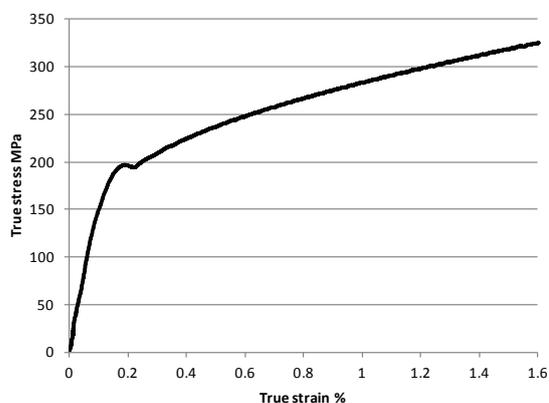


### 問題 1-3 配管のバースト圧力

配管のその呼び径とスケジュール番号に応じて肉厚が決められている。これを有限要素法によって検証する。材料は、STPG370-S とする。使用温度（300℃）における応力-ひずみ曲線を図 1 に示す。ヤング率は 184GPa, ポアソン比は 0.3 である。内圧は 3.5MPa とする。



- (1) 呼び径 40A (直径 48.6mm) の配管の肉厚をスケジュール表から設定し、有限要素法による弾性解析を行い、安全裕度を許容応力の面から検証せよ。ただし、許容応力は以下の式で設定されるものとする。
$$\sigma_a = \min\left(\frac{\sigma_Y}{1.5}, \frac{\sigma_B}{4}\right)$$
- (2) 呼び径 100A (直径 114.3mm) の配管の肉厚をスケジュール表から設定し、有限要素法による弾性解析を行い、1) と同様に安全裕度について検討し、比較せよ。
- (3) 図 1 の応力-ひずみ曲線を弾完全塑性体と近似し、40A, 100A において全断面降伏に至る内圧を求めよ。
- (4) 図 1 の応力-ひずみ曲線を図 2 のような二直線近似で近似し、臨界内圧を求めることを考える。ただし、臨界内圧は、図 3 のように、配管の内圧と膨張量の曲線の勾配が二倍になる点とせよ。
- (5) \* 図 1 の応力-ひずみ曲線を使い、塑性不安定解析を行い、臨界内圧を求めよ。

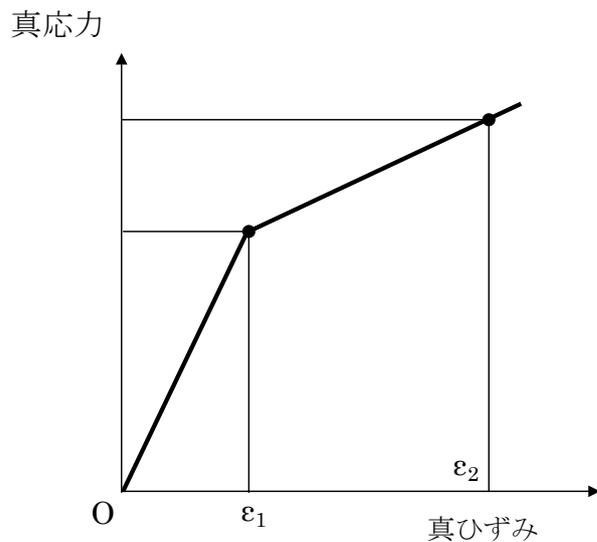


図2 二直線近似

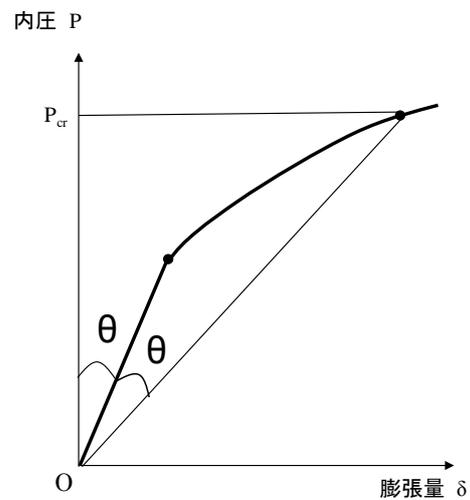


図3 配管膨張量—内圧曲線

以下参考資料)

※配管スケジュール番号方式は、使用圧力  $P$  と 許容応力  $S$  によって肉厚体系を表示するもので、以下の式によって表すことが出来る。

$$\text{スケジュール番号 (Sch)} = (P/S) \times 1000$$

$P$  : 設計圧力 MPa

$S$  : 設計温度におけるパイプ材料の許容応力 MPa

この計算式を用いれば、使用すべきスケジュール番号を知ることが出来る。例えば、パイプに STPG370-S を使用し、設計温度を  $250^{\circ}\text{C}$ 、圧力  $P$  を  $35\text{kg}/\text{cm}^2$  とすると、JIS から、 $S = 9.5\text{kg}/\text{mm}^2$  なので、上記スケジュール番号の計算式に当てはめると、スケジュール番号 (Sch)  $= (35 \div 9.5) \times 10 \div 37$  となり、Sch40 のパイプを使用する必要があることが分かる。

肉厚の式は、理論的には  $D$  を外径として、

$$t = DP/2S$$

となるが、腐食代、ねじ代、製造許容差の 12.5% を考慮して以下の式で与えられる

$$t = (DP/1.75S) + 2.54$$

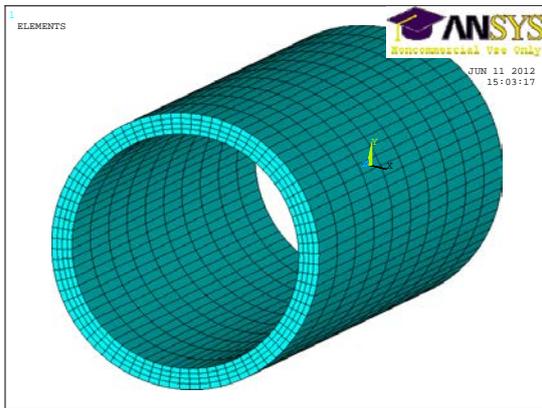
略解)

(1)

スケジュール番号 40 の配管 (内径 41.2mm, 外径 48.6mm, 板厚 3.7mm) についての解析を行う。

軸方向長さ 200 の 1/2 モデルを作成した。解析条件は以下の通りである。

- ・要素の種類 : solid186 (三次元六面体二次要素) ANSYS11.0
- ・要素サイズ : 厚さ方向を 4 層, 周方向を 80 分割, 軸方向を 10 分割した。  
メッシュの様子は下図のようになっている。



- ・材料特性 : ヤング率 184GPa, ポアソン比 0.3 の等方弾性体
- ・解析の種類 : 大変形
- ・境界条件 :  $z=0$  の面全体を  $z$  方向拘束,  $z=0$  の面のうち一番下の節点のみ  $x, y$  方向も拘束
- ・荷重条件 :  $z=100$  の面に軸方向応力, 円筒内側の面に内圧をかける

荷重の値は

内圧 : 3.5[MPa]

軸方向応力 :  $\frac{3.5 \times 20.6}{2 \times 3.7} = 9.743$ [MPa]

円筒の最大主応力の平均は  $(21.397+17.89) \div 2=19.643$ [MPa] であり、理論解  $9.743 \times 2=19.486$ [MPa] とほぼ一致する。STPG370-S の降伏応力は 251MPa, 引張強さは 469MPa なので、規格で定められた許容応力は、 $\min(251/1.5, 469/4)=117.25$ [MPa] によって、内圧を負荷した際に発生する周方向応力は、許容応力に対して  $117.25 \div 19.643=5.97$  倍の安全裕度を有しているといえる。

(2)

100A は内径 102.3mm, 外径 114.3mm, 板厚 6.0mm

最大主応力の平均は  $(31.726+28.211) \div 2=29.968$ [MPa] となり、理論解  $14.918 \times 2=29.836$ [MPa] と一致する。内圧を負荷した際に発生する周方向応力は、許容応力に対して  $117.25 \div$

29.968=3.91 倍の安全裕度を有しているといえる.

(3)

(1)40A について

サブステップ毎に 0.4MPa ずつ内圧を増していき, 解が発散する直前の平衡点を全断面降伏とした.

結果, 内圧が 37.6MPa で全断面降伏した.

最大主応力の平均が降伏応力に達するときの内圧の理論解を  $x$ [MPa]とすると,  $x \times 20.6 \div 3.7 = 200$  より,  $x = 35.92$  と求まる. 全断面降伏はこれより若干大きい値になるので, FEM の結果は妥当だと言える.

(2)100A について

内圧が 25.2MPa で全断面降伏した. 最大主応力の平均が降伏応力に達するときの内圧の理論解を  $x$ [MPa]とすると,  $x \times 51.15 \div 6.0 = 200$  より,  $x = 23.46$  と求まる. 全断面降伏はこれより若干大きい値になるので, FEM の結果は妥当だと言える.

(4)

(1)40A について

サブステップ毎に 1MPa ずつ内圧を増していき, 板の外側と内側のひずみ, および外部の勾配を 2 倍にした直線をプロットした交点より, 約 40[MPa]が臨界内圧と求まる.

(2)100A について

同様の手法で約 27[MPa]が臨界内圧と求まる.

(5)

(1)40A について

サブステップ毎に少しずつ内圧を増していき, 解が発散する直前の平衡点を臨界内圧とした. 結果, 内圧が 59MPa になったところで発散した.

(2)100A について

内圧が 40MPa になったところで発散した