Generation of electromotive force of springs caused by impact deformation

○ 花畑 敬之 (秋田県大・学)

正 熊沢 鉄雄 (秋田県大)

Takaucky HANABATA, Tetsuo KUMAZAWA,
Akita Prefectural University, 84-4 Tsuchiya-Ebinokuchi, Yurihonjyo, Akita

1. 緒言

小型ばねや特殊形状ばねが新しく開発され、携帯電話や集積回路の通電確認や小型半導体機器の検査などに数多く用いられている。しかし、これまでばねから荷重や変位情報などを直接取り出すことはできていない。

微細な接合部のひずみを直接測定、評価する新しい方法として熱起電力法 (Emf: thermal electromotive force method) が提案されたので⁽¹⁾、この熱起電力法をばねに応用することによって直接変位情報を取り出すことを試みた。

本研究では、ばねに衝撃圧縮、または衝撃引張を与えたときの起電力を測定し、ばねの衝撃荷重と起電力との関係を調べた。ここで取り上げたばねは小型ばねである。形状の異なるばねについても試験を行った。

2. 試験片および試験方法

2.1 試験片

今回用いたばねは圧縮コイルばねである。素線径、直径、自由長さなどの形状が異なるばねを取り上げ、これらの形状の Emf に及ぼす影響について調べた。本研究で用いたばねの形状を表 1 に示す。

Table 1. Spring dimension and property

Spring Type	Type. I	Type. II	Type. III	Type. IV
Strand diameter d (mm)	0.2	0.4	0.45	1.2
Diameter D (mm)	2.3	4	4.5	21
Natural length l (mm)	10	17	11	50
Constant of spring k (N/mm)	0.13	0.3	0.69	0.39
Spring index $c=D/d$	11.5	10	10	17.5

2.2 試験装置と試験

ばねに衝撃荷重を与えるために、落錘試験と振り子試験を採用した。

・落錘衝撃圧縮試験

衝撃圧縮試験を行うために製作した落錘衝撃圧縮試験装置の概略図を図 1(a) に示す。

衝撃荷重を与えるばねに熱電対として銅線とコンスタンタン線をはんだで取り付けた⁽²⁾。ばねに垂直に衝撃荷重を与えるためにアクリル製筒中にばねを入れ落錘によって衝撃を加えた。

・振り子衝撃引張試験

衝撃引張試験を行うために製作した振り子衝撃引張試験装置の概略図を図 1(b) に示す。

ばねの両端にアクリルの板をエポキシ樹脂によって固定し、ばねを横向きにして置いた。銅線の熱電対を取り付けた側を固定端とし、他端を衝撃端とした。振り子の先端部

分にはコの字型の重り (金属片) を用いることによって衝撃端に衝撃引張荷重を与えた。

・測定器

起電力測定装置の概略図を図 1(c) に示す。図中の①、②は熱電対の接続先 (図 1, (a), (b) の①、②) との接続組み合わせを表している。両試験ともばねに接続した熱電対は基準接点温度容器を通し、冷接点 0°C に保持した。また、試験片の室温の影響を取り除くために、試験片のばねと同一のばねをダミーとして差分をとり、回路に組み込んだ。起電力はアンプを使用して増幅し、P.C. (パソコン) に接続して記録した。

Fig.1 Impact test ; (a) falling weight impact
(b) pendulum impact (c) Emf recording

3. 起電力発生の検討

3.1 ばねに生じる起電力波形

ばね Type. IV を使い、落錘重量 15g を落下高さ 100mm から落下させて衝撃圧縮試験を行った結果の波形例を図 2 に示す。このような起電力が生じ、その波形を捉えることができることが分かった。

Fig.2 Electro motive force pattern generated in spring

3.2 熱電対位置とばね形状

(1) 熱電対取付位置

ばねに取付ける熱電対の位置を変えて測定を行い、最大起電力値が観測される取付け位置を検討した。

この試験に用いたばねは Type I, 試験条件は落錘高さ 100mm, 落錘重量は 3g である。熱電対の取付け位置は、熱電対の間隔が大, 中, 小の 3 種類とした。その結果、ばねに取付ける熱電対の位置は間隔が大 (最も離れている場合) のとき大きな出力値が出ることがわかった。

この結果より、これ以降の起電力測定の実験ではすべて接触間隔が大きい両端接続を用いることとした。

(2) ばねの形状

表 1 に示した Type. I ~ IV のばねを使用して、落錘重量 2g の条件で落錘高さを変えて落錘試験を行った。そのときの起電力値の最大値をまとめ、横軸に落錘高さ、縦軸に起電力のピーク値をとって図 3 に示した。大きな起電力が発生する Type. II 及び Type. IV はほかのばねに比べて自然長が長かった。このことからばねの自然長 l が長いほど起電力が大きくなると推測される。また、ばね指数 c が小さい場合にも起電力値が大きくなる傾向が見られた。

Fig.3 Maximum electromotive force of spring

4. 衝撃試験の結果と考察

4.1 落錘衝撃圧縮試験

ばね Type. II を用いて落錘重量を 2g とし、落錘高さを 10mm, 25mm, 50mm, 75mm, 100mm, 150mm, 200mm, 300mm, 400mm, 500mm と変えて試験を行い、落錘高さを衝突速度に変換して起電力と速度との関係を調べた。測定結果を横軸に衝突速度、縦軸に起電力をとって図 4 に示す。

Fig.4 Relationship between velocity and electromotive force

図 4 に示すように衝突速度と起電力のピーク値の間には比例関係があった。

次に、ポテンシャルエネルギーを落錘高さ h と落錘重量 m を掛け合わせたものと定義する。このポテンシャルエネルギーと起電力の関係について落錘高さ 10mm~500mm, また、落錘重量 2g~20g を組み合わせて試験を行った。その結果、同一落錘重量時のポテンシャルエネルギーと起電力の関係は 2 次曲線で近似できた。また、同一のポテンシャルエネルギーでも起電力に違いがみられた。さらに、ポテンシャルエネルギーのパラメータのうち、落錘重量よりも落錘高さが起電力と大きく関係していることが分かった。

4.2 振り子衝撃引張試験

ばね Type. IV を用いて、振り子長さ 100mm, 200mm, 400mm, 振り子先端重量 10g, 15g の組み合わせで試験を行った。ばねの衝撃引張による起電力の初期ピークは室温を基準としてマイナス方向に発生したので、グラフも起電力値はマイナスとして整理した。横軸にポテンシャルエネルギー、縦軸に起電力をとって試験結果を図 5 に示した。落錘衝撃圧縮試験の場合と同じく、ポテンシャルエネルギーと起電力の関係は 2 次曲線で近似できた。

Fig.5 Relationship between potential energy and electromotive force

5. 結言

本研究では、ばねに圧縮、引張の衝撃荷重を与え、衝撃変形にともなう起電力の発生について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 起電力法でばねの変形時に発生する起電力を捉えることができる。
- (2) ばねの両端に熱電対を取付けた場合に大きな起電力が得られる。
- (3) ばねの自然長が長く、ばね指数が小さい場合に大きな起電力値が生じる。
- (4) ポテンシャルエネルギーと起電力との間には 2 次関数で表される関係がある。

参考文献

- (1) 熊沢鉄雄, 駒崎慎一, 日本機械学会論文集 (A 編), 68-669, (2002), 148-153.
- (2) 国立天文台編, 理科年表 1997 年度版, (1997), 464-466, 丸善株式会社