

## 問題 2-2 配管伸縮継手（ベロー）の設計

配管伸縮継手（ベロー）は配管系に負荷される熱膨張・収縮や地震時の機械的強制変位を吸収して配管・機器への外力を緩和するために設置される。

図 1 に示す配管系について、構造物 I（起振端 C）の水平方向地震変位  $\delta_T$  が直配管を通じて機器 II の取付端 A におよぼす地震外力を緩和するために、配管の中間にベロー（B B'）を設置する。地震による水平方向変位の変動に対して機器 II が安全であるようにベロー（山数）は設計されている。

地震荷重は、起振端 C で水平方向強制変位  $\delta_T = \pm 40\text{mm}$  ( $N=200$  回/地震) とする。材料は、ステンレス鋼管で、ヤング率が  $195\text{GPa}$ 、ポアソン比が  $0.3$ 、 $0.2\%$  耐力が  $205\text{MPa}$ 、引張強さが  $520\text{MPa}$  である。

(1) 最初に、ベローがない配管系を考える。ただし、図 1 のモデルは  $L_0=18000$  と非常に大きいので、 $L=1800$  の部分を抜き出してきた図 2 のようなモデルの解析を行う。また、右端の強制変位  $\delta_{T0}$  は手計算により決定すること。最大応力値とその場所を求めよ。メッシュサイズの評価及びオーダーエスティメーションを必ず行うこと。

(2) 次に、ベローを 1 山のみ設けた図 3 のようなモデルを考える。本モデルの右端の強制変位  $\delta_T$  は、ベローの剛性によって決まるため、簡単な手計算で求めることは出来ない。よって、ここでは先ずベローの剛性を求めることを考える。メッシュサイズの評価を必ず行うこと。

(2-1) 仮に  $\delta_T = \delta_1 = 1\text{mm}$  を与えた解析を行い、ベロー 1 山部分のバネ定数  $k_b = F_0 / \delta_b$  を計算せよ。ここで、 $F_0$  は  $\delta_1$  によってベローに負荷される荷重であり、強制変位の解析の場合、通常、節点反力から求めるが、反力が出力されないソフト (Easy- $\sigma$  等) の場合、円管部 A~B' の一様な板厚平均応力  $\sigma_0$  を用いて、 $F_0 = \sigma_0 A_0$  ( $A_0$  は円管の断面積) として計算してよい。 $\delta_b$  はベロー 1 山の変形量で、点 B の変位と点 B' の変位の差から求める。

(2-2) ベローの最大応力とその発生位置も求めよ。

(2-3) (2-1) で求めたバネ定数を使って  $\delta_T$  を求めよ。

(3) ベローの必要山数  $N_B$  の設計を行う。

(3-1) 図 4 の SN 線図から  $N=200$  回に対する応力振幅  $S_a$  を求め、(2) で求めたベローの最大応力を用いて応力値  $S_a$  が生ずるベロー 1 山の許容変形量  $\delta_0$  を計算せよ。

(3-2) 必要な山数  $N_B$  を手計算により見積もれ。

(4) ベローの山の数を様々に変えた解析を行い、(3) の見積もりを検証せよ。また、A 部の応力、円胴部の応力、ベロー部の応力が山数にどのように依存するのか調べよ。得られた傾向を力学的に解釈せよ。

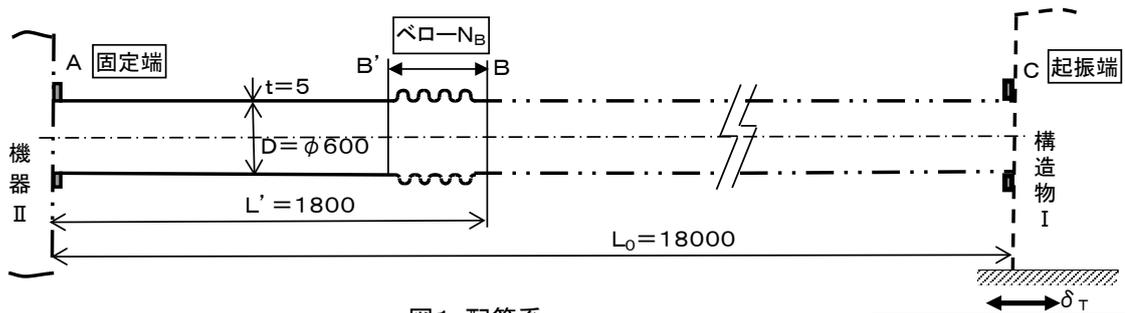


図1 配管系

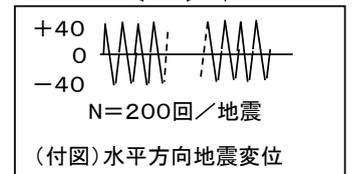


図1 ベローつき配管系

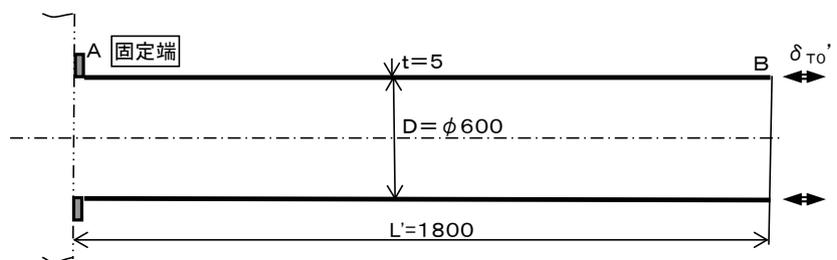
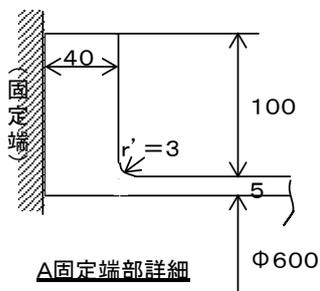


図2 ベローなし配管モデル

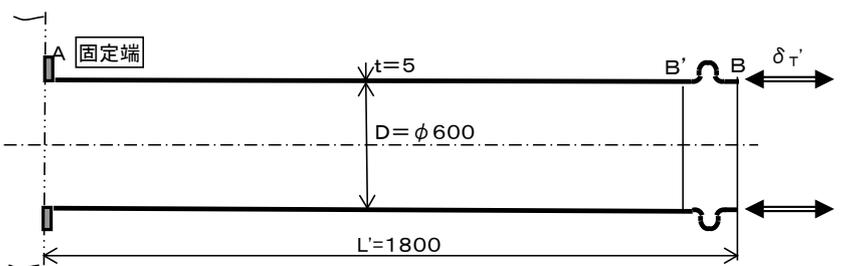
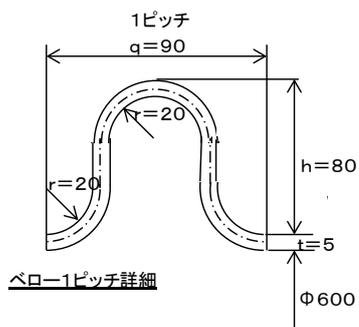
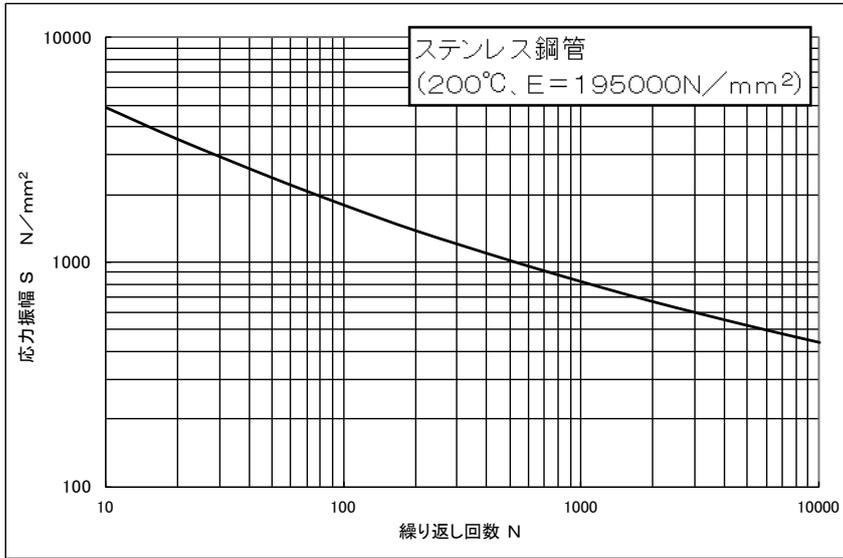


図3 一山ベロー配管モデル



N	S
10	4882
20	3530
50	2379
100	1800
200	1386
500	1020
1000	821
2000	669
5000	524
10000	441

図 4 設計疲労線図  
(S N線図)

(略解)

(1)

i)  $\delta_{T0}'=4\text{mm}$

ii) 最大応力  $\sigma_{\max}=840\text{MPa}$ 、固定端 A の隅半径  $r'$  部

iii) オーダーエスティメーション 円筒部の軸方向応力 :  $\sigma_0=433.3\text{MPa}$  は FEM と一致。

(2) (2-1)  $k_b=36175\text{N/mm}$

(2-2)  $\sigma_{\max}=147.5\text{MPa}$  (位置は山部/谷部)

(2-3)  $\delta T'=30.6\text{mm}$

(3) (3-1)  $\delta_0=9.12\text{mm}$

(3-2) Nb=5 山

(4) 妥当