

NAS

HERCULEE

ハーキュリー

高強度ばね用ステンレス鋼線



 **日本精線株式会社**

HERCULEE

ハーキュリー

高強度ばね用ステンレス鋼線

確かな技術としなやかな発想でお応えします

近年、製品のコンパクト化，低コスト化に伴い、従来のばね用ステンレス鋼線よりも、さらに高強度で高靱性な材料の要求が強くなりつつあります。

当社では、この要求に応えるため、成分を吟味し、独自の製造方法を施し、さらに長年培ったばね用ステンレス鋼線の製造技術を駆使することによりSUS304-WPBに比べて極めて高強度で優れたばね疲労特性と耐へたり性および良好なコイルング性を有するばね用ステンレス鋼線を開発しましたのでご紹介致します。

1. 特徴

- 高強度である 引張り強さは、ピアノ線A種，B種(SWP-A, -B)に匹敵する強度を有している。
- 疲労強度に優れる 従来のばね用ステンレス鋼線より高応力でのばね設計が可能であり、疲労強度に優れている。
- ばね荷重特性に優れる ばねの荷重特性は、細線領域では SUS304-WPB より優れたピアノ線と同等レベルにある。
- 耐へたり性に優れる ばねの繰り返し使用時の耐へたり性に優れている。

2. 化学成分

ハーキュリーの化学成分の規格を表1に示します。

表1 化学成分

単位%

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
規格	0.15 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	6.00 ~8.00	16.00 ~18.00

ハーキュリーは、オーステナイト系ステンレス鋼の基本とされている17Cr-7NiのSUS301タイプに属し、標準的鋼種である18Cr-8NiのSUS304より、冷間加工による加工誘起マルテンサイト変態を起こし易い、加工硬化特性に優れた鋼種です。

3. 仕様

ハーキュリーの仕様を表2に示します。

表2 仕様

標準線径 (mm)	線径許容差 (mm)	偏径差 (mm)	引張強さ (N/mm ²)	荷姿(inch)		標準質量(kg)				
				HNF	HUBNS	HNF	HUBNS			
0.10	0 -0.004	0.004 以下	2550~2840	—	4C	—	0.8			
0.12							1.0			
0.14							2.5			
0.16							5.0			
0.18	0 -0.007	0.005 以下	2450~2750	6C	6C	7.0	3.0			
0.20				3.5						
0.23				8C	12.0	5.0				
0.26							8.0			
0.27				10C	8C	20.0	10.0			
0.29								15.0		
0.30								22.0		
0.32								12.0		
0.35				0 -0.010	0.005 以下	2350~2650	12C	12C	25.0	12.0
0.40										
0.45										
0.50										
0.55										
0.60										
0.65	2210~2500	16C	—	40.0	—					
0.75										
0.80										
0.90										
1.00	0 -0.015	0.007 以下	2110~2400	18C	—	60.0	—			
1.20										
1.40										
1.60	0 -0.020	0.010 以下	2010~2300	22C	—	120.0	—			
1.80										
2.00			1910~2210	24C	—	130.0	—			
2.30										
2.60										
2.90										
			1770~2060			150.0				

備考：上記の標準仕様以外については、お引合時、ご相談に応じます。

：0.10mm未満の線径については『極細ばね用ステンレス鋼線 SUPER FINE』のパンフレットをご参照下さい。

4. 特性

4-1. 加工硬化特性

ハーキュリーと SUS304 の伸線加工における引張特性及びねじり特性の変化を図1～3に示します。

ハーキュリーは SUS304 に比べて同一減面率(60%以上)で引張強さにおいて 300N/mm^2 、ねじり強さにおいて 150N/mm^2 以上高い値を示しています。

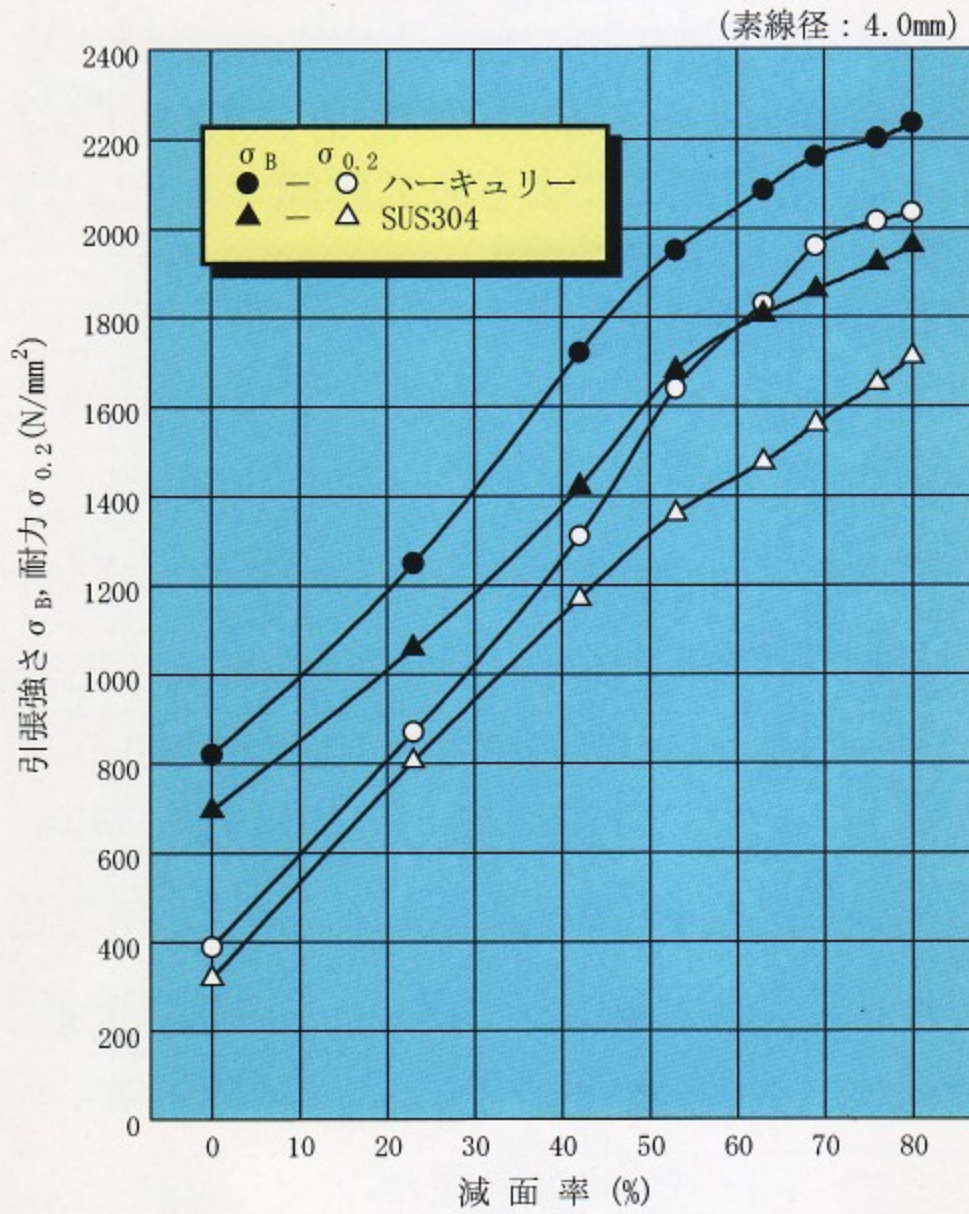


図1 減面率と σ_B , $\sigma_{0.2}$ の関係

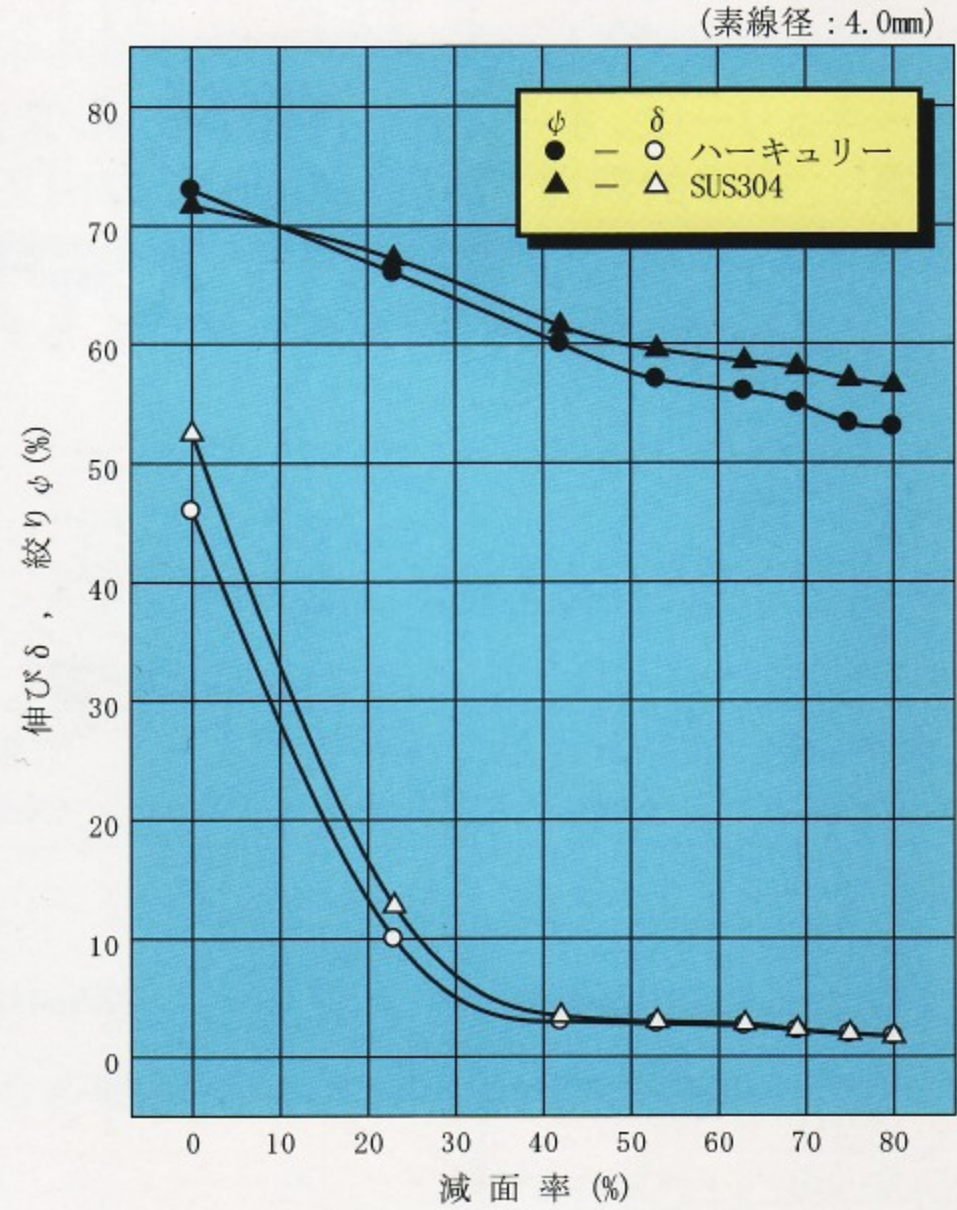


図2 減面率と δ , ϕ の関係

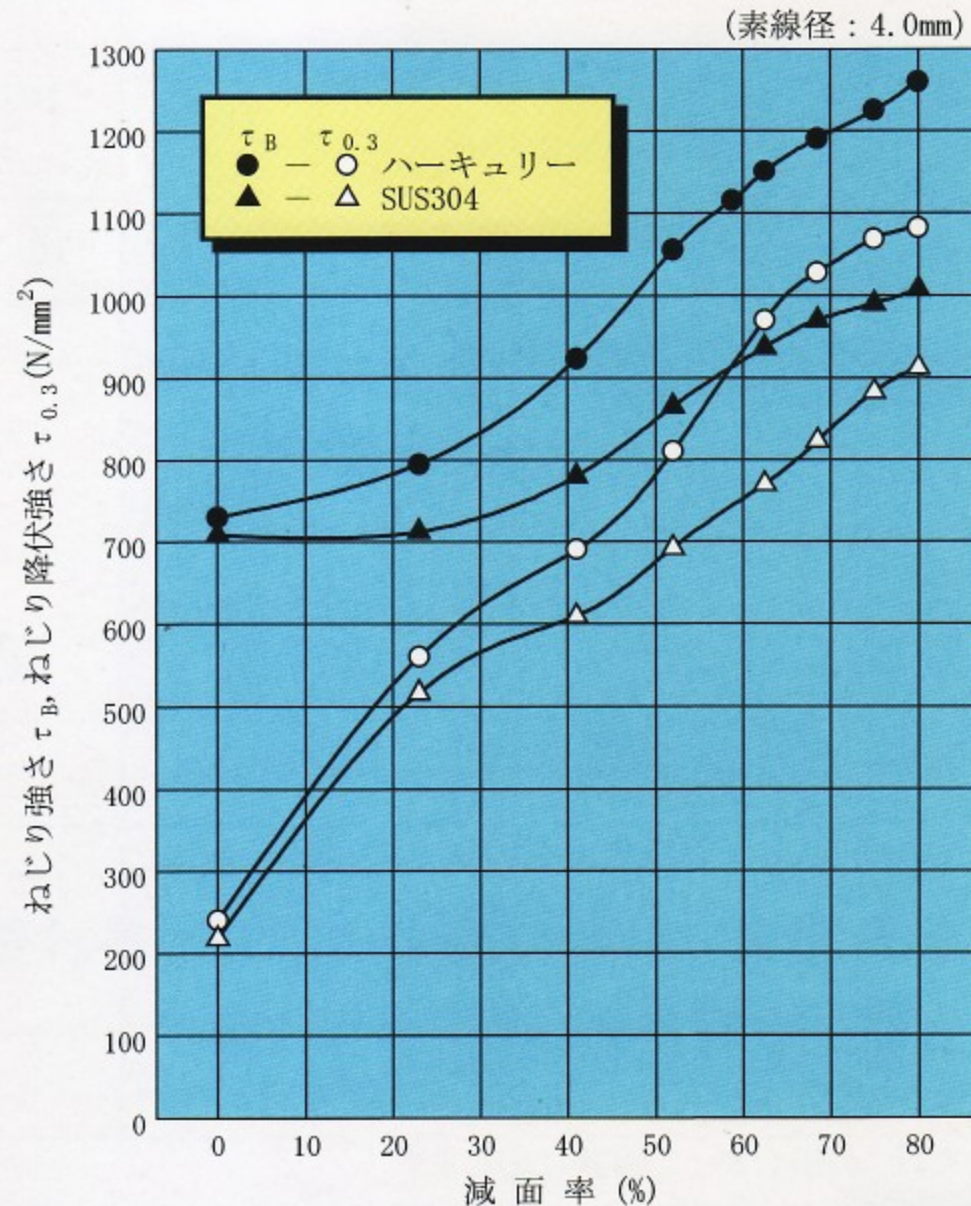


図3 減面率と τ_B , $\tau_{0.3}$ の関係

4-2.低温焼なまし特性

オーステナイト系ステンレス鋼線のような冷間加工硬化材は、ばね成形後、低温焼なまし処理が実施され、残留応力を除去することにより、引張強さ、硬さ及び弾性限を回復させ、へたりを少なくし、さらに疲労に対する強度を向上させます。

ハーキュリー及び SUS304 を伸線加工後、300～500℃間各 50℃毎に 30 分間低温焼なまし処理を行った後の引張特性及びねじり特性の変化を図4～図6に示します。

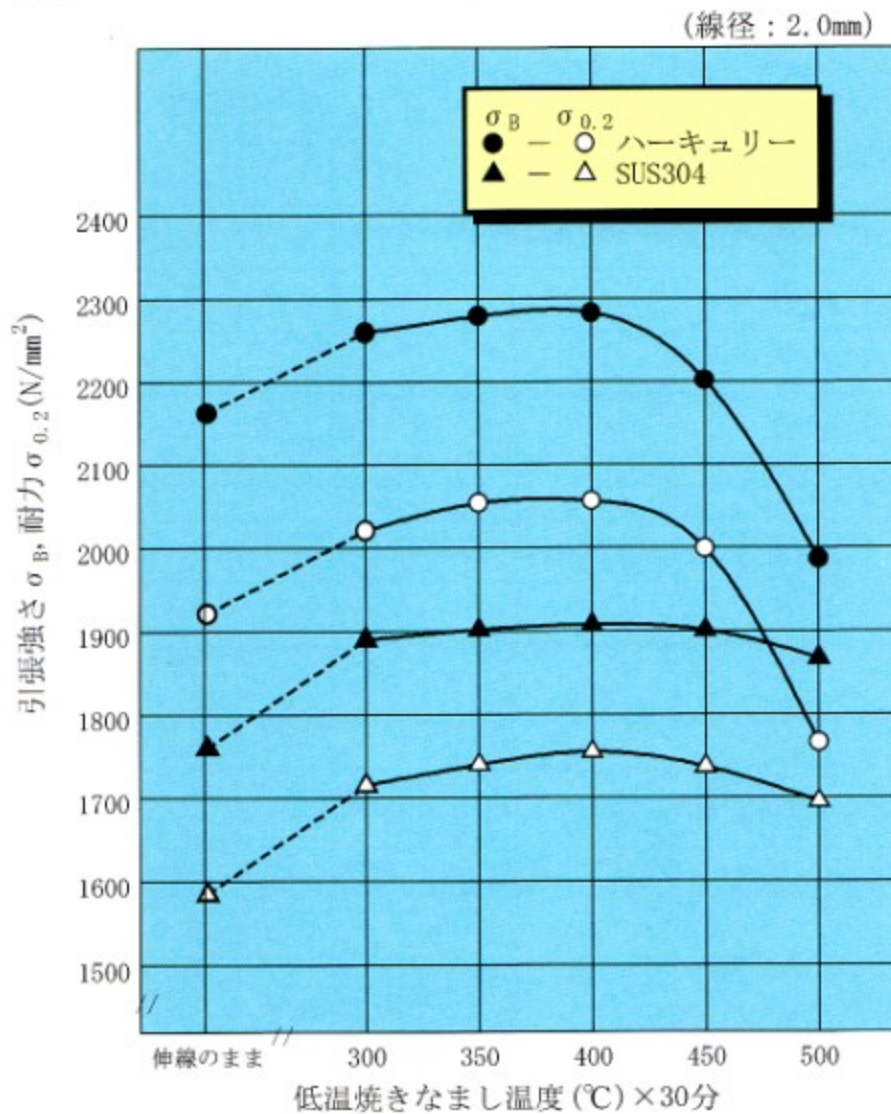


図4 低温焼なましによる $\sigma_B, \sigma_{0.2}$ の変化

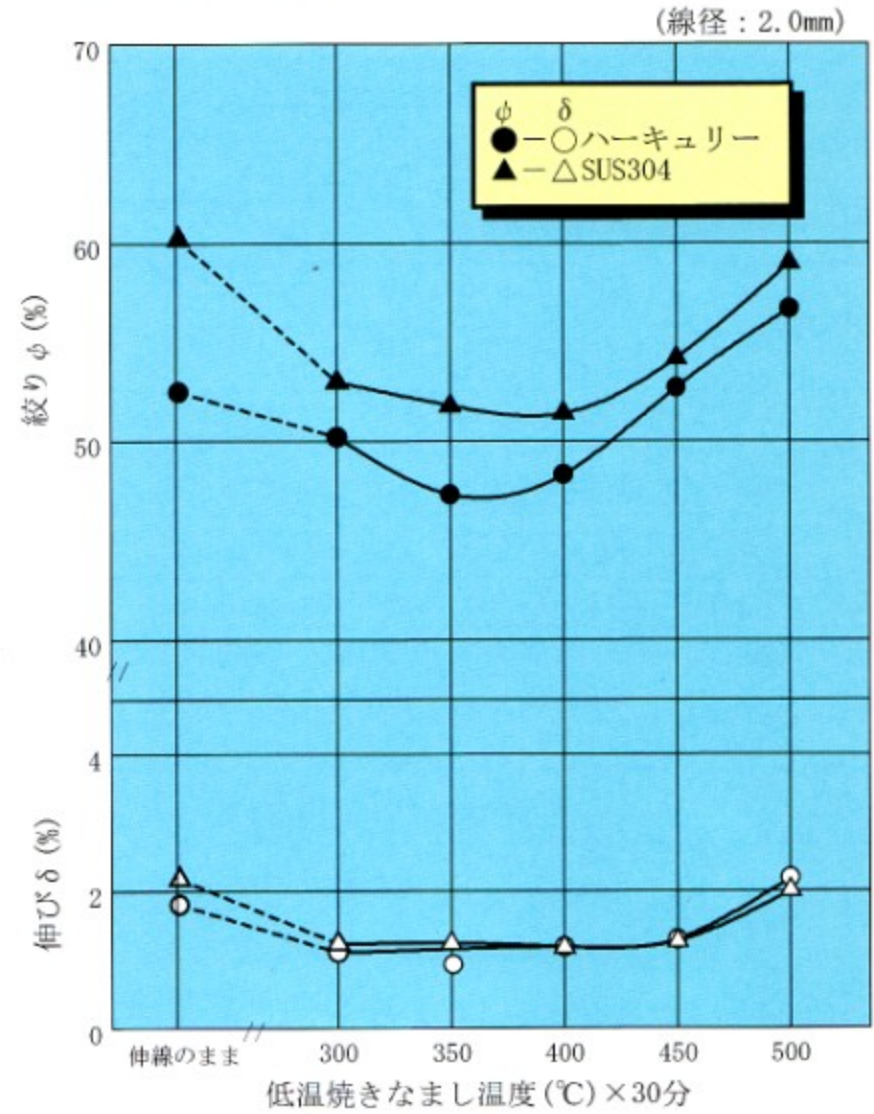


図5 低温焼なましによる δ, ϕ の変化

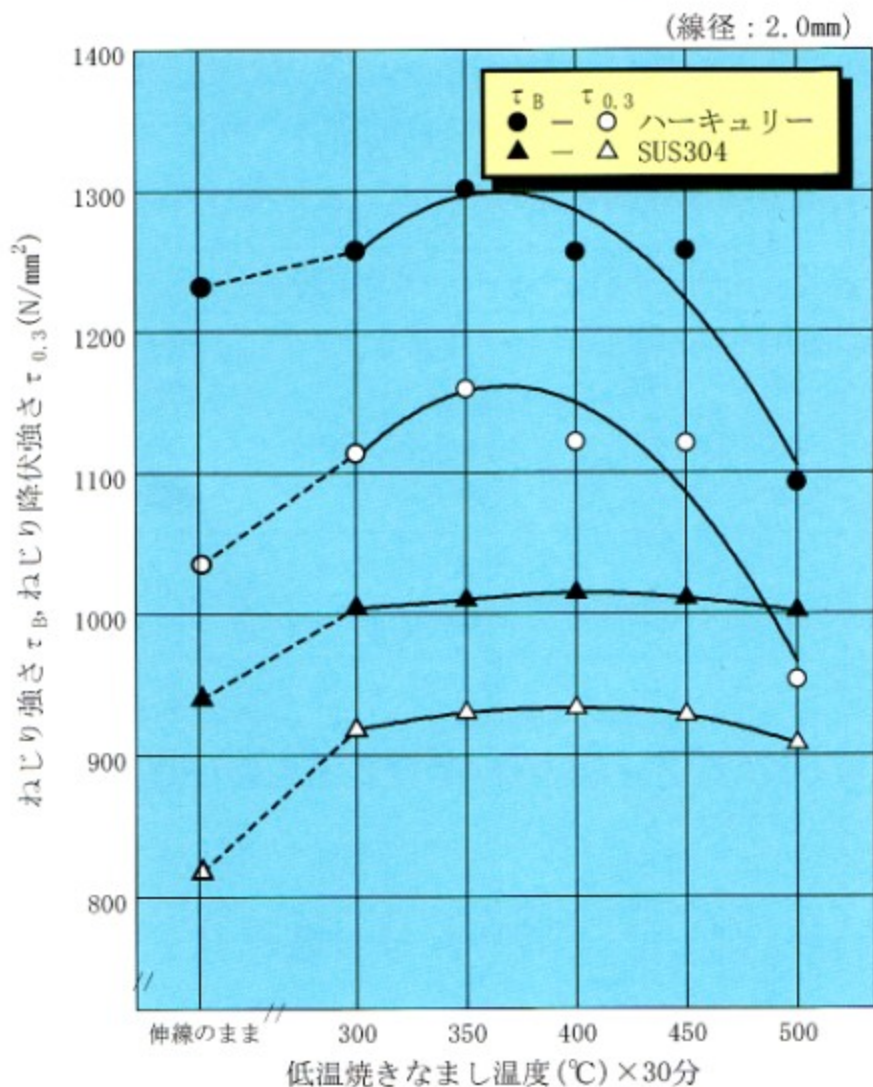


図6 低温焼なましによる $\tau_B, \tau_{0.3}$ の変化

ハーキュリーの最適低温焼なまし処理条件は、SUS304の400℃×30分より50℃低い350℃×30分となります。

低温焼なまし処理後のハーキュリーの引張強さ及び0.2%耐力は、SUS304より約300N/mm²以上高く、また、ねじり強さ及びねじり降伏強さは、約200N/mm²以上高い値を示します。

即ち、ハーキュリーは、ピアノ線(SWP-B)に相当する強度と弾性限を有し、且つばね用途として十分な伸び及び絞り(図5参照)を兼ね備えています。

表3, 4は、ハーキュリーと SUS304 等の比較鋼種について伸線のままの状態時と最適低温焼なまし状態時(線径 2.0mm, 0.4mm)の引張特性及びねじり特性を示します。

表3 低温焼なましによる機械的特性の変化(線径 2.0mm)

条 件		引張強さ σ_B (N/mm ²)	耐 力 $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	縦弾性係数 E (kN/mm ²)	ねじり強さ τ_B (N/mm ²)	ねじり降伏強さ $\tau_{0.3}$ (N/mm ²)	横弾性係数 G (kN/mm ²)
ハーキュリー	伸線のまま	2157	1922	165.7	1236	1040	71.6
	低温焼なまし	2285	2059	171.6	1304	1157	73.5
SUS304	伸線のまま	1765	1589	161.8	941	814	68.6
	低温焼なまし	1932	1755	166.7	1020	932	69.6
SWP-A	伸線のまま	1893	1520	192.2	1089	863	78.5
	低温焼なまし	2040	1863	205.9	1177	1030	80.4
SWP-B	伸線のまま	2118	1706	194.2	1226	995	78.5
	低温焼なまし	2285	2059	206.9	1324	1128	80.4

表4 低温焼なましによる機械的特性の変化(線径 0.4mm)

条 件		引張強さ σ_B (N/mm ²)	耐 力 $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	縦弾性係数 E (kN/mm ²)	ねじり強さ τ_B (N/mm ²)	ねじり降伏強さ $\tau_{0.3}$ (N/mm ²)	横弾性係数 G (kN/mm ²)
ハーキュリー	伸線のまま	2623	2346	189.7	1373	1196	77.6
	低温焼なまし	2705	2461	194.5	1399	1234	79.1
SUS304	伸線のまま	2170	1931	173.5	1058	918	74.3
	低温焼なまし	2377	2139	179.2	1123	1025	75.1
SWP-A	伸線のまま	2506	2284	185.7	1304	1006	77.9
	低温焼なまし	2546	2328	193.1	1321	1137	79.6
SWP-B	伸線のまま	2610	2348	187.7	1340	1025	78.2
	低温焼なまし	2641	2411	194.4	1356	1151	79.8

低温焼なまし条件 ハーキュリー : 350°C × 30 分
 SUS304 : 400°C × 30 分
 SWP-A, SWP-B : 200°C × 30 分

4-3. 引張強さ規格

ハーキュリーの線径別の引張強さ規格と SUS304-WPB, ピアノ線A種(SWP-A)及びピアノ線B種(SWP-B)(JIS規格)との対比を表5に示します。

ハーキュリーの引張強さ規格は、ピアノ線と比較し細線径側では、SWP-A より若干低く、太線径側では SWP-B にほぼ相当する規格となっています。

表5 引張強さ規格

標準線径 (mm)	引張強さ (N/mm ²)			
	ハーキュリー	SUS304-WPB	SWP-A	SWP-B
0.10	2550～2840	2150～2400	2790～3090	3090～3380
0.12			2750～3040	3040～3330
0.14			2700～2990	2990～3290
0.16			2650～2940	2940～3240
0.18			2600～2890	2890～3190
0.20			2600～2840	2840～3090
0.23	2450～2750	2050～2300	2550～2790	2790～3040
0.26			2500～2750	2750～2990
0.29			2450～2700	2700～2940
0.32	2350～2650	1950～2200	2400～2650	2650～2890
0.35			2350～2600	2600～2840
0.40			2300～2550	2550～2790
0.45			2260～2500	2500～2750
0.50	2210～2500	1850～2100	2210～2450	2450～2700
0.55			2160～2400	2400～2650
0.60			2110～2350	2350～2600
0.65			2110～2300	2300～2500
0.70			2060～2260	2260～2450
0.80	2110～2400	1750～2000	2010～2210	2210～2400
0.90			1960～2160	2160～2350
1.00			1910～2110	2110～2300
1.20			1860～2060	2060～2260
1.40	2060～2350	1650～1900	1770～1960	1960～2160
1.60			1720～1910	1910～2110
1.80			1720～1910	1910～2110
2.00	1910～2210	1550～1800	1770～1960	1960～2160
2.30			1770～1960	1960～2160
2.60			1720～1910	1910～2110
2.90	1770～2060	1450～1700	1720～1910	1910～2110

備考：中間にある線径については、それより大きい標準線径の値を用いる。

4-4.耐食性

ハーキュリー及びSUS304を伸線加工後、最適低温焼なまし処理した線材についてJISで定められている硝酸浸漬試験，硫酸浸漬試験，塩化第二鉄浸漬試験及び塩水噴霧試験を行った結果を表6に示します。

表6 耐食性試験結果

条 件		裸 材				Niめっき材
		硝 酸 浸漬試験	硫 酸 浸漬試験	塩化第二鉄 浸漬試験	塩水噴霧試験	
		腐食減量(g/m ² ・hr)			発錆面積率(%)	
伸線のまま	ハーキュリー	0.50	360	21	5～25	5～25
	SUS304	0.29	204	23	0～5	5～25
低温焼なまし	ハーキュリー	0.56	443	23	25～50	25～50
	SUS304	0.34	288	26	5～25	25～50
備 考		65% <chem>HNO3</chem> 沸騰×48hr JIS G 0573	5% <chem>H2SO4</chem> 沸騰×6hr JIS G 0591	6% <chem>FeCl3</chem> +1/20N <chem>HCl</chem> 35℃×24hr JIS G 0578	5% <chem>NaCl</chem> 35℃×240hr JIS Z 2371	

低温焼なまし条件 ハーキュリー：350℃×30分、SUS304：400℃×30分

ハーキュリーの耐食性は、SUS304に比べてC、Cr及びNiの含有量が異なることにより若干差が認められます。

しかし、一般にばね材に多用されるNiめっきを施した場合の耐食性はSUS304と同等です。

4-5.線の疲労特性

ハーキュリー及び SUS304 を伸線加工後、直線加工した線材について、中村式繰り返し回転曲げ疲労試験による S-N 線図の結果を図7及び表7に示します。

繰り返し数 10^7 回時の疲労限について、ハーキュリーは 564N/mm^2 であり、SUS304 に比べて 137N/mm^2 高い疲労強度を有します。

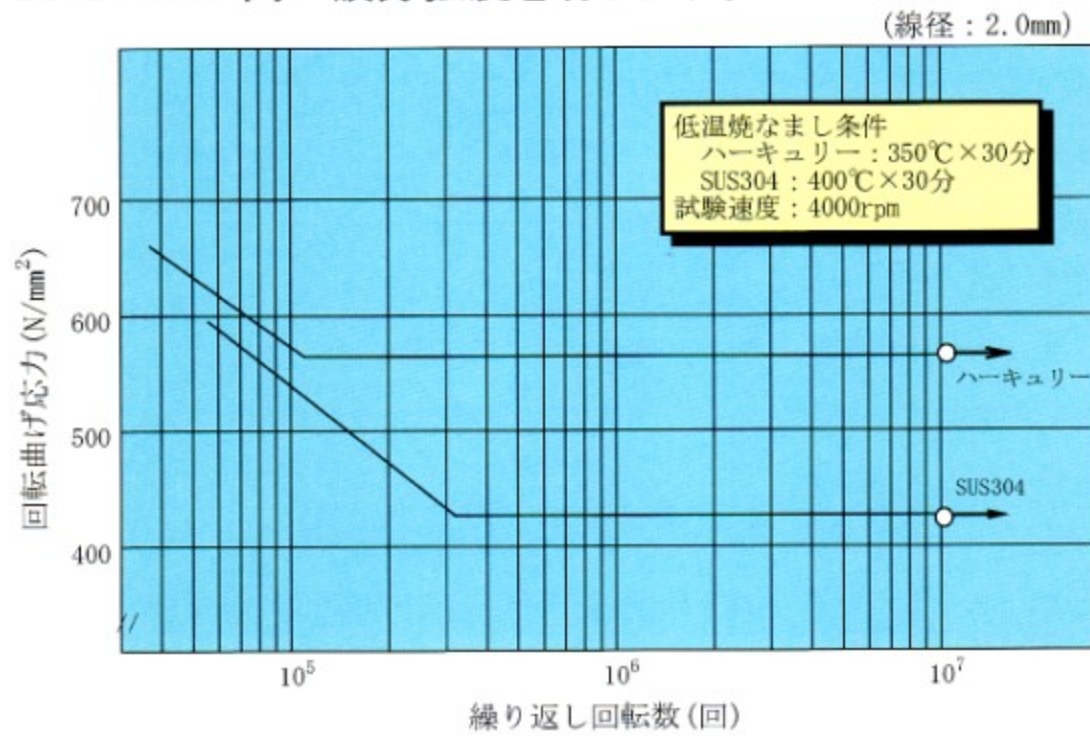


図7 回転曲げ疲労試験結果(中村式)

表7 線の疲労試験結果(線径 2.0mm)

条件	疲労強度 (N/mm ²)		引張強さ (N/mm ²)
	10 ⁵ 回	10 ⁷ 回	
ハーキュリー	574	564	2206
SUS304	539	427	1824

低温焼なまし条件 ハーキュリー: 350°C × 30 分
SUS304: 400°C × 30 分

4-6.ばねの疲労特性

ハーキュリーと SUS304 の圧縮コイルばね(線径 1.0mm)におけるばね疲労試験結果を図8に示します。試験に使用したばねの仕様を表8に示します。

平均応力を 490N/mm^2 一定とし、繰り返し数 10^7 回時の疲労限についてハーキュリーは 319N/mm^2 であり、SUS304 に比べ約 50N/mm^2 高い応力振幅を満足します。

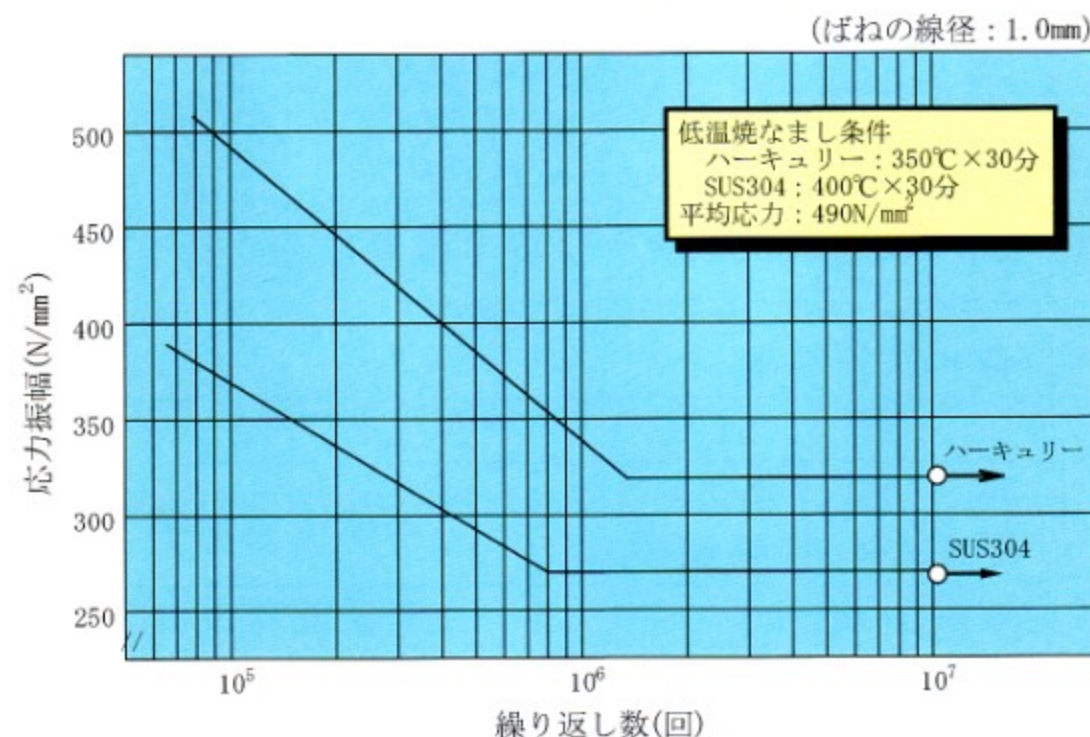


図8 ばね疲労特性寿命結果

表8 疲労試験用圧縮コイルばねの仕様

線径 (mm)	1.0
コイル平均径(mm)	10.0 ± 0.1
総巻数(巻)	6.0
有効巻数(巻)	4.0
自由長(mm)	26.0 ± 0.2
直角度	2° 以下

ハーキュリーの圧縮コイルばね(線径 0.5mm)における、ばね疲労試験結果を図9に、ショットピーニングを施した際の、ばね疲労試験結果を図10及び表9に示します。

試験に使用したばねの仕様を表10に示します。

平均応力を 600N/mm^2 一定とし、繰り返し数 10^7 回時の疲労限について、ショットピーニング無しでは 300N/mm^2 であり、ショットピーニングを行う事により、 500N/mm^2 となり、大幅な疲労限の向上が認められます。

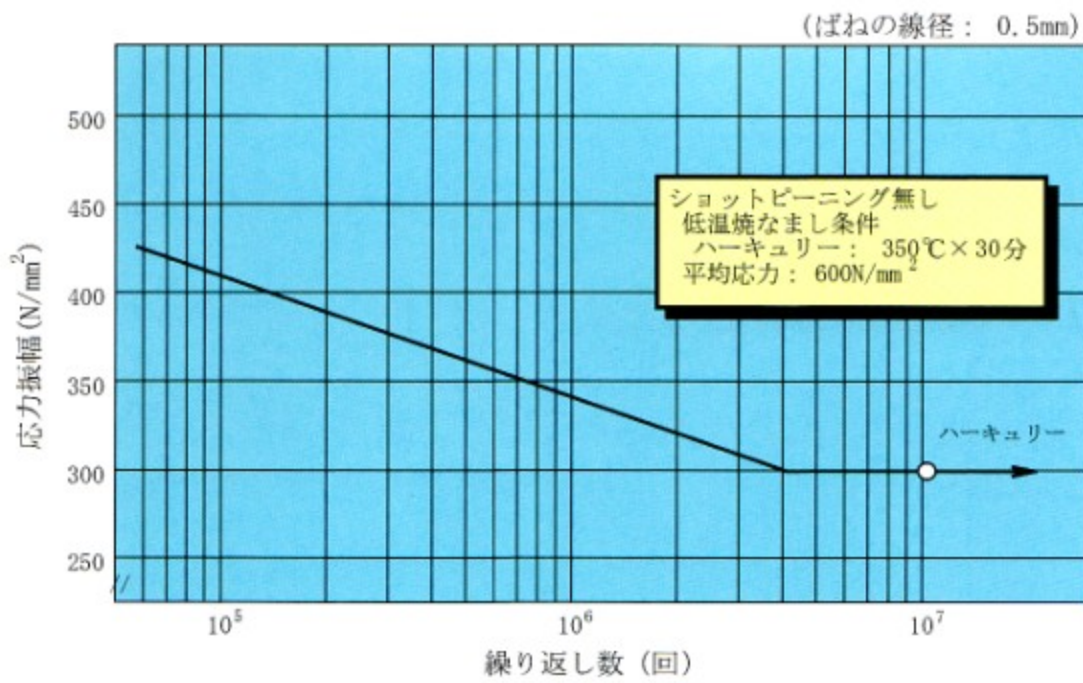


図9 ばね疲労特性寿命結果(ショットピーニング無し)

表9 ばねの疲労試験結果

	疲労限 (N/mm ²)
ショットピーニング有り	600±500
ショットピーニング無し	600±300
ショットピーニングの効果	±200

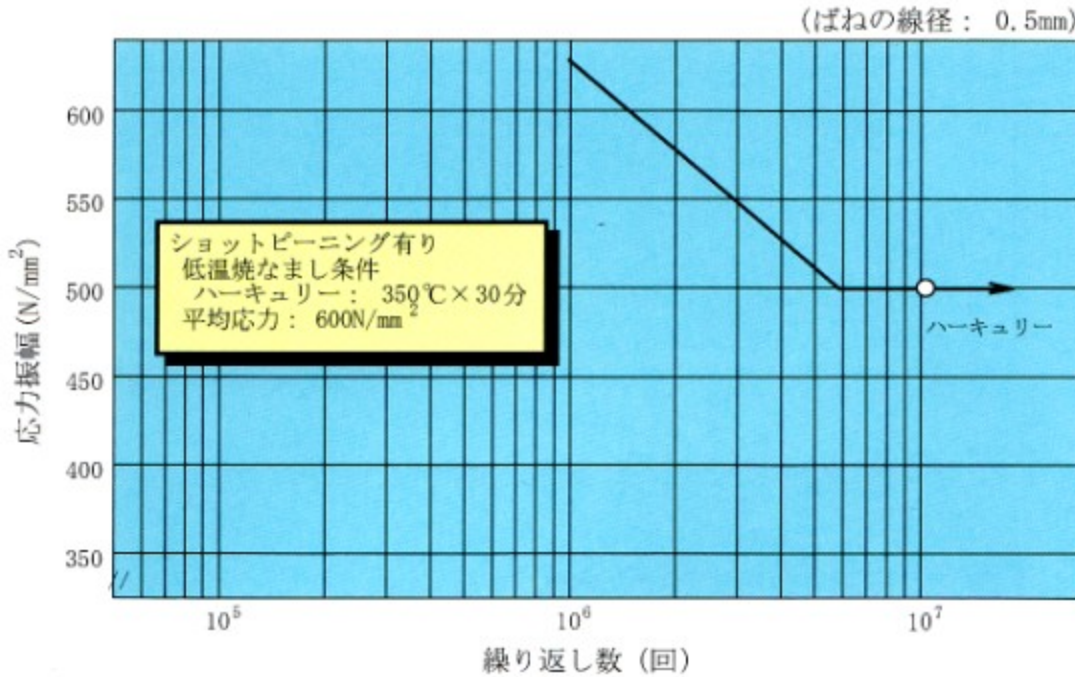


図10 ばね疲労特性寿命結果(ショットピーニング有り)

表10 疲労試験用圧縮コイルばねの仕様

線径 (mm)	0.5
コイル平均径(mm)	4.0
総巻数(巻)	10.5
有効巻数(巻)	8.5
自由長(mm)	14.0
直角度	2°以下

4-7.ばねのへたり特性

耐へたり性の評価として、繰返し数 10⁷回のばね疲労試験後(線径 1.0mm)の残留剪断歪測定結果を図11に示します。

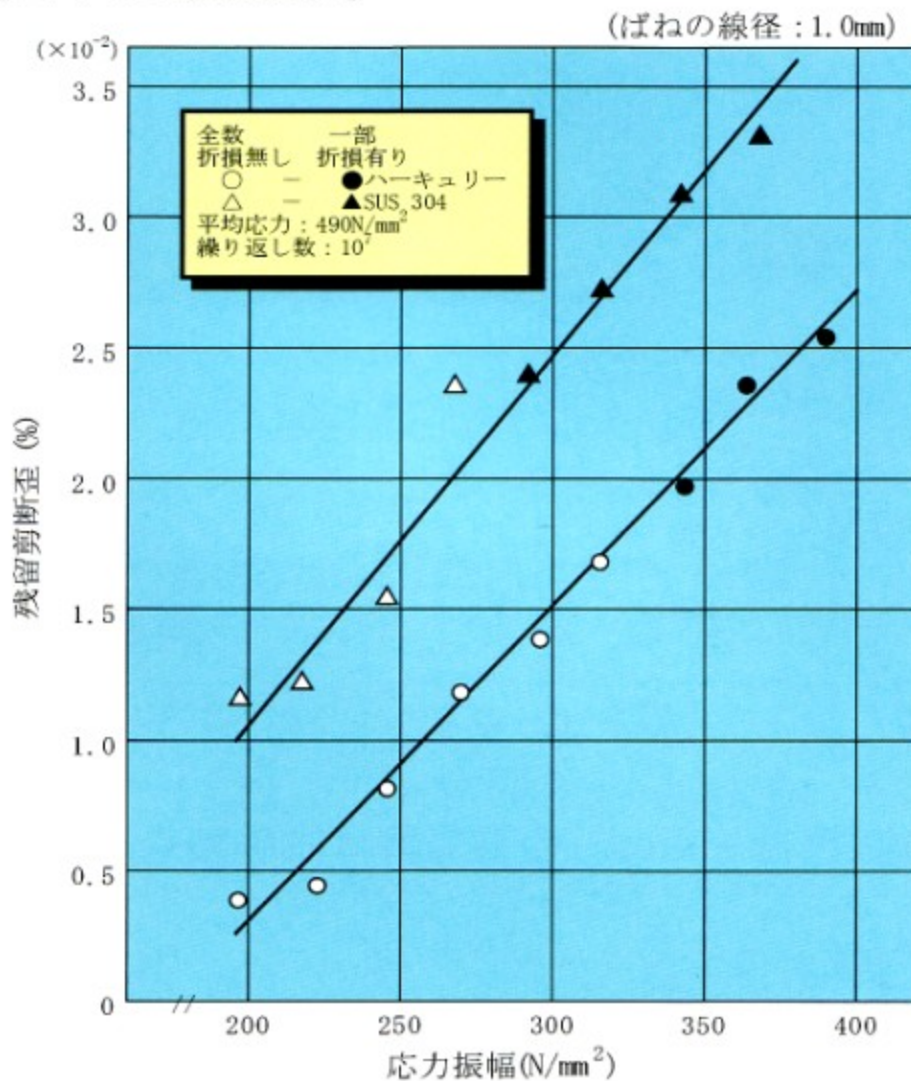


図11 応力振幅と残留剪断歪の関係

ハーキュリーは、SUS304 に比べて疲労限度内の残留剪断歪(へたりの量)が約 50%以下と少なく、ばねにおける動的へたり性に極めて優れています。

4-8.ばねの荷重特性

細線径におけるハーキュリーと SUS304 の引張コイルばねの荷重-たわみ線図を図12に、ハーキュリーとピアノ線B種(SWP-B)について図13に示します。

各試験に使用したばね仕様については表11及び表12の通りです。

ハーキュリーは、SUS304 に比べて高初張力及び高荷重が得られ、ピアノ線 B 種(SWP-B)と同様の荷重特性を有しています。

表11 荷重-たわみ試験用引張コイルばね仕様
(ハーキュリー・SUS304 比較用)

線径 (mm)	0.4
コイル平均径(mm)	2.9
巻数 (巻)	50・1/4
自由長 (mm)	43
低温焼なまし処理	280 +20 (°C) - 0

表12 荷重-たわみ試験用引張コイルばね仕様
(ハーキュリー・SWP-B 比較用)

線径 (mm)	0.4
コイル平均径(mm)	3.0
巻数 (巻)	52・1/4
自由長 (mm)	46
低温焼なまし処理	無し

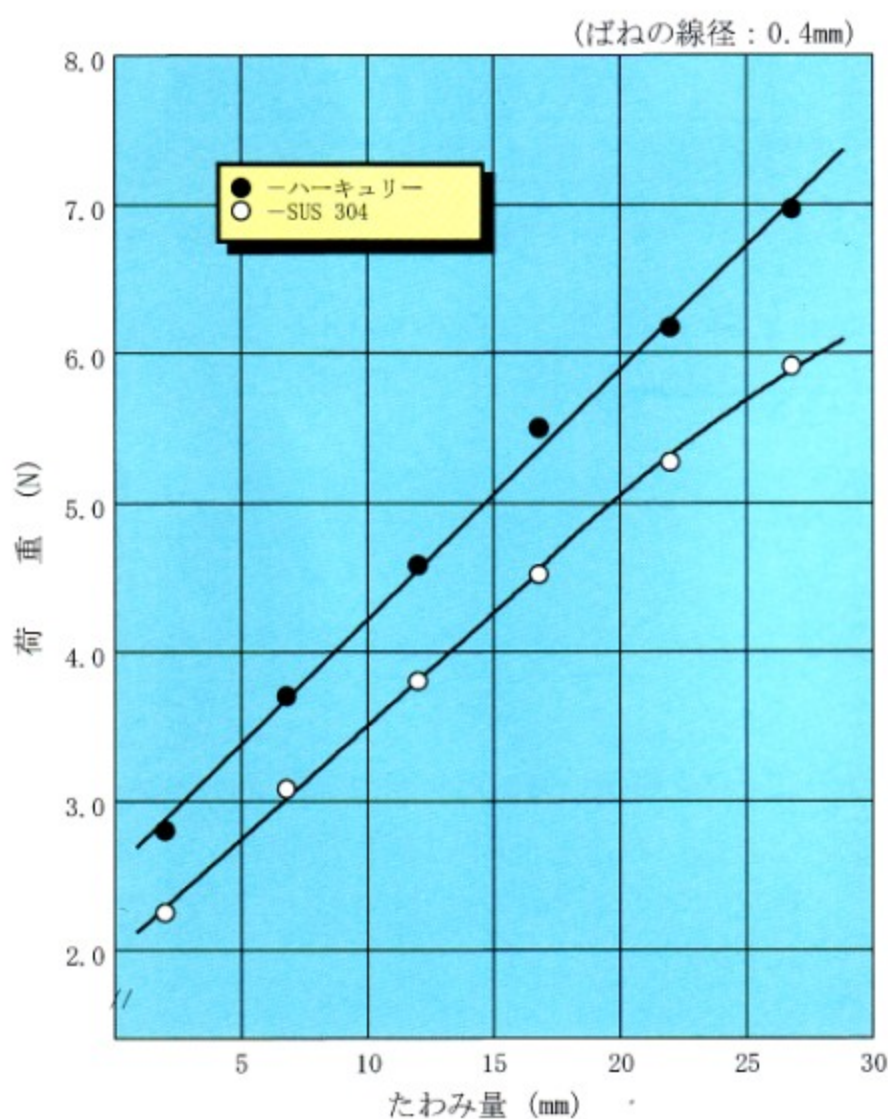


図12 引張コイルばねにおける荷重-たわみ線図

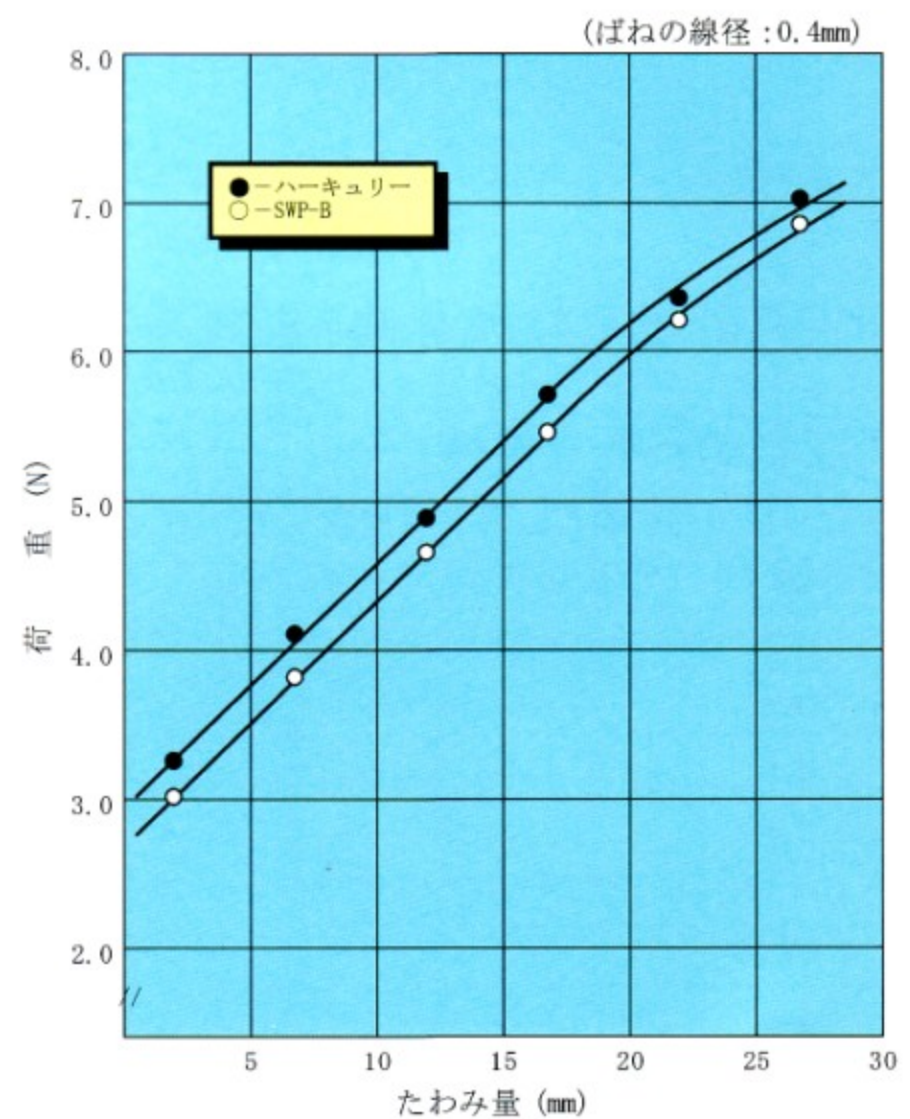


図13 引張コイルばねにおける荷重-たわみ線図

4-9 高温におけるばねのへたり特性

ハーキュリー及び SUS304 の圧縮コイルばね(線径 2.0mm)の高温締付試験結果を図14に示します。

試験に使用したばねの仕様は表13のとおりです。

ハーキュリーのばねの高温へたり性は、SUS304 と比べて高い許容応力を有し優れています。

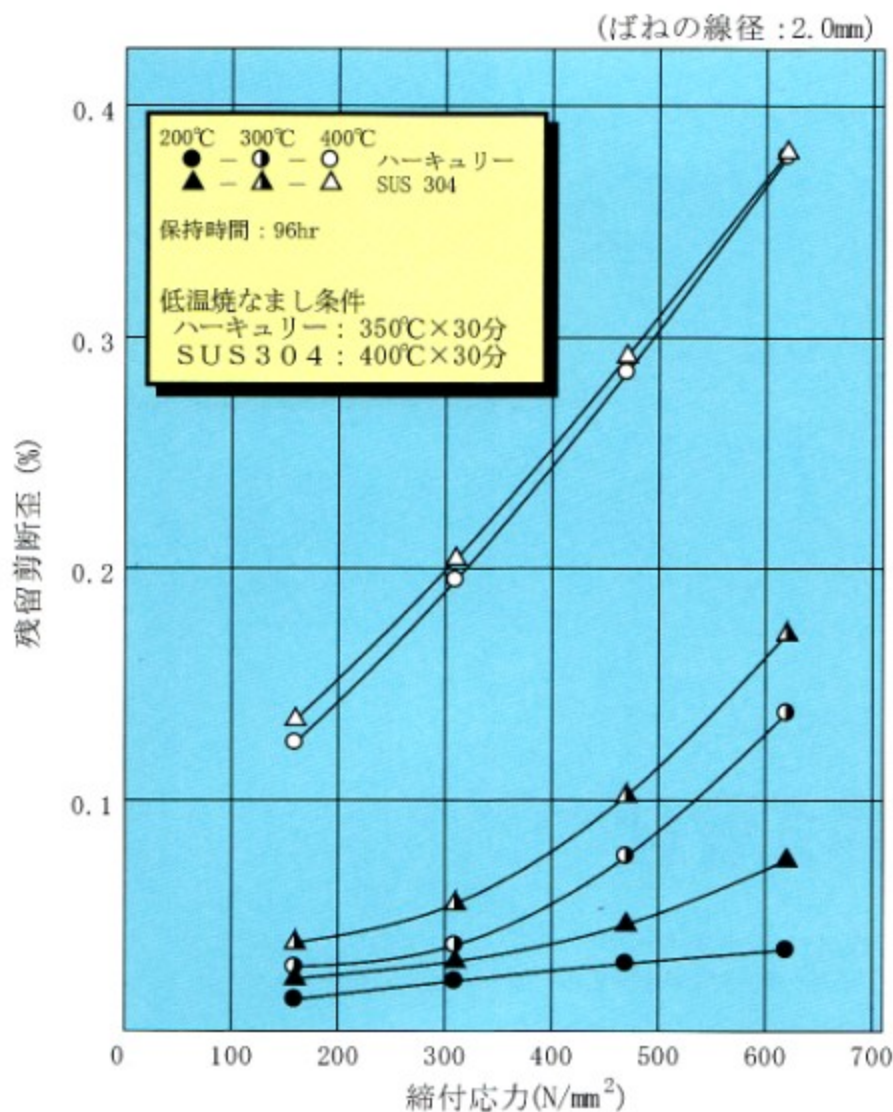


図14 高温におけるばね疲労変形線図

表13 試験用圧縮コイルばねの仕様

線径(mm)	2.0
コイル平均径(mm)	18.5±0.2
総巻数(巻)	6.5
有効巻数(巻)	4.5
自由長(mm)	47.0±0.3
直角度	2°以下
低温焼なまし処理	ハーキュリー:350°C×30分 SUS304:400°C×30分

5. 用途例

ハーキュリーは高強度・疲労強度・耐へたり性の面で優れた特性を有するため、次のような場合について、対応が考えられます。

- SUS304では設計応力が対応できない場合
- 耐へたり性が重要視される場合
- 耐食性よりピアノ線、硬鋼線から置き換える場合
- 細線径のばねのコスト面でピアノ線から置き換える場合

表14 用途例

自動車	電機・家電	OA機器・IT関連	日用品・その他
・ラジエター弁ばね ・キャブレターばね ・キーリング	・ブレーカーばね ・食器洗浄器ばね	・複写機ばね ・コネクタばね ・バックアップテープ 関連ばね ・プリンタばね	・ハンドソープばね ・変速機ばね ・ホイップ