

1

伸縮管継手の設計

1.変位量計算

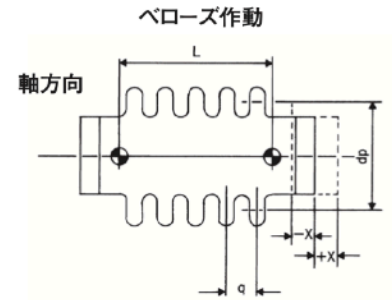
ペローズは軸方向、軸直角方向、角変位の3変位を吸収することが出来、それぞれの変位をペローズ1山当りの軸方向作動量に換算して計算します。

1-1.軸方向変位量

軸方向変位量“X”による1山当り軸方向作動量

$$\text{単式} \quad e_x = \frac{X}{N}$$

$$\text{複式} \quad e_x = \frac{X}{2N}$$



1-2.軸直角方向変位量

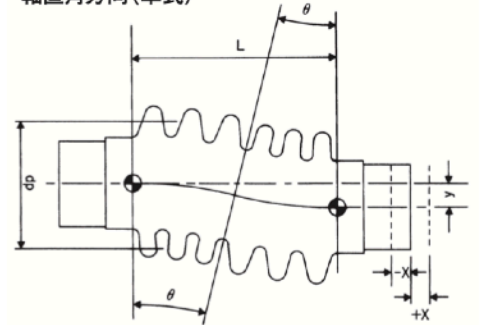
軸直角方向変位量“Y”による1山当り軸方向作動量

$$\text{単式} \quad e_y = \frac{3dp \cdot Y}{N(L \pm X)}$$

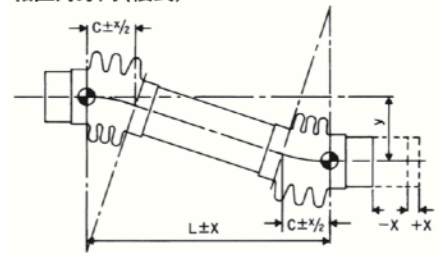
$$\text{複式} \quad e_y = \frac{K \cdot dp \cdot Y}{2N(L - C \pm X/2)}$$

$$K = \frac{3L^2 - 3C \cdot L}{3L^2 - 6CL + 4C^2}$$

軸直角方向(単式)



軸直角方向(複式)



1-3.角変位

角変位“θ”による1山当り軸方向作動量

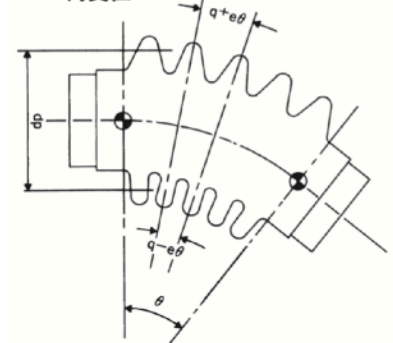
$$e_\theta = \frac{\theta \cdot dp}{2N} \cdot \frac{\pi}{180}$$

1-4.1山当り軸方向全作動量

上記により求められた各変位の作動量より、全作動量は次式により表される。

$$e = |e_x| + e_y + e_\theta$$

角変位



2. 耐圧計算

2-1. 内圧によるベローズ端部の周方向膜応力

$$S_1 = \frac{P \cdot d \cdot Eb \cdot K}{(tc \cdot EC + n \cdot t \cdot Eb)}$$

2-2. 内圧によるカラーの周方向膜応力

$$S_1' = \frac{P \cdot d \cdot Ec}{2(tc \cdot Ec + n \cdot t \cdot Eb)}$$

2-3. 内圧によるベローズの周方向膜応力

$$S_2 = \frac{P \cdot dp}{2n \cdot tp} \left(\frac{1}{0.571 + 2W/q} \right)$$

2-4. 内圧によるベローズの長手方向膜応力

$$S_3 = \frac{P \cdot W}{2n \cdot tp}$$

2-5. 内圧によるベローズの長手方向曲げ応力

$$S_4 = \frac{P}{2n} \left(\frac{W}{tp} \right)^2 C_p$$

制限応力 $S_1, S_1', S_2, S_3, 0.35S_4 \leq SA$

3. 許容繰返し回数計算

3-1. 伸縮によるベローズの長手方向膜応力

$$S_5 = \frac{Eb \cdot tp^2 \cdot e}{2W^3 \cdot Cf}$$

3-2. 伸縮によるベローズの長手方向曲げ応力

$$S_6 = \frac{5Eb \cdot tp \cdot e}{3W^3 \cdot Cd}$$

3-3. 合成応力

$$St = 0.7(S_3 + S_4) + (S_5 + S_6)$$

3-4. 繰返し寿命回数

$$Nc = \left(\frac{1307.6Tf}{0.102St - 38} \right)^{3.4}$$

■記号説明

X:軸方向変位	mm
Y:軸直角方向変位	mm
θ:角変位	度
P:設計圧力	MPa
d:ベローズ端部外径	mm
dp:ベローズ有効径 (d+W)	mm
W:ベローズ山高さ	mm
q:ベローズピッチ	mm
N:ベローズ山数	山
t:ベローズ板厚	mm
tp:ベローズ計算板厚 $t\sqrt{\frac{d}{dp}}$	mm
L:ベローズ有効長さ (ユニバーサル形は、中間パイプ含む)	mm
C:ユニバーサル形の片側ベローズ長さ	mm
K:ユニバーサル形の係数 $K = \frac{3L^3 - 3CL}{3L^2 - 6CL + 4C^2}$	
e:ベローズ1山当り軸方向全作動量	mm
tc:カラー板厚	mm
k:ベローズ端部補正係数 $\frac{lt}{1.5\sqrt{dt}}$	
lt:ベローズ端部長さ	mm
Eb:ベロー材の使用温度における弾性係数	
Ec:カラー材の使用温度における弾性係数	
Sh:使用温度における許容引張応力	N/mm ²
Sc:常温における許容引張応力	N/mm ²
n:ベローズの層数	
Tf:温度補正係数	機械的変位の場合: Sh/Sc 熱膨張変位の場合: (Sc+Sh)/2Sc
SA:許容応力	N/mm ²
Nc:繰返し寿命回数	
Cp:形状係数(表1)	
Cf: " (表2)	
Cd: " (表3)	
fiu:ベローズ軸方向バネ定数	N/mm/山
F:軸方向バネ荷重	N
V:軸直角方向バネ荷重	N
Mθ:回転モーメント	N-mm
Fs:面推力	N
a:有効断面積 $\frac{\pi \cdot dp^2}{4}$	mm ²
Fm:軸方向全荷重	N

4. 変位による反力計算

ペローズを伸縮させる為には、伸縮により発生するバネ反力と内圧により発生する面推力の合計値以上の力が必要です。

4-1. ペローズの軸方向バネ常数

$$f_{iu} = 1.7 \cdot \frac{dp \cdot E_b \cdot t_p^3 \cdot n}{W^3 \cdot C_f}$$

4-2. 軸方向変位により発生するバネ荷重

$$F = f_{iu} \cdot ex$$

4-3. 軸直角変位により発生するバネ荷重

$$V = \frac{f_{iu} \cdot dp \cdot ey}{2L}$$

4-4. 角変位によるモーメント

$$V = \frac{f_{iu} \cdot dp \cdot e\theta}{4}$$

4-5. 内圧により発生する面推力

$$F_s = a \cdot P$$

4-6. アンカーに加わる荷重 (軸方向反力)

$$F_m = F + F_s$$

表-1 Cp

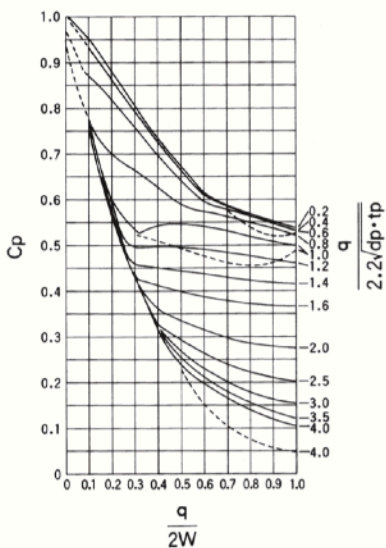


表-2 Cf

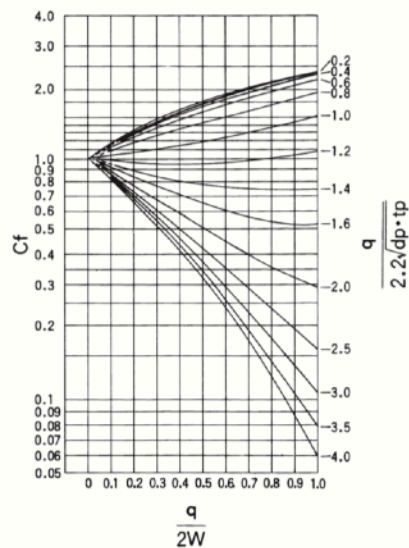
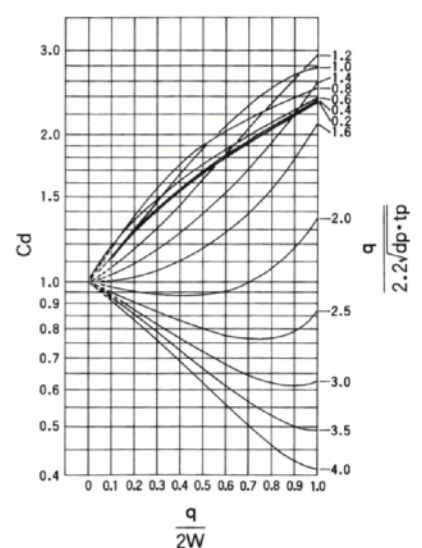


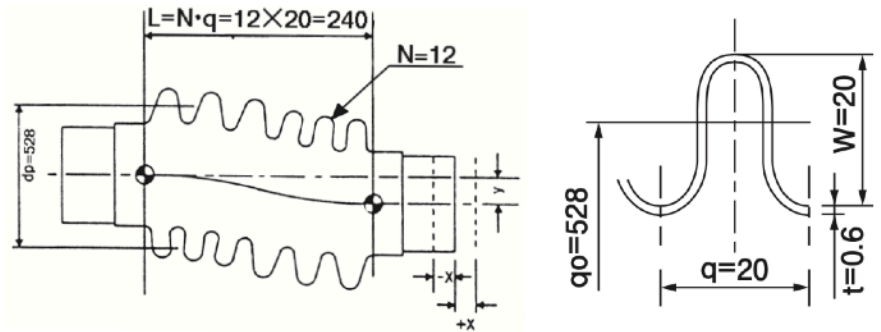
表-3 Cd



5. 計算例

—仕様—

ベローズ材質	: SUS304
口径	: 500A
軸方向変位量	X : 15mm
軸直角方向変位量	Y : 5mm
設計圧力	P : 0.1MPa
流体	: スチーム
設定温度	: 200°C



5-1. 内圧によりベローズに発生する力

①内圧によるベローズ周方向膜応力 : S_2 (N/mm²)

$$S_2 = \frac{P \cdot dp}{2 \cdot n \cdot tp} \cdot \left(\frac{1}{0.571 + 2(W/q)} \right)$$

$$= \frac{0.1 \times 528}{2 \times 1 \times 0.589} \times \left(\frac{1}{0.571 + 2 \times (20/20)} \right) = 17.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

②内圧によるベローズ軸方向膜応力 : S_3 (N/mm²)

$$S_3 = \frac{P \cdot W}{2 \cdot n \cdot tp} = \frac{0.1 \times 20}{2 \times 1 \times 0.589} = 1.7 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

③内圧によるベローズ山部曲げ応力 : S_4 (N/mm²)

$$S_4 = \frac{P}{2 \cdot n} \cdot \left(\frac{W}{tp} \right)^2 \cdot Cp = \frac{0.1}{2 \times 1} \times \left(\frac{20}{0.589} \right)^2 \times 0.63 = 36.3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$S_2, S_3, 0.35S_4$ 共に、85N/mm² (SUS304の200°Cでの許容引張応力) 以下である為、耐圧上問題無し。

5-2. 変位によりベローズに発生する力

④軸方向伸縮に対する1山当りの変位量 : e_x (mm/山)

$$e_x = \frac{X}{N} = \frac{15}{12} = 1.25 \text{ (mm/山)}$$

⑤軸直角方向変位に対する1山当りの変位量 : e_y (mm/山)

$$e_y = \frac{3 \cdot dp \cdot Y}{N \cdot L} = \frac{3 \times 528 \times 5}{12 \times 240} = 2.75 \text{ (mm/山)}$$

⑥1山当りの総変位量 : e (mm/山)

$$e = |e_x| + e_y = 1.25 + 2.75 = 4 \text{ (mm/山)}$$

⑦変位によるベローズ軸方向応力 (仮定応力) : S_5 (N/mm²)

$$S_5 = \frac{Eb \cdot tp^2 \cdot e}{2 \cdot W^3 \cdot Cf} = \frac{183000 \times 0.589^2 \times 4}{2 \times 20^3 \times 1.62} = 9.8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

⑧変位によるベローズ軸方向曲げ応力 : S_6 (N/mm²)

$$S_6 = \frac{5 \cdot Eb \cdot tp \cdot e}{3 \cdot W^2 \cdot Cd} = \frac{5 \times 183000 \times 0.589 \times 4}{3 \times 20^2 \times 1.72} = 1044.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

⑨合成応力 (仮定応力) : S_t (N/mm²)

$$S_t = 0.7 \cdot (S_3 + S_4) + S_5 + S_6 \\ = 0.7 \cdot (1.7 + 36.3) + 9.8 + 1044.4 = 1080.8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

5-3.繰返し寿命回数

⑩繰返し寿命回数 : N_c (回)

$$N_c = \left(\frac{1307.6Tf}{0.102S_t - 38} \right)^{3.4} = \left(\frac{1307.6 \times 0.887}{0.102 \times 1080.8 - 38} \right)^{3.4} = 12562 \text{ (回)}$$

以上の結果より、本仕様ベローズは繰返し寿命回数12562 (回)と計算される。

5-4

⑪ベローズの軸方向バネ定数 : fiu (N/mm/山)

$$fiu = 1.7 \cdot \frac{dp \cdot Eb \cdot tp^3 \cdot n}{W^3 \cdot Cf} = 1.7 \cdot \frac{528 \times 183000 \times 0.589^3 \times 1}{20^3 \times 1.62} \\ = 2589.8 \text{ (N/mm/山)}$$

⑫軸方向変位により発生するバネ反力 : F (N)

$$F = fiu \cdot ex = 2589.8 \times 1.25 = 3237.3 \text{ (N)}$$

⑬軸直角方向変位により発生するバネ反力 : V (N)

$$V = \frac{fiu \cdot dp \cdot ey}{2 \cdot L} = \frac{2589.8 \times 528 \times 2.75}{2 \times 240} = 7834.1 \text{ (N)}$$

⑭内圧により発生する面推力 : F_s (N)

$$F_s = \frac{\pi \cdot dp^2 \cdot P}{4} = \frac{\pi \times 528^2 \times 0.1}{4} = 21895.6 \text{ (N)}$$

⑮軸方向反力 : F_m (N)

$$F_m = F + F_s = 3237.3 + 21895.6 = 25132.9 \text{ (N)}$$

以上の結果により、本仕様ベローズの軸方向反力は、25140 (N)と計算される。

2 伸縮管継手の取付

⚠ 注意

■取付にあたっての注意事項

一般の配管ではパイプラインの熱膨張、収縮を軸方向伸縮として吸収する場合がありますが、このとき34ページのパイプの伸びの表から

$$\left(\begin{array}{l} \text{最高使用温度でのパイプの伸び} \\ - \\ \text{取付温度でのパイプの伸び} \end{array} \right)$$

を算出し、この値が、各継手の許容圧縮量を超えないことを確認して下さい。超えるようであれば、その差だけ引き伸ばして取り付ける必要があります。

例 CNA100A×11山×200ℓを15m鋼管ラインに取り付ける。最高使用温度が100℃、最低使用温度が0℃、取付時温度が10℃の時の取付面間は？

(圧力10kgf/cm²)

パイプの伸びの表から

100℃のとき 0.917mm/m

10℃のとき -0.117mm/m

0℃のとき -0.23mm/m

15mでの総伸縮量は(0.917+0.23)×15=17.2表よりこの

継手の許容総伸縮量48.5mmであるので、上記条件で使用しても規定回数以上の寿命を満足する。

■伸縮管継手の取付面間

- 1.配管完了後、耐圧時に調整ロッドは取り付けた状態(ナットを締め付けた状態)で、実施して下さい。
- 2.配管完了後は、 SHIPPINGボルト、ナットは必ず取り外して下さい。
- 3.溶接のスパッタを直接ベローズにあてないで下さい。また、アースをとらないで下さい。
- 4.内筒付の伸縮管継手の場合には、流れ方向が決まっています。表示(矢印)にあわせて取り付けて下さい。
- 5.ベローズには、ねじれを加えないで下さい。
- 6.保管の際には、腐食性物質(特に塩素イオン)水分を避けて下さい。その他、JIS10K、ANS1フランジ等の接続も可能です。
(この場合、フランジの厚みの差分、面間が変わります)
内筒はオプションとして取付け可能です。
(この場合、内筒とベローズの間にガスケットが必要です)

3 SI単位換算率表

	N	dyn	kgf
力	1	1×10 ⁵	1.01972×10 ⁻¹
	1×10 ⁻⁵	1	1.01972×10 ⁻⁶
	9.80665	9.80665×10 ⁵	1

(太線で囲んである単位がSI単位)

注 1P=1dyn・s/cm²=1g/cm・s,
1Pa・s=1N・s/m², 1cP=1mPa・s

	Pa	kPa	MPa	bar	kgf/cm ²	atm	mmH ₂ O	mmHg 又はTorr
圧 力	1	1×10 ⁻³	1×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁵	1.019 72×10 ⁻⁵	9.869 23×10 ⁻⁵	1.019 72×10 ⁻¹	7.500 62×10 ⁻³
	1×10 ³	1	1×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1.019 72×10 ⁻²	9.869 23×10 ⁻³	1.019 72×10 ²	7.500 62
	1×10 ⁶	1×10 ³	1	1×10	1.019 72×10	9.869 23	1.019 72×10 ⁵	7.500 62×10 ³
	1×10 ⁵	1×10 ²	1×10 ⁻¹	1	1.019 72	9.869 23×10 ⁻¹	1.019 72×10 ⁴	7.500 62×10 ²
	9.806 65×10 ⁴	9.806 25×10	9.806 65×10 ⁻²	9.806 65×10 ⁻¹	1	9.678 41×10 ⁻¹	1×10 ⁴	7.355 59×10 ²
	1.013 25×10 ⁵	1.013 25×10 ²	1.013 25×10 ⁻¹	1.013 25	1.033 23	1	1.033 23×10 ⁴	7.600 00×10 ²
	9.806 65	9.806 65×10 ⁻³	9.806 65×10 ⁻⁶	9.806 65×10 ⁻⁵	1×10 ⁻⁴	9.678 41×10 ⁻⁵	1	7.355 59×10 ²
	1.333 22×10 ²	1.333 22×10 ⁻¹	1.333 22×10 ⁻⁴	1.333 22×10 ⁻³	1.359 51×10 ⁻³	1.315 79×10 ⁻³	1.359 51×10	1

注 1Pa=1N/m²

	Pa	MPa又は N/mm ²	kgf/mm ²	kgf/cm ²
応 力	1	1×10 ⁻⁶	1.019 72×10 ⁻⁷	1.019 72×10 ⁻⁵
	1×10 ⁶	1	1.019 72×10 ⁻¹	1.019 72×10
	9.086 65×10 ⁶	9.806 65	1	1×10 ²
	9.806 65×10 ⁴	9.806 65×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1

注 1St=1cm²/s, 1cSt=1mm²/s

4

パイプの伸びの表

■飽和蒸気の表 (圧力を基準としたもの)

絶対 圧力 MPa[kgf/cm]	飽和 温度 ℃	圧力		飽和 温度 ℃
		絶対 MPa[kgf/cm]	ゲージ圧力 MPa[kgf/cm]	
0.001 [0.01]	6.70	0.9 [9.2]	0.8 [8.2]	175.47
0.002 [0.02]	17.202	0.92 [9.4]	0.82 [8.4]	176.38
0.003 [0.03]	23.771	0.94 [9.6]	0.84 [8.6]	177.28
0.004 [0.04]	28.641	0.96 [9.8]	0.86 [8.8]	178.17
0.005 [0.05]	32.55	0.98 [10.0]	0.88 [9.0]	179.04
0.006 [0.06]	35.82	1.08 [11]	0.98 [10]	183.20
0.007 [0.07]	38.66	1.18 [12]	1.08 [11]	187.08
0.008 [0.08]	41.16	1.27 [13]	1.18 [12]	190.71
0.009 [0.09]	43.41	1.37 [14]	1.27 [13]	194.13
0.01 [0.10]	45.45	1.47 [15]	1.37 [14]	197.36
0.012 [0.12]	49.05	1.57 [16]	1.47 [15]	200.43
0.014 [0.14]	52.17	1.67 [17]	1.57 [16]	203.36
0.016 [0.16]	54.93	1.77 [18]	1.67 [17]	206.16
0.018 [0.18]	57.41	1.86 [19]	1.77 [18]	208.82
0.02 [0.20]	59.66	1.96 [20]	1.86 [19]	211.38
0.022 [0.22]	61.73	2.06 [21]	1.96 [20]	213.85
0.025 [0.26]	65.43	2.16 [22]	2.06 [21]	216.23
0.029 [0.30]	68.67	2.26 [23]	2.16 [22]	218.53
0.039 [0.40]	75.41	2.35 [24]	2.26 [23]	220.75
0.049 [0.50]	80.86	2.45 [25]	2.35 [24]	220.90
0.059 [0.60]	85.45	2.55 [26]	2.45 [25]	224.98
0.069 [0.70]	89.45	2.65 [27]	2.55 [26]	227.01
0.078 [0.80]	92.99	2.75 [28]	2.65 [27]	228.97
0.088 [0.90]	96.18	2.84 [29]	2.75 [28]	230.89
0.098 [1.0]	99.09	2.94 [30]	2.84 [29]	232.77
0.12 [1.2]	104.25	3.04 [31]	2.94 [30]	234.57
0.14 [1.4]	108.74	3.14 [32]	3.04 [31]	236.34
0.16 [1.6]	112.73	3.24 [33]	3.14 [32]	238.07
0.18 [1.8]	116.33	3.33 [34]	3.24 [33]	239.76
0.2 [2.0]	119.62	3.43 [35]	3.33 [34]	241.41
0.22 [2.2]	122.64	3.53 [36]	3.43 [35]	243.03
0.24 [2.4]	125.46	3.63 [37]	3.53 [36]	244.61
0.25 [2.6]	128.08	3.73 [38]	3.63 [37]	246.16
0.27 [2.8]	130.55	3.82 [39]	3.73 [38]	247.68
0.29 [3.0]	132.88	3.92 [40]	3.82 [39]	249.17
0.3 [3.1]	133.98	4.12 [42]	4.02 [41]	252.07
0.31 [3.2]	135.08	4.31 [44]	4.22 [43]	254.86
0.33 [3.4]	137.18	4.51 [46]	4.41 [45]	257.56
0.35 [3.6]	139.18	4.71 [48]	4.61 [47]	260.17
0.37 [3.8]	141.09	4.9 [50]	4.71 [48]	262.70
0.39 [4.0]	142.92	5.39 [55]	5.3 [54]	268.69
0.41 [4.2]	144.68	5.88 [60]	5.79 [59]	274.29
0.43 [4.4]	146.38	6.37 [65]	6.28 [64]	279.54
0.45 [4.6]	148.01	6.86 [70]	6.77 [69]	284.48
0.47 [4.8]	149.59	7.35 [75]	7.26 [74]	289.17
0.49 [5.0]	151.11	7.85 [80]	7.75 [79]	293.62
0.51 [5.2]	152.59	8.34 [85]	8.24 [84]	297.86
0.53 [5.4]	154.02	8.83 [90]	8.73 [89]	301.91
0.55 [5.6]	155.41	9.32 [95]	9.22 [94]	305.80
0.57 [5.8]	156.76	9.81 [100]	9.71 [99]	309.53
0.59 [6.0]	158.08	10.3 [105]	10.2 [104]	313.11
0.61 [6.2]	159.36	10.79 [110]	10.67 [109]	316.57
0.63 [6.4]	160.61	11.28 [115]	11.18 [114]	319.90
0.65 [6.6]	161.82	11.77 [120]	11.67 [119]	323.19
0.67 [6.8]	163.01	12.25 [130]	12.16 [124]	329.29
0.69 [7.0]	164.17	13.73 [140]	13.63 [139]	335.08
0.71 [7.2]	165.31	14.71 [150]	14.61 [149]	340.55
0.73 [7.4]	166.42	15.69 [160]	15.59 [159]	345.74
0.75 [7.6]	167.50	16.67 [170]	16.57 [169]	350.66
0.76 [7.8]	168.57	17.65 [180]	17.55 [179]	355.35
0.78 [8.0]	169.61	18.63 [190]	18.53 [189]	359.82
0.8 [8.2]	170.63	19.61 [200]	19.52 [199]	364.09
0.83 [8.5]	171.63	20.59 [210]	20.5 [209]	368.16
0.84 [8.6]	172.62	21.57 [220]	21.48 [219]	372.04
0.86 [8.8]	173.58	22.22 [226.56]	21.12 [225.56]	374.15

■パイプの伸びの表 (EJMA抜粋)

各温度における膨張、
収縮代(70°F(21.1℃)を
基準とするパイプ1m当りの
熱変形量)単位mm

温度℃	鋼管	ステンレス鋼
-40	-0.645	-0.948
-30	-0.545	-0.792
-20	-0.435	-0.635
-10	-0.330	-0.478
0	-0.230	-0.326
10	-0.117	-0.175
20	-0.015	-0.016
30	0.103	0.152
40	0.218	0.321
50	0.328	0.488
60	0.442	0.654
70	0.553	0.824
80	0.670	0.994
90	0.784	1.162
100	0.917	1.322
110	1.044	1.504
120	1.153	1.674
130	1.270	1.847
140	1.403	2.021
150	1.527	2.193
160	1.660	2.367
170	1.790	2.545
180	1.922	2.725
190	2.059	2.905
200	2.192	3.086
210	2.328	3.268
220	2.470	3.449
230	2.606	3.643
240	2.743	3.816
250	2.880	3.996
260	3.017	4.175
270	3.160	4.355
280	3.309	4.535
290	3.454	4.723
300	3.602	4.909
310	3.750	5.092
320	3.895	5.282
330	4.057	5.470
340	4.210	5.660
350	4.364	5.851
360	4.520	6.040
370	4.672	6.230
380	4.836	6.423
390	4.995	6.617
400	5.149	6.813
410	5.310	7.004
420	5.471	7.198
430	5.633	7.394
440	5.796	7.594
450	5.972	7.800
460	6.140	7.998
470	6.304	8.192
480	6.473	8.394
490	6.636	8.595
500	6.798	8.796
510	6.959	9.000
520	7.121	9.204
530	7.284	9.406
540	7.455	9.605
550	7.617	9.814
560	7.788	10.015
570	7.962	10.217
580	8.135	10.428
590	8.310	10.637
600	8.475	10.838
610	8.635	11.042
620	8.790	11.237
630	8.946	11.452
640	9.104	11.655
650	9.268	11.859
660	9.437	12.059
670	9.603	12.264

用途						
設置場所	屋内	屋外	取付方向	水平	垂直	
流体				移動速度		
ガス組成				流体速度		
温度	外部	℃		フランジ	有	無
	内部	常用	MAX			
圧力	MPa	常用	MAX			
軸方向伸縮量	m/m		内筒	材質	有	無
軸直角方向変位量	m/m					
角度変位				面間寸法 (L)		

A		A		G×H		O-φP
B		B		I		t
C		C		J		
D-φE		D		K		
t		E		L×M		
		F		N		

