

大阪大学 正会員 小松定夫  
 " " " 〇崎元達郎

1) まえがき: 先に、著者らは、熱間仕上継目無鋼管が、圧縮とねじりの組合せ負荷を受ける場合について実験を行ない、Von Misesの降伏条件が実験値とよく一致することと、塑性ひずみ増分が、降伏曲線にはほぼ直交することを確かめた。今回は、残留応力を有する電鍍鋼管(STK-4/E)について、同様の実験を行ない、部分的に降伏域を持つ断面の応力とひずみの関係を調べ、弾塑性域における、ねじり剛度の算定について一つの試みを行なった。

2) 実験: 載荷装置は、文献1)の図-1に示すものを用いた。供試体を図-1に、その断面諸量を表-1に示している。載荷は、単純圧縮(SPE-1)、単純ねじり(SPE-2)、 $\bar{\sigma} = 0.7\gamma$ における一定圧縮-漸増ねじり(SPE-3)、 $\bar{\tau}/\sigma = 0.35$ の比例負荷(SPE-4)の場合について行ない、圧縮およびねじり荷重と供試体中央断面のひずみを、連続的に同時測定した。実験結果を図-2~5に示す。

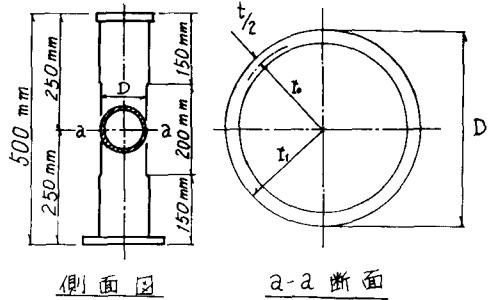


図-1 供試体

3) 解析: 降伏関数と塑性ポテンシヤ

表-1 供試体断面諸量と材料試験結果

ルを、偏差応力の二次不変量  $J_2$  にとると、塑性ひずみ増分は、次式で表される。

$$d\epsilon_{ij}^p = h \frac{2\sigma_{ij}}{2\sigma_y} dJ_2 \quad (\text{for } dJ_2 > 0) \quad (1)$$

関数  $h$  は、通常、枝片の引張試験結果より次式で求められる。<sup>2)</sup>

$$h = \frac{3}{4J_2} (\sqrt{E_t} - \sqrt{E}) \quad , \quad E_t = \frac{d\sigma}{d\epsilon} \quad (2)$$

ここでは、溶接残留応力と冷間加工の影響を考慮するために、短柱試験によって得られる平均応力-平均ひずみ曲線の比例限以上の部分を、見かけのひずみ硬化領域と考え、上記の理

試料番号	平均厚 $t$ (mm)	平均直径 $\bar{D}$ (mm)	断面積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	$I_p/E = \frac{D^4}{32E}$	降伏応力 $\sigma_y = \sigma_y$	引張強さ $\sigma_B$	降伏歪 $\epsilon_y$	$\nu$ の係数 $\times 10^{-6}$	ひずみ硬化係数 $G$ $\times 10^5$
SPH-1	4.90	100.03	14.64	69.67	4370 (kg/cm <sup>2</sup> )	4846 (kg/cm <sup>2</sup> )	2500 $\times 10^{-6}$	2.17 $\times 10^6$	8.18 $\times 10^5$
SPH-2	4.82	99.88	14.39	68.42					
SPH-3	4.85	99.93	14.49	68.87					
SPH-4	4.83	99.90	14.43	68.59					

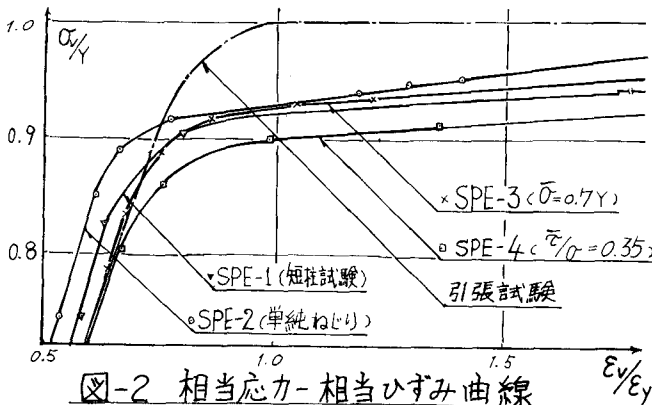


図-2 相当応力-相当ひずみ曲線

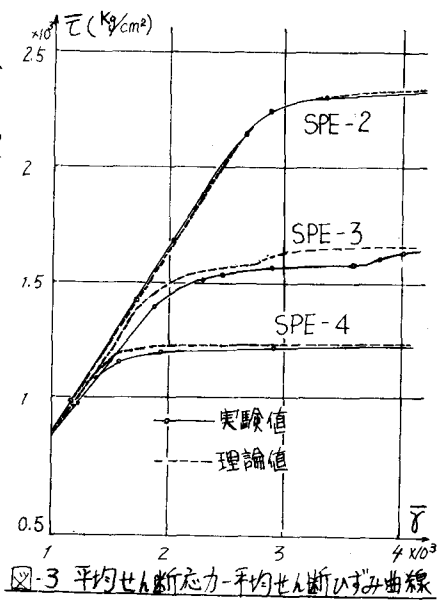


図-3 平均せん断応力-平均せん断ひずみ曲線

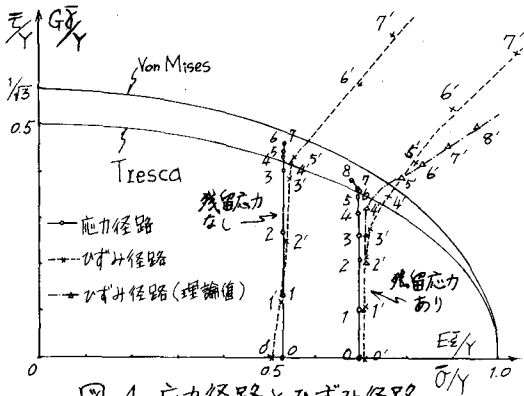


図-4 応力径路とひずみ径路

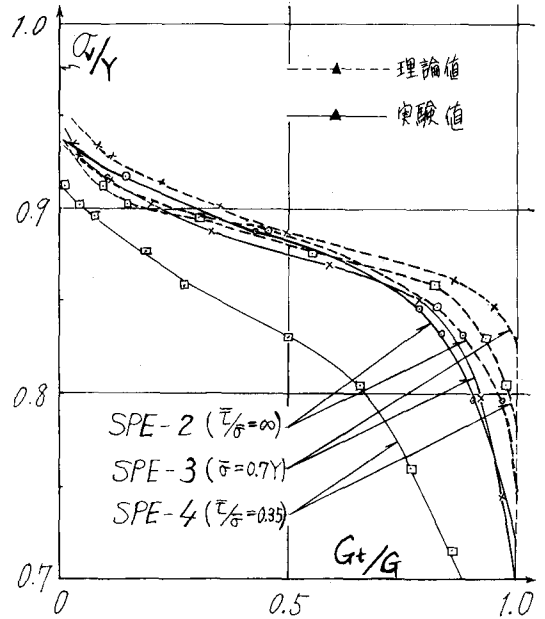


図-5  $G_t/G - \bar{\sigma}/Y$  曲線

論を適用する。まず、比例限以上の部分を、

Ramberg-Osgood の式にならって

$$\bar{\epsilon} - \bar{\epsilon}_0 = \frac{\bar{\sigma} - \bar{\sigma}_0}{E_0} - k \left( \frac{\bar{\sigma} - \bar{\sigma}_0}{E_0} \right)^m \quad (3)$$

で近似する。ここに  $\bar{\epsilon}_0, \bar{\sigma}_0, E_0$  は、それぞれ、比例限の平均ひずみ、平均応力、接線弾性係数であり、 $k, m$  は、実験値により決めるべき定数である。

式(3)より  $d\bar{\sigma}/d\bar{\epsilon} = E_t$  を求めて、式(2)に代入すると、つぎの式を得る。

$$h = \frac{3}{4} J_2' \left\{ \frac{1}{E_0} - \frac{1}{E} + \frac{mk}{E_0} \left( \frac{\sqrt{3} J_2' - \bar{\sigma}_0}{E_0} \right)^{m-1} \right\} = \frac{3mk}{4E_0 J_2'} \left( \frac{\sqrt{3} J_2' - \bar{\sigma}_0}{E_0} \right)^{m-1} \quad (4)$$

さらに、 $dJ_2'$  と  $dJ_2'$  は、本実験の場合、平均応力で、 $J_2' = \bar{\sigma}^2 + \frac{1}{3} \bar{\sigma}^2$ 、 $dJ_2' = 2\bar{\sigma} d\bar{\sigma} + \frac{2}{3} \bar{\sigma} d\bar{\sigma}$  と表わされるものとする、ひずみ増分の弾性および塑性成分は、

$$d\bar{\epsilon} = d\bar{\epsilon}^e + d\bar{\epsilon}^p = \frac{1}{E} d\bar{\sigma} + \frac{2}{3} h \bar{\sigma} dJ_2', \quad d\bar{\sigma} = d\bar{\sigma}^e + d\bar{\sigma}^p = \frac{1}{G} d\bar{\tau} + 2h \bar{\tau} dJ_2' \quad (5)$$

で与えられる。短柱(SPE-1)の実験結果より得た  $\bar{\sigma}_0 = 3400 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 、 $\bar{\epsilon}_0 = 1500 \text{ (} \times 10^{-6}\text{)}$ 、 $E_0 = 2.16 \text{ (} \times 10^6 \text{ kg/cm}^2\text{)}$ 、 $m = 6$ 、 $k = 1.1 \times 10^{-12}$  を式(4)、(5)に用いた計算値を、図-3、4、5に理論値として示してある。

4) 考察：図-3によると、相当応力-相当ひずみにより、比較的うまく整理されることが解かる。最終荷重が、平均5%程度低目の値を与えているのは、供試体の製作上の幾何学的不整と荷重が完全に一様でない為に局部変形を起こしたことが主な原因ではないかと考えられる。図-3、図-4では、実験値と理論値が、比較的良く一致している。図-4では、残留応力のある場合に、比較的早くからひずみが増加し始めてあり、この付近から降伏が始まっていると推定される。図-5は、図-4の  $\bar{\sigma}-\bar{\tau}$  曲線の勾配として求めた  $G_t/G$  のおおよその値が、こうした断面全体として進めた理論によっても、近似的に推定できるとを示している。断面全体にわたって平均化した応力とひずみの関係を問題にすることは、現象によっては、本質的な取り扱いにならない場合もあるが、不可知の幾何学的、材料学的不完全因子を含めて判断を下す上の一の方法であろうと考えている。

実験と資料整理に協力いただいた大学院生、小林潔君に謝意を表します。

参考文献 1) 小松、崎元 「圧縮とねじりを受ける鋼の降伏限界付近における材料特性について」

昭47 関西支部年次学術講演会概要

1957

2) G. Haaijer 「Plate Buckling in the Strain-hardening Range」 Proc. A.S.C.E. EM2,