

技術資料



Technical Data

高機能皿ばねの特長および適用事例

玉地 薫*

Characteristics of High-Performance Disc Springs and
Application Examples

Kaoru Tamachi

Synopsis

In spite of simple and compact shape, disc springs have superior characteristics such as high load capability and large design flexibilities, which can not be provided by the other type of springs.

This report explains the features of the disc springs, representative applications and technical trends.

From view of the advantage, it is expect that the high performance disc springs would contribute to improvements of mechanical systems and equipment into the future.

1. はじめに

大同精密工業(株) (以下、当社と称す) では、特殊鋼を素材とした薄板加工技術をベースとして種々の精密部品加工を行っている。皿ばねはその中の機能部品の一つとして様々な分野で使用されている。

皿ばねは中心に穴の明いた円盤で、円錐状に成型された単純な形状のばねである。代表的な皿ばねの外観写真を Fig. 1 に示す。皿ばねは他のばねに無い特長、特性があるが、ここでは、多用されている皿ばね座金としての使用例とは別に、機能ばね部品として使用されている用途に視点を置いて述べる。皿ばねはコンパクトで高荷重が得られる特性を利用し、マシニングセンターの工具保持用として、回転する主軸に数多く組み込まれている。



Fig. 1. Photograph of disc springs.

2012年5月14日受付

*大同精密工業(株) 技術部 (Engineering Dept., Daido Precision Industries Ltd)

当社では客先ニーズに合わせた設計を行い、近年の高速回転化、高精度化の要求と高頻度の工具交換および高寿命化に対応してきた。また皿ばねは、同様な特性から高精度クランプ装置、与圧保持部品、緩衝装置などにも利用されている。一方、自動車関連では、燃費向上と環境性能改善から、機能を高めたターボチャージャーの利用が増加しているが、熱変形する中で圧力を与えながら、熱及び排ガスを遮断する目的で耐熱皿ばねが使用されている。また大震災以降、関心が高まった地震対策用として、高い荷重が要求される建築部材での使用も進んでいる。この様な背景のもと、当社では、皿ばね外径で数 mm から、最大 1000 mm までの製造実績がある。

本報告では高機能皿ばねが装置・機器のさらなる性能改善と用途拡大に進んでゆくものと考え、皿ばねの現状の適用例と今後の技術展開をまとめた。

2. 皿ばねの特性

2. 1 皿ばねの特長

皿ばねは他のばねと比べると、次の様な特長がある¹⁾。

- ・小さなスペースで大きな荷重が得られる。
- ・荷重/たわみの関係は、非線形で種々の特性が得られる。
- ・重ね方よって、ばね特性を変えることができる。
- ・許容応力範囲内で使用すれば、長く使用に耐えられる。
- ・積重ね状態で、緩衝性が得られる。
- ・材質選択で耐熱性、耐食性を付加できる。

中でも最も象徴的な特性はコンパクトで大きな荷重が得られ、荷重特性の自由度が大きいことである。例えば荷重を比較した場合、圧縮コイルばねでは、外径 100 mm、線径 10 mm の場合、許容応力内で 1.5 kN 程度となるが、皿ばねでは同じ外径、板厚 6 mm で 40 kN 程度の荷重を得ることが出来る。

一方、適用上注意すべきことは次の通りである。

- ・板厚や高さのわずかな製作誤差が特性に大きく影響を与えるため、必要となる加工精度の管理は重要である。
- ・単体の皿ばねを組み合わせて使用する場合、皿ばね同士のズレを防ぐためにガイドが必要となる。一般的な使用では適正なクリアランスを持たせたガイドで問題は無いが、高速回転するような場合には、ガイドに接する部位の寸法に回転バランスを確保するため特別な公差を設定が必要となる。

- ・皿ばねがタワミを受けると相対的な摩擦による減衰が生じ、荷重を加える場合と荷重を除いて戻す場合で、荷重曲線が異なる現象（ヒステリシス）が発生する。荷重精度を必要とする場合は、事前に予測して荷重設定を行うなどの対応が必要である。動的な作動では摩擦による磨耗を防ぐため一般に潤滑剤が使われるが、十分な潤滑が得られない場合には、更に潤滑性コーティングが必要になる。

2. 2 皿ばねの設計

Fig. 2 に皿ばねの断面形状を示す。

荷重、応力計算は Almen and Laszlo の近似式が一般に用いられているが、最近では FEM 数値解析が進み、精度向上や特異的な場合の解析に利用されている。

皿ばね設計に必要な寸法を次に示す。

D：外径，d：内径，h：板厚，H：全タワミ代

計算式は複雑であるが、一般には必要な荷重、タワミ量、取り付けスペースなどの条件から、計算ソフトを使って計算される。当社で製造している皿ばねの代表的な材質の化学成分を Table 1 に、機械的性質を Table 2 に、標準規格品の抜粋を Table 3 に示す。

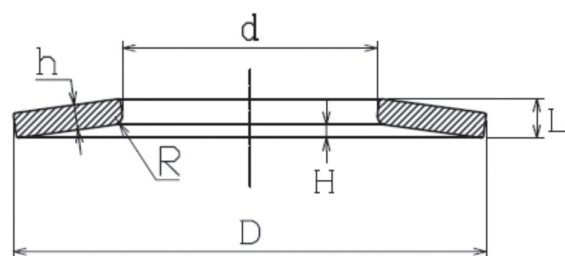


Fig. 2. Cross-section of disc spring.

2. 3 荷重特性

皿ばねに負荷される荷重は、全タワミ量と板厚の比率 (H/h) をパラメーターとしてたわみ量 δ 関する 3 次式で表され、特性は Fig. 3 に示す通り非線形となる^{2),3)}。 H/h が 1.4 でタワミ率 (δ/H) が 0.75 を超えた部分に平行部分が現れる。更に H/h が大きくなると極値を取り、荷重の逆転現象が発生する。

Table 1. Chemical composition of disc spring materials (mass%).

Steel	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	V	
SUP10	0.45~ 0.55	0.15~ 0.35	0.65~ 0.95	0.45~ 0.55	-	-	0.15~ 0.25	
SUBN21	0.75~ 0.85	0.35 max	0.65~ 1.00	0.45~ 0.55	1.50~ 2.00	-	0.10~ 0.30	
SUS631	0.09 max	1.00 max	1.00 max	16.0~ 18.0	6.50~ 7.75	0.75~ 1.50	-	
Inconel718	0.08 max	0.35 max	0.35 max	17.0 ~21.0	50.0 ~55.0	0.20~ 0.80	Nb(+Ta) 4.75~ 5.50	Mo2.80~3.30 Co1.00max
waspaloy	0.09 max	1.00 max	1.00 max	16.0~ 18.0	6.50~ 7.75	0.75~ 1.50	-	
DSN9*	0.02	-	6.0	23.0	10.0	-	-	Mo 2.0 N 0.5

* Examples of prototype

Table 2. Typical mechanical properties of disc spring materials.

Steel	0.2%PS (MPa)	UST (MPa)	Hardness
SUP10	1431	1675	HRc47
SUBN21	1660	1790	HRc50
SUS631 (RH)	1372	1519	HRc48
Inconel718	1245	1401	HRc42

Table 3. Example of standard products.

Code standards	Outer diameter :D mm	Inner diameter :d mm	Thickness :h mm	Deflection :H mm	Height L :mm	H/h	Load kN		Stress MPa		
							δ =0.5H	δ =0.75H	σ I	σ II	σ III
TS-25	23.0	12.2	1.25	0.60	1.85	0.48	1.64	2.34	-2435	1404	1356
TS-34	25.0	12.2	1.50	0.55	2.05	0.37	2.02	2.94	-2137	1419	1090
TS-45	28.0	14.2	1.50	0.65	2.15	0.43	1.98	2.85	-2079	1273	1106
TS-50	31.5	16.3	1.25	0.90	2.15	0.72	1.42	1.92	-2144	917	1187
TS-60	34.0	16.3	2.00	0.85	2.85	0.43	4.02	5.81	-2445	1520	1233
TS-70	40.0	20.4	1.00	1.40	2.40	1.40	1.01	1.14	-2097	262	1187
TS-87	50.0	25.4	1.25	1.75	3.00	1.40	1.57	1.77	-2096	263	1182
TS-100	60.0	30.5	2.50	1.80	4.30	0.72	6.17	8.38	-2358	1012	1285
TS-103	63.0	31.0	1.80	2.40	4.20	1.33	3.82	4.39	-2544	388	1393
TS-110	70.0	35.5	3.00	2.10	5.10	0.70	9.05	12.4	-2406	1060	1306
TS-122	80.0	41.0	3.00	2.30	5.30	0.77	7.87	10.6	-2074	834	1142
TS-130	100.0	51.0	2.70	3.60	6.30	1.33	7.83	9.00	-2281	340	1287
TS-145	125.0	64.0	3.50	4.70	8.20	1.34	14.4	16.5	-2479	360	1404
TS-156	150.0	71.0	6.00	4.80	10.80	0.80	36.4	48.4	-2484	970	1277
TS-160	160.0	82.0	6.00	4.50	10.50	0.75	30.6	41.2	-2015	829	1108
TS-162	180.0	92.0	6.00	5.10	11.10	0.85	28.7	37.7	-1875	672	1035

また、皿ばねは組合せにより、荷重とタワミは組合せの枚数に、単純に倍数の関係が得られる。この関係を Fig. 4 に示す。同じ向きに皿ばねを積み重ねる並列重ねでは、皿ばね面間に発生する層間摩擦によるヒステリシスで荷重値にズレが発生すること、皿ばねを交互に重ねる直列重ねでは、前述の H/h が 1.4 を超える領域では皿ばねの逆転現象が生じる。さらに、直列重ねでは僅かな精度誤差で生じる特性変化により、ばね定数の低い皿ばねにタワミが集中するため特に注意が必要となる。

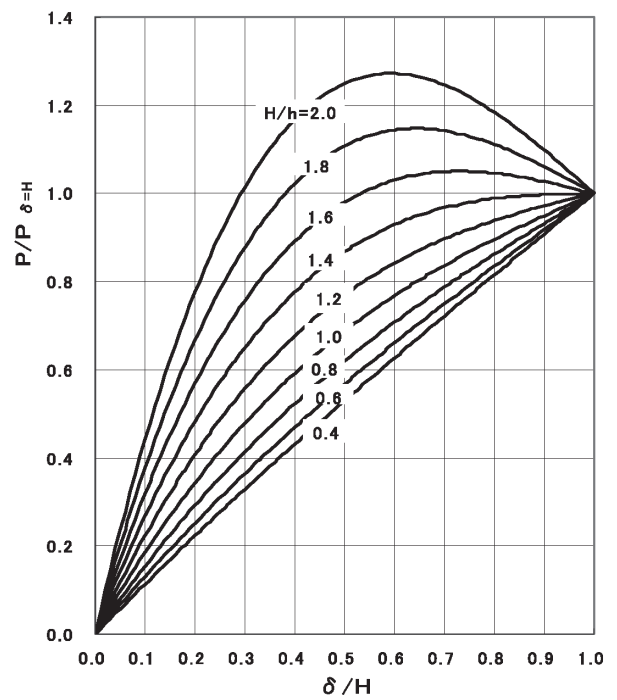


Fig. 3. Spring characteristic curves with respect to H/h and δ/H .

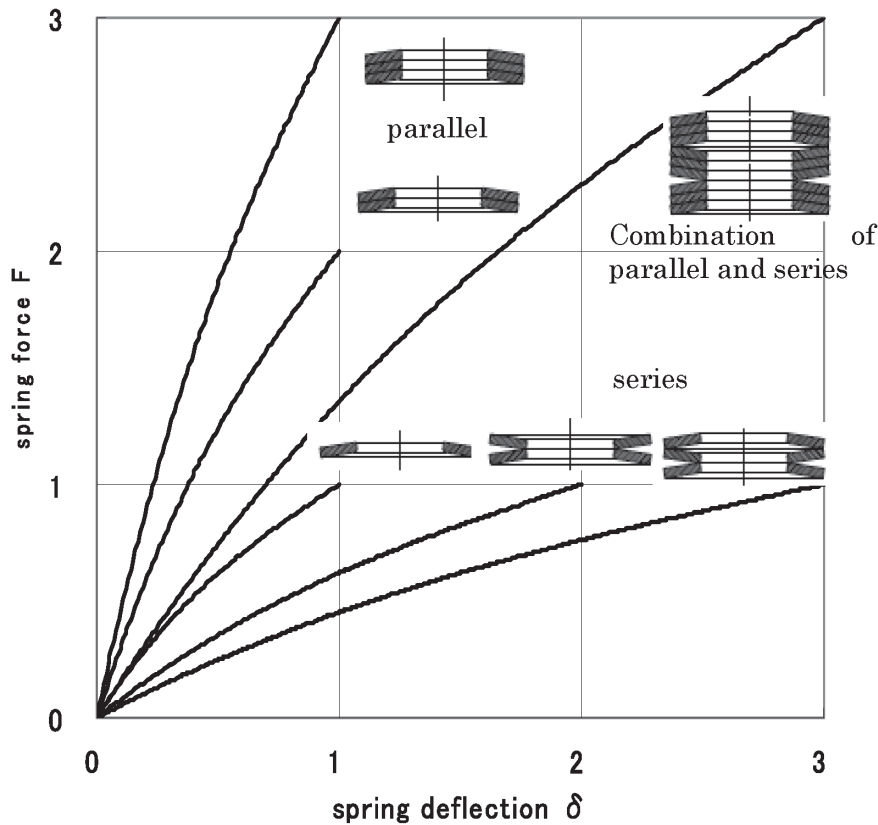


Fig. 4. Schematic representation of characteristic lines possible with springs of same size in different combination.

3. 使用例

3. 1 皿ばねの特性を生かした適用例

皿ばねの特長を生かして機械装置に組み込まれている代表的な事例を Table. 4 に示す。

3. 2 マシニングセンターツール保持用皿ばね

機械部品の製造に使用されるマシニングセンター等の工作機械は高精度化、高速化、高速回転化、長寿命化への要望が強い。特に高速回転化についてはツール保持用皿ばねが回転する主轴の内部に組み込まれ、皿ばね自体が高速回転をするため、ガイド部とのクリアランスを最小にし、かつタワミによって変化が少ないことが要求されている。現在実用化されている内径寸法精度はミクロン単位で管理され、主轴回転数が 20000, 30000 min^{-1} のマシニングセンターに使用されている。製品組み込み例を Fig. 5 に示す。このような高精度の皿ばねは、セット状態で同じクリアランスのガイドを使用し、荷重検査と作動確認が行われている。仕様によっては酸化膜除去や耐久性改善のために行われるショットブラストなどに対し、残渣のない、クリーンな皿ばねの製品化も行っている。

3. 3 制震装置用皿ばね

大地震対策として注目されている制震装置で、ブレーキダンパーとして製品化している。建物の柱と梁の仕口

部や耐震要素（ブレース、耐震壁など）と架構の接合部分に薄いステンレス板と摩擦材を一對にして挟み込み、滑りと摩擦によりエネルギーを吸収する制震システムである。

製品例を Fig. 6 に示す。この装置の特長として、超高層ビルの長周期地震動対策、また風による小さな揺れから、大地震による大きな揺れまで建物の様々な揺れを低減できる。大地震後でも取り替えやメンテナンスが不要でコストパフォーマンスに優れている。この中で、皿ばねは高荷重特性と非線形特性を利用して、高面圧で安定した摩擦力を与えている。一般的な性能例として、外径 130 mm で高さ 51 mm に並列に重ねられた皿ばねのセットで 150kN 前後の荷重を発生させている。

3. 4 高温シール用ばね

自動車用ターボチャージャーはより厳しい環境基準から燃費向上と排ガス規制に対応して、機能改善が図られている。エンジンの回転数に応じて排気側タービンへの開口面積を変化させることで排気ガスの流量を制御し、加給効果をも高めるものである。可変機構の内部部品は直接、高温の排ガスを受けるため耐熱鋼が適用されている。これらの内部部品を適切な与圧でサポートし、排ガスのシール、熱の遮断を目的に、薄板で特殊形状に成形された皿ばねが使用されている。製品例を Fig. 7 に示す。排ガス温度は 800 ~ 850 $^{\circ}\text{C}$ に達するため、Inconel781 や Waspaloy など Ni 基耐熱合金が使用される。

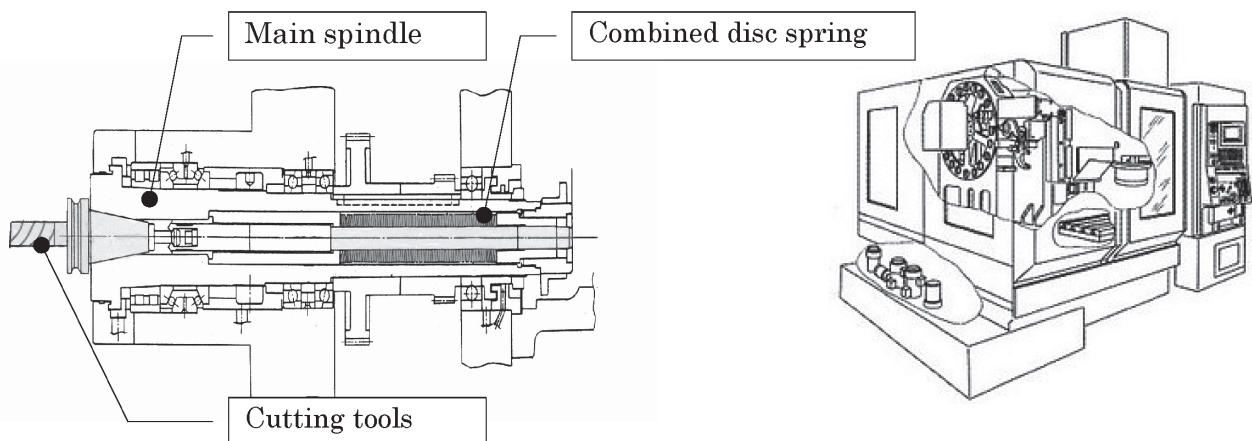


Fig. 5. Example of disc spring set used for spindle of high-speed rotation machining center.

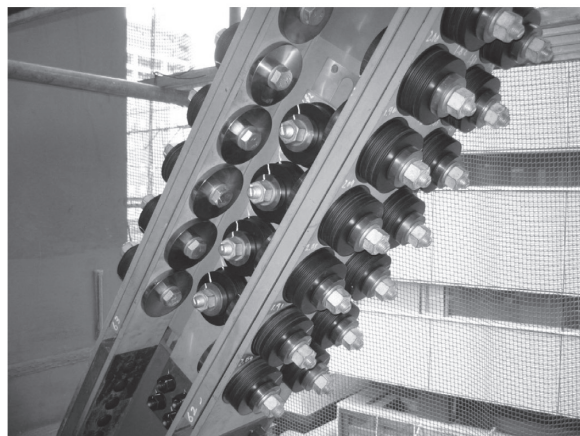
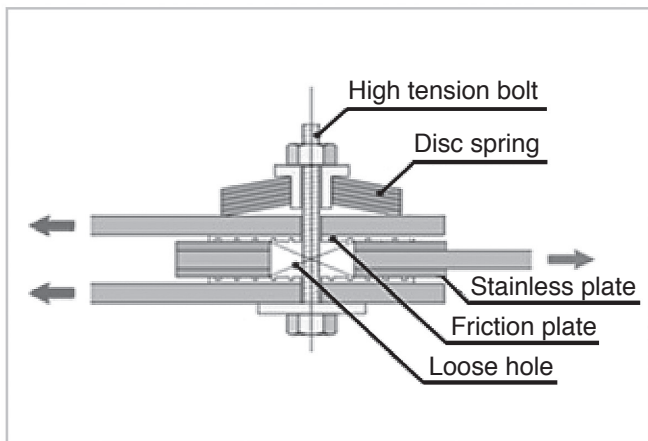


Fig. 6. Example of disc spring built into anti-earthquake device of skyscraper.

Inconel 718



Waspaloy

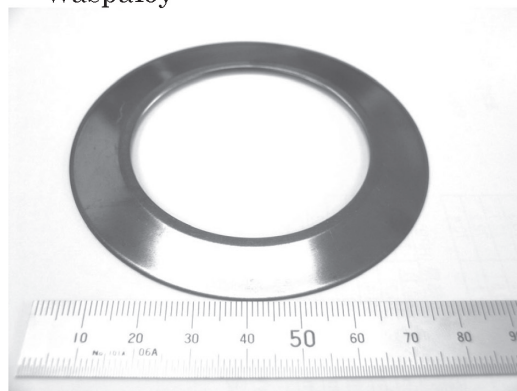


Fig. 7. Examples of heat-resistant disc spring for turbochargers.

3. 5 バルブローテータ

バルブローテータは船用等のディーゼルエンジンの吸排気バルブが作動するごとにバルブ自体を微少回転させる装置で、バルブの偏磨耗を防ぎ、密閉を維持するために組み込まれており、微少回転をさせる機構に鋼球と皿ばねが使用されている。製品略図を Fig. 8 に示す。作動応力的には高くないが高頻度の作動を受けるため耐摩耗性が要求されており一般の皿ばねより硬さは、更に高いレベルに設定されている。

3. 6 プラスチック成型精密金型

半導体樹脂封止金型やプラスチック成型精密金型では押圧調整用等に数枚の小型皿ばねを組合せて使用されている。周囲温度は 200 °C で安定したばね定数が要求され

る。皿ばねの材質は耐熱性を考慮して、析出硬化系ステンレス鋼が主に用いられている。

4. 今後の技術展開

皿ばね自体は単純な形状のばねであるが、他のばねに無い長を有することから、その用途は今後も更に広がるものと期待される。最大の特長は前述の通り、省スペースで高荷重を出せることであるが、皿ばね内部では、広範囲に高い応力が発生するため、適正に熱処理され、表面だけでなく内部欠陥の少ない清浄な高強度の材料が望まれる。現状は高級ばね材料の SUP10（ばね鋼 10 種）が一般に適用されているが、さらにコンパクトでの荷重性能を上げるためには、より弾性限界値、耐力の高い材料が求められる。

