

CFRTP 製コイルドウェーブスプリングの設計

日大生産工(院) 森下 智生 日大生産工 平林 明子
日大生産工 平山 紀夫

1. 緒言

現在,多くの小型乗用車のサスペンションには,金属の圧縮コイルばねが使用されている。コイルばねは,自動車の運動性能と乗り心地を両立させるために様々な検討がされている。一方,近年のCO₂排出削減に対して車体構造の軽量化を実現するためには,コイルばねについても軽量化することが望ましい。そこで,金属材料に代わり繊維強化複合材料(FRP)を素線の材料とする開発がおこなわれている。しかし,FRPをコイルばね形状に成形するのは非常に困難であり,また最も成形が容易な一方向強化材(UD材)を素線とした場合には,繊維方向の縦弾性係数と比較し,せん断弾性率が小さいため,ばね定数は小さくなることが予想される。谷田らによる先行研究¹⁾では,UD材を素線としてCFRP(炭素繊維強化熱硬化性複合材)で試作した圧縮コイルばねを試作し,金属材料による圧縮コイルばねと比較しているが,ばね定数が大幅に低いためサスペンションとしての適用は難しいことが報告されている。

本研究では,リサイクル,成形性に優れた連続繊維を強化材としたCFRTP(炭素繊維強化熱可塑性複合材)を用い,その長所である繊維方向の弾性率の高さすなわち曲げ剛性の高さを活かし,かつ,従来のコイルばねへの代替が可能な新しいばねとして,CWS²⁾(コイルドウェーブスプリング)を基にした新規ばねの開発を目的とする。CWSは,薄板断面形状の素線に波型の加工を施し,さらにコイル状に成形したばねであり,コイル形状でありながら,板バネ同様に材料の曲げ剛性がばね特性を支配する。本報告では,新規のCFRTP製ばねを開発にあたり,基本形状を検討した結果について述べる。

2. 設計の基礎理論

従来のばね鋼により製造されるコイルばねは,素線のねじり変形によってばね全体の変位を生じており,ばね定数 k は素線のせん断弾性

率 G ,線径 d ,コイルの平均系 D ,有効巻き数 n とすると,式(1)のようにならわせる。

$$k = \frac{Gd^4}{8nD^3} \quad (1)$$

同様の形状を異方性を有するCFRTPのUD丸棒を用い,らせん形状に成形してコイルばねを得た場合,せん断弾性率 G_{yz} がばね定数を決定する物性値となる。通常,ばね鋼の G は80GPa程度であるのに対し,CFRTPのUD材の G_{yz} は,2.5GPa程度であるため,ばね定数は1/32となり素線直径をかなり大きくしなければ代替できず,UD材を活かした設計ではないことが明白である。一方,大型トラックなどに採用されているリーフスプリング(板ばね)は,曲げ弾性率がばね定数を支配しており,ばね鋼の曲げ弾性率 \approx 縦弾性係数とすれば210GPa程度であるのに対し,UD材の繊維方向弾性率 E_L は123GPa程度であるため,約6割となる。これは,軽量効果を考慮すれば十分に代替可能な材料であり,UD材を活かした設計である。実際にリーフスプリングの材料にはFRPが多数採用されている。

そこで小型乗用車に搭載可能なコイルスプリングと同等の容積で,軽量のUD材を活かしたばねとして,CWSを基本とするばねの形態を提案する。CWSは薄板断面形状の素線に波型の加工を施し,さらにコイル状に成形したばねで,ばね定数は曲げ剛性が支配的になる。本研究では,成形の容易さとねじりの影響を排除するため,図1に示すような6枚のテープ状のCFRTPを波板型に加工して接合し,六角形の外形を持つ新規のCWSを開発する。このような形状においては,梁の曲げ理論からばね定数を推定することが可能であり,例えば曲げ剛性 EI ,長さ l の単純支持梁に等分布荷重 f_0 が作用する場合のたわみ δ は式(2)で表せる。

Design of Coiled Wave Springs made with CFRTP

Tomoki MORISHITA, Akiko HIRABAYASHI and Norio HIRAYAMA

$$\delta = \frac{5fl^4}{384EI} \quad (2)$$

ここで、六角形状のCWSの場合、ばねに負荷される全荷重 P に対して、一辺あたり $P/6$ となるので、

$$f = \frac{P}{6l} \quad (3)$$

となる。したがって六角形状CWSのばね定数 k は、

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{2304EI}{5l^3} \quad (4)$$

で求められる。

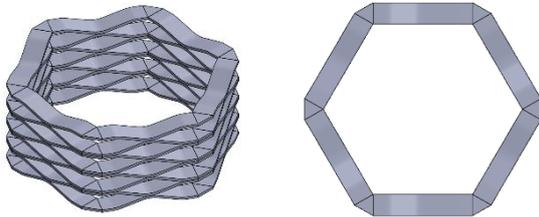


図1 CFRTP製六角形CWS

例として表1左側に示すCRAFTZ社製自動車用コイルばねについて式(1)を用いて算出した、巻き数 $n=1$ に対するばね定数と同等のばね定数を持つ六角形状CWSを設計する場合、例えば幅10mm、厚さ1mm、一辺の長さ74mmなどとなり、十分に製作可能な形状であることが推測される。

表1 コイルばねと六角形CWSの比較

CRAFTZ社製 コイルばね			CFRTP製 六角形状CWS		
G	GPa	80	E	GPa	123
d	mm	13	b	mm	10
D	mm	135	h	mm	1
n	-	1	l	mm	74
k/n	N/mm	116	k/n	N/mm	116

3. FEM解析

第2章では本研究で提案するCFRTP製六角形CWSが妥当であることを示したが、実際の設計に際しては、波型の形状に荷重を負荷するため、汎用有限要素解析ソフトであるAnsys Workbench 2023 R1を使用し、形状を検討する。

その際、全体をモデル化する必要はなく、周期対称であることから1辺についてのみモデル化して静的解析を実施した。モデル形状は長さ70mm、幅10mm、厚さ1mm、材料物性値は解析ソフトにアドインされているエポキシカーボンUD湿式を使用する。解析に使用した材料物性値を表2に示す。また、要素サイズは1mmとし、荷重の裁可方法、面積を変更してばね定数を算出する。結果の例として、自動車1tとし、ばね4つで支えるとした場合一辺あたりの荷重を約400Nを集中的に付加した場合の変位コンター図を図2に示す。

表3 物性値

		エポキシカーボンUD湿式
密度	[g/cm ³]	1.52
縦弾性係数	E_x	123
	E_y	7.78
	E_z	7.78
ポアソン比	ν_x	0.27
	ν_y	0.42
	ν_z	0.27
せん断弾性係数	G_{xy}	5.00
	G_{yz}	3.08
	G_{xz}	5.00

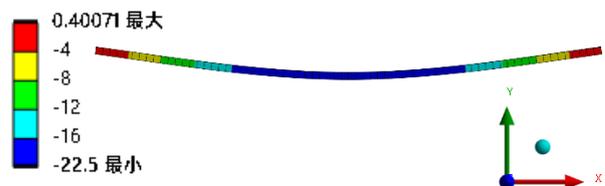


図2 変位コンター図

4. まとめ

本報告では、小型乗用車用サスペンションに使用可能なばね部材として、CFRTP製六角形CWSを提案し、その基本的な形状に関して検討し、FEMによる解析を行った。今後は接合部形状および実際の成形を考慮した実用的な形状について検討を行う。

参考文献

- 1) 谷田ら, 京都府織物・機械金属振興センター研究報告, 51, P27-30, 2017
- 2) 高橋ら, ばね論文集, 51, p35-43, 2006