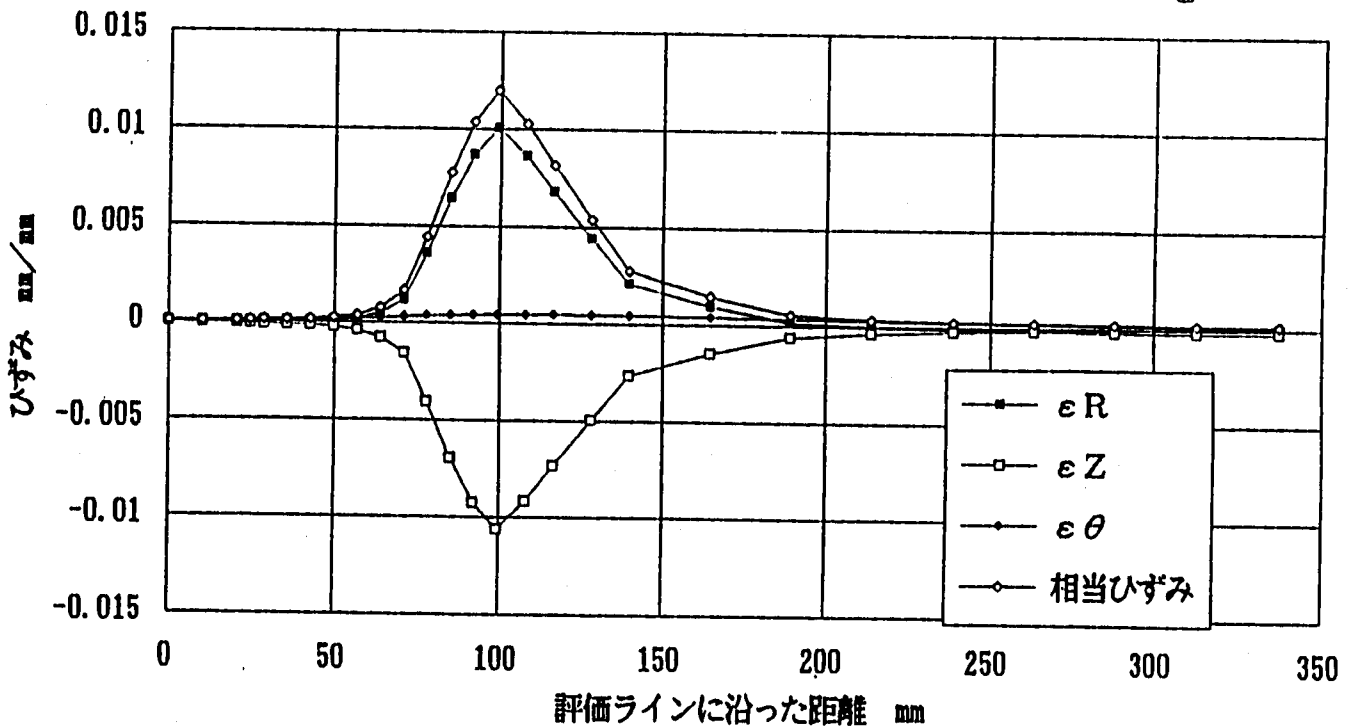
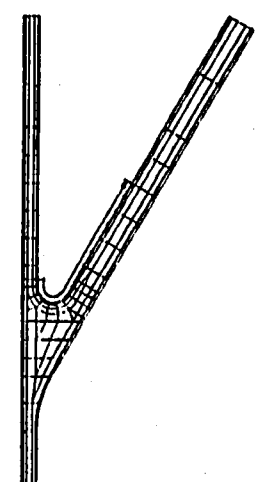
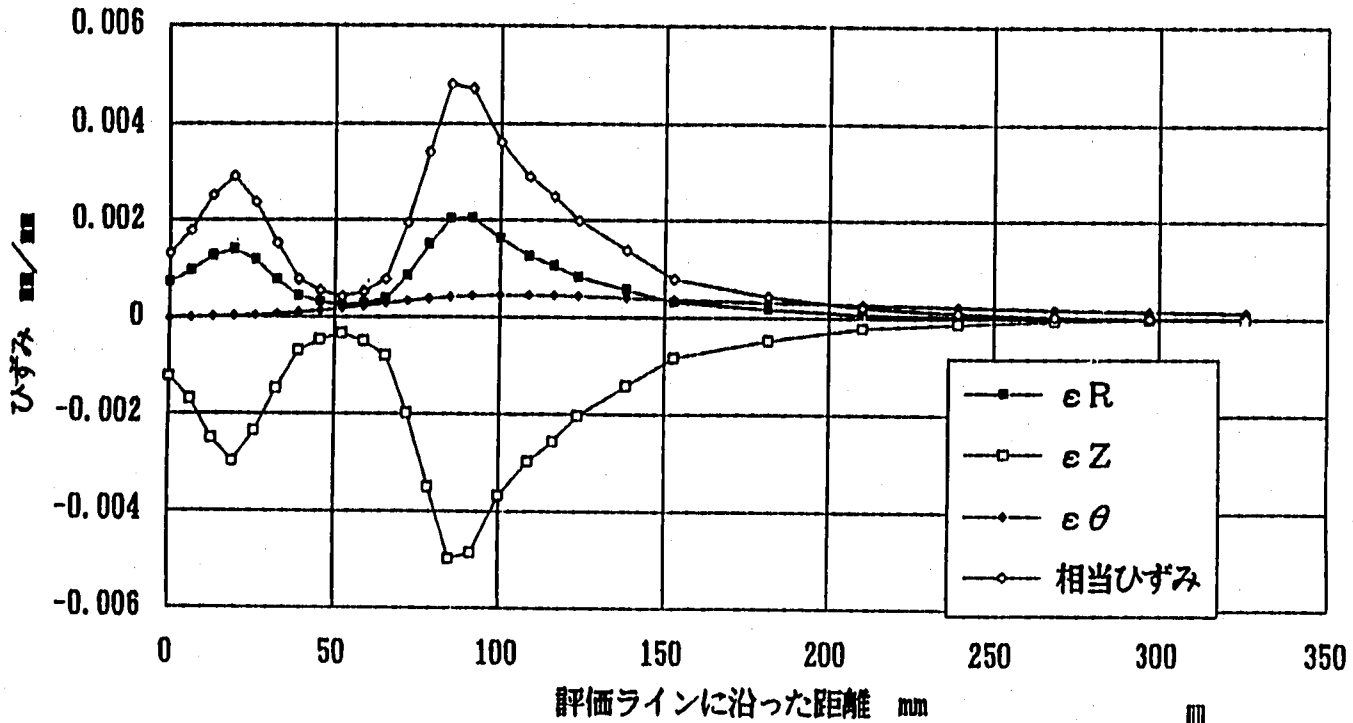


Fig. 2.4.44 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (IH X n=7)
(ポアソン比=0.3、0.5)

評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD2-N53)



評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD2-N55)

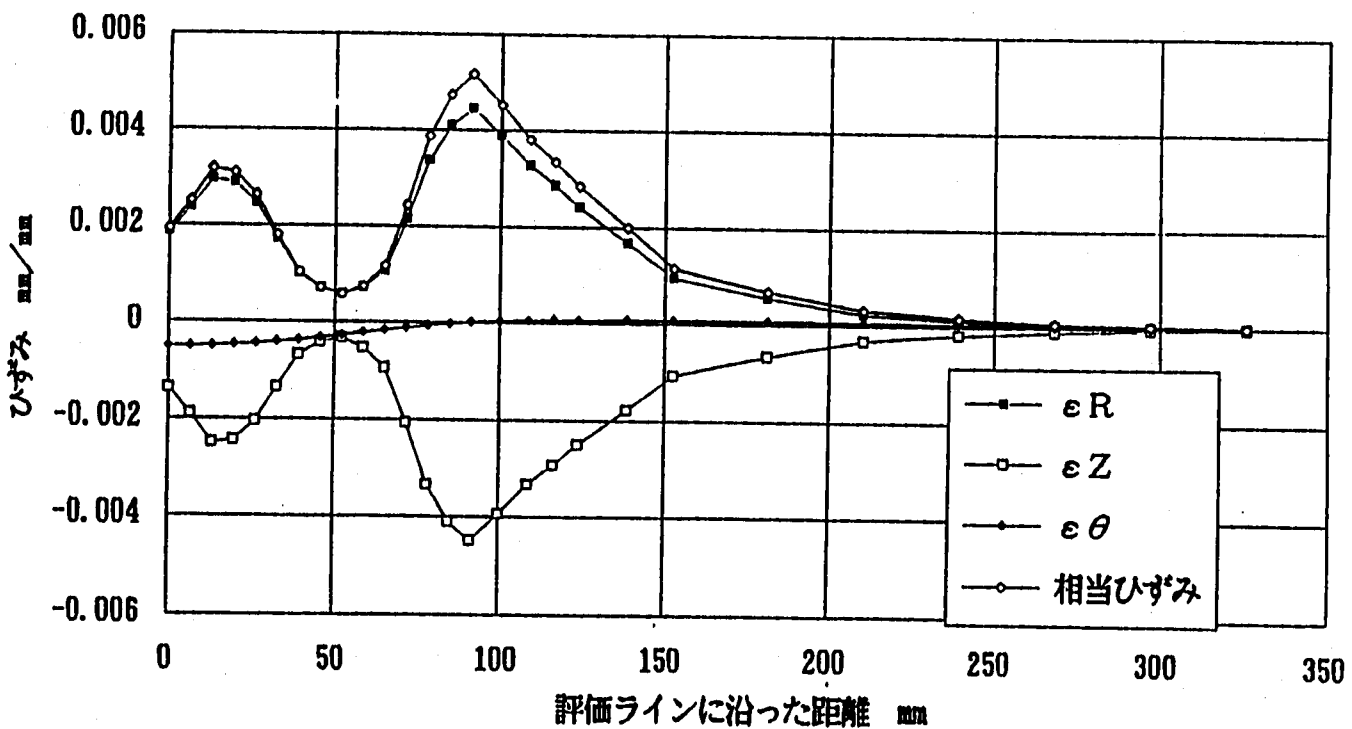
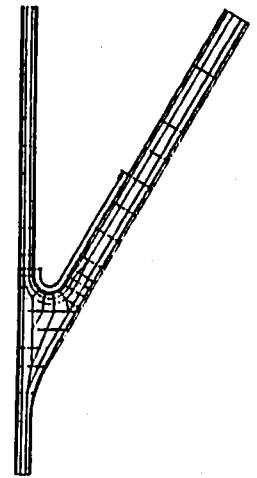
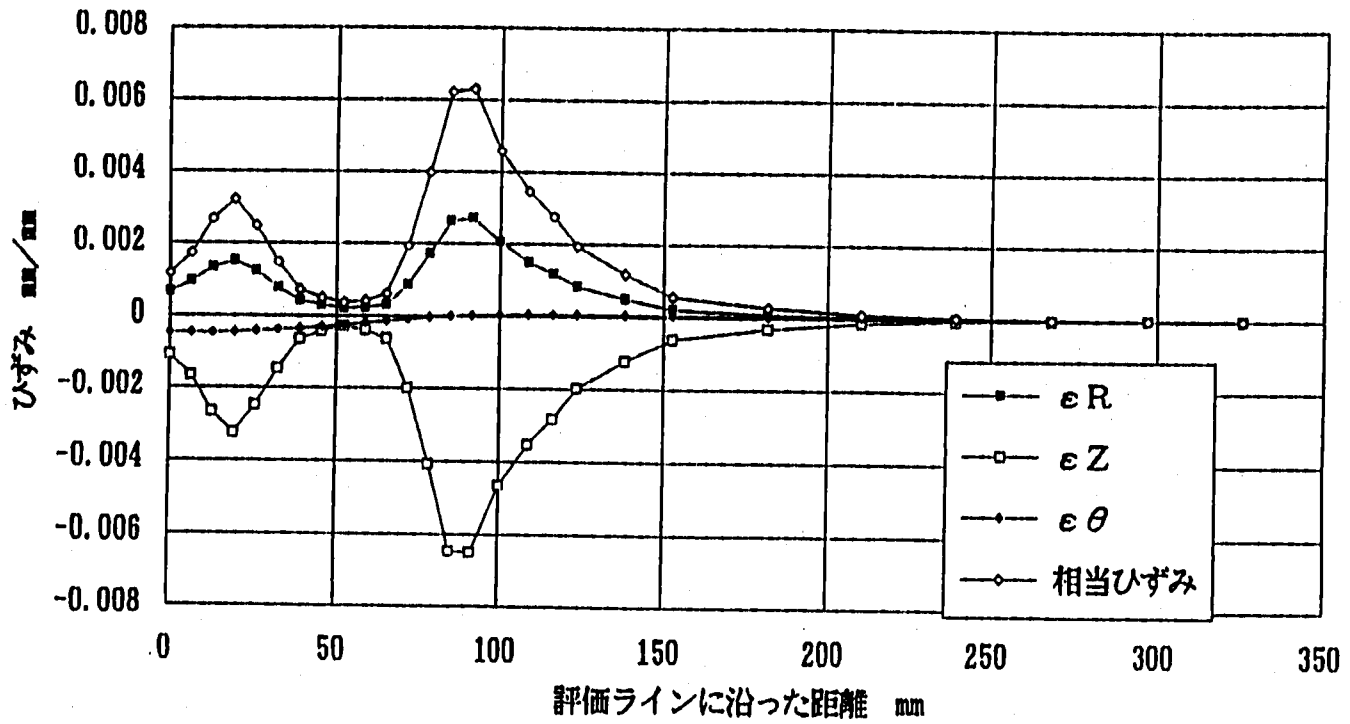


Fig. 2.4.45 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (MD2 n=5)
(ポアソン比=0.3、0.5)

評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD2-N73)



評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD2-N75)

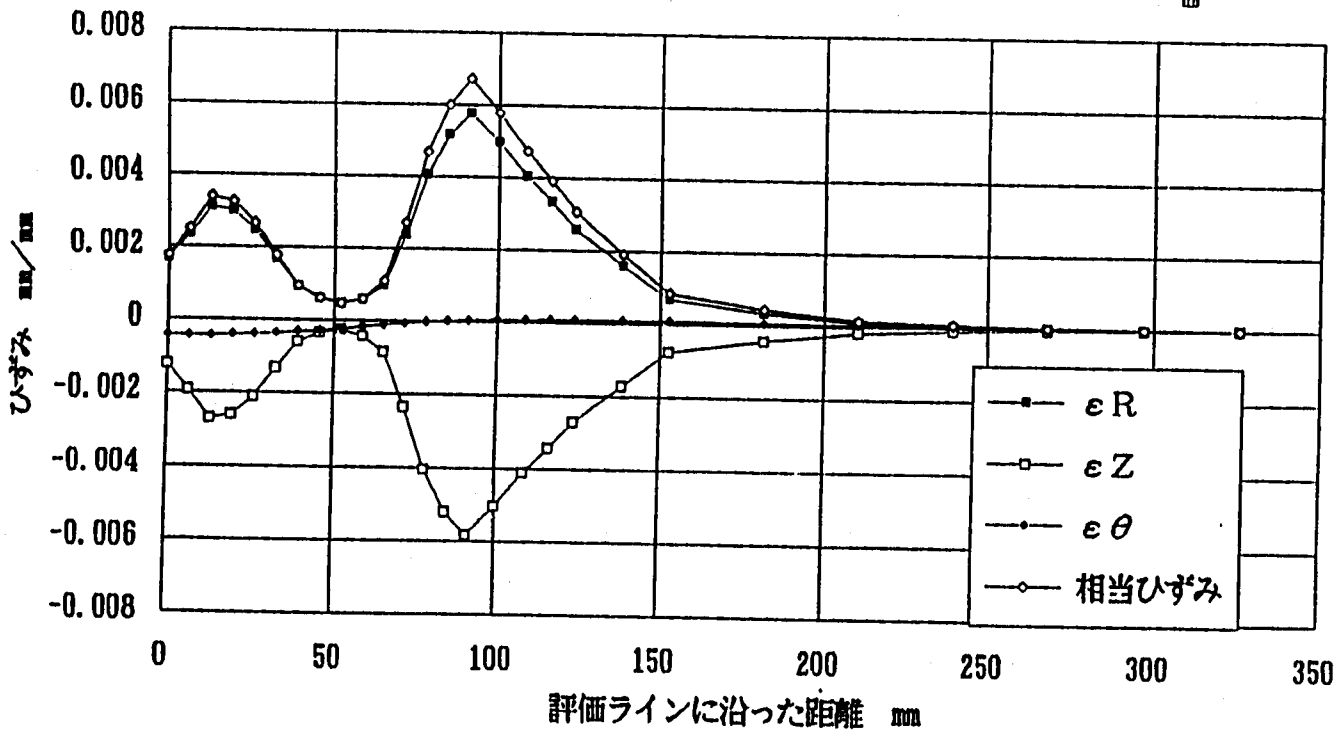
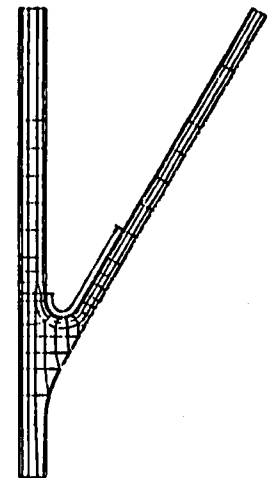
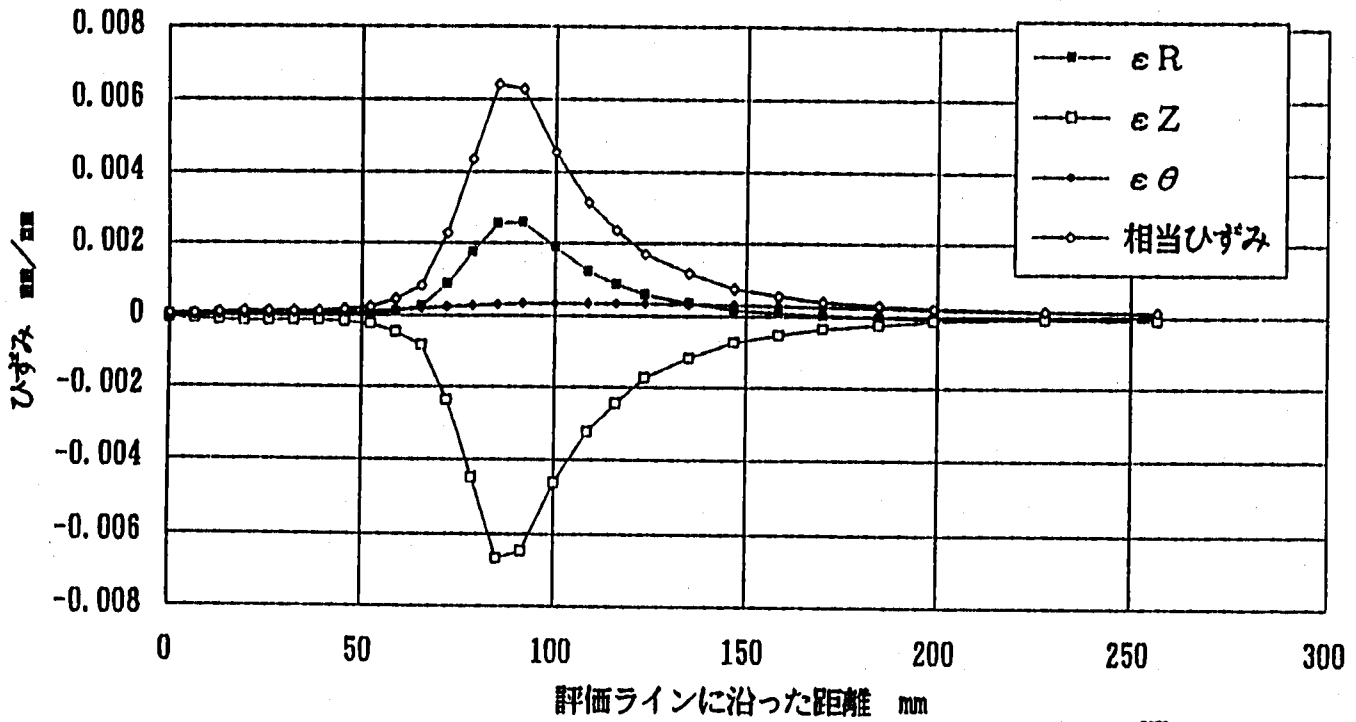


Fig. 2.4.46 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (MD2 n=7)
(ポアソン比=0.3、0.5)

評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD3-N53)



評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD3-N55)

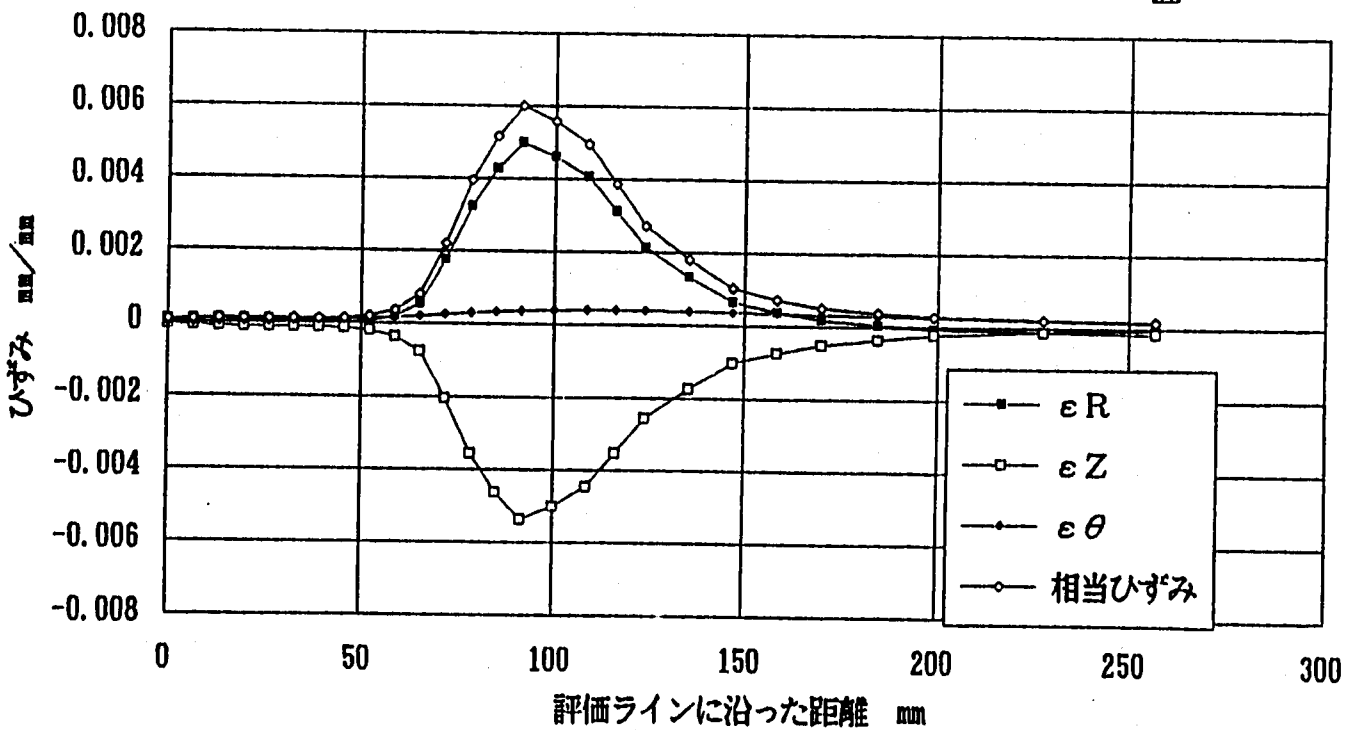
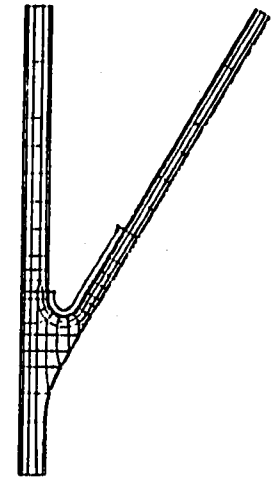
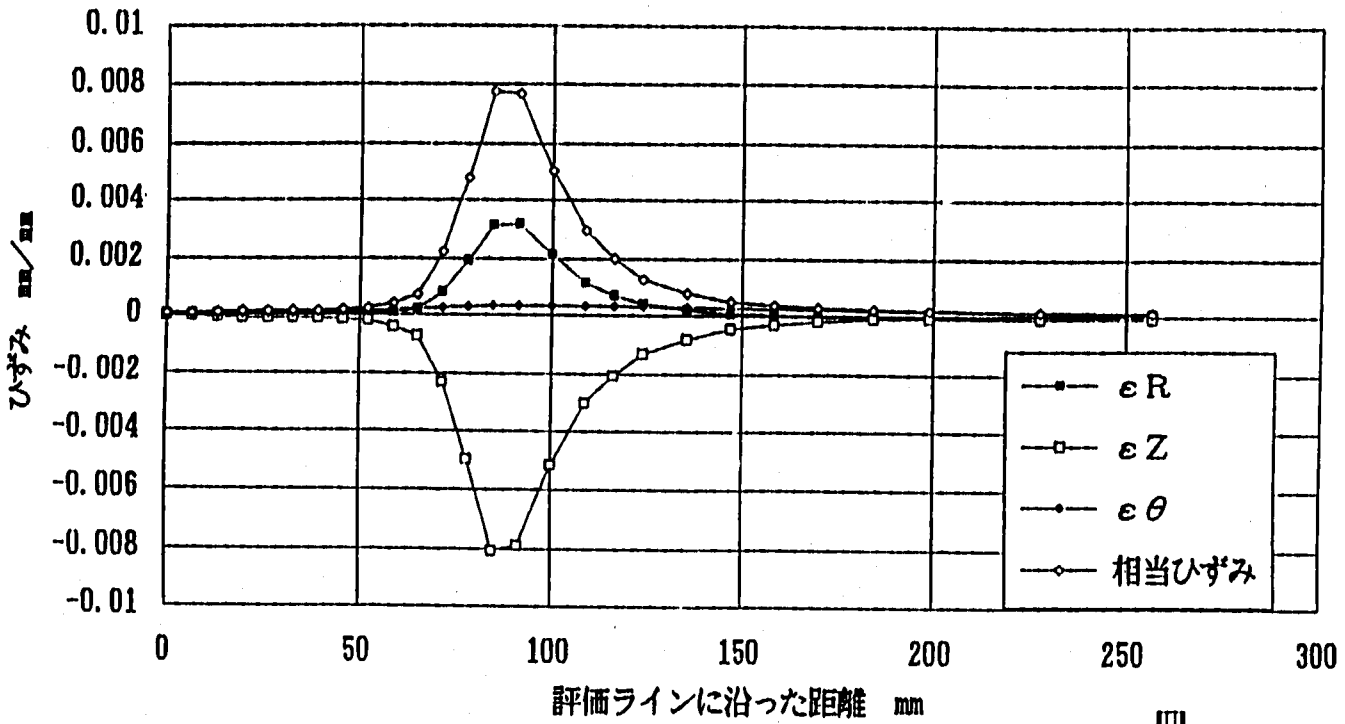


Fig. 2.4.47 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (MD3 n = 5)
(ポアソン比=0.3、0.5)

評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD3-N73)



評価ラインに沿ったひずみ分布 (MD3-N75)

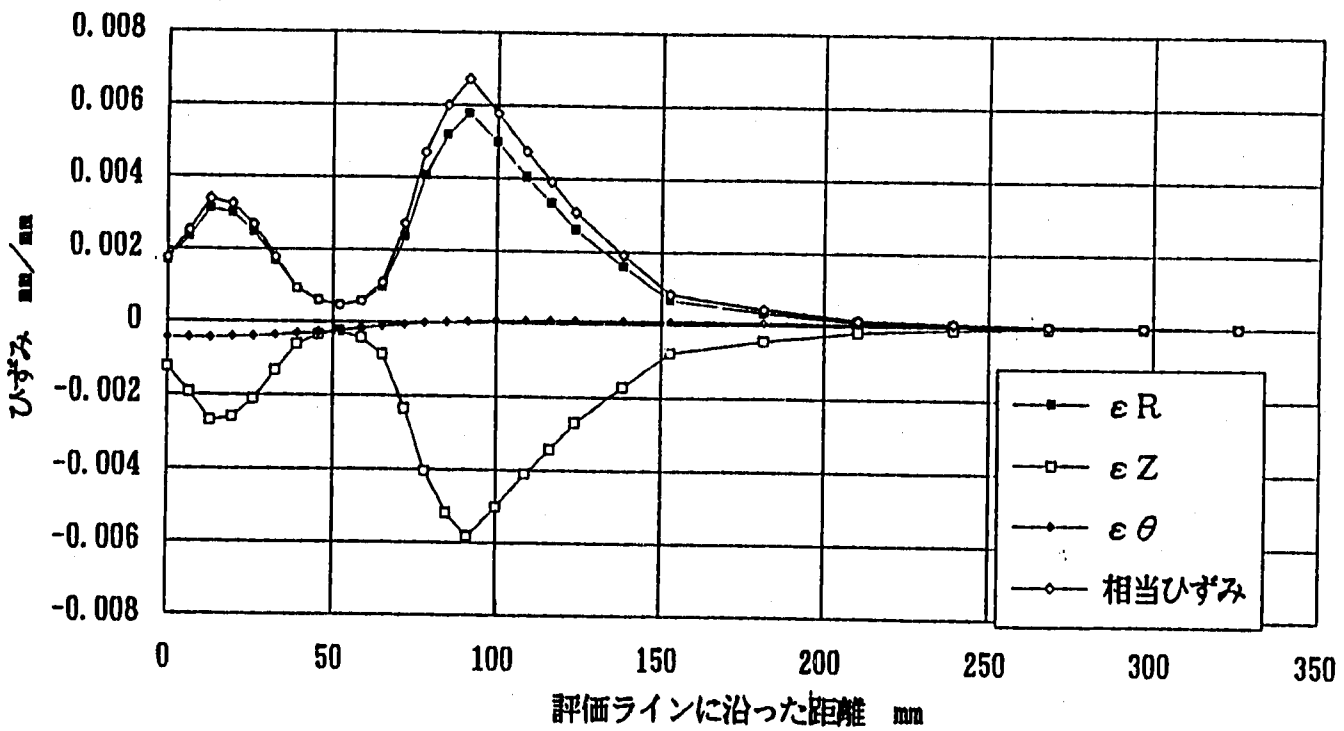


Fig. 2.4.48 評価ラインに沿った各ひずみ成分の分布比較 (MD3 n=7)
(ポアソン比=0.3、0.5)

3. 結言

Y型接合構造について、形状を胴板厚30mm、スカート板厚50mm、接合部を補強したモデル、胴板厚30mm、スカート板厚50mm、胴板厚50mm、スカート板厚30mmの3種類のモデル、材料特性をn乗硬化則（n=5、7）、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、0.5によるパラメータ解析を行った。また、上記解析結果を局所ひずみによ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。

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）

・ I H X

評価断面1（n乗則における最大応力発生断面）における弾性追従パラメータ q_{ep} 、 q_{epn} は、ポアソン比の違いによらずn乗則の指数nが同じであれば、ほぼ同じ値となる。また評価断面2（弾性解析の最大応力発生断面）、3においては、ポアソン比の違いによりバラツキが生じている。I H Xのモデルに関して、弾性追従パラメータ q_{ep} は2.4～4.3であり、 q_{epn} は1.7～3.8である。

また、n乗指数=5における q_{ep} は、2.4～3.5であり、 q_{epn} は、1.7～3.2である。

I H X 評価断面-1

q_{ep} n=5, $\nu=0.3$	3.48
q_{ep} n=5, $\nu=0.5$	3.54
q_{ep} n=7, $\nu=0.3$	4.32
q_{ep} n=7, $\nu=0.5$	4.25
q_{epn} n=5, $\nu=0.3$	3.10
q_{epn} n=5, $\nu=0.5$	3.17
q_{epn} n=7, $\nu=0.3$	3.81
q_{epn} n=7, $\nu=0.5$	3.75

I H X 評価断面-2

q_{ep} n=5, $\nu=0.3$	2.98
q_{ep} n=5, $\nu=0.5$	2.77
q_{ep} n=7, $\nu=0.3$	3.61
q_{ep} n=7, $\nu=0.5$	3.25
q_{epn} n=5, $\nu=0.3$	2.42
q_{epn} n=5, $\nu=0.5$	2.25
q_{epn} n=7, $\nu=0.3$	2.85
q_{epn} n=7, $\nu=0.5$	2.57

I H X 評価断面-3

q_{ep} n=5, $\nu=0.3$	2.69
q_{ep} n=5, $\nu=0.5$	2.42
q_{ep} n=7, $\nu=0.3$	3.13
q_{ep} n=7, $\nu=0.5$	2.73
q_{epn} n=5, $\nu=0.3$	1.91
q_{epn} n=5, $\nu=0.5$	1.72
q_{epn} n=7, $\nu=0.3$	2.13
q_{epn} n=7, $\nu=0.5$	1.89

Fig. 2. 4. 16～2. 4. 18参照

• MD 2

評価断面 1、2、3 における弾性追従パラメータ q_{ep} 、 q_{epn} は、ポアソン比の違いによらず n の指数が同じであれば、ほぼ同じ値となる。

MD 2 のモデルに関して、弾性追従パラメータ q_{ep} は 2.3 ~ 4.5 であり、 q_{epn} は 1.6 ~ 4.1 である。

また、 n 乗指数 = 5 に対する弾性追従パラメータ q_{ep} は、2.3 ~ 3.4 であり、 q_{epn} は 1.6 ~ 3.1 である。

MD 2 評価断面 - 1

MD 2 評価断面 - 2

MD 2 評価断面 - 3

q_{ep} $n=5, \nu=0.3$	3.35	q_{ep} $n=5, \nu=0.3$	2.75	q_{ep} $n=5, \nu=0.3$	2.34
q_{ep} $n=5, \nu=0.5$	3.39	q_{ep} $n=5, \nu=0.5$	2.72	q_{ep} $n=5, \nu=0.5$	2.44
q_{ep} $n=7, \nu=0.3$	4.53	q_{ep} $n=7, \nu=0.3$	3.57	q_{ep} $n=7, \nu=0.3$	2.85
q_{ep} $n=7, \nu=0.5$	4.42	q_{ep} $n=7, \nu=0.5$	3.44	q_{ep} $n=7, \nu=0.5$	2.98
q_{epn} $n=5, \nu=0.3$	3.07	q_{epn} $n=5, \nu=0.3$	2.24	q_{epn} $n=5, \nu=0.3$	1.65
q_{epn} $n=5, \nu=0.5$	3.11	q_{epn} $n=5, \nu=0.5$	2.21	q_{epn} $n=5, \nu=0.5$	1.72
q_{epn} $n=7, \nu=0.3$	4.10	q_{epn} $n=7, \nu=0.3$	2.83	q_{epn} $n=7, \nu=0.3$	1.92
q_{epn} $n=7, \nu=0.5$	4.00	q_{epn} $n=7, \nu=0.5$	2.73	q_{epn} $n=7, \nu=0.5$	2.00

Fig. 2.4.19~2.4.21 参照。

・ MD 3

評価断面 1、2、3 における弾性追従パラメータ q_{ep} 、 q_{epn} は、ポアソン比 0.5 より 0.3 のほうが大きな値となる。

MD 3 のモデルに関して、弾性追従パラメータ q_{ep} は 2.1 ~ 4.3 であり、 q_{epn} は 1.7 ~ 4.1 である。

また、MD 2 のモデルと同様に n 乗指数 = 5 に対する弾性追従パラメータ q_{ep} は 2.1 ~ 3.4 であり、 q_{epn} は 1.7 ~ 3.3 である。

MD 3 評価断面-1

q_{ep} $n=5, \nu=0.3$	3.41
q_{ep} $n=5, \nu=0.5$	2.97
q_{ep} $n=7, \nu=0.3$	4.25
q_{ep} $n=7, \nu=0.5$	3.49
q_{epn} $n=5, \nu=0.3$	3.26
q_{epn} $n=5, \nu=0.5$	2.84
q_{epn} $n=7, \nu=0.3$	4.04
q_{epn} $n=7, \nu=0.5$	3.32

MD 3 評価断面-2

q_{ep} $n=5, \nu=0.3$	2.93
q_{ep} $n=5, \nu=0.5$	2.36
q_{ep} $n=7, \nu=0.3$	3.55
q_{ep} $n=7, \nu=0.5$	2.66
q_{epn} $n=5, \nu=0.3$	2.61
q_{epn} $n=5, \nu=0.5$	2.10
q_{epn} $n=7, \nu=0.3$	3.11
q_{epn} $n=7, \nu=0.5$	2.33

MD 3 評価断面-3

q_{ep} $n=5, \nu=0.3$	2.62
q_{ep} $n=5, \nu=0.5$	2.17
q_{ep} $n=7, \nu=0.3$	3.03
q_{ep} $n=7, \nu=0.5$	2.30
q_{epn} $n=5, \nu=0.3$	2.07
q_{epn} $n=5, \nu=0.5$	1.71
q_{epn} $n=7, \nu=0.3$	2.32
q_{epn} $n=7, \nu=0.5$	1.76

Fig. 2. 4. 22~2. 4. 24参照。

< 応力集中係数 K >

モデル名	K	モデル名	K	モデル名	K
IHX-評価断面-1	1.18	MD2-評価断面-1	1.14	MD3-評価断面-1	1.07
IHX-評価断面-2	1.37	MD2-評価断面-2	1.36	MD3-評価断面-2	1.19
IHX-評価断面-3	1.67	MD2-評価断面-3	1.70	MD3-評価断面-3	1.43

(2) 弾性追従パラメータ (最大応力発生評価断面)

弾性解析の最大応力発生評価断面と n 乗則の最大応力発生評価断面 (n 乗則の評価断面の最大応力発生断面は断面 1、弾性解析の評価断面の最大応力発生断面は断面 2) の組み合わせによる弾性追従パラメータ $q_{e,p}$ 、 $q_{e,p,n}$ は、MD 3 のモデルを除いてポアソン比の違いによらず応力指数 n が同じであればほぼ同じ値となる。MD 3 のモデルに関しては、他のモデルと比べると K (応力集中係数) が小さな値であるために弾性追従パラメータ $q_{e,p}$ と $q_{e,p,n}$ の間に差が生じたと考えられる。

全モデルに関して弾性追従パラメータ $q_{e,p}$ は、2.5 ~ 4 であり、 $q_{e,p,n}$ は 2.5 ~ 3.5 となる。MD 3 のモデルを無視した場合の $q_{e,p,n}$ は 2.5 ~ 3 程度となる。

IHX 最大応力発生断面

MD2 最大応力発生断面

MD3 最大応力発生断面

$q_{e,p}$ $n=5, \nu=0.3$	3.11	$q_{e,p}$ $n=5, \nu=0.3$	2.96	$q_{e,p}$ $n=5, \nu=0.3$	3.12
$q_{e,p}$ $n=5, \nu=0.5$	3.16	$q_{e,p}$ $n=5, \nu=0.5$	2.99	$q_{e,p}$ $n=5, \nu=0.5$	2.72
$q_{e,p}$ $n=7, \nu=0.3$	3.86	$q_{e,p}$ $n=7, \nu=0.3$	4.00	$q_{e,p}$ $n=7, \nu=0.3$	3.89
$q_{e,p}$ $n=7, \nu=0.5$	3.80	$q_{e,p}$ $n=7, \nu=0.5$	3.90	$q_{e,p}$ $n=7, \nu=0.5$	3.20
$q_{e,p,n}$ $n=5, \nu=0.3$	2.52	$q_{e,p,n}$ $n=5, \nu=0.3$	2.41	$q_{e,p,n}$ $n=5, \nu=0.3$	2.78
$q_{e,p,n}$ $n=5, \nu=0.5$	2.57	$q_{e,p,n}$ $n=5, \nu=0.5$	2.44	$q_{e,p,n}$ $n=5, \nu=0.5$	2.43
$q_{e,p,n}$ $n=7, \nu=0.3$	3.05	$q_{e,p,n}$ $n=7, \nu=0.3$	3.18	$q_{e,p,n}$ $n=7, \nu=0.3$	3.42
$q_{e,p,n}$ $n=7, \nu=0.5$	3.00	$q_{e,p,n}$ $n=7, \nu=0.5$	3.10	$q_{e,p,n}$ $n=7, \nu=0.5$	2.80

Fig. 2.4.25~2.4.27参照。

(3) 弾性追従パラメータ (モデルの違い)

- ・ n 指数 = 5、ポアソン比 0.3

弾性追従パラメータ q_{ep} 、 q_{epn} は、n 指数 = 5、ポアソン比 0.3 においてモデルの違いによらずほぼ一定である。評価断面 1 の q_{ep} は、3.3 ~ 3.5、評価断面 2 の q_{ep} は 2.7 ~ 3.0、評価断面 3 の q_{ep} は、2.3 ~ 2.7、評価断面 1 の q_{epn} は、3 ~ 3.3、評価断面 2 の q_{epn} は、2.2 ~ 2.6、評価断面 3 の q_{epn} は、1.6 ~ 2.0 である。

- ・ n 指数 = 5、ポアソン比 0.5

弾性追従パラメータ q_{ep} 、 q_{epn} は、n 指数 = 5、ポアソン比 0.5 においても n 指数 = 5、ポアソン比 0.3 と同様に MD 3 のモデルを除けばモデルの違いによらずほぼ一定である。評価断面 1 の q_{ep} は、3.0 ~ 3.5、評価断面 2 の q_{ep} は 2.3 ~ 2.8、評価断面 3 の q_{ep} は、2.1 ~ 2.5、評価断面 1 の q_{epn} は、2.8 ~ 3.2、評価断面 2 の q_{epn} は、2.1 ~ 2.3、評価断面 3 の q_{epn} は、1.7 である。

n 指数 = 5、ポアソン比 0.5 において、 q_{ep} より q_{epn} のほうが幅が小さくなるのは、MD 3 のモデルの K が他のモデルに比べると小さいためである。

n=5, $\nu=0.3$ 評価断面 1

q_{ep}	IHX-N53	3.48
q_{ep}	MD2-N53	3.35
q_{ep}	MD3-N53	3.41
q_{epn}	IHX-N53	3.10
q_{epn}	MD2-N53	3.07
q_{epn}	MD3-N53	3.26

n=5, $\nu=0.3$ 評価断面 2

q_{ep}	IHX-N53	2.98
q_{ep}	MD2-N53	2.75
q_{ep}	MD3-N53	2.93
q_{epn}	IHX-N53	2.42
q_{epn}	MD2-N53	2.24
q_{epn}	MD3-N53	2.61

n=5, $\nu=0.3$ 評価断面 3

q_{ep}	IHX-N53	2.69
q_{ep}	MD2-N53	2.34
q_{ep}	MD3-N53	2.62
q_{epn}	IHX-N53	1.91
q_{epn}	MD2-N53	1.65
q_{epn}	MD3-N53	2.07

Fig. 2. 4. 28~2. 4. 30参照。

n=5, $\nu=0.5$ 評価断面1

q_{ep}	IHX-N53	3.54
q_{ep}	MD2-N53	3.39
q_{ep}	MD3-N53	2.97
q_{epn}	IHX-N53	3.17
q_{epn}	MD2-N53	3.11
q_{epn}	MD3-N53	2.84

n=5, $\nu=0.5$ 評価断面2

q_{ep}	IHX-N53	2.77
q_{ep}	MD2-N53	2.72
q_{ep}	MD3-N53	2.36
q_{epn}	IHX-N53	2.25
q_{epn}	MD2-N53	2.21
q_{epn}	MD3-N53	2.10

n=5, $\nu=0.5$ 評価断面3

q_{ep}	IHX-N53	2.42
q_{ep}	MD2-N53	2.44
q_{ep}	MD3-N53	2.17
q_{epn}	IHX-N53	1.72
q_{epn}	MD2-N53	1.72
q_{epn}	MD3-N53	1.71

Fig. 2. 4. 31~2. 4. 33

・ n指数=7、ポアソン比0.3

弾性追従パラメータ q_{ep} 、 q_{epn} は、n指数=7、ポアソン比0.3 においてモデルの違いによらずほぼ一定である。評価断面1の q_{ep} は、4.2 ~ 4.5、評価断面2の q_{ep} は3.5 ~ 3.6、評価断面3の q_{ep} は、2.8 ~ 3.1、評価断面1の q_{epn} は、3.8 ~ 4.1、評価断面2の q_{epn} は、2.8 ~ 3.1、評価断面3の q_{epn} は、1.9 ~ 2.3 である。

・ n指数=7、ポアソン比0.5

弾性追従パラメータ q_{ep} 、 q_{epn} は、n指数=7、ポアソン比0.5 においてもn指数=7、ポアソン比0.3 と同様にMD3のモデルを除けばモデルの違いによらずほぼ一定である。評価断面1の q_{ep} は、3.5 ~ 4.5、評価断面2の q_{ep} は2.6 ~ 3.5、評価断面3の q_{ep} は、2.3 ~ 3.0、評価断面1の q_{epn} は、3.3 ~ 4.0、評価断面2の q_{epn} は、2.3 ~ 2.8、評価断面3の q_{epn} は、1.7 ~ 2 である。n指数=7、ポアソン比0.5 において、 q_{ep} より q_{epn} のほうが幅が小さくなるのは、MD3のモデルのKが他のモデルに比べると小さいためである。

n=7, $\nu=0.3$ 評価断面 1

q _{ep} IHX-N73	4.32
q _{ep} MD2-N73	4.53
q _{ep} MD3-N73	4.25
q _{epn} IHX-N73	3.81
q _{epn} MD2-N73	4.10
q _{epn} MD3-N73	4.04

n=7, $\nu=0.3$ 評価断面 2

q _{ep} IHX-N73	3.61
q _{ep} MD2-N73	3.57
q _{ep} MD3-N73	3.55
q _{epn} IHX-N73	2.85
q _{epn} MD2-N73	2.83
q _{epn} MD3-N73	3.11

n=7, $\nu=0.3$ 評価断面 3

q _{ep} IHX-N73	3.13
q _{ep} MD2-N73	2.85
q _{ep} MD3-N73	3.03
q _{epn} IHX-N73	2.13
q _{epn} MD2-N73	1.92
q _{epn} MD3-N73	2.32

Fig. 2. 3. 34~2. 4. 36参照。

n=7, $\nu=0.5$ 評価断面 1

q _{ep} IHX-N73	4.25
q _{ep} MD2-N73	4.42
q _{ep} MD3-N73	3.49
q _{epn} IHX-N73	3.75
q _{epn} MD2-N73	4.00
q _{epn} MD3-N73	3.32

n=7, $\nu=0.5$ 評価断面 2

q _{ep} IHX-N73	3.25
q _{ep} MD2-N73	3.44
q _{ep} MD3-N73	2.66
q _{epn} IHX-N73	2.57
q _{epn} MD2-N73	2.73
q _{epn} MD3-N73	2.33

n=7, $\nu=0.5$ 評価断面 3

q _{ep} IHX-N73	2.73
q _{ep} MD2-N73	2.98
q _{ep} MD3-N73	2.30
q _{epn} IHX-N73	1.89
q _{epn} MD2-N73	2.00
q _{epn} MD3-N73	1.76

Fig. 2. 3. 37~2. 4. 39参照。

参 考 文 献

- [1] 「FINAS 使用説明書 VERSION 12.0」
PNC TN9520 92-006 1993年3月
- [2] 石川他、準定常的熱応力を受けるY型接合構造の弾性及び非弾性解析計算
PNC PN9450 93-010 1992年12月
- [3] 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
- [4] 笠原他、Advanced Creep-Fatigue Evaluation Rules for FBR Components
— Generalization of Elastic Follow-up Model —
(POST SMiRT Seminar No.11)

Appendix-1 弾性追従パラメータの算出方法

・局所ひずみによる弾性追従パラメータ q_p

(1) 弾塑性挙動を記述する弾性追従係数

弾性追従基本モデル

変断面棒

長さ	l_1	l_2
断面積	a_1	a_2
非線形項係数	A_1	A_2
縦弾性係数	E_1	E_2

適合条件 $l_1 \varepsilon_1 + l_2 \varepsilon_2 = \delta$ (1)

釣合式 $a_1 \sigma_1 = a_2 \sigma_2 = F$ (2)

応力-ひずみ関係 Ramberg-osgood 則を仮定

$\varepsilon_1 = \sigma_1 / E_1 + A_1 \sigma_1^n$ (3)

$\varepsilon_2 = \sigma_2 / E_2 + A_2 \sigma_2^n$ (4)

(2), (4)より

$\varepsilon_2 = (a_1/a_2) \sigma_1 / E_2 + A_2 (a_1/a_2)^n \sigma_1^n$ (5)

(3), (5)を(1)に代入し、 σ_1 について整理すると

$$\frac{\sigma}{E} = \left[\frac{1 + (A_2/A_1)(l_2/l_1)(a_1/a_2)^n}{1 + (l_2/l_1)(a_1/a_2)(E_1/E_2)} \right] A_1 \sigma_1^n$$

+ $\frac{\delta}{l_1 + l_2(a_1/a_2)(E_1/E_2)}$ (6)

(6)を(3)に代入

$$\varepsilon_1 = \left[\frac{1 + (A_2/A_1)(l_2/l_1)(a_1/a_2)^n}{1 + (l_2/l_1)(a_1/a_2)(E_1/E_2)} - 1 \right] A_1 \sigma_1^n$$

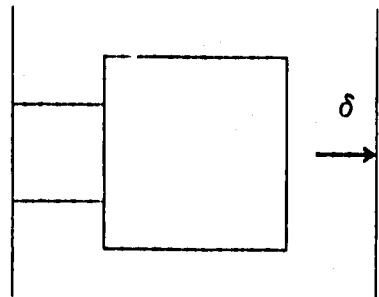
+ $\frac{\delta}{l_1 + l_2(a_1/a_2)}$ (7)

弾性体の場合、式(7)でnを1とおくと

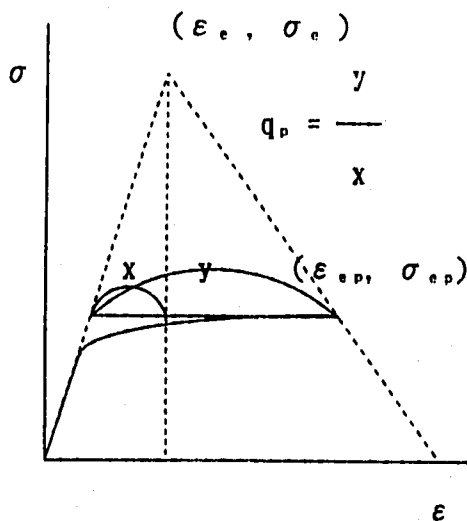
$$\varepsilon_{1e} = \frac{\delta}{l_1 + l_2(a_1/a_2)(E_1/E_2)}$$
 (8)

左図で定義される弾性追従係数 q_p は(6), (7), (8)より次式のように負荷に依存しなくなる。

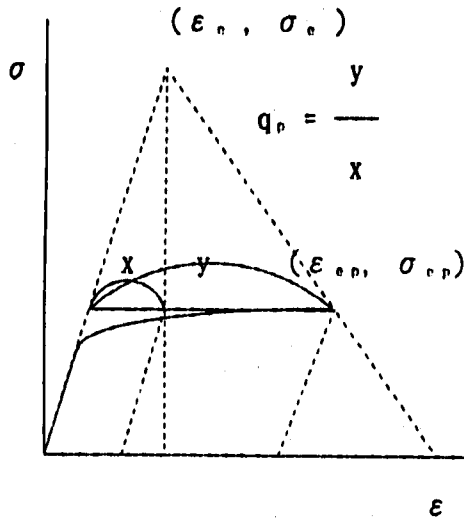
$$q_p = \frac{\varepsilon_1 - \sigma_1/E}{\varepsilon_{1e} - \sigma_1/E} = \frac{1 + (l_2/l_1)(a_1/a_2)(E_1/E_2)}{1 + (A_2/A_1)(l_2/l_1)(a_1/a_2)^n}$$



応力	σ_1	σ_2
ひずみ	ε_1	ε_2



(2) 弾性追従係数の簡易な計算方法



左図から弾塑性状態での弾性追従係数は、塑性ひずみ（ひずみの非線形成分）の比と解釈できる。従って、純粋な n 乗則応力-ひずみ関係を用いて q を計算できる。以下に例を示す。

適合条件 $l_1 \epsilon_1 + l_2 \epsilon_2 = \delta$ (1)

釣合式 $a_1 \sigma_1 = a_2 \sigma_2 = F$ (2)

応力-ひずみ関係 (n 乗則を仮定)

$\epsilon_1 = A_1 \sigma_1^n$ (3)

$\epsilon_2 = A_2 \sigma_2^n$ (4)

(2), (3), (4) より

$\epsilon_2 = A_2 (a_1/a_2)^n \sigma_1^n = (A_2/A_1) (a_1/a_2)^n \epsilon_1$ (5)

$\epsilon_1 = \frac{\delta}{l_1 + l_2 (A_2/A_1) (a_1/a_2)^n}$ (6)

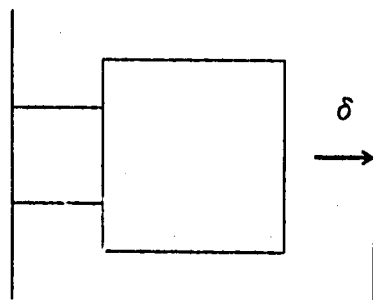
弾性体の場合、式(3), (4)において $A_1 = A_2$ で $n=1$ と考えればよいので(6)より

$\epsilon_{1e} = \frac{\delta}{l_1 + l_2 (a_1/a_2)}$ (7)

(6), (7)よりひずみ集中係数は応力によらず一定となり Ramberg-osgood 式の q_p ((1)弾塑性挙動を記述する弾性追従係数よりもとまった値) と一致する。

$K \epsilon = \frac{1 + (l_2/l_1)(a_1/a_2)}{1 + (A_2/A_1)(l_2/l_1)(a_1/a_2)^n} = q_p$

	変断面棒	
長さ	l_1	l_2
断面積	a_1	a_2
非線形項係数 A_1	A_1	A_2



応力	σ_1	σ_2
ひずみ	ϵ_1	ϵ_2

- 総体的弾性追従パラメータ q_{epn}

q_{ep} は局所ひずみに関する弾性追従係数で次式より定義される。

弾性追従係数 (q_{ep}) = 局所的挙動 (q_l) × 総体的挙動 (q_{epn})

ここで、局所的挙動 (q_l) は $K^{(n-1)/(n+1)}$ である。

したがって、

$$\text{総体的挙動 } (q_{epn}) = \frac{q_{ep}}{K^{(n-1)/(n+1)}} \text{ となる。}$$

Appendix-2

FINAS入力データ一覧

本解析に使用したFINAS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。

・Y型構造解析 (ソリッド)

登録ID: POD2A11

データセット名: YNJYO. DATA

FINAS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	
¥RANGE 42	RANGE用JCL	
¥STRSDS	応力解析用JCL	
¥NJYO	n乗則解析JCL	
EIHXC1	IHX-Y 弾性解析 (定常)	
EMD2C1	MD2-Y 弾性解析 (定常)	
EMD3C1	MD3-Y 弾性解析 (定常)	
EPIHC3N	IHX-Y n乗則 (非線形弾性モデル)	
EPM2C3N	MD2-Y n乗則 (非線形弾性モデル)	
EPM3C3N	MD3-Y n乗則 (非線形弾性モデル)	
FNSEDT C1	FINAS 用 FNSEDIT (定常)	
HIHXC1	IHX-Y 熱伝導解析 (定常)	
HMD2C1	MD2-Y 熱伝導解析 (定常)	
HMD3C1	MD3-Y 熱伝導解析 (定常)	
RIHXL1	IHX-Y RANGE データ、LINE-1	
RMD2L1	MD2-Y RANGE データ、LINE-1	
RMD3L1	MD3-Y RANGE データ、LINE-1	